



การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กด้วยระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง

นายธราดล บุญเพิ่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2556

การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กด้วยระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง

นายธราดล บุญเพิ่ม วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(รศ. ดร.เฉลิมราช วันทวิน)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผศ. ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล)

..... กรรมการ  
(ผศ. ศักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง)

..... กรรมการ  
(ดร.ปธาน บรรจงปัฐ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กด้วยระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายธราดล บุญเพิ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. วิลาสินี อยู่ชัชวาล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2556

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กด้วยระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลงระดับน้ำร่อง ปฏิกรณ์ทรงปริซึมสี่เหลี่ยม 2 ปฏิกรณ์ต่อเนื่องกันขนาด 101.5 ลิตร (เมื่อคิดที่ปริมาตรของฟองน้ำ) โดยทำการทดลองที่โรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา กรุงเทพมหานคร ซึ่งรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ใช้เวลาดำเนินงานทั้งหมด 262 วัน ในระยะเริ่มต้นใช้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงและลดระยะเวลาการพักเก็บน้ำเสียลงเหลือ 3 ชั่วโมงเมื่อเวลาผ่านไป 89 วัน ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลงสามารถกำจัดสารอินทรีย์, แอมโมเนีย และไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพในทั้งสองช่วงระยะเวลาการพักเก็บน้ำเสีย โดยที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพ การบำบัดสารอินทรีย์มีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ส่วนการบำบัดแอมโมเนียมีค่าสูงถึงร้อยละ 98 แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกือบสมบูรณ์ในระบบนี้ และระบบยังสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ร้อยละ 44-56 นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในตัวกลางฟองน้ำในช่วงระยะเวลาการพักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมง พบว่าจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลายมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์และกระบวนการไนตริฟิเคชันที่บริเวณส่วนกลางของคอลัมน์ที่ 1 (ชั้น A3) และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลงมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

คำสำคัญ : น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง/ ฟองน้ำแขวนไหลลง/ ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย/ อัตราการใช้ออกซิเจน

Thesis Title	The Down-flow Hanging Sponge (DHS) for Nitrogen Removal from Sewage at Small Community in Bangkok
Thesis Credit	12
Candidate	Mr. Tharadon Boonperm
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Wilasinee Yoochatchawan
Program	Master of Engineering
Field of Study	Environmental Engineering
Department	Environmental Engineering
Faculty	Engineering
Academic Year	2013

#### Abstract

The nitrogen removal efficiency of pilot scale Down-flow Hanging Sponge (DHS) system was studied. DHS system was designed by 2 DHS reactors combined in series with working volume of 101.5 liters (based on sponge volume). High strength sewage from Bang-na wastewater treatment plant (Bangkok) was fed to the reactors at HRT 6 hours during the started up period and reduced to 3 hours after 89 days of the operation. The total and soluble COD, BOD, ammonium and nitrogen were analyzed in order to confirm the process performance for 262 days. At HRT of 3 hours, reactor showed the sufficient removal performance; above 75% for both COD and BOD. In addition, there was a high ammonium removal efficiency (about 98%). This result shows that almost complete nitrification occurred in DHS. Also, the nitrogen removal efficiency was 44-56%. At HRT of 3 hours, the amounts of oxygen utilization by both heterotrophic and autotrophic show high activity on the middle level of reactor (A3). Since, DHS reactor showed a high performance for nitrogen and organic removal efficiency. Moreover, the operation cost was not so much expensive as compared with other system. So, for the sustainability purpose, DHS system is one of an interesting technology for sewage treatment in developing countries such as Thailand.

Keywords: Down-flow Hanging Sponge/ High Strength Wastewater/ HRT/ Oxygen Uptake Rate (OUR)

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัยนี้ดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำและแก้ปัญหาในขณะทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.เฉลิมราช วันทวิน ผู้เป็นประธานคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ ผศ.ศักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง และ ดร.ปธาน บรรจงปรุ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ Dr.Kazuaki Syutsubo และ Dr.Takeshi Onodera จากสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ประเทศญี่ปุ่น) ที่กรุณาให้คำแนะนำ การแก้ปัญหา รวมถึงให้คำปรึกษาด้านต่างๆ ในงานวิจัยที่ให้ประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณจงกลณี ประดิษฐ์พงษ์ คุณพิระดา ว่องเกษญา และคุณนิโลบล ชุมภู เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่คอยดูแลด้านการทดลองและให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลอง ขอขอบคุณ คุณเด่นใจ โพธิ์ทอง และคุณนวลจันทร์ เลาศิริชัยกุล เจ้าหน้าที่ธุรการที่ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องการเงิน และเอกสารต่างๆ ขอขอบพระคุณทุนวิจัยจาก National Institute for Environmental Studies (NIES); JAPAN ขอขอบพระคุณ คุณ นิมารดี บุญอาพัทธเจริญ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัย Fungal Biotechnology สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือด้าน Molecular Technique และศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการ และใช้ประโยชน์จากของเสี้ยวอุตสาหกรรมเกษตร (Ecellent Center of Waste Utilization and Management) ที่สนับสนุนอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลองด้าน Molecular Technique สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือในงานวิจัย ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฉ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฐ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 น้ำเสียชุมชน (Municipal Wastewater)	3
2.2 การกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ	3
2.2.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)	4
2.2.2 สมการไนตริฟิเคชัน	4
2.2.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)	6
2.2.4 สมการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)	7
2.3 แนวทางจัดการน้ำเสียชุมชนในกรุงเทพมหานคร	8
2.4 ระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Fixed Film)	9
2.5 ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนลอยไหลลง (Down-flow Hanging Sponge: DHS)	10
2.5.1 การศึกษาแบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนลอยไหลลง	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

<b>3. วิธีการวิจัย</b>	<b>18</b>
3.1 แผนการดำเนินงาน	18
3.2 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3 เครื่องปฏิกรณ์ระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS	20
3.3.1 ตัวถังปฏิกรณ์ของระบบ DHS	20
3.3.2 ตัวกลางฟองน้ำ	21
3.3.3 ถังพักน้ำ (Storage Tank)	21
3.3.4 เครื่องปั้มน้ำแบบจุ่ม (Submerge Pump)	21
3.3.5 เครื่องปั้มน้ำ Master flex	21
3.3.6 ตู้เย็น	22
3.4 วิธีการทดลอง	22
3.4.1 การดำเนินระบบ	22
3.4.2 การเก็บน้ำแบบ Composite Sampling	22
3.4.3 การเก็บน้ำ Spot sampling	22
3.4.4 การวิเคราะห์ผล	23
3.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพถังปฏิกรณ์	23
3.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณอัตราการใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ของจุลินทรีย์	23
3.5 วิธีการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง	23
3.5.1 การวิเคราะห์แอมโมเนีย	23
3.5.2 การวิเคราะห์ไนเตรต	24
3.5.3 การวิเคราะห์ไนไตรต	24
3.5.4 การวิเคราะห์อี.โคไล (E.Coli) และ โคลิฟอร์ม (Coliforms)	25
3.5.5 การวิเคราะห์อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ (Oxygen Uptake Rate, OUR)	25
3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ในระบบ	28
3.6.1 การสกัดดีเอ็นเอจากตะกอนจุลินทรีย์ (DNA extraction)	28
3.6.2 การทำดีเอ็นเอให้มีความบริสุทธิ์ (Purify)	29
3.6.3 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธีปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส	30
<b>4. ผลจากการวิจัย</b>	<b>33</b>

	หน้า
4.1 อุณหภูมิ (Temperature)	33
4.2 ค่าพีเอช (pH)	33
4.3 ค่าโออาร์พี (ORP)	34
4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)	35
4.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (SS, VSS)	35
4.6 ซีโอดี (COD)	37
4.7 บีโอดี (BOD)	38
4.8 เชื้อโรค (Pathogen)	39
4.9 แอมโมเนีย	41
4.10 ไนโตรเจนทั้งหมด	42
4.11 การศึกษาประสิทธิภาพในแต่ละชั้นความสูง (Profile Experiment)	44
4.11.1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)	44
4.11.2 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (SS, VSS)	45
4.11.3 ซีโอดีและบีโอดี	46
4.11.4 เชื้อโรค (Pathogen)	47
4.11.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจน	48
4.12 อัตราส่วนระหว่างการใช้ซีโอดีกับไนโตรเจน	50
4.13 ปริมาณตะกอนบนตัวกลางฟองน้ำในถังปฏิกรณ์	51
4.14 อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ (Oxygen Uptake Rate, OUR)	52
4.15 การหา community ของจุลินทรีย์ในตัวกลางฟองน้ำ	53
<b>5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>56</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>58</b>

**ภาคผนวก**

ก	ข้อมูลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ	63
ข	ข้อมูลจากการทดลอง Spot samples และ composite sampling	65
ค	ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนในแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์	89
ง	ประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในกระบวนการต่างๆ	92
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>		<b>97</b>

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตารางแสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบแบบฟองน้ำแขวนไหลลงและระบบโปรยกรองในงานวิจัยที่ผ่านมา	14
3.1 แผนการปฏิบัติงาน	18
3.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองบางนา (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2556)	19
3.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัดแบบ Spot Sampling	27
3.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการตรวจวัดแบบ Composite Sampling	27
ข.1 แสดงอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง	66
ข.2 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการกักเก็บน้ำเสีย ที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	68
ข.3 แสดงค่าโออาร์พี (ORP) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	69
ข.4 แสดงค่าเฉลี่ยโออาร์พี (ORP) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการกักเก็บน้ำเสีย ที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	71
ข.5 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด	72
ข.6 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	74
ข.7 แสดงปริมาณค่าซีไอดี (COD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด	75
ข.8 แสดงค่าเฉลี่ยซีไอดี (COD) ในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	77
ข.9 แสดงปริมาณค่าบีไอดี (BOD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด	78
ข.10 แสดงค่าเฉลี่ยบีไอดี (BOD) ในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	79
ข.11 แสดงปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ออกจากระบบบำบัด	80
ข.12 แสดงความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนเตรตและไนไตรท์ ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด	81
ข.13 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนเตรตและไนไตรท์ ในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	83
ข.14 แสดงความเข้มข้นไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัด	84
ข.15 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นไนโตรเจนในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	86
ข.16 แสดงปริมาณค่า E.coli และ Total-coliform ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด	87

ตาราง	หน้า
ข.17 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณ E.coli และ Total-coliform ในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง	88
ค.1 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะการกักเก็บ (HRT) 6 ชั่วโมง	90
ค.2 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะการกักเก็บ (HRT) 3 ชั่วโมง	91
ง.1 ตารางบันทึกค่าดีไอที่ลดลงจากการทำปฏิกิริยาต่างๆ ของจุลินทรีย์	93
ง.2 แสดงประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake Rate, OUR) ของจุลินทรีย์ที่ใช้และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลายในระบบ DHS	96

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 UASB–DHS system wastewater	12
2.2 diagram for a UASB–DHS system treating domestic wastewater	12
2.3 Experimental setup of the DHS reactor	13
3.1 แผนผังถึงปฏิกรณ์และการดำเนินงานของระบบ	20
3.2 ตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในถึงปฏิกรณ์ระบบ DHS	21
4.1 อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและน้ำเสีย	33
4.2 ค่าพีเอชในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	34
4.3 ค่าไออาร์พีของน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	34
4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำของเสียและหลังผ่านการบำบัด	35
4.5 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	36
4.6 ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	36
4.7 ปริมาณซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	37
4.8 ปริมาณซีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	38
4.9 ปริมาณบีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	39
4.10 ปริมาณบีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	39
4.11 ปริมาณ E-coli ในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	40
4.12 ปริมาณ Total Coliform ในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	41
4.13 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	42
4.14 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	43
4.15 ปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด	44
4.16 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์	45
4.17 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์ที่ระยะการกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงและระยะการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง	46
4.18 ปริมาณซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์	47
4.19 ปริมาณบีโอดีทั้งหมดและบีโอดีละลายน้ำของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์	47
4.20 ปริมาณเชื้อโรคของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์	48
4.21 ความเข้มข้นไนโตรเจนของแต่ละระยะช่วงความสูงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง	49

รูป	หน้า
4.22 ความเข้มข้นไนโตรเจนของแต่ละระยะช่วงความสูงปฏิกรณ์ ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง	50
4.23 อัตราส่วนระหว่างการใช้ซีโอไซด์กับไนโตรเจนที่ถูกใช้ในระบบ	51
4.24 ก ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำที่แต่ละช่วงชั้นความสูง ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง	52
4.24 ข ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำที่แต่ละช่วงชั้นความสูง ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง	52
4.25 อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง	53
4.26 แสดง PCR pattern จากการใช้ Nso190 และ Nso1225 specific primer เพื่อศึกษา community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมนาส (nitrosomonas) ในแต่ละชั้นความสูง ปฏิกรณ์	54
4.27 แสดง PCR pattern จากการใช้ EUB338f และ NIT3 specific primer เพื่อศึกษา community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (nitrobacter) ในแต่ละชั้นความสูง ปฏิกรณ์	55
4.28 แสดง PCR pattern จากการใช้ nirScd3aF และ nirSR3cd specific primer เพื่อศึกษา community ของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริไฟเออร์ (Denitrifier) ในแต่ละชั้นความสูง ปฏิกรณ์	55
ง.1 แสดงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆของจุลินทรีย์ในคอลัมน์ A1	94
ง.2 แสดงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆของจุลินทรีย์ในคอลัมน์ A3	95
ง.3 แสดงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆของจุลินทรีย์ในคอลัมน์ A5	95

## ประมวลศัพท์และคำย่อ

AOB	=	Ammonium Oxidizing bacteria
ASP	=	Activated Sludge Process
BOD	=	บีโอดี (Biological Oxygen Demand)
CFU	=	Colony Forming Unit
COD	=	ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)
d	=	วัน
DHS	=	ระบบบำบัดฟองน้ำแขวนไหลลง (Down-flow Hanging Sponge)
DO	=	ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)
Eff1	=	Effluent column 1
Eff2	=	Effluent column 2
E. coli	=	Escherichia coli
hr	=	ชั่วโมง
HRT	=	เวลากักเก็บทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time)
Inf	=	Influent column 1
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
m <sup>2</sup>	=	ตารางเมตร
m <sup>3</sup>	=	ลูกบาศก์เมตร
mV	=	มิลลิโวลต์ (millivolt)
OLR	=	อัตราบรรทุกภาระอินทรีย์ (Organic Loading Rate)
ORP	=	Oxidation Reduction Potential
OUR	=	อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ (Oxygen Uptake Rate)
SRT	=	เวลากักเก็บตะกอน (Sludge Retention Time)
SS	=	ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)
TF	=	ระบบโปรยกรอง (Trickling filter)
VSS	=	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids)
UASB	=	Up-flow anaerobic sludge Process

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันในกรุงเทพมหานคร มีระบบน้ำเสียขนาดใหญ่สำหรับรองรับน้ำเสียชุมชนอยู่ 7 แห่งและขนาดเล็กอีก 12 แห่ง โดยส่วนมากใช้วิธีการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) ระบบนี้ถือว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนในหลายๆ ประเทศ แต่เนื่องจากมีข้อเสียคือ ต้องใช้พลังงานในการเดินระบบสูงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินระบบมากตามไปด้วย รวมทั้งเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่จึงต้องใช้พื้นที่มากสำหรับการดำเนินงาน ซึ่งระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ในกรุงเทพมหานคร โดยบำบัดน้ำเสียได้รวมทั้งหมด 736,903 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 30.45 ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้น้ำประปา (เดลินิวส์(ออนไลน์), 2556) ดังนั้นหากจะสร้างระบบขนาดใหญ่เพื่อรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดอาจต้องใช้เงินลงทุนสูง จากสาเหตุดังกล่าวทำให้มีการคิดค้นและพัฒนาออกแบบระบบบำบัดขนาดเล็ก (Decentralized system) เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียในแต่ละชุมชน จึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง (Down-flow Hanging Sponge : DHS) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ทั้งนี้ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลงเป็นระบบที่ใช้พลังงานในการเดินระบบต่ำกว่าระบบเดิมอากาศทั่วไป และมีความสามารถในการกำจัดธาตุอาหารที่ดี รวมถึงใช้พื้นที่สำหรับเดินระบบน้อยกว่าระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์มาก วิธีนี้จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย ที่ต้องการลดค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ สำหรับการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลง (Down-flow Hanging Sponge : DHS) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนในการบำบัด (Aerobic Treatment) ที่ถูกพัฒนาจากระบบบำบัดแบบ Trickle Filter โดยมีข้อแตกต่างตรงที่ระบบ DHS จะใช้ฟองน้ำเป็นตัวกลาง เนื่องจากความพรุนของฟองน้ำทำให้มีช่องว่างและพื้นที่สัมผัสสูงกว่าตัวกลางชนิดอื่นๆ และส่งผลให้ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องปั๊มอากาศเข้าในระบบทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเดินระบบ ในระบบจะเกิดปฏิกิริยาการบำบัด 2 บริเวณคือ 1) Aerobic Zone เกิดที่บริเวณด้านผิวนอกของตัวกลาง 2) Anoxic Zone เกิดบริเวณด้านในตัวกลาง ด้วยเหตุนี้ทำให้ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลงสามารถบำบัดได้ทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจนด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification-Denitrification)

ทั้งนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ ประชาและเกียรติชัย, 2555 ได้ทำการทดลองโดยใช้ระบบ DHS ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยตรง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารอยู่ในเกณฑ์ที่ดี อย่างไรก็ตามในงานวิจัยดังกล่าวน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด เป็นน้ำเสียที่ผ่านระบบท่อรวมทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองใช้ระบบ DHS กับน้ำเสียเคหะชุมชนบางนาซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง เพื่อศึกษาศักยภาพของระบบ DHS ว่ามีความเป็นไปได้สำหรับการกำจัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์อื่นๆ ในน้ำเสียเคหะชุมชนบางนามากน้อยเพียงใด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นของค่าสารอินทรีย์สูงด้วยระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง
2. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ที่ใช้สำหรับงานวิจัยติดตั้งที่โรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร
2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียชุมชนที่รวบรวมโดยโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา
3. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ DHS โดยทำการศึกษาการกำจัดค่า SS, VSS, BOD, COD, Ammonia, Nitrogen, E.coli, Total Coliform และ OUR

## 1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. เข้าใจการทำงานของระบบ DHS และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน เพื่อสามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้จริงในระบบบำบัดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 น้ำเสียชุมชน (Municipal Wastewater)

น้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ในกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและระบายลงสู่ท่อระบายน้ำเช่น น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหาร การชำระล้างสิ่งสกปรกภายในครัวเรือน น้ำเสียจากภัตตาคาร โรงแรม อาคารพาณิชย์ ตลาดสด เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนมากนั้นจะมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน ได้แก่

1. ประเภทของการใช้ประโยชน์ของอาคาร เช่น ร้านอาหารจะมีค่าไขมัน และค่า BOD<sub>5</sub> สูงกว่าจากบ้านเรือน
2. ประเภทของท่อรวบรวมน้ำเสีย เช่น ท่อรวบรวมน้ำเสียแบบรวมจะมีความสกปรกน้อยกว่าท่อรวบรวมน้ำเสียแบบแยกเนื่องจากท่อรวบรวมน้ำเสียแบบรวมจะมีน้ำฝนปะปนเข้ามาด้วย อีกทั้งน้ำใช้บางประเภทที่เข้าสู่ท่อมีความสกปรกต่ำ ทำให้ความสกปรกในท่อรวบรวมน้ำเสียแบบรวมมีค่าต่ำ
3. ระบบบำบัดเบื้องต้นของแต่ละอาคาร เช่นชุมชนที่ติดตั้งบ่อซึม น้ำเสียจะมีลักษณะสมบัติที่เจือจางมากกว่าชุมชนที่ไม่ใช้บ่อซึม เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านบ่อซึมจะถูกปล่อยให้ซึมออกทางใต้ดินทำให้น้ำเสียไม่ไหลเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำเสีย ส่วนชุมชนที่ไม่ใช้ระบบบำบัดเบื้องต้นก่อนระบายสู่ท่อสาธารณะ จะมีความเข้มข้นสูงกว่า
4. สภาพของท่อรวบรวมน้ำเสีย ท่อที่อยู่ในสภาพชำรุด การก่อสร้างไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ทำให้น้ำภายนอกอาจไหลเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำเสียทำให้ค่าความสกปรกลดลง หรือในบางครั้งท่อรวบรวมน้ำเสียที่มีน้ำขังอยู่ในท่อมักจะพบการหมักและย่อยสลายภายในท่อ ทำให้ค่าความสกปรกของน้ำเสียลดลงเช่นกัน

### 2.2 การกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการกำจัดธาตุอาหารในน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน วิธีนี้ประหยัดกว่าวิธีการทางเคมีเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องสารเคมีรวมทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อเสียสภาพแวดล้อมอีกด้วย การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพเป็นการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ให้กลายเป็น ไนโตรเจนก๊าซ โดยมีกระบวนการที่สำคัญคือกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวอาจมีความ

ผันผวนไม่แน่นอนเนื่องจากปัจจัย สภาวะแวดล้อมต่างๆเช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย เป็นต้น ทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ

### 2.2.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

ไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียหรือสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ สารดังกล่าวจะถูกการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์นำไปสร้างเซลล์ใหม่ ในขณะเดียวกันถ้าสารอาหารประเภทคาร์บอนลดลงจนเหลือน้อยแต่ระบบยังอยู่ในสภาวะแอโรบิก จะทำให้เกิดการหายใจโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น กระบวนการนี้สามารถแบ่งย่อยออกเป็นสองขั้นตอนสำคัญคือ กระบวนการไนโตรเตชัน (Nitritation) หรือไนโตรติฟิเคชัน (Nitritification) และกระบวนการไนเตรเตชัน (Nitrataion) หรือไนเตรติฟิเคชัน (Nitratification) ในขั้นตอนไนตริฟิเคชันจุลินทรีย์ทั้งชนิด heterotroph (เช่น *Arthrobacter* และ *Aspergillus*) และ Autotroph ต่างก็มีบทบาทในปฏิกิริยาดังกัน ทั้งคู่แต่ชนิด Autotroph จะมีบทบาทมากกว่า ทำให้ในบางกรณีจึงมีการตั้งสมมติฐานว่าจุลินทรีย์ชนิด heterotroph ไม่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ของกระบวนการ การที่จุลินทรีย์ Autotroph ออกซิไดซ์  $\text{NH}_4^+$  ไปเป็น  $\text{NO}_2^-$  และ  $\text{NO}_3^-$  ภายใต้ภาวะแอโรบิกและจะได้พลังงานออกมาด้วย จุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่ได้นี้ไปดึง  $\text{CO}_2$  หรือ  $\text{HCO}_3^-$  หรือ  $\text{CO}_3^{2-}$  เข้าสู่เซลล์สำหรับเป็นแหล่งคาร์บอน ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะมีการปล่อย  $\text{H}^+$  เพื่อให้มีสภาพเป็นด่าง ไม่เช่นนั้นบัฟเฟอร์จะมีไม่พอ ส่งผลให้ค่า pH ในระบบลดลงจนอาจส่งผลกระทบต่อระบบล้มเหลว (Failure) ได้ ขั้นตอนย่อยขั้นที่ 1 แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์  $\text{NH}_4^+$  ไปเป็น  $\text{NO}_2^-$  มีชื่อเรียกว่า เอโอบี หรือ AOB (ammonium oxidizing bacteria) โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้แก่กลุ่ม Nitrosomonas เช่น *N.europaea* และ *N.oligocarbogenes* เป็นต้น ส่วนในขั้นตอนย่อยที่ 2 แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์  $\text{NO}_2^-$  ไปเป็น  $\text{NO}_3^-$  เรียกรวมว่าเอ็นโอบีหรือ NOB (nitrite oxidizing bacteria) เช่น *Nitrobacter* เป็นต้น

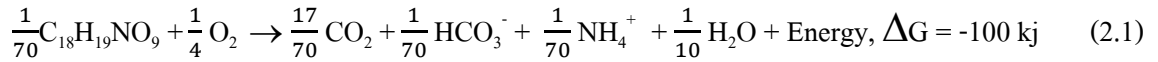
อย่างไรก็ตามในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปจะไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์เพราะมีบางส่วนของสารอินทรีย์ไนโตรเจนไม่สามารถย่อยสลายทางชีววิทยาได้หรืออาจย่อยได้ยาก ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ประมาณไม่น้อยกว่า 1 mgN/L เสมอ

### 2.2.2 สมการไนตริฟิเคชัน

จากการศึกษาพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันหรือปฏิกิริยารวม (2.4) และสมการการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ Heterotroph (2.1) พบว่าพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันหรือปฏิกิริยารวมมีค่าน้อยกว่าการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ Heterotroph

ดังนั้นไนโตรแบคทีเรียจึงมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และมีโอกาสจะถูกล้างออกจากระบบได้ง่ายกว่า  
กลุ่ม Heterotroph

สมการหายใจของจุลินทรีย์ heterotroph



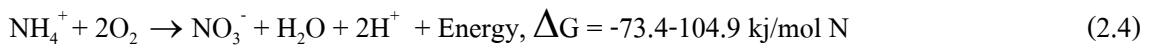
สมการการหายใจของ Nitrosomonas ในขั้นตอนไนเตรติฟิเคชัน



สมการการหายใจของ Nitrobacter ในขั้นตอนไนเตรติฟิเคชัน



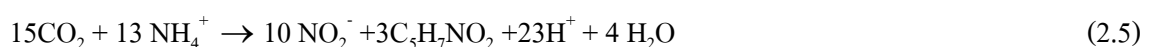
สมการรวมการหายใจของจุลินทรีย์ในกระบวนการไนเตรติฟิเคชัน



และถ้าเปรียบเทียบสมการ (2.2) และ (2.3) จะเห็นว่าการผลิตเซลล์ในขั้นตอนไนเตรติฟิเคชันสูงกว่า  
ขั้นตอนไนเตรติฟิเคชัน ดังนั้นในช่วงแรกของการเดินระบบจะมีความเข้มข้นของไนไตรต์สูงกว่า  
Nitrobacter จะโตขึ้นมากพอจนระบบสมดุลไนไตรต์จะลดหายไป นอกจากนี้สมการ (2.4) มีการผลิต  
 $H^+$  ซึ่งจะเป็นตัวไปทำให้มีสภาพเป็นกรด ทั้งนี้อัตราการเร็วของปฏิกิริยาไนเตรติฟิเคชันโดย Nitrobacter  
เกิดเร็วกว่าไนเตรติฟิเคชันโดย Nitrosomonas ทำให้ปกติในระบบมักพบไนไตรต์ต่ำมากในถังเดิม  
อากาศ

กลุ่มจุลินทรีย์แบบ Autotroph สามารถสร้างเซลล์ใหม่จากสารอนินทรีย์คาร์บอนเช่น  
คาร์บอนไดออกไซด์ และสามารถผลิตพลังงานจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านกระบวนการรีดอกซ์  
ทางเคมีได้ด้วย (ใช้  $CO_2$  เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและให้แอมโมเนียเป็นตัวให้อิเล็กตรอน) เซลล์ที่ผลิตได้  
สมมุติให้มีโครงสร้างเป็น  $C_5H_7NO_2$  ซึ่งการสร้างเซลล์มีขั้นตอนดังนี้

การสร้างเซลล์ของ Nitrosomonas ในขั้นตอนไนเตรติฟิเคชัน



การสร้างเซลล์ของ Nitrobacter ในขั้นตอนไนเตรติฟิเคชัน



### 2.2.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เมื่อสารอินทรีย์ไนโตรเจนหรือแอมโมเนียถูกย่อยสลายจนอยู่ในรูปของ  $\text{NO}_3^-$  แล้ว ไนโตรเจนก็จะสามารถถูกกำจัดออกจากระบบได้ 2 วิธีคือ

1. วิธีแอสสิมิเลชัน (Assimilatory Denitrification) เป็นที่ทราบกันว่าจุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน ดังนั้นไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ก็คือไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4^+$ ) แต่ถ้า  $\text{NH}_4^+$  ในระบบมีไม่เพียงพอ จุลินทรีย์บางชนิดก็ไม่สามารถเปลี่ยนรูป  $\text{NO}_3^-$  ให้เป็น  $\text{NH}_4^+$  ได้ วิธีนี้  $\text{NO}_3^-$  จะถูกดีไนตริไฟด์และลดรูปไปเป็น  $\text{NH}_4^+$  ก่อนที่จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ ต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่าแอสสิมิเลชัน ขั้นตอนนี้จึงมีชื่อเรียกว่าดีไนตริฟิเคชันแบบแอสสิมิเลชัน ซึ่งวิธีนี้มีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับวิธีถัดไป

2. วิธีดิสสิมิเลชัน (Dissimilatory Denitrification) ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบนี้ จุลินทรีย์กลุ่ม Denitrifier เป็นได้ทั้งแบบ Heterotroph และ Autotroph เหมือนกับในขั้นตอนไนตริฟิเคชันแต่จะต่างกันตรงที่สภาวะนี้ต้องเป็นแบบแอนอกซิก คือสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระ และในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์แบบ Heterotroph มีบทบาทมากกว่าจุลินทรีย์แบบ Autotroph อย่างมาก เนื่องจากจุลินทรีย์แบบ Heterotroph นี้ต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้  $\text{NO}_3^-$  เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ในบางกรณีจึงมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าสู่ระบบด้วยวิธีต่างๆ เนื่องจากการลดรูปไนโตรเจนทุกขั้นตอน ตั้งแต่ไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) ไปเป็นไนไตรต์ ( $\text{NO}_2^-$ ), ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ไปจนถึงก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ต้องใช้อินทรีย์คาร์บอนในการลดรูปไนโตรเจนทั้งสิ้น ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นไนโตรเจนก๊าซจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยมาก จึงทำให้ถูกขับออกจากมวลของน้ำได้ง่าย วิธีนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูง แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากว่าก๊าซไนโตรเจนไปเกิดและสะสมในถังทำใส (Clarifier) อาจมีผลต่อการจมตัวของสลัดจ์ ทำให้น้ำที่ออกไปมีความขุ่น

โดยปกติแล้ว ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันจะไม่เกิดอย่างสมบูรณ์ในทุกสถานะการณ์ของระบบบำบัดน้ำเสีย ในบางกรณีอาจเกิดเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซมลพิษที่มีส่วนสำคัญให้เกิดสภาวะเรือนกระจก จึงควรหลีกเลี่ยงการผลิตก๊าซชนิดนี้ในระบบบำบัดน้ำเสีย สภาวะที่ทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์คือ การมีอัตราซีโอดีต่อไนเตรต-ไนโตรเจนต่ำ เวลาเก็บสลัดสั้น สภาวะที่เป็นกรด เพราะฉะนั้นจึงควรทำทุกทางเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดสภาวะเช่นนี้

### 2.2.4 สมการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

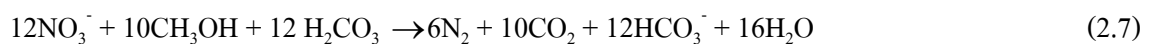
ดีไนตริฟิเคชันมี 2 วิธีคือ 1) วิธีเอาไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับสร้างเซลล์หรือวิธีไนตริฟิเคชันแบบแอสสิมิเลชัน และ 2) วิธีการลดรูปของไนไตรต์หรือไนเตรตเป็นไนโตรเจนก๊าซหรือวิธีไนตริฟิเคชันแบบดิสสิมิเลชัน โดยวิธีไนตริฟิเคชันแบบดิสสิมิเลชันเป็นหลักใหญ่ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ และถือว่าเป็นดีไนตริฟิเคชันที่แท้จริง วิธีนี้อาจแบ่งย่อยได้อีก 2 รูปแบบดังนี้

1) แบบเติมสารอินทรีย์จากภายนอกระบบ โดยมาจาก 2 แหล่งได้แก่ จากภายนอกจริงๆ เช่นการเติมเมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) หรือกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) เข้าสู่ระบบ และจากภายนอกเทียมคือการเอาสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสียมาป้อนให้แก่ Denitrifier แบคทีเรียนำไปใช้ในปฏิกิริยา

2) แบบเติมสารอินทรีย์จากภายในระบบ คือหากไม่มีการเติมคาร์บอนเข้าสู่ระบบ Denitrifier แบคทีเรีย จะต้องใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากภายในเซลล์มาเป็นแหล่งคาร์บอนแทน กล่าวคือเซลล์ต้องทำการย่อยสลายตัวเอง และคายสารอินทรีย์คาร์บอนมาให้ Denitrifier แบคทีเรีย ใช้ในขั้นตอนดีไนตริฟิเคชันแบบเอนโดจีนัส

ดีไนตริฟิเคชันแบบใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกจริง มักใช้เมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) เป็นตัวอย่างในการคำนวณ เนื่องจากมีราคาถูกกว่าสารคาร์บอนในรูปอื่น อีกทั้งเมทานอลยังเป็นสารที่มีกำลังรีดิวซ์สูง และการใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับ Heterotroph ในกระบวนการไนตริฟิเคชันยังทำให้ค่ายิลด์ต่ำอีกด้วย

สมการพลังงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

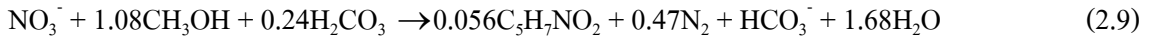


จากสมการ (2.7) แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเพิ่มสภาพด่างด้วย โดยเพิ่มขึ้นเท่ากับ  $3.57 \text{ g CaCO}_3 / \text{NO}_3^- \text{-N}$  ที่ถูกที่ถูกรีดิวซ์ไปแต่อย่างไรก็ตามสภาพด่างที่เพิ่มขึ้นยังน้อยกว่าสภาพด่างที่ลดไปในขั้นตอนไนตริฟิเคชัน และอาจต้องมีการเติมด่างเข้าไปอีกเพื่อควบคุมค่า pH ให้มีความเหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตและการทำงานของแบคทีเรียทุกประเภท นอกจากนี้สมการ (2.7) ยังแสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องเติมเมทานอลเข้าไปเท่ากับ  $1.9 \text{ g CH}_3\text{OH} / \text{NO}_3^- \text{-N}$  ที่ถูกรีดิวซ์ไป และในขั้นตอนดีไนตริฟิเคชันนี้มีการสังเคราะห์เซลล์ด้วยเช่นกันดังสมการ (2.8) ซึ่งเมื่อรวมปฏิกิริยาชีวสังเคราะห์เข้าด้วยกันแล้ว จะได้สมการรวมของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นสมการ (2.9)

สมการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

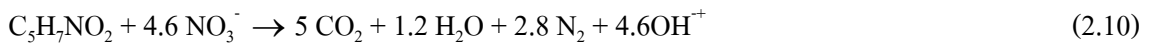


สมการรวมของกระบวนการ Denitrification



จากสมการ (2.9) จะเห็นได้ว่าต้องการเอทานอลเท่ากับ 2.47 g CH<sub>3</sub>OH / NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N หรือเท่ากับ 3.7 g COD / NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่ถูกลดรูปไป และควรระวังอย่าให้มี NO<sub>2</sub><sup>-</sup> และ O<sub>2</sub> เหลืออยู่ในขั้นตอนนี้เนื่องจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในสภาวะ Anoxic เท่านั้น หากมี NO<sub>2</sub><sup>-</sup> และ O<sub>2</sub> จะทำให้รบกวนปฏิกิริยาทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้

ดีไนตริฟิเคชันแบบใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากภายในเซลล์ กระบวนการแบบนี้จะใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และจุลินทรีย์แบบ Heterotroph ใช้คาร์บอนจากรายย่อยสลายของเซลล์โดยสมมติว่ามีสูตรโครงสร้างเป็น C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub> เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2.10) วิธีนี้นั้นมีประสิทธิภาพต่ำ จึงไม่เหมาะสำหรับในงานจริง และวิธีนี้เป็นการย่อยสลายตัวเองให้ได้คาร์บอนออกมา จึงทำให้ปริมาณเซลล์ลดลงและจากการคำนวณในสมการ (10) ปริมาณเซลล์จะลดลงเท่ากับ 1.75 g VSS/g-N



### 2.3 แนวทางจัดการน้ำเสียชุมชนในกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีผู้คนอาศัยอยู่กันอย่างหนาแน่นทำให้ต้องมีการจัดการกับปัญหาน้ำเสียอย่างเป็นระบบ โดยทางสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกรุงเทพมหานครได้มีการวางแผนการจัดการโดยมีแนวทางคือ การแก้ปัญหาในระยะสั้นเป็นการก่อสร้างภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณและแก้ปัญหาน้ำเสียเฉพาะพื้นที่ในระยะยาวอันสั้น จึงมีการสร้างโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำที่รับโอนจากเคหะแห่งชาติทั้งหมด 12 โรงได้แก่ โรงควบคุมคุณภาพน้ำห้วยขวาง บางนา คลองจั่น รามอินทรา ทุ่งสองห้อง 1 ทุ่งสองห้อง 2 หัวหมาก ท่าทราย คลองเตย ร่มเกล้า บางบัว บ่อนไก่ ทั้งหมดสามารถบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยรวมกันได้ทั้งสิ้น 24,800 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อีกทั้งยังมีโรงควบคุมคุณภาพน้ำพระรามเก้าและมักกะสันสำหรับบำบัดน้ำเสียจากคลอง และระบบบำบัดน้ำเสียจากมูลฝอยคือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำอ่อนนุช การแก้ไขปัญหาระยะยาวคือการดำเนินการระบบบำบัดที่มีขนาดใหญ่ ในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 7 แห่งคือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา รัตนโกสินทร์ ชองนนทรี หนองแขม ทุ่ง

ครุ ดินแดง และจตุจักร ครอบคลุมพื้นที่ 191.74 ตารางกิโลเมตรใน 20 การปกครองได้แก่ เขตพระนคร ป้อมปราบศัตรูพ่าย สัมพันธวงศ์ บางรัก สาทร บางคอแหลม ยานนาวา ดุสิต ดินแดง ราชเทวี พญาไทย ปทุมวัน จตุจักร ห้วยขวาง หนองแขม บางแค ภาษีเจริญ ทุ่งครุ จอมทอง และราษฎร์บูรณะ สามารถบำบัดน้ำเสียรวมได้ทั้งสิ้น 992,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อรวมขีดความสามารถของระบบบำบัดทั้งขนาดใหญ่และเล็กจะมีทั้งสิ้น 1,016,800 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และการแก้ปัญหาในอนาคตตามนโยบายผู้ว่ากรุงเทพมหานครคนปัจจุบัน ได้มีดำเนินการสร้างโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำขนาดใหญ่ขึ้นอีก 4 แห่งคือ โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำบางซื่อ ธนบุรี มีนบุรี และคลองเตย ซึ่งใช้งบประมาณการก่อสร้างทั้งสิ้นประมาณ 3.2 หมื่นล้านบาท เมื่อแล้วเสร็จจะทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การบำบัดได้ทั่วกรุงเทพมหานคร (การจัดการน้ำเสียในกรุงเทพมหานคร(ออนไลน์), 2555) โรงควบคุมคุณภาพน้ำเสียส่วนใหญ่ใช้ระบบบำบัดแบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 1,450,000 บาทต่อวัน เมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของเฉลี่ยได้เท่ากับ 7.61 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หากคิดเฉพาะโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนามีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ 8.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อคิดเฉพาะค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบมีค่า 1.58 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (สำนักการระบายน้ำ(ออนไลน์), 2556) ในอนาคตปริมาณการใช้น้ำอาจเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มตาม ดังนั้นทำให้ต้องมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในรูปแบบอื่นนอกเหนือจากที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อที่จะนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

## 2.4 ระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Fixed Film)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์ม เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ตัวกลางชนิดต่างๆเช่น หิน พลาสติก ไม้ ฟองน้ำ เป็นต้น บรรจุอยู่ในระบบถึงการบำบัดทำโดยการปล่อยน้ำเสียผ่านตัวกลางที่บรรจุอยู่ถึงบำบัด จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบการบำบัดแบบนี้แบ่งเป็นสองประเภทได้แก่ ประเภทตัวกลางที่อยู่กับที่ เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) , ระบบกรองแบบไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และประเภทตัวกลางที่เคลื่อนที่ เช่น ระบบจานหมุนเวียน (Rotating Biological Contractor:RBC) (Nicolella *et al.*, 2000b).

ระบบตรึงฟิล์มมีความสามารถในการรักษาจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้นานเนื่องจากจุลินทรีย์จะยึดเกาะที่ตัวกลางและจะหลุดออกไปจากระบบในช่วงที่มีการถ่ายน้ำออก ระบบนี้จะมีระยะในการกักเก็บจุลินทรีย์ในระบบทำให้ประสิทธิภาพของระบบมีความคงที่ ระบบจะมีความเสถียรเพราะไม่ต้องพึ่งพาการเติมอากาศจากภายนอก ทำให้ระบบนี้เป็นระบบที่ประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังลดพื้นที่การใช้งาน นอกจากนี้ประสิทธิภาพการทำงานของปฏิกรณ์ระบบตรึงฟิล์มขึ้นอยู่กับชนิดของ

ตัวกลางที่เลือกใช้เป็นสำคัญ โดยจากงานวิจัยของ Chu *et al.* (2011) พบว่าการใช้ตัวกลางที่ทำมาจาก โพลียูรีเทน (Polyurethane) มีประสิทธิภาพมากกว่าชนิดอื่น เนื่องจากพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลาง ชนิดนี้มีมากจึงส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีมากกว่าตัวกลางชนิดอื่น ซึ่งในระบบบำบัด แบบฟองน้ำแขวนไหลลงที่ได้ทำการวิจัยนี้ได้ใช้ฟองน้ำที่ทำมาจากโพลียูรีเทนเช่นกัน

## 2.5 ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนลอยไหลลง (Down-flow Hanging Sponge, DHS)

แม้ว่าในอดีตจนถึงปัจจุบันจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียชุมชนขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ ปัญหาที่พบบ่อยๆ ก็คือระบบการบำบัดที่มีความซับซ้อนและการใช้พลังงานที่มากทำให้ไม่คุ้มต่อ ต้นทุน โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาหลายๆ ประเทศ ด้วยสาเหตุนี้เองทำให้ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่โดยรวมทั้งมีการใช้ พลังงานอยู่ในระดับต่ำ การใช้ฟิล์มชีวภาพ (biofilm) ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นที่น่าสนใจอย่างมากใน ปัจจุบัน และวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศกำลังพัฒนาหลายๆ ประเทศคือการใช้วิธีระบบ บำบัดระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง ซึ่งเป็นลักษณะการบำบัดที่ใช้ฟิล์มชีวภาพอย่างหนึ่ง

ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนในการ บำบัด โดยลักษณะการทำงานของระบบนี้มีหลักการแบบเดียวกับระบบ Trickle Filter แต่จะมีข้อ แตกต่างตรงที่ตัวกลางที่ใช้ในการบำบัด ระบบ DHS ใช้ฟองน้ำที่ผลิตจาก polyurethane เป็นตัวกลาง เนื่องจากว่าตัวกลางชนิดนี้มีลักษณะที่มีความพรุนมากกว่าแบบอื่น ทำให้มีช่องว่างมากกว่า 90% ส่งผลให้สามารถกักเก็บจุลินทรีย์ไว้ได้มากกว่าตัวกลางชนิดอื่น อีกทั้งยังมีระยะเวลาที่กักเก็บตะกอน (SRT) ที่นาน และจากการที่น้ำไหลผ่านตัวกลางในอากาศที่มีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้เกิดการกระจาย ตัวของน้ำ และมีการถ่ายเทออกซิเจนเข้าสู่ น้ำเสียได้ ซึ่งเป็นการเติมอากาศโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้ เครื่องเติมอากาศ ระบบ DHS จึงเป็นระบบที่ประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน มากกว่าระบบอื่นๆ (Tandukar *et al.*, 2005)

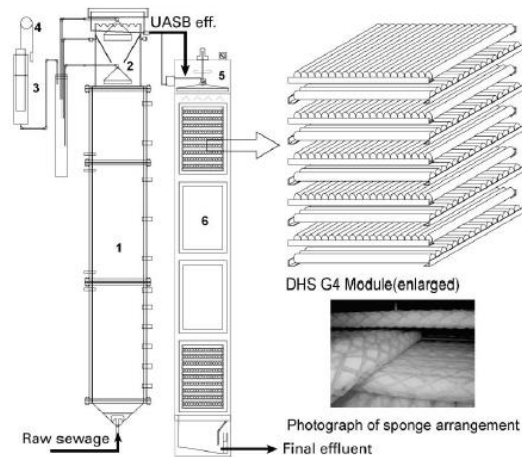
### 2.5.1 การศึกษาระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนลอยไหลลง

ระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลงเป็นระบบที่ถูกพัฒนาโดยนักวิจัยชาวญี่ปุ่นจากสถาบันวิจัย Nagaoka Institute of Technology โดยในช่วงแรกเป็นการเพื่อบำบัดน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ UASB แล้ว เนื่องจากการบำบัดด้วยระบบ UASB เพียงอย่างเดียวยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งในหลายๆ ประเทศ และเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในการบำบัด ซึ่งเป็นผลดีต่อประเทศที่ต้องใช้เงินลงทุนไม่

สูง ปฏิกรณ์ระบบ DHS รุ่นที่ 1 (Cube Type Reactor) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Machdar *et al.*, (1997) โดยทำการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ทำงานร่วมกับระบบ UASB ในระบบ DHS มีระยะกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 1.3 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพการบำบัด TCOD, SCOD, ได้ 94, และ 81% ตามลำดับ ส่วน SS และ TBOD แทบจะไม่เหลืออยู่เลยหลังการบำบัด และจากการวิเคราะห์จุลินทรีย์ในกลุ่ม Nitrosomonas และ Nitrobacter ของ Araki *et al.*, (1999) พบว่ามีอยู่ 1.4 และ 0.18% ของจุลินทรีย์ทั้งหมดซึ่งจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มส่งผลให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจึง ซึ่งในการทดลองนี้ระบบ DHS สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ 73-78%

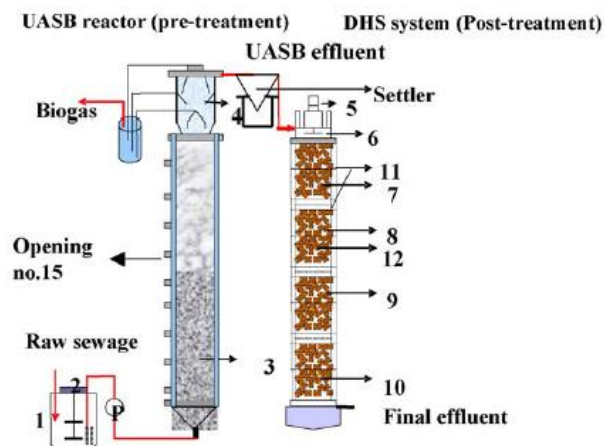
ต่อมา Machdar *et al.*, (2000) ได้พัฒนาระบบ DHS รุ่นที่ 2 (Curtain type DHS) ขึ้นอีกโดยใช้บำบัดน้ำที่ผ่านระบบ UASB เช่นเดิม ซึ่งได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 550 วัน โดยในระบบ DHS มีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 2 ชั่วโมง ความสามารถในการกำจัด TCOD, TBOD และ SS อยู่ที่ 83, 95 และ 76% ตามลำดับ ส่วนการกำจัดแอมโมเนียมีค่า 52-61% แต่เนื่องจากขาดสารอินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้เพียง 25-31%

ต่อมาการพัฒนาระบบ DHS ในรุ่นที่ 3 และรุ่นที่ 4 จะเป็นแบบลักษณะถังโปรยกรอง (Trickling Filter) โดยระบบ DHS รุ่นที่ 4 ของ Tandukar *et al.*, (2005) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ทำการบำบัดต่อจากระบบ Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) ในระดับ pilot-scale ดังรูป 2.1 โดยมีจุดประสงค์หลักของการวิจัยนี้เพื่อที่จะพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาซึ่งปัญหาสำคัญของประเทศเหล่านี้คือค่าใช้จ่ายสำหรับระบบบำบัดในด้านต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันและศึกษาประสิทธิภาพของระบบ ใช้ระยะการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) เท่ากับ 10 ชั่วโมง (UASB = 8 hr, DHS = 2 hr) จากการศึกษาพบว่าทั้งระบบสามารถกำจัด COD, BOD, SS, และแอมโมเนีย ได้ 91, 96, 93, และ 28% ตามลำดับ หากคิดเฉพาะประสิทธิภาพที่ระบบ DHS นี้สามารถกำจัด COD, BOD, SS, แอมโมเนียและไนโตรเจนเท่ากับ 72, 96, 74, 28 และ 28% ตามลำดับ ซึ่งระบบนี้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์เดิมอากาศในระบบ ผลที่ได้รับจึงเป็นที่น่าพอใจและเหมาะสมสำหรับประเทศกำลังพัฒนาหลายๆ ประเทศ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาไปได้อีกในระยะยาว



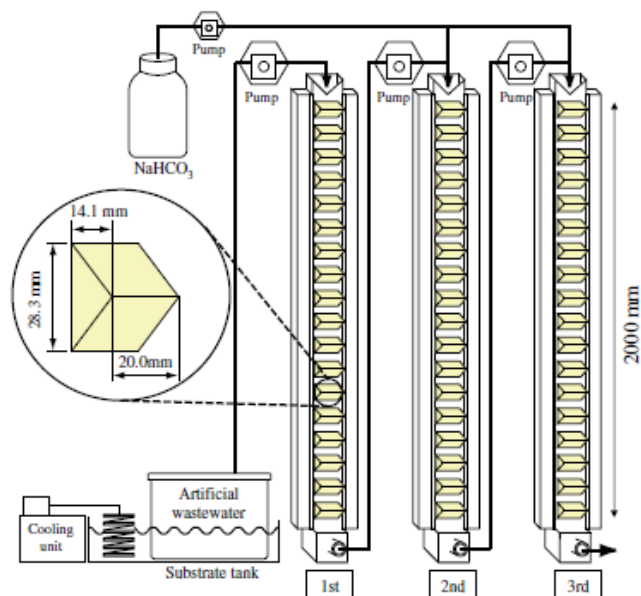
รูปที่ 2.1 UASB–DHS system wastewater (Tandukar *et al.*, 2005)

Tawfik *et al.*, 2006 ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศอียิปต์โดยใช้ระบบ Down-flow hanging sponge (DHS) ทำงานร่วมกับระบบ Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) โดยแบ่งเป็นสองช่วงคือใช้ระบบ UASB แล้วตามด้วยระบบ DHS ดังรูปที่ 2.2 ในการทดลองนี้มีการจัดเรียงตัวกลางแบบไม่เป็นระเบียบซึ่งจะแตกต่างจาก Tandukar *et al.*, 2005 ที่จะมีการเรียงตัวกลางใส่แพ็คอย่างเป็นระเบียบ (รูปที่ 2.1) ในการทดลองได้ดำเนินงานเป็นเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) เท่ากับ 10.7 ชั่วโมง (UASB =8 hr, DHS=2.7 hr) และมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) เท่ากับ 1.6 kg COD/m<sup>3</sup>d โดยสามารถกำจัด TCOD, TBOD, TSS, F.coliform และแอมโมเนียได้ 90, 98, 94, 99.9 และ 86% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพที่ระบบ DHS อย่างเดียวสามารถกำจัด TCOD, TBOD, TSS และไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 72, 96, 68 และ 17% ตามลำดับ อีกทั้งปริมาณตะกอนที่ออกจากระบบมีปริมาณค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2.2 diagram for a UASB–DHS system treating domestic wastewater. (Tawfik *et al.*, 2006)

ในงานวิจัยของ Uemura *et al.*, 2010 ได้ใช้ระบบ DHS สำหรับศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีสูงถึง 1500 mg/L เครื่องจะมีการใช้ทั้งหมด 3 คอลัมน์เชื่อมต่อกันดังรูปที่ 2.3 ในการทดลองจะมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 3.0 kg-COD/ m<sup>3</sup> day และมีระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) เท่ากับ 12 ชั่วโมง จากการทดลองทั้งระบบสามารถกำจัด COD ในคอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 ได้ถึง 92.0% 98.1% และ 99.6% ตามลำดับ ในคอลัมน์ที่ 2 และ 3 ไนตริไฟอิงแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับคอลัมน์ที่ 1 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วในระบบบำบัดแบบนี้ จากกรณีดังกล่าวส่งผลให้ค่าการกำจัดแอมโมเนียอยู่ที่ประมาณ 96.8%



รูปที่ 2.3 Experimental setup of the DHS reactor (Uemura *et al.*, 2010)

Mahmoud *et al.*, 2011 ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศอียิปต์ โดยทำการดำเนินงานสองระบบคือวิธีแรกใช้ระบบ hybrid up-flow anaerobic sludge blanket (HUASB) กับระบบ down-flow hanging sponge (DHS) ร่วมกัน โดยสามารถกำจัด TCOD, SCOD, TSS และไนโตรเจนทั้งหมดได้ 90, 78, 95, 96 และ 72% ตามลำดับ และวิธีที่สองใช้ระบบ primary sedimentation tank (PST) กับระบบ down-flow hanging sponge (DHS) สามารถกำจัด TCOD, SCOD, TSS และไนโตรเจนทั้งหมดได้ 89, 82, 96, 95 และ 73% ตามลำดับ ส่วนปริมาณ faecal coliform ที่วัดได้จากน้ำที่ผ่านการบำบัดทั้งสองระบบอยู่ที่ 2.7 MPN/ml และ 6.5 MPN/ml ซึ่งบ่งชี้ว่าอาจต้องมีการฆ่าเชื้อโรคก่อนปล่อยน้ำสู่สาธารณะ จากการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า

ปฏิกรณ์ระบบDHS นั้นสามารถรับภาระโพลีสารอินทรีย์ได้ถึง 4.8 kg COD/m<sup>3</sup>.day และระบบDHS ยังถือว่าเป็นระบบที่มีต้นทุนการติดตั้งต่ำ การดำเนินระบบและการบำรุงรักษาไม่ซับซ้อน

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบฟองน้ำแขวนไหลลง จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบDHS ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากที่ที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และการกำจัดไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ในตารางที่ 2.1 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบแบบฟองน้ำแขวนไหลลงและระบบโปรยกรอง จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาการทดลองทั้งสองระบบมีอัตราการบำบัดสารอินทรีย์อยู่ที่ระหว่าง 0.9-3.0 kg COD/m<sup>3</sup>.day โดยในงานวิจัยล่าสุดของ Mahmoud *et al.*, 2011 ทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยระบบDHS ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มีมากถึง 90% ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่ามากกว่า 70% ส่วนในงานวิจัยของ Pal *et al.*, 2010 ที่ทำการทดลองในระบบ โปรยกรองมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มากกว่า 70% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระบบDHS ดังที่ได้กล่าวไป แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าอยู่ที่ 54% จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบ DHS แสดงให้เห็นว่าระบบDHS มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าระบบ โปรยกรองเนื่องจากตัวกลางที่ใช้มีช่องว่างมากกว่า 90% จากที่กล่าวข้างต้น ส่งผลให้สามารถกักเก็บจุลินทรีย์ไว้ได้มากกว่าตัวกลางชนิดอื่น อีกทั้งยังมีระยะเวลาที่กักเก็บตะกอน(SRT)ที่นาน (Tandukar *et al.*, 2005) ดังนั้นระบบDHS จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในอนาคต

**ตารางที่ 2.1** ตารางแสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบแบบฟองน้ำแขวนไหลลงและระบบโปรยกรองในงานวิจัยที่ผ่านมา

ผู้ทำการวิจัย	ระบบบำบัด	อัตราการสารอินทรีย์ (kg COD/m <sup>3</sup> .day )	ประสิทธิภาพการกำจัด(%)		
			TCOD	TBOD	Nitrogen
Tandukar <i>et al.</i> , 2005	DHS	0.94	76	88	31
Tawfik <i>et al.</i> , 2006	DHS	1.6	72	96	17
Tandukar <i>et al.</i> , 2007	DHS	1.3	88	73	38
Uemura <i>et al.</i> , 2010	DHS	3	92	75	34
Mahmoud <i>et al.</i> , 2011	DHS	1.84	90	95	72
Chernicharo and Nascimento., 2001	TF	1.18	86	90	-
Pontes <i>et al.</i> , 2003	TF	1.72	82	87	-
Pontes and Chernacharo., 2011	TF	1.46	82	90	-
Pal <i>et al.</i> , 2010	TF	-	73	91	54

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gálvez *et al.*, 2003 ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์โดยมีการเติมอากาศ ในการดำเนินงานจะมีการเกิดไนตริฟิเคชันก่อนและตามด้วยดีไนตริฟิเคชันในพื้นที่ที่ออกซิเจนเพื่อเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ การทดลองนี้ใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ เมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์จุลินทรีย์จะปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมจนอยู่ในสภาวะคงตัวจึงเริ่มทำการทดลองภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ระหว่าง 0.35-1.59  $m^3/m^2 \cdot h$  และอัตราการเติมอากาศอยู่ที่ 7.78-43.5  $m^3/m^2 \cdot h$  ความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 0.71  $m^3/m^2 \cdot h$  (1.6 ชั่วโมง) คือ 0.64  $kg N/m^3 \cdot day$  และมีการเติมอากาศเท่ากับ 25.6  $m^3/m^2 \cdot h$  ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในถังเติมอากาศสามารถกำจัดซีโอดีได้ 16.0  $kg COD/m^3 \cdot day$  (75%) และค่าความเข้มข้นของสารแขวนลอยในน้ำออกมีค่าต่ำกว่า 35  $mg/L$

Pozo *et al.*, 2005 ได้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ระดับ pilot-scale ที่มีทั้งสภาวะไม่เติมอากาศ (anaerobic) และเติมอากาศ (aerobic) โดยใช้ น้ำเสียตัวอย่างจากโรงฆ่าสัตว์ ในการทดลองนี้ใช้เวลาดำเนินงาน 166 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยสัดส่วนปริมาตรถังปฏิกรณ์ของสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิกเป็น 4:1 to 3:2 และ 2:3 ตามลำดับ ในการทดลองนี้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ทั้งหมดได้ถึง 93% โดยมีอัตราการระสสารอินทรีย์เท่ากับ 0.77  $kg COD/m^3 \cdot day$  และมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ย 67% ที่อัตราการระสไนโตรเจนเท่ากับ 0.084  $kg COD/m^3 \cdot day$  น้ำภายในระบบจะถูกทำให้เคลื่อนที่หมุนด้วยแอร์ลิฟต์ (Air-lift) ซึ่งทำหน้าที่เติมอากาศสู่ถังปฏิกรณ์ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในระบบจะถูกกำจัดในสภาวะแอโรบิก การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันประสบผลสำเร็จอย่างสูงโดยมีประสิทธิภาพถึง 91 % ที่การระสไนโตรเจน 0.15  $kg N/m^3 \cdot day$

Zhang *et al.*, 2006 ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ระบบไบโอฟิล์มที่ทำงานในถังปฏิกรณ์ลักษณะเป็นทรงลูกบาศก์ ในปฏิกรณ์จะมีการแยกพื้นที่ออกเป็นสามส่วนคือ โซนที่แอโรบิก (aerobic zone) จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน, โซนแอนน็อกซิก (anoxic zone) จะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และโซนบัฟเฟอร์ (buffering zone) ในการทดลองปริมาณไนโตรเจนขาเข้าระบบทั้งหมดและปริมาณอัตราการระสสารอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ย 0.093 and 0.40  $kg/m^3 \cdot day$  ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 84% (ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี) เมื่อมีการทดลองต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมีค่าสูงขึ้นแม้ว่าจะมีการอัตราการให้อากาศที่ต่ำลง

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในระดับ Pilot Scale ของการทำงานร่วมกันของระบบ Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB)กับระบบ Down-flow hanging sponge (DHS) กับระบบบำบัดแบบ Activated Sludge Process, ASP โดย Tandukar *et al.*, 2007 การดำเนินระบบมีการใช้น้ำเสียชุมชนในประเทศญี่ปุ่น โดยได้มีการปล่อยน้ำเสียเข้าระบบทั้งสองพร้อมกัน จากการศึกษาประสิทธิภาพทั้งสองระบบมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า TBOD มากกว่า 90% การกำจัดไนโตรเจนในระบบ UASB+DHS มีค่า 56% ส่วนที่ระบบ ASP ได้ 73% แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในระบบ ASP จะมีมากกว่า แต่ระบบ UASB+DHS สามารถกำจัดแบคทีเรียมากกว่า และตะกอนส่วนเกินยังมีค่าน้อยกว่าระบบ ASP ถึง 15 เท่า และที่สำคัญระบบ UASB+DHS ไม่ต้องมีการเติมอากาศเข้าสู่ระบบบำบัดจึงทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานต่ำกว่า ซึ่งสิ่งนี้นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญทางด้านเศรษฐศาสตร์ วิธีนี้จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับหลายๆ โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา

Khoshfetrat *et al.*, 2011 ได้มีการศึกษาผลกระทบของภาวะบรรทุksารอินทรีย์และอัตราการเติมอากาศที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (ใช้โพลีโพรพิลีนเป็นตัวกลาง) ได้ทำการทดลองในระดับ lab-scale โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์และใช้เวลาในการดำเนินงาน 6 เดือน จากการศึกษาประสิทธิภาพ ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ประมาณ 1-2.5 kg COD/m<sup>3</sup>.dayสามารถกำจัดซีโอดีได้ 74-90 % โดยไม่ต้องมีการคำนึงถึงอัตราการให้อากาศ ในกรณีที่มีการเติมอากาศ 4 L/min และภาวะบรรทุksารอินทรีย์มากกว่า 2 kg COD/m<sup>3</sup>.day ประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 16% แต่หากถ้าเพิ่มการเติมอากาศ 8 L/minประสิทธิภาพก็ยังคงอยู่ที่ 90% แม้ว่าภาวะบรรทุksารอินทรีย์มากกว่า 2.5 kg COD/m<sup>3</sup>.day ก็ตาม แสดงให้เห็นว่าทั้งสองเป็นปัจจัยหลักในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์ม

Fleifle *et al.*, 2013 มีการสร้างแบบจำลองและศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ของแฉ่งแขวนลอย และแอมโมเนียไนโตรเจนโดยระบบDHS โดยใช้น้ำเสียจากการเกษตร ลักษณะปฏิกรณ์ของระบบเป็นทรงกระบอกมี 3 ชั้นเชื่อมต่อกัน การเดินระบบใช้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียที่ 2 ชั่วโมง และมีภาวะบรรทุksารอินทรีย์เท่ากับ 3 kg COD/m<sup>3</sup>.day จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณซีโอดีและของแฉ่งแขวนลอยจะถูกบำบัดมากในชั้นที่ 1 และ 2 เนื่องจากค่าF/M มีสูงซึ่งเป็นที่ยอมรับของจุลินทรีย์พวกheterotroph ส่วนในชั้นล่าง (ชั้นที่ 3) จุลินทรีย์กลุ่ม nitrifying bacteria มีอยู่เยอะส่งผลให้แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์หมดในชั้นนี้ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการกำจัด 83.7% TCOD, 88.6% SCOD, 66.7% TKN, 85% Ammonia, และ 88.9% SS ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบDHS เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารในน้ำเสียจากการเกษตร อีกทั้งรูปแบบการทำงานของระบบเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้และพัฒนาต่อไป

Onodera *et al.*, 2013 ได้ทำการทดลองศึกษาลักษณะตะกอนสะสมในระบบ DHS ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งทำงานร่วมกับระบบ UASB ในการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนจำนวนมากเกิดขึ้นในระบบ DHS ทั้งๆที่ไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศและคุณภาพน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Activated Sludge ในระบบนี้อัตราการผลิตตะกอนส่วนเกินมีค่า 0.09 gSS/gCOD อีกทั้งปริมาณตะกอนสะสมในตัวกลางฟองน้ำของระบบDHS มีค่าสูงถึง 26.9 gVSS/L sponge โดยแสดงภายใต้ภาระบรรทุกที่ต่ำคือ 0.032gCOD/gVSSday และอัตราการหายใจ (endogenous respiration) ได้มีการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ผลจากการศึกษาค้นคว้าจะต้อนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในระบบมีค่อนข้างน้อยเนื่องจากความเข้มข้นของตะกอนมีสูง ออกซิเจนจึงมีเพียงพอต่อการหายใจของจุลินทรีย์ทำให้ลดปริมาณตะกอนส่วนเกินที่จะเกิดขึ้น

นอกจากนี้ Onodera *et al.*, 2014 ได้ทำการพัฒนาระบบDHS ในรุ่นที่ 6 สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยทำงานร่วมกับระบบ UASB ในสภาวะอุณหภูมิที่ 10-28 องศาเซลเซียส โดยในครั้งนี้ได้มีการปรับปรุงวัสดุตัวกลางฟองน้ำที่ใช้โดยมีการผสม โพลียูรีเทน (polyurethane) กับยางอีพอกซี (epoxy resin) ซึ่งมีพื้นที่สัมผัส 8,042 ตารางมิลลิเมตรและมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.6 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าตัวกลางที่เคยใช้ในปฏิกรณ์รุ่นก่อน ในการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 10.6 ชั่วโมง (8.6 ชั่วโมงใน UASB และ 2 ชั่วโมงใน DHS) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน โดยค่าบีโอดีและค่า Total-TKN ในน้ำทิ้งสุดท้ายมีค่า 12 mg/l และ 6 mg/l ตามลำดับ อีกทั้งในระบบDHS ยังแสดงถึงการทำงานของปฏิริยาไนตริฟิเคชันที่มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้ชนิดฟองน้ำในลักษณะนี้ และฟองน้ำที่ใช้ลักษณะนี้ยังช่วยเพิ่มระยะการกักเก็บสลัดส์ให้สูงขึ้นอีกด้วย



