# ผลของพีเอชต่อการลดซัลเฟตในระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น

# Effects of pH on Sulfate Reduction in UASB System for Treatment of Concentrated Latex Wastewater

**กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์[1] ชวลิต รัตนธรรมสกุล[2]**

[1] หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

โทรศัพท์ 0-2218-7666 Email: jany_ppp@hotmail.com

[2] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

โทรศัพท์ 0-2218-6678 Email: dr_chavalit@yahoo.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของพีเอชต่อการลดซัลเฟตในระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket ; UASB) สำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น การทดลองนี้ทำการเดินระบบต่อเนื่องด้วยระบบยูเอเอสบี โดยกำหนดค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน ด้วยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 2.43 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 57.84, 63.92, 72.59 และ 60.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และกำจัดซัลเฟตได้ 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 39.37, 56.63, 67.18 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับพีเอชน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 8.08, 8.28, 8.44 และ 8.56 ตามลำดับ โดยระบบยูเอเอสบีสามารถกำจัด ซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย ได้มากที่สุดเมื่อ pH เท่ากับ 7 สำหรับปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบมีค่าเฉลี่ย 369, 367, 422 และ 403 มิลลิลิตรต่อวันตามลำดับ และมีปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบ 40.68, 45.92, 53.44 และ 30.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

## Abstract

The research aims to study effects of pH on sulfate reduction in UASB system for treatment of concentrated latex wastewater. The system was a continuous-mode Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) system operated at different pH of 5, 6, 7 and 8.5 . The organic loading rate was kept at 2 kg COD/($m^3$.d),and having hydraulic retention time (HRT) at 2 day with UASB reactor of 2.43 litres. The experimental result reveal that the system removal COD were 57.84, 63.92, 72.59 and 60.32 % respectively ; for sulfate were 50.70, 59.64, 64.79 and 47.87% respectively ; for suspended solid were 39.37, 56.63, 67.18 and 47.87 % respectively. For effluent pH average 8.08, 8.28, 8.44 and 8.56 respectively. By UASB system the best removal performance for COD, sulfate and suspended solid was found at pH = 7. For biogas volume obtained were 369, 367, 422 and 403 mL/d, respectively and the obtained methane percentages in the gas were found to be 40.68, 45.92, 53.44 and 30.37 % respectively.

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นจัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญแหล่งหนึ่งของภาคใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำและทางอากาศ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนมลพิษต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีลักษณะสารอินทรีย์และสารประกอบซัลเฟตสูง ซึ่งมาจากการใช้สารเคมีระหว่างขั้นตอนการจับตัวของเนื้อยางจากการใช้กรดซัลฟูริก[2] ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมชนิดนี้มีสภาพความเป็นกรดสูง และหากมีการจัดการน้ำเสีย

RECEIVED 29 June, 2009

ACCEPTED 17 October, 2009

ที่ไม่มีประสิทธิภาพ จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นแสดงดังในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น [1]

| ลักษณะ | น้ำเสีย |
|---|---|
| พีเอช | 5.72 |
| อุณหภูมิ ($^{O}$C) | 30.0 |
| ซีโอดี (มก./ล.) | 7,996 |
| ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | 1,128 |
| ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก./ล.) | <1 |
| ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ (มก./ล.) | <1 |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ล.) | <1 |
| ซัลเฟต (มก./ล.) | 1,102 |

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในการใช้สารอาหารซึ่งสามารถวัดได้คร่าว ๆ ด้วยปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียแต่ละชนิด โดยเฉพาะแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และแบคทีเรียสร้างมีเทน จัดเป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อขั้นตอนสุดท้ายในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีซัลเฟตเสียโดยแบคทีเรียทั้งสองชนิดต่างก็สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต มีลักษณะเด่นคือ ความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการคือ ค่าความเป็นกรดด่าง ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและความเป็นด่าง มีผลต่อการจับตัวของไอออนลบกับโลหะไอออนในน้ำ (precipitation) เกิดการตกตะกอนและเกิดการดูดซับมวลจุลินทรีย์ ซึ่งในแต่ละค่าความเป็นกรดด่างที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มต่าง ๆ ดังที่กล่าวข้างต้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกระบบยูเอเอสบี ( Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB ) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ได้รับความนิยมสูงในต่างประเทศ และสามารถป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ค่าพีเอช ซึ่งข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดลองเหล่านี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ระบบยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ถังปฏิกรณ์จำลองยูเอเอสบี ที่มีลักษณะเหมือนกันทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยถังปฏิกรณ์แต่ละชุดจะมีส่วนย่อยสลายทำจากท่ออะคริลิกใสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.4 เซนติเมตร มีส่วนย่อยสลายสูง 1.06 เมตร มีปริมาตรกักเก็บน้ำทั้งหมด 2.43 ลิตร และด้านบนมีชุดอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS) ทำจากท่อพีวีซี

**รูปที่ 1** ถังปฏิกรณ์จำลองยูเอเอสบี

### 2.2 น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จังหวัดตรัง ซึ่งเป็นตัวแทนน้ำเสียจากกระบวนการ

ผลิตยางข้น และ เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้มาจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศของ บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) ซึ่ง มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนสีน้ำตาล

**2.3 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์**

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด ได้แก่ ค่าพีเอช ซีโอดี ซัลเฟต ของแข็งแขวนลอย ปริมาตรก๊าซทั้งหมด และสัดส่วนก๊าซมีเทน

**2.4 ก่อนการเริ่มเดินระบบ**

ปรับสภาพเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียน้ำยางข้น โดยการเจือจางน้ำเสียให้มีค่าความเข้มข้นซีโอดีที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนแล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) ทำการปรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน คิดอยู่ในรูปของความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 1.215 ลิตรต่อวัน และระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน โดยปรับค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการปรับค่าพีเอชในน้ำเสีย

## 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

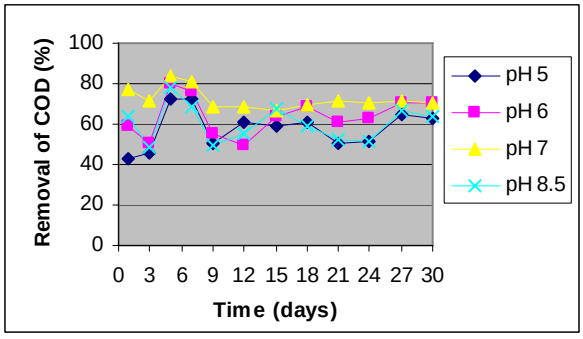
**3.1 การเริ่มต้นระบบ (Start –up)**

ป้อนน้ำเสียที่มีค่า COD 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี เพื่อปรับสภาพความคุ้นเคยเชื้อจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับมลสารในน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มค่าความเข้มข้นของซีโอดี จนมีค่าเป็น 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

**3.2 การบำบัดเมื่อระบบเสถียร**

**ซีโอดี (COD)**

จากการพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับวันที่ทำการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่าที่ระดับพีเอช 7 สามารถกำจัดซีโอดีได้สูงสุด 72.59 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ระดับพีเอช 6, 8.5 และ 5 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 63.92, 60.32 และ 57.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลอง ปริมาณซีโอดีในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 4,608 – 3,234 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณซีโอดีน้ำออกอยู่ช่วง 2,170 – 728 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าที่ pH 7 สามารถกำจัดซีโอดีได้มากที่สุด แสดงว่าแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถทำงานได้ดีในสภาวะนี้ ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การลดลงของซัลเฟตที่สามารถกำจัดได้มากที่สุด ที่ pH 7 นอกจากนี้จากผลการทดลอง สังเกตได้ว่าที่ pH 5 ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้ำยางข้นได้น้อย และแบคทีเรียไม่สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่ pH ต่ำ ๆ สังเกตเห็นได้จากการฟุ้งของตะกอนในระบบ และมีปริมาณของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดน้อยลงกว่าถังปฏิกรณ์อื่นๆ และจากการศึกษา พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน จะอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6 ถ้าสูงกว่าหรือต่ำกว่านี้จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ [6] ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง คือที่ระดับพีเอช 7 ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงสุด

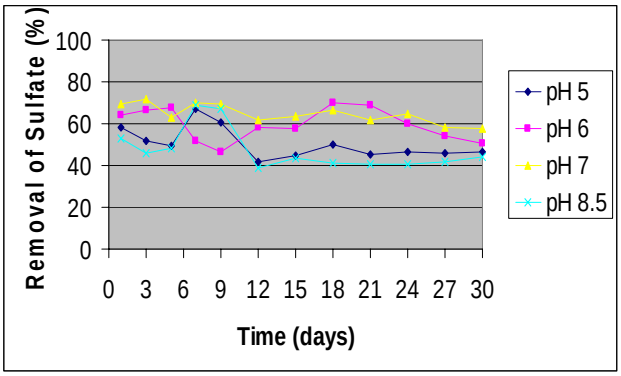



**รูปที่ 2** ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับวันที่ทำการทดลอง

**ซัลเฟต (Sulfate)**

จากการพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับวันที่ทำการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่าที่ระดับพีเอช 7 สามารถกำจัดซัลเฟตได้สูงสุด 64.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ระดับ พีเอช 6, 5 และ 8.5 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 59.64, 50.70 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์

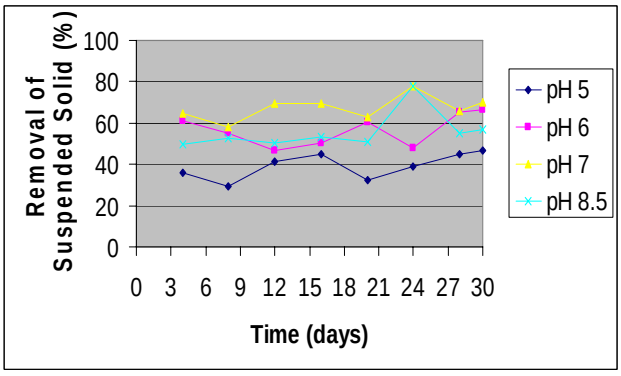
ตามลำดับ จากการทดลอง สังเกตเห็นว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 283 - 223 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณซัลเฟตน้ำออกอยู่ช่วง 164 - 80 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าที่ pH 7 สามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด ส่วน pH 6 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงว่าระบบมีปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในแต่ละถังปฏิกรณ์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในแต่ละถังปฏิกรณ์ที่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ จึงใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้น ส่งผลให้ค่าซีโอดีและปริมาณซัลเฟตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟล์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่วนการรีดิวซ์ของซัลเฟตในถังปฏิกรณ์ที่ pH 5 และ 8.5 พบว่า ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่อยู่ในระบบไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในสภาวะดังกล่าว และเมื่อพิจารณาถึงสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือประมาณ 7 และมักถูกยับยั้งเมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9




**รูปที่ 3** ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับวันที่ทำการทดลอง

**ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)**

จากการพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับวันที่ทำการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่าที่ระดับ pH 7 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้สูงสุด 64.18 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ระดับ pH 6, 8.5 และ 5 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 56.63, 47.87 และ 39.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองสังเกตเห็นว่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเข้าที่เก็บตัวอย่างมาจากบ่อบำบัดที่โรงงานมีความขุ่นมาก ลักษณะน้ำเสียเป็นสีเหลืองขุ่น ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำเข้าอยู่ในช่วง 280 – 215 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำออกอยู่ช่วง 165 – 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ pH 7 ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด เนื่องจากเป็นสภาวะที่แบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศสามารถดำรงชีพและเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะนี้ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า ทำให้ตะกอนในถังปฏิกรณ์ฟุ้งกระจายมากกว่า และที่ pH 5 และ 8.5 อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยสังเกตจากน้ำที่ออกจากระบบพบ ว่า มีพวกเศษยาง และพวกตะกอนหลุดออกมาเป็นจำนวนมากแสดงว่าในน้ำเสียน้ำยางข้นต้องทำการปรับสภาพให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบ นอกจากนี้ อาจเนื่องมาจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นนั้นเป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบที่ซับซ้อนย่อยสลายได้ยาก อาจต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าว จากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียจริงที่เก็บมาจากโรงงานมีค่าพีเอชประมาณ 4.74 – 5.18 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม อยู่ที่ประมาณ pH 7



