

b154221

ประสิทธิภาพของการใช้ผักกระเฉด  
บำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า

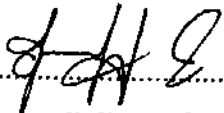
นาวาอากาศตรี วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์

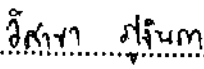
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)  
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์  
พ.ศ. 2549

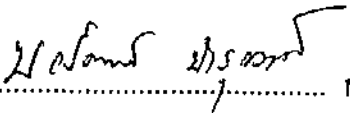
ประสิทธิภาพของการใช้ฝักกระเจตบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า  
นาวาอากาศตรี วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์  
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

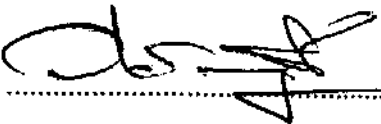
---

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ .....  ..... ประธานกรรมการ  
(ดร. วัชรชัย ศุภดิษฐ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ .....  ..... กรรมการ  
(ดร. วิสาखा ภูจินดา)

อาจารย์ .....  ..... กรรมการ  
(นวรรตน์ บำรุงวงศ์)

อาจารย์ .....  ..... คณบดี  
(วิชัย รุ่งทาด)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2549

## บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์ : ประสิทธิภาพของการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า  
ชื่อผู้เขียน : นาวาอากาศตรี วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์  
ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)  
ปีการศึกษา : 2549

---

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า ชีวมวลของผักกระเฉด ดุลไนโตรเจน และปริมาณโลหะหนักในน้ำและในผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เป็นกลุ่มควบคุม ทำการศึกษาที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ผลการศึกษาพบว่า ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีในทุกระดับความเข้มข้นและทุกระยะเวลาการบำบัด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 89.28 – 96.30 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีและซีโอดีสูงสุดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 42.89 – 70.37 และ 8.27 – 25.00 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ต่ำลง แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนและปริมาณที่เคเอ็นในน้ำ รวมทั้งไม่มีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางมากขึ้นได้ โดยค่าพีเอช ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณที่เคเอ็นในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น จากการศึกษาชีวมวลของผักกระเฉด พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นที่ศึกษามีชีวมวลเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จากนั้นมีค่าลดลงตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ซึ่งที่ทุกระดับความเข้มข้นมีชีวมวลของผักกระเฉดสูงกว่าในกลุ่มควบคุมทุกระยะเวลาการบำบัด และจากการศึกษาดุลไนโตรเจน พบว่า มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงในทุกระดับความเข้มข้น ซึ่งเป็นผลมาจากการระเหยและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ในขณะที่การดูดซับธาตุอาหารของผักกระเฉดไม่มีส่วนในการลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเนื่องจากผักกระเฉดมีอัตราการตายที่สูง ส่วนปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปปรอท แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำกากส่าที่

(4)

นำมาทดลอง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด สรุปได้ว่า การใช้ฝักกระเจตบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำอากาศสามารถทำได้ แต่ต้องมีระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดที่เหมาะสม

## ABSTRACT

**Title of Thesis** : The Efficiency of Water Mimosa for Treating Water  
Contaminated by Distilled Slop  
**Author** : Sqn.Ldr. Wisan Thummaprasit  
**Degree** : Master of Science (Environmental Management)  
**Year** : 2006

---

The objectives of this research were to study the efficiency of water mimosa for treating water contaminated by distilled slop, water mimosa' s biomass, N – balance, and concentrations of heavy metals in water and water mimosa. The concentration of distilled slop contaminated in water and the time used to treat water were varied. The concentrations of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% and the treatment times of 10, 20, and 30 days were designed. The concentration of 0% was used as a control. The results showed that the SS removal efficiency of all concentrations and all treatment times was high. The range of the SS removal efficiency was in between 89.28 – 96.30%. The BOD and COD removal efficiencies of all concentrations were the best at treatment time of 10 days. The ranges of BOD and COD removal efficiencies at treatment time of 10 days were 42.89 – 70.37% and 8.27 – 25.00% respectively, in which the higher efficiency was obtained when the concentrations of the distilled slop decreased. The TDS and TKN removal efficiencies and the pH neutral control efficiency were not found in this study. The values of pH, TDS, and TKN trended to increase when the concentrations and treatment times increased. The study of water mimosa' s biomass showed that the biomass of all concentrations studied increased at the treatment time of 10 days, but after that, the biomass trended to decrease when the concentration and the treatment time increased. The biomass of all concentrations were higher than the control at all

treatment times. The study of N – balance showed that the nitrogen volatilization and transformation affected to the kjeldahl nitrogen removal rate of all concentrations, whereas water mimosa' s nutrients adsorption had no effect to the kjeldahl nitrogen removal rate because the death rate of water mimosa was high. The results also illustrated that concentrations of heavy metals such as mercury, cadmium, and lead in distilled slop were at the standard level. It can be concluded from this experiment that it is possible to use Water Mimosa to treat water contaminated by distilled slop, but it should have suitable concentration and treatment time.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากหน่วยงานและบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความกรุณา

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสาखा ภูจินดา และอาจารย์ นวรัตน์ บำรุงวงศ์ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำชี้แนะและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกขั้นตอน จนสามารถจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้กรุณาถ่ายทอดวิทยาการต่าง ๆ แก่ผู้เขียน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษาและช่วยประสานงานระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ แผนกวิทยาศาสตร์ บริษัท ยูไนเต็ควอเตอร์ แอนด์ ดิสทิลเลอร์ จำกัด ทุกท่าน ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ร่วมหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) ทุกท่าน สำหรับมิตรภาพที่มีให้กัน และช่วยเหลือเกื้อกูลกันตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณนพมาศ ธรรมประสิทธิ์ และบุตรชาย ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนเสมอมา และขอขอบพระคุณ คุณพ่อสมชาย คุณแม่ประดิษฐ กลิ่นบางยาง ที่ได้ช่วยสนับสนุนสถานที่ทำการวิจัยและให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อประสิทธิ์ คุณแม่วรรณ ธรรมประสิทธิ์ ผู้มีพระคุณสูงสุดต่อผู้เขียน ที่ให้โอกาสในการศึกษาและเป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด ด้วยความเคารพยกย่องอย่างสูง

นาวาอากาศตรี วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์

กันยายน 2549

## สารบัญ

|                                            | หน้า  |
|--------------------------------------------|-------|
| <u>บทคัดย่อ</u>                            | (3)   |
| ABSTRACT                                   | (5)   |
| กิตติกรรมประกาศ                            | (7)   |
| สารบัญ                                     | (8)   |
| สารบัญตาราง                                | (10)  |
| สารบัญภาพ                                  | (13)  |
| <br><u>บทที่ 1</u> บทนำ                    | <br>1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา              | 1     |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                | 3     |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา                    | 3     |
| 1.4 ขอบเขตของการศึกษา                      | 4     |
| 1.5 กรอบแนวคิดในการศึกษา                   | 4     |
| 1.6 นิยามศัพท์                             | 6     |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ              | 8     |
| <br><u>บทที่ 2</u> ทบทวนวรรณกรรม           | <br>9 |
| 2.1 ข้อมูลพื้นฐานของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา | 9     |
| 2.2 ข้อมูลพื้นฐานของผักกระเฉด              | 25    |
| 2.3 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม              | 31    |
| 2.4 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ         | 44    |
| 2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ            | 48    |
| 2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                | 53    |



|                               |                                               |     |      |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|-----|------|
| <b><u>บทที่ 3</u></b>         | <b>วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา</b>          | 57  |      |
| 3.1                           | วัสดุและอุปกรณ์                               | 57  |      |
| 3.2                           | วิธีการศึกษา                                  | 57  |      |
| 3.3                           | แผนการปฏิบัติงาน                              | 66  |      |
| <b><u>บทที่ 4</u></b>         | <b>ผลการทดลองและอภิปราย</b>                   | 67  | c4-1 |
| 4.1                           | คุณภาพน้ำ                                     | 68  |      |
| 4.2                           | <u>ชีวมวลของผักกระเฉด</u>                     | 129 | c4-2 |
| 4.3                           | ตุลในโตรเจน                                   | 140 |      |
| 4.4                           | ปริมาณโลหะหนัก                                | 153 |      |
| <b><u>บทที่ 5</u></b>         | <b>สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>            | 155 |      |
| 5.1                           | สรุปผลการทดลอง                                | 155 |      |
| 5.2                           | ข้อเสนอแนะ                                    | 165 |      |
| <b><u>บรรณานุกรม</u></b>      |                                               | 167 |      |
| <b><u>ภาคผนวก</u></b>         |                                               | 174 |      |
| <b><u>ภาคผนวก ก</u></b>       | <b>วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำและโลหะหนักในน้ำ</b> | 175 |      |
| <b><u>ภาคผนวก ข</u></b>       | <b>วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช</b>       | 205 |      |
| <b><u>ภาคผนวก ค</u></b>       | <b>การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ</b>        | 208 |      |
| <b><u>ภาคผนวก ง</u></b>       | <b>ภาพการเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล</b>   | 254 |      |
| <b><u>ประวัติผู้เขียน</u></b> |                                               | 267 |      |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                             | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ปริมาณสุรากลั่นที่เสียภาษีสุราในปีงบประมาณ พ.ศ. 2541 – 2547                                                                      | 10   |
| 2.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและข้อดีข้อเสียในการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่าง ๆ                                                          | 19   |
| 2.3 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ<br>สิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)                                  | 35   |
| 2.4 ค่าพารามิเตอร์ที่อนุโลมให้สูงกว่าปกติสำหรับโรงงานบางประเภทตาม<br>ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2539         | 37   |
| 2.5 ปริมาณตัวอย่างน้ำเสียและวิธีเก็บรักษาสำหรับงานวิเคราะห์น้ำเสีย<br>อุตสาหกรรม                                                     | 39   |
| 2.6 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตาม<br>Standard Methods for the Examination of Water and<br>Wastewater | 42   |
| 3.1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน<br>อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม                                             | 62   |
| 3.2 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์ก่อนทำการทดลอง                                                                                   | 62   |
| 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์หลังทำการทดลองครบ 10, 20<br>และ 30 วัน                                                           | 63   |
| 3.4 วิธีการตรวจวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำที่ใช้ทดลอง                                                                       | 64   |
| 3.5 แผนการปฏิบัติงาน                                                                                                                 | 66   |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกากส่าและน้ำสะอาดที่นำมาใช้ในการทดลอง                                                                     | 67   |
| 4.2 ค่าพีเอชและประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชของน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า<br>ในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                           | 72   |
| 4.3 ปริมาณของแข็งละลายน้ำและประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็ง<br>ละลายน้ำในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน      | 76   |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน | 80  |
| 4.5 ปริมาณบีโอดีและประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                 | 83  |
| 4.6 ปริมาณซีโอดีและประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                 | 87  |
| 4.7 ปริมาณทีเคเอ็นและประสิทธิภาพในการลดปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน             | 91  |
| 4.8 คุณภาพน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน                                                                        | 92  |
| 4.9 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน                                                         | 93  |
| 4.10 ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                        | 107 |
| 4.11 ประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน             | 108 |
| 4.12 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                 | 111 |
| 4.13 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน               | 112 |
| 4.14 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                  | 115 |
| 4.15 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                | 116 |
| 4.16 ปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                          | 119 |
| 4.17 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                        | 120 |
| 4.18 ปริมาณซีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                          | 123 |

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.19 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีไอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า<br>และระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน           | 124 |
| 4.20 ปริมาณที่เคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลา<br>การบำบัดที่แตกต่างกัน                          | 127 |
| 4.21 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า<br>และระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน        | 128 |
| 4.22 ซีวมวลเฉลี่ยของผักกระเจตที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน                                        | 130 |
| 4.23 ซีวมวลเฉลี่ยของผักกระเจตที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ                                                           | 132 |
| 4.24 ซีวมวลของผักกระเจตที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลา<br>การบำบัดที่แตกต่างกัน                       | 135 |
| 4.25 ปริมาณที่เคเอ็นในน้ำและในผักกระเจตก่อนและหลังการทดลอง                                                       | 140 |
| 4.26 ค่าเฉลี่ยซีวมวลของผักกระเจตก่อนและหลังการทดลอง                                                              | 141 |
| 4.27 ปริมาณน้ำเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลอง                                                                          | 141 |
| 4.28 ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในผักกระเจตก่อนและหลังการทดลอง                                                        | 141 |
| 4.29 ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนและหลังการทดลอง                                                              | 142 |
| 4.30 ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์<br>ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน | 142 |
| 4.31 เปรียบเทียบดูลไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนของแต่ละหน่วยทดลอง                                               | 151 |
| 4.32 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน<br>อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม                        | 153 |
| 4.33 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำกากส่าก่อนการทดลอง                                                         | 154 |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                    | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ขั้นตอนการผลิตสุรากลั่นและแหล่งที่มาของน้ำกากส่า                                      | 14   |
| 3.1 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและชีวมวลของผักกระเฉด                                | 58   |
| 3.2 ลักษณะการจัดเรียงหน่วยทดลองในโรงเรือนทดลอง                                            | 60   |
| 4.1 ค่าพีเอชของน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                     | 72   |
| 4.2 ปริมาณของแข็งละลายน้ำในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน         | 76   |
| 4.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน          | 80   |
| 4.4 ปริมาณบีโอดีในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                  | 84   |
| 4.5 ปริมาณซีโอดีในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                  | 87   |
| 4.6 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน                | 91   |
| 4.7 ค่าพีเอชที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                              | 95   |
| 4.8 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                 | 97   |
| 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                  | 99   |
| 4.10 ปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                         | 101  |
| 4.11 ปริมาณซีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                         | 103  |
| 4.12 ปริมาณทีเคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                                       | 104  |
| 4.13 ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน        | 108  |
| 4.14 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน | 112  |
| 4.15 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน  | 116  |

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.16 ปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                | 120 |
| 4.17 ปริมาณซีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน                | 124 |
| 4.18 ปริมาณทีเคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน              | 128 |
| 4.19 ชีวมวลเฉลี่ยของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน                       | 131 |
| 4.20 ชีวมวลเฉลี่ยของผักกระเจดที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ                                          | 132 |
| 4.21 ชีวมวลของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน          | 136 |
| 4.22 การเจริญเติบโตของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน | 137 |
| 4.23 การเจริญเติบโตของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน | 138 |
| 4.24 การเจริญเติบโตของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน | 139 |
| 4.25 ดุลไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของหน่วยทดลอง $T_0$                                      | 143 |
| 4.26 ดุลไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของหน่วยทดลอง $T_1$                                      | 144 |
| 4.27 ดุลไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของหน่วยทดลอง $T_2$                                      | 145 |
| 4.28 ดุลไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของหน่วยทดลอง $T_3$                                      | 146 |
| 4.29 ดุลไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของหน่วยทดลอง $T_4$                                      | 147 |
| 4.30 เปรียบเทียบดุลไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของแต่ละหน่วยทดลอง                            | 152 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสุรามีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องตามสถานะเศรษฐกิจและความนิยมในการบริโภคของประชากร ในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีปริมาณการจำหน่ายสุราประเภทสุราขาว 28 ดีกรี สุราผสม 28 ดีกรี สุราพิเศษ และสุราปรุงพิเศษที่ผลิตจากโรงงานสุรภายในประเทศเพิ่มขึ้นร้อยละ 31 เมื่อเทียบกับปริมาณการจำหน่ายสุราในปี พ.ศ. 2546 โดยในปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณการจำหน่ายสุราทั้งสิ้นประมาณ 1,010.5 ล้านลิตร และเพิ่มขึ้นเป็น 1,324.3 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2547 (กรมสรรพสามิต, 2548) ในกระบวนการผลิตสุราจะเกิดของเหลือจากกระบวนการผลิต คือ น้ำกากส่า ซึ่งน้ำกากส่าจะมีปริมาณ 3.5 เท่าของอัตราการผลิตสุราขาว 28 ดีกรี (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2527: 2) หรือกล่าวได้ว่าการผลิตสุราขาว 28 ดีกรี 1 ลิตร จะก่อให้เกิดน้ำกากส่าประมาณ 3.5 ลิตร หากพิจารณาจากปริมาณสุราที่จำหน่ายทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2547 ก็พอจะประมาณการได้ว่าจะเกิดน้ำกากส่าจากกระบวนการผลิตสุรามากกว่า 4,000 ล้านลิตรต่อปี

น้ำกากส่าจะมีคุณลักษณะทางเคมีแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสุรา โดยทั่วไปจะมีค่าพีเอช (pH) ประมาณ 4.1 – 4.5 ค่าบีโอดี (BOD) 35,000 – 40,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) 120,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนโตรเจน (N) 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร  $P_2O_5$  200 มิลลิกรัม/ลิตร  $K_2O$  4,000 มิลลิกรัม/ลิตร (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2542: 35) จากคุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าดังกล่าว หากปล่อยให้รั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดผลกระทบที่ร้ายแรงต่อระบบนิเวศ

ที่ผ่านมาได้มีวิธีการบำบัดน้ำกากส่าอยู่หลายวิธี เช่น วิธีการเคี้ยวและเผา (Evaporation and Incineration) ระบบการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และระบบเอเอส (Activated Sludge) ซึ่งแต่ละวิธีมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากและบางวิธีก็ยังมีปัญหาการกำจัดที่ไม่ได้ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของทางราชการ จึงได้มีการทดลองนำน้ำกากส่าไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น

ใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงทางการเกษตร ใช้รดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น ใช้ทำเป็นปุ๋ยหมัก ใช้เลี้ยงปลา และใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 93 - 98) ได้ทำการวิจัยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำกากส่ารูปแบบต่าง ๆ พบว่า การกำจัดโดยนำน้ำกากส่าไปใช้ในการเกษตรโดยตรงมีความเป็นไปได้และเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำที่สุด การใช้กากส่าในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะเป็น ข้าว ผักสวนครัว ไม้ประดับ และไม้ยืนต้นต่าง ๆ

การทดลองนำพืชน้ำ อาทิ ผักกระเฉด มาใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากผักกระเฉดเป็นพืชน้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ที่ผ่านมามีผู้ทำการทดลองนำผักกระเฉดไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียหลายท่าน เช่น จิตติมา วสุลิน (2539: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของผักกระเฉดในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยบริเวณศูนย์ศาลาया ธนียา เกาศล (2545: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ผักกระเฉดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลนครหาดใหญ่ และปิยนุช บุญศิริชัย (2547: บทคัดย่อ) ทดลองใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำทิ้งจากปอเล้งกุ่มกุลดำ ซึ่งทั้ง 3 งานวิจัยสรุปผลในลักษณะเดียวกันว่า ผักกระเฉดสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ ดังนั้น หากสามารถนำผักกระเฉดมาใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราได้ด้วยแล้ว ก็จะทำให้โรงงานสุรามีทางเลือกเพิ่มขึ้นในการบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้ต้นทุนต่ำ และจากคุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชและไม่มีโลหะหนักหรือสารพิษที่เป็นอันตราย จึงสามารถนำผลผลิตผักกระเฉดที่ใช้ในการบำบัดน้ำกากส่ามาบริโภคได้อย่างปลอดภัยหรือนำไปจำหน่ายเป็นผลพลอยได้ให้กับโรงงาน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงสนใจที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพและชีวมวลของผักกระเฉดในการบำบัดน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการนำผักกระเฉดมาใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าอย่างเหมาะสม โดยความรู้ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยบำบัดและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากน้ำกากส่า เกิดประโยชน์กับโรงงานสุราที่สามารถลดต้นทุนและสร้างผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำกากส่า เกิดประโยชน์กับเกษตรกรที่สามารถนำน้ำกากส่าในอัตราส่วนที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงผักกระเฉดและที่สำคัญ คือ เกิดประโยชน์ต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในการจัดหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้บำบัดน้ำกากส่า รวมทั้งนำน้ำกากส่าซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการผลิตสุรายังคงมีคุณค่าทางโภชนาสูงมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า นอกจากนี้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ยังเป็นแนวทางเบื้องต้นใน



การทดลองนำพืชน้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ มาใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

### 1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า

### 1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

1.2.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลรวมของผักกระเฉดกับระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

1.2.2.3 เพื่อศึกษาดุลไนโตรเจน (N – balance) ภายหลังการบำบัดน้ำ

1.2.2.4 เพื่อศึกษาไลหะหนัก ได้แก่ โปรท แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำและในผักกระเฉด (แต่ในกรณีที่ก่อนการทดลองตรวจไม่พบว่ามีไลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำกากส่า หรือตรวจพบแต่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ภายหลังการทดลองก็จะไม่ทำการตรวจวิเคราะห์ไลหะหนักทั้งในน้ำทั้งและในผักกระเฉด)

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ผักกระเฉดสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าจากโรงงานสุราได้และสามารถนำผักกระเฉดที่ใช้ในการบำบัดน้ำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคหรือจำหน่ายต่อไปได้

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

### 1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.4.1.1 ศึกษาประสิทธิภาพของฝักกระเจดในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

1.4.1.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลของฝักกระเจดกับระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

1.4.1.3 ศึกษาดุลไนโตรเจน (N – balance) ภายหลังการบำบัดน้ำ

1.4.1.4 ศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำและในฝักกระเจด

### 1.4.2 ขอบเขตด้านประชากรและพื้นที่

น้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำกากส่าที่เกิดจากกระบวนการกลั่นสุราที่ใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นวัตถุดิบ เก็บตัวอย่างน้ำกากส่ามาจากบ่อเก็บกักน้ำกากส่า (Storage Lagoon) ของโรงงานสุรา บริษัท ยูนิเด็คไวน์เนอวี่ แอนด์ ดิสทิลเลอวี่ จำกัด อำเภอนครชัยศรี จังหวัด นครปฐม และทำการทดลองในโรงเรือนทดลองที่สร้างขึ้นในอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

### 1.4.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ทำการทดลองบำบัดน้ำในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 – มกราคม พ.ศ. 2549

## 1.5 กรอบแนวคิดในการศึกษา

### 1.5.1 ตัวแปรอิสระ

1.5.1.1 ความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

1.5.1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

### 1.5.2 ตัวแปรตาม

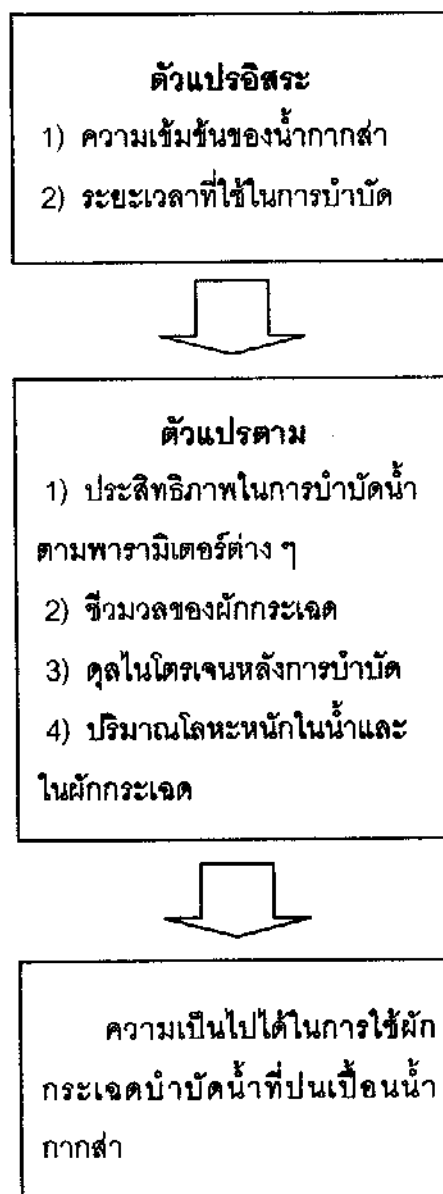
1.5.2.1 ประสิทธิภาพของฝักกระเจดในการบำบัดคุณภาพน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

1.5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลของผักกระเฉดกับระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสำร่อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

1.5.2.3 ดุลไนโตรเจน (N – balance) ภายหลังการบำบัดน้ำ

1.5.2.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำและในผักกระเฉด

### 1.5.3 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิด



## 1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 น้ำกากส่า หมายถึง น้ำเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการกลั่นสุราหรือแอลกอฮอล์ น้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำกากส่าที่เกิดจากกระบวนการกลั่นสุราที่หักกากน้ำตาล (Molasses) เป็นวัตถุดิบ

1.6.2 ผักกระเจต หมายถึง พืชน้ำชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในตระกูล Leguminosae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Neptunia oleracea* Lour. และชื่อสามัญเรียกว่า Water Mimosa

1.6.3 โรงเรือนทดลอง หมายถึง โรงเรือนประดิษฐ์ขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ  $4.00 \times 6.00 \times 2.80$  เมตร เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก หลังคาโรงเรือนมุงด้วยพลาสติกใสและตาข่ายสีดำ ด้านข้างทั้ง 4 ด้าน กันด้วยลวดตาข่ายสูงจากพื้น 90 เซนติเมตร ส่วนพื้นเป็นพื้นปูนซีเมนต์

1.6.4 ภาชนะทดลอง หมายถึง ภาชนะพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 66 เซนติเมตร และความสูง 26 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 70 ลิตร

1.6.5 ชีวมวล (Biomass) หมายถึง มวลรวมของผักกระเจตทั้งหมดที่อยู่ในภาชนะทดลอง

1.6.6 คูลไนโตรเจน (Nitrogen Balance: N – balance) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนในหน่วยทดลองที่ทำการศึกษ สำหรับในการศึกษาค้างนี้ศึกษาคูลไนโตรเจนในรูปเจลดาคัลไนโตรเจน (Kjeldahl Nitrogen) โดยวิเคราะห์จากปริมาณเจลดาคัลไนโตรเจนที่ได้เพิ่มหรือสูญเสียไปในผักกระเจตและในน้ำ

1.6.7 เจลดาคัลไนโตรเจน (Kjeldahl Nitrogen) หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Org – N) และแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3$  – N) ที่มีอยู่ในน้ำหรือในผักกระเจต หรือที่สูญเสียไปจากน้ำหรือจากผักกระเจต ปริมาณเจลดาคัลไนโตรเจนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

1.6.8 พีเอช (pH) หมายถึง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำนั้น ๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 6)

1.6.9 ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solid: TDS) หมายถึง ของแข็งที่สามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานแล้วยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยไอน้ำจนแห้งแล้วอบที่อุณหภูมิ  $103 - 105$  องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิ  $180$  องศาเซลเซียส ในกรณีที่น้ำมีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544: 251; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 4)

ค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงความสกปรกของน้ำในรูปของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

1.6.10 **ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid: SS)** หมายถึง ส่วนของของแข็งที่เหลืค้างบนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากกรองน้ำตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 4) ค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงความสกปรกของน้ำในรูปของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

1.6.11 **บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)** หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 6) ค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงความสกปรกของน้ำที่เกิดขึ้นจากสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน บีโอดีมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

1.6.12 **ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)** หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 6) ค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงความสกปรกของน้ำที่เกิดขึ้นจากสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ปริมาณซีโอดีมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

1.6.13 **ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)** หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นผลรวมระหว่างไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Org – N) และแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3 - \text{N}$ ) (มันสิน ตันทุลเทศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเทศม์, 2547: 19/4) ค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงความเข้มข้นของปริมาณเจลดาล์ไนโตรเจนที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร หรือแสดงถึงปริมาณเจลดาล์ไนโตรเจนในพืช โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม

1.6.14 **โลหะหนัก (Heavy Metals)** หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic Number) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 23 – 92 และอยู่ในคาบตั้งแต่ 4 – 7 ในตารางธาตุ (Periodic Table) และมีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป โลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะมีแหล่งแพร่กระจายจากธรรมชาติโดยการสลายตัวของหินและแร่ และแหล่งแพร่กระจายจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยโลหะหนักสามารถสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร หากโลหะหนักมีการสะสมในแหล่งน้ำในปริมาณมาก เมื่อมีการเคลื่อนย้ายเข้าสู่พื้นดิน พืช สัตว์ และมนุษย์โดยการสัมผัสโดยตรงหรือบริโภคผ่านห่วงโซ่อาหาร ก็จะทำให้เกิดความเป็นพิษแก่ร่างกายอย่างร้ายแรงได้ (สุธีรา ตูลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสกลิต วงศ์สวรรค์, 2544: 230)

1.6.15 **ปรอท (Mercury: Hg)** หมายถึง โลหะหนักชนิดหนึ่งที่ปนเปื้อนในน้ำโดยมีแหล่งแพร่กระจายจากธรรมชาติ และจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ยารักษาโรค การผลิตคลอรีนและโซดาไฟ เป็นต้น หากร่างกายมนุษย์ได้รับปรอทเข้าไปในปริมาณมากจะมีพิษทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ทำลายไต ทำลายระบบทางเดินอาหาร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541ข: 11 – 16)

1.6.16 **แคดเมียม (Cadmium: Cd)** หมายถึง โลหะหนักชนิดหนึ่งที่ปนเปื้อนในน้ำโดยมีแหล่งแพร่กระจายจากธรรมชาติ และจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสังกะสี โรงงานชุบโลหะแคดเมียม เป็นต้น หากร่างกายมนุษย์ได้รับแคดเมียมเข้าไปในปริมาณมากจะมีพิษต่อปอด ทำลายไต ทำลายกระดูก (กรมควบคุมมลพิษ, 2541ก: 28 – 51)

1.6.17 **ตะกั่ว (Lead: Pb)** หมายถึง โลหะหนักชนิดหนึ่งที่ปนเปื้อนในน้ำโดยมีแหล่งแพร่กระจายจากธรรมชาติ และจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสีและพลาสติก เป็นต้น หากร่างกายมนุษย์ได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากจะมีพิษทำลายระบบประสาท ทำลายระบบเลือด ทำลายไต (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2544: 66 – 70)

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้ฝักกระเจดนำบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า

1.7.2 ทราบถึงประสิทธิภาพของฝักกระเจดในการบำบัดคุณภาพน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

1.7.3 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลของฝักกระเจดกับระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

1.7.4 ทราบถึงดุลไนโตรเจน (N – balance) ภายหลังการบำบัดน้ำ

1.7.5 ทราบถึงปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท แคดเมียม และตะกั่วในน้ำกากส่า

1.7.6 เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำพืชน้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ข้อมูลพื้นฐานของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา

##### 2.1.1 ความหมายและประวัติการผลิตสุรา

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม "สุรากลั่น" (มอก. 2088 – 2544) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2544: 1) ได้กำหนดนิยามของสุราไว้ว่า สุรา หมายถึง เครื่องดื่มที่มีแรงแอลกอฮอล์เกิน 0.5 ดีกรี แต่ไม่เกิน 80 ดีกรี (ดีกรี หมายถึง ร้อยละโดยปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) และสุรากลั่น หมายถึง สุราที่ได้จากการกลั่นน้ำส่าเป็นสุรา หรือกลั่นน้ำส่าเป็นแอลกอฮอล์ก่อนแล้วปรุงแต่งให้เป็นสุรา ซึ่งน้ำส่า (Fermented Mash) หมายถึง สิ่งที่ได้จากการหมักธัญชาติ แป้งจากพืชอื่น ผลไม้ น้ำตาล หรือกากน้ำตาล นอกจากนี้สุรากลั่นยังมีความหมายรวมถึงสุรากลั่นที่ผสมกับของอื่นหรือเครื่องดื่มชนิดอื่น แต่ถ้าผสมกับไวน์ต้องได้แรงแอลกอฮอล์เกิน 23 ดีกรี โดยที่ชื่อของสุรากลั่นจะเรียกชื่อตามกรรมวิธีผลิตที่แตกต่างกัน เช่น วอดกา สุราขาว สุราผสม สุราผสมพิเศษ สุราปรุงพิเศษ ยิน วิสกี้ บรั่นดี รัม เป็นต้น

สุราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ สุราแช่และสุรากลั่น สุราแช่ หมายถึง สุราที่ผ่านการหมักแต่ไม่ได้กลั่น ได้แก่ เบียร์ สุราผลไม้ หรือไวน์ และสุราแช่พื้นเมือง ได้แก่ อุสาโท และน้ำตาลเมาหรือกระแช่ เป็นต้น ส่วนสุรากลั่น หมายถึง สุราที่ได้กลั่นแล้ว ได้แก่ สุราขาว สุราสามทับ สุราผสม สุราปรุงพิเศษ และสุราพิเศษ สุราแช่บางครั้งเรียกว่า "เมรัย" ส่วนคำว่า "สุรา" โดยทั่วไปจะหมายถึงสุรากลั่นโดยเฉพาะ สุราชนิดแรกที่มนุษย์ผลิตขึ้น คือ สุราแช่ โดยนำข้าวมาหมักทำเบียร์ครั้งแรกประมาณ 3,500 – 4,000 ปีก่อนคริสตกาล ส่วนสุรากลั่นมนุษย์ทำได้หลังจากนั้นประมาณ 4,000 ปี โดยเชื่อว่าคนจีนรู้จักกลั่นสุรามาดังแต่คริสต์ศตวรรษที่ 7 แล้ว แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก จนมาในคริสต์ศตวรรษที่ 12 ชาวยุโรปรู้จักการกลั่นแอลกอฮอล์จากไวน์โดยนำมาใช้ในการรักษาพยาบาลเป็นส่วนใหญ่ การกลั่นสุราในยุโรปเริ่มเป็นอุตสาหกรรมเพื่อการบริโภคเมื่อศตวรรษที่ 17 หรือ 18 นี้เอง (ไพศาล วิสาโล, 2537: 1 – 6; คารณี หมู่ขจรพันธ์, 2547: 41)

### 2.1.2 อุตสาหกรรมสุรา

ภาวะเศรษฐกิจมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมสุราในประเทศ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง ในระยะเวลา 7 ปีที่ผ่านมา ระหว่าง พ.ศ. 2541-2547 ปริมาณสุราประเภทสุราขาว 28 ดีกรี สุราผสม 28 ดีกรี สุราพิเศษ และสุราปรุงพิเศษ ที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศที่รัฐบาลเก็บ ภาษีได้มีปริมาณ 780.8 ล้านลิตรในปี พ.ศ. 2541 และเพิ่มเป็น 1,035.2 ล้านลิตรในปี พ.ศ. 2542 ส่วนในช่วงปี พ.ศ. 2543-2545 มีปริมาณการจำหน่ายที่ลดลงมาก อาจเป็นเพราะช่วง นั้นเป็นช่วงเศรษฐกิจชะลอตัวโดยมีปริมาณการจำหน่ายสุรารอยู่ในช่วง 78.6-435.3 ล้านลิตร และปริมาณการจำหน่ายสุรากลั้บมาเพิ่มมากขึ้นอีกในปี พ.ศ. 2546 ต่อเนื่องมาถึงปี พ.ศ. 2547 โดยมีปริมาณการจำหน่าย 1,010.5 ล้านลิตร และ 1,324.3 ล้านลิตร ตามลำดับ ปริมาณสุรากลั้บภายในประเทศที่เสียภาษีสุราตามสถิติของกรมสรรพสามิต ระหว่างปี พ.ศ. 2541 ถึงปี พ.ศ. 2547 แสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสุรากลั้บที่เสียภาษีสุราในปีงบประมาณ พ.ศ. 2541-2547

| ประเภทสุรา       | ปริมาณสุราที่เสียภาษีสุรา (ล้านลิตร) ปีงบประมาณ (พ.ศ.) |         |       |      |       |         |         |
|------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------|------|-------|---------|---------|
|                  | 2541                                                   | 2542    | 2543  | 2544 | 2545  | 2546    | 2547    |
| สุราขาว 28 ดีกรี | 418.0                                                  | 615.0   | 177.0 | 23.8 | 347.2 | 828.0   | 1,108.0 |
| สุราผสม 28 ดีกรี | 99.6                                                   | 132.6   | 94.8  | 27.2 | 41.5  | 26.6    | 30.5    |
| สุราพิเศษ        | 155.2                                                  | 206.7   | 76.9  | 16.8 | 33.3  | 124.0   | 176.7   |
| สุราปรุงพิเศษ    | 108.0                                                  | 80.9    | 17.7  | 10.8 | 13.3  | 31.9    | 9.1     |
| รวมแต่ละปี       | 780.8                                                  | 1,035.2 | 366.4 | 78.6 | 435.3 | 1,010.5 | 1,324.3 |

แหล่งที่มา: กรมสรรพสามิต, 2548.

กระทรวงการคลังเป็นผู้ควบคุมการผลิตและกำหนดภาษีสุรารภายใต้พระราชบัญญัติสุรา พ.ศ. 2493 ซึ่งจะออกข้อกำหนดรายละเอียดการควบคุมสุราในรูปประกาศกระทรวงการคลังเรื่อง วิธีการบริหารงานสุรา และประกาศกรมสรรพสามิต โดยด้านการตลาดของสุราไทยกำหนดให้มี ร้านขายส่งสุราประจำจังหวัด ๆ ละ 1 แห่ง และร้านสาขาขายส่งสุราประจำอำเภอ ยกเว้น อำเภอที่ตั้งร้านขายส่งสุราประจำจังหวัด สำหรับร้านจำหน่ายปลีกให้มีจำนวนร้านทุกหมู่บ้านที่



เป็นย่านชุมชนให้มากที่สุด และเมื่อเจ้าพนักงานเห็นสมควรจัดตั้งขึ้น ณ ที่ใดอีก ผู้ขายส่งจะต้องจัดส่ง ณ ที่นั้นด้วย โดยขายไม่เกินราคาขายส่งในปัจจุบัน จากการส่งเสริมการตลาดของภาครัฐนี้ทำให้ตลาดสุราในประเทศขยายตัวอย่างต่อเนื่อง สร้างรายได้ให้กับรัฐเป็นจำนวนมากต่อปี (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ศูนย์วิจัยยาเสพติด, 2544: 3; คารณี หมูขจรพันธ์, 2547: 42)

ส่วนการผลิตสุรา จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ณ สิ้นปี พ.ศ. 2547 มีจำนวนโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการต้ม กั่น หรือผสมสุรา (โรงงานประเภทที่ 16 ตามการแบ่งประเภทโรงงานอุตสาหกรรม) มีอยู่ด้วยกัน 25 โรงงาน โดยโรงงานผลิตสุรากลั่นหลัก ๆ ของประเทศ คือ โรงงานผลิตสุรากลั่นกรมสรรพสามิต 12 แห่ง ภายใต้การดำเนินการของกลุ่มบริษัทสุราทิพย์ ดำเนินกิจการผลิตสุราขาวและสุราผสมตามตามสัญญาที่ทำไว้กับกรมสรรพสามิต มีสถานที่ตั้งในจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ คือ เชียงใหม่ นครสวรรค์ อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา อุบลราชธานี หนองคาย บุรีรัมย์ กาญจนบุรี ราชบุรี สุราษฎร์ธานี และขอนแก่น นอกจากนี้ยังมีโรงงานสุราบางยี่ขัน 2 จังหวัดปทุมธานี ที่ผลิตสุราตามสัญญากับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนโรงงานผลิตสุรากลั่นอื่น ๆ ได้แก่ โรงงานสุราของ บริษัท แสงโสม จำกัด ที่จังหวัดกาญจนบุรีและนครปฐม โรงงานสุรา บริษัท บุญรอดเทรดดิ้ง จำกัด จังหวัดขอนแก่น โรงงานสุรา บริษัท โรงงานสุราพิเศษสุวรรณภูมิ จำกัด จังหวัดนครปฐม และโรงงานสุราพิเศษ บริษัท ยูไนเต็ควาไรตี้ แอนด์ ดิสทิลเลอร์ จำกัด จังหวัดนครปฐม เป็นต้น (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2529: 6; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

### 2.1.3 การผลิตสุรา

การผลิตแอลกอฮอล์หรือสุรานั้น กรรมวิธีหลัก คือ การเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยการหมักและกลั่น ซึ่งขั้นตอนการผลิตสุรากลั่นตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบจนถึงการบรรจุขวดและการจำหน่ายมีดังนี้ (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2529: 9 – 10; ขวลิต ตั้งตระกูล, 2547: 112 – 119)

#### 2.1.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1) วัตถุดิบที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น องุ่น อ้อย สับปะรด หรือกากน้ำตาล (Molasses) วัตถุดิบเหล่านี้สามารถที่จะนำมาหมักให้ได้แอลกอฮอล์โดยตรงแล้วทำการกลั่นได้เลย เช่น การผลิตบรั่นดีจากองุ่น รัมจากอ้อย เป็นต้น การเตรียมการผลิตต้องศึกษาวัตถุดิบที่จะใช้โดยตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความหวาน ร้อยละของกรด ชนิดของกรด ค่าพีเอช (pH) ความสะอาด เป็นต้น โดยกากน้ำตาลก่อนทำการหมักต้องมีการเติมน้ำในถังหมักเพื่อเจือจางให้ได้ความหวานตามที่กำหนด น้ำผลไม้และกากน้ำตาลที่จะใช้หมักควรมี

ความหวานประมาณ 14 – 16 ° Brix เพื่อให้ได้ระดับแอลกอฮอล์หลังสิ้นสุดการหมักประมาณ 7 – 8 ดีกรี

2) วัตถุดิบที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น ข้าวชนิดต่าง ๆ มันสำปะหลัง เป็นต้น วัตถุดิบประเภทนี้จะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลก่อนโดยอาศัยเชื้อรา 2 สายพันธุ์ คือ *Aspergillus oryzae* และ *Mucor oryzae* ซึ่งเชื้อราทั้ง 2 สายพันธุ์นี้จะมีเอนไซม์ซึ่งสามารถเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลได้ กรณีที่ใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบนั้นต้องนึ่งข้าวเหนียวก่อนเพื่อเปลี่ยนสภาพแป้งในข้าวเหนียวให้เป็นแป้งที่ละลายน้ำได้ก่อนจึงเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลต่อไป

#### 2.1.3.2 การหมัก (Fermentation)

เป็นขั้นตอนการใช้ยีสต์ (Yeast) เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ กระบวนการหมักที่ดีจะต้องมีการเลือกสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบและมีการควบคุมสภาพแวดล้อม การหมักที่เหมาะสมจะทำให้ยีสต์ผลิตสารประกอบต่าง ๆ ในปริมาณที่พอดีซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของแอลกอฮอล์ที่ทำการหมักเป็นอย่างมาก โดยยีสต์แบ่งออกได้เป็นยีสต์ที่เพาะเลี้ยงขึ้น (Cultivated Yeast) และยีสต์ป่า (Wild Yeast) ซึ่งเป็นยีสต์ธรรมชาติเกิดขึ้นในผลไม้ที่เริ่มเสีย สามารถแยกเชื้อออกมาทำการคัดสายพันธุ์ได้

ผลผลิตที่ได้จากการหมัก เรียกว่า น้ำสา (Fermented Mash) น้ำสาที่จะนำไปทำการกลั่นต้องผ่านการหมักที่สมบูรณ์จนได้แอลกอฮอล์เต็มที่จะใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 7 – 8 โดยปริมาตร

#### 2.1.3.3 การกลั่นสุรา (Distillation)

การกลั่นสุรา หมายถึง การแยกแอลกอฮอล์ที่ได้จากกระบวนการหมักของยีสต์ออกจากน้ำสา สำหรับการกลั่นสุรากลับประเภทวิสกี้และบรันดีแบ่งเป็นการกลั่นทับที่ 1 และการกลั่นทับที่ 2

การกลั่นทับที่ 1 เป็นการนำน้ำสาที่ได้มาจากการหมักมากลั่น ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นทับที่ 1 จะมีปริมาณร้อยละ 21 – 25 โดยปริมาตร

การกลั่นทับที่ 2 เป็นการนำแอลกอฮอล์จากการกลั่นทับที่ 1 มากลั่น โดยสุราที่กลั่นได้ในทับที่ 2 ที่เหมาะสมต่อการบริโภคจะมีแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 75 โดยปริมาตร

หม้อกลั่นประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ตัวหม้อ (Pot) คอหงส์ (Swan Neck) และส่วนควบแน่น (Condenser) ตัวหม้อเป็นส่วนที่รับน้ำสาที่จะทำการกลั่น วัตถุดิบใช้ใน

อดีตมักจะทำด้วยทองแดงเนื่องจากมีความอ่อนตัว นำความร้อนได้ดี และทนต่อการกัดกร่อน แต่ปัจจุบันมักจะทำด้วยเหล็กปลอดสนิม คองหงส์เป็นส่วนที่ติดกับตัวหม้อตามแนวดิ่งมีหลายรูปแบบและขนาด โดยต้องมีรูปทรงที่สอดคล้องกับชนิดสุรากลั่นและกรรมวิธีการกลั่นว่าเป็นการกลั่นทับที่ 1 หรือทับที่ 2 วัสดุที่นิยมใช้ทำคองหงส์ คือ ทองแดงหรือวัสดุชนิดเดียวกับตัวหม้อ และส่วนสุดท้าย คือ ส่วนควบแน่น เป็นท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อดึงความร้อนแฝงจากการกลั่นออกจากไอ โดยปกติทำด้วยทองแดง แต่ในปัจจุบันบางบริษัททำด้วยเหล็กปลอดสนิม ขดเป็นเกลียวหรือรวมกันเป็นมัดมีน้ำล้อมรอบ

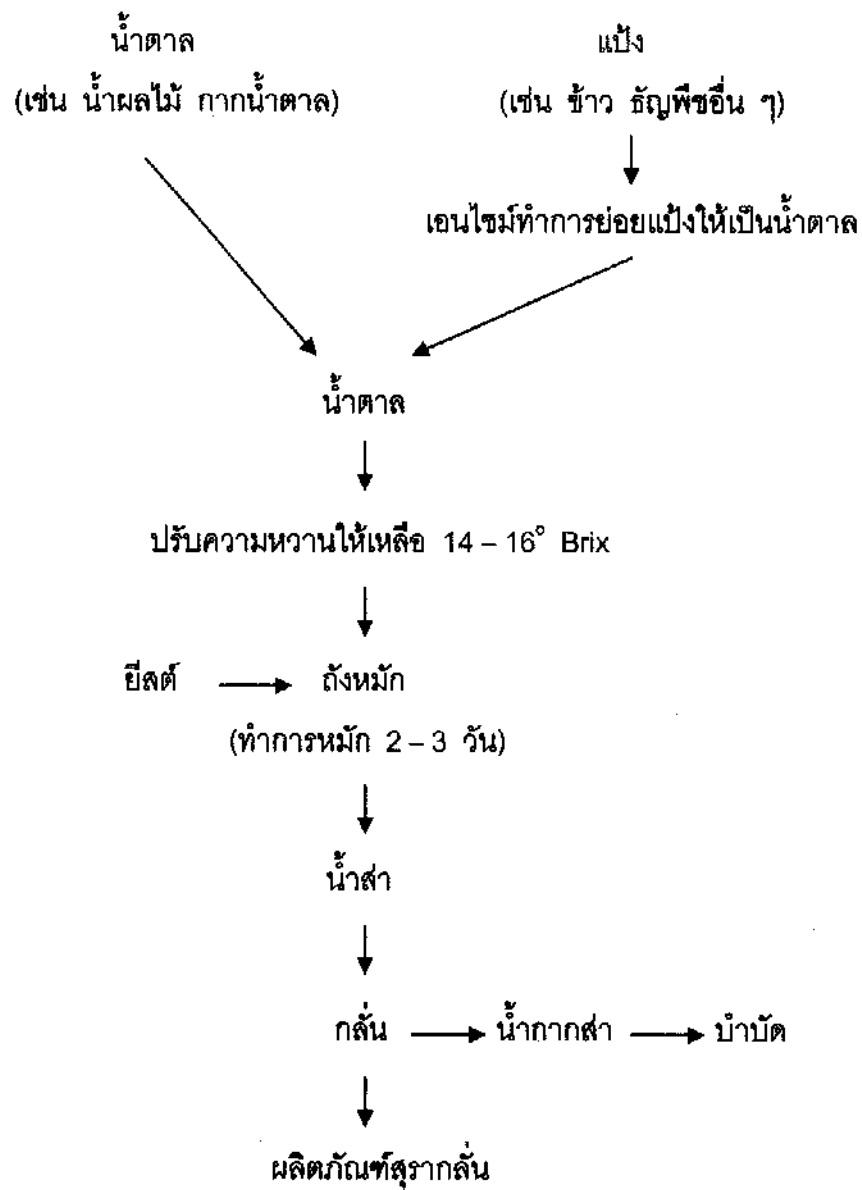
#### 2.1.3.4 การเก็บบ่ม

การเก็บบ่มสุราแต่ละชนิดจะมีวิธีการเก็บและภาชนะที่ใช้ในการเก็บบ่มแตกต่างกัน เช่น วิสกี้ บรั่นดี และรัมบางชนิดต้องการการเก็บบ่มในถังไม้ ส่วนวอดกา รัมขาว ต้องเก็บบ่มในถังเหล็กปลอดสนิม เป็นต้น การเก็บบ่มเพื่อเป็นการพัฒนากลิ่นและรสของสุรา กลิ่นและรสที่ได้จากการเก็บบ่มน้ำสุรากลั่น เช่น การเก็บบ่มในถังไม้โอ๊ก (Oak Cask) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตสุรากลั่นประเภทวิสกี้ บรั่นดี และสุราอื่น ๆ อีกหลายชนิด เนื่องจากถังไม้โอ๊กให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์จากสารประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในไม้โอ๊ก นอกจากนี้สภาพแวดล้อมในการเก็บบ่มก็มีผลต่อคุณภาพของสุรา เช่น อุณหภูมิมีผลต่อการสกัดกลิ่นรสจากถังไม้ ความชื้นมีผลต่อการระเหยและความคงทนของถังไม้ ความสะอาดของสถานที่ที่มีผลทำให้ไม่เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

#### 2.1.3.5 การผสมและบรรจุขวด

การผสมสุราขึ้นอยู่กับวัตถุดิบในแต่ละท้องถิ่น และความต้องการของตลาด เมื่อผสมได้ตามสัดส่วนที่ต้องการแล้ว นำมาทำการกรองเพื่อให้สุราเกิดความใส สุราขาวอาจทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง สำลี หรือกระดาษกรองขนาด 10 ไมครอน ส่วนวิสกี้และบรั่นดี ผู้บริโภคต้องการสุราที่ใสมากอาจใช้การกรองผ่านกระดาษกรองขนาดประมาณ 2 – 5 ไมครอน สำหรับสุราที่มีการเติมน้ำตาลหรือผลไม้เพิ่มอีก จำเป็นต้องทำการฆ่าเชื้อก่อนหรือหลังการบรรจุขวดในทันที

ขั้นตอนการผลิตสุรากลั่นและแหล่งที่มาของน้ำกากสาแสดงตามภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตสุรากลั่นและแหล่งที่มาของน้ำกากสา

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก ขวลิขิต ตั้งตระกูล, 2547: 114.