### 3.2 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการดำเนินระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS เป็นน้ำเสียจากเคหะชุมชนบางนา ซึ่งมีค่าบีโอดีสูงเนื่องจากท่อที่รวบรวมน้ำเสียเป็นลักษณะท่อแยก รวบรวมโดยโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนาอยู่ในสังกัดกลุ่มงานปฏิบัติการ 2 (ชองนนทรี) สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่บริเวณเคหะชุมชนบางนา กม. 4 ถนนบางนา-ตราด เขตบางนา กรุงเทพมหานคร ใช้ระบบระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge System) ชนิดคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) สามารถบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียเคหะชุมชนบางนาก่อนและหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งแสดงในตารางที่ 3.2 จุดเก็บน้ำเสียตัวอย่างสำหรับการทดลองเป็นจุดที่ผ่านการตกตะกอนขั้นต้นแล้ว เครื่องสูบน้ำจะสูบน้ำจากถังพักน้ำขนาด 245 ลิตร โดยที่เครื่องสูบน้ำจะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมเวลา โดยตั้งค่าให้มีรอบการทำงาน 1 ชั่วโมงแบ่งเป็นเปิดเครื่องสูบน้ำ 10 นาที และปิดเครื่อง 50 นาที

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2556)

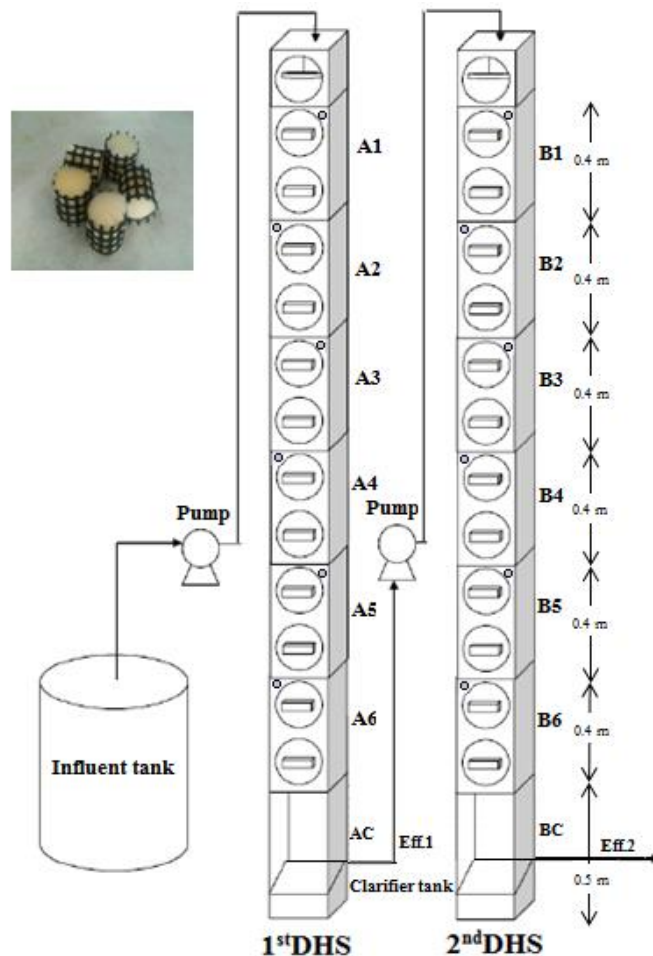
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกระบบ
ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ (Flow rate) เฉลี่ย (ลบ.ม./วัน)	1,150	1,150
อัตราภาระบีโอดีที่เข้าระบบ(กก./วัน)	139.25	
ค่า บีโอดี (BOD) (มก./ลิตร)	122	4.25
ประสิทธิภาพบำบัดบีโอดี (BOD)(%)	95.8	
ค่าสารแขวนลอย (SS) (มก./ลิตร)	111.75	5.83
ประสิทธิภาพบำบัดสารแขวนลอย (SS)(%)	93.2	
ค่า ซีโอดี (COD) (มก./ลิตร)	250.6	27.6
ประสิทธิภาพบำบัดซีโอดี (COD)(%)	89.0	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.13	7.22
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) (มก./ลิตร)	-	3.45

ที่มา: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, ปี พ.ศ.2556

### 3.3 เครื่องปฏิกรณ์ระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS

#### 3.3.1 ตัวถังปฏิกรณ์ของระบบ DHS

ถังปฏิกรณ์จะทำจากอะคริลิก (Acrylic) ลักษณะเป็นรูปทรงปริซึมสี่เหลี่ยมมีจำนวน 2 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์จะมี 8 ชั้นสูง 3.1 เมตรมีพื้นที่หน้าตัด 576 ตารางเซนติเมตร แบ่งเป็นชั้นบนสุดทำหน้าที่กระจายน้ำสู่ถังปฏิกรณ์สูง 21.5 เซนติเมตร ชั้นสำหรับใส่ตัวกลางฟองน้ำ 6 ชั้น (แต่ละชั้นจะบรรจุตัวกลางฟองน้ำจำนวน 300 ชิ้นคิดเป็นปริมาตรรวมเท่ากับ 8.46 ลิตร) สูงชั้นละ 40 เซนติเมตรและชั้นล่างสุด (ชั้น AC และ BC) มีความสูง 50 เซนติเมตรมีปริมาตร 10 ลิตรทำหน้าที่รองรับการตกตะกอน และกักเก็บน้ำหลังผ่านการบำบัด ด้านข้างแต่ละชั้นของถังปฏิกรณ์มีช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วเพื่อให้อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบได้ และมีฝาเปิดสำหรับเก็บตัวอย่างตัวกลางฟองน้ำ ทั้งสองคอลัมน์จะเชื่อมต่อกันด้วยเครื่องปั้มน้ำ Master flex2



รูปที่ 3.1 แผนผังถังปฏิกรณ์และการดำเนินงานของระบบ

### 3.3.2 ตัวกลางฟองน้ำ

ผลิตจากพอร์ลิวรีเทน (polyurethane) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 เซนติเมตร สูง 3.3 เซนติเมตรและมีพลาสติกตาข่ายที่ผลิตจากพอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) ห่อไว้ ดังรูปที่ 3.2 เพื่อป้องกันการยุบตัวของฟองน้ำจากการกดทับของฟองน้ำด้านบนในถังปฏิกรณ์ ตัวกลางฟองน้ำมีช่องว่างมากกว่า 90% ส่งผลให้สามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ได้ปริมาณมาก และมีเวลาในการกักเก็บเชือนาน



รูปที่ 3.2 ตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในถังปฏิกรณ์ระบบ DHS

### 3.3.3 ถังพักน้ำ (Storage Tank)

ถังน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 64 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร กักเก็บน้ำมีปริมาตร 245 ลิตร ทำหน้าที่เก็บน้ำเสียจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำบางนาก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ระบบ DHS

### 3.3.4 เครื่องปั้มน้ำแบบจุ่ม (Submerge Pump)

ปั้มน้ำทำหน้าที่สูบน้ำเสียที่ผ่านตะแกรงดักขยะจากโรงบำบัดน้ำเสียแล้ว เข้าสู่ถังพักน้ำก่อนส่งต่อไประบบบำบัด

### 3.3.5 เครื่องปั้มน้ำ Master flex

ในการเดินระบบใช้ปั้มนชนิดนี้ 3 ตัว ประกอบด้วย Master flex1 (Inf.) ทำหน้าที่สูบน้ำเสียจากถังพักน้ำไปยังถังปฏิกรณ์คอลัมน์ที่ 1 ปั้ม Master flex2 (Eff.1) สูบน้ำที่บำบัดจากถังปฏิกรณ์คอลัมน์ที่ 1 ในชั้นล่างสุด (ชั้น Clarifier tank ในรูปที่ 3.1) ไปยังถังปฏิกรณ์คอลัมน์ที่ 2 และปั้ม Master flex3 จะเก็บน้ำของทั้ง 3 ตัวอย่างคือ น้ำเข้าคอลัมน์ที่ 1 (Inf.), น้ำออกคอลัมน์ที่ 1 (Eff.1) และน้ำออกคอลัมน์ที่ 2 (Eff.2) เข้าสู่เขื่อนทุก 10 นาทีแล้วหยุด 50 นาทีไว้เพื่อสำหรับการวิเคราะห์

### 3.3.6 ตู้เย็น

ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและป้องกันการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยในตู้เย็นจะมีภาชนะสำหรับบรรจุน้ำตัวอย่างที่วัดพารามิเตอร์แบบ Composite sampling

## 3.4 วิธีการทดลอง

เนื่องจากตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ ใช้อันเดิมจากการเดินระบบที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ ทำให้สามารถเริ่มการทดลองได้เลย โดยไม่ต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบอีก

### 3.4.1 การดำเนินระบบ

ปั้มน้ำแบบจุ่มจะตั้งเวลาอัตโนมัติ โดยกำหนดให้เวลาเปิด 10 นาทีและปิด 50 นาที และในระยะเริ่มเดินระบบได้กำหนดระยะการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ที่ 6 ชั่วโมง ดังนั้นปั้ม Master flex 1 จะทำการส่งน้ำจากถังพักน้ำไปสู่ถังคอลัมน์ที่ 1 ด้วยอัตราไหล 0.28 ลิตรต่อนาที แล้วปั้ม Master flex 2 จะส่งน้ำจากช่องคอลัมน์ที่ 1 ชั้นล่างสุด (ชั้นAC) ไปถึงปฏิกรณ์คอลัมน์ที่ 2 ด้วยอัตราไหลประมาณ 90% ของอัตราไหลปั้ม Master flex 1 คือ 0.25 ลิตรต่อนาที จนกระทั่งถึงระยะเวลาที่ 85 วันได้ลดระยะการกักเก็บ (HRT) ลงเหลือ 3 ชั่วโมง อัตราการไหลปั้ม Master flex 1 เพิ่มขึ้นเป็น 0.56 ลิตรต่อนาที

### 3.4.2 การเก็บน้ำแบบ Composite Sampling

ทำการเก็บน้ำทุกชั่วโมงเพื่อเป็นตัวแทนประสิทธิภาพในการบำบัดตลอดวัน ทำการเก็บโดยใช้เครื่องควบคุมเวลาเป็นตัวสั่งการปั้มน้ำโดยปั้ม Master flex3 ถูกตั้งระบบให้เปิด 10 และปิด 50 นาที (ระบบการตั้งเวลาใช้เครื่องตั้งเวลาอันเดียวกับการตั้งเวลาปั้มแบบจุ่ม) เป็นเช่นนี้ทุกชั่วโมงตลอดทั้งวัน ปั้ม Master flex3 จะเก็บน้ำของทั้ง 3 ตัวอย่างคือน้ำเสียเข้าคอลัมน์ที่ 1 (Influent), น้ำออกคอลัมน์ที่ 1 (Effluent1) และน้ำออกคอลัมน์ที่ 2 (Effluent2) โดยน้ำทั้ง 3 ตัวอย่างจะถูกส่งไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่มีภาชนะรองรับน้ำแต่ละตัวอย่างอยู่เพื่อรักษาอุณหภูมิและป้องกันการเกิดปฏิกิริยา น้ำที่เก็บแบบ composite sampling นำมาวิเคราะห์หาค่า ในโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen), ไนโตรเจนละลายน้ำ (Soluble Nitrogen), แอมโมเนีย (Ammonia,  $\text{NH}_4^+$ ), ไนเตรต (Nitrate,  $\text{NO}_3$ ), ไนไตรต์ (Nitrite,  $\text{NO}_2$ ), E.coli, Total-coliform, บีโอดี (BOD), ซีโอดี (COD), ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS), และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids, VSS)

### 3.4.3 การเก็บน้ำ Spot sampling

เป็นการเก็บน้ำเพื่อนำมาตรวจวัดค่าทันที ทำการเก็บโดยเปิดช่องเก็บที่สายยางของแต่ละจุดคือน้ำเสีย

(Sewage หรือ Inf.), น้ำออกคอลลิมน์ที่ 1 (Eff.1) และน้ำออกคอลลิมน์ที่ 2 (Eff.2) จากนั้นนำมาวัดค่าทันที เพื่อป้องกันการคาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม โดยนำมาวิเคราะห์หาค่า DO, ORP, pH และ อุณหภูมิ

#### 3.4.4 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลจะมีการเก็บข้อมูลที่เป็นทั้งแบบ Composite Sampling และ Spot sampling โดยการวิเคราะห์ข้อมูลของการเก็บแบบ Composite Sampling จะนำน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ที่ห้องทดลองของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ส่วนการเก็บแบบ Spot sampling จะทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่หน้างาน

#### 3.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพถังปฏิกรณ์

เป็นการศึกษาหาประสิทธิภาพในการบำบัดในแต่ละชั้นของแต่ละคอลลิมน์ โดยทำการศึกษาวิเคราะห์หลังจากที่ได้ทำการดำเนินงานจนระบบเข้าสู่สภาวะเสถียร (พารามิเตอร์ทุกค่าที่วัดมีความคงที่แล้ว) แล้ว การทดลองจะเลือกหาประสิทธิภาพในระยะความสูงที่ผ่านชั้น A1, A3, A5, B1, B3, B5 และน้ำสุดท้ายที่ผ่านการบำบัด โดยทำการเก็บน้ำเสียของชั้นที่กล่าวมา แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ เช่นเดียวกับการเก็บแบบ Composite Sampling และการวัดการสะสมปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างฟองน้ำของแต่ละชั้นของถังปฏิกรณ์ โดยทำการสุ่มเลือกฟองน้ำ 3 ชั้นในชั้น A1, A3, A5, B1, B3 และ B5 จากนั้นทำการบิบและล้างด้วยน้ำดีเอ็ม (DM Water) เพื่อให้ตะกอนหลุดออกจากฟองน้ำ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเพื่อดูปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างฟองน้ำ

#### 3.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณอัตราการใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาต่างๆของจุลินทรีย์

เป็นการวิเคราะห์อัตราการใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ของจุลินทรีย์ในตัวอย่างฟองน้ำ ซึ่งได้แก่ กระบวนการย่อยตัวเอง (Autolysis), กระบวนการย่อยสารอินทรีย์ (Organic removal) และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification process) ซึ่งตัวอย่างจุลินทรีย์จะทำการเก็บตัวอย่างฟองน้ำจากชั้น A1, A3 และ A5 โดยสุ่มชั้นละ 3 ชั้นเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในฟองน้ำ

### 3.5 วิธีกรวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

#### 3.5.1 การวิเคราะห์แอมโมเนีย

ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) เครื่อง DR2800 Spectrophotometer

- 2) Sample cell ขนาด 10 ml
- 3) Mixing Cylinders ขนาด 25 ml
- 4) Ammonia Nitrogen Reagent set

ข. วิธีการทดลอง

- 1) กรองน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดแอมโมเนียด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45  $\mu\text{m}$
- 2) เติมน้ำตัวอย่างลงใน Mixing Cylinders ขนาด 25 ml
- 3) หยด Mineral Stabilizer และ Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent อย่างละ 3 หยดตามลำดับ
- 4) เติมนessler Reagent ปริมาณ 1 ml จะได้ตัวอย่างมีสีออกเหลือง
- 5) เขย่าให้เข้ากันแล้วรอการเกิดการทำปฏิกิริยา 1 นาที
- 6) สำหรับการทำให้ Blank ทำตามข้อ 2) - 5) โดยเปลี่ยนจากน้ำตัวอย่างเป็นน้ำ DM
- 7) ทำการวัดด้วยเครื่อง DR2800 Spectrophotometer โดยเลือกโปรแกรม 380 N, Ammonia, Ness ซึ่งจะทำให้ตั้งค่าเครื่องที่ศูนย์ก่อนด้วยตัวอย่าง Blank ที่เตรียมไว้

### 3.5.2 การวิเคราะห์ไนเตรต

ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) เครื่อง DR2800 Spectrophotometer
- 2) Sample cell ขนาด 10 ml
- 3) Nitra Ver.5 Nitrate Reagent

ข. วิธีการทดลอง

- 1) กรองน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดไนเตรตด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45  $\mu\text{m}$
- 2) เติมน้ำตัวอย่างลงใน Sample cell ขนาด 10 ml
- 3) เติมนitra Ver.5 Nitrate Reagent ลงใน Sample cell ขนาด 10 ml ที่บรรจุน้ำตัวอย่าง จะได้ตัวอย่างน้ำที่มีสีเหลือง
- 4) เขย่าเป็นเวลา 1 นาทีหลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้รอสารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำตัวอย่าง 5 นาที
- 5) สำหรับการทำให้ Blank ทำตามข้อ 2) - 4) โดยเปลี่ยนจากน้ำตัวอย่างเป็นน้ำ DM
- 6) ทำการวัดด้วยเครื่อง DR2800 Spectrophotometer โดยเลือกโปรแกรม 353 N, Nitrate MR PP ซึ่งจะทำให้ตั้งค่าเครื่องที่ศูนย์ก่อนด้วยตัวอย่าง Blank ที่เตรียมไว้

### 3.5.3 การวิเคราะห์ไนไตรต

ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) เครื่อง DR2800 Spectrophotometer
- 2) Sample cell ขนาด 10 ml

### 3) Nitri Ver.3 Nitrite Reagent

#### ข. วิธีการทดลอง

- 1) กรองน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดไนโตริตด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45  $\mu\text{m}$
- 2) เติมน้ำตัวอย่างลงใน Sample cell ขนาด 10 ml
- 3) เติมน้ำ Nitri Ver.3 Nitrite Reagent ลงใน Sample cell ขนาด 10 ml ที่บรรจุน้ำตัวอย่าง จะได้ตัวอย่างน้ำที่มีสีชมพู
- 4) เขย่าเป็นเวลา 1 นาทีหลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้รอสารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำตัวอย่างอีก 20 นาที
- 5) สำหรับการทำให้ Blank ทำตามข้อ 2) – 4) โดยเปลี่ยนจากน้ำตัวอย่างเป็นน้ำ DM
- 6) ทำการวัดด้วยเครื่อง DR2800 Spectrophotometer โดยเลือกโปรแกรม 371 N, Nitrite LR PP ซึ่ง จะทำการตั้งค่าเครื่องที่ศูนย์ก่อนด้วยตัวอย่าง Blank ที่เตรียมไว้

### 3.5.4 การวิเคราะห์ อี.โคไล (E.Coli) และโคลิฟอร์มทั้งหมด (Coliforms)

#### ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) Compact Dry plate
- 2) ตู้อบ (Incubator)
- 2) สารที่ใช้เจือจางโดยผสมโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) ปริมาณ 0.0425 กรัมลงในน้ำ DM 1 ลิตร หลังจากนั้นทำการปรับค่ากรด-ด่างให้เท่ากับ 7.2 แล้วจึงนำไปอบเชื้อด้วย Autoclave

#### ข. วิธีการทดลอง

- 1) ใช้ปิเปตคูดน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ใน Compact Dry plate
- 2) ทำตามข้อ 1) แต่ในกรณีนี้จะการเจือจางตัวอย่างโดยสารเจือจางที่เตรียมไว้ที่ 10 เท่า และ 100 เท่าตามลำดับ หลังจากนั้นใช้ปิเปตคูดน้ำตัวอย่างใส่ใน Compact Dry plate
- 3) นำ Compact Dry plate ไปอบในตู้อบ (Incubator) ที่อุณหภูมิ 35-37  $^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) นำ Compact Dry plate ที่ผ่านการอบแล้วมานับปริมาณจุดที่เกิดขึ้นบน plate โดยสีฟ้าจะเป็นปริมาณ อี.โคไล (E.Coli) ส่วนสีม่วงจะเป็นปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total-Coliforms)

### 3.5.5 การวิเคราะห์อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ (Oxygen Uptake Rate)

#### ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) ขวดบีโอดีขนาด 300 ml
- 2) เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter)
- 3) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate Solution): ทำการเตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) 21.75

กรัม โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปต้าไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 33.4 กรัม และ แอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 1.7 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

- 4) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต: ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 5) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์: ละลายแอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 6) สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์: ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

#### ข. วิธีการทดลอง

- 1) เลือกตัวอย่างฟองน้ำแบบสุ่มจากชั้น A1, A3 และ A5 มาชั้นละ 3 ชั้น
- 2) เตรียมน้ำ DM โดยนำไปเติมอากาศจนอิ่มตัวด้วยออกซิเจน (อย่างน้อย 3-4 ชั่วโมง) จากนั้นผสมสารอาหารได้แก่  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Phosphate Solution,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  โดยทำการผสมสารอาหารชนิดละ 1 มิลลิลิตรลงในน้ำ 1 ลิตร
- 3) ใช้น้ำกลั่นที่เติมอากาศและผสมสารอาหารไว้มาล้างตะกอนจุลินทรีย์ที่เกาะบนพื้นผิวฟองน้ำให้ออกมามากที่สุด (จดปริมาตรของตะกอนจุลินทรีย์)
- 4) จากนั้นรอให้ตกตะกอนและถ่ายน้ำส่วนใสออก โดยทำเช่นนี้ 3-4 ครั้ง (ควรเติมให้มีปริมาตรน้ำทั้งหมด 500 มิลลิลิตรก่อนรอให้ตกตะกอนแล้วจึงถ่ายน้ำส่วนใสเพื่อไม่ให้จุลินทรีย์เจือจางและมีปริมาตรของตัวอย่างเพียงพอต่อการทดลอง)
- 5) นำตัวอย่างในข้อ 4) ไปเติมอากาศมากกว่า 6 ชั่วโมง เพื่อให้จุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์และสารอาหารที่ติดอยู่ในเซลล์ทั้งหมด
- 6) นำน้ำ DM ที่ผสมสารอาหารมาผสมรวมกับตะกอนจุลินทรีย์ถูกเติมอากาศจนอิ่มตัว ในขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตรด้วยอัตราส่วน 2 ต่อ 1 แล้วนำไปเติมอากาศอีก 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาควบคุมอุณหภูมิที่  $30^\circ\text{C}$  แล้วทำการวัดค่า DO ทุกๆ 1 นาที แล้วนำมาเขียนแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์ค่าความชัน (slope) ของสมการที่จะบ่งชี้อัตราการใช้ออกซิเจนที่ข่อยสลายตัวเองโดยไม่ใช้สารอินทรีย์ (Autolysis)
- 7) ทำการเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พร้อมกับนำไปเติมอากาศอีกซักรอกพักต่อ แล้วนำมาวัดค่า DO เช่นเดียวกันแต่ครั้งนี้เป็นการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification process)
- 8) จากนั้นทำการเติมสารอินทรีย์โซเดียมอะซิเตท (Sodium Acetate, HAc) ที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พร้อมกับนำไปเติมอากาศอีกซักรอกพักต่อ แล้วนำมาวัดค่า DO

เช่นเดียวกัน แต่ครั้งนี้เป็นการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย (Heterotroph)

- 9) นำผลที่ได้มาคำนวณหา อัตราการใช้ออกซิเจนต่อจำนวนจุลินทรีย์ต่อหนึ่งหน่วยเวลาหารด้วย ปริมาณจุลินทรีย์ (Slope ÷ VSS) จะได้อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ (Specific Oxygen Uptake Rate, mgO<sub>2</sub>/gVSS-day)

ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัดแบบ Spot Sampling

พารามิเตอร์	อุปกรณ์ที่ใช้	ความถี่ในการตรวจวัด
1. DO	DO meter	2 ครั้ง/สัปดาห์
2. ORP	ORP meter	2 ครั้ง/สัปดาห์
3. Temperature	Temperature meter	2 ครั้ง/สัปดาห์
4. pH	pH meter	2 ครั้ง/สัปดาห์

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการตรวจวัดแบบ Composite Sampling

พารามิเตอร์	วิธีการทดลอง	ความถี่ในการตรวจวัด	แหล่งอ้างอิง
1. Total COD, Soluble COD	Close reflux	2 ครั้ง/สัปดาห์	Standard Method
2. Total BOD, Soluble BOD	Dilution method	1 ครั้ง/สัปดาห์	Standard Method
3. SS	Dries at 105 °C	2 ครั้ง/สัปดาห์	Standard Method
4. VSS	Ignited at 550	2 ครั้ง/สัปดาห์	Standard Method
5. Total nitrogen	Spectrophotometer	2 ครั้ง/สัปดาห์	HACH Method
6. Ammonium	Spectrophotometer	2 ครั้ง/สัปดาห์	HACH Method
7. Nitrate	Spectrophotometer	2 ครั้ง/สัปดาห์	HACH Method

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการตรวจวัดแบบ Composite Sampling (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีการทดลอง	ความถี่ในการตรวจวัด	แหล่งอ้างอิง
8. Nitrite	Spectrophotometer	2 ครั้ง/สัปดาห์	HACH Method
9. E. coli	Compact Dry	2 ครั้ง/สัปดาห์	Compact Dry “Nissui” EC
10. Total-Coliforms	Compact Dry	2 ครั้ง/สัปดาห์	Compact Dry “Nissui” EC

### 3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ในระบบ

การหา Community ของจุลินทรีย์ในตะกอนที่อยู่ในตัวกลางฟองน้ำของระบบDHS ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

#### 3.6.1 การสกัดดีเอ็นเอจากตะกอนจุลินทรีย์ (DNA extraction)

ขั้นตอนนี้เป็นการสกัด Nucleotide ออกจากตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ โดยในการวิเคราะห์นี้ได้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในตัวกลางฟองน้ำจากชั้น A1, A3, A5, B1, B3 และ B5 ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ของ Zhou *et al.*, 1996 โดยใช้ชุด kit ของบริษัท Integrated DNA Technologies, Inc. (IDT) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 ml
- 2) Extraction buffer pH 8.0 (100 mM Tris-HCl pH 8.0, 100 mM EDTA pH 8.0, 1.5 M NaCl) ปริมาณ 600  $\mu$ l
- 3) Lysozyme (10mg/ml) ปริมาณ 60  $\mu$ l
- 4) Silicabase
- 5) 20% SDS ปริมาณ 100  $\mu$ l
- 6) Chloroform: Isoamyl alcohol (24:1)
- 7) Isopropanol
- 8) Absolute ethanol ปริมาณ 1 ml

#### ข. วิธีการทดลอง

- 1) นำตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์มา homogenize เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง homogenizer แล้วนำตัวอย่างปริมาตร 1 ml ใส่ microcentrifuge tube ขนาด 1.5 ml หลังจากนั้นทำการ centrifugation ที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ส่องรอบ จากนั้นเทน้ำส่วนใสทิ้ง
- 2) นำส่วนที่เป็นตะกอน (pellet) หลังจากเทส่วนใสทิ้ง มาใส่ extraction buffer pH 8.0 (100 mM Tris-HCl pH 8.0, 100 mM EDTA pH 8.0, 1.5 M NaCl) 600  $\mu$ l, Lysozyme (10mg/ml) 60  $\mu$ l และ silicabase แล้วนำไปปั่นใน incubator ในที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 60 นาที (ในขั้นตอนนี้ ให้เรียง microcentrifuge tube ในแนวนอน)
- 3) ใส่ 20% SDS 100  $\mu$ l จากนั้นนำไปปั่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 30 นาที (ให้เขย่าตัวอย่างกลับไป-มาเบาๆ ในทุก 10 นาที) เพื่อให้จุลินทรีย์เกิดการแตกตัว
- 4) หลังจากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกตัวแล้วไปทำการ centrifugation ที่ 13,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเทน้ำส่วนใสใส่ใน microcentrifuge tube อันใหม่แล้วบันทึกปริมาตร (DNA Solution)
- 5) เติม chloroform: isoamyl alcohol (24:1) ในปริมาตรเท่ากับ DNA solution ในข้อ 4) จากนั้นผสมให้เข้ากันและทำการ centrifugation ที่ 14,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที
- 6) คูคของเหลวที่เป็นส่วนใสออกใส่ใน microcentrifuge tube อันใหม่ แล้วจดปริมาตร (หากสังเกตว่ามีการขุ่นของเหลวนั้นค่อนข้างขุ่น สามารถทำข้อ 5)-6) ซ้ำได้)
- 7) ใส่ isopropanol 0.6 เท่าของปริมาตรในข้อ 6) เพื่อให้ดีเอ็นเอตกตะกอน จากนั้นนำไปปั่นในตู้เย็นเป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือ 1 คืน
- 8) นำตัวอย่าง DNA มาทำการ centrifugation ที่ 14,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเทน้ำส่วนใสทิ้ง แล้วทำการเติม absolute ethanol 1 ml , นำตัวอย่างไป centrifugation ที่ 14,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วเทน้ำส่วนใสทิ้งอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นเปิดฝาคั่วทิ้งไว้ 10-20 นาที ให้ตะกอนแห้งสนิท
- 9) เติมสารละลาย TE pH 8.0 (1 M Tris-HCl, 0.5 M EDTA) 25-50  $\mu$ l

#### 3.6.2 การทำดีเอ็นเอให้มีความบริสุทธิ์ (Purify)

ดีเอ็นเอที่สกัดได้อาจมีการปนเปื้อน จึงต้องทำความสะอาดก่อนทำ PCR มี โดยใช้ PCR clean up protocol (Vogelstein and Gillespie, 1979) และ ใช้ ชุด kit ของ บริษัท Integrated DNA Technologies, Inc. (IDT) ขั้นตอนดังนี้

### ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) Collection tube ขนาด 2 ml
- 2) DF column
- 3) Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 ml
- 4) DF buffer
- 5) Wash buffer
- 6) Elution buffer

### ข. วิธีการทดลอง

- 1) ใส่ DF buffer ปริมาตร 5 เท่าของของปริมาณตัวอย่าง ลงในสารละลาย DNA แล้วผสมให้เข้ากันโดยใช้ Vortex
- 2) ใส่ DF column ใน Collection tube ขนาด 2 ml จากนั้นนำตัวอย่างจากข้อ 1) มาใส่ลงใน DF column แล้วนำไป centrifugation ที่  $14-16000 \times g$  เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเทน้ำใน tube ออก และนำ DF column ใส่ที่เดิม
- 3) ใส่ wash buffer ที่มีการเติม ethanol 600  $\mu$ l (ใส่ลงตรงกลาง DF column) รอ 1 นาที แล้วนำไป centrifugation ที่  $14-16000 \times g$  เป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงเทน้ำใน tube ออก และนำ DF column ใส่ที่เดิม และนำไป centrifugation อีกรอบที่  $14-16000 \times g$  เป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้คอลัมน์แห้ง
- 4) นำ DF column ที่แห้งแล้วไปใส่ใน microcentrifuge tube ขนาด 1.5 ml อันใหม่ แล้วเติม Elution buffer 20-50  $\mu$ l ลงตรงกลางของ column จากนั้นรอประมาณ 2 นาที เพื่อให้ Elution buffer ถูกดูดซึมและนำไป centrifugation อีกรอบที่  $14-16000 \times g$  เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ได้ส่วนที่เป็น purified DNA
- 5) วัดความเข้มข้นของ DNA ที่ทำการ purified แล้ว

### 3.6.3 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธีปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (Polymerase Chain Reaction, PCR)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำเพื่อสร้างชิ้นส่วนดีเอ็นเอให้มีจำนวนมากขึ้นจากดีเอ็นเอต้นแบบ เพื่อหา community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟเออร์และดีไนตริไฟเออร์ในตะกอนโดยใช้ specific primer สำหรับไนตริไฟเออร์ 2 ตัวคือ Nso190 (5'-CGATCCCCTGCTTTTCTCC-3'), Nso1225 (5'-CGCGATTGTATTACGTGTGA-3'), (Mobarry *et al.*, 1996) และ EUB338f (5'-ACTCCTACGGGAGGCAGC-3'), NIT3 (5'-CCTGTGCTCCATGCTCCG -3'), (Datta *et al.*, 2011) และดีไนตริไฟเออร์ 1 ตัวคือ nirScd3aF (5'-G TSAACGTSAAGGARACSGG -3'), nirSR3 cd (5'-

GASTICGGRTGSGTCTTGA-3') (Throback et al., 2004) ซึ่งใช้ PCR protocol ของ Innis *et al.*, 1990

ก. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) Microcentrifuge tube ขนาด 0.5 ml
- 2) 10X PCR Buffer
- 3) 25 mM dNTP mixture
- 4) 25 mM MgCl<sub>2</sub>
- 5) Primer mix 20 μM
- 6) Template DNA
- 7) Taq DNA polymerase
- 8) Q solution 5X
- 9) Autoclaved, Distilled water

ข. วิธีการทดลอง

- 1) เติมสารต่างๆ ในปริมาณสัดส่วนดังในตารางในหน้าถัดไปลงใน microcentrifuge tube ขนาด 0.5 ml

Components	Volume	Final Concentration
10X PCR Buffer	2 μl	1X
25 mM dNTP mixture	0.16 μl	0.2 mM
25 mM MgCl <sub>2</sub>	2.4 μl	3 mM
Primer mix 20 μM	2.5 μl	0.5 μM each
Template DNA	1-20 μl	as required
Taq DNA polymerase	0.2-0.5 μl	1.0-2.5 units
Q solution 5X	2 μl	0.5X
Autoclaved, Distilled water	20 μl	not applicable

