



การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลง

นายเกียรติชัย สังข์สม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2555

การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลง

นายเกียรติชัย สังข์สม วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.ปราน บรรจงปฐ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลง
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายเกียรติชัย สังข์สม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลง โดยทำการทดลองที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร โดยระบบฟองน้ำแขวนไหลลงนี้จะออกแบบเป็น 2 ปฏิกรณ์ต่ออนุกรมกัน ป้อนน้ำเสียชุมชนเข้าระบบอย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะอากาศปกติ เริ่มเดินระบบที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงลดเวลากักเก็บน้ำลงเป็น 2, 1.5 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ จากการศึกษาาระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลงเป็นระยะเวลามากกว่า 300 วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ และเชื้อโรคในน้ำเสียชุมชนได้ดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมง จากผลการทดลองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 75-86% และมีความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากกว่า 90% นอกจากนี้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดอี.โคไล (*E. coli*) และโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliforms) สูงมาก (99% และ 98%) หรือปริมาณที่เหลือน้ำกับน้ำออกจากระบบคือ 8 และ 184 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียที่แต่ละระดับความสูงของปฏิกรณ์พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ และเชื้อโรคได้อย่างต่อเนื่องตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ และได้ศึกษาคุณสมบัติน้ำเสียจำแนกตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้งานวิจัยได้ศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์จากฟองน้ำ (Oxygen Uptake Rate) ในวันที่ 186 ของการทดลอง พบว่าที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง จุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย มีความสามารถในการใช้ออกซิเจน

สูงสุด จากการดำเนินระบบ และผลการทดลองทำให้ได้ข้อสรุปว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟองน้ำแขวนไหลลง มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่ำจากโรงควบคุมคุณภาพทุ่งครุ เมื่อกำหนดค่าใช้จ่ายการเดินระบบแล้ว ระบบนี้จึงเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา

คำสำคัญ : ฟองน้ำแขวนไหลลง/ อัตราการใช้ออกซิเจน/ อี.โคไล/ โคลิฟอร์มทั้งหมด/ ซีเอฟยู

Thesis Title	The Development of Down-flow Hanging Sponge (DHS) for Sewage Treatment System
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Kiattichai Sungsom
Thesis Advisor	Dr. Wilasinee Yoochatchaval
Program	Master of Engineering
Field of Study	Environmental Engineering
Department	Environmental Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2555

Abstract

This study investigated the process performance of Down-flow Hanging Sponge (DHS) system for the treatment of municipal wastewater at Thungkru wastewater treatment plant, Bangkok. The DHS system was designed with 2 DHS reactors combined in series. The reactors were fed continuously with municipal wastewater under ambient temperature. The reactors were started up with 4-hour HRT, and then the HRT was reduced to 2 hours, 1.5 hours, and 1 hour. This system was operated for more than 300 days, and the study on the DHS system revealed that the 1.5-hour HRT was the best point with regard to the high carbonaceous and pathogens removal efficiency. The DHS system could eliminate 75-86% of organic substances whereas it could remove more than 90% of suspended solids. Moreover, this system could greatly eliminate *E. coli* and total coliforms. Its removal efficiency was 99.4% for *E. coli* and 98.1% for total coliforms. In other words, the residues that remained were 8 and 184 CFU/ml, respectively. According to the investigation on the wastewater and the different levels of height of the reactors, the higher the reactors are the greater amount of organic substances and pathogens that could be eliminated. The quality of water of each level of height was significantly different. On the 186th day of the experiment, the Oxygen Uptake Rate (OUR) of both autotrophic and heterotrophic microorganisms were observed. The study on the 186th day revealed that the activity of sludge showed the greatest amounts of oxygen used by both heterotrophic and autotrophic microorganisms during the period of 2-hour HRT. With the long-term operation and maintenance data, it can be concluded that the DHS system is suitable for the

treatment of municipal wastewater. Due to the low operation cost and maintenance, the DHS system can cope with low-strength sewage in developing countries.

Keywords: Down-flow Hanging Sponge/ Oxygen Uptake Rate (OUR)/ *E. coli*/ Total coliforms/
CFU

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ Dr. Kazuaki Syutsubo และ Dr. Takeshi Onodera จากสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ประเทศญี่ปุ่น) ที่กรุณาให้คำแนะนำ การแก้ปัญหา รวมถึงเป็นที่ปรึกษาด้านต่างๆ ที่ให้ประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ และ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำและเสนอแนะในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ ดร.ปธาน บรรจงปรุ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ปรับปรุงวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณจงกลณี ประดิษฐ์พงศ์ และคุณพิระดา ว่องเกษฎา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการทดลองต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์ และการอำนวยความสะดวกทางการทดลอง ขอขอบคุณ คุณเด่นใจ โพธิ์ทอง และคุณนวลจันทร์ เลาสศิริชัยกุล เจ้าหน้าที่ธุรการที่ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องการเงิน และเอกสารต่างๆ ขอขอบพระคุณทุนวิจัยจาก National Institute for Environmental Studies (NIES); JAPAN สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือในงานวิจัย ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๑๑
รายการรูปประกอบ	๑๑
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๑

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำเสียชุมชน	4
2.2 ระบบ Down flow Hanging Sponge (DHS)	6
2.2.1 ชนิดของถังปฏิกรณ์ DHS	7
2.2.2 การศึกษาระบบ DHS	8
2.2.3 เปรียบเทียบระบบบำบัด DHS และระบบอื่น ๆ	9
2.3 फिल्मชีวภาพ	12
2.4 ระบบฟิล์มตรึง	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
3. การดำเนินงานทดลอง	17
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย	17
3.2 ระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS	18
3.3 การดำเนินระบบ	21
3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ที่ระดับความสูงต่างๆ	22
3.5 อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ	23
3.6 วิธีวิเคราะห์การทดลอง	24
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง	25
4.1 ค่าพารามิเตอร์สภาพสิ่งแวดล้อมของระบบ DHS	25
4.1.1 พีเอช (pH)	25
4.1.2 อุณหภูมิ	26
4.1.3 โออาร์พี (ORP)	26
4.1.4 ออกซิเจนละลายน้ำ	28
4.2 สารแขวนลอย	29
4.3 ซีโอดี	30
4.4 บีโอดี	32
4.5 เชื้อโรค	33
4.6 การศึกษาคุณภาพน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถังปฏิกรณ์	35
4.6.1 สารแขวนลอย	35
4.6.2 ซีโอดี และ บีโอดี	35
4.6.3 <i>E. coli</i> และ Total coliforms	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.4 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)	36
4.6.5 การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ	38
4.7 การศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ	39
4.8 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระบบ DHS	41
 5. สรุปและข้อเสนอแนะ	 42
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
 เอกสารอ้างอิง	 44
 ภาคผนวก	 48
ก ข้อมูลจากการทดลอง Spot samples	48
ข ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์	58
ค ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงถังปฏิกรณ์	75
ง ประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ใช้และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย	80
 ประวัติผู้วิจัย	 82

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสีย	5
2.2 การเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบ DHS และระบบอื่น ๆ	10
2.3 คุณภาพน้ำทิ้งจากระบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน	11
3.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ	17
3.2 ข้อมูลการดำเนินควบคุมระบบ Down-flow Hanging Sponge	21
3.3 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัด Composite Sampling	24
3.4 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัดสภาพสิ่งแวดล้อมของระบบ	24
4.1 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์สภาพสิ่งแวดล้อมของระบบ	27
4.2 ค่าเฉลี่ยการบำบัด SS และ VSS	30
4.3 ค่าเฉลี่ยการบำบัด COD และ SCOD	31
4.4 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงาน	41
ก.1 อุณหภูมิอากาศทั่วไป และในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	49
ก.2 ค่าปริมาณพีเอช (pH) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	52
ก.3 ปริมาณโออาร์พี (ORP) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	55
ข.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	59
ข.2 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	62
ข.3 ปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ออกจากระบบ	66
ข.4 ปริมาณค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	67
ข.5 ปริมาณค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	71
ข.6 ปริมาณ <i>E. coli</i> และ Total coliforms ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ	73
ค.1 การบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำ 4 ชั่วโมง	76
ค.2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง	77
ค.3 การบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมง	78
ค.4 การบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์ที่ระยะกักเก็บน้ำ 1 ชั่วโมง	79
ง.1 ประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake Rate, OUR)	81

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
3.1	ตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในระบบ DHS	18
3.2	ถังพักน้ำเสีย	19
3.3	แผนผังการทำงานของระบบฟองน้ำแขวนไหลลง	20
4.1	ค่าปริมาณพีเอช (pH) ของระบบ DHS ที่ระยะกักเก็บน้ำเวลาต่างๆ	25
4.2	ปริมาณอุณหภูมิสถานะแวดล้อมระบบ น้ำเสียก่อนและหลังออกจากระบบ	26
4.3	ปริมาณค่าโออาร์พี (ORP) ของระบบ DHS ที่ระยะกักเก็บน้ำเวลาต่างๆ	27
4.4	ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ระยะกักเก็บน้ำเวลาต่างๆ	28
4.5	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งระเหยง่าย (VSS)	30
4.6	ค่าปริมาณซีโอดีทั้งหมด(Total COD) และซีโอดีละลายน้ำ (Soluble COD)	31
4.7	ค่าปริมาณบีโอดีทั้งหมด และบีโอดีละลายน้ำ ที่ระยะกักเก็บน้ำที่เวลาต่างๆ	33
4.8	ค่าปริมาณ <i>E. coli</i> และ Total coliforms ที่ระยะกักเก็บน้ำที่เวลาต่างๆ	35
4.9	ศึกษาน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์ (Profile) ที่ระยะกักเก็บน้ำต่างๆ	37
4.10	ศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ	39
4.11	ความสัมพันธ์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลากับจุลินทรีย์ในตัวกลางฟองน้ำ	40
4.12	ศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ ของระบบฟองน้ำแขวนไหลลง	41
ข.1	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งระเหยง่าย (VSS)	65
ข.2	ค่าปริมาณซีโอดีทั้งหมด (TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (SCOD)	70
ข.3	ค่าปริมาณบีโอดีทั้งหมด (TBOD) และบีโอดีละลายน้ำ (SBOD)	72
ข.4	ค่าปริมาณบีโอดีทั้งหมด (TBOD) และบีโอดีละลายน้ำ (SBOD)	74

ประมวลศัพท์และคำย่อ

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)
<i>E. coli</i>	=	<i>Escherichia coli</i>
g	=	กรัม
HRT	=	เวลากักเก็บทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time)
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
m ²	=	ตารางเมตร
m ³	=	ลูกบาศก์เมตร
OLR	=	อัตราบรรจุภาระอินทรีย์ (Organic Loading Rate)
ORP	=	Oxidation Reduction Potential
OUR	=	อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ (Oxygen Uptake Rate)
SRT	=	เวลากักเก็บตะกอน (Sludge Retention Time)
SS	=	ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)
VSS	=	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids)

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันประเทศในแถบทวีปเอเชียซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศกำลังพัฒนา ได้มีความตระหนักถึงประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะประเด็นด้านการจัดการน้ำเสียซึ่งเป็นปัญหาอย่างหนึ่ง ในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียมาพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของระบบให้มีความเหมาะสมต่อประเทศที่กำลังพัฒนา โดยสิ่งที่จะพิจารณาความเหมาะสมคือ การลงทุนในการก่อสร้างระบบบำบัด รวมถึงค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาระบบบำบัดค่า และความต้องการการดูแลรักษาหรือการควบคุมระบบที่ไม่มากนัก

การบำบัดน้ำเสียแบบยัดเกาะหรือการตรึง (Fix film) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะสัมพันธ์กับตัวกลางที่ยึดเกาะ เพราะว่ากระบวนการการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ตรึง จะใช้สารอาหารเพื่อใช้ภายในแผ่นฟิล์มชีวภาพ(biofilm) ทั้งยังจุลินทรีย์จะยึดเกาะบนตัวกลางทำให้ปริมาณจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบน้อยส่งผลให้มีความเสถียรภาพในการกักเก็บจุลินทรีย์ในระบบที่สูง ซึ่งระบบนี้จะมีข้อดีกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศทั่วไป (Conventional activated sludge) คือ ต้องการออกซิเจนจากภายนอกน้อยกว่า, จำนวนตะกอนส่วนเกินจากระบบมีน้อย และเวลาการกักเก็บในระบบ (HRT) มีค่าที่ต่ำกว่าอีกด้วย ในปัจจุบันระบบบำบัดแบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ระบบนี้เป็นระบบที่สร้างมาครั้งแรกเพื่อเป็นระบบขั้นหลังต่อจากระบบ Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) เพราะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลังจากผ่านระบบ UASB จะยังมีค่าความสกปรกสูงกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำทิ้งกำหนด จึงทำให้ต้องมีระบบบำบัดขั้นหลัง (Gray, 2005)

ระบบ Down-flow Hanging Sponge เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพขั้นหลังที่ใช้ออกซิเจนในการบำบัด โดยพัฒนาจากทีมนักวิจัย Nagaoka University technology ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งระบบ DHS จะใช้หลักการตรึงที่มีออกซิเจน (Aerobic biofilms) คล้ายๆกับ trickling filter แต่มีฟองน้ำเป็นตัวกลาง (Polyurethane foam media) มีช่องว่างมากถึง 90% และพื้นที่สัมผัสของตัวกลางฟองน้ำ $2,400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ส่งผลทำให้มีการกักจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบได้ถึง 34 gVSS/L-sponge และเวลาที่ใช้ในการกักตะกอน (SRT) 10-100 วัน ถึงระบบ DHS จัดเป็นระบบบำบัดแบบใช้อากาศแต่ระบบนี้ไม่ต้องการ

อากาศจากภายนอกมาเข้าช่วย เพราะ อากาศในระบบ DHS จะเกิดจากน้ำไหลผ่านตัวกลางฟองน้ำที่แขวนอยู่ในอากาศ เกิดการกระจายของน้ำ ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศเพิ่มมากขึ้น และการถ่ายเทมวลอากาศเข้าสู่ น้ำเสียได้มากขึ้นไปด้วย การเติมอากาศจึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอก (Tandurkar et al., 2006) ระบบ DHS จะมี 2 ส่วนที่มีการเกิดปฏิกิริยาขึ้นคือ ส่วนที่ 1 aerobic zone เป็นผิวสัมผัสด้านนอกของตัวกลางฟองน้ำและส่วนที่ลึกลงไปในตัวกลางฟองน้ำประมาณ 0.75 เซนติเมตร และส่วนที่ 2 anoxic zone คือ บริเวณที่เป็นแบบกึ่งมีออกซิเจน หรือส่วนที่ลึกไปมากกว่า 0.75 เซนติเมตรจนถึงกึ่งกลางตัวกลางฟองน้ำ ทำให้ระบบ DHS สามารถกำจัดสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียกลุ่ม aerobic heterotrops และยังกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการ Nitrification-Denitrification (Araki et al., 1999)

การบำบัดน้ำเสียปัจจุบันจะใช้ระบบบำบัดแบบแอคทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge: AS) อย่างแพร่หลาย เพราะสามารถใช้บำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การทำงานของระบบนี้จะมีความยุ่งยาก เนื่องจากจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและทางกายภาพต่างๆ ให้มีความเหมาะสมแก่การทำงาน เพื่อจะได้สามารถเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ให้ระบบมีคุณภาพ และระบบ AS ต้องมีค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศอีก นอกจากนี้ระบบ AS ยังมีขนาดใหญ่ จึงทำให้การออกแบบต้องมีการใช้ระบบท่อเชื่อมโยงท่อจากชุมชนไปยังระบบบำบัด ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่ระบบ DHS จะใช้พื้นที่ในการก่อสร้างที่เล็กกว่าสามารถวางระบบบำบัดตามชุมชนขนาดเล็กได้ จึงไม่ต้องสิ้นเปลืองเรื่องการเดินทางท่อ และยังมีเหมาะสมต่อประเทศที่กำลังพัฒนา และประเทศที่ด้อยพัฒนาด้วย

โดยการบำบัดด้วยระบบ DHS นี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดกับระบบบำบัดที่ใช้อากาศทั่วไป (Conventional activated sludge) คือ

1. ไม่ต้องมีการใช้เครื่องเติมอากาศจากภายนอก
2. จำนวนตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินจากระบบมีน้อยเนื่องจากเกิดการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ที่ติดค้างบนตัวกลางฟองน้ำ (Onodera et al., 2013)
3. ใช้พื้นที่น้อยในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ DHS

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความสกปรกต่ำ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ต่างๆ คือ 4, 2, 1.5 และ 1 ชั่วโมง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ที่ใช้ในการวิจัยติดตั้งที่โรงบำบัดน้ำเสียในเขตกรุงเทพมหานคร

1.3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่ได้จากก่อนเข้าและออกจากระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS)

1.3.3 ประสิทธิภาพของระบบ DHS ทำการศึกษาจากประสิทธิภาพในการกำจัดค่า TBOD, SBOD, TCOD, SCOD, Coliform, *E. coli*, SS, VSS, DO และ OUR

1.3.4 การทดลองศึกษาระบบ DHS ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 4, 2, 1.5 และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ (หรือที่อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ 0.12, 0.18, 0.22 และ 0.48 kgBOD/m³-day)

1.3.5 ระบบ DHS ที่ทำการทดลอง ประกอบด้วย 2 ถังปฏิกรณ์ต่อเนื่องมีความสูง 3 เมตร แต่ละถังปฏิกรณ์แบ่งเป็น 7 ชั้น มีขนาดพื้นที่แต่ละชั้น 576 ตารางเซนติเมตร (24×24 เซนติเมตร)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการทำงาน และปัจจัยที่มีผลกระทบในการออกแบบและควบคุมระบบ DHS เพื่อให้เกิดความเข้าใจและพัฒนาการบำบัดให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.4.2 การพัฒนาระบบบำบัด DHS ให้ใช้ได้ทั่วไป จะทำให้ลดข้อด้อยของการบำบัดแบบใช้อากาศลงไป เพราะไม่ต้องใช้อากาศเติมจากภายนอก และยังสามารถพัฒนาเป็นระบบบำบัดที่ยั่งยืนในอนาคต

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชน (Municipal Wastewater)

น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียจากใช้ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ และการประกอบอาชีพของคนที่อยู่อาศัยในชุมชน เช่น น้ำเสียที่เกิดจากการซักล้าง จากห้องครัว ส้วม และจากการอาบน้ำ แล้วปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำ โดยน้ำเสียชุมชนส่วนมากจะมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลกับคุณสมบัติของน้ำเสียชุมชน ได้แก่

เป็นการใช้ประโยชน์ของอาคาร เช่นอาคารที่ใช้ประกอบในการทำอาหารก็จะมีไขมัน และ BOD_5 สูงกว่าอาคารบ้านเรือน ส่วนที่เป็นอาคารใช้ในกิจกรรมราชการ จะมีความสกปรกที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากไม่มีกิจกรรมก่อให้เกิดน้ำเสียที่ความเข้มข้นสูง

ประเภทของท่อรวบรวมน้ำเสีย ใช้เป็นแบบท่อรวบรวมน้ำเสียรวม ซึ่งมีปริมาณของน้ำฝนเข้ามา รวมทั้งน้ำเสียบางประเภทที่มีความสกปรกต่ำด้วย ทำให้ลักษณะน้ำเสียในท่อที่เป็นแบบท่อรวมนี้นี้มีความสกปรกต่ำ

ดังตารางที่ 2.1 ที่แสดงถึงคุณสมบัติของน้ำเสียชุมชน จะเห็นได้ว่าน้ำเสียชุมชนมีคุณสมบัติที่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่สูงมาก และเมื่อน้ำเสียที่ผ่านการลำเลียงทางท่อน้ำเสียแบบรวบรวมน้ำเสียจะมีสารอินทรีย์ที่ต่ำลงเนื่องจากเกิดการเจือจางขึ้นจากปริมาณน้ำฝน

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1.ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	100	220	350
2.ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล	5	10	20
3.ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand;BOD)	มก./ล.	110	220	400
4.ค่าซีโอดี (chemical Oxygen Demand;COD)	มก./ล.	250	500	1000
5.ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)	มก./ล.	8	15	35
แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	50
ไนไตรท์ (Nitrites)	มก./ล.	0	0	0
ไนเตรท (Nitrate)	มก./ล.	0	0	0
6.ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	8	15
สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	3	5
สารอนินทรีย์ (Inorganic)	มก./ล.	3	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride)(1)	มก./ล.	30	50	100
8.ซัลเฟต (Sulfate)(1)	มก./ล.	20	30	50
9.สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO3)	มก./ล.	50	100	200
10.ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150
11.Total Coliform	MPN/100ml	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9

ที่มา : Wastewater Engineering, Metcalf&Eddy, 1991

2.2 ระบบ Down- flow Hanging Sponge (DHS)

ระบบ Down flow Hanging Sponge (DHS) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนในการบำบัด ซึ่งในการทำงานของระบบก็คล้ายกับระบบ Trickling Filter แต่แตกต่างที่ตัวกลางของระบบ DHS จะใช้ตัวกลางเป็นฟองน้ำ (Polyurethane foam media) ซึ่งตัวกลางที่เป็นฟองน้ำ จะคุณสมบัติมีช่องว่างมาก มากกว่า 90% ทำให้มีความสามารถในการใช้เก็บกักจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้มากกว่าระบบ Trickling Filter ทั่วไป และสามารถเก็บตะกอน (SRT) ไว้ในระบบได้นานขึ้นเพราะจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของฟองน้ำ สามารถย่อยสลายตะกอนส่วนเกินได้ และในระบบ DHS เป็นระบบที่มีความต้องการในการใช้อากาศจากภายนอกเข้ามาช่วยน้อย หรือต้องใช้เครื่องเติมอากาศน้อย เพราะในระบบมีการเติมอากาศภายในโดยการเคลื่อนที่ของน้ำไหลผ่านตัวกลางฟองน้ำ ที่ลอยอยู่ในอากาศ จึงเกิดการกระจายตัวของน้ำ และมีการถ่ายเทมวลออกซิเจนเข้าสู่ในน้ำเสียได้ ทำให้มีการเติมอากาศโดยไม่ต้องใช้เครื่องเติมอากาศ (Tandurkar, 2006a) และในระบบ DHS จะการเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ตัวกลางฟองน้ำอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นช่วงจากพื้นผิวฟองน้ำลึกเข้าไป 75 เซนติเมตร จะเป็นบริเวณที่มีออกซิเจน (Aerobic zone) ทำให้มีพวกจุลินทรีย์พวก Aerobic Heterotrophs สามารถเติบโตได้ในบริเวณนี้ และส่วนที่สองจะเป็นช่วงตั้งแต่ 75 เซนติเมตร ลึกลงไปถึงกึ่งกลางของฟองน้ำ จะเป็นบริเวณกึ่งใช้อากาศ (Anoxic zone) จะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ Facultative bacteria สามารถเติบโตได้ดี ในส่วนนี้จึงสามารถกำจัด ในเตรตได้ด้วยกระบวนการ Denitrification ระบบ DHS จึงเป็นระบบที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้ด้วยกระบวนการ Nitrification-Denitrification (SND) (Araki et al., 1999)

กลไกในการกำจัดแบคทีเรียที่เป็นเชื้อโรค ตามช่องว่างหรือตามรูพรุนของตัวกลางโดยหลักๆ แล้วจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการรั้วของตัวกลาง (Straining) และกระบวนการดูดติด (Adsorption) (Stevik et al., 2004) โดยการรั้วของตัวกลางจะควบคุมโดย ขนาดของของแข็งในน้ำเสีย การอุดตันในตัวกรอง และระดับความอืดตัวของน้ำเสีย ส่วนกระบวนการดูดติดจะขึ้นอยู่กับเวลา โดยถ้าเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น ก็จะมีโอกาสในการดูดติดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปัจจัยในการที่จะทำให้น้ำเสียมีการถูกดูดติดตามช่องว่างของตัวกลาง มี 3 ปัจจัยหลักคือ อย่างแรกทางกายภาพ (Physical factor) โดยมีส่วนช่วย เช่น จะคักพวกขนาดของอนุภาคไว้ตามชั้นตัวกลาง Hydraulic Loading Rate (HLR) ซึ่งค่า Specific surface area ของอนุภาคน้ำเสีย จะเป็นค่าที่สำคัญในการเคลื่อนที่ของ *Escherichia coli* (*E. coli*) ในการจะเข้าสู่บำบัดทางการกรองชีวภาพ (Stevik et al., 1999a) อย่างที่สองทางด้านเคมี (Chemical

factor) เช่น pH, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve oxygen, DO) เป็นตัวกำหนดในการเคลื่อนที่ของ *E. coli* ของระบบ Biological filters และ Rotating biological contactor (RBC) (Stevik et al., 1999a; Tawfik et al., 2004) และปัจจัยสุดท้ายคือกลไกการกำจัดทางชีวภาพ (Biological factor) สำหรับกำจัดแบคทีเรียที่เป็นเชื้อโรค ประกอบด้วย การป้องกันของแบคทีเรีย, การสัมผัสกับแบคทีเรีย, การกินกันของผู้ล่า และการตาย รวมถึงการแย่งชิงแข่งขันสารอาหารและอาหารเสริมต่าง (Trace elements) (Green et al., 1997)

