

การบำบัดน้ำเสียไปโอติเซตโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ



นางสาวปัทมากร เจริญสาคร

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHEMICAL AND BIOLOGICAL TREATMENT
OF BIODIESEL WASTEWATER



Miss Pannaput Charoensacorn

สอวษบวทษบรทว
จุฬาลงกรณวทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ

โดย

นางสาวปิ่นภัทร เจริญสาคร

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

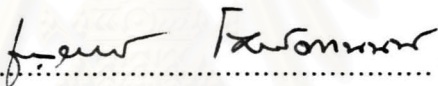
อาจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ดิงศักดิ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานูวิทช์ โขมิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

..... กรรมการ

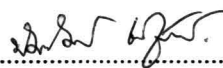
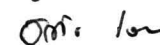
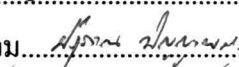
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

ปัทมภัทร เจริญสาคร : การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ
(CHEMICAL AND BIOLOGICAL TREATMENT OF BIODIESEL WASTEWATER)
อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล,
159 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ
ซึ่งนำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันและไขมัน กลีเซอรอล และเมทานอล
ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีผลต่อปริมาณชีโอดีในน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่แยกชั้นน้ำมันออกแล้วพบว่า มีชีโอดีสูง
ถึง 58,620 มก./ล. รวมทั้งมีค่าน้ำมันและไขมัน เมทานอล และกลีเซอรอล เท่ากับ 2,300, 47,237 และ 12,750
มก./ล. ตามลำดับ

การบำบัดทางเคมีโดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสีย ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และ สาร
โคแอกกูแลนต์เอด โดยสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดที่ใช้ ได้แก่ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์
โพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การปรับพีเอชของน้ำ
เสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. หรือร่วมกับการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5
มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้สูงถึงร้อยละ 98 ประสิทธิภาพการ
กำจัดชีโอดี บีโอดี กลีเซอรอลและเมทานอล เท่ากับร้อยละ 38-41, 29-41, 16-23 และ 25-33 ตามลำดับ

การบำบัดทางชีวภาพของน้ำเสียจากการตกตะกอนทางเคมีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาทดสอบ โดยแบ่งการ
ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพออกเป็น การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และการทดสอบ
การย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน โดยการทดสอบการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนปรับเปลี่ยนความเข้มข้น
ชีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 2,000 และ 3,000 มก./ล. ส่วนการทดสอบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนปรับเปลี่ยน
ความเข้มข้นชีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 3,500, 5,200 และ 8,000 มก./ล. จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่
เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ ที่ชีโอดีเริ่มต้นสูงถึง 3,000 มก./ล. ใช้เวลาในการบำบัดชีโอดี
ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเป็นเวลาถึง 4 วัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ชีโอดีกรอง และเมทานอล ร้อยละ 93,
96 และ 99 ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนควรมีค่า ชีโอดีเริ่มต้นน้อยกว่า
5,200 มก./ล. ใช้เวลาในการบำบัดชีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเท่ากับ 13 วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ชี
โอดีกรอง และเมทานอล สูงถึงร้อยละ 98, 99 และ 98 ตามลำดับ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2549
ลายมือชื่อนิสิต..... 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

##4889101320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORDS : BIODIESEL WASTEWATER / CHEMICAL AND BIOLOGICAL TREATMENT

PANNAPUT CHAROENSACORN : CHEMICAL AND BIOLOGICAL TREATMENT OF BIODIESEL WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PATIPARN PUNYAPALAKUL, Ph.D., 159 pp.

This research investigated the appropriate conditions for biodiesel wastewater treatment by chemical and biological treatment processes. In this study, initial concentrations of COD, oil and grease, methanol and glycerol of wastewater were 58,620, 2,300, 47,237 and 12,750 mg/L, respectively. For chemical treatment process, polyaluminium chloride (PAC) and ionic polymers were applied as coagulant and coagulant aids, respectively, in order to evaluate appropriated types and dosage of coagulants and coagulant aids including effect of pH. It was found that the optimum condition was achieved at pH 4 with dosage of 20 mg/L cationic polymer or 62.5 mg/L PAC and 1.25 mg/L cationic polymer, which had oil and grease removal percentage at 98 including COD, BOD, glycerol and methanol removal percentage at 38-41, 29-41, 16-23, and 25-33, respectively.

For biological treatment process, wastewater treated by chemical treatment process using above optimum condition was investigated for evaluating biodegradation efficiency under aerobic and anaerobic conditions. Initial COD concentrations for aerobic treatment were 2,000 and 3,000 mg/L. Furthermore, initial COD concentrations for anaerobic treatment were set at 3,500, 5,200 and 8,000 mg/L. It was found that suitable initial COD concentration for aerobic biodegradation was 3,000 mg/L and COD concentration at effluent standard (Department of Industrial Work) could be reached within 4 day. COD, filtrated COD and methanol removal efficiencies were 93, 96 and 96 percent, respectively. However, suitable initial COD concentration for anaerobic biodegradation should be lower than 5,200 mg/L and COD concentration at wastewater standard could be reached within 13 day. COD, filtrated COD and methanol removal efficiencies were 98, 99, and 98 percent, respectively.

Field of study Environmental Science..... Student's signature..... Pannaput Charoensacorn
 Academic year 2006..... Advisor's signature..... Orathai Chavalparit
 Co-advisor's signature..... P. P.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอแสดงความขอบคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้มอบความรู้ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่างๆ อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม และรองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่ง เพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ เพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อให้ใช้ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณบุญทอง อึ้งตระกูล คุณบุญเกิด ชูกิจรุ่งโรจน์ และคุณนรินทร์ ทองสุข รวมทั้งเจ้าหน้าที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านน้ำเสียพร้อมทั้งข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณฉัฐนารถ ประสมศรี โรงบำบัดน้ำเสียดินแดง กรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน และคุณทวิศ บริษัทบุญรอดบริเวอรี่ (สามเสน) ที่เอื้อเฟื้อตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณครูห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวรรกร รัตนานนติ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือทุกสิ่งในการทำงานวิจัย และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจสำคัญและให้ความรักความช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ มาได้ และประโยชน์อันใดที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้นผู้วิจัยขอมอบให้ท่านทั้งสอง

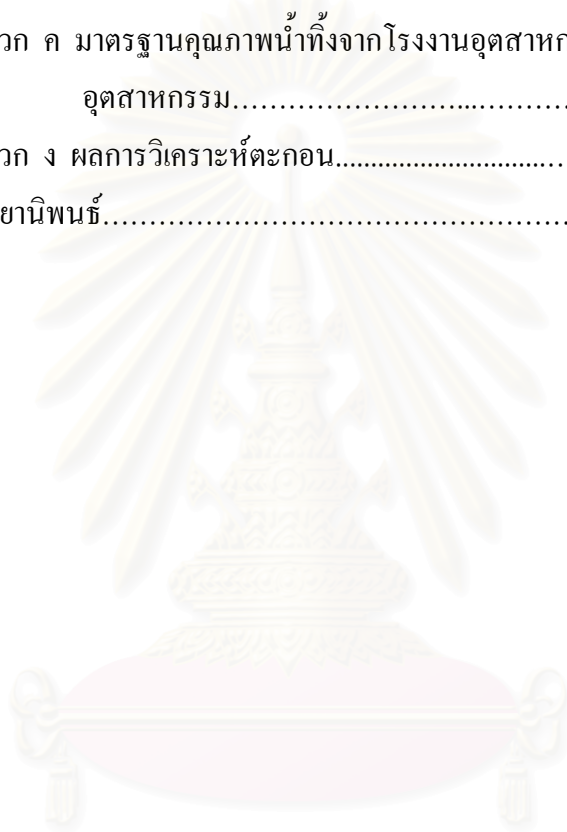
สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สถานการณ์พลังงาน.....	4
2.1.1 สถานการณ์พลังงานของโลก.....	4
2.1.2 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน.....	5
2.1.3 ประวัติการวิจัยและพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซล.....	5
2.1.4 นโยบายรัฐบาลเกี่ยวกับไบโอดีเซล.....	6
2.1.5 ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลของประเทศไทย.....	8
2.2 ความรู้เกี่ยวกับไบโอดีเซล.....	9
2.2.1 วิธีการผลิตไบโอดีเซล.....	10
2.2.2 ประเภทของไบโอดีเซล.....	10
2.3 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน.....	12
2.3.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ.....	12
2.3.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี.....	13
2.3.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ.....	28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49
2.4.1 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำมัน โดยใช้วิธีทางเคมี.....	49
2.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำมัน โดยใช้วิธีทางชีววิทยา แบบใช้ออกซิเจน.....	50

2.4.3 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำมัน โดยใช้วิธีทางชีววิทยา แบบไร้ออกซิเจน.....	52
2.4.4 การศึกษาเกี่ยวกับด้านอื่นๆ ของไบโอดีเซล.....	53
บทที่ 3 แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน.....	55
3.1 แผนงานการวิจัยและการดำเนินการ.....	55
3.1.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้.....	55
3.1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	56
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	58
3.2.1 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี.....	58
3.2.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ.....	61
3.2.3 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย.....	64
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	65
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	65
3.3.2 สารเคมีที่ใช้ทดสอบ.....	65
3.4 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียและตะกอน.....	66
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	67
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	67
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนทางเคมี.....	67
4.2.1 การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม.....	68
4.2.2 การทดสอบหาปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์และสาร โคแอกกูแลนต์เอดที่ เหมาะสม.....	74
4.2.3 สรุปผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมี.....	82
4.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยการบำบัดทางเคมี.....	84
4.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ.....	85
4.4.1 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน.....	85
4.4.2 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน.....	89
4.4.3 สรุปผลการทดสอบการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมีร่วมกับ การบำบัดทางชีวภาพ.....	99
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	107
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	107

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....	108
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์การบำบัดทางเคมี.....	114
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์เมทานอลและกลีเซอรอล.....	122
ภาคผนวก ค มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม อุตสาหกรรม.....	151
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ตะกอน.....	157
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	159



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	ข้อดีและข้อเสียของการใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้อากาศ.....	33
ตารางที่ 2.2	ค่าไออาร์พีของปฏิกริยาบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ.....	48
ตารางที่ 3.1	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหลังการทดลอง.....	60
ตารางที่ 3.2	การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากการบำบัดทางชีวภาพ	64
ตารางที่ 3.3	วิธีการวิเคราะห์ฟารามิเตอร์.....	66
ตารางที่ 4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานไบโอดีเซลต้นแบบ จังหวัดเชียงใหม่ที่ใช้ในการทดลอง.....	68
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดซัลฟูริก.....	69
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดฟอสฟอริก.....	70
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้ปูนขาว.....	72
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4	75
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบหาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4	76
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4	78
ตารางที่ 4.8	ผลการทดสอบหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4	80
ตารางที่ 4.9	ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี.....	83
ตารางที่ 4.10	ราคาค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการตกตะกอน.....	84
ตารางที่ 4.11	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก/ล.....	86
ตารางที่ 4.12	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก/ล.....	87
ตารางที่ 4.13	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก/ล.....	90

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.14	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล.....	93
ตารางที่ 4.15	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก/ล.....	96
ตารางที่ 4.16	สรุปผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมีร่วมกับ การบำบัดทางชีวภาพ.....	105
ตารางที่ 4.17	ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดทางชีวภาพทั้งแบบใช้ออกซิเจนและ ไร้ออกซิเจน.....	105



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	ภาพแสดง Road map ของการนำไปโอดีเซลมาใช้ในประเทศไทย..... 7
รูปที่ 2.2	ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วของคนไทยเฉลี่ยต่อวัน..... 8
รูปที่ 2.3	ความต้องการไปโอดีเซล..... 9
รูปที่ 2.4	กระบวนการผลิตไปโอดีเซล โรงงานผลิตไปโอดีเซล จังหวัดเชียงใหม่..... 12
รูปที่ 2.5	ผลของการเติมอ็อกซีที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์..... 15
รูปที่ 2.6	แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ..... 16
รูปที่ 2.7	การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ..... 17
รูปที่ 2.8	กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมต่อกด้วยโพลีเมอร์..... 19
รูปที่ 2.9	กลไกการทำงานของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)..... 23
รูปที่ 2.10	ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย..... 35
รูปที่ 2.11	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน..... 38
รูปที่ 2.12	การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซียลต่ำและสูง..... 43
รูปที่ 3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 57
รูปที่ 3.2	กระบวนการตกตะกอนทางเคมี..... 59
รูปที่ 3.3	กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ..... 61
รูปที่ 3.4	ชุดทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ระดับปฏิบัติการ..... 62
รูปที่ 3.5	ชุดทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ระดับปฏิบัติการ..... 63
รูปที่ 4.1	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้กรดซัลฟูริก..... 70
รูปที่ 4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้กรดฟอสฟอริก..... 71
รูปที่ 4.3	ลักษณะน้ำเสียหลังการปรับพีเอชด้วยกรดฟอสฟอริก..... 71
รูปที่ 4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม..... 72
รูปที่ 4.5	ลักษณะน้ำเสียหลังการทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม..... 73

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกที่พีเอช 4 75
รูปที่ 4.7	ลักษณะน้ำเสียหลังการหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4 75
รูปที่ 4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีเมอร์ ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4 77
รูปที่ 4.9	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีลูมิเนียม คลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4 78
รูปที่ 4.10	ลักษณะน้ำเสียหลังการหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีลูมิเนียม คลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4 79
รูปที่ 4.11	ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุลบและโพลีลูมิเนียม คลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4 81
รูปที่ 4.12	ลักษณะน้ำเสียหลังการหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีลูมิเนียม คลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4 81
รูปที่ 4.13	สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดมลสารด้วยสารเคมี ชนิดต่างๆ..... 83
รูปที่ 4.14	การย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล..... 86
รูปที่ 4.15	การย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล..... 88
รูปที่ 4.16	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล..... 91
รูปที่ 4.17	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล..... 94
รูปที่ 4.18	ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล..... 98
รูปที่ 4.19	สรุปประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพ แบบใช้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล..... 100
รูปที่ 4.20	สรุปความเข้มข้นของมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพ แบบไร้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล..... 101

รูปที่

หน้า

รูปที่ 4.21	สรุปประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพ แบบไร้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.....	103
รูปที่ 4.22	สรุปความเข้มข้นของมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพ แบบไร้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 8,200 มก./ล.....	104



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาทางด้านพลังงานนั้นนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมากในปัจจุบัน ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากราคาน้ำมันที่มีการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานนั้นก็เพิ่มสูงมากขึ้นไปด้วย ดังนั้น ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้จึงมีการคิดค้นและส่งเสริมให้มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งพลังงานทดแทนที่สำคัญในปัจจุบันชนิดหนึ่งก็คือ พลังงานไบโอดีเซล กระบวนการในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ การนำน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันสัตว์มารวมตัวกับเมทานอลหรือเอทานอล โดยปฏิกิริยาทางเคมี ทรานเอสเตอริฟิเคชัน (tranesterification) ทำให้เกิดเป็นเมทิลเอสเตอ์หรือเอทิลเอสเตอ์ ซึ่งก็คือ ไบโอดีเซล ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลได้ และจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลก็ได้ก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณความสกปรกซึ่งวิเคราะห์ในรูปของ ซีโอดี บีโอดี น้ำมันและไขมันสูงกว่ามาตรฐาน

จากนโยบายรัฐบาลในช่วงปี 2545 – 2554 รัฐบาลได้กำหนดแผนการนำไบโอดีเซลมาใช้ในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น โดยเป้าหมายในปี 2555 ต้องสามารถใช้ไบโอดีเซลสูตร B10 ได้ทั่วประเทศ โดยคาดการณ์ว่าจะสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ 8.5 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาหาวิธีการบำบัดที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียดังกล่าวนี้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมทางด้านค่าใช้จ่าย โดยใช้การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี การบำบัดน้ำเสียทางเคมีร่วมกับทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และการบำบัดน้ำเสียทางเคมีร่วมกับทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภาวะเหมาะสมและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ
2. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและแบบไร้ออกซิเจน
3. ประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล งานวิจัยทั้งหมดเป็นการทดลองและศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบจำลองทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยน้ำเสียที่นำมาทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ จังหวัดเชียงใหม่

แบ่งการทดลองออกเป็น การบำบัดทางเคมี การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

1. การบำบัดทางเคมี
 - สารโคแอกกูแลนต์และสาร โคแอกกูแลนต์เอดที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่
 - Polyaluminium Chloride (PAC)
 - Cationic polymer
 - Anionic polymer
 - สารปรับพีเอชที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่
 - กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid ; H_2SO_4)
 - กรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid ; H_3PO_4)
 - ปูนขาว (Calcium Hydroxide ; $Ca(OH)_2$)

2. การทดสอบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน จะทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้ว โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้นคือ 2,000 และ 3,000 มก./ล.

3. การทดสอบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน จะทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้ว โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้นคือ 3,500, 5,200 และ 8,000 มก./ล.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์พลังงาน

2.1.1 สถานการณ์พลังงานของโลก (ธนาคารทหารไทย, 2549)

ปัจจุบันแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ของโลกยังคงมาจาก fossil fuel โดยรูปแบบของแหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ก็ยังคงเป็นน้ำมันดิบ โลกมีการใช้น้ำมันดิบในอัตราที่เพิ่มขึ้นโดยตลอดจากวันละ 63.2 ล้านบาร์เรล ในปี 2531 เป็น 82.4 ล้านบาร์เรลต่อวัน ในปี 2547 และ IEA (International Energy Agency) ได้คาดการณ์ไว้ว่าอุปสงค์ของน้ำมันโลกจะเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 90 ล้านบาร์เรลต่อวันในปี 2553 และเพิ่มขึ้นถึง 120.9 ล้านบาร์เรลต่อวัน ในปี 2568 โดยมีสมมติฐานว่าเศรษฐกิจโลกจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3.0 ต่อปี ขณะที่ความสามารถในการผลิตน้ำมันของโลกในอีก 20 ปีข้างหน้า คือ ในปี 2568 จะอยู่ที่ประมาณ 126.1 ล้านบาร์เรลต่อวัน ซึ่งปัจจุบันนี้สถานการณ์การผลิตน้ำมันของโลกในหลายๆ พื้นที่นอกกลุ่มโอเปค ได้เข้าสู่ภาวะการผลิตที่จุดสูงสุด (Peak Oil) ไปแล้ว เช่น นอร์เวย์ อังกฤษ เป็นต้น ในขณะที่กลุ่ม OPEC คาดว่าจะเข้าสู่ภาวะ Peak Oil ในอีก 10 ปีข้างหน้า และเมื่อผ่านจุดนี้ไปความสามารถในการผลิตน้ำมันดิบของโลกจะเริ่มลดลง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น คาดว่าภาวะเช่นนี้จะเริ่มขึ้นในช่วงปี 2553-2563 ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สมดุลกับความต้องการบริโภคน้ำมันที่มีมากขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจโลก เป็นผลให้ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกมีแนวโน้มเคลื่อนไหวอยู่ในระดับสูงเกินกว่า 50 ดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อบาร์เรล และหากอัตราการใช้พลังงานของโลกไม่เปลี่ยนแปลงด้วยปริมาณสำรองที่เหลืออยู่ คาดว่าในอีก 40 ปีข้างหน้าพลังงานจะหมดไปจากโลก ด้วยเหตุผลนี้เอง จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็น พลังงานหมุนเวียนต่างๆ เพื่อมาใช้ทดแทนน้ำมัน ซึ่งในปัจจุบันพลังงานทดแทนจากพืช เช่น แก๊สโซฮอลล์ ไบโอดีเซล เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนนับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อกิจกรรมทุกๆ อย่าง ทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง

การผลิตพลังงานที่ใช้ในการขนส่งนั้น ยังคงเน้นหนักไปในเรื่องของการหาพลังงานเพื่อมาทดแทนน้ำมัน ดังนั้น ประเทศต่างๆ จึงทำการคิดค้นและวิจัยเพื่อนำน้ำมันที่สกัดได้จากพืชมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งรวมถึงประเทศไทยที่ได้มีการศึกษาและวิจัยเรื่องของไบโอดีเซลและ

แก๊ซโซลล์มาเป็นระยะเวลาอันยาวนานแล้ว จนเมื่อเกิดวิกฤติพลังงานขึ้นในปัจจุบันจึงเริ่มให้ความสนใจอย่างจริงจังที่จะนำน้ำมันจากพืชมาใช้ทดแทน fossil fuel

2.1.2 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน (ธนาคารทหารไทย, 2549)

ในปี 2547 ที่ผ่านมา สถานการณ์ราคาน้ำมันในตลาดโลกมีความผันผวนอย่างมาก ทำให้ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการปรับตัวเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันอย่างรุนแรง ต่อเนื่องมาจนถึงปี 2548 ที่ระดับราคาน้ำมันมีการปรับตัวสูงขึ้นโดยตลอด สำหรับสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน พบว่า มีการนำเข้าพลังงานเป็นมูลค่า 566,425 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2546 จำนวน 155,295 ล้านบาท คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 38 โดยเมื่อพิจารณาจำแนกตามประเภทของพลังงานพบว่าการเพิ่มขึ้นทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดิบมีมูลค่าการนำเข้าสูงที่สุด คือ 486,627 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 86 ของมูลค่าการนำเข้าพลังงานของประเทศ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าการนำเข้าพลังงานกับรายได้ประชาชาติของประเทศ (Gross Domestic Product : GDP) พบว่าสัดส่วนการนำเข้าพลังงานเมื่อเทียบกับรายได้ประชาชาติเพิ่มขึ้นโดยตลอดจากร้อยละ 3.9 ในปี 2540 เป็นร้อยละ 6.9 ในปี 2546 และเมื่อเทียบกับมูลค่าการนำเข้าสินค้ารวมของประเทศ สัดส่วนการนำเข้าพลังงานเมื่อเทียบกับการนำเข้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 9.6 ในปี 2540 เป็นร้อยละ 13 ในปี 2546

2.1.3 ประวัติการวิจัยและการพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซล (ธนาคารทหารไทย, 2549)

การวิจัยและพัฒนาเรื่องของไบโอดีเซลมีมานานแล้วในต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย สาธารณรัฐเช็ก ฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี ออสเตรีย สวีเดน สหรัฐอเมริกา และมาเลเซีย เป็นต้น ทั้งนี้ สืบเนื่องจากวิกฤติการณ์ทางด้านพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมมีการขาดแคลนในปี 2513 และเมื่อเกิดสงครามอ่าวเปอร์เซีย ทำให้การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไปได้ยากลำบาก ผลกระทบที่ตามมา คือ น้ำมันมีราคาแพงและมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ ประกอบกับผลผลิตทางการเกษตรมีปริมาณมากเกินความต้องการจึงทำให้มีการคิดค้นและวิจัยเพื่อนำผลผลิตทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่ง พลังงานทดแทน fossil fuel จึงเริ่มมีการวิจัยเรื่องของไบโอดีเซลอย่างจริงจัง โดยในปี 2525 มีรายงานการค้นพบ esters ที่มาจากไขสัตว์ในประเทศนิวซีแลนด์ และในปีเดียวกันนี้ ที่ประเทศออสเตรเลียก็มีการค้นพบ methyl esters ที่ผลิตจากรape seed และในปี 2532 เริ่มเกิดโครงการนำร่องในการผลิตไบโอดีเซลขึ้น และมีการพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในช่วงปี 2533-2543 โดยในปี 2534 กลุ่มอียูเสนอลดภาษีร้อยละ 90 สำหรับการนำเข้าเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งรวมถึงไบโอดีเซลด้วย ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเริ่ม

เป็นที่ยอมรับในระดับผู้ผลิตอุตสาหกรรมยานยนต์แล้ว ทำให้เกิดมีโรงงานผลิตไบโอดีเซลเกิดขึ้นมากมายทั้งในยุโรปและอเมริกา

2.1.4 นโยบายของรัฐบาลเกี่ยวกับไบโอดีเซล (ธนาคารทหารไทย, 2549)

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงาน แห่งชาติได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์การอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยในช่วงปี 2545 – 2554 โดยในแผนยุทธศาสตร์ดังกล่าวมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันพืช ดังนี้

- แผนยุทธศาสตร์ช่วงปี 2545-2547

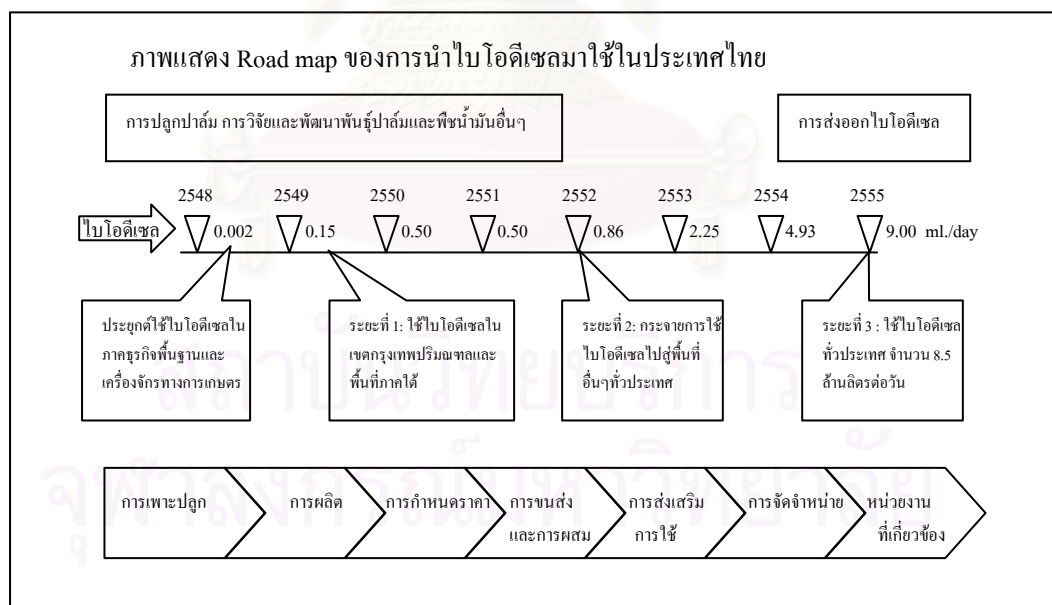
- ให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ รวมทั้งน้ำมันพืชใช้แล้ว
- ให้มีการศึกษาวิจัยทางด้านสายพันธุ์ เพื่อเพิ่มอัตราผลิตของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ โดยเฉพาะปาล์มและมะพร้าว โดยมีเป้าหมายว่าในปี 2554 จะต้องได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 1.33 เท่าของปี 2544

- แผนยุทธศาสตร์ช่วงปี 2548-2554 (รูปที่ 2.1)

- ในส่วนของปาล์มน้ำมันนั้นจะนำเอาน้ำมันปาล์มส่วนที่เหลือจากการบริโภคมาทำเป็นไบโอดีเซลทั้งหมด ซึ่งคาดว่าจะมีประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณทั้งหมดในแต่ละปีในช่วงปี 2548-2550 และจะเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นร้อยละ 40 ในปี 2554 รวมทั้งในปี 2549 และปี 2554 จะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 1.12 และ 1.33 เท่าของปี 2544
- สำหรับมะพร้าวนั้น ตั้งแต่ปี 2548 เป็นต้นมา จะนำเอามะพร้าวส่วนที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศมาแปรรูปเป็นไบโอดีเซลทั้งหมด และคาดว่าจะในปี 2554 จะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 1.33 เท่าของปี 2544 รวมทั้งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำมันมะพร้าวประมาณร้อยละ 2 ต่อปี
- ในส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยคิดจากกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้ น้ำมันทอดและภัตตาคารขนาดใหญ่ รวมทั้งร้านอาหารประเภทฟาสต์ฟู้ดต่างๆ เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณรวมกันประมาณ 42,000 ลิตรต่อปี และคาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ในแต่ละปีนับจากปี 2544 ซึ่งน้ำมันใช้แล้วเหล่านี้จะสามารถนำมาทำไบโอดีเซลได้ทั้งหมด

ต่อมารัฐบาลได้มีการวางยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันปี 2547-2572 เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มเคียงคู่ผู้นำในระดับโลกอย่างมาเลเซียและอินโดนีเซีย รวมทั้งนโยบายกำหนดให้ปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนของประเทศ ตั้งเป้าหมายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

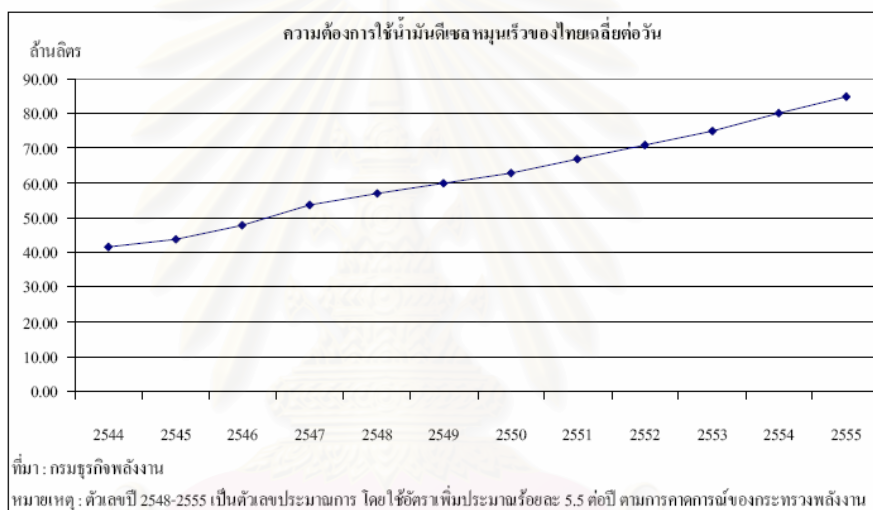
ให้ได้ 10 ล้านไร่ในปี 2572 โดยจะปลูกเพิ่มปีละ 400,000 ไร่ แบ่งระยะเวลาดำเนินการเป็น 5 ระยะๆ ละ 5 ปี ในช่วง 5 ปีแรกตั้งเป้าขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศจาก 2.04 ล้านไร่ในปี 2547 เป็น 3.67 ล้านไร่ ในปี 2552 คาดการณ์ผลปาล์มสดเพิ่มขึ้นเป็น 6.54 ล้านตัน หรือคิดเป็นน้ำมันปาล์มดิบ 1.18 ล้านตัน โดยจะดำเนินการส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันพันธุ์ดีในเขตนาร้าง 0.888 ล้านไร่ ไร่ร้าง 0.156 ล้านตัน และปลูกปาล์มน้ำมันแทนยางพาราในเขตที่ไม่เหมาะสมในการปลูกยางพารา 0.462 ล้านไร่ และจะเร่งรัดพัฒนาสวนปาล์มน้ำมันเดิมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกิดอุตสาหกรรมจากการแปรรูปอย่างง่ายเป็นการแปรรูปมูลค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนพลังงานที่มีราคาแพงในขณะนี้ นอกจากนี้มีการจัดตั้งคณะกรรมการปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มแห่งชาติเพื่อกำกับดูแลอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มแบบครบวงจร รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งเมืองปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นศูนย์กลางของอุตสาหกรรมทั้งระบบ โดยรัฐบาลได้กำหนด Road map (รูปที่ 2.1) ของการนำไบโอดีเซลมาใช้ในประเทศไทย คือ ในปี 2549 ให้มีการใช้ไบโอดีเซลในเขตกรุงเทพและปริมณฑล และพื้นที่ภาคใต้จำนวนประมาณ 150,000 ลิตรต่อวัน และขยายพื้นที่การใช้ไบโอดีเซลให้ทั่วประเทศภายในปี 2552 โดยให้มีปริมาณการใช้ไบโอดีเซลไม่ต่ำกว่า 500,000 ลิตรต่อวัน และภายในปี 2555 ต้องสามารถใช้ไบโอดีเซลสูตร B10 ได้ทั่วประเทศโดยคาดการณ์ว่าจะสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ 8.5 ล้านลิตรต่อวัน



รูปที่ 2.1 ภาพแสดง Road map ของการนำไบโอดีเซลมาใช้ในประเทศไทย
ที่มา : ธนาคารทหารไทย, 2549

2.1.5 ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลของประเทศไทย (ธนาคารทหารไทย, 2549)

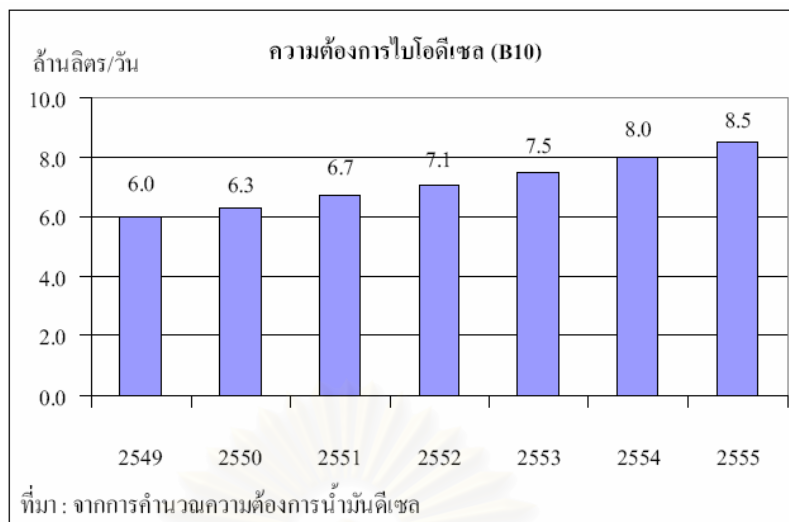
ในปี 2547 ประเทศไทยใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ยวันละ 53.52 ล้านลิตรต่อวัน หรือ 19,533 ล้านลิตรต่อปี ซึ่งแนวโน้มความต้องการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากน้ำมันเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการขนส่ง อุตสาหกรรมและพาณิชย์ และจากการพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลของกระทรวงพลังงานพบว่าในปี 2555 ประเทศไทยจะมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลถึงวันละ 85 ล้านลิตร หรือ 31,000 ล้านลิตรต่อปี ซึ่งหากคิดราคาหน้าโรงกลั่นเฉลี่ยที่ลิตรละ 20 บาท มูลค่าการใช้น้ำมันดีเซลจะสูงถึงปีละ 620,000 ล้านบาท (รูปที่ 2.2 และ 2.3)



รูปที่ 2.2 ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทยเฉลี่ยต่อวัน

ที่มา : ธนาคารทหารไทย, 2549

ในอนาคตหากประเทศไทยสามารถผลิตไบโอดีเซลขึ้นมาผสมกับน้ำมันดีเซลจะช่วยประหยัดเงินตราของประเทศได้มาก โดยหากผสมในสูตร B10 (น้ำมันดีเซลร้อยละ 90 และไบโอดีเซลร้อยละ 10) จะช่วยลดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในปี 2555 ลงได้ 8.5 ล้านลิตรต่อวัน หรือ 3,100 ล้านลิตรต่อปี และหากสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขึ้นไปเป็นสูตร B50 หรือ B100 ก็จะช่วยทำให้ประเทศไม่ต้องประสบกับปัญหาราคาน้ำมันเช่นในปัจจุบัน

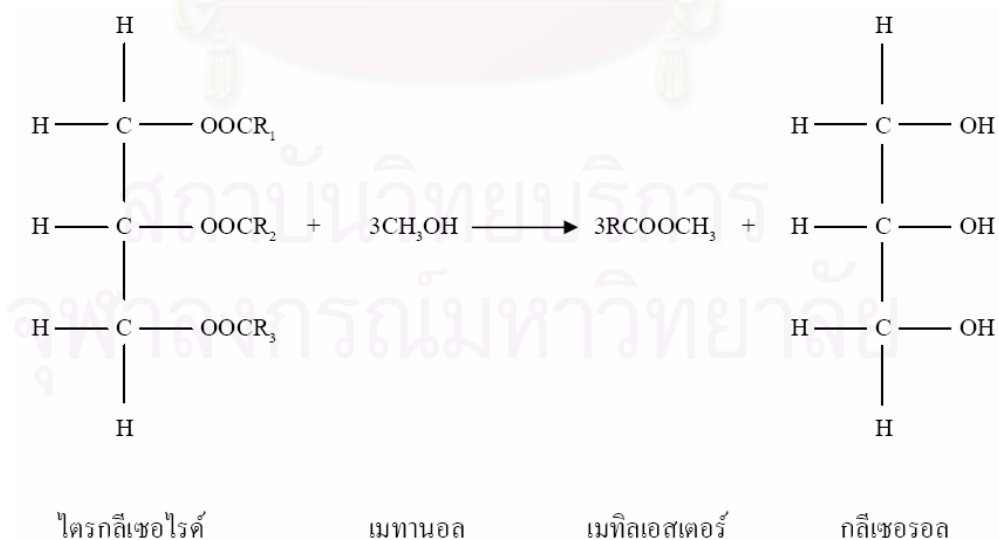


รูปที่ 2.3 ความต้องการไบโอดีเซล

ที่มา : ธนาคารทหารไทย, 2549

2.2 ความรู้เกี่ยวกับไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นชื่อที่ใช้เรียกเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเทอร์ (ester) ที่ได้จากปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอลปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวเรียกว่า “Transesterification” ดังแสดงในสมการ (สภาผู้แทนราษฎร, คณะกรรมาธิการพลังงาน, 2545)



ปฏิกิริยาทางเคมีชนิด Transesterification ของไตรกลีเซอไรด์และเมทานอลจะทำให้ได้สารเมทิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ต้องการ และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้

2.2.1 วิธีการผลิตไบโอดีเซล (สภาผู้แทนราษฎร, คณะกรรมการพลังงาน, 2545)

วิธีการผลิตไบโอดีเซลหรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันพืชไขสัตว์มี 3 วิธีคือ

- 1) การใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันและแอลกอฮอล์ โดยใช้ด่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 2) การใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันและแอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
- 3) การเปลี่ยนน้ำมันพืช หรือไขสัตว์ ให้เป็นกรดไขมันแล้วจึงนำกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้เป็นเอสเทอร์

2.2.2 ประเภทของไบโอดีเซล (สภาผู้แทนราษฎร, คณะกรรมการพลังงาน, 2545)

สามารถแบ่งประเภทของไบโอดีเซลที่นำมาใช้งานได้ 3 ประเภทได้ดังนี้

- 1) น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ไบโอดีเซลชนิดนี้คือ การนำเอาน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์อย่างน้ำมันหมู มาใช้โดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่น ซึ่งไบโอดีเซลชนิดนี้ใช้ได้กับเฉพาะเครื่องยนต์รอบต่ำ แม้จะมีราคาถูกแต่ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากมีปัญหาในเรื่องคุณสมบัติที่แตกต่างจากดีเซลอยู่มาก ทำให้เครื่องยนต์สันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุดส่งผลต่อลูกสูบและวาล์ว รวมทั้งเกิดตะกอนขาวติดอยู่ในถังน้ำมันทำให้เครื่องยนต์มีความหนืดเมื่ออุณหภูมิต่ำลง มีผลต่อการสตาร์ทเครื่องทำให้เครื่องติดยากหรืออาจไม่ติดเลย

- 2) ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการผสมน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ที่กล่าวมากับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เช่น

- โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่ อ. ทับสะแก จ. ประจวบคีรีขันธ์ ที่เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด

- ปาล์มดีเซล (palm-diesel) ที่เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล เป็นต้น ไบโอดีเซลชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลทางการเกษตร การแปลงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลทำให้ลดปัญหาเรื่องความหนืดของเครื่องยนต์และการสตาร์ทเครื่องลงไปได้ แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของการอุดตันของไส้กรองเครื่องยนต์ที่จะเกิดการอุดตันได้เร็วกว่าปกติ

