การบำบัดก๊าซจากโรงงานยางแท่ง STR20 ด้วยระบบเอสบีอาร์

Treatment of Air Emission from Block Rubber STR20 Factory with Sequencing Batch Reactor System

พรรวิษา แกสมาน

Panwisa Kaesamarn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดก๊าซจากโรงงานยางแท่ง STR20 ด้วยระบบเอสบีอาร์
ผู้เขียน นางสาวพรรวิษา แกสมาน
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

คณะกรรมการสอบ

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรมาศ สุทธินุ่น)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ชูฤทธิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ...

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ...

(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ...

(นางสาว พรรวิษา แกสมาน)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.................................…..............................

(นางสาว พรรวิษา แกสมาน)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดก๊าซจากโรงงานยางแท่ง STR20 ด้วยระบบเอสบีอาร์
ผู้เขียน นางสาว พรรวิษา แกสมาน
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

การศึกษา เรื่อง การบำบัดก๊าซจากโรงงานยางแท่ง STR20 ด้วยระบบเอสบีอาร์ นี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซจากการอบยางแท่ง STR20 ด้วยระบบดักจับแบบเปียก แบบ co-current flow ซึ่งก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง STR20 มีองค์ประกอบของกรดไขมันระเหย (VFAs), H_2S และ NH_3 การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ และตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมทั้งก่อนและหลังออกจากระบบดักจับแบบเปียก เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ระบบดักจับแบบเปียกสามารถทำให้อุณหภูมิของก๊าซเสียลดลง 6 ^{o}C โดยเฉลี่ย มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซกลุ่มกรดไขมันระเหยในเทอมของ isovaleric acid isobutyric acid valeric acid butyric acid propionic acid และ acetic acid โดยเฉลี่ยเท่ากับ 47%, 46%, 46%, 40%, 39% และ 32% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ H_2S เฉลี่ยเท่ากับ 14% นอกจากนี้ผลการศึกษาลักษณะน้ำเสียพบว่าเมื่อใช้น้ำในการดูดซึมก๊าซเสียแล้ว น้ำที่ออกจากระบบดังกล่าว มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 9.3 ^{o}C และมีค่า VFAs SCOD TKN SS NH_3-N H_2S และS^{2-} สูงขึ้นกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซจากการอบยางแท่ง STR20 ที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้ว ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากระบบดักจับแบบเปียก โดยใช้ระบบ SBR เพื่อทำการบำบัดก๊าซและน้ำเสียดังกล่าว โดยใช้ถังปฏิกิริยาจำนวน 4 ถัง ภายใต้เงื่อนไขการทดลองของการป้อนน้ำเสีย 2 เงื่อนไข (เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน) และมีอัตราการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบถังที่ R3 เท่ากับ 13.3 l/m^3 (L/G ratio เท่ากับ 0.188 l/m^3 และ 0.423 l/m^3) และถังที่ R4 เท่ากับ 6.65 l/m^3 (L/G ratio เท่ากับ 0.376 l/m^3 และ 0.846 l/m^3) ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของชุดการทดลองแบบ SBR (R1 R3 และ R4) และ R2 สามารถลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าในระบบได้ ทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากระบบทดลองทั้ง 2 เงื่อนไขการทดลอง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ทั้งนี้การทดลองที่ทำการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และชุดการทดลอง R4 ที่มี L/G ratio เท่ากับ 0.846 l/m^3 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด

สำหรับผลการศึกษาประสิทธิภาพก๊าซที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 พบว่า อุณหภูมิของก๊าซเสียลดลงเฉลี่ยประมาณ 9.5 ^{o}C และ 8.2 ^{o}C ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซกลุ่ม VFAs 5 ชนิด ที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่า ถังที่ R3 มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid และ isovaleric acid คิดเป็นเฉลี่ยร้อยละ 9, 77, 66, 52 และ 87 ตามลำดับ ในขณะที่ถัง R4 มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid และ isovaleric acid คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ9, 77, 65, 52 และ 87 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ H_2S ถังที่ R3 และ R4 ที่มีการเติมน้ำเสีย 2ครั้ง/วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17% และ 31% ตามลำดับ และชุด R2 เท่ากับ 25% ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ NH_3 ถังที่ R3 และ R4 ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29% และ 32% ตามลำดับ และชุด R2 เท่ากับ 43% นอกจากนี้ยังพบกลไกที่เกิดขึ้นภายในระบบชุดทดลองประกอบด้วย กลไกการย่อยสลายทางชีวภาพ กลไก air stripping กลไกการดูดซึม และกลไกการเจือจาง

Thesis Title	Treatment of Air Emission from Block Rubber STR20 Factory with Sequencing Batch Reactor System
Author	Miss Panwisa Kaesamarn
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2016

ABSTRACT

The study of treatment of emitted gases from block rubber STR20 factory with sequencing batch reactor system is to investigate the efficiency of emitted gases treatment with a co-current flow wet scrubber system. The exhausted gases from the STR 20 factory consisted of volatile fatty acids gases (VFAs), hydrogen sulfide (H_2S) and ammonia (NH_3). In this study, influent and effluent gases and absorbed water samples were taken from the 1st unit of wet scrubber. The sampling was conducted for 7 weeks. Results showed that the wet scrubber system could reduce the temperature of those gases by average value of 6 ^{o}C. Besides, the average efficiency treatment of VFAs such as isovaleric acid, isobutyric acid, valeric acid, butyric acid, propionic acid, and acetic acid were 47%, 46%, 46%, 40%, 39%, and 32%, respectively, and H_2S removal was found to be with an average value of 14%. Moreover, the examination of the absorbent water revealed that after the water was used to absorb gases, its temperature approximately increased by 9.3 ^{o}C of average value. In addition, the concentrations of VFAs, SCOD, TKN, SS, NH_3-N, H_2S, and S^{2-} in absorbent water were determined to be higher than before absorption.

For the experiments to investigate the co-treatment efficiency of effluent gases and effluent absorbent wastewater from wet scrubber of STR20 factory by using SBR, 4 sets of reactors (R1- R4) were tested with 2 conditions of wastewater feeding, namely feeding once a day and twice a day. The gases feeding rate to reactor R3 was 13.3 l/m^3 (L/G ratio of 0.188 l/m^3 and 0.423 l/m^3). The reactor R4 had gases feeding rate of 6.65 l/m^3 (L/G ratio of 0.376 l/m^3 and 0.846 l/m^3). The results revealed that treatment of wastewater of SBR units (R1, R3 and R4) and R2, (not SBR system) could remove organic matter. The obtained effluent wastewater could meet the industrial effluent standard announced in 1996. The experimental set running with twice a day

of wastewater feeding gave the better wastewater treatment than once a day of wastewater feeding. The R4 reactor with L/G ratio of 0.846 l/m^3 gave the highest efficiency of wastewater treatment.

For gases treatment, it was observed that temperature of effluent gases was reduced 9.5^oC and 8.2 ^oC by average in the reactors running with once a day and twice a day of wastewater feeding, respectively. For 5 types of VFAs gases treatment, it was found that with once a day of wastewater feeding in R3 reactor, the average efficiency treatment of acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid and isovaleric acid were 9%, 77%, 66%, 52% and 87%, respectively, but in R4 reactor, the average treatment of acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid and isovaleric acid were 9%, 77%, 65%, 52% and 87%, respectively. In addition, H_2S removal efficiency of R3 and R4 reactors with twice a day of wastewater feeding was found to be 17% and 31% as of average values, but in R2 reactor, only 25% was found. For NH_3 removal in R2, R3 and R4 reactors, running with once a day feeding with wastewater, was determined to be 43%, 29% and 32% by average, respectively. It was found that there were 4 types of mechanisms happened in the reactors investigated in this study. Those were bio-degradation, air stripping, absorption and dilution.

กิตติกรรมประกาศ

งานศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือและความเมตตา จากผู้มีพระคุณหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร.พนาลี ชีวกิดาการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณงบประมาณทุนวิจัยของโครงการวิจัย เรื่อง การลดการเกิดปัญหากลิ่นเหม็นของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ด้วยระบบดักจับแบบเปียกทางชีวภาพในครั้งนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยสงขลา นครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่ และเครื่องมือ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ฝ่ายของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยประสานงานการศึกษา อำนวยความสะดวกและสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ทดลองวิจัย และการอำนวยความสะดวกช่วยเหลือในการในความร่วมมือด้านต่าง ๆ ตลอดจนข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ทำงาน และเพื่อนปริญญาโท ปริญญาเอกสาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา การช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวแกสมานและบุคคลอันเป็นที่รักที่คอยสนับสนุนทุนการศึกษา อบรมสั่งสอน ให้ความรักความห่วงใย และเป็นกำลังใจสำคัญตลอดมา

สุดท้ายนี้ความสำเร็จของงานวิจัยที่เกิดขึ้นจากความร่วมมือ ช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจะอยู่ในความทรงจำของผู้วิจัยตลอดไป คุณค่าของงานวิจัยนี้หากเป็นประโยชน์แก่ส่วนรวม ผู้วิจัยขอมอบความดีที่เกิดขึ้นให้แก่ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง คณาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านทั้งที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่คอยส่งเสริมการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

พรรวิษา แกสมาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1. บทนำต้นเรื่อง	1
2. การตรวจเอกสาร	4
3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	49
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	49
2. วิธีการวิจัย	51
1. ขอบเขตการวิจัย	51
2. วิธีการศึกษา	51
3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล	71
1. ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานที่ศึกษา	71
1.1 ข้อมูลพื้นฐานของการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา	71
1.2 ระบบการบำบัดกลิ่นของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ศึกษา	74
2. ผลการทำงานของระบบ wet scrubber ที่ใช้เป็นหน่วยบำบัดแรกของระบบการบำบัดกลิ่นเหม็นของโรงงานที่ศึกษา	78
2.1 ผลการศึกษาของก๊าซ	78
2.2 ผลการศึกษาของน้ำที่เป็นสารดูดซึม	84
2.3 ผลการศึกษากากตะกอนที่ media ในระบบ wet scrubber ที่ศึกษา	93
3. ผลการศึกษาการใช้ระบบ SBR ในการบำบัดก๊าซที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจากระบบ co-current wet scrubber ตัวที่ 1 รวมกับน้ำเสียที่ออกจาก wet scrubber	97

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1 ผลการศึกษาของชุดทดลองของถังที่ R1, R3 และ R4 ในช่วง Start up เพื่อใช้ในระบบ SBR สำหรับการบำบัดก๊าซต่อไป 97

3.2 ผลการศึกษาของการใช้ชุดทดลองแบบระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ในการบำบัดก๊าซเสียที่ออกจากระบบบำบัด wet scrubber ตัวที่ 1 ร่วมกับน้ำทิ้งจาก wet scrubber: กรณีส่วนของของเหลวที่เกิดขึ้นในระบบ 99

3.3 ผลการศึกษาลักษณะก๊าซเสีย ก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 รวมทั้งประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ 133

3.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 143

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 147

4.1 บทสรุป 147

4.2 ข้อเสนอแนะ 149

เอกสารอ้างอิง 151

ภาคผนวก 157

ก ปริมาณผลผลิตยางแท่ง STR20 และปริมาณการใช้ LPG 159

ข คุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 161

ค อัตราการไหลของน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 169

ง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน 173

จ กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน พ.ศ. 2548 181

ประวัติผู้วิจัย 189

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย แยกตามประเภทปี พ.ศ. 2542-2557	5
2	ลักษณะของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก	10
3	ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในกลุ่มกรดไขมันระเหยที่ปล่อยออกมาจากโรงงานยางแท่ง STR20	12
4	สมบัติทางกายภาพและเคมีของกรดไขมันระเหย	13
5	ปริมาณกรดไขมันระเหยในก๊าซเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ก่อนและหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก	13
6	ค่าความเข้มกลิ่นจากโรงงาน	14
7	กลิ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20	14
8	ประสิทธิภาพกำจัดก๊าซกลิ่นเหม็นด้วยสาร hypochlorite	17
9	ลักษณะทางเคมีและชีวภาพของตะกอนที่เกาะติดกับตัวกลางในระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20	18
10	ข้อดีและข้อจำกัดของสครับเบอร์	29
11	ค่ามาตรฐานก๊าซแอมโมเนีย	44
12	พารามิเตอร์ที่ศึกษาในตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึมของระบบ wet scrubber (หน่วยบำบัดที่ 1) ของโรงงานทั้งก่อนและหลังการบำบัด	54
13	เงื่อนไขการทดลองของระบบ SBR ที่ทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดก๊าซเสียจากโรงงานยางแท่ง STR20 ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน	64
14	ความถี่ของการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้ศึกษาในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองแต่ละเงื่อนไข	68
15	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา	71
16	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีในการอบยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา	74
17	ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S ก่อนเข้าและหลังออกจากการระบบ wet scrubber	80

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S ด้วย wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา	83
19	คุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อน และหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก	85
20	ความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบบำบัด wet scrubber ตัวที่ 1	90
21	ประสิทธิภาพการดูดซึมของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบ wet scrubber	93
22	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง media ของระบบ wet scrubber	95
23	ลักษณะของ mixed liquor ของถัง R1, R3 และ R4 ในช่วง start up ระบบ โดยการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งจาก wet scrubber ตัวที่ 1	98
24	ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าและออกจากถังทดลองที่ R1, R3 และ R4 ในขณะ start up ระบบ	99
25	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียสำหรับป้อนเข้าระบบการทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2	100
26	ปริมาณ DO ภายในถังทดลองของระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	101
27	ปริมาณ MLSS/SS ในระบบชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 แต่ละเงื่อนไขของการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	103
28	ค่า pH ของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	111
29	ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	112
30	การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิกับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในถังทดลองที่ R2	129
31	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ SS, SCOD และ VFAs ในมวลน้ำภายในถังกับระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาในถังทดลองที่ R2 (batch test)	132

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
32	อุณหภูมิของตัวอย่างก๊าซเสียก่อนป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ	133
33	ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน	137
34	ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม H_2S และ NH_3 ก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน	139
35	ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซในกลุ่ม VFAs ด้วยชุดทดลอง SBR (R3 และR4) และชุด R2 ที่ศึกษาของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน	142
36	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซในกลุ่ม H_2S NH_3 ด้วยชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) และชุด R2 ที่ศึกษา	143
37	ผลผลิตยางแท่ง STR20 บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ (สาขาสุราษฎร์ธานี) ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2556	159
38	ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ในการอบยางแท่ง STR20	160
39	ผลการวัดอุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber	161
40	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1	162
41	ผลลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง media ของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1	167
42	ผลการบำบัดก๊าซ VFAs, H_2S และ NH_3 ของระบบ wet scrubber ตัวที่ 2 ที่ทำงานแบบ chemisoption	168
43	ผลการวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1	169

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ	22
2	การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา และกระบวนการ transport ในระบบกรองชีวภาพ	22
3	สครับเบอร์แบบหอบรรจุวัสดุหรือหอแพค (packed bed scrubber)	24
4	สครับเบอร์แบบสเปรย์ (spray tower scrubber)	25
5	สครับเบอร์แบบถาดหรือเพลท (plate scrubber or tray scrubber)	26
6	สครับเบอร์แบบไซโคลน (cyclone spray scrubber)	27
7	สครับเบอร์แบบโอริฟิซ (orifice scrubbers)	28
8	สครับเบอร์แบบเวนทูรี่	29
9	ทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น	32
10	ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์	39
11	ตำแหน่งโรงงานที่ทำการศึกษา	52
12	จุดเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศของระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา และลักษณะการต่อเชื่อมของการใช้ก๊าซและน้ำเสีย เพื่อใช้ทดลองบำบัดในระบบ SBR	54
13	ลักษณะ media ที่มีตะกอนเกิดขึ้นภายในถังระบบ wet scrubber ที่ใช้ในการศึกษา	56
14	ลักษณะการใช้ soap film techniques ในการ calibrate ค่าอัตราการไหลของก๊าซของปั๊มที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศ	58
15	จุดเก็บน้ำเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber หน่วยบำบัดแรก	59
16	ระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ได้มีการนำตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมาใช้ในการทดลอง	59
17	ลักษณะภายในถังปฏิกิริยาที่ใช้ทดลองของระบบ SBR ที่ศึกษา	61
18	(1) ปั๊มสำหรับให้อากาศ (aeration) และ (2) ปั๊มสำหรับปั๊มอากาศเสียเพื่อป้อนเข้าในชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) และชุด R2	62
19	เงื่อนไขการทดลองในระบบ SBR	66

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ลักษณะชุดทดลองของระบบ SBR ที่ใช้ในการศึกษา	67
21	กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 และการใช้น้ำ และการเกิดน้ำเสีย	73
22	ระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ทำการศึกษา	75
23	ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดตัวกลาง media ของระบบ wet scrubber ที่ศึกษา	77
24	อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber	79
25	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ของก๊าซก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา (หน่วย ppmv)	81
26	ค่า SO_4^{2-} และ S^{2-} ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษา	87
27	ค่า H_2S, TP, pH, อุณหภูมิ, conductivity และ SS ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษา	88
28	ค่า Org-N, TKN, SCOD, NH_3-N และ VFAs ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษา	89
29	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (VFAs) ที่ตรวจพบในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา (หน่วย: mg/l)	91
30	สัดส่วนร้อยละของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (VFAs) ที่ตรวจพบในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา	92
31	ลักษณะ media ที่ใช้และตะกอนที่เกาะติดที่ตัวกลาง (media) ของโรงงานที่ศึกษา	95
32	ค่า MLSS ในขณะทำการ start up ระบบ	98
33	ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบและภายในถังทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน	102

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	ปริมาณ MLSS ภายในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และปริมาณ SS ของน้ำเสียภายในชุด R2 ของการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน	104
35	ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ป้อนให้กับระบบและค่าอุณหภูมิของน้ำภายในชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	106
36	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบกับน้ำเสียภายในชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	107
37	ค่า conductivity ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบกับน้ำเสียภายในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	108
38	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบกับน้ำทิ้งของชุดทดลอง (A) SBR (R1, R3 และ R4) และ (B) ชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	110
39	ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียป้อนเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	114
40	ค่า SCOD ของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	115
41	ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	116
42	ค่ากรดไขมันระเหย (VFAs) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	118
43	ประสิทธิภาพการบำบัด VFAs ของการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	119

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบทดลองและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	120
45	ปริมาณ NH_3-N ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบทดลองและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	121
46	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่า TKN ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	122
47	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่า NH_3-N ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	123
48	ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-}) ของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งก่อนออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	125
49	ค่า H_2S ในน้ำเสียป้อนเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ	127
50	การเปลี่ยนแปลงของค่า pH กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในถังทดลอง R2 (batch test)	130
51	การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิกับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในถังทดลอง R2 (batch test)	130
52	การเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD, VFAs และค่า SS กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในชุดทดลอง R2 (batch test)	132
53	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ของก๊าซก่อนป้อนเข้า (Inlet gases) และหลังออก (outlet) จากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ที่ทำการศึกษาของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน (หน่วย ppmv)	136

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
54	ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ H_2S ในการป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน	139
55	ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ NH_3 ในการป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน	141
56	กลไกการเกิดปฏิกิริยาภายในถังทดลอง	145

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งนับว่าไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและมีการส่งออกยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา โดยผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งมาตรฐาน (Standard Thai Rubber) และน้ำยางข้น เป็นต้น อุตสาหกรรมจากยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูง ทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตยางแท่งในกลุ่มของยางแท่งเอสทีอาร์ 20 (Standard Thai Rubber 20 : STR 20) ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับหนึ่งของโลก (สถาบันวิจัยยาง, 2559) ยางแท่ง STR 20 ส่วนใหญ่นำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตยางยานพาหนะ เช่น อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ล้อรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ล้อรถจักรยานยนต์หรือจักรยาน ผลิตภัณฑ์สายพานต่างๆ ผลิตภัณฑ์ยางรองพื้น ผลิตภัณฑ์ยางรองคอสะพานและทางยกระดับ ผลิตภัณฑ์ยางกันกระแทก ผลิตภัณฑ์รองเท้าและพื้นรองเท้า (องค์การสวนยาง, 2553) ซึ่งในกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 พบว่ามีความจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นหลักสำหรับการล้างวัตถุดิบ จากการศึกษาของทรัพยากรมูลฐานในการผลิตยางแท่ง STR20 พบว่า น้ำเป็นหนึ่งในทรัพยากรมูลฐานที่มีการใช้มากในทุกขั้นตอนของการผลิต โดยเฉพาะการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การตัดก้อนยางให้ได้ขนาดประมาณ 2 นิ้ว จากนั้นชิ้นยางที่ได้ก็จะถูกนำไปแช่ในบ่อแช่ยางเพื่อล้างทำความสะอาดเบื้องต้น (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 ยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นกลิ่นเหม็นที่มีจุดกำเนิดมาจากกระบวนการอบยางหรือเตาอบยาง รวมทั้งบริเวณที่เก็บกองยางก้อนถ้วยในโรงงานเป็นปัญหาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ นั่นคือ การส่งกลิ่นเหม็นที่น่ารังเกียจภายในโรงงานและโดย รอบบริเวณโรงงานรัศมี 1-5 กิโลเมตร (สำนักโรงงานอุตสาหกรรมราย สาขา 3, 2559) ซึ่งโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ที่เคยอยู่ห่างไกลชุมชนแต่เมื่อมีการขยายของเมืองทำให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากโรงงานยางแท่ง STR20 รบกวนต่อชุมชนมากขึ้นจึงมีผลทำให้ทางโรงงานผู้ผลิตยางแท่ง STR20 ได้รับแรงกดดันจากภายนอกสู่โรงงานจึงต้องปรับปรุงระบบการดำเนินการของตนเพื่อลดปัญหากลิ่นเหม็นให้บรรเทาลง

กลิ่นเหม็นที่เกิดจากโรงงานยางแท่ง STR20 เกิดจากการบูดเน่าขององค์ประกอบที่ไม่ใช่ยาง โดยถูกปล่อยออกมาในขั้นตอนของการอบยาง การบูดเน่าดังกล่าวคือการย่อยสลายส่วนที่

ไม่ใช่ยางได้แก่สารอินทรีย์ เช่น โปรตีน น้ำตาล และไขมันที่ติดอยู่ในก้อนยางแห้งเกิดเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acids: VFAs) ซึ่งเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็น ปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับบริเวณที่พักยางก้อนถ้วยของโรงงาน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดกลิ่นเหม็นอีกจุดหนึ่ง และจากการศึกษาจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 พบว่ามีสารประกอบอินทรีย์ที่จำแนกได้ 29 ชนิด และพบสารอินทรีย์ที่เด่นๆ ที่มี C เป็นองค์ประกอบ 2–5 ตัว ในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ ได้แก่ acetic acid($C_2H_4O_2$) propionic acid ($C_3H_6O_2$) butyric acid ($C_4H_8O_2$) isobutyric acid ($C_4H_8O_2$) valeric acid ($C_5H_{10}O_2$) isovaleric acid ($C_5H_{10}O_2$) จึงทำให้อุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ประสบกับปัญหากลิ่นเหม็นส่งผลกระทบบริเวณรอบข้างโรงงานและชุมชนใกล้เคียง (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) ทั้งที่กลุ่มอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ได้มีวิธีการเพื่อจัดการลดปัญหากลิ่นเหม็นที่ปล่อยออกจากโรงงานโดยใช้ระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) แบบภายในบรรจุตัวกลาง (packing materials) เพื่อบำบัดกลิ่นเหม็นที่ผ่านออกมากับก๊าซร้อนของเตาอบยางแท่งก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ และในช่วงของการเดินระบบ wet scrubber โรงงานยางแท่ง STR20 จำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดตัวกลาง (media) ที่อยู่ในระบบ wet scrubber สัปดาห์ละหนึ่งถึงสองครั้ง เนื่องจากพบว่าเมื่อมีการใช้งานไปสักระยะ 3–7 วัน จะเกิดตะกอนติดอยู่ที่ผิวตัวกลางและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งาน หากไม่ล้างเอาตะกอนที่ติดอยู่กับผิวตัวกลางออก ความสามารถในการบำบัดกลิ่นจะลดลง ตะกอนที่ติดอยู่ที่ตัวกลางก็สะสมเป็นจำนวนมาก จากการศึกษาถึงสมบัติทางเคมีและชีวภาพของตะกอนที่เกิดขึ้น พบว่า ตะกอนที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นตะกอนชีวมวล เนื่องจากตรวจพบแบคทีเรียในตะกอนที่ล้างออกจากตัวกลาง แสดงให้เห็นว่ามีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ wet scrubber โดยแบคทีเรียที่เกิดขึ้นอาจใช้กรดไขมันระเหยหรือสารประกอบระเหยอื่น ๆ ที่ถูกดูดซึมจากก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 และละลายอยู่ในน้ำที่สเปรย์ในระบบ wet scrubber ซึ่งกรดไขมันระเหยเป็นสารอินทรีย์และแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นถ้าหากไม่มีการดูแลระบบ wet scrubber ที่ดีพอ ตะกอนที่สะสมในระบบ wet scrubber จนเกิดสภาวะไร้อากาศอาจจะเป็นสาเหตุของสารมลพิษทางอากาศได้ (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) และเนื่องจากมีการตรวจพบสารซัลเฟตในสารดูดซึมซึ่งสารซัลเฟตที่พบนั้นอาจมาจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ใช้เป็นสารดูดซึม โดยสารซัลเฟตในน้ำเสียนั้นได้มาจากการล้างยางก้อนถ้วยและมีการชะออกของสารที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ซัลเฟตของแบคทีเรียในรูปของซัลเฟต (Bittton, 1994 อ้างถึงใน สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) นอกจากนี้ในก้อนของยางก้อนถ้วย ยังตรวจพบแบคทีเรียที่ย่อยสลายซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และยังพบว่ามีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) นอกจากนี้ก๊าซที่ออกจากการอบยางแท่ง STR20 ยังตรวจพบว่ามีสารประกอบอินทรีย์ในเทอมของ t-butyl acetate, propyl acetate, 4-methyl-1-2-pentanone, 3-

methyl-2-pentanone, sec-butyl acetate, tetrachoroethylene และอื่นๆ (Isa, 1991) ซึ่ง H_2S, NH_3 และสารประกอบอินทรีย์ดังกล่าวข้างต้น ล้วนเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น จึงเป็นอีกสาเหตุของการเกิดปัญหากลิ่นเหม็นจากการอบยางแท่ง STR20 นอกจากกรดไขมันระเหยที่ปล่อยออกจากอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20

ด้วยเทคโนโลยีของระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) หรือสครับเบอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลว (ใช้การสเปรย์ของเหลวเข้าทางด้านบน) ดักจับก๊าซที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่ง STR20 โดยการฉีดของเหลวเป็นละอองสู่กระแสก๊าซ เมื่อกระแสก๊าซไหลผ่านของเหลวด้วยความเร็วสูงซึ่งจะทำให้เกิดการผสมกันของอนุภาคน้ำและก๊าซขึ้น จากการศึกษามีรายงานว่ามีการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซจากเตาอบยางสู่ระบบดักจับแบบเปียกในอัตราการไหลระหว่าง 270-320 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที มีความเร็วของก๊าซเท่ากับ 100-150 เมตรต่อนาที และอัตราการไหลของสารดูดซึม (ใช้การสเปรย์น้ำด้านบน) ประมาณ 9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่า L/G ratio0.47-0.55 l/m^3 จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซก่อนเข้าและออกจากระบบ wet scrubber ของโรงงานยางแท่ง STR20 พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิดซึ่งมี C เป็นองค์ประกอบระหว่าง 2–5 ตัว มีค่าระหว่างร้อยละ 19-100 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber พบว่าหลังผ่านระบบ wet scrubber น้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึมมีค่าดังนี้ chemical oxygen demand (COD) 1,453 mg/l, sulfate (SO_4^{2-}) 98 mg/l, total kjeldahl nitrogen (TKN) 43 mg/l, total phosphoru s (TP) 2.06 mg/l, volatile fatty acids (VFAs) 143 mg/l as acetic acid ซึ่งจะเห็นว่ายังคงมีค่าความสกปรกสูงและต้องการการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ,2550) แต่จากการศึกษางานวิจัยและสถานที่จริง พบว่าแม้จะมีการบำบัดก๊าซที่มาจากกระบวนการอบยางแท่งด้วยระบบ wet scrubber แล้ว แต่ยังมีกลิ่นที่ไม่สามารถบำบัดได้ออกมา ส่งกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจประกอบกับระบบ wet scrubber ที่ใช้งานอยู่มีการใช้น้ำในปริมาณมากและส่งผลให้เกิดน้ำเสียขึ้นที่มีปริมาณมากและทางโรงงานต้องนำไปบำบัดอีกครั้งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการที่จะบำบัดก๊าซที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber เบื้องต้นของโรงงานยางแท่ง STR20 แล้วเพิ่มเติม โดยประสมประสานกับการใช้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากระบบ wet scrubber โดยการศึกษาเพื่อบำบัดก๊าซกรดไขมันระเหย (VFAs) ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid และ valeric acid ซึ่งเป็นก๊าซอินทรีย์หลักที่มีกลิ่นเหม็นที่พบในก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 และก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปก๊าซอนินทรีย์ในเทอม NH_3 และ H_2S (ซึ่งเป็น by-product จากการย่อยสลายทางชีวภาพของโปรตีนซึ่งเป็นสารที่มิใช่ยางและอยู่ในรูปของซีรั่มที่เกาะติดในยางก้อนถ้วย ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางแท่ง STR20) ด้วยระบบ SBR (sequencing batch reactor) ทั้งนี้เหตุผลที่เลือกศึกษาโดย

ใช้ระบบ SBR เนื่องจากการทำงานของระบบ SBR มีการทำงานแบบ batch ที่สามารถรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นแบบ batch จากระบบ wet scrubber ที่โรงงานมีการเดินระบบแบบไม่ต่อเนื่องได้ ประกอบกับน้ำเสียจากระบบ wet scrubber มีปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ไนโตรเจนและซัลเฟตที่ไม่สูงมาก มลสารในน้ำเสียดังกล่าวหากบำบัดในระบบ SBR ซึ่งมีรอบการทำงานที่มีทั้งการให้อากาศและหยุดเติมอากาศ จะสามารถทำให้เกิดการบำบัดไนโตรเจนและซัลเฟตในน้ำเสียได้ทั้งในภาวะมีอากาศและไร้อากาศ หรือมีอากาศน้อย และจากการที่น้ำเสียจากระบบ wet scrubber มีปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ไนโตรเจนและซัลเฟต ที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนั้น น้ำเสียดังกล่าวอาจนำมาใช้ให้เกิดการดูดซึมก๊าซเสียที่ระบายออกจากระบบ wet scrubber ที่บำบัด เป็นหน่วยแรกได้ โดยที่ก๊าซเสียนั้นมีค่าอุณหภูมิที่ลดลงแล้วด้วย

ทั้งนี้เพื่อให้ได้เทคโนโลยีทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากระบบ wet scrubber พร้อมด้วยการบำบัดก๊าซที่เกิดกลิ่นเหม็นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 อันจะเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดทั้งก๊าซและน้ำเสียที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง STR20 ได้ต่อไป

2. การตรวจเอกสาร

2.1 ความรู้พื้นฐานของอุตสาหกรรมยางแท่ง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญยิ่งของประเทศ ทั้งในแง่การจ้างงานและการส่งออก โดยเกิดการจ้างงานแก่เกษตรกรกว่า 6 ล้านคน และนับเป็นสินค้าส่งออก 1 ใน 10 ของสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย ในปี 2558 สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศกว่า 91,463.50 ล้านบาท ประกอบกับประเทศไทย มีศักยภาพด้านการเป็นผู้ผลิตยางรายใหญ่ของโลก ซึ่งแหล่งปลูกยางพาราที่สำคัญของไทย คือ ภาคใต้ จากข้อมูลสัดส่วนพื้นที่การปลูกยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ พบว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีพื้นที่การปลูกยางพาราคิดเป็นร้อยละ 18.89 นับว่าเป็นจังหวัดที่มีการปลูกยางพารามากที่สุด (สถาบันวิจัยยาง, 2559) เนื่องด้วยจากสภาพภูมิประเทศของภาคใต้ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น สภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการปลูกยางพารามากกว่าภาคอื่นๆ ของประเทศไทย ทั้งในเรื่องดิน ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม เป็นต้น เมื่อพิจารณาสภาพภูมิประเทศเป็นรายภาคของประเทศไทย พบว่า ภาคใต้มีศักยภาพในการปลูกยางพาราสูงสุด โดยในปี 2559 ภาคใต้มีเนื้อที่กรีดยางทั้งสิ้น 12.8 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 65.51 ของเนื้อที่กรีดทั้งประเทศ และผลผลิตทั้งสิ้น 3.14 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสัดส่วนการส่งออก

พบว่ายางแท่งมีบทบาทในตลาดการส่งออกเป็นอันดับต้น ดังรายละเอียดสัดส่วนการส่งออกยางไทยแยกตามประเภท ปี พ.ศ.2542-2557 รายละเอียดดังตารางที่ 1

สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการส่งเสริมให้มีการผลิตยางแท่ง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2511 โดยโรงงานยางแท่งแห่งแรกตั้งอยู่ในภาคใต้ ที่จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดนราธิวาส ในระยะเริ่มต้นยางแท่งมีชื่อเรียกทางการว่า TTR (Thai Tested Rubber) ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 ได้เปลี่ยนชื่อเรียกเป็น STR (Standard Thai Rubber) (องค์การสวนยาง, 2553) จากการศึกษาข้อมูลอุตสาหกรรมยางของไทยพบว่าอุตสาหกรรมยางแท่งกลายเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของภาคใต้ ซึ่งมีการตั้งโรงงานกระจายตัวอยู่ทั้งในส่วนชนบทและในย่านชานเมืองในภาคใต้ อุตสาหกรรมยางแท่งไทยสามารถจำแนกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทโดยจำแนกตามประเภทวัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ ประเภทที่ 1 เป็นกลุ่มโรงงานยางแท่งที่ผลิตโดยใช้ยางที่มีการจับตัวภายใต้การควบคุม ซึ่งได้แก่ ยางแท่งประเภท STR5L และ STR5 CV60 และประเภทที่ 2 เป็นกลุ่มโรงงานที่มีการผลิตยางแท่งโดยใช้วัตถุดิบจากยางก้อนถ้วยและยางแห้งอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ยางแท่งประเภท STR5 STR10 STR10CV STR20 และ STR20CV ซึ่งในกลุ่มที่สองนี้จะมีผลิตภัณฑ์ยาง 3 ชนิดที่ใช้ยางแผ่นดิบเป็นวัตถุดิบ คือ ยาง STR5 STR10 และ STR20 และเฉพาะยางแท่ง STR20 จะมีการผลิตโดยใช้ส่วนผสมของยางก้อนถ้วยและยางแผ่นดิบเป็นวัตถุดิบ ด้วยเหตุที่มีการผสมยางก้อนถ้วยจึงเป็นสาเหตุของปัญหาที่ยากจะแก้ไขในเรื่องของปัญหามลพิษทางอากาศในเรื่องของก๊าซกลิ่นเหม็นที่ส่งกลิ่นในรัศมีโดยรอบโรงงาน นอกจากนี้อุตสาหกรรมยางแท่งก็จัดได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำ กากตะกอน และมลพิษทางอากาศ เนื่องจากอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นหลักสำหรับล้างวัตถุดิบ พร้อมทั้งต้องปล่อยก๊าซที่มีกลิ่นน่ารังเกียจจากกระบวนการอบยางอีกด้วย (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550)

ตารางที่ 1 ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย แยกตามประเภทปี พ.ศ. 2542-2557

หน่วย/เมตริกตัน

ปี	ยางแผ่นรมควัน	ยางแท่ง	น้ำยางข้น	ยางผสม	อื่น ๆ	รวม
2542	1,141,900	624,800	300,640	8,250	78,970	2,154,560
2543	1,055,900	868,200	350,975	9,700	61,712	2,346,487
2544	951,015	869,830	440,714	5,790	52,200	2,319,549
2545	1,111,420	940,400	470,800	6,984	85,500	2,615,104

ตารางที่ 1 ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย แยกตามประเภทปี พ.ศ. 2542-2557 (ต่อ)

หน่วย/เมตริกตัน

ปี	ยางแผ่นรมควัน	ยางแท่ง	น้ำยางข้น	ยางผสม	อื่น ๆ	รวม
2546	1,225,170	1,029,600	494,675	37,100	89,460	2,876,005
2547	1,104,180	1,134,030	590,890	86,544	68,649	2,984,293
2548	1,005,700	1,240,263	585,300	36,715	69,178	2,937,158
2549	1,028,930	1,192,055	679,980	138,163	79,865	3,136,993
2550	957,337	1,218,326	663,926	151,437	64,979	3,056,005
2551	973,273	1,282,036	587,047	154,485	92,910	3,089,751
2552	837,294	1,058,892	703,817	487,160	77,216	3,164,379
2553	813,033	1,235,802	552,841	520,355	130,104	3,252,135
2554	892,249	1,455,094	713,804	428,276	79,610	3,569,033
2555	771,993	1,505,651	757,364	693,210	49,792	3,778,010
2556	912,676	1,579,788	775,662	804,784	97,518	4,170,428
2557	824,030	1,793,945	776,597	858,818	70,585	4,323,975

ที่มา: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2559)

2.1.1 กระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20

อุตสาหกรรมยางแท่งเอสทีอาร์ 20 จะมีการผลิตโดยใช้ส่วนผสมของยางก้อนถ้วยและยางแผ่นดิบโดยมีสัดส่วนการผสมเฉลี่ยเท่ากับ 4 ต่อ 1 ซึ่งสัดส่วนการผสมสามารถปรับได้ตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับคุณภาพของยางก้อนถ้วย (บางโรงงานใช้อัตราส่วน 6 ต่อ 4) เพื่อให้ได้ตามสมบัติมาตรฐานการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 วัตถุดิบที่สำคัญคือ ยางก้อนถ้วย

ยางก้อนถ้วย (cup lump) เป็นยางวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจับตัวของน้ำยางสด ซึ่งสามารถจับตัวได้เองตามธรรมชาติโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวภาพของจุลินทรีย์ภายในถ้วยรับน้ำยาง ในการใช้สารบางชนิดในน้ำยางสดเป็นอาหารจนก่อให้เกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางซึ่งทำให้ยางสามารถจับตัวกันเป็นก้อนมีลักษณะขาวนวล มีความยืดหยุ่นตัวคล้ายก้อนเต้าหู้อ่อน ชาวสวนยางจึงเรียกกันว่า ยางก้อนเต้าหู้หรือยางก้อนถ้วยและถูกเก็บออกจากถ้วยรับน้ำยางหลังจากกรีดแล้วประมาณ 3-7 วัน ตามความถี่ของการกรีดยางในแต่ละสวนยาง (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) ยางก้อนถ้วยอาจรวมไปถึงเศษยาง เส้นยางที่ได้จากรอยกรีดจากลำต้นมาผสมอยู่ด้วยทำให้ยางก้อนถ้วยมีความสกปรก เกิดการปนเปื้อนสิ่งต่างๆ

เช่น เศษเปลือกไม้ยางจากการกรีด เศษดินทราย แมลงเล็กๆ และใบยาง นอกจากนี้สิ่งปลอมปนในยางก้อนถ้วยมีทั้งที่จงใจใส่ลงไปและไม่จงใจสิ่งที่เกษตรกรจงใจใส่ไปส่วนใหญ่ ได้แก่ เกลือปูนขาว ยิปซัมเปลือกไม้ ก้อนหินทราย เศษถุงมือ เป็นต้น เพื่อให้ยางจับตัวเร็วหรือเพิ่มน้ำหนักยาง เป็นต้น ซึ่งสิ่งสกปรกปนเปื้อนเหล่านี้มีปริมาณร้อยละ 5 และ 9 โดยน้ำหนักเปียกและแห้งของยางก้อนถ้วยตามลำดับ (ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล, 2553; สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) สิ่งสกปรกเหล่านี้จะทำให้ราคายางก้อนถ้วยมีราคาต่ำ และจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตยางแท่งและการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างยิ่งในทำนองเดียวกันอาจมีบางอย่างที่ไม่จงใจแต่ติดไปประหว่างการขนส่งเช่นเชือก ฟางเศษกระสอบปุ๋ย อย่างไรก็ตามในการผลิตยางก้อนถ้วยของชาวสวนยางหากใช้วิธีตามธรรมชาติแล้วทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่ทันกับความต้องการของโรงงานผลิตยางแท่ง จึงจำเป็นต้องมีวิธีการผลิตยางก้อนถ้วยแบบเร่ง คือการจับตัวของยางให้เร็วขึ้น เพื่อให้ทันกับความต้องการของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง โดยการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งสลายตัวให้อิออนของไฮโดรเจนไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางให้ยางจับตัวได้เร็วขึ้น (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) กระบวนการในการผลิตยางก้อนถ้วยมีดังนี้

วิธีที่ 1 การหยอดน้ำกรดลงในถ้วยรองน้ำยางก่อนการกรีด มีวิธีการ ดังนี้

1) กรีดยางครั้งแรกเพื่อเตรียมน้ำเลี้ยงเซรุ่มโดยกรีดยางลงในถ้วยแล้วปล่อยให้แข็งตัวตามธรรมชาติเป็นเวลา 2 วัน
2) แคะยางก้อนถ้วยขึ้นเสียบกับลวดที่รองรับถ้วยน้ำยาง
3) หยอดน้ำกรดเจือจางความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (กรดฟอร์มิค 90% อัตรา 10 ซีซีต่อน้ำสะอาด 90 ซีซี) 1 ครั้งบีบ (12-15 ซีซี) ลงในถ้วยที่มีน้ำเลี้ยงเซรุ่ม
4) กรีดยางระวังอย่าให้สิ่งสกปรกตกลงในถ้วยรองน้ำยางกรีดจนหมดทั้งแปลงแล้วจึงกลับมาเก็บยางก้อนที่เสียบไว้ใส่ภาชนะ
5) ยางที่กรีดไว้ปล่อยให้แข็งตัวแล้วจึงเก็บในวันถัดไป
6) เก็บก้อนยางรวบรวมใส่ภาชนะ (ถุงปุ๋ยหรือถุงตาข่ายไนล่อน)
7) นำมาผึ่งบนแคร่ไม้ในร่มไม่ให้ก้อนยางติดกันประมาณ 7-10 วัน สามารถจำหน่ายได้

วิธีที่ 2 การหยอดน้ำกรดในถ้วยน้ำยางหลังจากน้ำยางหยุดไหล มีวิธีการ ดังนี้

1) กรีดยางแล้วรอให้น้ำยางไหลตามธรรมชาติ
2) ทำการเติมกรดฟอร์มิคประมาณ 12-15 ซีซี ลงในถ้วยรองน้ำยางคนให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
3) รอให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนในถ้วย

4) ก่อนกรีดยางครั้งต่อไปเก็บก้อนยางจากถ้วยเสียบลวดทิ้งไว้

5) เมื่อกรีดครั้งต่อไปเก็บก้อนยางที่เสียบลวดไว้ใส่ภาชนะแล้วแคะยางก้อนในถ้วยขึ้นเสียบลวดไว้ยางก้อนที่เก็บใส่ภาชนะแล้วนำมาผึ่งบนแคร่

วิธีที่ 3 การหยอดน้ำกรดลงในน้ำยางหลังจากน้ำยางหยุดไหล เหมือนวิธีที่ 2 แต่จะแตกต่างกันตรงที่วิธีที่ 3 นี้จะกรีดน้ำยางลงในถ้วยแล้วหยอดกรดให้จับตัวทำเช่นนี้ทำหลายๆ ครั้งกรีด (3-4 ครั้งกรีด) จนกว่าจะได้ยางก้อนเต็มถ้วยจึงแคะก้อนยางออกครั้งหนึ่ง (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาอาชีพการเกษตร, 2554)

การเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 เริ่มด้วยจากการรับซื้อยางก้อนถ้วยมาไว้ในโรงงาน ยางก้อนถ้วยจะถูกพักในบริเวณลานพักยางก้อนถ้วยในช่วง 1-2 สัปดาห์ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ในกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ยางก้อนถ้วยจะถูกนำไปตัดด้วยเครื่องตัด (crusher) ให้มีขนาดเล็กลง โดยปกติก้อนยางมีขนาด 10-14 นิ้ว เครื่องตัดจะตัดก้อนยางให้ได้ชิ้นยางหนาประมาณ 2 นิ้ว จากนั้นยางที่ได้จะถูกนำไปที่บ่อแช่ยางเพื่อล้างทำความสะอาดเบื้องต้น ขั้นตอนต่อไป คือ การผสมด้วยยางแผ่นดิบเพื่อใช้ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของยางแท่งเอสทีอาร์ 20 จากนั้นยางก้อนถ้วยจะถูกล้างทำความสะอาดและนำสิ่งสกปรกออก หลังจากผ่านการล้าง ยางก้อนถ้วยจะถูกแยกออกจากน้ำและถูกส่งเข้าขั้นตอนการตัด (cutter) การทำเครฟ (crepers) และบดย่อยยาง (granulators or comminutors) เพื่อทำให้ชิ้นยางเล็กลงเป็นเม็ดเล็กๆมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นจะถูกส่งไปบรรจุลงในภาชนะสแตนเลสทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการอบยาง ยางที่บรรจุในภาชนะถูกนำเข้าสู่เตาอบยาง โดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 110-130 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบประมาณ 2-4 ชั่วโมง เตาอบจะใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซแอลพีจี ภายในห้องอบยางจะติดตั้งพัดลมเพื่อถ่ายความร้อนให้มีระดับความร้อนเท่ากันทั้งห้องอบ และไอควันต่างๆ ในกระบวนการผลิตจะถูกดูดเพื่อเข้าสู่ถังบำบัดอากาศก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม หลังจากการอบยางเสร็จจะนำก้อนยางออกมาพักไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 60 องศาเซลเซียสก่อนชั่งน้ำหนักให้ได้ 35กิโลกรัม แล้วนำไปอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องไฮโดรลิคด้วยแรงอัดขนาด 30-70 ตัน ใช้เวลาในการอัดประมาณ 1-4 นาที ให้มีขนาด 670 x 330 x 170 มิลลิเมตร หรือขนาดอื่นๆ ที่ผู้ใช้ต้องการ ก้อนยางที่ผ่านการอัดเป็นแท่งได้ตามขนาดแล้วจะถูกส่งไปตรวจสอบโลหะ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีเศษโลหะปะปนอยู่ในก้อนยาง ยางแท่งที่ผลิตได้จะถูกจัดเป็นชุดๆ ก่อนนำไปบรรจุในถุงพลาสติกโพลิเอททีลีน และจะมีการเก็บตัวอย่างยางแท่งโดยใช้วิธีสุ่มเก็บตัวอย่างร้อยละ10 ต่อชุด (lot) เพื่อนำไปทดสอบสมบัติยางในห้องปฏิบัติการเพื่อออกใบรับรองมาตรฐานต่อไป (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550)

2.2 ปัญหามลพิษและการจัดการที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20

สืบเนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง เกี่ยวข้องกับขั้นตอนของการล้างทำความสะอาด และอบให้แห้งของเนื้อยางเป็นหลัก พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะมีปัญหาทางด้านมลพิษทางน้ำ และมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ยังมีปัญหามลพิษทางด้านเสียงอีกด้วยเนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ทำให้เกิดเสียงที่ดังแต่ยังมีงานวิจัยทางด้านเสียงน้อยมาก จึงนำเสนอเฉพาะปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศและปัญหามลพิษทางน้ำที่สนใจในการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อทำให้เข้าใจถึงสภาพเบื้องต้นของปัญหามลพิษทางอากาศที่เกี่ยวข้องกับก๊าซกลิ่นเหม็นและปัญหามลพิษทางน้ำของอุตสาหกรรมผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ดังนี้

2.2.1 ปัญหามลพิษทางน้ำและการจัดการ

เนื่องจากในกระบวนการทำความสะอาดยางต้องใช้น้ำเป็นหลัก ซึ่งถือได้ว่าน้ำเป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 จากการศึกษาการใช้ทรัพยากรมูลฐานที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง พบว่าน้ำเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่มีการใช้มากในทุกขั้นตอนการล้างวัตถุดิบเช่น เศษยาง ขี้ยาง ยางก้อนถ้วย หรือยางแผ่นดิบ เพื่อให้ค่าความสะอาดของยางแท่งที่ผลิตได้ มีค่าเท่ากับหรือสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด (ค่าปริมาณสิ่งสกปรกของยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ไม่เกิน 0.16%) นอกจากนี้ยังมีการล้างทำความสะอาดเศษยางที่ตกบนพื้นในขณะผลิตก็นับว่ามีการใช้น้ำปริมาณมากเช่นกัน จากการสำรวจโรงงานผลิตยางแท่ง พบว่าน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่จะนำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ใกล้เคียงกับโรงงาน เช่น คลอง แม่น้ำ ทะเลสาบ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2544) น้ำที่นำไปใช้เพื่อการล้างทำความสะอาดจากการศึกษา พบว่าโรงงานยางแท่งเอสทีอาร์ 20 มีอัตราการใช้น้ำในกระบวนการผลิตในช่วง 4-30 ลบ.ม./ตันผลิตภัณฑ์ยางแท่งเอสทีอาร์ 20 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.45 ลบ.ม./ตันผลิตภัณฑ์ยางแท่งเอสทีอาร์ 20 และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 มีการปนเปื้อนซึ่งประกอบด้วยของแข็งแขวนลอยในปริมาณที่มากรวมถึงของแข็งจมตัวในปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,294 มก./ล. และ 9.5 มล./ล. ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย BOD_5 เท่ากับ 675 มก./ล. ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของ COD พบว่ามีค่าเท่ากับ 1,961 มก./ล. มีสัดส่วนของค่า BOD_5 และ COD อยู่ในช่วง 0.25-0.57 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 (Danteravanich, *et al*., 2007)

นอกจากนี้น้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ยังมีแหล่งการเกิดน้ำเสียจากระบบบำบัดกลิ่นของระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) จากข้อมูลของ Leong et al, (2003) พบว่าระบบดักจับแบบเปียกมีปริมาณการใช้น้ำถึง 15% และน้ำที่ผ่านระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) ที่ผ่านการบำบัดกลิ่นแล้วก็จะกลายเป็นน้ำเสียรายละเอียดดังตารางที่ 2 แสดงถึงคุณภาพน้ำก่อนและหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก จากการศึกษา พบว่าค่า pH อุณหภูมิ BOD_5 COD SO_4^{2-} TKN TP และกรดไขมันระเหย (VFAs) ของน้ำที่ได้ผ่านระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber)

แล้วอุณหภูมิของน้ำจะมีค่าสูงขึ้นกว่าก่อนน้ำเข้าระบบถึง 8 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นในเทอมของ BOD_5 COD และกรดไขมันระเหยในน้ำหลังจากผ่านระบบดักจับแบบเปียกแล้วจะมีค่าสูงกว่าน้ำก่อนเข้าระบบถึง 2-4 เท่าตัว ทั้งนี้เกิดจากการดูดซึมสารอินทรีย์ที่ระบายออกมาจากเตาอบยาง และยังพบว่าค่า TP TKN และ SO_4^{2-} ในน้ำเมื่อผ่านระบบดักจับแบบเปียกบางตัวอย่างจะมีค่ามากขึ้นบางตัวอย่างจะมีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบ (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550)

และสำหรับเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย พบว่าโรงงานยางแท่งเอสทีอาร์ 20 มีการใช้วิธีการบำบัดทางกายภาพและทางชีวภาพร่วมกันกระบวนการบำบัดทางกายภาพที่โรงงานใช้คือ ระบบถังลอยตะกอนและถังตกตะกอน โดยใช้เป็นระบบบำบัดเบื้องต้นในการแยกหรือนำกลับอนุภาคยางมาใช้ใหม่ รวมถึงการแยกตะกอนจมตัวส่วนการบำบัดทางชีวภาพจะมีการใช้ต่อเนื่องจากกระบวนการบำบัดทางกายภาพ โรงงานส่วนใหญ่ใช้ระบบเติมอากาศและระบบบ่อปรับเสถียรในการบำบัดน้ำเสีย และยังมีโรงงานที่ใช้ระบบเลี้ยงตะกอนแบบประเภท sequencing batch reactor โดยมีวัตถุประสงค์ในการกำจัดไนโตรเจนและการประหยัดพลังงานที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียประเมินได้ว่ามีค่าในช่วง 85-98% 75-97% 70-90% สำหรับ BOD_5 COD และ SS ตามลำดับ นอกจากนี้โรงงานยังมีการหมุนเวียนน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตและในระบบดักจับแบบเปียกด้วยอัตราส่วน 20-70% ของน้ำที่ใช้ในโรงงาน (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550)

ตารางที่ 2 ลักษณะของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก

พารามิเตอร์	**น้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม (ค่าเฉลี่ย)**	
	ก่อนผ่านระบบดักจับแบบเปียก	**หลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก**
pH	6.9	7.76
Temperature (^{o}C)	32.2	40.8
BOD_5 (mg/l)	69	139
COD(mg/l)	319	1453
SO_4^{2-}(mg/l)	122	98
TKN (mg/l)	46	43
TP (mg/l)	2.37	2.06
VFAs (mg/l as acetic acid)	31	143

ที่มา: สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550)

2.2.2 ปัญหามลพิษทางอากาศและการจัดการ

กลิ่น หมายถึง สิ่งเจือปนในอากาศที่รู้ได้ด้วยจมูกของคนหรือเครื่องมือวิเคราะห์ ตามที่ระบุให้นิยามในกฎกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่องมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน

มลพิษทางอากาศ (air pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารมลพิษเจือปนอยู่ในปริมาณมาก ในระยะเวลาที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สารมลพิษดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจาการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษในอากาศที่สำคัญและมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ได้แก่ ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซโอโซน สารอินทรีย์ระเหยง่าย และสารตะกั่ว เป็นต้น (สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2558)

ก๊าซกลิ่นเหม็น หมายถึง สิ่งเจือปนในอากาศเป็นสารมลพิษที่มีอยู่ในรูปของก๊าซ มีผลมาจากสารเคมีที่ระเหยได้นั้นไปสัมผัสกับระบบประสาทรับรู้กลิ่นของร่างกายและทำให้เกิดการส่งสัญญาณไปยังสมองแปรผลของการรับสัมผัสกลิ่นเหม็นขึ้น โดยทั่วไปก๊าซกลิ่นเหม็นเป็น by product ที่เกิดจากการเน่าสลายของสารอินทรีย์ในสภาพไร้อากาศ

ปัญหามลพิษทางอากาศซึ่งเป็นปัญหาหลักของโรงงานยางแท่งเอสทีอาร์ 20 คือ ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นซึ่งมีจุดกำเนิดมาจากกระบวนการผลิตในส่วนของการอบยางและบริเวณที่กักเก็บยางก้อนถ้วยกลิ่นที่ออกมาจากการอบยางจัดเป็นจุดสำคัญของการเกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ในขั้นตอนของการอบยางจะมีการระบายลมร้อนซึ่งถือเป็นมลพิษทางอากาศประเภทระเหยได้ ซึ่งเป็นก๊าซที่มาจากเตาอบยางก่อนปล่อยก๊าซออกสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางปล่อง (stack) สารมลพิษอากาศที่ระเหยได้เหล่านั้นเกิดขึ้นจากการย่อยสลายส่วนที่ไม่ใช่ยางซึ่งปรากฏอยู่ในวัตถุดิบยาง และส่วนประกอบที่เป็นสารพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการ สารเหล่านี้จะมีกลิ่นเหม็นและก่อให้เกิดปัญหากลิ่นขึ้นซึ่งจากการศึกษาของ สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะในปี 2550 สามารถจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ได้ว่ามีสารประกอบอินทรีย์ที่จำแนกได้ 29 ชนิด และพบสารอินทรีย์เด่นที่พบในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดไฮโซวาเลริก กรดเฮกซาเดคานออิก กรดโอเลอิก และเมทิลเอสเตอร์ของกรดโอเลอิก เช่นเดียวกับในบริเวณพื้นที่เก็บยางก้อนถ้วยของโรงงาน ยางก้อนถ้วยจะมีการกักเก็บเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ ก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่ง ซึ่งส่วนที่ไม่ใช่ยางในยางก้อนถ้วยจะถูกการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายเป็นกรดไขมันระเหยและส่งผลให้เกิดการกลิ่นเหม็นปนเปื้อนสู่บรรยากาศภายนอก สารอินทรีย์ดังกล่าวที่พบ แสดงดังตารางที่ 3

และลักษณะของสาร VFAs ดังกล่าวที่แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งก่อให้เกิดปัญหารบกวนอยู่ในปัจจุบันระหว่างโรงงานและชุมชนโดยรอบ ปัจจุบันโรงงานยางแท่ง STR20 ได้มีการใช้ระบบดักจับแบบเปียก (wets crubber) เพื่อบำบัดก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการอบยาง ระบบดังกล่าวมีการทำงานภายใต้หลักการดูดซึม (absorption) ของสารมลพิษอากาศจากก๊าซที่ระบายออกจากที่อบยางโดยการใช้น้ำเป็นสารดูดซึม เป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งใช้หลักการถ่ายโอนมวลสาร(mass transfer) ที่เป็นก๊าซหรือไอ ซึ่งมีความสามารถในการละลาย (soluble gas) ออกจากกระแสอากาศไปยังตัวทำละลายที่เป็นของเหลว (solvent liquid) ซึ่งความสามารถในการกำจัดของกรดไขมันระเหยแสดงได้ดังตารางที่ 5 (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2544)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในกลุ่มกรดไขมันระเหยที่ปล่อยออกมาจากโรงงานยางแท่ง STR20

Volatile fatty acids	Sample from STR 20 factory					
	Condensate		Dryer exhaust gases		Outlet gases from wet scrubber	
	Range (mg/l)	Mean±SD (mg/l)	Range (mg/m^3)	Mean±SD (mg/m^3)	Range (mg/m^3)	Mean±SD (mg/m^3)
Acetic acid	11.29-44.86	28.07±23.74	19.52-21.51	20.52±1.41	14.73-722.16	171.04±248.52
Propionic acid	2.11-3.11	2.61±0.71	8.24-8.45	8.39±0.21	ND	
Isobutyric acid	ND-2.23		ND		7.07-10.04	8.56±2.10
Butyric acid	ND-3.45		ND-25.72		19.31-72.72	38.10±30.01
Isovaleric acid	10.75-15.46	13.10±3.33	11.63-16.14	13.89±3.19	2.50-59.50	21.39±19.74
Valeric acid	ND-11.32		ND		ND	
Number of sample	2		2		7	

หมายเหตุ ND : not detected due to lower than limit of quantition (LOQ); LOQ of acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid were 1.000 mg/l, 0.500 mg/l, 1.000 mg/l, 0.500 mg/l, 1.000 mg/l and 1.000 mg/l of extracted samples, respectively.