2.2.1 ชนิดของถังปฏิกรณ์ DHS

ระบบ DHS ได้ศึกษา และพัฒนารูปแบบของถัง DHS เพื่อให้สามารถพัฒนาในการกำจัดสารอินทรีย์ และ โนโตรเจน โดยจากการได้ศึกษาได้มีการพัฒนาระบบดังนี้

2.2.1.1 Cube Type Reactor

เป็นรูปแบบแรกของถังปฏิกรณ์ระบบ DHS โดย Agrawal, et al. (1997) ซึ่งในการศึกษาได้ทดลองในรูปแบบ Laboratory scale โดยตัวกลางจะเป็นฟองน้ำรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ เซนติเมตร นำมาห้อยเป็นแนวตั้งโดยเอามุมทแยงมาห้อยติดกัน

2.2.1.2 Curtain Type Reactor

เป็นรูปแบบถังปฏิกรณ์ที่สอง โดยจะมีการออกแบบคล้ายกับม่าน ทำการศึกษาโดย Mechdar, et al. (2000) และ Tandurkar, et al. (2006a) ซึ่งในการทดลองได้ออกแบบตัวกลางฟองน้ำมีรูปทรงเป็นปริซึมสี่เหลี่ยมขนาด $3 \times 3 \times 75$ เซนติเมตร แล้วนำมาห้อยโดยด้านทแยงมุมมาติดกันเป็นแนวตั้ง

2.2.1.3 Trickling Filter Type Reactor

ถังปฏิกรณ์ชนิดที่สามนี้ จะมีรูปแบบคล้ายกับระบบ Trickling Filter โดยทำการศึกษาโดย Tandurkar, et al. (2005) และ Tandurkar, et al. (2006a) ในรูปแบบนี้จะใช้ตัวกลางฟองน้ำแบบเป็นเส้นขนาด $2.5 \times 2.5 \times 50$ เซนติเมตร โดยจะวางในแต่ชั้นสลับกัน

2.2.1.4 Random Type Reactor

ในรูปแบบถังปฏิกรณ์ในรูปแบบที่สี่นี้ จะมีการจัดเรียงแบบสุ่ม เพื่อเป็นการกระจายการตัวกลาง โดยจากการศึกษาของ Tawfik, et al. (2006a) และ Tawfik, et al. (2006b) ใช้ตัวกลางที่มีรูปทรงกระบอกยาว 2.4 เซนติเมตร $\times$ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร และมีตาข่ายพลาสติกแข็งห่อหุ้มฟองน้ำ เพื่อ

กั้นการขุ่นตัวของฟองน้ำ โดยระบบนี้ออกแบบเพื่อให้มีความสะดวกในการก่อสร้าง และมีความเหมาะสมในการใช้งานจริงมากที่สุด

2.2.1.5 Closed Type Reactor

ถังปฏิกรณ์ชนิดนี้จะมีตัวกลางฟองน้ำเป็นรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยมขนาด $2.8 \times 2.8 \times 4$ เซนติเมตร และถังปฏิกรณ์นี้สร้างเพื่อวัตถุประสงค์ ให้มีกระบวนการ Partial nitrification ในระบบ คือระบบ DHS ชนิดนี้จะสร้างแบบปิด และมีการเติมอากาศจากภายนอก เพื่อให้เกิดสภาวะที่เป็น Aerobic ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยา Nitrification ขึ้นบางส่วน เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นกับแอมโมเนีย ให้เกิดกระบวนการ Anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX)

2.2.2 การศึกษาระบบ DHS

จากการศึกษาระบบ DHS ของ Machdar, et al. (1997) เป็นการศึกษา DHS ชนิด Cube Type Reactor โดยทำการศึกษาเป็น Laboratory scale ใช้เวลาในการทดลอง 6 เดือน โดยใช้น้ำเสียชุมชนพบว่าระบบ UASB ขึ้นคั้นแล้วตามด้วยระบบ DHS มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูง โดยกำจัด TCOD 94% และ SCOD 81% ทั้งยังสามารถลดปริมาณค่า SS และ TBOD ได้เกือบหมด ที่ระยะกักเก็บของทั้งสองระบบรวมกัน 8.3 ชั่วโมง โดยระบบ UASB 7 ชั่วโมง และ DHS 1.3 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ 73-78% จึงทำให้ระบบ DHS ได้รับความสนใจมากขึ้น ในการใช้เป็นระบบขั้นหลังต่อจาก UASB

ต่อมาเป็นการพัฒนาของระบบ DHS ด้วยชนิด Curtain Type โดยจากการศึกษาของ Machdar, et al. (2000) ได้ใช้ระบบ DHS เป็นระบบขั้นหลังต่อจากระบบ UASB ซึ่งในการทดลองได้ใช้เวลาเดินระบบ 550 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบ สามารถกำจัด TBOD 94-97%, TCOD 81-84% และ SS 63-79% นอกจากนี้ยังกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ 52-61% โดยใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของ UASB 6 ชั่วโมง และระบบ 2 ชั่วโมง แต่ในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเพียง 25-31% โดยอาจจะมีการขาดสารอินทรีย์ไปใช้ในการเกิดกระบวนการ Denitrification และได้มีการศึกษาของ Tandukar, et al. (2006a) ได้ศึกษาโดยให้มีการเพิ่มขนาดบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เพิ่มขึ้นแบบเฉียบพลัน พบว่าประสิทธิภาพทั้งการกำจัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจนมีการกำจัดลดลง แต่เมื่อผ่านไปไม่นาน ระบบก็สามารถฟื้นประสิทธิภาพในการกำจัดกลับมาเหมือนเดิม

เข้าสู่การศึกษาถึงปฏิกรณ์ระบบ DHS ชนิด Trickling Filter Type โดยจากการศึกษาทดลองของ Tandurka, et al. (2005) และ Tandurka, et al. (2006b) ใช้เวลาในการกักเก็บน้ำของระบบ UASB 6 ชั่วโมง ตามด้วยระบบ DHS 2 ชั่วโมง แล้วมีค่า OLR ของระบบ UASB และ DHS คือ 2.15 และ 2.35 kg COD/m³-day ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัด TBOD 96%, TCOD 91% และไนโตรเจน 28% ซึ่งระบบนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนต่ำกว่าระบบ DHS ชนิดอื่นในการกำจัดไนโตรเจน

และการพัฒนาใช้ระบบ DHS ชนิด Random Type ของ Tawfik, et al. (2006a) และ Tawfik, et al. (2006b) ใช้เวลาในการเดินระบบเป็นเวลา 6 เดือน ด้วยระยะการกักเก็บน้ำเสียของระบบ UASB 8 ชั่วโมง ตามด้วยระบบ DHS 2.7 ชั่วโมง และใช้ SRT เท่ากับ 88 วัน จากการทดลองได้ประสิทธิภาพในการกำจัดของ TBOD 98%, TCOD 90% และ TKN 77% ซึ่งจากการทดลองได้มีการแบ่งเป็นชั้นๆ ของถังปฏิกรณ์ 4 ชั้น พบว่าที่ชั้นบนสุดไม่พบการเกิดกระบวนการ Nitrification เนื่องจากส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ ทำให้มีกลุ่มจุลินทรีย์ Heterotroph bacteria เจริญเติบโตได้ดี จึงไปหยุดกระบวนการเกิด Nitrification ของ Nitrifying bacteria แต่ในชั้น 2 ถึง 4 มีการเกิดกระบวนการ Nitrification ขึ้น

สุดท้ายจากการศึกษาระบบ DHS ชนิด Closed Type โดย Chuang, et al. (2007) ได้เริ่มโดยต้องการให้เกิดกระบวนการ Partial Nitrification ขึ้น โดยทำการสร้างถังปฏิกรณ์แบบปิด แล้วมีการให้อากาศเป็นแบบกะ เพื่อให้เกิดกระบวนการ Aerobic ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยา Nitrification ขึ้นบางส่วน และใช้เป็นสารตั้งต้นกับแอมโมเนีย เพื่อให้เกิดกระบวนการ Anaerobic ammonium oxidation

2.2.3 เปรียบเทียบระบบบำบัด DHS และระบบขั้นหลังอื่นๆ

ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นหลังที่มีความเหมาะสมในการบำบัดต่อจากระบบไร้อากาศ จะมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และรวมถึง การ ประสิทธิภาพ ในการ กำจัด สารอินทรีย์ และไนโตรเจน ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาระบบที่ใช้ร่วมกันของระบบไร้อากาศ และระบบใช้อากาศ ค่อนข้างเพิ่มมากขึ้น ดังที่ได้แสดงที่ตาราง 2.2 แสดงถึงการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบ DHS และระบบบำบัดขั้นหลังชนิดอื่น คือ Rotating Biological Contactor (RBC) และ Trickling Filter จากตาราง 2.2 เป็นการเปรียบเทียบการบำบัดสารอินทรีย์ การบำบัดทุกทาง ชลศาสตร์ และการบำบัดไนโตรเจน

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระบบ DHS ที่เป็นระบบชั้นหลังที่บำบัดน้ำเสียชุมชนต่อจากระบบ UASB แล้ว เทียบกับระบบชั้นหลังชนิดอื่นที่ต่อจากระบบ UASB พบว่าระบบ DHS มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดีดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบ DHS และระบบชั้นหลังอื่นๆ

ระบบ / การเดินระบบ	DHS	RBC	Trickling Filter
1. ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (kg BOD/m ² -d)	$(0.6-1.4) \times 10^{-2}$	$(1.0-6.5) \times 10^{-2}$	$(0.5-1.0) \times 10^{-2}$
2. ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (m ³ _{ww} / m ² -d)	30-40	4.0×10^{-2}	20-250
3. ภาระบรรทุกไนโตรเจน (kg NH ₄ ⁺ / m ² -d)	0.5×10^{-2}	$(0.2-1.8) \times 10^{-2}$	$(0.1-0.3) \times 10^{-2}$

ที่มา: Chernicharo, 2006; Tawfik et al., 2006a; Tandurkar et al., 2006; Grady et al., 1999;

Eding et al., 2006; Al-Ahmady, 2005; Demetrios et al., 2006

ตารางที่ 2.3 คุณภาพน้ำที่จากระบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

System	Average quality of effluent							Average removal of effluent						
	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	Total N (mg/l)	Total P (mg/l)	FC (log units)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	Total N (mg/l)	Total P (mg/l)	FC (log units)
1. UASB reactor	70-100	180-270	60-100	>15	>20	>4	10 ⁶ -10 ⁷	60-75	55-70	65-80	<50	<60	<35	1-2
2. UASB + Activated sludge	25-50	60-150	20-40	พ.ค.-15	>20	>4	10 ⁶ -10 ⁷	83-93	75-88	87-93	50-85	<60	<35	1-2
3. UASB + high rate tricking filter	20-60	70-120	20-40	>15	>20	>4	10 ⁶ -10 ⁷	83-93	73-88	87-93	<50	<60	<35	1-2
4. UASB + dissolved air floatation	20-50	60-100	พ.ค.-20	>20	>30	1-ก.พ.	10 ⁶ -10 ⁷	83-93	83-93	90-97	<30	<30	75-88	1-2
5. UASB + Anaerobic filter	40-80	100-200	30-60	>15	>20	>4	10 ⁶ -10 ⁷	75-87	70-80	80-90	<50	<60	<35	1-2
6. UASB + DHS system	4-30	32-92	4-32	3-15	12-24	-	<10 ⁴	94.3	89.7	94.8	59.9	55.9	-	4

ที่มา: ปรับปรุงจาก Chemicharo, 2006; Tawfik et al., 2006a; Tundukar et al., 2007

2.3 फिल्मชีวภาพ (Biofilm)

ในระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS จะมีจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งที่อาศัยฟิล์มบนตัวกลาง จึงต้องศึกษาการเกิดฟิล์มชีวภาพเพื่อความเข้าใจในการควบคุมระบบ

ฟิล์มชีวภาพเป็นสิ่งที่เกิดจากจุลินทรีย์สร้างขึ้น และขับออกมานอกเซลล์ในรูป Extracellular Polymer ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติเหมือนกาวทำหน้าที่เสมือนไว้ยึดติด เกาะบนผิวของแข็ง เรียกว่า Substratum โดยการทำงานในฟิล์มของจุลินทรีย์จะมีการเติบโตเป็นกลุ่มแบบพึ่งพากัน และฟิล์มชีวภาพนี้สามารถตรึงบนพื้นผิวได้ในช่วงที่มีอัตราไหลที่สูง ซึ่งในการตรึงของฟิล์มเป็นการช่วยให้เข้าถึงสารอาหารได้มากขึ้น (Rittmann และ McCarty, 2001)

การตรึงเชื้อจุลินทรีย์บนวัสดุตัวกลางหรือการสร้างแผ่นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) จะขึ้นกับจำนวนจุลินทรีย์ ขนาดของวัสดุที่เป็นตัวกลาง การเพิ่มจำนวนเซลล์บนตัวกลางที่ยึดเกาะ โดยอาจใช้ตัวกลางที่เป็นพลาสติก หิน หรือวัสดุอื่นๆ ที่น้ำไม่เกาะผิวจะทำให้จุลินทรีย์มาเกาะได้มากขึ้น และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะสัมพันธ์กับตัวกลางที่ยึดเกาะ สำหรับกระบวนการการเติบโตของจุลินทรีย์ จะใช้สารอาหารภายใน biofilm ซึ่งความหนาของ biofilm จะอยู่ในช่วง 100 μm ถึง 10 mm (WEF, 2000) และส่วนสารอาหาร ออกซิเจน จะแพร่จากชั้นน้ำแรงเฉื่อย (diffusion layer) ไปสู่ชั้น biofilm และชั้นน้ำแรงเฉื่อยเป็นชั้นที่แยกโซนแผ่นฟิล์มชีวภาพ และโซนชั้นน้ำ (bulk liquid) ที่มีการไหลบนพื้นผิวของแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยความเข้มข้นของสารอาหารที่พื้นผิว biofilm จะมีปริมาณลดลงตามระดับความลึกของชั้น biofilm เพราะในชั้นของ biofilm จะอาศัยการแพร่เป็นกระบวนการที่พาสารอาหารเข้าสู่ biofilm โดยในการรับสารอาหารของชั้นนอกและชั้นในของ biofilm จะได้รับปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งจุลินทรีย์ชั้นนอกของ biofilm สามารถใช้สารอาหารได้ก่อนพวกจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นใน และที่เกิดการแพร่ ได้เพราะความเข้มข้นของสารอาหาร และออกซิเจนในชั้นฟิล์มมีต่ำกว่าในชั้นของเหลวหรือชั้นน้ำ ทำให้มีกระบวนการแพร่เกิดขึ้น (Metcalf และ Eddy, 2004)

2.4 ระบบฟิล์มตรึง (Fixed film)

ในกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้มีการแบ่งออกไว้ 2 แบบใหญ่ คือ จุลินทรีย์ที่เติบโตแบบแขวนลอย (Suspended growth system) เช่น ระบบ Continuous stirred tank bioreactors (CSTR) แต่ในการควบคุมระบบต้องมีอัตราไหลที่มาก และเวลาในช่วงพักระบบที่สั้น อาจทำให้จุลินทรีย์มีการหลุดออกจากถังปฏิกรณ์ ทำให้การควบคุมระบบไม่มีเสถียรภาพในการรักษาเซลล์ให้อยู่ในระบบที่มีปริมาณสูง และการเติบโตของจุลินทรีย์อีกแบบคือ จุลินทรีย์ที่มีการเติบโตแบบฟิล์มตรึง (Fixed film system) เช่น ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biofilm Contactor, RBC) ซึ่งการใช้ระบบฟิล์มตรึงสามารถรักษามวลชีวภาพไว้ในระบบได้เพราะ จุลินทรีย์จะยึดเกาะบนตัวกลาง ทำให้มีจุลินทรีย์หลุดออกไปกับช่วงการถ่ายน้ำออกลดลง ซึ่งระบบที่เป็นฟิล์มตรึงจึงมีระยะในการเก็บกักจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงขึ้น ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจุลินทรีย์ที่เติบโตแบบแขวนลอย แล้ว การใช้ จุลินทรีย์ที่มีการเติบโตแบบฟิล์มตรึง จะช่วยลดข้อเสียของระบบได้โดย ลดพื้นที่ในการใช้ ประหยัดพลังงาน มีความเข้มข้นของ biomass ที่ดีกว่า และมีความไวต่อสารพิษน้อยกว่า (Fu et al., 2010)

ในระบบฟิล์มตรึง จะมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำของแต่ละชั้นฟิล์มต่างกัน ซึ่งถ้าในชั้นฟิล์มมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำประมาณ 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจจะสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันพร้อมกันได้ (Simultaneous Nitrification-Denitrification, SND) (Pochana et al., 1999) โดยระดับปริมาณของออกซิเจนจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ ของความลึกชั้นฟิล์ม ดังนั้นการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันจึงเกิดขึ้นได้โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะเกิดที่ช่วงที่เป็นพื้นผิวของชั้นฟิล์ม และกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชันจะเกิดในชั้นในของชั้นฟิล์ม (Choi et al., 2008)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษา Tawfik และ El-Gohary (2006) ได้ศึกษาระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS ด้วยชนิดของถัง Random Type Reactor โดยใช้น้ำเสียชุมชนที่เป็นแบบท่อน้ำเสีรวมของเมือง Nagaoka ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งการทดลองจะแบ่งสองช่วง คือ มีระบบ UASB แล้วตามด้วยระบบ DHS โดยวัตถุประสงค์ของการทดลองคือต้องการศึกษากลไกการกำจัด *E. coli* จากการทดลองพบว่ากระบวนการในการกำจัด *E. coli* หลักๆ คือการถูกดูดติดบนตัวกลางและถูกกำจัดโดยการกินของจุลินทรีย์บนฟองน้ำ (Predation) และการตายของแบคทีเรีย เป็นปัจจัยรองในการกำจัด Faecal

coliform ในระบบ DHS ส่วนการกำจัดทางปัจจัยกายภาพ เช่น ช่วงเวลาการกักเก็บ ขนาดของช่องว่าง ฟองน้ำ และปริมาตรของฟองน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัด Faecal coliform ในระบบ DHS นอกจากนี้ทางผู้ทดลองได้ประสบผลสำเร็จในการกำจัด Faecal coliform ได้ดีขึ้นคือ การเพิ่มเวลาในการกักเก็บ จาก 1 ไป 6 ชั่วโมง โดยมีปริมาณ Faecal coliform ลดลงตามสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential) มีอัตราการกำจัดเฉลี่ยสมการลำดับที่หนึ่ง (K_r) คือ 0.68 ± 0.13 ชั่วโมง⁻¹ และเมื่อปริมาตร ฟองน้ำเพิ่มขึ้น 4 เท่ามีประสิทธิภาพกำจัดได้ดีขึ้น และเมื่อทดสอบลดขนาดช่องว่างของฟองน้ำลงจาก 1.92 ไป 0.56 มิลลิเมตร ก็ช่วยให้มีประสิทธิภาพการกำจัด Faecal coliform เพิ่มขึ้น

ในประเทศอียิปต์ Mahmoud, et al. (2011) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบระบบ Hybrid up-flow anaerobic sludge blanket (HUASB) แล้วตามด้วยระบบ Down-flow hanging sponge (DHS) กับ Primary sedimentation tank (PST) แล้วตามด้วยระบบ DHS โดยน้ำเสียที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำเสียชุมชนจากระบบ ท่อน้ำเสีย ของเมือง Cairo ประเทศอียิปต์ ซึ่งในการทดลองได้มีการดำเนินแบบต่อเนื่องตลอด 140 วัน ซึ่งผลที่ได้คือในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของทั้งสองชนิดการทดลองมีประสิทธิภาพ การกำจัดได้ใกล้เคียงกัน โดยระบบแรกกำจัด COD_{total} , $COD_{soluble}$, $BOD_{5\ total}$, TSS และ TN ได้ 90 ± 4 , 78 ± 8 , 95 ± 2 , 96 ± 5 และ $72 \pm 8\%$ ตามลำดับ ส่วนระบบที่สอง กำจัดได้ 89 ± 3 , 82 ± 5 , 96 ± 2 , 95 ± 2 และ $73 \pm 8\%$ ตามลำดับ และที่น่าสนใจคือการกำจัด Faecal coliform ก็มีค่าที่ไม่ต่างกันมากคือ ระบบที่ HUASB+DHS เหลือ Faecal coliform เท่ากับ 2.7×10^2 MPN/100 ml และระบบ PST+DHS เหลือ Faecal coliform เท่ากับ 6.5×10^3 MPN/100 ml โดยผู้ทดลองได้กล่าวว่าระบบ DHS สามารถรับมือกับ สารอินทรีย์ที่สูงๆได้ และระบบ DHS มีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและ ไนโตรเจนเมื่อค่าบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่สูงเท่ากับ 4.8 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ในการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบ การทำงานร่วมกันของระบบ UASB และ DHS (Pilot scale) กับระบบบำบัด Activated Sludge Process, ASP โดย Tandukar, et al. (2007) ในการเดินระบบจะใช้น้ำเสียชุมชนเมือง Nagaoka ประเทศญี่ปุ่น และชนิดของถัง DHS แบบ Curtain Type มีการดำเนินน้ำเสียเข้าระบบทั้งสองระบบขนานพร้อมกัน ซึ่งจากการทดลองในการเทียบประสิทธิภาพ ทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด ค่า $BOD_{5\ total}$ มากกว่า 90% แต่ระบบ UASB+DHS มีการกำจัด ด้านแบคทีเรียที่เป็นเชื้อโรคมากกว่า นอกจากนี้ค่าตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge) ยังมีค่าน้อยกว่า 15 เท่าของระบบ ASP และยังมีข้อแตกต่างที่สำคัญคือระบบ UASB+DHS ไม่มีความต้องการอากาศ

จากภายนอกเข้าสู่ระบบ หรือไม่มีการเติมอากาศ จึงความสำคัญมากทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างมาก ทำให้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับประเทศที่มีต้นทุนต่ำ

งานวิจัย Tawfik และ Ohashi (2006) ได้ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบ UASB แล้วตามด้วยระบบ DHS น้ำเสียที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำเสียชุมชนจากเมือง Nagaoka ประเทศญี่ปุ่น ดำเนินระบบที่ระยะกักเก็บน้ำ 8 ชั่วโมง (ระบบ UASB) และ 2.7 ชั่วโมง (ระบบ DHS) จากการทดลองพบว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือกำจัดชีโอดีทั้งหมดได้ 90% และบีโอดีทั้งหมดได้ 98% รวมถึงกำจัดสารแขวนลอย 94% ทั้งนี้จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์ (Profile Experiment) พบว่าระบบ DHS แสดงการกำจัดทั้งสารอินทรีย์และสารแขวนลอยได้ตั้งแต่ชั้นต้นของถังปฏิกรณ์ รวมทั้งอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนในฟองน้ำก็มีศักยภาพที่สูงช่วงชั้นต้นๆ ของถังปฏิกรณ์เช่นเดียวกัน

งานวิจัยของ Takahashi, et al. (2011) ศึกษาการประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเมือง Higashi-Hiroshima ประเทศญี่ปุ่น ได้ทำการทดลองด้วยระบบ UASB และบำบัดขั้นหลังด้วยระบบ DHS ที่มีการใช้ระบบ sulfur-redox reaction เข้าช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กลุ่ม sulfate-reducing bacteria (SRB) เพราะว่าการศึกษามีอุณหภูมิทดลองที่ต่ำ 7.0 ± 2.8 องศาเซลเซียส ทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้น้อยลง โดยในการเดิมจะทำการเดิมที่ระบบ UASB และการดำเนินระบบ DHS มีการจัดวางฟองน้ำเรียงแบบสลับ ดำเนินระบบที่ระยะกักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง และมีอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2 จากการทดลองพบว่ามีความมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีร้อยละ 84, บีโอดีร้อยละ 95 และ สารแขวนลอยร้อยละ 79 และในวันที่ 624 ของการทดลอง พบว่ามีความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในฟองน้ำ 19-24 กรัมจุลินทรีย์ต่อลิตร

การศึกษาของ Hala El-Kamah, et al. (2011) เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากจำพวกผัก หั้วหอม ทดลองระบบ UASB ตามด้วยระบบ DHS บำบัดขั้นหลัง ระบบ DHS ทำการทดลองโดยฟองน้ำจัดเรียงแบบสลับ (Random type) ในถังปฏิกรณ์ โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองแรกคือ ที่ระยะกักเก็บน้ำ 11 ชั่วโมง (UASB 6 ชั่วโมง และ DHS 5 ชั่วโมง) ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด $92 \pm 5\%$, ชีโอดีละลายน้ำ $87 \pm 6\%$, บีโอดีทั้งหมด $95 \pm 2\%$, บีโอดีละลายน้ำ $94.5 \pm 2\%$ และสารแขวนลอย $95 \pm 2\%$

