

การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้า โดยระบบตัวกลางกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน

นราพร หาญวงษ์¹ ศิววรรณ พูลพันธุ์² ัญญาพร โอนอิง³ และ กัณวีร์ รุ่งรังสรรค์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้า (ซีไอดี 66,000 มก./ล.) ซึ่งประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ของเกลือเทเรธาเลทที่ยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ การทดลองทำการบำบัดเบื้องต้นโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและวิธีบำบัดทางชีววิทยา โดยใช้ระบบบำบัดแบบตัวกลางกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย ถังหมักกรด ขนาด 1.8 ลิตร และถังหมักมีเทน ขนาด 6.2 ลิตร อัตราการไหล 2 ลิตร/วัน ระยะเวลาพักเก็บ 0.9 วัน และ 3.1 วัน ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดเบื้องต้นโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ด้วยสารละลายกรดซัลฟริก คือที่พีเอช 4 ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ร้อยละ 62 และจากผลการทดลองของระบบบำบัดทางชีวภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ 0.21 0.26 0.31 0.36 และ 0.52 ก.ก.ซีไอดี/ม.³/วัน พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.31 ก.ก.ซีไอดี/ม.³/วัน เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งชนิดหมักกรดและชนิดหมักมีเทนเนื่องจากเป็นสภาวะที่ทำให้จุลินทรีย์ชนิดหมักกรดในถังหมักกรดมีการผลิตกรดไขมันระเหยที่ดี (354 มก.อะซิติก/ล.) และทำให้ค่าพีเอช ค่าสภาพความเป็นด่าง รวมถึงสภาพบัพเพอร์ที่เกิดขึ้นในถังหมักมีเทนมีค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดหมักมีเทนทำให้จุลินทรีย์ชนิดหมักมีเทนมีอัตราการใช้กรดไขมันระเหยสูงถึงร้อยละ 85 ของกรดไขมันระเหยที่ผลิตได้จากถังหมักกรด และมีประสิทธิภาพในการลดค่าสารอินทรีย์ของระบบทั้งหมดที่ร้อยละ 58 และพบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดจะมีค่าต่ำลง เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณซัลเฟต ซึ่งเกิดจากกรดซัลฟริกที่ใช้ในการตกตะกอนทางเคมีมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณสูงและมีผลไปยังการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งชนิดหมักกรดและชนิดหมักมีเทน

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี

² อาจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเคมี

The Experimental Study of Weight Reduced Wastewater Treatment by Two-stage Upflow Anaerobic Filter

Naraporn Harnvajanawong¹ Sivawan Phoolphundh²

Tanyaporn Own-ing³ and Kannawee Rungrangsarn³

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

This research was done for experimental study to treat weight reduced wastewater (WR). WR wastewater contained a lot of aromatic compounds (COD 66,000 mg/L) which were oligomers of terephthalate and hardly to be degraded by anaerobic microorganisms. Therefore, chemical precipitation was selected to pretreat this wastewater to remove most organic substances, then followed by two stage upflow anaerobic filter treatment. The holding volume of acidogenic and methanogenic fermenters were 1.8 L and 6.2 L with hydraulic retention time (HRT) 0.9 day and 3.1 days, respectively.

From the experimental results, the appropriate pH for chemical precipitation by sulfuric acid solution is pH 4 which could remove 62 %COD. Furthermore, biological treatment at organic loading 0.21 0.26 0.31 0.36 and 0.52 kg COD /m³/ day were concluded that 0.31 kg COD/m³/day was the optimum COD loading for acidogenic and methanogenic bacteria. Acidogenic bacteria could produce a good quantity of Volatile Fatty Acid (VFA) in acid fermenter. (VFA 354 mg/L as CH₃COOH) At this loading, alkalinity, pH and VFA /alkalinity ratio in methane fermenter were optimized to methanogenic bacteria which has 85% VFA reduced rate. Total organic removal efficiency of two-stage upflow anaerobic filter was 58%. At the higher organic loading, organic removal efficiency in both acid and methane fermenters were decreased due to the effect of high sulfate concentration which inhibited the acidogenic and methanogenic bacteria.

¹ Associate Professor, Department of Chemistry.

² Lecturer, Department of Microbiology.

³ Graduate Student, Department of Chemistry.