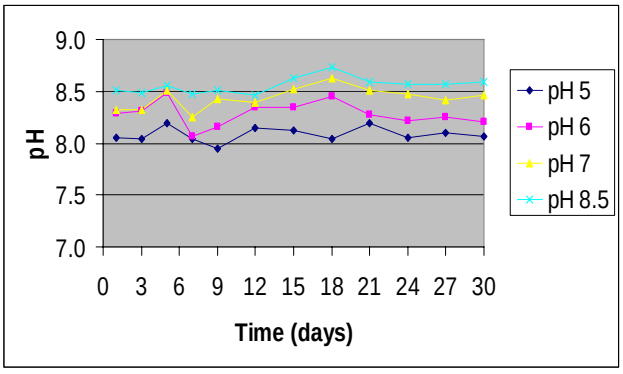

**รูปที่ 4** ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับวันที่ทำการทดลอง

**พีเอช (pH)**

จากการพิจารณาผลของค่าพีเอชต่อคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบกับวันที่ทำการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่มีค่า พีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่า น้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ย 8.08, 8.28, 8.44 และ 8.56 ตามลำดับ พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดของถังปฏิกรณ์แล้วมีค่าพีเอชที่สูงขึ้นทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ เนื่องมาจากค่าความเป็นด่างที่เกิดขึ้น อาจมาจากด่างในรูปของสภาพด่างไบคาร์เนต ($HCO^-_3$ Alkalinity) สภาพด่างจากซัลไฟด์ ($HS^-$ Alkalinity) และสภาพด่างจากเกลือของกรดอินทรีย์ (Volatile fatty acid – Alkalinity) ที่เกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันในน้ำเสียที่มีสารประกอบของซัลเฟต ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + \text{Organic matter} \longrightarrow HS^- + H_2O + HCO^-_3$$

$$CH_3COO^- + SO_4^{2-} \longrightarrow 2HCO^-_3 + HS^-$$




**รูปที่ 5** ค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบกับวันที่ทำการทดลอง

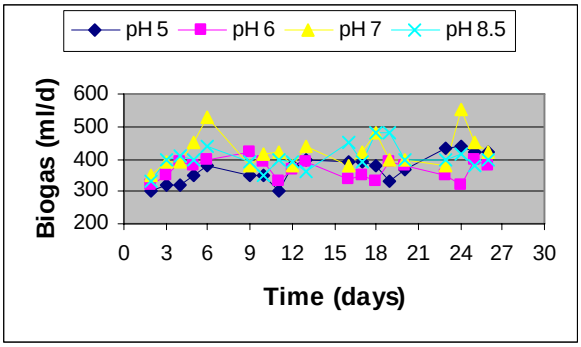
และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพวกแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการซัลเฟตรีดักชันซึ่งจะมีการนำไฮโดรเจนอิออน ($H^+$) ไปใช้เพื่อแลกเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ ($S^{2-}$) ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + 10H^+ \longrightarrow H_2S\,(g) + 4H_2O$$

การนำเอาไฮโดรเจนอิออน ($H^+$) ไปใช้ และการเกิดไฮดรอกไซด์อิออน ($OH^-$) จะทำให้ในระบบมีสภาพความเป็นกรดลดลง จึงทำให้พีเอชของระบบสูงขึ้นได้ [4] นอกจากนี้ค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงขึ้นนั้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [3] และ [5] พบว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ของน้ำเสียประเภทเดียวกัน

**ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Biogas)**

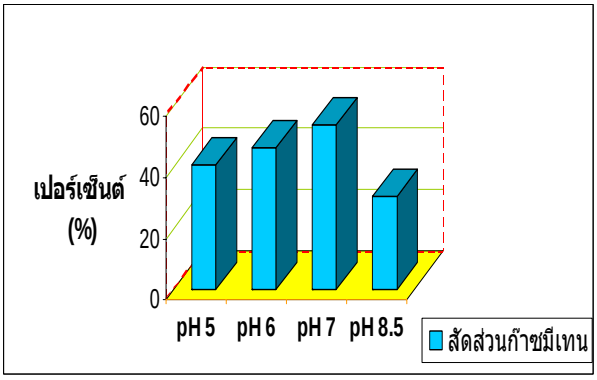
จากการพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพของระบบกับวันที่ทำการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบมีค่าเฉลี่ย 369, 367, 422 และ 403 มิลลิลิตรต่อวันตามลำดับ พบว่าในช่วงแรก ๆ ของการเริ่มต้นระบบ ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้อัตราการใช้สารอินทรีย์ในช่วงแรกนี้จึงมีไม่มากนัก เมื่อสารอินทรีย์ถูกใช้ไปในปริมาณน้อย ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณน้อยตามไปด้วย แต่เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเริ่มมีเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้การที่น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีซัลเฟตอยู่ด้วย ทำให้มีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตสูง เกิดปฏิกิริยาซัลเฟต รีดักชั่นขึ้น ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (MPB) แสดงว่าในระบบมีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทำให้ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นนั้น จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงได้ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก ทำให้อยู่ในรูปละลายน้ำมากกว่าอยู่ในรูปของก๊าซ ในขณะที่การบำบัดน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเช่นเดียวกันโดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน[3] พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณ 300 – 500 มิลลิลิตรต่อวัน นอกจากนี้จากการที่ pH 7 มีปริมาณก๊าซมากนั้น อาจเกิดจากอยู่ในช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดี จากการศึกษาของ [6] ได้กล่าวไว้ว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง 6.6. – 7.6



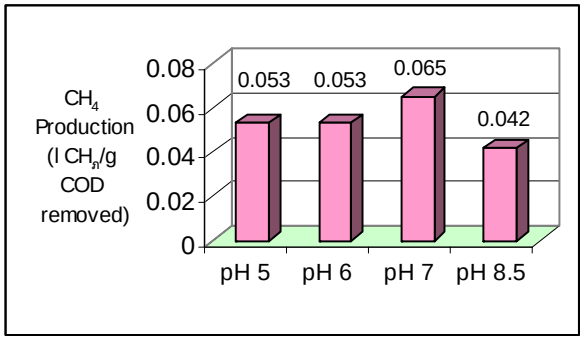

**รูปที่ 6** ปริมาณก๊าซชีวภาพของระบบกับวันที่ทำการทดลอง

**สัดส่วนก๊าซมีเทน (Gas Metane)**

จากการพิจารณาปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่า ปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนจากระบบมีค่าเฉลี่ย 40.68, 45.92, 53.44 และ 30.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำ และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.053, 0.053, 0.065 และ 0.042 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ แสดงว่าซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน




**รูปที่ 7** สัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบ




**รูปที่ 8** อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่กำจัด

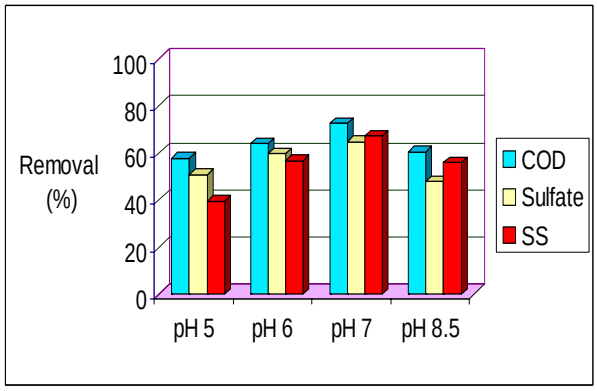
## 4. สรุปผลการวิจัย

การบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้นด้วยระบบยูเอเอสบี เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 วัน พบว่า

1. พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบจะมีค่าพีเอชที่สูงขึ้นทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ เนื่องมาจากค่าความเป็นด่างที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นในน้ำเสียที่มีสารประกอบของซัลเฟต

2. สภาวะการทำงานของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ที่มีค่า พีเอชที่แตกต่างกัน สามารถกำจัดซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟตได้ต่างกัน โดยที่พีเอช 7 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ดังรูปที่ 9

3. ปริมาณก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนของระบบ โดยที่สภาวะการทำงานของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ ที่มีค่าพีเอชที่แตกต่างกัน ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนได้ไม่มาก ทั้งนี้ น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีซัลเฟต ส่งผลให้การทำงานของระบบลดลง




**รูปที่ 9** สรุปประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซัลเฟต ของแข็งแขวนลอย

## 5. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาถึงผลของพีเอชต่อการลดซัลเฟตที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่า 5 – 8.5 ในลักษณะการเดินระบบที่ต่างกัน และ การใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น หรือมีการหมุนเวียนน้ำเสียออกกลับมาบำบัดใหม่ เป็นต้น แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการศึกษา และขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย ในครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

**เอกสารอ้างอิง**

[1] กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมยางข้น. นนทบุรี : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

[2] แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์. 2539. การประเมินสภาพไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[3] ขนิษฐา หทัยสมิทธ์. 2547. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] จันทิมา สกุลพานิชัย. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงโดยใช้ระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] อลิสรา วงศ์กิตติวิมล. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] McCarty, P.L. 1994. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Work 12.