- 2) นำ microcentrifuge tube ที่ผสมสารในข้อ 1) แล้ว เข้าเครื่อง Thermocycle เพื่อทำปฏิกิริยา โดย ตั้งค่าบ่ม tube ใน thermal cycler ที่ 95°C เป็นเวลา 5 นาที และตั้งค่า PCR amplification 30 cycle ดังนี้

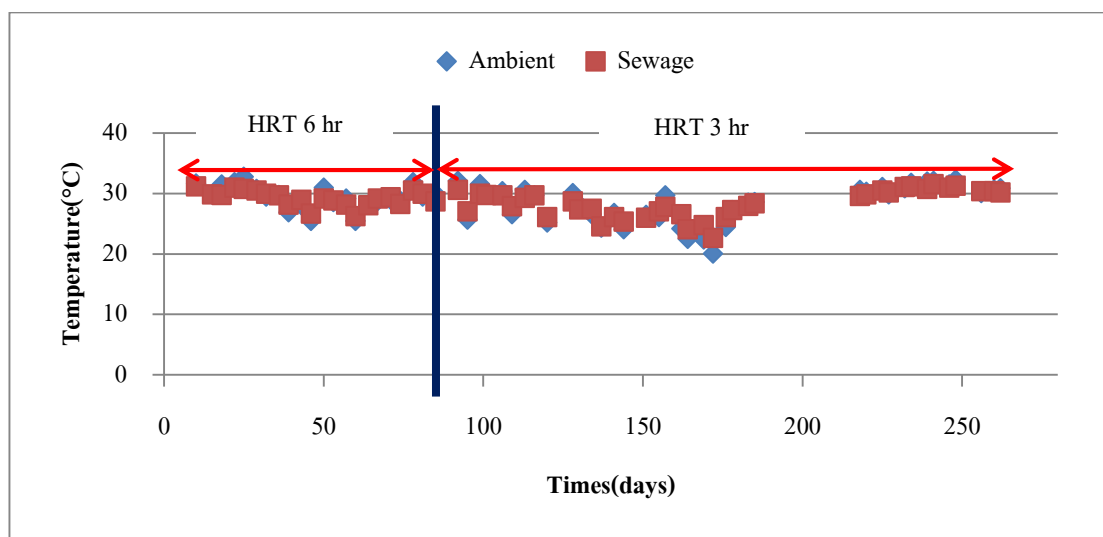
2.1) Primer Nitrifier (AOB): Denature 95°C ที่ 90 sec, Anneal 55°C ที่ 90 sec, Extend 72°C ที่ 90 sec

- 2.2) Primer Nitrifier (NOB): Denature 95°C ที่ 90 sec, Anneal 55°C ที่ 90 sec, Extend 72°C ที่ 90 sec
- 2.3) Primer Denitrifier (DNB): Denature 95°C ที่ 15 sec, Anneal 58°C ที่ 30 sec, Extend 72°C ที่ 30 sec
- 3) ทำการบ่ม microcentrifuge tube ต่อที่อุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 10 นาที และให้ทำปฏิกิริยาหลังจาก Cycling ที่ 4 72°C
- 4) ทำการวิเคราะห์หา Community ของจุลินทรีย์โดยใช้วิธี agarose gel electrophoresis

## บทที่ 4 ผลจากการวิจัย

### 4.1 อุณหภูมิ (Temperature)

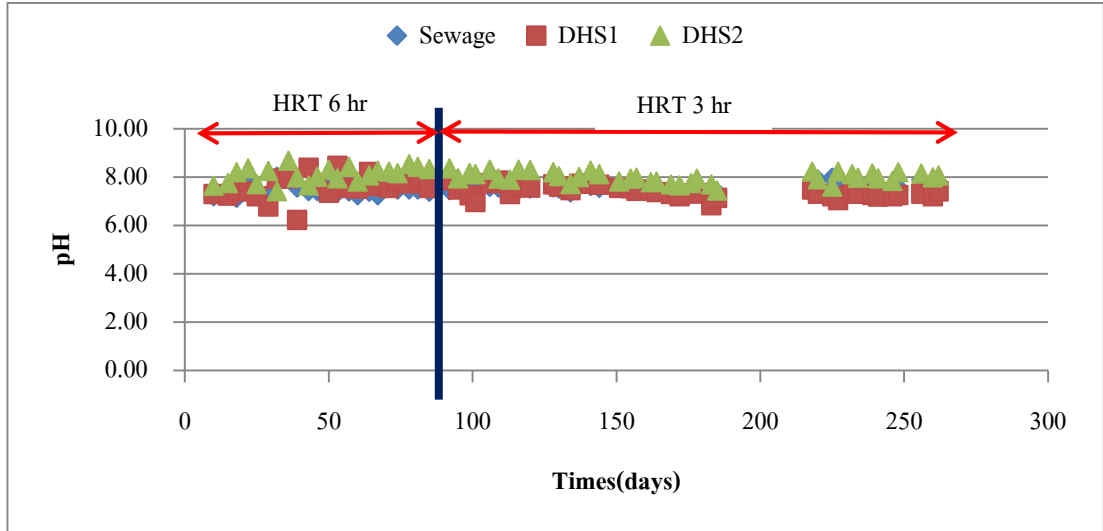
ในการดำเนินการวิจัยนี้ ได้ทำการติดตั้งระบบบำบัดแบบฟองน้ำแขวนไหลลง ณ บริเวณโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนบางนา โดยทำการบำบัดน้ำเสียจากเคหะชุมชนบางนา ที่ตั้งของระบบบำบัดได้ตั้งอยู่ในที่เปิดและในช่วงดำเนินงานที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 6 ชั่วโมง (ตั้งแต่วันแรกถึงวันที่ 85) เป็นช่วงฤดูฝนทำให้ในบางวันอุณหภูมิต่ำลงถึง 25 องศาเซลเซียส และในการดำเนินการที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 3 ชั่วโมง (ตั้งแต่วันที่ 85-262) เป็นช่วงฤดูหนาวมาจนถึงฤดูร้อน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมและน้ำเสียในช่วงนี้อยู่ที่ 28-32 องศาเซลเซียส แม้ว่าในบางวันอุณหภูมิต่ำสุดที่ 20 องศาเซลเซียส แต่ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในน้ำเสียและในสภาพอากาศแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและน้ำเสีย

### 4.2 ค่าพีเอช (pH)

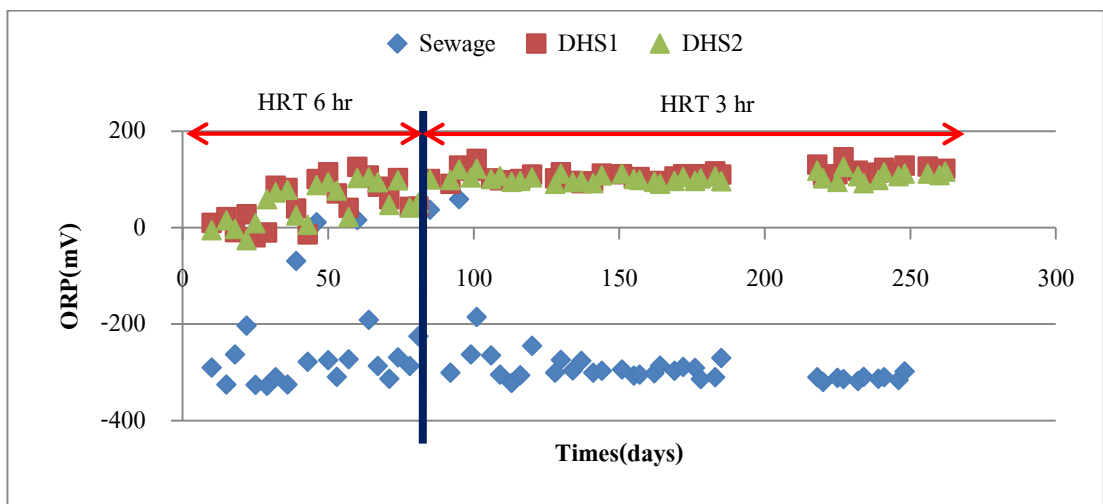
เนื่องจากตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าพีเอชโดยมีค่า 7.1-8.1 ในทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสีย จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชดังกล่าวค่อนข้างเป็นกลางดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ทำให้มีการกำจัดแอมโมเนียได้สูงและมีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 ค่าพีเอชในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

### 4.3 ค่าโออาร์พี (ORP)

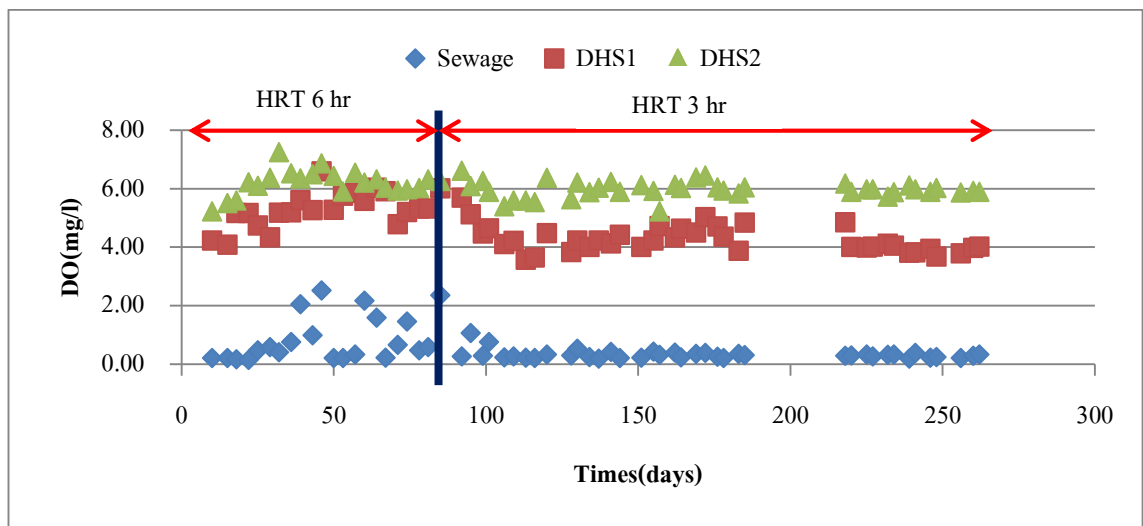
ค่าโออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สถานะน้ำเสียโดยแสดงเป็นศักย์ไฟฟ้า ในการเดินระบบที่ระยะเวลา กักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมงค่าโออาร์พีในน้ำเสียเคหะชุมชนบางนามีค่าต่ำมาก (ต่ำสุดที่ -328 มิลลิ โวลต์) แต่หลังจากผ่านการบำบัดแล้วค่าโออาร์พีมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากได้รับการเติมอากาศจากภายนอก เข้าสู่ระบบดังในรูปที่ 4.3 โดยมีค่าโออาร์พีเฉลี่ยที่น้ำทิ้งสุดท้ายหลังผ่านการบำบัดที่ระยะกักเก็บน้ำ เสีย 6 และ 3 ชั่วโมงอยู่ที่ 54 และ 104 มิลลิโวลต์ตามลำดับ และเนื่องจากในช่วงทำการทดลองที่ ระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงจนถึงช่วงต้นของระยะเวลา กักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมงเป็นช่วงฤดูฝน ทำให้น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดได้รับการเจือจางโดยน้ำฝน ค่าโออาร์พีในน้ำเสียบางวันจึงมีค่าสูง (สูงสุดที่ 59 มิลลิโวลต์)



รูปที่ 4.3 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

#### 4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

ในรูปที่ 4.4 แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสีย โดยที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา มีค่า 0.1-2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าในช่วงนี้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความแปรปรวนมากพอสมควรเช่นเดียวกับค่าไออาร์พี เนื่องจากอยู่ในฤดูฝน และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบฟองน้ำแขวนไหลลงทั้งสองคอลัมน์แล้วพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 6.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่า 0.2-1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพิ่มขึ้นเป็น 5.95 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำทิ้งสุดท้ายหลังจากผ่านการบำบัด แสดงให้เห็นว่าระบบนี้ได้รับการเติมอากาศจากภายนอกตามธรรมชาติเข้าสู่ระบบ อีกทั้งยังทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันยังเกิดขึ้นในระบบได้สูงเช่นกัน

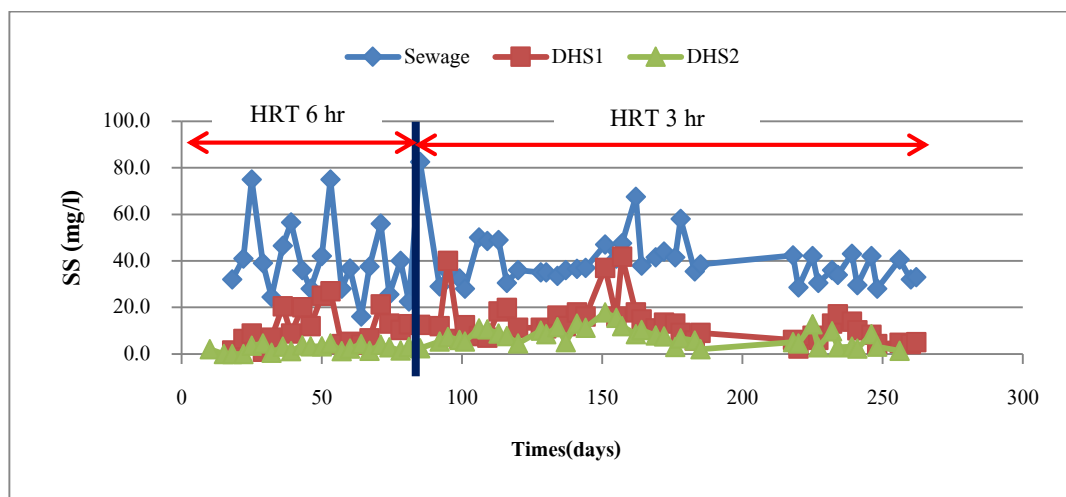


รูปที่ 4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

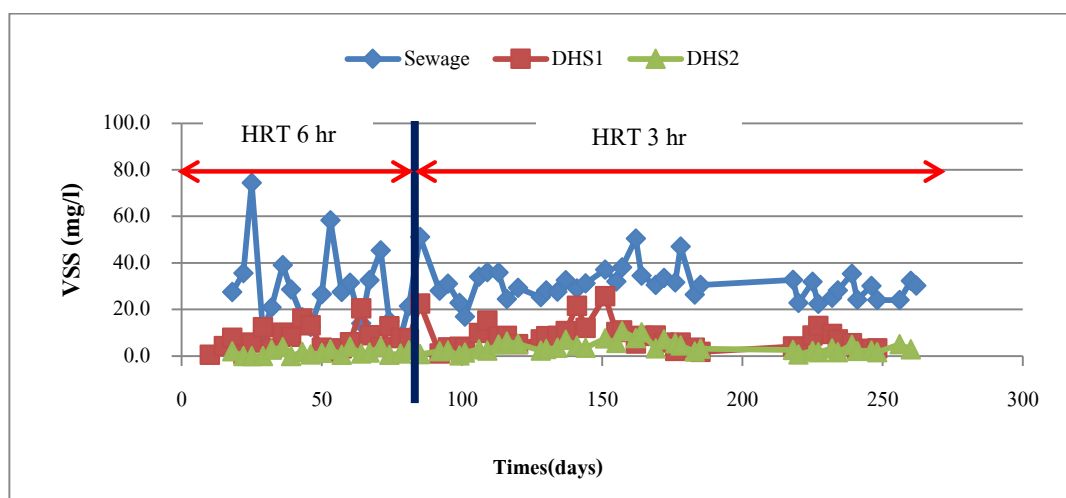
#### 4.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (SS, VSS)

ในการทดลองน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงที่มาจากเคหะชุมชนบางนา ปริมาณของแข็งแขวนลอยจึงมีความแปรปรวนไม่คงที่ประกอบกับการทดลองที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงเป็นช่วงฤดูฝนทำให้ส่งผลกระทบต่อลักษณะของน้ำเสีย โดยปริมาณสารแขวนลอยเฉลี่ยในน้ำเสียอยู่ที่ 41.4 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อผ่านระบบบำบัดมีปริมาณจะลดลงเหลือ 11.4 มิลลิกรัมต่อลิตร(หลังผ่านคอลัมน์ที่1) และ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (หลังผ่านคอลัมน์ที่2) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 72.4% และ 94.2% ตามลำดับ การกำจัดของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายมีประสิทธิภาพการ 74.9% และ 94.8% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำเสียเท่ากับ 29.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดในคอลัมน์ที่ 1 และ 2 จะเหลือ 7.5 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนใน

ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมงปริมาณสารแขวนลอยเฉลี่ยในน้ำเสียอยู่ที่ 39.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดในคอลัมน์ที่ 1 และ 2 ลดลงเหลือ 13.1 และ 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพ การกำจัด 66.4% และ 81% ตามลำดับ ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายมีค่า 73.6% และ 87.1% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในระบบนี้มีความสามารถในการดักจับอนุภาคของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพในทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสีย และปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่สุดท้ายเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน อีกทั้งยังไม่พบปัญหาการอุดตันบนฟองน้ำเนื่องจากไบโอฟิล์มจะมีการย่อยสลายโดยตัวตัวมันเอง (เกียรติชัย สังข์สม, 2555) ปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัดในคอลัมน์ที่ 1 และ 2 แสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6



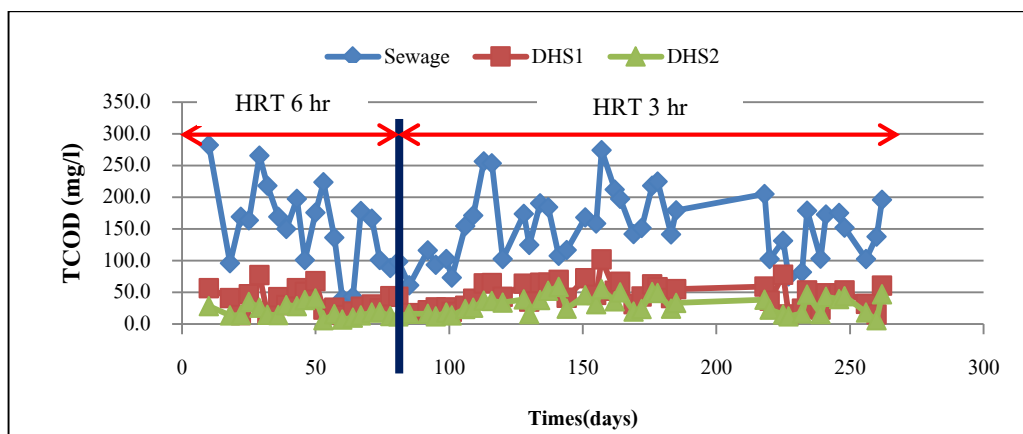
รูปที่ 4.5 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด



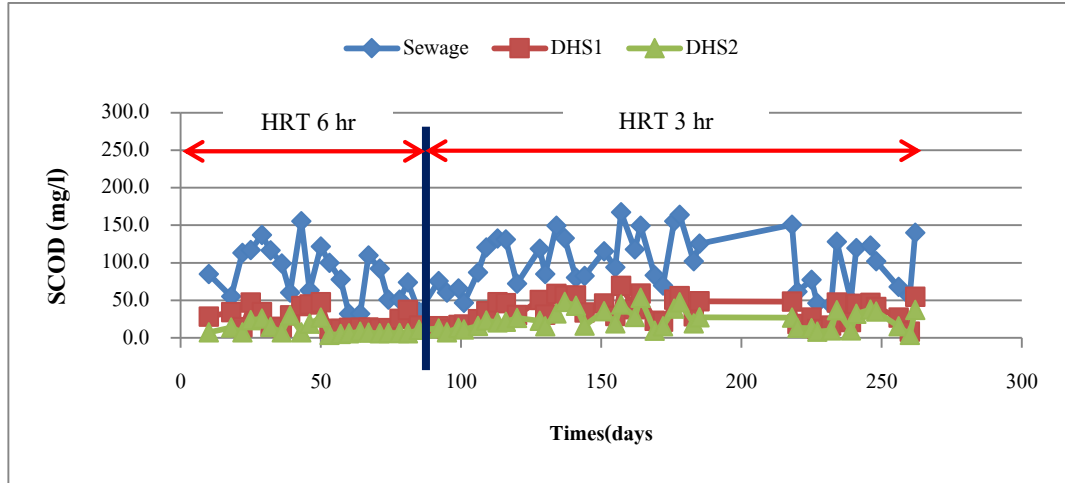
รูปที่ 4.6 ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

#### 4.6 ซีโอดี (COD)

ผลการดำเนินงานในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัดในรูป 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ในช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมง (ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ปริมาณซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสีย (Total COD) เฉลี่ยมีค่า 147.4 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะอยู่ที่ 35.9 มิลลิกรัมต่อลิตร (คอลัมน์ที่1) และ 19.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (คอลัมน์ที่2) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเมื่อผ่านคอลัมน์ที่1 เท่ากับ 75.6% และของทั้งระบบจะอยู่ที่ 86.8% ส่วนปริมาณซีโอดีละลายน้ำ (Soluble COD) ในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 84.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะอยู่ที่ 24.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (คอลัมน์ที่1) และ 11.8 (คอลัมน์ที่2) ประสิทธิภาพเมื่อผ่านคอลัมน์ที่1 เท่ากับ 71.3% ของทั้งระบบอยู่ที่ 86% นอกจากนี้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงให้เห็นว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดค่อนข้างแปรปรวนไม่คงที่ อาจเพราะเนื่องจากการทดลองในช่วงฤดูฝนทำให้ค่าซีโอดีในน้ำเสียบางวันมีค่าต่ำ ส่วนที่ระยะการกักเก็บที่ 3 ชั่วโมง (ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยปริมาณเฉลี่ยซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสีย (Total COD) อยู่ที่ 157.6 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะอยู่ที่ 48.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (คอลัมน์ที่1) และ 32.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (คอลัมน์ที่2) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเมื่อผ่านคอลัมน์ที่1 เท่ากับ 69.4% และของทั้งระบบจะอยู่ที่ 79.7% ส่วนปริมาณซีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 101.8 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะอยู่ที่ 36.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (คอลัมน์ที่1) และ 25.1 (คอลัมน์ที่2) คิดเป็นประสิทธิภาพหลังผ่านคอลัมน์ที่1 เท่ากับ 64% และทั้งระบบอยู่ที่ 75.9% ในช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียนี้ปริมาณซีโอดียังมีความแปรปรวนอยู่น้ำเสียที่เข้าระบบเนื่องจากในบางวันมีน้ำคลองเข้ามาผสมทำให้เกิดการเจือจาง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้ว่าจะทำการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แต่ประสิทธิภาพก็ลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง



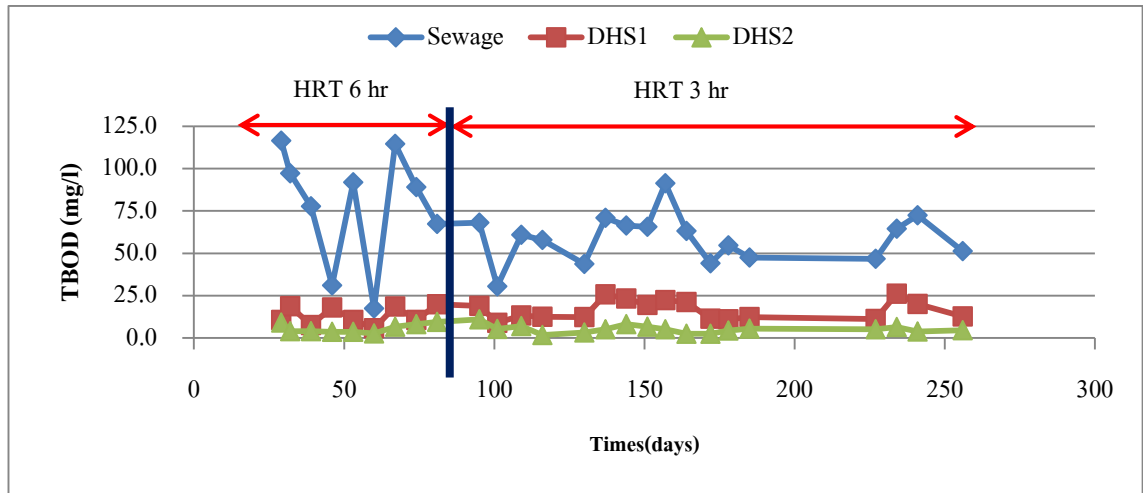
รูปที่ 4.7 ปริมาณซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด



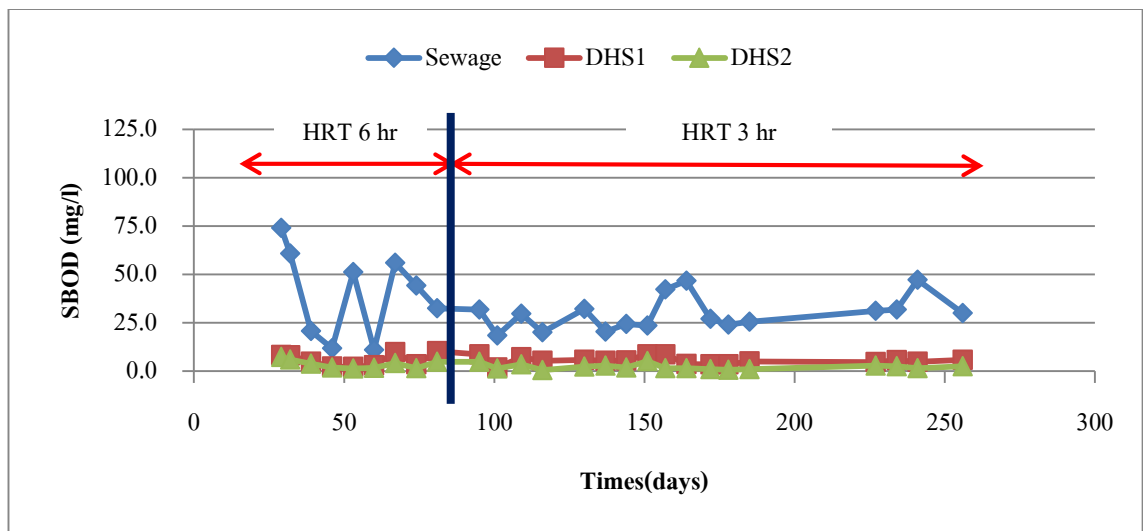
รูปที่ 4.8 ปริมาณซีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

#### 4.7 บีโอดี (BOD)

ช่วงการทดลองที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีทั้งหมด (Total BOD) และบีโอดีละลายน้ำ (Soluble BOD) เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าซีโอดี ดังในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ที่ระยะกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงปริมาณบีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 78.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) หลังจากผ่านการบำบัดที่คอลัมน์ที่ 1 และ 2 เหลือปริมาณบีโอดี 13.3 และ 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับโดยประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีทั้งหมดเมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 1 และของทั้งระบบอยู่ที่ 82.9% และ 92.8% ตามลำดับ ปริมาณบีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.2 มิลลิกรัมต่อลิตรและในน้ำออกสุดท้าย (คอลัมน์ที่ 2) มีค่าเฉลี่ย 3.6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีละลายน้ำของทั้งระบบอยู่ที่ 91% ซึ่งเมื่อลดระยะการกักเก็บลงเป็น 3 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเพียงเล็กน้อยโดยมีปริมาณบีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 59.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีทั้งหมดเมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 1 และของทั้งระบบอยู่ที่ 71.4% และ 91.2% ตามลำดับ ค่าบีโอดีทั้งหมดเมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 1 และในน้ำออกสุดท้าย (คอลัมน์ที่ 2) มีค่าเฉลี่ย 16.8 และ 5.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการกำจัดบีโอดีละลายน้ำของทั้งระบบมีประสิทธิภาพ 92.5% โดยปริมาณบีโอดีละลายน้ำในน้ำออกสุดท้าย (คอลัมน์ที่ 2) มีค่าเฉลี่ย 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบฟองน้ำแขวนไหลลงนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีมีค่าสูงทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสีย แม้ว่าจะเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แต่ประสิทธิภาพก็ลดลงเพียงเล็กน้อยและปริมาณความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำทิ้งสุดท้ายเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน



รูปที่ 4.9 ปริมาณบีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

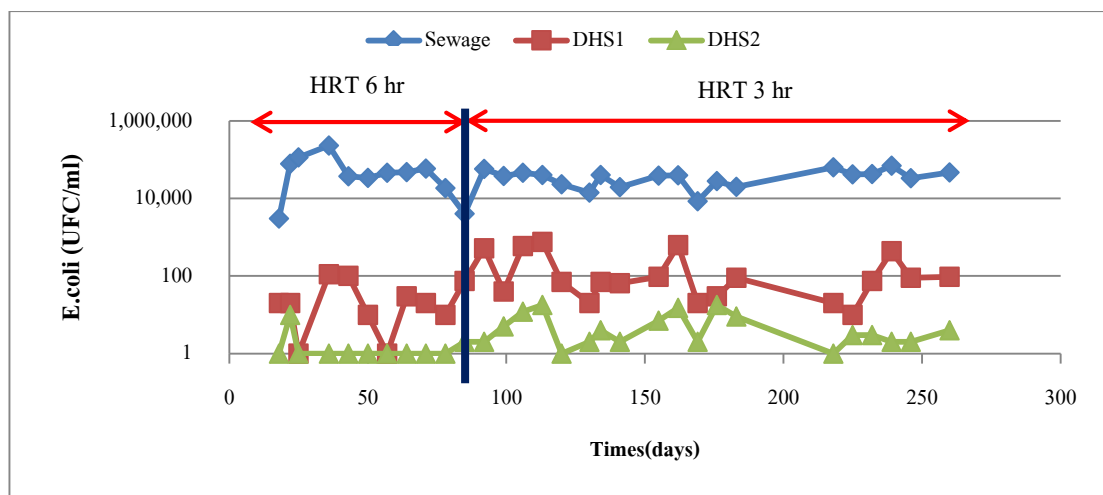


รูปที่ 4.10 ปริมาณบีโอดีละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

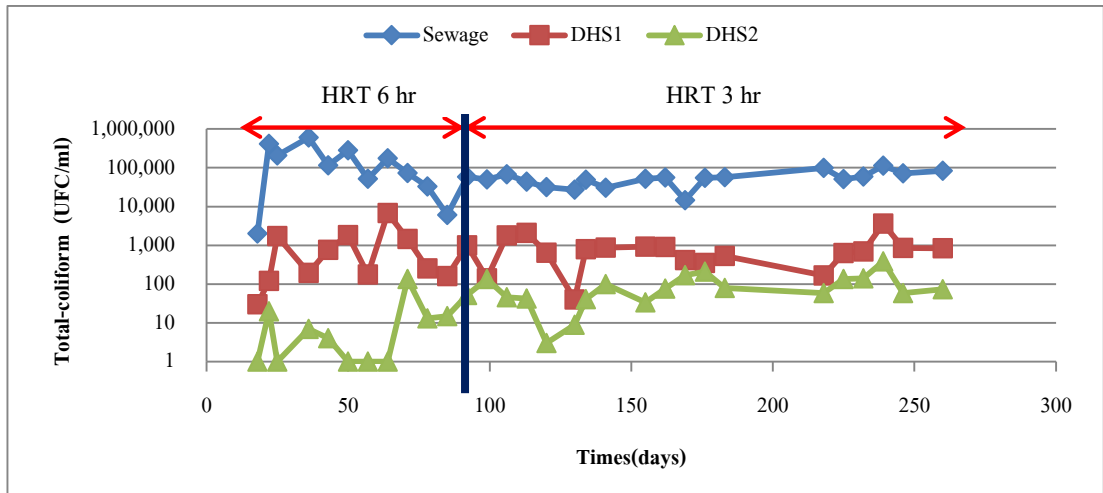
#### 4.8 เชื้อโรค (Pathogen)

จุลินทรีย์เชื้อโรคที่ทำการวิเคราะห์ในการทดลองนี้คือ E-coli และ Total-Coliform เนื่องจากเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมากในน้ำเสียชุมชน ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคทั้งสองชนิดในช่วงการในระหว่างการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดมีมากถึง 98% เมื่อผ่านระยะการบำบัดไปเพียงคอลัมน์ที่ 1 และเมื่อคิดรวมทั้งระบบมีค่ามากกว่า 99% จากรูปที่ 4.11 แสดงปริมาณ E-coli ในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด ในระยะการกักเก็บที่ 6 ชั่วโมงปริมาณ E-coli เฉลี่ยในน้ำเสียมีค่า 60,708 UFC/ml เมื่อผ่านการบำบัดในคอลัมน์ที่ 1