ที่มา: สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550)

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกรดไขมันระเหย

Common name/structure	**Mol.wt (g/mol)**	**Density (g/cm^3)**	**Boiling point (°C)**	**Pka at 25 °C**	**Solubility in water (g/dm^3)**	**Odour**
Acetic acid	60.05	1.05	117.9	4.76	Full miscible	Vinegar smell
Propionic acid	74.08	0.933	140.99	4.88	Miscible	Pungent
Isobutyric acid	88.12	0.947	155	4.84	210	Fusty smell
Butyric acid	88.12	0.958	163.53	4.82	Miscible	Sweat smell
Isovaleric acid	102.13	0.925	176	4.78	25	Mould cheese smell
Valeric acid	102.13	0.938	186.05	4.82	40	Unpleasant

ที่มา: สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550)

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดไขมันระเหยในก๊าซเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ก่อนและหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก

Volatile fatty acid	**Influent (mg/m^3)**	**Effluent (mg/m^3)**	**% Removal**
Acetic acid	22.008-36.521	14.341-21.513	35-41
Propionic acid	ND-8.242	ND	100
Isobutyric acid	ND-10.041	ND	100
Butyric acid	22.284-25.716	ND-19.311	19-100
Isovaleric acid	15.363-16.144	11.627-11.870	24-27
Valeric acid	ND	ND	

ที่มา: สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550)

สำหรับมาตรฐานของกลิ่นเหม็นที่นำมาบังคับใช้ในปัจจุบันใช้ตามกฎกระทรวง เรื่อง กำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 ซึ่งได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของกลิ่นไว้ในข้อที่ 4 ของกฎกระทรวง โดยกำหนดค่าความเข้มของกลิ่นดังแสดงในตารางที่ 6 และภาคผนวก จ

ตารางที่ 6 ค่าความเข้มกลิ่นจากโรงงาน

ที่ตั้งโรงงาน	ค่าความเข้มกลิ่นที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน	ค่าความเข้มกลิ่นที่ปล่องระบายอากาศของโรงงาน
เขตอุตสาหกรรม	30	1,000
นอกเขตอุตสาหกรรม	15	300

โดยกำหนดวิธีการเก็บตัวอย่างตามวิธีการของ American Society for Testing and Materials (ASTM) หรือ Japanese Industrial Standard (JIS) อนึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้มีการวัดค่าความเข้มกลิ่น แต่มุ่งศึกษาก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นปัญหามลพิษทางอากาศของโรงงานยางแท่ง STR20 โดยก่อให้เกิดปัญหาเหตุเดือดร้อนรำคาญ

ค่ามาตรฐานความเข้มกลิ่น ปกติมาตรฐานตามกฎหมายทั่วไปจะใช้ค่ามาตรฐานความปลอดภัย (occupational health exposure limit) ที่มีผลต่อชีวิตและสุขภาพ ซึ่งค่ามาตรฐานความปลอดภัยปกติจะมีค่าสูงกว่าค่าระดับความเข้มข้นของสารเกิดกลิ่นที่กระตุ้นให้ประสาทรับรู้กลิ่นของมนุษย์ประมาณหมื่นเท่า (10^4) ดังนั้น หากจะต้องแก้ไขปัญหาเหตุเดือดร้อนเรื่องกลิ่นของมนุษย์มาพิจารณาแทนค่ามาตรฐานความปลอดภัย จึงจะแก้ไขปัญหาได้ อนึ่งก๊าซที่เกิดกลิ่นเหม็นที่เป็นก๊าซอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 มีลักษณะกลิ่นและระดับความเข้มข้นที่ทำให้รู้กลิ่น ได้ดัง รายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 กลิ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

ชื่อสาร	Oder Detection Threshold mg/m^3 (ppm)	ลักษณะกลิ่น
acetic acid	0.025 (0.01)	กลิ่นเหม็นเปรี้ยว
Propionic acid	0.003 (0.0001)	กลิ่นอุจจาระ
Butyric acid	0.0004 (0.0001)	กลิ่นสาบเหงื่อ
Isobutyric acid	0.005 (0.0015)	กลิ่นเสื้อผ้าอับชื้น
Valeric acid	0.0008 (0.0002)	กลิ่นถุงเท้าเน่า
Isovaleric acid	0.0002 (0.00005)	กลิ่นเนยเน่า
H_2S	0.0001 (0.000072)	กลิ่นก๊าซไข่เน่า

ที่มา: สำนักโรงงานอุตสาหกรรมราย สาขา 3, 2559

2.3 ระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้งานในโรงงานยางแท่ง STR20

เครื่องดักจับแบบเปียก (wet scrubber) หรือสครับเบอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลวดักจับฝุ่นหรืออนุภาคขนาดเล็กและจับก๊าซมลพิษจากกระแสก๊าซได้ในขณะเดียวกัน โดยการฉีดของเหลวเป็นละอองสู่กระแสก๊าซ หรือทำให้กระแสก๊าซไหลผ่านฟิล์มของเหลวด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะทำให้เกิดกลไกหลักในการจับอนุภาค 3 กลไก คือ

1) การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย (impact by inertia) การกระทบด้วยแรงเฉื่อยจะมีผลดีที่สุดต่อประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาค หากขนาดอนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ไมครอนหรือใหญ่กว่ามีความหนาแน่นมากและความเร็วสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับละอองของเหลวมีค่าสูงตัวเลขที่แสดงความมากน้อยของแรงเฉื่อย เรียกว่า พารามิเตอร์แรงเฉื่อย (สมพงษ์ มีนะโรจน์, 2553)

2) การสกัดกั้น (interception) กลไกนี้จะช่วยเสริมประสิทธิภาพของเครื่องสครับเบอร์ในการดักจับอนุภาคทั้งที่เกิดจากกลไกการแพร่หรือการกระทบด้วยแรงเฉื่อย ถ้าอนุภาคมีขนาดไม่เล็กมากจนมีขนาดเป็นพียงจุด เมื่อเทียบกับขนาดของละอองของเหลว อนุภาคจะเคลื่อนที่ชนกับละอองสารดูดซึมในแนวที่ไม่ใช่แนวศูนย์กลางของสารดูดซึม โดยกลไกลของการสกัดกั้นจะประเมินจาก ตัวเลขพารามิเตอร์ ที่ใช้แสดงผลของการสกัดกั้น เรียกว่า พารามิเตอร์การสกัดกั้น (interception parameter) (สมพงษ์ มีนะโรจน์, 2553)

3) การแพร่ (diffusion) กลไกนี้เกิดกับอนุภาคเล็กมาก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ที่มีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (brownian motion) เมื่ออนุภาคแพร่ไปพบกับผิวสิ่งกีดขวาง เช่น ฟิล์มหรือละอองของเหลว ก็จะสามารถดูดซึมอนุภาคนั้นได้ ส่วนใหญ่ทฤษฎีการแพร่จะใช้วิเคราะห์และออกแบบระบบดูดซึมก๊าซมลพิษ (สมพงษ์ มีนะโรจน์, 2553)

ซึ่งในการดักจับต้องดำเนินการใน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) อนุภาคสัมผัสและดักจับด้วยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว

2) แยกหยดของเหลวออกจากกระแสก๊าซ

3) บำบัดของเหลวที่ใช้ในการดักจับอนุภาคก่อนระบายทิ้ง

ในการออกแบบระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) เพื่อบำบัดก๊าซเสียมีปัจจัยที่ต้องพิจารณา ดังนี้ (รวมพร นิคม, 2549)

1) ขนาดอนุภาคและปริมาณของสารปนเปื้อนในอากาศ

ค่านี้จะบ่งบอกถึงกลไกที่จะเกิดขึ้นกับอนุภาคที่ต้องการบำบัด เช่น ถ้าขนาดเล็กมากหรืออนุภาคก๊าซจะต้องอาศัยกลไกการแพร่ (diffusion) และส่งผลถึงประสิทธิภาพของระบบดักจับแบบเปียกอีกด้วย

2) อัตราการป้อน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเสีย

อัตราการป้อนอากาศจะเป็นตัวกำหนดภาวะต่าง ๆ ของในระบบ โดยทั่วไปอัตราการป้อนอากาศเสียที่สูงจะต้องใช้ปริมาณสารดูดซึมสูงด้วย

อุณหภูมิของอากาศเสียมีผลต่อสารดูดซึม หากกระแสก๊าซมีอุณหภูมิสูงจะทำให้สารดูดซึมบางส่วนเกิดการระเหย และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมากขึ้น การระเหยของสารดูดซึมจะทำให้สารดูดซึมมีปริมาณลดลง โดยทั่วไปอุณหภูมิของอากาศเสียที่เข้าสู่ระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) จะอยู่ในช่วง 10-370 องศาเซลเซียส หากอากาศเสียมีอุณหภูมิสูงอาจต้องมีระบบหล่อเย็นเพื่อลดการสูญเสียสารดูดซึม

3) ความเร็วของอากาศเสียและความดันลด

การเพิ่มความเร็วของอากาศเสียหรือสารดูดซึมจะส่งผลต่อให้โมเมนตัมในการเคลื่อนที่ปะทะกันมีมากขึ้น ทำให้สารดูดซึมสามารถดักจับสารมลพิษในอากาศเสียได้ดี การเพิ่มความเร็วของอากาศเสียหรือสารดูดซึมสามารถทำได้ โดยการสเปรย์สารดูดซึมให้สวนทางกับอากาศเสีย (counter current) แต่อาจทำให้ความดันลดในระบบ ใช้พลังงานมากขึ้นและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากขึ้น

4) สัดส่วนอัตราไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของอากาศเสีย

สัดส่วนอัตราการไหลของสารดูดซึม (flow rate of absorption liquid : L) ต่ออัตราการไหลของอากาศเสีย (flow rate of exhaust gas: G) เรียกกันว่า L/G ratio ค่านี้จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศเสีย โดยทั่วไปค่า L/G ratio สูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอนุภาคมลสารในอากาศเสียสูงด้วย เช่น ในการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบยางแท่งSTR20ระบบดักจับแบบเปียกสามารถมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 90 (ในเทอมของการลดลงของ CH_3COOH) ที่ L/G ratio เท่ากับ 30 l/m^3 (ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์, 2553) แต่ในบางกรณีความสามารถในการดูดซึมถึงจุดอิ่มตัวแล้ว การเพิ่ม L/G ratio ก็ไม่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ

5) ขนาดอนุภาคของสารดูดซึม

ขนาดอนุภาคของสารดูดซึมจะมีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารดูดซึมกับสารมลพิษในอากาศ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดต่อปริมาตรที่สูง จะทำให้สารดูดซึมสามารถดักจับสารมลพิษในอากาศได้มากขึ้น ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) ด้วย และค่า L/G ratio ด้วย

6) ระยะเวลาที่อนุภาคสารปนเปื้อนและสารดูดซึมอยู่ภายในระบบดักจับแบบเปียก

ระยะเวลาที่อนุภาคสารปนเปื้อนและสารดูดซึมอยู่ภายในระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) จะแปรผันตรงกับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เนื่องจากอนุภาคสารมลพิษมีโอกาสถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึมได้มากขึ้น การเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสสามารถทำได้โดยเพิ่ม

พื้นที่หน้าตัดหรือขนาดของถังดักจับแบบเปียก (wet scrubber) นั้นเอง หรืออาจลดความเร็วของอากาศเสียที่เข้าสู่ระบบดักจับแบบเปียก

โดยทั่วไประบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) เป็นระบบบำบัดอากาศที่ต้องการการสัมผัสระหว่างอากาศ น้ำ และสารเคมี เพื่อกำจัดก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งเกิดปฏิกิริยาในภายในหอ scrubber สารเคมีที่ใช้กันทั่วไปในการดูดซึมก๊าซที่ต้องการบำบัดมี ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

1) ใช้ sodium hydroxide (NaOH) กับระบบ เพื่อกำจัดก๊าซ H_2S
2) ใช้ hypochlorite เพื่อออกซิไดซ์ก๊าซกลิ่นเหม็น
3) ใช้ potassium permanganate เพื่อออกซิไดซ์ก๊าซกลิ่นเหม็น

ซึ่งประสิทธิภาพกำจัดก๊าซกลิ่นเหม็นจากการใช้สาร hypochlorite แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพกำจัดก๊าซกลิ่นเหม็นด้วยสาร hypochlorite

ก๊าซกลิ่นเหม็น	ประสิทธิภาพกำจัดก๊าซกลิ่นเหม็น (%)
แอมโมเนีย	98
hydrogen sulfide	98
sulfur oxide	95
mercaptans	90
สารประกอบอื่นๆ	70-90

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2547)

ปัจจุบันโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ได้ใช้ระบบ wet scrubber ที่บรรจุตัวกลาง (media) ไว้ภายใน (packed bed absorbers) เช่น ตัวกลางพลาสติกประเภท pall ring และ tellerette ทำจากพลาสติก polyethylene เพื่อให้เกิดการกระจายทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นระหว่างสารดูดซึม (absorption) กับก๊าซมลพิษได้ดี ระบบนี้อาศัยการทำงานภายใต้หลักการดูดซึมสารมลพิษที่อยู่ในก๊าซที่ระบายออกมาจากเตาอบยางด้วยสารดูดซึม ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเป็นสารดูดซึมสารมลพิษ แต่ในบางโรงงานจะใช้สารเคมีผสมด้วย เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และยังพบว่ามีโรงงานที่ใช้ระบบดักจับแบบเปียก 1 เครื่องต่อ 1 ชุดการอบยาง กับโรงงานที่ใช้ระบบดักจับแบบเปียก 2 เครื่องต่อแบบอนุกรมต่อ 1 ชุดการอบยาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่น โดยระบบดักจับแบบเปียกตัวแรกจะมีการไหลของกระแสก๊าซจากเตาอบยางเข้าสู่ระบบดักจับแบบเปียก

ด้านบน และก๊าซที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกด้านล่าง เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และตัวที่สองเป็นระบบที่มีการไหลของกระแสก๊าซเข้าทางหัวระบบดักจับแบบเปียกและก๊าซที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางท้ายของระบบ เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวนอน (cross-flow absorber) ระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้ในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 มีการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซจากเตาอบยางสู่ระบบดักจับแบบเปียกในอัตราการไหลระหว่าง 270-320 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที มีความเร็วของก๊าซเท่ากับ 100-115 เมตรต่อนาที และอัตราการไหลของสารดูดซึม (ใช้การสเปรย์เข้าทางด้านบน)ประมาณ 9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซก่อนเข้าและออกจากระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานยางแท่ง STR20 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยแต่ละชนิดมีค่าระหว่างร้อยละ 19-100 ดังตารางที่ 5 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำก่อนและหลังเข้าระบบดักจับแบบเปียกดังตารางที่ 2 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่ากรดไขมันระเหยในน้ำหลังผ่านระบบwet scrubber มีค่าสูงกว่าก่อนเข้าระบบประมาณ 2-4 เท่า เนื่องจากเกิดการดูดซึมกรดไขมันระเหยในก๊าซที่ระบายออกมาจากเตาอบยาง แต่เมื่อมีการเดินระบบ wet scrubber ประมาณ 1 สัปดาห์ จะต้องมีการล้างทำความสะอาดตัวกลางภายในระบบ wet scrubber เพื่อนำตะกอนที่เกาะติดกับตัวกลางออกไป เพื่อให้ระบบบำบัดกลิ่นมีประสิทธิภาพ และจากการตรวจสอบลักษณะของตะกอนทางด้านเคมีและชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะทางเคมีและชีวภาพของตะกอนที่เกาะติดกับตัวกลางในระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

Parameters	Range	Mean±SD
pH	7.59-8.29	7.99±0.36
Sulfate(mg/g dry weight)	1.93-11.78	5.28±5.64
VFAs(mg/g dry weight)	4.09-24.91	12.01±11.27
COD (mg/g dry weight)	361-721	486±203
Total plate count (CFU/g dry weight)	$2.7x10^5$-$4.0x10^7$	$2.1x10^7$±$2.0x10^7$
Bacteria degraded sulfur organic (MPN/g dry weigh)	$4.4x10^3$-$2.5x10^5$	$1.2x10^4$±$1.2x10^4$
Bacteria degraded inorganic sulfate (MPN/g dry weigh)	$9.8x10^2$-$4.5x10^3$	$2.7x10^3$±$1.8x10^3$

ที่มา: สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550)

พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นตะกอนชีวมวลเนื่องจากตรวจพบแบคทีเรียในตะกอนและแบคทีเรียที่เกิดขึ้นอาจใช้กรดไขมันระเหยหรือสารประกอบระเหยอื่นๆ ที่ถูกดูดซึม

จากก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบและละลายอยู่ในน้ำที่สเปรย์ในระบบดักจับแบบเปียก ซึ่งกรดไขมันระเหยเป็นสารอินทรีย์และแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ดังนั้น ถ้าหากไม่มีการดูแลระบบดักจับแบบเปียกดีพอ ตะกอนที่สะสมในระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) จะเกิดสภาวะไร้อากาศอาจจะเป็นสาเหตุของสารมลพิษทางอากาศได้ (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550)

2.4 ระบบกำจัดก๊าซกลิ่นเหม็น

สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นนั้น ถือเป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักของอุตสาหกรรมในหลายประเภทรวมทั้งโรงงานยางแท่ง STR20 ซึ่งมีสาเหตุมาจากกรดไขมันระเหยง่ายและสารอินทร์ระเหยต่างๆ ซึ่งมลพิษทางอากาศสามารถทำการกำจัดได้ 3 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) วิธีทางกายภาพ

วิธีการกำจัดกลิ่นเหม็นด้วยวิธีทางกายภาพมีหลายวิธี ดังนี้

(1) วิธีรวบรวมเก็บ อาจใช้การปิดมิดชิดในถังมีฝาครอบปิดเพื่อรวบรวมก๊าซ และมีเครื่องดูดก๊าซจากฝาครอบเข้าไปในถัง จากนั้นอาจนำก๊าซเหม็นไปปล่อยทิ้งหรือบำบัดก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

(2) วิธีทำให้เจือจาง ก๊าซเหม็นอาจถูกลดกลิ่นเหม็นได้ด้วยวิธีเจือจางด้วยอากาศสะอาดอาจนำก๊าซเหม็นขึ้นปล่องสูงลอยออกสู่บรรยากาศภายนอก ให้กระจายออกไปและเจือจาง

(3) วิธีเผา ก๊าซเหม็นอาจถูกเผาได้ด้วยอุณหภูมิ 650–815 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดกลิ่นเหม็นได้

(4) วิธีดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ก๊าซเหม็นอาจถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และควรทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ หรือทำการฟื้นฟูสภาพให้อยู่ในสภาพเดิม เพื่อรักษาประสิทธิภาพการดูดซับให้มีความสม่ำเสมอ

(5) วิธีดูดซับด้วยวัสดุธรรมชาติ วัสดุธรรมชาติที่นิยมใช้ได้แก่ ดินหรือทราย หรือปุ๋ยหมัก โดยให้ก๊าซเหม็นไหลผ่านชั้นดิน หรือทราย หรือปุ๋ยหมัก ก๊าซเหม็นจะถูกดูดซับให้ได้ก๊าซที่สะอาดขึ้น

(6) วิธีพ่นออกซิเจน ใช้การพ่นออกซิเจนหรืออากาศบริสุทธิ์เข้าสู่ระบบน้ำเสีย เพื่อช่วยไม่ให้เกิดสภาวะ anaerobic ในระบบวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุด ในการลดกลิ่นเหม็น

(7) วิธีพ่นสารกำจัดกลิ่น ใช้การพ่นสารกำจัดหรือใช้การพ่นน้ำหอมเพื่อกลบกลิ่นเหม็น หรือดับกลิ่นเหม็น แต่ต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง เพราะบางครั้งสารดับกลิ่นก็มีกลิ่นที่ไม่ชวนดมเช่นกัน

(8) วิธีหอ scrubber ใช้การไหลผ่านของก๊าซเหม็นผ่านเข้าออกหอ scrubber เพื่อกำจัดกลิ่นเหม็น อาจใช้สารเคมี หรือสารทางไบโอเทคโนโลยีเพื่อกำจัดกลิ่นเหม็น (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

2) วิธีทางเคมี

วิธีการกำจัดก๊าซเหม็นด้วยวิธีทางเคมีมีหลายวิธี ดังนี้

(1) วิธี scrubbing ด้วยสารต่างๆ ก๊าซเหม็นจะถูกดูดเข้าไปภายในหอ scrubber ด้วยการไหลสวนกับด่าง เพื่อเพิ่ม pH ทำให้ลดกลิ่นเหม็น แต่ต้องระวังไม่ให้มีก๊าซ CO_2 มากเกินไป เพราะจะไปลดประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นเหม็น

(2) วิธีออกซิเดชั่นทางเคมี การออกซิไดซ์กลิ่นเหม็นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่นเหม็น สารที่นิยมใช้ในการออกซิไดซ์ ได้แก่ คลอรีน โอโซน hydrogen peroxide (H_2O_2) potassium permanganate ($KMnO_2$) เป็นต้น สารคลอรีนยังช่วยกำจัดเมือกได้ด้วย

(3) วิธีตกตะกอนผลึกเคมี การตกตะกอนของผลึกเคมีจะเป็นการกำจัดก๊าซ hydrogen sulfide (H_2S) ด้วยเกลือของโลหะ เช่น เหล็ก (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

3) วิธีทางชีวภาพ

วิธีการกำจัดก๊าซเหม็นด้วยวิธีทางชีวภาพมีหลายวิธี ดังนี้

(1) วิธีใช้กับถังโปรยกรองหรือถังเติมอากาศในระบบเอเอส โดยนำก๊าซเหม็นผ่านชั้นตัวกลางในถังโปรยกรอง หรือใช้เติมอากาศในระบบเอเอสทำให้กลิ่นเหม็นถูกกำจัดได้

(2) วิธีหอไล่ก๊าซด้วยชีวภาพ หอไล่ก๊าซที่มีตัวกลางบรรจุภายในหอโดยมีจุลชีพเกาะอยู่บนผิวตัวกลาง เมื่อก๊าซเหม็นไหลผ่านชั้นตัวกลางที่มีจุลชีพเกาะอยู่ จะช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นได้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

2.4.1 การบำบัดมลพิษทางอากาศด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ

ระบบบำบัดทางชีวภาพเป็นระบบที่พึ่งพากระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ที่มาย่อยสลายสารอินทรีย์ปนเปื้อนในอากาศเสียหรือก๊าซเสีย กลไกสำคัญในการบำบัดก๊าซมลพิษทางชีวภาพ คือ การถ่ายโอนสารมลพิษในกระแสก๊าซไปสู่สภาวะที่เป็นของเหลวเพื่อให้จุลินทรีย์เหล่านี้ดูดซึม (uptake) และย่อยสารมลพิษดังกล่าวเป็นอาหารของจุลินทรีย์และปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) หรือสารอื่นๆ ออกมา กระบวนการบำบัดทางชีวภาพมี 3 ขั้นตอนคือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

1) การถ่ายโอนสารมลพิษในสภาวะก๊าซไปสู่สภาวะของเหลว (gas-liquid transfer)

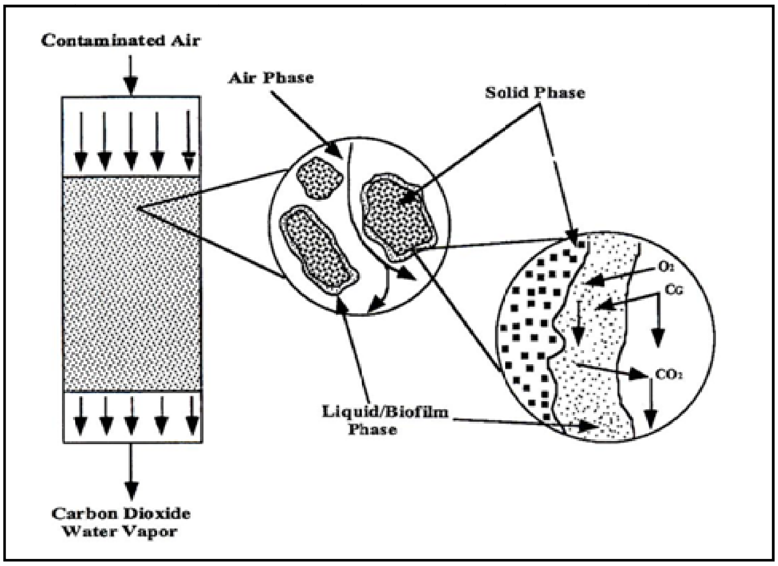
2) การดูดซึมหรือนำเข้าสารมลพิษที่อยู่ในรูปของเหลวสู่เซลล์จุลินทรีย์ (liquid-phase transport to the microorganisms)

3) การย่อยสลายสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ (degradation of the contaminants)

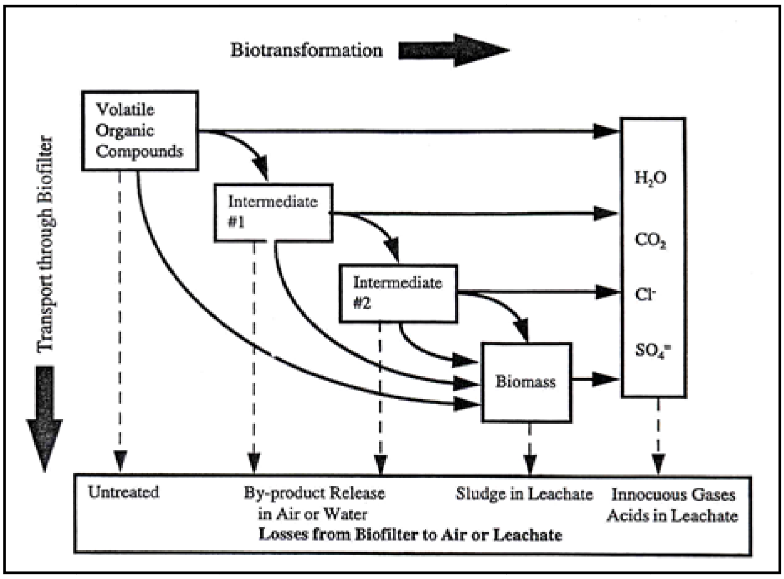
ระบบทางชีวภาพเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซมลพิษที่มีสาเหตุจากสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี สามารถลดปัญหามลพิษทางอากาศ และเป็นกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดของเสียทุติยภูมิ (อลิสา วังใน, 2553) อย่างเช่น การดูดซึมและดูดซับซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาทางกายภาพ ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้ยังก่อให้เกิดของเสียทุติยภูมิจากการบำบัด อย่างเช่นในกระบวนการของกระบวนการดักจับแบบเปียกที่ใช้หลักการดูดซึมจะทำให้เกิดน้ำเสียจากการดูดซึม นอกจากนี้ การบำบัดทางชีวภาพจะมีค่าใช้จ่ายเรื่องสารเคมีและพลังงานค่อนข้างต่ำ ทำให้ปัจจุบันมีการนำระบบบำบัดทางชีวภาพเข้ามาใช้ซึ่งถือว่ามีบทบาทค่อนข้างมากและเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการควบคุมก๊าซเสียและกลิ่น ตัวอย่างเทคโนโลยีการบำบัดก๊าซทางชีวภาพได้แก่ ระบบตัวกรองชีวภาพ อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารปนเปื้อน หรือสารมลพิษในอากาศให้กลายเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลงประกอบด้วย ตัวกลางที่มีรูพรุนหรือช่องให้อากาศไหลผ่านได้ดี สามารถใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่น เปลือกไม้ กากมะพร้าว หรือวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก จุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกลาง จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารปนเปื้อนให้กลายเป็นสารประกอบขนาดเล็ก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น ต่อมามีการพัฒนานำมาใช้เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compound: VOC) และสารมลพิษที่เป็นอันตราย (hazardous air pollutants: HAPs) สารประเภทไฮโดรคาร์บอนรวมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์อื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ อัลดีไฮด์ ฟีนอล โทลูอีน สำหรับการบำบัดกลิ่น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่าง ๆที่เหมาะสม เช่น อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมกับแบคทีเรียและความสามารถในการดูดซับน้ำ ควรอยู่ระหว่าง 40-60 % โดยน้ำหนัก มีรูพรุนเพื่อให้มีความดันลดน้อย และมีกระบวนการควบคุมความเป็นกรดด่าง (pH) ไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไป รวมทั้งต้องควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ หรือฝุ่นละอองให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2

ตัวระบบของตัวกรองชีวภาพ จะประกอบด้วย ตัวกลางที่มีรูพรุนซึ่งอาจเป็นวัสดุที่เป็นสารประเภทอินทรีย์ซึ่งอาจจะใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ ดิน เปลือกไม้

กากตะกอนน้ำเสีย ขยะอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปความหนาของตัวกลางควรจะน้อยกว่า 1 เมตร เมื่อผ่านอากาศที่มีสารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัดผ่านเข้าสู่ตัวกลางซึ่งมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่นั้น จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนให้กลายเป็นสารประกอบขนาดเล็ก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)



ภาพที่ 1 กลไกการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2556 อ้างถึงใน Devinny, Deshusses and Webster, 1999



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา และกระบวนการ transport ในระบบกรองชีวภาพ
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2556 อ้างถึงใน Devinny, Deshusses and Webster, 1999

2.4.2 ระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber)

1) หลักการทำงาน

สครับเบอร์ (scrubbers) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะก๊าซและไอ (gas and vapor) โดยใช้ของเหลว (liquid) ในการควบคุมมลพิษทางอากาศ หรือใช้สำหรับการดักจับอนุภาคก๊าซและอนุภาคขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเรียกชื่อที่แตกต่างกัน เช่น สครับเบอร์ wet scrubbers หรือ wet collector โดยมีหลักการทำงานที่สำคัญ คือ น้ำเป็นตัวดักจับด้วยการพ่นฉีดของเหลวหรือน้ำให้เป็นละอองฝอยขนาดเล็กให้กระจายไปปะทะกับกระแสก๊าซ ให้กระแสก๊าซไหลผ่านฟิล์มของเหลวด้วยความเร็วสูงหรือไหลผ่านชั้นวัสดุที่มีของเหลวเคลือบที่ผิว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) แรงที่กระทำต่ออนุภาคเพื่อแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซ (gas stream) หรือกระแสอากาศเสีย กลไกหลักที่เกิดขึ้นมี 6 กลไก คือ การตกโดยแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity settling) การตกโดยแรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal settling) การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย (inertial impaction) การสกัดกั้นโดยตรง (direct interception) การแพร่ (diffusion) การดึงดูดโดยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction) เป็นต้น นอกจากนี้เมื่อละอองน้ำสัมผัสกับอนุภาคก็จะกลายเป็นตะกอนเหลว ส่งผลให้ระบบภายในสครับเบอร์เกิดการอุดตัน ส่งผลให้น้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมมีความเป็นกรดหรือด่างมากขึ้น นอกจากนี้ควรมีการปรับปรุงคุณลักษณะของน้ำให้มีมาตรฐานน้ำทิ้งตามกฎหมายกำหนดแล้วนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่หรือระบายทิ้งสู่ธรรมชาติ

ดังนั้น การดักจับอนุภาคหรือก๊าซด้วยสครับเบอร์มีขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ 1) อนุภาคหรือก๊าซสัมผัสด้วยของเหลว น้ำ หรือฟิล์มของน้ำ 2) เกิดการแยกของเหลวออกจากกระแสอากาศหรือกระแสก๊าซ และ 3) การปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนระบายทิ้ง (Control of Particulate Contaminants, 2556)

2) ชนิดของสครับเบอร์

สครับเบอร์สามารถแบ่งสครับเบอร์ได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ขึ้นอยู่กับหลักการหรือเกณฑ์ของทิศทางการไหลของกระแสก๊าซและน้ำ ประกอบด้วย กระแสอากาศหรือกระแสก๊าซไหลสวนทางกัน (counter current flow) ไหลตามกัน (co-current flow) ไหลในแนว ตั้งฉากกับน้ำ (cross flow) หรือถ้าใช้หลักเกณฑ์ทางด้านการสูญพลังงาน สามารถออกเป็น 4 ประเภท คือ

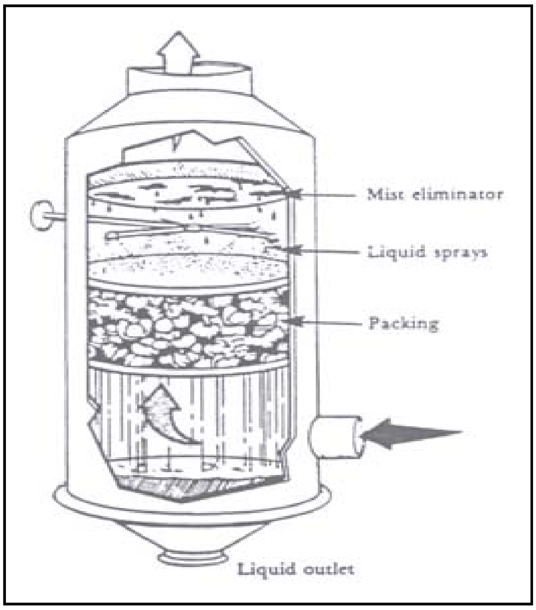
1) สครับเบอร์แบบใช้พลังงานต่ำ (low energy)
2) สครับเบอร์แบบใช้พลังงานต่ำถึงปานกลาง (low to medium energy)
3) สครับเบอร์แบบใช้พลังงานปานกลางถึงสูง (medium to high energy)
4) สครับเบอร์แบบใช้พลังงานสูง (high energy)

สครับเบอร์ประกอบด้วย ปั๊ม อุปกรณ์ป้อนสารเคมี พัดลม ระบบท่อ โดยอาศัยโครงสร้างและหลักการทำงานเป็นเกณฑ์ ดังนี้ (Control of Particulate Contaminants, 2556)

2.1) สครับเบอร์แบบหอบรรจุวัสดุหรือหอแพค (packed bed scrubber)

เป็นสครับเบอร์ที่ใช้กำจัดกระแสก๊าซ ไอ และฝุ่น มีการบรรจุชิ้นวัสดุ (packing materials) เพื่อทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการดูดซึม แต่เดิมทำจากเซรามิค ปัจจุบันทำด้วยพลาสติกทนความร้อนที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ทำจากโพลีเอทิลีน และโพลีโพรพิลีน อย่างเช่น pall ring tellerettes rasching ring เป็นต้น โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 6.5-100 mm. หรือ 0.25-4 นิ้ว โดยของเหลวถูกฉีดผ่านหัวฉีดเหนือชั้นวัสดุแล้วไหลผ่านลงสู่ด้านล่างของหอ กระแสก๊าซที่มีอนุภาคจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นวัสดุ ในขณะที่ก๊าซไหลผ่านช่องว่างระหว่างชั้นวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล อนุภาคจะชนกับวัสดุที่มีแผ่นฟิล์มของเหลวเคลือบอยู่ และไหลไปพร้อมกับของเหลวสู่ด้านล่าง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่สครับเบอร์แบบนี้จะเกิดปัญหาในชั้นวัสดุจะเกิดการอุดตัน ค่าความดันสูญเสียมีค่าสูง แต่มีประสิทธิภาพสูง ดังภาพที่ 3

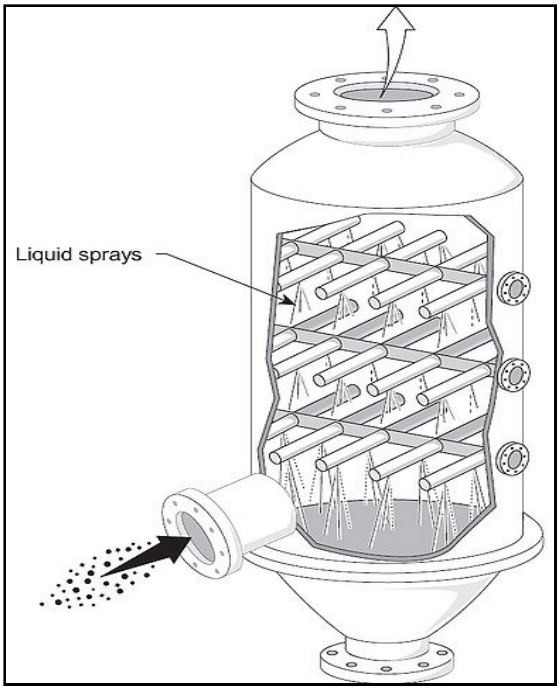
นอกจากนี้ยังมีสครับเบอร์ประเภทหรือรูปแบบอื่น ๆ อีก เช่น สครับเบอร์แบบชั้นเส้นใย (fiber-bed scrubber)



ภาพที่ 3 สครับเบอร์แบบหอบรรจุวัสดุหรือหอแพค (packed bed scrubber)
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550

2.2) สครับเบอร์แบบสเปรย์ (spray tower scrubber or spray chamber scrubber)

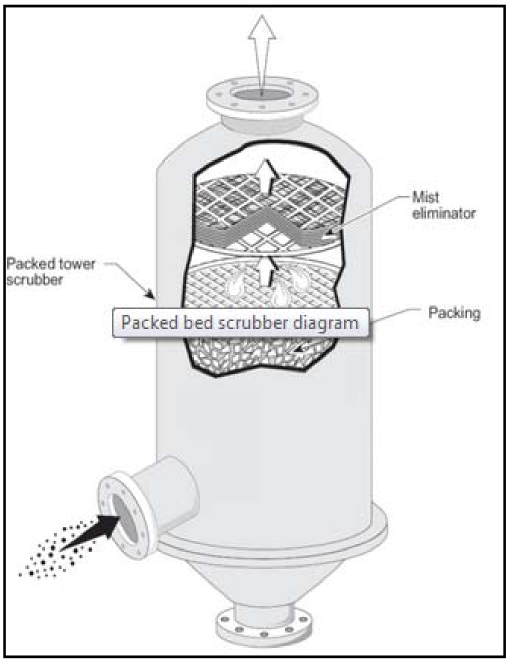
ใช้จับฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 5 ไมครอน เหมาะสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ ไม่มีปัญหาในการอุดตัน มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคที่ใหญ่กว่า 5 ไมครอนประมาณ 90% เป็นเครื่องมือที่มีรูปแบบง่ายที่สุด ใช้พลังงานต่ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) และยังกำจัดสารมลพิษที่เป็นก๊าซได้ดี มีลักษณะโครงสร้างเป็นทรงกระบอก ออกแบบให้กระแสอากาศไหลจากด้านล่างสวนขึ้นด้านบนกับการฉีดพ่นละอองของเหลวที่ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ใช้หัวฉีด (nozzle) ฉีดด้วยแรงดันประมาณ 35 ถึง 50 psi และที่ส่วนบนของหอมีแผ่นดักละอองน้ำ เพื่อป้องกันหยดน้ำที่หลงเหลือและจะถูกกระแสอากาศหรือก๊าซพัดลอยขึ้น จึงเป็นสครับเบอร์ที่มีกลไกเกิดขึ้น 3 กลไกหลัก นอกจากนี้หยดน้ำจะตกลงสู่ด้านล่างของหอ หรือแยกจากกระแสก๊าซด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก แต่น้ำที่ใช้ในการสเปรย์ต้องมีความขุ่น (turbidity) ไม่มากนักเพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันที่หัวฉีดดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สครับเบอร์แบบสเปรย์ (spray tower scrubber)
ที่มา: Cooper, C. D., and Alley, F. C. (2011)

2.3) สครับเบอร์แบบถาดหรือเพลท (tray or plate scrubber)

สครับเบอร์แบบเพลทมีส่วนประกอบ หอดิ่ง มีเพลทวางในแนวระดับอยู่ภายใน มีโครงสร้างเป็นหอหรือรูปทรงกระบอกแนวตั้ง เหมาะสำหรับการเก็บฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน ใช้พลังงานปานกลางถึงสูง ก๊าซไหลเข้าทางส่วนล่างของเครื่องและไหลผ่านช่อง ของเหลวจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านเพลทจากข้างบนลงข้างล่าง เกิดการถ่ายเทมวลหรือจับอนุภาคโดยหยดน้ำหรือของเหลว นอกจากนี้แรงดันของอากาศที่ไหลผ่านรูของถาดยังทำให้อากาศและน้ำเกิดการกระทบกับแผ่นกั้น (baffle) ที่อยู่เหนือรูของถาดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคมากขึ้น เป็นสครับเบอร์ที่มีค่า L/G ratio ระหว่าง 2 - 3 gal/1000 ft^3 ดังภาพที่ 5 (Control of Particulate Contaminants, 2556)

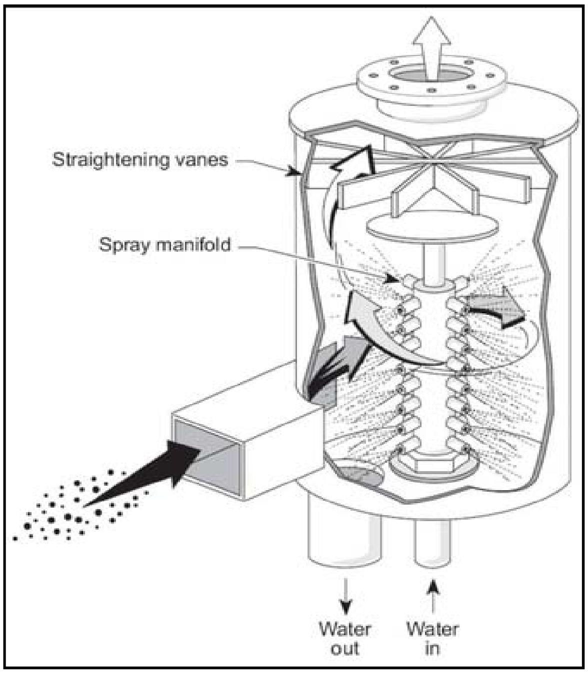


ภาพที่ 5 สครับเบอร์แบบถาดหรือเพลท (plate scrubber or tray scrubber)
ที่มา: Cooper, C. D., and Alley, F. C. (2011)

2.4) สครับเบอร์แบบไซโคลน (cyclone spray scrubber)

เป็นสครับเบอร์ใช้หลักการทางกลศาสตร์ (mechanical) คล้ายกับห้องตกอนุภาค แต่ไซโคลนใช้กลไกหลักในการแยกอนุภาคคือ แรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหรืออากาศเกิดการหมุนวน (vortex) และยังขึ้นกับความเฉื่อยของอนุภาคที่เคลื่อน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) ส่งผลให้อนุภาคถูกเหวี่ยงและกระทบกับผนังของไซโคลนเนื่องจากความเฉื่อยหรือโมเมนตัม จากนั้นอนุภาคจะตกลงเบื้องล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่า

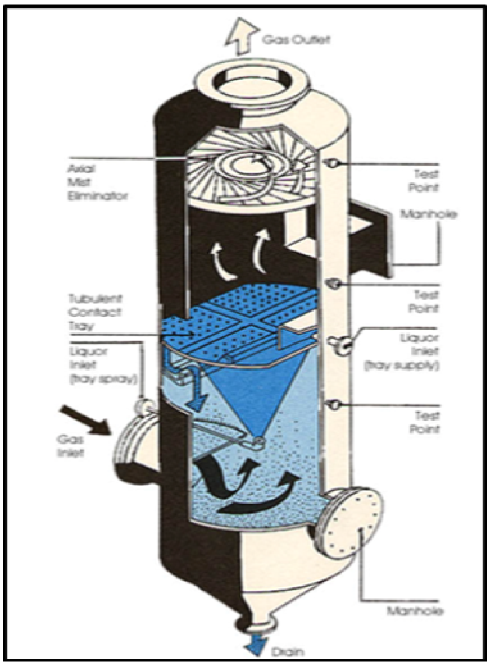
ความดันสูญเสียอยู่ประมาณ 4 ถึง 8 นิ้ว ของน้ำและเป็นสครับเบอร์ที่ใช้พลังงานต่ำถึงปานกลาง และมีชื่อเรียกเป็นภาษาอังกฤษได้หลายชื่อ เช่น cyclone collectors, cyclone separators หรือ centrifugal separators เป็นต้น ดังภาพที่ 6 (Control of Particulate Contaminants, 2556)



ภาพที่ 6 สครับเบอร์แบบไซโคลน (cyclone spray scrubber)
ที่มา: Cooper, C. D., and Alley, F. C. (2011)

2.5) สครับเบอร์แบบโอริฟิซ (orifice scrubbers)

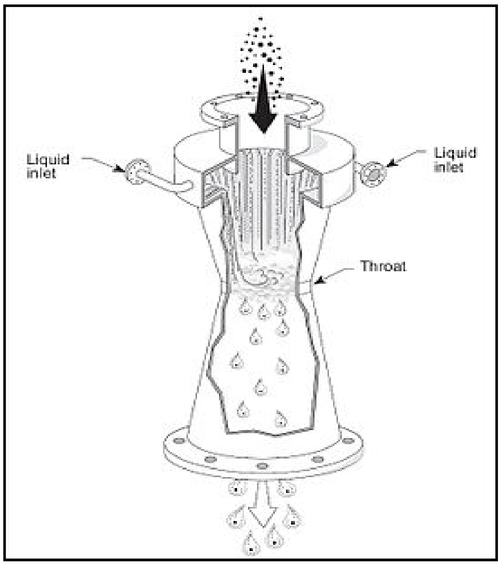
สครับเบอร์ชนิดนี้ออกแบบให้มีกระแสของอากาศไหลไปสัมผัสกับของเหลวในบริเวณทางแคบหรือ orifice ส่งผลให้กระแสอากาศมีความเร็วสูงขึ้น โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 50 ฟุตต่อวินาที เหมาะสำหรับอนุภาพที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน เป็นสครับเบอร์ที่ใช้พลังงานปานกลางถึงสูง มีค่า L/G ratio เท่ากับ 0.5 gal/1000 ft^3 ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ มีค่าความดันสูญเสียระหว่าง 8-12 นิ้วของน้ำ การกระทบกันของผิวน้ำด้วยความแรงทำให้เกิดการแตกตัวเป็นละออง เพื่อเกิดกระบวนการดักจับอนุภาคก่อนที่จะไปกระทบกับแผ่นกั้นทำให้เกิดการรวมตัวของหยดน้ำลงสู่ด้านล่าง และแยกกระแสอากาศที่ไหลออกทางด้านบน สครับเบอร์ชนิดนี้จึงถูกเรียกอีกอย่างว่า สครับเบอร์แบบชักน้ำสเปรย์ขึ้นเอง (self induced spray scrubbers) ดังภาพที่ 7 (Control of Particulate Contaminants, 2556)



ภาพที่ 7 สครับเบอร์แบบโอริฟิซ (orifice scrubbers)
ที่มา: Cooper, C. D., and Alley, F. C. (2011)

2.6) สครับเบอร์แบบเวนทูรี่ (Venturi scrub)

เป็นสครับเบอร์ที่มีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กสูงมาก แต่จะใช้พลังงานสูง โดยสามารถดับจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า1 ไมครอน และสามารถดูดซึมก๊าซได้กระแสก๊าซจะไหลผ่านเข้าเวนทูรี่ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาให้มีคอที่แคบลงและมีของเหลวหรือน้ำพ่นตรงส่วนคอด ซึ่งกระแสก๊าซที่ไหลผ่านส่วนคอดด้วยความเร็วสูงหรือถูกเร่งความเร็ว ความเร็วของก๊าซที่ส่วนคอดจะมีค่า 60-244 เมตรต่อนาที (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) ส่งผลให้สามารถดักจับอนุภาคด้วยกลไกทั้ง 3 ดังที่กล่าวข้างต้น อนุภาคของของเหลวจับไว้ด้วยกลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อยซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญ สครับเบอร์แบบเวนทูรี่นี้ บางทีถูกเรียกว่า gas atomizing spray scrubbers ซึ่งหมายถึง การที่กระแสก๊าซที่มีความเร็วสูงทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอย และจับฝุ่นด้วยการกระทบ ภายหลังจากที่หยดน้ำดักจับอนุภาคได้แล้วจะถูกปล่อยให้แยกตัวออกจากกระแสของก๊าซซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไซโคลนเพื่อแยกฝุ่นหรือของเหลวจากกระแสก๊าซก่อนระบายทางปล่อง สครับเบอร์แบบเวนทูรี่ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูงแต่ก็มีค่าความดันสูญเสียที่สูงด้วย และมีค่า L/G ratio เท่ากับ 0.5-2.7 l/m^3 รายละเอียดดังภาพที่ 8 (Control of Particulate Contaminants, 2556)



ภาพที่ 8 สครับเบอร์แบบเวนทูรี่

ที่มา: Cooper, C. D., and Alley, F. C. (2011)

2.4.3 การประยุกต์ใช้สครับเบอร์

สครับเบอร์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศที่มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูงสำหรับข้อดีและข้อจำกัดของสครับเบอร์แสดงได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ข้อดีและข้อจำกัดของสครับเบอร์

ข้อดี	ข้อจำกัด
มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูงทั้งขนาดใหญ่และเล็ก	เป็นระบบเปียก (wet process) ทำให้ของเสียที่ได้ (น้ำกับอนุภาค) เปียกส่งผลให้ยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่
สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเสี่ยงในการติดไฟและระเบิด	ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะมิเช่นนั้นอาจเกิดปัญหามลพิษทางน้ำ
สามารถใช้ได้กับกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง	มีความเสี่ยงสูงต่อปัญหาการผุกร่อน เนื่องจากเป็นระบบเปียก
สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีลักษณะเหนียว (sticky) ได้	มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง
เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมมลพิษอากาศได้ทั้งชนิดอนุภาคก๊าซและไอ	อากาศที่ผ่านอุปกรณ์ควบคุมจะมีความชื้นสูงขึ้น

ที่มา: Control of Particulate Contaminants, (2556)

2.5 การดูดซึม (absorption)

1) หลักการของการดูดซึม

กระบวนการดูดซึมที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้ทั้งทางแบบกายภาพและแบบเคมี เป็นวิธีการที่แพร่หลายสำหรับใช้บำบัดก๊าซอนินทรีย์ ที่มีสถานะเป็นก๊าซ (หรือไอ) และมีความสามารถในการละลาย (soluble gas) ออกจากกระแสอากาศไปยังตัวทำละลายที่เป็นของเหลว (solvent liquid) ซึ่งใช้หลักการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer) การดูดซึมก๊าซด้วยของเหลวเกิดขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซในของเหลวน้อยกว่าปริมาณความเข้มข้นที่ทำให้เกิดสมดุลทางเคมีหรือการละลายที่อิ่มตัวโดยใช้แรงผลัก (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสาร นอกจากนี้การดูดซึมจะเกิดได้ดีและมีประสิทธิภาพ เมื่อปัจจัยของอุณหภูมิลดต่ำลง พื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ทำให้สัดส่วนระหว่างของเหลวและก๊าซเพิ่มขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) แต่จะเกิดกระบวนการของดีซอปชั่น (desorption) หรือสตริปปิ้ง (stripping) แทนกระบวนการดูดซึม โดยกระบวนการที่ก๊าซระเหยง่ายสามารถออกจากตัวทำละลายที่เป็นของเหลวไปสู่กระแสอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีการกำจัดสารมลพิษที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย (waste water) นั่นแสดงให้เห็นว่าแรงผลักเป็นลบ จึงทำให้ไม่เกิดการดูดซึม (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554)

การดูดซึมถ้าก๊าซที่ปนเปื้อนในกระแสอากาศนั้นละลายในตัวทำละลายได้ดีการบำบัดด้วยวิธีการดูดซึมจะมีประสิทธิภาพสูงและถ้าสามารถกระจายสารดูดซึมให้ทั่วหอดูดซึมเพื่อให้กระแสอากาศนั้นสัมผัสกับของเหลวที่เป็นตัวดูดซึมให้มากที่สุด สำหรับก๊าซปนเปื้อนที่ละลายไม่ดีในตัวทำละลายนิยมเติมสารเคมี ซึ่งสารเคมีจะช่วยให้การละลายของก๊าซดีขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของก๊าซที่ปนเปื้อน สารเคมีที่เติมอย่างเช่น สารโซเดียมซิเตต การพ่นปูนขาวเพื่อดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น โดยทั่วไปมักใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากก๊าซปนเปื้อนส่วนใหญ่สามารถละลายในน้ำได้อีกทั้งน้ำยังสามารถหาได้ง่ายและราคาถูกส่วนตัวทำละลายที่เป็นสารเคมีเมื่อจะเลือกใช้ในการดูดซึมควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพและราคาของสารเคมีด้วย (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554)

ตัวทำละลายที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554)

1) สามารถกำจัดก๊าซที่ต้องการออกจากกระแสอากาศได้ดีมีความสามารถในการละลายได้สูง

2) ราคาต่ำและหาง่าย

3) ไม่มีการกัดกร่อนภาชนะหรือกัดกร่อนอุปกรณ์เพื่อช่วยลดค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ

4) เพื่อลดการสูญเสียตัวทำละลายควรมีความสามารถในการระเหยต่ำ

5) ความหนืดต่ำเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมและไม่ทำให้เกิดการอุดตันของตัวทำละลายในอุปกรณ์ (flooding)

6) เป็นสารที่ไม่ติดไฟ ที่ไม่เป็นพิษและมีจุดเยือกแข็งต่ำ

2) ระบบการดูดซึม

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1) ระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม (aqueous systems)

ในระบบที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึมกระแสก๊าซที่ต้องการกำจัดออกไปจะต้องมีความสามารถในการละลาย (solubility)ในน้ำ สำหรับกระแสก๊าซที่มีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำจะต้องใช้น้ำในการบำบัดเป็นปริมาณมาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้น้ำเป็นสารดูดซึม เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สำหรับก๊าซที่เหมาะสมที่จะใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ได้แก่ ก๊าซไฮโดรฟลูออริค (hydrofluoric) และก๊าซไฮโดรคลอริค (hydrochloric) นอกจากนี้ยังมีการเติมโซดาไฟหรือปูนขาวซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความเป็นด่างลงในน้ำเพื่อเพิ่มค่า pH ของน้ำให้สูงขึ้น พบว่าการใช้สารดูดซึมหรือน้ำที่มีค่า pH เป็นด่าง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นกรดได้ดียิ่งขึ้น สำหรับการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมเหมาะสำหรับกำจัดสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีเท่านั้น (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554)

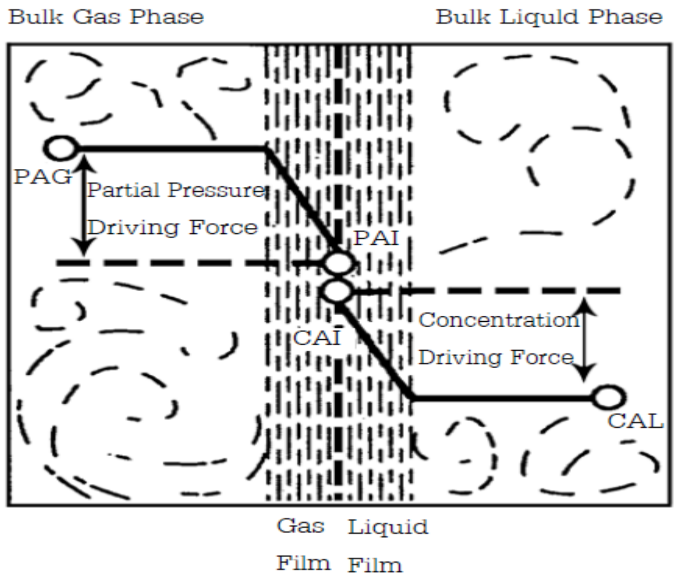
2.2) ระบบที่ไม่ใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม (nonaqueous systems)

จะใช้ของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์เช่น ไดเมทธิลอนาลี(dimethylanaline) และเอมีน (amines) เป็นตัวดูดซึมแทนน้ำ แต่จะมีข้อจำกัดคือสามารถใช้ได้กับกระแสอากาศเสียที่มีการปนเปื้อนเป็นก๊าซล้วนๆ ไม่มีอนุภาคอื่นเจือปน หากมีอนุภาคอื่นเจือปนจะทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างตัวทำละลายกับอนุภาคกลายเป็นกากตะกอน (sludges) ทำให้ยากต่อการกำจัด สารละลายอินทรีย์ที่เหมาะสำหรับใช้ในการบำบัดไอของสารอินทรีย์ ซึ่งไอของสารอินทรีย์สามารถละลายและผสมได้ดี หากต้องการนำสารละลายอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่สามารถทำการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน สารละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้จะเป็นพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เช่น เฮกซาดีเคน (hexadecane) เหมาะสำหรับการดูดซึมไอของสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้ดี ในระบบการดูดซึมไม่ว่าจะเป็นระบบที่ใช้น้ำหรือไม่ใช้น้ำก็ตาม อาจใช้วิธีง่ายๆ โดยการผ่านก๊าซที่ต้องการดูดซึมผ่านตัวทำละลายเมื่อดูดซึมแล้วก็กำจัดตัวทำละลายที่ปนเปื้อนแล้วนั้นทิ้ง หลังจากการดูดซึมแล้วสามารถนำสารละลายนั้นมาใช้ใหม่โดยวิธีการนำตัวทำละลายมาแยกก๊าซหรือไอที่ดูดซึมเอาไว้ออก (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554)

3) กลไกของการดูดซึม

การดูดซึมเป็นกลไกการเคลื่อนย้ายมวลของก๊าซหรือไอ ที่เป็นสารมลพิษออกจากกระแสอากาศไปสู่ตัวทำละลาย ซึ่งแบบจำลองที่ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการอธิบายกลไกของกระบวนการดูดซึม ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลว ถูกกั้นไว้ด้วยเยื่อบางๆ 2 ชั้น (two films theory)ชั้นหนึ่งเป็น gas film และอีกชั้นเป็น liquid film แบบจำลองนี้ใช้อธิบายเกี่ยวกับกลไกการเคลื่อนย้ายมวลไอหรือสารมลพิษจากกระแสอากาศที่มีอยู่ในสถานะก๊าซและของเหลว บริเวณระหว่างผิวของ 2 ส่วน คือ ส่วนของก๊าซและของเหลว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) รายละเอียดดังภาพที่ 9

ทฤษฎีอธิบายกระบวนการนี้ คือ ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (two films theory) เป็นแบบจำลองแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ของมวลจากชั้นที่เป็นก๊าซผ่านชั้นที่เป็นรอยต่อระหว่างก๊าซกับของเหลว



ภาพที่ 9 ทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น
ที่มา: จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, (2554)

ทฤษฎีนี้ได้สมมติว่าในอากาศหรือก๊าซและสารละลายเคมีหรือของเหลวเกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ มีความสมดุลของการเคลื่อนที่ของมวลเข้าเท่ากับมวลที่ออก ทำให้บริเวณผิวของส่วนที่เป็นก๊าซกับของเหลวสัมผัสกันจึงมีการถ่ายโอนมวลสารของสิ่งที่อยู่ในก๊าซกับของเหลว โดยเกิดการแพร่กระจายของโมเลกุลทะลุผ่านเยื่อที่กั้นระหว่างก๊าซกับของเหลวจนกระทั่งเข้าสู่จุดสมดุล จากภาพที่ 9 เมื่อการแพร่กระจายของโมเลกุลของสารเข้าสู่จุดสมดุลแล้วทำให้ความเข้มข้นของมวลของสาร A ในสถานะก๊าซจะเปลี่ยนจาก P_{AG} เป็น P_{AI} ในชั้นบางๆ ในส่วนอากาศที่ผิวระหว่าง

เนื้อเยื่อทั้ง 2 และความเข้มข้นของมวลของสารในสถานะของเหลวจะเปลี่ยนจาก C_{AI} เป็น C_{AL} ในชั้นบางๆ ในส่วนของเหลว

อัตราการเคลื่อนย้ายมวลจะเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนย้ายในชั้นบรรยากาศคูณกับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นที่ของสารมลพิษ A ในชั้นอากาศ ลบด้วย ความเข้มข้นของสารมลพิษ A ในชั้นบางๆ ในส่วนที่เป็นอากาศ อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายอธิบายได้โดยสมการต่อไปนี้

$$M_A = K_g (P_{AG} - P_{AI}) \quad (1)$$

$$M_A = K_i (C_{AG} - C_{AI}) \quad (2)$$

เมื่อ M_A = ค่าอัตราส่วนของการเคลื่อนย้ายของสาร A ($mole/hr.m^2$)

K_g = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนย้ายมวลในสถานะก๊าซ ($mole/hr.m^2.N/m^2$)

K_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนย้ายมวลสารA ในสถานะของเหลว ($mole/hr.m^2.N/m^2$)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนย้ายมวล K_gและ K_i จะแสดงถึงค่าความต้านทานการเคลื่อนย้ายของสารมลพิษหรือตัวถูกละลายที่เป็นก๊าซกระจายทะลุผ่านผิวเนื้อเยื่อ ซึ่งจะมีความแตกต่างของสมการทั้ง 2 ในการใช้งาน คือไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นที่ระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ชั้น และไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นของสารที่ระหว่างเนื้อเยื่อทั้งสองได้ จึงทำให้เกิดการอธิบายการเคลื่อนย้ายมวลที่สภาวะสมดุล และมีการรวมค่าความต้านทานของแต่ละเนื้อเยื่อที่มีอยู่ทั้งหมดด้วย ซึ่งถ้าเส้นสมดุลเป็นเส้นตรง ค่าอัตราการดูดซึมจะเป็น ดังนี้ (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554)

$$M_A = K_{OG} (P_{AG} - P_{A*}) \quad (3)$$

$$M_A = K_{OL} (C_{A*} - C_{AI}) \quad (4)$$

เมื่อ P_{A*} = ความดันย่อยที่จุดสมดุลของตัวสารมลพิษ A ในสถานะก๊าซ (N/m^2)

C_{A*} = ความเข้มข้นที่จุดสมดุลของสารมลพิษ A ในสถานะของเหลว (mole)

K_{OG} = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นฐานของการเคลื่อนย้ายมวลทั้งหมดในสถานะก๊าซ (mole/hr.m^2)

K_{OL} = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นฐานของการเคลื่อนย้ายมวลทั้งหมดในสถานะของเหลว (mole/hr.m^2)

ที่จุดภาวะสมดุลค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลทั้งหมดจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลในแต่ละส่วน (อากาศและของเหลว) ดังนี้

$$1/K_{OG} = 1/K_g + H/K_i \quad (5)$$

$$1/K_{OL} = 1/K_i + 1/H.K_{kg} \quad (6)$$

H เป็นค่าคงที่ของ Henry's law คือ ค่าความชันของเส้นกราฟที่ภาวะสมดุลจากสมการถ้า H มีค่าน้อยมากหมายถึงก๊าซหรือสารมลพิษสามารถละลายได้ดีในของเหลว ดังนั้น K_{OG} มีค่าใกล้เคียงกับ K_g และการละลายดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยกระบวนการที่เกิดขึ้นในเยื่อส่วนที่เป็นอากาศ ในทางตรงกันข้ามถ้า H มีค่ามากจะมีผลทำให้ K_{OL} มีค่าใกล้เคียงกับ K_i นั้น คือ อัตราการละลายจะถูกควบคุมด้วยเยื่อส่วนที่เป็นของเหลวดังนั้นส่วนใหญ่ระบบการควบคุมมลพิษทางอากาศจะอาศัยกระบวนการที่ใช้ระบบควบคุมในเยื่อส่วนที่เป็นอากาศ

4) ความสามารถในการละลายและกฎของเฮนรี่ (solubility and Hanry's law)

ปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในของเหลว จะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความกดดันของก๊าซที่กระทำเหนือของเหลว ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซึม คือ อุณหภูมิและความดันของระบบ ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลต่อความสามารถในการละลายของสารมลพิษ

กฎของเฮนรี่ (Hanry's law) สามารถใช้ทำนายความสามารถในการละลายได้ โดย Haenry's law กล่าวว่า ที่สภาวะสมดุลความดันย่อย (partial pressure) ของก๊าซเหนือผิวน้ำเป็นปฏิภาคตรงกับความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำดังสมการ (7) และสมการที่ (8) (วรพจน์ รัตนะพันธุ์, 2555 อ้างจาก Lagrega et al., 2001 อ้างในศุภวัฒน์ ชัยเกษม, 2551)

$$P = HC_L \quad (7)$$

เมื่อ P = ความดันย่อยของตัวถูกละลาย/ก๊าซปนเปื้อนในอากาศที่ภาวะสมดุล, Pa

C_L = สัดส่วนโมลของตัวถูกละลาย/ก๊าซปนเปื้อนในของเหลว

H = ค่าคงที่ในกฎของเฮนรี่, atm-m^3/mole

$$H = C_g/C_L \qquad (8)$$

เมื่อ Cg = ความเข้มข้นของสารในก๊าซ, mg/L

C_L = ความเข้มข้นของสารในน้ำ, mg/L

H = dimensionless Hen's law constant

จากสมการที่ (8) ความเข้มข้นของสารในน้ำและในก๊าซมีหน่วยเดียวกัน คือมิลลิกรัมต่อลิตรหรือ mole/m^3 ดังนั้น ค่าคงที่ในกฎของเฮนรี่ H ที่ใช้จึงต้องเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (9)

$$H' = H/RT \qquad (9)$$

เมื่อ H' = dimensionless Henry's law constant

H = ค่าคงที่ในกฎของเฮนรี่ (atm-m^3/mole)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (atm-m^3/mole-K) = 8.25×10^{-5} atm-m^3/mole-K

T = อุณหภูมิ (K)

นอกจากนี้ Henry's law constant อาจจะถูกพิจารณาว่าเป็นสัมประสิทธิ์การแบ่งแยก (partition coefficients) ของสารที่เกิดขึ้นในอากาศและน้ำ ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการแสดง Henry's law constant จากข้อมูลความดันไอและความสามารถในการละลายได้ดังสมการที่ (10)

$$H = P_{vp}/S \qquad (10)$$

สารที่มีค่า H สูง คือ สารที่มีความดันไอสูงและมีความสามารถในการละลายต่ำ จึงทำให้สารที่มีค่า H สูงกว่าจะระเหยได้มากกว่าสารที่มีค่า H ต่ำกว่า ซึ่งการแบ่งโดยทั่วไปจะกำหนดว่าหากสารใดมีค่า H’ สูงกว่า 0.01 จะเป็นสารระเหย หากสารใดมีค่า H’ อยู่ระหว่าง 0.0001-0.01 จะเรียกว่าสารกึ่งระเหย (semi volatile) และหากสารใดมีค่า H’ ต่ำกว่า 0.0001 สารนั้นจะไม่ระเหยจากสถานะของเหลว (วรพจน์ รัตนะพันธุ์, 2555 อ้างจาก Rafson, 1998 อ้างในศุภวัตน์ ชัยเกษม, 2551)