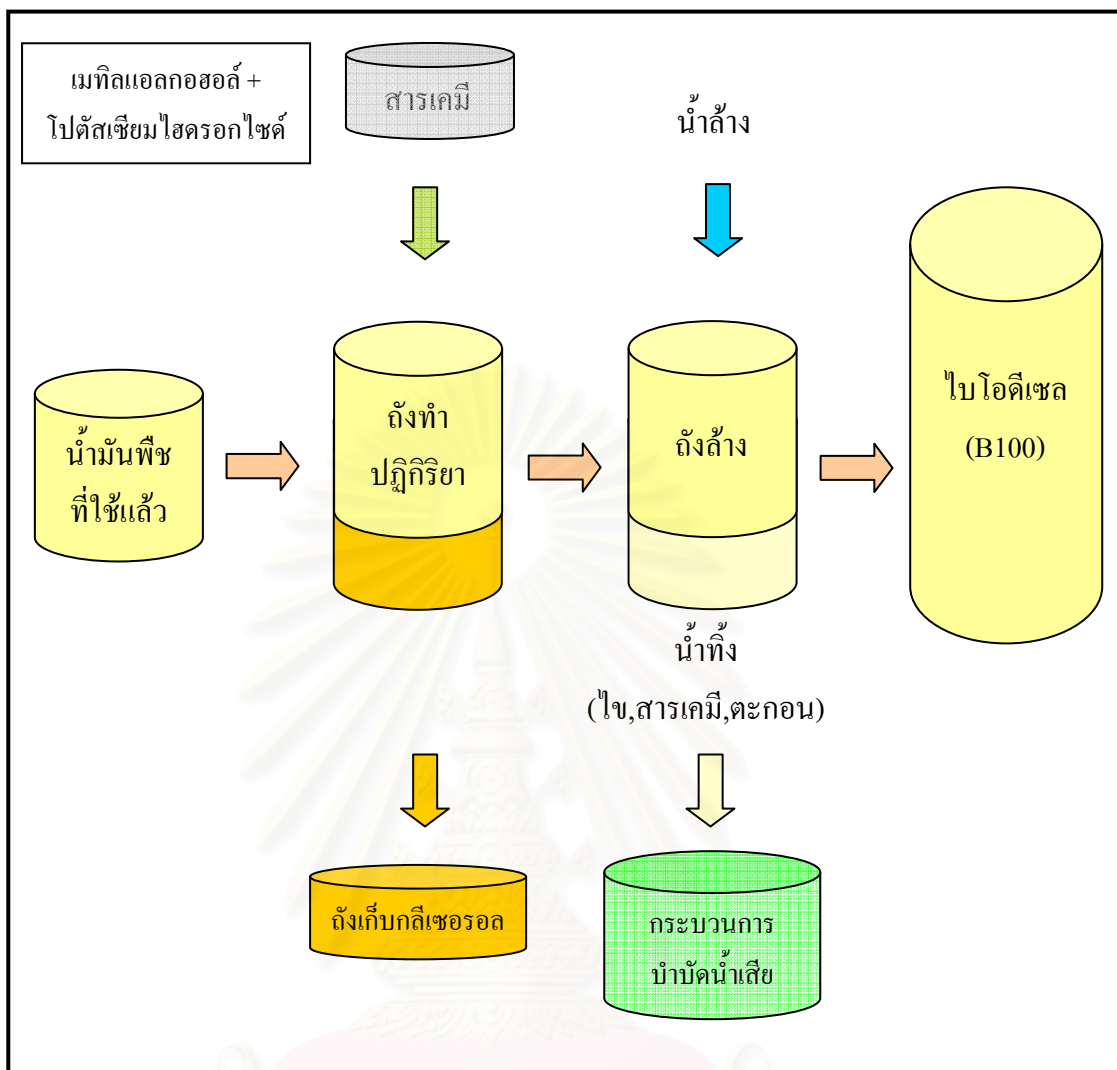
3) ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นประเภทของไบโอดีเซลตามความหมายสากลที่ นานาชาติรู้จักและยอมรับกัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ผ่านกระบวนการแปรรูปตามกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นการนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์มาผ่านกรรมวิธีทางเคมีเพื่อเปลี่ยน Triglycerides ให้อยู่ในรูปของ Monoalcohol Fatty Acid Ester โดยจะเรียกชนิดตามชนิดของ แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาว่าเป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) หรือ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters)

นอกจากนี้กรรมวิธีในการ Transesterification ในการแปรรูปน้ำมันพืชโดยใช้ เอทานอลเป็นสารตั้งต้นยังสามารถผลิต Palm Oil Di-Ethyl Ester (PODEE) ซึ่งสามารถนำไป ผสมใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี และยังสามารถผลิต ไกเซอร์อล (Glycerol) ได้ ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้จุดติดไฟได้ง่ายกว่า การจุดระเบิด ทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์เกิดคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำลายสิ่งแวดล้อมไม่มีปัญหาเรื่องความหนืดและสามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงอย่างรถยนต์ได้

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้ว จะถูกบีบผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับเมทานอลและสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะถูก นำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการออกแบบ หลังจากการเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้น น้ำมันซึ่ง ผสมด้วยเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกสารต่างๆ ออกจากสาร เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยการผ่านเครื่องคัดแยก (Separator)

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านขั้นตอนของการทำความสะอาดและลดปริมาณ น้ำออกและจะกลายเป็นน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีคุณสมบัติตามที่กำหนดและพร้อมที่จะนำไปใช้จาก กระบวนการดังกล่าวจะมีสารผสมระหว่างเมทานอลกับสารละลายกลีเซอรินออกจากขั้นตอนการ ผลิตซึ่งจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกต่อไป

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะเกิดน้ำเสียจากการล้างน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อให้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ทำการผลิตมีความสะอาดมากขึ้น น้ำเสียดังกล่าวนี้จะชะล้างสิ่งสกปรกจาก กระบวนการผลิตออกมาด้วย เช่น สบู่ methanol NaOH และ glycerine (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล โรงงานผลิตไบโอดีเซล จังหวัดเชียงใหม่

2.3 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน

ได้แก่ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ

2.3.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Treatment Process)

เช่น บ่อดักไขมันและน้ำมัน ซึ่งข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ น้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันละลายอยู่ไม่สามารถใช้ดักไขมันได้เนื่องจากน้ำมันจับเป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องให้น้ำมันและน้ำเสียแยกตัวออกจากกันโดยใช้สารเคมีก่อน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

2.3.2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment Process)

การบำบัดน้ำเสียโดยการตกตะกอนและรวมตะกอนทางเคมีโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นฟล็อกโดยใช้กระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และการสร้างสัมพันธระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (อูคมศักดิ์ เจียรวิชัย, 2541) และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี คือ Polyaluminium chloride (PAC), Cationic polymer, Anionic polymer และ Calcium Hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (ปูนขาว) ซึ่งข้อจำกัดของการบำบัดวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดบางตัวนั้นมีราคาค่อนข้างสูงจึงทำให้ต้นทุนในการบำบัดนั้นสูงตามไปด้วย

ระบบบำบัดน้ำเสียในสมัยแรกๆ ประมาณ 200 ปีที่ผ่านมา ได้รู้จักการใช้สารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) และอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย แต่ก็ยังมีปัญหาอยู่ที่ไม่สามารถกำจัดมลสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (soluble organics) ออกได้ ทำให้ในระยะต่อมาได้เปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแทน จนกระทั่งเมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้เริ่มให้ความสนใจในการใช้กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีมากขึ้น เพื่อลดมลสารและใช้ในการปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) ช่วยในการตกตะกอนและกำจัดสารโลหะต่างๆ ที่มีมากขึ้นในน้ำเสีย (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้ดังนี้ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

1. สร้างตะกอนให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย (coagulation and flocculation)
2. ทำให้มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำตะกอน (precipitation) หรือทำให้ไม่ละลายน้ำ (insolubilization)
3. ปรับสภาพของน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ปรับค่าความเป็นกรด่าง (พีเอช) เติมอาหารเสริม (nutrients)
4. ฆ่าเชื้อโรค (disinfection)
5. ปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยตะกอนและ/หรือแยกเอาน้ำออกจากตะกอน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีนั้นมีหลักการทำงานที่แน่นอนไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมมากเหมือนกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ดังนั้น ผู้ควบคุมการทำงานของระบบจึงจะต้องทราบทฤษฎีหลักการทำงานตลอดจนขั้นตอนต่างๆ เป็นอย่างดีว่าการใส่สารเคมี

ลงไปแล้วจะทำให้เกิดผลตามที่ต้องการได้อย่างไร ซึ่งหากทราบทฤษฎีเป็นอย่างดีจะไม่เกิดปัญหาในการควบคุมหรือเกิดขึ้นสามารถทราบสาเหตุและวิธีแก้ไขได้โดยง่าย

1. กระบวนการตกตะกอนทางเคมีหรือโคแอกกูเลชัน (Chemical Coagulation)

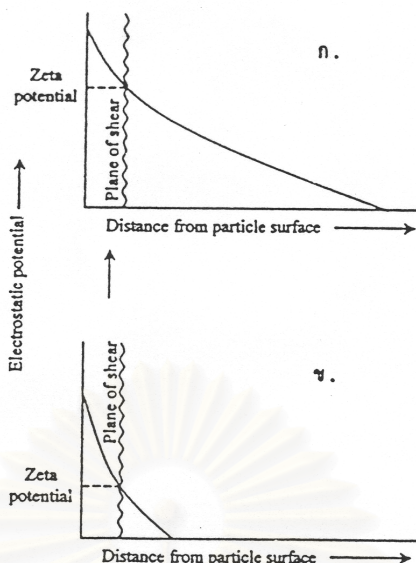
ในการกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากน้ำทำได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดเล็กที่เรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ (colloidal particle) อนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 10^{-6} มิลลิเมตร ถึง 10^{-3} มิลลิเมตร และไม่สามารถตกตะกอนด้วยตัวเองได้ภายในเวลาที่จำกัด จึงต้องทำให้การรวมกลุ่มของอนุภาคจนเป็นก้อนขนาดใหญ่เรียกว่าฟล็อก (floc) โดยใช้สารเคมีบางอย่างทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์เพื่อทำการแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำ กระบวนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยใช้สารเคมี เรียกว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) และสารเคมีที่ใช้เติม เรียกว่า สารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) เมื่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (flocculation) ฟล็อกที่เกิดขึ้นจะสามารถทำให้ตกตะกอนได้ง่าย การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ รวมตัวกันเป็นฟล็อกประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (destabilization) เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่งเป็นต้น และการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบกันหรือสัมผัสกันมากที่สุด (transport of colloidal particles) (อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย, 2541)

1) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (destabilization)

เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซิดาโพเทนเชียล ส่วนแรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ถ้าแรงดูดสูงกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์จะไม่มีเสถียรภาพ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยหลักการกลไก 4 แบบ คือ

ก) การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) (เกียรติพงศ์ เจริญสุข, 2546)

เป็นการเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ทำให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ซิดาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย เนื่องจากมีประจุเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจประจุของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปไกลเท่าเดิม (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์

(ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากเติมไอออนแล้ว

ที่มา : มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2532

ข) การทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

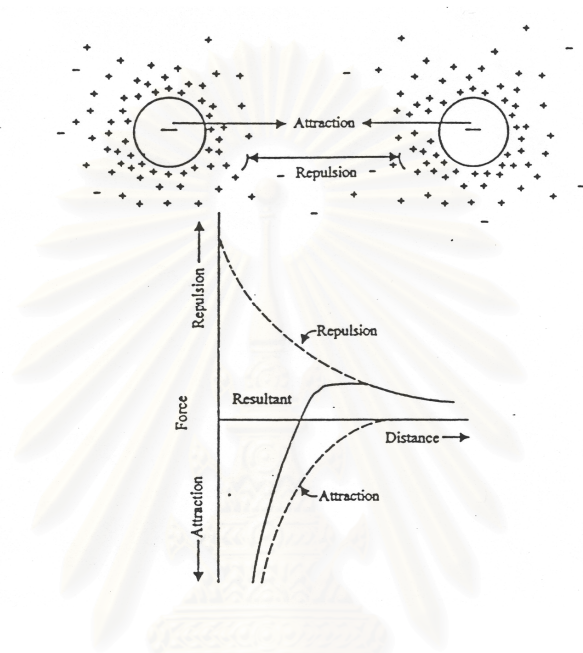
อนุภาคคอลลอยด์สามารถดูดติด (adsorb) สารเคมีบางชนิดไว้ที่ผิวได้ ถ้าสารเคมีนั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนั้นแตกต่างจากกลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ 3 ประการ ดังนี้

- กลไกแบบดูดติดผิวต้องการไอออนที่ต่างชนิดน้อยกว่าแบบแรก เนื่องจากไอออนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวอนุภาคของคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้

- ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดติดผิวนั้นเป็นแบบสโตยชิโอเมตริก (stoichiometric) ปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้จะมากหรือน้อยตามปริมาณของอนุภาคคอลลอยด์ (ที่ถูกควรเป็นพื้นที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์) แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่เป็นไปตามสโตยชิโอเมตริก

- กลไกแบบดูดติดผิวสามารถเปลี่ยนประจุอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิมโดยการใช้สารสร้างตะกอนที่มากเกินไป โดยกลไกแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นประจุตรงกันข้าม อาจเป็นเพราะจำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกกำจัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ไอออนต่างประจุ (สารสร้างตะกอน) ส่วนที่เติม

ที่เกินพอจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้น ไม่ว่าจะใช้สารสร้างตะกอนมากเท่าใดก็ไม่สามารถเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามได้ ข้อควรสังเกตเกี่ยวกับการเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ของกลไกแบบคอลลอยด์ คือ การที่ไอออนต่างประจุสามารถคอลลอยด์ของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนเป็นตรงกันข้ามย่อมแสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนต่างกับประจุกับอนุภาคคอลลอยด์จนเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้ (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ

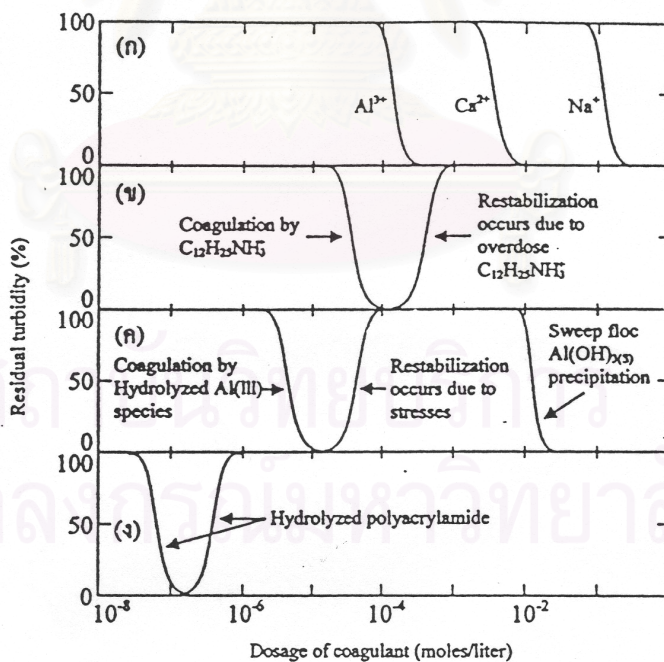
ที่มา : Samuel, D.F. and Osman, M.A., 1983

ค) การใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอจะเกิดการตกผลึกลงอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนได้ สารสร้างตะกอนดังกล่าว เช่น ปูนขาว สารส้ม เฟริกคลอไรด์ และแมกนีเซียมคาร์บอเนต สามารถทำให้เกิดการโคแอกกูเลชันได้โดยการสร้าง CaCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ซึ่งล้วนแต่เป็นผลึกสาร (precipitation) ที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้มักเรียกว่าเป็น Sweep Flocc Coagulation หรือ Sweep Coagulation

กลไกที่ใช้พอลิเมอร์อินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยต้องใช้สารสร้างตะกอนจำนวนมาก จึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีปริมาณสารมากอาจใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนน้อยกว่า เพราะน้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยจะมีโอกาสที่จะสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้น แม้ว่าจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้ว แต่กระบวนการโคแอกกูเลชันอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควรจึงใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนสูงเพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีปริมาณมลสารอยู่มากโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก (รูปที่ 2.7)

เนื่องจากกลไกแบบนี้สามนี้ไม่จำเป็นต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ กระบวนการโคแอกกูเลชันจึงไม่จำเป็นต้องเกิดในขณะค่าซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุดแต่ค่าที่มีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกนี้คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากความสามารถในการตกผลึกของสารต่างๆ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้น สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

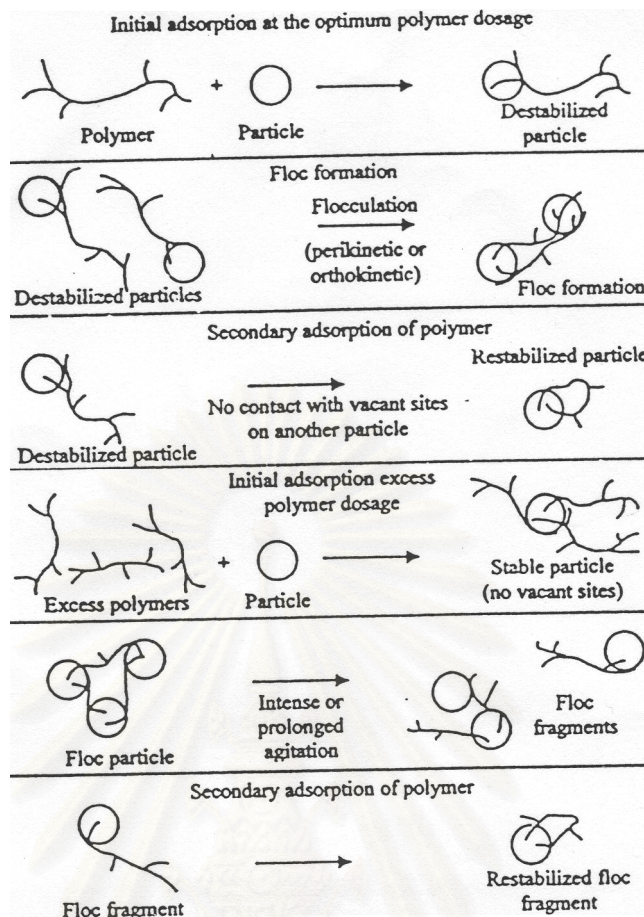


รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ

ที่มา : Samuel, D.F. and Osman, M.A., 1983

ง) การใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging)

อธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging Model (รูปที่ 2.8) โมเลกุลของสารโพลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลิเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลิเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับกับอนุภาคตัวอื่นๆ โดยมีโพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (ปฏิกิริยาที่ 2) การเชื่อมต่อดังกล่าวนี้สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเท่าที่มีโพลิเมอร์และตำแหน่งว่างที่ผิวอนุภาคถ้าปลายอิสระของโพลิเมอร์ไม่มีที่สำหรับเกาะจับอนุภาคอื่น (ไม่ว่าจะเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม (ปฏิกิริยาที่ 3) ซึ่งทำให้เสียประโยชน์ 2 ประการ คือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับกับอนุภาคอื่น และทำให้ตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะมีน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลิเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่าง เรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) การใช้สารโพลิเมอร์มากเกินไปทำให้โพลิเมอร์หลายโมเลกุลไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น (ปฏิกิริยาที่ 4) การกวนน้ำที่แรงเกินไปหรือนานเกินไปทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมาแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ (ปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลิเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม (ปฏิกิริยาที่ 6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่ (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2543)



รูปที่ 2.8 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลิเมอร์

ที่มา : Samuel, D.F. and Osman, M.A., 1983

2) การสร้างสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Transport of colloidal Particles) (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2546)

ขั้นตอนแรกของการทำโคแอกกูเลชัน คือ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ส่วนขั้นตอนต่อไป คือ การทำฟล็อกคูเลชัน เป็นการทำให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสหรือกระทบกัน อนุภาคที่สัมผัสกันแล้วจะต้องเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกจึงจะถือว่าเกิดฟล็อกคูเลชัน ถ้ามีการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคแต่ไม่จับตัวกันไม่ถือว่าเกิดฟล็อกคูเลชัน วิธีสร้างสัมพัทธ์ให้กับอนุภาคต่างๆ มีหลายวิธี ดังนี้

ก) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้น การกวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น วิธีสร้างสัมพัทธ์แบบนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า ฟล็อกคูเลชันแบบออร์โธไคเนติก (Orthokinetic Flocculation) อนุภาค

คอลลอยด์ที่มีฟล็อกคูเลชันแบบออร์โธโคเนติกควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

ข) การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเป็นการเคลื่อนที่แบบอาศัยความร้อน การสัมผัสระหว่างอนุภาคต่างๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนหรืออาศัยความร้อนนี้เรียกว่า ฟล็อกคูเลชันแบบเพอริโคเนติก (Perikinetic Flocculation) การเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลดังกล่าว สามารถสร้างสัมผัสให้กับคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 0.1-1 ไมครอนเท่านั้น

ค) การสัมผัสระหว่างอนุภาคเนื่องจากการตกตะกอน เกิดขึ้นจากการตกตะกอนที่มีอัตราความเร็วในการตกตะกอนไม่เท่ากันของอนุภาคขนาดต่างๆ ฟล็อกคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูเลชันแบบนี้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

ง) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟล็อกคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบออร์โธโคเนติก แต่อาจเกิดช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสมีน้อย การใช้เครื่องกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสและบังคับให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกัน แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีขีดจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล.

จ) ในกรณีที่คอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอน แต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

ความสำคัญของทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเท่าเทียมกัน และต้องมีทั้ง 2 ขั้นตอนจึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันจะเกิดเกือบสมบูรณ์เมื่อสารเคมีละลายน้ำได้หมดโดยในขั้นแรกจะเกิดตะกอนขนาดเล็กและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น เนื่องจากการลดประจุไฟฟ้าของอนุภาค และการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) จากนั้นจึงส่งเข้ากระบวนการฟล็อกคูเลชัน เพื่อกวนช้าๆ ให้อนุภาคมาชนกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น จนสามารถแยกออกได้ง่าย (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

การที่จะแยกอนุภาคออกจากของเหลวได้นั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้การแยกโดยถังตกตะกอน แต่ถ้าแยกอนุภาคออกโดยการตกตะกอนและอาศัยแรงดึงดูดของโลกแล้วขนาดของอนุภาคที่จะแยกต้องมีขนาดใหญ่พอและตกตะกอนได้ง่าย จึงทำให้ต้องอาศัยกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันร่วมกัน

แรงที่กระทำต่ออนุภาค นอกจากแรงดึงดูดของโลกแล้วยังมีแรง electrostatic และ interionic ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาคจนไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้น จึงต้องใส่สารเคมี (coagulant) ลงไปเพื่อลดแรงที่กระทำที่ผิวโดยประจุไฟฟ้า ทำให้อนุภาคสามารถสัมผัสและรวมตัวกันให้ใหญ่ขึ้นได้ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันเรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) หรืออาจเรียกว่า ฟล็อกกูแลนต์ (Flocculant) สารเคมีซึ่งช่วยทำให้โคแอกกูแลนต์มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant Aid) หรือฟล็อกกูแลนต์เอ็ด (Flocculant Aid) (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2546) สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ เช่น โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) เป็นสารตัวใหม่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสะดวกในการใช้งานมีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตัวตะกอนสูง ตกตะกอนเร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็วขึ้นและละลายน้ำได้ดีแต่ราคาค่อนข้างสูง การใช้ปูนขาว (Lime) เพื่อให้เกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งวิธีนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อลดค่าซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอยได้ด้วย ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าซีโอดีควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการเลือกใช้สารเคมีเพื่อลดต้นทุนและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

ในปัจจุบันสารสร้างตะกอนจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

เมื่อเติมสารสร้างตะกอนในกลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ลงในน้ำโมเลกุลของมันจะแตกตัวออกเป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{+3}) และสารประกอบเชิงซ้อนจำนวนมาก (Complex ion) อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ยู่มีหลายชนิด เช่น

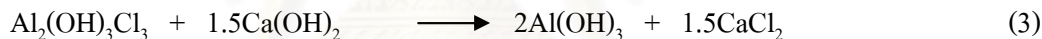
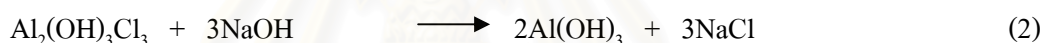
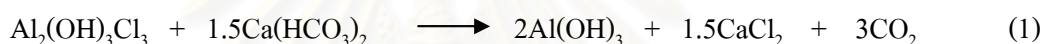
1.1) Aluminium Sulphate ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) หรือสารส้ม (Alum) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Filter alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งละลายน้ำก็ได้

1.2) Liquid Alum จะมี Water-Soluble Alumina (Al_2O_3) อยู่ 5.8-8.5% ราคาถูกกว่าชนิดแรก

1.3) Sodium Aluminate ประกอบด้วย Al_2O_3 ซึ่งทำให้อยู่ตัวด้วย NaOH สารตัวนี้ไม่ใช่โคคๆ มักใช้คู่กับสารส้มเพื่อให้ได้ผลที่ดี

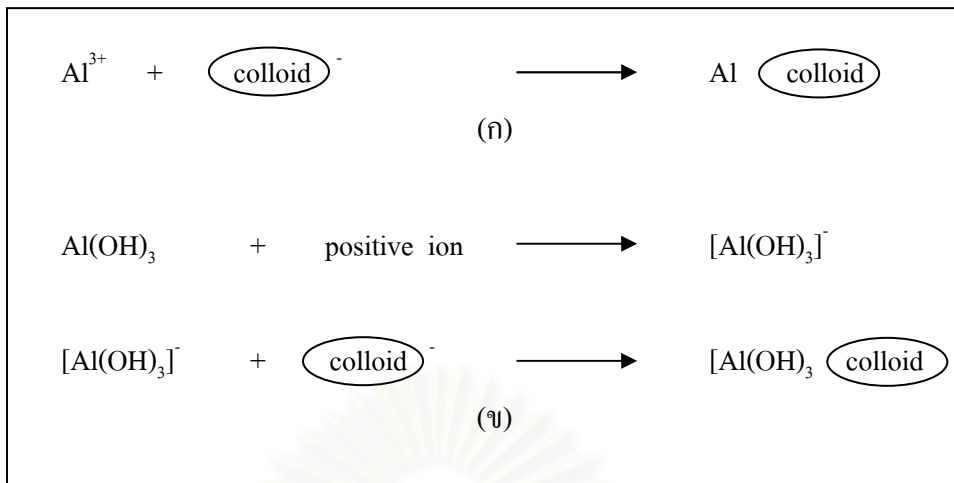
1.4) Activated Silica มักใช้ร่วมกับ Alum ทำให้การตกตะกอนเกิดได้เร็วขึ้น

1.5) Polyaluminium Chloride (PAC) เป็นโคเอกกุลแลนที่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นช่วงปีเอชในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าโคเอกกุลแลนที่ตัวอื่นๆ สร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็วขึ้นน้อยกว่า เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีสูตรโมเลกุลเป็น $[\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n-m}]$ ($n=2, 2.7, m=3.9, 1.0$) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



$\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำเหมือนกับสารส้มคือ แยกตัวให้ Al^{3+} ซึ่งจะรวมกับอนุภาคคอลลอยด์และทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ได้ นอกจากนี้ Al^{3+} ยังทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็นตะกอนเล็กสามารถรวมตัวกับอนุภาคอื่นที่มีประจุบวก เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวก เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกไปจับกันกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นตะกอนใหญ่ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9 กลไกการทำงานของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)

(ก) Al^{3+} รวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่

(ข) $\text{Al}(\text{OH})_3$ รวมกับอนุภาคที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนใหญ่

ที่มา : มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2532

2) กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหรือไอออนโคแอกกูแลนต์ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

ไอออนโคแอกกูแลนต์จะทำงานในสภาวะที่มีพีเอชต่ำกว่าลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ และสามารถทำงานในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า คือ 4-11 นอกจากนี้ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc ยังหนักกว่า $\text{Al}(\text{OH})_3$ floc ทำให้ตกตะกอนได้เร็วกว่าไอออนโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่

2.1) Ferrous sulphate (FeSO_4) FeSO_4 จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ในสภาวะที่เป็นพีเอชสูงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ถ้าพีเอชต่ำกว่า 8.5 ดังนั้น จึงมักเติมปูนขาวลงไป ดังสมการ



โดยทั่วไป FeSO_4 มักใช้คู่กับปูนขาวในการกำจัดน้ำกระด้างและตกตะกอนเหล็กและแมงกานีส

2.2) Ferric Sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ละลายได้ดีในน้ำอุ่น และจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือปูนขาวที่เติมลงไป เกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc ในกรณีของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อออกซิไดส์ ตามทฤษฎี

1 ppm ของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ จะทำปฏิกิริยากับ 0.75 ppm alkalinity as CaCO_3
0.58 ppm 95% hydrate lime

ดั่งสมการที่ 6



โดยทั่วไป Ferric coagulation จะทำงานที่พีเอชต่ำกว่าเกลือของอลูมิเนียมและสามารถใช้ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าคือตั้งแต่ 4-11 ที่พีเอชต่ำ Ferric coagulant ใช้ได้ดีในการกำจัดสีและที่พีเอชสูงๆ Ferric coagulant ก็ใช้ได้ดีในการกำจัดเหล็ก แมงกานีสซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี นอกจากนี้ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc ยังหนักกว่า $\text{Al}(\text{OH})_3$ floc และตกตะกอนได้เร็วกว่า

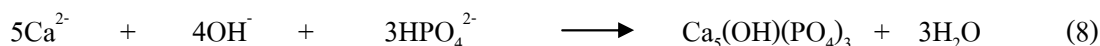
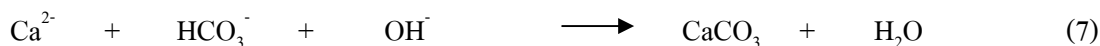
ข้อดีของ Ferric coagulant เปรียบเทียบกับ Aluminium coagulant คือ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc จะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูงๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องใช้ที่พีเอชสูงทำให้เปลืองค่าจึงมักใช้กับน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวเท่านั้น

2.3) Ferric chloride (FeCl_3) มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้ามีความเข้มข้นอยู่ด้วย FeCl_3 จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ในน้ำเกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$

การที่เกลือของเหล็กและอลูมิเนียมเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตกตะกอน เพราะมีคุณสมบัติในการตกตะกอนคอลลอยด์ได้มากกว่าตัวอื่น ทั้งนี้เพราะการตกตะกอนของคอลลอยด์มีผลโดยอิออนของอิเล็กโตรไลต์ที่เติมลงไปมีประจุตรงกันข้ามของอนุภาคคอลลอยด์และผลที่เกิดขึ้นจากอิออนเหล่านั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุบนตัวของมัน

2.4) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือปูนขาวผลึกน้ำ เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอน ผลึกความสามารถละลายน้ำได้น้อยทำให้เกิดตกตะกอนผลึกในรูปหินปูน การเก็บรักษาจึงค่อนข้างยุ่งยาก การป้อนปูนขาวผลึกน้ำ จะต้องให้ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) ข้อดีในการใช้ปูนขาวผงน้ำ คือ มีราคาถูก เมื่อเติมลงไปน้ำ จะทำปฏิกิริยากับด่างและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ กลายเป็นสารตัวใหม่ตกตะกอนชะพาเอาสารแขวนลอยตกลงมาด้วย ดั่งสมการ



จากสมการ 8 สามารถกำจัดฟอสเฟตออกจากน้ำเสียได้ด้วย

3) โพลีเมอร์ (Polymer)

สารเคมีที่นำมาใช้เป็นสารฟล็อกคูแลนท์เอคได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ ในปัจจุบันฟล็อกคูแลนท์เอคที่นิยมใช้กันมากที่สุดเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่างๆ เรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) หรือ โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) สารโพลีเมอร์เป็นลูกโซ่ของสารโมโนเมอร์หลายๆ ตัวเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ โพลีเมอร์อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ เช่น อาจมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่เพียงไม่กี่ร้อยไปจนถึงระดับที่สูงกว่าสิบล้าน เป็นต้น (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2546)

การจำแนกประเภทของโพลีเมอร์ตามประจุมี่ดังนี้ คือ โพลีเมอร์ประจุบวก (cationic polymer) โพลีเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ (nonionic polymer) ประจุของโพลีเมอร์เหล่านี้เกิดขึ้นจาก Functional group ต่างๆ หลายชนิด เช่น คาร์บอกซิลซัลโฟเนต เป็นต้น (อุดมศักดิ์ เจียรวิชญ์, 2541)

ชนิดของโพลีเมอร์ (อุดมศักดิ์ เจียรวิชญ์, 2541)

การจัดหมวดหมู่สารโพลีเมอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบตามคุณสมบัติและประโยชน์ใช้งานกล่าวคือ อาจแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิด โครงร่างหรือขนาดของโมเลกุลหรือแบ่งตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล เป็นต้น

ก) แบ่งตามประจุที่อยู่บนสายโพลีเมอร์ (polymer chain) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

● สารโพลีเมอร์ที่ให้ประจุบวก (cationic polymer) คือ สารโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่มีประจุบวกซึ่งมีหลายรูปแบบ ได้แก่

- โพลีอามีน
- โพลีเอทีลีนควอเทอนารี
- แคทไอออนนิคไซยานามีน
- คาโบโมอิลโพลีเมอร์แคทไอออน

- โพลีแอลฟาไวનીลไมคาไซลีน
- โพลีไดอัลลิเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์
- ไคเมทิลอะมีโนอัลคิลอะครีลิก
- เมททาไซคลิกเอสเทอร์โพลิเมอร์
- เอ็นอัลคิลอะมีโนอัลคิลอะครีลาไมน์โพลิเมอร์

● สารโพลิเมอร์ที่ให้ประจุลบ (anionic polymer) คือ สารโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีประจุลบโดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงสูง มักใช้เป็นสารรวมตะกอน โพลิเมอร์ที่มีประจุลบมากและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจายตะกอนในสารละลาย (dispersants) รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลทไอออน ได้แก่ พวกลิโพลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิเลทและพวกลิโพลิเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟนิคแอซิด

● สารโพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ (nonionic polymer) คือ สารโพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุทำให้เกิดการรวมตะกอนโดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตัวอย่างสารโพลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน ได้แก่ โพลีเอทิลีนออกไซด์ โพลีอะครีลาไมด์ และโพลีไวนิลไพโรไลโดนอน มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

● สารโพลิเมอร์ที่มีทั้งประจุบวกและลบ (polyampholytes) คือ สารโพลิเมอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีทั้งกลุ่มที่มีสภาพเป็นกรดและเบส มักจะให้ประจุบวกที่พีเอชต่ำให้ประจุลบที่พีเอชสูงและเป็นกลางทางประจุที่บางค่าพีเอช

ข) แบ่งตามแหล่งกำเนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

● สารโพลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น เซลลูโลส (cellulose), เจลาติน (gelatin) และแป้ง (starch) เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นโพลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุโดยมีลักษณะโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน ในทางปฏิบัตินิยมใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำ

● สารโพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เป็นการนำเอาโมโนเมอร์หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกันและสามารถจัดการสังเคราะห์ขึ้นให้ได้ตรงตามที่ต้องการ โดยสามารถทำได้ขนาดที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ที่แตกต่างกันและสามารถกำหนดกลุ่มประจุรวมทั้งจำนวนประจุ (charge density) ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ ยังสามารถจัดการเกี่ยวกับโครงสร้างของโพลิเมอร์ให้เป็นแบบเส้นตรงหรือกิ่งก้านสาขาได้

3. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้

1) ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2) ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้น จะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

3) พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดพีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดีจึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี

4) ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า K_{sp} (หรือค่าคงที่ในการละลาย) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} มันจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้น ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจึงต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่

5) เวลาและความแรงของการผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำได้อย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำอย่างรวดเร็วด้วยเวลาที่สั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ดี ปฏิบัติการดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้น ถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องให้เกิดการรวมตัวของตะกอนจำเป็นต้องในการกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกันได้มากที่สุด

4. การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์

ค่าใช้จ่ายหลักในการตกตะกอนมี 2 ส่วน คือ ค่าก่อสร้างและค่าสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ซึ่งปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมีเป็นจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ทั้งนี้หน้าที่หลักของสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอน คือ ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์และการทำให้ตะกอนยึดเหนี่ยวกันแข็งแรงขึ้น เพื่อไม่ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วต้องแตกเป็นส่วนๆ ดังนั้น การเลือกชนิดและความเข้มข้นของโคแอกกูแลนทั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโคแอกกูแลนทั้นและคุณสมบัติของน้ำ ซึ่งในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารที่ใช้ โดยวิธีที่เรียกว่า จาร์เทสต์

เครื่องมือในการทำจาร์เทสต์ ประกอบด้วยใบพัดสำหรับการกวนน้ำ 6 ใบที่หมุนรอบในแนวนอน ใช้ในการทดสอบน้ำตัวอย่างและสารโคแอกกูแลนทั้นที่ใส่ในบีกเกอร์ โดยปกติในการทำจาร์เทสต์มีช่วงของการกวนเร็ว ซึ่งใช้ความเร็วรอบสูงและใช้เวลาน้อย ช่วงของการกวนเร็วจะเป็นช่วงในการเติมโคแอกกูแลนทั้นลงในบีกเกอร์ที่ใช้ทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สารเคมีที่ใช้มีการกระจายตัวออก ผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วแล้วจะเป็นช่วงการกวนช้าเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากน้ำ โดยปล่อยให้ตกตะกอนแล้วจึงนำน้ำใสส่วนบนมาวัดค่าต่างๆ ตามต้องการ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

2.3.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Treatment Process)

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Treatment Process)

1) ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

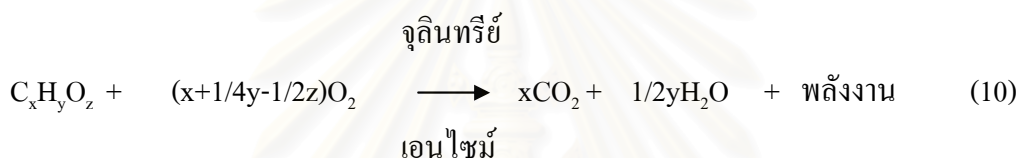
กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และมีสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีพ และเนื่องจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิดด้วยกัน โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน

(Complex Organics) ก่อน จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลายต่อจนได้สารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป ดังสมการ (อนันต์ กาญจนวุฒิชัย, 2539)

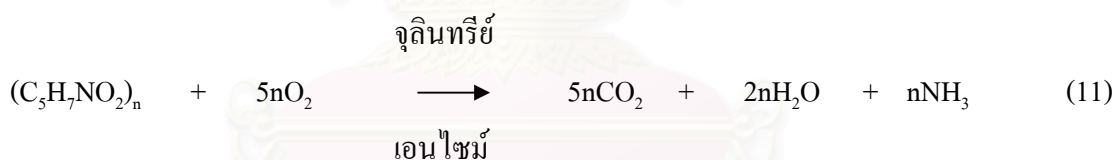


ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ออกซิเจนอิสระนี้จุลินทรีย์ต้องนำออกซิเจนมาใช้ด้วยเหตุผล 3 ประการ (Eckenfelder, W.W., 1995) คือ

- ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Organic matter Oxidation) ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ดังสมการ



- ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ (Cell material Oxidation) ตามสมการ



- การตายของจุลินทรีย์ (Death) โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้วจะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่

จากสมการข้างต้น มลสารที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ ส่วนน้ำและสารอินทรีย์อื่นๆ บางส่วนเช่น ไนเตรท (NO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) จะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สรุปแล้วมลสารส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียที่ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายสารต่างๆ มาใช้หมดแล้วจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป (end product) ก็จะเป็นน้ำสะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น (วิบูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ, 2535)

2) ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ สารอาหารที่จำเป็น และสารพิษ ดังนั้นในการควบคุมให้กระบวนการมีเสถียรภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยและสภาวะแวดล้อมให้พอเหมาะ (วินูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ, 2535)

● อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เพราะกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางชีวเคมีและอัตราของปฏิกิริยานี้ก็มาจากอุณหภูมิภายใต้ช่วงของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสามารถแบ่งจุลินทรีย์ได้เป็น 3 ประเภทคือ

Psychrophilic microorganism	เจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ	5-20°C
Mesophilic microorganism	เจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ	20-45°C
Termophilic microorganism	เจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ	45-55°C

จะเห็นได้ว่าจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ กัน ตั้งแต่ค่าต่ำสุดที่พบคือ -7°C และสูงสุด คือ 93°C แต่โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30-40°C ซึ่งเป็นช่วงของ Mesophilic ที่แสดงถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สุด (Optimum growth temperature) จุลินทรีย์จะแบ่งตัวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมินี้ (วินูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ, 2535)

Eckenfelder, W. W. (1967) พบว่า อัตราของปฏิกิริยาชีวเคมี (Rate of biochemical reaction) จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิจนถึงขีดสูงสุดของอุณหภูมิ 30°C และเมื่อเพิ่มขึ้นไปอีกจะทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีลดลง

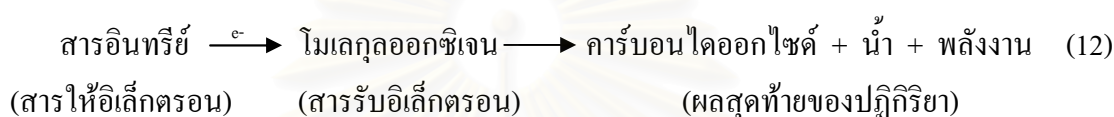
● ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชเป็นตัวกลางที่สำคัญในการที่จะทำให้เอนไซม์ต่างๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเมตาบอลิซึมของเซลล์ดำเนินไปได้ด้วยการทำงานของเอนไซม์เหล่านั้น ดังนั้นโดยสรุปแล้วค่าพีเอชมีอิทธิพลของจุลินทรีย์ในแง่ของการเจริญเติบโต และในกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด

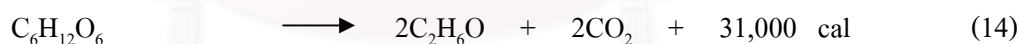
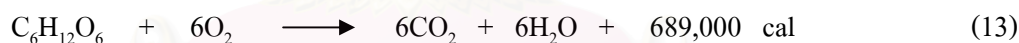
(Optimum pH for growth) คือ 6.5-7.5 และแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อค่าพีเอชมีสภาพเป็นด่างอ่อน ในขณะที่สาหร่าย (algae) และฟังไจ (fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาพเป็นกรดอ่อนๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

- ความต้องการออกซิเจน (Oxygen Requirement)

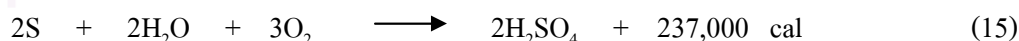
ในกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนพวกจุลินทรีย์จะเจริญได้ในที่มีออกซิเจนอิสระ (Obligate aerobe) จะต้องการโมเลกุลออกซิเจนเพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Terminal electron acceptor) ดังสมการ



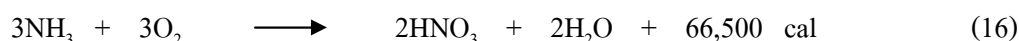
ในระหว่างพวก Heterotrop ต่างๆ Aerobic และ Facultative microorganism จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์และให้ปริมาณพลังงานที่สูงมากในขณะที่ Anaerobic Fermenter ไม่สามารถทำได้ ซึ่งจะแสดงความแตกต่างให้เห็นดังสมการเมตาโบลิซึมของกลูโคส ดังนี้ คือ



Aerobic autotrophic bacteria บางพวกสามารถย่อยสลายสารประกอบอนินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ เช่น การย่อยสารประกอบซัลเฟอร์โดย Thiobacillus thiooxidans ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ดี ดังสมการ



นอกจากนี้เชื้อ Nitrosomonas จะสามารถย่อยสลายแอมโมเนียบางส่วนได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนอิสระ ดังสมการ



ดังนั้น การให้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนนี้จะต้อง ออกแบบให้มีการถ่ายเทออกซิเจนในอัตราที่สามารถตอบสนองความต้องการของเซลล์จุลินทรีย์ ภายในถังปฏิกรณ์อย่างเพียงพอ และต้องควบคุมปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ไม่ให้ต่ำกว่า 1-2 มก./ล. (รุ่งศักดิ์ หอมศรี, 2537)

Tchobanaglou, G. and Burton, F.L. (1983) กล่าวว่า ปริมาณอากาศที่ใช้ในระบบ Conventional Activated Sludge นั้นจะใช้ประมาณ 75-115 ลูกบาศก์เมตรของอากาศต่อกิโลกรัม บีโอดีที่ถูกกำจัดไป

- สารอาหารที่จำเป็น (อนันต์ กาญจนวุฒิธรรม, 2539)

สารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบ ใช้ออกซิเจน ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากธาตุต่างๆ เหล่านี้เป็น องค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์จุลินทรีย์ คือ $(C_5H_7NO_2)_n$ นอกจากนี้ก็มีสารอาหารรองที่ช่วยใน การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีความสมบูรณ์และแข็งแรงยิ่งขึ้น ซึ่งมีความต้องการในปริมาณที่ต่ำ เช่น ธาตุเหล็ก และอื่นๆ ตามแต่ชนิดของจุลินทรีย์นั้น อัตราส่วนของสารอาหารที่เหมาะสมควรมี ค่า BOD:N:P:Fe เท่ากับ 100:5:1:0.5 หรือถ้าเป็น COD:N:P:Fe เท่ากับ 150:5:1:0.5

- สารพิษ (Toxic Substance) (วิบูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ, 2535)

สารเคมีใดๆ ที่เข้าสู่ระบบเมื่อมีค่าความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งแล้วมีผลให้ประสิทธิภาพ หรือเสถียรภาพของระบบลดลง สารนั้นจัดว่าเป็นสารพิษ ความเป็นพิษต่อระบบมีผลตั้งแต่ยับยั้ง การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Inhibition) จนถึงทำลายจุลินทรีย์หมด (Completely toxic) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องควบคุมความเข้มข้นของสารใดๆ มิให้เกินขีดจำกัด ซึ่งมีผลต่อระบบในน้ำเสียก่อนที่ จะเข้าสู่ระบบบำบัด

สารพิษที่มีผลต่อระบบบำบัดทางชีววิทยา ได้แก่ โลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb), สังกะสี (Zn), โครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu),ปรอท (Hg) และนิกเกิล (Ni) เกลืออนินทรีย์ คลอรีน และสารอินทรีย์บางชนิดที่มีความเข้มข้นมากเกินไป และอาจรวมถึงสารพิษฆ่าแมลงต่างๆ ด้วย เป็นต้น

ดังนั้น การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ถ้าสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น พีเอช และ อุณหภูมิไม่ขัดต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารเท่านั้น ถ้าสารอาหารเสริมเพียงพอกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังตารางที่ 2.1 แสดงข้อดีและข้อเสีย ของการใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน (ธีระ เกรอต, 2539)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การย่อยแบบใช้ออกซิเจนให้ผลผลิตสุดท้ายที่ไม่มีกลิ่นคล้ายอิมัส คงตัวทางชีวะซึ่งสามารถทิ้งได้ง่าย	1. ต้องใช้พลังงานในการเติมอากาศในแก่ระบบ ดังนั้น ค่าดำเนินงานจึงสูงกว่าการย่อยแบบไร้ออกซิเจน
2. การย่อยแบบใช้ออกซิเจนผลิตน้ำใสที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ละลายที่ย่อยทางชีวะได้น้อย	2. ไม่ได้พลังงานกลับคืนในรูปของมีเทน
3. ตะกอนที่ย่อยแล้วปกติมีคุณสมบัติที่รีดน้ำได้ดี คุณสมบัติการรีดน้ำขึ้นอยู่กับเวลาการย่อย	3. ตะกอนที่ผ่านการย่อยแบบใช้ออกซิเจนทำให้ใสไม่ดี ส่วนน้ำใสอาจมีสารแขวนลอยสูง
4. การย่อยใช้ออกซิเจนประหยัดที่จะใช้กับตะกอนที่มีความเข้มข้นต่ำ จึงลดความต้องการเครื่องทำตะกอนให้ขึ้น ที่จำเป็นในการย่อยตะกอนชั้นที่สองแบบไร้ออกซิเจน	4. การย่อยแบบใช้ออกซิเจนของตะกอนชั้นแรกผลิตตะกอนเหลือมากกว่าการย่อยแบบไร้ออกซิเจน
5. เมื่อใช้กับตะกอนชั้นที่สอง การย่อยใช้ออกซิเจนสามารถลดของแข็งอินทรีย์คล้ายกับระบบแบบไร้ออกซิเจน	5. ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้น จะแปรเปลี่ยน เว้นแต่จะมีการควบคุมอุณหภูมิ
6. เมื่อเปรียบเทียบกับกรย่อยแบบใช้ออกซิเจน ตะกอนมีคุณค่าของปุ๋ยมากกว่า ทำให้เกิดข้อดีสำหรับใช้กับดิน	
7. เงินลงทุนสำหรับการย่อยแบบใช้ออกซิเจนน้อยกว่าการย่อยแบบแอนแอโรบิกเพราะถึงปฏิบัติการง่ายกว่า	
8. ถังย่อยแบบใช้ออกซิเจนมีปัญหาการดำเนินการน้อยกว่าแบบไร้ออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องการฝีมือน้อยกว่าในการควบคุมดำเนินการ	

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment Process)

1) ทฤษฎีระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงด้วยวิธีทางชีวภาพนั้น ขั้นตอนแรกควรเป็นระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน เพราะเนื่องจากค่าใช้จ่ายสำหรับระบบนี้จะต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ 80-90 % จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่ถูกนำไปสร้างเซลล์มีน้อยมาก ปัญหาในการกำจัดตะกอนจึงมีน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย แต่ข้อเสียที่สำคัญ คือ แบคทีเรียที่ใช้ในระบบบำบัดเจริญเติบโตช้าต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบยาวนานมาก นอกจากนี้ในระบบจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีกลิ่นเหม็น น้ำเสียอาจมีสีดำ เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบโลหะต่างๆ ในน้ำเสียเกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ

2) ลักษณะทางชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (ตุลชัย แจ่มใส, 2545)

ปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปล้วนมีลักษณะพื้นฐานร่วมกัน คือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน - รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้และรับอิเล็กตรอน ทั้งนี้พลังงานเคมีเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่สิ่งมีชีวิตนำมาใช้แหล่งของพลังงานเคมีก็คือ สารอินทรีย์ซึ่งจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพราะมีพลังงานในตัวเองสูงและสารอย่างอื่นที่อยู่ในน้ำจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจนมีความแตกต่างกันอยู่ที่ประเภทของสารรับอิเล็กตรอน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาก็เป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก ถ้าสารรับอิเล็กตรอนไม่ใช่ ออกซิเจน แต่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในเตรท หรือซัลเฟตปฏิกิริยาก็เป็นแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีหน้าที่ 2 ประการ คือ

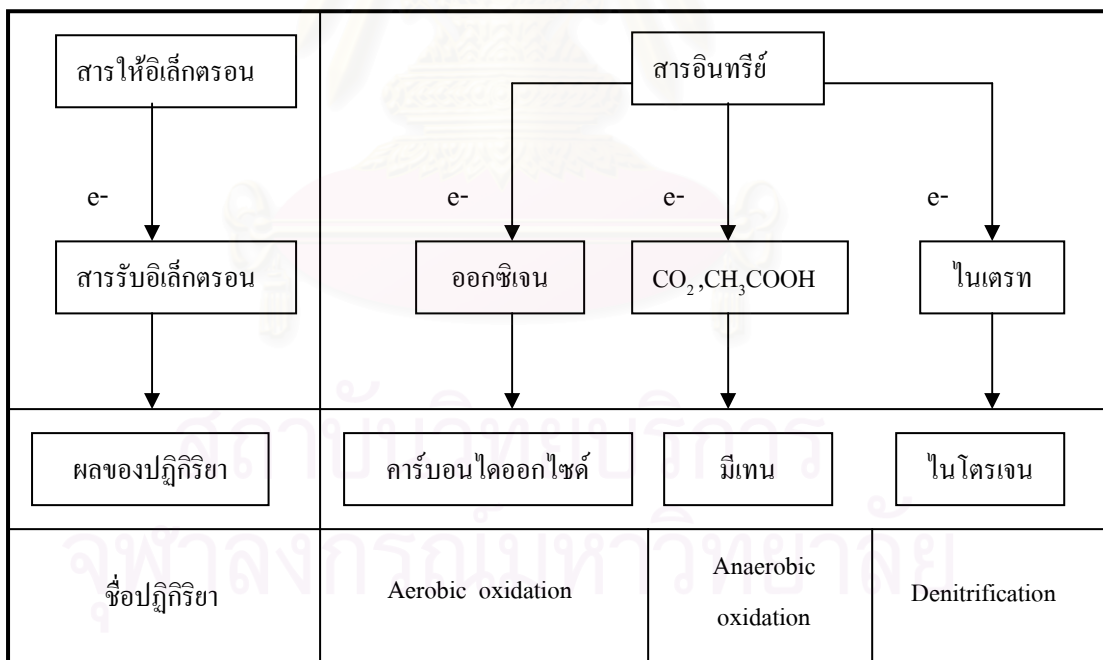
- การบำบัดหรือสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ (อาจเป็นจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใดๆ ก็ได้) โดยใช้การทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ซึ่งมีผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

• การบำบัดน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียมักเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลงก่อนส่งต่อไปให้กระบวนการแบบใช้ออกซิเจนทำการกำจัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ วิธีการนี้จะช่วยประหยัดทั้งพลังงานและสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มาก

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างจากกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนอย่างเด่นชัดหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น

- ไม่มีออกซิเจนอิสระซึ่งเป็นสารรับอิเล็กตรอนเข้ามาเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา
- กระบวนการไร้ออกซิเจนได้ก๊าซมีเทนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา
- มีอัตราสร้างตะกอนสลัดจ์ต่ำมาก
- ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยลงได้
- มีเสถียรภาพต่ำ
- ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ

ลักษณะเฉพาะเหล่านี้ล้วนสืบเนื่องมาจากลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไร้ออกซิเจน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย
ที่มา : มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2542

2.1) ลักษณะโดยทั่วไปของการย่อยแบบไร้ออกซิเจนและการย่อยสลายสารต่างๆ ในน้ำเสีย (รองเพชร บุญช่วยดี, 2546)

ภายในถังปฏิริยาการย่อยแบบไร้ออกซิเจน สารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกส่งผ่านเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้โดยตรง ส่วนสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่เกินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กจนสามารถถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์แบคทีเรียได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์จะถูกออกซิไดส์หลายครั้งจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ปฏิริยาที่ใช้ลดขนาดของสารอินทรีย์เพื่อให้สามารถนำเข้าไปในเซลล์ได้มักเป็นปฏิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งจะใช้อิทธิพลที่แบคทีเรียปล่อยออกมาจากเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิริยา โมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Fermentation ซึ่งผลผลิตสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปออกซิไดส์ส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Acids) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ปฏิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้เรียกว่า Acidogenesis โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดอินทรีย์ระเหยเหล่านี้ เรียกว่า แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic Bacteria) ส่วนผลผลิตที่อยู่ในรูปรีดิวส์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย และสภาวะแวดล้อมของถังปฏิริยา

นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ในการสร้างกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยปฏิริยาที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ เรียกว่า Hydrogeno – Genesis เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสามารถสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์ไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียสร้างกรด โดยแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนี้อาจรวมเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non – Methanogenic Bacteria) ยังมีแบคทีเรียอีกชนิดหนึ่งที่สามารถย่อยสลายไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก เพื่อใช้ในการสร้างมีเทน แบคทีเรียชนิดหลังเรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

2.2) ประเภทของแบคทีเรียต่างๆ ที่ย่อยสารประกอบในน้ำเสียในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน

- แบคทีเรียชนิดไม่สร้างมีเทน

แบคทีเรียประเภทนี้จะประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) และพวกใช้ออกซิเจนได้บ้าง (Facultative Anaerobes) พบว่า แบคทีเรียประเภทที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาดจะมีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียประเภทใช้ออกซิเจนได้บ้างหลายสิบเท่า เนื่องจากเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียชนิดไม่สร้างมีเทนนั้นมีได้หลายแบบ

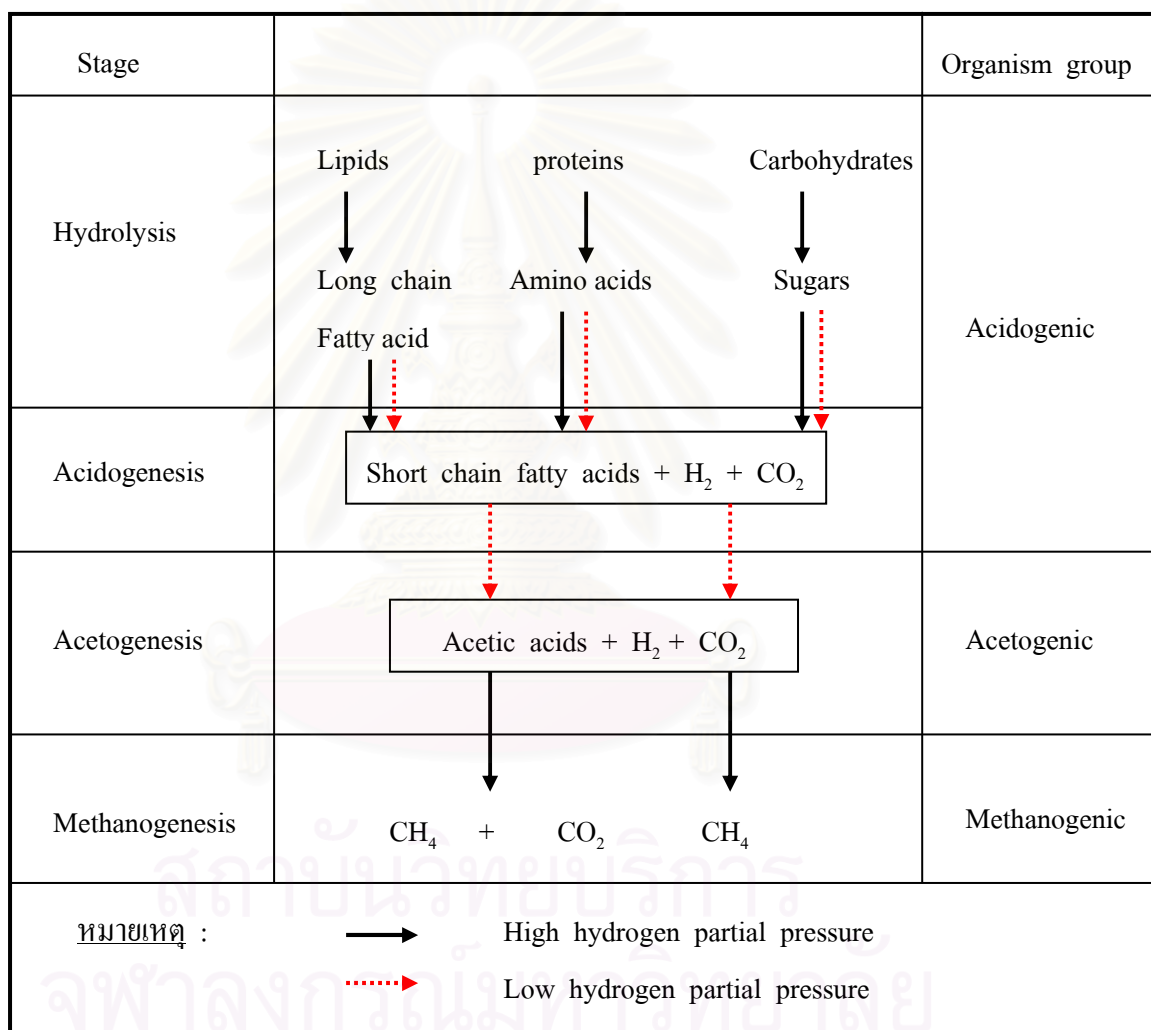
ในปัจจุบัน พบว่า แบคทีเรียชนิดไม่สร้างมีเทนที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญในการเชื่อมต่อปฏิกิริยาระหว่างแบคทีเรียที่สร้างสร้างกรดแบบธรรมดา และแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทั้งนี้ เนื่องจากปฏิกิริยาที่สร้างไฮโดรเจนสามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากสารอินทรีย์ชนิดอื่นได้ด้วย เช่น ปฏิกิริยา Phosphoroclastic นักวิจัยพบว่า ไฮโดรเจนที่ถูกสร้างขึ้นหากสะสมตัวอยู่ในถังปฏิกิริยาจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนขึ้นมา แต่ไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียที่สร้างมีเทนใช้ในการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ลักษณะการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย 2 ชนิดดังกล่าว คือ การที่แบคทีเรียไม่สร้างมีเทนมอบกรดอะซิติก และสารอินทรีย์ย่อยง่ายให้เป็นอาหารของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายไฮโดรเจนที่เป็นพิษให้กับแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน เรียกว่า Syntrophic

- แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน

แบคทีเรียชนิดนี้เจริญได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่เลือกชนิดของสารอาหาร รวมทั้งบอบบางต่อสภาวะแวดล้อมมาก เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยหรือไม่อาจเจริญได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอชระหว่าง 6.8 - 7.2 เป็นต้น การที่แบคทีเรียชนิดนี้ต้องการสารอาหารที่จำเพาะเจาะจงมาก ทำให้มีสารอินทรีย์ตกค้างอยู่ในถังปฏิกิริยาจำนวนมาก ส่งผลให้ระบบไร้ออกซิเจนไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำเสียให้เหลือต่ำกว่าระบบใช้ออกซิเจนได้

3) ขั้นตอนปฏิกิริยาทางชีวเคมีของการย่อยทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน
 ขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการไร้ออกซิเจน
 สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.11 ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)
- ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)
- ขั้นตอนที่ 3 การสร้างอะซิเตท (Acetogenesis)
- ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน

ที่มา : Sam – Soon and others, 1987

ขั้นตอนนี้ ต้องอาศัยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic Bacteria)

กลุ่มที่ 2 แบคทีเรียสร้างอะซิเตท (Acetogenic Bacteria)

กลุ่มที่ 3 แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) (รองเพชร บุญช่วยดี, 2546)

ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ เป็นปฏิกิริยาการลดขนาดของสารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง เพื่อให้สามารถเข้าไปในเซลล์ได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาว ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดภายนอกเซลล์จุลินทรีย์จำพวกสร้างกรดโดยอาศัยเอนไซม์จุลินทรีย์ดังกล่าวปล่อยออกมาจากเซลล์ (Extracellular enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลาย การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเกิดค่อนข้างช้า เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ค่าพีเอช ระยะเวลาที่เซลล์ และอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของสารอินทรีย์โดยถ้าสารอินทรีย์ชนิดนั้นมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรต่ำ จะต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานกว่าจะได้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ดังนั้น ในการพบว่าการย่อยสลายแป้ง โปรตีน และเซลลูโลส จะต้องใช้ระยะเวลาแตกต่างกันไป อันเนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis) (พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์, 2546)

ในขั้นตอนนี้ โมเลกุลขนาดเล็กที่เป็นผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานโดยแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นอาหารโดยผ่านกระบวนการเฟอร์เมนเตชัน (Fermentation) ซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปรีดิวส์และรูปออกซิไดส์ ผลผลิตที่เป็นรูปออกซิไดส์ส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Acids) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้เรียกว่า เอซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) และแบคทีเรียที่รับผิดชอบเรียกว่า แบคทีเรียสร้างกรด ผลผลิตเป็นรูปรีดิวส์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ เช่น

– แบคทีเรียสร้างกรดบางชนิดสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนสารอินทรีย์ ทำให้เกิดโมเลกุลของไฮโดรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา ในกรณีเช่นนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก

- แบคทีเรียบางตัวสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจเนซิส (Hydrogenogenesis) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนเพราะฉะนั้นแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนจึงเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจเรียกรวมได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (non - methanogenic bacteria) แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (Obligate anaerobes)

พบว่าไฮโดรเจนที่ถูกใช้ในการรีดิวส์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ดังนั้นการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างและไม่สร้างมีเทนจึงให้ประโยชน์ร่วมกัน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนมอบกรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายให้แก่แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งในการสร้างมีเทนส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้แก่แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ คือ

- ชนิดของสารอาหาร
- ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น

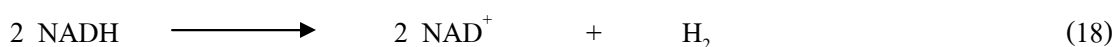
ตัวอย่างเช่น น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิถี Embden - Meyerhof pathway (EMP) หรือ Glycolysis ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่แตกต่างกัน

สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ

กลูโคสจะถูกแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนดูดซึมเข้าไปย่อยสลายภายในเซลล์ภายใต้กระบวนการทางชีวเคมี แบบ EMP (Embden - Meyerhof Pathway) กลูโคสจะถูกออกซิไดส์เป็นกรดไพรูวิก ดังนี้



โคเอนไซม์ NAD^+ จะถูกใช้เป็นตัวนำอิเล็กตรอนและไฮโดรเจน ทำให้เกิด $NADH$ และปลดปล่อย H^+ กลายเป็น NAD^+ กลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ดังนี้



ถ้าไฮโดรเจนที่อยู่ในน้ำมีความดันพาร์เซิลต่ำจะทำให้สมการข้างต้น (2) สามารถเกิดจากซ้ายไปขวาได้เองและกรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดส์ต่อไปกลายเป็นอะซิติลโคเอ (CH₃CoA) ดังนี้



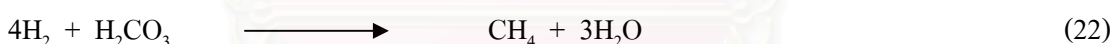
อะซิติลโคเอจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติลพร้อมกับการสร้าง ATP ดังนี้



เมื่อรวมสมการ (1) (3) และ (4) เข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ดังนี้



ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นภายใต้บรรยากาศที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลต่ำมากเท่านั้น และเมื่อกระบวนการไร้ออกซิเจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะถูกใช้ผลิตมีเทนโดยแบคทีเรีย H₂ utilizer ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนชนิดหนึ่ง เป็นผลให้ความดันพาร์เซิลไฮโดรเจนมีค่าต่ำเสมอ



สถานะที่ความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนสูง

ถ้าหากไม่มี H₂ utilizer อาศัยอยู่ในถังย่อยแบบไร้ออกซิเจน ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะมีการสะสมตัวจนกระทั่งความดันพาร์เซิลสูง ทำให้การปลดปล่อย H⁺ ออกจาก NADH ไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้และวิธีการที่ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ คือ การเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้กลายเป็นกรดไพรูฟิโอนิกสามารถทำให้ NADH⁺ ปลดปล่อย H⁺ ได้ดังนี้



และจากกลูโคส 1 โมล สามารถผลิตกรดไพรูวิกได้ 2 โมล ดังนั้น จะเหลือกรดไพรูวิกอีก 1 โมล ซึ่งจะถูกลดสลายเป็น Acetyl CoA ไปตามปกติ ดังนี้



และหลังจากนี้ ถ้าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ การปลดปล่อย H^+ จาก NADH ก็สามารถดำเนินต่อไปได้ แต่ถ้าความดันพาร์เชียลมีค่าสูง การปลดปล่อย H^+ จะต้องเกิดขึ้นควบคู่กับการเปลี่ยน Acetyl CoA ให้เป็นกรดอะซิติก ดังนี้

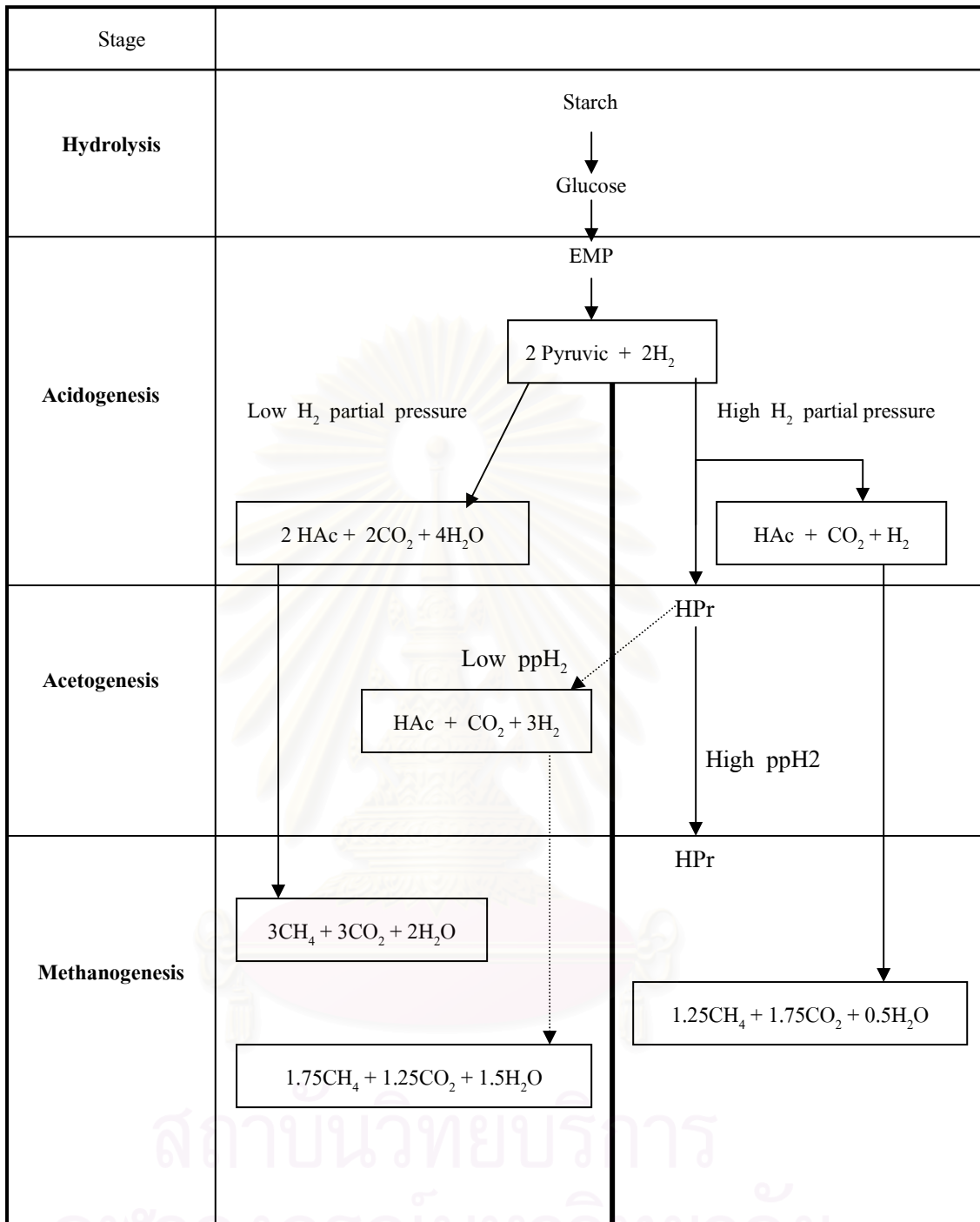


เมื่อรวมสมการ (7) (8) และ (9) เข้าด้วยกัน จะได้สมการ ดังนี้



นั่นคือ การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของกลูโคส 1 โมล ภายใต้สภาวะ High hydrogen partial pressure จะได้กรดไพรูโวนิก 1 โมล กรดอะซิติก 1 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล ไฮโดรเจน 1 โมล และ ATP จำนวน 3 โมล เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (5) กับ (10) ในขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis) จะเห็นว่าการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนภายใต้ Low hydrogen partial pressure จะให้ ATP 4 โมล จะผลิตกรดอะซิติก 2 โมล ในขณะที่ภายใต้สภาวะ High hydrogen partial pressure จะให้ ATP 3 โมล จะผลิตกรดอะซิติกและกรดไพรูโวนิกอย่างละ 1 โมล ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (สุ��ัญญา ทองเครือ, 2547)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

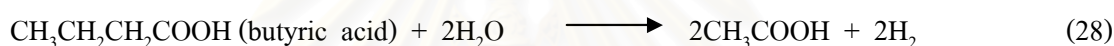


รูปที่ 2.12 การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำและสูง

ที่มา : Sam-Soon and others, 1987

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (acetogenesis)

เนื่องจากการผลิตมีเทนโดย Methanogens สามารถใช้สารอาหารอย่างจำเพาะเจาะจงมาก เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่า 2 อะตอม เช่น กรดโพรพอนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารโดยตรงในการผลิตมีเทน ดังนั้น แบคทีเรียจำพวก Acetogenesis จึงมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรด และการสร้างมีเทน แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (hydrogen producing acetogenic bacteria) สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะ low hydrogen partial pressure ดังสมการ



(โดย *Methanosporillum hangati* $\Delta G' = + 48.2 \text{ kJ/mol}$)

ในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน แบคทีเรียพวกนี้จะมีส่วนช่วยไม่ให้เกิดการสะสมตัวของกรดบิวทิริก กรดโพรพอนิกในถังปฏิกรณ์ ซึ่งทำให้ค่าพีเอชลดลงจนยับยั้งพวก Methanogens ได้ (กัลยาณี เกษเมธการุณ, 2546)

ขั้นตอนที่ 3 นี้ จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยจะไม่สามารถถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงได้ (รองเพชร บุญช่วยดี, 2546)

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่จำเพาะต่อชนิดอาหารมากและบอบบาง เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยหรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ช่วงภายนอกพีเอชระหว่าง 6.8-7.2 จะพบว่าสัปดาห์แรกที่แบคทีเรียทุกตัวสามารถใช้มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิกและมีเพียงตัวเดียวที่ใช้กรดอะซิติกและเมทานอลได้ แบคทีเรียสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิดและสารอื่นๆ ด้วยแต่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนต้องการสารอินทรีย์บางชนิดอย่างเจาะจง กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้ ทำให้ต้องมีสารอีกจำนวนมากตกค้างอยู่ จึงเป็น

เหตุผลที่ทำให้ระบบไร้ออกซิเจนไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำเสียให้เหลือต่ำเท่ากับกรณีของระบบที่ไร้ออกซิเจน (พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์, 2546)

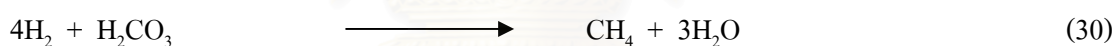
ในขั้นตอนนี้ ปฏิกิริยาการเกิดมีเทนต้องอาศัยแบคทีเรีย 2 ประเภท โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถเจริญได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆ เท่านั้น (ประมาณ 6.8-7.2) และอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส

แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกเป็น 3 ชนิด ดังนี้ (สุชัยญา ทองเครือ, 2546)

- Obligate Acetoclastic Methanogen แบคทีเรียพวกที่จะใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการ



- Obligate Hydrogenotrophic Methanogen (H_2 -utilizer) เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนได้จากไฮโดรเจนได้เพียงอย่างเดียวในกรณีนี้ไฮโดรเจนเป็นพลังงานและมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการ



- Hydrogenotrophic / Acetoclastic Methanogen เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจน แต่แบคทีเรียประเภทนี้จะชอบไฮโดรเจนมากกว่า

4) ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (รองเพชร บุญช่วยดี, 2546)

กระบวนการแบบไร้ออกซิเจนต้องอาศัยแบคทีเรียทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างอะซิเตท และแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งการทำงานของแบคทีเรียทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวต้องอยู่ในสภาพที่สมดุลกัน ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนมีดังนี้

- อุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรียในกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ 2 ช่วง คือ

- ช่วงการทำงานของ Mesophilic Bacteria จะมีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45°C
- ช่วงการทำงานของ Thermophilic Bacteria จะมีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50-65°C

แม้ว่าในช่วงการทำงานของ Thermophilic Bacteria จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงการทำงานของ Mesophilic Bacteria เนื่องจาก Thermophilic Bacteria จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่า ดังนั้น การรักษาอุณหภูมิให้คงที่จึงมีความสำคัญต่อการทำงานของกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนมาก การลดลง หรือเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเพียง 2-3°C จะมีผลกระทบต่อการทำงานของปริมาณมีเทนเป็นอย่างมาก

- พีเอช

พีเอชของตัวกลางที่กลุ่มจุลชีพอยู่จะมีผลต่อกลุ่มจุลชีพทั้งสอง แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogens) มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชมากที่สุด โดยที่ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ 6.5-7.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรด (Acidogens) ยังสามารถทำงานได้ดีที่พีเอช 6.0-6.5 นอกจากนี้ ยังส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน โดยที่ค่าพีเอชดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อรูปไอออนของสารต่างๆ เช่น กรดไขมันระเหย NH_3 และ H_2S ซึ่งจะมีความเป็นพิษของแบคทีเรียแตกต่างกัน การควบคุมพีเอชในกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนทำได้โดยการควบคุมปริมาณของกรดไขมันระเหยและสภาพต่าง

- ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์

กระบวนการแบบไร้ออกซิเจนจะทำงานได้ดีในช่วงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ประมาณ 200-400 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) หากปริมาณกรดอินทรีย์มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอาจทำให้ระบบเสถียรได้ แม้ว่าระบบยังสามารถทำงานได้ดีแม้จะมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์สูงมากกว่า 1,000 มก./ล. แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะแสดงถึงการเสถียรกับระบบซึ่งการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของกรดอินทรีย์อาจเกิดจากการชะลอตัวของกระบวนการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หรืออาจเกิดจากการเจริญที่เพิ่มขึ้นของแบคทีเรียที่สร้างกรด

นอกจากนี้ ชนิดของกรดอินทรีย์มีความสำคัญ เช่น กรดโพรไพโอนิกที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 มก./ล. จะก่อให้เกิดปัญหาทั้งความเป็นพิษของกรดดังกล่าวและระดับพีเอชที่ต่ำลง และที่ระดับพีเอชที่มีค่าเป็นกลาง ผลกระทบที่มีต่อกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นน้อย แม้ว่าระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ชนิดอื่นจะมีค่าสูงก็ตาม

- ระดับสภาพค่างรูปไบคาร์บอเนต

สภาพค่างบอกให้ทราบว่ามีการบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) เหลืออยู่เท่าใดในระบบของกระบวนการแบบไร้ออกซิเจน ถ้าค่าบัฟเฟอร์มีค่าต่ำ ปริมาณกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนในสภาพค่างมีค่าสูงเพียงพอ ระบบจะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ได้

โดยทั่วไปกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนควรมีสภาพค่างประมาณ 1,500-2,000 มก./ล. อย่างไรก็ตาม น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจะผลิตคาร์บอนไดออกไซด์มาก ทำให้ความต้องการค่าบัฟเฟอร์มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ (ในเทอมของกรดอะซิติก) ต่อระดับของสภาพค่างไบคาร์บอเนต (ในเทอมของ CaCO_3) ที่ระดับต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีค่าบัฟเฟอร์สูง ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าพีเอชของระบบกำลังลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากค่าบัฟเฟอร์ของระบบไม่เพียงพอ

- ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน

โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential, ORP) เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยเป็นการวัดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบ ค่าโออาร์พีที่วัดได้อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ โดยทั่วไปจะวัดค่าโออาร์พีได้ค่าเป็นบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรท และวัดโออาร์พีได้ค่าที่เป็นลบในน้ำเสียที่ไร้ออกซิเจน โออาร์พีที่มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดี เช่น มีออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น ส่วนโออาร์พีที่มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดี เป็นต้น (ตารางที่ 2.2) สำหรับกระบวนการแบบไม่ใช้อากาศ โออาร์พีที่มีค่าเหมาะสมอยู่ที่ -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ถ้าโออาร์พีมีค่าเป็นลบน้อยๆ หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่า ปฏิกิริยาของกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนนั้นเกิดขึ้นได้ไม่ดี

ตารางที่ 2.2 ค่าไออาร์พีของปฏิกิริยาบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542)

ประเภทของปฏิกิริยา	ไออาร์พี (มิลลิวัตต์)
แเอโรบิกออกซิเดชัน	+300
ไนตริฟิเคชัน	+100
ดีไนตริฟิเคชัน	0
การย่อยแบบไร้ออกซิเจน	
- การสร้างกรดอินทรีย์	-300
- การสร้างมีเทน	-500

- ประเภทของสารอาหารในน้ำเสีย (Substrate)

ประเภทของสารอาหารในน้ำเสีย มีส่วนสำคัญต่อการทำงานของแบคทีเรียในกระบวนการแบบไร้ออกซิเจน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ประเภทของสารอาหารต่างชนิดกันมีผลต่ออัตราการย่อยสลายของสารอาหารนั้นโดยแบคทีเรียที่ต่างกันด้วย โดยสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตจะมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าสารอาหารประเภทโปรตีนและไขมัน ในขณะที่ไขมันมักจะย่อยสลายได้ช้าในถังย่อยแบบไร้ออกซิเจน แม้ไขมันที่อยู่ในรูปสารละลายจะสามารถย่อยสลายได้เร็ว แต่ไขมันที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลาย และย่อยสลายได้ช้า

- สารอาหารที่จำเป็น (Nutrients)

จุลินทรีย์ในกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนนั้นจะมีอัตราการสร้างเซลล์ใหม่้น้อยกว่าจุลินทรีย์ในกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนมาก ดังนั้น จุลินทรีย์ในกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนจึงต้องการสารอาหารต่ำกว่าจุลินทรีย์ในกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน แต่ต้องมีปริมาณสารอาหารเพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย ดังเช่น ค่าอัตราส่วน BOD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2 และค่าอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 350:5:1 นอกจากนี้ อัตราส่วนระหว่าง COD ต่อ N ยังมีผลต่อลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วย โดยทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นปุยเมื่อมีอัตราส่วนดังกล่าวสูงถึง 100:10

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนยังต้องการธาตุบางชนิดในปริมาณที่น้อยมาก แต่จะขาดไม่ได้ (Trace element) ธาตุดังกล่าว ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปของซัลไฟด์) การขาดธาตุทั้ง 4 ชนิด ปฏิกิริยาของกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนนั้นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้

หรือไม่สามารถเลี้ยงแบคทีเรียในกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนให้เจริญได้ แต่การเติมธาตุทั้ง 4 ชนิดให้กับกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่างๆ ตกผลึกและแยกตัวออกจากน้ำได้ วิธีการแก้ไขปัญหานั้นสามารถทำได้โดยการเติม Yeast Extract เป็นสารอาหารที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่แบคทีเรียต้องการเพียงปริมาณที่เล็กน้อยเท่านั้น แต่ไม่สามารถขาดได้

- สารพิษ (Toxic)

น้ำเสียที่จะนำมาบำบัดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนนั้นจะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ ความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของสารชนิดนั้นๆ ซึ่งความเป็นพิษนั้นจะไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบทำให้ระบบไม่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าสารพิษเหล่านี้มีปริมาณที่น้อยหรือพอเหมาะอาจช่วยทำให้จุลินทรีย์ในระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเช่นกัน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำมันโดยใช้วิธีทางเคมี

- Saatci and others (2001) ได้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำมันจากโรงงานน้ำมันพืชโดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี เป็นการศึกษาโดยใช้ปูนขาว, สารส้ม และ Ferric Chloride ในการตกตะกอนรวมทั้งการใช้กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้ปูนขาวทำการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันพืชนั้นสามารถลด COD และ O&G ได้ 63.19-80.66% และ 76.95-83.38% ตามลำดับ, สารส้มสามารถลด COD และ O&G ได้ 88.14-92.99% และ 69.89-92.11% ตามลำดับ, Ferric Chloride สามารถลด COD และ O&G ได้ 94.66-96.25% และ 93.81-86.16% ตามลำดับ และการใช้กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลายสามารถลด COD และ O&G ได้ 17.65-69.12% และ 93.81-86.16% ตามลำดับ

- เกียรติพงษ์ เจริญสุข (2546) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ คือ สารส้ม และโพลีเมอร์ประจุบวก ส่วนฟล็อกกูแลนต์เอ็ดที่ใช้ คือ โพลีเมอร์ประจุลบ และการทดลองด้วยกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันตามด้วยการตกตะกอน คือ ค่า pH 6 ปริมาณ

โพลิเมอร์ประจุลบ 1 mg/l สารส้ม 20 mg/l ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยของแข็งทั้งหมด ซีโอดี น้ำมันและไขมัน เท่ากับ 89.6%, 3.6%, 51.8% และ 81.4% ตามลำดับ และสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย คือ ค่า pH 6 ปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบ 1 mg/l สารส้ม 20 mg/l ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยของแข็งทั้งหมด ซีโอดี น้ำมันและไขมัน เท่ากับ 86.5%, 6.4%, 49.2% และ 87.2% ตามลำดับ