แล้วเหลือ 76 UFC/ml (99.9%) และมีอยู่ในน้ำทิ้งสุดท้าย (คอลัมน์ที่2) ที่ 1 UFC/ml(99.99%) ส่วนในช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียลงเป็น 3 ชั่วโมง ปริมาณ E.coli เหลือในน้ำเสียมีค่า 36,000 UFC/ml และมีอยู่ในน้ำทิ้งคอลัมน์ที่1 เท่ากับ 172 UFC/ml (99.5%) และในน้ำทิ้งสุดท้าย (คอลัมน์ที่2) ที่ 6 UFC/ml (99.98) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมีความเสถียรแม้ว่าจะมีการปรับลดระยะการกักเก็บน้ำเสียก็ตาม ส่วนในรูปที่ 4.12 แสดงปริมาณ Total Coliform ในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงซึ่งปริมาณ Total Coliform เหลือในน้ำเสียมีค่า 167,708 UFC/ml ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ 99.3%เมื่อผ่านคอลัมน์ที่1 (ปริมาณTotal Coliform เหลือ 1,204 UFC/ml) และและเมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 2 ประสิทธิภาพคิดเป็น 99.98% (มีปริมาณเหลืออยู่ในน้ำทิ้งสุดท้ายที่ 21 UFC/ml) ในช่วงระยะการกักเก็บลงเป็น 3 ชั่วโมง ปริมาณ Total Coliform เหลือในน้ำเสียมีค่า 57,000 UFC/ml ประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อผ่านคอลัมน์ที่1 และ 2 เท่ากับ 98.4 และ 99.83% ตามลำดับ (ปริมาณ Total Coliform หลังจากผ่านการบำบัดในคอลัมน์ที่ 1 และ 2 มีค่า 901 และ 98 UFC/ml ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าในระบบบำบัดนี้มีความสามารถกำจัดจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทดังกล่าวสูง เนื่องจากระบบได้รับการเติมอากาศจากจากสภาพแวดล้อมทำให้ในระบบมีออกซิเจนมาก ซึ่งสภาวะเช่นนี้ทำให้จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ รวมถึงถูกกินโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในระบบ (Tawfik *et al.*, 2004)



รูปที่ 4.11 ปริมาณ E-coli ในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

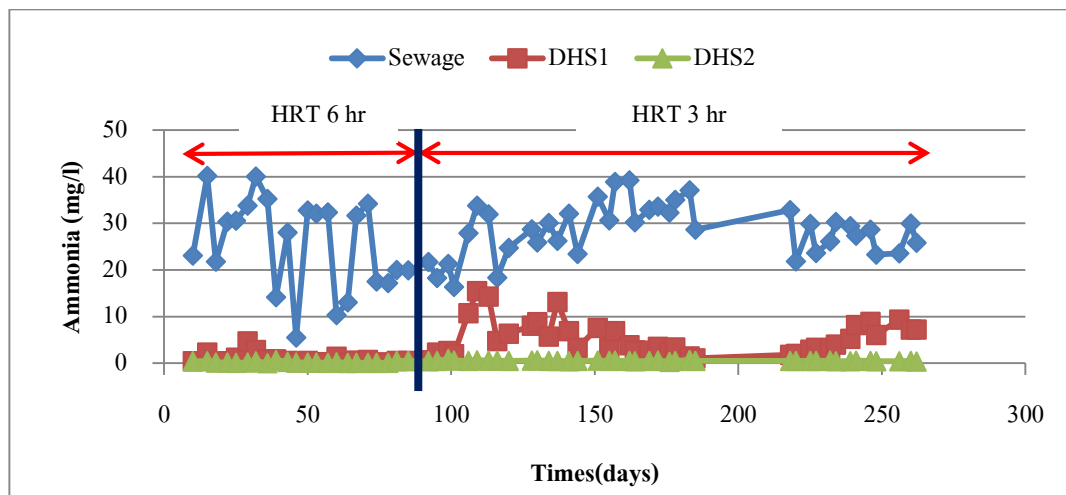


รูปที่ 4.12 ปริมาณ Total Coliform ในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

#### 4.9 แอมโมเนีย

น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มีแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยน้ำเสียตัวอย่างในการทดลองนี้มีปริมาณแอมโมเนียมากกว่าร้อยละ 80 ปริมาณแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำเสียและน้ำหลังผ่านการบำบัดในช่วงระยะกักเก็บที่ 6 และ 3 ชั่วโมงแสดงในรูปที่ 4.13 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียเฉลี่ยทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บอยู่ที่ 27.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากในระบบมีการให้อากาศจากภายนอกจึงสามารถกำจัดแอมโมเนียได้โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มนไนโตรไฟอิงแบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนในกระบวนการไนตริฟิเคชัน(ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551) ซึ่งในการทดลองนี้มีอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification rate) เท่ากับ 0.23-0.25 กิโลกรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงมีสัดส่วนของแอมโมเนียต่อสารอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ 5 : 1 โดยปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 25.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในช่วงระยะนี้อยู่ในช่วงฤดูฝน (ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียต่ำสุดที่วัดได้อยู่ที่ 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าแอมโมเนียมีความแปรปรวนอยู่มากแต่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ อีกทั้งยังมีปริมาณต่ำกว่าในช่วงระยะกักเก็บที่ 3 ชั่วโมงซึ่งอยู่ในฤดูหนาวและฤดูร้อน ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงนี้ระบบสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ถึง 96.5% หลังผ่านคอลัมน์ที่ 1 โดยปริมาณแอมโมเนียขาออกเฉลี่ยมีค่า 0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรหลังผ่านการบำบัดทั้งระบบซึ่งคิดเป็น 99% แสดงให้เห็นว่าช่วงระยะการกักเก็บนี้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้เกือบสมบูรณ์ในระบบนี้ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นคอลัมน์ที่ 1 และ 2 มีค่า 10.0 และ 10.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อคิดเป็นสัดส่วนของไนเตรตต่อแอมโมเนียที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 41% ส่วนที่ระยะกักเก็บ 3 ชั่วโมงนี้สัดส่วนของแอมโมเนียต่อสารอินทรีย์ไนโตรเจนคิดเป็น 4 : 1 โดยมีปริมาณ

แอมโมเนียในน้ำเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 28.6 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีมากกว่าในระยะการกักเก็บที่ 6 ชั่วโมงแต่ในระยะนี้ก็มีความแปรปรวนอยู่บ้างเนื่องจากน้ำเสียที่เข้ามาในระบบในบางวันได้มีน้ำคลองมาผสมทำให้เกิดการเจือจาง (ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียต่ำสุดที่วัดได้อยู่ที่ 16.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเล็กน้อย (80.4% เมื่อผ่านคอลัมน์ที่1) ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงแรกของระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมงนี้ปริมาณแอมโมเนียยังมีสูง (>10มิลลิกรัมต่อลิตร) ทั้งนี้เนื่องจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น แต่หลังจากผ่านการดำเนินงาน 150 วันระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ โดยปริมาณแอมโมเนียออกจากคอลัมน์ที่1เฉลี่ยมีค่า 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อคิดทั้งระบบสามารถกำจัดได้ 99% โดยในน้ำทิ้งสุดท้ายเหลืออยู่ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นที่คอลัมน์ที่1 และ2 มีค่า 11.7 และ 12.3 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วนของไนเตรตต่อแอมโมเนียที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 43% จะเห็นได้ว่าระบบ DHS ที่ใช้ฟองน้ำเป็นตัวกลางมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่สูงในช่วงทุกระยะกักเก็บน้ำเสีย และในช่วงทุกๆฤดูกาล

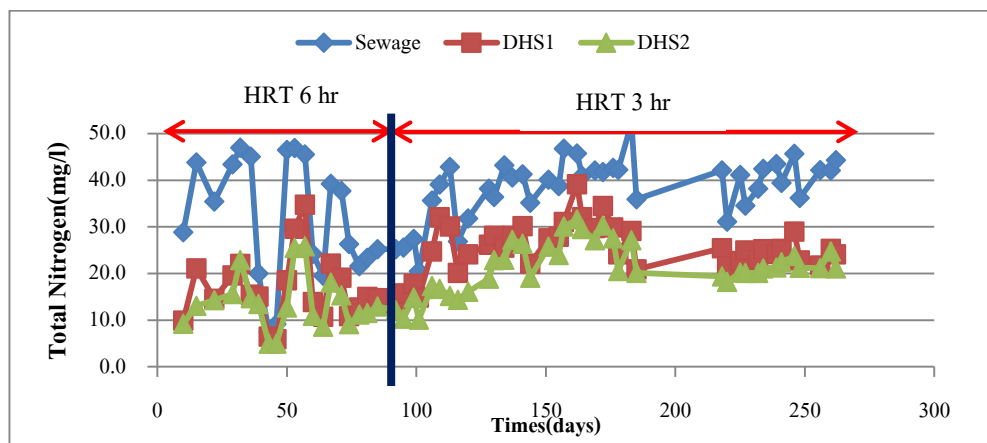


รูปที่ 4.13 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

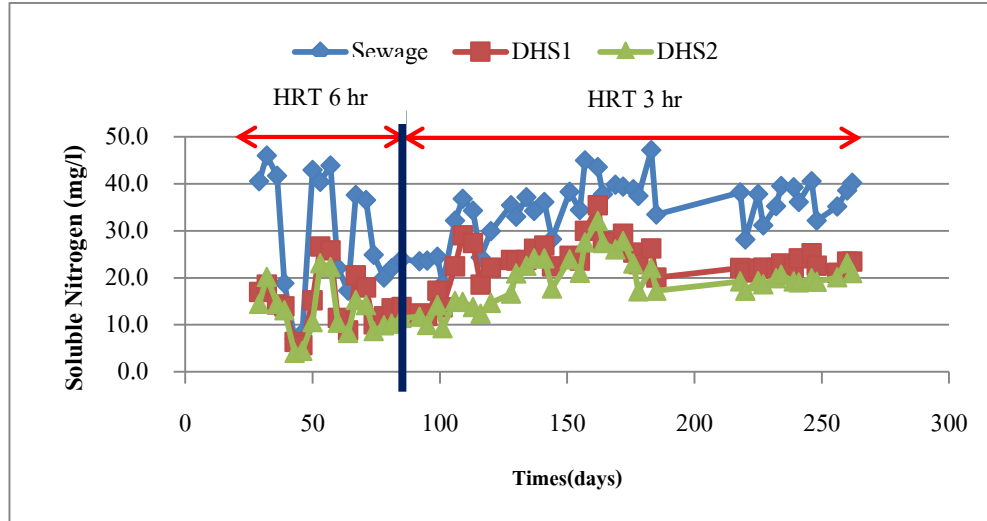
#### 4.10 ไนโตรเจนทั้งหมด

ในช่วงระยะกักเก็บที่ 6 และ 3 ชั่วโมงนี้มีภาระบรรทุกทุกไนโตรเจนคิดเป็น 0.13 และ 0.31 กิโลกรัม ไนโตรเจนต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในรูปที่ 4.14 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านกระบวนการบำบัดทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บ ในการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 31.5 และ 38.9 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในระบบนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้โดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นที่ผิวตัวกลางฟองน้ำที่สัมผัสอากาศตามด้วยดีไนตริฟิเคชันบริเวณในตัวฟองน้ำที่อยู่ในสถานะแอนน็อกซิก (Araki *et al.*, 1999) จากที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้า ใน

ระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงเป็นช่วงฤดูฝนจึงส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียมีความแปรปรวนค่อนข้างมากและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าที่ระยะกักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมง จากการทดลองเมื่อผ่านการบำบัดที่คอลัมน์ที่ 1 จะเหลือ 16.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำทิ้งสุดท้าย (คอลัมน์ที่ 2) เหลืออยู่ 13.7 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่คอลัมน์ที่ 1 อยู่ที่ 47.8% และทั้งระบบจะอยู่ที่ 56.6% ที่ระยะการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งระบบลดลงอยู่ที่ 33.6% โดยเมื่อผ่านการบำบัดที่คอลัมน์ที่ 1 (เหลือ 25.8 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 44.4% เมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 2 (เหลือ 44.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในรูป 4.15 แสดงปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านกระบวนการบำบัด ที่ระยะกักเก็บทั้งสองมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 28.7 และ 35.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับโดยส่วนมากมีองค์ประกอบเป็นแอมโมเนีย (>80%) ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงเมื่อผ่านการบำบัดคอลัมน์ที่ 1 จะเหลือ 14.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (49%) และในน้ำทิ้งสุดท้าย (คอลัมน์ที่ 2) เหลืออยู่ 12.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (56.2%) ซึ่งในน้ำทิ้งสุดท้ายส่วนใหญ่เป็นไนเตรต (79%) ส่วนปริมาณไนโตรเจนที่ไม่มีเหลืออยู่เลย ในระยะกักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของทั้งระบบลดลงเหลือ 33% ที่คอลัมน์ที่ 1 ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำเหลือ 23.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำทิ้งสุดท้าย (คอลัมน์ที่ 2) 43.7% โดยเหลือไนโตรเจนละลายน้ำอยู่ 19.8 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีไนเตรตเกิดขึ้น 12.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (62%) อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนที่ไม่มีเหลืออยู่เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเมื่อลดระยะกักเก็บน้ำเสีย เนื่องจากทำให้เพิ่มภาระบรรทุกไนโตรเจนซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ และจากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนละลายน้ำมีประสิทธิภาพที่ดีในทุกๆ ระยะกักเก็บน้ำเสีย และทุกๆฤดูกาล เนื่องจากในตัวกลางฟองน้ำมีพื้นที่ที่เป็นแอน็อกซิก (Anoxic) อยู่มากทำให้จุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริไฟเออร์มีอยู่มากและทำงานได้ดี



รูปที่ 4.14 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด



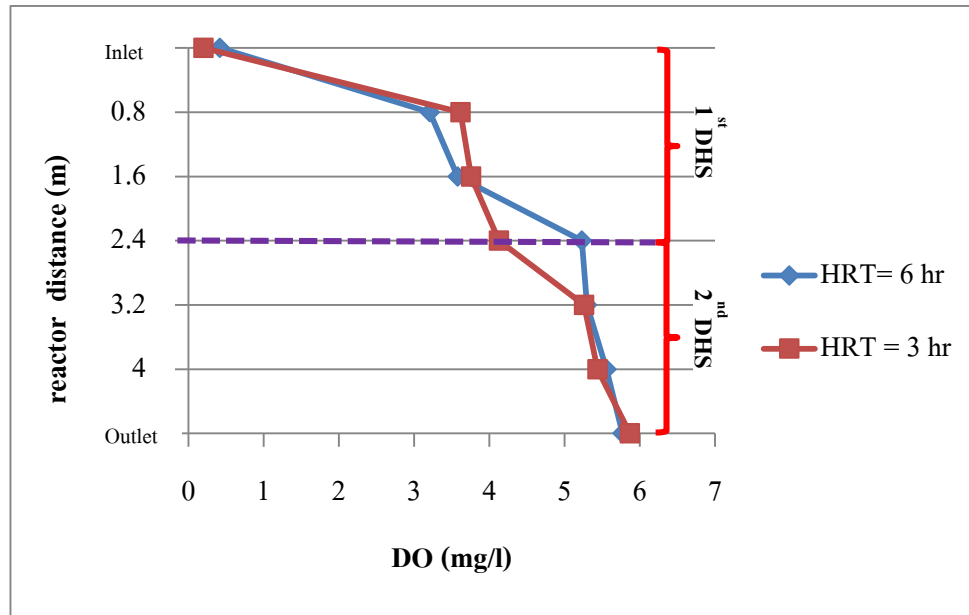
รูปที่ 4.15 ปริมาณ ไนโตรเจนละลายน้ำในน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด

#### 4.11 การศึกษาประสิทธิภาพในแต่ละชั้นความสูง (Profile Experiment)

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะชั้นความสูงต่างๆ ทำการทดลองเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่ โดยทำการทดลองหลังจากเดินระบบไป 85 วัน (ระยะกักเก็บ 6 ชั่วโมง) และหลังระยะ 190 วัน (ระยะกักเก็บ 3 ชั่วโมง) เพื่อวิเคราะห์ว่าที่ระยะแต่ละชั้นความสูงของระบบมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนมากน้อยเพียงใด รวมถึงการกักเก็บจุลินทรีย์บนตัวกลางฟองน้ำและ อัตราการใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ของแต่ละชั้นปฏิกรณ์

##### 4.11.1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

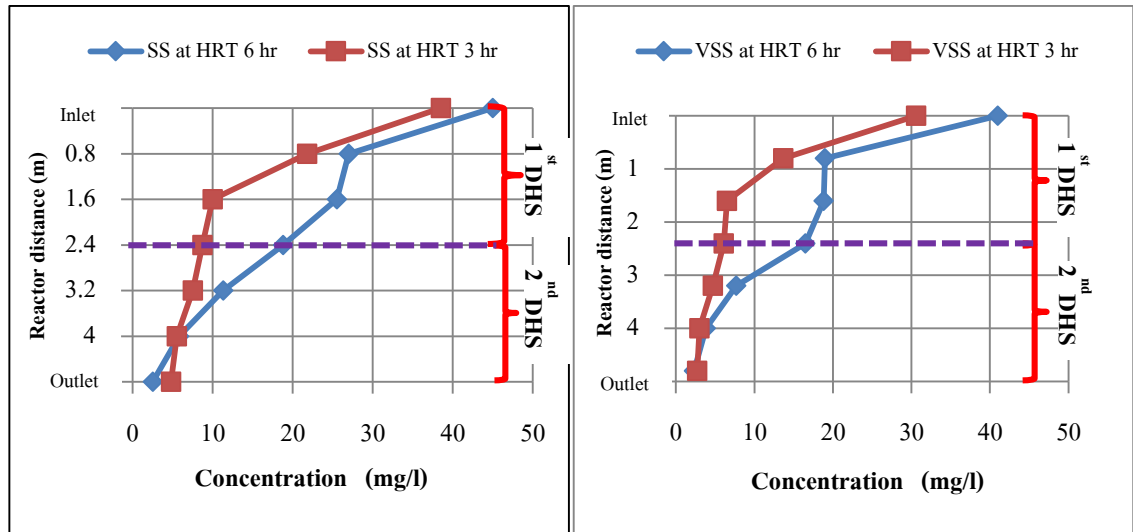
จากการทดลองหาค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์ได้แสดงในรูปที่ 4.16 จากรูปแสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บ (6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง) หลังจากผ่านระยะปฏิกรณ์ที่ 2.4 เมตร (คอลัมน์ที่ 1) ค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียของทั้งสองระยะกักเก็บมีค่าเฉลี่ยที่ 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตรและเพิ่มขึ้นเป็น 5.23 และ 4.15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในคอลัมน์ที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากระบบได้รับการเติมอากาศจากภายนอกเข้าสู่ระบบ และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งสองช่วงระยะกักเก็บเมื่อผ่าน ไปถึงระยะปฏิกรณ์ที่ 4.8 เมตร (คอลัมน์ที่ 2) ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งสองระยะกักเก็บอยู่ที่ 5.82 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.16 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์

#### 4.11.2 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (SS, VSS)

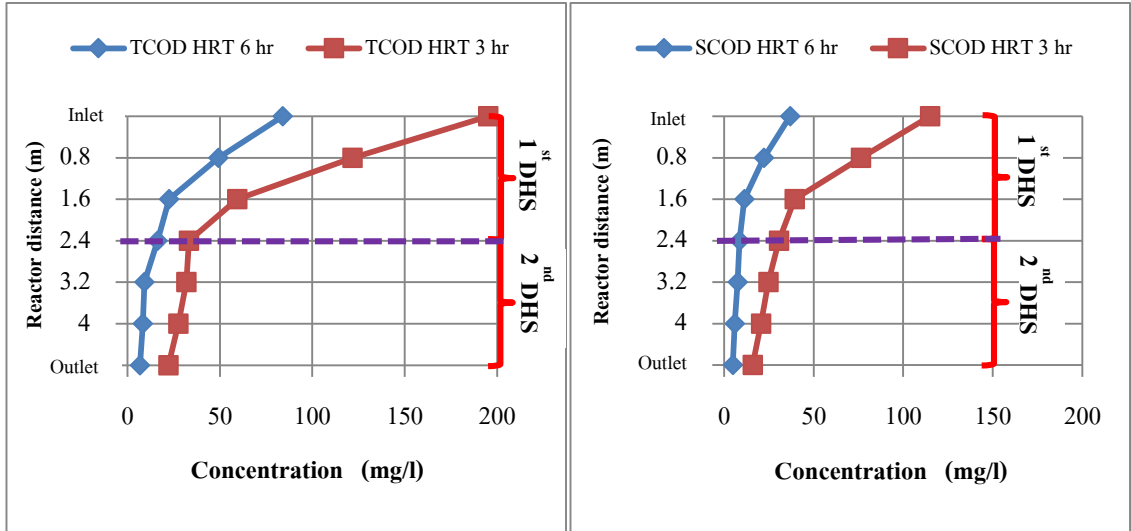
จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายมีสูง โดยที่ระยะการกักเก็บน้ำเสีย 6 และ 3 ชั่วโมงมีแนวโน้มเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันคือสามารถกำจัดได้มากกว่า 40% เมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ไปเพียง 0.8 เมตร (ชั้น A2) หลังจากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงระยะปฏิกรณ์ที่ 4.8 เมตร (คอลัมน์ที่ 2) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในระบบนี้มีความสามารถในการดักจับของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเป็นอย่างดีโดยจะเกิดการขึ้นอย่างมากตั้งแต่ช่วงต้นของระยะชั้นความสูงปฏิกรณ์ และเนื่องจากไบโอฟิล์มจะมีการย่อยสลายโดยตัวตัวเองทำให้ไม่พบปัญหาการอุดตันของตะกอนจุลินทรีย์บนฟองน้ำ (เกียรติชัย สังข์สม, 2555)



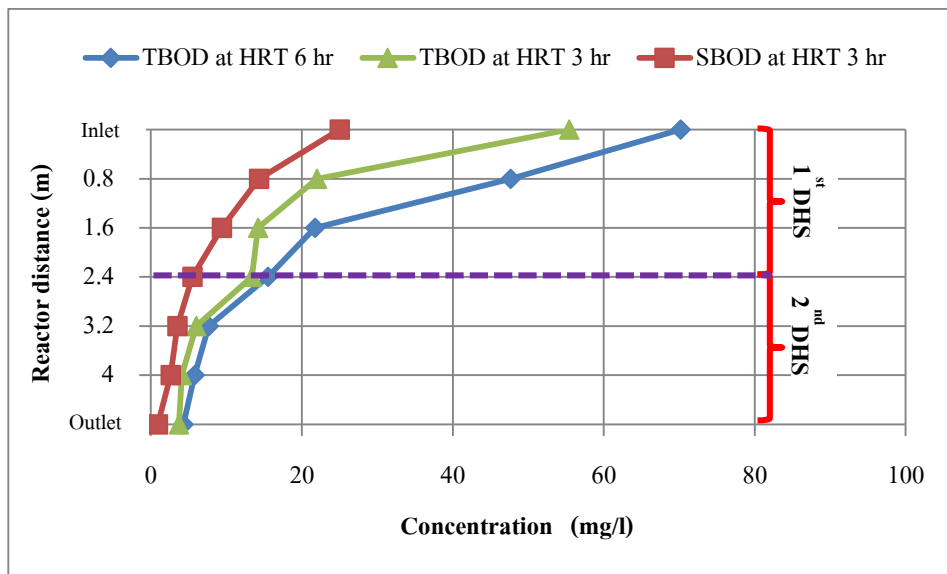
รูปที่ 4.17 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์ที่ระยะการกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมงและระยะการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง

#### 4.11.3 ซีโอดีและบีโอดี

ในรูปที่ 4.18 แสดงปริมาณซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำ ของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์ จากการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดีของทั้งระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การบำบัดซีโอดีทั้งหมดของทั้งสองระยะการกักเก็บจะเกิดขึ้นอย่างมากในปฏิกรณ์คอลัมน์ที่ 1 โดยเฉพาะเมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ได้ 1.6 เมตร (ชั้น A4) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดอยู่ที่ 73% (ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง) และที่ 70% (ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำเท่ากับ 69% (ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง) และ 66% (ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง) ส่วนการกำจัดบีโอดีทั้งหมดและบีโอดีละลายน้ำของทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสียแสดงในรูปที่ 4.19 จากการทดลองทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสียมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูงกว่า 60% ในระยะ 1.6 เมตร (ชั้น A4) เช่นเดียวกัน หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระยะปฏิกรณ์ที่ 4.18 เมตร (คอลัมน์ที่ 2) แสดงให้เห็นว่าระบบได้รับการเติมอากาศทำให้จุลินทรีย์ มีความสามารถในการกำจัดซีโอดีและบีโอดีอย่างมากตั้งแต่คอลัมน์ที่ 1 เป็นคอลัมน์แรกที่รับน้ำเสียมาบำบัดทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าในระบบมีมากส่งผลให้จุลินทรีย์ในคอลัมน์แรกทำงานได้ดี โดยเฉพาะช่วงด้านบนของคอลัมน์ซึ่งเป็นบริเวณที่รับปริมาณความเข้มข้นน้ำเสียสูงสุด และเมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 1 สู่ออกคอลัมน์ที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลดลงอย่างมาก ประสิทธิภาพการบำบัดในคอลัมน์ที่สองจึงสูงขึ้นเล็กน้อยจนเกือบคงที่



รูปที่ 4.18 ปริมาณซีไอดีทั้งหมดและซีไอดีละลายน้ำของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์

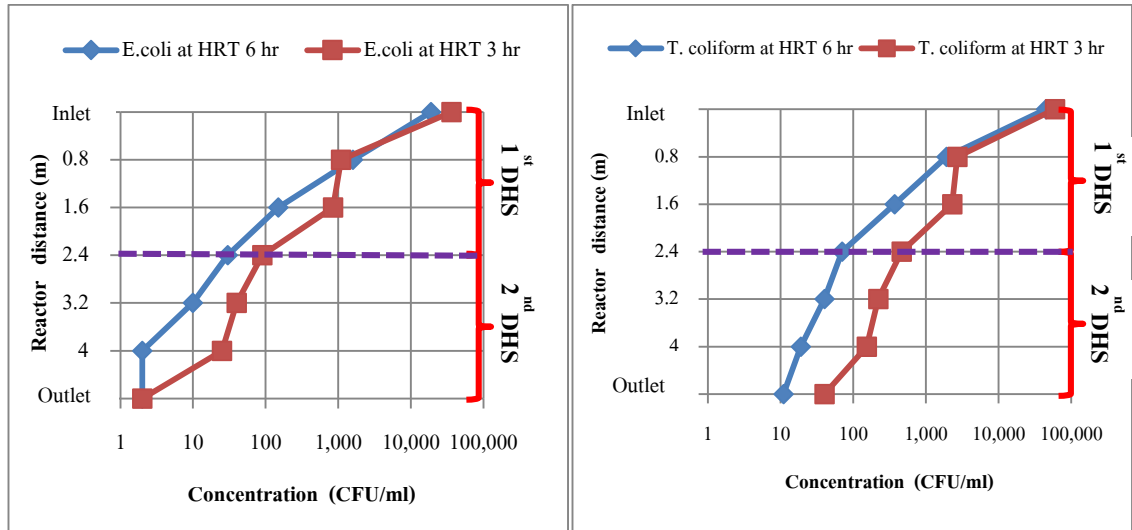


รูปที่ 4.19 ปริมาณบีไอดีทั้งหมดและบีไอดีละลายน้ำของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์

#### 4.11.4 เชื้อโรค (Pathogen)

ในรูปที่ 4.20 แสดงปริมาณ E.coli และ Total-Coliform จากการทดลองประสิทธิภาพการกำจัด ในแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์ โดยประสิทธิภาพเมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ที่ 0.8 เมตร (ชั้น A2) มีค่ามากกว่า 90% และสูงถึง 99% เมื่อผ่านระยะ 2.4 เมตร (คอลัมน์ที่ 1) ทั้งระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมงแสดงให้เห็นว่าในระบบ DHS ซึ่งได้รับการเติมอากาศจากภายนอกทำให้มีประสิทธิภาพการ

กำจัดเชื้อโรคสูง เนื่องจากภาวะดังกล่าวในระบบเป็นสภาวะที่มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์จำพวก E.coli และ Total-Coliform (Tawfik *et al.*, 2004) โดยจะเกิดขึ้นอย่างมากตั้งแต่ในคอลัมน์ที่ 1

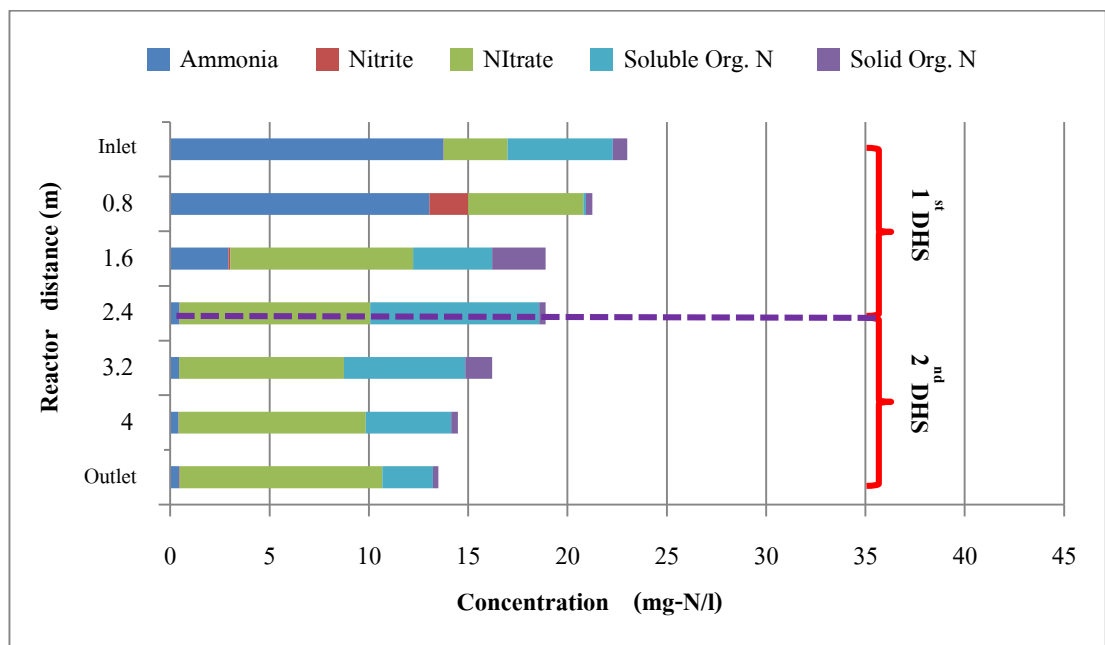


รูปที่ 4.20 ปริมาณเชื้อโรคของแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์

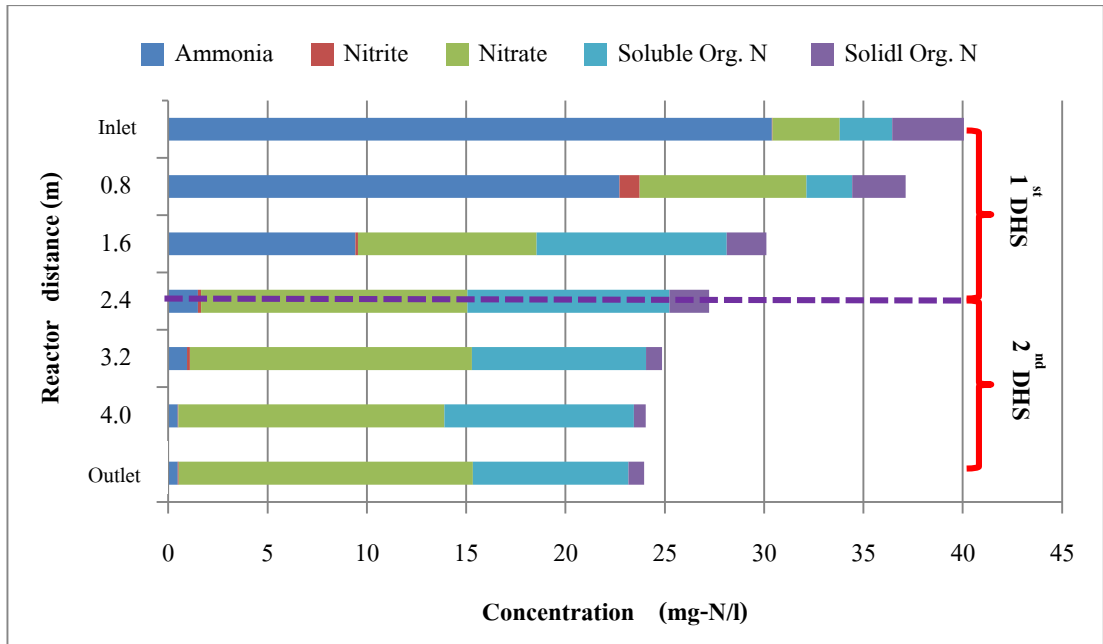
#### 4.11.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจน

ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของแต่ละชั้นความสูงที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.21 จากที่ได้กล่าวข้างต้นในน้ำเสียส่วนมากจะมีปริมาณแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (14 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ) ส่วนไนเตรตและไนไตรตจะมีอยู่ต่ำโดยเฉพาะอย่างหลังแทบไม่พบเลยในน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา จากการทดลองเมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ไป 0.8 เมตร (ชั้น A2) กระบวนการไนตริฟิเคชันช่วงต้นจะเกิดขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าไนเตรตมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 2 มิลลิกรัมต่อลิตรและเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในช่วงต้นของคอลัมน์ยังสูงอยู่ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะต่อจุลินทรีย์ในกระบวนการไนตริฟิเคชันมากนัก ปริมาณแอมโมเนียจึงลดลงเพียงเล็กน้อย ต่อมาหลังจากผ่านระยะปฏิกรณ์ 0.8 เมตรแอมโมเนียจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วจนเหลือน้อยเนื่องจากบริเวณตรงกลางและด้านล่างคอลัมน์มีสารอินทรีย์ต่ำ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟเออร์ (Tandukar *et al.*, 2005) โดยปริมาณแอมโมเนียเหลืออยู่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตรและไนเตรตมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 9 มิลลิกรัมต่อลิตร (ที่ระยะปฏิกรณ์ 1.6 เมตร) และเมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ 2.4 เมตร (คอลัมน์ที่ 1) กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ ปริมาณแอมโมเนียเหลือเพียง 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย 96.7%) ปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้นเป็น 9.6 มิลลิกรัมต่อลิตรและไนไตรตเหลืออยู่เพียง 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่า 17.9% (ที่คอลัมน์ที่ 1) และเพิ่มเป็น 41.3% หลังผ่าน

ระยะปฏิกรณ์ 4.8 เมตร (ที่คอลัมน์ที่ 2) โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำสุดท้ายอยู่ที่ 13.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ส่วนใหญ่เป็นไนเตรตมากกว่า 70%) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนละลายน้ำของทั้งระบบมีอยู่ที่ 40.6% และหากคำนวณระยะกักเก็บน้ำเสียเฉพาะระยะที่เกิดการทำปฏิกิริยาจะได้ระยะการกักเก็บน้ำเสียเท่ากับ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นเมื่อทำการปรับลดระยะกักเก็บน้ำเป็น 3 ชั่วโมง ปริมาณแอมโมเนียและสารอินทรีย์ในไนโตรเจนในน้ำเสียมีค่า 30 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในช่วงระยะกักเก็บน้ำเสียนี้การออกซิไดซ์แอมโมเนียยังเกิดขึ้นมากในช่วงหลังจากระยะ 0.8 เมตร (ชั้น A2) เช่นเดียวกับระยะการกักเก็บน้ำที่ 6 ชั่วโมง โดยที่ระยะ 1.6 เมตร (ชั้น A4) กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นสูง ปริมาณแอมโมเนียเหลือ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย 69%) และปริมาณไนเตรตก็เพิ่มเป็น 9 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดมากขึ้นเรื่อยๆ จนระยะปฏิกรณ์ที่ 4 เมตร (ชั้น B4) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ ปริมาณแอมโมเนียเหลือเพียง 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย 98.3%) ปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้นเป็น 13.4 มิลลิกรัมต่อลิตรและไนโตรตเหลืออยู่เพียง 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตรดังในรูปที่ 4.22 โดยในระยะนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนละลายน้ำอยู่ที่ 39.9 และ 35.7% และเมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ทั้งระบบ (4.8 เมตร) ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนละลายน้ำของทั้งระบบมีค่าลดลงจากระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงอยู่ที่ 36.5% ตามลำดับ เมื่อคิดระยะการกักเก็บน้ำเสียเฉพาะระยะที่ทำปฏิกิริยาในช่วงนี้จะได้เท่ากับ 2.5 ชั่วโมง จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการลดระยะการกักเก็บหรือเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ส่งผลน้อยไม่มากต่อการบำบัดแอมโมเนีย อีกในระบบมีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้นพอสมควรทั้งระยะการกักเก็บที่ 6 และ 3 ชั่วโมง



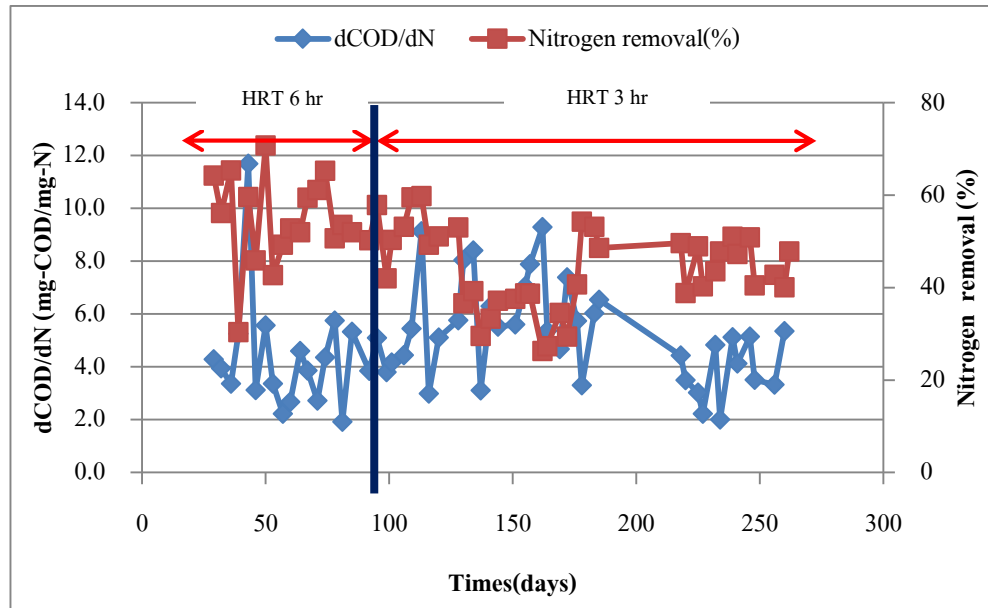
รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นไนโตรเจนของแต่ละระยะช่วงความสูงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นไนโตรเจนของแต่ละระยะช่วงความสูงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง

#### 4.12 อัตราส่วนระหว่างการใช้ชีโอดีกับไนโตรเจน ( $\Delta\text{COD}/\Delta\text{N}$ )

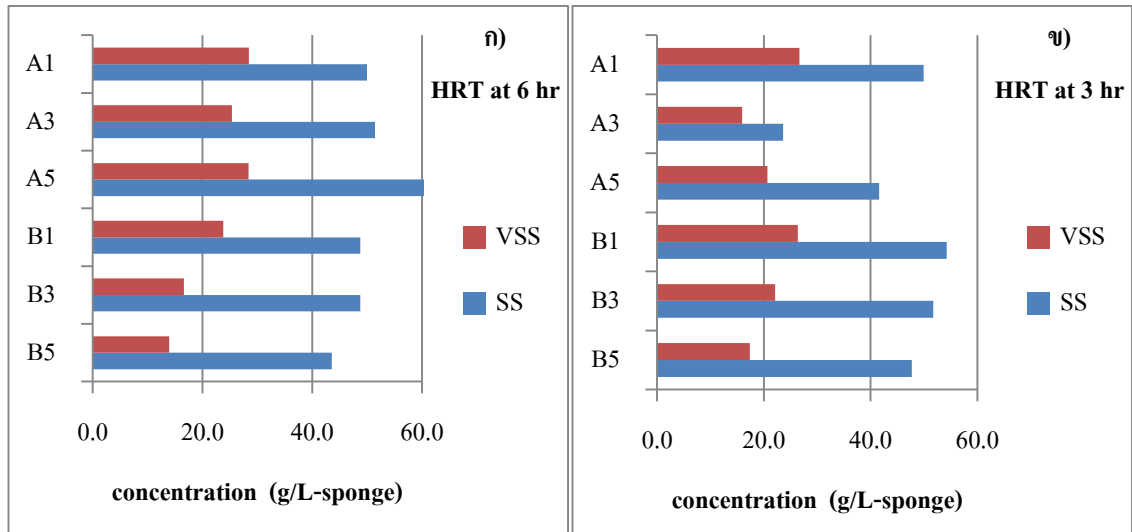
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีสัดส่วนการใช้ชีโอดีต่อไนโตรเจน ( $\Delta\text{COD}/\Delta\text{N}$ ) ของระยะการกักเก็บน้ำที่ 6 และ 3 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.09 และ 5.68 กรัมชีโอดีต่อกรัมไนโตรเจน ดังรูปที่ 4.23 ซึ่งอย่างน้อย สัดส่วนที่จุลินทรีย์ต้องการเท่ากับ 4.57 กรัมชีโอดีต่อกรัมไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551) และจากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนละลายน้ำในทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ได้กล่าวไปข้างต้นอยู่ที่ 56.2% (ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง) และ 43.7% (ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง) ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสูง เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนละลายน้ำมีสูง เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรไฟเอร์ (Nitrifier) และดีไนตริไฟเอร์ (Denitrifier) ในตัวกลาง ฟองน้ำมีจำนวนมาก อีกทั้งยังเกิดกระบวนการย่อยสลายตัวเองทำให้จุลินทรีย์แปรสภาพเป็นสารตั้งต้น (Substrate) ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันส่งผลให้มีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ดียิ่งขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนละลายน้ำทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์ที่ดี



รูปที่ 4.23 อัตราส่วนระหว่างซีโอดีกับไนโตรเจนที่ถูกใช้ในระบบ

### 4.13 ปริมาณตะกอนบนตัวกลางฟองน้ำในถังปฏิกรณ์

เมื่อระบบเข้าสู่ในสภาวะเสถียรในระยะกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ได้มีการศึกษาศักยภาพในการกักเก็บจุลชีพของตัวกลางฟองน้ำในแต่ละช่วงชั้นระยะความสูงของปฏิกรณ์ ในรูปที่ 4.24 แสดงปริมาณการกักเก็บจุลชีพของฟองน้ำที่ระยะกักเก็บ 6 ชั่วโมง จากการทดลองที่ชั้น A1 และ A5 มีความสามารถในการกักเก็บจุลินทรีย์ได้สูงสุดที่ 28.5 และ 28.4 g-VSS/L sponges ส่วนที่ระยะกักเก็บ 3 ชั่วโมง จากการทดลองที่ชั้น A1 และ B1 มีความสามารถในการกักเก็บจุลินทรีย์ได้สูงสุดที่ 26.7 และ 26.4 g-VSS/L sponges ซึ่งปริมาณการกักเก็บจุลชีพในการทดลองนี้มีปริมาณใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tandukar *et al.*, 2007 โดยมีความสามารถในการกักเก็บจุลชีพอยู่ที่ 26 g-VSS/L sponges และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ประชา และ เกียรติชัย, 2013 ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากัน (1.3 kg COD/m<sup>3</sup> day) ซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บจุลินทรีย์ได้สูงสุดที่ 24 g-VSS/L sponges จะเห็นว่า มีค่าใกล้เคียงกัน อีกทั้งจะเห็นว่าที่ระยะการกักเก็บที่ 3 ชั่วโมง การกักเก็บจุลชีพมีมากที่สุดอยู่ที่ชั้น A1 ซึ่งเป็นชั้นที่รับตัวอย่างน้ำเสียเป็นชั้นแรกจากนั้นจะลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ที่ชั้น B1 สาเหตุเนื่องจากชั้น B1 ใต้น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชั้น AC (ชั้นพักน้ำ) ในคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งเป็นชั้นมีปริมาณตะกอนสะสมอยู่หลังผ่านการบำบัดที่คอลัมน์ที่ 1 ดังนั้นปริมาณจุลชีพจึงมีอยู่มากที่ชั้น B1

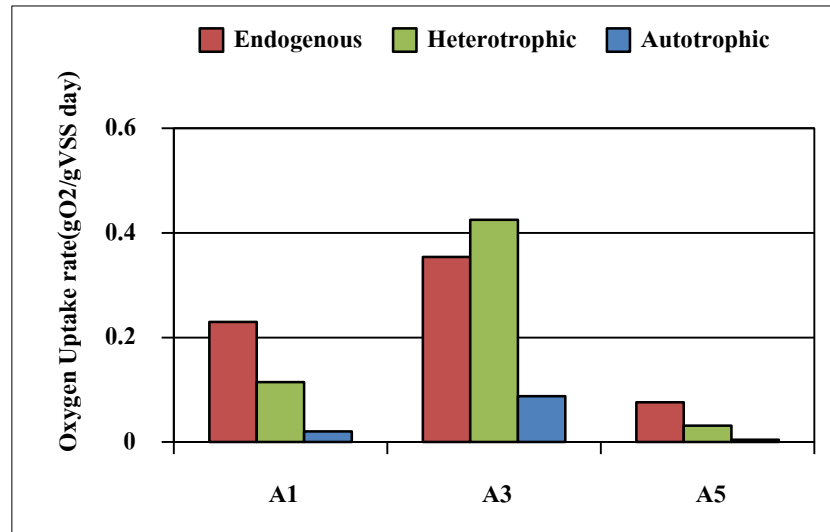


รูปที่ 4.24 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำที่แต่ละช่วงชั้นความสูง

ก) ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง ข) ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง

#### 4.14 อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ (Oxygen Uptake Rate, OUR)

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในระบบฟองน้ำแขวนไหลลงได้แก่สภาวะที่ไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย (Endogenous) และกลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย (Heterotroph) ซึ่งทำการทดลองในวันที่ 198 (ช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง) โดยสุ่มเลือกตัวอย่างฟองน้ำ 3 ชั้นจากชั้น A1, A3, และ A5 มาทำการทดลอง ในที่นี้จะศึกษาที่คอลัมน์ที่ 1 เพียงคอลัมน์เดียวเนื่องจากในคอลัมน์ที่ 2 จุลินทรีย์มีอัตราการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆต่ำจากรูปที่ 4.24 แสดงอัตราการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง โดยแนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนในทุกๆ กระบวนการเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือในชั้น A3 มีอัตราการใช้ออกซิเจนในทุกๆกระบวนการสูงสุด และตามด้วยชั้น A1 และ ชั้น A5 ตามลำดับ โดยในการบำบัดสารอินทรีย์และกระบวนการไนตริฟิเคชันในชั้น A3 มีค่า 0.425 และ 0.088  $\text{gO}_2/\text{gVSS day}$  ตามลำดับ ซึ่งในชั้น A1 มีอัตราการใช้ออกซิเจนที่ต่ำกว่าชั้น A3 เนื่องจากเป็นชั้นที่ฟองน้ำดักจับของแข็งแขวนลอยไว้มาก ส่วนชั้น A5 จะมีอัตราการใช้ออกซิเจนในทุกกระบวนการน้อยที่สุดโดยมีการใช้ออกซิเจนในการบำบัดสารอินทรีย์และกระบวนการไนตริฟิเคชันในชั้น A3 มีค่า 0.032 และ 0.005  $\text{gO}_2/\text{gVSS day}$  ตามลำดับ เนื่องจากออกซิเจนถูกใช้มากในชั้นก่อนหน้า (ชั้น A3) สำหรับการบำบัดสารอินทรีย์และในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์เหลือน้อยทำให้จุลินทรีย์ที่ชั้น A5 มีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ

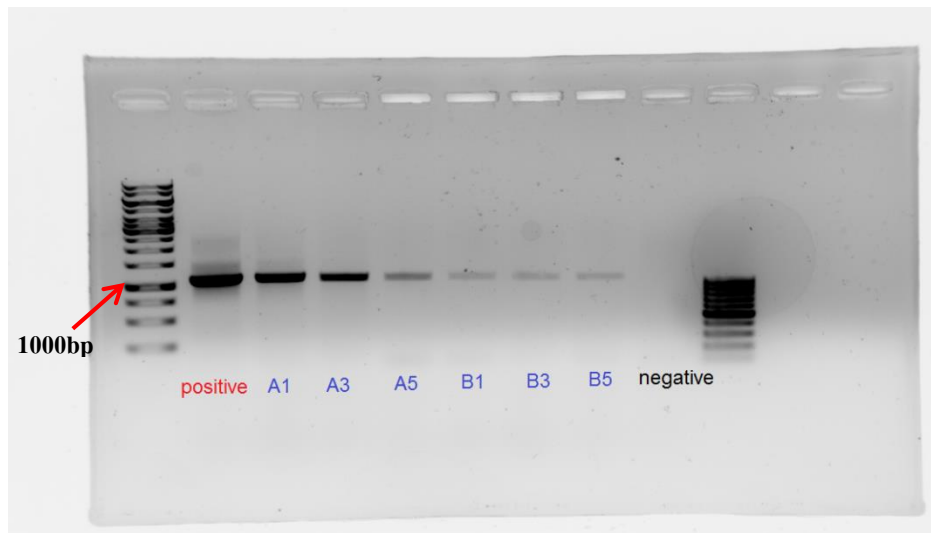


รูปที่ 4.25 อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง

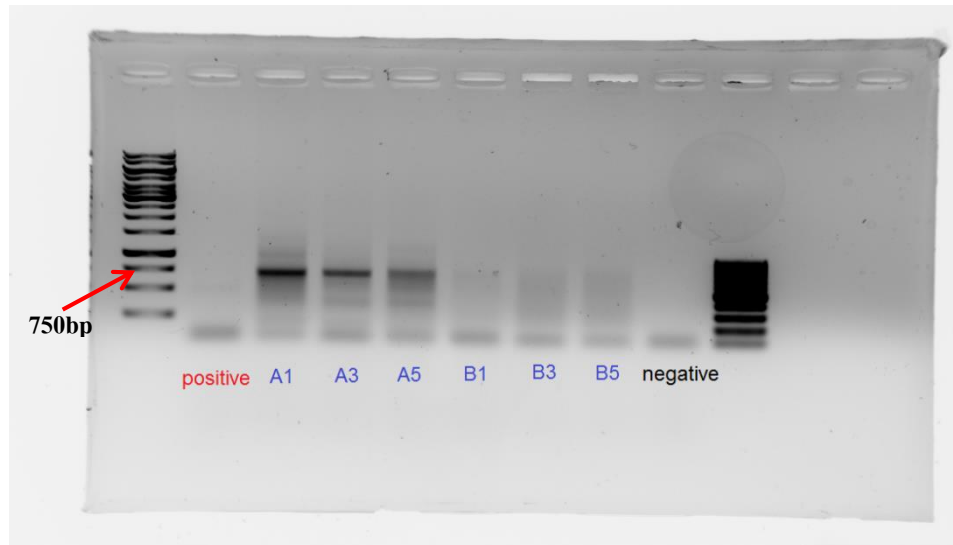
#### 4.15 การหา community ของจุลินทรีย์ในตัวอย่างฟองน้ำ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟเออร์และดีไนตริไฟเออร์โดยใช้วิธี Molecular Technique ซึ่งเป็นการนำตะกอนจากตัวอย่างฟองน้ำของระบบ DHS ทั้งสองคอลัมน์ในช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมง (ในวันที่ 86) มาสกัดดีเอ็นเอ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ Nucleic acid หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (Polymerase Chain Reaction, PCR) เพื่อเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอต้นแบบที่สังเคราะห์ขึ้น และนำไปวิเคราะห์โครงสร้างดีเอ็นเอเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ว่าในแต่ละชั้นความสูงปฏิกรณ์นี้มีจุลินทรีย์ชนิดใดอยู่ในระบบบำบัด โดยในการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ 3 กลุ่มโดยในกระบวนการไนตริฟิเคชัน 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย (ไนโตรโซโมนาส, nitrosomonas) และกลุ่มที่ออกซิไดซ์ไนไตรต์ (ไนโตรแบคเตอร์, nitrobacter) และในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันอีก 1 กลุ่ม ในการหา community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมนาสในตัวอย่างฟองแต่ละชั้นความสูงได้ใช้ Nso190 และ Nso1225 เป็น specific primer โดยผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมนาส มีจำนวนมากอยู่ในคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งแสดงจากการปรากฏแถบสี (Band) ของ DNA ที่เคลื่อนที่ไปใน agarose gel เมื่อเทียบกับ positive control โดยเฉพาะช่วงต้นของคอลัมน์ที่ชั้น A1 และ A3 จะมีมากกว่าชั้นอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ส่วนในคอลัมน์ที่ 2 (B1, B3 และ B5) จะมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าการออกซิไดซ์แอมโมเนียจะเกิดขึ้นส่วนมากที่คอลัมน์ที่ 1 ส่วนการวิเคราะห์ community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรแบคเตอร์ได้ใช้ EUB338f และ NIT3 เป็น specific primer จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าแถบสี (Band) ของ DNA ที่เคลื่อนที่ไปใน agarose gel แสดงให้เห็นชัดใน A1, A3 และ A5 ส่วน B1, B3, B5 ไม่แสดงแถบสีเลย ดังนั้นจึงบ่งบอกได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีจำนวนมากในคอลัมน์ที่ 1

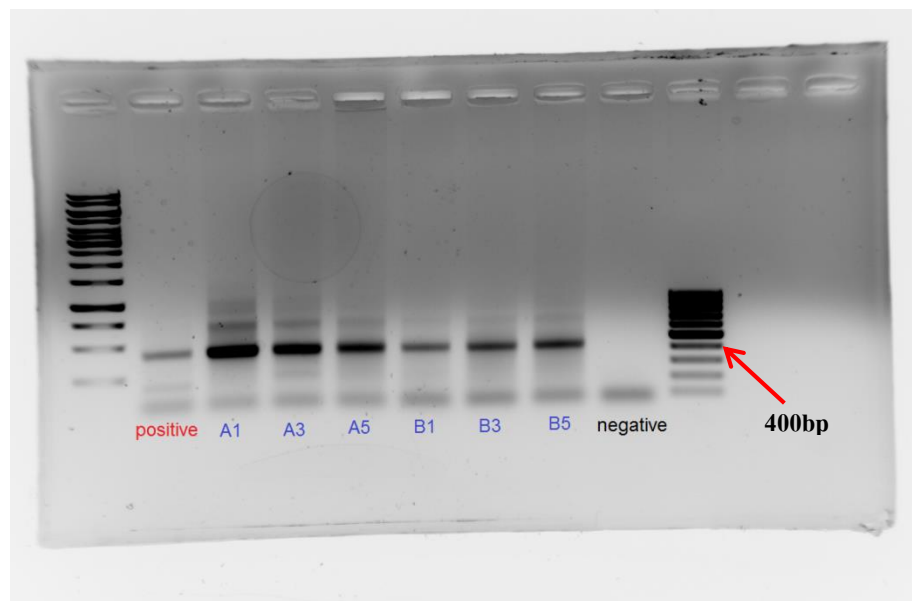
ส่วนในคอลัมน์ที่ 2 นั้นแทบไม่มีอยู่เลย เป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นมากในคอลัมน์ที่ 1 และเมื่อผ่านไปคอลัมน์ที่ 2 ปฏิกิริยาแทบไม่เกิดขึ้นเลยทำให้พบจุลินทรีย์ในกลุ่มไนโตรโซโมนาสนี้น้อยมาก และในการวิเคราะห์ community ของจุลินทรีย์ในกลุ่มดีไนตริไฟเออร์ได้ใช้ nirScd3aF และ nirSR3cd เป็น specific primer โดยในรูปที่ 4.28 แถบสี(Band) ของ DNA ที่เคลื่อนที่ไปใน agarose gel แสดงให้เห็นชัดในในทุกตัวอย่างแต่ที่คอลัมน์ที่ 1 จะเห็นได้ชัดกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เกิดขึ้นมากทั้งสองคอลัมน์โดยเฉพาะที่คอลัมน์ที่ 1 จะมีมากกว่าเนื่องจากว่าสารอินทรีย์ที่เข้าคอลัมน์ที่ 1 สูงส่งผลให้เกิดการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริไฟเออร์ ซึ่งก่อนถึงระยะคอลัมน์ที่ 2 สารอินทรีย์จะถูกใช้ไป ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในคอลัมน์ที่ 2 เกิดขึ้นน้อยลง



รูปที่ 4.26 แสดง PCR pattern จากการใช้นso190 และ Nso1225 specific primer เพื่อศึกษา community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมนาส (nitrosomonas) ในแต่ละชั้นความสูงปฏิกรณ์



รูปที่ 4.27 แสดง PCR pattern จากการใช้ EUB338f และ NIT3 specific primer เพื่อศึกษา community ของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (nitrobacter) ในแต่ละชั้นความสูงปฏิกรณ์



รูปที่ 4.28 แสดง PCR pattern จากการใช้ *nirScd3aF* และ *nirSR3cd* specific primer เพื่อศึกษา community ของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนทริไฟเออร์ (Denitrifier) ในแต่ละชั้นความสูงปฏิกรณ์

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบฟองน้ำแขวนไหลลง (Down-flow Hanging, DHS) ขนาดระดับนำร่อง (Pilot scale) ในการบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนบางนา ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย, สารอินทรีย์, เชื้อโรครวมทั้งไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียที่ 6 (การะบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.6 กิโลกรัมซีโอไซด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และ 3 ชั่วโมง (การะบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.3 กิโลกรัมซีโอไซด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์ ทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียมีมากกว่า 75% ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งสุดท้ายเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ส่วนการบำบัดเชื้อโรคของระบบมีค่าสูง เนื่องจากได้รับการเติมอากาศโดยสามารถบำบัด E.coli ได้ 99.9% (เหลือในน้ำทิ้งสุดท้าย 6 CFU/ml) และ Total coliforms ได้ 99.8% (เหลือในน้ำทิ้งสุดท้าย 60 CFU/ml)

สำหรับการกำจัดแอมโมเนีย ทั้งสองช่วงระยะการกักเก็บน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียสูงกว่า 98% เมื่อคิดทั้งระบบโดยเฉพาะในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมีค่า 96.5% เมื่อผ่านระยะปฏิกรณ์ที่คอลัมน์ที่ 1 อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนในน้ำทิ้งสุดท้ายแทบไม่มีเหลืออยู่เลย แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้เกือบสมบูรณ์ในระบบ DHS ส่วนการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนละลายน้ำของทั้งสองระยะการกักเก็บน้ำเสียอยู่ที่ประมาณ 43-56%

ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละชั้นความสูงของปฏิกรณ์ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้เกือบสมบูรณ์ที่ระยะปฏิกรณ์ 2.4 เมตร ซึ่งคิดเป็นระยะกักเก็บน้ำเสียเฉพาะระยะที่เกิดการทำปฏิกิริยาจะได้ 3 ชั่วโมง ส่วนในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 3 ชั่วโมงปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้เกือบสมบูรณ์ที่ระยะปฏิกรณ์ 4 เมตร ซึ่งหากคิดเป็นระยะกักเก็บน้ำเสียเฉพาะระยะที่เกิดการทำปฏิกิริยาจะได้ 2.5 ชั่วโมง

จากการทดลองระบบนี้ความสามารถในการกักเก็บจุลชีพของตัวกลางฟองน้ำได้สูงสุด 28.5 g/L sponges (ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง) และ 26.7 g/L sponges (ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง) ในชั้น A3 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา นอกจากนี้เมื่อศึกษาการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ของ

จุลินทรีย์ที่ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงจะเห็นว่าจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการบำบัดสารอินทรีย์ และในกระบวนการไนตริฟิเคชันมากที่สุดในชั้น A3

นอกจากนี้ในการทดลองการวิเคราะห์หา community ของจุลินทรีย์ในกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระยะกักเก็บน้ำเสียที่ 6 ชั่วโมงพบว่า จุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมนาสและไนโตรแบคเตอร์มีจำนวนมากในคอลัมน์ที่ 1 เป็นที่น่าสังเกตว่าในระบบปฏิบัติการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างมากในคอลัมน์ที่ 1 ส่วนในคอลัมน์ที่ 2 แทบไม่เกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นเลย และสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริไฟเออร์พบว่ามีปริมาณมากทั้งสองคอลัมน์เมื่อเทียบกับสองกลุ่มแรก โดยเฉพาะในคอลัมน์ที่ 1 จะมีมากกว่าดังนั้นจากการทดลองจะเห็นว่าในระบบDHS นี้มีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) หากเป็นไปได้ควรศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบในกรณีที่มีการเวียนน้ำกลับที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำที่เท่ากัน
- 2) ควรมีการศึกษาวิเคราะห์หา community ของจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆนอกเหนือจากกลุ่มดังกล่าวที่ทำการทดลองในกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันด้วย

## เอกสารอ้างอิง

การจัดการน้ำเสียในกรุงเทพมหานคร, 2555, [ออนไลน์] Available: <http://polluter-pay-principle.blogspot.com>, (27 พฤษภาคม 2556)

เกียรติชัย สังข์สม, 2555, การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบฟองน้ำแขวนลอยไหลลง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 17-30

เดลินิวส์, 2556, เร่งหางบสร้างโรงบำบัดน้ำเสีย [Online], Available: <http://www.dailynews.co.th/Content/bangkok/67453>, (14 กรกฎาคม 2556)

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551, การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 3, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, หน้า 56-87

ประชา ตั้งเกต, 2555, การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนด้วยระบบฟองน้ำแขวนลอยไหลลง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 25

สำนักการระบายน้ำ, 2556, ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำของโรงควบคุมคุณภาพน้ำประจำปี 2556 [ออนไลน์], Available: [http://dds.bangkok.go.th/wqmo/index.php?name=report&file=data\\_report](http://dds.bangkok.go.th/wqmo/index.php?name=report&file=data_report), (17 มีนาคม 2557)

Agrawal, L.K., Okui, H., Ueki, Y., Harada, H. and Ohashi, A., 1997, "Treatment of Raw Sewage in a Temperate Climate using a UASB Reactor and The Hanging Sponge Cubes Process". **Water Science and Technology**, Vol.36, No.6, pp. 433-440

Araki, N., Ohashi, A., Machdar, I. and Harada, H., 1999, "Behaviors of Nitrifiers in a Novel Biofilm Reactor Employing Hanging Sponge-cubes as Attachment Site", **Water Science and Technology**, Vol. 39, No.7, pp. 23-31.

Chernicharo, C.A.L. and Nascimento, M.C.P., 2001, “Feasibility of a Pilot-scale UASB/Trickling Filter System for Domestic Sewage Treatment”, **Water Science and Technology**, Vol. 44, No. 4, pp. 221-228.

Chu, K. H., Feng, X. and Yuan, G., 2011, “Application of Dual Media Biofilm Reactors for Removing Organic Matter and Ammonia from Pesticide Wastewaters”, **Journal of Advanced Chemical Engineering**, Vol. 1, pp.1-6.

Datta, T., Racz, L., Kotay, M.S. and Goel, R., 2011, “Seasonal Variations of Nitrifying Community in Trickling Filter-Solids Contact (TF/SC) Activated Sludge Systems”, **Bioresource Technology**, Vol. 102, pp. 2272-2279.

Fleifle, A., Tawfik, A., Saavedra, O., Yoshimura, C. and Elzeir, M., 2013, “Modeling and Profile Analysis of a Down-flow Hanging Sponge System Treating Agricultural Drainage Water”, **Separation and Purification Technology**, Vol. 116, pp. 87-94.

Gálvez, J.M., Gómez, M.A., Hontoria, E. and González-López, J., 2003, “Influence of Hydraulic Loading and Air Flowrate on Urban Wastewater Nitrogen Removal with a Submerged Fixed-Film Reactor”, **Journal of Hazardous Materials**, Vol. B101, pp.219-229

Innis, M.A., Gelfend, D.H., Sninsky, J.J. and White, T.J., 1990, **PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications**, Academic Press, San Diego, Ca.

Khoshfetrata, A.B., Nikakhtari, H., Sadeghifara, M. and Khatibib, M.S., 2011, “Influence of Organic Loading and Aeration Rates on Performance of a Lab-scale Upflow Aerated Submerged Fixed-Film Bioreactor”, **Process Safety and Environmental Protection**, Vol. 89, pp. 193-197

Machdar, I., Harada, H., Ohashi, A. and Sekiguchi, A., 1997, “A novel and cost-effective sewage treatment system consisting of UASB pre-treatment and aerobic post-treatment units for developing countries”, **Water Science Technology**, Vol. 36, No.12, pp. 189–197.

Machdar, I., Sekiguchi, Y., Sumino, A., Ohashi, A. and Harada, H., 2000, "Combination of a UASB Reactor and a Curtain Type DHS Reactor as a Cost-effective Sewage Treatment System for Developing Countries. **Water Science and Technology**, Vol.42, No.3, 83-88

Mahmoud, M., Tawfik, A. and El-Gohary, F., 2011, "Use of Down-flow Hanging Sponge (DHS) Reactor as a Promising Post-treatment System for Municipal Wastewater", **Chemical Engineering Journal**, Vol. 168, pp. 535-543

Mobarry, B. K., Wagner, M., Urbain, V., Rittmann, B. E. and Stahl, D. A., 1996, "Phylogenetic Probes for Analyzing Abundance and Spatial Organization of Nitrifying Bacteria", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol.62, No.6, pp. 2156-2162.