#### 2.1.4 แหล่งที่มาและลักษณะของน้ำกากส่า

##### 2.1.4.1 แหล่งที่มาและปริมาณน้ำกากส่าที่เกิดขึ้น

ในการผลิตสุรากลั่นหลังจากผ่านขั้นตอนการหมักจะได้น้ำส่า (Fermented Mash) เพื่อนำไปกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออก ส่วนที่เหลือจากกระบวนการกลั่นก็ทิ้งออกมาเป็นน้ำกากส่า (Distilled Slop) หรือกล่าวได้ว่า น้ำกากส่า คือ น้ำส่าที่ถูกกลั่นเอาแอลกอฮอล์ออกแล้วและระบายทั้งเป็นน้ำเสียออกมาจากหมักกลั่น

สำหรับปริมาณน้ำกากส่าที่เกิดขึ้นจากการผลิตสุรา สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2527: 2, 2528: 98) รายงานว่า น้ำกากส่าจะมีปริมาณ 3.5 เท่าของอัตราการผลิตสุราขาว ซึ่งโรงงานสุราที่ผลิตสุรา 6,000 เทตอวัน (1 เท = 20 ลิตร) ที่แรงแอลกอฮอล์ 28 ดีกรี จะมีปริมาณน้ำกากส่าเหลือทิ้งจากกระบวนการกลั่นประมาณ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ส่วนการเกิดน้ำกากส่าจากการผลิตแอลกอฮอล์ ทัศนีย์ ดิษฐกมล และสมบุญณ์ แก้วปิ่นทอง (2547: 3) รายงานว่า การหมักกากน้ำตาล 1 ตัน จะสามารถผลิตแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ได้ 260 ลิตร และเกิดน้ำกากส่าประมาณ 2.6 ลูกบาศก์เมตร ส่วน เปรมปรี ณ สงขลา (2529ข: 12) รายงานว่า การกลั่นแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ผลผลิตของแอลกอฮอล์ทุก ๆ 1 ลูกบาศก์เมตร จะเกิดน้ำกากส่าประมาณ 9.5 ลูกบาศก์เมตร และ สุนันท์ พูลธนกิจ (2547: 1) รายงานว่า โรงงานสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา มีกำลังการผลิตแอลกอฮอล์ประมาณ 50,000 ลิตรต่อวัน เกิดน้ำกากส่าประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

จากที่กล่าวมานี้พอจะสรุปได้ว่า การผลิตแอลกอฮอล์ 1 ลิตร จะเกิดน้ำกากส่าประมาณ 9.5–10 ลิตร ส่วนการผลิตสุราที่แรงแอลกอฮอล์ 28 ดีกรี 1 ลิตร จะเกิดน้ำกากส่าประมาณ 3.3–3.5 ลิตร

สำหรับปริมาณกากส่า นวรัตน์ พรสวัสดิ์ชัย (2543: 11) รายงานว่าในการผลิตสุราถ้าใช้กากน้ำตาล 100 กิโลกรัม จะได้สุราขาว 28 ดีกรี ประมาณ 70–80 ลิตร และจะเหลือเป็นกากส่าประมาณ 300 กิโลกรัม

##### 2.1.4.2 ลักษณะของน้ำกากส่า

น้ำกากส่าของโรงงานสุราแต่ละโรงงานมีค่าแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยลักษณะที่เด่นชัดของน้ำกากส่าจะมีสีเข้ม มีค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และมีค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (Total Solid) ที่สูง นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารต่าง ๆ อยู่มาก

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 93; 2542: 35) รายงานว่า น้ำกากส่ามีสีดำเข้ม เป็นสารอินทรีย์ล้วน ๆ น้ำกากส่าสดมีค่าพีเอช (pH) ประมาณ 4.1–4.5 ค่าบีโอดี (BOD)

ประมาณ 35,000 – 40,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ประมาณ 120,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนโตรเจน (N) ประมาณ 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า  $P_2O_5$  ประมาณ 200 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า  $K_2O$  ประมาณ 1,000 – 4,000 มิลลิกรัม/ลิตร

สุนันท์ พูลธนกิจ (2547: 44) รายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าที่นำมาจากบ่อรับน้ำกากส่าโรงงานสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา ว่ามีค่าพีเอช (pH) 4.1 – 4.6 ค่าบีโอดี (BOD) 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีโอดี (COD) 150,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) 14,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าทีเคเอ็น (TKN) 1,750 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าฟอสฟอรัส (P) 150 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าโพแทสเซียม (K) 5,500 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซัลเฟต ( $SO_4$ ) 4,500 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าแคลเซียม (Ca) 1,650 มิลลิกรัม/ลิตร และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์ (2528: 31) รายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าที่นำมาจากโรงงานสุรานามทอง จังหวัดนครปฐม ว่ามีค่าพีเอช (pH) 4.0 – 4.5 ค่าบีโอดี (BOD) 40,296 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีโอดี (COD) 103,829 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนโตรเจน (N) 1,192 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าฟอสฟอรัส (P) 300 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าโพแทสเซียม (K) 4,200 มิลลิกรัม/ลิตร

ทรงพล ครามโกมุท (2544: 7) รายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าที่นำมาจากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม ว่ามีค่าพีเอช (pH) 8.35 ค่าบีโอดี (BOD) 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีโอดี (COD) 36,247 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าปริมาณของแข็ง (Total Solid) 44,840 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) 3,725 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าไนโตรเจน (N) 1,795 มิลลิกรัม/ลิตร

เปรมปรี ณ สงขลา (2529: 6) รายงานว่า น้ำกากส่าสดจากโรงงานสุราไทยท่า จังหวัดนนทบุรี มีค่าพีเอช (pH) 4.8 ค่าฟอสฟอรัส (P) 85 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าโพแทสเซียม (K) 5,711 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าโซเดียม (Na) 2,020 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าแคลเซียม (Ca) 1,335 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าแมกนีเซียม (Mg) 494 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซัลเฟต ( $SO_4$ ) 3,485 มิลลิกรัม/ลิตร และอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และเมื่อนำน้ำกากส่ามาทำการเคี่ยวให้มีปริมาตรเหลือร้อยละ 35 จากเดิม น้ำกากส่าเข้มข้นสามารถวิเคราะห์พบวิตามินบีและโปรตีนอีกจำนวนมาก วิตามินที่วิเคราะห์พบเป็นหลัก คือ วิตามินบี 1 วิตามินบี 6 และวิตามินบี 12 และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบย่อยของโปรตีนของน้ำกากส่าเข้มข้นจะมีกรดอะมิโนซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชและสัตว์ครบทุกชนิด

สำหรับสีน้ำตาลเข้มในน้ำกากสาเป็นสีที่เกิดขึ้นและมีอยู่ในวัตถุดิบ คือ กากน้ำตาล ซึ่งสารจากกากน้ำตาลที่ก่อให้เกิดสีมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ คาราเมล (Caramel) ของน้ำตาลต่าง ๆ และเมลานอยดิน (Melanoidin) คาราเมลเป็นสารที่มีสีน้ำตาล เกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างการผลิตน้ำตาลทราย เป็นสารประกอบที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนเมลานอยดินเป็นสารที่มีสีน้ำตาลเข้ม เกิดจากการควบแน่นของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ กับกรดอะมิโน เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (พงษ์เทพ บวรบรรยง, 2545: 3 – 4; อิศระ รัตนปริยานุช, 2546: 30)

#### 2.1.5 การบำบัดน้ำกากสา

ในอดีตประมาณปี พ.ศ. 2526 ทางองค์การสุราอยุธยาได้จัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบทันสมัยเพื่อบำบัดน้ำกากสาโดยจ้างบริษัทจากญี่ปุ่นมาดำเนินการ คือ การหมักที่อุณหภูมิสูงราว 50 องศาเซลเซียส (Thermophilic Digestion) ตามด้วยระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ตามด้วยระบบเอเอส (Activated Sludge) และการใส่สารเคมีเพื่อลดสีและอินทรีย์สาร (Physical Chemical Treatment) สารเคมีเหล่านี้ ได้แก่ สารส้ม โพลีเมอร์ และเฟอริคคลอไรด์ และการรีดตะกอนแบบ Filter Press ลงทุนกว่า 100 ล้านบาท ใช้เวลาเดินระบบบำบัดแบบทันสมัยนี้กว่า 5 ปี ผลปรากฏว่า ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดก็ยังไม่ได้มาตรฐาน (มีค่ามากกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร) จนในที่สุดบริษัทญี่ปุ่นต้องยกเลิกโครงการและคืนเงิน 100 ล้านบาท เนื่องจากไม่ประสบความสำเร็จในการบำบัด ส่วนโรงงานสุรบางยี่ขัน 2 ก็มีระบบบำบัดน้ำกากสาแบบทันสมัย คือ ระบบเคี้ยวและเผา (Evaporation and Incineration) โดยใช้น้ำมันเตาช่วยในการเผาส่วนหนึ่ง สามารถใช้งานได้ดีแต่ก็ต้องลงทุนสูงเกือบ 800 ล้านบาท สำหรับการกำจัดน้ำกากสาววันละ 2,000 ลูกบาศก์เมตร (สุจินต์ พนาปฎิภูล, 2542: 36)

โรงงานสุรากรมสรรพสามิต (กลุ่มบริษัทสุราทิพย์) บำบัดน้ำกากสาโดยใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ร่วมกับระบบการหมักทำปุ๋ย (Composting) โดยหมักน้ำกากสาในถังแบบไร้ออกซิเจนเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา น้ำกากสาที่ผ่านการหมัก ค่าบีโอดี (BOD) จะลดลงประมาณร้อยละ 90 หรือมีค่าประมาณ 3,500 มิลลิกรัม/ลิตร จะถูกส่งต่อไปบำบัดในขั้นที่สอง คือ ทำปุ๋ยหมัก โดยนำวัสดุที่เหลือใช้ในทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ขุยมะพร้าว ขี้เลื่อย แกลบ ชยะ ผักตบชวา ฟางข้าว เป็นต้น

นาหมักโดยฉีดพ่นน้ำกากส่าไปบนวัสดุเหล่านี้ โดยมีเชื้อจุลินทรีย์ไบโอเมคและสารเคมีที่จำเป็น ช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์สาร (อดิสร พรพงษ์เมตตา, 2539: 63 – 64)

สุนันท์ พูลธนกิจ (2547: 1) รายงานว่า ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ โรงงานสุรากรมสรรพสามิตใช้เป็นระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) จากการใช้งานระบบนี้ที่โรงงานสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถผลิต ก๊าซมีเทนได้ประมาณวันละ 2,500 ลูกบาศก์เมตร ทดแทนน้ำมันเตาได้ร้อยละ 12 ต่อวัน ซึ่ง โรงงานสุราแห่งนี้มีน้ำกากส่าประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

นอกจากนี้ยังมีการใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ร่วมกับระบบเอเอส (Activated Sludge) โดยให้กับโรงงานสุราจังหวัดภูเก็ต และโรงงานไทยทำ จังหวัดนนทบุรี แต่ต้องใช้งบลงทุนสูง แม้ว่าจะได้ก๊าซมีเทนจากระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ก็ไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายของระบบเอเอสที่มีการใช้ไฟฟ้าและสารเคมีมากเพราะน้ำกากส่ามีลักษณะเข้มข้นและมีสีเข้ม (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528: 93) ดังนั้นระบบเอเอสจึงไม่น่าจะเป็นระบบที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าโดยตรง แต่น่าจะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมอื่น ๆ ในโรงงานสุรามากกว่า โดยที่โรงงานสุราบางยี่ขัน 2 มีการใช้ระบบเอเอสในการบำบัดน้ำล้างจากกระบวนการผลิต น้ำใช้ของคนงาน และน้ำจากการควบแน่นของการกลั่น ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้เมื่อปล่อยมารวมกันในบ่อจะมีค่าบีโอดี (BOD) และซีโอดี (COD) ประมาณ 2,000 และ 4,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (จันทร์ ทอคำภา, 2527: 16) ส่วนน้ำกากส่าของโรงงานจะนำไปกำจัดโดยระบบเคี้ยวและเผา (Evaporation and Incineration) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

การบำบัดแต่ละวิธีที่กล่าวมานี้มีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 93 – 98) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ทำการวิจัยช่วงปี พ.ศ. 2522 – 2527 โดยทำการศึกษาถึงวิธีการกำจัดน้ำกากส่ารูปแบบต่าง ๆ พบว่า ระบบเคี้ยวและเผามีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงที่สุด ซึ่งการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและข้อดีข้อเสียของการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่าง ๆ แสดงตามตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและข้อดีข้อเสียในการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่าง ๆ

| วิธีการบำบัดน้ำกากส่า                                                                                      | ค่าใช้จ่ายสุทธิ<br>บาท/ลบ.ม.                | ข้อดี                                            | ข้อเสีย                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ระบบการหมักทำปุ๋ย<br>(Composting)                                                                       | 50<br>(ขายปุ๋ยไม่ได้)<br>20<br>(ขายปุ๋ยได้) | - ได้ปุ๋ยอินทรีย์<br>- เงินลงทุนใน<br>ระยะแรกต่ำ | - ใช้เนื้อที่มาก<br>- ค่าดำเนินการสูง<br>- มีข้อจำกัดในเรื่องการ<br>ดำเนินการในฤดูฝน<br>- ต้องขนส่งวัตถุดิบมา<br>และส่งไปจำหน่าย                                       |
| 2. ระบบการย่อยสลาย<br>แบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับ<br>ระบบเอเอส (Anaerobic<br>Digestion + Activated<br>Sludge) | 120                                         | - ได้ก๊าซมีเทน<br>- ใช้เนื้อที่น้อย              | - เงินลงทุนสูง<br>- มีค่าดำเนินการที่สูง<br>- การเดินเครื่องค่อนข้าง<br>ยุ่งยาก<br>- ระบบเอเอสยังมีปัญหา<br>เรื่องการบำบัดที่ไม่ได้<br>มาตรฐาน                         |
| 3. ระบบเคี้ยวและเผา<br>(Evaporation and<br>Incineration)                                                   | 300                                         | - ได้ความร้อน<br>นำไปใช้<br>- ใช้เนื้อที่น้อย    | - เงินลงทุนสูง<br>- มีค่าดำเนินการที่สูง<br>สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า<br>มาก<br>- เกิดปัญหามลภาวะทาง<br>อากาศ<br>- ใช้เทคโนโลยีสูง ต้องใช้<br>บุคลากรที่ชำนาญจำนวน<br>มาก |

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก สุจินต์ พนาปุณณิกุล, 2528: 97.

หมายเหตุ: ค่าใช้จ่ายสุทธิ หมายถึง ค่าใช้จ่ายหลังจากหักรายรับที่เป็นผลพลอยได้แล้ว

และในงานวิจัยเดียวกันนี้ได้เสนอแนะแนวทางการกำจัดน้ำกากส่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงงานสุราไว้ 2 แนวทาง คือ

1. ใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ร่วมกับการใช้บ่อเก็บกัก (Storage Lagoon) และลานตาก (Land Application) เป็นการหมักน้ำกากส่าในถังปิดมิดชิดเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง หลังจากการหมัก ค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำกากส่าจะลดลงประมาณร้อยละ 90 จากนั้นจะระบายน้ำกากส่าลงสู่บ่อเก็บกัก โดยเก็บกักน้ำกากส่าในบ่อเก็บกักเป็นเวลา 6 เดือนในฤดูฝน จากนั้นระบายน้ำกากส่าที่เก็บกักไว้และน้ำกากส่าในฤดูแล้งไปตากแห้งบนลานตากในฤดูแล้ง 6 เดือน อัตราระเหยอยู่ในระหว่าง 4 – 5 มิลลิเมตรต่อวัน ใช้ที่ดินประมาณ 150 ไร่สำหรับปริมาณน้ำกากส่า 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน กากส่าที่ก้นบ่อเก็บกักและกากส่าที่ลานตากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ โดยกากส่าแห้งมีค่าไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ประมาณร้อยละ 4.5, 0.5 และ 3.5 ตามลำดับ

2. ใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ร่วมกับการใช้บ่อเก็บกัก (Storage Lagoon) และนำไปใช้โดยตรงทางการเกษตร (Direct Agricultural Use) เป็นการนำน้ำกากส่ามาหมักในถังปิดมิดชิดและระบายลงบ่อเก็บกักเช่นเดียวกับวิธีแรก แต่เปลี่ยนจากการนำน้ำจากบ่อเก็บกักไปตากแห้งในลานตากมาเป็นการสูบใส่รถขนไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์โดยตรงในไร่นาของเกษตรกรในอัตราที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้

สำหรับการกำจัดสีของน้ำกากส่า สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2531: 6 – 8) รายงานว่าการกำจัดสีของน้ำกากส่าจะใช้วิธีทางเคมี โดยน้ำกากส่าหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาเพื่อลดค่าบีโอดีลงแล้วก็จะถูกส่งมาตกตะกอนสีด้วยสารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนสีมีหลายชนิด เช่น สารส้มและปูนขาว เป็นต้น โดยในการตกตะกอนสีในน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้สารส้ม 35 กิโลกรัม นอกจากนี้การกำจัดสีน้ำกากส่าโดยใช้จุลินทรีย์ก็มีความเป็นไปได้โดยต้องมีการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์และทำการฟอกสีในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

#### 2.1.6 แนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า

จากลักษณะของน้ำกากส่าที่บำบัดได้ยากและต้องลงทุนสูง จึงเกิดแนวคิดในการกำจัดน้ำกากส่าโดยนำน้ำกากส่าไปใช้ประโยชน์ ที่ผ่านมามีการทดลองนำน้ำกากส่าไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงทางการเกษตร ใช้ราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น ใช้ทำเป็นปุ๋ย

หมัก ใช้เลี้ยงปลา และใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็พบว่ามีความเป็นไปได้และมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

#### 2.1.6.1 การนำไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงทางการเกษตร

จากคุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าที่เป็นสารอินทรีย์ มีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช จึงมีการทดลองนำไปใช้ในไร่นากันอย่างแพร่หลาย มีเกษตรกรทดลองนำน้ำกากส่าไปใช้ในไร่นามากกว่า 41,000 ไร่ โดยเฉพาะที่กิ่งอำเภอสว่างวีรวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี มีการใช้น้ำกากส่าในพื้นที่นาข้าวประมาณ 6,000 ไร่ การปลูกข้าวจะปลูกเพียงปีละครั้งหรือนาปี โดยใส่น้ำกากส่าปีเว้นปีในอัตราประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ทุก 2 ปี พบว่า ผลผลิตข้าวที่ได้จะเพิ่มมากขึ้นจาก 20 ถึงต่อไร่ เป็น 50 ถึงต่อไร่ และที่อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์ ได้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นสูงสุด คือ 140 ถึงต่อไร่ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ผลผลิตเพียง 80 – 100 ถึง/ไร่ โดยในกิ่งอำเภอสว่างวีรวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี มีการใช้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ปี (ใส่น้ำกากส่า 4 ครั้ง) พบว่า ไม่มีการสะสมตกค้างในดินหากใช้ในอัตราที่พอเหมาะ และผลผลิตก็เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอมาโดยตลอด (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2542: 38 – 39)

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 94) ได้ทำการศึกษาถึงวิธีใช้น้ำกากส่าโดยตรงทางการเกษตร โดยทดลองนำน้ำกากส่าไปใส่ในนาข้าวและทดลองใช้น้ำกากส่าและกากส่าแห้งกับพืชผักสวนครัว ไม้ประดับ ไม้ผล และไม้ยืนต้นอีกกว่า 50 ชนิด พบว่า ช่วยเพิ่มผลผลิตได้ดี การให้น้ำกากส่าในการปลูกสับประรดและข้าว พบว่า ได้ผลผลิตมากขึ้นถึงร้อยละ 50 – 150 สำหรับการใช้น้ำกากส่าในนาข้าวทำได้โดยการบรรทุกน้ำกากส่าใส่รถนำไปใส่ในนาข้าวล่วงหน้าในฤดูแล้ง ต่อมาเมื่อฝนตกในฤดูฝนจะทำการไถโดยรอบให้น้ำกากส่าคลุกเคล้ากับดิน อัตราการให้น้ำกากส่าอยู่ที่ประมาณ 10 – 50 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว สำหรับพืชชนิดอื่นให้น้ำกากส่าและกากส่าแห้งในอัตรา 0.1 – 0.6 ลิตรต่อวันต่อตารางเมตร และ 0.1 – 0.5 กิโลกรัมต่อครั้งต่อต้น แล้วแต่ขนาดและชนิดของต้นพืชนั้น ๆ และจากการทดลอง พบว่า ปัญหาโลหะหนักและสารพิษในน้ำกากส่าและกากส่าแห้งมีในระดับต่ำมากจนไม่เกิดผลเสียหายต่อพืช และแม้ว่าจะใช้น้ำกากส่าในอัตราสูงเป็น 4 – 5 เท่าของอัตราปกติก็ไม่พบว่าเกิดปัญหากับพืชแต่อย่างใด

ทัศนีย์ ดิษฐกมล และสมบุญ แก้วปิ่นทอง (2547: บทคัดย่อ) ศึกษาถึงประโยชน์ของน้ำกากส่าสำหรับการผลิตข้าวที่จังหวัดขอนแก่น ใช้เวลาทดลอง 3 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2546 สรุปว่า การใช้น้ำกากส่าร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวและช่วยให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยอัตราน้ำกากส่าและปุ๋ยเคมีที่ให้ผล

ผลิตข้าวสูงสุดและควรใช้เป็นอัตราแนะนำ คือ ใช้น้ำกาบสา 20 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการวิจัย พบว่า การใช้น้ำกาบสาไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวในรูปของปริมาณโปรตีนและปริมาณอะมิโนในเมล็ดข้าว และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำได้ดิน

นอกจากนี้ยังมีการทดลองนำน้ำกาบสาไปใช้เป็นแหล่งโพแทสเซียมสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ ก่อเกียรติ จารย์ศิริกุล (2544: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำต้มเยือกกระดาสาและน้ำกาบสาเป็นแหล่งโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสันทราย พบว่า น้ำกาบสาสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และเพิ่มการดูดโพแทสเซียม ในโตรเจน และฟอสฟอรัสของข้าวโพดได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ในปีต่อมา วิทยา ทองย่น (2545: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกัน คือ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำต้มเยือกกระดาสาและน้ำกาบสาเป็นแหล่งโพแทสเซียมสำหรับข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 1 ที่ปลูกในชุดดินอุบล และได้ผลเช่นเดียวกันกับข้าวโพด คือ พบว่าน้ำกาบสามีประสิทธิภาพในการนำมาใช้เป็นปุ๋ยโพแทสเซียมได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์สำหรับข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 1 ที่ปลูกในชุดดินอุบล เนื่องจากสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และการดูดธาตุอาหารโพแทสเซียมของข้าวอย่างเด่นชัด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าน้ำกาบสาไม่มีสารพิษที่เป็นอันตราย สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีได้เป็นอย่างดี และหากใช้ในอัตราที่เหมาะสมจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของพืชและสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด

#### 2.1.6.2 นำไปใช้ราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น

ถนนลูกรังจะเกิดปัญหามลภาวะเรื่องฝุ่นละอองเมื่อรถแล่นผ่าน ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญและเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจกับผู้พักอาศัยบริเวณริมถนน การใช้น้ำกาบสाराดถนนลูกรังสามารถลดฝุ่นลงได้ สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 96) ได้ทำการทดลองนำน้ำกาบสาจากโรงงานสุราไปใช้ราดถนนลูกรัง พบว่า น้ำกาบสาในรถบรรทุกขนาดความจุ 12 ลูกบาศก์เมตร จะราดถนนลูกรังกว้าง 8 เมตร ได้ไกล 500 เมตร และจะไม่มีฝุ่นเกิดขึ้นนาน 14 วัน น้ำกาบสานำมาใช้ราดจะแห้งไปภายใน 3-4 ชั่วโมง จะใช้ได้เฉพาะในฤดูแล้งเท่านั้น เพราะในฤดูฝนน้ำกาบสาบนผิวถนนจะถูกฝนชะลงข้างทาง

### 2.1.6.3 การนำไปใช้ทำปุ๋ยหมัก

การใช้น้ำกากสาผลิตเป็นปุ๋ยหมักทำได้โดยนำกากชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมาเป็นวัตถุดิบพื้นฐานในกระบวนการผลิต และฉีดน้ำกากสาเข้าไป แล้วเติมเชื้อปุ๋ยหมักบางชนิดลงไปด้วยเพื่อให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น มีการกลับกองปุ๋ยเป็นระยะ ๆ โดยใช้รถดั๊กขนาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาในการหมักไม่เกิน 3 เดือน ก็จะสามารถบรรจุใส่ในกระสอบนำไปจำหน่ายได้ การผลิตปุ๋ยหมักจากน้ำกากสาโดยมากจะทำในบริเวณใกล้กับโรงงานผลิตแอลกอฮอล์หรือโรงงานสุรา เพราะประหยัดค่าขนส่ง ใช้วิธีต่อท่อจากบ่อน้ำทิ้งที่ใช้ทิ้งน้ำกากสาไปยังบริเวณกองที่ผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้เครื่องสูบน้ำและหัวสปริงเกอร์ฉีดให้ทั่วถึง (เปรมปริ ณ สงขลา, 2530: 9)

ปัจจุบันกลุ่มบริษัทสุราทิพย์และกลุ่มบริษัทสุราแสงโสมมีการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้น้ำกากสาออกมาจำหน่ายรู้จักกันในชื่อ “ปุ๋ยไบโอนิค” มีโรงงานผลิตอยู่ที่อำเภอคอนคมุญ จังหวัดนครปฐม ทำการศึกษาและผลิตปุ๋ยหมักมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 ใช้วัตถุดิบ คือ ชานอ้อยและน้ำกากสา มีกำลังการผลิต 12,000 ตันต่อปี โดยซื้อชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลประมาณ 20,000 – 25,000 ตันต่อปี ปุ๋ยที่ได้มีธาตุอาหารโดยเฉลี่ย คือ ไนโตรเจน (N) ร้อยละ 1.2 ฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 0.9 – 1.0 และโพแทสเซียม (K) ร้อยละ 2.0 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักที่ได้จำหน่ายอยู่ที่ราคาตันละ 1,200 บาท หรือหากบรรจุเป็นถุงขนาด 50 กิโลกรัม จำหน่ายในราคาถุงละ 120 บาท (พานิชย์ ยศปัญญา, บรรณาธิการ, 2542: 50 – 51)

### 2.1.6.4 การนำไปใช้เลี้ยงปลา

จากการศึกษาของสุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 96) ได้นำน้ำกากสาไปทดลองในบ่อเลี้ยงปลาสด พบว่า อัตราที่เหมาะสมทำให้ปลาสดเจริญเติบโตมากที่สุด คือ เติมน้ำกากสา 1 ลูกบาศก์เมตรสำหรับบ่อเลี้ยงปลาขนาด 1 ไร่ ลึก 1 เมตร ทุก 2 สัปดาห์ โดยน้ำกากสาจะเป็นอาหารของสัตว์ขนาดเล็ก ๆ พวกแพลงค์ตอนซึ่งจะเป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่ง ทั้งนี้ต้องมีการปรับปริมาณการใช้ให้เหมาะสมตามคุณสมบัติของน้ำ ซึ่งหากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงจนเป็นอันตรายต่อปลาได้

### 2.1.6.5 การใช้เป็นอาหารสัตว์

กระบวนการผลิตแอลกอฮอล์หรือสุราโดยใช้วัตถุดิบพวกธัญพืช ได้แก่ ข้าวโพดหรือข้าวบาร์เลย์ น้ำกากสาที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาสูง โดยกากสาจากข้าวโพดจำนวน 100 ปอนด์ จะมีคุณค่าใกล้เคียงกับกากถั่วเหลืองซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 40 จำนวน 73 ปอนด์ ดังนั้นจึงสามารถนำกากสาจากธัญพืชไปใช้เป็นอาหารเสริมในอาหารสัตว์ได้ โดยโรงงานผลิต

แอลกอฮอล์หรือสุราจากธัญพืชในประเทศสหรัฐอเมริกาจะนำกากสาไปอบแห้งขายเป็นอาหารเสริมโปรตีนในอาหารสัตว์ซึ่งขายได้ในราคาสูง (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2529: 11)

จากการศึกษาของ อภิชัย เมฆมั่งวัน (2527: บทคัดย่อ) ที่ได้ทำการทดลองใช้กากสาแห้งผสมในอาหารสุกกระเพาะการเจริญเติบโตเป็นหนุ่มสาว (ระยะน้ำหนัก 15 – 90 กิโลกรัม) โดยใช้กากสาแห้งผสมในอาหารสุกปริมาณร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 พบว่า ทั้ง 4 สูตรให้อัตราการเจริญเติบโต ลักษณะซากและอวัยวะภายใน รสชาติและกลิ่นของเนื้อสุกที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ สามารถนำกากสาแห้งไปใช้ผสมกับอาหารสุกได้โดยไม่เกิดปัญหา

นพรัตน์ พชรสวัสดิ์ชัย (2543: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาระดับที่เหมาะสมในการใช้กากสาแห้งผสมในอาหารนกกระทาเนื้อ โดยใช้อาหารทดลองที่ผสมกากสาแห้งร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 เลี้ยงนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ อายุ 18 วัน และเพศเมียปลดไข่อย่างละ 400 ตัว พบว่า นกกระทาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน อัตราการตาย คุณภาพซาก น้ำหนักไข่และความเข้มสีไข่แดงที่ไม่แตกต่างกัน โดยนกกระทาเพศผู้กลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองผสมกากสาแห้งร้อยละ 20 และนกกระทาเพศเมียกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองผสมกากสาแห้งร้อยละ 10 มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มอื่น

เปรมปรี ฌ สงขลา (2530: 11) รายงานว่า ในปัจจุบันมีการนำน้ำกากสามาใช้เป็นอาหารสัตว์อยู่ 4 รูปแบบ คือ

1. ผสมกับกากมันสำปะหลังนำไปตากแห้งแล้วบด จากนั้นบรรจุใส่กระสอบขายให้กับผู้เลี้ยงสัตว์เพื่อนำไปผสมอาหารสัตว์ให้สัตว์กิน มีการใช้ในฟาร์มสุกหลายแห่ง ผลคือทำให้สุกกินอาหารดีขึ้นและโตเร็วขึ้น แต่เรื่องนี้ยังไม่มีผลการทดลองทางวิชาการยืนยัน

2. ทำเป็นน้ำกากสาข้นโดยผ่านกรรมวิธีเคี่ยวด้วยอุณหภูมิต่ำจนเข้มข้นแล้วนำไปผสมกับอาหารสัตว์และควั่นให้แห้งซึ่งจะมีกลิ่นหอมน่ากิน มีผู้ผลิตและขายให้กับฟาร์มสุกภายใต้ชื่อการค้าต่าง ๆ แต่ไม่แพร่หลายนัก

3. นำไปผสมในน้ำโดยตรงให้ไก่กินเพื่อลดอัตราเครียดของไก่ ไก่จะโตเร็วแต่อาจทำให้ไก่อุจจาระร่วงได้ ต้องใช้ในอัตราต่ำและใช้ไม่บ่อยนัก

4. การผสมในอาหารสัตว์ให้กินโดยตรง โดยมีผู้นำไปทดลองกับไก่ไข่ ปรากฏว่าไม่สามารถเพิ่มปริมาณการให้ไข่ของไก่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 2.2 ข้อมูลพื้นฐานของผักกระเจต

### 2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผักกระเจตเป็นพืชในตระกูลถั่ว จัดอยู่ในตระกูล Leguminosae ชื่อภาษาอังกฤษเรียกว่า Water Mimosa มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Neptunia oleracea* Lour. หรือ *Neptunia prostrate* (Lam.) Baill มีถิ่นกำเนิดในเอเชียแถบร้อนชื้น เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศไทยและมาเลเซีย ธรรมชาติของผักกระเจตเป็นพืชที่ชอบแสงแดดตลอดวันไม่ชอบร่มเงา ชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีอากาศถ่ายเทหรือน้ำที่สามารถถ่ายเข้าออกได้ ไม่ชอบน้ำสกปรก การเติดยอดบ่อย ๆ จะทำให้เจริญเติบโตที่ดีขึ้นและสามารถแตกตาได้ทุกข้อ (อรุณรัตน์ ปฏิภาณเพา, 2530: 48 – 49; พรทิพย์ ชมภูมิ่ง, 2532: 67)

ผักกระเจตมีลักษณะลำต้นกลมเรียวยาวรูปทรงกระบอกทอดยอตลอดยออยู่เหนือน้ำ ลักษณะปล้องต่อกันเป็นเถาหยักไปมาเล็กน้อย ลำต้นภายในต้น รากแตกแขนงออกตามข้อจำนวนมาก โคนรากมีปมที่เกิดจากแบคทีเรียชื่อ *Rhizobium Leguminosarum* เข้าไปอาศัยอยู่ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจน ลำต้นเมื่อมีอายุมากจะมีเนื้อเยื่อสีขาวเรียกว่า นมผักกระเจต ล้อมรอบลำต้นไว้เพื่อช่วยพยุงลำต้นให้ลอยอยู่ในน้ำได้ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนกซ้อนหูเหินือ น้ำ ใบแตกจากลำต้นตรงข้อ ใบประกอบแต่ละใบประกอบด้วยใบประกอบย่อยประมาณ 4 – 6 ใบ โดยแต่ละใบจะมีใบย่อยประมาณ 8 – 15 คู่ ใบย่อยขนาดเล็กรูปไข่ขนานยาวประมาณ 1 เซนติเมตร โคนก้านใบและขอบใบมีสีเขียวอมม่วง ใบสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้เร็วมาก ดอกออกเป็นช่อที่มองเหมือนเป็นดอกเดี่ยว เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ก้านช่อดอกยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ดอกย่อยเกิดเป็นกระจุกเกือบกลมรอบปลายก้านช่อดอก ดอกตอนบนเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกตอนล่างเป็นหมัน ดอกมีสีเหลืองสด ดอกย่อยประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ เกสรเพศผู้ลักษณะเหมือนกลีบดอก ผลเป็นแบบฝักขนาดเล็ก รูปยาวแบนผ่าแฉะแตก ฝักยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร ภายในมีเมล็ด 4 – 10 เมล็ด (สุชาติ ศรีเพ็ญ, 2542: 222)

### 2.2.2 การปลูกและการดูแลรักษา

ผักกระเจตเป็นพืชเศรษฐกิจนิยมปลูกเพื่อเป็นการค้า วิธีการปลูกผักกระเจตมีรูปแบบการปลูกที่แตกต่างกันหลายวิธี ซึ่งสำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก ได้รวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในท้องที่จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครซึ่งเป็นจังหวัดที่มีการปลูก

ผักกระเจตเพื่อการค้ามานาน พบว่า มีวิธีการปลูกและการดูแลรักษาผักกระเจตดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร. สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก, 2544: 48 – 49)

#### 2.2.2.1 วิธีการปลูกผักกระเจต

การปลูกผักกระเจตมีวิธีการปลูกที่แตกต่างกันสรุปได้เป็น 3 วิธี คือ

##### 1) การปลูกแบบดำกอ

วิธีนี้นิยมเตรียมพื้นที่ปลูกได้ 2 แบบ คือ แบบร่องน้ำและแบบสระน้ำ โดยแบบแรกจะขุดดินเป็นร่องน้ำลึก 1 เมตร กว้าง 4 – 5 เมตร ความยาวแล้วแต่พื้นที่หรือความเหมาะสม นำดินที่ขุดมาทำเป็นคันดินกว้างประมาณครึ่งเมตรสลับกับคูน้ำ คันดินนี้จะใช้เป็นทางเดินในการปฏิบัติงาน เช่น ขนผักที่ตัดแล้วออกมานอกแปลง จัดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ใส่ปุ๋ย ช้อนแหน ซึ่งการมีคันดินทำให้การทำงานสะดวกกว่าที่จะทำเป็นสระน้ำทั้งหมด ส่วนแบบสระน้ำจะขุดสระเป็นสี่เหลี่ยมลึก 1 เมตร ความกว้างและความยาวของสระแล้วแต่ขนาดของพื้นที่

เมื่อเตรียมพื้นที่ปลูกเรียบร้อยแล้ว จะเปิดน้ำเข้าในร่องหรือสระให้น้ำลึกประมาณ 50 เซนติเมตร นำยอดพันธุ์ผักกระเจตลงดำ กอละ 4 – 6 ยอด แต่ละกอห่างกันประมาณ 2 เมตร หลังจากปลูกแล้ว 15 วัน สามารถเก็บยอดไปจำหน่ายได้ และครั้งต่อไปจะเก็บได้ทุก 7 วัน ผลผลิตจะสูงสุดในมิดที่ 3 และมิดที่ 4 (การตัดผักไปจำหน่ายแต่ละครั้งเรียก 1 มิด) หลังจากเก็บยอดไปจำหน่ายระยะหนึ่งแล้วถ้าพบกอใดเน่าต้องรื้อกอที่เน่าทิ้งแล้วปลูกซ่อมใหม่ แต่ถ้าโรคเน่าระบาดรุนแรงจะต้องรื้อปลูกใหม่ทั้งหมด หลังจากตัดยอดไปแล้วแต่ละมิดต้องมีการถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย ช้อนแหน

##### 2) การปลูกแบบให้ผักเกาะบนท่อน

วิธีนี้จะทำเฉพาะในคูคลองธรรมชาติที่มีน้ำไหลผ่านและไม่สามารถบังคับระดับน้ำได้ ท่อนที่ให้ผักเกาะนิยมใช้ไม้ไผ่ทั้งลำวางยาวไปตามทางน้ำไหล อาจใช้ไม้ไผ่ลำเดียวหรือหลายลำผูกติดกันเป็นแพ ซึ่งแล้วแต่ขนาดของไม้ไผ่ ผูกท่อนกับเสาหลักให้แน่น ใช้ยอดพันธุ์ยาวประมาณ 1 เมตร พาดบนท่อน ให้ส่วนยอดและส่วนโคนของยอดพันธุ์แช่อยู่ในน้ำ หลังจากนั้นประมาณ 50 วัน ก็สามารถเก็บยอดขายได้ การปลูกแบบนี้ นอกจากการดูแลรักษาทั่ว ๆ ไป คือ พ่นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงและใส่ปุ๋ยแล้ว ต้องมีการตัดรากของผักและรื้อต้นเก่าออกเสียบ้างเพื่อไม่ให้มีน้ำหนักรากมากเกินไปจนถ่วงท่อนจม เมื่อปลูกไประยะหนึ่งจะต้องมีการเสริมท่อนหรือเปลี่ยนท่อนเพราะท่อนเดิมจะผุและจมน้ำ ข้อดีของวิธีนี้ คือ ไม่ต้องเสียเวลาและ



ค่าใช้จ่ายในการถ่ายน้ำและซ่อนแทน เนื่องจากไม่สามารถเลี้ยงแทนได้ซึ่งทำให้ยอดผักไม่อวบ สีไม่เขียว นมจะไม่ฟูขาว และจะออกดอกมากทำให้ผักไม่สวย

### 3) การปลูกแบบพาดข้างร่อง

การปลูกแบบนี้จะต่างจากสองวิธีที่กล่าวมาแล้ว คือ ไม่ได้ใช้เฉพาะส่วนยอดเป็นต้นพันธุ์ แต่ต้นพันธุ์จะยาวเพราะใช้ทั้งเถา ส่วนโคนของเถาต้นพันธุ์จะพาดอยู่ข้างร่อง และหลังจากเก็บเกี่ยวยอดของแขนงข้างแต่ละครั้งไปแล้ว จะชักโคนเถาขึ้นมาไว้บนหลังร่องให้เฉพาะส่วนยอดของเถาต้นพันธุ์และแขนงแรกที่ไม่ได้ตัดยอดเท่านั้นที่แช่อยู่ในน้ำ

วิธีนี้เป็นการใช้ร่องน้ำหรือคูน้ำในสวนให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการเสริมรายได้ยอดดี ส่วนการพาดเถา ถ้าวางน้ำกว้างเกิน 3 เมตร จะพาดเถาตรงกันทั้ง 2 ฝั่งร่องน้ำ แต่ถ้าวางน้ำแคบกว่า 3 เมตร จะวางเถาให้สลับหว่างกัน โดยให้แต่ละเถาห่างกันประมาณ 80 เซนติเมตร หลังจากนั้นประมาณ 15 วัน จะเริ่มเก็บเกี่ยวโดยตัดยอดของแขนงได้ ซึ่งเถาหนึ่งจะตัดยอดแขนงข้างได้ประมาณ 5 ยอด ส่วนยอดของเถาต้นพันธุ์จะไม่ตัด

### 2.2.2.2 การดูแลรักษา

1) การให้น้ำ หลังจากปลูกแล้วประมาณ 5-7 วัน ควรฉีดพ่นด้วยปุ๋ยยูเรียอัตรา 2-3 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 20 ลิตร และหลังจากตัดผักแล้วทุกครั้งหรือทุก 7 วัน ใช้ปุ๋ยยูเรียในอัตราเดียวกันฉีดพ่นไปทั่วบริเวณยอดผัก หรือจะใช้ปุ๋ยสูตรเสมอ เช่น สูตร 15-15-15 ใส่ดินละ 1 กำมือ โดยโรยไปที่ส่วนยอดของผัก

2) การถ่ายน้ำ ต้องถ่ายน้ำทุก 7 วัน หรือถ่ายน้ำหลังจากตัดผักแล้ว และควรรักษาระดับน้ำไว้ให้ลึกประมาณ 50 เซนติเมตร ยกเว้นการปลูกแบบให้ผักเกาะบนท่อน

3) การซ่อนแทนออกและการจัดยอดผัก การปลูกผักกระเฉดในพื้นที่ที่ควบคุมน้ำได้จะต้องมีการเลี้ยงแทนและแทนที่นิยมน คือ แทนใช้ปลา เพื่อให้แทนคลุมไม่ให้ฟูขาว และยอดอวบซ่อน แทนที่เลี้ยงไว้ต้องมีปริมาณพอเหมาะไม่แน่นจนเกินไป ถ้าแน่นจะต้องคอยซ่อนแทนออก การซ่อนแทนออกจะเป็นการกำจัดศัตรูของผักกระเฉด เช่น พากไช้และหนอนของผีเสื้อต่าง ๆ ออกไปด้วย และขณะที่ซ่อนแทนก็จะจัดยอดผักไม่ให้ซ่อนเกยกันเพื่อให้ยอดผักทุกยอดแช่อยู่ในน้ำและถูกแทนคลุมทุกยอด

### 4) การดูแลเรื่องโรคและศัตรูของผักกระเฉด

ผักกระเฉดเป็นพืชที่มีโรคและแมลงทำลายโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่ผักกระเฉดจะมีความสมบูรณ์กว่าฤดูอื่น ๆ โดยจะมียอดยาว อวบ และกรอบ แต่ก็ เป็นช่วงที่พบโรคและแมลงศัตรูระบาดมากเช่นเดียวกัน การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดควรใช้เป็น

ครั้งคราวตามความจำเป็นเท่านั้นเพื่อป้องกันการมีสารพิษตกค้างถึงผู้บริโภค และควรคำนึงถึงแมลงที่เป็นประโยชน์ สำหรับโรคและแมลงศัตรูพืชที่สำคัญ มีดังนี้

(1) โรคโคนเน่า จะพบเฉพาะการปลูกแบบดำกอ เนื่องจากปลูกซ้ำที่เดิมนาน ๆ ถ้าระบาดไม่มากสามารถปลูกซ่อมเฉพาะกอที่เป็นโรคได้ แต่ถ้าระบาดมาก จะต้องรื้อทิ้งทั้งแปลงและควรจะระบายน้ำออกแล้วตากดินทิ้งไว้ให้นานพอสมควรจึงปลูกใหม่

(2) เพลี้ยไฟ ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงที่ยอดอ่อน ใบอ่อน ถ้าระบาดมากใบที่ถูกทำลายจะมีสีเหลืองและร่วงทำให้ยอดไม่สวยไม่เป็นที่ต้องการของตลาด

(3) แมลงปีกแข็งและหนอนผีเสื้อ จะทำลายกัดกินใบอ่อนและยอดอ่อนทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด

### 2.2.3 การเก็บเกี่ยวนำไปจำหน่าย

หลังจากปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวมีดแรกขึ้นอยู่กับต้นพันธุ์ที่นำมาปลูกและการดูแลรักษา ถ้าการดูแลรักษาดีและต้นพันธุ์ได้มาจากส่วนยอด หลังจากปลูกแล้วประมาณ 15 วัน ก็สามารถตัดยอดจำหน่ายได้ จากนั้นอีกทุก 7 วัน ก็จะตัดมีดที่ 2 และมีดต่อ ๆ ไปได้ ถ้าเกษตรกรรู้จักวางแผนการปลูกและการเก็บเกี่ยวให้ทยอยหมุนเวียนกันไปจะสามารถจะเก็บผลผลิตออกจำหน่ายได้ทุกวัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก, 2544: 49)

ในการตัดผักกระเฉดเพื่อนำไปจำหน่าย ไม่จำเป็นต้องเอานมออก ตัดให้มีความยาวประมาณ 80 เซนติเมตรถึง 1 เมตร ขายเป็นมัด หนึ่งมัดมีอยู่ 12 – 15 ต้น จำหน่ายอยู่ในราคามัดละ 5 บาท หากเกษตรกรเอานมผักกระเฉดออกก่อนนำไปขาย ราคา ก็จะสูงมากขึ้น เนื่องจากผู้ที่ซื้อไปบริโภคไม่ต้องรูดนมผักกระเฉดออกเมื่อนำมาปรุงอาหาร ราคามักกระเฉดไร่หนึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 10 บาทต่อ 6 ยอด (ชูชาติ แก้วเก่า, 2548: 13) การนำส่งไปขายที่ตลาดจะนำมามัดรวมกันเป็นฟ่อน ๆ ละ 25 – 30 มัด ตัดโคนเถาออกให้เสมอกันทั้งฟ่อน ห่อด้วยใบตองหรือถุงพลาสติกใสก็พร้อมนำส่งตลาด ผักกระเฉดที่ปลูกไว้หากได้รับการดูแลรักษาอย่างดีจะสามารถเก็บเกี่ยวได้นาน 4 – 6 เดือนจึงรื้อทิ้งแล้วปลูกใหม่ (วสันต์ กฤษฏารักษ์, 2544: 48)

ชูชาติ แก้วเก่า (2548: 13) เสนอวิธีการเอานมผักกระเฉดออกโดยวิธีง่าย ๆ โดยใช้อุปกรณ์ คือ ไม้รวกยาวประมาณ 3 – 4 เมตร และเชือกสำหรับมัดผักกระเฉดไว้กับไม้รวก วิธีการเริ่มจากการนำผักกระเฉดที่มีนม มีความยาวประมาณ 1 เมตร มัดรวมกัน 8 – 10 ต้น ผูกติดกับไม้รวกแล้วปักลงไปในน้ำให้จมทั้งต้น ทิ้งไว้ 2 วัน ตรวจสอบระดับน้ำว่าระดับน้ำต่ำลง

หรือไม่ ถ้าต่ำลงให้กดไม้รวกที่ผูกผักกระเจตไว้จมลงไปให้มิด หลังจากนั้นยอดบริเวณข้อปล้องจะยืดยาวพุ่งหาแสงสูงชะลูดยาวพ่นน้ำ ก็สามารถตัดแต่งยอดและตัดมาจำหน่ายได้โดยไม่มึนมติดมาด้วย

#### 2.2.4 ประโยชน์ของผักกระเจต

ผักกระเจตมีประโยชน์อยู่หลายประการ การปลูกผักกระเจตเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรสามารถยึดเป็นอาชีพสร้างรายได้ให้กับครอบครัว ยอดและใบผักกระเจตเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคเนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารและมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรค นอกจากนี้ผักกระเจตยังเป็นประโยชน์ต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมหากมีการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

##### 2.2.4.1 ประโยชน์ต่อเกษตรกร

การปลูกผักกระเจตเป็นอาชีพสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรเป็นอย่างดี ทั้งการปลูกเป็นรายได้เสริมหรือปลูกเป็นรายได้หลัก ที่ผ่านมามีเกษตรกรหลายรายที่ประสบความสำเร็จในการปลูกผักกระเจตสร้างรายได้อย่างเพียงพอและมีเงินเหลือเก็บ

ศุภชัย นิลวานิช (2545: 50 – 51) รายงานว่า เกษตรกรผู้ปลูกผักกระเจตในอำเภอบินทร์บุรี จังหวัดปราชญ์บุรี ปลูกผักกระเจตชะลูดน้ำชาย โดยตัดยอดผักกระเจตที่ปลูกไว้ นำไปผูกไว้ให้น้ำให้ยอดต่ำกว่าผิวน้ำ 4 – 5 นิ้ว หรือ 1 ฝ่ามือ ยอดจะชะลูดขึ้นเหนือน้ำภายใน 2 – 3 วัน แล้วตัดยอดไปขายสร้างรายได้ให้ครอบครัวได้อย่างดี ตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกผักกระเจตเป็นอาชีพในพื้นที่ ได้แก่ จวี ช่อนละมูล อยู่บ้านเลขที่ 15 หมู่ที่ 15 ตำบลเมืองเก่า อำเภอบินทร์บุรี จังหวัดปราชญ์บุรี มีพื้นที่ปลูกผักกระเจต 3 – 4 ไร่ สามารถหมุนเวียนเก็บเกี่ยวผลผลิตไปขายได้ทุกวัน วันละ 130 – 150 มัด ขายได้มัดละ 4 – 5 บาท คำนวณเป็นรายได้เดือนละกว่า 10,000 บาท

เสนห์ แสงคำ (2544: 38 – 40) รายงานว่า เกษตรกรหลายรายที่ตำบลหนองกรด อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ได้ทำนาผักกระเจตเสริมการทำนาข้าวทำให้มีรายได้เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกผักกระเจตเป็นอาชีพในพื้นที่ ได้แก่ นิโรจน์ จันทวัฒน์ และเสรี จันทวัฒน์ เกษตรกรผู้ทำนาผักกระเจตบนพื้นที่ 6 งาน สามารถเก็บเกี่ยวได้ทุกสัปดาห์ โดยในฤดูร้อนจะเก็บเกี่ยวได้ปริมาณมาก อาจสูงถึง 2,000 มัด (มัดละ 10 ยอด) ต่อครั้ง

ทวีศักดิ์ เดชชู (2543: 32 – 33) รายงานว่า มีเกษตรกรอำเภอท่าอุ้ง จังหวัดลพบุรี ทำนาผักกระเจตเพียง 2 ไร่ สามารถมีรายได้เดือนละหลายหมื่นบาท ซึ่งเกษตรกรผู้นี้คือ นคร ป้อมตรี และน้ำผึ้ง ป้อมตรี อยู่บ้านเลขที่ 73 หมู่ 1 ตำบลบางงา อำเภอท่าอุ้ง จังหวัดลพบุรี ทำไร่นาสวนผสมในพื้นที่ 10 ไร่ โดยขุดเป็นนาผักกระเจต 2 สระ ใช้พื้นที่ 2 ไร่เศษ

พื้นที่ที่เหลือทำเป็นบ่อเลี้ยงปลาอีก 3 บ่อ ปลูกผักสวนครัวบนสันบ่อ และเลี้ยงไก่พื้นเมืองในพื้นที่ว่าง มีรายได้จากการเก็บเกี่ยวผักกระเฉดประมาณวันละ 1,000 – 1,200 บาท หักรายจ่าย ค่ายาและค่าปุ๋ยประมาณเดือนละ 2,500 บาท ส่วนแรงงานใช้แรงงานของครอบครัวตนเองเพียง 2 คน ไม่ได้จ้างแรงงานเพิ่ม คิดเป็นกำไรเดือนละกว่า 30,000 บาท และมีรายได้อีกประมาณ 24,000 บาท จากการจับปลาในบ่อขายทุก 6 เดือน นอกจากนี้ยังมีรายได้เสริมจากการขายไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงไว้อีกด้วย

จากตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกผักกระเฉดดังที่ได้กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่าหากเกษตรกรผู้ปลูกผักกระเฉดมีความขยันและมีวิธีการปลูกที่ดีแล้ว แม้จะมีพื้นที่ปลูกเพียง 1 – 2 ไร่ ใช้แรงงานเพียง 2 คน ก็สามารถเก็บเกี่ยวผักกระเฉดได้ตลอดทั้งปี มีรายได้เลี้ยงครอบครัวที่เพียงพอต่อการดำรงชีพ

#### 2.2.4.2 ประโยชน์ในการทำเป็นอาหาร

ยอดอ่อน ใบ และลำต้นของผักกระเฉดนิยมนำมาทำเป็นอาหาร จะรับประทานเป็นผักสด หรือลวกต้มให้สุกเป็นผักจิ้มกับน้ำพริก หรือนำไปปรุงอาหารเป็นยำผักกระเฉด แกงส้มผักกระเฉด และผัดน้ำมันหรือผัดกับหมูกรอบก็ได้ (สำนักงานคณะกรรมการการสาธารณสุขมูลฐาน และกรมการแพทย์. สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2540: 149)

การรับประทานผักกระเฉดจะได้กากใยอาหารจำนวนมากช่วยให้การขับถ่ายคล่องตัว ใบและก้านให้แคลเซียมและเบต้า – แคโรทีนแก่ร่างกาย และสารที่มีอยู่มากในผักกระเฉด คือ โนอาซิน ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการเผาผลาญสารอาหารในร่างกายเป็นไปด้วยดี โดยคุณค่าอาหารส่วนที่กินได้ในผักกระเฉด 100 กรัม จะให้พลังงานต่อร่างกาย 29 กิโลแคลอรี โปรตีน 6.4 กรัม ไขมัน 0.4 กรัม แคลเซียม 387 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 7 มิลลิกรัม เหล็ก 5.3 มิลลิกรัม วิตามินบีหนึ่ง 0.12 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.14 มิลลิกรัม โนอาซิน 3.2 มิลลิกรัม วิตามินซี 22 มิลลิกรัม เบต้า – แคโรทีน 472.08 ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล และใยอาหาร 5.3 กรัม (มหาวิทยาลัยมหิดล. สถาบันวิจัยโภชนาการ และมูลนิธิโตโยต้าแห่งประเทศไทย, 2545: 183)

#### 2.2.4.3 ประโยชน์ในการใช้เป็นยา

ผักกระเฉดสามารถนำมาใช้เป็นยาได้ โดยนมผักกระเฉดช่วยแก้ไข้ ร้อนใน ถอนพิษตับอักเสบ บำรุงร่างกายให้แข็งแรง ใบผักกระเฉดช่วยดับพิษปวดแสบปวดร้อน แก้ไข้ ดับพิษเบื่อเมา และเป็นตัวถอนพิษยาอื่น ๆ ได้ (กรมการแพทย์. สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2547: 119)

#### 2.2.4.4 ประโยชน์ต่อการจัดการสิ่งแวดล้อม

ผักกระเจตมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยมีความสามารถในการดูดซับของเสียและแร่ธาตุต่าง ๆ ทำให้น้ำเสียที่ไหลผ่านมีคุณภาพดีขึ้น ที่ผ่านมามีผู้ทดลองนำผักกระเจตไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียหลายราย ได้แก่ จิตติมา วสุลิน (2539: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยบริเวณศูนย์ศาลายา โดยสรุปว่า ผักกระเจต จอก และผักตบชวา สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียได้ ธนียา เกาศล (2545: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยสรุปว่า ผักบุ้ง ผักตบชวา และผักกระเจต มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย และปิยนุช บุญศิริชัย (2547: บทคัดย่อ) ทดลองใช้ผักกระเจตบำบัดน้ำทิ้งจากปอเลียงกุ้งกุลาดำ พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำผักกระเจตมาใช้บำบัดคุณภาพน้ำ แต่ต้องมีระดับชีวมวลของผักกระเจตกับปริมาณน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อกัน

จากงานวิจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ พอจะสรุปได้ว่า ผักกระเจตมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และผักกระเจตสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียจากแหล่งน้ำเสียที่แตกต่างกันได้หลายรูปแบบ

### 2.3 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

#### 2.3.1 น้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสีย ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2537: 2) กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540: 88) ให้คำจำกัดความของน้ำเสีย (Wastewater) ไว้ว่า เป็นน้ำที่ไม่ต้องการหรือน้ำใช้แล้วระบายทิ้ง โดยน้ำใช้แล้วจากชุมชนอาจประกอบด้วยสิ่งปะปนที่ติดมาจากกิจกรรมบริเวณที่อยู่อาศัย ธุรกิจ โรงงานอุตสาหกรรมและสถาบันต่าง ๆ รวมกับน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน น้ำฝน และทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545: 5 - 1) ให้ความหมายไว้ว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป สิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ กรด ด่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ย่อยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลลิ่งและแร่ธาตุ โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สี กลิ่น สารพิษ และสารกัมมันตภาพรังสี

เป็นต้น โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้แบ่งน้ำเสียออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากการเกษตร และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

น้ำเสียจะก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ แก่แหล่งน้ำซึ่งเป็นที่ยอมรับ เช่น ทำให้เกิดการเน่าเสียหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต จากการตรวจสอบคุณภาพแหล่งน้ำจืดของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2546 พบว่า แหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมาก ได้แก่ เจ้าพระยาตอนล่าง ท่าจีน ตอนล่าง ลำตะคองตอนล่าง และทะเลสาบสงขลา โดยสาเหตุของความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำเกิดจากการระบายน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ เกษตรกรรม ชุมชน และภาคอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ได้ผ่านการบำบัดน้ำให้ได้มาตรฐานก่อนระบายลงสู่แม่น้ำ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548: 67) ดังนั้น น้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดให้ได้มาตรฐานก่อนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำ ซึ่งการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment) หมายถึง การปรับสภาพน้ำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น คำว่า การบำบัดน้ำเสีย มักมีการใช้สลับกับคำว่า การกำจัดน้ำเสีย (Wastewater Disposal) ซึ่งหมายถึง การกำจัดออกไปให้พ้น อาจจะรวมการบำบัดหรือไม่รวมก็ได้ (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540: 274)

โดยปกติแล้วระบบบำบัดน้ำเสียจะมีกระบวนการหลายขั้นตอน กระบวนการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้เป็นกระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 1 – 5 – 2)

1. กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางกายภาพส่วนใหญ่มิมีหน้าที่กำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่สามารถตกตะกอนด้วยตัวเองได้ง่าย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การใช้ตะแกรง ดักไขมันและน้ำมัน และดักตะกอน เป็นต้น

2. กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางเคมีมีหน้าที่กำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กหรือของแข็งที่ตกตะกอนด้วยตนเองได้ช้า ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) การตกตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และกระบวนการออกซิเดชัน – รีดักชัน (Oxidation – Reduction) เป็นต้น

3. กระบวนการทางชีวภาพ กระบวนการทางชีวภาพเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ให้เป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศ ได้แก่ กระบวนการเอเอส (Activated Sludge) บ่อหรือสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds) หรือบ่อฝัง (Oxidation Ponds) เป็นต้น

การจะเลือกระบบน้ำเสียที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับของการบำบัด สภาพของท้องถิ่น และความยากง่ายของการดูแลรักษาระบบ โดยระบบที่มีความเหมาะสมจะต้องเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและราคาประหยัด

### 2.3.2 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันตามลักษณะของกิจกรรมการผลิต เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ ตะกอนแขวนลอย น้ำมัน และมีค่าบีโอดีสูง น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยสีย้อม สารเคมี ไขมัน และต่าง ส่วนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเคมีภัณฑ์จะประกอบด้วยสารอันตราย สารประกอบที่มีกลิ่นเหม็น มีสภาพของการเป็นกรดหรือด่างสูง เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 2 – 10)

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีลักษณะที่แตกต่างกันตามลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้น กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาจใช้กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางชีวภาพ หรือใช้ร่วมกันทั้ง 3 กระบวนการในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแห่งหนึ่ง เพื่อให้คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานเป็นไปตามมาตรฐานที่ทางราชการกำหนด ซึ่งมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องอยู่ 4 ฉบับ คือ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2539 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 36 – 3 – 40)

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เป็นกฎหมายที่ใช้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามตารางที่ 2.3

ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2539 เป็นกฎหมายที่อนุโลมค่ามาตรฐานให้สำหรับอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานก๋วยเตี๋ยว โรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานเยื่อกระดาษ ซึ่งจะมีน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูงมากจนไม่คุ้มที่จะลงทุนระบบบำบัดน้ำเสียให้ลดบีโอดีจนเหลือตามประกาศกระทรวงฯ ได้ จึงอนุโลมให้น้ำทิ้งที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมมีค่าบีโอดี

ซีไอดี และที่เคเอ็นสูงกว่าค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวง ฯ โดยประเภทโรงงานที่อนุโลมและค่ามาตรฐานตามตารางที่ 2.4

ส่วนประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เป็นกฎหมายที่กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 เป็นการอนุโลมค่ามาตรฐานให้สำหรับโรงงานบางประเภทโดยกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรมตามกฎหมายทั้ง 2 ฉบับนี้ สอดคล้องกับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม โดยที่ค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานทั่วไปตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) และค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เป็นค่าเดียวกัน ส่วนค่ามาตรฐานที่อนุโลมสำหรับอุตสาหกรรมบางประเภทตามประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2539 และค่ามาตรฐานที่อนุโลมสำหรับอุตสาหกรรมบางประเภทตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 ก็เป็นค่าเดียวกัน

นอกจากโรงงานจะใช้ค่ามาตรฐานตามกฎหมายทั้ง 4 ฉบับนี้แล้ว สำหรับโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตที่ได้ถูกประกาศให้เป็นเขตควบคุมมลพิษอาจถูกกำหนดให้ใช้มาตรฐานที่เข้มงวดกว่าปกติได้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรา 58 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 36 – 3 – 40)



ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม  
ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

| พารามิเตอร์                       | ค่ามาตรฐาน                                                                                                                                                                                                             | หมายเหตุ                                                                     |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. พีเอช (pH)                     | 5.5 – 9.0                                                                                                                                                                                                              |                                                                              |
| 2. ทิตีเอส (TDS)                  | ไม่เกิน 3,000 มก./ล.<br>ถ้าเป็นแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่า<br>ความเค็มมากกว่า 2,000<br>มก./ล. หรือเป็นน้ำทะเล ให้<br>ค่าที่ติเอสในน้ำทิ้งมีค่า<br>มากกว่าค่าที่ติเอสในแหล่งน้ำ<br>กร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน<br>5,000 มก./ล. | คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>อาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้<br>แต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. |
| 3. สารแขวนลอย (SS)                | ไม่เกิน 50 มก./ล.                                                                                                                                                                                                      | คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>อาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้<br>แต่ไม่เกิน 150 มก./ล.   |
| 4. อุณหภูมิ                       | ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส                                                                                                                                                                                                |                                                                              |
| 5. สีหรือกลิ่น                    | ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ                                                                                                                                                                                                  |                                                                              |
| 6. ชัลไฟด์                        | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                                                                                                                                                                                                     |                                                                              |
| 7. ไซยาไนต์                       | ไม่เกิน 0.2 มก./ล.                                                                                                                                                                                                     |                                                                              |
| 8. โลหะหนักต่าง ๆ                 |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                              |
| 8.1 สังกะสี (Zn)                  | ไม่เกิน 5.0 มก./ล.                                                                                                                                                                                                     |                                                                              |
| 8.2 โครเมียม ( $\text{Cr}^{6+}$ ) | ไม่เกิน 0.25 มก./ล.                                                                                                                                                                                                    |                                                                              |
| 8.3 โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) | ไม่เกิน 0.75 มก./ล.                                                                                                                                                                                                    |                                                                              |
| 8.4 อาร์เซนิก (As)                | ไม่เกิน 0.25 มก./ล.                                                                                                                                                                                                    |                                                                              |
| 8.5 ทองแดง (Cu)                   | ไม่เกิน 2.0 มก./ล.                                                                                                                                                                                                     |                                                                              |
| 8.6 ปรอท (Hg)                     | ไม่เกิน 0.005 มก./ล.                                                                                                                                                                                                   |                                                                              |
| 8.7 แคดเมียม (Cd)                 | ไม่เกิน 0.03 มก./ล.                                                                                                                                                                                                    |                                                                              |
| 8.8 เซเลเนียม (Se)                | ไม่เกิน 0.02 มก./ล.                                                                                                                                                                                                    |                                                                              |

## ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

| พารามิเตอร์                                                    | ค่ามาตรฐาน                             | หมายเหตุ                                                                   |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 8.9 แบเรียม (Ba)                                               | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                     |                                                                            |
| 8.10 ตะกั่ว (Pb)                                               | ไม่เกิน 0.2 มก./ล.                     |                                                                            |
| 8.11 นิกเกิล (Ni)                                              | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                     |                                                                            |
| 8.12 แมงกานีส (Mn)                                             | ไม่เกิน 5.0 มก./ล.                     |                                                                            |
| 9. น้ำมันและไขมัน                                              | ไม่เกิน 5.0 มก./ล.                     | คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>อาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้<br>แต่ไม่เกิน 15 มก./ล.  |
| 10. ฟอรัมาลดีไฮด์                                              | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                     |                                                                            |
| 11. สารประกอบฟีนอล                                             | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                     |                                                                            |
| 12. คลอรีนอิสระ                                                | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                     |                                                                            |
| 13. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัด<br>ศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide) | ตรวจสอบไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่<br>กำหนด |                                                                            |
| 14. บีโอดี (BOD)                                               | ไม่เกิน 20 มก./ล.                      | คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>อาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้<br>แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.  |
| 15. ทีเคเอ็น (TKN)                                             | ไม่เกิน 100 มก./ล.                     | คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>อาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้<br>แต่ไม่เกิน 200 มก./ล. |
| 16. ซีโอดี (COD)                                               | ไม่เกิน 120 มก./ล.                     | คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>อาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้<br>แต่ไม่เกิน 400 มก./ล. |

แหล่งที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38.

ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ที่อนุโลมให้สูงกว่าปกติสำหรับโรงงานบางประเภทตามประกาศ  
คณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2539

| พารามิเตอร์          | ค่ามาตรฐาน (มก./ล.) |           | ประเภทโรงงานที่อนุโลม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|---------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | ค่าปกติ             | ค่าอนุโลม |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1. บีโอดี<br>(BOD)   | 20                  | 60        | 1.1 ประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งมีไข่สัตว์น้ำ<br>ประเภทการฆ่าสัตว์<br>1.2 ประกอบกิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืช หรือหัวพืช<br>ประเภทการทำแป้ง<br>1.3 ประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารจากแป้ง เช่น เค้ก<br>ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว<br>1.4 ประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์<br>1.5 ประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอหรือเส้นใย<br>1.6 โรงงานหมัก ฟอกหนังสัตว์<br>1.7 โรงงานเยื่อหรือกระดาษ<br>1.8 โรงงานเคมีภัณฑ์<br>1.9 โรงงานยา<br>1.10 โรงงานห้องเย็น |
| 2. ซีโอดี<br>(COD)   | 120                 | 400       | 2.1 โรงงานผลิตเครื่องปรุงกลิ่น รส หรือสีของอาหาร<br>2.2 โรงงานผลิตอาหารสัตว์<br>2.3 โรงงานสิ่งทอหรือเส้นใย<br>2.4 โรงงานหมัก ฟอกหนังสัตว์<br>2.5 โรงงานเยื่อหรือกระดาษ                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3. ทีเคเอ็น<br>(TKN) | 100                 | 200       | 3.1 โรงงานผลิตเครื่องปรุงกลิ่น รส หรือสีของอาหาร<br>3.2 โรงงานผลิตอาหารสัตว์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

แหล่งที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 38 – 3 – 39.

### 2.3.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการตรวจวิเคราะห์

#### 2.3.3.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำเสียและปริมาณตัวอย่างน้ำเสียที่ต้องการ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำเสียมีดังนี้ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2541: 22 – 23)

##### 1. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขวดเก็บตัวอย่างมักเป็นขวดโพลีเอทิลีน (Polyethylene) หรือขวดแก้วอย่างหนา ควรมีขนาดใหญ่ประมาณ 500 – 1,000 ลิตร และมีฝาเกลียวปิดมิดชิด หากเป็นขวดแก้วควรใช้ขวดที่มีปากกว้างเพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ง่ายและสามารถดักน้ำเสียได้อย่างรวดเร็ว ปากขวดไม่ควรเล็กกว่า 5 เซนติเมตร ก่อนใช้ขวดเก็บตัวอย่างทุกครั้งควรล้างให้สะอาดด้วยกรดโครมิกและล้างด้วยน้ำสะอาดอีกหลาย ๆ ครั้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่น

ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาไขมันและน้ำมัน ขวดเก็บตัวอย่างต้องเป็นขวดแก้วปากกว้าง ไม่ควรใช้ขวดพลาสติกเนื่องจากน้ำมันสามารถเกาะติดผิวพลาสติกได้

##### 2. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบอัตโนมัติ (Automatic Sampler)

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบอัตโนมัติมี 2 ประเภท คือ แบบใช้ลมและแบบเครื่องสูบน้ำรีดสาย เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำแบบใช้ลมทำงานโดยดูดลมออกจากถังพักทำให้เกิดสุญญากาศและมีแรงดูดตัวอย่างน้ำเสียเข้ามาเก็บในถังพัก เมื่อตัวอย่างเต็มถึงพักและเครื่องดูดลมหยุดทำงาน น้ำเสียในถังพักจะถูกปล่อยลงไปในขวดเก็บตัวอย่าง ส่วนเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้เครื่องสูบน้ำรีดสายทำงานโดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (Peristaltic Pump) ทำหน้าที่สูบน้ำเสียเข้ามาเก็บในขวดตัวอย่าง

เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบอัตโนมัติทั้ง 2 ประเภทนี้มีระบบตั้งเวลาทำงานช่วยให้สามารถเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ตามกำหนดเวลาและความถี่ที่ต้องการ

ส่วนปริมาณของตัวอย่างน้ำเสียโดยทั่วไปควรเก็บตัวอย่างให้ได้ประมาณ 2 – 4 ลิตร เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียแล้วต้องมีวิธีการรักษาตัวอย่างน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้ลักษณะน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อนทำการวิเคราะห์ ซึ่งปริมาณตัวอย่างน้ำเสียที่ต้องการและการรักษาตัวอย่างน้ำเสียสำหรับงานวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมตามหนังสือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater แสดงตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณตัวอย่างน้ำเสียและวิธีเก็บรักษาสำหรับงานวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรม

| พารามิเตอร์                       | ปริมาณ<br>ตัวอย่าง<br>(มล.) | วิธีเก็บรักษาตัวอย่าง                                                                                     | ระยะเวลา<br>ที่เก็บได้ |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1. พีเอช (pH)                     | 50                          | - วิเคราะห์ทันที                                                                                          | 15 นาที                |
| 2. ทีดีเอส (TDS)                  | 200                         | - แช่เย็น                                                                                                 | 7 วัน                  |
| 3. สารแขวนลอย (SS)                | 200                         | - แช่เย็น                                                                                                 | 7 วัน                  |
| 4. อุณหภูมิ                       | -                           | - วิเคราะห์ทันที                                                                                          | 15 นาที                |
| 5. สี                             | 500                         | - แช่เย็น                                                                                                 | 48 ชั่วโมง             |
| กลิ่น                             | 500                         | - แช่เย็น                                                                                                 | 6 ชั่วโมง              |
| 6. ชัลโฟต์                        | 100                         | - แช่เย็น เติม 2N Zinc Acetate จำนวน<br>4 หยดต่อตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร หรือ<br>เติม NaOH ให้ได้ pH > 9 | 28 วัน                 |
| 7. ไสยาไนต์                       | 1,000                       | - เติม NaOH ให้ pH > 12 แช่เย็นในที่มืด                                                                   | 24 ชั่วโมง             |
| 8. โลหะต่าง ๆ                     | 1,000                       | - กรองและเติม HNO <sub>3</sub> ให้ได้ pH < 2                                                              | 6 เดือน                |
| ปรอท                              | 1,000                       | - เติม HNO <sub>3</sub> ให้ได้ pH < 2 แช่เย็น                                                             | 28 วัน                 |
| 9. น้ำมันและไขมัน                 | 1,000                       | - เติม H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ให้ได้ pH < 2 แช่เย็น                                               | 28 วัน                 |
| 10. ฟอर्मัลดีไฮด์                 | -                           | -                                                                                                         | -                      |
| 11. สารประกอบฟีนอล                | 500                         | - เติม H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ให้ได้ pH < 2 แช่เย็น                                               | 28 วัน                 |
| 12. คลอรีนอิสระ                   | 500                         | - วิเคราะห์ทันที                                                                                          | 15 นาที                |
| 13. สารกำจัดศัตรูพืช<br>หรือสัตว์ | 1,000                       | - แช่เย็น กำจัดคลอรีนด้วยกรด Ascorbic<br>1 กรัมต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร                                      | 7 วัน                  |
| 14. บีโอดี (BOD)                  | 1,000                       | - แช่เย็น                                                                                                 | 6 ชั่วโมง              |
| 15. ทีเคเอ็น (TKN)                | 500                         | - เติม H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ให้ได้ pH < 2 แช่เย็น                                               | 7 วัน                  |
| 16. ซีโอดี (COD)                  | 100                         | - เติม H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ให้ได้ pH < 2 แช่เย็น                                               | 7 วัน                  |

แหล่งที่มา: APHA, AWWA and WEF, 1998: 1 – 33 – 1 – 34.

หมายเหตุ: วิธีเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ฟอर्मัลดีไฮด์ไม่มีระบุไว้ใน Standard Methods

### 2.3.3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียอุตสาหกรรม

ตัวอย่างน้ำเสียจำแนกได้เป็น ตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sample) และตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite sample) ตัวอย่างแบบจ้วง คือ ตัวอย่างที่ได้จากการเก็บเป็นครั้ง ๆ จะเป็นตัวแทนของน้ำ ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง ปริมาตรของการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ ส่วนตัวอย่างแบบผสมรวมได้มาจากการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงหลาย ๆ ตัวอย่างนำมาผสมรวมกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนตัวอย่างและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องเก็บตัวอย่างจากทุกแหล่งที่มีน้ำเสียออกมาหรือที่จุดรวมน้ำเสีย

ความถี่ของการเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับอัตราไหลและลักษณะของน้ำเสีย การเก็บตัวอย่างแบบจ้วงมักมีความถี่ทุกชั่วโมง ถ้าน้ำเสียมีความแปรปรวนต่ำอาจเก็บตัวอย่างห่างขึ้นได้ เช่น เก็บตัวอย่างทุก 2, 4, 8, 16 หรือ 24 ชั่วโมง แต่ถ้าน้ำเสียมีความแปรปรวนสูงก็อาจจะต้องเก็บตัวอย่างถี่มาก เช่น ทุก 10 นาที เป็นต้น ถ้าต้องการลดจำนวนตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ก็จะใช้วิธีนำตัวอย่างที่เก็บได้มาผสมกันเป็นตัวอย่างแบบผสมรวม จำนวนตัวอย่างที่จะนำมาผสมรวมกันควรอยู่ในช่วงเวลาที่สามารถเก็บรักษาตัวอย่างได้โดยไม่เสีย แต่ทั้งนี้ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2541: 5 – 9)

### 2.3.3.3 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรม

วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียมีอยู่หลายมาตรฐาน เช่น วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของประเทศสหรัฐอเมริกา วิธีมาตรฐานของ JICA ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกนิยมใช้ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยที่มาของมาตรฐานเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1905 สมาคมสาธารณสุขแห่งสหรัฐอเมริกา (American Public Health Assoc. : APHA) ได้เสนอวิธีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์น้ำ (Standard Methods of Water Analysis) เป็นครั้งแรกเพื่อให้นักเคมีใช้เป็นวิธีร่วมกันในการวัดปริมาณสารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเพื่อให้สามารถนำผลวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกันได้และสามารถอ้างอิงโดยมีวิธีมาตรฐานที่เหมือนกัน หลังจากนั้นมาก็ได้มีการปรับปรุงวิธีใหม่ทุก 3 – 4 ปีเป็นประจำตลอดมา จนถึงปี ค.ศ. 1992 สมาคมการประปาอเมริกัน (American Water Works Assoc. : AWWA) และ Water Environmental Federation (WEF) ก็ได้เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดเตรียมหนังสือวิธีมาตรฐานด้วย หนังสือวิธีมาตรฐาน (Standard Methods) ในปัจจุบัน เป็นผลงานของกลุ่มนักวิชาการจำนวนมากที่มาร่วมมือกันเป็นคณะกรรมการกลุ่มต่าง ๆ ในการหาวิธีวิเคราะห์ที่

เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เป็นวิธีมาตรฐานเพื่อวัดปริมาณสารต่าง ๆ ในน้ำและน้ำเสีย วิธีมาตรฐานดังกล่าวเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกสำหรับใช้ในงานวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำและน้ำเสีย (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547: 1/4 – 1/5)

สำหรับในประเทศไทยก็กำหนดให้ใช้วิธีการตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater เช่นกัน โดยตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงาน ได้กำหนดให้การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือให้เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ที่ APHA, AWWA และ WEF ร่วมกันกำหนด (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546: 11 – 96 – 11 – 123)

ซึ่งการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีวิธีวิเคราะห์ที่ระบุในหนังสือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

| พารามิเตอร์        | วิธีวิเคราะห์                                               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. พีเอช (pH)      | - Electrometric Method                                      |
| 2. ทึบิเดส (TDS)   | - Dried at 180 °C                                           |
| 3. สารแขวนลอย (SS) | - Dried at 103 – 105 °C                                     |
| 4. อุณหภูมิ        | - Laboratory and Field Methods                              |
| 5. สี              | - Visual Comparison Method                                  |
|                    | - Spectrophotometric Method                                 |
|                    | - Tristimulus Filter Method                                 |
|                    | - ADMI Tristimulus Filter Method                            |
| กลิ่น              | - Threshold Odor Test                                       |
| 6. ซีลไฟด์         | - Methylene Blue Method                                     |
|                    | - Iodometric Method                                         |
|                    | - Ion – selective Electrode Method                          |
| 7. ไซยาไนด์        | - Titrimetric Method                                        |
|                    | - Colorimetric Method                                       |
|                    | - Cyanide – selective Electrode Method                      |
| 8. โลหะหนักต่าง ๆ  |                                                             |
| - Zn, Cr, Cu, Cd,  | - Atomic Absorption Spectrometric Method                    |
| Pb, Ni, and Mn     | (Direct Air – acetylene Flame Method)                       |
| - Ba               | - Direct Nitrous Oxide – acetylene Flame Method             |
| - As, Se           | - Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method |
| - Hg               | - Cold – vapor Atomic Absorption Spectrometric Method       |
| 9. น้ำมันและไขมัน  | - Partition – gravimetric Method                            |
|                    | - Partition – infrared Method                               |
|                    | - Soxhlet Extraction Method                                 |



## ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

| พารามิเตอร์                                                | วิธีวิเคราะห์                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10. ฟอर्मาลดีไฮด์                                          | -                                                                                                                                                                                                                                     |
| 11. ฟีนอล                                                  | - Chloroform Extraction Method<br>- Direct Photometric Method                                                                                                                                                                         |
| 12. คลอรีนอิสระ                                            | - Iodometric Method I<br>- Iodometric Method II<br>- Amperometric Titration Method<br>- Low – level Amperometric Titration Method<br>- DPD Ferrous Titrimetric Method<br>- DPD Colorimetric Method<br>- Syringaldazine (FACTS) Method |
| 13. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide) | - Liquid – liquid Extraction Gas Chromatographic Method I<br>- Liquid – liquid Extraction Gas Chromatographic Method II<br>- Liquid – liquid Extraction Gas Chromatographic/ Mass Spectrometric Method                                |
| 14. บีโอดี (BOD)                                           | - 5 – Days BOD Test                                                                                                                                                                                                                   |
| 15. ทีเคเอ็น (TKN)                                         | - Kjeldahl Method                                                                                                                                                                                                                     |
| 16. ซีโอดี (COD)                                           | - Open Reflux Method<br>- Close Reflux, Titrimetric Method<br>- Close Reflux, Colorimetric Method                                                                                                                                     |

แหล่งที่มา: APHA, AWWA and WEF, 1998: 2 – 1 – 6 – 104.

หมายเหตุ: วิธีวิเคราะห์ฟอर्मาลดีไฮด์ไม่มีระบุไว้ใน Standard Methods

สำหรับการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ไม่ได้ระบุวิธีวิเคราะห์ไว้ แต่ก็มีวิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้วิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในแหล่งน้ำและในอาหาร ซึ่งจะใช้วิธีการ Spectrophotometric Method (กรมควบคุมมลพิษ, 2541ค: 21 – 22)

## 2.4 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

### 2.4.1 หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Treatment) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติช่วยในการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากน้ำเสียโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกลต่าง ๆ เป็นวิธีที่ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า พึ่งพาผู้ควบคุมระบบน้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ๆ มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการธรรมชาติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อม ในการบำบัดน้ำเสียจะมีน้ำ ดิน พืช จุลินทรีย์ และบรรยากาศเข้ามาช่วยแปรสภาพน้ำเสียให้มีสารปนเปื้อนน้อยลง ซึ่งสิ่งปนเปื้อนที่สามารถกำจัดได้โดยวิธีธรรมชาติ ได้แก่ ของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ ในโตรเจน ฟอสฟอรัส ธาตุอื่น ๆ และจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยการกำจัดสิ่งปนเปื้อนประเภทต่าง ๆ มีหลักการดังนี้ (Metcalf & Eddy, Inc., 1991: 938 – 943; เกรียงศักดิ์ อุทุมสินโรจน์, 2542: 392 – 394)

#### 2.4.1.1 การกำจัดของแข็งแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ไหลผ่านบนดินสามารถถูกกำจัดหรือแยกออกมาจากน้ำเสียโดยอาศัยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นดินหรือการกรองผ่านรากพืชต่าง ๆ

#### 2.4.1.2 การกำจัดสารอินทรีย์

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ คือ พืชจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามรากพืชหรือตามผิวเมื่อดินต่าง ๆ จะอาศัยออกซิเจนจากบรรยากาศดำรงชีวิตอยู่และจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายในชั้นดินบ้าง แต่มีไม่มากนัก

#### 2.4.1.3 การกำจัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในน้ำเสียมักจะมีในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและสารแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสารไนโตรเจนจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความ

ต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมากทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติจะกำจัดสารไนโตรเจนในน้ำเสียโดยจะออกมาในรูปของอากาศ คือ ก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) และก๊าซแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) ในรูปของพืชต่าง ๆ คือ ถักดันไม้และพืชอื่น ๆ นำสารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรทมาใช้ และในรูปของสารไนเตรทต่าง ๆ ที่ซึมลงไปได้ดินอาจผสมกับน้ำใต้ดิน

#### 2.4.1.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมาก การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติจะกำจัดสารฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพที่มีระบบขาดอากาศชั่วคราวและระบบเติมอากาศสลับกันไปมา และอาจสามารถกำจัดได้โดยวิธีทางเคมีซึ่งจะทำให้เกิดสลดจ์ในปริมาณมาก ในการกำจัดสารฟอสฟอรัสโดยวิธีธรรมชาติจะใช้หลักการดูดซับ แต่อาจมีปัญหาเกิดการอิมตัวของปริมาณฟอสฟอรัสในชั้นดินบางบริเวณหรือเกิดการอิมตัวในพืชน้ำได้

#### 2.4.1.5 การกำจัดธาตุอื่น ๆ

ธาตุอื่น ๆ ในที่นี้บางตัวอาจเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช แต่ธาตุบางตัวจะเป็นธาตุที่มีพิษเมื่อมีปริมาณมากขึ้น เช่น แคดเมียม โครเมียม ปปรอท เป็นต้น เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยวิธีธรรมชาติแล้ว ธาตุต่าง ๆ จะถูกจับไว้โดยอาศัยการดูดซับ การตกผลึก และการแลกเปลี่ยนประจุ โดยทั่วไปจะต้องมีค่าพีเอชของน้ำเสียหรือของบริเวณพื้นที่บำบัดน้ำเสียมากกว่า 6.5 จึงจะได้ประสิทธิภาพของการบำบัดอยู่ในระดับสูง แต่ถ้ามีค่าพีเอชต่ำ ๆ อาจเกิดปัญหาธาตุที่มีพิษจะละลายปนกับน้ำออกจากระบบได้

#### 2.4.1.6 จุลินทรีย์

การกำจัดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติค่อนข้างได้ผลดีเพราะอาศัยการดัก การดูดซับ การตกตะกอน และอื่น ๆ ถ้าบริเวณพื้นที่มีพืชขึ้นมากก็ยิ่งช่วยดักเอาไว้ได้อีกทาง ทำให้การกำจัดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ค่อนข้างได้ผลดี แต่พบว่ายังไม่เพียงพอเมื่อต้องการกำจัดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ให้หมดสิ้น

### 2.4.2 ประเภทของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติอาจจำแนกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ คือ ระบบกระจายบนดิน ระบบบึงประดิษฐ์ และระบบพืชลอยน้ำ แต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุทมนสินโรจน์, 2542: 391 – 421)

#### 2.4.2.1 ระบบกระจายบนดิน (Land Treatment System)

การบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินจะใช้กับพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ใช้ประโยชน์ วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากแต่ต้องใช้พื้นที่มากในการบำบัดน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีแร่ธาตุอาหารและมีสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็จะเป็นเหมือนการใส่ปุ๋ยให้แก่ดินเพื่อทำการเกษตรต่อไป แต่หากน้ำเสียมีสารพิษปนเปื้อนต้องคำนึงถึงปริมาณสารพิษและชนิดของสารพิษอย่างระมัดระวังเพราะอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลกระทบต่อมนุษย์หากนำพืชนั้นมาทำเป็นอาหาร วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินแยกเป็นระบบย่อยได้ 3 ระบบ ดังนี้

##### 1) ระบบอัตราไหลช้า (Slow – rate System)

วิธีนี้เป็นการรดน้ำ ปล่อยให้ น้ำไหลซึมลงดินและปล่อยให้เกิดการคายน้ำออกจากระบบโดยจะมีพืชต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ผักต่าง ๆ หรือต้นไม้ทั่วไปอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ น้ำเสียที่นำมาบำบัดในระบบนี้อาจนำมาใช้ได้โดยตรง หรือผ่านการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นหรือขั้นสูงมาแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบระบบ โดยต้องพิจารณาถึงระยะห่างจากชุมชนของพื้นที่ ลักษณะน้ำเสีย และความสามารถของพื้นที่ที่จะรองรับน้ำเสีย

##### 2) ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration System)

วิธีนี้เป็นการปล่อยให้น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดขั้นต้นหรือผ่านการแยกตะกอนออกแล้ว ระบายลงที่บ่อหรือร่องรองรับน้ำเสียซึ่งจะเกิดการระเหยออกและซึมลงใต้ดินโดยไม่จำเป็นต้องปลูกพืช วิธีนี้จะปล่อยน้ำเสียในปริมาณที่มากกว่าระบบอัตราไหลช้า เมื่อน้ำเสียไหลลงสู่ส่วนล่างของชั้นดินอาจมีท่อรองรับน้ำที่ผ่านชั้นดินแล้วระบายน้ำทิ้งออกหรือใช้วิธีสูบน้ำขึ้นมาระบายทิ้ง

##### 3) ระบบน้ำไหลนอง (Overland – flow System)

วิธีนี้เป็นการปล่อยให้น้ำเสียไหลออกจากท่อเจาะรู หรือหัวกระจายน้ำเสียซึ่งอยู่ที่สูงไหลจากระบบจ่ายผ่านพืชต่าง ๆ ที่ปลูกอยู่บริเวณที่น้ำไหลผ่านซึ่งเป็นพื้นลาดเอียงลงมาถึงรางรองรับน้ำทิ้งเพื่อระบายออก ขณะที่น้ำไหลผ่านพืชต่าง ๆ ลงมาจะมีการไหลซึมลงดินส่วนหนึ่ง และมีการคายน้ำออกจากพืชและพื้นดินอีกส่วนหนึ่ง ส่วนที่เหลือจะไหลลงรางรองรับน้ำทิ้ง น้ำเสียที่จะนำมาบำบัดในระบบนี้จะต้องผ่านตะแกรงละเอียดแล้วเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาอุดตันในช่องกระจายน้ำเสียในระบบ

#### 2.4.2.2 ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System)

บึงในที่นี้ หมายถึง พื้นที่ที่มีน้ำขังลึกไม่เกิน 0.6 เมตร ซึ่งเป็นสภาพที่พืชบางชนิดเจริญแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว รากของพืชประเภทนี้ยังคงอยู่ในดินเป็นส่วนมาก ใบของพืชจะทำหน้าที่เป็นแผ่นตัวกลางให้แบคทีเรียเกาะ ทำหน้าที่เป็นตัวกรองและตัวดูดซับสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำเสียได้ และสามารถทำหน้าที่ถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ บึงประดิษฐ์สร้างขึ้นมาเพื่อจำลองสภาพของบึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีบึงประดิษฐ์แบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

##### 1) ระบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System)

ระบบนี้จะปล่อยน้ำเสียลงบนผิวดินในบ่อที่ปลูกพืชไว้ โดยบ่อดินจะมีลักษณะที่น้ำไหลซึมลงดินได้น้อย มีระดับน้ำลึกประมาณ 0.1 – 0.6 เมตร ปล่อยน้ำเสียให้ไหลช้า ๆ ผ่านต้นพืชและรากพืชต่าง ๆ การเติมอากาศในบึงประดิษฐ์จะมาจากพืช จากลมพัด และจากการสังเคราะห์แสง ระบบนี้จะเหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี (BOD) ปานกลางประมาณวันละไม่เกิน 6 กรัมต่อตารางเมตร ควรมีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 4 – 15 วัน และมีปริมาณน้ำเสียประมาณวันละ 0.01 – 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร

##### 2) ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System)

ระบบนี้จะปล่อยให้น้ำเสียซึมผ่านใต้ดินที่มีพืชปลูกอยู่ด้านบน โดยระบบนี้จะขุดเป็นบ่อลึกประมาณ 0.3 – 0.8 เมตร ปูด้วยแผ่น Polyethylene เพื่อกันไม่ให้น้ำซึมลงใต้ชั้นดิน แล้วกลบด้วยดินหรือกรวดที่เหมาะสมเพื่อการปลูกพืชด้านบน ที่กันบ่อด้านปลายน้ำจะมีท่อระบายน้ำทิ้งออกจากระบบ น้ำเสียจะไหลซึมใต้ดินผ่านรากพืชต่าง ๆ และระบายออกทางท่อระบาย ระบบนี้จะเหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี (BOD) ปานกลางประมาณวันละประมาณ 11 – 13 กรัมต่อตารางเมตร และควรมีปริมาณน้ำเสียประมาณวันละ 0.01 – 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร

#### 2.4.2.3 ระบบพืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plant Treatment System)

วิธีบำบัดน้ำเสียในระบบพืชลอยน้ำคล้ายคลึงกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน แตกต่างกันตรงที่ระบบนี้จะใช้พืชที่ลอยน้ำ และมีความลึกของน้ำมากกว่า คือ มีน้ำลึกประมาณ 0.5 – 1.8 เมตร พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ผักตบชวา และแหน สำหรับระบบบำบัดที่ใช้ผักตบชวา ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำเสียควรมีค่าประมาณวันละ 1 – 30 กรัมต่อตารางเมตร ถ้ามีค่าบีโอดี (BOD) ในบ่อบำบัดแบบใช้ผักตบชวาเกินกว่าวันละ 10 กรัมต่อตารางเมตร จะเริ่มมีกลิ่นเหม็นในบ่อ แก้ไขโดยนำระบบเติมอากาศเข้ามาช่วยเพิ่มปริมาณ

ออกซิเจนในบ่อ แต่ถ้าน้ำเสียมีปริมาณซัลเฟตมากกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร แม้จะมีค่าบีโอดี (BOD) น้อยก็อาจมีปัญหากลิ่นเหม็นได้

## 2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ

### 2.5.1 ประเภทของพืชน้ำ

พืชน้ำหรือพรรณไม้น้ำตรงกับภาษาอังกฤษว่า Aquatic Plant, Water Plant หรือ Hydrophyte หมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำโดยที่พืชนั้นอาจจะจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมด หรือใล่บางส่วน ขึ้นมาอยู่เหนือน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ หรือเป็นพืชที่ขึ้นอยู่ตามริมน้ำหรือชายตลิ่ง นอกจากนี้ยังรวมถึงพวกที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่ลุ่มน้ำขังและอีกด้วย

ขนาดของพืชน้ำมีตั้งแต่เล็กมากจนต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microphytes) ไปจนถึงขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Macrophytes) พืชน้ำมีการเจริญเติบโตในแหล่งน้ำแตกต่างกัน โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของพืชน้ำตามลักษณะแหล่งที่อยู่เป็น 4 ประเภทดังนี้ (กรมประมง. กองประมงน้ำจืด, 2538: 1 – 3; สุชาติ ศรีเพ็ญ, 2542: 8 – 10)

#### 2.5.1.1 พืชใต้น้ำ (Submerged Plants)

เป็นพืชน้ำที่มีส่วนของราก ลำต้น และใบอยู่ใต้น้ำทั้งหมด อาจมีรากยึดกับพื้นดินใต้น้ำหรือไม่ก็ได้ บางชนิดเมื่อเจริญเต็มที่ก็จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ พืชใต้น้ำมีประโยชน์มากเพราะจะคายก๊าซออกซิเจนให้กับน้ำโดยตรง ขณะเดียวกันก็จะดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของสัตว์น้ำทำให้แหล่งน้ำอยู่ในสภาพสมดุล ตัวอย่างพืชประเภทนี้ ได้แก่ สาหร่ายและสันตะวาชนิดต่าง ๆ

#### 2.5.1.2 พืชใล่เหนือน้ำ (Emerged Plants)

พืชน้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและใล่เหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนของใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ บางชนิดพบว่าที่โคนต้นมีเนื้อเยื่อโปร่ง ๆ สีขาว เรียกว่า Aerenchymatous Tissue ทำหน้าที่เก็บสะสมอากาศไว้เพื่อช่วยในการหายใจ ตัวอย่างพืชประเภทนี้ ได้แก่ บัวต่าง ๆ และกกบางชนิด เป็นต้น

#### 2.5.1.3 พืชลอยน้ำ (Floating Plants)

พืชน้ำประเภทนี้จะมีการเจริญเติบโตลอยอยู่ระดับผิวน้ำ มีรากห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำ ส่วนของลำต้น ใบ และดอก จะเจริญเติบโตที่เหนือน้ำ ถ้าอยู่ในน้ำตื้นรากอาจจะหยั่งยึด

พื้นดินได้น้ำก็ได้ พืชลอยน้ำขนาดเล็กมักลอยตัวได้อย่างอิสระ เช่น พวกแหนต่าง ๆ ส่วนพวกที่มีขนาดใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นท่อนเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ผักตบชวา มีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นท่อน ผักบุ้งมีส่วนลำต้นภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ช่วยให้ลำต้นลอยทอดตัวไปบนผิวน้ำได้ดี เป็นต้น

#### 2.5.1.4 พืชชายน้ำ (Marginal Plants)

พืชน้ำประเภทนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง หนองน้ำหรือทะเลสาบ โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดิน และส่งลำต้นบางส่วน ใบและดอกขึ้นมาเหนือน้ำ เช่น ผักเป็ดน้ำและหญ้าต่าง ๆ พืชน้ำประเภทนี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับพวกพืชใต้อ่อนน้ำมากจนบางครั้งไม่สามารถแยกได้ชัดเจน ซึ่งพืชบางอย่างพบว่าจำแนกเป็นได้ทั้งพืชใต้อ่อนน้ำและพืชชายน้ำ เช่น ต้นกกบางชนิด เป็นต้น

### 2.5.2 หลักการการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ

จากการจำแนกระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติเป็น 3 ระบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าพืชน้ำมีส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสียใน 2 ระบบ คือ ระบบบึงประดิษฐ์และระบบพืชลอยน้ำ Tchobanoglous (1987: 28) ได้เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไปกับหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำไว้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไปจะทำการบำบัดน้ำเสียอย่างรวดเร็ว โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือ และการควบคุมระบบที่ซับซ้อน ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำจะทำการบำบัดน้ำเสียอย่างช้า ๆ ให้เป็นไปโดยธรรมชาติ และไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์เครื่องมือและการควบคุมระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนแต่ประการใด

กระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้พืชน้ำเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปฏิกิริยาทางชีววิทยา ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์-เคมี และลักษณะของพืชน้ำที่นำมาใช้ ซึ่งในแต่ละระบบอาจมีการปลูกพืชชนิดเดียวกัน (Monoculture) หรือมากกว่าหนึ่งชนิด (Polyculture) ก็ได้ รากของพืชน้ำจะทำหน้าที่เสมือนเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียเพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ การทำงานของแบคทีเรียจะทำให้ปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ (Total Suspended Solid) และค่าบีโอดี (BOD) ลดลง นอกจากนี้พืชน้ำยังมีหน้าที่ช่วยในการดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) มาเก็บสะสมไว้ในตัวเอง (พัฒน์ จันทร์โรทัย, 2536: 155)

Stowell et al. (1981: 919 – 940 อ้างถึงใน ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 24) ศึกษาการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย ได้สรุปหลักการทำงานของแต่ละส่วนของพืชน้ำแยกเป็นส่วนของพืชที่อยู่ในน้ำและส่วนของพืชที่อยู่เหนือน้ำ ดังนี้

1. ราก ก้าน หรือลำต้นที่อยู่ในน้ำ จะทำหน้าที่ดูดซับ (Up Take) สารพิษและสารอาหาร เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่และเจริญเติบโต เป็นตัวกลางในการกรอง (Filtration) และดูดซับ (Absorption) ตะกอนและของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยลดความเข้มข้นของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำ

2. ก้าน ลำต้น หรือใบที่อยู่เหนือน้ำ จะช่วยลดผลกระทบของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา และทำให้การส่งผ่าน (Transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

สำหรับคุณสมบัติของพืชน้ำที่เหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย พัฒนิจันทรโรทัย (2536: 155 – 156) ได้ให้ข้อสังเกตในการเลือกใช้พืชน้ำในการปรับปรุงคุณภาพน้ำไว้ 7 ข้อ ดังนี้

1. สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป และจะต้องเป็นพืชที่ทนต่ออากาศเย็นได้ดี

2. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงและเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งปริมาณสารอาหารในน้ำที่พืชนำไปใช้นั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกับอัตราการเจริญเติบโตของพืชและองค์ประกอบภายในเนื้อเยื่อพืช

3. มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยพืชน้ำบางชนิด เช่น ผักตบชวาสามารถส่งผ่านออกซิเจนลงมาตามใบ ลำต้น และราก ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ส่งผ่านมานี้บางส่วนรากจะนำไปใช้ในการหายใจ ในขณะที่ออกซิเจนส่วนที่เหลือจะส่งผ่านลงไปที่ชั้นน้ำและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

4. สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้าง

5. มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้ พืชน้ำหลายชนิดสามารถดูดซึมเอาปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำได้ในปริมาณที่มากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณสารอาหารที่พืชดูดไปใช้จะสัมพันธ์โดยตรงกับชีวมวลของพืช พืชที่มีชีวมวลต่อหน่วยพื้นที่มากย่อมมีโอกาสที่จะเก็บสะสมปริมาณสารอาหารไว้ได้มาก อย่างไรก็ตามสารอาหารที่พืชดูดไปนั้นจะอยู่ในเนื้อเยื่อพืชเพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อพืชนั้นตายลงสารอาหารเหล่านั้นก็จะกลับคืนสู่แหล่งน้ำ

6. มีความทนทานต่อโรคและแมลงต่าง ๆ ได้ดี



7. ต้องง่ายต่อการจัดการโดยเฉพาะการนำพืชน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียเนื่องจากพืชน้ำจะสามารถลดปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำให้ได้ผลดีที่สุดนั้น จะต้องมีการนำพืชน้ำนั้นออกจากระบบบ้าง เพื่อไม่ให้พืชน้ำอยู่กันหนาแน่นเกินไปจนเกิดความเครียด

พืชน้ำที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ผักตบชวา ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ผักตบชวามีความสามารถในการลดปริมาณบีโอดี (BOD) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) โลหะต่าง ๆ และไนโตรเจนได้ในปริมาณมาก ปริมาณบีโอดีลดลงจากการที่สารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่รากและส่วนต่าง ๆ ของพืช ของแข็งแขวนลอยลดลงจากการตกตะกอนและส่วนหนึ่งไปยึดติดอยู่กับรากพืช โลหะต่าง ๆ จะลดลงจากการถูกดูดซับโดยพืช ส่วนไนโตรเจนจะลดลงจากการถูกดูดซับโดยพืช จากการระเหย และจากการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ (Reed et al., 1995: 137 – 142)

### 2.5.3 การใช้งานระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำในประเทศไทย

การใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียในประเทศไทยมีการทดลองอย่างต่อเนื่อง และมีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในหลายพื้นที่ เช่น ที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งเริ่มดำเนินโครงการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 มีการทดลองใช้พืชน้ำประเภทพืชโผล่เหนือน้ำ (Emerged Plants) ได้แก่ ฐปฤาชีและกกกลม บำบัดน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยทดลองทำเป็นแปลงที่มีขนาดและรูปแบบการบำบัดที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองโดยใช้แปลงขนาด 5 x 100 เมตร เติมน้ำเสียระดับความสูง 30 เซนติเมตร โดยปล่อยน้ำในลักษณะต่อเนื่องแบบไหลล้น พบว่า พืชน้ำสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเมื่อระยะทางยาวขึ้น กล่าวคือ ที่ระยะทาง 80 เมตร จากหัวแปลงก็สามารถบำบัดน้ำเสียได้ แต่ที่ระยะทาง 100 เมตร จะยังบำบัดได้ดีขึ้น ซึ่งผลการวิจัยจากสถานีวิจัยแหลมผักเบี้ยมีการเผยแพร่ไปยังภูมิภาคต่าง ๆ โดยสร้างเป็นแปลงสาธิตและฝึกอบรมนักปฏิบัติการณ์ที่ศูนย์ย่อยในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2544: 33 – 38)

ส่วนพืชน้ำประเภทพืชลอยน้ำ (Floating Plants) ที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ผักตบชวา ตัวอย่างโครงการ เช่น โครงการบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสัน มีการนำผักตบชวาไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โครงการนี้เป็นโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในปี พ.ศ. 2528 โดยให้หน่วยงานต่าง ๆ ร่วมกันปรับปรุงบึงมักกะสัน บึงมักกะสันเป็นบึงที่การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ขุดขึ้นในปี พ.ศ. 2474 อยู่ใจกลาง

กรุงเทพมหานคร มีความลึก 15 เมตร กว้าง 60 เมตร ยาว 2,380 เมตร มีเนื้อที่ผิวน้ำรวมประมาณ 92 ไร่ โดยระบบบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสันเป็นระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) ใส่ผักตบชวาเข้าไปเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสารอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียที่มาจากคลองสามเสน ดูแลระบบโดยการเก็บเกี่ยวผักตบชวาออกทุก 10 สัปดาห์ เพื่อไม่ให้มีปริมาณที่หนาแน่นจนเกินไป ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียได้วันละ 30,000 – 100,000 ลูกบาศก์เมตร สามารถลดค่าบีโอดี (BOD) ได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 51 และสามารถกำจัด Total Coliform แบคทีเรีย และ Fecal Coliform แบคทีเรียเฉลี่ยร้อยละ 90 และ 89 ตามลำดับ ต่อมา เมื่อมีโครงการก่อสร้างทางด่วนมหานครชั้น 2 ระยะที่ 1 ผ่านบึงมักกะสันในปี พ.ศ. 2533 ทำให้น้ำในบึงไม่ถูกแสงแดดจึงได้มีการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสันด้วยการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบทุ่นลอยขนาด 11 กิโลวัตต์ จำนวน 10 เครื่อง ร่วมกับการใช้ผักตบชวา ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้เพิ่มขึ้นเป็นวันละ 260,000 ลูกบาศก์เมตร (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2540: 109 – 114)

นอกจากนี้ น้ำเสียจากเทศบาลหลายแห่งในประเทศไทยมีการนำพืชน้ำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System) ได้แก่ เทศบาลเมืองสกลนคร เทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นต้น ได้สร้างระบบบึงประดิษฐ์เพื่อรับน้ำหลังจากผ่านการบำบัดในบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ กก แฉก กล้วยาชี และพืชลอยน้ำขนาดเล็ก เช่น สาหร่าย จอก แหน เป็นต้น โดยเทศบาลเมืองสกลนครได้สร้างระบบบึงประดิษฐ์ที่สามารถรองรับน้ำเสียได้ 16,200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์ 184.5 ไร่ ส่วนเทศบาลนครหาดใหญ่ได้สร้างระบบบึงประดิษฐ์ที่สามารถรองรับน้ำเสียได้ 138,600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์ 515 ไร่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545: 77 – 85)

## 2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ผักกระเจต

ธงชัย ภู่วชิรานนท์ (2526: บทคัดย่อ) ศึกษาการสะสมตะกั่วในผักบุ้งและผักกระเจตจากแหล่งน้ำผิวดิน โดยทดลองปลูกผักบุ้งและผักกระเจตในสารละลายไฮโดรโปนิค (Hydroponic Solution) ที่มีความเข้มข้นตะกั่วต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 5 และ 10 พีพีเอ็ม พบว่า การสะสมของตะกั่วในผักทั้ง 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายไฮโดรโปนิค และอายุพืช โดยผักกระเจตจะมีการสะสมของตะกั่วมากกว่าผักบุ้งในสภาวะเดียวกัน

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชกับสารอาหารในบึงผักกะสัน โดยศึกษาพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเจต และผักตบชวา พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิดนั้นใกล้เคียงกัน ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารคิดเป็นร้อยละในน้ำหนักแห้งของผักบุ้ง พบว่า มีโพแทสเซียม ไนโตรเจน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 4.403, 3.589, 0.865, 0.544 และ 0.201 ตามลำดับ ในผักกระเจตเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 2.002, 3.585, 1.054, 0.442 และ 0.176 ตามลำดับ และในผักตบชวาเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 4.750, 2.280, 1.133, 0.633 และ 0.246 ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับโลหะหนักคิดเป็นไมโครกรัมต่อกรัมในน้ำหนักแห้ง พบว่า มีเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคลเซียมในผักบุ้งเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 908.34, 202.36, 86.38, 21.48 และ 0.74 ตามลำดับ ในผักกระเจตเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 1,160.27, 288.51, 111.70, 32.40, 16.15 และ 0.64 ตามลำดับ และในผักตบชวาเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 1,212.10, 415.68, 148.58, 30.63, 16.12 และ 0.69 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่าพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำได้ดีและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในบึงผักกะสัน

จิตติมา วสุสิน (2539: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย โดยศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักกระเจต จอก และผักตบชวา น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียซึ่งยังไม่ผ่านการบำบัดใด ๆ เลยจากศูนย์ศาลายา การศึกษาใช้ปอดต้นแบบขนาดเล็กโดยให้มีระยะเวลาเก็บน้ำทิ้ง 15 วัน ทำการปลูกพืชให้เต็มพื้นที่ผิวน้ำทั้ง 3 ชนิด ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาก็จะมีการเก็บเกี่ยวออกเป็นระยะ ๆ ผล

การศึกษา พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด ส่วนจอกและผักกระเฉดก็สามารถที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้เช่นเดียวกันแต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า

ธนิยา เกาศล (2545: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และผักตบชวา พบว่า มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชนิด และค่าตัวแปรจากการบำบัดส่วนใหญ่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ซึ่งจากผลการศึกษาลงพบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด มีความเหมาะสมในการนำมาบำบัดน้ำเสีย โดยผักบุ้งและผักตบชวามีความคงทนและดูแลรักษาง่าย และผักตบชวาสามารถปลูกให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำได้ง่ายกว่าพืชอีก 2 ชนิด

ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด โดยทดลองใช้ระดับชีวมวลผักกระเฉดที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ฟอสฟอรัสรวม และตะกอนแขวนลอย มีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลและระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น โดยที่ระดับชีวมวลผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน จะสามารถบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งได้มากกว่าผักกระเฉดในทุก ๆ ระดับ สำหรับระดับชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่ 0.2 กิโลกรัม จะมีชีวมวลเพิ่มขึ้น ส่วนที่ระดับชีวมวลอื่น ๆ มีชีวมวลลดลง ซึ่งจากผลการศึกษาลงพบว่า การใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืดมีความเป็นไปได้ แต่ต้องมีระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับปริมาณน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อกัน

## 2.6.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำอื่น ๆ

เพลินจิต ทมทิตขงศ์, สุนธิ ศษวัฒน์ และศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช (2530: 1 – 13) ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวา ในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภทสังกะสีและทองเหลือง ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 ในระยะเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า ผักตบชวาที่เลี้ยงไว้ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 100 และ 75 ตายภายใน 1 สัปดาห์ ส่วนผักตบชวาที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 50 ตายภายใน 2 สัปดาห์ กลุ่มที่สามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ครบเวลา 3 สัปดาห์ คือ กลุ่มที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นน้ำทิ้งร้อยละ 25 ที่ระดับความเข้มข้นนี้มี

ปริมาณเริ่มต้นของแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว เท่ากับ 0.33, 2.53 และ 1.12 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ผักตบชวาสามารถกำจัดแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วเมื่อสิ้นสัปดาห์แรกได้ร้อยละ 24.42, 17.39 และ 25.00 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่สองสามารถกำจัดได้ร้อยละ 36.36, 39.13 และ 43.75 ตามลำดับ และเมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์สามารถกำจัดได้ร้อยละ 42.44, 44.27 และ 48.21 ตามลำดับ หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของผักตบชวาจะต่ำลงมาก ซึ่งผลจากการศึกษาสรุปว่า มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำผักตบชวาไปใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยก่อนนำไปใช้ควรทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความทนทานของผักตบชวาที่มีต่อปริมาณโลหะหนักและสารมลพิษอื่น ๆ ของโรงงานนั้นเสียก่อน

กิตติ เอกอำพล และลำอาง หอมชื่น (2530: 14 – 15) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกล่มและผักตบชวาในเวลา 1 เดือน พบว่า ผักตบชวาสามารถลดค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ของแ่งแขวนลอยรวม ฟอสเฟต และสีของน้ำเสียได้เฉพาะภายในช่วง 20 วันนับจากเริ่มปลูกลงในน้ำเสีย ส่วนกกกล่มสามารถลดค่าทั้ง 5 นี้ได้ตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทำการศึกษา นอกจากนี้พืชน้ำทั้ง 2 ชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติในการรักษาระดับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าคงที่อยู่ที่ระดับใกล้เคียง 7 ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่า กกกล่มมีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้เป็นพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีคุณค่าทางเศรษฐกิจและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ดี

มุกดา สุขสมาน (2532: บทคัดย่อ) ศึกษาการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่านรังสิต โดยใช้ผักตบชวา รุกฤาษี และสาหร่าย ใช้ระยะเวลาในการบำบัด 8 สัปดาห์ พบว่า รุกฤาษีมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการใช้บำบัดน้ำเสีย ส่วนพืชชนิดอื่น ๆ จะมีประสิทธิภาพด้อยลงอันเนื่องจากซากที่ตายลงและเน่าเปื่อยในน้ำทำให้น้ำมีคุณภาพต่ำลง โดยรุกฤาษีมีชีวิตรอดการทดลองในระยะเวลา 8 สัปดาห์ ส่วนผักตบชวาและสาหร่ายจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระยะสัปดาห์แรก ๆ จากนั้นจะเริ่มตายในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

บุญส่ง ไชเกษ (2535: บทคัดย่อ) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนการเคหะแห่งชาติด้วยพืชน้ำ โดยศึกษาพืชน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวา จอก และแหน ทดลองในภาคสนามที่ชุมชนการเคหะนครหลวง จังหวัดสมุทรปราการ จากการศึกษา พบว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีความเหมาะสมในการใช้บำบัดน้ำเสียมากกว่าจอกและแหน และเสนอแนะว่า หากจะทำการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนการเคหะให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ควรจะใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบบ่อบำบัดผักตบชวา

ปกรณัม ประดิษฐ์ทอง (2540: บทคัดย่อ) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี ธาตุอาหารพืชที่ศึกษา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล โดยจำลองลักษณะพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ ใช้พืช 2 ชนิด คือ กกกลมและธูปฤาษี ใช้ช่วงเวลาการขังน้ำในแปลง 3, 5 และ 7 วัน สลับกับการระบายน้ำออกให้แห้ง 3 วัน ทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และพืชจากแปลงทดลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียในแปลงทดลองตลอดระยะเวลา 90 วัน พบว่า ธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในน้ำที่ออกจากแปลงมีปริมาณลดลง ธาตุอาหารส่วนที่ลดลงนั้นพบสะสมอยู่ในดินและพืช แต่โลหะหนักที่ลดลงพบสะสมอยู่เฉพาะในพืชเท่านั้น ช่วงเวลาการขังน้ำ 7 วัน สามารถทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนในดินได้สูงที่สุด ส่วนช่วงเวลาการขังน้ำ 3 วัน สามารถทำให้เกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินได้สูงที่สุด และไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมและโลหะหนักระหว่างช่วงเวลาการขังน้ำและชนิดพืชที่ต่างกัน ธูปฤาษีสามารถทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินได้ดีกว่า กกกลม และการปลูกพืชทำให้เกิดการสะสมของธาตุอาหารพืชในดินมากกว่าไม่ปลูกพืช ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าว ควรเลือกใช้ช่วงเวลาการขังน้ำ 3 วัน เนื่องจากสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในปริมาณมากโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่า และควรเลือกพืชชนิดกกกลมเนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงกว่าธูปฤาษี

สุชาติ ศรีเพ็ญ และคณะ (2542: 26 – 1 – 26 – 9) ศึกษาความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักของกกกลมและธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ธาตุอาหารที่ศึกษา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ทองแดง สังกะสี และโลหะหนักที่ศึกษา ได้แก่ ตะกั่วปรอท แคดเมียม ผลการศึกษา พบว่าความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของทั้งกกกลมและธูปฤาษีสามารถดูดซับได้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นส่วนรากของธูปฤาษีสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้ดีกว่าส่วนรากของกกกลม ส่วนความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก ส่วนรากและส่วนต้นของกกกลมสามารถดูดซับปรอท แคดเมียม และตะกั่ว ได้ดีกว่าส่วนรากและส่วนต้นของธูปฤาษี ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าว กกกลมและธูปฤาษีน่าจะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ และถ้าในบริเวณที่มีโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำเสีย การปลูกกกกลมจะเหมาะสมกว่าการปลูกธูปฤาษี

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุก่อสร้างโรงเรือนทดลอง ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริม เหล็กรูปพรรณ เชือก พลาสติก ลวดตาข่าย พลาสติกมุงหลังคา

3.1.2 ผักกระเฉด (Water Mimosa : *Neptunia oleracea* Lour.)

3.1.3 ภาชนะทดลอง ทำด้วยพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 66 เซนติเมตร และความสูง 26 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 70 ลิตร จำนวน 20 ใบ

3.1.4 น้ำกากส่าจากโรงงานสุรา

3.1.5 ภาชนะบรรจุน้ำกากส่าจากโรงงานสุราเพื่อขนย้ายมาสถานที่ทดลอง

3.1.6 เครื่องชั่ง ขนาด 2 กิโลกรัม

3.1.7 เครื่องชั่ง ขนาด 60 กิโลกรัม

3.1.8 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (Digital Camera)

3.1.9 ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุตัวอย่างน้ำ

3.1.10 กล้องไฟ

3.1.11 กระบอกตวงปริมาตรน้ำ

#### 3.2 วิธีการศึกษา

ทดลองนำบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าโดยใช้ผักกระเฉดในโรงเรือนทดลอง ทำการทดลองในภาชนะพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 66 เซนติเมตร และความสูง 26 เซนติเมตร ชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง คือ 0.2 กิโลกรัม ซึ่งจากการทดลองของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: บทคัดย่อ) พบว่า ที่ชีวมวลเริ่มต้น 0.2 กิโลกรัม เป็นชีวมวลที่มี

ความเหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ปริมาณน้ำ 50 ลิตร น้ำกากส่าที่ใช้ในการบำบัดเป็นน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา บริษัท ยูนิเท็ดไวน์เนอรี่ แอนด์ ดิสทิลเลอรี จำกัด ตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

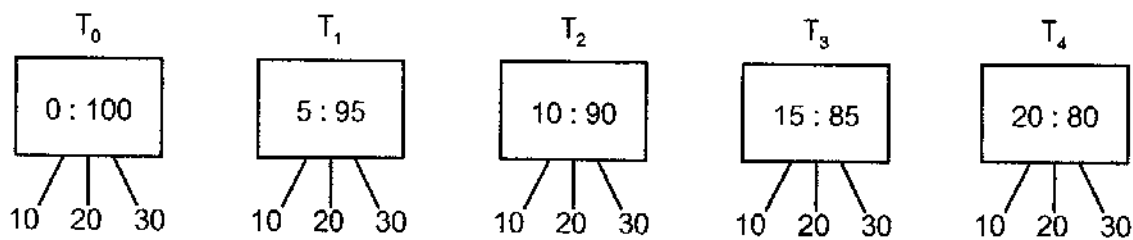
### 3.2.1 แผนการทดลอง

#### 3.2.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำและชีวมวลของผักกระเฉด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยวางรูปแบบการทดลองแบบ  $5 \times 3$  Factorial Arrangement ตามภาพที่ 3.1 จำนวน 4 ซ้ำ (Replications) โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า แบ่งเป็น 5 ระดับ มีอัตราส่วนน้ำกากส่า : น้ำสะอาด คือ 0 : 100 5 : 95 10 : 90 15 : 85 และ 20 : 80

ปัจจัยที่ 2 : ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 10, 20 และ 30 วัน



ภาพที่ 3.1 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและชีวมวลของผักกระเฉด

#### 3.2.1.2 หน่วยทดลอง (Experimental Units)

การทดลองครั้งนี้จะมี 5 หน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับวิธีการปฏิบัติหรือทรีทเมนต์ (Treatment) คือ ความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน ซึ่งระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าคิดเป็นอัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อน้ำสะอาดของแต่ละหน่วยทดลองมีดังนี้

- หน่วยทดลองที่ 1 อัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อน้ำสะอาด คือ 0 : 100 ( $T_0$ )
- หน่วยทดลองที่ 2 อัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อน้ำสะอาด คือ 5 : 95 ( $T_1$ )
- หน่วยทดลองที่ 3 อัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อน้ำสะอาด คือ 10 : 90 ( $T_2$ )
- หน่วยทดลองที่ 4 อัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อน้ำสะอาด คือ 15 : 85 ( $T_3$ )
- หน่วยทดลองที่ 5 อัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อน้ำสะอาด คือ 20 : 80 ( $T_4$ )



### 3.2.2 การเตรียมน้ำกากสาและผักกระเจต

#### 3.2.2.1 การเตรียมน้ำกากสา

น้ำกากส่าที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา บริษัท ยูโน-เด็ตไวน์เนอรี แอนด์ ดิสทิลเลอรี จำกัด ตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยนำน้ำกากส่ามาจากบ่อเก็บกักน้ำกากส่า (Storage Lagoon) ของโรงงาน นำมาผสมกับน้ำสะอาด เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามอัตราส่วนของแต่ละหน่วยทดลอง

น้ำสะอาดที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาของหมู่บ้านในตำบลปอสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี (เป็นน้ำประปาที่สูบมาจากบ่อน้ำบาดาล)

น้ำสะอาดและน้ำกากส่าที่นำมาใช้ในการทดลองส่วนหนึ่งจะสุ่มตัวอย่างและนำส่งห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

1. วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และทีเคเอ็น (TKN)

2. วิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb)

และนำส่งห้องปฏิบัติการ แผนกวิทยาศาสตร์ บริษัท ยูโนเด็ตไวน์เนอรี แอนด์ ดิสทิลเลอรี จำกัด เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช (pH) บีโอดี (BOD) และซีโอดี (COD)

#### 3.2.2.2 การเตรียมผักกระเจต

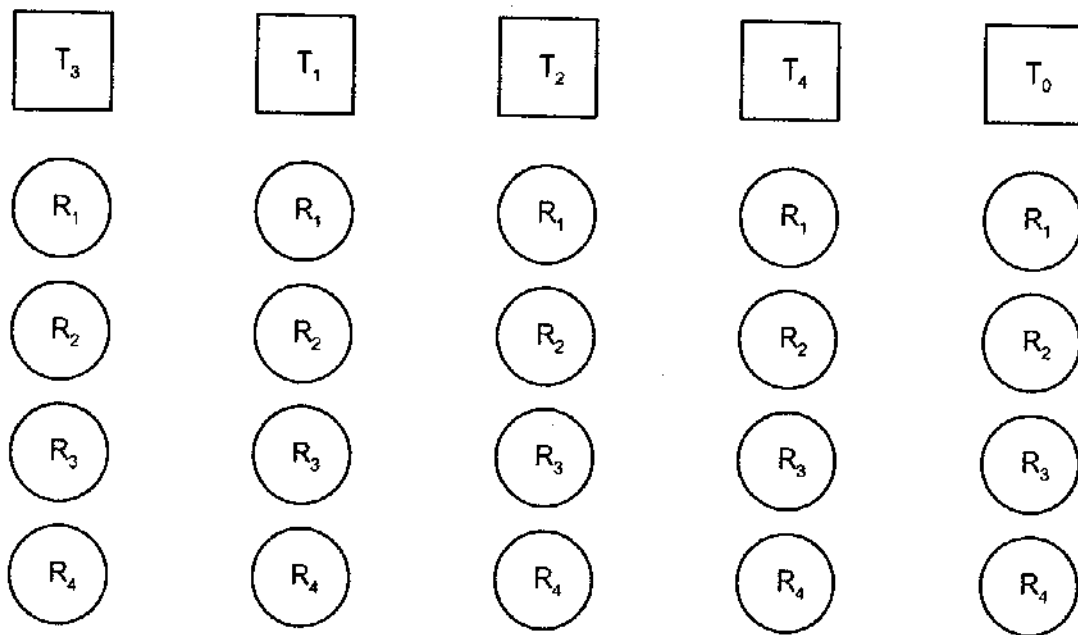
ผักกระเจตที่ใช้ในการทดลองซื้อมาจากแปลงผักกระเจตที่ปลูกแบบให้ผักเกาะบนท่อน ในอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี แล้วนำมาเลี้ยงไว้ในร่อนน้ำก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ผักกระเจตได้ฟื้นตัวจากการขนย้าย จากนั้นสุ่มตัวอย่างเลือกผักกระเจตนำส่งภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม เพื่อวิเคราะห์ค่าทีเคเอ็น (TKN) สำหรับผักกระเจตที่เหลือจากการสุ่มจะนำมาใช้ในการทดลอง โดยชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเจตที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง คือ 0.2 กิโลกรัม

### 3.2.3 การเตรียมโรงเรือนทดลอง

สร้างโรงเรือนทดลองขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 4.00 x 6.00 x 2.80 เมตร เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก หลังคาโรงเรือนมุงด้วยพลาสติกใสและตาข่ายสีดำ ด้านข้างทั้ง 4 ด้าน กันด้วยลวดตาข่ายสูงจากพื้น 90 เซนติเมตร ส่วนพื้นเป็นพื้นปูนซีเมนต์

### 3.2.4 การทดลอง

3.2.4.1 จับสลากลำดับเพื่อจัดเรียงผักกระเฉดเข้ากับหน่วยทดลองในโรงเรือนทดลอง ลำดับของการเรียงหน่วยทดลองจากการสุ่มตามภาพที่ 3.2 โดยทำการทดลองในภาชนะพลาสติกสี่ด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 66 เซนติเมตร สูง 26 เซนติเมตร จำนวนหน่วยทดลองละ 4 ใบ รวม 20 ใบ ระยะห่างระหว่างภาชนะแต่ละหน่วยทดลอง คือ 30 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างภาชนะภายในหน่วยทดลอง คือ 2 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการจัดเรียงหน่วยทดลองในโรงเรือนทดลอง

3.2.4.2 เติมน้ำจากสาลงไปผสมกับน้ำสะอาดในภาชนะให้ได้ปริมาตร 50 ลิตร ตามอัตราส่วนที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง คือ

- $T_0$  น้ำจากส่า 0 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 50 ลิตร
- $T_1$  น้ำจากส่า 2.5 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 47.5 ลิตร
- $T_2$  น้ำจากส่า 5 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 45 ลิตร
- $T_3$  น้ำจากส่า 7.5 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 42.5 ลิตร
- $T_4$  น้ำจากส่า 10 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 40 ลิตร

3.2.4.3 ชั่งน้ำหนักผักกระเฉดด้วยเครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม โดยชั่งมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดในแต่ละหน่วยทดลอง คือ 0.2 กิโลกรัม จากนั้นนำผักกระเฉดใส่ลงในภาชนะของแต่ละหน่วยทดลอง

3.2.4.4 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จะเก็บหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ ในทุกหน่วยทดลอง โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเวลา 8.00 นาฬิกา ทุกครั้ง ตัวอย่างน้ำจะบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกขนาด 2 ลิตร โดยในแต่ละหน่วยทดลองจะนำน้ำจากทั้ง 4 ขั้ว ๆ ละ 1 ลิตร รวมเป็น 4 ลิตร นำมาผสมรวมกันแล้วบรรจุใส่ภาชนะบรรจุตัวอย่างจำนวน 2 ใบ จากนั้นจะนำภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำแช่ไว้ในกล่องโฟมซึ่งภายในกล่องโฟมจะใส่น้ำแข็งเพื่อแช่เย็นตัวอย่างน้ำและนำส่งตรวจวิเคราะห์ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จำนวนหน่วยทดลองละ 1 ใบ และที่บริษัท ยูนิเทคไวน์เนอร์ แอนด์ ดิสทิลเลอรี จำกัด จำนวนหน่วยทดลองละ 1 ใบ

3.2.4.5 การเก็บตัวอย่างผักกระเฉดและตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาดุลไนโตรเจน (N-balance) จะทำการเก็บตัวอย่างผักกระเฉดและน้ำในทุกหน่วยทดลองก่อนทำการทดลองและหลังจากทำการทดลองครบ 30 วัน ส่งไปที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม เพื่อตรวจวิเคราะห์ค่าที่เคเอ็น แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำและในผักกระเฉดก่อนการทดลองและหลังสิ้นสุดการทดลอง (ตัวอย่างของผักกระเฉดและน้ำภายหลังการทดลองครบ 30 วัน จะต้องมีการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำและในผักกระเฉดหลังสิ้นสุดการทดลอง)

3.2.4.6 การหาชีวมวลของผักกระเฉด นำผักกระเฉดจากทุกหน่วยทดลองมาชั่งน้ำหนักเปียกหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ โดยนำผักกระเฉดแขวนให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำกลับไปไว้ในภาชนะทดลองตามเดิม โดยการชั่งน้ำหนักผักกระเฉดจะทำหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำแล้ว

3.2.4.7 หากผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำากสา ก่อนการทดลองพบว่า มีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามตารางที่ 3.1 ก็จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำของแต่ละหน่วยทดลองภายหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในผักกระเฉดภายหลังจากทำการทดลองครบ 30 วัน ในทุกหน่วยทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

| พารามิเตอร์   | ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร) |
|---------------|-----------------------------|
| ปรอท (Hg)     | ไม่เกิน 0.005               |
| แคดเมียม (Cd) | ไม่เกิน 0.03                |
| ตะกั่ว (Pb)   | ไม่เกิน 0.2                 |

แหล่งที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37.

### 3.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและผักกระเฉด

ตัวอย่างน้ำจากการทดลองจะส่งตรวจวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) ทีเคเอ็น (TKN) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) และส่งตรวจวิเคราะห์ที่แผนกวิทยาศาสตร์ บริษัท ยูนิटेคไวน์เนอร์ แอนด์ ดิสทิลเลอร์ จำกัด เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) บีโอดี (BOD) และซีโอดี (COD) ส่วนตัวอย่างผักกระเฉดจากการทดลองจะส่งวิเคราะห์ทีเคเอ็น (TKN) ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและผักกระเฉดที่นำส่งตรวจวิเคราะห์ตั้งแต่ในขั้นตอนการเตรียมน้ำกากส่าและผักกระเฉดจนถึงสิ้นสุดการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์ก่อนทำการทดลอง

| ตัวอย่างที่วิเคราะห์ | ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์                  |
|----------------------|---------------------------------------------|
| น้ำสะอาด             | - pH, TDS, SS, BOD, COD และ TKN             |
| น้ำกากส่า            | - pH, TDS, SS, BOD, COD, TKN, Cd, Hg และ Pb |
| ผักกระเฉด            | - TKN                                       |

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์หลังทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน

| หน่วย<br>ทดลอง | ระยะเวลาทดลองและค่าที่วิเคราะห์          |                                          |                                                               |
|----------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                | 10 วัน                                   | 20 วัน                                   | 30 วัน                                                        |
| $T_0 - T_4$    | - pH, TDS, SS, BOD,<br>COD และ TKN (น้ำ) | - pH, TDS, SS, BOD,<br>COD และ TKN (น้ำ) | - pH, TDS, SS, BOD,<br>COD และ TKN (น้ำ)<br>- TKN (ผักกระเจต) |

#### 3.2.5.1 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในน้ำ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในน้ำจะใช้ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA, AWWA และ WEF ร่วมกันกำหนด ตามตารางที่ 3.4

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในน้ำได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ก (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540: 132 – 137; กรรณิการั สิริสิงห, 2544: 251 – 255; มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2546: 2/3 – 18/5)

ตารางที่ 3.4 วิธีการตรวจวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำที่ใช้ทดลอง

| พารามิเตอร์              | วิธีวิเคราะห์                                                                     |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. พีเอช (pH)            | - Electrometric Method                                                            |
| 2. ของแข็งละลายน้ำ (TDS) | - Dried at 180 °C                                                                 |
| 3. ของแข็งแขวนลอย (SS)   | - Dried at 103 – 105 °C                                                           |
| 4. บีโอดี (BOD)          | - 5 – Days BOD Test                                                               |
| 5. ซีโอดี (COD)          | - Close Reflux, Titrimetric Method                                                |
| 6. ทีเคเอ็น (TKN)        | - Kjeldahl Method, Titrimetric Method                                             |
| 7.ปรอท (Hg)              | - Cold – vapor Atomic Absorption Spectrometric Method                             |
| 8. แคดเมียม (Cd)         | - Atomic Absorption Spectrometric Method<br>(Direct Air – acetylene Flame Method) |
| 9. ตะกั่ว (Pb)           | - Atomic Absorption Spectrometric Method<br>(Direct Air – acetylene Flame Method) |

แหล่งที่มา: APHA, AWWA and WEF, 1998: 2 – 56 – 5 – 14.

#### 3.2.5.2 วิธีการวิเคราะห์ทีเคเอ็นในผักกระเฉด

ตัวอย่างผักกระเฉดจากการทดลองจะส่งวิเคราะห์หาค่าทีเคเอ็น (TKN) เพื่อศึกษาดุลไนโตรเจน (N – balance) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทีเคเอ็นในผักกระเฉดจะใช้วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช คือ วิธี Kjeldahl Method ทำได้โดยการนำตัวอย่างพืชมาย่อยสลายด้วยกรดเพื่อเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ในพืชให้เปลี่ยนมาอยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งเป็นรูปที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยการกลั่น (Distillation) เมื่อทำการวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นก็จะได้ค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในพืช

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชอธิบายไว้ในภาคผนวก ข (ศรีสม สุวรรณวงศ์, 2544: 40)

### 3.2.6 การบันทึกข้อมูล

- 3.2.6.1 วันที่เริ่มทำการทดลอง
- 3.2.6.2 คุณภาพน้ำก่อนทำการทดลอง
- 3.2.6.3 ค่าที่เคเอ็นในผักกระเฉดก่อนทำการทดลอง
- 3.2.6.4 ชีวมวลของผักกระเฉดเริ่มต้นของแต่ละหน่วยทดลอง
- 3.2.6.5 คุณภาพน้ำเมื่อทดลองครบ 10 วัน
- 3.2.6.6 ชีวมวลของผักกระเฉดเมื่อทดลองครบ 10 วัน
- 3.2.6.7 คุณภาพน้ำเมื่อทดลองครบ 20 วัน
- 3.2.6.8 ชีวมวลของผักกระเฉดเมื่อทดลองครบ 20 วัน
- 3.2.6.9 คุณภาพน้ำเมื่อทดลองครบ 30 วัน
- 3.2.6.10 ชีวมวลของผักกระเฉดเมื่อทดลองครบ 30 วัน
- 3.2.6.11 ค่าที่เคเอ็นในผักกระเฉดเมื่อทดลองครบ 30 วัน
- 3.2.6.12 ปริมาตรของน้ำเมื่อทดลองครบ 30 วัน

### 3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 10.0.7 ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของค่าคุณภาพน้ำและชีวมวลผักกระเฉดในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองโดยใช้สถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

### 3.2.8 ระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเวลา 10 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549 โดยทำการศึกษาในโรงเรือนทดลองที่สร้างขึ้นในอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

### ตารางที่ 3.5 แผนการปฏิบัติงาน

| กิจกรรม                                                               | กำหนดการ (เดือน) |      |      |      |       |       |      |       |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
|                                                                       | พ.ย.             | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. |
|                                                                       | 48               | 48   | 49   | 49   | 49    | 49    | 49   | 49    | 49   | 49   |
| 1. เตรียมงาน/จัดทำโครงร่าง<br>วิทยานิพนธ์/เสนอโครงร่าง<br>วิทยานิพนธ์ |                  |      |      |      |       |       |      |       |      |      |
| 3. ทดลองปลูกผักกระเฉดและ<br>บันทึกข้อมูล                              |                  |      |      |      |       |       |      |       |      |      |
| 4. วิเคราะห์ข้อมูล/สรุปผล<br>การศึกษา                                 |                  |      |      |      |       |       |      |       |      |      |
| 5. พิมพ์เนื้อหา/แก้ไขปรับปรุง<br>เพิ่มเติม                            |                  |      |      |      |       |       |      |       |      |      |
| 6. สอบป้องกันวิทยานิพนธ์/<br>จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์                  |                  |      |      |      |       |       |      |       |      |      |



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปราย

น้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองนำมาจากปอเก็บกักน้ำกากส่าของโรงงานสุรา บริษัท ชูในเต็ดไวน์เนอรี่ แอนด์ ดิสทิลเลอรี่ จำกัด อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งการบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานจะบำบัดโดยใช้ระบบบ่อเก็บกักและลานตาก (Storage Lagoon and Land Application) ส่วนน้ำสะอาดที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาของหมู่บ้านในตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอลองพื้หนอง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาล ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกากส่าและน้ำสะอาดที่นำมาใช้ในการทดลอง รวมทั้งค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) แสดงตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกากส่าและน้ำสะอาดที่นำมาใช้ในการทดลอง

| คุณภาพน้ำ                        | น้ำกากส่า | น้ำสะอาด | ค่ามาตรฐาน       |
|----------------------------------|-----------|----------|------------------|
| พีเอช                            | 8.55      | 7.05     | 5.50 – 9.00      |
| ของแข็งละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) | 31,383.00 | 244.00   | ไม่เกิน 3,000.00 |
| ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)  | 3,380.00  | 0.00     | ไม่เกิน 50.00    |
| บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)          | 6,750.00  | 0.00     | ไม่เกิน 20.00    |
| ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)          | 32,000.00 | 0.00     | ไม่เกิน 120.00   |
| ทีเคเอ็น (มิลลิกรัม/ลิตร)        | 680.59    | 0.00     | ไม่เกิน 100.00   |

การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ผักกระเจตบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

## 4.1 คุณภาพน้ำ

### 4.1.1 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่มีต่อคุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน ค่าที่วิเคราะห์ได้แก่ พีเอช (pH) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และทีเคเอ็น (TKN) โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1.1.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ค่าพีเอชเฉลี่ยจากการทดลอง ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าพีเอชก่อนทำการทดลอง ค่าพีเอชเฉลี่ยจากการทดลอง และค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.1 ค.2 และ ค.3 ตามลำดับ

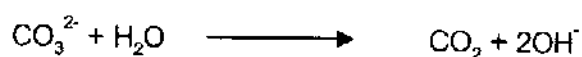
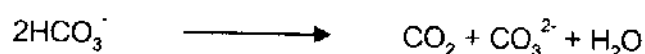
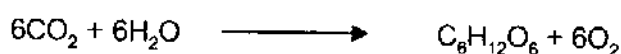
จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.050, 7.125, 7.200, 7.275 และ 7.350 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และค่าพีเอชเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 7.477, 8.323, 8.667, 8.823 และ 8.910 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.427, 1.198, 1.467, 1.548 และ 1.560 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น

ค่าพีเอชของน้ำก่อนการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกากส่ามีค่าพีเอชที่สูงกว่าน้ำ โดยค่าพีเอชของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 7.05 ส่วนค่าพีเอชของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 8.55 เมื่อน้ำปนเปื้อนนํ้ากากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นจึงทำให้มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ก็มีค่าเพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง โดยหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่าจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นสูงกว่า

หน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำากากสาที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองที่มีความเข้มข้นของน้ำากากสาสูงกว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำที่มากกว่าและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับส่วนต่าง ๆ ของผักกระเฉดและที่ปะปนอยู่ในน้ำในปริมาณที่มากกว่า ในน้ำากากสาจะมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2529ค: 6) ซึ่งในโปรตีนจะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 15 – 18 (Sawyer et al., 2003: 274) การย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำจะเกิดเป็นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสภาพต่างในน้ำทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น โดยแอมโมเนียสามารถละลายน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ดังนี้ (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547: 10/13)



สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำากากสาที่สูงมีธาตุอาหารในปริมาณมากและเกิดการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชที่มากกว่า ซึ่งในระยะแรกแพลงค์ตอนพืชจะติดมากับรากผักกระเฉดและค่อย ๆ ขยายจำนวนเพิ่มขึ้นในช่วงที่ทำการทดลอง แพลงค์ตอนพืชจะมีการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์แสงของพืชเป็นกระบวนการที่พืชสีเขียวใช้พลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีโดยมีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เป็นวัตถุดิบ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548: 147) คาร์บอนไดออกไซด์สามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ซึ่งทำให้เกิดสภาพกรดในน้ำ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลงส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น แพลงค์ตอนพืชจะนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมาใช้ซึ่งรวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเน่าสลายของซากผักกระเฉด และหากปริมาณแพลงค์ตอนพืชมีมากขึ้นและมีกระบวนการสังเคราะห์แสงมากขึ้นจนคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำถูกนำมาใช้จนหมด แพลงค์ตอนพืชก็สามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากไบคาร์บอเนตในน้ำ ( $\text{HCO}_3^-$ ) และหากยังไม่เพียงพอก็สามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ในน้ำได้อีก ซึ่งหากในน้ำมีแพลงค์ตอนพืชจำนวนมากพอก็จะสามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้มาใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มากจนกระทั่งพีเอชมีค่าถึงช่วง 10 – 11 ซึ่งเป็นระดับที่แพลงค์ตอนพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำจะเป็นไปตามลำดับดังนี้ (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547: 11/12 – 11/13)



ค่าพีเอชในแต่ละหน่วยทดลองที่เพิ่มขึ้นนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ จิตติมา วสุสิน (2539: 41 – 43) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย ภายในศูนย์ศาลายา ใช้ระยะเวลาการบำบัด 9 สัปดาห์ พบว่า ค่าพีเอชเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 8.43 เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 8.17 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 45) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน พบว่า ค่าพีเอชเฉลี่ยจากการทดลองขัดแย้งกับการศึกษา ในครั้งนี้ โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเริ่มต้น 0.2 กิโลกรัม มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.93 ลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 8.00 ซึ่งผู้ศึกษาได้สันนิษฐานว่า เกิดจากการเน่าสลายของใบผักกระเฉดที่หลุดร่วงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทำให้มีสภาพเป็นกรดเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ทดลองกับน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า แม้ว่าในหน่วยทดลองจะเกิดการเน่าสลายของใบผักกระเฉดทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน แต่อาจเนื่องมาจาก น้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ใช้ทดลองมีปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณมากและถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซึ่งทำให้เกิดสภาพต่าง ประกอบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ เพิ่มขึ้นจากการเน่าสลายของผักกระเฉดส่วนหนึ่งถูกแพลงค์ตอนพืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง จึงส่งผลให้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า ค่าพีเอชของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพิ่มขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่าในหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองนี้ไม่มีปริมาณ สารอินทรีย์ไนโตรเจนที่มาจากน้ำกากส่า แต่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนจากใบผักกระเฉดที่ร่วงหล่น และจากการที่ผักกระเฉดบางส่วนตายลงขณะทำการทดลอง ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์ของพืช เช่น กรดอะมิโน โปรตีน และคลอโรฟิลล์ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548: 136) การย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะเกิดเป็นแอมโมเนีย ทำให้เกิดสภาพต่าง ประกอบกับมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำโดยแพลงค์ตอนพืชในการสังเคราะห์แสง จึงทำให้กลุ่มควบคุมมีค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลาง (ค่าพีเอชเท่ากับ 7) พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นมีค่าพีเอชที่เป็นต่างมากขึ้น โดยมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นในทุก ระดับความเข้มข้นเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่มากขึ้นตาม ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 มีประสิทธิภาพใน การควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางมากที่สุดเนื่องจากมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชต่ำที่สุด คือ มี ค่าเท่ากับ 7.477 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.06 จากค่าพีเอชเริ่มต้นก่อนการทดลอง และหากพิจารณา เฉพาะหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางมากที่สุด โดยมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.81

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานพีเอชอยู่ระหว่าง 5.5 – 9.0 พบว่า ค่าพีเอชที่วิเคราะห์ได้จาก การศึกษาครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระดับความเข้มข้นทั้งก่อนและหลังการทดลอง

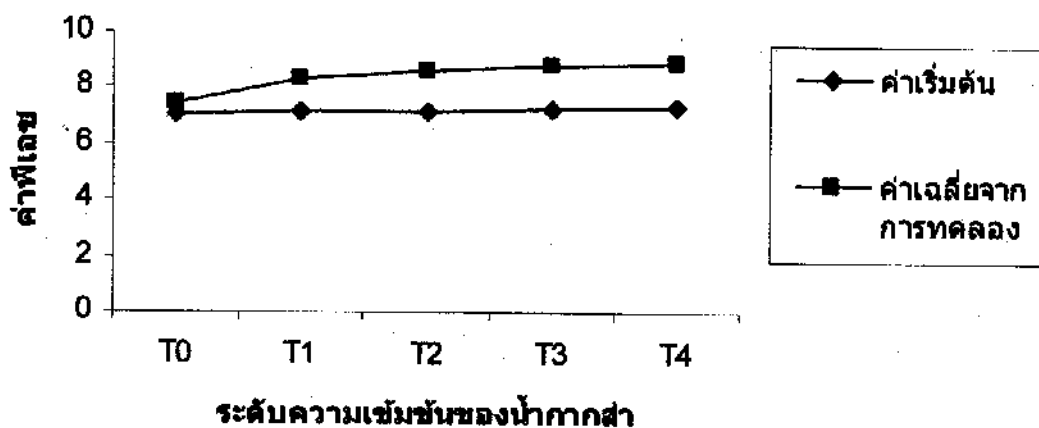
ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชและประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชของน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า  
ในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

| ค่าพีเอช             | ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า |                    |                    |                    |                    |
|----------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | T <sub>0</sub>               | T <sub>1</sub>     | T <sub>2</sub>     | T <sub>3</sub>     | T <sub>4</sub>     |
| ค่าเริ่มต้น          | 7.050 <sup>a</sup>           | 7.125 <sup>d</sup> | 7.200 <sup>c</sup> | 7.275 <sup>b</sup> | 7.350 <sup>a</sup> |
| ค่าเฉลี่ย            | 7.477 <sup>a</sup>           | 8.323 <sup>d</sup> | 8.667 <sup>c</sup> | 8.823 <sup>b</sup> | 8.910 <sup>a</sup> |
| เปลี่ยนแปลง          | 0.427 <sup>a</sup>           | 1.198 <sup>d</sup> | 1.467 <sup>c</sup> | 1.548 <sup>b</sup> | 1.560 <sup>a</sup> |
| ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) | -6.06                        | -16.81             | -20.38             | -21.28             | -21.22             |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10; T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีค่าพีเอชห่างจาก 7 เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

#### 4.1.1.2 ของแข็งละลายน้ำ (TDS)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยจากการทดลอง ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำในน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนทำการทดลอง ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยจากการทดลอง และปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.4 ค.5 และ ค.6 ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 244.00, 1,800.95, 3,357.90, 4,914.85 และ 6,471.80 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 208.00, 2,466.67, 4,926.67, 7,608.67 และ 9,514.67 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีค่าเท่ากับ -36.00, 665.72, 1,568.77, 2,693.82 และ 3,042.87 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น

ปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกากส่ามีปริมาณของแข็งละลายน้ำที่สูงกว่าน้ำ โดยปริมาณของแข็งละลายน้ำของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 244 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณของแข็งละลายน้ำของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 31,383 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นจึงทำให้มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น และปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่าจะมีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นสูงกว่าหน่วยการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ต่ำกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากตามธรรมชาติของผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีในน้ำที่สกปรก (อรุณรัตน์ ปฏิภาณเทวา, 2530: 48) หน่วยทดลองที่มีความเข้มข้นของน้ำ

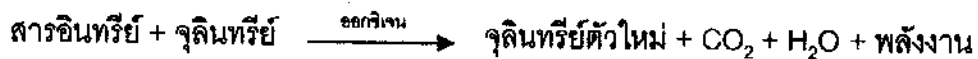
หากสูงกว่ามีความสกปรกสูงกว่าจึงเกิดการตายของผักกระเฉดมากกว่า เมื่อผักกระเฉดตายลงทำให้มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ จากผักกระเฉดละลายลงสู่ น้ำ เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งละลายน้ำ ซึ่งของแข็งละลายน้ำมีทั้งอยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์ อยู่ในรูปสารอินทรีย์ และอยู่ในรูปก๊าซที่ละลายน้ำ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544: 247)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำในแต่ละหน่วยทดลองที่เพิ่มขึ้นนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ มุกดา สุขสมาน (2532: 93 – 96) ที่ทดลองกับพืชลอยน้ำชนิดอื่น คือ ผักตบชวา โดยนำผักตบชวามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่านรังสิตในระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า น้ำเสียมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยทั้ง 8 สัปดาห์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง โดยสันนิษฐานว่า สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดมาจากการสลายตัวของผักตบชวาที่ตายทำให้มีสารต่าง ๆ ละลายลงสู่ น้ำมากขึ้น ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งละลายน้ำโดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนและชนิดของอิออนที่อยู่ในสารละลาย (มันสิน ตันกุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันกุลเวศม์, 2547: 7/3) การที่ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลองตายลงเนื่องมาจากน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าที่ใช้ทดลองมีความสกปรกสูง โดยมีค่าบีโอดีและซีโอดีก่อนการทดลองเท่ากับ 145.33 และ 401.90 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หากเปรียบเทียบกับน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดในหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า มีค่าบีโอดีและซีโอดีเฉลี่ยก่อนการทดลอง เท่ากับ 337.50 และ 1,600.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความสกปรกสูงกว่ามาก ประกอบกับคุณสมบัติของผักตบชวาจากการศึกษาของ ธนียา เกาศล (2545: 70) พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ใกล้เคียงกับผักกระเฉด และมีความคงทนและดูแลรักษาง่ายกว่าผักกระเฉด จึงมีความเป็นไปได้ที่ในการศึกษาครั้งนี้ในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้นจะมีผักกระเฉดตายลงในปริมาณมาก

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลง ซึ่งหน่วยทดลองนี้ก็มีการตายของผักกระเฉดเช่นกัน อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองนี้มีสารอาหารในน้ำที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักกระเฉดในการเจริญเติบโตในระยะเวลา 30 วัน ทำให้ผักกระเฉดตายลง แต่ของแข็งละลายน้ำที่เกิดขึ้นจากการที่ผักกระเฉดตายลง ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ได้ถูกย่อยสลายลงอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์เนื่องจากน้ำมีความสะอาดสูง ไม่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนก่อนการทดลอง (ปริมาณบีโอดีและซีโอดีก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0) ทำให้มีปริมาณออกซิเจนในน้ำอย่างเพียงพอให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำให้เปลี่ยนไปเป็น



คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งในหน่วยทดลองอื่น ๆ ที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่ามีปริมาณบีโอดี และซีโอดีเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมมาก แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากในน้ำ จึงอาจทำให้มีปริมาณออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว เหมือนกลุ่มควบคุม ปฏิบัติการของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำสามารถเขียนได้ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 5 – 22)



นอกจากนี้ ของแข็งละลายน้ำในรูปสารอินทรีย์อีกบางส่วนและของแข็งละลายน้ำในรูปสารอนินทรีย์ เช่น สารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ผักกระเฉดได้ดูดซับมาสะสมไว้ในตัวเองเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ค่าของแข็งละลายน้ำลดลง ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ ผักกระเฉดก็มีการดูดซับสารอาหารและแร่ธาตุจากน้ำเช่นกัน แต่มีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นจากซากผักกระเฉดที่ตาย ทำให้น้ำในหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่ามีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำ พบว่า มีเพียงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) เพียงระดับเดียว ที่มีปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลง โดยลดลงร้อยละ 14.75 จากปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งละลายน้ำต่ำที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 36.96 จากปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 และ 5 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10, 15 และ 20 มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ปริมาณของแข็งละลายน้ำและประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำ  
ในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

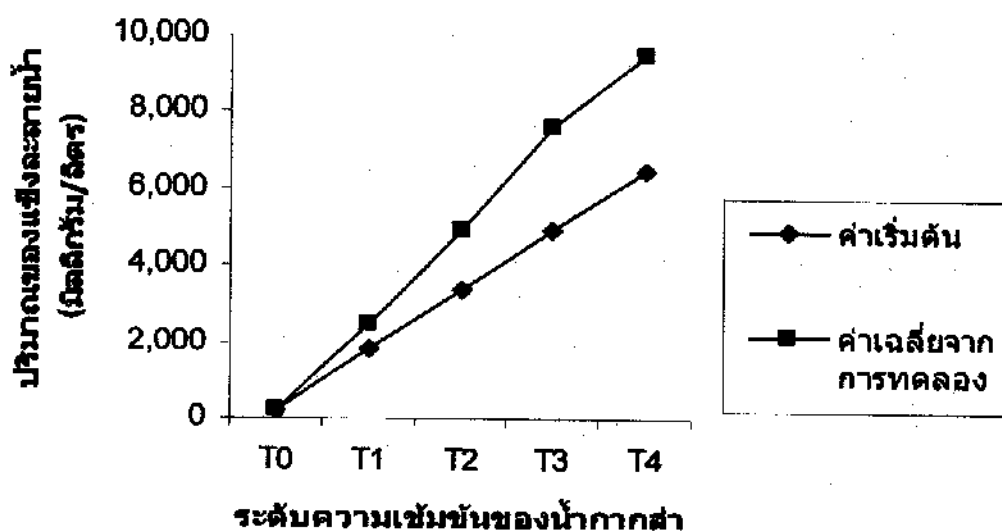
| ปริมาณของแข็งละลายน้ำ        | ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า |                       |                       |                       |                       |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              | T <sub>0</sub>               | T <sub>1</sub>        | T <sub>2</sub>        | T <sub>3</sub>        | T <sub>4</sub>        |
| ค่าเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร) | 244.00 <sup>a</sup>          | 1,800.95 <sup>d</sup> | 3,357.90 <sup>c</sup> | 4,914.85 <sup>b</sup> | 6,471.80 <sup>a</sup> |
| ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)   | 208.00 <sup>a</sup>          | 2,466.67 <sup>d</sup> | 4,926.67 <sup>c</sup> | 7,608.67 <sup>b</sup> | 9,514.67 <sup>a</sup> |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม/ลิตร) | -36.00 <sup>a</sup>          | 665.72 <sup>d</sup>   | 1,568.77 <sup>c</sup> | 2,693.82 <sup>b</sup> | 3,042.87 <sup>a</sup> |
| ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)         | 14.75                        | -36.96                | -46.72                | -54.81                | -47.02                |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10;

T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.2 ปริมาณของแข็งละลายน้ำในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

#### 4.1.1.3 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการทดลอง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนทำการทดลอง ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการทดลอง และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 7 ค. 8 และ ค. 9 ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.00, 169.00, 338.00, 507.00 และ 676.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 4.60, 11.83, 15.33, 33.83 และ 61.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีค่าเท่ากับ 4.60, -157.17, -322.67, -473.17 และ -614.83 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีแนวโน้มลดลงในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น

ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกากส่ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สูงกว่าน้ำ โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 3,380 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำปนเปื้อนน้ำกากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นจึงทำให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น และปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงในปริมาณมากทุกหน่วยทดลอง โดยหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่าจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงมากกว่าหน่วยการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากการตกตะกอน และตะกอนแขวนลอยไปยึดเกาะกับลำต้น นม หรือรากของผักกระเฉด ซึ่งเมื่อในน้ำ

มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากกว่าก็จะเกิดการตกตะกอนหรือเกิดการยึดเกาะไปกับส่วนต่าง ๆ ของผักกระเฉดได้มากกว่า

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละหน่วยทดลองที่ลดลงในปริมาณมากนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 44 – 46) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากปอเลียงทุ่งกุลาลำดำ ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเริ่มต้น 0.2 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 14.70 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 86.70 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งผู้ศึกษาได้สันนิษฐานว่า เกิดจากการตกตะกอน และตะกอนแขวนลอยไปยึดเกาะกับส่วนต่าง ๆ ของผักกระเฉด และผลการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ ธนียา เกาศล (2545: 57 – 59) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำเสียที่ปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ที่อัตราไหลของน้ำเสีย 60 ลิตร/วัน ระยะเวลาเก็บกัก 2.4 วัน ทำการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 15.70 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 137.90 มิลลิกรัม/ลิตร

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดบางส่วนที่ร่วงหล่นลงสู่น้ำ รวมทั้งขณะทำการทดลองมีผักกระเฉดบางส่วนได้ตายลง ทำให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ ที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า ก็มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจากเศษชิ้นส่วนผักกระเฉดเช่นกัน แต่มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนและยึดเกาะกับผักกระเฉด ทำให้ที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยโดยรวมลดลงในปริมาณมาก

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทุกระดับความเข้มข้น คือ สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วงร้อยละ 90.95 – 95.46 จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงที่สุด คือ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 95.46 จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยใกล้เคียงกับการศึกษาของ ธนียา เกาศล (2545: 57 – 59) ที่ใช้ผักกระเฉด

น้ำบาดน้ำเสียที่ปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 88.61 จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง

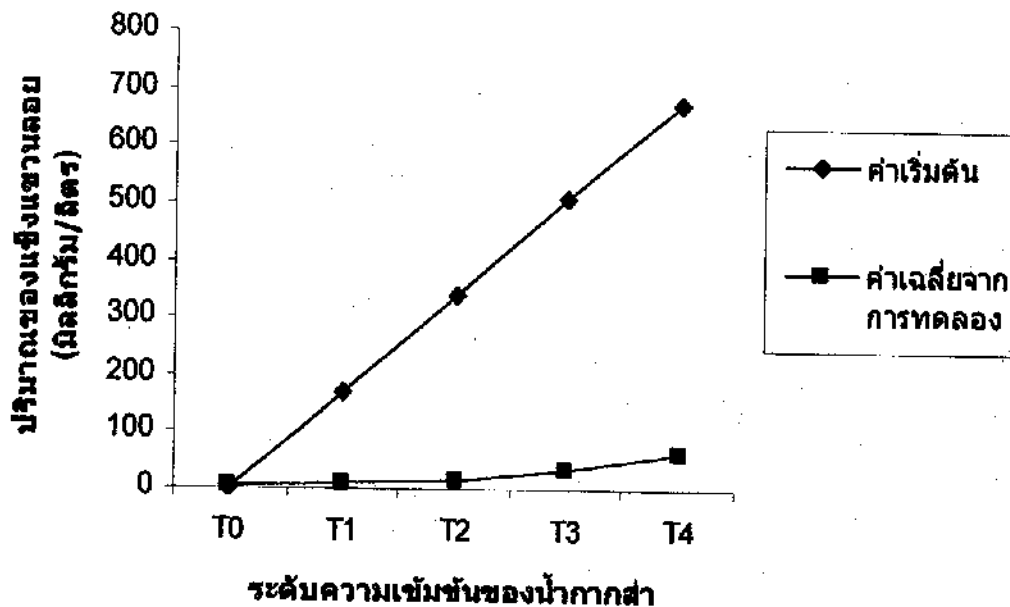
เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณของแข็งแขวนลอยมีได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนทำการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน และหลังจากทำการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 เพียงระดับเดียวที่มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอย  
ในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

| ปริมาณของแข็งแขวนลอย         | ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                              | $T_0$                        | $T_1$                | $T_2$                | $T_3$                | $T_4$                |
| ค่าเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร) | 0.00 <sup>a</sup>            | 169.00 <sup>d</sup>  | 338.00 <sup>c</sup>  | 507.00 <sup>b</sup>  | 676.00 <sup>a</sup>  |
| ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)   | 4.60 <sup>a</sup>            | 11.83 <sup>d</sup>   | 15.33 <sup>c</sup>   | 33.83 <sup>b</sup>   | 61.17 <sup>a</sup>   |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม/ลิตร) | 4.60 <sup>a</sup>            | -157.17 <sup>b</sup> | -322.67 <sup>c</sup> | -473.17 <sup>d</sup> | -614.83 <sup>e</sup> |
| ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)         | -                            | 93.00                | 95.46                | 93.33                | 90.95                |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า:  $T_0$  = ร้อยละ 0;  $T_1$  = ร้อยละ 5;  $T_2$  = ร้อยละ 10;  $T_3$  = ร้อยละ 15;  $T_4$  = ร้อยละ 20



ภาพที่ 4.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

#### 4.1.1.4 บีโอดี (BOD)

ปริมาณบีโอดีเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยจากการทดลอง ปริมาณบีโอดีที่เปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีในน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีก่อนทำการทดลอง ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยจากการทดลอง และปริมาณบีโอดีที่เปลี่ยนแปลง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 10 ค. 11 และ ค. 12 ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.00, 337.50, 675.00, 1,012.50 และ 1,350.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และปริมาณบีโอดีของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 3.69, 258.33, 525.00, 791.67 และ 1,066.67 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณบีโอดีที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีค่าเท่ากับ 3.69, -79.17, -150.00, -220.83 และ -283.33 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกากส่ามีปริมาณบีโอดีสูงกว่าน้ำ โดยปริมาณบีโอดีของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณบีโอดีของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 6,750 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำปนเปื้อนน้ำกากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นจึงทำให้มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้น และปริมาณบีโอดีของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นมีปริมาณบีโอดีลดลง โดยปริมาณบีโอดีที่เปลี่ยนแปลงของหน่วยทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีค่าลดลงในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีค่าต่ำกว่าค่าบีโอดีเริ่มต้นมากที่สุด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณสารอินทรีย์เริ่มต้นในน้ำให้ผักกระเฉดดูดซับเพื่อการเจริญเติบโตในปริมาณมาก ทำให้ผักกระเฉดสามารถดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำได้ในปริมาณที่มากกว่าหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่ำกว่า ประกอบกับในหน่วย

ทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าสูงกว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในปริมาณที่มากกว่า จึงทำให้มีปริมาณบีโอดีลดลงในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น

ปริมาณบีโอดีที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 43 – 46) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน พบว่า ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด 0.2 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 8.00 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งผู้ศึกษาได้สันนิษฐานว่า เกิดจากผักกระเฉดได้ดูดซับสารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต และสอดคล้องกับการศึกษาของ จิตติมา วสุสิน (2539: 47) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยภายในศูนย์ศาลายา ใช้ระยะเวลาการบำบัด 9 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 29.69 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 51.40 มิลลิกรัม/ลิตร

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดบางส่วนที่ร่วงหล่นลงสู่น้ำ รวมทั้งขณะทำการทดลองมีผักกระเฉดบางส่วนได้ตายลงจากการที่มีปริมาณสารอาหารในน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตในระยะเวลา 30 วัน ทำให้มีปริมาณบีโอดีในน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนสาเหตุที่มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากน้ำในหน่วยทดลองนี้ไม่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนก่อนการทดลอง (ปริมาณบีโอดีและซีโอดีก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0) จึงมีปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในการใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์จากซากผักกระเฉดในปริมาณมาก ทำให้สารอินทรีย์จากซากผักกระเฉดถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีปริมาณบีโอดีคงเหลือในหน่วยทดลองนี้เพียงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ต่ำกว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่สูงกว่า โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีสูงสุด คือ มีปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 23.46 จากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีต่ำที่สุด คือ มีปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 20.99 จากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง



เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณบีโอดีมีได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง

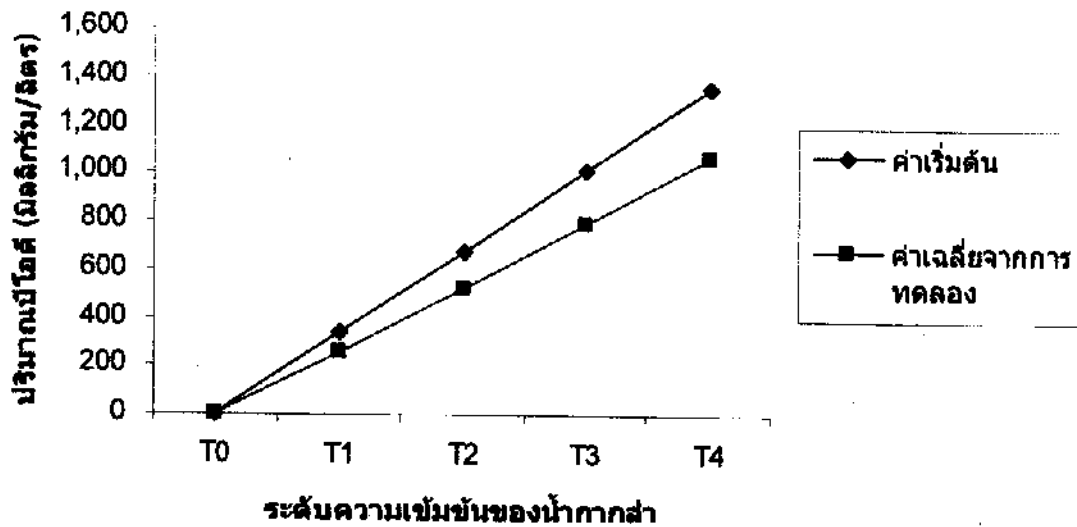
ตารางที่ 4.5 ปริมาณบีโอดีและประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

| ปริมาณบีโอดี                 | ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า |                     |          |                       |                       |
|------------------------------|------------------------------|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
|                              | $T_0$                        | $T_1$               | $T_2$    | $T_3$                 | $T_4$                 |
| ค่าเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร) | 0°                           | 337.50 <sup>d</sup> | 675.00°  | 1,012.50 <sup>b</sup> | 1,350.00 <sup>a</sup> |
| ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)   | 3.69°                        | 258.33 <sup>d</sup> | 525.00°  | 791.67 <sup>b</sup>   | 1,066.67 <sup>a</sup> |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม/ลิตร) | 3.69 <sup>a</sup>            | -79.17 <sup>b</sup> | -150.00° | -220.83 <sup>d</sup>  | -283.33°              |
| ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)         | -                            | 23.46               | 22.22    | 21.81                 | 20.99                 |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า  $T_0$  = ร้อยละ 0;  $T_1$  = ร้อยละ 5;  $T_2$  = ร้อยละ 10;

$T_3$  = ร้อยละ 15;  $T_4$  = ร้อยละ 20



ภาพที่ 4.4 ปริมาณไนเตรตในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

#### 4.1.1.5 ซีไอดี (COD)

ปริมาณซีไอดีเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ปริมาณซีไอดีเฉลี่ยจากการทดลอง ปริมาณซีไอดีที่เปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีไอดีในน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.5 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณซีไอดีก่อนทำการทดลอง ปริมาณซีไอดีเฉลี่ยจากการทดลอง และปริมาณซีไอดีที่เปลี่ยนแปลง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 13 ค. 14 และ ค. 15 ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณซีไอดีของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.00, 1,600.00, 3,200.00, 4,800.00 และ 6,400.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และปริมาณซีไอดีของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 6.67, 1,508.67, 3,043.87, 5,110.53 และ 6,768.93 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณซีไอดีที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีค่าเท่ากับ 6.67, -91.33, -156.13, 310.53 และ 368.93 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณซีโอติก่อนการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกากส่ามีปริมาณซีโอติที่สูงกว่าน้ำ โดยปริมาณซีโอติของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณซีโอติของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 32,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำปนเปื้อนนํ้ากากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นจึงทำให้มีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้น และปริมาณซีโอติของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า มีทั้งที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในทุกระดับความเข้มข้นมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทำให้มีสารอินทรีย์ลดลงในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ขณะเดียวกันที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้นน้ำจะมีความสกปรกมากขึ้นทำให้ผักกระเฉดจะมีการตายมากขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ จึงทำให้มีปริมาณซีโอติมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น

ปริมาณซีโอติที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ จิตติมา วสุลิน (2539: 53) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยภายในศูนย์ศาลายา ใช้ระยะเวลาการบำบัด 9 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณซีโอติเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 49.74 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 85.80 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีโอติที่เกิดจากการตายของผักกระเฉดที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย สอดคล้องกับการศึกษาของ มุกดา สุขสมาน (2532: 64) ที่ทดลองกับผักตบชวา โดยใช้ผักตบชวามาดำน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า พบว่า สามารถลดปริมาณซีโอติได้มากที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 จากนั้นมีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 7 ซึ่งผู้ศึกษาได้สันนิษฐานว่า มีการตายของผักตบชวาเกิดขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ กิตติ เอกอำพล และสำออง หอมชื่น (2530: 26) ที่ใช้ผักตบชวามาดำน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ พบว่า สามารถลดปริมาณซีโอติได้มากที่สุดในระยะเวลาการบำบัด 20 วัน จากนั้นมีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้น โดยผู้ศึกษาได้สันนิษฐานว่า มีการตายของผักตบชวาเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดบางส่วนที่ร่วงหล่นลงสู่ น้ำ รวมทั้งขณะทำการทดลองมีผักกระเฉดบางส่วนได้ตายลงจากการที่มีปริมาณสารอาหารในน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตในระยะเวลา 30 วัน ทำให้มีปริมาณซีโอติในน้ำเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนนํ้ากากส่า

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอต์ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 และ 10 มีปริมาณซีโอต์ลดลง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอต์ได้มากที่สุด มีปริมาณลดลงร้อยละ 5.71 จากปริมาณซีโอต์ก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 มีปริมาณซีโอต์ลดลงร้อยละ 4.88 จากปริมาณซีโอต์ก่อนการทดลอง สำหรับที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15 และ 20 ไม่สามารถลดปริมาณซีโอต์ได้ โดยมีปริมาณซีโอต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.47 และ 5.76 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง ตามลำดับ

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณซีโอต์มีได้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง

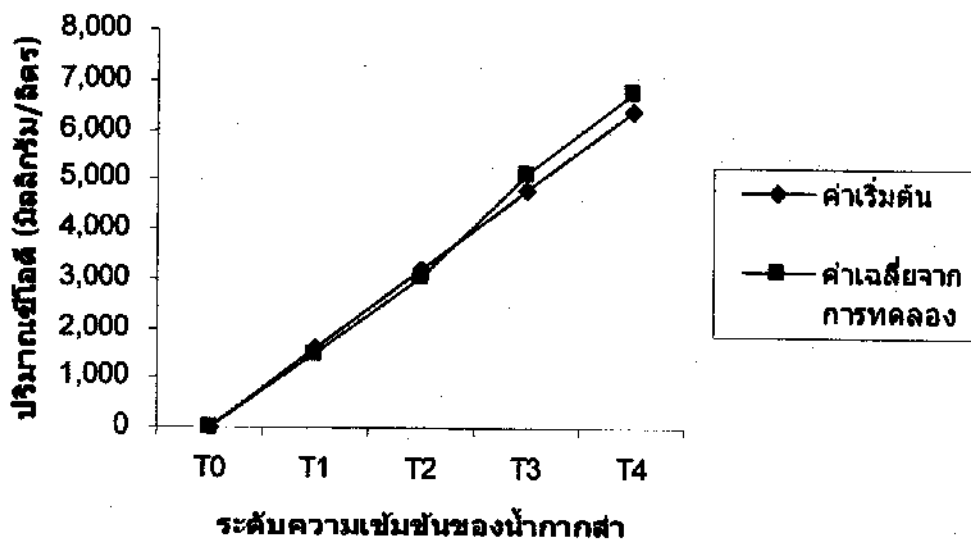
ตารางที่ 4.6 ปริมาณซีโอต์และประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอต์ในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า ในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

| ปริมาณซีโอต์                 | ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า |                       |                       |                       |                       |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              | T <sub>0</sub>               | T <sub>1</sub>        | T <sub>2</sub>        | T <sub>3</sub>        | T <sub>4</sub>        |
| ค่าเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร) | 0.00 <sup>a</sup>            | 1,600.00 <sup>d</sup> | 3,200.00 <sup>c</sup> | 4,800.00 <sup>b</sup> | 6,400.00 <sup>a</sup> |
| ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)   | 6.67 <sup>a</sup>            | 1,508.67 <sup>d</sup> | 3,043.87 <sup>c</sup> | 5,110.53 <sup>b</sup> | 6,768.93 <sup>a</sup> |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม/ลิตร) | 6.67 <sup>c</sup>            | -91.33 <sup>d</sup>   | -156.13 <sup>e</sup>  | 310.53 <sup>b</sup>   | 368.93 <sup>e</sup>   |
| ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)         | -                            | 5.71                  | 4.88                  | -6.47                 | -5.76                 |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10; T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอต์มีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณซีโอต์เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.5 ปริมาณซีโอต์ในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

#### 4.1.1.6 ทีเคเอ็น (TKN)

ปริมาณทีเคเอ็นเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยจากการทดลอง ปริมาณทีเคเอ็นที่เปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการลดปริมาณทีเคเอ็นในน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.6 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณทีเคเอ็นก่อนทำการทดลอง ปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยจากการทดลอง และปริมาณทีเคเอ็นที่เปลี่ยนแปลง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 16 ค. 17 และ ค. 18 ตามลำดับ

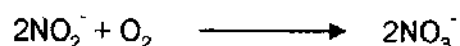
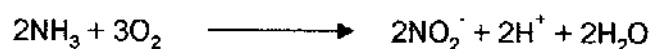
จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.00, 34.03, 68.06, 102.09 และ 136.12 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.38, 43.82, 93.93, 149.23 และ 199.47 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณทีเคเอ็นที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.38, 9.79, 25.87, 47.14 และ 63.35 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น

ปริมาณทีเคเอ็นก่อนการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกากส่ามีปริมาณทีเคเอ็นที่สูงกว่าน้ำ โดยปริมาณทีเคเอ็นของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณทีเคเอ็นของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 680.59 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำปนเปื้อนนํ้ากากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นจึงทำให้มีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้น และปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าสูงกว่าจะมีความสกปรกของน้ำจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่มากกว่า ซึ่งเป็นสภาวะที่ผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ไม่ดี ทำให้มีการเพิ่มปริมาณทีเคเอ็นในน้ำจากซากผักกระเฉดที่ย่อยสลายในปริมาณที่มากกว่า

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณทีเคเอ็นที่เพิ่มขึ้น ขัดแย้งกับการศึกษาของ จิตติมา วสุสิน (2539: 59) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยภายในศูนย์ศาลายา และขัดแย้งกับการศึกษาของ ธนียา เกาศล (2545: 60 – 61) ที่ใช้ผักกระเฉด

บำบัดน้ำเสียที่ปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาของทั้ง 2 งานวิจัย พบว่า มีปริมาณที่เคเกินเฉลี่ยจากการทดลองลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง นอกจากนี้ ยังขัดแย้งกับการศึกษาของ วณิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532: 45) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดและสารอาหารในบึงมักกะสัน พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนได้ดีและมีความต้องการไนโตรเจนมากกว่าธาตุอื่น ๆ ในระยะแรกของการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ทั้งนี้ การที่มีปริมาณที่เคเกินเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นในการศึกษาในครั้งนี้ อาจเนื่องมาจากน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมาก ทำให้ผักกระเฉดมีอัตราการตายที่มากกว่า แม้ว่าผักกระเฉดจะสามารถดูดซับไนโตรเจนจากน้ำได้มากในระยะแรก แต่เมื่อผักกระเฉดตายลงปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไปก็กลับคืนลงสู่น้ำพร้อมกับปริมาณที่เคเกินที่มีอยู่เดิมในซากผักกระเฉด ส่งผลให้มีปริมาณที่เคเกินในน้ำเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีปริมาณที่เคเกินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดบางส่วนที่ร่วงหล่นลงสู่น้ำ รวมทั้งขณะทำการทดลองมีผักกระเฉดบางส่วนได้ตายลงจากการที่มีปริมาณสารอาหารในน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตในระยะเวลา 30 วัน เป็นการเพิ่มปริมาณที่เคเกินในน้ำ ในขณะที่เดียวกันที่เคเกินในกลุ่มควบคุมซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียได้ถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ โดยที่สารอินทรีย์ไนโตรเจนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับกลับไปด้วยผักกระเฉดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต อีกส่วนหนึ่งจะสลายตัวเป็นแอมโมเนียด้วยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Amonification) และแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) กลายเป็นไนไตรต์และไนเตรท ตามลำดับดังนี้ (มันสิน ตันจุลเวศม์ และมันรัช ตันจุลเวศม์, 2547: 19/12 – 19/13)



ซึ่งหน่วยทดลองนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในอัตราที่มากกว่าหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า เนื่องจากน้ำในหน่วยทดลองนี้ไม่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนก่อนการทดลองจึงมีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายแอมโมเนียได้อย่าง

รวดเร็วกว่าหน่วยทดลองอื่น จึงทำให้ในกลุ่มควบคุมมีปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณทีเคเอ็นของหน่วยทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นไม่สามารถลดปริมาณทีเคเอ็น แต่มีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณทีเคเอ็นต่ำที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 28.77 จากปริมาณทีเคเอ็นก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณทีเคเอ็นมีได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5 และ 10 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง



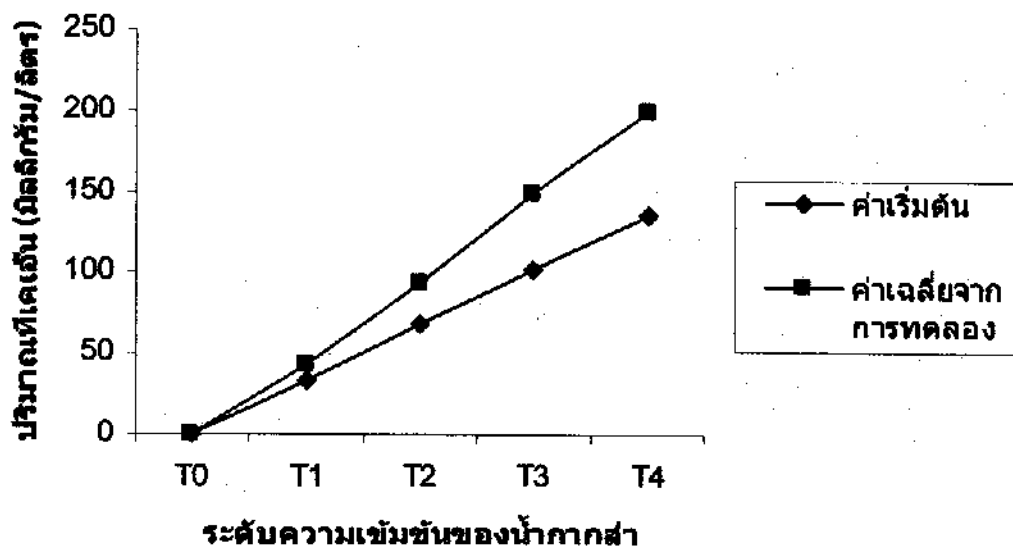
ตารางที่ 4.7 ปริมาณที่เคเอ็นและประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นในน้ำที่ปนเปื้อน  
น้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

| ปริมาณที่เคเอ็น              | ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า |                    |                    |                     |                     |
|------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|                              | T <sub>0</sub>               | T <sub>1</sub>     | T <sub>2</sub>     | T <sub>3</sub>      | T <sub>4</sub>      |
| ค่าเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร) | 0.00 <sup>a</sup>            | 34.03 <sup>d</sup> | 68.06 <sup>c</sup> | 102.09 <sup>b</sup> | 136.12 <sup>a</sup> |
| ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)   | 0.38 <sup>a</sup>            | 43.82 <sup>d</sup> | 93.93 <sup>c</sup> | 149.23 <sup>b</sup> | 199.47 <sup>a</sup> |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม/ลิตร) | 0.38 <sup>a</sup>            | 9.79 <sup>d</sup>  | 25.87 <sup>c</sup> | 47.14 <sup>b</sup>  | 63.35 <sup>a</sup>  |
| ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)         | -                            | -28.77             | -38.01             | -46.17              | -46.54              |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10; T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.6 ปริมาณที่เคเอ็นในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในอัตราความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