- Ahmad and others (2003) ได้ศึกษาการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและไขมันในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม โดยในการทดลองนั้นได้มีการใช้กระบวนการรวมตะกอนทางเคมี การสกัดด้วยตัวทำละลาย การดูดซับ และการแยกโดยใช้เมมเบรน ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้ กระบวนการรวมตะกอนทางเคมีนั้นใช้สารส้มเป็นตัวรวมตะกอน โดยปริมาณที่ใช้คือ $4,000 \text{ mg dm}^{-3}$ กวน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอย 93% กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย จะใช้ตัวทำละลายคือ *n*-hexane โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อน้ำเสีย 6:10 สามารถลดปริมาณน้ำมันได้ถึง 95% กระบวนการดูดซับนั้นจะลดปริมาณน้ำมันได้ 88% และกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรนโดยใช้เมมเบรนชนิด GH และ CE(GH) ที่พีเอช 9 และความดัน 1,000 kPa ซึ่งสามารถลดของแข็งแขวนลอยและน้ำมันได้ 63% และ 43% ตามลำดับ

2.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำมันโดยใช้วิธีทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

- Vijayaraghavan and others (2006) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มโดยใช้การบำบัดน้ำเสีย โดยเริ่มต้นระบบใช้ความเข้มข้นหัวเชื้อ $3,900 \pm 200 \text{ mg/l}$ โดยทำการปรับเปลี่ยนเวลากักเก็บ 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง และปริมาณ COD เริ่มต้น 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 mg/l ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้เวลากักเก็บ 36 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของน้ำเสียที่ความเข้มข้น 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 mg/l คือ 83, 72, 64, 54, 42 % ตามลำดับ และเมื่อใช้เวลากักเก็บ 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของน้ำเสียที่ความเข้มข้น 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 mg/l คือ 57%, 45%, 38%, 30%, 27% ตามลำดับ

- Jou and Huang (2003) ทำการศึกษาโครงการนำร่องในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมัน โดยใช้ระบบ fixed – film bioreactor โดยในการเริ่มต้นเดินระบบใช้ความเข้มข้น

หัวเชื้อ 8,000 mg/l และใช้เวลาพักเก็บ 8 ชั่วโมง พบว่า มีการลดลงของ COD 85-90 % และในอนาคตมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบนี้กับระบบ Activated sludge

- Chin and Wong (1980) ได้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยผ่านกระบวนการฟิสิกส์-เคมี และชีววิทยา โดยการบำบัดทางเคมีโดยใช้ถังดักไขมัน ซึ่งจะใช้อัตรา hydraulic loading rate $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด ในการตกตะกอนและรวมตะกอนทางเคมีโดยใช้สารส้ม ใช้กระแสไฟฟ้าถ่านกัมมันต์ และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในปริมาณมากนั้นไม่สามารถลดปริมาณ BOD, COD ได้ ดังนั้น วิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นอีกวิธีหนึ่ง คือ กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย ซึ่งสามารถลดปริมาณ COD เหลือ 180 mg/l และของแข็งแขวนลอยได้ 90% หลังจากการบำบัดโดยใช้กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลายนำไปบำบัดโดยใช้วิธีการบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน คือ ระบบตะกอนเร่ง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดจูนีโอได้นั้นมีค่าต่ำที่สุด คือ 46 mg/l ที่อัตราภาระบรรทุก 0.3 g BOD (g MLVSS)/day

- Beltran-Heredia and others (2001) ศึกษาการย่อยสลายน้ำเสียจากการผลิตน้ำมันมะกอก โดยใช้ปฏิกิริยา Fenton ร่วมกับกระบวนการเติมโอโซน และกระบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน พบว่า เมื่อใช้ปฏิกิริยา Fenton ร่วมกับกระบวนการเติมโอโซนนั้นมีประสิทธิภาพการกำจัด COD และ Polyphenolic Compound นั้นมีปริมาณปานกลางและเมื่อใช้กระบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนนั้นพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ Polyphenolic Compound นั้นเท่ากับ 70% และ 90% ตามลำดับ

- Liu and others (2005) ได้ทำการศึกษาในการบำบัดในทางปฏิบัติและการศึกษาจากการคำนวณทางจลนศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนของน้ำเสียไขมันจากกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ จากการทดลองพบว่า ในน้ำเสียเบื้องต้นมีค่า COD และ BOD 100,000 และ 80,000 mg/l ตามลำดับ ในการดำเนินการทดลองจะทำการบำบัดขั้นต้นโดยใช้กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย พบว่า ประสิทธิภาพในการลดน้ำมันและไขมัน 97-99% หลังจากนั้นนำไปบำบัดโดยใช้ระบบตะกอนเร่ง และกำหนดสภาวะที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ประสิทธิภาพในการลด COD เท่ากับ 92% ภายในระยะเวลา 5 วัน และในทำนองเดียวกันการใช้การคำนวณทางจลนศาสตร์ จากโมเดลพบว่าประสิทธิภาพในการลด COD เท่ากับ 99% ภายในระยะเวลา 5 วัน ดังนั้นผลการทดลองที่ได้นี้จะสอดคล้องกับการใช้การคำนวณทางจลนศาสตร์

2.4.3 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำมันโดยใช้วิธีทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน

- Ito and others (2005) การผลิตก๊าซไฮโดรเจนและเอทานอลจากน้ำเสียที่มีส่วนผสมของ Glycerol จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ *Enterobacter Aerogenes* HU-101 พบว่า ผลผลิตของก๊าซไฮโดรเจนและเอทานอลจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นและกลีเซอรอลบริสุทธิขึ้น ยิ่งกว่านั้นอัตราการผลิตไฮโดรเจนและเอทานอลจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของกลีเซอรอลบริสุทธิและปริมาณเกลือที่สูงในน้ำเสีย ในการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ packed bed นั้นจะสามารถผลิตไฮโดรเจนได้สูงสุด 80 m.mol/mol-glycerol และเอทานอลที่ได้มีปริมาณ 0.8 mol/mol-glycerol ที่ปริมาณน้ำเสียไบโอดีเซล 30 m.mol/l/h เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในการใช้เซรามิกส์ซึ่งมีรูพรุนเป็นสารยึดเซลล์ให้อยู่กับที่ในถังปฏิกรณ์อัตราการผลิตไฮโดรเจนสูงที่สุดถึง 63 m.mol/mol-glycerol และเอทานอลที่ได้มีปริมาณ 0.85 mol/mol-glycerol

- Suehara and others (2005) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้ Alkali เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันโดยใช้วิธีการทางชีววิทยา ใช้รา *Rhodotorula mucilaginosa* ทำการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัด โดยปรับพีเอชเป็น 6.8 มีการเติมสารอาหารลงไปในน้ำเสีย คือ yeast extract 1 g/l ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน และค่า C/N ratio อยู่ที่ 17 และ 68 และควรมีการเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าระบบเมื่อในน้ำเสียนั้นมีปริมาณของแข็งมากกว่า 2.14 g/l และระบบบำบัดนี้สามารถพัฒนาใช้ในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลในระดับเล็กได้

- Vieira and others (2005) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันกลางทะเลโดยใช้กระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน และใช้แบคทีเรียกลุ่ม Sulphate-Reducing Bacteria (SBR) จากผลการทดลองพบว่า พีเอชเป็นตัวแปรหลักในการควบคุมการเจริญเติบโตและทำงานของแบคทีเรีย รวมทั้งประสิทธิภาพในการบำบัดหลังจากการบำบัด 15 วัน ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันและปริมาณฟีนอลทั้งหมด คือ 61% และ 78% ตามลำดับ ดังนั้น สรุปได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนและใช้แบคทีเรียกลุ่ม Sulfate-Reducing Bacteria (SBR) นี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันกลางทะเล

- Gianfranco and others (1984) ศึกษาการย่อยสลายน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันมะกอกโดยใช้วิธีบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศ ในการทดลองใช้ระบบบำบัดแบบ UASB Reactor โดยน้ำเสียเริ่มต้นนั้นมีค่า COD 220 kg/m^3 ในการทดลองจะนำน้ำเสียมาเจือจางให้มีค่า COD เริ่มต้นประมาณ $13-18 \text{ kg/m}^3$ และอัตรากาป้อนน้ำเสีย 5 kg COD/ml/R เป็นเวลา 3 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ในวันที่ 3 ภายหลังจากการทดลอง คือ 70% ในการเดินระบบที่ดีที่สุดควรทำการเจือจางน้ำเสียให้มีค่า COD เข้า 5 kg/m^3 และตะกอนหัวเชื้อที่ใช้ควรควบคุมให้มีประสิทธิภาพที่ดี

2.4.4 การศึกษาเกี่ยวกับด้านอื่นๆ ของไบโอดีเซล

- Zhang and others (2003) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว : การประเมินผลและการวิเคราะห์ความไวทางเศรษฐศาสตร์ ได้ทำการทดสอบเชิงพาณิชย์ซึ่งรวมถึงกระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Alkali และกรดโดยใช้น้ำมันที่เหลือจากการทำอาหารและกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งใช้น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบ จากการประเมินผลพบว่าในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดนั้นมีต้นทุนที่ต่ำกว่ากระบวนการการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Alkali และมีต้นทุนในโรงงานโดยรวมต่ำกว่ารวมทั้งมีจุดคุ้มทุนต่ำในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในการคำนวณความคุ้มทุนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนี้ควรคำนึงถึงความสามารถในการผลิตของโรงงานและราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นส่วนประกอบมากที่สุด

- Leung (2001) ได้ศึกษาการพัฒนาในการใช้ไบโอดีเซลที่สะอาดในฮ่องกงโดยใช้น้ำมัน recycle มีการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ตั้งแต่กระบวนการผลิตซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลนี้เป็นพลังงานที่สะอาด และการกำจัดของเสีย และมีการศึกษาการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลกับสัดส่วนในการผลิตที่ต่างๆ กัน ซึ่งนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลต่างชนิดกันและผลการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลนั้นพบว่าลดปัญหาทางด้านมลภาวะทางอากาศและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งจะสามารถนำมาสรุปผลและติดตามผลต่อไป

- Bender (1999) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนในเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 12 โครงการ พบว่าในการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดพืชและไขมันสัตว์ต้นทุนในการผลิตจะอยู่ที่ $0.30-0.69 \text{ US}\$$ และในการผลิตนั้นจะได้ผลผลิตเพิ่มจากไขมันสบู่ และในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันจากผักต้นทุนในการผลิตจะอยู่ที่ $0.54-0.62 \text{ US}\$$ และไขมันจากของเสียต้นทุนในการผลิตจะอยู่ที่ $0.34-0.42 \text{ US}\$$ และราคาของ

น้ำมันดีเซลนั้นจะอยู่ที่ 0.18 US\$\$/l จะพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลนั้นไม่ค่อยมีความเป็นไปได้นัก ในทางเศรษฐศาสตร์รวมทั้งยังต้องการงานวิจัยและเทคโนโลยีในการพัฒนาด้านการผลิตต่อไป เพื่อให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

- Al-Widyan and Al-Shyoukh (2002) ได้ทดลองหาค่าของปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันของน้ำเสียจากน้ำมันปาล์มในการผลิตไบโอดีเซล เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูง (1.5-2.25 M) ปริมาณความเข้มข้นของ H_2SO_4 และ HCl ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะแตกต่างกัน และเมื่อใช้ Specific Gravity ที่สั้นและความเข้มข้นต่ำ พบว่า H_2SO_4 จะมีความสามารถดีกว่า HCl ที่ 2.25 M ยิ่งกว่านั้นปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกินพอ 100% จะส่งผลสำคัญในการลดเวลาทำปฏิกิริยาและเมื่อ Specific Gravity ที่ต่ำนั้นจะสัมพันธ์กับปริมาณของแอลกอฮอล์ที่ต่ำกว่า และผลสรุปกระบวนการในการผลิตที่ดีที่สุด คือ ที่ 2.25 M H_2SO_4 กับเอทานอลที่เกินพอ 100% ซึ่งลด Specific Gravity จากค่าเริ่มต้น 0.916 และได้ค่าสุดท้ายภายหลังจากการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง คือ 0.8737 และไบโอดีเซลนั้นมีพฤติกรรมเป็น Newtonian fluid

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิจัยภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยในการทดลองจะมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างน้ำจากน้ำเสียโรงงานผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ จังหวัดเชียงใหม่ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย มีดังนี้

- พีเอช
- ซีไอดี
- บีไอดี
- น้ำมันและไขมัน
- ของแข็งทั้งหมด
- ของแข็งละลายน้ำ
- ทีเคเอ็น
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี และการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ โดยมีขั้นตอนในแต่ละกระบวนการ ดังนี้

1) กระบวนการตกตะกอนทางเคมี

- การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม
- การทดสอบหาปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์และสาร โคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม

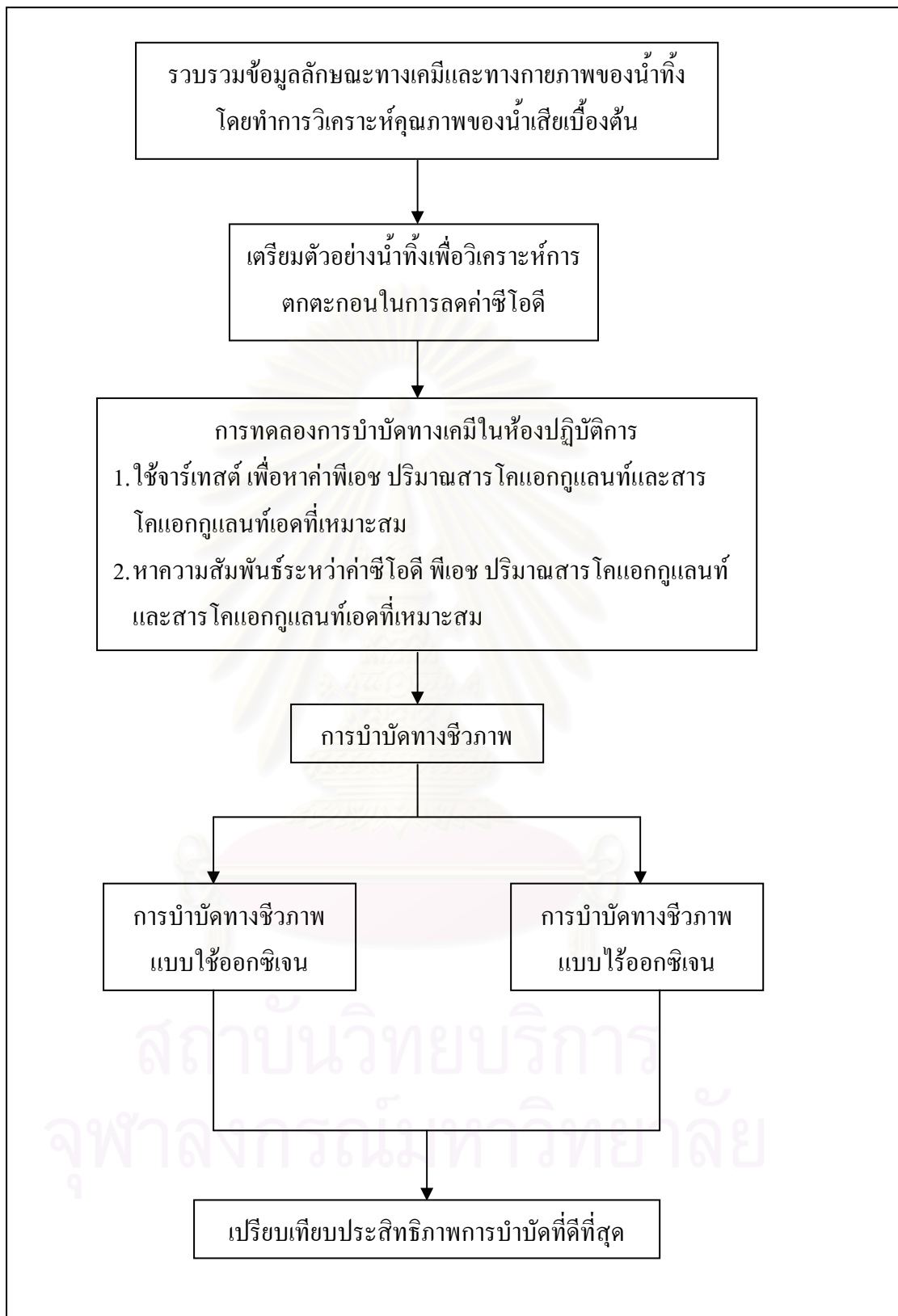
2) กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

โดยนำผลการทดลองจากวิธีการตกตะกอนทางเคมีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยแบ่งเป็น

- การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
- การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

3) การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย

โดยนำผลการทดลองจากวิธีการตกตะกอนทางเคมีและทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาคำนวณค่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าความสกปรก เช่น ซีโอดี ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี

ในการทดลองกระบวนการตกตะกอนทางเคมีนั้นจะทำการทดลองโดยใช้วิธีจาร์เทสต์ในการทำการทดลองกับน้ำเสีย โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอช ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย โดยมีการทดลองทั้งหมด 2 ขั้นตอน ดังนี้ (รูปที่ 3.2)

1) การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

- เติมกรดซัลฟูริกเพื่อปรับเปลี่ยนพีเอชเป็น 4, 4.5, 5, 6, 7 และ 8 และเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลอง คือ โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 10 มก./ล.
- เติมกรดฟอสฟอริกเพื่อปรับเปลี่ยนพีเอชเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8
- เติมปูนขาวที่ปริมาณความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 ก./ล.

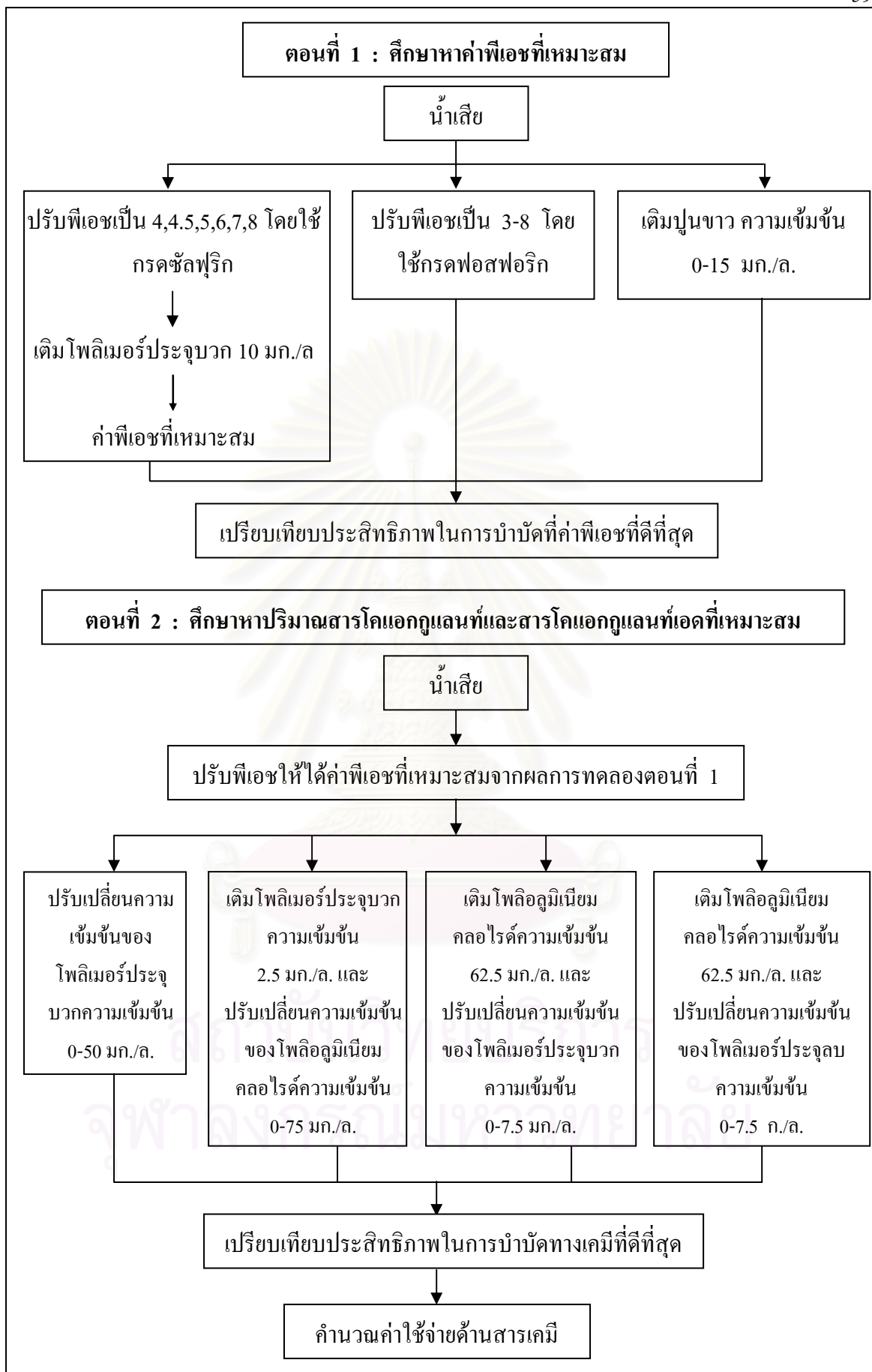
หมายเหตุ : จากผลการทดลองพบว่าปูนขาวไม่ช่วยในการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียแต่ช่วยลดค่าซีโอดีของน้ำเสียได้

2) การทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม

เมื่อได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมแล้วจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และ

สารโคแอกกูแลนต์เอด ที่ใช้ดังนี้

- โพลีเมอร์ประจุบวกปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล.
- โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 2.5 มก./ล. และ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5 และ 75 มก./ล.
- โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 62.5 มก./ล. และ โพลีเมอร์ประจุบวกปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 0, 0.5, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 6.25 และ 7.5 มก./ล.
- โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 62.5 มก./ล. และ โพลีเมอร์ประจุลบ ปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 0, 0.5, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 6.25 และ 7.5 มก./ล.



รูปที่ 3.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี

3) การทดลองจาร์เทสต์

การทดสอบการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยวิธีจาร์เทสต์ ดำเนินการดังนี้โดยนำน้ำเสียที่ผ่านการแยกไขมันแล้วเติมลงในบีกเกอร์ปริมาตร 400 ml. จำนวน 6 ใบปรับเปลี่ยนค่าพีเอชโดยใช้ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และปูนขาว ($Ca(OH)_2$) โดยเลือกค่าพีเอชที่เหมาะสมเมื่อใช้ร่วมกันกับการใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และเติมสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังจากนั้นกวนเร็วที่ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 นาที กวนช้าที่ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที และปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสำหรับการทดสอบการตกตะกอนทางเคมี

4) การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังการบำบัดทางเคมี

ตารางที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหลังการทดลอง

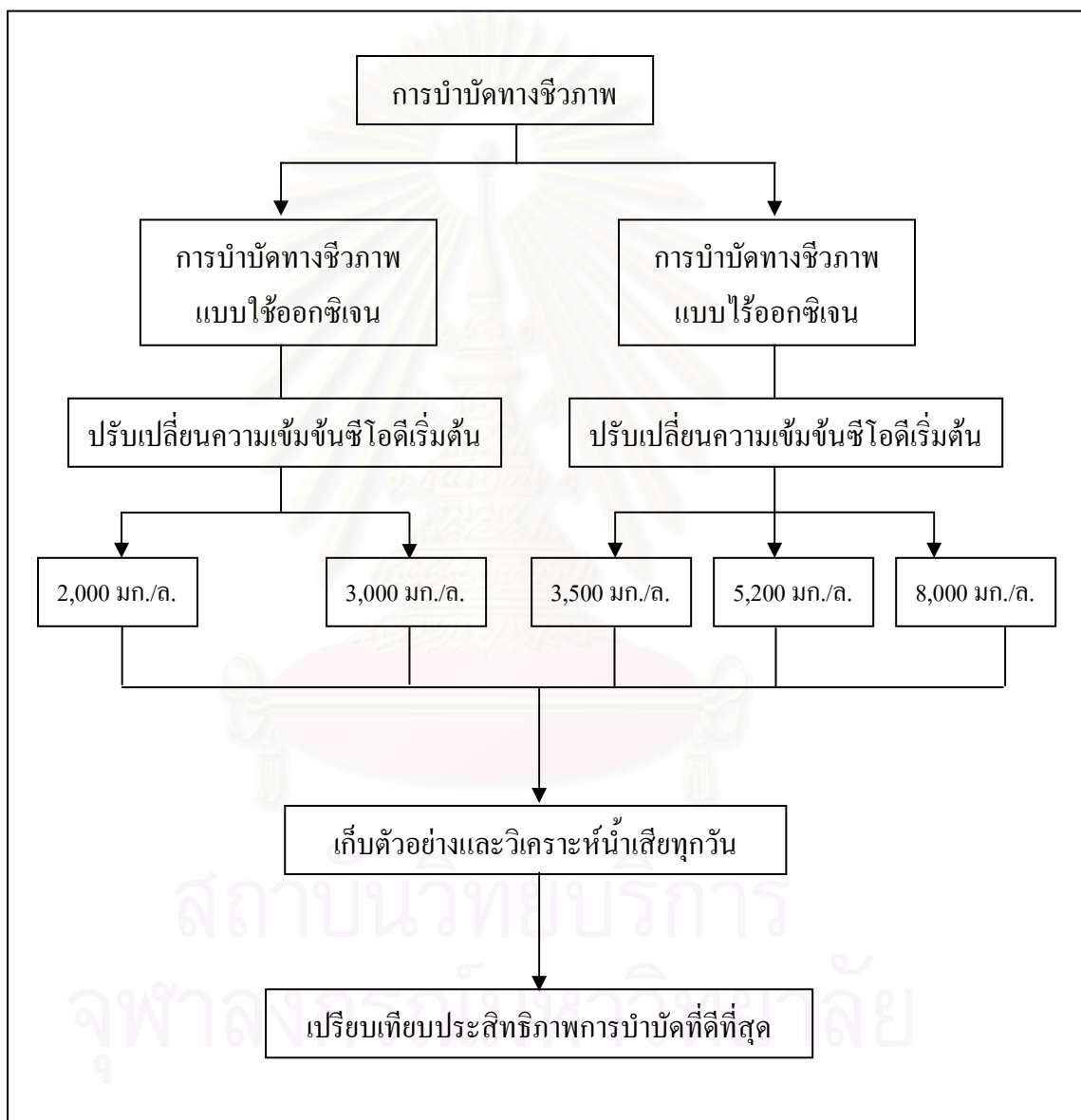
พารามิเตอร์	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์
1) ตัวอย่างน้ำ	
- พีเอช	×
- ซีโอดี	×
- ของแข็งทั้งหมด	×
- บีโอดี	××
- น้ำมันและไขมัน	××
- กลีเซอรอล	××
- เมทานอล	××
2) ตัวอย่างตะกอน	
- องค์ประกอบของตะกอน	×××

หมายเหตุ

- × วิเคราะห์ทุกตัวอย่าง
- ×× เลือกตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์
- ××× ตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทดลองทั้งหมด

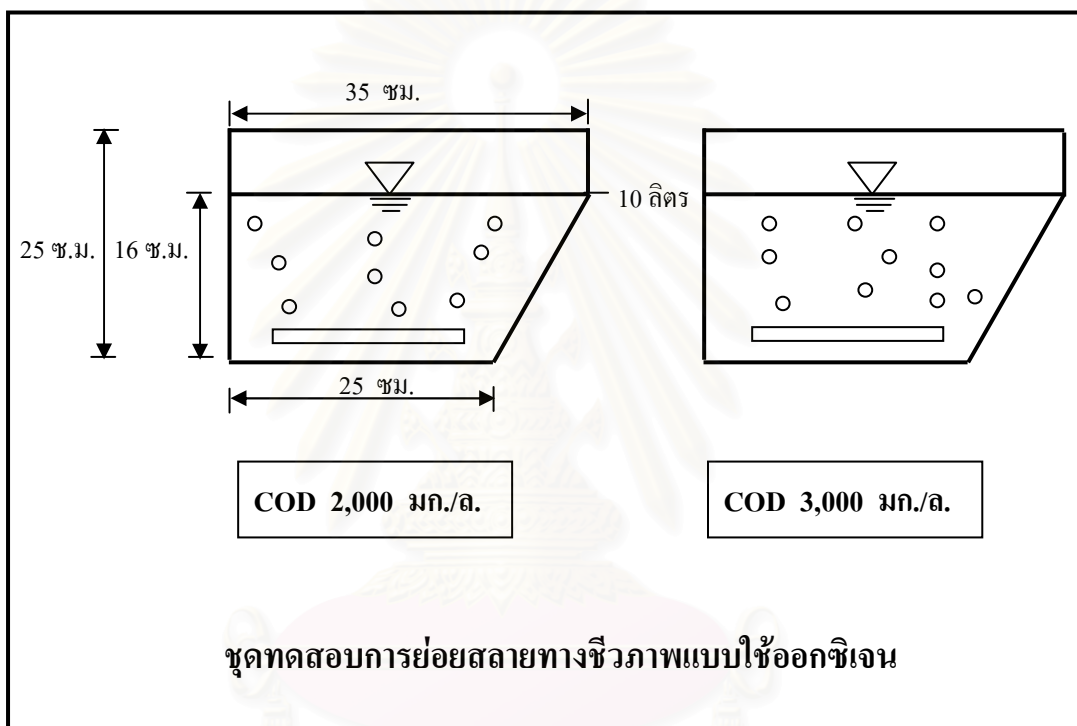
3.2.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

โดยนำน้ำเสียจากวิธีการตกตะกอนทางเคมีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยแบ่งเป็น การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

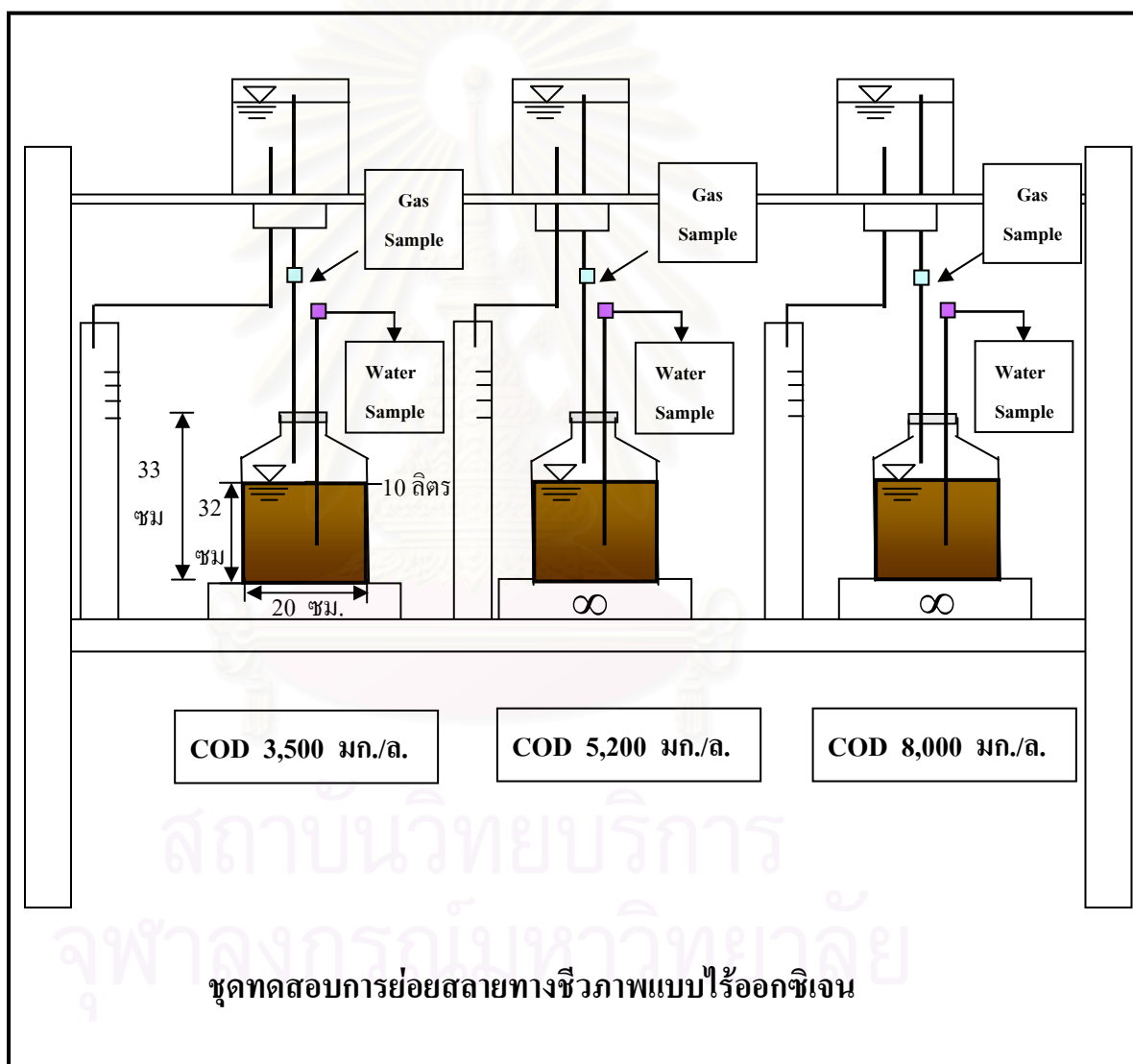
- 1) การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (รูปที่ 3.4)
- นำน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาเจือจางให้มีค่า COD เริ่มต้น 2,000 และ 3,000 มก./ล. แล้วเติมหัวเชื้อแบคทีเรียให้น้ำเสียมีความเข้มข้น MLSS เริ่มต้นเท่ากับ 3,000 มก./ล.
 - ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 10 ลิตร
 - ทำการเติมอากาศ และเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบทุกวันเพื่อวิเคราะห์ COD, BOD, พีเอช, MLSS จนกระทั่งได้ค่าซีโอดีคงที่



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ระดับปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 2) การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (รูปที่ 3.5)
- นำน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาเจือจางให้มีค่า COD เริ่มต้น 3 ค่า คือ 3,500, 5,200 และ 8,000 มก./ล.
 - นำตะกอนหัวเชื้อผสมลงไป 20% ของปริมาตรทั้งหมด
 - ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 10 ลิตร
 - ทำการหมักทิ้งไว้ วัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นและเก็บน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่า COD, BOD, พีเอช, SS, Alkalinity, VFA ทุกวันจนได้ค่าซีโอดีคงที่



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ระดับปฏิบัติการ

3) การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากการบำบัดทางชีวภาพ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากการบำบัดทางชีวภาพทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน นั้น มีความถี่ในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสียจากการบำบัดทางชีวภาพ

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง	
	การบำบัดทางชีวภาพแบบ ใช้ออกซิเจน	การบำบัดทางชีวภาพแบบ ไร้ออกซิเจน
พีเอช	×	×
ซีโอดีกรอง	×	×
ซีโอดี	×	×
บีโอดี	×	×××
ของแข็งทั้งหมด	×	×
อุณหภูมิ	×	×
พีเอช	×	×
ออกซิเจนละลายน้ำ	×	-
กรดไขมันระเหย	-	×
สภาพต่างทั้งหมด	-	×
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	-	×
กลีเซอรอล	×	××
เมทานอล	×	××

หมายเหตุ

- × ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ทุกวัน
- ×× เก็บตัวอย่างวิเคราะห์วันเว้นวัน
- ××× เก็บตัวอย่างวิเคราะห์สัปดาห์ละ 2 ครั้ง

3.2.3 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสียทางเคมี

โดยนำผลการทดลองจากวิธีการตกตะกอนทางเคมีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาคิด คำนวณค่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าความสกปรก เช่น ซีโอดี ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- ชุดทดสอบการตกตะกอน (Jar Test)
- ชุดทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ระดับปฏิบัติการ
- ชุดทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ระดับปฏิบัติการ
- เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) Sartorius รุ่น PB-10
- ดีไอมิเตอร์ (DO Meter) รุ่น YSI model 57
- เครื่องชั่งละเอียด
- เครื่องกรองสุญญากาศ
- เครื่องกวนโดยอาศัยแม่เหล็ก
- เตาอบ
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ซีไอดี ของแข็งทั้งหมด บีไอดี น้ำมันและไขมัน TKN และ Total P

3.3.2 สารเคมีที่ใช้ทดสอบ

1) สารปรับพีเอช

- 1.1) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 1.2) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)
- 1.3) ปูนขาว (Calcium Hydroxide, $Ca(OH)_2$) ชื่อทางการค้า Hydrate Lime; Commercial Grade ของบริษัท MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

2) สารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอด

- 2.1) โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium Chloride, PAC) ชื่อทางการค้า SUPERFLOC[®] C-501 ของบริษัท CYTEC INDUSTRIES INC.
- 2.2) โพลีเมอร์ชนิดประจุบวก ชื่อทางการค้า SUPERFLOC[®] FW225 FLOCCULANT ของบริษัท CYTEC INDUSTRIES INC.
- 3.2) โพลีเมอร์ชนิดประจุลบ ชื่อทางการค้า SUPERFLOC[®] FW131 FLOCCULANT ของบริษัท CYTEC INDUSTRIES INC.

3.4 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียและตะกอน

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและตะกอนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์

ตัวแปรที่วิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
1. พีเอช	pH Meter Sartorius รุ่น PB-10
2. ออกซิเจนละลายน้ำ	DO Meter รุ่น YSI model 57
3. ซีโอดี	รีฟลักซ์แบบปิด
4. บีโอดี	5 day 20°C
5. ของแข็งทั้งหมด	Dried at 103-105°C
6. กรดไขมันระเหย	Direct Titration ของ Dilallo&Albertson
7. สภาพต่างทั้งหมด	Direct Titration ของ Dilallo&Albertson
8. อุณหภูมิ	Thermometer
9. น้ำมันและไขมัน	การสกัดด้วยกรวยแยก
10. ทีเคเอ็น	เจดลท์ไนโตรเจน
11. ปริมาณก๊าซชีวภาพ	หลักการแทนที่น้ำ
12. กลีเซอรอล	เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
13. เมทานอล	เครื่อง Gas Chromatography (GC)
14. ตะกอนจากการตกตะกอนทางเคมี	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานไบโอดีเซลต้นแบบ จังหวัดเชียงใหม่ จากการวิเคราะห์พบว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียมีสีขาวนวล ขุ่น และมีกลิ่นคูลูกของน้ำมัน

จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนแยกไขมันแล้ว พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียเป็นด่าง เท่ากับ 10.6 ค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงมากเท่ากับ 2,890 มก./ล. ค่าซีโอดีมีค่าสูงมากเท่ากับ 124,500 มก./ล. และลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ภายหลังจากแยกไขมันแล้ว พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียลดลงเพียงเล็กน้อย เท่ากับ 10.44 ค่าของแข็งแขวนลอยลดลงมากประมาณ 80% แต่ยังคงมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งมากโดยมีค่าเท่ากับ 584 มก./ล. ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดค่อนข้างสูง โดยมีค่าเท่ากับ 4,131 มก./ล. ค่าซีโอดีของน้ำเสียลดลงมาประมาณ 53% แต่ยังคงมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งมากโดยมีค่าเท่ากับ 58,620 มก./ล. ค่า TKN มีค่าเท่ากับ 7 มก./ล. และค่าน้ำมันและไขมันยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งค่อนข้างมากโดยมีค่าเท่ากับ 2,280 มก./ล. และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลและกลีเซอรอลในน้ำเสียพบว่ามีค่าเท่ากับ 47,237 มก./ล. และ 12,750 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนทางเคมี

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้แบ่งการพิจารณาเป็น 2 กลุ่มการทดลอง ประกอบด้วย

- 1) การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม
- 2) การทดสอบหาปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนต์และสาร โคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานไบโอดีเซลต้นแบบ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ปริมาณความเข้มข้น		มาตรฐานน้ำทิ้ง
	น้ำเสียก่อนแยกไขมัน	น้ำเสียหลังแยกไขมัน	
พีเอช	10.6	10.44	5-9
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	2,890	584	50
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	-	4,131	-
ซีไอดี (มก./ล.)	124,500	58,620	120
บีไอดี (มก./ล.)	-	37,500	20
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	-	2,300	5
TKN (มก./ล.)	-	7	100
TP (มก./ล.)	-	N.D.	-
เมทานอล (มก./ล.)	-	47,237	-
กลีเซอรอล (มก./ล.)	-	12,750	-

4.2.1 การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ประกอบด้วย

- การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดซัลฟูริก
- การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดฟอสฟอริก
- การทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม

1) การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดซัลฟูริก

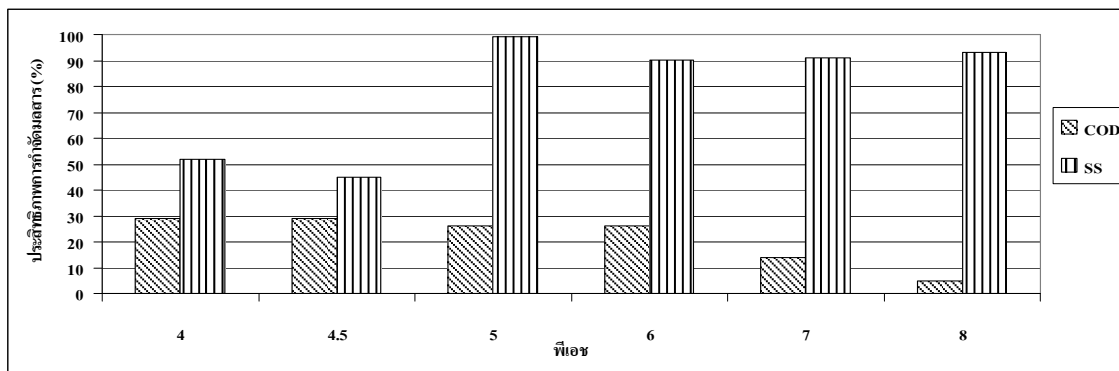
การทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เจสต์ โดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่มีค่าซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด น้ำมันและไขมัน เมทานอลและกลีเซอรอล เท่ากับ 58,620, 37,500, 584, 4,131, 2,300, 47,237 และ 12,750 มก./ล. ตามลำดับ

ทำการปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟูริก ปรับเปลี่ยนค่าพีเอชในช่วง 4, 4.5, 5, 6, 7, 8 เติมสารโพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) ปริมาณเท่ากับ 10 มก./ล. แล้วทดลองกวนเร็วเป็นเวลา 3 นาที กวนช้า 30 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสำหรับค่าพีเอชต่างๆ

จากการทดลองพบว่า น้ำเสียหลังตกตะกอนที่พีเอช 4, 4.5, 5, 6, 7, 8 จะมีค่าซีไอดีเท่ากับ 41,500, 41,500, 43,380, 43,400, 50,170 และ 56,000 มก./ล. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 29, 29, 26, 26, 14 และ 5% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อปรับให้ค่าพีเอชของน้ำเสียนั้นค่าซีไอดีของน้ำเสียหลังการทดลองมีค่าลดลงตามไปด้วยซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ค่าพีเอชประมาณ 4 พบว่าซีไอดีของน้ำหลังการทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 29% และมีค่าเหลือเท่ากับ 41,500 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 32% ปริมาณบีไอดีคงเหลือเท่ากับ 25,500 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 52% ปริมาณของแข็งแขวนลอยคงเหลือเท่ากับ 282 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเท่ากับ 99% ปริมาณน้ำมันคงเหลือเท่ากับ 20 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 7% และประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลเท่ากับ 21% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ ดังนั้น ในการทดลองในขั้นตอนต่อไปจะใช้ค่าพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 สำหรับทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดซัลฟูริก

สภาวะที่ใช้ทดลอง		pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
pH	Cationic Polymer (มก./ล.)		มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove
4	10	4.15	282	52	41,500	29	25,500	32	20	99
4.5	10	4.31	322	45	41,500	29	-	-	-	-
5	10	5.12	5	99	43,380	26	-	-	-	-
6	10	6.57	60	90	43,400	26	-	-	-	-
7	10	6.89	55	91	50,170	14	-	-	-	-
8	10	7.30	40	93	56,000	5	-	-	-	-



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้กรดซัลฟูริก

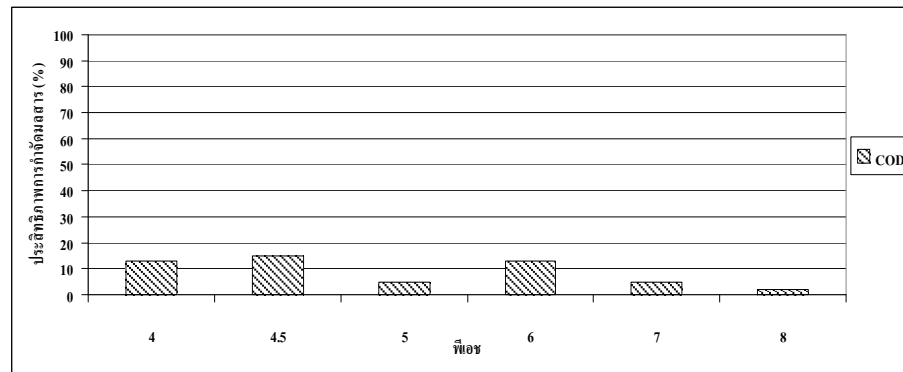
2) การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดฟอสฟอริก

ทำการปรับพีเอชด้วยกรดฟอสฟอริก โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชในช่วง 3, 4, 5, 6, 7, 8 และทำการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เจสต์ แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์

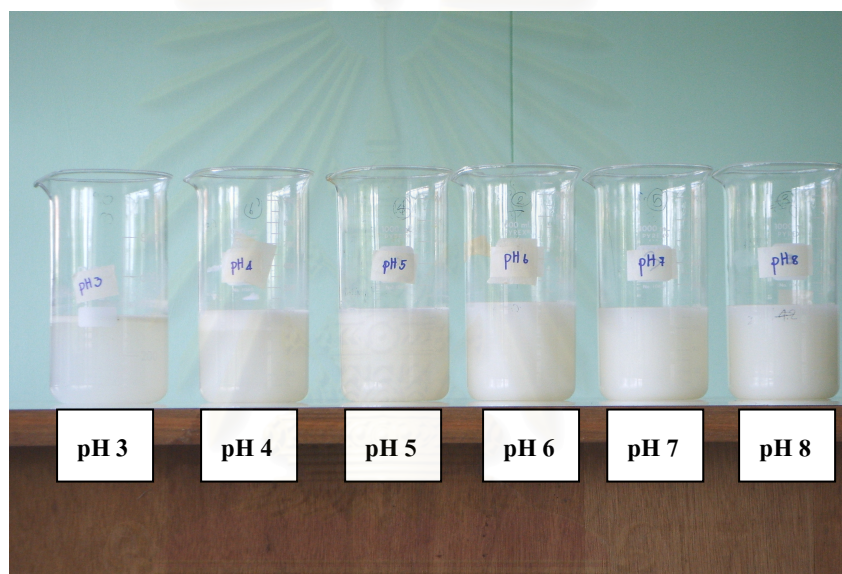
จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารปรับพีเอช จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ค่าพีเอชประมาณ 4 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 15% ปริมาณซีโอดีคงเหลือเท่ากับ 50,000 มก./ล. แต่พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียหลังการทดลองทุกชุดมีค่าสูงขึ้นกว่าตอนเริ่มต้น ดังแสดงผลทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 6% และประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลเท่ากับ 4% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของการใช้กรดฟอสฟอริก

สภาวะที่ใช้ทดลอง	SS		COD	
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove
3	2,030	-248	50,800	13
4	2,690	-360	50,000	15
5	2,470	-323	55,600	5
6	2,100	-260	51,000	13
7	1,740	-198	55,600	5
8	1,630	-179	57,200	2



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้กรดฟอสฟอริก



รูปที่ 4.3 ลักษณะน้ำเสียหลังการปรับพีเอชด้วยกรดฟอสฟอริก

3) การทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม

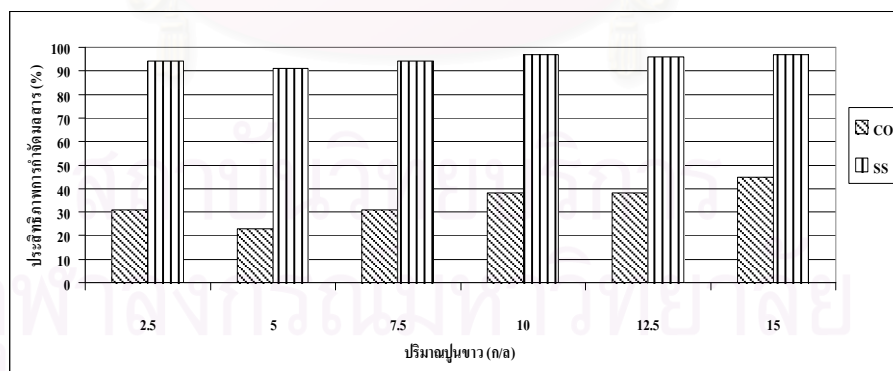
ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณปูนขาว โดยปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของปูนขาว 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 ก./ล. และทำการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เทสต์ แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ปูนขาวทดสอบจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ความเข้มข้น 15 ก./ล. โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 45% ปริมาณซีโอดีคงเหลือเท่ากับ 32,510 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 66% ปริมาณบีโอดีคงเหลือเท่ากับ

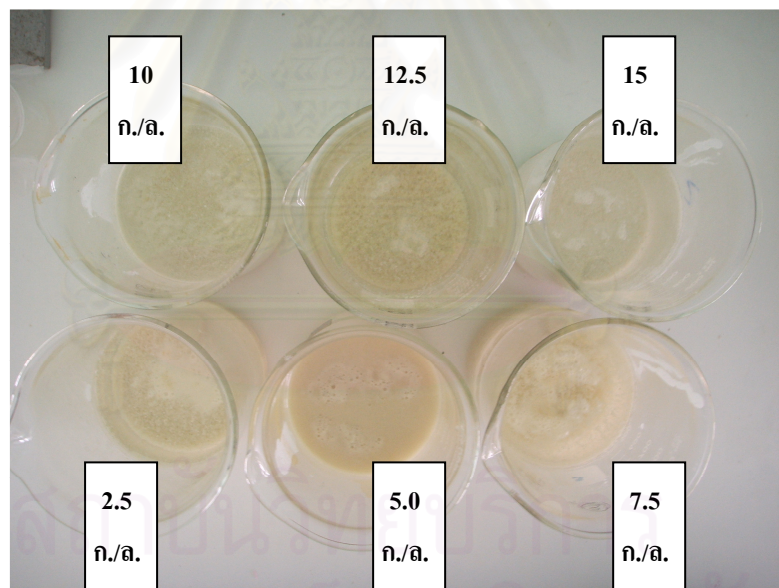
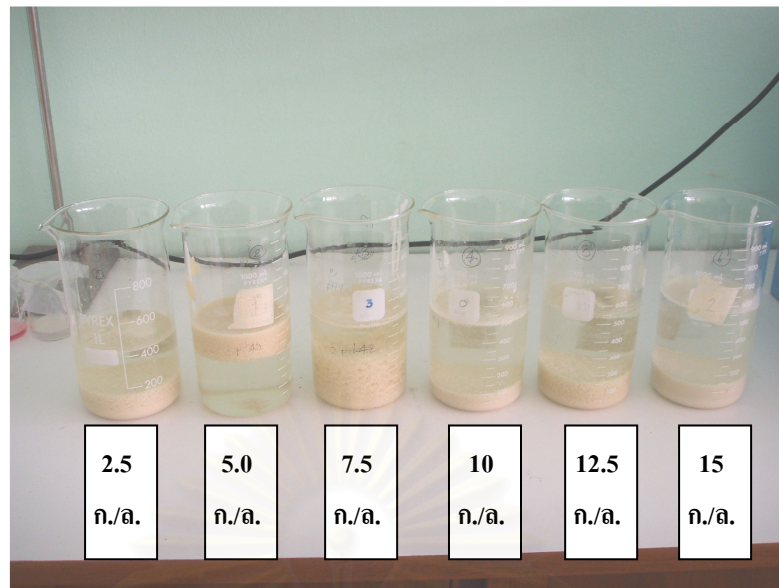
12,900 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 97% ปริมาณของแข็งทั้งหมด คงเหลือเท่ากับ 20 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันมีค่าสูงมากเท่ากับ 99% ปริมาณ น้ำมันคงเหลือเท่ากับ 15 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 49% และประสิทธิภาพ ในการกำจัดกลีเซอรอลเท่ากับ 26% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม

สภาวะที่ใช้ทดลอง	pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
		มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove
ปูนขาว (ก./ล.)									
0	10.6	584	0	58,620	0	37,500	0	2,300	0
2.5	12.45	35	94	40,680	31	-	-	-	-
5.0	12.44	50	91	45,090	23	-	-	-	-
7.5	12.41	34	94	40,680	31	-	-	-	-
10.0	12.46	18	97	36,270	38	-	-	-	-
12.5	12.47	26	96	36,560	38	-	-	-	-
15.0	12.45	20	97	32,510	45	12,900	66	15	99



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม



รูปที่ 4.5 ลักษณะน้ำเสียหลังการทดสอบหาปริมาณการใช้ปูนขาวที่เหมาะสม

4.2.2 การทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม

การทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม : ซึ่งสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 ชนิด คือ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) โพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ โดยกำหนดให้ปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ประกอบด้วย

- การทดสอบหาปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) ที่เหมาะสม
- การทดสอบหาปริมาณการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และโพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) ที่เหมาะสม
- การทดสอบหาปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) และโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ที่เหมาะสม
- การทดสอบหาปริมาณการใช้การทดลองหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) และโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ที่เหมาะสม

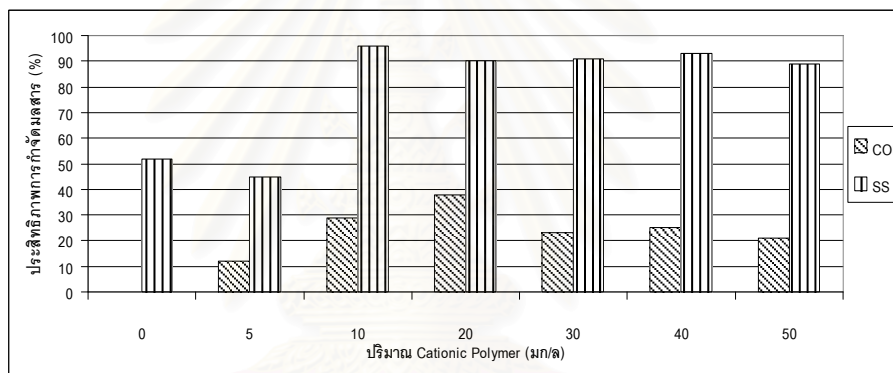
1) การทดสอบหาปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม

ทำการปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟูริก โดยใช้ค่าพีเอชประมาณ 4 และเติมโพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. และทำการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เจสต์ แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์

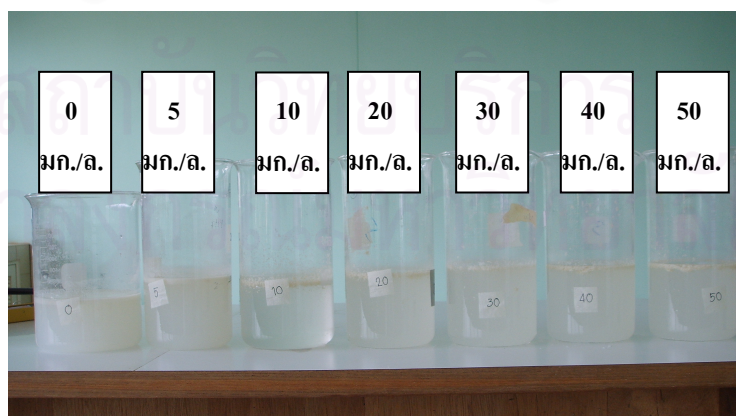
จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารโคแอกกูแลนต์ในปริมาณ 20 มก./ล. จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมลสารดีที่สุด เพราะฉะนั้นจึงเลือกปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 20 มก./ล. โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 38% ปริมาณซีโอดีคงเหลือเท่ากับ 36,590 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 29% ปริมาณบีโอดีคงเหลือเท่ากับ 26,570 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 90% ปริมาณของแข็งทั้งหมดคงเหลือเท่ากับ 60 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเท่ากับร้อยละ 98 ปริมาณน้ำมันคงเหลือเท่ากับ 50 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 25% และประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลเท่ากับ 16% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาปริมาณการใช้โพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4

สถานะที่ใช้ทดลอง		pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
Cationic Polymer (มก./ล.)	pH		มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove
0	4	4.00	282	52	58,620	0	-	-	-	-
5	4	4.11	322	45	51,680	12	-	-	-	-
10	4	4.15	282	52	41,500	29	25,500	32	20	99
20	4	4.39	60	90	36,590	38	26,570	29	50	98
30	4	5.49	50	91	45,270	23	-	-	-	-
40	4	4.98	40	93	44,130	25	-	-	-	-
50	4	4.69	62	89	46,510	21	-	-	-	-



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกที่พีเอช 4



รูปที่ 4.7 ลักษณะน้ำเสียหลังการหาปริมาณ โพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4

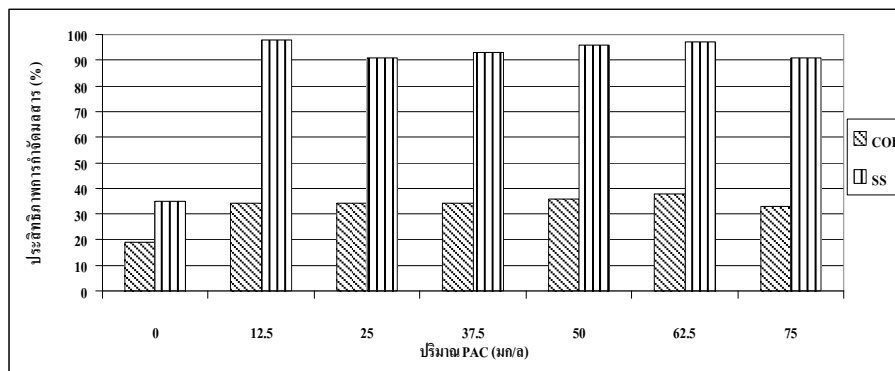
2) การทดสอบหาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม

ทำการปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟูริก โดยใช้ค่าพีเอชประมาณ 4 เดิมโพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 2.5 มก./ล. และเติมโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้น 0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5 และ 75 มก./ล. และทำการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เทสต์ แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารมลสารที่ดีที่สุดเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสาร โคแอกกูแลนต์และสาร โคแอกกูแลนต์เอด ในปริมาณ 2.5 มก./ล. และ 62.5 มก./ล. ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 38% ปริมาณซีโอดีคงเหลือเท่ากับ 36,200 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 97% ปริมาณของแข็งทั้งหมดคงเหลือเท่ากับ 18 มก./ล. ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการบำบัดมลสารดีที่สุดในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8 ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 18% และประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเท่ากับ 14% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาปริมาณการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4

สภาวะที่ใช้ทดลอง			pH สุดท้าย	SS		COD	
PAC (มก./ล.)	Cationic Polymer (มก./ล.)	pH		มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove
0	2.5	4	4.11	380	35	47,410	19
12.5	2.5	4	4.22	10	98	38,850	34
25.0	2.5	4	4.17	50	91	38,610	34
37.5	2.5	4	4.28	40	93	38,850	34
50.0	2.5	4	4.28	23	96	37,590	36
62.5	2.5	4	4.32	18	97	36,200	38
75.0	2.5	4	4.34	50	91	39,560	33



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมที่พีเอช 4

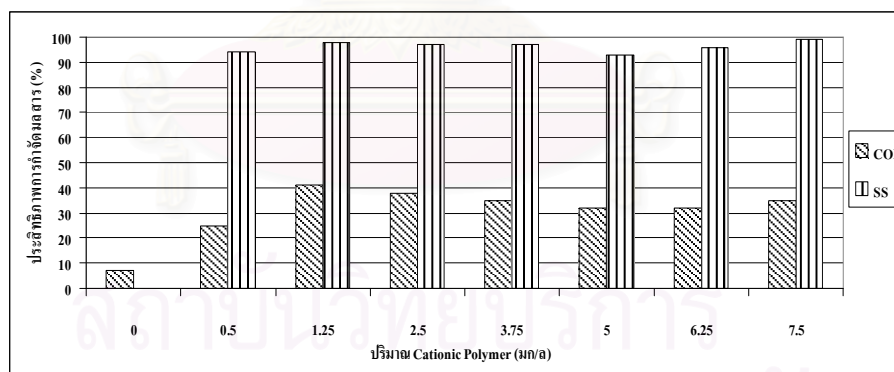
3) การทดสอบหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวกและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4

ทำการปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟูริก โดยใช้ค่าพีเอชประมาณ 4 เติมโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณ 62.5 มก./ล. และเติมโพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณความเข้มข้น 0, 0.5, 1.25, 2.5, 3.75, 5.0, 6.25 และ 7.5 มก./ล. และทำการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เทสต์ แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์

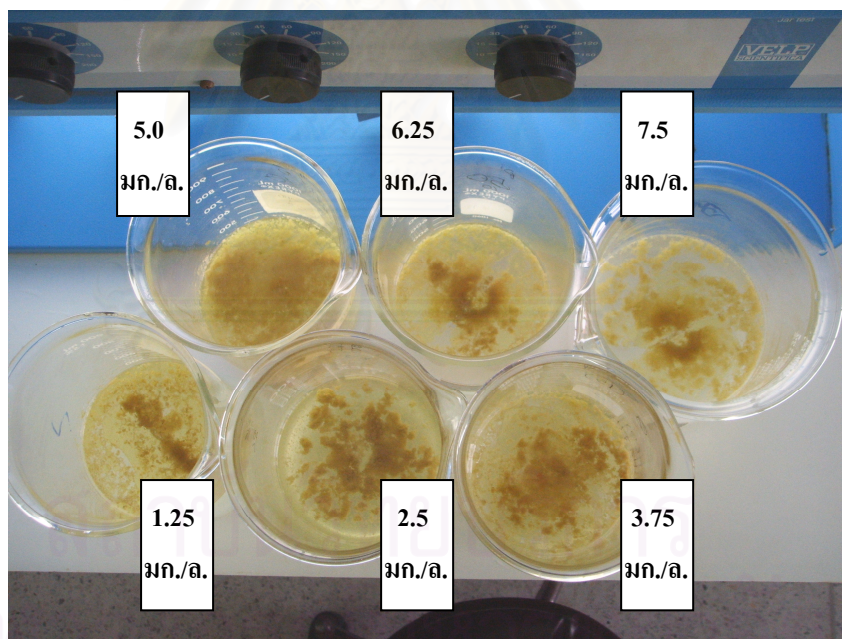
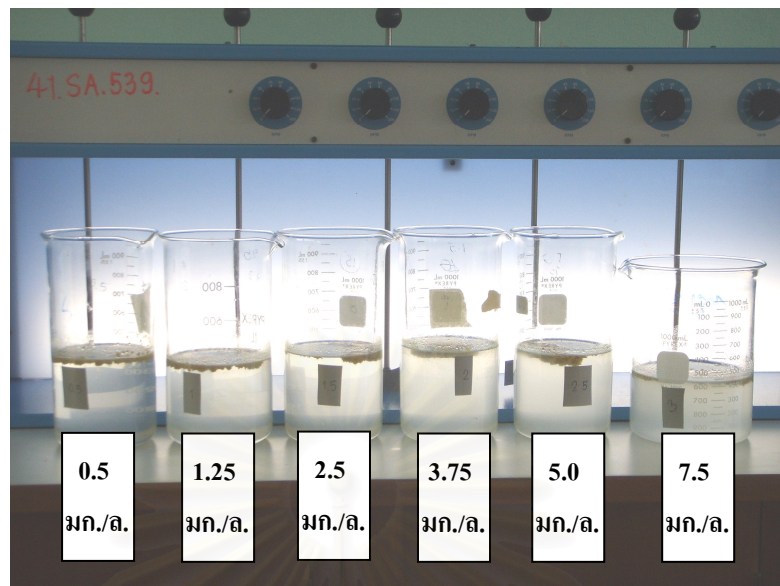
จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมลสารที่ดีที่สุดเมื่อใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดในปริมาณ 62.5 มก./ล. และ 1.25 มก./ล. ตามลำดับ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 41% ปริมาณซีโอดีคงเหลือเท่ากับ 34,630 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 47% ปริมาณบีโอดีคงเหลือเท่ากับ 20,000 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 98% ปริมาณของแข็งทั้งหมดคงเหลือเท่ากับ 10 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเท่ากับ 98% ปริมาณน้ำมันคงเหลือเท่ากับ 13 มก./ล. ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นนี้ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมลสารดีที่สุด ดังนั้น จึงเลือกปริมาณการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 62.5 มก./ล. และ 1.25 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 33% และประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลเท่ากับ 23% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาปริมาณการใช้โพลิเมอร์ประจุบวกและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4

สภาวะที่ใช้ทดลอง			pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
Cationic Polymer (มก./ล.)	PAC (มก./ล.)	pH		มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove
0	62.5	4	2.88	2,040	-249	54,450	7	-	-	-	-
0.50	62.5	4	4.01	35	94	44,250	25	-	-	-	-
1.25	62.5	4	4.11	10	98	34,630	41	20,000	47	13	98
2.50	62.5	4	4.32	18	97	36,200	38	-	-	-	-
3.75	62.5	4	4.11	20	97	37,930	35	-	-	-	-
5.00	62.5	4	4.16	40	93	39,650	32	-	-	-	-
6.25	62.5	4	4.09	22	96	39,650	32	-	-	-	-
7.50	62.5	4	4.39	8	99	37,930	35	-	-	-	-



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4



รูปที่ 4.10 ลักษณะน้ำเสียหลังการหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์
ที่เหมาะสมที่พีเอช 4

4) การทดสอบหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่

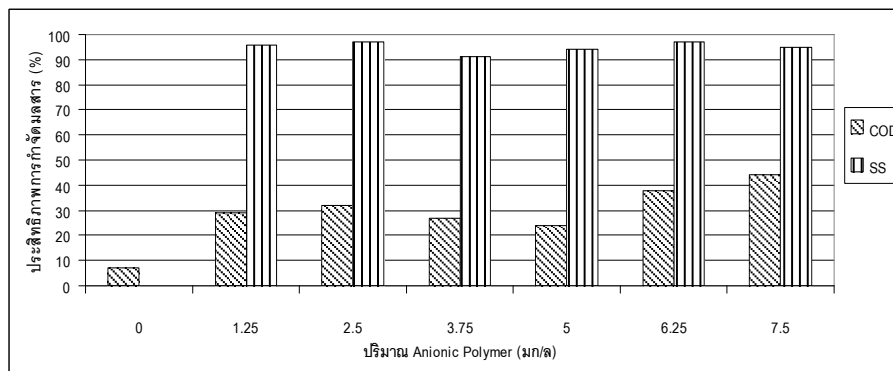
พีเอช 4

ทำการปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟูริก โดยใช้ค่าพีเอชประมาณ 4 เติมโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณ 62.5 มก./ล. และเติมโพลิเมอร์ประจุลบปริมาณความเข้มข้น 0, 1.25, 2.5, 3.75, 5.0, 6.25 และ 7.5 มก./ล. และทำการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบจาร์เทสต์ แล้วจึงนำน้ำใสส่วนกลางไปวิเคราะห์

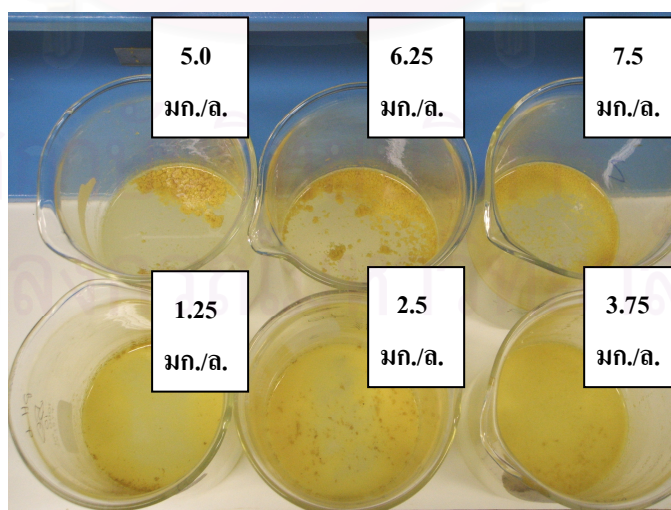
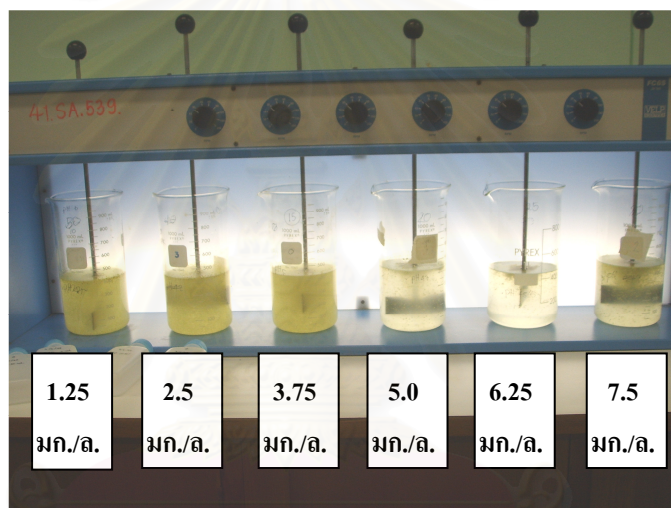
จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมลสารที่ดีที่สุดเมื่อใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอดในปริมาณ 62.5 มก./ล. และ 7.5 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 44% ปริมาณซีโอดีคงเหลือเท่ากับ 32,760 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 57% ปริมาณบีโอดีคงเหลือเท่ากับ 16,000 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 30% ปริมาณของแข็งทั้งหมดคงเหลือเท่ากับ 95 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเท่ากับ 61% ปริมาณน้ำมันคงเหลือเท่ากับ 225 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลเท่ากับ 31% และประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเท่ากับ 13% ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข 1 และ ข 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาปริมาณการใช้การทดลองหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4

สภาวะที่ใช้ทดลอง			pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
Anionic Polymer (มก./ล.)	PAC (มก./ล.)	pH		มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove	มก./ล.	% Remove
0	62.5	4	2.88	2,040	-249	54,450	7	-	-	-	-
1.25	62.5	4	2.41	23	96	41,380	29	-	-	-	-
2.50	62.5	4	3.93	18	97	39,650	32	-	-	-	-
3.75	62.5	4	3.43	53	91	43,100	27	-	-	-	-
5.00	62.5	4	4.07	33	94	44,820	24	-	-	-	-
6.25	62.5	4	3.83	20	97	36,200	38	-	-	-	-
7.50	62.5	4	2.70	30	95	32,760	44	16,000	57	225	61



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุลบและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4



รูปที่ 4.12 ลักษณะน้ำเสียหลังการหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่พีเอช 4

4.2.3 สรุปผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมี

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารต่างๆ ในน้ำเสียจะพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีเป็นหลัก โดยตารางที่ 4.9 ได้สรุปผลสภาวะการกำจัดซีโอดีที่ดีที่สุดของแต่ละชุดการทดลองด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้ปูนขาว 15 ก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี น้ำมันและไขมัน เท่ากับร้อยละ 45, 66 และ 99 ตามลำดับ รองลงมาคือ การปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียด้วยกรดซัลฟูริกที่พีเอช 4 ร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. หรือการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 62.5 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก เท่ากับ 1.25 มก./ล. ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันสูงถึงร้อยละ 98 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี เมทานอล และกลีเซอรอล เท่ากับ ร้อยละ 38-41, 29-41, 25-33 และ 16-23 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งการพิจารณาเลือกใช้วิธีการบำบัดโดยวิธีใดนั้นจะต้องพิจารณาความเหมาะสมทางด้านราคาสารเคมีประกอบในการพิจารณาด้วย

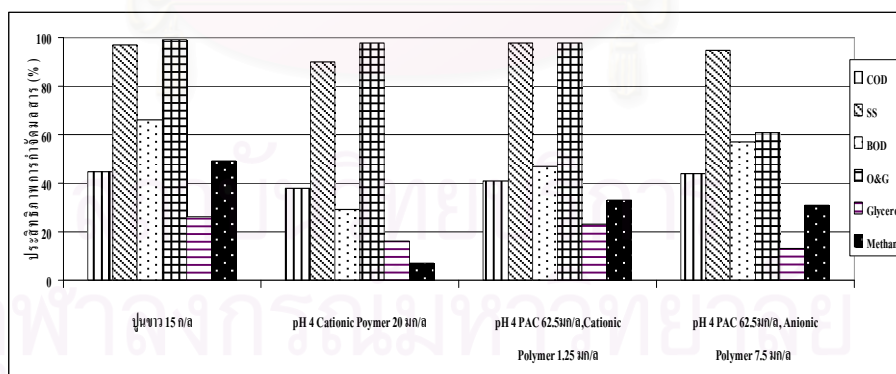
จากผลการทดลองข้างต้นเป็นกลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวกนั้นสามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไก 2 แบบ คือ กลไกแบบคูคิ้วและทำลายประจุ และกลไกการเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์สำหรับกลไกแบบคูคิ้วและทำลายประจุนั้นเกิดขึ้นเนื่องจาก เมื่อเติมสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลงไปจะเกิดการแตกตัวเป็นอออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถคูคิ้วของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ โดยอออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่างๆ ทำให้ค่าซีตาโพเทนเชียลเพิ่มขึ้นจนอำนาจของประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ลดลงหรือเป็นกลางทำให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถเข้ากันได้มากขึ้น โดยค่าซีตาโพเทนเชียลที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เติมลงไป

กลไกการเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ เมื่อเติมโพลีเมอร์ประจุบวกลงไป ทำให้ค่าซีตาโพเทนเชียลเพิ่มขึ้นตามขั้วของประจุนอำนาจของประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ลดลงหรือเป็นกลาง จากนั้น โพลีเมอร์ประจุบวกจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์หลายๆ ตัว ทำให้ออนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพ การเกาะติดเป็นผลจากแรงปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโพลีเมอร์ประจุบวกกับอนุภาคคอลลอยด์ แต่เมื่อเติมโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณมากจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง โดยโพลีเมอร์ประจุบวกสามารถทำให้อนุภาคคอลลอยด์เปลี่ยนจากประจุลบกลายเป็นประจุบวกได้ ซึ่งทำให้โพลีเมอร์ประจุบวกกับอนุภาคคอลลอยด์มีประจุชนิดเดียวกัน

ประสิทธิภาพการเกาะติดกันลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงตามไปด้วย (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลสาร (ร้อยละ)					
	ซีไอดี	ของแข็งแขวนลอย	บีไอดี	น้ำมันและไขมัน	กลีเซอรอล	เมทานอล
1. pH 4 กรดซัลฟูริกและโพลิเมอร์ประจุบวก 10 มก./ล.	29	52	32	99	21	7
2. pH 4 กรดฟอสฟอริก	15	-360	-	-	4	6
3. ปูนขาว 15 ก./ล.	45	97	66	99	26	49
4. pH 4 โพลิเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล.	38	90	29	98	16	25
5. pH 4 โพลิเมอร์ประจุบวก 2.5 มก./ล. และ โพลีออลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล.	40	98	-	-	14	18
6. pH 4 โพลีออลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล.	41	98	47	98	23	33
7. pH 4 โพลีออลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุลบ 7.5 มก./ล.	44	95	57	61	13	31



รูปที่ 4.13 สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดมลสารด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ

4.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยการบำบัดทางเคมี

จากตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการทดลองบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่สถานะต่างๆ พบว่า การใช้ปูนขาว แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดมลสารที่ดีที่สุดแต่มีการใช้ปูนขาวปริมาณมากทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูงถึง 37.5 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายในการใช้กรดซัลฟูริกร่วมกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. ที่พีเอช 4 คือ 7.48 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. ส่วนการใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. พบว่ามีราคา 9.42 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าการใช้กรดซัลฟูริกร่วมกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวกเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงพบว่า สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและการลงทุนด้านอุปกรณ์และลดความยุ่งยากในการควบคุมระบบรวมทั้งลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในการเติมสารเคมีให้แก่ระบบด้วย

ตารางที่ 4.10 ราคาค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการตกตะกอน

สารตกตะกอน	สารช่วยตกตะกอน	ราคาสารตกตะกอน (บาท/ลบ.ม.)	ราคาสารช่วยตกตะกอน (บาท/ลบ.ม.)	ราคาสารปรับพีเอช (บาท/ลบ.ม.)	ราคารวม (บาท/ลบ.ม.)
1. pH 4 Cationic Polymer 10 มก./ล.	-	-	2	5.42	7.42
2. pH 4 Phosphoric Acid	-	-	-	23.97	23.97
3. ปูนขาว 15 ก./ล.	-	-	-	37.5	37.5
4. pH 4, Cationic Polymer 20 มก./ล.	-	-	4	5.42	9.42
5. pH 4, PAC 62.5 มก./ล.	Cationic Polymer 2.5 มก./ล.	1.81	0.5	5.42	7.73
6. pH 4, PAC 62.5 มก./ล.	Cationic Polymer 1.25 มก./ล.	1.81	0.25	5.42	7.48
7. pH 4, PAC 62.5 มก./ล.	Anionic Polymer 7.5 มก./ล.	1.81	1.125	5.42	8.36

หมายเหตุ

- Cationic Polymer ราคา 200 บาท/กิโลกรัม
- Anionic Polymer ราคา 150 บาท/กิโลกรัม
- Polyaluminium Chloride ราคา 29 บาท/กิโลกรัม
- Lime ราคา 25 บาท/กิโลกรัม
- Conc. Sulfuric Acid ราคา 34.5 บาท/ลิตร
- Conc. Phosphoric Acid ราคา 107 บาท/ลิตร

4.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ

โดยนำผลการทดลองจากวิธีการตกตะกอนทางเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด คือ ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. ที่พีเอช 4 ซึ่งมีค่าซีไอดี ของแข็งแขวนลอย บีไอดี และน้ำมันและไขมัน เมทานอล และกลีเซอรอล เท่ากับ 34,630, 10, 20,000, 13, 31,421 และ 9,810 มก./ล. ตามลำดับ มาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยแบ่งเป็น การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

4.4.1 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

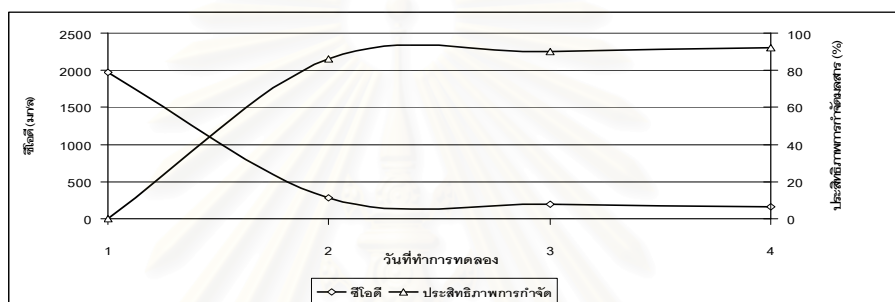
ในการศึกษาการเดินระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน มีทั้งหมด 2 ชุดการทดลองโดยนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีแล้วมาเจือจางให้มีค่าซีไอดีเริ่มต้นเท่ากับ 2,000 และ 3,000 มก./ล. เติมหัวเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (ตะกอนสลัดจ์จากระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์) โดยให้มีความเข้มข้นของแบคทีเรียในน้ำเสยรวมขณะเริ่มต้นเท่ากับ 3,000 มก./ล. และเติมอากาศตลอดเวลา ซึ่งการทดลองในช่วงนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของซีไอดีเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ผลการทดลองสามารถแยกออกได้ตามค่าซีไอดีเริ่มต้น ดังนี้

1. ซีไอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล.

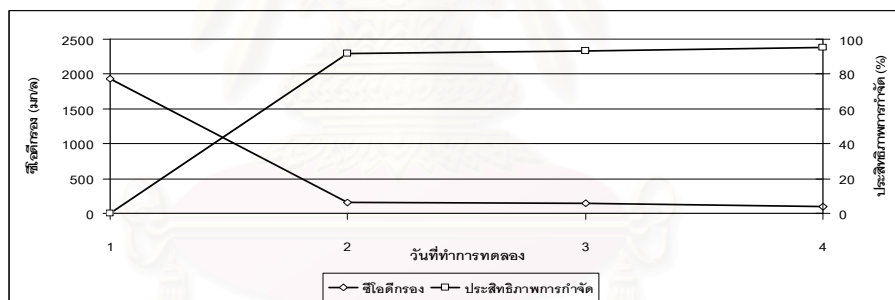
ที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.14 จะพบว่า เมื่อผ่านการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนนั้น จะใช้เวลาในการกำจัดจนกระทั่งค่าซีไอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งนั้นจะใช้เวลา 4 วัน ซึ่งในวันที่ 4 นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ซีไอดีกรอง และบีไอดี ร้อยละ 92, 95 และ 100 ตามลำดับ มีปริมาณซีไอดี ซีไอดีกรอง และบีไอดี คือ 160, 94 และ 6 มก./ล. ตามลำดับ และค่าของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยในวันที่ 4 นั้นมีค่าของแข็งแขวนลอยมากที่สุด คือ 3,860 มก./ล. และค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.42-8.27 มก./ล. จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.89-7.74 และอยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมที่ระบบจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนอุณหภูมิในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27.5-28.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล.

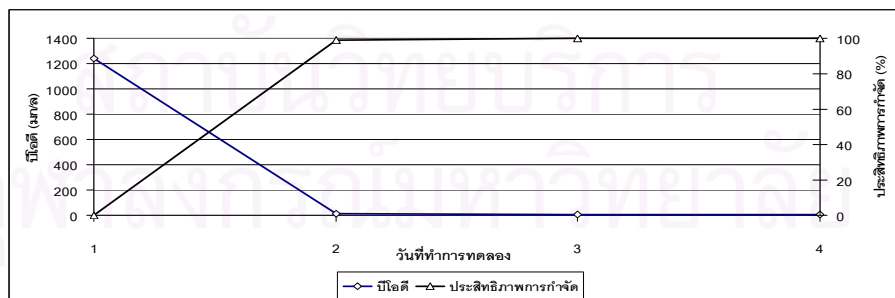
วันที่	COD		COD กรอง		BOD		DO (mg/l)	MLSS (mg/l)	pH	Temp
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove				
1	1,970	0	1,930	0	1,240	0	7.92	3,440	6.89	28.0
2	280	86	160	92	12	99	8.27	3,420	7.30	27.6
3	190	90	140	93	5	100	7.70	3,380	7.74	28.0
4	160	92	94	95	6	100	7.42	3,860	7.20	27.5



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.14 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล.

(ก) ค่าซีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

(ข) ค่าซีไอดีกรองที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรอง

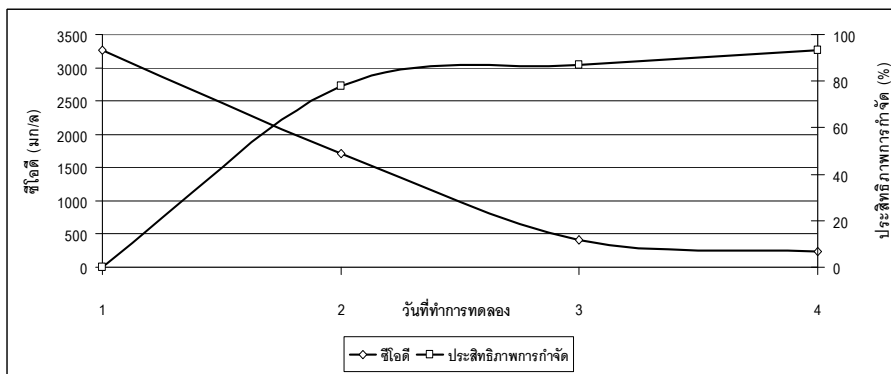
(ค) ค่าบีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี

2. ซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล.

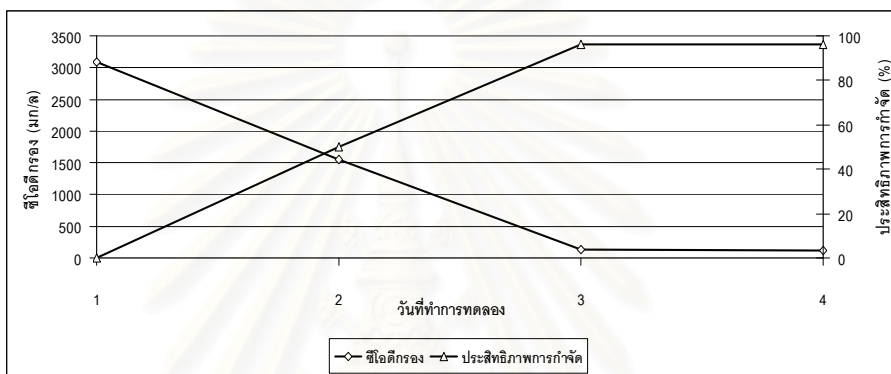
ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.15 จะพบว่าเมื่อผ่านการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนนั้น จะใช้เวลาในการกำจัดจนกระทั่งค่าซีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งนั้นจะใช้เวลา 4 วัน ซึ่งในวันที่ 4 นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี เมทานอลและกลีเซอรอล ร้อยละ 93, 96, 99, 99 และ 100 ตามลำดับ มีปริมาณซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี และเมทานอล คือ 230, 123, 18 และ 12 มก./ล. ตามลำดับ และไม่พบปริมาณกลีเซอรอล ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยในวันที่ 3 นั้นมีค่าของแข็งแขวนลอยมากที่สุด คือ 3,960 มก./ล. และค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.53-7.73 มก./ล. จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.16-8.38 และอยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมที่ระบบจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนอุณหภูมิในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27.8-29.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล.

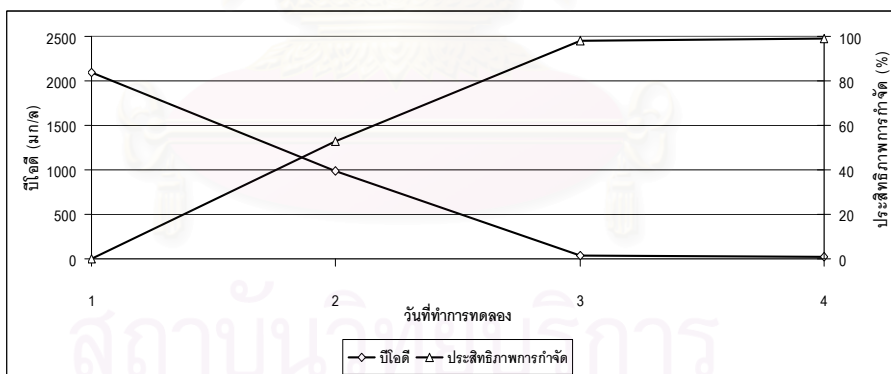
วันที่	COD		COD กรอง		BOD		Methanol		Glycerol		DO (mg/l)	MLSS (mg/l)	pH	T (°C)
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove				
1	3,270	0	3,090	0	2,100	0	1,281	0	980	0	6.53	3,620	8.38	29.7
2	1,710	78	1,560	50	990	53	80	94	400	59	6.84	3,900	7.16	29.7
3	410	87	135	96	40	98	11	99	N.D.	100	7.02	3,960	8.14	28.8
4	230	93	120	96	18	99	12	99	N.D.	100	7.73	3,700	8.33	27.8



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.15 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล.

(ก) ค่าซีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

(ข) ค่าซีไอดีกรองที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรอง

(ค) ค่าบีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี

4.4.2 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

ในการศึกษาการเดินระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนนั้นมีทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง โดยนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีแล้วมาเจือจางให้มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 3,500, 5,200 และ 8,000 มก./ล. เติมหัวเชื้อแบคทีเรียไร้ออกซิเจน (ตะกอนสลัดจ์จากระบบบำบัด UASB) โดยให้ความเข้มข้นของแบคทีเรียในน้ำเสียรวมเท่ากับ 20% ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งการทดลองในช่วงนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนผลการทดลองสามารถแยกออกได้ตามค่าซีโอดีเริ่มต้น ดังนี้

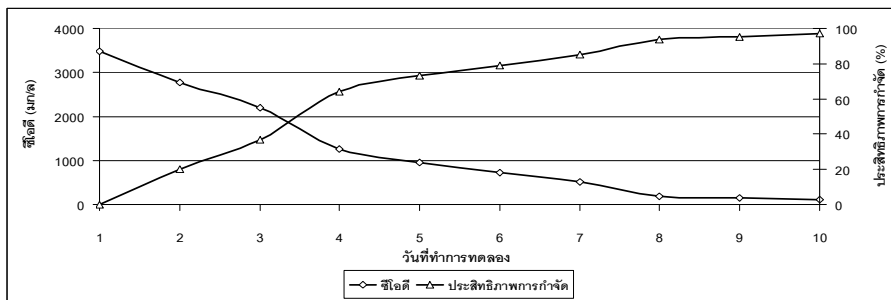
1. ซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล.

ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.16 จะพบว่าเมื่อผ่านการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน จะใช้เวลาในการกำจัดจนกระทั่งค่าซีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งนั้นจะใช้เวลา 10 วัน ซึ่งในวันที่ 10 นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี เมทานอลและกลีเซอรอล ร้อยละ 97, 97, 99, 99 และ 100 ตามลำดับ มีปริมาณซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี และเมทานอล คือ 118, 80, 12 และ 25 มก./ล. ตามลำดับ และไม่พบปริมาณกลีเซอรอล ส่วนค่าของแฉียงแฉวนลอยในวันแรกจะมีปริมาณสูงเนื่องจาก ระบบยังปรับตัวไม่ได้ แต่เมื่อเดินระบบไปเรื่อยๆ พบว่าปริมาณของแฉียงแฉวนลอยนั้นจะมีปริมาณคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8,700-12,480 มก./ล. กรดไขมันระเหยในระบบบำบัดนั้นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ คือ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 300-600 มก./ล. as acetic acid สภาพต่างในระบบบำบัดนั้นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2,500-2,900 มก./ล. as CaCO_3 และมีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.22 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.12-7.97 และอยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมที่ระบบจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนอุณหภูมิในระบบบำบัดนี้ค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 28.8-30.2 องศาเซลเซียส และในชุดการทดลองการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 3,200 มก./ล. มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเริ่มตั้งแต่วันที่ 2 เป็นต้นไป โดยในวันที่ 10 นั้นมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,910 มล.

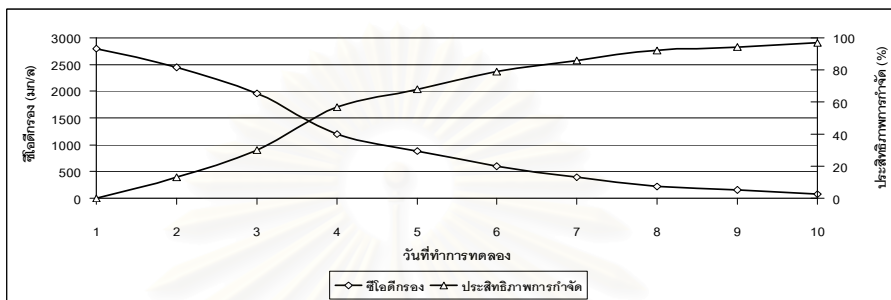
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล.

วันที่	ซีโอดี		ซีโอดีกรอง		บีโอดี		SS (mg/l)	Temp (°C)	pH	กรดไขมันระเหย (มก./ล. As Acetic Acid)	สภาพต่าง (มก./ล. As CaCO ₃)	อัตราส่วนกรด ไขมันระเหย ต่อสภาพต่าง	ปริมาณก๊าซชีวภาพ สะสม (ml.)
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove							
7/12/49	3,480	0	2,800	0	2,300	0	21,200	30.0	7.43	300	2,500	0.12	-
8/12/49	2,770	20	2,440	13	-	-	10,800	29.8	7.32	450	2,700	0.17	550
9/12/49	2,200	37	1,960	30	-	-	10,780	29.9	7.45	600	2,700	0.22	1,030
10/12/49	1,260	64	1,200	57	950	59	10,640	30.0	7.70	600	2,900	0.21	1,400
11/12/49	950	73	890	68	-	-	10,520	30.0	7.51	1050	2,800	0.16	1,440
12/12/49	720	79	600	79	-	-	12,480	30.0	7.52	600	2,700	0.22	1,910
13/12/49	510	85	390	86	80	97	9,760	29.8	7.62	600	2,800	0.21	1,910
14/12/49	200	94	220	92	-	-	9,780	30.0	7.83	450	2,800	0.16	1,910
15/12/49	160	95	160	94	-	-	9,980	29.8	7.97	600	2,800	0.21	1,910
16/12/49	118	97	80	97	12	99	8,700	28.8	7.72	300	2,700	0.11	1,910

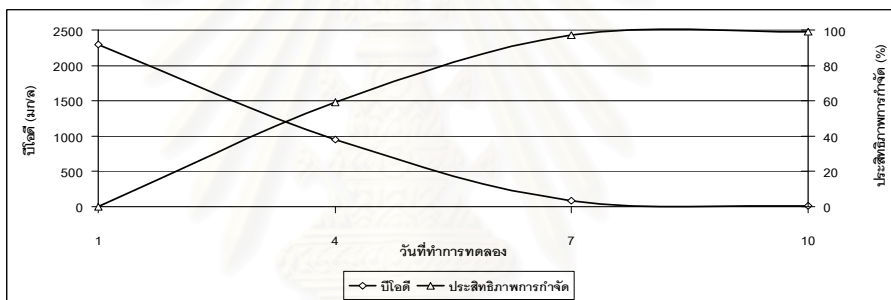
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



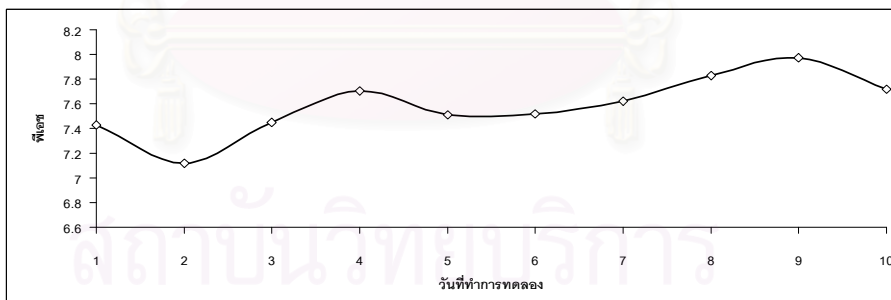
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล.

(ก) ค่าซีโอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

(ข) ค่าซีโอดีกรองที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรอง

(ค) ค่าบีโอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

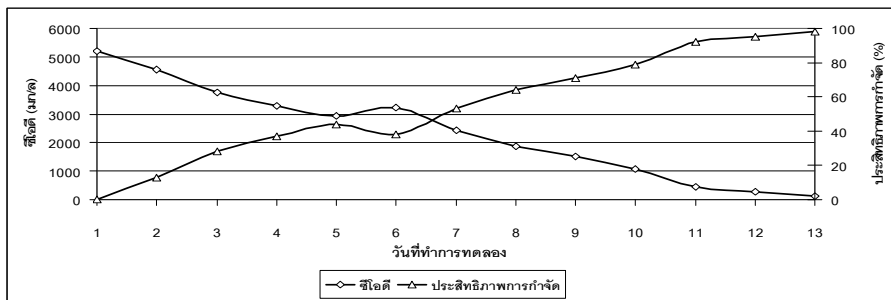
(ง) ค่าพีเอช

2. ซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.

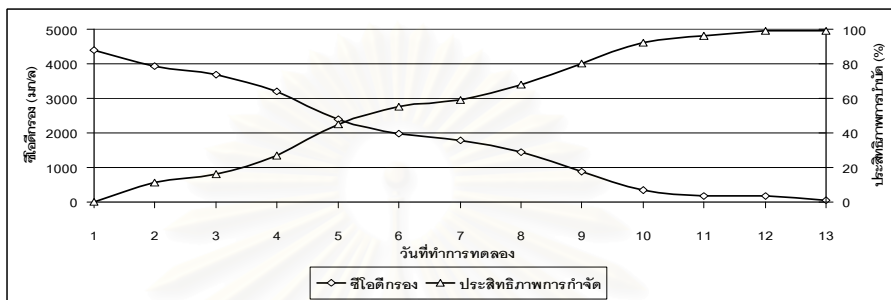
ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.17 จะพบว่าเมื่อผ่านการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน จะใช้เวลาในการกำจัด จนกระทั่งค่าซีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งนั้นจะใช้เวลา 13 วัน ซึ่งในวันที่ 13 นั้นมีประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี เมทานอลและกลีเซอรอล ร้อยละ 98, 99, 100, 98 และ 100 ตามลำดับ มีปริมาณซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี และเมทานอล คือ 110, 60, 8 และ 78 มก./ล. ตามลำดับ และไม่พบปริมาณกลีเซอรอล ส่วนค่าของแฉียงแฉวนลอยในวันแรกจะมีปริมาณสูง เนื่องจาก ระบบยังปรับตัวไม่ดี แต่เมื่อเดินระบบต่อไป พบว่าปริมาณของแฉียงแฉวนลอยนั้นจะมี ปริมาณคงที่โดยปริมาณนั้นอยู่ในช่วง 8,240-15,240 มก./ล. กรดไขมันระเหยในระบบบำบัดนั้นมี ปริมาณค่อนข้างคงที่ คือ อยู่ในช่วง 450-900 มก./ล. as acetic acid สภาพต่างในระบบบำบัดนั้น มีปริมาณค่อนข้างคงที่ คือ อยู่ในช่วง 2,700-3,300 มก./ล. as CaCO₃ และมีอัตราส่วนกรดไขมัน ระเหยต่อสภาพต่างในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.29 จากผลการ ทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.11-8.12 และอยู่ ในช่วงที่มีความเหมาะสมที่ระบบจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนอุณหภูมิในระบบบำบัดนี้ มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27.4-30.2 องศาเซลเซียส และในชุดการทดลองการบำบัด ทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 5,000 มก./ล. มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเริ่มตั้งแต่วันที่ 2 เป็นต้นไป โดยในวันที่ 13 นั้นมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ อีก 2 ชุดการทดลองโดยมีปริมาณเท่ากับ 2,060 มล.

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.

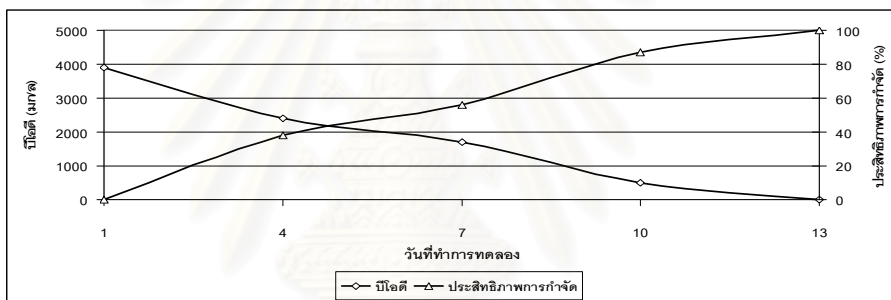
วันที่	ซีโอดี		ซีโอดีกรอง		บีโอดี		SS (mg/l)	Temp (°C)	pH	กรดไขมันระเหย (มก./ล. As Acetic Acid)	สภาพต่าง (มก./ล. As CaCO ₃)	อัตราส่วนกรด ไขมันระเหยต่อ สภาพต่าง	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพ สะสม (ml.)
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove							
7/12/49	5,200	0	4,400	0	3,900	0	18,400	29.0	7.39	450	2,700	0.17	-
8/12/49	4,550	13	3,920	11	-	-	13,580	29.1	7.11	600	2,800	0.21	510
9/12/49	3,740	28	3,690	16	-	-	12,960	29.1	7.14	750	2,700	0.28	570
10/12/49	3,280	37	3,200	27	2,410	38	15,240	29.5	7.83	750	2,900	0.26	570
11/12/49	2,920	44	2,400	45	-	-	13,960	29.9	7.25	750	2,900	0.26	570
12/12/49	3,230	38	1,980	55	-	-	13,180	30.2	7.56	450	2,900	0.16	860
13/12/49	2,430	53	1,790	59	1,700	56	12,720	29.5	8.02	900	3,100	0.29	1,450
14/12/49	1,850	64	1,430	68	-	-	12,520	29.0	7.44	450	3,300	0.14	1,460
15/12/49	1,500	71	870	80	-	-	13,480	29.5	7.75	450	3,100	0.15	1,560
16/12/49	1,070	79	340	92	490	87	11,780	29.0	7.75	600	3,100	0.19	2,060
17/12/49	430	92	170	96	-	-	9,360	27.8	7.13	600	3,300	0.18	2,060
18/12/49	270	95	160	99	-	-	8,420	28.0	7.6	600	3,300	0.18	2,060
19/12/49	110	98	60	99	8	100	8,240	27.4	8.12	750	3,100	0.24	2,060



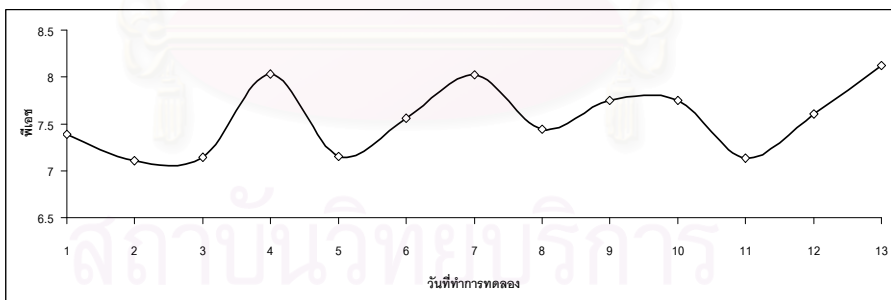
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.17 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.

- (ก) ค่าซีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี
- (ข) ค่าซีไอดีกรองที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรอง
- (ค) ค่าบีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี
- (ง) ค่าพีเอช

3. ซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล.

ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.18 จะพบว่าเมื่อผ่านการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน จะใช้เวลาในการกำจัดจนกระทั่งค่าซีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งนั้นจะใช้เวลา 23 วัน ซึ่งในวันที่ 23 นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี เมทานอลและกลีเซอรอล ร้อยละ 97, 98, 100, 97 และ 100 ตามลำดับ มีปริมาณซีโอดี ซีโอดีกรอง บีโอดี และเมทานอล คือ 220, 108, 17 และ 126 มก./ล. ตามลำดับ และไม่พบปริมาณกลีเซอรอล ส่วนค่าของแฉ่งแขวนลอยในช่วง 1-3 วันแรกจะมีปริมาณสูงเนื่องจาก ระบบยังปรับตัวไม่ดี และเมื่อเดินระบบต่อไป พบว่าปริมาณของแฉ่งแขวนลอยนั้นจะมีปริมาณคงที่ โดยปริมาณนั้นอยู่ในช่วง 8,220-16,260 มก./ล. กรดไขมันระเหยในระบบบำบัดนั้นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ คือ อยู่ในช่วง 600-900 มก./ล. as acetic acid สภาพต่างในระบบบำบัดนั้นมีปริมาณอยู่ในช่วง 2,100-3,500 มก./ล. as CaCO₃ และมีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.21-0.29 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชในระบบบำบัดนี้มีค่าอยู่ในช่วงที่กว้าง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.72-7.87 ส่วนอุณหภูมิในระบบบำบัดนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27.0-30.1 องศาเซลเซียส และการทดลองการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล. มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเริ่มตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไป โดยในวันที่ 23 นั้นมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,695 มล.

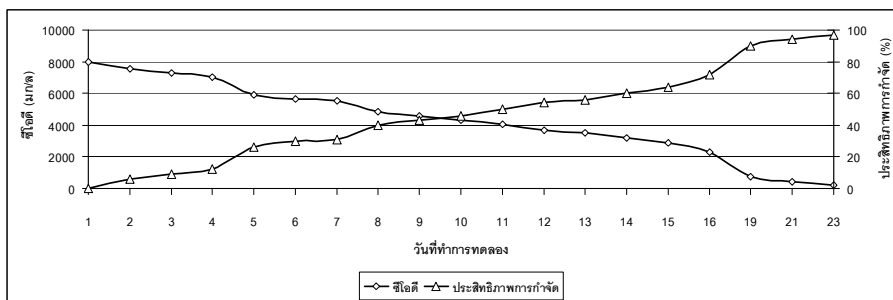
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอตีเริ่มต้น 8,000 มก./ล.

วันที่	ซีไอตี		ซีไอตีกรอง		บีไอตี		SS (mg/l)	Temp (°C)	pH	กรดไขมันระเหย (มก./ล. As Acetic Acid)	สภาพต่าง (มก./ล. As CaCO ₃)	อัตราส่วนกรด ไขมันระเหยต่อ สภาพต่าง	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพ สะสม (ml.)
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove							
7/12/49	8,000	0	6,700	0	5,000	0	20,880	29.5	7.62	750	2,300	0.26	-
8/12/49	7,530	6	6,400	4	-	-	20,800	29.2	7.27	600	2,100	0.29	-
9/12/49	7,290	9	6,380	5	-	-	20,840	29.1	7.36	600	3,100	0.19	610
10/12/49	7,040	12	6,420	4	4,100	18	15,100	29.0	7.27	600	3,000	0.20	1,250
11/12/49	5,890	26	5,450	19	-	-	16,040	29.0	6.95	450	3,200	0.14	1,480
12/12/49	5,630	30	5,400	19	-	-	15,380	30.1	7.07	600	3,000	0.20	1,550
13/12/49	5,550	31	5,410	19	3,700	26	16,260	30.0	7.43	600	2800	0.21	1,650
14/12/49	4,840	40	4,770	29	-	-	14,140	30.2	7.24	750	3,500	0.21	1,695
15/12/49	4,560	43	4,500	33	-	-	14,660	30.0	7.10	900	3,300	0.27	1,695
16/12/49	4,320	46	3,800	43	2,120	58	13,880	28.8	7.06	790	3,300	0.23	1,695
17/12/49	4,020	50	3,400	49	-	-	14,700	28.0	6.72	900	3,300	0.27	1,695
18/12/49	3,660	54	3,250	51	-	-	12,880	28.0	6.97	790	3,400	0.22	1,695
19/12/49	3,530	56	3,050	54	1,700	66	10,960	27.5	7.13	600	2,900	0.21	1,695
20/12/49	3,190	60	2,960	56	-	-	10,940	27.5	7.29	750	2,700	0.28	1,695
21/12/49	2,850	64	2,340	65	-	-	9,410	27.0	7.05	600	3,000	0.20	1,695

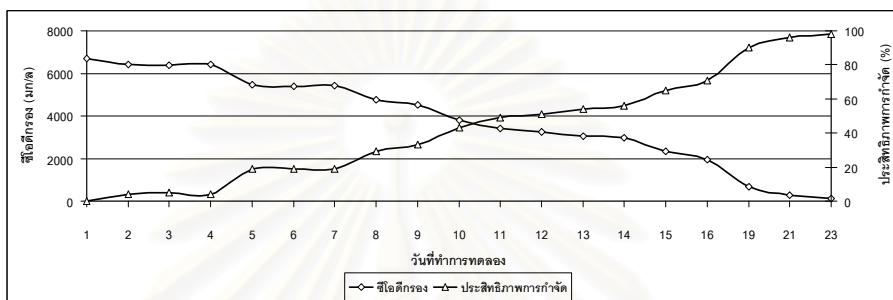
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล. (ต่อ)

วันที่	ซีไอดี		ซีไอดีกรอง		บีไอดี		SS (mg/l)	Temp (°C)	pH	กรดไขมันระเหย (มก./ล. As Acetic Acid)	สภาพต่าง (มก./ล. As CaCO ₃)	อัตราส่วนกรด ไขมันระเหยต่อ สภาพต่าง	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพ สะสม (ml.)
	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove							
22/12/49	2,270	72	1,945	71	1,060	79	8,690	27.0	7.37	900	3,500	0.26	1,695
23/12/49	-	-	-	-	-	-	8,790	27.5	7.07	750	3,000	0.25	1,695
24/12/49	-	-	-	-	-	-	8,750	27.0	7.15	750	3,500	0.21	1,695
25/12/49	770	90	684	90	90	98	8,860	27.2	7.12	900	3,500	0.26	1,695
26/12/49	-	-	-	-	-	-	8,780	27.0	7.12	900	3,400	0.26	1,695
27/12/49	450	94	281	96	35	99	8,610	27.0	7.20	600	3,000	0.20	1,695
28/12/49	-	-	-	-	-	-	8,570	27.7	7.15	900	3,200	0.28	1,695
29/12/49	220	97	108	98	17	100	8,220	27.2	7.20	900	3,500	0.26	1,695

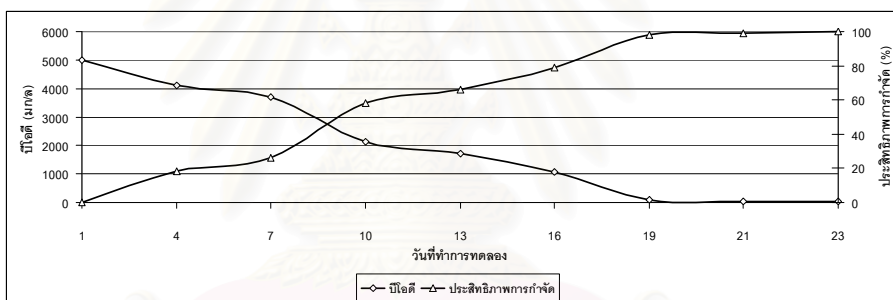
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



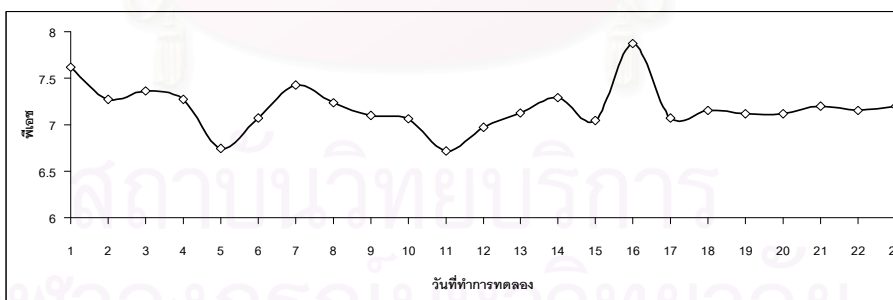
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.18 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล.

(ก) ค่าซีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

(ข) ค่าซีไอดีกรองที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรอง

(ค) ค่าบีไอดีที่เหลือและประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี

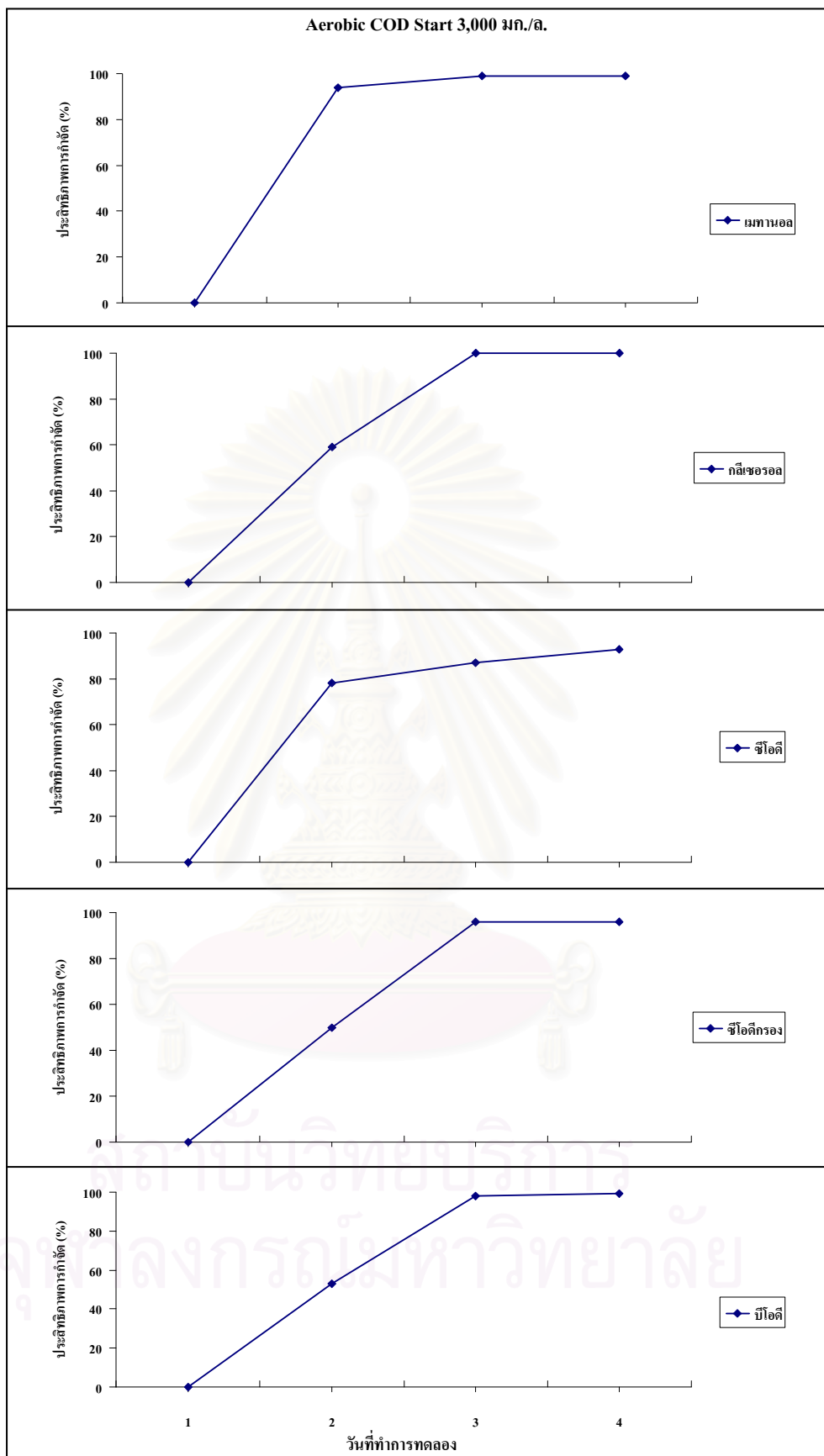
(ง) ค่าพีเอช

4.4.3 สรุปผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ

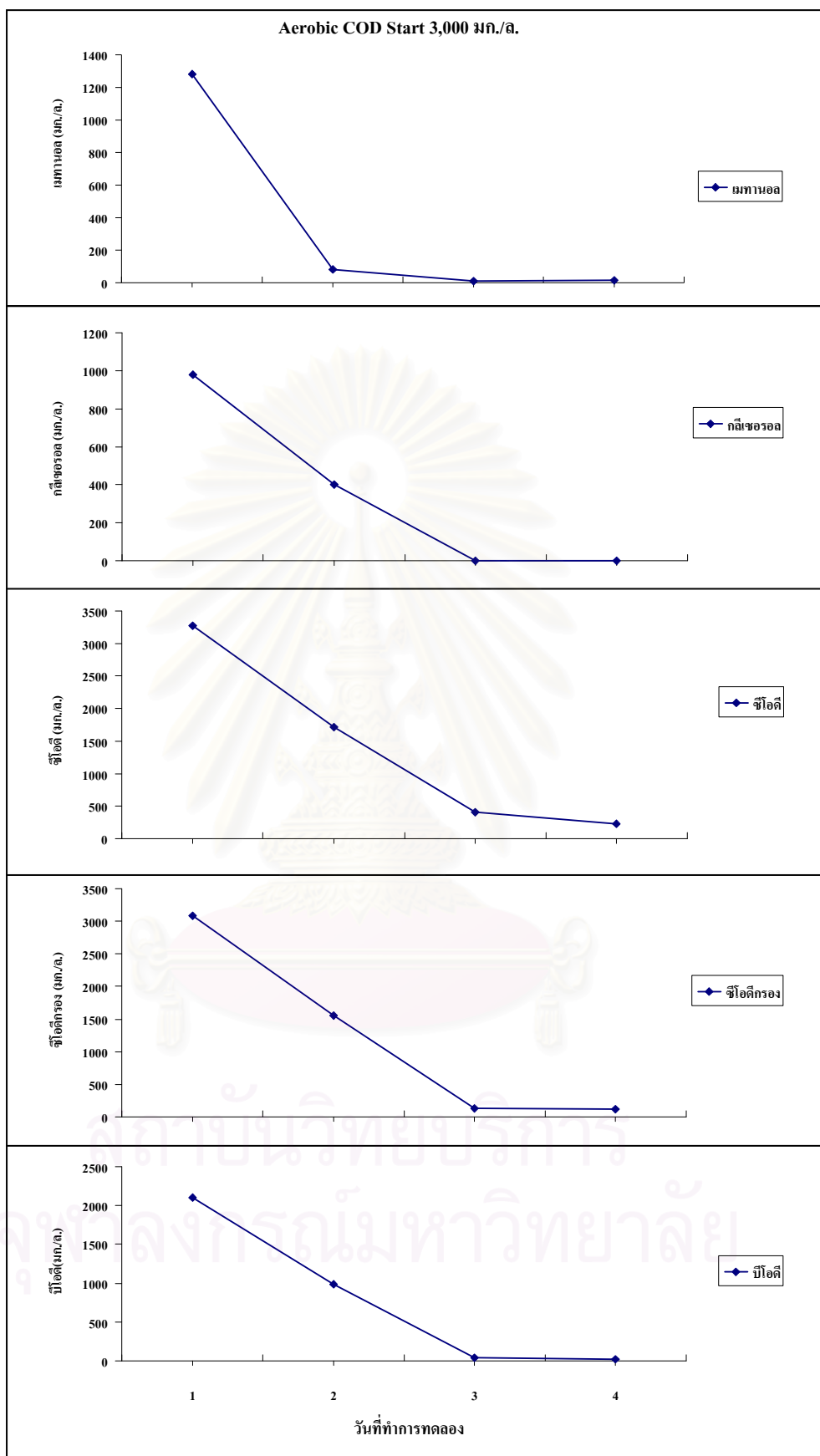
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีการใช้สารเคมีหลายชนิดซึ่งจะมีการปนเปื้อนออกมากับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันและไขมัน เมทานอล และกลีเซอรอลในปริมาณมาก คือ 2,280, 47,237 และ 12,750 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีผลต่อปริมาณซีโอดีในน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์พบว่า มีซีโอดีสูงถึง 58,620 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.16

จากการทดลองการบำบัดทางเคมีนั้น พบว่า การตกตะกอนทางเคมีโดยปรับพีเอช เป็น 4 ร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. หรือใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. สามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันได้มาก โดยมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 98 และมีปริมาณคงเหลือเท่ากับ 13 มก./ล. แต่ภายหลังจากการบำบัดทางเคมีนั้นยังคงมีเมทานอลและกลีเซอรอลเหลืออยู่มาก จากเหตุผลนี้เองจึงทำให้ปริมาณซีโอดีนั้นยังคงมีปริมาณสูง คือ 34,630 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ดังนั้น จึงนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีโดยวิธีนี้ไปบำบัดต่อด้วยวิธีการบำบัดทางชีวภาพ

ผลการทดลองบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนสามารถสรุปได้ว่าค่าซีโอดีเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมต่อการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ 2,000 และ 3,000 มก./ล. เวลาที่ใช้ในการกำจัดจนกระทั่งค่าซีโอดีได้ตรงตามมาตรฐานน้ำทิ้งใช้เวลา 4 วันทั้ง 2 ความเข้มข้น ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรอง ร้อยละ 92 และ 95 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีและปริมาณซีโอดีกรองคงเหลือ 160 และ 94 มก./ล. และที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรอง ร้อยละ 93 และ 96 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีและปริมาณซีโอดีกรองคงเหลือ 230 และ 120 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอล เท่ากับร้อยละ 99 โดยมีค่าคงเหลือเท่ากับ 12 มก./ล. และไม่พบปริมาณกลีเซอรอลเลย ดังแสดงในตารางที่ 4.16 รูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนนั้นใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้อยกว่าการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนในขณะที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นนั้นเท่ากัน ข้อเสียของระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน คือ น้ำเสียก่อนที่จะเข้าระบบต้องเจือจางก่อนเนื่องจากระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนนี้ไม่สามารถรับภาระค่าซีโอดีสูงๆ ได้ รวมทั้งในการเดินระบบนี้จะต้องมีการเติมอากาศซึ่งจะสิ้นเปลืองพลังงาน ดังตารางที่ 4.17



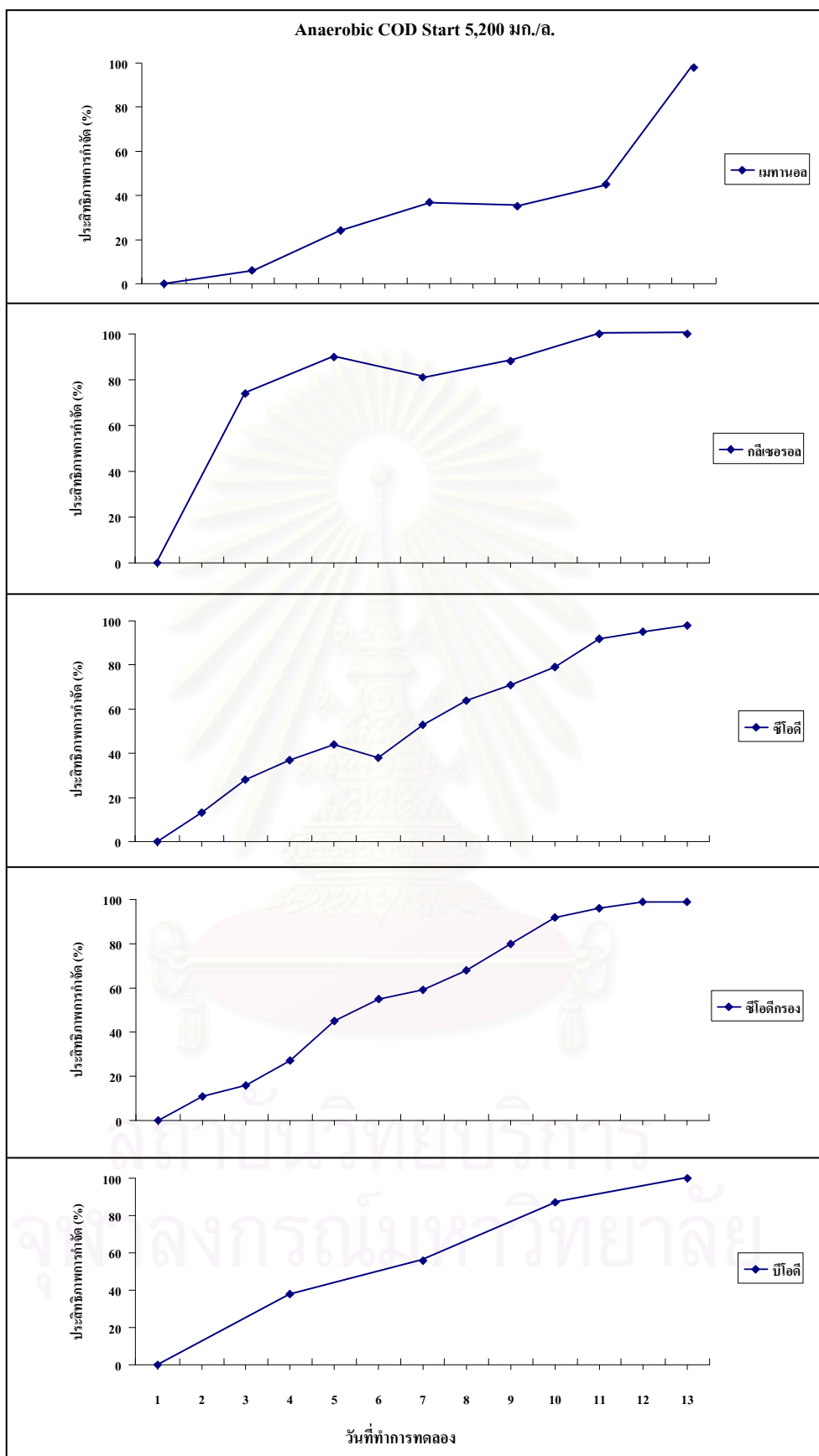
รูปที่ 4.19 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
ที่ชิโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล.



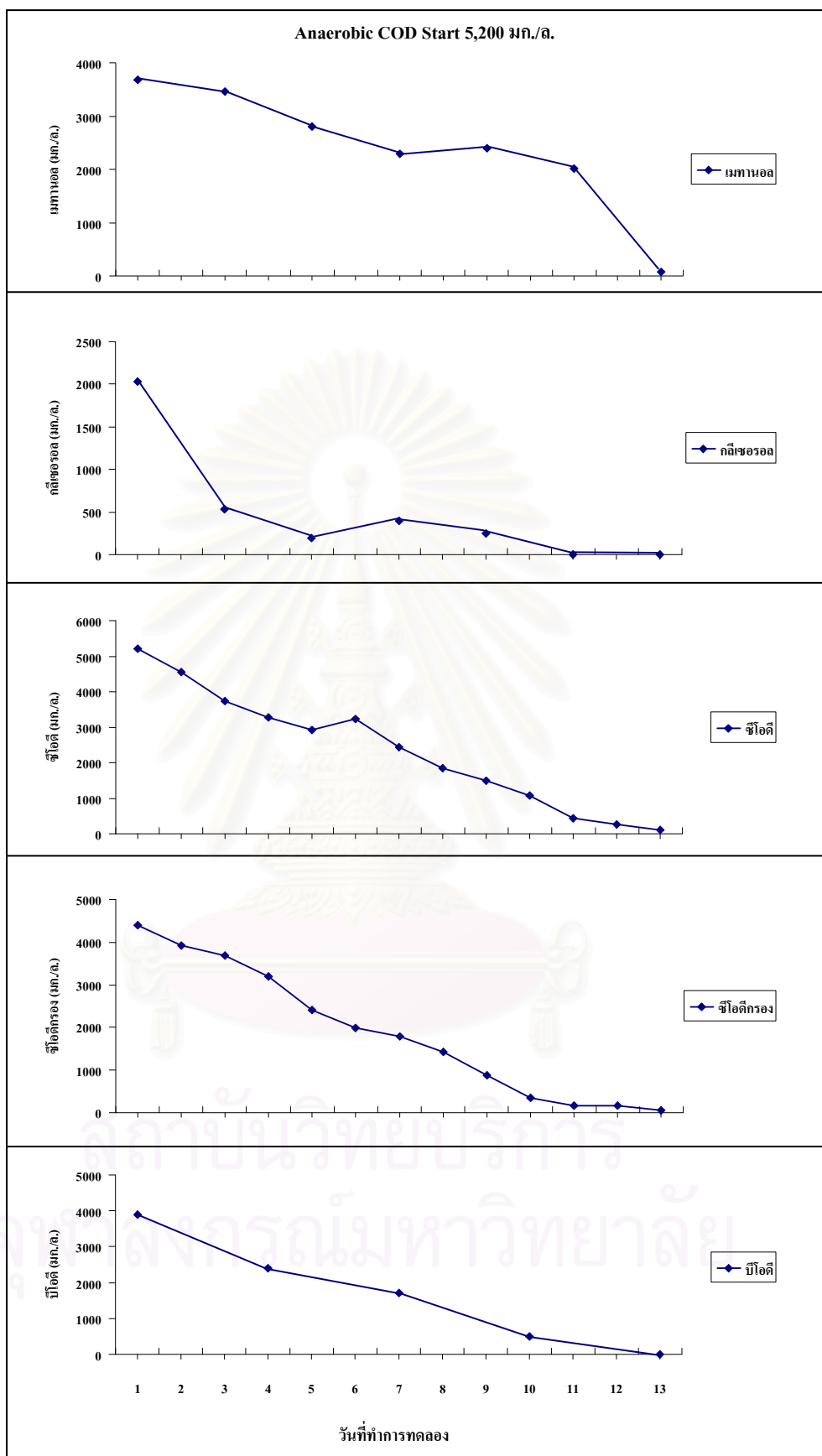
รูปที่ 4.20 สรุปความเข้มข้นของมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
ที่ไนไตรต์เริ่มต้น 3,000 มก./ล.

จากผลการทดลองบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนสามารถสรุปได้ว่าค่าซีโอดีเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมควรจะต่ำกว่า 5,200 มก./ล. คือ ที่ 3,500 หรือ 5,200 มก./ล. เวลาที่ใช้ในการกำจัดซีโอดีจนกระทั่งได้ตรงตามมาตรฐานน้ำทิ้งเมื่อความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 และ 5,200 มก./ล. คือ ที่เวลา 10 และ 13 วัน ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลสูงสุดถึงร้อยละ 99 และ 98 ตามลำดับ มีค่าเมทานอลคงเหลือเท่ากับ 25 และ 78 มก./ล. ตามลำดับ และไม่พบปริมาณกลีเซอรอลเลยทั้ง 2 ความเข้มข้น ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 97 และ 98 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีคงเหลือ 118 และ 110 มก./ล. และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรอง ร้อยละ 97 และ 99 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีคงเหลือ 80 และ 60 มก./ล. ดังตารางที่ 4.16 รูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 และการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนนั้นใช้ระยะเวลาในการบำบัดนานเนื่องจากในเริ่มแรกจุลชีพต่างๆ นั้นยังไม่เคยชินกับน้ำเสีย แต่เมื่อดำเนินระบบไปได้ประมาณ 3 วัน จุลชีพต่างๆ นั้นก็สามารถปรับตัวให้อยู่รอดได้ และข้อดีในการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนนั้นพบว่า สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีสูงถึง 5,200 มก/ล และระบบบำบัดนี้มีก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้จากการบำบัด แต่ข้อเสียของระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน คือ ใช้เวลาในการบำบัดนานและเกิดกลิ่นเหม็นระหว่างเดินระบบ ดังตารางที่ 4.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน
ที่ซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.



รูปที่ 4.22 สรุปความเข้มข้นของมลสารจากการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน
ที่ซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.

ตารางที่ 4.16 สรุปผลการทดลองการศึกษาระสิทธิภาพการบำบัดทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ

น้ำเสียที่วิเคราะห์	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์คุณภาพในน้ำเสีย									
	O&G		Glycerol		Methanol		COD		BOD	
	มก./ล.	% Removal	มก./ล.	% Removal	มก./ล.	% Removal	มก./ล.	% Removal	มก./ล.	% Removal
1. น้ำเสียก่อนการบำบัด	2,280	-	12,750	-	47,237	-	58,620	-	37,500	-
2. หลังบำบัดทางเคมีด้วย โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล.และโพลิเมอร์ประจุ บวก 1.25 มก./ล.	13	98	9,810	23	31,421	33	34,630	41	20,000	47
3. การบำบัดแบบใช้ออกซิเจน										
- COD เริ่มต้น 2,000 มก./ล. (1)	-	-	-	-	-	-	94	100	6	100
- COD เริ่มต้น 3,000 มก./ล. (2)	-	-	N.D.	100	12	99	120	99	18	99
4. การบำบัดแบบไร้ออกซิเจน										
- COD เริ่มต้น 3,000 มก./ล. (3)	-	-	N.D.	100	25	99	80	99	12	99
- COD เริ่มต้น 5,000 มก./ล. (4)	-	-	N.D.	100	78	98	60	100	8	100
- COD เริ่มต้น 8,000 มก./ล. (5)	-	-	N.D.	100	126	97	108	100	17	100

หมายเหตุ

- (1) ผลการวิเคราะห์น้ำในวันที่ 4
- (2) ผลการวิเคราะห์น้ำในวันที่ 4
- (3) ผลการวิเคราะห์น้ำในวันที่ 10
- (4) ผลการวิเคราะห์น้ำในวันที่ 13
- (5) ผลการวิเคราะห์น้ำในวันที่ 23

ตารางที่ 4.17 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดทางชีวภาพทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน

การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน		การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
- ใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้อย	- ใช้พลังงานในการเติมอากาศ - ระบบไม่สามารถรับภาระค่าซีโอดีสูงๆได้	- ได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ - ระบบสามารถรับภาระค่าซีโอดีสูงกว่าได้	- ใช้เวลาในการบำบัดนาน - เกิดกลิ่นเหม็น

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น จะต้องมีการบำบัดทางเคมีเพื่อกำจัดน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียก่อนเพื่อลดความสกปรกและ เพื่อไม่ให้รบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดทางชีวภาพ แต่ภายหลังจากการบำบัด ทางเคมีแล้วนั้นพบว่าเมทานอลและกลีเซอรอลนั้นยังคงเหลืออยู่ในน้ำเสีย และในทำนองเดียวกัน ซีโอดีก็มีปริมาณมากด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดทางชีวภาพต่อไปอีกเพื่อกำจัดเมทานอล และกลีเซอรอลซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดค่าซีโอดีในน้ำเสีย จากผลการทดลองบำบัดทาง ชีวภาพทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจนพบว่าระบบบำบัดทั้ง 2 ระบบนี้สามารถลดปริมาณ เมทานอลได้โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึงร้อยละ 99 และไม่พบปริมาณกลีเซอรอลเมื่อทำ การบำบัดจนกระทั่งปริมาณซีโอดีได้ตรงตามมาตรฐานในทุกชุดการทดลองและประสิทธิภาพใน การกำจัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 99 โดยสามารถบำบัดซีโอดีได้ตรงตามมาตรฐานน้ำทิ้งและแนวโน้ มระหว่าง ซีโอดี เมทานอลและกลีเซอรอล นั้นมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ดังนั้นสรุปได้ว่า ปริมาณ เมทานอลและกลีเซอรอลนั้นมีผลต่อค่าซีโอดีในน้ำเสีย และแบคทีเรียในการบำบัดทางชีวภาพนั้น สามารถย่อยสลายรวมทั้งสามารถนำเมทานอลและกลีเซอรอลไปใช้ได้จึงทำให้ปริมาณ ซีโอดีใน ระบบลดลงไปด้วย

เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล (เฉพาะค่าสารเคมีใน ระบบบำบัดระดับห้องปฏิบัติการ) พบว่า เมื่อทำการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตรจะเกิดน้ำเสียจาก กระบวนการผลิตขึ้นปริมาณ 3 ลิตร ดังนั้น เมื่อใช้กระบวนการบำบัดทางเคมีร่วมกับการบำบัด ทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนซึ่งเดิมออกซิเจนเกินพอให้กับระบบนั้นจะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีใน การเดินระบบเท่ากับ 0.02 บาท ต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 ลิตร (น้ำเสีย 3 ลิตร) และเมื่อ ใช้กระบวนการบำบัดทางเคมีร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจะมีค่าใช้จ่ายด้าน สารเคมีในการเดินระบบเท่ากับ 0.02 บาท ต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 ลิตร (น้ำเสีย 3 ลิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลภายหลังจากการแยกไขมันด้านบนออกโดยวิธีตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง มีค่าพีเอชเป็นค่า (10.44) องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันและไขมัน เมทานอล และกลีเซอรอล เท่ากับ 2,300, 47,237 และ 12,750 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีผลต่อปริมาณชีโอดีในน้ำเสียและจากผลการวิเคราะห์พบว่ามีชีโอดีและบีโอดีสูงถึง 58,620 และ 37,500 มก./ล. ตามลำดับ

2. การปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้สูงถึงร้อยละ 98 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี บีโอดี กลีเซอรอลและเมทานอล เท่ากับร้อยละ 38, 29, 16 และ 25 ตามลำดับ โดยมีปริมาณชีโอดีของแข็งแขวนลอย บีโอดี น้ำมันและไขมัน กลีเซอรอลและเมทานอลเหลือ เท่ากับ 36,590, 26,570, 50, 10,650 และ 35,202 มก./ล. ตามลำดับ

การปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้สูงถึงร้อยละ 98 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี บีโอดี กลีเซอรอลและเมทานอล เท่ากับร้อยละ 41, 98, 47, 98, 23 และ 33 ตามลำดับ โดยมีปริมาณชีโอดีของแข็งแขวนลอย บีโอดี น้ำมันและไขมัน กลีเซอรอลและเมทานอลเหลือ เท่ากับ 34,630, 10, 20,000, 13, 9,810 และ 31,421 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. ด้วยเครื่อง FT-IR ดังภาคผนวก ง พบว่าหมู่ฟังก์ชันหลักของตะกอนนั้นคือ น้ำมัน (Long chain aliphatic ester) รองลงมาเป็นกรดไขมัน (Carboxylic acid ester) และราคาค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการตกตะกอนของการปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. และการใช้โพลีลูมิเนียม

คลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. คือ 9.42 บาท/ลบ.ม. และ 7.48 บาท/ลบ.ม. ตามลำดับ

3. การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนของน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนทางเคมี และเจือจางให้มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. ใช้เวลาในการกำจัดซีโอดีให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเป็นเวลาถึง 4 วัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซีโอดีกรอง ร้อยละ 93 และ 96 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีและปริมาณซีโอดีกรองคงเหลือ 230 และ 120 มก./ล. ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอล ร้อยละ 99 ปริมาณเมทานอลคงเหลือเท่ากับ 12 มก./ล. และไม่พบปริมาณกลีเซอรอล

4. การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนของน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนทางเคมี และเจือจางให้มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 3,500 และ 5,200 มก./ล. ใช้เวลาในการกำจัดซีโอดีให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่เวลา 10 และ 13 วัน ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงถึง ร้อยละ 97 และ 98 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีคงเหลือ 118 และ 110 มก./ล. และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีกรองสูงถึงร้อยละ 97 และ 99 ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีกรองคงเหลือ 80 และ 60 มก./ล. ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลสูงถึงร้อยละ 99 และ 98 ตามลำดับ ปริมาณเมทานอลคงเหลือเท่ากับ 25 และ 78 มก./ล. ตามลำดับ และไม่พบปริมาณกลีเซอรอลทั้ง 2 ความเข้มข้น

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

1. เนื่องจากองค์ประกอบหลักของน้ำเสียคือเมทานอลและกลีเซอรอลควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบบำบัดที่สามารถบำบัดเมทานอลและกลีเซอรอลได้โดยตรง
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้ระบบบำบัดที่มีการป้อนน้ำเสียต่อเนื่องในการบำบัดน้ำเสียไปโอดีเซล
3. ควรนำผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียไปโอดีเซลเบื้องต้นนี้ไปขยายผลโดยทำการทดสอบในระบบบำบัดจริง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัลยาณี เกษเมธีการุณ. 2546. การพัฒนาระบบอีจีเอสบี-ถังกรองชีวภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียสะพานปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- การไฟฟ้านครหลวง. 2550. ค่ากระแสไฟฟ้า [Online]. Available from: <http://www.mea.or.th/internet/Elecvalue/tarifftype1.html> [2007, March 10]
- เกียรติพงศ์ เจริญสุข. 2546. การกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตุลชัย แจ่มใส. 2545. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบชั้นเม็ดตะกอนขยายตัวสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน). 2549. โครงการศึกษาความเหมาะสมด้านการเงินและการลงทุนของการตั้งโรงงานไบโอดีเซลที่จังหวัดกระบี่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์. 2546. การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์ EGSB บำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากสาจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2532. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 1 และเล่ม 2 พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รองเพชร บุญช่วยดี. 2546. การใช้เซลล์ตรึงในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยระบบ EGSB. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- รุ่งศักดิ์ หอมศรี. 2537. พฤติกรรมของระบบเอเอสในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีบีโอดีต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.
- วิบูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ. 2535. การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการฟลูอิดไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สภาผู้แทนราษฎร, คณะกรรมาธิการพลังงาน. 2545. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล. กรุงเทพมหานคร.
- สวีณา เกตุสุวรรณ. 2543. การลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุชัญญา ทองเครือ. 2547. ผลของสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราไหลเวียนกลับและความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบ EGSB. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อนันต์ กาญจนวุฒิชัย. 2539. ผลของเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกที่มีต่อการกำจัดซีโอดีในกระบวนการแอกติเวตเต็ดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย. 2541. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดขั้นต้นสำหรับน้ำเสียโรงงานผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Ahmad, A.L., Ismail, S., Ibrahim, N. and Bhatia, S. 2003. Remove of suspended solids and residual oil from palm oil mill effluent. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 78 (9): 971-978.
- Al-Widyan, M.I. and Al-Shyoukh, A.O. 2002. Experimental evaluation of tranesterification of waste palm oil into biodiesel. Bioresource Technology. 85: 253-256.

- Beltran-Heredia, J., Torregrosa, J., Garcia, J., Dominguez, JR. and Tiern, JC. 2001. Degradation of olive mill wastewater by the combination of Fenton's reagent and ozonation process with an aerobic biological treatment. Water Research. 44 (5): 103-8.
- Bender, M. 1999. Economic feasibility review for community-scale farmer cooperatives for biodiesel. Bioresource Technology. 70: 81-87.
- Chin, K.K. and Wong, K.K. 1980. Palm oil refinery wastes treatment. Water Research. 15: 1087-1092.
- Eckenfelder, W.W. 1967. Biological Waste Treatment. Oxford, Pengaman Press.
- Eckenfelder, W.W. 1995. Activated sludge treatment of industrial wastewater. Lancaster, Penn.: Technomic.
- Gianfranco, B., Alberto, B., Roberto, P. and Alberto, R. 1984. Anaerobic digestion of olive oil mill wastewater. Agricultural Waste. 10 (3): 161-175.
- Jou, G., Huang, G.-C. 2003. A pilot study for oil refinery wastewater treatment using a fixed-film bioreactor. Advances in Environmental Research. 7 (2): 463-469 (7).
- Ito, T., Nakashimada, Y., Senba, K., Matsui, T. and Nishio, N. 2005. Hydrogen and ethanol production from glycerol-containing waste discharged after biodiesel manufacturing process. Journal of Bioscience and Bioengineering. 100 (3): 260-265.
- Leung, D.Y.C. 2001. Development of a clean biodiesel fuel in hong kong using recycled oil. water, Air and Soil Pollution. 130: 277-282.
- Liu, VL., Nakhla, G. and Bassi, A. 2005. Treatability and kinetics studies of mesophilic aerobic biodegradation of high oil and grease pet food wastewater. Journal of Hazardous Materials. 112 (1-2): 87-94.
- Saatci, Y., Hasar, H. and Cici, M. 2001. Treatability of vegetable oil industry effluents through physical-chemical methods. Fresenius Environmental Bulletin. 10(12): 854 – 858.
- Sam-Soon, Palns., Loewenthal, R.E., Dold, P.L. and Marais, GVR. 1987. Hypothesis for pelletisation in the upflow anaerobic sludge bed reactor. Water SA. 13, 2: 69-80
- Samuel, D.F. and Osman, M.A. 1983. Chemistry of Water Treatment. Michigan: An Ann Arbor Science Book, pp. 227-363.
- Suehara, K., Kawamoto, Y., Fujii, E., Coda, J., Nakano, Y. and Yano, T. 2005. Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with

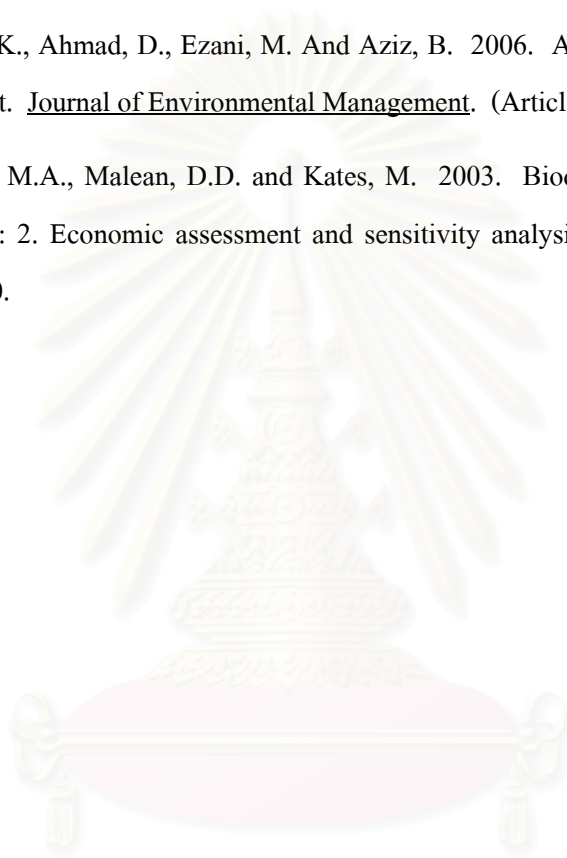
alkali-catalyzed tranesterification. Journal of Bioscience and Bioengineering. 100(4): 473-442.

Tchobanaglou, G. and Burton, F.L. 1983. Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse. 2nd Edition, new Delhi: TATA Mc. Graw-Hill.

Vieira, D.S., Servulo, E.F. and Cammarota, M.C. 2005. Degradation potential and growth of anaerobic bacteria in produced water. Environmental Technology. 26 (8): 915-22.

Vijayaraghavan, K., Ahmad, D., Ezani, M. And Aziz, B. 2006. Aerobic treatment of palm oil mill effluent. Journal of Environmental Management. (Article in Press)

Zhang, Y., Dube, M.A., Malean, D.D. and Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. Bioresource Technology. 90: 229-240.

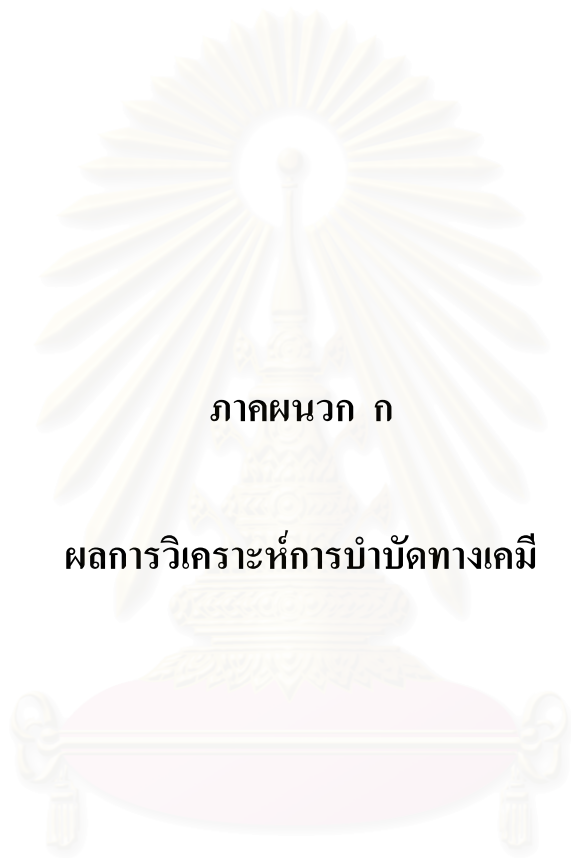


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์การบำบัดทางเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่	ก 1
ข้อมูลการทดลอง	การทดลองหาค่าที่เอชที่เหมาะสมของโพลิเมอร์ประจุบวก
ตัวอย่างน้ำที่ใช้	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
โคแอกกูแลชั่น	สารโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ คือ โพลิเมอร์ประจุบวก 10 มก./ล. กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที
สารปรับพีเอช	ใช้ 0.5 N Sulfuric Acid

สภาวะที่ใช้ทดลอง		ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำใสหลังทดลอง									
pH	Cationic Polymer (mg/l)	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G		
								mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	
4	10	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.15	282	52	41,500	29	25,500	32	20	99	
4.5	10	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.31	322	45	41,490	29	-	-	-	-	
5	10	10.6	584	58,620	37,500	2,280	5.12	5	99	43,380	26	-	-	-	-	
6	10	10.6	584	58,620	37,500	2,280	6.57	60	90	43,400	26	-	-	-	-	
7	10	10.6	584	58,620	37,500	2,280	6.89	55	91	50,170	14	-	-	-	-	
8	10	10.6	584	58,620	37,500	2,280	7.30	40	93	56,000	5	-	-	-	-	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 2
 ข้อมูลการทดลอง
 ตัวอย่างน้ำที่ใช้

การทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสม
 น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที
 กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที

สารปรับพีเอช ใช้ 0.5 N Phosphoric Acid

สภาวะที่ใช้ทดลอง	ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำใสหลังทดลอง			
	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	SS		COD	
						mg/l	% Remove	mg/l	% Remove
3	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2,030	-248	50,800	13
4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2,690	-360	50,000	15
5	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2,470	-323	55,600	5
6	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2,100	-260	51,000	13
7	10.6	584	58,620	37,500	2,280	1,740	-198	55,600	5
8	10.6	584	58,620	37,500	2,280	1,630	-179	57,200	2

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่

ก 3

ข้อมูลการทดลอง

การทดลองหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม

ตัวอย่างน้ำที่ใช้

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

โคแอกกูเลนชัน

สารโคแอกกูเลนทที่ใช้ คือ ปูนขาว

กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที

กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที

สภาวะที่ใช้ทดลอง	ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำใสหลังทดลอง									
	ปูนขาว (g/l)	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
								mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove
0	10.6	584	58,620	37,500	2,280	10.6	584	0	58,620	0	-	-	-	-	
2.5	10.6	584	58,620	37,500	2,280	12.45	35	94	40,680	31	-	-	-	-	
5.0	10.6	584	58,620	37,500	2,280	12.44	50	91	45,090	23	-	-	-	-	
7.5	10.6	584	58,620	37,500	2,280	12.41	34	94	40,680	31	-	-	-	-	
10.0	10.6	584	58,620	37,500	2,280	12.46	18	97	36,270	38	-	-	-	-	
12.5	10.6	584	58,620	37,500	2,280	12.47	26	96	36,560	38	-	-	-	-	
15.0	10.6	584	58,620	37,500	2,280	12.45	20	97	32,510	45	12,900	66	15	99	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่	ก 4
ข้อมูลการทดลอง	การทดลองหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม
ตัวอย่างน้ำที่ใช้	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
โคแอกกูแลนต์	สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ คือ โพลิเมอร์ประจุบวก
	กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที
	กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที
สารปรับพีเอช	ใช้ 0.5 N Sulfuric Acid

สภาวะที่ใช้ทดลอง		ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำใสหลังทดลอง									
Cationic Polymer (mg/l)	pH	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G		
								mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	
0	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.00	282	52	58,620	0	-	-	-	-	
5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.11	322	45	51,680	12	-	-	-	-	
10	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.15	282	52	41,500	29	25,500	32	20	99	
20	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.39	60	90	36,590	38	26,570	29	50	98	
30	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	5.49	50	91	45,270	23	-	-	-	-	
40	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.98	40	93	44,130	25	-	-	-	-	
50	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.69	62	89	46,510	21	-	-	-	-	

ตารางที่	ก 5
ข้อมูลการทดลอง	การทดลองหาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และโพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) ที่เหมาะสม
ตัวอย่างน้ำที่ใช้	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
โคแอกกูแลนซ์	สารโคแอกกูแลนซ์ที่ใช้ คือ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) สารโคแอกกูแลนซ์ที่ใช้ คือ โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer)
	กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที
	กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที
สารปรับพีเอช	ใช้ 0.5 N Sulfuric Acid

สภาวะที่ใช้ทดลอง			ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำเสียหลังทดลอง				
PAC (mg/l)	Cationic Polymer (mg/l)	pH	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	pH สุดท้าย	SS		COD	
									mg/l	% Remove	mg/l	% Remove
0	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.11	380	35	47,410	19
12.5	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.22	10	98	38,850	34
25.0	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.17	50	91	38,610	34
37.5	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.28	40	93	38,850	34
50.0	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.28	23	96	37,590	36
62.5	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.32	18	97	36,200	38
75.0	2.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.34	50	91	39,560	33

ตารางที่	ก 6
ข้อมูลการทดลอง	การทดลองหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) และ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ที่เหมาะสม
ตัวอย่างน้ำที่ใช้	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
โคแอกกูแลนซ์	สารโคแอกกูแลนซ์ที่ใช้ คือ โพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) สารโคแอกกูแลนซ์อีกชนิดคือ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)
	กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที
	กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที
สารปรับพีเอช	ใช้ 0.5 N Sulfuric Acid

สภาวะที่ใช้ทดลอง			ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำใสหลังทดลอง									
Cationic Polymer (mg/l)	PAC (mg/l)	pH	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	pH สุกท้าย	SS		COD		BOD		O&G		
									mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	
0	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2.88	2,040	-249	54,450	7	-	-	-	-	
0.50	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.01	35	94	44,250	25	-	-	-	-	
1.25	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.11	10	98	34,630	41	20,000	47	13	98	
2.50	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.32	18	97	36,200	38	-	-	-	-	
3.75	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.11	20	97	37,930	35	-	-	-	-	
5.00	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.16	40	93	39,650	32	-	-	-	-	
6.25	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.09	22	96	39,650	32	-	-	-	-	
7.50	62.5	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.39	8	99	37,930	35	-	-	-	-	

ตารางที่	ก 7
ข้อมูลการทดลอง	การทดลองหาปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) และ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ที่เหมาะสม
ตัวอย่างน้ำที่ใช้	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
โคแอกกูแลนซ์	สารโคแอกกูแลนซ์ที่ใช้ คือ โพลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) สารโคแอกกูแลนซ์ที่ใช้ คือ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)
	กวนเร็ว 120 รอบ/นาที 3 นาที
	กวนช้า 30 รอบ/นาที 30 นาที
สารปรับพีเอช	ใช้ 0.5 N Sulfuric Acid

สภาวะที่ใช้ทดลอง			ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนทดลอง					ผลวิเคราะห์น้ำเสียหลังทดลอง								
PAC (mg/l)	Anionic Polymer (mg/l)	pH	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	O&G (mg/l)	pH สุดท้าย	SS		COD		BOD		O&G	
									mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove	mg/l	% Remove
62.5	0	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2.88	2,040	-249	54,450	7	-	-	-	-
62.5	1.25	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2.41	23	96	41,380	29	-	-	-	-
62.5	2.50	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	3.93	18	97	39,650	32	-	-	-	-
62.5	3.75	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	3.43	53	91	43,100	27	-	-	-	-
62.5	5.00	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	4.07	33	94	44,820	24	-	-	-	-
62.5	6.25	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	3.83	20	97	36,200	38	-	-	-	-
62.5	7.50	4	10.6	584	58,620	37,500	2,280	2.70	30	95	32,760	44	16,000	57	225	61



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์เมทานอลและกลีเซอรอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ของ การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมี

ตัวอย่าง	เมทานอล (มก./ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
1. น้ำเสียก่อนนำมาทดลอง	47,237	0
2. pH 4 โพลีเมอร์ประจุบวก 10 มก./ล.	43,725	7
3. pH 4 กรดฟอสฟอริก	44,299	6
4. ปูนขาว 15 ก./ล.	23,967	49
5. pH 4 โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล.	35,202	25
6. pH 4 โพลีเมอร์ประจุบวก 2.5 มก./ล. และ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล.	38,741	18
7. pH 4 โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล.	31,421	33
8. pH 4 โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุลบ 7.5 มก./ล.	32,655	31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ของ การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางชีวภาพ

ตัวอย่าง	เมทานอล (มก/ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
น้ำเสียเริ่มต้น (ตกตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. ที่ pH 4)	31,421	0
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน</u>		
<u>ซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก/ล</u>		
- วันที่ 5/12/49 (วันที่ 1)	1,281	0
- วันที่ 6/12/49 (วันที่ 2)	80	94
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 3)	11	99
- วันที่ 8/12/49 (วันที่ 4)	12	99
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน</u>		
<u>ซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก/ล</u>		
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 1)	2,063	0
- วันที่ 16/12/49 (วันที่ 10)	25	99
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน</u>		
<u>ซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล</u>		
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 1)	3,672	0
- วันที่ 9/12/49 (วันที่ 3)	3,463	6
- วันที่ 11/12/49 (วันที่ 5)	2,807	24
- วันที่ 13/12/49 (วันที่ 7)	2,296	37
- วันที่ 15/12/49 (วันที่ 9)	2,401	35
- วันที่ 17/12/49 (วันที่ 11)	2,009	45
- วันที่ 19/12/49 (วันที่ 13)	78	98
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน</u>		
<u>ซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก/ล</u>		
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 1)	4,646	0
- วันที่ 29/12/49 (วันที่ 23)	126	97

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=1 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:20:28



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.492	5255	258	S		1.348
	2	0.756	267	55	T		0.069
	3	1.252	719	44	TV		0.184
	4	2.058	1442	50	TV		0.37
	5	2.289	382069	30831	T		98.029
TOTAL			389752	31238			100

รูปที่ ข 1 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำดิบด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=4 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:34:42



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	3	1.253	549	66	T		0.155
	4	2.288	353660	29075	T		99.845
TOTAL			354208	29141			100

รูปที่ ข 2 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย Cationic Polymer 10 มก./ล. ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=2 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:26:02



**** CALCULATION REPORT ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	3	1.247	366	48	T		0.102
	4	2.287	358306	29894	T		99.898
TOTAL			358672	29943			100

รูปที่ ข 3 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชด้วย H_3PO_4
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=15 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/20 10:16:00



**** CALCULATION REPORT ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.456	2622	325	T		1.133
	3	1.172	215	29	T		0.093
	5	2.121	193852	16926	T		83.794
	6	3.881	34452	959	TV		14.892
	7	4.917	202	12	TV		0.087
TOTAL			231342	18251			100

รูปที่ ข 4 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยปูนขาว
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=3 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:30:30



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	3	1.25	384	51	T		0.135
	4	2.292	284721	23423	T		99.865
TOTAL			285105	23474			100

รูปที่ ข 5 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย
Cationic Polymer 20 มก./ล. ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=5 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:39:04

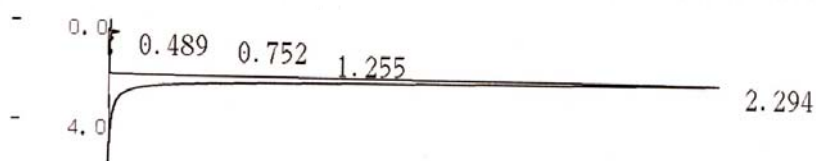


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
	3	1.25	607	73	T		0.193
	4	2.291	313346	25617	T		99.807
TOTAL			313953	25691			100

รูปที่ ข 6 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย
PAC 62.5 มก./ล. Cationic Polymer 2.5 มก./ล. ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=6 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:43:30



**** CALCULATION REPORT ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.489	4159	322	S		1.604
	2	0.752	478	102	T		0.184
	3	1.255	504	58	T		0.194
	4	2.294	254145	19807	TV		98.017
TOTAL			259286	20289			100

รูปที่ ข 7 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย PAC 62.5 มก./ล. Cationic Polymer 1.25 มก./ล. ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=7 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 09:49:44

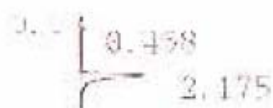


**** CALCULATION REPORT ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.753	216	54	T		0.081
	3	1.246	417	55	T		0.157
	4	2.289	264123	21238	T		99.761
TOTAL			264755	21347			100

รูปที่ ข 8 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย PAC 62.5 มก./ล. Anionic Polymer 7.5 มก./ล. ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=8 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/26 09:41:10

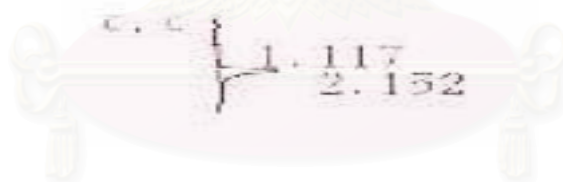


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.458	1097	61	S		9.574
	5	2.175	10363	756	TV		90.426
TOTAL			11460	817			100

รูปที่ ข 9 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก/ล (วันที่ 1)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=9 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/26 09:44:56

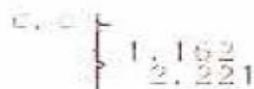


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	3	1.117	1508	18	T		18.874
	4	2.152	6482	448	TV		81.126
TOTAL			7990	466			100

รูปที่ ข 10 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก/ล (วันที่ 2)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C:\RTA\CHROMATOPAC\CH-1 REPORT No.=10 DATA=1:*CHEM1.C00 06/12/26 09:49:02

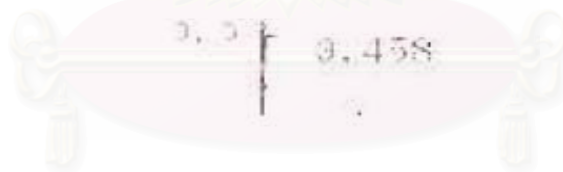


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	5	1.162	323	28	T		25.977
	6	2.221	919	73	T		74.023
TOTAL			1242	101			100

รูปที่ ข 11 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 3,000 มก/ล (วันที่ 3)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C:\RTA\CHROMATOPAC\CH-1 REPORT No.=11 DATA=1:*CHEM1.C00 06-12/26 09:52:50



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.458	979	126	S		100
TOTAL			979	126			100

รูปที่ ข 12 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 3,000 มก/ล (วันที่ 4)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH-1 REPORT No.: 6 DATA-1: @CHM1.C00 06/12/26 09:33:22

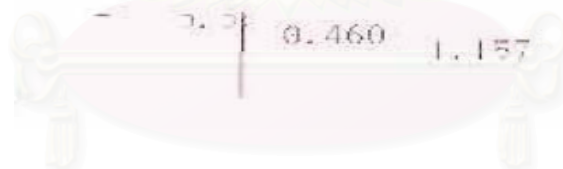


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.457	1173	494	S		8.11
	4	2.167	16686	1265	T		91.89
TOTAL			18158	1759			100

รูปที่ ข 13 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก/ล (วันที่ 1)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH-1 REPORT No.: 7 DATA-1: @CHM1.C00 06/12/26

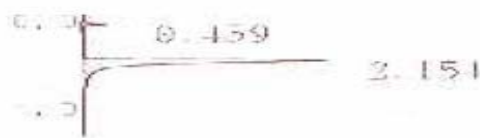


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.46	572	86	S		73.955
	4	1.157	201	26	T		26.045
TOTAL			773	112			100

รูปที่ ข 14 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก/ล (วันที่ 10)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH-1 REPORT No.=5 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/26 09:27:18

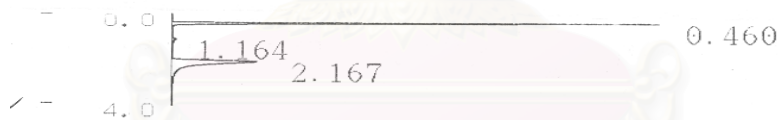


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.459	1011	241	S		3.387
	4	2.154	29793	2367	T		96.613
TOTAL			30744	2608			100

รูปที่ ข 15 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 1) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH-1 REPORT No.=9 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/20 09:52:16



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.46	35098	11868	S		54.904
	3	1.164	818	93	T		1.279
	4	2.167	28011	2073	T		43.817
TOTAL			63927	14034			100

รูปที่ ข 16 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 3) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=13 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/20 10:09:08



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.442	183210	63989	T		98.557
	3	1.151	409	47	T		0.22
	5	2.200	2273	138	T		1.223
TOTAL			185892	64175			100

รูปที่ ข 17 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 5)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=10 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/20 09:56:58

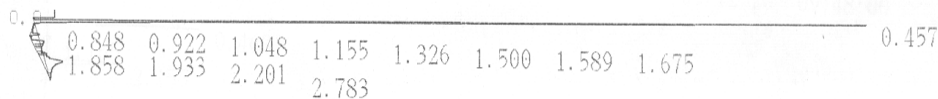


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.459	84279	31413	S		81.535
	3	1.167	514	65	T		0.497
	4	2.177	18572	1345	T		17.968
TOTAL			103366	32823			100

รูปที่ ข 18 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 7)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=12 DATA=1:CHRM1.C00 06/12/20 10:05:34



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.457	94278	43512	S		72.594
	4	0.848	350	57	TV		0.27
	5	0.922	354	79	TV		0.273
	6	1.048	1891	362	TV		1.456
	7	1.155	248	49	T		0.191
	8	1.326	4488	482	T		3.456
	9	1.5	1691	358	TV		1.302
	10	1.589	947	277	TV		0.729
	11	1.675	2211	235	TV		1.702
	12	1.858	1853	349	TV		1.427
	13	1.933	1283	327	TV		0.988
	14	2.201	19421	850	TV		14.954
	15	2.783	856	98	TV		0.659
TOTAL			129871	47034			100

รูปที่ ข 19 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 9) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=11 DATA=1:CHRM1.C00 06/12/20 10:02:14



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.461	151283	52586	S		90.069
	3	1.168	432	52	T		0.257
	4	2.185	16248	1099	T		9.674

รูปที่ ข 20 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 11) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=11 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/20 10:12:36

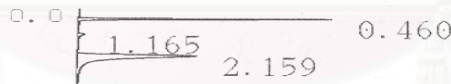


** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.459	441124	139651	T		99.778
	3	1.17	350	43	T		0.079
	5	2.725	634	7	TV		0.143
TOTAL			442107	139702			100

รูปที่ ข 21 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก/ล (วันที่ 13)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=8 DATA=1:@CHRM1.C00 06/12/20 09:48:00



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.46	17326	6001	S		30.76
	3	1.165	1421	154	T		2.522
	4	2.159	37582	2841	T		66.719
TOTAL			56329	8996			100

รูปที่ ข 22 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก/ล (วันที่ 1)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=11 DATA=1:@CHRM1.C00 07/02/05 10:04:46



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.489	457455	121923	S		99.706
	3	1.251	322	42	T		0.07
	4	2.405	1025	72	T		0.223
TOTAL			458803	122036			100

รูปที่ ข 23 ผลวิเคราะห์เมทานอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก/ล (วันที่ 23)
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

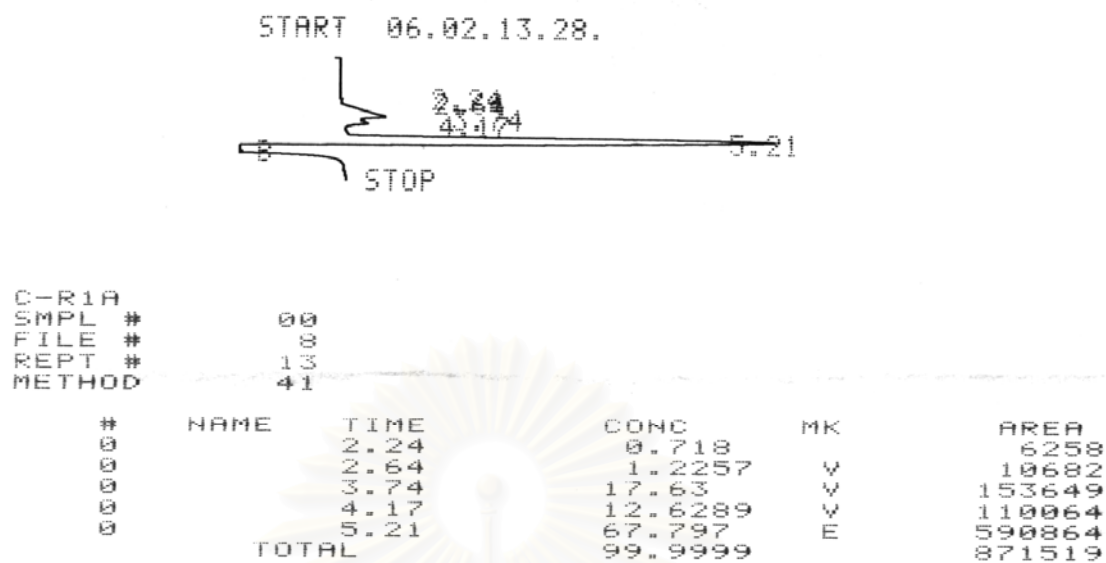
ตารางที่ ข 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ของการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมี

ตัวอย่าง	กลีเซอรอล (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
1. น้ำเสียก่อนนำมาทดลอง	12,750	0
2. pH 4 โพลีเมอร์ประจุบวก 10 มก./ล.	10,070	21
3. pH 4 กรดฟอสฟอริก	12,240	4
4. ปูนขาว 15 ก./ล.	9,430	26
5. pH 4 โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล.	10,650	16
6. pH 4 โพลีเมอร์ประจุบวก 2.5 มก./ล. และ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล.	10,990	14
7. pH 4 โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล.	9,810	23
8. pH 4 โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุลบ 7.5 มก./ล.	11,110	13

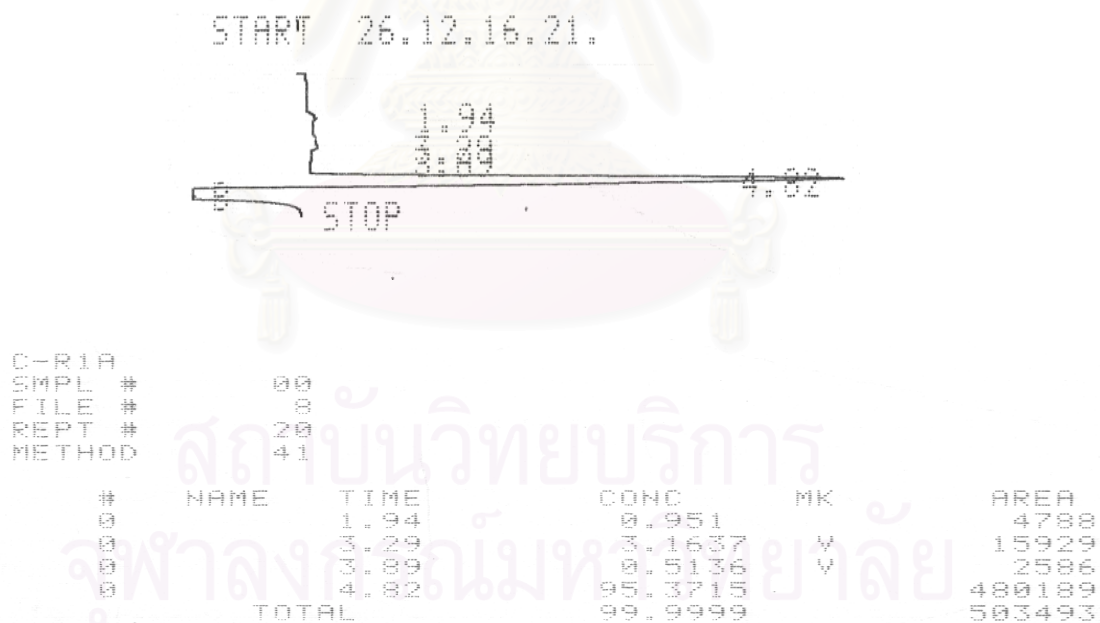
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ของการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางชีวภาพ

ตัวอย่าง	กลีเซอรอล (มก/ล)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
น้ำเสียเริ่มต้น (ตกตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. ที่ pH 4)	9,810	23
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน</u>		
<u>ชีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล.</u>		
- วันที่ 5/12/49 (วันที่ 1)	980	0
- วันที่ 6/12/49 (วันที่ 2)	400	59
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 3)	N.D.	100
- วันที่ 8/12/49 (วันที่ 4)	N.D.	100
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน</u>		
<u>ชีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล.</u>		
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 1)	1,320	0
- วันที่ 16/12/49 (วันที่ 10)	N.D.	100
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน</u>		
<u>ชีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล.</u>		
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 1)	2,030	0
- วันที่ 9/12/49 (วันที่ 3)	530	74
- วันที่ 11/12/49 (วันที่ 5)	194	90
- วันที่ 13/12/49 (วันที่ 7)	393	81
- วันที่ 15/12/49 (วันที่ 9)	251	88
- วันที่ 17/12/49 (วันที่ 11)	N.D.	100
- วันที่ 19/12/49 (วันที่ 13)	N.D.	100
<u>การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน</u>		
<u>ชีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล.</u>		
- วันที่ 7/12/49 (วันที่ 1)	3,234	0
- วันที่ 29/12/49 (วันที่ 23)	N.D.	100

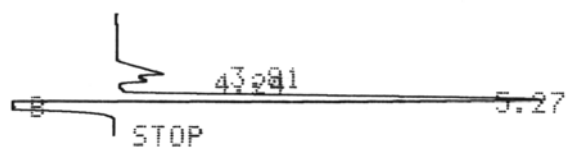


รูปที่ ข 24 ผลวิเคราะห์กักลิเซอรอลในน้ำเสียก่อนนำมาทดลองด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



รูปที่ ข 25 ผลวิเคราะห์กักลิเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย Cationic Polymer 10 มก./ล. ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

START 06.02.13.37.

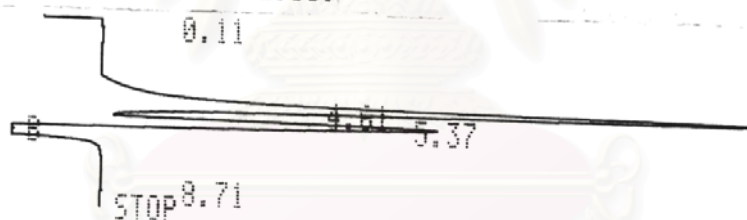


C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 8
 REPT # 14
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.81	14.5014		112463
0		4.24	12.0371	V	93352
0		5.27	73.4614	E	569719
TOTAL			99.9999		775535

รูปที่ ข 26 ผลวิเคราะห์กัลลีเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชด้วย H_3PO_4
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

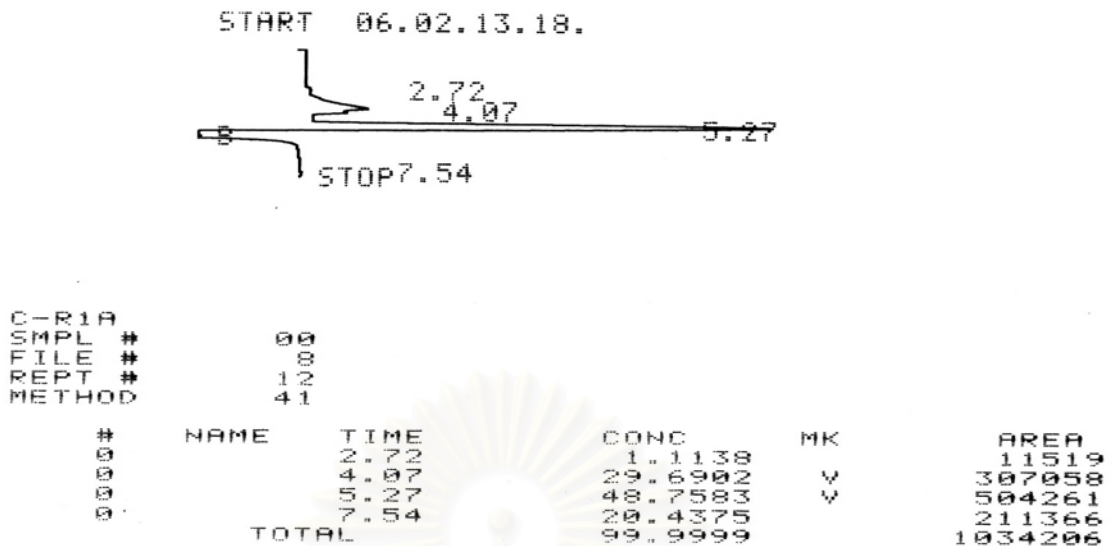
START 06.02.12.05.



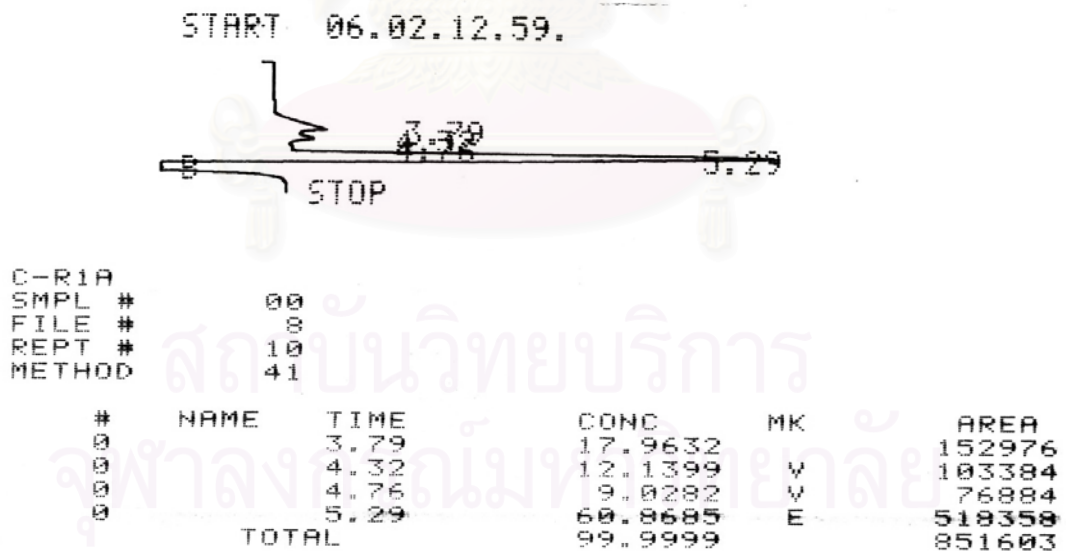
C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 8
 REPT # 5
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		0.11	1.8233		31348
0		4.61	51.1467		879379
0		5.37	26.3701	E	453388
0		8.71	20.6597		355298
TOTAL			99.9999		1719324

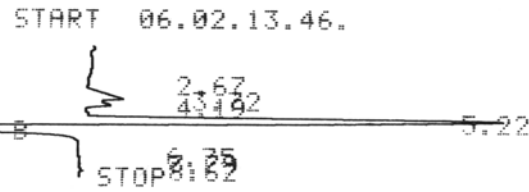
รูปที่ ข 27 ผลวิเคราะห์กัลลีเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชด้วยปูนขาว
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



รูปที่ ข 28 ผลวิเคราะห์กาลีเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย
Cationic Polymer 20 มก./ล. ด้วยเครื่อง High Performance Liquid
Chromatography (HPLC)



รูปที่ ข 29 ผลวิเคราะห์กาลีเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย
PAC 62.5 มก./ล. Cationic Polymer 2.5 มก./ล. ด้วยเครื่อง High Performance Liquid
Chromatography (HPLC)

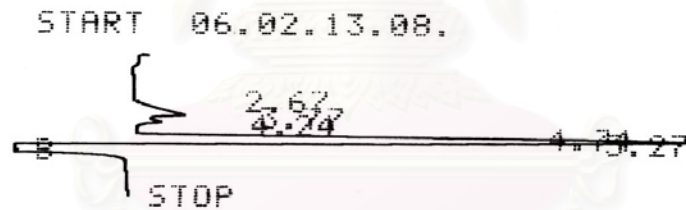


C-R1A
 SMPL #
 FILE #
 REPT #
 METHOD

00
 8
 15
 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
00		3.72	5.4937		45193
00		4.19	2.4208	V	19914
00		5.22	57.0400	E	469396
00		6.75	26.321		216528
00		7.79	9.1371	V	42259
00		8.62	3.5705	V	29439
	TOTAL		99.9999		822641

รูปที่ ข 30 ผลวิเคราะห์หักลิเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย PAC 62.5 มก./ล. Cationic Polymer 1.25 มก./ล. ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

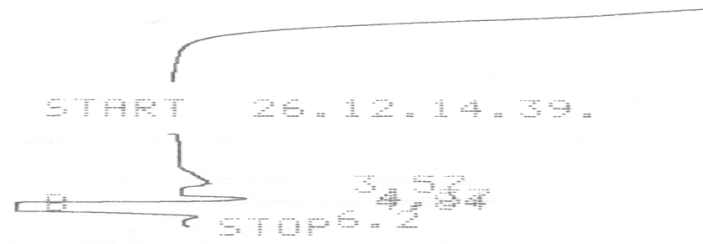


C-R1A
 SMPL #
 FILE #
 REPT #
 METHOD

00
 8
 11
 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
00		2.67	9.5711		124063
00		3.77	15.4604	V	126255
00		4.24	12.6201	V	103060
00		4.74	7.2932	V	59559
00		5.27	64.055	E	523997
	TOTAL		99.9999		816636

รูปที่ ข 31 ผลวิเคราะห์หักลิเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ปรับพีเอชและตกตะกอนด้วย PAC 62.5 มก./ล. Anionic Polymer 7.5 มก./ล. ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 8
 REPT # 14
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.57	20.6975		33032
0		4.37	10.8499		17316
0		4.84	65.1109	V	103914
0		6.2	3.3416		5333
TOTAL			99.9999		159596

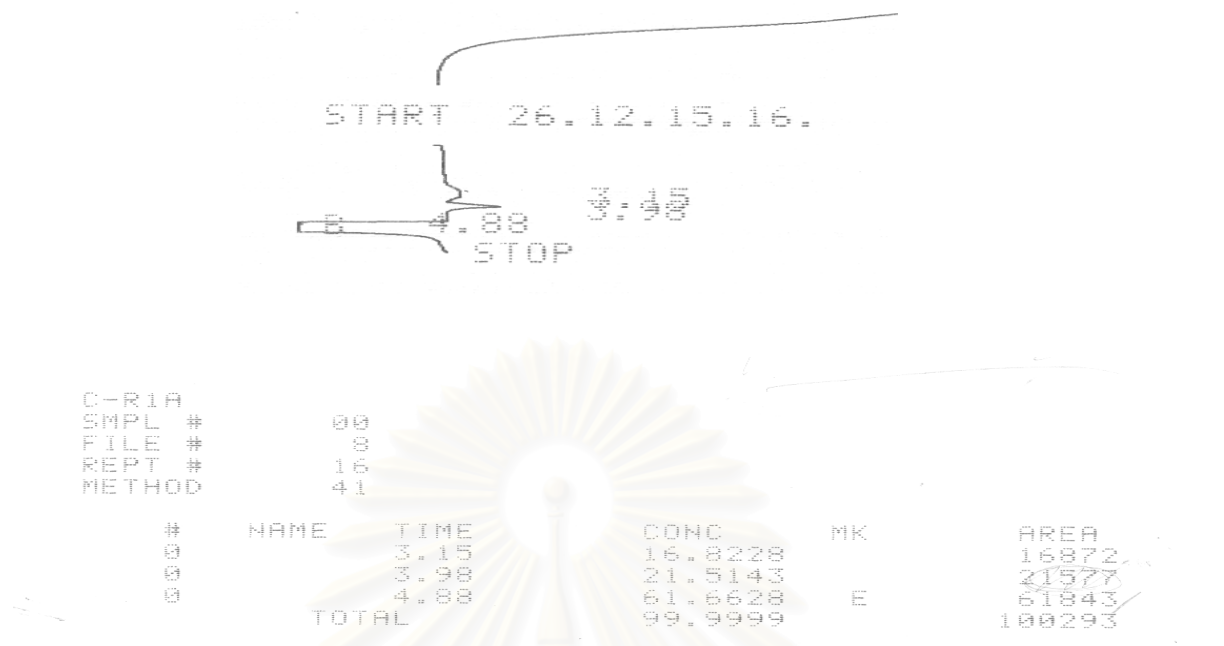
รูปที่ ข 32 ผลวิเคราะห์กักลิเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. (วันที่ 1)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



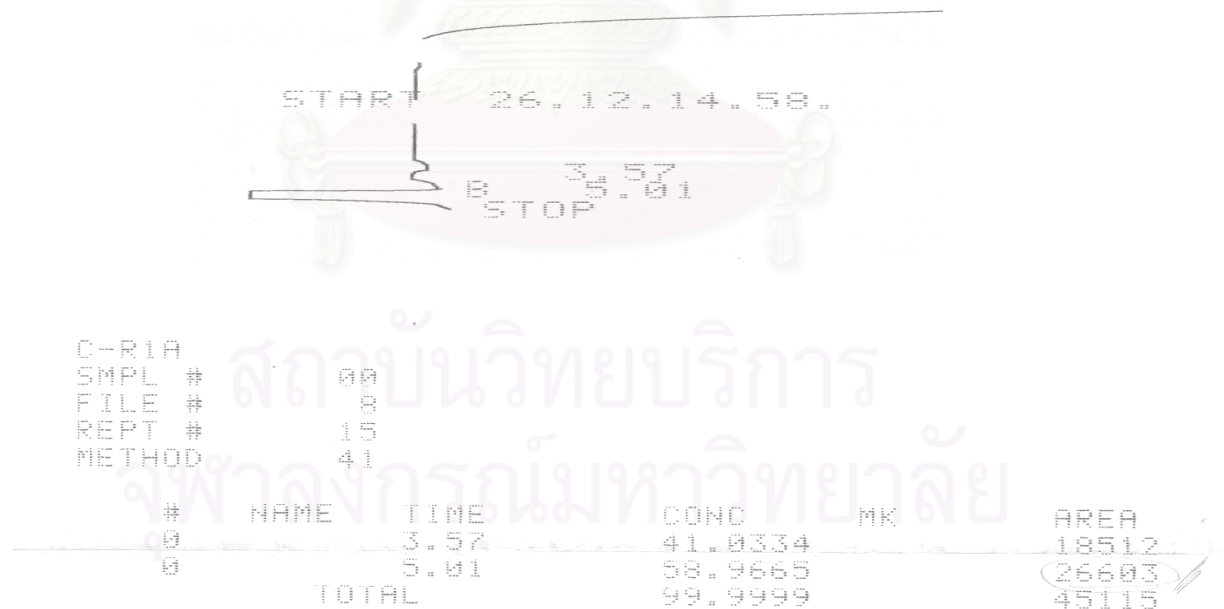
C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 8
 REPT # 13
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.36	11.4195		15243
0		4.23	28.8497		38541
0		4.8	59.7397	V	99809
TOTAL			99.9999		133595

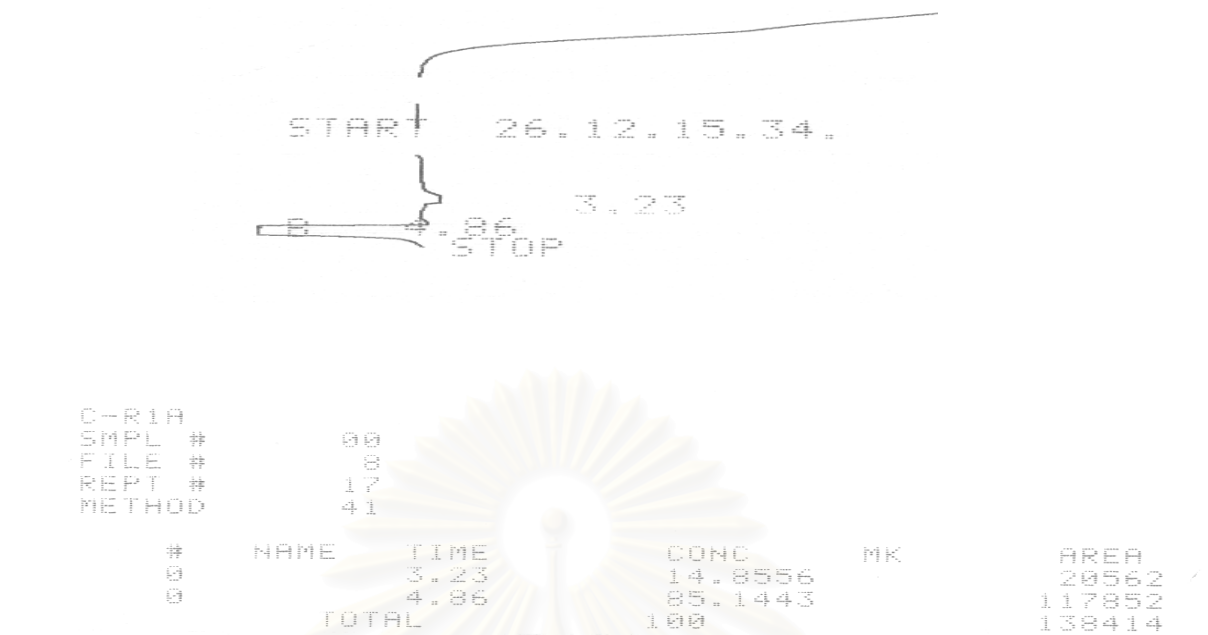
รูปที่ ข 33 ผลวิเคราะห์กักลิเซอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. (วันที่ 2)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



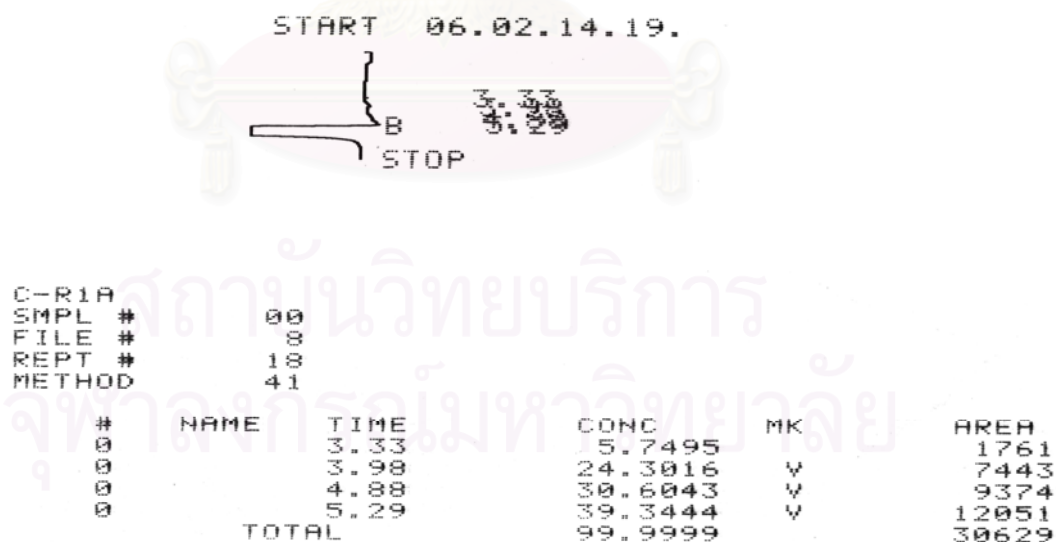
รูปที่ ข 34 ผลวิเคราะห์กาลีเซอรอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอตีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. (วันที่ 3)
ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



รูปที่ ข 35 ผลวิเคราะห์กาลีเซอรอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอตีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. (วันที่ 4)
ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

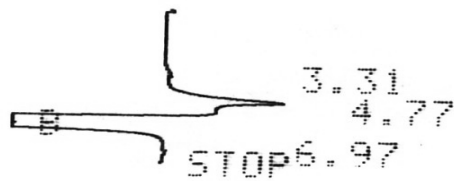


รูปที่ ข 36 ผลวิเคราะห์หักลิเซอรอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล. (วันที่ 1)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



รูปที่ ข 37 ผลวิเคราะห์หักลิเซอรอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 3,500 มก./ล. (วันที่ 10)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

START 06.02.12.41.



C-R1A
 SMPL #
 FILE #
 REPT #
 METHOD

00
 8
 8
 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.31	6.8186		43634
0		4.77	70.0043	E	447978
0		6.97	23.177		148316
	TOTAL		99.9999		639929

รูปที่ ข 38 ผลวิเคราะห์กาลีเชอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 1)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

START 26.12.11.06.

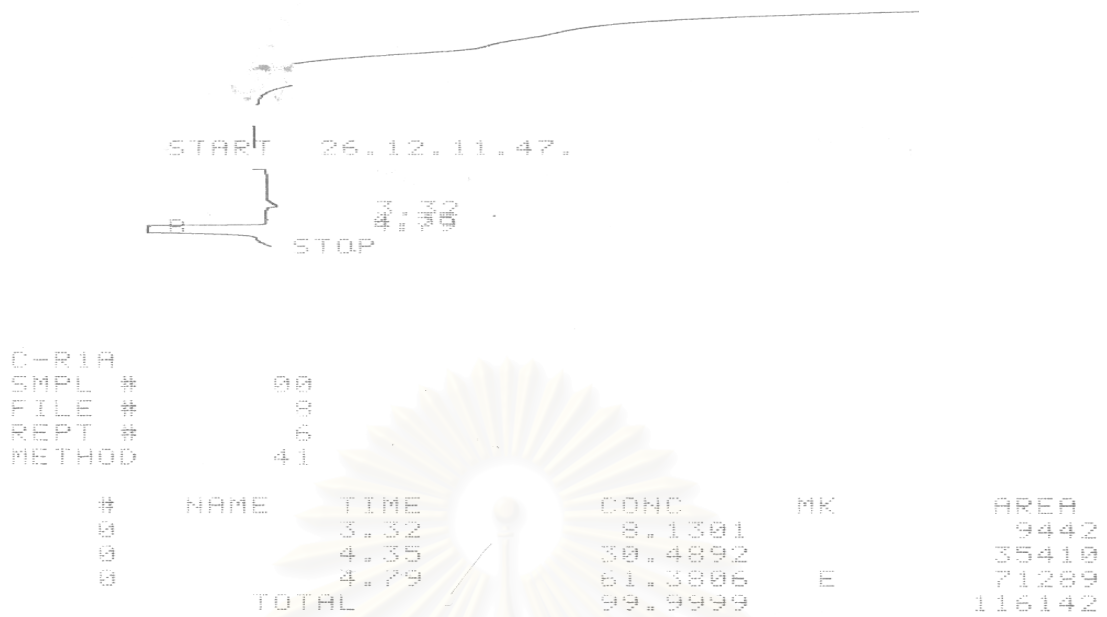


C-R1A
 SMPL #
 FILE #
 REPT #
 METHOD

00
 8
 4
 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.37	8.0835		11296
0		4.37	30.9359		43233
0		4.84	60.9804	E	85222
	TOTAL		100		139752

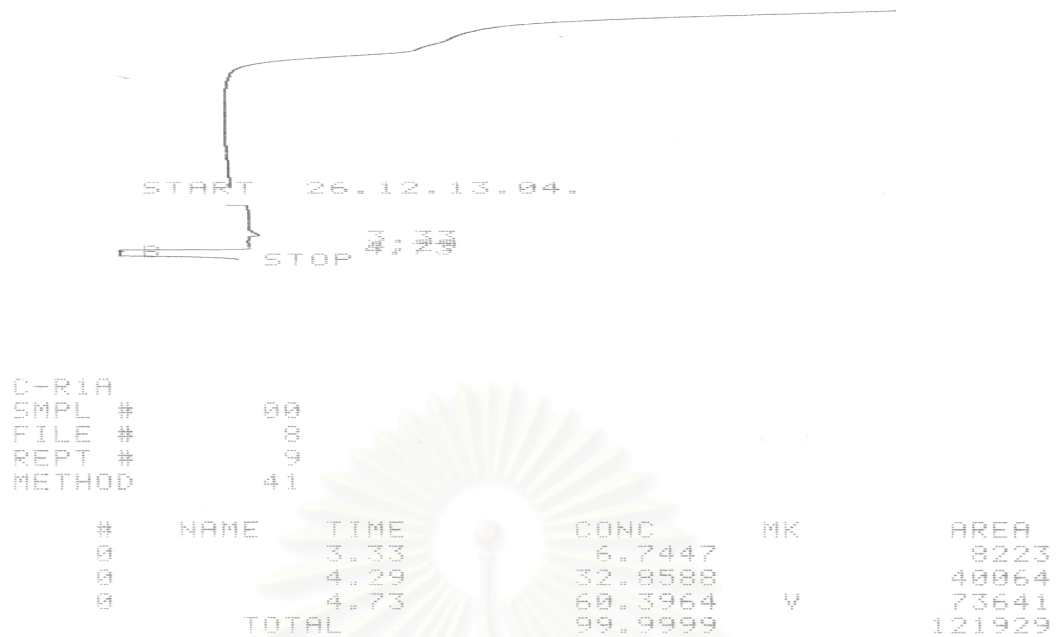
รูปที่ ข 39 ผลวิเคราะห์กาลีเชอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 3)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



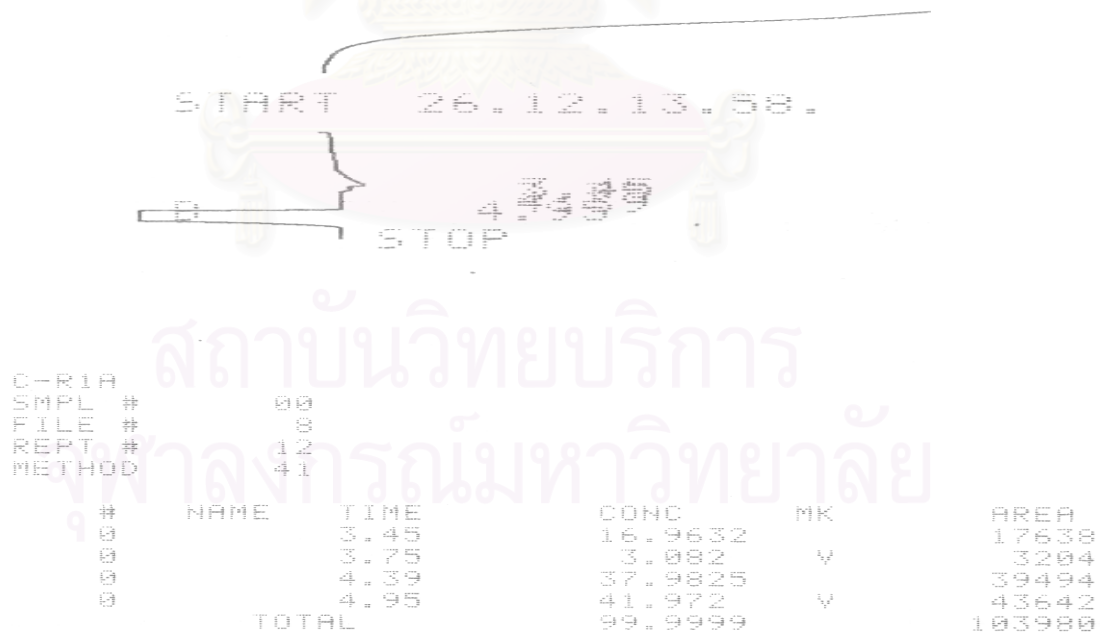
รูปที่ ข 40 ผลวิเคราะห์กาลีเชอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 5)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



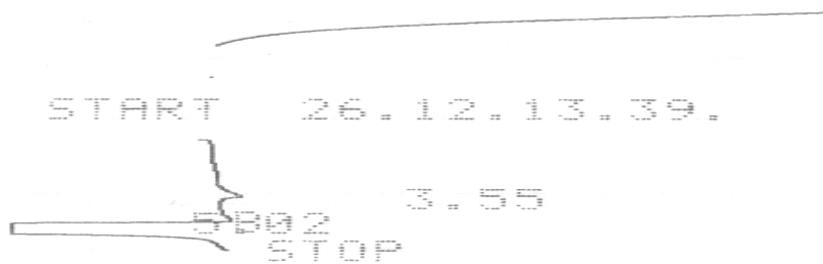
รูปที่ ข 41 ผลวิเคราะห์กาลีเชอรอลในน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 7)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



รูปที่ ข 42 ผลวิเคราะห์กักตึเซอร์อลในน้ำเสียไปโอติเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 9)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



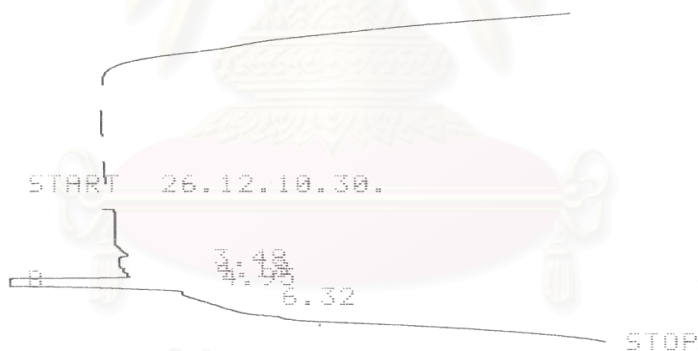
รูปที่ ข 43 ผลวิเคราะห์กักตึเซอร์อลในน้ำเสียไปโอติเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 11)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 8
 REPT # 11
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.55	52.9269		11298
0		5.02	47.073		10048
	TOTAL		99.9999		21346

รูปที่ ข 44 ผลวิเคราะห์หักลิเซอร์อลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 5,200 มก./ล. (วันที่ 13)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

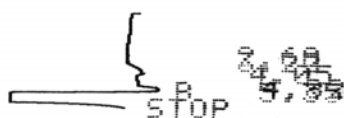


C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 8
 REPT # 2
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		3.48	23.2563		88817
0		4.18	21.1729	V	80861
0		4.95	51.6105	V	197104
0		6.32	3.9602		15124
	TOTAL		100		381908

รูปที่ ข 45 ผลวิเคราะห์หักลิเซอร์อลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล. (วันที่ 1)
 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

2 END
START 06.02.14.11.



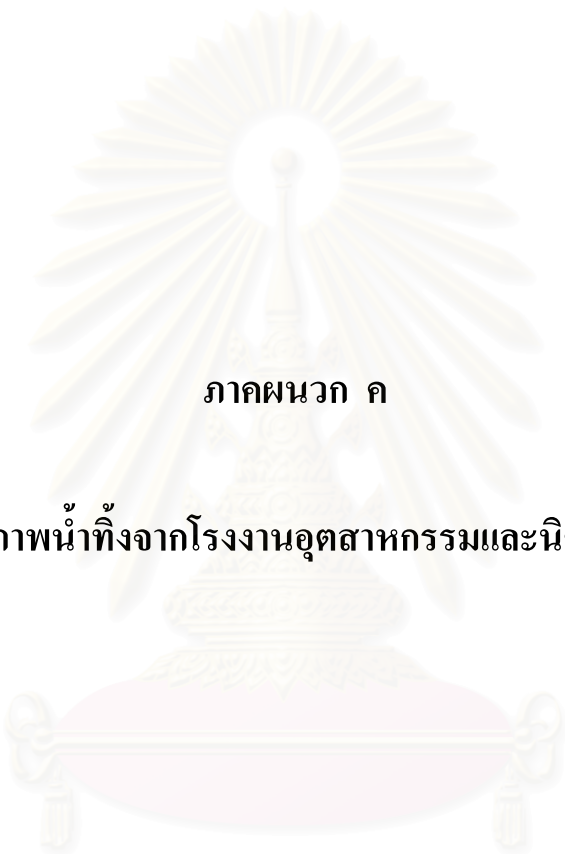
C-R1A
SMPL #
FILE #
REPT #
METHOD

00
8
17
41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
00		3.22	2.9944	V	1706
00		4.05	34.4361	V	19626
00		4.82	22.2912	V	12704
00		5.35	40.2781	V	22956
	TOTAL		99.9999		56995

รูปที่ ข 46 ผลวิเคราะห์กัลลีเซอรอลในน้ำเสียไปโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 8,000 มก./ล. (วันที่ 23)
ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากการตกตะกอนทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลเพื่อที่จะกำจัดไขมันที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ส่งผลให้การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบชีวภาพมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมประหยัดพลังงาน และให้คุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ตารางที่ ค 1) ที่ได้แก่ แบบไม่ใช้ออกซิเจนและตามด้วยระบบใช้ออกซิเจน

ตารางที่ ค 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ ค 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

ตารางที่ ค 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl

ตารางที่ ค 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
- สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
- โครเมียมชนิดเฮกซะวา เลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
- โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
- ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
- แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
- แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
- ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
- นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
- แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	

ตารางที่ ค 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
- อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
- เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
- ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold V

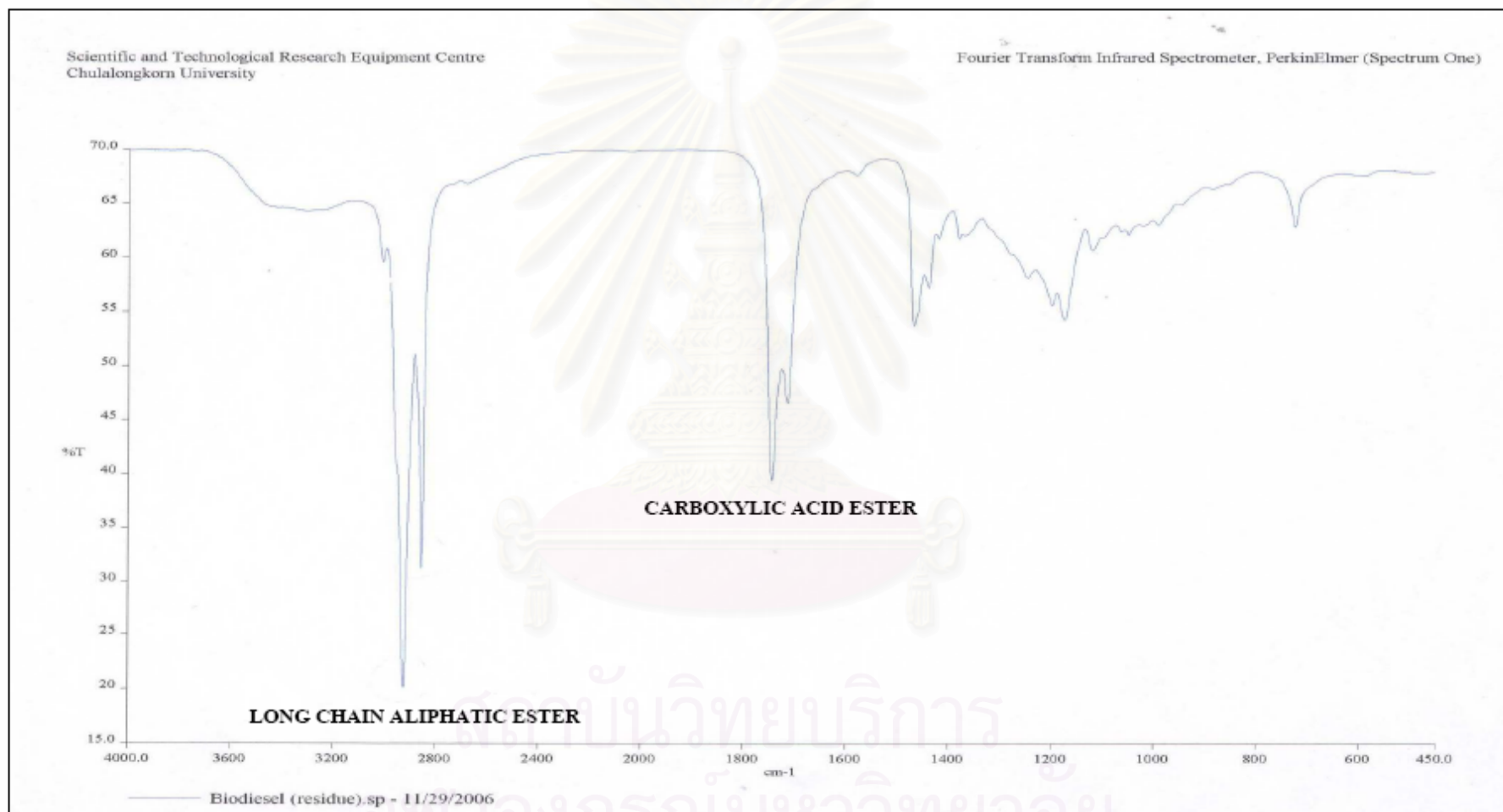


ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ตะกอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ง 1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ของการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดทางเคมี



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปัทมา เจริญสาคร เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย