การผลิตน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งโดยใช้หัวเชื้ออีเอ็มเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

Production of Bio-extracts Using Effective Microorganisms from Shrimp-Cooking Water for Wastewater Treatment System of Frozen Seafood Industry

กาญจนา โสหุรัตน์

Kanjana Sohurat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งโดยใช้หัวเชื้ออีเอ็มเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

ผู้เขียน นางสาวกาญจนา โสหุรัตน์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร คันธโชติ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)

..... กรรมการ

(ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

..... กรรมการ

(ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งโดยใช้หัวเชื้ออีเอ็มเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

ผู้เขียน นางสาวกาญจนา โสหุรัตน์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง น้ำต้มกุ้งเป็นน้ำเสียจากการต้มกุ้งในกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง มีสารอินทรีย์ที่เหมาะสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์และมีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพทดแทนกากน้ำตาล โดยเตรียมน้ำสกัดชีวภาพ 5 สูตรที่มีการแทนที่กากน้ำตาลด้วยน้ำต้มกุ้งเท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละสูตรหมักโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพหรืออีเอ็มภายใต้สภาวะไร้อากาศและมีอากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถเจริญในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตร โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนและยีสต์เจริญในสภาวะการหมักแบบมีอากาศได้ดี ส่วนแบคทีเรียสร้างกรดแลกติกเจริญในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศได้ดี เมื่อพิจารณาเลือกสูตรและสภาวะที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในระบบเติมอากาศแบบกะ พบว่าน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งแทนที่กากน้ำตาลด้วยน้ำต้มกุ้งร้อยละ 100 และผ่านการหมักแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นและของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับร้อยละ 85.1±0.2, 86.7±1.1, 61.9±1.3 และ 84.0±0.5 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากสูตร 1 ที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ($p>0.05$) จากนั้นศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 ตามลำดับ พบว่าน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 88.6±1.1, 89.9±0.6, 58.2±1.0, 26.2±1.4 และ 85.8±0.5 ตามลำดับ และเมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน ในระบบแบบกะเปรียบเทียบกับระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มทุก 3 วันกับการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียว พบว่าการบำบัดด้วยระบบแบบกะสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าการบำบัดด้วยระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันและการเติมเพียงครั้งเดียวตามลำดับ นอกจากนี้ได้ศึกษาการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าจากการต่อ

เชื้อทั้ง 3 ครั้งด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นสูตร 2 กลุ่มแบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนยังคงมีชีวิตรอดตลอดการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้งแต่มีปริมาณลดลง ขณะที่ยีสต์และแบคทีเรียสร้างกรดแลกติกไม่พบหลังจากการต่อเชื้อ 1 ครั้งและการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้งตามลำดับ และพบว่าน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นที่ไม่ผ่านการต่อเชื้อมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับร้อยละ 85.9±0.9, 87.8±1.4, 61.2±1.2, 25.6±1.9 และ 83.3±1.7 ซึ่งไม่แตกต่างจากน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 ครั้ง ($p>0.05$) แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

คำสำคัญ : น้ำสกัดชีวภาพ ; น้ำต้มกุ้ง ; ระบบบำบัดน้ำเสีย

Thesis Title	Production of Bio-extracts Using Effective Microorganisms from Shrimp-Cooking Water for Wastewater Treatment System of Frozen Seafood Industry
Author	Miss Kanjana Sohurat
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2009

ABSTRACT

The objective of this research was to study the production of bio-extract from shrimp-cooking water for wastewater treatment system of frozen seafood industry. Shrimp-cooking water contained organic matters that were suitable to microbial growth and had potential to be used for bio-extract production, instead of molasses. Firstly the production of bio-extract were prepared to 5 formula by substitution of molasses with shrimp-cooking water at 0, 25, 50, 70 and 100 %, respectively and all of them fermented by using effective microorganisms or EM under anaerobic and aerobic conditions at room temperature for 3 days. The result showed that EM could growth in all formula of bio-extract. Also, facultative anaerobes and yeast in aerobic condition were more than in anaerobic condition while lactic acid bacteria in anaerobic condition were more than in aerobic condition. The bio-extract was considered by treating wastewater in aerobic-batch system. It was found that bio-extract formula II, which contained only shrimp-cooking water and was fermented under anaerobic condition gave the COD, BOD, TKN, and SS removal efficiencies with 85.1±0.2, 86.7±1.1, 61.9±1.3 and 84.0±0.5 %, respectively that were not significantly different ($p>0.05$) from bio-extract formula I, which contained only molasses. Afterward, formula II was tested to treat wastewater by using 0, 0.2, 1 ,2 and 4 % of bio-extract. The result showed that the 4 % of bio-extract gave the highest COD, BOD, TKN, TS and SS removal efficiencies with 88.6±1.1, 89.9±0.6, 58.2±1.0, 26.2±1.4 and 85.8±0.5 %, respectively Furthermore, batch and semi-continuous systems with adding bio-extract every 3 days and once at the beginning were investigated to compare the efficiency of wastewater treatment. The result showed that the efficiency of wastewater treatment in batch system with adding bio-extract one time at the beginning was better than in semi-continuous system with adding bio-extract every 3

days and one at the beginning, respectively. Moreover, the effect of subculturing bio-extract on the efficiency wastewater treatment was examined. It was found that facultative anaerobes were found even though bio-extract was subcultured 3 times. However, the amount of facultative anaerobes decreased. Yeast and lactic acid bacteria could not detect after subculturing 1 time and all 3 times, respectively. The result showed that the bio-extract without subculturing gave the highest COD, BOD, TKN, TS and SS removal efficiencies with 85.9±0.9, 87.8±1.4, 61.2±1.2, 25.6±1.9 and 83.3±1.7 %, respectively.

Keyword : Bio-extract; shrimp-cooking water; wastewater treatment

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาอย่างสูงในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ไขข้อบกพร่อง และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์จากคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ดร. ปิยะรัตน์ บุญแสวง ดร. ธันวดี เตชะภัททวรกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ไชยประพัทธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร คันธโชติ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิตสกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการขับเคลื่อนกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท หลีเฮง ซีฟูดส์ จำกัด ต.จะโหนง อ.จะนะ จ. สงขลา โรงงานกรณีตัวอย่างที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างในการทำวิจัย

กาญจนา โสหุรัตน์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 บทตรวจเอกสาร	2
1.2.1 อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง	2
1.2.2 การผลิตน้ำสกัดชีวภาพ	10
1.2.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพหรืออีเอ็ม	18
1.3 วัตถุประสงค์	21
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	21
1.5 ขอบเขตการวิจัย	22
2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย	23
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	23
2.2 วิธีการวิจัย	26
2.2.1 การศึกษาลักษณะของน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียรวม	26
2.2.2 การศึกษาสูตรน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง	26
2.2.3 การศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	27
2.2.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่อง	28
2.2.5 การศึกษาผลของการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย	29
3.1 ลักษณะวัตถุดิบและน้ำเสียรวม	29
3.2 การศึกษาสูตรน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	31
3.3 การศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง	49
3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง	58
3.5 การศึกษาผลของการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	66
4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	74
4.1 สรุปผลการวิจัย	74
4.2 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย	84
ภาคผนวก ข การเตรียมอาหารและวิเคราะห์จุลินทรีย์	92
ประวัติผู้เขียน	94

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. สถิติการส่งออกกุ้งแช่เย็นและกุ้งแปรรูป ปีพ.ศ. 2548-2551	2
2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำต้มกุ้ง	5
3. ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียโรงงานห้องเย็น	7
4. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทางเคมี	26
5. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและน้ำเสีย	30
6. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพเมื่อหมักแบบไร้อากาศเป็นเวลา 3 วัน	32
7. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพเมื่อหมักแบบมีอากาศเป็นเวลา 3 วัน	32
8. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในหัวเชื้ออีเอ็มและน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ซึ่งหมักในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ	34
9. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่เตรียมจากการหมักแบบไร้อากาศกับมีอากาศ	48
10. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณต่างๆ	57
11. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพเมื่อต่อเชื้อจำนวน 3 ครั้ง	66
12. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ	73

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. แผนผังกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง	3
2. แบบจำลองระบบบำบัดแบบเติมอากาศขนาด 10 ลิตร ในห้องปฏิบัติการ	25
3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรเมื่อหมักในสภาวะไร้อากาศ เป็นระยะเวลา 3 วัน	35
4. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรเมื่อหมักในสภาวะมีอากาศ เป็นระยะเวลา 3 วัน	36
5. การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย เมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ ในระบบบำบัดแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน	39
6. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน	40
7. การเปลี่ยนแปลงพีเอช เมื่อบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นเวลา 7 วัน โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการหมักทั้งในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ	42
8. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน	43
9. ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน	44
10. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน	46
11. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน	46

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

12. การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ 50
13. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ 51
14. การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสีย เมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณต่าง ๆ 52
15. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ 53
16. ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ 54
17. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ 55
18. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ 56
19. การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ ในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน 59
20. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน 61
21. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน 62
23. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ ในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะที่ระยะเวลา 30 วัน 63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

24. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย ด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพ จากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง 68
25. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำเสีย ด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพ จากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง 69
26. ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำเสีย ด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพ จากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง 70
27. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในน้ำเสีย ด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น และน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง 71
28. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย ด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น และน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง 72

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

TCOD	=	Total Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมีทั้งในรูปของแข็งและในรูปที่ไม่ละลายน้ำ
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมีในรูปที่ละลายน้ำได้
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen คือ ปริมาณปริมาณไนโตรเจนที่ประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน
C:N Ratio	=	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

=

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมกุ้งแช่เยือกแข็งมีการเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณการส่งออกที่เพิ่มขึ้น โดยในปี 2550 ประเทศไทยส่งออกกุ้งแช่เยือกแข็งปริมาณ 197,433.87 ตัน และในปี 2551 เพิ่มเป็น 197,976.05 ตัน จากการขยายตัวของอุตสาหกรรมกุ้งแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้มีการใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้นและทำให้วัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตได้แก่ หัวกุ้ง เปลือกกุ้ง น้ำต้มกุ้งและน้ำล้างกุ้ง เป็นต้น มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย วัสดุเศษเหลือเหล่านี้เกิดการเน่าเสียง่ายเพราะมีสารประกอบโปรตีนและไขมันปริมาณสูง จึงเป็นเหตุให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม สำหรับการจัดการวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง เช่น เปลือกกุ้ง หัวกุ้ง สามารถจำหน่ายให้แก่โรงงานอาหารสัตว์ในราคาถูกและได้มีผู้วิจัยนำหัวกุ้งมาผลิตซอสปรุงรส นำหัวกุ้งและเปลือกกุ้งมาผลิตไคตินและไคโตแซน สำหรับวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวเช่น น้ำล้างและน้ำต้มกุ้งได้มีการวิจัยในการนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ใช้น้ำต้มกุ้งที่เหลือจากกระบวนการผลิตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสชนิดผง ใช้น้ำทิ้งนำมาสกัดเอนไซม์ต่างๆ เป็นต้น

ส่วนน้ำต้มกุ้งที่เกิดจากโรงงานกรณีตัวอย่างมีการปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์และถึงแม้น้ำต้มกุ้งจะมีปริมาณน้อยในแต่ละวันเมื่อเทียบกับน้ำที่ใช้ล้างในกระบวนการผลิตแต่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับน้ำต้มกุ้งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการต้มเพื่อการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง มีองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน อะมิโนไนโตรเจนจากเนื้อกุ้งละลายอยู่ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำต้มกุ้งกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานให้แก่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพหรืออีเอ็ม (Effective Microorganisms ; EM)ในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพทดแทนกากน้ำตาลและใช้น้ำสกัดชีวภาพที่ได้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยการทำงานของอีเอ็มในน้ำสกัดชีวภาพเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นการประหยัดต้นทุนและพลังงานที่มีอย่างจำกัดและทางโรงงานกรณีตัวอย่างได้มีการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากน้ำตาลเพื่อการบำบัดน้ำเสียด้วย ผลการศึกษาจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการน้ำต้มกุ้ง ลดปริมาณการใช้กากน้ำตาลเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์สูงซึ่งจะทำให้ระบบบำบัดรับภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์น้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การกำจัดกลิ่น การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งเพื่อใช้ประโยชน์ในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและไม่ต้องลงทุนสูง จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบบำบัดน้ำเสียและประหยัดการใช้กากน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งต่อไป

1.2 บทตรวจเอกสาร

1.2.1 อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

อุตสาหกรรมอาหารทะเลและอาหารทะเลแช่เยือกแข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศในระดับสูง ปัจจุบันประเทศไทยได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นประเทศที่สามารถผลิตสินค้าอาหารที่มีคุณภาพดี โดยกลุ่มอาหารทะเลสดและแช่แข็งนั้นมีสัดส่วนมากที่สุดประมาณร้อยละ 46.66 ของมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารในปี พ.ศ. 2544 (กรมเศรษฐกิจระหว่างประเทศ, 2546) สำหรับอุตสาหกรรมกุ้งแช่เย็น แช่แข็งและกุ้งแปรรูปเป็นอุตสาหกรรมอาหารทะเลประเภทหนึ่งที่มีอัตราการผลิตและส่งออกในปริมาณสูง จากตาราง 1 แสดงถึงแนวโน้มการส่งออก ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548-2551 พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจากปริมาณการส่งออกที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นผลให้มีปริมาณวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

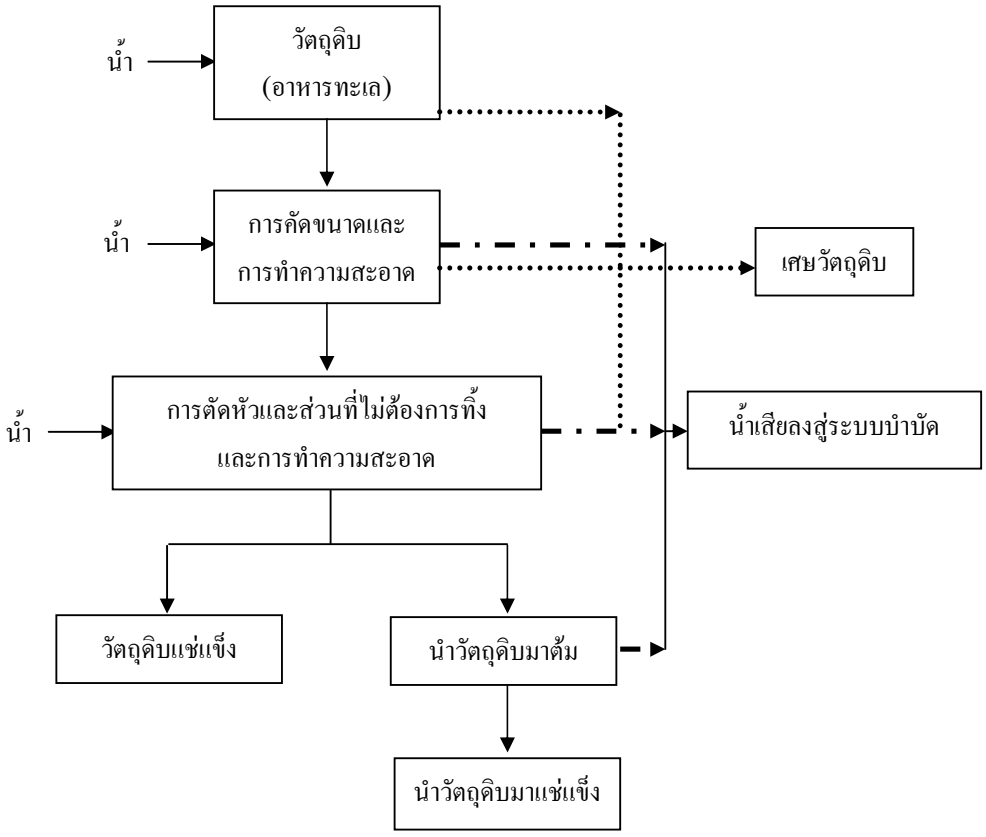
ตาราง 1 สถิติการส่งออกกุ้งแช่เย็นและกุ้งแปรรูป ปีพ.ศ. 2548-2551 (หน่วย : ตัน)

	2548	2549	2550	2551
กุ้งแช่เย็นแช่แข็ง	158,682	157,053.20	197,433.87	197,976.05
กุ้งแปรรูป	116,404	147,912.78	126,510.51	137,396.01
รวม	275,086	304,965.98	323,944.38	335,372.06

ที่มา : ดัดแปลงจาก สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย (2551)

1.2.1.1 กระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็งมีลักษณะโดยทั่วไป คือ ประกอบด้วยวัตถุดิบจำพวกอาหารทะเลสด ได้แก่ กุ้ง ปลา ปลาหมึกและปู เป็นต้น ซึ่งจะถูกเตรียมให้พร้อมสำหรับการนำไปประกอบอาหารโดยการตัดแต่งและทำความสะอาด ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งอาจมีการแปรรูป เช่น การชุบเกล็ดขนมปัง การบดแล้วขึ้นรูปหรือการปรุงให้สุกก่อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็งมีความหลากหลาย ตามชนิดของสัตว์น้ำที่นำมาผลิตและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ตามที่กล่าวมาข้างต้น แต่ทั้งนี้กรรมวิธีการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็งนั้นมีขั้นตอนหลักๆคล้ายคลึง ดังภาพประกอบ 1



หมายถึง **น้ำเสีย**

เศษวัตถุดิบ

ภาพประกอบ 1 แผนผังกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2546) และ จิตรมณฑ์ สมศรี (2542)

1.2.1.2 วัสดุเศษเหลือและการใช้ประโยชน์

จากแผนผังกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็งดังแสดงในภาพประกอบ 1 ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เปลือกกุ้ง หัวกุ้ง เศษชิ้นส่วนกุ้ง ส่วนของเหลว ได้แก่ น้ำต้มกุ้ง น้ำล้างกุ้ง เป็นต้น กุ้งมีองค์ประกอบเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์โดยประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 60-70 มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนคล้ายคลึงกับเนื้อหอยและเนื้อหมึก ส่วนเปลือกกุ้งประกอบด้วยสารพวกแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้โครงสร้างของเปลือกกุ้งแข็งและยังประกอบด้วยสารประเภทไคตินซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ประเทศไทยสามารถผลิตกุ้งได้ปริมาณมาก มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งในรูปแบบต่างๆเพื่อการส่งออกและการบริโภคภายในประเทศในปริมาณสูง จึงนับได้ว่ากุ้งเป็นสินค้าที่สำคัญทางเศรษฐกิจ โดยในปัจจุบันมีโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้ง ส่วนใหญ่เป็นการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง โรงงานผลิตกุ้งต้ม กุ้งชุบแป้งขนมปัง และอื่น ๆ ตามลำดับ จากกระบวนการผลิตกุ้งในรูปแบบต่าง ๆ ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง เช่น เปลือกกุ้ง ที่ค่อนข้างสูง วัสดุเศษเหลือดังกล่าวนี้มักประกอบด้วยสารอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการแพร่กระจายได้ง่ายจึงมีผลต่อคุณภาพน้ำทิ้งในแง่ของบีโอดี (Biological Oxygen Demand : BOD) ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการบำบัด ซึ่งค่าใช้จ่ายในการจัดการวัสดุเศษเหลือนี้เป็นต้นทุนส่วนหนึ่งที่แฝงอยู่ในราคาสินค้าด้วย การจัดการวัสดุเศษเหลือด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ จะช่วยลดปริมาณวัสดุเศษเหลือได้และลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย (สุโขทัยธรรมาธิราช, 2539)

1.2.1.3 แนวทางการใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เปลือกกุ้ง หัวกุ้ง เศษชิ้นส่วนกุ้งซึ่งได้จากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตมีการนำไปใช้ ประโยชน์ ดังนี้

1) การนำวัสดุเศษเหลือใช้ไปเป็นอาหารส่วนผสมในอาหารสัตว์ ได้แก่

- การใช้ส่วนหัวและกากที่ได้จากการต้ม นึ่งและกากสดซึ่งมีโปรตีนและไขมันปริมาณสูงและมีแคลเซียม รวมทั้งอินทรีย์สาร
- การนำหัวกุ้งป่นใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพาะเลี้ยงกุ้ง ข้อเสีย คือมีกากและไคตินสูง (ร้อยละ 26 โดยน้ำหนัก)โดยหัวกุ้งยังจัดเป็นแหล่งโปรตีนได้ด้วย
- การนำวัสดุเศษเหลือของกุ้งป่นเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์สำหรับโคสุกร และ เป็ด ไก่ ประโยชน์ที่ได้จากอาหารพวกนี้ คือปริมาณแร่ธาตุและโปรตีนซึ่งมีคุณค่าเทียบเท่ากับโปรตีนจากถั่วเหลือง แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังและต้องการมากในไก่ไข่และไก่ที่กำลังเจริญเติบโต

2) การนำวัสดุเศษเหลือมาผ่านกระบวนการทั้งทางเคมีและทางกายภาพก่อนได้แก่ การสกัดแยกไคตินจากเปลือกแข็งของกุ้ง ซึ่งไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีความสำคัญและใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542)

สำหรับวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวในอุตสาหกรรมกุ้งแช่เยือกแข็งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คือ น้ำต้มกุ้งโดยน้ำต้มกุ้งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการต้มกุ้งในกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง เมื่อนำกุ้งมาต้ม (70 องศาเซลเซียส11วินาที) พบว่าน้ำต้มกุ้งที่ได้ประกอบด้วยค่าซีโอดี ไนโตรเจน และองค์ประกอบอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 2 ซึ่งองค์ประกอบนี้มีในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กรรมวิธีและกำลังการผลิต สารดังกล่าวนี้เป็นสารอาหารที่มีประโยชน์และยังเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี สารประกอบไนโตรเจนและแร่ธาตุอื่นๆในน้ำต้มกุ้ง สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ทดแทนกากน้ำตาลได้

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำต้มกุ้ง

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบ (มิลลิกรัม/ ลิตร)	
	SW 1	SW2
พีเอช	7.9	5.3
ซีโอดี	10,015	5,950
ไนโตรเจนทั้งหมด	852	652
ของแข็งทั้งหมด	20,452	19,300
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	358	984
เกลือ (NaCl)	1.5 (ร้อยละ)	NA
แร่ธาตุ		
แมกนีเซียม	80.76	NA
เหล็ก	1.49	NA
โปแตสเซียม	184.93	NA
โซเดียม	131.96	NA
โคบอลท์	ไม่พบ	NA

ที่มา : ดัดแปลงจาก ศุภารัตน์ รักขพันธ์ (2544) : SW 1= Shrimp-cooking water

สุวิทย์ สุวรรณโณ (2535) อ้างถึงใน มาริสา จาตุพรพิพัฒน์ (2537) : SW 2= Shrimp-cooking water

น้ำต้มกุ้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสทจากน้ำต้มกุ้ง เพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร โดยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์Neutrase®0.5ลิตร ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มมีกลิ่นรสกุ้งชัดเจนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้นร้อยละ 3.80 โปรตีนร้อยละ 51.89 ไขมันร้อยละ 6.57 เถ้าร้อยละ 24.76 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.99 โดยน้ำหนักเมื่อนำโปรตีนไฮโดรไลเสทและน้ำต้มกุ้งที่ไม่ได้ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลักษณะผงแห้งมาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสทมีความเข้มของสีและกลิ่นสูงกว่าน้ำต้มกุ้ง แต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์แบบผงแห้งมาละลายน้ำแล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสเกี่ยวกับสี กลิ่นกุ้ง รสหวาน รสขม และรสชาติโดยรวม พบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสทและผลิตภัณฑ์จากน้ำต้มกุ้งที่ไม่ได้ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไม่แตกต่างกัน (รวิพิมพ์ ฉวีสุข และ ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2538) นอกจากนี้น้ำต้มกุ้งยังสามารถนำมาผลิตซอสกุ้ง ซึ่งซอสกุ้งที่ได้มีอะมิโนไนโตรเจน ความชื้น ของแข็งและไขมันใกล้เคียงกับซอสหอยนางรมในท้องตลาด แต่พบว่า เถ้า และโซเดียมคลอไรด์ มีปริมาณสูงกว่าซอสหอยนางรมในท้องตลาด นอกจากนี้ซอสกุ้งที่ผลิตได้ มีโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและความหนืดต่ำกว่าซอสหอยนางรมจากท้องตลาด แต่อย่างไรก็ตามซอสกุ้งที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของซอสหอยนางรมตาม มอก.1317-2538 ซอสกุ้งที่ผลิตขึ้นได้รับคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน และความเข้มของสีน้อยกว่าซอสหอยนางรมในท้องตลาด แต่อย่างไรก็ตามคะแนนคุณลักษณะด้านอื่น ๆ รวมทั้งคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากซอสหอยนางรมในท้องตลาด ผลิตภัณฑ์ซอสกุ้งที่ผลิตขึ้นเมื่อบรรจุในขวดฝาเกลียวที่ผ่านการฆ่าเชื้อและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานกว่า 2 เดือน โดยไม่มีการเจริญของเชื้อยีสต์ และราวรวมทั้งมีแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของซอสหอยนางรมตาม มอก.1317-2538 (สราวุธ เย็นเอง, 2544)

1.2.1.4 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

จากแผนผังกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็งดังแสดงในภาพประกอบ 1 มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก โดยจากการสำรวจของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล 9 แห่งในจังหวัดสงขลาและบริเวณใกล้เคียงของ Prasertsan *et al*. (1988) พบว่าอัตราการผลิตสัตว์น้ำทะเลแช่แข็งโดยเฉลี่ยวันละ 250–400 ลบ.ม. น้ำทิ้งส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ น้ำหล่อเย็นและน้ำทำความสะอาดพื้น ซึ่งทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 35-600 ลบ.ม/วัน/โรงงาน และน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนของเศษวัตถุดิบ จึงทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยแต่ละโรงงานมีลักษณะความสกปรกของน้ำเสียแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิตหรือประเภทกิจกรรมในแต่ละวัน (สุธี รัตนะ, 2545)

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียโรงงานห้องเย็น

โรงงาน	Temperature(°C)	pH	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)
ก	20.1	7.5	3675	2498	369
ข	22.2	6.8	6549	3763	312
ค	22.2	7.5	894	652	123
ง	21.1	7.6	1867	1294	289

ก. โรงงานห้องเย็น ประเภท ล้างและบรรจุ กำลังการผลิต 3 ตัน / วัน

ข. โรงงานห้องเย็น ประเภท ล้างและบรรจุ กำลังการผลิต 25 ตัน / วัน

ค โรงงานห้องเย็น ประเภท ล้างและลอกเปลือก กำลังการผลิต 3 ตัน / วัน

ง. โรงงานห้องเย็น ประเภท ล้างและลอกเปลือก กำลังการผลิต 10 ตัน / วัน

ที่มา : สุภาภรณ์ เชนยพาณิชย์ (2543)

1.2.1.5 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง การบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยามีความเหมาะสมสำหรับน้ำเสียประเภทนี้ เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ จากธรรมชาติมาย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำเสียในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของผลผลิตสุดท้ายและเซลล์ของจุลินทรีย์ สำหรับจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียร้อยละ 95 รองลงมาได้แก่ เชื้อรา สาหร่ายและโพรโตซัว (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) เนื่องจากระบบบำบัดทางชีววิทยาจะใช้จุลินทรีย์ในการทำงานเป็นหลัก ดังนั้นน้ำเสียที่นำมาบำบัดด้วยวิธีดังกล่าวควรผ่านกระบวนการบำบัดในขั้นต้นมาก่อน เพื่อทำให้น้ำเสียมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ไม่ควรมีสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งพบว่าน้ำเสียที่สามารถนำมาบำบัดโดยวิธีทางชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือน้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548) และพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้เป็นระบบ activated sludge และ aerated lagoon แต่ระบบที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็น aerated lagoon เพราะการควบคุมดูแลทำได้ง่าย ค่าก่อสร้างต่ำ รับ shock load ได้ดีเพราะมีปริมาณมาก ไม่มีกลิ่นเหม็นแต่ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก (Prasertsan *et al*., 1988) และระบบบำบัดทั้ง 2 ระบบนี้เป็นระบบที่มีการเติมอากาศซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ เชื้อราและสาหร่าย โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 80-90 (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

สำหรับปฏิกิริยาชีวเคมีที่จุลินทรีย์ใช้ในการเผาผลาญสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่ ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ (พิมล เรียนวัฒนาและชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2539) ดังนี้

1) ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic reaction) เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระ โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเผาผลาญสารอินทรีย์ แต่จะใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในสารประกอบแทน เช่น NO_3^- หรือ SO_4^{2-} ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวเพื่อให้พลังงานและสารประกอบอื่นๆ ที่มักมีกลิ่นเหม็น เช่น H_2S จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระในกลุ่มนี้ได้แก่ anaerobic และ facultative microorganisms โดยมีปฏิกิริยาดังสมการที่ 1

$$\text{C H O N S (สารอินทรีย์)} + \text{แบคทีเรีย} \longrightarrow H_2O + CH_4 + N_2 + H_2S + CO_2 + \text{พลังงาน} \quad (1)$$

2) ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic reaction) เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนอิสระในการเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิตและนำพลังงานไปสร้างเป็นเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ และสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยานี้เป็นสารที่มีเสถียรภาพและไม่มีกลิ่นเหม็นที่สำคัญคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยดังสมการที่ 2 และ 3

- ปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนในการทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อให้ได้พลังงาน

$$\text{C H O N S (สารอินทรีย์)} + O_2 + \text{แบคทีเรีย} \longrightarrow CO_2 + H_2O + NO_2 + SO_4^{2-}, \text{etc} + \text{พลังงาน} \quad (2)$$

- การนำพลังงานที่ได้ไปสร้างเป็นเซลล์ใหม่

$$\text{C H O N S (สารอินทรีย์)} + O_2 + \text{แบคทีเรีย} + \text{พลังงาน} \longrightarrow C_5H_7O_2N \text{ (เซลล์ใหม่แบคทีเรีย)} \quad (3)$$

แบคทีเรียจะใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียร้อยละ 70 เพื่อเผาผลาญให้ได้พลังงาน ส่วนอีกร้อยละ 30 แบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญเติบโต แบคทีเรียที่ต่างชนิดกันจะย่อยสลายสารได้ต่างชนิดกัน (ธวัชชัย ศุภดิษฐ์, 2547) จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดแลกติก (lactic acid bacteria) และราจะย่อยน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลได้ดีเช่นใช้ *Aspergillus niger* และ *Rhizoctonia* spp. ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตสุรา (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

1.2.1.6 การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกิริยามีอยู่ด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบไว้ เช่น

1.) การป้อนน้ำเสียครั้งเดียว (Batch type feeding)

เป็นลักษณะการป้อนน้ำเสียเพียงครั้งเดียวในหนึ่งวันลงในถังปฏิกิริยาหรือระบบบำบัดน้ำเสียและปล่อยให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียย่อยสลายหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย คือสารอินทรีย์ หลังจากนั้นจึงมีการถ่ายน้ำเสียที่บำบัดหรือกำจัดสารอินทรีย์แล้วออกจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกิริยาแล้วเติมน้ำเสียใหม่เข้าไปทีเดียวและดำเนินการต่อไปตามขบวนการแบบข้างต้น การเติมน้ำเสียลักษณะนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียปริมาณไม่มากนักและกระบวนการผลิตของโรงงานไม่ได้มีตลอด 24 ชั่วโมง มีน้ำเสียเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆและไม่ต่อเนื่อง

2.) การป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (Continuous type feeding)

เป็นลักษณะการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่องตลอดเวลา 24 ชั่วโมง คือจะมีน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาตลอดเวลา เป็นแบบที่นิยมใช้ใน

ปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถดำเนินไปอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งเหมาะสำหรับกรณีที่โรงงานมีการผลิตทั้งวันและน้ำเสียเกิดขึ้นตลอดเวลา

3.) การป้อนน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi- continuous feeding)

เป็นลักษณะการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยจะมีการหยุดป้อนน้ำเสียเป็นช่วง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะพิจารณาป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานของโรงงานหรือคุณสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแง่ของคุณภาพของน้ำเสียหรือปริมาณที่มีความแตกต่างกันมาก (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

1.2.2 การผลิตน้ำสกัดชีวภาพ

1.2.2.1 น้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพหรืออาจมีชื่อเรียกได้ต่าง ๆ กันไป เช่น น้ำจุลินทรีย์หรือน้ำเอนไซม์จากผลไม้หรือจุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective Microorganisms) (ดวงพร คันธโชติและคณะ, 2548) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ (กรมวิชาการเกษตร , 2549) และน้ำหมักจุลินทรีย์ (อาณัติ ตันโช , 2548) เป็นน้ำสกัดที่ได้จากการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้จากส่วนต่างๆของพืชหรือสัตว์โดยผ่านกระบวนการหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) มีจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายเศษซากพืชและซากสัตว์เหล่านั้นให้กลายเป็นสารละลาย ปัจจุบันสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทตามชนิดของวัสดุที่ใช้หมัก คือน้ำสกัดชีวภาพจากพืช สัตว์ ขยะในครัวเรือนและสูตรรวมมิตร สำหรับน้ำสกัดชีวภาพจากพืช ได้แก่น้ำสกัดชีวภาพจากพืชสด ผลไม้ (หรือสูตรฮอร์โมนพืช) ส่วนน้ำสกัดชีวภาพจากสัตว์ ได้แก่ น้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ ปลา และมูลสัตว์ และน้ำสกัดชีวภาพจากครัวเรือนได้แก่ เศษอาหาร เศษผักและผลไม้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544) สำหรับการศึกษานี้ได้นำน้ำต้มกุ้งมาเป็นวัตถุดิบในการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพทดแทนกากน้ำตาล โดยน้ำต้มกุ้งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆ คล้ายกับน้ำสกัดชีวภาพจากสัตว์ เช่น น้ำสกัดชีวภาพจากปลา พบว่ามีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 9.5 ไนโตรเจนร้อยละ 2.5-3.00 แคลเซียมร้อยละ 1.20-1.50 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.60-0.80 กำมะถันร้อยละ 0.30 ส่วนแร่ธาตุอื่นมีอยู่ปริมาณน้อยมาก แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของปลาขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมของปลาที่อาศัยอยู่ ส่วนน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.95 ซิลิกาในรูป SiO_2 ร้อยละ 0.46 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.12 โพแทสเซียมร้อยละ 4.19 แคลเซียมร้อยละ 1.35 และแมกนีเซียมร้อยละ 1.12 (สำรวล ดอกไม้หอม, ม.ม.ป. อ้างถึงในวันวิสาข์ ปั้นศักดิ์, 2545) ซึ่งจากการศึกษาของศักดา ศรีนิเวศน์ (2544) อ้างถึงในวนิดา เกิดมณี (2547) พบว่าน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่สามารถนำมาใช้กับพืชได้เป็นอย่างดี เนื่องจากประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมเช่นกัน

1.2.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพ

1) ถังหมักที่มีฝาปิด หรือ ถุงพลาสติก

2) กากน้ำตาล หรือ น้ำตาลทราย หรือ น้ำตาลทรายขาว

3) วัตถุดิบที่นำมาทำน้ำสกัดชีวภาพ เช่น ผัก ผลไม้สุก ปลา เป็นต้น

1.2.2.3 วิธีการผลิตน้ำสกัดชีวภาพ

1) หั่นวัตถุดิบที่นำมาทำน้ำสกัดชีวภาพ แล้วใส่ลงในถังหมัก ใส่น้ำตาลลงไป โดยอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้หมักต่อน้ำตาลเป็น 3 ต่อ 1 แต่ถ้าวัตถุดิบที่ใช้หมักเป็นสัตว์จะใช้อัตราส่วนเป็น 1 ต่อ 1 (อรรถ บุญนิธี, 2544) คลุกเคล้าให้เข้ากันหรือจะโรยทับเป็นชั้น ๆ

2) ทับเศษวัตถุดิบด้วยถุงน้ำหรือของหนัก ปิดฝาถังหมักปล่อยทิ้งไว้ 3 ถึง 5 วันจะเริ่มมีของเหลวสีน้ำตาลเกิดขึ้น

3) หมักต่อไปอีกประมาณ 10 ถึง 14 วัน สามารถนำน้ำสกัดชีวภาพมาใช้ได้โดยถ่ายน้ำสกัดชีวภาพออกใส่ภาชนะพลาสติกแล้วปิดฝาตั้งไว้ในที่ร่ม แต่ถ้าเป็นน้ำสกัดชีวภาพจากสัตว์จะทำการหมักเป็นเวลา 1 เดือน

จากวิธีการผลิตที่กล่าวมาข้างต้น การทำน้ำสกัดชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการที่เกิดจากการผสมเศษวัสดุต่าง ๆ กับกากน้ำตาลหรือน้ำตาล ซึ่งเรียกว่ากระบวนการพลาสโมไลซิส (plasmolysis) โดยกากน้ำตาลหรือน้ำตาลทำให้เกิดการดึงน้ำออกจากเซลล์ของเศษวัสดุและมีผลทำให้เซลล์เหี่ยว เนื่องจากกากน้ำตาลหรือน้ำตาลเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ของเศษวัสดุจึงทำให้เกิดการแพร่ของน้ำและอินทรีย์สารภายในเซลล์ เช่น กรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันออกมาละลายรวมอยู่ในน้ำเชื่อมเหล่านั้น ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการหมัก ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ การหมักแบบให้อากาศ (aerobic condition) และหมักในสภาพไร้อากาศ (anaerobic condition) โดยขั้นตอนนี้จุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายอินทรีย์สารต่าง ๆ ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลเล็กลงและเกิดการปล่อยธาตุอาหารออกมา (กาญจนา เอื้องฟ้า, 2544) ในขั้นตอนการหมักนอกจากจะมีการใส่กากน้ำตาลแล้วอาจเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์หรือไม่ก็ได้ (เชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติมีอยู่แล้ว) การหมักที่มีการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นหัวเชื้อมักใช้ในกรณีที่ใช้เพื่อการเกษตร(ดวงพร คันธโชติ และคณะ, 2548) หรืออาจมีการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ มาทำการขยายเชื้อกับกากน้ำตาลและน้ำ โดยไม่ต้องนำไปหมักร่วมกับวัสดุต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนหัวเชื้อ : กากน้ำตาล : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 : 100 (อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติและคณะ, 2539) ส่วนผลการวิจัยของ EMRO (EM Research Organization) บ่งบอกว่าการใช้หัวเชื้อที่ผลิตจากโรงงานของบริษัท อีเอ็มคิว เซ จำกัด เพื่อทำการขยายในอัตราส่วนหัวเชื้อ:กากน้ำตาล:น้ำ เท่ากับ 1:1:20 และไม่มีการขยายต่อดีที่สุดหรือมีประสิทธิภาพสูงสุด หากขยายต่ออีกจะทำให้จุลินทรีย์บางกลุ่มหายไปโดยเฉพาะกลุ่ม

จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่มีความสำคัญที่สุดด้วย (บริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด, 2549) หัวเชื้อดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันคือจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพหรืออีเอ็ม

1.2.2.4 องค์ประกอบของอีเอ็ม

อีเอ็ม เป็นการรวบรวมเอาเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดผลดี (probiotics) ที่มีอยู่ตามธรรมชาตินำมาเพาะเลี้ยงรวมอยู่ในที่เดียวกัน ซึ่งมีจุลินทรีย์รวมกันกว่า 5 กลุ่ม

1) กลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรดน้ำนม (Lactic acid bateria) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อโรค เชื้อราและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดผลเสีย จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่ไม่ต้องการอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินจากเน่าเปื่อยหรือดินก่อโรคให้กลายเป็นดินต้านทานโรค โดยช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืช ให้มีจำนวนน้อยลงหรือหมดไปในที่สุดทำให้อินทรีย์สารในดินอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชมากขึ้นนอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ดพันธุ์พืช ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชสูงและเร็วกว่าปกติ จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยจุลินทรีย์พวกแลกติกแอสิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) ได้แก่ *Lactobaciluls casei , L.bugaricus* และ *Streptococcus* spp. เป็นต้น

2) กลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน (Nitrogen-fixing microorganisms) ทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ในดิน ผลิตสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น โปรตีนกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ แป้ง น้ำตาล กรดไขมัน ฮอร์โมน และวิตามิน กลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีทั้งพวกสาหร่ายและพวกแบคทีเรียได้แก่ *Azotobacter* spp., *Anabaena* spp., *Nostoc* spp., *Azolla* spp. *Rhizobium* spp., *Bradyrhizobium* spp., *Methylomonas* spp., *Thiobacillus thiooxidans*, *T. ferooxidann*, *Erythobactor longus*., *Bacillus* spp., *Polymyxa* spp., *Clostriduim* spp.และ *Pasteurianum* spp. เป็นต้น

3) กลุ่มจุลินทรีย์พวกรามีเส้นใย (Filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลายสารอินทรี ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุให้มีอณูเล็กลงทำให้พืชสามารถดูดเอาไปใช้เป็นอาหารได้ง่าย จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดีปกติใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก ใช้หมักแอลกอฮอล์ จุลินทรีย์กลุ่มรามีเส้นใยที่สำคัญได้แก่ *Penicillium* spp. *Tricoderma* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Mucor* spp. และ *Rhizopus* spp. เป็นต้น

4) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (Zymogenic or fermenting microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำให้ดินเปลี่ยนสภาพเป็นดินต้านทานโรค (disease resistant) เข้าสู่วงจรย่อยสลายแบบหมักและหมักสังเคราะห์ (fermentation and synthetic orzymogenic) เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยหมัก เป็นตัวกระตุ้น *Azotobacter* และ *Mycorrhizae* ให้สามารถทำงานได้อย่างดีในดิน ช่วยลดอัตรา

การพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิด ของพืชและสัตว์ ช่วยบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่างๆ จุลินทรีย์ที่เป็นกลุ่มหลักได้แก่ พวก Ray fungi (Actinomycetes) เช่น *Streptomyces* spp. ส่วนยีสต์เช่น. *Schizosaccharomyces* spp., *Pichia* spp. *Saccharomyces ceraviseae* และพวกราหมักต่าง ๆ เช่น *Rhodosporidium* spp., *Bullera* spp., *Kloeckera* spp., *Aspergillus* spp. และ *Tricoderma* spp. เป็นต้น

5) กลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Photosynthetic microorganisms) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้กับดิน เช่น ธาตุไนโตรเจน กรดอะมิโน น้ำตาล วิตามิน ฮอร์โมนและอื่น ๆ เพิ่มประสิทธิภาพและความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและช่วยสร้างความสัมพันธ์แบบพึ่งพากับจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ *(Azotobacter)* ในการสังเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในดิน จุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ *Chlorobium Limicola, f. thiosulfatophilum, Rhodomicrobium vannielii, Rhodospirillum rubrum* และ *Heliobacterium chlorum* เป็นต้น

1.2.2.5 บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนหมักน้ำสกัดชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่มีในน้ำสกัดชีวภาพมีหลายประเภท แต่จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ โดยมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์และเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพเคมีต่างๆในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพ บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำสกัดชีวภาพมีดังนี้

1) แบคทีเรียที่พบในน้ำสกัดชีวภาพหลายสายพันธุ์มีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุที่ใช้ในการผลิต ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์มาจากสิ่งที่มีชีวิตทั้งจากพืชและสัตว์ แบคทีเรียย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทำให้สารประกอบโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ๆ เล็กลง และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แบคทีเรียที่พบและมีบทบาทมากในน้ำสกัดชีวภาพมีดังนี้

- กลุ่มแบคทีเรียในสกุลบาซิลัส (*Bacillus* spp.) บทบาทของจุลินทรีย์สกุลนี้ในกระบวนการหมักคือจัดเป็นพวก Ammonifiers เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นแอมโมเนีย และแบคทีเรียในสกุลบาซิลัส สามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอส (protease) ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยมีน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี (hydrolysis) แปรสภาพโปรตีนให้เป็นโพลีเปบไทด์ (polypeptides) และแปรสภาพโอลิโกเปบไทด์ (oligopeptides) ให้เป็นกรดอะมิโน (amino acids) เอนไซม์นี้ถ้าย่อยโปรตีนในสภาพที่มีอากาศเพียงพอ (aerobic proteolysis) จะได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ซัลเฟตและน้ำ แต่ถ้าย่อยสลายโปรตีนในสภาพที่ปราศจากอากาศจะได้แอมโมเนีย อะมีน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ Indole Skatole Mercaptans และ

ไฮโดรเจนซัลไฟล์ สารต่างๆ เหล่านี้ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า (foul smelling) นอกจากนี้แบคทีเรียสกุลบาซิลัสยังสามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลินและไซโตไคนิน ได้

- กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็น Gram Positive Asporogenous Rod-Shaped Bacteria อยู่ใน Family Lactobacillaceae จะไม่มีการสร้างสปอร์ (endospore) รูปร่างของเซลล์มีลักษณะเป็นท่อน แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพที่กระบวนการผลิตมีน้ำตาลมาเกี่ยวข้อง แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกอาศัยอยู่ในธรรมชาติมากมายหลายแหล่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีน้ำตาลชนิดต่างๆ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถสร้างกรดแลคติก กรดฟอร์มิค เอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียชนิดนี้เจริญได้ทั้งในสภาพ anaerobic หรือ facultative ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Lactobacillus* spp. มีความต้องการสารอาหารพวกสารประกอบอินทรีย์มีโครงสร้างซับซ้อนพบในกระบวนการหมัก มีการเจริญได้ดีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน แต่ก็มีความสามารถเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนด้วยน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้ กลุ่ม Lactic acid bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่หนึ่งเรียกว่า Homofermentative จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดแลคติก (lactic acid) เท่านั้นสำหรับกลุ่มที่สองเรียกว่า Heterofermentative หลังจากกระบวนการหมักจะได้กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีอยู่ในสภาพธรรมชาติทั้งในพืชผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์นม กรดแลคติกที่ได้นี้มีบทบาทสำคัญในการถนอมอาหารหลายชนิด เช่น ผักดองต่างๆ ผลิตภัณฑ์นมพวกทำเนยแข็ง จุลินทรีย์ดังกล่าวมีความสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูง สภาวะความเป็นกรดสูงนี้จะมีผลกระทบต่อการยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์หรือกำจัดกลุ่มจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย

- กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก (Acetic acid bacteria) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียรูปแท่ง (Rod) และกลม (Cocci) แกรมลบ (Gram negative aerobic) อยู่ใน Family Acetobacteraceae รูปร่างเป็นท่อนแต่มีลักษณะ เช่น รูปรีหรือไม้กระบองโค้ง มี flagella เคลื่อนที่ได้เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) ทนทานต่อสภาพความเป็นกรดได้ดีในสภาพที่มีค่า pH ของสารละลายต่ำกว่า 5.0 และเจริญอยู่ได้ในที่ที่มีค่า pH ต่ำระหว่าง 3.0-3.5 ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Acetobacter* spp. บทบาทสำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้จะทำหน้าที่แปรสภาพหรือเปลี่ยน แอลกอฮอล์ เอทานอล (ethanol) ให้เป็นกรดอะซิติก

2) เชื้อรา เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกระบวนการหมักในน้ำสกัดชีวภาพส่วนใหญ่จะเป็นยีสต์และราที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย

- ยีสต์ (Yeasts) เป็นจุลินทรีย์เซลล์เดี่ยว มักมีรูปร่างกลมหรือรี สามารถสืบพันธุ์ได้โดยการแตกหน่อ (Budding) ซึ่งเป็นแบบไม่อาศัยเพศ อยู่ใน Family Saccharomycetaceae เมื่ออายุยังน้อยจะมีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่เมื่ออายุมากจะมีรูปร่างรียาว ยีสต์จะทำให้เกิดกระบวนการหมักโดยเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอททิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ ยีสต์มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมักจะมีการสร้าง Ascospores แบบอาศัยเพศอยู่ใน Asci ได้แก่ยีสต์สกุล *Saccharomyces* sp. และ *Candida* sp. เนื่องจากยีสต์มีคุณสมบัติในการหมักน้ำตาลได้ดี ดังนั้นในกระบวนการหมักผักและผลไม้หรือปลาสดร่วมกับกากน้ำตาล (อาจใช้น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลอ้อย) ยีสต์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากการหมักวัสดุอินทรีย์ด้วยน้ำตาล (1-2 วัน จะได้กลิ่นแอลกอฮอล์) ยีสต์ในธรรมชาติจะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ เนื่องจากได้แหล่งอาหารจากน้ำตาล โดยจะปรากฏอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุหมักเป็นฟองที่ลอกเป็นฝ้าอยู่ที่ผิวของน้ำหมักอาจจะเรียกว่า Top yeasts เมื่อการหมักลดลงจะตกตะกอนลง

นอกจากนี้จะมีผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นออกมาในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ glycerol, acetic acid, organic acid, amino acid, purines, pyrimidines และ alcohol นอกจากนี้ยีสต์จะผลิตวิตามินและฮอร์โมนในระหว่างกระบวนการหมักด้วย ในกระบวนการหมักนั้นจะมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำมาก แต่ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกรดสูงระหว่าง 4.0-6.5 และดำรงชีพอยู่ได้ในสภาพที่มีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำหมักระหว่าง 1.5-3.5 จะมีจุลินทรีย์กลุ่มอื่นร่วมทำปฏิกิริยาอยู่ด้วยซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกรดอินทรีย์เกิดขึ้นมาก ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำสกัดชีวภาพมีความเป็นกรดสูง สภาวะที่ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำสกัดชีวภาพมีค่าต่ำนั้นมีผลดีต่อการควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ และขณะเดียวกันแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมคุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพด้วย

- เชื้อรา เป็นจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศ พบเห็นได้บริเวณผิวด้านบนของน้ำสกัดชีวภาพ ดังนั้นในลักษณะของการทำน้ำสกัดชีวภาพ ซึ่งเป็นการหมักที่มีออกซิเจนน้อยสภาพดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราเส้นใย จึงมักพบอยู่บนบริเวณผิวหน้าของน้ำสกัดชีวภาพหรือบนพื้นผิวภาชนะมีน้ำตาลติดอยู่ ส่วนใหญ่ที่มีบทบาทในกระบวนการหมักน้ำสกัดชีวภาพจะอยู่ในกลุ่มรา Zygomycota ได้แก่ ราในสกุล *Mucor* และอื่นๆ (อาณัติ ตันโช, 2550)

1.2.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำสกัดชีวภาพ

การผลิตน้ำสกัดชีวภาพมีการใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นแหล่งอาหาร (แหล่งคาร์บอนหรือแหล่งพลังงาน) ให้กับจุลินทรีย์ โดยจะก่อให้เกิดกระบวนการคัดสรรและเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชและให้จุลินทรีย์ปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็น (อาณัติ ตันโช, 2548) กากน้ำตาลมีพีเอชอยู่ในช่วง 5.09-5.25 ค่าการนำไฟฟ้า 7.5-13.79 ds/m และมีปริมาณของธาตุอาหาร

อยู่ในช่วงต่างๆ ดังนี้ คือ มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.77-0.99 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.12-0.19 โปแตสเซียมร้อยละ 2.50-4.19 แคลเซียมร้อยละ 1.1-1.4 มีคาร์บอนอินทรีย์ร้อยละ 35 ปริมาณซูโครสร้อยละ 36.60 รีดิวซิงซูการ์ร้อยละ 13 เถ้าซัลเฟตร้อยละ 15 เรซินและแป้งร้อยละ 3.43 แวกซ์ร้อยละ 0.38 และซิลิกาในรูปของ SiO_2 ร้อยละ 0.46 และมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) อยู่ระหว่าง 4.0-45 (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ความลงตัวและคุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน C:N ของวัตถุดิบที่นำมาหมักโดยจะต้องมีอัตราส่วน C:N เท่ากับ 20-40:1 (Neklyudov *et al*, 2008) ถ้ามีอัตราส่วน C:N สูงมากๆ ทำให้มีอัตราการย่อยสลายต่ำ แต่ถ้าอัตราส่วน C:N ต่ำมากๆทำให้อัตราการย่อยสลายสูง โดยจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนจนได้โมเลกุลเล็กลงและนำเข้าสู่เซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ แต่เนื่องจากความไม่สมดุลของคาร์บอนกับไนโตรเจนอาจทำให้เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Tiquia and Tam, 2000; Ruggieri *et al*., 2008) แต่ทั้งนี้น้ำสกัดชีวภาพที่ได้แม้ไม่ได้มีการเติมกากน้ำตาล อินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ แต่การใส่กากน้ำตาลเพื่อเป็นแหล่งพลังงานหรืออาหารของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่า

1.2.2.7 การนำไปใช้ประโยชน์

ประโยชน์ของกลุ่มจุลินทรีย์อีเอ็ม มีหลายด้าน ดังนี้

1) ด้านเกษตรกรรม

- ช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างในดินและน้ำ
- ช่วยแก้ปัญหาแมลงศัตรู และโรคระบาดต่างๆ
- ผสมน้ำและกากน้ำตาลเพื่อรดดินเพื่อช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำ และอากาศผ่านได้ดี
- ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุ เพื่อให้เป็นอาหารแก่พืช พืชสามารถดูดซึมไปเป็นอาหารได้ดี ไม่ต้องใช้พลังงานมาก เหมือนกับการใช้ปุ๋ยเคมี
- ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช ทำให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดี
- ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นในฟาร์มปศุสัตว์
- ช่วยกำจัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ เช่น ปศุสัตว์ บ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม
- ช่วยกำจัดแมลงวัน โดยตัดวงจรชีวิตของแมลงวัน ไม่ให้เข้าดักแด้
- ใช้ผสมน้ำรดพืชผักและต้นไม้ทำให้พืชผักเจริญเติบโตงอกงามได้ผลผลิตมากมีคุณภาพดี

- ใช้ผสมน้ำแช่เมล็ดพันธุ์ ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดดี และช่วยป้องกันโรคอันเกิดจากเมล็ด

2) ด้านการประมง

- ช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้

- ช่วยแก้ปัญหาโรคพยาธิในน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อกุ้ง ปลา กบ หรือสัตว์น้ำที่เลี้ยง

- ช่วยลดปริมาณขี้เลนในบ่อ และทำให้เลนไม่เน่าเหม็น สามารถนำไปผสมเป็นปุ๋ยหมักใช้กับพืชต่างๆ ได้

3) ด้านสิ่งแวดล้อม

- ช่วยปรับสภาพเศษอาหารจากครัวเรือน ให้กลายเป็นปุ๋ย

- ช่วยปรับสภาพน้ำเสียจากแหล่งน้ำเสียต่างๆ เช่น อาคาร โรงแรม

- ช่วยดับกลิ่นเหม็นจากกองขยะ (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์ , 2547)

1.2.2.8 การขยายเชื้ออีเอ็ม

ผู้ที่ได้เรียนรู้เรื่องอีเอ็มขยายในช่วงแรก ทำการผสมอัตราส่วนของ อีเอ็ม:กากน้ำตาล:น้ำ เท่ากับ 1:1:100 หมักไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง - 3 วัน ขยายต่อได้ไม่เกิน 5 ครั้ง ต่อมาก็มีการปรับเปลี่ยนเป็น 1:1:50 ขยายต่อเนื่องได้ 3 ครั้ง ปัจจุบันตั้งแต่ ปี 2542 เป็นต้นมา มีการใช้อัตราส่วนในการขยายอีเอ็มเป็น 1:1:20 โดยไม่มีการขยายต่อซึ่งเทคนิคการใช้อีเอ็มจะเปลี่ยนตามผลการวิจัยของ EM Research Organization (EMRO) ผลการวิจัยบ่งบอกว่าอัตราส่วน 1:1:20 ให้ผลดีที่สุดหรือมีประสิทธิภาพสูงสุด หากขยายต่ออีกจะทำให้จุลินทรีย์บางกลุ่มหายไปโดยเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่มีความสำคัญที่สุดด้วยเทคโนโลยีอีเอ็มจำเป็นต้องปรับเทคนิควิธีที่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการขยายอีเอ็มในปัจจุบันนี้ คือจะใช้ส่วนผสมของอีเอ็ม:กากน้ำตาล:น้ำ เท่ากับ 1:1:20 และหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน เนื่องจากมวลจุลินทรีย์จะมีความหนาแน่นมากที่สุดในเวลา 7 วัน จากนั้นก็จะมีจำนวนลดลง ดังนั้นจึงมีคำแนะนำให้ใช้ระยะเวลาในการหมัก 7 วันและต้องใช้ให้หมดภายใน 7 วัน (บริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด, 2549)

1.2.2.9 การเก็บรักษาอีเอ็ม

จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นสิ่งมีชีวิต จึงมีข้อพึงระวังในการใช้และเก็บรักษา เพื่อให้ผลการใช้เต็มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ มีวิธีการเก็บรักษาดังนี้ คือ

1) สามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 1 ปี หรืออย่างน้อย 6 เดือน ในกรณีที่ยังไม่เปิดฝาทั้งสองชั้นของภาชนะที่ใช้บรรจุ เก็บในอุณหภูมิปกติไม่เกิน 45-50 องศาเซลเซียส อย่าเก็บไว้ในตู้เย็น

2) ทุกครั้งที่แบ่งใช้ต้องรีบปิดฝาให้สนิท

3) การนำจุลินทรีย์อีเอ็มไปขยายต่อ ควรใช้ภาชนะที่สะอาด

4) การเก็บไว้หลาย ๆ วัน โดยไม่มีการเคลื่อนไหว ในภาชนะจะมีฝ้าขาวเหนือผิวน้ำ นั่นคือการทำงานของจุลินทรีย์ที่พักตัว เมื่อเขย่าแล้วทิ้งไว้ชั่วขณะ ฝ้าสีขาวจะสลายตัวกลับไปอยู่ในจุลินทรีย์เหมือนเดิม

5) เมื่อนำไปขยายเชื้อในน้ำและกากน้ำตาล จุลินทรีย์จะมีกลิ่นหอมและเป็นฟองสีขาว ๆ ภายใน 2-3 วัน ถ้าไม่มีฟองดังกล่าวแสดงว่าการหมักขยายเชื้อยังไม่ได้ผล

6) จุลินทรีย์อีเอ็ม เมื่อนำไปขยายเชื้อแล้ว ควรใช้ภายใน 7 วันหลังจากที่หมักได้ที่แล้ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพที่อาจเกิดขึ้นจากความไม่สะอาดของน้ำ ภาชนะ และสิ่งแปลกปลอมจากอากาศ เพราะจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่ต้องการอากาศ

7) ถ้าใช้ไม่หมดภายใน 3 วัน ต้องปิดฝาให้สนิทด้วยพลาสติก เพื่อไม่ให้อากาศเข้า ก่อนใช้ทุกครั้งต้องตรวจดูก่อนว่ายังมีกลิ่นหอมอมเปรี้ยวหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่ายังใช้ได้ (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2547)

1.2.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพหรืออีเอ็ม

การบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี แต่วิธีง่ายๆที่มีการนำมาใช้คือ การใช้จุลินทรีย์ เนื่องจากมีการลงทุนน้อยและไม่สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นเวลากว่า 8 ปี ที่มีการนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพหรืออีเอ็ม มาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น ถังเกรอะ (septic tank) บ่อเติมอากาศ (lagoon) ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge system) และอื่น ๆ เป็นต้นซึ่งช่วยในการลดค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand :BOD) ของแข็งแขวนลอย (Suspended solid : SS) โคลิฟอร์มแบคทีเรีย กลิ่น (Benerji, Wood and Farrlly, 2002) โดยได้มีการนำมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียในประเทศญี่ปุ่นจนประสบความสำเร็จและทำให้เป็นที่นิยมในหลายประเทศ โดยสามารถลดค่า BOD และ COD ได้ (Higa and Kanal, 1998)

การนำจุลินทรีย์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้นควรมีปริมาณสารเคมีน้อยหรือเจือจางมาก มักใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์มาก เช่น โรงงานปลากระป๋อง โรงงานปลาป่น โรงงานไก่ โรงงานปลา ฟาร์มสุกรเป็นต้น ซึ่งจะมีปัญหาของเสียมาก การนำอีเอ็มไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียแต่ละแหล่ง มีสูตรการใช้ที่แตกต่างกัน เช่น การนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มรีดนม โดยได้เปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียในบ่อน้ำเสีย (16 x 25 เมตร) ที่เป็นระบบเปิด มีอุณหภูมิระหว่าง 25 – 32 องศาเซลเซียส โดยบ่อได้ถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกไม่มีการบำบัดใดๆ ส่วนที่สองมีการใส่อีเอ็มทุก ๆ สองสัปดาห์เป็นเวลาสามเดือน ด้วยอัตราส่วนอีเอ็มต่อน้ำเท่ากับ 1:100 บ่อที่สาม ปลูกจอกแหน และบ่อที่สี่ ใส่อีเอ็มร่วมกับปลูกจอกแหน การใช้อีเอ็มและจอกแหนอย่างเดียวกับใช้อีเอ็มร่วมกับจอกแหน สามารถลดแอมโมเนียมไนโตรเจน (ammonium nitrogen) ฟอสฟอรัส

ทั้งหมด (Total phosphorus) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solid) และ BOD เมื่อทำการบำบัดแล้วเป็นเวลา 3 เดือน และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มรีดนม (Rashid and West, 2007)

นอกจากการใช้อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มรีดนมแล้วมีการนำอีเอ็มมาใช้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มซึ่งเป็นน้ำเสียจากมูลสุกรด้วยโดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็มกับเชื้อจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่อยู่ในมูลสุกร เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรในระบบแบบกะ (Batch)โดยเชื้อที่นำมาใช้ในการบำบัดมี 3 แบบ คือ ปลูกเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มที่เพาะขยายโดยใช้สูตรในการเพาะขยายหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็ม (เตรียมหัวเชื้อ) คือ ใช้อีเอ็มหัวเชื้อ:กากน้ำตาล:น้ำกลั่น เท่ากับ 1:1:100 บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน แบบที่สอง คือ ปลูกเชื้อธรรมชาติที่ได้จากมูลสุกรและทำการเพาะขยาย และแบบที่สามไม่ใส่เชื้อใด ๆ แต่จะมีเชื้อที่ติดมากับมูลสุกร พบว่าไม่มีความแตกต่างในการบำบัดน้ำเสีย และได้นำมาลดปริมาณสารอาหารในน้ำเสียด้วยอีเอ็ม โดยใช้น้ำเสีย 3 ชนิดเป็นตัวแทนน้ำเสียต่าง ๆ คือ น้ำทิ้งชุมชน น้ำเสียเทียมจากเทศบาลและน้ำเสียเทียมแป้ง ทำการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบการใช้เชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มกับเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ ใช้สูตรการขยายเชื้ออีเอ็ม คือ ผสมหัวเชื้ออีเอ็ม:กากน้ำตาล:น้ำกลั่น เท่ากับ 1:1:100 บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ในระบบแบบกะ (Batch) พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ในอีเอ็มเจริญในน้ำเสียได้ทุกชนิดและลดค่าซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสเฟตได้แต่ไม่ได้ดีกว่าเชื้อผสมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในแหล่งที่มาของน้ำเสียชนิดนั้น ๆ (อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติและคณะ, 2539)

นอกจากนี้มีการศึกษา การบำบัดน้ำเสียในระบบถังเกรอะ (septic tank) ด้วยอีเอ็มในระบบน้ำเสีย ที่แบ่งการทดลองเป็น2 การทดลอง คือ ส่วนแรกคือ Coffs Harbour Waste water Treatment Plant (CHWTP) ส่วนที่สองอยู่ที่ septic tank ในเขตเมือง Armidau-Dumaresq ซึ่งจุดประสงค์หลักเพื่อลดปริมาณของกากตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) โดยได้มีการกระตุ้นเชื้อก่อนนำไปใช้ด้วยการนำมาหมักด้วยน้ำ:น้ำตาล : อีเอ็ม ด้วยอัตราส่วน 7 ลิตร:1.5 กก.:3 ลิตร เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเล็กน้อยแล้วนำอีเอ็ม 6 ลิตรไปเติมในตอนเริ่มต้นและเติมอีก 3 ลิตร หลังจาก 1 สัปดาห์และเติม อีก 350 มิลลิลิตร สัปดาห์ละครั้งเป็นเวลา 3 สัปดาห์ รวม 10 ลิตรกว่า เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการบำบัดพบว่ามีการลดลงของค่าพีเอชพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณอีเอ็ม ช่วยเพิ่มการตกตะกอนของกากตะกอน (sewage sludge) และยังพบว่า BOD เพิ่มขึ้น ระดับของแข็งในถังบำบัดลดลงสูงกว่าเมื่อเทียบกับถังควบคุมอย่างไรก็ตามไม่มีการลดลงของของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (Szymmanski and Patterson, 2003)

การบำบัดน้ำเสียในสระน้ำมรกต สถาบันราชภัฏนครปฐม ก็เช่นกันมีการใช้อีเอ็มเพื่อการบำบัดน้ำเสียโดยทดลองใช้อีเอ็มบำบัดน้ำเสียในช่วงเวลา 8.00 น. และ 15.00 น. เป็นเวลา

5 วัน ติดต่อกัน อัตราส่วนของอีเอ็มขยายที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียในสระน้ำมรกต คือ อัตราส่วน 1:1:20 โดยก่อนการบำบัดด้วยอีเอ็ม อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 28.6 องศาเซลเซียส พีเอชมีค่าเท่ากับ 8.13 ค่าดีโอมีค่าเท่ากับ 3.31 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดีมีค่าเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีโอดีมีค่าเท่ากับ 140 มิลลิกรัม/ลิตร และความขุ่นมีค่าเท่ากับ 49.42 NTU แต่หลังการบำบัดด้วยอีเอ็มแล้ว พบว่าอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส พีเอชมีค่าเท่ากับ 7.89 ค่าดีโอมีค่าเท่ากับ 9.79 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดีมีค่าเท่ากับ 4.47 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซีโอดีมีค่าเท่ากับ 111 มิลลิกรัม/ลิตร และความขุ่นมีค่าเท่ากับ 27.54 NTU ซึ่งอีเอ็มมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าดีโอร้อยละ 66.19 และลดค่าบีโอดี ซีโอดีและความขุ่นได้ร้อยละ 31.86 ,20.71 และ 44.27 ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิและพีเอช พบว่าอีเอ็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอีเอ็มสามารถเพิ่มคุณภาพของน้ำให้ดีขึ้นได้ การศึกษาคุณภาพน้ำในสระมรกต พบว่าคุณภาพของน้ำในสระมรกต จัดได้ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (กัลยา ยิ้มละไม, 2546)

ส่วนสมบัติ อุยตระกูลและคณะ (2532) ได้ทำการศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติบำบัดน้ำเสียและการพัฒนาอนามัยสิ่งแวดล้อมนิคมขนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่าการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการเติมอากาศในสัดส่วนของจุลินทรีย์ 1:1000 และ1:5000 สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 97.89 และ 97.17 ตามลำดับ ส่วนตะกอนแขวนลอย (SS) ลดลงร้อยละ 92.23 และ 93.23 ตามลำดับใช้เวลา 19 วัน ค่าบีโอดีและค่าตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม สำหรับการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (ไม่เติมอากาศ) ที่สัดส่วนของจุลินทรีย์ธรรมชาติเป็น 1:1000 และ 1:5000 สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 95.08 และ 96.84 ส่วนตะกอนแขวนลอยลดลงได้ร้อยละ 86.73 และ 86.08 ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลา 21 วัน และการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติสามารถลดกลิ่นเหม็นได้

Gede (2004) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของอีเอ็มต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมลูกอม 2 แห่งในจาร์กาตาร์ ได้ใช้อีเอ็มความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลิตร บำบัดน้ำทิ้งที่สภาวะการปรับพีเอชเท่ากับ 4 และ 7.44 หลังจาก 11 วัน พบว่าค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 31, 80 และ 76 ของชุดควบคุม ชุดไม่ปรับพีเอชและชุดที่ปรับพีเอชตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของอีเอ็มในถังเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อีเอ็ม 50 มิลลิลิตรในน้ำเสียที่เติมอากาศ ขนาด 84 ลบ.ม.หรืออีเอ็ม 0.57 มิลลิลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลิตร ใส่อีเอ็มทุก 10 วันทำการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย ซีโอดี บีโอดี และพีเอชทุกวันจนครบ 40 วัน พบว่าอีเอ็มมีแนวโน้มลดค่าของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และ บีโอดี ได้แต่ไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำเสีย

ปรียานุช แสนโคตร และศิระประภา ร่มเย็น (2539) ได้ศึกษาการบำบัด Grease ด้วยอีเอ็มในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง ใช้ตัวอย่างจากโรงงงานกุนเชียง โดยการเติมจุลินทรีย์อีเอ็ม ลงในน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่องและน้ำเสียอยู่ในภาชนะปิดในสภาวะกึ่งไร้อากาศ การทดลองช่วงแรกเพื่อหาจำนวนวันที่เหมาะสมในการเติมอีเอ็มโดยเติมอีเอ็มในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาวันเว้นวัน 3 วันต่อครั้ง และ 5 วันต่อครั้ง เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าการเติมอีเอ็มที่ระยะเวลา 3 วันต่อครั้ง มีประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 60

นิพล กุลฑล (2549) ศึกษาการใช้อีเอ็มเพื่อบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์บริเวณหลังที่ทำการไปรษณีย์ ในช่วงเดือนมกราคม 2542 ถึงเดือนเมษายน 2548 ซึ่งน้ำเสียมีแหล่งที่มาจากหอพักนักศึกษา โรงอาหาร ธนาคารไทยพาณิชย์ เป็นต้น โดยเติมอีเอ็มในบ่อบำบัดสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ผลจากการศึกษาพบว่า น้ำเสียมีค่าบีโอดีลดลงจาก 41.22 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 9.57 มิลลิกรัม/ลิตรหรือมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 76.77 ขณะที่ของแข็งแขวนลอยลดลงเช่นกันจาก 72.65 เป็น 23.92 มิลลิกรัม/ลิตรหรือลดลงเท่ากับร้อยละ 67.07 ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยผ่านระดับมาตรฐานที่กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งทดแทนการใช้กากน้ำตาลเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งโดยใช้น้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง

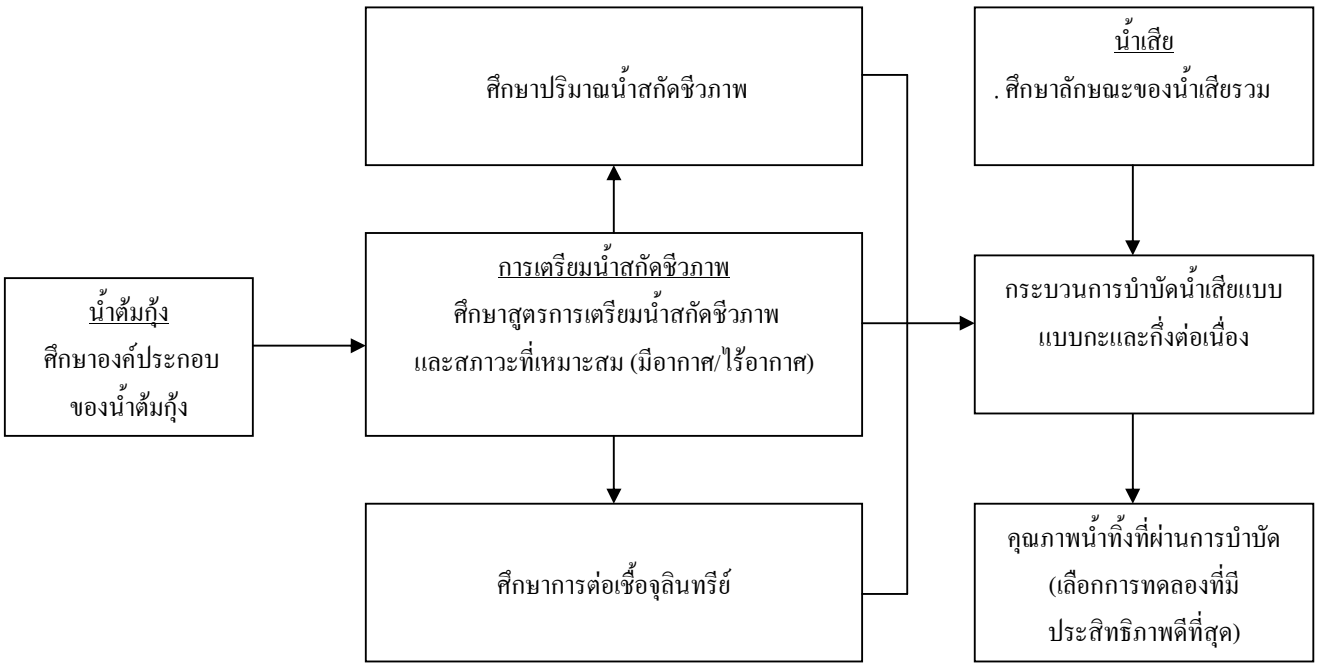
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการลดของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง
2. ได้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
3. สามารถใช้น้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือมากกว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากน้ำตาล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาแนวทางในการนำวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็งที่เป็นของเหลว คือ น้ำต้มกุ้ง มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพและนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะทำการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพของน้ำต้มกุ้งในการเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ในการผลิตน้ำสกัดชีวภาพทดแทนกากน้ำตาล โดยศึกษาองค์ประกอบของน้ำต้มกุ้งและลักษณะของน้ำเสียและทำการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพโดยศึกษาสูตรการเตรียมและสภาวะที่ใช้ในการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพ (มีอากาศ/ไร้อากาศ) ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบเติมอากาศ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมและผลของการบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่องต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และศึกษาผลของการต่อเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมได้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

กรอบแนวคิด



บทที่ 2
วิธีการวิจัย

2.1. วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 วัสดุ

1. น้ำต้มกุ้ง

งานวิจัยนี้ใช้น้ำต้มกุ้งจากบริษัท หลีเฮง ซีฟูดส์ จำกัด 91 หมู่ที่ 2 ต.จะโหนง อ.จะนะ จ.สงขลา ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง นำเก็บที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

2. น้ำเสียรวม

งานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียรวมจากบริษัท หลีเฮงซีฟูดส์ จำกัด 91 หมู่ที่ 2 ต.จะโหนง อ.จะนะ จ.สงขลา ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง นำเก็บที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

3. จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (อีเอ็ม)

ยี่ห้อ Ex-M (Extra-Microorganism) ของบริษัทจุลินทรีย์เอ็กซ์ตรา จำกัด

4. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก)

5. อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ Potato Drextrose Agar (PDA) ที่มีการเติม Gentamicin 0.05 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย สำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม yeast ส่วน Nutrient Agar (NA) สำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobe และ Deman Rogosa and Sharpe Agar (MRS AGAR) สำหรับจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดแลกติก (การตรวจวิเคราะห์ระบุในภาคผนวก)

2.1.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีและจุลชีววิทยาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ได้แก่

- ถังเก็บน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียขนาด 30 ลิตร

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

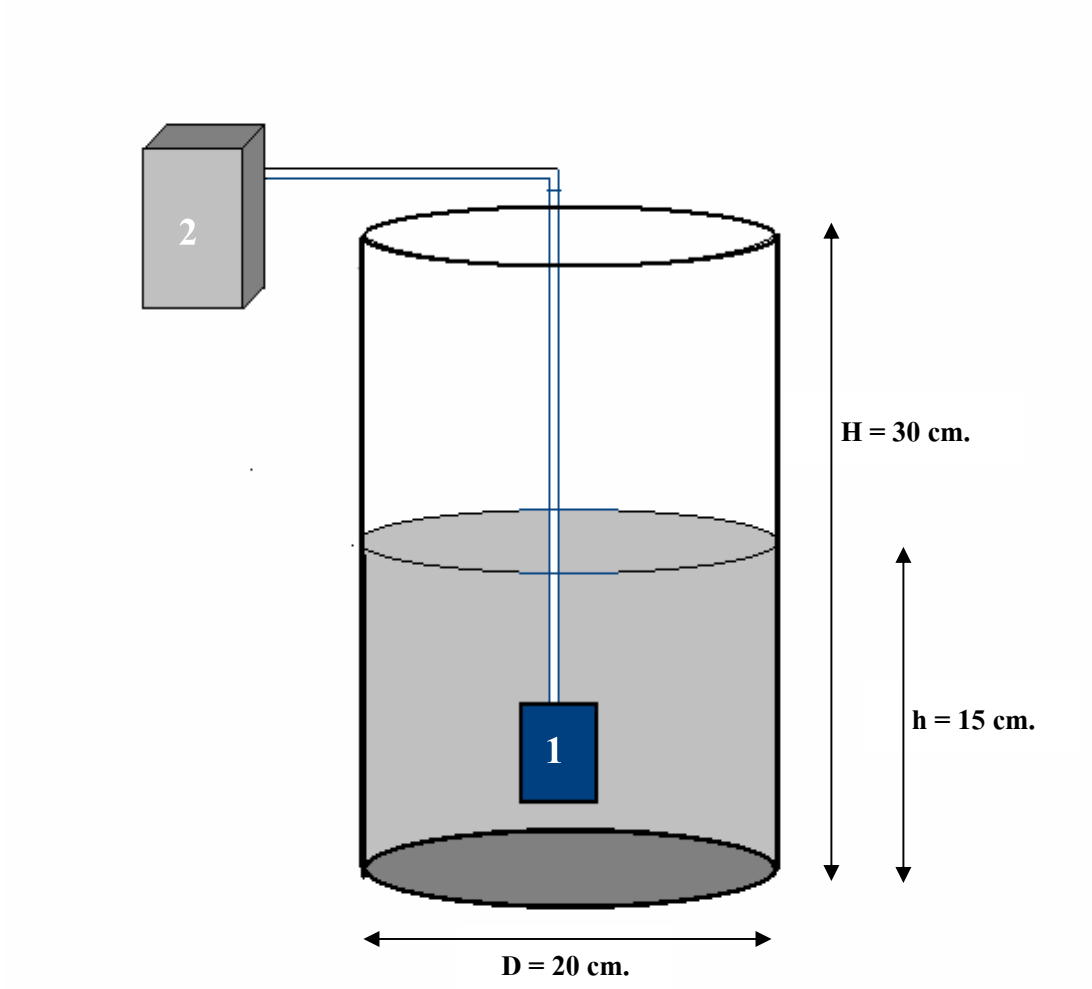
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ผลิตภัณฑ์ VELP รุ่น ZX3
- เครื่องวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (Spectroquant) รุ่น NOVA 60

- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Presica รุ่น BJ 100 C
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น 7 Easy
- ตู้อบความร้อนแห้ง (Hot air oven) ผลิตภัณฑ์ Contherm รุ่น 240M
- เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (Magnetic stirrer) และเตาไฟฟ้า (Hot plate) ผลิตภัณฑ์ MTOPS รุ่น MS 300
- เครื่องปั๊มดูดสุญญากาศ (Vacuum pump) ผลิตภัณฑ์ EYELA รุ่น A-3S
- ตู้ดูดความชื้น (Descicator) ผลิตภัณฑ์ Schott
- ตู้บ่มบีโอดี (BOD incubator) ผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ
- เตาย่อยสลายตัวอย่างสำหรับซีโอดีแบบปิด (Heating blocks) ผลิตภัณฑ์ Merck รุ่น TR 205
- ชุดกลั่นแอมโมเนีย (Ammonia Distillation Apparatus) ผลิตภัณฑ์ Gerhardt รุ่น EV 16
- Autoclave ผลิตภัณฑ์ Tomy รุ่น ES-315,S3 320
- Incubator ผลิตภัณฑ์ MMM medcender
- กล้องจุลทรรศน์ ผลิตภัณฑ์ Olympus
- กระดาษกรอง GF/C (Whatman) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร
- เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์พื้นฐาน

3. อุปกรณ์สำหรับใช้ในการสร้างถังหมักและถังบำบัดน้ำเสีย

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- ถังบำบัดเป็นภาชนะพลาสติกทรงกระบอก ปริมาตรถังขนาด 10 ลิตร ความสูง 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความสูงของระดับน้ำส่วนปฏิบัติการ 15 เซนติเมตร ภาพประกอบ 2
- ถังหมักเป็นภาชนะพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร มีฝาปิด
- เครื่องเติมอากาศ ใช้เครื่องเติมอากาศขนาด 2 หัวจ่าย ต่อเข้ากับหัวฟู่ 2 หัว โดยใช้หัวฟู่ 1 หัวต่อถังบำบัด 1 ใบ และได้ทำการสุ่มวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบ ซึ่งยังอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัม/ลิตร จึงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)
- เส้นท่อพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตร ใช้สำหรับเป็นท่อทางเดินอากาศจากเครื่องเติมอากาศไปยังหัวฟู่



ภาพประกอบ 2 แบบจำลองระบบบำบัดแบบเติมอากาศขนาด 10 ลิตร ในห้องปฏิบัติการ

หมายเหตุ : กำหนด 1 = หัวฟู่ (Air diffuser)

2 = เครื่องเติมอากาศ (Air supply)

H = ความสูงของถังบำบัด

h = ความสูงของระดับน้ำรวม (Working valume)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง

4. วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียรวมที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตาราง 4 ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ตามวิธีการ Standard Method for the Examination of water and Wastewater. 21 th ed (APHA, AWWA and WEF, 2005)

ตาราง 4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทางเคมี

Parameters	Unit	Method
pH	-	pH meter
BOD_5	mg/L	5-Day BOD Test
TCOD	mg/L	Close reflux
SCOD	mg/L	Close reflux
TKN	mg/L	Macro-Kjeldahl Method
TS	mg/L	Gravimetric Method
SS	mg/L	Gravimetric Method

2.2. วิธีการวิจัย

2.2.1 การศึกษาลักษณะของวัตถุดิบและน้ำเสียรวม

การศึกษานี้ใช้กากน้ำตาลและน้ำต้มกุ้งเป็นวัตถุดิบในการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพและน้ำเสียรวมของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งเป็นน้ำเสียตัวอย่าง โดยน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียรวมเก็บจาก บริษัท หลีเฮง ซีฟูดส์ จำกัด 91 หมู่ที่ 2 ต.จะโหนง อ.จะนะ จ.สงขลา และนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ ใช้วิธีตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2005) (แสดงดังภาคผนวก)โดยน้ำต้มกุ้งทำการวิเคราะห์ ค่าพีเอช (pH) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ทีเคเอ็น (Total kjeldahl nitrogen : TKN) ของแข็งทั้งหมด (Total solid :TS) และของแข็งแขวนลอย (Suspended solid :SS) ส่วนน้ำเสียรวมวิเคราะห์ค่า pH ,TCOD, SCOD, BOD, TKN TS และ SS

2.2.2 การศึกษาสูตรน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง

เป็นการศึกษาหาสูตรน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง โดยใช้หัวเชื้ออีเอ็มทางการค้าที่โรงงานกรณีตัวอย่างใช้อยู่

การเตรียมหัวเชื้ออีเอ็มเริ่มต้นโดยใช้อีเอ็ม 3 มิลลิลิตรต่อน้ำสะอาด 60 มิลลิลิตร (เตรียมจากสัดส่วนที่โรงงานกรณีตัวอย่างใช้อยู่ คือ 1 ต่อ 20 ลิตร) ศึกษากลุ่มจุลินทรีย์ในหัวเชื้ออีเอ็มเริ่มต้นและนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในสูตรต่างๆ ดังนี้

สูตร 1 หัวเชื้ออีเอ็ม : กากน้ำตาล : น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร (เป็นชุดควบคุม)
(คิดสัดส่วนจากสูตรเดิมของโรงงาน คือ 1.5:3:200 ลิตร)

สูตร 2 หัวเชื้ออีเอ็ม : น้ำต้มกุ้ง : น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร.
(น้ำต้มกุ้งทดแทนกากน้ำตาล คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 100)

สูตร 3 หัวเชื้ออีเอ็ม : กากน้ำตาล: น้ำต้มกุ้ง : น้ำ เท่ากับ 7.5:11.25:3.75:1000 มิลลิลิตร.
(น้ำต้มกุ้งทดแทนกากน้ำตาล คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 25)

สูตร 4 หัวเชื้ออีเอ็ม : กากน้ำตาล: น้ำต้มกุ้ง : น้ำ เท่ากับ 7.5:7.5:7.5:1000 มิลลิลิตร.
(น้ำต้มกุ้งทดแทนกากน้ำตาล คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 50

สูตร 5 หัวเชื้ออีเอ็ม : กากน้ำตาล: น้ำต้มกุ้ง : น้ำ เท่ากับ 7.5:3.75:11.25:1,000 มิลลิลิตร
(น้ำต้มกุ้งทดแทนกากน้ำตาล คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 75)

เมื่อเตรียมสูตรอาหารครบแล้วนำแต่ละสูตรมาทำการหมักในสภาวะ 2 สภาวะ คือ สภาวะมีอากาศด้วยการให้ออกซิเจนด้วยเครื่องเติมอากาศ และสภาวะไร้อากาศด้วยการปิดฝาภาชนะ (ไม่มีการไล่อากาศออกจากภาชนะ) เป็นระยะเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพก่อนและหลังหมักเพื่อวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา คือ การสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยสังเกตโคโลนี รูปร่าง การย้อมสี และนับจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่ม yeast , facultative anaerobes และกลุ่ม lactic acid bacteria โดยวิธีการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก

การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสูตรน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรที่หมักใน 2 สภาวะโดยการนำน้ำสกัดชีวภาพปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาเติมในน้ำเสียปริมาตร 4,900 มิลลิลิตร(ปริมาตรรวม 5 ลิตร) แล้วทำการบำบัดเป็นระยะเวลา 7 วันในถังเติมอากาศระบบแบบกะ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังบำบัดก่อนบำบัด (วันที่ 0) วันที่ 1, 2 ,3 ,4 ,5, 6 เพื่อวิเคราะห์ pH และ COD และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 7) วิเคราะห์ pH, COD, BOD, TS, SS และ TKN เลือกสูตรและสภาวะการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้เทียบเท่าหรือมากกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากกากน้ำตาล (ชุดควบคุม)ไปใช้ในการทดลองถัดไป

2.2.3 การศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

เป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง โดยนำน้ำสกัดชีวภาพ จากผลการทดลองข้อ 2.2.2 มาทดลองบำบัดน้ำเสียในระบบเติมอากาศแบบกะเป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยอัตราส่วนปริมาณน้ำสกัดชีวภาพ 0, 0.01, 0.05 , 0.1และ 0.2 ลิตรต่อปริมาณน้ำเสีย 5, 4.99, 4.95, 4.9และ4.8 ลิตร ตามลำดับ (ปริมาตรรวม 5 ลิตร) คิดเป็นปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 0, 0.2,1, 2 และ4 ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังบำบัดก่อนบำบัด (วันที่ 0) วันที่ 1, 2 ,3 ,4 ,5, 6 เพื่อวิเคราะห์ pH และ COD และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 7) วิเคราะห์ pH, COD, BOD, TS, SS และTKN เลือกปริมาณน้ำสกัดชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเหมาะสมที่สุดไปใช้ในการทดลองถัดไป

2.2.4 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่อง

เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องซึ่งมีการถ่ายน้ำเสียออก 1.5 ลิตรและเติมน้ำเสียใหม่ 1.5 ลิตร (คิดเป็นปริมาณที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียร้อยละ30 ของปริมาตรทั้งหมด) ทุก 3 วัน และทดลองบำบัดเป็นระยะเวลา 30 วัน ทำการศึกษาโดยเติมน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมได้จากผลการทดลองข้อ 2.2.2 และเติมน้ำสกัดชีวภาพในปริมาณที่ได้จากผลการทดลองข้อ 2.2.3 โดยเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันเปรียบเทียบกับการไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มเติม เก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อวิเคราะห์หาค่า COD ทุก 3 วันวิเคราะห์ TS และ SS ทุกสัปดาห์และวิเคราะห์ BOD และTKN เมื่อสิ้นสุดการทดลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียกับระบบบำบัดแบบกะ

2.2.5 การศึกษาผลของการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

เป็นการศึกษาการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยนำสูตรและสภาวะการเตียมน้ำสกัดชีวภาพจากผลการทดลองข้อ 2.2.2 และปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมจากข้อ 2.2.3 ไปบำบัดน้ำเสียในถังบำบัดแบบเติมอากาศแบบกะ หลังจากนั้นนำน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมในครั้งที่ 1 เป็นหัวเชื้อสำหรับการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพในครั้งที่ 2 โดยใช้สูตรและสภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกับข้อ 2.2.2 สังเกตุลักษณะทางสัณฐานวิทยาและนับจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่ม yeast, facultative anaerobes และกลุ่ม lactic acid bacteria ทุกครั้งหลังการต่อเชื้อ หลังจากนั้นนำน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมในครั้งที่ 2 ไปบำบัดน้ำเสียด้วยปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมจากข้อ 2.2.3 ในถังบำบัดแบบเติมอากาศแบบกะ ทำการต่อเชื้อทั้งหมด 3 ครั้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้น้ำสกัดชีวภาพทั้ง 3 ครั้งในการบำบัดน้ำเสีย โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังจากการบำบัดไปแล้วเป็นระยะเวลา 7 วัน วิเคราะห์หาค่า COD, BOD, TS, SS และ TKN

บทที่ 3
ผลและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนผสมของน้ำต้มกุ้งและศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมได้ โดยเก็บตัวอย่างน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียรวมจากบ่อน้ำเสียรวมโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งยังคงจุลินทรีย์ธรรมชาติไว้ ทำการศึกษาลักษณะของน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียรวม ศึกษาการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพ ศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ศึกษาการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่อง และศึกษาการต่อเชื้อด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ พีเอช ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพ

3.1 ลักษณะวัตถุดิบและน้ำเสียรวม

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะองค์ประกอบของวัตถุดิบในการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพ คือ กากน้ำตาลและน้ำต้มกุ้ง และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง บริษัท หลีเฮง ซีฟูดส์ จำกัด ได้สรุปดังตาราง 5 โดยน้ำต้มกุ้งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการต้มกุ้งในกระบวนการผลิต มีสีน้ำตาลอ่อนและมีความขุ่น มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.56±1.44 ซึ่งค่านี้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจและปรีชา สุวรรณพินิจ, 2547) ปริมาณทีซีโอดีเท่ากับ 1,906±514 มิลลิกรัมต่อลิตรและไนโตรเจนทั้งหมด (ทีเคเอ็น) เท่ากับ 129±8.7 มิลลิกรัมต่อลิตร องค์ประกอบของน้ำต้มกุ้งที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าจากการวิเคราะห์ของศุภารัตน์ รักขพันธ์ (2544) และสุวิทย์ สุวรรณโณ (2535) อ้างถึงในมาริสา จาตุพรพิพัฒน์ (2537) ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากกำลังในการผลิต โดยโรงงานที่มีกำลังการผลิตที่สูงกว่าจะมีค่าขององค์ประกอบในระดับที่สูงกว่าและแม้ว่าในการวิเคราะห์ครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์หาแหล่งแร่ธาตุต่างๆ แต่จากตาราง 2 (ในตรวจเอกสาร) แสดงให้เห็นว่าในน้ำต้มกุ้งนอกจากจะประกอบด้วยสารอาหารที่อยู่ในรูปซีโอดีและไนโตรเจนแล้วยังเป็นแหล่งแร่ธาตุที่จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตได้ ส่วนองค์ประกอบของกากน้ำตาลในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์เพียงค่าปริมาณซีโอดีและทีเคเอ็น ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีมีค่าเท่ากับ 1,223±8 กรัม/ลิตร ทีเคเอ็นเท่ากับ 72±9.9 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณซีโอดีในกากน้ำตาลมีปริมาณสูงมากเมื่อเปรียบ เทียบกับน้ำต้มกุ้ง ในขณะที่ปริมาณทีเคเอ็นในกากน้ำตาลมีค่าต่ำกว่าน้ำต้มกุ้งเพียงเล็กน้อย

ส่วนลักษณะน้ำเสียรวมมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ มีความขุ่นเนื่องจากมีการเจือปนของเศษวัตถุดิบ องค์ประกอบของน้ำเสียมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.30±0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซีโอดี เท่ากับ 2,128±760 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณทีเคเอ็นเท่ากับ107±28 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณบีโอดีเท่ากับ1,251±533 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 3,079±250 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 173.5±27.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการศึกษาของจิตรมณฑ์ สมศรีและคณะ (2542) ที่พบว่าจากการรวบรวมข้อมูลตัวอย่างน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง 50 ตัวอย่าง ได้ผลของบีโอดีอยู่ในช่วง 140-3,410 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดี 590-3,737 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 77-640 มิลลิกรัมต่อลิตรและพีเอช 6.2-8.6 และจากการเปรียบเทียบอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี ได้ประมาณ 0.58 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยวิธีทางจุลชีววิทยา (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม

ตาราง 5 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและน้ำเสีย

องค์ประกอบ	กากน้ำตาล	น้ำต้มกุ้ง	น้ำเสียรวม
pH	5.11±0.2	6.56±1.44	7.3 ±0.57
TCOD (mg/L)	1,223±8	1,906±514	2,128 ±911
SCOD (mg/L)	-	1,191±423	1,556±740
BOD (mg/L)	-	917±343	1,251±533
TKN (mg/L)	72±9.9	129±87	107±28
TS (mg/L)	-	3,504±662	3,079±250
SS(mg/L)	-	619±326	173 ±27

หมายเหตุ :ทุกค่ามีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ยกเว้นค่า TCOD ของกากน้ำตาล มีหน่วยเป็น กรัม/ลิตร

3.2 การศึกษาสูตรน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

3.2.1 การเตรียมน้ำสกัดชีวภาพ

ปัจจุบันมีการผลิตน้ำสกัดชีวภาพเพื่อประโยชน์ด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย โดยมีการนำวัตถุดิบที่มีอยู่ทั่วไปในท้องถิ่นมาใช้ จึงทำให้สูตรน้ำสกัดชีวภาพมีความแตกต่างกันไปและสำหรับโรงงานกรณีตัวอย่างเป็นโรงงานประเภทอาหารทะเลแช่เยือกแข็งที่มีการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง ซึ่งในการผลิตแต่ละครั้งจะเกิดน้ำเสียจากการต้มกุ้ง และถูกปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทำให้ระบบบำบัดรับภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำต้มกุ้งมีปริมาณสารอินทรีย์สูงและมีองค์ประกอบที่เป็นแหล่งอาหารแก่จุลินทรีย์ได้ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์อีเอ็ม เพื่อการผลิตน้ำสกัดชีวภาพทดแทนการใช้กากน้ำตาล และทั้งนี้ทางโรงงานกรณีตัวอย่างมีการใช้น้ำสกัดชีวภาพซึ่งผลิตจากกากน้ำตาลเพื่อการบำบัดน้ำเสียอยู่แล้วด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง ทำการเตรียมหัวเชื้ออีเอ็มเริ่มต้นโดยใช้หัวเชื้ออีเอ็มทางการค้าที่โรงงานกรณีตัวอย่างใช้อยู่ (Extra-Microorganism) ในอัตราส่วนอีเอ็ม 3 มิลลิลิตร ต่อ น้ำสะอาด 60 มิลลิลิตร (เตรียมจากสัดส่วนที่โรงงานกรณีตัวอย่างใช้อยู่ คือ 1:20 ลิตร) และนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในสูตรน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรที่มีกากน้ำตาลและน้ำต้มกุ้งเป็นวัตถุดิบในการเตรียม ได้แก่ สูตร1 ประกอบด้วย อีเอ็มต่อกากน้ำตาลต่อน้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร (เป็นสูตรควบคุมและคิดจากสูตรเดิมของโรงงาน คือ 1.5:3:200 ลิตร) สูตร 2 ประกอบด้วยอีเอ็มต่อน้ำต้มกุ้งต่อน้ำเท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร ส่วนสูตร 3 , 4 และ 5 แทนที่กากน้ำตาลด้วยน้ำต้มกุ้งเท่ากับร้อยละ 25, 50 และ 70 (ของปริมาณอาหารทั้งหมด) ตามลำดับ และเนื่องจากระบบบำบัดเป็นแบบเติมอากาศ จึงทำการหมักน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรแบบไร้อากาศเปรียบเทียบกับแบบมีอากาศเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งผลการศึกษามีดังนี้

3.2.1.1 ลักษณะของน้ำสกัดชีวภาพ

ผลจากการศึกษาลักษณะของน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตร ซึ่งผ่านการหมักแบบไร้อากาศโดยสังเกต สี กลิ่นและพีเอช พบว่าน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาล มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลซึ่งเป็นสีของกากน้ำตาล มีกลิ่นหอมจากการหมัก น้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาลมีสภาวะเป็นกรดโดยมีพีเอชอยู่ในช่วง 4.08-4.39 (ตาราง 6) ซึ่งลักษณะสอดคล้องกับน้ำสกัดชีวภาพที่ได้จากงานวิจัยอื่นๆ คือ มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีกลิ่นหอมและมีสภาวะเป็นกรดเช่นเดียวกัน (ดวงพร คันธโชติและคณะ, 2548) ส่วนสูตร 2 ซึ่งประกอบด้วยน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียวไม่แสดงลักษณะข้างต้นแต่มีลักษณะขุ่น ไม่มีสี มีกลิ่นคาวและกลิ่นของ H_2S เล็กน้อย ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนซีสเตอีน (Cysteine) ซึ่งมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ จากเนื้อกุ้งที่ละลายอยู่ในน้ำต้มกุ้งในสภาวะไร้อากาศ

และมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.69-7.04 และสำหรับลักษณะของน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรซึ่งผ่านการหมักแบบมีอากาศ พบว่าน้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาล มีสีน้ำตาลเข้มกว่าน้ำสกัดชีวภาพซึ่งหมักแบบไร้อากาศและไม่ปรากฏลักษณะต่างๆ เช่น การเกิดแก๊ส มีกลิ่นหอมและมีพีเอชอยู่ในช่วง 5.30-5.50 ส่วนสูตร 2 ประกอบด้วยน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียวมีพีเอชอยู่ในช่วง 7.94-8.02 (ตาราง7) ซึ่งจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสูตรน้ำสกัดชีวภาพที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบมีพีเอชค่อนข้างเป็นกรด ทั้งนี้เนื่องจากกากน้ำตาลมีพีเอชต่ำ (5.11±0.2) ขณะที่น้ำสกัดชีวภาพที่มีน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียวมีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกลาง เนื่องจากจากน้ำต้มกุ้งมีค่าพีเอชปืนกลาง (6.56±1.44) (ตาราง 5) และพบว่าน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรที่หมักแบบไร้อากาศมีความเป็นกรดมากกว่าการหมักแบบมีอากาศ เนื่องจากว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ เกิดกรดแลกติก กรดฟอร์มิก เอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ (อาณัติ ตันโช, 2550)

ตาราง 6 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพเมื่อหมักแบบไร้อากาศเป็นเวลา 3 วัน

สูตรน้ำสกัดชีวภาพ	สี	พีเอช
1	น้ำตาล	4.28-4.34
2	ขุ่นไม่มีสี	6.69-7.04
3	น้ำตาล	4.10-4.14
4	น้ำตาล	4.08-4.10
5	น้ำตาล	4.35-4.39

ตาราง 7 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพเมื่อหมักแบบมีอากาศเป็นเวลา 3 วัน

สูตรน้ำสกัดชีวภาพ	สี	พีเอช
1	น้ำตาล	5.33-5.35
2	ขุ่นไม่มีสี	7.94-8.02
3	น้ำตาล	5.40-5.44
4	น้ำตาล	5.30-5.34
5	น้ำตาล	5.48-5.50

3.2.1.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์อีเอ็มประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่มหลัก 5 กลุ่ม คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย กลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง กลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก กลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนและกลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรดแลกติก ซึ่งในการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์เพียงจุลินทรีย์กลุ่ม yeast, facultative anaerobes และ lactic acid bacteria จากการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ในหัวเชื้ออีเอ็มและในน้ำสกัดชีวภาพด้วยการสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยา (สังเกตด้วยตาเปล่าและจากกล้องจุลทรรศน์) พบว่า จุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรทั้งที่หมักแบบไร้อากาศและมีอากาศมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหมือนกับที่พบในหัวเชื้ออีเอ็ม คือประกอบด้วย yeast ซึ่งมีลักษณะกลม นูน ขอบเรียบและมีสีขาวครีม ส่วนแบคทีเรียกลุ่ม facultative anaerobes ประกอบด้วยแบคทีเรียแกรมบวกรูปแท่ง และแบคทีเรียกลุ่ม lactitc acid bacteria มีลักษณะกลม นูน สีขาวครีม ติดสีแกรมบวกและเป็นรูปแท่ง (ตาราง 8) ซึ่งจากรายงานของสุริยา สาสน์รักกิจ (2544) พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศได้แก่ แบคทีเรีย เช่น *Bacillus circulans, B. firmus, B. subtilis, Staphylococcus* spp,. *Pseudomonas* spp. และยีสต์ สำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนโดยส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลกติกได้แก่ *Lactobacillus* spp.และ *Streptococus* spp. และพบว่าจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย คือจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Bacillus* spp. โดยเฉพาะ *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheni formis, Saccharomyces* spp., *Streptococcus* spp. เป็นต้น (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ อ้างถึงในนัยนา ศรีชัยและคณะ, 2547)

นอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำสกัดชีวภาพสูตรที่มีน้ำต้มกุ้งเป็นส่วนประกอบ (สูตร 2, 3, 4 และ 5) มีกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดอื่นปนเปื้อนอยู่ด้วย โดยส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียกลุ่ม facultative anaerobes ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่ง แกรมบวกรูปแท่ง แกรมลบรูปกลมและแกรมบวกรูปกลม (ตาราง 8) ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากน้ำต้มกุ้ง

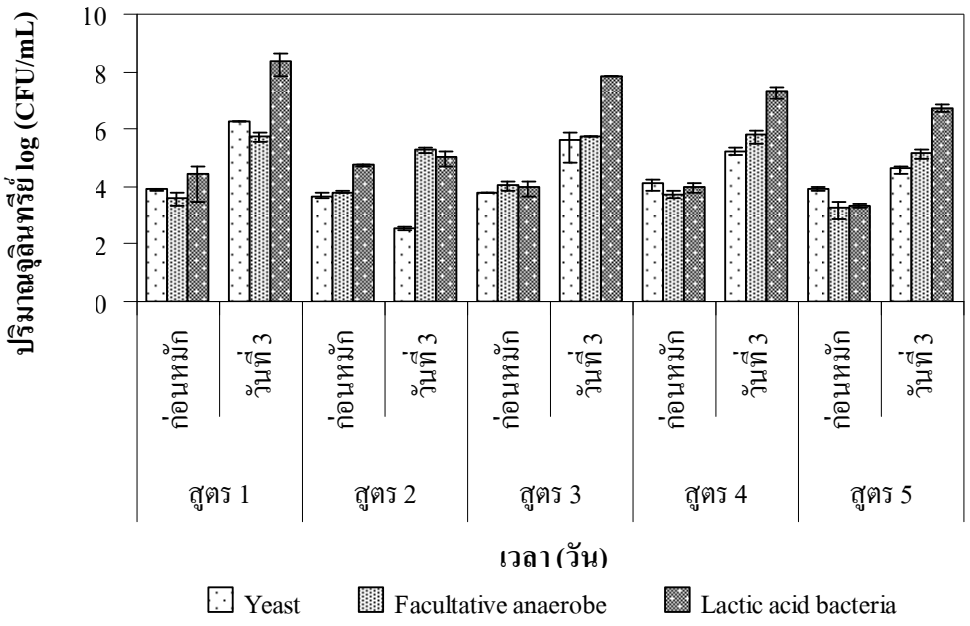
ตาราง 8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในหัวเชื้ออีเอ็มและน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ซึ่งหมักในสภาวะไร้อากาสและมีอากาศ

กลุ่มจุลินทรีย์	ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	สูตรน้ำสกัดชีวภาพ										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yeast	-กลม นูน ขอบเรียบ สีขาวครีม	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Facultative anaerobes	-กลม นูน ขอบเรียบ สีขาวครีม ติดสีแกรมบวก รูปแท่ง	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	-กลม แบน ขอบเรียบ สีขาวครีม มันวาว ติดสีแกรมบวก รูปแท่ง	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	-กลม แบน ขอบเรียบ สีขาวครีม ติดสีแกรมบวก รูปแท่ง	/	/	-	/	/	/	/	/	/	/	/
	-กลม แบน ขอบไม่เรียบ สีขาวครีม ติดสีแกรมบวก รูปแท่ง	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	-กลม นูน ขอบเรียบ สีครีม ติดสีแกรมลบ รูปแท่ง	-	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	-กลม แบน ขอบเรียบ สีเหลืองใส ติดสีแกรมบวก รูปแท่งสั้น	-	-	-	-	-	-	-	/	/	/	/
	-กลม แบน ขอบเรียบ สีครีมใส ติดสีแกรมบวก รูปกลม	-	-	/	/	/	/	-	/	/	/	/
	-กลม นูน ขอบเรียบ สีเหลืองอมส้ม มัน ติดสีแกรมลบ รูปกลม	-	-	-	-	-	-	-	/	/	/	/
	-กลม แบน ขอบเรียบ สีครีมใส ติดสีแกรมลบ รูปกลม	-	-	/	/	/	/	-	/	/	/	/
Lactic Acid Bacteria	-กลม นูน ขอบเรียบ สีขาวขุ่น ติดสีแกรมบวก รูปแท่ง	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

หมายเหตุ:0=หัวเชื้ออีเอ็ม, 1=สูตร 1 หมักแบบไร้อากาศ, 2=สูตร 2 หมักแบบไร้อากาศ, 3=สูตร 3 หมักแบบไร้อากาศ, 4=สูตร 4 หมักแบบไร้อากาศ, 5=สูตร 5 หมักแบบไร้อากาศ, 6=สูตร 1 หมักแบบมีอากาศ,7=สูตร 2 หมักแบบมีอากาศ, 8=สูตร 3 หมักแบบมีอากาศ, 9=สูตร 4 หมักแบบมีอากาศ, 10=สูตร 5 หมักแบบมีอากาศ

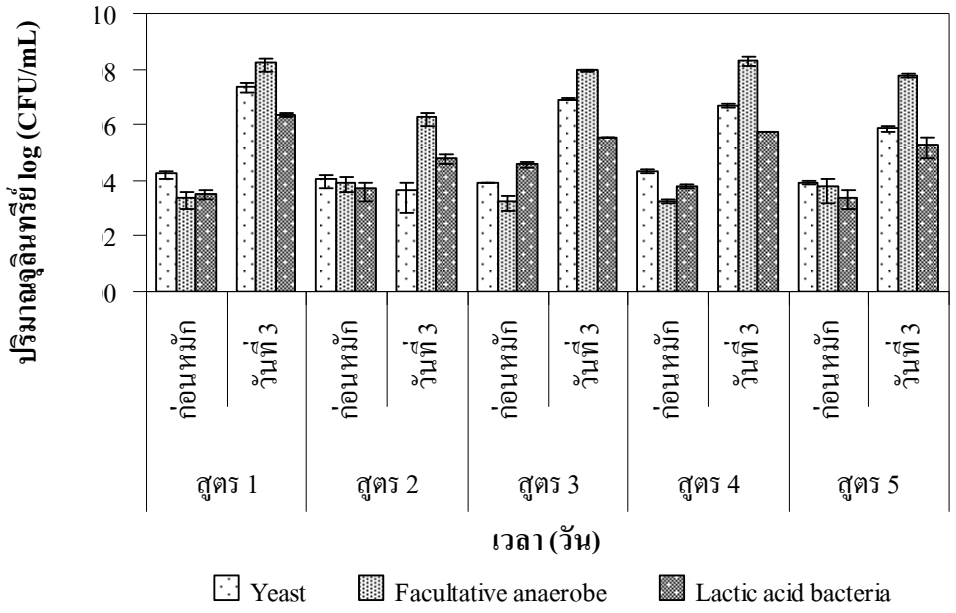
3.2.1.3 ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพ

จากการนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง5 สูตร เมื่อหมักแบบไร้อากาศเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าน้ำสกัดชีวภาพสูตร 1 ประกอบด้วย lactic acid bacteria มากที่สุด รองลงมาคือ yeast และ facultative anaerobes มีปริมาณเท่ากับ $2.47x10^{8}$, $1.34\ x10^{6}$ และ$5.65x10^{5}$ CFU/mL ตามลำดับ น้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ประกอบด้วย facultative anaerobes มากที่สุด รองลงมาคือ lactic acid bacteria และyeast มีปริมาณเท่ากับ $2.01x10^{5}$, $1.11x10^{5}$และ $3.77x10^{2}$ CFU/mL ตามลำดับ น้ำสกัดชีวภาพสูตร 3 ประกอบด้วย lactic acid bacteria มากที่สุด รองลงมาคือ facultative anaerobes และ yeast มีปริมาณเท่ากับ $7.22x10^{7}$, $5.68x10^{5}$ และ$4.2x10^{5}$ CFU/mL ตามลำดับ น้ำสกัดชีวภาพสูตร 4 ประกอบด้วย lactic acid bacteria มากที่สุด รองลงมาคือ facultative anaerobes และ yeast มีปริมาณเท่ากับ $1.95x10^{7}$, $6.18x10^{5}$ และ $1.78x10^{5}$ CFU/mL ตามลำดับ และน้ำสกัดชีวภาพสูตร 5 ประกอบด้วย lactic acid bacteria มากที่สุด รองลงมาคือ facultative anaerobes และ yeast มีปริมาณเท่ากับ $5.68x10^{6}$, $1.46x10^{5}$และ $4.1x10^{4}$ CFU/mL ตามลำดับ (ภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรเมื่อหมักสภาวะไร้อากาศเป็นระยะเวลา 3 วัน

สำหรับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรเมื่อหมักแบบมีอากาศ เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าน้ำสกัดชีวภาพสูตร 1 ประกอบด้วย facultative anaerobes มากที่สุด รองลงมาคือ yeast และlactic acid bacteria มีปริมาณเท่ากับ $1.63x10^{8}$, $2.19x10^{7}$ และ $2.23x10^{6}$ CFU/mL ตามลำดับ น้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ประกอบด้วย facultative anaerobes มากที่สุด รองลงมาคือ lactic acid bacteria และyeast มีปริมาณเท่ากับ $1.84x10^{6}$, $6.08x10^{4}$ และ $4.54x10^{3}$ CFU/mL ตามลำดับ น้ำสกัดชีวภาพสูตร 3 ประกอบด้วย facultative anaerobes มากที่สุดรองลงมาคือ yeast และ lactic acid bacteria มีปริมาณเท่ากับ $9.04x10^{7}$, $8.27x10^{6}$และ$3.50x10^{5}$ CFU/mL ตามลำดับ น้ำสกัดชีวภาพสูตร 4 ประกอบด้วย facultative anaerobes มากที่สุด รองลงมาคือ yeast และ lactic acid bacteria มีปริมาณเท่ากับ $2x10^{8}$, $4.84x10^{6}$และ $5.49x10^{5}$ CFU/mL ตามลำดับและน้ำสกัดชีวภาพสูตร 5 ประกอบด้วย facultative anaerobes มากที่สุดรองลงมาคือ yeast และ lactic acid bacteria มีปริมาณเท่ากับ $6.01x10^{7}$, $7.32x10^{5}$และ$1.99x10^{5}$ CFU/mL ตามลำดับ (ภาพประกอบ 4)



ภาพประกอบ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตรเมื่อหมักในสภาวะมีอากาศ เป็นระยะเวลา 3 วัน

จากการศึกษาการหมักน้ำสกัดชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ พบว่า น้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาล (1, 3, 4 และ 5) ประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม lactic acid bacteria เป็นส่วนใหญ่ จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีรูปร่างเซลล์เป็นแท่งและย้อมติดสีแกรมบวก โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ไร้อากาศและยังสามารถเจริญในสภาพที่มีอากาศได้ด้วย มักพบในแหล่งที่มีน้ำตาลชนิดต่าง ๆเนื่องจากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ (อาณัติ ตันโช, 2551) ดังนั้นจึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีปริมาณมากกว่ากลุ่มอื่นๆ เมื่อหมักในสภาวะไร้อากาศและมีกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์ (2549) พบว่าน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากกากน้ำตาลและหมักแบบไร้อากาศมีจุลินทรีย์กลุ่ม lactic acid bacteria เป็นส่วนใหญ่ด้วย แต่ทั้งนี้ยังพบว่ามีจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes และ yeast สามารถเจริญในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศได้ด้วยเช่นกัน แต่มีปริมาณน้อยกว่าจุลินทรีย์กลุ่ม lactic acid bacteria เนื่องจากไม่มีการไล่อากาศในภาชนะที่ใช้หมัก ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นหมักยังคงมีอากาศอยู่ภายในช่องว่างของภาชนะ ทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes และ yeast สามารถเจริญได้ ส่วนการหมักน้ำสกัดชีวภาพในสภาวะมีอากาศ พบว่าน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes มากที่สุด เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ในสภาวะมีอากาศและสภาวะไร้อากาศและสามารถใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารได้ สำหรับน้ำสกัดชีวภาพที่มีน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียว (สูตร 2) พบว่าจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes มีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ทั้งการหมักในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ แสดงว่าจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำต้มกุ้งเพื่อเป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตได้ดีทั้งในสภาวะไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจน นอกจากนี้ในน้ำต้มกุ้งอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์กลุ่มfacultative anaerobes (ตาราง 8) จึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ซึ่งมีความคุ้นเคยกับน้ำต้มกุ้งเจริญเติบโตได้ดี แต่ทั้งนี้การหมักน้ำสกัดชีวภาพทั้งในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ พบว่าสูตรน้ำสกัดชีวภาพที่มีกากน้ำตาลมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าในสูตรที่มีน้ำต้มกุ้ง เนื่องจากในกากน้ำตาลมีแหล่งคาร์บอนสูงกว่าน้ำต้มกุ้ง ในขณะที่น้ำต้มกุ้งมีทั้งแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน โดยมีแหล่งคาร์บอนน้อยกว่ากากน้ำตาล แต่มีแหล่งไนโตรเจนสูงกว่า (ตาราง 5) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนได้ดีกว่าแหล่งไนโตรเจน เนื่องจากองค์ประกอบของเซลล์เป็นคาร์บอนมากกว่า

จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ของวัตถุดิบในการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพประกอบด้วยกากน้ำตาลและน้ำต้มกุ้ง พบว่าสูตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มีอัตราส่วน C:N เท่ากับ 469:1, 7:1, 250:1, 210:1 และ 134:1 ตามลำดับ โดยอัตราส่วน C:N ที่เหมาะสมต่อการหมักน้ำสกัดชีวภาพมีค่าเท่ากับ 20-40:1 (Neklyudov *et al*, 2008) ทั้งนี้ถ้าอัตราส่วน C:N สูงเกินไปปริมาณไนโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว มีไนโตรเจนไม่เพียงพอในการสร้าง

เซลล์ใหม่และอาจส่งผลให้เกิดการย่อยสลายช้าลง แต่ถ้าอัตราส่วน C:N ต่ำเกินไปทำให้ไนโตรเจนมากเกินความจำเป็น จุลินทรีย์ย่อยสลายก่อให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์มีปริมาณลดลง (ไพเชษฐ์ ธรรมภาณ, 2541) และจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วน C:N ในน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาลมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่เหมาะสม (20-40:1) แสดงว่าในน้ำสกัดชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนสูงแต่มีไนโตรเจนต่ำซึ่งอาจทำให้ไนโตรเจนถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว แต่ทั้งนี้พบว่าจุลินทรีย์ยังสามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากว่าจุลินทรีย์มีการใช้แหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโต และสำหรับสูตร 2 มีอัตราส่วน C:N ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมซึ่งแสดงว่ามีปริมาณไนโตรเจนสูงแต่คาร์บอนต่ำ ในการย่อยสลายจึงก่อให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ที่มีปริมาณน้อยที่สุด

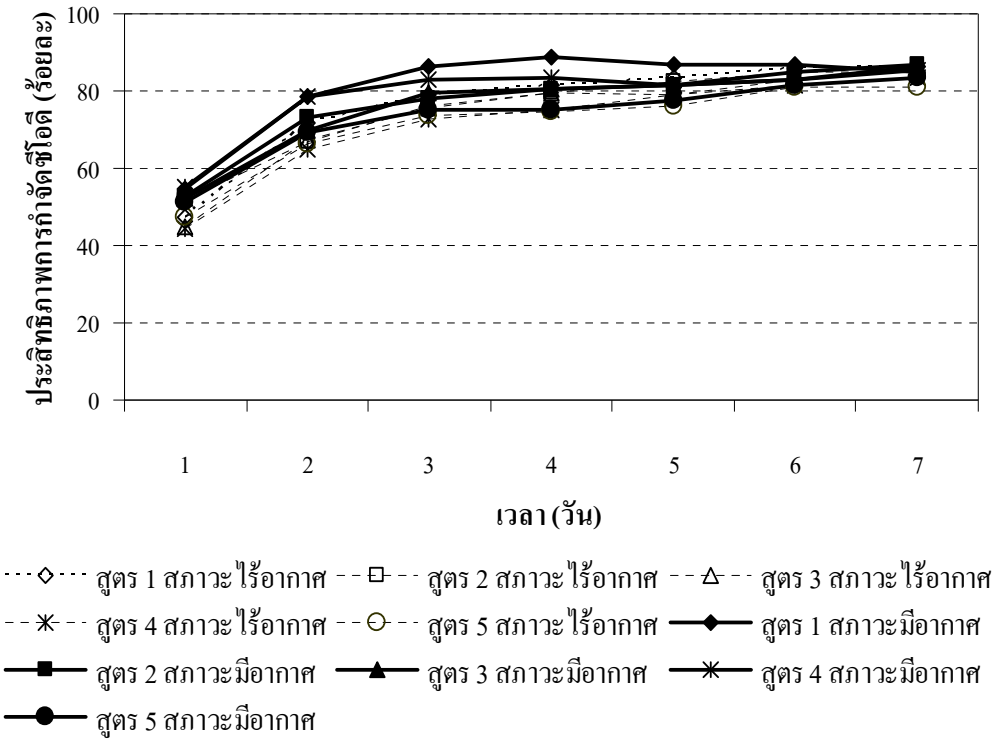
3.2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมได้

การเลือกสูตรและสภาวะการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสภาวะแวดล้อมในการหมักแตกต่างจากสภาวะแวดล้อมของการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง จึงทำการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมได้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้ได้น้ำสกัดชีวภาพที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป ผลการศึกษาแสดงดังนี้

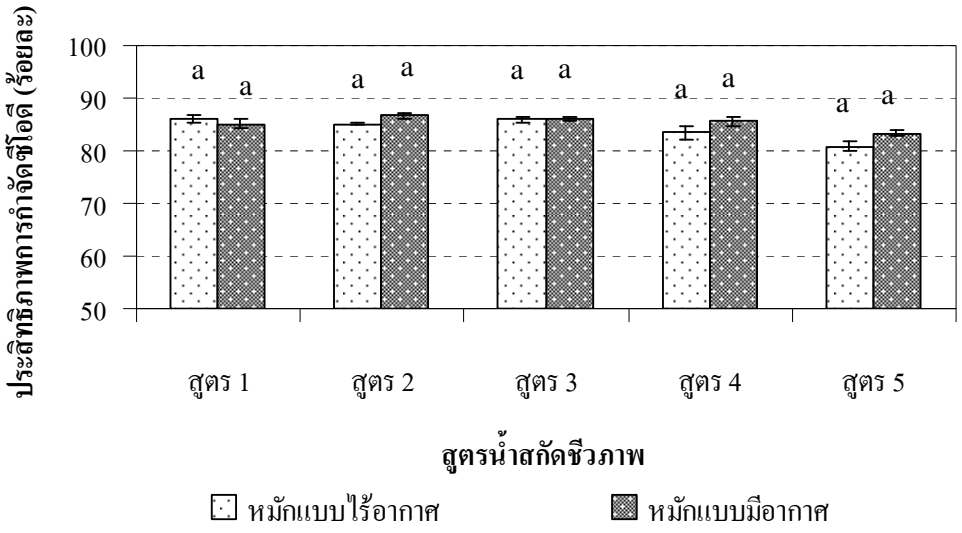
1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีตลอดระยะเวลาการบำบัด 7 วัน พบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรสามารถบำบัดน้ำเสียได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีด้วยน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้นโดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1 วันถึง 2 วันแรกของการบำบัดและจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วง 3 วัน ถึง 4 วัน จนกระทั่งเริ่มคงที่เมื่อการบำบัดดำเนินไปได้ 5 วันถึง 7 วัน (ภาพประกอบ 5) และเมื่อครบระยะเวลา 7 วัน ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบไร้อากาศสูตร 1 , 3, 4, 5 และ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 276, 261, 246, 255 และ 186 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยปริมาณซีโอดีลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,987, 1,861, 1,491 1,335 และ 1,203, มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 86.1±0.7 , 86.0±0.5, 83.5±1.2, 80.9±0.9 และ85.1±0.2 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบมีอากาศสูตร 1, 3, 4, 5 และ 2 เมื่อครบระยะเวลา 7 วัน ปริมาณซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 282, 216, 195, 203 และ 148 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยปริมาณซีโอดีลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,886, 1,560, 1,347, 1,223 และ 1,115, มิลลิกรัมต่อลิตร

ตามลำดับหรือมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 85.1±0.8, 86.2±0.4, 85.6±0.8, 83.4±0.5 และ 86.7±0.5 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 6)



ภาพประกอบ 5 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย เมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพ สูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ ในระบบบำบัดแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน



ภาพประกอบ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการศึกษานี้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียมีการลดลงตามสูตรน้ำสกัดชีวภาพที่มีระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาลลดลงตามลำดับ (สูตร 1, 3, 4, และ5 เท่ากับร้อยละ100, 75, 50 และ 25 ตามลำดับ) และลดลงตามปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตร (สูตร 1, 3, 4, และ5) (ภาพประกอบ 3 และ 4) ยกเว้นสูตร 2 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีด้วยน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่มีกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ (สูตร 1, 3, 4 และ 5) กับสูตรที่มีน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียว (สูตร 2) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (สูตร 1) ($p>0.05$) เช่นกัน

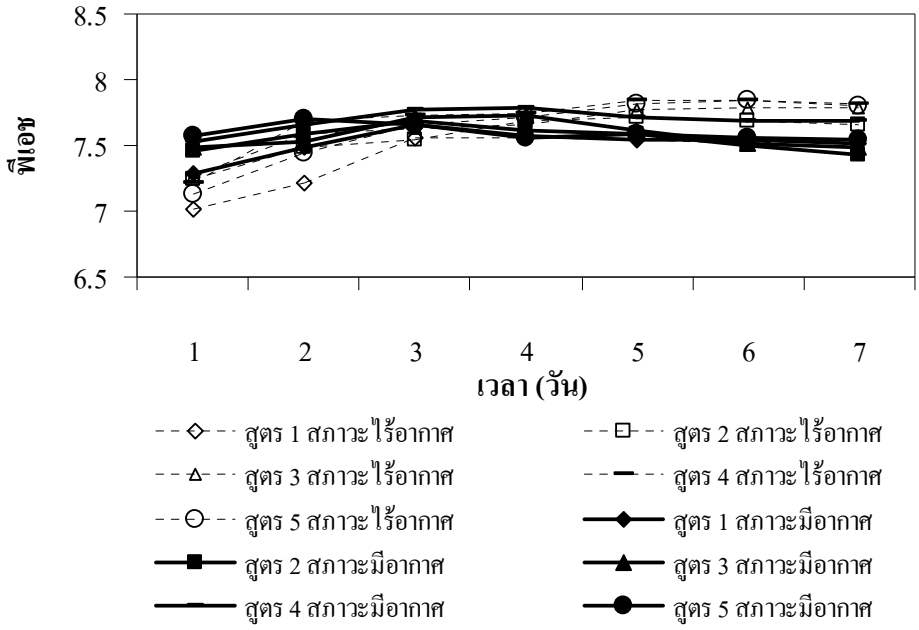
ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมกากน้ำตาลเป็นการเพิ่มภาระสารอินทรีย์ให้กับน้ำเสีย ดังนั้นปริมาณซีโอดีในน้ำเสียเมื่อเริ่มต้นบำบัดจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาลในน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตร โดยน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาลมากจะมีปริมาณซีโอดีสูงและลดลงตามปริมาณกากน้ำตาลที่ลดลง (สูตร 1, 3, 4, และ5) ลักษณะที่เกิดนี้สอดคล้องกับการศึกษาของธนกฤต พรหมทอง (2552) และวีระพล วงษ์ประพันธ์ (2547) ซึ่งพบว่าการเติมน้ำสกัดชีวภาพทำให้ปริมาณซีโอดีเริ่มต้นในน้ำเสียเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของซีโอดีส่งผลให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้าลง และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น (COD:TKN) ในน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพซึ่งผ่านการหมักแบบไร้อากาศ (สูตร 1, 3, 4, 5 และ 2) พบว่ามีค่าเท่ากับ

100:5.9, 100:6, 100:7.8, 100:8.5 และ100:9.2 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพซึ่งผ่านการหมักแบบมีอากาศ (สูตร 1, 3, 4, 5 และ 2) พบว่ามีค่าเท่ากับ 100:5.9, 100:7.3, 100:8.5, 100:8.6 และ 100:9 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าอัตราส่วนที่แนะนำ (100:5) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ปริมาณสารอาหารในน้ำเสียจึงมีมากเกินพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

นอกจากนี้ความสามารถในการย่อยสลายได้ของจุลินทรีย์อีเอ็มแต่ละกลุ่มยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอชด้วย เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยยีสต์ดำรงชีวิตได้ในน้ำเสียที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 3.8-5.6 ส่วนแบคทีเรียส่วนใหญ่ดำรงชีวิตได้ในน้ำเสียที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจและปรีชา สุวรรณพินิจ, 2547) และความสามารถในการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของน้ำเสีย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งเตรียมจากน้ำต้มกุ้งมีค่าพีเอชเป็นกลางและมีค่าใกล้เคียงกับพีเอชของน้ำเสียซึ่งมีค่าเป็นกลางเช่นกันจึงทำให้จุลินทรีย์ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมของน้ำเสียได้ดีกว่า นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียอาจเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียร่วมด้วยซึ่งมีความคุ้นเคยกับลักษณะของน้ำเสีย จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ไม่แตกต่างจากสูตรอื่นๆ (1, 3, 4 และ 5) ถึงแม้จะมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่า (ภาพประกอบ 3 และ 4)

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียแสดงดังภาพประกอบ 7 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยในช่วงแรกของการบำบัด (วันที่ 1-2) ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน อาจเป็นเพราะว่าจุลินทรีย์มีการใช้อาหารในน้ำเสียโดยปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาเพื่อย่อยสลายสารอาหาร หลังจากนั้น (วันที่ 3-7) ค่าพีเอชในน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพซึ่งหมักแบบมีอากาศ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียเริ่มคงที่ด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดผ่านไปมีการสะสมของเสียและสารพิษที่เกิดจากการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ มีผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย และสารพิษที่เกิดขึ้นทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงคงที่ด้วย ในขณะที่ค่าพีเอชในน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพซึ่งหมักแบบไร้อากาศยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ยังมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าในน้ำสกัดชีวภาพซึ่งผ่านการหมักแบบไร้อากาศมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าและเมื่อนำมาบำบัดในระบบเติมอากาศ ทำให้จุลินทรีย์ต้องมีการปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อม การย่อยสลายจึงเกิดขึ้นอย่างช้าๆ กว่าการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่ผ่านการ

หมักแบบมีอากาศ การสะสมของสารพิษที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในระบบยังมีน้อย จุลินทรีย์จึงยังเจริญเติบโตได้และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ



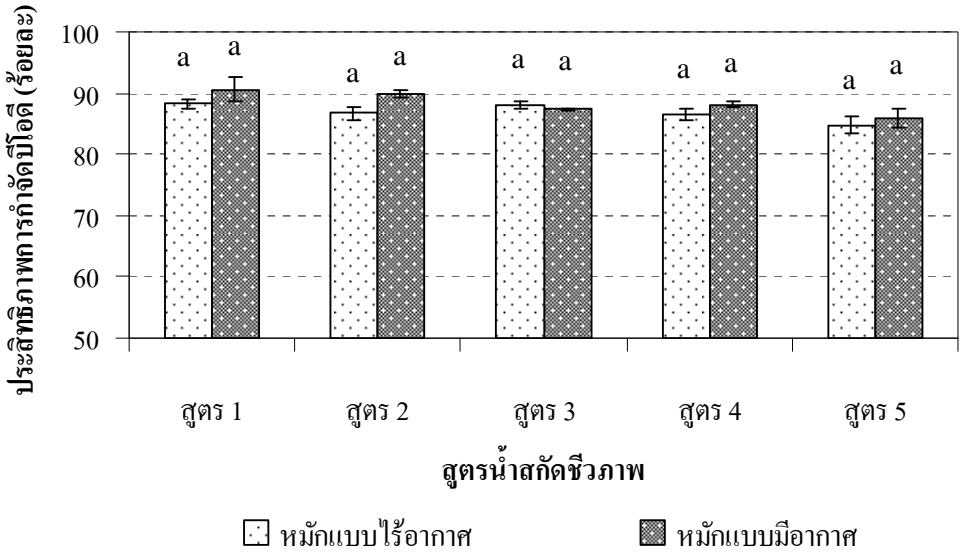
ภาพประกอบ 7 การเปลี่ยนแปลงพีเอช เมื่อบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นเวลา 7 วัน โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆที่ผ่านการหมักทั้งในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ

2) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

จากการวิเคราะห์ปริมาณบีโอดีในน้ำเสียซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตร (1, 2, 3, 4 และ 5) ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 115, 73.6, 109.1, 96.4 และ 94.2 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 973, 555, 908, 709 และ 618 มิลลิตร/ลิตรหรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 88.2±0.8, 86.7±1.1 ,88.0±0.5, 86.4±0.9 และ 84.8 ±1.3 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพซึ่งหมักแบบมีอากาศมีปริมาณบีโอดีคงเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 78.2, 49.6, 99.3, 72.0 และ 77.4 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 834, 493, 784, 609 และ 546 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 90±2.0, 89.9±0.7, 87.3±0.2, 88.2±0.4 และ 85.8±1.5 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 8)

จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีด้วยน้ำสกัดชีวภาพซึ่งมีส่วนประกอบของกากน้ำตาลและเตรียมในสภาวะเดียวกัน มีการลดลงตามระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่เติมในแต่ละสูตรและปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรด้วย ยกเว้นสูตร 2 และ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีด้วยน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรกับสูตรควบคุม (สูตร 1) พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณบีโอดีเริ่มต้นในน้ำเสียจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเติมน้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาล ซึ่งการเติมกากน้ำตาลจะเป็นการเพิ่มภาระในการบำบัดให้กับจุลินทรีย์ทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดช้า ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพซึ่งหมักในสภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ($p>0.05$) เช่นกัน โดยสูตรที่หมักแบบมีอากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบไร้อากาศ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพที่ผ่านการหมักแบบมีอากาศประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes ซึ่งสามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถปรับตัวต่อกับสภาพแวดล้อมของน้ำเสียได้เร็ว เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการเติมอากาศ ส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบไร้อากาศประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes เช่นกัน แม้จะมีปริมาณน้อยกว่าแต่ด้วยระยะเวลาการบำบัด 7 วัน ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีเวลาในการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดีเช่นกัน

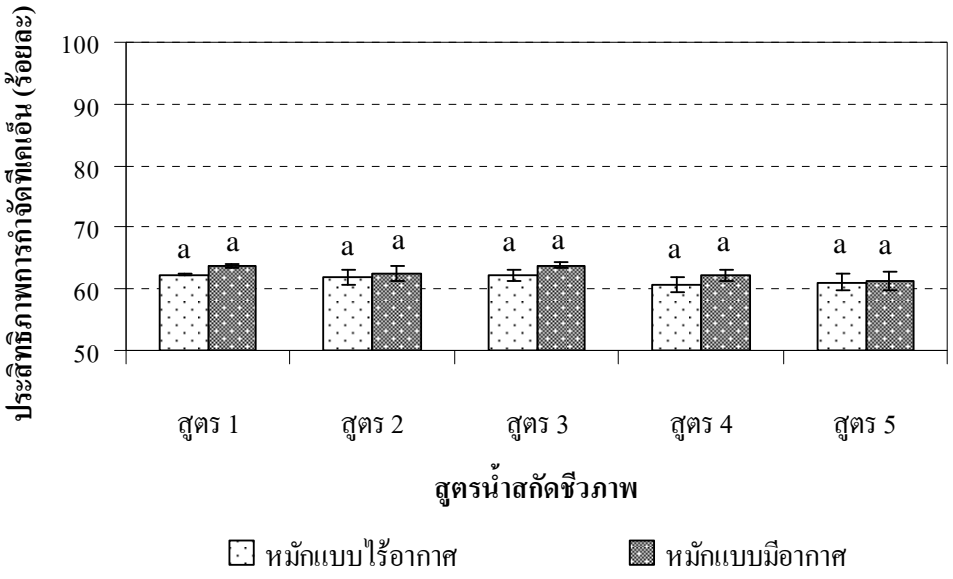


ภาพประกอบ 8 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

3) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

จากการวิเคราะห์ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตร ที่หมักแบบไร้อากาศ พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณทีเคเอ็นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44, 42, 42.1, 45.9 และ 43.9 มิลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116.8, 110.3, 111.6, 116.8 และ 112.9 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 62.3 ±0.2, 61.9±1.3, 62.2±0.8, 60.3±0.1 และ 59.7±1.0 ตามลำดับ ส่วนปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียหลังบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่ผ่านการหมักแบบมีอากาศ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.5, 37.5, 41.3, 43.0 และ 40.7 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 111.6, 99.8, 114.2, 114.2 และ 105 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 63.7±0.2, 62.4±1.2, 63.9±0.4, 62.8±0.2 และ 61.3±1.6 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 9) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นด้วยน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่หมักในสภาวะเดียวกันและหมักในสภาวะต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

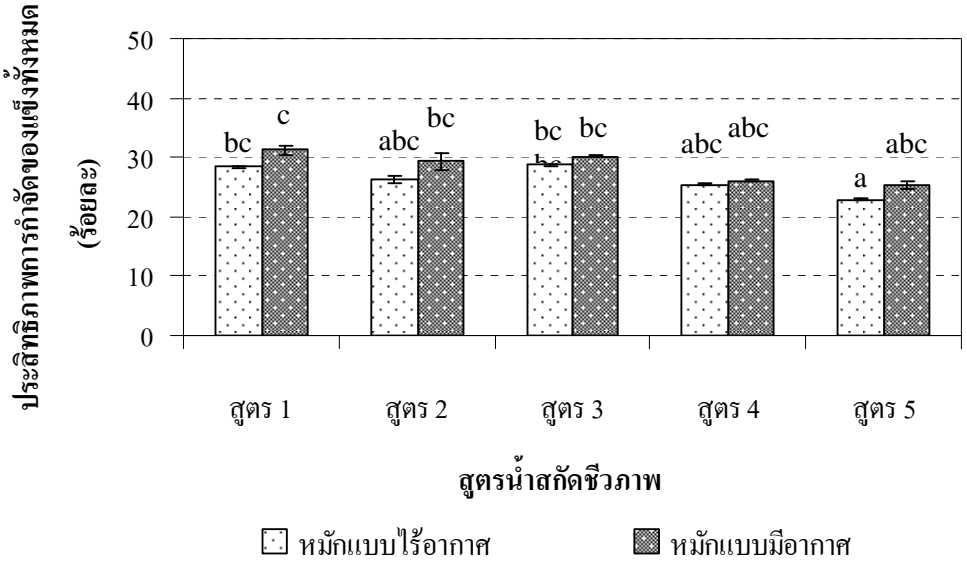


ภาพประกอบ 9 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

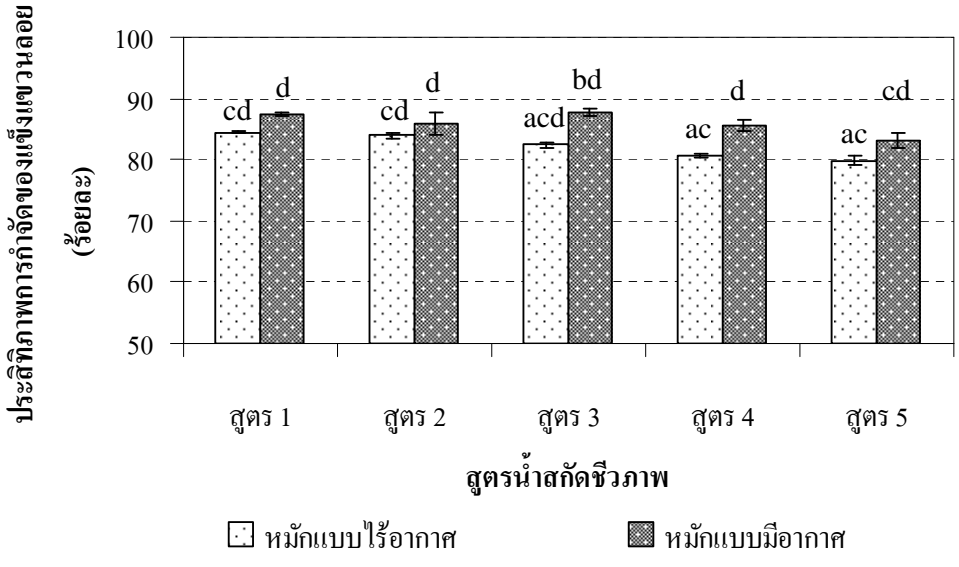
4) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตร ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 2,642, 2,297, 2,430, 2486 และ 2,498 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,690, 3,115, 3,408, 3,330 และ 3,237 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพร้อยละ 28.4±0.1, 26.2±0.7, 28.7±0.1, 25.3±0.2 และ 22.8±0.1 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบมีอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,310, 1,789, 2,163, 2,099 และ 2,063 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,356, 2,531, 3,097, 2,837 และ 2,760 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 31.2±0.8, 29.3±1.4, 30.2±0.3, 26.0±0.1 และ 25.3±0.6 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 10) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่มีส่วนประกอบของกากน้ำตาลและเตรียมในสภาวะเดียวกันจะลดลงตามลำดับและมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (สูตร 1) ($p>0.05$) ยกเว้นสูตร 5 และหมักแบบไร้อากาศซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำสุด คือเท่ากับร้อยละ 22.8±0.1 ส่วนสูตรที่มีน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียว (สูตร 2) มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (สูตร 1) เช่นกัน อาจเนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ เมื่อเริ่มต้นบำบัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากสูตรอื่นๆ ตามสัดส่วนของกากน้ำตาลที่เติมในแต่ละสูตร อย่างไรก็ตามน้ำสกัดชีวภาพที่มีกากน้ำตาลมาก มีปริมาณจุลินทรีย์มากตามสัดส่วนของกากน้ำตาลที่เติมลงไปด้วย จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งทั้งหมดในแต่ละสูตรจึงมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่หมักในสภาวะต่างกันคือแบบไร้อากาศกับมีอากาศ พบว่าการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบมีอากาศมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งทั้งหมดได้สูงกว่าเพียงเล็กน้อย ($p>0.05$) เนื่องจากว่าจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพซึ่งหมักแบบมีอากาศมีการปรับตัวต่อสภาวะมีอากาศได้ดีจึงทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบไร้อากาศ ส่วนสูตร 2 ซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียว มีจุลินทรีย์ที่สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับน้ำเสียได้ดี และในน้ำเสียไม่มีกากน้ำตาลซึ่งมีผลต่อการเพิ่มภาระการบำบัดให้กับจุลินทรีย์



ภาพประกอบ 10 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพประกอบ 11 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตรต่างๆ ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

5) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 5 สูตร ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.7, 30.8, 38.6, 40.0 และ 39.2 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 237, 193, 219, 208 และ194 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 84.5±0.8, 84.0±0.5, 82.4±0.4, 80.7±0.3 และ79.8±0.7 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบมีอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.3, 15.0, 17.5, 19.2 และ 22.5 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 145, 106, 142, 133 และ 134 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 87.4±0.4, 85.8±1.8, 87.7±0.6, 85.6±1.0 และ 83.2±1.2 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 11) ประสิทธิภาพมีแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกับการกำจัดของแข็งทั้งหมด โดยมีการลดลงตามระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่เติมในน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรและมีประสิทธิภาพไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากสูตรควบคุม (สูตร 1)

จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งของน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่เตรียมในสภาวะเดียวกัน พบว่าสูตร 2 (อีเอ็ม:น้ำต้มกุ้ง:น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร) มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ไนโตรเจน ของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้ดีไม่แตกต่างจากน้ำสกัดชีวภาพจากสูตรอื่นๆ และสูตรควบคุม (สูตร 1) ($p>0.05$) (ตาราง 9) และพบว่าน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดได้ดีไม่แตกต่างกับการหมักแบบมีอากาศด้วย ($p>0.05$) (ตาราง 9) เนื่องจากจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถปรับตัวให้เหมาะสมต่อสภาวะของน้ำต้มกุ้ง

ดังนั้นจึงเลือกสูตร 2 ซึ่งใช้น้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียวและทำการหมักแบบไร้อากาศไปใช้ในการศึกษาต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากว่าน้ำสกัดชีวภาพที่หมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศต่างประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes ด้วยเช่นกัน ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจน จึงเหมาะสมกับสภาวะการบำบัดแบบเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย และจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพสูตรนี้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหมือนกับที่พบในหัวเชื้ออีเอ็ม นอกจากนี้ยังมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในน้ำต้มกุ้งด้วย ซึ่งจุลินทรีย์มีความคุ้นเคยกับลักษณะของน้ำต้มกุ้งอยู่แล้วด้วย และการเลือกสูตร 2 เป็นการนำวัตถุดิบที่มีอยู่ซึ่งไม่มีการใช้ประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดปริมาณการใช้กากน้ำตาลซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนการหมักแบบไร้อากาศทำให้ไม่เป็นการไม่สิ้นเปลืองพลังงาน

ตาราง 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่เตรียมจากการหมักแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศ

สูตรและสภาวะ	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (ร้อยละ)				
	COD	BOD	TKN	TS	SS
สูตร 1 ไร้อากาศ	86.1±0.7^{a}	88.2±0.8^{a}	62.3±0.2^{a}	28.4±0.1^{bc}	84.5±0.2^{de}
สูตร 2 ไร้อากาศ	85.1±0.2^{a}	86.7±1.1^{a}	61.9±1.3^{a}	26.2±0.7^{abc}	84.0±0.5^{de}
สูตร 3 ไร้อากาศ	86.0±0.5^{a}	88.0±0.5^{a}	62.2±0.8^{a}	28.7±0.1^{bc}	82.4±0.4^{ad}
สูตร 4 ไร้อากาศ	83.5±1.2^{a}	86.4±0.9^{a}	60.7±1.2^{a}	25.3±0.2^{abc}	80.7±0.4^{ad}
สูตร 5 ไร้อากาศ	80.9±0.9^{a}	84.8±1.3^{a}	61.1±1.5^{a}	22.8±0.1^{a}	79.8±2.0^{a}
สูตร 1 มีอากาศ	85.1±0.8^{a}	90.5±2.0^{a}	63.7±0.2^{a}	31.2±0.8^{c}	87.4±0.4^{be}
สูตร 2 มีอากาศ	86.7±0.5^{a}	89.9±0.7^{a}	62.4±1.2^{a}	29.3±1.4^{bc}	85.8±1.8^{e}
สูตร 3 มีอากาศ	86.2±0.5^{a}	87.3±0.2^{a}	63.9±0.4^{a}	30.2±0.3^{bc}	87.7±0.6^{ce}
สูตร 4 มีอากาศ	85.6±0.8^{a}	88.2±0.4^{a}	62.3±0.9^{a}	26.0±0.1^{abc}	85.6±1.0^{e}
สูตร 5 มีอากาศ	83.4±0.4^{a}	85.8±1.5^{a}	61.3±1.6^{a}	25.3 ±0.6^{abc}	83.2±1.2^{de}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

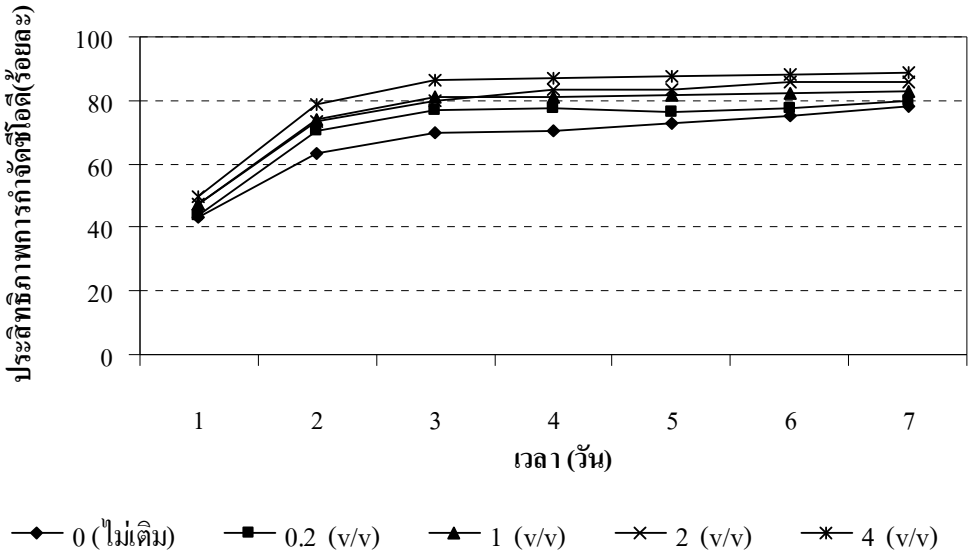
3.3. การศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเติมน้ำสกัดชีวภาพซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีขึ้นเนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้กับระบบ (วีระพล วงษ์ประพันธ์ และคณะ, 2547) แต่ปริมาณจุลินทรีย์ควรมีในปริมาณที่เหมาะสมหากมีมากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไม่ดีเท่าที่ควร (ธนกฤต พรหมทอง, 2552) การศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง โดยนำน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งประกอบด้วย อีเอ็ม:น้ำต้มกุ้ง:น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร หมักในสภาวะไร้อากาศ (ผลการทดลองข้อ 3.2) มาทดลองบำบัดน้ำเสียในระบบเติมอากาศแบบกะเป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณเท่ากับร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 (v/v) ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงดังนี้

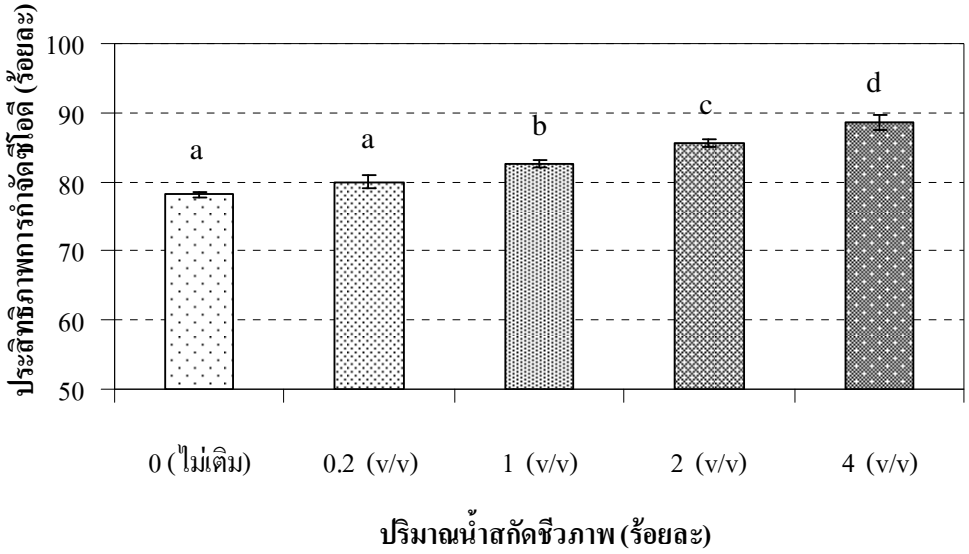
1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีในน้ำเสียเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยในช่วง 1 วันถึง 2 วันแรกประสิทธิภาพการบำบัดในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนที่ระยะเวลาการบำบัด 3 วันและ4 วันประสิทธิภาพในการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และที่ระยะเวลาการบำบัดในช่วง 5 วันถึง 7 วันประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพมีแนวโน้มคงที่ (ภาพประกอบ 12) โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 88.6±1.1 รองลงมาคือปริมาณร้อยละ 2, 1, 0.2 และ 0 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 85.6±0.5, 82.6±0.4, 80.0±0.9 และ 78.1±0.4 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 13) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณมากขึ้น ดังนั้นการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพในปริมาณที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะประกอบด้วยปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นด้วยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงมีการเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากว่าในชุดการทดลองที่มีปริมาณน้ำสกัดชีวภาพมากกว่ามีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมปริมาณน้ำสกัดชีวภาพน้อยกว่า ซึ่งการที่มีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าแต่ปริมาณอาหารไม่แตกต่างกันจะทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่า เนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้แหล่งคาร์บอนก่อนในการสร้างเซลล์ประมาณร้อยละ 50-55 แต่ทั้งนี้ปริมาณจุลินทรีย์ควรมีความเหมาะสมกับปริมาณอาหารที่มีในระบบ หากมีมากเกินไปอาจทำให้เกิดการแก่งแย่งอาหารกันและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียลดลง

โดยจากภาพประกอบ 12 แสดงให้เห็นว่าน้ำสกัดชีวภาพปริมาณมากกว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าตั้งแต่ช่วงแรกของการบำบัด โดยจะเริ่มคงที่เมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นและใช้ระยะเวลาในการกำจัดสารอินทรีย์ ในระบบให้มีปริมาณน้อยลงสั้นกว่า ส่วนน้ำสกัดชีวภาพปริมาณน้อยกว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานกว่า แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียโดยการไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดที่ระยะเวลา 7 วันมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการทดลองชุดอื่นๆที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพ เนื่องจากว่าในระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเติมน้ำสกัดชีวภาพซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีขึ้นเนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้กับระบบ (วีระพล วงษ์ประพันธ์และคณะ, 2547)



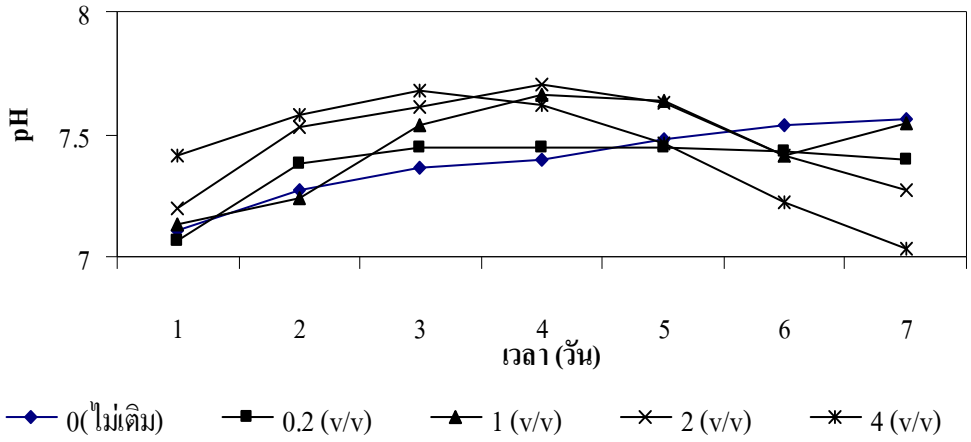
ภาพประกอบ 12 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่างๆ



ภาพประกอบ 13 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

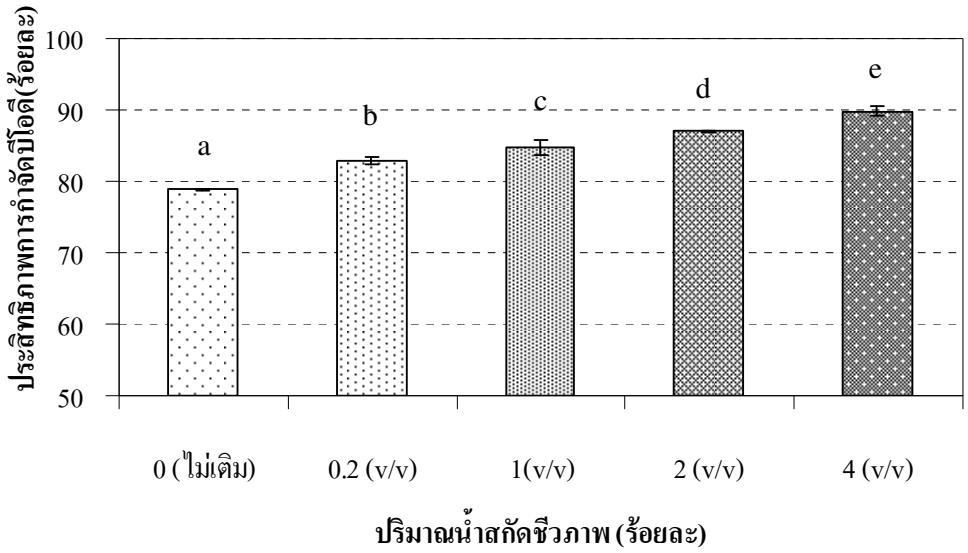
การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 7.03-7.7 เป็นค่าที่ยังเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยส่วนใหญ่ (6.5-7.5) โดยในช่วงแรกของการบำบัด (วันที่ 1-2) ของทุกชุดการทดลองค่าพีเอชเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (ภาพประกอบ 15) เป็นเพราะว่าจุลินทรีย์มีการใช้อาหารในน้ำเสียโดยปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาเพื่อย่อยสลายสารอาหาร หลังจากนั้น (วันที่3-7) ค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0 และ 0.2 มีลักษณะค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดผ่านไปเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น โดยมีการเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ในสภาพมีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ และจะมี H^+ เกิดขึ้น ซึ่งทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชลดลงแต่ยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียได้ โดยในระบบที่มีน้ำสกัดชีวภาพปริมาณสูงจะมีปริมาณไนโตรเจนสูงจึงส่งผลให้มีค่าพีเอชลดลงมากกว่าระบบอื่น และนอกจากนี้ไนไตรต์และอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียวันที่ 5-7 จึงเริ่มคงที่ (ภาพประกอบ 14)



ภาพประกอบ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณต่างๆ

2) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

จากการวิเคราะห์ปริมาณบีโอดีในน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 121.6, 102.8, 85.4, 65.9 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณบีโอดีมีการลดลงตามลำดับโดยลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 575, 599, 561, 509 และ 491 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 78.9±0.2, 82.9±0.5, 84.8±1.0, 87.0±0.1และ 89.9±0.1 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 15) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีค่าสูงสุด คือเท่ากับร้อยละ 89.9±0.1 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับการบำบัดโดยไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพ ซึ่งพบว่าการไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ แต่มีค่าต่ำสุดคือเท่ากับร้อยละ 78.9±0.2 ทั้งนี้เนื่องจากว่าในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ดั้งเดิมที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว (สันทัด ศิริอนัตไพบูลย์, 2549) การเพิ่มน้ำสกัดชีวภาพในปริมาณต่าง ๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ดีขึ้น โดยการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0.2, 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นตามลำดับและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 เนื่องจากว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพปริมาณมากกว่าในการบำบัดจะมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าทำให้อัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้เร็วกว่าภายในระยะเวลาเดียวกัน

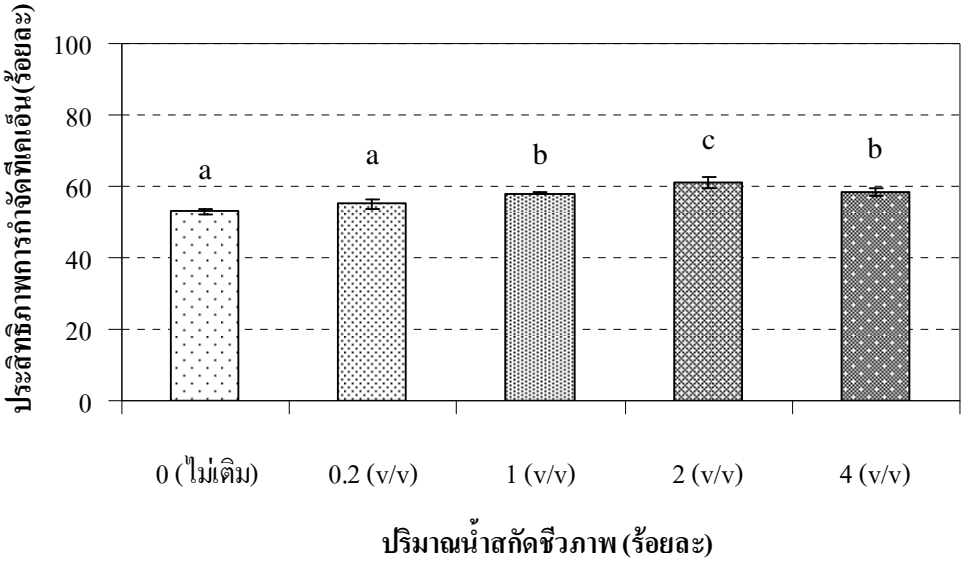


ภาพประกอบ 15 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

3) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

จากการวิเคราะห์ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียที่บำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.1, 43.8, 42.6, 36.8 และ 38.5 มิลลิกรัม/ ลิตร โดยลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98, 97.4, 101.5, 94.5 และ 92.2 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 53.0±0.7, 55.1±1.2, 58.0±0.1, 61.1±1.6 และ 58.2±1.0 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 16) โดยประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 2 มีค่าสูงสุด คือเท่ากับร้อยละ 61.1±1.6 ส่วนการบำบัดโดยไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพมีค่าต่ำสุด เท่ากับร้อยละ 53.0±0.7 และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นด้วยน้ำสกัดชีวภาพในปริมาณต่างๆ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

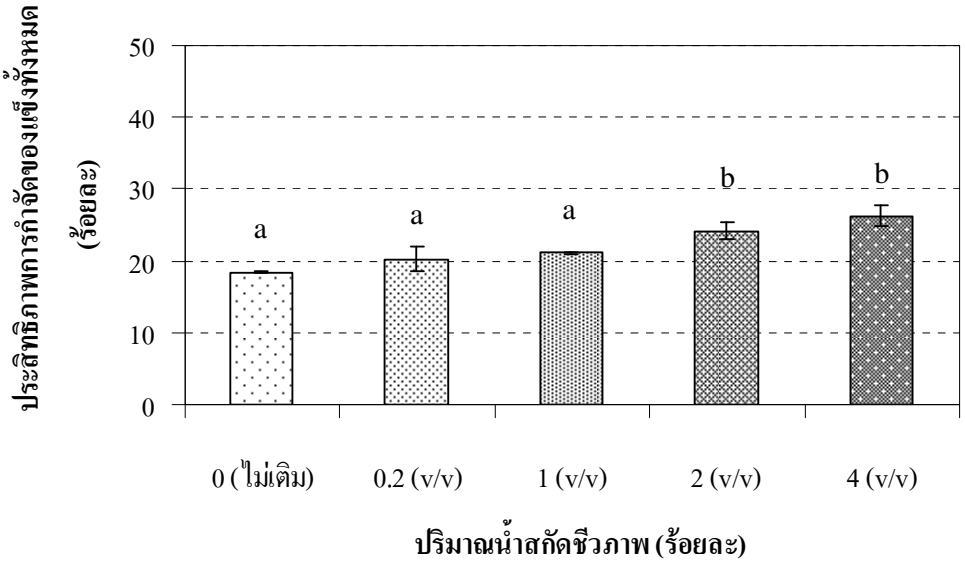


ภาพประกอบ 16 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

4) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลี่ยเท่ากับ 2,620, 2,588, 2,474, 2,266 และ 2,164 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,212, 3,242, 3,135, 2,989 และ 2,931 มิลลิกรัม/ลิตรหรือมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 18.4±0.2, 20.2±1.7, 21.1±0.2, 24.2±1.2 และ 26.2±1.4 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 17)โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ4 มีค่าสูงสุดคือเท่ากับร้อยละ 26.2±1.4 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.2±1.2 ส่วนการบำบัดน้ำเสียโดยไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพมีประสิทธิภาพต่ำสุดคือเท่ากับร้อยละ 18.4±0.2 โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กับการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพปริมาณมากกว่าในการบำบัดจะมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าและทำให้อัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้เร็วกว่าภายในระยะเวลาเดียวกัน



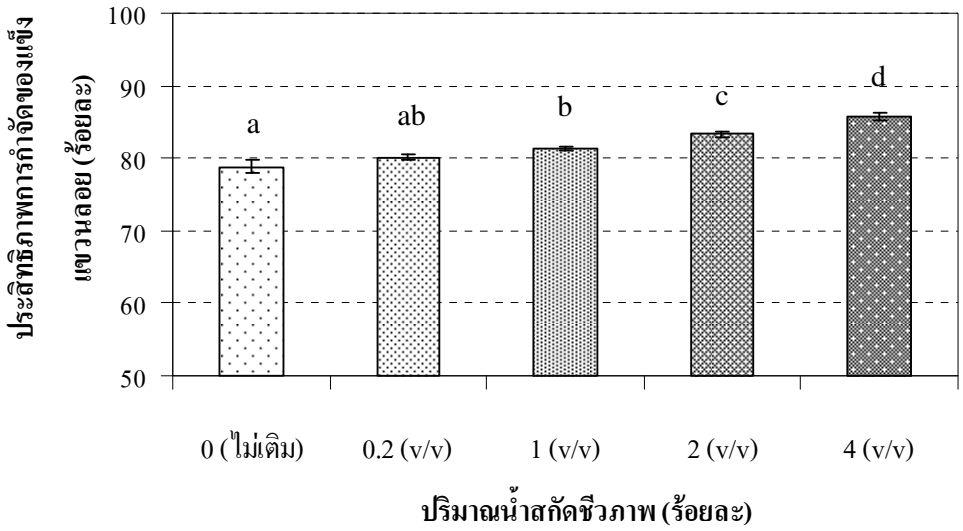
ภาพประกอบ 17 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

5) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเมื่อบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 40, 37.5, 35, 30.8 และ 25.8 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 189, 189, 187, 185 และ 182 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 78.9±0.9, 80.2±0.5, 81.3±0.2, 83.3±0.4 และ 85.8±0.5 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 18) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย และการกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 85.8±0.5 ส่วนการบำบัดโดยไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพมีประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 78.9±0.9 และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยกว่าการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0.2 เพียงเล็กน้อย ($p>0.05$) แต่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กับการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 4 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากว่าในน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 0.2 อาจจะมีปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ไม่แตกต่างจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำเสียนั้นได้ และอีกทั้งการเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียยังเป็นการเพิ่มปริมาณ

ออกซิเจนช่วยเร่งการเจริญและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ได้ดีขึ้นด้วย (กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2543)



ภาพประกอบ 18 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพเริ่มต้นในปริมาณต่างๆ หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 (หัวเชื้ออีเอ็ม:น้ำต้มกุ้ง:น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร) ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ ปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 1, 2 และ 4 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดีและของแข็งแขวนลอยสูงกว่าการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ตาราง 10) แต่ทั้งนี้ยังพบว่าน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นได้ดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ตาราง 10) และมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างจากน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 อีกทั้งเป็นการไม่สิ้นเปลืองน้ำสกัดชีวภาพเนื่องจากใช้ปริมาณน้อยกว่า จึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 2 ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย แต่สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป เนื่องจากน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงสุด โดยเฉพาะการกำจัดบีโอดีและของแข็งแขวนลอยซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดแบบเติมอากาศ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) แต่หากมีการใช้น้ำสกัดชีวภาพปริมาณมากกว่า

นี้จะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองและส่งผลให้ระบบมีอัตราส่วนของไนโตรเจนในระบบสูงขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดการย่อยสลายไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ได้แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรต์และไนเตรตที่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และน้ำเสียยังมีสภาวะเป็นกรดมากขึ้นซึ่งส่งผลทำให้จุลินทรีย์มีปริมาณลดลงและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอาจลดลงด้วย

ตาราง 10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณต่างๆ

ปริมาณน้ำสกัดชีวภาพ (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (ร้อยละ)				
	COD	BOD	TKN	TS	SS
ไม่เติม	78.1±0.4^{a}	78.9±0.2^{a}	53.0±0.7^{a}	18.4±0.2^{a}	78.9±0.9^{a}
0.2	80.0±0.9^{a}	82.9±0.5^{b}	55.1±1.2^{a}	20.2±1.7^{a}	80.2±0.5^{ab}
1	82.6±0.4^{b}	84.8±1.0^{c}	58.0±0.1^{b}	21.1±0.2^{a}	81.3±0.2^{b}
2	85.6±0.5^{c}	87.0±0.1^{d}	61.1±1.6^{c}	24.2±1.2^{b}	83.3±0.4^{c}
4	88.6±1.1^{d}	89.9±0.6^{e}	58.2±1.0^{b}	26.2±1.4^{b}	85.8±0.5^{d}

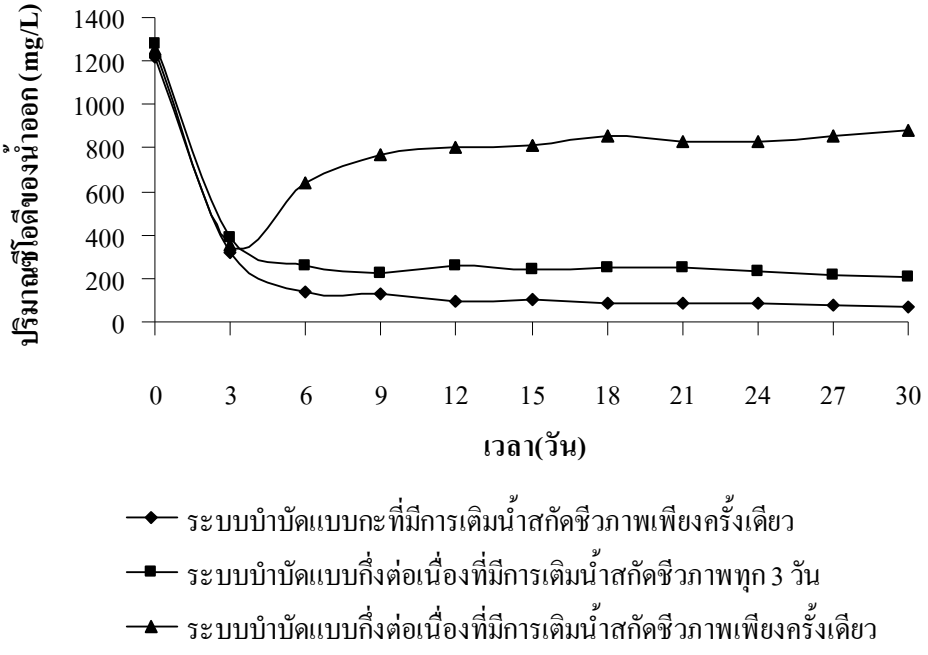
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.4. การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกรณีตัวอย่างเป็นระบบบำบัดแบบเติมอากาศ (Aerated lagoon) ที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าระบบแบบกึ่งต่อเนื่องตามลักษณะกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดจะถูกปล่อยออกโดยไม่มีการตกตะกอน เนื่องจากระบบบำบัดไม่มีถังตกตะกอนเพื่อนำกลับตะกอน การศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่องด้วยน้ำสกัดชีวภาพเพื่อให้สอดคล้องกับระบบของโรงงานกรณีตัวอย่าง โดยออกแบบระบบกึ่งต่อเนื่องให้มีการปล่อยน้ำเสียเข้าและออกปริมาณ 1.5 ลิตร (ปริมาตรรวม 5 ลิตร) ทุกๆ 3 วันเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 (อีเอ็ม:น้ำต้มกุ้ง:น้ำ เท่ากับ 7.5:15: 1000 มิลลิลิตร) ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ (ผลการทดลองข้อ 3.2) มาเติมในระบบบำบัดด้วยปริมาณร้อยละ 4 (คิดเป็นร้อยละ 4 ของปริมาณน้ำเสียที่เติมเข้าระบบทุก ๆ 3 วัน) (ผลการทดลองข้อ 3.3) โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดและเติมใหม่ทุก 3 วัน และทำการเปรียบเทียบกับการบำบัดน้ำเสียแบบกะที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพในระบบเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัด ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังนี้

1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียในระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัด ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน และระบบแบบกะ มีปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบเท่ากับ 1,256, 1,283 และ 1219 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการบำบัดเป็นระยะ 3 วัน พบว่า ทุกระบบมีปริมาณซีโอดีลดลงได้ดีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นและมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบกึ่งต่อเนื่องใหม่ทุก 3 วัน พบว่าปริมาณซีโอดีในระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดและไม่มีการเติมเพิ่มเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำเสียใหม่ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มทุก 3 วันพร้อมกับการเปลี่ยนน้ำเสียใหม่และระบบแบบกะปริมาณซีโอดีมีการลดลงเรื่อยๆ โดยระบบแบบกะมีปริมาณซีโอดีน้อยกว่าระบบกึ่งต่อเนื่อง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัด ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน และระบบแบบกะ มีค่าเท่ากับ 885, 205 และ 72 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับหรือมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 29.5, 84 และ 94 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 19)



ภาพประกอบ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีในน้ำเสียเมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน

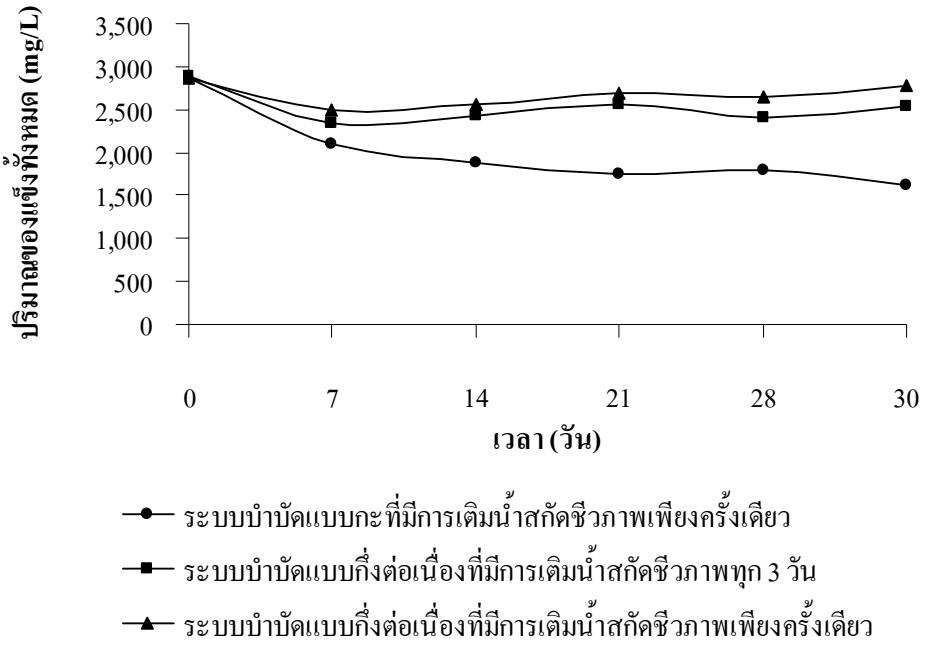
จากการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบทั้ง 3 ระบบ พบว่า ระบบแบบกะมีปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบเมื่อทำการบำบัดเป็นระยะเวลา 30วัน ต่ำกว่าระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง เนื่องจากระบบมีการเติมน้ำเสียเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดโดยจุลินทรีย์มีเวลามากพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทันเนื่องจากระยะเวลาเก็บกักน้ำ 30 วันและทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบลดลงเรื่อยๆ แต่การนำไปใช้ในระบบที่มีน้ำเสียเข้าระบบทุกวันและมีปริมาณมากๆ ระบบกึ่งต่อเนื่องมีความเหมาะสมมากกว่า ซึ่งจากการศึกษาได้เปรียบเทียบปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องซึ่งมีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดกับระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 30 วัน ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบน้อยกว่าการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัด ทั้งนี้เนื่องจากว่าระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพใหม่พร้อมกับการเติมน้ำเสียเข้าระบบทุก 3 วันด้วย ซึ่งทำให้มีการแทนที่จุลินทรีย์เก่าซึ่งหลุดออกมากับน้ำเสีย เนื่องจากระบบไม่มีถังตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ใหม่ที่เติมเข้าระบบ ปริมาณซีโอดีจึงน้อยกว่าในขณะที่ระบบที่มีการ

เติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบทุก 3 วัน แต่ไม่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพิ่ม เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียออกจากระบบทำให้จุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพที่เติมลงไปหลุดออกมากับน้ำเสียด้วย ปริมาณจุลินทรีย์ที่เติมจึงเหลืออยู่ในระบบน้อยลง การกำจัดซีโอดีจึงลดลงตามลำดับด้วย ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงควรออกแบบระบบให้มีถังตกตะกอนเพื่อให้สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์และหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่เติมในระบบ

2) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียทุก 7 วันของการบำบัดตลอดระยะเวลา 30 วัน ในระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัด ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันและระบบแบบกะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าระบบเท่ากับ 2,857, 2,882 และ 2,860 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยในช่วงแรกของการบำบัดทุกระบบปริมาณของแข็งทั้งหมดมีการลดลงได้ดีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบกึ่งต่อเนื่องมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบแบบกะมีการลดลงเรื่อยๆ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัด ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน และระบบแบบกะมีค่าเท่ากับ 2,782, 2,547 และ 1,625 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ (ภาพประกอบ 20)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากระบบแบบกะกับระบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 30 วัน) พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบแบบกะมีค่าน้อยกว่าระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันและครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าในระบบแบบกะนั้นมีการเติมน้ำเสียเพียงครั้งเดียว จุลินทรีย์อีเอ็มที่เติมลงไปเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติมีเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่โดยไม่มีการเติมน้ำเสียหรือเพิ่มสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพื่อเป็นภาระให้กับจุลินทรีย์ ส่วนระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่าระบบแบบกะ เนื่องจากมีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบกึ่งต่อเนื่องทุก 3 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบกึ่งต่อเนื่องมีการสะสมเพิ่มขึ้นเพราะจุลินทรีย์อาจย่อยสลายไม่หมดภายในระยะเวลา 3 วัน (HRT= 3 วัน) อีกทั้งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากระบบไม่มีการพักระบบ (ปิดเครื่องเติมอากาศ) ให้ของแข็งทั้งหมดได้ตกตะกอน จึงทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่าระบบแบบกะ

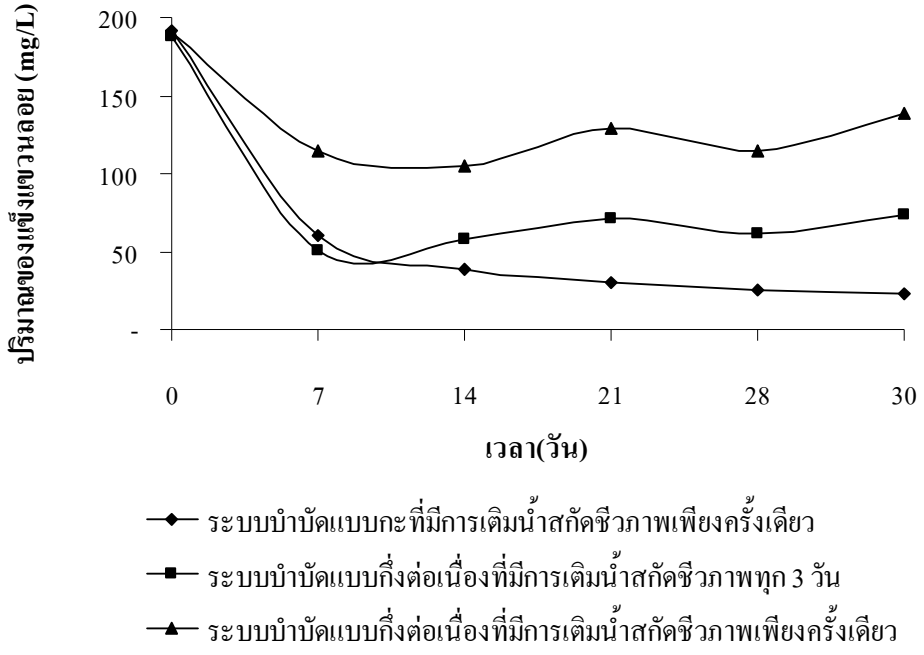


ภาพประกอบ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียเมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน

3) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียทุก 7 วันของการบำบัดตลอดระยะเวลา 30 วัน ในระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัดระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันและระบบแบบกะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าระบบเท่ากับ 190, 188 และ 192 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ โดยในช่วงแรกของการบำบัด ทุกระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงได้ดีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบกึ่งต่อเนื่องมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบแบบกะมีการลดลงเรื่อยๆและเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัด ระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน และระบบแบบกะมีค่าเท่ากับ 138, 73 และ 23.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ภาพประกอบ 21)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่ออกจากระบบแบบกะกับระบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 30 วัน) พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบแบบกะมีปริมาณน้อยกว่าระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน และครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าในระบบแบบกะนั้นมีการเติมน้ำเสียเพียงครั้งเดียว จุลินทรีย์อีเอ็มที่เติมลงไปเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติมีเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่โดยไม่มีการเติมน้ำเสียหรือเพิ่มสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพื่อเป็นภาระให้กับจุลินทรีย์ ส่วนระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากกว่าระบบแบบกะ เนื่องจากไม่มีการหยุดพักระบบ (ปิดเครื่องเติมอากาศ) เพื่อให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องตกตะกอน ดังนั้นจึงทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบกึ่งต่อเนื่องมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบแบบกะ

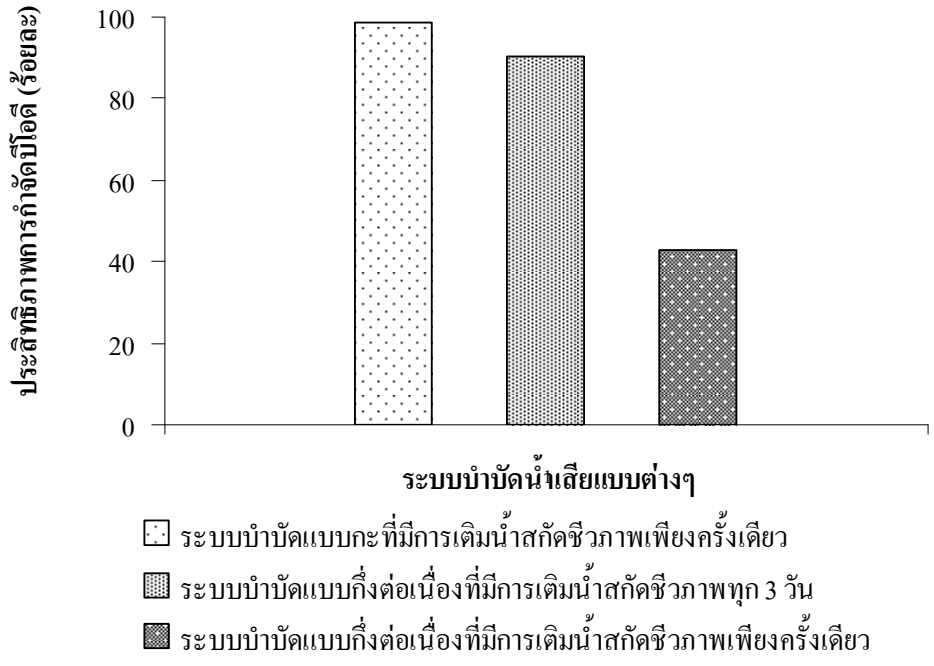


ภาพประกอบ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ เป็นระยะเวลา 30 วัน

4) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียว มีค่าเท่ากับ 384.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากปริมาณบีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 675 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 43 ส่วนการบำบัดในระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีปริมาณบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 64.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากปริมาณบีโอดีเริ่มต้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 642 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 90.5

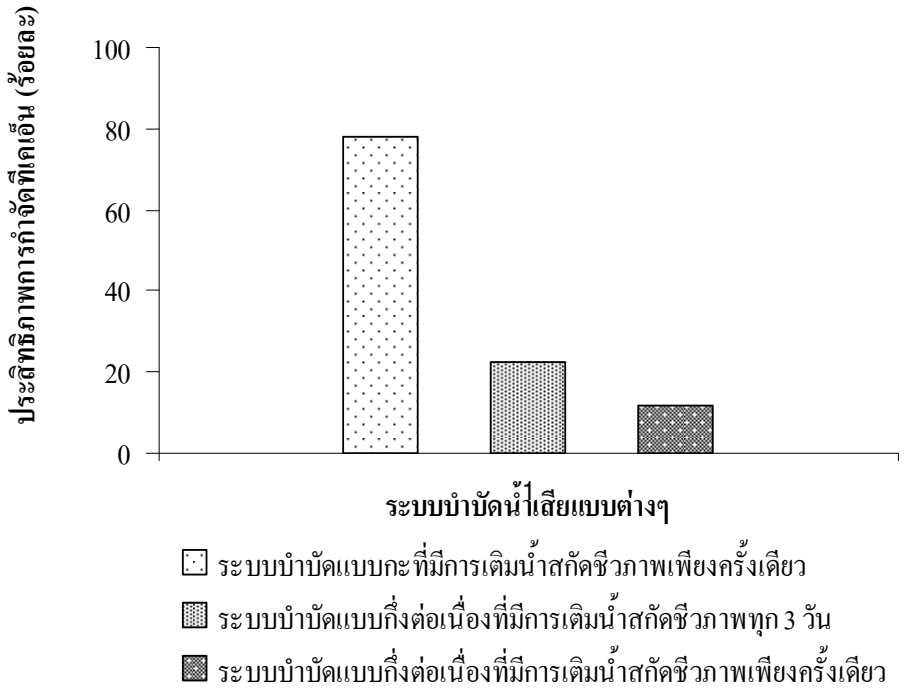
เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดบีโอดีในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องกับการบำบัดแบบกะ พบว่าการบำบัดแบบกะมีปริมาณบีโอดีต่ำกว่าการบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยมีปริมาณบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเพียง 9.06 มิลลิกรัม/ลิตร โดยลดลงจากบีโอดีเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ680 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 98.59 (ภาพประกอบ 22)



ภาพประกอบ 22 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำเสียเมื่อทำการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ ในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ ที่ระยะเวลา 30 วัน

5) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียว มีปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 97.1 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากปริมาณทีเคเอ็นเริ่มต้นเท่ากับ 110 มิลลิกรัม/ลิตรหรือมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 11.9 ส่วนระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 81.4 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากปริมาณทีเคเอ็นเริ่มต้นเท่ากับ 105 มิลลิกรัม/ลิตรหรือมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 22.5 และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบกะพบว่าระบบแบบกะมีปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเพียง 23.6 มิลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากปริมาณทีเคเอ็นเริ่มต้นเท่ากับ 108 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 78 (ภาพประกอบ 23) ซึ่งแสดงว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทีเคเอ็น โดยระบบแบบกะมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นได้ดีที่สุด เนื่องจากระยะเวลาในการบำบัดมากพอที่ระบบจะกำจัดทีเคเอ็นได้ทัน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Rashid and West (2007) ที่พบว่าการใช้อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มนมสามารถลดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้เมื่อทำการบำบัดเป็นระยะเวลา 3 เดือน



ภาพประกอบ 23 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคอีนในน้ำเสียเมื่อทำการบำบัดด้วย น้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศในระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่องเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบกะ ที่ระยะเวลา 30 วัน

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแบบกะเปรียบเทียบกับระบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งมีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มทุก 3 วันกับการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียว เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าการบำบัดด้วยระบบแบบกะสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าการบำบัดด้วยระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันและการเติมครั้งเดียวเมื่อตอนเริ่มต้นบำบัดตามลำดับ แต่การนำไปใช้ในระบบที่มีน้ำเสียเข้าระบบทุกวันและมีปริมาณมากๆ ระบบกึ่งต่อเนื่องมีความเหมาะสมมากกว่า ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการบำบัดด้วยระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัด ทั้งนี้เนื่องจากระบบบำบัดไม่มีถังตกตะกอน เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียออกจากระบบทำให้มีจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียหลุดปนออกมากับน้ำเสียด้วย ซึ่งระบบที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วัน มีจุลินทรีย์ใหม่เข้ามาแทนที่จุลินทรีย์เก่า จึงทำให้สามารถรักษาปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งการศึกษาของปรียานุช แสนโคตรและศิรประภา ร่มเย็น (2539) พบว่าการบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 วันด้วยการเติมอีเอ็ม 3 วันต่อครั้งให้ประสิทธิภาพดีเช่นกัน และวีระพล วงษ์ประพันธ์ (2547)ได้แนะนำว่าการบำบัดน้ำเสียโดยใช้อีเอ็มร่วมกับการเติมอากาศ (ออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 2-4 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ปริมาณอากาศ 3.3 ลิตร/นาที) ควรมีการเติมอีเอ็มเข้าระบบทุกๆ 3 วันเพื่อควบคุมให้ระยะ Steady state คงอยู่ตลอดไป อย่างไรก็ตามถ้ามีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์และสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้จะสามารถลดปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ลงได้อีก

3.5. การศึกษาผลของการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำสกัดชีวภาพประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรดแลกติก กลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน กลุ่มจุลินทรีย์พวกรามีเส้นใย กลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักและกลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง การต่อขยายเชื้อจะทำให้จุลินทรีย์บางกลุ่มหายไปโดยเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงซึ่งมีความสำคัญที่สุด (บริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด, 2549) โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษได้ (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2547) แต่มักพบจุลินทรีย์กลุ่มนี้ในน้ำสกัดชีวภาพในปริมาณที่น้อย (นัยนา ศรีชัย, 2547) หรือไม่พบเลย (นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์และกฤตวรรณ วงศ์ศิริเดช, 2539) ดังนั้นการศึกษานี้เป็นการศึกษาการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพแต่ได้ทำการศึกษาเพียงจุลินทรีย์กลุ่ม yeast, lactic acid bacteria และ facultative anaerobes ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพที่มีบทบาทในการบำบัดน้ำเสีย โดยเตรียมน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ (ผลการทดลองจากข้อ 3. 2) เป็นเวลา 3 วันและทำการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพอย่างต่อเนื่องเป็นจำนวน 3 ครั้ง และหลังการต่อเชื้อพบว่าจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes สามารถตรวจพบในน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1, 2 และ 3 ครั้งโดยมีปริมาณลดลงตามลำดับเท่ากับ $2.01x10^5$, $2.22x10^3$, $3.73x10^2$ และ $4.77x10^1$ CFU/mL ส่วน yeast สามารถตรวจพบในน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและการต่อเชื้อ 1 ครั้ง ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ $3.77x10^2$ และ$7.5x10^1$ ตามลำดับ ส่วน lactic acid bacteria ไม่พบเลยในการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง (ตาราง 11) อาจเนื่องจากว่าจุลินทรีย์กลุ่ม lactic acid bacteria และ Yeast สามารถเจริญได้ดีในน้ำสกัดชีวภาพที่ประกอบด้วยกากน้ำตาล แต่เมื่อมีการต่อเชื้ออย่างต่อเนื่องด้วยน้ำต้มกุ้งซึ่งไม่มีการเติมกากน้ำตาล จึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวเจริญได้ไม่ดีและตายไปในที่สุด แต่ยังคงมีจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes ที่มีชีวิตรอดซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์กลุ่มนี้เจริญในน้ำต้มกุ้งได้ ซึ่งเป็นการคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่เยือกแข็งได้

ตาราง 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพเมื่อต่อเชื้อจำนวน 3 ครั้ง

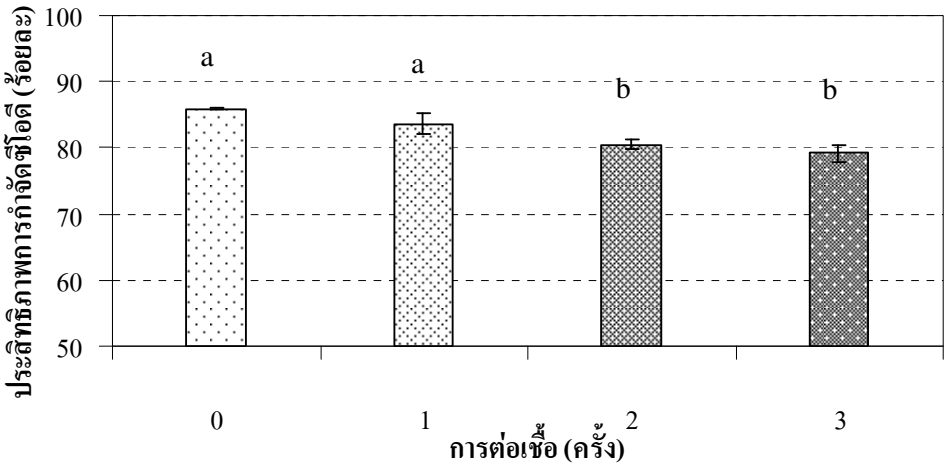
กลุ่มจุลินทรีย์	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/mL)			
	น้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง
Yeast	$3.77x10^2$	$7.5x10^1$	ไม่พบ	ไม่พบ
Facultative anaerobes	$2.01x10^5$	$2.22x10^3$	$3.73x10^2$	$4.77x10^1$
Lactic acid bacteria	$1.11x10^5$	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

และพบว่าจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหมือนกับในน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและหัวเชื้ออีเอ็ม นอกจากนี้ยังพบว่ามีจุลินทรีย์ที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างซึ่งปนเปื้อนมากับน้ำต้มกุ้ง ซึ่งจากรายงานของสุริยา สาสน์รักกิจ (2544) พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนได้แก่ แบคทีเรีย เช่น *Bacillus circulan, B. firmus, B. subtilis, Staphylococcus* spp., *Psudomonas* spp. และเชื้อยีสต์ สำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน โดยส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลกติก ได้แก่ *Lactobacillus* spp. และ *Streptococus* spp. และจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียร้อยละ 95 รองลงมาได้แก่ เชื้อรา สาหร่ายและโปรโตซัว (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548) และพบว่าจุลินทรีย์ในน้ำสกัดชีวภาพที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการบำบัดน้ำเสียคือ จุลินทรีย์ในกลุ่ม *Bacillus* spp. โดยเฉพาะ *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheni formis* นอกจากนี้อาจจะมีจุลินทรีย์ในกลุ่มอื่นๆอีก ด้วยเช่น *Saccharomyces* spp. *Streptococcus* spp. เป็นต้น (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ อ้างถึงใน นัยนา ศรีชัยและคณะ, 2547)

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง โดยนำไปทดสอบการบำบัดน้ำเสียในระบบเติมอากาศแบบกะ เป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการศึกษาแสดงดังนี้

1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเมื่อเริ่มต้นบำบัด ซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1, 2 และ 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1,084, 1,020, 1,084 และ 1,045 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีปริมาณซีโอดีเท่ากับ 153, 167, 212 และ 218 มิลลิกรัม /ลิตร หรือมีประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ85.9±0.9, 83.6±1.6, 80.5±0.7 และ 79.1±1.3 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 24) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเมื่อจำนวนการต่อเชื้อเพิ่มขึ้นซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงตามลำดับ โดยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดซึ่งไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 ครั้ง แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้ง มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แม้ในการต่อเชื้อน้ำสกัดชีวภาพทั้ง 3 ครั้งปริมาณจุลินทรีย์ลดลง แต่ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง อยู่ในระดับที่ดีและไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่ติดมากับน้ำเสียและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้วด้วย

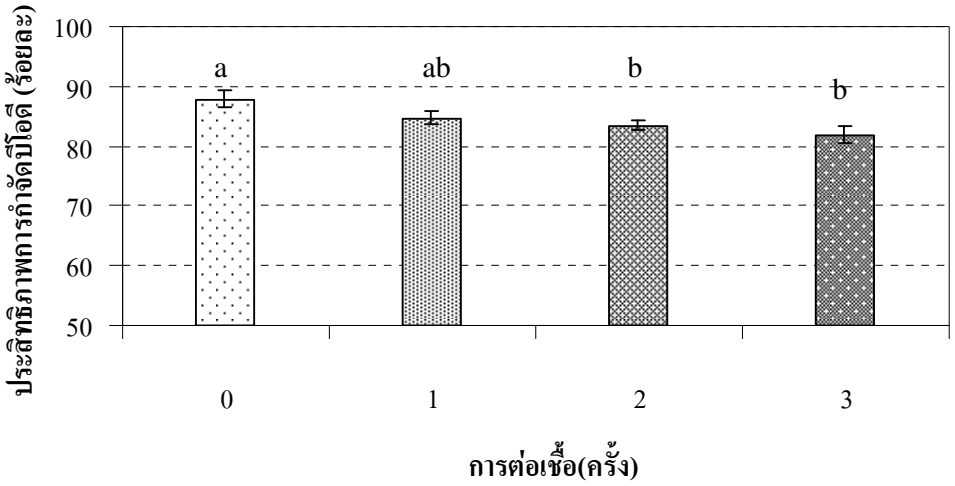


ภาพประกอบ 24 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและ
น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
0 หมายถึงน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น

2) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

จากการวิเคราะห์ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 , 2 และ 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 537, 515, 558 และ 528 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีปริมาณบีโอดีเท่ากับ 70.1, 78.5, 92.4 และ 95.9 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ87.8±1.4, 84.7±1.1, 83.4±0.8 และ 81.8±1.5 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 25) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีลดลงเมื่อจำนวนการต่อเชื้อเพิ่มขึ้นซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นสูงที่สุดและดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 ครั้งเพียงเล็กน้อย ($p>0.05$) แต่ดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ในขณะที่น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1, 2 และ 3 ครั้ง มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มทำงานร่วมกัน คือจุลินทรีย์กลุ่ม yeast , facultative anaerobes และ lactic acid bacteria และในน้ำเสียยังมีจุลินทรีย์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว ส่วนน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ1 ครั้ง ประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes และyeast และน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้ง มีเพียงจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes ซึ่งมีปริมาณน้อยและลดลงตามลำดับ

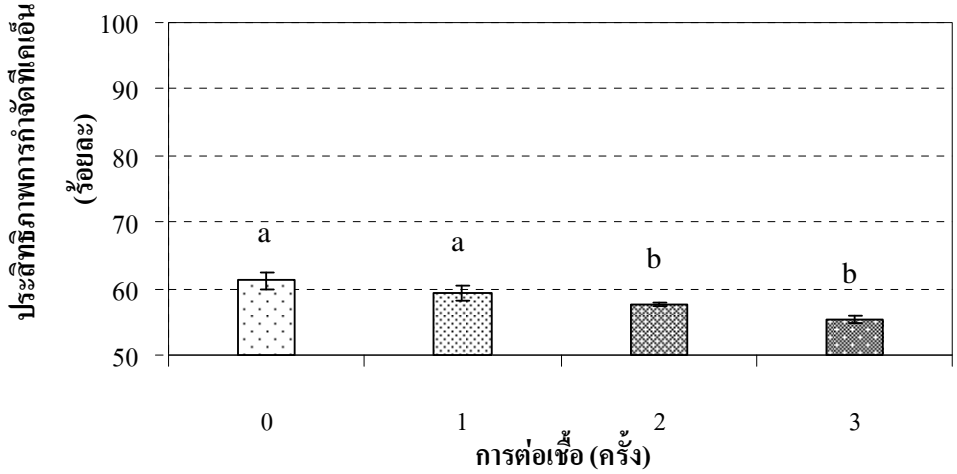


ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและ
น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
0 หมายถึงน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น

3) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

จากการวิเคราะห์ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียเมื่อเริ่มต้นบำบัด ซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 , 2 และ 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 97.3, 105.4, 104.7 และ 100.3 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีปริมาณทีเคเอ็นเท่ากับ 37.8, 43.0, 44.3 และ44.8 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 61.2±1.2, 59.2±1.1, 57.7±0.3, 55.4±0.7 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 26) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นลดลงเมื่อจำนวนการต่อเชื้อเพิ่มขึ้นซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงตามลำดับ โดยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นสูงสุดซึ่งไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 ครั้ง แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ในขณะที่น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้ง มีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

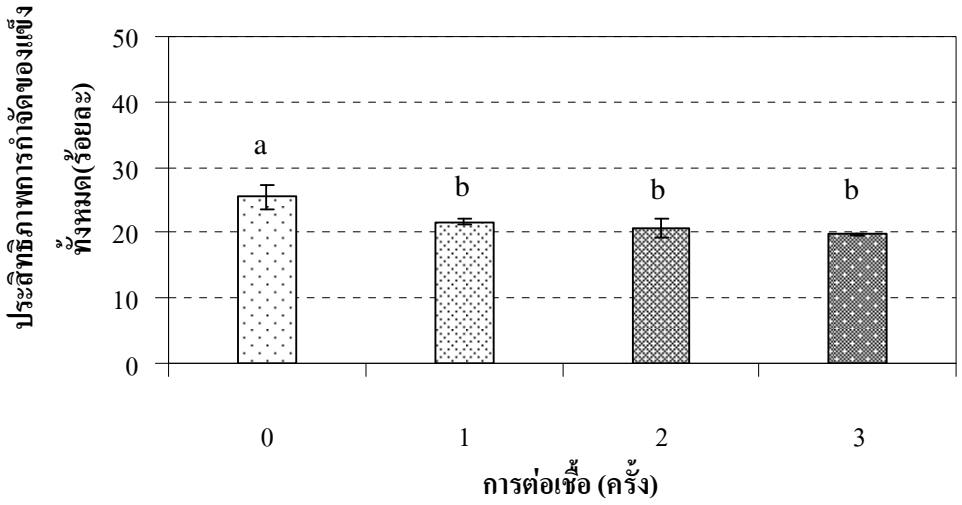


ภาพประกอบ 26 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและ
น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
0 หมายถึงน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น

4) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อเริ่มต้นบำบัด ซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 , 2 และ 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ2,910, 2,966, 2,955 และ2,970 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 2,166, 2,314, 2,346 และ 2,384 มิลลิกรัม/ลิตร หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 25.6±1.9, 21.7±0.5, 20.6±1.5 และ 19.7±0.2 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 27) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดลดลงเมื่อจำนวนการต่อเชื้อเพิ่มขึ้นซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดของน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นสูงที่สุดและดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1, 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ในขณะที่น้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1, 2 และ 3 ครั้ง มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจาก ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มทำงานร่วมกัน คือ จุลินทรีย์กลุ่ม yeast , facultative anaerobes และ lactic acid bacteria และในน้ำเสียยังมีจุลินทรีย์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว ส่วนน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ1 ครั้ง ประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes และyeast และน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 2 และ 3 ครั้งมีเพียงจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes ซึ่งมีปริมาณน้อยและลดลง



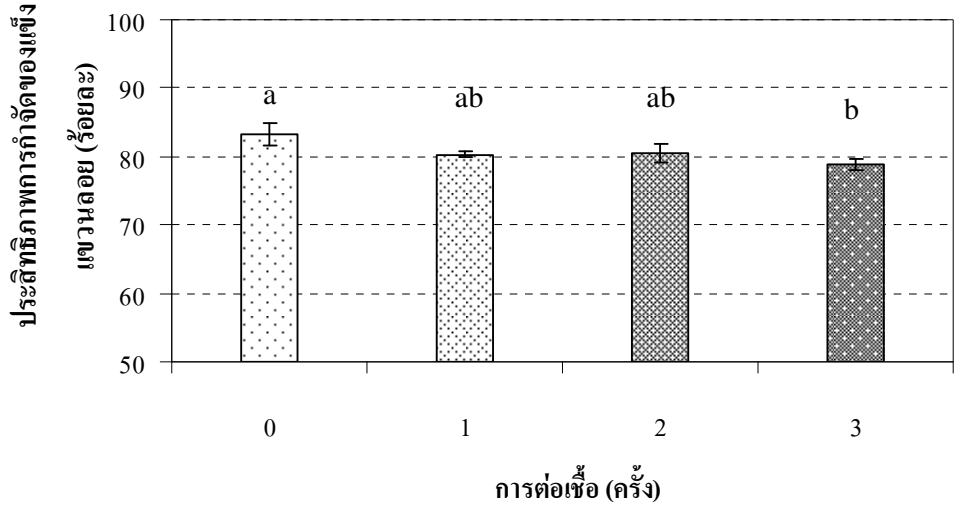
ภาพประกอบ 27 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

0 หมายถึงน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น

5) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเมื่อเริ่มต้นบำบัดซึ่งบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1, 2 และ 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ190, 190, 189 และ 188 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 31.7, 37.5, 36.7 และ 39.9 มิลลิกรัม/ลิตรหรือมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 83.3±1.7, 80.3±0.4, 80.6±1.4 และ 78.8±0.8 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 28) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนการต่อเชื้อเพิ่มขึ้น โดยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยน้ำสกัดตั้งต้นไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 และ 2 ครั้ง แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กับการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 3 ครั้ง



ภาพประกอบ 28 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแต่ละตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

0 หมายถึงน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง พบว่าน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อเพียง 2 ครั้ง โดยน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากการต่อเชื้อ 1 ครั้ง แสดงว่าการต่อเชื้อ 1 ครั้งมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเทียบเท่ากับน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น ซึ่งอาจเนื่องจากว่าในน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นและน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ 1 ครั้ง ประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ คือ Yeast, facultative anaerobes และ lactic acid bacteria ซึ่งการทำงานของจุลินทรีย์อาจเป็นการส่งเสริมกัน แต่ประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นดีกว่าเนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่า ส่วนน้ำสกัดชีวภาพที่ได้จากการต่อเชื้อ 2 ครั้งหลังก็ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีลดลงตามลำดับและไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะว่าในการต่อเชื้อจำนวน 3 ครั้งนั้น อาจยังคงมีจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes ที่มีปริมาณลดลงตามลำดับและอาจมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งพบว่าในการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้งนั้นยังพบจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ และนอกจากนี้อาจเป็นเพราะว่าในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่ติดมากับน้ำเสียและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้วและน้ำเสียที่นำมาใช้นั้นยังคงสภาพเดิมไว้ นอกจากนี้จากการศึกษาของวีระพล วงษ์ประพันธ์ (2547) พบว่าการเติมอากาศเพียงอย่างเดียวสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการปล่อยน้ำเสียทิ้งไว้ตาม

ธรรมชาติได้ ดังนั้นการเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียจึงเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและช่วยให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในน้ำเสียนั้นสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้น ส่วนการเติมน้ำสกัดชีวภาพที่มีเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เข้าไปในระบบเพิ่มอีก อย่างไรก็ตามถึงแม้การต่อเชื้อจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ลดลง แต่จากตาราง 12 พบว่าการต่อเชื้อ 1 ครั้ง มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้น้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นยกเว้นการกำจัดของแข็งทั้งหมด ดังนั้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้หัวเชื้ออีเอ็มทางการค้า การต่อเชื้อ 1 ครั้งจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ตาราง 12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน ด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อ

การต่อเชื้อ (ครั้งที่)	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (ร้อยละ)				
	COD	BOD	TKN	TS	SS
น้ำสกัดชีวภาพตั้งต้น	85.9±0.9[a]	87.8±1.4[a]	61.2±1.2[a]	25.6±1.9 [a]	83.3±1.7[a]
1	83.6±1.6[a]	84.7±1.1[ab]	59.2±1.1[a]	21.7±0.5[b]	80.3±0.4[ab]
2	80.5±0.7[b]	83.4±0.8[b]	57.7±0.3[b]	20.6±1.5[b]	80.6±1.4[ab]
3	79.1±1.3[b]	81.8±1.5[b]	55.4±0.7[b]	19.7±0.2[b]	78..8±0.8[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

บทที่ 4
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

4.1.1 จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำต้มกุ้งและน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง จากบริษัท หลีเฮง ซีฟูดส์ จำกัด พบว่าน้ำต้มกุ้งมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนและมีความขุ่น ประกอบด้วยค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.56±1.44 ค่าทีซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 1,906±514 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 129±8.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนลักษณะน้ำเสียรวมมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ มีความขุ่น องค์ประกอบของน้ำเสียประกอบด้วยพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.30±0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 2,128±760 มิลลิกรัมต่อลิตร ทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 107±28 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ1,251±533 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 3,079±250 มิลลิกรัมต่อลิตรและของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 173.5±27.4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีประมาณ 0.58

4.1.2 จากการศึกษาการเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง โดยทดแทนการใช้กากน้ำตาลในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 เมื่อหมักน้ำสกัดชีวภาพเป็นเวลา 3 วันในสภาวะไร้อากาศกับมีอากาศ พบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถเจริญในน้ำสกัดชีวภาพได้ทุกสูตร โดยแบคทีเรียสร้างกรดแลกติกเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจน และยีสต์เมื่อหมักแบบไร้อากาศ ขณะที่จุลินทรีย์กลุ่มต้องการออกซิเจนและยีสต์เจริญในสภาวะการหมักแบบมีอากาศได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนและยีสต์เจริญในสภาวะการหมักแบบไร้ออกซิเจนได้ด้วย และยังพบว่าจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสกัดชีวภาพทุกสูตรเป็นชนิดเดียวกับที่พบในหัวเชื้ออีเอ็ม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำสกัดชีวภาพแต่ละสูตรที่เตรียมในสภาวะเดียวกันพบว่าสูตร 2 (อีเอ็ม:น้ำต้มกุ้ง:น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร) มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ไนโตรเจน ของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้ดีไม่แตกต่างจากน้ำสกัดชีวภาพสูตร 1 (อีเอ็ม:น้ำต้มกุ้ง:น้ำ เท่ากับ 7.5:15:1000 มิลลิลิตร) ($p>0.05$) และพบว่าน้ำสกัดชีวภาพที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ไนโตรเจนและของแข็งทั้งหมดได้ดีไม่แตกต่างกับการหมักแบบมีอากาศ ($p>0.05$)

4.1.3 จากการศึกษาปริมาณน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดแบบเติมอากาศเป็นเวลา 7 วันด้วยน้ำสกัดชีวภาพสูตร 2 ซึ่งหมักแบบไร้อากาศ

พบว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 88.6±1.1, 89.9±0.6, 85.8±0.5 และ 26.2±1.4 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพดีกว่าการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณอื่นๆ (ร้อยละ 0, 0.2, 1และ 2) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.4 จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพปริมาณร้อยละ 4 ในระบบแบบกะเปรียบเทียบกับระบบกึ่งต่อเนื่องซึ่งมีการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพิ่มทุก 3 วันกับการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าการบำบัดด้วยระบบแบบกะสามารถบำบัดน้ำเสียดีกว่าการบำบัดด้วยระบบกึ่งต่อเนื่องที่มีการเติมน้ำสกัดชีวภาพทุก 3 วันและการเติมน้ำสกัดชีวภาพเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นบำบัดตามลำดับ

4.1.5 จากการศึกษาการต่อเชื้อจากน้ำสกัดชีวภาพจำนวน 3 ครั้ง หลังการต่อเชื้อพบว่าจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนยังคงมีชีวิตรอดตลอดการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง ส่วนยีสต์มีชีวิตรอดจนถึงการต่อเชื้อครั้งที่ 1 และแบคทีเรียสร้างกรดแลกติกไม่พบเลยในการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียพบว่า น้ำสกัดน้ำสกัดชีวภาพตั้งต้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าน้ำสกัดชีวภาพจากการต่อเชื้อทั้ง 3 ครั้ง

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การเตรียมน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง ควรมีการศึกษาปริมาณของน้ำต้มกุ้งและระยะเวลาในการหมักเพิ่มเติมเพื่อหาปริมาณและระยะเวลาที่ให้ปริมาณจุลินทรีย์มากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด

4.2.2 ควรศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ในสูตรน้ำสกัดชีวภาพที่เตรียมจากน้ำต้มกุ้งเพียงอย่างเดียวและยังไม่มีการเติมหัวเชื้ออีเอ็ม

4.2.3 กรณีที่น้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้ง มีกลิ่นจาก H_2S แนะนำให้เติมกากน้ำตาลเพื่อลดกลิ่น แต่ควรเติมในปริมาณที่น้อยเพื่อไม่ให้เป็นภาระให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2.4 ควรนำน้ำสกัดชีวภาพซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดแบบ facultative เนื่องจากระบบนี้มีทั้งส่วนที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ซึ่งเหมาะสมกับกลุ่มจุลินทรีย์อีเอ็มที่ประกอบด้วยกลุ่ม จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobe) จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (aerobe) และกลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ (facultative anaerobe) เพื่อให้จุลินทรีย์ทุกกลุ่มสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.5 ควรออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์และสามารถ หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ จะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำสกัดชีวภาพลงได้อีก

บรรณานุกรม

กัลยา ยิ้มละไม. 2546. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ EM ขยาย และประสิทธิภาพของ EM ในการบำบัดน้ำเสีย : กรณีศึกษาสระน้ำมรกต สถาบันราชภัฏนครปฐม. ปริญญาวิทยาศาตรบัณฑิต สถาบันราชภัฏนครปฐม

กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. 2543. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม.** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กาญจนา เอื้องฟ้า. 2544ก. “ปุ๋ยน้ำสกัดชีวภาพ-ปุ๋ยชีวภาพ” **ว.เคหการเกษตร.** 25(3):183-184

กาญจนา เอื้องฟ้า. 2544ข. ปุ๋ยน้ำหมัก : ดีจริงหรือ ? **ว.เคหการเกษตร.** 25(4):179-186

กรมวิชาการเกษตร. 2545. **น้ำสกัดชีวภาพ** (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.doa.go.th/home/article/article_45 / technologbiosafety.html.htm.
(19 มีนาคม 2551)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2546. **หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ(เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุสาหกรรมรายสาขา อุตสาหกรรมแช่แข็ง.** (ออนไลน์). สืบค้นจาก : www.pcd.go.th (4 ตุลาคม 2551)

กรมวิชาการเกษตร. 2548. จุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ. **ว.เกษตรกรรมธรรมชาติ**. 3:42

กรมวิชาการเกษตร. 2549. **น้ำสกัดชีวภาพ** (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.doa.go.th/showArticle.aspx?!d=174. (19 มีนาคม 2551.)

กรมเศรษฐกิจระหว่างประเทศ. 2546. **ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลสดแช่เย็นแช่แข็งและแปรรูป** (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.mfa.go.th/business/page63.php?id=903.
(14 ธันวาคม 2551)

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2544. **ความเป็นมาของปุ๋ยน้ำชีวภาพ** (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.doae.go.th/soi/-fert/biofert/index1biofer.htm. (19 มีนาคม 2551)

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. มิตรนราการพิมพ์. กรุงเทพฯ

จิตรมณฑ์ สมศรี. 2542. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร. โครงงานปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

ดวงพร คันธโชติ, วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูลและณรงค์ฤทธิ์ อัศวเรืองพิภพ. 2548. ลักษณะของน้ำสกัดชีวภาพจากพืชในภาคใต้ของประเทศไทย. **ว.สงขลานครินทร์**. 27(3):601-605

ธนกฤต พรหมทอง. 2552. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพและเฟนตันรีเอเจนต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2547. **สิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยาและการจัดการ.** บ้านพิมพ์การพิมพ์. กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์ และกฤตวรรณ วงศ์ศิริเดช. 2539. การศึกษาแบคทีเรียสังเคราะห์แสงใน EM**. ว.เกษตรศาสตร์(วิทย.)**30(5):32-35.

นัยนา ศรีชัย, อ้อย ชูหมุน และลำไย ชูทอง. 2547. ผลของการเติมน้ำหมักชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะน้ำทิ้ง. รายงานการเสนอผลงานวิจัยการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย วันที่ 2 กรกฎาคม 2547 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

นิพล กุลฑล. 2549. การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดน้ำเสีย:กรณีศึกษา:บ่อบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(หลังที่ทำการไปรษณีย์คอหงส์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2547. **จุลชีววิทยาทั่วไป.** พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

บริษัท อีเอ็ม คิวเซ จำกัด. 2549. **อีเอ็มขยายไม่ใช่หัวเชื้ออีเอ็ม** (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.emkyusei.com/ubon11.htm (19 พฤษภาคม 2551)

ปรียานุช แสนโคตร และศิระประภา ร่มเย็น. 2539. การบำบัด Grease ด้วย EM ในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2539. **เคมีสภาวะแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ .

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2542. **การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ.** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา

ไพเชษฐ์ ธรรมภาณ. 2541. ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำของถังปฏิกิริยาสร้างกรดต่อการบำบัดน้ำเสียมูลสุกร โดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาควิชาจุลชีววิทยา. **คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทั่วไป.** 2543. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา

มั่นสิน ตัณฑุลย์เวศม์. 2542ก. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพ ฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542ข. **วิศวกรรมการประปา.** พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพ ฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลย์เวศม์. 2543. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพ ฯ.

มาริสา จาตุพรพิพัฒน์. 2537. สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจิญและการสังเคราะห์แสงรงควัตถุของ Rhodocyclus gelatinous R7 ในน้ำนึ่งปลาทูน่า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รวิพิมพ์ ฉวีสุข และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. 2538. การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสทจากน้ำต้มกุ้งเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร. **ว.เกษตรพระจอมเกล้า.** 13(1):1-18

วนิดา เกิดมณี. 2547. อิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญของผักกาดเขียวกวางตุ้ง. รายงานการวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต โปรแกรมเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์. 2545. การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานปั่งมันสำปะหลังเพื่อผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วีระพล วงษ์ประพันธ์, วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์, อุไรวรรณ อินทร์ม่วง และสุธา ภู่สิทธิศักดิ์. 2546. ประสิทธิภาพของ EMในการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงครัว โรงพยาบาล. **ว.วิจัย มข.(บศ).**3(2): 100-110.

ศุภารัตน์ รักขพันธ์. 2544. ปัจจัยที่มีผลต่อมวลชีวภาพและองค์ประกอบของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย. 2551. **สถิติการส่งออก** (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.thai-frozen.or.th (19 มิถุนายน 2552.)

สราวุธ เย็นเอง. 2544**.** การผลิตซอสกุ้งจากน้ำต้มกุ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. **ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุมและการแก้ไขปัญหา.** สำนักพิมพ์ท้อป. กรุงเทพ ฯ.

สุโขทัยธรรมาธิราช. 2539. เอกสารการสอนชุดวิชา การถนอมและการแปรรูปอาหาร สาขาวิชาคหกรรมศาสาตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี

สุธี รัตนะ. 2545. ศักยภาพการนำตะกอนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งด้วยไคโตซานมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารไก่กระทง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. **จุลชีววิทยาของน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพ ฯ.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2547. รายงานประสบการณ์การใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในวิถีการผลิตของชุมชนบางไทร : กรณีการทำนาโดยใช้ปุ๋ยโบกาฉิ. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยศิลปากร. เพชรบุรี

สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์. 2549. รายงานการวิจัยการศึกษาทดลองบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพและพืชน้ำ. โปรแกรมวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

สุภาภรณ์ เชนยพาณิชย์. 2543. ประสิทธิภาพระบบเอสบีอาร์(SBR) ในการบำบัดน้ำเสียห้องเย็นที่มีการปนเปื้อนสารคลอรีน. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุริยา สาสน์รักกิจ. 2544. น้ำสกัดชีวภาพ : ความท้าทายสู่การพัฒนาเกษตรยั่งยืนจริงหรือไม่. เอกสารประกอบคำอภิปรายในการสัมมนาเรื่อง “การผลิตและใช้น้ำสกัดชีวภาพ” ณ โรงแรม เค พี แกรนด์ จังหวัดจันทบุรี. วันที่ 22-23 พฤษภาคม

สมใจ ศิริโภค. 2544. **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม.** ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สงขลา

สมบัติ อุยตระกูล, เอนก สถิตย์ไทยและอาทิตย์ ละเอียดดี. 2532. รายงานการศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ EM (Effective Microorganism) บำบัดน้ำเสียและการพัฒนาอนามัยสิ่งแวดล้อมนิคมขนมจีน จังหวัดฉะเชิงเทรา. กระทรวงสาธารณสุข

อรรถ บุญนิธี. 2544. การผลิตและการใช้น้ำสกัดชีวภาพ. เอกสารประกอบคำอภิปรายในการสัมมนาเรื่อง “การผลิตและใช้น้ำสกัดชีวภาพ” ณ โรงแรม เค พีแกรนด์ จังหวัดจันทบุรี. วันที่ 22-23 พฤษภาคม.

อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ, สุริยะ สะวานนท์และปราโมทย์ สาโรจน์. 2539. การใช้อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียและผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำมูลสุกร. **ว.เกษตรศาสตร์(วิทย์)**. 30:219-226

อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ, อารี ไชยาภินันท์และเสาวนีย์ สุนทรพิทักษ์. 2539. การลดปริมาณสารอาหารในน้ำเสียโดยอีเอ็ม. **ว.เกษตรศาสตร์(วิทย์)** 30(5):211-218

อาณัติ ตันโช. 2548. น้ำหมักจุลินทรีย์. **ว.เกษตรธรรมชาติ.** 3:19.

อาณัติ ตันโช. 2551. **บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนหมักน้ำสกัดชีวภาพ.** (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.oknation.net/blog/kontan /2008/03/17/entry-1 (25 พฤษภาคม 2552)

A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Chemists**. 15 th ed. The Association of official Analytical Chemists.Verginia.

APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Method for the Examination of water and Wastewater**. 20 th ed. American Public Health Association. Newyork.

Banerji, S., Wood M. and Farrelly P. 2002. **Evaluation of Effective Microorganisms Wastewater Treatment Method for Use in a Solar Aquatic Facility in Bozenman. Montana. USA** (online) .Available http://www.emtrading.com/em/htmlpaper/emwaste water.html. (19 May 2008)

Gede, N. W. 2004. Preliminary cu periment of EM technology On wastewater treatment Thirdconferrence on EM. Saraburi 16-19 November

Higa, T. and Okuda, A. **Purification of Wastewater with Effective Microorganisms and its Utilization in Agriculture** (online).Available http://www.Infrc.or.jp/English/KNF_ Data_Base_web/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C5-8-189.pdf. (19 May 2008)

Higa, T. and Kanal, A. 1998. An Earth Saving Revolution-II: EM-amazing applications to agricultural. Environmental and medical problems.P 216-259

Neklyudov, A. D., Fedotov, G. N., and Ivankin, A. N. 2008. Intensification of Composting Process by Aerobic Microorganisms: A review. **Applied Biochemistry and Microbiology 44(1):9-23.**

Ruggieri, L., Gea, T., Artotla, A. and Sanchez, A. 2008. Influence of different co-substrates biochemical compodting on raw sludge co-composting. **Biodegration** 19:403-415

Tiquia, S. M. and Tam, N. F. 2000. Fateof nitrogen during composting of chicken litter. **Environmental pollution** 110 (3):535-541.

Prasertsan, P., Wuttijumnong, P., Sophanodora, P. and Choorit, W. 1988. "Seafood Processing industries Within Songkhla-Hat yai Region:the Survey of atic Data Emphasis on Wastes".,J Sci.Technol. 10, 447-451.

Rahid, M.T. and West, J**.** 2007**.** Dairy Wastewater Treatment with Effective Microorganisms and Duckweed for pollutants and Pathogen control. Department of Land Resource Science . University of Guelph. Canada.

Szymanski, N. and Patterson, R.A. 2003. "Effective Microorganisms(EM) and Wastewater System in Future Directions for On-site'03" held at University of New England. Armidale 30 th September to 2 nd October 2003.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

1. ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand : TCOD)

โดยวิธี Dichromate Closed Reflux Method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Digestion vessel :ให้ใช้หลอดเพาะเชื้อที่ทำด้วย borosilicate glass ขนาด 16×100 มิลลิลิตร, 20×150 มิลลิลิตร หรือ 25×150 มิลลิลิตร พร้อมด้วยฝาเกลียวปิดซึ่งภายในเป็น TFE

2. Block heater หรือเครื่องมืออื่นๆ ที่คล้ายกันซึ่งสามารถให้ความร้อนที่ 150±02 องศาเซลเซียส พร้อมกับช่อง Block สำหรับใส่หลอด ไม่ควรใช้ Oven เพราะตัวอย่างอาจจะรั่วซึ่งจะเกิดการกัดกร่อนและอาจระเบิดได้ ในกรณีที่ต้องใช้ Oven ให้ผสมตัวอย่างในหลอดให้เข้ากันดีก่อนจึงจะนำเข้า Oven

3. Microburet

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.10 M เตรียมโดยละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$. $6H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติม conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนในแต่ละวัน ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

นำสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วนำมาไทเทรตกับเฟอร์รัส-แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.10 M จุดยุติเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

โมลาริตีของ FAS = [ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ (ml) × 0.25] / ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml)

2. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.01667 M เตรียมโดยละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) 4.903 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร, conc. H_2SO_4 167 มิลลิลิตร และ $HgSO_4$ 33.3 กรัม ละลายเข้าด้วยกัน จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายกรด H_2SO_4 เตรียมโดยทำการผสม Ag_2SO_4 และ conc. H_2SO_4 ด้วยสัดส่วน Ag_2SO_4 5.5 กรัม ต่อ conc. H_2SO_4 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน ให้ Ag_2SO_4 ละลายก่อนนำมาใช้

4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลาย 1,10-phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม และ $FeSO_4.7H_2O$ 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร

5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลท (KHP, $HOOCC_6H_4COOK$) เตรียมโดยบด KHP และทำให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส ชั่งมา 425 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรจนได้ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะอยู่ตัวถ้าเก็บในตู้เย็นแต่ไม่ตลอดไป

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดสำหรับหาค่า COD

2. เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.01667 M จำนวน 6 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลายกรด H_2SO_4 (ผสม Ag_2SO_4) 14 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

4. ปิดฝาหลอด COD ให้แน่นพอดีและนำหลอดไปเหวี่ยงให้สารผสมกัน

5. วางหลอดลงใน block digester ที่ preheat ไว้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ก่อนแล้วรีฟรักซ์ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำหลอดลงใส่ใน test tube rack

6. จากนั้นนำมาไทเทรตด้วยสารละลาย FAS 0.10 M โดยใช้สารละลายเฟอร์โรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

7. ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับน้ำตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่าง ทุกประการรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ก็ต้องเท่ากันด้วย

การคำนวณ

$$COD\ (mg/l) = [(A-B) \times M \times 8{,}000] / \text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}$$

โดยที่ COD = ค่า Chemical Oxygen Demand

A = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

M = โมลาริตีของ FAS

2.ซีโอดีละลายได้ (Soluble Chemical Oxygen Demand : SCOD)

โดยวิธี Dichromate Closed Reflux Method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

กรองน้ำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบด้วยกระดาษกรอง (Whatman) และนำส่วนใสมาวิเคราะห์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์เดียวกันกับการวิเคราะห์ TCOD

3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid : SS)

โดยวิธี Gravimetric Method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Glass Filler Disks (Whatman GF/C หรือ Gelman type A) ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่
2. เครื่องมือสำหรับกรอง
   2.1 Fillter older ใช้ gooch crucible adapter หรือ menbrane fillter funnel
   2.2 ถ้วยกรองความจุ 25 มิลลิลิตร สำหรับ Glass Fillter ขนาด 2.2 เซนติเมตร
3. ขวดดูด (Suction flask) ความจุ 500 มิลลิลิตร
4. เครื่องดูดสูญญากาศ

วิธีการวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองที่วางในอะลูมิเนียมฟรอยให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งหาน้ำหนัก
2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่างที่ได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร
3. วางกระดาษกรองบนกรวยที่ต่อกับเครื่องดูดสูญญาอากาศใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก แล้วเปิดเครื่องดูดสูญญาอากาศ เพื่อให้กระดาษกรองติดกับกรวย
4. กรองตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้วโดยอาศัยแรงดึงจากเครื่องดูดอากาศ ปิดเครื่องดูดสูญญาอากาศใช้คีมคีบกระดาษกรอง แล้วนำใส่อะลูมิเนียมฟรอยอันเดิม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

Suspended Solid (mg/l) = [(A-B)×1000] /ml sample

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

4. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids :TS)

โดยวิธี Gravimetric Method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง (evaporating dish)
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
3. ตู้อบแห้ง (oven)
4. dessicator
5. กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำถ้วยกระเบื้องที่มีน้ำหนักคงที่แล้วจาก dessicator มาชั่ง สมมติให้นำหนัก = A กรัม
2. คนตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดีแล้วตวงโดยใช้กระบอกตวง 100-200 มล. (ปริมาตรที่ใช้ขึ้นกับปริมาณของแข็งในน้ำ) ใส่ในถ้วยกระเบื้องข้อ 1 นำไประเหยบนอ่างไอน้ำจนแห้ง
3. นำถ้วยกระเบื้องที่ระเหยน้ำแห้งแล้วไปใส่ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103-105°C เพื่อไล่ความชื้นนานประมาณ 1 ชม. แล้วนำไปทำให้เย็นใน dessicator
4. เมื่อเย็นแล้วจึงนำมาชั่ง สมมติ = B กรัม

การคำนวณ

Total Solid (mg/l) = [(A-B)×1000] /ml sample

โดยที่ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

5. การวิเคราะห์เจดาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

โดยวิธี Macro Kjeldahl Method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือในการย่อยสลาย ประกอบด้วยเครื่องดูดอากาศเพื่อดูดไอน้ำออกทิ้ง
2. เครื่องกลั่น ชุดเดียวกับการหาแอมโมเนียไนโตรเจน

สารเคมี

1. สารละลายสำหรับการย่อย (Digstion solution) เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 134 กรัม และ 7.3 กรัม $CuSO_4$ ผสมกันในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 134 มิลลิลิตร ของ conc. H_2SO_4 ด้วยความระมัดระวัง และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 14 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟต เตรียมโดยละลาย NaoH 500 กรัม และโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) จำนวน 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกปริมาตรของน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม จากนั้นเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียจนปริมาตรรวมเป็น 300 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายสำหรับการย่อยสลายลงไป 50 มิลลิลิตร

3. ต้มเดี่ยวจนได้สารละลายใส เดี่ยวต่ออีก 20 – 30 นาทีให้หมดควันมีแต่ส่วนใส จากนั้นทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 300 มิลลิลิตร

4. ทำให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์–โซเดียมไธโอซัลเฟต50มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกลั่น โดยใช้สารละลายอินดิเคติ้งบอริคเอซิด 50 มิลลิลิตร เป็นตัวจับแอมโมเนียจนได้ปริมาตรรวมทั้งหมดเป็น 250 มิลลิลิตร

จากนั้นนำส่วนที่กลั่นได้ 250 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งให้เย็น นำมาไทเทรตกับสารละลายกรด H_2SO_4 0.02 N จนกลายเป็นสีม่วงอ่อน

การคำนวณ

$$NH_4^- - N + Org - N\ (mg/L) = [(A - B) \times 280]/\ ml.\ sample$$

โดยที่

$NH_4^- - N + Org - N$ = แอมโมเนียไนโตรเจน + อินทรีย์ไนโตรเจน

A = มิลลิลิตรสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

6. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand :BOD)

โดยวิธี 5 Days Incubation และ Azide Modification

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวด BOD ขนาด 250-300 ml พร้อมจุกปิดสนิทแบบ ground joint ส่วนใหญ่ใช้ขวดที่ทำพิเศษเพื่อการหาออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉพาะ

2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ หรือ Water bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 ± 1 oC และต้องมืดเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในตัวอย่าง

3. อุปกรณ์สำหรับเติมอากาศในน้ำ

4. ปิเป็ต(pipets)

5. กระบอกตวง(cylinder)

6. อุปกรณ์สำหรับการไตรเตรต (titrate)

7. ขวดวัดปริมาตร(volumetric flasks)

สารเคมี

1. สารละลาย Phosphate Buffer นำสาร KH2PO4 มา 8.5 g สาร K2HPO4 มา 21.75 g สาร Na2HPO4.7H2O มา 33.4 g และสาร NH4Cl มา 1.7 g ละลายสารทั้งหมดในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l ค่า pH ของสารละลายนี้ควรจะประมาณ 7.2 โดยไม่ต้องปรับ

2. สารละลาย Magnesium Sulfate นำสาร MgSO4. 7H2O มา 22.5 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

3. สารละลาย Calcium Chloride นำสาร CaCl2 มา 27.5 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

4. สารละลาย Ferric Chloride นำสาร FeCl3 . 6H2O มา 0.25 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

5. สารละลายกรดและด่าง 1 N เพื่อใช้ในการปรับค่า pH ของตัวอย่างให้เป็นกลาง

6. สารละลาย Sodium Sulfite นำสาร Na2SO3 มา 1.575 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 ml สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมในวันที่จะใช้

7. สารป้องกันการเกิด Nitrification : 2chloro-6-(trichoromethyl) pyridine

8. สารละลาย Glucose-Glutamic acid

อบ Glucose (reagent grade) และ Glutamic acid (reagent grade) ที่อุณหภูมิ 103 oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำ Glucose มา 150 mg และ Glutamic acid มา 150 mg ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่น จนได้ปริมาตร 1 l สารละลายนี้เก็บไว้ในตู้เย็นได้ 3 สัปดาห์

9. สารละลาย Manganous sulfate (DO#1) นำสาร MnSO4.4H2O มา 480 g หรือสาร MnSO4.2H2O มา 400 g หรือสารMnSO4.H2O มา 364 g ละลายในน้ำกลั่น กรอง แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l สารละลายที่เตรียมได้ไม่ควรให้สีกับน้ำแป้ง เมื่อนำไปเติมลงไปในสารละลาย Potassium iodide (KI) ที่มีสภาพเป็นกรด

10. สารละลาย Alkali-Iodide-Azide (DO#2) นำสาร NaOH มา 500 g (หรือสาร KOH 700 g) และสาร NaI มา 135 g (หรือสาร KI 150 g) ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l หลังจากนั้นนำสาร NaN3 มา 10 g ละลายในน้ำกลั่น 40 ml แล้วนำไปเติมในสารละลายที่เตรียมขึ้น

11. กรด H2SO4 เข้มข้น (DO#3)

12. น้ำแป้งละลาย Soluble Starch 2 g และ Salicylic acid 0.2 g ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 100 ml ที่ทำให้ร้อน

13. สารละลายมาตรฐาน Potassium bi-iodate (0.025 N) ละลาย KH(IO3)2 812.4 mg ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 l

14. สารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate (0.025 N) นำสาร Na2S2O3.5H2O มา 6.205 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติม NaOH 6N จำนวน 1.5 ml หรือสาร NaOH จำนวน 0.4 g แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l ให้ทำการ Standardize สารละลายนี้ด้วยสารละลาย bi-iodate ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมน้ำเจือจาง

1. ตวงน้ำกลั่นตามปริมาตรที่ต้องการใช้

2. เติมสารละลาย Phosphate Buffer, Magnesium Sulfate, Calcium Chloride และ Ferric Chloride อย่างละ 1 ml ต่อ น้ำกลั่น 1l

3. เติมอากาศอย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อเพิ่มออกซิเจนที่ละลายน้ำ

4. ปรับอุณหภูมิให้ได้ 20 oC

5. เติมน้ำเชื้อ (seed) ถ้าจำเป็น โดยปกติแล้วถ้าเป็นน้ำเชื้อจากน้ำเสียชุมชนจะใช้น้ำเชื้อ 2 ml

การเจือจางตัวอย่าง

การเจือจางตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเจือจางในกระบอกตวงและการเจือจางโดยตรงในขวดBOD สำหรับการเจือจางโดยตรงในขวดBOD ถ้าใช้ตัวอย่างน้อยกว่า 0.5 ml ให้เจือจางตัวอย่างเบื้องต้นก่อน

1. เติมอากาศให้ตัวอย่างประมาณ 2 ชม.

2. กำหนดปริมาณการเจือจางตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่กำหนด 3 ช่วง ให้ครอบคลุมค่าBODที่ประเมินไว้ การเจือจางที่ดีควรให้ผลของ DO ที่เวลา 5 วัน มีค่าอย่างน้อย 1 mg/l และปริมาณของ DO ที่ลดลงหลังจากเวลา 5 วัน ควรมีค่าอย่างน้อย 2 mg/l การหาค่า CODของตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่ค่า BOD จะมีประมาณ 60% ของค่าCOD

3. เทตัวอย่างในปริมาณที่ต้องการลงในกระบอกตวง 1 l

4. เติมน้ำเจือจางลงไปจนปริมาตรได้ 700 ml

6. กวนตัวอย่างให้เข้ากันดีด้วยแท่งกวน

7. ค่อยๆ เทตัวอย่างลงในขวดBOD จำนวน 2 ขวด พยายามอย่างให้เกิดฟองอากาศ เพราะจะถือว่า DO ของตัวอย่างทั้ง 2 ขวด มีค่าเท่ากัน ปิดจุกหล่อน้ำ ใส่ฝาครอบ

8. นำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 oC 1 ขวด ขวดที่เหลือนำไปวิเคราะห์หาค่า DO ทันที ด้วยวิธี Azide Modification

9. การหาค่า DO เริ่มต้นและสุดท้าย

การหาค่า DO สามารถทำโดยวิธี azide modification

ขั้นตอนการหา DO โดยวิธี azide modification

1. เทน้ำที่หล่อจุกขวดตัวอย่างออก

2. เปิดจุก เติมสารละลาย Manganese sulfate (DO#1) 1 ml โดยขณะเติมให้ปลายปิเป็ต (pipet) อยู่ใต้ผิวน้ำ

3. เติมสารละลาย Alkali-Iodide-Azide (DO#2) 1 ml โดยให้ปลาย ปิเป็ต(pipet) อยู่ใต้ผิวน้ำขณะเติม

4. ปิดจุกโดยอย่าให้มีฟองอากาศภายในขวด คว่ำขวดไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้สารผสมกัน

5. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส เกินครึ่งหนึ่งของขวด

6. เติมกรด H2SO4 เข้มข้น(DO#3) 1 ml โดยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปข้าง ๆ คอขวด ปิดจุก คว่ำขวดขึ้นลงหลายครั้งจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

7. ตวงปริมาตร 201 ml นำไป ไตรเตรต(titrate) กับสารละลายมาตรฐาน sodium thiosulfate (0.025 N) จนได้สีเหลืองอ่อน

8. เติมน้ำแป้ง 2-3 หยดจะได้สีน้ำเงินเข้มทำการไตรเตรตต่อไปจนกระทั้งสีน้ำเงินหายไป ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate ที่ใช้จะเทียบเท่ากับปริมาณของออกซิเจน(DO)ของน้ำตัวอย่างโดยมีหน่วยเป็น mg/l

การคำนวณ

กรณีไม่มีการเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง

$$BOD = DO0 – DO5/P$$

โดยที่ BOD5 = ค่า BOD ที่ระยะเวลากักเก็บตัวอย่าง 5 วันมีหน่วยเป็น mg/l

DO0 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างที่หาได้ทันที, mg/l

DO5 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน, mg/l

P = สัดส่วนปริมาณของตัวอย่างที่ใช้เจือจาง โดยคิดปริมาณทั้งหมดเป็น 1 ส่วน

ภาคผนวก ข
การเตรียมอาหารและวิเคราะห์จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ yeast, facultative anaerorbes และ lactic acid bacteria โดยนำหัวเชื้ออีเอ็มและน้ำสกัดชีวภาพมาทำการเจือจาง 10^{-1}-10^{-7} และนับจำนวนจุลินทรีย์ด้วยวิธี spread plate method (สำหรับวิเคราะห์ yeast) และ pour plate method (สำหรับวิเคราะห์ facultative anaerorbes และ Lactic acid bacteria) ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหล่านี้

Potato dextrose agar (PDA) (Lab-scan)

potato infusion	4.0	กรัมต่อลิตร
dextrose	20.0	กรัมต่อลิตร
bacteriological agar	15.0	กรัมต่อลิตร

ละลาย PDA 39 กรัมในน้ำกลั่นปริมาณ 1 ลิตร แล้วนำไปฆ่าเชื้อ ที่ 121 องศาเซลเซียสภายใต้ความดันไอน้ำนาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมยาปฏิชีวนะ โดยใช้ความเข้มข้นสุดท้ายของ gentamycin 0.05 มิลลิกรัมต่อปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อยับยั้งแบคทีเรีย ก่อนเทอาหารใส่จานอาหารเลี้ยงเชื้อ

Deman Rogasa and Sharpe agar (MRS agar) (Lab-scan)

Dextrose	20.0	กรัมต่อลิตร
Bacteriological peptone	10.0	กรัมต่อลิตร
Beef extract	8.0	กรัมต่อลิตร
Sodium acetate	5.0	กรัมต่อลิตร
Yeast extract	4.0	กรัมต่อลิตร
Dipotassium phosphate	2.0	กรัมต่อลิตร
Ammonium citrate	2.0	กรัมต่อลิตร
Tween 80	1.0	กรัมต่อลิตร
Magnesium sulfate	0.2	กรัมต่อลิตi
Manganese sulfate	0.05	กรัมต่อลิตร
Bacteriological agar	10.0	กรัมต่อลิตร

ละลาย MRS agar 62 กรัมในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันไอน้ำนาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ก่อนเทลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ

Natrient agar

Beef extract	3	กรัมต่อลิตร
Peptone	5	กรัมต่อลิตร
Agar	15	กรัมต่อลิตร

ละลาย NA agar 28 กรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันไอน้ำนาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ก่อนเทลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ

Spread plate method

1. ทำการเจือจางตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ
2. จากนั้นดูดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. จุ่ม spreader ในบีกเกอร์ที่มีแอลกอฮอล์ นำมาเผาไฟจนร้อน รอจนเย็น ใช้ spreader กวาดไปบนอาหารที่มีตัวอย่างให้ทั่ว
4. จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ โดย PDA บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Pour plate method

1. ทำการเจือจางตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ
2. จากนั้นดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ โดย MRS agar และ NA agar บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

การตรวจนับจำนวนโคโลนี

โดยตรวจนับโคโลนี (colony) ระหว่าง 30-300 โคโลนี สังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยการสังเกตลักษณะโคโลนี รูปร่าง การติดสีแกรม ของจุลินทรีย์ในแต่ละจานเพาะเชื้อ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวกาญจนา โสหุรัตน์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010920037

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ผลิตกรรมชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548

ทุนการศึกษา(ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ

กาญจนา โสหุรัตน์, ปิยะรัตน์ บุญแสวง, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และธันวดี เตชะภัททวรกุล. 2552. “การผลิตน้ำสกัดชีวภาพจากน้ำต้มกุ้งเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง” เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 10. นครราชสีมา. 1- 3 เมษายน 2552.