Nicolella, C., Loosdrecht, M.C.M.V. and Heijnen, J.J., 2000b, "Wastewater treatment with particulate biofilm reactors", **Journal of Biotechnology**, Vol. 80, No.1, pp. 1-33.

Onodera, T., Matsunaga, K., Kubota, K., Taniguchi, K., Harada, H., Syutsubo, K., Okubo, S., Uemura, S., Araki, N., Yamada, M., Yamauchi, M. and Yamaguchi, T., 2013, "Characterization of The Retained Sludge in a Down-flow Hanging Sponge (DHS) Reactor with Emphasis on its Low Excess Sludge Production", **Bioresource Technology**, Vol.136, pp. 169-175.

Onodera, T., Tandukar, M., Sugiyana, D., Uemura, S., Ohashi, A. and Harada, H., 2014, "Development of a Sixth-generation Down-flow Hanging Sponge (DHS) Reactor Using Rigid Sponge Media for Post-treatment of UASB Treating Municipal Sewage", **Bioresource Technology**, Vol.152, pp. 93-100.

Pal, S., Sarkar, U. and Dasgupta, D., 2010, "Dynamic Simulation of Secondary Treatment Processes Using Trickling Filters in a Sewage Treatment Works in Howrah, west Bengal, India", **Desalination**, Vol.253, pp. 135-140

Pontes, P.P., Chernicharo, C.A.D.L., Frade, E.C. and Porto, M.T.R., 2003, "Performance Evaluation of an UASB Reactor Used for Combined Treatment of Domestic Sewage and Excess Aerobic Sludge from a Trickling Filter", **Water Science and Technology**, Vol. 48, No. 6, pp. 227-234.

Pontes, P.P. and Chernicharo, C.A.D.L, 2011, “Characterization and Removal of Specific Organic Constituents in an UASB-Trickling-filter System Treating Domestic Wastewater”, **Environmental Technology**, Vol. 32, No. 3, pp. 281-287.

Pozo R.D. and Diez, V., 2005, “Integrated Anaerobic–Aerobic Fixed-Film Reactor for Slaughterhouse Wastewater Treatment, **Water Research**, Vol.39, pp. 1114-1122

Tandukar, M., Ohashi, A. and Harada, H., 2007, “Performance Comparison of a Pilot-scale UASB and DHS System and Activated Sludge Process for the Treatment of Municipal Wastewater”, **Water Research**, Vol.41, pp. 2697-2705.

Tandukar, M., Uemura, S., Machdar, I., Ohashi, A. and Harada, H., 2005, “A Low-cost Municipal Sewage Treatment System with a Combination of UASB and The “fourth-generation” Downflow Hanging Sponge Reactors”, **Water Science & Technology**, Vol. 52, pp. 323-329

Tawfik, A., Klapwijk, B., Buuren, J.V., El-Gohary, F. and Lettinga, G., 2004, “Physico-chemical Factors Affecting the E.coli Removal in a Rotating Biological Contactor (RBC) Treating UASB Effluent”, **Water Research**, Vol.38, No. 5, pp. 1081-1088.

Tawfik, A., Ohashi, A. and Harada, H., 2006, “Sewage Treatment in a Combined Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)-Down-flow Hanging Sponge (DHS) System”, **Biochemical Engineering Journal**, Vol.29, pp. 210-219

Throback, I.N., Enwall, K., Jarvis, A. and Hallin, S., 2004, “Reassessing PCR Primers Targeting nirS, nirK and nosZ genes for Community Surveys of Denitrifying Bacteria with DGGE, FEMS Microbiol”. **Microbiology Ecology**, Vol.49, pp. 401-417.

Uemura, S., Suzuki, S., Abe, K., Kubota, K., Yamaguchi, T., Ohashi, A., Takemura, Y. and Harada, H., 2010, “Removal of Organic Substances and Oxidation of Ammonium Nitrogen by a Down-flow Hanging Sponge (DHS) Reactor Under High Salinity Conditions”, **Bioresource Technology**, Vol. 101, pp. 5180-5185

Zhang, X., Zhou, J., Guo, H., Qu, Y., Liu, G. and Zhao, L., 2007, "Nitrogen removal performance in a novel combined biofilm reactor", **Process Biochemistry**, Vol.42, pp. 620-626

Zhou, J., Bruns, M.A. and Tiedje, J.M., 1996, "DNA Recovery from Soils of Diverse Composition", **Appl Environ Microbiol**, Vol.62, No.2, pp. 316-322.

## ภาคผนวก ก

ข้อมูลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

### ก.1 ข้อมูลการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

ก.1.1 ที่ระยะการกักเก็บน้ำเสีย 6 ชั่วโมง

$$\text{อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (Q)} = \frac{\text{ปริมาตรฟองน้ำรวมทั้งระบบ(m}^3\text{)}}{\text{ระยะการกักเก็บน้ำเสีย(HRT)}}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย ปริมาตรฟองน้ำของทั้งระบบ} &= \left(\frac{3.14}{4}\right) \times (0.033 \text{ m})^3 \times 300 \times 12 \\ &= 0.102 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$Q = \frac{0.102 \text{ m}^3}{6 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min.}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Q = \frac{0.28 \text{ L}}{\text{min.}}$$

ก.1.2 ที่ระยะการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง

$$\text{อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (Q)} = \frac{\text{ปริมาตรฟองน้ำรวมทั้งระบบ(m}^3\text{)}}{\text{ระยะการกักเก็บน้ำเสีย(HRT)}}$$

$$Q = \frac{0.102 \text{ m}^3}{3 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min.}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Q = \frac{0.56 \text{ L}}{\text{min.}}$$

**ภาคผนวก ข**

ข้อมูลการทดลอง spot sampling

และ composite sampling

ตารางที่ ข.1 แสดงอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				ค่าความเป็นกรดด่าง		
		Ambient	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
15 ส.ค. 56	10	31.7	31.2	30.7	30.8	7.20	7.30	7.65
20 ส.ค. 56	15	29.9	29.9	29.8	28.8	7.35	7.23	7.75
23 ส.ค. 56	18	31.5	29.8	29.8	29.8	7.14	7.45	8.20
27 ส.ค. 56	22	31.9	31	30.8	30.3	7.73	7.40	8.36
30 ส.ค. 56	25	32.8	30.8	30	30.3	7.20	7.20	7.71
3 ก.ย. 56	29	30.8	30.5	30.2	30.1	7.30	6.78	8.25
6 ก.ย. 56	32	29.5	30	29.3	28.5	8.02	7.94	7.42
10 ก.ย. 56	36	29.8	29.7	29.1	28.7	8.18	7.95	8.67
13 ก.ย. 56	39	26.9	28.2	27.9	27.7	7.57	6.23	7.99
17 ก.ย. 56	43	28.1	29	28.2	27.7	7.42	8.38	7.66
20 ก.ย. 56	46	25.5	26.7	26.2	25.7	7.42	7.73	8.02
24 ก.ย. 56	50	31	29.2	29.3	28.5	7.48	7.35	8.30
27 ก.ย. 56	53	28.6	28.9	28.4	28.9	7.37	8.46	7.95
1 ต.ค. 56	57	29.2	28.2	28.3	27.8	7.41	7.55	8.42
4 ต.ค. 56	60	25.5	26.3	25.8	25.5	7.25	7.53	7.81
8 ต.ค. 56	64	28.2	28.1	27.7	27.4	7.39	8.21	8.07
11 ต.ค. 56	67	28.8	29.2	28.9	28.6	7.24	7.63	8.26
15 ต.ค. 56	71	29.0	29.4	29.0	28.9	7.58	7.55	8.23
18 ต.ค. 56	74	28.8	28.3	27.8	27.2	7.48	7.86	8.16
22 ต.ค. 56	78	31.9	30.5	30.0	29.8	7.48	7.73	8.53
25 ต.ค. 56	81	29.5	30.0	29.1	28.6	7.49	7.96	8.43
29 ต.ค. 56	85	30.0	28.7	28.3	28.2	7.39	7.55	8.33
5 พ.ย. 56	92	32.1	30.6	28.7	28.1	7.46	7.87	8.36
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง								

ตารางที่ ข.1 แสดงอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				ค่าความเป็นกรดด่าง		
		Ambient	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
8 พ.ย. 56	95	25.7	27.1	26.7	26.3	7.52	7.49	7.95
12 พ.ย. 56	99	31.6	30.0	30.2	29.9	7.46	7.25	8.17
14 พ.ย. 56	101	30.3	29.8	29.5	29.3	7.50	6.97	8.12
19 พ.ย. 56	106	30.4	29.7	29.4	28.6	7.59	7.75	8.31
22 พ.ย. 56	109	26.6	27.9	27.4	26.8	7.56	7.86	7.93
26 พ.ย. 56	113	30.6	29.3	29.6	29.2	7.64	7.30	7.90
29 พ.ย. 56	116	29.7	29.7	28.6	28.5	7.47	7.62	8.30
3 ธ.ค. 56	120	25.2	26.1	26.4	25.6	7.52	7.56	8.29
11 ธ.ค. 56	128	30.1	28.7	28.5	28.1	7.58	7.70	8.20
13 ธ.ค. 56	130	28.2	27.4	27.0	26.5	7.53	7.60	8.04
17 ธ.ค. 56	134	26.6	27.5	26.1	25.4	7.36	7.46	7.71
20 ธ.ค. 56	137	24.4	24.6	23.5	22.6	7.63	7.72	8.00
24 ธ.ค. 56	141	26.8	26.1	25.3	24.9	7.63	7.73	8.27
27 ธ.ค. 56	144	24.1	25.4	25.0	24.2	7.55	7.68	8.12
3 ม.ค. 57	151	26.5	26.0	25.2	24.8	7.61	7.55	7.82
7 ม.ค. 57	155	26.1	27.1	25.9	25.7	7.56	7.54	7.94
9 ม.ค. 57	157	29.7	27.8	27.7	27.4	7.58	7.43	7.98
14 ม.ค. 57	162	24.2	26.6	25.6	24.9	7.43	7.48	7.79
16 ม.ค. 57	164	22.5	24.1	23.2	22.7	7.55	7.38	7.81
21 ม.ค. 57	169	22.4	24.8	23.8	23.1	7.50	7.30	7.69
24 ม.ค. 57	172	20.1	22.7	21.8	21.5	7.44	7.21	7.66
28 ม.ค. 57	176	24.5	26.1	25.5	24.9	7.49	7.32	7.75
30 ม.ค. 57	178	27.3	27.3	26.9	26.1	7.49	7.33	7.94
4 ก.พ. 57	183	28.5	28.0	28.2	27.4	7.52	6.83	7.69

ตารางที่ ข.1 แสดงอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				ค่าความเป็นกรดด่าง		
		Ambient	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6 ก.พ. 57	185	28.6	28.4	28.2	27.9	7.36	7.14	7.45
11 มี.ค.57	218	30.6	29.6	29.3	28.8	7.8	7.49	8.22
13 มี.ค.57	220	30.3	29.9	29.4	30.1	7.88	7.31	7.91
18 มี.ค.57	225	31.1	30.5	30.0	30.1	7.98	7.21	7.6
20 มี.ค.57	227	29.9	30.2	29.8	29.6	7.53	7.05	8.23
25 มี.ค.57	232	30.9	31.1	30.3	30.1	7.78	7.32	8.12
27 มี.ค.57	234	31.8	31.2	30.9	30.7	7.74	7.31	7.98
1 เม.ย. 57	239	32.0	30.8	30.8	30.7	7.59	7.26	8.15
3 เม.ย.57	241	32.1	31.6	31.0	31.1	7.47	7.19	7.95
8 เม.ย.57	246	31.5	31.0	30.3	30.8	7.62	7.21	7.84
10 เม.ย.57	248	32.3	31.3	31.3	31.0	7.56	7.26	8.20
18 เม.ย.57	256	30.1	30.4	30.1	29.6	7.89	7.31	8.14
22 เม.ย.57	260	30.7	30.4	29.7	30.1	7.72	7.21	7.99
24 เม.ย.57	262	30.9	30.2	29.8	29.9	7.77	7.41	8.07

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				ค่าความเป็นกรดด่าง		
		Ambient	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	29.6	29.3	28.8	28.5	7.46	7.60	8.11
3	262	28.3	28.3	27.8	27.5	7.59	7.39	7.98

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าโออาร์พี(ORP)และค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	โออาร์พี(mV)			ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
15 ส.ค. 56	10	-290	10	-5	0.21	4.22	5.22
20 ส.ค. 56	15	-325	22	15	0.20	4.08	5.50
23 ส.ค. 56	18	-263	-9	-3	0.16	5.16	5.59
27 ส.ค. 56	22	-203	28	26	0.14	5.17	6.22
30 ส.ค. 56	25	-326	-20	9	0.47	4.74	6.10
3 ก.ย. 56	29	-328	-10	59	0.58	4.33	6.37
6 ก.ย. 56	32	-310	87	73	0.40	5.18	7.25
10 ก.ย. 56	36	-325	82	78	0.75	5.19	6.52
13 ก.ย. 56	39	-69	40	25	2.04	5.60	6.35
17 ก.ย. 56	43	-278	-14	6	0.98	5.26	6.49
20 ก.ย. 56	46	11	101	88	2.52	6.59	6.86
24 ก.ย. 56	50	-275	115	94	0.20	5.28	6.44
27 ก.ย. 56	53	-309	71	77	0.21	5.76	5.90
1 ต.ค. 56	57	-273	41	22	0.33	5.85	6.55
4 ต.ค. 56	60	16	126	103	2.16	5.58	6.21
8 ต.ค. 56	64	-191	108	104	1.58	6.03	6.32
11 ต.ค. 56	67	-287	85	94	0.22	5.91	6.03
15 ต.ค. 56	71	-313	59	47	0.65	4.78	5.93
18 ต.ค. 56	74	-269	103	98	1.45	5.20	5.98
22 ต.ค. 56	78	-287	43	42	0.47	5.32	6.02
25 ต.ค. 56	81	-225	44	52	0.58	5.32	6.31
29 ต.ค. 56	85	37	101	100	2.35	6.01	6.26
5 พ.ย. 56	92	-301	91	99	0.26	5.69	6.61
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง							

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าโออาร์พี(ORP)และค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO) (ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	โออาร์พี(mV)			ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
8 พ.ย. 56	95	59	129	121	1.06	5.12	6.09
12 พ.ย. 56	99	-263	118	104	0.28	4.46	6.26
14 พ.ย. 56	101	-185	143	122	0.75	4.64	5.89
19 พ.ย. 56	106	-265	102	101	0.23	4.10	5.39
22 พ.ย. 56	109	-305	98	107	0.26	4.21	5.59
26 พ.ย. 56	113	-322	98	95	0.22	3.57	5.59
29 พ.ย. 56	116	-306	101	97	0.21	3.64	5.54
3 ธ.ค. 56	120	-245	110	104	0.32	4.47	6.37
11 ธ.ค. 56	128	-301	102	91	0.29	3.83	5.64
13 ธ.ค. 56	130	-274	115	112	0.52	4.22	6.21
17 ธ.ค. 56	134	-296	97	94	0.24	4.01	5.88
20 ธ.ค. 56	137	-276	92	97	0.18	4.22	6.03
24 ธ.ค. 56	141	-301	96	92	0.41	4.12	6.23
27 ธ.ค. 56	144	-297	112	108	0.21	4.42	5.89
3 ม.ค. 57	151	-294	111	112	0.22	4.01	6.12
7 ม.ค. 57	155	-307	102	101	0.42	4.22	5.92
9 ม.ค. 57	157	-305	105	99	0.31	4.72	5.22
14 ม.ค. 57	162	-302	96	95	0.39	4.33	6.13
16 ม.ค. 57	164	-286	97	91	0.23	4.63	6.02
21 ม.ค. 57	169	-297	106	97	0.35	4.50	6.38
24 ม.ค. 57	172	-289	111	105	0.38	5.02	6.45
28 ม.ค. 57	176	-291	106	97	0.25	4.70	6.04
30 ม.ค. 57	178	-314	111	102	0.21	4.36	5.93
4 ก.พ. 57	183	-310	117	106	0.35	3.87	5.83

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าโออาร์พี(ORP)และค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO) (ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	โออาร์พี(mV)			ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6 ก.พ. 57	185	-270	110	96	0.30	4.84	6.04
11 มี.ค.57	218	-310	131	118	0.28	4.85	6.17
13 มี.ค.57	220	-320	108	102	0.29	4.01	5.89
18 มี.ค.57	225	-311	111	95	0.32	3.98	5.98
20 มี.ค.57	227	-314	146	126	0.26	4.02	5.98
25 มี.ค.57	232	-318	118	107	0.31	4.11	5.72
27 มี.ค.57	234	-309	112	92	0.33	4.05	5.88
1 เม.ย. 57	239	-313	114	99	0.18	3.81	6.11
3 เม.ย.57	241	-310	124	115	0.38	3.82	5.98
8 เม.ย.57	246	-316	115	107	0.22	3.94	5.89
10 เม.ย.57	248	-298	129	112	0.24	3.68	6.02
18 เม.ย.57	256	-317	127	112	0.21	3.79	5.87
22 เม.ย.57	260	-304	117	109	0.28	3.97	5.92
24 เม.ย.57	262	-309	122	116	0.32	4.02	5.89

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าเฉลี่ยโออาร์พี(ORP)และค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO)ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่  
6 และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	โออาร์พี(mV)			ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	-234	57	54	0.82	5.32	6.22
3	262	-287	112	104	0.32	4.22	5.95

ตารางที่ ข.5 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมุมชนก่อนและหลังการบำบัด

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	SS (mg/L)			VSS(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
15 ส.ค. 56	10	-	-	-	-	-	-
20 ส.ค. 56	15	-	-	-	-	-	-
23 ส.ค. 56	18	32.0	1.5	2.0	27.5	0.5	2.0
27 ส.ค. 56	22	41.0	6.5	0	35.6	4.2	0
30 ส.ค. 56	25	75.0	8.8	0	74.4	7.8	0
3 ก.ย. 56	29	39.0	1.0	0	10.8	0.7	0
6 ก.ย. 56	32	24.5	7.0	3.5	20.9	5.8	2.8
10 ก.ย. 56	36	46.5	20.5	4.5	39.0	12.4	3.9
13 ก.ย. 56	39	56.5	8.8	0.5	28.6	3.1	0
17 ก.ย. 56	43	36.0	20.0	3.2	16.6	10.0	1.7
20 ก.ย. 56	46	28.0	12.0	1.2	12.5	8.2	0.6
24 ก.ย. 56	50	42.0	25.0	3.8	26.5	16.0	1.3
27 ก.ย. 56	53	75.0	27.0	3.3	58.2	13.1	2.8
1 ต.ค. 56	57	28.0	4.2	3.3	27.4	3.5	0.5
4 ต.ค. 56	60	36.8	5.3	4.5	31.5	1.7	4.0
8 ต.ค. 56	64	16.0	4.0	1.3	14.0	3.2	1.0
11 ต.ค. 56	67	37.5	6.8	2.3	32.5	5.9	1.4
15 ต.ค. 56	71	56.0	21.3	4.3	45.4	20.5	3.9
18 ต.ค. 56	74	25.5	13.0	1.3	14.9	8.9	0.5
22 ต.ค. 56	78	40.0	10.3	4.0	8.0	3.8	1.0
25 ต.ค. 56	81	22.5	12.8	2.8	21.4	12.7	2.4
29 ต.ค. 56	85	82.5	12.5	1.5	51.1	7.7	0.7
5 พ.ย. 56	92	29.0	12.0	3	28.0	7.2	2.0
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง							

ตารางที่ ข.5 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสี้ยวชุมชนก่อนและหลังการบำบัด(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	SS (mg/L)			VSS(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
8 พ.ย. 56	95	35.5	40.0	2.5	31.0	22.5	2.3
12 พ.ย. 56	99	32.5	6.5	5.3	22.8	1.0	0.2
14 พ.ย. 56	101	28.0	12.3	7.3	16.8	3.6	1.4
19 พ.ย. 56	106	50.0	7.7	6.0	34.0	4.0	2.8
22 พ.ย. 56	109	48.5	7.0	5.3	36.0	3.5	2.3
26 พ.ย. 56	113	49.0	18.3	11.0	35.8	9.9	4.9
29 พ.ย. 56	116	30.5	19.8	10.5	24.4	15.2	6.2
3 ธ.ค. 56	120	36.0	11.3	8.8	29.3	8.4	5.2
11 ธ.ค. 56	128	35.0	11.3	7.7	25.2	8.6	2.3
13 ธ.ค. 56	130	35.0	11.0	4.5	28.2	5.1	2.9
17 ธ.ค. 56	134	33.5	16.5	10.0	27.6	7.1	3.5
20 ธ.ค. 56	137	36.0	12.0	8.5	32.5	8.5	7.0
24 ธ.ค. 56	141	36.5	17.8	11.5	28.9	8.6	4.5
27 ธ.ค. 56	144	37.0	16.0	5.0	31.1	10.7	3.5
3 ม.ค. 57	151	47.0	37.0	13.0	37.1	21.5	7.5
7 ม.ค. 57	155	41.0	16.0	11.3	32.0	12.1	5.6
9 ม.ค. 57	157	47.5	41.8	17.8	38.0	25.7	10.7
14 ม.ค. 57	162	67.5	17.8	15.5	50.4	10.3	7.7
16 ม.ค. 57	164	38.0	14.8	12.0	34.5	11.0	10.1
21 ม.ค. 57	169	41.5	11.0	8.5	30.5	5.3	3.3
24 ม.ค. 57	172	44.0	13.5	10.3	33.5	8.6	7.1
28 ม.ค. 57	176	41.5	13.0	8.0	31.6	8.8	5.4
30 ม.ค. 57	178	58.0	9.0	7.5	47.0	5.7	4.5
4 ก.พ. 57	183	35.5	5.8	3.0	26.4	2.2	1.8

ตารางที่ ข.5 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	SS (mg/L)			VSS(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6 ก.พ. 57	185	38.5	9.0	6.7	30.5	5.7	3.1
11 มี.ค.57	218	42.3	6.0	5.7	32.7	3.5	2.5
13 มี.ค.57	220	28.6	2.3	2.0	22.8	1.7	0.6
18 มี.ค.57	225	42.0	7.8	5.0	31.9	4.1	2.1
20 มี.ค.57	227	30.5	6.0	4.5	22.3	3.7	1.6
25 มี.ค.57	232	36.0	13.0	12.8	25.0	8.8	3.3
27 มี.ค.57	234	34.0	17.0	2.8	28.1	12.9	1.6
1 เม.ย. 57	239	43.0	13.8	9.8	35.3	9.4	4.7
3 เม.ย.57	241	29.5	10.2	2.8	24.1	7.1	2.1
8 เม.ย.57	246	42.0	8.2	3.2	30.1	5.4	2.3
10 เม.ย.57	248	28.0	4.2	2.3	24.0	3.0	1.6
18 เม.ย.57	256	40.5	4.8	8.5	32.2	3.0	5.1
22 เม.ย.57	260	32.0	4.2	3.2	30.2	3.3	2.8
24 เม.ย.57	262	33.0	5.0	1.3	28.6	3.8	1.1

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยในระยการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	SS (mg/L)			VSS(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	41.4	11.4	2.4	29.8	7.5	1.5
3	262	39.1	13.1	7.4	30.6	8.0	3.9

ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณค่าซีโอดี(COD)ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TCOD (mg/L)			SCOD(mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
15 ส.ค. 56	10	282.4	56.5	28.2	84.7	28.2	7.1
20 ส.ค. 56	15	-	-	-	-	-	-
23 ส.ค. 56	18	96.0	41.1	13.7	54.9	34.3	13.7
27 ส.ค. 56	22	169.4	14.1	14.1	112.9	14.1	7.1
30 ส.ค. 56	25	163.9	46.8	35.1	117.1	46.8	23.4
3 ก.ย. 56	29	265.6	77.1	25.7	137.1	34.3	25.7
6 ก.ย. 56	32	218.2	14.6	14.6	116.4	14.6	14.6
10 ก.ย. 56	36	169.4	42.4	14.1	98.8	14.1	7.1
13 ก.ย. 56	39	150.0	30.0	30.0	60.0	30.0	30.0
17 ก.ย. 56	43	197.7	56.7	28.2	155.3	42.4	7.1
20 ก.ย. 56	46	101.1	50.5	37.9	63.2	44.2	19.0
24 ก.ย. 56	50	175.8	67.6	40.6	121.7	47.3	27.0
27 ก.ย. 56	53	224.0	23.0	6.0	100.0	12.0	4.0
1 ต.ค. 56	57	136.2	25.9	15.7	77.8	11.3	5.2
4 ต.ค. 56	60	40.0	14.0	7.0	32.0	13.0	6.0
8 ต.ค. 56	64	43.0	20.0	10.0	32.0	13.0	8.0
11 ต.ค. 56	67	178.3	27.4	13.7	109.7	13.7	6.9
15 ต.ค. 56	71	166.2	30.8	18.5	92.3	12.3	6.2
18 ต.ค. 56	74	101.1	25.1	19.0	50.5	12.6	6.3
22 ต.ค. 56	78	88.4	44.2	12.6	50.5	25.3	6.3
25 ต.ค. 56	81	98.5	43.1	12.3	73.9	36.9	6.2
29 ต.ค. 56	85	61.4	17.5	16.2	34.4	16.3	10.6
5 พ.ย. 56	92	116.4	21.9	16.3	75.4	15.2	12.5
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง							

ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณค่าซีโอดี(COD)ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TCOD (mg/L)			SCOD (mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
8 พ.ย. 56	95	93.4	26.4	12.4	60.0	11.6	7.3
12 พ.ย. 56	99	102.8	26.3	18.3	65.5	17.0	13.2
14 พ.ย. 56	101	73.4	19.4	13.6	46.5	17.5	10.9
19 พ.ย. 56	106	154.8	29.1	23.7	86.8	24.7	15.7
22 พ.ย. 56	109	171.4	39.9	26.0	120.4	35.2	23.1
26 พ.ย. 56	113	256.8	64.3	36.8	132.1	47.2	20.5
29 พ.ย. 56	116	253.8	64.8	36.4	130.8	46.2	21.1
3 ธ.ค. 56	120	102.4	43.2	33.7	72.2	30.3	26.6
11 ธ.ค. 56	128	174.0	63.5	39.0	118.4	50.3	22.4
13 ธ.ค. 56	130	125.0	35.5	15.6	85.0	30.6	15.5
17 ธ.ค. 56	134	190.4	65.1	38.2	149.2	58.6	32.2
20 ธ.ค. 56	137	184.6	65.2	52.5	132.8	55.7	47.9
24 ธ.ค. 56	141	107.6	69.8	58.6	80.0	56.2	42.6
27 ธ.ค. 56	144	116.8	41.5	24.5	82.2	33.5	16.2
3 ม.ค. 57	151	168.4	72.5	45.6	115.0	45.7	35.5
7 ม.ค. 57	155	158.8	46.2	31.3	94.0	28.8	19.3
9 ม.ค. 57	157	274.4	102.1	55.0	167.0	68.9	44.5
14 ม.ค. 57	162	212.0	52.7	36.0	117.6	38.0	27.5
16 ม.ค. 57	164	197.3	66.8	49.9	149.1	59.0	53.2
21 ม.ค. 57	169	142.1	31.2	19.7	83.0	22.4	9.4
24 ม.ค. 57	172	151.5	43.7	23.7	69.5	21.1	15.4
28 ม.ค. 57	176	218.0	62.5	50.6	155.2	50.9	38.6
30 ม.ค. 57	178	224.8	58.2	49.3	164.0	55.5	47.5
4 ก.พ. 57	183	141.4	41.0	24.4	102.0	28.5	19.3

ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณค่าซีโอดี(COD)ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TCOD (mg/L)			SCOD (mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6 ก.พ. 57	185	179.3	54.9	33.5	125.5	48.5	27.4
11 มี.ค.57	218	205.3	59.0	38.7	150.7	48.3	26.7
13 มี.ค.57	220	102.8	36.9	22.7	61.5	18.3	13.1
18 มี.ค.57	225	131.3	77.7	15.3	77.3	27.0	12.7
20 มี.ค.57	227	75.3	15.3	12.0	46.0	11.3	8.0
25 มี.ค.57	232	82.0	24.3	17.0	44.0	16.3	10.0
27 มี.ค.57	234	178.7	53.3	46.7	128.0	47.0	36.7
1 เม.ย. 57	239	103.3	22.6	15.7	50.0	20.7	10.0
3 เม.ย.57	241	172.7	48.7	43.0	119.3	45.3	32.0
8 เม.ย.57	246	175.3	48.3	39.7	122.7	46.3	37.6
10 เม.ย.57	248	152.0	53.0	44.0	102.0	41.0	35.0
18 เม.ย.57	256	102.7	32.0	18.3	68.0	27.0	15.3
22 เม.ย.57	260	138.0	15.0	6.0	55.4	8.0	4.0
24 เม.ย.57	262	196.0	60.5	47.2	140.1	54.7	37.2

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดี(COD)ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	TCOD (mg/L)			SCOD (mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	147.4	35.9	19.5	84.1	24.2	11.8
3	262	157.6	48.2	32.0	101.8	36.7	24.5

ตารางที่ ข.9 แสดงปริมาณค่าบีโอดี(BOD)ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TBOD (mg/L)			SBOD (mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
3 ก.ย. 56	29	116.5	10.5	9.0	74.0	8.3	7.3
6 ก.ย. 56	32	97.3	18.8	4.0	60.8	8.1	6.0
13 ก.ย. 56	39	77.8	7.6	4.0	20.8	4.8	3.8
20 ก.ย. 56	46	30.9	18.0	3.5	11.8	2.3	1.9
27 ก.ย. 56	53	92.0	10.6	3.6	51.3	2.3	1.4
4 ต.ค. 56	60	17.4	5.7	2.7	11.0	3.1	1.8
11 ต.ค. 56	67	114.6	18.6	6.5	56.1	9.8	4.2
18 ต.ค. 56	74	89.2	10.6	8.0	44.2	3.6	1.6
25 ต.ค. 56	81	67.3	19.9	9.4	32.4	10.3	4.8
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง							
8 พ.ย. 56	95	68.1	18.8	10.9	31.9	8.6	4.9
14 พ.ย. 56	101	30.4	8.9	5.2	18.4	1.9	1.4
22 พ.ย. 56	109	60.8	13.1	7.0	29.6	7.1	3.6
29 พ.ย. 56	116	57.8	12.4	1.6	20.0	5.3	0.5
13 ธ.ค. 56	130	43.6	12.2	3.2	32.2	5.9	2.3
20 ธ.ค. 56	137	70.9	25.7	5.1	20.4	5.3	2.8
27 ธ.ค. 56	144	66.3	23.3	8.0	24.4	5.5	1.9
3 ม.ค. 57	151	65.7	19.5	6.6	23.5	8.7	5.2
9 ม.ค. 57	157	91.4	22.2	5.1	42.3	8.6	1.5
16 ม.ค. 57	164	63.1	21.1	2.4	46.8	3.7	1.5
24 ม.ค. 57	172	44.1	11.3	2.4	27.1	3.5	1.1
30 ม.ค. 57	178	54.7	11.0	4.2	24.0	3.6	0.7
6 ก.พ. 57	185	47.5	12.2	5.5	25.5	5.0	1.1
20 มี.ค. 57	227	46.7	11.2	5.1	31.2	4.7	2.9

ตารางที่ ข.9 แสดงปริมาณค่าบีโอดี(BOD)ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TBOD (mg/L)			SBOD (mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
20 มี.ค.57	234	64.5	26.1	6.3	31.8	5.6	2.6
3 เม.ย.57	241	72.4	20.0	3.8	47.2	4.8	1.6
18 เม.ย.57	256	51.2	12.7	4.5	30.0	5.9	2.5
24 เม.ย.57	262	74.0	20.4	2.4	40.9	7.6	1.9

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าเฉลี่ยบีโอดี(BOD)ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	TBOD (mg/L)			SBOD (mg/L)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	78.1	13.3	5.6	40.2	5.8	3.6
3	262	59.6	16.8	5.2	29.8	5.5	2.2

ตารางที่ ข.11 แสดงปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ออกจากระบบบำบัด

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	Excess Sludge (mg/L)	
		SS	VSS
4 ต.ค.56	60	0.05	0.05
11 ต.ค.56	67	0.41	0.17
18 ต.ค.56	74	0.23	0.1
25 ต.ค.56	81	0.61	0.27
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง			
8 พ.ย. 56	95	3.3	1.5
14 พ.ย. 56	101	7.5	3.1
22 พ.ย. 56	109	7.7	3.2
29 พ.ย. 56	116	12.5	5.5
20 ธ.ค. 56	137	31.7	14.9
27 ธ.ค. 56	144	17.4	8.0
3 ม.ค. 57	151	20.4	9.3
9 ม.ค. 57	157	25.6	11.6
16 ม.ค. 57	164	14.9	6.5
24 ม.ค. 57	172	8.8	4.0
30 ม.ค. 57	178	5.8	2.7
6 ก.พ. 57	185	5.9	2.7
20 มี.ค.57	227	2.2	1.0
27 มี.ค.57	234	2.3	1.0
3เม.ย. 57	241	4.2	2.3
10เม.ย. 57	248	4.5	2.5
22เม.ย. 57	256	6.8	4.1