#### 4.1.2 อิทธิพลของระยะเวลาการบำบัดที่มีต่อคุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน แสดงตามตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 คุณภาพน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

| คุณภาพน้ำ                           | ระยะเวลาการบำบัดน้ำ (วัน) |                       |                       |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                     | 10                        | 20                    | 30                    |
| 1. พีเอช                            | 8.212 <sup>c</sup>        | 8.488 <sup>b</sup>    | 8.620 <sup>a</sup>    |
| 2. ของแข็งละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) | 4,026.00 <sup>c</sup>     | 4,879.80 <sup>b</sup> | 5,929.00 <sup>a</sup> |
| 3. ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)  | 29.20 <sup>a</sup>        | 20.86 <sup>c</sup>    | 26.00 <sup>b</sup>    |
| 4. บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)          | 325.63 <sup>c</sup>       | 515.87 <sup>b</sup>   | 745.72 <sup>a</sup>   |
| 5. ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)          | 2,747.60 <sup>c</sup>     | 3,117.20 <sup>b</sup> | 3,998.40 <sup>a</sup> |
| 6. ทีเคเอ็น (มิลลิกรัม/ลิตร)        | 81.83 <sup>c</sup>        | 95.38 <sup>b</sup>    | 114.88 <sup>a</sup>   |

หมายเหตุ: <sup>abc</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ความเข้มข้นของน้ำกากส่าโดยเฉลี่ยจากทุกหน่วยทดลอง เท่ากับ ร้อยละ 10  
คุณภาพน้ำเริ่มต้นก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยดังนี้

พีเอช = 7.200

ของแข็งละลายน้ำ = 3,357.90 มิลลิกรัม/ลิตร

ของแข็งแขวนลอย = 338.00 มิลลิกรัม/ลิตร

บีโอดี = 675.00 มิลลิกรัม/ลิตร

ซีโอดี = 3,200.00 มิลลิกรัม/ลิตร

ทีเคเอ็น = 68.06 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

| ประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำ | ระยะเวลาการบำบัดน้ำ (วัน) |        |        |
|--------------------------------|---------------------------|--------|--------|
|                                | 10                        | 20     | 30     |
| 1. พีเอช (ร้อยละ)              | -14.06                    | -17.89 | -19.72 |
| 2. ของแข็งละลายน้ำ (ร้อยละ)    | -19.90                    | -45.32 | -76.57 |
| 3. ของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)     | 91.36                     | 93.83  | 92.31  |
| 4. บีโอดี (ร้อยละ)             | 51.76                     | 23.57  | -10.48 |
| 5. ซีโอดี (ร้อยละ)             | 14.14                     | 2.59   | -24.95 |
| 6. ทีเคเอ็น (ร้อยละ)           | -20.23                    | -40.14 | -68.79 |

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี หรือทีเคเอ็น เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง หรือมีค่าพีเอชห่างจาก 7 เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง

รายละเอียดการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ของค่าต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช (pH) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และทีเคเอ็น (TKN) มีดังนี้

#### 4.1.2.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.7 ส่วนประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันแสดงตามตารางที่ 4.9 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 19

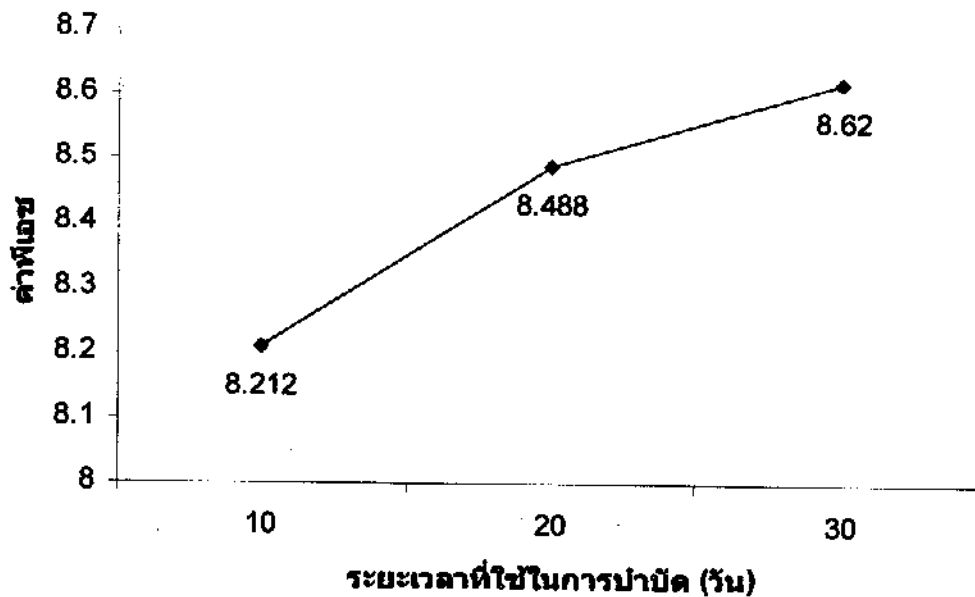
จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชของน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 8.212, 8.488 และ 8.620 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.200 จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์ในโตรเจนจากน้ำกากส่าและสารอินทรีย์ในโตรเจนจากใบ

ผักกระเจดที่ร่วงหล่นและจากการที่ผักกระเจดบางส่วนตายลงมากขึ้นตามระยะเวลา การย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนจะเกิดเป็นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสภาพต่าง ทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรัช ตันทุลเวศม์, 2547: 10/12 – 10/13) และสาเหตุอีกประการหนึ่งอาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นมีการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชซึ่งในระยะแรกติดมากับรากผักกระเจดและค่อย ๆ ขยายจำนวนเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองและมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลงส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรัช ตันทุลเวศม์, 2547: 11/12 – 11/13)

ค่าพีเอชที่สูงขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 66) ที่ใช้ผักกระเจดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่ามีค่าพีเอชลดลงเฉพาะช่วง 10 วัน จากนั้นค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ซึ่งผู้ศึกษาได้สันนิษฐานว่า สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากในระยะแรกมีใบผักกระเจดหลุดร่วงและเกิดการเน่าสลายเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่เมื่อถึงระยะเวลา 20 และ 30 วัน ได้มีการตัดใบผักกระเจดที่หลุดร่วงออกทำให้มีการเน่าสลายน้อยลง สำหรับการศึกษาในครั้งนี้มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตั้งแต่ในระยะเวลา 10 วันแรก ก็อาจเนื่องมาจากน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ใช้ทดลองมีปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณมากและถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซึ่งทำให้เกิดสภาพต่าง ประกอบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจากการเน่าสลายของผักกระเจดส่วนหนึ่งถูกแพลงค์ตอนพืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง จึงส่งผลให้ในการศึกษารั้งนี้ น้ำมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลาง (ค่าพีเอชเท่ากับ 7) พบว่า ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ น้ำมีสภาพเป็นต่างมากขึ้นโดยมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน น้ำมีสภาพที่เป็นกลางมากที่สุด เนื่องจากมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 8.212 เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.06 จากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานพีเอชอยู่ระหว่าง 5.5 – 9.0 พบว่า ค่าพีเอชก่อนทำการทดลองและค่าพีเอชเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.7 ค่าพีเอชที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.2.2 ของแข็งละลายน้ำ (TDS)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันแสดงตามตารางที่ 4.9 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 20

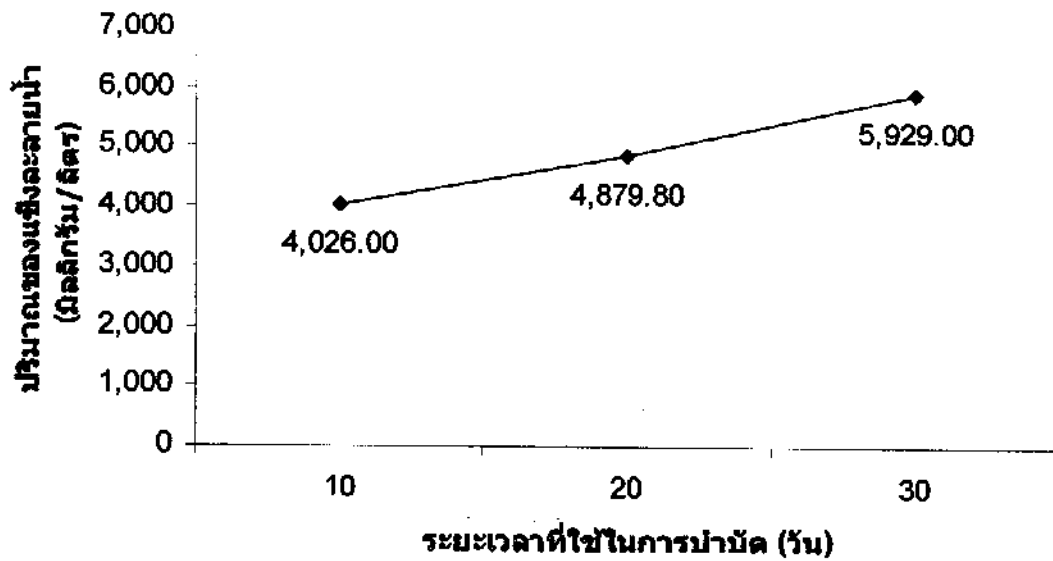
จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 4,026.00, 4,879.80 และ 5,929.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,357.90 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากน้ำที่ใช้ในการทดลองมีความสกปรกสูง เมื่อใช้ระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นจะเกิดการย่อยสลายของผักกระเฉดมากขึ้นจากการที่ผักกระเฉดเริ่มตายลง การสลายตัวของผักกระเฉดทำให้มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จากซากผักกระเฉดละลายลงไปในน้ำ ทำให้มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น

ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการตายของพืชลอยน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ มุกดา สุขสมาน

(2532: 93 – 96) ที่ทดลองนำผักตบชวามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่านรังสิต พบว่า น้ำเสียมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ระยะเวลาการบำบัดสัปดาห์แรกและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น โดยสันนิษฐานว่า เกิดมาจากการสลายตัวของผักตบชวาที่ตาย ทำให้มีสารต่าง ๆ ละลายลงสู่น้ำมากขึ้น ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งละลายน้ำโดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนและชนิดของอิออนที่อยู่ในสารละลาย (มันสิน ดันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ดันทุลเวศม์, 2547: 7/3) น้ำเสียจากโรงงานทอผ้าที่ใช้ทดลองมีความสกปรกสูง โดยมีค่าบีโอดีและซีโอดีเท่ากับ 145.33 และ 401.90 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หากเปรียบเทียบกับน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ที่มีค่าบีโอดีและซีโอดีเฉลี่ยก่อนการทดลอง เท่ากับ 675 และ 3,200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความสกปรกสูงกว่ามาก ประกอบกับคุณสมบัติของผักตบชวาจากการศึกษาของ ธนินยา เกาศล (2545: 70) พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียใกล้เคียงกับผักกระเฉด และมีความคงทนและดูแลรักษาง่ายกว่าผักกระเฉด จึงมีความเป็นไปได้ที่ในการศึกษาครั้งนี้จะมีผักกระเฉดตายลงในปริมาณมากเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำ พบว่า ทุกระยะเวลาการบำบัดไม่สามารถลดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ ซึ่งที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งละลายน้ำน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 19.90 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณของแข็งละลายน้ำมีได้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลองและปริมาณของแข็งละลายน้ำเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.2.3 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันแสดงตามตารางที่ 4.9 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 21

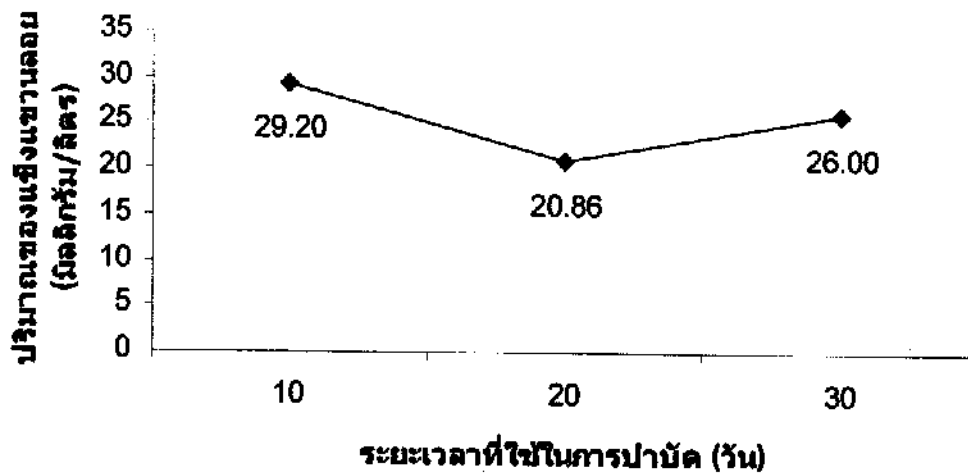
จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 29.20, 20.86 และ 26.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 338.00 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงมากจากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง โดยลดลงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน จากนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ทั้งนี้เนื่องจากในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก เกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำและมีตะกอนแขวนลอยบางส่วนไปยึดเกาะกับลำต้น นม หรือรากของผักกระเฉดมากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น โดยที่ในระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยคงเหลือน้อยที่สุด แต่ต่อมาเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานเกิน 20 วัน แม้ว่าจะยังคงมีการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำและมีตะกอนแขวนลอยบางส่วนไปยึดเกาะกับส่วนต่าง ๆ ของผักกระเฉด แต่ก็ยังมีผักกระเฉดบางส่วนเริ่มตาย

ลง จากผักกระเจตที่ตายส่วนหนึ่งตกตะกอนลงยังก้นภาชนะ อีกส่วนหนึ่งยังคงแขวนลอยอยู่กับ น้ำมากขึ้นจึงทำให้ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอย พบว่า ทุก ระยะเวลาการบำบัดสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ในประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ ในระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงได้มากที่สุด คือ ลดได้ประมาณร้อยละ 93.83 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง ประสิทธิภาพของ ผักกระเจตในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วง 20 วันแรกนั้นสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 54) ที่ใช้ผักกระเจตบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า ผักกระเจตมีส่วนในการช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการ บำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น โดยสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงได้ประมาณร้อยละ 88.47 ในระยะเวลาการบำบัด 20 วัน และสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงได้ประมาณ ร้อยละ 97.53 ตลอดระยะเวลาในการทดลอง 30 วัน ส่วนในการศึกษาครั้งนี้ที่ระยะเวลาการ บำบัด 30 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ใช้ใน การศึกษาครั้งนี้มีความสกปรกมากกว่า โดยเทียบจากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองของน้ำที่ใช้ใน การศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 675 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้ใน การศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 54) มีปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าบีโอดีเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 34 เท่า จึงเป็นไปได้ ว่า ในระยะเวลานานขึ้นผักกระเจตจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีในน้ำที่มีความสกปรกมากกว่า

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณของแข็งแขวนลอยมีได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลองมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน





ภาพที่ 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.2.4 บีโอดี (BOD)

ปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.10 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันแสดงตามตารางที่ 4.9 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 22

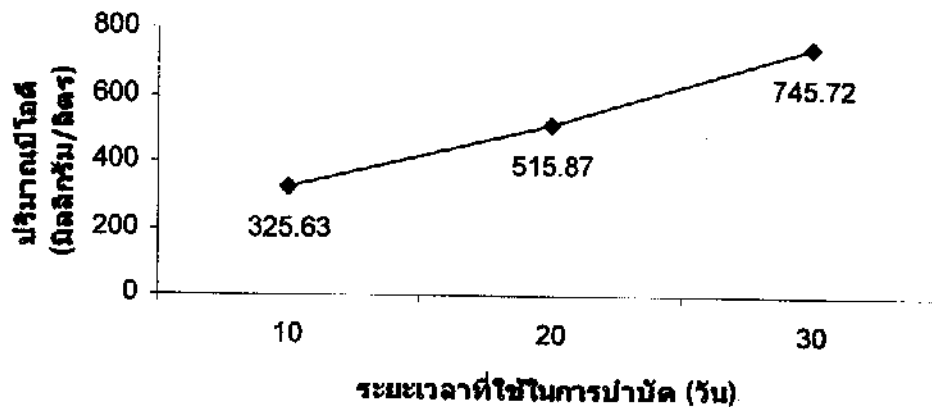
จากการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 325.63, 515.87 และ 745.72 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 675.00 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน ปริมาณบีโอดีมีค่าต่ำกว่าปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง โดยมีปริมาณบีโอดีคงเหลือน้อยที่สุดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จากนั้นปริมาณบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากได้ดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้มีปริมาณบีโอดีลดลง แต่ต่อมาเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดเริ่มลดลงและมีผักกระเฉดบางส่วนเริ่มตายลงทำให้น้ำมีสารอินทรีย์จากซากผักกระเฉดลงไปอยู่ในน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น จึงเป็นไปได้ว่าผักกระเฉดจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีได้ในช่วงระยะเวลาที่ผักกระเฉดยังไม่เริ่มตายเท่านั้น ซึ่ง

สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ใช้ผักตบชวำบำบัดคุณภาพน้ำของ มุกดา สุขสมาน (2532: 73) ที่พบว่า ในระยะแรกผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นมีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นในระยะเวลาต่อมา และการศึกษาของ กิตติ เอกอำพล และสำออง หอมชื่น (2530: 25) ที่พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นจนถึงระยะเวลาการบำบัด 20 วัน จากนั้นมีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นโดยผู้ศึกษาทั้ง 2 งานวิจัย ได้สันนิษฐานว่า ในช่วงระยะเวลามีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นมีการตายของผักตบชวาเกิดขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดี พบว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน สามารถลดปริมาณบีโอดีได้ โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีลงได้มากที่สุด คือ ลดได้ประมาณร้อยละ 51.76 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีลดลง โดยสามารถลดปริมาณบีโอดีลงได้ประมาณร้อยละ 23.57 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง สำหรับที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ไม่สามารถลดปริมาณบีโอดีได้ โดยมีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.48 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง ประสิทธิภาพของผักกระเฉดในการลดปริมาณบีโอดีในช่วง 10 วันแรกนั้นสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 54) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า ผักกระเฉดมีส่วนในการช่วยลดปริมาณบีโอดีในน้ำได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น โดยสามารถลดปริมาณบีโอดีลงได้ประมาณร้อยละ 48.50 ในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก และสามารถลดปริมาณบีโอดีลงได้ประมาณร้อยละ 83.40 ตลอดระยะเวลาในการทดลอง 30 วัน ส่วนในการศึกษารุ่นนี้ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 และ 30 วัน มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำที่ใช้ในการศึกษารุ่นนี้มีความสกปรกมากกว่า โดยปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองของน้ำที่ใช้ในการศึกษารุ่นนี้มีค่าเท่ากับ 675 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนน้ำที่ใช้ในการศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 54) มีปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร จึงเป็นไปได้ว่าในระยะเวลาที่นานขึ้นผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีในน้ำที่มีความสกปรกมากกว่า ทำให้มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีลดลง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3

- 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณบีโอดีมีได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองและปริมาณบีโอดีเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.10 ปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.2.5 ซีโอดี (COD)

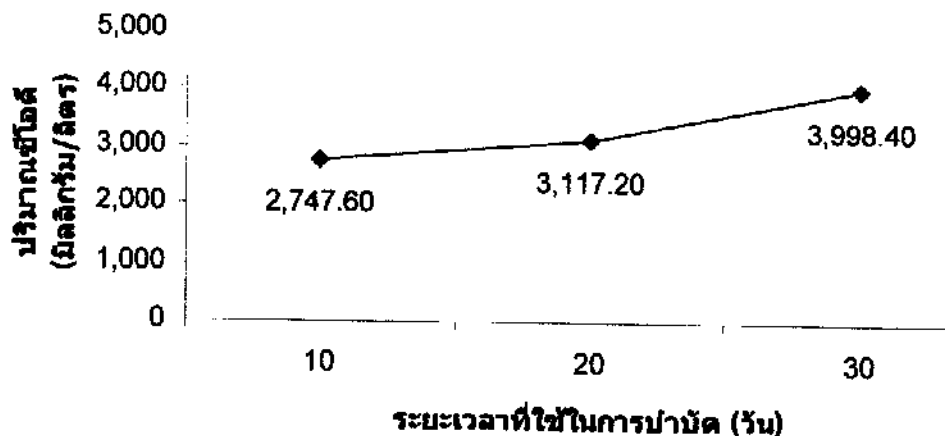
ปริมาณซีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันแสดงตามตารางที่ 4.9 สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 23

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณซีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 2,747.60, 3,117.20 และ 3,998.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณซีโอดีก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,200.00 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน ปริมาณซีโอดีมีค่าต่ำกว่าปริมาณซีโอดีก่อนการทดลอง โดยมีปริมาณซีโอดีคงเหลือต่ำที่สุดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากได้ดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลงส่งผลให้มีปริมาณซีโอดีลดลง แต่ต่อมาเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดเริ่มลดลงและมีผักกระเฉดบางส่วนเริ่มตายลงทำให้น้ำมีสารอินทรีย์จากซากผัก

กระเจดลงไปอยู่ในน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน มีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น จึงเป็นไปได้ว่าผักกระเจดจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติในลักษณะเดียวกับประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอติ คือ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติได้ดีในช่วงระยะเวลาที่ผักกระเจดยังไม่เริ่มตายเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ใช้ผักตบชวาบำบัดคุณภาพน้ำของ มุกดา สุขสมาน (2532: 64) ที่พบว่า ในระยะแรกผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติในน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 6 จากนั้นมีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นในระยะเวลาต่อมา และการศึกษาของ กิตติ เอกอำพล และลำอาจ หอมชื่น (2530: 26) ที่พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติในน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นจนถึงระยะเวลาการบำบัด 20 วัน จากนั้นมีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นโดยผู้ศึกษาทั้ง 2 งานวิจัย ได้สันนิษฐานว่า ในช่วงระยะเวลาที่มีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นมีการตายของผักตบชวาเกิดขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติ พบว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน สามารถลดปริมาณซีโอติได้ โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติลงได้มากที่สุด ลดลงได้ประมาณร้อยละ 14.14 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติลดลง โดยสามารถลดปริมาณซีโอติลงได้ประมาณร้อยละ 2.59 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง สำหรับที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ไม่สามารถลดปริมาณซีโอติได้ โดยมีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.95 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณซีโอติมีได้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ปริมาณซีโอติก่อนการทดลองและปริมาณซีโอติเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.11 ปริมาณไนเตรดที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.2.6 ทีเคเอ็น (TKN)

ปริมาณทีเคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.12 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณทีเคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันแสดงตามตารางที่ 4.9 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 24

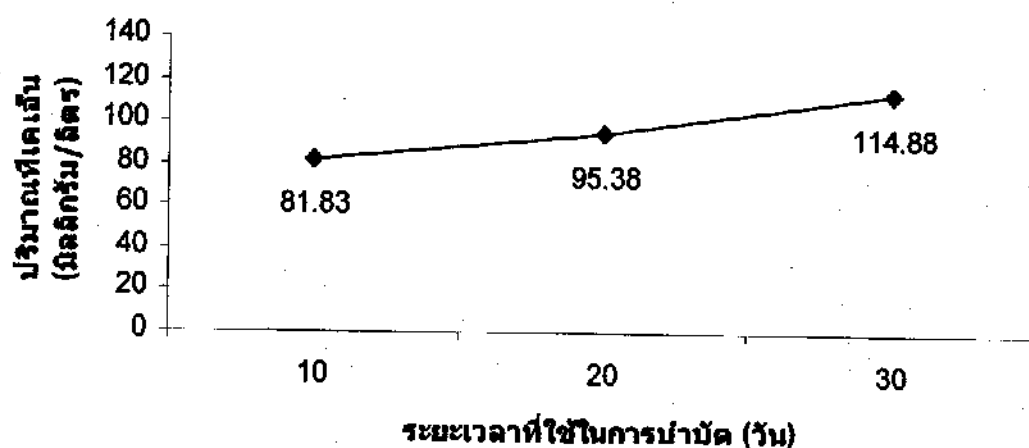
จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 81.83, 95.38 และ 114.88 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณทีเคเอ็นก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 68.06 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณทีเคเอ็นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้ระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นผักกระเฉดมีการตายเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำจากซากผักกระเฉดที่ย่อยสลาย จึงทำให้ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณทีเคเอ็นที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นขัดแย้งกับการศึกษาของ จิตติมา วสุสิน (2539: 59) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยภายในศูนย์ศาลายา และการศึกษาของ ธนียา เกาศล (2545: 60 – 61) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำเสียที่ปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาของทั้ง 2 งานวิจัย พบว่า มีปริมาณทีเคเอ็นเฉลี่ยจากการทดลองลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง นอกจากนี้ยังขัดแย้งกับการศึกษาของ วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532: 45) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดและสารอาหารในบึง

มักกะสัน พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนได้ดีและมีความต้องการไนโตรเจนมากกว่าธาตุอื่น ๆ ในระยะแรกของการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ทั้งนี้ การที่มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นในการศึกษาในครั้งนี้ อาจเนื่องมาจากน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมาก ทำให้ผักกระเฉดมีอัตราการตายที่มากกว่าและตายในปริมาณที่มากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทำให้มีปริมาณที่เคเอ็นในน้ำเพิ่มขึ้นจากซากผักกระเฉดที่ตายลง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็น พบว่า ทุกระยะเวลาการบำบัดไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็น ซึ่งที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณที่เคเอ็นน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.23 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณที่เคเอ็นมิได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ปริมาณที่เคเอ็นก่อนการทดลองและปริมาณที่เคเอ็นเมื่อทำการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน มีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณที่เคเอ็นเมื่อทำการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.12 ปริมาณที่เคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัดที่มีต่อคุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน ค่าที่วิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช (pH) ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอย (SS) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และทีเคเอ็น (TKN) โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 4.1.3.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.13 ส่วนประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางแสดงตามตารางที่ 4.11 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 25

จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยทุกระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีค่าพีเอชสูงที่สุด คือ 9.10 ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าพีเอชต่ำที่สุด คือ 7.21

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำที่มากกว่าซึ่งมาจากน้ำกากส่าที่นำมาผสมในอัตราส่วนที่สูงกว่า และเมื่อมีระยะเวลาผ่านไปก็จะมีสารอินทรีย์ในโตรเจนเพิ่มขึ้นจากใบผักกระเฉดที่ร่วงหล่นและจากการที่ผักกระเฉดบางส่วนตายลงในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนจะเกิดเป็นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสภาพด่าง โดยแอมโมเนียสามารถละลายน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ซึ่งไฮดรอกไซด์ไอออนมีส่วนทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น (มันสิน ตันจุลเวศม์ และมันรัช ตันจุลเวศม์, 2547: 10/12 – 10/13) ประกอบกับมีการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชซึ่งใน

ระยะแรกติดมากับรากผักกระเฉดและค่อย ๆ ขยายจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชจะมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำซึ่งรวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเน่าสลายของซากผักกระเฉดที่มีเพิ่มขึ้นด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดสภาพกรดในน้ำ เมื่อมีปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547: 11/12 – 11/13) ทำให้ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาสาร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำากาสาร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน จากนั้นมีค่าลดลงที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนที่มาจากใบผักกระเฉดที่ร่วงหล่นและจากการที่ผักกระเฉดบางส่วนตายลง และจากการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน แต่ระยะเวลาดต่อมา กลุ่มควบคุมมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของแพลงค์ตอนพืชที่มีจำนวนมาก จึงทำให้แพลงค์ตอนพืชมีจำนวนลดลง มีการสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเน่าสลายของซากผักกระเฉดถูกนำไปใช้ ในปริมาณที่น้อยลง ส่งผลให้น้ำมีค่าพีเอชต่ำลง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลาง (ค่าพีเอชเท่ากับ 7) พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาสาร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าพีเอชที่มีความเป็นกลางมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 7.21 ส่วนหน่วยทดลองอื่นที่มีการปนเปื้อนน้ำากาสารทุกระดับความเข้มข้น ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นและทุกระยะเวลาการบำบัดเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาสาร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชต่ำที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.39 จากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานพีเอชอยู่ระหว่าง 5.5 – 9.0 พบว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองในทุกระดับความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่



ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5 และ 10 มีค่าพีเอชอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15 และ 20 มีค่าพีเอชไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.10 ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ค่าพีเอช *        |                   |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน   | ระยะเวลา 20 วัน   | ระยะเวลา 30 วัน   |
| T <sub>0</sub>   | 7.21 <sup>o</sup> | 7.62 <sup>m</sup> | 7.60 <sup>n</sup> |
| T <sub>1</sub>   | 8.15 <sup>i</sup> | 8.28 <sup>k</sup> | 8.54 <sup>i</sup> |
| T <sub>2</sub>   | 8.48 <sup>j</sup> | 8.69 <sup>f</sup> | 8.83 <sup>e</sup> |
| T <sub>3</sub>   | 8.57 <sup>h</sup> | 8.87 <sup>d</sup> | 9.03 <sup>b</sup> |
| T <sub>4</sub>   | 8.65 <sup>g</sup> | 8.98 <sup>c</sup> | 9.10 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

abcdefghijklmnopno ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ (p<0.05)

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10;

T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

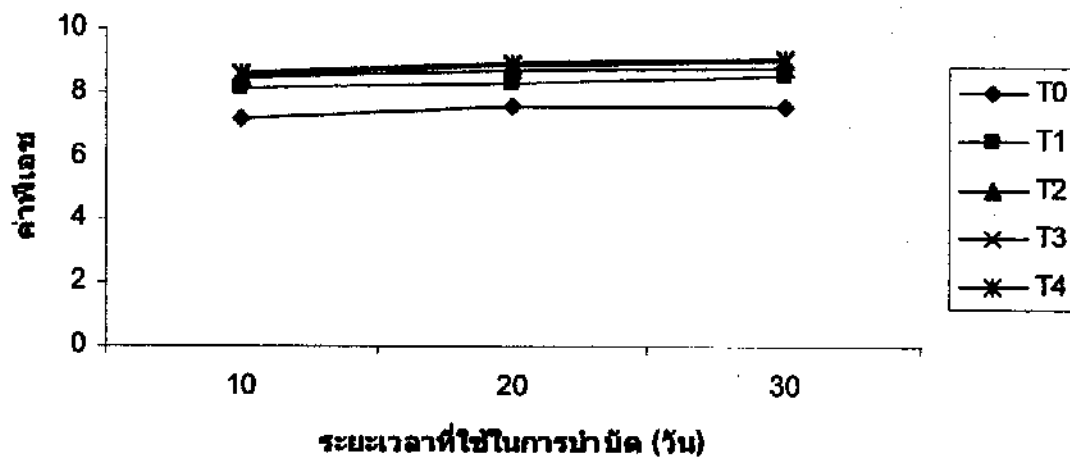
ค่าพีเอชเริ่มต้นของหน่วยทดลอง T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> และ T<sub>4</sub> มีค่าเท่ากับ

7.050, 7.125, 7.200, 7.275 และ 7.350 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอช (ร้อยละ) |                 |                 |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                         | ระยะเวลา 20 วัน | ระยะเวลา 30 วัน |
| T <sub>0</sub>   | -2.27                                   | -8.09           | -7.8            |
| T <sub>1</sub>   | -14.39                                  | -16.21          | -19.86          |
| T <sub>2</sub>   | -17.78                                  | -20.69          | -22.64          |
| T <sub>3</sub>   | -17.80                                  | -21.92          | -24.12          |
| T <sub>4</sub>   | -17.69                                  | -22.18          | -23.81          |

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีค่าพีเอชห่างจาก 7 เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.13 ค่าพีเอชของน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.3.2 ของแข็งละลายน้ำ (TDS)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.14 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำแสดงตามตารางที่ 4.13 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 26

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน มีปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่าและมีระยะเวลาการบำบัดที่นานกว่า เกิดการย่อยสลายของผักกระเจตมากกว่าจากการที่ผักกระเจตตายลงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งละลายน้ำ จึงทำให้ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาน้ำย่อยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลงที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะแรกผักกระเจตได้ดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ที่มีอยู่ในน้ำมาสะสมไว้ในตัวเองทำให้ค่าของแข็งละลายน้ำลดลง แต่ต่อมาผักกระเจตบางส่วนได้ตายลงทำให้สารอาหารที่ดูดซึมไปกลับลงสู่แหล่งน้ำใหม่

พร้อมกับสารที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของผักกระเฉดทำให้ที่ระยะเวลาต่อมาปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับหน่วยทดลองอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาทิศประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ พบว่า มีเพียงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน ที่มีปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลง โดยลดลงร้อยละ 43.03 และ 10.66 จากปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ ที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำ โดยมีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นและทุกระยะเวลาการบำบัดเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณของแข็งละลายน้ำน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.50 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง นั่นคือ ในน้ำที่มีความสะอาดสูงกว่า ผักกระเฉดจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ดีกว่า ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าผักกระเฉดจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าหากทำการทดลองกับน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 และทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำในระยะแรกของการบำบัดก่อนที่ผักกระเฉดจะเริ่มตายลง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณของแข็งละลายน้ำมิได้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10, 15 และ 20 ปริมาณของแข็งละลายน้ำไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด

ตารางที่ 4.12 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) * |                       |                        |
|------------------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                          | ระยะเวลา 20 วัน       | ระยะเวลา 30 วัน        |
| T <sub>0</sub>   | 139.00 <sup>o</sup>                      | 218.00 <sup>n</sup>   | 267.00 <sup>m</sup>    |
| T <sub>1</sub>   | 1,954.00 <sup>i</sup>                    | 2,434.00 <sup>k</sup> | 3,012.00 <sup>j</sup>  |
| T <sub>2</sub>   | 4,027.00 <sup>l</sup>                    | 4,784.00 <sup>h</sup> | 5,969.00 <sup>g</sup>  |
| T <sub>3</sub>   | 6,172.00 <sup>f</sup>                    | 7,449.00 <sup>e</sup> | 9,205.00 <sup>c</sup>  |
| T <sub>4</sub>   | 7,838.00 <sup>d</sup>                    | 9,514.00 <sup>b</sup> | 11,192.00 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

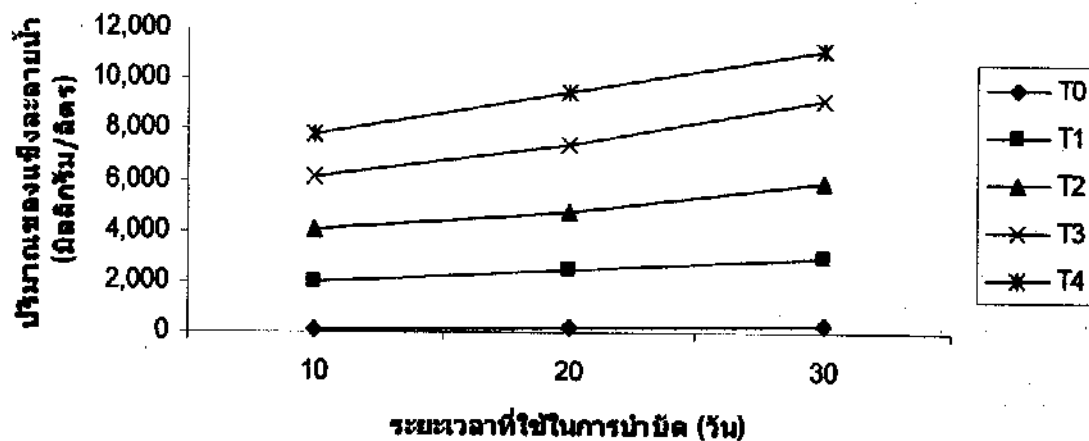
ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10; T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ปริมาณของแข็งละลายน้ำเริ่มต้นของหน่วยทดลอง T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> และ T<sub>4</sub> มีค่าเท่ากับ 244.00, 1,800.95, 3,357.90, 4,914.85 และ 6,471.80 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำ (ร้อยละ) |                 |                 |
|------------------|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                                  | ระยะเวลา 20 วัน | ระยะเวลา 30 วัน |
| T <sub>0</sub>   | 43.03                                            | 10.66           | -9.43           |
| T <sub>1</sub>   | -8.50                                            | -35.15          | -67.25          |
| T <sub>2</sub>   | -19.93                                           | -42.47          | -77.76          |
| T <sub>3</sub>   | -25.58                                           | -51.56          | -87.29          |
| T <sub>4</sub>   | -21.11                                           | -47.01          | -72.93          |

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.14 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.3.3 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.15 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยแสดงตามตารางที่ 4.15 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 27

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน กับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เช่นเดียวกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน กับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 และ 30 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหลือก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 และ 10 ในระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงจากค่าเริ่มต้นมากที่สุด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงจากค่าเริ่มต้นมากที่สุด จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ซึ่งที่ระยะเวลาการบำบัดนานเกิน 20 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน กับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วันแล้ว พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 และ 10 ยังคงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ

15 และ 20 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก เกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำและมีตะกอนแขวนลอยบางส่วนไปยึดเกาะกับลำต้น นม หรือรากของผักกระเฉดมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ต่อมา ในระยะเวลาการบำบัดที่นานกว่า 20 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าสูงกว่ามีการตายของผักกระเฉดมากกว่า เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ จึงทำให้ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าที่สูงกว่ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น การลดลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน ในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าต่ำ ๆ คือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 สอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: 54) ที่ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากปอเลียงกุ่มกลาดำซึ่งมีความสะอาดสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำปนเปื้อนนํ้าากาส่าที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ พบว่า ผักกระเฉดมีส่วนในการช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้มากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการบำบัด 30 วัน

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า ในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดที่ร่วงหล่นลงสู่ น้ำ ประกอบกับมีผักกระเฉดบางส่วนตายลงขณะทดลอง ทำให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก จากนั้นเกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำและมีตะกอนแขวนลอยบางส่วนไปยึดเกาะกับส่วนต่าง ๆ ของผักกระเฉด ทำให้ในระยะเวลาต่อมาของแข็งแขวนลอยในกลุ่มควบคุมมีปริมาณลดลง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนนํ้าากาส่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ พบว่า มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดี โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงที่สุด คือ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 96.30 จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำากาส่าร้อยละ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำที่สุด คือ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 89.28 จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง



เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณของแข็งแขวนลอยมีได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 30 วัน ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.14 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร) * |                    |                    |
|------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                         | ระยะเวลา 20 วัน    | ระยะเวลา 30 วัน    |
| T <sub>0</sub>   | 3.50 <sup>i</sup>                       | 8.80 <sup>i</sup>  | 1.50 <sup>h</sup>  |
| T <sub>1</sub>   | 14.00 <sup>h</sup>                      | 13.50 <sup>h</sup> | 8.00 <sup>i</sup>  |
| T <sub>2</sub>   | 20.50 <sup>g</sup>                      | 13.00 <sup>h</sup> | 12.50 <sup>h</sup> |
| T <sub>3</sub>   | 42.00 <sup>d</sup>                      | 24.00 <sup>f</sup> | 35.50 <sup>e</sup> |
| T <sub>4</sub>   | 66.00 <sup>b</sup>                      | 45.00 <sup>c</sup> | 72.50 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10;

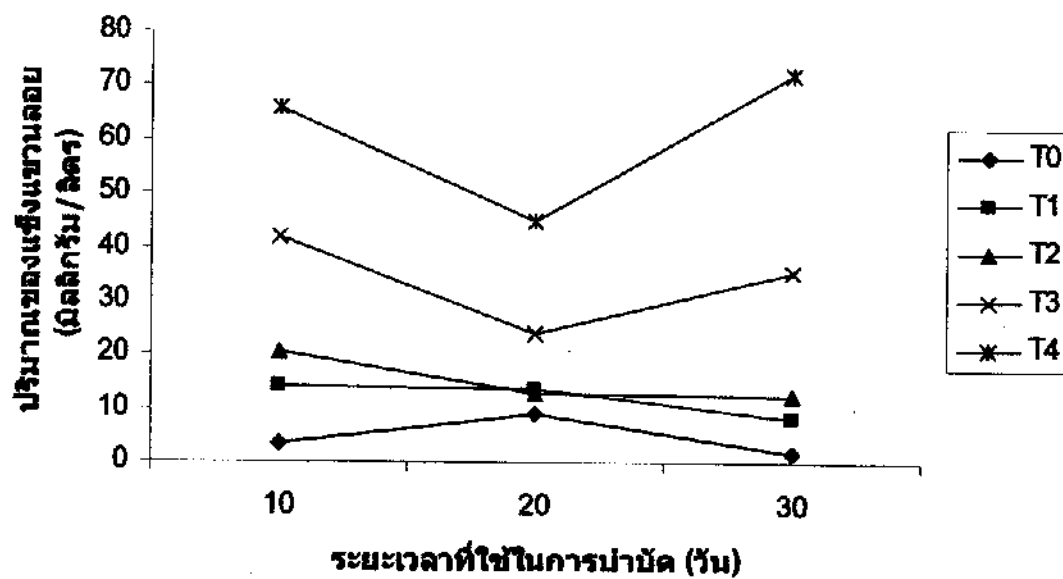
T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มต้นของหน่วยทดลอง T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> และ T<sub>4</sub> มีค่าเท่ากับ 0.00, 169.00, 338.00, 507.00 และ 676.00 มิลลิกรัม/ลิตร

ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ) |                 |                 |
|------------------|-------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                                 | ระยะเวลา 20 วัน | ระยะเวลา 30 วัน |
| $T_0$            | -                                               | -               | -               |
| $T_1$            | 91.72                                           | 92.01           | 95.27           |
| $T_2$            | 93.93                                           | 96.15           | 96.30           |
| $T_3$            | 91.72                                           | 95.27           | 93.00           |
| $T_4$            | 90.24                                           | 93.34           | 89.28           |



ภาพที่ 4.15 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.3.4 บีโอดี (BOD)

ปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.16 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีแสดงตามตารางที่ 4.17 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 28

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) กับระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน และปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน กับปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน มีปริมาณบีโอดีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีปริมาณบีโอดีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง แต่ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10 และ 15 มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง สำหรับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลองในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อปริมาณบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก มีปริมาณบีโอดีลดลงจากค่าเริ่มต้นมากที่สุดในทุกระดับความเข้มข้น หลังจากนั้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานเกิน 10 วัน ปริมาณบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากได้ดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้มีปริมาณบีโอดีลดลง แต่ต่อมาเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดเริ่มลดลงและมี

ผักกระเฉดบางส่วนเริ่มตายลง โดยมีการตายของผักกระเฉดมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน ปริมาณบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดบางส่วนที่ร่วงหล่นลงสู่ น้ำ ประกอบกับมีผักกระเฉดบางส่วนตายลงขณะทดลอง ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ที่มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นในปริมาณเพียงเล็กน้อยเนื่องจากน้ำในหน่วยทดลองนี้ไม่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ก่อนการทดลอง (มีปริมาณบีโอดีและซีโอดีเริ่มต้นก่อนการทดลองเท่ากับ 0) จึงมีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วกว่าหน่วยทดลองอื่นที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า จึงทำให้ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะในกลุ่มควบคุมมีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีของหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีได้ดีที่สุดในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีจะลดลง หากพิจารณาที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จะพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่ำกว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถลดปริมาณบีโอดีได้ในอัตราที่มากกว่า โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน สูงที่สุด คือ มีปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 70.37 จากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน ต่ำที่สุด คือ มีปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 42.59 จากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณบีโอดีมีได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุก

ระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุก  
ระยะเวลาการบำบัด

ตารางที่ 4.16 ปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่  
แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ปริมาณบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร) * |                       |                       |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                 | ระยะเวลา 20 วัน       | ระยะเวลา 30 วัน       |
| $T_0$            | 3.13 <sup>i</sup>               | 4.33 <sup>i</sup>     | 3.60 <sup>i</sup>     |
| $T_1$            | 100.00 <sup>k</sup>             | 250.00 <sup>j</sup>   | 425.00 <sup>h</sup>   |
| $T_2$            | 300.00 <sup>i</sup>             | 525.00 <sup>f</sup>   | 750.00 <sup>e</sup>   |
| $T_3$            | 450.00 <sup>g</sup>             | 750.00 <sup>e</sup>   | 1,175.00 <sup>b</sup> |
| $T_4$            | 775.00 <sup>d</sup>             | 1,050.00 <sup>c</sup> | 1,375.00 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

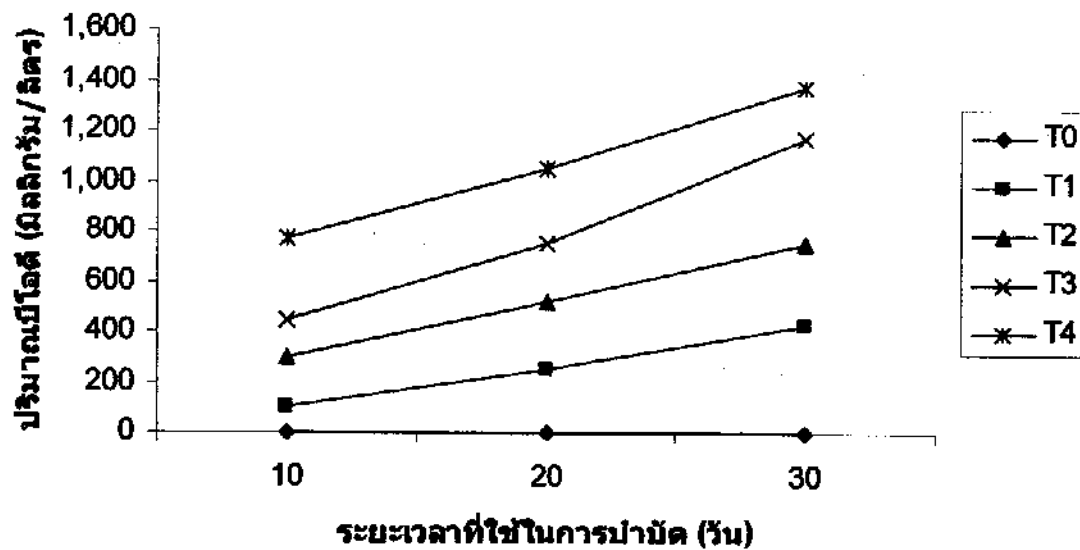
ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า  $T_0$  = ร้อยละ 0;  $T_1$  = ร้อยละ 5;  $T_2$  = ร้อยละ 10;  
 $T_3$  = ร้อยละ 15;  $T_4$  = ร้อยละ 20

ปริมาณบีโอดีเริ่มต้นของหน่วยทดลอง  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  และ  $T_4$  มีค่าเท่ากับ  
0.00, 337.50, 675.00, 1,012.50 และ 1,350.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดี (ร้อยละ) |                 |                 |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                         | ระยะเวลา 20 วัน | ระยะเวลา 30 วัน |
| T <sub>0</sub>   | -                                       | -               | -               |
| T <sub>1</sub>   | 70.37                                   | 25.93           | -25.93          |
| T <sub>2</sub>   | 55.56                                   | 22.22           | -11.11          |
| T <sub>3</sub>   | 55.56                                   | 25.93           | -16.05          |
| T <sub>4</sub>   | 42.59                                   | 22.22           | -1.85           |

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.16 ปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.3.5 ซีไอดี (COD)

ปริมาณซีไอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.17 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีไอดีแสดงตามตารางที่ 4.19 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 29

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณซีไอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันและมีความแตกต่างจากปริมาณซีไอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 30 วัน ปริมาณซีไอดีที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกับปริมาณซีไอดีที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีปริมาณซีไอดีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 และ 10 มีปริมาณซีไอดีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง แต่ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 มีปริมาณซีไอดีที่ไม่แตกต่างจากค่าก่อนการทดลอง และที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณซีไอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง สำหรับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีปริมาณซีไอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 30 วัน มีปริมาณซีไอดีไม่แตกต่างจากค่าก่อนการทดลอง

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อปริมาณซีไอดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก มีปริมาณซีไอดีลดลงมากที่สุดในทุกระดับความเข้มข้น หลังจากนั้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานเกิน 10 วัน ปริมาณซีไอดีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากได้ดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้มีปริมาณซีไอดีลดลง แต่ต่อมาเมื่อ

มีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดเริ่มลดลงและมีผักกระเฉดบางส่วนเริ่มตายลง โดยมีการตายของผักกระเฉดมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน มีปริมาณซีโอติเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า ในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก ปริมาณซีโอติมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณซีโอติมีค่าลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไปในน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดที่ร่วงหล่นลงสู่ น้ำ ประกอบกับมีผักกระเฉดบางส่วนตายลงขณะทดลอง ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก จากนั้นสารอินทรีย์ได้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในอัตราที่มากกว่าหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า เนื่องจากน้ำในหน่วยทดลองนี้ไม่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ก่อนการทดลอง (มีปริมาณบีโอดีและซีโอติเริ่มต้นก่อนการทดลองเท่ากับ 0) จึงมีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วกว่าหน่วยทดลองอื่น ทำให้ในระยะเวลาต่อมาปริมาณซีโอติในกลุ่มควบคุมมีปริมาณลดลง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติของหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติได้ดีที่สุดในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติจะลดลง หากพิจารณาเฉพาะที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จะพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน สูงที่สุด คือ มีปริมาณซีโอติลดลงร้อยละ 25.00 จากปริมาณซีโอติก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน ต่ำที่สุด คือ มีปริมาณซีโอติลดลงร้อยละ 8.27 จากปริมาณซีโอติก่อนการทดลอง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณซีโอติมีได้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุก



ระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุก  
ระยะเวลาการบำบัด

ตารางที่ 4.18 ปริมาณซีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่  
แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ปริมาณซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร) * |                       |                       |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                 | ระยะเวลา 20 วัน       | ระยะเวลา 30 วัน       |
| T <sub>0</sub>   | 0.00 <sup>n</sup>               | 20.00 <sup>m</sup>    | 0.00 <sup>n</sup>     |
| T <sub>1</sub>   | 1,200.00 <sup>i</sup>           | 1,366.00 <sup>k</sup> | 1,960.00 <sup>j</sup> |
| T <sub>2</sub>   | 2,407.60 <sup>i</sup>           | 3,000.00 <sup>h</sup> | 3,724.00 <sup>g</sup> |
| T <sub>3</sub>   | 4,259.60 <sup>f</sup>           | 4,800.00 <sup>e</sup> | 6,272.00 <sup>c</sup> |
| T <sub>4</sub>   | 5,870.80 <sup>d</sup>           | 6,400.00 <sup>b</sup> | 8,036.00 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

abcdefghijklmn

ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10;

T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ปริมาณซีโอดีเริ่มต้นของหน่วยทดลอง T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> และ T<sub>4</sub> มีค่าเท่ากับ

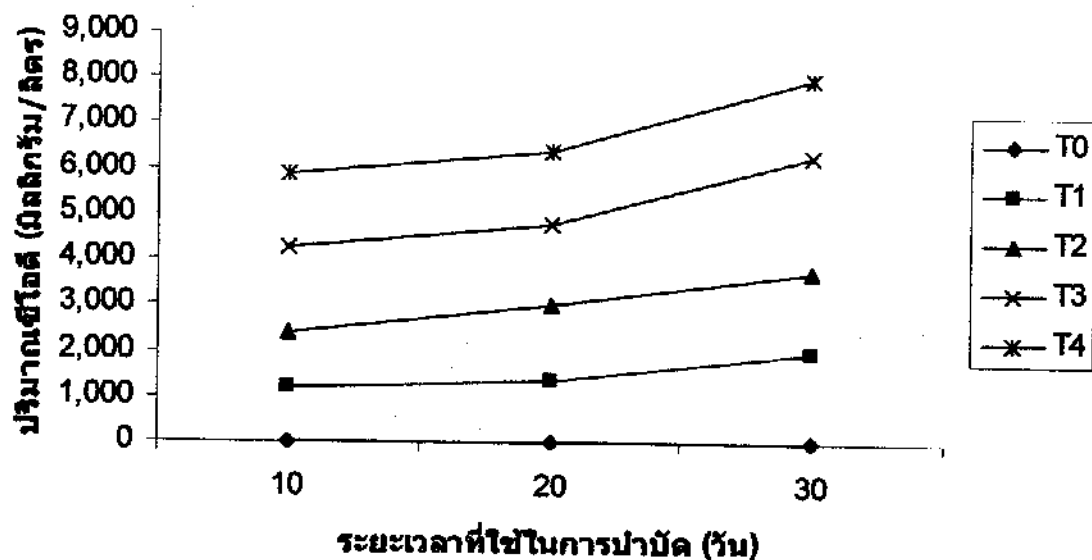
0.00, 1,600.00, 3,200.00, 4,800.00 และ 6,400.00 มิลลิกรัม/ลิตร

ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดี (ร้อยละ) |                 |                 |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                         | ระยะเวลา 20 วัน | ระยะเวลา 30 วัน |
| T <sub>0</sub>   | -                                       | -               | -               |
| T <sub>1</sub>   | 25.00                                   | 14.63           | -22.50          |
| T <sub>2</sub>   | 24.76                                   | 6.25            | -16.38          |
| T <sub>3</sub>   | 11.26                                   | 0.00            | -30.67          |
| T <sub>4</sub>   | 8.27                                    | 0.00            | -25.55          |

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณซีโอดีเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.17 ปริมาณซีโอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

#### 4.1.3.6 ทีเคเอ็น (TKN)

ปริมาณทีเคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 และที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.18 ส่วนประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีไอดีแสดงตามตารางที่ 4.21 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 30

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ปริมาณทีเคเอ็นที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) กับระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน และปริมาณบีไอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน กับปริมาณบีไอดีที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนปริมาณบีไอดีที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง สำหรับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 30 วัน มีปริมาณทีเคเอ็นไม่แตกต่างจากค่าก่อนการทดลอง

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อปริมาณทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ มีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น และระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่าและมีระยะเวลาการบำบัดที่นานกว่า เกิดการย่อยสลายของผักกระเฉดมากกว่าจากการที่ผักกระเฉดตายลงเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำจากซากผักกระเฉดที่ย่อยสลาย จึงทำให้ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า ในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก ปริมาณทีเคเอ็นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ

เปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณที่เคเอ็นมีค่าลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการนำผักกระเฉดใส่ลงไป ในหน่วยทดลอง มีเศษชิ้นส่วนหรือใบผักกระเฉดที่ร่วงหล่นลงสู่ น้ำ ประกอบกับมีผักกระเฉดบางส่วนตายลงขณะทดลอง ทำให้มีปริมาณที่เคเอ็นในน้ำเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก จากนั้นที่เคเอ็นในน้ำซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ในโตรเจนและแอมโมเนียได้ถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ โดยที่สารอินทรีย์ในโตรเจนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับกลับไปด้วยผักกระเฉดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต อีกส่วนหนึ่งจะสลายตัวเป็นแอมโมเนียด้วยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Amonification) และแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นไนไตรต์ และไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) (มันสิน ดันทุลเวศม์ และมันรัช ดันทุลเวศม์, 2547: 19/12 – 19/13) ซึ่งในหน่วยทดลองนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในอัตราที่มากกว่าหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำจากสาเหตุนี้อาจเนื่องจากน้ำในหน่วยทดลองนี้ไม่มีสารอินทรีย์เริ่มต้นก่อนการทดลองทำให้จุลินทรีย์ไม่มีความต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ จึงมีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายแอมโมเนียได้รวดเร็วกว่าหน่วยทดลองอื่น ทำให้ในระยะเวลาต่อมาปริมาณที่เคเอ็นในกลุ่มควบคุมมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็น พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นที่เพิ่มขึ้นมาในขณะทำการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็น มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นและทุกระยะเวลาการบำบัดเมื่อเทียบกับปริมาณที่เคเอ็นก่อนการทดลอง โดยที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าและระยะเวลาการบำบัดที่น้อยกว่ามีแนวโน้มที่จะมีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นน้อยกว่า ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณที่เคเอ็นน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.20 จากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง นั่นคือ ในน้ำที่มีความสะอาดสูงกว่า ผักกระเฉดจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นได้ดีกว่า ดังนั้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าผักกระเฉดจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าหากทำการทดลองกับน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 และทำการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นในระยะแรกของการบำบัด ก่อนที่ผักกระเฉดจะเริ่มตายลง

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37 – 3 – 38) กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณที่เคเอ็นมีได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 และ 5 ปริมาณที่เคเอ็นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 ปริมาณที่เคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 ปริมาณที่เคเอ็นไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด

ตารางที่ 4.20 ปริมาณที่เคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ปริมาณที่เคเอ็น (มิลลิกรัม/ลิตร) * |                     |                     |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                    | ระยะเวลา 20 วัน     | ระยะเวลา 30 วัน     |
| T <sub>0</sub>   | 0.00 <sup>l</sup>                  | 1.15 <sup>l</sup>   | 0.00 <sup>l</sup>   |
| T <sub>1</sub>   | 34.44 <sup>k</sup>                 | 44.54 <sup>l</sup>  | 52.47 <sup>l</sup>  |
| T <sub>2</sub>   | 74.64 <sup>h</sup>                 | 94.47 <sup>g</sup>  | 112.67 <sup>f</sup> |
| T <sub>3</sub>   | 122.08 <sup>e</sup>                | 148.46 <sup>d</sup> | 177.14 <sup>c</sup> |
| T <sub>4</sub>   | 178.00 <sup>c</sup>                | 188.27 <sup>b</sup> | 232.13 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

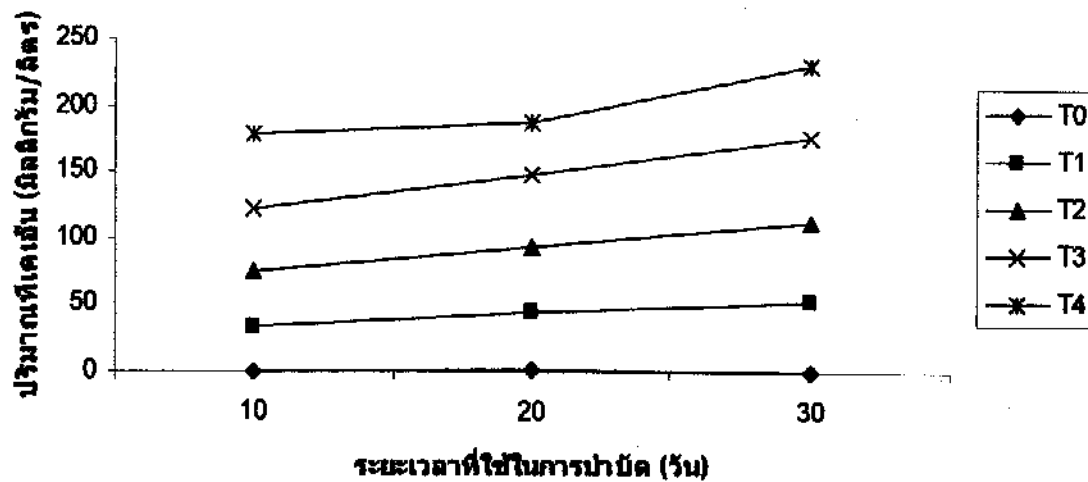
ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10; T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20

ปริมาณที่เคเอ็นเริ่มต้นของหน่วยทดลอง T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> และ T<sub>4</sub> มีค่าเท่ากับ 0.00, 34.03, 68.06, 102.09 และ 136.12 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็น (ร้อยละ) |                 |                 |
|------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน                            | ระยะเวลา 20 วัน | ระยะเวลา 30 วัน |
| $T_0$            | -                                          | -               | -               |
| $T_1$            | -1.20                                      | -30.88          | -54.19          |
| $T_2$            | -9.67                                      | -38.80          | -65.55          |
| $T_3$            | -19.58                                     | -45.42          | -73.51          |
| $T_4$            | -30.77                                     | -38.31          | -70.53          |

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง



ภาพที่ 4.18 ปริมาณที่เคเอ็นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

## 4.2 ชีวมวลของผักกระเจต

### 4.2.1 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่มีผลต่อชีวมวลของผักกระเจต

การศึกษาชีวมวลของผักกระเจตที่ใช้ในการนำบัตินคุณภาพน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าซึ่งมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยให้ผักกระเจตลอยบนผิวน้ำในภาชนะทดลอง มีชีวมวลเริ่มต้นเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม น้ำที่ใช้มีปริมาตรเริ่มต้นเท่ากับ 50 ลิตร ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.22 และภาพที่ 4.19 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 31

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มีค่าเท่ากับ 0.190, 0.204, 0.199, 0.198 และ 0.196 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 และ 5 ชีวมวลรวมของผักกระเจตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10, 15 และ 20 ไม่มีความแตกต่างกับที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตเริ่มต้นก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.200 จะเห็นได้ว่า ในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตสูงกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ส่วนในหน่วยทดลองอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตต่ำกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ซึ่งในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตน้อยที่สุด โดยเฉลี่ย 0.190 กิโลกรัม และในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตมากที่สุด โดยเฉลี่ย 0.204 กิโลกรัม

ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีค่าลดลงตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงกว่า น้ำจะมีความสกปรกสูงขึ้น ซึ่งธรรมชาติของผักกระเจตเจริญเติบโตได้ไม่ดีในน้ำที่สกปรก (อรุณรัตน์ ปฏิภาณเทวา, 2530: 48) จึงมีผักกระเจตตายลงมากกว่า เมื่อผักกระเจตตายทำให้ปริมาณน้ำและสารต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อผักกระเจตระเหยหรือสลายไป ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยชีวมวลลดลง

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจตเฉลี่ยต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากในกลุ่มควบคุมมี

สารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของผักกระเฉดในระยะเวลา 30 วัน ในขณะที่หน่วยทดลองอื่นที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่าจะมีปริมาณธาตุอาหารที่ผักกระเฉดสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ในปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากในน้ำกากส่ามีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (สุจินต์ พนาป-วุฒิกุล, 2542: 35) จึงทำให้ผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้หน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่าทุกระดับความเข้มข้นมีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดสูงกว่าในกลุ่มควบคุมในทุกระยะเวลาการบำบัด โดยเฉพาะหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งหน่วยทดลองนี้เป็นหน่วยทดลองที่มีการเจริญเติบโตของผักกระเฉดดีที่สุด

ตารางที่ 4.22 ชีวมวลเฉลี่ยของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ชีวมวลเริ่มต้น<br>(กิโลกรัม) | ชีวมวลเฉลี่ย *      | ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง<br>(กิโลกรัม) |
|------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| $T_0$            | 0.200                        | 0.190 <sup>a</sup>  | -0.010                             |
| $T_1$            | 0.200                        | 0.204 <sup>b</sup>  | 0.004                              |
| $T_2$            | 0.200                        | 0.199 <sup>ab</sup> | -0.001                             |
| $T_3$            | 0.200                        | 0.198 <sup>ab</sup> | -0.002                             |
| $T_4$            | 0.200                        | 0.196 <sup>ab</sup> | -0.004                             |

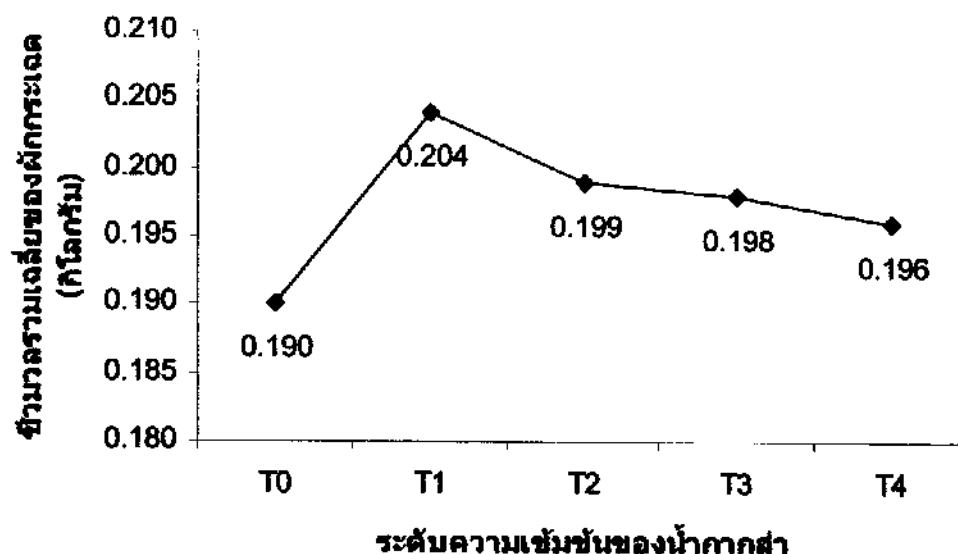
หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติ

<sup>ab</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า  $T_0$  = ร้อยละ 0;  $T_1$  = ร้อยละ 5;  $T_2$  = ร้อยละ 10;

$T_3$  = ร้อยละ 15;  $T_4$  = ร้อยละ 20





ภาพที่ 4.19 ชีวมวลเฉลี่ยของปลากะเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสาที่แตกต่างกัน

#### 4.2.2 อิทธิพลของระยะเวลาการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลของปลากะเจด

การศึกษาชีวมวลของปลากะเจดที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.23 และภาพที่ 4.20 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 32

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 0.204, 0.198 และ 0.190 ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีค่าแตกต่างกับค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดเริ่มต้นก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.200 จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดสูงกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ส่วนในระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดต่ำกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง โดยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก ปลากะเจดมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากได้ดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ จากน้ำเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจดสูงขึ้น แต่ต่อมาเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของปลากะเจดเริ่มลดลงและมีปลากะเจดบางส่วนเริ่มตายลง เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการทดลองมีความสกปรกสูง ทำให้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของปลากะเจด

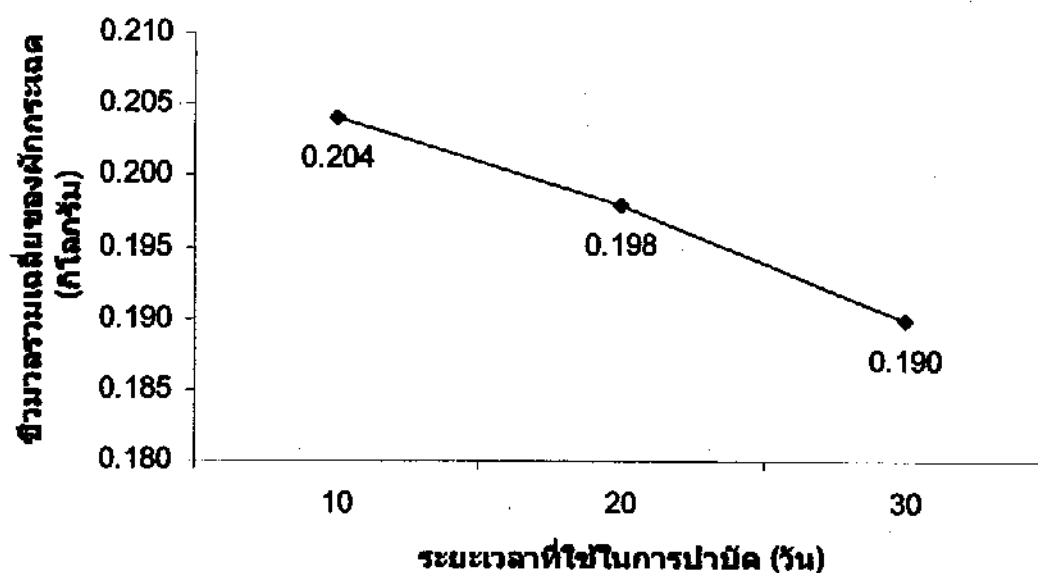
กระเจดต่ำลงตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น และหากยังคงทำการบำบัดต่อไปจนมีระยะเวลาการบำบัดนานถึง 30 วัน จะมีผักกระเจดตายลงในปริมาณมาก จนทำให้มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเจดต่ำกว่าที่ระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.23 ชีวมวลเฉลี่ยของผักกระเจดที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ

| ระยะเวลา (วัน) | ชีวมวลเริ่มต้น<br>(กิโลกรัม) | ชีวมวลเฉลี่ย *<br>(กิโลกรัม) | ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง<br>(กิโลกรัม) |
|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| 10             | 0.200                        | 0.204 <sup>a</sup>           | 0.004                              |
| 20             | 0.200                        | 0.198 <sup>a</sup>           | -0.002                             |
| 30             | 0.200                        | 0.190 <sup>b</sup>           | -0.010                             |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติ

<sup>ab</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 4.20 ชีวมวลเฉลี่ยของผักกระเจดที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ

#### 4.2.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลของผักกระเฉด

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลของผักกระเฉด ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.24 และภาพที่ 4.21 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 33 และแสดงภาพการเจริญเติบโตของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 4.22 ถึง 4.24

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีค่าแตกต่างกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน และแตกต่างกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10 และ 15 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าแตกต่างกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 20 และ 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน มีค่าแตกต่างกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดเริ่มต้นก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.200 จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดสูงกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ส่วนในระยะเวลาการบำบัด 20 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 และ 10 มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดสูงกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง แต่ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 15 และ 20 มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดต่ำกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง และที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดต่ำกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัด พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นั่นคือ ทั้งระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดต่างก็มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉด แต่ไม่มีความเกี่ยวข้องกัน โดยเมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของ

น้ำกาฬสาให้แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ ยังคงมีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน และในลักษณะเดียวกัน เมื่อใช้ระยะเวลาการบำบัดน้ำที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสาต่าง ๆ ก็ยังคงมีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดซึ่งในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดสูงกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสา แต่หลังจากนั้นมีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดลดลงตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสา ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากได้ดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ จากน้ำเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดสูงขึ้น แต่ต่อมาเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของผักกระเฉดเริ่มลดลงและมีผักกระเฉดบางส่วนเริ่มตายลงเนื่องจากน้ำในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสาล้นละ 5, 10, 15 และ 20 มีความสกปรกสูง ส่วนในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสาล้นละ 0 ไม่มีธาตุอาหารให้พืชดูดซับอย่างเพียงพอ ทำให้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดต่ำลงตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น และสาเหตุอีกประการหนึ่ง อาจเนื่องมาจากวิธีการปลูกผักกระเฉดโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีปักดำลงในแปลงนา หรือหากใช้วิธีปลูกแบบลอยน้ำก็จะทำการปลูกแบบให้ผักกระเฉดเกาะบนท่อนไม้ไผ่ในคูคลองธรรมชาติที่มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา (กรมส่งเสริมการเกษตร, สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก, 2544: 48 – 49) แต่ในการทดลองครั้งนี้ปลูกโดยให้ผักกระเฉดลอยน้ำโดยตรงในภาชนะทดลองที่ไม่มีการไหลเวียนของน้ำ จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ไม่ดี นอกจากนี้ในการทดลองครั้งนี้ทำการทดลองในฤดูหนาว (เดือนธันวาคม – มกราคม) ซึ่งฤดูหนาวมีอากาศค่อนข้างเย็นและมีช่วงกลางวันสั้นซึ่งผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร (จิตติมา วสุสิน, 2539: 76)

ตารางที่ 4.24 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน

| ระดับความเข้มข้น | ชีวมวล (กิโลกรัม) *  |                       |                       |
|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  | ระยะเวลา 10 วัน      | ระยะเวลา 20 วัน       | ระยะเวลา 30 วัน       |
| T <sub>0</sub>   | 0.201 <sup>abc</sup> | 0.190 <sup>bcd</sup>  | 0.179 <sup>d</sup>    |
| T <sub>1</sub>   | 0.209 <sup>a</sup>   | 0.208 <sup>ab</sup>   | 0.196 <sup>abcd</sup> |
| T <sub>2</sub>   | 0.202 <sup>abc</sup> | 0.202 <sup>abc</sup>  | 0.192 <sup>abcd</sup> |
| T <sub>3</sub>   | 0.205 <sup>abc</sup> | 0.197 <sup>abc</sup>  | 0.193 <sup>abcd</sup> |
| T <sub>4</sub>   | 0.204 <sup>abc</sup> | 0.194 <sup>abcd</sup> | 0.189 <sup>cd</sup>   |

หมายเหตุ: \* วิเคราะห์หัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

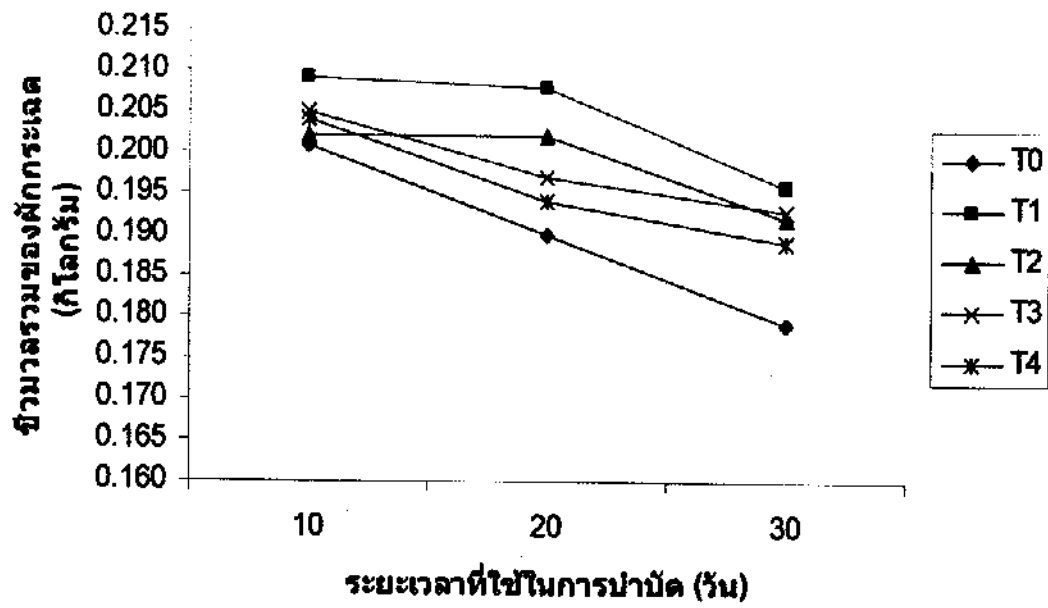
<sup>abcd</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันของชีวมวลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดเท่ากับ 0.200 กิโลกรัม

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5; T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10;

T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20



ภาพที่ 4.21 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน


 $T_0$ 

 $T_1$ 

 $T_2$ 

 $T_3$ 

 $T_4$ 

ภาพที่ 4.22 การเจริญเติบโตของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน




 $T_0$ 

 $T_1$ 

 $T_2$ 

 $T_3$ 

 $T_4$ 

ภาพที่ 4.23 การเจริญเติบโตของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ที่  
ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน




 $T_0$ 

 $T_1$ 

 $T_2$ 

 $T_3$ 

 $T_4$ 

ภาพที่ 4.24 การเจริญเติบโตของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกาสต่างๆ ที่  
ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน

### 4.3 คูลไนโตรเจน

การศึกษาคูลไนโตรเจน (N – balance) ในรูปเจลดาล์ไนโตรเจน (Kjeldahl Nitrogen) ของการทดลองในแต่ละหน่วยทดลอง ได้ทำการศึกษาปริมาณที่เคเอ็นในน้ำและในผักกระเฉด ก่อนและหลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดก่อนและหลังการทดลอง และปริมาตรน้ำเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลอง เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณเจลดาล์ไนโตรเจน ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.25 ถึง 4.27 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเจลดาล์ไนโตรเจนในผักกระเฉดก่อนและหลังการทดลอง ปริมาณเจลดาล์ไนโตรเจนในน้ำก่อนและหลังการทดลอง และปริมาณเจลดาล์ไนโตรเจนที่สูญเสียไปกับการเก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ที่ได้มาจากการคำนวณ แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.28 ถึง 4.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25 ปริมาณที่เคเอ็นในน้ำและในผักกระเฉดก่อนและหลังการทดลอง

| ปริมาณที่เคเอ็น                                  | หน่วยทดลอง     |                |                |                |                |
|--------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                                  | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| ในน้ำก่อนการทดลอง<br>(มิลลิกรัม/ลิตร)            | 0.00           | 34.03          | 68.06          | 102.09         | 136.12         |
| ในน้ำหลังการทดลอง<br>(มิลลิกรัม/ลิตร)            | 0.00           | 52.47          | 112.67         | 177.14         | 232.13         |
| ในผักกระเฉดก่อนการ<br>ทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 3,112.96       | 3,112.96       | 3,112.96       | 3,112.96       | 3,112.96       |
| ในผักกระเฉดหลังการ<br>ทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 2,551.47       | 2,773.44       | 2,904.31       | 2,901.98       | 2,853.31       |

หมายเหตุ: ปริมาณที่เคเอ็นในผักกระเฉดก่อนและหลังการทดลอง เป็นปริมาณต่อน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดก่อนและหลังการทดลอง

| ชีวมวล              | หน่วยทดลอง     |                |                |                |                |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                     | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| ก่อนการทดลอง (กรัม) | 200.00         | 200.00         | 200.00         | 200.00         | 200.00         |
| หลังการทดลอง (กรัม) | 178.50         | 195.75         | 192.25         | 192.50         | 189.00         |
| เปลี่ยนแปลง (กรัม)  | -21.50         | -4.25          | -7.75          | -7.50          | -11.00         |

ตารางที่ 4.27 ปริมาณน้ำเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลอง

| ปริมาณน้ำ           | หน่วยทดลอง     |                |                |                |                |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                     | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| ก่อนการทดลอง (ลิตร) | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         | 50.000         |
| หลังการทดลอง (ลิตร) | 20.225         | 24.625         | 24.550         | 23.975         | 24.875         |
| เปลี่ยนแปลง (ลิตร)  | -29.775        | -25.375        | -25.450        | -26.025        | -25.125        |

ตารางที่ 4.28 ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในผักกระเฉดก่อนและหลังการทดลอง

| ปริมาณเจลดาร์ล<br>ไนโตรเจน | หน่วยทดลอง     |                |                |                |                |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| ก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม)   | 622.59         | 622.59         | 622.59         | 622.59         | 622.59         |
| หลังการทดลอง (มิลลิกรัม)   | 455.44         | 542.90         | 558.35         | 558.63         | 539.27         |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม)    | -167.15        | -79.69         | -64.24         | -63.96         | -83.32         |
| เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)       | -26.85         | -12.80         | -10.32         | -10.27         | -13.38         |

ตารางที่ 4.29 ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนและหลังการทดลอง

| ปริมาณเจลดาร์ล<br>ในโตรเจน | หน่วยทดลอง     |                |                |                |                |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| ก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม)   | 0.00           | 1,701.47       | 3,402.95       | 5,104.42       | 6,805.90       |
| หลังการทดลอง (มิลลิกรัม)   | 0.00           | 1,292.07       | 2,766.05       | 4,246.93       | 5,774.23       |
| เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม)    | 0.00           | -409.40        | -636.90        | -857.49        | -1,031.67      |
| เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)       | 0.00           | -24.06         | -18.72         | -16.80         | -15.16         |

ตารางที่ 4.30 ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์  
ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

| ปริมาณเจลดาร์ล<br>ในโตรเจน | หน่วยทดลอง     |                |                |                |                |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| 10 วัน (มิลลิกรัม)         | 0.00           | 34.44          | 74.64          | 122.08         | 178.00         |
| 20 วัน (มิลลิกรัม)         | 1.15           | 44.54          | 94.47          | 148.46         | 188.27         |
| 30 วัน (มิลลิกรัม)         | 0.00           | 52.47          | 112.67         | 177.14         | 232.13         |
| รวม (มิลลิกรัม)            | 1.15           | 131.45         | 281.78         | 447.68         | 598.40         |

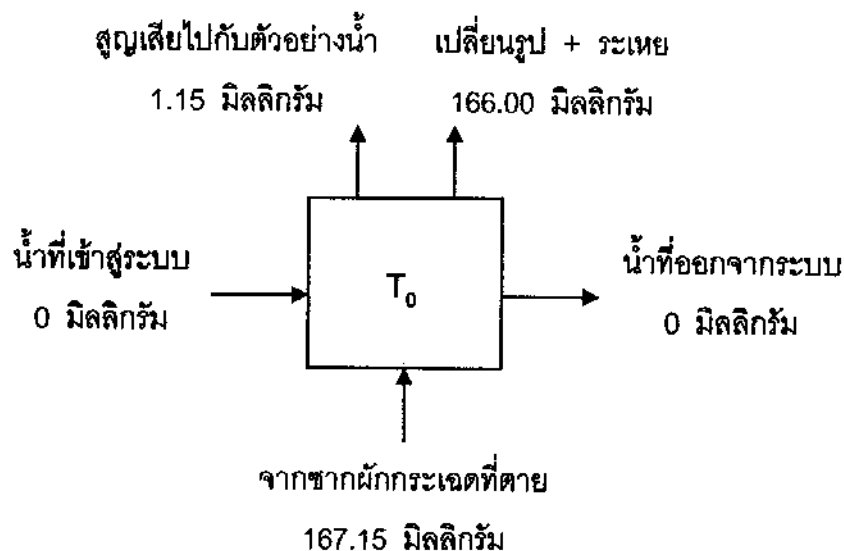
หมายเหตุ: ตัวอย่างน้ำของแต่ละหน่วยทดลองที่เก็บในแต่ละครั้ง มีปริมาตร 4 ลิตร  
(1 ลิตรต่อ 1 ชั่วโมง)

#### 4.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในหน่วยทดลอง

จากการศึกษาจุลในโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจน พบว่า ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนเริ่มต้นก่อนทำการทดลองที่มีอยู่ในน้ำของแต่ละหน่วยทดลอง ส่วนหนึ่งสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ ส่วนหนึ่งจะถูกกำจัดโดยการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นในโตรเจนรูปอื่น ๆ ส่วนหนึ่งระเหยสู่อากาศ ส่วนหนึ่งได้เพิ่มจากการที่ฝักกระเจดตายลง ซึ่งปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนส่วนที่สูญเสียไปของฝักกระเจดจะไปเพิ่มปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนให้กับน้ำ ส่วนปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนส่วนที่เหลือก็จะอยู่ในน้ำหลังการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในแต่ละหน่วยทดลองมีดังนี้

4.3.1.1 หน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสำร่อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) ไม่มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลอง แต่มีเพิ่มขึ้นในขณะทำการทดลองจากซากฝักกระเจดที่ตายลง 167.15 มิลลิกรัม มีการสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 1.15 มิลลิกรัม มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นในโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือระเหยสู่อากาศ 166.00 มิลลิกรัม และไม่มีเหลือตกค้างอยู่ในน้ำภายหลังการทดลอง

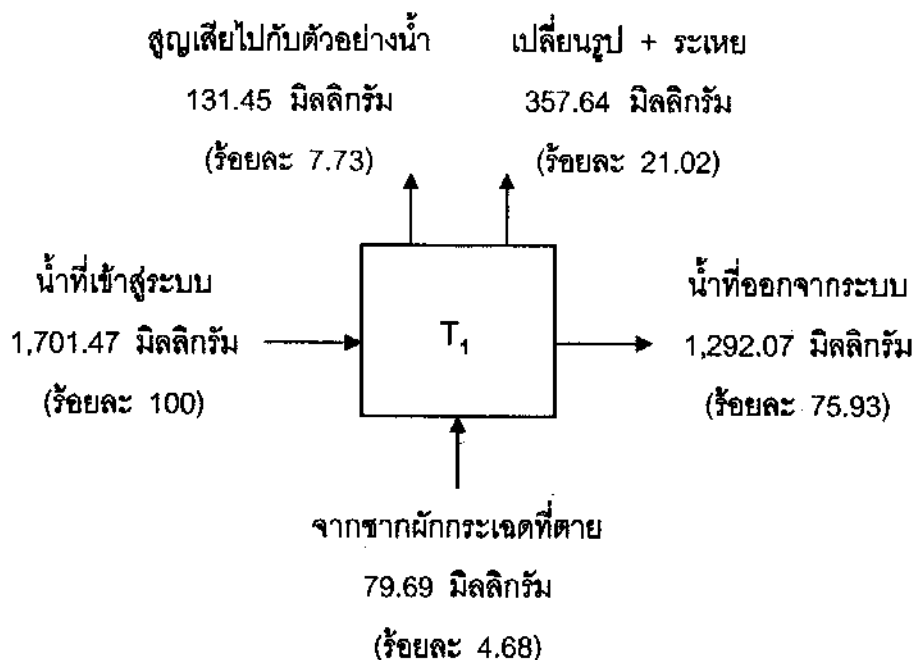
จุลในโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจนของหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกาฬสำร่อยละ 0 (หน่วยทดลอง  $T_0$ ) แสดงตามภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 จุลในโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจนของหน่วยทดลอง  $T_0$

4.3.1.2 หน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลอง 1,701.47 มิลลิกรัม มีปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำเพิ่มขึ้นในขณะที่ทำการทดลองจากการสูญเสียเจลดาร์ลไนโตรเจนของผักกระเฉด 79.69 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.68 ของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 131.45 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 7.73 ของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือระเหยสู่อากาศ 357.64 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 21.02 ของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง และมีเหลือตกค้างอยู่ในน้ำภายหลังการทดลอง 1,292.07 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำที่คงเหลือเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลองร้อยละ 75.93

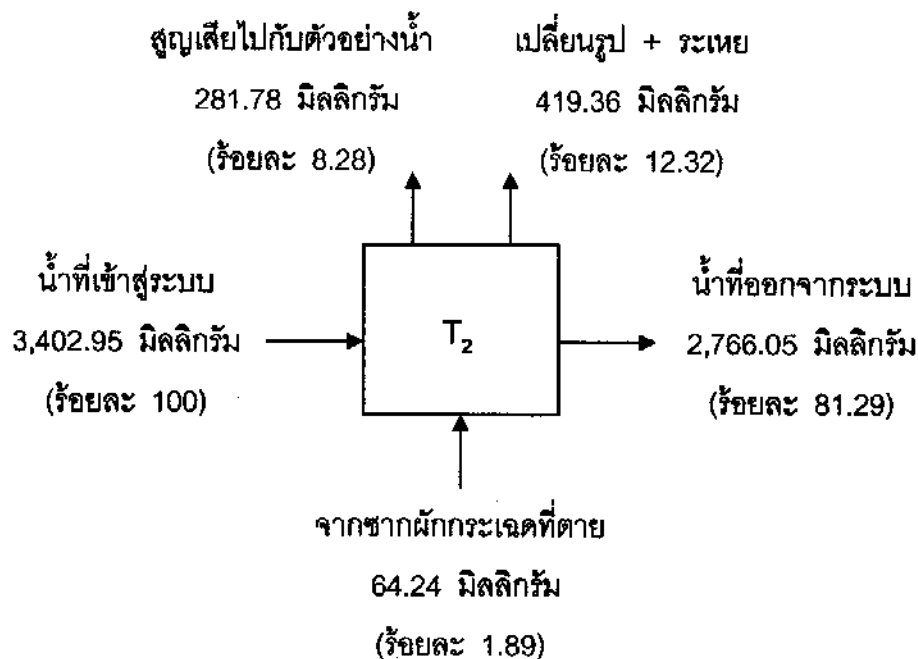
ดูไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนของหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 (หน่วยทดลอง  $T_1$ ) แสดงตามภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 ดูไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนของหน่วยทดลอง  $T_1$

4.3.1.3 หน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 มีปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลอง 3,402.95 มิลลิกรัม มีปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำเพิ่มขึ้นในขณะทำการทดลองจากการสูญเสียเจลดาร์ลไนโตรเจนของผักกระเฉด 64.24 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.89 ของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 281.78 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 8.28 ของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือระเหยสู่อากาศ 419.36 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 12.32 ของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง และมีเหลือตกค้างอยู่ในน้ำภายหลังการทดลอง 2,766.05 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำที่คงเหลือเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลองร้อยละ 81.29

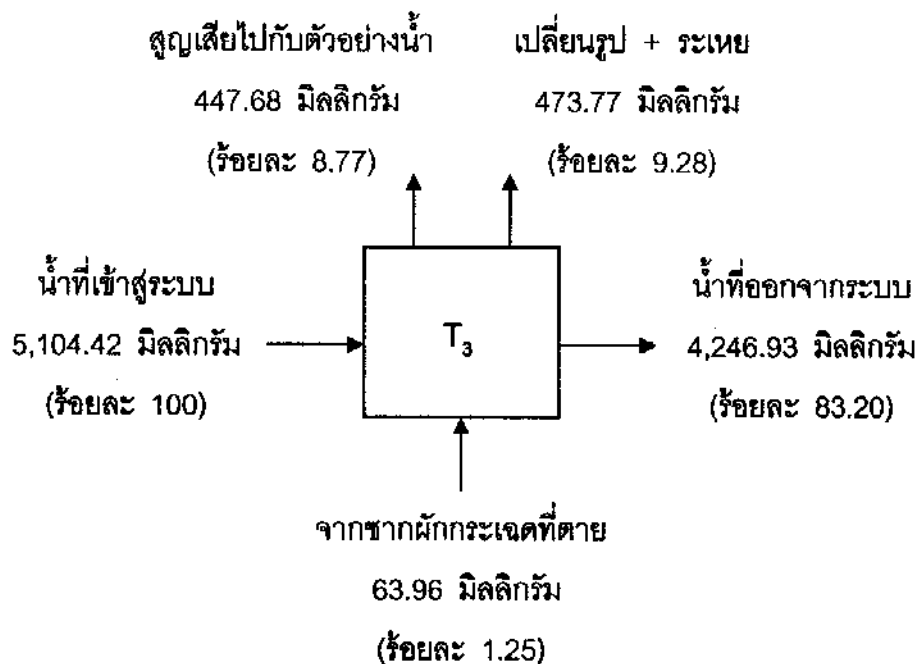
ดุลไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนของหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 (หน่วยทดลอง  $T_2$ ) แสดงตามภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 ดุลไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนของหน่วยทดลอง  $T_2$

4.3.1.4 หน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลอง 5,104.42 มิลลิกรัม มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำเพิ่มขึ้นในขณะที่ทำการทดลองจากการสูญเสียเจลดาร์ลในโตรเจนของผักกระเฉด 63.96 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.25 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 447.68 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 8.77 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือระเหยสู่อากาศ 473.77 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 9.28 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง และมีเหลือตกค้างอยู่ในน้ำภายหลังการทดลอง 4,246.93 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำที่คงเหลือเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลองร้อยละ 83.20

ดูไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจนของหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 (หน่วยทดลอง  $T_3$ ) แสดงตามภาพที่ 4.28

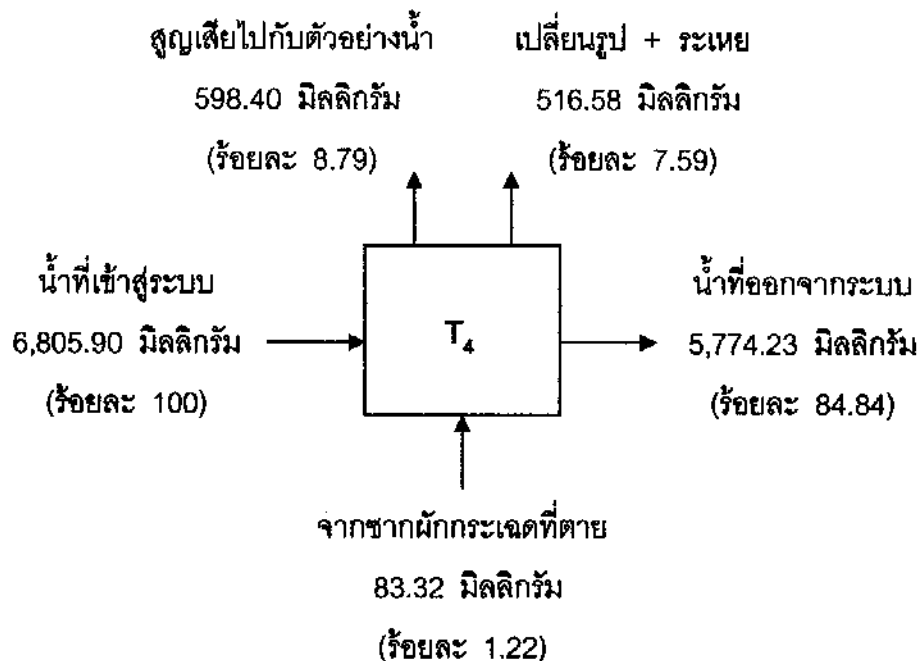


ภาพที่ 4.28 ดูไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจนของหน่วยทดลอง  $T_3$



4.3.1.5 หน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลอง 6,805.90 มิลลิกรัม มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำเพิ่มขึ้นในขณะที่ทำการทดลองจากการสูญเสียเจลดาร์ลในโตรเจนของผักกระเฉด 83.32 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.22 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 598.40 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 8.79 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือระเหยสู่อากาศ 516.58 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 7.59 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง และมีเหลือตกค้างอยู่ในน้ำภายหลังการทดลอง 5,774.23 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำที่คงเหลือเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลองร้อยละ 84.84

ดุลไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจนของหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 (หน่วยทดลอง  $T_4$ ) แสดงตามภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 ดุลไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลในโตรเจนของหน่วยทดลอง  $T_4$

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบคูลในโตรเจนของแต่ละหน่วยทดลอง

การเปรียบเทียบคูลในโตรเจนในรูปเจลดาล์ในโตรเจนของหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ( $T_0$ ), 5 ( $T_1$ ), 10 ( $T_2$ ), 15 ( $T_3$ ) และ 20 ( $T_4$ ) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.31 และภาพที่ 4.30 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 34 ถึง ค. 38

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลองของทุกหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากน้ำกากส่ามีปริมาณที่เคเอ็นที่สูงกว่าน้ำซึ่งปริมาณที่เคเอ็นของน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณที่เคเอ็นของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 680.59 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำปนเปื้อนนํ้ากากส่าในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นทำให้มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยที่น้ำในแต่ละหน่วยทดลองมีปริมาตรเริ่มต้นที่เท่ากัน คือ 50 ลิตร จึงทำให้มีปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลองเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้นตามไปด้วย

ปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนที่สูญเสียไปของผักกระเฉดในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยทุกหน่วยทดลองมีปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนในผักกระเฉดที่ลดลงหลังทำการทดลอง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการที่มีผักกระเฉดตายลงในทุกหน่วยทดลองทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนในผักกระเฉด ซึ่งปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนส่วนที่สูญเสียไปของผักกระเฉดจะไปเพิ่มปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนให้กับน้ำ สำหรับในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนที่สูญเสียไปของผักกระเฉดมากที่สุดเพราะมีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดภายหลังการทดลองเหลือน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองนี้ขาดธาตุอาหารให้ผักกระเฉดดูดซับอย่างเพียงพอทำให้ผักกระเฉดตายลงในปริมาณที่มากกว่าหน่วยทดลองอื่น ส่วนในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ก็มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดลดลงภายหลังการทดลอง อาจเนื่องมาจากน้ำมีความสกปรกสูง ซึ่งผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ไม่ดีในน้ำที่สกปรก

ปริมาณเจลดาล์ในโตรเจนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ตลอดระยะเวลาการทดลองของทุกหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมี

ปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในแต่ละหน่วยทดลองมีปริมาณที่เคเอ็นในน้ำเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บในแต่ละซ้ำของทุกหน่วยทดลองมีปริมาตรที่เท่ากัน คือ เก็บตัวอย่างน้ำครั้งละ 1 ลิตรต่อ 1 ซ้ำ รวม 3 ครั้ง ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน จึงทำให้มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการสูญเสียปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนไปกับตัวอย่างน้ำเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง พบว่า มีอัตราที่ใกล้เคียงกันทุกหน่วยทดลอง โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำคิดเป็นร้อยละ 7.73, 8.28, 8.77 และ 8.79 ตามลำดับ

ส่วนปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือจากการระเหยสู่บรรยากาศในทุกหน่วยทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปหรือจากการระเหยในแต่ละหน่วยทดลองมีปริมาณสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าสูงกว่ามีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ในโตรเจนและแอมโมเนียในโตรเจนในปริมาณที่มากกว่า ทำให้มีโอกาสเกิดการระเหยหรือเกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในกระบวนการต่าง ๆ ได้มากกว่า โดยสารอินทรีย์ในโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายเป็นแอมโมเนียในโตรเจนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) แอมโมเนียในโตรเจนจะถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์และไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ไนไตรต์และไนเตรทจะเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และแอมโมเนียในโตรเจนยังอาจสูญเสียจากการถูกจุลินทรีย์ดึงไปใช้เป็นสารอาหารโดยเปลี่ยนไปเป็นโปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ (มันสิน ดัณฑุลเวศม์ และมันรักษ์ ดัณฑุลเวศม์, 2547: 19/21 – 19/23) แต่หากพิจารณาถึงอัตราการลดลงของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือจากการระเหยสู่บรรยากาศในหน่วยทดลอง พบว่า มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนลดลงในอัตราที่มากขึ้นเมื่อมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าลดลง โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนลดลงคิดเป็นร้อยละ 21.02, 12.32, 9.28 และ 7.59 ของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่ำกว่า เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในอัตราที่มากกว่าจากการที่น้ำในหน่วยทดลองมีสารอินทรีย์เริ่มต้นก่อนการทดลองที่น้อยจึงมีปริมาณ

ออกซิเจนอย่างเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายแอมโมเนียได้ในอัตราที่มากกว่าหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นสูงกว่า

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำของทุกหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีปริมาณสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น และมีปริมาณลดลงทุกหน่วยทดลองเมื่อเทียบกับปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง ทั้งนี้ เนื่องมาจากภายหลังการทดลองปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำมีการสูญเสียไปกับการระเหยและเกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในกระบวนการต่าง ๆ รวมทั้งสูญเสียไปกับการเก็บตัวอย่างน้ำในปริมาณที่มากกว่าปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนส่วนที่เพิ่มขึ้นในน้ำจากซากผักกระเฉดที่ตายลง และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการลดลงของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง พบว่า มีอัตราที่มากขึ้นเมื่อมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่ำลง โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนลดลงหลังการทดลองคิดเป็นร้อยละ 24.07, 18.71, 16.80 และ 15.16 ตามลำดับ เนื่องมาจากหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่ำกว่าเกิดการลดลงของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือจากการระเหยสู่บรรยากาศในอัตราที่มากกว่า ซึ่งปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่ผักกระเฉดดูดซับจากน้ำไม่มีผลทำให้ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำโดยรวมลดลง เนื่องจากมีการตายของผักกระเฉดในปริมาณมาก เมื่อผักกระเฉดตายลงทำให้ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่ผักกระเฉดดูดซับไปกลับคืนลงสู่น้ำพร้อมกับปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนที่มีอยู่เดิมในซากพืชที่ตาย แต่ผักกระเฉดก็มีส่วนในการทำให้ปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำลดลงจากการที่รากของผักกระเฉดและส่วนต่าง ๆ ของผักกระเฉดเป็นที่ยึดเกาะและเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายเจลดาร์ลในโตรเจนในน้ำให้เปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ

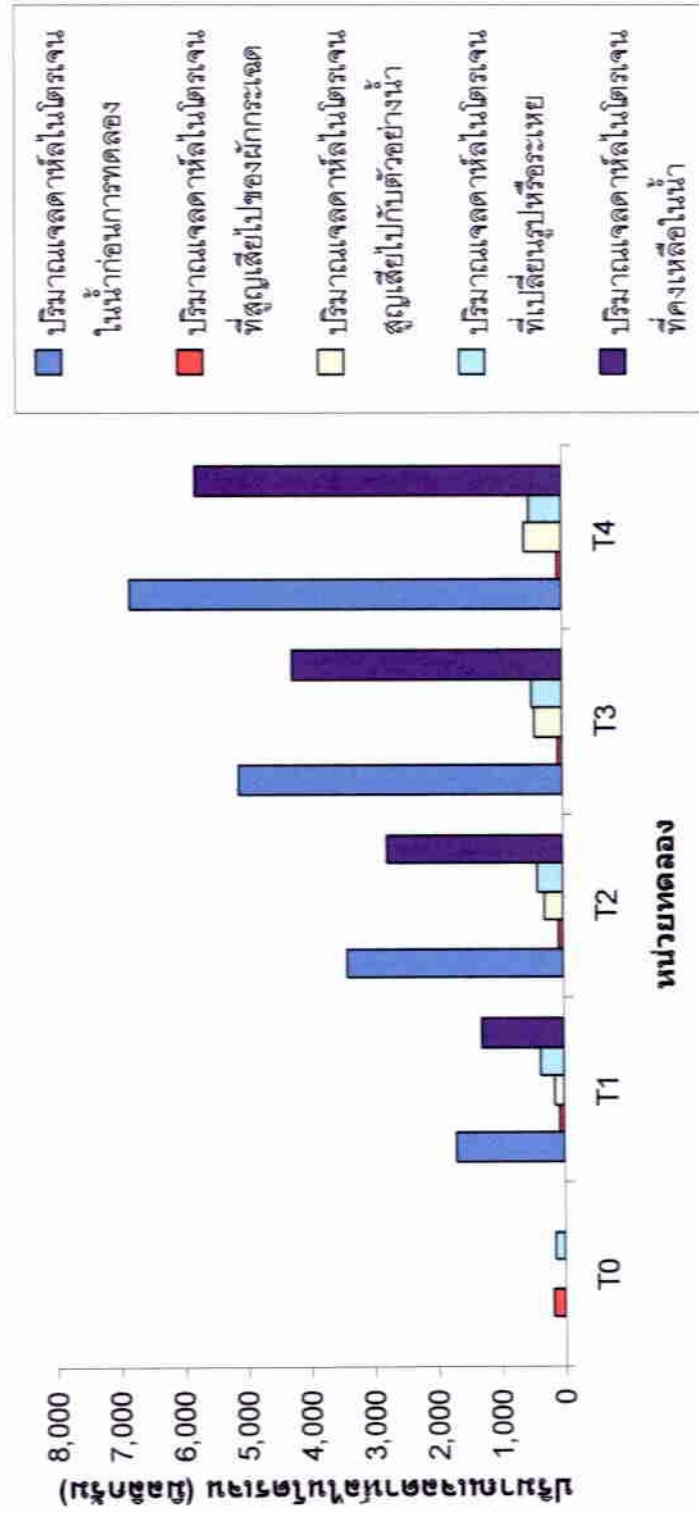
ตารางที่ 4.31 เปรียบเทียบดุลไนโตรเจนในรูปเจลดาร์ลไนโตรเจนของแต่ละหน่วยทดลอง

| ปริมาณเจลดาร์ล<br>ไนโตรเจน                     | หน่วยทดลอง          |                       |                       |                       |                       |
|------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                | T <sub>0</sub>      | T <sub>1</sub>        | T <sub>2</sub>        | T <sub>3</sub>        | T <sub>4</sub>        |
| ในน้ำก่อนการทดลอง<br>(มิลลิกรัม)               | 0 <sup>a</sup>      | 1,701.47 <sup>d</sup> | 3,402.95 <sup>c</sup> | 5,104.42 <sup>b</sup> | 6,805.90 <sup>a</sup> |
| ส่วนที่สูญเสียไปของผัก<br>กระเฉด (มิลลิกรัม)   | 167.15 <sup>a</sup> | 79.69 <sup>b</sup>    | 64.24 <sup>b</sup>    | 63.96 <sup>b</sup>    | 83.32 <sup>b</sup>    |
| ส่วนที่สูญเสียไปกับ<br>ตัวอย่างน้ำ (มิลลิกรัม) | 1.15 <sup>a</sup>   | 131.45 <sup>d</sup>   | 281.78 <sup>c</sup>   | 447.68 <sup>b</sup>   | 598.40 <sup>a</sup>   |
| ส่วนที่เปลี่ยนรูปหรือระเหย<br>(มิลลิกรัม)      | 166.00 <sup>a</sup> | 357.64 <sup>a</sup>   | 419.36 <sup>a</sup>   | 473.77 <sup>a</sup>   | 516.58 <sup>a</sup>   |
| คงเหลือในน้ำ (มิลลิกรัม)                       | 0 <sup>a</sup>      | 1,292.07 <sup>d</sup> | 2,766.05 <sup>c</sup> | 4,246.93 <sup>b</sup> | 5,774.23 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าของหน่วยทดลอง T<sub>0</sub> = ร้อยละ 0; T<sub>1</sub> = ร้อยละ 5;

T<sub>2</sub> = ร้อยละ 10; T<sub>3</sub> = ร้อยละ 15; T<sub>4</sub> = ร้อยละ 20



ภาพที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนของตัวอย่างทดลอง

#### 4.4 ปริมาณโลหะหนัก

การศึกษาปริมาณโลหะหนัก ทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือปรอท (Mercury : Hg) แคดเมียม (Cadmium : Cd) และตะกั่ว (Lead : Pb) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักในน้ำของแต่ละหน่วยทดลองภายหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน รวมทั้งทำการวิเคราะห์ค่าโลหะหนักในผักกระเฉดทุกหน่วยทดลองภายหลังจากทำการทดลองครบ 30 วัน แต่มีเงื่อนไขว่า ถ้าก่อนการทดลองตรวจไม่พบว่ามีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำกากส่า หรือตรวจพบโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำกากส่า แต่อัตราการปนเปื้อนไม่เกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามตารางที่ 4.29 จะไม่ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำและในผักกระเฉดภายหลังจากการทดลองอีก

ตารางที่ 4.32 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

| พารามิเตอร์   | ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/ลิตร) |
|---------------|---------------------------------|
| ปรอท (Hg)     | ไม่เกิน 0.005                   |
| แคดเมียม (Cd) | ไม่เกิน 0.030                   |
| ตะกั่ว (Pb)   | ไม่เกิน 0.200                   |

แหล่งที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545: 3 – 37.

ผลการตรวจวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักในน้ำกากส่าก่อนการทดลองจากห้องปฏิบัติการภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.30 ซึ่งจากผลการตรวจวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยมีปริมาณการปนเปื้อนปรอทน้อยกว่า 0.0002 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมน้อยกว่า 0.0015 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วน้อยกว่า 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528: 94) ที่

พบว่า ปริมาณโลหะหนักและสารพิษในน้ำกากส่าและกากส่าแห้งมีระดับต่ำมากจนไม่เกิดผลเสียหายต่อพืช

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในน้ำกากส่าก่อนการทดลอง มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด เพราะฉะนั้นภายหลังการทดลอง จึงไม่ทำการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้งในน้ำทิ้งและในผักกระเฉดอีก

ตารางที่ 4.33 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำกากส่าก่อนการทดลอง

| พารามิเตอร์   | ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/ลิตร) |
|---------------|---------------------------------|
| ปรอท (Hg)     | ND                              |
| แคดเมียม (Cd) | ND                              |
| ตะกั่ว (Pb)   | ND                              |

หมายเหตุ: ND = Nondetection Limit คือ มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดได้

ปรอท : ND หมายถึง มีปริมาณน้อยกว่า 0.0002 มิลลิกรัม/ลิตร

แคดเมียม : ND หมายถึง มีปริมาณน้อยกว่า 0.0015 มิลลิกรัม/ลิตร

ตะกั่ว : ND หมายถึง มีปริมาณน้อยกว่า 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผักกระเฉดในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา ในระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

##### 5.1.1 คุณภาพน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1.1 ค่าพีเอช จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชของน้ำก่อนและหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระดับความเข้มข้นทั้งก่อนและหลังการทดลอง (เกณฑ์กำหนดของค่าพีเอช คือ 5.5 – 9.0) และค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 มีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลางมากที่สุดโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชต่ำที่สุด คือ มีค่าพีเอชเท่ากับ 7.477 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.06 จากค่าพีเอชเริ่มต้นก่อนการทดลอง

5.1.1.2 ของแข็งละลายน้ำ จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนและหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 และ 5 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10, 15 และ 20 มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณของแข็งละลายน้ำ คือ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณของแข็งละลายน้ำที่

เปลี่ยนแปลงก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งมีเพียงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียว ที่มีปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลง โดยลดลงร้อยละ 14.75 จากปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งละลายน้ำต่ำที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 36.96 จากปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง

5.1.1.3 ของแข็งแขวนลอย จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอย ก่อนและหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ก่อนการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน และหลังจากทำการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่า ร้อยละ 20 เพียงระดับเดียวที่มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณของแข็งแขวนลอย คือ 50 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลงในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งแต่ละระดับความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยใกล้เคียงกันทุกระดับความเข้มข้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงที่สุด คือ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 95.46 จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลอง

5.1.1.4 บีโอดี จากการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีก่อนและหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณบีโอดี คือ 20 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณบีโอดีที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลงในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 มีปริมาณบีโอดีลดลงจากค่าบีโอดีเริ่มต้นมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดี พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำ

กากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีสูงที่สุด คือ มีปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 23.46 จากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง

5.1.1.5 ซีโอดี จากการทดลอง พบว่า ปริมาณซีโอดีก่อนและหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า มีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณซีโอดี คือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีลงได้มากที่สุด มีปริมาณลดลงร้อยละ 5.71 จากปริมาณซีโอดีก่อนการทดลอง

5.1.1.6 ทีเคเอ็น จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นก่อนและหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5 และ 10 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งก่อนและหลังการทดลอง (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณทีเคเอ็น คือ 100 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณทีเคเอ็นที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ซึ่งทุกระดับความเข้มข้นไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณทีเคเอ็นและมีปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณทีเคเอ็นต่ำที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 28.77 จากปริมาณทีเคเอ็นก่อนการทดลอง

### 5.1.2 คุณภาพน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.2.1 ค่าพีเอช ก่อนการทดลองค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 7.200 และเมื่อทำการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ค่าพีเอชก่อนทำการทดลองและค่าพีเอชเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่า

อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดของค่าพีเอช คือ 5.5 – 9.0) โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดและมีค่าพีเอชที่มีความเป็นกลางมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 8.212 เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.06 จากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง

5.1.2.2 ของแข็งละลายน้ำ ก่อนการทดลองปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 3,357.90 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนทำการทดลองและปริมาณของแข็งละลายน้ำเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณของแข็งละลายน้ำ คือ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณของแข็งละลายน้ำน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 19.90 จากค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง

5.1.2.3 ของแข็งแขวนลอย ก่อนการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 338.00 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงมากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก จากนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนทำการทดลองไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณของแข็งแขวนลอย คือ 50 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงได้มากที่สุด คือ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงประมาณร้อยละ 93.83 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง

5.1.2.4 บีโอดี ก่อนการทดลองปริมาณบีโอดีมีค่าเท่ากับ 675.00 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีมีค่าลดลงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จากนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณบีโอดีก่อนทำการทดลองและปริมาณบีโอดีเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณบีโอดี คือ 20 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีลงได้มากที่สุด คือ ลดปริมาณบีโอดีลงได้ประมาณร้อยละ 51.76 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลอง

5.1.2.5 ซีโอดี ก่อนการทดลองปริมาณซีโอดีมีค่าเท่ากับ 3,200.00 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดลอง พบว่า ปริมาณซีโอดีมีค่าลดลงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน จากนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณซีโอดีก่อนทำการทดลองและปริมาณซีโอดีเมื่อทำการทดลองในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณซีโอดี คือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีมากที่สุด คือ ลดลงประมาณร้อยละ 14.14 จากค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง

5.1.2.6 ทีเคเอ็น ก่อนการทดลองปริมาณทีเคเอ็นมีค่าเท่ากับ 68.06 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดลอง พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นก่อนทำการทดลองและปริมาณทีเคเอ็นเมื่อทำการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน มีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณทีเคเอ็นเมื่อทำการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณทีเคเอ็น คือ 100 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณทีเคเอ็นน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 20.23 จากค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง

### 5.1.3 คุณภาพน้ำที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.3.1 ค่าพีเอช จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน สามารถควบคุมค่าพีเอชให้มีความเป็นกลางมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 7.21 แต่ถ้าหากพิจารณาเฉพาะหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนน้ำกากส่า พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน สามารถควบคุมค่าพีเอชให้มีความเป็นกลางได้มากที่สุด โดยผักกระเฉดสามารถควบคุมค่าพีเอชในน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5 และ 10 ให้อยู่ในช่วง 5.5 – 9.0 ตามเกณฑ์มาตรฐานได้ตลอดระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 ผัก

กระเจดสามารถควบคุมค่าพีเอชในน้ำให้อยู่ในช่วง 5.5 – 9.0 ตามเกณฑ์มาตรฐานได้เฉพาะในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรกเท่านั้น

นั่นคือ ผักกระเจดไม่มีประสิทธิภาพในการทำให้น้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีค่าพีเอชที่เป็นกลางมากขึ้นได้ แต่สามารถควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

5.1.3.2 ของแข็งละลายน้ำ จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำดีที่สุดที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ ที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ ไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำ โดยมีปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นและทุกระยะเวลาการบำบัดเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนการทดลอง ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณของแข็งละลายน้ำน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.50 จากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10, 15 และ 20 ปริมาณของแข็งละลายน้ำไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด

นั่นคือ ผักกระเจดไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน แต่อาจมีความเป็นไปได้ที่จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำหากทำการทดลองกับน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 และทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำในระยะแรกของการบำบัดก่อนที่ผักกระเจดจะเริ่มตายลง

5.1.3.3 ของแข็งแขวนลอย จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดี ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุด คือ ลดลงประมาณร้อยละ 96.30 จากค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10

และ 15 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 20 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาการบำบัด 20 วัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 30 วัน ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

นั่นคือ ผักกระเจดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้เป็นอย่างดี

5.1.3.4 บีโอดี จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีได้ดีที่สุดในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีสูงสุด คือ มีปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 70.37 จากปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ที่ระยะเวลาการบำบัดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง โดยมีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด

นั่นคือ ผักกระเจดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดีในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ได้ แต่ต้องมีระยะเวลาการบำบัดที่เหมาะสม

5.1.3.5 ซีโอดี จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีได้ดีที่สุดในระยะเวลาการบำบัด 10 วันแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีมากที่สุด คือ ลดลงประมาณร้อยละ 25.00 จากค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก ปริมาณซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณซีโอดีมีค่าลดลง โดยมีเพียงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 เพียงระดับเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด

นั่นคือ ผักกระเจดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอติในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ได้ แต่ต้องมีระยะเวลาการบำบัดที่เหมาะสม

5.1.3.6 ที่เคเอ็น จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ มีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีอัตราการเพิ่มปริมาณที่เคเอ็นน้อยที่สุด คือ เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1.20 จากค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 ในระยะเวลาการบำบัด 20 วันแรก ปริมาณที่เคเอ็นมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณที่เคเอ็นมีค่าลดลง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 และ 5 ปริมาณที่เคเอ็นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 10 ปริมาณที่เคเอ็นที่ระยะเวลาการบำบัด 10 และ 20 วัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 15 และ 20 ปริมาณที่เคเอ็นไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกระยะเวลาการบำบัด

นั่นคือ ผักกระเจดไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน แต่อาจมีความเป็นไปได้ที่จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณที่เคเอ็นหากทำการทดลองกับน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 และทำการวิเคราะห์ปริมาณที่เคเอ็นในระยะแรกของการบำบัดก่อนที่ผักกระเจดจะเริ่มตายลง

#### 5.1.4 ชีวิตมวลของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยชีวิตมวลของผักกระเจดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีค่าลดลงตามระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่สูงขึ้น ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0 มีค่าเฉลี่ยชีวิตมวลของผักกระเจดคงเหลือต่ำที่สุด ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ยชีวิตมวลของผักกระเจดคงเหลือมากที่สุดและเป็นระดับความเข้มข้นเดียวที่มีค่าเฉลี่ยชีวิตมวลเพิ่มขึ้น คือ มีค่าเท่ากับ 0.204 กิโลกรัม เพิ่มขึ้น 0.004 กิโลกรัม จากค่าเฉลี่ยชีวิตมวลเริ่มต้นก่อนการทดลอง นั่นคือ น้ำกากส่ามีส่วนทำให้ผักกระเจดมีการเจริญเติบโตที่ดี แต่ต้องเลือกปลูกในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่มีระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ไม่เข้มข้นจนเกินไป



#### 5.1.5 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดเริ่มต้นก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.200 เมื่อทำการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ส่วนในระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดต่ำกว่าค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง โดยมีค่าต่ำลงตามระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาการบำบัด 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดคงเหลือมากที่สุดและเป็นระยะเวลาเดียวที่มีค่าเฉลี่ยชีวมวลเพิ่มขึ้น คือ มีค่าเท่ากับ 0.204 กิโลกรัม เพิ่มขึ้น 0.004 กิโลกรัม จากค่าเฉลี่ยชีวมวลเริ่มต้นก่อนการทดลอง นั่นคือ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองอาจมีความเข้มข้นที่สูงเกินกว่าที่ผักกระเฉดจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระยะเวลา 30 วัน ทำให้ผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ดีเฉพาะในระยะแรกของการบำบัดเท่านั้น

#### 5.1.6 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดแตกต่างกัน

ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับระยะเวลาการบำบัดไม่มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) นั่นคือ ทั้งระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าและระยะเวลาการบำบัดต่างก็มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉด แต่ไม่มีความเกี่ยวข้องกัน โดยเมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าให้แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดในระยะเวลาการบำบัดต่าง ๆ ยังคงมีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน และในลักษณะเดียวกัน เมื่อใช้ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่าง ๆ ก็ยังคงมีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า แต่ต้องมีระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ไม่สูงจนเกินไป และต้องมีระยะเวลาการบำบัดที่เหมาะสม

#### 5.1.7 คุณค่าไนโตรเจน

ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำมีปริมาณลดลงทุกหน่วยทดลองเมื่อเทียบกับปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำก่อนการทดลอง โดยมีปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในน้ำจากกากผักกระเฉดที่ตายลง และมีการสูญเสียปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนไปกับการระเหยและเกิดการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในกระบวนการต่าง ๆ รวมทั้งสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ ซึ่งปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนที่สูญเสียไปมีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในน้ำจากผักกระเฉดที่ตายในทุกหน่วยทดลอง ทำให้ทุกหน่วยทดลองมีปริมาณเจลดาร์ล

ไนโตรเจนลดลง และปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนที่ลดลงมียัตราที่มากขึ้นเมื่อมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าลดลง โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 มีปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนลดลงภายหลังการทดลองมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 24.06 จากค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง นั่นคือ การระเหยและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนมีผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจน ในขณะที่การดูดซับธาตุอาหารของผักกระเฉดไม่มีส่วนช่วยในการลดปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำที่ปนเปื้อนนํ้ากากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาการบำบัด 30 วัน เนื่องจากผักกระเฉดที่ใช้ทดลองมียัตราการตายที่สูง แต่ผักกระเฉดมีส่วนช่วยลดปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจนจากการที่ผักกระเฉดเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายเจลดาร์ลไนโตรเจนในน้ำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ

#### 5.1.8 ปริมาณโลหะหนัก

การปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ปรอท แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำกากส่ามีปริมาณที่น้อยมาก โดยมีปริมาณการปนเปื้อนปรอทน้อยกว่า 0.0002 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมน้อยกว่า 0.0015 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วน้อยกว่า 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในน้ำกากส่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของปรอท แคดเมียม และตะกั่ว คือ 0.005, 0.030 และ 0.200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) นั่นคือ หากต้องการนำผักกระเฉดที่ใช้ในการบำบัดน้ำปนเปื้อนนํ้ากากส่าไปบริโภค ก็สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยจากการปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดนี้

จากผลการศึกษาทั้งหมดนี้พอจะสรุปผลในภาพรวมได้ว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 5 และระยะเวลาการบำบัด 10 วัน เป็นระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดที่ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนนํ้ากากส่าได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ ที่ใช้ทดลอง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าพีเอช ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ปริมาณบีโอดี ปริมาณซีโอดี และปริมาณทีเคเอ็นสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดอื่น ๆ ที่มีการปนเปื้อนนํ้ากากส่า และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ในอัตราที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำกากส่ามีความสกปรกสูงแม้ปนเปื้อนในน้ำเพียงร้อยละ 5 ก็ทำให้นํ้ามีคุณภาพต่ำและมีผักกระเฉดตายลงขณะทดลอง เมื่อทำให้นํ้าปนเปื้อนนํ้ากากส่าที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 5 หรือใช้ระยะเวลาการบำบัดที่นานเกิน 10 วัน ผักกระเฉดจะตายลงในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้มี

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำต่ำลง และในทางกลับกัน หากทำให้น้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 5 ผักกระเฉดก็อาจจะมีการเจริญเติบโตที่ดีได้อย่างต่อเนื่องนานเกิน 10 วัน ทำให้สามารถบำบัดน้ำได้นานกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำดีขึ้นกว่าในการศึกษาครั้งนี้

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่ามีความเป็นไปได้ แต่ต้องมีระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการบำบัดที่เหมาะสม และหากต้องการให้ผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ดีและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าได้อย่างต่อเนื่องนานกว่า 10 วัน ควรมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา จึงมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า และมีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไปซึ่งควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมบางประการ ดังต่อไปนี้

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะในการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า

5.2.1.1 น้ำกากส่าจากโรงงานสุรามีความสกปรกสูง ผักกระเฉดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในระยะยาว ดังนั้น หากใช้ผักกระเฉดในการบำบัดน้ำกากส่าจะต้องทำการเจือจางน้ำกากส่ากับน้ำธรรมดาให้มีระดับความเข้มข้นที่ต่ำ หรือนำน้ำกากส่ามาบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียในรูปแบบอื่นเพื่อให้มีความสกปรกลดลงก่อน เช่น ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds) และระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) เป็นต้น

5.2.1.2 ในการใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา จะต้องทำการเปลี่ยนผักกระเฉดทดแทนชุดเดิมที่ใช้บำบัดคุณภาพน้ำในระยะเวลาที่เหมาะสม ก่อนที่ผักกระเฉดจะเริ่มตายลงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ดีอย่างต่อเนื่อง

5.2.1.3 หากต้องการนำผักกระเฉดในระบบบำบัดไปบริโภค จะต้องทำการเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดซึ่งจะเป็นช่วงระยะแรกในการบำบัด

คุณภาพน้ำ แต่ถ้าหากต้องการทำเป็นแปลงผักกระเฉดเพื่อจำหน่ายในระยะยาวแล้ว น้ำที่นำมาบำบัดควรมีระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 หรือมีความสะอาดสูงกว่าน้ำที่นำมาใช้ทดลอง เพื่อให้ผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดีอย่างต่อเนื่องนานเกิน 30 วัน และเก็บเกี่ยวได้หลายครั้งก่อนที่จะเปลี่ยนชุดใหม่ ซึ่งแปลงผักกระเฉดโดยทั่วไปหากได้รับการดูแลรักษาอย่างดีจะสามารถเก็บเกี่ยวได้นาน 4–6 เดือน ก่อนที่จะรื้อทิ้งแล้วปลูกใหม่

## 5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไป

5.2.2.1 การศึกษาครั้งนี้ใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าโดยทดลองในภาชนะทดลอง ซึ่งน้ำที่ใช้ในการทดลองอยู่ในสภาพน้ำนิ่ง ไม่มีการไหลเวียนของน้ำ ผักกระเฉดจึงอาจเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้น ควรมีการศึกษากการบำบัดน้ำเสียโดยมีการออกแบบให้มีการไหลเวียนของน้ำ หรือให้มีสภาพที่ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากที่สุด เช่น ชุดเป็นบ่อหรือสระเพื่อรองรับน้ำที่ใช้ทดลอง และปลูกผักกระเฉดแบบให้เกาะบนพุ่มหรือปลูกแบบดำกอ

5.2.2.2 การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มออกซิเจนด้วยเครื่องกลเติมอากาศ หรือด้วยวิธีการอื่น ๆ ในน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองร่วมกับการปลูกผักกระเฉดด้วย ซึ่งอาจทำให้ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำที่สูงยิ่งขึ้น

5.2.2.3 การศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาในช่วงฤดูหนาว (เดือนธันวาคม – มกราคม) ซึ่งเป็นฤดูที่ผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร ประกอบกับฤดูหนาวจะเป็นช่วงท้ายของการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการปลูกผักกระเฉดในแปลงที่นำมาทดลอง จะเริ่มปลูกต้นพันธุ์ในฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) แล้วทำการเก็บเกี่ยวผักกระเฉดไปขายตลอดทั้งปี ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาในช่วงฤดูร้อนหรือฤดูฝนเนื่องจากผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าในฤดูหนาว หรือทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของผักกระเฉดระหว่างฤดูกาลต่าง ๆ

5.2.2.4 การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เหมาะสมที่ผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของผักกระเฉดโดยการให้ปุ๋ยยูเรียแบบทั่วไป

5.2.2.5 ควรมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้พืชน้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เช่น ผักบุ้ง กกกลม และต้นธูปฤาษี เป็นต้น

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำและโลหะหนักในน้ำ

# รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) โดยวิธี Electrometric Method

## 1. หลักการ

การวัดพีเอช (pH) คือ การวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดค่าความต่างศักย์ (Potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่ได้ เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออน (Ionic Potential) ให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัด (Potentiometer)

## 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

### 2.1 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

เครื่องวัดพีเอชเป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าความเป็นกรดและด่างของสารละลาย โดยหลักการวัดความต่างศักย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง

#### 2.1.1 อิเล็กโทรด (Electrode)

ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นอิเล็กโทรดรวม (Combined Electrode) ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งานโดยรวมอิเล็กโทรดอ้างอิงและอิเล็กโทรดตรวจวัดมาอยู่ด้วยกัน อิเล็กโทรดตรวจวัดทำด้วยแก้วพิเศษที่ยอมให้ไฮโดรเจนไอออนผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะ ภายในบรรจุบัฟเฟอร์เอาไว้ อิเล็กโทรดอ้างอิงทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเกิดครบวงจรโดย KCl ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็น Salt เชื่อมกับอิเล็กโทรดตรวจวัด

#### 2.1.2 ตัวเครื่อง (Potentiometer)

ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิงให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่ แปลสัญญาณจากความต่างศักย์ของไอออนของอิเล็กโทรดให้

เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า และขยายสัญญาณของความต่างศักย์ทางไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้เข็มหรือตัวเลขแสดงออกทางมิเตอร์

2.2 ปีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิเมตร

2.3 เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)

### 3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟิเอช (บัฟเฟอร์)

สามารถทำได้โดยดูจากตารางที่ ก. 1 สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารอินทรีย์จึงอาจเสื่อมคุณภาพเพราะการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือจากการปนเปื้อนของสารอื่น ดังนั้น จึงควรเตรียมใช้ใหม่ ๆ เสมอ สำหรับน้ำกลั่นที่นำมาใช้ เตรียมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ควรมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 2 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร และมีฟิเอชอยู่ในช่วง 5.6 – 6.0 สารละลายบัฟเฟอร์ควรเก็บในขวดพียู (Polyethylene)

### 4. วิธีวิเคราะห์

4.1 หลังจากเปิดเครื่องวัดฟิเอช ควรปล่อยให้เครื่องร้อนอย่างน้อย 15 นาที ก่อนใช้งาน

4.2 ปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) เครื่องให้พร้อมก่อนที่จะวัดฟิเอชตัวอย่าง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าฟิเอชแน่นอน

4.3 ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดฟิเอชต้องปล่อยให้มีอุณหภูมิคงที่เสียก่อน เช่น ในกรณีตัวอย่างน้ำแชเย็นไว้ ต้องนำออกจากตู้เย็นตั้งทิ้งไว้จนหายเย็นจึงจะนำไปวัดฟิเอช เพราะค่าฟิเอชจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

4.4 ก่อนวัดให้ทำการเขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี เทใส่ปิกเกอร์ และวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรดแล้วเปิดเครื่องกวนให้หมุนเบา ๆ จนตัวเลขแสดงค่าฟิเอชหยุดนิ่ง อ่านค่าฟิเอชของตัวอย่างน้ำ

4.5 เมื่อจะวัดตัวอย่างถัดไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษหรือผ้านุ่ม ๆ แล้วจึงวัดตัวอย่างถัดไป แต่ถ้าจะเลิกวัด หลังจากทีล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นจนสะอาดและเช็ดให้แห้งแล้ว ให้แช่อิเล็กโทรดไว้ในสารละลายที่มีอิออนมากพอสมควรและมีฤทธิ์เป็นกรด เช่น สารละลายบัฟเฟอร์ 4 หรือที่ดีที่สุดคือน้ำยาสำหรับเก็บรักษาสีอิเล็กโทรด



ตารางที่ ก.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์) สูตรต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ  
25 องศาเซลเซียส

| สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ<br>(Primary Standard)                                      | ค่าพีเอชที่<br>25 °C | น้ำหนักสารเคมี (กรัม) ที่ต้องใช้<br>ต่อน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. โพแทสเซียมไฮโดรเจนตาร์เตรต (อิมตัว)                                            | 3.557                | $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ 6.4 กรัม <sup>(A)</sup>                                                    |
| 2. โพแทสเซียมไฮโดรเจนซิเตรต 0.05 N                                                | 3.776                | $\text{KH}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 11.14 กรัม                                                        |
| 3. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.05 N                                                | 4.008                | $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ 10.12 กรัม                                                                 |
| 4. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต<br>0.025 N + ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต<br>0.025 N       | 6.865                | $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 3.388 กรัม <sup>(B)</sup><br>+ $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 3.533 กรัม <sup>(B,C)</sup> |
| 5. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต<br>0.008695 N + ไดโซเดียมไฮโดรเจน<br>ฟอสเฟต 0.03043 N | 7.413                | $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 1.179 กรัม <sup>(B)</sup><br>+ $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 4.301 กรัม <sup>(B,C)</sup> |
| 6. โซเดียมบอเรตเดคาไฮเดรต<br>(บอแรกซ์) 0.01 N                                     | 9.180                | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 3.80 กรัม <sup>(C)</sup>                         |
| 7. โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.025 N +<br>โซเดียมคาร์บอเนต 0.025 N                       | 10.012               | $\text{NaHCO}_3$ 2.092 กรัม<br>+ $\text{NaCO}_3$ 2.640 กรัม                                                   |
| 8. โพแทสเซียมเตตระออกซาลेट<br>ไดไฮเดรต 0.05 N                                     | 1.679                | $\text{KH}_2\text{C}_4\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 12.61 กรัม                                        |
| 9. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (อิมตัว)                                                    | 12.454               | $\text{Ca (OH)}_2$ 1.5 กรัม <sup>(A)</sup>                                                                    |

หมายเหตุ: (A) การละลายโดยประมาณ

(B) สารเคมีแห้ง หลังจากอบความร้อนที่ 110 – 130 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(C) เตรียมด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดและปล่อยให้เย็น (เพื่อไล่  $\text{CO}_2$ )

## รายละเอียดการวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) โดยวิธีทำให้แห้งที่ 180 องศาเซลเซียส

### 1. หลักการ

ตัวอย่างน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองในถ้วยระเหยที่ทราบน้ำหนักจะถูกนำไประเหยด้วยไอน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นแล้วชั่ง น้ำหนักที่เพิ่ม คือน้ำหนักของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด สำหรับน้ำที่มีสารอินทรีย์และค่าเกลือแร่ทั้งหมดต่ำอาจอบที่อุณหภูมิ 103 หรือ 180 องศาเซลเซียส ก็ได้ แต่สำหรับน้ำที่มีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงหรือพวกที่มีพีเอชเกิน 9 ควรอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 ถ้วยระเหยซึ่งมีความจุ 100 มิลลิลิตร
- 2.2 เตาเผา ที่อุณหภูมิ  $550 \pm 50$  องศาเซลเซียส
- 2.3 ช่างไอน้ำ
- 2.4 ตู้อบที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- 2.5 โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น
- 2.6 เครื่องชั่งชนิดละเอียด ขนาด 200 กรัม สามารถชั่งได้ถึง 0.1 มิลลิกรัม
- 2.7 กระดาษกรอง (Glass Fiber Filter Disks) Whatman GF/C หรือ Gelman

Type A

- 2.8 เครื่องมือสำหรับกรอง
  - 2.8.1 Filter Holder
  - 2.8.2 ถ้วยกรองกูช (Gooch Crucible)
- 2.9 เครื่องดูดสุญญากาศ

### 3. วิธีวิเคราะห์

3.1 เตรียมกระดาศกรองโดยวางแผนกระดาศกรองบนกันของถ้วยกรองทุซ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศและล้างแผ่นกระดาศกรองนี้ติดต่อกัน 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อเพื่อกำจัดน้ำจำนวนเล็กน้อยบนกระดาศกรอง ทิ้งน้ำล้าง

3.2 เตรียมถ้วยระเหย (ถ้วยกระเบื้อง) โดยเผาถ้วยระเหยที่อุณหภูมิ  $550 \pm 50$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถทำแห้ง เก็บไว้ในโถทำแห้งจนถึงเวลาที่จะใช้ ทำการชั่งก่อนใช้

3.3 เลือกปริมาตรตัวอย่างที่ให้ค่าของแข็งที่ละลายทั้งหมดระหว่าง 25 – 200 มิลลิกรัม เพราะของแข็งที่มากเกินไปในถ้วยระเหยจะเกิดเป็นเปลือกแข็งซึ่งดักเอาน้ำไว้ข้างใน ใช้เครื่องดูดสุญญากาศกรองตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร หรือมากกว่าผ่านแผ่นกรอง ภายหลังจากกรองเรียบร้อยแล้วให้เปิดเครื่องดูดต่ออีก 3 นาที เพื่อกำจัดน้ำออกไปให้มากที่สุด

3.4 ถ่ายน้ำที่ผ่านการกรองลงในถ้วยระเหยที่ซึ่งเรียบร้อยแล้ว ระเหยบนอ่างไอน้ำจนแห้งอบตัวอย่างที่ระเหยจนแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่ง ทำการอบ และชั่งซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่หรือจนกระทั่งน้ำหนักหายไปน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม

### 4. การคำนวณ

$$\text{ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1,000}{C}$$

|       |   |                                                      |
|-------|---|------------------------------------------------------|
| เมื่อ | A | เป็นน้ำหนักของของแข็งที่แห้ง + ถ้วยระเหย (มิลลิกรัม) |
|       | B | เป็นน้ำหนักของถ้วยระเหย (มิลลิกรัม)                  |
|       | C | เป็นปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)                |

## รายละเอียดการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS) โดยวิธีทำให้แห้งที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส

### 1. หลักการ

ตัวอย่างน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ตะกอนที่ติดอยู่บนกระดาษกรองจะนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นแล้วชั่ง น้ำหนักที่เพิ่ม คือน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 ตู้อบที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

2.2 โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น

2.3 เครื่องชั่งชนิดละเอียด ขนาด 200 กรัม สามารถชั่งได้ถึง 0.1 มิลลิกรัม

2.4 กระดาษกรอง (Glass Fiber Filter Disks) Whatman GF/C หรือ Gelman Type A

2.5 เครื่องมือสำหรับกรอง

2.5.1 Filter Holder

2.5.2 ถ้วยกรองกูช (Gooch Crucible)

2.6 เครื่องดูดสุญญากาศ

### 3. วิธีวิเคราะห์

3.1 เตรียมกระดาษกรองโดยวางแผ่นกระดาษกรองบนก้นของถ้วยกรองกูช เปิดเครื่องดูดสุญญากาศและล้างแผ่นกระดาษกรองนี้ติดต่อกัน 3 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อเพื่อกำจัดน้ำจำนวนเล็กน้อยบนกระดาษกรอง ทิ้งน้ำล้าง นำถ้วย

กรองกุชพร้อมแผ่นกระดาษกรองไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่ง และเก็บไว้ในโถทำแห้งจนถึงเวลาที่จะใช้

3.2 เนื่องจากของแข็งในปริมาณที่มากเกินไปบนแผ่นกระดาษกรองอาจจะจับเอาน้ำไว้ และทำให้ต้องใช้เวลาในการทำให้แห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงใช้ตัวอย่างที่ให้ค่าของแข็งไม่ละลายน้ำ ทั้งหมดไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ใช้เครื่องดูดสุญญากาศกรองตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร หรือมากกว่า ผ่านแผ่นกระดาษกรอง

3.3 นำถ้วยกรองกุชพร้อมแผ่นกระดาษกรองที่กรองตัวอย่างน้ำแล้วไปอบให้แห้งที่ อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แห้งในโถทำแห้ง ชั่ง ทำการอบ และชั่งซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่หรือจนกระทั่งน้ำหนักหายไปน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม

#### 4. การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอยในน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1,000}{C}$$

|       |   |                                                           |
|-------|---|-----------------------------------------------------------|
| เมื่อ | A | เป็นน้ำหนักของของแข็งที่แห้ง + แผ่นกระดาษกรอง (มิลลิกรัม) |
|       | B | เป็นน้ำหนักของแผ่นกระดาษกรอง (มิลลิกรัม)                  |
|       | C | เป็นปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)                     |

## รายละเอียดการวิเคราะห์บีโอดี (BOD)

### โดยวิธี 5 – Days BOD Test

#### 1. หลักการ

การหาบีโอดีเป็นกระบวนการทดสอบทางชีววิทยาเพื่อหาปริมาณค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด เพื่อที่จะให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์จึงต้องทำให้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือ ค่าบีโอดีมาตรฐานต้องบ่ม (Incubate) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

วิธีวิเคราะห์มี 2 วิธี คือ วิธีแบบโดยตรง (Direct Method) ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีค่าบีโอดีไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร และวิธีแบบเจือจางใช้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีความสกปรกสูง (มีค่าบีโอดีมากกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร) จำเป็นต้องทำให้ตัวอย่างน้ำที่สกปรกเจือจางลงเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น วิธีแบบเจือจางจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ไม่ต้องการเติมหัวเชื้อ (No Seeding) และต้องการเติมหัวเชื้อ (Seeding) โดยวิธีแบบไม่ใช้หัวเชื้อเหมาะสำหรับตัวอย่างน้ำเสียหรือน้ำทิ้งทั่วไปซึ่งมีจุลินทรีย์เพียงพอและมีพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพ ตัวอย่างน้ำจะต้องไม่ผ่านการเติมคลอรีนหรือความร้อนมาก่อน ส่วนวิธีแบบใช้หัวเชื้อเป็นวิธีที่ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งที่ไม่มีแบคทีเรียอยู่เลยหรือมีอยู่ปริมาณน้อยมากจำเป็นที่จะต้องหาแบคทีเรียจากที่อื่นมาช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

#### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 ขวดบีโอดี (BOD Bottle) ขนาด 250 – 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิดสนิท
- 2.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส และต้องมี
- 2.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น กระบอกตวง บิวเรต ขวดรูปกรวย เป็นต้น
- 2.4 เครื่องจ่ายลม

### 3. สารเคมี

#### 3.1 น้ำกลั่น

3.2 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 8.5 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 33.4 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) 21.75 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร

3.3 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เตรียมโดย ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เตรียมโดย ละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous  $\text{CaCl}_2$ ) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.5 สารละลายเฟอริกคลอไรด์ เตรียมโดย ละลายเฟอริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 0.25 กรัม แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.6 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต เตรียมโดย ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 400 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.7 สารละลายอัลคาไล - ไอโอไดด์ - เอไซด์ (Alkali - iodide - azide Reagent) เตรียมโดย ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ ( $\text{NaI}$ ) 135 กรัม ในน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ ( $\text{NaN}_3$ ) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

#### 3.8 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (36 N)

3.9 น้ำแป้ง เตรียมโดย ละลายแป้ง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2-3 นาที ตั้งค้างคืน ใช้แต่น้ำใส เติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic Acid) 1.25 กรัม ต่อน้ำแป้ง 1 ลิตร

3.10 สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล เตรียมโดย ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมน้ำได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

3.11 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.025 นอร์มัล เตรียมโดยเจือจางสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

3.12 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

3.13 สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมซัลไฟต์ปราศจากน้ำ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

#### 4. การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์

4.1 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำเป็นด่างหรือกรด จะต้องปรับพีเอชให้เป็นกลาง (6.5 – 7.5) ก่อนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล หรือกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล โดยที่ปริมาตรของด่างหรือกรดที่เติมจะต้องไม่เจือจางตัวอย่างมากเกินไปร้อยละ 0.5

4.2 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีสารประกอบคลอรีนตกค้าง จะต้องกำจัดออกก่อนโดยให้ตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1 – 2 ชั่วโมง คลอรีนตกค้างจะลดลงสลายไปเอง แต่ถ้าในตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างปริมาณมาก ๆ ต้องกำจัดโดยการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ซึ่งการหาปริมาณที่จะใช้เติมในตัวอย่างน้ำ หาได้โดยนำตัวอย่างน้ำมาในปริมาณที่เหมาะสม (100 – 1,000 มิลลิลิตร) เติมกรดอะซิติก (1+1) หรือกรดซัลฟูริก (1+50) 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 มิลลิลิตร (เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) แล้วไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงจุดยุติ จากนั้นก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้เติมลงไป ในตัวอย่างน้ำที่จะหาค่าบีโอดี หลังจากเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในตัวอย่างแล้ว กวนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 – 20 นาที

4.3 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือมีสารพิษเจือปนอยู่จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นเฉพาะกรณี

4.4 ตัวอย่างที่มีออกซิเจนละลายอิมตัวอย่างมากเกินไป เช่น ค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจพบได้ในน้ำที่เย็นจัดหรือน้ำที่มีการ



สังเคราะห์แสงเกิดขึ้น ให้ลดออกซิเจนละลายอยู่ในชั้นอิมตัวโดยการเอาตัวอย่างใส่ขวดแล้วเขย่าแรง ๆ หรือโดยการเป่าอากาศลงไป ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียออกซิเจนละลายในการวิเคราะห์

4.5 เมื่อมีการเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นต้องทำให้ตัวอย่างอยู่ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์

4.6 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำเกิดไนตริฟิเคชัน ต้องทำการยับยั้งโดยเติม 2 – คลอโร 6 – ไตรคลอโรเมทิล (CTCMP) 3 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างขนาด 300 มิลลิลิตร หรือเติมในน้ำเชื้อจากจนมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนก็ได้

## 5. วิธีวิเคราะห์บีโอดีแบบโดยตรง

### 5.1 วิธีวิเคราะห์

5.1.1 นำตัวอย่างน้ำมาปรับอุณหภูมิให้ได้ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

5.1.2 เติมอากาศให้มียอกซิเจนละลายอิมตัว

5.1.3 เติมตัวอย่างน้ำลงในขวดบีโอดีจนเต็ม 2 ขวด ปิดจุกให้สนิทและมีน้ำหล่อที่ปากขวด

5.1.4 นำขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลาย ถือว่าเป็นค่าออกซิเจนละลายที่เริ่มต้น

5.1.5 นำอีกขวดใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบ 5 วันแล้ว นำตัวอย่างนั้นมาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่

### 5.2 การคำนวณ

$$\text{ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = DO_0 - DO_5$$

เมื่อ  $DO_0$  = ค่าออกซิเจนละลายที่ไดเตรตได้ในวันแรก

$DO_5$  = ค่าออกซิเจนละลายที่ไดเตรตได้ในวันที่ 5

## 6. วิธีวิเคราะห์แบบเจือจางที่ไม่ต้องเติมหัวเชื้อ

### 6.1 วิธีเตรียมน้ำเจือจาง (Dilution Water)

6.1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่จะใช้ 1 ลิตร ใส่ขวดแอสไพเรเตอร์ (Aspirator Bottle) ที่สะอาด

6.1.2 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

6.1.3 เติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเพริกคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

### 6.2 วิธีวิเคราะห์

6.2.1 การเลือกปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ ถ้าไม่ทราบค่าบีโอดีโดยประมาณของตัวอย่างน้ำ ต้องหาซีโอดีก่อนพร้อมกับพิจารณาลักษณะของตัวอย่างน้ำและแหล่งเก็บตัวอย่างน้ำร่วมด้วย เพื่อประมาณค่าบีโอดี การเลือกปริมาณตัวอย่างน้ำนิยมนิยมเลือกให้มีปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และควรจะมีการใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราการเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่าง ๆ ตามตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเงิอจางสำหรับช่วงปีโอดีต่าง ๆ

| ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร) | ช่วงปีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) | อัตราเงิอจาง |
|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| 0.02                       | 30,000 – 105,000              | 15,000       |
| 0.05                       | 12,000 – 42,000               | 6,000        |
| 0.10                       | 6,000 – 21,000                | 3,000        |
| 0.20                       | 3,000 – 10,500                | 1,500        |
| 0.50                       | 1,200 – 4,200                 | 600          |
| 1.0                        | 600 – 2,100                   | 300          |
| 2.0                        | 300 – 1,050                   | 150          |
| 5.0                        | 120 – 420                     | 60           |
| 10.0                       | 60 – 210                      | 30           |
| 20.0                       | 30 – 105                      | 15           |
| 50.0                       | 12 – 42                       | 6            |
| 100                        | 6 – 21                        | 3            |
| 300                        | 0 - 7                         | 1            |

หมายเหตุ: ถ้าปริมาณตัวอย่างที่ใช้น้อยกว่า 1.0 มิลลิลิตร ควรเงิอจางตัวอย่างก่อนปีเปิดไฟ  
ขวดปีโอดี

6.2.2 เมื่อเลือกปริมาณตัวอย่างได้แล้ว ปีเปิดตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้วาง  
ลงในขวดปีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร อย่างละ 2 ขวด เติมน้ำเงิอจางจนเต็มขวดปีโอดี ปิดฝา  
ให้แน่น นำขวดปีโอดีขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลายที่มีเริ่มต้น ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่  
ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

6.2.3 เมื่อครบ 5 วันแล้ว นำขวดปีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่  
เหลืออยู่

### 6.3 การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} &= (DO_0 - DO_5) \times \text{อัตราเจือจาง} \\ \text{เมื่อ } DO_0 &= \text{ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันแรก} \\ DO_5 &= \text{ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันที่ 5} \\ \text{อัตราเจือจาง} &= \frac{\text{ปริมาตรน้ำเติมขวดบีโอดี (300 มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}} \end{aligned}$$

## 7. วิธีวิเคราะห์แบบเจือจางที่ต้องเติมหัวเชื้อ

### 7.1 วิธีการวิเคราะห์

7.1.1 การเลือกปริมาณตัวอย่างและวิธีทำเหมือนกับกรณีไม่ต้องเติมหัวเชื้อ เพียงแต่ต้องเติมหัวเชื้อปริมาตรเท่ากันลงในแต่ละชุด ปริมาตรของหัวเชื้อที่จะใช้ควรมีค่าบีโอดีประมาณ 0.6 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากการเติมหัวเชื้อเช่นนี้ ทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น จึงต้องทำการแก้ค่าบีโอดีที่ผิดพลาดเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ (Seed Correction) ทุกครั้งเพื่อนำมาคำนวณหาค่าบีโอดีที่แท้จริงของตัวอย่าง ปริมาตรของหัวเชื้อที่ใช้เติมไม่ควรเกิน 5 มิลลิลิตร

7.1.2 การแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ ทำโดยนำหัวเชื้อมาหาค่าการใช้ออกซิเจนหรือหาค่าบีโอดี เริ่มด้วยการหาค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้น แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำมาหาค่าออกซิเจนละลาย

### 7.2 การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ค่าบีโอดีเมื่อเติมหัวเชื้อ} &= ((D1 - D2) - (B1 - B2) f) \times \text{อัตราเจือจาง} \\ \text{เมื่อ } D1 &= \text{ค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้นของตัวอย่างที่มีการเติมหัวเชื้อ} \\ D2 &= \text{ค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน ของตัวอย่างที่มีการเติมหัวเชื้อ} \\ B1 &= \text{ค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้นของหัวเชื้อ} \\ B2 &= \text{ค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน ของหัวเชื้อ} \end{aligned}$$

$$f = \frac{\text{ปริมาตรของหัวเชื้อที่เติมในขวดปิไอดีตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรของหัวเชื้อในการทำ Seed Correction}}$$

$$\text{อัตราเจือจาง} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำเต็มขวดปิไอดี (300 มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

## รายละเอียดการวิเคราะห์ซีโอดี (COD) โดยวิธี Close Reflux, Titrimetric Method

### 1. หลักการ

ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์ วัดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือโดยนำไปไตเตรตกับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate) และใช้เฟอโรอิน (Ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้

### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) ซึ่งใช้เลี้ยงเชื้อ ขนาด 16 x 100 หรือ 20 x 150 หรือ 25 x 150 มิลลิเมตร

2.2 เตาหลอด (Heater Block) หรือเตาซีโอดี (COD Reactor) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนสำหรับหลอดแก้วโดยเฉพาะ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส

2.3 เตาอบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส

2.4 บิวเรต

2.5 ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร

### 3. สารเคมี

3.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (Standard Potassium Dichromate Solution) 0.1 นอร์มัล เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ซึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง น้ำหนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ละลายให้เข้ากัน ปล่อยให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

3.2 กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต เตรียมโดย ซิงซิลเวอร์ซัลเฟต ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1–2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

3.3 สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferrioin Indicator Solution) เตรียมโดย ละลาย 1,10 – ฟีนแอนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1,10 – Phenanthroline Monohydrate:  $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) 1.485 กรัม และเฟอรัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate:  $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิกรัม

3.4 สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Standard FAS) 0.05 นอร์มัล เตรียมโดย ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 19.6 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3.5 กรดซัลฟามิก (Sulfamic Acid) ใช้ป้องกันการรบกวนของไนไตรต์ ปริมาณที่ใช้คือ 10 มิลลิกรัม ต่อทุก ๆ 1 มิลลิกรัม ของไนไตรต์

3.6 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate หรือ KPH) เตรียมโดย บด KPH เพื่อลดขนาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วละลาย KPH 425 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น เจือจางให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.7 สารละลายกลูโคส เตรียมโดย ละลายกลูโคส 486.6 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น เจือจางให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

#### 4. วิธีวิเคราะห์

4.1 ใส่ตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดที่เหมาะสม เติมน้ำยาย่อยสลายหรือโพแทสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดซัลฟูริกอย่างช้า ๆ ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกัน สำหรับแบบลงคิให้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนน้ำตัวอย่างทุกประการ ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่เหมาะสม แสดงตามตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

| ขนาด<br>หลอดแก้ว<br>(มม.) | ปริมาตร<br>ตัวอย่างน้ำ<br>(มล.) | สารละลาย<br>ไดโครเมต<br>(มล.) | สารละลาย<br>กรดซัลฟูริก<br>(มล.) | ปริมาตร<br>ทั้งหมด<br>(มล.) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 16 x 100                  | 2.5                             | 1.5                           | 3.5                              | 7.5                         |
| 20 x 150                  | 5.0                             | 3.0                           | 7.0                              | 15.0                        |
| 25 x 150                  | 10.0                            | 6.0                           | 14.0                             | 30.0                        |

4.2 วางหลอดแก้วในบล็อค แล้วใส่ตุ๋บ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตุ๋บปล่อยให้เย็น

4.3 การทำไตเตรชัน เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ให้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด แล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอินประมาณ 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีเขียวอมเหลือง เปลี่ยนเป็นสีฟ้า และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง จดปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรต

## 5. การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มิลลิกรัม O}_2 \text{ ต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times N \times 8,000}{C}$$

- เมื่อ
- A คือ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
  - B คือ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
  - C คือ ตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)
  - N คือ ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)



## รายละเอียดการวิเคราะห์ทีเคเอ็น (TKN) โดยวิธี Kjeldahl Method

### 1. หลักการ

สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียโดยการออกซิไดซ์ของกรดกำมะถัน ทำให้ไนโตรเจนหลุดออกมาในรูปแอมโมเนีย ส่วนคาร์บอนและไฮโดรเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  แล้วนำไปกลั่นเพื่อเก็บแอมโมเนียอออนในกรตบอริค จากนั้นจึงนำกรตบอริคไปหาปริมาณแอมโมเนียโดยวิธี Nesslerization หรือไตเตรตด้วยสารละลายกรดแก่มาตรฐาน ทำให้ทราบปริมาณทีเคเอ็นที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ

### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 ขวดเจลดดาห์ล (Kjeldahl Flask) ขนาด 800 มิลลิลิตร
- 2.2 ชุดเครื่องมือสำหรับการย่อยสลาย
- 2.3 ชุดเครื่องมือสำหรับการกลั่นแอมโมเนีย

### 3. สารเคมี

3.1 สารละลายปรอทซัลเฟต เตรียมโดย ละลายปรอทออกไซด์ ( $\text{HgO}$ , Red) 8 กรัม ในกรดกำมะถัน 6 นอร์มัล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2 น้ำยาสำหรับย่อยสลาย (Digestion Reagent) เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 134 กรัม ในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน และเติมสารละลายปรอทซัลเฟต 25 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้สารละลายมีปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

3.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ – โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Hydroxide – Sodium Thiosulfate Reagent) เตรียมโดย ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และโซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 25 กรัม ในน้ำและเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.4 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เตรียมโดย ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 5 กรัม ในเอธานอล ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) ร้อยละ 95 จำนวน 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นอีก 500 มิลลิลิตร

## 4. วิธีวิเคราะห์

### 4.1 การเลือกขนาดตัวอย่าง

เลือกปริมาตรตัวอย่างที่จะใช้ตามตารางที่ ก.4 ขนาดของตัวอย่างจะต้องสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่คาดว่าจะมี (สังเกตได้จากลักษณะน้ำและแหล่งที่มาของตัวอย่าง) ถ้าใช้ขนาดตัวอย่างมากเกินไปอาจเสียเวลาในการย่อยนานหลายชั่วโมง เมื่อเลือกปริมาตรตัวอย่างได้แล้ว ตวงตัวอย่างใส่ในขวดเจลดาร์ลขนาด 800 มิลลิลิตร เติมลูกแก้ว 3–4 เม็ด เพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรงภายในขวด

ตารางที่ ก.4 การเลือกขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ที่เคเอ็น

| Org – N ในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ขนาดตัวอย่าง (มิลลิลิตร) |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 0 – 1                                 | 500                      |
| 1 – 10                                | 250                      |
| 10 – 20                               | 100                      |
| 20 – 50                               | 50                       |
| 50 – 100                              | 25                       |

### 4.2 การย่อยสลาย (Digestion)

เติมน้ำยาสำหรับย่อยสลาย 50 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลดาร์ล นำเข้าเครื่องย่อยสลาย ต้มจนกระทั่งเกิดควันสีขาวของ  $\text{SO}_3$  ให้ต้มต่อไปเรื่อย ๆ จนได้สารละลายใส จากนั้นย่อยสลายต่ออีก 20–30 นาที ปิดไฟและปล่อยให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร และฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและทำให้เป็นด่างโดยค่อย ๆ เติมน้ำยาโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ไฮโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ถ้าสีชมพูของฟีนอล์ฟทาลีนยังไม่เกิด ให้เติมน้ำยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ไฮโอซัลเฟตลงไปอีก จากนั้นนำไปกลั่น

#### 4.3 การกลั่น

ต่อขวดเจลดาร์ลเข้ากับเครื่องกลั่น ทำการกลั่นโดยให้ความร้อนที่พอเหมาะ เก็บส่วนที่กลั่นออกมา 200 มิลลิลิตร ผ่านหลอดแก้วที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ถ้าจะหาแอมโมเนียไนโตรเจนโดยวิธี Nesslerization ให้ใช้กรดบอริกธรรมดา แต่ถ้าจะหาโดยวิธี ไตรเตรตให้ใช้กรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ เมื่อกลั่นครบ 200 มิลลิลิตร เลื่อนขวดเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นออกและนำไปหาแอมโมเนียต่อไป ให้ทำแบบลงค์ด้วยโดยใช้น้ำกลั่นแล้วทำตามขั้นตอนเหมือนของตัวอย่างน้ำ

### 5. การคำนวณ

ปริมาณแอมโมเนียที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำที่ผ่านการย่อยและการกลั่นมาแล้วจะเป็นค่าที่เคเอ็นในน้ำทั้ง

## รายละเอียดการวิเคราะห์ปรอท (Hg) โดยวิธี Atomic Absorption Spectrometric Method

### 1. หลักการ

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธี Atomic Absorption Spectrometric Method จะต้องทำการย่อยสลายโลหะหนักด้วยกรดเข้มข้นภายใต้อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปละลายน้ำ จากนั้นโลหะหนักต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลายจะถูกเผาด้วยความร้อนสูงจากระบบเปลวไฟ (Flame) หรือระบบไม่ใช้เปลวไฟ (Non – flame) จนแตกตัว (Dissociation) กลายเป็นอะตอมอิสระ (Atomization) และอะตอมอิสระเหล่านี้จะถูกกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉพาะตัว ซึ่งพลังงานแสงที่ถูกกลืนจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณอะตอมของโลหะหนักนั้น ๆ โดยโลหะแต่ละชนิดจะถูกกลืนพลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นแตกต่างกัน

การวิเคราะห์ปรอทโดยวิธีนี้ จะใช้วิธีแบบไม่ใช้เปลวไฟ หรือ ไอเย็น (Cold – vapor Atomic Absorption Spectrometric Method)

### 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer
- 2.2 หลอด Absorption Cell และที่ยึดเซลล์ (Cell Support)
- 2.3 เครื่องสูบลำอากาศ ที่สามารถให้อากาศออกมาด้วยปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร/นาที
- 2.4 มาตรวัดอัตราการไหลของอากาศ
- 2.5 หลอดแก้วนํ้าอากาศ (Aeration Tube)
- 2.6 ขวดปฏิกิริยา ใช้ขวดเฮกซ์เลนเมเยอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.7 หลอดบรรจุสารดูดความชื้น (Drying Tube)
- 2.8 หลอดไฟขนาดเล็ก 60 วัตต์ ใช้รักษาอุณหภูมิของอากาศในหลอด Absorption Cell ให้สูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 10 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอนํ้า

2.9 ท่อพลาสดิกชนิดไวนิลไซ เพื่อนำไอ น้ำของปรอทจากขวดปฏิกิริยาถึงหลอด Absorption Cell และใช้ต่อระหว่างภาชนะต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

### 3. สารเคมี

#### 3.1 น้ำกลั่น

#### 3.2 กรดไนตริกเข้มข้น

3.3 สารละลายสต็อกของปรอท เตรียมโดย ละลายเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ ( $\text{HgCl}_2$ ) 1.354 กรัม ลงในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำ กลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.4 สารละลายปรอทมาตรฐาน มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 5 ไมโครกรัม/ลิตร เตรียมโดย เจือจางสารละลายสต็อกของปรอทด้วยน้ำกลั่น

3.5 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียม-เปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) 50 กรัม ลงในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.6 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) 50 กรัม ลงในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.7 สารละลายไฮเดียมคลอไรด์ไฮดรอกซิลลามีนซัลเฟต เตรียมโดย ละลายไฮเดียม-คลอไรด์ 120 กรัม และไฮดรอกซิลลามีนซัลเฟต ( $(\text{NH}_2\text{OH})_2\cdot\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 120 กรัม ลงในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.8 สารละลายทิน (II) คลอไรด์ เตรียมโดย ละลายทิน (II) คลอไรด์ ( $\text{SnCl}_2$ ) 100 กรัม ลงในน้ำกลั่นซึ่งมีกรดไฮโดรคลอริก 12.5 มิลลิลิตร เมื่อละลายหมดแล้ว เติมน้ำกลั่นจนได้ ปริมาตร 1 ลิตร

#### 3.9 กรดซัลฟูริกเข้มข้น

### 3.2 กรดไนตริกเข้มข้น

3.3 สารละลายสต็อกของแคดเมียม (Stock Cadmium Solution) เตรียมโดย ละลาย โลหะแคดเมียม 0.1 กรัม ในกรดไนตริกเข้มข้น 4 มิลลิลิตร แล้วเติมอีก 8 มิลลิลิตร เจือจาง ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร สารละลายแคดเมียมนี้ 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 100 ไมโครกรัม แคดเมียม

3.4 สารละลายแคดเมียมเข้มข้นปานกลาง (Intermediate Cadmium Solution) เตรียมโดย ดูดสารละลายแคดเมียมเข้มข้นจากข้อ 3.3 จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

## 4. วิเคราะห์

4.1 การเตรียมตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับว่าต้องการวัดรูปละลายน้ำทั้งหมด หรือโลหะ แหวนลอย ซึ่งจะใช้วิธีย่อยด้วยกรดไนตริก หรือไนตริก-ซัลฟูริก

4.2 เตรียมเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer และติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ พร้อมใช้งาน

4.3 การเตรียมกราฟมาตรฐาน ขึ้นอยู่กับต้องการค่าละเอียดมากแค่ไหนและความสามารถของเครื่องที่จะวัดได้ เตรียมสารละลายมาตรฐานอย่างน้อย 4 ตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมกรดไนตริกเข้มข้น 0 – 15 มิลลิลิตร ต่อ 100 มิลลิลิตร ให้กับสารละลายมาตรฐาน นำตัวอย่างมาตรฐานเข้าวิเคราะห์ตามวิธีการใช้ เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer แต่ละเครื่อง แล้วนำผลการวิเคราะห์มาสร้างเป็น กราฟมาตรฐาน

4.4 นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ตามวิธีการใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer แต่ละเครื่อง

## 5. การคำนวณ

คำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยคิดเป็นมิลลิกรัม/ลิตร โดยอ่านจากกราฟ มาตรฐานที่ถูกต้อง

# รายละเอียดการวิเคราะห์ตะกั่ว (Pb) โดยวิธี Atomic Absorption Spectrometric Method

## 1. หลักการ

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธี Atomic Absorption Spectrometric Method จะต้องทำการย่อยสลายโลหะหนักด้วยกรดเข้มข้นภายใต้อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปละลายน้ำ จากนั้นโลหะหนักต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลายจะถูกเผาด้วยความร้อนสูงจากระบบเปลวไฟ (Flame) หรือระบบไม่ใช้เปลวไฟ (Non – flame) จนแตกตัว (Dissociation) กลายเป็นอะตอมอิสระ (Atomization) และอะตอมอิสระเหล่านี้จะดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉพาะตัว ซึ่งพลังงานแสงที่ดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณอะตอมของโลหะหนักนั้น ๆ โดยโลหะแต่ละชนิดจะดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นแตกต่างกัน

การวิเคราะห์ตะกั่วโดยวิธีนี้ จะใช้วิธี Direct Air – acetylene Flame Method โดยสารละลายจะถูกเผาด้วยความร้อนสูงจากเปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอากาศและ Acetylene เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอากาศและ Acetylene นี้ จะให้พลังงานที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระเพื่อให้ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 217 นาโนเมตร

## 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

2.2 เครื่องแก้วอื่น ๆ

## 3. สารเคมี

3.1 น้ำกลั่นที่ปราศจากตะกั่ว ใช้สำหรับเตรียมน้ำยาเคมี เตรียมสารละลายมาตรฐานและการเจือจางตัวอย่าง

3.2 กรดไนตริกเข้มข้น

3.3 สารละลายสต็อกของตะกั่ว (Stock Lead Solution) เตรียมโดย ละลายตะกั่วไนเตรท (Lead Nitrate:  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) 0.1598 กรัม ในกรดไนตริก (1+1) จำนวนเล็กน้อย แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร สารละลายตะกั่วนี้ 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 100 ไมโครกรัมตะกั่ว

3.4 สารละลายตะกั่วเข้มข้นปานกลาง (Intermediate Cadmium Solution) เตรียมโดย คูณสารละลายสต็อกตะกั่วจากข้อ 3.3 จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร สารละลายตะกั่วนี้ 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 10 ไมโครกรัมตะกั่ว

#### 4. วิเคราะห์

4.1 การเตรียมตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับว่าต้องการวัดรูปละลายน้ำทั้งหมด หรือโลหะแขวนลอย ถ้าวัดในรูปละลายน้ำต้องกรองตัวอย่างน้ำก่อนนำไปย่อยด้วยกรดไนตริก แต่ถ้าวัดในรูปตะกั่วทั้งหมดให้น้ำตัวอย่างมาย่อยได้เลย

4.2 เตรียมเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer และติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้พร้อมใช้งาน

4.3 การเตรียมกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐานตามช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม อย่างน้อย 4 ระดับ เช่น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเติมกรดไนตริกเข้มข้น 0.15 มิลลิลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร ใช้แบลงค์น้ำกลั่นที่เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตรต่อน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาตรฐานเข้าวิเคราะห์ตามวิธีการใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer แต่ละเครื่อง แล้วนำผลการวิเคราะห์มาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน

4.4 นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ตามวิธีการใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer แต่ละเครื่อง

#### 5. การคำนวณ

คำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยคิดเป็นมิลลิกรัม/ลิตร โดยอ่านจากกราฟมาตรฐานที่ถูกต้อง



**ภาคผนวก ข**

**วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช**

# รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช

## โดยวิธี Kjeldahl Method

### 1. หลักการ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในพืชวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืช โดยตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้องทำการย่อยสลายด้วยกรดเสียก่อนเพื่อเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ในพืชให้เปลี่ยนมาอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียมไนโตรเจน :  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยการกลั่น (Distillation)

### 2. สารเคมีและอุปกรณ์

#### 2.1 บอริกแอซิดอินดิเคเตอร์ (Boric Acid Indicator)

2.1.1 อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator) เตรียมโดย ละลายบรอมครีซอล-กรีน 0.5 กรัม และเมธิลเรด 0.1 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.1.2 กรดบอริก ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) เตรียมโดย ละลายกรดบอริก 40 กรัม ในน้ำร้อน 700 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2.1.3 เดิมอินดิเคเตอร์ผสม (ข้อ 2.1.1) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในกรดบอริก (ข้อ 2.1.2)

2.1.4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร

2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 เตรียมโดย ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร (ควรทำในตู้ดูดควัน)

2.3 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล เตรียมโดยละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

### 3. วิธีวิเคราะห์

#### 3.1 การกลั่น

3.1.1 เปิดเครื่องกลั่นและล้างเครื่องกลั่น 1 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่น

3.1.2 เติมนอร์มัลแอซิดอินดิเคเตอร์ประมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางที่ปลายของเครื่องกลั่นโดยให้ปลายจุ่มอยู่ในนอร์มัลแอซิดอินดิเคเตอร์

3.1.3 เปิดสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดซัลฟูริก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดกลั่น (Distillation Tube)

3.1.4 เติมนอร์มัลไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

3.1.5 กลั่นเป็นเวลา 4 นาที

#### 3.2 การไตเตรต

3.2.1 ไตเตรตสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนถึงของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง

3.2.2 บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

### 4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างพืช (ร้อยละ)} = \frac{(V_s - V_b) \times N \times 0.014 \times V_d \times 100}{W \times V_a}$$

เมื่อ  $V_s$  = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

$V_b$  = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

$N$  = ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกมาตรฐาน 0.02 นอร์มัล

$V_d$  = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยสลาย (มิลลิลิตร)

$W$  = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

$V_a$  = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (10 มิลลิลิตร)

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

**ตารางที่ ค.1** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าพีเอชก่อนทำการทดลองที่ระดับ  
ความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

**ANOVA**

pH-before

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | .169           | 4  | 4.219E-02   | 421.875 | .000 |
| Within Groups  | 1.000E-03      | 10 | 1.000E-04   |         |      |
| Total          | .170           | 14 |             |         |      |

**pH-before**

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |         |         |         |         |
|---------------|---|------------------------|---------|---------|---------|---------|
|               |   | 1                      | 2       | 3       | 4       | 5       |
| T0            | 3 | 7.05000                |         |         |         |         |
| T1            | 3 |                        | 7.12500 |         |         |         |
| T2            | 3 |                        |         | 7.20000 |         |         |
| T3            | 3 |                        |         |         | 7.27500 |         |
| T4            | 3 |                        |         |         |         | 7.35000 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าพีเอชเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับ  
ความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 13.644 <sup>a</sup>     | 14 | .975        | 9745.714 | .000 |
| Intercept       | 3205.512                | 1  | 3205.512    | 3.2E+07  | .000 |
| CON             | 12.248                  | 4  | 3.062       | 30619.00 | .000 |
| DAYS            | 1.300                   | 2  | .650        | 6501.600 | .000 |
| CON * DAYS      | 9.608E-02               | 8  | 1.201E-02   | 120.100  | .000 |
| Error           | 3.000E-03               | 30 | 1.000E-04   |          |      |
| Total           | 3219.159                | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 13.647                  | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### pH

Duncan <sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset  |         |         |         |         |
|---------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
|               |   | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
| T0            | 9 | 7.47667 |         |         |         |         |
| T1            | 9 |         | 8.32333 |         |         |         |
| T2            | 9 |         |         | 8.66667 |         |         |
| T3            | 9 |         |         |         | 8.82333 |         |
| T4            | 9 |         |         |         |         | 8.91000 |
| Sig.          |   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000E-04.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

**ตารางที่ ค.3** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: pH-change

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 9.605 <sup>a</sup>      | 14 | .686        | 6860.893 | .000 |
| Intercept       | 69.192                  | 1  | 69.192      | 691920.0 | .000 |
| CON             | 8.209                   | 4  | 2.052       | 20522.13 | .000 |
| DAYS            | 1.300                   | 2  | .650        | 6501.600 | .000 |
| CON * DAYS      | 9.608E-02               | 8  | 1.201E-02   | 120.100  | .000 |
| Error           | 3.000E-03               | 30 | 1.000E-04   |          |      |
| Total           | 78.800                  | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 9.608                   | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

**pH-change**

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset |         |         |         |         |
|---------------|---|--------|---------|---------|---------|---------|
|               |   | 1      | 2       | 3       | 4       | 5       |
| T0            | 9 | .42667 |         |         |         |         |
| T1            | 9 |        | 1.19833 |         |         |         |
| T2            | 9 |        |         | 1.46667 |         |         |
| T3            | 9 |        |         |         | 1.54833 |         |
| T4            | 9 |        |         |         |         | 1.56000 |
| Sig.          |   | 1.000  | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000E-04.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำก่อนทำการ  
ทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

## ANOVA

TDS-before (mg/l)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 7.3E+07        | 4  | 18180699.8  | 1.8E+07 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |         |      |
| Total          | 7.3E+07        | 14 |             |         |      |

## TDS-before (mg/l)

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | 244.0000               |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 1800.950 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 3357.900 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 4914.850 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 6471.800 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TDS (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F       | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 547272374.8 <sup>a</sup> | 14 | 39090883.9  | 3.9E+07 | .000 |
| Intercept       | 1100356455               | 1  | 1100356455  | 1.1E+09 | .000 |
| CON             | 509027532.8              | 4  | 127256883   | 1.3E+08 | .000 |
| DAYS            | 27256020.400             | 2  | 13628010.2  | 1.4E+07 | .000 |
| CON * DAYS      | 10988821.600             | 8  | 1373602.700 | 1373603 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |         |      |
| Total           | 1647628860               | 45 |             |         |      |
| Corrected Total | 547272404.8              | 44 |             |         |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### TDS (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset   |          |          |          |          |
|---------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | 208.0000 |          |          |          |          |
| T1            | 9 |          | 2466.667 |          |          |          |
| T2            | 9 |          |          | 4926.667 |          |          |
| T3            | 9 |          |          |          | 7608.667 |          |
| T4            | 9 |          |          |          |          | 9514.667 |
| Sig.          |   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TDS-change (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares   | df | Mean Square | F       | Sig. |
|-----------------|---------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 99695179.825 <sup>a</sup> | 14 | 7121084.273 | 7121084 | .000 |
| Intercept       | 113340366.0               | 1  | 113340366   | 1.1E+08 | .000 |
| CON             | 61450337.825              | 4  | 15362584.5  | 1.5E+07 | .000 |
| DAYS            | 27256020.400              | 2  | 13628010.2  | 1.4E+07 | .000 |
| CON * DAYS      | 10988821.600              | 8  | 1373602.700 | 1373603 | .000 |
| Error           | 30.000                    | 30 | 1.000       |         |      |
| Total           | 213035575.9               | 45 |             |         |      |
| Corrected Total | 99695209.825              | 44 |             |         |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### TDS-change (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset    |          |          |          |          |
|---------------|---|-----------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1         | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | -36.00000 |          |          |          |          |
| T1            | 9 |           | 665.7167 |          |          |          |
| T2            | 9 |           |          | 1568.767 |          |          |
| T3            | 9 |           |          |          | 2693.817 |          |
| T4            | 9 |           |          |          |          | 3042.867 |
| Sig.          |   | 1.000     | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนทำการ  
ทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

## ANOVA

SS-before (mg/l)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|----------|------|
| Between Groups | 856830.0       | 4  | 214207.500  | 214207.5 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |          |      |
| Total          | 856840.0       | 14 |             |          |      |

## SS-before (mg/l)

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | .00000                 |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 169.0000 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 338.0000 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 507.0000 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 676.0000 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SS (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 20625.952 <sup>a</sup>  | 14 | 1473.282    | 1473.282 | .000 |
| Intercept       | 28925.618               | 1  | 28925.618   | 28925.62 | .000 |
| CON             | 18615.572               | 4  | 4653.893    | 4653.893 | .000 |
| DAYS            | 531.076                 | 2  | 265.538     | 265.538  | .000 |
| CON * DAYS      | 1479.304                | 8  | 184.913     | 184.913  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 49581.570               | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 20655.952               | 44 |             |          |      |

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

### SS (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset  |          |          |          |          |
|---------------|---|---------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1       | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | 4.60000 |          |          |          |          |
| T1            | 9 |         | 11.83333 |          |          |          |
| T2            | 9 |         |          | 15.33333 |          |          |
| T3            | 9 |         |          |          | 33.83333 |          |
| T4            | 9 |         |          |          |          | 61.16667 |
| Sig.          |   | 1.000   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SS-change (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 2180040.352 <sup>a</sup> | 14 | 155717.168  | 155717.2 | .000 |
| Intercept       | 4398657.218              | 1  | 4398657.218 | 4398657  | .000 |
| CON             | 2178029.972              | 4  | 544507.493  | 544507.5 | .000 |
| DAYS            | 531.076                  | 2  | 265.538     | 265.538  | .000 |
| CON * DAYS      | 1479.304                 | 8  | 184.913     | 184.913  | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 6578727.570              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 2180070.352              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### SS-change (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset   |          |          |          |         |
|---------------|---|----------|----------|----------|----------|---------|
|               |   | 1        | 2        | 3        | 4        | 5       |
| T4            | 9 | -614.833 |          |          |          |         |
| T3            | 9 |          | -473.167 |          |          |         |
| T2            | 9 |          |          | -322.667 |          |         |
| T1            | 9 |          |          |          | -157.167 |         |
| T0            | 9 |          |          |          |          | 4.60000 |
| Sig.          |   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

**ตารางที่ ค.10** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีก่อนทำการทดลองที่  
ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

**ANOVA**

BOD-before (mg/l)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|----------|------|
| Between Groups | 3417188        | 4  | 854296.875  | 854296.9 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |          |      |
| Total          | 3417198        | 14 |             |          |      |

**BOD-before (mg/l)**

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | .00000                 |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 337.5000 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 675.0000 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 1012.500 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 1350.000 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**ตารางที่ ค.11** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีเฉลี่ยจากการทดลอง  
ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: BOD (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 8165789.853 <sup>a</sup> | 14 | 583270.704  | 583270.7 | .000 |
| Intercept       | 12596209.665             | 1  | 12596209.7  | 1.3E+07  | .000 |
| CON             | 6365787.659              | 4  | 1591446.915 | 1591447  | .000 |
| DAYS            | 1327515.439              | 2  | 663757.719  | 663757.7 | .000 |
| CON * DAYS      | 472486.755               | 8  | 59060.844   | 59060.84 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 20762029.517             | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 8165819.853              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

**BOD (mg/l)**

Duncan <sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset  |          |          |          |          |
|---------------|---|---------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1       | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | 3.68667 |          |          |          |          |
| T1            | 9 |         | 258.3333 |          |          |          |
| T2            | 9 |         |          | 525.0000 |          |          |
| T3            | 9 |         |          |          | 791.6667 |          |
| T4            | 9 |         |          |          |          | 1066.667 |
| Sig.          |   | 1.000   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับ  
ความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD-change (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 2262145.353 <sup>a</sup> | 14 | 161581.811  | 161581.8 | .000 |
| Intercept       | 958291.665               | 1  | 958291.665  | 958291.7 | .000 |
| CON             | 462143.159               | 4  | 115535.790  | 115535.8 | .000 |
| DAYS            | 1327515.439              | 2  | 663757.719  | 663757.7 | .000 |
| CON * DAYS      | 472486.755               | 8  | 59060.844   | 59060.84 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 3220467.017              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 2262175.353              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### BOD-change (mg/l)

Duncan <sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset   |          |          |           |         |
|---------------|---|----------|----------|----------|-----------|---------|
|               |   | 1        | 2        | 3        | 4         | 5       |
| T4            | 9 | -283.333 |          |          |           |         |
| T3            | 9 |          | -220.833 |          |           |         |
| T2            | 9 |          |          | -150.000 |           |         |
| T1            | 9 |          |          |          | -79.16667 |         |
| T0            | 9 |          |          |          |           | 3.68667 |
| Sig.          |   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000     | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.



ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณซีโอดีก่อนทำการทดลองที่  
ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

## ANOVA

COD-before (mg/l)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 7.7E+07        | 4  | 19200000.0  | 1.9E+07 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |         |      |
| Total          | 7.7E+07        | 14 |             |         |      |

## COD-before (mg/l)

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | .00000                 |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 1600.000 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 3200.000 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 4800.000 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 6400.000 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณซีโอดีเฉลี่ยจากการทดลอง  
ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 282601732.5 <sup>a</sup> | 14 | 20185838.0  | 2.0E+07  | .000 |
| Intercept       | 486413571.2              | 1  | 486413571   | 4.9E+08  | .000 |
| CON             | 264881708.2              | 4  | 66220427.0  | 6.6E+07  | .000 |
| DAYS            | 12388091.200             | 2  | 6194045.600 | 6194046  | .000 |
| CON * DAYS      | 5331933.120              | 8  | 666491.640  | 666491.6 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 769015333.7              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 282601762.5              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### COD (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset  |          |          |          |          |
|---------------|---|---------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1       | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | 6.66667 |          |          |          |          |
| T1            | 9 |         | 1508.667 |          |          |          |
| T2            | 9 |         |          | 3043.867 |          |          |
| T3            | 9 |         |          |          | 5110.533 |          |
| T4            | 9 |         |          |          |          | 6768.933 |
| Sig.          |   | 1.000   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณซีโอไลท์ที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับ  
ความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD-change (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares   | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|---------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 19761412.480 <sup>a</sup> | 14 | 1411529.463 | 1411529  | .000 |
| Intercept       | 346371.200                | 1  | 346371.200  | 346371.2 | .000 |
| CON             | 2041388.160               | 4  | 510347.040  | 510347.0 | .000 |
| DAYS            | 12388091.200              | 2  | 6194045.600 | 6194046  | .000 |
| CON * DAYS      | 5331933.120               | 8  | 666491.640  | 666491.6 | .000 |
| Error           | 30.000                    | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 20107813.680              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 19761442.480              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### COD-change (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset   |           |         |          |          |
|---------------|---|----------|-----------|---------|----------|----------|
|               |   | 1        | 2         | 3       | 4        | 5        |
| T2            | 9 | -156.133 |           |         |          |          |
| T1            | 9 |          | -91.33333 |         |          |          |
| T0            | 9 |          |           | 6.66667 |          |          |
| T3            | 9 |          |           |         | 310.5333 |          |
| T4            | 9 |          |           |         |          | 368.9333 |
| Sig.          |   | 1.000    | 1.000     | 1.000   | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

**ตารางที่ ค.16** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณที่เคเอ็นก่อนทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

**ANOVA**

TKN-before (mg/l)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|----------|------|
| Between Groups | 34740.21       | 4  | 8685.052    | 8685.052 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |          |      |
| Total          | 34750.21       | 14 |             |          |      |

**TKN-before (mg/l)**

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | .00000                 |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 34.03000 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 68.05900 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 102.0890 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 136.1180 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณที่เคเอ็นเฉลี่ยจากการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TKN (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 240764.304 <sup>a</sup> | 14 | 17197.450   | 17197.45 | .000 |
| Intercept       | 426588.682              | 1  | 426588.682  | 426588.7 | .000 |
| CON             | 228591.653              | 4  | 57147.913   | 57147.91 | .000 |
| DAYS            | 8281.013                | 2  | 4140.507    | 4140.507 | .000 |
| CON * DAYS      | 3891.637                | 8  | 486.455     | 486.455  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 667382.986              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 240794.304              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### TKN (mg/l)

Duncan <sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset |          |          |          |          |
|---------------|---|--------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | .38333 |          |          |          |          |
| T1            | 9 |        | 43.81667 |          |          |          |
| T2            | 9 |        |          | 93.92667 |          |          |
| T3            | 9 |        |          |          | 149.2267 |          |
| T4            | 9 |        |          |          |          | 199.4667 |
| Sig.          |   | 1.000  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

**ตารางที่ ค.18** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณที่เคเอ็นที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: TKN-change (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 36527.133 <sup>a</sup>  | 14 | 2609.081    | 2609.081 | .000 |
| Intercept       | 38642.599               | 1  | 38642.599   | 38642.60 | .000 |
| CON             | 24354.483               | 4  | 6088.621    | 6088.621 | .000 |
| DAYS            | 8281.013                | 2  | 4140.507    | 4140.507 | .000 |
| CON * DAYS      | 3891.637                | 8  | 486.455     | 486.455  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 75199.732               | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 36557.133               | 44 |             |          |      |

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

**TKN-change (mg/l)**

Duncan <sup>a,b</sup>

| Concentration | N | Subset |         |          |          |          |
|---------------|---|--------|---------|----------|----------|----------|
|               |   | 1      | 2       | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 9 | .38333 |         |          |          |          |
| T1            | 9 |        | 9.78667 |          |          |          |
| T2            | 9 |        |         | 25.86667 |          |          |
| T3            | 9 |        |         |          | 47.13667 |          |
| T4            | 9 |        |         |          |          | 63.34667 |
| Sig.          |   | 1.000  | 1.000   | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าพีเอชที่ระยะเวลาในการบำบัด  
คุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 13.644 <sup>a</sup>     | 14 | .975        | 9745.714 | .000 |
| Intercept       | 3205.512                | 1  | 3205.512    | 3.2E+07  | .000 |
| CON             | 12.248                  | 4  | 3.062       | 30619.00 | .000 |
| DAYS            | 1.300                   | 2  | .650        | 6501.600 | .000 |
| CON * DAYS      | 9.608E-02               | 8  | 1.201E-02   | 120.100  | .000 |
| Error           | 3.000E-03               | 30 | 1.000E-04   |          |      |
| Total           | 3219.159                | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 13.647                  | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### pH.

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset  |         |         |
|---------|----|---------|---------|---------|
|         |    | 1       | 2       | 3       |
| 10 days | 15 | 8.21200 |         |         |
| 20 days | 15 |         | 8.48800 |         |
| 30 days | 15 |         |         | 8.62000 |
| Sig.    |    | 1.000   | 1.000   | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000E-04.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

**ตารางที่ ค.20** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระยะ  
เวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: TDS (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F       | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 547272374.8 <sup>a</sup> | 14 | 39090883.9  | 3.9E+07 | .000 |
| Intercept       | 1100356455               | 1  | 1100356455  | 1.1E+09 | .000 |
| CON             | 509027532.8              | 4  | 127256883   | 1.3E+08 | .000 |
| DAYS            | 27256020.400             | 2  | 13628010.2  | 1.4E+07 | .000 |
| CON * DAYS      | 10988821.600             | 8  | 1373602.700 | 1373603 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |         |      |
| Total           | 1647628860               | 45 |             |         |      |
| Corrected Total | 547272404.8              | 44 |             |         |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

**TDS (mg/l)**

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset   |          |          |
|---------|----|----------|----------|----------|
|         |    | 1        | 2        | 3        |
| 10 days | 15 | 4026.000 |          |          |
| 20 days | 15 |          | 4879.800 |          |
| 30 days | 15 |          |          | 5929.000 |
| Sig.    |    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.



ตารางที่ ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะ  
เวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SS (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 20625.952 <sup>a</sup>  | 14 | 1473.282    | 1473.282 | .000 |
| Intercept       | 28925.618               | 1  | 28925.618   | 28925.62 | .000 |
| CON             | 18615.572               | 4  | 4653.893    | 4653.893 | .000 |
| DAYS            | 531.076                 | 2  | 265.538     | 265.538  | .000 |
| CON * DAYS      | 1479.304                | 8  | 184.913     | 184.913  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 49581.570               | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 20655.952               | 44 |             |          |      |

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

### SS (mg/l)

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset   |          |          |
|---------|----|----------|----------|----------|
|         |    | 1        | 2        | 3        |
| 20 days | 15 | 20.86000 |          |          |
| 30 days | 15 |          | 26.00000 |          |
| 10 days | 15 |          |          | 29.20000 |
| Sig.    |    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาในการ  
บำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 8165789.853 <sup>a</sup> | 14 | 583270.704  | 583270.7 | .000 |
| Intercept       | 12596209.665             | 1  | 12596209.7  | 1.3E+07  | .000 |
| CON             | 6365787.659              | 4  | 1591446.915 | 1591447  | .000 |
| DAYS            | 1327515.439              | 2  | 663757.719  | 663757.7 | .000 |
| CON * DAYS      | 472486.755               | 8  | 59060.844   | 59060.84 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 20762029.517             | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 8165819.853              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### BOD (mg/l)

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset   |          |          |
|---------|----|----------|----------|----------|
|         |    | 1        | 2        | 3        |
| 10 days | 15 | 325.6260 | 515.8660 | 745.7200 |
| 20 days | 15 |          |          |          |
| 30 days | 15 |          |          |          |
| Sig.    |    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณซีโอดีที่ระยะเวลาในการ  
บำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 282601732.5 <sup>a</sup> | 14 | 20185838.0  | 2.0E+07  | .000 |
| Intercept       | 486413571.2              | 1  | 486413571   | 4.9E+08  | .000 |
| CON             | 264881708.2              | 4  | 66220427.0  | 6.6E+07  | .000 |
| DAYS            | 12388091.200             | 2  | 6194045.600 | 6194046  | .000 |
| CON * DAYS      | 5331933.120              | 8  | 666491.640  | 666491.6 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 769015333.7              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 282601762.5              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### COD (mg/l)

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset   |          |          |
|---------|----|----------|----------|----------|
|         |    | 1        | 2        | 3        |
| 10 days | 15 | 2747.600 |          |          |
| 20 days | 15 |          | 3117.200 |          |
| 30 days | 15 |          |          | 3998.400 |
| Sig.    |    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณที่เคเอ็นที่ระยะเวลาในการ  
บำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TKN (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 240764.304 <sup>a</sup> | 14 | 17197.450   | 17197.45 | .000 |
| Intercept       | 426588.682              | 1  | 426588.682  | 426588.7 | .000 |
| CON             | 228591.653              | 4  | 57147.913   | 57147.91 | .000 |
| DAYS            | 8281.013                | 2  | 4140.507    | 4140.507 | .000 |
| CON * DAYS      | 3891.637                | 8  | 486.455     | 486.455  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 667382.986              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 240794.304              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### TKN (mg/l)

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset   |          |          |
|---------|----|----------|----------|----------|
|         |    | 1        | 2        | 3        |
| 10 days | 15 | 81.83200 |          |          |
| 20 days | 15 |          | 95.37800 |          |
| 30 days | 15 |          |          | 114.8820 |
| Sig.    |    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าพีเอชที่ระดับความเข้มข้นของ  
น้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาในการบำบัด  
คุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 13.644 <sup>a</sup>     | 14 | .975        | 9745.714 | .000 |
| Intercept       | 3205.512                | 1  | 3205.512    | 3.2E+07  | .000 |
| CON             | 12.248                  | 4  | 3.062       | 30619.00 | .000 |
| DAYS            | 1.300                   | 2  | .650        | 6501.600 | .000 |
| CON * DAYS      | 9.608E-02               | 8  | 1.201E-02   | 120.100  | .000 |
| Error           | 3.000E-03               | 30 | 1.000E-04   |          |      |
| Total           | 3219.159                | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 13.647                  | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: pH

| Concentration | DAYS    | Mean  | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|-------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |       |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | 7.210 | .006       | 7.198                   | 7.222       |
|               | 20 days | 7.620 | .006       | 7.608                   | 7.632       |
|               | 30 days | 7.600 | .006       | 7.588                   | 7.612       |
| T1            | 10 days | 8.150 | .006       | 8.138                   | 8.162       |
|               | 20 days | 8.280 | .006       | 8.268                   | 8.292       |
|               | 30 days | 8.540 | .006       | 8.528                   | 8.552       |
| T2            | 10 days | 8.480 | .006       | 8.468                   | 8.492       |
|               | 20 days | 8.690 | .006       | 8.678                   | 8.702       |
|               | 30 days | 8.830 | .006       | 8.818                   | 8.842       |
| T3            | 10 days | 8.570 | .006       | 8.558                   | 8.582       |
|               | 20 days | 8.870 | .006       | 8.858                   | 8.882       |
|               | 30 days | 9.030 | .006       | 9.018                   | 9.042       |
| T4            | 10 days | 8.650 | .006       | 8.638                   | 8.662       |
|               | 20 days | 8.980 | .006       | 8.968                   | 8.992       |
|               | 30 days | 9.100 | .006       | 9.088                   | 9.112       |

## ตารางที่ ค.25 (ต่อ)

pH

| Duncan <sup>a,b</sup> |   | Subset  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Con * Days            | N | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      |
| T0 - 10 Days          | 3 | 7.21000 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T0 - 30 Days          | 3 |         | 7.60000 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T0 - 20 Days          | 3 |         |         | 7.62000 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T1 - 10 Days          | 3 |         |         |         | 8.15000 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T1 - 20 Days          | 3 |         |         |         |         | 8.28000 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T2 - 10 Days          | 3 |         |         |         |         |         | 8.48000 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T1 - 30 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         | 8.54000 |         |         |         |         |         |         |         |         |
| T3 - 10 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         | 8.57000 |         |         |         |         |         |         |         |
| T4 - 10 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         | 8.65000 |         |         |         |         |         |         |
| T2 - 20 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 8.69000 |         |         |         |         |         |
| T2 - 30 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 8.83000 |         |         |         |         |
| T3 - 20 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 8.87000 |         |         |         |
| T4 - 20 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 8.98000 |         |         |
| T3 - 30 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 9.03000 |         |
| T4 - 30 Days          | 3 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 9.10000 |
| Sig.                  |   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   | 1.000   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000E-04.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

**ตารางที่ ค.26** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TDS (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F       | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 547272374.8 <sup>a</sup> | 14 | 39090883.9  | 3.9E+07 | .000 |
| Intercept       | 1100356455               | 1  | 1100356455  | 1.1E+09 | .000 |
| CON             | 509027532.8              | 4  | 127256883   | 1.3E+08 | .000 |
| DAYS            | 27256020.400             | 2  | 13628010.2  | 1.4E+07 | .000 |
| CON * DAYS      | 10988821.600             | 8  | 1373602.700 | 1373603 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |         |      |
| Total           | 1647628860               | 45 |             |         |      |
| Corrected Total | 547272404.8              | 44 |             |         |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: TDS (mg/l)

| Concentration | DAYS    | Mean     | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|----------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |          |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | 139.000  | .577       | 137.821                 | 140.179     |
|               | 20 days | 218.000  | .577       | 216.821                 | 219.179     |
|               | 30 days | 267.000  | .577       | 265.821                 | 268.179     |
| T1            | 10 days | 1954.000 | .577       | 1952.821                | 1955.179    |
|               | 20 days | 2434.000 | .577       | 2432.821                | 2435.179    |
|               | 30 days | 3012.000 | .577       | 3010.821                | 3013.179    |
| T2            | 10 days | 4027.000 | .577       | 4025.821                | 4028.179    |
|               | 20 days | 4784.000 | .577       | 4782.821                | 4785.179    |
|               | 30 days | 5969.000 | .577       | 5967.821                | 5970.179    |
| T3            | 10 days | 6172.000 | .577       | 6170.821                | 6173.179    |
|               | 20 days | 7449.000 | .577       | 7447.821                | 7450.179    |
|               | 30 days | 9205.000 | .577       | 9203.821                | 9206.179    |
| T4            | 10 days | 7838.000 | .577       | 7836.821                | 7839.179    |
|               | 20 days | 9514.000 | .577       | 9512.821                | 9515.179    |
|               | 30 days | 11192.00 | .577       | 11190.821               | 11193.179   |

## ตารางที่ ค.26 (ต่อ)

TDS (mg/l)

Duncan<sup>a,b</sup>

|              |   | Subset   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Con * Days   | N | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       |
| T0 - 10 Days | 3 | 139.0000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 20 Days | 3 |          | 218.0000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 30 Days | 3 |          |          | 267.0000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 10 Days | 3 |          |          |          | 1954.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 20 Days | 3 |          |          |          |          | 2434.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 30 Days | 3 |          |          |          |          |          | 3012.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 10 Days | 3 |          |          |          |          |          |          | 4027.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 20 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          | 4784.000 |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 30 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          | 5969.000 |          |          |          |          |          |          |
| T3 - 10 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 6172.000 |          |          |          |          |          |
| T3 - 20 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 7449.000 |          |          |          |          |
| T4 - 10 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 7838.000 |          |          |          |
| T3 - 30 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 9205.000 |          |          |
| T4 - 20 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 9514.000 |          |
| T4 - 30 Days | 3 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 11192.00 |
| Sig.         |   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.



ตารางที่ ค.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับ  
ความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาใน  
การบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SS (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 20625.952 <sup>a</sup>  | 14 | 1473.282    | 1473.282 | .000 |
| Intercept       | 28925.618               | 1  | 28925.618   | 28925.62 | .000 |
| CON             | 18615.572               | 4  | 4653.893    | 4653.893 | .000 |
| DAYS            | 531.076                 | 2  | 265.538     | 265.538  | .000 |
| CON * DAYS      | 1479.304                | 8  | 184.913     | 184.913  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 49581.570               | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 20655.952               | 44 |             |          |      |

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: SS (mg/l)

| Concentration | DAYS    | Mean   | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|--------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |        |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | 3.500  | .577       | 2.321                   | 4.679       |
|               | 20 days | 8.800  | .577       | 7.621                   | 9.979       |
|               | 30 days | 1.500  | .577       | .321                    | 2.679       |
| T1            | 10 days | 14.000 | .577       | 12.821                  | 15.179      |
|               | 20 days | 13.500 | .577       | 12.321                  | 14.679      |
|               | 30 days | 8.000  | .577       | 6.821                   | 9.179       |
| T2            | 10 days | 20.500 | .577       | 19.321                  | 21.679      |
|               | 20 days | 13.000 | .577       | 11.821                  | 14.179      |
|               | 30 days | 12.500 | .577       | 11.321                  | 13.679      |
| T3            | 10 days | 42.000 | .577       | 40.821                  | 43.179      |
|               | 20 days | 24.000 | .577       | 22.821                  | 25.179      |
|               | 30 days | 35.500 | .577       | 34.321                  | 36.679      |
| T4            | 10 days | 66.000 | .577       | 64.821                  | 67.179      |
|               | 20 days | 45.000 | .577       | 43.821                  | 46.179      |
|               | 30 days | 72.500 | .577       | 71.321                  | 73.679      |

ตารางที่ ค.27 (ต่อ)

SS (mg/l)

| Duncan <sup>a</sup> |   | Subset for alpha = .05 |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------------------|---|------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Con * Days          | N | 1                      | 2       | 3       | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       |
| T0 - 30 Days        | 3 | 1.50000                |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 10 Days        | 3 |                        | 3.50000 |         |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 30 Days        | 3 |                        |         | 8.00000 |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 20 Days        | 3 |                        |         | 8.80000 |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 30 Days        | 3 |                        |         |         | 12.50000 |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 20 Days        | 3 |                        |         |         | 13.00000 |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 20 Days        | 3 |                        |         |         | 13.50000 |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 10 Days        | 3 |                        |         |         | 14.00000 |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 10 Days        | 3 |                        |         |         |          | 20.50000 |          |          |          |          |          |          |
| T3 - 20 Days        | 3 |                        |         |         |          |          | 24.00000 |          |          |          |          |          |
| T3 - 30 Days        | 3 |                        |         |         |          |          |          | 35.50000 |          |          |          |          |
| T3 - 10 Days        | 3 |                        |         |         |          |          |          |          | 42.00000 |          |          |          |
| T4 - 20 Days        | 3 |                        |         |         |          |          |          |          |          | 45.00000 |          |          |
| T4 - 10 Days        | 3 |                        |         |         |          |          |          |          |          |          | 66.00000 |          |
| T4 - 30 Days        | 3 |                        |         |         |          |          |          |          |          |          |          | 72.50000 |
| Sig.                |   | 1.000                  | 1.000   | .335    | .102     | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระดับความเข้มข้น  
ของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาในการบำบัด  
คุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 8165789.853 <sup>a</sup> | 14 | 583270.704  | 583270.7 | .000 |
| Intercept       | 12596209.665             | 1  | 12596209.7  | 1.3E+07  | .000 |
| CON             | 6365787.659              | 4  | 1591446.915 | 1591447  | .000 |
| DAYS            | 1327515.439              | 2  | 663757.719  | 663757.7 | .000 |
| CON * DAYS      | 472486.755               | 8  | 59060.844   | 59060.84 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 20762029.517             | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 8165819.853              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: BOD (mg/l)

| Concentration | DAYS    | Mean     | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|----------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |          |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | 3.130    | .577       | 1.951                   | 4.309       |
|               | 20 days | 4.330    | .577       | 3.151                   | 5.509       |
|               | 30 days | 3.600    | .577       | 2.421                   | 4.779       |
| T1            | 10 days | 100.000  | .577       | 98.821                  | 101.179     |
|               | 20 days | 250.000  | .577       | 248.821                 | 251.179     |
|               | 30 days | 425.000  | .577       | 423.821                 | 426.179     |
| T2            | 10 days | 300.000  | .577       | 298.821                 | 301.179     |
|               | 20 days | 525.000  | .577       | 523.821                 | 526.179     |
|               | 30 days | 750.000  | .577       | 748.821                 | 751.179     |
| T3            | 10 days | 450.000  | .577       | 448.821                 | 451.179     |
|               | 20 days | 750.000  | .577       | 748.821                 | 751.179     |
|               | 30 days | 1175.000 | .577       | 1173.821                | 1176.179    |
| T4            | 10 days | 775.000  | .577       | 773.821                 | 776.179     |
|               | 20 days | 1050.000 | .577       | 1048.821                | 1051.179    |
|               | 30 days | 1375.000 | .577       | 1373.821                | 1376.179    |

ตารางที่ ค.28 (ต่อ)

BOD (mg/l)

| Dunnett      | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
|--------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
|              |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10        | 11        | 12        |
| Con * Days   | 3 | 3.13000                |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| T0 - 30 Days | 3 | 3.60000                |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| T0 - 20 Days | 3 | 4.33000                |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| T1 - 10 Days | 3 |                        | 100.0000 |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| T1 - 20 Days | 3 |                        |          | 250.0000 |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| T2 - 10 Days | 3 |                        |          |          | 300.0000 |          |          |          |          |          |           |           |           |
| T1 - 30 Days | 3 |                        |          |          |          | 425.0000 |          |          |          |          |           |           |           |
| T3 - 10 Days | 3 |                        |          |          |          |          | 450.0000 |          |          |          |           |           |           |
| T2 - 20 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          | 525.0000 |          |          |           |           |           |
| T2 - 30 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          |          | 750.0000 |          |           |           |           |
| T3 - 20 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          |          | 750.0000 |          |           |           |           |
| T4 - 10 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          | 775.0000 |           |           |           |
| T4 - 20 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          | 1050.0000 |           |           |
| T3 - 30 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |           | 1175.0000 |           |
| T4 - 30 Days | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           | 1375.0000 |
| Sig.         |   | .175                   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000     | 1.000     | 1.000     |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

ตารางที่ ค.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น  
ของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาในการบำบัด  
คุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares  | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|--------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 282601732.5 <sup>a</sup> | 14 | 20185838.0  | 2.0E+07  | .000 |
| Intercept       | 486413571.2              | 1  | 486413571   | 4.9E+08  | .000 |
| CON             | 264881708.2              | 4  | 66220427.0  | 6.6E+07  | .000 |
| DAYS            | 12388091.200             | 2  | 6194045.600 | 6194046  | .000 |
| CON * DAYS      | 5331933.120              | 8  | 666491.640  | 666491.6 | .000 |
| Error           | 30.000                   | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 769015333.7              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 282601762.5              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: COD (mg/l)

| Concentration | DAYS    | Mean      | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|-----------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |           |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | -1.82E-12 | .577       | -1.179                  | 1.179       |
|               | 20 days | 20.000    | .577       | 18.821                  | 21.179      |
|               | 30 days | 9.095E-13 | .577       | -1.179                  | 1.179       |
| T1            | 10 days | 1200.000  | .577       | 1198.821                | 1201.179    |
|               | 20 days | 1366.000  | .577       | 1364.821                | 1367.179    |
|               | 30 days | 1960.000  | .577       | 1958.821                | 1961.179    |
| T2            | 10 days | 2407.600  | .577       | 2406.421                | 2408.779    |
|               | 20 days | 3000.000  | .577       | 2998.821                | 3001.179    |
|               | 30 days | 3724.000  | .577       | 3722.821                | 3725.179    |
| T3            | 10 days | 4259.600  | .577       | 4258.421                | 4260.779    |
|               | 20 days | 4800.000  | .577       | 4798.821                | 4801.179    |
|               | 30 days | 6272.000  | .577       | 6270.821                | 6273.179    |
| T4            | 10 days | 5870.800  | .577       | 5869.621                | 5871.979    |
|               | 20 days | 6400.000  | .577       | 6398.821                | 6401.179    |
|               | 30 days | 8036.000  | .577       | 8034.821                | 8037.179    |

ตารางที่ ค.29 (ต่อ)

COD (mg/l)

| Duncan <sup>a</sup> |   | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Con * Days          | N | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       |
| T0 - 10 Days        | 3 | .00000                 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 30 Days        | 3 | .00000                 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 20 Days        | 3 |                        | 20.00000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 10 Days        | 3 |                        |          | 1200.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 20 Days        | 3 |                        |          |          | 1366.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          | 1960.000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 10 Days        | 3 |                        |          |          |          |          | 2407.600 |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 20 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          | 3000.000 |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          | 3724.000 |          |          |          |          |          |          |
| T3 - 10 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          | 4259.600 |          |          |          |          |          |
| T3 - 20 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          | 4800.000 |          |          |          |          |
| T4 - 10 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 5870.800 |          |          |          |
| T3 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 6272.000 |          |          |
| T4 - 20 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 6400.000 |          |
| T4 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 8036.000 |
| Sig.                |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณที่เคเอ็นที่ระดับความเข้มข้น  
ของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาในการบำบัด  
คุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TKN (mg/l)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 240764.304 <sup>a</sup> | 14 | 17197.450   | 17197.45 | .000 |
| Intercept       | 426588.682              | 1  | 426588.682  | 426588.7 | .000 |
| CON             | 228591.653              | 4  | 57147.913   | 57147.91 | .000 |
| DAYS            | 8281.013                | 2  | 4140.507    | 4140.507 | .000 |
| CON * DAYS      | 3891.637                | 8  | 486.455     | 486.455  | .000 |
| Error           | 30.000                  | 30 | 1.000       |          |      |
| Total           | 667382.986              | 45 |             |          |      |
| Corrected Total | 240794.304              | 44 |             |          |      |

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: TKN (mg/l)

| Concentration | DAYS    | Mean      | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|-----------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |           |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | -2.84E-14 | .577       | -1.179                  | 1.179       |
|               | 20 days | 1.150     | .577       | -2.911E-02              | 2.329       |
|               | 30 days | .000      | .577       | -1.179                  | 1.179       |
| T1            | 10 days | 34.440    | .577       | 33.261                  | 35.619      |
|               | 20 days | 44.540    | .577       | 43.361                  | 45.719      |
|               | 30 days | 52.470    | .577       | 51.291                  | 53.649      |
| T2            | 10 days | 74.640    | .577       | 73.461                  | 75.819      |
|               | 20 days | 94.470    | .577       | 93.291                  | 95.649      |
|               | 30 days | 112.670   | .577       | 111.491                 | 113.849     |
| T3            | 10 days | 122.080   | .577       | 120.901                 | 123.259     |
|               | 20 days | 148.460   | .577       | 147.281                 | 149.639     |
|               | 30 days | 177.140   | .577       | 175.961                 | 178.319     |
| T4            | 10 days | 178.000   | .577       | 176.821                 | 179.179     |
|               | 20 days | 188.270   | .577       | 187.091                 | 189.449     |
|               | 30 days | 232.130   | .577       | 230.951                 | 233.309     |

ตารางที่ ค.30 (ต่อ)

TKN (mg/l)

| Duncan <sup>a</sup> |   | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Con * Days          | N | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       |
| T0 - 10 Days        | 3 | .00000                 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 30 Days        | 3 | .00000                 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T0 - 20 Days        | 3 | 1.15000                |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 10 Days        | 3 |                        | 34.44000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 20 Days        | 3 |                        |          | 44.54000 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T1 - 30 Days        | 3 |                        |          |          | 52.47000 | 74.64000 | 94.47000 | 112.6700 | 122.0800 | 148.4600 |          |          |          |
| T2 - 10 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 20 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T2 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T3 - 10 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T3 - 20 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          | 177.1400 |          |          |
| T3 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          | 178.0000 |          |          |
| T4 - 10 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| T4 - 20 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 188.2700 |          |
| T4 - 30 Days        | 3 |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 232.1300 |
| Sig                 |   | .193                   | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    | .301     | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



ตารางที่ ค.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของชีวมวลผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้น  
ของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: mass (kg)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 3.783E-03 <sup>a</sup>  | 14 | 2.702E-04   | 2.325    | .016 |
| Intercept       | 2.337                   | 1  | 2.337       | 20111.30 | .000 |
| CON             | 1.277E-03               | 4  | 3.193E-04   | 2.748    | .040 |
| DAYS            | 2.180E-03               | 2  | 1.090E-03   | 9.381    | .000 |
| CON * DAYS      | 3.257E-04               | 8  | 4.072E-05   | .350     | .941 |
| Error           | 5.229E-03               | 45 | 1.162E-04   |          |      |
| Total           | 2.346                   | 60 |             |          |      |
| Corrected Total | 9.012E-03               | 59 |             |          |      |

a. R Squared = .420 (Adjusted R Squared = .239)

### mass (kg)

Duncan <sup>a,b</sup>

| Concentration | N  | Subset |        |
|---------------|----|--------|--------|
|               |    | 1      | 2      |
| T0            | 12 | .18992 |        |
| T4            | 12 | .19583 | .19583 |
| T3            | 12 | .19817 | .19817 |
| T2            | 12 | .19867 | .19867 |
| T1            | 12 |        | .20417 |
| Sig.          |    | .075   | .090   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.162E-04.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของชีวมวลผักกระเฉดที่ระยะเวลา  
ในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: mass (kg)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 3.783E-03 <sup>a</sup>  | 14 | 2.702E-04   | 2.325    | .016 |
| Intercept       | 2.337                   | 1  | 2.337       | 20111.30 | .000 |
| CON             | 1.277E-03               | 4  | 3.193E-04   | 2.748    | .040 |
| DAYS            | 2.180E-03               | 2  | 1.090E-03   | 9.381    | .000 |
| CON * DAYS      | 3.257E-04               | 8  | 4.072E-05   | .350     | .941 |
| Error           | 5.229E-03               | 45 | 1.162E-04   |          |      |
| Total           | 2.346                   | 60 |             |          |      |
| Corrected Total | 9.012E-03               | 59 |             |          |      |

a. R Squared = .420 (Adjusted R Squared = .239)

**mass (kg)**

Duncan <sup>a,b</sup>

| DAYS    | N  | Subset |        |
|---------|----|--------|--------|
|         |    | 1      | 2      |
| 30 days | 20 | .18960 |        |
| 20 days | 20 |        | .19815 |
| 10 days | 20 |        | .20430 |
| Sig.    |    | 1.000  | .078   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.162E-04.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ ค.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของชีวมวลผักกระเฉดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: mass (kg)

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 3.783E-03 <sup>a</sup>  | 14 | 2.702E-04   | 2.325    | .016 |
| Intercept       | 2.337                   | 1  | 2.337       | 20111.30 | .000 |
| CON             | 1.277E-03               | 4  | 3.193E-04   | 2.748    | .040 |
| DAYS            | 2.180E-03               | 2  | 1.090E-03   | 9.381    | .000 |
| CON * DAYS      | 3.257E-04               | 8  | 4.072E-05   | .350     | .941 |
| Error           | 5.229E-03               | 45 | 1.162E-04   |          |      |
| Total           | 2.346                   | 60 |             |          |      |
| Corrected Total | 9.012E-03               | 59 |             |          |      |

a. R Squared = .420 (Adjusted R Squared = .239)

### Concentration \* DAYS

Dependent Variable: mass (kg)

| Concentration | DAYS    | Mean | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------------|---------|------|------------|-------------------------|-------------|
|               |         |      |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| T0            | 10 days | .201 | .005       | .190                    | .212        |
|               | 20 days | .190 | .005       | .179                    | .201        |
|               | 30 days | .179 | .005       | .168                    | .189        |
| T1            | 10 days | .209 | .005       | .198                    | .220        |
|               | 20 days | .208 | .005       | .197                    | .219        |
|               | 30 days | .196 | .005       | .185                    | .207        |
| T2            | 10 days | .202 | .005       | .191                    | .213        |
|               | 20 days | .202 | .005       | .191                    | .213        |
|               | 30 days | .192 | .005       | .181                    | .203        |
| T3            | 10 days | .205 | .005       | .194                    | .216        |
|               | 20 days | .197 | .005       | .186                    | .208        |
|               | 30 days | .193 | .005       | .182                    | .203        |
| T4            | 10 days | .204 | .005       | .193                    | .215        |
|               | 20 days | .194 | .005       | .183                    | .205        |
|               | 30 days | .189 | .005       | .178                    | .200        |

ตารางที่ ค.33 (ต่อ)

mass (kg)

Duncan <sup>a</sup>

| Con * Days   | N | Subset for alpha = .05 |        |        |        |
|--------------|---|------------------------|--------|--------|--------|
|              |   | 1                      | 2      | 3      | 4      |
| T0 - 30 Days | 4 | .17850                 |        |        |        |
| T4 - 30 Days | 4 | .18900                 | .18900 |        |        |
| T0 - 20 Days | 4 | .19025                 | .19025 | .19025 |        |
| T2 - 30 Days | 4 | .19225                 | .19225 | .19225 | .19225 |
| T3 - 30 Days | 4 | .19250                 | .19250 | .19250 | .19250 |
| T4 - 20 Days | 4 | .19425                 | .19425 | .19425 | .19425 |
| T1 - 30 Days | 4 | .19575                 | .19575 | .19575 | .19575 |
| T3 - 20 Days | 4 |                        | .19675 | .19675 | .19675 |
| T0 - 10 Days | 4 |                        | .20100 | .20100 | .20100 |
| T2 - 20 Days | 4 |                        | .20175 | .20175 | .20175 |
| T2 - 10 Days | 4 |                        | .20200 | .20200 | .20200 |
| T4 - 10 Days | 4 |                        | .20425 | .20425 | .20425 |
| T3 - 10 Days | 4 |                        | .20525 | .20525 | .20525 |
| T1 - 20 Days | 4 |                        |        | .20775 | .20775 |
| T1 - 10 Days | 4 |                        |        |        | .20900 |
| Sig.         |   | .054                   | .081   | .060   | .072   |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

**ตารางที่ ค.34** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเจลดาร์ลโนโตรเจน  
ก่อนทำการทดลองในแต่ละหน่วยทดลอง

**ANOVA**

N-before (mg)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 8.7E+07        | 4  | 21712628.8  | 2.2E+07 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |         |      |
| Total          | 8.7E+07        | 14 |             |         |      |

**N-before (mg)**

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | .00000                 |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 1701.475 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 3402.950 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 5104.425 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 6805.900 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเจลดาร์ลในโตรเจนส่วนที่  
สูญเสียไปของผักกระเฉดในแต่ละหน่วยทดลอง

## ANOVA

N-decompose (mg)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 29726.00       | 4  | 7431.499    | 5.843 | .005 |
| Within Groups  | 19076.65       | 15 | 1271.777    |       |      |
| Total          | 48802.64       | 19 |             |       |      |

## N-decompose (mg)

Duncan <sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |
|---------------|---|------------------------|----------|
|               |   | 1                      | 2        |
| T3            | 4 | 63.96000               | 167.1538 |
| T2            | 4 | 64.23750               |          |
| T1            | 4 | 79.69025               |          |
| T4            | 4 | 83.31525               |          |
| T0            | 4 |                        |          |
| Sig.          |   | .491                   | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางที่ ค.36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเจลดาร์ลโนโตรเจนส่วนที่  
สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำในแต่ละหน่วยทดลอง

## ANOVA

N-sample (mg)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|----------|------|
| Between Groups | 685775.0       | 4  | 171443.740  | 171443.7 | .000 |
| Within Groups  | 10.000         | 10 | 1.000       |          |      |
| Total          | 685785.0       | 14 |             |          |      |

## N-sample (mg)

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 3 | 1.15000                |          |          |          |          |
| T1            | 3 |                        | 131.4500 |          |          |          |
| T2            | 3 |                        |          | 281.7800 |          |          |
| T3            | 3 |                        |          |          | 447.6800 |          |
| T4            | 3 |                        |          |          |          | 598.4000 |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**ตารางที่ ค.37** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเจลดาร์ลโนโตรเจนที่  
เปลี่ยนรูปหรือระเหยในแต่ละหน่วยทดลอง

**ANOVA**

N-transform (mg)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F    | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|------|------|
| Between Groups | 300275.3       | 4  | 75068.836   | .712 | .597 |
| Within Groups  | 1582195        | 15 | 105479.689  |      |      |
| Total          | 1882471        | 19 |             |      |      |

**N-transform (mg)**

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset<br>for alpha<br>= .05 |
|---------------|---|------------------------------|
|               |   | 1                            |
| T0            | 4 | 166.0038                     |
| T1            | 4 | 357.6415                     |
| T2            | 4 | 419.3590                     |
| T3            | 4 | 473.7735                     |
| T4            | 4 | 516.5815                     |
| Sig.          |   | .187                         |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.



ตารางที่ ค.38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเจลคาร์บในโตรเจนที่คงเหลือ  
ในแต่ละหน่วยทดลอง

## ANOVA

N-after (mg)

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 8.4E+07        | 4  | 21053414.1  | 207.745 | .000 |
| Within Groups  | 1520139        | 15 | 101342.581  |         |      |
| Total          | 8.6E+07        | 19 |             |         |      |

## N-after (mg)

Duncan<sup>a</sup>

| Concentration | N | Subset for alpha = .05 |          |          |          |          |
|---------------|---|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |   | 1                      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| T0            | 4 | .00000                 | 1292.074 | 2766.049 | 4246.932 | 5774.234 |
| T1            | 4 |                        |          |          |          |          |
| T2            | 4 |                        |          |          |          |          |
| T3            | 4 |                        |          |          |          |          |
| T4            | 4 |                        |          |          |          |          |
| Sig.          |   | 1.000                  | 1.000    | 1.000    | 1.000    | 1.000    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ภาคผนวก ง

ภาพการเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล



ภาพที่ ง.1 โรงเรือนทดลอง ขนาด 4.00 x 6.00 x 2.80 เมตร



ภาพที่ ง.2 ภาชนะทดลองพลาสติกสีดำ ปริมาตร 70 ลิตร



ภาพที่ ง.3 เครื่องชั่งดิจิตอล ขนาด 2 กิโลกรัม ที่ใช้ชั่งน้ำหนักผักกระเฉด



ภาพที่ ง.4 เครื่องชั่ง ขนาด 60 กิโลกรัม ที่ใช้ชั่งน้ำหนักน้ำ



ภาพที่ ๓.๕ บ่อเก็บกักน้ำกากส่าของบริษัท ยูโนเด็ตไวน์เนอรี แอนด์ ดิสทิลเลอรี จำกัด





ภาพที่ ๔.๖ การขนย้ายน้ำจากส้วมาใช้ในการทดลอง

 $T_1$  $T_2$  $T_3$  $T_4$ 

ภาพที่ ง.7 การเตรียมน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20



ภาพที่ ๙.๘ แปลงผักกระเฉดในอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ที่นำผักกระเฉดมาทดลอง





ภาพที่ ๙.๙ ผักกระเฉดที่นำมาพักไว้ในร่องน้ำก่อนการทดลอง



ภาพที่ ง.10 การเตรียมผักกระเฉดเพื่อใช้ในการทดลอง





ภาพที่ จ.11 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผักกระเฉดที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน



ภาพที่ ง.12 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ



ภาพที่ ง.13 การเก็บตัวอย่างน้ำ





ภาพที่ ง.14 การเก็บตัวอย่างผักกระเฉด

## บรรณานุกรม

- กรมการแพทย์. สถาบันการแพทย์แผนไทย. 2547. ผักพื้นบ้านภาคกลาง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สามเจริญพาณิชย์ (กรุงเทพ).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541ก. แคดเมียม (Cadmium). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรตดี โปรโมชัน เทคโนโลยี.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541ข.ปรอท (Mercury). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรตดี โปรโมชัน เทคโนโลยี.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541ค. ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรตดี โปรโมชัน เทคโนโลยี.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. ศัพท์บัญญัติและนิยามน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: เว็บบอร์ดการพิมพ์.
- กรมประมง. กองประมงน้ำจืด. 2538. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. (30 ตุลาคม). ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม. (Online). Available URL: [http://www.diw.go.th/diw\\_web/html/versionthai/data/data1.asp](http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/data/data1.asp).
- กรมส่งเสริมการเกษตร. สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก. 2544. ผักกระเจต. เทคโนโลยีชาวบ้าน. 14 (1 ตุลาคม): 48 – 49.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2537. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- กรมสรรพสามิต. 2548. (30 ตุลาคม). ข้อมูลสถิติ. (Online). Available URL: [http://www.excise.go.th/stat2b5/statb\\_3.html](http://www.excise.go.th/stat2b5/statb_3.html).

- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 3.  
กรุงเทพมหานคร: ม.ป.ท.
- ก่อเกียรติ ฉายรัศมีกุล. 2544. ประสิทธิภาพการใช้น้ำดัมเยื่อกระดาษและน้ำกากส่าเป็นแหล่ง  
โพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสนทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิตติ เอกอำพล และสำออง หอมชื่น. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้  
กกกลม (*Scirpus mucronatus*) และผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*).  
**วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม**. 9 (มกราคม – มิถุนายน): 14 – 31.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร:  
สยามสเตชันเนอรีซัพพลายส์.
- จันทรา ทองคำภา. 2527. ขบวนการกำจัดน้ำเสียของโรงงานสุราบางยี่ขัน 2. **จุลสารสภาวะ  
แวดล้อม**. 3 (เมษายน): 15 – 20.
- จิตติมา วสุสิน. 2539. การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน  
และที่พักอาศัย กรณีศึกษา: น้ำเสียจากศูนย์ศาลายา. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ศูนย์วิจัยยาเสพติด. 2544. **สุราในสังคมไทย**. กรุงเทพมหานคร:  
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชลิต ตั้งตระกูล. 2547. สุรากลั่นและการกลั่นสุรา. **วารสารอาหาร**. 34 (เมษายน –  
มิถุนายน): 112 – 119.
- ชูชาติ แก้วเก่า. 2548. มาปลูกผักกระเจตไร่ผม. **เทคโนโลยีชาวบ้าน**. 17 (1 กุมภาพันธ์): 13.
- คารณี หมู่จรรยาพันธ์. 2547. สุรา. For Quality. 11 (มิถุนายน): 40 – 46.
- ทรงพล ครามโกมุท. 2544. การกำจัดสียจากน้ำเสียกากส่าโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับ  
ระบบกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวีศักดิ์ เดชชู. 2543. นคร ป้อมตรี เลี้ยงชีพด้วยผักกระเจต 2 ไร่. **เทคโนโลยีชาวบ้าน**. 12  
(15 เมษายน): 32 – 33.
- ทัศนีย์ ติฐกมล และสมบุรณ์ แก้วปิ่นทอง. 2547. **ประโยชน์ของน้ำกากส่าสำหรับการผลิต  
ข้าว จังหวัดขอนแก่น**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.



- ธงชัย ภู่วชิรานนท์. 2526. การสะสมตะกั่วในผักนึ่งและผักกระเฉดจากแหล่งน้ำผิวดิน.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธนิยา เกาศล. 2545. การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชน กรณีศึกษา: น้ำเสียชุมชนจากเทศบาลนครหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นวรรตน์ พรสวัสดิ์ชัย. 2543. การใช้กากสาเหล้มแห้งผสมในอาหารนกกระทาเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- บุญส่ง ไช้เกษ. 2535. การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนการเคหะแห่งชาติด้วยพืชน้ำ.  
กรุงเทพมหานคร: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ปกรณ์ ประดิษฐ์ทอง. 2540. การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประเวทย์ ด้อยเต็มวงศ์. 2528. การทดลองหมักมีเทนจากน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- เปรมปรี ฅ สงขลา. 2529ก. วิธีทำสาเหล้มให้เป็นทองคำ ตอนที่ 1 ก่อนจะมาเป็นน้ำสาเหล้ม.  
เคหการเกษตร. 10 (สิงหาคม): 8 – 11.
- เปรมปรี ฅ สงขลา. 2529ข. วิธีทำสาเหล้มให้เป็นทองคำ ตอนที่ 2 การใช้ประโยชน์ของสาเหล้มในต่างประเทศ. เคหการเกษตร. 10 (กันยายน): 10 – 13.
- เปรมปรี ฅ สงขลา. 2529ค. วิธีทำสาเหล้มให้เป็นทองคำ ตอนที่ 3 โรงงานผลิตสุราในประเทศไทย และตอนที่ 4 องค์ประกอบของน้ำสาเหล้ม. เคหการเกษตร. 10 (ตุลาคม): 5 – 7.
- เปรมปรี ฅ สงขลา. 2530. แนวการใช้ประโยชน์จากน้ำสาเหล้ม. เคหการเกษตร. 11 (สิงหาคม): 8 – 12.
- พงษ์เทพ บวรยรรยง. 2545. การกำจัดลึ้นน้ำกากส่าโดยยีสต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรทิพย์ ขมภูมิ้ง. 2532. ผักกระเฉดชะลูดน้ำ. เคหการเกษตร. 13 (พฤษภาคม): 66 – 68.

- พัฒน์ จันทร์โรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสาร  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 11 (กันยายน – ธันวาคม):  
154 – 157.
- พานิชย์ ยศปัญญา, บรรณาธิการ. 2542. กากส่านำมาทำปุ๋ยหมักเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับ  
ดิน. เทคโนโลยีชาวบ้าน. 11 (1 กันยายน): 50 – 51.
- เพลินจิต ทมทิศวงศ์, สุนธิ ศษวัฒน์ และศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช. 2530. ประสิทธิภาพของผักตบชวา  
ในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.  
9 (มกราคม – มิถุนายน): 1 – 13.
- ไพศาล วิศาล. 2537. ประวัติศาสตร์การบริโภคสุราในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร:  
ดีไซร์.
- มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พืชวิทยาลัยแวดล้อม. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.  
มหาวิทยาลัยมหิดล. สถาบันวิจัยโภชนาการ และมูลนิธิโตโยต้าแห่งประเทศไทย. 2545.  
มหัศจรรย์ผัก 108. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มันลิน ตันทุลเวศม์. 2541. คู่มือการเก็บตัวอย่างน้ำเสียอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร:  
เรือนแก้วการพิมพ์.
- มันลิน ตันทุลเวศม์. 2546. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร:  
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.  
พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มุกดา สุขสมาน. 2532. การทดลองเบื้องต้นของการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าย่าน  
รังสิต โดยใช้ผักตบชวา กล้วย และสาหร่าย. กรุงเทพมหานคร:  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- รวิยา ทองย่น. 2545. ประสิทธิภาพของน้ำต้มเยื่อกระดาษและน้ำกากส่าเพื่อใช้เป็นปุ๋ย  
โพแทสเซียมสำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินอุบล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์. 2532. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับ  
สารอาหารในบึงมักกะสัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์.
- วสันต์ กฤษฏารักษ์. 2544. ความรู้เกี่ยวกับการปลูกผัก. นนทบุรี: สำนักพิมพ์เกษตรสาส์น.

- ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภชัย นิลวานิช. 2545. ปลุกผักกระเฉดชะลูดน้ำ 7 ยอด 4 บาท สร้างงานทำเงินให้กับชาวบ้านที่กบินทร์บุรี. เทคโนโลยีชาวบ้าน. 15 (15 พฤศจิกายน): 50 – 52.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. ชีววิทยาพืช. กรุงเทพมหานคร: จามจุรีโปรดักท์.
- สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.
- สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2546. รวมกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- สันหัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2531. ปัญหาสีจากน้ำทิ้งโรงงานสุรา. จุลสารสภาวะแวดล้อม. 7 (มีนาคม – เมษายน): 4 – 10.
- สำนักงานคณะกรรมการการสาธารณสุขมูลฐาน และกรมการแพทย์. สถาบันการแพทย์แผนไทย. 2540. ผักพื้นบ้าน: ความหมายและภูมิปัญญาของสามัญชนไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2540. แนวคิดและทฤษฎีการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำรินับพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. กรุงเทพมหานคร: 21 เซ็นจูรี.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2544. พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวกับสภาวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2547. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2544. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสุรากลั่น มอก. 2088 – 2544. กรุงเทพมหานคร: ม.ป.ท.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2527. การใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราในการผลิตไบโอแก๊สและทำปุ๋ยอินทรีย์ขนบพ. จุลสารสภาวะแวดล้อม. 3 (เมษายน): 1 – 14.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2528. ผลงานวิจัยการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม. วิศวกรรมสาร. 38 (กุมภาพันธ์): 93 – 98.

- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2542. การใช้น้ำเสียเพื่อการเกษตร. **วารสารสิ่งแวดล้อม**. 3 (เมษายน – มิถุนายน): 35 – 41.
- สุชาติ ศรีเพ็ญ. 2542. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.
- สุชาติ ศรีเพ็ญ, จันทนา สุขปรีดี, สมบัติ ชินะวงศ์, สุนัน มาสุรน และสมศักดิ์ เจริญวัย. 2542. การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้กกกล่มและรูด้าชี. **เอกสารการสัมมนาวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัดและการบำบัดน้ำเสียด้วยพืช**. 25 – 28 สิงหาคม. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 26 – 1 – 26 – 9.
- สุธีรา ตูลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย)**. กรุงเทพมหานคร: อมรรการพิมพ์.
- สุนันท์ พูลธนกิจ. 2547. การบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานสุรา องค์การสุรา โดยกระบวนการยูเอเอสบี. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสน่ห์ แสงคำ. 2544. กระเจด พืชทำเงินเลี้ยงชีพของนิโงจน์ จันทวัฒน์. **เทคโนโลยีชาวบ้าน**. 14 (1 ธันวาคม): 38 – 40.
- อดิสร พรพงษ์เมตตา. 2539. การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสีย: กรณีศึกษา โรงงานผลิตสุราและแอลกอฮอล์. **ภาคนิพนธ์คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์**.
- อภิชัย เมฆบังวัน. 2527. ผลของการใช้ส่วเล้าแห้งในอาหารสุกรระยะการเจริญเติบโตเป็นหนุ่มสาว (15 – 90 กิโลกรัม). **วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรุณรัตน์ ปฏิภาณเทวา. 2530. เปลี่ยนคูผักตบชวาให้เป็นนาผักกระเจด. **เคหการเกษตร**. 11 (มิถุนายน): 48 – 51.
- อิสระ รัตนปริยานุช. 2546. การบำบัดน้ำเสียกากส่าโดยใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- American Public Health Assoc. (APHA), American Water Works Assoc. (AWWA) and Water Environmental Federation (WEF). 1998. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington, DC: American Public Health Association.

- Metcalf & Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw – Hill.
- Reed, Sherwood C., Crites, Ronald W. and Middlebrooks, E. Joe. 1995. **Natural System for Waste Management and Treatment**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw – Hill.
- Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L. and Parkin, Gene F. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5<sup>th</sup> ed. Boston: McGraw – Hill.
- Tchobanoglous, G. 1987. Aquatic Plant Systems for Wastewater Treatment: Engineering Considerations. **Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery**. K. R. Reddy and W. H. Smith, eds. Orlando: Magnolia Publishing. Pp. 27 – 48.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

นาวาอากาศตรี วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์

ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต โรงเรียนนายเรืออากาศ  
ปีการศึกษา 2538

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

หัวหน้าฝ่ายวิจัย แผนกวิจัยและตรวจทดลอง  
กองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