สารที่ละลายน้ำได้ดีและมีค่าความดันไอต่ำมีแนวโน้มจะระเหยกลายเป็นไอจากน้ำได้น้อย โดยทั่วไปสารที่มีค่า H น้อยกว่า 10^{-5} atm-m^3/mole การระเหยกลายเป็นไอจะเกิดขึ้นได้น้อยและถือว่าไม่มีนัยสำคัญ ถ้าสารมีค่า H น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10^{-7}atm-m^3/mole ถือว่าไม่มีการระเหยออกจากสารละลาย มีผลทำให้ความเข้มข้นในสารละลายเพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำออกจากสารละลาย สำหรับสารที่มีค่า H มากกว่า 10^{-5}atm-m^3/mole การระเหยกลายเป็นไอจากน้ำมีนัยสำคัญและอาจเป็นวิถีทางการสูญเสียสารออกจากน้ำอีกทางหนึ่ง (วรพจน์ รัตนะพันธุ์, 2555 อ้างจาก กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543 อ้างในศุภวัตน์ ชัยเกษม, 2551)

5) กลไกการของ air stripping

air stripping คือ การไล่ก๊าซเป็นกระบวนการแยกก๊าซหรือสารประกอบที่ระเหยง่ายออกจากน้ำเสียโดยการผ่านน้ำเสียให้สัมผัสกับอากาศ ทำให้สิ่งสกปรกที่เป็นก๊าซหรือสารระเหยง่ายแยกออกไปจากน้ำเสีย กระบวนการนี้ใช้กับน้ำเสียที่ปนเปื้อนก๊าซ เช่น NH_3 H_2S CO_2 หรือสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น VFAs หรือสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูรย์, 2557)

สิ่งสกปรกที่เป็นก๊าซหรือสารระเหยง่ายที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย มีปัจจัย 3 อย่างที่มีผลต่อการทำงานของระบบ air stripping ดังนี้ (สุภัสสร สกุลจร และสุณีนาท ศรีจอหอ, 2554)

1. อุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ระบบ air stripping ยิ่งสูง ยิ่งดี เนื่องจากจะทำให้สารระเหยง่ายหรือสิ่งสกปรกที่เป็นก๊าซสามารถระเหยได้ดี

2. ความเข้มข้นของสารระเหยง่ายหรือสิ่งสกปรกที่เป็นก๊าซแต่ละตัวที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ความเข้มข้นสูง ยิ่งดี เพราะจะได้ปริมาณก๊าซที่แยกออกจากน้ำเสียในปริมาณมาก

3. ค่าคงที่สมดุลของเคมีหรือก๊าซแต่ละตัวที่สามารถละลายในอากาศและสมดุลกับเคมีที่ละลายอยู่ในของเหลว หรือค่า Henry constant ค่ายิ่งมากยิ่งดี

2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge process)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการเดินระบบ

เนื่องจากต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ในปัจจุบันระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor) ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นสามารถเขียนได้ ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525)

$$\text{สารอินทรีย์+จุลินทรีย์} \xrightarrow{O_2} \text{เซลล์จุลินทรีย์ใหม่} + CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน}$$

มลสารที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ โดยสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย เมื่อถูกเปลี่ยนมาเป็นจุลินทรีย์จะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำและสามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอน ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในบรรยากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ คือ สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (shock load) และต้องมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนวนให้น้ำและสลัดจ์ภายในถังเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้น้ำเสียกระจายไปทั่วถึง และการเติมอากาศต้องมีค่าสม่ำเสมอ การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเกิดขึ้นในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เมื่อผ่านการบำบัดแล้วน้ำดังกล่าวจะไหลไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำใส ตะกอนที่ตกอยู่ที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนดและอีกส่วนหนึ่งจะเป็นตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) ที่ต้องนำไปกำจัด สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ หากทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำแล้วได้มาตรฐานตามกฎหมายกำหนด

ปัจจุบันระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีหลายรูปแบบ อย่างเช่น กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (contact stabilization process) ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (completely mix) ระบบคลองวนเวียน (oxidation ditch) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (SBR: sequencing batch reactor) เป็นต้น

2.6.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (SBR: sequencing batch reactor)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเติมอากาศทำหน้าที่ทั้งการเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และทำหน้าที่แยกสลัดจ์ด้วยการตกตะกอนภายในถังเดียว ลักษณะสำคัญของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้คือเป็นประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (fill-and-draw activated sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบตะกอนเร่งแบบอื่นๆ คือ

การเติมอากาศ (aeration) และการตกตะกอน (sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน

1) ขั้นตอนการทำงานของระบบเอสบีอาร์

ระบบเอสบีอาร์ใช้เวลาเป็นตัวควบคุมขั้นตอนการทำงานโดยอาจจะประกอบไปด้วยถังปฏิกรณ์ใบเดียวหรือหลายใบซึ่งในถังปฏิกรณ์แต่ละถังมีลำดับการทำงาน 5 ขั้นตอนดังนี้ (แสดงดังภาพที่ 10) (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(1) ช่วงป้อนน้ำเสีย (fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ

รับน้ำเสียจากกระบวนการที่เกิดน้ำเสียเข้ามาในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีจุลินทรีย์อยู่ในถัง เป็นช่วงการเติมน้ำเข้า จนถึงระดับน้ำสูงสุดตามที่กำหนดไว้ (100 %) ระยะเวลาในการเติมน้ำเสียเข้าระบบโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดใน 1 วัฏจักร และในช่วงเติมน้ำเสียอาจมีการเติมอากาศหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการบำบัด

(2) ช่วงทำปฏิกิริยา (react)

เป็นช่วงการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ในการบำบัด ในช่วงนี้มีการเติมอากาศให้แก่ระบบโดยให้ออกซิเจนแก่น้ำเสียอย่างเพียงพอและปั่นป่วนทั่งถึงทั้งบ่อหรือถัง เพื่อให้จุลินทรีย์นำออกซิเจนไปใช้ เพื่อทำการย่อยสลายหรือกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย หรือการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์นั่นเอง ระยะเวลาที่ใช้ประมาณร้อยละ 35 ของเวลา 1 วัฏจักร

(3) ช่วงตกตะกอน (settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกิริยา กระบวนการจะนี้ไม่มีการเติมอากาศ (aeration) หรือระบบจะมีการหยุดนิ่งตามเวลาที่กำหนดไว้ในการออกแบบเพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน แล้วทำการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (treated effluent) การตกตะกอนในระบบ SBR จะมีประสิทธิภาพสูง เพราะของเหลวอยู่ในสภาพน้ำนิ่งไม่ถูกรบกวนจากสภาวะต่างๆ และระยะเวลาของการตกตะกอนต้องไม่ยาวนานเกินไปหรือประมาณร้อยละ 20 ของเวลา 1 วัฏจักรเพราะจะทำให้เกิดการลอยตัวตะกอนได้

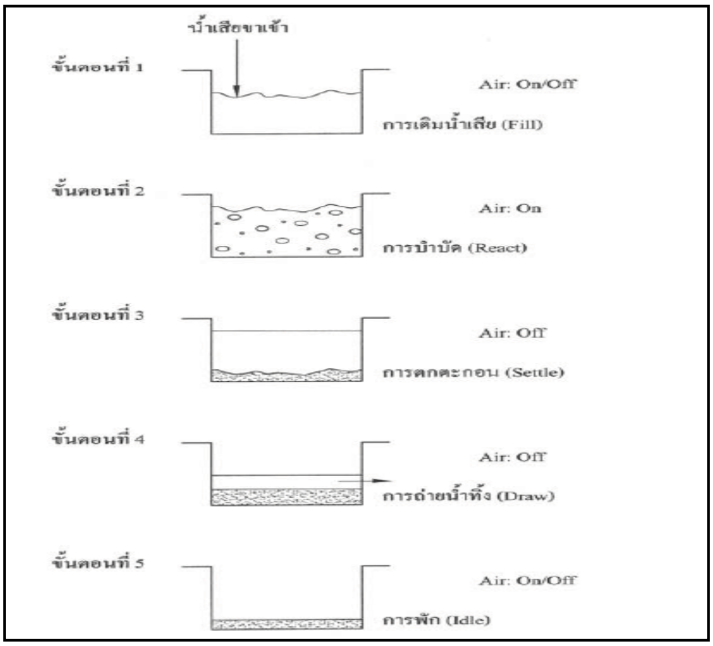
(4) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (draw) โดยระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด

เป็นช่วงเวลาที่มีการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกรณ์โดยที่น้ำใสส่วนบนจะถูกปล่อยทิ้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการระบายน้ำออกประมาณร้อยละ 15 ของเวลา 1 วัฏจักร

(5) ช่วงพักระบบ (idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่

เป็นช่วงที่ระบบอยู่นิ่งๆ จุดประสงค์เพื่อการพักระบบเป็นช่วงเวลาหลังจากที่ทำการปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกไปจากระบบ และก่อนที่จะเติมน้ำเสียใหม่อีกครั้ง

ในระบบที่มีถังปฏิกรณ์หลายถังเพื่อเตรียมเวลาสำหรับถังปฏิกิริยาแรกให้มีช่วง fill ที่สมบูรณ์ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ถังอื่นเนื่องจากช่วง idle ไม่ใช่ช่วงจำเป็นบางครั้งจึงถูกละเว้น



ภาพที่ 10 ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์
ที่มา: ขวัญเนตร สมบัติสมภพ (2551)

โดยการเดินระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่ายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยขั้นตอนการทำงานจะปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าถังที่มีจุลินทรีย์อยู่ภายในถังแล้วและเติมอากาศอยู่ เมื่อถึงเวลาที่กำหนด (ประมาณ 23 ชม.) จะหยุดเติมอากาศเพื่อทิ้งให้ตกตะกอน (ประมาณ 1 ชม.) ซึ่งจะได้น้ำใสส่วนบนที่สามารถปล่อยทิ้งออกได้เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัดจากนั้นก็จะเริ่มกระบวนการใหม่

นอกจากนี้ปริมาณตะกอนที่ระบายน้ำออกขึ้นกับค่าอายุตะกอน (sludge age) หรือเรียกว่า เวลากักตะกอน (sludge retention time: STR) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (11)

$$SRT = VX/Q_W X + (Q - Q_W)\ X_e \qquad (11)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของถังเติมอากาศ (m^3)

X = ความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ (mg/L)

Q_W = อัตราการระบายตะกอนทิ้ง (m^3/d)

Q = อัตราการไหลของการเติมน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศ (m^3/d)

X_e = ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำทิ้ง (mg/L)

ในกรณีที่ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า X_e จะต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ X ดังนั้น เทอม $(Q-Q_w)$ X_e จะมีค่าน้อยมากจนอาจตัดทิ้งได้ ดังนั้นสมการที่ 11 จะกลายเป็นสมการที่ 12

$$STR = VX/Q_WX=V/Q_W \qquad (12)$$

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบขึ้นกับการควบคุมช่วงระยะเวลาในการทำงาน ระบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีและสารอาหารได้เป็นอย่างดี ประสิทธิภาพการบำบัด BOD โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 85-95% คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดให้เหลือค่า BOD และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total suspended solids: TSS) น้อยกว่า 10 mg/l ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen: TN) เหลือ 5-8 mg/l และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus: TP) เหลือเพียง 1-2 mg/l (U.S. EPA, 1999)

2) ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์

(1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (organic loading)

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ ดังนั้นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ ในกรณีที่อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะกระจายอยู่ทั่วไป (dispersed growth) ไม่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนที่ดีเป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีความขุ่นและค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง ถ้าอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ จำนวนจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้น้อยลง จุลินทรีย์จะตกตะกอนได้รวดเร็วแต่ไม่สามารถจับส่วนเล็กๆ ลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังมีความขุ่นอยู่ ดังนั้นการควบคุมการทำงานที่ดีจึงต้องควบคุมอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ในระบบให้มีค่าเหมาะสม (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(2) ธาตุอาหาร (nutrients)

จุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็กนอกเหนือไปจากสารอินทรีย์ต่างๆ ที่นำมาใช้เป็นพลังงาน โดยปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) แต่อาจมีไม่เพียงพอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดธาตุอาหารที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเจริญเติบโตได้ไม่ดี และทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นชนิดเส้นใย (filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้สลัดจ์ไม่จมตัวและอาจไหลปนออกมากับน้ำทิ้ง (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(3) ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO)

ในถังเติมอากาศ จะต้องมีค่าออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 2 มก./ล. ซึ่งปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง จุลินทรีย์จะสามารถทำงานได้มากและออกซิเจนจะมีค่าการละลายอิ่มตัวต่ำจึงทำให้ต้องการออกซิเจนมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศต่ำ ความต้องการการเติมอากาศเพื่อที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายจะน้อยกว่าอุณหภูมิสูง (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(4) ระยะเวลาในการบำบัด (detention time)

ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมีเพียงพอที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์สารหรือมลสารต่างๆ ได้ หากระยะเวลาไม่เพียงพอทำให้มลสารบางส่วนโดยเฉพาะสารที่ย่อยสลายยากจะถูกย่อยสลายได้ไม่หมด ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะที่ใช้ในถังตกตะกอนขั้นที่สองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้สลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้สลัดจ์ขาดออกซิเจน (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(5) ค่าพีเอช(positive potential of hydrogen ions: pH)

ค่าพีเอชมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5-8.5 ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 รา (fungi) จะเจริญเติบโตดีกว่าแบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและตะกอนตกไม่ดี ถ้าค่าพีเอชสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนผลึก (precipitate) แยกออกจากน้ำ ทำให้จุลชีพไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทำให้ระบบทำงานไม่ดีเช่นกัน ส่วนในกรณีที่ค่าพีเอชต่ำมากหรือสูงมาก จุลชีพก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้ (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(6) สารพิษ (toxic)

สารพิษแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบพิษเฉียบพลันซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดในระยะเวลาอันสั้น (acutetoxicity) และพิษแบบออกฤทธิ์ช้า (chronic toxicity)

ใช้ระยะเวลานานและค่อยๆตาย พิษเฉียบพลันสามารถสังเกตดูได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว ตัวอย่างสารพิษประเภทนี้ เช่น ไซยาไนด์ สารหนู ส่วนสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนี้ความเป็นพิษอาจเกิดจากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนีย ที่มีค่าความเข้มข้นสูงเกิน 500 มก./ล. เป็นต้น (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(7) อุณหภูมิ (temperature)

ในกระบวนการเอสบีอาร์ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของกิจกรรมการย่อยสลายและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว จนกระทั่งอุณหภูมิถึงประมาณ 37 องศาเซลเซียส และถ้าอุณหภูมิจะมีค่าสูงเกินไป จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตน้อยลง (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(8) การกวน (stirring)

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ตกตะกอน และทำให้จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียที่ป้อนเข้ามาสู่ถังบำบัด สลัดจ์เกิดการจับตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องและดีป้องกันไม่ให้น้ำเสียเกิดการไหลลัดวงจร ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (completely mixed) จะต้องมีค่า MLSS (mixed liquor suspended solids) และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

(9) อัตราการไหลของน้ำเสีย (flow rate)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งมาเข้าระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิธีและถังตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นมาก ระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง ค่าสารอินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นที่สองลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ เช่น อาจสร้างเป็นถังปรับเสมอ (equalizing tank) เป็นต้น (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

3) ข้อดี-ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียในระบบเอสบีอาร์

(1) ข้อดีของระบบเอสบีอาร์ (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

1) ระบบเอสบีอาร์จะรวมส่วนของถังพักถังเติมอากาศและถังตกตะกอนในถังเดียวกันทำให้ลดพื้นที่ก่อสร้าง

2) ระบบสามารถควบคุมไม่ให้เกิดการผสมระหว่างน้ำใสและตะกอนได้ง่ายทำให้น้ำทิ้งออกจากระบบอยู่ในมาตรฐานที่ต้องการและควบคุมปริมาณได้

3) ระบบสามารถรับการเปลี่ยนแปลงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading) ได้ดีโดยน้ำเสียที่เข้าระบบถูกเจือจางลงโดยน้ำในถังปฏิกิริยาซึ่งที่ทำการบำบัดแล้วในรอบการทำงานที่ผ่านมา

4) ระบบสามารถเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานให้เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณน้ำเสียได้

5) ระบบไม่จำเป็นต้องหมุนเวียนตะกอนเพราะตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกิริยาตลอดเวลา

6) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกเส้นใยสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมระบบการทำงานในขั้นตอนการเติมน้ำเสีย

7) ระบบสามารถควบคุมให้เกิดไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันหรือการกำจัดฟอสฟอรัสได้โดยไม่ต้องเติมสารเคมีแต่อาศัยการควบคุมวัฏจักรของการบำบัด

(2) ข้อเสียของระบบเอสบีอาร์ (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

1) การทำงานของระบบต้องอาศัยผู้ควบคุมที่มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการควบคุมระบบสูงเนื่องจากการทำงานของระบบเป็นแบบอัตโนมัติ

3) ระบบมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำเสียเข้าระบบน้อย

2.7 แอมโมเนีย (NH_3)

เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุนแรง หรือกลิ่นปัสสาวะ เป็นด่างอ่อน น้ำหนักโมเลกุล 17.03 มีจุดเดือด (boiling point) เท่ากับ 1 atm ที่ -33.4 ^{0}C เปลี่ยนเป็นของเหลวภายใต้ความดันถ้าได้รับเข้าสู่ร่างการ โดยการหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจอย่างรุนแรงและหายใจขัดอาจเสียชีวิตทันทีที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm หากได้รับก๊าซแอมโมเนียบ่อย ๆ หรือสะสมจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเรื้อรังของตา จมูก และทางเดินหายใจส่วนบนได้ถ้าเข้าตาจะระคายเคืองแก้วตารุนแรง และน้ำตาไหลดังค่ามาตรฐานก๊าซแอมโมเนียในตารางที่ 11 (กรมควบคุม มลพิษ, 2560)

ตารางที่ 11 ค่ามาตรฐานก๊าซแอมโมเนีย

ค่ามาตรฐานของแอมโมเนีย	
IDLH 300 ppm	(NIOSH, 1997)
TLV-TWA 25 ppm	(ACGIH, 1999)
TLV-STEL 35 ppm	(ACGIH, 1999)
ERPG-1 25 ppm	(AIHA, 1999)
ERPG-2 200 ppm	(AIHA, 1999)
ERPG-3 1,000 ppm	(AIHA, 1999)
NIOSH REL TWA 25 ppm (18 mg/m^3) ST 35 ppm (27mg/m^3)	
OSHA PEL TWA 50 ppm (35 mg/m^3)	

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2560

ก๊าซไนโตรเจนในรูปต่างๆ สามารถเกิดได้จากกระบวนการทางเคมี แบ่งได้ ดังนี้

1. กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

ไนโตรเจนที่พบเป็นองค์ประกอบของโปรตีนในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์จะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการไฮโดรไลต์ โดยมีจุลินทรีย์บางชนิดเข้าร่วมซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในดิน และน้ำเป็นหลัก ดังสมการ

เปปไตด์ (peptides) ⟶ กรดอะมิโน (amino acid) ⟶แอมโมเนีย (NH_3) ⟶แอมโมเนียม (NH_4^+)

แอมโมเนียม (NH_4^+) + น้ำ (H_2O) ⟶ไนเตรต (NO_3^-) ⟶ไนไตรท์ (NO_2^-) ⟶ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ⟶ก๊าซไนโตรเจน (N_2)

จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารให้เป็นอนินทรีย์สารจะเรียกกลุ่มจุลินทรีย์นี้ว่า ammonifiers ในระหว่างการย่อยสลาย หากมีออกซิเจนที่เพียงพอจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ คือ CO_2, NH_3, SO_4^{2-}และ H_2O หากมีออกซิเจนไม่เพียงพอจะเกิด CO_2, NH_3, R-NH_2, CH_4, H_2S และกรดอินทรีย์ น้ำจะมีสีดำและกลิ่นเหม็นเน่า NH_3 และ N_2 ถือเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการย่อยสลาย โดยหลังจากกระบวนการย่อยสลายจนเกิดก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) หากไม่สัมผัสกับน้ำก็จะระเหยออกสู่อากาศ ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนรูปต่อเป็น NO_3^- จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซ N_2 ในที่สุด

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแอมโมเนีย แบ่งเป็น 2 กระบวนการ ดังนี้

1. แอมโมนิเซชัน (ammonization)

เป็นกระบวนการแรกของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุด้วยจุลินทรีย์จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเอมีน และกรดอะมิโน ดังสมการ

โปรตีน $\longrightarrow$ $R\text{-}NH_2 + CO_2 +$ พลังงาน + ผลิตภัณฑ์อื่นๆ

2. แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากแอมโมนิเซชัน ด้วยการย่อยสลายเอมีน และกรดอะมิโน จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นแอมโมเนีย แอลกอฮอล์ และพลังงาน ดังสมการ

$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow R\text{-}OH + NH_3 +$ พลังงาน

$2NH_3 + H_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 + 2NH_4^{+}CO_3^{2-}$

แอมโมเนียในขั้นตอนนี้สามารถระเหยสู่อากาศ ซึ่งบางส่วนจะเข้าสู่การแปรสภาพเป็นไนเตรต และก๊าซไนโตรเจนต่อไป กระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นกลางได้ดีกว่าสภาพเป็นกรด เนื่องจากเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ดีที่สุด ส่วนในน้ำที่ไม่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดแอมโมเนียตกค้างจำนวนมาก เพราะขาดออกซิเจนสำหรับเปลี่ยนรูปแอมโมเนียเป็นไนเตรต นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะมีผลต่อการย่อยสลายด้วยเช่นกัน

การแปรสภาพแอมโมเนีย แบ่งเป็น 2 กระบวนการ ดังนี้

1. nitrification

เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากแอมโมนิฟิเคชัน โดยใช้แอมโมเนียเป็นสารตั้งต้นสำหรับเปลี่ยนสภาพให้เป็นแอมโมเนียม ไนไตร์ท และไนเตรท ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังสมการ

$2NH_4^{+} + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^{-} + 2H_2O + 4H^{+} +$ พลังงาน

ขั้นที่ 2 ไนไตร์ทถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรท

$2NO_2^{-} + O_2 \longrightarrow 2NO_3^{-}$

2. denitrification

เป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องจากไนตริฟิเคชัน ด้วยการรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตร์ท ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนหรือไนตริกออกไซด์ปลดปล่อยสู่อากาศ ดังสมการ

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2/NO$$

โดยผลิตภัณฑ์ไนไตรท์ (NO_2^-) ที่เกิดในขั้นไนตริฟิเคชัน บางส่วนจะแปรรูปเป็นแอมโมเนียก่อนเข้าสู่กระบวนการรีดิวซ์อีกครั้ง และบางส่วนจะเข้าสู่กระบวนการรีดิวซ์เป็นก๊าซไนโตรเจนได้โดยตรง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จีระศักดิ์ เพ็งคุณ (2557) ได้ทำการศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยถ่านกัมมันต์และดูดซึมโดยน้ำ เพื่อหาสภาวะความดัน อัตราการไหลของก๊าซและค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดูดซึมก๊าซของน้ำรวมทั้งการดูดซับของก๊าซของถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองโดยผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนและก๊าซออกซิเจนอัตราส่วน 3:3:4 ใช้วิธีการทดลองแบบ fixe bed ควบคุมอุณหภูมิ 30 °C ใช้เทคนิคแบบสลับความดัน (PSA) ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังผ่านน้ำและถ่านกัมมันต์ทุกๆ หนึ่งนาที พบว่าค่าความดันที่เหมาะสมเท่ากับ 10 bar อัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 1,000 cm^3/min และค่า pH เท่ากับ 14 ซึ่งเป็นสภาวะที่น้ำและถ่านกัมมันต์สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำสามารถดูดซึมก๊าซชนิดอื่นๆ ได้อีก เช่น ก๊าซออกซิเจน

ศิรณัฐ ปานสังข์ (2557) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพกำจัดแอมโมเนียในอากาศแบบจำลองด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ ทดลองที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียเท่ากับ 300-1,500 ppmv ที่อัตราการไหลของอากาศของอากาศเสีย 0.5-1.5 l/min เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าน้ำซีรั่มมีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1,100 ppmv ได้ดีกว่าน้ำถึง 2 เท่า อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 1.0 l/min สำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศด้วยกระบวนการดูดซึมด้วยน้ำ พบว่าช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการทดลองให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้ 100% และลดลงเหลือ 30% ในเวลา 5 ชั่วโมง

สุภัสสร สกุลจร และสุณีนาท ศรีจอหอ (2554) ได้ทำการศึกษาระบบการบำบัดน้ำเสีย air-stripper ในระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากกระบวนการ

ผลิต polyester พบว่าค่า COD ลดลงจาก 8,500-9,000 mg/l เป็น 3,000-3,500 mg/l หรือคิดเป็นร้อยละ 60

จรัญ บุญกาญจน์ และคณะ (2553)ได้ทำการศึกษาการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียจากปล่องควันของเตาอบยางในอุตสาหกรรมยางแท่ง ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางแท่ง โดยใช้ GC-MS พบว่า มีกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบ จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกโดยการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาดต้นแบบ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติก คือ C_{NaOH}, L, G และ L/G ratio มีค่าเท่ากับ 0.7 mol/l, 4.5 l/min, 0.15 m^3/minและ 30 l/m^3 ตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าเท่ากับ 62% และ 90% ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นคงที่ 0.7 mol/l เป็นสารดูดซึมสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกในหอดูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมของโรงงาน ผลการศึกษาพบว่าการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ใหม่สดเข้าสู่ระบบในอัตรา 1, 2 และ 3 kg/hr สามารถบำบัดกรออะซิติกได้คงที่ที่ 35.5, 75 และ 77% ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำเป็นสารดูดซึมสามารถบำบัดกรดอะซิติกได้เพียง 30%

วราภรณ์ คงสุภาพศิริ และจักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ (2553) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาการบำบัดกลิ่นในถังปฏิกรณ์ระบบเปียก (development of deodorizing techniques in reactor tank of wet scrubber) โดยประเมินประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น ของกรดอะซิติก กรดโพไพโอนิก และกรดบิวทาริก ทำการอัดอากาศเสียเข้าด้านล่างของถังปฏิกรณ์ผ่านชั้นน้ำก่อนออกสู่ภายนอกด้านบน ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการบำบัดแบบมีและไม่มีการพ่นสเปรย์น้ำจากด้านบนภายในถังบำบัด พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 80.19 และ 79.6 แสดงว่าใช้น้ำเพียงอย่างเดียวก็สามารถบำบัดกลิ่นได้ ส่วนการใช้น้ำร่วมกับสารละลายอื่นๆในการบำบัดกลิ่น พบว่าประสิทธิภาพเรียงจากมากไปหาน้อยคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไคโตซาน กรดไฮโดรคลอริก และน้ำ ตามลำดับ จากการเพิ่มระยะเวลากักเก็บอากาศให้สัมผัสกับสารดักจับด้วยการเติมตัวกลาง (media) เป็นลูกพลาสติกทรงกลมลอยน้ำได้มีช่องให้อากาศและน้ำผ่านได้ พบว่า ประสิทธิภาพแบบใช้น้ำมีตัวกลางสูงกว่าแบบใช้น้ำไม่มีตัวกลางร้อยละ 9.51 และเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวในน้ำและใช้งานร่วมกับตัวกลางพบว่ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าแบบใช้น้ำไม่มีตัวกลางร้อยละ 13.41

สุเมธ ไชยประพัทธ์ และเสนีย์ กาญจนวงศ์(2553) ได้ทำการศึกษาระบบ ASBR (anaerobic sequencing batch reactor) พบว่ามีความสามารถในการกำจัดซัลเฟตสูงกว่าระบบ USB เนื่องจากความสามารถในการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์รีดิวซ์ซัลเฟตได้ดีกว่า

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาการใช้สารดูดซึมสำหรับระบบดักจับแบบเปียกให้มีความเหมาะสม โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึมทำการปรับ pH ให้มีค่า 8-10 หรือน้ำที่เติมสาร oxidizing agent เช่น ใช้ sodium hypochlorite หรือ potassium permanganate ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/l จากผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซก่อนเข้าและออกจากระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานยางแท่ง STR20 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดแต่ละประเภทของกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ของระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานมีค่าระหว่าง 19-100%

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาเพื่อจำแนกก๊าซอินทรีย์จากการอบยางแท่ง STR20 พบว่าผลจากการย่อยสลายส่วนที่ไม่ใช่ยาง เกิดเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acids: VFAs) จะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่จำแนกได้ 29 ชนิด และพบก๊าซอินทรีย์เด่นที่พบในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ ได้แก่ กรดอะซิติกกรดบิวทิริกกรดไฮโซวาเลริก กรดเฮกซาเดคานออิกกรดโอเลอิก และเมทิลเอสเตอร์ของกรดโอเลอิก ทำให้อุตสาหกรรมยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ประสบกับปัญญากลิ่นเหม็นส่งผลกระทบบริเวณรอบข้างโรงงานและชุมชนใกล้เคียง

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาการใช้น้ำในส่วนกระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 พบว่ามีการใช้น้ำ 2,525 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่กำลังการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ปริมาณ 40 ตันต่อวัน (Leong et al., 2003) และจากการศึกษาพบว่าน้ำเสียที่บ่อดักตะกอนมีปริมาณของแข็งแขวนลอย เฉลี่ย 1,087 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD_5 2,217 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 62.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และสภาพนำไฟฟ้า 952 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และเมื่อน้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพด้วยการเติมอากาศและระบบบ่อธรรมชาติทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงเหลือเพียง 467 มิลลิกรัมต่อลิตร$BOD_5$54 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย-ไนโตรเจน 31.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และสภาพนำไฟฟ้า 606 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแขวนลอย BOD_5 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และสภาพนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98 57 48.6 และ 36.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียจากบ่อบำบัดสุดท้ายมีเพียงค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่านั้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

Schlegelmilch, et al. (2005) ได้ทำการศึกษาภาพรวมของเทคโนโลยีการบำบัดกลิ่น พบว่ามีเทคโนโลยีมากมายในการบำบัดกลิ่นให้มีประสิทธิภาพก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมีการบำบัดทางกายภาพ เคมี และกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ได้บ่งบอกถึงข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของแต่ละเทคโนโลยี ส่วนการบำบัดกลิ่นในอุตสาหกรรม อาจมีการรวมหลายๆ ส่วนอย่างการใช้สารเคมีร่วมกับทางชีวภาพก็ได้เพื่อประสิทธิภาพที่ยั่งยืนของการบำบัดกลิ่น

Hoven, et al. (2003) ทำการศึกษาการลดลงของกลิ่นที่น่ารังเกียจจากยางธรรมชาติ โดยสารลดกลิ่น เช่น carbonblack, chitosan, benzalkoniumchloride, sodium dodecylsulfate,

cyclodextrin และ zeolite 13x ใช้วิธีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นโดยใช้เครื่อง GC (gas chromate graphy)/mass spectrometer พบว่า chitosan และ zeolite13x สามารถทำให้กลิ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Leung and Tom (1994) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ระบบ SBR เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยระบบดังกล่าวมีช่วงเวลาดำเนินการ ดังนี้ ระยะเวลา fill เท่ากับ 0.5 ชั่วโมงระยะเวลา react เท่ากับ 8 ชั่วโมงระยะเวลา settle เท่ากับ 3.25 ชั่วโมงระยะเวลา decant และระยะเวลา idle เท่ากับ 12 ชั่วโมงพบว่าในช่วงเวลา react เท่ากับ 8 ชั่วโมงเมื่อทำการแบ่งออกเป็นช่วง anaerobic 4 ชั่วโมง aerobic 3 ชั่วโมงและ anoxic 1ชั่วโมงจะพบว่าระบบจะสามารถกำจัดคาร์บอนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปได้พร้อมๆ กันและพบว่าระบบ SBR จะใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่สภาวะสมดุล (equilibrium state) ได้น้อยกว่าระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) แบบไหลต่อเนื่อง

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซและลักษณะน้ำเสียที่ผ่านออกมาจากระบบบำบัดระบบดักจับแบบเปียกที่มีการบำบัดเบื้องต้นของโรงงานยางแท่ง STR20
2. เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซจากการอบยางแท่ง STR20 ที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้ว ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากระบบดักจับแบบเปียกโดยการใช้ระบบตะกอนจุลินทรีย์แบบแขวนลอย ที่มีการเดินระบบแบบ SBR ศึกษาภายใต้จำนวน 2 ช่วงของอัตราการป้อนก๊าซและอัตราการป้อนน้ำเสียในระบบ SBR พร้อมศึกษาถึงกลไกการบำบัดที่เกิดขึ้นในระบบ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถมีแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นที่ออกจากกระบวนการอบยางแท่ง STR20 ได้มากขึ้น พร้อมลดปัญหามลพิษของน้ำเสียจากระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) ที่เกิดขึ้น
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณานำไปสู่การพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบการบำบัดก๊าซที่เกิดกลิ่นจากการอบยางแท่ง STR20 ด้วยระบบ SBR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นเหม็นควบคู่กับการบำบัดน้ำเสียจากระบบ wet scrubber ของโรงงาน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ครอบคลุมประเด็นการวิจัย 2 ประเด็น คือ

1. ศึกษาลักษณะก๊าซที่เกิดจากการอบยางแท่ง STR20 และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซดังกล่าวด้วยระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกที่ใช้บำบัดกลิ่นของโรงงานยางแท่ง STR20 ข้อมูลที่ได้นำไปพิจารณาปรับใช้กับระบบ SBR ในการบำบัดก๊าซที่ออกจากหน่วยบำบัดแรกต่อไป นอกจากนี้ศึกษาลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber รวมทั้งตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบด้วย

2. การทดลองใช้ระบบ SBR เพื่อบำบัดก๊าซที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นของก๊าซจากการอบยางของโรงงานยางแท่ง STR20 ทั้งนี้บำบัดร่วมกับน้ำเสียที่ออกจากหน่วยบำบัดแรก (หน่วยบำบัดเบื้องต้น) ซึ่งทำให้มีการลดอุณหภูมิของก๊าซเสียที่เกิดขึ้นจากการอบยางแท่ง STR20 โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด ทำการทดลองโดยให้อัตราการป้อนน้ำเสียที่ 2 ช่วงค่า (เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน) ทดลองภายใต้อัตราการป้อนก๊าซเสียที่บำบัดในชุดทดลอง SBR (อัตราสูงที่ 13.3 m^3/hr. และอัตราต่ำที่ 6.65 m^3/hr.) โดยมีการป้อนก๊าซเสียนาน 18 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง ต่อวัน (สำหรับการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ) รวมทั้งศึกษากลไกการบำบัดที่เกิดขึ้นในระบบทดลอง SBR ทั้งนี้การศึกษาจะครอบคลุมถึงมลสารของก๊าซเสียที่ใช้บำบัดในรูป VFAs H_2S และ NH_3 ที่ทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น

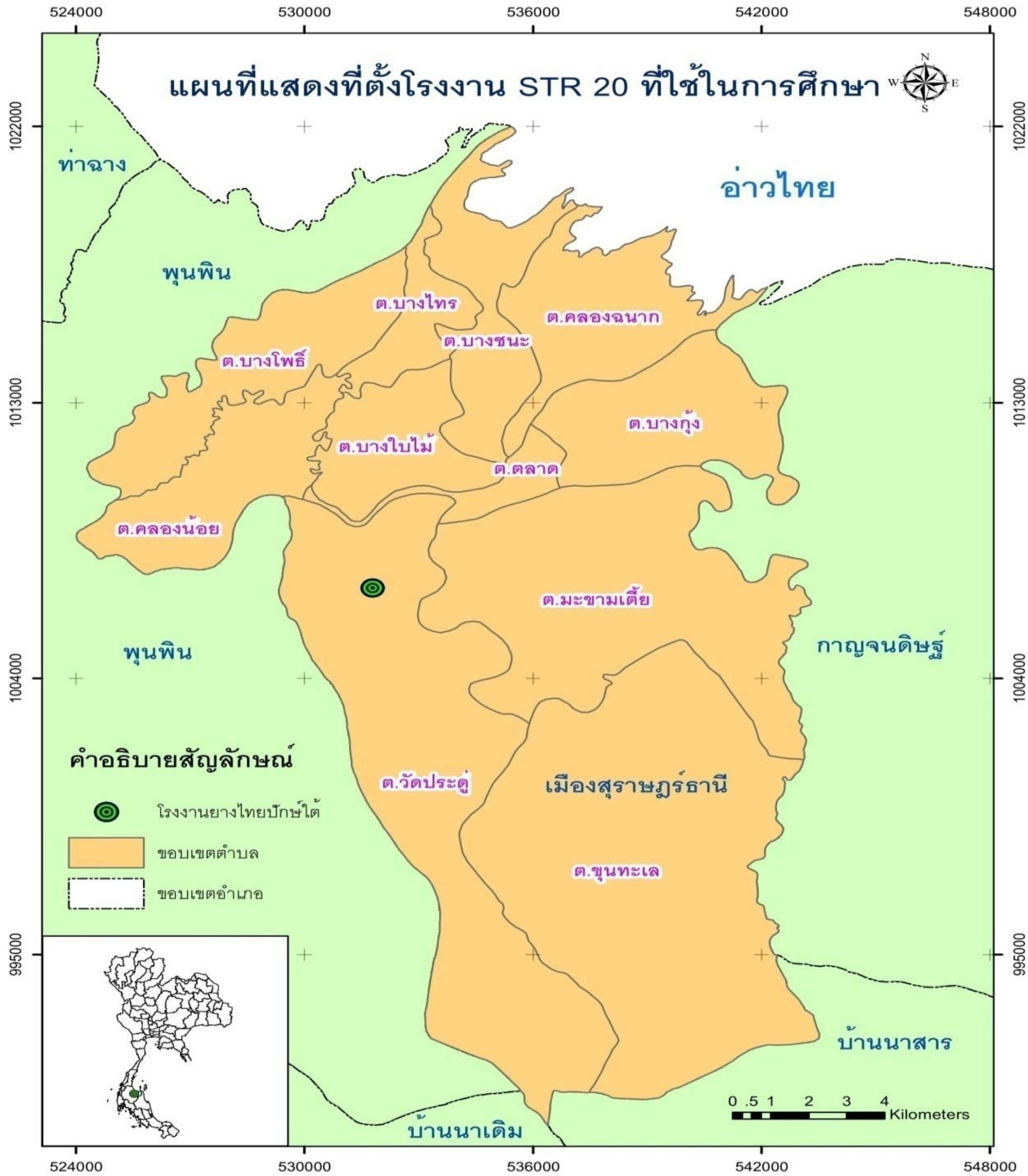
2. วิธีการศึกษา

ลำดับขั้นตอนของการดำเนินการศึกษา ดังนี้

2.1 พิจารณาเลือกและขอความอนุเคราะห์โรงงานเพื่อเข้าทำการศึกษา

พิจารณาเลือกโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่มีการใช้ระบบบำบัดกลิ่นในลักษณะของระบบ wet scrubber และพร้อมให้การสนับสนุนในด้านสถานที่เพื่อทำการเก็บตัวอย่างและทดลอง ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด (สาขาสุราษฎร์ธานี) ตั้งอยู่ที่ ตำบลวัดประดู่ อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดังแสดงใน

ภาพที่ 11 โรงงานมีที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอเมือง พื้นที่รอบข้างที่ตั้งโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 เป็นชุมชนและสถานที่สำคัญทางด้านเศรษฐกิจของจังหวัด ดังนั้น การประกอบกิจการของโรงงานต้องมีความใส่ใจและการดูแลในส่วนที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น หากเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบในวงกว้างและควบคุมได้ยาก และทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน ในช่วงปลายปี 2556 และต้นปี 2557



ภาพที่ 11 ตำแหน่งโรงงานที่ทำการศึกษา

ที่มา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14 จังหวัดสุราษฎร์ธานี, ปี 2559

2.2 ศึกษากระบวนการผลิตและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบการบำบัดกลิ่นเหม็นที่เป็นหน่วยแรกของระบบบำบัดก๊าซของโรงงานยางแท่ง STR20

2.2.1 ศึกษากระบวนการผลิตและลักษณะพื้นฐานของระบบ wet scrubber

ศึกษาการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานดังกล่าว เพื่อให้ทราบข้อมูลตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และระบบบำบัดของเสีย (ระบบบำบัดน้ำเสียและระบบบำบัดกลิ่นของโรงงาน) เพื่อที่จะทำการวางแผนการทดลองต่อไป

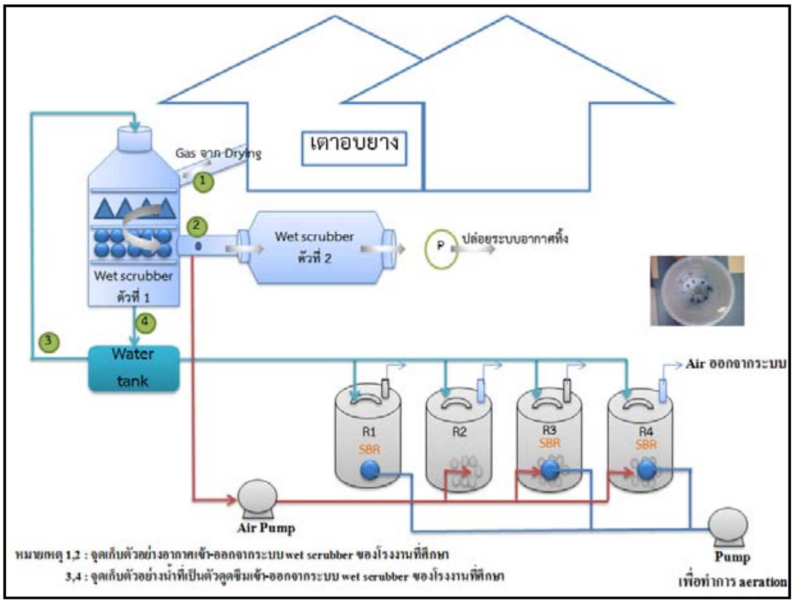
โรงงานที่ศึกษาใช้ระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) แบบ 2 หน่วยที่ต่อเนื่องกัน โดยหน่วยบำบัดแรกเป็น co-current flow และหน่วยบำบัดที่สองเป็น cross flow การศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) ซึ่งเป็นหน่วยบำบัดแรกเท่านั้นซึ่งบริษัทฯ ได้ออกแบบสำหรับใช้บำบัดกลิ่นเบื้องต้น ซึ่งเป็นระบบ packed media wet scrubber โดยได้ทำการศึกษารายละเอียดและการทำงานของระบบ wet scrubber ดังกล่าว ทั้งนี้ศึกษารอบการเดินระบบของระบบ wet scrubber และศึกษาข้อมูลทางวิศวกรรมจากแบบแปลนและทวนสอบขนาดของระบบ wet scrubber ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยศึกษาสังเกตและตรวจวัดในภาคสนาม รวมทั้งศึกษาประเภท ขนาดของปั๊มอากาศและปั๊มน้ำที่นำมาใช้ในระบบ wet scrubber เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าอัตราการไหลของน้ำและอากาศ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิและการตรวจสอบในภาคสนาม และนำข้อมูลเหล่านี้ไปพิจารณาประยุกต์ใช้ในการศึกษาทดลองระบบ SBR ต่อไป เช่น ช่วงระยะเวลาที่เกิดน้ำเสียและอากาศเสียที่สามารถนำไปใช้ทดลองได้ต่อไป

สำหรับการศึกษาตรวจสอบการทำงานของระบบ wet scrubber ดังกล่าว (หน่วยบำบัดที่ 1) ได้ทำการศึกษา ดังนี้

2.2.2 ศึกษาน้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึม

ศึกษาลักษณะและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการดูดซึมของระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรก พร้อมทั้งศึกษาค่าอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในระบบ โดยใช้การประเมินจากหน่วยปริมาตรของน้ำต่อหน่วยเวลาที่จุดน้ำขาออกจากถังระบบ wet scrubber (แสดงดังภาพที่ 12) แล้วนำตัวอย่างน้ำดังกล่าวมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ต่อเนื่องนาน 7 สัปดาห์ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในระหว่างเดินระบบในช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 16.00 น. ของแต่ละวันที่ศึกษา ตัวอย่างน้ำที่ได้นำไปวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำ 19 พารามิเตอร์ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 12 โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) และสำหรับค่า VFAs ของ C_2-C_5 วิเคราะห์โดยการสกัดด้วย ethyl acetate ตามวิธีที่ระบุใน Danteravanich, et al. (2007) และทำการส่งตัวอย่างที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas

Chromatography (GC) ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่



ภาพที่ 12 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศของระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา และลักษณะการต่อเชื่อมของการใช้ก๊าซและน้ำเสียเพื่อใช้ทดลองบำบัดในระบบ SBR

ตารางที่ 12 พารามิเตอร์ที่ศึกษาในตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึมของระบบ wet scrubber (หน่วยบำบัดที่ 1) ของโรงงานทั้งก่อนและหลังการบำบัด

พารามิเตอร์	ความถี่		จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ศึกษา	
	ก่อนเข้าระบบ (Inf.)	ออกจากระบบ (Eff.)	ก่อนเข้าระบบ (Inf.)	ออกจากระบบ (Eff.)
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
อุณหภูมิ (Temp.)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่าซีโอดีละลาย (SCOD)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่าปริมาณสารแขวนลอย (SS)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่าทีเคเอ็น (TKN)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่า NH_3 - N	1-2 ครั้ง/สัปดาห์	1-2 ครั้ง/สัปดาห์	9	9
ค่าอินทรีย์-ไนโตรเจน (Org-N)	1-2 ครั้ง/สัปดาห์	1-2 ครั้ง/สัปดาห์	9	9
ค่าฟอสฟอรัส (TP)	2-3 ครั้ง/สัปดาห์	2-3 ครั้ง/สัปดาห์	16	16

ตารางที่ 12 พารามิเตอร์ที่ศึกษาในตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึมของระบบ wet scrubber (หน่วยบำบัดที่ 1) ของโรงงานทั้งก่อนและหลังการบำบัด (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความถี่		จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ศึกษา	
	ก่อนเข้าระบบ (Inf.)	ออกจากระบบ (Eff.)	ก่อนเข้าระบบ (Inf.)	ออกจากระบบ (Eff.)
ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-})	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่ากรดไขมันระเหย (VFAs)	3 ครั้ง/สัปดาห์	3 ครั้ง/สัปดาห์	21	21
ค่าซัลไฟด์ (S^{2-})	1-3 ครั้ง/สัปดาห์	1-3 ครั้ง/สัปดาห์	14	14
ค่า H_2S	1-3 ครั้ง/สัปดาห์	1-3 ครั้ง/สัปดาห์	14	14
acetic acid, propionic acid, butyric acid, iso butyric acid, valeric acid, isovaleric acid	1 ครั้ง/สัปดาห์	1 ครั้ง/สัปดาห์	7	7

หมายเหตุ ทุกพารามิเตอร์ที่ศึกษาเป็นไปตามวิเคราะห์ของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) ยกเว้นการศึกษา acetic acid, propionic acid, butyric acid, iso butyric acid, valeric acid, isovaleric acid ใช้วิธีตามที่ระบุใน Danteravanich, et al. (2007)

2.2.3 ศึกษาตะกอนที่เกิดขึ้นที่ตัวกลาง (media) ภายในถังระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรก

ด้วยในระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) ของโรงงานยางแท่ง STR20 พบว่าเมื่อมีการใช้งานผ่านไปจะมีตะกอนเกิดขึ้นที่ผิวตัวกลาง ดังรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้ศึกษาลักษณะตะกอนและปริมาณตะกอนดังกล่าวที่เกิดขึ้น ในระบบ wet scrubber โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างตะกอนที่ติดอยู่กับตัวกลางของ media ในถังระบบ wet scrubber สัปดาห์ละ 1 ครั้ง นาน 7 สัปดาห์ การเก็บตัวอย่างตะกอนทำการเก็บในช่วงที่ทางโรงงานมีการหยุดเดินระบบ wet scrubber และเปิดระบบฯ เพื่อทำการล้าง media (ดังภาพที่ 13) ทำการเก็บ media ครั้งละ 20-25 ลูก โดยเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม แล้วนำ media มาทำการชะล้างตะกอนออกด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่ชะได้ไปทำการศึกษาถึงปริมาณตะกอนและลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของตะกอนที่เกาะติดกับวัสดุตัวกลาง (media) ที่เกิดขึ้นในระบบ wet scrubber ของโรงงาน ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำตะกอน ดังนี้ TS TVS TDS TDVS โดยใช้วิธีวิเคราะห์ตาม AOAC (2000) และ Standard Methods for the Examination of Water and

Waste water (APHA, AWWA, and WEF, 2005) นอกจากนี้นำตัวอย่างตะกอนที่ยังไม่ได้ถูกชะด้วยน้ำกลั่นมาหาค่าความชื้น (MC: moisture content) และค่าอินทรียวัตถุ (OM: organics matter) ข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาค่า mass ของสารของแข็งที่สะสมในระบบ wet scrubber

ภาพที่ 13 ลักษณะmedia ที่มีตะกอนเกิดขึ้นภายในถังระบบ wet scrubber ที่ใช้ในการศึกษา

2.2.4 ศึกษาลักษณะของก๊าซที่เข้าและออกจาก wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรก และประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซที่เกิดกลิ่นเหม็นจำพวกกรดไขมันระเหย (VFAs) H_2S และ NH_3

ในขณะที่ทำการศึกษาลักษณะของน้ำที่ใช้ดูดซึมและลักษณะตะกอนในระบบ wet scrubber ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่เข้าและออกจากระบบ wet scrubber ซึ่งเป็นระบบการบำบัดก๊าซเบื้องต้น (ดังแสดงจุดเก็บตัวอย่างอากาศในภาพที่ 12) เพื่อศึกษาค่า ดังนี้ อุณหภูมิ ก๊าซอินทรีย์ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, butyric acid, isobutyric acid, valeric acid และ isovaleric acid รวมถึง H_2S และ NH_3 (หมายเหตุ NH_3 ศึกษาเฉพาะในตัวอย่างก๊าซที่ออกจากระบบ wet scrubber เนื่องจากข้อจำกัดของการศึกษาช่วงแรกในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาจึงไม่สามารถเก็บตัวอย่าง

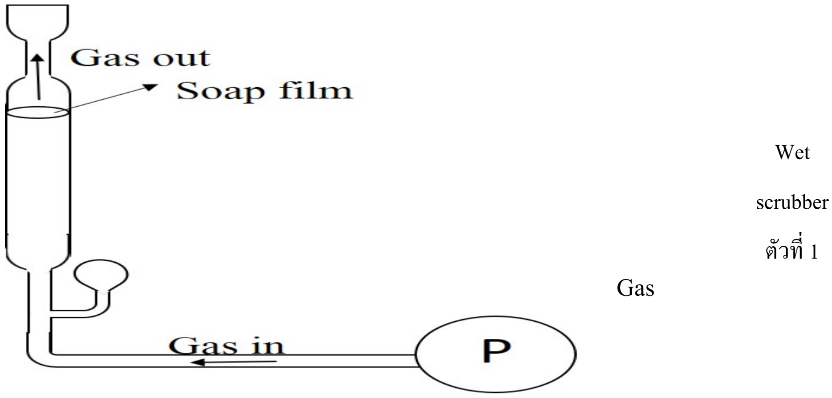
ก่อนเข้าระบบ wet scrubber ได้) การเก็บตัวอย่างก๊าซทำการเก็บโดยใช้ปั๊มสำหรับดูดอากาศ ซึ่งมีการ calibrate ค่าอัตราการไหลของก๊าซที่เก็บด้วยวิธี soap film techniques ก่อน (ดังภาพที่ 14) ซึ่งปั๊มมีอัตราการไหลในช่วง 0.5-2 ลิตร/นาที สำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อศึกษาถึงปริมาณความเข้มข้นของกลุ่มก๊าซอินทรีย์ VFAs ในกลุ่ม C_2-C_5, H_2S และ NH_3 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ ดังนี้

1. กลุ่มก๊าซอินทรีย์ VFAs ในกลุ่ม C_2-C_5 ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้ activated carbon เพื่อการดูดซับเป็นเวลานาน 20 นาที และทำการสกัดโดยใช้ ethyl acetate เป็นสารทำละลาย จากนั้นทำการลดปริมาตร แล้วส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยเป็นวิธีตามที่ระบุใน Danteravanich, et al. (2007)

2. ก๊าซ H_2S ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้สารดูดซึม คือ cadmium sulfide โดยปั๊มตัวอย่างอากาศที่ทำการศึกษาลงในสาร cadmium sulfide เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ค่า H_2S ด้วยวิธีการไตรเตรชันตามวิธีการวิเคราะห์ของ Cadmium Sulfide Method ของ Jacobs (1960)

3. ก๊าซ NH_3 ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้สารดูดซึม คือ H_2SO_4 โดยปั๊มตัวอย่างอากาศที่ทำการศึกษาลงในสาร H_2SO_4 เป็นเวลา 45 นาที แล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ NH_3 ตามวิธีการวิเคราะห์ของ Perry, and Young (1977)

ทั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง นาน 7 สัปดาห์และในขณะที่เก็บตัวอย่างก๊าซ จะทำการวัดอุณหภูมิของอากาศ (ก๊าซ) ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของกลุ่มก๊าซ VFAs ทั้ง 6 ชนิด H_2S และ NH_3 ในเทอมของ ppmv ผลการศึกษาที่ได้ทั้งหมด นำไปหาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซที่เกิดจากการอบยางแท่ง STR20 และใช้ข้อมูลของค่าความเข้มข้นของ gas ที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ออกจากระบบ wet scrubber ที่ศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทดลองการบำบัดด้วยระบบ SBR ต่อไป



ภาพที่ 14 ลักษณะการใช้ soap film techniques ในการ calibrate ค่าอัตราการไหลของก๊าซของปั๊มที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศ

2.3 การทดลองเพื่อบำบัดVFAs, H_2S และ NH_3 ด้วยระบบ SBR ของก๊าซที่ผ่านระบบ wet scrubber เบื้องต้น ซึ่งเป็น pre-treatment ของโรงงานยางแท่ง STR20

การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมาย เพื่อทดลองใช้ระบบ SBR ในการบำบัดก๊าซจากการอบยางของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ผ่านระบบการบำบัดกลิ่นเบื้องต้นแล้ว ซึ่งพบว่าสามารถลดอุณหภูมิของก๊าซได้ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1) ตัวอย่างก๊าซเสีย ใช้ก๊าซที่ออกจากกระบวนการผลิตของโรงงานยางแท่ง STR20 ซึ่งผ่านการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber หน่วยที่ 1 แล้ว (บำบัดเบื้องต้น) แล้วทำการป้อนก๊าซดังกล่าวเข้าสู่ชุดทดลองของระบบ SBR ที่ใช้ทำการศึกษา เพื่อบำบัดก๊าซกลุ่มกรดไขมันระเหย (VFAs) ทั้ง 6 ชนิด, H_2S และ NH_3 ที่คงเหลือจากการบำบัดเบื้องต้นจากระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกต่อไป

2) ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ศึกษา นำน้ำเสียที่เป็นน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber (หน่วยบำบัดที่ 1) ของโรงงานยางแท่ง STR20 มาใช้ศึกษาในระบบ SBR ซึ่งภาพที่ 15 แสดงถึงจุดเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวเพื่อใช้ในการป้อนเข้าระบบทดลอง นอกจากนี้ยังใช้น้ำเสียดังกล่าว ในการ start up ระบบ SBR ด้วย

berหน่วยบำบัดแรก

จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในกา

ภาพที่ 15 จุดเก็บน้ำเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber หน่วยบำบัดแรก

3) หัวเชื้อ ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (ในช่วงตกตะกอน) จากบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ทำการศึกษา (ดังภาพที่ 16)

ภาพที่ 16 ระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ได้มีการนำตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมาใช้ในการทดลอง

2.3.2 อุปกรณ์การวิจัย ได้แก่

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างอากาศ รวมทั้งอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ รวมถึงอุปกรณ์สำหรับใช้ในชุดทดลองระบบ SBR โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1) อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ประกอบด้วย

- ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ
- ขวด/หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ
- ชุดปั๊มเก็บอากาศและ calibrate flow ของตัวอย่างอากาศ
- นาฬิกาจับเวลา

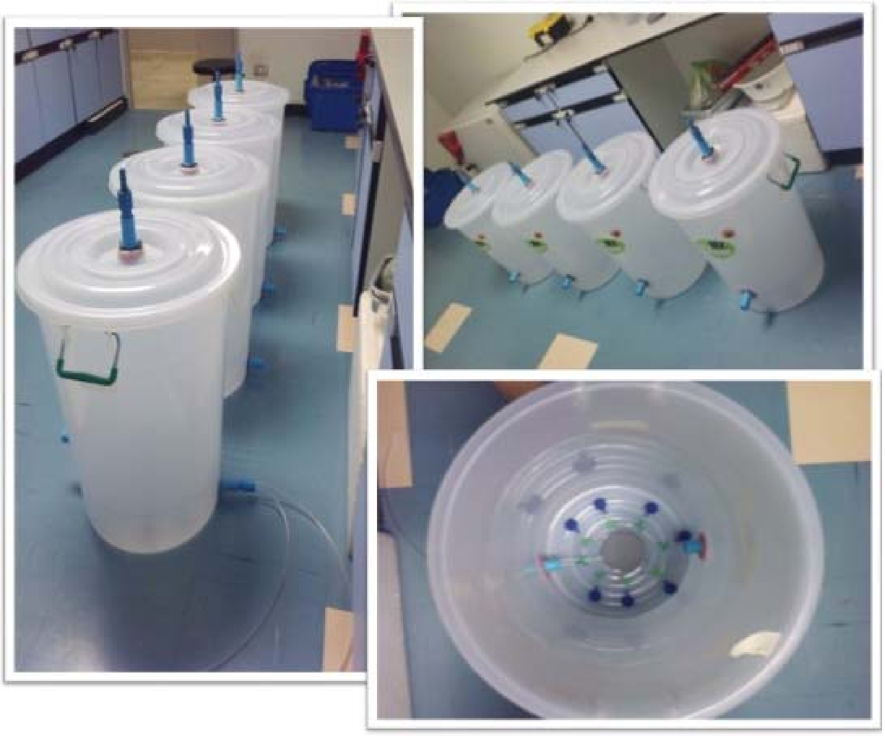
2) อุปกรณ์วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ ประกอบด้วย

- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ EUTECH INSTRUMENT รุ่น Cyber Scan pH 1500
- เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า conductivity ยี่ห้อ Mettler
- เครื่องวัด DO
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer)
- เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE612-L
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น TB-214
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น U-2900
- ตู้เย็น (refrigerator) ยี่ห้อ MIRAGE รุ่น BC-330(F)
- เตาเผา (furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น Control 301
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ BINDER รุ่น FD 115
- เตาไฟฟ้าพร้อมชุดกวน (hot plate and stirrer) ยี่ห้อ Heidolph รุ่น MR Hei-Standard
- ชุดการกลั่น NH_3 และชุดย่อย TKN ยี่ห้อ Ger Hard
- ชุดระเหย Rotation evaporator ยี่ห้อ Heidroph รุ่น Laboratory 4010 digital
- ชุดกรอง (suction pump)
- ชุดการย่อย COD
- ชุดการกลั่น VFAs

- evaporating dish
- ชุดอุปกรณ์สำหรับไตเตรท
- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เช่นชุดเครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต และของแข็ง ฯลฯ

3) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดทดลองของระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด (R2)

ก. ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ถังพลาสติกสีขาว จำนวน 4 ถัง มีปริมาตรความจุถังละ 76 ลิตร (แต่ใช้ effective volume ในการทดลองเท่ากับ 45 ลิตร) มีการติดตั้งหัวทรายที่ใช้ในการป้อนก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจาก wet scrubber ตัวที่ 1 เข้าสู่ชุดทดลองของถังที่ 2 3 และ 4 จำนวนถังละ 7 หัว และหัวทรายขนาดใหญ่ใช้ในการป้อนอากาศ (aeration) ในถังที่ 1 3 และ 4 โดยติดตั้งอยู่ด้านล่างของถัง ส่วนด้านบนเป็นฝาปิดมีการเจาะท่อระบายอากาศออกจากถัง ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ลักษณะภายในถังปฏิกิริยาที่ใช้ทดลองของระบบ SBR ที่ศึกษา

ข. ปั๊ม ที่ใช้สำหรับป้อนก๊าซเสีย และป้อนอากาศ (aeration) เข้าระบบทดลอง SBR โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) ปั๊มลมเพื่อใช้สำหรับป้อนอากาศ (aeration) เข้าชุดทดลองถังที่ R1, R3 และ R4 เป็นปั๊มที่มีแรงดันลม 0.027 Mpa มีความสามารถในการป้อนอากาศได้ 35 ลิตร/นาที

(2) ปั๊มใช้สำหรับในการดูดก๊าซเสียจากท่อก๊าซที่ระบายออกจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ของโรงงานที่เป็นco-current flow wet scrubber แล้วทำการป้อนก๊าซเสียเข้าชุดทดลองถังที่ R2, R3 และR4 ปั๊มดังกล่าวใช้ไฟฟ้า 3 เฟส มีความสามารถดูดอากาศได้สูงสุด 50 m^3/hr ในการศึกษาได้ทำการแบ่งปรับเส้นท่ออากาศจากปั๊มเพื่อให้มีอัตราการดูดก๊าซเสียที่ป้อนเข้าสู่แต่ละถังที่อัตราการไหลของก๊าซเสียเท่ากับ 13.3 m^3/hr และ 6.65 m^3/hr (ตามเงื่อนไขการทดลอง) รวมทั้งทำการตรวจวัดอัตราการไหลของก๊าซในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้วิธีการ soap film techniques ดังกล่าวไว้แล้วในข้างต้น ลักษณะของปั๊มทั้ง 2 ชนิด แสดงดังภาพที่ 18

ภาพที่ 18 (1) ปั๊มสำหรับให้อากาศ (aeration) และ (2) ปั๊มสำหรับปั๊มอากาศเสียเพื่อป้อนเข้าในชุดทดลองSBR (R3 และ R4) และชุด R2

2.3.3 การ start up ระบบ SBR และเงื่อนไขการทดลอง

1) start up ระบบ SBR ทำการทดลองโดยเติมหัวเชื้อที่นำมาจากบ่อเติมอากาศของโรงงานยางแท่ง STR20 ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนในขณะก่อนทำการ fill น้ำใหม่ โดยใช้ปริมาตร 2 ลิตรต่อถัง จากนั้นใช้น้ำเสียที่ออกจากจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ป้อนให้กับระบบที่ทำการ start up ซึ่งได้แก่ ถังที่ R1 R3

และ R4 โดยแต่ละถังการทดลองมีปริมาตรเท่ากับ 45 ลิตร และมีการเติมอากาศ (aeration) ที่อัตรา 35 ลิตร/นาที เป็นเวลา 22 ชั่วโมง และหยุด aeration 2 ชั่วโมง โดยขณะที่หยุดทำการ aeration จะใช้เวลาตกตะกอน 1 ชั่วโมง และทำการถ่ายน้ำทิ้งหลังตกตะกอนออกประมาณ 40% ของปริมาตรทั้งหมด ใช้เวลา 30 นาที และอีก 30 นาที ทำการเติมตัวอย่างน้ำใหม่ ซึ่งโดยแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียที่ใช้ทดลองทุกวัน วันละ 1 ครั้ง โดยไม่มีการระบายตะกอนออก หรือทำการควบคุมค่า SRT(sludge retention time) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในระบบ SBR ก่อนการหยุดเติมอากาศ (aeration) แล้วนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ DO, temperature, pH และ mixed liquor suspended solids (MLSS) และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากระบบ SBR (ช่วงถ่ายน้ำทิ้ง) ทำการวิเคราะห์หาค่า soluble chemical oxygen demand (SCOD), SS, pH, conductivity และ temperature โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005) และเมื่อทดลองจนกระทั่งค่า MLSS และค่าประสิทธิภาพการบำบัด SCOD ค่อนข้างคงที่ ก็จะทำการทดลองในระบบ SBR(R1, R3 และ R4) และชุด R2 ต่อไป

อนึ่งสำหรับถังการทดลองที่ R2 จะใช้เป็นชุดทดลองเพื่อศึกษาถึงการดูดซึมของก๊าซจึงไม่ได้ทำการ start up ระบบเป็น SBR เหมือนกับชุด R1, R3 และR4 (ป้อนเฉพาะก๊าซเสียจาก wet scrubber)

2) เงื่อนไขและรายละเอียดการทดลองเพื่อใช้ระบบ SBR ในการบำบัดก๊าซเสีย

(2.1) ชุดการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด

ถังทดลองที่ใช้ศึกษามีจำนวน 4 ถังทดลอง โดยมีรายละเอียดของเป้าหมายแต่ละถังการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 19 ประกอบด้วย เงื่อนไขการทดลอง 2 เงื่อนไข ใหญ่ ๆ ดังนี้

(1) ทดลองที่อัตราการป้อนน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และ 2 ครั้ง/วันของระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด (R2) รายละเอียด ดังนี้

1.1 เงื่อนไขการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน มีรอบการเดินระบบของ SBR มีดังนี้ ช่วงเวลา 16.00-18.00 น.ของแต่ละวัน (เป็นช่วงที่โรงงานหยุดเดินระบบการผลิต) หยุดให้อากาศ (aeration) และก๊าซเสียแก่ระบบเพื่อทำการตกตะกอน 1 ชั่วโมง ถ่ายน้ำใสส่วนบนทิ้ง 30 นาที และเติมน้ำเสียใหม่ 30 นาที จากนั้นเปิดเครื่องให้อากาศ (aeration) และให้อากาศตลอดจนถึง 16.00 น. ในวันถัดไป จึงหยุดเติมอากาศ ส่วนก๊าซเสียจะเริ่มป้อนเข้าระบบในเวลา 22.00 น. จนถึง 16.00 น. ในวันถัดไป (เป็นไปตามเวลาการทำงานของโรงงาน) ดังนั้น ระบบจะได้ก๊าซเสียเข้าระบบวันละ 18 ชม. และมีอากาศเข้าระบบวันละ 22 ชม.