ตารางที่ ข.12 แสดงความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนเตรตและไนไตร์ในน้ำเสี้ยวชุมชนก่อนและหลังการบำบัด

วันที่	Ammonia (mg-N/l)			Nitrate (mg-N /l)			Nitrite (mg-N/l )		
	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
15 ส.ค. 56	23.07	0.45	0.45	1.0	7.9	7.2	0.021	0.005	0.003
20 ส.ค. 56	40.15	2.26	0.44	3.5	14.6	9.9	0.098	2.479	0.002
23 ส.ค. 56	21.77	0.26	0.13	2.5	7.0	5.4	0.094	0.101	0.001
27 ส.ค. 56	30.37	0.44	0.16	4.0	11.9	12.3	0.104	0.098	0.002
30 ส.ค. 56	30.55	1.18	0.09	4.0	11.2	12.3	0.130	0.358	0.002
3 ก.ย. 56	33.79	4.69	0.17	4.6	10.9	11.0	0.128	0.005	0.001
6 ก.ย. 56	40.03	2.8	0.44	4.8	12.2	14.8	0.146	0.559	0.003
10 ก.ย. 56	35.21	0.81	0.03	4.4	8.6	10.4	0.108	0.219	0.002
13 ก.ย. 56	14.18	0.87	0.69	2.4	9.5	10.7	0.077	0.035	0.002
17 ก.ย. 56	28.01	0.49	0.28	4.1	8.0	7.1	0.105	0.169	0.004
20 ก.ย. 56	5.51	0.20	0.14	2.1	5.1	6.5	0.266	0.002	0.001
24 ก.ย. 56	32.77	0.47	0.16	4.8	9.6	9.9	0.114	0.045	0.002
27 ก.ย. 56	32.06	0.25	0.15	3.8	10.4	12.2	0.136	0.621	0.008
1 ต.ค. 56	32.38	0.22	0.11	5.1	12.4	11.6	0.119	0.013	0.004
4 ต.ค. 56	10.29	1.42	0.23	3.1	9.1	8.7	0.361	0.050	0.026
8 ต.ค. 56	13.06	0.12	0.11	2.4	7.1	7.3	0.061	0.005	0.001
11 ต.ค. 56	31.63	0.60	0.12	4.8	12.1	12.8	0.107	0.050	0.005
15 ต.ค. 56	34.19	0.73	0.09	4.4	11.3	10.1	0.115	0.448	0.002
18 ต.ค. 56	17.52	0.14	0.11	2.1	9.4	8.2	0.036	0.003	0.001
22 ต.ค. 56	17.21	0.18	0.11	1.4	10.2	9.8	0.025	0.042	0.009
25 ต.ค. 56	20.02	0.53	0.51	1.8	10.8	11.9	0.031	0.012	0.004
29 ต.ค. 56	19.89	0.51	0.47	1.9	10.4	11.3	0.237	0.028	0.007
5 พ.ย. 56	21.70	0.65	0.45	1.3	10.7	10.5	0.027	0.047	0.063
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง									
8 พ.ย. 56	18.31	2.28	0.52	1.6	8.2	8.1	0.176	0.143	0.115
12 พ.ย. 56	21.30	2.60	0.92	1.4	9.9	9.9	0.020	0.756	0.795

ตารางที่ ข.12 แสดงความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนเตรตและไนไตร์ในน้ำเสียดื่มชนก่อนและหลังการ  
บำบัด(ต่อ)

วันที่	Ammonia (mg-N/l)			Nitrate (mg-N /l)			Nitrite (mg-N/l )		
	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
14 พ.ย. 56	16.35	1.97	0.56	1.2	8.3	8.5	0.074	0.036	0.038
19 พ.ย. 56	27.88	10.74	0.53	1.9	8.8	11.1	0.042	0.097	0.654
22 พ.ย. 56	33.78	15.43	0.62	1.8	10.7	12.3	0.037	0.976	0.380
26 พ.ย. 56	31.91	14.32	0.58	1.9	9.8	11.5	0.041	0.982	0.293
29 พ.ย. 56	18.35	4.75	0.58	2.0	11.4	10.3	0.020	0.824	0.026
3 ธ.ค. 56	24.73	6.31	0.48	2.1	13.4	12.9	0.019	0.506	0.052
11 ธ.ค. 56	28.74	8.07	0.55	2.1	12.3	13.0	0.028	1.205	0.033
13 ธ.ค. 56	25.93	8.78	0.62	2.4	11.8	13.1	0.048	1.015	0.196
17 ธ.ค. 56	30.07	5.73	0.52	2.6	12.8	13.2	0.030	0.231	0.033
20 ธ.ค. 56	26.25	13.13	0.51	2.1	11.7	13.6	0.019	0.959	0.121
24 ธ.ค. 56	32.08	6.90	0.46	2.7	12.8	10.6	0.033	1.515	0.204
27 ธ.ค. 56	23.44	3.32	0.47	1.8	12.3	11.2	0.027	2.045	0.039
3 ม.ค. 57	35.69	7.54	0.59	1.9	11.8	14.5	0.037	0.962	0.038
7 ม.ค. 57	30.61	3.27	0.53	2.0	12.3	13.8	0.023	0.422	0.036
9 ม.ค. 57	38.84	6.87	0.57	2.4	14.2	13.8	0.031	0.190	0.049
14 ม.ค. 57	39.23	3.85	0.47	2.5	15.5	16.4	0.034	0.596	0.023
16 ม.ค. 57	30.21	2.73	0.46	2.1	14.7	15.3	0.019	0.349	0.039
21 ม.ค. 57	32.89	2.70	0.47	2.6	14.6	15.4	0.025	0.225	0.026
24 ม.ค. 57	33.59	3.51	0.54	2.5	13.5	12.0	0.034	0.196	0.032
28 ม.ค. 57	32.28	2.50	0.32	1.9	11.2	13.9	0.017	0.161	0.036
30 ม.ค. 57	35.01	3.38	0.50	2.1	14.1	15.2	0.027	0.166	0.091
4 ก.พ. 57	37.08	1.44	0.68	2.0	14.3	12.8	0.016	0.198	0.020
6 ก.พ. 57	28.64	1.02	0.53	1.4	12.6	13.4	0.081	0.092	0.072
11 มี.ค.57	32.85	1.82	0.47	2.7	10.2	11.2	0.030	0.112	0.029
13 มี.ค.57	21.88	1.98	0.49	2.4	9.7	10.2	0.029	0.188	0.021
18 มี.ค.57	29.86	2.90	0.47	2.6	12.1	13.2	0.024	0.311	0.023

ตารางที่ ข.12 แสดงความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนเตรตและไนไตร์ในน้ำเสี้ยวชุมชนก่อนและหลังการ  
บำบัด(ต่อ)

วันที่	Ammonia (mg-N/l)			Nitrate (mg-N /l)			Nitrite (mg-N/l )		
	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
20 มี.ค.57	23.62	3.33	0.51	2.2	9.6	9.0	0.026	0.508	0.020
25 มี.ค.57	26.12	3.10	0.54	2.9	12.1	11.5	0.042	0.812	0.022
27 มี.ค.57	30.28	3.98	0.44	3.8	12.0	11.8	0.040	0.261	0.009
1 เม.ย. 57	29.37	5.21	0.43	1.9	10.0	13.0	0.025	0.414	0.033
3 เม.ย.57	27.32	8.22	0.54	2.1	9.4	11.5	0.022	0.436	0.139
8 เม.ย.57	28.64	8.84	0.48	2.2	8.8	13.0	0.023	0.588	0.018
10 เม.ย.57	23.29	6.07	0.42	2.0	12.2	12.0	0.020	0.844	0.014
18 เม.ย.57	23.59	9.32	0.42	3.1	10.9	13.4	0.024	0.527	0.021
22 เม.ย.57	29.93	7.22	0.47	2.7	10.1	11.2	0.021	0.471	0.019
24 เม.ย.57	25.82	7.21	0.38	3.1	12.9	10.1	0.109	0.216	0.073

ตารางที่ ข.13 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนเตรตและไนไตร์ในระยะการกักเก็บน้ำเสี้ยวที่ 6  
และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	Ammonia (mg-N/l)			Nitrate (mg-N /l)			Nitrite (mg-N/l )		
	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	25.5	0.9	0.2	3.2	10.0	10.1	0.115	0.235	0.007
3	28.6	5.6	0.5	2.2	11.7	12.3	0.037	0.571	0.102

ตารางที่ ข.14 แสดงความเข้มข้นไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัด

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	Total-Nitrogen (mg-N/l)			Soluble-Nitrogen (mg-N/l)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
15 ส.ค. 56	10	28.88	9.94	9.23	-	-	-
20 ส.ค. 56	15	43.80	21.10	13.06	-	-	-
23 ส.ค. 56	18	-	-	-	-	-	-
27 ส.ค. 56	22	35.44	14.61	14.33	-	-	-
30 ส.ค. 56	25	-	-	-	-	-	-
3 ก.ย. 56	29	43.42	19.60	15.64	40.51	16.99	14.48
6 ก.ย. 56	32	46.98	22.03	22.92	46.00	18.56	20.16
10 ก.ย. 56	36	45.08	15.48	14.75	41.70	14.33	14.46
13 ก.ย. 56	39	20.01	15.07	13.50	18.80	13.91	13.10
17 ก.ย. 56	43	7.43	6.48	5.00	7.02	6.35	4.05
20 ก.ย. 56	46	9.18	5.94	5.00	8.24	5.67	4.46
24 ก.ย. 56	50	46.50	18.58	12.73	42.93	15.20	10.56
27 ก.ย. 56	53	46.94	29.61	25.49	40.37	26.65	23.13
1 ต.ค. 56	57	45.56	34.76	25.84	43.86	25.81	22.26
4 ต.ค. 56	60	24.16	13.86	10.93	22.11	11.48	10.43
8 ต.ค. 56	64	19.53	10.74	8.59	17.24	8.79	8.28
11 ต.ค. 56	67	39.22	22.12	18.11	37.58	20.53	15.24
15 ต.ค. 56	71	37.70	19.10	15.30	36.50	17.90	14.20
18 ต.ค. 56	74	26.34	10.88	9.13	24.89	10.12	8.64
22 ต.ค. 56	78	21.57	12.69	11.20	20.02	11.77	9.88
25 ต.ค. 56	81	23.34	15.01	11.58	22.01	13.51	10.22
29 ต.ค. 56	85	25.25	14.72	12.96	23.90	13.77	11.48
5 พ.ย. 56	92	25.24	13.19	12.11	23.53	12.42	11.71
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง							

ตารางที่ ข.14 แสดงความเข้มข้นไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัด (ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	Total-Nitrogen (mg-N/l)			Soluble-Nitrogen (mg-N/l)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
8 พ.ย. 56	95	25.56	15.77	10.30	23.67	11.84	9.97
12 พ.ย. 56	99	27.41	17.82	14.85	24.44	17.28	14.18
14 พ.ย. 56	101	20.51	14.87	10.12	18.63	13.72	9.25
19 พ.ย. 56	106	35.65	24.72	17.34	32.15	22.42	15.05
22 พ.ย. 56	109	39.08	32.11	16.72	36.79	29.01	14.88
26 พ.ย. 56	113	42.89	30.12	15.18	34.26	27.38	13.77
29 พ.ย. 56	116	26.88	20.12	14.36	24.36	18.55	12.35
3 ธ.ค. 56	120	31.78	24.11	16.08	29.93	22.13	14.65
11 ธ.ค. 56	128	38.17	26.21	18.89	35.44	23.79	16.64
13 ธ.ค. 56	130	36.38	28.11	22.89	32.97	23.62	20.91
17 ธ.ค. 56	134	43.20	25.56	22.95	37.10	23.75	22.55
20 ธ.ค. 56	137	40.59	28.08	27.20	34.22	26.15	24.12
24 ธ.ค. 56	141	41.25	30.17	26.39	36.12	26.83	24.11
27 ธ.ค. 56	144	35.15	22.13	19.11	28.22	22.43	17.73
3 ม.ค. 57	151	40.12	27.52	25.76	38.31	24.68	23.92
7 ม.ค. 57	155	38.75	27.92	23.97	34.41	23.65	21.08
9 ม.ค. 57	157	46.78	31.03	30.11	44.93	29.96	27.55
14 ม.ค. 57	162	45.76	39.13	31.62	43.54	35.44	32.11
16 ม.ค. 57	164	40.91	32.11	29.57	37.73	27.75	27.41
21 ม.ค. 57	169	42.12	29.77	27.11	39.75	27.52	26.02
24 ม.ค. 57	172	41.73	34.45	30.29	39.36	29.40	27.78
28 ม.ค. 57	176	42.62	29.91	27.55	38.80	25.33	23.01
30 ม.ค. 57	178	42.22	24.12	20.57	37.41	22.89	17.11
4 ก.พ. 57	183	52.24	29.11	27.12	47.16	26.22	22.10

ตารางที่ ข.14 แสดงความเข้มข้นไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัด (ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	Total-Nitrogen (mg-N/l)			Soluble-Nitrogen (mg-N/l)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6 ก.พ. 57	185	35.92	20.91	20.15	33.48	20.01	17.22
11 มี.ค.57	218	42.13	25.44	19.35	38.17	22.11	19.22
13 มี.ค.57	220	31.12	21.57	18.22	28.17	21.11	17.23
18 มี.ค.57	225	41.15	22.71	20.20	37.81	21.97	19.31
20 มี.ค.57	227	34.52	24.91	20.11	31.17	22.12	18.62
25 มี.ค.57	232	38.19	22.98	20.17	35.22	22.11	19.89
27 มี.ค.57	234	42.44	25.23	21.08	39.51	23.06	20.62
1 เม.ย. 57	239	43.45	24.17	21.31	39.22	22.14	19.21
3 เม.ย.57	241	39.44	25.31	22.37	36.12	24.11	19.05
8 เม.ย.57	246	45.70	29.00	23.80	40.50	25.20	19.90
10 เม.ย.57	248	36.18	22.82	21.22	32.17	22.55	19.14
18 เม.ย.57	256	42.15	21.72	21.14	35.14	21.07	20.11
22 เม.ย.57	260	42.09	25.27	24.77	38.57	23.41	23.12
24 เม.ย.57	262	44.31	24.14	21.08	40.22	22.13	20.98

ตารางที่ ข.15 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นไนโตรเจนในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3 ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	Total-Nitrogen (mg-N/l)			Soluble-Nitrogen (mg-N/l)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	31.5	16.5	13.7	28.7	14.7	12.6
3	262	38.9	25.8	21.6	35.1	23.5	19.8

ตารางที่ ข.16 แสดงปริมาณค่า E. coli และ Total-coliform ในน้ำเสี้ยวชุมชนก่อนและหลังการบำบัด

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	E. coli (CFU/ml)			Total-coliform (CFU/ml)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
23 ส.ค. 56	18	3,000	20	0	2,000	30	0
27 ส.ค. 56	22	78,500	20	10	410,000	120	20
30 ส.ค. 56	25	113,500	0	0	209,000	1733	0
10 ก.ย. 56	36	230,000	110	0	600,000	195	7
17 ก.ย. 56	43	37,500	100	0	116,000	767	4
24 ก.ย. 56	50	34,000	10	0	280,000	1,823	0
1 ต.ค. 56	57	45,500	0	0	51,500	175	1
8 ต.ค. 56	64	48,000	30	0	174,000	6,757	1
15 ต.ค. 56	71	58,500	20	0	73,000	1,443	135
22 ต.ค. 56	78	18,500	10	0	33,000	255	13
29 ต.ค. 56	85	4,000	75	2	6,000	160	15
5 พ.ย. 56	92	57,500	515	2	58,000	990	52
ลดระยะเวลาการกักเก็บ(HRT) เป็น 3 ชั่วโมง							
12 พ.ย. 56	99	38,000	40	2	49,500	140	136
19 พ.ย. 56	106	45,500	590	12	68,000	1800	46
26 พ.ย. 56	113	40,500	750	18	44,000	2100	42
3 ธ.ค. 56	120	23,000	70	1	31,500	640	3
13 ธ.ค. 56	130	14,000	20	2	27,000	40	9
17 ธ.ค. 56	134	4,0000	70	4	49,000	790	41
24 ธ.ค. 56	141	19,500	65	2	30,500	870	99
7 ม.ค. 57	155	38,500	620	7	51,500	920	34
14 ม.ค. 57	162	39,500	20	15	56,500	905	76
21 ม.ค. 57	169	8,500	30	2	14,500	415	170
28 ม.ค. 57	176	28,000	90	18	54,500	350	210

ตารางที่ ข.16 แสดงปริมาณค่า E. coli และ Total-coliform ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัด  
(ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	E. coli (CFU/ml)			Total-coliform (CFU/ml)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
4 ก.พ. 57	183	20000	90	9	57000	530	80
11 มี.ค. 57	218	63000	20	1	99500	165	58
18 มี.ค. 57	225	41500	10	3	51000	625	135
25 มี.ค. 57	232	42500	75	3	59000	690	140
1 เม.ย. 57	239	69000	437	2	114000	3600	385
8 เม.ย. 57	246	33000	90	2	71000	847	59
22 เม.ย.57	260	47,000	95	4	84,000	837	74

ตารางที่ ข.17 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณ E. coli และ Total-coliform ในระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ 6 และ 3  
ชั่วโมง

HRT (ชั่วโมง)	ระยะเวลา (วัน)	E. coli (CFU/ml)			Total-coliform (CFU/ml)		
		Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS	Sewage	1 <sup>st</sup> DHS	2 <sup>nd</sup> DHS
6	85	60,708	76	1	167,708	1,204	21
3	262	36,000	172	6	57,000	901	98

**ภาคผนวก ค**

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ในแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์

ตารางที่ ค.1 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะการกักเก็บ (HRT) 6 ชั่วโมง

	พารามิเตอร์	HRT 6 ชั่วโมง (วันที่ 86 ทำการทดลอง)						
		A1	A3	A5	B1	B3	B5	BC
Spot samples	อุณหภูมิ (°C)	29.3	30.8	29.8	29.6	28.8	28.4	28.0
	พีเอช	7.41	7.46	7.31	7.82	7.77	7.86	8.20
	ORP (mV)	-270	56	86	83	100	102	101
	DO (mg/L)	0.42	3.21	3.58	5.23	5.30	5.56	5.77
Sludge experiment	SS (mg/L)	9,395	13,185	14,570	16,318	16,498	18,425	-
	VSS (mg/L)	5,350	6,498	6,490	6,713	5,625	5,900	-
	Sludge conc. SS (mg/L-sponge)	49,973	51,430	63,722	57,864	48,752	43,588	-
	Sludge conc. VSS (mg/L-sponge)	28,457	25,345	28,384	23,803	16,622	13,948	-
	TCOD (mg/L)	9,870	12,240	9,833	10,570	8,610	9,560	-
Profile experiment	SS (mg/L)	45	27	25.5	18.8	11.3	5.8	2.5
	VSS (mg/L)	41	19	18.8	16.5	7.7	3.8	2.3
	TCOD (mg/L)	84	49	23	16	9	8	7
	SCOD (mg/L)	37	22	11	9	8	6	5
	TBOD (mg/L)	70.2	47.7	21.7	15.5	7.6	5.8	4.3
	SBOD (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-
	Ammonia (mg-N/L)	13.75	13.05	2.93	0.46	0.44	0.45	0.45
	Nitrate (mg-N/L)	3.2	5.8	9.2	9.6	8.3	9.4	10.2
	Nitrite (mg-N/L)	0.028	1.943	0.093	0.014	0.011	0.019	0.410
	Total Nitrogen	23.01	21.25	18.90	18.90	16.20	14.52	13.50
	Soluble Nitrogen	22.28	20.93	16.20	18.58	14.85	14.18	14.23
	E. coli (CFU/mL)	19,000	1,600	150	30	10	2	2
Total coliforms (CFU/mL)	44,500	1,900	370	70	40	19	11	

ตารางที่ ค.2 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะการกักเก็บ (HRT) 3 ชั่วโมง

	พารามิเตอร์	HRT 3 ชั่วโมง (วันที่ 190 ทำการทดลอง)						
		A1	A3	A5	B1	B3	B5	BC
Spot samples	อุณหภูมิ (°C)	28.8	29.2	28.9	28.0	28.4	28.2	28.1
	พีเอช	7.47	7.15	7.09	7.11	7.53	7.81	7.89
	ORP (mV)	-306	24	82	110	106	100	98
	DO (mg/L)	0.20	3.62	3.76	4.13	5.26	5.44	5.87
Sludge experiment	SS (mg/L)	8,915	4,408	10,063	16,395	17,503	19,233	-
	VSS (mg/L)	4,985	3,003	4,995	7,970	7,485	7,005	-
	Sludge conc. SS (mg/L-sponge)	49,926	23,644	41,630	54,262	51,721	47,740	-
	Sludge conc. VSS (mg/L-sponge)	26,669	15,971	20,665	26,378	22,119	17,388	-
	TCOD (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-
Profile experiment	SS (mg/L)	38.5	21.8	10	8.7	7.5	5.5	4.8
	VSS (mg/L)	30.6	13.7	6.5	6.1	4.7	3.0	2.7
	TCOD (mg/L)	195	122	59	33	32	28	22
	SCOD (mg/L)	115	76	39	31	25	21	16
	TBOD (mg/L)	55.4	22	14.2	13.4	6.0	4.1	3.7
	SBOD (mg/L)	25.0	14.3	9.4	5.5	3.5	2.6	0.9
	Ammonia (mg-N/L)	30.38	22.72	9.42	1.49	0.94	0.48	0.48
	Nitrate (mg-N/L)	3.0	8.4	9.0	13.4	14.2	13.4	14.8
	Nitrite (mg-N/L)	0.032	1.005	0.124	0.167	0.142	0.025	0.053
	Total Nitrogen	40.01	37.12	30.07	27.22	24.85	24.04	29.95
	Soluble Nitrogen	36.45	34.43	28.11	25.23	24.06	23.44	23.16
	E. coli (CFU/mL)	36500	1100	850	90	40	25	2
Total coliforms (CFU/mL)	59500	2700	2300	460	220	153	40	

**ภาคผนวก ง**

**ประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์**

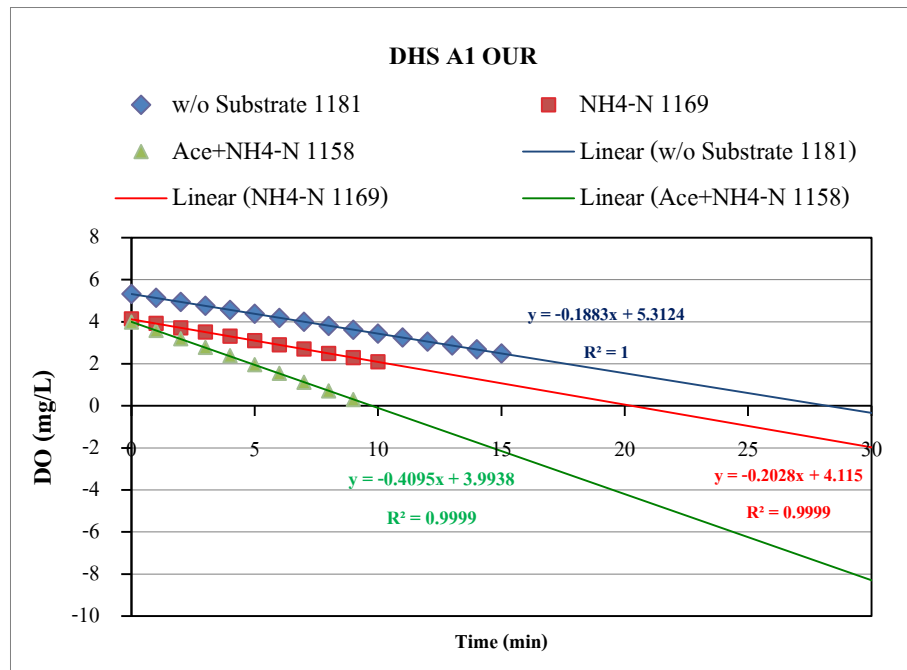
**ในกระบวนการต่างๆ**

ตารางที่ ง.1 ตารางบันทึกค่าดีไอที่ลดลงจากการทำปฏิกิริยาต่างๆ ของจุลินทรีย์

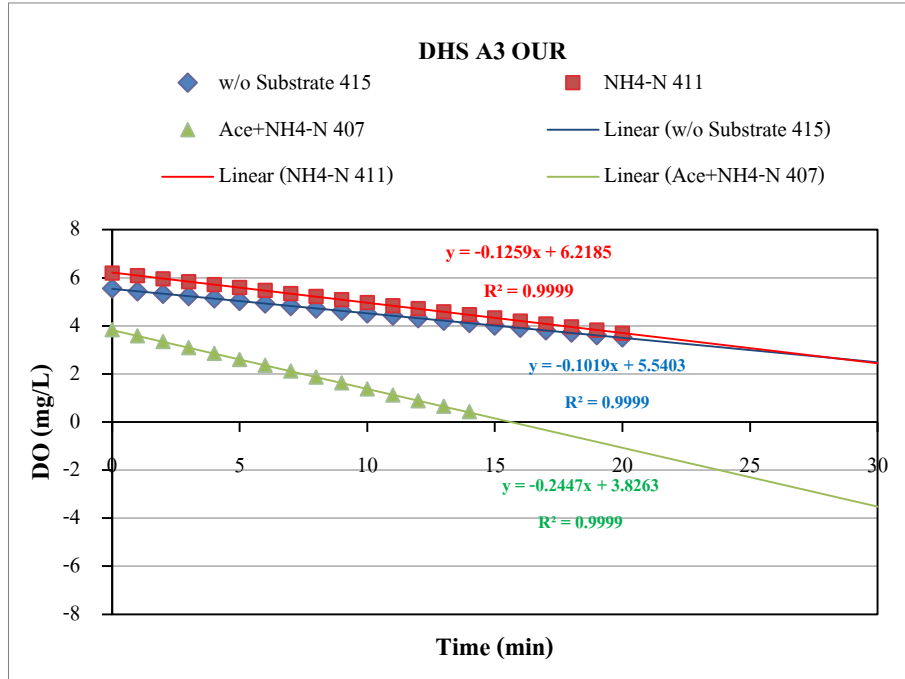
Time (min)	DO of A1 (mg/l)			DO of A3 (mg/l)			DO of A5 (mg/l)		
	w/o Substrate	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HAc	w/o Substrate	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HAc	w/o Substrate	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HAc
0	5.31	4.13	3.97	5.55	6.20	3.83	6.86	5.87	4.72
1	5.13	3.91	3.58	5.44	6.09	3.58	6.80	5.78	4.62
2	4.94	3.70	3.18	5.33	5.96	3.34	6.74	5.71	4.54
3	4.75	3.50	2.78	5.24	5.84	3.09	6.67	5.64	4.46
4	4.56	3.30	2.38	5.14	5.72	2.85	6.60	5.57	4.35
5	4.37	3.10	1.95	5.03	5.59	2.6	6.55	5.49	4.26
6	4.18	2.90	1.54	4.93	5.47	2.36	6.48	5.44	4.16
7	3.99	2.70	1.12	4.82	5.34	2.12	6.40	5.37	4.07
8	3.80	2.49	0.71	4.72	5.22	1.87	6.32	5.30	3.97
9	3.61	2.29	0.30	4.62	5.09	1.62	6.27	5.23	3.88
10	3.43	2.09	0.03	4.52	4.97	1.37	6.20	5.16	3.77
11	3.24			4.42	4.84	1.12	6.13	5.09	3.69
12	3.05			4.31	4.71	0.88	6.07	5.01	3.59
13	2.87			4.21	4.58	0.65	6.0	4.94	3.48
14	2.68			4.11	4.46	0.42	5.93	4.88	3.40
15	2.49			4.01	4.33		5.87	4.80	3.29
16				3.91	4.20		5.80	4.73	3.20
17				3.81	4.08		5.73	4.66	3.10
18				3.71	3.95		5.67	4.58	3.00
19				3.61	3.82		5.60	4.52	2.91
20				3.51	3.69		5.54	4.48	2.81
21							5.47	4.40	2.71
22							5.41		2.61
23							5.35		
24							5.29		
25							5.21		
26							5.16		

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกค่าดีไอที่ลดลงจากการทำปฏิกิริยาต่างๆ ของจุลินทรีย์ (ต่อ)

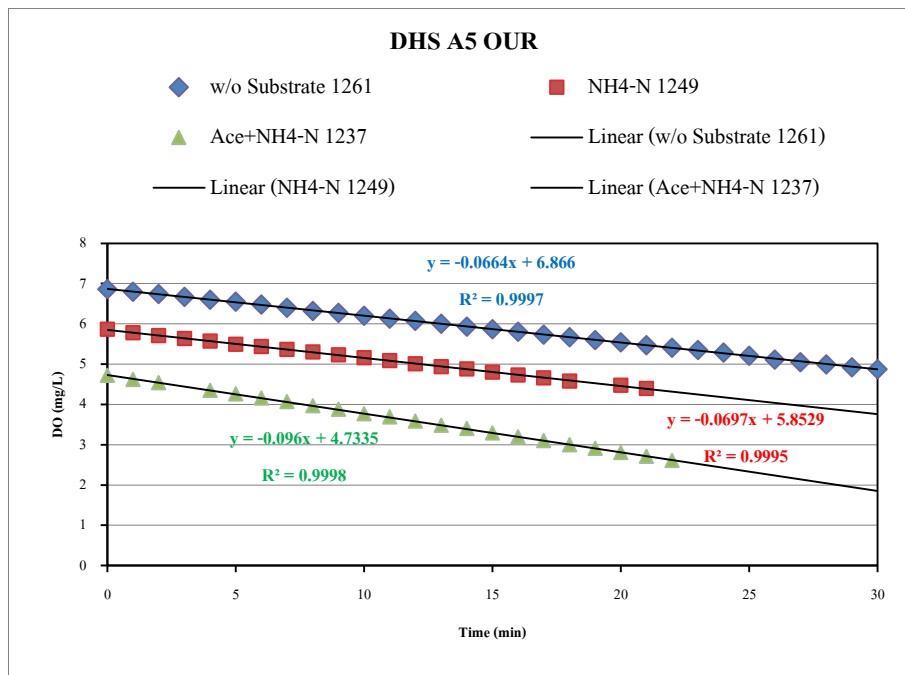
Time (min)	DO of A1 (mg/l)			DO of A3 (mg/l)			DO of A5 (mg/l)		
	w/o Substrate	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HAc	w/o Substrate	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HAc	w/o Substrate	NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HAc
27							5.11		
28							5.05		
29							4.99		
30							4.92		
31							4.87		
32							4.81		
33							4.75		
34							4.69		
35							4.63		



รูปที่ 1 แสดงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ของจุลินทรีย์ในคอลัมน์ A1



รูปที่ ๓.2 แสดงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ของจุลินทรีย์ในคอลัมน์ A3



รูปที่ ๓.3 แสดงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ของจุลินทรีย์ในคอลัมน์ A5

ตารางที่ ง.2 แสดงประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake Rate, OUR) ของจุลินทรีย์ที่  
ใช้และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลายในระบบ DHS

การทดลอง OUR (ความชันของกราฟ)

mg/L min	without substrate	withNH <sub>4</sub> -N	with acetate and NH <sub>4</sub>
DHS A1	0.1883	0.2028	0.2933
DHS A3	0.1019	0.1259	0.2447
DHS A5	0.0664	0.0697	0.0961

ปริมาณจุลชีพในตัวอย่างฟองน้ำที่ขึ้นความสูง

mgVSS/L	without substrate	withNH <sub>4</sub> -N	with acetate and NH <sub>4</sub>
DHS A1	1181	1169	1158
DHS A3	415	411	407
DHS A5	1261	1249	1237

ปริมาณการใช้ OUR

gO <sub>2</sub> /gVSS day	without substrate	withNH <sub>4</sub> -N	with acetate and NH <sub>4</sub>
DHS A1	0.230	0.250	0.365
DHS A3	0.354	0.442	0.867
DHS A5	0.076	0.080	0.112

ปริมาณการใช้ OUR ของจุลินทรีย์แต่ละชนิด

gO <sub>2</sub> /gVSS day	Endogenous	Heterotrophic	Nitrification
A1	0.230	0.115	0.020
A3	0.354	0.425	0.088
A5	0.076	0.032	0.005

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายธราดล บุญเพิ่ม
วัน เดือน ปีเกิด	14 มีนาคม 2532
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ระยองมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสระบุรีวิทยาคม พ.ศ. 2549
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2554
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2556
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยระดับบัณฑิต ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยแห่งชาติประเทศไทย ญี่ปุ่น (NIES)
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Boonperm, T., Yoochatchaval, W., Onodera, T., Sumino, H., Miyaoka, Y., Fujita, T., Okadera, T., Mizuochi, M., Syutsubo, K., 2014, “The Down-flow Hanging Sponge (DHS) for Sewage Treatment System at Small Community in Bangkok”, <b>Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Engineering Science and Management</b> , 26-28 March 2014, The Twin Towers Hotel, Bangkok, Thailand, pp. 19-20.