

CCO.ท

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอซีของวัสดุตัวกลางใน
ถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยยัด**

นางสาวอรอุมา แพงสกล

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2551

**Comparative COD Removal Efficiency of Media in Anaerobic Filter of
Rubber Thread Wastewater Treatment**

Miss Onuma Phangsakol

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Public Health in Industrial Environment Management

School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2008

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางใน
ถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยยัด
ชื่อและนามสกุล นางสาวอรุมา แพงสกล
แขนงวิชา สาธารณสุขศาสตร์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้ให้ความเห็นชอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ
ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ อนุมัติให้การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

วันที่ 30 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2552

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใย

ผู้ศึกษา นางสาวอรุมา แพงสกล **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ปิศุ พูนไชยศรี **ปีการศึกษา** 2551

บทคัดย่อ

น้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นใยชนิดนับเป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งที่ทำกรบำบัดได้ยาก เนื่องจากมีสารมลพิษเจือปนในปริมาณที่สูง น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนผลึกสังกะสีซัลไฟด์แล้วมีค่าซีโอดีในปริมาณสูงเฉลี่ยประมาณ 14,605 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นภาระหนักต่อกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ โดยเฉพาะการบำบัดแบบไร้อากาศชนิดถังกรองไร้อากาศ เพราะถ้าหากมีประสิทธิภาพต่ำลงจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวม ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาผลกระทบของพื้นที่ผิววัสดุตัวกลางต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) ของถังกรองไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใย โดยการควบคุมค่าความสกปรกในน้ำเสีย (ซีโอดี, COD) เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) เท่ากับ 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (Hydraulic retention time, HRT) เท่ากับ 36 ชั่วโมง ให้ถังที่เข้าสู่ระบบถังกรองไร้อากาศจำลอง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีน 3 ชนิด คือ คือ M-102, M-190 และ M-240 มีพื้นที่ผิว 102, 190 และ 240 m^2/m^3 ตามลำดับ พบว่า วัสดุตัวกลางชนิด M-240 ซึ่งมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์ มากกว่าวัสดุตัวกลางชนิด M-102 และ M-190 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ได้เฉลี่ยเท่ากับ 68.7 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าวัสดุตัวกลางสองชนิดหลัง (ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เฉลี่ยเท่ากับ 41.5 และ 51.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางสถิติ พบว่าวัสดุตัวกลางชนิด M-240 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแตกต่างจากวัสดุตัวกลางชนิด M-102 และ M-190 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นการเลือกวัสดุตัวกลางที่ดี ก็ควรพิจารณาที่มีค่าขนาดพื้นที่ผิวสูงๆ แต่ต้องคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์ด้วย เพื่อให้มีความสมดุลเหมาะสมระหว่างราคาและประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางที่จะนำไปใช้งาน

คำสำคัญ อุตสาหกรรมเส้นใยชนิด นับ วัสดุตัวกลาง ถังกรองไร้อากาศ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาค้นคว้าอิสระ ผู้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจ การแก้ไข ข้อบกพร่อง จนรายงานการค้นคว้าอิสระฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ นักศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่และเพื่อนนักศึกษาทุกท่านของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สุขภาพที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำขอขอบคุณ บริษัทแฉะเซอร์วิสเซอริล จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ นายวิชชัย แซ่ด่าน ในเรื่องการค้นคว้า ข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณบุคคลในครอบครัวแพงสกลทุกท่าน และเด็กชายก้องภพ ท้วมเสงี่ยม ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนส่งเสริมช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดมา

ท้ายนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วยและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้คงมีประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้ที่ทำการศึกษาต่อไป

อรอุมา แพงสกล

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	3
ตัวแปรที่ศึกษา	3
กรอบแนวคิดทางทฤษฎี	4
ประเภทของการศึกษาค้นคว้าอิสระ	4
ประเด็นปัญหาที่ศึกษา	4
ขอบเขตการศึกษา	5
รูปแบบและวิธีการศึกษา	5
คำจำกัดความ	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์เส้นยางยืด	8
ขั้นตอนการผลิตเส้นยางยืด	8
การจัดการน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางยืด	11
การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ	16
หลักการทำงานของระบบ	17
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	19
ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF)	20
จลศาสตร์ของการบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ	23
ปัจจัยทางชีวภาพและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของถังกรองไร้อากาศ	25
กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์	33
ความสำคัญของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	46
วิธีการศึกษา	46
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	46
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	46
วิธีดำเนินการทดลอง	52
การเก็บรวบรวมข้อมูล	55
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	56
ลักษณะของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรอง ไร้อากาศจำลอง	56
การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ของวัสดุตัวกลางในถังกรอง ไร้อากาศจำลอง	57
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	62
สรุปการวิจัย	62
อภิปรายผล	63
ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	69
ก ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	70
ข การตรวจสอบน้ำเสียในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสีย	74
ค การคำนวณ	84
ง ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS	88
ประวัติผู้ศึกษา	91

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ข้อมูลของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิด..... 5
ตารางที่ 2.1	สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเส้นยางซีค..... 10
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างเกณฑ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์..... 19
ตารางที่ 2.3	ข้อดีและข้อเสียของถังปฏิกรณ์แบบที่มีวัสดุตัวกลาง..... 33
ตารางที่ 2.4	ข้อดีและข้อจำกัดกระบวนการชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ..... 45
ตารางที่ 3.1	ลักษณะเฉพาะของตัวกลางที่จะใช้ในการศึกษา..... 48
ตารางที่ 3.2	ปริมาณพื้นที่ผิวของตัวกลางภายในถังปฏิกรณ์ต่างๆ..... 52
ตารางที่ 4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์..... 56
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางของถังกรองไร้อากาศ..... 57

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นยางยืด.....	2
ภาพที่ 1.2 รูปแบบโครงสร้างการศึกษา.....	6
ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตและแหล่งกำเนิดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางยืด.....	9
ภาพที่ 2.2 การบำบัดน้ำเสียทางเคมีในอุตสาหกรรมเส้นยางยืด.....	13
ภาพที่ 2.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในอุตสาหกรรมเส้นยางยืด.....	14
ภาพที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางยืด.....	15
ภาพที่ 2.5 ระบบแยกทิวเต็ดสัจด์จ์แบบกวนสมบูรณ์.....	18
ภาพที่ 2.6 รูปแบบระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบต่างๆ.....	20
ภาพที่ 2.7 ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น.....	21
ภาพที่ 2.8 ทิศทางการไหลของน้ำในถังกรองไม่ใช้อากาศ.....	26
ภาพที่ 2.9 ตัวกลางที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ.....	29
ภาพที่ 2.10 ลักษณะการเกาะของฟิล์มชีวภาพ.....	29
ภาพที่ 2.11 กลไกการสร้างมีเทนและซัลไฟด์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	42
ภาพที่ 2.12 Trophic levels ของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแป้งไปเป็นก๊าซมีเทน.....	44
ภาพที่ 3.1 ถังกรองไร้อากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	46
ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆของกรองไร้อากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	47
ภาพที่ 3.3 วัสดุตัวกลางชนิดที่ 1 (M-102).....	48
ภาพที่ 3.4 วัสดุตัวกลางชนิดที่ 2 (M-190).....	49
ภาพที่ 3.5 วัสดุตัวกลางชนิดที่ 3 (M-240).....	49
ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด.....	50
ภาพที่ 3.7 เชื้อตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลอง.....	50
ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์วิเคราะห์น้ำห้องปฏิบัติการ.....	51
ภาพที่ 3.9 แผนภูมิแสดงชุดการทดลอง.....	53
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	54
ภาพที่ 3.11 การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์น้ำเสีย.....	55

ญ

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1	แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD ของวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด.....	59
ภาพที่ 4.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ...	60

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

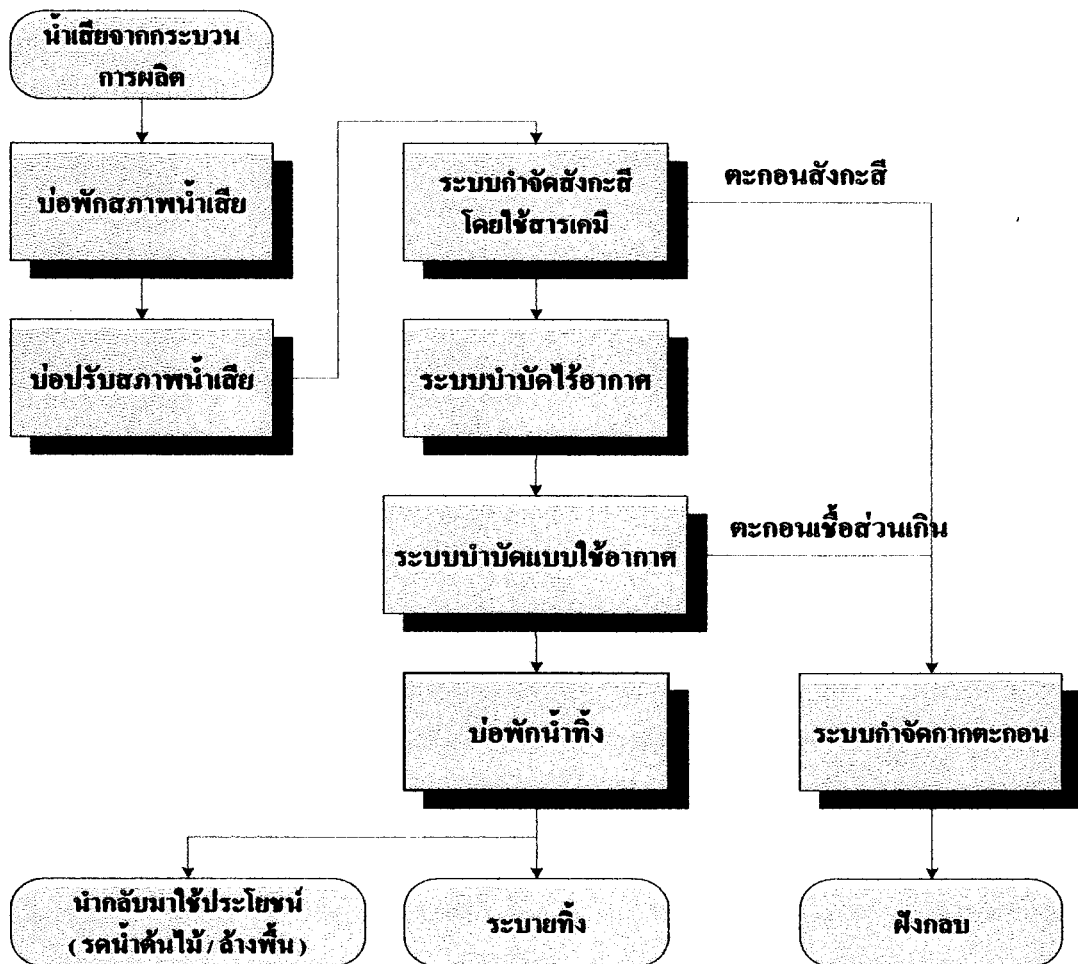
ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศกำลังพัฒนาที่ประสบปัญหาสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็วในระยะที่ผ่านมา ทำให้มีความต้องการใช้ทรัพยากรในอัตราค่อนข้างสูง โดยนำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้เพื่อการพัฒนาในการเร่งรัดผลผลิตโดยปราศจากการป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้น

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในขณะเดียวกันน้ำก็เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจขั้นพื้นฐาน เช่น การชลประทาน การประมง การสาธารณสุข การอุตสาหกรรม การคมนาคม และพลังงาน ตลอดจนการระบายของเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งของมลพิษทางน้ำเป็นปัญหาใหญ่ซึ่งกระทบกระเทือนต่อภาวะสิ่งแวดล้อมของโลก เพราะทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมยังผลให้กระทบกระเทือนของการดำรงชีวิตของคน สัตว์และพืช เมื่อเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้นไม่ว่าจะเกิดจากร่องน้ำเสีย อากาศเสียหรือดินเสียก็ยากที่จะแก้ไขให้มันกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ โดยอาจต้องใช้เวลานานหรือใช้เงินจำนวนมาก

ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำโดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อให้มีความเหมาะสมสอดคล้องต่อเนื่องเป็นขั้นตอน ดังนั้นการจัดการน้ำใช้และน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมจึงควรเป็นแบบบูรณาการครอบคลุมทั้งทางด้านกฎหมาย ประกาศมาตรฐานคุณภาพน้ำ การจัดองค์การบริหารจัดการผังการบริหารงาน บุคลากรหลัก การสนับสนุนเศรษฐศาสตร์ การเงิน-การคลัง เทคโนโลยีการจัดการน้ำใช้และน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ทั้งด้านการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีการผลิต การใช้สารอื่นทดแทน การใช้หมุนเวียนและการนำกลับมาใช้งาน

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเส้นใยขนสัตว์เป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งที่ทำกำบังได้ยากอันเนื่องมาจากมีสารมลพิษเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูง น้ำเสียที่เกิดขึ้นสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนคือ น้ำเสียจากการเตรียมใยและน้ำเสียจากระบวนการผลิตเส้นใย ซึ่งมีความแตกต่างกัน การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยขนสัตว์ที่ศึกษานี้ประกอบด้วยสองขั้นตอนคือการแยกสกัดออกจากน้ำเสียด้วยการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์และการลดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศชนิดถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) และระบบบำบัดแบบใช้อากาศชนิดแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge, AS) ตามลำดับ ดังภาพที่ 1.1 ในระบบบำบัดทาง

ชีวภาพประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศจะส่งผลต่อต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย โดยรวมของระบบ ทั้งนี้ในกรณีที่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพต่ำลง ผู้ดูแลระบบ จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการให้อากาศต่อระบบบำบัดแบบใช้อากาศในขั้นตอนต่อไปให้มากขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าระบบบำบัดแบบใช้อากาศเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลของ อุตสาหกรรมเส้นใยที่ทำการศึกษา พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อบำบัดน้ำเสียในกรณีดังกล่าวมีค่าสูงมากกว่า 1 เมกะวัตต์ต่อตันซีโอไซด์ที่ย่อยสลายได้ ทั้งนี้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อการบำบัดน้ำเสียในกรณีปกติมีค่าอยู่ในช่วง 800-1,000 กิโลวัตต์ต่อตันซีโอไซด์เท่านั้น ดังนั้นการที่จะลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียให้ต่ำลงและเพื่อรองรับแผนการขยายกำลังการผลิตในอนาคต ระบบบำบัดจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดแบบไร้อากาศให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้ได้มากที่สุด เพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้าและต้นทุนค่าฝังกอบตะกอนเชื้อให้เหลือต่ำสุด



ภาพที่ 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นใยยัด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชนิดถังกรองไร้อากาศ เป็นระบบที่มีสามารถในการกักเก็บเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่าระบบอื่นๆ และมีอัตราบำบัดสูงกว่าบ่อหมักไม่ใช้อากาศ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรองแต่ภายในบรรจุด้วยตัวกลางพลาสติก น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา แบคทีเรียซึ่งเกิดขึ้นบนผิวของตัวกรองจะทำหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ ดังนั้นยังตัวกลางพลาสติกมีพื้นที่ผิวให้แบคทีเรียเกาะติดมากเท่าใด แบคทีเรียในระบบจะมีปริมาณมากขึ้น ไปด้วย ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2550 และ Kennedy and Droste, 1986) นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุตัวกลาง ซึ่ง Tay and others (1996) พบว่าขนาดรูพรุนของตัวกลางมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ทั้งนี้ระบบที่บรรจุตัวกลางที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะสามารถลดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) ได้ดีกว่าระบบที่บรรจุตัวกลางที่มีรูพรุนขนาดเล็กๆ และจากงานวิจัยของ Miyahara and others (1995) พบว่าเมื่อบรรจุตัวกลางให้มีปริมาณช่องว่างมาก จะทำให้แบคทีเรียชนิดสร้างกรดมีจำนวนมากกว่าการบรรจุตัวกลางให้มีปริมาณช่องว่างน้อย ในทางตรงกันข้ามกับแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (CH_4) ซึ่งจะมีจำนวนมากกว่าเมื่อมีการบรรจุตัวกลางให้มีช่องว่างน้อยๆ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศ เพื่อหาวัสดุตัวกลางชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชนิดถังกรองไร้อากาศของอุตสาหกรรมเส้นใยยัด

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) ของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิดในถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยยัด
- 2.2 เพื่อหาวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยยัด

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ วัสดุตัวกลาง 3 ชนิด

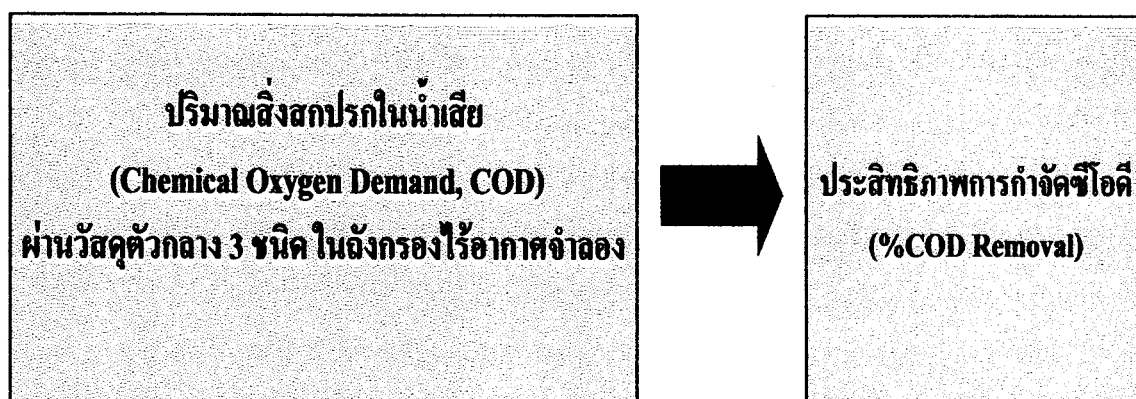
ชนิดที่ 1 พื้นที่ผิว 102 ตร.ม./ลบ.ม.

ชนิดที่ 2 พื้นที่ผิว 190 ตร.ม./ลบ.ม.

ชนิดที่ 3 พื้นที่ผิว 240 ตร.ม./ลบ.ม.

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal)

4. กรอบความคิดทางทฤษฎี



5. ประเภทของการศึกษาค้นคว้าอิสระ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นประเภทการวิจัยเชิงทดลองที่เกี่ยวข้องกับการจัดการและการลดมลพิษทางน้ำ

6. ประเด็นปัญหาที่ศึกษา

- 6.1 ข้อมูลชนิดของวัสดุตัวกลางที่ใช้ทดลองในถังกรองไร้อากาศจำลองระดับห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 1.1
- 6.2 วัสดุตัวกลางแต่ละชนิดมีผลต่อความสามารถในการกำจัดซีโอดี ของถังกรองไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยชนิด
- 6.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิดของถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยชนิด

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิด

ชนิดตัวกลาง	Voidage (%)	ปริมาณพื้นที่ผิว/ ปริมาตร (ตร.ม./ ลบ.ม.)
1. ตัวกลางชนิดที่ 1	95%	102
2. ตัวกลางชนิดที่ 2	90%	190
3. ตัวกลางชนิดที่ 3	90%	240

7. ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับวัสดุตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางชืดโดยใช้ถังกรองไร้อากาศครั้งนี้มีขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้

7.1 ใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ ถังกรองไร้อากาศขนาด 200 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางปริมาตร 180 ลิตร และทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของถังกรองไร้อากาศที่มีวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางชืด โดยกำหนดค่าปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำเสีย (ซีโอดี, COD) เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราภาระบรรจุอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (Hydraulic retention time, HRT) เท่ากับ 36 ชั่วโมง เพื่อควบคุมปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำเสีย ให้คงที่ เข้าสู่ระบบ

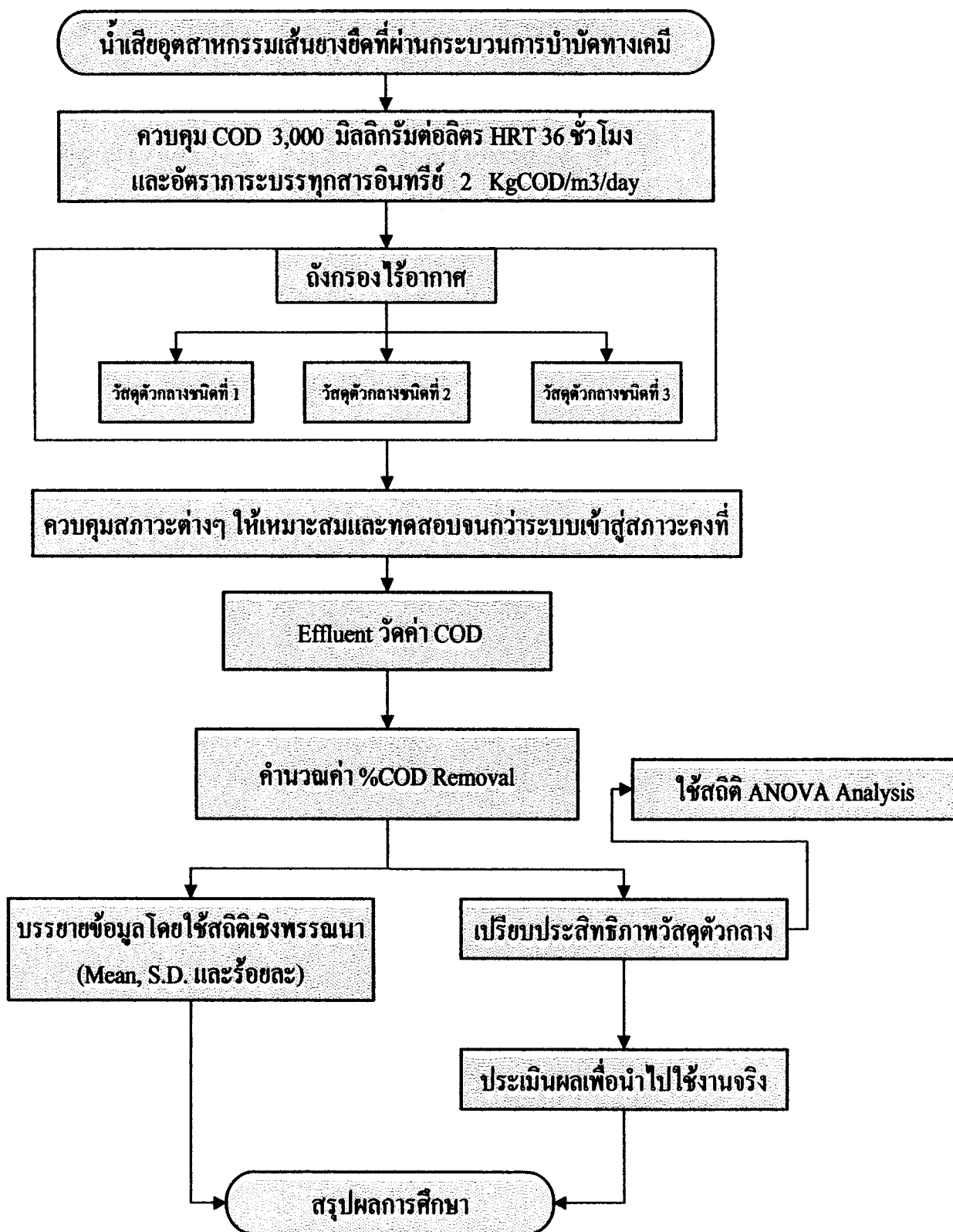
7.2 ใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเส้นยางชืด

7.3 ทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิและบรรยากาศของห้องปฏิบัติการ

7.4 เริ่มต้นระบบโดยใช้หัวเชื้อจากถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางชืด

8. รูปแบบและวิธีการศึกษา

ในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) ของถังกรองไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางชืดแห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งสามารถเขียนโครงร่างการศึกษาได้ดังภาพที่



ภาพที่ 1.2 รูปแบบโครงร่างการศึกษา

9. คำจำกัดความ

- 9.1 น้ำเสีย หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน น้ำเสียจากการใช้น้ำของโรงงานและน้ำเสียจากกิจกรรมอื่นๆในโรงงาน
- 9.2 COD หมายความว่า ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี, ซีโอดีคือปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี
- 9.3 SS (Suspended Solids) ส่วนของของแข็งที่เหลือค้าง (Nonfiltrable residue) บนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากการกรองตัวอย่าง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส
- 9.4 pH หมายถึงความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่ามากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่าเท่ากับ 7
- 9.5 ปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟิล์มตรึง (Fixed film bioreactor) หมายถึงระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพโดยให้เมือกฟิล์มจุลินทรีย์เกาะอาศัยบนตัวกลาง
- 9.6 อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ (Organic loading rate) หมายถึงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อขนาดระบบบำบัด มีหน่วยเป็น กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน(KgCOD/m³.day)

10. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 10.1 พิสูจน์ทราบได้ว่าจำนวนพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศชนิดถังกรองไร้อากาศ
- 10.2 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพื้นที่ผิวของตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังกรองไร้อากาศ
- 10.3 สามารถคัดเลือกและระบุชนิดตัวกลางที่ต้องใช้สำหรับปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศของอุตสาหกรรมเส้นใยขี้ดได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์เส้นยางยืด

อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์เส้นยางยืดนับเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งในแง่ของการสร้างมูลค่าเพิ่มและการจ้างงาน สร้างรายได้ให้แก่ประเทศ โดยในแต่ละปี ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกเป็นจำนวนหลายหมื่นล้านบาท อุตสาหกรรมยางของไทยจึงได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดความได้เปรียบในด้านวัตถุดิบและสร้างมูลค่าในการส่งออกให้กับประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเส้นยางยืด

อุตสาหกรรมเส้นยางยืดเริ่มก่อตั้งครั้งแรกในประเทศมาเลเซีย และเริ่มเข้ามาในเมืองไทยเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา ใช้เทคโนโลยีและเครื่องจักร จากอิตาลี แต่ในปัจจุบันคนไทยสามารถผลิตได้เองบางส่วนประกอบ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคือ น้ำยางชั้นจากต้นยางธรรมชาติ เป็นส่วนประกอบประมาณ 80 % และที่เหลือ 20 % เป็นสารเคมี