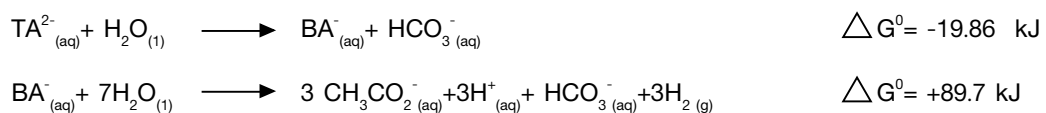
1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาน้ำเสียที่สำคัญซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการตกแต่งหรือปรับสภาพผิวของพอลิเอสเตอร์ ซึ่งทำให้ปริมาณ TOC ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น มีการปนเปื้อนของคะตะลิสต์จากกระบวนการคอนเดนเซชันพอลิเมอร์ไรเซชัน และน้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้า (weight reduced) ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโอลิโกเมอร์ของกรดเทเรธาอิก (terephthalic acid : TA : 1,4 - benzenedicarboxylic acid) ที่อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมเทเรธาเลท ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยากและเป็นพิษต่อจุลินทรีย์

โดยทั่วไปน้ำเสียที่ปนเปื้อนกรดเทเรธาอิกบริสุทธิ์ (โมโนเมอร์) จะถูกบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าร้อยละ 90 แต่ต้องใช้ระยะเวลาที่เก็บนานมาก เนื่องจากสารประกอบอะโรมาติกมีความคงทนต่อการย่อยด้วยจุลินทรีย์สูง ทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาของการเติมอากาศให้นานขึ้น เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานสูง ดังนั้นระบบบำบัดแบบกึ่งใช้อากาศและไร้อากาศจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

งานวิจัยต่างๆ [1] ที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนกรดเทเรธาอิกบริสุทธิ์ด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ยังไม่สามารถสรุปได้ถึงประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบแบบต่างๆ รวมถึงกลไกการย่อยสลาย เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีมีค่าอยู่ในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 2 - 22 ก.ก.ซีโอดี.ม.⁻³.วัน⁻¹ อาจเป็นผลเนื่องมาจากองค์ประกอบน้ำเสีย พีเอช อุณหภูมิ ชนิดของถังปฏิกรณ์และชนิดของจุลินทรีย์

กลไกการย่อยสลายกรดเทเรธาอิกโดยเชื้อจุลินทรีย์แบบไร้อากาศเกิดผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของเทเรธาเลทเป็นเบนโซเอท [2] ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักและเป็นปฏิกิริยาขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate limiting step) [1] ดังสมการด้านล่าง ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศที่ย่อยกรดเทเรธาอิกจะมีค่าต่ำกว่า 0.1 วัน⁻¹ ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตที่ 0.04 วัน⁻¹



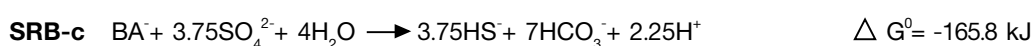
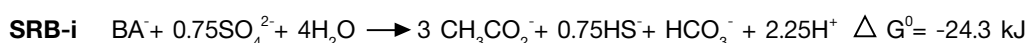
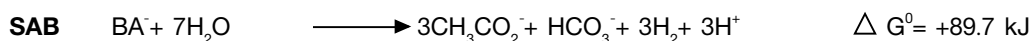
หมายเหตุ TA : terephthalic acid ; BA : benzoic acid

Macrie [3] ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกรดเทเรธาอิกบริสุทธิ์โดยใช้ระบบ UASB และระบบตัวกลางกรองไร้อากาศแบบไหลลง โดยน้ำเสียถูกบำบัดเบื้องต้นด้วยการตกตะกอนเทเรธาเลทที่พีเอช 4 ซึ่งสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 37 ก่อนปรับให้มีค่าพีเอชเป็น 6.15 เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่าระบบ UASB สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 46.4 ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.6 ก.ก.ซีโอดี.ม.⁻³.วัน⁻¹ ระยะเวลาที่เก็บ 2.7 วันและระบบตัวกลางกรองไร้อากาศแบบไหลลงสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 74.5 ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.89 ก.ก.ซีโอดี.ม.⁻³.วัน⁻¹ ระยะเวลาที่เก็บ 3.4 วัน