1.2 เงื่อนไขการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีรอบการเดินระบบ 2 รอบต่อวัน ดังนี้ รอบที่ 1 เริ่มเวลา 08.00 น.หลังเติมน้ำเสียให้ระบบ เปิดเครื่องให้อากาศ (aeration) และป้อนอากาศเสียเข้าระบบ ให้อากาศและก๊าซเสียจนถึง 16.00 น. หยุดให้อากาศ และก๊าซเสีย ช่วงเวลา16.00-18.00 น. เพื่อทำการตกตะกอน 1 ชั่วโมง ถ่ายน้ำใสส่วนบนทิ้ง 30 นาที และเติมน้ำเสียใหม่ 30 นาที รอบที่ 2 เริ่มเวลา 18.00 น. หลังเติมน้ำเสียให้ระบบ เปิดเครื่องให้อากาศ (aeration) ส่วนก๊าซเสียจะเริ่มป้อนเข้าระบบในเวลา 22.00 น. (ด้วยโรงงานหยุดเดินระบบการผลิตช่วง 16.00-22.00 น.) ป้อนอากาศเสียเข้าระบบ และให้อากาศในรอบที่สองจนถึงเวลา 06.00 น. ในวันถัดไปหยุดเครื่องเติมอากาศและหยุดให้ก๊าซเสีย โดยช่วง 06.00-08.00 น. หลังหยุดให้อากาศและก๊าซเสียระบบมีการตกตะกอน 1 ชั่วโมง ถ่ายน้ำใสส่วนบนทิ้ง 30 นาที และเติมน้ำใหม่ 30 นาที ดังนั้นในรอบแรกและรอบที่สอง แต่ละรอบมีระยะเวลาการให้อากาศนาน 8 ชม. และ12 ชม. ตามลำดับ รวมเวลาการเติมอากาศให้กับระบบในเงื่อนไขการทดลองนี้เท่ากับ 20 ชม. ต่อวัน และมีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบเท่ากับ 16 ชม. ต่อวัน โดยแต่ละรอบมีการเติมก๊าซเสีย 8 ชม.

(2) ทดลองที่อัตราการป้อนก๊าซเสียที่ระดับสูงและต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 13

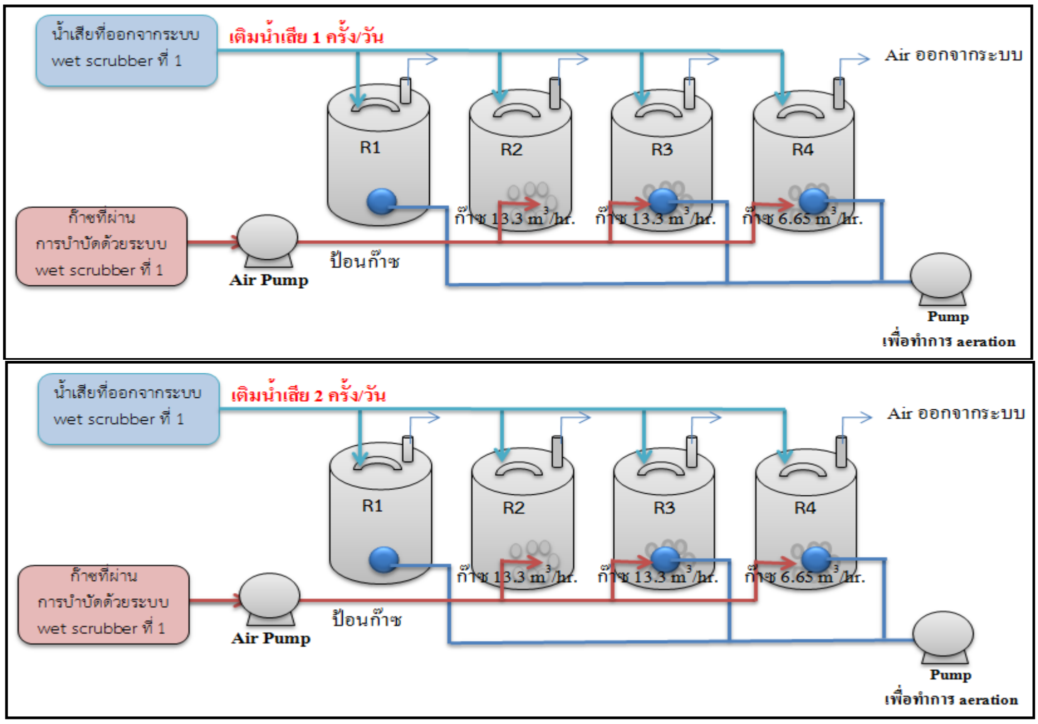
ในการทดลองได้ทำการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบทดลองตามการเดินระบบของโรงงานที่ทำการศึกษา (22.00-16.00 น.) และหยุดเดินระบบในช่วงเวลา 16.00-22.00 น. ของทุกวัน และหยุดทุกวันอาทิตย์ ซึ่งโรงงาน หยุดการทำงาน ดังนั้นระบบ SBR ที่ศึกษาทำการเดินระบบ โดยป้อนก๊าซเสียตามเวลาการทำงานของโรงงาน สำหรับการป้อนอากาศ (aeration) ในถังที่ R1, R3 และ R4 จะทำการป้อนตลอดเวลายกเว้นในช่วงที่มีการถ่ายน้ำทิ้งและเติมน้ำใหม่เท่านั้น

ตารางที่ 13 เงื่อนไขการทดลองของระบบ SBR ที่ทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดก๊าซเสียจากโรงงานยางแท่ง STR20 ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน

ถังปฏิกิริยา	รายละเอียดการทดลอง	เป้าหมายการศึกษา
R1	- ทดลองเมื่อระบบคงที่หลัง start up ระบบ - ใช้หัวเชื้อจากที่มีการ start up ระบบแล้ว - มีการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 - ไม่เติมก๊าซเสีย - มีการเติมอากาศเท่านั้น (aeration)	ใช้เป็นชุดควบคุม:เพื่อศึกษาความสามารถของการย่อยสลายน้ำเสียจากระบบ wet scrubber ที่เป็นการบำบัดเบื้องต้น

ตารางที่ 13 เงื่อนไขการทดลองของระบบ SBR ที่ทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดก๊าซเสียจากโรงงานยางแท่ง STR20 ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน (ต่อ)

ถังปฏิกิริยา	รายละเอียดการทดลอง	เป้าหมายการศึกษา
R2	- มีการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 - ไม่มีการใช้หัวเชื้อ - ป้อนเฉพาะก๊าซเสียจากระบบwet scrubberตัวที่ 1 - ไม่มีการเติมอากาศ (aeration)	ใช้เป็นชุดควบคุม: เพื่อศึกษาความสามารถของการดูดซึมก๊าซเสียของน้ำเสียที่ได้จากระบบ wet scrubber
R3	- ใช้หัวเชื้อจากที่มีการ start up ระบบแล้ว - มีการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 - ป้อนก๊าซเสียหลังการบำบัดจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 - มีการเติมอากาศ (aeration) -ทดลองที่อัตราการป้อนก๊าซเท่ากับ 13.3 m^3/hr นาน 18 hr. และ 16 hr. (ของการทดลองเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน)	ชุดทดลอง: เพื่อบำบัดทางชีวภาพก๊าซเสียที่มีการป้อนเข้าสู่ระบบในอัตราสูง ร่วมกับการดูดซึม
R4	- ใช้หัวเชื้อหลังที่มีการ start up ระบบแล้ว - มีการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 - ป้อนก๊าซเสียหลังการบำบัดจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 - มีการเติมอากาศ (aeration) - ทดลองที่อัตราการป้อนก๊าซเท่ากับ 6.65 m^3/hr นาน 18 hr. และ 16 hr. (ของการทดลองเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน)	ชุดทดลอง: เพื่อบำบัดทางชีวภาพก๊าซเสียที่มีการป้อนเข้าสู่ระบบในอัตราต่ำ ร่วมกับการดูดซึม



ภาพที่ 19 เงื่อนไขการทดลองในระบบ SBR

สำหรับชุด (R2) ซึ่งใช้ศึกษาความสามารถของการดูดซึมของก๊าซที่บำบัดจะทำการศึกษาแบบ batch ต่อเนื่องกัน 6 วัน ตามการทำงานของโรงงาน และในแต่ละวันจะมีการถ่ายทิ้งและเติมน้ำใหม่เหมือนกับระบบ SBR (R1, R3 และ R4) เพื่อศึกษาดูสภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะการติดตั้งชุดทดลองของระบบ SBR แสดงดังภาพที่ 20 ในการศึกษาทดลองใช้เวลาศึกษาแต่ละเงื่อนไขการทดลองนานประมาณ 1 เดือน

ภาพที่ 20 ลักษณะชุดทดลองของระบบ SBR ที่ใช้ในการศึกษา

(2.2) การศึกษา batch test

สำหรับหน่วยบำบัดที่เป็นชุด R2 ซึ่งใช้ศึกษาความสามารถการดูดซึมของก๊าซที่บำบัด จะมีการติดตามดูค่าการเปลี่ยนแปลงในระยะที่เกิดขึ้นในช่วง 23 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างทุก 0, 1, 2, 4, 8 และ 23 ชั่วโมง เพื่อดูค่ามวลสารต่าง ๆ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระบบด้วย โดยเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ temperature, SS, SCOD และ VFAs

2.3.4 การศึกษาลักษณะน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ (ในรูป MLSS) ในระบบ SBR ที่ศึกษา

ศึกษาการบำบัดก๊าซเสียจากโรงงานยางแท่ง STR20 ด้วยระบบ SBR จะแยกทำการศึกษาตัวอย่างน้ำ ตะกอนจุลินทรีย์และอากาศในชุดทดลองที่ศึกษา โดยมีการศึกษาตัวอย่างน้ำและตะกอนในระบบ SBR ดังนี้

เมื่อระบบ start up มีความเสถียรในการบำบัดแล้ว จึงเริ่มทำการทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่ได้ระบุในตารางที่ 13 โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เป็น mixed liquor ในระบบบำบัดที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบ (น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1) และน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลองระบบ SBR และชุด R2 ความถี่ของการเก็บตัวอย่างน้ำแสดงดังตารางที่ 14 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางด้านกายภาพ และทางด้านเคมี ซึ่งการศึกษาของแต่ละเงื่อนไขการทดลองใช้เวลานานประมาณ 1 เดือน

ตารางที่ 14 ความถี่ของการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้ศึกษาในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองแต่ละเงื่อนไข

พารามิเตอร์	ความถี่	จุดเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์*
ค่า MLSS	ทุก 2-3 วัน/ครั้ง	Mixed liquid ในระบบ SBR	Total suspended solid dried at 103-105 ^{o}C
ค่า MLVSS	1 ครั้ง/สัปดาห์	Mixed liquid ในระบบ SBR	Total volatile suspended solid dried at 550 ^{o}C
ค่าเอสซีโอดี (SCOD)	ทุก 1-3 วัน/ครั้ง	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Close reflux titration method
ค่าทีเคเอ็น (TKN)	1 ครั้ง/สัปดาห์	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Kjeldahl method
ค่า pH	ทุกวัน	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR และ Mixed liquid ในระบบ SBR	Electrometric method
ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-})	ทุก 1-3 วัน/ครั้ง	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Turbidimetric method
ค่าอุณหภูมิ	ทุกวัน	Mixed liquid ในระบบ SBR	Electrometric method
ค่า DO	ทุกวัน	Mixed liquid ในระบบ SBR	Electrometric method
Conductivity	ทุกวัน	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR และ Mixed liquid ในระบบ SBR	Electrometric method
ค่า SS	ทุก 2-3 วัน/ครั้ง	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Total suspended solid dried at 103-105 ^{o}C
ค่า NH_3-N	2 ครั้ง/สัปดาห์	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Distillation method
ค่า SV60	1 ครั้ง/สัปดาห์	Mixed liquid ในระบบ SBR	ปริมาตรตะกอนที่ 60 นาที
ค่า H_2S	2 ครั้ง/สัปดาห์	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Calculation of Un-ionized H_2S
ค่า Dissolved sulfides และ Total sulfide	2 ครั้ง/สัปดาห์	น้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วย SBR	Iodometric method
ค่ากรดไขมันระเหย (VFAs)	ทุก 1-3 วัน/ครั้ง	น้ำเสียก่อนเข้าและออกจากระบบ	Distillation

หมายเหตุ : *เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, and WEF, 2005)

2.3.5 การศึกษาตัวอย่างก๊าซที่บำบัดในชุดทดลอง SBR (R1, R3 และR4) และชุด R2

ในขณะทำการทดลองของแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษาทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียทั้งก่อนเข้าชุดทดลองและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และR4) และชุด R2 จากทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ 2-3 ครั้ง/เงื่อนไขการทดลอง เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของก๊าซแล้วนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของการบำบัดก๊าซกรดไขมันระเหยง่าย (acetic acid, propionic acid, butyric acid, iso butyric acid, valeric acid, isovaleric acid), H_2S และ NH_3 วิธีการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซในการทดลองนี้ทำเช่นเดียวกับการศึกษาตัวอย่างก๊าซข้างต้นที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.4

2.4 การวิเคราะห์และแปลผล

ข้อมูลที่ศึกษาได้ นำมาแสดงผลการศึกษาในรูปตาราง กราฟ คำนวณหา % removal เพื่อศึกษาผลของการดูดซึมและปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพของระบบ SBR ที่ศึกษาทั้งนี้เพื่ออธิบายกลไกและระบุความสามารถของเทคโนโลยีที่ใช้ศึกษาต่อไป

บทที่ 3

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

1. ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานที่ศึกษา

1.1 ข้อมูลพื้นฐานของการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา

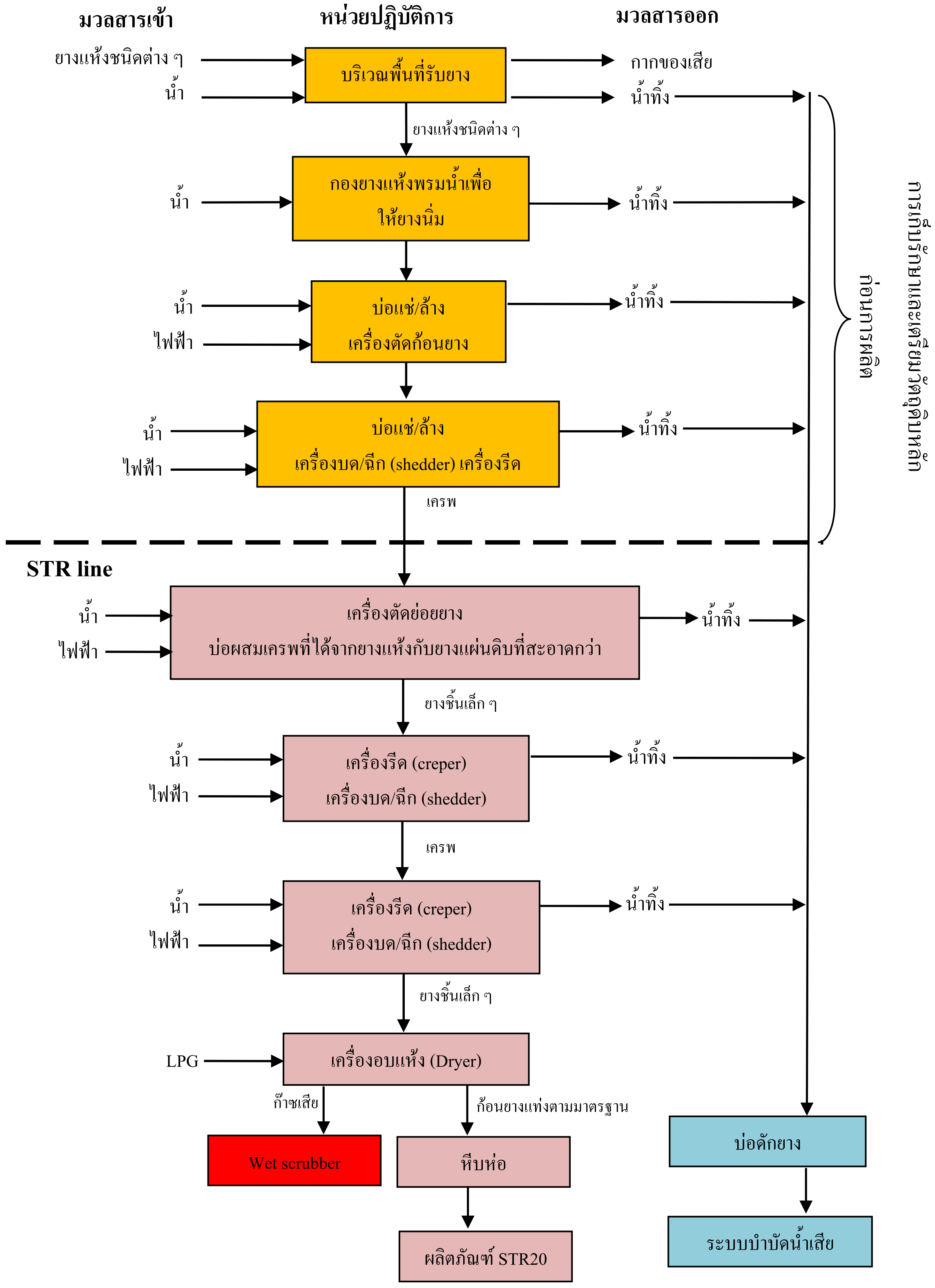
โรงงานที่ศึกษาเป็นโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 เป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปเศษยาง/ยางก้อนถ้วย ยางแผ่น มาเป็นผลิตภัณฑ์ยางแท่ง ซึ่งยางแท่งเป็นยางที่มีคุณภาพต่ำกว่ายางแผ่นรมควัน ต้องผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ ยางแท่งเกรด STR20 เป็นเกรดที่มีสิ่งเจือปนสูงและมีสีเข้มสำหรับกระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหลัก ๆ มี 3 ชนิด คือ ยางก้อนถ้วย ยางแผ่น และยางเครฟ ซึ่งสัดส่วนการผสมของยางก้อนถ้วย ยางแผ่น และยางเครฟ ในการผลิตยางแท่ง STR20 พบว่า ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า เพื่อให้ได้ตามคุณสมบัติและมาตรฐานการผลิตยางแท่ง STR20 ที่ควบคุมในระหว่างการผลิต ปริมาณของสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา แสดงดังตารางที่ 15 และพบว่า 68.97 % ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR20 ใช้ยางก้อนถ้วยเป็นวัตถุดิบหลักซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) และเมื่อนำสัดส่วนผสมระหว่างยางก้อนถ้วยและยางแผ่นในการผลิตยางแท่ง STR20 พบว่ามีค่าเฉลี่ย 3:1 สำหรับงานวิจัยของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) รายงานว่าสัดส่วนการผสมระหว่างยางก้อนถ้วยกับยางแผ่นที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR20 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4:1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนการผสมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติมาตรฐานการผลิตยางแท่ง STR20 ที่ควบคุมในระหว่างกันผลิต

ตารางที่ 15 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา

วัตถุดิบ	กิโลกรัม/เดือน	
	range	average
ยางก้อนถ้วย	42,205-2,749,499	1,153,844
ยางแผ่น	18,100-812,110	388,984
ยางเครฟ	12,552-424,455	203,121

ในการผลิตยางแท่ง STR20 จะมีความเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการล้างทำความสะอาด และอบให้แห้งของเนื้อยางเป็นหลัก ในกระบวนการทำความสะอาด น้ำเป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดังกล่าว ดังแสดงจุดการใช้น้ำในกระบวนการผลิตในภาพที่ 21 จากการศึกษาการใช้ทรัพยากรมูลฐานในการผลิตยางแท่ง STR20 พบว่า น้ำเป็นหนึ่งในทรัพยากรมูลฐานที่มีการใช้มาก ในทุกขั้นตอนการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ เช่น เศษยาง ขี้ยาง หรือยางแผ่นดิบ เพื่อให้ความสะอาดของยางแท่ง STR20 ที่ผลิตได้ มีค่าเท่ากับหรือสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2544)

นอกจากนี้กระบวนการผลิตของโรงงานยางแท่ง STR20 ในแต่ละขั้นตอนของการอบยาง ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อให้ได้มาซึ่งเนื้อยางแท่ง STR20 พบว่า เตาอบยางที่ใช้ในโรงงานยางแท่ง STR20 จะใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันเชื้อเพลิงหรือจากแก๊สแอลพีจีเป็นส่วนใหญ่ (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) สำหรับโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ทำการศึกษา พบว่า ใช้แก๊สแอลพีจีในการอบยาง ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีของโรงงานอยู่ในช่วง 41,368-99,034 กิโลกรัมต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 16 กระบวนการอบยางของโรงงานที่ทำการศึกษา พบว่า ยางที่บรรจุลงในภาชนะถูกนำเข้าสู่เตาอบยาง โดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 113 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของวัตถุดิบที่ผสมด้วย ถ้าเป็นยางสด (ยางก้อนถ้วยที่เพิ่งเก็บจากสวนซึ่งมีความชื้นในเนื้อยางสูง) ก็จะควบคุมอุณหภูมิที่สูงกว่า เพื่อเร่งให้ความชื้นลดลง ระยะเวลาที่ใช้ในการอบยางประมาณ 3 ชั่วโมง 46 นาทีต่อลอต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ องค์การสวนยาง (ม.ป.ป.) ที่ระบุว่าเตาอบยางแท่ง STR20 จะควบคุมอุณหภูมิประมาณ 110-130 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบยางประมาณ 2-4 ชั่วโมง นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิต้องใช้บุคลากรที่มีประสบการณ์และมีความชำนาญสูง และในช่วงที่โรงงานต้องการผลผลิตสูง ๆ ก็ต้องมีการปรับเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อลดระยะเวลาในการอบยาง แต่ถ้าช่วงที่ไม่เร่งรีบในการผลิต การอบยางก็ใช้อุณหภูมิเท่าเดิม แต่จะใช้เวลาในการอบยางนานขึ้น จะทำให้ไม่เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อผลผลิตยางแท่งที่ได้ สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นและใช้ระยะเวลาที่สั้นลง บางครั้งจะมีปัญหาการเกิดจุดขาวที่เนื้อก้อนยางแท่งอีกด้วยและในกระบวนการอบยางจะมีก๊าซกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น อย่างเช่น VFAs, H_2S และ NH_3 ซึ่งเป็นปัญหาหลักของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนบริเวณใกล้เคียงพื้นที่โรงงาน ทางโรงงานจึงต้องนำกระบวนการบำบัดกลิ่นที่เรียกว่า wet scrubber เข้ามาติดตั้งเพื่อบำบัดก๊าซกลิ่นเหม็นก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศทั่วไป



ภาพที่ 21 กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 และการใช้น้ำ และการเกิดน้ำเสีย

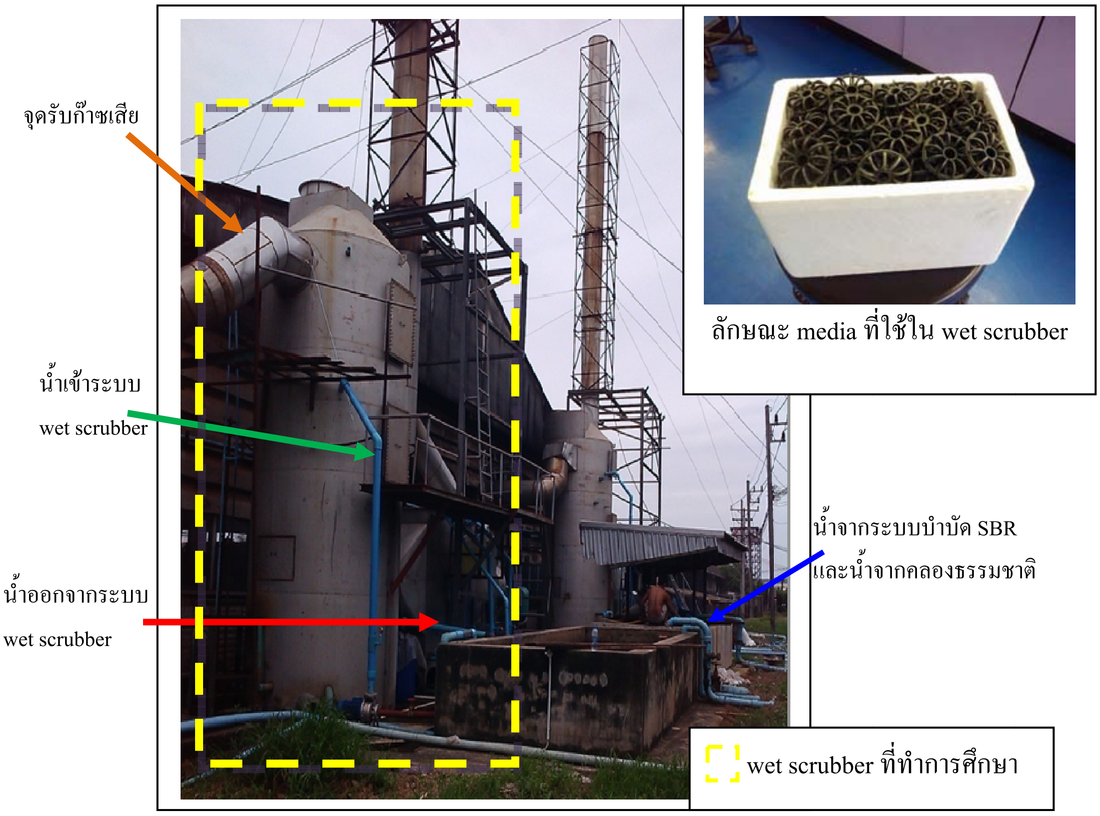
ตารางที่ 16 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีในการอบยางแท่ง STR20 ของโรงงานที่ศึกษา

เดือน	ปริมาณการใช้แอลพีจี (กิโลกรัม/เดือน)
ม.ค.	41,368
ก.พ.	66,898
มี.ค.	60,500
เม.ย.	77,926
พ.ค.	88,900
มิ.ย.	81,916
ก.ค.	84,810
ส.ค.	99,034
ก.ย.	84,340
ต.ค.	76,928
พ.ย.	85,808
ธ.ค.	96,634

1.2 ระบบการบำบัดกลิ่นของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ศึกษา

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการทำงานและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) และการบำรุงดูแลรักษาระบบ wet scrubber ที่ใช้กำจัดกลิ่นจากกระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 ซึ่งระบบ wet scrubber เป็นเทคโนโลยีการบำบัดอากาศประเภทหนึ่ง ทำการควบคุมปัญหากลิ่นที่เป็นมลพิษทางอากาศที่เกิดจากเตาอบยาง โดยการฉีดของเหลวเป็นละอองฝอยเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัส หรือให้ไหลผ่านฟิล์มของเหลวด้วยความเร็วสูง เมื่ออนุภาคหรือก๊าซเคลื่อนที่ใกล้ละอองหรือหยดน้ำจะสัมผัสกับละอองน้ำ เป็นระบบที่ทำงานภายใต้หลักการดูดซึมสารมลพิษทางอากาศจากเตาอบยาง โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในการบำบัดก๊าซกลิ่นเหม็น (ใช้น้ำเสียหลังการบำบัดแล้ว (โรงงานมีระบบบำบัดแบบ SBR) ผสมกับน้ำคลองจากธรรมชาติมาใช้ในการบำบัดก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยาง) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า โรงงานยางแท่ง STR20 ส่วนใหญ่นำน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วมาใช้เป็นตัวดูดซึม นอกจากนั้นระบบ wet scrubber ยังช่วยทำให้อุณหภูมิของอากาศเสียลดลงอีกด้วย โรงงานที่ทำการศึกษาใช้ระบบ wet scrubber แบบต่อเนื่อง 2 ชุด ชุดแรกใช้น้ำเป็นสารดูดซึมดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วน wet scrubber ตัวที่ 2 ใช้สารเคมีเป็นตัวดูดซึม แต่การศึกษานี้ศึกษาเฉพาะชุดแรก ซึ่ง wet scrubber ที่ศึกษาเป็นหน่วยบำบัดกลิ่นชุดแรกมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 22 ซึ่งระบบ wet scrubber

ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกมีการทำงานแบบ co-current flow โดยการไหลเข้าของก๊าซเสียจากเตาอบยางแท่ง STR20 เข้าสู่ระบบ wet scrubber แบบทิศทางเดียวกันกับน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมระบบ wet scrubber มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดความสูงเท่ากับ 6.80 เมตรและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวถัง wet scrubber เท่ากับ 2.60 เมตร ความสูงจากฐานถึงตะแกรงวางตัวกลาง (media) 2.80 เมตร ความสูงระหว่างตะแกรงวาง media กับท่อสเปรย์ตัวดูดซึม 1.60 เมตร



ภาพที่ 22ระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ทำการศึกษา

เป็นระบบแบบ packed media wet scrubber ซึ่งบรรจุ media ประเภท tellerette ring ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 73 มิลลิเมตร ซึ่งทำจากพลาสติก นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสระหว่างก๊าซเสียกับน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม เพื่อทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ด้านบนมีช่องที่นำเข้าของก๊าซเสียจากเตาอบยาง ท่อของจุดรับก๊าซเสียเข้าระบบ wet scrubber มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 เมตรและมีจุดออกของก๊าซที่ผ่าน wet scrubber ขนาด 0.7 เมตร ที่อยู่ด้านล่าง โดยเชื่อมต่อไปยัง wet scrubber แนวนอนตัวที่ 2 ของโรงงาน ตัวระบบ wet scrubber มีการใช้ปั๊มน้ำ 2 ตัว มีขนาด

7.5 Hp สำหรับปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบ wet scrub ท่อสำหรับปั๊มน้ำเข้ามาภายในระบบมีขนาดเท่ากับ 3 นิ้ว มีอัตราการสูบน้ำเข้าระบบในช่วง 93.6-403.2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 201.6 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนก๊าซกลิ่นเหม็นที่ปล่อยออกจากเตาอบยางใช้มอเตอร์ขับลมมีขนาด 25 Hp ความเร็วรอบเท่ากับ 1630 rpm ทำงานที่อัตราการไหลของก๊าซเสียเท่ากับ 270 m^3/min หรือคิดเป็นอัตราการไหลของสารดูดซึม (L) ต่ออัตราการไหลของก๊าซ (G) เท่ากับ 12.44 l/m^3(G = 270 m^3/min, L = 3.36 m^3/min) ค่าทางทฤษฎีของ L/G ratio เท่ากับ 3-10 gpm of solvent per 1000 cfm of waste gas หรือเท่ากับ 0.4005-1.3349 l/m^3 (วราวุธ เสือดี, 2558) ดังนั้นค่า L/G ratio ของระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ทำการศึกษา พบว่ามีค่าสูงกว่าค่า L/G ratio ทางทฤษฎีประมาณ 9-31 เท่าตัว ซึ่งค่าอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเสีย หากค่า L/G ratio สูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอนุภาคมลสารที่เป็นก๊าซในอากาศเสียสูงด้วย ดังรายงานวิจัยของธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์ (2553)ในการบำบัดกลิ่นจากกระบวน การอบยางแท่ง STR20 ด้วยระบบ wet scrubber พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 90 (ในเทอมของการลดลงของ CH_3COOH) ที่ L/G ratio เท่ากับ 30 l/m^3แต่บางกรณีความสามารถในการดูดซึมถึงจุดอิ่มตัวแล้ว การเพิ่ม L/G ratio ก็ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้ เช่น ในการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียจากปล่องควันของเตาอบยางในอุตสาหกรรมยางแท่ง ที่พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกได้เพียงร้อยละ 30 ที่ L/G ratio เท่ากับ 90 l/m^3 (จรัญ บุญกาญจน์ และคณะ, 2553) และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ของโรงงานที่ศึกษายังพบว่ายังมีประสิทธิภาพไม่มากพอที่จะบำบัดก๊าซเสีย เพื่อไม่ให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในบริเวณและชุมชนโดยรอบโรงงานได้ ทั้งที่ค่า L/G ratio มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

เมื่อปั๊มสารดูดซึมให้ไหลเข้าทางด้านบนของ wet scrubber ผ่านอุปกรณ์หัวกระจายของเหลว (spray nozzles) พร้อมกันนั้นก๊าซเสียหรือกลิ่นเหม็นที่ปล่อยออกจากเตาอบยางจะไหลเข้าระบบ wet scrubber ก๊าซเสียและสารดูดซึมเกิดการสัมผัสกันระหว่างก๊าซและของเหลวเกิดการดูดซึม ความเร็วในการดูดซึมนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซ ถ้าก๊าซเสียละลายได้ดีในของเหลวก็จะสามารถถูกดูดซึมได้เร็ว ดังนั้นอัตราการดูดซึมถือได้ว่ามี gas film เป็นตัวควบคุม ในทางกลับกันถ้าก๊าซที่ละลายได้ยากในของเหลว ก็จะทำให้อัตราการแพร่ผ่านฟิล์มของเหลวจะช้ากว่าอัตราการแพร่ผ่านฟิล์มก๊าซ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) สำหรับระบบที่ศึกษาเมื่อก๊าซเสียผ่านการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 แล้วจะถูกปล่อยสู่ระบบ wet scrubber แบบแนวนอนที่ใช้สารเคมีเป็นสารดูดซึมต่อไป ส่วนสารดูดซึมที่ไหลผ่านหอดูดซึมจะไหลลงสู่ถังด้านล่างซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำ

หลังบำบัดขนาด 9.6 ลูกบาศก์เมตรและหมุนเวียนสารดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ในระบบ wet scrubber อย่างต่อเนื่อง

สำหรับการเดินระบบ wet scrubber เดินระบบทุกวันตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันเสาร์ ขณะที่ศึกษาพบว่า ในแต่ละวันจะทำการเดินระบบนาน 18 ชั่วโมง โดยเริ่มเดินระบบช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 16.00 น.และจะหยุดเดินระบบของทุกวันช่วง 16.00 น. ถึง 22.00 น. ระหว่างหยุดเดินระบบโรงงานจะมีการถ่ายน้ำที่ใช้ในการเดินระบบทิ้ง ซึ่งในขณะที่เดินระบบมีการใช้น้ำในระบบ wet scrubber แบบหมุนเวียนใช้ซ้ำ และยังมีการทำการดูแลรักษาระบบ wet scrubber โดยมีการล้างทำความสะอาดตัวกลาง (media) ภายในระบบสัปดาห์ละหนึ่งครั้ง แสดงดังภาพที่ 23

2. นำตัวกลาง media ออกจากระบบ wet scrubber

3. แช่น้ำให้ง่ายต่อการทำความสะอาด

4. ฉีดล้างตัวกลางและระบบ wet scrubber

ภาพที่ 23 ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดตัวกลาง media ของระบบ wet scrubber ที่ศึกษา

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่ระบุว่าโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ส่วนใหญ่มีการใช้ wet scrubber สำหรับบำบัดก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยาง โดยโรงงานยางแท่ง STR20 มีการดูแลรักษาระบบ wet scrubber โดยมีการล้างทำความสะอาดตัวกลางภายในระบบ wet scrubber สัปดาห์ละ 1 ครั้ง และโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ทำการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีการทำความสะอาดตัวกลางสัปดาห์ละครั้งโดยดำเนินการทุกวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่หยุดเดินระบบการผลิตและทำการเปิดระบบ wet scrubber เพื่อล้างทำความสะอาดตะกอนที่เกาะติดกับ media โดยการนำตัวกลาง (media) แช่น้ำไว้ก่อน เพื่อให้ตะกอนที่เกาะอยู่ที่ตัวกลางเกิดการพองและง่ายต่อการฉีดล้าง ซึ่งหลังจากการฉีดล้างจะทำให้ตัวกลาง (media) สะอาดมากขึ้น เวลาที่ทางโรงงานใช้ในการล้างตัวถังระบบ wet scrubber และตัวกลาง (media) ประมาณครึ่งวันเช้า ใช้คนงาน 10-15 คน ในการทำความสะอาด

2. ผลการทำงานของระบบ wet scrubber ที่ใช้เป็นหน่วยบำบัดแรกของระบบการบำบัดกลิ่นเหม็นของโรงงานที่ศึกษา

2.1 ผลการศึกษาของก๊าซ

ก๊าซเสียหรือก๊าซกลิ่นเหม็นที่เข้าสู่ระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษาเป็นก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 เพื่อทำการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

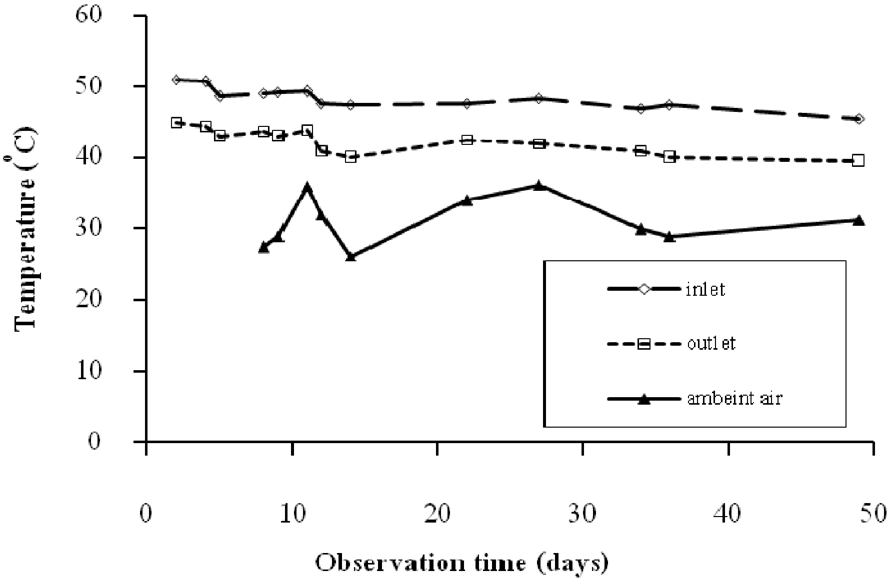
2.1.1 ลักษณะของก๊าซเสียก่อนเข้าและออกจากระบบ wet scrubber ที่ศึกษา

ได้ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 แล้วเข้าสู่ระบบบำบัดกลิ่นในระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ของโรงงานและที่ออกจากระบบ ซึ่งผลการศึกษาพบลักษณะของก๊าซในด้านอุณหภูมิและความเข้มข้นขององค์ประกอบของก๊าซต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1.1 อุณหภูมิของก๊าซเสียจากการอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและออกจากระบบ wet scrubber ที่ศึกษา

จากการศึกษา พบว่าเมื่อมีการอบยางแท่ง STR20 ก็จะเกิดก๊าซเสียซึ่งเป็นก๊าซที่ให้กลิ่นเหม็นที่เกิดจากการอบยาง ก๊าซที่ให้กลิ่นเหม็นเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นมาจากการบูดเน่าขององค์ประกอบที่ไม่ใช่ยาง ได้แก่ สารอินทรีย์ เช่น โปรตีน น้ำตาล และไขมันที่ติดอยู่ในยางก้อนถ้วย เกิดเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acids: VFAs) ซึ่งเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็น ก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นนี้จะถูกระเหยออกมาจากที่มีการอบยาง (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) ทางโรงงานต้องใช้มอเตอร์ในการดูดก๊าซที่เกิดขึ้นเพื่อปั๊มเข้าสู่ระบบบำบัด wet scrubber ตัวที่ 1

ที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึม จากการศึกษาที่ ได้วัดค่าอุณหภูมิของก๊าซที่จุดเก็บขาเข้าและออกจากระบบ wet scrubber แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber

พบว่า อุณหภูมิของก๊าซก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 45.5-51.0 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 48.9 องศาเซลเซียส และเมื่อก๊าซเสียผ่านระบบ wet scrubber ที่มีการสเปรย์น้ำอยู่ตลอดเวลาของการเดินระบบ ทำให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งพบว่า อุณหภูมิของก๊าซที่ผ่านออกจากระบบ wet scrubber มีค่าอยู่ในช่วง 39.5-45.0 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากก๊าซที่ไหลผ่านระบบ wet scrubber เกิดการสัมผัสกับละอองของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากก๊าซสู่น้ำที่เป็นสารดูดซึม จึงทำให้อุณหภูมิของก๊าซเสียดังกล่าวลดลงเฉลี่ยประมาณ 6 องศาเซลเซียส และยังเกิดการดูดซึมของก๊าซที่ต้องบำบัดอีกด้วย โดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.1.1.2 ความเข้มข้นของก๊าซเสียที่เป็นก๊าซมีกลิ่นเหม็นจากเตาอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber ที่ศึกษา

จากการศึกษาได้มีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรก ซึ่งทำการวิเคราะห์ก๊าซกลุ่มไขมันระเหย (VFAs) ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyticacid, isovaleric acid และ valeric acid H_2S และ NH_3 โดยทำการศึกษาเฉพาะตัวอย่าง

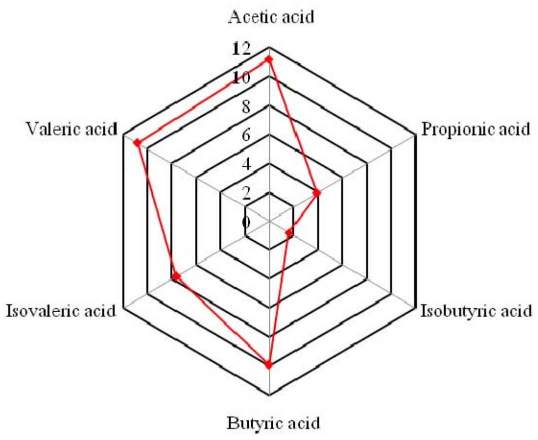
ก๊าซที่ออกจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 17 และภาพที่ 25 ซึ่งพบว่า ก๊าซในกลุ่ม VFAs ก่อนเข้าระบบ wet scrubber เมื่อแสดงค่าความเข้มข้นในเทอม mg/m^3 จะพบก๊าซในเทอมของ valeric acid มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 41.98 mg/m^3 รองลงมา คือ butyric acid, isovaleric acid, acetic acid, propionic acid และ isobutyric acid โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 33.20 mg/m^3, 29.54 mg/m^3, 25.6 mg/m^3, 9.34 mg/m^{3}และ 5.37 mg/m^3 ตามลำดับ พบว่าก๊าซ VFAs ทั้ง 6 ชนิด หลังผ่านการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยลดลง โดยมีค่าของความเข้มข้นในเทอม mg/m^3 เท่ากับ 22.70 mg/m^3, 21.36 mg/m^3, 11.33 mg/m^3, 20.62 mg/m^3, 10.03 mg/m^3 และ5.09 mg/m^3 ของ valeric acid, butyric acid, isovaleric acid, acetic acid, propionic acid และ isobutyric acid ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงลักษณะความเข้มข้นของก๊าซ VFAs ที่ออกจากระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ กับการรายงานในอดีต ของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ซึ่งได้รายงานว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัดกลิ่นของระบบบำบัดดักจับแบบเปียก wet scrubber ของโรงงานยางแท่ง STR20 จะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ acetic acid เท่ากับ 237.83 mg/m^3 และ171.04 mg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าที่เคยมีการรายงานมา สำหรับค่าความเข้มข้นของ H_2S ที่ตรวจพบในตัวอย่างก๊าซเสียจากการอบยางแท่ง STR20 ของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีค่าความเข้มข้นก่อนและหลังออกจากระบบมีค่าในช่วง 2.85-6.00 ppmv และ 2.43-5.95 ppmv ซึ่งพบว่ามีค่าลดลงค่อนข้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบกับก๊าซ VFAs ทั้ง 6 ชนิด

ตารางที่ 17 ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S ก่อนเข้าและหลังออกจากการระบบ wet scrubber

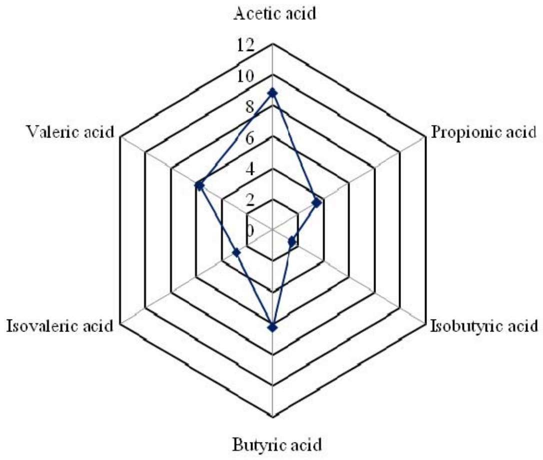
Type of gases	Concentration (ppmv)			
	ก่อนเข้าระบบ		**หลังออกจากระบบ**	
	Range	**Average**	**Range**	**Average**
VFAs : Acetic acid	0.8-28.6	11.2	0.33-24.56	8.85
Propionic acid	0.1-8.9	3.9	0.68-4.65	3.49
Isobutyric acid	0.2-3.4	1.6	0.01-9.13	1.49
Butyric acid	0.4- 41.7	9.9	0.04-14.80	6.25

ตารางที่ 17 ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S ก่อนเข้าและหลังออกจากการระบบ wet scrubber (ต่อ)

Type of gases	Concentration (ppmv)			
	ก่อนเข้าระบบ		หลังออกจากระบบ	
	range	average	range	average
VFAs : Isovaleric acid	1.3- 37.9	7.6	0.47-11.86	2.86
Valeric acid	0.4-53.6	10.8	0.17-20.15	5.73
H_2S	2.85-6.00	4.87	2.43-5.95	4.25



ก๊าซก่อนเข้าระบบ wet scrubber



ก๊าซหลังออกจากระบบ wet scrubber

ภาพที่ 25 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ของก๊าซก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา (หน่วย ppmv)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาก๊าซในกลุ่ม VFAs ทั้ง 6 ชนิด พบว่ามีสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซก่อนเข้าระบบแต่ละชนิดมี ดังนี้ พบว่า acetic acid มีสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 25% ของก๊าซในกลุ่ม VFAs และเมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ที่เคยมีการศึกษาที่ผ่านมา พบว่ามีความสอดคล้องกับรายงานของจรัญ บุญกาญจน์ และคณะ (2553) ที่ระบุว่าองค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 โดยใช้ gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) ในการศึกษา พบว่าก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกกรดไขมันระเหย

ที่มีโมเลกุลต่ำและยังพบอีกว่าองค์ประกอบทางเคมีที่เด่นชัดในก๊าซเสียที่ระบายออกจากเตาอบยาง คือ acetic acid นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) เช่นกัน และจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยรองลงมา คือ ก๊าซ valeric acid เท่ากับ 24%, butytic acid เท่ากับ 22% และ isovaleric acid เท่ากับ 17% ตามลำดับ

อนึ่งสำหรับการศึกษาก๊าซ NH_3 ในก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 และก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber แล้วนั้น ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือทำให้ไม่สามารถศึกษา NH_3 ของก๊าซที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ได้ในช่วงแรกของการศึกษาแต่ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของ NH_3 ที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 หรือก๊าซก่อนเข้าระบบ wet scrubber ส่วนผลการศึกษา NH_3 ในตัวอย่างก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ NH_3เท่ากับ 39.67 ppmv

2.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 โดยระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา

ระบบ wet scrubber ที่ศึกษาเป็นระบบแบบ co-current flow ที่ใช้บำบัดมลพิษทางอากาศ สำหรับก๊าซเสียหรือก๊าซกลิ่นเหม็นที่ปล่อยออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ซึ่งเป็นกลิ่นที่เป็นปัญหาหลักของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 โดยใช้ของเหลวในการดักจับก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง โดยอาศัยหลักการทำงานที่สำคัญ คือ การดูดซึมเป็นกระบวนการทางกายภาพ-เคมี ซึ่งใช้หลักการการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer) ที่เป็นก๊าซเสีย ที่มีความสามารถในการละลาย (soluble gas) ออกจากกระแสอากาศไปยังตัวทำละลายที่เป็นของเหลว (ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเป็นสารดูดซึม) ถ้าก๊าซเสียซึ่งเป็นก๊าซกลิ่นเหม็นที่ปนเปื้อนในกระแสอากาศนั้นสามารถละลายในตัวทำละลายได้ดี การบำบัด ด้วยวิธีการดูดซึมจะมีประสิทธิภาพสูง และยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น สัดส่วนอัตราไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของอากาศเสีย (L/G ratio) อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ก๊าซที่ต้องการบำบัดและ สารดูดซึมอยู่ภายในระบบดักจับแบบเปียก

ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซเสียก่อนเข้าและออกจากระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ทำการศึกษา เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 และผ่านระบบ wet scrubber ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 18 ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซกลุ่ม VFAs ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid และ valeric acid รวมทั้ง H_2S เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกแบบ co-current flow ที่ทางโรงงานได้ใช้งาน พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่อนข้างต่ำ พบว่าค่าเฉลี่ยการบำบัดก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S มีค่าระหว่าง 14-47% ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ

ในกลุ่ม VFAs มีค่าสูงกว่า H_2S ประมาณ 2-3 เท่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดก๊าซดังกล่าวด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่เป็นแบบ cross flow ดังที่มีการรายงานโดยสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่ระบุว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butytic acid, isovaleric acid และ valeric acid ของก๊าซเสียจากการอบยางแท่ง STR20 มีค่าอยู่ในช่วง 35-41%, 100%, 100%, 19-100%,24-27% และ ND (not detected due to lower than limit of quantitation (LOQ)) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีเพียงแค่ acetic acid มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับที่มีรายงานก่อนหน้าดังกล่าว ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดของ valeric acid พบว่ามีค่าสูงกว่า 2 เท่า กับค่าที่เคยมีการรายงานมาข้างต้น

ตารางที่ 18 ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S ด้วย wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา

ก๊าซ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	
	range	average
Acetic acid	9-74	32
Propionic acid	7-54	39
Isobutyric acid	6-84	46
Butyric acid	1-96	40
Isovaleric acid	7-74	47
Valeric acid	12-81	46
H_2S	1-31	14

กล่าวได้ว่า การศึกษาครั้งนี้ก็ให้ผลที่ไม่แตกต่างจากการรายงานการวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซเสียของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึมของจรัญ บุญกาญจน์ และคณะ (2553) ที่พบว่าสามารถบำบัดก๊าซ VFAs ในเทอมของ acetic acid ได้เพียง 30% อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของก๊าซหลังการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกแล้วพบว่ายังมีค่าที่สูงกว่าหลายเท่าตัวของค่า order threshold ซึ่งเป็นค่า order threshold ที่ทำให้เกิดการรับรู้กลิ่นได้ (ค่า orderthreshold ของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butytic acid, isovaleric acid, valeric acid และ H_2S มีค่าเท่ากับ 0.006, 0.0057, 0.0015, 0.0001, 0.000078, 0.000037 และ 0.00041 ppmv ตามลำดับ) (Nagata, 1993) จึงกล่าวได้ว่าแม้ผ่านระบบดักแบบเปียกแล้ว ก็ยังทำให้ได้กลิ่นเหม็นจากก๊าซดังกล่าวได้ จำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมต่อไป

2.2 ผลการศึกษาของน้ำที่เป็นสารดูดซึม

2.2.1 ลักษณะของน้ำที่ใช้สารดูดซึมในระบบ wet scrubber

ดังที่ได้กล่าวข้างต้น ทางโรงงานได้ใช้น้ำเสียหลังการบำบัดด้วยระบบ SBR แล้วผสมกับน้ำคลองเพื่อใช้เป็นสารดูดซึมในระบบ wet scrubber ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมเพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ (temperature), ค่าซีโอดีละลาย (solubility chemical oxygen demarn: SCOD), ค่าปริมาณสารแขวนลอย (SS), ค่าทีเคเอ็น (TKN), ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N), ค่าอินทรีย์ไนโตรเจน (org-N), ค่าฟอสฟอรัส (TP), ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-}), ค่าการนำไฟฟ้า, ค่ากรดไขมันระเหย (VFAs), ค่าซัลไฟด์ (S^{2-}) และค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผลการศึกษาตัวอย่างน้ำก่อนและหลังออกจากระบบ wet scrubber แสดงได้ดังตารางที่ 19 จะเห็นได้ว่าน้ำที่ออกจากระบบ wet scrubber มีการเกิดกระบวนการถ่ายโอนมวลสาร พบว่าสารดูดซึม (น้ำ) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำก่อนเข้าระบบ wet scrubber แต่มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 9.3 องศาเซลเซียส จากค่าของน้ำก่อนเข้าระบบ wet scrubber ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.2-29.9 องศาเซลเซียส และเมื่อน้ำที่เป็นสารดูดซึมผ่านระบบ wet scrubber พบอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่าง 30.7-40.4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าค่าซีโอดีละลาย (SCOD) ปริมาณสารแขวนลอย (SS) ทีเคเอ็น (TKN) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) สารอินทรีย์ไนโตรเจน (org-N) ค่าการนำไฟฟ้า กรดไขมันระเหย (VFAs) ซัลไฟด์ (S^{2-}) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำก่อนเข้าระบบ (เพิ่มขึ้นเฉลี่ยในช่วง 1.3-20 เท่าตัว) โดยพบว่าค่าที่เพิ่มขึ้นมากสุดโดยเฉลี่ย คือ ค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) กรดไขมันระเหย (VFAs) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าก่อนเข้าระบบคิดเป็น 20, 6.7 และ 5.4 เท่าตัว แต่กลับพบว่ามีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัส (TP) มีค่าที่ค่อนข้างเท่ากันทั้งก่อนและหลังออกจากระบบ ในขณะที่ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำหลังออกจากระบบมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำก่อนเข้าระบบ โดยที่ค่าความเข้มข้นของ S^{2-} ในน้ำออกจากระบบมีค่าสูงกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่าในนัยหนึ่งปริมาณ SO_4^{2-} ในน้ำเสียที่ผ่านระบบ wet scrubber อาจถูกรีดิวส์เปลี่ยนเป็น S^{2-}

ตารางที่ 19 คุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก

พารามิเตอร์	**น้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม**			
	ก่อนเข้าระบบดักจับแบบเปียก		**หลังผ่านระบบดักจับแบบเปียก**	
	range	**average**	**range**	**average**
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.3-7.86	7.55	7.14-7.89	7.45
อุณหภูมิ (Temp.)	28.2-29.9	29.2	30.7-40.4	38.5
ค่าซีโอดีละลาย (SCOD)	8-56	32.38	32-357	143
ค่าปริมาณสารแขวนลอย (SS)	6.5-221	30.74	26-221	55.38
ค่าทีเคเอ็น (TKN)	4.99-9.67	7.5	18.48-41.84	31.55
ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N)	0.63-5.95	3.74	11.97-28.98	20.04
ค่าอินทรีย์-ไนโตรเจน (Org-N)	1.66-6.67	3.46	0.92-21.38	11.25
ค่าฟอสฟอรัส (TP)	3.8-8.8	6.263	4-8	6.25
ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-})	6.43-40.89	29.26	7.68-38.04	25.63
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	322-492	411	382-618	525
ค่ากรดไขมันระเหย (VFAs)	5.67-22.16	9.96	17-243.6	66.64
ค่าซัลไฟด์ (S^{2-})	2.67-5.67	3.88	3.33-7.33	5.23
ค่า H_2S	0.02-0.09	0.04	0.12-1.36	0.81

หมายเหตุ หน่วยของความเข้มข้นเท่ากับ มิลลิกรัมต่อลิตร, ยกเว้นอุณหภูมิ, pH, ค่าการนำไฟฟ้า ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และ µS/cm ตามลำดับ

และสำหรับน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมหลังผ่านออกจากระบบ wet scrubber พบว่า คุณภาพน้ำดังกล่าวมีบางพารามิเตอร์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานที่ระบุค่ามาตรฐานปริมาณสารแขวนลอย (SS) ค่าซีโอดี (COD) และซัลไฟด์ (S^{2-}) ต้องมีค่าไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร, 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของ SCOD, SS และซัลไฟด์ของน้ำที่เป็นสารดูดซึมที่ผ่านออกจากระบบ wet scrubber มีค่าสูงกว่ามาตรฐานดังกล่าว ซึ่งไม่สามารถปล่อยทิ้งได้ หากไม่ทำการบำบัดให้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานทิ้ง ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ จึงได้นำน้ำส่วนนี้มาทำการบำบัดต่อ โดยบำบัดร่วมกับการบำบัดก๊าซเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber หน่วยที่ 1 ดังจะกล่าวถึงต่อไป

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber (ตารางที่ 19) พบว่า น้ำที่ผ่านระบบ wet scrubber มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ (COD, VFAs), NH_3-N และ H_2S ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า น้ำที่ใช้ในระบบ wet scrubber ได้เกิดกระบวนการดูดซึมสารอินทรีย์ NH_3-N และ H_2S ของก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ทั้งนี้ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่า VFAs หลังผ่านระบบ wet scrubber พบว่ามีค่าสูงกว่าก่อนเข้าระบบ wet scrubber ประมาณ 2-6 เท่า แสดงว่าเกิดการดูดซึมกรดไขมันระเหย (VFAs) ของก๊าซที่ได้ระบายออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 โดยสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่ากรดไขมันระเหยในน้ำหลังผ่านระบบดักจับแบบเปียกมีค่าสูงกว่าก่อนเข้าระบบประมาณ 2-4 เท่า เนื่องจากเกิดการดูดซึมกรดไขมันระเหยจากก๊าซที่ระบายออกมาจากเตาอบยาง และจากการศึกษายังพบว่าค่า SO_4^{2-} มีค่าลดลงเมื่อผ่านระบบ wet scrubber แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่ามีค่า S^{2-}และ H_2S เพิ่มขึ้น แสดงว่านอกจากจะมีการดูดซึม H_2S จากก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแล้ว ยังมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศโดยเฉพาะแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตโดยจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย แต่ต้องการสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน มีการย่อยสลายดังสมการ

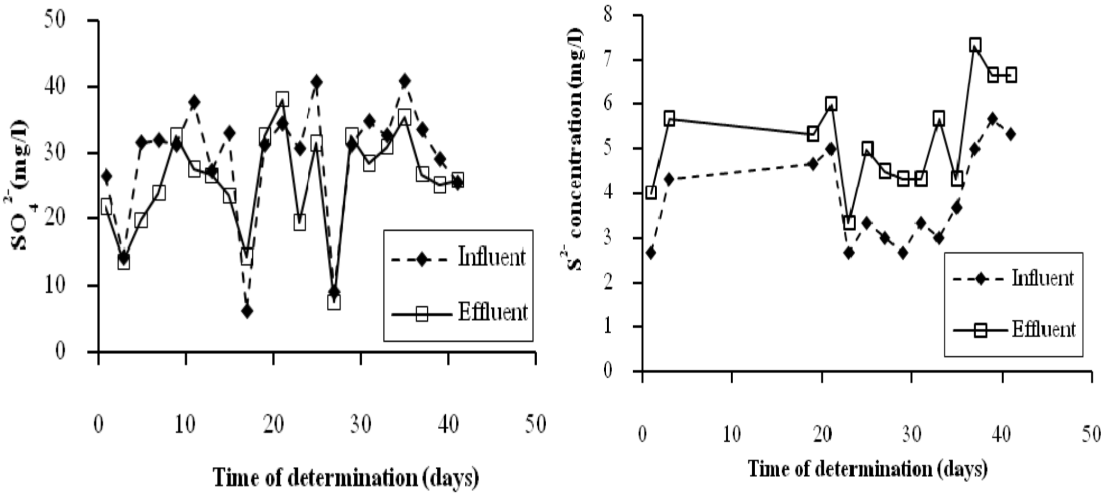
$$SO_4^{2-} + \text{สารอินทรีย์} \longrightarrow S^{2-} + H_2O + CO_2$$