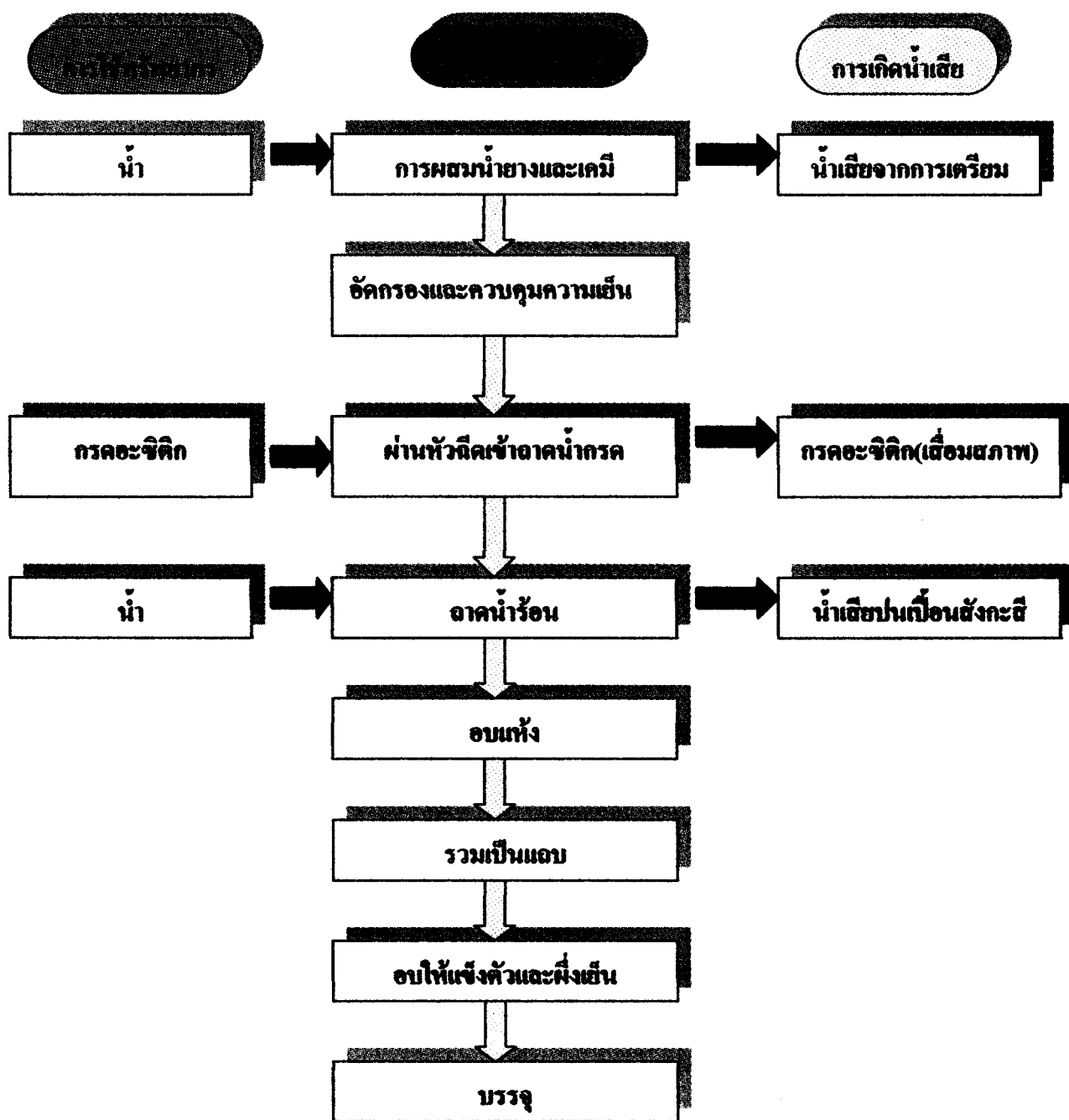
เส้นยางยืด (Rubber Thread) หมายถึง ค้ายืดพลาสติก (Elastic thread) ที่ได้จากการฉีด (Extrude) น้ำยางผสมสารเคมี (Rubber Latex compound) ผ่านออกจากหลอดแก้วเล็กๆลงในสารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัว (Coagulant) ทำให้แห้งและคงรูป (Vulcanize) และการตกแต่งผลิตภัณฑ์ (Finishing) ขบวนการทำยางยืดอาศัยหลักของยางที่จับตัวแล้วยังเปื่อยกอยู่มีความแข็งแรงสูง และน้ำยางธรรมชาติเท่านั้นที่ให้คุณสมบัติที่เหมาะสม ยางยืดสามารถผลิตได้หลายขนาดตามการใช้งานของอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเสื้อผ้า อุตสาหกรรมรองเท้าและถุงเท้าที่ใช้ผ้า ยืด ผลิตภัณฑ์เข็มขัดตลอดจนสายคาดที่นั่ง ในบางประเทศใช้ทำคาง่ายแทนเชือกสำหรับยึดติดกัน ยางยืดสามารถผลิตได้คุณสมบัติที่มีความยืดหยุ่นได้สูงมาก

1.1 ขั้นตอนการผลิตเส้นยางยืด

ขั้นตอนการผลิตเส้นยางยืดหรือที่เรียกว่า ค้ายาง (ภาพที่ 2.1) นั้นเริ่มต้นจากการขนส่งน้ำยางดิบจากแหล่งผลิตสู่โรงงาน โดยจะมีการเติมแอมโมเนียลงไปใต้น้ำยางพาราดิบเพื่อรักษาสภาพไม่ให้เกิดการบูดเน่า น้ำยางพาราดิบจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำยางที่มีการกวนทุก 2 ชั่วโมง เพื่อป้องกันมิให้น้ำยางดิบจับตัวเป็นก้อน

การผลิตเส้นยางยืดเริ่มต้นด้วยกระบวนการเตรียมน้ำยาง โดยผสมสารเคมีปรับคุณภาพ ยางและยางดิบเข้าด้วยกันในถังผสม ตารางที่ 2.1 แสดงถึงสารเคมีที่ใช้ในการผลิตยางยืด จากนั้นจะทำการกรองผ่านถังอัดกรอง และถูกนำมาลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 20 องศา

เซลล์พืชที่ถึงควบคุมความเย็น ต่อจากนั้นเริ่มกระบวนการผลิตยาง น้ำยางจะถูกส่งไปหัวฉีดเพื่อฉีดเป็นเส้นในอ่างน้ำกรดอะซิติกเพื่อให้เส้นยางคงรูปร่างเส้นที่ได้จะถูกล้างด้วยน้ำร้อนเพื่อชะล้างสารเคมีที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของเส้นยาง จากนั้นนำไปอบแห้งให้แข็งตัวโดยการรวมเป็นแถบ ผึ่งให้เย็นและบรรจุ



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตและแหล่งกำเนิดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางชนิด

ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเส้นยางซีด

ชื่อสารเคมี	ส่วนประกอบสารเคมี
Titanium dioxide	สารประกอบทางเคมี TiO_2
Ralox	สารประกอบของ Stericallyhydered polymeric phenal
Glomax-LL	สารประกอบจำกอบจำพวกดินเคลย์ประกอบด้วย SiO_2 / AlO_3 / Fe_2O_3
Zinc oxide	สารประกอบทางเคมี ZnO
Potassium hydroxide	สารประกอบทางเคมี KOH
Sulphur	สารประกอบทางเคมี S_8
Rubber process oil	สารประกอบของ Heptaldehyde aniline conensate
ZDEC	Zinc diethyl dithiocarbamate
ZDBC	Zinc dibutyl dithiocarbamate
Dimethylamine	$(CH_3)_2N$
Triethylamine	$(C_2H_5)_3N$
ZMBT	Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole
Lactic casein	ประกอบด้วยโปรตีน ($N \times 6.38$) / ไขมัน / แล็กโตส
Ammonia	สารประกอบทางเคมี NH_3
Bentonite	สารประกอบจำกอบจำพวกดินเคลย์ประกอบด้วย SiO_2 / AlO_3 / Fe_2O_3 / Na_2O / MgO / CaO / K_2O
Cellulose	สารประกอบของ Sodium lauryl sulphate
Stearic acid	สารประกอบทางเคมี $C_{17}H_{35}$
Oleic acid	สารประกอบจำพวก Carboxylic acid
Acetic acid	สารประกอบทางเคมี CH_3COOH
Preventtal oil	สารประกอบของ Sodium-o-phennyl phenolate
Formalin	สารประกอบทางเคมี $HCHO$
Talcum	สารประกอบผสมของ SiO_2 และ MgO
Cesadex	สารประกอบของ Sodium Salt of carboxylate polyelectrolyte in aqueous solution

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเส้นยางยืด

ชื่อสารเคมี	ส่วนประกอบสารเคมี
Anchiod	สารประกอบของ Zinc diethyl dithiocarbamat
Microsal Violet B	สารประกอบจำพวก aqueous dioxazine pigment
Microsal Carmine	สารประกอบจำพวก aqueous dispersion of carbon black in present of non – ionic emulsifier
Micro Blue BN	สารประกอบจำพวก Alpha-copper-phthalocyanine
Microsal Black 2B	สารประกอบจำพวก Water Base Pigment ของ Carbon black

1.2 การจัดการน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางยืด

กระบวนการผลิตเส้นยางยืด (Rubber Thread) ทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเส้นยางยัดนั้นเป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งที่ทำให้การบำบัดยาก เนื่องจากมีสารเคมีปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมาก โดยเฉพาะโลหะหนักนั้นก็คือนิกเกิล (Zinc) การบำบัดน้ำเสียจะอาศัยกระบวนการทางกายภาพทางเคมีและกระบวนการทางชีวภาพโดยอาศัยการผสมผสานแบบแอนแอโรบิกและแอโรบิกตามลำดับ

ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นยางยืดที่เกิดจากกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1) น้ำเสียที่เกิดจากการเตรียมยาง มีลักษณะดังนี้

ค่า pH	=	7-11
ของแข็งแขวนลอยหรือเอสเอส	=	1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีไอซี	=	900-1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเส้นยางยืด มีลักษณะดังนี้

ค่า pH	=	3-4
สังกะสี	=	350-1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีไอซี	=	10,000-30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซีไอดี

= 10,000-30,000 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร

น้ำเสีย 2 ส่วนนี้มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันและยังมีน้ำใช้ในอาคารสำนักงาน ก็จะไหลลงมารวมกันที่ระบบบำบัดน้ำเสีย จะประกอบด้วย 3 ระบบคือ

1) ระบบบำบัดทางกายภาพ (Physical Wastewater Treatment) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ เป็นการใช้หลักการทางกายภาพ เช่น แรงแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงแม่เหล็กไฟฟ้า ศูนย์กลาง เป็นต้น เพื่อกำจัดหรือขจัดเอาสิ่งสกปรกออกจากน้ำเสีย โดยเฉพาะสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ จึงนับเป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียขั้นแรกที่ถูกนำมาใช้ก่อนที่น้ำเสียจะถูกนำไปบำบัดขั้นต่อไป ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่การกรองด้วยตะแกรง การทำให้ลอย การตัดย่อย รวักกรวดทราย การปรับสภาพการไหล การแยกด้วยแรงเหวี่ยง การตกตะกอน และการกรอง เป็นต้น ในกรณีอุตสาหกรรมยางชีคนี้ทำการแยกขั้นต้นโดยใช้ตะแกรงแยกเศษยาง เศษไม้และขยะต่างๆที่มากับระบบน้ำเสียก่อนที่จะเข้าระบบต่อไป

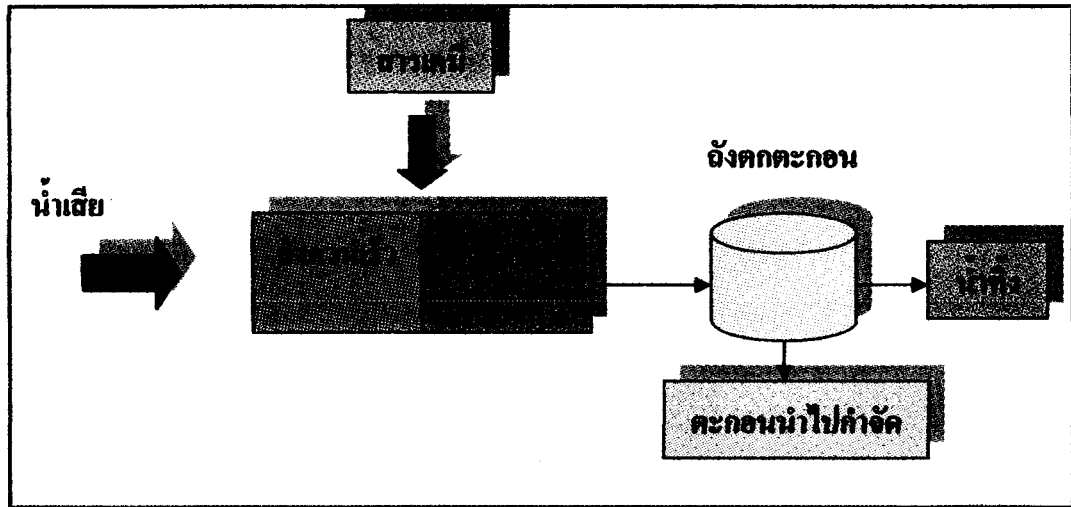
2) ระบบบำบัดด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Wastewater Treatment) เป็นการใช้สารเคมีหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสีย โดยมีวัตถุประสงค์

ก) เพื่อรวมตะกอนหรือของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำเสียให้มีขนาดโคพที่จะตกตะกอนได้ง่าย ซึ่งเรียกตะกอนดังกล่าวว่า Floc และกระบวนการดังกล่าวว่า การสร้างตะกอน (Coagulation) และการรวมตะกอน (Flocculation)

ข) เพื่อให้ของแข็งที่ละลายในน้ำเสียให้กลายเป็นตะกอน หรือทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ เรียกกระบวนการดังกล่าวว่า การตกตะกอนผลึก (Precipitation)

ค) เพื่อทำการปรับสภาพน้ำเสียให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดด้วยกระบวนการอื่นต่อไปเช่น การทำให้น้ำเสียมีความเป็นกลางก่อนแล้วนำไปบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวข้างต้นว่า มีโลหะหนักคือสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสีย จึงต้องทำการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนโดยการเติมสารเคมี 2 ชนิดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลไฟด์ ตามลำดับ เพื่อเป็นการปรับค่า pH และทำการตกตะกอนโลหะหนัก หลังจากนั้นเติม โพลีเมอร์เพื่อจับตะกอนให้เป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วส่งน้ำเสียที่ได้ไปที่บ่อตกตะกอนขั้นตอนนี้จะได้น้ำใสและไม่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่แล้วตะกอนที่อยู่บริเวณบ่อตกตะกอนจะทำการสูบตะกอนไปเข้าเครื่องอัดตะกอน ตะกอนที่ถูกอัดจะเป็นก้อนแข็งและส่งไปยังบริษัทรับกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การบำบัดน้ำเสียทางเคมีในอุตสาหกรรมเส้นยางยืด

พสุธา ดันดิศิริพันธ์ (2545) ศึกษาเศษยางในน้ำเสียจากการเตรียมยางสามารถแยกออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการปรับพีเอชให้ต่ำกว่า 4.5 พร้อมทั้งเติมอากาศซึ่งพบว่าลดของแข็งแขวนลอยจนเหลือความขุ่นต่ำกว่า 10 NTU ได้ส่วนมลพิษอินทรีย์ในรูปของบีโอดีที่ต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดได้โดยง่ายด้วยระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ สังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียจากการฉีกยางสามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ด้วยการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางนอกจากนี้ยังพบว่าสามารถประยุกต์ใช้โออาร์ทีเป็นดัชนีควบคุมในการเติมซัลไฟด์ได้เป็นอย่างดีโดยเมื่อโออาร์ทีมีค่าประมาณ 0 สังกะสีในน้ำจะตกตะกอนซัลไฟด์เกือบทั้งหมดในขณะที่มีซัลไฟด์เหลืออยู่ไม่เกิน 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องก๊าซไข่เน่า

ปริศนาพร โปรยรุ่งเรือง (2543) ได้ทำการศึกษาการบำบัดสังกะสีไอออนในน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางยืด พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุด คือการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียไม่ให้เกิน 10.00 ± 0.05 และใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดประจุลบ C-3310 ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดความเข้มข้นของสังกะสีไอออนให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (5 มิลลิกรัม/ลิตร) ได้ดี มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างสูงประมาณ 99.03-99.48 %

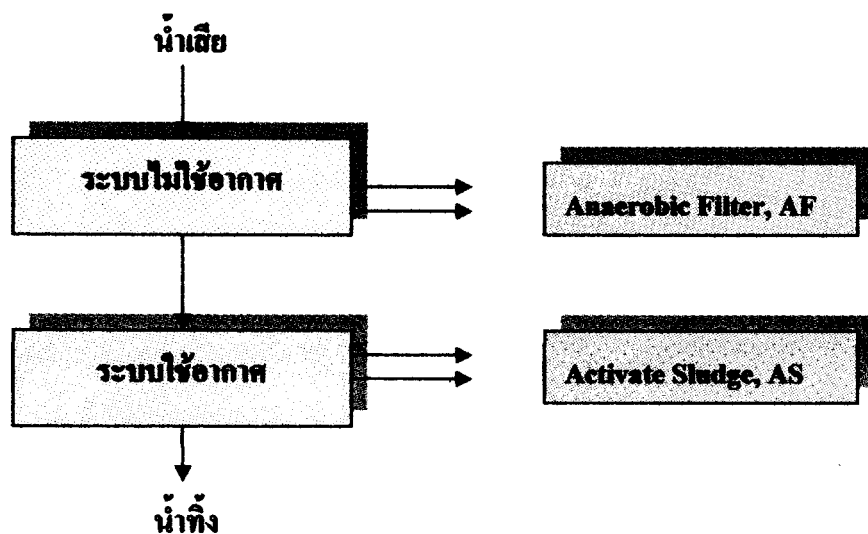
นภคณ นัทรตระกูล (2543) ศึกษาการดูดซับสังกะสีในน้ำเสียโรงงานยางยืดด้วยซีเด้าลอยจากผลการศึกษาพบว่า การดูดซับสังกะสีของซีเด้าลอยจะเข้าสู่สมดุลในเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณซีเด้าลอยที่เหมาะสมในการกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียคือ 20 กรัมต่อน้ำเสีย

100 มิลลิลิตร โดยปริมาณการดูดซับสังกะสีต่อกรัมซีเมนต์ลอยสูงสุดเท่ากับ 2.09 มิลลิกรัมต่อกรัมซีเมนต์ลอย และกลไกในการกำจัดสังกะสีเกิดการแลกเปลี่ยนประจุมากกว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ส่วนผลการทดสอบการชะละลายของสังกะสีพบว่า มีสังกะสีถูกชะละลายออกมาในปริมาณเล็กน้อย

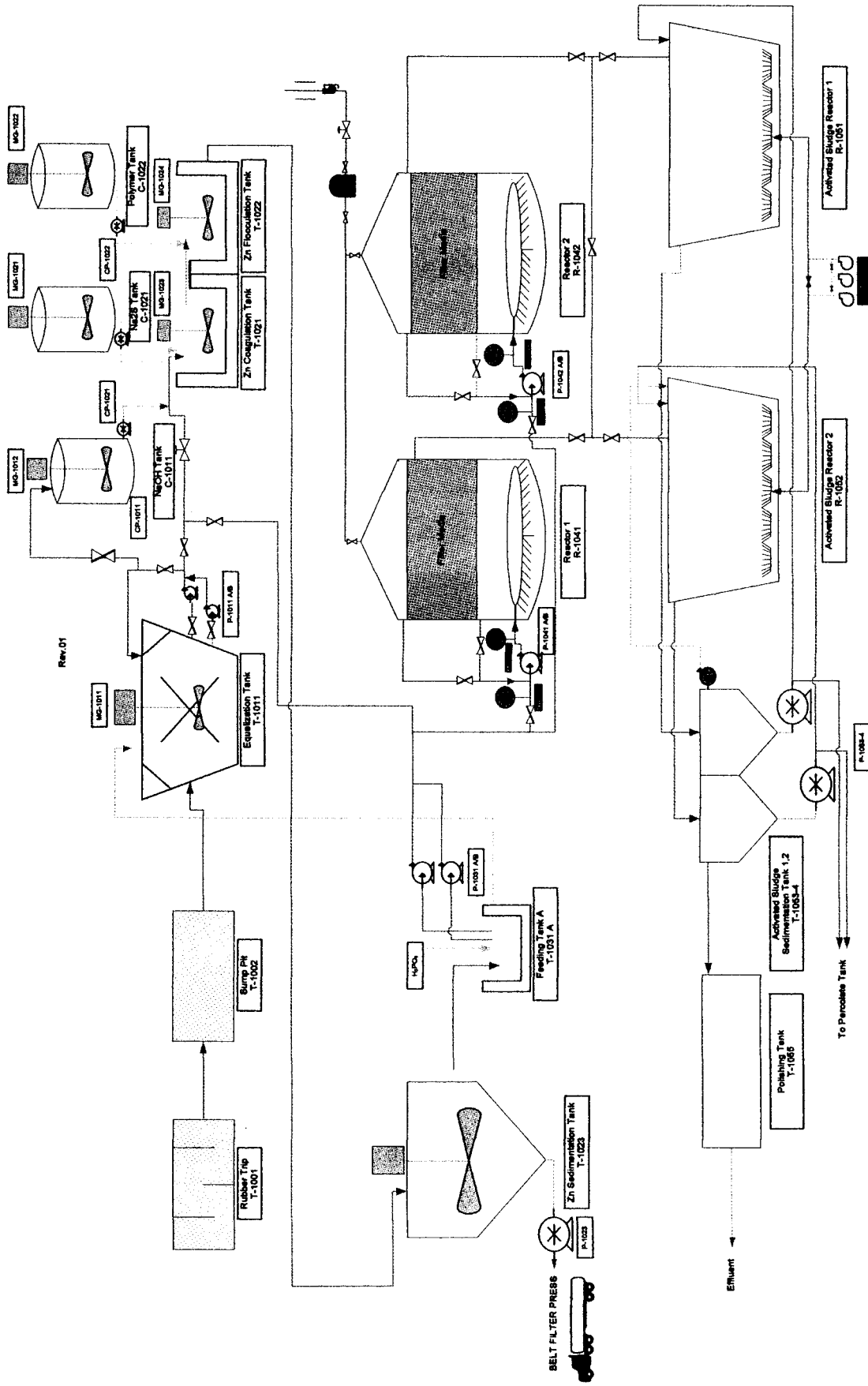
3) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอคติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง(Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้นในอุตสาหกรรมเส้นใยชิตที่ทำการศึกษามีการบำบัดทางชีวภาพ 2 ระบบดังนี้ (ภาพที่ 2.3และ 2.4)

ก) ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ คือระบบ (Activate Sludge, AS)

ข) ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ คือระบบ (Anaerobic Filter, AF)



ภาพที่ 2.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในอุตสาหกรรมเส้นใยชิต



ภาพที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต้นยางซีด

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นการใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพของของเสียในน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ เปลี่ยนให้กลายเป็นแก๊ส ทำให้มีกลิ่นเหม็น เป็นต้น ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทในการช่วยเปลี่ยนสภาพสิ่งสกปรกในน้ำเสียคือพวกจุลินทรีย์ ได้แก่ พวกแบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย รา และ โรติเฟอร์ และจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย คือ พวกแบคทีเรีย

ปีรรัตน์ ชูรอด (2546) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยกระบวนการกรองไร้อากาศและแอกทิเวเตดสลัดจ์ที่ภาระบรทุกอินทรีย์สูง โดยใช้น้ำเสียจริงที่เกิดจากการฉีกของโรงงานยางยืดที่ผ่านการตกตะกอนผลึกสังกะสีซัลไฟด์ พบว่าถังกรองไร้อากาศสามารถรับอัตราภาระซีโอดีได้สูงสุด 10.74 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ที่เวลาพักพักชลศาสตร์ 2.5 วัน โดยสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 96 แต่ไม่สามารถเพิ่มภาระอินทรีย์ให้สูงขึ้นได้อีก เนื่องจากน้ำเสียที่เก็บมาบางครั้งมีสารพิษปนเปื้อนทำให้ระบบชีวภาพแบบไร้อากาศล้มเหลวหลายครั้งกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์พบว่าสามารถรองรับอัตราภาระบรทุกอินทรีย์สูงถึง 2.5 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ที่อายุสลัดจ์และระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 30 และ 0.8 วันตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของบีโอดีกรอง ซีโอดีกรอง และเอสเอสในน้ำออกเท่ากับ 11, 71 และ 38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

พสุธา ดันติสิรินทร์ (2545) ได้ศึกษาสารมลพิษในน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์แล้วถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพทั้งแบบไร้ออกซิเจนและใช้ออกซิเจนจากการทดลองพบว่าที่สามารถรองรับภาระบรทุกอินทรีย์ได้สูงถึง 11.84 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 2.5 วันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (87-97%) ส่วนน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศถูกป้อนเข้าสู่ระบบแอกทิเวเตดที่มีอายุสลัดจ์ 10 20 และ 30 วัน โดยมีเวลากักพักชลศาสตร์ เท่ากับ 1 และ 5 วันซึ่งพบว่าระบบที่มีอายุสลัดจ์ 20 วันและระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 5 วัน ให้ผลดีที่สุดในด้านของซีโอดี บีโอดี และเอสเอส โดยมีค่าเท่ากับต่ำกว่า 200, 10 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับซึ่งได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

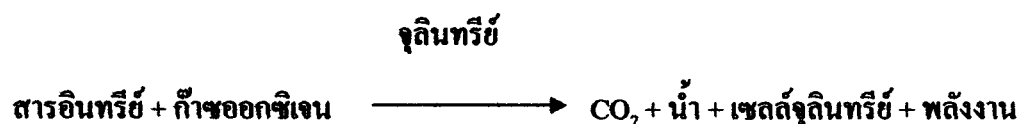
2. การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ เป็นระบบบำบัดชีวภาพแบบใช้อากาศ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบนี้จุลินทรีย์จะอยู่ที่การลดค่าความสกปรกในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ โดยการใช้แบคทีเรียแบบใช้อากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ให้หมดไป

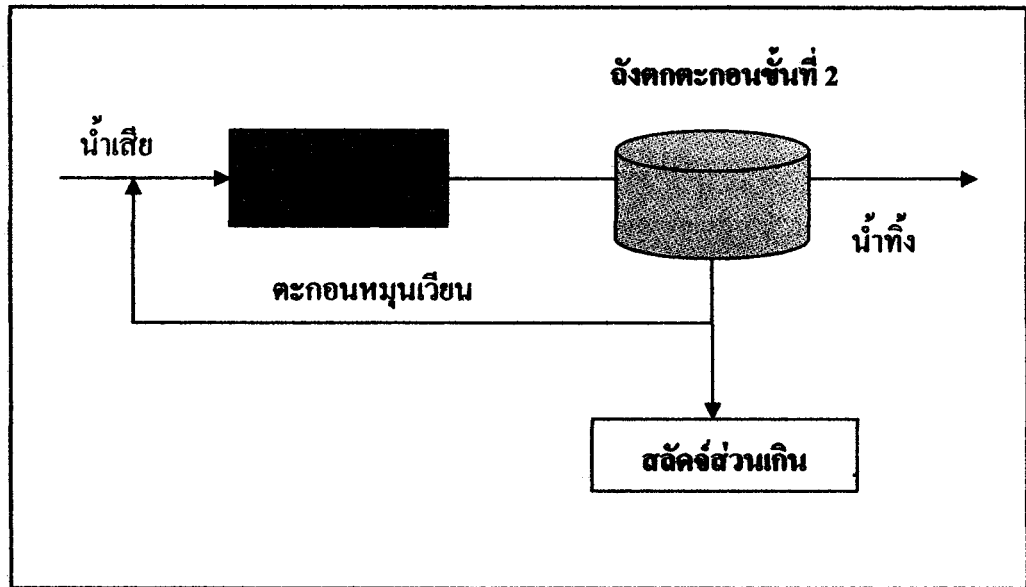
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

2.1 หลักการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่อยู่แบบไร้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิก จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำกรย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม



ในปัจจุบัน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการผลิตเส้นใยชดที่ทำการศึกษานี้จะใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix)

2.2 ตัวแปรสำหรับการควบคุมระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์

ตัวแปรสำคัญที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ มีอยู่ 2 ตัวแปรดังนี้

1) **อายุตะกอน (Sludge Age)** หมายถึงระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์หมุนเวียน อยู่ในถังเติมอากาศการควบคุมกระทำได้โดยการนำตะกอนส่วนเกินออกจากระบบ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมให้มีค่าคงที่ได้ตามต้องการ โดยทั่วไปจะควบคุมให้มีระบบอายุตะกอน 5-15 วัน

2) **อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio)** หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าระบบ (กิโลกรัมต่อวัน) ต่อน้ำหนักตะกอน จุลินทรีย์ในระบบ (กิโลกรัม) โดยทั่วไปจะควบคุมให้ระบบมีค่า F/M ratio ระหว่าง 0.1-0.4 ต่อวัน คุณสมบัติของน้ำเสีย มักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งในแง่อัตราการไหลและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบทำให้การควบคุมระบบ โดยใช้ F/M ratio กระทำได้ยากและมีความไม่แน่นอน ในทางปฏิบัติจึงนิยมควบคุมระบบโดยอายุตะกอนมากกว่า

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเตดสลัดจ์จำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะใช้ในการคำนวณออกแบบดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างเกณฑ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge)

หน่วยบำบัด	เกณฑ์การออกแบบ	
	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ออกแบบ
แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix)	- F/M Ratio	0.2-0.6 กก.บีโอดี / กก. MLSS-วัน
	- อายุสลัดจ์ (Sludge Age)	5-15 วัน
	- อัตราภาระอินทรีย์ (Organic Loading)	0.8-1.9 กก.บีโอดี / ลบ.ม.-วัน
	- MLSS	2,500-4,000 มก./ล.
	- เวลาเก็บกักน้ำ (HRT)	3-5 ชั่วโมง
	- อัตราส่วนการสูบสลัดจ์กลับ	0.25-1
	- ความต้องการออกซิเจน	0.8-1.1 กก. O ₂ / กก. BOD ที่ถูกกำจัด
	- ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี	ร้อยละ 85-95

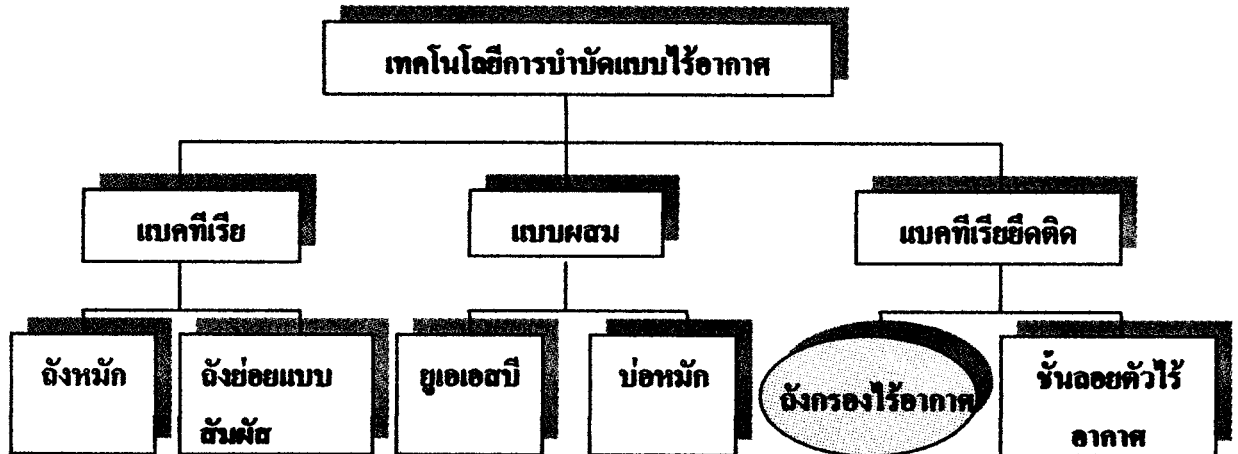
ที่มา: รวบรวมจากหนังสือ "ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย", สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย 2540 และ "Wastewater Engineering", Metcalf&Eddy 1991

3. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย โดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งเป็นกรดอินทรีย์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ อีกส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรีนอกจากนั้นเซลล์แบคทีเรียที่เกิดขึ้นก็มีปริมาณน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศมาก ทำให้สิ้นเปลืองในการกำจัดสลัดจ์น้อยกว่าแต่ข้อเสียก็คือเป็นระบบที่มีกลิ่น ใช้ได้กับน้ำเสียบางประเภท เช่น น้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง และน้ำที่ผ่านระบบบำบัดไม่สามารถทิ้งได้ในทันที เนื่องจากยังมีค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยเกินมาตรฐานดังนั้นระบบบำบัดแบบไร้อากาศจึงมักใช้กับน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าบีโอดีสูง โดยใช้เพื่อลดค่าบีโอดีของน้ำเสียให้ต่ำลงก่อนผ่านเข้าสู่ระบบเดิมอากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงมาก สามารถบำบัดน้ำเสียทั้งที่มีบีโอดีและซีโอดีสูงไปจนถึงน้ำเสียชุมชนทั่วไปที่มีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำ โดยอาศัยการเกาะติดของแบคทีเรียบนตัวกลางช่วยป้องกันการชะล้างแบคทีเรียออกจากระบบ ทำให้ระบบมีเวลาการกักเก็บตะกอนสูง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์

ให้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถฟื้นตัวได้เร็ว อีกทั้งยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีกว่าเชื้อที่แขวนลอย ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการดังภาพที่ 2.6 ซึ่งในอุตสาหกรรมเส้นใยเยื่อที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ใช้ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter)

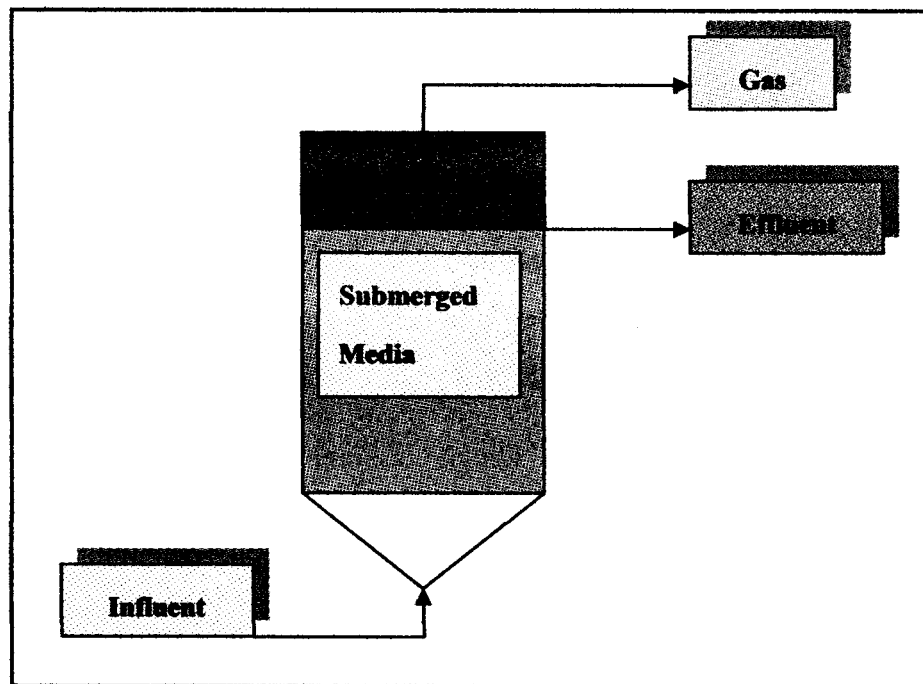


ภาพที่ 2.6 รูปแบบระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบต่างๆ

3.1 ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter, AF)

ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยมทรงสูงดังภาพที่ 2.7 ถังจะมีระบบกระจายน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าสู่ตัวถัง โดยจะต้องออกแบบให้น้ำทิ้งไหลผ่านช่องว่างของตัวกรองโดยทั่วถึงกันตลอด และมีการป้องกันการไหลลัดทาง (Short Circuit) ของน้ำทิ้งไปตามผนังภายในถัง โดยอาจทำการติดตั้งแผ่นบัพเฟอ์ (Baffles) กั้นไว้ และสิ่งสำคัญที่สุดคือ ต้องทำให้ตัวถังเป็นระบบปิด ป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศเข้าไปในตัวถังได้ เพื่อรักษาสภาพไร้อากาศไว้ ทั้งนี้ลักษณะของกลุ่มตัวจุลินทรีย์จะเกาะอยู่บริเวณผิวตัวกลางและบางส่วนจะอาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลางทำให้ระบบนี้ไม่ต้องการกวนน้ำเสียภายในถัง โดยจุลินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในระบบจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียโดยระบบนี้จะใช้กระบวนการต่างๆ ได้แก่ การดูดซับ (Adsorption) การกรอง และปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวเคมี ระบบนี้จะใช้เวลาเก็บกักของน้ำเสียอาจมีตั้งแต่ 1-10 วัน โดยสามารถรับบีโอดีของน้ำเสียได้ตั้งแต่ 4 ถึง 16 กิโลกรัมบีโอดี / (ลูกบาศก์เมตร.วัน) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวกลางที่สามารถใช้ได้คือ พวกที่ไม่สามารถย่อยได้โดยธรรมชาติ ได้แก่ ก้อนหิน พลาสติก อิฐ กระเบื้อง ยางคินเผา เป็นต้น พบว่าตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวขรุขระจะมี

ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบค่อนข้างดีมาก เพราะว่ามีพื้นที่ผิวขรุขระมากสามารถมีจำนวนตะกอนจุลินทรีย์มากในระบบ สำหรับขนาดของตัวกลางไม่ควรมีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป ถ้ามีขนาดเล็กเกินไปอาจจะทำให้เกิดปัญหาอุดตันขึ้นได้ง่าย ทำให้เกิดการไหลผิดปกติ แต่ถ้าใช้ตัวกลางขนาดใหญ่เกินไปอาจทำให้มีพื้นที่ผิวตัวกลางน้อยลง ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลงไปด้วย



ภาพที่ 2.7 ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

อย่างไรก็ดีถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นมีข้อดีและข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1) ข้อดี

- ก) ก่อสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน
- ข) การดำเนินการและบำรุงรักษาระบบง่าย ไม่ยุ่งยาก
- ค) สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีสลัดจ์ชีวภาพเกิดขึ้นน้อย ช่วยลดภาระจัดการสลัดจ์
- ง) ค่าสูญเสียความดันต่ำในระบบถังบำบัด โดยปกติจะมีน้อยกว่า 0.15 เมตร
- จ) มีความต้องการสารอาหาร (Nutrients) น้อยสำหรับระบบบำบัด

- ฉ) น้ำทิ้งมีกลิ่นน้อย และมี TSS ไม่มากนัก พยายามรับได้โดยไม่รบกวนชุมชนข้างเคียง
- ช) สามารถรับน้ำเสียที่มีอัตราไหลน้ำเสียแปรเปลี่ยนมากได้ แม้กระทั่งไม่มีน้ำเสียไหลต่อเนื่องก็ยังสามารถเดินระบบได้ดี
- ซ) ในระบบมีตัวกลางบรรจุอยู่ในถังกรอง ทำให้ตัวกลางเหล่านี้ช่วยป้องกันการไหลทิ้งของของแข็งแขวนลอย
- ฌ) ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นจะช่วยเสริมประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำทิ้งจากอาคารที่มีถังกรองอยู่แล้ว
- ฎ) ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นต้องการล้างถังบ้างแต่นานๆ ครั้งเป็นปี
- ฏ) ระบบนี้ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย
- ถ) ถังกรองไร้อากาศอาจใช้กับการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งให้เป็นก๊าซไนโตรเจน (เกิด Denitrification)
- ฐ) ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องการระยะเวลาเก็บกักนาน เพราะระบบบำบัดนี้มีอายุสัปดาห์นานพอเพียงกับการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ
- ฑ) ระบบนี้สามารถรับสารพิษต่างๆจนเกิดปัญหาที่เขตกดต่ำลง หรือปล่อยถังไว้โดยไม่มีน้ำไหลผ่านเข้าออกเป็นเดือนๆ ระบบถังกรองไร้อากาศนี้ก็ยังสามารถฟื้นคืนสภาพบำบัดได้รวดเร็ว

2) ข้อเสีย

- ก) อาจเกิดการไหลล้นควมจรได้ง่าย โดยเฉพาะจะไหลไปด้วยกับช่องทางก๊าซลอยขึ้น
- ข) สลัดจ์ในระบบมีการกวนผสมกันน้อยมาก
- ค) การจัดเรียงตัวกลางค่อนข้างมีความสำคัญ เพราะอาจแทนที่น้ำมากเกินไปจนมีความจุน้ำจริงน้อยกว่าที่คำนวณออกแบบไว้ และอาจมีพวกสลัดจ์ทับถมกันจนแทนที่น้ำด้วย
- ง) ถ้าน้ำเสียมี TSS ค่อนข้างมากก็อาจทำให้ถังกรองไร้อากาศอุดตันได้ง่าย
- จ) ต้องการการเดินระบบช่วงเริ่มต้นจนถึงสภาวะคงที่ในระยะเวลาานกว่าระบบใช้อากาศ
- ฉ) โดยปรกติระบบบำบัดน้ำนี้จะได้น้ำทิ้งออกที่มี บีโอดี มากกว่า 30 มิลลิกรัม/ลิตร
- ช) เนื่องจากระบบนี้ต้องมีค่าอายุสลัดจ์นาน ทำให้ใช้เวลาปรับสภาพใหม่านเมื่อมีสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

ข) ระบบบำบัดน้ำยังไม่มีการพัฒนาการล้างข้อนดังกรองได้ดี เนื่องจากเป็นถังขนาดใหญ่ต้องอาศัยเทคนิคซับซ้อน ดังนั้นการล้างข้อนยังไม่เหมาะสม

3.2 จุดศาสตร์ของการบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ

ลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในน้ำเสียในสภาวะที่มีสิ่งปนเปื้อนในรูปสารอินทรีย์ (อาหารสำหรับจุลินทรีย์) ที่จำกัดโดยมีการนำน้ำเสียเค็มในถังปฏิกรณ์เพียงครั้งเดียวและให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียจะมีการใช้อาหารหรือสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียไปเรื่อยๆ ปริมาณจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียก็จะเพิ่มจำนวนขึ้นดังแสดงใน ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์จะมีการเจริญเติบโตออกเป็น 4 ช่วงดังนี้

1) ช่วง **Lag phase** นี้เป็นช่วงที่จุลินทรีย์จะทำความคุ้นเคยกับน้ำเสีย จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งจำนวนจุลินทรีย์และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จุลินทรีย์จะทำการปรับตัวให้เข้ากับจุลินทรีย์ในน้ำเสียนั้น ดังนั้นหากน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากรวมทั้งมีสารพิษอยู่มาก ช่วง **Lag phase** จะยาวนานมาก ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ต้องการระยะเวลาในการปรับตัวนานมาก และระยะเวลานี้จะเป็นระยะเวลาของการคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับน้ำเสียด้วย กล่าวคือ อาหารหรือสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียรวมทั้งสภาพแวดล้อมต่างๆ ของน้ำเสียจะเป็นตัวคัดเลือกจุลินทรีย์ในระบบถังกรองไร้อากาศ โดยกระตุ้นให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตในสภาพนั้นเจริญเติบโตได้ และจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ชอบสภาวะนั้นๆ ของน้ำเสียก็จะลดจำนวนลงเรื่อยๆ จนในที่สุดก็จะเหลือเพียงแต่จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ในน้ำเสียชนิดนั้นเท่านั้น ปกติแล้วจะควบคุมระบบถังกรองไร้อากาศให้มีปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (F/M ratio) มากกว่า 2.5 เพื่อให้เกิดช่วงของการเริ่มต้นระบบ (Start up ระบบ) เราจะพบว่าจะเกิดช่วง **Lag phase** ขึ้นเป็นส่วนใหญ่

2) ช่วง **Log phase** เป็นช่วงที่จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในระบบถังกรองไร้อากาศเริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสียและสารอินทรีย์ในน้ำเสียแล้ว รวมทั้งในน้ำเสียจะมีสารอินทรีย์อยู่มากในระยะแรก ทำให้อัตราส่วนระหว่างอาหาร (สารอินทรีย์) กับปริมาณจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (F/M ratio) จะมีค่าสูง มีผลให้อัตราการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์จะสูงขึ้นตลอดเวลาด้วย โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการลดลงของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

3) ช่วง **Declining phase** เป็นช่วงที่ถัดจากช่วง **Log phase** จึงเป็นระยะสารอินทรีย์ในน้ำเสียเริ่มมีปริมาณน้อยลงเรื่อยๆ ส่งผลให้อัตราการเพิ่มจำนวนหรือการเติบโตของ

จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ค้ำวาง รวมถึงอัตราการลดลงของสารอินทรีย์ก็ค้ำวางด้วยเช่นกัน จุลินทรีย์จึงย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้าลง ระยะเวลานี้เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ควบคุม จุลินทรีย์ในระบบถังกรองไร้อากาศ โดยระยะนี้จะมีปริมาณจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์สูงที่สุดและมีอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ได้ดีที่สุด (High removal efficiency) รวมทั้งได้ก๊าซมีเทนเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาสูงสุดด้วย (High CH_4 production rate)

4) ช่วง **Endogenous phase** เป็นสุดท้ายของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนเกือบหมดทำให้สภาวะภายในถังปฏิกรณ์เป็นสภาวะขาดแคลนอาหารหรือสารอินทรีย์สำหรับจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ ผลที่ได้คือ จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียบางส่วนตายลงและเกิดการย่อยสลายตัวเอง (Cell lysis) โดยสารอินทรีย์ที่เกิดจากการตายของจุลินทรีย์ก็จะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นๆ ที่มีชีวิตต่อไป ถึงแม้ว่าระยะนี้จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดก็ตาม แต่ผู้ออกแบบก็มักจะไม่นิยมออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้ควบคุมจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในช่วงนี้ เนื่องจากขนาดของถังปฏิกรณ์จะต้องมีขนาดใหญ่มาก เพราะต้องการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้น้ำเสียถูกกักเก็บในถังปฏิกรณ์หรือระบบน้ำเสียเป็นเวลานาน โดยนานกว่าการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเจริญเติบโตในระยะอื่นๆ เช่น ในช่วง Log phase หรือ Declining phase เป็นต้น

จลนศาสตร์ของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแปรผัน โดยตรงกับปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเสีย
- 2) ในกรณีมีถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียว โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria) เกิดในถังเดียวกัน การย่อยสลายสารอินทรีย์จะถูกควบคุมโดยการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)
- 3) ที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียต่ำๆ อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะแปรผัน โดยตรงกับจำนวนจุลินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น
- 4) ในกรณีที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูงๆ และความเป็นพิษในน้ำเสียมีสูงด้วย

อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะอยู่ในปริมาณคงที่ไม่ว่าแปรผันตามความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (Zero-order reaction constant)

- 5) ในกรณีที่ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูงๆ และน้ำเสียมีความเป็นพิษต่ำ อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์

6) ค่าคงที่ต่างๆ สำหรับน้ำเสียประเภทต่างๆ มีความแตกต่างกันและมักจะหาได้จาก การทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจจะทำการทดลองในระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous type) หรือแบบกะ (Batch type) ก็ได้

3.3 ปัจจัยทางกายภาพภาพที่มีผลต่อการทำงานของถังกรองไร้อากาศ

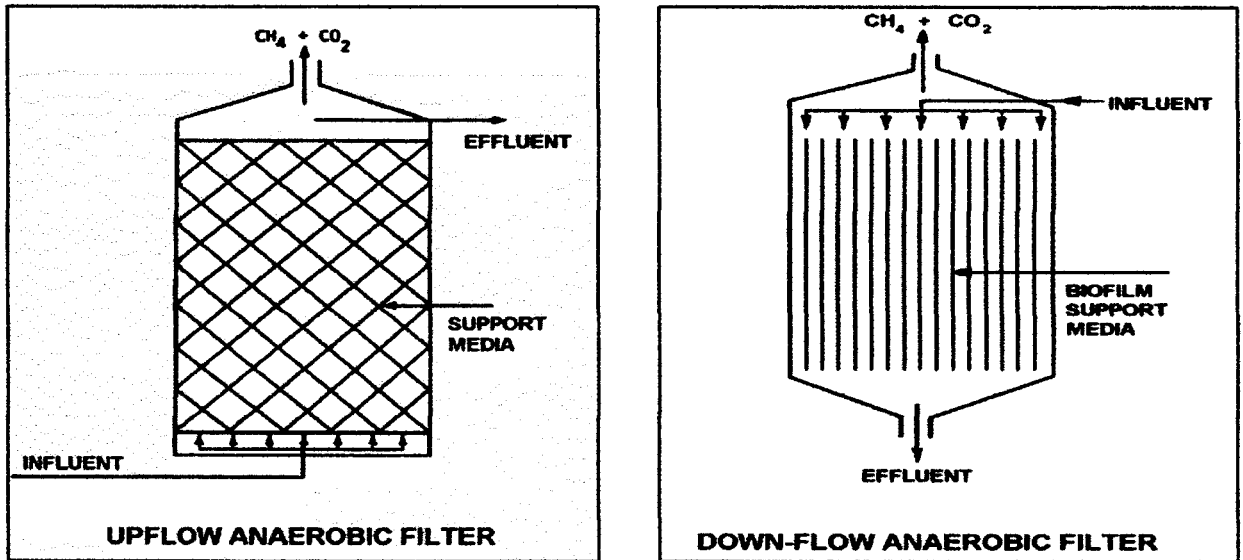
การออกแบบถังกรองไร้อากาศที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้นต้องคำนึงถึงลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์เป็นหลัก ที่อยู่บนฟิล์มชีวเข้าด้วยกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของถังปฏิกรณ์ มีดังนี้

1) โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ (Reactor configuration)

โครงสร้างของถังปฏิกรณ์นั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากถังกรองไร้อากาศมี ลักษณะของถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรอง โดยใส่วัสดุตัวกลางของถังปฏิกรณ์ การออกแบบ โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ชนิดนี้ต้องออกแบบให้บริเวณที่ไม่มีวัสดุตัวกลาง (Rludge zone หรือ Ruspended zone) และบริเวณที่ใส่วัสดุตัวกลาง (Racked zone) มีความเหมาะสมต่อประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์ ดังนั้น โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ แบบจึงมักพิจารณาจากค่าสัดส่วนความสูงของวัสดุตัวกลางต่อความสูงของถังปฏิกรณ์ (Hp/H)

2) ทิศทางการป้อนสารอาหารเข้าถังปฏิกรณ์

ทิศทางการป้อนสารอาหาร (ภาพที่ 2.8) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากทิศทางการป้อนสารอาหารแต่ละแบบมีผลต่อการเริ่มต้นระบบ (Start-up) และการดำเนินระบบให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารอาหารและการกระจายตัวของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ ทิศทางการป้อนสารอาหารเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นั้นสามารถทำได้หลายทางไม่ว่าจะ ป้อนทางด้านล่าง (Upflow) ทางด้านบน (Downflow) หรือทางด้านข้าง (Horizontal หรือ Side flow) ของถังปฏิกรณ์ ซึ่งในการป้อนสารอาหารทางด้านข้าง (Horizontal หรือ side flow) ไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนัก สำหรับการป้อนสารอาหารทางด้านล่าง (Upflow) ของถังปฏิกรณ์นั้น การเริ่มต้นระบบของถังปฏิกรณ์เกิดได้เร็วกว่าที่มีการป้อนสารอาหาร ทางด้านบน (Downflow) ของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากสารอาหารมีการไหลวนอย่างทั่วถึง และอยู่ภายในถังปฏิกรณ์ได้นานกว่าส่งผลให้จุลินทรีย์สัมผัสและได้รับสารอาหารเป็น เวลานานจุลินทรีย์จึงเจริญเติบโตได้เร็วยิ่งขึ้น การป้อนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเส้นใย ชีวที่ทำการศึกษาระบบป้อนทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ (Up-flow Anaerobic Fixed Film) ขึ้นด้านบน ซึ่งจะสามารถลดปัญหาการอุดตันลงได้มาก



ภาพที่ 2.8 ทิศทางการไหลของน้ำในถังกรองไร้อากาศ

3) การผสมหรือการกวนผสม (mixing system)

การไหลของน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรอง ส่วนใหญ่มักเป็นแบบ Plug flow (เกิด Gradient ของสารอาหารภายในถังปฏิกรณ์) ทำให้เกิดมีบริเวณที่เป็น Dead zone ขึ้น ส่งผลให้การเปลี่ยนสารอาหารเป็นก๊าซมีเทนเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องมีระบบผสมภายในถังปฏิกรณ์เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสารอาหารได้อย่างทั่วถึง ซึ่งการผสมที่เหมาะสมเป็นการเพิ่มการผลิตก๊าซมีเทนและอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ เนื่องจากเป็นการเพิ่มสัมผัสระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ทำให้ลดความเข้มข้นของสารพิษภายในถังปฏิกรณ์ และที่สำคัญที่สุดเพิ่มเสถียรภาพของระบบ อีกทั้งยังสนับสนุนการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไป ในกระบวนการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพสูง (High-rate digesters) การกวนผสมจะเป็นการปรับปรุงการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) ระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์และป้องกันการเกิด Scum ที่ระดับน้ำรวมทั้งการตกตะกอน (Sediment) ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ดังนั้นการผสมหรือการกวนผสม (Mixing system) ภายในถังปฏิกรณ์ที่ดีต้องประกอบไปด้วย 3 วิธีการดังต่อไปนี้

ก) การวนกลับ (Recirculation) ภายในถังปฏิกรณ์

ข) การแพร่กระจายหรือแทรกซึมของก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายภายในถังปฏิกรณ์

ค) การกวนโดยใช้เครื่องกวนผสม (Mechanical mixers) ได้แก่ ใบพัดหรือการพ่นก๊าซโดยปกติใช้ความเร็วต่ำเพื่อให้ของเหลวมีการเคลื่อนไหวภายในถังปฏิกรณ์ จุดประสงค์เพื่อต้องการรักษาสภาพความเร็วของของเหลวให้เพียงพอเพื่อที่จะอยู่ในสภาพของแข็งที่แขวนลอย (Rittmann and McCarty, 2000) สำหรับการกวนผสมของสารอาหารภายในถังปฏิกรณ์ทำให้มีฟองก๊าซเกิดขึ้นไม่ได้ช่วยให้สารอาหารกระจายได้อย่างทั่วตลอดแนวของถังปฏิกรณ์ ทำให้บางจุดภายในถังปฏิกรณ์โดยเฉพาะทางเข้าของสารอาหารมีการสะสมของสารอาหารมากไป และการกระจายตัวของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ไม่ทั่วถึงจึงเกิดการสะสมสารพิษ (Toxic) ทำให้ค่าพีเอช (pH) ลดต่ำลง จนมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ รวมทั้งประสิทธิภาพการผลิตมีเทนลดลง (กัลยาณี มีเพียร, 2546)

ในทางตรงกันข้ามการ Recirculation ทำให้สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยช่วยให้สารอาหารมีการกระจายทั่วถึงยิ่งขึ้น จุลินทรีย์ที่อยู่ในตำแหน่งห่างจากทางเข้าของสารอาหารมีโอกาสสัมผัสสารอาหารมากขึ้นส่งผลให้ฟิล์มชีวหนาขึ้น จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้มาก และสามารถรักษาปริมาณจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในของเหลวได้ดี ถังปฏิกรณ์จึงสามารถรับภาระการเติมสารอินทรีย์ได้สูงขึ้น นอกจากนี้แล้วยังช่วยลดความเข้มข้นของสารอาหารให้มีค่าลดลงจนไม่ก่อปัญหาเป็นพิษต่อระบบ (Zhang and Noike, 1991) อีกทั้ง Liquid recirculation เข้าไปในถังปฏิกรณ์ยังช่วยลดความต้องการค่าอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) ค่าซีโอดี (COD) ในน้ำเสียขาเข้าระบบ (Influent) เพื่อใช้ในการควบคุมค่าพีเอช (pH) ได้อีกด้วย (Sam-Soon and Marais, 1991)

Smith and others (1996) ทำการศึกษาผลของความเร็วของของเหลว การผลิตก๊าซและความลึกของวัสดุตัวกลางต่อรูปแบบการผสมหรือการกวนผสม (Mixing system) ภายในถังกรองไร้อากาศ (AF) จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า การกวนผสมกันภายในระบบเป็นผลมาจากก๊าซที่ผลิตขึ้นภายในถังปฏิกรณ์มากกว่าความเร็วในการไหลของของเหลว และนอกจากนี้การลดปริมาณของวัสดุตัวกลางยังส่งผลให้มีการผสมกันมากขึ้น เนื่องจากมีช่องว่างของ Void มาก และก๊าซที่เกิดขึ้นทำให้เกิดเป็น Turbulence ภายในระบบ อีกทั้งในระดับ Pilot plant การผลิตก๊าซยังมีผลต่อการผสมกันภายในถังปฏิกรณ์ อย่างไรก็ตามความเร็วของของเหลวก็ยังมีหน้าที่สำคัญในการกระจายของแข็งในตัวกรองร่วมกับความลึกของวัสดุตัวกลางที่ความเข้มข้นของของแข็งค่าความเร็วของของเหลวที่สูงจะชกตะกอนก้นถังปฏิกรณ์ขึ้นเป็นการเพิ่มแหล่งผลิตก๊าซ

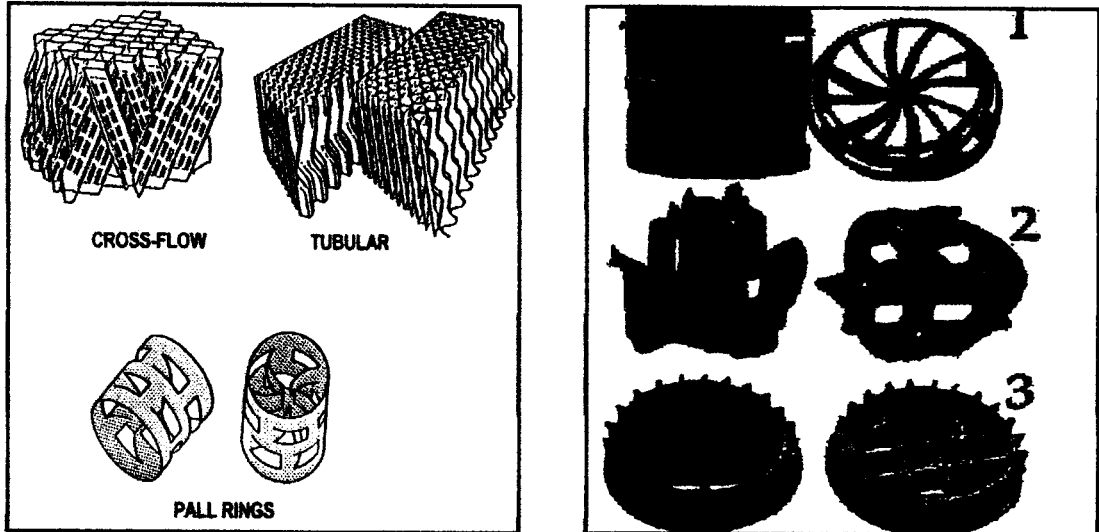
สำหรับการลดปริมาณของวัสดุตัวกลางเป็นการเพิ่มระดับของการผสมสำหรับความเร็วของของเหลวที่ให้กับระบบและพื้นที่ผิวของก๊าซ เมื่อความลึกของวัสดุตัวกลางลดลง ระบบต้องมีความเร็วในการไหลของของเหลวต่ำเพื่อป้องกันการสูญเสียชีวมวลที่มากเกินไปเพราะว่าเมื่อความเร็วของของเหลวและก๊าซสูงทำให้อัตราการเนือนเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีการหลุดของชีวมวลออกจากวัสดุตัวกลางและหลุดออกจากระบบ (Washout) ได้ง่ายขึ้น

Borja and others (1996) ได้ทำการทดลองใช้ถังปฏิกรณ์แบบลูกผสม วัสดุตัวกลางที่ใช้เป็น Clay ring ในการบำบัดน้ำเสียจากน้ำล้างที่โรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ระยะเวลา Start-up 10 วัน โดยป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (Continuous loading) และใช้สัดส่วนในการ Recirculation ที่ 4 :1 ผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า สามารถรับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ได้ 17.8 กิโลกรัมชีโอติ/ลูกบาศก์เมตร/วันที่ HRT 0.45 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 89 และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ จากถังปฏิกรณ์ได้ถึง 6.88 ลิตร/ปริมาตรถัง/วัน พบว่า Recirculation มีผลทำให้การผสมระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นรวมทั้งการ Backwash sludge ให้ลงไปอยู่ในบริเวณ

4) วัสดุตัวกลาง (Supporting media)

วัสดุตัวกลาง (ภาพที่ 2.9) เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อการดำเนินงานของถังกรองไร้อากาศ เนื่องจากวัสดุตัวกลางนี้มีส่วนช่วยในการกักจุลินทรีย์ไว้ภายในถังปฏิกรณ์โดยจุลินทรีย์จะเกาะอยู่บนพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลาง (ภาพที่ 2.10) โดยถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) จะมีการบรรจุตัวกลางทั้งแบบสุ่ม ไม่เป็นระเบียบ (Random Pack) และใช้ตัวกลางเป็นชุด (Module) วางอย่างเป็นระเบียบ โดยมีทั้งแบคทีเรียที่จับผิววัสดุและที่ถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของตัวกลาง โดยแบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีทั้งแบคทีเรียที่จับผิววัสดุและที่ถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของตัวกลางถึงกรองไร้อากาศ สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยและสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ โดยการคั่งสารอินทรีย์เข้ามาใกล้ผิวแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลาง นอกจากนี้อาจมีแบคทีเรียบางส่วนอาศัยการเกาะติดบนผนังของถังปฏิกรณ์ ตัวกลางที่ใช้ในระบบถังกรองไร้อากาศสามารถใช้ได้หลากหลายแบบ เช่น กรวด หิน โฟม พลาสติก เป็นต้น โดยตัวกลางที่ดีจะต้องมีพื้นที่ผิวสูงเพราะทำให้มีบริเวณที่ให้แบคทีเรียอาศัยได้มาก ปกติตัวกลางที่ใช้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface Area) อยู่ในช่วง 90-300 ม.2/ม.3-ปริมาตรตัวกลาง ในช่วงแรกแบคทีเรียจะเป็นชนิดที่เกาะติดบนตัวกลางอย่างเฉิว เมื่อระบบเดินไปได้ระยะหนึ่งจะมีแบคทีเรียที่หลุดและเติบโตอยู่ในช่องว่างของตัวกลางในลักษณะ

แขวนลอย ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวกลางจะมีความสำคัญน้อยกว่าความสามารถในการรักษาตะกอนเหล่านี้



ภาพที่ 2.9 ตัวกลางที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ



ภาพที่ 2.10 ลักษณะการเกาะของฟิล์มชีวภาพ

ดังนั้นในการสร้างและออกแบบถังกรองไร้อากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานสูง ควรต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุตัวกลางที่จุลินทรีย์สามารถเกาะได้ดี อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันหรือการไหลล้นดวงจรขึ้นในถังปฏิกรณ์ อย่างไรก็ตาม การเลือกวัสดุตัวกลางมาใช้ในถังปฏิกรณ์นั้นต้องคำนึงถึงลักษณะดังต่อไปนี้

ก) พื้นผิวของวัสดุตัวกลาง : วัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวช่วยให้อุณหภูมิเกาะได้เร็ว และสม่ำเสมอกว่าวัสดุตัวกลางที่มีผิวเรียบ

Wilkie and Collieran (1984) จากการทดลองเปรียบเทียบการเกิดฟิล์มชีวบนวัสดุตัวกลางชนิดต่างๆ ภายในถังปฏิกรณ์ คือ ดินเหนียว หินปะการังเปลือกหอย และพลาสติกที่มีรูปร่างเป็น Pall ring ในช่วงเริ่มต้นระบบ (Start-up) พบว่า การเริ่มต้นระบบเกิดขึ้นรวดเร็วที่สุดเมื่อใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุตัวกลาง และมีประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์ดีที่สุดเป็นเพราะว่าดินเหนียวมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรค่าที่สุดและมีผิวขรุขระที่สุด และประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์ช้าที่สุดเมื่อใช้เปลือกหอยเป็นวัสดุตัวกลาง

ข) ความพรุน (Porosity) และขนาดของรูพรุน (Pore size) : ถ้าวัสดุตัวกลางมีรูพรุนและขนาดของรูพรุนที่เหมาะสม (1-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์จุลินทรีย์) รูพรุนจะทำตัวเสมือนเป็นเปลือกหุ้มกลุ่มเซลล์จุลินทรีย์สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับเซลล์จุลินทรีย์จากการไหลของของเหลวที่ไหลด้วยอัตราความเร็วสูงๆ ได้ และทำหน้าที่ดักจับ จุลินทรีย์

Anderson and others (1994) ทำการศึกษาถึงตัวกลางที่มีความพรุนและไม่มี ความพรุนต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบไหลขึ้น โดยน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากโรงงานนมบรรจุขวด มีซีไอดีเท่ากับ 1,500-5,500 มิลลิกรัม/ลิตร และพีเอชเท่ากับ 10-11 จากผลการทดลองพบว่าตัวกลางที่มีความพรุนสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากกว่าตัวกลางที่ไม่มี ความพรุน โดยสามารถรองรับได้สูงถึง 21 กิโลกรัมซีไอดี/ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และการหลุดออกของจุลินทรีย์ที่เกาะที่ตัวกลางมีปริมาณน้อยกว่าตัวกลางที่ไม่มี ความพรุนเมื่อความเร็วไหลขึ้นสูงขึ้น และพบว่าในตัวกลางที่มีความพรุนจะพบจุลินทรีย์ ชนิดเกาะติดอยู่เป็นจำนวนมากตามรูพรุน แต่เนื่องจากว่าตัวกลางชนิดไม่มีความพรุนไม่มีช่องว่างหรือรูพรุนให้จุลินทรีย์ยึดเกาะจึงไม่พบจุลินทรีย์ชนิดนี้ในตัวกลาง

Murray and Van den Berg (1981) และ Young and Dahab (1983) ทำการศึกษา ผลของวัสดุตัวกลางต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์เมื่อใช้วัสดุตัวกลางที่แตกต่างกันทั้ง 4 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีความพรุนเท่ากัน คือ ร้อยละ 95 และมีพื้นที่ผิวและ

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนต่างกัน โดยบรรจุตัวกลางแบบสุ่ม (Random) พบว่าถึงปฏิกรณ์ที่บรรจุวัสดุตัวกลางที่มีขนาดรูพรุนสูงสุดให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดที่ทุกๆ อัตราการป้อนสารอาหารที่ทำการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สัมพันธ์กับ ชนิด ขนาดและรูปร่างของวัสดุตัวกลาง

ค) พื้นที่ผิวต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์ : วัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงส่งผลทำให้มีจุลินทรีย์มาเกาะกับวัสดุตัวกลางได้มากขึ้นจึงเท่ากับว่าเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์

Kennedy และ Droste (1986) ได้ศึกษาผลที่ทำให้เพิ่มอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ได้สูงและเร็วขึ้นในกรณีของถังปฏิกรณ์แบบตัวกรองจุลินทรีย์ นอกจากจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิววัสดุแล้ว จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ยังถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของวัสดุตัวกลาง (Void) ในกรณีเช่นนี้ถ้ามีปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์สูง จะมีผลเช่นเดียวกับการใช้วัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์สูง เช่น ในถังปฏิกรณ์แบบครึ่งฟิล์ม (AFF) นอกจากนี้ในการศึกษาของถังปฏิกรณ์แบบครึ่งฟิล์มที่ทำการทดลองโดยที่ลด HRT ให้สั้นลง จุลินทรีย์ส่วนที่เกาะอยู่บนวัสดุตัวกลางจะมีผลต่อการทดลองมากกว่าจุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำหมัก (จุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยจะถูกดึงออกไปพร้อมกับน้ำทิ้งขาออก หรือ Effluent) ลักษณะรูปทรงและการเรียงตัวของวัสดุตัวกลางภายในถังปฏิกรณ์ : รูปทรงของวัสดุตัวกลางมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเรียงตัวของวัสดุตัวกลางในถังปฏิกรณ์และมีผลต่อการคงอยู่ของการกักชีวมวลภายในถังปฏิกรณ์ นอกจากคุณลักษณะต่างๆของวัสดุตัวกลางที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้งานแล้วยังต้องคำนึงถึงความสะดวกและความเหมาะสมในการนำมาใช้งานอีกด้วย เช่น หาได้ง่าย มีราคาถูกและมีน้ำหนักเบา เป็นต้น จึงได้มีการพัฒนาชนิดของวัสดุตัวกลางที่ใช้ภายในถังปฏิกรณ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกักชีวมวลให้อยู่ภายในระบบและป้องกันปัญหาจากการอุดตันได้ดีอีกทั้งง่ายต่อการดูแล หนาแน่นมากขึ้นจะมีความสามารถในการกักเก็บชีวมวลให้อยู่ในระบบได้นานขึ้นทำให้มีปริมาณชีวมวลมากขึ้น

ง) ลักษณะรูปทรงและการเรียงตัวของวัสดุตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ : รูปทรงของวัสดุตัวกลางมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเรียงตัวของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศและมีผลต่อการคงอยู่ของการกักแบคทีเรียภายในถังปฏิกรณ์ นอกจากคุณลักษณะต่างๆของวัสดุตัวกลางที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้งานแล้วยังต้อง

คำนึงถึงความสะดวกและความเหมาะสมในการนำมาใช้งานอีกด้วย เช่น หาได้ง่าย มีราคาถูกและมีน้ำหนักเบา เป็นต้น จึงได้มีการพัฒนาชนิดของวัสดุตัวกลางที่ใช้ภายในถังกรองไร้อากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพ ภาพสูงสุดในการกักชีวมวลให้อยู่ภายในระบบ และป้องกันปัญหาจากการอุดตันได้ดีอีกทั้งง่ายต่อการดูแลรักษา

Wangnai and others (1997) ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบลูกผสมระหว่างถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองกับแบบตะกอนลอยในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ใช้มีค่าสัดส่วนความสูงของวัสดุตัวกลางต่อความสูงถังปฏิกรณ์เป็น 1/2 (0.5) และใช้วัสดุตัวกลางเป็นเส้นเชือกที่ทำจากเส้นใยไนลอน (Nylon fiber) ใส่เส้นใยไนลอนในถังปฏิกรณ์เท่ากับร้อยละ 2.75 (ปริมาตรของเส้นใยไนลอนต่อปริมาตรของบริเวณที่ใส่วัสดุตัวกลาง) จากผลการทดลองพบว่า สามารถรับภาระการเติมสารอินทรีย์ได้สูงถึง 6 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ที่ HRT 4 วัน ภายในระยะเวลา 3 เดือน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 80 รวมทั้งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.4-0.5 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดและมีองค์ประกอบก๊าซมีเทน (CH₄) สูงถึงร้อยละ 70 ของก๊าซชีวภาพ

เฉลิมเดช พิลาศรี (2544) ได้ปรับปรุงการเรียงตัวของวัสดุตัวกลางให้มีการกระจายตัวของเส้นใยเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มปริมาตรของส่วนที่เป็น Packed zone เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของชีวมวลและการแพร่กระจายของสารอาหารเป็นไปด้วยดี จากการศึกษาในถังปฏิกรณ์แบบลูกผสมทั้ง 3 ถัง ซึ่งมีขนาด 6 ลิตร แต่ละถังปฏิกรณ์ใส่วัสดุตัวกลางซึ่งเป็นเส้นเชือกที่ทำจากไนลอน (Nylon fiber) ซึ่งปริมาณของเส้นใยไนลอนที่ใส่ลงไปในแต่ละถังมีพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางเท่ากัน คือ 0.84 ตารางเมตร โดยมีสัดส่วนความสูงของวัสดุตัวกลางต่อความสูงของถังปฏิกรณ์ (Hp/H) แตกต่างกันเป็น 0.375, 0.50 และ 0.625 ตามลำดับ มีผลทำให้ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลางในบริเวณส่วนของวัสดุตัวกลาง (Packed zone) เป็น 44, 33 และ 26 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบว่าถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง สามารถรับภาระการเติมสารอินทรีย์ได้สูงถึง 10 กิโลกรัมซีโอดี/ตารางเมตร.วัน ที่ HRT 2 วัน โดยทุกถังสามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 95 แต่ถังที่มีความหนาแน่นของวัสดุตัวกลางเป็น 26 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ไม่สามารถรักษาเสถียรภาพไว้ได้เมื่อลด HRT เหลือ 1 วัน แต่สามารถดำเนินการที่ HRT 1 วัน ได้นานกว่าอีก 2 ถัง และสามารถทนทานต่อ HRT shock loading ได้นานกว่าถังปฏิกรณ์ชนิดอื่น ซึ่งลักษณะของจุลินทรีย์บนวัสดุตัวกลางในถังปฏิกรณ์ที่มีความหนาแน่น 26 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรนี้ ลักษณะ

จุลินทรีย์บนวัสดุตัวกลางมีลักษณะเป็น Attachment มากกว่า Entrapment เมื่อเทียบกับถึงปฏิกรณ์ที่มีความหนาแน่นของวัสดุตัวกลางที่สูงกว่าจึงทำให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ยากกว่าเมื่อลด HRT หรือเพิ่มอัตราการไหลอย่างกระทันหัน และจากลักษณะการกระจายตัวของชีวมวลที่ดีและมีปริมาณที่มากเมื่อดำเนินระบบเป็นระยะเวลานานทำให้เสถียรภาพของถึงปฏิกรณ์นี้ดีกว่าถึงปฏิกรณ์อื่นที่มีความหนาแน่นของวัสดุตัวกลางสูงกว่า

สรุปได้ว่าวัสดุตัวกลางมีความจำเป็นและสำคัญมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ แต่ก็มีข้อดีและข้อเสียดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของถังกรองไร้อากาศแบบที่มีวัสดุตัวกลาง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้น (Start-up) ระบบ และระยะเวลาการกักเก็บของเหลว (HRT) สั้น 2. มีอัตราการรับภาระสารอินทรีย์สูงทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูง 3. ระบบมีเสถียรภาพ (Stability) สูง 4. ระบบสามารถทนต่อการรบกวนของสารพิษหรือสารยับยั้ง	1. ค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุตัวกลางค่อนข้างสูง 2. เมื่อระบบดำเนินการเป็นระยะเวลานานพบว่ามีปัญหาการอุดตันและการไหลล้นควมจรรื่นภายในระบบ 3. มักเกิดปัญหาเรื่องการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) และระบบมีการกระจายตัวของน้ำเสียเข้าได้ไม่ดี

ที่มา: รวบรวมจาก Guiot and vanden Berg (1984), Guiot and van den Berg (1985) และ Chung and Choi (1993)

3.4 ปัจจัยทางด้านสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการดำเนินการของถังกรองไร้อากาศ

การรักษาสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ภายในถึงปฏิกรณ์มีความสำคัญมากต่อการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ เพราะจุลินทรีย์พวกนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจนอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ การควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่องสามารถทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและมีสัดส่วนที่ดี ส่งเสริมให้ประสิทธิภาพของระบบเป็นไปได้ด้วยดี

1) คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำเสีย

คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพมาก เนื่องจากองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำเสียเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบ ถ้าน้ำเสียมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้มาก อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของระบบก็มาก แต่ถ้าองค์ประกอบของน้ำเสียเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยากและมีสารที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นน้อย

นอกจากนี้องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมหรือยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ซึ่งถ้าสารอินทรีย์นั้นเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล ก็จะชักนำให้จุลินทรีย์รวมตัวกันเกิดเป็นแกรนูล ทำให้เพิ่มความสามารถในการตกตะกอนได้ดี แต่ถ้าเป็นพวกแป้งข้าวโพคหรือน้ำกากส่า ต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบ จากการทดลองของ Oleszkiewicz และ Romanek (1998) ได้ทำการทดลองโดยใช้สารอาหาร แคลเซียมฟอสเฟอรัส และเหล็ก ลงไปในถังปฏิกรณ์ พบว่าถังปฏิกรณ์ที่ใส่เหล็ก 40 มิลลิกรัม/ลิตร ช่วยสนับสนุนการเกิดแกรนูลของตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี อีกทั้งเมื่อเพิ่มภาระการรับสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วแกรนูลก็ยังไม่ถูกสลาย และระบบก็ยังทำงานได้ดี แต่แคลเซียมและฟอสเฟตเป็นอันตรายต่อการทำงานของระบบ การล้มเหลวของระบบอันเนื่องมาจากการที่น้ำเสีย มีองค์ประกอบของโลหะหนักมากเกินไปส่งผลให้ค่าพีเอชของระบบและการผลิตก๊าซมีเทนลดลง เนื่องจากการผลิตกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น

2) ความเข้มข้นของน้ำเสีย

ความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความสำคัญต่ออัตราการผลิตก๊าซมีเทนเนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ ถ้าน้ำเสียที่ใช้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้มาก การผลิตก๊าซมีเทนก็มากด้วย แต่ถ้ามีสารอาหารมากไปก็จะไปยับยั้งการเจริญของพวก Methanogen ทำให้ระบบล้มเหลวได้ ซึ่งตามทฤษฎีการผลิตก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสนั้นจะต้องได้ก๊าซมีเทน 0.35 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด แต่ถ้าน้ำเสียมีซีไอดีน้อยกว่า 2,000-3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่เพียงพอที่จะผลิตก๊าซมีเทนเพื่อใช้เป็นพลังงาน (รศวัลย์ มารินทร์, 2543)

3) ภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading)

ภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่ การเปลี่ยนแปลงภาระการ

รับสารอินทรีย์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสารอาหาร (น้ำเสียเข้า) ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาในการกักเก็บของเหลวและของแข็งในระบบ และการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบภายในน้ำเสีย ซึ่งในทางปฏิบัติการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าทำได้ง่ายกว่าถ้ามีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปจะส่งผลให้เพิ่มไฮโดรเจนไอออนและกรดอินทรีย์ให้กับระบบ ซึ่งไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดนี้จะไปยับยั้งการย่อยสลายกรดอินทรีย์ของแบคทีเรียพวก Acetogen ทำให้มีกรดอินทรีย์ในระบบสูงขึ้น จนกระทั่งไปยับยั้ง การเจริญของพวก Methanogen

4) การป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบ

การป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในการเริ่มต้นระบบ เนื่องจากในการย่อยสลายสารอาหารไปเป็นก๊าซชีวภาพนั้นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ Nonmethanogen กับ Methanogen โดยจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มต้องมีสัดส่วนที่พอดี ถ้ามีปริมาณ Nonmethanogen สูงกว่ามักทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์และก๊าซที่ได้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ดังนั้นการเติมสารอินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นระบบจึงมีความสำคัญต่อสมดุลของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่ม การเติมสารอาหารในระยะแรกถ้ามีการเติมอย่างช้าๆ ทำให้รักษาสมดุลของเชื้อได้และทำให้ระบบสามารถรับภาระการเติมสารอินทรีย์ที่สูงๆ ในระยะเวลาต่อมาได้คิดแต่ถ้าเพิ่มการเติมอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณของ Non-methanogen มากกว่า Methanogen ระบบล้มเหลวได้ง่าย (กัลยาณี มีเพชร, 2546)

5) ค่าอัลคาไลน์ (Alkalinity)

ค่าอัลคาไลน์เป็นค่าที่แสดงความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอนมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรของ CaCO_3 ค่าอัลคาไลน์เป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าระบบมีค่านี้สูง แสดงว่าระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าพีเอชของระบบให้คงตัวอยู่ได้นานไม่เกิดการแปรปรวนของค่าพีเอชได้ง่ายเมื่อมีการเพิ่มปริมาณกรดในระบบ ค่าอัลคาไลน์มีผลทางอ้อมต่อการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ค่าอัลคาไลน์ที่เหมาะสมกับระบบการบำบัดน้ำเสียมักมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1,000-3,000 มิลลิกรัม/ลิตรของ CaCO_3 ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นค่าก็คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มิลลิกรัม/ลิตรของกรดอะซิติก) ต่อระดับของ Bicarbonate alkalinity มิลลิกรัม/ลิตร ของ CaCO_3 คราบไคที่อัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 จัดว่าระบบมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในระดับที่พี

เอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพียงเล็กน้อย (สันทัก ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

6) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid ; VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายหรือ VFA ได้แก่พวก กรดอะซิติก กรดบิวทีริก กรด โพรพิโอนิก กรดฟอร์มิก เป็นต้น การที่พบกรดพวกนี้ในปริมาณมากมักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ เนื่องจากกรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ ระบบที่มีการสะสมของ VFA ในปริมาณที่มากในช่วงแรก VFA จะมีผลทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลง ต่อมาถ้ายังไม่มีการใช้หรือการกำจัด VFA ให้มีปริมาณน้อยลงอีก ค่าพีเอชของระบบก็จะลดต่ำลงและถ้าค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน ซึ่งปริมาณกรด โพรพิโอนิกที่ใช้เป็นตัวทำนายการล้มเหลวของระบบนั้น ถ้ามากกว่า 3 กรัม/ลิตร บ่งชี้ถึงสภาพของระบบที่ต้องดูแลอย่างใกล้ชิด ส่วนกรด ไอโซวาเลอริก และ ไอโซบิวทีริก ถ้ามีในปริมาณน้อยกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพปกติ แต่ถ้ามี 5-15 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าระบบเริ่มมีปัญหา และถ้ามากกว่า 15 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าระบบล้มเหลว ถ้าระบบล้มเหลวเนื่องจากมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์สูง วิธีแก้ไขที่ดีที่สุดให้ระบบกลับมาทำงานได้ใหม่คือ ถ้างัดปฏิกรณ์นั้นเป็นแบบแขวนลอยให้หยุดป้อนอาหารให้กับระบบจนกระทั่งความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ลดลงอยู่ในระดับปกติแล้วค่อยเริ่มต้นใหม่ โดยทั่วไประบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศจะทำงานได้ดีที่ปริมาณวีเอฟเอ 500-600 มิลลิกรัม/ลิตร

Alonso (1992) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่อระยะเวลาในการบำบัดในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบ Fluidized-bed ที่มีการป้อนอะซิเตทอย่างเฉิว และป้อนด้วยอะซิเตท 10-80 มิลลิโมลาร์ กับ โพรพิโอนัท 4-10 มิลลิโมลาร์ พบว่าที่ระดับ 27 ความเข้มข้นของอะซิเตทสูงกว่า 13-15 มิลลิโมลาร์ การย่อยสลายโพรพิโอนัทจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์

มาลินี จงเจริญใจ (2540) ศึกษาผลของกรดแลกติกต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าการย่อยสลายกรดแลกติกจะถูกยับยั้งเมื่อมีการสะสมของกรดอะซิติก 40 มิลลิโมลาร์ และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดแลกติกสูงถึง 100 มิลลิโมลาร์ จะมีการใช้กรด

แลกติกได้ช้าลงแม้ว่าจะมีกรดอะซิติกสะสมอยู่ไม่ถึง 20 มิลลิโมลาร์

7) อุณหภูมิ (Temperature)

เนื่องจากการทำงานของถังปฏิกรณ์ต้องอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถเจริญ

เคิบโตและเกิดเมตาบอลิซึมได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดชนิดของแบคทีเรียที่เด่น (Dominant) ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งปฏิกิริยาชีวเคมีจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงของอุณหภูมิ 2 ช่วงคือ ช่วง Mesophilic มีอุณหภูมิระหว่าง 30-38 องศาเซลเซียสและช่วง Thermophilic มีอุณหภูมิระหว่าง 48-57 องศาเซลเซียส (Chung และ Choi, 1993) และที่อุณหภูมิสูงจุลินทรีย์มีเมตาบอลิซึมสูงกว่าและมีอัตราการเจริญสูงกว่า แต่ค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบและจุลินทรีย์ที่เจริญที่อุณหภูมิสูงไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีเท่ากับที่อุณหภูมิปานกลาง

8) สารอาหาร (Nutrients)

โดยทั่วไปแบคทีเรียนอกจากจะต้องการสารอาหารหลักในการเจริญเคิบโตแล้วยังต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเคิบโตของแบคทีเรียได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) นอกจากนี้ยังมี Trace element ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเคิบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogen ได้แก่ Ni, Co, Fe, Cu, Mg, Ca, Br, Se, S, K และ Mo ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดฟิล์มชีวและการเจริญเคิบโตของจุลินทรีย์ (Annachhatre และ Bhamidimarri, 1992)

9) ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogen ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่มีส่วนช่วยในการเจริญเคิบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้คือ 2 โมลาร์ขึ้นไปแต่ถ้าสูงเกินไปก็จะไปยับยั้งการเจริญ (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549 และ Sastry and Vickineswaty, 1995)

10) ค่าพีเอช

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์เนื่องจากมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์แต่ละตัวทำงานได้ที่ช่วงพีเอชแคบๆ และมีกิจกรรมสูงสุดที่พีเอชที่เหมาะสม (Lay and others, 1997) ดังนั้นจุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเคิบโตและเมตาบอลิซึมที่แตกต่างกันในถังปฏิกรณ์แบบลูกผสมอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมภายในถังปฏิกรณ์จึงเป็นช่วงผลรวมของค่าพีเอชที่เหมาะสมของแบคทีเรียทั้งหมด คือ 6.5-7.8 ถ้าพีเอชสูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเพราะสภาวะที่เป็นกรดเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน (Chung และ Choi, 1993)

11) สารพิษ (Toxic substance) หรือสารหยุดยั้ง

สารอาหารที่ใส่เข้าไปเพื่อช่วยในการเจริญเคิบโตของจุลินทรีย์ ถ้ามีการสะสมอยู่ในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษขึ้นอยู่กับ

ชนิดและปริมาณของสารนั้นๆ สารที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ กรดโวลลาไทล์ แอมโมเนีย (มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร) โลหะหนักต่างๆ แคลเซียมของโลหะเบา (โซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 3,500, 2,500, 1,500, 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซัลไฟด์ละลายน้ำ (มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารประกอบของโลหะ โดยสารที่มีลักษณะ โครงสร้าง เป็นวงแหวนซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ ถ้ามีอยู่ในระบบมากเกินไปจะทำให้เป็นพิษต่อแบคทีเรียได้

Fang and Hui (1994) ได้ทำการศึกษาผลของโลหะหนักต่อกิจกรรมในการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายแป้งที่ความเข้มข้น 3 กรัม/ลิตร ซึ่งโลหะหนักที่นำมาใช้ในการทดลองคือ แคลเซียม โครเมียม โคบอลต์ นิกเกิล และสังกะสี พบว่าแคลเซียมมีความเป็นพิษต่อการย่อยสลายของMethanogen น้อยกว่าธาตุอื่น ซึ่งกิจกรรมของ Methanogen ลดลงเมื่อปริมาณของโลหะหนักเพิ่มขึ้นผลที่ได้สามารถสรุปความเป็นพิษต่อ Methanogen ได้ดังนี้ สังกะสี > นิกเกิล > โคบอลต์ > โครเมียม > แคลเซียม ซึ่งปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ใช้ในการสลายแอมโมเนียไปร้อยละ 50 ของแอมโมเนีย 1 กรัม คือ สังกะสี 105, นิกเกิล 120, โคบอลต์ 180, โครเมียม 310 และแคลเซียมมากกว่า 400 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ปริมาณซัลเฟตในระบบมีผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในกลุ่ม Methanogen เพราะทำให้มีการแข่งขันการใช้สารอาหารระหว่างแบคทีเรียพวก Sulfate reducing bacteria และ Methanogen ถ้ามีซัลเฟตสูงๆ จะไปกระตุ้นการเกิดกิจกรรมของพวก Sulfate reducing bacteria และผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา ส่งผลยับยั้งการเจริญของพวก Methanogen ทำให้การผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศลดลง (กัลยาณี มีเพียร, 2546 และ สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

3.5 ปัจจัยทางด้านจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศบ่ไผ่จีน

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ผลิตกรดอินทรีย์ (Non-methanogenic bacteria) และพวกที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria)

1) แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

แบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นพวก Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการ

เจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ CO_2/H_2 แอมโมเนีย และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 และทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

ก) Acidogenic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิดและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสาร โมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดฟอร์มิก กรดบิวทีริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้พวกแอลกอฮอล์ และคีโตน อะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยพวกที่เป็น Obligately anaerobic bacteria และ Facultative anaerobic bacteria (กัลยาณี มีเพชร, 2546) ได้แก่ Family Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Lactobacillaceae และ Streptococcaceae

ข) Acetogenic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการ Hydrolysis และ Acidogenesis แล้วให้กรดอะซิติกเป็นผลผลิต สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

- Hydrogen producing acetogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอน Hydrolysis ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นส่วน ประกอบหลายตัวแล้วได้กรดอะซิติกและไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก คาร์บอน ไดออกไซด์และไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ การย่อยสลายเอทานอล โพรพิโอนิก และบิวทีริกได้เป็นกรดอะซิติกโดย Acetogenic bacteria ดังสมการที่ 1-3



แบคทีเรียในกลุ่มนี้รวมเรียกว่า S-organism (Zeikus, 1980) ในสภาวะปกติแบคทีเรียกลุ่มนี้มักอาศัยอยู่ร่วมกัน Hydrogen-consuming methanogenic bacteria ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis relationship) ในระหว่างการย่อยสลายแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ดึงออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบไปใช้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในระบบลดลง เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรีย Methanogenic bacteria ซึ่งทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ ทำให้ระบบมีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำเหมาะสมต่อเทอร์โมไดนามิกส์ของการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์เป็นอะซิเตท ซึ่งถ้าความดันย่อยไฮโดรเจนสูงจะทำให้การเกิดอะซิเตทลดลง และสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพทิโอนิก กรดบิวทีริก และเอทานอลมากกว่าก๊าซมีเทนทำให้ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์มากขึ้น ค่าพีเอชของระบบลดลง เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ Methanogen

- Homoacetogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้เป็นพวก Autotroph และ Heterotroph ขึ้นอยู่กับการใช้สารอาหาร ในกรณีพวก Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม (CO_2/H_2) ในการเจริญเติบโตได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นอะซิเตท ส่วนพวก heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งบิวทีเรทและอะซิเตทซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน

2) **แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria)**

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนใช้สารอาหารได้ไม่ก้ำกัณ ในการผลิตก๊าซมีเทนสามารถแบ่งชนิดของแบคทีเรียตามการใช้สารอาหารตั้งต้นได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

ก) Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs ซึ่งเปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 4



แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญโดยช่วยคงสภาวะให้มีระดับความดันไฮโดรเจนต่ำจึงจำเป็นสำหรับการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ไปเป็นอะซิเตท (Bitton, 1994)

ข) Acetotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 5



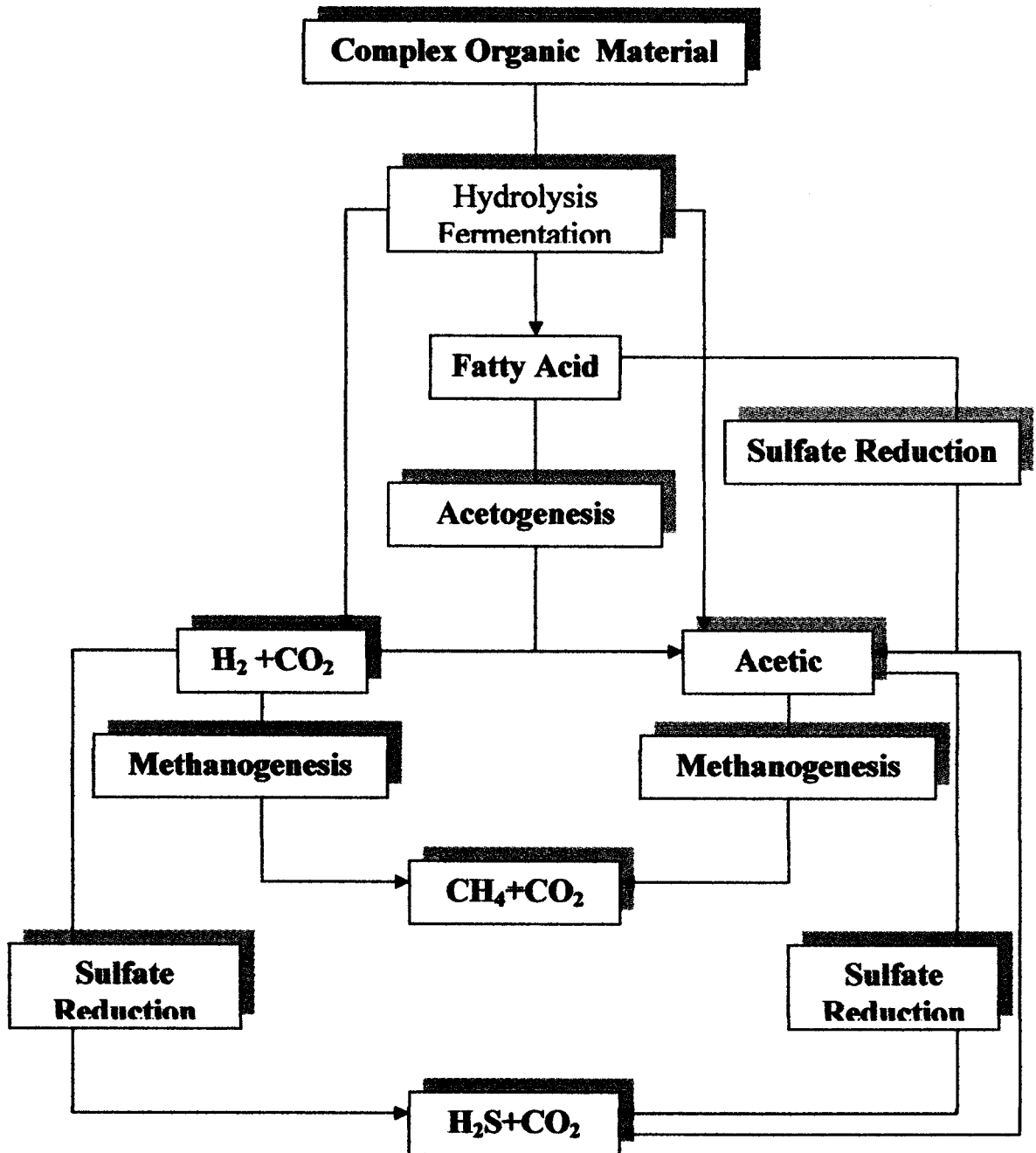
ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็น ผลของปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens (Albagnac, 1990)

3.6 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และการเกิดก๊าซชีวภาพในถังกรองไร้อากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศมีกระบวนการที่ซับซ้อนมากโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีและสารอินทรีย์มีเดียมที่เกิดขึ้นนับร้อยซึ่งในแต่ละปฏิกิริยาจะมีเอนไซม์หรือตัวคะตะลิสต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นๆ การเปลี่ยนรูปของสารประกอบหนึ่งๆ ก็อาจมีวิธีทางการเปลี่ยนรูปได้หลายขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์ (Polymer break-down) หรือแบคทีเรียที่ผลิตกรด (Acid Producing Bacteria หรือ Acid Formers หรือ Acidogens) จะปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อละลายสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบที่ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน ซึ่งสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยง่าย ในขั้นตอนนี้ยังไม่เกิดการย่อยสลายจึงไม่เกิดการลดของสารมลพิษอินทรีย์ในรูปของซีไอดีและบีไอดี



ภาพที่ 2.11 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์และการเกิดก๊าซชีวภาพในถังกรองไร้อากาศ

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียที่ผลิตกรดใช้สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ได้จากขั้นที่ 1 เป็นอาหารผลของการย่อยสลายจะเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

(Volatile Organic Acid) เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรไพโอนิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) และกรดบิวทิริก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)

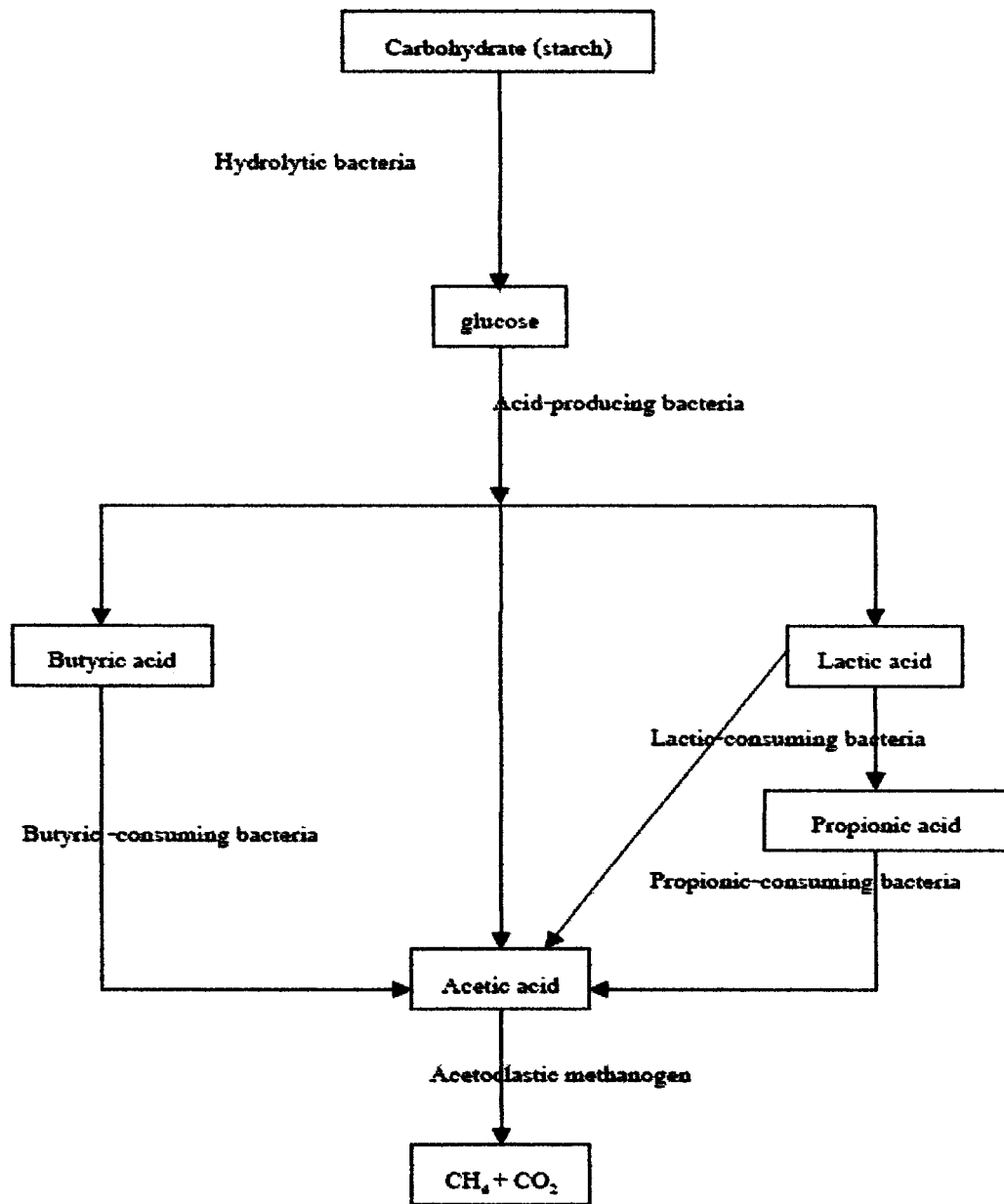
แบคทีเรียประเภทอะเซโตเจน (Acetogen) จะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจากขั้นที่ 2 ให้เป็นกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

แบคทีเรียประเภทสร้างก๊าซมีเทน (Methanogen) จะได้สารจากขั้นตอนที่ 2 และ 3 เป็นสารอาหารและปล่อยก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมา เป็นผลทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลงอย่างมาก Albagnac and others (1987) รายงานว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนและแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น และเป็นแบคทีเรียที่มีความไวต่อออกซิเจนมาก นอกจากนี้แบคทีเรียจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีถ้า Potential redox ในสารละลายตัวกลางมีค่าต่ำกว่า -500 mV

3.7 ความสำคัญของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของถังกรองไร้อากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศในถังกรองไร้อากาศ ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายประเภท เช่นแบคทีเรีย ฟังไจและโปรโตซัว เป็นต้น โดยแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่หลักในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาชีวเคมีในขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอน (Thiele, 1991) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของก๊าซชีวภาพตามขั้นตอนต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งต้องมีจำนวนและสัดส่วนของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มจะมีการเจริญเติบโตร่วมกันและทำหน้าที่ร่วมกันในการย่อยสลายได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์นั้นๆ ภาพที่ 2.12 แสดงลำดับขั้นของสารอาหาร (Trophic level) ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศในการย่อยสลายแบ่งไปเป็นก๊าซมีเทน ที่จำเป็นต่ออาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกันตามลำดับขั้น เพื่อให้ได้มาซึ่งก๊าซมีเทนที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ



ภาพที่ 2.12 Trophic levels ของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแป้งไปเป็นก๊าซมีเทนในถังกรองไร้อากาศ (ที่มา : คัดแปลงมาจาก Brown และ Tata, 1994)

Thiele (1991) ศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของก๊าซชีวภาพตามขั้นตอนต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งต้องมีจำนวนและสัดส่วนของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม จุลินทรีย์แต่ละ

กลุ่มจะมีการเจริญเติบโตร่วมกันและทำหน้าที่ร่วมกันในการย่อยสลายได้คือเพียงใดขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์นั้นๆ

ถึงแม้ว่ากระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียแต่ก็มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ซึ่งข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการนี้สรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อจำกัดกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> • รับการบรรเทาทุกสารอินทรีย์ได้สูง • มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง • Solid Retention Time (SRT) ของระบบสูง • ต้นทุนเดินระบบต่ำ เนื่องจากไม่ต้องมีการกวนผสม ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงต่ำ • มีระยะเวลาการสะสมของตะกอนแบคทีเรียสูง เนื่องจากแบคทีเรียจะสะสมอยู่บนตัวกลาง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงตามไปด้วย • ไม่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนกลับ เพราะตัวกลางภายในระบบจะคัดตะกอนไว้ภายในระบบอยู่แล้ว • จากการใช้งานระบบจริง พบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีหลังจากที่หยุดทำงานไป 15 วัน โคขไม่ต้องเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียใหม่ 	<ul style="list-style-type: none"> • ต้นทุนระบบเพิ่มขึ้นจากวัสดุตัวกลาง • กรณีถังกรองไร้อากาศแบบเรียงตัวกลางไม่เป็นระบบมักอุดตันได้ง่าย • ถังกรองไร้อากาศอาจพบปัญหาการไหลกลับวงจรและการกระจายตัวของน้ำเสียไม่ดีเพราะเมื่อใช้งานไปนานๆ อาจมีตะกอนแบคทีเรียสะสมอยู่ในปริมาณสูง ทำให้มีการอุดตันในบางตำแหน่งและเกิดการไหลกลับทางขึ้นได้ • ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง เพราะอาจเกิดการสะสมและอุดตันของสารแขวนลอยในระบบ • โคขทั่วไปมักใช้เวลาในการเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียนาน เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตช้า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยหนึ่งในประเทศไทย ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุตัวกลาง 3 ชนิดที่มีพื้นที่และขนาดต่างกันเป็นที่ใช้สำหรับให้แบคทีเรียซึบเกาะในถังกรองไร้อากาศจำลอง โดยใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเส้นใยเพื่อทำการทดลองหาข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) ซึ่งประชากรและกลุ่มตัวอย่างของการวิจัยมีดังนี้

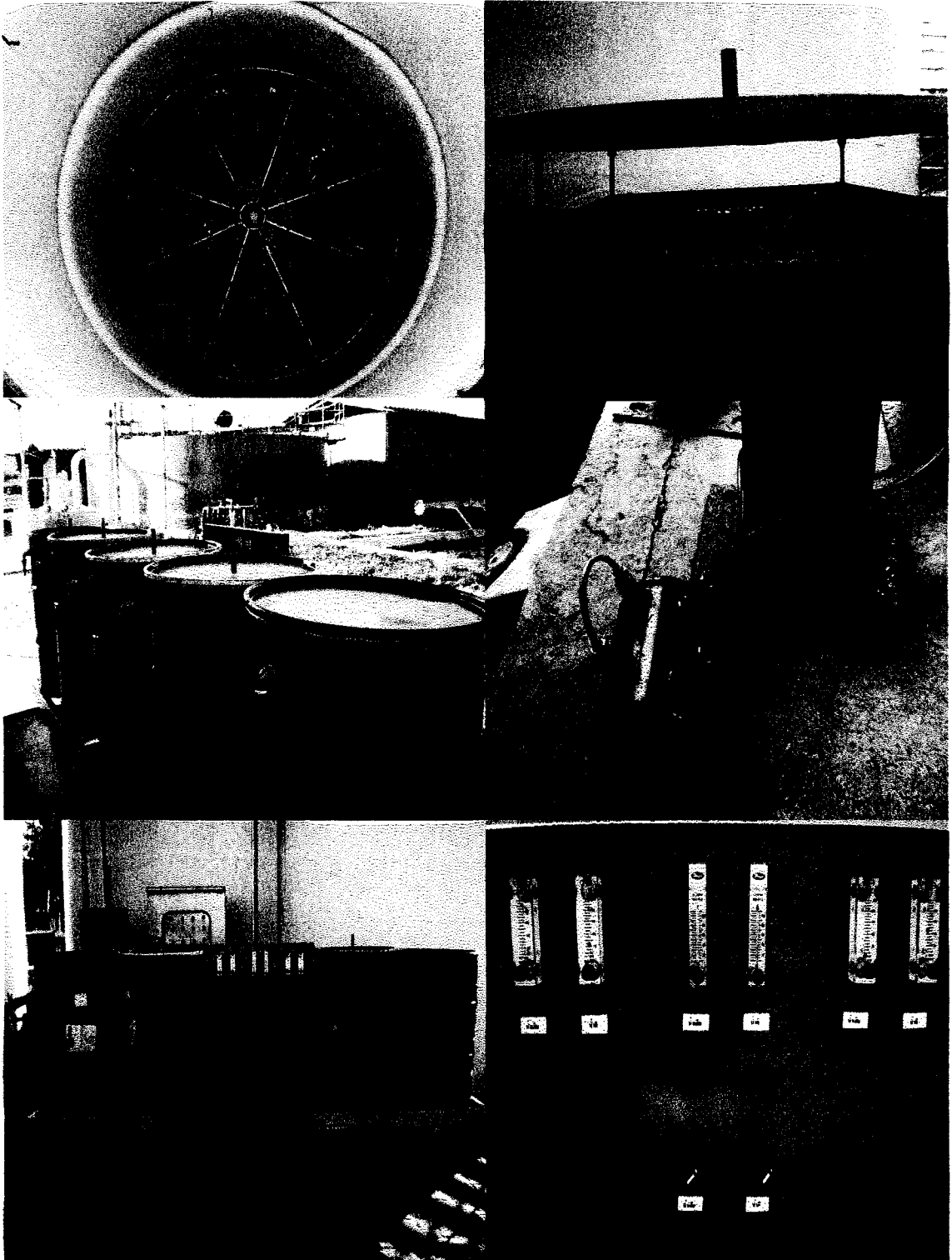
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ถังกรองไร้อากาศจำลอง

ใช้ชุดแบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 3.1, 3.2) ตั้งปฏิกรณ์จำนวน 3 ถัง แต่ละถังมีขนาดเท่ากันคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.59 เมตร สูง 0.88 เมตร ปริมาตร 200 ลิตร ภายในบรรจุวัสดุตัวกลางปริมาตร 180 ลิตร และทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของถังกรองไร้อากาศที่มีวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใย



ภาพที่ 3.1 ถังกรองไร้อากาศที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดถังกรองไร้อากาศจำลองที่ใช้ในการทดลอง

2.2 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

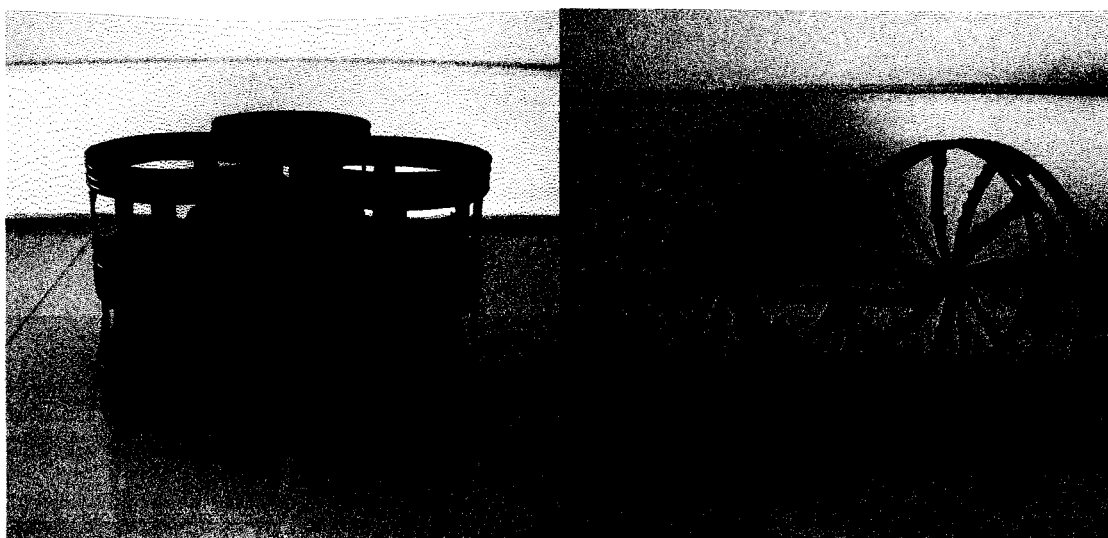
วัสดุตัวกลางเป็นพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้ทดลองในถังกรองไร้อากาศจำลองระดับห้องปฏิบัติการ มี 3 ชนิด คือ

- 1) วัสดุตัวกลางชนิดที่ 1 (M-102) (ภาพที่ 3.3)
- 2) วัสดุตัวกลางชนิดที่ 2 (M-190) (ภาพที่ 3.4)
- 3) วัสดุตัวกลางชนิดที่ 3 (M-240) (ภาพที่ 3.5)

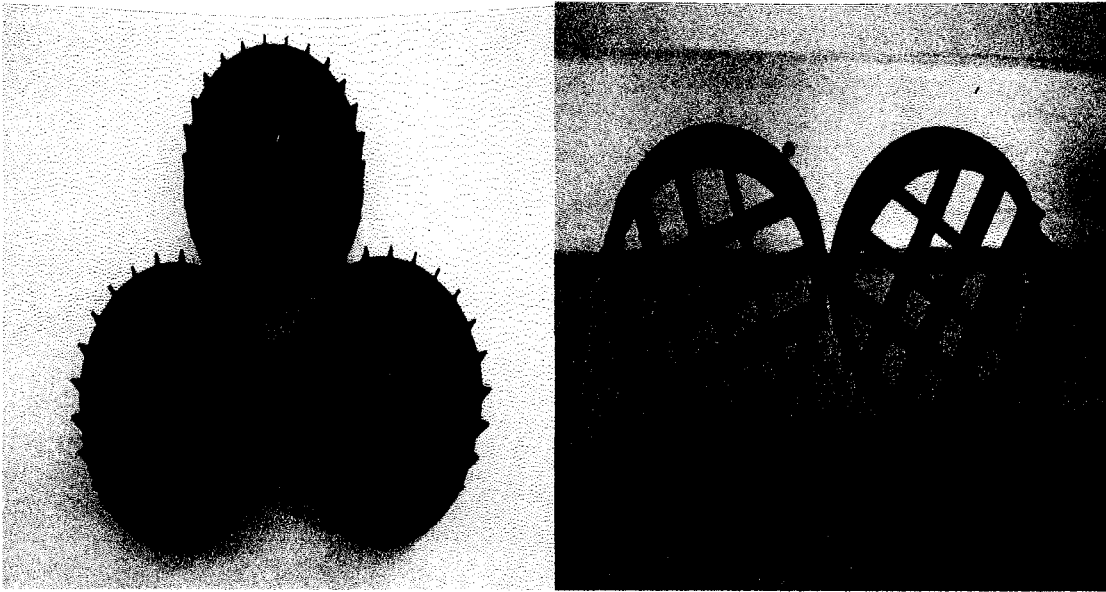
ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะเฉพาะของตัวกลางที่จะใช้ในการศึกษา

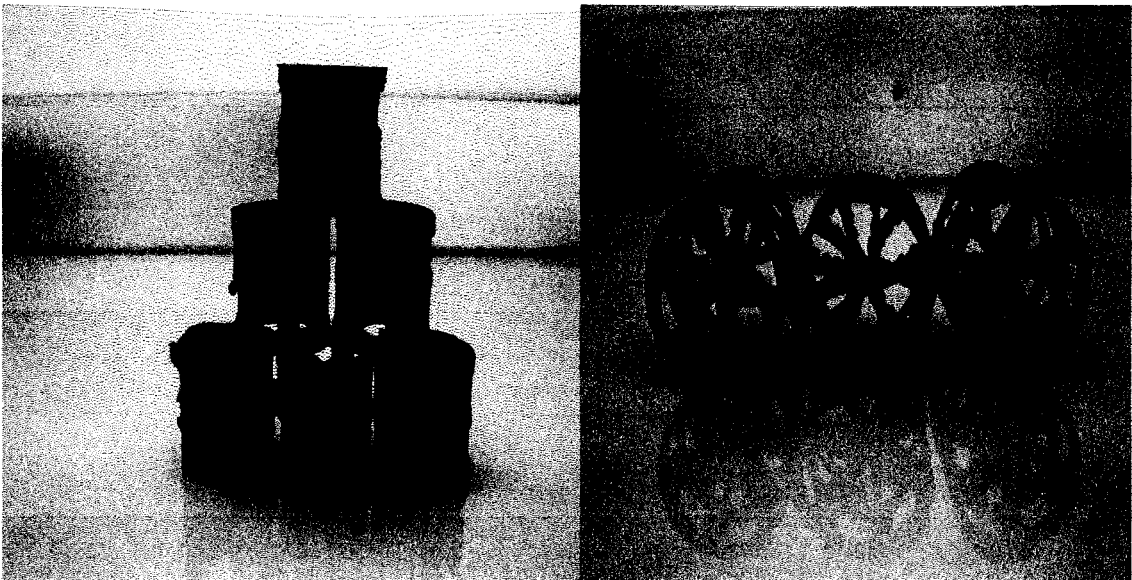
Parameter	Description			Unit
Surface area	102	190	240	m ² /m ³
Void	95	90	90	%
Material	polyethylene	polyethylene	polyethylene	PE
Dimension	90	70	40	mm.
High	90	22	40	mm.
Quantity	1,000	5,000	12,000	Places/ m ³



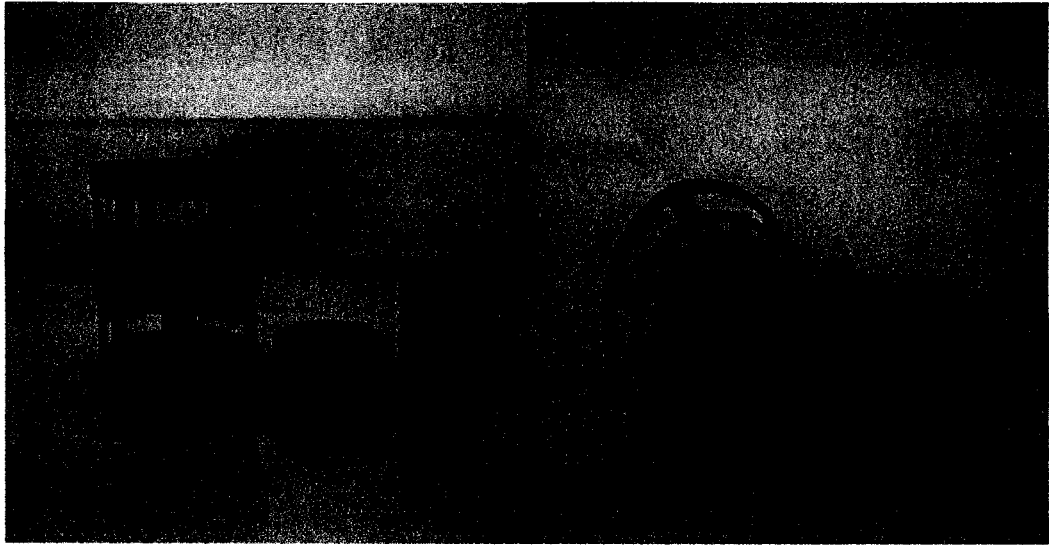
ภาพที่ 3.3 วัสดุตัวกลางชนิดที่ 1 (M-102) มีปริมาณพื้นที่ผิว/ ปริมาตร 102 (ตร.ม./ ลบ.ม.)



ภาพที่ 3.4 วัสดุตัวกลางชนิดที่ 2 (M-190) มีปริมาณพื้นที่ผิว/ ปริมาตร 190 (ตร.ม./ ลบ.ม.)



ภาพที่ 3.5 วัสดุตัวกลางชนิดที่ 3 (M-240) มีปริมาณพื้นที่ผิว/ ปริมาตร 240 (ตร.ม./ ลบ.ม.)



ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ทดลองในถังกรองไร้อากาศ

2.3 น้ำเสียและเชื้อตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษา

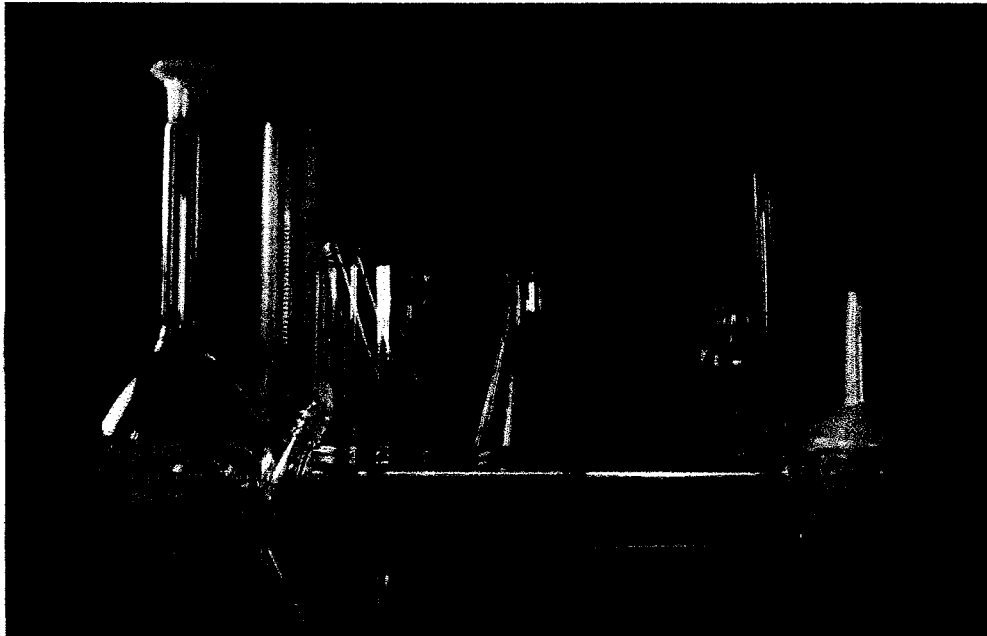
- 1) น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเส้นใยชด ที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีโดยจะใช้ในการทดลองในระบบไร้อากาศต่อไป
- 2) เชื้อตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลองใช้เชื้อจากถังกรองไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นใยชด แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เชื้อตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลอง

2.4 เครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง

- 1) ขวดเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์ จะใช้ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร พร้อมฝาเกลียว พลาสติกทำความสะอาดขวดให้สะอาดหลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นทิ้งให้แห้งแล้วสามารถนำมาเก็บตัวอย่างได้
- 2) อุปกรณ์ในการทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์วิเคราะห์น้ำห้องปฏิบัติการ

- ก) บีกเกอร์
- ข) ขวดรูปชมพู่
- ค) ปิเปต
- ง) บิวเรต
- จ) กระจกตวง
- ฉ) หลอดทดลอง
- ช) คุ้บ
- ช) เครื่องวัดพีเอช
- ฉ) สารเคมี

3. วิธีดำเนินการทดลอง

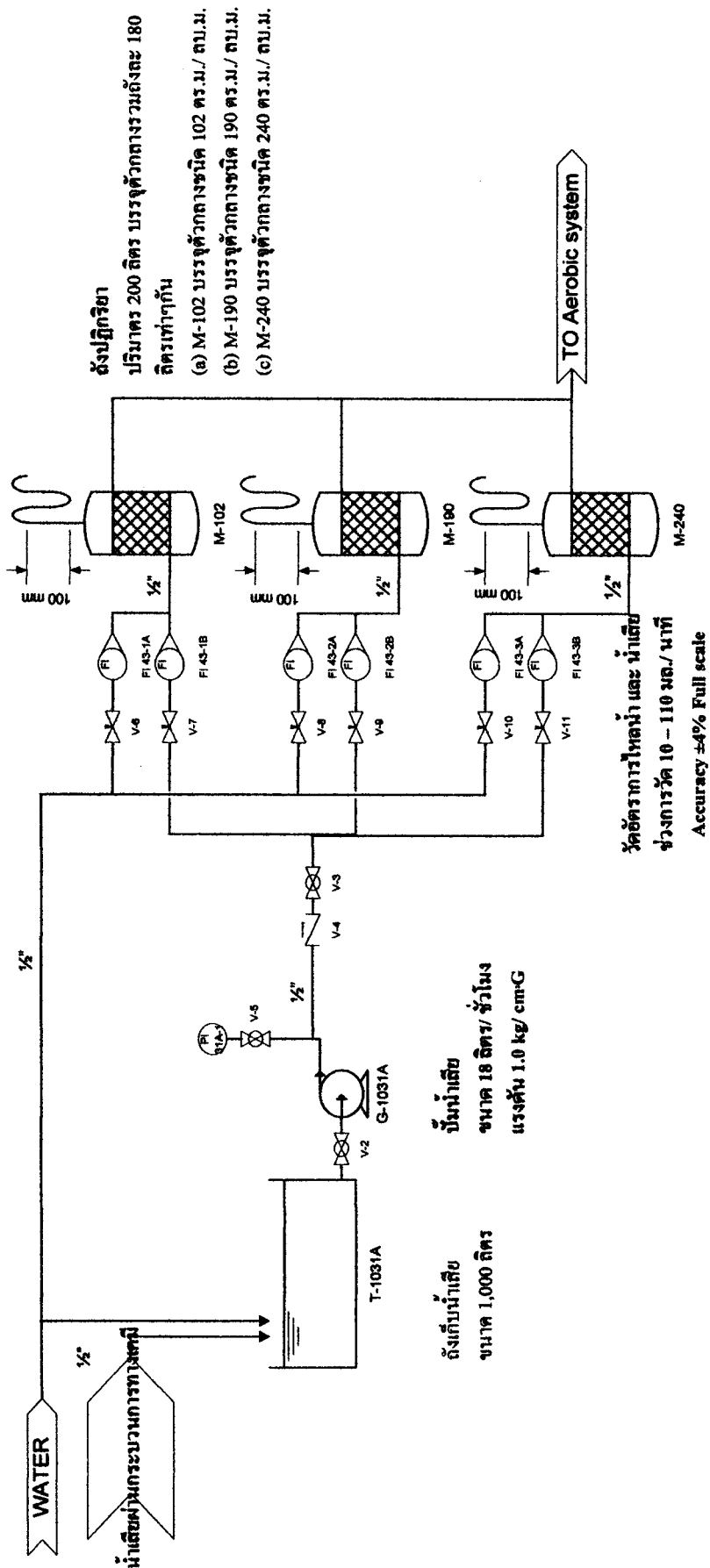
วิธีการดำเนินการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การศึกษาจะใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 200 ลิตร ใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเส้นยางยืดเป็นน้ำเสียป้อนเข้าระบบ โดยวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลอง การทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ตัวกลางชนิดที่ 1 ซึ่งมีค่าพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรน้อยกว่าเป็นชุดควบคุม ถังปฏิกรณ์ใบอื่นๆ จะใช้เป็นชุดทดลอง ค่าพื้นที่ผิวโดยรวมของตัวกลางภายในถังปฏิกรณ์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3.2 และแผนผังการทดลองดังภาพที่ 3.9

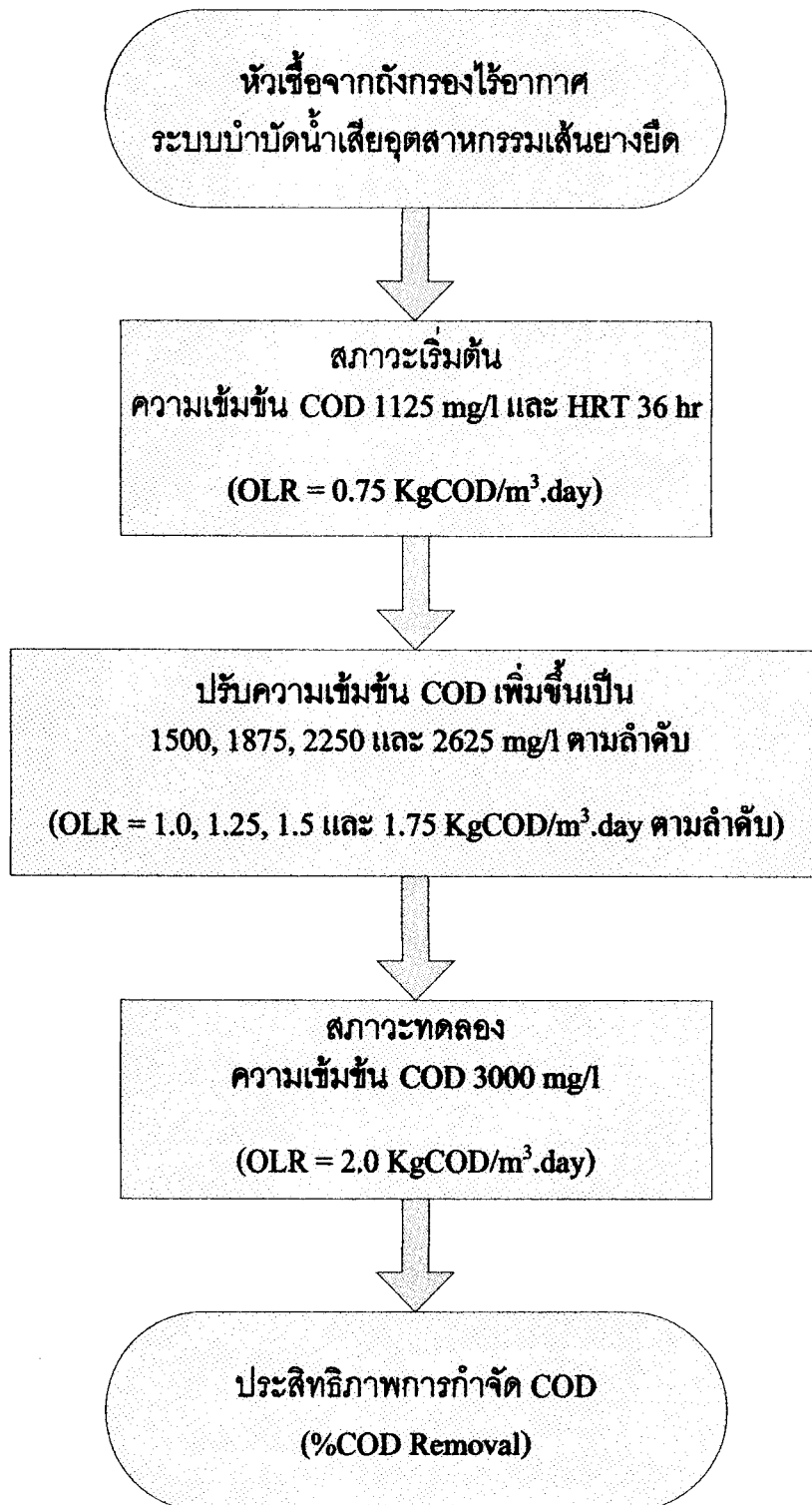
ตารางที่ 3.2 ปริมาณพื้นที่ผิวของตัวกลางภายในถังปฏิกรณ์ต่างๆ

ถังปฏิกรณ์	ปริมาตรตัวกลาง	ปริมาณพื้นที่ผิว (ตร.ม.)
M-102	ชนิดที่ 1 รวม 180 ลิตร	18.36
M-190	ชนิดที่ 2 รวม 180 ลิตร	34.2
M-240	ชนิดที่ 3 รวม 180 ลิตร	43.2

การเริ่มต้นระบบ (start-up) ใช้เชื้อตั้งต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นยางยืด จากนั้นเริ่มทำการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,125 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในการเตรียมน้ำเสียนั้นใช้วิธีเจือจางจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงให้มีค่าตามต้องการ ซึ่งรายละเอียดดังข้อที่ 1 ภาคผนวก ค) เข้าไปในถังปฏิกรณ์ขนาด 180 ลูกบาศก์เมตร อย่างต่อเนื่อง (Continuous feeding) โดยใช้ปั๊ม ซึ่งทิศทางการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจะป้อนทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ (แบบไหลขึ้น) ที่อัตราการไหล 120 ลิตรต่อวัน (ระยะเวลาพักเก็บ คิดเป็น 1.5 วัน) จนเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นปรับเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีโดยจะทำการเพิ่มทีละน้อยตามลำดับ คือ 1,500, 1,875, 2,250, และ 2,625 มิลลิกรัมต่อลิตร (อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ) จนถึงระดับความเข้มข้นซีโอดี 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) ทำการเก็บข้อมูลมาคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของแต่ละถังปฏิกรณ์ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.10