(ระบบ UASB มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีทั้งหมด $56\pm18\%$, ชีโอดีละลายน้ำ $53\pm14\%$, บีโอดีทั้งหมด $60\pm10\%$, บีโอดีละลายน้ำ $54\pm13\%$ และสารแขวนลอย $61\pm14\%$) ส่วนการทดลองที่ 2 ที่ระยะกักเก็บน้ำ 9.4 ชั่วโมง (UASB 5.2 ชั่วโมง และ DHS 4.2 ชั่วโมง) ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด $85\pm5\%$, ชีโอดีละลายน้ำ $84\pm7\%$, บีโอดีทั้งหมด $86\pm3\%$, บีโอดีละลายน้ำ $90\pm6\%$ และสารแขวนลอย $87\pm8\%$ (ระบบ UASB มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีทั้งหมด $44\pm15\%$, ชีโอดีละลายน้ำ $34\pm29\%$, บีโอดีทั้งหมด $46\pm11\%$, บีโอดีละลายน้ำ $41\pm12\%$ และสารแขวนลอย $51\pm5\%$) นอกจากนี้พบว่ามีตะกอนจุลินทรีย์บนตัวกลางฟองน้ำที่การทดลองที่ 1 คือ 21 gVSS/l-sponge และที่การทดลองที่ 2 คือ $24.1 \text{ gVSS/l-sponge}$

จากงานวิจัยของ Onodera, et al. (2013) ศึกษาปริมาณการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ DHS รวมถึงตะกอนส่วนเกินที่ออกจากระบบ การทดลองศึกษาระบบ UASB ร่วมกับระบบ DHS โดยใช้น้ำเสียชุมชนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำเมือง Nagaoka ประเทศญี่ปุ่น ระบบ DHS ออกแบบจำนวน 10 ชั้นเป็นแนวตั้ง มีการจัดเรียงตัวกลางฟองน้ำแบบสุ่ม (Random type) ทั้งนี้ปริมาตรฟองน้ำในระบบ DHS 454 ลิตร ดำเนินที่ระยะกักเก็บน้ำ 3.2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าระบบ DHS สามารถกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำได้ $26.9 \text{ gVSS/l-sponge}$ และอัตราการกำจัดของตะกอนส่วนเกินของระบบ 0.09 gSS/gCOD ทั้งนี้ระบบยังมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ สารแขวนลอยที่ออกจากระบบมีปริมาณที่ต่ำ (ปริมาณที่ออกจากระบบ คือ SS $12\pm12 \text{ mg/L}$, VSS $9\pm9 \text{ mg/L}$, TBOD $7\pm4 \text{ mg/L}$, TCOD $36\pm22 \text{ mg/L}$, SCOD $23\pm9 \text{ mg/L}$) รวมทั้งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณสูงเมื่อออกจากระบบ คือ 6.6 ± 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 3 การดำเนินงานทดลอง

3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการดำเนินระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS เป็นน้ำเสียชุมชนที่มีความสกปรกต่ำ โดยมีการดำเนินงานของ โรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ อยู่ในสังกัดกลุ่มงานปฏิบัติการ 3 (หนองแขม) สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่บริเวณ ซอยประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร ที่ใช้ระบบ Activated Sludge with recycle ในการดำเนินระบบ มีอัตราไหลเฉลี่ย 14,124 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยน้ำเสียชุมชนที่จะนำมาทดสอบในระบบ DHS จะเริ่มใช้น้ำช่วงที่มีการผ่านการตะแกรงคัดขยะแบบหยาบ (Trash Rack Screening) ติดตั้งที่บริเวณทางเข้าของสถานีสูบน้ำเสีย ระยะห่างระหว่างตะแกรงคัดขยะ 50 มิลลิเมตร และ ตะแกรงคัดขยะแบบละเอียด (Fine Screening) ที่ใช้เครื่องคัดขยะแบบละเอียดระบบ Rotating Band Screen ซึ่งจะมีการหมุนและฉีดล้างพร้อมกัน ระยะห่างระหว่างตะแกรง ประมาณ 5 มิลลิเมตร ซึ่งมีลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียชุมชนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2555)

พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกระบบ
ค่า บีโอดี (BOD) (มก./ลิตร)	25.17	3.26
ประสิทธิภาพบำบัดบีโอดี (BOD)(%)	87.05	
ค่าสารแขวนลอย (SS) (มก./ลิตร)	53.47	6.85
ประสิทธิภาพบำบัดสารแขวนลอย (SS)(%)	87.19	
ค่าฟอสฟอรัส (TP) (มก./ลิตร)	1.39	1.56
ค่าเจลดาคาร์บอนไนโตรเจน (TKN) (มก./ลิตร)	9.62	1.26
ค่าไนโตรเจน (TN) (มก./ลิตร)	9.66	5.94
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.38	7.39
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) (มก./ลิตร)	-	7.14

ที่มา: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2555

3.2 ระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS

การทดลองได้ติดตั้งระบบ Down-flow Hanging Sponge ภายในอาคารของโรงควบคุมคุณภาพทุ่งครุ และระบบอยู่ในบรรยากาศปกติภายในอาคาร ทั้งนี้ระบบใช้พื้นที่ในการติดตั้ง 1.7 ตารางเมตร ส่วนประกอบของระบบถังปฏิกรณ์มีส่วนประกอบต่างๆดังนี้ ดังรูปที่ 3.3

3.2.1 ตัวถังระบบ DHS

ระบบมี 2 ถังปฏิกรณ์คือ DHS1 และ DHS2 โดยแต่ละระบบ DHS จะมี 6 ชั้น และชั้นพักน้ำ (AC, BC) แล้วในแต่ละชั้นของระบบ DHS จะบรรจุฟองน้ำที่เป็นตัวกลางชั้นละ 300 ชิ้น คิดเป็นปริมาตรฟองน้ำในแต่ละชั้น 8.46 ลิตร

3.2.2 ตัวกลางฟองน้ำ (Sponge media carriers)

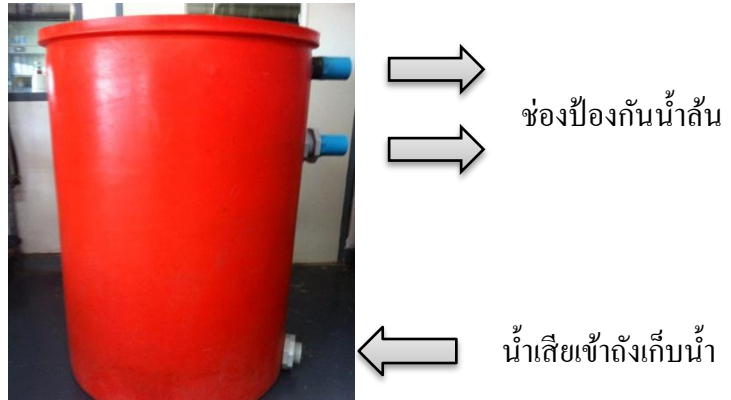
ตัวกลางที่ใช้ในการดำเนินระบบ DHS คือฟองน้ำ (Polyurethane foam) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก และมีพลาสติกแข็งตาข่าย (Polyethylene, PE) ห่อไว้เพื่อป้องกันการยุบตัวของฟองน้ำ เวลาเป็ยก และการกดทับกันในถังปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.1 โดยในการวางตัวฟองน้ำจะใช้ชนิด Random Type ตัวกลางฟองน้ำที่ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 เซนติเมตร สูง 3.3 เซนติเมตร หรือมีปริมาตรของฟองน้ำเท่ากับ 0.0282 ลิตรต่อหนึ่งชิ้นฟองน้ำ อย่างไรก็ตามการวางฟองน้ำแบบ Random Type อาจทำให้เกิดข้อจำกัดเกี่ยวกับการไหลของน้ำเสียไม่ทั่วถึงทุกชั้นฟองน้ำในแต่ละชั้น หรือน้ำเสียไหลเส้นทางลัด



รูปที่ 3.1 ตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในระบบ DHS

3.2.3 ถังพักน้ำ (Storage Tank)

ระบบใช้ถังพลาสติกขนาด 245 ลิตรหนึ่งถัง ออกแบบให้มีรับป้องกันน้ำล้นในถังดังรูปที่ 3.2



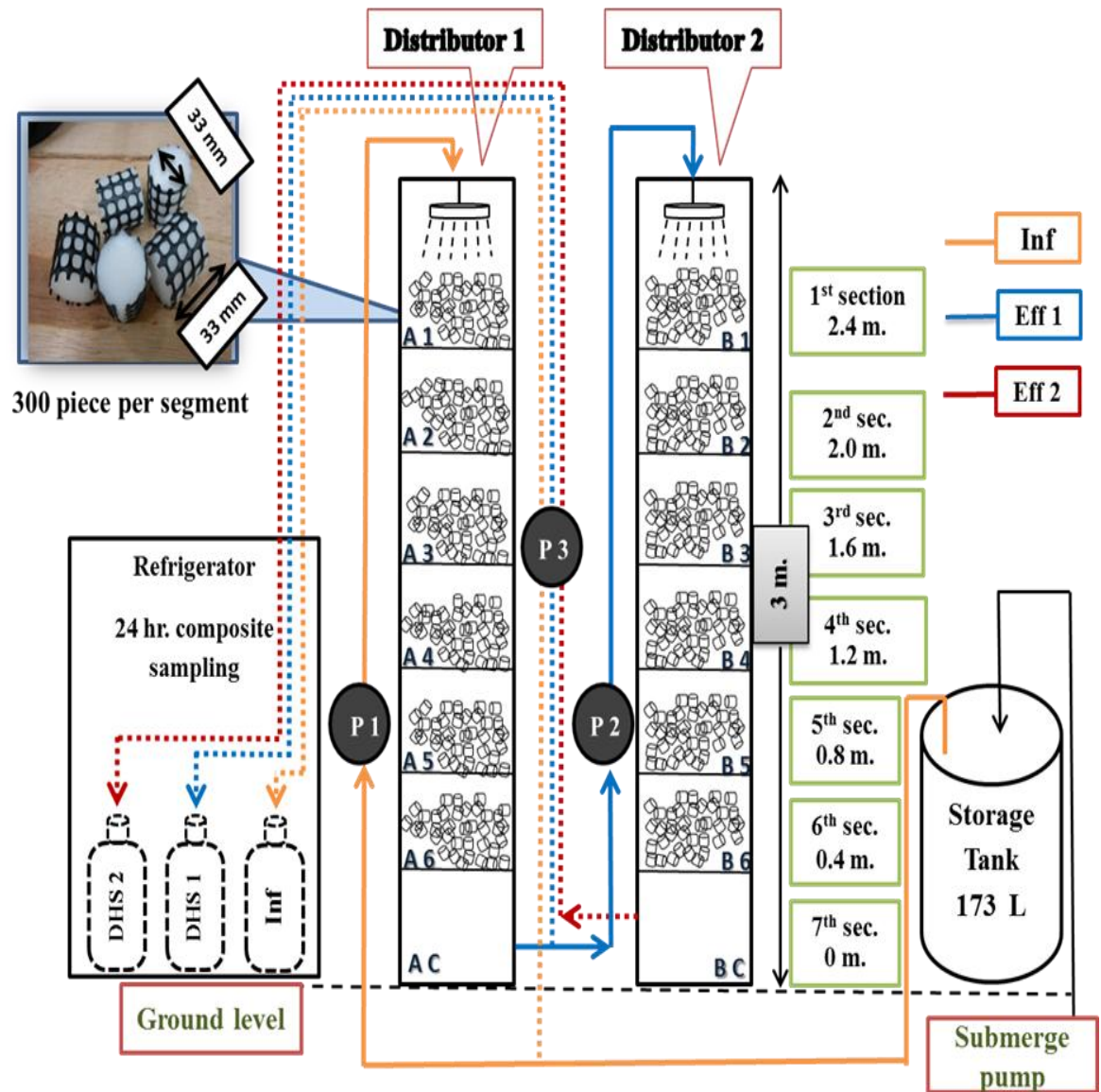
รูปที่ 3.2 ถังพักน้ำเสีย (Storage Tank)

3.2.4 เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม (Submerge Pump)

เครื่องสูบน้ำจะสูบน้ำเสียที่ผ่านตะแกรงคัดขยะแล้ว เข้าสู่ถังพักน้ำ หลังจากนั้น ปั๊ม Peristaltic 3 ตัว ประกอบด้วย Peristaltic Master flex1 (Influent) สูบน้ำเสียจากถังพักน้ำไป DHS1 ปั๊ม Peristaltic Master flex2 (Effluent 1) สูบน้ำที่บำบัดจาก DHS1 ที่ชั้น AC (A Clarifier) ไปยัง DHS2 ปั๊ม Peristaltic Master flex3 จะเก็บน้ำของทั้ง 3 ตัวอย่าง (Influent, Effluent1, Effluent2) ทุก 10 นาทีแล้วหยุด 50 นาที เพื่อให้เกิดการเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่องใน 24 ชั่วโมง

3.2.5 ตู้เย็น

ระบบได้ใช้ตู้เย็นสำหรับเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำเสียที่จะนำกลับมาวิเคราะห์ตัวอย่าง เนื่องจากพื้นที่ที่ติดตั้งถังปฏิกิริยามีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ตู้เย็นจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ป้องกันการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของระบบ Down flow Hanging Sponge, DHS

3.3 การดำเนินระบบ

3.3.1 การเริ่มระบบ เริ่มต้นโดยการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในถังพักน้ำ (Storage Tank) สองวันหนึ่งครั้ง ปริมาณครั้งละ 20 ลิตร โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัด Activated Sludge ที่มีความเข้มข้นของตะกอนประมาณ 4.76 กรัมวีเอสเอสต่อลิตร และน้ำเสียชุมชนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ เป็นเวลา 10 วัน โดยตั้งเวลาเปิดปิดปั๊มจุ่มเพื่อดึงน้ำเสียเข้าระบบ กำหนดเปิด 2 นาที และปิด 100 นาที

3.3.2 หลังจากหยุดการเติมเชื้อ เครื่องสูบน้ำจะตั้งเวลาอัตโนมัติใหม่ โดยกำหนดให้เวลาเปิด 10 นาที และปิด 50 นาที เพื่อสูบน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำเข้าสู่ถังพักน้ำ และเครื่องสูบน้ำชนิด Peristaltic 1 จะทำการส่งน้ำจากถังพักน้ำไปสู่ถังปฏิกรณ์ DHS 1 ด้วยอัตราไหล 0.42 ลิตรต่อนาที หลังจากนั้นเครื่องสูบน้ำชนิด Peristaltic 2 จะส่งน้ำจากชั้น AC (A Clarifier) ไปถังปฏิกรณ์ DHS 2 ด้วยอัตราไหลประมาณ 90% ของอัตราไหลเครื่องสูบน้ำชนิด Peristaltic 1 คือ 0.38 ลิตรต่อนาที สาเหตุที่ต้องกำหนดอัตราไหลของ Peristaltic 2 ต่ำกว่า Peristaltic 1 เพราะป้องกันไม่ให้น้ำเสียในชั้น AC เกิดการน้ำขาดแคลน ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสายขนาน้ำเสียของเครื่องสูบน้ำ

3.3.3 การเก็บน้ำ Composite Sampling เพื่อมาหาค่า TBOD, SBOD, TCOD, SCOD, SS, VSS, *E. coli* และ Total Coliforms จะกำหนดเวลาดังเปิดปิดเครื่องสูบน้ำชนิด Master flex 3 โดยเปิด 10 และปิด 50 นาที เช่นกัน ส่งผ่านน้ำที่ได้ไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่มีภาชนะรองรับน้ำแต่ละตัวอย่างอยู่

3.3.4 ค่า DO, ORP, pH และ อุณหภูมิ จะเก็บข้อมูลแบบ Spot sampling โดยแสดงรายละเอียดในภาคผนวก

3.3.5 การดำเนินการควบคุมระบบ ระบบ DHS ที่ทำการศึกษาดำเนินการเริ่มต้นที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 4 ชั่วโมง และทำการลดระยะเวลากักเก็บน้ำลงเป็น 2, 1.5 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการดำเนินควบคุมระบบ Down-flow Hanging Sponge

HRT (hour)	Time (days)	OLR (kgBOD/m ³ -day)	Flow rate (L/hour)
4	94	0.12	25.2
2	177	0.18	50.4
1.5	212	0.22	67.3
1	353	0.48	100.8

3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ที่ระดับความสูงต่างๆ

(Profile experiment)

3.4.1 การศึกษาปริมาณตะกอนบนตัวกลางฟองน้ำในถังปฏิกรณ์ (Sludge Profile)

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อดูปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่บนตัวกลางฟองน้ำในแต่ละชั้นของถังปฏิกรณ์ โดยหลังจากระบบเข้าสู่ในช่วงเสถียรภาพแล้วจะทำการเก็บตัวอย่างฟองน้ำจากแต่ละชั้นระดับความสูง จากนั้นจึงทำการลดระยะกักเก็บน้ำลง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำอื่นๆ ในการทดลองที่ระยะกักเก็บน้ำ 4 ชั่วโมง ได้ศึกษา Sludge profile ในวันที่ 94 ของการทดลอง และในวันที่ 177 ได้ศึกษา Sludge profile ของน้ำเสียในระบบ ที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง ต่อมาในวันที่ 226 ศึกษา Sludge profile ที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมง และวันที่ 299 ของการทดลองได้ศึกษาที่ระยะกักเก็บน้ำ 1 ชั่วโมง โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

3.4.1.1 ทำการเลือกฟองน้ำที่ระดับความสูงของถังปฏิกรณ์คือ

ที่ความสูง 4.8 เมตร (ชั้น A1)

ที่ความสูง 4 เมตร (ชั้น A3)

ที่ความสูง 3.2 เมตร (ชั้น A5)

ที่ความสูง 2.4 เมตร (ชั้น B1)

ที่ความสูง 1.6 เมตร (ชั้น B3)

ที่ความสูง 0.8 เมตร (ชั้น B5)

ที่ความสูง 0 เมตร (ชั้น BC)

3.4.1.2 วิธีการเลือกฟองน้ำมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จะใช้วิธีการหยิบแบบสุ่มในชั้นความสูงตามข้อ

3.4.1.1 มาชั้นละ 3 ชั้น

3.4.1.3 นำตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) ออกจากฟองน้ำ โดยวิธีบีบฟองน้ำพร้อมกับฉีดล้างด้วยน้ำกลั่น เพื่อนำไปศึกษาหาปริมาณของค่า SS และ VSS

3.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ (Reactor profile) จะเป็นการเก็บตัวอย่างจากแต่ละชั้นตัวอย่างที่กำหนดไว้ตามข้อ 3.4.1.1 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า BOD, COD, SS, VSS, *E. coli*, Total coliforms และ DO โดยทำการศึกษาในวันเดียวกับการทดลอง Sludge profile

3.5 อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ (Oxygen Uptake Rate, OUR)

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่เกาะบนฟองน้ำ โดยศึกษาถึงศักยภาพการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 เลือกตัวอย่างฟองน้ำแบบสุ่มจากชั้น A1, A3 และ A5 มาชั้นละ 3 ชั้น

3.5.2 เตรียมน้ำกลั่นผสมสารอาหาร คือ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Phosphate Solution, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปเติมอากาศจนอิ่มตัวด้วยออกซิเจน

3.5.3 ใช้น้ำกลั่นที่ผสมสารอาหารและเติมอากาศไว้มาล้างตะกอนจุลินทรีย์ที่เกาะบนพื้นผิวฟองน้ำออก (จดปริมาตรของตะกอนจุลินทรีย์) จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรน้ำ 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปเติมอากาศจนอิ่มตัวอีก

3.5.4 หลังจากน้ำกลั่นผสมสารอาหารและตะกอนจุลินทรีย์ถูกเติมอากาศจนอิ่มตัว นำมาควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วทำการวัดค่า DO ทุกๆ 1 นาที แล้วนำมาเขียนแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์ค่าความชัน (slope) ของสมการที่จะบ่งชี้อัตราการใช้ออกซิเจนที่ย่อยสลายตัวเองโดยไม่ใช้สารอินทรีย์ (Autolysis)

3.5.5 จากนั้นทำการเติมสารอินทรีย์โซเดียมอะซิเตท (Sodium Acetate, NaAc) ที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พร้อมกับนำไปเติมอากาศอีกซักพักต่อ แล้วนำมาวัดค่า DO เช่นเดียวกัน แต่ครั้งนี้เป็นการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย (Heterotroph)

3.5.6 นำผลที่ได้มาคำนวณหา อัตราการใช้ออกซิเจนต่อจำนวนจุลชีพ (Slope ÷ VSS) จะได้อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ (Specific Oxygen Uptake Rate, $\text{mgO}_2/\text{gVSS-day}$)

3.6 วิธีวิเคราะห์การทดลอง

การศึกษาระบบจะแบ่งการเก็บตัวอย่างได้ 2 ชนิดคือ อย่างแรกการเก็บตรวจวัด Composite Sampling การตรวจวัดชนิดนี้จะการตัวอย่างน้ำเสียจากตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส โดยมีความถี่ได้การตรวจวัดและวิธีการทดลองดังตารางที่ 3.3 ส่วนการตรวจวัดอีกแบบคือการตรวจวัดสภาพสิ่งแวดล้อมของระบบ การตรวจวัดชนิดนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ถึงปฏิกรณ์โดยตรงและตรวจวัดทันที

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัด Composite Sampling

พารามิเตอร์	อุปกรณ์ที่ใช้	วิธีทดลอง	ความถี่ในการตรวจวัด
1. Total COD, Soluble COD	Titration	Close reflux	2 ครั้ง/สัปดาห์
2. Total BOD, Soluble BOD	BOD bottles	Dilution method	1 ครั้ง/สัปดาห์
3. SS	Oven	Dries at 103-105°C	2 ครั้ง/สัปดาห์
4. VSS	Furnace	Ignited at 550°C	2 ครั้ง/สัปดาห์
5. <i>E. coli</i>	Compact Dry	Compact Dry	2 ครั้ง/สัปดาห์
6. Coliforms	Compact Dry	Compact Dry	2 ครั้ง/สัปดาห์

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัดสภาพสิ่งแวดล้อมของระบบ DHS

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

หมายเหตุ * เครื่องวัดค่า DO ของ DKK-TOA รุ่น DO-31P

** เครื่องวัดค่า ORP ของ HANNA รุ่น HI 98120

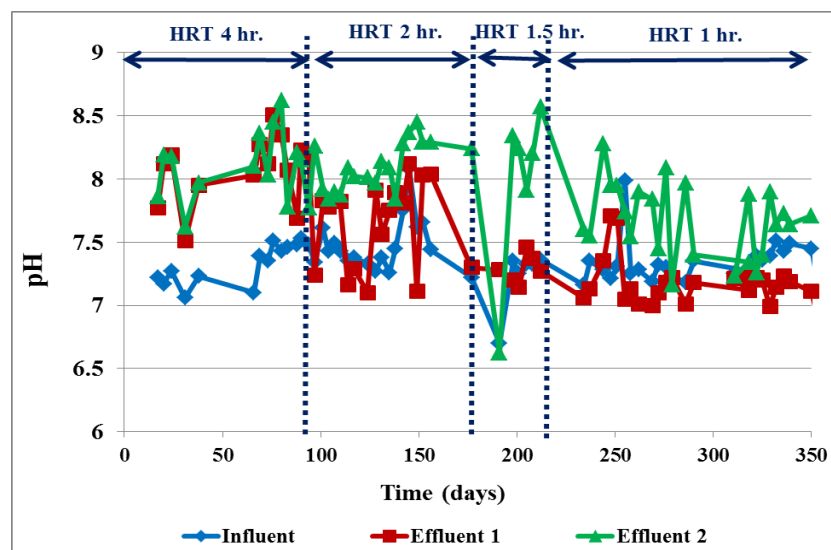
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินระบบโดยใช้น้ำเสียชุมชนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำพุกรุงกับระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) เพื่อดูประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

4.1 สภาพสิ่งแวดล้อมของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS)

4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

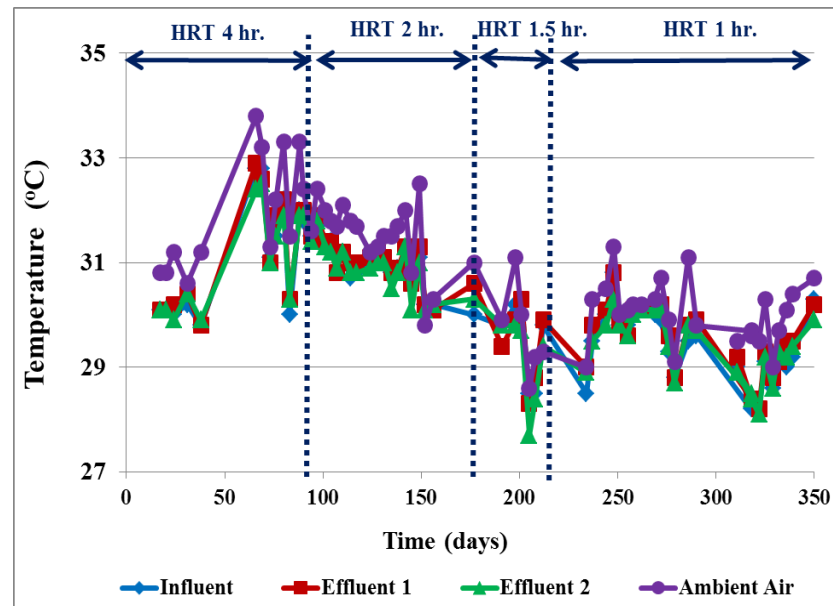
น้ำเสียที่เข้าระบบจะเห็นได้ว่ามีค่าพีเอชที่ค่อนข้างเป็นกลาง ดังรูปที่ 4.1 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า การจัดการระบบท่อน้ำเสียจากชุมชนมายังโรงควบคุมคุณภาพน้ำพุเป็นแบบระบบรวบรวมน้ำเสียแบบรวม เป็นระบบที่รวบรวมทั้งน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนและน้ำฝน น้ำฝนทั่วไปจะมีความเป็นกรดเล็กน้อย และน้ำเสียส่วนใหญ่จากอาคารบ้านเรือนส่วนมากจะมีความเป็นกลาง ทั้งนี้เมื่อน้ำเสียชุมชนมีปริมาณที่สูงมารวมกับน้ำฝน ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความเป็นกรดถูกเจือจางทำให้พีเอชเข้าสู่ความเป็นกลาง และจากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบจะมีค่าพีเอชที่สูงขึ้น เพราะว่าระบบมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification-Denitrification) ทำให้ได้ HCO^{3-} และ OH^- ออกมาเป็นสารผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าพีเอชของระบบมีปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อน้ำออกจากระบบ



รูปที่ 4.1 ค่าปริมาณพีเอช (pH) ของระบบ DHS ที่ระยะกักเก็บน้ำเวลาต่างๆ

4.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

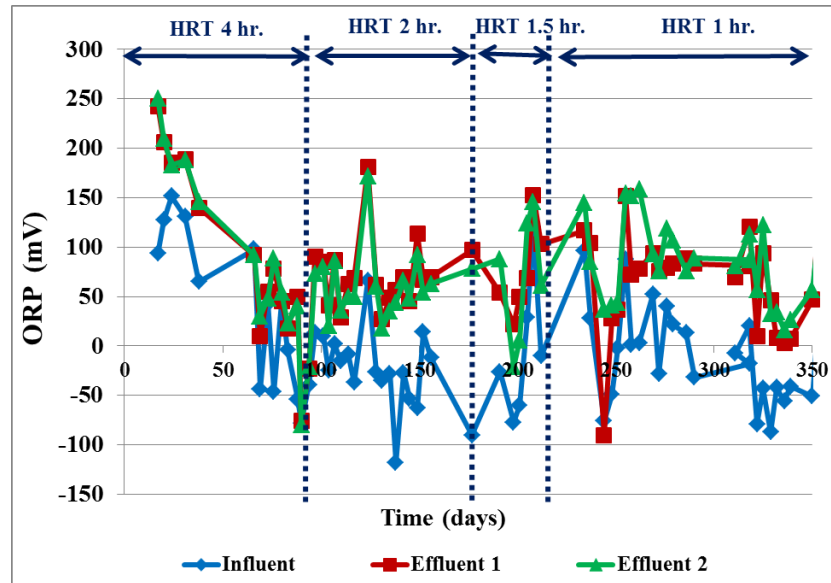
ในการทดลองได้ติดตั้งระบบ DHS ไว้ในอาคาร โดยในการทดลองภายในอาคารพบว่า มีสภาวะอากาศที่อบอุ่น คือมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29 ถึง 31 องศาเซลเซียส ตลอดทุกช่วงฤดูกาล จากการศึกษพบว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบ DHS ไม่ได้มีความเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิมากนัก แสดงได้วาระบบไม่ได้มีกลไกใดเพื่อทำให้คุณสมบัติ น้ำเสียที่ออกจากระบบมีความเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมระบบ น้ำเสียก่อนและหลังออกจากระบบ DHS ที่ระยะกัก เก็บน้ำเวลาต่างๆ

4.1.3 โออาร์พี (ORP)

เป็นตัวบ่งชี้สภาวะปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียได้อีกตัวหนึ่ง โดยค่าโออาร์พีเมื่อมีปริมาณที่สูงในน้ำขุ่นมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงด้วยเช่นกัน (Horne et al., 1994) จากรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณค่าโออาร์พีน้ำเสียก่อนจะเข้าระบบ DHS มีปริมาณที่ต่ำเป็นเพราะว่าในน้ำเสียชุมชนก่อนจะเข้าระบบมีสารอินทรีย์และมีจุลินทรีย์ที่มาก การใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสารอินทรีย์จึงสูง ทำให้เมื่อทำการสำรวจค่าโออาร์พีในน้ำจึงพบว่ามีปริมาณที่ต่ำ และจากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำเสียที่ออกจากระบบมีปริมาณค่าโออาร์พีที่สูงขึ้น ด้วยกระบวนการการเติมอากาศในระบบ DHS แสดงได้วาระบบได้มีการเติมอากาศเข้าสู่ น้ำเสียเพิ่มมากขึ้น โดยปล่อยน้ำเสียไหลลงตามแรงโน้มถ่วงผ่านตามชั้นตัวกลางฟองน้ำ



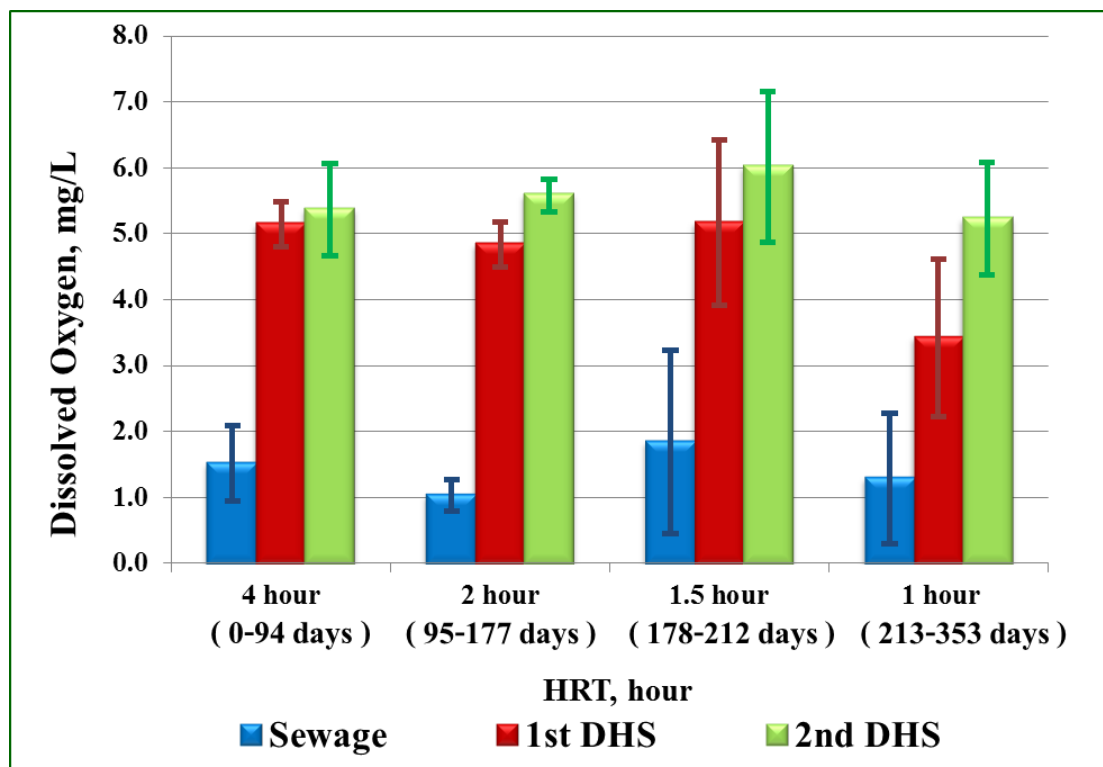
รูปที่ 4.3 ปริมาณค่าโออาร์พี (ORP)ของระบบ DHS ที่ระยะกักเก็บน้ำเวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ Spot sampling ของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS)

HRT	Time, days	Samples	Ambient air, °C	Temperature, °C	pH	ORP, mV
4 hour	94	Sewage	31.9	31.1	7.3	35.0
		1 st DHS		31.1	8.1	86.6
		2 nd DHS		31.1	8.1	89.4
2 hour	177	Sewage	31.5	30.9	7.5	-24.0
		1 st DHS		31.0	7.6	72.4
		2 nd DHS		30.8	8.1	62.5
1.5 hour	212	Sewage	29.7	29.5	7.2	-3.8
		1 st DHS		29.4	7.3	75.2
		2 nd DHS		29.1	8.0	67.3
1 hour	353	Sewage	30.2	29.7	7.3	11.1
		1 st DHS		29.8	7.2	71.6
		2 nd DHS		29.7	7.7	98.4

4.1.4 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

ด้วยระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) มีการเติมอากาศได้ด้วยตัวของระบบเอง หรือไม่จำเป็นต้องเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาช่วย จึงเป็นจุดเด่นอย่างหนึ่งของระบบนี้ ระบบ DHS จะใช้หลักการเติมอากาศโดย เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ DHS จะเกิดการการกระแทกระหว่างน้ำเสียกับฟองน้ำขึ้นในถังปฏิกรณ์ ทำให้น้ำเสียกระจาย จึงเป็นช่วงที่อากาศจะเข้าสู่ น้ำเสียได้มากขึ้น น้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าระบบจะมีค่าที่ต่ำคือช่วงประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อน้ำเสียได้ผ่านการบำบัดจากระบบ จะพบว่าปริมาณค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ถังปฏิกรณ์ที่หนึ่ง คือมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเมื่อน้ำเสียผ่านถังปฏิกรณ์ที่สอง หรือน้ำเสียที่ออกจากระบบ มีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ค่าออกซิเจนมีปริมาณเพิ่มเป็นเพราะกลไกของระบบ DHS ที่ได้กล่าวข้างต้น

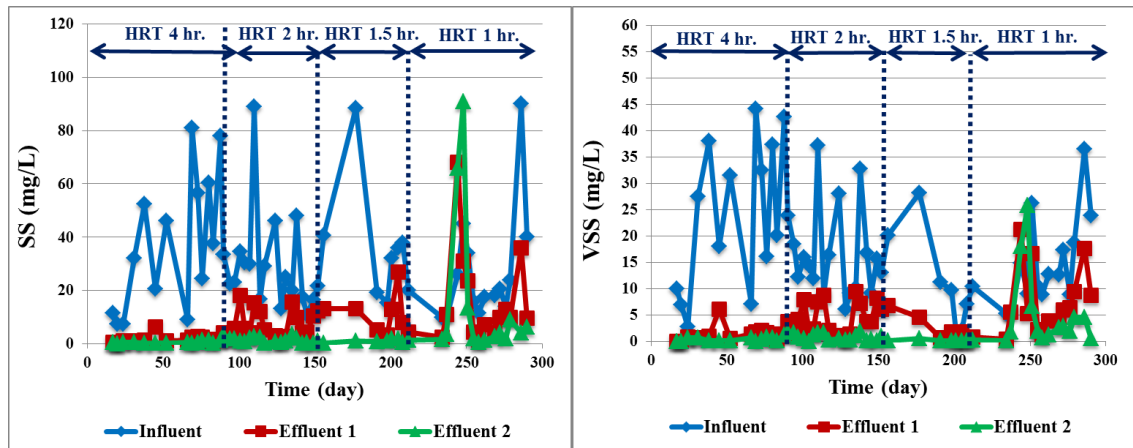


รูปที่ 4.4 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ที่ระยะกักเก็บน้ำเวลาต่างๆ

4.2 สารแขวนลอย (SS and VSS)

การทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความสกปรกต่ำด้วยระบบ DHS โดยเดินระบบควบคุมให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ซึ่งน้ำเสียชุมชนที่เข้าระบบมีค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนค่อนข้างปั่นป่วน จากการศึกษาในระบบ DHS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นสารแขวนลอยได้ดี โดยระบบที่ตัวกลางเป็นฟองน้ำสามารถดักจับสารแขวนลอยในน้ำเสียให้ติดตามช่องว่างของพื้นผิวฟองน้ำ ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณสารแขวนที่ต่ำ และในตัวกลางช่วงที่ดำเนินระบบไม่พบการอุดตันเกิดขึ้นในระบบ เพราะว่าในระบบมีการเกิดไบโอฟิล์ม (Biofilm) ขึ้นบนพื้นผิวตัวกลาง ฟองน้ำจึงมีจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ตามตัวกลางตลอด และเมื่อมีไบโอฟิล์ม (Biofilm) มากๆ จะเกิดการหลุดลอกออกของชั้นไบโอฟิล์ม (Biofilm) ทำให้ไม่เกิดการอุดตันขึ้นในระบบ จากตาราง 4.2 พบว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัด SS ที่ระยะกักเก็บน้ำ 4 ชั่วโมง (Hydraulic Retention Time, HRT) ให้ประสิทธิภาพสูงคือ น้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพ 92.4% (1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) และน้ำที่ออกจากระบบ หรือน้ำออกที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพ 51.3% (0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด VSS ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพ 90.6% (1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร) และที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ได้ 51.9% (0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร) จากนั้นช่วงวันที่ 94 ได้ทำการลดระยะกักเก็บน้ำ (HRT) ลงเหลือ 2 ชั่วโมง พบว่าระบบยังคงมีประสิทธิภาพการกำจัด SS และ VSS ได้ดีอยู่ โดยประสิทธิภาพในการกำจัด SS ในน้ำออกจากระบบที่ถังปฏิกรณ์ 1 และ 2 คือ 68.4% (8.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 79% (1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด VSS ในน้ำออกจากระบบที่ถังปฏิกรณ์ 1 และ 2 คือ 66.7% (4.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 81.1% (0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ จากนั้นระบบก็ได้ลดระยะกักเก็บน้ำลงอีกเป็น 1.5 ชั่วโมง พบว่าระบบยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่น่าพอใจ โดยสังเกตได้จากค่าปริมาณของ SS และ VSS ที่น้ำน้ำออกจากระบบยังคงมีปริมาณที่ต่ำอยู่ โดยประสิทธิภาพในการกำจัด SS ในน้ำออกจากระบบที่ถังปฏิกรณ์ 1 และ 2 คือ 65.4% (10.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 82.1% (1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด VSS ในน้ำออกจากระบบที่ถังปฏิกรณ์ 1 และ 2 คือ 78.3% (0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 68.2% (0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ แล้วในช่วงวันที่ 234 ได้เปลี่ยนระยะกักเก็บน้ำเป็น 1 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าปริมาณของ SS และ VSS ที่เหลือจากน้ำที่ออกจากระบบมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณแล้ว ระบบยังคงรักษาประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีอยู่คือ น้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพ 55% (16 มิลลิกรัมต่อลิตร) และที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพ 50.5% (17.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด VSS ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพ 65.9% (6.6

มิลลิกรัมต่อลิตร) และที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ได้ 45.4% (5.8 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะเห็นได้ว่าระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนได้อย่างดี



รูปที่ 4.5 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งระเหยง่าย (VSS) ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยการบำบัด SS และ VSS ของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS)

	HRT 4 hour (94 days)			HRT 2 hour (177 days)			HRT 1.5 hour (226 days)			HRT 1 hour (299 days)		
	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS
SS	36.3	1.9	0.8	33.4	8.7	1.3	26.8	10.2	1.3	26.9	16	17.1
VSS	23.6	1.5	0.6	17	4.9	0.7	7.1	0.9	0.2	15.1	6.6	5.8

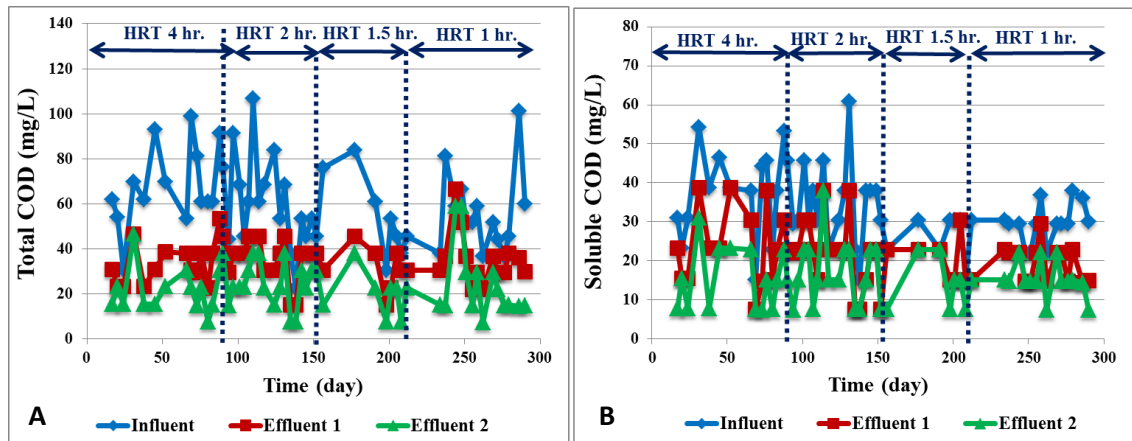
*Unit: mg/L

4.3 ซีโอดี (COD)

ค่าซีโอดีเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ช่วยบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย โดยในการทดลองได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบ DHS จากการทดลองพบว่าน้ำเสียชุมชนที่เข้าระบบมีค่าซีโอดีในปริมาณที่ต่ำ รวมถึงค่าซีโอดีมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าระบบ DHS มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีปริมาณซีโอดีที่ออกจากระบบลดลงได้อีกจนมีค่าน้อยมาก ดังตารางที่ 4.3 ทั้งนี้ที่ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ลดลงไปได้อาจเป็นเพราะอย่างแรก ระบบมีตัวกลางซึ่งทำหน้าที่คล้ายตัวกรอง จึงทำให้ดักจับพวกสารแขวนลอยให้ติดตามตัวกลาง จึงทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ตามสารแขวนลอยมีปริมาณที่ลดลงเมื่อออกจากระบบ และ

อย่างที่สองคือ ตามตัวกลางฟองน้ำมีจุลินทรีย์ยึดเกาะตามพื้นผิวอยู่ ทำให้มีการใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลายขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านชั้นตัวกลางฟองน้ำ (M. Mahmoud et al., 2011)

เมื่อเปรียบเทียบผลงานวิจัยของ Tawfik, et al. (2006) และ Mahmoud, et al. (2011) ที่ใช้ระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) แบบ Random Type พบว่าทั้งสองงานวิจัยที่ผ่านมามีปริมาณค่าซีโอดีที่ต่ำในน้ำเสียที่ออกจากระบบ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยนี้ที่มีปริมาณค่าซีโอดีต่ำมากเมื่อออกจากระบบ ทั้งนี้ยังพบว่างานวิจัยนี้ดำเนินระบบที่ระยะการกักเก็บน้ำน้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมาคือ 1 ชั่วโมง (งานวิจัยของ Tawfik, et al. (2006) และ Mahmoud, et al. (2011) ที่มีระยะกักเก็บน้ำ 2.7 ชั่วโมง กับ 1.8 ชั่วโมง ตามลำดับ) แสดงได้ว่าระบบ DHS ของงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.6 ค่าปริมาณ (A) ซีโอดีทั้งหมด (Total COD) และ (B) ซีโอดีละลายน้ำ (Soluble COD) ที่ระยะกักเก็บน้ำที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการบำบัด COD และ SCOD ของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS)

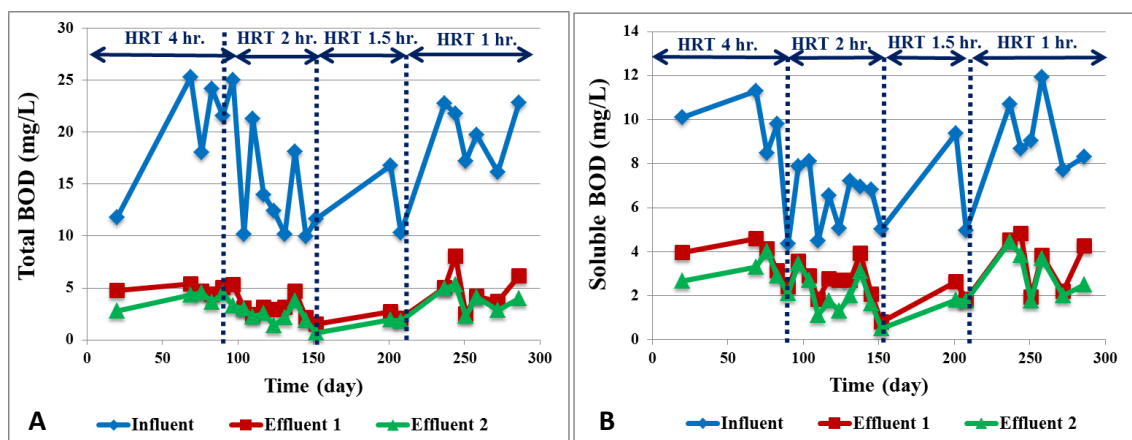
	HRT 4 hour (94 days)			HRT 2 hour (177 days)			HRT 1.5 hour (226 days)			HRT 1 hour (299 days)		
	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS	Sewage	1 st DHS	2 nd DHS
COD total	66.8	33.9	22	62.6	36.4	25.4	45.7	29.2	17.8	56	35.7	26.9
COD soluble	37.3	23.9	14.8	33.9	22	17.4	26.7	19.1	14	29.7	16.2	20.2

*Unit: mg/L

4.4 บีโอดี (BOD)

ในการดำเนินระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียชุมชนได้อย่างดี จากผลการทดลองค่าบีโอดีมีทิศทางไปในแนวเดียวกันกับค่าซีโอดี และมีกลไกในการกำจัดสารอินทรีย์เช่นเดียวกัน จากรูป 4.2 จะเห็นได้ว่า น้ำเสียที่เข้าระบบจะมีปริมาณบีโอดีที่ไม่มากนักจัดเป็นน้ำเสียชุมชนที่มีความสกปรกต่ำ ระบบ DHS สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความสกปรกต่ำได้ และพบว่าค่าปริมาณบีโอดีทั้งหมด (Total BOD) และบีโอดีละลายน้ำ (Soluble BOD) ที่ออกจากระบบมีค่าปริมาณน้อยมาก จากรูป 4.2 ที่ระยะกักเก็บน้ำ (HRT) 4 ชั่วโมง ของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าบีโอดีทั้งหมด และบีโอดีละลายน้ำ มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ 74.2% (4.86 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 57% (3.64 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพน้ำออกจากระบบที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ 18.9% (3.94 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 16.1% (2.59 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ สำหรับที่ระยะกักเก็บน้ำที่ 2 ชั่วโมง ระบบ DHS ยังคงรักษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ดี คือ น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าบีโอดีทั้งหมด และบีโอดีละลายน้ำ มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ 77.8% (3.15 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 61.5% (2.59 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพน้ำออกจากระบบที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ 25% (2.33 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ 25.2% (1.96 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ จากนั้นช่วงวันที่ 177 ได้ทำการลดเวลาการกักเก็บน้ำลงเป็น 1.5 ชั่วโมง พบว่าระบบยังคงรักษาประสิทธิภาพ และการทำงานได้ดีเช่นเดิม คือ ที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1 สามารถบำบัดบีโอดีทั้งหมดได้ 81.5% (2.43 มิลลิกรัมต่อลิตร) และบำบัดบีโอดีละลายน้ำ 67.4% (2.24 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนน้ำที่ออกจากระบบ หรือที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 บำบัดบีโอดีทั้งหมดได้ 22.6% (1.86 มิลลิกรัมต่อลิตร) และบำบัดบีโอดีละลายน้ำ 18% (1.79 มิลลิกรัมต่อลิตร) จากผลของระยะกักเก็บน้ำที่ 1.5 ชั่วโมง ระบบยังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการลดระยะการเก็บน้ำลงเหลือ 1 ชั่วโมง พบว่า ที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1 สามารถบำบัดบีโอดีทั้งหมดได้ 76.4% (4.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) และบำบัดบีโอดีละลายน้ำ 64% (3.47 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนน้ำที่ออกจากระบบ หรือที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 บำบัดบีโอดีทั้งหมดได้ 13.8% (3.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) และบำบัดบีโอดีละลายน้ำ 8.7% (3.15 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะเห็นได้ว่าปริมาณค่าบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่น้ำออกจากระบบ แต่ก็ยังมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าบีโอดีน้ำออกจากระบบของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ ที่มีปริมาณค่าบีโอดี 3.26 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณค่าบีโอดีที่ออกจากระบบมีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่าระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เช่นเดียวกับระบบ Activated Sludge ที่ทางโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุใช้ดำเนินระบบ

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณค่าบีโอดีที่ออกจากระบบ DHS มีปริมาณที่น้อยมากเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Tawfik, et al. (2006) ที่มีประสิทธิภาพการกำจัด $96 \pm 5\%$ (HRT 2.7 ชั่วโมง) และ Mahmoud, et al. (2011) ที่มีประสิทธิภาพการกำจัด $95 \pm 2\%$ (HRT 1.8 ชั่วโมง) จะเห็นได้ว่าทั้งสองงานวิจัยมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ 81% (HRT 1 ชั่วโมง) แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่างานวิจัยนี้มีระยะกักเก็บน้ำที่น้อยกว่าทั้งสองงานวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงที่ประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำ เป็นเพราะความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่มากับน้ำเสียชุมชนมีความสกปรกที่ต่ำ หรือปริมาณบีโอดีน้อย



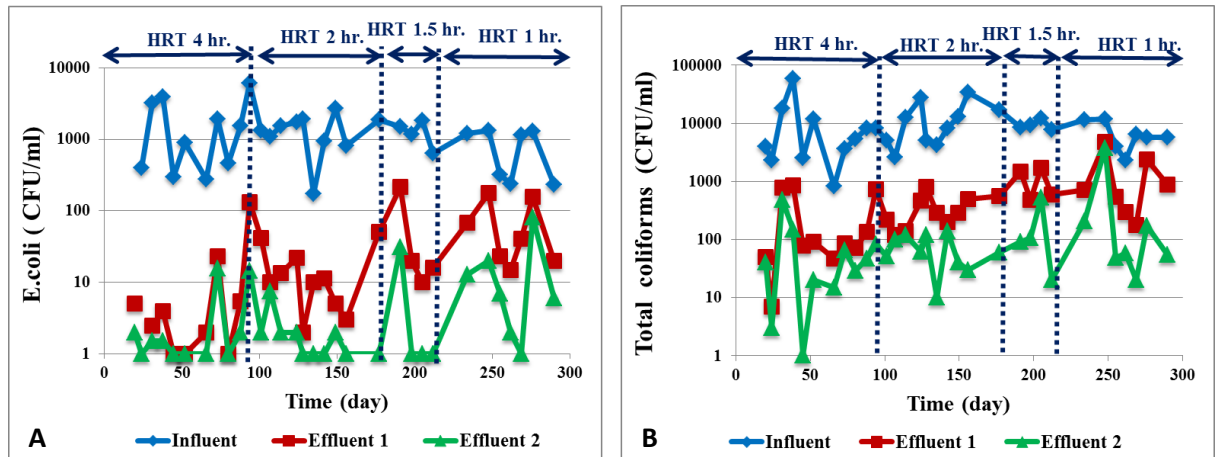
รูปที่ 4.7 ค่าปริมาณ (A) บีโอดีทั้งหมด (Total BOD) และ (B) บีโอดีละลายน้ำ (Soluble BOD) ที่ระยะกักเก็บน้ำที่เวลาต่างๆ

4.5 เชื้อโรค (Pathogen)

น้ำเสียชุมชนเป็นแหล่งที่มีเชื้อโรค ซึ่งอาจจะทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้ เมื่อสัมผัสหรือเข้าสู่คน หากมีการบำบัดที่ไม่ดี ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการบำบัดเชื้อโรคที่อยู่ในน้ำเสียชุมชน คือ *E. coli* และ Total coliforms ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่บ่งชี้ถึงการเกิดโรคได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อโรคในน้ำเสียชุมชน สาเหตุที่ระบบสามารถกำจัดเชื้อโรคได้ดีเพราะกลไก 2 ส่วนใหญ่ๆคือ อย่างแรกเกี่ยวกับการดูดติด (Adsorption) เมื่อเชื้อโรคที่มากับน้ำเสียเข้าสู่ระบบ เชื้อโรคจะมาเกาะตามตัวกลางฟองน้ำที่มีจุลชีพอยู่ จะเกิดการการกิน-ถูกกินขึ้น (Predation) จึงทำให้ปริมาณเชื้อโรคมีปริมาณที่ลดลง และอย่างที่สองคือ ความเป็นพิษต่อการอาศัยเติบโตของเชื้อโรค เพราะสภาวะในถังปฏิกรณ์ DHS เป็นสภาวะที่มีอากาศออกซิเจน

ไหลเวียนตลอดเวลา ซึ่งเป็นสถานะที่เชื้อโรคพวก *E. coli* และ Total coliforms ไม่สามารถอาศัยและเติบโตได้ จึงเป็นสาเหตุการตาย และส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพกำจัดได้อย่างสูง จากรูป 4.3 จะเห็นได้ว่าที่ระยะกักเก็บน้ำ (HRT) 4 ชั่วโมง ระบบ DHS มีประสิทธิภาพในการกำจัด *E. coli* ได้ 90.3% (16 CFU/ml) และ 67.1% (3 CFU/ml) ที่ถังปฏิกรณ์ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด Total coliforms ได้ 95.8% (267 CFU/ml) และ 64.9% (85 CFU/ml) ที่ถังปฏิกรณ์ 1 และ 2 ตามลำดับ จากนั้นได้ลดระยะกักเก็บน้ำลงเป็น 2 ชั่วโมง ระบบยังคงประสิทธิภาพได้ดีในการบำบัด *E. coli* คือ ที่ถังปฏิกรณ์ 1 สามารถบำบัดได้ 98.5% (17 CFU/ml) และที่ถังปฏิกรณ์ 2 บำบัดได้อีก 74.1% (4 CFU/ml) ส่วน Total coliforms ถึงถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัด 97.1% (239 CFU/ml) และ ที่ถังปฏิกรณ์ 2 มีประสิทธิภาพ 48.9% (84 CFU/ml) สำหรับที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมง ถึงถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัด *E. coli* ได้ 95.3% (65 CFU/ml) และ ที่ถังปฏิกรณ์ 2 มีประสิทธิภาพ 92.3% (8 CFU/ml) ส่วน Total coliforms ถึงถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัด 89% (1060 CFU/ml) และ ที่ถังปฏิกรณ์ 2 มีประสิทธิภาพ 84.5% (184 CFU/ml) จากนั้นระบบเข้าสู่ระยะกักเก็บน้ำที่ 1 ชั่วโมง พบว่าระบบ DHS ยังคงบำบัด *E. coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ ที่ถังปฏิกรณ์ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัด *E. coli* ได้ 91.9% (81 CFU/ml) และ ที่ถังปฏิกรณ์ 2 มีประสิทธิภาพ 78.8% (21 CFU/ml) ส่วน Total coliforms มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงในน้ำที่ผ่านกระบวนการของระบบคือ ที่ถังปฏิกรณ์ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัด 80.2% (1494 CFU/ml) และ ที่ถังปฏิกรณ์ 2 มีประสิทธิภาพ 74.6% (704 CFU/ml)

จากการทดลองนี้พบว่าระบบ DHS มีประสิทธิภาพในการกำจัดทั้ง *E. coli* และ Total coliforms ได้สูงถึง 98-99% ในทุกๆ ระยะกักเก็บน้ำ และจากการศึกษาระบบ DHS ที่ผ่านมาของ Tandukar, et al. (2007) ที่ได้ดำเนินระบบ DHS ชนิด Curtain ระยะกักเก็บน้ำ 2.5 ชั่วโมง พบว่าระบบ DHS มีประสิทธิภาพการกำจัด Fecal coliform ได้ถึง 99% เช่นเดียวกัน ทั้งๆ ที่ระบบมีการจัดเรียงตัวกลางฟองน้ำแตกต่างกัน แต่มีลักษณะกลไกในการกำจัดเชื้อโรคที่เหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากการไหลเวียนอากาศออกซิเจนตลอด และมีกระบวนการ predation ขึ้น จะเห็นได้ว่าระบบ DHS นี้จึงเป็นระบบที่มีสมรรถภาพสูงในการกำจัดเชื้อโรค และเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างดี



รูปที่ 4.8 ค่าปริมาณ (A) *E. coli* และ (B) Total coliforms ที่ระยะกักเก็บน้ำที่เวลาต่างๆ

4.6 การศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์

(Profile Experiment)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียเมื่อเข้าระบบ DHS และผ่านแต่ละชั้นระดับความสูงของระบบ ในการนำเสนอผลการทดลองจะใช้ความสูงของทั้งสองปฏิกรณ์มาต่อกันและแสดงในแกน Y ของกราฟในรูป 4.9 โดยน้ำเสียที่เข้าระบบจะเริ่มเข้าที่ความสูง 4.8 เมตร (ชั้น A1)

4.6.1 สารแขวนลอย (SS)

ในการศึกษาคุณลักษณะสมบัติของน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถึงปฏิกรณ์พบว่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบถูกดักจับด้วยตัวกลางฟองน้ำได้ส่วนมากตั้งแต่ชั้น A3 (ที่ความสูง 4 เมตร) และมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทาง ดังรูป 4.9 แต่จะเห็นที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมงที่ชั้น B1 (ที่ความสูง 2.4 เมตร) มีปริมาณเพิ่มขึ้น เป็นเพราะว่า ปริมาณอัตราไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกลางฟองน้ำหลุดออก รวมถึงที่ชั้น AC (ถังพักน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดถึงปฏิกรณ์ 1) มีตะกอนตกจมอยู่เมื่อเมื่อปั๊ม peristaltic 2 สูบน้ำเสียเข้าถึงปฏิกรณ์ 2 ก็จะสูบน้ำพวกตะกอนเข้าสู่ถึงปฏิกรณ์ไปด้วย จึงพบปริมาณของสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น

4.6.2 ซีโอดี (COD) และบีโอดี (BOD)

จากรูป 4.9 สารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่ พบว่าได้ถูกบำบัดไปตั้งช่วงต้นของถังปฏิกรณ์ที่ 1 เช่นเดียวกับสารแขวนลอย และเมื่อผ่านช่วงแต่ละความสูงของระบบ DHS จะเห็นได้ว่าค่าซีโอดี มีการถูกบำบัดอย่างต่อเนื่อง ในทางเดียวกับค่าบีโอดี ที่สารอินทรีย์ก็ถูกบำบัดตั้งแต่ช่วงต้นถึง

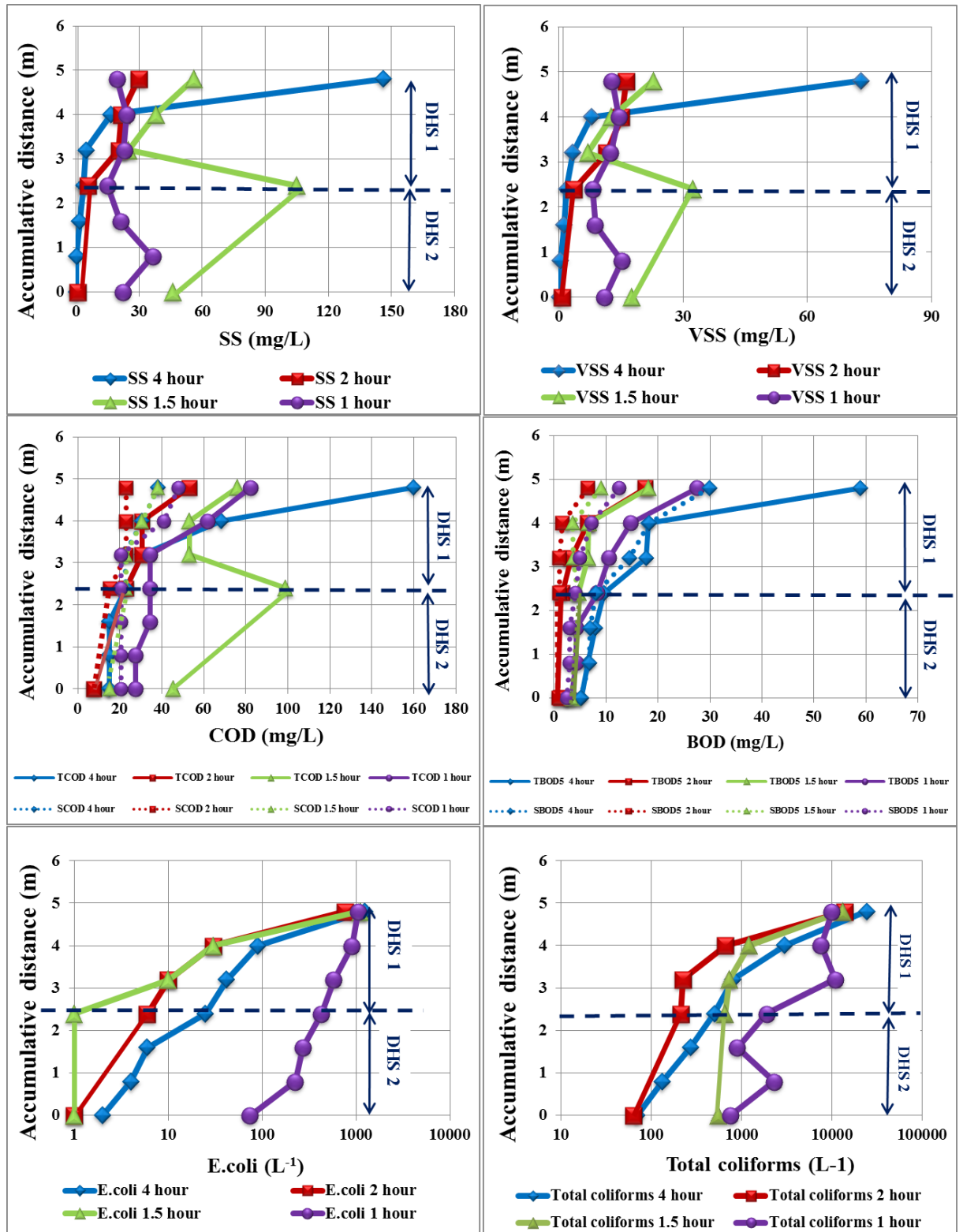
ปฏิกรณ์ 1 เช่นกัน จากผลการทดลองแสดงว่าระบบ DHS มีประสิทธิภาพในการบำบัด และคงความเสถียรภาพของคุณภาพน้ำได้ดี

4.6.3 *E. coli* และ Total coliforms

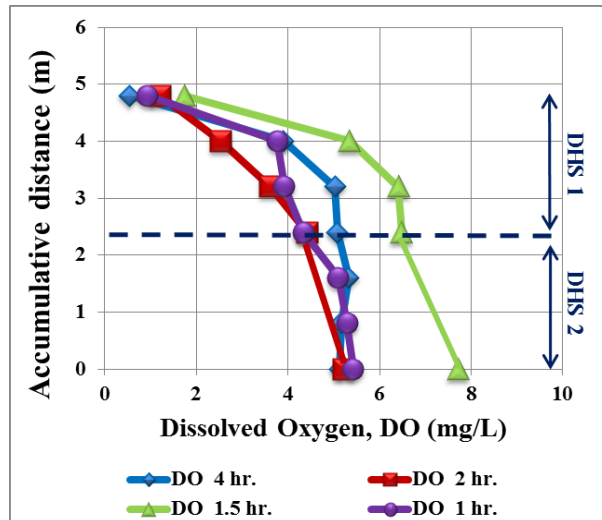
จากการทดลอง พบว่าระบบ DHS มีประสิทธิภาพที่ดีในการบำบัดเชื้อโรคเช่นเดียวกัน จากรูป 4.9 จะเห็นว่าทั้ง *E. coli* และ Total coliforms ถูกบำบัดได้อย่างต่อเนื่องเป็นเพราะสถานะในระบบ DHS ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตทั้ง *E. coli* และ Total coliforms จากผลดังกล่าวแสดงได้ว่าตัวกลางฟองน้ำไม่ได้มีความเหมาะสมใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยเพียงเท่านั้น แต่ตัวกลางฟองน้ำยังใช้ในการบำบัดได้ทั้ง *E. coli* และ Total coliforms ในน้ำเสียชุมชนได้เป็นอย่างดี

4.6.4 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

การศึกษาค่าออกซิเจนละลายในน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ DHS พบว่าปริมาณค่าออกซิเจนละลายมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะทางความสูงของระบบ ดังกลไกที่ได้กล่าวไปแล้ว จากรูป 4.9 ระบบ DHS มีประสิทธิภาพการเพิ่มออกซิเจนละลายได้ดีทุกระยะกักเก็บน้ำ โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำออกจากระบบอยู่ประมาณ 5-6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้



รูปที่ 4.9 การศึกษาระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ของน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถึง
ปฏิกรณ์(Profile) ที่ระยะกักเก็บน้ำต่างๆ

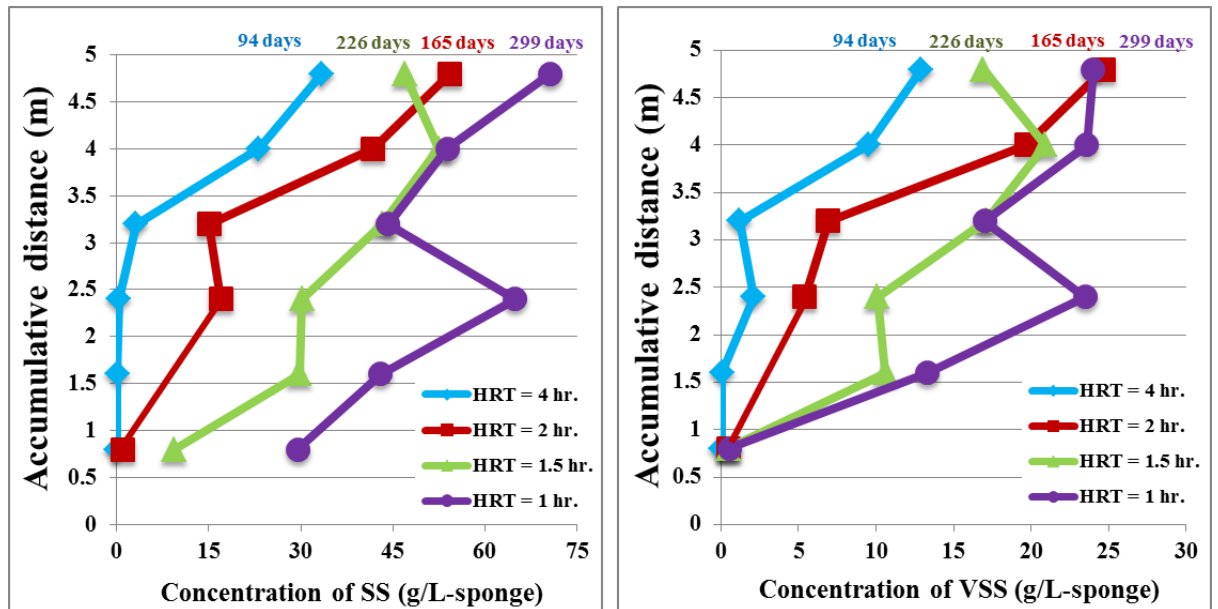


รูปที่ 4.9 การศึกษาระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ของน้ำเสียแต่ละชั้นความสูงถึง
ปฏิกรณ์ (Profile) ที่ระยะกักเก็บน้ำต่างๆ (ต่อ)

4.6.5 การศึกษาปริมาณตะกอนบนตัวกลางฟองน้ำในถังปฏิกรณ์ (Sludge profile)

เพื่อศึกษาสภาพของตัวกลางฟองน้ำในการเก็บกักจุลชีพ ทำการทดลองหลังจากระบบเข้าสู่ในช่วงเสถียรภาพของแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสียแล้ว เก็บตัวอย่างฟองน้ำจากแต่ละชั้นระดับความสูงต่างๆ จากรูป 4.5 จะเห็นได้ว่าฟองน้ำสามารถกักจุลชีพได้ปริมาณสูงสุดที่ 24 กรัมต่อลิตรปริมาตรฟองน้ำ ซึ่งสามารถกักเก็บจุลชีพได้มากกว่างานวิจัยที่ผ่านของ Mahmoud, et al. (2011) ที่ศึกษาน้ำเสียชุมชนในประเทศอียิปต์ ดำเนินระบบระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง โดยตัวกลางฟองน้ำที่ทดลองสามารถกักจุลชีพได้ 19 กรัมต่อลิตรปริมาตรฟองน้ำ และจากรูป 4.5 การศึกษานี้พบว่าปริมาณของจุลชีพที่อยู่ในฟองน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อมีการปรับระยะการเก็บน้ำลดลง แต่ที่ช่วงวันที่ 226 ของวันทำการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีปริมาณจุลชีพในฟองน้ำที่เข้าระบบมีค่าน้อยกว่าที่ระยะกักเก็บน้ำที่ 2 ชั่วโมง เป็นเพราะว่าช่วงวันทำการทดลองเป็นช่วงฤดูฝนจึงเกิดการผสมระหว่างน้ำฝนกับน้ำเสียชุมชน ส่งผลทำให้น้ำเสียที่เข้าระบบเกิดการเจือจางขึ้น จึงทำให้ตรวจพบจุลชีพในฟองน้ำมีปริมาณที่น้อยลง และพบว่าปริมาณความเข้มข้นของจุลชีพมีปริมาณสูงช่วงเริ่มต้น (ที่ระดับ 4.8 เมตร หรือ ชั้น A1) เป็นเพราะว่าเป็นชั้นที่รับน้ำเสียเป็นชั้นแรก จึงมีโอกาสดักจับสารแขวนลอยที่มากับน้ำเสียได้สูง และเมื่อน้ำเสียผ่านจากชั้นดังกล่าวสารแขวนลอยในน้ำเสียก็มีค่าลดลง จึงส่งผลให้จุลชีพในชั้นต่อมาปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ แต่เมื่อสังเกตที่ความสูง 2.4 เมตร (ชั้น B1) พบว่าจะมีปริมาณจุลชีพเพิ่มขึ้นที่ตัวกลางฟองน้ำ เพราะว่าที่ชั้นความสูงนี้จะรับน้ำเสียมาจากชั้น AC (ถังพักน้ำที่บำบัดจากถังปฏิกรณ์ที่ 1) ซึ่งที่ชั้น AC จะมีตะกอนตกจมที่บริเวณก้นถังเป็นจำนวนมาก

และเมื่อปั๊ม peristaltic 2 สูบน้ำเลี้ยงเข้าถังปฏิกรณ์ 2 ก็จะสูบน้ำตกตะกอนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ไปด้วย จึงพบปริมาณของสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นที่ชั้นนี้ดังรูปที่ 4.5

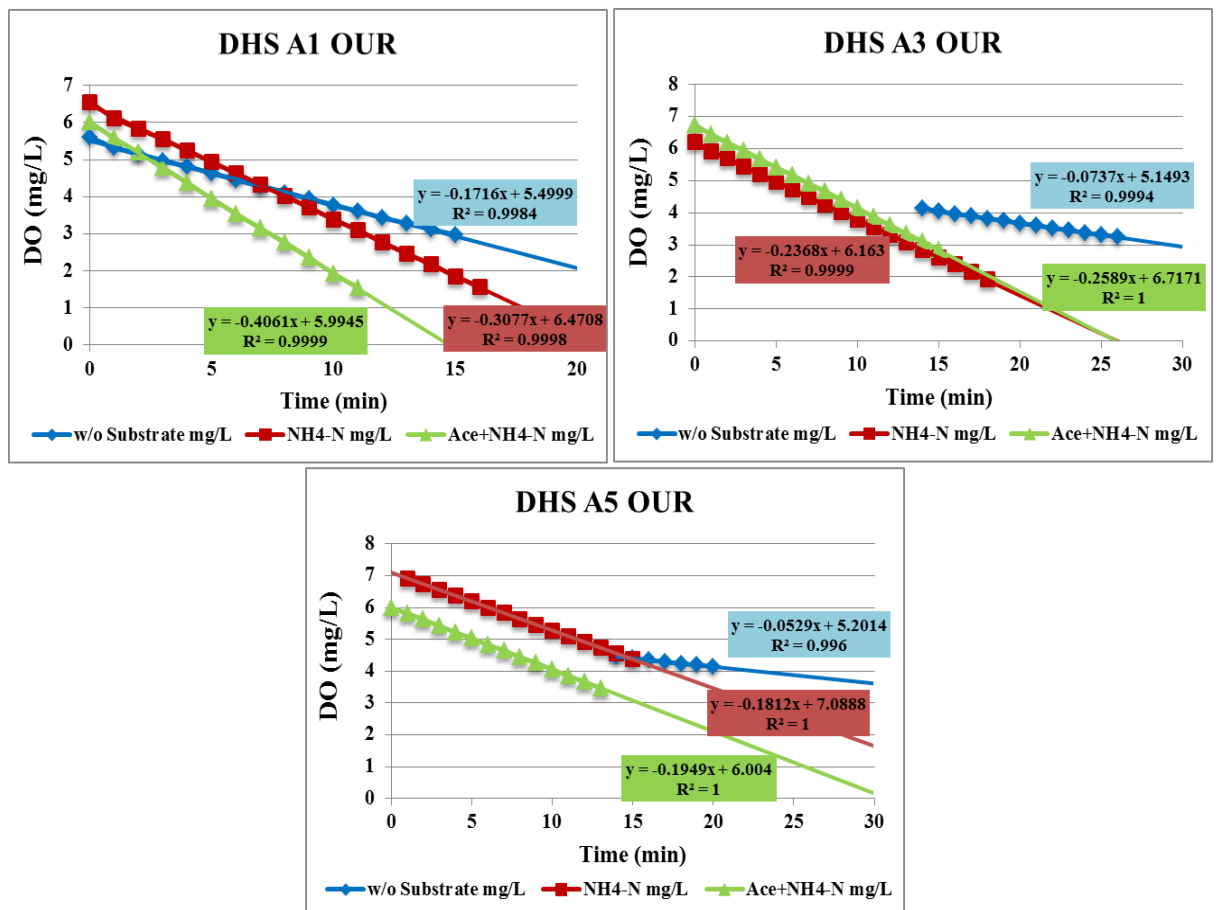


รูปที่ 4.10 การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ที่ระดับความสูงต่างๆ

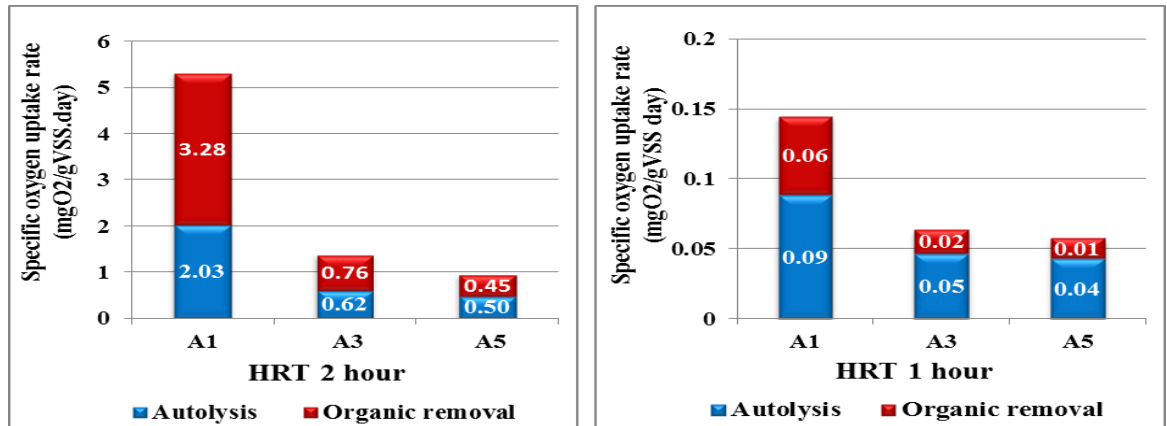
4.7 การศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ (Oxygen Uptake Rate, OUR)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจน (OUR) ของจุลินทรีย์ที่ไม่ได้ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย (Autolysis) และจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย (Heterotroph) ที่เกาะตามพื้นผิวของตัวกลางฟองน้ำ โดยในการทดลองได้ทำการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนจากตะกอนจุลินทรีย์จากชั้นความสูงชั้น A1, A3 และ A5 (ความสูง 4.8, 4 และ 3.2 เมตร) เพราะว่าในถังปฏิกรณ์ 2 คาดว่ามีอัตราการใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นน้อย จากรูป 4.6 เป็นปริมาณการใช้ออกซิเจนละลายน้ำเมื่อเวลาผ่านไปทุก ๆ 1 นาที เมื่อเส้นกราฟการใช้ออกซิเจนลดลงอย่างคงที่จึงทำการลากเส้นแนวโน้มของกราฟและหาความชัน จากนั้นคำนวณความชันต่อจำนวนจุลินชีพ ($\text{Slope} \div \text{VSS}$) แต่ตัวอย่าง ก็จะได้อัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำได้ดังรูป 4.7 และจากรูป ที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง จะพบว่าที่ ชั้น A1 (ความสูง 4.8 เมตร) อัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงกว่าชั้นอื่นๆ

เป็นเพราะว่าที่ชั้น A1 เป็นชั้นแรกที่รับน้ำเสียเข้าระบบ DHS ทำให้มีสารอาหารที่มากพอให้จุลินทรีย์ใช้ในชั้นนี้ ส่งผลให้จุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ไม่ใช้สารอินทรีย์ (Autolysis) และใช้สารอินทรีย์ (Heterotroph) ในการย่อยสลายสามารถใช้สารอาหารได้เต็มที่ จึงส่งผลให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงกว่าชั้นอื่นๆ ดังกราฟ และ ที่ระยะกักเก็บน้ำ 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง ที่ระยะกักเก็บน้ำ 1 ชั่วโมงจะมีอัตราการออกซิเจนที่ต่ำกว่ามาก เป็นเพราะว่าที่ระยะกักเก็บน้ำ 1 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบย่อมน้อยลงกว่าที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง ทำให้จุลินทรีย์ในระบบมีเวลาไม่เพียงพอที่จะใช้สารอาหารในน้ำเสีย ส่งผลให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดมีปริมาณที่ต่ำ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลา ต่อจุลินทรีย์ที่ใช้ (Autolysis)และไม่ใช้สารอินทรีย์(Heterotroph)ในการย่อยสลาย



รูปที่ 4.12 การศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของตะกอนจุลินทรีย์ในฟองน้ำ ของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS)

4.8 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระบบ DHS

จากคุณสมบัติข้อดีของระบบ Down-flow Hanging Sponge (DHS) ที่ไม่จำเป็นต้องเติมอากาศเข้าระบบ ทำให้ระบบการบำบัดชนิดนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายเครื่องเติมอากาศลงไปได้ แต่ทั้งนี้ระบบ DHS จำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเสียขึ้นไปสู่จุดบนสุดของถังปฏิกรณ์เพื่อปล่อยน้ำลงมาเช่นกัน การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบการใช้ปริมาณค่าไฟฟ้าระบบ DHS และระบบ Activated Sludge (AC) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุ เพื่อศึกษาอัตราการใช้ไฟฟ้าของทั้งสองระบบ จากการศึกษาระบบเป็นเวลา 353 วันของการทดลอง พบว่าระบบ DHS ใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 18 เท่าดังตาราง 4.4 แต่ทั้งนี้ทางผู้วิจัยเห็นว่าระบบ DHS ใช้พลังงานในการดำเนินระบบที่น้อยกว่าระบบ Activated Sludge โดยดูจากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ DHS เพราะว่าการระบบ DHS ไม่ได้ใช้เครื่องเติมอากาศที่ทำงานตลอดเวลาในการบำบัดน้ำเสียเหมือนกับระบบ AC จึงเห็นว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ DHS ไม่น่าจะมากกว่าระบบ AC ได้ แต่จากปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบ DHS ใช้มากกว่าดังข้างต้น เป็นเพราะว่าอย่างแรก การทดลองใช้เครื่องสูบน้ำชนิด Peristaltic pump ของ Master flex ซึ่งเครื่องสูบน้ำชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้การทดลองเป็นแบบขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าขนาดอุปกรณ์ที่ใช้อุตสาหกรรม และอีกปัจจัยคือ ระบบ DHS ที่ทำการศึกษเป็นระบบขนาดการทดลอง ทำให้รับอัตราไหลที่ไม่สูงมากได้ เมื่อทำการคำนวณค่าการใช้อัตราพลังงานไฟฟ้าทำให้ระบบ DHS มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงเมื่อเทียบกับระบบ AC ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุ่งครุที่เป็นระบบ Full scale

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงาน

ระบบบำบัด	ปริมาณการใช้พลังงาน (บาท / kgBOD)
Down-flow Hanging Sponge (DHS)	3,798
Activated Sludge (AC)	209

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาระบบฟองน้ำแขวนไหลลง (Down-flow Hanging Sponge, DHS) รูปแบบการจัดเรียงแบบสุ่ม (Random type) ขนาด Pilot-scale จากการทดลองพบว่าที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าช่วงที่ดำเนินระบบที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมงจะเป็นช่วงฤดูฝน ทำให้ค่าความสกปรกในน้ำเสียเกิดการเจือจางขึ้น จะเห็นได้จากค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมงมีปริมาณลดลงต่ำกว่าช่วงระยะกักเก็บน้ำช่วงอื่นๆ แต่เมื่อดูปริมาณของบีโอดีที่ออกจากระบบ พบว่าปริมาณบีโอดีมีปริมาณที่ต่ำกว่าช่วงระยะกักเก็บน้ำอื่นๆเช่นกัน แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ ไม่ได้เกิดจากเงื่อนไขการเจือจางของน้ำเสียที่เข้าระบบ และเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะกักเก็บน้ำอื่นๆกับที่ระยะกักเก็บน้ำ 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของแอมโมเนียที่ออกจากระบบของระยะกักเก็บน้ำ 1 มีปริมาณเพิ่มขึ้น 7 เท่าของระยะกักเก็บน้ำช่วงอื่นๆ ทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุดในการทดลองนี้

โดยระบบที่ระยะกักเก็บน้ำ 1.5 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพกำจัดสารอินทรีย์ คือค่าซีโอดีทั้งหมด 62% และซีโอดีละลายน้ำ 46% (เหลือความเข้มข้น 46 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)

ค่าบีโอดีทั้งหมด 86% และบีโอดีละลายน้ำ 73% (เหลือความเข้มข้น 13 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)

ระบบ DHS มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อโรค คือ กำจัด *E. coli* ได้ 99% (8 CFU/ml) และ Total coliforms ได้ 98% (184 CFU/ml)

ตัวกลางฟองน้ำในระบบเมื่อดำเนินงานอย่างต่อเนื่องมากกว่า 300 วันการทดลอง พบว่าตัวกลางฟองน้ำสามารถกักจุลินทรีย์ได้สูงถึง 24 กรัมต่อลิตรปริมาตรฟองน้ำ (รวมช่องว่างฟองน้ำ)

จากการศึกษาประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจน (OUR) มีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง และสูงสุดที่ชั้น A1 ทั้งนี้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้สารอินทรีย์ (Autolysis) ในการย่อยสลายมี

อัตรา 2.03 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกรัมจุลินทรีย์ต่อวัน และจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ (Heterotroph) ในการย่อยสลาย มีอัตรา 3.28 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกรัมจุลินทรีย์ต่อวัน

นอกจากนี้ตลอดการศึกษาระบบ ไม่ได้เติมอากาศจากภายนอกเข้ามาช่วย แต่น้ำเสียที่ผ่านระบบ DHS มีปริมาณค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เพิ่มขึ้นถึง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งการก่อสร้าง คูแฉะ รวมถึงการรักษาระบบไม่ยุ่งยาก จากการศึกษาระบบฟองน้ำแขวนไหลลง (Down-flow Hanging Sponge, DHS) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนผ่านตามมาตรฐานได้ ดังนั้นระบบนี้สามารถไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียตามชุมชนได้ รวมทั้งใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบที่น้อยเพียง 1.7 ตารางเมตร หรือ 0.68 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ($\text{m}^2/\text{m}^3\text{-day}$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. น้ำเสียชุมชนที่ทำการทดลองเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ง่าย หากทำการศึกษาเพิ่มเติมควรทดลองน้ำเสียที่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก เช่น น้ำเสียที่มีน้ำมัน
2. ทดลองดูขีดความสามารถสูงสุดของระบบ โดยเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จนระบบไม่สามารถบำบัดได้

เอกสารอ้างอิง

พัชรินทร์ ราโช และ ศิริกานดา ธรรมพร, 2553, การบำบัดน้ำเสียรูปแบบใหม่ด้วยระบบ UASB และ **Downflow Hanging Sponge**, รายงานการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Agrawal, L., Ohashi, Y., Mochida, E., 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 cubs process", **Water Sci. and Technol.**, Vol. 26, No.6, pp. 433-440.

Al-Ahmady and K., 2005, "Effect of organic loading on rotating biological contactor efficiency", **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Vol. 2, No. 3, pp. 469-477.

Araki, N., Ohashi, A., Mechadar, I. and Harada, H., 1999, "Behaviors of nitrifiers in a novel biofilm reactor employing hanging sponge cubes as attachment site", **Water Sci. and Technol.**, Vol. 39, No. 7, pp. 23-31.

A. Tawfik, F. El-Goharya, A. Ohashib and H. Haradab., 2006, "The Influence of physical–chemical and biological factors on the removal of faecal coliform through down-flow hanging sponge (DHS) system treating UASB reactor effluent", **Water Res.**, Vol. 40, pp. 1877-1883.

Choi, H.J., Lee, S.M., Choi, C.H., Kwon, M.C., Lee and H.Y., 2008. "Influence of the wastewater composition on denitrification and biological p-removal in the SDN-P-process (b) Effect of acetate", **J. Hazard. Mater**, Vol. 158, pp. 151–156.

Chuang, H., Ohashi, A., Imachi, H, Tandukar, M and Harada, 2007, "Effective partial nitrification to nitrite by down-flow hanging sponge reactor under limited oxygen condition", **Water Res.**, Vol. 41, pp. 295-302.

Eding, E. H., Kamstra, A., Verreth, J. A. J., Huisman, E. A. and Klapwijk, 2006, “Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review”, **Aquacultural Engineering**, Vol. 34, pp. 234-260.

Fu, B., Liao, X.Y., Ding, L.L., Ren and H.Q., 2010, “Characterization of microbial community in an aerobic moving bed biofilm reactor applied for simultaneous nitrification and denitrification”, **World J. Microbiol. Biotechnol.**, Vol. 26, pp. 1981–1990.

Gray, N.F., 2005, **Water Technology: An Introduction for Environmental Scientists and Engineers**, Elsevier, Oxford.

Green, M.B., Griffin, P., Seabridge, J.K. and Dhobie, D., 1997, “Removal of bacteria in subsurface flow wet-lands”, **Water Sci. and Technol.**, Vol. 35, No. 5, pp. 109–116.

Machdar, I., Harada, H., Ohashi, A., Sekiguchi, Y., Okui, H. and Ueki, 1997, “A novel & cost effective sewage treatment system consisting of UASB pretreatment and aerobic post treatment units for developing countries”, **Water Sci. and Technol.**, Vol. 36, No. 12, pp. 189-197.

Machdar, I., Sekiguchi, Y., Sumino, H. and Harada, H, 2000, “Combination of a UASB reactor and a curtain DHS reactor as cost effective sewage treatment system for developing countries”, **Water Sci. and Technol.**, Vol. 42, No. 3, pp. 83-89.

Madan Tandukar, A. Ohashi and H. Harada., 2007, “Performance comparison of a pilot-scale UASB and DHS system and activated sludge process for the treatment of municipal wastewater”, **Water Res.**, Vol. 41, pp. 2697-2705.

Mohamed Mahmoud, Ahmed Tawfik and Fatma El-Gohary, 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.

NisitaKongpaitoon, 2012, **Water Quality Management Department** [Online], Available: <http://dds.bangkok.go.th/wqm/thai/wwtp.html> retrieved 7 December 2012.

Pochana, K. and Keller, J., 1999, “Study of Factors Affecting Simultaneous Nitrification and Denitrification”, **Water Sci. and Technol.**, Vol. 39 No. 6, pp. 61-68.

Rittmann, B.E., and McCarty, P.L., 2001, **Environmental Biotechnology: Principles and Applications**, McGraw-Hill, Boston, pp. 1-30.

Stevik, T.K., Ausland, G., Hanssen, J.F. and Jenssen, P.D., 1999a. “The Influence of physical and chemical factors on the transport of E. coli through biological filters wastewater purification”. **Water Res.**, Vol. 33, No. 18, pp. 3701–3706.

Stevik, T.K., Kari, A., Ausland, G. and Jenssen, P.D., 2004, “Retention and removal of pathogenic bacteria in wastewater percolating through porous media: a review”, **Water Res.**, Vol. 38, pp. 1355–1367.

Tandukar, M., Mechdar, I., Uemura, S., Ohashi, A. and Harada, H., 2006a, “Potential of a novel sewage treatment system for developing countries: long term evaluation”, **J. Environ. Eng.**, Vol. 32, No. 2, pp. 166-172.

Tadukar, 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 “forth generation” downflow hanging sponge reactors”, **Water Sci. and Technol.**, Vol. 52, No. 1, pp. 323-329.

Tandukar, M., Uemura, S., Ohashi, A. and Harada, H, 2006b, “Combining UASB and the “fourth generation” down-flow hanging sponge reactor for municipal wastewater treatment”, **Water Sci. Technol.**, Vol. 53, No. 3, pp. 209-218.

Takashi Onodera, Kengo Matsunaga, Kengo Kubota, Ryoko Taniguchi, Hideki Harada, Kazuaki Syutsubo, Tsutomu Okubo, Shigeki Uemura, Nobuo Araki, Masayoshi Yamada, Masahito Yamauchi and Takashi Yamaguchi, 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

Tawfik, A. Machdar, I., Uemura, S., Ohashi, A. and Harada, H, 2006a, “Sewage treatment in a combined upflow anaerobic sludge blanket (UASB) - DHS system”, **Biochemical Engineering J**, Vol. 26, pp. 210-219

Tawfik, A., Klapwijk, B., Van Buuren, J., 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 Res.**, Vol. 38, No. 5, pp. 1081–1088.

Tawfik, El-Gohary, F., Ohashi, A. and Harada, H, 2006b, “The influence of physical-chemical and biological factors on the removal of fecal coliform through down-flow hanging sponge (DHS) system treating UASB reactor effluent”, **Water Res.**, Vol. 40, pp. 1877-1883.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากการทดลอง Spot samples

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิอากาศทั่วไป และในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
		อากาศทั่วไป	น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
13 มี.ค. 55	17	30.8	30.1	30.1	30.1
16 มี.ค. 55	20	30.8	30.1	30.1	30.1
20 มี.ค. 55	24	31.2	30.0	30.2	29.9
27 มี.ค. 55	31	30.6	30.2	30.4	30.4
3 เม.ย. 55	38	31.2	29.8	29.8	29.9
17 เม.ย. 55	52	31.8	31.2	31.3	31.2
1 พ.ค. 55	66	33.8	32.8	32.9	32.4
4 พ.ค. 55	69	33.2	32.8	32.6	32.5
8 พ.ค. 55	73	31.3	31.1	31	31
11 พ.ค. 55	76	32.2	31.5	31.9	31.5
15 พ.ค. 55	80	33.3	32.2	32.2	31.9
18 พ.ค. 55	83	31.5	30	30.3	30.3
23 พ.ค. 55	88	33.3	32	31.9	31.9
25 พ.ค. 55	90	32.4	31.8	32	31.9
29 พ.ค. 55	94	31.6	31.5	31.5	31.4
1 มิ.ย. 55	97	32.4	31.7	31.9	31.8
5 มิ.ย. 55	101	32	31.4	31.4	31.3
8 มิ.ย. 55	104	31.8	31.4	31.4	31.2
12 มิ.ย. 55	107	31.7	31.2	30.8	30.9
15 มิ.ย. 55	110	32.1	31.2	31.2	31.2
19 มิ.ย. 55	114	31.8	30.7	31	30.8
22 มิ.ย. 55	117	31.7	30.8	31	30.8
29 มิ.ย. 55	124	31.2	31	31.1	30.9
3 ก.ค. 55	128	31.3	31.2	31.2	31
6 ก.ค. 55	131	31.5	31.1	31.1	31
10 ก.ค. 55	135	31.5	30.8	30.8	30.5
13 ก.ค. 55	138	31.7	30.9	30.9	30.8

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิอากาศทั่วไป และในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
		อากาศทั่วไป	น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
17 ก.ค. 55	142	32	30.8	31.3	31.3
20 ก.ค. 55	145	30.8	30.8	30.6	30.1
24 ก.ค. 55	149	32.5	31.1	31.3	31
27 ก.ค. 55	152	29.8	30.2	30.2	30.1
31 ก.ค. 55	156	30.3	30.2	30.1	30.2
21 ส.ค. 55	177	31	30	30.6	30.3
4 ก.ย. 55	191	29.9	29.8	29.4	29.8
11 ก.ย. 55	198	31.1	30.2	29.9	29.8
14 ก.ย. 55	201	30	30.2	30.3	29.7
18 ก.ย. 55	205	28.6	28.5	28.3	27.7
21 ก.ย. 64	208	29.2	28.5	28.8	28.4
25 ก.ย. 55	212	29.3	29.8	29.9	29.4
16 ต.ค. 55	234	29	28.5	29	28.9
19 ต.ค. 55	237	30.3	29.5	29.8	29.5
26 ต.ค. 55	244	30.5	30	30.1	29.8
30 ต.ค. 55	248	31.3	30.8	30.8	30.3
2 พ.ย. 55	251	30	29.8	29.8	29.8
6 พ.ย. 55	255	30.1	29.8	29.6	29.6
9 พ.ย. 55	258	30.2	30	30.1	30
13 พ.ย. 55	262	30.2	30.1	30.1	30.1
20 พ.ย. 55	269	30.3	30	30.1	30.1
23 พ.ย. 55	272	30.7	29.9	30.2	30.1
27 พ.ย. 55	276	29.9	29.3	29.6	29.4
30 พ.ย. 55	279	29.1	28.8	28.8	28.7
7 ธ.ค. 55	286	31.1	29.5	29.8	29.8
11 ธ.ค. 55	290	29.8	29.6	29.9	29.7
8 ม.ค. 56	318	29.7	28.2	28.4	28.5
11 ม.ค. 56	311	29.5	29	29.2	28.9

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิอากาศทั่วไป และในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
		อากาศทั่วไป	น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
18 ม.ค. 56	318	29.6	28.4	28.4	28.4
22 ม.ค. 56	322	29.5	28.2	28.2	28.1
25 ม.ค. 56	325	30.3	29.1	29.3	29.2
29 ม.ค. 56	329	29	28.6	28.8	28.6
1 ก.พ. 56	332	29.7	29.1	29.1	29.3
5 ก.พ. 56	336	30.1	29	29.5	29.2
8 ก.พ. 56	339	30.4	29.2	29.5	29.4
19 ก.พ. 56	350	30.7	30.3	30.2	29.9
22 ก.พ. 56	353	30.7	30.1	30.3	30
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)					
5 มี.ค. 56	364	28.9	29.2	29	28.9
8 มี.ค. 56	367	30.1	29.5	29.6	29.6
12 มี.ค. 56	371	31.3	30.4	30.6	30.3
15 มี.ค. 56	374	31.5	31.3	31.3	31
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)					
19 มี.ค. 56	378	30.7	30.8	30.5	-
22 มี.ค. 56	381	30.9	30.7	30.7	-
2 เม.ย. 56	392	33.1	31.6	31.8	-
5 เม.ย. 56	395	32.3	31.9	32	-

ตารางที่ ก.2 ค่าปริมาณพีเอช (pH) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	พีเอช (pH)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
13 มี.ค. 55	17	7.22	7.77	7.86
16 มี.ค. 55	20	7.17	8.12	8.19
20 มี.ค. 55	24	7.27	8.19	8.18
27 มี.ค. 55	31	7.06	7.51	7.62
3 เม.ย. 55	38	7.23	7.95	7.97
17 เม.ย. 55	52	7.4	8.47	8.53
1 พ.ค. 55	66	7.1	8.03	8.1
4 พ.ค. 55	69	7.39	8.27	8.36
8 พ.ค. 55	73	7.35	8.12	8.03
11 พ.ค. 55	76	7.51	8.51	8.45
15 พ.ค. 55	80	7.43	8.35	8.62
18 พ.ค. 55	83	7.46	8.07	7.78
23 พ.ค. 55	88	7.48	7.69	8.21
25 พ.ค. 55	90	7.53	8.23	8.15
29 พ.ค. 55	94	7.48	8.19	7.77
1 มิ.ย. 55	97	7.34	7.24	8.26
5 มิ.ย. 55	101	7.61	7.83	7.92
8 มิ.ย. 55	104	7.43	7.78	7.84
12 มิ.ย. 55	107	7.49	7.82	7.9
15 มิ.ย. 55	110	7.43	7.82	7.87
19 มิ.ย. 55	114	7.35	7.16	8.09
22 มิ.ย. 55	117	7.38	7.29	8.02
29 มิ.ย. 55	124	7.33	7.1	8.01
3 ก.ค. 55	128	7.27	7.91	7.97
6 ก.ค. 55	131	7.38	7.56	8.14
10 ก.ค. 55	135	7.26	7.75	8.09

ตารางที่ ก.2 ค่าปริมาณฟิเอช (pH) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	ฟิเอช (pH)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
13 ก.ค. 55	138	7.45	7.89	7.84
17 ก.ค. 55	142	7.75	7.81	8.28
20 ก.ค. 55	145	8.08	8.12	8.37
24 ก.ค. 55	149	7.62	7.11	8.45
27 ก.ค. 55	152	7.66	8.03	8.29
31 ก.ค. 55	156	7.44	8.04	8.29
21 ส.ค. 55	177	7.22	7.3	8.24
4 ก.ย. 55	191	6.7	7.28	6.62
11 ก.ย. 55	198	7.35	7.2	8.34
14 ก.ย. 55	201	7.25	7.14	8.24
18 ก.ย. 55	205	7.33	7.46	7.91
21 ก.ย. 55	208	7.33	7.37	8.2
25 ก.ย. 55	212	7.36	7.27	8.57
16 ต.ค. 55	234	7.16	7.06	7.6
19 ต.ค. 55	237	7.35	7.13	7.55
26 ต.ค. 55	244	7.28	7.35	8.28
30 ต.ค. 55	248	7.21	7.71	7.95
2 พ.ย. 55	251	7.31	7.69	7.95
6 พ.ย. 55	255	7.99	7.05	7.74
9 พ.ย. 55	258	7.25	7.13	7.54
13 พ.ย. 55	262	7.28	7.01	7.9
20 พ.ย. 55	269	7.19	7	7.84
23 พ.ย. 55	272	7.32	7.1	7.45
27 พ.ย. 55	276	7.3	7.18	8.09
30 พ.ย. 55	279	7.24	7.22	7.16
7 ธ.ค. 55	286	7.18	7.01	7.97
11 ธ.ค. 55	290	7.35	7.18	7.4
8 ม.ค. 56	318	7.27	7.12	7.34

ตารางที่ ก.2 ค่าปริมาณฟิเอช (pH) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	ฟิเอช (pH)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
11 ม.ค. 56	311	7.25	7.21	7.23
18 ม.ค. 56	318	7.25	7.22	7.88
22 ม.ค. 56	322	7.39	7.22	7.26
25 ม.ค. 56	325	7.36	7.2	7.4
29 ม.ค. 56	329	7.39	6.99	7.9
1 ก.พ. 56	332	7.51	7.14	7.64
5 ก.พ. 56	336	7.43	7.23	7.73
8 ก.พ. 56	339	7.49	7.19	7.64
19 ก.พ. 56	350	7.45	7.11	7.71
22 ก.พ. 56	353	7.19	6.9	7.79
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)				
5 มี.ค. 56	364	7.33	7.67	7.1
8 มี.ค. 56	367	7.26	7.57	7.01
12 มี.ค. 56	371	7.43	7.23	7.12
15 มี.ค. 56	374	7.39	7.33	7.31
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)				
19 มี.ค. 56	378	7.34	7.18	-
22 มี.ค. 56	381	7.37	7.21	-
2 เม.ย. 56	392	7.22	7.09	-
5 เม.ย. 56	395	7.44	7.5	-

ตารางที่ ก.3 ปริมาณโออาร์พี (ORP) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	โออาร์พี (ORP, mV)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
13 มี.ค. 55	17	93.6	242.8	250.4
16 มี.ค. 55	20	127.3	205.9	209.5
20 มี.ค. 55	24	151.6	185.6	183
27 มี.ค. 55	31	130.7	188.9	188
3 เม.ย. 55	38	65.1	140	145.9
1 พ.ค. 55	66	98	92	92
4 พ.ค. 55	69	-44	10	30
8 พ.ค. 55	73	43	55	48
11 พ.ค. 55	76	-46	78	89
15 พ.ค. 55	80	45	45	54
18 พ.ค. 55	83	-4	18	23
23 พ.ค. 55	88	-54	50	40
25 พ.ค. 55	90	-78	-76	-80
29 พ.ค. 55	94	-39	-23	-21
1 มิ.ย. 55	97	13	90	73
5 มิ.ย. 55	101	10	85	80
8 มิ.ย. 55	104	-25	41	20
12 มิ.ย. 55	107	2	87	86
15 มิ.ย. 55	110	-15	29	36
19 มิ.ย. 55	114	-8	63	50
22 มิ.ย. 55	117	-37	69	50
29 มิ.ย. 55	124	66	181	172
3 ก.ค. 55	128	-26	62	60
6 ก.ค. 55	131	-35	27	18
10 ก.ค. 55	135	-28	49	35
13 ก.ค. 55	138	-118	57	44
17 ก.ค. 55	142	-27	70	66

ตารางที่ ก.3 ปริมาณโออาร์พี (ORP) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	โออาร์พี (ORP, mV)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
20 ก.ค. 55	145	-53	45	48
24 ก.ค. 55	149	-63	114	92
27 ก.ค. 55	152	14	67	54
31 ก.ค. 55	156	-12	70	63
21 ส.ค. 55	177	-90	97	78
4 ก.ย. 55	191	-26	54	88
11 ก.ย. 55	198	-77	22	-21
14 ก.ย. 55	201	-60	50	6
18 ก.ย. 55	205	29	69	124
21 ก.ย. 64	208	121	153	146
25 ก.ย. 55	212	-10	103	61
16 ต.ค. 55	234	96	117	145
19 ต.ค. 55	237	28	104	85
26 ต.ค. 55	244	-76	-90	37
30 ต.ค. 55	248	-49	28	41
2 พ.ย. 55	251	-2	37	44
6 พ.ย. 55	255	88	152	154
9 พ.ย. 55	258	1	72	152
13 พ.ย. 55	262	3	78	159
20 พ.ย. 55	269	52	94	93
23 พ.ย. 55	272	-28	76	76
27 พ.ย. 55	276	40	79	119
30 พ.ย. 55	279	22	83	107
7 ธ.ค. 55	286	13	89	76
11 ธ.ค. 55	290	-32	83	89
8 ม.ค. 56	318	-18	81	87
11 ม.ค. 56	311	-7	70	81
18 ม.ค. 56	318	20	121	113

ตารางที่ ก.3 ปริมาณโออาร์พี (ORP) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	โออาร์พี (ORP, mV)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
22 ม.ค. 56	322	-79	10	57
25 ม.ค. 56	325	-43	94	122
29 ม.ค. 56	329	-87	46	32
1 ก.พ. 56	332	-42	8	34
5 ก.พ. 56	336	-56	3	16
8 ก.พ. 56	339	-41	7	26
19 ก.พ. 56	350	-51	47	57
22 ก.พ. 56	353	28	126	114
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)				
5 มี.ค. 56	364	-21	-85	40
8 มี.ค. 56	367	-31	-78	63
12 มี.ค. 56	371	36	83	140
15 มี.ค. 56	374	-84	-80	-3
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)				
19 มี.ค. 56	378	-47	123	-
22 มี.ค. 56	381	-51	97	-
2 เม.ย. 56	392	-21	-8	-
5 เม.ย. 56	395	-34	56	-

ภาคผนวก ข

ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์

ตารางที่ ข.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	ออกซิเจนละลายน้ำ (DO, mg/L)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
13 มี.ค. 55	17	2.01	4.81	3.29
16 มี.ค. 55	20	1.3	5.35	5.62
20 มี.ค. 55	24	1.67	5.25	5.01
27 มี.ค. 55	31	2.2	5.07	5.16
3 เม.ย. 55	38	2.34	5.41	5.6
17 เม.ย. 55	52	1.22	4.95	5.2
1 พ.ค. 55	66	1.01	4.74	4.97
4 พ.ค. 55	69	1.12	5.16	5.26
8 พ.ค. 55	73	2.28	5.3	5.65
11 พ.ค. 55	76	0.92	5.26	6.01
15 พ.ค. 55	80	1.87	4.79	5.39
18 พ.ค. 55	83	1.69	5.86	6.34
23 พ.ค. 55	88	0.6	4.55	5.41
25 พ.ค. 55	90	0.9	5.37	5.78
29 พ.ค. 55	94	1.3	5.12	5.64
1 มิ.ย. 55	97	1.2	4.5	5.54
5 มิ.ย. 55	101	1.35	5.11	5.72
8 มิ.ย. 55	104	1.3	5.13	5.7
12 มิ.ย. 55	107	1.26	5.04	5.78
15 มิ.ย. 55	110	0.67	5.06	5.8
19 มิ.ย. 55	114	1.16	4.83	6.02
22 มิ.ย. 55	117	0.55	4.54	5.55
29 มิ.ย. 55	124	1.12	4.3	5.29
3 ก.ค. 55	128	1.02	5.37	6.09

ตารางที่ ข.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	ออกซิเจนละลายน้ำ (DO, mg/L)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
6 ก.ค. 55	131	0.9	4.99	5.66
10 ก.ค. 55	135	0.79	4.79	5.53
13 ก.ค. 55	138	0.87	4.98	5.57
17 ก.ค. 55	142	1.02	4.84	5.14
20 ก.ค. 55	145	1.24	4.79	5.55
24 ก.ค. 55	149	1.07	4.88	5.45
27 ก.ค. 55	152	1.22	5.01	5.41
31 ก.ค. 55	156	1.07	5.01	5.56
21 ส.ค. 55	177	0.67	3.9	5.2
4 ก.ย. 55	191	1.13	4.39	5.14
11 ก.ย. 55	198	0.89	4.04	4.91
14 ก.ย. 55	201	0.78	3.92	5.07
18 ก.ย. 55	205	3.68	5.76	6.3
21 ก.ย. 64	208	3.6	7.09	7.45
25 ก.ย. 55	212	0.98	5.82	7.22
16 ต.ค. 55	234	4.09	6.37	7.22
19 ต.ค. 55	237	0.75	4.52	4.97
26 ต.ค. 55	244	1.3	1.46	6.43
30 ต.ค. 55	248	1.17	4.8	5.12
2 พ.ย. 55	251	1.49	4.44	4.48
6 พ.ย. 55	255	3.1	3.77	4.3
9 พ.ย. 55	258	0.6	3.78	4.5
13 พ.ย. 55	262	0.94	3.44	4.95
20 พ.ย. 55	269	1.4	3.56	5.02
23 พ.ย. 55	272	0.6	2.89	5.04
27 พ.ย. 55	276	1.75	3.14	5.2
30 พ.ย. 55	279	1.4	2.15	3.9
7 ธ.ค. 55	286	1.61	3.06	5.04

ตารางที่ ข.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	ออกซิเจนละลายน้ำ (DO, mg/L)		
		น้ำเข้า	1 st DHS	2 nd DHS
11 ธ.ค. 55	290	0.63	3.37	4.57
8 ม.ค. 56	318	0.96	3.21	6.6
11 ม.ค. 56	311	2.9	3.33	5.19
18 ม.ค. 56	318	0.74	3.31	5.27
22 ม.ค. 56	322	0.41	3.9	5.26
25 ม.ค. 56	325	0.75	3.16	5.1
29 ม.ค. 56	329	1.69	3.1	5.55
1 ก.พ. 56	332	0.89	3.12	5.41
5 ก.พ. 56	336	0.71	2.86	5.32
8 ก.พ. 56	339	0.64	2.71	5.36
19 ก.พ. 56	350	0.83	3.08	5.41
22 ก.พ. 56	353	0.92	3.13	5.44
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)				
5 มี.ค. 56	364	0.09	0.1	2.09
8 มี.ค. 56	367	0.72	0.11	1.98
12 มี.ค. 56	371	1.74	1.56	2.05
15 มี.ค. 56	374	0.56	0.6	1.28
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)				
19 มี.ค. 56	378	0.2	2.56	-
22 มี.ค. 56	381	0.25	2.71	-
2 เม.ย. 56	392	0.89	2.44	-
5 เม.ย. 56	395	2.75	4.27	-

ตารางที่ ข.2 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	SS			VSS		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
13 มี.ค. 55	17	11.5	0.5	0.5	10	0	0
16 มี.ค. 55	20	7.5	0	0	7	0	0
20 มี.ค. 55	24	7.5	1	0.67	2.75	0.83	0.67
27 มี.ค. 55	31	32	1	0.67	27.5	0.67	0.67
3 เม.ย. 55	38	52.5	1.5	0.33	38	1	0.17
10 เม.ย. 55	45	20.5	6.33	0.17	18	6.17	0.17
17 เม.ย. 55	52	46	1	0.17	31.5	0.5	0.17
1 พ.ค. 55	66	9	1.5	0.67	7.04	1.33	0.65
4 พ.ค. 55	69	81	2.5	0.33	44.23	1.84	0.01
8 พ.ค. 55	73	56.5	2.67	0.5	32.5	2.01	0.37
11 พ.ค. 55	76	24.5	2.5	1.5	16.15	1.66	0.82
15 พ.ค. 55	80	60.5	1.67	1.33	37.3	1.34	0.7
18 พ.ค. 55	83	37.5	1	0.33	20.1	0.37	0.15
23 พ.ค. 55	88	78	1.67	1.5	42.6	1.4	1.3
25 พ.ค. 55	90	33.5	4.17	3.33	23.9	3.8	1.8
29 พ.ค. 55	94	22.5	2.17	1.83	18.49	1.86	1.69
1 มิ.ย. 55	97	23	5.75	2	12.25	4.18	0.83
5 มิ.ย. 55	101	34.5	18	1.17	16	7.94	0.51
8 มิ.ย. 55	104	30.5	5.7	0.83	14.43	2	0.01
12 มิ.ย. 55	107	30	4	2.2	11.9	2.3	1.2
15 มิ.ย. 55	110	89	15.25	2.67	37.28	7.47	1.62
19 มิ.ย. 55	114	16.75	12	2.33	8.94	8.78	1.72
22 มิ.ย. 55	117	29	5.25	0.33	16.4	2.04	0.24
29 มิ.ย. 55	124	46.25	3	0.83	28.05	1.13	0.59

ตารางที่ ข.2 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

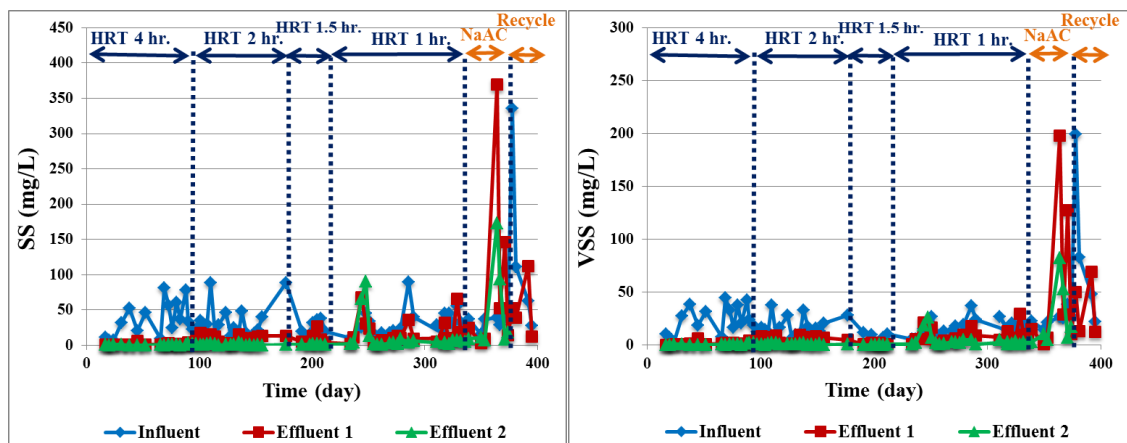
วันที่	วัน	SS			VSS		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
3 ก.ค. 55	128	13.25	1.17	0.67	6.13	0.38	0.22
6 ก.ค. 55	131	25	2.67	1.17	9.17	1.39	0.28
10 ก.ค. 55	135	20	15.75	3.67	10.19	9.43	1.11
13 ก.ค. 55	138	48	10	2.17	32.8	7.28	1.94
17 ก.ค. 55	142	17.5	4.17	0.33	16.85	3.76	0.08
20 ก.ค. 55	145	11	4.33	0.67	9.17	3.77	0.34
24 ก.ค. 55	149	16.5	10.5	0.33	15.68	8.17	0.13
27 ก.ค. 55	152	21.75	12.25	1.17	13.06	6.12	0.93
31 ก.ค. 55	156	40.5	13.25	0.33	20.19	6.83	0.13
21 ส.ค. 55	177	88.5	13.17	1	28.13	4.59	0.55
4 ก.ย. 55	191	19.25	5.33	0.83	11.29	0.68	0.16
11 ก.ย. 55	198	15.5	3.33	1	9.76	1.82	0.13
14 ก.ย. 55	201	32	13	2	1.99	0.22	0.07
18 ก.ย. 55	205	36	27	2	2.07	1.76	0.18
21 ก.ย. 64	208	38	8	0.67	7.01	0.14	0.12
25 ก.ย. 55	212	20	4.33	1.33	10.4	0.83	0.29
16 ต.ค. 55	234	10	2.33	1.67	5.24	0.4	0.19
19 ต.ค. 55	237	9.5	11	3.67	5.16	5.59	1.83
26 ต.ค. 55	244	26	68	66	14.8	21.24	18.1
30 ต.ค. 55	248	45	31	91	9.02	5.3	25.8
2 พ.ย. 55	251	34	23.5	13.5	26.3	16.6	6.7
6 พ.ย. 55	255	16	4.5	2	10.6	2.16	1.9
9 พ.ย. 55	258	11.5	1.33	0.67	8.95	1.2	0.63
13 พ.ย. 55	262	17.5	7	1.33	12.81	3.85	1.2
20 พ.ย. 55	269	18	4	2.67	12.67	3.83	2.58

ตารางที่ ข.2 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	SS			VSS		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
23 พ.ย. 55	272	20.5	10	4	17.37	5.91	2.89
27 พ.ย. 55	276	14	13	2	8.82	6.34	1.93
30 พ.ย. 55	279	24	10	9	18.8	9.4	4.6
7 ธ.ค. 55	286	90	36	4	36.5	17.7	4.6
11 ธ.ค. 55	290	40	9.5	6.33	23.9	8.8	0.6
8 ม.ค. 56	318	15	10	3	13.3	6.8	2.9
11 ม.ค. 56	311	29	5.5	5	26.8	4.4	4.3
18 ม.ค. 56	318	45	32	4	15.6	12.6	0.6
22 ม.ค. 56	322	45	9.5	1.7	20.6	6.5	1.5
25 ม.ค. 56	325	31	10.5	7	17.6	5.3	3.3
29 ม.ค. 56	329	56	66	7	19.7	29.5	0.55
1 ก.พ. 56	332	33	18.5	6	18.9	9.4	2.6
5 ก.พ. 56	336	27	18	4.7	14.4	10.2	2.2
8 ก.พ. 56	339	37	25	9.67	22.49	14.8	2.89
19 ก.พ. 56	350	15.5	3.3	11.7	14.3	0.2	9.9
22 ก.พ. 56	353	37	9.5	7.67	20.8	7	4.5
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)							
5 มี.ค. 56	364	39	370	173	26.5	198.1	82.1
8 มี.ค. 56	367	29	52	94	24.9	28.7	52.6
12 มี.ค. 56	371	41	146	8.3	38.1	127	6.4
15 มี.ค. 56	374	38	14	19	26.9	9.9	16.9

ตารางที่ ข.2 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	SS			VSS		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)							
19 มี.ค. 56	378	336	52	-	199.4	49.6	-
22 มี.ค. 56	381	111	39	-	82.8	12.8	-
2 เม.ย. 56	392	63	112	-	47.8	68.7	-
5 เม.ย. 56	395	27.5	12.5	-			-



รูปที่ ข.1 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งระเหยง่าย (VSS) ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ
ต่างๆ รวมทั้งที่เติม NaAC และมีการเวียนน้ำกลับของระบบ

ตารางที่ ข.3 ปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	Excess Sludge, (mg/L)		วันที่	วัน	Excess Sludge, (mg/L)	
		SS	VSS			SS	VSS
20 มี.ค. 55	24	6	5.25	16 ต.ค. 55	234	1790	592.5
27 มี.ค. 55	31	9.5	9.5	26 ต.ค. 55	244	5850	1887
3 เม.ย. 55	38	6.75	5.25	30 ต.ค. 55	248	600	159.5
17 เม.ย. 55	52	2.5	1.25	6 พ.ย. 55	255	955	342.3
1 พ.ค. 55	66	3.25	2.74	13 พ.ย. 55	262	620	216.2
8 พ.ค. 55	73	1.25	0.32	20 พ.ย. 55	269	1970	619.1
15 พ.ค. 55	80	1.75	1.02	27 พ.ย. 55	276	5173.3	2543.3
23 พ.ค. 55	88	5.75	4.7	11 ธ.ค. 55	290	14290	4583.3
29 พ.ค. 55	94	4	3.5	8 ม.ค. 13	318	23900	2.60
5 มิ.ย. 55	101	3.33	3.16	22 ม.ค. 13	322	6310.3	0.69
12 มิ.ย. 55	107	5.5	3.75	29 ม.ค. 13	329	23370	2.54
19 มิ.ย. 55	114	8.33	7.15	5 ก.พ. 13	336	29333	3.19
29 มิ.ย. 55	124	7.67		19 ก.พ. 13	350	262	0.05
3 ก.ค. 55	128	3.75	1.11	เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)			
10 ก.ค. 55	135	6	3.62				
17 ก.ค. 55	142	1	0.22	5 มี.ค. 13	364	27976	12266
24 ก.ค. 55	149	1	0.71	12 มี.ค. 13	367	38153.3	17950
31 ก.ค. 55	156	5.5	4.69	Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)			
21 ส.ค. 55	177	64	26				
4 ก.ย. 55	191	84/4 อาทิตย์	31.4/4 อาทิตย์	19 มี.ค. 13	371	32550	12116
11 ก.ย. 55	198	9.5	5.09	2 เม.ย. 13	374	36490	13640
18 ก.ย. 55	205	10.5	0.2				
25 ก.ย. 55	212	35	12.68				

ตารางที่ ข.4 ปริมาณค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	TCOD			SCOD		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
13 มี.ค. 55	17	61.94	30.97	15.48	30.97	23.23	7.74
16 มี.ค. 55	20	54.19	23.23	23.23	23.23	15.48	15.48
20 มี.ค. 55	24	30.97	23.23	15.48	30.97	15.48	7.74
27 มี.ค. 55	31	69.68	46.45	46.45	54.19	38.71	30.97
3 เม.ย. 55	38	61.94	23.23	15.48	38.71	23.23	7.74
10 เม.ย. 55	45	92.9	30.9	15.5	46.5	23.23	23.23
17 เม.ย. 55	52	69.7	38.7	23.23	38.71	38.71	23.23
1 พ.ค. 55	66	53.3	38.1	30.5	38.1	30.5	22.9
4 พ.ค. 55	69	99	30.5	22.9	15.2	7.6	7.6
8 พ.ค. 55	73	81.2	29.5	14.8	44.3	14.8	7.4
11 พ.ค. 55	76	60.9	38.1	22.9	45.7	38.1	15.2
15 พ.ค. 55	80	60.95	22.86	7.62	22.86	15.24	7.62
18 พ.ค. 55	83	61	38.1	15.2	38.1	22.9	15.2
23 พ.ค. 55	88	91.4	53.3	30.5	53.3	30.5	22.9
25 พ.ค. 55	90	76.2	45.7	38.1	45.7	22.9	15.2
29 พ.ค. 55	94	44.3	29.5	14.8	29.5	22.2	7.4
1 มิ.ย. 55	97	91.4	38.1	22.9	30.5	22.9	15.2
5 มิ.ย. 55	101	68.6	38.1	22.9	45.7	30.5	22.9
8 มิ.ย. 55	104	45.71	38.1	22.9	30.5	30.5	22.9
12 มิ.ย. 55	107	60.9	45.7	30.5	38.1	22.9	7.62
15 มิ.ย. 55	110	106.7	45.7	38.1	30.5	15.2	15.2
19 มิ.ย. 55	114	60.95	45.71	38.1	45.71	38.1	38.1
22 มิ.ย. 55	117	68.6	30.48	22.86	22.86	22.86	15.24
29 มิ.ย. 55	124	83.8	30.5	15.24	30.5	22.9	15.24
3 ก.ค. 55	128	53.3	38.1	22.9	38.1	22.9	22.9

ตารางที่ ข.4 ปริมาณค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

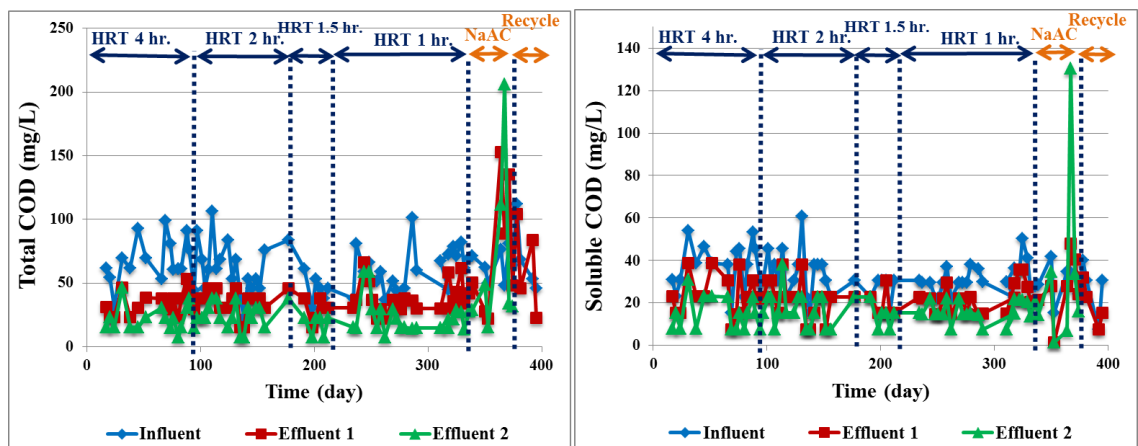
วันที่	วัน	TCOD			SCOD		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
6 ก.ค. 55	131	68.6	45.7	38.1	60.9	38.1	22.9
10 ก.ค. 55	135	38.1	15.2	7.62	22.86	7.62	7.62
13 ก.ค. 55	138	22.86	15.24	7.62	15.24	7.62	7.62
17 ก.ค. 55	142	53.33	38.1	30.48	38.1	15.24	15.24
20 ก.ค. 55	145	45.71	38.1	22.86	38.1	22.86	22.86
24 ก.ค. 55	149	53.3	38.1	30.5	38.1	22.86	22.86
27 ก.ค. 55	152	45.71	38.1	30.48	30.48	7.62	7.62
31 ก.ค. 55	156	76.19	30.48	15.24	22.86	22.86	7.62
21 ส.ค. 55	177	83.8	45.7	38.1	30.5	22.86	22.86
4 ก.ย. 55	191	60.95	38.1	22.86	22.86	22.86	22.86
11 ก.ย. 55	198	30.48	15.24	7.62	30.48	15.24	7.62
14 ก.ย. 55	201	53.3	22.86	22.86	30.48	15.24	15.24
18 ก.ย. 55	205	45.7	38.1	22.86	30.48	30.48	15.24
21 ก.ย. 64	208	38.1	30.48	7.62	15.24	15.24	7.62
25 ก.ย. 55	212	45.7	30.48	22.86	30.48	15.24	15.24
16 ต.ค. 55	234	38.1	30.48	15.24	30.48	22.86	15.24
19 ต.ค. 55	237	81.23	36.92	14.77	29.54	22.15	14.77
26 ต.ค. 55	244	59.1	66.5	59.1	29.54	22.15	22.15
30 ต.ค. 55	248	66.5	51.7	59.1	22.15	14.8	14.8
2 พ.ย. 55	251	51.7	36.9	29.5	22.15	14.8	14.8
6 พ.ย. 55	255	51.7	22.15	14.77	29.54	22.15	14.77
9 พ.ย. 55	258	59.1	29.54	29.54	36.9	29.5	22.15
13 พ.ย. 55	262	36.92	22.15	7.38	22.15	14.77	7.38
20 พ.ย. 55	269	51.7	36.92	29.54	29.54	22.15	22.15
23 พ.ย. 55	272	44.31	29.54	22.15	29.54	22.15	14.77

ตารางที่ ข.4 ปริมาณค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	TCOD			SCOD		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
27 พ.ย. 55	276	36.92	29.54	14.77	29.54	14.77	14.77
30 พ.ย. 55	279	45.71	38.1	15.24	38.1	22.86	15.24
7 ธ.ค. 55	286	101.1	36.1	14.4	36.1	14.4	14.4
11 ธ.ค. 55	290	60	30	15	30	15	7.5
8 ม.ค. 13	318	45	30	15	22.5	22.5	15
11 ม.ค. 13	311	67.5	30	15	30	15	7.5
18 ม.ค. 13	318	72.7	58.2	21.8	36.4	29.1	21.8
22 ม.ค. 13	322	78.8	35.8	21.5	35.8	35.8	21.5
25 ม.ค. 13	325	71.6	43	28.7	50.2	35.8	21.5
29 ม.ค. 13	329	82.3	61.7	27.4	41.1	27.4	20.6
1 ก.พ. 13	332	61.7	34.3	13.7	27.4	20.6	13.7
5 ก.พ. 13	336	69.6	41.7	27.8	27.8	20.9	20.9
8 ก.พ. 13	339	71.6	50.2	28.7	28.7	21.5	14.3
19 ก.พ. 13	350	62.6	27.8	48.7	41.7	27.8	34.8
22 ก.พ. 13	353	50.1	22.3	15.3	15.3	1.4	1.4
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)							
5 มี.ค. 13	364	76.5	153.1	111.3	34.8	27.8	7
8 มี.ค. 13	367	48	89.1	205.7	34.3	48	130.3
12 มี.ค. 13	371	81.1	135.2	33.8	33.8	40.6	33.8
15 มี.ค. 13	374	64	48	32	24	24	16

ตารางที่ ข.4 ปริมาณค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	TCOD			SCOD		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)							
19 มี.ค. 13	378	112	104	-	40	32	-
22 มี.ค. 13	381	68.6	45.7	-	30.5	22.9	-
2 เม.ย. 13	392	53.3	83.8	-	7.6	7.6	-
5 เม.ย. 13	395	45.7	22.9	-	30.5	15.2	-



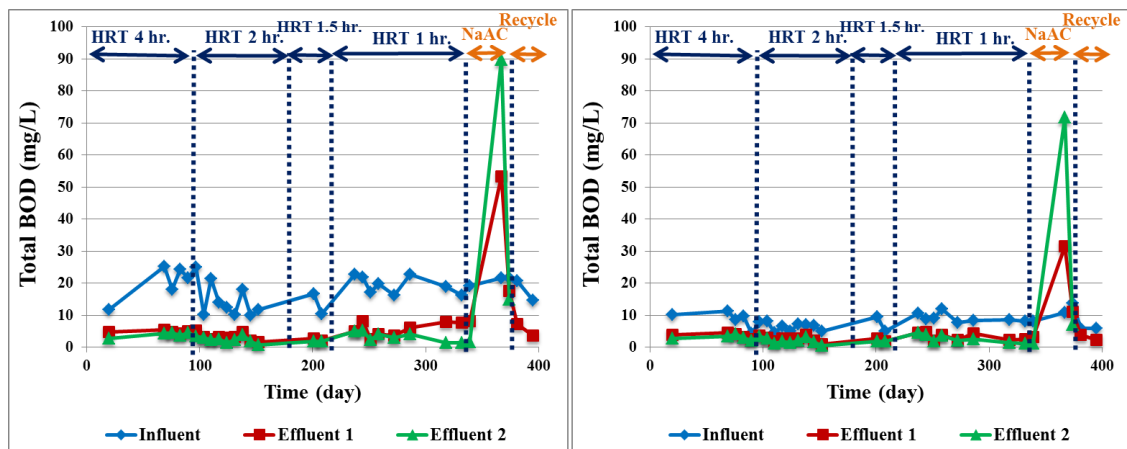
รูปที่ ข.2 ค่าปริมาณซีโอดีทั้งหมด (TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (SCOD) ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆ รวมทั้งที่เติม NaAC และมีการเวียนน้ำกลับของระบบ

ตารางที่ ข.5 ปริมาณค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	TBOD			SBOD		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)
16 มี.ค. 55	20	11.78	4.77	2.76	10.11	3.95	2.65
4 พ.ค. 55	69	25.30	5.40	4.30	11.30	4.60	3.30
11 พ.ค. 55	76	18.03	4.70	4.58	8.49	4.14	4.04
18 พ.ค. 55	83	24.20	4.40	3.60	9.80	3.12	2.90
25 พ.ค. 55	90	21.60	5.01	4.46	4.35	2.39	2.12
1 มิ.ย. 55	97	25.03	5.30	3.31	7.87	3.57	3.46
8 มิ.ย. 55	104	10.18	3.10	2.97	8.11	2.90	2.71
15 มิ.ย. 55	110	21.33	2.44	2.19	4.48	1.83	1.12
22 มิ.ย. 55	117	14.00	3.11	2.56	6.55	2.77	1.78
29 มิ.ย. 55	124	12.45	2.95	1.40	5.05	2.69	1.32
6 ก.ค. 55	131	10.20	3.13	2.16	7.20	2.70	2.00
13 ก.ค. 55	138	18.12	4.67	3.79	6.94	3.94	3.11
20 ก.ค. 55	145	9.98	2.12	1.90	6.82	2.07	1.65
27 ก.ค. 55	152	11.63	1.51	0.68	5.01	0.82	0.51
14 ก.ย. 55	201	16.77	2.74	1.91	9.36	2.64	1.81
21 ก.ย. 64	208	10.29	2.11	1.80	4.96	1.84	1.76
19 ต.ค. 55	237	22.76	5.07	4.96	10.70	4.54	4.46
26 ต.ค. 55	244	21.76	8.08	5.29	8.69	4.83	3.83
2 พ.ย. 55	251	17.18	2.50	2.27	9.04	1.94	1.78
9 พ.ย. 55	258	19.78	4.16	4.13	11.94	3.82	3.70
23 พ.ย. 55	272	16.13	3.69	2.85	7.72	2.20	2.00
7 ธ.ค. 55	286	22.82	6.17	4.01	8.32	4.25	2.51
18 ม.ค. 56	318	18.80	7.90	1.40	8.50	2.31	1.37
1 ก.พ. 13	332	16.30	7.62	1.31	8.20	2.60	1.10
8 ก.พ. 13	339	19.23	8.02	1.53	8.15	3.20	1.25

ตารางที่ ข.5 ปริมาณค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังออกจากระบบ DHS(ต่อ)

วันที่	วัน	TBOD			SBOD		
		น้ำเข้า (mg/L)	1 st DHS (mg/L)	2 nd DHS (mg/L)	น้ำเข้า (mg/L)	1st DHS (mg/L)	2nd DHS (mg/L)
เติมสารอินทรีย์เข้าระบบที่ชั้น AC (NaAC 20 mg/L)							
8 มี.ค. 13	367	21.50	53.20	89.70	10.90	31.40	71.70
15 มี.ค. 13	374	21.60	17.60	14.90	13.80	11.10	7.10
Recycle ระบบ (จากชั้น AC เข้าระบบใหม่)							
22 มี.ค. 13	381	20.70	7.20	-	5.85	3.90	-
5 เม.ย. 13	395	14.70	3.60	-	5.80	2.30	-



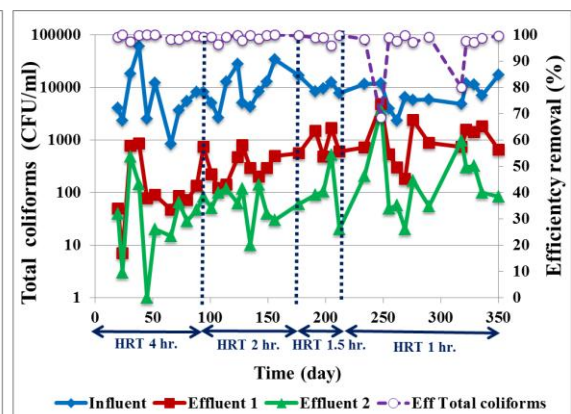
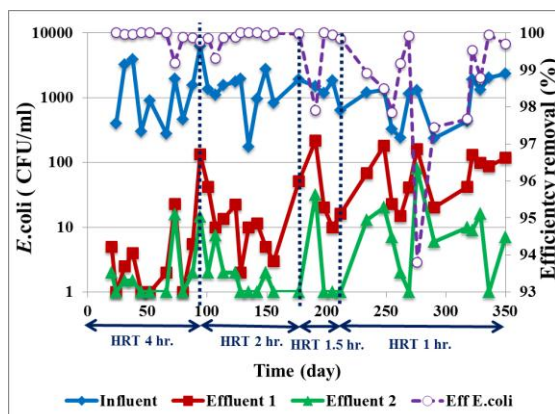
รูปที่ ข.3 ค่าปริมาณบีโอดีทั้งหมด (TBOD) และบีโอดีละลายน้ำ (SBOD) ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างๆ รวมทั้งที่เติม NaAC และมีการเวียนน้ำกลับของระบบ

ตารางที่ ข.6 ปริมาณ *E. coli* และ Total coliforms ในน้ำเสียก่อนและหลังออกจากระบบ DHS

วันที่	วัน	<i>E. coli</i>			Total coliforms		
		น้ำเข้า (CFU/mL)	1 st DHS (CFU/mL)	2 nd DHS (CFU/mL)	น้ำเข้า (CFU/mL)	1st DHS (CFU/mL)	2nd DHS (CFU/mL)
16 มี.ค. 55	20	0	5	2	4000	50	40
20 มี.ค. 55	24	400	0	0	2350	7	3
27 มี.ค. 55	31	3250	2.5	1.5	18000	770	485
3 เม.ย. 55	38	3900	4	1.5	59500	865	147
10 เม.ย. 55	45	300	1	0	2500	78	1
17 เม.ย. 55	52	900	1	0	12000	90	20
1 พ.ค. 55	66	275	2	0	836	47	15
8 พ.ค. 55	73	1950	23	15.75	3625	85	65
15 พ.ค. 55	80	460	1	0.5	5450	72.3	28.5
23 พ.ค. 55	88	1550	5.5	2	8200	134.3	47.5
29 พ.ค. 55	94	6175	133.5	14.5	8125	740	83.5
5 มิ.ย. 55	101	1350	41.8	2	5075	220	50.8
12 มิ.ย. 55	107	1100	10	7.5	2625	121.5	100
19 มิ.ย. 55	114	1550	13.5	2	12675	140	120
29 มิ.ย. 55	124	1750	22.3	2	27500	472.5	62.5
3 ก.ค. 55	128	1950	2	0	5075	797.5	120
10 ก.ค. 55	135	175	10	0	4250	290	10
17 ก.ค. 55	142	950	11.5	0	8250	200	140
24 ก.ค. 55	149	2750	5	2	12850	290	40
31 ก.ค. 55	156	825	3	0	34000	495	30
21 ส.ค. 55	177	1900	51.2	0.5	16900	557.5	60
4 ก.ย. 55	191	1500	215	31.5	8400	1470	90
11 ก.ย. 55	198	1170	20	0	9400	485	105
18 ก.ย. 55	205	1820	10	1	12300	1686	520

ตารางที่ ข.6 ปริมาณ *E. coli* และ Total coliforms ในน้ำเสียก่อนและหลังออกจากระบบ DHS (ต่อ)

วันที่	วัน	<i>E. coli</i>			Total coliforms		
		น้ำเข้า (CFU/mL)	1 st DHS (CFU/mL)	2 nd DHS (CFU/mL)	น้ำเข้า (CFU/mL)	1st DHS (CFU/mL)	2nd DHS (CFU/mL)
25 ก.ย. 55	212	640	16	1	7650	600	20
16 ต.ค. 55	234	1197	68	13	11400	715	205
30 ต.ค. 55	248	1335	180	20	11750	4836	3720
6 พ.ย. 55	255	325	23	7	3950	535	49
13 พ.ย. 55	262	240	15	2	2300	300	58
20 พ.ย. 55	269	1150	41	1	6550	180	20
27 พ.ย. 55	276	1305	159	81	5700	2405	170
11 ธ.ค. 55	290	235	20	6	5800	887	55
8 ม.ค. 13	318	430	42	10	4850	735	970
22 ม.ค. 13	322	1917	130	9	11900	1550	300
29 ม.ค. 13	329	1315	98	16	11300	1400	320
5 ก.พ. 13	336	2040	87	1	7000	1810	100
19 ก.พ. 13	350	2323	119	7	17050	655	83



รูปที่ ข.4 ค่าปริมาณบีโอดีทั้งหมด (TBOD) และบีโอดีละลายน้ำ (SBOD) ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่างๆ

ภาคผนวก ค

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้น

ความสูงถังปฏิกิริยา

ตารางที่ ค.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะกักเก็บน้ำ 4 ชั่วโมง

	พารามิเตอร์	HRT 4 ชั่วโมง (วันที่ 94 ทำการทดลอง)						
		A1	A3	A5	B1	B3	B5	BC
Spot samples	อุณหภูมิ (°C)	32.3	32.2	32.0	32.1	32.2	31.8	31.7
	พีเอช	7.25	7.66	8.26	8.37	8.25	8.32	8.18
	ORP (mV)	-44	8	9	10	23	21	24
	DO (mg/L)	0.55	3.90	5.03	5.08	5.32	5.16	5.13
Sludge experiment	SS (mg/L)	4720.0	3710.0	2040.0	446.0	142.0	104.0	-
	VSS (mg/L)	1820.0	1523.3	780.0	415.0	121.0	79.0	-
	Sludge conc. SS (mg/L-sponge)	33475.2	23154.6	3158.9	335.7	86.3	22.0	-
	Sludge conc. VSS (mg/L-sponge)	12907.8	9505.3	1207.8	213.8	50.8	7.3	-
	TCOD (mg/L)	2438.10	2057.10	990.50	289.50	228.60	68.60	-
Profile experiment	SS (mg/L)	146	16.67	4.83	3.67	1.83	0.33	0.33
	VSS (mg/L)	73	7.83	3.33	1.83	1.17	0.33	0.17
	TCOD (mg/L)	160	68.6	30.5	22.9	15.2	15.2	15.2
	SCOD (mg/L)	38.1	30.5	22.3	22.9	15.2	15.2	15.2
	TBOD (mg/L)	58.85	18.13	17.75	9.58	7.89	6.5	5.24
	SBOD (mg/L)	29.98	18.3	14.51	8.12	6.93	6.8	5.16
	<i>E. coli</i> (CFU/mL)	1,500	100	42	30	10	4	2
	Total coliforms (CFU/mL)	30,000	3000	800	500	270	255	69

ตารางที่ ค.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะกักเก็บน้ำ 2 ชั่วโมง

	พารามิเตอร์	HRT 2 ชั่วโมง (ทำการทดลองวันที่ 177)						
		A1	A3	A5	B1	B3	B5	BC
Spot samples	อุณหภูมิ (°C)	30.2	30.3	30.4	30.5	-	-	30
	พีเอช		7.25	7.44	8.07	-	-	8.65
	ORP (mV)	71	98	110	144	-	-	149
	DO (mg/L)	1.21	2.53	3.62	4.42	-	-	5.21
Sludge experiment	SS (mg/L)	4333.3	3793.3	3310	3166	-	586.7	-
	VSS (mg/L)	1970	1780	1520	1006.7	-	290	-
	Sludge conc. SS (mg/L-sponge)	54252.9	41842.3	15063.2	16974.1	-	943.6	-
	Sludge conc. VSS (mg/L-sponge)	24683.2	19651.5	6917.3	5354.6	-	499.2	-
	TCOD (mg/L)	2895.2	2514.3	2133.3	2057.1	-	137.1	-
Profile experiment	SS (mg/L)	29.75	21.5	20.25	5.67	-	-	0.83
	VSS (mg/L)	16.21	15.08	11.53	3.67	-	-	0.75
	TCOD (mg/L)	53.33	30.48	30.48	22.86	-	-	7.62
	SCOD (mg/L)	22.86	22.86	22.86	15.24	-	-	7.62
	TBOD (mg/L)	17.6	6.52	3.32	1.57	-	-	1.33
	SBOD (mg/L)	6.54	1.66	1.12	1	-	-	0.98
	<i>E. coli</i> (CFU/mL)	768	30	10	6	-	-	1
	Total coliforms (CFU/mL)	14,050	665	225	212.5	-	-	64.3

ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะกักเก็บน้ำ
1.5 ชั่วโมง

	พารามิเตอร์	HRT 1.5 ชั่วโมง (ทำการทดลองวันที่ 226)						
		A1	A3	A5	B1	B3	B5	BC
Spot samples	อุณหภูมิ (°C)	28.5	28.5	28.7	29	-	-	28.7
	พีเอช	7.11	7.37	7.38	7.12	-	-	8.1
	ORP (mV)	46	49	79	150	-	-	140
	DO (mg/L)	1.74	5.35	6.41	6.48	-	-	7.72
Sludge experiment	SS (mg/L)	4920.7	7506.7	6807.1	5107.1	6100	3279	-
	VSS (mg/L)	1769	2993.3	2689.3	1714.3	2160	1648.3	-
	Sludge conc. SS (mg/L-sponge)	46931	52524	43288	30183	29851	9379	-
	Sludge conc. VSS (mg/L-sponge)	16874	20943	17100	10130	10570	4714	-
	TCOD (mg/L)	335.2	434.3	350.5	342.8	335.2	327.6	-
Profile experiment	SS (mg/L)	56	38	25	105	-	-	46
	VSS (mg/L)	22.73	12.62	6.95	32.30	-	-	17.51
	TCOD (mg/L)	76.2	53.3	53.3	99.1	-	-	45.7
	SCOD (mg/L)	38.1	30.5	22.86	22.86	-	-	15.24
	TBOD (mg/L)	18.1	6.64	6.58	4.72	-	-	3.68
	SBOD (mg/L)	9.11	3.64	3.66	4.59	-	-	3.31
	<i>E. coli</i> (CFU/mL)	1,107	30	10	0	-	-	0
	Total coliforms (CFU/mL)	13,100	1207	730	657	-	-	550

ตารางที่ ค.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนแต่ละชั้นความสูงของถังปฏิกรณ์ ที่ระยะกักเก็บน้ำ
1 ชั่วโมง

	พารามิเตอร์	HRT 1 ชั่วโมง (ทำการทดลองวันที่ 299)						
		A1	A3	A5	B1	B3	B5	BC
Spot samples	อุณหภูมิ (°C)	29.9	29.9	29.8	30.3	30.5	30.3	30.1
	พีเอช	7.24	7.49	7.34	7.27	7.63	7.86	7.7
	ORP (mV)	21	66	78	67	162	172	203
	DO (mg/L)	0.94	3.77	3.92	4.34	5.1	5.29	5.43
Sludge experiment	SS (mg/L)	12428	9728	8303	12453	10492	9203	-
	VSS (mg/L)	4228	4250	3196	4503	3248	1235	-
	Sludge conc. SS (mg/L-sponge)	70660	53929	44164	64914	43034	29480	-
	Sludge conc. VSS (mg/L-sponge)	24038	23560	17000	23473	13322	5279	-
	TCOD (mg/L)	5485.7	5485.7	4114.3	5485.7	4114.3	4114.3	-
Profile experiment	SS (mg/L)	19.5	24	22.7	15	21	36.3	22
	VSS (mg/L)	12.8	14.5	12.5	8.2	8.8	15.2	11.1
	TCOD (mg/L)	82.3	61.7	34.3	34.3	34.3	27.4	27.4
	SCOD (mg/L)	48	41.1	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
	TBOD (mg/L)	27.6	14.8	10.6	8.4	4.3	4.3	3.3
	SBOD (mg/L)	12.6	7.3	5	4.1	3	3	2.5
	<i>E. coli</i> (CFU/mL)	1,050	905	580	425	270	225	74
	Total coliforms (CFU/mL)	10,050	7550	10900	1895	900	2300	750

ภาคผนวก ง

ประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ใช้
และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลาย

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake Rate, OUR) ของจุลินทรีย์ที่ใช้และไม่ใช้สารอินทรีย์ในการย่อยสลายในระบบ DHS

การทดลอง OUR (ความชันของกราฟ)

mg/L min	without substrate	withNH ₄ -N	with acetate and NH ₄
DHS A1	0.1716	0.3077	0.4061
DHS A3	0.0737	0.2368	0.2589
DHS A5	0.0529	0.1812	0.1949

ปริมาณจุลชีพลในตัวกลางฟองน้ำที่ขึ้นความสูง

mgVSS/L	without substrate	withNH ₄ -N	with acetate and NH ₄
DHS A1	2789	2734	2680
DHS A3	2289	2244	2200
DHS A5	1771	1737	1703

ปริมาณการใช้ OUR

gO ₂ /gVSS day	without substrate	withNH ₄ -N	with acetate and NH ₄
DHS A1	0.089	0.162	0.218
DHS A3	0.046	0.152	0.169
DHS A5	0.043	0.150	0.165

ปริมาณการใช้ OUR ของจุลินทรีย์แต่ละชนิด

gO ₂ /gVSS day	Autolysis	Organic removal	Nitrification
A1	0.089	0.056	0.162
A3	0.046	0.018	0.152
A5	0.043	0.015	0.150

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายเกียรติชัย สังข์สม
วัน เดือน ปีเกิด	21 ตุลาคม 2531
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิรินธรราชวิทยาลัย พ.ศ. 2549
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2553
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	ทุนก้นกฏ จากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Kiattichai Sungsom ¹ , Wilasinee Yoochatchaval, Takashi Onodera, Haruhiko Sumino, Takashi Yamaguchi, Motoyuki Mizuochi, Kazuaki Syutsubo, 2013, “The Development of Down-flow Hanging Sponge (DHS) for sewage treatment system in Bangkok”, Proceedings of the 12th National Environmental Conference , 27-29 March 2013, Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, Thailand, pp. 155-156.