จากผลของปฏิกิริยาทำให้ปริมาณ SO_4^{2-} ลดลง มีผลทำให้ปริมาณ S^{2-} ในน้ำเสียที่ผ่านระบบ wet scrubber เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบปริมาณ SO_4^{2-} ในน้ำก่อนเข้าระบบมีค่าสูงกว่าน้ำหลังออกจากระบบ (แสดงดังภาพที่ 26) ในขณะที่ปริมาณ S^{2-} ในน้ำเสียที่ผ่านระบบ wet scrubber จะมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณ SO_4^{2-} ในน้ำเสียที่ผ่านระบบ wet scrubber ถูกรีดิวซ์เปลี่ยนเป็น S^{2-}เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของ H_2S เนื่องจากเกิดซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate reduction) เช่นกัน โดยแบคทีเรียจะใช้ SO_4^{2-} เป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิด H_2S ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

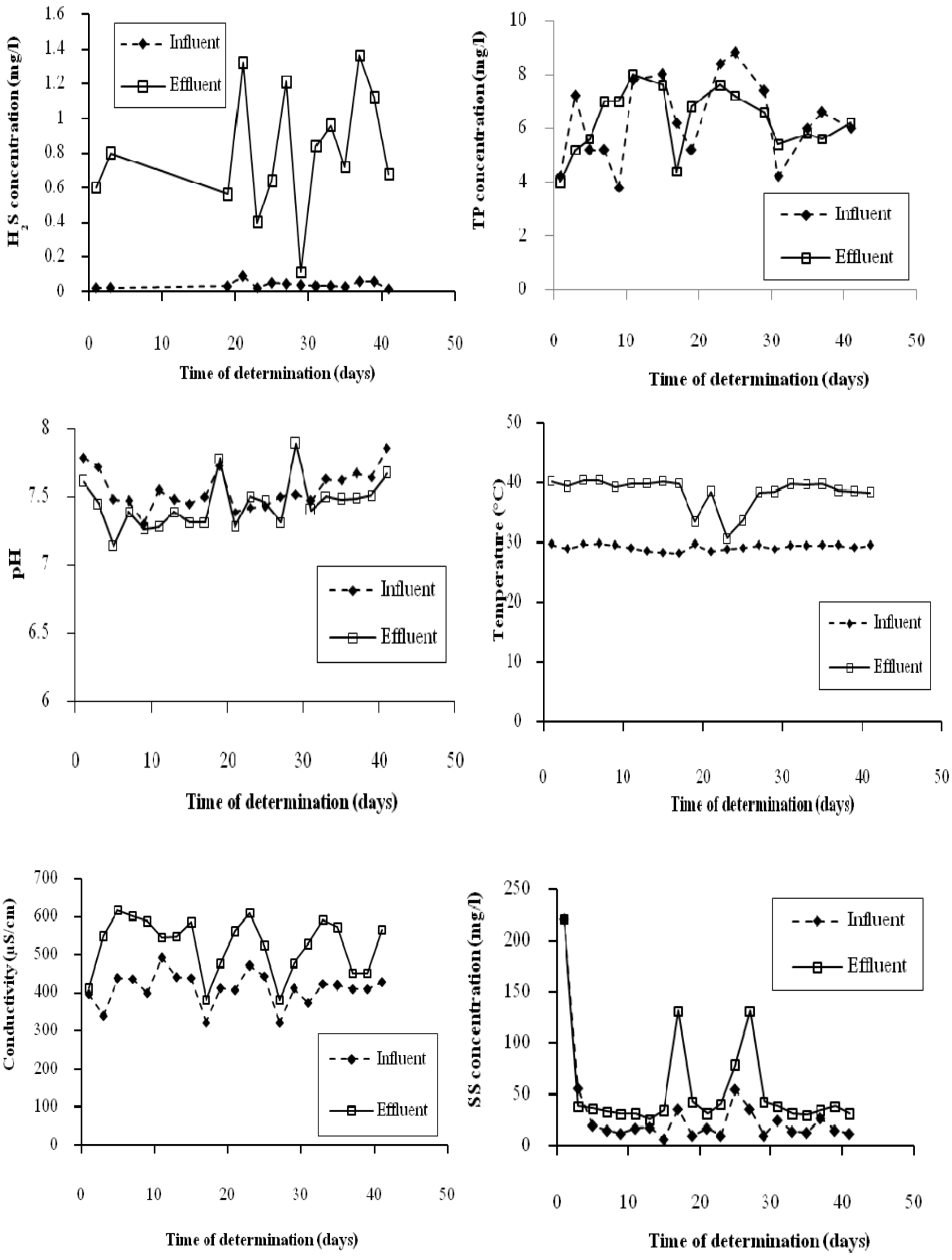
$$8H^+ + SO_4^{2-} \longrightarrow H_2S + 2H_2O + 2OH^-$$

อนึ่งลักษณะของข้อมูลของน้ำที่ใช้ในการดูดซึมที่ทำการศึกษาแสดงดังภาพที่ 27-28 และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะน้ำที่ออกจากระบบ wet scrubber ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับที่มีการรายงานในอดีต พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังที่มีการรายงานโดย สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์

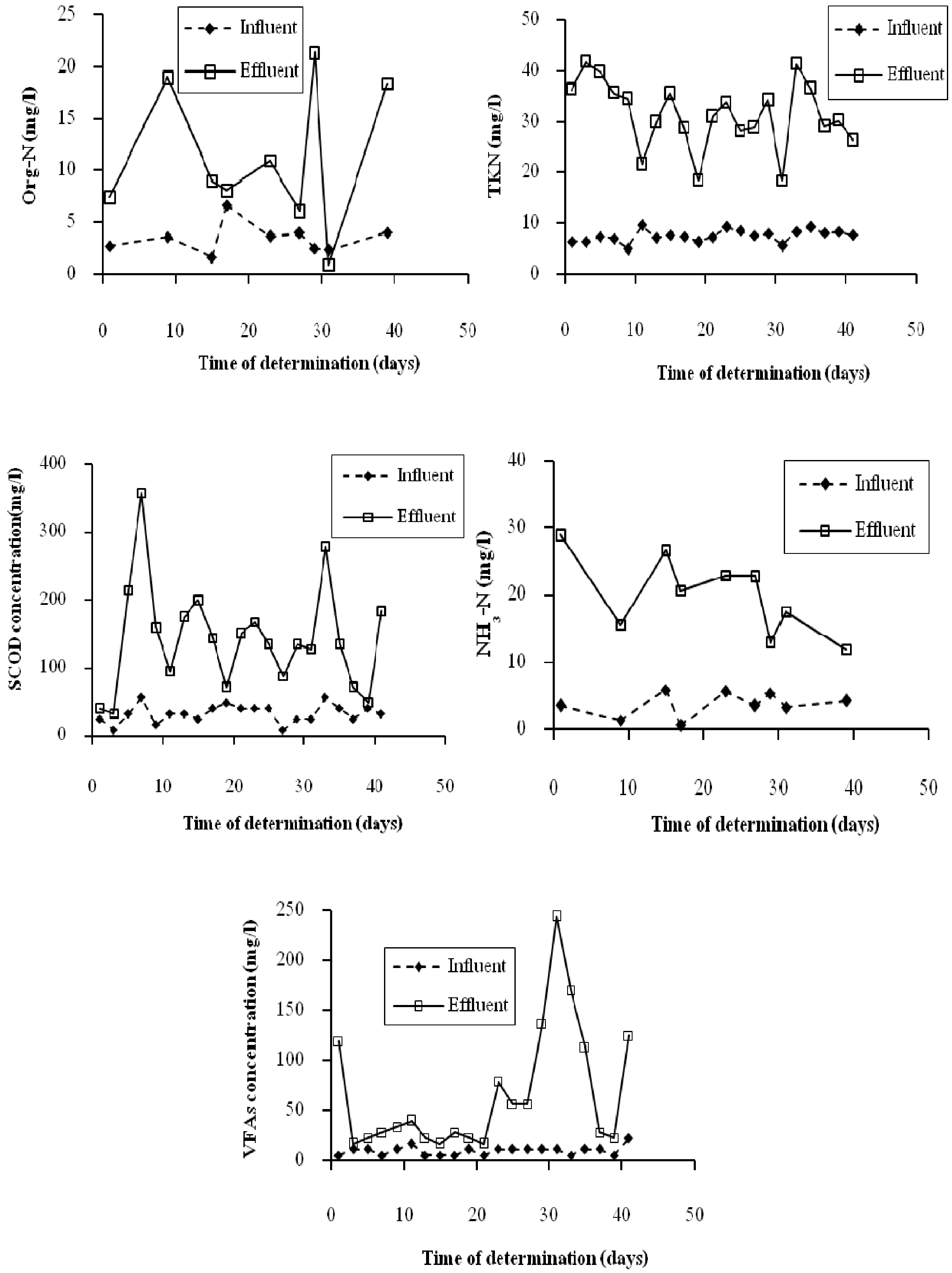
และคณะ (2550) ซึ่งได้รายงานว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดกลิ่นด้วยระบบ wet scrubber จะมีค่า pH ในช่วง 7.14-7.89 (เฉลี่ยเท่ากับ 7.76) มีค่าอุณหภูมิในช่วง 39.0-43.3 องศาเซลเซียส (เฉลี่ยเท่ากับ 40.8 องศาเซลเซียส) มีค่าทีเคเอ็น (TKN) ในช่วง 8-82 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ยเท่ากับ 43 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่ากรดไขมันระเหย (VFAs) ในช่วง 32-555 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก (เฉลี่ยเท่ากับ 143 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก) และข้อมูลของน้ำที่ผ่านระบบ wet scrubber แสดงให้เห็นว่าเป็นน้ำที่ยังคงมีความสกปรกสูง หากมีวิธีการที่เหมาะสมในการนำน้ำดังกล่าวไปบำบัดและสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำในระบบการบำบัดของระบบ wet scrubber หรือใช้ควบคู่กับการบำบัดก๊าซที่เป็นกลิ่นเหม็น ก็จะเกิดโอกาสในการจัดการของเสียจากโรงงานยางแท่ง STR20 ทั้งที่เป็นสารมลพิษในรูปน้ำเสียและก๊าซเสีย ให้มีประสิทธิภาพได้มากขึ้น อันสามารถช่วยแก้ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นจากโรงงานยางแท่ง STR20 ได้มากขึ้น ทั้งนี้ในทางปฏิบัติที่เป็นอยู่ ทางโรงงานได้มีการนำเอาน้ำเสียจากระบบ wet scrubber ที่เกิดขึ้นเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานเพื่อบำบัดต่อไป



ภาพที่ 26 ค่า SO_4^{2-} และ S^{2-} ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 27 ค่า H_2S, TP, pH, อุณหภูมิ, conductivity และ SS ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 28 ค่า Org-N, TKN, SCOD, NH_3-N และ VFAs ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ที่ทำการศึกษา

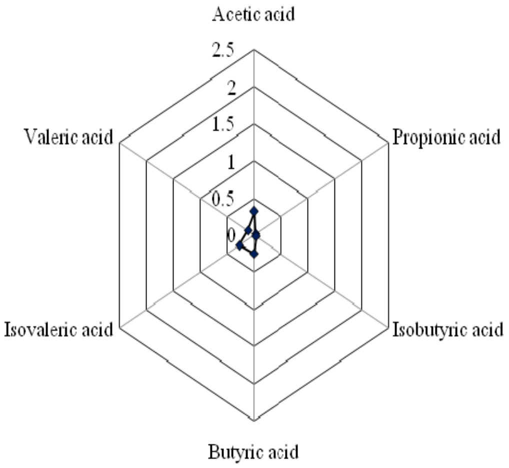
อนึ่งการศึกษายังได้นำตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของ VFAs ทั้ง 6 ชนิด ที่ศึกษาเช่นเดียวกับการศึกษาในตัวอย่างอากาศ เพื่อให้ทราบสภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบ wet scrubber ที่ศึกษาถึงการดูดซึมก๊าซกลุ่ม VFAs พบว่า เมื่อนำน้ำที่เป็นสารดูดซึมทั้งก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดก๊าซเสียของระบบ wet scrubber ไปวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ VFAs ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butytic acid, isovaleric acid และvaleric acid ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 20 พบว่าน้ำหลังออกจากระบบ wet scrubber มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ VFAs ทั้ง 6 ชนิด สูงกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ wet scrubber และพบว่า acetic acid มีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นหลังออกจากระบบสูงที่สุดเท่ากับ 2.042 mg/l เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของ acetic acid ตามรายงานของ Pokhrel, T. R. (2010) ที่ระบุว่า acetic acid สามารถละลายน้ำได้และผสมกันได้อย่างดีซึ่งมีผลทำให้น้ำซึ่งเป็นสารดูดซึมสามารถดูดซึมก๊าซเสียดังกล่าวได้สูงสุด ซึ่งผลของการวิเคราะห์ของค่า VFAs แต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 29 และเมื่อนำมาคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยของสัดส่วนความเข้มข้นของ VFAs ทั้ง 6 ชนิด ในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมทั้งก่อนเข้าระบบและหลังผ่านระบบ wet scrubber สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 30 พบว่า เมื่อน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมผ่านระบบ wet scrubber มีสัดส่วนร้อยละของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นที่เด่นชัดมากสุด คือ acetic acid โดยก่อนเข้าระบบ wet scrubber มีสัดส่วนร้อยละของความเข้มข้นอยู่ที่ 30% หลังจากผ่านระบบ wet scrubber มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 51% ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของจรัญ บุญกาญจน์ และคณะ (2553) ที่ระบุว่า เนื่องจาก acetic acid มีมวลโมเลกุลที่ต่ำจึงระเหยได้ดี และมีความสามารถในการละลายในน้ำได้ดี (Pokhrel, T.R., 2010) และยังมีรายงานการวิจัยของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า acetic acid มีค่าความเข้มข้นสูงขึ้นในน้ำหลังผ่านระบบ wet scrubber ซึ่งเกิดจากการดูดซึมก๊าซกรดไขมันระเหยของก๊าซที่ระบายออกมาจากเตาอบยางแท่ง STR20

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบบำบัด wet scrubber ตัวที่ 1

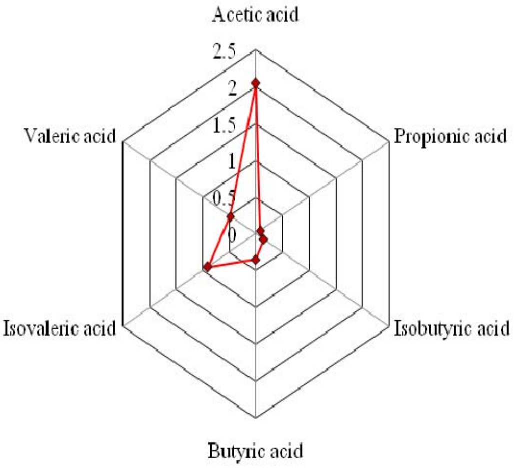
ชนิดของ VFAs	ความเข้มข้น (mg/l)			
	ก่อนเข้าระบบ		หลังออกจากระบบ	
	range	average	range	average
Acetic acid	0.118-0.647	0.313	0.234-6.63	2.042
Propionic acid	0.007-0.034	0.027	0.038-0.125	0.075

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบบำบัด wet scrubber ตัวที่ 1 (ต่อ)

ชนิดของ VFAs	**ความเข้มข้น (mg/l)**			
	ก่อนเข้าระบบ		**หลังออกจากระบบ**	
	range	**average**	**range**	**average**
Isobutyric acid	0.035-0.039	0.037	0.047-0.298	0.144
Butytic acid	0.023-0.759	0.254	0.023-0.891	0.341
Isovaleric acid	0.058-0.557	0.278	0.109-3.136	0.903
Valeric acid	0.037-0.229	0.120	0.090-1.712	0.483

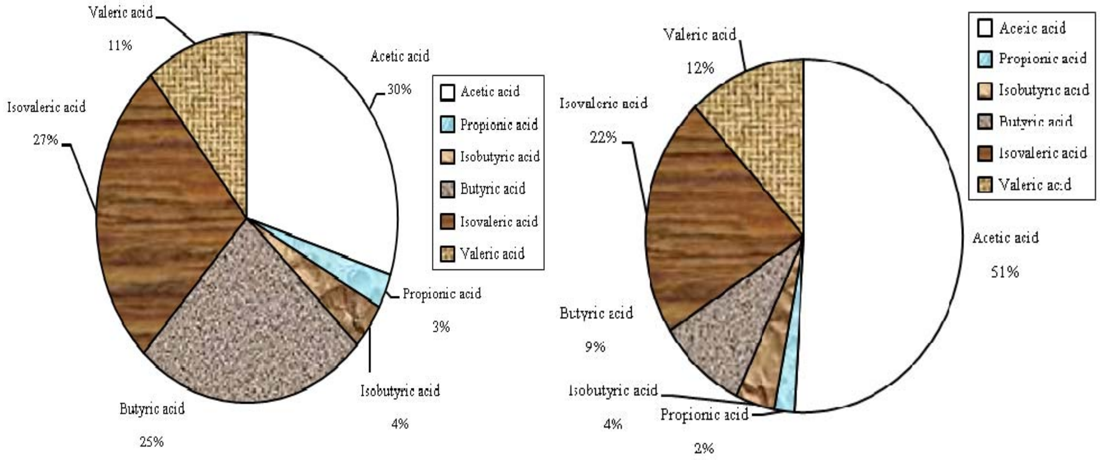


ก. น้ำก่อนเข้าระบบ wet scrubber



ข. น้ำหลังออกจากระบบ wet scrubber

ภาพที่ 29 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (VFAs) ที่ตรวจพบในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา (หน่วย: mg/l)



ก. น้ำก่อนเข้าระบบ wet scrubber **ข. น้ำหลังออกจากระบบ wet scrubber**

ภาพที่ 30 สัดส่วนร้อยละความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (VFAs) ที่ตรวจพบในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา

2.2.2 ประสิทธิภาพการดูดซึมในระบบ wet scrubber

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (VFAs) ทั้ง 6 ชนิด มาหาประสิทธิภาพการดูดซึมของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบ wet scrubber ที่ศึกษา โดยคำนวณประสิทธิภาพการดูดซึมดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซึม} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นน้ำออกจากระบบ} - \text{ค่าความเข้มข้นน้ำก่อนเข้าระบบ}}{\text{ค่าความเข้มข้นน้ำก่อนเข้าระบบ}} \times 100$$

แสดงข้อมูลดังตารางที่ 21 พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซึมได้ดีที่สุดของ VFAs คือ acetic acidมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซึมเท่ากับ 552% ซึ่งอธิบายได้โดยค่า solubility in water ที่พบว่า acetic acid มีความสามารถในการละลายได้สูงสุด (full miscible) และพบว่าประสิทธิภาพการดูดซึมของ valeric acid, isobutyric acid, isovaleric acid, propionic acid และ butytic acid มีค่าประสิทธิภาพการดูดซึมเท่ากับ 303%, 289%, 224%, 177% และ 31% ตามลำดับ จากประสิทธิภาพการดูดซึมของ butytic acid แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่ระบุว่าระบบดักจับแบบเปียกอาจไม่สามารถกำจัดกรดไขมันระเหยทั้งหมดที่ระบายออกมาจากเตาอบยางแท่งได้ เนื่องมาจากกรดไขมันระเหยบางตัวเป็นสารที่ละลาย

ในน้ำได้ยาก จึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับเรื่องกลิ่นเหม็นจากยางก้อนถ้วย ว่าอาจไม่ใช่มีสาเหตุหลักมาจากกรดไขมันระเหยเท่านั้น เนื่องจากยังมีสารประกอบระเหยอื่นอย่างเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือกลุ่ม skatole (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) ดังนั้นควรมีการศึกษาวิจัยต่อเนื่องของก๊าซที่เป็นสารประกอบระเหยอื่นที่เป็นก๊าซมีกลิ่นเหม็นให้มากขึ้นด้วย เพื่อจะได้เกิดองค์ความรู้เพื่อใช้แก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นของโรงงานยางแท่ง STR20 ที่มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้นในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพการดูดซึมของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบ wet scrubber

พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ		ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)		ประสิทธิภาพการดูดซึม
		ก่อนเข้าระบบ	หลังออกจากระบบ	(%)
VFAs :	acetic acid	0.313	2.042	552
	Propionic acid	0.027	0.075	177
	isobutyric acid	0.037	0.144	289
	butytic acid	0.254	0.341	31
	isovaleric acid	0.278	0.903	224
	valeric acid	0.120	0.483	303

2.3 ผลการศึกษากากตะกอนที่ media ในระบบ wet scrubber ที่ศึกษา

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนในระบบ wet scrubber

ระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ทำการศึกษามีการทำงานแบบ co-current flow โดยการไหลเข้าของก๊าซเสียจากเตาอบยางแท่ง STR20 เข้าสู่ระบบ wet scrubber แบบไหลในทิศทางเดียวกันกับน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม เป็นระบบแบบ packed media wet scrubber ซึ่งภายในบรรจุ media ประเภท tellerette ring ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 73 มิลลิเมตร พื้นที่บรรจุประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้ media ประมาณ 80,000 ชิ้น การบรรจุ media ในถังของระบบ wet scrubber เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างสารดูดซึมกับก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพของ wet scrubber ขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซเสียกับน้ำที่เป็นสารดูดซึมและระยะเวลา ยิ่งพื้นที่สัมผัสมาก การไหลของอากาศช้า ก็จะทำให้ประสิทธิสูง จากการศึกษาในภาคสนาม พบว่า โรงงานจะล้างทำความสะอาดตัวกลาง media ในระบบ wet scrubber สัปดาห์ละ 1 ครั้ง หลังจากเดินระบบการผลิตไปแล้ว 6 วัน จะทำความสะอาดทุก ๆ

ช่วงเช้าของวันอาทิตย์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่ระบุว่า กากตะกอนที่เกาะติดกับตัวกลาง media ในระบบ wet scrubber ของโรงงานยางแท่ง STR20 จะถูกทำการล้างทำความสะอาดตัวกลาง media ในระบบ wet scrubber เมื่อได้เดินระบบไปแล้ว 3-7 วัน และได้ระบุว่าตะกอนที่สะสมในระบบ wet scrubber อาจจะเป็นสาเหตุของสารมลพิษทางอากาศของ VFAs และสารประกอบซัลเฟอร์ (self air pollutants) หากไม่มีการบำรุงดูแลรักษาระบบ wet scrubber ที่ดีพอ จากการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างกากตะกอนที่เกาะติดที่ตัว media ที่บรรจุภายในระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา พบว่า เมื่อมีการเปิดระบบ wet scrubber จะได้กลิ่นเหม็นฉุนอย่างรุนแรง คล้ายก๊าซไข่เน่า ตะกอนจะมีสีเทา-น้ำตาล ลักษณะเป็นเมือกวุ้น แสดงดังภาพที่ 31 ซึ่งลักษณะทางกายภาพของตะกอนที่ศึกษา พบว่าสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ที่ระบุว่า กากตะกอนที่เกาะติดกับตัวกลาง media ในระบบ wet scrubber นั้นมีสีเทาและกากตะกอนดังกล่าวมีกลิ่นเหม็น ซึ่งกากตะกอนที่มีกลิ่นเหม็นนี้จะเกิดขึ้นและเริ่มเห็นได้ชัดเจนหลังจากที่โรงงานยางแท่ง STR20 ได้เดินระบบไปแล้ว 3-7 วัน

ตารางที่ 22 แสดงลักษณะทางเคมีของกากตะกอนที่เกาะติดกับ media ในระบบ wet scrubber ของโรงงานที่ศึกษา จากการศึกษาลักษณะทางเคมีของพารามิเตอร์ คือ TS, TVS, TDS, TDVS, % MC และ % OM พบว่า กากตะกอนมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) เกิดขึ้นจำนวนมากทั้งที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 146.1-453.8 mg/media มีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้อยู่ในช่วง 84.2-278.0 mg/media นอกจากนี้พบว่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) มีค่าอยู่ในช่วง 7.3-20.4 mg/media และคิดเป็นปริมาณของแข็งละลายที่สามารถระเหยได้ (TDVS) พบว่าอยู่ในช่วง 4.8-15.0 mg/media และยังพบว่าปริมาณความชื้น (MC) ของตะกอนดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.36% รวมทั้งตะกอนมีค่าเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ (%OM) เฉลี่ยเท่ากับ 38.43% น้ำหนักแห้ง ซึ่งจากข้อมูลผลการตรวจวัดก๊าซกลิ่นเหม็นที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ที่พบสารอินทรีย์ VFAs ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butytic acid, isovaleric acid และ valeric acid ซึ่งสาร VFAs นี้เป็นสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ จึงก่อให้เกิดการสะสมของ biomass ภายในระบบ wet scrubber เกิดขึ้น ด้วยการสเปรย์สารดูดซึมตลอดเวลาแล้วมีการไหลผ่านของก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางแท่ง STR20 จึงก่อให้เกิดกระบวนการดูดซึมของสารอินทรีย์และทำให้แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ทำให้เมื่อโรงงานเดินระบบไประยะหนึ่ง ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นสะสมติดอยู่ที่ตัวกลาง (media) จะมีจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซกลิ่นเหม็นของระบบ wet scrubber ทางโรงงานจึงจำเป็นต้องเปิดระบบ wet scrubber เพื่อทำความสะอาดโดยการฉีดล้างตะกอนที่ติดอยู่ที่ media สัปดาห์ละหนึ่งครั้ง

ภาพที่ 31 ลักษณะ media ที่ใช้และตะกอนที่เกาะติดที่ตัวกลาง (media) ของโรงงานที่ศึกษา

ตารางที่ 22 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง media ของระบบ wet scrubber

พารามิเตอร์	Range	Average	SD
TS (mg/ media, dry weight)	146.1-453.8	314.78	96.01
TVS (mg/media, dry weight)	84.2-278.0	209.74	65.79
TDS (mg/media, dry weight)	7.3-20.4	16.65	4.37
TDVS (mg/media, dry weight)	4.8-15.0	11.30	3.44
%MC (wet weight)	32.46-63.01	48.36	14.49
%OM (dry weight)	29.78-45.34	38.43	5.84

นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลาประมาณ 16.00-22.00 น. โรงงานจะหยุดเดินระบบ ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวภายในระบบ wet scrubber จะไม่มีการป้อนอากาศเสียหรือน้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึมเข้าระบบเลย แต่ขณะเดียวกันก็ยังมีแนวโน้มเกิดการทำงานหรือการย่อยสลายสารอินทรีย์ของตะกอนเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยให้ผลผลิตสุดท้ายเกิดเป็น CH_4,CO_2 ก๊าซที่

มีกลิ่นเหม็น เช่น H_2S, NH_3 และอื่นๆ จึงเป็นสาเหตุก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นจากตะกอนดังกล่าว มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2525) รายงานว่าสภาพแวดล้อมแบบแอนแอโรบิกหรือไร้อากาศ หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อยมากจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจน แต่จะเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์บางชนิด ในสภาวะดังกล่าวสารตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอนเป็นสารชนิดอื่นที่ไม่ใช้ออกซิเจน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์กระบวนการนี้ เรียกว่า fermentation หรือสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอนินทรีย์ (ไม่ใช่ออกซิเจน) กระบวนการนี้เรียกว่า anaerobic respiration โดยขั้นตอนการย่อยสลายในสภาวะไม่มีอากาศเริ่มจากแบคทีเรียที่สร้างกรด (acidogenic bacteria) จะย่อยสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย ได้แก่ acetic acid, propionic acid, butytic acid และตัวอื่น ๆ ทำให้เกิดกลิ่นเปรี้ยว กรดไขมันระเหยเหล่านี้จะเป็นสารกึ่งกลาง และที่สำคัญพบมากที่สุด คือ acetic acid ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก๊าซที่ผ่านออกจากระบบ wet scrubber พบว่ายังมี acetic acid สูง อย่างไรก็ตามสารที่มีกลิ่นเหม็นอย่างเช่น VFAs, H_2S และ NH_3 ที่ยังส่งกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรงแก่ชุมชนโดยรอบโรงงาน เป็นปัญหาที่ต้องมีการแก้ไขหรือค้นหาวิธีการใหม่ ๆ ที่จะต้องบำบัดกลิ่นดังกล่าวต่อไป

2.3.2 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ wet scrubber

นอกจากนี้ผลจากการศึกษายังสามารถคำนวณปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อบ่งบอกถึงปริมาณของการสะสมตะกอนในระบบ wet scrubber ในแต่ละรอบการผลิต (1 สัปดาห์) ทั้งนี้จากผลที่ศึกษาได้ พบว่าปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ wet scrubber ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 314.78 mg/media (dry weight) และเมื่อคำนวณจากจำนวน media ทั้งหมดที่บรรจุในระบบ wet scrubber ประมาณ 80,000 ชิ้นสามารถคำนวณได้ว่า จะมีตะกอนของแข็งเกิดขึ้นจากระบบ wet scrubber ประมาณ 25.18 kg (dry basis) ต่อรอบการวัด 1 สัปดาห์ หรือคิดเป็นตะกอนสดเท่ากับ 48.76 kg (wet basis)

ซึ่งปัญหาของตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นนี้ จะส่งผลกระทบโดยตรงกับน้ำเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber จากการศึกษาพบว่าในน้ำเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber มีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยเท่ากับ 55.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539) จากผลการวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้จากการศึกษาในพื้นที่จริง พบว่าในขณะที่ทางโรงงานทำความสะอาด media พบว่าปริมาณของแข็งที่โดนชะออกจากตัว media มีปริมาณมากที่สะสมอยู่ในน้ำที่ใช้ล้างระบบ wet scrubber ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่า SS สูงและมีสารอินทรีย์สูง ซึ่งทางโรงงานมีการระบายน้ำเสียส่วนนี้สู่ระบบบำบัดนำเสียเพื่อบำบัด

ต่อไป ดังนั้นนอกจากมีน้ำเสียที่เกิดจากการดูดซึมของระบบ wet scrubber แล้ว ยังเกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจากการล้าง media ซึ่งเป็นภาระที่ทางโรงงานต้องบำบัดต่ออีกด้วย

3. ผลการศึกษาการใช้ระบบ SBR ในการบำบัดก๊าซที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจากระบบ co-current wet scrubber ตัวที่ 1 ร่วมกับน้ำเสียที่ออกจาก wet scrubber

3.1 ผลการศึกษาของชุดทดลองของถัง R1, R3 และ R4 ในช่วง start up เพื่อใช้ในระบบ SBR สำหรับการบำบัดก๊าซต่อไป

ในการศึกษาได้ใช้หัวเชื้อที่นำมาจากบ่อเติมอากาศของโรงงานที่ศึกษาซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR โดยเก็บตัวอย่างหัวเชื้อในขณะที่ระบบมีการตกตะกอน โดยใช้ปริมาตร 2 ลิตรต่อถังทดลอง ซึ่งปริมาตรที่ใช้ทดลอง 45 ลิตร จากนั้นใช้น้ำเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ป้อนเข้าสู่ระบบที่ทำการ start up ระบบ ซึ่งได้แก่ ถังทดลองที่ R1, R3 และ R4 เพื่อให้เกิดการพัฒนาเชื้อและเชื้อเคยชินกับน้ำเสีย (accematization) สำหรับถังที่ R2 ไม่ได้ทำการ start up ระบบจากการเลี้ยงเชื้อ เนื่องจากถังที่ R2 ใช้สำหรับทดลองเป็นชุดควบคุมเพื่อศึกษากลไกกลการดูดซึมของก๊าซเสียผลการศึกษาของชุดทดลองทั้ง 3 ในขณะทำการ start up ระบบมีรายละเอียด ดังนี้

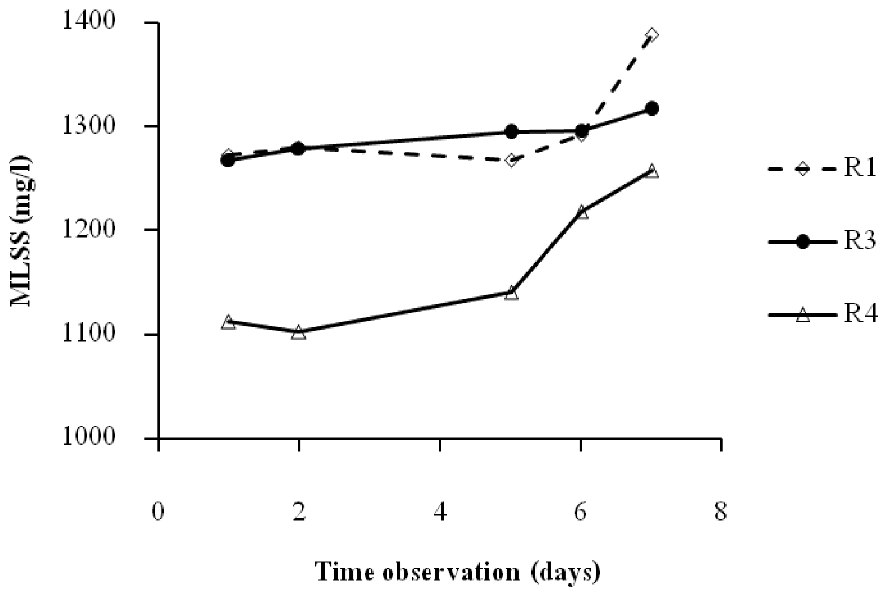
3.1.1 ลักษณะสภาพสิ่งแวดล้อมภายในระบบขณะทำการ start up

ตารางที่ 23 แสดงถึงสภาพของ mixed liquor ในเทอมของ DO, Temperature, pH และปริมาณ MLSS ของถังที่ R1, R3 และ R4 ในช่วง 1 สัปดาห์ของการ start up ระบบ พบว่าค่า DO ในถัง R1, R3 และ R4 อยู่ในช่วง 5.12-5.96 mg/l, 4.88-5.95 mg/l และ 4.83-5.77 mg/l ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีปริมาณออกซิเจนเพียงพอที่จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบสามารถใช้ได้อย่างเพียงพอ และยังพบว่าอุณหภูมิภายในถัง R1, R3 และ R4 อยู่ในช่วงที่ เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกัน โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.5, 29.4 และ 29.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ซึ่งถือว่ามีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) ทั้งนี้แม้จะใช้น้ำเสียจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ที่มีค่าอุณหภูมิค่อนข้างสูง แต่เมื่อระบบได้รับการเติมอากาศก็จะทำให้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 29.4-29.6 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามชุดการทดลอง อนึ่งค่า pH ของทั้ง 3 ถัง ในช่วงทำการ start up พบว่าถัง R1, R3 และ R4 มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.7-8.07, 7.59-7.60 และ 7.00-7.92 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่ามีค่า pH ที่ค่อนข้างเป็นกลางจึงเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน และจากการทดลองยังพบว่าค่า MLSS ของแต่ละถังการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยในช่วง 1,166-1,300 mg/l และมีลักษณะของการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ MLSS เล็กน้อยหลังจาก

ทดลองเลี้ยงเชื้อประมาณ 4-5 วัน (ดังภาพที่ 32) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเลี้ยงเชื้อประมาณ 1 สัปดาห์ ระบบมีปริมาณเชื้อที่ค่อนข้างคงที่ในระบบและสามารถปรับตัวกับน้ำเสียที่ใช้ป้อนให้กับระบบได้ดี

ตารางที่ 23 ลักษณะของ mixed liquor ของถัง R1, R3 และ R4 ในช่วง start up ระบบ โดยการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งจาก wet scrubber ตัวที่ 1

พารามิเตอร์	R1		R3		R4	
	range	average	range	average	range	average
Temperature (^oC)	28.9-31.0	29.5	28.0-30.6	29.4	28.4-30.6	29.6
pH	7.7-8.07	7.91	7.59-7.60	7.61	7.0-7.92	7.57
DO (mg/l)	5.12-5.96	5.48	4.88-5.95	5.45	4.83-5.77	5.45
MLSS (mg/l)	1267-1,388	1,300	1,268-1,316	1,290	1,112-1,258	1,166



ภาพที่ 32 ค่า MLSS ในขณะทำการ start up ระบบ

3.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในขณะ start up ระบบ

เมื่อทำการหยุดป้อนอากาศ (aeration) เพื่อเข้าสู่ช่วงการตกตะกอนได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนมีการป้อนน้ำเสียใหม่ ผลการศึกษาลักษณะของน้ำทิ้งและน้ำที่ใช้ป้อนให้ระบบของถังทดลองที่ R1, R3 และ R4 ในขณะ start up ระบบ แสดงดังตารางที่ 24 พบว่าค่า pH ของน้ำเสียก่อนและหลังออกจากระบบในช่วงการ start up ระบบ SBR มีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 พบว่าอุณหภูมิ

ของน้ำเสียมีค่าค่อนข้างสูง เฉลี่ยเท่ากับ 35.6 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการถ่ายโอนความร้อนจากก๊าซเสียที่มาจากกระบวนการอบยาง แต่เมื่อน้ำเสียได้ป้อนให้กับชุดทดลองแล้วพบว่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเฉลี่ย 7.5-8.0 องศาเซลเซียส จากน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบโดยอุณหภูมิของน้ำทิ้งของถัง R1, R3 และ R4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27.7, 27.6 และ 28.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และน้ำทิ้งของถัง R1, R3 และ R4 มีปริมาณ SS เฉลี่ยเท่ากับ 16 mg/l,24 mg/l และ 21 mg/l ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบที่ทำการ start up พบว่าค่าเฉลี่ยของ SCOD ของน้ำทิ้งจากถัง R1, R3 และ R4 เท่ากับ 17, 22 และ 20 mg/l ตามลำดับ โดยที่น้ำเสียเข้าระบบมีค่า SCOD โดยเฉลี่ยที่ 62 mg/l ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบได้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เติมลงในระบบ และทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัด SCOD ในแต่ละถังการทดลองมีค่าเฉลี่ย ดังนี้ คือ 72, 65 และ 67% แสดงให้เห็นถึงระบบสามารถลดค่าอินทรีย์สารในน้ำเสียที่ใช้ป้อนให้ได้และในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ที่ทดลองพบว่า ค่า %removal ของ SCOD ค่อนข้างคงที่ จึงได้ใช้ระบบดังกล่าวในการทดลองการบำบัดก๊าซต่อไป

ตารางที่ 24 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าและออกจากถังทดลองที่ R1, R3 และ R4 ในขณะ start up ระบบ

ตัวอย่างน้ำ			**Temperature (^{o}C)**	**pH**	**Conductivity (µS/cm)**	**SS (mg/l)**	**SCOD (mg/l)**
(1) Influent		Range	34.0-37.1	7.54-7.93	457-497	30-41	46-77
		Average	35.6	7.78	476	36	62
(2) Effluent	R1	Range	25.6-29.1	7.92-8.11	387-457	3-29	8-23
		Average	27.7	8.01	407	16	17
	R3	Range	25.5-29.2	7.08-7.93	386-419	8-51	8-31
		Average	27.6	7.71	398	24	22
	R4	Range	25.6-29.4	7.11-7.90	388-419	13-31	8-31
		Average	28.1	7.65	402	21	20

3.2 ผลการศึกษาของการใช้ชุดทดลองแบบระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ในการบำบัดก๊าซเสียที่ออกจากระบบบำบัด wet scrubber ตัวที่ 1 ร่วมกับน้ำทิ้งจาก wet scrubber: กรณีส่วนของของเหลวที่เกิดขึ้นในระบบ

3.2.1 ลักษณะของน้ำเสียเข้าระบบSBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียที่ใช้ในการป้อนเข้าระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ออกมาจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ที่นำมาศึกษาใน

ครั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียดังกล่าวเพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ DO, temperature, pH, conductivity, SS, SCOD, VFAs, TKN, NH_3-N, SO_4^{2-}, dissolved sulfides (DS), total sulfide (TS) และ H_2S ซึ่งผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบการทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียสำหรับป้อนเข้าระบบการทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2

พารามิเตอร์และเงื่อนไขของระบบ SBR และชุดดูดซึม	เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน		เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน	
	Average	Range	Average	Range
DO (mg/l)	1.02±0.52	0.23-1.97	0.43±0.19	0.21-0.94
Temperature (^{o}C)	36.13±2.14	32.40-39.80	37.63±1.41	33.8-39.7
pH	7.86±0.22	7.48-8.30	7.82±0.25	7.26-8.61
Conductivity (µS/cm)	499±70.7	279-628	541±99.5	426-748
SS (mg/l)	39±12.7	25-64	48±15.4	28-80
SCOD (mg/l)	79±41.0	31-162	110±28.8	62-147
VFAs (mg/l as acetic acid)	46±46.4	11-142	59±40.3	23-130
TKN (mg/l)	24±8.3	16-32	26±19.9	11-49
NH_3-N (mg/l)	13±4.7	9-24	17±13.9	7-39
SO_4^{2-} (mg/l)	18±3.8	12-23	32±8.2	21-42
DS (mg/l)	4±0.5	3-4	6±0.8	5-7
TS (mg/l)	5±0.4	4-6	6±0.6	5-7
H_2S (mg/l)	0.9±0.47	0.5-1.9	1.4±0.56	0.8-2.0

3.2.2 ลักษณะน้ำเสียภายในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2

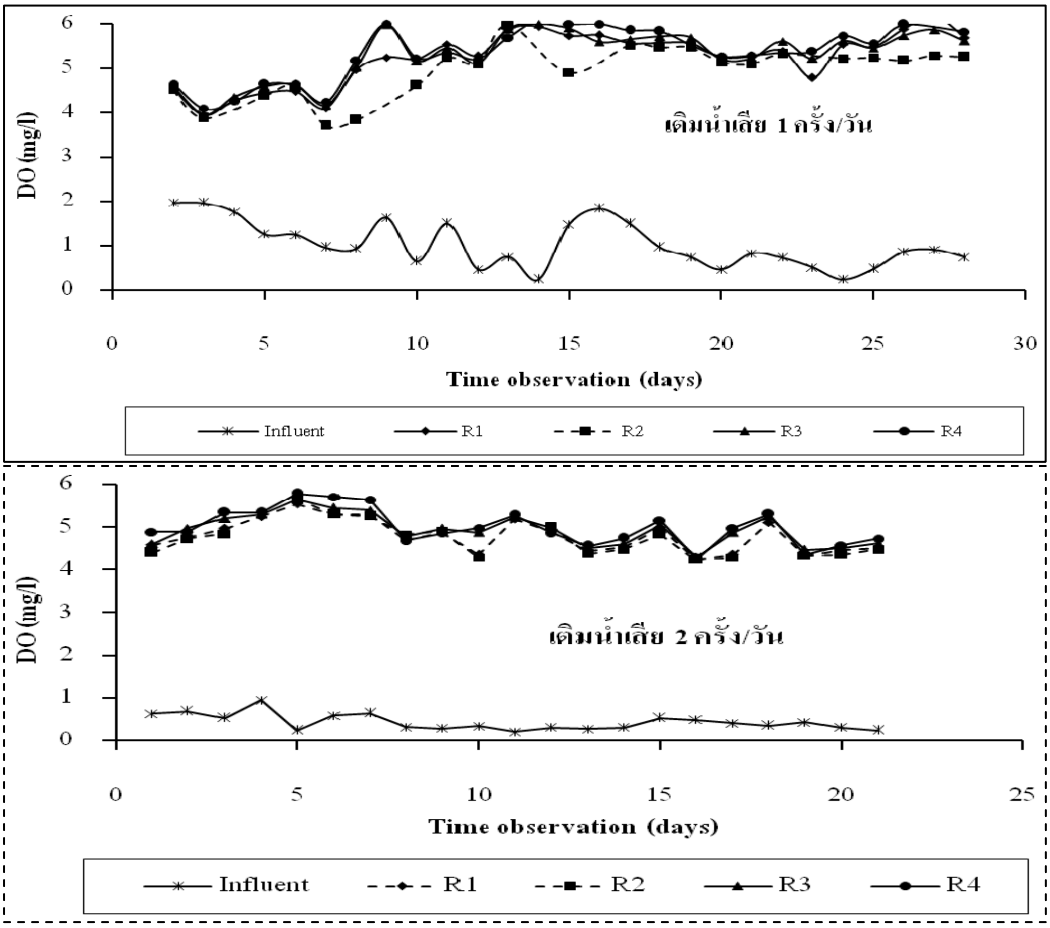
ผลการศึกษาของน้ำเสียภายในของระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ขณะที่มีการเดินระบบโดยมีการป้อนก๊าซเสียในถังทดลองที่ R2, R3 และ R4 และมีการให้อากาศ aeration เฉพาะถังทดลองที่ R1, R3 และ R4 ซึ่งระยะเวลาการป้อนก๊าซเสียและอากาศ (aeration) ได้ป้อนภายใต้การศึกษาของ 2 เงื่อนไขดังได้กล่าวไว้ข้างต้นในบทที่ 2 หัวข้อ (2.1) หน้าที่ 63-64 โดยทำการศึกษาที่มีการป้อนน้ำเสียใน 2 ช่วงค่า (1 ครั้ง/วัน และ 2 ครั้ง/วัน) รายละเอียดของผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

ก) ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolve oxygen: DO)

จากตารางที่ 25 พบว่าปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบมีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 1.02 mg/l และ 0.43 mg/l สำหรับการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และ 2 ครั้ง/วันตามลำดับ เมื่อทำการเดินระบบโดยมีการ aeration พบว่าค่า DO ของน้ำเสียภายในระบบของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) แสดงดังตารางที่ 26 พบว่า เมื่อพิจารณาค่าของ DO ในแต่ละถังการทดลองของระบบ SBR จะเห็นว่าค่า DO ในเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วันจะมีค่า DO เฉลี่ยต่ำกว่าในชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน แต่ก็ยังสูงกว่าค่าทางทฤษฎีที่ระบุว่าค่า DO ที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียซึ่งค่า DO ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 2-3 mg/l (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) สำหรับค่า DO ในน้ำภายในระบบทดลองถังที่ R2 ซึ่งไม่มีการ aeration แต่กลับพบว่ามีค่าเฉลี่ย DO ภายในระบบเท่ากับ 4.95 mg/l และ 4.70 mg/l (ป้อนน้ำเสีย 1 ครั้ง/วันและ น้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ) โดยมีค่าต่ำกว่าในชุดทดลอง SBR ที่มีการเติมอากาศเล็กน้อยทั้ง 2 เงื่อนไขของการทดลอง และมีค่าสูงกว่าน้ำเสียป้อนเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่ามีออกซิเจนที่อยู่ในก๊าซเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบด้วย จึงมีผลทำให้ค่า DO ในชุดทดลอง R2 มีค่าสูงขึ้น และค่า DO ในชุด R3 และ R4 มิได้เกิดเฉพาะจากการ aeration อย่างเดียว แต่ได้จากก๊าซเสียที่ป้อนเข้าระบบด้วย และยังแสดงให้เห็นว่า DO ภายในระบบสูงแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 33

ตารางที่ 26 ปริมาณ DO ภายในถังทดลองของระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

พารามิเตอร์และเงื่อนไขของระบบ SBR		DO (mg/l) ภายในระบบ SBR			DO (mg/l) ภายในชุดควบคุม
		R1	R3	R4	R2
เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	5.25±0.60	5.30±0.58	5.34±0.59	4.95±0.59
	Range	3.95-6.17	3.94-5.99	4.09-6.08	3.7-5.97
เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	4.79±0.38	4.93±0.41	4.99±0.37	4.70±0.42
	Range	4.24-5.54	4.31-5.64	4.27-5.78	4.23-5.66



ภาพที่ 33 ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบและภายในถังทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน

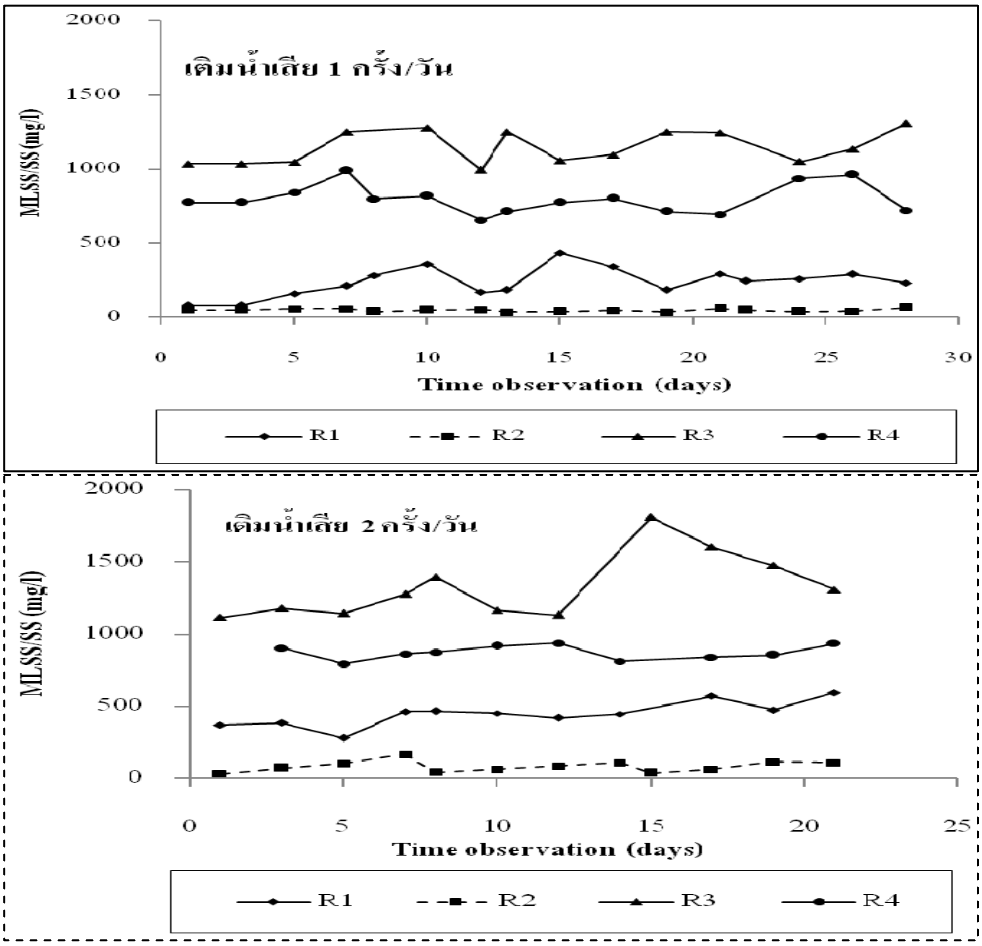
ข) ลักษณะ MLSS/SS ภายในระบบ SBR(R1, R3 และ R4) และชุด R2 ในขณะที่ทำการทดลอง

หลังจาก start up ระบบแล้วได้ทดลองให้ระบบมีการทำงานต่อเนื่องด้วยระยะเวลา 13 วัน และเป็นช่วงที่ทางโรงงานมีการปรับระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 เพิ่มเติมโดยปรับอัตราการป้อนน้ำเข้าระบบ จึงไม่ได้ทำการเก็บข้อมูล และเมื่อมีการปรับระบบแล้วเสร็จได้ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ต่อชุดการทดลองของการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ ผลการศึกษาของชุดทดลองแบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุดการทดลอง R2 โดยทำการศึกษาที่มีการป้อนน้ำเสียใน 2 ช่วงค่า (1 ครั้ง/วัน และ 2 ครั้ง/วัน) พบว่าค่า MLSS ในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) ของทั้ง 2 เงื่อนไขแสดงดังตารางที่ 27 และภาพที่ 34 โดยมีรายละเอียด ดังนี้ ชุดการทดลองที่ R1 เติมเฉพาะน้ำเสียไม่มีการป้อนก๊าซเสีย แต่มีการ aeration พบว่าการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/

วัน มีค่าเฉลี่ย MLSS เท่ากับ 235mg/l และชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าเฉลี่ย MLSS เท่ากับ 445 mg/l นอกจากนี้ชุดทดลองที่ R3 ซึ่งมีการป้อนทั้งน้ำเสียและก๊าซเสียในอัตราสูง (L/G ratio 0.188 l/m^3 ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน) (การคำนวณ L/G ในที่นี้ใช้เฉพาะ ค่าอัตราการป้อนก๊าซเสียต่อ น้ำเสียที่ใช้ในระบบ ไม่นำเอาค่า aeration มาคำนวณรวมด้วย เพราะต้องการเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์การออกแบบต่างๆ และใช้เปรียบเทียบระหว่างกันในแต่ละชุดทดลอง ทั้งนี้ค่าอัตราการ aeration มีค่าต่ำกว่าค่าอัตราป้อนก๊าซเสีย โดยคิดเป็นสัดส่วนเพียง 15-30%) เข้าในระบบพร้อมทั้งมีการ aeration พบว่ามีค่า MLSS เฉลี่ยที่สูงกว่าชุดทดลองอื่น สำหรับชุดทดลองที่ R3 ที่มีการเติมน้ำเสียวันละ 2 ครั้ง หรือ (L/G ratio ที่ 0.423 l/m^3) กลับพบว่ามีค่า MLSS เฉลี่ยสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ของถังที่ R3 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตโดยใช้อาหารจากน้ำเสียและก๊าซเสียที่ทำการป้อนเข้าในระบบ แต่การป้อนน้ำเสียอย่างเดียวโดยไม่มีการป้อนอากาศเสียจะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ที่เติบโตอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นได้น้อย ดังผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย MLSS ในชุดทดลอง SBR ของถังที่ R1, R3 และ R4 ที่จะเห็นถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย MLSS ของแต่ละเงื่อนไขและแต่ละถังการทดลองอย่างชัดเจน กล่าวคือ ถังที่ R3 จะมีค่าเฉลี่ย MLSS มากกว่าถัง R4 และ R1 ส่วนชุดทดลองที่ R2 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าเฉลี่ยของ SS มากกว่าเกือบ 2 เท่าของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบทั้ง 2 เงื่อนไขมีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) แตกต่างกัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 25 และค่าเฉลี่ย SS ในถัง R2 มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย SS ของน้ำที่ใช้ป้อนสู่ระบบ แสดงให้เห็นว่า SS ที่มีการเพิ่มขึ้นนั้นอาจมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้อาหารจากก๊าซเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือจากอนุภาคของแข็งที่ปนเปื้อนมาจากก๊าซเสียที่ป้อนเข้าระบบ

ตารางที่ 27 ปริมาณ MLSS/SS ในระบบชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 แต่ละเงื่อนไขของการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

พารามิเตอร์และเงื่อนไขของชุดทดลอง		**MLSS (mg/l) ภายในระบบ SBR**			**SS (mg/l) ภายในชุดควบคุม**
		R1	**R3**	**R4**	**R2**
เติมน้ำ 1	Average	235±96.2	1,144±112.3	796±99.3	43±9.4
ครั้ง/วัน	Range	78-434	993-1,307	654-988	31-61
เติมน้ำ 2	Average	445±88.3	1327±225.0	871±50.5	81±39.6
ครั้ง/วัน	Range	277-595	1,114-1,811	792-935	29-164



หมายเหตุ : SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2

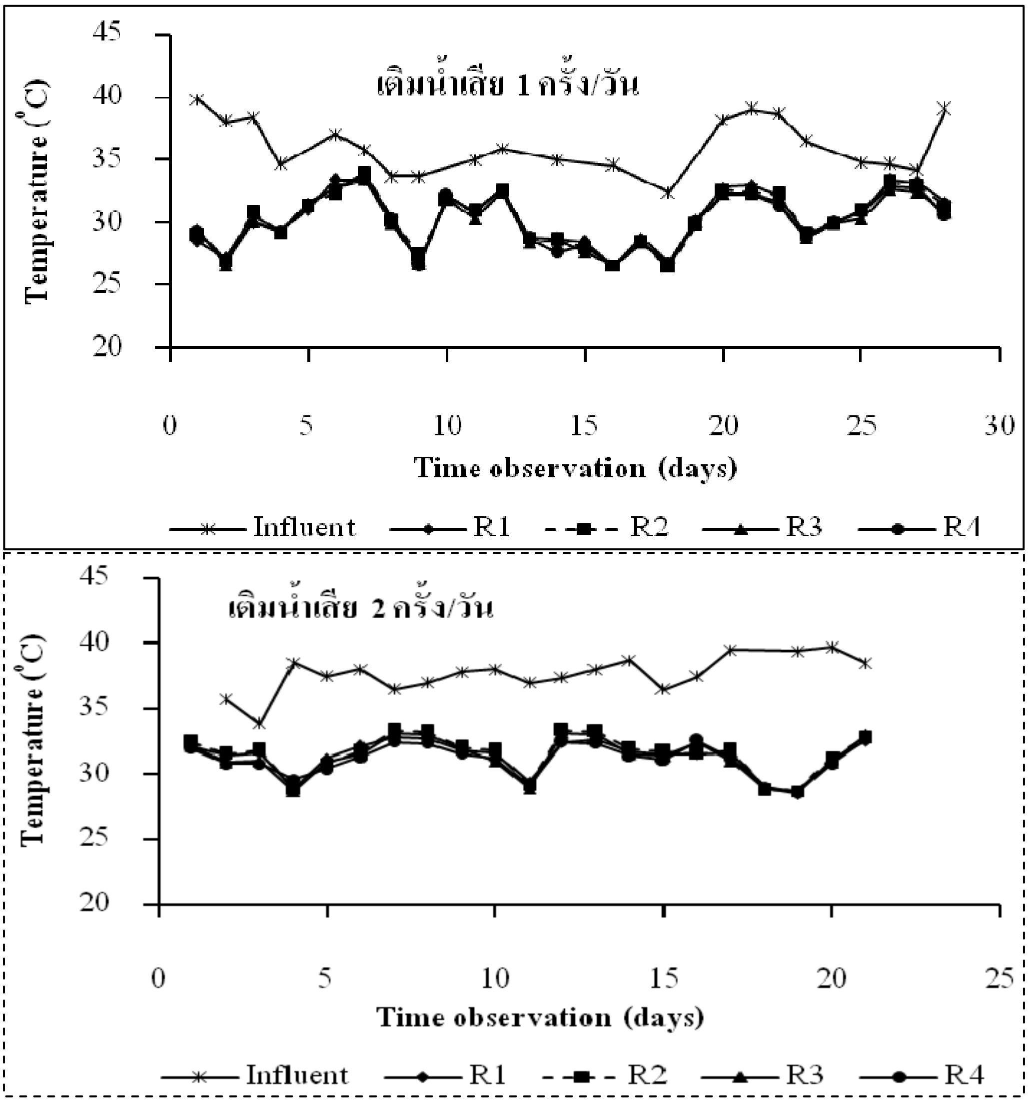
ภาพที่ 34 ปริมาณ MLSS ภายในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และปริมาณ SS ของน้ำเสียภายในชุด R2 ของการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน

นอกจากนี้เมื่อนำ mixed liquor มาวัดค่า SV60 ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงค่าความสามารถในการตกตะกอนของ MLSS จากในถังทดลองที่เติมอากาศในชุดทดลอง SBR (R1,R3 และ R4) และชุด R2 พบว่า มีค่าเฉลี่ย SV60 ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) เท่ากับ 10±1.9, 25±2.9 และ 21±2.1 ml/l ของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง ส่วนเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/ พบว่ามีค่า SV60 ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) เท่ากับ 27±2.6, 41±2.6 และ 32±2.5 ml/l ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน MLSS จะมีลักษณะการตกตะกอนได้ดีกว่าในการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน

ค) อุณหภูมิ (temperature)

จากตารางที่ 25 อุณหภูมิของน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 พบว่าน้ำเสียดังกล่าวมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 36.1 องศาเซลเซียส และ 37.6 องศาเซลเซียส ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับเมื่อทำการเดินระบบแล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในถังของชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียมีค่าลดลงเฉลี่ยประมาณ 6 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิของ R1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.4±2.21 และ 31.3±1.30 องศาเซลเซียส ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ ถังที่ R3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.1±2.08 และ 31.3±1.47 องศาเซลเซียส ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ และสำหรับถังที่ R4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.2±2.12 และ 31.1±1.21 องศาเซลเซียส ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับจากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาการป้อนน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน หรือ 2 ครั้ง/วัน ทำให้มีการลดลงของค่าอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเฉลี่ยประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส เท่านั้น นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าอุณหภูมิในระบบ SBR ทั้ง 2 เงื่อนไขการทดลอง มีค่าอุณหภูมิภายในระบบต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ทุกถังการทดลอง แสดงดังภาพที่ 35

ส่วนชุด R2 พบว่าอุณหภูมิภายในถังทดลอง มีค่าไม่แตกต่างจากชุดทดลอง SBR(R1,R3 และ R4) ซึ่งพบว่าถังที่ R2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.3±2.14 และ 31.5±1.46 องศาเซลเซียส ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ทั้งที่ชุด R2 ไม่มีการ aeration มีเพียงการป้อนเฉพาะก๊าซเสียเท่านั้น โดยพบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียในถัง R2 ลดลงเฉลี่ยประมาณ 5.8 และ 6.1 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบของการทดลองทั้ง 2 เงื่อนไข ค่าอุณหภูมิที่ลดลงในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นถึงการถ่ายโอนพลังงานความร้อนในมวลน้ำและอากาศ ทั้งนี้มีปัจจัยมาจากทั้งการ aeration และจากการป้อนอากาศเสียเข้าระบบ



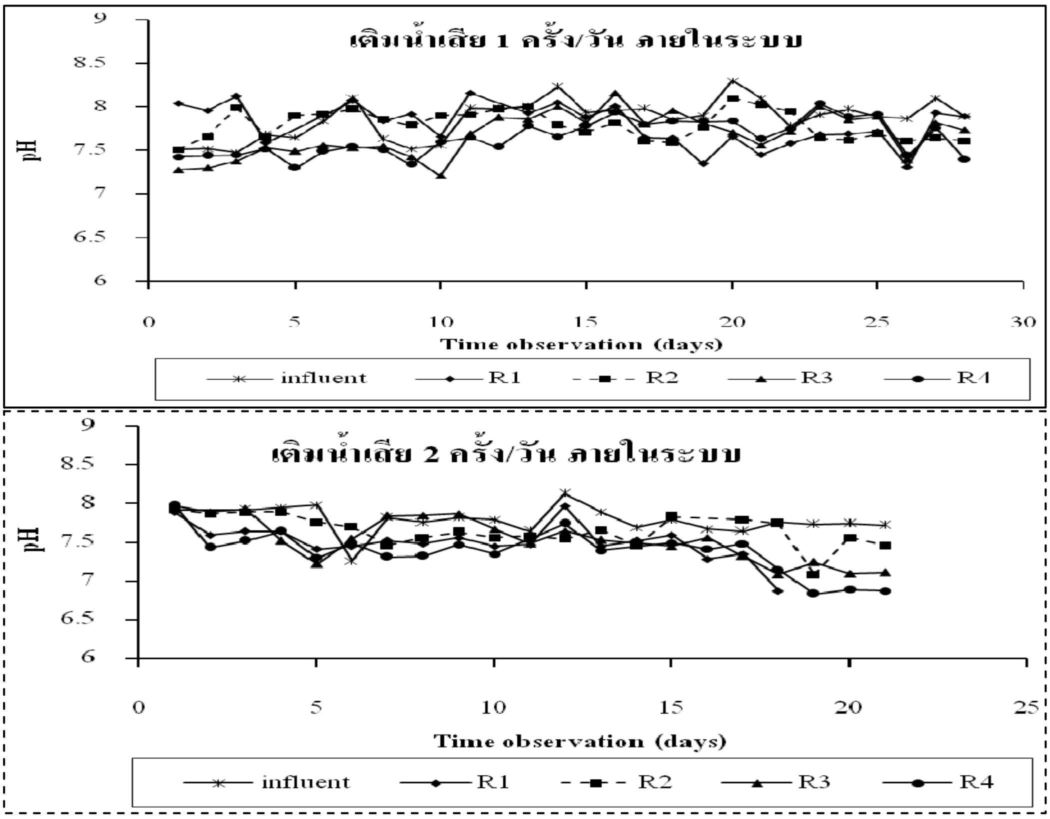
ภาพที่ 35 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ป้อนให้กับระบบและค่าอุณหภูมิของน้ำภายในชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ง) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ในช่วงที่มีการเดินระบบ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียภายในชุดทดลองของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่าค่า pH ภายในระบบชุดทดลองแบบ SBR (R1, R3 และ R4) มีค่าเฉลี่ยของถัง R1 เท่ากับ 7.80, ถัง R3 เท่ากับ 7.68 และถัง R4 เท่ากับ 7.65 และเมื่อทดลองโดยเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่า pH เฉลี่ยของถัง R1 เท่ากับ 7.51, ถัง R3 เท่ากับ 7.54 และถัง R4 เท่ากับ 7.38 ซึ่งทุกชุดการทดลองดังกล่าวมี pH เฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้า

ระบบ อย่างไรก็ตามช่วงค่า pH ดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดังที่ มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2525) กล่าวว่า ค่าพีเอชมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่า pH ระหว่าง 6.5-8.5 และจากการทดลองยังพบว่าการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีผลทำให้ระบบทดลองมีการรับ organic loading เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบวัน แต่มิได้ส่งผลให้ค่า pH เฉลี่ยในระบบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 36

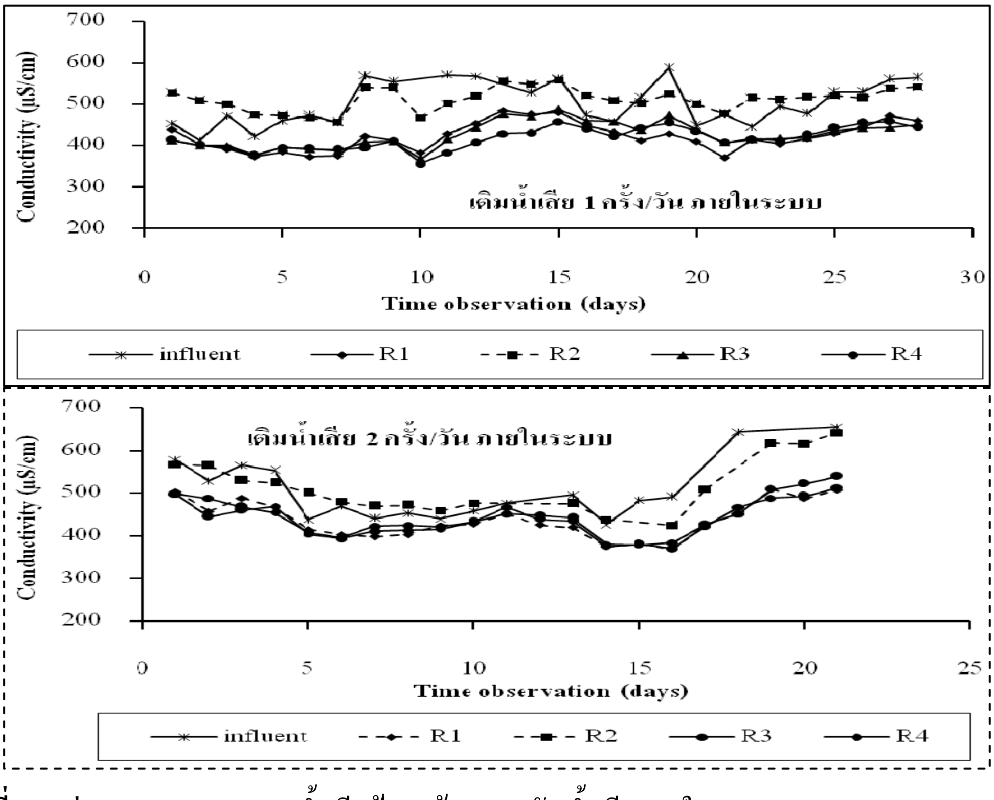
นอกจากนี้พบว่าค่า pH ของชุด R2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.79±0.16 และ 7.61±0.20 ของการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า pH เฉลี่ยในถัง R2 จะมีค่าที่ต่ำกว่าค่า pH เฉลี่ยของน้ำเสียป้อนเข้าระบบ โดยพบได้ทั้ง 2 เงื่อนไขการทดลอง ทั้งนี้อาจเกิดจากการดูดซึมก๊าซเสีย ที่ประกอบด้วย VFAs จึงมีผลทำให้ค่า pH ในน้ำเสียในระบบต่ำลง ซึ่งให้ผลคล้ายกับการศึกษาในระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ที่ได้กล่าวมาข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) พบว่าชุดทดลอง SBR มีแนวโน้มของค่า pH เฉลี่ยต่ำกว่าชุด R2 เล็กน้อย



ภาพที่ 36 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบกับน้ำเสียภายในชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ฉ) Conductivity

จากผลการทดลอง พบว่าค่า conductivity ในน้ำที่ผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ซึ่งใช้เป็นน้ำเสียสำหรับป้อนเข้าในชุดทดลองที่ศึกษา พบว่ามีค่า conductivity เฉลี่ยเท่ากับ 502 μS/cm และ 505 μS/cm ในการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับเมื่อป้อนน้ำเสียดังกล่าวเข้าสู่ชุดการทดลองระบบSBR (R1, R3 และ R4) พบว่าน้ำภายในชุดทดลองมีค่า conductivity ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียป้อนเข้าระบบโดยเฉลี่ยประมาณ 68-70 μS/cm และ 75-85 μS/cm สำหรับการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับและยังพบว่าถังที่ R3 ของชุดทดลอง SBR มีค่าเฉลี่ย conductivity มากกว่าถังที่ R1 และ R4 เนื่องจากมีการรับก๊าซเสียที่ป้อนเข้ามากที่สุด แต่ในทางกลับกัน กลับพบว่าค่าเฉลี่ย conductivity ของชุดดูดซึม R2 มีค่าเฉลี่ย conductivity มากกว่าชุดทดลองแบบ SBR(R1,R3 และ R4) และในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย conductivity สูงกว่าค่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบประมาณ 9 μS/cm และ 10 μS/cm ในการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถัง R2 มีการดูดซึมก๊าซเสียที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซ VFAs ต่าง ๆ จึงทำให้มีค่า conductivity สูงขึ้นภายในถัง R2 (ดังรายละเอียดในภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 ค่า conductivity ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบกับน้ำเสียภายในระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

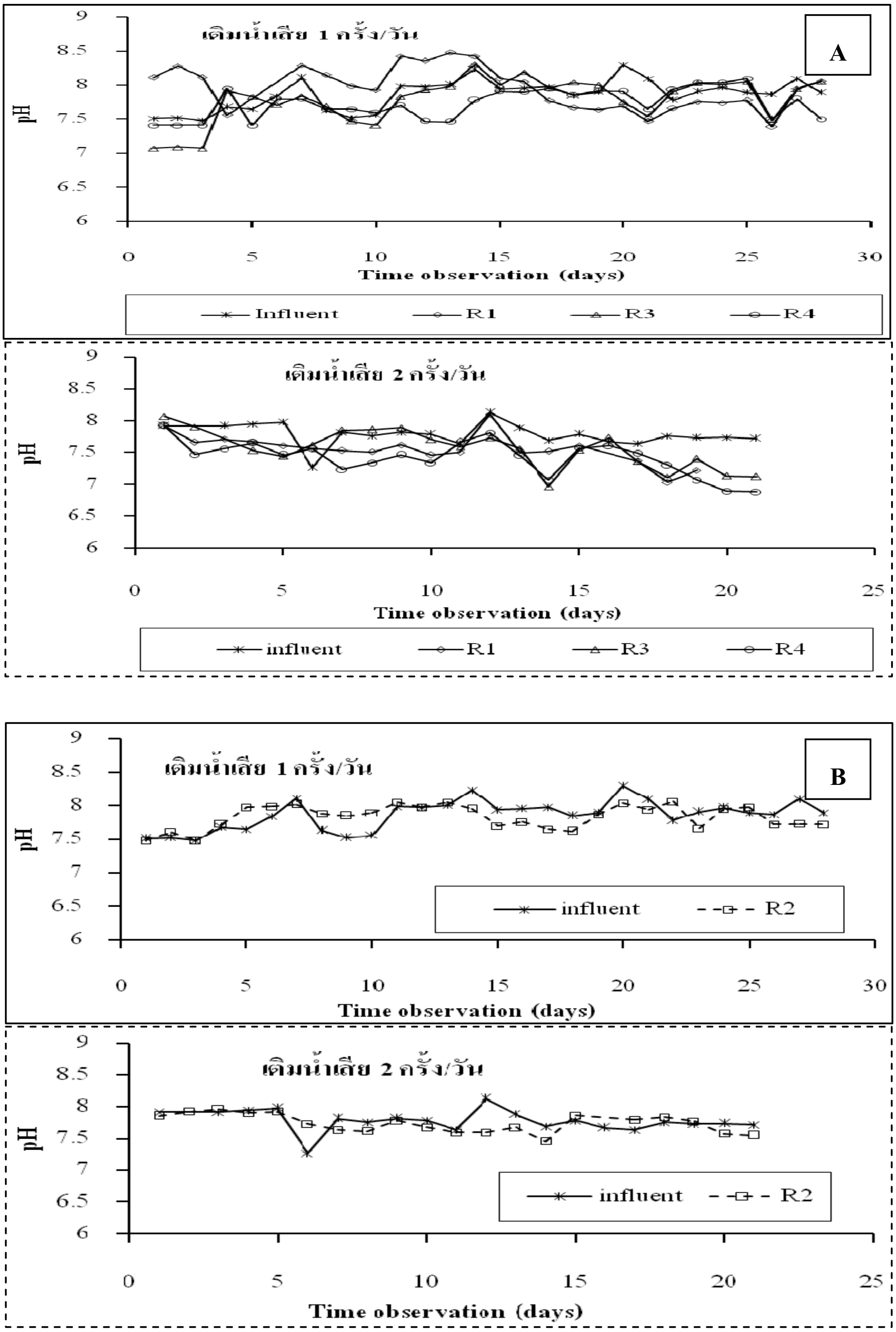
นอกจากนี้ในชุดทดลองระบบ SBR ทั้งสามถังยังมีกลไกของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ เกิดขึ้น และในถังที่ R3 และ R4 แม้จะมีการป้อนอากาศเสียเข้าระบบด้วยก็ตาม แต่ค่าเฉลี่ยของ conductivity ในถังกลับพบว่ามีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียและในก๊าซเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบนั้นถูกกลไกการย่อยสลายทางชีววิธีทำให้เกิดการกำจัดสารอินทรีย์ จึงทำให้มีค่า conductivity ลดลง

3.2.3 ลักษณะน้ำทิ้งออกจากชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 และประสิทธิภาพการบำบัด

ผลการศึกษาน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) รวมทั้งชุดR2 แสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

ก) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อพิจารณาค่า pH ในน้ำทิ้งจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน พบว่าค่า pH ของน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีค่าเฉลี่ย pH ดังนี้ 7.96, 7.79 และ 7.73 ตามลำดับ ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน สำหรับการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าเฉลี่ย pH เท่ากับ 7.56, 7.55 และ 7.42 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย pH ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าเฉลี่ย pH ต่ำกว่า ในการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และยังพบว่าค่าเฉลี่ย pH ของถัง R3 และถัง R4 มีค่า pH ต่ำกว่าในถัง R1 เนื่องจากทั้งถัง R3 และ R4 มีการป้อนก๊าซเสียเข้าสู่ระบบจึงมีแนวโน้มที่ก๊าซเสียดังกล่าวซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซ VFAs ละลายลงในน้ำเสียซึ่งเกิดจากกลไกการดูดซึมก๊าซดังกล่าว ข้อมูลของค่าเฉลี่ย pH ในแต่ละถังทดลองแสดงรายละเอียดดังภาพที่38และตารางที่ 28 นอกจากนี้พบว่าน้ำทิ้งของชุด R2 มีค่าเฉลี่ย pH เท่ากับ 7.83 และ 7.74 ของชุดทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ ซึ่งในภาพรวมพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ของน้ำป้อนเข้าระบบเล็กน้อย ซึ่งมีปัจจัยมาจากการดูดซึมก๊าซเสียซึ่งมีองค์ประกอบก๊าซที่เป็นกรดในระบบ อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลองทั้ง SBR(R1, R3 และ R4) และชุด R2 มีค่า pH ที่อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539)



ภาพที่ 38 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบกับน้ำทิ้งของชุดทดลอง (A) SBR (R1,R3 และ R4) และ (B) ชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ตารางที่ 28 ค่า pH ของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

<table>
<tr><th colspan="4" rowspan="2">ชุดตัวอย่างน้ำเสีย</th><th colspan="2">pH</th></tr>
<tr><th>เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน</th><th>เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน</th></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">(1) Influent</td><td>Range</td><td>7.48-8.30</td><td>7.26-8.13</td></tr>
<tr><td>Average</td><td>7.86±0.22</td><td>7.82±0.25</td></tr>
<tr><td rowspan="8">(2) Effluent</td><td rowspan="6">ชุดทดลอง SBR</td><td rowspan="2">R1</td><td>Range</td><td>7.39-8.48</td><td>7.03-8.1</td></tr>
<tr><td>Average</td><td>7.96±0.31</td><td>7.56±0.20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">R3</td><td>Range</td><td>7.07-8.31</td><td>6.96-8.07</td></tr>
<tr><td>Average</td><td>7.79±0.33</td><td>7.55±0.31</td></tr>
<tr><td rowspan="2">R4</td><td>Range</td><td>7.41-8.10</td><td>6.88-7.92</td></tr>
<tr><td>Average</td><td>7.73±0.22</td><td>7.42±0.27</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ชุดควบคุม</td><td rowspan="2">R2</td><td>Range</td><td>7.48-8.06</td><td>7.46-7.97</td></tr>
<tr><td>Average</td><td>7.83±0.18</td><td>7.74±0.15</td></tr>
</table>

ข) ของแข็งแขวนลอย (suspended solids: SS)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียป้อนเข้าระบบ พบว่ามีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยเท่ากับ 39±12.7 และ 48±15.4 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ และพบว่าน้ำทิ้งจากชุดทดลอง SBR(R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของเงื่อนไขที่ 1 ที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน มีปริมาณ SS เฉลี่ยเท่ากับ 13±4.2, 13±6.8,15±10 และ 12±10.6 mg/l ตามลำดับ ส่วนเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่าชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีปริมาณ SS เฉลี่ยเท่ากับ 8±4.2, 8±3.6 และ 6±2.8mg/l ตามลำดับ และชุด R2 มีปริมาณ SS เฉลี่ยเท่ากับ 8±4.4 mg/l เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR ของถังที่ R1, R3 และ R4 พบว่ามีค่าดังนี้ 67%,66% และ 61% ตามลำดับ ส่วนชุด R2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 68% ของเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่าชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีค่าดังนี้ 84%, 82% และ 87% และชุด R2 เท่ากับ 84% จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน และมีข้อสังเกตว่าน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539) แสดงดังตารางที่ 29 และภาพที่ 39

ตารางที่ 29 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

พารามิเตอร์			Influent	น้ำทิ้งจากชุดทดลอง			
				ชุดทดลอง SBR			ชุดควบคุม
				R1	R3	R4	R2
SS (mg/l)	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	39±12.7	13±4.2	13±6.8	15±10	12±10.6
		Range	25-64	5-21	3-27	3-27	2-48
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	48±15.4	8±4.2	8±3.6	6±2.8	8±4.4
		Range	28-80	2-14	3-15	1-13	3-16
SCOD (mg/l)	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	79±41.0	31±14.3	27±21.3	32±17.9	43±20.2
		Range	31-162	8-54	0-93	0-62	23-108
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	110±28.8	44±19.9	27±15.3	38±19.6	54±22.1
		Range	62-147	15-77	0-54	8-77	23-93
VFAs (mg/l as acetic acid)	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	46±46.4	17.±9.6	14±4.3	17±11.7	33±39.3
		Range	11-142	11-40	11-23	11-45	17-130
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	59±40.3	18±8.3	17±5.1	13±2.9	25±7.8
		Range	23-130	11-34	11-23	11-17	11-17
TKN (mg/l)	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	24±8.3	4±2.4	3±2.2	2±1.0	20±6.7
		Range	16-32	1-7	1-5	1-3	14-29
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	26±19.9	3±2.3	3±2.6	1±0.7	24±11.3
		Range	11-49	0-5	1-6	0-1	16-37
NH_3-N (mg/l)	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	13±4.7	2±2.3	1±1.8	0.4±0.6	14±3.5
		Range	9-24	0-6	0.1-4	0.1-2	9-20
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	17±13.9	1±1.0	2±2.2	1±0.7	12±9.8
		Range	7-39	0.09-3	0.1-5	0-2	3-30
SO_4^{2-} (mg/l)	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	18±3.8	29±14.3	29±11.3	29±13.6	33±17.4
		Range	12-23	18-63	19-54	20-61	22-74
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	32±8.2	31±2.9	28±3.7	30±4.5	28±4.4
		Range	21-42	25-33	24-33	24-36	23-35

ตารางที่ 29 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ (ต่อ)

พารามิเตอร์			Influent	น้ำทิ้งจากชุดทดลอง			
				ชุดทดลอง SBR			ชุดควบคุม
				R1	R3	R4	R2
Dissolved	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	4±0.5	4±1.7	5±1.1	3±1.6	3±1.3
Sulfide		Range	3-4	2-7	3-7	2-7	2-6
(mg/l)	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	6±0.8	5±0.6	5±0.9	5±0.8	5±0.7
		Range	5-7	5-6	4-6	4-6	4-6
Total	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	5±0.4	5±1.8	5±1.1	4±1.4	4±1.3
Sulfide		Range	4-6	2-7	4-7	3-7	3-7
(mg/l)	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	6±0.6	6±0.5	5±0.9	6±1.0	5±0.3
		Range	5-7	5-7	4-6	4-7	5-5
H_2S	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average	0.9±0.47	0.9±0.84	1.4±0.77	1.4±0.93	0.8±0.49
		Range	0.5-1.9	0.1-2.8	0.6-3.1	0.6-3.5	0.3-1.8
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average	1.4±0.56	5.7±7.74	3.5-2.22	5.5±3.31	1.8±0.70
		Range	0.8-2.0	0.8-21.1	1.1-6.9	1.2-9.0	0.8-2.5
SV60	เติมน้ำ 1 ครั้ง/วัน	Average		10±1.9	25±2.9	21±2.1	6±2.1
(ml/l)		Range		9-13	22-29	20-24	4-9
	เติมน้ำ 2 ครั้ง/วัน	Average		27±2.6	41±2.6	32±2.5	13±2.9
		Range		25-30	39-44	29-34	10-15

หมายเหตุ :

<u>ชุดทดลองแบบ SBR คือ</u>

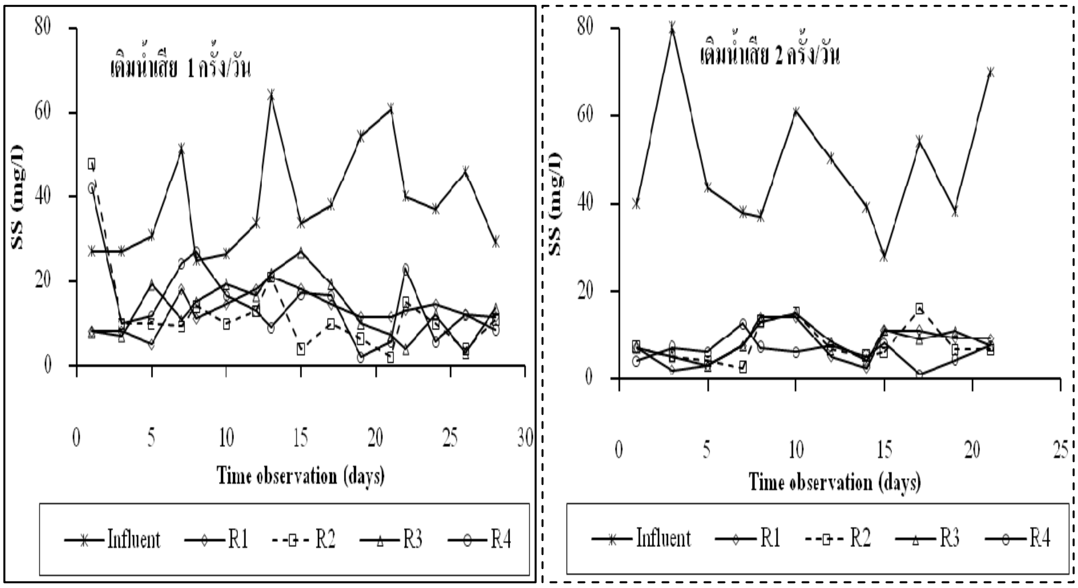
R1 คือ ถังทดลองที่ 1 ป้อนเฉพาะน้ำเสียและมีการ aeration

R3 คือ ถังทดลองที่ 3 ป้อนน้ำเสียมีการ aeration และป้อนก๊าซเสียในอัตราที่สูงเท่ากับ 13.3 m^3/hr(L/G = 0.188 l/m^3, L/G = 0.423 l/m^3 ของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน)

R4 คือ ถังทดลองที่ 4 ป้อนน้ำเสียมีการ aeration และป้อนก๊าซเสียในอัตราที่ต่ำเท่ากับ 6.65 m^3/hr (L/G = 0.376 l/m^3, L/G = 0.846 l/m^3ของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน)

<u>ชุดควบคุม คือ</u>

R2 คือ ถังทดลองที่ 2 ป้อนน้ำเสียและป้อนเฉพาะก๊าซเสียเท่ากับ 13.3 m^3/hr(L/G = 0.188 l/m^3, L/G = 0.423 l/m^3ของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน)

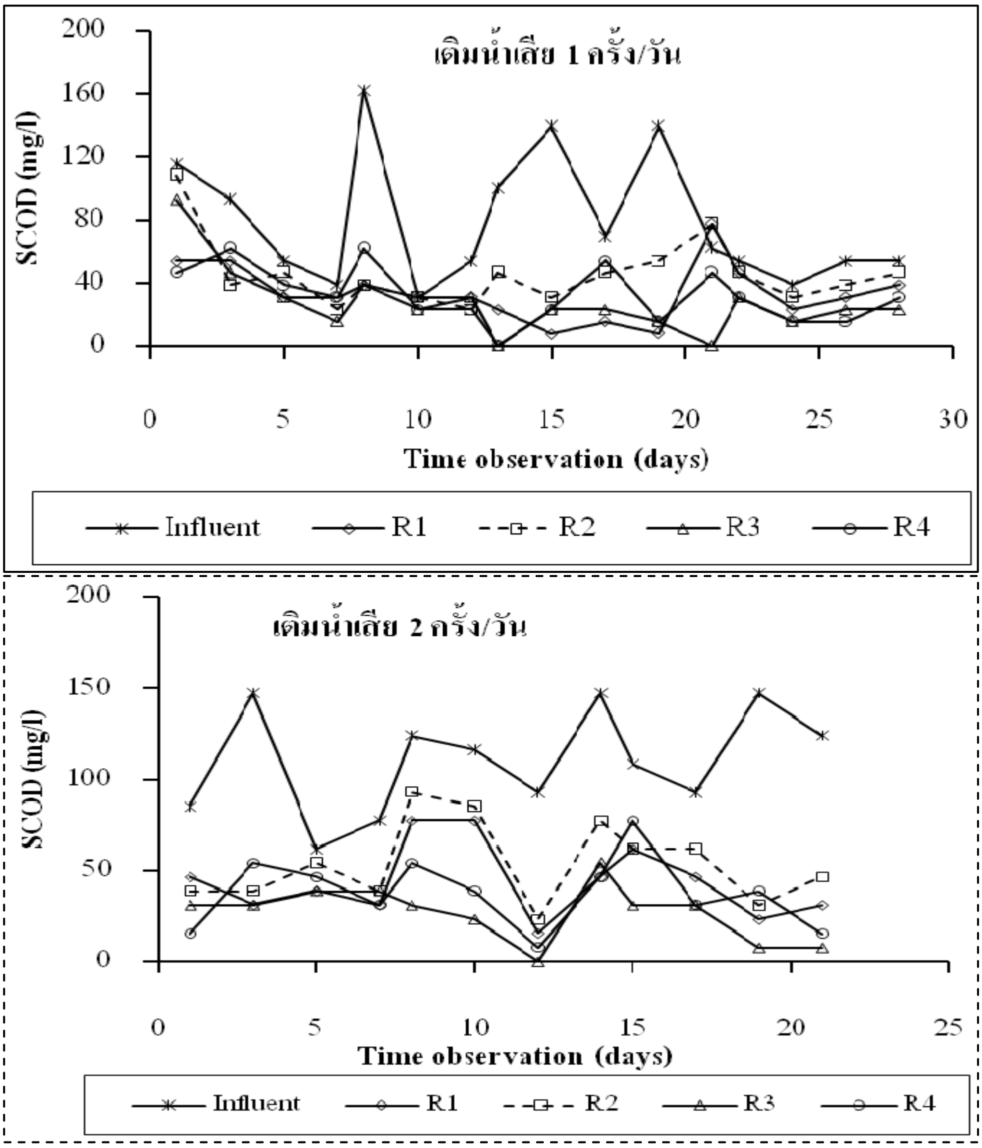


ภาพที่ 39 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียป้อนเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ค) สารอินทรีย์ในรูปซีโอดีละลาย (SCOD)

ปริมาณสารอินทรีย์ในรูป SCOD ที่ใช้เป็นน้ำเสียป้อนเข้าชุดทดลอง พบว่ามีค่าเฉลี่ย SCOD เท่ากับ 79±41.0 และ 110±28.8 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ซึ่งพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีค่า SCOD เฉลี่ยเท่ากับ 31±14.3, 27±21.3 และ 32±17.9 mg/l ตามลำดับ และชุด R2 มีค่า SCOD เฉลี่ยเท่ากับ 43±20.2 mg/l ส่วนเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน เมื่อผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) พบว่ามีค่าเฉลี่ย SCOD เท่ากับ 44±19.9, 27±15.3 และ 38±19.8 mg/l และชุด R2 มีค่าเฉลี่ย SCOD เท่ากับ 54±22.1mg/l จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 เงื่อนไขเมื่อพิจารณาน้ำทิ้งออกจากชุดทดลองกับน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้า พบว่าสามารถลดค่า SCOD ได้ทุกถังทดลองรายละเอียดดังภาพที่ 40

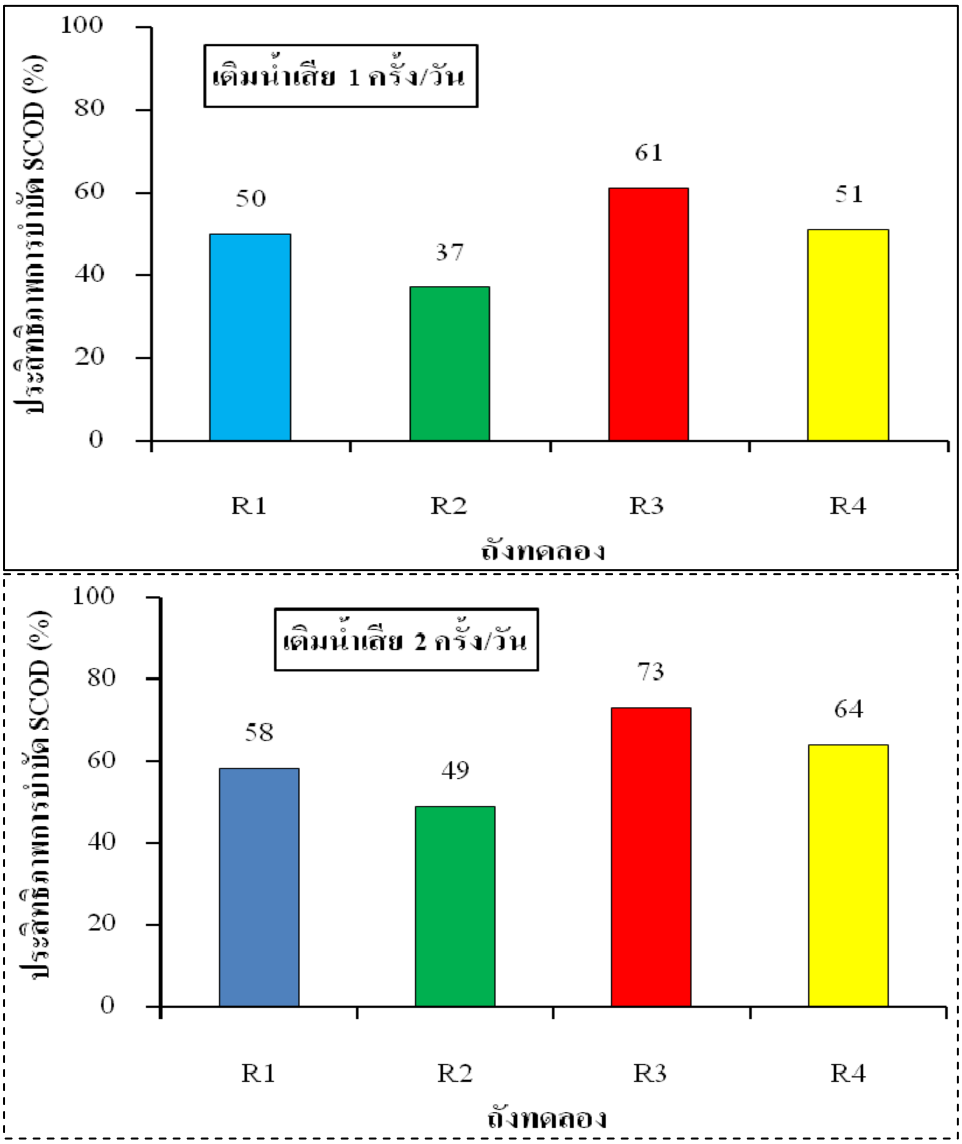
เมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพการบำบัด SCOD พบว่าชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) สามารถลดค่า SCOD ได้ถึงร้อยละ 50, 61, 51 ตามลำดับของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ส่วนการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่าน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีประสิทธิภาพการบำบัด SCOD ได้ร้อยละ 58, 73 และ 64 ตามลำดับ ส่วนชุด R2 สามารถลดค่า SCOD ได้ถึงร้อยละ 37 และ49 ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 41)



ภาพที่ 40 ค่า SCOD ของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ทั้งนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน สามารถลดค่า SCOD ได้มากกว่าเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ทุกถังการทดลอง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าถัง R2 ทั้ง 2 เงื่อนไขการทดลองของการป้อนน้ำเสีย พบว่าสามารถลดค่า SCOD ได้ ถึงแม้ไม่มีปริมาณจุลินทรีย์ในถังทดลองเหมือนกับชุด SBR แต่มีร้อยละของการบำบัด SCOD ต่ำกว่าชุด SBR ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จากการป้อนน้ำเสียให้กับระบบและการระเหยของก๊าซที่ป้อนเข้าถังทดลอง นอกจากนี้อาจเกิดกลไกของ air stripping เกิดขึ้นในถังที่ R2 ด้วย จึงสามารถลด

ค่า SCOD ได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุภัสสร สกุลจร และสุณีนาท ศรีจอหอ (2554) ที่ระบุว่าการบำบัดน้ำเสียด้วย air stripping สามารถลดค่า COD ได้ถึงร้อยละ 59



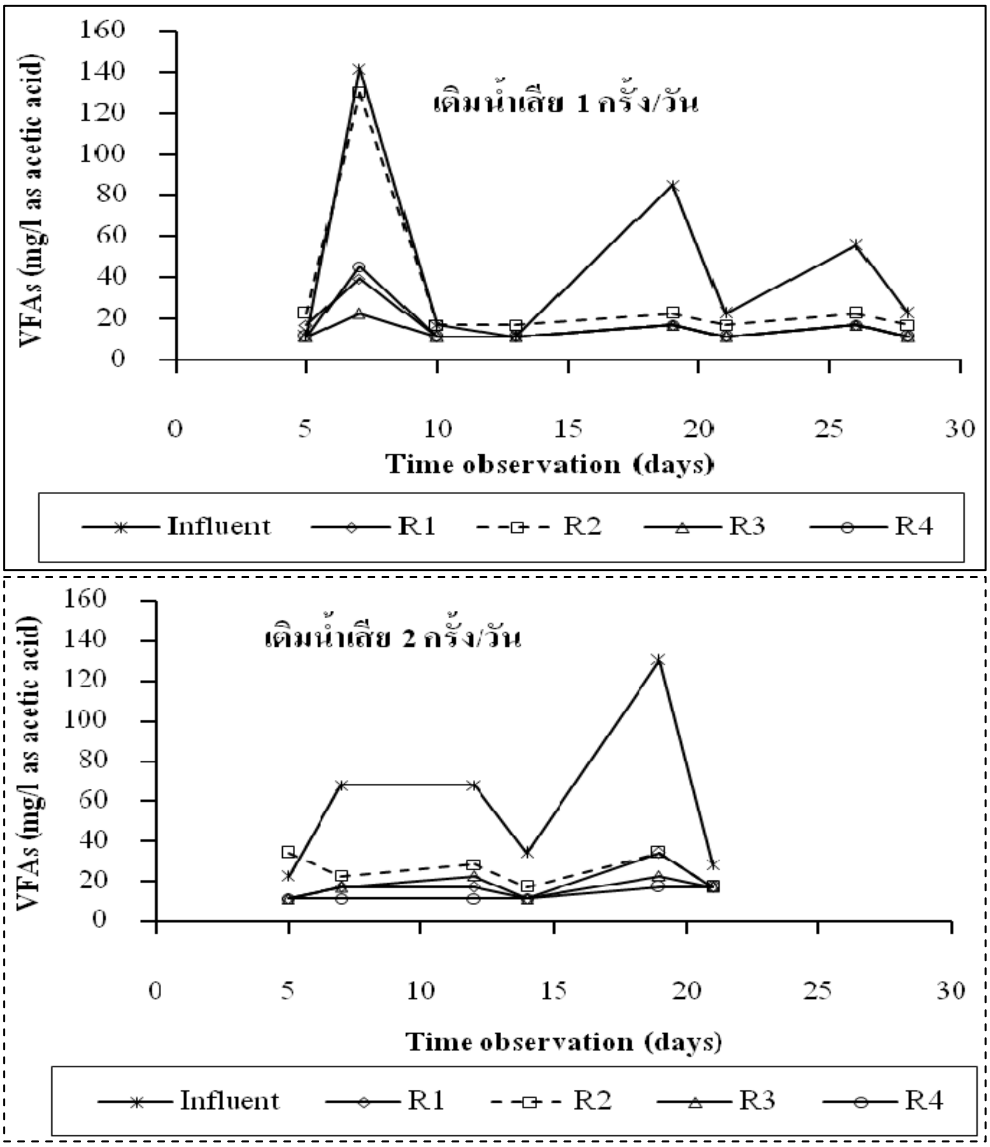
ภาพที่ 41 ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ส่วนชุดทดลอง SBR พบว่าถังที่ R1 มีความสามารถในการที่จะลดค่า SCOD ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าได้แม้ไม่มีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบจึงทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัด SCOD ได้มากกว่าในถัง R2 และอาจมีกลไกของ air stripping ร่วมด้วย และเมื่อพิจารณาถังที่ R3 ที่มีการป้อนก๊าซเสียในอัตราที่สูงซึ่ง

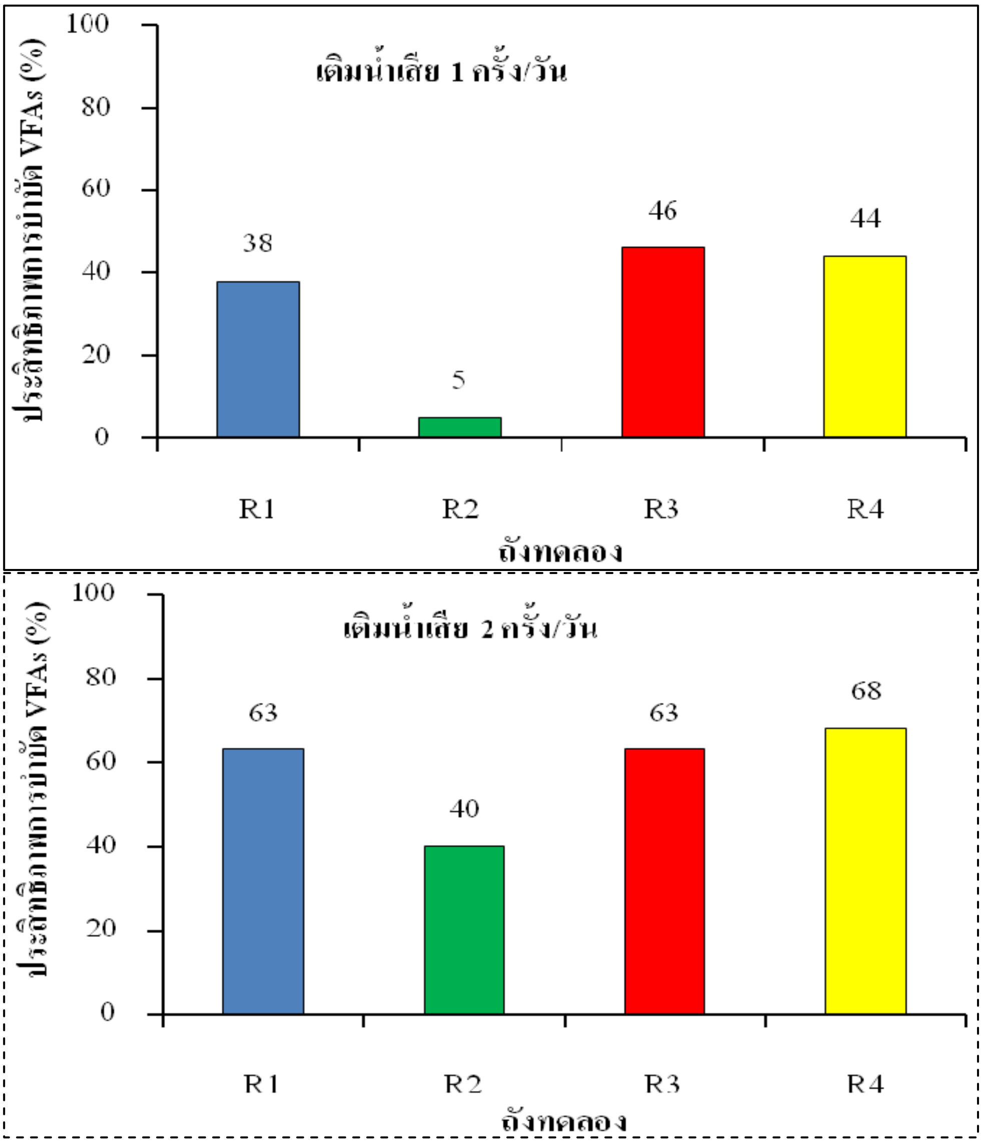
ให้ผลการทดลองที่พบว่าสามารถลดค่า SCOD ได้สูงสุดทั้งที่มีอินทรีย์สารที่ป้อนให้กับระบบที่มาจากน้ำเสียและก๊าซเสีย เนื่องจากปริมาณ MLSS ในถัง R3 มีค่าสูงสุดจึงทำให้สามารถลดค่า SCOD ได้สูงสุดด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR และชุดทดลอง R2 มีค่า SCOD อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539)

ง) กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids: VFAs)

จากผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (VFAs) ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าสำหรับชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 พบว่าค่า VFAs ในน้ำเสียป้อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46 mg/las CH_3COOH หรือมีค่าอยู่ในช่วง 11-142 mg/las CH_3COOH ของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59 mg/las CH_3COOH หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 23-130 mg/las CH_3COOH ในการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน เนื่องจากเกิดการดูดซึมก๊าซกรดไขมันระเหยของก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ซึ่งสารดูดซึมดังกล่าวนำมาใช้เป็นน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบทดลอง (R1-R4) และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) พบว่า VFAs มีค่าลดลงทั้ง 2 เงื่อนไขแสดงดังภาพที่ 42 เมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดแสดงดังภาพที่ 43 แสดงให้เห็นว่าชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) สามารถลดค่ากรดไขมันระเหย (VFAs) ในน้ำเสียได้เฉลี่ยร้อยละ 38-46 และ 63-68 ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า L/G ของชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน พบว่าชุดการทดลองที่มีการเดินระบบที่มีค่าL/G ที่สูงกว่าจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ VFAs ได้สูงกว่าด้วย และยังพบว่าถังที่ R3 และถังที่ R4 ที่มีการป้อนก๊าซเสียเข้าสู่ระบบมีแนวโน้มการบำบัดค่า VFAs ในน้ำเสียของระบบได้ค่อนข้างสูงกว่าชุดถัง R1 ในชุดทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน แต่ในชุดที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่าถังที่ R3 มีประสิทธิภาพการบำบัด VFAs เท่ากับถังที่ R1 และเมื่อเปรียบเทียบชุดทดลอง SBR กับชุดซึ่งมีเป้าหมายให้เกิดการดูดซึม กลับพบข้อมูลว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด VFAs ของน้ำในระบบ R2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการบำบัด VFAs เท่ากับ 5 และ 40% (L/G = 0.188 l/m^3, L/G = 0.423 l/m^3 ของเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน) ตามลำดับ ทั้งที่ชุดการทดลอง R2 ไม่มีการ aeration และไม่ใช่เป็นระบบที่มีการบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์เหมือนระบบ SBR ซึ่งระบบ R2 เป็นระบบที่มีการป้อนเฉพาะก๊าซเสีย ดังนั้นผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลการบำบัดของ VFAs จะให้ผลที่ค่อนข้างสอดคล้องกับค่า SCOD แสดงให้เห็นว่าการที่ผลการทดลองมีค่า VFAs ในน้ำในถัง R2 ที่ถูกกำจัดได้ดังกล่าวข้างต้นนั้น อาจเกิดจากปัจจัยของกลไกของ air stripping มากกว่าการกลไกการดูดซึม



ภาพที่ 42 ค่ากรดไขมันระเหย (VFAs) ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

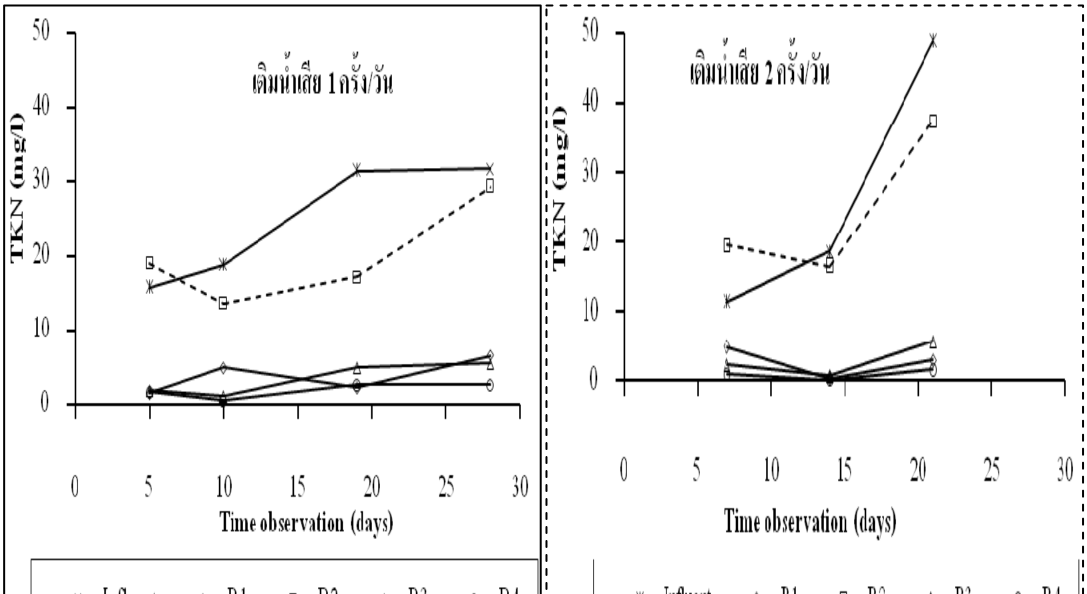


ภาพที่ 43 ประสิทธิภาพการบำบัด VFAs ของการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

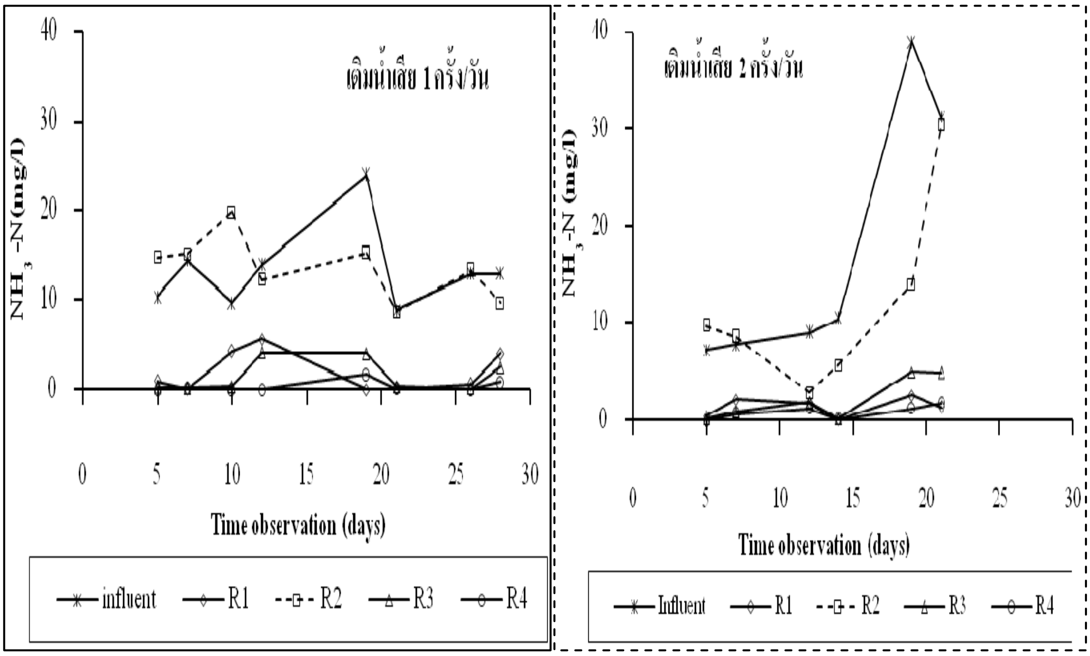
จ) TKN, NH_3-N

ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาค่าไนโตรเจนที่อยู่ในรูป TKN และ NH_3-N เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 แล้วทำการเดินระบบให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 29 พบว่าน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบทดลองมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไม่สูงมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539) ก็ยังไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ 120 mg/l จากผลการศึกษาของน้ำเสียป้อนเข้าชุด

ทดลอง SBR(R1, R3 และ R4) และชุด R2 พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ในช่วง 16-32 mg/l หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24±8.3 mg/l ของชุดทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน สำหรับเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่า TKN อยู่ในช่วง 11-49 mg/l หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26±19.9 mg/l และยังพบว่าค่าไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียป้อนเข้าระบบมีค่าประมาณ 0.5 เท่าของTKN โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9-24 mg/l หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13±4.7 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ส่วนเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 7-39 mg/l หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17±13.9 mg/l การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน (TKN และ NH_3-N) เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 พบว่ามีค่าดังตารางที่ 29 และภาพที่ 44กับภาพที่ 45 แสดงให้เห็นว่าชุด R2 ซึ่งมีการป้อนเฉพาะก๊าซเสีย แต่กลับพบว่ามีการลดลงของ TKN และ NH_3-N ของน้ำในระบบแสดงให้เห็นถึงอาจมีปฏิกิริยาของการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นด้วย และส่วนใหญ่ไม่น่ามีกระบวนการดูดซึมของก๊าซ NH_3 เกิดขึ้น แต่กลับมีแนวโน้มของการระเหยออกจากระบบด้วยกระบวนการ air stripping มากกว่า ผลการทดลองพบเพียงการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ที่ทำให้ R2 มีผลของการดูดซึม แต่ก็เกิดขึ้นด้วยประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

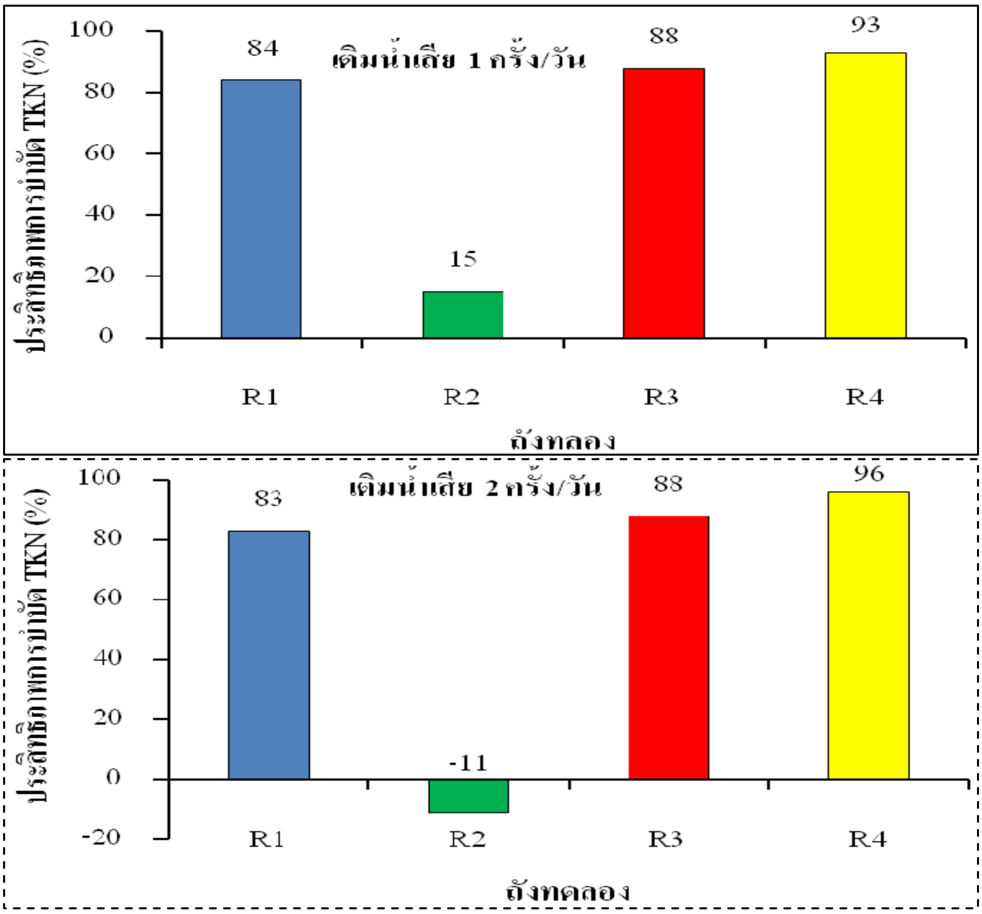


ภาพที่ 44 ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบทดลองและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ



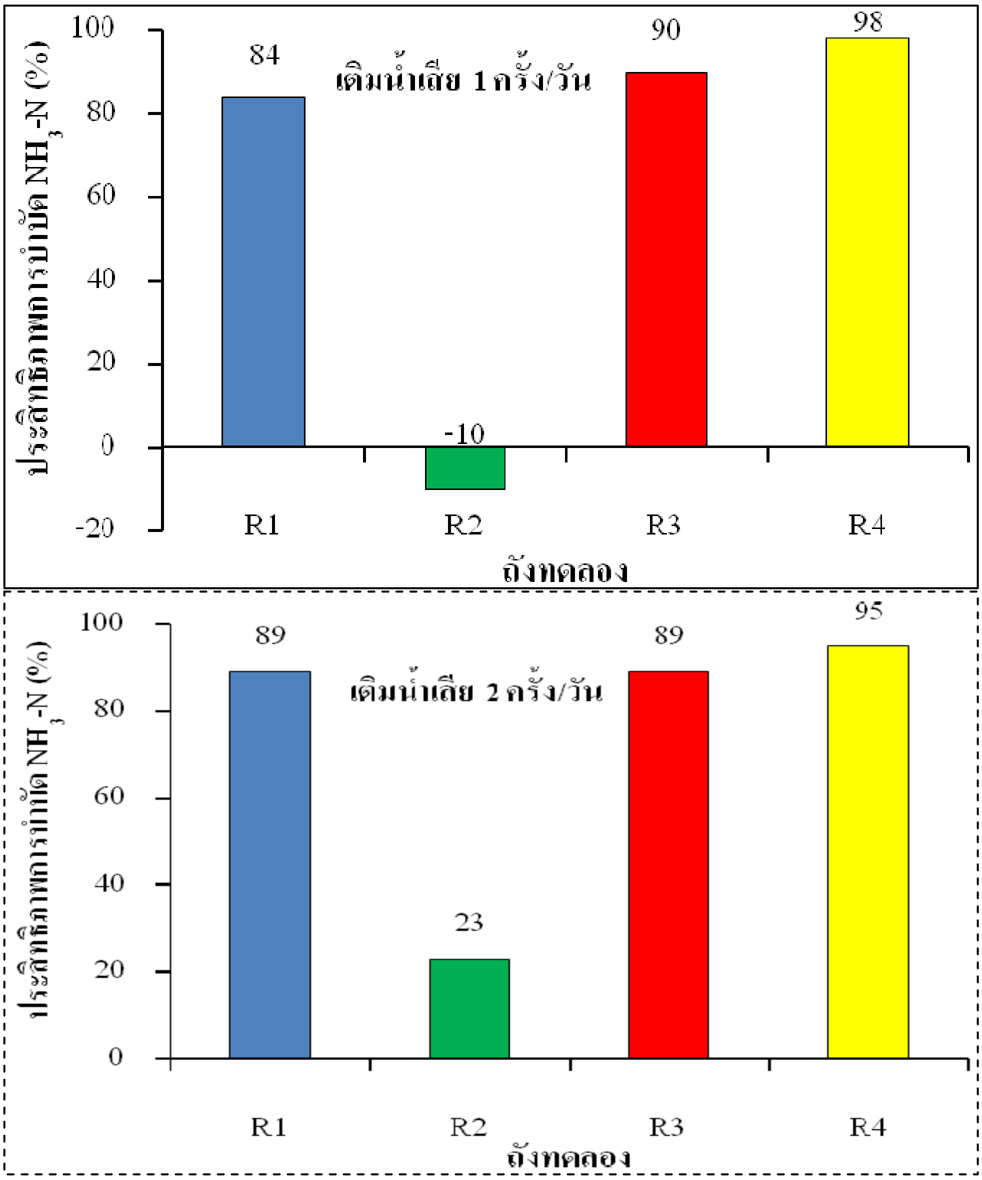
ภาพที่ 45 ปริมาณ NH_3-N ของน้ำเสียป้อนเข้าระบบทดลองและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

อนึ่งในชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) ที่มีการ aeration มีการป้อนน้ำเสียและป้อนก๊าซเสีย พบว่าน้ำเสียในระบบมีค่า TKN และ NH_3-N ลดลง แสดงให้เห็นว่ามีกระบวนการบำบัด TKN และ NH_3-N โดยพบว่าร้อยละของการบำบัด TKN เฉลี่ยของ 3 ถังที่ศึกษามีค่า 84%-93% และ 83%-96% ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ และ NH_3-N มีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยในช่วง 84%-98% และ 83%-95% ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ (ดังภาพที่ 46 และภาพที่ 47) แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการย่อยสลาย TKN และ NH_3-N ด้วยทางชีววิธีในระบบ อนึ่งปกติการย่อยสลาย TKN ภายใต้กลไกทางชีววิธีในระบบที่มีอากาศจะทำให้เกิดการสะสมของ NH_3-N มากขึ้นได้ แต่ด้วยระบบมีปริมาณ O_2 ที่มากกว่า 3 mg/l อาจมีผลให้เกิดกระบวนการของ nitrification ที่ oxidize NH_3 ให้เป็น NO_2^- และ NO_3^- จึงทำให้ค่า NH_3 ในน้ำทิ้งลดลงแทนที่จะสะสมในระบบ และรวมถึงระบบมีการป้อนอากาศทั้งจากการ aeration และการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบ ดังนั้นอาจเกิดกลไกการลดค่า NH_3-N ในน้ำด้วยกระบวนการของ air stripping ร่วมด้วย



ภาพที่ 46 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่า TKN ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

นอกจากนี้ด้วยระบบ SBR ของชุด R3 และ R4 ซึ่งมีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบ แต่ผลการทดลองพบว่า แนวโน้มของการลดลงค่า NH_3-N ในน้ำของระบบมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุด R1 ซึ่งไม่ได้มีการป้อนก๊าซเสีย จึงแสดงให้เห็นว่ากลไกที่เกิดขึ้นในระบบอาจเกิดจากกระบวนการของ air stripping ร่วมด้วย จึงมีผลทำให้เกิดการกำจัด NH_3-N ในระบบของถัง R3 และ R4 ได้มากกว่าถัง R1 อย่างไรก็ตามจะกล่าวว่ามีกลไกหลักที่เกิดขึ้นในถัง R2 ซึ่งเป็น air stripping อย่างเดียวก็คงไม่ใช่ ด้วยการทดลอง R2 เมื่อมีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน กลับพบค่าบำบัดเฉลี่ยของ NH_3-N เป็นลบ(-10%) แสดงให้เห็นถึงกลไกการดูดซึมยอมเกิดขึ้นได้บ้างเช่นกัน



ภาพที่ 47 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่า NH_3-N ของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

จากภาพที่ 47 ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดของ NH_3-N กับค่า L/G กล่าวคือ ถังที่ R3 ที่มีเงื่อนไขการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วันมีค่า L/G เท่ากับ 0.188 l/m^3และ0.423 l/m^3ตามลำดับ ให้ประสิทธิภาพการบำบัด NH_3-N ของน้ำในระบบร้อยละ 90 และ 89 ส่วนถังที่ R4 ที่มีเงื่อนไขการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วันมีค่า L/G เท่ากับ 0.376 l/m^3และ 0.846 l/m^3 ตามลำดับ ให้ประสิทธิภาพการบำบัด NH_3-N ที่ร้อยละ 98

และ 95 โดยแสดงให้เห็นว่าถังที่มีการเดินระบบด้วยอัตราส่วนของ L/G ต่ำจะให้ประสิทธิภาพการลดลงของ NH_3-N ของน้ำเสียในระบบได้สูงกว่า ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดกลไกของการเกิด air stripping ร่วมด้วย

ฉ) ปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-})

ผลการศึกษาน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 มีค่าเฉลี่ยโดยรวมที่สูงกว่าน้ำเข้าระบบ สำหรับการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน โดยค่า SO_4^{2-} ของน้ำเสียป้อนเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18±3.8 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) พบปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 29±14.3, 29±11.3 และ 29±13.6 mg/l ตามลำดับ และค่าซัลเฟตของชุด R2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33±17.4 mg/l และพบว่าค่าซัลเฟตของชุด R2 มีค่าสูงกว่าชุดทดลอง SBR เล็กน้อย ส่วนการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่าให้ผลที่ต่างจากการป้อนน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน โดยน้ำเสียป้อนเข้ามีค่าซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 32±8.2 mg/l และน้ำทิ้งจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีค่าซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 31±2.9, 28±3.7 และ 30±4.5mg/l ตามลำดับ รวมทั้งค่าซัลเฟตน้ำทิ้งของชุด R2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28±2.9 mg/l ซึ่งจะเห็นว่าน้ำทิ้งที่เกิดขึ้น เมื่อทดลองป้อนน้ำเสีย 2 ครั้ง/วันจะทำให้ค่า SO_4^{2-} ในน้ำทิ้งไม่แตกต่างจากในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมากนักดังแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 29 และภาพที่ 48 เมื่อพิจารณาการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน จะพบว่าระบบที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน จะทำให้มวลน้ำในระบบได้รับปริมาณออกซิเจนได้ยาวนานกว่าระบบที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วันปริมาณ SO_4^{2-} ที่เพิ่มขึ้นในการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วันอาจเพิ่มมาจากสภาวะการ oxidation ของ H_2S ซึ่งมาจากในน้ำเสียและที่ดูดซึมจากอากาศที่ป้อนเข้าระบบเป็น SO_4^{2-} ทั้งที่เกิดจากกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ ทั้งนี้มีรายงานว่าการ oxidation ของแบคทีเรียที่ใช้ H_2S ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนจะได้ H_2SO_4 จึงมีผลของ SO_4^{2-} ดังพบในการทดลองนอกจากนี้การ oxidation ทางเคมีของ H_2S เป็น H_2SO_4 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525) แสดงได้ คือ