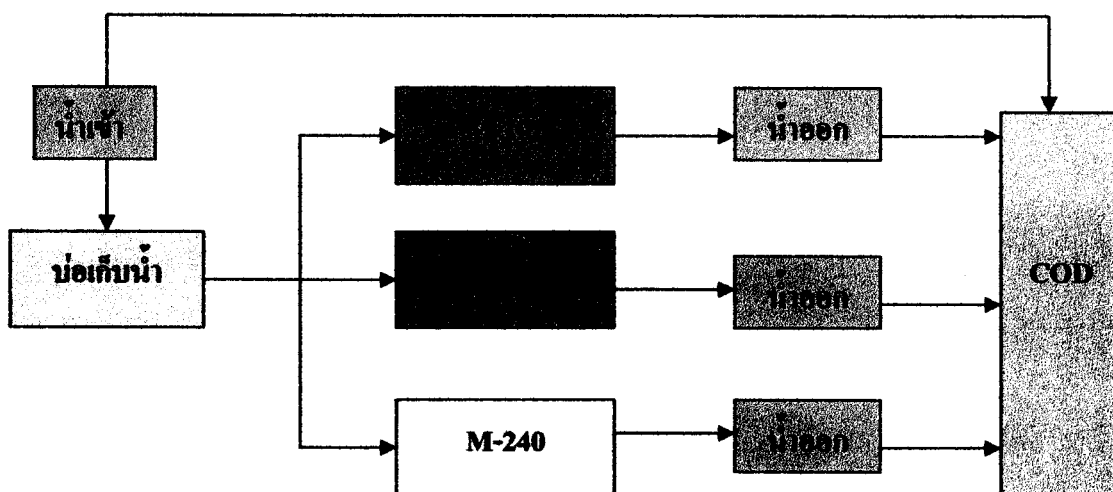
ภาพที่ 3.10 แผนภูมิแสดงชุดการทดลอง



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ห้องปฏิบัติการจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเป็นแบบผสมรวมตลอดระยะเวลา 1 วัน (24 ชั่วโมง) เก็บน้ำที่ออกจากระบบบำบัดลงถังกรองไร้อากาศซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 3 ถัง ถังละ 1 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 3 ตัวอย่างต่อ 1 วัน ตัวอย่างน้ำเสียที่ทำการเก็บนี้จะนำไปทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) ดังภาพที่ 3.11 ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 3.11 การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์น้ำเสีย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาบรรยายผลเป็น ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติ One-way ANOVA เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด เพื่อที่จะหาวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับถังกรองไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นใยช็อคโกแลต

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ (แบบไหลขึ้น) ที่จำลองขึ้นระดับห้อง ปฏิบัติการของแผนกบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยคอตเทจแห่งหนึ่งของประเทศไทย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน 3 ชนิด เพื่อประโยชน์ในการนำไปพิจารณาใช้งานต่อไป

1. ลักษณะของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศจำลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียจริงที่เกิดจากระบวนการผลิตเส้นใยคอตเทจของอุตสาหกรรมเส้นใยคอตเทจแห่งหนึ่งของประเทศไทย ที่ผ่านการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์แล้ว ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเบื้องต้น เช่น พีเอช ซีโอดี เอสเอส สังกะสี และอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีมีปริมาณสูง คือเฉลี่ยประมาณ 14,605 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลสืบเนื่องมาจากสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น กรดอะซิติกสำหรับให้เส้นใยคงรูป ซึ่งใช้ในปริมาณมากอันส่งผลให้น้ำเสียมีค่าซีโอดีสูง และแอมโมเนียที่ใช้ในการรักษาคุณภาพน้ำอย่างระหว่างการขนส่งและก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิต ส่วนปริมาณสังกะสีที่วัดได้ในน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์แล้วมีค่ามากกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ทางราชการกำหนด นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะใสมาก ซึ่งสามารถดูได้จากค่าของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์

พารามิเตอร์	ช่วง	เฉลี่ย
พีเอช	4.56-5.08	4.7
ซีโอดี (มก./ล.)	1,2427-18,341	14,605
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	0-80	49.2
สังกะสี (มก./ล.)**	0-2	0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.90-31.6	29.6

**ใช้ Test-kit ในการทดสอบ

2. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศจำลอง

การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) ของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ โดยใช้วัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน 3 ชนิดคือ M-102, M-190 และ M-240 ซึ่งมีพื้นที่ผิว 102, 190 และ 240 m^2 / m^3 ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 ภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ

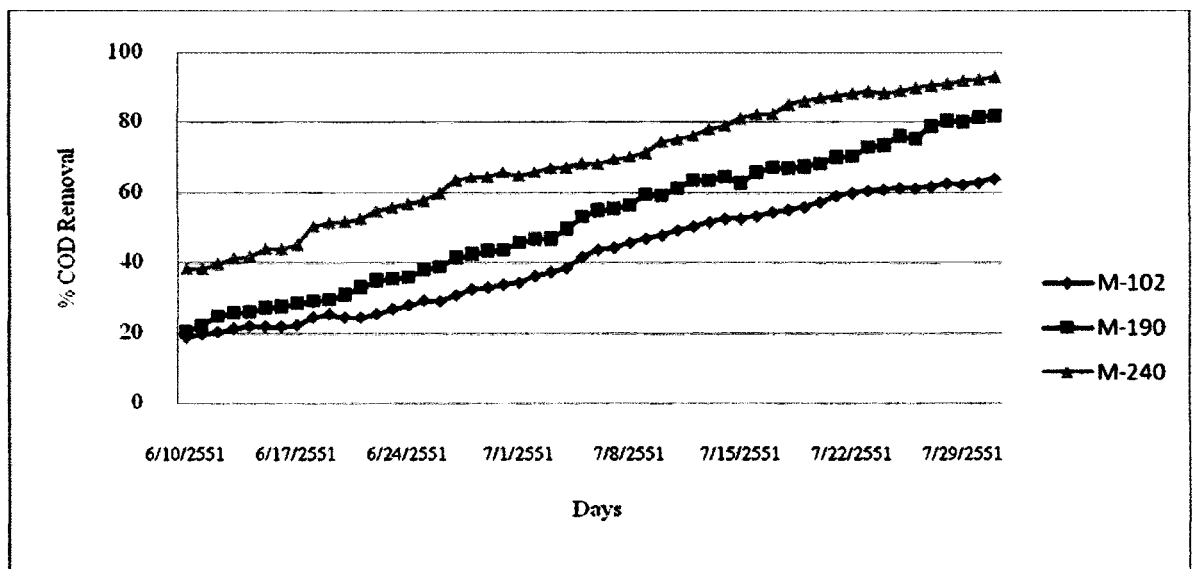
วันที่	COD Removal (%)		
	M-102	M-190	M-240
10/06/2551	18.7	20.4	38.2
11/06/2551	19.6	22	38.2
12/06/2551	20.2	24.7	39.7
13/06/2551	21.1	25.8	41.2
14/06/2551	21.9	26.0	41.7
15/06/2551	21.8	27.2	43.9
16/06/2551	21.8	27.6	43.9
17/06/2551	22.2	28.4	45.1
18/06/2551	24.4	29.1	50.3
19/06/2551	25.3	29.5	51.3
20/06/2551	24.4	30.9	51.7
21/6/2551	24.4	32.9	52.5
22/06/2551	25.4	35.0	54.6
23/06/2551	26.8	35.5	55.6
24/06/2551	27.9	35.9	56.7
25/06/2551	29.2	37.9	57.6
26/06/2551	29.0	38.9	59.8
27/06/2551	30.7	41.4	63.5
28/06/2551	32.4	42.4	64.4
29/06/2551	32.9	43.4	64.6

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ

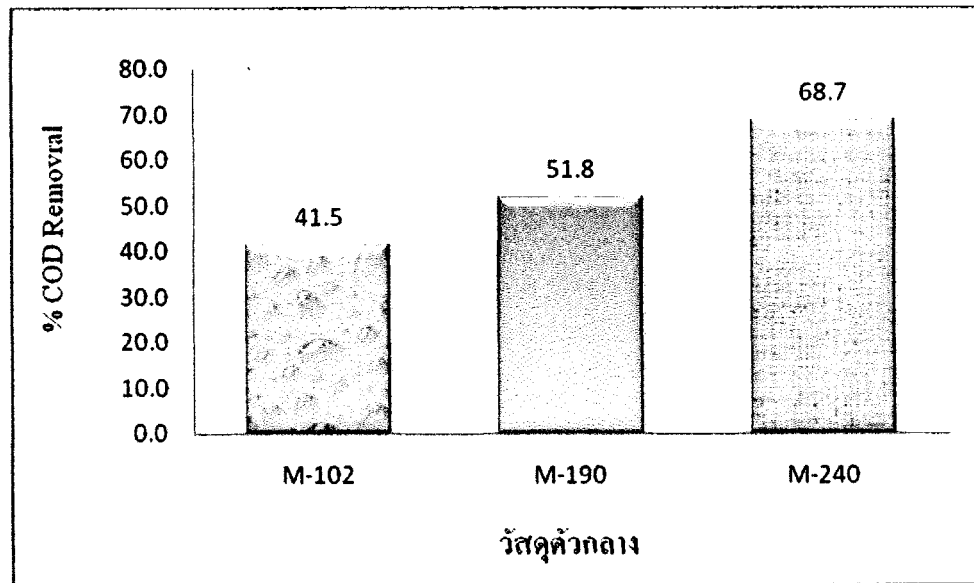
วันที่	COD Removal (%)		
	M-102	M-190	M-240
30/06/2551	33.7	43.6	65.9
1/07/2551	34.3	45.6	64.8
2/07/2551	36.1	46.7	65.9
3/07/2551	37.2	46.8	67.0
4/07/2551	38.4	49.4	67.1
5/07/2551	41.6	53.1	68.2
6/07/2551	43.7	54.8	68.2
7/07/2551	44.3	55.3	69.6
8/07/2551	45.7	56.4	70.3
9/07/2551	46.8	59.4	71.2
10/07/2551	47.7	59.1	74.5
11/07/2551	49.2	61.0	75.2
12/07/2551	50.3	63.5	76.2
13/07/2551	51.5	63.5	78.2
14/07/2551	52.5	64.4	79.0
15/07/2551	52.5	62.6	81.2
16/07/2551	53.2	65.6	82.3
17/07/2551	54.3	67.1	82.4
18/07/2551	55	66.9	85.2
19/07/2551	55.8	67.3	86.2
20/07/2551	57.2	68.1	87.1
21/07/2551	59	70.0	87.6
22/07/2551	59.8	70.2	88.4
23/07/2551	60.5	72.9	89.0
24/07/2551	60.9	73.4	88.5

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอซีของวัสดุตัวกลางใน
ถังกรองไร้อากาศ

วันที่	COD Removal (%)		
	M-102	M-190	M-240
25/07/2551	61.2	76.1	89.2
26/07/2551	61.2	75.3	90.0
27/07/2551	61.6	78.8	90.6
28/07/2551	62.6	80.5	91.2
29/07/2551	62.2	80.1	92.0
30/07/2551	62.8	81.4	92.4
31/07/2551	63.9	81.9	93.1
ค่าเฉลี่ย	41.5	51.8	68.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	14.24	18.73	17.08



ภาพที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD ของวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ของวัสดุคั่วกลางในถังกรองไร้อากาศ

จากผลการทดลองพบว่า วัสดุคั่วกลางทั้ง 3 ชนิด คือ M-102, M190 และ M-240 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 41.5, 51.8 และ 68.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 63.9, 81.9 และ 93.1 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.2, ภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2) จะเห็นได้ว่า วัสดุคั่วกลางชนิดที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุดคือ M-240 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด เมื่อเทียบกับวัสดุคั่วกลางชนิด M-102 และ M-190 ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์ของวัสดุคั่วกลาง M-240 ($240 \text{ m}^2 / \text{m}^3$) ที่มีค่ามากกว่าวัสดุคั่วกลางอีก 2 ชนิด ทำให้มีจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียมาเกาะกับวัสดุคั่วกลางได้มากขึ้น จึงเท่ากับว่าเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้สูงและเร็วขึ้น (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2550; รสวัลย์ มารินทร์, 2543 และ Polprasert, 1996) และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุคั่วกลางที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน 3 ชนิดดังกล่าวข้างต้น (ภาคผนวก ง)

จากตาราง Test of Homogeneity of Variances พบว่า Sig. ของ Levene เท่ากับ 0.03 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละวัสดุคั่วกลางต่างกัน และจากตารางแสดงผล ANOVA ในส่วนของการทดสอบพื้นที่ผิวของวัสดุคั่วกลางชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศ พบว่า ค่า F-Test ได้เท่ากับ 37.386 และ ค่า p-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H_0 สรุปผลการทดสอบว่ามี

อย่างน้อย 2 คู่วัสดุคั่วกลางที่มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอซีต่างกัน จึงต้องทดสอบต่อไปว่าคู่วัสดุคั่วกลาง ไคบ้างที่มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอซีต่างกัน โดยวิธี LSD ซึ่งจากตาราง Multiple Comparisons สรุปได้ว่า ปริมาณของพื้นที่ผิวที่ต่างกันในวัสดุคั่วกลางชนิด M-102 , M-190 และ M-240 มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอซีของวัสดุคั่วกลางทั้งสามชนิดต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) ของถังกรองไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยชนิดแห้งหนึ่ง ผลที่ได้สรุปดังนี้

1.1 น้ำเสียของอุตสาหกรรมเส้นใยชนิดนับเป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งที่ทำกรบำบัดได้ยาก เนื่องจากมีสารมลพิษเจือปนในปริมาณที่สูง ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนผลึกสังกะสีซัลไฟด์ แล้วมีค่าซีโอดีมีปริมาณสูง คือเฉลี่ยประมาณ 14,605 มิลลิกรัมต่อลิตร สืบเนื่องมาจากสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น กรดอะซิดิกสำหรับให้เส้นใยทรงรูป ซึ่งใช้ในปริมาณมาก ส่งผลให้น้ำเสียมีค่าซีโอดีสูง และแอม โมเนียที่ใช้ในการรักษาคุณภาพน้ำยาง

1.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นซีโอดี 1,125, 1,500, 1,875, 2,250, 2,625 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยการนำน้ำเสียจริงของอุตสาหกรรมเส้นใยมาเจือจาง

1.3 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นตัวกลางพลาสติก โพลีเอทิลีนที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน 3 ชนิด คือ M-102, M-190 และ M-240 ซึ่งมีพื้นที่ผิว 102, 190 และ 240 m^2/m^3 ตามลำดับ

1.4 สภาพที่ทำการทดลองดำเนินการ โดยใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดี 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศจำลอง (ขนาด 180 ลิตร) เท่ากับ 120 ลิตรต่อวัน คิดเป็น อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกัก 1.5 วัน

1.5 การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางของถังกรองไร้อากาศ (แบบไหลขึ้น) พบว่าวัสดุตัวกลางชนิด M-240 ซึ่งมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์เท่ากับ 240 m^2/m^3 มากกว่าวัสดุตัวกลางชนิด M-102 และ M-190 ทำให้มีจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียมาเกาะกับวัสดุตัวกลางได้มากขึ้น จึงเท่ากับว่าเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) เฉลี่ยเท่ากับ 68.7 เปอร์เซ็นต์เหนือกว่าวัสดุตัวกลางชนิด ชนิด M-102 และ M-190 ที่มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 41.5 และ 51.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2. อภิปรายผล

ระบบแบบถังกรองไร้อากาศ (ชนิดไหลขึ้น) จะมีจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียสองประเภทคือ ประเภทแขวนลอยและประเภทเกาะผิวตัวกลาง ระบบนี้จึงใช้จุลินทรีย์ทั้งสองประเภทในการบำบัดน้ำเสีย จุลินทรีย์ส่วนที่เกาะอยู่บนผิววัสดุตัวกลางจะมีผลต่อการทดลองมากกว่าจุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย (จุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยจะถูกดึงออกไปพร้อมกับน้ำทิ้งขาออก หรือ effluent) แต่วัสดุตัวกลางที่มีปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์สูง มีผลประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองไร้อากาศได้เช่นเดียวกับวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์สูง เนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ยังถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของวัสดุตัวกลาง (Void) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีจุลินทรีย์แขวนลอยเกิดสะสมอยู่ภายในถังมากขึ้น ทำให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางไม่สะดวกอาจเกิดการไหลลัดวงจรได้ (มันรักษ์ ตันจุลเวศม์, 2550 และ Anderson and others, 1994) ดังนั้นในการเลือกวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมก็ควรดูที่ค่าขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งวัสดุตัวกลางที่ดีคือมีพื้นที่ผิวมากๆ และมีความพรุน (Porosity) คือ ปริมาตรรวมของช่องว่างในตัวกลางเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมด แต่ถ้ามีความพรุนมากก็จะทำให้ระบบมีจุลินทรีย์แขวนลอยทับถมอยู่ในช่องว่าง ทำให้เกิดแทนที่น้ำจึงมีขนาดความจุจุน้อยลง และยังทำให้เกิดการไหลขึ้นตามช่องว่างที่มีให้ ซึ่งเกิดปัญหาน้ำเสียไหลขึ้นเฉาะแห่งด้วยความเร็วไหลขึ้นค่อนข้างเร็ว และที่สำคัญสิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่ไปด้วยในการเลือกใช้วัสดุตัวกลางคือ หลักทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพราะวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์และช่องว่าง (Void) สูง จะมีราคาแพง จึงควรพิจารณาถึงความสมดุลเหมาะสมระหว่างราคาและประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางที่จะนำไปใช้งาน

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ในการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางในถังกรองไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นใยยัด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาประสิทธิภาพถังกรองไร้อากาศ (แบบไหลขึ้น) ในด้านกายภาพ หากจะปรับปรุงประสิทธิภาพถังกรองไร้อากาศ ควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านอื่นเพิ่มเติม เช่น ชนิด และการทำงานของจุลินทรีย์ และนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาร่วมใช้ในการติดตามข้อมูลที่ศึกษาก็จะทำให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้ได้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

3.2 ภายในโรงงานควรมีการสื่อสารซึ่งกันและกันระหว่างฝ่ายผลิตกับฝ่ายดูแลระบบบำบัด หากจะทำการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือสารเคมีที่ใช้

3.3 การทดลองนี้เป็นการศึกษาขั้นต้นในระยะเวลาจำกัด เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุตัวกลาง 3 ชนิด ที่สถานะเดียว คือ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.0 กิโลกรัมซีโอไซด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกัก 3.6 วัน ซึ่งควรจะเปรียบเทียบที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ระดับต่างๆ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กัลยาณี มีเพ็ชร (2546) “การศึกษาจุลินทรีย์ในส่วนของชั้นแขวนลอยและที่อยู่บนวัสดุตัวกลางของถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบลูกผสม” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ชินพงศ์ วังโน (2538) “การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองภายใต้สภาวะไร้อากาศที่มีทิศทางการป้อนสารอาหารต่างกัน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ชนวนันท์ จิใจ (2549) “การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยในล่องโดยระบบถังกรองไร้อากาศ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- เถลิงเดช พิลาศรี (2544) “ความสูงและความหนาแน่นของชั้นวัสดุตัวกลางต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ลูกผสม” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิชาญลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์ (2540) คู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ เรือนแก้วการพิมพ์
- ธเรศ พงศ์สาระนันท์กุล (2540) “การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางพลาสติกลอยน้ำ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- นราพร หาญจนวนวงศ์ และปริศนาพร ไพรรุ่งทอง (2545) “การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางยืด” การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 1 17-19 มกราคม 2545 โรงแรมปางสวนแก้ว จ.เชียงใหม่ หน้า 469-478
- ปิยรัตน์ ชูรอด (2546) “การบำบัดน้ำเสียขี้ดด้วยกระบวนการกรองไร้อากาศและแยกทิวเค็ดสลัดจ์ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์สูง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- พสุธา ตันศิริรินทร์ (2545) “การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางยืดด้วยกระบวนการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์และกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ”

- วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มันรัชย์ ดัฒกุลเวศม์ (2550) *เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม* กรุงเทพมหานคร แชน.อี.
68 คอนซัลตัง เอ็นจิเนียรส์
- มันสิน ดัฒกุลเวศม์ (2542) *เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1* กรุงเทพมหานคร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช (2543) *ประมวลสาระชุดวิชาการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงาน
อุตสาหกรรม หน่วยที่ 1-5* นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช (2544) *ประมวลสาระชุดวิชาการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงาน
อุตสาหกรรม หน่วยที่ 6-10* นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
- โรมรัน ว่องวิไลรัตน์ (2542) “การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศชนิดไฮบริดที่
ใช้ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รสวัลย์ มารินทร์ (2550) “การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ตัวกลาง
ขนาดแตกต่างกันในการบำบัดน้ำชะขยะ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สันทัก ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549) *ระบบบำบัดน้ำเสีย* กรุงเทพมหานคร ท้อป
- สุบั้งจิต นิมรัตน์ (2548) *จุลชีววิทยาของน้ำเสีย* กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุนันทา เถาวิณย์ศิริ (2544) “การบำบัดสารอินทรีย์และสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบถังกรอง
ไร้อากาศ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
สิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- Anderson and others (1994) “Comparison of Porous And Non-Porous Media In Upflow
Anaerobic Filter When Treating Dairy Wasterwater” *Water Research.* 28, 7: 1619-
1624
- APHA, AWWA and WEF, (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and
Wastewater* 20th ed. American Public Health Association Washington, DC.
- Asia and Akporhonor (2007) “Characterization and physiochemical treatment of wastewater from
rubber processing factory” *International Journal of Physical Sciences.* 2, 3: 61-67
- Eckenfelder (2000) *Industrial Water Pollution Control* 3rd ed. McGraw-Hill Singapore

- Kida and others (1997) "Treatment of Wasterwater from Rubber Thread Manufacturing by a Combination of Chemical and Biological Processes" Environmental Technology. 18, 5: 517-524.**
- Hu, Thayanithy and Foster (2002) "A kinetic study of anaerobic digestion of ice-cream wastewater". Process Biochem. 37: 965-971**
- Ince, Ince and Donnelly (2000) "Attachment, strength and performance of a porous media in an up flow anaerobic filter treating diary wastewater" Water SCi. Technol. 41: 261-270.**
- Tchobanoglous, Burton and Stensel (2004) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* McGrawHill.**
- Omil and others (2003) "Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale" Water Research. 37: 4099-4108**
- Polprasert (1996) *Organic Waste Recycling: Technology and Management* 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd**
- Subbiah, Sastry and Agamuthu (2001) "Removal of Zinc from Rubber Thread Manufacturing Industry Wastewater Using Chemical Precipitant/Flocculant" Environmental Progress. Winter 2001**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง

วันที่	น้ำเข้าระบบ AF		น้ำออกจากระบบ AF					
			M-102		M-190		M-240	
	COD	COD loading	COD	COD removal	COD	COD removal	COD	COD removal
	mg/l	KgCOD/m ³ .day	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
10/06/251	3,000	2.0	2438	18.7	2387	20.4	1853	38.2
11/06/251	3,000	2.0	2412	19.6	2340	22	1854	38.2
12/06/251	3,000	2.0	2395	20.2	2260	24.7	1808	39.7
13/06/251	3,000	2.0	2367	21.1	2226	25.8	1763	41.2
14/06/251	3,000	2.0	2343	21.9	2220	26	1750	41.7
15/06/251	3,000	2.0	2346	21.8	2183	27.2	1683	43.9
16/06/251	3,000	2.0	2346	21.8	2172	27.6	1683	43.9
17/06/251	3,000	2.0	2335	22.2	2147	28.4	1647	45.1
18/06/251	3,000	2.0	2268	24.4	2127	29.1	1491	50.3
19/06/251	3,000	2.0	2242	25.3	2115	29.5	1460	51.3
20/06/251	3,000	2.0	2268	24.4	2073	30.9	1450	51.7
21/06/251	3,000	2.0	2268	24.4	2013	32.9	1425	52.5
22/06/251	3,000	2.0	2238	25.4	1950	35	1362	54.6
23/06/251	3,000	2.0	2196	26.8	1935	35.5	1332	55.6
24/06/251	3,000	2.0	2163	27.9	1924	35.9	1300	56.7
25/06/251	3,000	2.0	2124	29.2	1863	37.9	1272	57.6
26/06/251	3,000	2.0	2130	29	1833	38.9	1206	59.8
27/06/2551	3,000	2.0	2079	30.7	1758	41.4	1095	63.5
28/06/2551	3,000	2.0	2027	32.4	1728	42.4	1067	64.4
29/06/2551	3,000	2.0	2013	32.9	1698	43.4	1062	64.6
30/06/2551	3,000	2.0	1989	33.7	1692	43.6	1023	65.9

หมายเหตุ : AF หมายถึง ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ขนาดทดลองห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง

วันที่	น้ำเข้าระบบ AF		น้ำออกจากระบบ AF					
	COD	COD loading	M-102		M-190		M-240	
			COD	COD removal	COD	COD removal	COD	COD removal
mg/l	KgCOD/m ³ .day	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	
1/07/2551	3,000	2.0	1971	34.3	1632	45.6	1057	64.8
2/07/2551	3,000	2.0	1917	36.1	1600	46.7	1023	65.9
3/07/2551	3,000	2.0	1884	37.2	1596	46.8	990	67
4/07/2551	3,000	2.0	1848	38.4	1517	49.4	987	67.1
5/07/2551	3,000	2.0	1752	41.6	1408	53.1	954	68.2
6/07/2551	3,000	2.0	1689	43.7	1356	54.8	954	68.2
7/07/2551	3,000	2.0	1671	44.3	1341	55.3	913	69.6
8/07/2551	3,000	2.0	1629	45.7	1308	56.4	890	70.3
9/07/2551	3,000	2.0	1596	46.8	1217	59.4	864	71.2
10/07/2551	3,000	2.0	1569	47.7	1227	59.1	765	74.5
11/07/2551	3,000	2.0	1524	49.2	1170	61	745	75.2
12/07/2551	3,000	2.0	1490	50.3	1094	63.5	713	76.2
13/07/2551	3,000	2.0	1455	51.5	1095	63.5	654	78.2
14/07/2551	3,000	2.0	1425	52.5	1068	64.4	631	79
15/07/2551	3,000	2.0	1425	52.5	1122	62.6	564	81.2
16/07/2551	3,000	2.0	1404	53.2	1032	65.6	531	82.3
17/07/2551	3,000	2.0	1370	54.3	987	67.1	528	82.4
18/07/2551	3,000	2.0	1350	55	994	66.9	444	85.2
19/07/2551	3,000	2.0	1326	55.8	981	67.3	414	86.2
20/07/2551	3,000	2.0	1284	57.2	957	68.1	388	87.1
21/07/2551	3,000	2.0	1230	59	900	70	372	87.6
22/07/2551	3,000	2.0	1206	59.8	895	70.2	348	88.4

หมายเหตุ : AF หมายถึง ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ขนาดทดลองห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง

วันที่	น้ำเข้าระบบ AF		น้ำออกจากระบบ AF					
			M-102		M-190		M-240	
	COD	COD loading	COD	COD removal	COD	COD removal	COD	COD removal
	mg/l	KgCOD/m ³ .day	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
23/07/2551	3,000	2.0	1185	60.5	814	72.9	330	89
24/07/2551	3,000	2.0	1173	60.9	798	73.4	345	88.5
25/07/2551	3,000	2.0	1165	61.2	717	76.1	325	89.2
26/07/2551	3,000	2.0	1164	61.2	741	75.3	300	90
27/07/2551	3,000	2.0	1152	61.6	636	78.8	282	90.6
28/07/2551	3,000	2.0	1122	62.6	585	80.5	264	91.2
29/07/2551	3,000	2.0	1134	62.2	597	80.1	240	92
30/07/2551	3,000	2.0	1115	62.8	559	81.4	228	92.4
31/07/2551	3,000	2.0	1084	63.9	543	81.9	206	93.1

หมายเหตุ : AF หมายถึง ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ขนาดทดลองห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบน้ำเสียในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสีย

การตรวจสอบน้ำเสียในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสีย

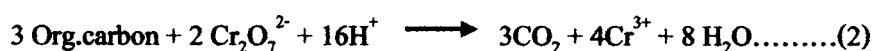
การวิเคราะห์ค่า COD (chemical Oxygen Demand)

ค่า COD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการ oxidize สารอินทรีย์ ใน น้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยที่สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (95-100 %) จะถูก oxidize โดยตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรง(Strong oxidizing agent) ภายใต้อุณหภูมิที่เป็นกรด ดัง สมการที่ 1



จะเห็นว่าสมการการเกิดปฏิกิริยาของ COD คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูก oxidize จนได้ คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ COD ใช้ตัวเดิมออกซิเจน (oxidizer) ดังกล่าวแล้ว โดยปกติค่า COD จะ สูงกว่าค่า BOD ทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูก oxidize อย่างสมบูรณ์โดยไม่ต้องผ่าน กระบวนการดูดซึมทางชีวะ (biological assimilation) ของสารเหล่านั้น เช่น กลูโคส ลิกนิน เซลลูโลส โดยเฉพาะถ้า น้ำเสียนั้นมีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูก oxidize ทางชีวะปนอยู่ด้วย จะทำให้ ค่า COD สูงกว่าค่า BOD มาก ในกรณีที่มีน้ำเสียนั้นมีสารอินทรีย์บางพวกเช่น straight-chain aliphatic compound, aromatic hydrocarbon, pyridine และ betaine ปะปนอยู่ ซึ่งสารเหล่านี้จะไม่ถูก oxidize ทางเคมี ค่า COD จะน้อยกว่าค่า BOD อีออนของสารอินทรีย์บางตัว เช่น halogen (F, Cl, Br), NO²⁻, S²⁻ และ Fe²⁺ มีผลทำให้ค่า COD มีค่ามากกว่าความเป็นจริง การหาค่า COD จะรู้ผลในเวลาไม่ เกิน 3 ชม. ดังนั้นจึงเหมาะในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียเพราะสามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ ทันที และใช้ในการประเมินค่า BOD อย่างคร่าว ๆ

Strong oxidizing agent ที่ใช้ในการหาค่า COD มีด้วยกันหลายตัวคือ potassium permanganate, ferric sulfate, potassium iodate และ potassium dichromate การหาค่า COD โดยใช้ โปแตสเซียมไดโครเมตเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ผลที่น่าเชื่อถือและแน่นอน หลักการของ วิธีนี้คือ สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูก oxidized โดยโปแตสเซียมไดโครเมตในสภาวะที่เป็นกรดอย่าง รุนแรง ดังนั้นจึงใช้การ reflux เพื่อป้องกันการระเหยสูญหายของสารเคมี จากนั้นจึงไทเทรตหา ปริมาณ โปแตสเซียมไดโครเมตที่เหลืออยู่ด้วย ferrous ammonium sulfate โดยใช้ ferriin เป็นอินดิ เคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



มีการเติม AgSO_4 เป็นตัว catalyst เพื่อเร่งปฏิกิริยาการออกซิไดส์ของพวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ (straight chain aliphatic) นอกจากนี้ AgSO_4 ที่ใส่ไปจะไปทำปฏิกิริยากับ Cl^- , Br^- หรือ I^- ได้ แต่ AgSO_4 เป็น catalyst ที่ไม่ได้ผลในการออกซิไดส์สารประกอบพวก aromatic และ pyridine สารรบกวนที่สำคัญคือ Cl^- จึงต้องใส่ HgSO_4 ลงไปก่อนเพื่อไปจับกับ Cl^- ให้อยู่ในรูปของ mercuric chloride complex โดยวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีค่า COD ตั้งแต่ 50 มก./ล ขึ้นไปได้และแน่นอน

การ reflux มี 2 วิธี คือ แบบเปิด (Open Reflux) และแบบปิด (Closed Reflux) ทั้งสองวิธีการมีหลักการเหมือนกัน ต่างกันตรงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และแบบปิดสารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดส์ได้มากกว่าระบบเปิด เพราะมีเวลาในการสัมผัสกับสารออกซิไดส์ได้นานกว่า

วิธีการเตรียมสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล (N)

(Standard Potassium Dichromate Solution, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

สารเคมี

1. โปแตสเซียมไดโครเมตอบแห้ง	4.913	กรัม
2. โปรทซัลเฟต (HgSO_4)	33.3	กรัม
3. H_2SO_4 conc.	167	ml.
4. น้ำกลั่น		

เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 1,000 ml.
2. เครื่องชั่งละเอียด
3. เตาอบ (oven)
4. แท่งแก้วคนสาร
5. แม็กนิติกบาร์
6. แม็กนิติกสเตเตอร์
7. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 ml.
8. ปีเปต ขนาด 25 ml. พร้อมจุกยาง
9. กรวยแก้ว

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล (N) ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

1. ชั่ง $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ซึ่งอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 103-105 °c เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml. จำนวน 4.913 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

2. เตรียม H_2SO_4 conc. จำนวน 167 ml. ด้วยปิเปต ขนาด 25 ml.
3. ชั่ง HgSO_4 จำนวน 33.3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด
4. ละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ในน้ำกลั่น 500 ml. เติม H_2SO_4 conc. และ HgSO_4 คนให้สารละลาย แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. โดยใช้ขวดวัดปริมาตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน โดยใช้แม่กนิติกสเดอเลอร์

2. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล (N)

(Standard Ferrous Ammonium Sulfate Solution , FAS)

สารเคมี

- | | | |
|---|------|------|
| 1. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) | 19.6 | กรัม |
| 2. H_2SO_4 conc. | 20 | ml. |
| 3. น้ำกลั่น | | |

เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 1,000 ml.
2. เครื่องชั่งละเอียด
3. แท่งแก้วคนสาร
4. แม่กนิติกบาร์
5. แม่กนิติกสเดอเลอร์
6. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 ml.
7. ปิเปต ขนาด 25 ml. พร้อมจุกยาง
8. กรวยแก้ว

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล (N)

1. ชั่ง ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 19.6 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด
2. เตรียม H_2SO_4 conc. จำนวน 20 ml. ด้วยปิเปต ขนาด 25 ml.
3. ละลาย ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ในน้ำกลั่น 500 ml. แล้วเติม H_2SO_4 conc. คนให้สารละลาย แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. โดยใช้ขวดวัดปริมาตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน โดยใช้แม่กนิติกสเดอเลอร์

สารละลาย Ferroin indicator

สารเคมี

1. เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Ferrous Sulfate , $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.695 กรัม
2. 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate , $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 1.485 กรัม

3. น้ำกลั่น

เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 1,000 ml.
2. เครื่องชั่งละเอียด
3. แท่งแก้วคนสาร
4. แม็กนิติกบาร์
5. แม็กนิติกสเตอเลอร์
6. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 ml.
7. กรวยแก้ว

ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย Ferroin indicator

1. ชั่ง 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮดรอต จำนวน 1.485 กรัม และ เฟรซซัลเฟตเฮปตะไฮดรอต จำนวน 0.695 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด
2. ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮดรอต และ เฟรซซัลเฟตเฮปตะไฮดรอต ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 ml. โดยใช้ขวดวัดปริมาตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน โดยใช้แม็กนิติกสเตอเลอร์

สารละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)**สารเคมี**

- | | | |
|--------------------|------------|------|
| 1. Ag_2SO_4 | จำนวน 19.6 | กรัม |
| 2. H_2SO_4 conc. | จำนวน 1 L. | |

เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 ml.
2. เครื่องชั่งละเอียด

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)

1. ชั่ง Ag_2SO_4 จำนวน 8.8 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด
2. ละลาย Ag_2SO_4 ลงใน H_2SO_4 conc. ขนาด 1 ลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ Ag_2SO_4 ละลายได้หมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

วิธีวิเคราะห์ซีไอดี แบบปิด (Closed Reflux)

1. ล้างหลอดแก้วและฝาปิดด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 20 % ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

2. ปิเปตตัวอย่างนำมา 10 ml. ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม $K_2Cr_2O_7^{-2}$ ลงไป 6 ml.
3. ค่อยๆเติม $AgSO_4$ ลงไป 14 ml.

หมายเหตุ

ในการเลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำ ให้สังเกตสีของตัวอย่างหลังการเติม $AgSO_4$ ดังนี้

- ถ้าได้สีเขียวหมายถึงปริมาณ $K_2Cr_2O_7^{-2}$ เหลืออยู่มาก แสดงว่าใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำน้อยเกินไปต้องเพิ่มปริมาณน้ำตัวอย่างในการเจือจาง (Dilution) ให้มากขึ้นอีก

- ถ้าได้สีเขียวอมเหลืองหมายถึงปริมาณน้ำตัวอย่างเหมาะสมสามารถนำตัวอย่างไป

รีฟลักซ์ได้

- ถ้าได้สีเขียวอมฟ้าหมายถึงปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจาง (Dilution)

นำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นน้อยกว่านี้

4. ปิดฝาหลอดแก้วให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน

5. นำหลอดแก้วไปเข้าเตาอบอุณหภูมิ 150 °c รีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่

อุณหภูมิห้องในที่มืด

6. นำน้ำตัวอย่างมาไตเตรตด้วย FAS 0.05 M โดยใช้สารละลาย Ferroin 2-3 หยดเป็น indicator สีของสารละลายจะค่อยๆเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียวอมเหลืองเป็นสีฟ้าและน้ำตาลแดงตามลำดับ แสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว

7. จดปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรต

8. คำนวณหาค่า COD จาก

$$\text{ซีไอดี (mg./l)} = (A-B) \times N \times 8,000 / \text{ml. ของตัวอย่างน้ำ}$$

โดยที่

A = ml. ของ FAS ที่ใช้ไตเตรต Blank

B = ml. ของ FAS ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS (Normal)

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณของตัวอย่างน้ำและ Reagent ต่าง ๆ ในหลอดทดลอง

Digestion vessel	Sample (ml)	Digestion solution (ml)	H ₂ SO ₄ reagent (ml)	Total final volume (ml)
Culture Tube :				
16 x 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 mm	10.0	14.0	14.0	30.0
Standard 10- ml ampule	2.5	1.5	3.5	7.5

การทำ Standardization

เปิดสารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไดโครเมต 0.25 N มา 5 ml. เติมน้ำกลั่นลงไป 50 ml. แล้วเติมซิลเวอร์ซัลเฟต 15 ml. ทิ้งไว้ให้เย็น ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานเฟรตแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล (N) โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็ง (Solids)

ของแข็ง(Solids) หมายถึง สาร(matter)ที่อยู่ในน้ำหรือน้ำเสียซึ่งที่ละลายในน้ำได้ (Dissolved solids) หรือที่เป็นสารแขวนลอย(Suspended solids) ของแข็งจะมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำทั้งทางด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งอาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พืช สัตว์และมนุษย์ด้วย โดยอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาในทางสรีระที่ร่างกายไม่ต้องการเมื่อบริโภคเข้าไปก็ได้ ดังนั้นเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำจึงต้องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำแต่ละประเภทไว้ซึ่งน้ำแต่ละประเภทจะต้องมีปริมาณของแข็งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

คำนิยาม

สารแขวนลอย (Suspended solids) หมายถึง ส่วนของของแข็งที่เหลือค้าง(nonfiltrable residue)บนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากการกรองตัวอย่าง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

1. อบกระดาษกรอง GF/C ในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

2. ต่อบชุดเครื่องมือสำหรับกรอง โดยต่อสายยางระหว่างปลายท่อดูดของ Vacuum Pump และขวดกรอง

ใช้ปากคีบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอรัของชุดกรอง เปิด Vacuum Pump

3. เลือกปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่จะใช้ดวงใส่กระบอกตวง จากนั้นค่อยๆเทตัวอย่างน้ำลงบนกระดาษกรองจนหมด แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างกระบอกตวงและเทลงกรอง พร้อมทั้งฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างกรวยบุคเนอรั ปล่อยให้ Vacuum Pump ดูดน้ำออกจนแห้งจึงปิดเครื่อง ใช้ปากคีบกระดาษกรองมาวางบนจานเพาะเชื้อ

4. นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 103-105 °c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วจึงนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักหลังอบ

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (SS , mg/l)} = (A - B) \times 10^6 / \text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้ (ml.)}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็งที่เหลืออยู่ (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

วิธีวิเคราะห์กรดระเหยง่าย

1. กรองตัวอย่างน้ำ 50 มล. แล้วปรับพีเอชให้เป็น 2.00 ด้วยกรดซัลฟูริก 20% ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มล.

2. เทน้ำตัวอย่างที่ได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. แล้วนำไปต้มด้วยไฟอ่อนให้ได้ส่วนที่กลั่นได้ 50 มล.

3. นำมาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M โดยมีฟีนอล์ฟธาเลิน 2-3หยดเป็นอินดิเคเตอร์

4. คำนวณหาปริมาณกรดที่ระเหยได้จาก

$$\text{ปริมาณกรดที่ระเหยได้} = A \times 0.1 \times 60 \times 1000 / 50$$

โดยที่ A คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ที่ไตเตรตได้

2.1 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M

สารเคมี

1. NaOH 1 mole จำนวน 100 ml.
2. น้ำกลั่น

เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 1,000 ml.
2. แม็กนิติกบวาร์
3. แม็กนิติกสเตอเลอร์
4. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 ml.
5. ปิเปต ขนาด 25 ml. พร้อมจุกยาง
6. กรวยแก้ว

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M

1. เตรียม NaOH 1 mole จำนวน 100 ml. โดยใช้ปิเปต
2. เจือจาง NaOH ด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. เขย่าให้สารละลายเข้ากัน โดยใช้

แม็กนิติกสเตอเลอร์

ฟีนอล์ฟธาลินอินดิเคเตอร์

สารเคมี

1. ฟีนอล์ฟธาลิน จำนวน 0.08 กรัม
2. เมทานอล จำนวน 100 ml.

เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 600 ml.
2. แม็กนิติกบวาร์
3. แม็กนิติกสเตอเลอร์
4. ปิเปต ขนาด 25 ml. พร้อมจุกยาง

ขั้นตอนการเตรียมฟีนอล์ฟธาลินอินดิเคเตอร์

1. ชั่ง ฟีนอล์ฟธาลิน จำนวน 0.08 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดใส่ในบีกเกอร์
2. เตรียมเมทานอล จำนวน 100 ml. โดยใช้ปิเปต ลงในบีกเกอร์ให้ผสมกับฟีนอล์ฟธาลิน

ผสมให้สารละลายเข้ากัน โดยใช้แม็กนิติกสเตอเลอร์

วิธีวิเคราะห์ค่า pH และอุณหภูมิ โดยใช้เครื่อง pH Meter

pH หมายถึง ค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน (H^+) ในน้ำทางปฏิบัติ ค่า pH แสดงถึงความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่ามากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่าเท่ากับ 7 จึงจำเป็นต้องควบคุมค่า pH ให้คงที่และอยู่ในช่วงที่จำกัด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. pH meter
2. น้ำกลั่น
3. บีกเกอร์
4. กระดาษทิชชู

วิธี Calibration

1. กดปุ่ม ON / OFF เพื่อเปิดเครื่อง
2. ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น (อย่าเช็ดอิเล็กโทรดให้แห้ง)
3. จุ่มอิเล็กโทรดลงในน้ำยาบัฟเฟอร์ 4.00 หรือ 7.00 หรือ 10.00 แล้วรอสักครู่ และต้องให้หัววัดอุณหภูมิอยู่ใกล้อิเล็กโทรดมากที่สุด
4. กดปุ่ม CAL / MEAS เครื่องหมาย “ CAL ” จะปรากฏขึ้นที่หน้าจอ และบรรทัดที่ 2 จะแสดงค่า pH 4.00 หรือ 7.00 หรือ 10.00
5. รอจนหน้าจอปรากฏเครื่องหมาย READY แสดงว่าได้ค่าคงที่แล้ว
6. กดปุ่ม ENTER เพื่อยืนยันค่าที่ได้
7. กดปุ่ม ON / OFF เพื่อปิดเครื่อง

วิธีการวัดค่าสารตัวอย่าง

1. ใช้น้ำกลั่นล้างอิเล็กโทรดก่อนการใช้งาน เพื่อล้างสิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับตัวอิเล็กโทรดใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐาน (Calibration)
3. กดปุ่ม ON / OFF เพื่อเปิดเครื่อง
4. จุ่มหัววัดอิเล็กโทรด pH และหัววัดอุณหภูมิตลงในสารตัวอย่างที่ต้องการวัดให้ลึกอย่างน้อย 4 ซม.
5. รอประมาณ 1-2 นาทีเพื่อให้ค่าที่วัดได้คงที่ เมื่อปรากฏเครื่องหมาย READY แสดงว่าได้ค่าคงที่แล้ว ให้อ่านค่าได้
6. กดปุ่ม OFF เพื่อปิดเครื่อง แล้วล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น (ในกรณีการวัดอุณหภูมิจุ่มอิเล็กโทรดที่ใช้วัดอุณหภูมิตลงในน้ำตัวอย่างจากนั้นทำการอ่านค่าได้ทันที)

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. การเจือจางน้ำเสีย

สูตรการคำนวณ $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสีย หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

V_1 = ปริมาตรของน้ำเสีย หน่วยเป็นลิตร (l)

C_2 = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียที่ต้องการเจือจาง หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

V_2 = ปริมาตรของน้ำเสียที่ต้องการเจือจาง หน่วยเป็นลิตร (l)

ตัวอย่าง นำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดี 14,605 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางให้ได้ ความเข้มข้นซีโอดี 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1,000 ลิตร

$$14,605 \text{ mg/l} \times V_1 = 3000 \text{ mg/l} \times 1,000 \text{ l}$$

$$V_1 = \frac{3,000 \text{ mg/l} \times 1,000 \text{ l}}{14,605 \text{ mg/l}}$$

$$V_1 = 205.41$$

ดังนั้น ต้องนำน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดี 14,605 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 205.4 ลิตร มาเติมน้ำให้มีปริมาตร เท่ากับ 1,000 ลิตร เพื่อเจือจางให้ได้ความเข้มข้นซีโอดี เท่ากับ 3000 mg/l

2. อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR)

สูตรการคำนวณ
$$OLR = \frac{Q_{\text{เข้าระบบ}} \times COD_{\text{เข้าระบบ}}}{V_{\text{ถังปฏิกรณ์}}}$$

OLR = อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ หน่วยเป็น กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (KgCOD/m³.day)

$Q_{\text{เข้าระบบ}}$ = อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (m^3/day)

$\text{COD}_{\text{เข้าระบบ}}$ = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

$V_{\text{ปฏิกรณ์}}$ = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

ตัวอย่าง น้ำเสียเข้าระบบถังปฏิกรณ์ขนาด 180 ลิตร มีความเข้มข้นซีโอดี 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหล 120 ลิตรต่อวัน หาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR)

$$Q_{\text{เข้าระบบ}} = 120 \text{ l/day} = 0.12 \text{ m}^3/\text{Day}$$

$$\text{COD}_{\text{เข้าระบบ}} = 3,000 \text{ mg/l} = 3 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$V_{\text{ปฏิกรณ์}} = 180 \text{ l} = 0.18 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{OLR} &= \frac{0.12 \text{ m}^3/\text{day} \times 3 \text{ Kg}/\text{m}^3}{0.18 \text{ m}^3} \\ &= 2.0 \text{ KgCOD} / \text{m}^3.\text{day} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

3. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal)

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad \% \text{COD Removal} = \frac{\text{COD}_{\text{เข้าระบบ}} \times \text{COD}_{\text{ออกจากระบบ}}}{\text{COD}_{\text{เข้าระบบ}}} \times 100$$

$\% \text{COD Removal}$ = ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

$\text{COD}_{\text{เข้าระบบ}}$ = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

$\text{COD}_{\text{ออกจากระบบ}}$ = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

ยกตัวอย่าง น้ำเสียเข้าระบบถังกรองไร้อากาศ มีความเข้มข้นซีไอดี เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดน้ำที่ออกจากระบบ มีความเข้มข้นซีไอดี เท่ากับ 2,079 มิลลิกรัมต่อลิตร หาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

$$\begin{aligned} \% \text{COD Removal} &= \frac{3,000 \text{ mg/l} - 2,079 \text{ mg/l}}{3,000 \text{ mg/l}} \\ &= 30.70\% \end{aligned}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของถังกรองไร้อากาศ เท่ากับ 30.7%

4. ระยะเวลาเก็บกัก (HRT)

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad \text{HRT} = \frac{V_{\text{ถังปฏิกรณ์}}}{Q_{\text{เข้าระบบ}}}$$

HRT = ระยะเวลาเก็บกัก หน่วยเป็นวัน (day)

$Q_{\text{เข้าระบบ}}$ = อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ หน่วยเป็น ลิตรต่อวัน (l/day)

$V_{\text{ปฏิกรณ์}}$ = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ หน่วยเป็นลิตร (l)

ตัวอย่าง น้ำเสียเข้าระบบถังปฏิกรณ์ขนาด 180 ลิตร มีอัตราการไหล 120 ลิตรต่อวัน หา ระยะเวลาเก็บกัก หน่วยเป็นวัน (HRT)

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{180 \text{ l}}{120 \text{ l/day}} \\ &= 1.5 \text{ day} \end{aligned}$$

ดังนั้นระยะเวลาเก็บกักของถังกรองไร้อากาศ เท่ากับ 1.5 วัน

ภาคผนวก ง

ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

Oneway**Descriptives**

EFF

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
M102	60	41.5100	14.24127	1.83854	37.8311	45.1889	18.70	63.90
M190	52	51.8404	18.73045	2.59745	46.6258	57.0550	20.40	81.90
M240	52	68.6962	17.07871	2.36839	63.9414	73.4509	38.20	93.10
Total	164	53.4055	20.04741	1.56544	50.3143	56.4966	18.70	93.10

Test of Homogeneity of Variances

EFF

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.596	2	161	.030

ANOVA

EFF

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20775.37	2	10387.683	37.386	.000
Within Groups	44734.14	161	277.852		
Total	65509.51	163			

Post Hoc Tests

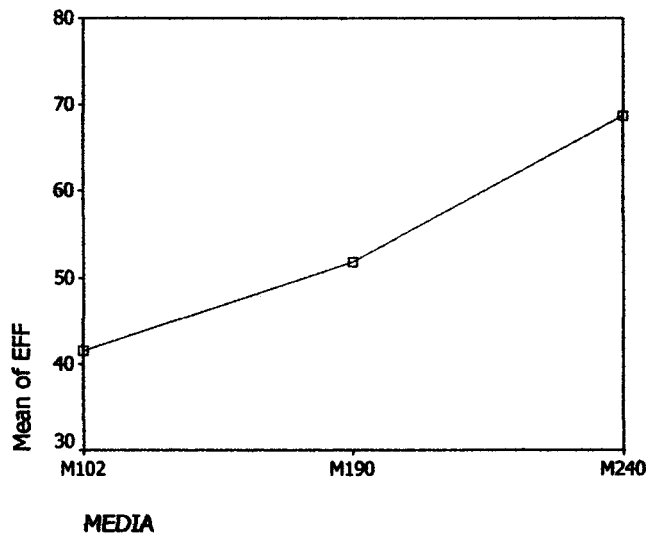
Multiple Comparisons

Dependent Variable: EFF
LSD

(I) MEDIA	(J) MEDIA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
M102	M190	-10.3304*	3.15819	.001	-16.5672	-4.0936
	M240	-27.1862*	3.15819	.000	-33.4230	-20.9493
M190	M102	10.3304*	3.15819	.001	4.0936	16.5672
	M240	-16.8558*	3.26904	.000	-23.3115	-10.4000
M240	M102	27.1862*	3.15819	.000	20.9493	33.4230
	M190	16.8558*	3.26904	.000	10.4000	23.3115

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Means Plots



ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นางสาวอรอุมา แพงสกล
วัน เดือน ปี	11 พฤษภาคม 2521
สถานที่เกิด	อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี (วท.บ. เทคโนโลยีชีวภาพ) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2544
สถานที่ทำงาน	บริษัท เน็ทเซอร์วิสเซอรัล จำกัด 234 หมู่ 7 ถนนศักดิ์สิทธิ์-ฉะเชิงเทรา ต. หนองอิรุณ อ. บ้านบึง จ. ชลบุรี 20220
ตำแหน่ง	หัวหน้าแผนกบ่อบำบัดน้ำเสีย