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนกรดเทรฮาไลคด้วยระบบไร้อากาศเหมาะสำหรับระบบที่มีอัตราการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีค่าต่ำ (low rate) และที่อัตราการรับภาระสารอินทรีย์ต่ำๆ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเทรฮาเลทได้มีอัตราการเติบโตที่ช้ามาก ซึ่งได้แก่ ระบบตัวกลางกรองไร้อากาศ (anaerobic fixed film reactor) โดยความเข้มข้นของเทรฮาเลทที่ใช้ ควรมีค่าต่ำกว่า 750 มก.ซีไอดี/ลิตร เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ [4] ดังนั้นจึงเป็นแนวคิดในการนำระบบการบำบัดแบบไร้อากาศมาใช้บำบัดน้ำเสียของกระบวนการลดน้ำหนักผ้า จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในขั้นตอนของการตกแต่งเส้นใย ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเทรฮาเลทที่อยู่ในรูปโอลิโกเมอร์ที่ยากต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ (เมื่อเปรียบเทียบกับกรดเทรฮาไลคบริสุทธิ์ที่อยู่ในรูปโมโนเมอร์ด้วยระบบไร้อากาศ)

โดยการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีการบำบัดเบื้องต้นที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาหาสภาวะการบำบัดทางชีวภาพที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวจากอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในประเทศ

น้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้าประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ของเทรฮาเลท ถูกบำบัดเบื้องต้นโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริก ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีซัลเฟตปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ดังนั้นเมื่อน้ำเสียดังกล่าวเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ จะมีการแข่งขันการทำงานของจุลินทรีย์ 3 ชนิดในการย่อยสลายเทรฮาเลทโดยมีเบนโซเอทเป็นสารกึ่งปฏิกริยา ได้แก่ จุลินทรีย์ชนิดหมักกรด (syntropic acetogen bacteria : SAB), จุลินทรีย์ชนิดหมักมีเทน (methane producing bacteria : MPB) และจุลินทรีย์ชนิดรีดักชันซัลเฟต (sulfate reducing bacteria : SRB) [5]



หมายเหตุ **SRB-i** : sulfidogen conducting incomplete degradation

SRB-c : sulfidogen conducting complete degradation

MPB-a : acetotrophic methanogen

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

น้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้าพอลิเอสเตอร์มีคุณสมบัติ ดังนี้

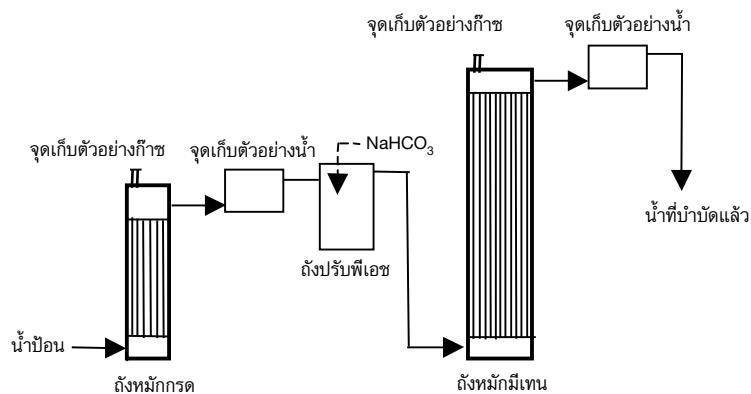
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้า

ดัชนี	ค่าที่วัดได้
พีเอช	11-12
ซีไอดี (มก./ล.)	66,000
บีไอดี (มก./ล.)	22,506
TDS (มก./ล.)	28,590
TKN (มก./ล.)	2.8
PO ₄ ³⁻ (มก./ล.)	N.A.
Total ALK (มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล.)	32,500

หมายเหตุ ซีไอดี / บีไอดี = 2.93

2.1 วิธีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น

น้ำเสียจากกระบวนการลดน้ำหนักผ้าจะถูกบำบัดเบื้องต้นโดยวิธีการตกตะกอนเคมีที่พีเอชเป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก ซึ่งในช่วงค่าพีเอชเป็นกรด เกลือเทรธาเลทที่อยู่ในรูปโพลิเมอร์จะมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำและถูกกำจัดออกโดยวิธีการกรอง



รูปที่ 1 ระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่ใช้ในการทดลอง

2.2 วิธีการบำบัดทางชีวภาพ

ระบบบำบัดที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ประกอบด้วย ถังหมักกรดและถังหมักมีเทน แบบตัวกลางกรองมีความจุ 1.8 และ 6.2 ลิตร ถังหมักทั้งสองถังทำมาจากพลาสติก PVC โดยมีอัตราส่วนของถังหมักกรดต่อถังหมักมีเทนเป็น 1 : 3.4 (การออกแบบระบบบำบัดแบบสองขั้นตอนโดยทั่วไปกำหนดให้อัตราส่วนของถังหมักกรดต่อถังหมักมีเทนเป็น 1 : 3 ถึง 1 : 5) ซึ่งภายในบรรจุตัวกลางพลาสติกที่ทำมาจากพลาสติก PP (NOR-PAC R92/1) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 ซม. ความสูง 3.5 ซม. มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลางเท่ากับ 240 ม²/ ม³

เริ่มต้นการทดลองโดยการป้อนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นเข้าสู่ระบบโดยการควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (ซีโอดี) และอัตราการไหลของน้ำ ดังตารางที่ 2 ในการทดลองที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ รอจนกระทั่งระบบหมักเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งพิจารณาได้จากค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบคงที่ จากนั้นจะเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น จนถึงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบเสถียรสมดุล โดยข้อมูลจากการทดลองที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จะถูกนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมได้ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของการลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มาก และระบบหมักมีเสถียรภาพที่ดี (โดยทั่วไประบบหมักที่มีเสถียรภาพที่ดีควรมีค่าพีเอชประมาณ 7 - 8, ปริมาณกรดไขมันระเหยน้อยกว่า 500 มก.อะซิติก/ล., ค่าสภาพความเป็นด่าง 1,000 - 5,000 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. และก๊าซชีวภาพควรมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 40) [6]

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย ได้ปฏิบัติตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน [7] [8] และวิธีวิเคราะห์ทางองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

ตารางที่ 2 สภาวะการทดลองระบบหมักที่ใช้ในงานวิจัย

ซีโอดี (มก./ล.)	อัตราการไหล (ลิตร/วัน) (Q)	อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ก.ก.ซีโอดี.ม ³ .วัน ⁻¹
800	2.0	0.20
1,000	2.0	0.25
1,200	2.0	0.30
1,400	2.0	0.35
2,000	2.0	0.50

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นด้วยวิธีการตกตะกอนเคมี

นำน้ำเสียที่เจือจางในอัตราส่วน 1 : 10 โดยปริมาตร แล้วตกตะกอนด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ที่ค่าพีเอชต่างๆ ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตกตะกอนเทรธาเลทที่ค่าพีเอชต่างๆ

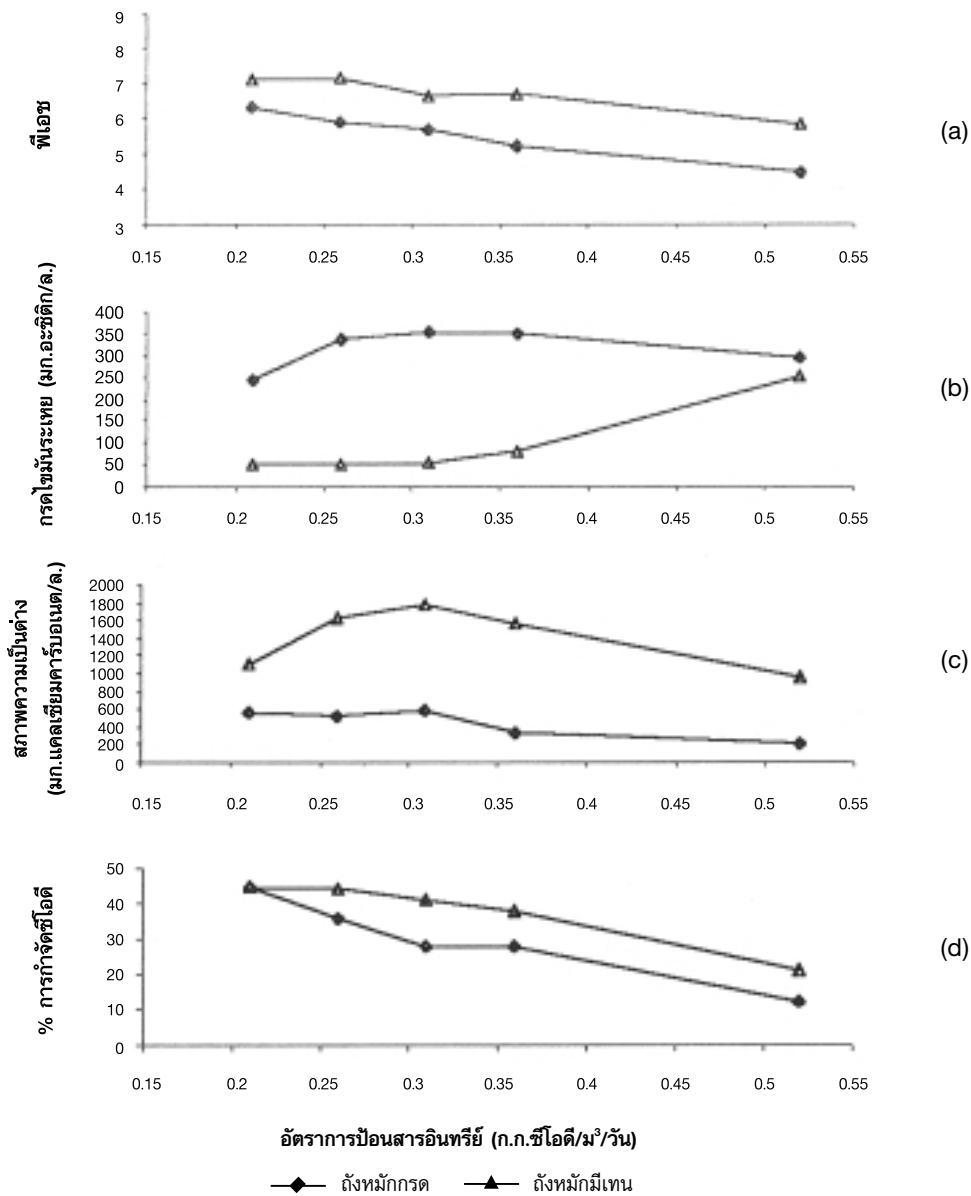
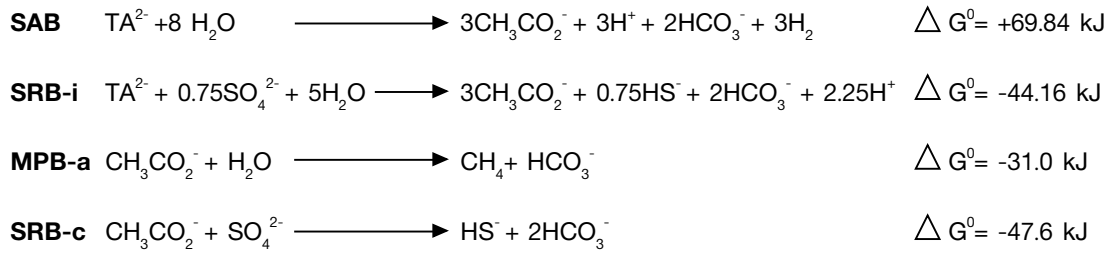
พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	% ซีโอดีที่ลดลง
12.45	6,600	-
5.00	6,336	4
4.50	3,009	54
4.00	2,535	62
3.50	2,415	63
3.00	2,217	66

จากผลการทดลองที่พีเอช 3.0, 3.5 และ 4.0 สามารถลดค่าซีโอดีได้มากใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 62-66) แต่ที่พีเอช 4 ปริมาณการใช้กรดน้อยที่สุด เมื่อเทียบจากความสามารถในการลดค่าซีโอดีที่พีเอชต่างๆ ดังนั้น น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะต้องผ่านการตกตะกอนที่พีเอช 4 ก่อนเสมอ ส่งผลทำให้ปริมาณซัลเฟตที่อยู่ในน้ำมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการตกตะกอน

3.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน

3.2.1 ถังหมักกรด

เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่าซีโอดีในถังหมักกรด พบว่ามีค่าลดลง แสดงว่าในถังหมักกรดนอกจากมีการทำงานของ SAB แล้ว ยังมีการทำงานของ MPB และ SRB ร่วมอยู่ด้วย ดังจะเห็นได้จากองค์ประกอบของก๊าซที่ได้จากถังหมักกรด จะมีทั้งส่วนที่เป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซชนิดอื่นซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากการทำงานของ SRB โดยเมื่อพิจารณาจากค่า ΔG^0 ปฏิริยาการย่อยสลายเทรธาเลทภายใต้สภาวะที่มีซัลเฟตสูง จะเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิด SRB-i และ SRB-c เนื่องจากมีค่า ΔG^0 เป็นลบ ซึ่งแสดงว่าชอบที่จะเกิดปฏิริยาการย่อยสลายเทรธาเลทด้วยตัวเอง แต่จากงานวิจัยต่างๆ [9] พบว่า SRB-i จะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายเทรธาเลทมากกว่า SRB-c ถึงแม้ว่า SRB-c จะมีค่า ΔG^0 เป็นลบมากกว่า



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ (a) ค่าพีเอช, (b) ปริมาณกรดไขมันระเหย, (c) สภาพความเป็นด่าง, (d) % การกำจัดชีโอติ

จากผลการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 2 พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้นปริมาณเทรธาเลทและซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบจะมีค่าสูงขึ้นตาม ทั้ง SAB และ SRB-i จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายเทรธาเลทให้กลายเป็นเบนโซเอทและไบคาร์บอเนต ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหย (รูปที่ 2 b) กับสภาพความเป็นด่าง (รูปที่ 2 c) ในถังหมักกรดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าพีเอช (รูปที่ 2 a) มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น แต่ SRB จะรีดิวซ์ซัลเฟตให้เกิดเป็นไบซัลไฟด์ ซึ่งที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 8 จะเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีผลไปยับยั้งการทำงานของ MPB ในถังหมักกรด จะเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่าซีโอดี (รูปที่ 2 d) ของถังหมักกรดมีค่าลดต่ำลง (จากค่า 45% เหลือ 28%) แสดงให้เห็นว่า SAB และ SRB-i เป็นจุลินทรีย์ที่เป็นตัวทำงานหลักในถังหมักกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.31 ก.ก. ซีโอดี.ม³.วัน⁻¹ ปริมาณซัลเฟต 3,190 มก.ซัลเฟต/ล. ซึ่งเป็นช่วงสภาวะที่ถังหมักกรดทำงานได้ดี โดยพิจารณาได้จากค่าพีเอช (รูปที่ 2 a) 5.76 (ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดหมักกรดจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 5.5 - 6.0) สภาพความเป็นด่าง (รูปที่ 2 c) 576 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. กรดไขมันระเหย (รูปที่ 2 b) 354 มก. อะซิติก/ล. อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง มีค่า 0.61 (โดยทั่วไประบบหมักที่ดีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 - 0.4 [6] ถ้าค่าอัตราส่วนนี้ต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบหมักกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบหมักกำลังอยู่ในขั้นที่ค่าพีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย) สัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน เป็น 58.46% กับ 28.75% (รูปที่ 3) แต่ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นจนถึง 0.52 ก.ก.ซีโอดี.ม³.วัน⁻¹ ปริมาณซัลเฟต 5,600 มก.ซัลเฟต/ล. เป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบเสียสมดุล เนื่องจากที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้ ทำให้มีปริมาณเทรธาเลท และซัลเฟตที่สูงมากจนสามารถไปยับยั้งการทำงานของ SAB และ SRB-i ได้

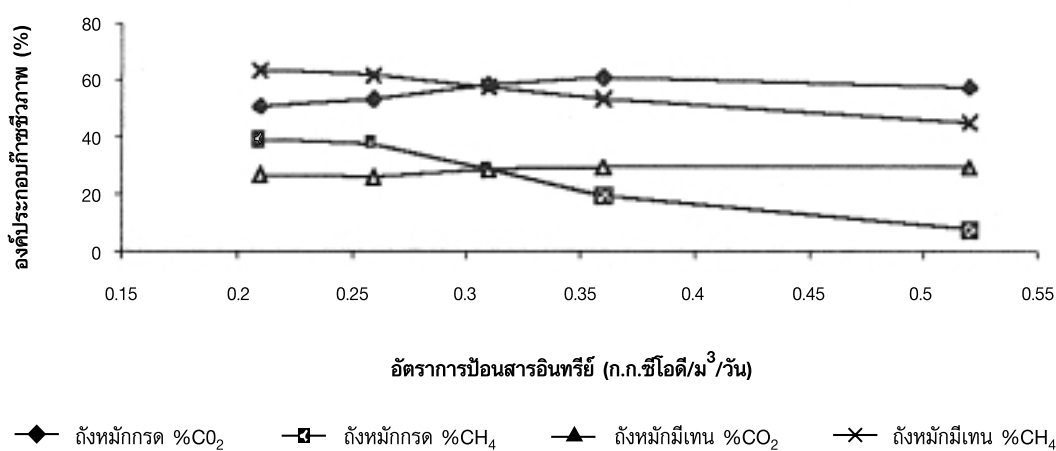
ซึ่งจากงานวิจัยของ Herbert [10] และ Zhou [11] ที่ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายแบบไร้อากาศของเบนโซเอท ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณซัลเฟตสูง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเบนโซเอทและซัลเฟตเพิ่มสูงขึ้น เปอร์เซนต์การถ่ายเทโอเลคตรอนไปยัง SRB จะมีค่าลดต่ำลง ทั้ง SRB-i และ SRB-c ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันซัลเฟตลดลงด้วย โดยที่เบนโซเอท 1,080 มก./ล. และซัลเฟตเพิ่มจาก 1,800 เป็น 5,600 มก.ซัลเฟต/ล. จะทำให้เปอร์เซนต์การรีดักชันซัลเฟตลดลงจาก 55% เหลือ 12% ดังนั้นการลดลงของกรดไขมันระเหยในงานวิจัยน่าจะเป็นผลมาจากการลดลงของการเกิดรีดักชันซัลเฟตของ SRB-i เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของเทรธาเลทและซัลเฟต ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหย (รูปที่ 2 b) จะมีค่าต่ำลงเหลือ 294 มก.อะซิติก/ล. สภาพความเป็นด่าง (รูปที่ 2 c) ลดลงเหลือ 198 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างมีค่า 1.48 ซึ่งแสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ทำให้ค่าพีเอช (รูปที่ 2 a) ของถังหมักกรดมีค่าลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเหลือเพียง 4.47 สัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน (รูปที่ 3) เป็น 57.50% กับ 7.09%

3.2.2 ถังหมักมีเทน

สำหรับถังหมักมีเทนซึ่งมีการควบคุมค่าพีเอชของน้ำป้อนก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมักไว้ที่ค่า 6.8-7.4 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของ MPB จากผลการทดลองในรูปที่ 2 พบว่า ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าต่ำคือ 0.26-0.36 ก.ก.ซีโอดี.ม³.วัน⁻¹ ถังหมักมีเทนมีประสิทธิภาพดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่าซีโอดี (รูปที่ 2 d) 38-44% และระบบหมักมีเสถียรภาพสูง โดยพิจารณาจากค่าพีเอช (รูปที่ 2 a) 6.7- 7.2 สภาพความเป็นด่าง (รูปที่ 2 c) 1,565-1,618 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. กรดไขมันระเหย (รูปที่ 2 b) 50-82 มก.อะซิติก/ล. สัดส่วนของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน (รูปที่ 3) เป็น 26-28% กับ 54-62%

แต่ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.52 ก.ก.ซีโอดี.ม³.วัน⁻¹ ค่าพีเอช (รูปที่ 2 a) มีค่าลดต่ำลงเหลือ 5.85 ซึ่งเป็นอันตรายต่อ MPB ที่อยู่ในถังหมักมีเทนอย่างร้ายแรง มีผลไปยับยั้งการทำงานของ MPB ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย (รูปที่ 2 b) ในถังหมักมีเทน 251 มก.อะซิติก/ล. (เมื่อเปรียบเทียบจากปริมาณกรดไขมันระเหยที่ถูกผลิตจากถังหมักกรด 294 มก.อะซิติก/ล.) เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี (รูปที่ 2 d) เหลือเพียง 21% และสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน (รูปที่ 3) เป็น 29% กับ 45%



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการลดค่าสารอินทรีย์ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ชนิดของถังปฏิกริยา

ชนิดของถังปฏิกริยา	% ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี				
	อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี.ม ⁻³ .วัน ⁻¹)				
	0.21	0.26	0.31	0.36	0.52
ถังหมักกรด	45	36	28	28	12
ถังหมักมีเทน	45	44	41	38	21
ระบบทั้งหมด	70	64	58	55	30

4. สรุปผลการทดลอง

1. วิธีการตกตะกอนทางเคมีเป็นวิธีที่สะดวกและเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียได้มาก และรวดเร็ว โดยพบว่าที่ค่าพีเอช 4 เป็นพีเอชที่ทำให้มีการลดลงของค่าสารอินทรีย์สูงถึง 62% แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือ ล้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมีเพิ่มขึ้นและน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนจะมีซัลเฟตปนเปื้อนในปริมาณสูง

2. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ พบว่า เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากถังหมักกรด ถังหมักมีเทน และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดต่ำลง สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลไปยังการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งชนิดหมักกรดและชนิดหมักมีเทน

3. การนำผลการทดลองไปเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมนั้น น้ำเสียที่มีเทรธาเลทปนเปื้อนควรผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดยการตกตะกอนเคมีด้วยกรดซัลฟูริกที่พีเอช 4 แล้วบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ไม่เกิน 0.3 ก.ก.ซีโอดี.ม³.วัน⁻¹ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 1,000-1,200 มก.ซีโอดี/ล. ปริมาณซัลเฟตไม่เกิน 3,200 มก.ซัลเฟต/ล.

5. เอกสารอ้างอิง

1. Kleerbezim, R., Mortier, T., Hulshoff Pol, L. W. and Lettinga, G., 1997, "Anaerobic Pre-treatment of Petrochemical Effluents : Terephthalic Acid Wastewater," *Water Science and Technology*, Vol. 36, No. 2-3, pp. 237-248.

2. Aftring, R. P., Chalker, B. E., and Taylor, B. F., 1991, "Degradation of Phthalic Acids by Denitrifying, Mixed Cultures of Bacteria," *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 41, No. 5, pp. 1177- 1183.

3. Macarie, H., Noyola, A., and Guyot, J. P., 1992, "Anaerobic Treatment of a Petrochemical Wastewater from a Terephthalic Acid Plant," *Water Science and Technology*, Vol. 25, No. 7, pp. 223-235.

4. Kuang, X. and Wang, J., 1994, "Anaerobic Biodegradability of Terephthalic Acid and Its Inhibitory Effect on Anaerobic Digestion," *J. Environ. Sci.*, Vol. 6, No. 2, pp. 180 -188.

5. Zhou, G. M. and Fang, H. H. P., 1998, "Competition between Methanogenesis and Sulfidogenesis and Wastewater Treatment," *Water Science and Technology*, Vol. 38, No. 8-9, pp. 317- 324.

6. สุเมธ ชาวเดช, 2529, เอกสารรายงานทางวิชาการเรื่อง “ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ,” หน้า 1-31.
7. กรรณิการ์ ลิริสิงห์, 2522, เคมีของน้ำไฮโดรอกไซด์และการวิเคราะห์, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
8. ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2535, *คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย*, พิมพ์ครั้งที่ 2, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
9. Harada, H., Uemura, S. and Momonoi, K., 1994, “Interaction between Sulphate -reducing Bacteria and Methane-producing Bacteria in UASB Reactor Fed with Low Strength Wastes Containing Different Levels of Sulfate,” *Water Research*, Vol. 28, No. 2, pp. 355-367.
10. Fang, H. H. P. and Zhou, G. M., 1997, “Anaerobic Degradation of Benzoate and Cresol Isomers in Sulfate-rich Wastewater,” *Water Science and Technology*, Vol. 36, No. 6-7, pp. 7-14.
11. Zhou, D., Chen, Y., and Meng, X., 1991, “A Study of Anaerobic Treatment for Highly Concentrated $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+}$ - Rich Organic Wastewater and Purified Water Reclamation,” *Water Science and Technology*, Vol. 24, No. 5, pp. 123-132.
12. Visser, A., Gaa, Y., and Lettinga, G., 1992, “Anaerobic Treatment of Synthetic Sulfate-containing Wastewater under Thermophilic Conditions,” *Water Science and Technology*, Vol. 25, No. 7, pp. 193-202.
13. Fajardo, C., Guyot, J. P., Macari H., and Monroy, O., 1997, “Inhibition of Anaerobic Digestion by Terephthalic Acid and Its Aromatic by Products,” *Water Science and Technology*, Vol. 36, No. 6-7, pp. 83-90.
14. Fdz-Polanco, F., Hidalgo, M. D., Fdz-polanco, M., and Garcia Encina, P. A., 1999, “Anaerobic Treatment of Polyethylene Terephthalate (PET) Wastewater from Lab to Full Scale,” *Water Science and Technology*, Vol. 40, No. 8, pp. 229-236.