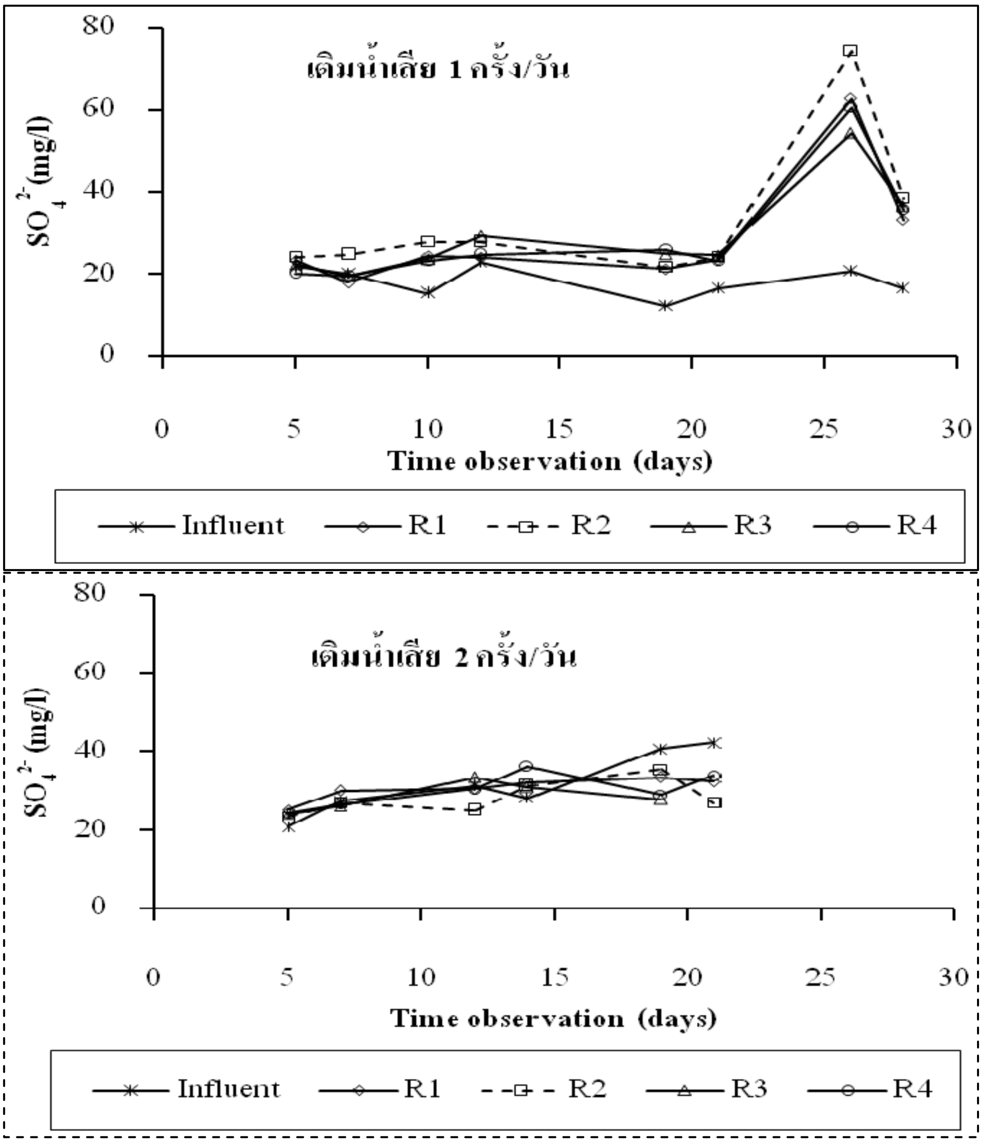
$$2H_2S + 3O_2 \longrightarrow 2SO_2 + 2H_2O$$

$$2SO_2 + O_2 \longrightarrow 2SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

อย่างไรก็ตาม กลไกการเปลี่ยนแปลงของ SO_4^{2-} ในผลการทดลองที่ศึกษาได้พบว่าค่อนข้างซับซ้อน ด้วยระบบแม้จะมีปริมาณ O_2 สูง แต่ระบบ SBR มีจุลินทรีย์ที่สามารถ

ย่อยสลาย SO_4^{2-} ในน้ำเสียดังเทียบเคียงการอ้างอิงของผลการศึกษาของพนาลี ชีวกิดาการ และคณะ, 2558 ที่มีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยางข้นโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียมีความสามารถในการบำบัดซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และซัลเฟต ได้ประมาณร้อยละ 93 45 และ 16 ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี และยังสามารถลดค่าการบำบัดซัลเฟตได้เล็กน้อย ดังนั้นในระบบการทดลองที่เป็น SBR ครั้งนี้ซึ่งเป็นการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ activated sludge ก็อาจมีกลไกการลดค่า SO_4^{2-} ได้ด้วย ดังที่พบในการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน



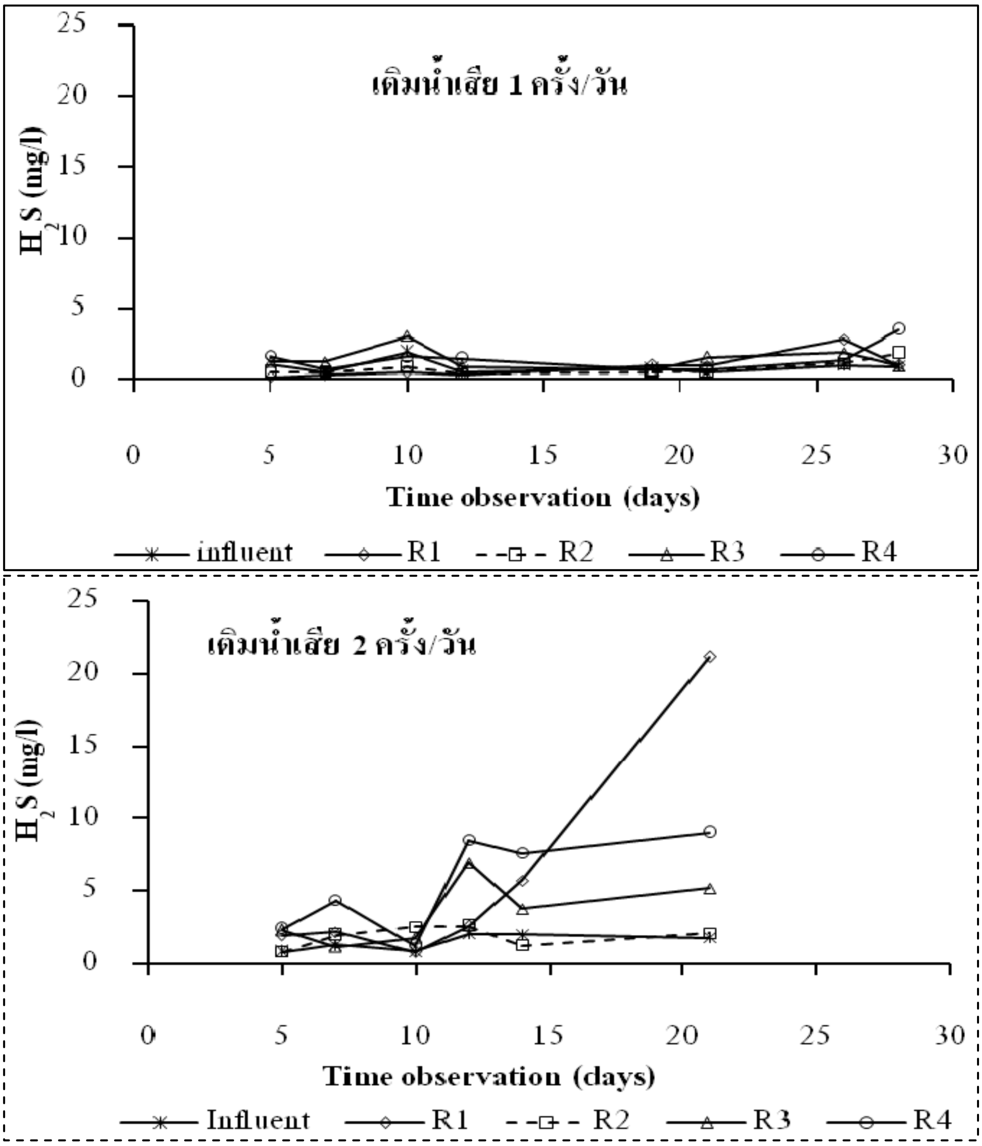
ภาพที่ 48 ค่าซัลเฟต (SO_4^{2-}) ของน้ำเสียป้อนเข้าและน้ำทิ้งก่อนออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ช) Hydrogen sulfides (H_2S) dissolved sulfide (DS) และ total sulfide (TS)

จากการศึกษาค่า dissolved sulfides พบว่าในน้ำเสียป้อนเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4±0.5 mg/l และ 6±0.8 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วันตามลำดับ และพบว่าในน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีค่าเฉลี่ย dissolved sulfides ดังต่อไปนี้ 4±1.7 mg/l, 5±1.1 mg/l และ 3±1.6 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ตามลำดับ และชุด R2 มีค่าเฉลี่ยของ dissolved sulfides เท่ากับ 3±1.3 mg/l ส่วนเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่า dissolved sulfides เฉลี่ยเท่ากับ 5±0.6 mg/l, 5±0.9 mg/l และ 5±0.8 mg/l ของถัง R1, R3 และ R4 ตามลำดับ ส่วนถังทดลองที่ R2 พบว่ามีค่าเฉลี่ย dissolved sulfides เท่ากับ 5±0.7mg/l จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย dissolved sulfides ของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบทั้ง 2 การทดลองที่มีการเติมน้ำเสียเข้าระบบ 1 และ 2 ครั้ง/วัน และน้ำที่ออกจากระบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ย dissolved sulfides ในการทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าสูงกว่าการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน

นอกจากนี้พบว่าค่าtotal sulfide ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5±0.4 mg/l และ 6±0.6 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วันส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากชุด SBR (R1, R3 และ R4) พบว่ามีค่าเฉลี่ย total sulfide เท่ากับ 5±1.8 mg/l, 5±1.1 mg/l และ 4±1.4 mg/l ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และชุด R2 มีค่าเฉลี่ย total sulfide เท่ากับ 4±1.3 mg/l สำหรับการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ในน้ำทิ้งของชุดทดลอง SBR(R1, R3 และ R4) พบว่ามีค่าเฉลี่ย total sulfide ดังต่อไปนี้ 6±0.5 mg/l, 5±0.9 mg/l และ 6±1.0 mg/l ตามลำดับและชุด R2 มีค่าเฉลี่ยของ total sulfide เท่ากับ 5±0.3 mg/l ซึ่งข้อมูลของ total sulfide กับค่า dissolved sulfides มีรายละเอียดดังตาราง 29

อนึ่งเมื่อศึกษาค่า H_2S ในน้ำเสียป้อนเข้าระบบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ H_2S เท่ากับ 0.9±0.47 และ 1.4±0.56 mg/l ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า H_2S โดยเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน มีค่าต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน และส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) เมื่อมีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ H_2S ดังต่อไปนี้ 0.9±0.84, 1.4±0.77 และ 1.4±0.93 mg/l ตามลำดับ และชุด R2 มีค่าเฉลี่ย H_2S เท่ากับ 0.8±0.49 mg/l จะเห็นได้ว่าในถังที่ R3 และ R4 มีค่าเฉลี่ย H_2S มากกว่าน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบสำหรับการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ในน้ำทิ้งของชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ H_2S เท่ากับ 5.7±7.74, 3.5±2.22 และ 5.5±3.31 mg/l ตามลำดับ และชุด R2 มีค่าเฉลี่ยของ H_2S เท่ากับ 1.8±0.70 mg/l ดังรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 49 และตารางที่ 29



ภาพที่ 49 ค่า H_2S ในน้ำเสียป้อนเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ

ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ย H_2S ในน้ำทิ้งที่มีการป้อนน้ำเสีย 2 ครั้ง/วันมีแนวโน้มว่ามีปริมาณการสะสมของ H_2S เกิดขึ้นในระบบ (ค่า H_2S ในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำป้อนเข้าระบบ) ทั้งที่เป็นชุด SBR และชุด R2 และชุดที่เป็น SBR มีการสะสมของ H_2S มากกว่าชุด R2 และให้ผลตรงข้ามกันเมื่อเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ซึ่งพบว่ามีการสะสมของ H_2S ในระบบน้อยกว่า ซึ่งผลการศึกษานี้สนับสนุนกับข้อมูลที่พบในค่า SO_4^{2-} ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ดังกล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองของค่า H_2S ที่ศึกษาจะเห็นได้ว่าระบบมีค่า H_2S ในน้ำ

ทิ้งสูงกว่าค่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบของทุกชุดการทดลอง (SBR และ R2) แสดงให้เห็นว่าอาจมีกลไกการดูดซึมของ H_2S ที่ป้อนเข้าจากก๊าซเสียสู่มวลของเหลว (ถัง R3, R4 และ R2) เกิดขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากค่า H_2S ในถัง R1กับพบว่ามีค่าสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งถังที่ R1 มิได้มีการป้อนก๊าซเสียให้กับระบบ จึงไม่ควรเกิดปฏิกิริยาการดูดซึม การสะสมของ H_2S ในถัง R1 อาจเป็นกลไกจากการย่อยสลาย SO_4^{2-} ด้วยทางชีวภาพ ทั้งนี้ระบบ SBR เป็นระบบที่มีการเติมอากาศ (ช่วง aeration) จึงมีปริมาณ O_2 สูง แต่ช่วงตกตะกอนและถ่ายทิ้งน้ำเสียหรือเติมน้ำเสียเข้าระบบจะมีปริมาณ O_2 ต่ำ ด้วยไม่มีการ aeration ดังนั้นการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดได้ทั้งในภาวะมีอากาศและการมีอากาศจำกัด อนึ่งค่า H_2S ในน้ำจะขึ้นอยู่กับค่า pH ด้วย โดยค่า pH ที่มีแนวโน้มเป็นกรดมากขึ้นจะทำให้เกิดการแตกตัวได้ H_2S ได้มากกว่า ค่า pH มีความเป็นด่าง (แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) จากผลการศึกษาพบว่าในการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน จะมีค่า pH เฉลี่ยต่ำกว่าค่า pH เฉลี่ยของชุดทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ปัจจัยของค่า pH ที่เกิดขึ้นในระบบดังกล่าวอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พบค่าการสะสมของ H_2S ในน้ำทิ้งของระบบการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มากกว่าชุดทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน อนึ่งการที่สมดุลของ H_2S ในน้ำเสียจะแยกตัวออกจากน้ำสู่มวลอากาศ ซึ่งเกิดได้ในกลไกของ air stripping และH_2S ในก๊าซเสียจะละลายสู่น้ำซึ่งเป็นสารดูดซึมภายใต้กลไกของการดูดซึมนั้น ค่า pH ค่าอุณหภูมิ ระดับความเข้มข้นของ H_2S และค่าความดันไอจะเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบให้เกิดกลไกใดมากน้อย อนึ่งจากการทำงานของระบบที่ใช้ทดลองทั้ง 4 ชุด พบว่าเป็นระบบที่มีลักษณะทางเคมีและกายภาพของค่าดังกล่าวของทั้งน้ำและก๊าซที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยมาจากลักษณะของก๊าซเสียที่เข้าระบบที่มีค่าอุณหภูมิที่ ไม่คงที่ รวมถึงลักษณะน้ำเสียที่แปรปรวนตลอดเวลาจากกลไกดังกล่าวที่เกิดขึ้น ประกอบกับระบบ SBR ที่ทำงานเป็นแบบ batch จึงทำให้ลักษณะน้ำเสียในระบบมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดกลไกของทั้ง air stripping และ absorption ที่ซับซ้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาที่ได้ ที่ยังไม่สามารถอธิบายผลของการเปลี่ยนแปลงของ H_2S ในส่วนที่เป็นน้ำว่าเกิดจากกลไกอะไรใดได้มากกว่ากันนั้นของแต่ละชุดทดลองนั้น สะท้อนให้เห็นว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุกลไกจำเพาะที่เกิดขึ้นตามสภาวะการทำงานของระบบให้มากขึ้น โดยควรจะมีการศึกษาเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมวลสารตลอดช่วงเวลาในรอบการบำบัดของระบบ SBR เพื่อจะสามารถใช้อธิบายกลไกที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนขึ้น

3.2.4 ผลการศึกษาจากการทำ batch test: ศึกษาการดูดซึมก๊าซเสียของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าชุดทดลองโดยไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

การศึกษาในครั้งนี้เพื่อดูค่ามวลสารต่าง ๆ และอุณหภูมิเพื่อดูความสามารถในการเกิดกลไกดูดซึมก๊าซของน้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าสู่ชุดทดลอง โดยที่ไม่มีการ aeration และไม่มี

การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังทดลอง โดยทำการศึกษาในชุดถังทดลองที่ R2 เมื่อทำการป้อนน้ำเสียจากน้ำทิ้งของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 แล้วทำการป้อนเฉพาะก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 โดยดูค่าการเปลี่ยนแปลงในระยะที่เกิดขึ้นในช่วง 23 ชั่วโมง โดยครอบคลุมเงื่อนไขที่ทำการศึกษา ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในถัง R2 ทุก 0, 1, 2, 4, 8 และ 23 ชั่วโมง เพื่อศึกษาค่าอุณหภูมิ, pH, SS, SCOD และ VFAsที่เกิดขึ้น แสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1) การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิ

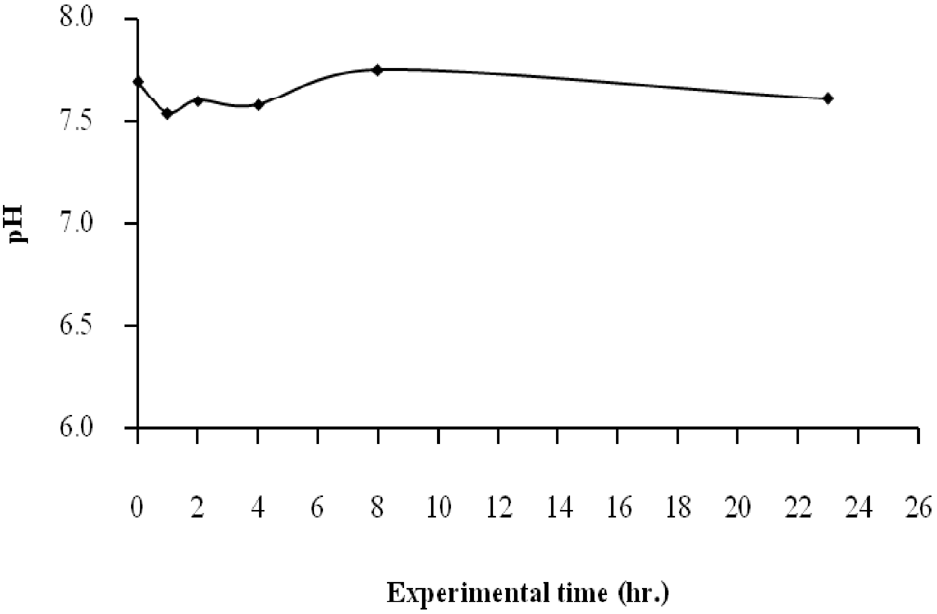
จากการศึกษา พบว่า เมื่อทำการป้อนน้ำเสียที่เป็นน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 เข้าสู่ถังทดลองที่ R2 แล้วทำการป้อนก๊าซเสียด้วยอัตรา 13.3 m^3/hr (ศึกษาที่ L/G เท่ากับ 0.188 l/m^3) พบว่าค่า pH เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 7.69 เมื่อเดินระบบผ่านไป 1 ชั่วโมง พบว่าค่า pH มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และเมื่อเดินระบบต่อไปจนถึงชั่วโมงที่ 2 พบว่าค่า pH กลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 30 โดยตลอดระยะเวลาที่ศึกษา พบว่าค่า pH มีค่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเล็กน้อย แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 50

ตารางที่ 30 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิกับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในถังทดลองที่ R2

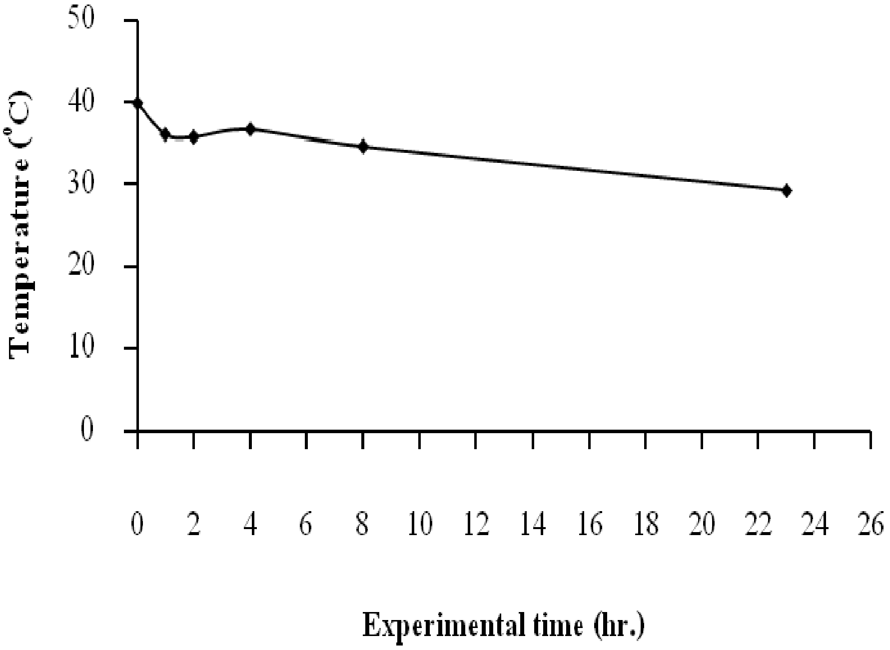
ช่วงเวลาการทดลอง	เวลาเก็บตัวอย่าง	pH	temperature (^{o}C)
เริ่มต้น	start ระบบ 7.10 น.	7.69	39.9
1 hr.	8.10 น.	7.54	36.1
2hr.	9.10 น.	7.60	35.8
4 hr.	11.10 น.	7.58	36.7
8 hr.	15.10 น.	7.75	34.7
23 hr.	6.10 น.	7.61	29.3

ส่วนผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเสียในถังทดลองที่ R2 พบว่าเมื่อมีการป้อนน้ำเสียในช่วงเริ่มหรือชั่วโมงที่ 0 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ผ่านการระบบบำบัดด้วยระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ที่กำลังเดินระบบอยู่ ทำให้มีค่าอุณหภูมิสูงเท่ากับ 39.9 องศาเซลเซียส และเมื่อเดินระบบทดลองผ่านไป 1 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิมีค่าลดลงประมาณ 3.8 องศาเซลเซียส และจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งชั่วโมงที่ 23 พบว่า อุณหภูมิมีค่าลดลงประมาณ 10 องศาเซลเซียส จากตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปมีการถ่ายโอนความร้อนจากน้ำเสียในระบบสู่บรรยากาศภายนอก ถึงแม้จะมีการป้อนก๊าซเสียเข้าสู่ระบบในขณะที่

ทำการเดินระบบด้วยก็ตาม แต่อุณหภูมิของก๊าซเสียไม่มีผลที่จะทำให้อุณหภูมิในถังทดลองที่ R2 เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในถังทดลอง R2(batch test)



ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิกับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในถังทดลอง R2 (batch test)

2) การเปลี่ยนแปลงของ SS, SCOD และ VFAs

จากตารางที่ 31 แสดงข้อมูลของผลการศึกษาของค่า SS, SCOD และ VFAs พบว่าในขณะที่มีการเริ่มต้นการทดลองของถังที่ R2 ที่มีการป้อนเฉพาะก๊าซเสีย พบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เท่ากับ 36 mg/l,SCOD เท่ากับ 77 mg/l และค่า VFAs เท่ากับ 62 mg/l as acetic acid จะเห็นได้ว่าค่า SCOD และ VFAs ยังมีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากใช้น้ำเสียป้อนเข้าที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ทำให้มีการดูดซึมสารมลพิษต่าง ๆ จากก๊าซเสียในน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึม เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง พบว่ามีการลดลงของค่า VFAs เพียงเล็กน้อย และค่า VFAs มีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่า VFAs ในก๊าซที่ใช้ป้อนเข้าระบบไม่มีกลไกการการดูดซึมของน้ำเสียในถัง R2 แต่อย่างใด แต่การที่ VFAs ลดลง ทั้งที่เป็นระบบที่ไม่มีการ aeration และไม่ใช่เป็นระบบที่มีการบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ โดยมีเพียงการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบเท่านั้น ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลง VFAs ในถัง R2 ดังกล่าวข้างต้นนั้นเกิดจากกลไกของ air stripping ดังแสดงการเปลี่ยนแปลงของ VFAs ในระบบดังภาพที่ 52

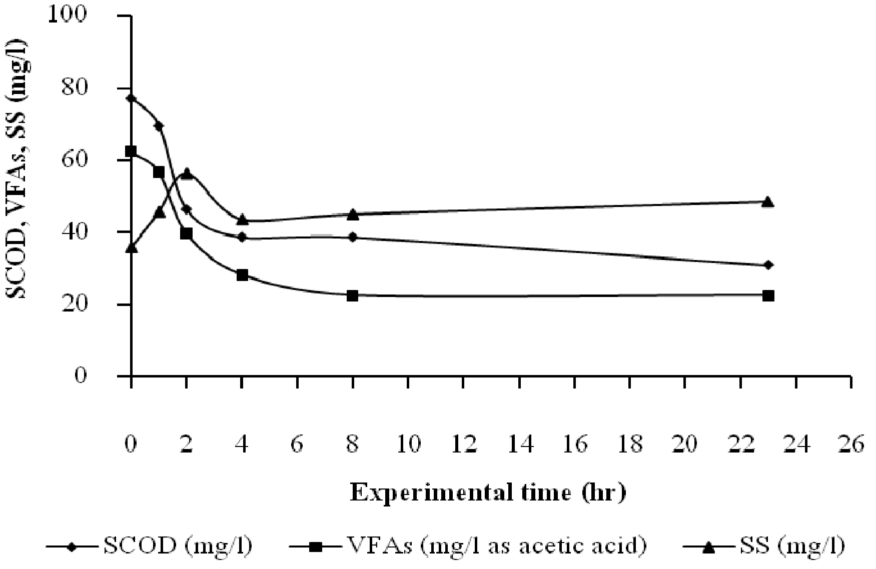
ส่วนค่า SCOD ในถังทดลองที่ R2 ถึงแม้ไม่มีการป้อนออกซิเจนและเติมหัวเชื้อเข้าในถังทดลอง แต่ยังพบว่าค่า SCOD มีการลดลงตามช่วงเวลาที่ได้ป้อนก๊าซเข้าระบบ ซึ่งมีผลทำนองเดียวกับค่า VFAs แต่กลับพบว่าค่า SS ที่ปรากฏในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าน่าจะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและด้วยเหตุนี้อาจเป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้เกิดการย่อยสลาย SCOD หรือ VFAs ในระบบ และทำให้มีค่าลดลง รวมถึงเกิดจากกลไก air stripping ที่ทำให้ค่า VFAs ลดลง ซึ่งส่งผลให้ SCOD ลดลงด้วย รายละเอียดดังภาพที่ 52

ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาแบบ batch ในชุด R2 สะท้อนให้เห็นว่ามีกลไกจากการย่อยสลายทางชีวภาพ และ air stripping มากกว่าการเกิดการดูดซึม ทั้งนี้ระบบมีการดำเนินการโดยมีค่า L/G ที่ต่ำสุดของการทดลองที่ 0.188 l/m^3 ดังนั้นในระบบการทดลองที่เป็น SBR ซึ่งมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระบบ และมีการเดินระบบที่มีค่า L/G ที่สูงกว่าการทดลองในชุด R2 ที่ศึกษาแบบ batch นั้น ก็ย่อมมีโอกาสของการเกิดกลไกแบบ air stripping ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ด้วยแม้เดินระบบที่ค่า L/G ที่สูงกว่าก็ตาม แต่ก็มีค่าที่ยังต่ำ (ในช่วงค่า L/G ของ 0.188-0.846 l/m^3) ซึ่งคิดเป็น G/L ratio (air to water) ที่ 1,182- 5,319 ซึ่งสูงกว่าค่า G/L ratio ของระบบ air stripping ที่ใช้ค่าการออกแบบในช่วงที่ 10-100 (El-Behlil, et al., 1012) และในกรณีที่ค่า อุณหภูมิมีผลไม่มากต่อการระเหยออกของมลสารจากน้ำสู่ก๊าซ ค่า G/L จะมีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยออกของมลสารจากน้ำสู่ก๊าซ โดยที่ค่า G/L ratio มากขึ้น จะมีผลต่อประสิทธิภาพดังกล่าว (การเกิด air stripping) มากขึ้นด้วย (Abdullahi, M.E, et al., 2014) ซึ่งการทดลองนี้ระบบมีค่า G/L ratio สูงกว่า

ค่าออกแบบของ air stripping กว่า 10-50 เท่าตัว (ทั้งนี้ยังไม่ได้คิดรวมของ air จากการ aeration) จึงมีผลให้เกิดกลไกของ air stripping ได้สูง ประกอบกับ ระบบของwater column มีความสูง ไม่มากประมาณ 1.5 ฟุต และเป็นการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบโดยใช้หัวทราย ที่มีแรงดันก๊าซจากเครื่องปั๊มอากาศ จึงทำให้โอกาสที่ก๊าซเสียถูกสัมผัสกับส่วนที่เป็นของเหลวได้ที่ประสิทธิภาพไม่สูง จึงมีผลในการลดความสามารถในการดูดซึมลง และเพิ่ม air stripping มากขึ้น

ตารางที่ 31 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ SS, SCOD และ VFAs ในมวลน้ำภายในถังกับระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาในถังทดลองที่ R2 (batch test)

ช่วงเวลาการทดลอง	เวลาเก็บตัวอย่าง	SS (mg/l)	SCOD (mg /l)	VFAs (mg /l as acetic acid)
0 hr.	start ระบบ 7.10 น.	36	77.	62
1 hr.	8.10 น.	46	70	57
2hr.	9.10 น.	56	46	40
4 hr.	11.10 น.	44	39	28
8 hr.	15.10 น.	45	39	23
23 hr.	6.10 น.	49	31	23



ภาพที่ 52 การเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD, VFAs และค่า SS กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในชุดทดลอง R2 (batch test)

3.3 ผลการศึกษาลักษณะก๊าซเสีย ก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 รวมทั้งประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ

3.3.1 ลักษณะของก๊าซเสียก่อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด (R2)

ในขณะที่ทำการทดลองแต่ละเงื่อนไขที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ได้ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียทั้งก่อนป้อนเข้าชุดทดลองและหลังออกจากชุดทดลอง SBR(R3 และ R4) และชุด R2 โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพของการบำบัดของก๊าซกรดไขมันระเหย (VFAs), H_2S และ NH_3 นอกจากนี้แล้ว ระบบ R1 ไม่มีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบก็ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซที่อยู่ในถัง (ที่ว่างเหนือผิวน้ำ) ในถังทดลอง R1 ด้วย ผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1.1 อุณหภูมิของก๊าซเสียก่อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR และชุด R2

จากการศึกษา พบว่า เมื่อมีการบำบัดก๊าซเสียขั้นต้นด้วยระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 แล้ว ทำการป้อนก๊าซเสียดังกล่าวเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 3 ถังทดลอง (R2-R4) จากการศึกษาได้เก็บตัวอย่างก๊าซจากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซป้อนเข้าและออกจากของชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) และชุด R2 แล้วนำมาวิเคราะห์รายละเอียดดังตารางที่ 32 อนึ่งแม้ว่าระบบ R1 ไม่ได้มีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบ แต่ก็ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่ระบบออกจากเหนือหน้าน้ำในระบบด้วย ผลแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 อุณหภูมิของตัวอย่างก๊าซเสียก่อนป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของแต่ละเงื่อนไขการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

Temperature (^oC)						
เงื่อนไขการทดลอง		Influent	ชุดทดลอง SBR			ชุดควบคุม
			R1*	R3	R4	R2
เติมน้ำเสีย	Average	41.7±0.42	32.5±0.99	32.3±1.77	31.6±0.92	32.2±0.92
1 ครั้ง/วัน	Range	41.4-42.0	31.8-33.2	31-33.5	30.9-32.2	31.5-32.8
เติมน้ำเสีย	Average	41.5±1.71	33.2±0.18	33.8±0.22	33.8±0.22	33.8±0.22
2 ครั้ง/วัน	Range	38.9-42.5	33-33.4	33.5-34.0	33.5-34.0	22.5-34.0

หมายเหตุ : R1* ได้เก็บตัวอย่างอากาศที่ระบายออกจาก reactor ด้วย แม้ไม่มีการป้อนอากาศเสียเข้าระบบ

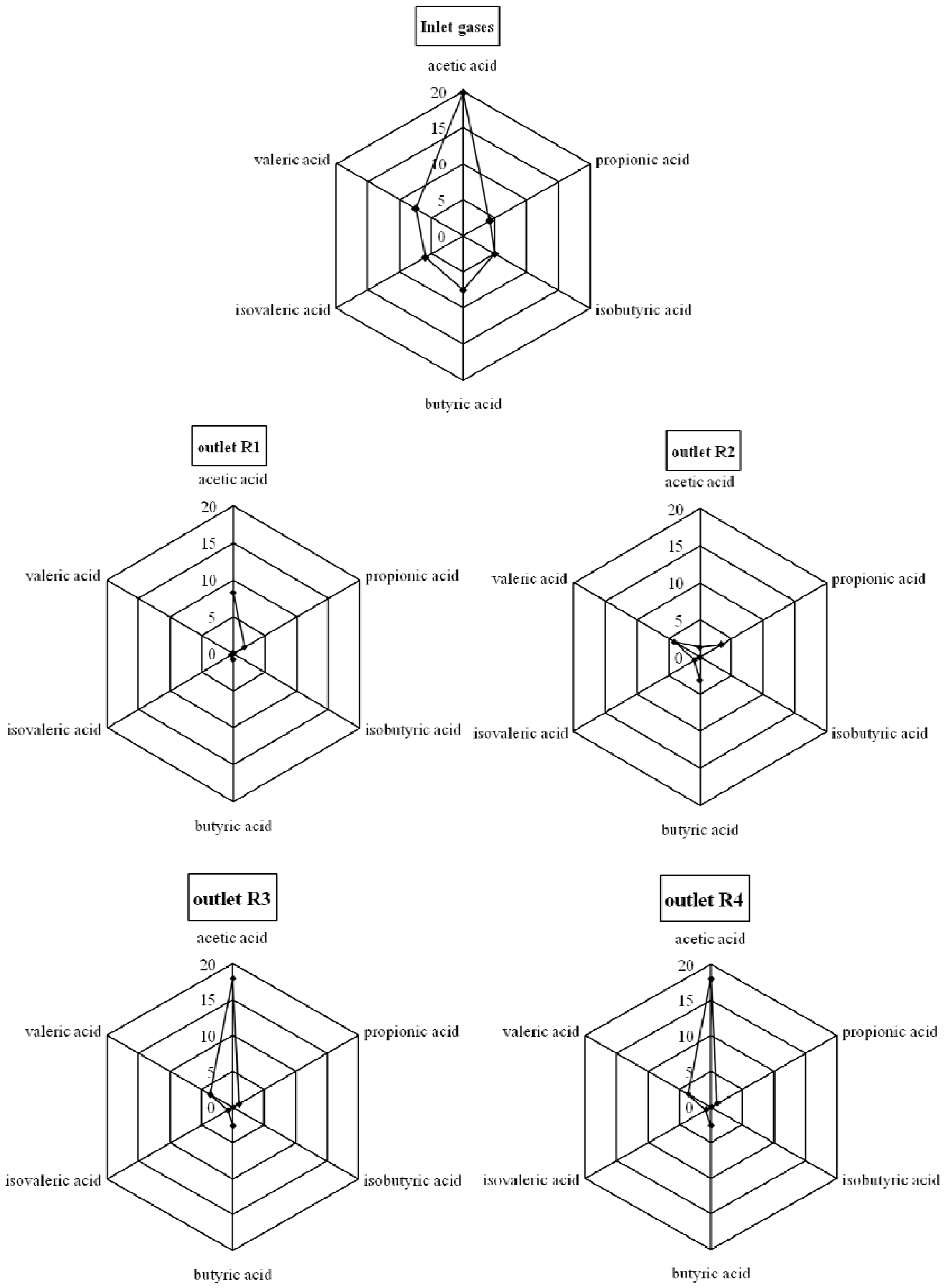
พบว่า อุณหภูมิของก๊าซก่อนป้อนเข้าชุดทดลองอยู่ในช่วง 41.4-42.0 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 41.7 องศาเซลเซียสของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเมื่อป้อนก๊าซเสียเข้าสู่ชุดทดลองแล้วทำการเดินระบบ เมื่อทำการวัดอุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) พบว่ามีอุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 32.5, 32.3 และ 31.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากระบบทดลอง SBR ทั้ง 3 ถัง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนจากมวลก๊าซสู่น้ำและจากมวลน้ำสู่ระบบสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และจากปัจจัยการ aeration ที่ระบบได้รับด้วย จึงทำให้อุณหภูมิของก๊าซที่ตรวจวัด ณ จุดออกดังกล่าวลดลงเฉลี่ยประมาณ 9.5 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของชุด R2 พบว่ามีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยก๊าซออกเท่ากับ 32.2 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่ามีอุณหภูมิที่ลดลงเช่นเดียวกับชุด SBR และมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่า ให้ผลที่คล้ายคลึงกับการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซก่อนป้อนเข้าชุดทดลองอยู่ในช่วง38.9-42.5 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 41.5 องศาเซลเซียสและก๊าซเสียที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 32.2, 33.8 และ 33.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้อุณหภูมิของก๊าซเสียที่ออกจากชุดทดลอง SBR มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซเสียป้อนเข้าประมาณ 8.2 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของชุด R2 พบว่ามีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยก๊าซออกเท่ากับ 33.8 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของชุด SBR และเมื่อเปรียบเทียบเงื่อนไขการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบว่าค่าอุณหภูมิของก๊าซทั้ง 2 การทดลองให้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย โดยการทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่าอุณหภูมิของก๊าซออกจากระบบสูงกว่าการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน เล็กน้อย ทั้งที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของก๊าซป้อนเข้าระบบไม่แตกต่างมากนักกับการทดลองที่เติมน้ำเสียเข้าระบบ 1 ครั้ง/วัน และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของก๊าซป้อนเข้าระบบไม่แตกต่างมากนักกับการทดลองที่เติมน้ำเสียเข้าระบบ 1 ครั้ง/วัน ทั้งนี้อาจมาจากในช่วงทดลองอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศ (ambrient air) ในการทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงกว่าช่วงที่ทดลองเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน (28.5±1.63 องศาเซลเซียส และ 32.6±33.6 องศาเซลเซียส ของการทดลองเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ)

3.3.1.2 ความเข้มข้นของก๊าซเสียก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาได้มีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ป้อนเข้าชุดทดลองซึ่งทำการวิเคราะห์ก๊าซกลุ่มไขมันระเหย (VFAs) ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butytic acid, isovaleric acid และvaleric acid, H_2S และ NH_3 ของตัวอย่างก๊าซที่ป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1,

R3 และ R4) และชุด R2 ทั้งนี้ผลของ VFAs ในตัวอย่างก๊าซมีเฉพาะผลการศึกษาของเงื่อนไขของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ผลการศึกษาแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 53 และตารางที่ 33 ซึ่งพบว่า ก๊าซในกลุ่ม VFAs ทั้ง 6 ชนิด ก่อนป้อนเข้าชุดทดลองมีค่าความเข้มข้นดังนี้ พบว่าก๊าซ acetic acid มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 19.8 ppmv รองลงมา คือ valeric acid, butyric acid, isovaleric acid, Isobutyricacid และ propionic acid โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 ppmv, 7.5 ppmv, 6 ppmv, 5 ppmv และ 4.2 ppmv ตามลำดับ และยังพบว่าก๊าซ VFAs ทั้ง 6 ชนิด ที่ผ่านออกจากชุดทดลองมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซน้อยกว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซก่อนป้อนเข้าชุดทดลองทุกถังการทดลอง

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาก๊าซในกลุ่ม VFAs ทั้ง 6 ชนิด ของถังที่ R3 และ R4 ซึ่งเป็นถังทดลองที่มีการเลี้ยงเชื้อและมีการให้อากาศหรือ aeration พร้อมป้อนก๊าซเสียในอัตราที่สูง (R3) (L/G เท่ากับ 0.188 l/m^3 ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน) และให้ก๊าซในอัตราที่ต่ำ (R4) (L/G เท่ากับ 0.376 l/m^3 ของการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน) เมื่อทำการตรวจวัดก๊าซ VFAs ทั้ง 6 ชนิด ณ จุดเก็บตัวอย่างก๊าซขาออก พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ (VFAs) หลังออกจากชุดทดลองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก๊าซก่อนป้อนเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่าในถังที่ R3 และ R4 มีความสามารถในการบำบัดก๊าซ VFAs ได้ดี ยกเว้นก๊าซ acetic acid ที่พบว่ายังมีความเข้มข้นของก๊าซ acetic acid ขาออกที่ค่อนข้างสูง โดยยังมีค่าความเข้มข้นไม่ต่างกับที่ป้อนเข้าระบบมากนัก แต่เมื่อพิจารณาถังที่ R1 ที่ไม่มีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบเลย มีเฉพาะการ aeration เท่านั้น แต่กลับพบว่าสามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้นของ acetic acid, propionic acid, butyric acid และ valeric acid ได้ โดยมีค่าส่วนใหญ่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับก๊าซออกจาก R3, R4 ยกเว้น propionic acid และเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของก๊าซเสียป้อนเข้าชุดทดลองพบว่าก๊าซหลังออกจากถัง R1 มีความเข้มข้นที่น้อยกว่าค่าดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากในถังที่ R1 มีการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างกรด VFAsได้ในสภาพที่ระบบ SBR มีการหยุดป้อนก๊าซเสียและให้อากาศ ซึ่งเป็นสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ จึงเกิดปฏิกิริยาที่เข้าสู่ระบบที่มีออกซิเจนต่ำ ทำให้เกิดการย่อยสลายในลักษณะภาวะไร้อากาศ จึงทำให้สามารถตรวจพบก๊าซ VFAs ที่ระเหยจากมวลน้ำสู่เฟสของก๊าซที่อยู่เหนือผิวหน้าน้ำในระบบ โดยเกิดจากกลไกการไล่ก๊าซที่ระเหยง่าย ของกลไก air stripping นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของก๊าซ VFAs ของถังที่ R2 ที่วัดได้มีค่าค่อนข้างน้อยกว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซเสียป้อนเข้า ทั้งที่เป็นระบบที่ไม่มีการ aeration และไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ในถังทดลอง



ภาพที่ 53 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ของก๊าซก่อนป้อนเข้า (Inlet gases) และหลังออก (outlet) จากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ที่ทำการศึกษาของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน (หน่วย ppmv)

ตารางที่ 33 ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม VFAs ก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน

Type of gases	**Average concentration (ppmv)**				
	ก่อนเข้าชุดทดลอง	**หลังออกจากชุดทดลองระบบ**			
		ชุดทดลอง SBR			**ชุดควบคุม**
		R1*	**R3**	**R4**	**R2**
VFAs : Acetic acid	19.8	8.30	18.01	18.01	1.30
Propionic acid	4.2	1.72	0.97	0.97	3.36
Isobutyric acid	5	ND	ND	ND	ND
Butyric acid	7.5	0.83	2.55	2.63	3.15
Isovaleric acid	6	0.24	0.78	0.78	0.90
Valeric acid	7.5	ND	3.60	3.60	4.05

หมายเหตุ : R1* ได้เก็บตัวอย่างอากาศที่ระบายออกจาก reactor ด้วย แม้ไม่มีการป้อนอากาศเสียเข้าระบบ

ND; Not detected due to lower than limit of quantitation (LOQ); LOQ of acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid and valeric acid were 1.000 mg/l, 0.500 mg/l, 1.000 mg/l, 0.500 mg/l, 1.000 mg/l and 1.000 mg/l of extracted samples, respectively.

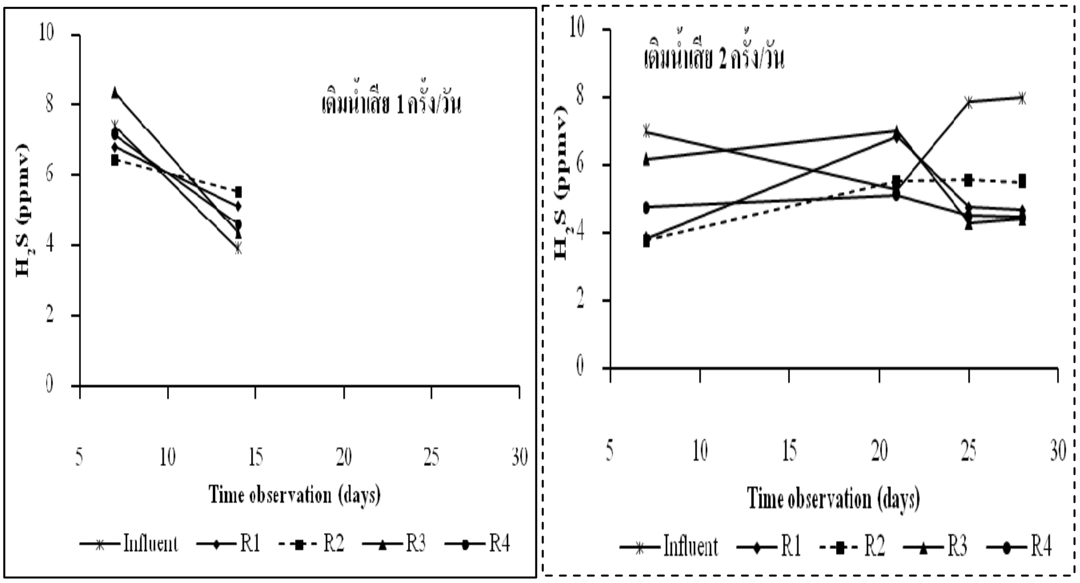
ส่วนค่าความเข้มข้นของก๊าซ H_2S ที่ป้อนเข้าระบบของชุดทดลอง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.6±2.5 ppmv และ 7.0±1.26 ppmv ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน จากผลการทดลองของชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย H_2S เท่ากับ 6.3±2.83 และ 5.9±1.79 ppmvและชุด R2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย H_2S เท่ากับ 5.8±0.94 ppmv ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน จะเห็นได้ว่าชุดทดลอง SBR ถังที่ R3 และ R4 มีค่าความเข้มข้นของก๊าซ H_2S ออกจากชุดทดลองสูงกว่าก๊าซป้อนเข้า และยังสูงกว่าชุด R2 ส่วนการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน พบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ H_2S ชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) เท่ากับ 5.5±1.35 และ 4.7±0.30 ppmv ตามลำดับ ชุด R2 มีค่าความเข้มข้นของก๊าซ H_2S เท่ากับ 5.0±1.29 ppmv แต่กลับ พบว่าชุดการทดลองนี้มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ H_2S ของก๊าซขาออกน้อยกว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ H_2S ในก๊าซเสียป้อนเข้าแสดงให้เห็นว่ามีกระบวนการดูดซึมเกิดขึ้น ทำให้ก๊าซ H_2S ขาออก พบว่ามีความเข้มเฉลี่ยลดลง ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการดูดซึมได้มากขึ้น เพราะระบบมีการทำงานที่ค่า L/G ที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าในถัง R1 แม้ไม่มีการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบเลย มีเพียงการ aeration ก็ยัง

สามารถตรวจพบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ H_2S ณ จุดตรวจวัดก๊าซขาออกเท่ากับ 6.0±1.19 และ 5.0±1.28 ppmv ของชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และ 2 ครั้งต่อวัน ตามลำดับ โดยใช้ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซ H_2S ของก๊าซขาออกมากกว่าในก๊าซเสียป้อนเข้าระบบ ในขณะที่ผลการศึกษาที่ได้ พบว่าค่าเฉลี่ยของ H_2S ในน้ำเสียออกจากระบบที่พบในถัง R1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย H_2S ที่ใกล้เคียงกับน้ำก่อนเข้าระบบ แต่กลับมีค่าเฉลี่ยของ SO_4^{2-} ในน้ำเสียออกจากระบบสูงกว่าค่าน้ำเสียเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่า H_2S ในน้ำเสียที่มีอยู่เกิดการออกซิเดชั่นเป็น SO_4^{2-} และสะสมในระบบ และที่มีค่าความเข้มข้นของ H_2S ในก๊าซออกจากระบบสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซเข้าระบบ อาจเกิดจากกลไก air stripping ร่วมด้วย อนึ่งนอกจากกลไก oxidation H2S แล้ว อาจมี reduction ของ SO_4^{2-} ที่เป็นปฏิกิริยาย่อยสลายทางชีวภาพร่วมด้วย เพราะระบบ SBR มีระยะหยุดเติมอากาศและก๊าซเสีย ที่ทำให้มีภาวะที่เข้าสู่การไร้อากาศได้ ที่เอื้อต่อการเกิด reduction ของ SO_4^{2-} แต่ในการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน กลับให้ผลตรงข้ามกับชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน ที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นของ H_2S ในก๊าซออกจากระบบต่ำกว่าเมื่อเทียบกับก๊าซเข้าระบบ และค่าเฉลี่ยของ H_2S ในน้ำเสียออกจากระบบที่พบในถัง R1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย H_2S ที่สูงกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ แต่กลับมีค่าเฉลี่ยของ SO_4^{2-} ในน้ำเสียออกจากระบบต่ำกว่าค่าน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า H_2S ในก๊าซเสียที่ป้อนเข้าระบบ เกิดการดูดซึม มากกว่าการเกิด air stripping ทั้งนี้ด้วยการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ทำให้ค่า L/G สูงขึ้น มีผลต่อการดูดซึมได้มากขึ้นได้มากกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน นอกจากนี้ ในการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ทำให้ระบบ SBR มีระยะเวลาการหยุดให้อากาศยาวนานกว่าชุดที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน จึงย่อมเอื้อให้เกิดกระบวนการ reduction ของ SO_4^{2-} ของน้ำเสียในระบบได้มากขึ้น จึงทำให้เกิดการสะสมของ H_2S ในน้ำเสียได้มากขึ้น และให้ผลว่ามีค่า SO_4^{2-} ในน้ำเสียออกจากระบบต่ำกว่าค่าน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อย ผลการศึกษามีรายละเอียดดังตารางที่ 34 และภาพที่ 54

ตารางที่ 34 ค่าความเข้มข้นของก๊าซในกลุ่ม H_2S และ NH_3 ก่อนป้อนเข้าและหลังออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของชุดการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน

Type of gases	Average concentration (ppmv)				
	ก่อนเข้าชุดทดลอง	หลังออกจากชุดทดลองระบบ			
		ชุดทดลอง SBR			ชุดควบคุม
		R1*	R3	R4	R2
H_2S (เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน)	5.6±2.5	6.0±1.19	6.3±2.83	5.9±1.79	5.8±0.94
H_2S (เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน)	7.0±1.26	5.0±1.28	5.5±1.35	4.7±0.30	5.0±1.29
NH_3 (เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน)	6.2±1.5	3.3±0.82	4.4±1.0	4.2±0.91	3.6±0.43
NH_3 (เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน)	3.0±1.46	4.8±1.83	4.4±1.72	4.3±1.93	3.9±1.55

หมายเหตุ R1* ได้เก็บตัวอย่างอากาศที่ระบายออกจาก reactor ด้วย แม้ไม่มีการป้อนอากาศเสียเข้าระบบ



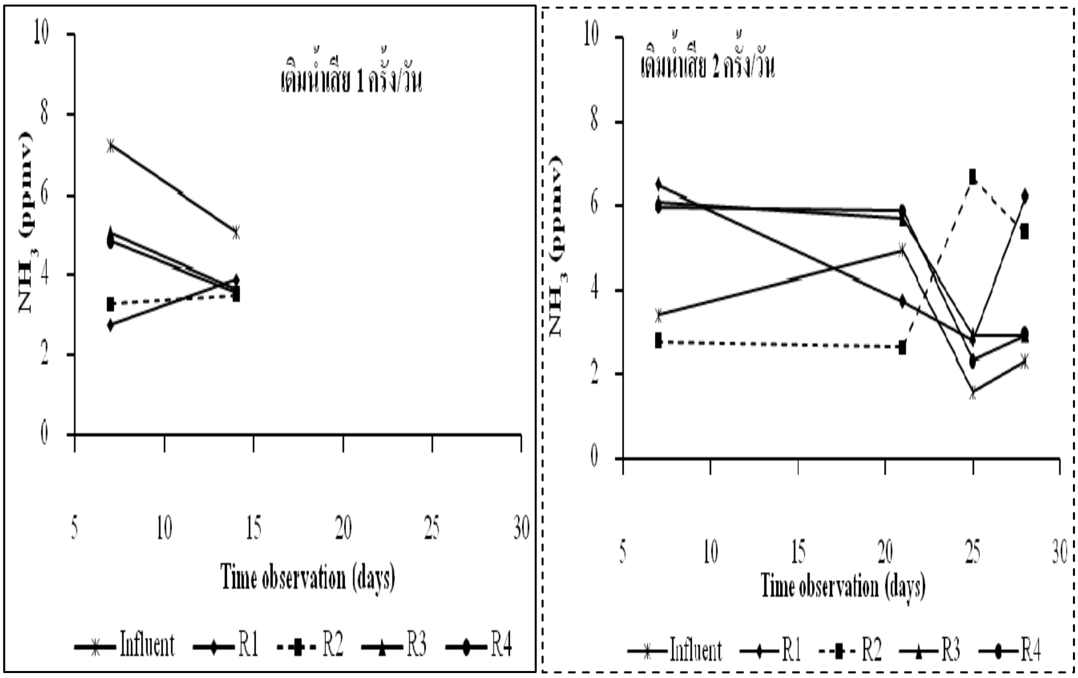
ภาพที่ 54 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ H_2S ในการป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน

นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดค่า NH_3 ในก๊าซเสียป้อนเข้าชุดทดลองและก๊าซที่ออกจากชุดทดลอง พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ NH_3 ในก๊าซป้อนเข้าชุดทดลองเท่ากับ 6.2±1.5 และ 3.0±1.46 ppmv ของการทดลองเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ส่วนก๊าซ NH_3 ที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R3 และR4) ที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วันมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซ NH_3

เท่ากับ 4.4±1.0 และ 4.2±0.91 ppmv ตามลำดับ และชุด R2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซ NH_3 เท่ากับ 3.6±0.43 ppmv ซึ่งผลการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน จะเห็นได้ว่าทั้งชุดทดลอง SBR(R3 และ R4) และชุด R2 มีค่าความเข้มข้นของก๊าซ NH_3 ในก๊าซที่ออกจากระบบน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยก๊าซ NH_3 ป้อนเข้าระบบ แสดงให้เห็นถึงระบบเกิดของการดูดซึมเกิดขึ้น และให้ผลตรงข้ามกับชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน ที่พบว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซ NH_3 ในก๊าซที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยก๊าซ NH_3 ป้อนเข้าระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิด air stripping ในระบบ และเมื่อ พิจารณาจากค่าความเข้มข้นของ NH_3-N ในน้ำเสียที่ออกจากระบบ พบว่ามีค่าน้อยกว่าน้ำเสียป้อนเข้าระบบทั้งที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้งต่อวัน และทั้งสองชุดการทดลองเกิดปฏิกิริยา nitrification ที่ทำให้ค่า TKN ในน้ำเสียลดลง ในขณะที่การทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1ครั้งต่อวัน มีค่า pH ที่สูงกว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน และการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1ครั้งต่อวัน จะให้ค่า L/G ต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน การที่มีค่า pH สูงกว่า และ L/G ต่ำกว่า ย่อมเอื้อให้เกิด การดูดซึมก๊าซ NH_3 ได้น้อยกว่าที่ระบบมีค่า pH ต่ำกว่า และ L/G สูงกว่า ดังนั้นการที่ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน มีผลการศึกษาของก๊าซที่ออกจากระบบที่แสดงให้เห็นว่ามีการดูดซึม และชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน มีผลการศึกษาของก๊าซที่ออกจากระบบที่แสดงให้เห็นว่ามีการเกิด air stripping นั้น อาจมีปัจจัยจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่มีผลร่วมด้วยจากการทำงานของระบบ ด้วย ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวันมีระยะเวลาการให้อากาศที่ยาวนานกว่าชุดทดลองที่เติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน และระบบมีการรับมลพิษของไนโตรเจนจากน้ำเสียที่น้อยกว่า เพราะรับน้ำเสียเพียงครั้งเดียว ทำให้ระบบ SBR ที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน มีกระบวนการ nitrification ที่มีประสิทธิภาพได้มากกว่า (ดังผลที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น) การที่มีกระบวนการ nitrification ที่มีประสิทธิภาพได้มากกว่า ภายใต้ที่ออกซิเจนที่เกินพอ ย่อมทำให้มีการเปลี่ยนรูปของ nitrogen ไปอยู่ในรูป NO_3^--N ได้ มากขึ้น ทำให้สมดุลทางเคมีของค่าความเข้มข้นของ NH_3-N ที่อยู่ในน้ำเสียปรับไปเป็น NO_3^--N และมีความเข้มข้นลดลง ทำให้น้ำเสียมีศักยภาพในการรับการละลายของ NH_3 ในก๊าซเสียที่ป้อนเข้าระบบได้มากขึ้นกว่าในระบบ SBR ที่มีประสิทธิภาพของกระบวนการ nitrification ที่ต่ำกว่า

ส่วนในชุด R2 ผลของก๊าซที่วิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่ามีการดูดซึมเกิดขึ้น เมื่อทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อวัน และเกิด air stripping เมื่อทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน ซึ่งให้ผลที่คล้ายกับชุดทดลอง SBR ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของน้ำเสีย พบว่าชุด R2 มีกระบวนการ nitrification น้อยกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับชุด SBR และชุด R2 เมื่อทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน พบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่า NH_3-N ที่ต่ำกว่าน้ำเสียที่เข้าระบบ แสดงให้เห็นว่าเกิด air stripping ในขณะที่ ชุด R2 เมื่อทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้งต่อ

วัน พบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่า NH_3-N ที่สูงกว่าน้ำเสียที่เข้าระบบ แสดงให้เห็นว่าเกิดการดูดซึม ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูลในส่วนของผลการศึกษาของก๊าซเสีย ดังแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 34 และภาพที่ 55 อนึ่งในการทดลองในชุดที่มีการ aeration ปริมาณอากาศที่เติมให้ระบบย่อมมีผลให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ออกจากระบบทดลองมีความเจือจางได้บ้าง แต่จะมีผลประมาณ 10-15% ที่ทำให้เกิดการเจือจาง ทั้งนี้ค่าอัตราการ aeration มีค่าต่ำกว่าค่าอัตราป้อนก๊าซเสีย โดยคิดเป็นสัดส่วนเพียง 15-30%) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลไม่ได้ทำการปรับค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ศึกษา ทั้งนี้ได้ใช้ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ศึกษาได้มาวิเคราะห์โดยตรง โดยเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ระหว่างกันของแต่ระบบที่ศึกษา



ภาพที่ 55 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ NH_3 ในการป้อนเข้าและออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน

3.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไขมันระเหย (VFAs), H_2S และ NH_3 ที่ออกจากชุดทดลอง SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2 ที่ศึกษา

ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซเสียก่อนป้อนเข้าและออกจากชุดทดลองที่ทำการศึกษา เมื่อนำมาหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซที่ออกจากถังทดลอง SBR (R3 และ R4) และชุดที่ R2 แสดงผลดังตารางที่ 35 ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซกลุ่ม VFAs ในเทอมของ

acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid และ valeric acid เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบ SBR (R3 และ R4) พบว่าก๊าซ VFAs ในเทอมของ isobutyric acid, isovaleric acid, propionic acid และ valeric acid มีประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งเท่ากับ 100%, 87%, 77% และ 52% ยกเว้น butyric acid ที่พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดต่างกันเล็กน้อยของ 2 ถังทดลองที่ R3 และ R4 เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมชุด R2 พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ VFAs ในเทอมของ butyric acid, propionic acid, isovaleric acid และ valeric acid ต่ำกว่าชุดการทดลอง SBR (R3 และ R4) และยังพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ isobutyric acid ของทุกถังทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดเป็น 100% อนึ่งก๊าซ acetic acid พบว่าถังที่ R2 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลอง SBR(R3 และ R4)ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายของก๊าซ VFAs ในเทอมของ acetic acid ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีเมื่อก๊าซดังกล่าวถ่ายโอนสู่มวลของเหลวหรือน้ำแล้วเกิดการบำบัดก๊าซดังกล่าวเกิดขึ้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซในกลุ่ม VFAs ด้วยชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) และชุด R2 ที่ศึกษาของการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน

ก๊าซ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
	ชุดทดลอง SBR		ชุดควบคุม
	R3	R4	R2
VFAs : Acetic acid	9	9	93
Propionic acid	77	77	20
Isobutyric acid	100	100	100
Butyric acid	66	65	58
Isovaleric acid	87	87	85
Valeric acid	52	52	46

นอกจากนี้ประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซ H_2S และ NH_3 เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบ SBR (R3 และ R4) และชุด R2 พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ H_2S ที่มีการทดลองเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่าไม่สามารถบำบัดก๊าซ H_2S ได้เลย ส่วนการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วันกลับพบว่าสามารถบำบัดก๊าซ H_2S โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด ดังนี้ คือ ชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) บำบัดได้ถึง 17 และ 31% ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ ส่วนชุด R2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 25% ซึ่งยังมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดถังที่ R3 อนึ่งประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ NH_3

ให้ผลไปทางตรงกันข้ามกับก๊าซ H_2S ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ส่วนการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน กลับพบว่าไม่สามารถบำบัดก๊าซ NH_3 ได้เลย แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 36 จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ H_2S และ NH_3 ยังคงมีค่าที่แตกต่างกันมากทั้ง 2 เงื่อนไขการทดลอง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการบำบัดก๊าซทั้ง 2 ชนิด ในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 36 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซในกลุ่ม H_2S NH_3 ด้วยชุดทดลอง SBR (R3 และ R4) และชุด R2 ที่ศึกษา

ก๊าซ	**เงื่อนไขการทดลอง**	**ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด (%)**		
		ชุดทดลอง SBR		**ชุดควบคุม**
		R3	**R4**	**R2**
H_2S	เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน	-12	-7	-14
	เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน	17	31	25
NH_3	เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน	29	32	43
	เติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน	-52	-42	-95

3.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของชุดทดลองระบบ SBR (R1, R3 และ R4) และชุด R2

จากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าสามารถสรุปเป็นกลไกที่เกิดขึ้นในชุดทดลองทั้ง 4 ชุดได้ 4 กลไกหลัก คือ

1) กลไกการดูดซึม ซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลก๊าซออกจากกระแสอากาศโดยที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในระบบทดลอง

2) กลไกการย่อยสลายทางชีวภาพในระบบน้ำเสียแบบ SBR ทั้งที่เป็นปฏิกิริยาแบบมีอากาศ และไร้อากาศ

3) กลไก air stripping เป็นกระบวนการไล่ก๊าซหรือสารประกอบที่ระเหยง่ายออกจากน้ำเสีย ทำให้สิ่งสกปรกที่เป็นก๊าซหรือสารระเหยง่ายในน้ำเสียมีการระเหยและแยกออกไปจากน้ำเสียสู่อากาศ

