b149668

การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก : กรณีศึกษา น้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ

ณัฐพล เอี่ยมอ้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
2549

การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก:
กรณีศึกษา น้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ

ณัฐพล เอี่ยมอ้น
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... ประธานกรรมการ
(ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... กรรมการ
(ดร.วิสาขา ภู่จินดา)

อาจารย์ ..... กรรมการ
(ว่าที่ร้อยตรี ชัชวาลย์ บำรุงวงศ์)

อาจารย์ ..... คณบดี
(วิชัย รูปขำดี)
วันที่ 1 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2549

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก: กรณีศึกษา น้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ

ชื่อผู้เขียน นายณัฐพล เอี่ยมอ้น

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปีการศึกษา 2549

การศึกษาเรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก: กรณีศึกษาน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ในการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ และเปรียบเทียบผลของการเติมและไม่เติมออกซิเจนต่อคุณภาพน้ำเสีย โดยดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด โดยทำการวัดที่ระยะการทดลอง 6 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design; CRD) ใช้รูปแบบการทดลอง 5 x 2 Factorial Arrangement จำนวน 2 ซ้ำ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำเสียตัวอย่าง ตามดัชนีชี้วัด ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่ให้ผลไม่แตกต่างกันกับการเติมน้ำกลั่นเข้าไปในน้ำเสียตัวอย่าง นอกจากนี้ พบว่า การเติมออกซิเจนส่งผลให้ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำเสียส่วนใหญ่แตกต่างกับการไม่เติมออกซิเจน ทั้งในน้ำตัวอย่างที่มีการใช้และไม่ใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

สรุปได้ว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดคุณภาพของน้ำตัวอย่าง

ABSTRACT

Title of Thesis	Wastewater Treatment by Effective Microorganism from Fermented Slop: Case Study Wastewater Sample from San-Sab Canel
Author	Mr. Nuttapon Eiamon
Degree	Master of Science (Environmental Management)
Year	2006

This study was aimed at investigating the quality of wastewater from San-Sab canal after being treated by using effective microorganism from fermented slop and compared the effective of the treatment with and without present of oxygen to the quality of wastewater. General indicators of wastewater quality, pH, biochemical oxygen demand, suspended solid, lead, mercury, cadmium and total coliform bacteria were measured. The experiment was carried out using 5x2 factorial arrangements with two replications.

The result illustrated that most of indicators of wastewater quality the treated using the effective microorganism from fermented slop were not different from case of the control; added distillated water to wastewater sample and the result also showed that most of indicators of wastewater quality in case of the present of oxygen were different from those of case of without oxygen.

It can be concluded from this experiment that effective microorganism from fermented slop may be inefficient to treat quality of wastewater.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก : กรณีศึกษาน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ สำเร็จได้ เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือ ให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา ความคิดเห็น และกำลังใจ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุณวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้แนวคิด คำชี้แนะ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์อย่างละเอียดในทุกขั้นตอน ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ว่าที่ร้อยตรีชัชวาลย์ บำรุงวงศ์ คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลามาเป็นคณะกรรมการ และได้ช่วยเป็นธุระจัดหาน้ำกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองรวมถึงได้ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสาขา ภู่จินดา คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านของหลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ได้อบรมและสร้างความรู้ให้แก่ผู้เขียน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของหลักสูตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือประสานงานการติดต่อเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณดำรงศักดิ์ พิริยภัทรกิจ และเพื่อน พี่ น้อง นักศึกษา จส. 8 ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนมาโดยตลอด และขอบคุณคุณวรรณวิสา วิเศษมงคล และคุณปรีดา อินทร์รอด ที่ได้ช่วยจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ช่วยสนับสนุนส่งเสริม ให้ผู้เขียนศึกษาจนมีโอกาสจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ณัฐพล เอี่ยมอ้น

มกราคม 2549

สารบัญ b149668

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและแนวคิดในการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 สมมติฐานการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กระบวนการผลิตสุราและน้ำเสียจากกระบวนการผลิต	6
2.2 หลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา	19
2.3 คลองแสนแสบและแนวทางการแก้ปัญหาน้ำเน่าเสียในคลอง	36
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	50
3.1 วัสดุอุปกรณ์	50
3.2 วิธีการทดลอง	50
3.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	56
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	57

3.5 การบันทึกข้อมูล 57
3.6 ระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง 58
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย 59
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ 59
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสกัดชีวภาพจากกากสาเหล้าหมัก 60
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการทดลอง 61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 103
5.1 สรุปผลการทดลอง 103
5.2 ข้อเสนอแนะ 104

บรรณานุกรม 105
ภาคผนวก 110
ภาคผนวก ก วิธีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์บีโอดี ของแข็งแขวนลอยและโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 111
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ 133
ภาคผนวก ค มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน 155
ภาคผนวก ง ภาพการเก็บตัวอย่างน้ำและการทดลอง 160
ประวัติผู้เขียน 167

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เชื้อก่อโรค (Pathagens) ที่พบบ่อย ๆ ในน้ำเสียพร้อมทั้งโรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้	30
2.2	ความเข้มข้นของไอออนและโลหะหนักที่เกิดพิษต่อระบบการหมักได้โดยตรง	33
2.3	คุณภาพน้ำคลองแสนแสบ พ.ศ. 2546	37
3.1	วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	56
3.2	แผนการทดลอง	58
4.1	คุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบก่อนการทดลอง	59
4.2	คุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	61
4.3	อิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของน้ำตัวอย่าง	69
4.4	อิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ต่อการลดลงของดัชนีวัดคุณภาพน้ำในรูปร้อยละ	70
4.5	อิทธิพลของออกซิเจนต่อคุณภาพน้ำตัวอย่าง	81
4.6	อิทธิพลของออกซิเจนต่อการลดลงของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในรูปร้อยละ	82
4.7	อิทธิพลร่วมของชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมและไม่เติมออกซิเจนต่อคุณภาพน้ำตัวอย่าง	94
4.8	อิทธิพลร่วมของน้ำกาสกัดชีวภาพจากกส่าเหล้าหมักกับการเติมและไม่เติมออกซิเจนต่อการลดลงของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในรูปร้อยละ	95
ก.1	การคาดคะเนปริมาณตัวอย่างน้ำที่ควรใช้ในระดับเริ่มต้นจากแหล่งต่าง ๆ โดยวิธี MPN Techique	127
ก.2	ตัวอย่างในการเลือกอ่านผลจากตัวอย่างน้ำที่ตรวจวิเคราะห์มากกว่า 3 ระดับ (ปริมาณ) เพื่อหาค่าของ MPN/100 ml	132
ข.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด – ด่างที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก	134

ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ชนิดต่าง ๆของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 135

ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 136

ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 137

ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 138

ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 139

ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 140

ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของของความเป็นกรด – ด่างที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน 141

ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของของปริมาณบีโอดีที่มีการที่มีการเติมออกซิเจดและไม่เติมออกซิเจน 142

ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 143

ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 144

ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 145

ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 146

ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 147

ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด – ด่างที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 148

ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ชนิดต่างๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 149

ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 150

ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 151

ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 152

ข.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 153

ข.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน 154

ค.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน 157

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์และที่มาของน้ำกากส่าเหล้า	7
2.2	แผนภูมิแสดงการกลั่นและการผสมสุรา	8
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกับระยะเวลา	22
2.4	แสดงการเจริญเติบโตของตัวจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย	27
2.5	กราฟแสดงการเจริญเติบโตของตัวจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย	30
2.6	แสดงแผนผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียในคลองบางส่วนโดยวิธีสูบขึ้นมาบำบัด	42
3.1	การเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	51
3.2	การเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบแถบท่าเรือวัดศรีบุญเรือง – อาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์	52
3.3	แสดงรูปแบบการทดลอง 5 x 2 Factorial Arrangement	53
3.4	แสดงตำแหน่งการจัดวางชุดทดลอง	55
4.1	ความเป็นกรด – ด่างในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	71
4.2	ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	72
4.3	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	73
4.4	ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	74
4.5	ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	75
4.6	ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	76

4.7	ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ	77
4.8	ความเป็นกรด – ด่างในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	83
4.9	ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	84
4.10	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	85
4.11	ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	86
4.12	ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	87
4.13	ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	88
4.14	ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน	89
4.15	ความเป็นกรด – ด่าง ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	96
4.16	ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	97
4.17	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	98
4.18	ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	99
4.19	ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	100
4.20	ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	101
4.21	ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน	102

ก.1 แสดงขั้นตอนในการตรวจวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 125
ง.1 สภาพทั่วไปของคลองแสนแสบ 161
ง.2 การเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองแสนแสบ 162
ง.3 ถังน้ำตัวอย่างในการทดลอง 163
ง.4 ถังน้ำตัวอย่างที่ไม่มีการเติมออกซิเจน 163
ง.5 เครื่องเติมออกซิเจน 164
ง.6 กากน้ำตาล 164
ง.7 น้ำสกัดชีวภาพ 165
ง.8 น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก 165
ง.9 ถังน้ำตัวอย่างที่มีการเติมออกซิเจน 166

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและแนวคิดการศึกษา

สายน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสัมพันธ์แนบแน่นกับวิถีชีวิตของชาวไทย นับตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน มนุษย์ได้รับประโยชน์จากสายน้ำเป็นอย่างมากทั้งเพื่อการบริโภค อุปโภค และคมนาคม ซึ่งกิจกรรมการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำของมนุษย์นั้นได้ก่อให้เกิดของเสียลงสู่แหล่งน้ำ (แดงอ่อน มั่นใจดน, 2547)

ในอดีตที่ผ่านมาประชากรและอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีน้อย ของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจึงมีอยู่ไม่มากนัก เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำจึงไม่เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย เพราะยังอยู่ในขีดความสามารถของธรรมชาติที่จะบำบัดตัวเองได้ แต่ในปัจจุบันประชากรโดยเฉพาะในเขตเมืองหลวงและเขตอุตสาหกรรมได้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็ได้เกิดขึ้นอย่างมากมาย ทำให้เกิดของเสียจำนวนมากจนเกินขีดความสามารถที่ธรรมชาติจะบำบัดตัวเองได้ เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำจึงได้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียในแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ตามมา (ธวัชชัย ศุภดิษฐ์, 2547: 497-520)

คลองแสนแสบเป็นคลองสำคัญสายหนึ่งที่ขุดเชื่อมระหว่างแม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำเจ้าพระยา ปัจจุบันใช้เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งทางน้ำ โดยมีเรือวิ่งรับ – ส่งจากวัดศรีบุญเรืองถึงผ่านฟ้า มีประชาชนใช้บริการวันละประมาณ 35,000 – 38,000 คน ซึ่งขณะนี้สภาพน้ำในคลองแสนแสบได้เน่าเสียขึ้นถึงขั้นวิกฤติ มีกลิ่นเหม็น ก่อความรำคาญแก่ผู้อยู่อาศัยบริเวณใกล้เคียง จนมีผู้ร้องเรียนผ่านหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องเป็นระยะ ๆ (แดงอ่อน มั่นใจดน, 2547)

ขณะเดียวกันสุราเป็นเครื่องดื่มที่นิยมบริโภคมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตสุราจึงเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในกระบวนการผลิตสุราไม่ว่าจะใช้เมล็ดธัญพืชหรือกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลักก็ตาม จะมีของเหลือจากกระบวนการผลิตเป็นน้ำกากส่าเหล้า (Spentwash Liquor หรือ Liquor หรือ Slop) มากถึง 3.5 เท่าของปริมาณการผลิตสุราขาว (มีแอลกอฮอล์ร้อยละ 28) (นวรัตน์ พรสวัสดิ์ชัย, 2543: 1)

น้ำกากส่าเหล้านี้จะมีค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) 35,000 – 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโปตัสเซียม (Potassium) 2,500 – 5,000 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) 80,000 – 120,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) 4.0 และอุณหภูมิขณะออกจากกระบวนการผลิต ประมาณ 98 องศาเซลเซียส (สุรวิทย์ เกียรติ์ประจักษ์, 2527: 25) ซึ่งจากลักษณะของน้ำกากส่าเหล้าดังกล่าว การจะบำบัดให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งนั้นกระทำได้ยาก หากจะติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียก็จำเป็นต้องใช้งบประมาณจำนวนค่อนข้างมาก ซึ่งถ้าเป็นโรงงานขนาดเล็กอาจมีงบประมาณไม่เพียงพอในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งถ้าหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรงก็จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำตามมา หรือถ้าเจ้าหน้าที่รัฐตรวจสอบเคร่งครัดก็อาจต้องหยุดกิจการไป และอาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ

จากสภาพปัญหาน้ำเน่าเสียในคลองแสนแสบและปัญหาน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตสุราที่เรียกว่า น้ำกากส่าเหล้า ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อน อีกทั้งยังมีธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่สูง ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำน้ำกากส่าเหล้ามาหมักในสภาพไร้อากาศ ให้เกิดจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ และกลายเป็นน้ำสกัดชีวภาพทำหน้าที่ย่อยสลายสารที่ก่อมลภาวะต่าง ๆ ในน้ำเสียของคลองแสนแสบ เพื่อเป็นการทำให้คลองแสนแสบกลับมามีชีวิตชีวาอีกครั้งเช่นในอดีต รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสุราและอาจเป็นการเพิ่มรายได้จากการนำของเสียจากโรงงานผลิตสุรากลับมาใช้ประโยชน์เป็นน้ำสกัดชีวภาพอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ โดยไม่มีการใช้สารเคมี

1.2.2 วัตถุประสงค์รอง

1.2.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักในการบำบัดของเสียในคลองแสนแสบ

1.2.2.2 เพื่อนำน้ำกากส่าเหล้าที่เป็นของเหลือส่วนหนึ่งจากการผลิตสุรามาใช้ประโยชน์เป็นน้ำสกัดชีวภาพ เพื่อลดปัญหามลพิษจากน้ำเสียในคลองแสนแสบ

1.2.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม และคุณภาพของน้ำในคลองแสนแสบอย่างยั่งยืน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างจากคลองแสนแสบบริเวณสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบ แถบท่าเรือวัดศรีบุญเรือง – ด้านหลังอาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ และนำไปทำการทดลอง ณ บริเวณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาภาชีเจริญ อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร

1.4 สมมติฐานการวิจัย

น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียในคลองแสนแสบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีสารตกค้างหรืออันตรายทางสิ่งแวดล้อมภายหลังการบำบัด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดปริมาณของเหลือจากการผลิตสุรา

1.5.2 ทำให้คุณภาพของน้ำในคลองแสนแสบดีขึ้น

1.5.3 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักในการบำบัดน้ำเสีย

1.5.4 ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติและประโยชน์ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 น้ำเสีย

หมายถึง น้ำเสียในคลองแสนแสบ ช่วงระหว่างอาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ – ท่าเรือวัดศรีบุญเรือง

1.6.2 น้ำกากส่าเหล้า

หมายถึง ของเหลือจากการผลิตสุราที่ใช้วัตถุดิบ คือ กากน้ำตาล จากบริษัท เจริญผล จำกัด

1.6.3 **น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก**

หมายถึง ของเหลวที่ได้จากการนำน้ำกากส่าเหล้ามาหมักกับวัสดุต่าง ๆ ในภาวะไร้อากาศ เป็นเวลา 5 วัน

1.6.4 **เศษผัก**

หมายถึง เศษผักจากตลาดสดกระทุ่มแบน

1.6.5 **ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)**

หมายถึง ตัวเลขแสดงความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียสามารถวัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH Meter)

1.6.6 **ปริมาณของแข็งแขวนลอย** (SS)

หมายถึง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งสามารถหาได้จากการกรองผ่านกระดาษกรองแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียสแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

1.6.7 **ค่าบีโอดี** (BOD)

หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ดึงไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งสามารถหาได้จากการวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในระยะเวลา 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

1.6.8 **ปริมาณปรอท**

หมายถึง ปริมาณปรอทที่มีอยู่ในน้ำเสียซึ่งสามารถวัดได้ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry; AAS)

1.6.9 **ปริมาณตะกั่ว**

หมายถึง ปริมาณตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำเสียซึ่งสามารถวัดได้ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry; AAS)

1.6.10 **ปริมาณแคดเมียม**

หมายถึง ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่น้ำเสียซึ่งสามารถวัดได้ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry; AAS)

1.6.11 **ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด** (Total Coliform Bacteria)

หมายถึง ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำเสีย สามารถวัดด้วยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number; MPN)

1.6.12 **น้ำสกัดชีวภาพ** (E.M.)

หมายถึง น้ำสกัดที่ได้จากการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ซื้อมาจากบริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด หมักกับเศษอาหารทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 กระบวนการผลิตสุราและน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

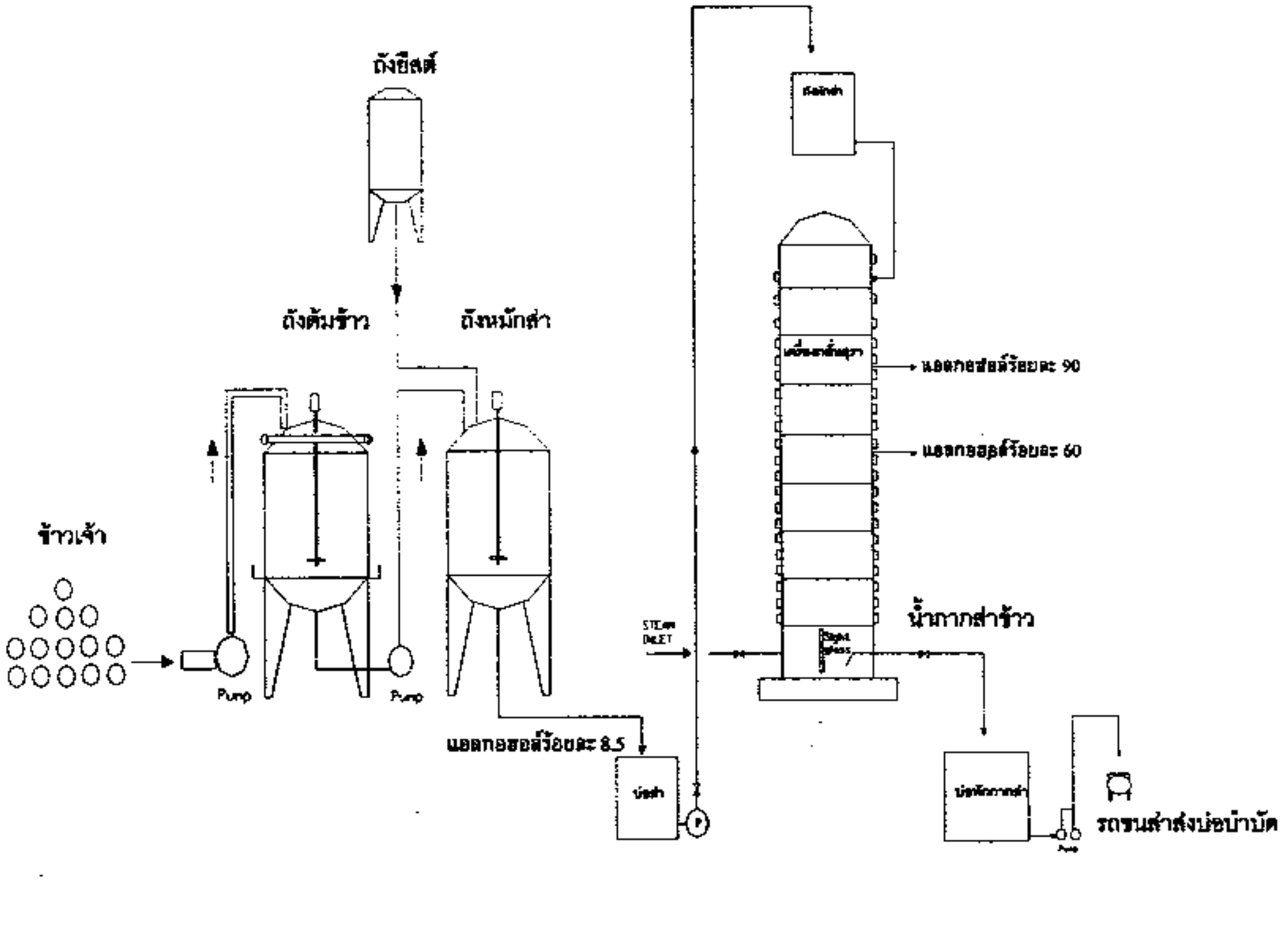
2.1.1 ประวัติการผลิตสุรา

ศจี ปิยะพงศ์ และแสวง รัตนมงคลมาศ (2529: 2–57) ได้กล่าวถึงประวัติการผลิตสุราไว้ว่า ในอดีตอุตสาหกรรมการกลั่นและการผสมสุรามีลักษณะพิเศษ คือ การผลิตต้องอยู่ในความควบคุมของรัฐอย่างใกล้ชิดทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ และนับเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาจากรัฐบาลในระยะเริ่มแรก อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมกลั่นสุรานับว่ามีมาตั้งแต่เดิม กล่าวคือ ชาวจีนที่อาศัยอยู่ในประเทศไทยได้ทำการผลิตโดยใช้กรรมวิธีแบบพื้นบ้าน ต่อมา ในสมัยพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก ได้มีการสร้างโรงงานสุราบางยี่ขันอันเป็นสมบัติของเอกชน แต่ต่อมาในปี พ.ศ. 2470 กรมสรรพสามิต ได้ระงับการอนุญาตให้เอกชนผลิตและจำหน่ายสุราขาว และเข้าทำการผลิตเองโดยได้ผลิตสุราผสมที่ใช้เครื่องสมุนไพรตามเภสัชตำรับของยาดองเหล้าในครั้งโบราณ จะสกัดโดยแช่ในสุราดีกรีสูงทำเป็นน้ำเชื้อ แล้วนำมาปรุงแต่ง รส กลิ่น สี และความเข้มข้นแอลกอฮอล์ตามกรรมวิธีการผลิตแล้วจะได้เป็นสุราผสมที่ใช้ดื่มโดยไม่ต้องผสมกับโซดาอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งต่อมากรมสรรพสามิตได้พยายามพัฒนาการทำสุราผสมไปเป็นการทำสุราปรุงพิเศษ โดยการค้นคว้าทดลองสกัดทำน้ำเชื้อที่จะใช้ในการปรุงจากเครื่องสมุนไพรต่างชนิดกับที่ใช้ในการทำสุราผสม ซึ่งเป็นสูตรที่มีจำหน่ายมาจนกระทั่งถึงปัจจุบัน และในขณะนั้นความต้องการบริโภคสุราปรุงพิเศษเพิ่มมากขึ้นจึงจำเป็นต้องตั้งโรงงานเพิ่มขึ้นในส่วนภูมิภาคเพื่อสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้น ครั้นในปี พ.ศ. 2486 ได้มีการจัดตั้งกระทรวงอุตสาหกรรม โรงงานผลิตสุราที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมสรรพสามิตได้ถูกโอนมาเป็นโรงงานในความรับผิดชอบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นส่วนราชการของกระทรวงอุตสาหกรรม จากนั้นได้มีการนำเอาเครื่องจักรที่ใช้ในการกลั่นแอลกอฮอล์ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ถูกทิ้งไว้มาปรับใช้ในการกลั่นแอลกอฮอล์ในโรงงานสุราบางยี่ขัน นับเป็นการริเริ่มที่จะใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์แผนใหม่มาใช้ในบางขั้นตอนของการผลิตสุราเพื่อพัฒนาทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ และในปี พ.ศ. 2503 รัฐบาลให้เอกชนเช่า

โรงงานไปทำการผลิตสุรา นับแต่นั้นมาก็ได้นำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาทำการผลิตสุรา ทั้งสุราขาวและสุราปรุงพิเศษ จนกระทั่งปัจจุบัน

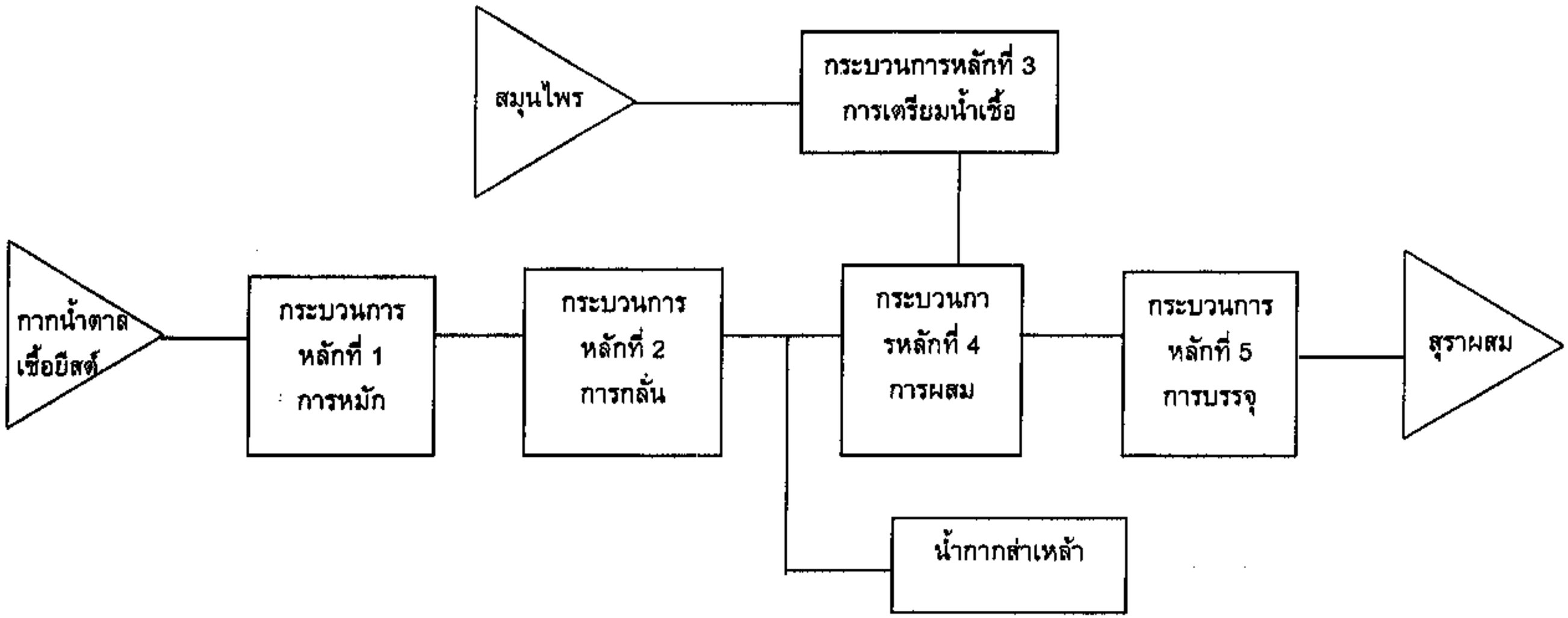
2.1.2 กระบวนการผลิตสุรา

ในการผลิตและผสมสุราของประเทศไทยนั้น โรงงานส่วนใหญ่จะใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก จะมีเพียงบางโรงงานเท่านั้นที่มีการใช้ข้าวในการหมักสาด้วย โดยในการผลิตจะเริ่มจากการหมักเพื่อให้ได้น้ำสา แล้วนำไปกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นก็จะทำการผสมโดยใช้หัวน้ำเชื้อที่จัดเตรียมไว้บ่มให้ได้ที่ แล้วจึงทำการบรรจุออกจำหน่าย ซึ่งในการผลิตจำเป็นต้องมีส่วนของสาธารณูปโภค (Utility) อันได้แก่ ระบบน้ำหล่อเย็น และการผลิตไอน้ำ เป็นต้น รวมอยู่ในกระบวนการผลิตด้วย กระบวนการเหล่านี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2 ส่วนรายละเอียดของกรรมวิธีในแต่ละกระบวนการผลิตมีดังต่อไปนี้ (ศจี ปิยะพงศ์ และแสวง รัตนมงคลมาศ, 2529: 2–59)



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์และที่มาของน้ำกากสาเหล้า

แหล่งที่มา: นวรัตน์ พรสวัสดิ์ชัย, 2543: 4.



สาธารณูปโภค	
การผลิตไอน้ำ : ระบบน้ำหล่อเย็น	**การเตรียมน้ำเพื่อใช้ในการผลิต**

ภาพที่ 2.2 แผนภูมิแสดงการกลั่นและผสมสุรา

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก ศจี ปิยะพงศ์ และแสวง รัตนมงคลมาศ, 2529: 2-59.

2.1.2.1 การหมัก

ในการหมักจำเป็นต้องมีการเตรียมยีสต์ ยีสต์เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตสุรา ดังนั้น การศึกษาค้นคว้าเพื่อหายีสต์ที่เหมาะสมที่สุดในการหมักจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการหมักส่า เพื่อขยายจำนวนเชื้อยีสต์ให้มีมากพอที่จะใช้ในการผลิต ซึ่งในขั้นนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงสารเคมีที่ต้องใช้ในการตรวจวิเคราะห์ อาหารเสริมสำหรับเลี้ยงเชื้อ เครื่องอบฆ่าเชื้อภายใต้ความดันไอน้ำ (Autoclave) และเครื่องมือที่ใช้ในห้องทดลองต่าง ๆ ขณะที่มีการเตรียมยีสต์ อีกด้านหนึ่งก็จะทำการเตรียมกากน้ำตาลโดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของกากน้ำตาลที่นำเข้ามาจากโรงงานน้ำตาลเพื่อควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยเฉพาะความหวานซึ่งมีความสำคัญที่สุดสำหรับการผลิตสุรา กากน้ำตาลที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะถูกนำไปเก็บไว้ยังถังเก็บ เหตุที่โรงงานจำเป็นต้องเก็บกากน้ำตาลไว้ก็เพื่อให้การผลิตสุราสามารถดำเนินไปได้โดยต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะการผลิตน้ำตาลจะผลิตเพียง 3 – 4 เดือนในปีหนึ่ง ๆ และเมื่อจะทำการหมักก็จะสูบกากน้ำตาลจากถังเก็บไปยังถังตวงเพื่อวัดปริมาณตามต้องการในการหมักแต่ละถัง การเตรียมกากน้ำตาลนี้มีเครื่องมือ คือ เครื่องชั่งน้ำหนัก บ่อพักกากน้ำตาล และถังตวง ซึ่งในการถ่ายเทจากถังหนึ่งไปยังอีกถังหนึ่งจะใช้เครื่องสูบกากน้ำตาลเข้าไปในจุดต่าง ๆ จากนั้นจะทำการหมัก กรรมวิธีการหมักเริ่มต้นโดยการล้างถังเพาะเชื้อยีสต์ขั้นแรก (Starter A) แล้วเติมกากน้ำตาลและน้ำลงไป พร้อมกับแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปให้ได้ปริมาณตามต้องการ โดยปกติการหมักจะดำเนินไปโดยที่เชื้อยีสต์จะทำการลดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ลงเป็น 4.6 ได้เองโดยธรรมชาติ แต่หากจำเป็นก็ต้องใช้กรดซัลฟุริกในการปรับค่าความเป็นกรด – ด่างให้เป็นกรดที่ 4.6 – 5.4 จากนั้นส่วนผสมทั้งหมดนี้จะถูกฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำของโรงงาน เมื่อทำให้เย็นลงแล้วจึงเติมเชื้อยีสต์ลงไป การเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์จะอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 18 – 24 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้ เรียกว่า ยีสต์สตาร์ทเตอร์ (Yeast Starter)

ขั้นตอนต่อไป คือ การเพาะเชื้อยีสต์ขั้นที่สอง (Starter B) ซึ่งต้องล้างถังเสียก่อนแล้วเติมกากน้ำตาลและน้ำพร้อมกับแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปให้ได้ปริมาณตามต้องการ จากนั้นปรับให้เป็นกรดหากจำเป็นด้วยกรดซัลฟุริก ส่วนผสมนี้จะถูกฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หลังจากทำให้เย็นแล้วจะทำการเติมยีสต์สตาร์ทเตอร์จากถังเพาะเชื้อยีสต์ขั้นแรกเข้ามายังถังเพาะเชื้อยีสต์ขั้นที่ 2 การเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ในถังนี้จะใช้เวลาประมาณ 18 – 24 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้เรียกว่า ยีสต์แมช (Yeast Mash) เมื่อถึงกำหนดเวลาแล้วจะได้นำยีสต์แมชจากถังเพาะเชื้อยีสต์ขั้นที่ 2 นี้ไปผสมในถังหมักส่า

ถังหมักส่าก็เช่นเดียวกันจะต้องทำการล้าง แล้วฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสก่อน เมื่อเย็นแล้วเติมน้ำพร้อมกับกากน้ำตาลที่วัดปริมาณได้แน่นอนจากถังตวงที่คำนวณแล้วได้น้ำตาลอินเวิร์ตประมาณร้อยละ 17 – 18 ซึ่งจะผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวน จากนั้นอาจต้องปรับค่าความเป็นกรด – ด่างหากจำเป็นด้วยกรดซัลฟุริก แล้วทำการผสมส่าโดยเติมยีสต์ที่ได้จากถังเพาะเชื้อยีสต์ขั้นที่สองแล้วเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในจำนวนพอเหมาะ เวลาที่กำหนดในการหมักส่าโดยทั่วไปจะใช้เวลา 72 – 90 ชั่วโมง ในถังเพาะเชื้อยีสต์ขั้นที่สองและถังหมักส่าต้องจัดให้มีใบกวนซึ่งหมุนโดยใช้มอเตอร์ ถังหมักส่าจะได้รับการควบคุมอุณหภูมิให้ใกล้ 30 องศาเซลเซียส โดยการใช้น้ำหล่อเย็นลดอุณหภูมิ

2.1.2.2 การกลั่น

หลังจากที่ได้ผ่านการหมักเรียบร้อยแล้วผลผลิตที่ได้ออกมา เรียกว่า น้ำส่า (Beer) ซึ่งมีปริมาณเอททิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) ประมาณร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร จากนั้นจะนำไปกลั่นในลักษณะต่อเนื่อง การทำงานของหอกลั่นในแต่ละบริษัทจะแตกต่างกันไป สำหรับเครื่องกลั่นของบริษัท บูคคาว ซึ่งโรงงานในประเทศไทยใช้เป็นส่วนใหญ่นั้น การกลั่นจะเริ่มที่หอกลั่นแยกน้ำส่าออกจากแอลกอฮอล์ (Hydroselection Column) โดยที่น้ำส่าจะผ่านเข้าหม้อต้มน้ำส่า (Re – boiler) และผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อน (Heat Exchangers) แล้วกลายเป็นไอของ เอททิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอททิลแอลกอฮอล์ เช่น อัลดีไฮด์ (Aldehydes) และแอลกอฮอล์อื่นที่จุดเดือดต่ำ เป็นต้น ซึ่งส่วนนี้จะเรียกว่า ส่วนหัวของการกลั่น ส่วนหัวนี้จะออกจากส่วนบนของหอกลั่นแยกน้ำส่าจากเอททิลแอลกอฮอล์ไปยังหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหัว (Recovery Column) ด้านล่างของหอกลั่นแยกน้ำส่าจากแอลกอฮอล์นี้จะมีเอททิลแอลกอฮอล์และสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดสูงกว่าเอททิลแอลกอฮอล์พร้อมกับน้ำปะปนอยู่ ซึ่งเรียกว่า ส่วนหาง ซึ่งส่วนหางจะถูกส่งไปยังหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหาง (Distilling Column) เพื่อกลั่นแยกเอาแอลกอฮอล์ออกจากน้ำ พร้อมกับสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดสูงกว่าแอลกอฮอล์ให้หมด แล้วไอระเหยของแอลกอฮอล์จะออกจากด้านบนของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหางไปเข้าด้านล่างของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ (Rectifying Column) เพื่อกลั่นแยกสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่เหมาะสำหรับการผลิตสุราออก ส่วนด้านล่างของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหางจะมีน้ำกากส่าที่ร้อนจัดออกมา เพื่อประหยัดความร้อนที่ใช้ในการกลั่นแยกแอลกอฮอล์ จึงนำน้ำกากส่าที่ร้อนจัดผ่านถังลดความดันให้กลายเป็นไอนำไปใช้ในระบบกลั่นอีก ส่วนความร้อนที่เหลือในน้ำกากส่าจะผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำส่าที่กำลังนำเข้าระบบกลั่นเสียก่อนที่จะนำไปสู่ระบบกำจัดน้ำเสีย

กรรมวิธีกลั่นแยกแอลกอฮอล์บริสุทธิ์โดยใช้หอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ (Rectifying – column) นั้น เมื่อได้รับไอระเหยของแอลกอฮอล์จากด้านบนของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหางมาเข้าด้านล่างแล้ว ไอระเหยของแอลกอฮอล์จะถ่ายเทความร้อนให้ถาดตามชั้นต่าง ๆ จนออกด้านบนของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ ผ่านเข้าระบบควบแน่น 2 ขั้นตอน (2 Stages Condenser) คือ คอนเดนเซอร์หลัก (Main Condenser) และคอนเดนเซอร์รอง (Vent Condenser) ได้แอลกอฮอล์กลั่น (Condensate Alcohol) แอลกอฮอล์กลั่นจาก คอนเดนเซอร์หลักนั้นจะถูกสูบย้อนกลับมาเข้าถาดแผ่นบนของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์เพื่อรีฟลักซ์ (Reflux) ทำให้ไอระเหยของแอลกอฮอล์ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นและคุณภาพ จนกระทั่งแอลกอฮอล์ปรับตัวได้คุณภาพตามที่ต้องการตรงถาดชั้นใด ผู้กลั่นก็จะดึงแอลกอฮอล์จากถาดนั้นเสมอไปและถาดใดที่มีหางเข้มข้นมาก ก็จะดึงออกจากถาดชั้นนั้นเป็นแอลกอฮอล์หาง และ ณ จุดที่มีน้ำมันฟูเซล (Fusel Oil) เข้มข้นมาก ผู้กลั่นจะดึงออก ณ จุดนั้น แยกเอาน้ำมันฟูเซลออกโดยวิธีดีแคนเตอร์ (Decanter) น้ำที่แยกออกแล้วยังมีแอลกอฮอล์ปะปนอยู่มาก จะต้องสูบเอาไปเข้าที่ถาดชั้นบนของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหาง เพื่อกลั่นเอาแอลกอฮอล์ออกให้หมดอีกครั้ง ส่วนไอระเหยแอลกอฮอล์ที่ไม่ควบแน่นในคอนเดนเซอร์หลัก เป็นพวกที่ไม่บริสุทธิ์มีสิ่งเจือปนซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าแอลกอฮอล์และมีกลิ่นฉุนเรียกว่า หัว แต่ยังมีเอททิลแอลกอฮอล์ปะปนอยู่ประมาณร้อยละ 70 จึงต้องสูบขึ้นไป แยกเอาแอลกอฮอล์ออกในหอกลั่นแอลกอฮอล์ส่วนหัวให้เหลือแต่สิ่งเจือปนเข้มข้นมีแอลกอฮอล์ปะปนแต่น้อย โดยดึงออกไปเก็บเป็นแอลกอฮอล์หัวจากคอนเดนเซอร์รอง ซึ่งการกลั่นแยกเอาแอลกอฮอล์ในหอกลั่นแอลกอฮอล์ส่วนหัวนี้มีกรรมวิธีเช่นเดียวกับการกลั่นในหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ เพียงแต่แอลกอฮอล์ที่กลั่นแยกออกมาได้ต้องนำกลับเข้าไปถาดชั้นบนของหอกลั่นแยกน้ำสาจากแอลกอฮอล์ เพื่อขจัดสิ่งเจือปนประเภทหัวที่ปนมากับแอลกอฮอล์กลับออกไปกับไอระเหยเพื่อส่งไปยังด้านล่างของหอกลั่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนหัวเท่านั้น

การส่งพลังงานไปยังหอกลั่นจะใช้ไอน้ำที่ผลิตโดยหม้อไอน้ำ (Boiler) โดยไอน้ำที่ส่งมาจากหม้อไอน้ำจะไปให้ความร้อนกับหม้อต้มน้ำสา แล้วจะใช้ไอระเหยที่ได้จากหอหนึ่งไปให้ความร้อนกับอีกหอหนึ่ง ส่วนระบบควบแน่นก็จะมีน้ำหล่อเย็นซึ่งทำการจัดเตรียมโดยระบบหล่อเย็นเช่นเดียวกันกับที่ใช้กับถังหมัก แต่จะแบ่งน้ำที่ใช้ออกจากกัน คือ น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นถังหมักจะอยู่ส่วนหนึ่ง ส่วนที่ใช้ในการหล่อเย็นของการกลั่นก็จะมีอีกส่วนหนึ่ง

2.1.2.3 การเตรียมน้ำเชื้อเพื่อใช้ในการผสมสุรา (Essences)

ในการเตรียมน้ำเชื้อเพื่อการผสมสุรานี้ถือว่าเป็นความลับ ซึ่งจะมีสูตรต่าง ๆ กันตามเครื่องหมายการค้า ในการเตรียมน้ำเชื้อจำเป็นต้องใช้การสกัดสมุนไพรต่าง ๆ (Herb and Spice Extraction) โดยวิธีที่เหมาะสม เช่น วิธีสกัดด้วยาจากสมุนไพรที่เรียกว่า เพอร์คิวเลชั่น (Perculation) เป็นต้น ในการเตรียมน้ำเชื้อนี้ต้องการวัตถุดิบ เช่น สมุนไพรที่หอมและเครื่องเทศ รวมทั้งเครื่องปรุงแต่งรส สี และอื่น ๆ

2.1.2.4 การผสมสุรา

การทำสุราผสม คือ การนำแอลกอฮอล์มาปรุงโดยการเติมส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น สี น้ำเชื้อ เพื่อให้รสชาติและกลิ่นดี จากนั้นก็ทำการเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ให้ได้ความเข้มข้นตามความนิยมของตลาด แล้วผ่านเครื่องกรองเพื่อกำจัดตะกอนและสิ่งเจือปนออก จากนั้นทำการบ่มในถังเก็บและนำไปตรวจคุณภาพก่อนจะนำไปบรรจุขวดต่อไป ซึ่งจะต้องใช้ถังผสมและถังบ่มที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนมากพอที่จะทำให้การผลิตเพียงพอต่อความต้องการของตลาด

2.1.2.5 การบรรจุ

เมื่อสุราที่ผสมเสร็จแล้วมีอายุครบการเก็บบ่มตามกำหนด จะถูกนำมาบรรจุขวด ซึ่งใช้เครื่องบรรจุขวดอัตโนมัติ ในสายบรรจุนี้ขวดที่นำมาใช้ในการบรรจุจะต้องใช้โซดาไฟ ไอน้ำ และน้ำสะอาดในการทำความสะอาดขวดในเครื่องล้างขวดก่อนด้วย เมื่อบรรจุขวดและปิดฉลาก ปิดแสตมป์เรียบร้อยแล้วจึงนำบรรจุกล่อง ขนเข้าคลังเก็บ และรอการจำหน่ายต่อไป

ในกรณีที่บางโรงงานจะต้องใช้ข้าวเป็นส่วนผสมในการผลิตแอลกอฮอล์ตามข้อบังคับในสัญญาจะต้องมีขั้นตอนของการหมักข้าวเพิ่ม โดยเริ่มจากการนำข้าวมาแช่น้ำราว 0.5 – 4 ชั่วโมง ตามแต่ข้าวใหม่หรือเก่า จากนั้นจะนำไปทำให้สุกโดยการนึ่งด้วยไอน้ำและทำให้เย็นโดยลมเป่าหรือผึ่งลม พรมน้ำสะอาด โรยแป้งเชื้อคลุกเคล้า แล้วหมักประมาณ 3 วัน เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลและมีบางส่วนที่น้ำตาลกลายเป็นแอลกอฮอล์ไป เมื่อหมักได้ที่แล้วจะนำไปผสมกับสาเหล้าที่ได้จากการหมักด้วยกากน้ำตาลในสัดส่วนที่กำหนดเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปกลั่นต่อไป

ในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการเตรียมแป้งเชื้อที่ใช้ในการหมักข้าวล่วงหน้าไว้ก่อน เมื่อเตรียมเชื้อได้แล้ว จึงทำการหมักข้าวเพื่อให้ได้สาเหล้าต่อไป

2.1.2.6 ระบบสาธารณูปโภค

ในการผลิต โรงงานจำเป็นต้องใช้พลังงานที่อยู่ในรูปของไอน้ำ ซึ่งโรงงานจะต้องทำการผลิตเอง รวมถึงการเตรียมน้ำเพื่อใช้ในการผลิตด้วย ซึ่งแยกเป็น 2 ส่วน คือ

1) การผลิตไอน้ำ ไอน้ำจะถูกผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำ ไอน้ำโดยปกติจะนำไปใช้ในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

(1) ใช้ในการฆ่าเชื้อในถังเพาะเชื้อยีสต์ทั้งสองขั้นตอน

(2) ใช้ในการฆ่าเชื้อในถังหมักโดยวิธีอบถังเปล่า

(3) ใช้ในการกลั่นสุราและกลั่นแอลกอฮอล์

(4) ใช้ในเครื่องล้างขวดเพื่อให้ขวดสะอาดอย่างแท้จริง

(5) ใช้ในการต้มหรือนึ่งข้าวหากมีการหมักข้าว

2) การเตรียมน้ำเพื่อใช้ในการผลิต ในการผลิตสุราจำเป็นต้องใช้น้ำจำนวนมาก ซึ่งน้ำที่ใช้ต้องมีความสะอาดและจำเป็นต้องมีระบบน้ำประปาเพื่อให้พนักงานของโรงงานใช้อุปโภคและบริโภคส่วนหนึ่ง แต่ส่วนใหญ่จะใช้หมักสาและระบบหล่อเย็นด้วย นอกจากน้ำที่ใช้กระบวนการผลิตแล้ว น้ำประปาส่วนหนึ่งจะถูกนำไปทำการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำให้เป็นน้ำอ่อนและน้ำบริสุทธิ์ โดยวิธีทำให้ปราศจากแร่ (Demineralization) เพื่อใช้ในการผลิตสุรา สำหรับน้ำอ่อน (Soft Water) จะใช้ในการป้อนหม้อน้ำและป้อนระบบหล่อเย็นของโรงกลั่น

2.1.3 **น้ำเสียจากการผลิตสุรา**

โรงงานผลิตสุราเป็นโรงงานที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานหรือที่เรียกว่า น้ำกากสาเหล้า (Spentwash Liquor) ที่มีค่าความสกปรกสูงสุดในบรรดาโรงงานทั้งหมดในประเทศไทย กล่าวคือ มีค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ประมาณ 30,000 – 50,000 ppm (สุรวิทย์ เกียรติประจักษ์, 2527: 25) ปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ (Chemical Oxygen Demand; COD) ประมาณ 120,000 ppm ไนโตรเจน (Nitrogen) ประมาณ 1,500 ppm ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ประมาณ 150 ppm โปตัสเซียม (Potassium) ประมาณ 6,000 ppm ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolve Solid; TDS) ประมาณ 16,000 ppm (สุจินต์ พนาปวุติกุล, 2542: 45)

2.1.4 **การควบคุมน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสุรา**

2.1.4.1 ประวัติการควบคุมน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสุรา

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตสุรามีค่าความสกปรกสูง การบำบัดให้ได้มาตรฐานที่ทางราชการกำหนดนั้นทำได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องสีของน้ำทิ้งจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งนับว่าไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน อีกสาเหตุก็คือ ในอดีตโรงงานสุราส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีรัฐเป็นเจ้าของให้เอกชนเช่าทำการต้มกลั่นสุรา กล่าวคือ ในโรงงานสุราทั้งหมด 42

โรงเป็นของรัฐ 34 โรง (เป็นของกรมสรรพสามิต 32 โรง และของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอีก 2 โรง) และโรงงานสุราของรัฐเหล่านี้เกือบทุกโรงเป็นโรงงานเก่าที่ก่อสร้างมาก่อนที่พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 จะประกาศออกมา อีกทั้งแต่เดิมตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ได้ยกเว้นให้โรงงานของทางราชการและโรงงานขององค์การของรัฐไม่อยู่ภายใต้การควบคุมบังคับของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2518 จึงได้มีพระราชบัญญัติโรงงาน (ฉบับที่ 2) ให้โรงงานของรัฐต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติโรงงานเช่นเดียวกับโรงงานเอกชนทั่วไป เดิมมาในระยะแรกปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานสุรายังไม่เป็นที่สนใจของคนทั่วไป เนื่องจากโรงงานสุราต่างก็ตั้งอยู่ห่างไกลจากชุมชนพอสมควร ต่อมา เมื่อมีการขยายตัวของประชากร มีการขยายกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นอีกหลายเท่าตัว ปัญหาน้ำทิ้งจึงค่อยกระจ่างชัด แต่ก็เกิดความยุ่งยากในการแก้ไขให้เป็นไปตามความต้องการเพราะเกิดมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สถานที่สำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้ง ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสูงนอกจากงบประมาณ ข้อผูกพันในสัญญาเช่า (โรงงานสุรากรมสรรพสามิต 30 โรง หมดสัญญาเช่าสิ้นปี พ.ศ. 2527 มีเพียง 2 โรง คือ ที่จังหวัดนนทบุรี หมดสัญญาในปี พ.ศ. 2536 และที่จังหวัดกำแพงเพชร หมดสัญญาในปี พ.ศ. 2532) (สุรวิทย์ เกียรติประจักษ์, 2527: 25)

ด้วยเหตุผลข้างต้นกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีความลำบากในการแก้ไขปัญหาการสั่งการและดำเนินการตามกฎหมายอย่างเฉียบขาดก็ยากจะบรรลุตามต้องการ แต่ทางกรมโรงงานอุตสาหกรรมก็ได้พยายามดำเนินการตรวจสอบและสั่งการตามขั้นตอนของกฎหมายตลอดมา เพื่อควบคุมดูแลปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานสุราที่เกิดขึ้นให้หมดไปหรือน้อยลง ในกรณีโรงงานสุราของเอกชน การควบคุมปัญหาน้ำทิ้งนั้นได้ผลเป็นที่น่าพอใจเป็นลำดับ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นโรงงานที่ตั้งขึ้นภายหลังมีพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 และอยู่ภายใต้การควบคุมของกระทรวงอุตสาหกรรม นับตั้งแต่ในขั้นตอนแรกในการตั้งโรงงานจนถึงการประกอบกิจการ หรือขยายโรงงานที่ได้มีการพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นไว้ก่อน และอยู่ภายใต้การตรวจสอบติดตามผลภายใต้ระเบียบ กฎ และประกาศ ตามพระราชบัญญัติโรงงาน สำหรับโรงงานสุราของรัฐในปัจจุบันภายใต้กฎหมายและระเบียบต่าง ๆ ที่ควบคุมปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานสุราก็ได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างเป็นลำดับขั้น ปัญหาร้องเรียนเกี่ยวกับน้ำทิ้งก็น้อยลงจนอาจกล่าวได้ว่ากว่าร้อยละ 90 ของโรงงานสุราของรัฐ ไม่ก่อปัญหาด้านน้ำทิ้งแก่สาธารณชนอีกแล้ว

ตั้งแต่มีพระราชบัญญัติโรงงาน ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2518) ออกมา กรมโรงงานอุตสาหกรรมก็ได้มีหนังสือไปถึงกรมสรรพสามิตให้รีบดำเนินการยื่นเรื่องขออนุญาตประกอบกิจการ พร้อมทั้งยื่นแผนงานและแบบแปลนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งเพื่อการพิจารณาเห็นชอบ และในปีนั้นเองกองสิ่งแวดล้อมโรงงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมก็ได้ตั้งขึ้น

เช่นเดียวกับสำนักงาน คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาครัฐได้เล็งเห็นความสำคัญของสิ่งแวดล้อมซึ่งจะมีผลเสียอย่างมหาศาล หากไม่รีบดำเนินการสร้างกลไกในการดำเนินงานต่อไป

เนื่องมาจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติโรงงานในการควบคุมปัญหาน้ำทิ้ง ในบางครั้งถึงกับต้องดำเนินคดีกับโรงงานสุราซึ่งก่อเหตุเดือดร้อนอันเนื่องมาจากปัญหาน้ำทิ้ง แต่ก็ไม่ใช่วิธีการแก้ไขปัญหาที่ได้ผล เนื่องจากกฎระเบียบต่าง ๆ ภายใต้พระราชบัญญัติโรงงาน มีความจำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

ต่อมา เมื่อวันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2522 สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สวล.) ได้เสนอนโยบายและแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานสุราต่อคณะรัฐมนตรี ซึ่งคณะรัฐมนตรีได้มีมติให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องถือเป็นหลักปฏิบัติต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้ (สุรวิทย์ เกียรติประจักษ์, 2527: 26)

1) ให้กรมสรรพสามิตออกคำสั่งให้โรงงานต้มกลั่นสุราทุกโรง ที่ยังไม่ได้ขออนุญาตประกอบกิจการดำเนินการยื่นขออนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยเร็วที่สุด และให้เสร็จสิ้นก่อนเดือนกันยายน พ.ศ. 2522

2) ให้กรมสรรพสามิตจัดเงินสนับสนุนโครงการวิจัยระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมต่อสภาพของโรงงานต้มกลั่นสุราในประเทศไทย ซึ่งดำเนินการโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ในปัจจุบัน) โดยให้ผลวิจัยเสร็จสิ้นภายใน 18 เดือน

3) กำหนดให้โรงต้มกลั่นสุราทุกโรงของกรมสรรพสามิตดำเนินการก่อสร้างบ่อหมัก เพื่อฟื้นฟูคุณภาพของน้ำเสียให้ดีขึ้นระดับหนึ่งอย่างน้อยร้อยละ 90 และ/หรือไม่ทำให้คุณภาพน้ำของแหล่งรับน้ำนั้นเน่าเสียจนเป็นอุปสรรคต่อการใช้น้ำเพื่อประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ให้แล้วเสร็จก่อนเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2523

4) สำหรับโรงต้มกลั่นสุราซึ่งมีปัญหาด้านที่ดินในการสร้างบ่อหมัก ให้ดำเนินการขนส่งน้ำเสียไปทิ้งยังสถานที่ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมสรรพสามิตเห็นสมควร โดยห้ามมิให้ปล่อยน้ำเสียที่มิได้ทำการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำอย่างเด็ดขาด

5) ภายหลังจากที่ผลการวิจัยตามข้อ 2 สำเร็จลงแล้วให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สวล.) พิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงต้มกลั่นสุราให้สอดคล้องกับผลการวิจัยและมีผลทางกฎหมายในปี พ.ศ. 2523

6) ภายหลังที่มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงต้มกลั่นสุรา และผลของการศึกษาในข้อ 2 เสร็จเรียบร้อยลงแล้ว ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมเร่งรัดให้โรงต้มกลั่นสุรา ทุกโรงทำการปรับปรุงและเพิ่มเติมระบบ ตามข้อ 3 ให้เสร็จสมบูรณ์ภายใน 18 เดือน คือ สิ้นเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2525

7) ภายหลังจากข้อกำหนดในข้อ 6 ได้ดำเนินการแล้ว ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมกวดขันควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงต้มกลั่นสุราให้ปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ประกาศใหม่อย่างเคร่งครัด หากโรงงานสุราโรงใดไม่ปฏิบัติตามแผนงานที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากปัญหาเรื่องที่ดินหรือปัญหาอื่นใด ให้กรมสรรพสามิตเป็นผู้พิจารณาดำเนินการย้ายโรงงานหรือปฏิบัติการอื่นใดตามที่กรมสรรพสามิตเห็นสมควร

ด้วยเหตุนี้ การควบคุมแก้ไขปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา จึงได้เปลี่ยนแนวทางดำเนินการใหม่ตามแผนงานของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สวล.) ซึ่งผ่านความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรีตั้งแต่นั้นมา โดยได้สั่งให้โรงงานสุราดำเนินการสร้างบ่อหมักเพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำทิ้งให้ดีระดับหนึ่งอย่างน้อยร้อยละ 90 ตามแผนปฏิบัติการข้อ 3 แต่เนื่องจากโรงงานสุราส่วนใหญ่ไม่สามารถปฏิบัติตามได้ เพราะต้องใช้พื้นที่สำหรับก่อสร้างบ่อมากมาย กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้เปลี่ยนวิธีดำเนินการในเวลาต่อมาโดยให้โรงงานหาที่ดินสำหรับขุดบ่อเก็บกักตามแผนปฏิบัติการของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ข้อ 4 ทั้งนี้ กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดหลักเกณฑ์การขนถ่ายน้ำเสียของโรงงานสุราไปทิ้งในที่ที่เหมาะสมไว้โดยละเอียด และได้แจ้งให้ทางโรงงานสุราทราบหลักเกณฑ์ และเมื่อหาสถานที่ทิ้งน้ำเสียได้แล้วให้เสนอความเห็นชอบจากจังหวัดมายังกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อตรวจสอบร่วมกับกรมสรรพสามิตอีกครั้งหนึ่ง

ต่อมา กรมโรงงานอุตสาหกรรม เห็นว่านโยบายของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ที่ผ่านความเห็นชอบของคณะรัฐมนตรีแต่เดิมนั้น ถ้าหากได้ปฏิบัติตามต่อไปนั้นจะก่อให้เกิดปัญหายุ่งยาก และเกิดความไม่ชอบธรรมต่อโรงงานประเภทอื่น และกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่อาจควบคุมแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสียที่เกิดขึ้นในแม่น้ำสายต่าง ๆ ได้ จึงขอให้ทบทวนมติคณะรัฐมนตรีเพื่อแก้ไขมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยเฉพาะโรงงานสุราในเรื่องของค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ให้เป็น 300 ppm (แต่เดิมกำหนด 20 – 60 ppm) โดยมีผลบังคับใช้ทันทีจนถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2524 และตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2525 เป็นต้นไป ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมใหม่ ซึ่งอาจกำหนดค่าปริมาณออกซิเจนที่

ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ไม่มากกว่า 150 ppm ซึ่งก็ผ่านความเห็นชอบและมีมติให้เป็นไปตามที่กระทรวงอุตสาหกรรมเสนอไปเมื่อวันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2523

ภายหลังจากที่มีมติคณะรัฐมนตรีในการควบคุมแก้ไขปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานสุราทั้งเก่าและใหม่ออกมา ทั้งกรมโรงงานอุตสาหกรรม กรมสรรพสามิต สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ก็ได้มีการร่วมประชุมปรึกษาหารือตลอดจนหาวิธีดำเนินการให้สอดคล้องกัน ขณะเดียวกันโรงงานสุราสรรพสามิตส่วนใหญ่จะเลือกปฏิบัติตามแผนปฏิบัติการข้อ 4 ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งสั่งการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากจะหมดอายุสัญญาในปี พ.ศ. 2527 การลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งอย่างถาวรจะไม่คุ้มกับการลงทุนเพราะบริษัทที่เช่าอยู่เดิมไม่มีความมั่นใจว่าจะประมูลต่อได้และไม่ทราบว่ากรมสรรพสามิตจะเปลี่ยนกฎเกณฑ์อะไรใหม่หรือไม่ จะมีบ้างก็บางโรงงานซึ่งมีความเหมาะสมของสถานที่ และต้องการทดลองวิจัยหาระบบบำบัดที่ดีเพื่อไว้สำหรับอนาคต หากได้มีการประมูลและเกิดขึ้นมาก็จะได้ใช้เทคโนโลยีที่ทำการทดลองได้ทันที

2.1.4.2 วิธีการกำจัดน้ำทิ้งของโรงงานสุรา

สุรวิทย์ เกียรติประจักษ์ (2527: 28) ได้รวบรวมวิธีการกำจัดน้ำทิ้งที่โรงงานสุราต่าง ๆ ใช้ มีดังนี

1) โรงงานสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดตาก ใช้วิธีกำจัดน้ำทิ้งแบบ Land Application โดยวิธีง่าย ๆ คือ ต้องมีสถานที่เพียงพอ ขั้นแรกเก็บกักน้ำทิ้งแล้วสูบไปยังลานดากให้มีการซึมลงไปในผิวดิน (ดินทรายจะได้ผลดี) และการระเหย แต่จากการตรวจสอบติดตามผลภายหลังพบว่า เมื่อถึงฤดู ๆ หนึ่ง อัตราการซึมจะน้อยมาก เนื่องจากเกิดตะกอนไปแทรกอยู่ในชั้นดินที่ว่าง

2) โรงงานสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดชลบุรี ใช้วิธีนำมาหมักกับเศษวัชพืช เช่น กากอ้อยหรือหญ้าแห้ง เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีการกำจัดน้ำทิ้งที่ได้ผลดี และมีผลพลอยได้คือ ปุ๋ย ซึ่งขายได้ ต่อมา มีโรงงานสุราเอกชนชื่อ สุรากลองกาญณ์ ได้ใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน แต่ได้มีการปรับปรุงวิธีการ มีการใช้เชื้อแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ เพื่อเป็นตัวเร่งในการหมักและย่อยสลาย แต่การหมักจะต้องใช้เวลานานนับเดือนจนอาจถึงปี

3) โรงงานสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดภูเก็ต มีระบบกำจัดน้ำทิ้งโดยสมบูรณ์ คือ ระบบรวมโดยขั้นตอนแรก คือ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestor) ได้ก๊าซมีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงตามด้วยระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และตกตะกอนโดยเติมสารเคมี (Chemical Coagulation) จากการตรวจสอบ พบว่า

ระบบนี้สามารถจะลดค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ได้มากกว่าร้อยละ 90 แต่ก็ไม่สามารถจะได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

4) โรงงานสุรากรมโรงงานอุตสาหกรรม (แม่โขง) โรงเก่าใช้วิธีการกำจัดที่ทันสมัยที่สุดและแพงที่สุด คือ ระบบเผาน้ำทิ้งซึ่งใช้เงินลงทุนนับร้อยล้านบาท

2.1.5 ระบบบำบัดน้ำกากส่าเหล้าของประเทศไทย

อุ๊ด ดำเกิงตระกูล (2527: 16) ได้รวบรวมระบบบำบัดน้ำกากส่าเหล้าที่นิยมใช้ในประเทศไทยไว้ดังนี้

2.1.5.1 ระบบเผา (Incineration)

มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบและค่าดำเนินการสูง มีโอกาสเกิดปัญหาเรื่องมลภาวะทางอากาศจากฝุ่นขี้เถ้าหรือระบบระเหยอุดตัน

น้ำกากส่าเหล้า ⟶ ระบบระเหย ⟶ ระบบเผา ⟶ ขี้เถ้า
(ของแข็งร้อยละ 17) (ของแข็งร้อยละ 60) (ขายเป็นปุ๋ย)

น้ำล้าง ⟶ ระบบตะกอนเร่ง ⟶ ทิ้งสู่แม่น้ำ
↓
ตะกอนตากแห้ง
ใช้ทำปุ๋ยหรือถมที่

2.1.5.2 ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน + ระบบปุ๋ยหมัก

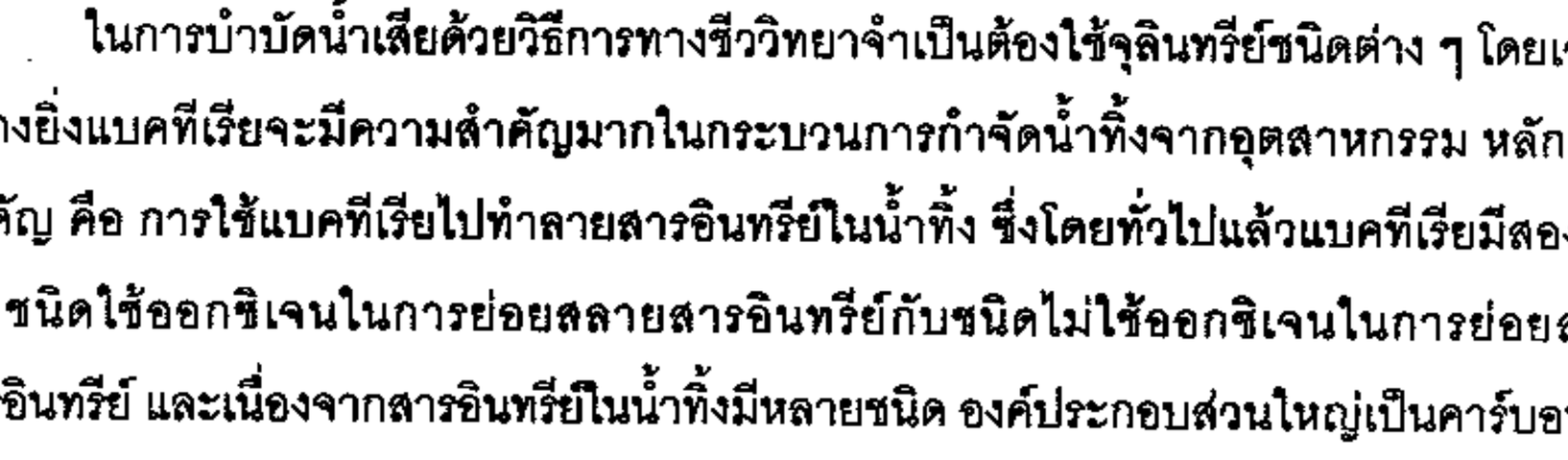
มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ต้องใช้บริเวณมาก มีปัญหาเรื่องวัตถุดิบ (ชานอ้อย ขี้เลื่อย เป็นต้น) ขาดแคลนและราคาสูง มีกลิ่น นอกจากนี้ยังไม่สามารถปฏิบัติได้ในช่วงฤดูฝน

น้ำกากส่าเหล้า ⟶ ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน ⟶ ระบบหมักปุ๋ย ⟶ ปุ๋ยหมัก
↑
ชานอ้อย

น้ำล้าง ⟶ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ⟶ แม่น้ำ

2.1.5.3 **ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน + ระบบหมักแบบใช้ออกซิเจน**

จะได้แก๊สมีเทน (Methane) **มาใช้ในหม้อต้มน้ำที่ใช้ในโรงงาน มีปัญหาเรื่องกลิ่น** และแก๊สที่ได้มีปริมาณน้อย



2.2 หลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาจำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียจะมีความสำคัญมากในกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม หลักการที่สำคัญ คือ การใช้แบคทีเรียไปทำลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียมีสองชนิด คือ ชนิดใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์กับชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีหลายชนิด องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) จึงมักนิยมเขียนสัญลักษณ์เป็น COHNS แทนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง (กองบรรณาธิการ, 2541: 69)

ในปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนแบคทีเรียที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) จะเป็นตัวทำลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง เพื่อให้ได้พลังงานดังสมการ

$$COHNS + O_2 + Bacteria \longrightarrow CO_2 + H_2O + NH_3 + Energy$$

พลังงานที่ได้จะถูกนำมาใช้สร้างเซลล์ใหม่ดังสมการ

$$COHNS + O_2 + Bacteria + Energy \longrightarrow C_5H_7O_2N$$

ดังนั้น ออกซิเจนจะต้องมีพอเพียงสำหรับในปฏิกิริยาแบบนี้ สารอินทรีย์ที่ถูกเผาผลาญเพื่อเป็นพลังงานจะมีปริมาณร้อยละ 70 ของสารอินทรีย์ทั้งหมด ถ้าไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่ดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) และแบคทีเรียที่ดำรงชีพโดยใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ (Facultative Bacteria) จะเจริญเติบโต ส่วนแบคทีเรียที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) จะตายหมด ในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์จะถูกทำลายดังสมการ

$$COHNS + Bacteria \longrightarrow H_2O + CH_4 + N_2 + H_2S + CO_2 + Energy$$

การกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยา เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียจะไปทำลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้น การกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาจึงแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีออกได้เป็นการกำจัดแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Treatment) และการกำจัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment) ดังกล่าวข้างต้น

2.2.1 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

2.2.2.1 แบคทีเรีย

1) เซลล์ของแบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีอยู่ทั่วไปทุกหนทุกแห่งในน้ำ ในดิน และในอากาศ แต่ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำหรือบริเวณที่มีความชื้นสูง แบคทีเรียอาจมีรูปร่างเป็นแท่ง กลม หรือเป็นโซ่ ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียหลายตัวเกาะกัน แบคทีเรียมีขนาดตั้งแต่ 0.0003 ถึง 0.05 มิลลิเมตร แต่แบคทีเรียทั่ว ๆ ไป จะมีขนาดตั้งแต่ 0.0005 ถึง 0.003 มิลลิเมตร

เซลล์ของแบคทีเรียประกอบด้วยน้ำร้อยละ 80 และของแข็งร้อยละ 20 แบ่งออกได้เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 90 และสารอนินทรีย์ร้อยละ 10 ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ร้อยละ 53 ออกซิเจน (O) ร้อยละ 29 ไนโตรเจน (N) ร้อยละ 12 และไฮโดรเจน (H) ร้อยละ 6 ดังนั้น ส่วนของแบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ จึงเขียนสูตรได้เป็น $C_5H_7O_2N$ ส่วนของแบคทีเรียที่เป็นสารอนินทรีย์นั้นประกอบด้วย ฟอสฟอรัสเพนท็อกไซด์ (P_2O_5) ร้อยละ 50 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ร้อยละ 15 โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 11 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 9 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 8 โปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O) ร้อยละ 6 และ

เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 1 ด้วยเหตุนี้แบคทีเรียจึงต้องเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่มีแร่ธาตุและสารประกอบเหล่านี้อย่างเพียงพอ

2) ประเภทของแบคทีเรีย

แบคทีเรียแพร่พันธุ์ได้ด้วยการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ คือ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 เรื่อยไป ในการสร้างเซลล์ใหม่แบคทีเรียจะต้องใช้คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และจะต้องใช้พลังงานด้วย แบคทีเรียส่วนมากจะใช้พลังงานที่ได้จากการเผาผลาญ (Oxidation) สารเคมีต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ (Chemiosynthesis) ดังนั้น แบคทีเรียจึงอาจแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะของสารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน คือ

(1) Autotrophic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้ออกซิเจนอิสระ (Free Oxygen) เผาผลาญสารอนินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานและจะใช้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียประเภทนี้จึงสามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ในเซลล์ได้จากสารอนินทรีย์ Autotrophic Bacteria ที่สำคัญที่สุดในการกำจัดน้ำทิ้ง ได้แก่ Nitrifying Bacteria ซึ่งสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรต

(2) Heterotrophic Bacteria แบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานและธาตุคาร์บอนจากสารอินทรีย์ เป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญที่สุดในการกำจัดน้ำทิ้ง แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

(2.1) Aerobic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระไปเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน

(2.2) Anaerobic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถเผาผลาญสารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนอิสระ แต่จะใช้ออกซิเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เช่น สารประกอบไนเตรต (NO^{3-}) หรือสารประกอบซัลเฟต (SO_4^{2}) เป็นต้น

(2.3) Facultative Bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งแบบ Aerobic และ Anaerobic ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในภาวะแวดล้อมที่แบคทีเรียอาศัยอยู่

3) สภาวะแวดล้อมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาวะแวดล้อมและอาหาร สภาวะแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่

(1) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ต้องไม่เป็นกรดเกินไปหรือด่าง

เกินไป ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย โดยทั่วไป ความเป็นกรด – ด่าง (pH) จะมีค่าระหว่าง 5 – 9 และค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ 7

(2) อุณหภูมิ (Temperature) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ จนถึงจุดหนึ่งก็จะลดลง และในที่สุดถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปแบคทีเรียจะตายหมด แบคทีเรียจึงอาจแบ่งเป็น 2 ชนิดตามอุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโต คือ เมโซฟิลิกแบคทีเรีย (Mesophilic Bacteria) ซึ่งต้องการอุณหภูมิเหมาะสมประมาณ 35 องศาเซลเซียส และเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic Bacteria) ต้องการอุณหภูมิระหว่าง 55 – 65 องศาเซลเซียส

(3) ออกซิเจน (Oxygen) ความสำคัญของออกซิเจนขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย ถ้าในน้ำไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ (Aerobic Bacteria) จะตายหมด ส่วนแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ (Anaerobic Bacteria) จะเจริญเติบโตได้ดี

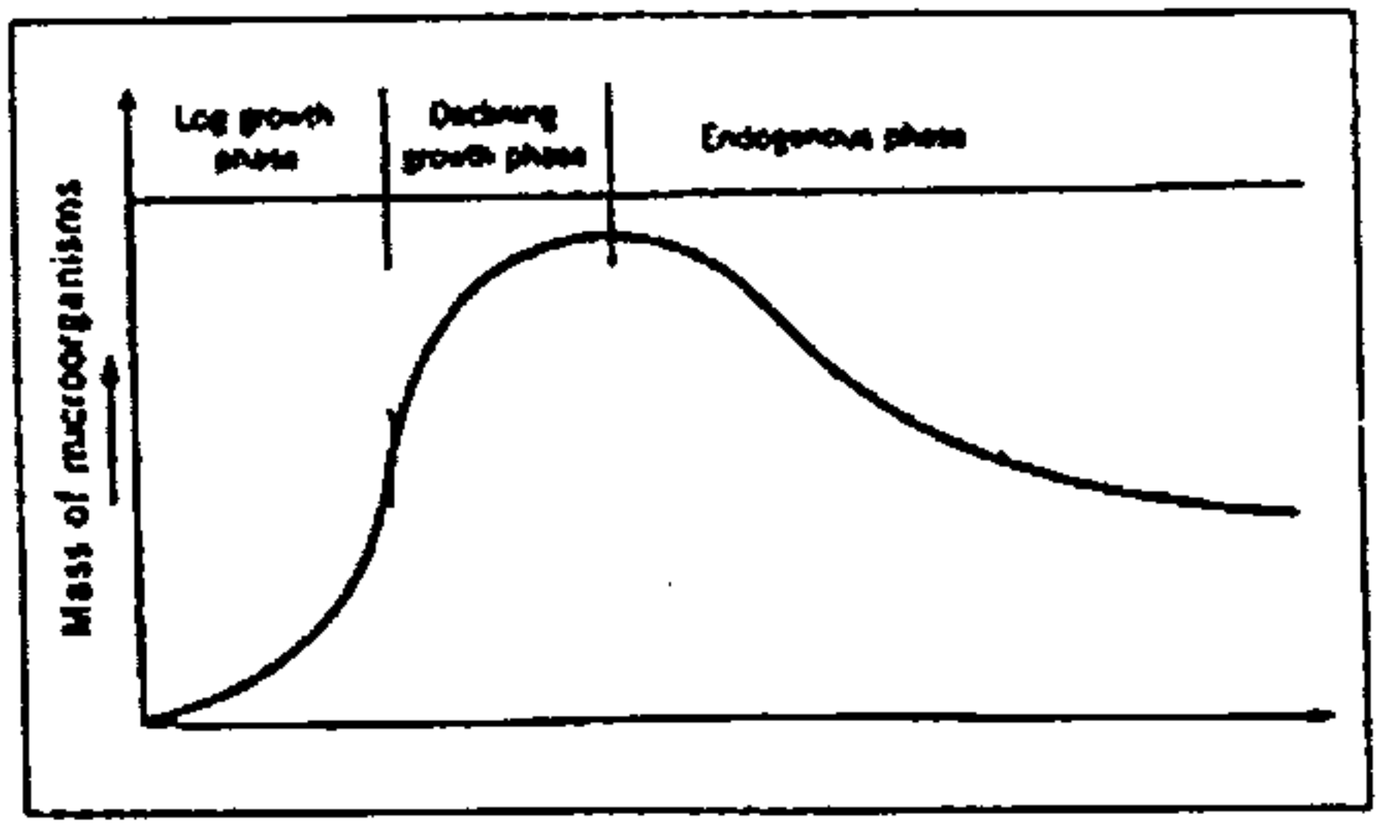
(4) อาหาร (Food) อาหารของแบคทีเรียแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ อาหารที่ใช้เป็นพลังงานรวมถึงใช้ในการสร้างเซลล์ ซึ่งโดยทั่วไป ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ อาหารอีกชนิดเป็นอาหารเสริม ซึ่งจำเป็นในการดำรงชีวิต ได้แก่ สารประกอบแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น โปตัสเซียม และแคลเซียม เป็นต้น และที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

4) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

ถ้าสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และอุณหภูมิไม่ขัดต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแล้ว อัตราเร็วในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารเท่านั้น อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอาจวัดได้จากจำนวนแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นหรือจากน้ำหนักของแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นวิธีวัดที่ง่ายที่สุด

การเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังภาพที่ 2.3 คือ

(1) Log Growth Phase เป็นระยะแรกของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ถ้าเริ่มด้วยแบคทีเรียปริมาณหนึ่งและอาหารปริมาณหนึ่ง แบคทีเรียจะเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะมีอาหารอย่างเหลือเฟือ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระยะนี้จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยอาหารของแบคทีเรียเท่านั้น อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียระยะนี้ และอัตราการใช้อาหารจะมีค่าสูงที่สุด



ภาพที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกับระยะเวลา

แหล่งที่มา: กองบรรณาธิการ, 2541: 72.

(2) Declining Growth Phase ระยะนี้เริ่มเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลน ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ช้าลง น้ำหนักของแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดในระยะนี้

(3) Endogeneous Phase ระยะนี้อาหารจะเหลือน้อยมาก จนแบคทีเรียต้องใช้อาหารที่สะสมไว้ในเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตและน้ำหนักของแบคทีเรียลดลงเรื่อย ๆ แบคทีเรียบางส่วนจะตายและย่อยสลายกลายเป็นอาหารของแบคทีเรียอื่น จนในที่สุดแบคทีเรียก็จะตายหมด เหลือแต่ส่วนที่เป็นกากไม่ย่อยสลาย

2.2.1.2 สาหร่าย (Algae)

เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการกำจัดน้ำทิ้งรองจากแบคทีเรีย สาหร่ายเป็นพืชน้ำขนาดเล็กเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์อยู่รวมกัน ส่วนใหญ่สีเขียว เมื่อมีอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมากจะทำให้น้ำมีสีเขียวขุ่น เนื่องจากสาหร่ายเป็นพืช จึงสามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรตขึ้นด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแสงแดด ดังสมการ

$$\text{Sunlight} + CO_2 + 2H_2O \longrightarrow (CH_2O) + O_2 + H_2O$$

2.2.1.3 **ราและโปรโตซัว** (Fungi and Protozoa)

รามีลักษณะคล้ายแบคทีเรีย ต่างกันตรงที่ราเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์ ส่วนประกอบของเซลล์เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มีสูตรทั่ว ๆ ไป เป็น $C_{20}H_{17}O_6N$ เมื่อเทียบกับสูตรของแบคทีเรีย คือ $C_5H_7O_2N$ แล้วจะเห็นว่า ราต้องการไนโตรเจนน้อยกว่าแบคทีเรียในการสร้างเซลล์ ดังนั้น ราจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาวะแวดล้อมที่ขาดแคลนไนโตรเจน เนื่องจากรามีลักษณะเป็นเส้นยาว จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) รวมตัวกันเป็นตะกอนใหญ่ได้ยาก ทำให้ประสิทธิภาพของระบบกำจัดแบบนี้ต่ำลง

โปรโตซัวเป็นพวกสัตว์ชั้นต่ำที่ต้องอาศัยอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจน โปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ดังนั้น จึงช่วยทำให้น้ำทิ้งในระบบกำจัดใสขึ้น และช่วยควบคุมจำนวนแบคทีเรียไม่ให้มีมากเกินไป ทำให้แบคทีเรียที่มีอยู่สามารถทำลายสารอินทรีย์ได้เต็มที่

2.2.2 **ปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์**

ในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาระบบหนึ่ง ๆ นั้น จะประกอบด้วยจุลินทรีย์ประเภทต่าง ๆ หลายชนิด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน โดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ (Microbial Interaction) อาจจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542: 2/1)

2.2.2.1 **ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นกลาง** (Neutral Interaction)

ไม่ปอยนักที่จะพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ต่าง ๆ จะมีปฏิสัมพันธ์แบบเป็นกลาง กรณีที่อาจเป็นไปได้ คือ จุลินทรีย์ 2 ชนิดมีความต้องการสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง จนกระทั่งทั้งคู่ไม่มีการแข่งขันหรือแย่งอะไรกันเลย จุลินทรีย์ที่จะแสดงความเป็นกลางนี้ควรเป็นประเภทที่ไม่มีความสัมพันธ์อะไรกันเลยมากกว่าพวกที่ใกล้ชิดกัน ทั้งนี้เพราะประเภทหลังนี้มีโอกาสที่จะแก่งแย่งสารอาหารต่าง ๆ กันมาก

2.2.2.2 **ปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกัน** (Benevolent Interaction)

ปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกันที่พบกันบ่อยมี 2 ชนิด คือ แบบสอดคล้องกัน (Commensalism) และแบบพึ่งพาซึ่งกันและกัน (Mutualism) ปฏิสัมพันธ์แบบแรก คือ แบบสอดคล้องกัน เกิดเมื่อจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งได้ประโยชน์ฝ่ายเดียวโดยไม่กระทบกระเทือนต่อจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างก็คือจุลินทรีย์ "ก" เปลี่ยนสารอย่างหนึ่งให้เป็นสารอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ได้โดยจุลินทรีย์ "ข" เช่น การย่อยเซลลูโลสก็จัดอยู่ในลักษณะนี้ กล่าวคือ จุลินทรีย์บางชนิดย่อย

สลายเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคส ซึ่งสามารถใช้เป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่น รูปแบบอีกอย่างหนึ่งของปฏิสัมพันธ์แบบสอดคล้องกัน คือ จุลินทรีย์ตัวแรกสร้าง Growth Factor หรือสารอาหารซึ่งจุลินทรีย์ตัวที่สองไม่สามารถสร้างได้แต่ต้องการใช้ จุลินทรีย์ตัวแรกจะคายสารดังกล่าวออกมาให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจุลินทรีย์ตัวที่สองจะดึงออกไปใช้ได้ บางครั้งปฏิกิริยาแบบสอดคล้องกัน อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมโดยจุลินทรีย์ตัวหนึ่งให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกตัวหนึ่ง ตัวอย่างเช่น Facultative Bacteria อาจดึงออกซิเจนออกจากสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่จนหมดทำให้ Obigate Anaerobic Bacteria สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้และแบคทีเรียชนิดแรกเองก็เติบโตอยู่ได้ (เพราะอาจอยู่อย่างมีหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้)

อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งอาจทำลายหรือทำให้สารพิษเป็นกลาง ซึ่งสารพิษนี้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง สมมติว่าน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีฟีนอล (Phenol) ปะปนอยู่ด้วยซึ่งอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์หลายชนิด แต่ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียมีจุลินทรีย์ซึ่งสามารถย่อยสลายฟีนอลได้ ฟีนอลจะถูกทำลายจนเหลือปริมาณน้อยและไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ลักษณะเช่นนี้ถือว่าเป็นปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกัน

สำหรับปฏิสัมพันธ์แบบพึ่งพากันนั้นจะแตกต่างจากปฏิสัมพันธ์แบบสอดคล้องกันเล็กน้อย เพราะเป็นปฏิสัมพันธ์ซึ่งทั้งสองฝ่ายได้รับประโยชน์ทั้งคู่ ตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดไม่สามารถสร้าง Growth Factor ขึ้นมาใช้เองได้ แต่ทั้งคู่อาจสร้างสารดังกล่าวให้แก่กันและกันได้ ตัวอย่างอีกอันหนึ่ง ได้แก่ การอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียและสาหร่ายในบ่อบำบัดน้ำเสีย แบคทีเรียออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนของสาหร่าย ส่วนสาหร่ายจะสร้างออกซิเจนให้กับแบคทีเรียเพื่อใช้ในการหายใจ ตัวอย่างนี้ยังแสดงให้เห็นอีกว่าปฏิสัมพันธ์อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพราะในตอนกลางคืนสาหร่ายต้องใช้ออกซิเจน เนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้จึงต้องแย่งออกซิเจนกับแบคทีเรีย แสดงว่าปฏิสัมพันธ์แบบพึ่งพากัน (Mutualism) ในตอนกลางวันอาจเป็นปฏิสัมพันธ์แบบการแก่งแย่งกัน (Competition) ในตอนกลางคืน

ในบางครั้งปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกัน (Benevolent) อาจจำแนกได้อีกแบบหนึ่ง คือ แบบซิมไบโอซิส (Symbiosis) ซึ่งหมายถึง ความใกล้ชิดทางกายภาพอย่างแนบแน่นของจุลินทรีย์ 2 ชนิดและมักมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันในหน้าที่ทางด้านสรีระวิทยาของเซลล์ ปฏิสัมพันธ์แบบซิมไบโอซิสและภาวะแบบพึ่งพากัน อาจมีความหมายใกล้กันจนบางครั้งอาจใช้แทนกันได้

2.2.2.3 ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นศัตรูกัน (Antagonistic Interaction)

ปฏิกิริยากระทำต่อกันและกันแบบนี้มีตั้งแต่การแก่งแย่งกัน (Competition) จนถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่า (Predator) และเหยื่อ (Prey) การแก่งแย่งแบบเข้มข้น (Strict Competition) หมายถึงว่า จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดต้องการสิ่งร่วมกัน ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนน้อยและจำกัด แม้ว่าผลสุดท้ายจุลินทรีย์ตัวหนึ่ง จะเป็นตัวหลักหรือตัวสำคัญกว่าแต่ก็ไม่ได้ทำอันตรายโดยตรงแก่จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง โดยได้มีการจำลองสถานการณ์เช่นนี้ในห้องทดลองโดยใช้ระบบถังกวนสมบูรณ์ ปรากฏว่า จุลินทรีย์พวกที่สามารถเติบโตได้รวดเร็วที่ระดับความเข้มข้นของอาหารเท่าที่มีอยู่จะทำให้จุลินทรีย์พวกอื่นสูญหายไปจากระบบ การแก่งแย่ง (Competition) มักเกิดขึ้นบ่อย ๆ กับจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีธรรมชาติของการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกัน (เช่น ความต้องการในด้านสภาวะแวดล้อมคล้ายคลึงกัน) และการแก่งแย่งชนิดนี้เป็นปฏิสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ที่สามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ง่ายที่สุด สำหรับในระบบที่มีความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของสารอาหาร (Concentration Gradient) ภายในถังปฏิกิริยาเป็นผลทำให้มีจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เติบโตขึ้นได้ภายในถังใบเดียวกัน ดังนั้น การแก่งแย่งจึงลดน้อยลงไป

ปฏิสัมพันธ์ของจุลินทรีย์แบบเป็นศัตรูกัน (Anatagonistic Interaction) สามารถเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในลักษณะที่คล้ายคลึง (แต่ให้ผลตรงข้าม) กับปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกัน (Benevolent Interaction) ตัวอย่างเช่น เมื่อแบคทีเรียที่ดำรงชีพได้ทั้งสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative Bacteria) ดึงออกซิเจนจากน้ำไปจนหมด ทำให้แบคทีเรีย Obligate Aerobes ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ในทำนองเดียวกัน การปรากฏของสาหร่ายซึ่งสร้างออกซิเจนให้กับน้ำจะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย Obligate Anaerobe

ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นศัตรูกันประเภทที่เกี่ยวกับการผลิตสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์บางชนิดมีชื่อว่า Amensalism ตัวอย่างของสารพิษที่สร้างโดยจุลินทรีย์ที่รู้จักกันดี คือ สารปฏิชีวนะซึ่งสามารถฆ่าหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ที่มีชีวิตต่าง ๆ ตัวอย่างอีกอันหนึ่ง ได้แก่ การที่จุลินทรีย์สร้างแอลกอฮอล์ในปริมาณสูงมากจนทำให้เป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่นในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่สร้างกรด (Acid Former) อาจผลิตกรดอินทรีย์ได้มากจนทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของระบบลดลง จนไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเซลล์ โดยเฉพาะพวกที่สร้างมีเทน และเซลล์บางอย่างอาจปล่อยไลติคเอนไซม์ (Lytic Enzymes) ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียทำให้ไซโตรพลาสซึม (Cytroplasm) รั่วไหลออกมาเป็นอาหารของเซลล์ที่ผลิตเอนไซม์

การที่จุลินทรีย์ขนาดใหญ่กว่าใช้จุลินทรีย์ขนาดเล็กเป็นอาหารในการดำรงชีวิต ก็ถือว่าเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์แบบเป็นศัตรูกันหรือทำร้ายกัน ความสัมพันธ์เช่นนี้ เรียกว่า การล่า (Predation) ตัวอย่าง ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตซัว (ผู้ล่า) และแบคทีเรีย (เหยื่อ) ในบางครั้งแบคทีเรียก็อาจเป็นผู้ล่าได้เหมือนกัน เช่น แบคทีเรียที่มีชื่อว่า *Bdellovibrio* sp. ซึ่งมีขนาดเล็กมากและเคลื่อนไหวได้อย่างรวดเร็วเป็นพยาธิ (Parasite) ของแบคทีเรียชนิดอื่น โดยมันจะเกาะอยู่ที่ผนังเซลล์และเจาะผนังเซลล์เพื่อดูดกินไซโตรพลาสซึม อนึ่ง แบคทีเรียไม่ได้เป็นจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวที่เป็นเหยื่อหรืออาหารของผู้ล่า ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์แทบทุกชนิด เช่น สาหร่าย โปรโตซัว หรือราล้วนมีโอกาสเป็นเหยื่อได้ทั้งสิ้น ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียสามารถกินสาหร่ายได้โดยมันจะปล่อยไลติคเอนไซม์เพื่อทำให้ผนังเซลล์ของสาหร่ายแตก แล้วจึงบริโภค ไซโตรพลาสซึมที่อยู่ภายในเซลล์

ความเกี่ยวข้องระหว่างพยาธิ (Parasite) และจุลินทรีย์ที่ถูกอาศัยก็สามารถจัดเป็นปฏิสัมพันธ์แบบเป็นศัตรูกันได้ ความสัมพันธ์แบบนี้เรียกว่า ปรสิต (Parasitism) ทั้งนี้เพราะพยาธิเจริญเติบโตด้วยการเกาะกินอยู่บนจุลินทรีย์อื่น ๆ ตัวอย่างของปฏิสัมพันธ์แบบนี้ ได้แก่ การเจริญเติบโตของไวรัสบนแบคทีเรีย ราบนสาหร่าย หรือราด้วยกันเอง อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ชนิดนี้มีความสัมพันธ์หรือบทบาทเพียงใดในระบบปฏิบัติการชีวเคมียังไม่เป็นที่ทราบอย่างแน่ชัด

2.2.3 การเจริญเติบโตของจุลชีพ

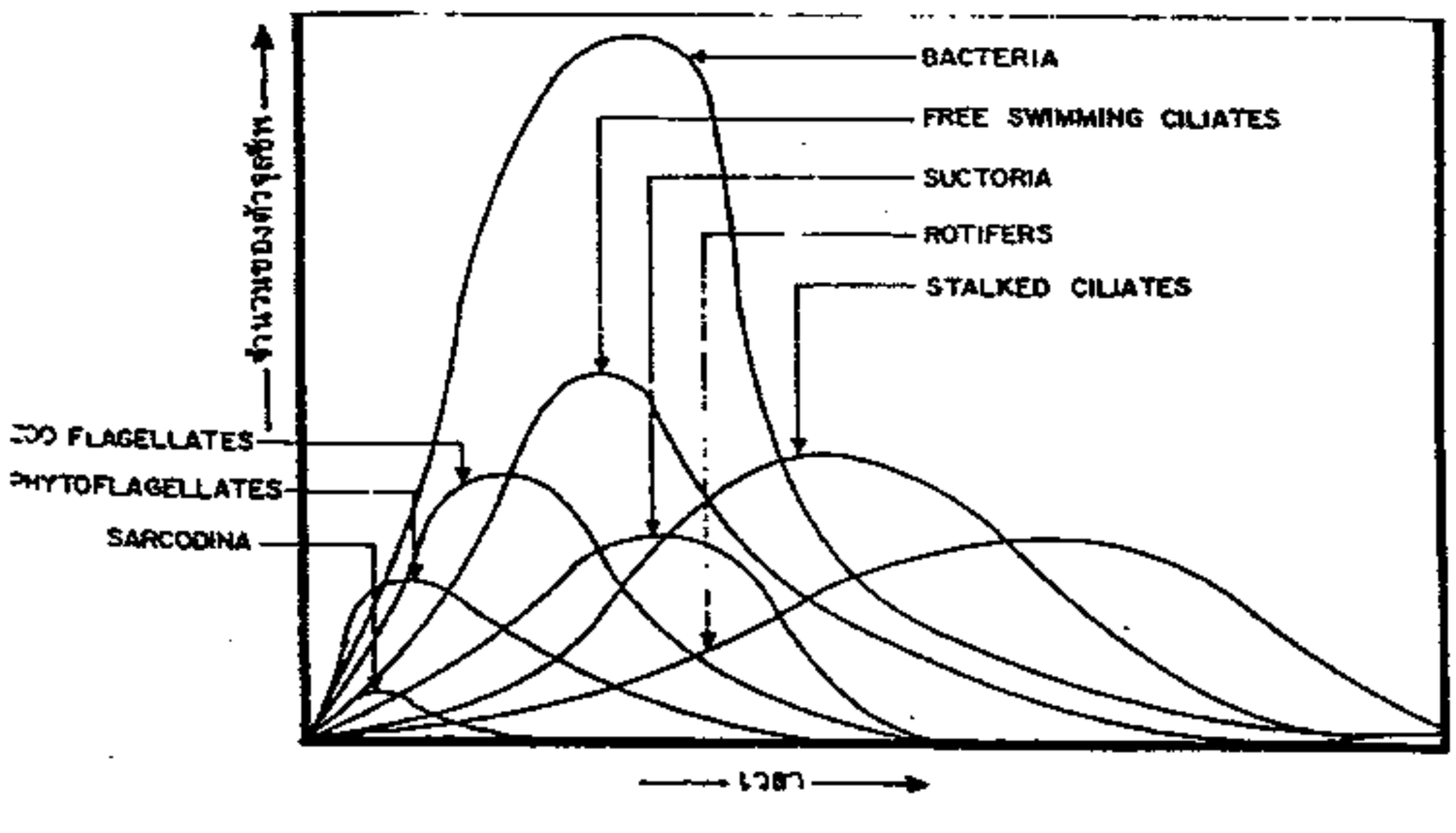
ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา จะมีพวกจุลชีพต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซและผลทางปฏิกิริยาสุดท้ายต่าง ๆ โดยอาจอยู่ในสภาวะมีออกซิเจน (Aerobic) ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) หรือสภาวะมีหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้ (Facultative) โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาจะมีจุลชีพต่าง ๆ มากมายหลายชนิดปะปนอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสีย การเจริญเติบโตในแต่ละชนิดของจุลชีพจะไม่เหมือนกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ประเภทของน้ำเสีย อุณหภูมิ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และสภาวะมีหรือไม่มีออกซิเจน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงการเจริญเติบโตของตัวจุลชีพในถังบำบัดน้ำ ภาพที่ 2.4 ได้แสดงการเจริญเติบโตของตัวจุลชีพต่าง ๆ ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ใสภาวะ Aerobic

จากภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าจำนวนของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียมีจำนวนมากกว่าจุลชีพอื่น ๆ ดังนั้น พวกแบคทีเรียจะเป็นตัวที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ปฏิกิริยาชีวเคมีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ในสภาวะมีออกซิเจน (Aerobic) ได้แสดงไว้ในสมการ

$CHONPS + O_2 +$ **แบคทีเรีย** $\longrightarrow CO_2 + NH_3 +$ **พลังงาน**

(สารอินทรีย์ในน้ำเสีย)

สมการ เป็นปฏิกิริยาแบบ Oxidation **ที่เรียกกันว่า** Dissimilatory Process



ภาพที่ 2.4 **แสดงการเจริญเติบโตของตัวจุลชีพต่าง ๆ ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย**
แหล่งที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 4.

$CHONPS + O_2 +$ **แบคทีเรีย +** **พลังงาน** $\longrightarrow C_5H_7O_2N$

(สารอินทรีย์ในน้ำเสีย) **(เซลล์ใหม่ของแบคทีเรีย)**

สมการ เป็นปฏิกิริยาแบบ Synthesis **ที่เรียกกันว่า** Assimilatory Process

$C_5H_7O_2N + 5O_2 \longrightarrow 5CO + NH_3 + 2H_2O +$ **พลังงาน**

สมการ เป็นปฏิกิริยาแบบ Endogenous **ที่เรียกกันว่า** Autoxidation

สมการชีวเคมีของทั้งสามแบบข้างต้นเป็นเพียงการแสดงในรูปแบบง่าย ๆ เท่านั้นเพื่อให้เข้าใจถึงหลักของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา แต่ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียมีความซับซ้อนมาก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ลักษณะการเจริญเติบโตของพวกจุลชีพต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียนั้น Monod (1949 อ้างถึงใน เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 15) ได้อธิบายการเจริญเติบโตของพวกจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.5 ซึ่งได้แสดงทั้งจำนวนจุลชีพที่มีในระบบและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะอีกด้วย โดยได้แบ่งการเจริญของจุลชีพออกเป็น 6 ช่วงเวลาดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 15)

ช่วงที่ 1 Lag Phase ช่วงแรกนี้การเจริญเติบโตของตัวจุลชีพจะไม่มี จะเป็นช่วงที่จุลชีพเริ่มเข้าสู่สภาวะแวดล้อมใหม่และกำลังเริ่มปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม ในการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียในช่วงเริ่มต้น อาจมีช่วงเวลาของ Lag Phase สั้นหรือยาวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการได้นำจุลชีพจากถังบำบัดน้ำเสียที่อยู่ตัวแล้วมาเติมลงในถังบำบัดน้ำเสียใหม่นี้มากน้อยเพียงใด ถ้าเติมตัวจุลชีพเหล่านี้มากจะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียใหม่นี้มีช่วงเวลาของ Lag Phase สั้นหรืออาจไม่มีเลยก็ได้

ช่วงที่ 2 Acceleration Phase ช่วงที่สองนี้จะมีการเจริญเติบโตของจุลชีพ จะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก จำนวนของจุลชีพจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

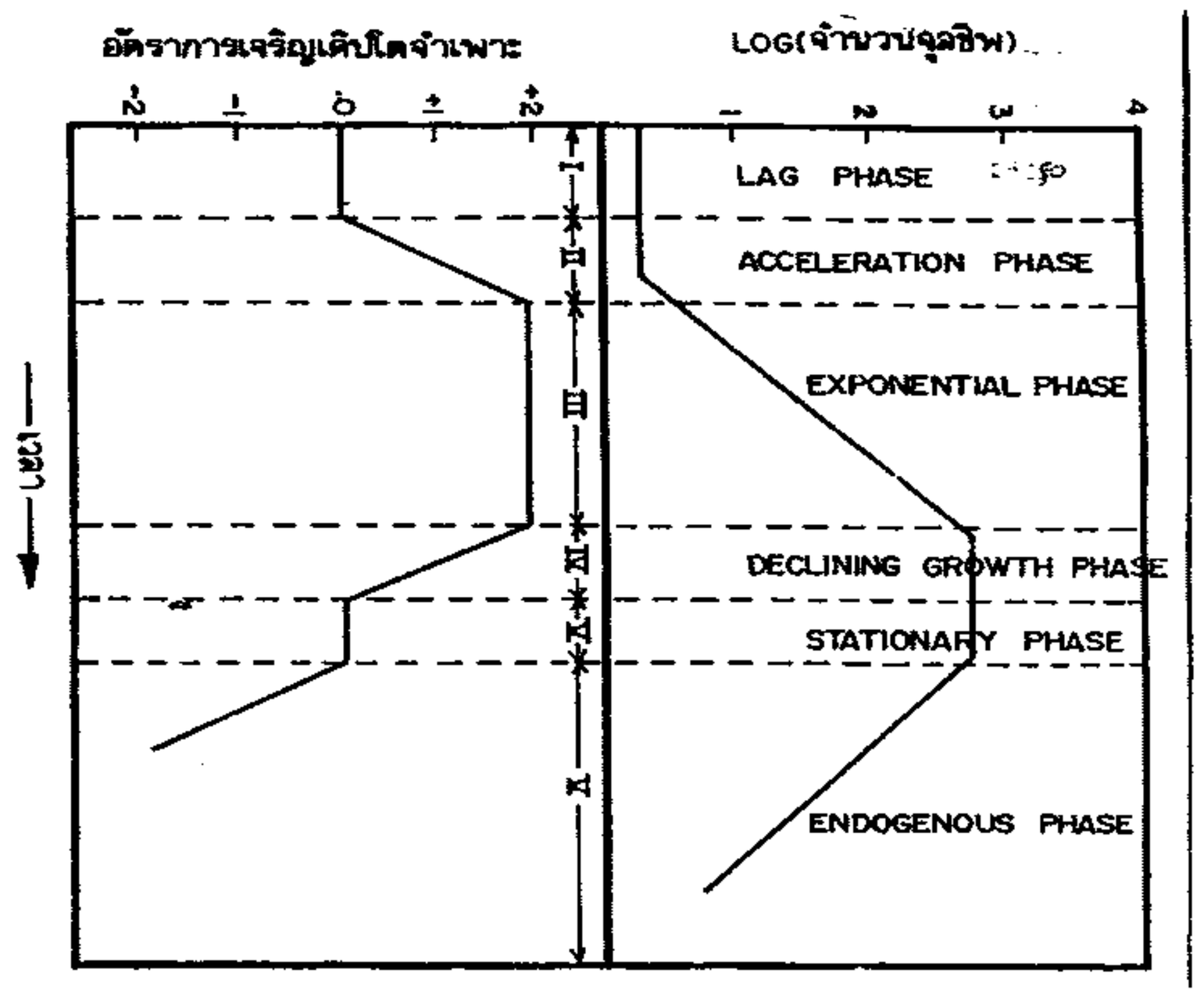
ช่วงที่ 3 Exponential Phase ช่วงที่สามนี้จะมีการเพิ่มจุลชีพอย่างมาก แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ คือ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่คงที่ ช่วงที่สามนี้จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือพวก Substrate ในน้ำเสียสูงสุด โดยทั่วไปนิยมเรียกช่วงที่สามนี้ว่า ช่วงสภาวะดะกอนคงที่ (Steady State) คือ จะมีค่าอัตราส่วนเหล่านี้คงที่ ได้แก่ DNA/จำนวนเซลล์ RNA/จำนวนเซลล์ และโปรตีน/จำนวนเซลล์ ช่วงเวลาที่สามนี้จะเป็นช่วงที่มีความสำคัญอย่างมากในการดำเนินงานของระบำบัดน้ำเสีย เพราะเป็นช่วงที่มีการบำบัดน้ำเสียสงสดในถังบำบัดน้ำเสียนี้

ช่วงที่ 4 Declining Growth Phase ช่วงเวลาที่สี่นี้จะมีจำนวนจุลชีพคงที่โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากปริมาณที่ลดลงของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาและ/หรือเกิดการสะสมของสารพิษในตัวจุลชีพเองด้วย

ช่วงที่ 5 Stationary Phase ช่วงที่ห้านี้จะมีจำนวนจุลชีพคงที่ โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับอัตราการตายของจุลชีพ

ช่วงที่ 6 Endogenous Phase มีอัตราการตายของจุลชีพอย่างมาก จากภาพจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าติดลบ นั่นคือ จำนวนจุลชีพที่มีอยู่ในระบบค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ

นอกจากนี้บริเวณโรงบำบัดน้ำเสียอาจเป็นแหล่งติดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ง่าย ซึ่งอาจมีตั้งแต่โรคไม่ร้ายแรงจนถึงโรคร้ายแรงมาก การติดเชื้อโรคในบริเวณโรงบำบัดน้ำเสียอาจติดได้จากทางปาก ทางสัมผัส และทางหายใจ ดังนั้น ผู้ที่ทำงานในบริเวณโรงงานบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องระมัดระวังและป้องกันการติดเชื้อโรค โดยควรจะทราบถึงชนิดของเชื้อโรคและแหล่งที่มา ตารางที่ 2.1 ได้แสดงถึงชนิดต่าง ๆ ของเชื้อก่อโรค (Pathogens) พร้อมทั้งโรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้



ภาพที่ 2.5 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย
แหล่งที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 18.

ตารางที่ 2.1 เชื้อก่อโรค (Pathogens) ที่พบบ่อย ๆ ในน้ำเสียพร้อมทั้งโรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้

ประเภท	เชื้อก่อโรค	โรค
แบคทีเรีย	*Salmonella*	Gastroenteridis, Typhoid Fever
	Shigella	Shigellosis, Bacillary Dysentery
	Vibrio	
	Mycobacterium	Asiatic Cholera
	Escherichia coli	Tuberculosis
		Gastroenteritis
ไวรัส	*Enteroviruses*	Polio, Meningitis, ไข้หวัด, Gastroenteridis
	Hepatitis A	Infectious Hepatitis
	Norwalk, Reovirus, Rotavirus	Mild to Acute Gastroenteritis,
		Nausea, Fever, Vomiting, Diarrhea
เชื้อรา	*Aspergillus*	Ear, Sinus, Lung, and Skin Infections
	Candida	Various Yeast Infections
โปรโตซัว	*Entamoeba histolytica*	Amoebic Dysentery
	Giardia lamblia	Giardiasis
พยาธิ	Pinworm	สามารถติดเชื้อได้ทุกๆ ส่วนของร่างกาย
- ตัวกลม	*Ascaris lumbricoides*	Infect Intestinal Tract, Peritonitis,
		Nervous System
	Hookworm	Pneumonia, Anemia
	Threadworm	Abdominal Pain, Nausea, น้ำหนักลด
	Whipworm	Abdominal Pain, Diarrhea, Anemia,
		Blood Stool
- Tapeworms	Beef and Pork Tapeworms	ทานอาหารไม่ลง น้ำหนักลด ระบบย่อย
		อาหารถูกรบกวน

แหล่งที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 19.

2.2.4 **สารพิษที่เป็นอันตรายต่อจุลชีพ**

ในระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบคทีเรียชนิด Methanogenic จะเป็นแบคทีเรียที่สำคัญในระบบ ทั้งนี้สภาวะแวดล้อมตลอดจนปริมาณความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องมีปริมาณอย่างเหมาะสมแบคทีเรียชนิดนี้จึงจะเจริญเติบโตได้ดี แต่ทั้งนี้จะมีสารบางชนิดที่สามารถไปยับยั้งต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้ได้ทันทีแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย สารบางชนิดถ้ามีปริมาณน้อย ๆ ถึงแม้จะจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่ขณะเดียวกันถ้าเพิ่มปริมาณมากขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียลงได้ สารเหล่านี้ ได้แก่ พวกโซเดียม โปตัสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม สังกะสี นิคเกิล และโครเมียม เป็นต้น

เมื่อแบคทีเรียได้รับสารพิษจะมีการก่อตัวต่อต้านสารพิษนั้น ทำให้สามารถทนต่อความเป็นพิษของสารนั้นได้มากขึ้น ซึ่งจะต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่ง แล้วจะสามารถดำเนินกิจกรรมต่อไปได้ ซึ่งระยะเวลาในการปรับตัวขึ้นอยู่กับความรุนแรงของสารพิษและชนิดของสารพิษนั้น ๆ แต่ในขณะเดียวกันแบคทีเรียก็มีความสามารถที่จะทนต่อปริมาณสารพิษนั้นได้อย่างมีขีดจำกัดสูงสุดอันหนึ่ง (Maximum Tolerable Concentration) ดังตารางที่ 2.2 คือ ถ้ามีการเพิ่มปริมาณของสารพิษให้เกินจุดนี้แล้ว แบคทีเรียจะไม่สามารถปรับตัวให้ดำเนินกิจกรรมตามปกติต่อไปได้และทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวในที่สุด นอกจากนี้ยังมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย Methanogenic สำคัญด้วยกันมีดังนี้ คือ (สัญญา พยุงสด, 2539: 53)

2.2.4.1 ซัลเฟตและซัลไฟต์ โดยซัลไฟต์พบได้ในน้ำเสียทั่ว ๆ ไป การย่อยสลายซัลเฟตจะได้ซัลไฟต์ ซึ่งจะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย Methanogenic จากการศึกษาของ Karhadkar et al. (1989 อ้างถึงใน สัญญา พยุงสด, 2539: 53) พบว่า แบคทีเรีย Methanogenic สามารถทำงานได้ปกติที่ซัลเฟตมีค่าที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในขณะเดียวกันถ้าระบบมีซัลไฟต์เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะลดประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียลงครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้ความสามารถในการยับยั้งของซัลเฟตในรูปต่าง ๆ สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ คือ ไทโอซัลเฟต < ซัลไฟต์ < ไฮโดรซัลไฟต์

2.2.4.2 แอมโมเนีย เป็นผลที่เกิดจากขบวนการย่อยสลายโปรตีนในระบบ ทั้งนี้น้ำเสียที่มาจากการหมักสุราจะมีโปรตีนจากเชื้อยีสต์มาก ทำให้ระบบมีแอมโมเนียมากตามไปด้วย ทั้งนี้แอมโมเนียเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย ในช่วงความเข้มข้น 50 – 200 มิลลิกรัม แอมโมเนียที่ละลายในน้ำเสียอยู่ใน 2 รูป คือ แอมโมเนียมทั้งหมด (TAN; NH4) และ Ionized Ammonia (UAN; NH3) ดังสมการ

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4 + OH$$

จากการศึกษาของ Bhattacharya and Parkin (1985 อ้างถึงใน สัญญา พยุงสด, 2539: 55) ได้ทดลองศึกษาผลของแอมโมเนียต่อแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอะซีเตต (Acetate) และสารโพรพิออเนต (Propionate) โดยพบว่าแอมโมเนียทั้งหมด (TAN) มีผลต่อแบคทีเรียย่อยสลายสารอะซีเตตมากกว่าสารโพรพิออเนต ถ้ามีแอมโมเนียทั้งหมด (TAN) มากกว่า 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะล้มเหลว และ UN – ionized Ammonia ตั้งแต่ 55 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็จะหยุดการทำงานของระบบเช่นเดียวกัน ดังนั้น แอมโมเนียในรูปของ UN – ionized Ammonia จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียทั้งหมด (TAN)

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของไอออนและโลหะหนักที่เกิดเป็นพิษต่อระบบการหมักได้โดยตรง

ไอออนและโลหะหนักที่เป็นพิษ	ความเข้มข้น		ผลที่มีต่อระบบ
	โมล/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	
โซเดียม (Na)	0.20	4,600	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน (Inhibition)
	0.40	9,000	หยุดการทำงาน (Complete Inhibition)
โปตัสเซียม (K)	0.05 – 0.10	1,900 – 3,900	ไม่มีผล (No Inhibition)
	>0.10	>3,900	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	0.35	13,650	หยุดการทำงาน
แม็กนีเซียมไอออน	>0.05	1,200	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
(Mg^{2+})	0.20	4,800	หยุดการทำงาน
แคลเซียมไอออน (Ca^{2+})	0.08	3,000	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	>0.20	8,000	หยุดการทำงาน
กำมะถัน (S)	–	150 – 250	เริ่มมีการยับยั้งการทำงาน
	–	800	หยุดการทำงาน
สังกะสี (Zn)		>500	หยุดการเกิดแก๊ส
	–	350 – 400	แก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5 ของเกณฑ์ควบคุม
	–	1,000	แบคทีเรียถูกทำลายหมด (Completely Toxic)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ไอออนและโลหะหนักที่เป็นพิษ	ความเข้มข้น		ผลที่มีต่อระบบ
	โมล/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	
นิกเกิล (Ni)		200	แบคทีเรียถูกทำลาย
		367	แก๊สมีเทนถูกทำลายที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 23 ของเกณฑ์ควบคุม
		500 – 1,000	แบคทีเรียถูกทำลายอย่างรุนแรง (Serious Toxic)
นิกเกิล (Ni)		>1,000	แบคทีเรียถูกทำลายหมด
โครเมียม (Cr)		200	แบคทีเรียถูกทำลายหมด
		2,000	แบคทีเรียถูกทำลายหมด

แหล่งที่มา: สัญญา พยุงสด, 2539: 54.

2.2.5 **ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์**

ปัจจัยสำคัญทางสิ่งแวดล้อมหลายประเภทมีผลต่ออัตราเร็วและขอบเขตของการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ (กรประภา เคลือวัลย์, 2543: 8)

2.2.5.1 ความเป็นกรด – ด่าง จุลินทรีย์ส่วนมากเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด – ด่างระหว่าง 6.5 ถึง 7.5 ในบางกรณีจึงต้องมีการปรับค่าความเป็นกรด – ด่างของดินหรือน้ำในบริเวณที่มีการปนเปื้อนอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อการย่อยสลายสารมลพิษด้วย

2.2.5.2 อุณหภูมิ อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของปฏิกิริยาในเซลล์จุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นสองเท่าทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาลดลง อันมีผลต่อการย่อยสลายที่ต้องใช้เวลานานขึ้น

2.2.5.3 สารอาหาร การย่อยสลายสารมลพิษอาจต้องมีการเติมสารอาหารบางอย่างลงไปให้จุลินทรีย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ประเภท และปริมาณของสารมลพิษ เช่น การเติม

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มอัตราเร็วของการย่อยสลายสารประกอบปิโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอนโดยจุลินทรีย์ ในบริเวณที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่จำกัด ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น

2.2.5.4 ปริมาณออกซิเจน กระบวนการย่อยสลายมลพิษสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน โดยทั่วไป พบว่า สารมลพิษที่มีหมู่คลอรีน (Chlorine) มาก จะเหมาะสมกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนสารมลพิษที่มีหมู่คลอรีน (Chlorine) น้อย จะถูกย่อยสลายได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน การย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ของสารมลพิษบางชนิด ต้องอาศัยทั้งกระบวนการที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกัน เช่น การย่อยสลายสารปราบวัชพืช 2, 3, 6 ไตรคลอโรเบนโซเอท จะเกิดขึ้นโดยกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนก่อน และจากนั้นผลผลิตที่เกิดขึ้นจะถูกย่อยสลายต่อในกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งผลผลิตสุดท้ายที่ได้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2.2.5.5 สภาพหรือรูปแบบของสารมลพิษที่จุลินทรีย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารมลพิษส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก และสารมลพิษมักจะยึดติดกับสารอื่น ๆ เช่น อนุภาคดิน ตะกอน หรือกรดฮิวมิค ทำให้สารมลพิษอยู่ในรูปหรือสภาพที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของสารมลพิษต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้สารมลพิษอยู่ในรูปที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การใช้ตัวทำละลายก็เป็นวิธีการช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารมลพิษอีกทางหนึ่งด้วย โดยตัวทำละลายจะช่วยชะสารมลพิษที่ยึดติดอยู่กับสารหรืออนุภาคต่าง ๆ ให้หลุดออกมาในสภาพที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้

2.2.5.6 สารร่วมในกระบวนการย่อยสลาย สารมลพิษบางชนิด เช่น ไตรคลอโรเอททิลลีน (Trichloroethylene) ทำหน้าที่เป็นสารร่วมกระบวนการเผาผลาญอาหารเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน (Metabolism) แบบร่วม ซึ่งในกระบวนการนี้เอนไซน์จะทำปฏิกิริยากับสารที่ใช้ในการเจริญเติบโตได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ใช้ก๊าซมีเทนในการเจริญเติบโตสามารถย่อยสลายไตรคลอโรเอททิลลีนได้

2.2.5.7 การแสดงออกของยีน ความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ซึ่งใช้ในกระบวนการย่อยสลาย ในบางกรณีที่ความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำเกินไป ทำให้ไม่สามารถกระตุ้นการแสดงออกของยีนได้ จึงต้องมีการเติมตัวเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีนลงไป เพื่อให้ยีนที่เกี่ยวข้องถูกแปรรหัสเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารมลพิษได้

2.3 คลองแสนแสบและแนวทางการแก้ปัญหาน้ำเสียในคลอง

คลองขนาดต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร มีความยาวรวมกันประมาณ 1,890 กิโลเมตร โดยมีพื้นที่ประมาณ 1500 ตารางกิโลเมตร (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, 2537 อ้างถึงใน วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ, 2542: 2–6)

คลองแสนแสบเป็นคลองหนึ่งที่มีความสำคัญ เชื่อมระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำบางปะกงซึ่งขุดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 3 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นเส้นทางคมนาคม ในการลำเลียงพลและเสบียงอาหารผ่านพื้นที่ของกรุงเทพมหานครและจังหวัดฉะเชิงเทรา มีระยะทาง 72 กิโลเมตร (วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ, 2542: 1–2)

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของคลองแสนแสบ

วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ (2542: 2–5) ได้กล่าวถึงความเป็นมาของคลองแสนแสบ ตามหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ได้บันทึกไว้ว่า เจ้าพระยาบดินทร์เดชาได้กราบบังคมทูลเสนอพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว ให้ขุดคลองเพื่อเป็นเส้นทางการส่งเสบียงอาหารในการทำสงครามกับญวณ โดยมีพระยาศรีพิพัฒนรัตนราชชาบดี (ดิศ บุญนาค) เป็นผู้ควบคุมการขุดคลอง (ต่อมา พระยาศรีพิพัฒนรัตนราชชาบดี ได้เป็นเจ้าพระยาพระคลังและสมเด็จเจ้าพระยาบรมมหาพิชัยญาติ) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2380 จนถึงปี พ.ศ. 2383 โดยขุดตั้งแต่หัวหมากถึงบางขนาก ความยาว 1,337 เส้น 19 วา 2 ศอก กว้าง 4 วา ลึก 4 ศอก ใช้เงินทุนทั้งสิ้น 96,534 บาท 1 สลึง โดยจ้างแรงงานชาวจีน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม 2537 อ้างถึงใน วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ, 2542: 2–5)

นอกจากนี้ คลองแสนแสบ ยังมีประวัติความเป็นมาเป็นที่รู้จักของประชาชนมากกว่าคลองจำนวนมากในกรุงเทพมหานคร การที่ชื่อ คลองแสนแสบ เนื่องจากคลองนี้ขุดผ่านบึงแสนแสบซึ่งมีบริเวณกว้างอยู่ระหว่างตำบลหัวหมากกับเมืองมีนบุรี ซึ่งขณะนั้นเป็นชุมชนหัวเมือง ดังจะเห็นว่ามีศาลจังหวัดมีนบุรีอยู่ในปัจจุบัน เล่ากันว่าในสมัยนั้นพื้นที่บริเวณขุดคลองยังเป็นป่ารก มียุงป่าชุกชุมมาก การขุดคลองด้วยแรงงานคนกระทำด้วยความยากลำบาก เนื่องจากถูกยุงกัดจนเนื้อตัวแสบ ซึ่งตรงกับรายงานของ Mr. D.O. King นักสำรวจชาวอังกฤษ (พงษ์ศักดิ์ ไพรยังกูร, 2537 อ้างถึงใน วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ, 2542: 2–5) ที่ได้กล่าวไว้ตอนหนึ่งเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศและความเป็นอยู่ของประชาชนบริเวณคลองแสนแสบว่า คลองนี้มีความยาว 55 ไมล์ เชื่อมนครกรุงเทพฯ กับแม่น้ำบางปะกง ผ่านบริเวณที่ราบชนบท ซึ่งใช้สำหรับการเพาะปลูกข้าว โดยเฉพาะคนพื้นเมืองเป็นคนเชื้อสายมาเลเซีย เช่นเดียวกับชาวสยามอื่น ๆ

พื้นบ้านของคนเหล่านี้ทำด้วยไม้ผ่าเกยยกขึ้นสูงจากพื้นประมาณ 4 ฟุต เสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นผ้ารัดเอวธรรมดา ๆ และไม่ว่าพวกเขาจะทำอะไรอยู่ก็ตาม มือข้างหนึ่งจะต้องปัดยุงอยู่เสมอ เมื่อขุดคลองแล้วสองฝั่งคลองโดยเฉพาะที่ทุ่งหัวหมากและทุ่งมีนบุรี ก็ได้ใช้น้ำทำนาและเป็นเส้นทางส่งเสบียงให้แก่กองทัพที่ไปรบกับญวณ

คลองแสนแสบ ซึ่งขุดในสมัยรัชกาลที่ 3 มีความยาวเพียงประมาณ 53.52 กิโลเมตรหรือ 1,337 เส้น 19 วา 2 ศอก (1 เส้น = 20 วา และ 1 วา = 2 เมตร) ต่อมา ในสมัยรัชกาลที่ 4 กับรัชกาลที่ 5 ได้มีการขุดคลองบริเวณกรุงเทพมหานครตัดจากทุ่งหัวหมากเข้ามาเชื่อมต่อกับคลองมหานาค เรียกว่า คลองบางกะปิ ตามชื่อทุ่งบางกะปิ ซึ่งเป็นลำคลองขุดเดิมบางส่วนตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 1 และขุดเพิ่มสมัยรัชกาลที่ 2 ปัจจุบันจึงถือว่าคลองแสนแสบเริ่มต้นตั้งแต่คลองมหานาคตัดกับคลองผดุงกรุงเกษม (บริเวณทิศใต้ของที่ตั้งกรมประชาสงเคราะห์) จนถึงแม่น้ำบางปะกงที่ตำบลขนาก มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 72 กิโลเมตร

ปัจจุบันบริเวณริมคลองแสนแสบจะมีการปลูกสร้างบ้านเรือนเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยอยู่รวมกันเป็นชุมชนต่าง ๆ ประชาชนส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ริมคลองแสนแสบจะมีน้ำประปาใช้ น้ำที่ผ่านการใช้จะไหลลงสู่ท่อระบายน้ำคลองซอยก่อนที่จะไหลลงสู่คลองแสนแสบ ดังนั้น คลองแสนแสบจึงถูกใช้งานเป็นคลองระบายน้ำในเขตพื้นที่ต่าง ๆ ที่คลองไหลผ่าน ปัจจุบันคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบมีค่าดังในตารางที่ 2.3 นอกจากนั้นคลองแสนแสบยังเป็นเส้นทางคมนาคมโดยมีเรือโดยสารแล่นให้บริการรับ – ส่ง จากท่าเรือวัดศรีบุญเรืองจนถึงท่าเรือสะพานผ่านฟ้าทุกวัน ตั้งแต่เวลา 06:00 –19:00 น. โดยมีประชาชนเป็นจำนวนมากที่อาศัยการเดินทางด้วยวิธีนี้

ตารางที่ 2.3 คุณภาพน้ำคลองแสนแสบ พ.ศ. 2546

สถานที่เก็บน้ำ	อุณหภูมิ ^{o}C	pH	DO mg/l	BOD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH_3N mg/l	NO_2 mg/l	NO_3 mg/l	H_2S mg/l	Total Coliform col./100 ml
ถนนอโศก	28.2	7.22	1.2	12.6	26	9.2	5.1	0.06	0.9	0.2	3.0E+05
ดินแดง											
ประตูระบายน้ำแสนแสบ (ถนนเพชรบุรีซอยประสานมิตร)	28.2	7.23	0.7	15.2	26	8.6	4.2	0.05	0.9	0.3	3.6E+05

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สถานที่เก็บน้ำ	อุณหภูมิ ^0C	pH	DO mg/l	BOD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH_3N mg/l	NO_2 mg/l	NO_3 mg/l	H_2S mg/l	Total Coliform col./100 ml
ซอยเทพลีลา	28.2	7.21	0.6	22.6	40	8.4	4.9	0.07	1.1	0.2	5.1E+05
สะพานบางกะปิ	28.2	7.19	1.3	10.5	26	7.3	3.1	0.05	0.8	0.3	2.8E+05
วัดบำเพ็ญเหนือ	28.2	7.29	2.7	6.3	22	4.7	2.0	0.03	0.4	0.0	1.2E+05
มีนบุรี (โรงเรียนสตรีวิทยามีนบุรี)	28.2	7.30	3.5	8.3	20	3.8	1.4	0.03	0.3	0.0	5.8E+04
ประตูระบายน้ำแสนแสบ (กรมชลประทาน)	28.2	7.33	3.9	5.3	18	2.7	0.6	0.01	0.2	0.0	8.3E+04
สะพานประตูน้ำเวิลเทรดเซ็นเตอร์	29.3	7.21	0.3	16.5	49	8.1	3.7	0.05	0.7	0.2	2.8E+05

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก กรุงเทพมหานคร. สำนักการระบายน้ำ, 2548.

หมายเหตุ: pH = ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

DO = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

BOD = ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ

SS = ปริมาณของแข็งแขวนลอย

TKN = ปริมาณของออร์แกนิกไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน

NH_3N = ปริมาณแอมโมเนียม – ไนโตรเจน

NO_2 = ปริมาณไนไตรต

NO_3 = ปริมาณไนเตรต

H_2S = ปริมาณซัลไฟล์ในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Total Colifrom = ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด

2.3.2 **ประเด็นที่ต้องคำนึงในการนำระบบบำบัดน้ำเสียรวมมาใช้กับกรุงเทพมหานคร**

ในอดีตคลองเป็นที่รองรับสิ่งสกปรกจากอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ริมคลอง และยังทำหน้าที่ในการระบายน้ำฝน ซึ่งในอดีตชุมชนยังมีขนาดเล็ก อีกทั้งโรงงานอุตสาหกรรมยังมีจำนวนไม่มากนัก สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ระบายลงสู่คลอง จึงอยู่ในขีดความสามารถที่คลองจะรองรับได้ แต่ในปัจจุบันชุมชนมีขนาดใหญ่ขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมมีปริมาณมากขึ้น สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและระบายลงสู่คลองจึงเกินความสามารถที่คลองจะบำบัดตัวเองได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ทั้งนี้สภาพการเน่าเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งสกปรกที่ระบายลงสู่คลอง

จากสภาพการเน่าเสียของน้ำในคลอง หากต้องการแก้ปัญหาก็ต้องไม่ระบายน้ำเสียลงคลอง โดยการรวบรวมน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน และน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชุมชนแล้วนำไปบำบัดก่อนระบายลงสู่คลอง แต่การนำระบบบำบัดน้ำเสียรวมมาใช้กับกรุงเทพมหานคร มีประเด็นที่ต้องคำนึง ดังนี้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2536: 2–4)

2.3.2.1 กรุงเทพมหานครตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำเจ้าพระยา พื้นดินอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1 เมตร มีปัญหาแผ่นดินทรุดตลอดเวลา ทำให้การก่อสร้างท่อระบายน้ำเสียต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าปกติ

2.3.2.2 เนื่องจากขาดการวางแผนล่วงหน้าจึงไม่มีการสงวนพื้นที่สำหรับแนวท่อระบายน้ำเสียและสถานที่ที่ใช้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมที่เหมาะสม (ซึ่งควรอยู่กระจายเพื่อลดขนาดและความลึกของท่อระบายน้ำเสีย) ทำให้มีปัญหาในการจัดหาที่ดินที่ต้องการใช้ นอกจากนี้ยังมีสิ่งต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น เสาเข็มของอาคารสูง สะพาน หรือทางด่วนต่าง ๆ รวมทั้งอุโมงค์ส่งน้ำประปา เป็นต้น สิ่งก่อสร้างใต้ดินเหล่านี้ นอกจากจะทำให้ค่าก่อสร้างสูงแล้ว ยังอาจมีปัญหาการขัดขวางด้านเทคนิคอีกด้วย

2.3.2.3 ระบบระบายและบำบัดน้ำเสียรวม มีความเหมาะสมเฉพาะในบริเวณชุมชนหนาแน่นเท่านั้น บริเวณชานเมืองหากจะทำระบบระบายและบำบัดน้ำเสียรวมจะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ซึ่งรัฐบาลคงไม่สามารถดำเนินการได้

2.3.2.4 คลองในกรุงเทพมหานครเชื่อมต่อกันตลอด เว้นแต่จะมีการก่อสร้างประตูระบายน้ำกั้นไว้ ทำให้โดยปกติน้ำเสียบริเวณชานเมือง และทางด้านเหนือกรุงเทพมหานคร เช่น เขตดอนเมือง เขตมีนบุรี อำเภอลำลูกกา อำเภอรังสิต และอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เป็นต้น จะไหลผ่านระบบคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพื่อระบายลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาต่อไป ทำให้การก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมในบริเวณชุมชนหนาแน่นเพียงประการเดียวไม่สามารถแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสียในคลองได้

2.3.2.5 คลองต่าง ๆ จะใช้เป็นทางระบายน้ำฝนในกรณีที่ฝนตก น้ำฝนจะชะล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ ตามพื้นดินแล้วระบายลงสู่คลอง ทำให้น้ำในคลองเกิดการเน่าเสียได้

2.3.2.6 ถึงแม้น้ำเสียชุมชนจะผ่านระบบบำบัดน้ำเสียก่อนระบายทิ้ง แต่น้ำทิ้งสุดท้ายก็ยังคงมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) อยู่สูง ซึ่งตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนกำหนดค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายอิ่มตัวของน้ำในคลอง มีค่าประมาณ 8 – 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการลดสลายค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ในน้ำทิ้งดังกล่าว

2.3.3 แนวทางการแก้ปัญหาน้ำเสียในคลอง

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2536: 2 – 4) ได้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสียของคลองในกรุงเทพมหานครว่าจำเป็นต้องใช้หลาย ๆ วิธีเข้าผสมผสานกัน โดยเสนอมาตรการดำเนินการดังนี้

2.3.3.1 กำหนดขอบเขตพื้นที่ในเขตชุมชนหนาแน่นซึ่งรัฐบาลหรือกรุงเทพมหานครจะลงทุนก่อสร้างระบบระบายและบำบัดน้ำเสียรวม โดยอาจแบ่งออกเป็นหลายระยะตามความเหมาะสมสำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษา (Operation and Maintenance; O&M) ให้เรียกเก็บจากผู้ที่อยู่อาศัยหรือมีธุรกิจอยู่ในพื้นที่นั้น

2.3.3.2 ในส่วนของพื้นที่นอกโครงการบำบัดน้ำเสียรวม ให้ดำเนินการ 2 วิธี คือ

1) ใช้มาตรการทางกฎหมายบังคับให้อาคารทุกหลังมีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่กับที่ (On Site Treatment) อย่างน้อยที่สุดให้มีระบบบ่อเกรอะ บ่อซึม บำบัดน้ำเสียจากส้วม ส่วนน้ำใช้ให้มีบ่อดักตะกอนและไขมันก่อนระบายทิ้ง โดยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

(1) มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร (30 ตุลาคม พ.ศ. 2532) ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม107 ตอนที่ 18 ลงวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2533

(2) พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535

(3) พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535

(4) พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535

2) ดำเนินการบำบัดน้ำเสียในคลองต่าง ๆ ตามความเหมาะสม เพื่อลดค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ให้อยู่ในขีดความสามารถที่คลองต่าง ๆ จะรองรับได้

2.3.3.3 ดำเนินการป้องกันไม่ให้น้ำเสียนอกเขตกรุงเทพมหานคร ถูกระบายเข้ามาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร รวมทั้งพิจารณาดำเนินการผันน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามาช่วยเจือจาง และทำให้น้ำในคลองมีการหมุนเวียนในช่วงฤดูแล้ง

2.3.4 รูปแบบการบำบัดน้ำเสียในคลอง

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC) หรือระบบอื่น ๆ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในคลองได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการไหลของน้ำในคลองแล้ว สามารถแบ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียของน้ำในคลองออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้ (จักรพันธุ์ ปัญจะสุวรรณ, 2545: 252)

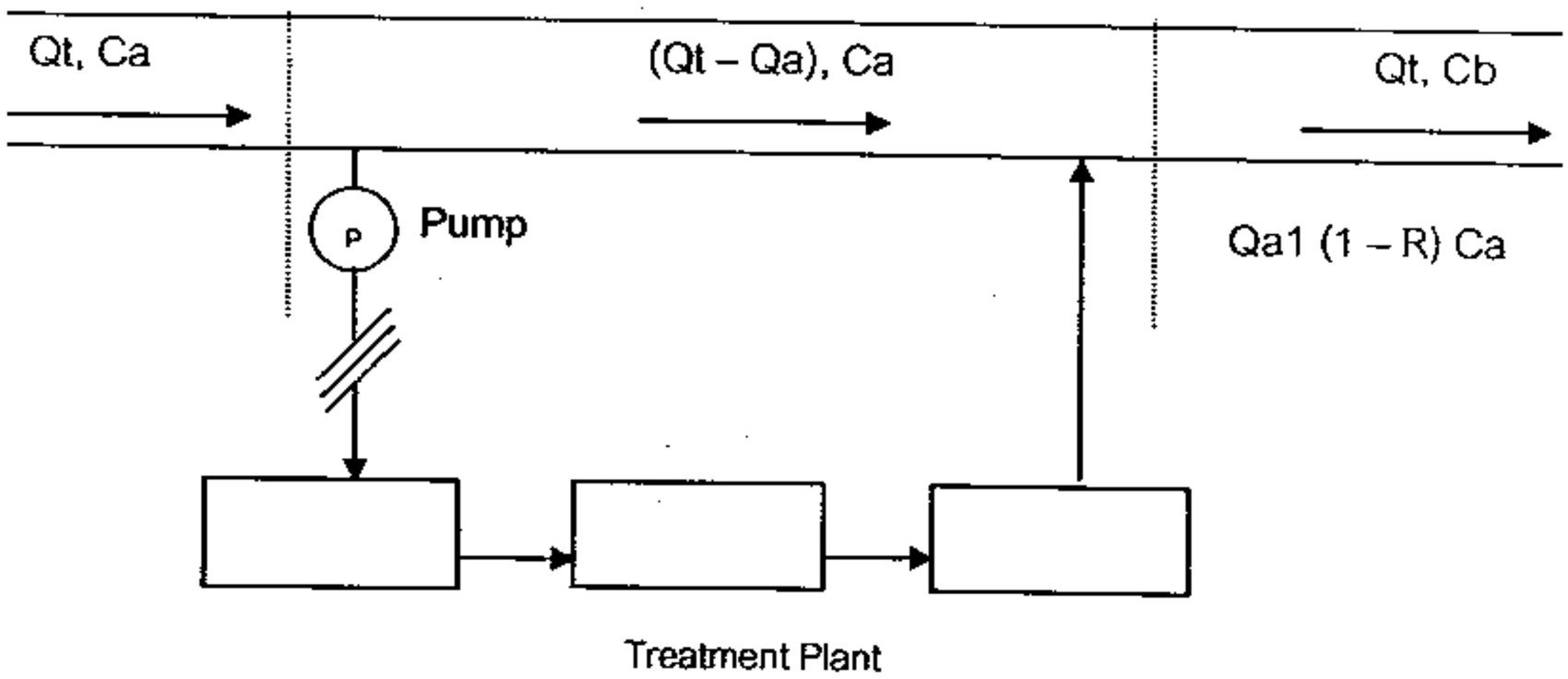
2.3.4.1 การสูบน้ำในคลองบางส่วนขึ้นมาบำบัด แล้วระบายกลับ (Treatment of Flow in By – pass)

วิธีการนี้ ได้แก่ การติดตั้งเครื่องสูบน้ำไว้ริมคลองเพื่อทำการสูบน้ำคลองบางส่วนขึ้นมาทำการบำบัด โดยใช้ระบบบำบัดชนิดใดชนิดหนึ่งก็ได้ตามความเหมาะสมแล้วจึงระบายน้ำทิ้งสุดท้ายกลับลงในคลองตามเดิม

ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียแบบนี้ คือ ไม่มีผลกระทบต่อการระบายน้ำของคลองและการคมนาคมทางน้ำ แต่ข้อเสีย คือ ต้องหาที่ดินก่อสร้างระบบบำบัดน้ำ และการบำบัดทำได้เพียงบางส่วนของน้ำในคลองเท่านั้น

2.3.4.2 การบำบัดโดยใช้คลองเป็นตัวระบบบัดบัดน้ำเสีย (In – situ Treatment)

วิธีการนี้ ได้แก่ การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในคลองโดยตรง ตามปกติตัวคลองถือว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดหนึ่ง คือ ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Ponds) ซึ่งเป็นระบบแบบธรรมชาติ ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ยจะมีขีดความสามารถในการรับความสกปรกของน้ำในรูปปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ประมาณไม่เกิน 0.025 กิโลกรัมบีโอดี/ตารางเมตร/วัน หรือ 40 ตารางเมตร/กิโลกรัมบีโอดี/วัน ดังนั้น หากจะใช้คลองเป็นตัวระบบบำบัดน้ำเสีย จะต้องทำการเพิ่มขีดความสามารถในการกำจัดปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ของคลองให้มากขึ้น



ภาพที่ 2.6 แสดงแผนผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียในคลองบางส่วน โดยวิธีสูบขึ้นมาบำบัด

หมายเหตุ: Qt = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลอง; หน่วย ปริมาตร/เวลา

Qa = ปริมาณน้ำที่สูบขึ้นมาบำบัด; หน่วยเดียวกับ Qt

Qa/Qt = อัตราส่วนน้ำคลองที่ผ่านระบบบำบัด/น้ำที่ไหลผ่านคลองทั้งหมด

Ca = ค่า BOD ของน้ำคลองเดิม; หน่วย น้ำหนัก/ปริมาตร

Cb = ค่า BOD ของน้ำคลองภายหลังมีระบบบำบัด; หน่วยเดียวกับ Ca

R = ประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD ของระบบบำบัด

Cb = Ca (1 – (Qa/Qt).R) จากสมดุลย์ของปริมาณ BOD

Qt . Cb = (Qt – Qa) . Ca + Qa . (1 – R) . Ca

Cb = Ca (1 – (Qa/Qr).R)

2.3.4.2 **การบำบัดโดยใช้คลองเป็นตัวระบบบัดบัดน้ำเสีย** (In – situ Treatment) **วิธีการนี้ ได้แก่ การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในคลองโดยตรง ตามปกติตัวคลอง ถือว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดหนึ่ง คือ ระบบบ่อผึ่ง** (Oxidation Ponds) **ซึ่งเป็นระบบแบบธรรมชาติ ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ยจะมีขีดความสามารถในการรับความสกปรกของน้ำในรูปปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ** (BOD) **ประมาณไม่เกิน** 0.025 **กิโลกรัมบีโอดี/ตารางเมตร/วัน หรือ** 40 **ตารางเมตร/กิโลกรัมบีโอดี/วัน ดังนั้น หากจะใช้คลองเป็นตัวระบบบำบัดน้ำเสีย จะต้องทำการเพิ่มขีดความสามารถในการกำจัดปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ** (BOD) **ของคลองให้มากขึ้น**

การเพิ่มขีดความสามารถในการกำจัดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ของคลอง มีองค์ประกอยที่จะต้องพิจารณาดังนี้

1) ออกซิเจน

น้ำในคลองเน่าเสียเนื่องจากการขาดออกซิเจนละลาย ตามปกติคลองจะได้รับออกซิเจนละลายจากการแพร่กระจาย (Diffusion) ของออกซิเจนในอากาศสู่ผิวน้ำ ถ้าผิวน้ำกระเพื่อมการแพร่กระจายของออกซิเจนก็สูง นอกจากนี้น้ำในคลองยังได้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำ เช่น สาหร่ายทั่วไปหรือสาหร่ายสีเขียว (Algae) เป็นต้น ดังนั้น เมื่อการได้ออกซิเจนตามธรรมชาติไม่เพียงพอ ก็จำเป็นต้องให้ออกซิเจนโดยใช้เครื่องมือกลชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องเติมอากาศซึ่งมีหลายรูปแบบ การเติมออกซิเจนบริสุทธิ์ หรือการเติมสารจำพวกเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) หรือโอโซน (Ozone) เป็นต้น

2) แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียที่ต้องการ ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนละลายในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายปนอยู่ในน้ำ (Aerobic Bacteria) ซึ่งโดยธรรมชาติจะมีทั่วไปในแหล่งน้ำ แต่สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง คือ ปริมาณหรือจำนวนแบคทีเรียมีเพียงพอตามที่ต้องการหรือไม่

เนื่องจากสภาพน้ำคลองจะไหลผ่านตลอด จึงไม่มีการนำตะกอนย้อนกลับดังเช่นที่กระทำในระบบเลี้ยงตะกอน ชนิดของระบบบำบัดจึงถูกจำกัดให้เป็นระบบบ่อเติมอากาศหรือระบบที่มีแผ่นตัวกลางแบคทีเรียเกาะ เช่น ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC) หรือระบบฟิล์มตรึงเติมอากาศ (Combination of Fixed Film and Aeration System; CFFAS) นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปัญหาการชะล้างตะกอนแบคทีเรียในช่วงที่ฝนตก ซึ่งน้ำในคลองจะไหลแรงกว่าปกติอีกด้วย

3) สภาพทางชลศาสตร์ของคลอง

องค์ประกอบที่จะต้องพิจารณาอีกประการหนึ่ง คือ สภาพทางชลศาสตร์ของคลอง ซึ่งได้แก่ ระดับน้ำในคลองมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบที่ออกแบบ เช่น เครื่องเติมอากาศ ควรใช้แบบทุ่นลอย ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Bacteria Contactor; RBC) หรือระบบฟิล์มตรึงเติมอากาศ (Combination of Fixed Film and Aeration System; CFFAS) ก่อสร้างแบบทุ่นลอยได้หรือไม่ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงการใช้ประโยชน์จากคลองในการระบายน้ำฝน การคมนาคม และด้านสันทนาการ ประกอบการศึกษาออกแบบด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hale (1979 อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์, 2531: 8) ได้ทดลองนำน้ำกากส่าเหล้าซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเหล้ารัมมาเลี้ยง Marine Bacteria พบว่า Marine Bacteria สามารถเจริญเติบโตได้ดีและยังทำให้คุณภาพของน้ำกากส่าเหล้าดีขึ้น

Gonzalez (1980 อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์, 2531: 8) ได้ทดลองนำยีสต์มาเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าที่ได้จากโรงงานผลิตเหล้ารัมในอัตราส่วนที่ดีที่สุด คือ 1 : 1 ผสมด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.15 และโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตร้อยละ 0.10 หลังจากเลี้ยง 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ได้ร้อยละ 60 และได้ยีสต์เป็นผลผลิต 10 กรัมต่อลิตร โดยมีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 32 – 40 โดยน้ำหนักแห้ง

สกุณณี กุณฑียะ (2526 อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์, 2531: 9) ได้ทดลองนำน้ำกากส่าเหล้ามาเลี้ยง จุลินทรีย์โปรตีน พบว่า เชื้อยีสต์สายพันธุ์ Candida Valida K_{001} สามารถเจริญเติบโตในน้ำกากส่าเหล้าโดยควบคุมสภาพให้เหมาะสมจะได้โปรตีนรวม (Crude Protein) ร้อยละ 53.87 ค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) และปริมาณความต้องการออกซิเจนในการสลายสารเคมีในน้ำ (COD) ลดลงร้อยละ 44.82 และ 44.09 และยังลดความเข้มของสีลงร้อยละ 49.46 ส่วนเชื้อยีสต์สายพันธุ์ Candida Utilis ATCC Strain จะให้ปริมาณโปรตีนรวมร้อยละ 41.10 ค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) และปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารเคมีในน้ำ (COD) ลดลงร้อยละ 27.68 และ 29.13 และยังลดค่าความเข้มของสีได้ร้อยละ 35.7

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2528: 65) ได้ทำการแยกและตรวจสอบหาเชื้อราที่มีความสามารถในการฟอกสีกากน้ำตาลจากดินและน้ำในประเทศไทยโดยเฉพาะจากโรงงานสุรา รวมทั้งเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่เก็บไว้ที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวนทั้งสิ้น 228 สายพันธุ์ พบว่า มีจำนวน 9 สายพันธุ์ ที่มีความสามารถในการฟอกสีกากน้ำตาลได้ตั้งแต่ร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราเหล่านี้มีความต้องการแหล่งอาหารไนโตรเจน ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และมีความเป็นกรด – ด่างแตกต่างกัน โดยเฉพาะเชื้อราที่แยกได้บางสายพันธุ์ สามารถเจริญเติบโตและสามารถฟอกสีกากน้ำตาลได้ดีที่สุด เมื่อเติมน้ำตาลกลูโคส ร้อยละ 2.5 และผงยีสต์สกัดร้อยละ 0.2 เพื่อเป็นแหล่งอาหารไนโตรเจน ปรับสภาวะความเป็นกรด – ด่าง (pH) 6.0 ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.15 สามารถฟอกสีกากน้ำตาลได้สูงถึงร้อยละ 93 ในเวลา 10 วัน อย่างถูกต้องตามกฎข้อบังคับของกระทรวงอุตสาหกรรม

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2528: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยการกำจัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ ได้ผลการศึกษา ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังกำลังผลิต 1.5 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่า น้ำทิ้งเกิดขึ้น 2 ชนิด ได้แก่ น้ำกากสา ซึ่งมีปริมาณ 20 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยมีค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำล้างหัวมัน ซึ่งมีปริมาณ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) การทดลองกำจัดน้ำกากสาด้วยระบบ Anaerobic Digestion ในขั้น Pilot Scale พบว่า ค่า Optimum Hydraulic Retention Time (HRT) มีค่า 4 วัน หรือเทียบเท่ากับค่า BOD Loading = 5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยระบบสามารถลดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ได้ร้อยละ 70 ปริมาณไบโอแก๊สที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 10 เท่า ของปริมาณน้ำทิ้งและค่า Methane Content เท่ากับร้อยละ 65

3) การทดลอง Jar Test น้ำล้างหัวมันในห้องปฏิบัติการนั้น พบว่า สารส้มและปูนขาวสามารถลดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ได้ร้อยละ 79.5 และ 77.3 ตามลำดับ ในขณะที่การไม่ใช้สารเคมีเลย (Plain Setting) สามารถลดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ของน้ำใสเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม Supernatant ของ Plain Setting จะขุ่นมากเนื่องจากดินที่ติดมากับหัวมันซึ่งเป็น Inert Mass จากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า หากต้องนำน้ำทิ้งนี้ไปกำจัดต่อด้วยระบบ Secondary Treatment แล้ว ระบบ Plain Setting จะมีความเหมาะสมที่สุดที่จะเป็นการบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment)

4) ในการทดลองกำจัดน้ำล้างหัวมันขั้น Pilot Scale โดยใช้สารส้มนั้น พบว่า สามารถลดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ได้ร้อยละ 65 ซึ่งต่ำกว่าการทดลองของ Jar Test เล็กน้อย

5) แนวทางการกำจัดน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดมี 2 วิธี คือ

(1) การกำจัดด้วยระบบหมักน้ำกากสาและระบบตกตะกอนน้ำล้างหัวมันติดตามด้วยระบบเติมอากาศ พบว่า ต้องใช้พื้นที่ 400 ตารางเมตร ค่าก่อสร้างไม่รวมค่าที่ดิน 1,622,500 บาท และเสียค่าใช้จ่าย 473 บาท/วัน โดยได้รับผลตอบแทน คือ ไบโอแก๊ส เทียบเท่ากับน้ำมันเตา 119 ลิตร/วัน คิดเป็นเงินประมาณ 560 บาท/วัน

(2) การกำจัดด้วยระบบบ่อหมักติดตามด้วยระบบบ่อเติมอากาศและบ่อ Polish Pond ระบบนี้ต้องการพื้นที่ประมาณ 2 ไร่ ค่าก่อสร้างไม่รวมค่าที่ดินประมาณ 500,000 บาท และเสียค่าใช้จ่าย 194 บาท/วัน

Frankal (1986 อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์, 2531: 9) ได้ทดลองนำน้ำกากส่าเหล้าที่เป็นน้ำทิ้งจากโรงงานกลั่นสุราที่ใช้กากน้ำตาลจากอ้อย (Sugar – cane Molasses) เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสุรามาหมักโดยใช้จุลินทรีย์จำพวก Anaerobic Bacteria จะได้ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณ 30 เท่าของปริมาณของน้ำกากส่าเหล้าที่ใช้ สำหรับก๊าซมีเทนที่ได้นั้นจะถูกนำไปเผาไหม้ทำให้เกิดพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ของโรงงานต่อไป ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงสาหร่ายได้

จรูญ ลีไตรรงค์ (2531: บทคัดย่อ) ได้ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Spilulina platensis* ด้วยน้ำกากส่าเหล้าที่เตรียมขึ้นด้วยความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.5,8.0 และ 10 เป็นเวลา 16 วัน พบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำกากส่าเหล้าเหมาะสมต่อการเลี้ยง *S. paltensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเลี้ยงอยู่ประมาณ 6 วัน เมื่อนำ *S. platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าและที่เลี้ยงในอาหารสังเคราะห์มาหาโปรตีน พบว่า มีโปรตีน ร้อยละ 51.63 และร้อยละ 45.39 ตามลำดับ จากการทดลองเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำกากส่าเหล้าดังกล่าวมีผลพลอยได้ คือ *S. platensis* สามารถฟอกสีของน้ำกากส่าเหล้าโดยลดความเข้มข้นของสีลงถึงร้อยละ 65.91 – 79.27

Wong and Lowe (1989 อ้างถึงใน อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์, 2542: 5) ศึกษาการใช้แบคทีเรียในรูปของจุลินทรีย์ผสมของเชื้อ *Bacilus amyoliquefaciens* ที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเอส กับเชื้อ *Aerobacteraerogenes* เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แป้ง ไขมัน และโปรตีนบางชนิดให้อยู่ในรูปสารละลายเพื่อง่ายต่อการบำบัด และเมื่อกระตุ้นเชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens* ด้วยออกซิเจนเป็นเวลา 8 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ สามารถลดค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารเคมีในน้ำ (COD) จากเริ่มต้น 425 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือเพียง 110 มิลลิกรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 24

Ozturk et al. (1989 อ้างถึงใน สัญญา พยุงสด, 2539: 6) ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบระบบตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบใช้ออกซิเจน ไปบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ผลการศึกษา จากหลัง Start – up ระบบไปแล้ว 3 เดือน พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพลดค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารเคมีในน้ำ (COD) ได้ร้อยละ 90 ณ อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์

เท่ากับ 10 กิโลกรัม COD/ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยค่า Hydraulic Retaintion Time ที่ใช้ในการทดลองมีระยะเวลา ตั้งแต่ 0.20 – 1.40 วัน

สมบัติ อุยตระกูล, เอนก สถิตย์ไทย และอาทิตย์ ละเอียดดี (2532: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติบำบัดน้ำเสีย และการพัฒนาอนามัยสิ่งแวดล้อมนิคมขนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า การใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติร่วมกับการเติมอากาศ ในสัดส่วนของจุลินทรีย์ 1 : 1,000 และ 1 : 5,000 สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 97.89 และ 97.17 ตามลำดับ ส่วนค่าตะกอนแขวนลอย (SS) ลดลงร้อยละ 92.23 และ 93.23 ตามลำดับ ใช้เวลา 19 วัน ค่าบีโอดีและค่าตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม สำหรับการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (ไม่เติมอากาศ) ที่สัดส่วนของจุลินทรีย์ธรรมชาติเป็น 1 : 1,000 และ 1 : 5,000 นั้น สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 95.08 และ 96.84 ส่วนค่าตะกอนแขวนลอยลดลงได้ร้อยละ 86.73 และ 86.08 ตามลำดับ โดยใช้เวลา 21 วัน และการใช้ จุลินทรีย์ธรรมชาติสามารถลดกลิ่นเหม็นได้

บัน ยีรัมย์ (2534: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปฏิกูลจากส้วมโดยใช้จุลินทรีย์สำเร็จรูป (ไบโอนิค) พบว่า แบคทีเรียสำเร็จรูปมีผลทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งปฏิกูลจากส้วมดีขึ้น ทำให้ลดค่าบีโอดี (BOD) ได้มากกว่า เมื่อไม่มีการเติมจุลินทรีย์สำเร็จรูป แต่ไม่ทำให้ค่าตะกอนแขวนลอย (SS) และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Total Coliform Bacteria) ลดลงในเชิงสถิติ และพบว่า การเติมจุลินทรีย์สำเร็จรูปในปริมาณที่มากขึ้นไม่ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งปฏิกูลจากส้วมดีขึ้น

สารสิน อุยยานนท์ (2538: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย : กรณีศึกษา ณ ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น จากการศึกษา พบว่า น้ำเสียที่ใส่และไม่ใส่จุลินทรีย์ธรรมชาติให้ผลในการบำบัดเช่นเดียวกัน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ที่ใส่ในน้ำเสียไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าลักษณะน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีลักษณะไม่เหมือนน้ำเสียจากแหล่งอื่น เช่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ เป็นต้น น้ำเสียจากโรงพยาบาลจะมีสารปฏิชีวนะ (Antibiotics) และสารเคมีต่าง ๆ ในระดับปริมาณที่สูง จึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติบางกลุ่มสามารถทำงานได้แต่บางกลุ่มไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้น การใส่เชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติลงไปจึงไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ณ ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น

เอนก สถิตย์ไทย (2538: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาทดลองใช้น้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) บำบัดน้ำเสียจากนิคมขนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยพบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพในการลดค่าบีโอ

ดี และปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียให้ผลไม่แตกต่างกันกับการไม่ใช้น้ำสกัดชีวภาพ และในชุดทดลองที่จัดให้มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพในน้ำเสียทุก 7 วันนั้น พบว่า ไม่ช่วยในการบำบัดน้ำเสียแต่กลับทำให้น้ำเสียมีค่าของแข็งแขวนลอยและค่าบีโอดีเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการทดลองเป็นแบบที่มีการเติมน้ำเสียเพียงครั้งเดียว (แบบ Batch)

สัญญา พยุงสด (2539: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากขบวนการผลิตสุราด้วยระบบตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง การทดลองชุดที่ 1 และ 2 ได้กำหนดให้น้ำทิ้งมีค่าความสกปรกในรูปของค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารเคมีในน้ำ (COD) อยู่ในช่วง 1,000 – 5,500 และ 5,500 – 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเดินระบบที่ค่าอัตราการรับสารเคมีได้ในช่วงค่า 4.64 – 44.65 กิโลกรัม COD/ลูกบาศก์เมตร/วัน รวมทั้งระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารเคมีในน้ำ (COD) ของการทดลองทั้ง 2 ชุด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 50.95 – 71.73 และ 44.74 – 71.13 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 60.26 และ 53.89 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.29 – 63.64 และ 6.67 – 50.01 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 36.81 และ 27.60 ตามลำดับ

ลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และ นภาพร วิศวกุล (2540: 25) ศึกษาการใช้น้ำสกัดชีวภาพ (EM) นการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพไม่มีส่วนในการลดค่าของแข็งแขวนลอยและบีโอดีในน้ำเสีย แต่การใช้น้ำสกัดชีวภาพร่วมกับการเติมอากาศจะให้ผลในการบำบัดดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพเพียงอย่างเดียว

อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์ (2542: 86) ได้ทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมันได้และนำแบคทีเรียเหล่านี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า แบคทีเรียต่าง ๆ สามารถทำงานได้ใน 3 กลุ่มความเป็นกรด – ด่าง (pH) คือ กลุ่มแรกทำงานได้ดีที่ความเป็นกรด – ด่าง (pH) เป็นกรด กลุ่มที่ 2 ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรด – ด่าง (pH) เป็นกลาง และกลุ่มที่ 3 ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรด – ด่าง (pH) เป็นด่าง และพบว่า แบคทีเรียทำงานได้ดีใน 2 กลุ่มอุณหภูมิ คือ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง (50 – 60 องศาเซลเซียส) และกลุ่มที่ทำงานได้ดีในอุณหภูมิปานกลาง (30 – 40 องศาเซลเซียส) จากนั้นคัดเลือกแบคทีเรียที่เหมาะสมมา 4 ไอโซเลท เพื่อศึกษาการย่อยสลายน้ำมันพืช พบว่า ย่อยสลายได้ร้อยละ 29 – 31 และสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดีทำให้ลดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารเคมีในน้ำได้ร้อยละ 81.56 – 92.76 และเมื่อศึกษาการใช้แบคทีเรียผสมในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า การใช้เชื้อเดี่ยวให้ผลดีกว่า

เสาวนีย์ ธรรมสถิต (2543: บทคัดย่อ) ศึกษาการใช้แบคทีเรีย 3 สายพันธ์ ได้แก่ *Pseudomonas aeruginosa* LP602, *Bacillus* sp. *β*304 และ *Acinetobacter calcoaceticus* LP009 ร่วมกันบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันสูง โดยวิธีการบำบัดแบบระบบให้อากาศ (Aeration) พบว่า สามารถลดปริมาณไขมันในน้ำเสียจากประมาณ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรเหลือประมาณ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถลดค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) จากระดับเริ่มต้นประมาณ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือเพียงประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลา 15 วัน

Jantana (2001: บทคัดย่อ) พบว่า *Sphingomonas paucimobilis* เป็นแบคทีเรียที่สามารถทนต่อแคดเมียมได้สูงสุดโดยสามารถอยู่รอดในอาหารที่มีแคดเมียมสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ อย่างไรก็ตาม แคดเมียมที่มีความเข้มข้น 25 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้ได้ เซลล์ที่มีชีวิตของแบคทีเรียชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่าเซลล์ที่ไม่มีชีวิต โดยเซลล์ที่มีชีวิตสามารถกำจัดแคดเมียมร้อยละ 84 ที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 6 ในขณะที่เซลล์ไม่มีชีวิตกำจัดได้เพียงร้อยละ 28 ที่ความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 5 นอกจากนี้ พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้นของสารละลาย ความเข้มข้นของตัวดูดซับ ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ และความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้นมีผลต่อการดูดซับแคดเมียมโดยแบคทีเรียชนิดนี้ การดูดซับแคดเมียมโดยแบคทีเรียชนิดนี้ พบว่า เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยประมาณร้อยละ 95 ของการดูดซับทั้งหมดเกิดขึ้นภายใน 50 นาที ค่าความเป็นกรด – ด่างที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแคดเมียมในการทดลองนี้อยู่ระหว่าง 5 กับ 6

Toemthip (2002: บทคัดย่อ) พบว่า *Proteus mirabilis* เป็นแบคทีเรียที่สามารถทนต่อตะกั่วได้สูงสุด โดยสามารถอยู่รอดในอาหารที่มีตะกั่วสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ อย่างไรก็ตามตะกั่วที่มีความเข้มข้น 25 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้ได้ โดยเซลล์ที่มีชีวิตสามารถกำจัดตะกั่วได้ร้อยละ 70 ที่ค่าความเป็นกรด – ด่าง 5.5 ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มีชีวิตกำจัดได้เพียงร้อยละ 51 ที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ความเข้มข้นของตัวดูดซับและความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นมีผลต่อการดูดซับของแบคทีเรียชนิดนี้ การดูดซับตะกั่วของแบคทีเรียชนิดนี้ร้อยละ 95 เกิดขึ้นภายใน 50 นาที ค่าความเป็นกรด – ด่างที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับตะกั่วในการทดลองนี้ ได้แก่ 5.5 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

พิษณุ เอกคณาลักษมี (2547: 35) ศึกษาการใช้น้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหาร โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพในปริมาณต่าง ๆ คือ 0 มิลลิลิตร (ชุดควบคุม) 0.03, 0.3 และ 3 มิลลิลิตร พบว่า น้ำสกัดชีวภาพไม่มีผลในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหาร

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 ภาชนะพลาสติกแบบมีฝาปิดขนาด 5 ลิตร

3.1.2 ภาชนะพลาสติกขนาด 5 ลิตร

3.1.3 ขวดเก็บน้ำตัวอย่าง

3.1.4 น้ำกากส่าเหล้า

3.1.5 กากน้ำตาล

3.1.6 เศษผัก

3.1.7 น้ำสกัดชีวภาพ

3.1.8 กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

3.1.9 กระบอกฉีดยา

3.1.10 เครื่องเติมอากาศ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

นำน้ำกากส่าเหล้าที่เป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตสุราของ บริษัท ประมวลผล จำกัด มาประมาณ 20 ลิตร จากนั้นนำมาตวงแบ่งใส่ภาชนะพลาสติกมีฝาปิดขนาด 5 ลิตร จำนวน 4 ใบ โดยจะใส่น้ำกากส่าเหล้าใบละ 4 ลิตร แล้วจึงเติมวัสดุต่าง ๆ ลงในภาชนะแต่ละใบ เพื่อให้ได้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก (Effective Microorganism from Fermented Slop) ชนิดต่าง ๆ โดยอัตราส่วนของน้ำกากส่าเหล้าต่อเศษวัสดุต่าง ๆ อ้างอิงมาจากอัตราส่วนการทำน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ของ ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ และวิสาขา ภู่จินดา (2548: 56–67) และน้ำสกัดชีวภาพก็จะใช้ตามสูตรของบริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด ส่วนกากน้ำตาลก็จะใช้ที่ความเข้มข้น 82 Brix โดยภาชนะใบต่าง ๆ จะเติมวัสดุดังนี้

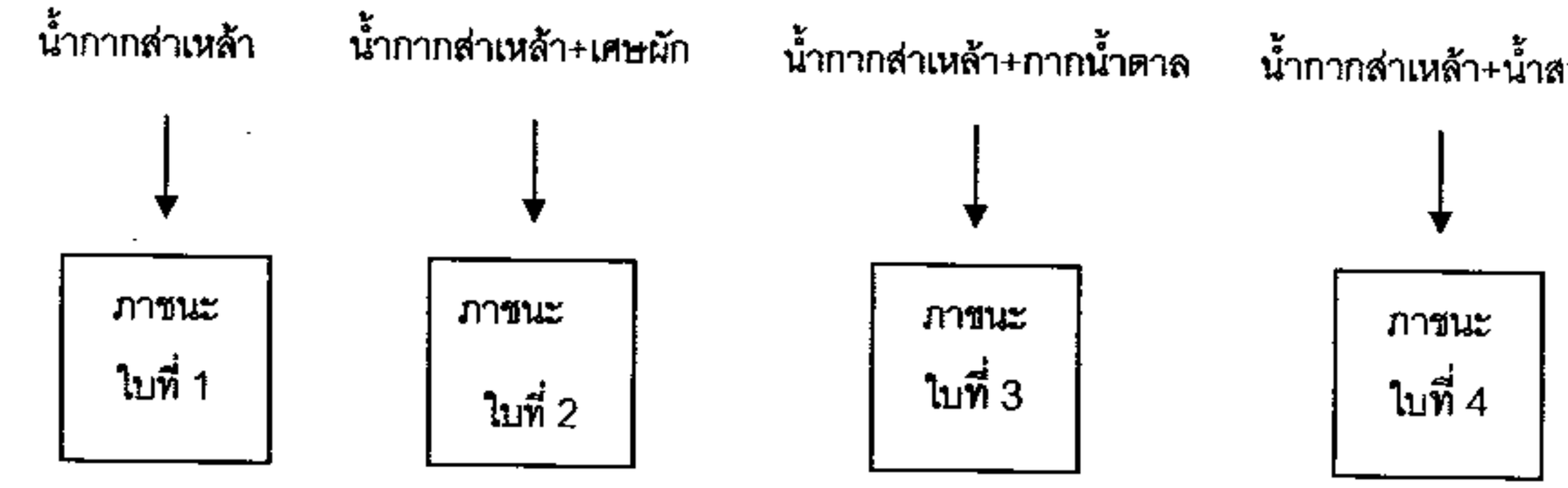
3.2.1.1 ภาชนะใบที่ 1 ไม่มีการเติมวัสดุใด ๆ (น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ชนิดที่ 1)

3.2.1.2 ภาชนะใบที่ 2 เติมเศษผักจำนวน 140 กรัม (น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ชนิด ที่ 2)

3.2.1.3 ภาชนะใบที่ 3 เติมกากน้ำตาลจำนวน 140 มิลลิลิตร (น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ชนิดที่ 3)

3.2.1.4 ภาชนะใบที่ 4 เติมน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) 140 มิลลิลิตร (น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ชนิดที่ 4)

เมื่อเติมส่วนผสมครบแล้วจึงทำการหมักในสภาพไร้อากาศโดยการปิดฝาภาชนะ จากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน จะได้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.1

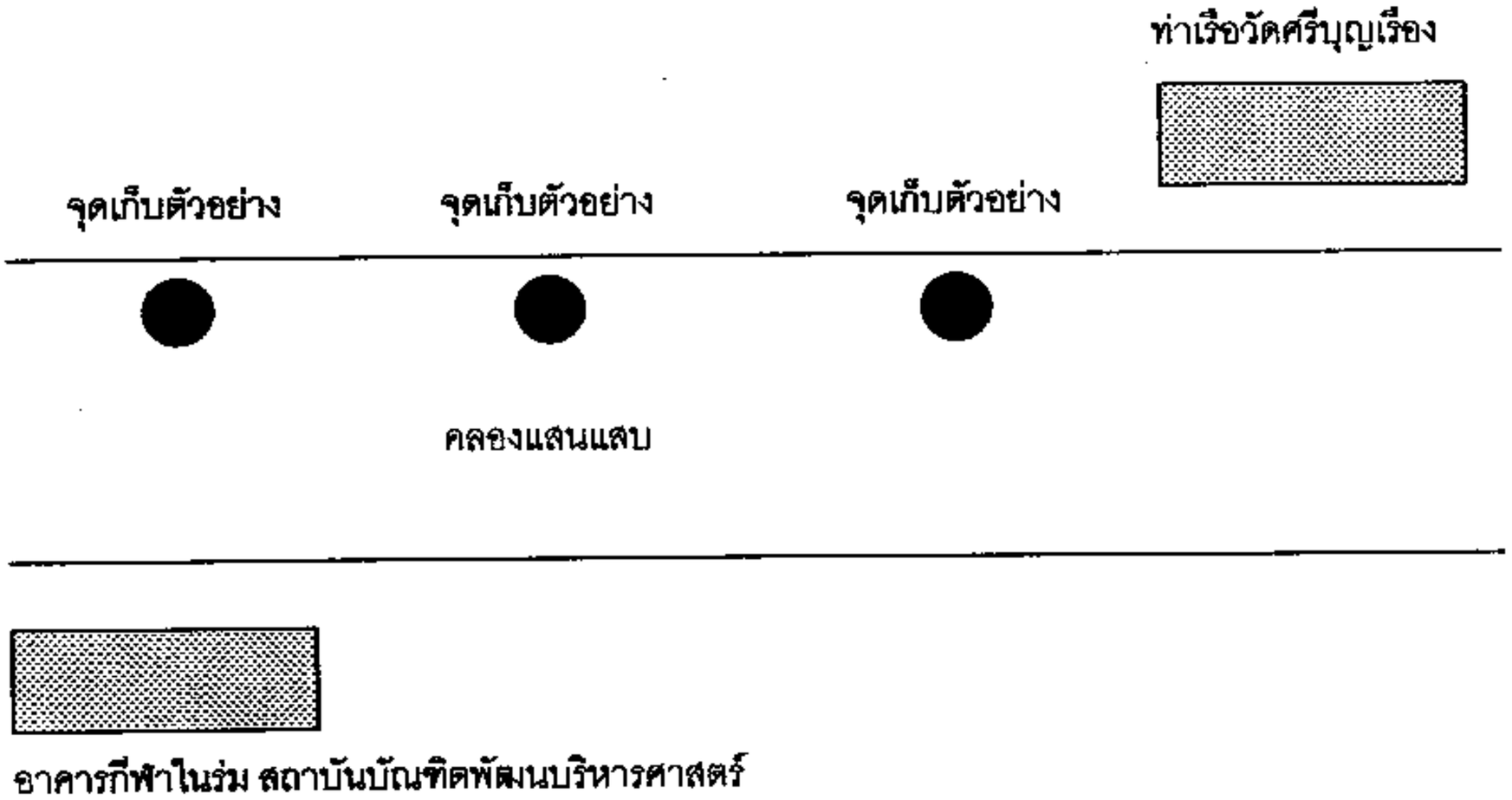


ภาพที่ 3.1 การเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ

3.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบแถบท่าเรือวัดศรีบุญเรือง – อาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ซึ่งทำการเก็บแบบผสมรวม (Composite Sampling) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุดดังภาพที่ 3.2 จุดละ 3 ช่วงเวลา คือ 09.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. โดยในแต่ละครั้งที่เก็บน้ำตัวอย่าง จะเก็บประมาณ 11 ลิตรเท่า ๆ กัน และต้องแช่ในถังน้ำแข็ง เพื่อลดอุณหภูมิ แล้วนำมาเทผสมรวมในภาชนะเดียวกัน ซึ่งจะมีปริมาณทั้งหมดเป็น 99 ลิตร จากนั้น

เก็บสุ่มน้ำตัวอย่างที่ผสมรวมกันแล้ว นำส่งบริษัท เอเซีย แล็บ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ค่าปรอท (Hg) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และนำส่งคณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) ปริมาณตะกั่ว (Pb) และปริมาณแคดเมียม (Cd)



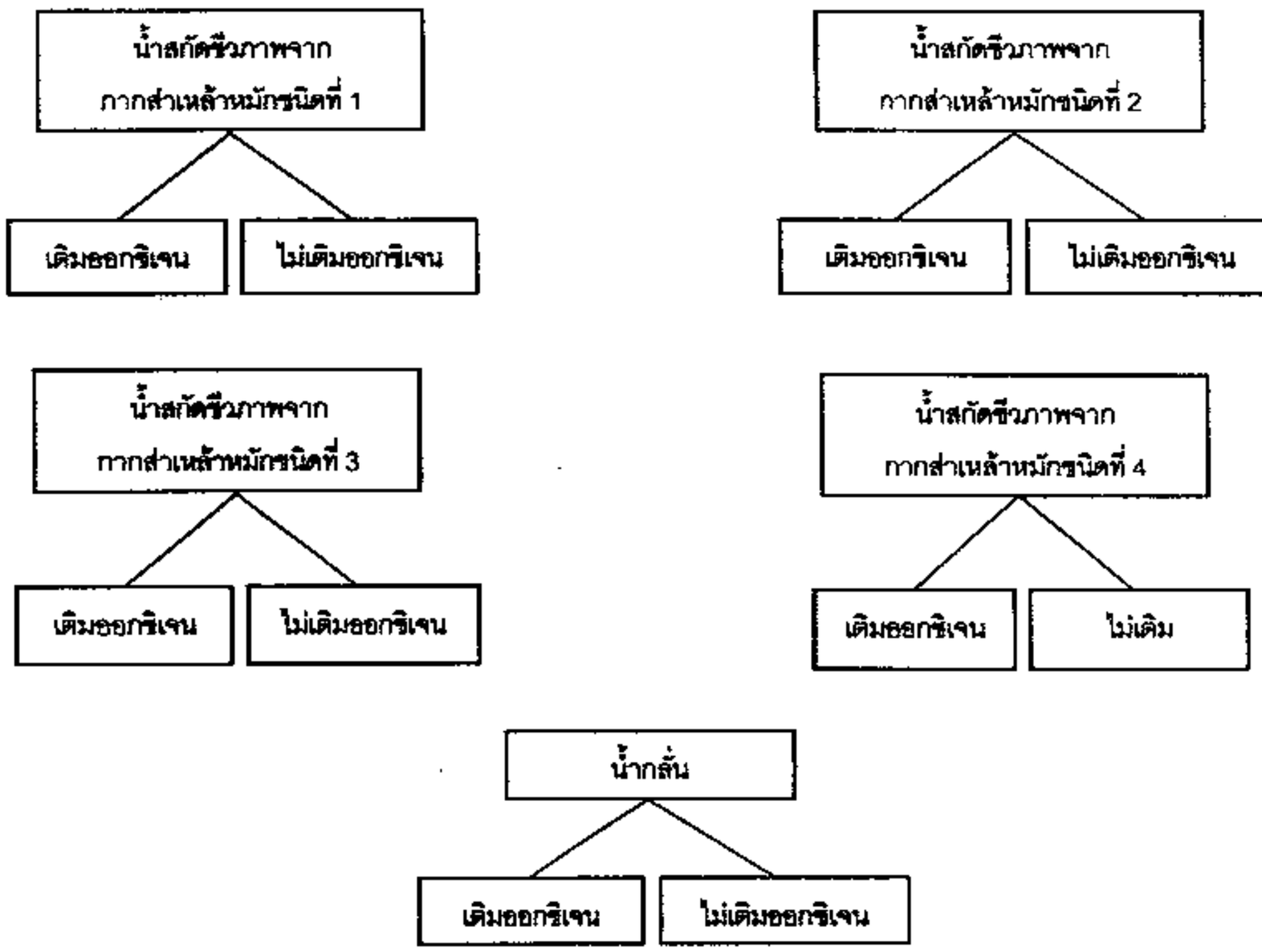
ภาพที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบแถบท่าเรือวัดศรีบุญเรือง – อาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

3.2.3 การวางแผนการทดลองและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองศึกษาคุณภาพน้ำนั้น ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยวางรูปแบบการทดลองแบบ 5 x 2 Factorial Arrangement จำนวน 2 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก โดยแบ่งเป็น 5 ชนิด คือ น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 1, 2, 3 และ 4 (ได้จากการเตรียมตามขั้นตอน 3.2.1) และน้ำกลั่น

ปัจจัยที่ 2 : ออกซิเจน โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน



ภาพที่ 3.3 แสดงรูปแบบการทดลอง 5 x 2 Factorial Arrangement

โดยขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

3.2.3.1 **ตวงน้ำตัวอย่างที่ได้ทำการเก็บมาแล้ว** (ตามขั้นตอน 3.2.2) **จำนวน** 4 **ลิตร ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาด** 5 **ลิตร จำนวน** 20 **ใบ**

3.2.3.2 **แบ่งภาชนะพลาสติกที่ใส่น้ำตัวอย่าง แล้วออกเป็น** 5 **ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ** 4 **ใบ**

3.2.3.3 **เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่ได้จัดเตรียมไว้ (ตามขั้นตอน** 3.2.1) **จำนวน** 4 **มิลลิลิตร หรือคิดเป็นอัตราส่วน น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก: น้ำตัวอย่าง เท่ากับ** 1: 1000 (ลาวัลย์ เอี่ยวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และนภาพร วิศวกุล, 2540: 12) **ลงในชุดการทดลองแต่ละชุดดังนี้**

1) **ชุดการทดลองที่** 1 **เติมน้ำกลั่นใบละ** 4 **มิลลิลิตร**

2) **ชุดการทดลองที่** 2 **เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่** 1 **ใบละ** 4 **มิลลิลิตร**

3) **ชุดการทดลองที่** 3 **เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่** 2 **ใบละ** 4 **มิลลิลิตร**

4) ชุดการทดลองที่ 4 เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 3 ใบละ 4 มิลลิลิตร

5) ชุดการทดลองที่ 5 เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 4 ใบละ 4 มิลลิลิตร

3.2.3.4 แบ่งภาชนะที่เติมน้ำตัวอย่างและน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักในแต่ละชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองย่อย ชุดการทดลองย่อยละ 2 ใบ โดยกำหนดให้เป็นชุด A และชุด B ซึ่งในชุด A จะทำการเติมออกซิเจน ส่วนในชุด B จะไม่มีการเติมออกซิเจน

3.2.3.5 ทำการกำหนดและติดฉลากหมายเลขของภาชนะแต่ละใบโดยกำหนดให้

1) T_1A_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 1 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
2) T_1A_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 1 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
3) T_1B_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
4) T_1B_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
5) T_2A_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 2 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
6) T_2A_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 2 การเติมออกซิเจน ใบที่ 2
7) T_2B_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
8) T_2B_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
9) T_3A_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 3 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
10) T_3A_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 3 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
11) T_3B_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 3 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
12) T_3B_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 3 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
13) T_4A_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 4 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
14) T_4A_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 4 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
15) T_4B_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 4 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
16) T_4B_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 4 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
17) T_5A_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 5 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
18) T_5A_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 5 มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2
19) T_5B_1 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 5 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 1
20) T_5B_2 หมายถึง ชุดการทดลองที่ 5 ไม่มีการเติมออกซิเจน ใบที่ 2

3.2.3.6 ทำการจับฉลากเพื่อจัดวางชุดการทดลอง โดยตำแหน่งการจัดวางชุดการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.4

1 T_4A_2	2 T_3B_1	3 T_2A_1	4 T_4B_2	5 T_5A_2
6 T_3A_2	7 T_2B_2	8 T_4B_1	9 T_1B_2	10 T_5A_1
11 T_4A_1	12 T_1A_1	13 T_3B_2	14 T_2A_2	15 T_5B_2
16 T_1B_1	17 T_2B_1	18 T_3A_1	19 T_1A_2	20 T_5B_1

ภาพที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการจัดวางชุดการทดลอง

3.2.3.7 ต่อท่อออกซิเจนลงในชุดการทดลองย่อย A ทั้งหมดด้วยอัตรา 10 ลิตรต่อนาที (LPM)

3.2.3.8 ทิ้งไว้ในสภาพบรรยากาศปกติจนครบ 6 วันแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากภาชนะแต่ละใบ จำนวน 2 ลิตร ใส่ในภาชนะพลาสติกนำส่งบริษัท เอเชีย แล็บ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด และคณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่

1) ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)
2) ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD)
3) ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม
4) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)
5) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform Bacteria)

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำตัวอย่าง วิธีการวิเคราะห์นั้นจะใช้ตาม Standard Method of Water and Wastewater (APHA. AWWA. and WEF, 1992 อ้างถึงใน ปิยนุช บุญศิริชัย; 2547: 38–39) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	Azide Modification 20°C : 5 วัน
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	pH Meter
ของแข็งแขวนลอย (SS)	Gravimetric Method
ตะกั่ว (Pb)	HNO_3 (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มีค่า pH น้อยกว่า 2 และ วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AA) (HITACHI รุ่น Z8200)
แคดเมียม (Cd)	HNO_3 (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มีค่า pH น้อยกว่า 2 และ วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AA)(HITACHI รุ่น Z8200)
ปรอท (Hg)	HNO_3 (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มีค่า pH น้อยกว่า 2 และ วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AA) (AJ รุ่น NOVAA300)

แหล่งที่มา: APHA. AWWA and WEF, 1992 อ้างถึงใน ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 38–39.

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษา จะวิเคราะห์หาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (Analysis of Varience; ANOVA) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS Version 6.12 (SAS Institute, 1996: 10)

3.5 การบันทึกข้อมูล

3.5.1 วันที่เริ่มทำการทดลอง

3.5.2 คุณภาพของน้ำตัวอย่างและโลหะหนักในน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง

3.5.3 คุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักและโลหะหนักในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ

3.5.4 คุณภาพของน้ำตัวอย่างและโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง

3.5.4.1 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 1 ชุดการทดลองที่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.2 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 1 ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.3 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 2 ชุดการทดลองที่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.4 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 2 ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.5 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 3 ชุดการทดลองที่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.6 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 3 ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.7 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 4 ชุดการทดลองที่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.8 เมื่อทดลองกับน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดที่ 4 ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.9 เมื่อทดลองกับน้ำกลั่น ชุดการทดลองที่มีการเติมออกซิเจน

3.5.4.10 เมื่อทดลองกับน้ำกลั่น ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมออกซิเจน

3.6 ระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

การดำเนินการครั้งนี้ใช้เวลาประมาณ 7 เดือน คือ ตั้งแต่เดือนมีนาคม – เดือนกันยายน พ.ศ. 2548 และทำการทดลองบริเวณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาภาษีเจริญ อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร โดยมีแผนการทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง

กิจกรรม	ระยะเวลา						
	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน
1. ศึกษาหลักการแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←———	———	———	——→			
2. วางแผนการทดลอง			←———	———	——→		
3. เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์				←———	——→		
4. ดำเนินการทดลอง				←———	———	——→	
5. เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล					←———	——→	
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ						←———	——→
7. จัดทำรูปเล่ม							←——→

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบแถบบริเวณท่าเรือวัดศรีบุญเรือง – ด้านหลังอาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เพื่อนำไปทดลองบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ โดยได้ส่งตัวอย่างน้ำก่อนการทดลองไปทำการวิเคราะห์คุณภาพที่บริษัท เอเซีย แล็บ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด และที่คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิเคราะห์รายละเอียดดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 พบว่า น้ำตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด – ด่าง ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ปริมาณบีโอดี ปรอท และโคลิฟอร์ม ทั้งหมด มีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยนั้น ในมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินไม่มีกำหนดไว้

ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบก่อนการทดลอง

ดัชนีชี้วัด	มาตรฐานคุณภาพคุณภาพน้ำผิวดิน (ประเภทที่ 3)	ผลการวิเคราะห์	สถานที่วิเคราะห์
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5 – 9	8.20	ทำการวิเคราะห์เองด้วย pH Meter
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4	26.30	บ. เอเซีย แล็บฯ
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	–	42.00	บ. เอเซีย แล็บฯ

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ดัชนีชี้วัด	มาตรฐานคุณภาพคุณภาพน้ำผิวดิน (ประเภทที่ 3)	ผลการวิเคราะห์	สถานที่วิเคราะห์
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	50	32.00	มหาวิทยาลัยมหิดล
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	50	28.00	มหาวิทยาลัยมหิดล
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	2	8.36	บ.เอเชีย แล็บฯ
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (MPN/100 ml.)	20.0	7,500	มหาวิทยาลัยมหิดล

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

จากการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักเพื่อใช้ทดลองในการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ ได้ส่งตัวอย่างของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพที่บริษัท เอเชีย แล็บ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด และที่คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังตาราง 4.2 ซึ่งจากตารางพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีสภาพเป็นกรด มีค่าบีโอดีสูง มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง ไม่มีสารตะกั่วเจือปน แต่มีแคดเมียมและปรอทเจือปน มีโคลิฟอร์มแบคทีเรียปะปนอยู่บ้าง

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่างๆ

ดัชนีชี้วัด	ผลการวิเคราะห์น้ำสกัดชีวภาพจากส่าเหล้าหมัก				สถานที่วิเคราะห์
	หมักอย่างเดียว	หมักกับเศษผัก	หมักกับกากน้ำตาล	หมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (อีเอ็ม)	
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	3.00	4.10	3.60	3.30	ทำการวิเคราะห์เองด้วย pH meter
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	56,700	37,300	55,900	35,950	บ. เอเชียแล็บฯ
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	770	7,230	9,430	7,280	บ. เอเชียแล็บฯ
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	0	0	0	0	มหาวิทยาลัยมหิดล
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	12.38	13.65	11.11	13.04	มหาวิทยาลัยมหิดล
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	31.30	37.40	14.80	105.6	บ. เอเชียแล็บฯ
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (MPN/100ml.)	<2	<2	$140x10^3$	<2	มหาวิทยาลัยมหิดล

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการทดลอง

จากการนำน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบไปทดลองบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ แบบมีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน เมื่อทดลองครบ 6 วัน ได้นำตัวอย่างส่งวิเคราะห์ผลที่บริษัท เอเชีย แล็บ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด และที่คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3, 4.5 และ 4.7

4.3.1 อิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักต่อคุณภาพของน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ซึ่งตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมด มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1.1 ความเป็นกรด – ด่าง

ความเป็นกรด – ด่าง ของน้ำตัวอย่าง ที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.1 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1

จากการทดลอง พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงจากเริ่มต้น 8.20 เหลือ 7.33, 7.10, 7.03 และ 6.85 หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 10.61, 13.41, 14.27 และ 16.46 เมื่อผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่ได้จากกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล น้ำกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก ตามลำดับ แต่การลดลงของค่าความเป็นกรด – ด่าง ไม่ได้เกิดจากน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก เนื่องจากเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่วัดได้หลังจากผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าชนิดต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเติมน้ำกลั่นลงไปในน้ำตัวอย่าง (ค่าความเป็น กรด – ด่างเท่ากับ 7.23) นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ด้วยกันเองก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน ดังนั้น การที่ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง น่าจะเกิดมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในสภาพมีออกซิเจน ที่จะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 179) ซึ่งเมื่อก๊าซละลายน้ำจะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด (ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 45) จึงทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด – ด่างที่วัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4.3.1.2 บีโอดี

ปริมาณบีโอดีของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักต่างชนิดกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.2 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 2

จากการทดลอง พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีปริมาณบีโอดีลดลง จากเริ่มต้น 26.30 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 5.18,

7.13, 9.13 และ 7.75 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 80.30, 72.89, 65.29, และ 70.53 เมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่ได้จากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว กากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก กากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ตามลำดับ แต่การลดลงของปริมาณบีโอดีนั้นไม่ได้เกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ เนื่องจากการเติมน้ำกลั่นอย่างเดียว (4 มิลลิลิตร) ก็สามารถลดปริมาณบีโอดีลงได้ดีกว่า โดยเหลือตกค้างเพียง 3.05 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น หรือลดลงร้อยละ 88.40 และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักทุกชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการเติมน้ำกลั่น ซึ่งการที่จุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ใช้ไม่ได้ผลในการบำบัดปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่าง อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักเป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นในสภาพไร้อากาศ เมื่อใช้ทดลองบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างที่อยู่ในสภาพบรรยากาศปกติซึ่งในน้ำจะมีออกซิเจนอยู่บ้าง จึงทำให้จุลินทรีย์ที่ผลิตในสภาพไร้อากาศเกิดการอ่อนแอและอาจตายลงในที่สุด หรืออีกสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่ผลิตขึ้นมานั้นอาจเป็นจุลินทรีย์ที่ทำงานได้ดีในสภาพเป็นกรดเพราะจากการวัดค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำสกัดชีวภาพมีความเป็นกรดสูงเฉลี่ย 3.00 – 4.10 เมื่อใช้บำบัดน้ำตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 8.20 จึงไม่สามารถทำงานได้ดี (Suzuki et al., 1986 อ้างถึงใน อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์, 2542: 8) ส่วนการที่ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างลดลงน่าจะเกิดจากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในสภาพมีออกซิเจนทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง และเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ลดลงก็จะทำให้จุลินทรีย์ขาดอาหารและลดลงตามไปด้วย ทำให้ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ลดลง (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3–5) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และนภาพร วิศวกุล (2540: 25) ที่พบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ให้ผลในการบำบัดค่าบีโอดีใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแล้ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำเสียไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ พิษณุ เอกคณาลักษมี (2547: 35) ยังพบว่า น้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ไม่มีผลในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหาร

4.3.1.3 ของแข็งแขวนลอย

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.3 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 3

จากการทดลอง พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดโดยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ นั้นมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง แต่การที่ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงคาดว่าไม่ได้เกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ เนื่องจากการเติมน้ำกลั่นเข้าไป (4 มิลลิลิตร) ในน้ำตัวอย่างก็สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงได้เช่นกัน กล่าวคือ ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะลดลงจากเริ่มต้น 42.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 7.45, 9.34, 6.58 และ 6.63 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 82.26, 77.67, 84.33 และ 84.21 เมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่ได้จากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ตามลำดับ ส่วนการเติมน้ำกลั่นลงไปจะมีของแข็งแขวนลอยคงเหลือ 3.40 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลดปริมาณของแข็งภายหลังการบำบัดได้ร้อยละ 91.90 ซึ่งลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่าการเติมน้ำสกัดชีวภาพจากส่าเหล้าหมักทุกชนิด (ตารางที่ 4.4) และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า ค่าของแข็งลอยในน้ำตัวอย่างที่มาบำบัดโดยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักทุกชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับการเติมน้ำกลั่น ดังนั้น การที่ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างลดลงจึงไม่ได้เกิดจากการเติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก แต่น่าจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่เองตามธรรมชาติ ซึ่งลักษณะทางชีวภาพของน้ำทั่วไปจะมีสัตว์และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ พวกจุลินทรีย์ต่าง ๆ อาศัยอยู่เป็นปกติ (ธวัชชัย ศุภดิษฐ์, 2547: 453) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และนภาพร วิศวกุล (2540: 25) ที่พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ให้ผลในการลดค่าของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้น้ำสกัดชีวภาพ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับการศึกษาของ บัน ยีรัมย์ (2534: 50) ที่ศึกษาการใช้จุลินทรีย์สำเร็จรูป (ไบโอนิค) กำจัดสิ่งปฏิกูลจากส้วม พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยของส้วมควบคุมและส้วมทดลองลดลง แต่เมื่อทดสอบทางสถิติกลับไม่มีความแตกต่างกัน

4.3.1.4 ตะกั่ว (Lead)

ปริมาณตะกั่วของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.4 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 4

จากการทดลอง พบว่า น้ำตัวอย่างก่อนการทดลองมีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 32.00 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ภายหลังการทดลองมีปริมาณตะกั่วลดลงเหลือ 8.25, 5.25, 4.50 และ 6.75 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือลดปริมาณตะกั่วลงได้ร้อยละ 74.22, 83.59, 85.94 และ 78.91 เมื่อผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพประเภทน้ำกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมน้ำกลั่นลงไปในน้ำตัวอย่าง พบว่า ปริมาณตะกั่วก็ลดลงเช่นกัน โดยคงเหลือ 13.50 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือลดลงไปร้อยละ 57.82 และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า น้ำกากสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ให้ผลในการลดปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างจากการใช้น้ำกลั่น ($p<0.05$) แสดงว่าจุลินทรีย์ในน้ำกากส่าเหล้าหมักที่ผลิตขึ้นอาจมีส่วนช่วยในการลดปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างลงได้ หรือเป็นเพราะเป็นการเจือจางลง เนื่องจากในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 0 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Toemthip (2002: บทคัดย่อ) ที่พบว่า แบคทีเรียบางชนิดที่ชื่อ *Proteus mirabilis* ที่มีชีวิตสามารถกำจัดตะกั่วได้ร้อยละ 70 ที่ค่าความเป็นกรด – ด่าง 5.5 ส่วน *Proteus mirabilis* ที่ไม่มีชีวิตจะกำจัดตะกั่วได้ร้อยละ 51 ที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเดียวกัน

4.3.1.5 แคดเมียม (Cadmium)

ปริมาณแคดเมียม ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.5 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 5

จากการทดลอง พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีปริมาณแคดเมียมลดลงจากเริ่มต้น 28.00 ไมโครกรัมต่อลิตร เหลือ 4.59, 1.95, 2.07 และ 1.83 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) โดยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักแต่ละชนิดสามารถลดปริมาณแคดเมียมลงได้ร้อยละ 84.14, 93.04, 92.61 และ 93.46 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงของปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างจากการเติมน้ำกลั่น (4 มิลลิลิตร) จะเห็นได้ว่าการเติมน้ำกลั่นลงไปมีปริมาณแคดเมียมคงเหลือ 2.13 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือลดปริมาณแคดเมียมลงไป ซึ่งไม่แตกต่างกับปริมาณแคดเมียมที่ลดลงจากการเติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่ ($p>0.05$) ยกเว้นการเติมน้ำสกัดชีวภาพจากกาก

สำเหล้าหมักอย่างเดียว ($p<0.05$) แสดงว่าจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักที่ผลิตขึ้นไม่ได้มีส่วนช่วยในการลดปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่าง ซึ่งอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักเป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นในสภาพอับอากาศ เมื่อใช้ในการบำบัดน้ำตัวอย่างที่มีอากาศอยู่บ้างจึงทำให้จุลินทรีย์เมื่อพบอากาศเกิดการอ่อนแอ หรืออาจเป็นเพราะสภาพแวดล้อมของน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักที่เป็นแหล่งกำเนิดจุลินทรีย์ มีความแตกต่างกับสภาพน้ำตัวอย่างพอสมควร (ดูตารางที่ 4.1 และ 4.2 ประกอบ) จึงทำให้สภาวะแวดล้อมของน้ำตัวอย่างไม่เหมาะสมในการทำหน้าที่ดูดซับแคดเมียมของจุลินทรีย์เมื่ออยู่ในน้ำสกัดชีวภาพจากสำเหล้าหมักที่ผลิตขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jantana (2001: 78) ที่พบว่า ความเป็นกรด – ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมของแบคทีเรียบางชนิด อาทิ *S. paucimobilis* อยู่ในช่วง 5 – 6 แต่ในน้ำตัวอย่างอยู่ในช่วง 6.85 – 7.33 ซึ่งอาจเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในภาพรวมที่ทำหน้าที่ดูดซับหรือย่อยสลายแคดเมียม

4.3.1.6 ปรอท (Mercury)

ปริมาณปรอทของน้ำตัวอย่างที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.6 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 6

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างมีปริมาณลดลงจากเริ่มต้น 8.36 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ โดยคงเหลือเท่ากับ 3.52, 3.24, 2.82 และ 6.00 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพประเภทน้ำกากสำเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากสำเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากสำเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากสำเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) โดยน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ สามารถลดปริมาณปรอทลงได้ร้อยละ 58.13, 61.24, 66.27 และ 28.23 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ลดลงจากการเติมน้ำกลั่น (4 มิลลิลิตร) ที่มีปริมาณปรอทคงเหลือ 4.01 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือปริมาณปรอทลดลงร้อยละ 52.03 จะพบว่า ปริมาณตะกั่วที่ลดลงจากการเติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมน้ำกลั่นไม่แตกต่างกัน และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติก็จะพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่ และน้ำกลั่น ให้ผลในการลดปริมาณปรอทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$) ยกเว้นน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) แสดงว่า ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ลดลงไม่ได้เกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักแต่น่าจะเกิดจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างตามธรรมชาติ ซึ่งอาจ

เป็นเพราะจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตในสภาพอับอากาศ เมื่อนำมาบำบัดน้ำตัวอย่างในสภาพบรรยากาศปกติจึงไม่สามารถทำงานได้ หรือทำงานได้ไม่ดี อีกทั้งสภาวะแวดล้อมของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ก็ต่างจากน้ำตัวอย่าง (ตารางที่ 4.1 และ 4.2) จึงอาจทำให้จุลินทรีย์จากน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอ่อนแอหรือตายลงเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมของน้ำตัวอย่าง น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักจึงไม่มีส่วนช่วยในการลดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างแต่อย่างใด

4.3.1.7 โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)

ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพที่ 4.7 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 7

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างลดลงจากเริ่มต้น $7{,}500 \times 10^3$ MPN/100 ml. เหลือ 25.50×10^3, 62.50×10^3, 147.30×10^3 และ 104.80×10^3 MPN/100 ml. เมื่อผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) หรือมีปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลงร้อยละ 99.66, 99.17, 98.04 และ 98.60 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่ลดลงจากการเติมน้ำกลั่น (4 มิลลิลิตร) ที่คงเหลือเท่ากับ 3.30×10^3 MPN/100 ml. หรือปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลงร้อยละ 99.95 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ให้ผลในการลดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และแตกต่างจากการเติมน้ำกลั่น ($p<0.05$) ยกเว้นการเติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียวที่ไม่แตกต่างกับการเติมน้ำกลั่น ($p>0.05$) แสดงว่า ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่ลดลงไม่ได้เกิดจากน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก แต่การที่ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลง อาจเกิดจากปริมาณอาหารที่ลดลงทำให้เกิดภาวะแข่งขันกันของจุลินทรีย์ จึงมีส่วนทำให้ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลง หรืออาจเนื่องจากโคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียที่เจริญเติบโตอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์เลือดอุ่น (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2540: 140) เมื่อมาอยู่ในน้ำตัวอย่างซึ่งมีสภาวะต่างจากสภาวะในลำไส้อย่างมาก จึงเกิดการตายโดยธรรมชาติ ส่วนการที่น้ำตัวอย่างหลังผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากการส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดสูงกว่าการเติมน้ำกลั่นนั้นอาจเนื่องมาจากในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักมีโคลิฟอร์มปะปนอยู่บางส่วน (ตารางที่ 4.2)

โดยรวมแล้วน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ มีปริมาณความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลง แต่การที่ดัชนีวัดคุณภาพน้ำต่าง ๆ ยกเว้นตะกั่วลดลงได้ไม่ได้เกิดจากประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักทุกชนิด เพราะจะเห็นได้ว่าการเติมน้ำกลั่นเข้าไปก็ทำให้ดัชนีชี้วัดคุณภาพเหล่านี้ลดลงได้เช่นกัน ซึ่งการที่น้ำกากส่าเหล้าหมักใช้ไม่ได้ผล อาจเนื่องมาจาก

1) จุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักเป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นในสภาพอับอากาศ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกนี้จึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณของออกซิเจน โดยจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเจริญเติบโตได้น้อยลง หรืออาจไม่เจริญเติบโตเลย (สุวณี สุภเวช, 2530: 106)

2) ค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักนั้นจะอยู่ในช่วง 3.00 – 4.10 จุลินทรีย์ที่มีจึงน่าจะเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะเป็นกรด เมื่อนำมาใช้บำบัดน้ำตัวอย่างซึ่งมีค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 8.20 จึงอาจจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี

3) สภาวะแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ปริมาณโลหะหนักที่แตกต่างกันของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับน้ำตัวอย่าง อาจทำให้จุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักทนต่อสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนักบางชนิดของน้ำตัวอย่างไม่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jantana (2001: บทคัดย่อ) ที่พบว่า แคดเมียมที่มีความเข้มข้น 25 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Sphingomnas paucimobilis* ได้ และ Toemthip (2002: บทคัดย่อ) ที่พบว่า ตะกั่วที่มีความเข้มข้น 25 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Proteus mirabilis* ได้ เป็นต้น

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของน้ำตัวอย่าง

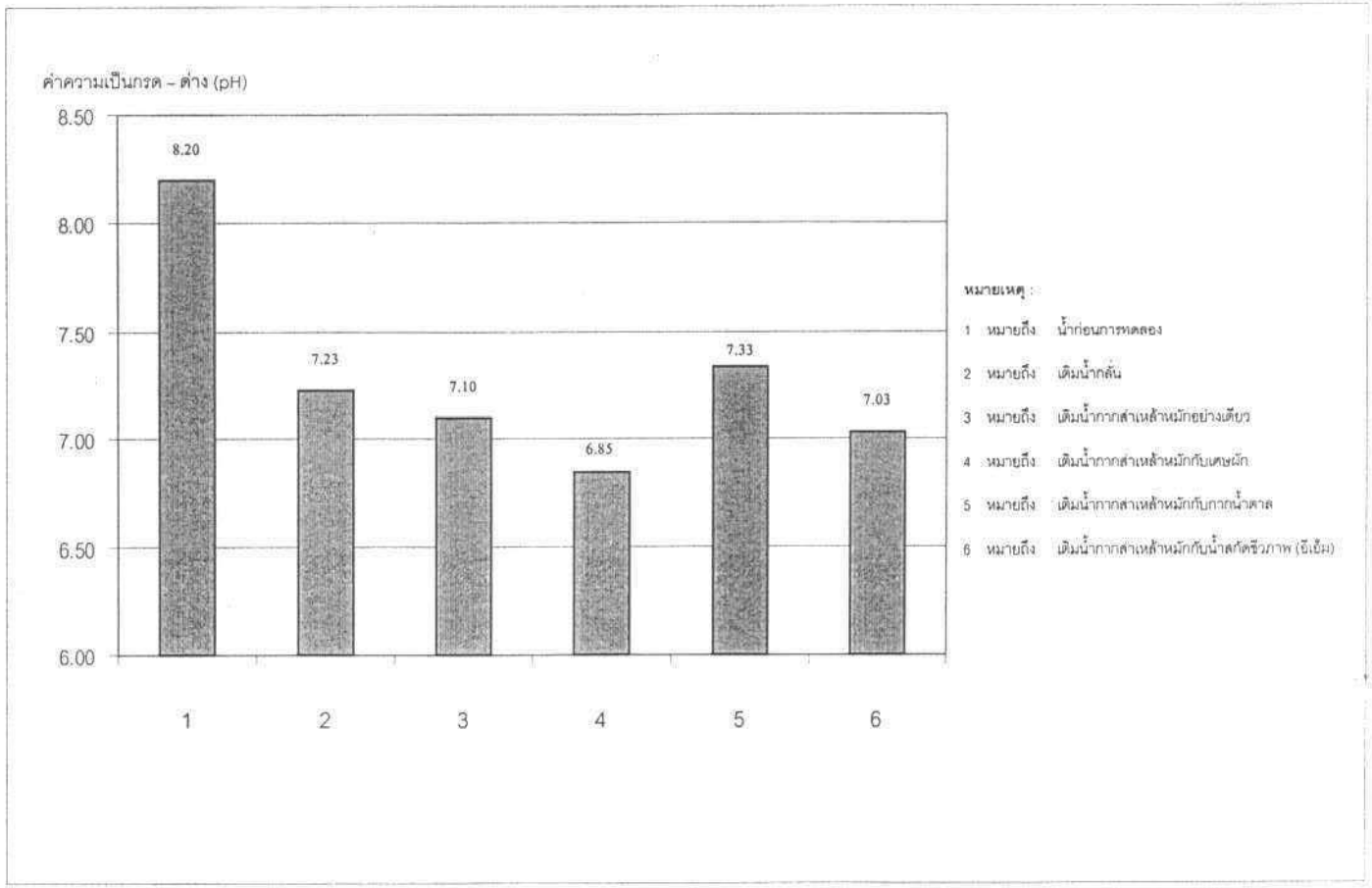
ดัชนีชี้วัด	เติมน้ำกลั่น	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.)	CV (ร้อยละ)
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)$^{n.s.}$	7.23	7.10	6.85	7.33	7.03	4.26
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3.05^{c}	5.18^{b}	7.13^{ab}	9.13^{a}	7.75^{a}	19.28
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3.40^{d}	7.45^{b}	9.34^{a}	6.58^{c}	6.63^{c}	6.58
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	13.50^{a}	8.25^{b}	5.25^{b}	4.50^{b}	6.75^{b}	32.15
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	2.13^{b}	4.59^{a}	1.95^{b}	2.07^{b}	1.83^{b}	22.56
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	4.01^{b}	3.52^{b}	3.24^{b}	2.82^{b}	6.00^{a}	18.42
โคลิฟอร์มทั้งหมด (MPNx10^{3} /100 ml.)	3.30^{d}	25.50^{d}	62.50^{c}	147.30^{a}	104.80^{b}	32.96

หมายเหตุ: ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

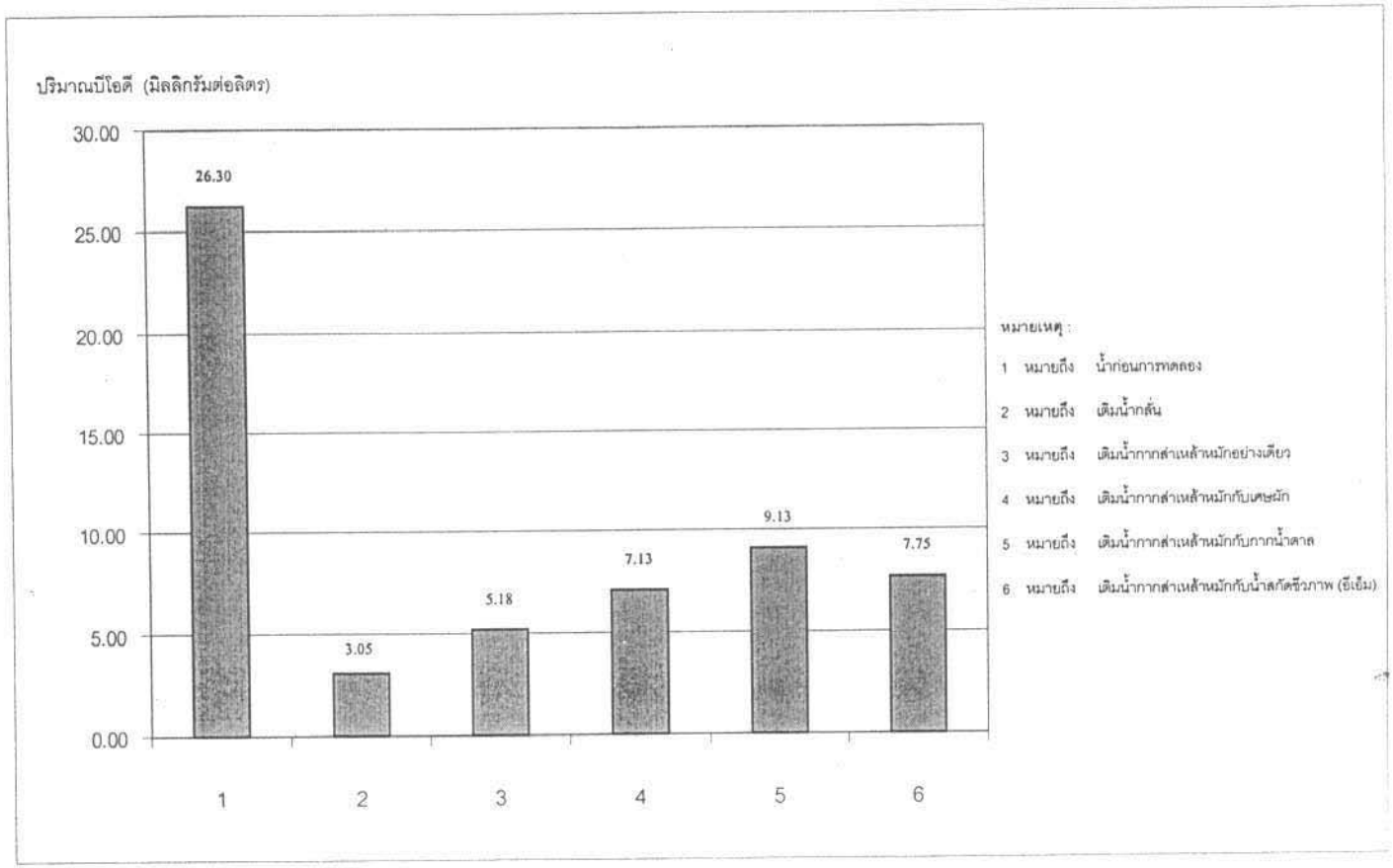
$^{n.s.}$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ต่อการลดลงของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในรูปร้อยละ

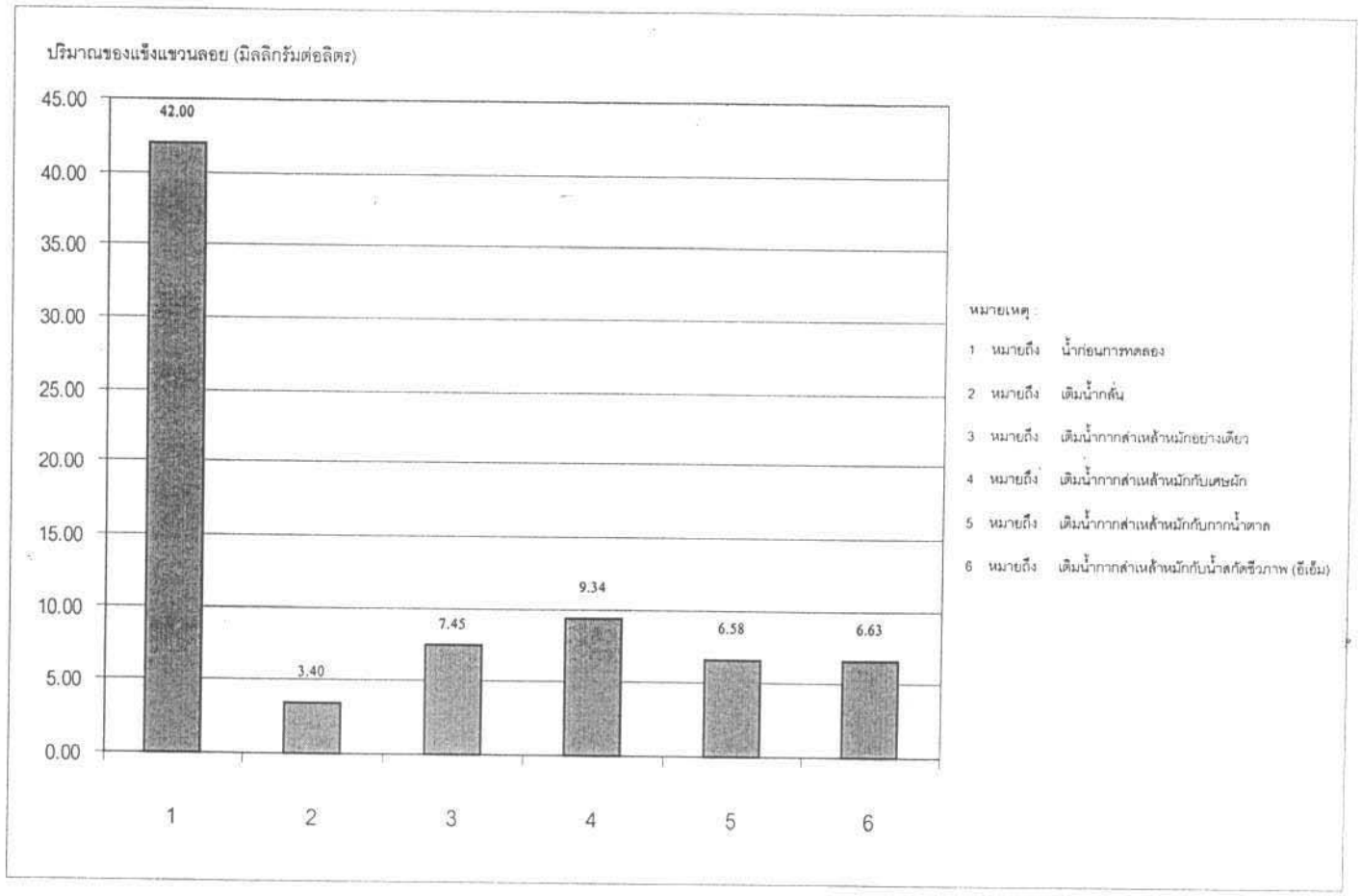
ดัชนีชี้วัด	เติมน้ำกลั่น	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล	เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M)
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	11.83	13.41	16.46	10.61	14.27
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	88.40	80.30	72.89	65.29	70.53
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	91.90	82.26	77.67	84.33	84.21
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	57.82	74.22	83.59	85.94	78.91
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	92.39	84.14	93.04	92.61	93.46
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	52.03	58.13	61.24	66.27	28.23
โคลิฟอร์มทั้งหมด (MPNx10^3 /100 ml.)	99.95	99.66	99.17	98.04	98.60



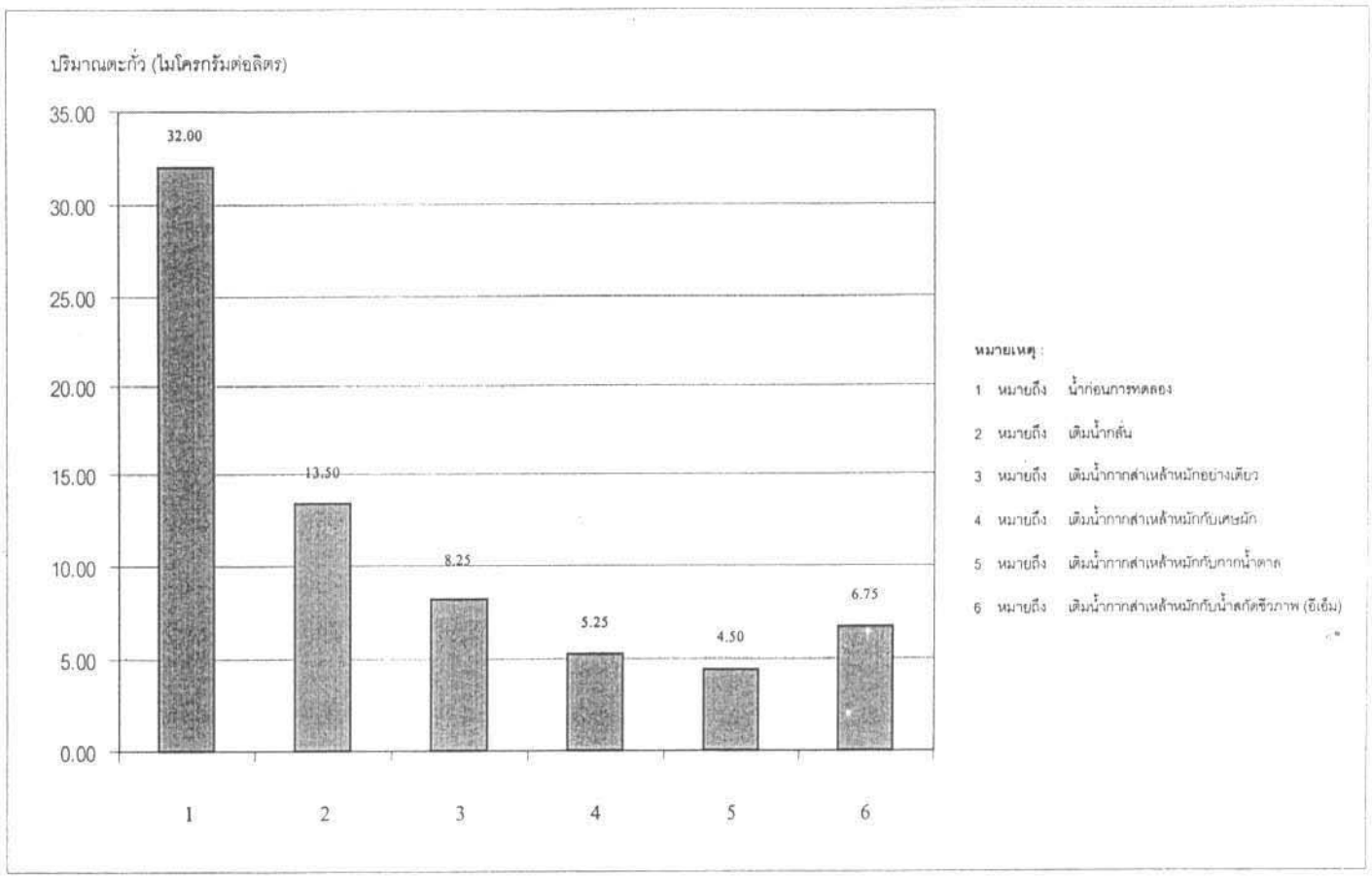
ภาพที่ 4.1 ความเป็นกรด – ด่าง ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ



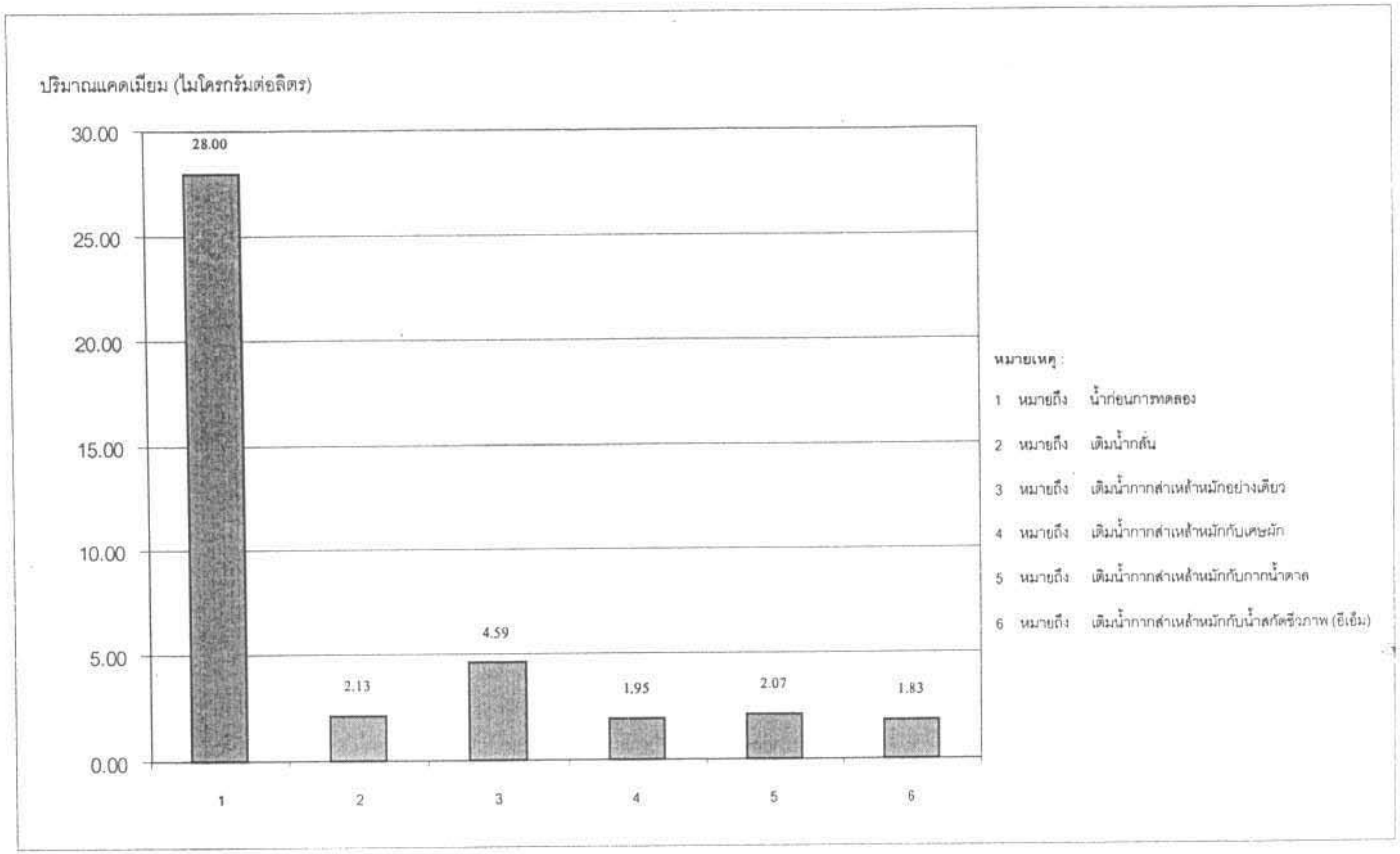
ภาพที่ 4.2 ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ



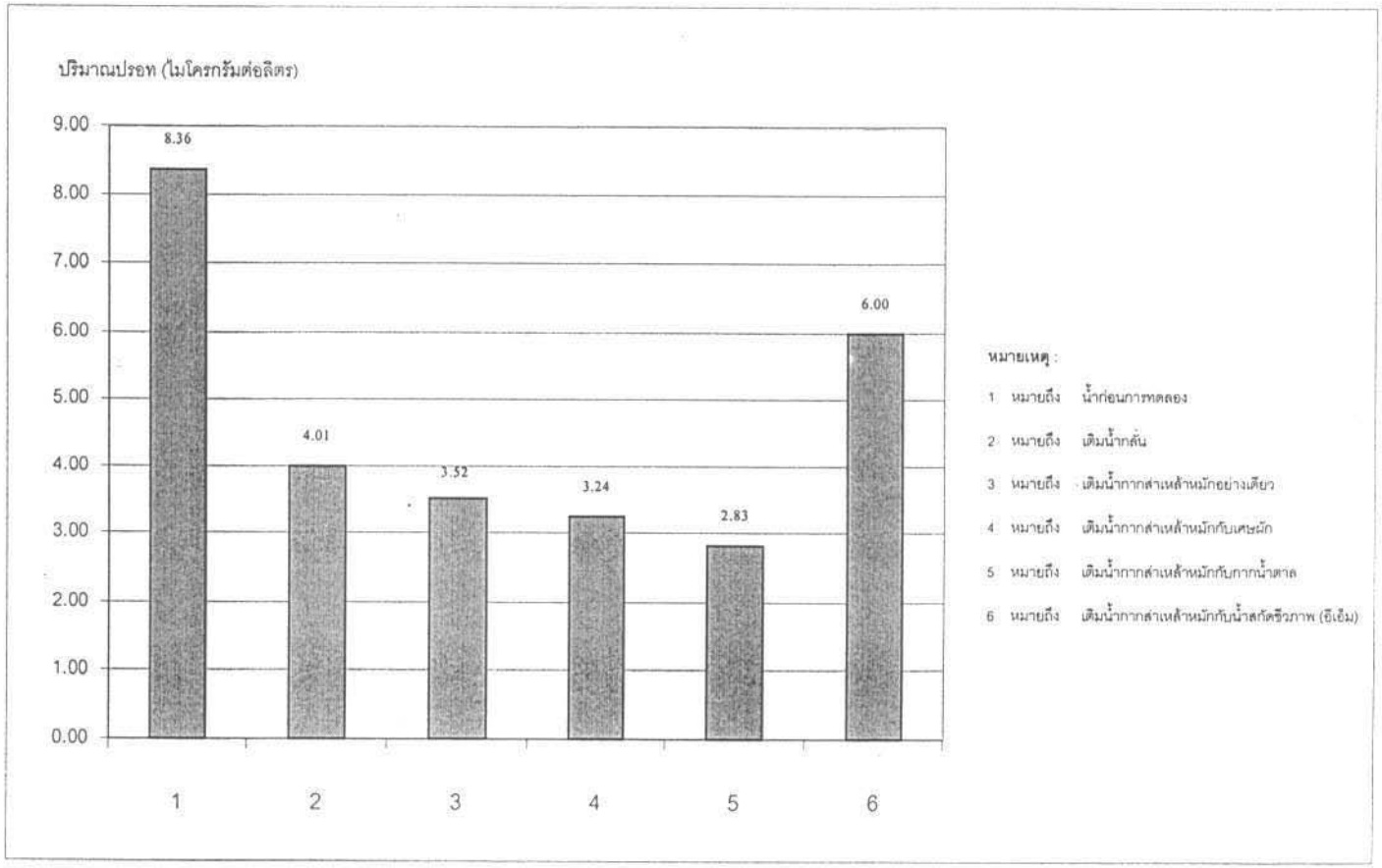
ภาพที่ 4.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากสำเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ



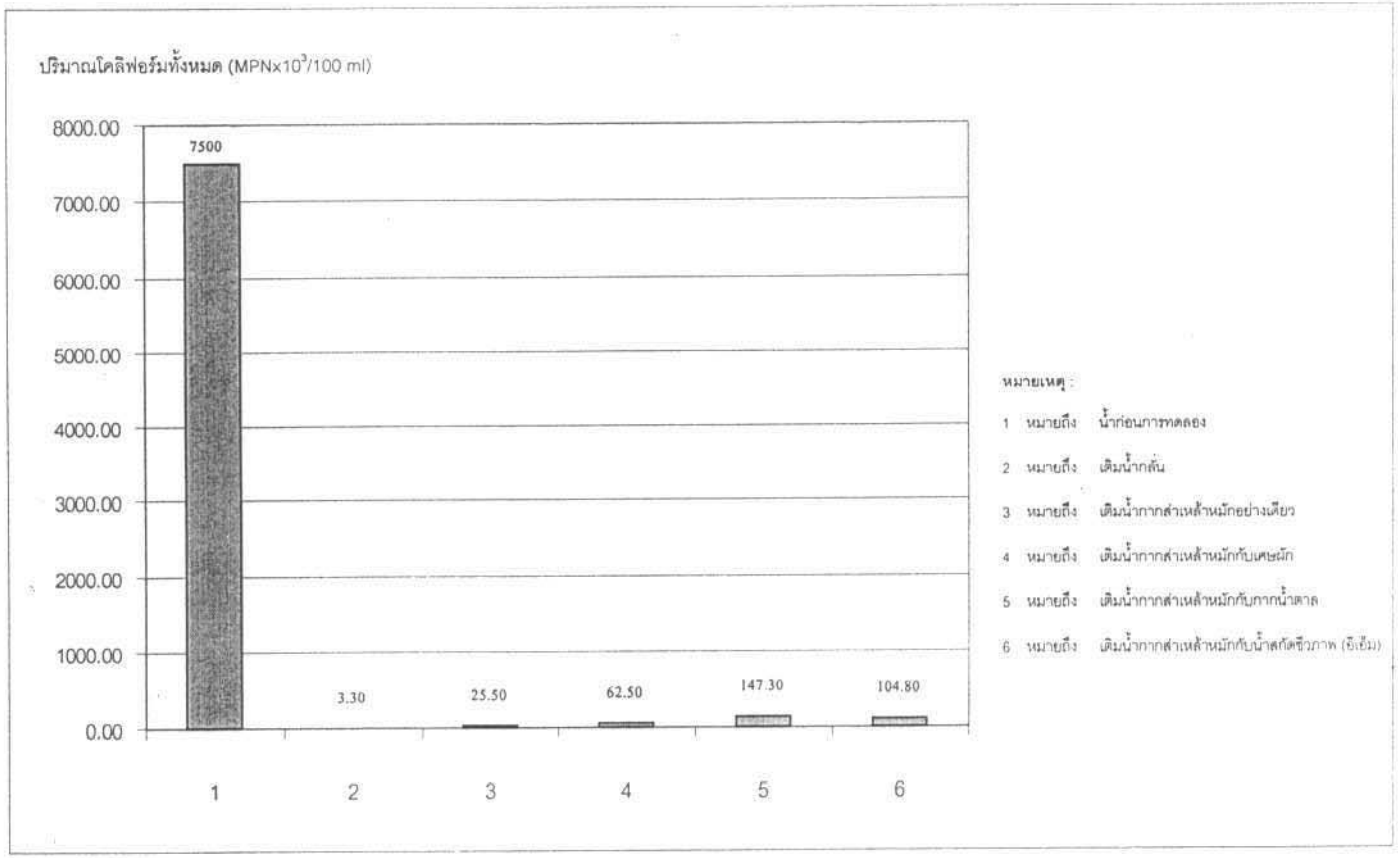
ภาพที่ 4.4 ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.6 ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.7 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ

4.3.2 **อิทธิพลของการเติมออกซิเจนต่อคุณภาพของน้ำตัวอย่าง**

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบมีการเติมออกซิเจนและแบบไม่มีการเติมออกซิเจนได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพ คือ ความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมด โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.2.1 ความเป็นกรด – ด่าง

ความเป็นกรด – ด่าง ของน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.8 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 8

จากการทดลอง พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน มีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงจากเริ่มต้น 8.20 เหลือ 6.99 และ 7.22 หรือค่าความเป็นกรด–ด่างลดลงร้อยละ 14.76 และ 11.95 ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมออกซิเจน และการไม่เติมออกซิเจน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) การที่ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ซึ่งจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2545: 179) ซึ่งเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้ละลายน้ำจะมีสภาพเป็นกรด (ปิยนุช บุญสิริชัย, 2547: 45) จึงทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง และจากการทดลอง พบว่า การเติมออกซิเจนจะลดค่าความเป็นกรด – ด่างได้มากกว่าการไม่เติมออกซิเจน น่าจะเป็นเพราะจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในน้ำตัวอย่างเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อเติมออกซิเจนเข้าไปจึงทำให้ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จึงมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นมากตามไปด้วย ส่งผลให้มีความเป็นกรดสูงขึ้น

4.3.2.2 บีโอดี

ปริมาณบีโอดีของน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.9 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 9

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น 26.30 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 5.21 และ 7.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือปริมาณบีโอดีลดลงร้อยละ 80.19 และ 70.80 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมออกซิเจนและการไม่เติมออกซิเจนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) การที่น้ำตัวอย่างปริมาณบีโอดีลดลงน่าจะ

เกิดจากจุลินทรีย์ได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นอาหาร เมื่อสารอินทรีย์ลดลง อาหารของจุลินทรีย์ก็จะน้อยลง ทำให้จุลินทรีย์ตายลงบางส่วน ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการลดน้อยลงทำให้ค่าบีโอดีลดลงตามไปด้วย (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3– 5) และเมื่อมีการเติมออกซิเจนเข้าไปจะทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งอาจไม่ใช่จุลินทรีย์จากน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น อาหารของจุลินทรีย์จึงหมดเร็วขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณบีโอดีได้ดีกว่าการไม่เติมออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และนภาพร วิศวกุล (2540: 25) ที่พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพร่วมกับการเติมอากาศให้ผลในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพอย่างเดียว

4.3.2.3 ของแข็งแขวนลอย

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจนและแบบไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.10 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 10

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนมีปริมาณลดลงจากเริ่มต้น 42.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 4.59 และ 8.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 89.07 และ 79.10 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมออกซิเจนและการไม่เติมออกซิเจนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในการทดลองเป็นจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์และอาจไม่ใช่จุลินทรีย์จากน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก เมื่อมีการเติมออกซิเจนเข้าไปทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น การเติมออกซิเจนจึงทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงได้มากกว่าการไม่เติมออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และนภาพร วิศวกุล (2540: 25) ที่ทดลองใช้น้ำสกัดชีวภาพบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแล้วพบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพร่วมกับการเติมออกซิเจน ให้ผลในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพอย่างเดียว

4.3.2.4 ตะกั่ว (Lead)

ปริมาณของตะกั่ว ในน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจน และไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.11 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.11

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและแบบไม่เติมออกซิเจนมีค่าลดลงจากเริ่มต้น 32.00 ไมโครกรัมต่อลิตร เหลือ 3.00 และ 12.30 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ หรือปริมาณตะกั่วลดลงร้อยละ 90.63 และ 61.56 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า การเติมออกซิเจนและการไม่เติมออกซิเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การที่ปริมาณตะกั่วในการทดลองแบบเติมออกซิเจนลดลงได้มากกว่าการไม่เติมออกซิเจน อาจเป็นเพราะระบบที่มีการเติมออกซิเจนจะมีจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมากกว่าระบบที่ไม่มีการเติมออกซิเจน ซึ่งเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะสามารถดูดซับสารตะกั่วได้ดีกว่าการเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (Toemthip, 2002: 76)

4.3.2.5 แคดเมียม (Cadmium)

ปริมาณของแคดเมียมของน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจน และไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.12 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.12

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน มีค่าลดลงจากเริ่มต้น 28.00 ไมโครกรัมต่อลิตร เหลือ 1.67 และ 3.37 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือมีปริมาณแคดเมียมลดลงร้อยละ 94.04 และ 88.18 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมออกซิเจนและการไม่เติมออกซิเจนให้ผลในการลดปริมาณแคดเมียมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การที่การเติมออกซิเจนลดปริมาณแคดเมียมได้มากกว่าการไม่เติมออกซิเจน อาจเป็นเพราะระบบที่มีการเติมออกซิเจนจะทำให้มีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่มากกว่าระบบที่ไม่มีการเติมออกซิเจน ซึ่งเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่จะสามารถดูดซับแคดเมียมได้มากกว่าเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (Jantana, 2001: 72)

4.3.2.6 ปรอท (Mercury)

ปริมาณของปรอทในน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.13 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.13

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนมีปริมาณลดลงจากเริ่มต้น 8.36 ไมโครกรัมต่อลิตร เหลือ 3.30 และ 4.53 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือปริมาณปรอทลดลงร้อยละ 60.77 และ 45.57 ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมออกซิเจนและการไม่เติมออกซิเจนให้ผลในการลดปริมาณปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การที่ปริมาณปรอทใน

ระบบที่มีการเติมออกซิเจนลดลงได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการเติมออกซิเจน อาจเนื่องมาจากเมื่อมีการเติมออกซิเจนจะทำให้จุลินทรีย์สามารถดูดซับปรอทได้มากขึ้นเช่นเดียวกับการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมดังเหตุผลข้างต้น

4.3.2.7 โคลิฟอร์มทั้งหมด

ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่บำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.14 สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 14

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง ที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน มีปริมาณลดลงจากเริ่มต้น 7,500 $x10^3$ MPN/100 ml. เหลือ 34.12 $x10^3$ และ 103.20 $x10^3$ MPN/100 ml. ตามลำดับ หรือปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลงร้อยละ 99.54 และ 98.62 ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ให้ผลในการลดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การที่ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในการทดลองที่มีการเติมออกซิเจนลดลงได้มากกว่าการไม่เติมออกซิเจน อาจเป็นเพราะในการทดลองที่มีการเติมออกซิเจน จุลินทรีย์จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วจะมีผลทำให้ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลง เนื่องจากอาจเกิดจากการขาดอาหารหรือเกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโคลิฟอร์มตามสภาพเดิม เนื่องจากมีสภาวะความเป็นกรดมากขึ้น (บัน ยีรัมย์, 2534: 51)

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของออกซิเจนต่อคุณภาพน้ำตัวอย่าง

คุณภาพน้ำ	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	CV (ร้อยละ)
ความเป็นกรด – ด่าง (pH) $^{n.s.}$	6.99	7.22	4.26
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.21^b	7.68^a	19.28
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.59^b	8.79^a	6.58
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	3.00^b	12.30^a	32.15

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

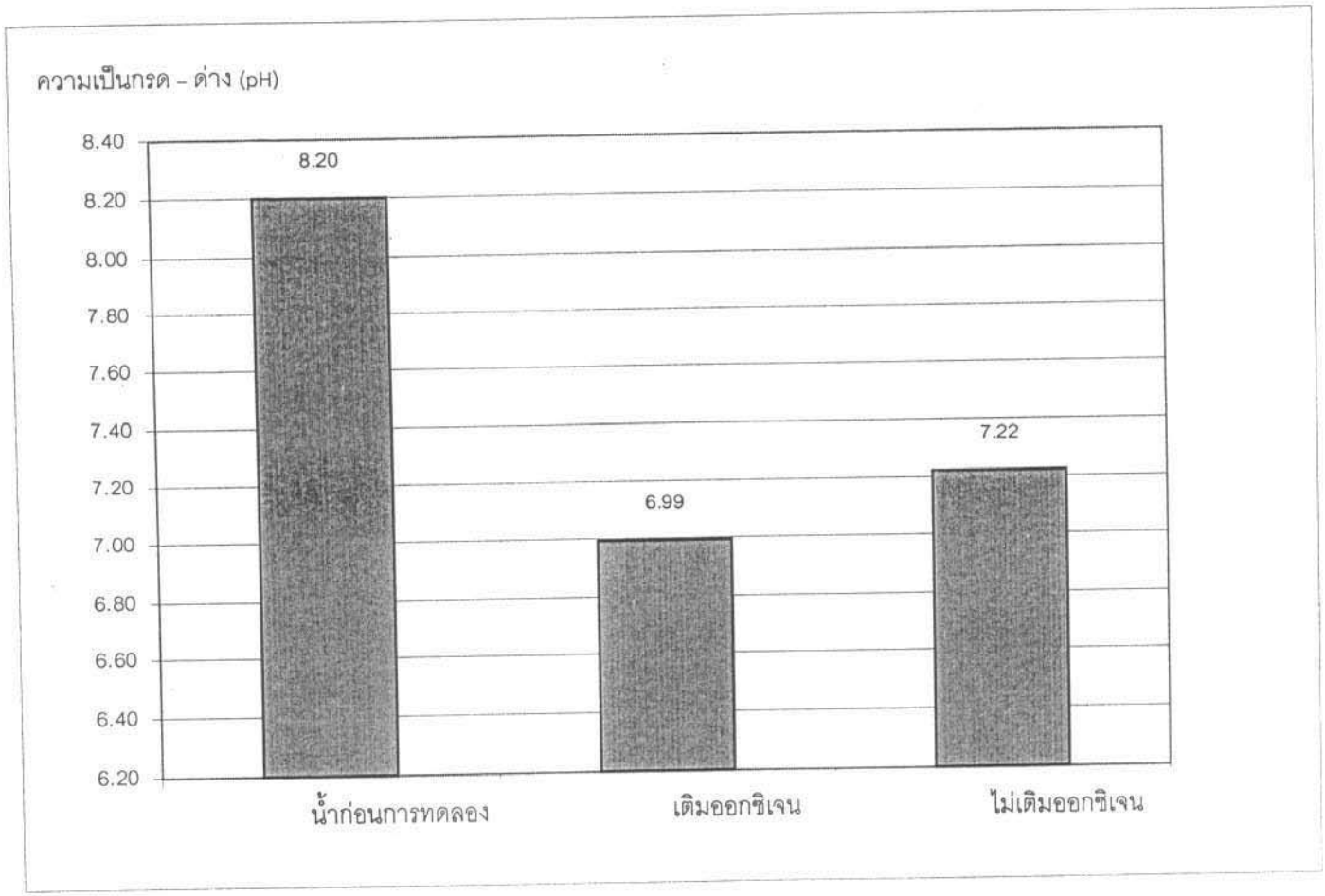
คุณภาพน้ำ	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	CV (ร้อยละ)
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	1.67[b]	3.37[a]	22.56
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	3.30[b]	4.53[a]	18.42
โคลิฟอร์มทั้งหมด (MPNx10^3/100ml.)	34.12[b]	103.20[a]	32.96

หมายเหตุ: [ab] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

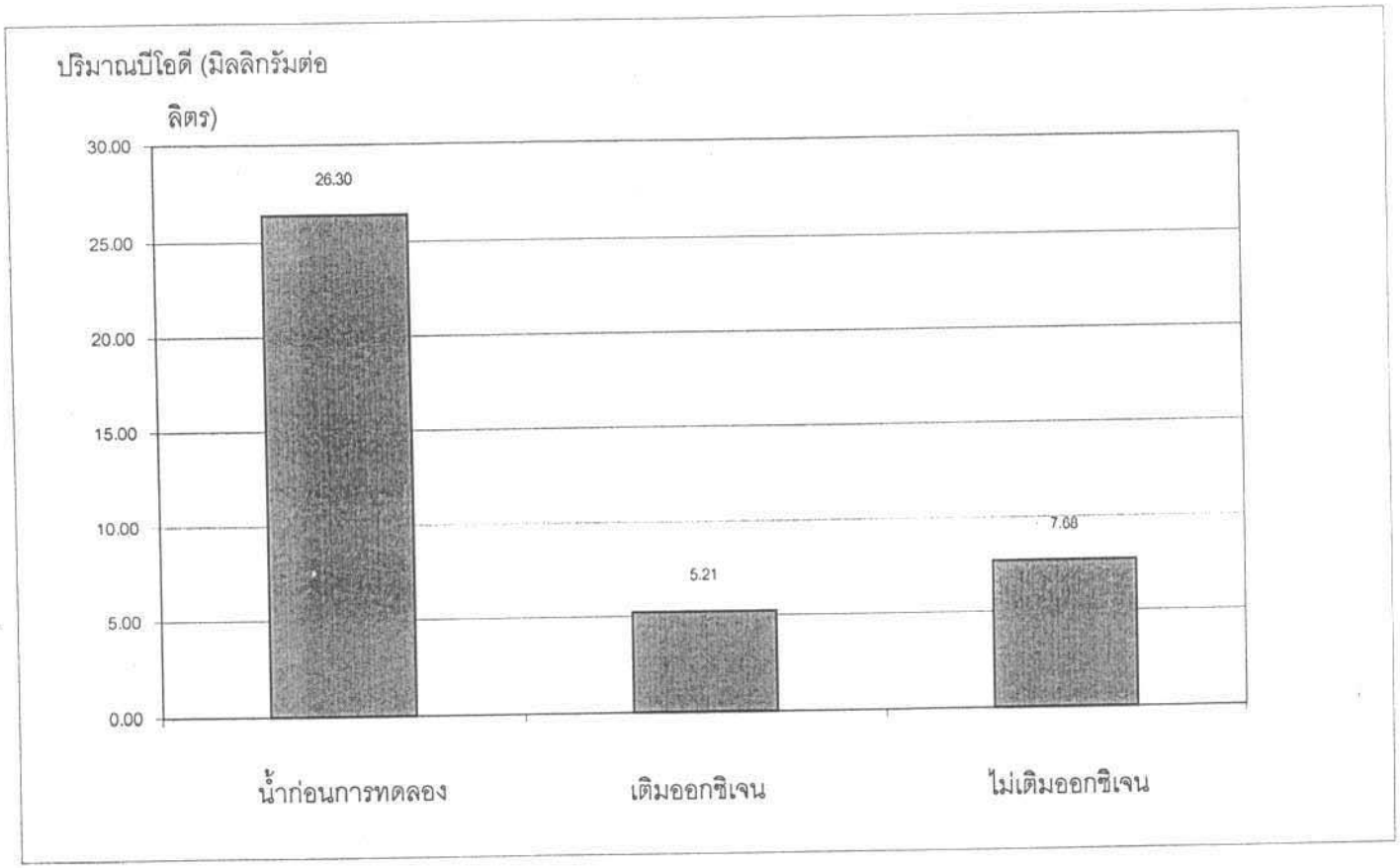
[n.s.] แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของออกซิเจนต่อการลดลงของดัชนีวัดคุณภาพน้ำในรูปร้อยละ

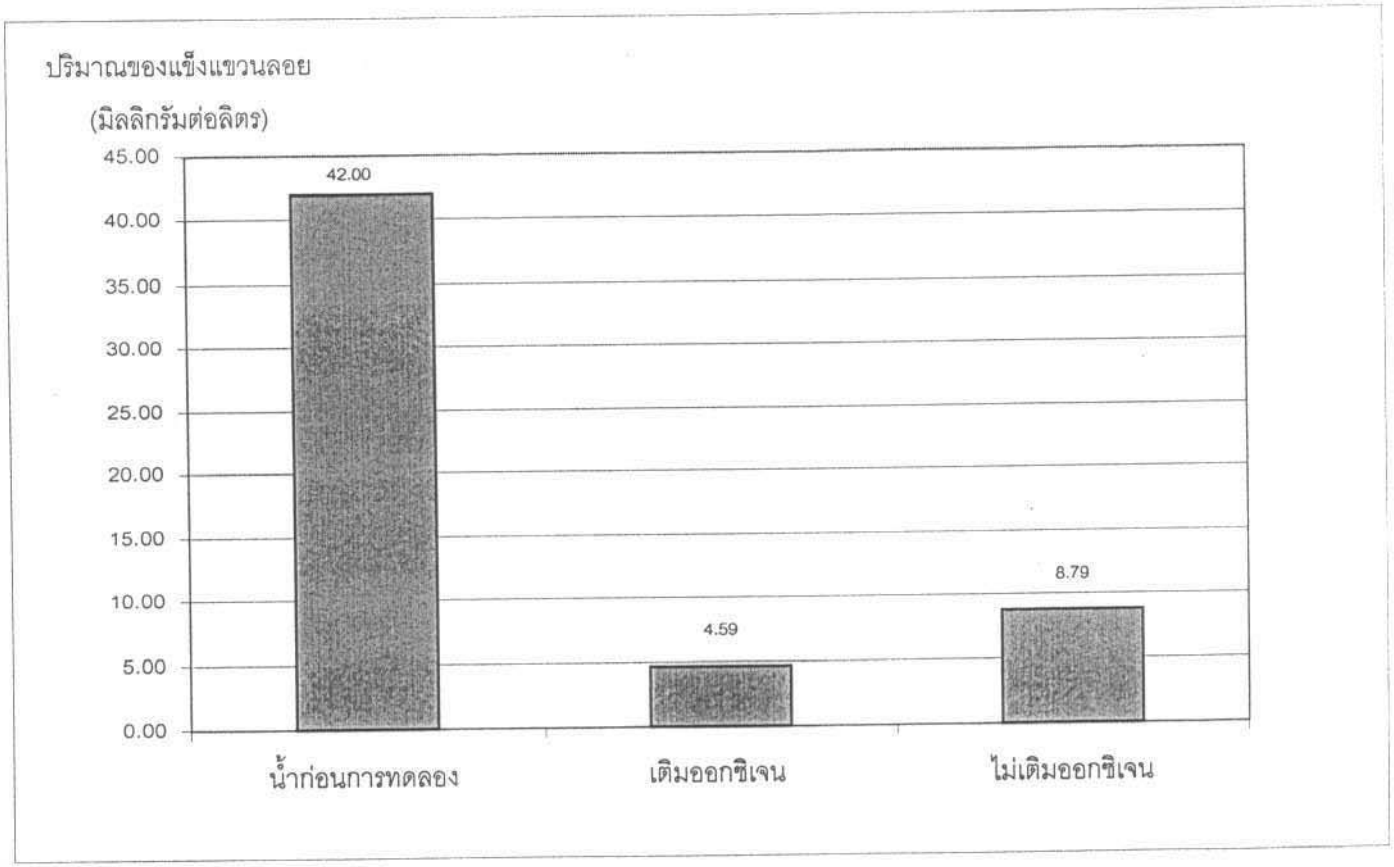
คุณภาพน้ำ	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	14.76	11.95
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	80.19	70.80
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	89.07	79.10
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	90.63	61.56
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	94.04	88.18
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	60.77	45.57
โคลิฟอร์มทั้งหมด (MPNx10^3/100ml.)	99.54	98.62



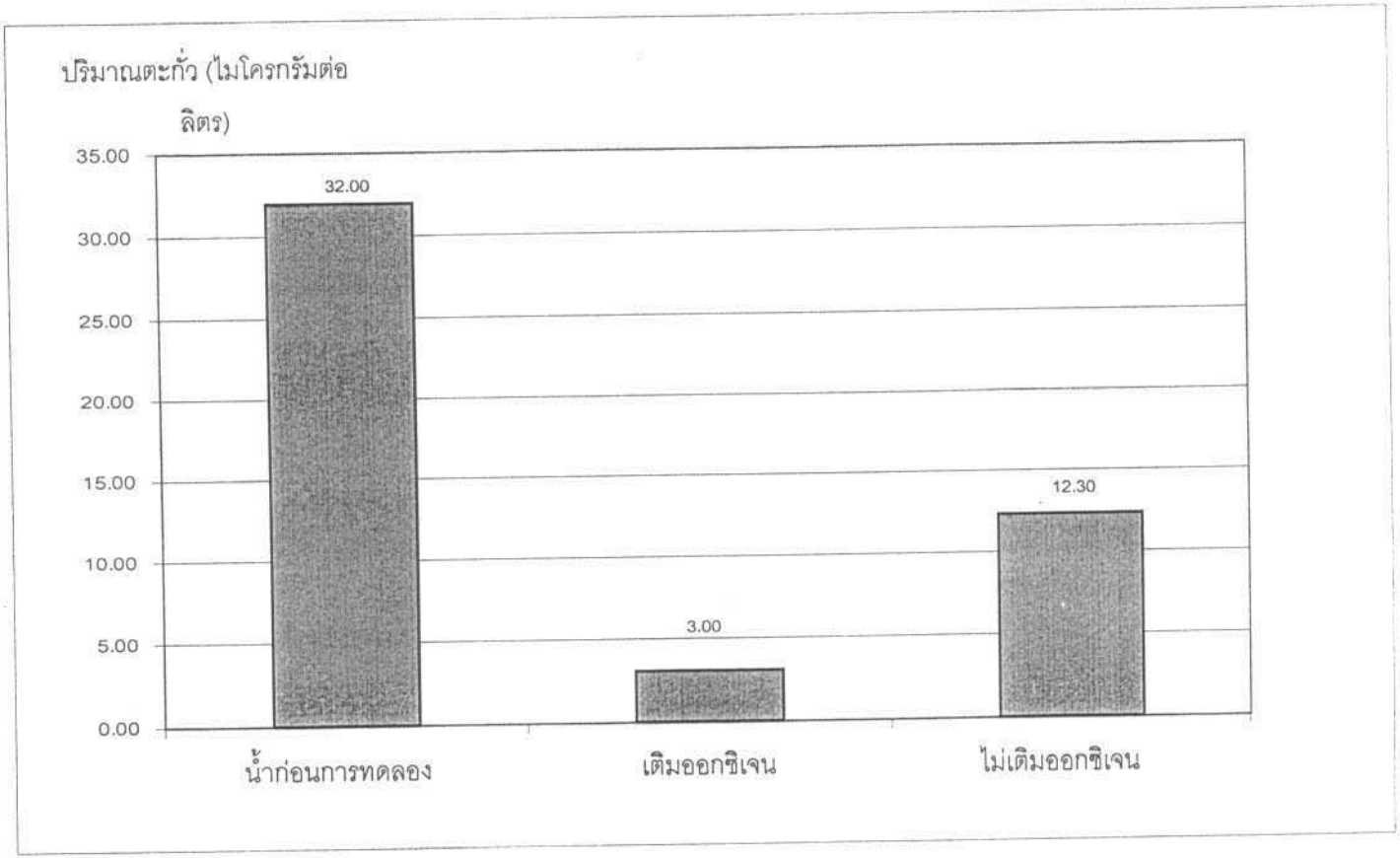
ภาพที่ 4.8 ความเป็นกรด – ด่างในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน



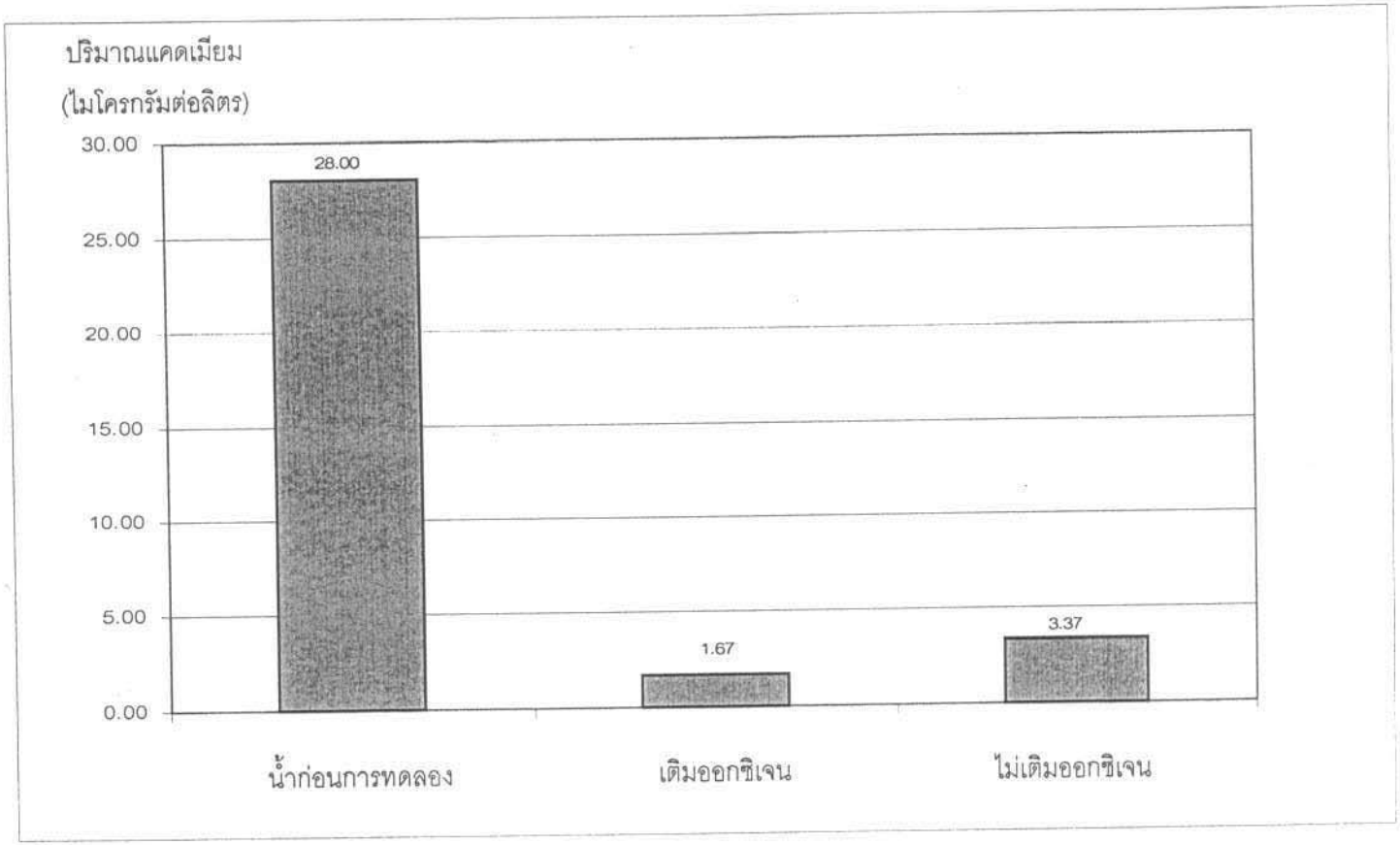
ภาพที่ 4.9 ปริมาณบีโอดี**ในน้ำ**ตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน



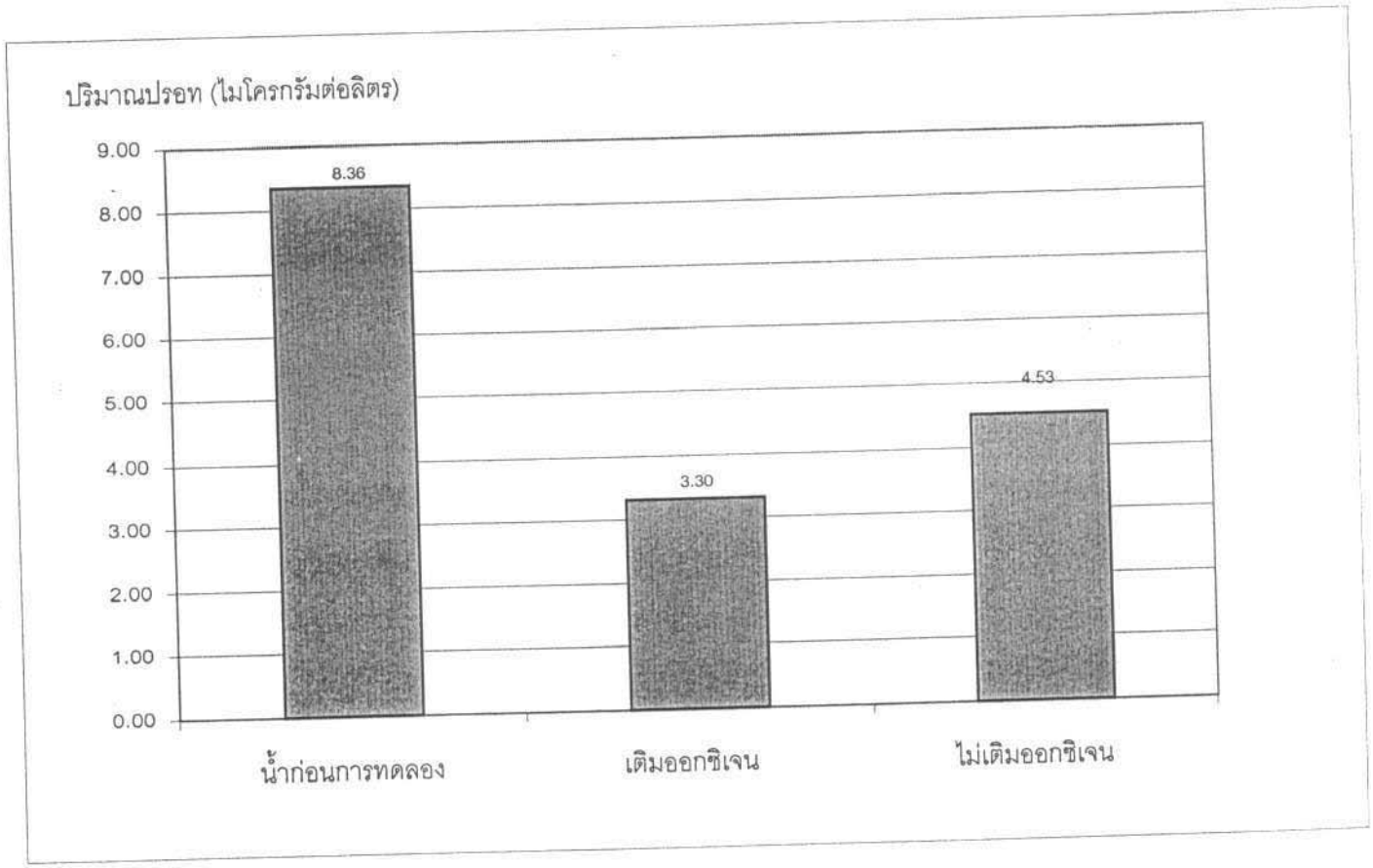
ภาพที่ 4.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน



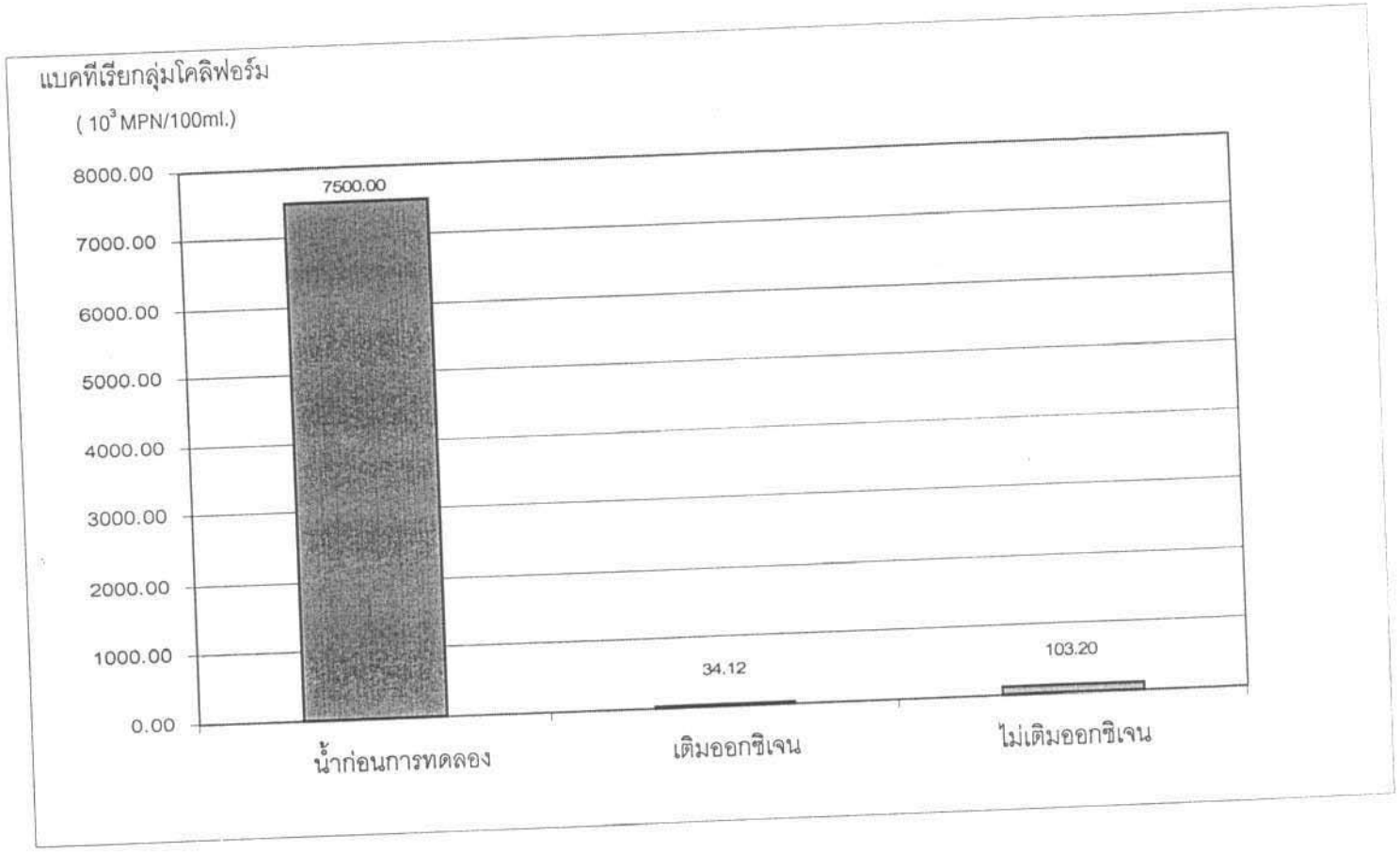
ภาพที่ 4.11 ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.12 ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและและไม่เติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.13 ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.14 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน

4.3.3 อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับการเติมออกซิเจนต่อคุณภาพน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน ซึ่งคุณภาพน้ำตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมด โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.3.1 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างของน้ำตัวอย่างที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.8 และภาพที่ 4.15 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.15

จากการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจน ในการลดค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำตัวอย่าง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจนให้ผลในการลดค่าความเป็นกรด – ด่างได้ดีกว่าการใช้น้ำกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว ซึ่งสาเหตุน่าจะเป็นไปตามที่ได้อภิปรายไว้ข้างต้นในข้อ 4.3.1.1 และ 4.3.2.1

4.3.3.2 บีโอดี

ปริมาณบีโอดีของน้ำตัวอย่างที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.8 และภาพที่ 4.16 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 16

จากการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจนในการลดปริมาณบีโอดีของน้ำตัวอย่าง และพบว่า น้ำสกัดจากชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนส่วนใหญ่ให้ผลในการลดปริมาณบีโอดีไม่ต่างกันมากนัก แต่อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจนจะให้ผลในการลดปริมาณบีโอดีได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียวโดยไม่มีการเติมออกซิเจน ซึ่งอาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างเป็นจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่าง และเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เมื่อมีการเติมออกซิเจนลงไป จึงอาจทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้ลดปริมาณบีโอดีได้ดีกว่าการไม่เติมออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเอนก สถิตย์ไทย (2538: บทคัดย่อ) ที่พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพบำบัดน้ำเสียจาก

นิคมขนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา ให้ผลในการลดค่าบีโอดีไม่แตกต่างจากชุดทดลอง และพบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพร่วมกับการเติมอากาศสามารถเร่งปฏิกิริยาการลดบีโอดีได้เร็วขึ้น

4.3.3.3 ของแข็งแขวนลอย

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ แบบเติมออกซิเจนและแบบไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.8 ภาพที่ 4.17 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 17

จากการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจนในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่าง และพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ส่วนใหญ่ให้ผลในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจนจะให้ผลในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพกากส่าเหล้าหมักโดยไม่เติมออกซิเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างเป็นจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่าง และเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์ เมื่อมีการเติมออกซิเจนเข้าไปจึงทำงานได้ดีขึ้น ทำให้เกิดเป็นตะกอนขนาดใหญ่ตกตะกอนได้ดีขึ้น ปริมาณของแข็งแขวนลอยจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเอนก สถิตย์ไทย (2538: บทคัดย่อ) ที่ศึกษาการใช้น้ำสกัดชีวภาพบำบัดน้ำเสียจากนิคมขนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพให้ผลในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพ และพบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพร่วมกับการเติมอากาศ จะให้ผลในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้เร็วขึ้น

4.3.3.4 ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ แบบเติมออกซิเจนและแบบไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.8 และภาพที่ 4.18 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.18

จากผลการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจนในการลดปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง และพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนให้ผลในการลดปริมาณตะกั่วไม่ต่างกันมากนัก อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจน ให้ผลการทดลองในการลดปริมาณตะกั่วได้ดีกว่าการ

ใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักโดยไม่มีการเติมออกซิเจน ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อมีการเติมออกซิเจนจะทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนมีเซลล์ที่มีชีวิตเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้จุลินทรีย์เหล่านี้ดูดซับตะกั่วได้มากขึ้น ดังที่ได้อภิปรายไว้ในหัวข้อ 4.3.1.4 และ 4.3.2.4

4.3.3.5 แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและแบบไม่เติมออกซิเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7– 4.8 และภาพที่ 4.19 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.19

จากการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจนในการลดปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่าง และพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ส่วนใหญ่ให้ผลในการลดปริมาณแคดเมียมไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างกับการเติมน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจนให้ผลในการลดปริมาณแคดเมียมได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักโดยไม่เติมออกซิเจน ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อมีการเติมออกซิเจนจะทำให้จุลินทรีย์ดูดซับแคดเมียมได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับการดูดซับตะกั่วดังที่ได้อภิปรายไว้ในข้อ 4.3.3.4

4.3.3.6 ปรอท

ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและแบบไม่เติมออกซิเจนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.8 และภาพที่ 4.20 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.20

จากการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจนในการลดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่าง และพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ส่วนใหญ่ให้ผลในการลดปริมาณปรอทไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างกับการเติมน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจนให้ผลในการลดปริมาณปรอทได้ดีกว่าการใช้น้ำกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อมีการเติมออกซิเจนจะทำให้จุลินทรีย์ดูดซับปรอทได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม ดังที่ได้อภิปรายในข้อ 4.3.3.4 และ 4.3.3.5

4.3.3.7 โคลิฟอร์มทั้งหมด

ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจน และแบบไม่เติมออกซิเจนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.8 และภาพที่ 4.21 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ 21

จากผลการทดลอง พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจนในการลดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง และพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจน ส่วนใหญ่ให้ผลในการลดปริมาณโคลิฟอร์มแตกต่างกันแต่ไม่มากนัก อย่างไรก็ดี พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าหมักร่วมกับการเติมออกซิเจนให้ผลในการลดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักโดยไม่มีการเติมออกซิเจน ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อมีการเติมออกซิเจนเข้าไปจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น มีผลทำให้สภาวะแวดล้อมของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนแปลงอาทิ ภาวะความเป็นกรดที่มากขึ้นหรือปริมาณอาหารที่ลดลงจนไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของเชื้อโคลิฟอร์มดังที่ได้อภิปรายไว้ในข้อ 4.3.1.7 และ 4.3.2.7 ข้างต้น

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลร่วมของชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ กับการเติมและไม่เติมออกซิเจนต่อคุณภาพน้ำตัวอย่าง

คุณภาพน้ำตัวอย่าง	เติมน้ำกลั่น		เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว		เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก		เติมน้ำสกัดชีวภาพหมักกับกากน้ำตาล		เติมน้ำสกัดชีวภาพหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.)		CV ร้อยละ	ปฏิสัมพันธ์
	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน		
ความเป็นกรด – ด่าง (pH) n.s	7.10	7.35	6.95	7.25	6.75	6.95	7.20	7.45	6.95	7.10	4.26	N.I
บีโอดี (มิลิกรัมต่อลิตร)	2.90^{f}	3.20^{ef}	4.25^{def}	6.10^{cde}	5.65^{cdef}	8.60^{abc}	7.00^{bcd}	11.25^{a}	6.25^{cd}	9.25^{ab}	19.28	N.I
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.90^{f}	4.90^{a}	5.10^{a}	9.80^{b}	6.90^{d}	11.85^{a}	4.50^{a}	8.65^{c}	4.55^{a}	8.75^{c}	6.85	N.I
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	4.50^{de}	22.50^{a}	3.00^{c}	13.50^{b}	1.50^{c}	9.00^{bcd}	3.00^{a}	6.00^{cde}	3.00^{a}	10.50^{bc}	32.15	N.I
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	2.07^{bcde}	2.19^{bcd}	3.33^{b}	5.56^{a}	0.99^{de}	2.92^{b}	0.78^{a}	3.37^{b}	1.17^{cde}	2.50^{bc}	22.56	N.I
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	3.99^{b}	4.04^{b}	2.98^{bc}	4.07^{b}	3.03^{bc}	3.45^{bc}	2.07^{c}	3.57^{bc}	4.40^{b}	7.61^{a}	18.42	N.I
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (MPN/100ml)	2.60^{f}	4.00^{ef}	19.00^{def}	32.00^{a}	23.00^{def}	102.00^{bc}	58.00^{cde}	236.50^{a}	68.00^{cd}	141.50^{b}	32.96	N.I

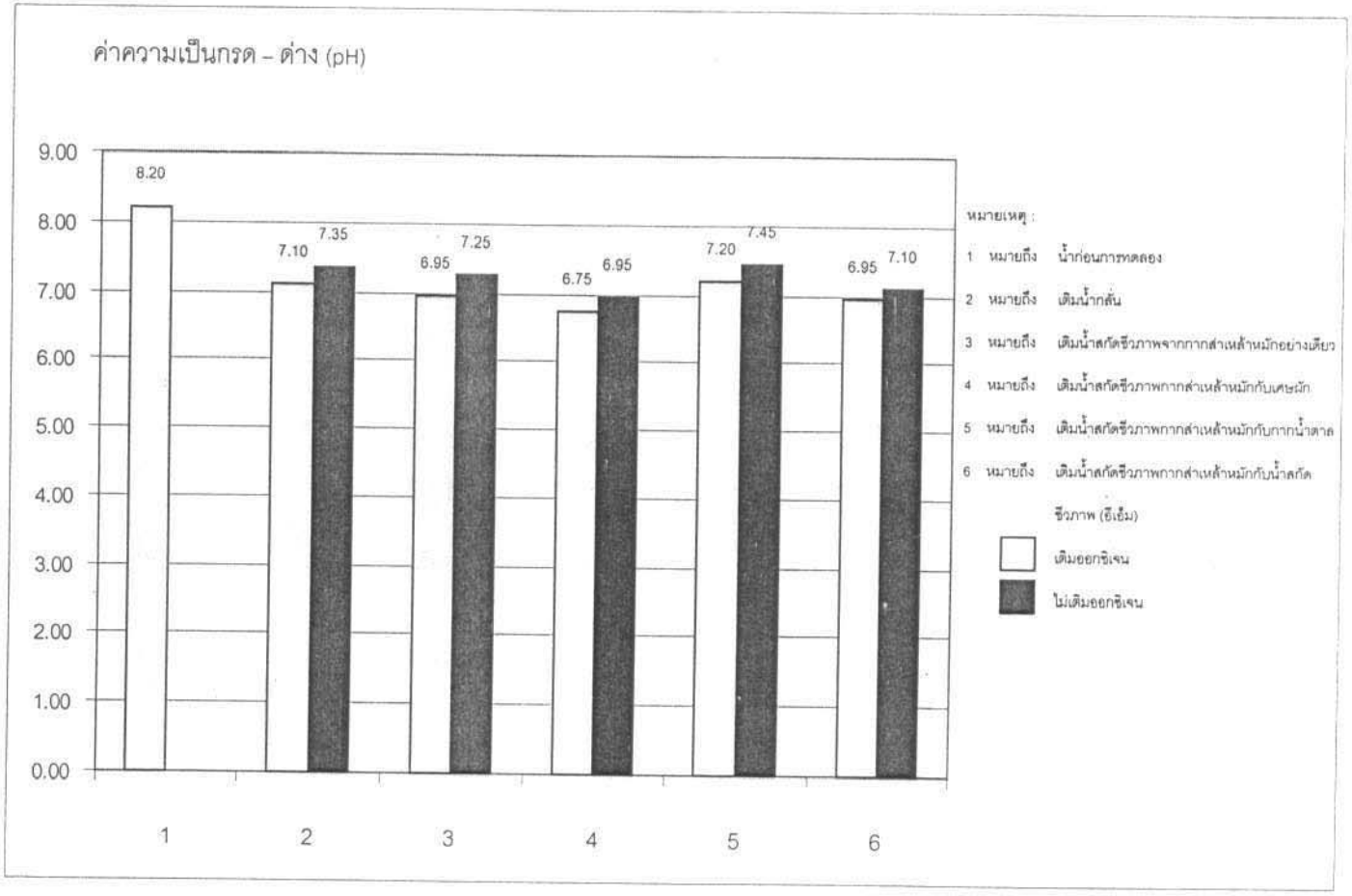
หมายเหตุ: abcdef ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

n.s. แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

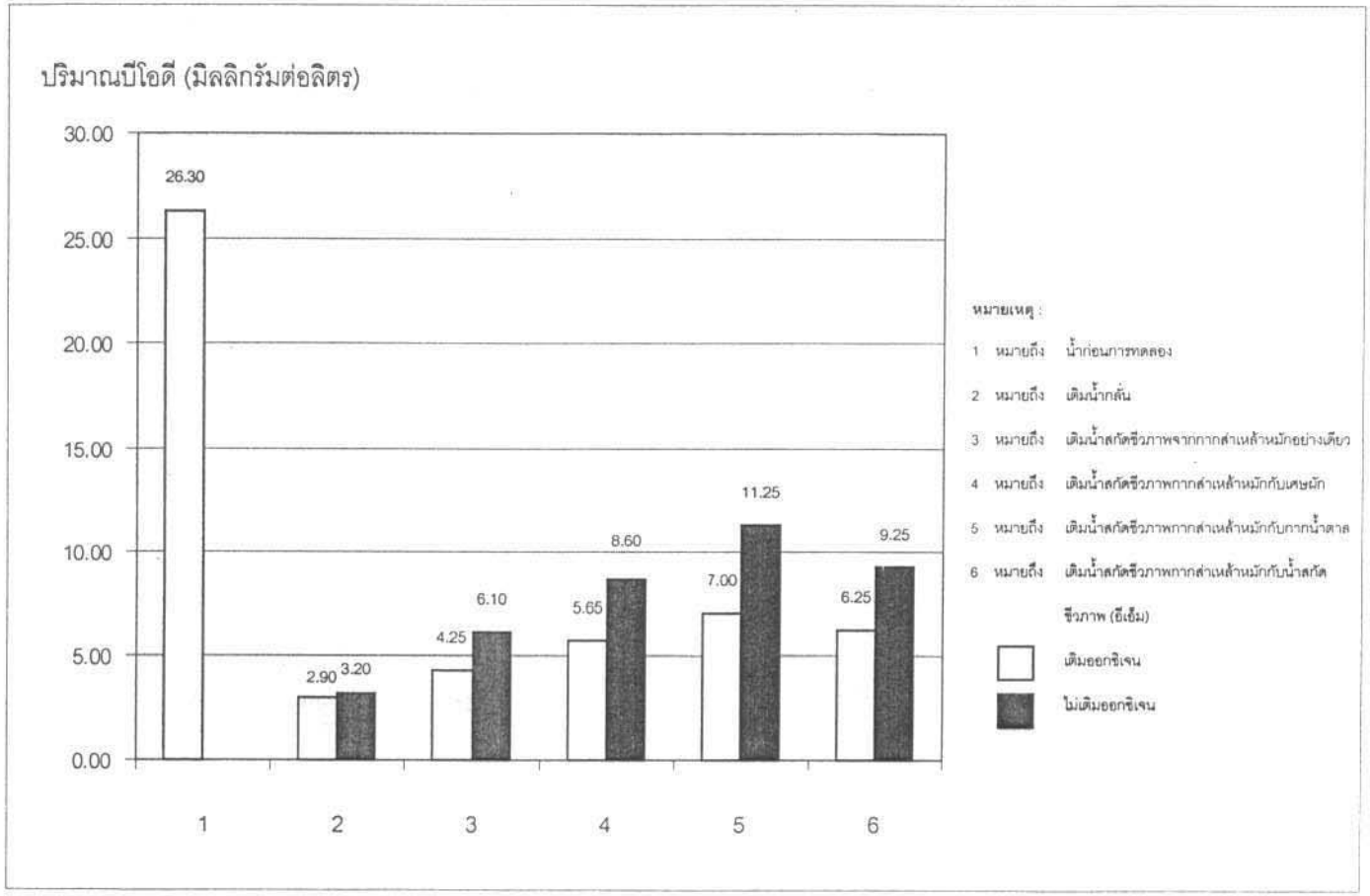
N.I Non Interaction แสดงว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับการเติมหรือไม่เติมออกซิเจน

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลร่วมของชนิดของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับการเติมและไม่เติมออกซิเจนต่อการลดลงของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในรูปร้อยละ

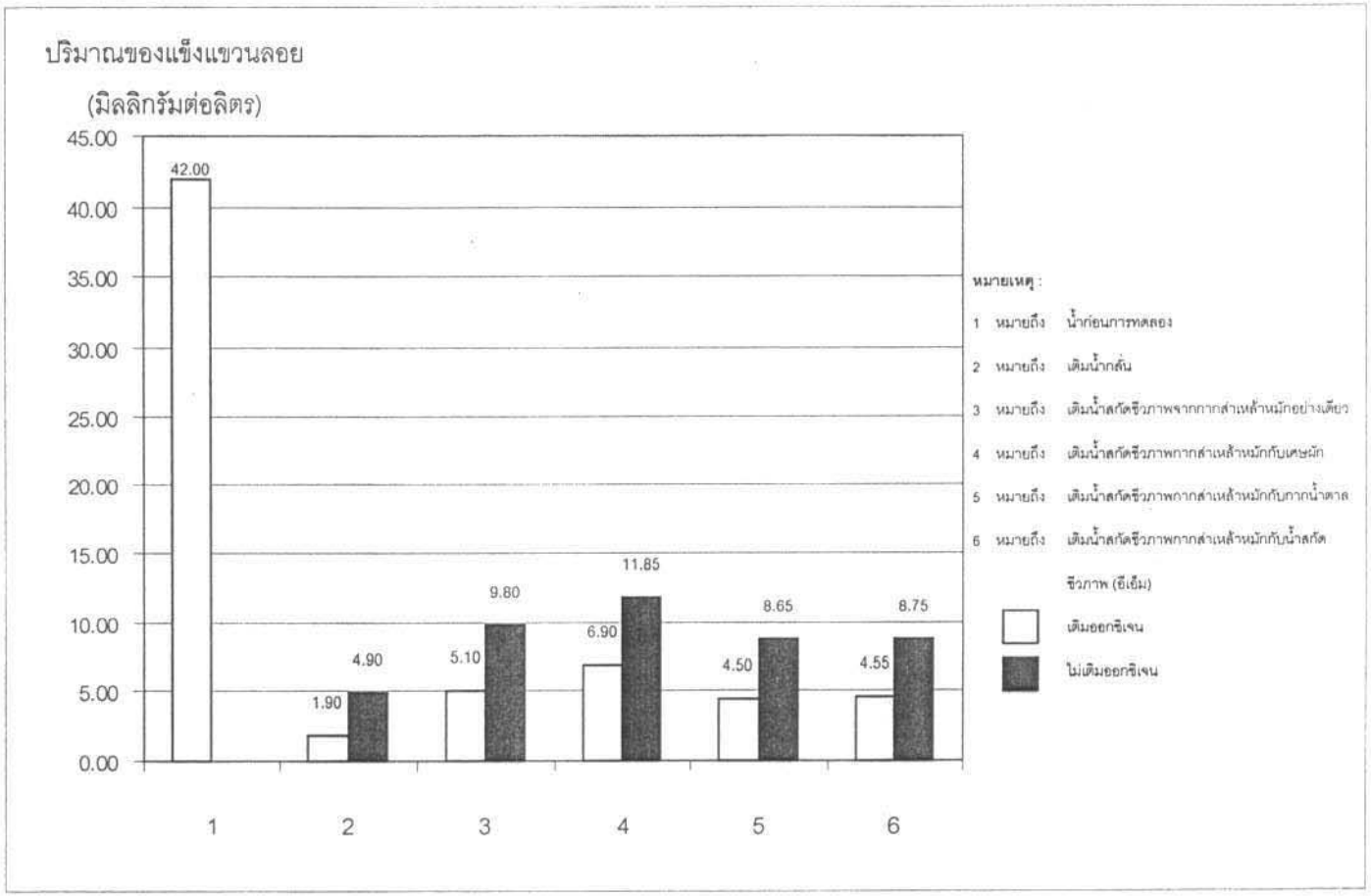
คุณภาพน้ำตัวอย่าง	เติมน้ำกลั่น		เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว		เติมน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก		เติมน้ำสกัดชีวภาพหมักกับกากน้ำตาล		เติมน้ำสกัดชีวภาพหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.)	
	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน	ไม่เติมออกซิเจน
ความเป็นกรด – ด่าง (pH) [n.s]	13.41	10.37	15.24	11.59	17.68	15.24	12.20	9.15	15.24	13.41
บีโอดี (มิลิกรัมต่อลิตร)	88.97	87.83	83.84	76.81	78.58	67.30	73.38	57.22	76.24	64.83
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	95.48	88.33	87.14	76.67	83.57	71.79	89.29	79.40	89.17	79.29
ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	85.94	26.69	90.63	57.81	95.31	71.88	90.63	81.25	90.63	67.19
แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	92.61	92.18	88.11	80.14	96.46	89.57	97.21	87.96	95.82	91.07
ปรอท (ไมโครกรัมต่อลิตร)	52.27	51.67	64.83	51.32	63.76	56.73	75.24	57.18	47.39	8.97
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (MPN/100ml)	99.96	99.59	91.75	99.57	99.69	98.64	99.23	96.85	99.09	98.11



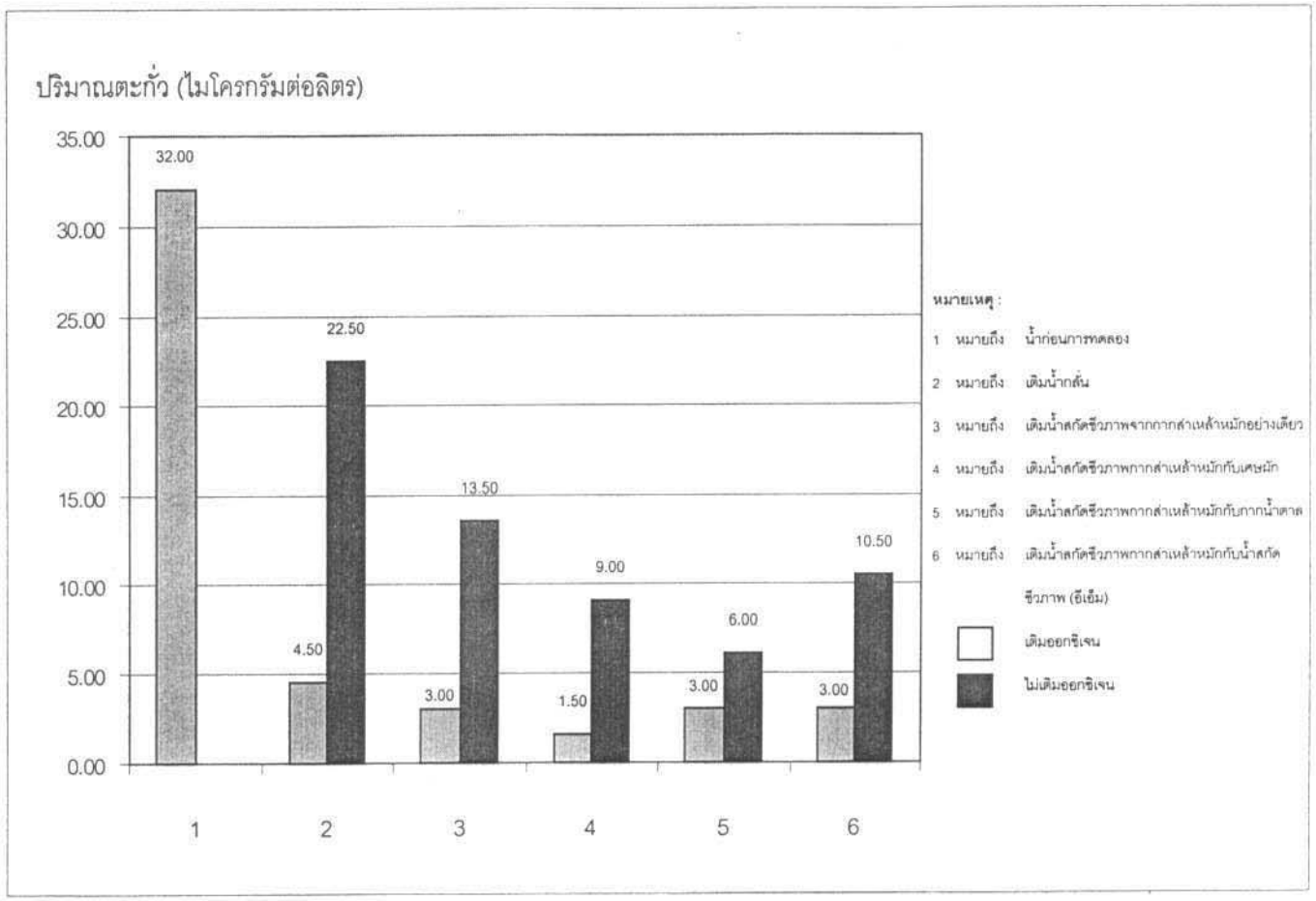
ภาพที่ 4.15 ความเป็นกรด – ด่าง ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน



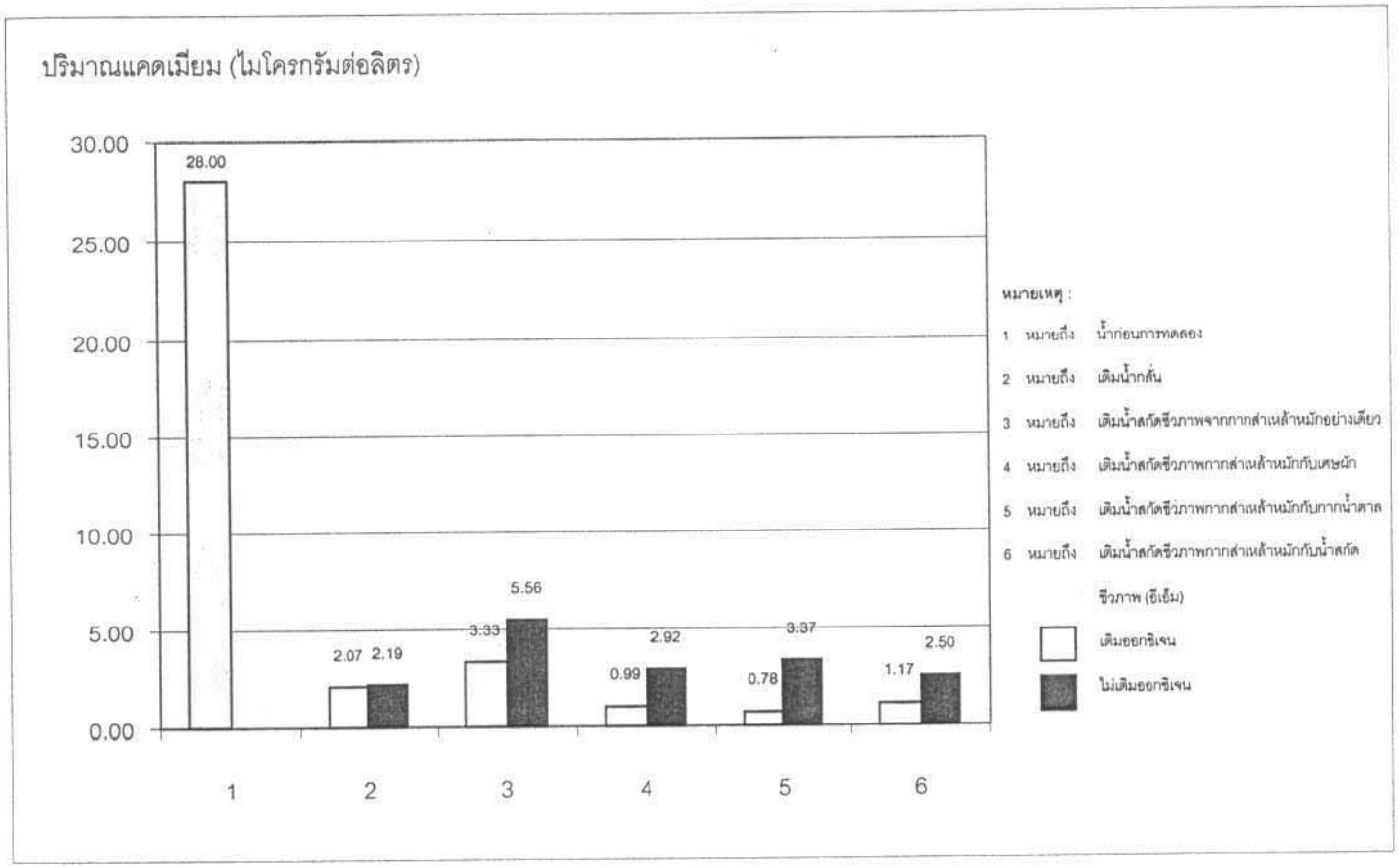
ภาพที่ 4.16 ปริมาณบีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน



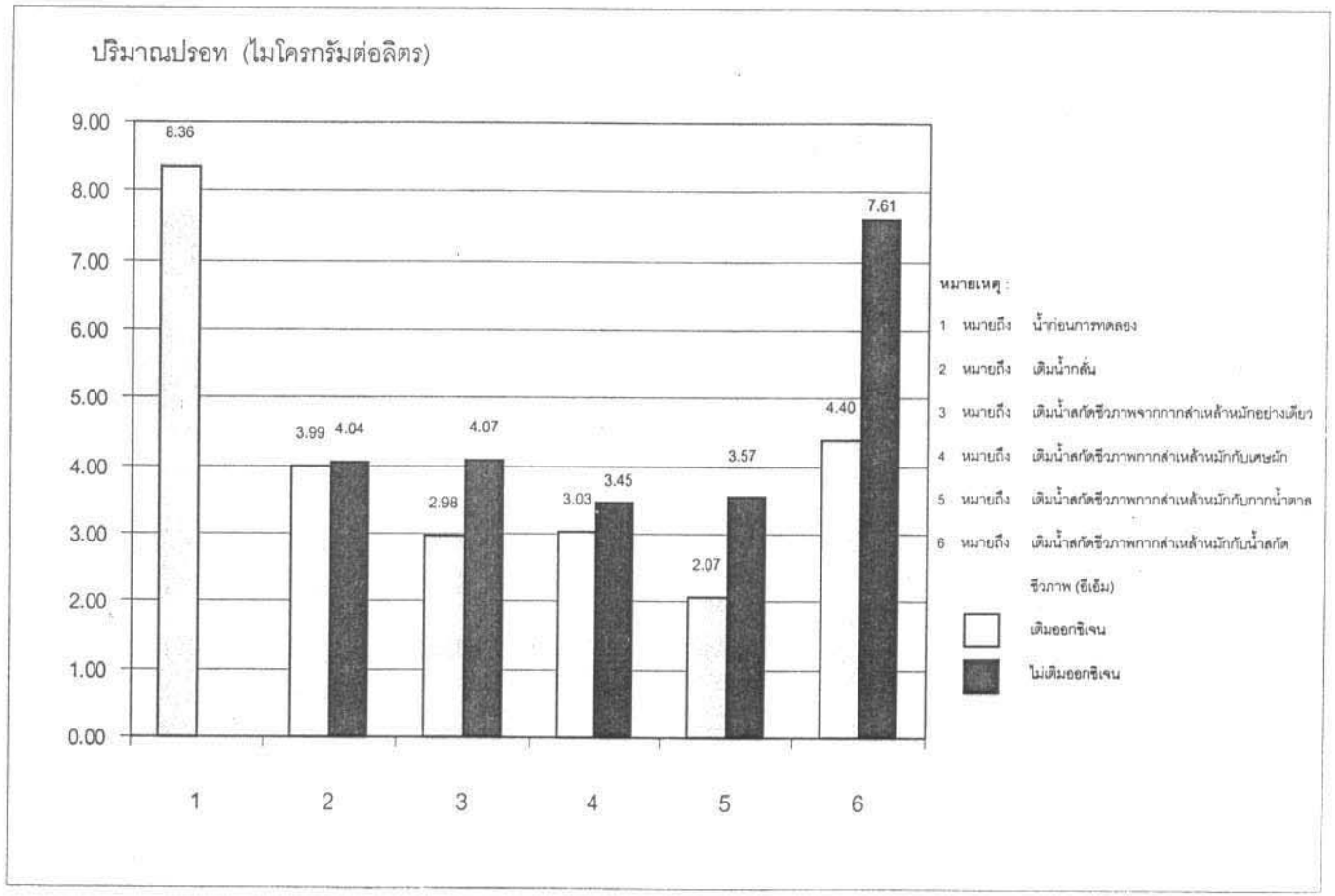
ภาพที่ 4.17 ของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน



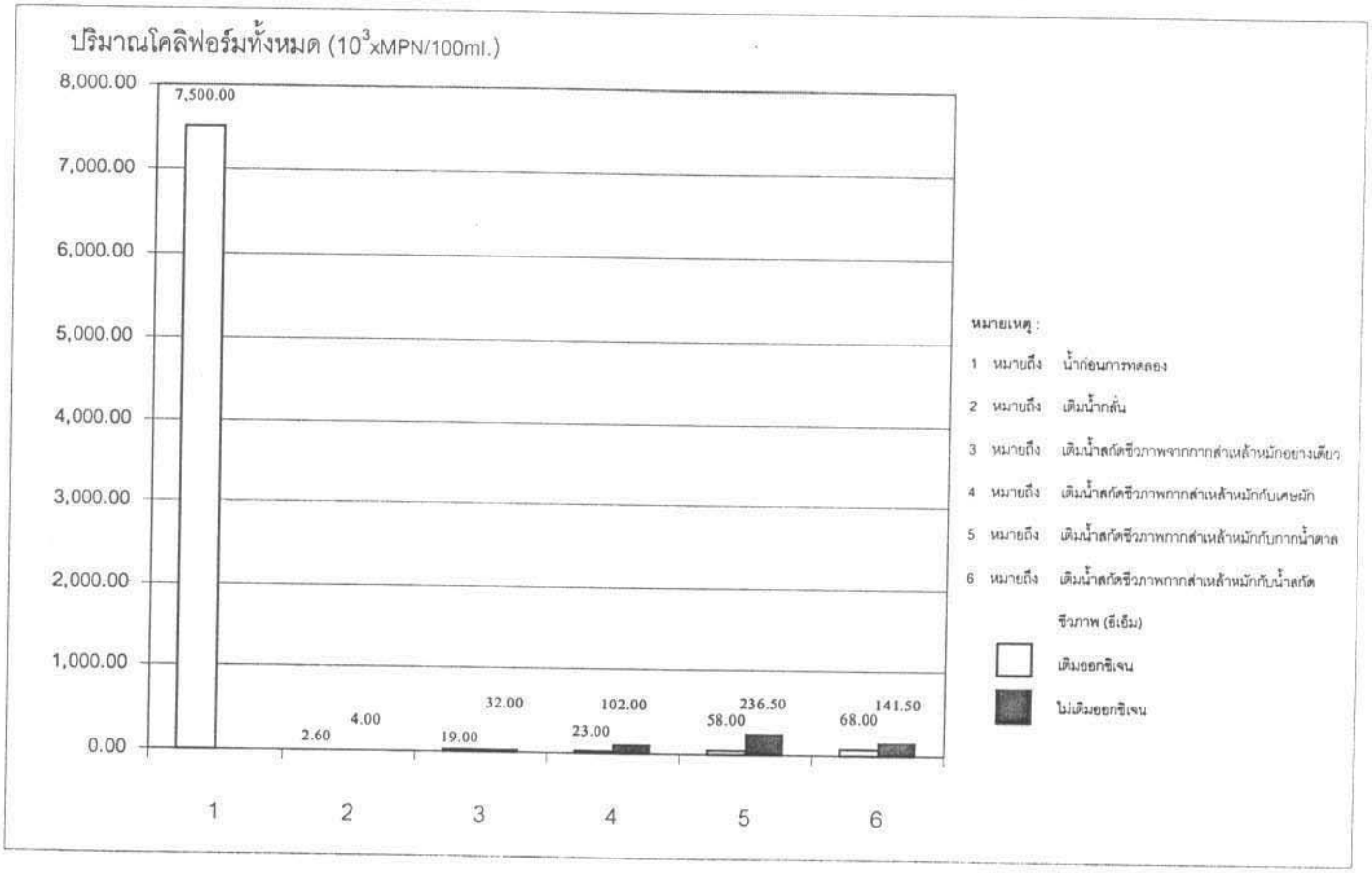
ภาพที่ 4.18 ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.19 ปริมาณแคดเมียมในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.20 ปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.21 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ที่มีการเติมและไม่มีการเติมออกซิเจน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการนำน้ำกากส่าเหล้าจากกระบวนการผลิตสุรามาหมักในสภาพไร้อากาศเพื่อให้กลายเป็นน้ำสกัดชีวภาพรวมถึงการนำน้ำกากส่าเหล้ามาหมักกับวัสดุต่างๆ ได้แก่ เศษผัก กากน้ำตาล และน้ำสกัดชีวภาพ (อีเอ็ม) เพื่อให้กลายเป็นน้ำสกัดชีวภาพ แล้วนำไปใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบแบบมีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) บำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ พบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ นั้น ให้ผลในการลดค่าความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย แคดเมียม ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมดไม่แตกต่างจากการเติมน้ำกลั่น (4 มิลลิลิตร) มากนัก แต่ลดปริมาณตะกั่วได้ดีกว่าการเติมน้ำกลั่น แสดงว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่าง ยกเว้นปริมาณตะกั่ว การที่คุณภาพน้ำตัวอย่างดีขึ้น จึงน่าจะเกิดจากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในน้ำตัวอย่างทำการย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำตัวอย่างมากกว่า

5.1.2 การเติมออกซิเจนจะช่วยในการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างให้ดีขึ้น โดยพบว่า การเติมออกซิเจนช่วยในการลดค่าความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมดได้ดีกว่าการไม่เติมออกซิเจน โดยเฉพาะ บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และตะกั่ว ที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

5.1.3 การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำกากส่าเหล้าหมักอย่างเดียว น้ำกากส่าเหล้าหมักกับเศษผัก น้ำกากส่าเหล้าหมักกับกากน้ำตาล และน้ำกากส่าเหล้าหมักกับน้ำสกัดชีวภาพ (E.M.) ร่วมกับการเติมออกซิเจน ในการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ร่วมกับการเติมออกซิเจนให้ผลในการลดค่าความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม

ปรอท และโคลิฟอร์มทั้งหมด ได้ดีกว่าการใช้น้ำสกัดหมักชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักโดยไม่มีการเติมออกซิเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลอง พบว่า มีข้อเสนอแนะที่สำคัญดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรจะมีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก เพื่อจะได้ทราบถึงกระบวนการย่อยสลายว่าเกิดอย่างไร มีจุลินทรีย์ชนิดไหนที่ทำงานได้ดีในการบำบัดได้บ้าง

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงการนำน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักไปทดลองใช้บำบัดน้ำเสียในสภาพไร้อากาศ

5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่สามารถลดตะกั่วได้ดีกว่าจุลินทรีย์ธรรมชาติ ดังผลในตารางที่ 4.3 อย่างเห็นได้ชัด เพื่อที่จะสามารถนำไปพัฒนาเป็นเชื้อจุลินทรีย์เพื่อการบำบัดในระยะยาวต่อไป

5.2.4 ควรมีการศึกษาถึงเรื่องกลิ่นเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย ว่ามีกลิ่นไม่พึงประสงค์รุนแรงเพียงใด

5.2.5 เนื่องจากการทดลอง พบว่า การเติมออกซิเจนจะทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดคุณภาพน้ำดีขึ้น จึงควรมีการศึกษาถึงปริมาณออกซิเจนที่จะทำให้มีประสิทธิภาพของการบำบัดสูงสุด

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure)

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

โดยวิธี 5 Days Incubation และ Azide Modification

ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะที่มีอากาศ Biochemical Oxygen Demand (BOD) คือ ค่าบีโอดีซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ เมื่อน้ำนั้นถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การหาค่า BOD_5 จะเป็นการหาออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ไปภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

1. **ขอบข่ายการทดสอบ**

วิธีนี้ใช้ได้กับการทดสอบตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยถ้าจำเป็นจักต้องมีการทำ (Seeding) และ Pretreatment ที่เหมาะสม

2. **ค่าที่รายงานผล (Detection Limits)**

Minimum Detection Limit เท่ากับ 2 mg/l

3. **รายละเอียดการประกันคุณภาพ (Quality Assurance Criteria)**

3.1 QA Limit ของ "ร้อยละผลต่าง (Relative Percent Difference)" สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ (Duplicate Analysis) เท่ากับร้อยละ 15

3.2 ค่า BOD ของตัวอย่าง QA (Glucose – Glutamic Acid) ควรมีค่า 198 $\pm$ 30.5 mg/l

3.3 ผลต่างของปริมาณ DO_0 และ DO_5 ต้องมีค่าอย่างน้อย 2 mg/l

3.4 ปริมาณ DO_5 ต้องมีค่าอย่างน้อย 1 mg/l

3.5 ผลต่างของปริมาณ DO_0 และ DO สำหรับ Blank ของน้ำเจือจางต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 mg/l สำหรับกรณีที่เติมน้ำเชื้อ ความแตกต่างของ DO สำหรับ Blank ควรจะอยู่ระหว่าง 0.6 และ 0.1 mg/l

4. หลักการวิธีทดสอบ

สำหรับตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ถ้าจำเป็นให้ทำการเจือจางในสัดส่วนที่เหมาะสมและให้มีปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพียงพอ และอาจต้องมีการเติมอากาศเพื่อปรับปริมาตรของออกซิเจนละลายน้ำในน้ำตัวอย่าง แล้วนำไปหาปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ในที่มืด เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างมาหาปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่ ค่าของ BOD หาได้จากปริมาณของออกซิเจนที่ลดลง ในการทดสอบหาออกซิเจนละลายน้ำจะใช้วิธี Winkler (Azide Modification) โดยเติมสารละลาย Manganese Sulfate แล้วตามด้วยสารละลาย Alkali – iodide – azide ออกซิเจนที่ละลายน้ำจะไปทำปฏิกิริยากับ Manganese ได้ตะกอนสีแดงของ Manganese Dioxide และภายใต้สภาวะที่เป็นกรด Iodine จะทำปฏิกิริยากับ Manganese Dioxide ได้เป็น Iodine จากนั้นไตเตรท (Titrate) หา Iodine ด้วยสารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate

5. การเก็บรักษาตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์หาค่า BOD ทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง ในกรณีที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ภายใน 2 ชั่วโมง ให้เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง ตัวอย่างที่แช่เย็นไว้ให้ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างให้ได้ประมาณ 20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์

6. ข้อควรระวัง

หลังจากที่ล้างขวด BOD ให้สะอาดแล้ว ก่อนนำมาใช้ให้ Rinse ด้วยน้ำกลั่นที่ต้มให้เดือดเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ตกค้าง และคว่ำให้เย็นและแห้งก่อนนำมาใช้

7. เครื่องมือและอุปกรณ์

7.1 ขวดเพื่อ BOD ขนาด 250 – 300 ml พร้อมจุกปิดสนิทแบบ Ground Joint ส่วนใหญ่ใช้ขวดที่ทำพิเศษเพื่อการหาออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉพาะ

7.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ หรือ Water Bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส และต้องมืดเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในตัวอย่าง

7.3 อุปกรณ์สำหรับเติมอากาศในน้ำ

7.4 ปิเปต (Pipets)

7.5 กระบอกตวง (Cylinder)

7.6 อุปกรณ์สำหรับการไตเตรท (Titrate)

7.7 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flasks)

8. สารเคมี

8.1 สารละลาย Phosphate Buffer

นำสาร KH_2PO_4 มา 8.5 g. สาร K_2HPO_4 มา 21.75 g. สาร $Na_2HPO_4.7H_2O$ มา 33.4 g. สาร NH_4Cl มา 1.7 g. ละลายสารทั้งหมดในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l ค่า pH ของสารละลายนี้ควรจะประมาณ 7.2 โดยไม่ต้องปรับ

8.2 สารละลาย Magnesium Sulfate

นำสาร $MgSO_4.7H_2O$ มา 22.5 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

8.3 สารละลาย Calcium Chloride

นำสาร $CaCl_2$ มา 27.5 g. สารละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

8.4 สารละลาย Ferric Chloride

นำสาร $FeCl_3.6H_2O$ มา 0.25 g. ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

8.5 สารละลายกรดและด่าง 1 N เพื่อใช้ในการปรับค่า pH ของตัวอย่างให้เป็นกลาง

8.6 สารละลาย Sodium Sulfite

นำสาร Na_2SO_3 มา 1.575 g. ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml สารละลายนี้ไม่อยู่ตัว ต้องเตรียมในวันที่จะใช้

8.7 สารป้องกันการเกิด Nitrification : 2 Chloro – 6 – (Trichoromethyl) Pyridine

8.8 สารละลาย Glucose – glutamic Acid

อบ Glucose (Reagent Grade) และ Glutamic Acid (Reagent Grade) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำ Glutamic Acid (Reagent Grade) มา 150 mg มาละลายน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l สารละลายนี้เก็บไว้ในตู้เย็นได้ 3 สัปดาห์

8.9 สารละลาย Manganous Sulfate (DO#1)

นำสาร $MnSO_4.4H_2O$ มา 480 g. หรือสาร $MnSO_4.2H_2O$ มา 400 g หรือสาร $MnSO_4.H_2O$ มา 364 g ละลายในน้ำกลั่น กรอง แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l สารละลายที่เตรียมได้ไม่ควรให้สีกับน้ำแป้ง เมื่อนำไปเติมลงไปในสารละลาย Potassium Iodide (KI) ที่มีสภาพเป็นกรด

8.10 สารละลาย Alkali – iodide – azide (DO#2)

นำสารละลาย NaOH มา 500 g (หรือสาร KOH 700 g) และสาร NaI มา 135 g (หรือสาร KI 150 g) ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l หลังจากนั้นนำสาร Nan_3 มา 10 g ละลายในน้ำกลั่น 40 ml แล้วนำไปเติมในสารละลายที่เตรียมขึ้น

8.11 กรด H_2SO_4 เข้มข้น (DO#3)

8.12 น้ำแป้ง

ละลาย Soluble Starch 2 g และ Salicylic Acid 0.2 g ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 ml ที่ทำให้ร้อน

8.13 สารละลายมาตรฐาน Potassium Bi –iodate (0.025 N)

ละลาย $KH(IO_3)_2$ 812.4 mg ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 l

8.14 สารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate (0.025 N)

นำสาร $Na_2S_2O_3.5H_2O$ มา 6.205 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติม NaOH 6N จำนวน 1.5 ml หรือ NaOH จำนวน 0.4 g แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l ให้ทำการ Standardize สารละลายนี้ด้วยสารละลาย Bi – iodate ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

9. ขั้นตอนการวิเคราะห์

9.1 วิธีการหาโดยตรง

ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า BOD ไม่เกิน 7 mg/l ไม่จำเป็นต้องเจือจางตัวอย่าง ส่วนใหญ่จะได้แก่ น้ำจากแม่น้ำลำคลอง ให้วิเคราะห์ตัวอย่างตามขั้นตอนต่อไปนี้

9.1.1 ปรับอุณหภูมิตัวอย่างให้ได้ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

9.1.2 เติมอากาศให้ตัวอย่างมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำใกล้จุดอิ่มตัว

9.1.3 เติมตัวอย่างในขวด BOD จำนวน 2 ขวด

9.1.4 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในขวดที่ 1 ทันที

9.1.5 นำขวดที่ 2 เข้าเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

9.1.6 หลังจาก 5 วัน วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเหลืออยู่ในขวดที่ 2

9.2 วิธีการที่ต้องเจือจางตัวอย่าง

วิธีนี้ใช้กับตัวอย่างที่มีความสกปรกสูง โดยมีค่า BOD มากกว่า 7mg/l ซึ่งถ้าไม่เจือจางตัวอย่าง แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนหมดก่อน 5 วัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงไม่สามารถหาค่า BOD ได้

9.2.1 การเตรียมน้ำเจือจาง

9.2.1.1 ตวงน้ำกลั่นตามปริมาณที่ต้องการใช้

9.2.1.2 เติมสารละลายต่อไปนี้ Phosphate Buffer, Magnesium Sulfate, Calcium Chloride และ Ferric Chloride อย่างละ 1 ml ต่อน้ำกลั่น 1 l

9.2.1.3 เติมอากาศอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนที่ละลายน้ำ

9.2.1.4 ปรับอุณหภูมิให้ได้ 20 องศาเซลเซียส

9.2.1.5 เติมน้ำเชื้อ (Seed) ถ้าจำเป็น โดยปกติแล้วถ้าเป็นน้ำเชื้อจากน้ำเสียชุมชนจะใช้น้ำเชื้อ 2 ml ต่อน้ำเจือจาง 1 l

9.2.2 การเติมน้ำเชื้อ (Seeding)

ตัวอย่างจำเป็นต้องมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ในปริมาณที่เพียงพอ น้ำเสียชุมชน น้ำที่ผ่านการบำบัดแบบชีวภาพและยังไม่มีการฆ่าเชื้อหรือเติมคลอรีน และน้ำผิวดิน จะมีปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพียงพอ แต่ตัวอย่างบางประเภทมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ เช่น น้ำเสียจากโรงงานบางประเภท น้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อ น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง หรือน้ำเสียที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสูง เป็นต้น สำหรับน้ำเสียประเภทเหล่านี้จำเป็นต้องมีการเติมน้ำเชื้อลงในน้ำเจือจางด้วย น้ำเชื้อที่สามารถใช้น้ำเสียชุมชน โดยนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่อย่าให้นานเกิน 36 ชั่วโมง แล้วนำส่วนที่ใสมาเป็นน้ำเชื้อ ซึ่งการควบคุมน้ำเชื้อ (Seed Control) คือ การวิเคราะห์ค่า BOD ของน้ำเชื้อที่ใช้เติมลงในน้ำเจือจางค่าที่ได้จะนำไปใช้คำนวณภายหลัง

9.2.3 การจัดการขั้นต้นกับตัวอย่าง

9.2.3.1 ตัวอย่างที่มีความเป็นกรด หรือด่างให้ปรับให้เป็นกลางโดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 7.5 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH โดยปริมาณของกรดหรือด่างที่เติมไม่ควรมากกว่าร้อยละ 5 ของปริมาตรตัวอย่าง

9.2.3.2 ตัวอย่างที่มีสารประกอบของคลอรีนตกค้างอยู่ : ถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงตัวอย่างที่มีสารคลอรีนตกค้าง โดยเก็บตัวอย่างก่อนที่จะผ่านเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ถ้าตัวอย่างผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนแล้ว ตรวจไม่พบสารคลอรีนที่ตกค้างให้เติมน้ำเชื้อในน้ำที่เจือจางด้วย ถ้าพบปริมาณคลอรีนตกค้างให้กำจัดคลอรีนก่อนและเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจางด้วย

9.2.3.3 ตัวอย่างสารมีพิษ : น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น จากโรงงานชุบโลหะ จะมีโลหะที่เป็นสารพิษอยู่ด้วย ตัวอย่างประเภทนี้จำเป็นต้องได้รับการศึกษาและบำบัดเป็นกรณีพิเศษ

9.2.3.4 ตัวอย่างที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเกินจุดอิ่มตัว : ตัวอย่างที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 3 mg/l ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ให้ลดปริมาณออกซิเจนลงมาจนถึงจุดอิ่มตัว โดยการเติมตัวอย่างไม่ต้องเต็มขวดแล้วเขย่า หรือโดยการเติมอากาศ

9.2.3.5 การป้องกันการเกิด Nitrification : ถ้าต้องการป้องกันความผิดพลาดของค่า BOD จากการเกิด Nitrification ให้เติม 2 – Chloro – 6 – (Trichloro Methyl) Pyridine (TCMP) จำนวน 3 mg ในขวด BOD ขนาด 300 ml ก่อนปิดจุกหรือเติมในน้ำเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 10 mg/l

9.2.4 การทำ Blank

นำน้ำเจือจางมาเทใส่ขวด BOD 6 ขวด นำ 3 ขวด ไปวิเคราะห์หา DO ทันที และ 3 ขวดที่เหลือไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำไปหา BOD

9.2.5 การทำตัวอย่าง QC

9.2.5.1 เลือกตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนมา 1 ตัวอย่าง ใช้เป็นน้ำเชื้อ (Seed) โดยนำมา 10 ml ใส่ลงไปในกระบอกตวง 1,000 ml

9.2.5.2 เติมสารละลาย Glucose – glutamic Acid จำนวน 20 ml

9.2.5.3 เติมน้ำเจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 ml

9.2.5.4 กวนสารละลายในกระบอกตวงให้เข้ากันด้วยแท่งกวน

9.2.5.5 ค่อย ๆ เทสารละลายในกระบอกตวง ใส่ขวด BOD 3 ขวด พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

9.2.5.6 ขวด 1 นำไปหา DO ทันที

9.2.5.7 ขวด 2 และ 3 นำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันแล้วจึงนำไปหา DO

9.2.6 การทำ Duplicate

ให้ทำ Duplicate สำหรับตัวอย่างน้ำที่ใช้ทำ QC โดยเจือจางตัวอย่างให้ได้ 1,000 ml แล้วเทใส่ขวด BOD 3 ขวดนำไปหา DO ทันที 1 ขวด แล้วนำ 2 ขวดที่เหลือไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำไปหาค่า BOD

9.2.7 การเจือจาง

การเจือจางตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเจือจางในกระบอกตวง และการเจือจางโดยตรงในขวด BOD สำหรับการเจือจางโดยตรงในขวด BOD ถ้าใช้ตัวอย่างน้อยกว่า 0.5 ml ให้เจือจางตัวอย่างเบื้องต้นก่อน

9.2.7.1 เติมอากาศให้ตัวอย่างประมาณ 2 นาที

9.2.7.2 กำหนดปริมาณการเจือจางตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่กำหนด 3 ช่วง ให้ครอบคลุมค่า BOD ที่ประเมินไว้ การเจือจางที่ดีควรให้ผลของ DO ที่เวลา 5 วัน มีค่าอย่างน้อย 1 mg/l และปริมาณ DO ที่ลดลงหลังจากเวลา 5 วัน ควรมีค่าอย่างน้อย 2 mg/l การหาค่า COD ของตัวอย่าง ซึ่งสามารถรู้ผลภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง สามารถช่วยในการเลือกช่วงที่จะเจือจางตัวอย่างได้ โดยส่วนใหญ่ค่า BOD จะมีประมาณร้อยละ 60 ของค่า COD หรืออาจจะประเมินจากประเภทของตัวอย่างได้ดังนี้

1) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้เจือจาง น้อยกว่าร้อยละ 1.0
2) น้ำเสียจากชุมชน ให้เจือจางร้อยละ 1 ถึง 5
3) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ ให้เจือจางร้อยละ 5 ถึง 25
4) น้ำแม่น้ำที่เน่าเสีย ให้เจือจางร้อยละ 25 ถึง 100

สำหรับการเลือกช่วงเจือจางนั้น ให้ประมาณค่า BOD ของตัวอย่างก่อน เช่น ประมาณว่าตัวอย่างมีค่า BOD เท่ากับ 500 mg/l จากตารางแนะนำให้เจือจางตัวอย่างร้อยละ 1 สำหรับ BOD ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 200 ถึง 700 mg/l จากนั้นให้เลือกเจือจางตัวอย่างอีก 2 ช่วง ที่มากกว่าร้อยละ 1 อยู่ 1 ขั้น คือ ร้อยละ 0.5 และร้อยละ 2.0 ช่วงของ BOD ที่ทำการเจือจางจะเป็น 100 ถึง 1,400 mg/l ซึ่งน่าจะครอบคลุมค่า BOD ของตัวอย่างและสามารถป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการประมาณขั้นต้น

9.2.7.3 เทตัวอย่างในปริมาณที่ต้องการลงในกระบอกตวง 1l

9.2.7.4 เติมน้ำเจือจางลงไปจนปริมาตรได้ 700 ml

9.2.7.5 กวนตัวอย่างให้เข้ากันดีด้วยแท่งกวน

9.2.7.6 ค่อย ๆ เทตัวอย่างลงในขวด BOD จำนวน 2 ขวด พยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ เพราะจะถือว่า DO ของตัวอย่างทั้ง 2 ขวด มีค่าเท่ากัน ปิดจุก หล่อน้ำ ใส่ฝาครอบ

9.2.7.7 นำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส 1 ขวด ขวดที่เหลือนำไปวิเคราะห์หาค่า DO ทันทีด้วยวิธี Azide Modification

ในกรณีที่หาค่า DO โดยใช้วิธี Membrane Electrode ให้เตรียมตัวอย่างขวดเดียว และหาค่า DO เริ่มต้นก่อน แล้วจึงปิดฝา อย่าให้มีฟองอากาศในขวดหล่อน้ำ แล้วนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

9.2.8 การหาค่า DO เริ่มต้นและสุดท้าย

การหาค่า DO สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธี Winkler (Azide Modification) และวิธี Membrane Electrode โดยขั้นตอนการหา DO โดยวิธี Winkler (Azide Modification) มีดังนี้

9.2.8.1 เทน้ำที่หล่อจุกขวดตัวอย่างออก

9.2.8.2 เปิดจุก เติมสารละลาย Manganese Sulfate (DO#1) 1 ml โดยขณะที่เติมให้ปลายปิเปต (Pipet) อยู่ใต้ผิวน้ำ

9.2.8.3 เติมสารละลาย Alkali – iodide – azide (DO#2) 1 ml โดยให้ปลายปิเปต (Pipet) อยู่ใต้ผิวน้ำขณะเติม

9.2.8.4 ปิดจุกโดยอย่าให้มีฟองอากาศภายในขวด คว่ำขวดไปมาหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้สารผสมกัน

9.2.8.5 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำเกินครึ่งหนึ่งของขวด

9.2.8.6 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น (DO#3) 1 ml โดยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปข้าง ๆ คอขวด ปิดจุกคว่ำขวดขึ้นลงหลายครั้งจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

9.2.8.7 ตวงปริมาตร 201 ml นำไปไตเตรท (Titrate) กับสารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate (0.025 N) จนได้สีเหลืองอ่อน

9.2.8.8 เติมน้ำแป้ง 2 – 3 หยด จะได้สีน้ำเงินเข้มทำการไตเตรทต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate ที่ใช้จะเทียบเท่ากับปริมาณของค่าออกซิเจน (DO) ของน้ำตัวอย่าง โดยมีหน่วยเป็น mg/l

10. การคำนวณ

10.1 กรณีไม่มีการเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง

$$BOD = \frac{DO\ 0 - DO\ 5}{P}$$

โดยที่ BOD = ค่า BOD ที่ระยะเวลากักเก็บตัวอย่าง 5 วันมีหน่วยเป็น (mg/l)

DO_o = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างที่หาได้ทันที (mg/l)

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน (mg/l)

P = สัดส่วนปริมาณของตัวอย่างที่ใช้เจือจาง โดยคิดปริมาณทั้งหมดเป็น 1 ส่วน

10.2 กรณีเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง

$$BOD = \frac{(DO\ 0 - DO\ 5) - (B1 - B2)\ F}{P}$$

โดยที่ BOD = ค่า BOD ที่ระยะเวลากักเก็บตัวอย่าง 5 วันมีหน่วยเป็น (mg/l)

DO_o = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างที่หาได้ทันที (mg/l)

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน (mg/l)

P = สัดส่วนปริมาณของตัวอย่างที่ใช้เจือจาง โดยคิดปริมาณทั้งหมดเป็น 1 ส่วน

B1 = DO ของ Seed Control ก่อนนำเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิ (mg/l)

B2 = DO ของ Seed Control หลังจากเก็บไว้ 5 วัน (mg/l)

F = อัตราส่วนน้ำเชื้อในตัวอย่างที่เจือจางกับใน Seed Control

11. การรายงานผล

รายงานผลค่า BOD เป็นเลขจำนวนเต็มมีหน่วยเป็น (mg/l)

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) โดยวิธี Gravimetric และอบที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส

ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) หมายถึง สารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส สิ่งที่กลายเป็นไอไปได้ก็จะสูญเสียไป เหลือเพียงตะกอนของสารที่มีในน้ำตัวอย่างเท่านั้น ตะกอนที่คงเหลืออยู่นั้นมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ **ของแข็งทั้งหมดประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย** (Total Suspended Solids) คือ ส่วนที่ตกค้างอยู่บนกระดาษกรอง (2.0 μm Pore Size) และของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) คือ ส่วนที่ผ่านกระดาษกรอง

การหาค่าของแข็งแขวนลอยนั้นเกิดข้อผิดพลาดง่ายถ้าใช้ตัวอย่างน้อย ดังนั้น ควรจะใช้ตัวอย่างในการกรองให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สำหรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือมีความสกปรกน้อยอาจต้องใช้ถึง 1 l

1. **ขอบข่ายของการทดสอบ**

   วิธีนี้ใช้ได้กับตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำเสีย

2. **รายละเอียดการประกันคุณภาพ** (Quality Assurance Criteria)

   2.1 QA Limit สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำเท่ากับร้อยละ 10

   2.2 ปริมาณของตะกอนบนกระดาษกรองหลังจากนำไปอบแห้งแล้ว ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 – 200 mg.

3. **หลักการ**

   กรองน้ำตัวอย่างที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันผ่านกระดาษกรอง GF/C (Glass – fiber Filter) ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำกระดาษกรอง พร้อมตะกอนที่ค้างอยู่ด้านบนไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอย

4. สิ่งรบกวน

แยกตะกอนขนาดใหญ่ที่ลอยน้ำหรือจมน้ำอยู่ที่ไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของตัวอย่างออก

5. การเก็บรักษาตัวอย่าง

ควรแช่ตัวอย่างด้วยขวดแก้วหรือขวดพลาสติก ในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันที ให้แช่เย็นตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส โดยไม่ต้องเติมสารใด ๆ และสามารถเก็บไว้ได้นานไม่เกิน 7 วัน

6. เครื่องมือและอุปกรณ์

6.1 กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

6.2 อุปกรณ์ชุดกรอง

6.3 เครื่องดูดอากาศ

6.4 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 103 – 105 องศาเซลเซียส

6.5 โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น

6.6 เครื่องชั่งอย่างละเอียดที่สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.0001 g

6.7 กระดาษอะลูมิเนียม เพื่อทำเป็นภาชนะสำหรับใส่กระดาษกรอง

6.8 กระบอกตวง (Cylinder)

6.9 คีมหนีบ (Forceps)

7. ขั้นตอนการวิเคราะห์

7.1 การเตรียมกระดาษกรอง

7.1.1 นำกระดาษกรองไปใส่ในถ้วยกระดาษอะลูมิเนียมที่ทำรหัสไว้

7.1.2 อบถ้วยกระดาษอะลูมิเนียม พร้อมกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง (Desiccator) แล้วชั่งหาน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรอง

7.1.3 เก็บถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองไว้ในโถทำแห้งจนกว่าจะนำมาใช้

7.2 การวิเคราะห์

7.2.1 เลือกตัวอย่างอย่างน้อยร้อยละ 10 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ

7.2.2 เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำสำหรับนำไปกรองที่จะให้ค่าของแข็งแขวนลอยโดยประมาณ 2.5 – 200 mg กรณีที่เก็บตัวอย่างแช่เย็นไว้ ให้ทำตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องก่อน

7.2.3 ใช้คีมหนีบ คีบกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักในโถทำแห้ง มาวางลงบนกรวยในชุดกรอง ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ โดยให้ด้านขรุขระของกระดาษกรองอยู่ด้านบน

7.2.4 ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก และให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวย

7.2.5 เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี แล้วเทตัวอย่างใส่กระบอกตวงครั้งเดียวให้ได้ปริมาตรใกล้เคียงกับที่ต้องการ แล้วจดบันทึกปริมาตรที่เทได้

7.2.6 เทตัวอย่างใส่ชุดกรอง เปิดเครื่องดูดอากาศ

7.2.7 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่อาจติดอยู่ข้างกระบอกตวง และชุดกรองจนหมดและรอจนกว่ากระดาษกรองจะแห้ง

7.2.8 ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้คีมหนีบกระดาษกรองใส่ถ้วยอะลูมิเนียมอันเดิม

7.2.9 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7.2.10 ทิ้งไว้ให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง ในโถทำแห้ง และชุดกรองจนหมดและรอจนกว่ากระดาษกรองจะแห้ง

7.2.11 ให้ทำข้อ 7.2.1 – 7.2.10 ซ้ำอีกจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งแตกต่างกันไม่มากกว่า 0.0005 g หรือมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักครั้งแรก

8. การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (SS) mg/l} = \frac{(B - A) \times 1{,}000}{\text{ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

A = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรอง (mg)

B = น้ำหนัก (ที่ชั่งได้ค่าน้อยที่สุด) ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองและตัวอย่าง (mg)

การตรวจวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยวิธีมาตรฐาน Standard Multiple – tube (MPN) Tests

การตรวจวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป มี 2 วิธี

ก. วิธี Standard Multiple – tube (MPN) Tests หรือ Most Probable Number Concept (MPN)

ข. วิธีการกรองด้วยเยื่อกรอง (Standard Filter Technique)

Standard Multiple – tube (MPN) Test (แผนผังที่ 1) เป็นวิธีมาตรฐานและได้รับความนิยมมาก วิธีนี้สามารถหาปริมาณของแบคทีเรียเป็นค่า MPN (Most Probable Number) ของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำจากแหล่งต่าง ๆ โดยการนำตัวอย่างน้ำมาเพาะในอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ และอบเพาะเชื้อไวรัสตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด อ่านผลจากก๊าซที่เกิดขึ้นโดยใช้ตาราง MPN Index

การตรวจวิเคราะห์แบคทีเรียโดยวิธี MPN Technique มี 3 ขั้นตอน

1. การตรวจสอบขั้นแรก (Presumptive Tests)

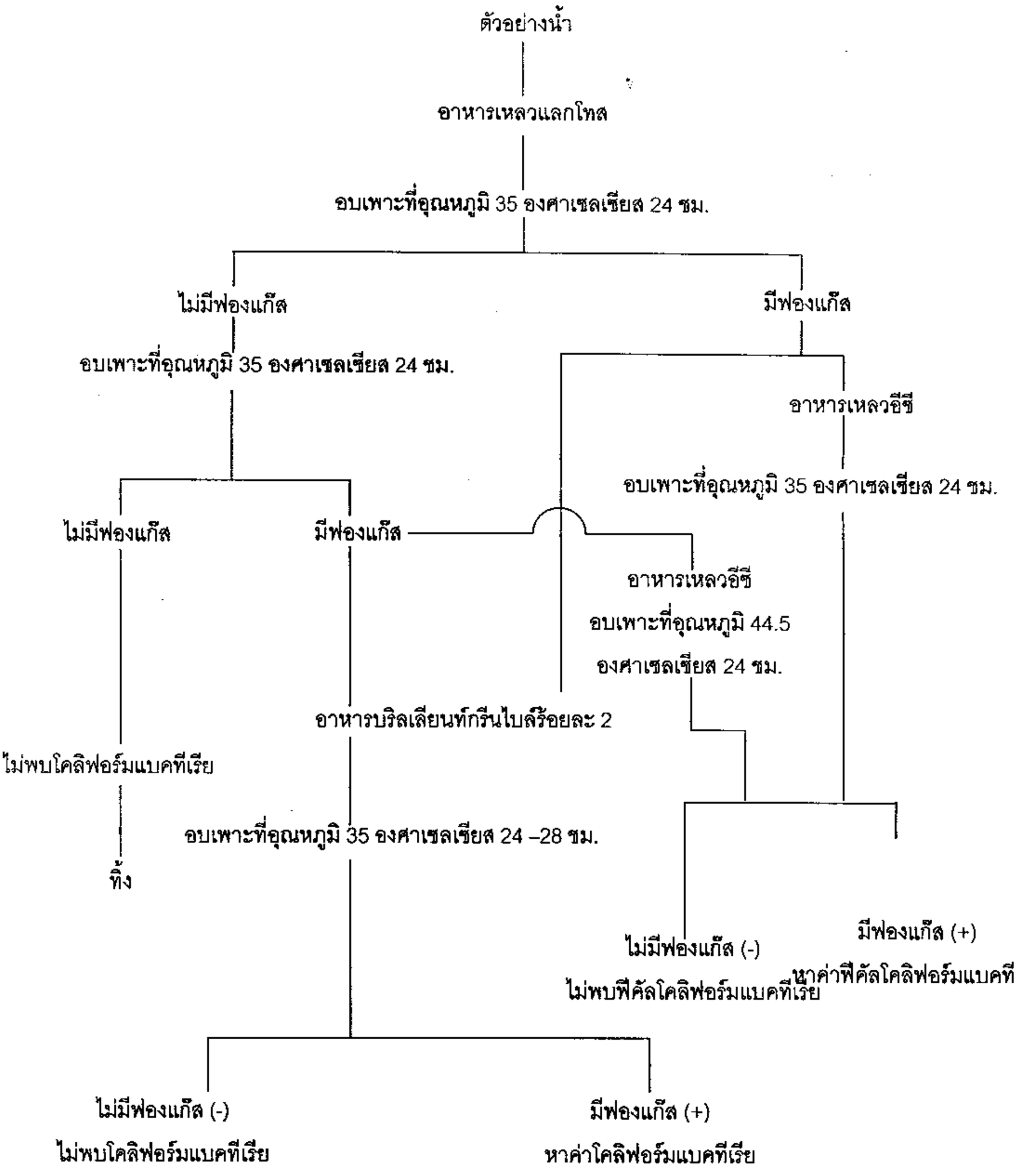
เป็นการค้นหาแบคทีเรียที่สามารถหมักย่อยน้ำตาลแลคโทสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 – 28 ชั่วโมง แล้วให้ผลผลิตเป็นกรดและก๊าซ โดยคาดว่าเป็นแบคทีเรียในกลุ่มของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

2. การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirmed Tests)

เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการถ่านเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวกในหลอดแลกโทสบรอธ (Lactose Broth) มาใส่ในอาหารเหลว บริลเลียนท์กรีนไบล์ร้อยละ 2 (Brilliant Green Bile ร้อยละ 2 หรือ BGLB) และอีซีมีเดียม (EC Medium) เพื่อคัดแยกกลุ่มที่ให้ผลบวกปลอมหรือเพื่อยืนยันผลของขั้นตอนแรก

3. การตรวจสอบขั้นสมบูรณ์ (Complete Tests)

เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยการตรวจลักษณะของแบคทีเรียที่ให้ผลบวกในขั้นยืนยัน โดยสัณฐานวิทยาจากปฏิกิริยาแบบแกรม และเพาะเชื้อที่ตรวจสอบในแลคโทสบรอธเพื่อทบทวนผลอีกครั้ง



ภาพที่ ก.1 แสดงขั้นตอนในการตรวจวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

โดยทั่วไปการปฏิบัติงานด้านการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย โดยอาศัยโคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็นตัวบ่งชี้ มักนิยมปฏิบัติกันเฉพาะขั้นตอนแรก (Presumptive Tests) และขั้นตอนยืนยัน (Confirmed Tests) เท่านั้น โดยนำผลที่อ่านได้จากขั้นตอนยืนยันมาอ่านค่า MPN Index แล้วนำค่าของ MPN ที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยมีหน่วยเป็น MPN/100ml

1. วิธีการตรวจวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

1.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1.1.1 หลอดทดลองขนาด 20 ml x 150 ml พร้อมฝาครอบอะลูมิเนียม (หรือใช้สำลีแทน)

1.1.2 หลอดหมัก (Durham Tube) ขนาด 6 ml x 50 ml

1.1.3 ปิเปตขนาด 10 และ 1 ลบ.ซม. ที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อแล้ว

1.1.4 ตะเกียงแก๊สหรือตะเกียงแอลกอฮอล์

1.1.5 ห่วงเขี่ยเชื้อ (Wire Loop)

1.1.6 ตู้อบเพาะเชื้อ

1.1.7 อาหารเหลวแลคโทบรอธ (Lactose Broth) บิลเลียนท์กรีนแลคโทสไบล์ (Brilliant Green Lactose Bile ร้อยละ 2) และอาหารเลี้ยงเชื้ออีซีมีเดียม (EC Medium)

1.2 การเลือกระบบจำนวนหลอดเลี้ยงเชื้อ

ระบบหลอดเลี้ยงเชื้อมีหลายระบบที่นิยมมี 2 ระบบ คือ ระบบแถวละ 3 หลอด 3 แถว หรือ 3 ระดับ และระบบแถวละ 5 หลอด 3 แถว หรือ 3 ระดับ แต่ละระดับใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำต่างกัน 10 เท่า เช่น ระดับแรกใส่ปริมาณตัวอย่างน้ำ 10 ลบ.ซม./หลอด ระดับสองใส่ปริมาณตัวอย่างน้ำ 1.0 ลบ.ซม./หลอด ระดับสามใส่ปริมาณตัวอย่างน้ำ 0.1 ลบ.ซม./หลอดตามลำดับ แต่ในบางกรณีไม่สามารถคาดการณ์ความสกปรกของน้ำได้ อาจต้องเพิ่มจำนวนระดับเป็น 4 – 5 ระดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสกปรกของตัวอย่างน้ำ

1.3 การเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำ เพื่อการตรวจวิเคราะห์

ในการเลือกใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างในระดับแรกหรือระดับเริ่มต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างน้ำและข้อมูลที่ได้มา ดังเช่น ตารางที่ 1 ที่ได้แนะนำไว้เป็นแนวทาง

ตารางที่ ก.1 การคาดคะเนปริมาณตัวอย่างน้ำที่ควรใช้ในระดับเริ่มต้นจากแหล่งต่าง ๆ โดยวิธี MPN Technique

ประเภทแหล่งน้ำ	ปริมาณน้ำตัวอย่างน้ำของระดับแรก (มิลลิลิตร)				
	10	1.0	0.1	0.01	0.001
บ่อตื้น	X				
ทะเลสาบ	X----------X				
ชายหาด		X----------X			
ลำห้วย		X----------X			
แม่น้ำ		X----------X			
น้ำทิ้ง				X----------X	
น้ำเติมคลอรีน	X----------X				
น้ำผ่านการปรับปรุงครั้งที่ 1			X----------X		
น้ำผ่านการปรับปรุงครั้งที่ 2		X----------X			
น้ำดิบ				X----------X	

1.4 **ขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย**

1.4.1 **การตรวจสอบขั้นแรก** (Presumptive Tests)

1.4.1.1 **เตรียมหลอดอาหารเหลวแลกโทสพร้อมหลอดหมักสำหรับเพาะเลี้ยง**แบคทีเรีย ถ้าตัวอย่างน้ำเป็นประเภทน้ำบริโภค ให้อาหารเลี้ยงเชื้อในแถวแรกมีความเข้มข้นเป็น 2 เท่า ของแถวที่ 2 และแถวที่ 3

1.4.1.2 ถ้าเป็นระบบแถวละ 5 หลอด จะใช้อาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 15 หลอด

1.4.1.3 เขียนสัญลักษณ์และปริมาณตัวอย่างน้ำที่ใช้ข้างหลอดทดลอง

1.4.1.4 เขย่าขวดเก็บตัวอย่างน้ำขึ้นลงประมาณ 20 ครั้ง เพื่อให้น้ำในขวดผสมเข้ากันดี

1.4.1.5 ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างน้ำใส่ลงในหลอดทดลองเลี้ยงเชื้อ ด้วยวิธีปลอดเชื้อ (Aseptic Technique) สำหรับน้ำบริโภคใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำ 3 ระดับ ๆ ละ 5 หลอด โดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำในระดับแรกหลอดละ 10 ลบ.ซม. ระดับที่สองหลอดละ 1 ลบ.ซม. การถ่าย

ตัวอย่างน้ำจากปิเปตลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ ควรให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ ปล่อยตัวอย่างน้ำให้ไหลลงตามข้างหลอด

1.4.1.6 เขย่าหลอดเบา ๆ เพื่อให้อาหารผสมกับตัวอย่างน้ำ

1.4.1.7 นำหลอดทั้งหมดไปอบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 35 . ± 0.5 องศาเซลเซียส นาน 24 ถึง 48 ชั่วโมง

1.4.1.8 อ่านผลครั้งแรกหลังจากผลเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง ตรวจดูหลอดที่ให้ผลบวกโดยสังเกตความขุ่นและแก๊สในแต่ละหลอด ตรวจหาแก๊สจากการดูการแทนที่ของอากาศในหลอดหมักหรือมีฟองปุดเมื่อเขย่าหลอดเบา ๆ หลอดที่ให้ผลลบให้นำกลับไปอบเพาะเชื้อต่ออีก 24 ชั่วโมง แล้วตรวจดูก๊าซเช่นเดียวกับข้างต้น

1.4.2 **การตรวจสอบขั้นยืนยัน** (Confirmed Tests)

1.4.2.1 เลือกหลอดที่ให้ผลบวกจากการตรวจสอบขั้นแรกมาตรวจสอบในขั้นยืนยัน

1.4.2.2 จัดหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อบริลเลียนท์กรีนแลคโทสไบล์ร้อยละ 2 เท่าจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกในขั้นแรก

1.4.2.3 เขียนสัญลักษณ์ข้างหลอดอาหารที่เตรียมไว้ให้ตรงกับหลอดที่ให้ผลบวกในการตรวจสอบขั้นแรก

1.4.2.4 เขย่าหลอดที่ให้ผลบวกเบา ๆ ใช้ปิเปตขนาด 1.0 ลบ.ซม. ที่อบฆ่าเชื้อแล้วถ่ายเชื้อ 0.1 ลบ.ซม จากหลอดที่ให้ผลบวกใส่หลอดบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อในข้อ 2 หลอดต่อหลอดโดยวิธีปลอดเชื้อ

1.4.2.5 นำไปอบเพาะเชื้อในตู้อบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส นาน 24 – 48 ชั่วโมง

1.4.2.6 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำมาอ่านผลครั้งแรก โดยให้ผลบวกสำหรับหลอดที่มีความขุ่นและมีก๊าซในหลอดหมัก หรือมีฟองปุดเมื่อเขย่าเบา ๆ ส่วนหลอดที่ให้ผลลบจะมีลักษณะใสและไม่มีฟองก๊าซ นำหลอดที่ให้ผลลบไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส ต่ออีก 24 ชั่วโมง จึงนำมาอ่านผลเป็นครั้งที่ 2 ในทำนองเดียวกัน

1.4.2.7 ตรวจดูผลและบันทึกผลที่ได้เป็นผลบวกหรือผลลบ แล้วเทียบหาจำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากตาราง MPN Index

1.4.3 **การตรวจสอบขั้นสมบูรณ์** (Completed Tests)

บางครั้งการตรวจสอบขั้นยืนยันโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดบริลเลียนท์กรีนแลคโทสไบล์ร้อยละ 2 และอีซีมีเดียมให้ผลไม่สอดคล้องกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากอาหารเลี้ยงเชื้อเสื่อมคุณภาพ

โดยได้รับความร้อนสูงเกินไปขณะที่อบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ หรือถูกแสงโดยตรงขณะเก็บรักษา ให้การตรวจสอบในขั้นยืนยันอาจให้ผลบวกทั้ง ๆ ที่ในตัวอย่างน้ำไม่มีโคลิฟอร์มแบคทีเรีย หรือให้ผลลบทั้ง ๆ ที่ในตัวอย่างนี้มีโคลิฟอร์มแบคทีเรีย จึงอาจต้องทำการตรวจสอบขั้นสมบูรณ์เป็นครั้งคราว เพื่อพิสูจน์ความสอดคล้องระหว่างการตรวจสอบขั้นยืนยันและการตรวจสอบขั้นสมบูรณ์ พร้อมกับการตรวจสอบประสิทธิผลของการควบคุมคุณภาพการตรวจวิเคราะห์

1.4.3.1 วิธีการตรวจสอบขั้นสมบูรณ์

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ EMB Agar ใส่จานอาหารเลี้ยงเชื้อ

2) ถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อบริลเลียนท์กรีนแลคโทสไบล์ร้อย 2 ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ EMB Agar โดยวิธีเพาะเชื้อ (Streak Plate)

3) อบเพาะเชื้อในตู้อบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 35 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส นาน 24 $\pm$ 2 ชั่วโมง

4) ขีดเพาะเชื้อทั้งใน Typical และ Atypical Colonies บน EMB Agar ลงบนหลอดอาหารวุ้นตะแคง (Nutrient Agar Slant) และนำไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง

5) ถ่ายเชื้อจากหลอดวุ้นตะแคงลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแลกโทสบรอธ นำไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส นาน 24 – 28 ชั่วโมง เพื่อดูผลจากการทดสอบทางชีวเคมี

6) เขี่ยเชื้อที่ขึ้นบนหลอดอาหารวุ้นตะแคง จากข้อ 4 ลงบนแผ่น Slide แล้วทำการย้อมสีแบบแกรม (Gram's Stain) เพื่อดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากปฏิกิริยาแบบแกรมที่บ่งบอกลักษณะของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย คือ ติดสีแกรมลบ หรือสีแดง และมีรูปร่างเป็นแท่ง (Gram – negative Rod)

1.4.3.2 การย้อมสีแบบแกรม (Gram's Stain)

การย้อมสีแบบแกรมเป็นการย้อมสีเซลล์แบคทีเรีย เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่ง ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในวิชาจุลชีวิทยา เป็นการอาศัยพื้นฐานความแตกต่างในด้านการยอมให้สารหรือสีย้อมซึมผ่านเข้าออกของผนังเซลล์ระหว่างแบคทีเรีย 2 พวก คือ แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ

ในการย้อมสีแบบแกรมต้องใช้สารละลาย 4 อย่าง คือ Basic Dye, Mordant, Decolourizing Agent และ Counterstain

ในการปฏิบัติ นิยมใช้ Crystal Violet เป็น Basic Dye เพื่อเป็นสีเริ่มต้น Iodine Solution เป็น Mordant เพื่อให้สีเริ่มต้นสามารถเกาะติดแน่นกับเซลล์ยิ่งขึ้น Acetone – alcohol เป็น Decolourizing Agent หรือน้ำยาล้างสี ซึ่งเกาะติดเซลล์หลุดออก Safranin เป็น Counterstain เพื่อให้เซลล์ที่ถูกล้างสี Basic Dye ติดสี Counterstain เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่าง

ขั้นตอนในการย้อมสีแบบแกรม เริ่มจากการเกลี่ยเซลล์แบคทีเรียบนแผ่นสไลด์ให้แห้งแล้วอังด้วยความร้อน นำมาอบด้วยสารละลายต่าง ๆ เป็นลำดับ คือ Crystal Violet, Iodine Solution, Acetone – alcohol และ Satranin โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะติดสีม่วงของ Crystal Violet และแบคทีเรียแกรมลบซึ่งไม่ติดสีม่วงของ Crystal Violet จะติดสีแดงของ Satranin กล่าวคือ แบคทีเรียต่างชนิดกันจะมีไขมันที่เป็นส่วนของโครงสร้างและส่วนประกอบของผนังเซลล์อยู่ในปริมาณที่ต่างกัน แบคทีเรียแกรมลบมีไขมันมากกว่าและผนังเซลล์บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก ทำให้ความสามารถในการติดสีต่างกัน พบว่าระหว่างการย้อมสีเมื่อล้างด้วยแอลกอฮอล์ สารพวกไขมันจะถูกละลายออกมาทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีรูพรุนมากขึ้นและสามารถซึมผ่านออกได้ง่าย สารประกอบ Crystal – violet – iodine ที่ติดอยู่จึงถูกสลัดออกมาทำให้แบคทีเรียแกรมลบไม่เกาะติดสี Crystal Violet และเมื่อย้อมด้วย Staranin จึงติดสีแดงของ Satranin

ส่วนผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก ซึ่งมีไขมันน้อยกว่า เมื่อถูกล้างด้วยแอลกอฮอล์จึงแห้งและมีรูเล็กลง ทำให้สารหรือสีย้อมซึมผ่านเข้าออกได้น้อย สารประกอบ Crystal – violet – iodine จึงถูกกักขังอยู่ภายในผนังเซลล์หลังจากถูกล้างด้วยแอลกอฮอล์ และเมื่อถูกย้อมทับด้วย Counterstain เซลล์จะยังคงติดสี Basic Dye หรือ Crystal – violet ที่ย้อมในครั้งแรกโดยไม่ติดสีของ Counterstain หรือ Satranin ที่ย้อมทับลงไป

2. **วิธีการตรวจวิเคราะห์ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย**

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

2.1.1 เช่นเดียวกับเครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรียข้อ 1 – 6

2.1.2 อาหารเลี้ยงเชื้ออีซีมีเดียม

2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

2.2.1 การตรวจสอบขั้นแรก ทำตามวิธีวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรียทุกประการ

2.2.2 การตรวจสอบขั้นยืนยัน ให้อาหารเหลวอีซีมีเดียมแทนบริลเลียนท์กรีนแลคโทสไบลีร้อยละ 2 แล้วดำเนินการตรวจสอบแบคทีเรีย เช่นเดียวกับการตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยถ่ายเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวกในแลคโทสบรอธลงในหลอดอาหารเหลวอีซีมีเดียม หลอดต่อหลอด นำไปเพาะเชื้อในตู้อบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 44.5 $\pm$ 0.2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

2.2.3 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง อ่านผลที่ได้แล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกผล

2.2.4 นำผลที่ได้มาเทียบหาจำนวนฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากตารางดัชนี เอ็ม พี เอ็น (MPN Index Table) แล้วคำนวณหาปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยมีหน่วยเป็น MPN/100 ml แล้วบันทึกในแบบฟอร์มบันทึกผล ดังตัวอย่างใบบันทึกผล

3. **การคำนวณปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียและการรายงานผล**

การหาปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย สามารถกระทำได้โดยการนำจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกและผลลบในขั้นยืนยันในแต่ละระดับมาเทียบอ่านค่า MPN จาก MPN Index Table แล้วคำนวณหาค่า MPN/100 ml ถ้าปริมาณตัวอย่างน้ำที่ใช้ในระดับเริ่มต้น ไม่ใช่ 10 ml หรืออาจหาโดยวิธีใช้สูตรของ MPN/100 ml

สำหรับน้ำบริโภค ถ้าผลที่อ่านได้จากการทดสอบขั้นแรกเป็นผลลบทุกหลอดหลังอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียจะมีค่า <2 MPN/100 ml

ถ้าการตรวจสอบขั้นแรกให้ผลบวก 1 หลอด เฉพาะแถวแรกเท่านั้น และหลังจากผ่านการทดสอบการยืนยันด้วย BGLB ร้อยละ 2 ผลที่ได้ยังคงให้ความขุ่นและฟองก๊าซแล้ว ปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ได้จะมีค่าเป็น 2 MPN/100 ml ถ้าผลบวกในแถวแรกของน้ำตัวอย่างเป็น 3, 4 และ 5 หลอด โดยแถวที่ 2 และ 3 ให้ผลลบ ปริมาณแบคทีเรียจะเป็น 8, 13 และ 23 MPN/100 ml ตามลำดับ หรือจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกในแต่ละระดับสามารถนำมาหาปริมาณของโคลิฟอร์มหรือฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยอาศัยตารางของดัชนีเอ็มพีเอ็น

สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้วิเคราะห์มากกว่า 3 ระดับ ในการเลือกตัวเลขที่ใช้อ่าน เพื่อหาค่าปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียหรือฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ให้เลือกระดับที่ให้ผลบวกของจำนวนหลอดมากที่สุด และใช้ปริมาณของตัวอย่างน้ำน้อยที่สุดเป็นตัวเริ่มต้น ตามด้วยจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกของระดับที่น้อยกว่า ดังเช่นตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ ก.2 แสดงตัวอย่างในการเลือกอ่านผลจากตัวอย่างน้ำที่ตรวจวิเคราะห์มากกว่า 3 ระดับ (ปริมาณ) เพื่อหาค่าของ MPN/100 ml

ตัวอย่าง	จำนวน					ตัวเลขที่เลือกอ่าน	ค่าที่อ่านได้จากตาราง MPN
	1.0 ลบ.ซม.	0.1 ลบ.ซม.	0.01 ลบ.ซม.	0.001 ลบ.ซม.	0.0001 ลบ.ซม.		
1	5	5	2	0	0	5-2-0	50
2	5	5	4	1	0	5-4-1	170
3	5	3	0	0	0	5-3-0	80
4	5	5	5	3	1	5-3-1	110
5	0	1	0	0	0	0-1-1	2

ถ้าตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการตรวจสอบไม่ได้เริ่มต้นด้วยจำนวนน้ำตัวอย่าง 10 ลบ.ซม.ต่อหลอด ให้นำค่าที่อ่านได้จากตาราง MPN มาคำนวณหาปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียหรือฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังสูตร

$$\text{ปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (หรือฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย)} = \frac{\text{MPN} \times 10}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่างในแถวแรกต่อหลอด}} \text{ MPN/100ML}$$

เช่น ค่า MPN จากตาราง MPN Index ของผลที่อ่านได้ 5 - 3 - 0 คือ 80 โดยปริมาณตัวอย่างน้ำที่ใช้ในแต่ละหลอดของระดับเริ่มต้นที่ให้ผลบวกเป็นจำนวน 5 หลอด คือ 1.0 ลบ.ซม.

$$\text{ปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย} = \frac{8 \times 10}{1.0} \text{ MPN/100ML}$$

$$= 800 \text{ MPN/100ML}$$

ทั้งนี้ค่าของ MPN ที่อ่านได้จากตาราง สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรตามข้างล่างนี้

$$\text{MPN/100ml} = \frac{\text{จำนวนหลอดที่ให้ผลบวก} \times 100}{\sqrt{\text{จำนวนตัวอย่างน้ำที่ใช้ทดสอบซึ่งให้ผลลบ} \times \text{จำนวนตัวอย่างน้ำที่ใช้}}}$$

แหล่งที่มา: นฤมล ตปนียะกุล และวันนี มากัน, 2538: 10-18.

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด – ด่างที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากสาเหล้าหมัก

Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	0.815	0.091	0.989	3.02	4.94
A	4	0.537	0.134	1.467	3.48	5.99
B	1	0.265	0.265	2.891	4.96	10.04
AB	4	0.013	0.003	0.036	3.48	5.99
ERROR	10	0.915	0.092			
TOTAL	19	1.730	0.091			

Grand Mean = 7.105000042915345 CV = 4.257419934335384

Factor A
FERMNT TYPE
T1
T2
T3
T4
T5

Factor B
OXYGEN
ADD
NOTADD

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = NUTSS.FACTOR A
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 10
ERROR MEAN SQUARE = 0.091500[illegible]
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.151244[illegible]

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		7.325	A
T1		7.225	A
T2		7.1	A
T5		7.025	A
T3		6.85	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		7.325	A
T1		7.225	A
T2		7.1	A
T5		7.025	A
T3		6.85	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

Table.... Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	129.224	14.358	9.236	3.02	4.94
A	4	89.947	22.487	14.559	3.48	5.99
B	1	30.504	30.504	19.750	4.96	10.04
AB	4	8.773	2.193	1.420	3.48	5.99
ERROR	10	15.445	1.545			
TOTAL	19	144.669	7.614			

Grand Mean = 6.444999986886979 CV = 19.28284171488564

Factor A
FERMENTED
T1
T2
T3
T4
T5

Factor B
OXYGEN
ADD
NOTADD

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROBLEM IDENTIFICATION	=	NJTBOD.FACTOR A
NUMBER OF MEANS	=	5
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	10
ERROR MEAN SQUARE	=	1.54449999
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.62138957

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

NAME	ID	MEAN	
T4		9.125	A
T5		7.75	AB
T3		7.125	AB
T2		5.175	BC
T1		3.05	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

NAME	ID	MEAN	
T4		9.125	A
T5		7.75	A
T3		7.125	AB
T2		5.175	B
T1		3.05	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

Table.... Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	164.958	18.329	94.478	3.02	4.94
A	4	74.503	18.626	96.009	3.48	5.99
B	1	88.200	88.200	454.639	4.96	10.04
AB	4	2.255	0.564	2.906	3.48	5.99
ERROR	10	1.940	0.194			
TOTAL	19	166.898	8.784			

Grand Mean = 6.69000004529953 CV = 6.58377242227075

Factor A
type
t1
t2
t3
t4
t5

Factor B
oxygen
add
not add

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = ss13.FACTOR A
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 10
ERROR MEAN SQUARE = 0.19400007
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.22022719

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t3		9.375	A
t2		7.45	B
t5		6.65	B
t4		6.575	B
t1		3.4	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t3		9.375	A
t2		7.45	B
t5		6.65	C
t4		6.575	C
t1		3.4	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำกากส่าเหล้าหมัก

Table.... Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	760.050	84.450	13.959	3.02	4.94
A	4	204.300	51.075	8.442	3.48	5.99
B	1	432.450	432.450	71.479	4.96	10.04
AB	4	123.300	30.825	5.095	3.48	5.99
ERROR	10	60.500	6.050			
TOTAL	19	820.550	43.187			

Grand Mean = 7.65 CV = 32.15261144117344

Factor A
type
t1
t2
t3
t4
t5

Factor B
oxygen
add
not add

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = pb162.FACTOR A
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 10
ERROR MEAN SQUARE = 6.05000019
STANDARD ERROR OF MEAN = 1.22983741

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t1		13.5	A
t2		8.25	AB
t5		6.75	B
t3		5.25	B
t4		4.5	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t1		13.5	A
t2		8.25	B
t5		6.75	B
t3		5.25	B
t4		4.5	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่ชนิดต่าง ๆของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

Table.... Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	40.390	4.488	13.939	3.02	4.94
A	4	21.790	5.448	16.921	3.48	5.99
B	1	14.450	14.450	44.883	4.96	10.04
AB	4	4.150	1.037	3.222	3.48	5.99
ERROR	10	3.220	0.322			
TOTAL	19	43.610	2.295			

Grand Mean = 2.5150000274181 37 CV = 22.56088986029935

Factor A	Factor B
type	oxygen
t1	add
t2	not add
t3	
t4	
t5	

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROBLEM IDENTIFICATION = cd162.FACTOR A
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 10
ERROR MEAN SQUARE = 0.32195002
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.28370320

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t2		4.5925	A
t1		2.1275	B
t4		2.0725	B
t3		1.9525	B
t5		1.83	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t2		4.5925	A
t1		2.1275	B
t4		2.0725	B
t3		1.9525	B
t5		1.83	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก

Table.... Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	38.717	4.302	8.264	3.02	4.94
A	4	24.774	6.194	11.899	3.48	5.99
B	1	7.601	7.601	14.603	4.96	10.04
AB	4	6.341	1.585	3.046	3.48	5.99
ERROR	10	5.205	0.521			
TOTAL	19	43.923	2.312			

Grand Mean = 3.917500042915344 CV = 18.41687641288915

Factor A
type
t1
t2
t3
t4
t5

Factor B
oxygen
add
not add

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = hg162.FACTOR A
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 10
ERROR MEAN SQUARE = 0.52053505
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.36074058

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t5		6.0025	A
t1		4.0125	B
t2		3.5225	B
t3		3.235	B
t4		2.815	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t5		6.0025	A
t1		4.0125	B
t2		3.5225	B
t3		3.235	B
t4		2.815	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากสาเหล้าหมัก

Table.... Analysis of variance.

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	9	98282.608	10920.290	21.323	3.02	4.94
A	4	54506.148	13651.537	26.656	3.48	5.99
B	1	23860.232	23860.232	46.589	4.96	10.04
AB	4	19916.228	4954.057	9.673	3.48	5.99
ERROR	10	5121.420	512.142			
TOTAL	19	103404.028	5442.317			

Grand Mean = 69.65000000238418 CV = 32.96031833123475

Factor A
type
t1
t2
t3
t4
t5

Factor B
oxygen
add
not add

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		147.25	A
t5		104.75	AB
t3		62.5	BC
t2		25.5	CD
t1		3.3	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		147.25	A
t5		104.75	B
t3		62.5	C
t2		25.5	D
t1		3.3	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด – ด่างที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*****************************************************************
*                                                               *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                         *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =    NUTSS.FACTOR B        *
*        NUMBER OF MEANS            =       2                  *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10                  *
*        ERROR MEAN SQUARE          =       0.09150001         *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.09565564         *
*                                                               *
*****************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

NOTADD               7.22       A
ADD                  6.99       A

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

NOTADD               7.22       A
ADD                  6.99       A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ช.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =    NUTBOD.FACTOR B  *
*        NUMBER OF MEANS            =       2             *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10             *
*        ERROR MEAN SQUARE          =       1.54449999    *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.39300127    *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
NOTADD		7.68	A
ADD		5.21	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
NOTADD		7.68	A
ADD		5.21	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    s913.FACTOR B       *
*       NUMBER OF MEANS            =       2                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.19400007       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.13928391       *
*                                                           *
*************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

not add              8.79      A
add                  4.59       B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

not add              8.79      A
add                  4.59       B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่มีการเติมออกซิเจน และไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =    pb162.FACTOR B     *
*        NUMBER OF MEANS            =       2               *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10               *
*        ERROR MEAN SQUARE          =       6.05000019      *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.77781747      *
*                                                           *
*************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

not add              12.3      A
add                  3          B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

not add              12.3      A
add                  3          B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่มีการเติมออกซิเจน และไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION      =    cd162.FACTOR B     *
*       NUMBER OF MEANS             =    2                  *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM     =    10                 *
*       ERROR MEAN SQUARE           =    0.32195002         *
*       STANDARD ERROR OF MEAN      =    0.17942966         *
*                                                           *
*************************************************************

NAME      ID       MEAN          RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

not add            3.365     A
add                1.665      B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME      ID       MEAN          RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

not add            3.365     A
add                1.665      B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*****************************************************
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST             *
*       PROBLEM IDENTIFICATION    =   hg162.FACTOR B  *
*       NUMBER OF MEANS           =   2               *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM   =   10              *
*       ERROR MEAN SQUARE         =   0.52053505      *
*       STANDARD ERROR OF MEAN    =   0.22815237      *
*                                                     *
*****************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

not add             4.534    A
add                 3.301     B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

not add             4.534    A
add                 3.301     B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =    colin162.FACTOR B  *
*        NUMBER OF MEANS            =       2               *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10               *
*        ERROR MEAN SQUARE          =    512.14202881       *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =      7.15640992       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
not add		103.2	A
add		34.12	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
not add		103.2	A
add		34.12	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด – ด่างที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION    =    NUTSSINTER AB    *
*        NUMBER OF MEANS           =      10             *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM   =      10             *
*        ERROR MEAN SQUARE         =       0.09150001    *
*        STANDARD ERROR OF MEAN    =       0.21389251    *
*                                                        *
**********************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

T4ONA              7.45      A
T1ONA              7.35      A
T2ONA              7.25      A
T4OA               7.2       A
T5ONA              7.1       A
T1OA               7.1       A
T5OA               6.95      A
T3ONA              6.95      A
T2OA               6.95      A
T3OA               6.75      A

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

T4ONA              7.45      A
T1ONA              7.35      A
T2ONA              7.25      A
T4OA               7.2       A
T5ONA              7.1       A
T1OA               7.1       A
T5OA               6.95      A
T3ONA              6.95      A
T2OA               6.95      A
T3OA               6.75      A

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*****************************************************************
*                                                               *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                         *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    NUTBODINTER AB          *
*       NUMBER OF MEANS            =      10                    *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10                    *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       1.54449999           *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.87877756           *
*                                                               *
*****************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

T4ONA               11.25     A
T5ONA               9.25      AB
T3ONA               8.6       ABC
T4OA                7         ABCD
T5OA                6.25       BCD
T2ONA               6.1        BCD
T3OA                5.65       BCD
T2OA                4.25        CD
T1ONA               3.2           D
T1OA                2.9           D

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

T4ONA               11.25     A
T5ONA               9.25      AB
T3ONA               8.6       ABC
T4OA                7          BCD
T5OA                6.25         CD
T2ONA               6.1          CDE
T3OA                5.65         CDEF
T2OA                4.25          DEF
T1ONA               3.2             EF
T1OA                2.9              F

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROBLEM IDENTIFICATION	=	ss13INTER AB
NUMBER OF MEANS	=	10
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	10
ERROR MEAN SQUARE	=	0.19400007
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.31144828

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t3ona		11.85	A
t2ona		9.8	B
t5ona		8.75	B
t4ona		8.65	B
t3oa		6.9	C
t2oa		5.1	D
t1ona		4.9	D
t5oa		4.55	D
t4oa		4.5	D
t1oa		1.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t3ona		11.85	A
t2ona		9.8	B
t5ona		8.75	C
t4ona		8.65	C
t3oa		6.9	D
t2oa		5.1	E
t1ona		4.9	E
t5oa		4.55	E
t4oa		4.5	E
t1oa		1.9	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*****************************************************************
*                                                               *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                         *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    pb162INTER AB          *
*       NUMBER OF MEANS            =      10                   *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10                   *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       6.05000019          *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       1.73925274          *
*                                                               *
*****************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

t1ona              22.5      A
t2ona              13.5       B
t5ona              10.5       BC
t3ona              9          BC
t4ona              6          BC
t1oa               4.5         C
t5oa               3           C
t4oa               3           C
t2oa               3           C
t3oa               1.5         C

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

t1ona              22.5      A
t2ona              13.5       B
t5ona              10.5       BC
t3ona              9          BCD
t4ona              6           CDE
t1oa               4.5          DE
t5oa               3             E
t4oa               3             E
t2oa               3             E
t3oa               1.5           E

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROBLEM IDENTIFICATION	=	cd162INTER AB
NUMBER OF MEANS	=	10
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	10
ERROR MEAN SQUARE	=	0.32195002
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.40121691

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t2ona		5.855	A
t4ona		3.37	B
t2oa		3.33	B
t3ona		2.915	BC
t5ona		2.495	BCD
t1ona		2.19	BCD
t1oa		2.065	BCD
t5oa		1.165	CD
t3oa		.99	CD
t4oa		.775	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t2ona		5.855	A
t4ona		3.37	B
t2oa		3.33	B
t3ona		2.915	B
t5ona		2.495	BC
t1ona		2.19	BCD
t1oa		2.065	BCDE
t5oa		1.165	CDE
t3oa		.99	DE
t4oa		.775	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากสาเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    hg162INTER AB     *
*       NUMBER OF MEANS            =      10              *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10              *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.52053505     *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.51016421     *
*                                                        *
**********************************************************

NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

t5ona              7.61      A
t5oa               4.395      B
t2ona              4.065      B
t1oa               4.04       B
t1ona              3.985      B
t4ona              3.565      B
t3ona              3.445      B
t3oa               3.025      B
t2oa               2.98       B
t4oa               2.065      B

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

t5ona              7.61      A
t5oa               4.395      B
t2ona              4.065      B
t1oa               4.04       B
t1ona              3.985      B
t4ona              3.565      BC
t3ona              3.445      BC
t3oa               3.025      BC
t2oa               2.98       BC
t4oa               2.065       C

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดที่ชนิดต่าง ๆ ของน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักที่มีการเติมออกซิเจนและไม่มีการเติมออกซิเจน

```
*****************************************************
*                                                   *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST             *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    colin162INTER AB  *
*       NUMBER OF MEANS            =      10          *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      10          *
*       ERROR MEAN SQUARE          =    512.14202881  *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =     16.00221905  *
*                                                   *
*****************************************************

NAME      ID      MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

t4ona             236.5     A
t5ona             141.5      B
t3ona             102        BC
t5oa              68         BCD
t4oa              58          CD
t2ona             32          CD
t3oa              23          CD
t2oa              19           D
t1ona             4            D
t1oa              2.6          D

   MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
   BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME      ID      MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

t4ona             236.5     A
t5ona             141.5      B
t3ona             102        BC
t5oa              68          CD
t4oa              58          CDE
t2ona             32           DEF
t3oa              23           DEF
t2oa              19           DEF
t1ona             4             EF
t1oa              2.6            F

   MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
   BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ภาคผนวก ค

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

แหล่งน้ำผิวดินได้แบ่งการใช้ประโยชน์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1.1 การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคปกติก่อน

1.2 การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

1.3 การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

2. ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์ได้เพื่อ

2.1 การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

2.2 การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

2.3 การประมง

2.4 การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

3. ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

3.1 การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

3.2 การเกษตร

4. ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

4.1 การอุปโภคบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

4.2 การอุตสาหกรรม

5. ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคมได้

ตารางที่ ค.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
1. สี กลิ่นและรส (Colour Odour and Teste)	-	-	ธ'	ธ'	ธ'	ธ'	ธ'	-
2. อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	ธ	5 - 9	5 - 9	5 - 9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4. ออกซิเจนละลาย (DO)[2/]	มก./ล	P20	ธ	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5. บีโอดี (BOD)	มก./ล	P80	ธ	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน
6. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bactacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	ธ	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bateria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	ธ	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8. ไนโตรท (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	5.0			-	Cadmium Reduction
9. แอมโมเนีย (NH3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	0.5			-	Distillation Nesslerization
10. ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Distillation, 4 - Amino antipyrene
11. ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	ธ	0.1			-	Atomic Absorption - direct Aspiration
12. นิเกิล (Ni)	มก./ล.	-	ธ	0.1			-	Atomic Absorption - direct Aspiration
13. แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	ธ	1.0			-	Atomic Absorption - direct Aspiration
14. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	ธ	1.0			-	Atomic Absorption - direct Aspiration

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ[ง]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[จ] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
15. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	ธ	0.005* 0.05**			-	Atomic Absorption - direct Aspiration
16. โครเมียมชนิดเฮกซาวาเล้นท์ (Cr - Hexavalent)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption - direct Aspiration
17. ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption - direct Aspiration
18. ปรอททั้งหมด	มก./ล.	-	ธ	0.002			-	Atomic Absorption - cold Vapour Technique
19. สารหนู (As)	มก./ล.	-	ธ	0.01			-	Atomic Absorption- gaseous Hydride
20. ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Pyridine - barvituric Acid
21. กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)							-	Low Background Proportional Couter
- ค่ารังสีแอลฟา (Alpha)	เบคเคอเรล/ล.	-	ธ	0.1			-	
- ค่ารังสีเบตา (Beta)		-	ธ	1.0				
22. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก/ล.	-	ธ	0.05			-	Gas - chromatography
23. ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	1.0			-	Gas - chromatography
24. บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha - BHC)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.02			-	Gas - chromatography
25. ดิลดริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.1			-	Gas - chromatography
27. เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีปอกไซด์ (Heptachor&Heptachlorep Oxide)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.2			-	Gas - chromatography
28. เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการทดสอบที่กำหนด			-	Gas - chromatography

แหล่งที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

หมายเหตุ: 1 กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 – 4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

2/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

°ซ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

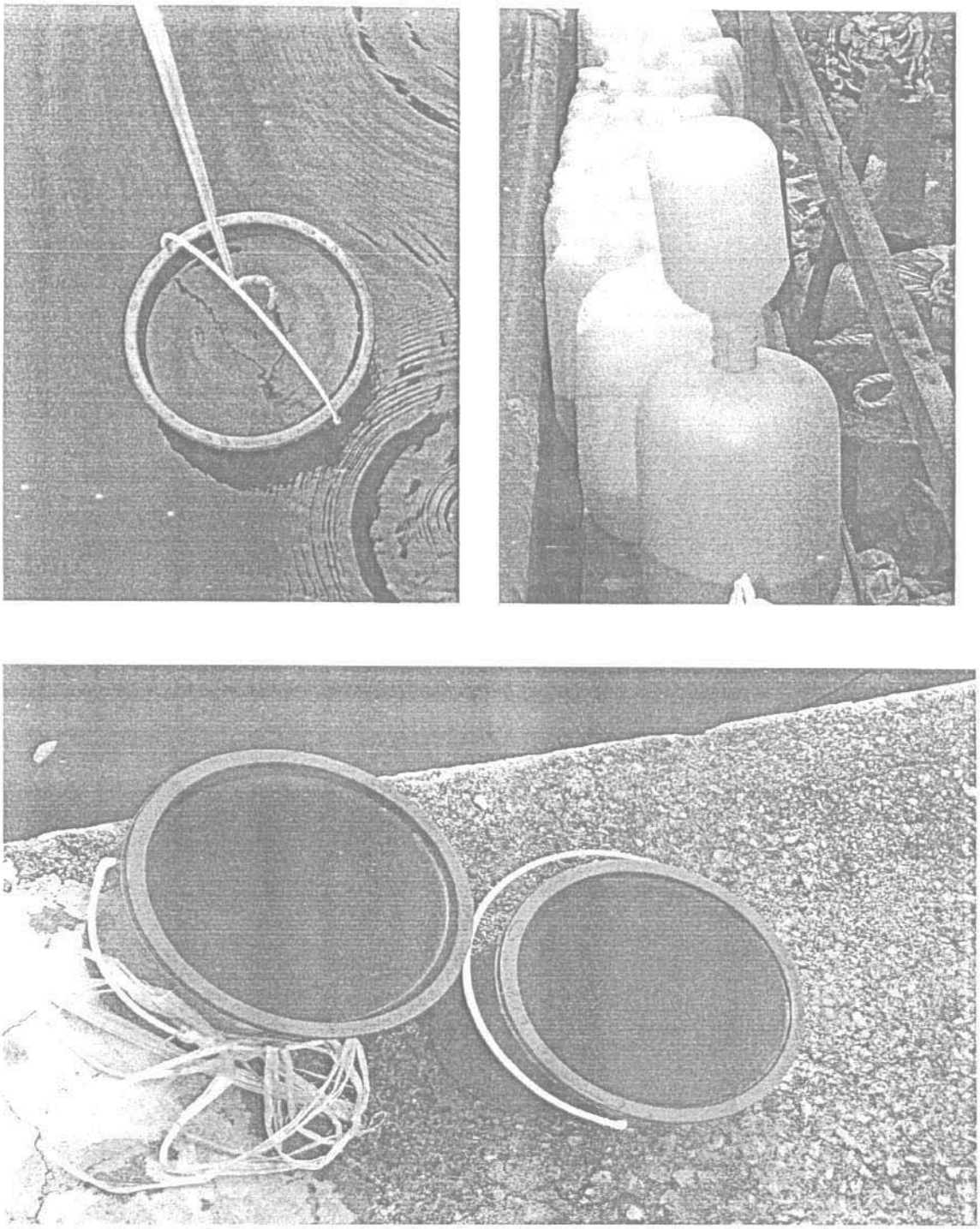
มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น. หรือ Most Probable Number

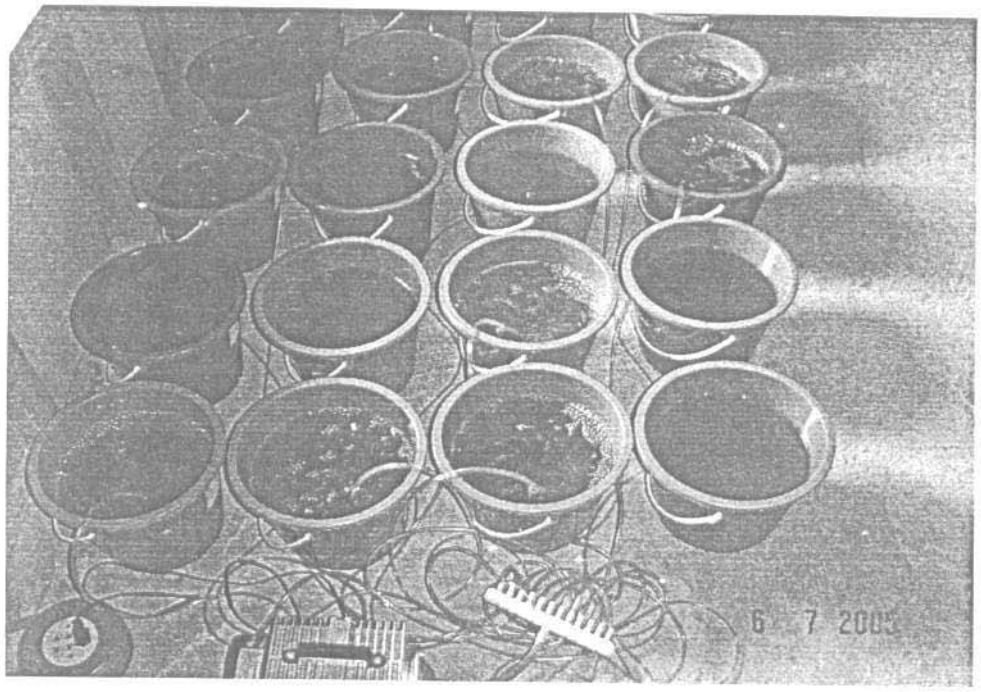
วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA: American Public Health Association, AWWA: American Water Association และ WPCF: Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด

ภาคผนวก ง

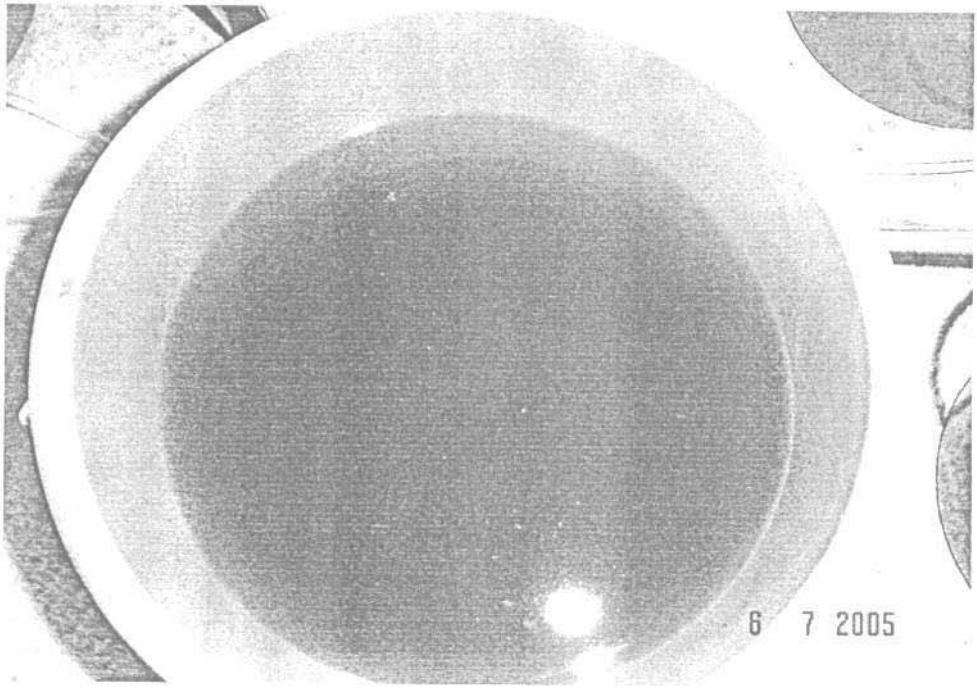
ภาพการเก็บตัวอย่างน้ำและการทดลอง



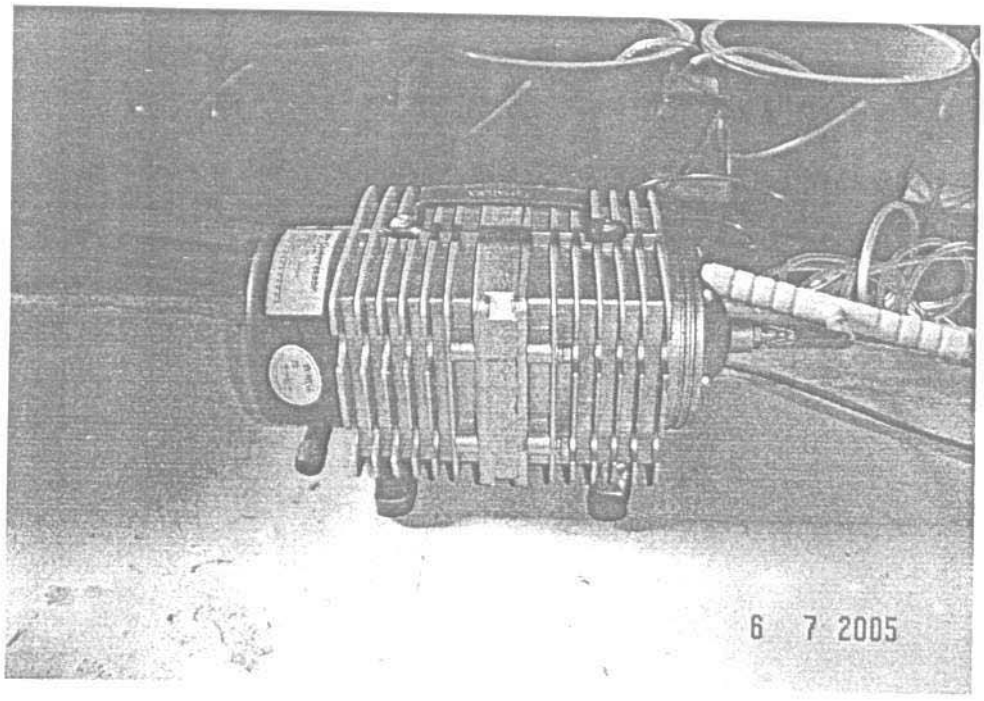
ภาพที่ ง.2 การเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองแสนแสบ



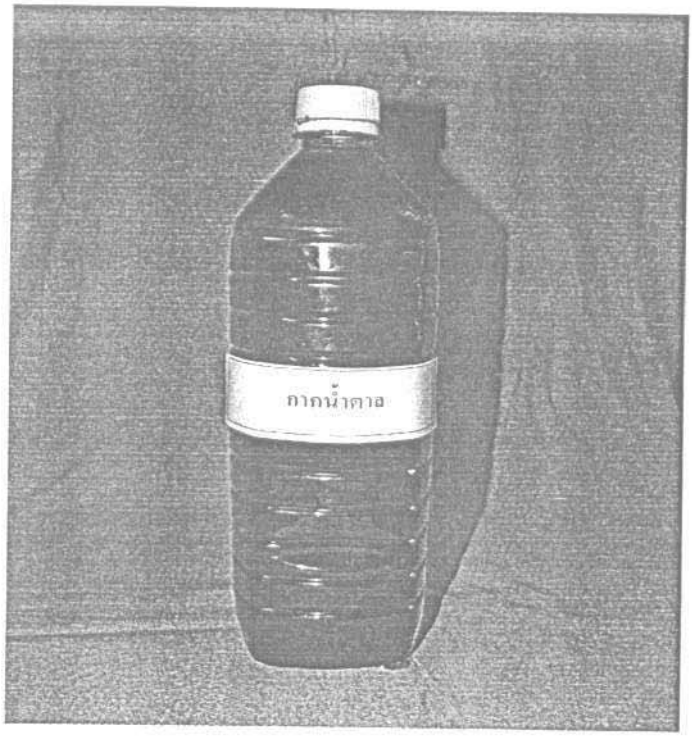
ภาพที่ ง.3 ถังน้ำตัวอย่างในการทดลอง



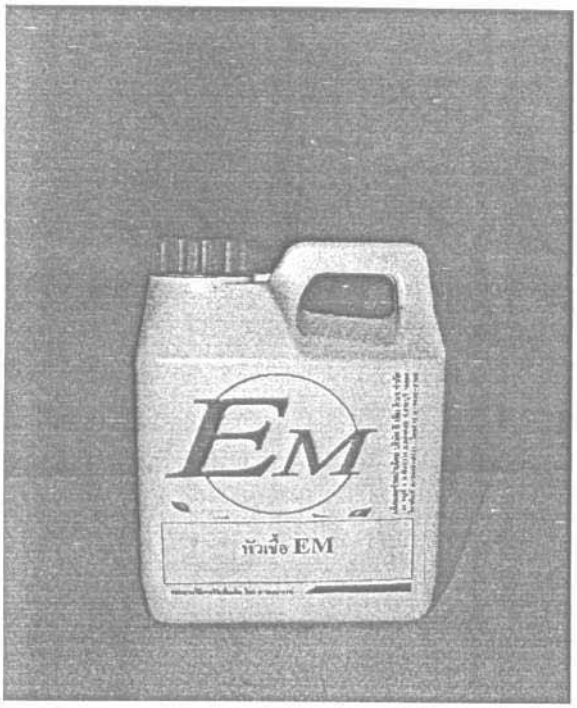
ภาพที่ ง.4 ถังน้ำตัวอย่างที่ไม่มีการเติมออกซิเจน



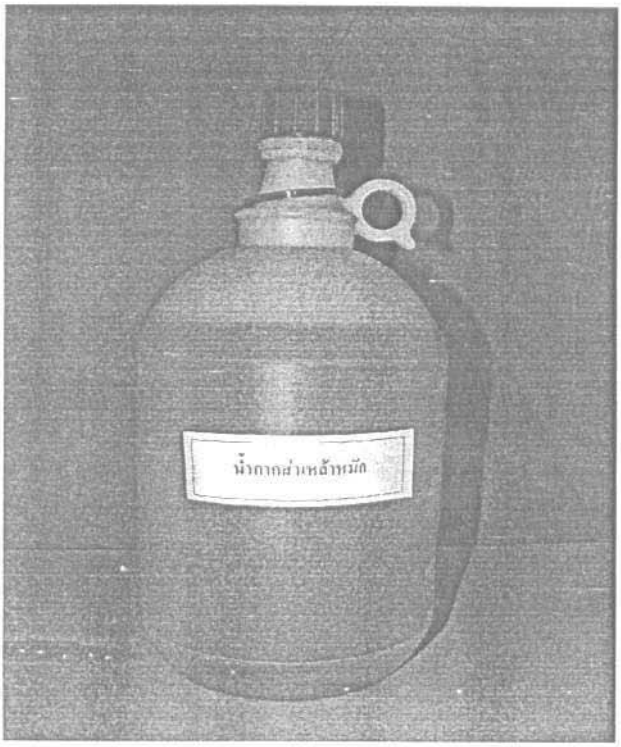
ภาพที่ ง.5 เครื่องเติมออกซิเจน



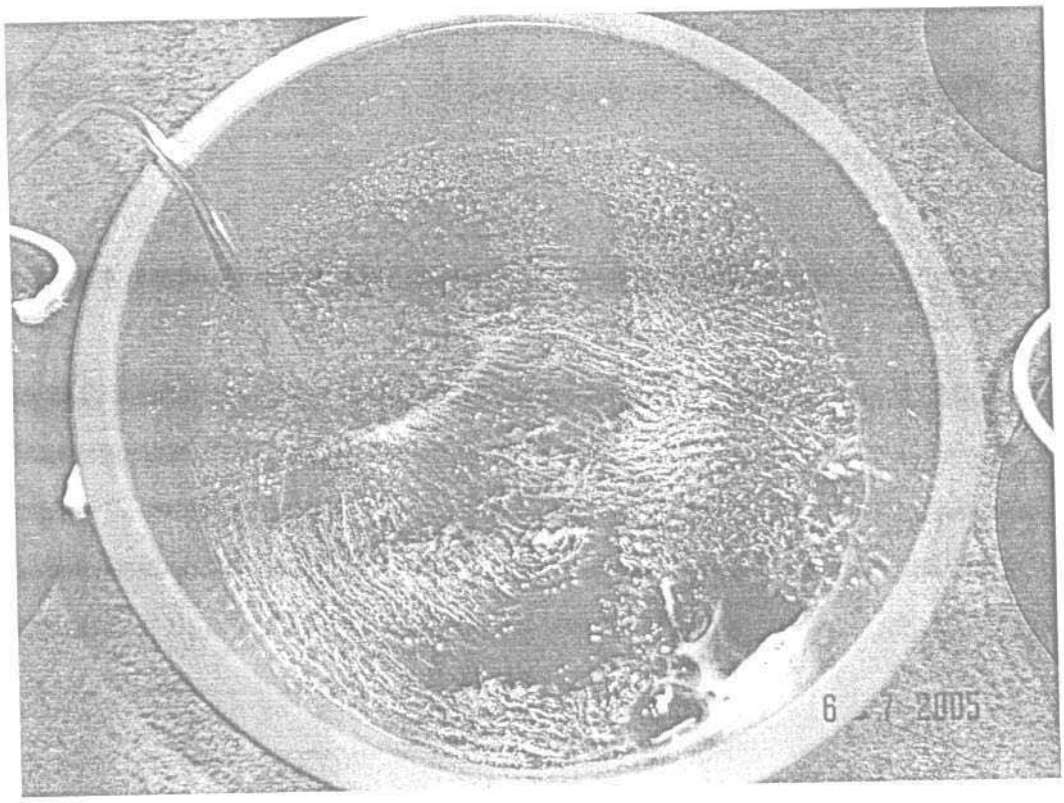
ภาพที่ ง.6 กากน้ำตาล



ภาพที่ ง.7 น้ำสกัดชีวภาพ



ภาพที่ ง.8 น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก



ภาพที่ ง.9 ถังน้ำตัวอย่างที่มีการเติมออกซิเจน

บรรณานุกรม

กรประภา เคลือวัลย์. 2543. การใช้จุลินทรีย์สำหรับการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมโดยชีววิธี. **วารสารวิทยาศาสตร์**. 54 (มกราคม–กุมภาพันธ์): 7-9.

กรุงเทพมหานคร. สำนักการระบายน้ำ. 2548. **คุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพ พ.ศ. 2546.** ค้นวันที่ 22 มีนาคม 2548 จาก http://dds.bma.go.th/Csd/canal_h1.htm

กองบรรณาธิการ. 2541. กำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยา. Industrial Technology Review. 5 (พฤษภาคม): 69-72.

กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์. 2540. **มลพิษทางน้ำ**. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2545. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่** 2. นนทบุรี: เอส อาร์ พริ้นติ้ง.

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. **แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. **การนำ** *Chlorell* sp. (K3) **ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเพื่อเป็นอาหารของ** *Mina macrocopa straus.* **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จักรพันธ์ ปัญจะสุวรรณ. 2545. **การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. 2537. **อ้างถึงใน** วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ. 2542. **คุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนริมคลองแสนแสบกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคลอง.** กรุงเทพมหานคร: คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์. 2528. **การกำจัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

แตงอ่อน มั่นใจดน. 2547. **การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพ.** กรุงเทพมหานคร: คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2547. **สิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และการจัดการ.** กรุงเทพมหานคร: บ้านพิมพ์การพิมพ์.

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ และวิสาขา ภู่จินดา. 2548. การบำบัดน้ำเสียในคลองแสนแสบด้วยน้ำสกัดชีวภาพ. **วารสารมหกรรมรวมใจเพื่อสายน้ำ.** 1 (กุมภาพันธ์): 56-57.

นวรัตน์ พรสวัสดิ์ชัย. 2543. **การใช้น้ำกากส่าเหล้าแห้งผสมในอาหารนกกระทาเนื้อ.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

นฤมล ตปนียกุล และวันดี มากันต์. 2538. **คู่มือปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย.** กรุงเทพมหานคร: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

บัน ยีรัมย์. 2534. **ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปฏิกูลจากส้วมโดยใช้จุลินทรีย์สำเร็จรูป.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. **การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

พงษ์ศักดิ์ ไพรยังกูร. 2537. อ้างถึงใน วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรทอง และวิรันต์ นาประกอบ. 2542. **คุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนริมคลองแสนแสบกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคลอง.** กรุงเทพมหานคร: คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535. **ราชกิจจานุเบกษา.** ฉบับกฤษฎีกา 111, 16ง (24 กุมภาพันธ์): 3-9.

พิษณุ เอกคณาลักษมี. 2547. **การใช้** EM (Effective Microorganism) **กำจัด** Greace and Oil **ในน้ำทิ้งโรงอาหาร.** นครปฐม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร: บริษัท แซนอี 68 คอนซัลติง เอ็นจิเนียรส์ .

ลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์, ฉัตรมงคล หอมเลย และนภาพร วิศวกุล. 2540. **ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร.** ชลบุรี: ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 3 ชลบุรี กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

วิชัย รูปขำดี, สุเทพ บรรณทอง และวิรันต์ นาประกอบ. 2542. **คุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนริมคลองแสนแสบกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคลอง.** กรุงเทพมหานคร: คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ศจี ปิยะพงษ์ และแสวง รันตมงคลมาศ. 2529. **รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย.** ขอนแก่น: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สกุณณี กุณฑียะ. 2526. อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. **การนำ** *Chlorell* sp. (K3) **ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเพื่อเป็นอาหารของ** *Mina macrocopa straus.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2536. **การศึกษาความเป็นไปได้โครงการบำบัดน้ำเสียในคลองเปรมประชากรด้านใต้ เล่ม** 1. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

สมบัติ อุยตระกูล, อเนก สถิตยไทย และอาทิตย์ ละเอียดดี. 2532. **รายงานการศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ** EM (Effective Microorganism) **บำบัดน้ำเสีย และการพัฒนาอนามัยสิ่งแวดล้อมนิคมชนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา.** ชลบุรี: ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 3 ชลบุรี กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

สัญญา พยุงสด. 2539. **การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุราด้วยระบบตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2528. **การคัดเลือกเชื้อราเพื่อใช้ในการฟอกสีของน้ำกากส่า.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สารสิน อุยยานนท์. 2538. **รายงานการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย: กรณีศึกษา ณ ระบบบำบัดน้ำเสีย โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น.** ขอนแก่น: ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 6 ขอนแก่น กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2542. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปีระดับชาติ เรื่อง การใช้น้ำเสียโดยตรงเพื่อการเกษตร ครั้งที่** 11. กรุงเทพมหานคร. สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. หน้า 45-50.

สุรวิทย์ เกียรติประจักษ์. 2527. **การควบคุมน้ำทิ้งจากโรงงานต้มกลั่นสุรา.** จุลสารโรงงาน. 27 (มีนาคม – มิถุนายน): 25-29.

สุวณี สุภเวชย์. 2530. **จุลชีววิทยาทางการแพทย์. พิมพ์ครั้งที่** 4. กรุงเทพมหานคร: **ยูนิตี้พับลิเคชัน.**

เสาวนีย์ ธรรมสถิต. 2543. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์: การใช้เอ็นไซม์และเซลล์ของจุลินทรีย์ในการจัดการน้ำเสียประเภทไขมันสูง.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์. 2542. **การศึกษาแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสที่มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันและน้ำเสียประเภทไขมันสูง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อู๊ด ตำเกิงตระกูล. 2527. **โครงการสร้างระบบกำจัดน้ำกากส่า.** ภาคนิพนธ์ คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

เอนก สถิตย์ไทย. 2538. **ผลการศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ อี.เอ็ม. บำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีน.** ชลบุรี: ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 3 ชลบุรี กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

APHA. AWWA. and WEF. 1992. อ้างถึงใน ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. **การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

Bhattacharya Sanjoj and Parkin, K. 1985. อ้างถึงใน สัญญา พยุงสด. 2539. **การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุราด้วยระบบตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

Frankal, R.J. 1986. อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. **การนำ** *Chlorell* sp. (K3) **ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเพื่อเป็นอาหารของ** *Mina macrocopa straus.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Gonzalez, I.M. 1980. อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. **การนำ** *Chlorell* sp. (K3) **ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเพื่อเป็นอาหารของ** *Mina macrocopa straus.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Hale, D.R. 1979. อ้างถึงใน จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. **การนำ *Chlorell* sp. (K3) ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเพื่อเป็นอาหารของ *Mina macrocopa straus*.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Jantana, T. 2001. **Cadmium Biosorption by Bacterial Biomass.** Master's Thesis, Mahidol University.

Karhadkar, P.P., et al. 1989. อ้างถึงใน สัญญา พยุงสด. 2539. **การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุราด้วยระบบตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

Monod, T. 1994. อ้างถึงใน เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2545. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: เอส อาร์ พริ้นติ้ง.

Ozturk, et al. 1989. อ้างถึงใน สัญญา พยุงสด. 2539. **การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุราด้วยระบบตัวกลางจุลินทรีย์ลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

SAS Institute. 1996. **SAS User's Guide, Version 6.12.** N.C.: SAS Institute Incorporate.

Suzuki, T. et al. 1986. อ้างถึงใน อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์. 2542. **การศึกษาแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสที่มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันและน้ำเสียประเภทไขมันสูง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Toemthip, P. 2002. **Lead Biosorption by Bacterial Biomass.** Master's thesis, Mahidol University.

Wong, J.M. and Lowe, T. 1989. อ้างถึงใน อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์. 2542. **การศึกษาแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสที่มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันและน้ำเสียประเภทไขมันสูง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ–นามสกุล	นายณัฐพล เอียมอ้น
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เอกวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา 2540