4) กลไกการเจือจางของก๊าซที่ออกจากระบบ ที่เกิดจากการที่มี aeration ให้ระบบ

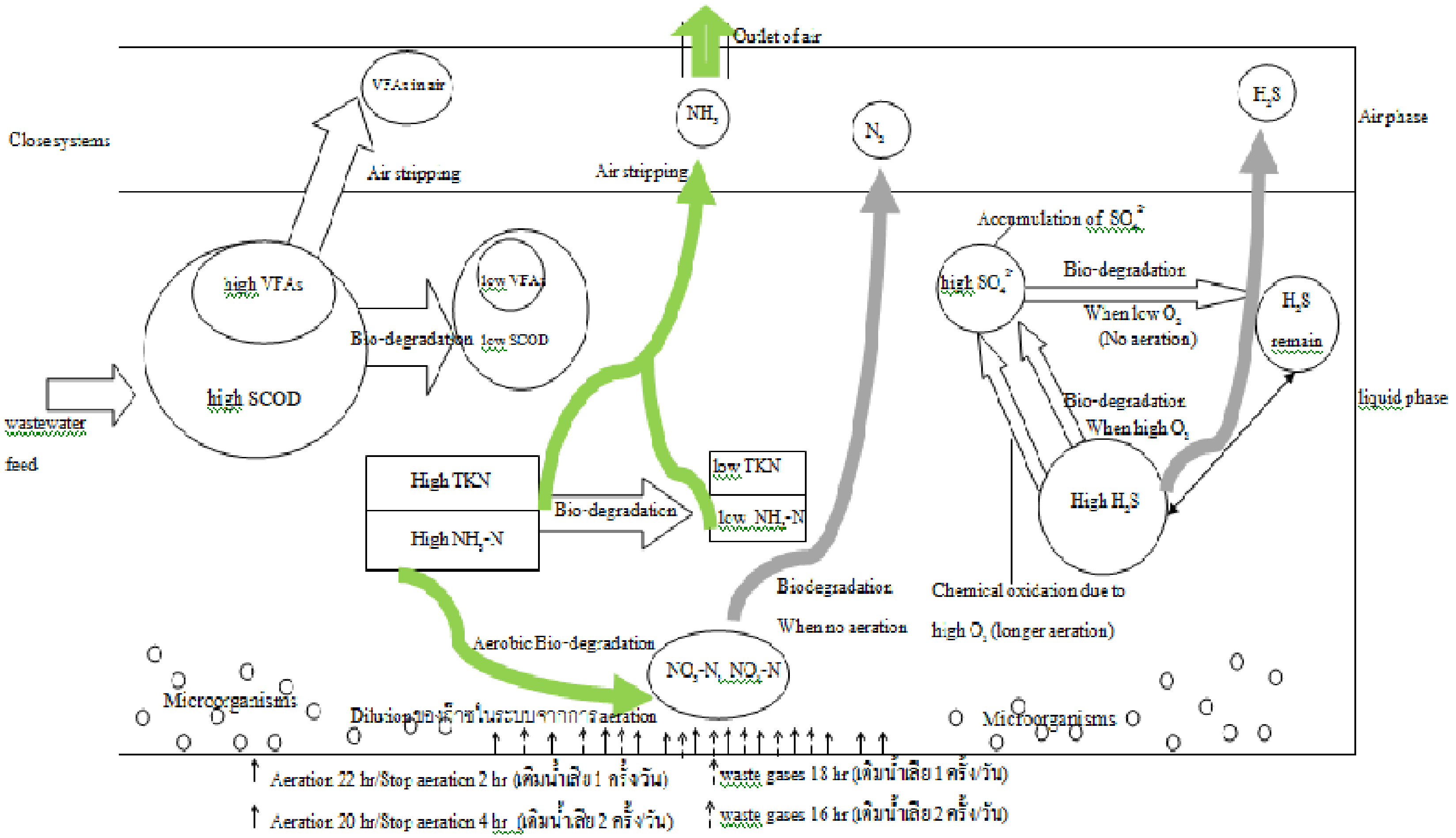
ดังสรุปเป็นกลไกในภาพที่ 56 และเมื่อพิจารณากลไกหลักๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดทดลองของถัง R1-R4 สามารถประมวลโดยสรุปได้ ดังนี้

จากผลการศึกษาถังที่ R1 ป้อนเฉพาะน้ำเสียและมีการป้อนอากาศ (aeration) ตามเงื่อนไขของการทดลอง พบว่ามีกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียเกิดขึ้นเป็นหลัก ด้วยระบบมีสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้สามารถใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งการเกิดปฏิกิยาการย่อยสลายแสดงได้จากผลการทดลองที่พบว่ามีการลดลงของค่า SCOD, TKN, NH_3-N, VFAs, SO_4^{2-} ในน้ำเสีย เกิดขึ้นทั้งเงื่อนไขที่มีการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน นอกจากนี้การป้อนอากาศ aeration ยังทำให้เกิดกลไกของ air stripping โดยการไล่ก๊าซหรือสารประกอบระเหยง่ายในน้ำเสียอีกด้วย อย่างเช่น VFA และ H_2S

ถังที่ R2 ป้อนเฉพาะน้ำเสียและก๊าซเสียเท่านั้น ไม่มีการป้อนอากาศ (aeration) และไม่มีการเติมหัวเชื้อ ซึ่งเป็นชุดควบคุม พบว่าในระบบนี้ยังมีกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำเสียเกิดขึ้นด้วย และในระบบเกิดกลไกของ air stripping ที่เด่นชัดกว่า absorption (บางชุดทดลองพบ absorption เกิดขึ้น) ดังผลการศึกษาที่พบว่ามีการลดลงของค่า SCOD, VFAs, NH_3–N ในน้ำเสีย ทั้งนี้มีปัจจัยเกิดจากระบบมีการทำงานภายใต้ค่า G/Lratio ค่อนข้างสูง

ถังที่ R3 มีการป้อนน้ำเสีย ป้อนอากาศ (aeration) และป้อนก๊าซเสียที่มีค่า L/G ratio เท่ากับ 0.188 l/m^3และ 0.423 l/m^3 ของเงื่อนไขการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ พบว่ามีกลไกเกิดขึ้นทั้ง 3 กลไก ในถังทดลองที่ R3 คือ เกิดกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำเสียเนื่องจากเป็นระบบบัดน้ำเสียแบบ SBR จึงมีจุลินทรีย์ในระบบสามารถนำสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบไปใช้ในการย่อยสลาย ทำให้ปริมาณของค่า SCOD, TKN, NH_3-N, VFAs, ลดลงและยังพบกลไกของ air stripping และ absorption เกิดขึ้นในระบบด้วย แต่มีกลไก air stripping ที่เด่นกว่า absorption ดังเช่นเดียวกับกลไกที่เกิดขึ้นในชุด R2

และถังที่ R4 ซึ่งมีการป้อนน้ำเสีย อากาศ (aeration) และอากาศเสียที่มีค่า L/G ratio เท่ากับ 0.376 l/m^3และ 0.846 l/m^3 ของเงื่อนไขการทดลองที่เติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน ตามลำดับ พบว่ามีกลไกต่าง ๆ เกิดขึ้นเช่นเดียวกับถังที่ R3 แต่ด้วยเป็นระบบที่มีทำงานภายใต้ระบบที่มีค่า L/G สูงกว่าชุดทดลอง R3 พบว่า การที่ระบบมีค่า L/G สูงขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดกลไก air stripping และ absorption ที่มีประสิทธิภาพแตกต่างไปจากชุดการทดลองของ R3



ภาพที่ 56 กลไกการเกิดปฏิกิริยาในถังทดลอง

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1 ผลการศึกษาของการติดตามการทำงานของระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดก๊าซเสียแรกของรงงานยางแท่ง SRT20

โรงงานผลิตยางแท่ง STR20 มีประเด็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมหลักที่สำคัญ คือ ปัญหากลิ่นเหม็น ซึ่งก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหลัก ๆ ได้แก่ ก๊าซในกลุ่ม VFAs ที่มี C ประกอบจำนวน 2-5 ตัว ซึ่งได้แก่ acetic acid propionic acid isobutyric acid butytic acid isovaleric acid และ valeric acid รวมทั้งก๊าซ H_2S และ NH_3 ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ตรวจพบก๊าซดังกล่าวในตัวอย่างก๊าซที่ออกจากการอบยาง และพบความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของก๊าซ acetic acid สูงสุด และเมื่อผ่านระบบดักจับแบบเปียกแบบ co-current flow ที่ทางโรงงานได้ใช้งานพบว่า เป็นระบบที่ทำงาน ที่ค่า L/G ratio ของระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) เท่ากับ 12.44 l/m^3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซในกลุ่ม VFAs ร้อยละ 32-47 และ H_2S ร้อยละ 14 ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่อนข้างต่ำโดยพบค่าเฉลี่ยการบำบัดก๊าซในกลุ่ม VFAs และ H_2S ที่ต่ำกว่า 50% และพบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซในกลุ่ม VFAs มีค่าสูงกว่า H_2S อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของก๊าซหลังการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกแล้ว ยังมีค่าที่สูงกว่าค่า order threshold ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เกิดการรับรู้กลิ่นได้ จึงกล่าวได้ว่าแม้ผ่านระบบดักแบบเปียกแล้ว ก็ยังทำให้ได้กลิ่นเหม็นจากก๊าซดังกล่าวได้ จำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมต่อไป และผลการศึกษาของตัวอย่างก๊าซทั้งก่อนเข้าและออกจากระบบดักจับแบบเปียก พบว่าเกิดการบำบัดก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่น และผลนี้สอดคล้องกับข้อมูลของน้ำที่ได้นำไปใช้ในการดูดซึมก๊าซในระบบดักจับแบบเปียก กล่าวคือลักษณะน้ำที่ผ่านระบบดักจับแบบเปียกที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีค่าอุณหภูมิ SCOD VFAs และ H_2S ที่สูงมากกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ แสดงให้เห็นการเกิดปฏิกิริยาการดูดซึมโดยน้ำในระบบดักจับแบบเปียก โดยมีการถ่ายโอนมวลของก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นสู่น้ำที่ใช้เป็นตัวดูดซึม โดยประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซในกลุ่ม VFAs ของน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมในระบบ wet scrubber พบว่าสามารถดูดซึม acetic acid, valeric acid, isobutyric acid, isovaleric acid, propionic acid และ butyric acid ได้ร้อยละ 522, 303, 289, 224, 177 และ 31 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้ ยังพบว่าน้ำที่ผ่านระบบดักจับแบบเปียกมีค่า NH_3-N ที่สูงมากกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่าก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการอบยางจะเป็นก๊าซ

NH_3 ด้วย และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะน้ำที่ออกจากระบบดักจับแบบเปียกที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเป็นน้ำที่ยังคงมีความสกปรกสูง หากมีวิธีการที่เหมาะสมในการนำน้ำดังกล่าวไปบำบัดและสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำในระบบการบำบัดของระบบดักจับแบบเปียก หรือใช้ควบคู่กับการบำบัดก๊าซที่เป็นกลิ่นเหม็น ก็จะเกิดโอกาสในการจัดการของเสียจากโรงงานยางแท่ง STR20 ทั้งที่เป็นสารมลพิษในรูปน้ำเสียและก๊าซเสีย ให้มีประสิทธิภาพได้มากขึ้น อันสามารถช่วยแก้ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นจากโรงงานยางแท่ง STR20 ได้มากขึ้น

4.1.2 การบำบัดก๊าซเสียที่เป็นก๊าซกลิ่นเหม็นที่ผ่านการบำบัดจาก wet scrubber หน่วยแรก โดยบำบัดร่วมกับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ wet scrubber หน่วยแรก โดยใช้ ระบบ SBR

การบำบัดก๊าซกรดไขมันระเหย (VFAs) 6 ชนิด ในเทอมของ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, valeric acid และ isovaleric acid ซึ่งเป็นสารอินทรีย์หลักที่พบในก๊าซที่ระบายออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ซึ่งเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นรวมถึงก๊าซอนินทรีย์อื่นที่เป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซ H_2S และก๊าซ NH_3 (ซึ่งทั้งหมดเป็น by product ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในยางก้อนถ้วย ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางแท่ง STR 20) โดยการทดลองบำบัดก๊าซกลุ่มดังกล่าวที่ผ่านการบำบัดกลิ่นเบื้องต้นด้วยระบบดักจับแบบเปียก (wet scrubber) โดยบำบัดร่วมกับน้ำเสียทิ้งที่ออกจากระบบ wet scrubber โดยการใช้ระบบ SBR ภายใต้เงื่อนไขการทดลองของการป้อนน้ำเสียเป็น 2 เงื่อนไข (เติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน และเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน) และมีอัตราการป้อนก๊าซเสียเข้าระบบที่ 2 อัตรา โดยใช้ชุดทดลอง 4 ชุดทดลอง คือ ถัง R1 ระบบ SBR ที่มีป้อนเฉพาะน้ำเสียและมีการ aeration ถังR2 ไม่ได้เป็นระบบ SBR มีป้อนน้ำเสียและป้อนเฉพาะก๊าซเสียที่อัตราเท่ากับ 13.3 m^3/hr ถัง R3 เป็นระบบ SBR มีการป้อนน้ำเสีย มีการ aeration และป้อนก๊าซเสียในอัตราที่สูงเท่ากับ 13.3 m^3/hr และ ถัง R4 เป็นระบบ SBR มีการป้อนน้ำเสีย มีการ aeration และป้อนก๊าซเสียในอัตราที่ต่ำเท่ากับ 6.65 m^3/hr โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและก๊าซเสีย จากการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. อัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซหรือ L/G ratio ของชุดการทดลองครั้งนี้ ที่มีการป้อนก๊าซเสียในอัตราสูงและต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.188 l/m^3 และ 0.376 l/m^3 ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน สำหรับการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน มีค่า L/G ratio ที่อัตราการป้อนก๊าซในอัตราสูงและต่ำ เท่ากับ 0.423 l/m^3 และ 0.846 l/m^3

2. ภายใต้เงื่อนไขการทดลองแบบการเติมน้ำเสีย 1 และ 2 ครั้ง/วัน พบว่าชุดการทดลองแบบ SBR (R1, R3 และ R4) และ R2 สามารถลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่

ป้อนเข้าในระบบและน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากชุดทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

3. ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซกลุ่ม VFAs, NH_3 และ H_2S สามารถสรุปได้ ดังนี้

3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซกลุ่ม VFAs 5 ชนิด ที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่า ถังที่ R3 มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid และ isovaleric acid คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 9, 77, 66, 52 และ 87 ตามลำดับ ในขณะที่ถัง R4 มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid และ isovaleric acid คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 9, 77, 65, 52 และ 87 ตามลำดับ

3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ H_2S ของการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน ในชุดการทดลองแบบ SBR (R3, R4) และ R2 พบว่าไม่สามารถบำบัดก๊าซ H_2S ได้เลย ซึ่งเกิดจากกลไก air stripping แต่พบการบำบัดก๊าซ H_2S ของการเติมน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 21, 31 และ 29 ในชุดการทดลองแบบ SBR (R3, R4)และ R2 ตามลำดับ

3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ NH_3 ของชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน พบว่าชุดทดลอง R2 สามารถบำบัดก๊าซนี้ได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 42

4. กลไกการบำบัดที่เกิดขึ้นในชุดทดลองทั้ง 4 พบว่ามาจาก 4 กลไกหลัง คือ 1) กลไกการดูดซึม 2) กลไกการย่อยสลายทางชีวภาพในระบบน้ำเสียแบบ SBR ทั้งที่เป็นปฏิกิริยาแบบมีอากาศ และไร้อากาศ 3) กลไก air stripping และ4) กลไกการเจือจางของก๊าซ

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การใช้ประโยชน์จากผลการศึกษา

- ผลการศึกษาที่ตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซเสียจากการอบยางแท่ง STR20 ของระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกของโรงงานยางแท่ง STR20 พบว่ายังมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดก๊าซที่ได้ต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ศึกษาได้ และอุณหภูมิของก๊าซ สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการปรับปรุงเพื่อพัฒนาระบบบำบัดก๊าซเสียที่เป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นของโรงงานต่อไป

- ผลจากการศึกษาระบบ SBR ที่ศึกษาได้ (ถัง R1) พบว่าสามารถช่วยลดค่าความสกปรกของน้ำทิ้งจาก wet scrubber ได้ แม้มีระดับความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนในรูป SCOD,

TKN ที่ไม่สูงมาก ดังนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียดังกล่าวได้ โดยสามารถทำงานที่สอดคล้องกับการทำงานของโรงงานโดยเฉพาะการทำงานของระบบ wet scrubber ของโรงงานที่มีการทำงานไม่ต่อเนื่องในแต่ละรอบวัน

- ก๊าซเสียที่ออกจากระบบ wet scrubber ที่เป็นหน่วยบำบัดแรกนั้น พบว่ามีออกซิเจนอยู่ด้วย หากทางโรงงานนำก๊าซทิ้งนี้ไปเพื่อใช้เป็นแหล่ง aeration ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ก็จะเกิดประโยชน์ได้ แต่ต้องระวัง อัตราการใช้โดยต้องไม่ไปทำให้เกิดปัญหาการเกิด air stripping ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

4.2.2 การทำวิจัยต่อ

ทั้งนี้ด้วยผลการศึกษาที่ได้จากการบำบัดก๊าซเสียที่เป็นก๊าซกลิ่นเหม็นที่ผ่านการบำบัดจาก wet scrubber หน่วยแรก โดยบำบัดร่วมกับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ wet scrubber หน่วยแรก โดยใช้ ระบบ SBR นั้นยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร และยังไม่สามารถทำให้เกิดกลไกเฉพาะการดูดซึมก๊าซเสียที่มีกลิ่นเหม็นทั้ง 3 กลุ่มหลัก คือ VFAs, H_2S, NH_3 ได้ ตลอดจนยังไม่สามารถระบุปัจจัยหลักของค่า L/G ที่มีผลต่อกลไกการดูดซึม หรือ air stripping ในระบบที่ทดลองได้ ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องทำการวิจัยต่อเนื่อง เช่น

1) ศึกษาผลของค่า L/G ratio และขนาดของ SBR reactor ที่เหมะสมต่อการเกิดการ absorption ที่มีประสิทธิภาพ (แทนที่จะให้เกิด air stripping) ของการบำบัดก๊าซเสียที่เป็นก๊าซกลิ่นเหม็นที่ผ่านการบำบัดจาก wet scrubber หน่วยแรก โดยบำบัดร่วมกับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ wet scrubber หน่วยแรก โดยใช้ ระบบ SBR ทั้งนี้พิจารณา reactor SBR ที่มีความสูงของ water column มากขึ้น และเพิ่ม media ภายในระบบ เพื่อเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสของก๊าซเสียและน้ำ

2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพร่วมในการเกิด absorption เพื่อบำบัดก๊าซเสียที่มีกลิ่นเหม็นทั้ง 3 กลุ่มหลัก คือ VFAs, H_2S, NH_3 ของโรงงานยางแท่ง STR20 เช่น ค่า pH อุณหภูมิ ความดันก๊าซ ฯลฯ

เอกสารอ้างอิง

กฎกระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. เรื่องมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน.

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. แอมโมเนีย. http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/l3ammonia.htm. (สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2560)

กรมควบคุมมลพิษ. 2556. **ฐานความรู้การจัดการกลิ่น. ระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2554. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. **ตำราบำบัดมลพิษทางอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2544. **อุตสาหกรรมน้ำยางข้น อุตสาหกรรมยางแท่งมาตรฐาน เอสทีอาร์ 20: หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา.** อุตสาหกรรมยางพารา.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547. **วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอส.อาร์.พริ้นติ้งแมสโปรดักส์ จำกัด.

แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์. 2539. **การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ. 2551. **การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 18(3): 1-8.

จรัญ บุญกาญจน์, จันทิมา ชั่งสิริพร, จรรยา อินทมณี และ ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์. 2553. **การบำบัดกลิ่นในก๊าซจากปล่องควันของเตาอบยางในอุตสาหกรรมยางแท่ง**. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จีระศักดิ์ เพ็งคุณ. 2557. **การศึกษาการทดลองการดูดซับก๊าซคาร์บอไดออกไซด์โดยถ่านกัมมันต์และดูดซึมโดยน้ำ**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. 2554. **อุปกรณ์ควบคุมมลพิษชนิดก๊าซและไอ**. สุขศาสตร์อุตสาหกรรม: การควบคุม. ครั้งที่ 1 (10.2.52)

ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์. 2553. **การบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันในกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุ**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2. 2539. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม.

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล. 2553. **ยางก้อนถ้วยของกลุ่มสวนสงเคราะห์บ้านนาคลัง จ.อุดรธานี.** วารสารยางพารา 31(3): 48-51. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง.

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล, สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, และ จักรี เลื่อนราม. 2545. **แก๊สที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในกระบวนการผลิตยางแท่ง**. รายงานการศึกษาวิจัย. ศูนย์วิจัยยางสงขลา. สถาบันวิจัยยาง.

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล, สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, จักรี เลื่อนราม, วิชัย ใจภักดี. 2545. **การบำบัดน้ำเสียในโรงงานนำร่องผลิตยางแท่ง STR20 ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ**. รายงานการศึกษาวิจัย. ศูนย์วิจัยยางสงขลา. สถาบันวิจัยยาง.

พนาลี ชีวกิดาการ, สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และวรรณฤดี หวั่นเซ่ง. 2558. **การบำบัดไนโตรเจน สารอินทรีย์ และซัลเฟต โดยใช้กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศร่วมกับไนตริฟิเคชันบางส่วนและแอนาม็อกสำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.** โครงงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2544. **การจัดการและควบคุมมลพิษทางอากาศจากอุตสาหกรรม หน่วยที่ 1-8.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2525. **การออกแบบขั้นตอนกระบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา**. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รวมพร นิคม. 2549. **การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรพจน์ รัตนพันธุ์. 2555. **การลดปัญหากลิ่นเหม็นจากอุตสาหกรรมยางแท่งเอสทีอาร์ 20 โดยใช้ระบบดักจับแบบเปียกทางชีวภาพ**. โครงร่างวิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. **ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.** กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

วราภรณ์ คงสุภาพศิริ และจักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์. 2553. **การพัฒนาวิธีการบำบัดกลิ่นในถังปฏิกรณ์ระบบเปียก.** วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชุมชน สังคมมีความสุข. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8.

วราวุธ เสือดี. 2558. **เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศิรณัฐ ปานสังข์. 2557. **การกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางและอากาศเสียในโรงงานผลิตน้ำยางข้น.** วิยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาลัยสงขลานครินทร์.

ศูนย์ส่งเสริมการพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดหนองคาย. 2554. **การผลิตยางก้อนถ้วย.** กรมวิชาการเกษตร. http://www.aop01.doae.go.th/(สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2556).

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2559. **ข้อมูลวิชาการยางพารา 2559**. http://www.rubberthai.com/book/file/110.pdf (สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2559).

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, สุนิดา ย่องเหล่ายูง, พรทิพย์ ศรีแดง, สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมล เพ็ญจำรัส. 2550. **ปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้นถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง.** สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สมพงษ์ มีนะโรจน์. 2553. **การออกแบบระบบท่อและระบบดักเก็บฝุ่น ควบคุมก๊าซมลพิษ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดสามลดา.

สุภัสสร สกุลจร และสุณีนาท ศรีจอหอ. 2554. **ระบบบำบัดน้ำเสีย AIR STRIPPER WASTE WATER TREATMENT OF AIR STRIPPER**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิคส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ เสนีย์ กาญจนวงศ์. 2553. **โครงการ การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางพาราข้นโดยระบบหมักไร้อากาศซัลฟิโดเจนิคอัตราสูงและการผลิตกรดซัลฟูริกจากก๊าซชีวภาพเสีย.** รายงานการวิจัย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูรย์. 2557. **ระบบบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท๊อป จำกัด.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14 จังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2559. ที่ตั้งโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด (สาขาสุราษฎร์ธานี).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. ระบบแสดงข้อมูลทางสถิติ: มูลค่าสินค้าเกษตรส่งออกที่สำคัญ พ.ศ.2559. กรมวิชาการเกษตร. http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php. (สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2559).

สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. 2558. มลพิษทางอากาศ การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมของไทย. http//www.parliament.go.th/library. (สืบค้นเมื่อ11 สิงหาคม 2560).

สำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา 3. 2559. ผลการศึกษาแนวทางมาตรการและวิธีการบำบัดกลิ่นจากการประกอบกิจการผลิตยางแท่ง STR20.

องค์การสวนยาง. 2553. **The rubbur estate organization SRT20**. นครศรีธรรมราช: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

องค์การสวนยาง. ม.ป.ป. **การผลิตยางก้อนถ้วย.** นครศรีธรรมราช: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

อลิสา วังใน. 2553. **การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Abdullahi, M.E., Yusuf, R.O., Aloko, F.D. (2014). Interactive Effect of Air- Water Ratio and Temperature on the Air Stripping of Benzene, **Nigerian Journal of Technological Development,** Vol. 11., No 1 June, : 1-6

AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed. USA, AOAC International.

APHA, AWWA and WEF, 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21st ed. APHA Inc., Washington, D.C

Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2011). **Air pollution control**: A design approach. (4 ed.). Long Grove, IL: Waveland Press, Inc

Control of Particulate Contaminants, 2556 http://www.globalspec.com/learnmore manufacturing process quipment/air_quality/scrubbers . (สืบค้นเมื่อ 14 ธันวาคม 2556).

Danteravanich, S., Yonglaoyoong, S, Sridang, P., Penjamras, P., and Wisunthorn, S., (2007) Survey of Current Environmental Aspects of STR 20 Industry in Southern Thailand**,** **Proceeding in Aaian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technology**, 1-2 August 2007, Khon Khen, Thailand

Danteravanich, S., Yonglaoyoong, S, Sridang, P., Penjamras, P., and Wisunthorn, S., (2007) Preliminary Characterization of Organic Compounds Caused Malodor of STR20 Industry. **Proceeding in IRRDB International Rubber Conference**, 12-13 November, 2007, Sokha Angkor Resort Hotel, Siem Reap, Combodia.

El-Behlil, M.A., Sead, El-G., and Adma, S.A. (2012). Simplified Pached Tower Design Calculation for The Removal of VOC's from Contaminated Water, Proceeding in the Sixteenth International Water Technology Conference, IWTC16, Istanbul, Turkey: 1-18.

Hoven V.P, Rattanakarun K and Tanaka Y. 2003. Reduction of Offensive Odor from Natural by Odor-Reducing Substances. **Journal of Applied Polimer Science. 92**: 2253-2260.

Isa, Z. 1991. Air and solid waste pollution control in the rubber industry. Handout in ASEAN/UNDP Workshop on pollution control in the palm oil and rubber industries. 7-18 Jan 1991.

Jacobs, M. B. 1960. The Chemical Analysis of Air Pollutants. New York : Interscience Publ.Inc.

Liang C, Chen Y.J, and Chang K.J. 2009. Evaluation of persulfate oxidative wet scrubber for removing BTEX gases. **Journal of Hazadous Materials. 164**: 571-579.

Leong, S.T., Muttamara, S., and Laortanakul, P. 2003. **Reutilization of wastewater in a rubber based processing factory:** a case study in southern. Resources Conservation & Recycling. 37: 159-172.

Nagata, Y. 2013. **Odor threshold table**, Japan Association on Odor Environment http://www.oreaor.jp/enPDF/odor%20threshold/2d223pdf. (Accessed July 2, 2013)

Perry, R. and Young, J. R. 1977. **Handbooks of Air Pollution Analysis**. New York : Chapman and Hall Ltd.

Pokhrel, T.R. 2010. Determination of volatile fatty acids in municipal wastewater by gas chromatography-mass spectrometry preceded by headspace solid phase microextraction with PDMS-CAR film bioscrubber system. **Process Biochemistry**. 41(3): 708-715.

Schlegelmilch M, Streese J, Stegmann R. 2005. Odour management and treatment technologies: An overview**. Waste Management. 25**: 928-939

U.S. EPA. 1999. Wastewater Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactors. EPA 832-F-99-073, September .

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ปริมาณผลผลิตยางแท่ง STR20 และปริมาณการใช้ LPG

ตารางที่ 37 ผลผลิตยางแท่ง STR20 บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ (สาขาสุราษฎร์ธานี) ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2556

เดือน	Kg./month	Kg./day	จำนวนชั่วโมงการผลิต/เดือน
ม.ค.	1,682,310	7,189	234
ก.พ.	3,445,400	7,812	441
มี.ค.	3,026,970	7,841	386
เม.ย.	3,603,600	7,700	468
พ.ค.	3,635,730	7,574	480
มิ.ย.	3,160,360	7,352	431
ก.ค.	3,208,835	7,227	444
ส.ค.	3,726,450	7,193	518
ก.ย.	3,407,740	7,424	459
ต.ค.	3,119,410	7,322	426
พ.ย.	3,443,160	7,099	485
ธ.ค.	3,838,130	7,081	542
รวม	**39,298,095**	**88,814**	**5,314**
เฉลี่ย	**3,274,841**	**7,401**	**443**
Max	**3,838,130**	**7,841**	**542**
Min	**1,682,310**	**7,081**	**234**

ตารางที่ 38 ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ในการอบยางแท่ง STR20

เดือน	ปริมาณแก๊ส LPG (Kg.)
ม.ค.	41,368
ก.พ.	66,898
มี.ค.	60,500
เม.ย.	77,926
พ.ค.	88,900
มิ.ย.	81,916
ก.ค.	84,810
ส.ค.	99,034
ก.ย.	84,340
ต.ค.	76,928
พ.ย.	85,808
ธ.ค.	96,634
รวม	**945,062**
เฉลี่ย	**78,755**
Max	**99,034**
Min	**41,368**

ภาคผนวก ข

คุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1

ตารางที่ 39 ผลการวัดอุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากเตาอบยางแท่ง STR20 ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ wet scrubber

วันที่	inlet	outlet	ambeint air
2	51	45	-
4	50.7	44.5	-
5	48.6	43	-
8	49	43.75	27.5
9	49.2	43	29
11	49.3	43.9	36
12	47.6	41	32
14	47.5	40	26.25
22	47.6	42.5	34
27	48.4	42	36.25
34	47	41	30
36	47.5	40	29
49	45.5	39.5	31.25
ค่าเฉลี่ย	**48.89**	**42.24**	**31.57**
SD	**1.23**	**1.82**	**4.06**
Max	**51**	**45**	**36.25**
Min	**45.5**	**39.5**	**26.25**

ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1

Date	**วัน**	**pH**		**Temperature (^{o}C)**			**Conductivity (uS/cm)**	
		IN1	**OUT1**	**IN1**	**OUT1**	**Ambrient**	**IN1**	**OUT1**
8 ก.ค.56	MON	7.79	7.61	29.8	40.25	31.1	397	413
10 ก.ค.56	WED	7.72	7.45	29	39.4	30.1	340	549
12 ก.ค.56	FRI	7.48	7.14	29.8	40.4	31.8	437	618
15 ก.ค.56	MON	7.47	7.39	29.9	40.4	30.5	436	602
17 ก.ค.56	WED	7.3	7.26	29.6	39.3	30	399	588
20 ก.ค.56	SAT	7.55	7.28	29.1	39.9	29.9	492	545
22 ก.ค.56	MON	7.48	7.39	28.6	39.9	30.5	440	547
24 ก.ค.56	WED	7.45	7.31	28.3	40.2	29.8	438	585
26ก.ค.56	FRI	7.5	7.31	28.2	39.9	28	322	382
29 ก.ค.56	MON	7.73	7.78	29.8	33.5	33.9	412	478
31 ก.ค.56	WED	7.39	7.28	28.5	38.6	27.7	407	562
2 ส.ค.56	FRI	7.42	7.5	28.9	30.7	30	471	610
5 ส.ค.56	MON	7.43	7.46	29.1	33.7	28.8	444	525
7 ส.ค.56	WED	7.5	7.31	29.6	38.4	28.3	322	382
9 ส.ค.56	FRI	7.52	7.89	28.9	38.5	29.1	412	478
12 ส.ค.56	MON	7.47	7.4	29.5	39.8	27.7	373	528
14 ส.ค.56	WED	7.63	7.5	29.5	39.7	28.6	423	592
16 ส.ค.56	FRI	7.62	7.48	29.6	39.8	31.4	419	572
19 ส.ค.56	MON	7.67	7.49	29.6	38.7	31.6	410	452
21 ส.ค.56	WED	7.64	7.51	29.2	38.6	30.4	410	452
23 ส.ค.56	FRI	7.86	7.67	29.6	38.4	32.2	429	565
Average		**7.55**	**7.45**	**29.2**	**38.5**	**30.1**	**411**	**525**
MAX		**7.86**	**7.89**	**29.9**	**40.4**	**33.9**	**492**	**618**
MIN		**7.3**	**7.14**	**28.2**	**30.7**	**27.7**	**322**	**382**
SD		**0.14**	**0.18**	**0.52**	**2.59**	**1.60**	**43.2**	**73.83**

ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 (ต่อ)

Date	วัน	SS (mg/l)		SCOD (mg/l)		NH_3-N (mg/l)	
		IN1	OUT1	IN1	OUT1	IN1	OUT1
8 ก.ค.56	MON	221	221	24	40	3.55	28.98
10 ก.ค.56	WED	56	39	8	32		
12 ก.ค.56	FRI	20	36.5	32	214		
15 ก.ค.56	MON	15	33.5	56	357		
17 ก.ค.56	WED	12	31	16	159	1.4	15.61
20 ก.ค.56	SAT	17	32	32	95		
22 ก.ค.56	MON	18	26	32	175		
24 ก.ค.56	WED	6.5	35	24	199	5.95	26.67
26 ก.ค.56	FRI	36	132	40	143	0.63	20.72
29 ก.ค.56	MON	10	43	48	71		
31 ก.ค.56	WED	17	32	40	151		
2 ส.ค.56	FRI	10	41	40	167	5.65	22.91
5 ส.ค.56	MON	55	79	40	135		
7 ส.ค.56	WED	36	132	8	87	3.55	22.88
9 ส.ค.56	FRI	10	43	24	135	5.39	13.02
12 ส.ค.56	MON	25	39	24	127	3.29	17.56
14 ส.ค.56	WED	14	32	56	278		
16 ส.ค.56	FRI	13	30	40	135		
19 ส.ค.56	MON	27	35	24	71		
21 ส.ค.56	WED	15	39	40	48	4.27	11.97
23 ส.ค.56	FRI	12	32	32	183		
Average		**30.74**	**55.38**	**32.38**	**143**	**3.74**	**20.04**
MAX		**221**	**221**	**56**	**357**	**5.95**	**28.98**
MIN		**6.5**	**26**	**8**	**32**	**0.63**	**11.97**
SD		**45.75**	**48.48**	**13.26**	**78.72**	**18.40**	**5.92**

ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 (ต่อ)

Date	**วัน**	**Org-N (mg/l)**		**TKN (mg/l)**		**SO_4^{2-} (mg/l)**	
		IN1	**OUT1**	**IN1**	**OUT1**	**IN1**	**OUT1**
8 ก.ค.56	MON	2.72	7.43	6.27	36.41	26.52	21.88
10 ก.ค.56	WED			6.29	41.84	14.46	13.75
12 ก.ค.56	FRI			7.3	39.8	31.61	19.82
15 ก.ค.56	MON			6.89	35.79	31.96	23.93
17 ก.ค.56	WED	3.59	19	4.99	34.61	31.25	32.5
20 ก.ค.56	SAT			9.67	21.8	37.68	27.5
22 ก.ค.56	MON			7.1	30.08	27.32	26.61
24 ก.ค.56	WED	1.66	9.02	7.61	35.69	33.04	23.57
26 ก.ค.56	FRI	6.67	8.08	7.3	28.8	6.43	14.46
29 ก.ค.56	MON			6.29	18.51	31.25	32.5
31 ก.ค.56	WED			7.2	31.16	34.46	38.04
2 ส.ค.56	FRI	3.66	10.98	9.31	33.89	30.71	19.46
5 ส.ค.56	MON			8.54	28.23	40.71	31.43
7 ส.ค.56	WED	3.96	6.1	7.51	28.98	9.29	7.68
9 ส.ค.56	FRI	2.53	21.38	7.92	34.4	31.25	32.5
12 ส.ค.56	MON	2.32	0.92	5.61	18.48	34.82	28.39
14 ส.ค.56	WED			8.33	41.47	32.68	30.89
16 ส.ค.56	FRI			9.31	36.67	40.89	35.36
19 ส.ค.56	MON			8.07	29.21	33.57	26.79
21 ส.ค.56	WED	4.06	18.37	8.33	30.34	29.11	25.18
23 ส.ค.56	FRI			7.66	26.48	25.53	25.89
Average		**3.46**	**11.25**	**7.5**	**31.55**	**29.26**	**25.63**
MAX		**6.67**	**21.38**	**9.67**	**41.84**	**40.89**	**38.04**
MIN		**1.66**	**0.92**	**4.99**	**18.48**	**6.43**	**7.68**
SD		**1.45**	**6.86**	**1.21**	**6.62**	**9.03**	**7.57**

ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 (ต่อ)

Date	วัน	Sulphide (mg/l)		Dissolve Sulfide (mg/l)		HS^- (mg/l)	
		IN1	**OUT1**	**IN1**	**OUT1**	**IN1**	**OUT1**
8 ก.ค.56	MON	2.67	4	2.33	3	2.307	2.4
10 ก.ค.56	WED	4.33	5.67	1.67	3.33	1.645	2.531
12 ก.ค.56	FRI						
15 ก.ค.56	MON						
17 ก.ค.56	WED						
20 ก.ค.56	SAT						
22 ก.ค.56	MON						
24 ก.ค.56	WED						
26ก.ค.56	FRI						
29 ก.ค.56	MON	4.67	5.33	3.33	4.33	3.297	3.767
31 ก.ค.56	WED	5	6	4	4	3.91	2.68
2 ส.ค.56	FRI	2.67	3.33	1.33	1.67	1.307	1.269
5 ส.ค.56	MON	3.33	5	3	2.67	2.948	2.029
7 ส.ค.56	WED	3	4.5	2.67	3.67	2.623	2.459
9 ส.ค.56	FRI	2.67	4.33	2	1	1.96	0.885
12 ส.ค.56	MON	3.33	4.33	2	3	1.965	2.16
14 ส.ค.56	WED	3	5.67	2.33	4	2.295	3.04
16 ส.ค.56	FRI	3.67	4.33	2	3	1.97	2.28
19 ส.ค.56	MON	5	7.33	4	5.67	3.94	4.309
21 ส.ค.56	WED	5.67	6.67	4	4.67	3.94	3.549
23 ส.ค.56	FRI	5.33	6.67	3.33	4	3.313	3.32
Average		**3.88**	**5.23**	**2.71**	**3.43**	**2.67**	**2.62**
Max		**5.67**	**7.33**	**4**	**5.67**	**3.94**	**4.31**
MIN		**2.67**	**3.33**	**1.33**	**1**	**1.31**	**0.89**
SD		**1.08**	**1.17**	**0.90**	**1.19**	**0.89**	**0.9**

ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นสารดูดซึมก่อนและหลังผ่านระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 (ต่อ)

Date	วัน	H_2S (mg/l)		TP (mg/l)		VFA (mg/l)	
		IN1	OUT1	IN1	OUT1	IN1	OUT1
8 ก.ค.56	MON	0.023	0.6	4.2	4	5.67	119
10 ก.ค.56	WED	0.025	0.799	7.2	5.2	11.33	17
12 ก.ค.56	FRI			5.2	5.6	11.33	22.66
15 ก.ค.56	MON			5.2	7	5.67	28.33
17 ก.ค.56	WED			3.8	7	11.33	33.99
20 ก.ค.56	SAT			7.8	8	17	39.66
22 ก.ค.56	MON					5.67	22.66
24 ก.ค.56	WED			8	7.6	5.67	17
26 ก.ค.56	FRI			6.2	4.4	5.67	28.33
29 ก.ค.56	MON	0.033	0.563	5.2	6.8	11.33	22.66
31 ก.ค.56	WED	0.09	1.32			5.67	17
2 ส.ค.56	FRI	0.023	0.401	8.4	7.6	11.33	79.32
5 ส.ค.56	MON	0.053	0.641	8.8	7.2	11.33	56.6
7 ส.ค.56	WED	0.047	1.211			11.33	56.66
9 ส.ค.56	FRI	0.04	0.115	7.4	6.6	11.33	136
12 ส.ค.56	MON	0.035	0.84	4.2	5.4	11.33	243.6
14 ส.ค.56	WED	0.035	0.96			5.67	170
16 ส.ค.56	FRI	0.03	0.72	6	5.8	11.33	113.3
19 ส.ค.56	MON	0.06	1.361	6.6	5.6	11.33	28.33
21 ส.ค.56	WED	0.06	1.121			5.67	22.66
23 ส.ค.56	FRI	0.017	0.68	6	6.2	22.16	124.7
Average		**0.04**	**0.81**	**6.263**	**6.25**	**9.96**	**66.64**
MAX		**0.09**	**1.36**	**8.8**	**8**	**22.16**	**243.6**
MIN		**0.02**	**0.12**	**3.8**	**4**	**5.67**	**17**
SD		**0.02**	**0.36**	**1.57**	**1.17**	**9.03**	**7.57**

ตารางที่ 41 ผลลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง media ของระบบ wet scrubber ตัวที่ 1

วันที่	TS (mg/l)	TS (mg/media),dry	TVS (mg/l)	TVS (mg/media), dry	TDS (mg/l)	TDS (mg/media), dry	TDVS (mg/l)	TDVS (mg/media),dry	%MC	%OM
14 ก.ค.56	4781	281.3	2757	162.2	303	17.8	192	11.3	52.51	45.34
21 ก.ค.56	2191	146.1	1263	84.2	110	7.3	72	4.8	33.66	44.74
28 ก.ค.56	4940	308.7	3634	227.1	326	20.4	240	15	32.46	-
11 ส.ค.56	6807	453.8	4170	278	257	17.1	191	12.7		36.09
18 ส.ค.56	5793	386.2	3653	243.5	243	16.2			63.01	36.83
25 ส.ค.56	5083	338.9	3763	250.9	272	18.1	173	11.5		37.78
1 ก.ย.56	4328	288.5	3334	222.3	296	19.7	187	12.5	60.15	29.78
Average	**4846.1**	**314.8**	**3224.9**	**209.7**	**258.1**	**16.7**	**175.83**	**11.3**	**48.36**	**38.43**
Max	**6807**	**453.8**	**4170**	**278**	**326**	**20.4**	**240**	**15**	**63.01**	**45.34**
Min	**2191**	**146.1**	**1263**	**84.2**	**110**	**7.3**	**72**	**4.8**	**32.46**	**29.78**
SD	**1421.79**	**96.01**	**967.24**	**65.79**	**71.20**	**4.37**	**55.72**	**3.45**	**14.49**	**5.84**

ตารางที่ 42 ผลการบำบัดก๊าซ VFAs, H_2S และ NH_3 ของระบบ wet scrubber ตัวที่ 2 ที่ทำงานแบบ chemisorption

Type of gases	**concentration (ppmv)**	
	wet scrubber	
	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2
VFA: acetic acid	12.58	8.87
propionic acid	1.22	1.05
isobutyric acid	1.03	0.18
butyric acid	4.37	3.79
isovaleric acid	2.12	0.94
valeric acid	4.67	2.96
H_2S	14.61	9.18
NH_3	20.12	15.20

ภาคผนวก ค

อัตราการไหลของน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1

ตารางที่ 43 ผลการวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ครั้งที่วัด	อัตราการไหล ลบ.ม./วินาที	
		ท่อที่ 1	ท่อที่ 2
28 สิงหาคม 2556	1	0.063	0.044
	2	0.074	0.043
	3	0.073	0.039
	4	0.087	0.044
	5	0.081	0.040
	6	0.075	0.038
7 กันยายน 2556	1	0.080	0.035
	2	0.094	0.033
	3	0.104	0.037
	4	0.067	0.038
	5	0.091	0.041
	6	0.112	0.036
11 กันยายน 2556	1	0.072	0.033
	2	0.071	0.034
	3	0.072	0.033
	4	0.073	0.038
	5	0.073	0.042
	6	0.069	0.041
18 กันยายน 2556	1	0.063	0.033
	2	0.071	0.030
	3	0.068	0.034
	4	0.069	0.041
	5	0.063	0.038
	6	0.078	0.042

ตารางที่ 43 แสดงผลการวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1 (ต่อ)

วันที่เก็บตัวอย่าง	ครั้งที่วัด	อัตราการไหล ลบ.ม./วินาที	
		ท่อที่ 1	ท่อที่ 2
27 กันยายน 2556	1	0.069	0.044
	2	0.071	0.041
	3	0.079	0.043
	4	0.071	0.040
	5	0.076	0.038
	6	0.065	0.040
17 ตุลาคม 2556	1	0.086	0.038
	2	0.065	0.038
	3	0.080	0.036
	4	0.074	0.041
	5	0.078	0.036
	6	0.063	0.039
23 ตุลาคม 2556	1	0.087	0.033
	2	0.076	0.036
	3	0.082	0.034
	4	0.070	0.042
	5	0.076	0.041
	6	0.070	0.038
31 ตุลาคม 2556	1	0.056	0.037
	2	0.071	0.032
	3	0.066	0.031
	4	0.070	0.033
	5	0.084	0.031
	6	0.071	0.026

ตารางที่ 43 แสดงผลการวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งจากระบบ wet scrubber ตัวที่ 1(ต่อ)

วันที่เก็บตัวอย่าง	**ครั้งที่วัด**	**อัตราการไหล ลบ.ม./วินาที**	
		ท่อที่ 1	**ท่อที่ 2**
8 พฤศจิกายน 2556	1	0.082	0.036
	2	0.080	0.037
	3	0.069	0.036
	4	0.066	0.041
	5	0.063	0.035
	6	0.063	0.039
ค่าเฉลี่ย		0.056	
ค่า SD		0.015	
อัตราการไหลสูงสุด		0.112	
อัตราการไหลต่ำสุด		0.026	

ภาคผนวก ง
กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

หน้า ๑๒

เล่ม ๑๑๓ ตอนที่ ๕๒ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๗ มิถุนายน ๒๕๓๙

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๙)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๔ แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ ๒๕๓๕ ที่ระบุว่า "ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาแต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)" รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ ๑ คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ ๒ น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า ๕.๕ และไม่มากกว่า ๙.๐

(๒) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

๒.๑ ค่า ทีดีเอส ไม่มากกว่า ๓,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ

อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๒.๒ น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า ๒,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๑๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) โลหะหนักมีค่าดังนี้

๔.๑ ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า ๐.๐๐๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๒ เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า ๐.๐๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๓ แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า ๐.๐๓ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๔ ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๕ อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่มากกว่า ๐.๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๖ โครเมียม (Chromium)

๔.๖.๑ Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า ๐.๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๖.๒ Trivalent Chromium ไม่มากกว่า ๐.๗๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๗ บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๘ นิเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๙ ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า ๒.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๑๐ สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๑๑ แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๖) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๗) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๘) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๙) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๐) เพสติไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(๑๑) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า ๔๐ องศาเซลเซียส

(๑๒) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(๑๓) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(๑๔) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า ๕ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง

หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๑๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๕) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เวลา ๕ วัน ไม่มากกว่า ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๖) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๗) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า ๑๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๓ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๒ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(๒) การตรวจสอบค่าทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ ๑๐๓ องศาเซลเซียสถึงอุณหภูมิ ๑๐๕ องศาเซลเซียส ในเวลา ๑ ชั่วโมง

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(๔) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

๔.๑ การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตร์โฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตร์สโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๔.๒ การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่นสเปคโตร์โฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตร์สโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๔.๓ การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technigue)

(๕) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(๖) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีนบาร์บิทูริคแอซิค (Pyridine - Barbituric Acid)

(๗) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(๘) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี ๔ - อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, ๔ - Aminoantipyrine)

(๙) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริค (Iodometric Method)

(๑๐) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas - Chromatography)

(๑๑) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(๑๒) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(๑๓) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(๑๔) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(๑๕) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ ๔ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ ๓ จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water

Work Associantion และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ ๑๔ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๓๙

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ภาคผนวก จ

กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน

พ.ศ. 2548

กฎกระทรวง

กำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน

พ.ศ. ๒๕๔๘

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ และมาตรา ๘ (๕) แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ และมาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในกฎกระทรวงนี้

"กลิ่น" หมายความว่า สิ่งเจือปนในอากาศที่รู้ได้ด้วยจมูกของคนหรือเครื่องมือวิเคราะห์

"ตัวอย่างกลิ่น" หมายความว่า ตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นบริเวณแหล่งกำเนิดกลิ่น ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศขณะที่ได้รับกลิ่นตามวิธีการที่กำหนดในข้อ ๔ หรือข้อ ๗ แล้วแต่กรณี

"ค่าความเข้มกลิ่น" (odour concentration) หมายความว่า ค่าแสดงสภาพกลิ่นซึ่งเป็นอัตราส่วนการเจือจางตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นด้วยอากาศบริสุทธิ์จนเกือบจะไม่สามารถรับกลิ่นได้ กลิ่นที่แรงกว่าจะมีค่าความเข้มกลิ่นมากกว่า เพราะต้องเจือจางด้วยอากาศบริสุทธิ์ปริมาตรมากกว่า โดยทำการวิเคราะห์กลิ่นด้วยการดม (sensory test) ตามวิธีการที่กำหนดในข้อ ๗

"เขตอุตสาหกรรม" หมายความว่า เขตพื้นที่ที่มีการกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เป็นที่ดินประเภทอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยการผังเมือง หรือนิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย หรือเขตประกอบการอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

"นอกเขตอุตสาหกรรม" หมายความว่า พื้นที่อื่นนอกเหนือจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

ข้อ ๒ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับกับโรงงานตามที่ระบุไว้ในบัญชีท้ายกฎกระทรวงนี้

ข้อ ๓ ห้ามโรงงานระบายอากาศที่มีกลิ่นออกจากโรงงาน เว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนอากาศที่ระบายออกนั้นมีค่าความเข้มกลิ่นไม่เกินค่าที่กำหนดในข้อ ๔ แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง

ข้อ ๔ ตัวอย่างกลิ่นจากโรงงานต้องมีค่าความเข้มกลิ่นไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ที่ตั้งโรงงาน	ค่าความเข้มกลิ่นที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน	ค่าความเข้มกลิ่นที่ปล่องระบายอากาศของโรงงาน
เขตอุตสาหกรรม	๓๐	๑,๐๐๐
นอกเขตอุตสาหกรรม	๑๕	๓๐๐

การตรวจวัดค่าความเข้มกลิ่นที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน ให้เก็บตัวอย่างกลิ่นที่จุดห่างจากรั้วโรงงานหรือขอบเขตโรงงาน ๑ เมตร ในตำแหน่งใต้ทิศทางลมซึ่งพัดผ่านจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดกลิ่น สำหรับการตรวจวัดค่าความเข้มกลิ่นที่ปล่องระบายอากาศของโรงงานให้เก็บตัวอย่างกลิ่นตามวิธีการที่กำหนดในข้อ ๗

ข้อ ๕ ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมจัดให้มีการตรวจวัดค่าความเข้มกลิ่นจากโรงงานเมื่อได้รับเรื่องร้องเรียนจากผู้ที่ได้รับผลกระทบจากกลิ่นในอากาศจากโรงงานนั้น หรือกรมโรงงานอุตสาหกรรมสงสัยว่าเป็นโรงงานที่ระบายอากาศที่มีกลิ่นเกินมาตรฐานที่กำหนดในข้อ ๔ เว้นแต่ในกรณีที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นว่าการดำเนินการดังกล่าวสำหรับโรงงานใดอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ทดสอบหรือในกรณีที่ไม่มีผู้ทดสอบ

ข้อ ๖ ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมมีอำนาจแต่งตั้งคณะกรรมการทดสอบกลิ่นขึ้นคณะหนึ่งหรือหลายคณะเพื่อดำเนินการตรวจวัดค่าความเข้มกลิ่นในอากาศจากโรงงานตามวิธีการที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้

ให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องอำนวยความสะดวกแก่คณะกรรมการทดสอบกลิ่นในการปฏิบัติหน้าที่ตามวรรคหนึ่ง

ข้อ ๗ การตรวจวัดค่าความเข้มกลิ่นตามข้อ ๔ ให้ใช้วิธีการตามที่ American Society for Testing and Materials (ASTM) หรือ Japanese Industrial Standard (JIS) ได้กำหนดไว้ หรือวิธีการอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๘ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งปีนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๑ เมษายน พ.ศ.๒๕๔๘

นายวัฒนา เมืองสุข

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 122 ตอน 44 ก วันที่ 3 มิถุนายน 2548

บัญชีท้ายกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๙

รายการที่	ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน
๑	๑	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการบ่มใบชาหรือใบยาสูบ
๒	๒	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตผลเกษตรกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การต้ม นึ่ง หรืออบพืชหรือเมล็ดพืช (๒) การกะเทาะเมล็ด หรือเปลือกเมล็ดพืช (๓) การอัดปอหรือใบยาสูบ (๔) การหีบหรืออัดฝ้าย หรือการปั่นหรืออัดนุ่น (๕) การเก็บรักษาหรือลำเลียงพืช เมล็ดพืช หรือผลิตผลจากพืชในไซโล โกดังหรือคลังสินค้า (๖) การบด ป่น หรือย่อยส่วนต่าง ๆ ของพืช ซึ่งมิใช่เมล็ดพืช หรือหัวพืช (๗) การเผาถ่านจากกะลามะพร้าว หรือการบดถ่านหรือแบ่งบรรจุผงถ่าน ที่เผาได้จากกะลามะพร้าว (๘) การเพาะเชื้อเห็ด กล้วยไม้ หรือถั่วงอก (๙) การร่อน ล้าง คัด หรือแยกขนาดหรือคุณภาพของผลิตผลเกษตรกรรม (๑๐) การถนอมผลิตผลเกษตรกรรมโดยวิธีฉายรังสี (๑๑) การฟักไข่โดยใช้ตู้อบ
๓	๔	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ซึ่งมิใช่สัตว์น้ำอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การฆ่าสัตว์ (๒) การถนอมเนื้อสัตว์โดยวิธีอบ รมควัน ใส่เกลือ ดอง ตากแห้ง หรือทำให้เยือกแข็งโดยฉับพลันหรือเหือดแห้ง (๓) การทำผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปจากเนื้อสัตว์ มันสัตว์ หนังสัตว์ หรือสารที่สกัดจากไขสัตว์หรือกระดูกสัตว์ (๔) การสกัดน้ำมันหรือไขมันที่เป็นอาหารจากสัตว์ หรือการทำน้ำมันหรือไขมันที่เป็นอาหารจากสัตว์ให้บริสุทธิ์ (๕) การบรรจุเนื้อสัตว์หรือมันสัตว์ หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากเนื้อสัตว์หรือมันสัตว์ในภาชนะที่ผนึกและอากาศเข้าไม่ได้ (๖) การล้าง ชำแหละ แกะ ต้ม นึ่ง ทอด หรือบด สัตว์หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของสัตว์ (๗) การทำผลิตภัณฑ์จากไข่เพื่อใช้ประกอบเป็นอาหาร เช่น ไข่เค็ม ไข่เยี่ยวม้า ไข่ผง ไข่เหลวเยือกแข็ง หรือไข่เหลวแช่เย็น

รายการที่	ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน
๔	๕	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำนมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำนมสดให้ไร้เชื้อหรือฆ่าเชื้อโดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เช่น การพาสเจอร์ไรส์ หรือสเตอริไลส์ (๒) การทำนมสดจากนมผงและไขมัน (๓) การทำนมข้น นมผง หรือนมระเหย (๔) การทำครีมจากน้ำนม (๕) การทำเนยเหลวหรือเนยแข็ง (๖) การทำนมเปรี้ยวหรือนมเพาะเชื้อ
๕	๖	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์น้ำอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำอาหารจากสัตว์น้ำและบรรจุในภาชนะที่ผนึกและอากาศเข้าไม่ได้ (๒) การถนอมสัตว์น้ำโดยวิธีอบ รมควัน ใส่เกลือ ดอง ตากแห้ง หรือทำให้เยือกแข็ง โดยฉับพลันหรือเหือดแห้ง (๓) การทำผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปจากสัตว์น้ำ หนัง หรือไขมันสัตว์น้ำ (๔) การสกัดน้ำมันหรือไขมันที่เป็นอาหารจากสัตว์น้ำ หรือการทำน้ำมันหรือไขมันที่เป็นอาหารจากสัตว์น้ำให้บริสุทธิ์ (๕) การล้าง ชำแหละ แกะ ต้ม นึ่ง ทอด หรือบดสัตว์น้ำ
๖	๗	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ หรือไขมันจากสัตว์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การสกัดน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ หรือไขมันจากสัตว์ (๒) การอัดหรือป่นกากพืชหรือสัตว์ที่สกัดน้ำมันออกแล้ว (๓) การทำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ หรือไขมันจากสัตว์ ให้แข็งโดยการเติมไฮโดรเจน (๔) การทำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ หรือไขมันจากสัตว์ให้บริสุทธิ์ (๕) การทำเนยเทียม ครีมเทียม หรือน้ำมันผสมสำหรับปรุงอาหาร
๗	๘	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผัก พืช หรือผลไม้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำอาหารหรือเครื่องดื่มจากผัก พืชหรือผลไม้ และบรรจุในภาชนะที่ผนึกและอากาศเข้าไม่ได้ (๒) การถนอมผัก พืช หรือผลไม้โดยวิธีกวน ตากแห้ง ดอง หรือทำให้เยือกแข็งโดยฉับพลันหรือเหือดแห้ง

รายการที่	ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน
๘	๙	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืชหรือหัวพืชอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การสี ฝัด หรือขัดข้าว (๒) การทำแป้ง (๓) การป่นหรือบดเมล็ดพืชหรือหัวพืช (๔) การผลิตอาหารสำเร็จรูปจากเมล็ดพืชหรือหัวพืช (๕) การผสมแป้งหรือเมล็ดพืช (๖) การปอกหัวพืช หรือทำหัวพืชให้เป็นเส้น แว่น หรือแท่ง
๙	๑๐	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารจากแป้งอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำขนมปังหรือขนมเค้ก (๒) การทำขนมปังกรอบหรือขนมอบแห้ง (๓) การทำผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งเป็นเส้น เม็ด หรือชิ้น
๑๐	๑๑	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำตาลซึ่งทำจากอ้อย บีช หญ้าหวาน หรือพืชอื่นที่ให้ความหวานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำน้ำเชื่อม (๒) การทำน้ำตาลทรายแดง (๓) การทำน้ำตาลทรายดิบหรือน้ำตาลทรายขาว (๔) การทำน้ำตาลทรายดิบหรือน้ำตาลทรายขาวให้บริสุทธิ์ (๕) การทำน้ำตาลก้อนหรือน้ำตาลผง (๖) การทำกลูโคส เดกซ์โทรส ฟรักโทส หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่คล้ายคลึงกัน (๗) การทำน้ำตาลจากน้ำหวานของต้นมะพร้าว ต้นตาลโตนด หรือพืชอื่น ๆ ซึ่งมิใช่อ้อย
๑๑	๑๒	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับชา กาแฟ โกโก้ ช็อกโกเลต หรือขนมหวานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำใบชาแห้งหรือใบชาผง (๒) การคั่ว บด หรือป่นกาแฟ หรือการทำกาแฟผง (๓) การทำโกโก้ผงหรือขนมจากโกโก้ (๔) การทำช็อกโกเลต ช็อกโกเลตผง หรือขนมจากช็อกโกเลต (๕) การทำเก๊กฮวยผง ขิงผง หรือเครื่องดื่มชนิดผงจากพืชอื่น ๆ (๖) การทำมะขามอัดเม็ด มะนาวอัดเม็ด หรือผลไม้อัดเม็ด

รายการที่	ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน
		(๗) การเชื่อมหรือแช่อิ่มผลไม้หรือเปลือกผลไม้ หรือการเคลือบผลไม้หรือเปลือกผลไม้ด้วยน้ำตาล (๘) การอบหรือคั่วถั่วหรือเมล็ดผลไม้ (Nuts) หรือการเคลือบถั่วหรือเมล็ดผลไม้ (Nuts) ด้วยน้ำตาล กาแฟ โกโก้ หรือ ช็อกโกแลต (๙) การทำหมากฝรั่ง (๑๐) การทำลูกกวาดหรือทอฟฟี่ (๑๑) การทำไอศกรีม
๑๒	๑๓	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำผงฟู (๒) การทำเครื่องปรุงกลิ่น รส หรือสีของอาหาร (๓) การทำแป้งเชื้อ (๔) การทำน้ำส้มสายชู (๕) การทำมัสตาร์ด (๖) การทำน้ำมันสลัด (๗) การบดหรือป่นเครื่องเทศ (๘) การทำพริกป่น พริกไทยป่น หรือเครื่องแกง
๑๓	๑๕	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำอาหารผสมหรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์ (๒) การป่นหรือบดพืช เมล็ดพืช กากพืช เนื้อสัตว์ กระดูกสัตว์ ขนสัตว์ หรือเปลือกหอยสำหรับทำหรือผสมเป็นอาหารสัตว์
๑๔	๑๖	โรงงานต้ม กลั่น หรือผสมสุรา
๑๕	๑๗	โรงงานผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งมิใช่เอทิลแอลกอฮอล์ที่ผลิตจากกากซัลไฟต์ในการทำเยื่อกระดาษ
๑๖	๑๘	โรงงานทำหรือผสมสุราจากผลไม้ หรือสุราแช่อื่น ๆ แต่ไม่รวมถึงโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับมอลต์หรือเบียร์ในลำดับที่ ๑๙

รายการที่	ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน
๑๗	๑๙	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับมอลต์หรือเบียร์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การทำ ป่น หรือบดมอลต์ (๒) การทำเบียร์
๑๘	๒๐	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการทำเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์หรือน้ำอัดลม
๑๙	๒๑	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับยาสูบ ยาอัด ยาเส้น ยาเคี้ยว หรือยานัตถุ์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (๑) การอบใบยาสูบให้แห้ง หรือการรูดก้านใบยาสูบ (๒) การทำบุหรี่ซิกาแรต บุหรี่ซิการ์ หรือบุหรี่อื่น (๓) การทำยาอัด ยาเส้น ยาเส้นปรุง หรือยาเคี้ยว (๔) การทำยานัตถุ์
๒๐	๒๙	โรงงานหมัก ชำแหละ อบ ป่นหรือบด ฟอก ขัดและแต่ง แต่งสำเร็จ อัดให้เป็นลายนูน หรือเคลือบสีหนังสัตว์
๒๑	๓๐	โรงงานสาง ฟอก ฟอกสี ย้อมสี ขัดหรือแต่งขนสัตว์
๒๒	๔๓	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการทำ เก็บรักษา หรือแบ่งบรรจุปุ๋ย ยกเว้นปุ๋ยเคมี
๒๓	๖๒	โรงงานห้องเย็น

หมายเหตุ

ลำดับที่ หมายถึง ลำดับที่ของโรงงานจำพวกที่ ๑ โรงงานจำพวกที่ ๒ หรือโรงงานจำพวกที่ ๓ แล้วแต่กรณี ตามที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.๒๕๓๕

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวพรรวิษา แกสมาน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510920017

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2552

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ปี 2558 - ปัจจุบัน นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการสำนักบริหารสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม 75/10 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 41 และนานาชาติ ครั้งที่ 5 **การบำบัดก๊าซจากการอบยางแท่ง STR20 ด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่มีการไหลของอากาศที่เข้าบำบัดแบบ co-current** ระหว่างวันที่ 8-9 ธันวาคม 2559 ณ ห้องประชุมราชนครินทร์ ชั้น 5 อาคาร 100 ปี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี