

การบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

อินกัณฑ์กัณฑ์กรอง

Anaerobic Treatment of Fishery Wastewater Using Filter Reactor



ศิริวรรณ จัง

Siriwan Jung

๐

เลขที่	TD 745	ปี	2534
Order Key	29016		
Bib Key	20291		
/ 2.1.ป.ศ. 2533 /			

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Biotechnology

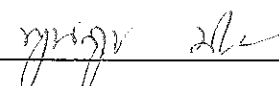
Prince of Songkla University

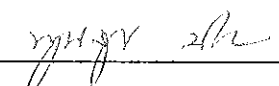
2534

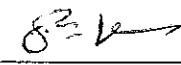
หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไม่ใช้อากาศน  
กึ่งหมักตัวกรอง  
ผู้เขียน : น.ส ศิริวารณ แซ่จั้ง  
สาขาวิชา : เทคโนโลยีชีวภาพ

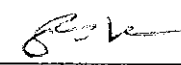
คณะกรรมการที่ปรึกษา


คณะกรรมการสอบ

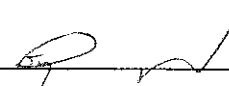
 ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข ประเสริฐสุวรรณ์)

 ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข ประเสริฐสุวรรณ์)

 กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ หันพงษ์กิตติกุล)

 กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ หันพงษ์กิตติกุล)

 กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ณรงค์ ณ เชียงใหม่)

 กรรมการ  
(อาจารย์ วรณา ชุณหิทธิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

  
.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทรพรหมมา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

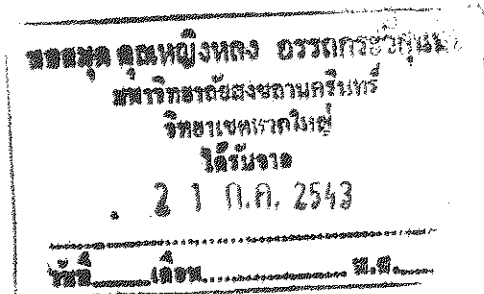
หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไม่ใช้อากาศใน  
ถังหมักตัวกรอง

ผู้เขียน : น.ส.ศิริวรรณ จัง

สาขาวิชา : เทคโนโลยีชีวภาพ

ปีการศึกษา : 2533

บทคัดย่อ



ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสีย 4 แหล่ง ของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลในเขตจังหวัดสงขลา จำนวน 2 โรงงาน คือ โรงงานรอมแยลแดนหนึ่ง จำกัด และโรงงานทรอปิคอลแดนหนึ่ง จำกัด พบว่าน้ำเสียรวมของโรงงานรอมแยลแดนหนึ่ง จำกัด มีค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ดังนี้ พีเอช 5.8, ความเป็นด่าง 319 มก/ล (ในรูป  $\text{CaCO}_3$ ), ของแข็งทั้งหมด 6,260 มก/ล, ของแข็งระเหย 4,445 มก/ล, ของแข็งตกตะกอน 48 มล/ล, ไขมัน 2,822 มก/ล, BOD 11,874 มก/ล, COD 46,955 มก/ล, ไนโตรเจนทั้งหมด 456 มก/ล, ฟอสเฟต 43 มก/ล และคลอไรด์ 493 มก NaCl/ล ส่วนโรงงานทรอปิคอลแดนหนึ่ง จำกัด น้ำทิ้งปลาทูน่า มีค่าเฉลี่ยดังนี้ พีเอช 6.4, ความเป็นด่าง 630 มก/ล (ในรูป  $\text{CaCO}_3$ ) ของแข็งทั้งหมด 12,376 มก/ล, ของแข็งระเหย 6,712 มก/ล, ของแข็งตกตะกอน 19 มล/ล, ไขมัน 2,835 มก/ล, BOD 7,460 มก/ล, COD 10,583 มก/ล, ไนโตรเจนทั้งหมด 703 มก/ล, ฟอสเฟต 43 มก/ล และคลอไรด์ 4,104 มก NaCl/ล จากกระบวนการบรรจุกระป๋อง มีค่าเฉลี่ยดังนี้ พีเอช 6.4 มก/ล, ความเป็นด่าง 200 มก/ล (ในรูป  $\text{CaCO}_3$ ), ของแข็งทั้งหมด 5,985 มก/ล, ของแข็งระเหย 1,960 มก/ล, ของแข็งตกตะกอน 9 มล/ล, ไขมัน 1,002 มก/ล, BOD 1,733 มก/ล, COD 3,320 มก/ล ไนโตรเจนทั้งหมด 207 มก/ล, ฟอสเฟต 41 มก/ล และคลอไรด์ 3,977 มก NaCl/ล จากการ แช่เยือกแข็ง มีค่าเฉลี่ยดังนี้ พีเอช 6.9, ความเป็นด่าง 90 มก/ล (ในรูป  $\text{CaCO}_3$ ), ของแข็งทั้งหมด 4,999 มก/ล, ของแข็งระเหย 1,464 มก/ล, ของแข็งตกตะกอน 3 มล/ล, ไขมัน 662 มก/ล, BOD 814 มก/ล, COD 1,472 มก/ล, ไนโตรเจนทั้งหมด 126 มก/ล, ฟอสเฟต 32 มก/ล และคลอไรด์ 3,320 มก NaCl/ล นอกจากนี้ พบว่า คุณลักษณะของน้ำเสียทั้งหมด

ไม่มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาและวันทำงานที่ทำการเก็บตัวอย่าง อัตราส่วนของ BOD:COD ของน้ำเสียทุกแหล่งอยู่ในช่วง 0.47-0.61 เลือคน้ำเสียของโรงงานรอแผลแคนนึ่ง จานัดในการศึกษาต่อไปในถังหมัก

ศึกษาการทางานของระบบบำบัดอากาศในถังหมักตัวกรอง (ขนาดความจุ 5.1 ลิตร) โดยแปรผันค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (organic loading rate, OLR) จาก 0.30 กก.COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ระยะเวลาในการคงอยู่ของน้ำเสียภายในถังหมัก (hydraulic retention time, HRT) 35.9 วัน ถึง OLR 1.77 กก.COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 5.8 วัน พบว่า ที่ OLR ต่ำ ระบบสามารถลด COD ของน้ำเสียได้สูง ค่า OLR สูงสุด และ HRT ต่ำสุดที่ระบบยังคงลดค่า COD ได้สูง (ร้อยละ 78.36) คือ ที่ 0.99 กก.COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 11.0 วัน และ OLR สูงสุดที่ระบบยังสามารถดำเนินการไปได้โดยไม่ล้มเหลวคือ 1.67 กก.COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 6.6 วัน จากการวิเคราะห์น้ำทิ้งหลังผ่านระบบ พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ปริมาณการระเหยและความเป็นด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าพีเอชลดลงเล็กน้อย จากการวิเคราะห์น้ำเสียและน้ำทิ้งเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะต่าง ๆ ได้แก่ K, Ca, Mg, Na, Cl, Fe, Mn, Cu, Zn และ Cr พบว่า โซเดียมและคลอไรด์ มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่แคลเซียมมีปริมาณลดลงมาก นอกจากนี้ ยังพบว่าน้ำเสียที่เข้าเป็นวัตถุดิบในการป้อนเข้าระบบที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °ซ ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ต่อประสิทธิภาพการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในถังหมักธรรมดา (ขนาดแก้วขนาด 2.5 ลิตร) โดยหมักที่อุณหภูมิห้อง (30-35 °ซ) และที่อุณหภูมิสูง 40-42 °ซ พบว่าที่อุณหภูมิสูงอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพและปริมาณการระเหย เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการผลิตแก๊สสูงสุด 1,500 มล/วัน หลังการหมัก 24 วัน และลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นจนถึงการหยุดการผลิตแก๊สหลังการหมัก 34 วัน ส่วนที่อุณหภูมิห้อง อัตราการผลิตแก๊สมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วง 26 - 34 วันของการหมัก จากนั้นการผลิตแก๊สลดลงและเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้ คือ 750 มล/วัน

Thesis title : Anaerobic Treatment of Fishery Wastewater Using  
Filter Reactor.  
Author : Miss Siriwan Jung  
Major program : Biotechnology  
Academic year : 1990

### Abstract

Characteristics of wastewaters taken from four sources of the two seafood processing factories, Royal Canning Co., Ltd. and Tropical Canning Co., Ltd. were studied. The characteristics of the wastewater from Royal Canning Co., Ltd. were as following : pH 5.8, alkalinity 319 mg/L (as  $\text{CaCO}_3$ ), settleable solids 48 ml/L, grease 2,822 mg/L, BOD 11,874 mg/L, COD 46,955 mg/L, total nitrogen 456 mg/L, phosphate 43 mg/L, and chloride 493 mgNaCl/L. The wastewaters from Tropical Canning Co., Ltd. had the following characteristics; from tuna precook line : pH 6.4, alkalinity 630 mg/L (as  $\text{CaCO}_3$ ), settleable solids 19 ml/L, grease 2,835 mg/L, BOD 7,460 mg/L, COD 10,583 mg/L, total nitrogen 703 mg/L, phosphate 43 mg/L, and chloride 4,104 mgNaCl/L ; from canning line : pH 6.4, alkalinity 200 mg/L (as  $\text{CaCO}_3$ ), total solids 5,985 mg/L, volatile solids 1,960 mg/L, settleable solids 9 ml/L, grease 1,002 mg/L, BOD 1,733 mg/L, COD 3,320 mg/L, total nitrogen 207 mg/L, phosphate 41 mg/L, and chloride 3,977 mgNaCl/L ; from freezing line : pH 6.9, alkalinity 90 mg/L (as  $\text{CaCO}_3$ ), total solids 4,999 mg/L, volatile solids 1,464 mg/L, settleable solids 3 ml/L, grease 662 mg/L, BOD 814 mg/L, COD 1,472 mg/L, total nitrogen 126 mg/L, phosphate 32 mg/L, and

chloride 3,320 mgNaCl/L. There was no relationship between the waste water characteristics and sampling times and days. The BOD:COD ratio of wastewater from all sources ranged from 0.47 to 0.61. The waste water from Royal Canning Co., Ltd. was chosen for further studies in anaerobic reactor.

Fermentation in anaerobic filter reactor (5.1 L capacity) was studied by varying the organic loading rate (OLR) from 0.30 kgCOD/m<sup>3</sup>-day at the hydraulic retention time (HRT) of 35.9 days to OLR 1.77 kg COD/m<sup>3</sup>-day at HRT of 5.8 days. It was found that at low OLR, the reduction of COD of wastewater was high. The maximum OLR and minimum HRT that the reactor system can maintain its high COD reduction (78.36%) were 0.99 kgCOD/m<sup>3</sup>-day and 11 days, respectively, The maximum OLR that the reactor system still be able to operate without failure was 1.67 kgCOD/m<sup>3</sup>-day at HRT 6.6 days. The results of effluent analysis showed that as the OLR increased, the volatile acids and the alkalinity increased while the pH decreased slightly. Results the changes of metals (K, Ca, Mg, Na, Cl, Fe, Mn, Cu, Zn, and Cr) content in the influent and effluent indicated that Na and Cl increased, while Ca decreased. The chemical composition of raw wastewater stocked at 4°C changed during storage.

The effect of temperatures on anaerobic fermentation in conventional reactors (2.5 L-glass bottles) was conducted at ambient temperature (30-35 degree celcius) and elevated temperature (40-42 degree celcius). Biogas production rate and volatile acid increased very rapidly at the elevated temperature with the highest biogas production of 1,500 ml/day after 24 days incubation, then decreased

rapidly and no gas was produced after 34 days. At ambient temperature, biogas production rate increased during 26-34 days of fermentation, then decreased and increased again. The maximum biogas production was 750 ml/day.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร. พูนสุข ประเสริฐสรรพ อาจารย์  
ที่ปรึกษา, ผศ.ดร. อรัญ หันพงษ์กิตติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ Associate Professor  
K. A. Buckle ที่ปรึกษาโครงการย่อยเทคโนโลยีการหมัก ภายใต้งานโครงการพัฒนาคณะทรัพยากร  
ธรรมชาติ ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จนงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี โครงการพัฒนา  
คณะทรัพยากรธรรมชาติ(ไทย-ออสเตรเลีย) และ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือด้านเงินทุนวิจัย,  
อ.วรรณา ชูฤทธิ์, รศ. ณรงค์ ฌ เชียงใหม่ กรรมการสอบ วิจารณ์ทรอพิคอลแคนนิ่ง จำกัด  
และโรงงานรอยแยลแคนนิ่ง จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลและตัวอย่างน้ำเสีย นอกจากนี้  
ยังมีเพื่อน ๆ ทุกคนเจ้าหน้าที่พิมพ์ดีด และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร  
ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำการจัดพิมพ์ และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอย่างดียิ่ง  
ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ศิริวรรณ จัง

กุมภาพันธ์ 2534



	หน้า
รายการตาราง	๕
รายการรูป	๘
1. บทนำ	1
2. การตรวจเอกสาร	2
กลไกและจลนศาสตร์ของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	
1. แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน	4
2. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน	5
3. การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียไม่สร้างกรดและแบคทีเรียที่สร้างกรด	6
สภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	
1. อุณหภูมิ	8
2. พีเอช	8
3. ชนิตและความเข้มข้นของน้ำเสีย	9
4. อัตราการรับสารอินทรีย์ของระบบการหมัก	10
5. ปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในการหมัก	10
6. การกวน	11
7. กรดไขมันระเหย	11
8. แอมโมเนียประจุบวก	14
9. ซัลไฟด์	16
10. โลหะหนัก	17
การบำบัดน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูง	17
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	18
1. ระบบธรรมดา	20
2. ระบบสัมผัส	20
3. ระบบตัวกรอง	21
4. ระบบแบบจานหมุน	21
5. ระบบตัวกลางแขวนลอย	21
6. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) process.	23
ประสิทธิภาพของระบบถังหมักตัวกรอง	24

	หน้า
3. วัตถุประสงค์และวิธีการ	
วัตถุประสงค์	28
วิธีการทดลอง	
1. คุณลักษณะของน้ำเสียจากรังงานแปรรูปอาหารทะเล	32
2. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้อากาศในถังหมักที่มีตัวกรอง	36
3. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้อากาศในขวดแก้ว	38
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	
1. คุณลักษณะของน้ำเสียจากรังงานแปรรูปอาหารทะเล	39
2. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้อากาศในถังหมักที่มีตัวกรอง	50
3. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้อากาศในถังหมักขวดแก้ว	59
5. สรุป	65
6. เอกสารอ้างอิง	67
7. ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสีย	74
ภาคผนวก ข. แหล่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำชนิดต่างๆของโรงงานรอยแยลแดนนิ่ง จำกัด และโรงงานทรอปิคอลแดนนิ่ง จำกัด	94

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาของกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก	6
2	บทบาทของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนในการควบคุมการหมักแบบไม่ใช้อากาศ	8
3	ระดับความเข้มข้นของโลหะเบาประจุบวกที่มีผลต่อการยับยั้งการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	16
4	Antagonists และ Synergists ในการผลิตมีเทน	16
5	องค์ประกอบของน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์พวก แกะ วัว ควาย และ สุนัข	19
6	ผลการทดลองของระบบการบำบัดน้ำเสียแบบขั้นต้นต่อเนื่องและสองขั้นต้น	25
7	การผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียชนิดต่าง ๆ โดยยั้งหมักตัวกรอง	26
8	ผลของวันทำงานและ เวลาในการสูมตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียของโรงงานรอกแยลแคนนิ่ง จำกัด	40
9	ผลของ เวลาสูมตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียของโรงงานรอกแยลแคนนิ่ง จำกัด	41
10	ผลของวันทำงานและ เวลาในการสูมตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการเตรียมปลาหน้าของโรงงานหรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด	42
11	ผลของวันทำงานและ เวลาในการสูมตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการบรรจุกระป๋องของโรงงานหรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด	43
12	ผลของวันทำงานและ เวลาในการสูมตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียจากขบวนการแช่เยือกแข็งของโรงงานหรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด	44
13	สรุปคุณลักษณะของน้ำเสียของโรงงานรอกแยลแคนนิ่ง จำกัด และ โรงงานหรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด	45
14	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน BOD:COD ของน้ำเสียของโรงงานรอกแยลแคนนิ่ง จำกัด และโรงงานหรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด	49
15	ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียของโรงงานรอกแยลแคนนิ่ง จำกัดเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นที่มีผลยับยั้งต่อกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ	49

ตารางที่		หน้า
16	ปริมาณโลหะเบาประจุบวกในน้ำเสียของโรงงานรอยแอลแคนนิ่ง จำกัด เปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นที่มีผลต่อการขยับยั้งระบบการหมักแบบ ไม่ใช้อากาศ	50
17	ประสิทธิภาพการบำบัดและการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานรอยแอล แคนนิ่ง จำกัด โดยใช้อากาศแบบถังหมักตัวกรอง	52
18	ผลของการเก็บที่อุณหภูมิ 4๘°C ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมีในน้ำเสียของ โรงงานรอยแอลแคนนิ่ง จำกัด และน้ำทิ้งหลังผ่านการหมักในระบบไม่ใช้อากาศ ในถังหมักตัวกรอง	58
19	ปริมาณโลหะหนักและโลหะเบาประจุบวกในน้ำเสียของโรงงานรอยแอลแคนนิ่ง จำกัด ช่วงก่อนและหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบถังหมักตัวกรอง	60
20	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำทิ้งของการหมักในถังหมักชนิดที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 40-42°C	63
ภาคผนวก 1	ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง	81
ภาคผนวก 2	น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ	93

รายการรูป

รูปที่	หน้า
1 กระบวนการทางจุลชีววิทยาของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ	3
2 ผลกระทบของพีเอชและความเข้มข้นของกรดระเหยทั้งหมดต่อความคงตัวของถังหมัก	13
3 ระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศชนิดต่าง ๆ	20
4 รายละเอียดเกี่ยวกับปริมาตรและสัดส่วนของถังหมักตัวกรอง	29
5 แผนภูมิการจัดตั้งระบบถังหมักตัวกรองไม่ใช้ออกาศที่ใช้งานการทดลอง	30
6 ระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกาศในถังหมักตัวกรอง	31
7 ลักษณะการจัดตั้งระบบการหมักไม่ใช้ออกาศในถังหมักขวดแก้ว	31
8 ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียที่มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี	33
9 แผนผังแสดงการไหลของน้ำเสียและจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียของ ก. โรงงานรอแยลแดนนิ่ง จำกัด ข. โรงงานทรอปิคอลแดนนิ่ง จำกัด	34
10 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อพีเอชของน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลระหว่างการหมักไม่ใช้ออกาศในถังหมักตัวกรอง	55
11 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยและความเป็นด่างของน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลระหว่างการหมักไม่ใช้ออกาศในถังหมักตัวกรอง	56
12 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์และ HRT ต่อการลดลงของ COD ของน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลระหว่างการหมักไม่ใช้ออกาศในถังหมักตัวกรอง	57
13 อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพของการหมักไม่ใช้ออกาศในถังหมักขวดแก้วที่อุณหภูมิห้อง (30-35°C) และ ที่ 40-42°C ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล	62

## บทนำ

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยส่งออกอาหารแปรรูปเป็นจำนวนมากมหาศาล นำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี อาหารแปรรูปที่สำคัญที่กำลังหารายได้สูงและมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยมากจนปัจจุบันคืออาหารทะเล อาหารทะเลแปรรูปมีทั้งในรูปแบบบรรจุกระป๋อง แช่แข็ง ปลาป่นและอื่น ๆ แหล่งผลิตอาหารทะเลแปรรูปเหล่านี้ส่วนใหญ่ตั้งอยู่แถบจังหวัดชายฝั่งทะเลภาคใต้และภาคกลาง

ของเสียจากรูปของแข็งและของเหลวจากกระบวนการแปรรูปอาหารทะเลมีจำนวนมาก จากข้อมูลการสำรวจโรงงานแปรรูปอาหารทะเลจำนวน 9 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลาโดย Prasertsan และคณะ (1988) แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานแต่ละแห่งอยู่ในช่วง 300-500 ม<sup>3</sup> ต่อวัน และประกอบด้วยสารอินทรีย์ปริมาณสูง แต่ละโรงงานมีระบบการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกันไป เช่น ระบบ Activated sludge, Oxidation pond, Aerated lagoon หรือไม่มีระบบการบำบัดน้ำเสียเลย เป็นต้น จะเห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ง่ายส่วนใหญ่เป็นระบบบำบัดอากาศ ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการให้อากาศ และมีปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาเรื่องการลอยตัวของตะกอน (Sludge bulking) ในระบบ Activated sludge เพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ จึงเกิดการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศขึ้น ซึ่งนอกจากจะลดค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในการให้อากาศแล้ว ยังสามารถผลิตมีเทน ซึ่งเป็นแก๊สที่มีคุณค่าในด้านเชื้อเพลิงด้วย ระบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบที่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ละลายอยู่สูง ในการบำบัดสารอินทรีย์จะถูกรีดักชันเป็นมีเทนแทนการออกซิเดชันเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในระบบไม่ใช้อากาศ มีผลให้มีปริมาณตะกอนตกต่ำ เพราะพลังงานที่เหลือส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแก๊สซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้สร้างเซลล์ได้ (Forday and Greenfield, 1982) แต่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญได้ดีขึ้นมากที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะกับน้ำเสียที่อุณหภูมิสูงกว่า 25

ปัจจุบันมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศกับน้ำเสียชนิดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น น้ำเสียจากโรงงานแปรงมันส่าปะหลัง (Tantichareon, 1986) น้ำเสียจากโรงงานเบียร์ (Lovan and Force, 1971) น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Ghin Yeoh, 1987) น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล (Chanduyvit, 1987) และน้ำเสียบริเวณสูงจากโรงฆ่าสัตว์ (Sayed, et al., 1984) แต่ยังไม่มียางานการวิจัยระบบบำบัดแบบไม่ใช้

อากาศกับน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ดังกล่าว

### การตรวจเอกสาร

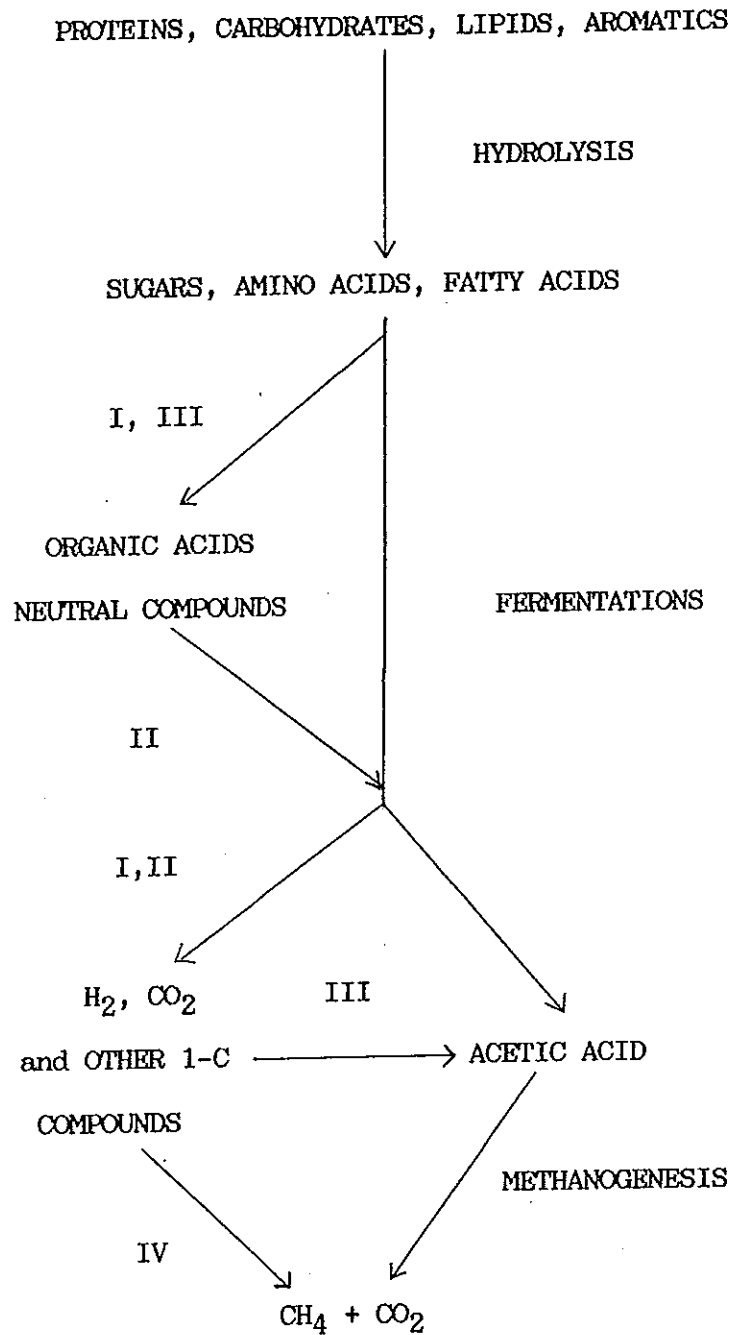
กลไกและจุลินทรีย์ของการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ เป็นกระบวนการซึ่งจุลินทรีย์พวกไม่ต้องการอากาศ (anaerobe) และพวกกึ่งไม่ต้องการอากาศ (facultative anaerobe) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นพลังงานและธาตุคาร์บอน เพื่อใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบภายในเซลล์ และสร้างผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นมีเทน กระบวนการนี้ต้องอาศัยกระบวนการหลายขั้นตอน และกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องหลายกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 1

ขั้นตอนแรกสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น พวกรับไฮเดรท โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่แบคทีเรียผลิตออกมาออกเซลล์ เพื่อย่อยให้เป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลง ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ที่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่สร้างกรด (acidogenic bacteria) ซึ่งจะเปลี่ยนโมเลกุลเหล่านี้ เป็นพวกกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวิก กรดบิวทิริก และตัวอื่น ๆ กรดไขมันระเหยเป็นสารกึ่งกลางที่สำคัญ (key intermediate) สารกึ่งกลางที่พบมากที่สุดถึงประมาณร้อยละ 70 คือ กรดอะซิติก (Stafford, et al., 1978) ซึ่งเป็นกรดไขมันเพียงตัวเดียวที่ถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้ (รูปที่ 1) ดังนั้นกรดไขมันตัวอื่น ๆ จึงจำเป็นต้องอาศัยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (acetogenic bacteria) หากการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอะซิเตท หลังจากนั้น แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน (methanogenic bacteria) จึงเปลี่ยนกรดอะซิติกเหล่านี้เป็นมีเทน

นอกจากนี้ มีเทนยังสร้างได้จากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากการใช้ไฮโดรเจน ( $H_2$ -utilizing methanogens) จะรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์เป็นมีเทน ดังสมการ





- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| I Acidogenic bacteria  | III Homoacetogenic bacteria |
| II Acetogenic bacteria | IV Methanogenic bacteria    |

รูปที่ 1 กระบวนการทางจุลชีววิทยาของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา : Forday และ Greenfield , 1982



คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนยังเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดอะซิติกโดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกเพียงอย่างเดียว (homoacetogenic bacteria) แต่แบคทีเรียกลุ่มนี้มีน้อยมาก จึงเชื่อว่าขั้นตอนนี้ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Forday and Greenfield, 1982)

จากขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ดังกล่าว แบ่งกลุ่มจุลินทรีย์สำคัญที่เกี่ยวข้องได้ 2 กลุ่มใหญ่คือ

### 1. แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (non-methanogenic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทนเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนย่อยสลาย และการหมัก เจริญได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งที่มีอากาศและไม่มีอากาศ ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญสูง สามารถเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าภายใน 24 ชั่วโมง จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกและสามารถผลิตไฮโดรเจน และแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกเพียงอย่างเดียว (Novaes, 1986)

1.1 แบคทีเรียที่สร้างกรด เป็นพวกที่มีจำนวนมากที่สุดในกลุ่มแบคทีเรียหลักทั้งหมด ทำหน้าที่ย่อยสลายและสร้างกรดไขมันระเหยรวมทั้งเอทานอลและสารประกอบที่ง่ายซึ่งเกิดจากการแตกตัวของกรดอะมิโน (Bryant, 1976) ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้น และสภาวะแวดล้อมที่จุลินทรีย์เจริญเติบโต (Novaes, 1986) ตัวอย่างเช่น ในสภาวะที่มีแก๊สไฮโดรเจนต่ำ จุลินทรีย์สร้างสารอินทรีย์พวกอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะที่มีแก๊สไฮโดรเจนสูงจุลินทรีย์จะผลิตฟิโอริน แลคเตท และเอทานอล

หากการหมักล้มเหลว จะเกิดการสะสมฟิโอริน บิวทิริก และเอทานอลมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความไม่สมดุลย์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ในการถ่ายเทอิเล็กตรอน จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะถูกยับยั้ง ดังนั้นงานทางปฏิบัติจึงใช้การสะสมผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ความล้มเหลวของการหมัก (Forday and Greenfield, 1982)

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่จุลินทรีย์ที่อยู่ใน วงศ์ Streptococceae, Enterobacteriaceae, Lactobacillaceae และ Bacillaceae (Novaes, 1986) เป็นต้น

1.2 แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตไฮโดรเจนจากการย่อยสลายสารประกอบวงแหวน (aromatic compound) โพรพิโอเนท แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีมวลโมเลกุลใหญ่กว่าอะซิเตท ได้เป็น อะซิเตท แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน (ตารางที่ 1) จุลินทรีย์กลุ่มนี้เจริญช้าและอ่อนไหวต่อปริมาณไฮโดรเจนสูงและจะเจริญได้ดีภายใต้ความดันย่อยของไฮโดรเจนที่ต่ำกว่า  $10^{-5}$  บรรยากาศเท่านั้น งานกรณที่มีการสะสมของไฮโดรเจนจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และทำให้สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการสร้างมีเทน ทำให้ถังหมักเกิดสภาวะกรดได้ (Sheehan, 1981, cited by Forday and Greenfield, 1982)

ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Syntrophomonas wolfei ซึ่งย่อยสลายกรดไขมันได้เป็นอะซิเตทและไฮโดรเจน หรืออะซิเตท โพรพิโอเนทและไฮโดรเจน (McInerney, et al., 1981) และ Syntrophus buswelli ซึ่งย่อยสลายสารประกอบวงแหวนของเบนโซเอทได้เป็นอะซิเตทและแก๊สไฮโดรเจน (Mountfort, et al., 1984)

1.3 แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกเพียงอย่างเดียว จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวกที่อาศัยแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเจริญเติบโต และผลิตอะซิเตท ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ตัวสำคัญในการสร้างมีเทน และเป็นตัวให้ไฮโดรเจนกับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนโดยผ่านปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การถ่ายเทไฮโดรเจนระหว่างสายพันธุ์ นอกจากนี้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ยังเป็นตัวสำคัญในการรักษาระดับความดันไฮโดรเจนในถังหมักให้อยู่ในระดับต่ำเสมอ (Forday and Greenfield, 1982)

ตัวอย่างของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ Clostridium thermoaceticum ซึ่งเจริญโดยอาศัยสารประกอบคาร์บอนอะตอมเดี่ยว (Novaes, 1986), Butyribacterium methylotrophicum เจริญได้ทั้งจากการใช้สารประกอบคาร์บอนอะตอมเดี่ยว เช่น ไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะสร้างอะซิเตทออกมาอย่างเดียว และจากการใช้สารประกอบคาร์บอนหลายอะตอม เช่น กรดแลคติก โพรพาน น้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอมซึ่งจะสร้างทั้งบีวทิเรทและอะซิเตทผสมกัน Zeikus (1979) รายงานว่า Acetobacterium woodii สามารถอาศัยฟรุคโทสและกรดแลคติกเป็นสารอาหารได้ด้วย

## 2. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria)

จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะทำงานในขั้นตอนการผลิตมีเทน ส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีชีวิตอยู่ได้เฉพาะ

ตารางที่ 1 ปฏิกิริยาของกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก

---

Octanoate	----->	4 acetate + 6 H <sub>2</sub>
Heptanoate	----->	2 acetate + propionate + 4 H <sub>2</sub>
Valerate	----->	acetate + propionate and 2 H <sub>2</sub>
Ethanol	----->	acetate + 2 H <sub>2</sub>
Propionate	----->	acetate + CO <sub>2</sub> + 3 H <sub>2</sub>
Butyrate	----->	2 acetate + 2 H <sub>2</sub>

---

ที่มา : Sheehan, 1981. (Cited by Forday and Greenfield, 1982)

งานสภาวะที่ไม่มีอากาศเท่านั้น (obligate anaerobes) เจริญได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-7.2 เจริญได้ทั้งช่วงอุณหภูมิปานกลาง (15-40°C) และช่วงอุณหภูมิสูง (55-65°C) และมีรูปร่างต่าง ๆ กันเช่น กลุ่ม Methanobacterium รูปร่างเป็นแท่ง Methanosarcina รูปร่างกลม อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม และ Methanococcus รูปร่างกลม เป็นต้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมน้อยมาก มีอัตราการเจริญช้ามาก uly เฉพาะใช้เวลา 3-5 วัน งานการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าและต้องการค่า Oxidation-reduction potential งานการเจริญต่ำ (-300 mV) (Novaes, 1986)

การง่สารอาหารของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ มีทั้งแบบ autotroph และ heterotroph เกือบทุกสายพันธุ์ สามารถเจริญโดยง่ อะซิเตท ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งพลังงาน มีเพียงบางสายพันธุ์ที่จำเพาะกับการง่อะซิเตท เช่น Methanosarcina barkeri (Balch, et al., 1979) ซึ่งมักพบสายพันธุ์นี้เป็นตัวเด่นอยู่จนถึงหมัก และ Methanotrix sochnogenii นอกจากนี้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ยังต้องการแอมโมเนียและซีสเทอีนหรือซิสทีน (Cystein) เป็นแหล่งไนโตรเจนและซีสเทอีน และวิตามินบีเป็นสารช่วยงานการเจริญเติบโตด้วย

McCarty (1976) พบว่าร้อยละ 70 ของมีเทนที่ผลิตขึ้นได้จากอะซิเตทและร้อยละ 10 จากฟอร์เมท ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์เชิงเดี่ยวอื่น ๆ ได้แก่ primary alcohol, secondary alcohol เมทานอลและกรดไขมันอื่น ๆ จุลินทรีย์หลายชนิดใช้ฟอร์เมทได้โดยตรงหรือเปลี่ยนเป็นแก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนนำไปง่ (Huser, et al., 1982) ได้แก่ Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanococcus, Methanomicrobium, Methanogenium และ Methanospirillum จุลินทรีย์ที่ง่ไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น เช่น Methanobacterium thermoautotrophicum (Ferguson and Mah, 1983) บทบาทของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน งานการควบคุมการหมักแบบไม่ใช้อากาศ แสดงงานตารางที่ 2

### 3. การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนและแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

แบคทีเรียพวกไม่สร้างมีเทน นอกจากจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารที่มีขนาดเล็กและอยู่ในรูปที่พวกที่สร้างมีเทนสามารถนำไปง่งานการเจริญ และผลิตมีเทนได้แล้ว ยังเป็นตัวสำคัญในการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างมีเทนอีกด้วย โดยเฉพาะพวกที่สร้างกรด มีหน้าที่เป็นตัวช่วยลดออกซิเจนในระบบขณะที่ผลิตกรดอินทรีย์จากสารประกอบโมเลกุลเล็ก ส่วนพวกสร้างมีเทนทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นงานระหว่างการหมัก

ตารางที่ 2 บทบาทของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนในการควบคุมการหมักแบบบ่มก๊าซอากาศ

Function performed	Metabolic reaction	Process significance
I. Proton regulation	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Removes a toxic metabolite</li> <li>2. Maintains pH</li> </ol>
II. Electron regulation	$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Creates favourable conditions for metabolism of certain metabolites</li> <li>2. Prevents accumulation of some toxic metabolites</li> <li>3. Increases metabolic rate</li> </ol>
III. Nutrient regulation	Excretion of growth factors	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stimulates growth of heterotrophs</li> </ol>

ที่มา : Zeikus, 1979.

กรด ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานและการเจริญของพวกจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดไปใช้ในการสร้างมีเทนทำให้ปริมาณไฮโดรเจนในระบบต่ำลงอยู่ในระดับที่จะไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างมีเทน

### สภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตมีเทนที่สำคัญ ได้แก่

#### 1. อุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิปานกลางและช่วงอุณหภูมิสูง เป็นช่วงที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์มาก การเพิ่มอุณหภูมิทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญจำเพาะของจุลินทรีย์ ตามกฎความสัมพันธ์ของ Arrhenius (Forday and Greenfield, 1982) อย่างไรก็ตาม Casolari (1981) (cited by Forday and Greenfield, 1982) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากกิจกรรมทางเมตาบอลิกของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะถูกทำให้สมดุลย์โดยการเพิ่มอัตราการทำให้จุลินทรีย์หมดสภาพ (microbial inactivation) ดังนั้นอุณหภูมิการหมักที่เหมาะสมคือช่วงอุณหภูมิที่กิจกรรมทั้งสองสมดุลย์กัน ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเหมาะสม

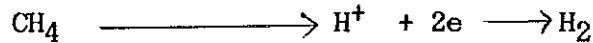
การหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น กิจกรรมเมตาบอลิกของจุลินทรีย์เกิดเร็ว เป็นผลให้ถังหมักสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้มาก hydraulic retention time (HRT) ต่ำและปริมาตรถังหมักเล็ก (Forday and Greenfield, 1982)

งานการทำงานของจุลินทรีย์ ควาระให้จุลินทรีย์ได้ปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิที่ทำการหมักก่อน (Maly and Fadrus, 1971) Hashimoto (1983) รายงานว่า การหมักที่อุณหภูมิสูง จุลินทรีย์จะผลิตมีเทนได้สูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ใช้เวลาน้อยกว่า อุณหภูมิที่การย่อยสลายใช้เวลาสั้นที่สุดคือ 50°C

#### 2. พีเอช

พีเอชมีผลต่อปริมาณของกรดไขมันแตกตัว (unionized) ซึ่งเป็นตัวยับยั้งระบบการหมัก (Anderson, et al., 1982) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ

6.8-7.2 การรักษาระดับพีเอชที่เหมาะสมระหว่างการหมักเป็นสิ่งจำเป็นต่อความคงตัวของถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ Lane (1979) พบว่าปริมาณปรอทอนที่มากเกินไปในถังหมักจะถูกเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจน ซึ่งมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องงานการหมักมีเทน และการสะสมปรอทอนในถังหมักมีผลให้พีเอชลดลง ที่พีเอชต่ำเกิดความไม่สมดุลย์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ทางที่จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนไม่สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนเป็นมีเทน ดังปฏิกิริยา



งานขณะเดียวกัน อิเล็กตรอนจากโมเลกุลไฮโดรเจนไม่สามารถถูกถ่ายเทไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายคือคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เป็นผลให้เกิดการสะสมไฮโดรเจน แทนการสร้างมีเทน (Lane, 1979)

การหมักที่พีเอชต่ำกว่า 6.8 กลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทนถูกยับยั้งงานขณะที่จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดยังผลิตกรดไขมันระเหยได้อย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้เกิดการสะสมกรดไขมันระเหยและพีเอชยังมีค่าลดลง การยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนยิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นที่พีเอชต่ำกว่า 6.8 ควรหยุดการป้อนน้ำเสียและเติมต่างลงในถังหมัก เพื่อปรับพีเอชและควรพักการทำงานของถังหมักหลายวันหรือสัปดาห์ก่อนเริ่มทำการหมักใหม่ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำ (Lane, 1979) ต่างที่นิยมใช้เติมเพื่อปรับพีเอช คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) และ โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ปริมาณ 2-4 กรัม/ลิตร (Halbert, 1981)

### 3. ชนิดและความเข้มข้นของน้ำเสีย

โดยทั่วไป ความเข้มข้นของน้ำเสียแสดงอยู่ในรูปของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ที่มีอยู่ในน้ำเสีย และค่าที่นิยมใช้คือ Chemical Oxygen Demand (COD) น้ำเสียที่มีค่า COD สูงมีศักยภาพในการที่จะผลิตมีเทนได้ปริมาณสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการรับน้ำเสียต่อปริมาตร (Volumetric loading rate) เดียวกัน (Zeikus, 1979) นอกจากนี้องค์ประกอบของน้ำเสียที่ต่างกัน ย่อมมีผลให้อัตราการเจริญของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องงานการผลิตมีเทน ปริมาณการผลิตและความเข้มข้นของมีเทนที่ได้แตกต่างกันด้วย น้ำเสียที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ควรมีอัตราส่วนสารประกอบคาร์บอน : ไนโตรเจนเท่ากับ 30 : 1 และต้องมีแร่ธาตุบางชนิดที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ใหม่ เช่น

ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม ไรบอพล์ และเหล็กในปริมาณที่เหมาะสมด้วย โดยทั่วไป  
ประมาณสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นค่า COD:N:P = 100-200:5-6:1 (Maramba, 1978)

#### 4. อัตราการป้อนสารอินทรีย์ของระบบการหมัก

โดยทั่วไประบบการบำบัดน้ำเสีย มักออกแบบให้สามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์  
ได้สูงสุดเท่าที่ประสิทธิภาพของการบำบัดจะเป็นไปได้ แต่ในระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ  
พบว่าอัตราการรับน้ำเสียสูงสุดทำให้ปริมาณมีเทนเกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากที่อัตราป้อน  
สารอินทรีย์สูงแบคทีเรียที่สร้างกรดเจริอุและหางานาได้ดี ย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นกรดไขมัน  
ระเหยได้มาก จนขณะที่แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งมีอัตราการเจริอุช้ากว่าถึง 4 เท่าไม่สามารถ  
กำจัดกรดไขมันระเหยได้ทัน เกิดการสะสมของกรดเหล่านี้ ทำให้พีเอชลดต่ำลงมีผลยับยั้งการ  
เจริอุของกลุ่มสร้างมีเทนปริมาณแก๊สที่ผลิตได้จึงต่ำลงจนถึงไม่มีการผลิต (Adams, 1981)  
สมมาตร อินธรรจน (2530) ทดลองบำบัดน้ำเสียจากน้ำเปียร์เสื่อมคุณภาพ พบว่าอัตราการป้อน  
น้ำเสียเชิงพื้นที่ (Areal organic loading rate หรือ AOLR) ที่ให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด  
คือช่วง 45-65 กรัม COD/ม<sup>2</sup>-วัน และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงกว่า มีศักยภาพในการให้  
ปริมาณมีเทนได้สูงกว่า เมื่อเทียบต่อปริมาตรที่อัตราบำบัดน้ำเสียเดียวกัน

#### 5. ปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในการหมัก

ก่อนเริ่มการหมัก ควรให้แบคทีเรียมีการปรับตัว (acclimatization) ให้เข้ากับ  
กับน้ำเสียหรือสารอินทรีย์ที่จะใช้ในการหมักจริงก่อนส่วนหนึ่ง หรืออาจใช้ตะกอนจากถังหมักน้ำเสีย  
แบบไม่ใช้อากาศรุ่นก่อนในปริมาณที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 เดิมลงในถังหมัก Maramba (1978)  
พบว่าเชื้อเริ่มต้นที่ได้จากสารละลายที่มีการย่อย (digestive slurry) อยู่ในระยะเจริอุเต็มที  
ให้ผลผลิตมีเทนดีที่สุด

Gomez และ Goma (1986) ศึกษาผลของปริมาณตั้งต้นของจุลินทรีย์ผสมในการหมักน้ำ  
ตาลเป็นกรดอินทรีย์ พบว่าปริมาณตั้งต้นของจุลินทรีย์ต่ำ มีอัตราการเจริอุและเพิ่มจำนวนต่ำ เมื่อ  
ปริมาณตั้งต้นของจุลินทรีย์สูงขึ้น อัตราการเพิ่มจำนวนเร็วขึ้น lag phase สั้นลงและอัตราการให้  
อาหารสูงขึ้น



## 6. การกวน

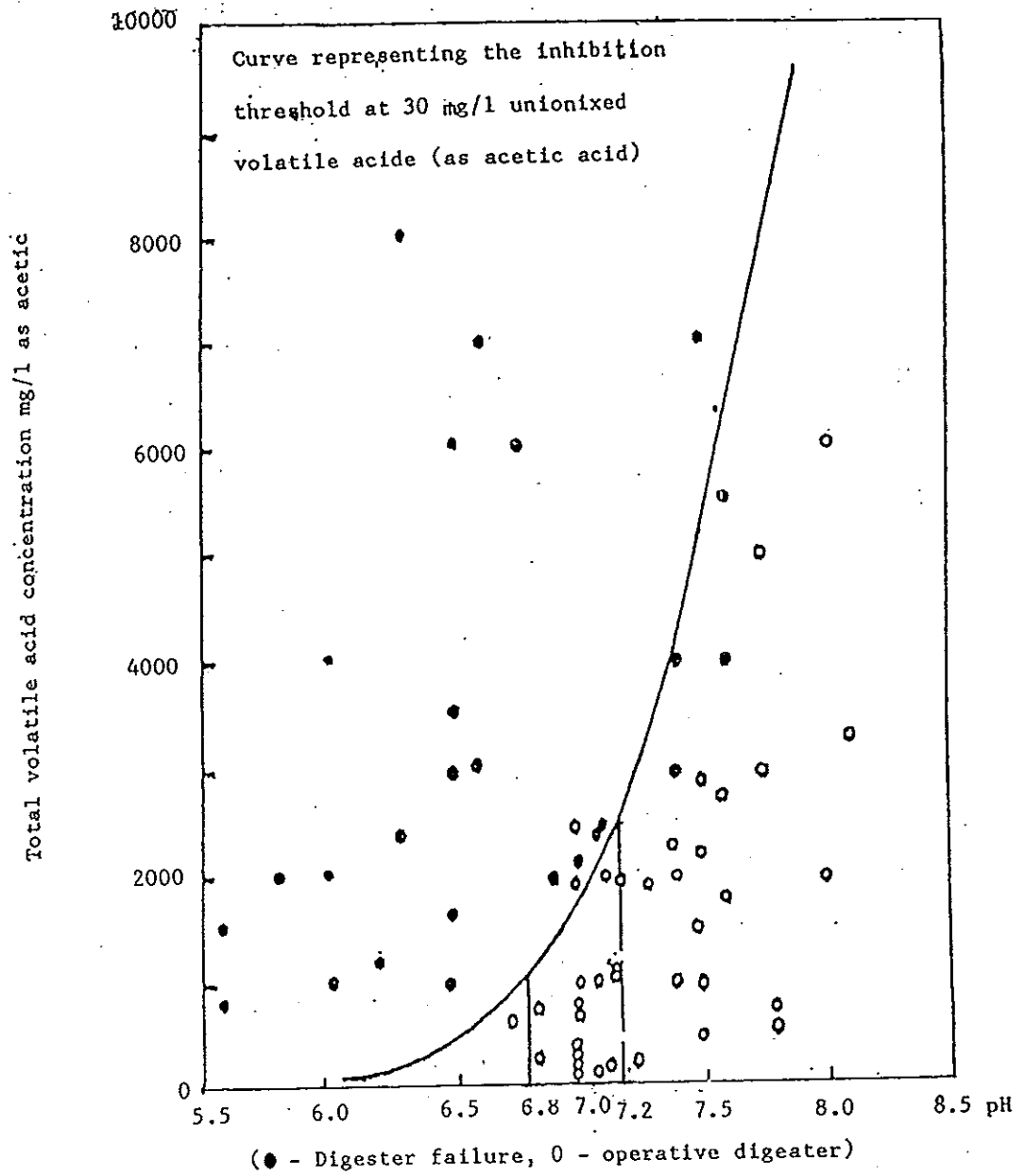
การกวนทำได้หลายวิธี ได้แก่ การจ้ำจပ် (impeller) จ้ำจပ်การไหลเวียนกลับของตะกอน หรือจ้ำจပ်ที่ส้ลขึ้นจันกระบวนการหมักที่จ้ำจပ်อากาศแบบธรรมดา (conventional) มักมีการกวนจันระดับต่ำสุด เพื่อประหยัดพลังงาน (Mosey, 1981)

การกวนมีประหยชน์คือช่วยเพิ่มผลผลิตมีเทน ช่วยจ้ำจပ်เกิดการกระจายตัวของจุลินทรีย์และแก๊สที่ผลิตขึ้น ช่วยบ้ำจပ်คาร์บอนาไดออกไซด์ที่มากเกินไป จิตอย่าไม่เพิ่มอัตราการสร้างพองอากาศ (Jones and Greenfield, 1982 cited by Forday and Greenfield, 1982) ที่ส้ลคัญที่สุดคือ ช่วยเพิ่มความลงตัวจ้ำจပ်กับถังหมัก ช่วยจ้ำจပ် hydraulic dead zone ต่ำที่สุด การกวนที่พอเพียงจะช่วยป้องกันสภาวะไม่เหมาะสมที่อาจเกิดขึ้นจันบริเวณบริเวณหนึ่งจันบริเวณถังหมัก เช่น บริเวณที่มีค่าพีเอชต่ำ บริเวณที่มีกรดไขมันระเหยปริมาณสูง หรือบริเวณที่มีสารพิษสะสม จิตอย่าไป จิจจางความเข้มข้นของสารพิษเหล่านี้ตลอดถังหมัก

## 7. กรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยเป็นสารกึ่งกลางตัวส้ลคัญที่ถูกสร้างจันจันกระบวนการย่อยสารอินทรีย์จันสภาวะไม่จ้ำจပ်อากาศ การมีปริมาณกรดไขมันระเหยสะสมอยู่มากเป็นอันตรายต่อการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทำให้การหมักล้มเหลว (Andrew, 1975, cited by Forday and Greenfield, 1982) สาเหตุการมีกรดไขมันระเหยสะสมจันถังหมักมีอยู่หลายประการ ได้แก่ การจ้ำจပ်อัตราการรับน้ำเสียที่สูงเกินไป (หัวข้อ 2.2.4) การที่น้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนต่ำคือค่า COD:N มากกว่า 100:2 ทำให้เกิดสภาวะขาดสารอาหารขึ้น ทำให้ไม่มีไนโตรเจนเหลือเพียงพอให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจันจันการเจริญและการจ้ำจပ်ที่มืออยู่ทั้งหมดไป (Anderson, et al., 1982)

การยับยั้งการสร้างมีเทนเนื่องจันกรดไขมัน เกี่ยวข้องกับค่าพีเอช (หัวข้อ 2.) ทั้งพีเอชและความเข้มข้นของกรดระเหยทั้งหมด มีความส้ลคัญต่อการทำงานของระบบ ซึ่งอาจประสพผลสำเร็จหรือล้มเหลว รูปที่ 2 แสดงถึงผลการยับยั้งของกรดไขมันระเหยไม่แตกตัวที่ค่าพีเอชต่าง ๆ จันรูปจะเห็นว่าค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่ำ 150-250 มก/ล จันรูปกรดอะซิติก ที่พีเอชไม่ต่ำกว่า 6.8 และค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยสูง 2,000 มก/ล ที่พีเอชสูง (7.5) การหมักยังไม่ถูกยับยั้ง ดังนั้น เมื่อต้องการหาสาเหตุของการยับยั้งจันถังหมัก จิจต้องพิจารณาผลรวมของพีเอชและกรดไขมันระเหย



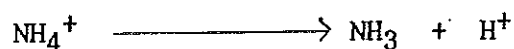
รูปที่ 2 ผลการกระทบของพีเอชและความเข้มข้นของกรดระเหยทั้งหมดต่อความคงตัวของถังหมัก  
ที่มา Anderson และ คณะ, 1982

โดยทั่วไป ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ภายใต้งังหมักแสดงในรูปกรดอะซิติก คาร์บอนต่ำกว่า 250 มก/ลิตร และไม่คาร์บอนมากกว่า 500 มก/ลิตร ถ้าค่าสูงกว่านี้แสดงว่าอัตราส่วนของจุลินทรีย์กับอาหารสูงเกินไป

## 8. แอมโมเนีย

### 8.1 แอมโมเนียประจุบวก

ในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน แอมโมเนียได้จากการแตกตัวของไนโตรเจนอินทรีย์ เช่น โปรตีน ยูเรีย แอมโมเนียภายใต้งังหมักมีอยู่ 2 รูปแบบที่สมดุลกัน ดังสมการ



สมดุลชนิดนี้เป็นระบบบัฟเฟอร์ที่สำคัญในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ แอมโมเนียที่ได้จากการแตกตัวถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์หมด ทำให้ความเป็นบัฟเฟอร์ลดลง และระบบไม่คงตัว (Forday and Greenfield, 1982)

ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมด ที่สามารถยับยั้งการสร้างมีเทน ขึ้นกับค่าพีเอช ความเป็นพิษของแอมโมเนียลดลงได้ โดยให้จุลินทรีย์มีการปรับตัวที่แอมโมเนียความเข้มข้นต่าง ๆ (McCarty, *et al.*, 1976) ผลกระทบของพีเอชต่อการยับยั้งของแอมโมเนียสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จุดสมดุล ที่ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 7000 มก/ลิตร ไม่เกิดการยับยั้งขึ้นเมื่อดำเนินการที่พีเอช 7 แต่เมื่อเพิ่มพีเอชเป็น 7.5 การยับยั้งจะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดระหว่าง 2000-3000 มก/ลิตร (Anderson, *et al.*, 1982)

### 8.2 โดลบเบประจุบวก (alkaline และ alkaline earth cation)

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป มักมีพวกโดลบเบประจุบวก เช่น  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$  อยู่ ลำดับของการยับยั้งการหมัก (คิดจากน้ำหนักโมเลกุลเป็นฐาน) ของธาตุเหล่านี้ในการหมักอะซิเตทเป็นมีเทน เพิ่มขึ้นตามลำดับจาก  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$  (Anderson, *et al.*, 1982) ระดับความเข้มข้นของธาตุเหล่านี้ที่มีผลยับยั้งการหมัก แสดง

### งานตารางที่ 3

ถึงแม้ว่าปริมาณที่มากเกินไปของธาตุเหล่านี้เป็นสาเหตุยับยั้งการหมักเพื่อผลิตมีเทน แต่ปรากฏการณ์ antagonism และ synergism มีผลกระทบต่อระดับการยับยั้ง (Sheehan, 1981, cited by Forday and Greenfield, 1982) antagonism เป็นปรากฏการณ์ที่ประจวบ (antagonist) ตัวหนึ่งปลดหรือบำบัดความเป็นพิษของตัวอื่น ส่วน synergism เป็นการเติมประจวบตัวอื่นลงไปเพื่อเพิ่มความเป็นพิษ ชนิดของประจวบที่เกี่ยวข้องในงานปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างนี้ แสดงงานตารางที่ 4 ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเกิด antagonism ของพวก monovalent cation (เช่น  $\text{Na}^+$  และ  $\text{K}^+$ ) และ divalent cation (เช่น  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.005 โมลาร์ ตามลำดับ (Anderson, et al., 1982)

### 9. ซัลไฟด์

การบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซัลไฟด์ หรือสารตั้งต้นของซัลไฟด์ปริมาณสูง เป็นปัญหามากเนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (หรือซัลไฟด์) ที่เกิดขึ้นในถังหมัก มีผลยับยั้งการหมักมีเทนอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าซัลไฟด์เป็นตัวลดความเป็นพิษของโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยสำคัญที่ทาให้การสร้างมีเทนถูกยับยั้ง คือ ความสามารถของแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (sulphate reducing bacteria) ในการแข่งขันกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อแย่งชิงไฮโดรเจน (ในรูปไฮโดรเจนอิสระ) และตัวให้อิเลคตรอนอื่น ๆ เช่น เมทานอล พอร์เมทอะซิเตท และไพริโอเนทจากระบบ งานที่มีปริมาณซัลเฟตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้เมตาบอลิซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าพวกสร้างมีเทน มีผลให้อัตราการสร้างมีเทนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Zeikus, 1979) และเมื่อการสร้างมีเทนถูกยับยั้ง ความเข้มข้นของกรดระเหยในถังหมักเพิ่มมากขึ้น

การยับยั้งการสร้างมีเทนของพวกซัลไฟด์มี 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรก แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตไปแย่งชิงไฮโดรเจน ขั้นที่สอง ซัลเฟตในรูปแบบของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 200 มก./ลิตร ยับยั้งการทำงานของเซลล์โดยตรง มีผลให้ประชากรจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนลดลง (Anderson, et al., 1982)

ตารางที่ 3 ระดับความเข้มข้นของ alkaline และ alkaline earth cation ที่มีผลต่อการยับยั้งการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Cation	Moderate inhibition (mg/l)	Strong inhibition (mg/l)
Na <sup>+</sup>	3,500-5,500	8,000
K <sup>+</sup>	2,500-4,500	12,000
Ca <sup>2+</sup>	2,500-4,500	8,000
Mg <sup>2+</sup>	1,000-1,500	3,000

ที่มา : Anderson และ คณะ (1982).

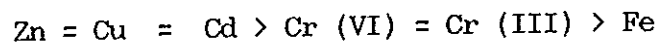
ตารางที่ 4 Antagonists และ synergists ในการผลิตมีเทน

Cation	Antagonist	Synergist
Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> and Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> and Ca <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>
K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>
Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> and Ca <sup>2+</sup> and NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> or Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> and K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> and Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>

ที่มา : Sheehan, 1981 (cited by Forday and Greenfield, 1982)

## 10. โลหะหนัก

ผลการวิจัยของโลหะหนักขึ้นกับความเข้มข้นและชนิดของโลหะหนัก กระบวนการทางชีวภาพต้องการปริมาณโลหะหนักเพียงเล็กน้อย เพื่อใช้งานกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ ที่ความเข้มข้นสูงโลหะเหล่านี้เป็นพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน Hayes และ Theis (1978) พบว่าการเติมอนุพลโลหะหนักทั้งหมด มีผลทำให้พีเอชและอัตราการสร้างมีเทนลดลง แต่ปริมาณธาตุไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้น ชนิดของโลหะหนักเรียงตามลำดับความเป็นพิษดังนี้ (Mosey, *et al.*, 1971, cited by Mosey, 1981)



อย่างไรก็ตาม ความเป็นพิษของโลหะหนักทั้งหมดน้ำเสียแบบน้ำชี้อากาศ ยังขึ้นอยู่กับระดับของซิลิเกต คาร์บอนและคลอไรด์ซึ่งมีผลในการตกตะกอนโลหะหนักเหล่านี้ (Anderson, *et al.*, 1982) มีการเติมเพอร์ซัลเฟตเพื่อบำบัดทองแดง สังกะสี นิเกิลและเหล็ก ยกเว้นโครเมียม ซึ่งรวบรวมตัวเป็นเกลือซิลิเกตที่ไม่ละลายน้ำ โดยเติมลงไปในความเข้มข้นที่สมดุลกับปริมาณโลหะ (McCarty, 1966) อนุพลคาร์บอนเป็นตัวสำคัญในการบำบัดแคดเมียม ทองแดง และนิเกิล ในขณะที่อนุพลคลอไรด์สามารถบำบัดเงินและทองเหลืองได้เล็กน้อย (Mosey *et al.*, 1971, cited by Mosey, 1981)

นอกจากนี้ความเป็นพิษของโลหะหนักยังขึ้นอยู่กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องงานการดำเนินการ เช่น พีเอช อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารอาหาร ช่วงเวลาการหมัก ลักษณะการป้อนสารอาหาร ผลกระทบจาก antagonism และ synergism และการปรับตัวของจุลินทรีย์ทั้งหมด Gould และ Genetalli (1978) (Cited by Forday and Greenfield, 1982) พบว่าพีเอชมีผลต่อความแข็งแรงของพันธะอนุพลโลหะ ค่าพีเอชที่ลดลง 1 หน่วย สามารถทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีที่ละลายได้เพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า

การบำบัดน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูง

น้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูง เช่น น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ มีของแข็งตกตะกอนซึ่งประกอบ

ด้วยเลือด เศษเนื้อและกระดูก รวมทั้งพวกไขมันที่เห็นง่ายอยู่ปริมาณสูง เป็นสาเหตุสำคัญให้เกิด การนำเสียได้ง่าย และสร้างความน่ารังเกียจ (Kirby, 1982) เช่นเดียวกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์ เช่น โรงงานบรรจุเนื้อ ซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่ประกอบด้วยเลือด (Stafford, et al., 1978) ของเสียเหล่านี้ ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงมากในการบำบัด ดังนั้นจึงเริ่มมี การสำรวจความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียเหล่านี้มาผลิตแก๊สชีวภาพและบำบัด BOD ไปด้วยกัน วิทยาระบบการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ ตารางที่ 5

จากการทดลองหมักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ด้วยระบบไม่ใช้อากาศแบบธรรมดา จนกระทั่ง แก้วทรงกระบอกที่มีการกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 115 วัน พบว่า นอกจากแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ แล้ว ของแข็งที่ผ่านการย่อยเมื่อนำมาหาแห้งที่มีความชื้น 50% จะมีอัตราส่วนของ N:P:K = 1.45:0.4:0.05 สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อย่างดี (Kirby, 1982) และระบบเดียวกันนี้ได้นำมาใช้น้ำบำบัดน้ำเสียจากโรงงานบรรจุเนื้อ พบว่าจาก BOD ของน้ำเสียเริ่มต้น 1,200-1,400 มก/ล ระบบสามารถลด BOD ได้ร้อยละ 90-95 ในช่วง Retention time 1-2 วัน แต่ปัญหา ที่พบคือ ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียนานหลาย เดือน นอกจากนี้ระบบยังจำเป็นต้องมีการหมุนเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับเข้าระบบ ซึ่งก่อความ ยุ่งยากในการดำเนินการมาก (Schroepfer and Ziemke, 1959, cited by McComis and Litchfield, 1985)

ของเสียที่มีไนโตรเจนสูงอีกประเภทหนึ่งที่ใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ คือ มูลสุกร ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นและมีผลให้ระบบเกิดการล้มเหลวคือ การมีปริมาณความเข้มข้นแอมโมเนียของเสียสูง เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตแก๊สชีวภาพมาก (Halbert, 1981) ดังนั้นของเสียชนิดนี้ก่อนเข้าระบบหมักจึงจำเป็นต้องเจือจางให้มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ หรือทำให้จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องมีเวลาปรับตัวเข้ากับปริมาณแอมโมเนียสูงเสียก่อน ระบบการหมัก จึงจะสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ (McCarty, et al., 1976)

#### ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ถังหมักที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีหลายแบบ (รูปที่ 3) แต่ละแบบมี ลักษณะการทำงาน ข้อดี-ข้อเสียและสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานแตกต่างกัน การพัฒนาถัง

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์พวกแกะ วัว ควายน และหมู

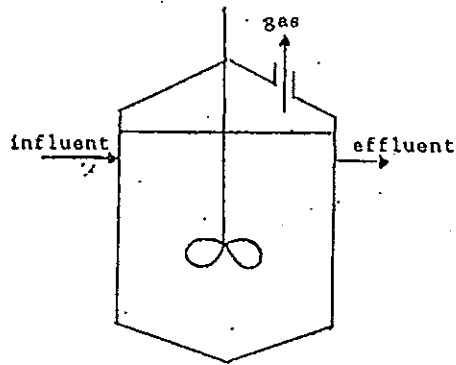
---

ของแข็งทั้งหมด (% น้ำหนัก/น้ำหนัก)	10.4
ของแข็งระเหยได้ (% ของของแข็งทั้งหมด)	81-83.6
พีเอส	5.7-5.9
BOD (มก/ล)	33-36,000
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก/กก)	3,800-4,000
แอมโมเนียไนโตรเจน (มก/กก)	550-870
กรดไขมันระเหย (มก/กก)	1,500-2,300

---

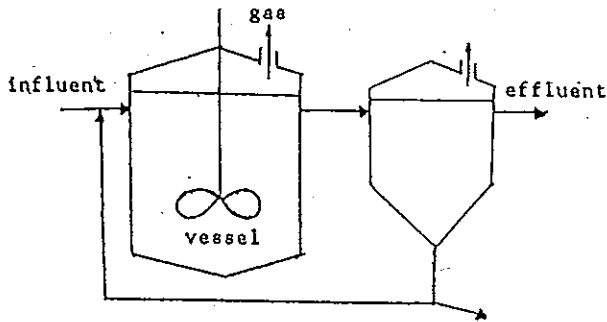
ที่มา : Kirby, 1982





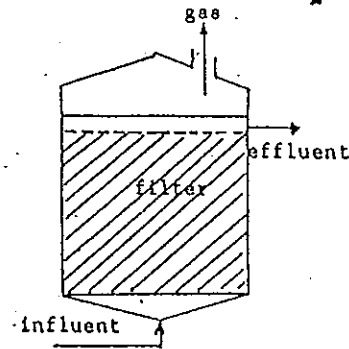
A. ระบบธรรมดา

(Conventional anaerobic digester)



B. ระบบสัมผัส

(Anaerobic contact process (AC) or Anaerobic activated sludge process)

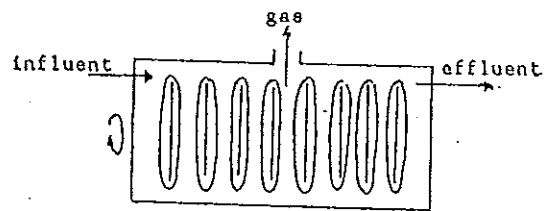


C. ระบบมีตัวกรอง

(Anaerobic filter process (AF) )

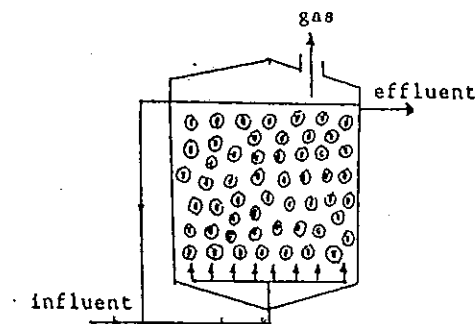
D. ระบบหมุนเวียน

(Anaerobic rotating biological contractor process) (ARBC)

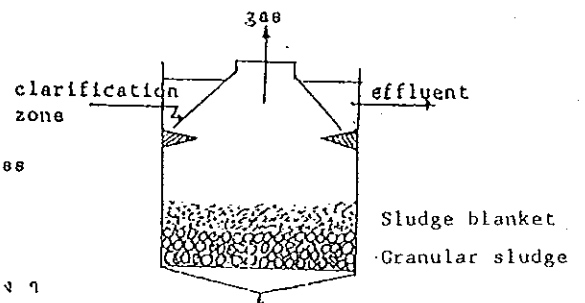


E. ระบบตัวกลางแขวนลอย

(Anaerobic fluidized bed process) (AFB)



F. Upflow anaerobic sludge blanket process (UASB)



รูปที่ 3 ระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดต่าง ๆ

หมักเพื่อเอาชนะปัญหาสำคัญคือ แบคทีเรียพวกสร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตช้ามาก ดังนั้นจึงต้องพยายามเก็บสะสมแบคทีเรียที่แข็งแรงเหล่านี้ไว้ภายในถังหมักให้มากที่สุด

### 1. ระบบธรรมดา (Conventional process)

ถังหมักแบบธรรมดาเหมาะกับน้ำเสียที่สารอินทรีย์อยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เป็นส่วนใหญ่ การทำงานของถังหมักในระบบนี้ น้ำเสียถูกกักอยู่ภายในถังที่ไม่มีอากาศ อาจมีการติดตั้งเครื่องกวน เพื่อให้สารอินทรีย์และตัวแบคทีเรียมีการสัมผัสกันได้ดีขึ้น และช่วยให้สภาวะแวดล้อมภายในถังมีความสม่ำเสมอ ถังหมักแบบนี้ การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งสามขั้นตอนคือ ไฮโดรไลซิส การเกิดกรด และ การเกิดมีเทน เกิดขึ้นพร้อมกันภายในถังหมัก โดยทั่วไปการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมของระบบนี้ยึดสภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการเกิดมีเทนเป็นหลัก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จนถึงขั้นเกิดเป็นมีเทนจึงเป็นไปได้ช้ามาก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบอื่น ๆ แต่ยังคงมีการนำระบบนี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียพวกกากน้ำตาล มูลสัตว์และน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มในประเทศมาเลเซีย (Mosey, 1981)

### 2. ระบบสัมผัส (Anaerobic contact process (AC) หรือ Anaerobic activated sludge process)

เป็นระบบที่มีการเลี้ยงตะกอนให้แขวนลอยอยู่ภายในถังหมัก โดยอาศัยเครื่องกวนช่วยในการสัมผัสกันของน้ำเสียกับตัวแบคทีเรีย เป็นไป得快ทั่วถึง เช่นเดียวกับระบบธรรมดา น้ำเสียที่ออกจากถังหมัก ผ่านถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรีย หมุนเวียนกลับมาใช้งานถังหมัก เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและลดปริมาณกากหมัก (Callender and Barford, 1982) ในระบบ AC นี้ พลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ในการกวนเท่านั้น ส่วนการไหลของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในแนวระดับจึงไม่สิ้นเปลืองพลังงาน ปัญหาที่มักพบในระบบนี้คือ ตะกอนไม่จมตัว และการเกิด hydraulic shock ดังนั้นระบบนี้จึงต้องการการควบคุมอย่างใกล้ชิด (Mosey, 1981)

ได้มีการนำระบบนี้มาบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฝักบรรจุกระป๋อง ซึ่งพบว่า สามารถลดค่า COD ได้ถึงร้อยละ 85 (Verrier, 1983) และน้ำทิ้งจากโรงงานสุราที่จังหวัดอยุธยา (สมมาตร อินทรจิรัน, 2530)

### 3. ระบบตัวกรอง (Anaerobic filter process (AF))

เป็นระบบที่มีการเลี้ยงตะกอนน้ำให้เกาะเป็นแผ่นฟิล์มอยู่บนตัวกลางซึ่งอยู่กับที่ น้ำเสียสัมผัสกับแผ่นฟิล์มแบคทีเรีย จนทิศทางการไหลขึ้น (upflow) หรือไหลลง (downflow) ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบนี้ขึ้นกับความหนาของชั้น active biofilm และความลึกที่สารอาหารแทรกซึมเข้าไปในชั้นฟิล์ม (Trulear and Characklis, 1982)

ระบบนี้ควบคุมง่ายและมีเสถียรภาพสูงต่อการเพิ่มอัตราบำบัดสารอินทรีย์ แต่ค่าใช้จ่ายในเรื่องตัวกลางและค่าพลังงานในการนำน้ำเข้าระบบก็สูงเช่นกัน ที่สำคัญคือ ระบบนี้มักเกิดปัญหาเรื่องการอุดตันภายในถังหมัก เนื่องจากการสะสมของสารที่ไม่ละลาย

ปัจจุบันมีการใช้ระบบนี้บำบัดน้ำเสียโรงงานลูกกวาดและน้ำตาล (Anderson, et al., 1982) น้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปแอปเปิ้ล (Lawvidara and Ott, 1984) น้ำทิ้งของโรงงานหมักเมล็ดกาแฟ (Calzada, 1984) เป็นต้น

### 4. ระบบแบบจานหมุน (Anaerobic rotating biological contactor (ARBC) process)

เป็นระบบที่มีการเลี้ยงตะกอนน้ำให้เกาะเป็นแผ่นฟิล์มบนตัวกลางที่หมุนอยู่ในน้ำเสีย ตัวกลางมี 2 แบบคือ แบบแผ่น (disc media) และแบบบรรจุกรง (packed drum medium) ลักษณะทางกายภาพของระบบนี้เป็นระบบบ่อ ซึ่งมีการไหลของน้ำเสียอยู่ในแนวระดับ ทาให้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการสร้างถังหมัก และพลังงานในการดำเนินการ ระบบนี้ควบคุมง่าย แต่มีข้อเสียเปรียบคือสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนตัวกลางและตัวแปร่ง (bearing) ที่ใช้รองรับแกนหมุน

มีการทดลองใช้ระบบ ARBC แบบแผ่นขนาดเล็กในการบำบัดน้ำเสียในหลายประเทศ เช่น อเมริกา ญี่ปุ่น ส่วนระบบบรรจุกรงขนาดเล็กอยู่ระหว่างการทดลองใช้งานห้องปฏิบัติการที่ประเทศอังกฤษ (Pescod, 1986, อ้างอิงโดย สมมาตร อินทรวิจิตร, 2530)

### 5. ระบบตัวกลางแขวนลอย (Anaerobic fluidized bed process (AFB))

ระบบ AFB เป็นระบบที่มีการเลี้ยงตะกอนน้ำให้เกาะเป็นแผ่นฟิล์มบนเม็ดตัวกลางขนาดเล็ก เช่น เม็ดทราย ที่แขวนลอยอยู่ในถังหมัก เม็ดตัวกลางเหล่านี้ถูกยกให้ลอยตัวและแขวนลอยอยู่ได้ด้วยอัตราการไหลสูง ที่เกิดจากการหมุนเวียนของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ร่วมกับน้ำเสียที่เข้าระบบจากถังหมัก อัตราการไหลดังกล่าวนี้ต้องมีขนาดพอดีที่จะยกเม็ดตัวกลางให้ลอยขึ้น แต่

ต้องไม่สูงเกินจนเมื่อดักกลางถูกพาทออกนอกระบบ (สมมาตร อินทรวิจิตร, 2530)

ระบบนี้มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงมากในถังหมักขนาดเล็ก เนื่องจากมีจำนวนแบคทีเรียสะสมอยู่มาก แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้ระบบการกระจายน้ำเข้าที่ค่อนข้างซับซ้อน และสิ้นเปลืองค่าพลังงานในการหมุนเวียนน้ำเสีย

Boening และ Larsen (1983) ทดลองระบบ AFB บำบัดน้ำเสียพวก whey permeate พบว่าประสิทธิภาพของระบบขึ้นกับอัตราการผลิตสารอินทรีย์ และระบบนี้ต้องการสารอาหารเสริมน้อยกว่าระบบอื่น

#### 6. ระบบ Upflow anaerobic sludge blanket process (UASB)

UASB เป็นระบบที่น้ำเสียถูกส่งผ่านเข้าระบบทางก้นถังหมัก ผ่านชั้นตะกอนของแบคทีเรียที่เลี้ยงไว้ 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นแบคทีเรียชนิดเม็ด (granular bacteria) ที่เรียกว่า sludge bed และชั้นที่สองเป็นพวกตะกอนเบา (flocculant bacteria) ที่เรียกว่า sludge blanket น้ำเสียที่ส่งผ่านเข้าทางก้นถังหมักนี้ ช่วยให้การสัมผัสของแบคทีเรียดีขึ้น และยังเป็นการป้องกันการจมตัวของตะกอนหนักของก้อนเม็ดแบคทีเรียที่ก้นถังหมัก ส่วนสำคัญของถังหมักอีกส่วนหนึ่ง คือ เครื่องแยกตะกอนและแก๊ส ที่อยู่ส่วนบนของถังหมักซึ่งจะเป็นตัวช่วยไม่ให้ตะกอนถูกพาทออกนอกระบบหรือน้ำเสีย ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูง เพราะแบคทีเรียถูกเก็บ สะสมไว้เป็นจำนวนมากภายในถังหมัก

ข้อเสียเปรียบของระบบนี้คือ สิ้นเปลืองค่าพลังงานในการนำน้ำเสียผ่านระบบ ต้องการระบบการกระจายน้ำเข้าที่ซับซ้อน น้ำเสียไม่ทุกประเภทที่เอื้ออำนวยต่อการสร้างตัวเป็นเม็ดแบคทีเรีย และต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (start-up) เพื่อให้เม็ดแบคทีเรียเกิดการสะสมตัวอย่างเพียงพอ

ปัจจุบันมีการนำระบบ UASB มาใช้เป็นระบบบำบัดขนาดสมบูรณ์ในประเทศเนเธอร์แลนด์ และบราซิล ประเทศไทยนำระบบนี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา จำนวน 12 โรงงาน แต่ยังคงอยู่ระหว่างการรอการเริ่มต้นเดินระบบ (Chanduayvit, 1987)

ระบบต่าง ๆ ยกเว้นระบบธรรมดา ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ระบบเหล่านี้มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย Hall และ Jovanovic (1983) พบว่าทุกระบบมีประสิทธิภาพการผลิตมีเทนและการบำบัดของแข็งเป็นที่น่าพอใจ มีการพัฒนาการหมักให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อดิชาใช้ระบบ 2 ขั้นตอน (two-stages process) ประกอบด้วยถังหมัก

2 ตัวต่อกันอย่างอนุกรม กังแรกเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี 2 ขั้นตอนแรกคือ ไซโตรไลซิส และการเกิดกรด กังหมักตัวที่สองสำหรับปฏิกิริยาขั้นการเกิดมีเทน เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา 2 อย่างที่แตกต่างกัน ดังนั้นการแยกกระบวนการหมักเป็น 2 ขั้นตอน จึงทำให้สามารถควบคุมสภาวะที่เหมาะสมของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มได้ดีขึ้น เป็นผลให้การบำบัดน้ำเสียระบบนี้มีประสิทธิภาพสูง และช่วยลดขนาดของกังหมักด้วย Ghosh และคณะ (1985) เปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการไม่ใช้อากาศแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน (ตารางที่ 6) พบว่าปริมาตรทั้งหมดของกระบวนการหมัก 2 ขั้นตอนมีค่าเป็นหนึ่งงานสามของกังหมักแบบขั้นตอนเดียวเท่านั้น และประสิทธิภาพการผลิตมีเทนมีค่าสูงกว่า

#### ประสิทธิภาพของระบบกังหมักตัวกรอง

อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของสารอินทรีย์เริ่มต้น ปริมาณจุลินทรีย์ และสมดุลระยะระหว่างจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนตลอดจนสภาวะแวดล้อมในกังหมัก ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือแก๊สชีวภาพ ปริมาณแก๊สที่ได้ขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย และระยะเวลาที่ให้อินทรีย์คงอยู่ในกังหมัก (HRT) สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ต้องใช้เวลาอยู่ในกังหมักนาน (HRT สูง) ที่ HRT ต่ำอัตราการดึงของเหลวออกจากกังหมักเร็วกว่าอัตราการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบการหมักต่ำ

เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่ผลิตมีเทน มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลาย จึงมีการพัฒนากังหมักแบบมีตัวกรอง ซึ่งใช้วัสดุเฉื่อย เช่น ก้อนหิน เม็ดพลาสติก ดินเผา กระเบื้อง ท่อนพลาสติก PVC (Braun and Huss, 1982) ตัวกรองเหล่านี้ทำหน้าที่เก็บกักจุลินทรีย์โดยจุลินทรีย์เกาะเป็นตะกอนอยู่บนผิววัสดุ ไม่ถูกชะล้างออกไป มีผลให้จุลินทรีย์มีปริมาณสูง สารอินทรีย์จึงถูกย่อยสลายได้มากขึ้นโดยใช้เวลาอยู่ในกังหมักน้อยลง มีผลให้ประสิทธิภาพของระบบและปริมาณการผลิตแก๊สสูงขึ้นด้วย การใช้อ่างหมักตัวกรองในการบำบัดน้ำเสียแหล่งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ผลการทดลองของระบบการกำจัดน้ำเสียแบบขั้นตอนนี้เดียวและสองขั้นตอนนี้

Parameter	Unit	Single Stage	Two-stages*
loading	kg COD/m <sup>3</sup> -d	0.8	6.1
HRT	days	15	7.4
COD removal	%	84	97
Gas production rate	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> -d	0.4	2.9
methane	%	61	71
methane yield	m <sup>3</sup> /kg COD added	0.5	0.48
effluent VFA	mg/L	180	450

หมายเหตุ \*ขั้นตอนนี้แรกใช้ระบบ continuous stirring tank reactor (CSTR) และขั้นตอนนี้ที่สองคือระบบ anaerobic filter.

ที่มา : Chavadej , 1986

วงที่ 7 : การผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียชนิดต่าง ๆ โดยใช้ถังหมักค้ำวาง

ชนิดของน้ำเสีย	อุณหภูมิ (°ซ)	ชนิดและขนาดถังหมัก	ชนิดของค้ำวาง	HRT ค่าสุด (วัน)	ปริมาณการรับสารอินทรีย์สูงสุด	% การลด COD	อัตราการผลิตแก๊ส	% มีเทน	อ้างอิง
กากน้ำตาล	-	- แก้วทรงกระบอก ขนาด 13 ลิตร - แสคนเลสทรงกระบอก ขนาด 500 ลิตร	plexinglass resching rings พอลาลาคิก	1	50 กก. ของของแข็ง/ม <sup>3</sup> -วัน	-	430-460 ลิตร/กก. ของแข็ง	-	Braun และ Huss (1982)
น้ำเสียจากแหล่งชุมชน	20°ซ 25°ซ 35°ซ	อะคลิลิกทรงกระบอก ขนาด 7.62 x 122 ซม.	ท่อ PVC	1	0.02 ขอนต์ COD/ม <sup>3</sup> -วัน	๘๖ 79% 73%	0.027 ม <sup>3</sup> /ม <sup>3</sup> น้ำเสีย	65%	Kobayashi และคณะ (1983)
Silage effluent	30-33°ซ	-	หินปูนก้อนเล็ก ๆ	3	7.8-14.2 กก. COD/ม <sup>3</sup> -วัน	86-89%	-	71-78%	Bany และ Colleran (1984)
กากน้ำตาล	-	ถังสี่เหลี่ยมทรงกระบอก ขนาด 7' ลิตร	ก้อนอิฐเล็ก ๆ	3	80 กรัม COD/ลิตร-วัน	50-65%	2 ลิตร/ลิตร ถังหมัก-วัน	78%	Silvario และคณะ (1986)*
มูลวัว	35°ซ	แก้วทรงกระบอก ขนาด 20 ลิตร	filterpak CR	5	-	-	0.26 ม <sup>3</sup> /กก. ของของแข็งทั้งหมด	69%	Pack และ Hawkes (1987)*

หมายเหตุ : \* อ้างอิงโดย นันทิพย์ ศันต์เยี่ยม , 2531

Young และ McCarty (1967) (cited by Benefield and Randall, 1980)  
สรุปข้อดีด้วยการใช้ระบบกังหมักแบบตัวกรองไว้ดังนี้

1. วัชบำบัดของเสียที่ละลายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้การไหลเวียนกลับของน้ำเสียเข้าระบบใหม่ เพราะจุลินทรีย์จับอยู่บนตัวกรอง ไม่ถูกชะไปกับน้ำทิ้ง
3. เนื่องจากระบบนี้มีปริมาณจุลินทรีย์อย่างหนาแน่นที่ตัวกรอง ทำให้สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่จำเป็นกับกระบวนการไม่ใช้อากาศแบบอื่น ๆ
4. มีตะกอนน้ำทิ้งปริมาณต่ำมาก
5. การเริ่มต้นและการหยุดดำเนินการของระบบกังหมักตัวกรองนี้ ง่ายกว่าระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น ๆ

อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อจำกัด ซึ่ง Benefield และ Randall (1980) ได้สรุปไว้ดังนี้

1. ระบบกังหมักตัวกรอง วัชได้เฉพาะกับน้ำเสียที่ละลายได้เท่านั้น เพราะถ้ามีของแข็งแขวนลอยอยู่จะทำให้เกิดการอุดตันได้
2. การกระจายตัวของของไหลจะมีปัญหาในกรณีที่มีความเข้มข้นของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นถึงจุดที่ก่อให้เกิดการปิดกั้นการไหล
3. เทคนิคการทำความสะอาดตัวกรองค่อนข้างยุ่งยาก



## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 1. วัสดุ

1.1 น้ำเสีย ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียของโรงงาน จชน้ำเสียจากโรงงานรอมแยลแดนนิ่ง จำกัด และโรงงานทรอปิคอลแดนนิ่ง จำกัด ส่วนการทดลองในถังหมักขวดแก้วใช้น้ำเสียจากโรงงานรอมแยลแดนนิ่ง จำกัด เพียงแห่งเดียว

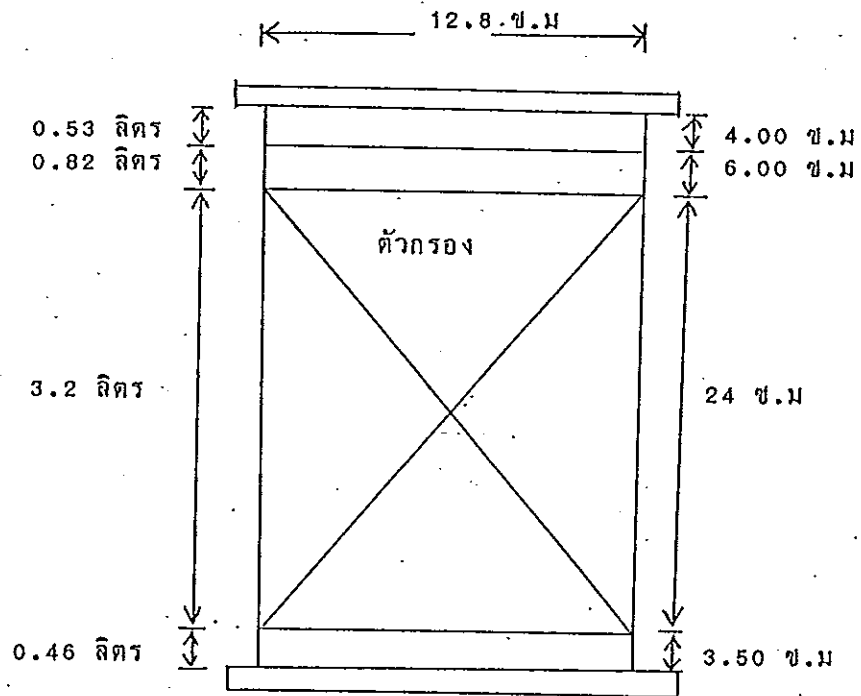
1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก)

1.3 ภาชนะที่ใส่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย ใช้ขวดพลาสติก (polyethylene) ขนาดความจุ 4 ลิตร

### 2. อุปกรณ์

2.1 ถังหมักตัวกรอง สั่งซื้อจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เป็นถังหมักขนาด 5.1 ลิตร ทำด้วยอาดลิสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.8 ซม สูง 42 ซม บรรจุด้วยตัวกรองท่อพีวีซีสูง 24 ซม ปริมาตรการบรรจุ 3.2 ลิตร (working volume) (รูปที่ 4) แผนภูมิการจัดตั้งระบบการหมักไม่ใช้ออกาศรโดยใช้หลักการให้แก๊สที่เกิดขึ้นแทนที่น้ำในขวด เพื่อวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ แสดงในรูปที่ 5 และการจัดตั้งจริงแสดงในรูปที่ 6

2.2 ถังหมักขวดแก้ว ประกอบด้วยขวดแก้ว 2.5 ลิตร ต่อเข้ากับขวดเก็บแก๊สขนาด 4 ลิตร (รูปที่ 7)



รูปที่ 4 รายละเอียดเกี่ยวกับปริมาตรและสัดส่วนของถังหมักตัวกรอง

รายละเอียดของตัวกรอง

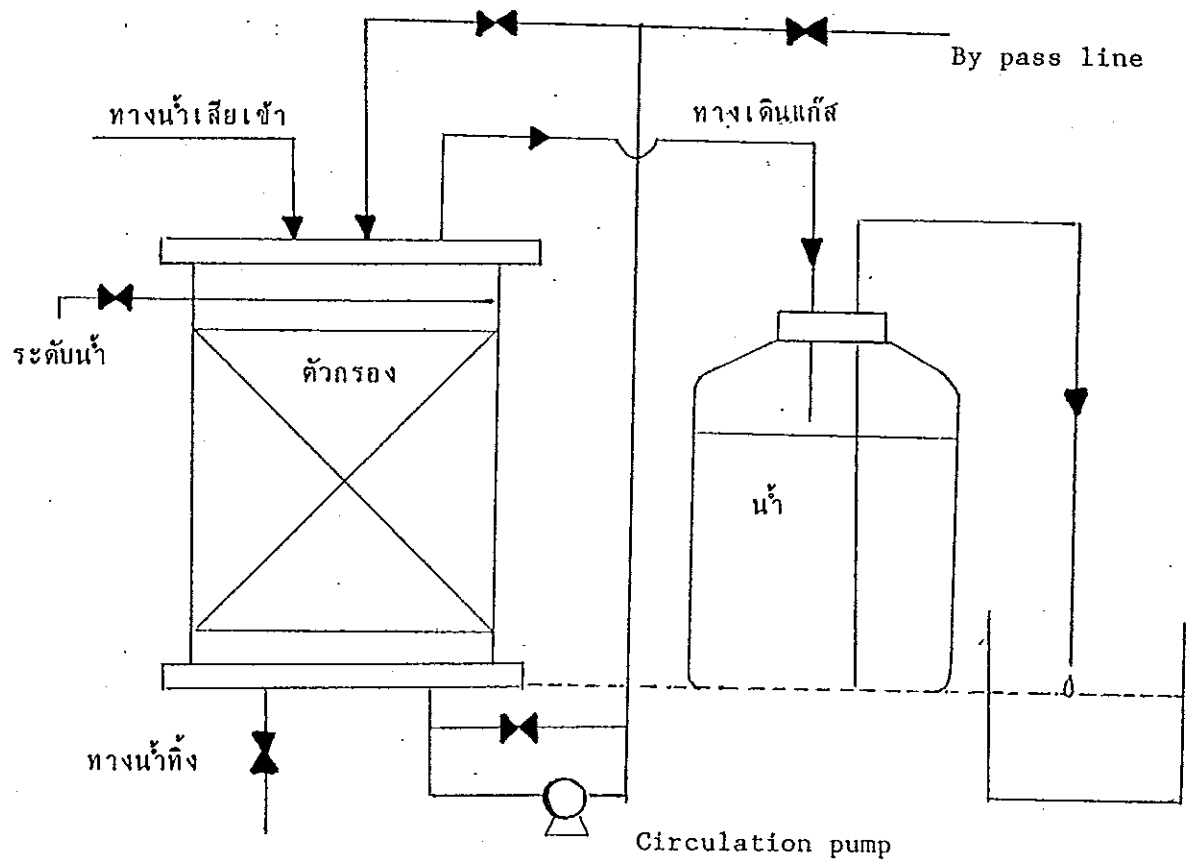
ตัวกรอง เป็นท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.63 x ยาว 1.80 ซม.

จำนวน 446 ชิ้น

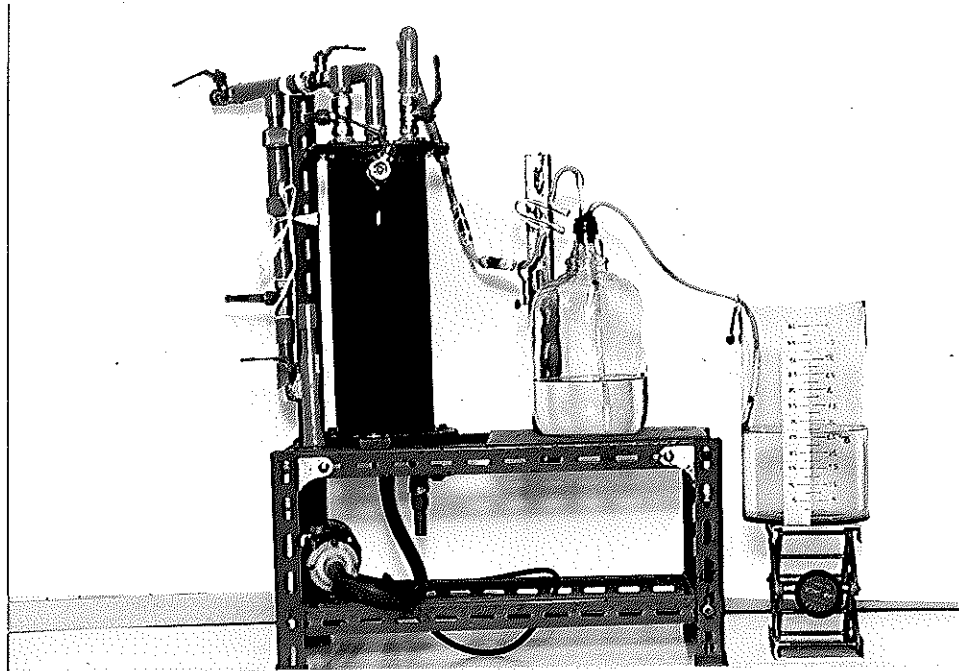
ปริมาตรทั้งหมดของท่อพีวีซีตัวกรอง = 1700 ซม<sup>3</sup>

พื้นที่ผิวของท่อพีวีซีทั้งหมด = 8028 ซม<sup>3</sup>

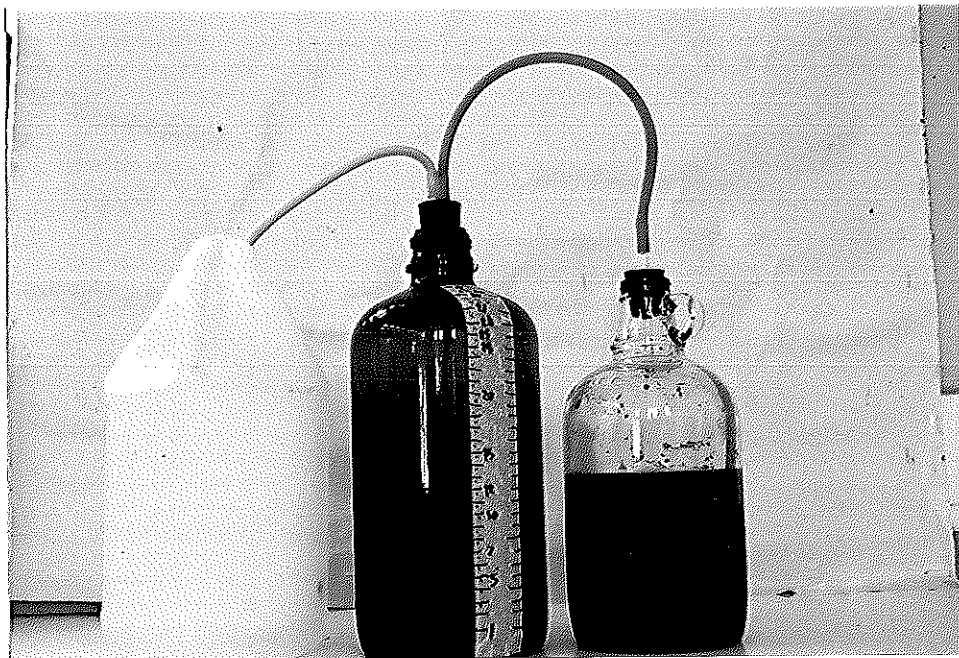
ตัวกรองมีปริมาตรที่ว่าง = 86.75 % = 1,475 ซม<sup>3</sup>



รูปที่ 5 แผนภูมิการจัดตั้งระบบกังหมักตัวกรองน้ำใช้อากาศที่ชั้นการทดลอง



รูปที่ 6 ระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศจนถึงหมักตัวกรอง



รูปที่ 7 ลักษณะการจัดตั้งระบบการหมักไม่ใช้อากาศจนถึงหมักขาดแก้ว

### 2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องมือวัดความเป็นกรด,ด่าง รุ่น pH M61 ของ Radiometer Copenhagen.
- เครื่อง Atomic absorption Spectrophotometer ของ GBC รุ่น 901
- Water bath ของ Memmert รุ่น อุณหภูมิ 20-110<sup>0</sup>ซ บริษัท Rost frei
- Hot plate stirrer ของ Corning รุ่น Pc 351
- Spectrophotometer (Spectronic 21 ของบริษัท Bausch & Lomb)

## 3. วิธีการทดลอง

### 3.1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

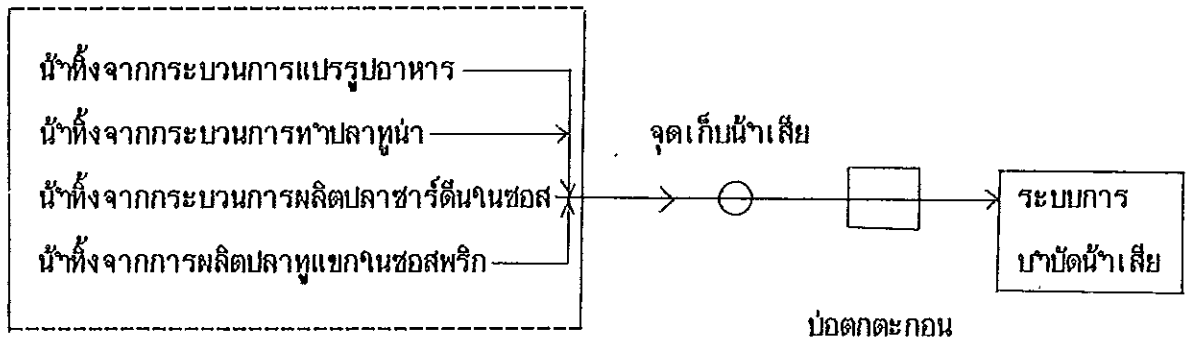
3.3.1 แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำเสีย คัดเลือกจากผลการศึกษาแหล่งน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลในเขตจังหวัดสงขลา โดย Prasertsan และ คณะ (1988) น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาคุณลักษณะ เก็บตัวอย่างจากท่อระบายน้ำเสียรวมของโรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด และท่อระบายน้ำเสียแยกตามกระบวนการแปรรูป (กระบวนการเตรียมปลาทูน่า), กระบวนการบรรจุกระป๋อง และกระบวนการแช่เยือกแข็ง) ของโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด (รูปที่ 8)

การเก็บน้ำเสีย เก็บโดยการสุ่มตัวอย่างดังนี้ โรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด เก็บตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 3 ครั้งต่อวัน ช่วงเช้า (8.00-10.00 น.) เที่ยง (11.00-13.00 น.) และบ่าย (14.00-16.00 น.) โรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด เก็บน้ำเสีย 2 ครั้งต่อวัน ช่วงเช้า (8.00-10.00 น.) และ บ่าย (14.00-16.00 น.) โดยแบ่งเก็บตัวอย่างแยกตามกระบวนการผลิต แผนภูมิแสดงที่มาและการไหลของน้ำเสียของทั้งสองโรงงาน และจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียแสดงในรูปที่ 9 ลักษณะการเก็บตัวอย่าง จะเก็บที่ความลึกจากผิวหน้าระดับน้ำเสียประมาณ 3-5 นิ้ว เก็บตัวอย่างครั้งละประมาณ 2-3 ลิตร เก็บตัวอย่างโรงงานละ 5 วันทำงาน (ช่วงจันทร์-เสาร์) และเก็บตัวอย่างซ้ำหนึ่งครั้ง ดังนั้น ตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับ 30 และ 60 ตัวอย่างจากโรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด และโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด ตามลำดับ



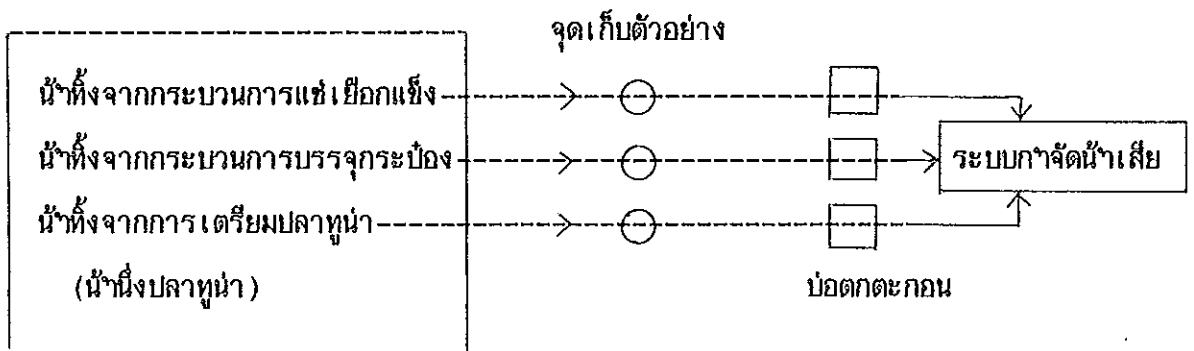
รูปที่ 8 ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี

- (1) น้ำเสียจากกระบวนการแช่เยือกแข็งของโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด
- (2) น้ำเสียจากกระบวนการบรรจุกระป๋องของโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด
- (3) น้ำเสียจากกระบวนการเตรียมปลาทูน่าของโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด
- (4) น้ำเสียของโรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด



อาคารแปรรูปของโรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด

(ก)



ตัวอาคารแปรรูปของโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด

(ข)

รูปที่ 9 แผนผังแสดงการไหลของน้ำเสียและจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียของ

(ก) โรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด

(ข) โรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด

### 3.1.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ของน้ำเสีย

นำตัวอย่างน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ BOD, COD, พีเอช, ความเป็นด่าง (alkalinity) ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ของแข็งระเหย, ของแข็งตกตะกอน, อุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่าง, ไนโตรเจนทั้งหมด, ฟอสเฟต, คลอไรด์และไขมัน ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

- ก. COD, BOD, ปริมาณของแข็งต่าง ๆ ตามวิธีการใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WPCF, 1985)
- ข. ปริมาณไขมัน (grease) ใช้วิธีการสกัด (กรรณิการ์ ลีวี่สิงห์, 2525)
- ค. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดใช้ Kjeldahl Method (A.O.A.C, 1984)
- ง. ปริมาณฟอสเฟตใช้ Amino Naphtho Sulphonic Acid Method (เสริมพล รัตสุข และ ชัยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์, 2525)
- จ. ปริมาณคลอไรด์ใช้ Mercuric -Nitrate Method (AOAC, 1984)
- ฉ. พีเอช วัดค่าโดยเครื่องวัดพีเอช (pH meter รุ่น pH M61)
- ช. ปริมาณกรดระเหยและความเป็นด่างโดย Direct Titration Method. (APHA, AWWA and WPCF, 1985)
- ซ. ปริมาณโลหะหนักและโลหะเบาประจุบวกโดยวิธีเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer.

วิธีการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก

### 3.1.3 การเตรียมจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย (Acclimatization)

เริ่มต้นการทดลองโดยการนำตะกอนจากบ่อน้ำเสียไม่เข้าสู่อากาศของโรงงานหรือปิดคอลแดนนิ่ง จากัด ปริมาณ 500 มล. มาปรับสภาพให้มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียที่จะใช้ในการทดลองจริง คือ น้ำเสียจากโรงงานหรือปิดคอลแดนนิ่ง จากัด โดยเติมตะกอนลงจนวนขวดแก้วขนาด 2.5 ลิตร ทำการเติมน้ำเสียประมาณ 200 มล. ทุก ๆ 3 วัน เป็นเวลา 4-6 สัปดาห์ หรือจนกว่าสังเกตเห็นว่ามีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น และมีฟองอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นถ่ายตะกอนจุลินทรีย์ลงจนวนถังหมัก (ทำด้วยภาดลิลิกที่บรรจุด้วยท่อวางแหวนพีวีซีแบบกระจาย) ขนาด 5.1 ลิตร เติมน้ำเสียครั้งละประมาณ 200 มล. ทุก ๆ 3 วัน จนกว่าท่อพีวีซีทั้งหมดอยู่ใต้อัตระดับน้ำ



ขั้นตอนนี้อาจใช้เวลาประมาณ 6 สัปดาห์ หรือจนกว่าสิ่งเกตุพบแผ่นเมือที่เกาะอยู่บนผิวท่อพีวีซีที่มีปริมาณมากเพียงพอ จึงเริ่มการทดลองขั้นตอนต่อไป

#### 3.1.4 ปัจจัยที่ศึกษา

- 1) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งเก็บตัวอย่างน้ำเสียและเวลาในการเก็บตัวอย่างกับคุณลักษณะของน้ำเสียที่ได้
- 2) เปรียบเทียบลักษณะน้ำเสียจากทั้งสองแหล่ง และคัดเลือกที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งเก็บตัวอย่างไว้ใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

3.1.5 วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักและโลหะเบาประจวบชนิดต่าง ๆ เช่น สังกะสี ทองแดง โครเมียม แคดเมียม และ เหล็ก รวมทั้งโลหะเบาประจวบ ได้แก่ ไรโซเดียม โบตัสเซียม และแมกนีเซียมในน้ำเสียที่คัดเลือกไว้ โดยใช้อุปกรณ์ Atomic absorption spectrophotometer (วิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการกลางของคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

#### 3.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้ออกซิเจนกึ่งหมักที่มีตัวกรอง

ก่อนเริ่มการทดลองสำรวจความพร้อมของจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพกายในกึ่งหมักที่มีตัวกรองท่อพีวีซี บรรจุอยู่ โดยดูจากลักษณะ เมือกที่ผิวท่อพีวีซีและการฟุ้งขึ้นอย่างสม่ำเสมอของแก๊สที่เกิดขึ้น

#### ปัจจัยที่ศึกษา

- 1) ศึกษาผลของอัตราการบ้อนสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการทำงานของกึ่งหมัก โดยกำหนดค่าอัตราการบ้อนสารอินทรีย์เริ่มจากน้อยไปหามาก คำนวณปริมาณน้ำเสียที่จะต้องบ้อนที่ละค่า อัตราการบ้อนสารอินทรีย์ จากผลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำเสียนำมาแทนค่าลงในสูตร คำนวณดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำเสียที่ต้องเติมต่อวัน (Q) =

$$= \frac{\text{อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่กำหนด (กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน X ปริมาณถังหมัก (ม<sup>3</sup>)}}{\text{COD ของน้ำเสียที่เข้าเป็นวัตถุดิบ (กก COD/ม<sup>3</sup>)}}$$

โดย อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่กำหนด (กก COD/ม<sup>3</sup> วัน)

$$= \frac{\text{COD ของน้ำเสียที่เข้าเป็นวัตถุดิบ (กก COD/ม<sup>3</sup>)}}{\text{HRT}}$$

HRT

$$\text{HRT (วัน)} = \frac{\text{ปริมาตรของถังหมัก (V) ม<sup>3</sup>}}{\text{ปริมาณน้ำเสียที่ต้องเติมต่อวัน (Q) (ม<sup>3</sup>/วัน)}}$$

$$\text{ปริมาณน้ำเสียที่ต้องเติมต่อวัน (Q) (ม<sup>3</sup>/วัน)}$$

ทำการสูบน้ำเสียผ่านระบบที่ค่า อัตราการป้อนสารอินทรีย์หนึ่ง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า COD, ความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหย, พีเอชของน้ำทิ้ง และปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นโดยคิดเป็นอัตราการผลิตแก๊สต่อวัน

วิธีการสูมตัวอย่างน้ำทิ้ง เป็นดังนี้ น้ำทิ้งถูกถ่ายออกจากถังหมักทางท่อน้ำทิ้ง (effluent line) งานปริมาตรเท่ากับที่เติมในส่วนบนของถังหมักทางท่อน้ำเข้า (influent line) ขณะที่ถ่ายน้ำทิ้งต้องปิดวาล์วน้ำแก๊ส เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำในขวดที่แก๊สไปแทนที่น้ำ หลังจากถ่ายน้ำทิ้งออกและเติมน้ำเสียใหม่ลงไปแล้ว เปิดวาล์วท่อน้ำแก๊ส ผลของเหลวภายในถังหมักให้เข้ากันเป็นเวลา 5-7 นาที โดยการสูบน้ำทิ้งจากถังหมักเข้าสู่ส่วนบนถังด้วย ปั๊มเหวี่ยง (Centrifugal pump) ที่มีอัตราการปั๊ม 1 ลิตรต่อนาที

2) ศึกษาผลของการทดลอง HRT โดยกำหนดอัตราการป้อนสารอินทรีย์คงที่ (บางค่า) และศึกษาถึงปริมาณสารอินทรีย์สูงสุด และ HRT ต่ำสุดของการหมักทั้งระบบสามารถทำงานได้

3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซหมัก และก๊าซเบาประจุบวกในน้ำเสีย และน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักตัวกรอง เปรียบเทียบกับปริมาณที่มีผลในการยับยั้งระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

4) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีของตัวอย่างน้ำเสียขณะ เก็บที่อุณหภูมิ 40°C

### 3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้อากาศในถังหมัก ขวดแก้ว

ใช้ถังหมักขวดแก้ววางเครื่องชั่งน้ำ (waterbath) 2 ชุด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ อดยวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30-35<sup>0</sup>ซ) และ ที่อุณหภูมิ 40-42<sup>0</sup>ซ ใช้ น้ำเสียจากรองงานรอกแยลแคนหนึ่ง จากัด เก็บน้ำเสียที่อุณหภูมิ 4<sup>0</sup>ซ

#### 3.3.1 การเตรียมจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียอุณหภูมิสูง

เริ่มต้นการเตรียมจุลินทรีย์ อดยการนำตะกอนที่มีการปรับสภาพ ให้เข้ากับน้ำเสีย ของโรงงานรอกแยลแคนหนึ่ง จากัด มาทำการปรับสภาพให้เข้ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่ 40-42<sup>0</sup>ซ อดยวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับขั้นตอนการเตรียมจุลินทรีย์ เพื่อใช้ถังหมักตัวกรอง (ดูข้อ 3.1.3) ส่วนการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ใช้ตะกอนที่ปรับสภาพแล้วจากถังหมักตัวกรองมา

#### 3.3.2 การเติมน้ำเสียและการสูบน้ำทิ้ง

การทดลองเริ่มอดยการเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้น COD ประมาณ 10,000 มก/ล ปริมาณ 250 มล. ทุก ๆ 5 วัน ลงในถังหมักทั้งสอง มีผลให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ตลอดการทดลองมีค่า 0.25 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน และ HRT 40 วัน ก่อนป้อนน้ำเสียใหม่ทุกครั้งถ่ายน้ำเสียในปริมาณที่เท่ากันออกจากขวดหมักทั้งสอง นาน้ำทั้งส่วนนี้มาวิเคราะห์ค่าพีเอช ความเป็นด่าง และกรดไขมันระเหย อัตราการผลิตแก๊สตรวจวัดจากการแทนที่น้ำในขวดทุกวัน และในช่วงทุก ๆ 10 วัน สูมตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในขวดหมักทั้ง 2 อุณหภูมิ

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. คุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีต่าง ๆ ของน้ำเสียจากโรงงานรอแยลแคนเน็ง จำกัด และโรงงานทรอปิคอลแคนเน็ง จำกัด (ตารางที่ 8-13) พบว่า น้ำเสียจากทั้งสองแหล่งมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียที่คล้ายคลึงกัน น้ำเสียของแต่ละโรงงานมีค่าองค์ประกอบทางเคมีแต่ละค่าที่แตกต่างกันในวงกว้าง เช่น ค่า COD ของน้ำเสียจากโรงงานรอแยลแคนเน็ง จำกัด มีค่าตั้งแต่ 2,600-181,600 มก/ล (ตารางที่ 8) ยกเว้นค่า อุณหภูมิพีเอช ปริมาณของแข็งตกตะกอน และปริมาณฟอสเฟต อุณหภูมิของน้ำเสียอยู่ในช่วงอุณหภูมิอากาศปกติในประเทศไทย คือ 28-32°C ค่าพีเอชมีความแตกต่างกันน้อยมากคือ มีค่าอยู่ระหว่าง 6-8 ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปของทั้ง 2 แหล่ง ล้วนเป็นอาหารทะเลซึ่งปกติมี พีเอช เป็นกลาง น้ำเสียจากโรงงานรอแยลแคนเน็ง จำกัด มีค่าพีเอชต่ำถึง 4.50 ในบางค่า เนื่องจากการปะปนของซีสมาะเขือเทศจากกระบวนการผลิตปลาซาร์ดีนในซีสมาะเขือเทศ ปริมาณของแข็งตกตะกอนจากน้ำเสียทั้ง 2 แหล่งพบว่ามีปริมาณต่ำ (2-110 มก/ล) อาจเนื่องจากวิธีการสูมตัวอย่าง ซึ่งกระเพาะที่ปลายท่อหรือช่วงรับน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียเหล่านี้ไหลอย่างช้า ๆ ผ่านตะแกรงกรองเศษ และไหลตามร่องเป็นระยะทางยาว มีผลให้ของแข็งส่วนใหญ่อตกตะกอนก่อนถึงปลายท่อเข้าสู่ระบบบำบัด ในขณะที่ปริมาณของแข็งตกตะกอนมีค่าต่ำ (เฉลี่ย 2-48) ปริมาณของแข็งทั้งหมดกลับมีค่าสูงกว่า คือมีค่าอยู่ในช่วง 2,600 - 12,000 มก/ล (ตารางที่ 8) 1,800-20,000 มก/ล (ตารางที่ 10) 1,000-9,000 มก/ล (ตารางที่ 11), 800-9,000 มก/ล (ตารางที่ 12) สำหรับน้ำเสียจากโรงงานรอแยลแคนเน็ง จำกัด จากกระบวนการเตรียมปลาหูน่า การบรรจุกระป๋องและการแช่เยือกแข็งของโรงงานทรอปิคอลแคนเน็ง จำกัด ตามลำดับ จากการพิจารณาค่าต่าง ๆ เหล่านี้อาจเป็นไปได้ว่าของแข็งส่วนใหญ่ในน้ำเสียอยู่ในสภาพแขวนลอย ซึ่งยากต่อการตกตะกอนเอง

อัตราส่วนของของแข็งระเหยต่อค่าของแข็งทั้งหมด สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์ในการพิจารณาวัตถุดิบที่เหมาะสมกับระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (McCarty, 1966) จากผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 8) พบว่า น้ำเสียจากโรงงานรอแยลแคนเน็ง จำกัด มีค่าอัตราส่วนของของ

ตารางที่ 8 : ผลของวันทำงานและเวลาในการสูบตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานขนคนึง จากัด

คุณลักษณะ	วันจันทร์		วันพุธ		วันพฤหัสบดี		วันศุกร์		วันเสาร์	
	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
พีเอช	6.25-6.30	5.60-6.40	5.90-6.50	5.60-6.40	6.05-6.30	6.25-6.30	4.95-6.1	4.90-5.90	5.80-6.10	5.75-5.90
ความเป็นด่าง (มกCaCO <sub>3</sub> /ล)	120-180	292-350	265-425	110-465	160-500	120-253	215-485	320-410	315-535	335-430
ของแข็งทั้งหมด	3110-6498	2614-3219	4610-7269	4880-4989	3100-7700	4986-6430	4530-5480	4300-8340	5003-10010	2990-12040
ของแข็งระเหย	2000-6097	2000-3020	4480-6390	3890-4620	2840-5100	4100-4540	3530-3780	3650-6600	4453-5819	2830-7343
ของแข็งตกตะกอน (มล/ล)	4-12	2-6	18-50	20-65	19-60	9-45	40-65	80-110	40-60	4-105
ไขมัน	1180-3170	1640-63655	1180-5926	1439-2048	2337-2809	1787-2276	2124-3375	2524-2703	2247-2686	2601-3471
BOD	2600-5020	3300-30000	12250-16200	7400-11500	3960-9100	3100-17060	4860-8750	8200-15000	3550-8050	3250-9850
COD	3420-16900	8400-181600	28240-31736	17340-31660	21980-23700	9100-35160	7520-15320	14667-21880	6800-16838	5840-16420
ไนโตรเจนทั้งหมด	128-325	235-250	370-672	243-660	208-563	225-350	436-607	341-762	542-683	395-835
ฟอสเฟต	30-45	43-73	21-25	25-61	37-43	31-57	31-32	24-35	28-62	26-59
คลอไรด์ (มกNaCl/ล)	203-493	246-2900	240-312	260-281	184-460	309-478	283-443	340-937	410-904	452-559

หมายเหตุ : จำนวนตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 20 ตัวอย่าง  
หน่วยของพารามิเตอร์ทั้งหมด (ยกเว้นที่ระบุไว้) เป็น มก./ล.

ตารางที่ 9 :ผลของเวลาสุ่มตัวอย่างต่อคุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานขนลแคนนิง จากัด

คุณสมบัติ	8.00-10.00 น.		11.00-13.00 น.		14.00-16.00 น.		ค่าเฉลี่ยรวม
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	
พีเอช	4.95-6.50	5.9	5.70-6.40	6.1	4.90-6.40	5.9	6.0
ความเป็นด่าง( $\text{mgCaCO}_3/\text{l}$ )	120-535	294	140-545	235	110-465	306	278
ของแข็งทั้งหมด	3100-10016	5,729	1570-13640	5,260	886-8346	5,430	5,473
ของแข็งระเหย	2000-6390	4,154	1200-7740	4,012	2000-7342	4,194	4,120
ของแข็งตกตะกอน(มล/ล)	4-65	31	0.5-108	33	2-110	45	36
ไขมัน	1180-5926	2,703	1219-3697	2,341	1439-3471	1,957	2,334
BOD	3420-16900	8,902	2500-15375	7,272	3050-30000	10,797	8,990
COD	5020-32800	19,984	3970-52500	18,927	5840-181600	28,187	22,366
ไนโตรเจนทั้งหมด	131-677	453	106-835	377	225-762	428	419
ฟอสเฟต	22-62	36	17-58	37	26-73	43	39
คลอไรด์( $\text{mgNaCl}/\text{l}$ )	185-676	393	130-786	402	247-937	685	493

หมายเหตุ : ค่าต่าง ๆ ได้จากน้ำเสีย 30 ตัวอย่าง  
หน่วยของพารามิเตอร์ทั้งหมด (ยกเว้นพีเอช) เป็น มก./ล.

ตารางที่ 10 : ผลของวันทำงานและเวลาในการสุ่มตัวอย่างต่อคุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการเตรียมบลาฟานของโรงงานทอผ้าคอลมดกนึ่ง จำกัด

คุณสมบัติ	วันจันทร์		วันพุธ		วันพฤหัสบดี		วันศุกร์		วันเสาร์	
	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
พีเอช	6.50-7.00	5.45-6.45	6.30-6.45	4.45-6.60	6.15-6.65	6.75-7.10	6.5	6.40-6.65	6.15-7.00	6.60-6.85
ความเป็นด่าง(มกCaCO <sub>3</sub> /ล)	50-1200	625-780	795-1455	150-1965	70-335	50-94	360-1585	400-2060	55-108	72-210
ของแข็งทั้งหมด	1830-13635	12305-13055	17000-17535	5320-14415	10880-20120	6010-29115	3950-10125	10115-20140	6960-21530	1345-12130
ของแข็งระเหย	1555-8030	5320-9025	13530-16357	2890-8730	6155-7435	1315-4500	3105-8360	3790-18265	1815-4175	1810-8030
ของแข็งคกตะกอน(มล/ล)	10-32	18-25	15-90	4-35	20-50	5-18	3-4.50	10-15	2.5-10.0	4-10
ไขมัน	509-1566	2038-7493	2030-7560	1829-1945	1040-1960	883-2576	1284-2722	1087-15072	664-1893	1134-1415
BOD	7250-9700	6650-12300	9200-18300	2800-7250	5050-8875	987-2400	3750-9100	2925-33750	1600-3700	1292-2325
COD	2840-14090	11618-15280	15319-20320	4160-11940	8406-10356	2573-9123	5715-13704	5656-44222	2828-6554	1554-5401
ไนโตรเจนทั้งหมด	289-1404	976-1731	865-1727	366-1360	927-1295	72-244	170-461	337-479	278-545	172-364
พอสเฟต	48	36-74	38-42	26-30	30-55	33-66	40-51	33-50	20-51	35-64
คลอไรด์(มก NaCl/ล)	271-2980	3370-3823	3083-1775	3223-3350	2681-8592	3412-4849	1562-5715	1529-5656	3063-13554	1801-7790

หมายเหตุ : จำนวนตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 20 ตัวอย่าง  
 หน่วยของพารามิเตอร์ทั้งหมด(ยกเว้นพีเอช)เป็น มก./ล.

ตารางที่ 11 : ผลของวันทำงานและเวลาในการสุ่มตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดของโรงงานทอผ้าฝ้าย จำกัด

คุณลักษณะ	วันจันทร์		วันพุธ		วันพฤหัสบดี		วันศุกร์		วันเสาร์	
	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
พีเอช	6.50-6.65	6.00-6.60	5.50-6.80	6.10-6.80	6.15-6.70	5.80-6.90	6.65-6.90	6.75-6.80	6.35-6.40	5.95-6.20
ความเบี่ยงต่าง (มกCaCO <sub>3</sub> /ล)	115-1210	136-325	85-165	30-155	74-110	42-165	205-360	165-220	55-108	64-210
ของแข็งทั้งหมด	4595-7480	5030-6600	5655-6140	2660-4450	8710-9625	7790-8020	1142-3765	5150-5160	6040-9560	4045-8090
ของแข็งระเหย	425-2800	1025-1450	1580-2215	1000-3130	1980-3070	1750-1945	1345-5246	1795-2730	1420-2100	1085-1825
ของแข็งตกตะกอน (มล/ล)	4.5-36.0	4-8	2-4	2-4	9-11	5-35	4-8	2-10	4-18	4-14
ไขมัน	112-269	453-1073	948-1235	109-998	763-1563	869-1560	967-1975	1009-3306	597-1053	274-909
BOD	1250-2748	1475-1480	1140-2050	640-750	1685-1800	1140-2200	1060-2268	1483-7150	915-1175	1063-1200
COD	2102-4280	2160-2854	2096-2121	864-1388	3489-3718	2259-3825	1434-5400	2746-15481	2229-2948	1427-3584
ไนโตรเจนทั้งหมด	115-396	133-233	145-215	81-100	281-398	208-243	181-265	166-188	167-170	219-242
ฟอสเฟต	47-67	34-74	30-36	14	27-67	40-59	28-44	23-30	45-47	45-54
คลอไรด์ (มกNaCl/ล)	2610-6665	6142-6797	3174-3330	1579-4196	3363-4069	3535-4090	2268-7104	1546-2746	2923-5838	3667-3864

หมายเหตุ : จำนวนตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 20 ตัวอย่าง  
หน่วยของพารามิเตอร์ทั้งหมด (ยกเว้นที่ระบุไว้) เป็น มก./ล.



ตารางที่ 12 : ผลของวันทำงานและเวลาในการสู่มตัวอย่างต่อคุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานทอผ้าฝ้ายขอนแก่น จากัด

คุณลักษณะ	วันจันทร์		วันพุธ		วันพฤหัสบดี		วันศุกร์		วันเสาร์	
	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
พีเอช	6.90-7.00	6.90-7.30	6.65-7.90	5.45-7.40	6.90-7.80	6.70-7.00	6.30-7.0	7.00-7.40	7.00	6.80-6.85
ความเป็นด่าง(มกCaCO <sub>3</sub> /ล)	65-95	50-60	35-180	35-390	32-70	10-65	100-125	95-110	10-50	60-160
ของแข็งทั้งหมด	4555-9945	7115-7285	5400-6495	2385-5277	7855-8755	1420-8320	880-2625	2585-3875	3290-5985	1835-4095
ของแข็งระเหย	1020-8125	255-1075	1985-2800	975-1480	960-1010	200-1970	600-1600	600-955	280-1815	515-1065
ของแข็งคกตะกอน(มล/ล)	5-15	3-7.50	2-3	1-1.50	1.50-4	1.50	0.50-1.5	2	1-2	0.50
ไขมัน	238-499	236-455	1024-1510	303-551	810-854	581-939	799-936	463-1081	512-563	403-481
BOD	1086-1255	648-950	1185-1600	525-1020	630-709	110-1058	433-1360	850-895	270-740	415-538
COD	2057-2560	1432-1748	1776-2101	1240-1597	1728-1886	540-1979	464-1895	433-1270	448-1793	770-1728
ไนโตรเจนทั้งหมด	142-222	133-140	174-201	55-158	115-155	57-177	62-176	124-107	29-138	72-84
ฟอสเฟต	28-48	33-48	25-42	18-35	33-48	30-40	9-17	17-20	20-60	33-40
คลอไรด์(มกNaCl/ล)	5837-6121	4953-6550	2240-3223	1874-3054	5657-6166	514-4707	477-1895	1270-1299	2446-3433	1233-3424

หมายเหตุ : จำนวนตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 20 ตัวอย่าง  
 หมายเหตุของอาหารเคมีเคอร์ทั้งหมด(ยกเว้นที่ระบุ) เป็น มก./ล.

ตารางที่ 13 : สรุปคุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานร่อนยลคณนึ่ง จ้ากค และโรงงานทรรอบคอลลคณนึ่ง จ้ากค.

คุณลักษณะ	โรงงาน* ร่อนยลคณนึ่ง จ้ากค.		โรงงานทรรอบคอลลคณนึ่ง จ้ากค.**					
			การเตรียมยูน้า		การบรรจุกระป๋อง		การแช่เยือกแข็ง	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	4.9-6.5	5.8	4.5-7.1	6.4	5.5-6.9	6.4	5.5-7.9	6.9
ความเป็นค่าง(มกCaCO <sub>3</sub> /ล)	110-535	319.2	50-2060	629.9	30-1210	200	10-390	89.9
ของแข็งทั้งหมด	2614-12040	6259	1345-29115	12375	1142-9625	5985	880-9945	4998
ของแข็งระเหย	2000-7343	4445	1315-18265	6711	100-5246	1959	200-8125	1464
ของแข็งคคคกอน(มล/ล)	2-110	48.3	2.5-90	19.1	2-36	9.4	0.5-15	2.8
ขมมัน	1180-63655	2822	509-15072	2834	109-3306	1002	236-1510	661.9
BOD	2600-30000	11874	987-33750	7460	640-7150	1733	110-1600	813.8
COD	3420-181600	46955	1554-44222	10582	864-15481	3320	433-2560	1472
ไนโตรเจนทั้งหมด	128-835	456	72-1731	703.1	81-398	207.3	29-222	126.1
ฟอสเฟต	21-73	43	20-74	43.5	14-74	41.3	9-60	31.7
ครอไรด์(มกNaCl/ล)	184-2900	493.5	271-13554	4103	1546-7140	3977	477-6550	3319

หมายเหตุ : \*ตัวเลขแต่ละค่าแสดงช่วงค่าของน้ำเสีย 30 ตัวอย่าง  
 \*\*ตัวเลขแต่ละค่าแสดงช่วงค่าของน้ำเสีย 20 ตัวอย่าง  
 หน่วยของฟารามิเตอร์ทั้งหมด(ยกเว้นพีเอช) เป็น มก./ล.

แข็งระเหยได้ต่อของแข็งทั้งหมดสูงสุดนี้อาจเนื่องมาจากการที่น้ำเสียแหล่งนี้มีค่าคลอไรด์ต่ำ ในขณะที่ค่าคลอไรด์สูง ๆ ของโรงงานทอปิโคลแดนนิ่ง จำกัด อาจมีผลกระทบต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด ในบรรดาแหล่งน้ำเสียทั้งหมด น้ำเสียจากกระบวนการเตรียมปลาทูน่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุด นอกจากนี้ค่า BOD , COD และไขมันของน้ำเสียจากโรงงานรอยแอลแดนนิ่ง จำกัด มีปริมาณสูงกว่าน้ำเสียจากโรงงานทอปิโคลแดนนิ่ง จำกัด 2-7 เท่า

ความเป็นต่าง เป็นค่าที่แสดงความเป็นพิษต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย ในการหมักน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ น้ำเสียควรมีค่าความเป็นต่างไม่น้อยกว่า 100 มก/ล ( Halbert, 1981 ) จากผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำเสียจากโรงงานรอยแอลแดนนิ่ง จำกัด มีค่าอยู่ในช่วง 100-2,253 มก/ล ( ตารางที่ 8 ) และน้ำเสียจาก 3 แหล่งของโรงงานทอปิโคลแดนนิ่ง จำกัด มีค่า 50-2,000 มก/ล ( ตารางที่ 10 ) 30-1,200 มก/ล ( ตารางที่ 11 ) และ 10-400 มก/ล ( ตารางที่ 12 ) ดังนั้น น้ำเสียจากโรงงานรอยแอลแดนนิ่ง จำกัด น่าจะมีความเหมาะสมในการหมักด้วยระบบไม่ใช้อากาศมากที่สุด เพราะสามารถรักษาเสถียรภาพการหมักที่เหมาะสมได้ดี

น้ำเสียจากการนึ่งปลาทูน่า มีปริมาณไขมันสูงสุด ในขณะที่น้ำเสียจากกระบวนการแช่แข็งมีปริมาณไขมันต่ำสุด การนึ่งปลาทูน่าทำให้มีไขมันออกมามาก ปริมาณของไขมันที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของปลา และระยะเวลาที่ใช้ในการนึ่งปลา โดยทั่วไปปลาขนาดใหญ่ เช่น ปลาโอดริบยาว (Albacore) จะมีองค์ประกอบของไขมันในน้ำนึ่งปลาอยู่ประมาณ 10 - 12 % ในขณะที่ปลาขนาดเล็ก เช่น ปลาโอดา (Tonggol) จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบในน้ำนึ่งปลาประมาณ 2-4 %

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปริมาณที่มีอยู่ในน้ำเสียมีผลกระทบต่อระบบบำบัดที่สาคัญในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ในน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ แอมโมเนียที่ได้จากการแตกตัวจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์หมด ทำให้ความเป็นพิษลดลง ระบบจะไม่คงตัว (Zeikus, 1979) อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปแบบปริมาณทั้งหมด ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นพวกกรดอะมิโน และโปรตีนที่ละลายได้ เป็นส่วนใหญ่ พบว่า

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากโรงงานรอกแยลแคนนิง จำกัด มีค่า 128 - 835 มก/ล ( ตารางที่ 8 ) (หรือ 106-835 จาก ตารางที่ 9) ส่วนของโรงงานทรอปิคอลแคนนิง จำกัด จากน้ำทิ้งปลาทูน่า จากกระบวนการบรรจุกระป๋องและจากกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าอยู่ในช่วง 72-173 มก/ล (ตารางที่ 10), 81-398 มก/ล (ตารางที่ 11) และ 55-222 มก/ล (ตารางที่ 12) ตามลำดับ ถึงแม้ว่าค่าต่ำสุดของปริมาณไนโตรเจนจากทั้งสามแหล่งของโรงงานทรอปิคอลแคนนิง จำกัด จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าสูงสุดของแต่ละแหล่งนี้ความแตกต่างกันมาก โดยน้ำเสียจากกระบวนการทิ้งปลาทูน่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 1,740 มก/ล

ปริมาณฟอสเฟตของน้ำเสียจากทั้ง 4 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วง 21-73 (ตารางที่ 8) 20-74 (ตารางที่ 10) 14-27 (ตารางที่ 11) และ 9-60 (ตารางที่ 12) มก/ล ตามลำดับ กล่าวได้ว่ามีปริมาณฟอสเฟตใกล้เคียงกันทั้ง 4 แหล่ง น้ำเสียปริมาณคลอไรด์ในน้ำเสียของโรงงานรอกแยลแคนนิง จำกัด มีปริมาณต่ำมาก คือ มีค่าอยู่ในช่วง 200 - 2,900 มก/ล ( ตารางที่ 8 ) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียทั้ง 3 ชนิดจากโรงงานทรอปิคอลแคนนิง จำกัด ซึ่งมีค่าคลอไรด์สูงสุดถึง 41,849 มก/ล (ตารางที่ 10,11,12) ผลการวิเคราะห์ที่พบว่า น้ำเสียของโรงงานทรอปิคอลแคนนิง จำกัด มีปริมาณคลอไรด์สูงยังช่วยอธิบายถึงสาเหตุของความล้มเหลวในการนำน้ำเสียของโรงงานไปใช้ประโยชน์ในนาข้าวที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (Prasertsan, et al., 1988)

ข้อมูลคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเสียเหล่านี้ ไม่มีแนวโน้มว่ามีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง และวันทำงานที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย คุณลักษณะทางเคมีเหล่านี้ค่อนข้างขึ้นกับปริมาณและกระบวนการผลิต (ภาคผนวก) ในเวลาและวันทำงานที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมากกว่า

ดัชนีที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณอินทรีย์สารในน้ำเสียที่จะก่อให้เกิดมลภาวะขึ้นคือ ค่า BOD และ COD ในน้ำเสียจากทั้ง 2 โรงงาน พบว่ามีค่าสูงมาก โดยค่าสูงสุดประมาณ 30,000 มก/ล BOD และ 181,600 มก/ล COD ได้จากน้ำเสียของโรงงานทรอปิคอลแคนนิง จำกัด (ตารางที่ 9) น้ำเสียจากกระบวนการแช่แข็งมีค่า BOD และ COD ไม่เกิน 1,600 มก/ล ตาม

## ลำดับ (ตารางที่ 12)

ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่าง BOD และ COD ของน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ อยู่นช่วงระหว่าง 0.47-0.61 ( ตารางที่ 14 ) อัตราส่วนนี้ถ้ามีค่าสูงหมายถึง การมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูงน้ำเสียทั้ง 4 แหล่งมีอัตราส่วนของ BOD และ COD แตกต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องจากชนิดและปริมาณวัตถุดิบ วิธีการแปรรูป และชนิดของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน น้ำเสียจากท่อระบายน้ำที่รวมของโรงงานรอยแยลแดนนิ่ง จำกัด มีอัตราส่วน BOD และ COD ต่ำสุด และน้ำเสียจากกระบวนการเตรียมปลาทุ่นามีค่าอัตราส่วนสูงสุด

จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเสียทั้งสองโรงงาน (ตารางที่ 13) สรุปได้ว่า น้ำเสียจากโรงงานรอยแยลแดนนิ่ง จำกัด มีค่าขององค์ประกอบส่วนใหญ่สูงกว่าน้ำเสียจากโรงงานทรอปิคอลแดนนิ่ง จำกัด ยกเว้น ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งและปริมาณคลอไรด์ น้ำเสียจากโรงงานรอยแยลแดนนิ่ง จำกัด จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อศึกษากระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศต่อไป คุณลักษณะเด่น คือมีค่า BOD, COD สูง และปริมาณคลอไรด์ต่ำ การหมักแบบไม่ใช้อากาศเหมาะกับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง การมีปริมาณคลอไรด์ต่ำเป็นผลดีต่อการทำงานของระบบเพราะ คลอไรด์ปริมาณสูง ๆ เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน (Anderson, et al ., 1982)

เนื่องจากปริมาณโลหะหนัก และโลหะเบาประจุกว (alkali-earth cation) ชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสียมีผลยับยั้งการย่อยสลายในระบบไม่ใช้อากาศ ดังนั้น ก่อนทำการหมักต้องตรวจสอบหาปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้ในน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ Fe, Zn, Cu, Cd และ Cr ในน้ำเสียอยู่ในระดับต่ำมาก และไม่เป็นพิษต่อระบบเมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นพิษจากรายงานของ Halbert (1981) (ตารางที่ 15) ปริมาณโลหะเบาประจุกวต่าง ๆ ได้แก่ Na, K, Ca และ Mg อยู่ในระดับที่ไม่มีผลยับยั้งต่อการหมัก เมื่อเปรียบเทียบกับระดับที่มีผลยับยั้งจากรายงานของ Anderson และคณะ (1982) (ตารางที่ 16)

โลหะหนักที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์อยู่ในรูปอิออน ถ้าอยู่ในรูปเกลือที่ไม่แตกตัวก็จะเป็นพิษ

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน BOD : COD ของน้ำเสียของโรงงานรอยแลคเคนนิ่ง จากัด และโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จากัด

แหล่งน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย	ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. โรงงานรอยแลคเคนนิ่ง จากัด*	0.47	0.17
2. โรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จากัด**		
-ขบวนการเตรียมปลาทูน่า	0.61	0.14
-ขบวนการแช่เยือกแข็ง	0.55	0.18
-ขบวนการบรรจุกระป๋อง	0.54	0.15

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ยแต่ละค่าได้จากน้ำเสีย 30 ตัวอย่าง

\*\* ค่าเฉลี่ยแต่ละค่าได้จากน้ำเสีย 20 ตัวอย่าง

ตารางที่ 15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียของโรงงานรอยแลคเคนนิ่ง จากัด เปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นที่มีผลยับยั้งต่อกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

โลหะหนัก	ความเข้มข้นในน้ำเสีย (มก/ล)	ระดับที่เป็นพิษ* (มก/ล)
Zn	0.05-0.22	200
Cu	0.02-0.07	170
Cr	0	450
Cd	0.02	180
Fe	0.38-0.52	2600

หมายเหตุ : \* จาก Halbert , 1981

ตารางที่ 16 ปริมาณโลหะ เบาประจุบวกในน้ำเสียของโรงงานรอยัลแคนนิง จำกัดเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นที่มีผลต่อการยับยั้งระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

ประจุบวก	ความเข้มข้นในน้ำเสีย (มก/ล) <sup>+</sup>	ระดับที่มีผลยับยั้ง** (มก/ล)
Na <sup>+</sup>	226	3500-5500
K <sup>+</sup>	229	2500-4500
Ca <sup>2+</sup>	13	2500-4500
Mg <sup>2+</sup>	10	1000-1500

หมายเหตุ : + เป็นค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบน้ำเสีย 6 ตัวอย่าง

\*\* จาก Anderson และคณะ (1982)

หากวิเคราะห์หน้าที่ในรูปเกลือมีการแตกตัวได้หลังการหมักเมื่อสารประกอบอื่น ๆ ถูกย่อยสลายไปแล้ว นอกจากนี้ ปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมัก เช่น พีเอช อัตราการป้อนน้ำเสีย และผลการกระทบของปรากฏการณ์ antagonism และ synergisms (Jones and Greenfield, 1982 Cited by Forday and Greenfield, 1982)

## 2. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบการหมักไม่ใช้ออกซิเจนกึ่งหมักที่มีตัวกรอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองและผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย และน้ำทิ้งของระบบกึ่งหมักตัวกรองตลอดจนค่าพีเอช, COD ที่ลดลงและปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น แสดงในตารางที่ 17 จะเห็นว่าการทดลองเริ่มต้นที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำ 0.3 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน และ HRT 35.9 วัน และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำ ๆ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (การลดลงของ COD) ของระบบมีค่าสูงถึงร้อยละ 84 ระบบสามารถรักษาเสถียรภาพการบำบัดได้สูงจนถึงอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 0.99 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 11 วันที่ระดับนี้พีเอชอยู่ในสภาพคงที่และ เป็นระดับที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลัก ที่ต้องการอินกึ่งหมักในขณะเดียวกันมีกรดอินทรีย์ระเหยเหลือในน้ำหมักสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์สูงขึ้นเป็น 1.18 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 9.2 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ลดลงเป็น ร้อยละ 68 และเมื่อลด HRT ลงเหลือ 7.7 วันประสิทธิภาพการบำบัดเหลือเพียง ร้อยละ 56 โดยที่พีเอชมีค่าลดลงจากเดิมเล็กน้อย ค่าความเป็นด่างซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าลดลงจาก 1197 มก/ล เหลือ 891 มก/ล หลังจากนั้นการทดลองเริ่มกำหนดให้ HRT คงที่อยู่ที่ 7.7 วัน หากการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เดิมเพื่อป้องกันการลดลงของพีเอชและการสะสมของกรดไขมัน พบว่าเมื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เดิมลงจาก 1.18 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน เหลือ 1.11 และ 1.00 กก COD/ม<sup>3</sup> วัน ตามลำดับ ประสิทธิภาพของระบบยังไม่ได้ขึ้นมีการสะสมกรดไขมันระเหยมากขึ้นเป็นผลให้พีเอชลดลงเรื่อย ๆ จึงต้องมีการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เดิมลงเหลือ 0.97 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น การลดลงของ COD เท่ากับ ร้อยละ 63.30 และช่วยในการยับยั้งการเพิ่มของกรดไขมันระเหยแต่อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันระเหยยังคงสูงกว่าค่าที่เหมาะสม ที่ระดับพีเอชของการหมักขณะนั้นที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 7.00 กรดไขมันควรรักษาให้อยู่ในระดับต่ำกว่า 500 มก/ล จึงจะทำการ



ตารางที่ 17 : ประสิทธิภาพการกำจัดและการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานรอยแลคแคนนิ่ง จำกัด โดยจากระบบถังหมักดักกรอง

วันที่ หมัก	ปริมาณอาหารเติม สารอินทรีย์ (กก.COD/ม <sup>3</sup> -วัน)	ปริมาณน้ำเสีย ที่เติม (มล)	COD ของน้ำเสีย (กก/ล)	HRT (วัน)	ปริมาณแก๊สที่ผลิต			%การลดลง ของ COD	คุณลักษณะของน้ำทิ้ง			พีเอช
					ม <sup>3</sup> /ม <sup>3</sup> -วัน	ม <sup>3</sup> /กกCODเติม	ม <sup>3</sup> /กกCODฯ		COD (กก/ล)	ความเป็นด่าง (กก/ล)	กรดระเหย (กก/ล)	
1-3	0.30	128	12070	35.9	-	-	-	84.03	1927	1019	366	7.20
4-11	0.50	220	11600	20.9	-	-	-	79.34	2410	1045	489	7.20
12-16	0.66	300	11200	15.3	-	-	-	74.16	2918	1116	507	7.05
17-24	0.66	275	12200	16.7	-	-	-	79.03	2484	1228	498	7.24
25-37	0.70	300	12000	15.3	0.55	0.67	0.95	82.34	2119	1186	438	7.28
38-57	0.99	350	14500	13.2	0.97	0.98	1.15	79.56	2398	1205	340	7.32
58-63	0.99	420	12000	11.0	0.91	0.91	1.07	78.36	2631	1224	429	7.30
64-70	1.18	500	12000	9.2	1.12	1.06	1.16	68.70	2603	1197	454	7.18
71-82	1.18	600	10000	7.7	1.24	1.12	1.22	56.69	3130	891	409	7.02
83-90	1.11	600	9450	7.7	1.32	1.16	1.35	56.69	4307	713	473	6.95
91-98	1.00	600	8570	7.7	1.09	1.01	1.42	58.82	3516	788	561	6.94
99-106	0.97	650	7600	7.7	1.11	1.09	1.43	63.30	2909	884	715	6.94
107-114	1.31	700	9560	6.6	1.51	1.16	1.31	64.78	3369	858	708	6.95
115-125	1.67	700	12200	6.6	1.64	1.21	1.12	65.52	4257	1124	1070	6.93
125-132	1.77	800	11290	5.8	1.32	0.86	1.31	45.13	6195	1308	1435	6.80

หมักไม่ลัมเหลว (Halbert, 1981)

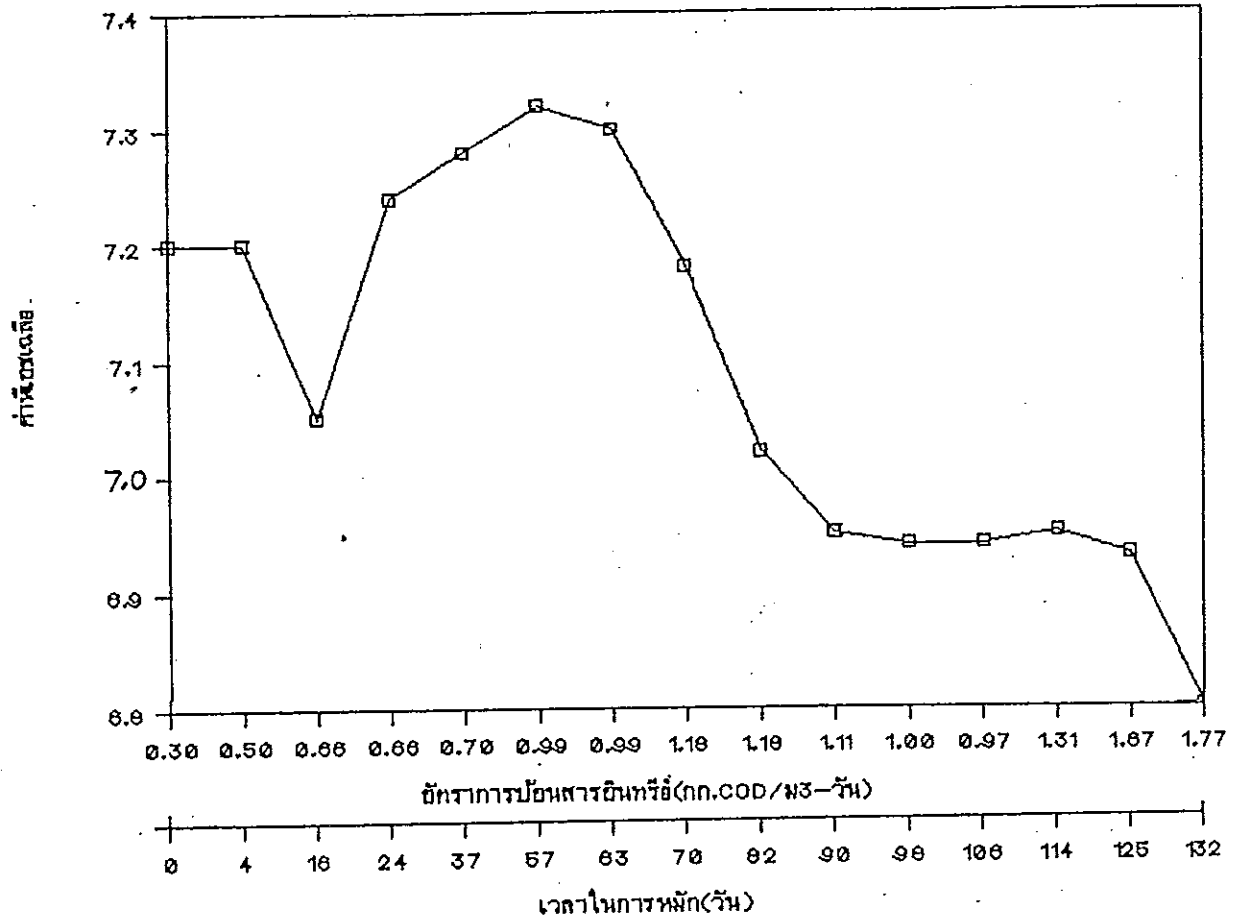
เพื่อเป็นการทดสอบหาค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุด ที่ระบบยังสามารถดำเนินการได้โดยไม่ลัมเหลวจึงทำการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้สูงขึ้นเป็น 1.31 และ 1.67 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 6.6 วัน พบว่าการลดลงของ COD ยังคงอยู่ในระดับมากกว่า ร้อยละ 60 แต่กรดไขมันระเหยได้มีปริมาณสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมีค่า 1,070 มก/ล ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.67 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่เอช ลดลงเป็น 6.93 ระบบเริ่มลัมเหลวเมื่อป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 1.77 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 5.8 วัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เหลือเพียงร้อยละ 45 ที่เอช 6.8 และมีกรดไขมันระเหยสะสมในปริมาณ 1,435 มก/ล ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Halbert, 1981) จึงต้องหยุดการป้อนน้ำเสียให้กับระบบเพื่อป้องกันการเจริญที่นำสมดุลย์ของกลุ่มจุลินทรีย์

ผลผลิตแก๊สเปลี่ยนแปลงตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์และ HRT จากตารางที่ 17 จะสังเกตว่าในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการหมักนั้น ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากระบบการเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำที่เกิดจากการรั่ว หลังสัปดาห์ที่ 4 พบว่า แก๊สชีวภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.67 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 6.6 วัน ปริมาณแก๊สที่ผลิตได้เท่ากับ 1.64 ม<sup>3</sup>/ม<sup>3</sup> ของถังหมัก หรือคิดเป็น 1.2 ม<sup>3</sup>/กก COD ที่ถูกใช้ไปในการหมักน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศผลพลอยได้จากระบบที่มีประโยชน์แก่เศรษฐกิจ คือ แก๊สชีวภาพซึ่งมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักเป็นเชื้อเพลิง แต่เนื่องจากจุดประสงค์ของการทดลองเพื่อการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการดำเนินงานของระบบในการบำบัดน้ำเสีย โดยมีแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นผลที่ตามมาดังนั้นจึงไม่ได้ทำการตรวจสอบองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น จึงไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่า การหมักที่นำปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุด และอัตราการผลิตแก๊สที่สูงที่สุดอยู่ที่จุดใดของการทดลอง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะต้องนำมาเป็นข้อพิจารณาในการทดลองขั้นต่อไป

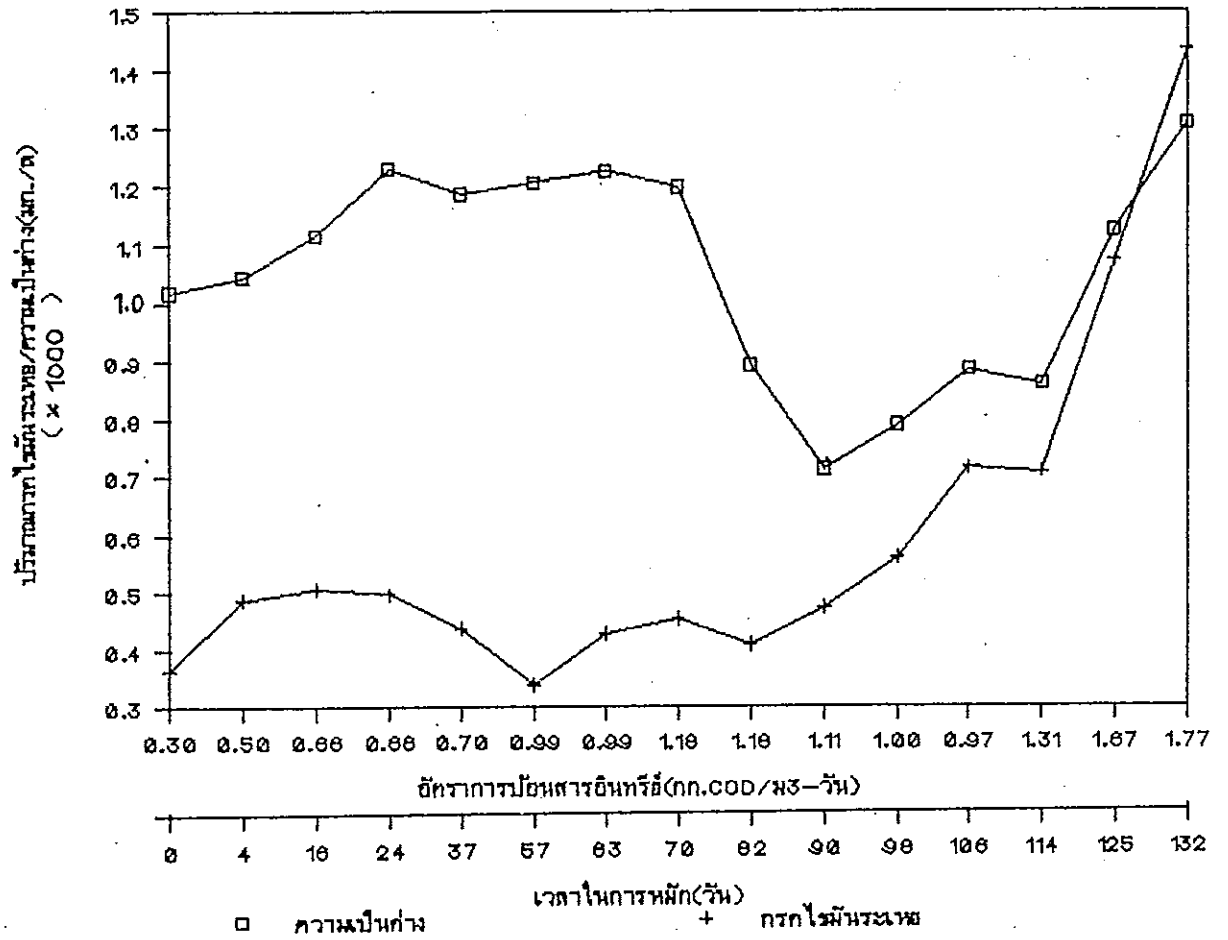
ดังนั้นถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพีเอช กรดไขมันระเหย ความ เป็นต่างและกับ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ซึ่งแสดงจากรูปที่ 10-12 จะเห็นว่า พีเอช มีแนวโน้ม ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ขึ้นมากกว่า 1.20 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 9.2 วัน ที่ระยะ เวลาการหมักมากกว่า 20 วัน กรดไขมันระเหยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นต่าง เริ่มลดลง ค่าความเป็นต่างเป็นค่าที่แสดงปริมาณความจุของน้ำเสียในการบำบัดตอน เป็นผลมา จากสาร ซึ่งเรียงลำดับตามผลของการทำให้พีเอชสูง คือ สารไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และ โบคาร์บอเนต สารเหล่านี้มีผลต่อพีเอชและความเป็นต่างจากการมีปริมาณ และอัตราส่วนของสาร แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525) งานน้ำเสียที่มีสารไฮดรอกไซด์ปริมาณมาก ก็จะมีพีเอชสูง ในขณะที่น้ำเสียบางชนิดมีค่าความเป็นต่างสูงแต่พีเอชไม่สูง เช่น อยู่จนค่าประมาณ 7 แต่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชเนื่องจากปรตอนของกรดได้ดี

ส่วนการลดค่า COD กับอัตราการป้อนสารอินทรีย์พบว่า การลดค่า COD จะค่อย ๆ ลดลง เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับผลของความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของ COD กับ HRT (รูปที่ 12) ซึ่งการลดลงของ COD ลดลงอย่างรวดเร็วที่ HRT 11 วันหลังการ หมัก 63 วัน และมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 70 ที่ HRT 9.2 วัน ประสิทธิภาพ การบำบัดที่ลดลงที่ HRT ต่ำกว่า 10 วัน นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของนันทินิตย์ ศักดิ์เยี่ยม (2531) ที่ระบุว่าต้อง ใช้เวลามากกว่า 10 ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้อากาศไร้อากาศจากการทดลองนี้ อัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดที่ยังให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงกว่า ร้อยละ 70 คือ 0.99 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ที่ HRT 11 วัน แต่ถ้าพิจารณาจากการที่ระบบยังคงดำเนินได้โดยไม่ล้ม เหลวและมีประสิทธิภาพ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ไม่เกิน 1 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน การลดลงของ COD เท่ากับ ร้อยละ 75-80 ในสภาวะเช่นนี้ กรดไขมันน้อยกว่า 500 มก/ล ความเป็นต่างมาก กว่า 1,000 มก CaCO<sub>3</sub>/ลิตร พีเอชสูงกว่า 7 ในระยะการหมัก 60 วัน สภาวะต่าง ๆ เริ่มมี การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เกิน 1 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ได้แก่การลดลง ของ COD มีแนวโน้มลดลง กรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้น พีเอชลดลง เป็นต้น

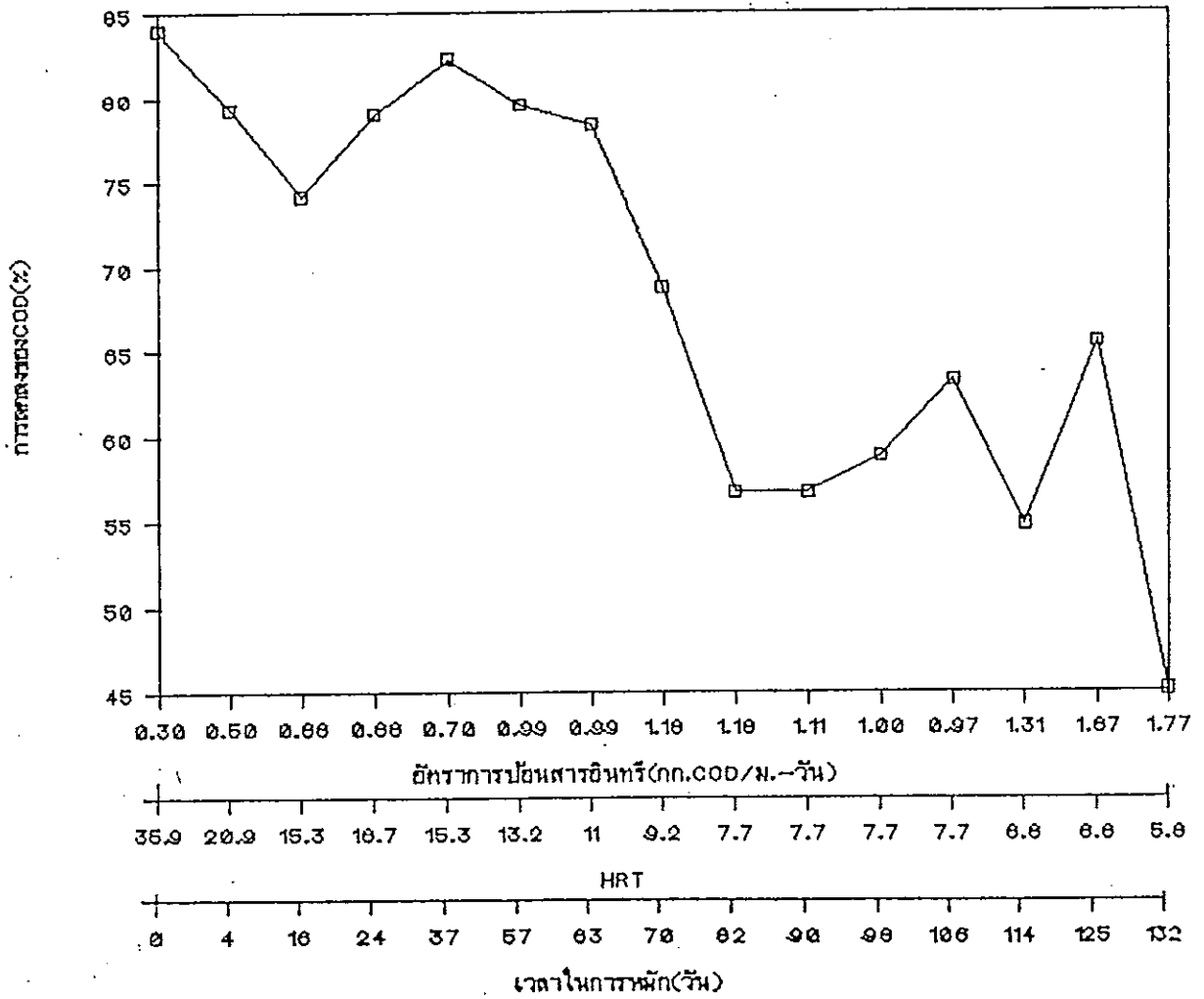
ตารางที่ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำเสียที่เก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ และของน้ำ ที่ทิ้งที่ออกจากระบบบำบัด ตลอดระยะเวลา 12 วัน พบว่าแม้เก็บที่อุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงทาง



รูปที่ 10 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อพีเอชของน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ระหว่างการหมักนำมาใช้อากาศในถังหมักตัวกรอง



รูปที่ 11 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยและความเป็นด่างของน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ระหว่างการหมักไม่ใช้ออกซิเจนถึงหมักตัวกรอง



รูปที่ 12 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์และ HRT ต่อการลดลงของ COD ของน้ำเสีย  
แปรรูปอาหารทะเล ระหว่างการหมักน้ำซ้้ออากาศนึ่งหมักตัวกรอง

ตารางที่ 18 ผลของการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ 4°C ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมีในน้ำเสียของโรงงาน  
รอแยลแคนนิ่ง และน้ำทิ้งหลังผ่านการหมักในระบบบำบัดน้ำเสียอากาศนึ่งหมักตัวกรอง

วันที่	พีเอช		ความเป็นด่าง (มก/ล)		กรดระเหย (มก/ล)	
	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
0	6.23	7.02	570	1105	990	540
1	6.25	7.03	585	1155	1015	530
2	6.25	7.05	590	1200	1110	570
3	6.27	7.09	705	1230	1135	600
6	6.29	7.20	720	1235	1150	500
7	6.30	7.21	735	1200	1190	485
9	6.40	7.24	750	1180	1205	465
10	6.57	7.30	765	1205	1205	435
12	6.59	7.39	800	1255	1215	420

เคมียังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา น้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ความเป็นด่างและกรดระเหย โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการเก็บ ฉะนั้นเพื่อการวิเคราะห์ให้ได้ค่าคงที่ถูกต้องตามมาตรฐานจึงกำหนดไว้ให้หาค่าพีเอชทันทีที่เก็บตัวอย่าง หรือไม่เกินครึ่งชั่วโมง ค่าความเป็นด่างและกรดไขมันระเหยให้วิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง (APHA, AWWA and WPCF, 1985)

ดังนั้นในการพิจารณาการดำเนินงานของระบบที่ค่าคงที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จึงต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ด้วย พีเอช มีค่าเพิ่มขึ้นและปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียก็มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากกลุ่มจุลินทรีย์ซึ่งยังคงมีชีวิตอยู่ที่อุณหภูมิการเก็บสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพไม่มีอากาศให้เกิดเป็นกรดไขมันระเหยสะสม และถูกขับไปบางส่วนโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถใช้กรดเหล่านี้จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงพีเอช และปริมาณกรดไขมันระหว่างการเก็บน้ำเสียตลอดเวลา ส่วนกรณีน้ำทิ้งซึ่งผ่านการบำบัดแล้วนั้น พีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่กรดไขมันระเหยมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะน้ำทิ้ง มีกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทนอยู่จึงสามารถใช้ออกซิเจนเป็นสารอาหารทำให้ปริมาณของกรดไขมันระเหยลดลง (Zeikus, 1979)

การเปลี่ยนแปลงของพีเอช และกรดระเหย มีผลให้ปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง เพราะปริมาณกรดระเหยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช และพีเอชมีผลต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแร่ธาตุซึ่งมีผลต่อความเป็นพิษของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเสีย งานระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anderson, et al., 1982) การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักและโลหะเบาประจำทุกวันน้ำเสียและน้ำทิ้ง (ตารางที่ 19) แสดงให้เห็นว่า ธาตุบางตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นบางตัวลดลง และบางตัวมีค่าคงที่ ธาตุที่มีปริมาณเพิ่มมากหลังการหมักได้แก่ Na และ Cl ธาตุที่มีปริมาณลดลงมากได้แก่ Ca, Fe และ Zn โดย Cu มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ส่วน K, Mg, Mn และ Cr มีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นกล่าวได้ว่าธาตุส่วนใหญ่ปริมาณลดลงหลังผ่านการหมักแบบไม่ใช้อากาศ Halbert (1981) อธิบายว่างานสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณสูงและพีเอชเป็นกลางมีผลให้เกิดการตกตะกอนโลหะหนักเหล่านี้ในรูปของโลหะหนักคาร์บอเนต เช่น  $ZnCO_3$  และ  $FeCO_3$  เป็นต้น ส่วนโลหะเบาประจำทุกตัวได้แก่ K และ Mg มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สำหรับ Ca หลังผ่านระบบแล้วมีปริมาณลดลงมากกว่า 200 เท่า เนื่องจากแคลเซียมส่วนใหญ่จับตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพ



ตารางที่ 19 ปริมาณโลหะหนักและโลหะเบาประจุมวล\* ในน้ำเสียของโรงงานรอแยลแคนนิ่ง  
ช่วงก่อนและหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบถังหมักตัวกรอง

ธาตุ	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
K	205	208
Ca	12.3	0.05
Mg	10.8	10.3
Na	144	225
Cl	130	265
Fe	0.40	0.09
Mn	0.08	0.08
Cu	0.02	0.01
Zn	0.18	0.07
Cr	0.10	0.10

หมายเหตุ \* เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเดียวกัน 3 ครั้ง โดยวิธี

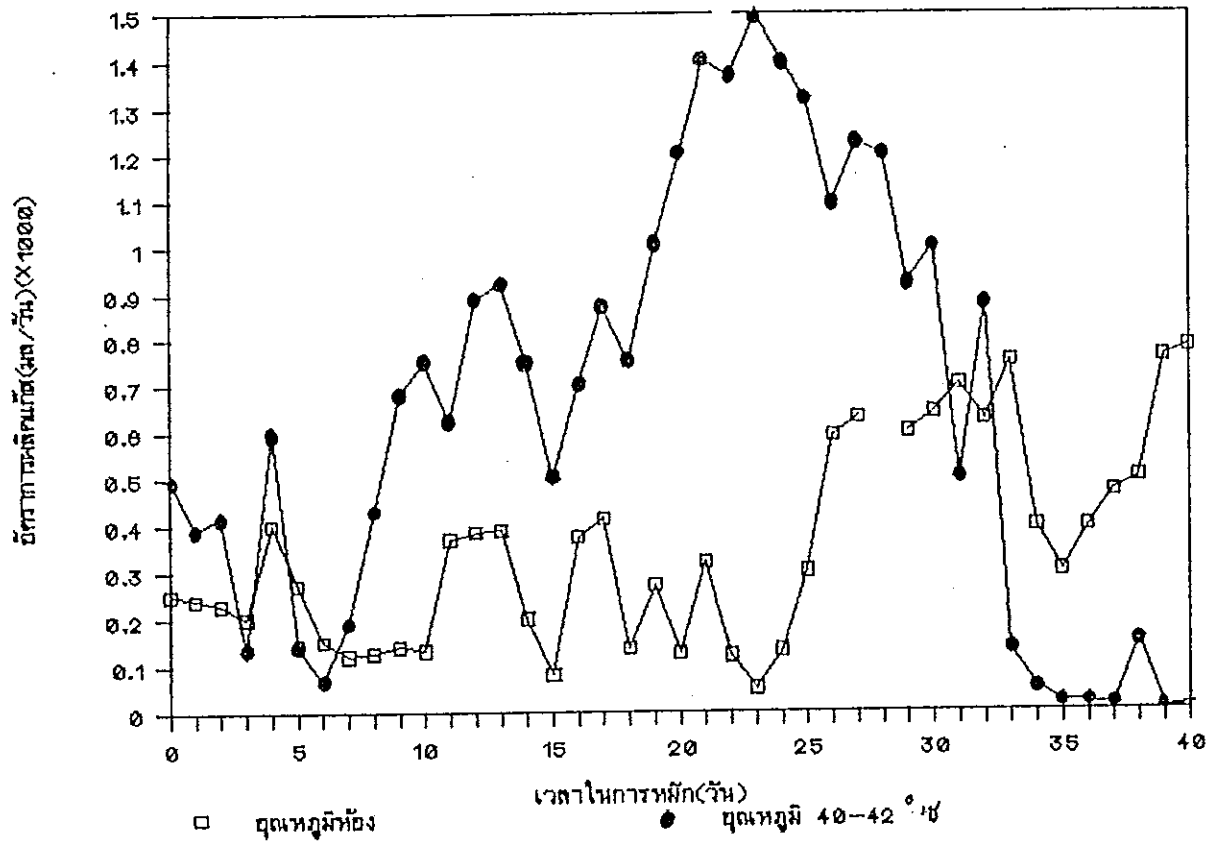
ATOMIC ABSORBTION SPECTROPHOTOMETER.

ที่เกิดจากการหมัก เกิดเป็น  $\text{CaCO}_3$  (Mosey and Hughes, 1975 ,cited by Mosey, 1981) ลอยอยู่บนผิวน้ำของน้ำทิ้งเป็นจำนวนมาก ส่วน Na และ Cl มีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่าตัว หลังผ่านระบบ อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพีเอชทำให้เกลืออนรูปอื่น ๆ ของ Na และ Cl เช่น  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  หรือ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และที่สำคัญ คือ NaCl ซึ่งพบปริมาณสูงในน้ำเสีย ก่อนเข้าระบบ (ตารางที่ 8-13) เกิดการแตกตัวเป็น Na และ Cl มากขึ้น (Halbert,1981)

จากผลการทดลองนี้ถึงแม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุต่าง ๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีผลยับยั้งระบบซึ่งแสดงในตารางที่ 15 และ 16 แล้ว พบว่าปริมาณนี้ยังอยู่ในระดับปลอดภัย

### 3. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบการหมักที่ไม่ใช้อากาศแบบ ธรรมชาติ

อัตราการผลิตแก๊สที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 40-42°C มีค่าค่อนข้างไม่แน่นอน (รูปที่ 13) ที่อุณหภูมิ 40-42°C ปริมาณแก๊สสูงสุดเกิดขึ้น 24 วัน หลังการหมัก และช่วงที่มีอัตราการผลิตแก๊สสูง คือช่วงวันหมักที่ 20-28 หลังจากนั้นอัตราการผลิตแก๊สลดลงจนมีค่าต่ำมากเกือบวัดไม่ได้ หลังการหมัก 35 วัน ที่อุณหภูมิสูงในช่วงที่มีอัตราการผลิตแก๊สตกต่ำคือ หลังการหมักประมาณ 30 วัน เป็นระยะที่มีกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้น 2 เท่าของปริมาณเริ่มต้น และที่ 40 วันหลังการหมัก กรดระเหยมีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่าของปริมาณเริ่มต้น (ตารางที่ 20) ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับการหมักที่อุณหภูมิห้องเช่นกัน กล่าวคือที่ประมาณ 30 และ 40 วันหลังการหมัก มีปริมาณกรดไขมันระเหยอยู่ในน้ำหมัก 2 เท่าและ 3 เท่าของปริมาณเริ่มต้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่า ถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณกรดไขมันที่อุณหภูมิสูง และอุณหภูมิห้องจะเป็น 2 และ 3 เท่าของปริมาณเริ่มต้นเหมือนกัน แต่ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยของการหมักที่อุณหภูมิสูงจะสูงกว่าระดับที่ อุณหภูมิห้องมากโดยสูงกว่าประมาณ 3.5 เท่า ทั้งในระยะเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมัก Pfeffer (1974) อธิบายว่าที่อุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ สูงเป็นผลให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นกรดระเหย ซึ่งเป็นตัวกลางในการเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวภาพมีปริมาณสูง แต่อัตราการเปลี่ยนกรดระเหยเป็นแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยกลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทนเกิด



รูปที่ 13 อัตราการผลิตแอมโมเนียระหว่างการหมักที่นำเข้าอากาศจนถึงหมักขาดแก้วที่ อุณหภูมิห้อง (30-35°C) และที่ 40-42°C ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน แปรรูปอาหารทะเล

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำทิ้งของการหมักแบบธรรมดาที่อุณหภูมิตั้งและที่อุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิ	วันที่หมัก	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก/ล)	กรดไขมันระเหย (มก/ล)	ของแข็งทั้งหมด (มก/ล)
อุณหภูมิตั้ง (30-35 <sup>0</sup> ซ)	0	7.70	1560	109	6500
	5	7.65	1350	125	-
	10	7.60	1400	140	6930
	15	7.50	1405	130	-
	20	7.55	1300	140	6875
	25	7.45	1450	160	-
	30	7.50	1475	185	6639
	35	7.30	1400	200	-
	40	7.40	1455	310	6250
	ที่ 40-42 <sup>0</sup> ซ	5	7.70	1450	495
10		7.80	1500	605	7582
15		7.65	1540	683	-
20		7.40	1680	543	6850
25		7.25	1700	620	-
30		7.10	1850	780	6463
35		7.05	1706	895	-
40		6.90	1855	1035	6200

ขึ้นเพียงหนึ่งอันสี่ของอัตราการสร้างกรดระเหย (Anderson, et al., 1982) จึงทำให้เกิดการสะสมกรดระเหยเป็นจำนวนมาก มีผลไปยังการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทน ทำให้อัตราการสร้างแก๊สลดลง

ส่วนที่อุณหภูมิต้องอัตราการผลิตแก๊สของถังหมักมีค่าค่อนข้างไม่แน่นอน เนื่องจากงานการทดลองไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีการขึ้นลงตามสภาพอากาศ คิดเฉลี่ยอุณหภูมิตั้งอยู่ในช่วง 30-35°C อัตราการสร้างแก๊สสูงสุดเกิดขึ้นหลังการหมัก 30 วัน และมีปริมาณแก๊สเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ช่วงที่มีการผลิตแก๊สสูงคือ ช่วงวันที่ 26-34 ของการหมัก การหมักที่อุณหภูมิต้องนี้ ปฏิกริยาจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ และให้แก๊สออกมาอย่างต่อเนื่องแม้ไม่สม่ำเสมอ

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำหมักเพิ่มขึ้นในช่วง 10 และ 20 วันแรกของการหมักที่อุณหภูมิสูง และที่อุณหภูมิต้องตามลำดับ หลังจากนั้นจะลดลง การเพิ่มของของแข็งทั้งหมดที่อุณหภูมิตั้ง 40-42°C เร็วกว่าที่อุณหภูมิต้อง และลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน

การหมักที่อุณหภูมิต้องในช่วงหลังนั้น อัตราเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์จุลินทรีย์เกิดขึ้นเร็วกว่าที่อุณหภูมิต้อง เป็นผลให้มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ และการสร้างกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นเร็วกว่าในช่วงแรกของการหมัก เมื่อจุลินทรีย์เจริญมากขึ้นถึงจุดที่การสร้างและการใช้กรดไขมันระเหยไม่สมดุลย์เกิดการสะสมกรดไขมันระเหยซึ่งไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงหลังของการหมักลดลงมาก (Halbert, 1981)

## สรุป

1. คุณลักษณะทางเคมีต่าง ๆ ของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล (โรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด และโรงงานรอยแยลแคนนิ่ง จำกัด) ไม่ขึ้นกับเวลาและวันงานการเก็บตัวอย่าง แต่ขึ้นกับกระบวนการผลิตในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียนั้น

2. น้ำเสียจากโรงงานรอยแยลแคนนิ่ง จำกัด มีคุณลักษณะทางเคมีที่เหมาะสมเป็นวัตถุดิบในระบบการหมักที่ไม่ง้ออากาศ เนื่องจากมีค่า BOD และ COD สูง มีความเป็นด่างสูง และมีปริมาณคลอไรด์ต่ำกว่าน้ำเสียของโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด ประมาณ 7 เท่า นอกจากนี้ยังมีปริมาณโลหะหนัก และโลหะเบาประจุกต่ำกว่าระดับที่จะมีผลยับยั้งการหมักแบบไม่ง้ออากาศมาก

3. การหมักน้ำเสียจนถึงหมักตัวกรอง อัตราการบ้อนสารอินทรีย์จนถึง 1 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ให้ประสิทธิภาพการลดค่า COD สูง (ร้อยละ 74-84) ที่ HRT ดังถึง 11 วัน ที่อัตราการบ้อนสารอินทรีย์สูงกว่า 1 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน สภาวะต่าง ๆ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมาก มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ อาทิเช่น ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ความเป็นด่างลดลง กรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าพีเอชลดลง

4. น้ำเสียที่ำใช้เป็นวัตถุดิบการทดลองและน้ำทิ้งแม่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ ยังมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ความเป็นด่าง และกรดระเหย

5. ที่อุณหภูมิสูง (40-42°ซ) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้แก่ การผลิตแก๊สและกรดระเหยเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (30-35°ซ) กรดระเหยสะสมมากขึ้นมีผลยับยั้งการเจริญและผลิตแก๊สของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างแก๊ส อันเป็นผลให้ระบบเกิดการล้มเหลว

## ข้อเสนอแนะ

1. ทว่าการทดลองซ้ำในสภาวะที่ใกล้เคียงกัน วิทยาใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ตั้งแต่ 0.30-1.77 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน โดยเพิ่มค่าในช่วง 1.31-1.77 กก COD/ม<sup>3</sup>-วัน ให้ความเข้มข้น
2. ศึกษาผลของระยะเวลาการหมักที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด
3. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดในถังหมักตัวกรอง เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการหมักในถังหมักธรรมดา

สรุปว่าที่อุณหภูมิ 40-42°C การสร้างแก๊สเกิดขึ้นได้เร็วและปริมาณสูงกว่าที่อุณหภูมิห้อง แต่ระบบก็เกิดการล้มเหลวได้ง่ายกว่าเช่นกัน ดังนั้นถ้าสามารถนำการหมักที่อุณหภูมิ 40-42°C มาใช้กับการทดลองที่สามารถควบคุมสาเหตุที่ทำให้เกิดการล้มเหลว คือการควบคุมให้มีจุลินทรีย์ปริมาณสูงพอที่จะใช้กรดระเหยที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่เกิดการสะสมขึ้นภายในถังหมัก จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สได้เป็นอย่างดี

4. วิเคราะห์ปริมาณมีเทนในแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2528. เคมีของน้ำ น้ำสาครกและการวิเคราะห์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร.
- นันทินันต์ ทัศนีย์ม. 2531. การเปรียบเทียบการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำปัสสาวะแบบเลือกสับปะรดกับปฏิกรณ์แบบขึ้นกรองระหว่างกระบวนการหมักแบบขึ้นตอนเดี่ยวและ 2 ขั้นตอน, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ.
- สมมาตร อินทร์จรรย์. 2530. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีเทนจากน้ำเสียโดยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน. วิศวกรรมสาร. 40(3):103-106.
- Adams, K.H. 1981. Microbiology/Biochemistry . b. organics to biogas microbiology of anaerobic methane production. Proceeding of the 1st ASEAN Seminar Workshop on Biogas Technology, ASEAN Committee on Science and Technology, Manila. Philippines. 217-228.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis, 14<sup>th</sup> edition (williams, S., ed.) Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, USA.
- Anderson, G.K., Donnelly, T. and McKeown, K.J. 1982. Identification and control of inhibition in the anaerobic treatment of industrial wastewater. Proc. Biochem. 4:28-41.
- Andrew, J. F. 1976. Control strategies for anaerobic digestion process : part II. Water and Sewage Works. 122:74-86.



- APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th edition, American Public Health Association, New York.
- Balch, W.E., Fox, G.E., Magrum, L.J., Woese, C.R., and Wolfe R.S. 1979. Methanogens : Reevaluation of a unique biological group. Microbial Rev. 43:260-296.
- Bany, M. and Colleran E. 1984. Silage effluent digestion by an upflow anaerobic filter. Water Res, 18(7):829-832.
- Braun, R. and Huss. S. 1982. Anaerobic filter treatment of molasses distillery slops. Water Res, 16:1167-1171.
- Benefield, L.D. and Randall, C.W. 1980. Biological process design for wastewater treatment. Prentice-Hall, Inc., Englewood, Cliff, New Jersey. 285 p.
- Boening, P.H. and Larsen V.P. 1983. Anaerobic fluidized bed whey treatment, Proc. 37th Ind Waste Conf. Purdue Univ. Ann Arbor Mich., pp. 295-316.
- Bryant, M.P. 1976. The microbiology of anaerobic digestion with special reference to sewage. In Microbial Energy Conversion. (Schlegel, H.G. and Barnes, J. eds.) E. Goltz, Inc., Gottingen. pp. 107-125.
- Callender, I.J. and Barford, J.P. 1983. Recent advance in anaerobic digestion technology In Anaerobic digestion-recent development in technology and control, (Halbert, E. ed.) Department of Chemical Engineering, The University of Sydney.
- Calzada, J.F. 1984. Biogas production from coffee pulp juice : one and two-phases system. Agric Wastes. 9:217-230.

- Chanduayvit, V. 1987. Anaerobic fermentation and energy recovery from treatment of sugar cane molasses distillery slops. Paper presented in the training course on Biogas Reactor Design and Development. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi, 11 May-5 June, 1987, Bangkok, Thailand.
- Chavadej, M. 1986. Two-stages anaerobic process, Technical paper prepared for training course on Biogas Reactor Design and Development. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 11 May-5 June, 1987, Bangkok, Thailand
- Ferguson, T. J. and Mah, R. A. 1983. Effect of  $H_2$ - $CO_2$  on methanogenesis from acetate or methanol in Methanosarcina spp. Appl. Environ. Microbiol. 46:348-355.
- Forday, W. and Greenfield, P. F. 1982. The role of anaerobic digestion in wastewater treatment. In Anaerobic digestion-recent development in technology and control (Halbert E. ed.) Department of Chemical Engineering. The University of Sydney. pp. 1-25.
- Ghin Yeoh, B. 1986. Thermophilic anaerobic digestion technology. Training course on biogas reactor design and development. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 11 May-5 June, 1987. Bangkok, Thailand.
- Ghosh, S., Ombergt, J.P. and Pipyn, P. 1985. Methane production from industrial waste by two-phase anaerobic digestion. Water Res, 19(9):1083-1088.
- Gomez, J. and Goma, G. 1986. Effect of different inoculation levels of heterogenous mixed culture in acidogenic fermentation. Biotechnol Lett. 8:833-836.

- Hall, E. R. and Jovanovic, M. 1983. Anaerobic treatment of thermal sludge conditioning liquor with fixed-film and suspended growth processes, Proc. 37th Ind. Waste conf. Purdue Univ., Ann Arbor Sci Publ Inc., Ann Arbor, Michigan. pp. 718-730.
- Halbert, E. J. 1981. Process operation and monitoring; C. poison and inhibitors. Proceeding of the 1<sup>st</sup> ASEAN Seminar Workshop on Biogas Technology, ASEAN Committce on Scilnce and Technology Manila, Philippines. pp 369-385.
- Hashimoto, A.G. 1983. Thermophilic and mesophilic anaerobic fermentation of swine manure. Agric. Waste. 6:175-191.
- Huser, B.A., Wuhrmann A. and Zehnder, A.J.B. 1982. Methanotrix sochngenii nor, sp., nov. a new acetotrophic non-hydrogen-oxidizing methane bacterium. Arch Microbiol. 132:1-9.
- Kirby, K.D. 1982. The <sup>potential</sup> for anaerobic waste treatment process in Australia, CSIRO Division of Chemical Technology, Melbourne.
- Kobayashi, H. A., Stenstrom, H.K. and Mah, R.A. 1983. Treatment of low strength domestic wastewater using the aerobic filter. Water Res. 17(8):903-909.
- Lane, A. C. 1979. Methane from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. J. Food Tech. Australia. 5:201-216.
- Lavan, C.E. and Force, E.G. 1971. The anaerobic filter for the treatment of brewery press liquor waste, Proc. of 26th Ind. Waste Conf.

- Lawvidara, M.J. and Ott, C.R. 1984. The treatment of apple processing wastewater by the anaerobic filter process. Proc. 38th Ind Waste Conf. Purdue University, Ann. Arbor. Sci. Publ., Inc., Ann Arbor, Michigan. pp. 761-770.
- Maly, J. and Fadrus, H. 1971. Influence of temperature on anaerobic digestion. J. Wat Pollut Control Fed. 43:641-647.
- Maramba, Jr., F.D. 1978. Biogas and waste recycling, the Philippines. experience. Maya farm division, Liberty flour mills, Inc., Metro Manila, Philippines. 150pp.
- McCarty, P.L. 1966. Kinetics of waste assimilation in anaerobic treatment. Dev. Ind. Microbiol. 7:144-151.
- McCarty, P.L., Young, L.Y., Gossett, J.M., Stockey, D.C. and Healy, J.B. 1976. In Microbial population in digester (Zeikus J.G., ed). Abstr. Proc. Amer. Soc. Microbial. pp. 186-192.
- McComis, W. T. and Litchfield, J. H, 1985. Meat, fish and poultry processing wastes. Industrial wastes, J. Wat Pollut Control Fed. 57(6):570-575
- McInerney, M. J., Bryant, M. P., Hespell, R. B. and Casterton, J.W. 1981. Syntrophomonas wolfei gen, nov, sp, nov, an anaerobic syntrophic, fatty acid oxidizing bacterium. Appl. Environ. Microbiol. 41:1029-1039.
- Mosey, F.E. 1981. Anaerobic biological treatment of food industry waste water. J. Wat Pollut Control Fed. 6:273-289.
- Mountfort, D.O., Brulla, W. J., Krumholz, L. R. and Bryant, M. P. 1984. Syntrophus buswelli gen, nov, sp, nov : A. benzoate catabolizer from methanogenic ecosystem. Int. J. Syst. Bacteriol. 34:216-221.

- Novaes, R. F. W. 1986. Microbiology of anaerobic digestion. *Water Sci. Technol.* 18:1-12.
- Parker, J. G., Lyon, B. J. and Parker, C.D. 1981. Industrial waste treatment by direct anaerobic digestion. *Water.* 8(17):39-47.
- Prasertsan, P., Wuttijumnon, P., Sophanodora, P. and choorit, W. 1988. Seafood processing industries within Songkhla-Hat Yai region. The servey of basic data emphasis on wastes. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 10(4):447-451.
- Sayed, S. D., Zeeuw, W. and Lettinga, G. 1984. Anaerobic treatment of slaughterhouse waste using a flocculant sludge UASB reactor. *Agric Wastes,* 11:197-226.
- Stafford, D. A., Hawkes, D.L. and Horton, R. 1978. Methane production from waste organic matter. CRC Press, Inc., U.S.A. pp. 285-300.
- Suwarnarat, K. and Weyrauch. W. 1978. Waste treatment and methane production by plastic-media anaerobic filter., International Conference on Water Pollution Control in Developing Countries, Bangkok, Thailand. 21-25 February, 1987. pp. 325-335.
- Szendrey, L. M. 1985. Start up and operation of the Bacardi cooperation anaerobic filter., Bacardi Corporation., San Juan, Puerto Rico.
- Tantichareon, M., Lerttriluck, S., Bhumiratana, S. and Supajanya, N. 1986. Biogas production from tapioca starch wastewater. In *Energy from biomass.* 3-7 March, 1986. Bangkok, Thailand.
- Trulear, M.G. and Characklis, W.G. 1982. Dynamics of biofilm processes, *J. Wat Pollut Control Fed.* 54:1288-1294.

- Verrier, J. 1984. Anaerobic digestion of vegetable canning wastewater by the anaerobic contact process : Operational experience. Proc. Third Int. Symp on Anaerobic Digestion. Cambridge, Mass. pp 303-312.
- Zeikus, J.G. 1979. Microbial population in digesters. In anaerobic digestion. (Stafford, D.A, Wheathy, B.A and Highes, D.E. eds.) Applied Science Publisher, London. pp. 61-89.

## ภาคผนวก ก

## 1. วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสีย

1. ความเป็นด่าง (Alkalinity) โดยวิธี Direct Titration Method  
(APHA, AWWA AND WPCF, 1985)

น้ำยาเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้เตรียมสารละลายต่าง ๆ
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์
3. สารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัลหาค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกโดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมคาร์บอเนต 0.02 นอร์มัล ซึ่งเตรียมได้โดยละลายโซเดียมคาร์บอเนต (อบแห้งที่ 110°C) 1.060 กรัม ในน้ำกลั่นและเติมให้เป็น 1 ลิตร โดยใช้ volumetric flask. สารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.02 นอร์มัล 1 มล. จะมีค่าเท่ากับ 1.00 มก.  $\text{CaCO}_3$
4. สารละลายเมทิลโอเรนจ์ อินดิเคเตอร์
5. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะหาให้เหมาะสม เพื่อที่จะใช้สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกไม่เกิน 25 มล. ในการไตเตรท โดยทั่วไปจะใช้ 50 มล. หรือ 100 มล. ไคลคลอร์นิสสระยะที่อาจมีอยู่ในตัวอย่างน้ำโดยหยดสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ลงไป 1 หยด (0.05 มล)

1. ดูดตัวอย่างน้ำ 100 มล. ใส่ลงใน Erlenmeyer flask และดูน้ำกลั่น 100 มล. ใส่ลงใน Erlenmeyer flask อีกใบหนึ่ง
2. หยดฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ ลงไป ฟลาสค์ ละ 3 หยด
3. ถ้าตัวอย่างน้ำมีสีชมพู ไตเตรทด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีชมพูหายไป (=P)
4. หยดเมทิลอเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 3 หยดลงในแต่ละ ฟลาสค์.

5. ถ้าตัวอย่างมีสีเหลืองเร็ว ๆ ไดเตรทต่อไปด้วย  $H_2SO_4$  0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสังเกตเห็นสีเริ่มเปลี่ยนไปโดยเทียบกับสีในขวดที่มีน้ำกลั่น แสดงว่าถึงจุดสมมูลย์ ซึ่งจะมีสีส้ม
6. จดปริมาตร  $H_2SO_4$  0.02 นอร์มัล ทั้งหมดที่ใช้ (=T)

#### การคำนวณ

ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) = ปริมาตรกรดที่ใช้ทั้งหมด  $\times 10$   
 ให้ P = ปริมาตร มล. ของกรด  $H_2SO_4$  0.02 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรทสำหรับ  
 ฟีโนฟทาลีนอินดิเคเตอร์

T = ปริมาตร มล. ของกรด  $H_2SO_4$  0.02 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรททั้งหมด

1. ถ้า  $P=T$  ไฮดรอกไซด์  $=P \times 10$
2. ถ้า  $P > .5T$  ไฮดรอกไซด์  $= (2P - T) \times 10$   
 คาร์บอเนต  $= 2(T - P) \times 10$
3.  $P = .5T$  คาร์บอเนต  $= T \times 10$
4.  $P < .5T$  คาร์บอเนต  $= 2P \times 10$   
 ไบคาร์บอเนต  $= (T - 2P) \times 10$
5.  $P = 0$  ไบคาร์บอเนต  $= T \times 10$

หมายเหตุ หน่วยความเข้มข้นเป็น มก/ล as  $CaCO_3$

2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) (APHA, AWWA and WPCF, 1985)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหย (Evaporation dishes)
2. Steam bath
3. ตู้อบความร้อน (Drying oven)
4. เดสซิเคเตอร์ (Desiccator)
5. เครื่องชั่ง

#### วิธีการหา

1. การเตรียม จานระเหย  
 จาน ที่จะใช้ต้องอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ  $103-105^{\circ}C$  ประมาณ 1 ชม.



- ปล่อยให้เย็นใน เดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
- เลือกใช้ปริมาณของตัวอย่างน้ำที่เหมาะสม โดยปกติใช้ 50 หรือ 100 มล.
  - ค่อย ๆ รินตัวอย่างน้ำที่ต้องการลงใน จานระเหย ที่ตั้งบน Steam bath เมื่อไอน้ำระเหยออกหมด น้ำ จานระเหย ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 101-105°C จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นใน เดสซิเคเตอร์
  - ชั่ง จานระเหย ทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นก็น้ำหนักของ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกมาในเทอมของ มก./ลิตร

การคำนวณ มก. ปริมาณของแข็งทั้งหมด x 1000

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มก./ลิตร)} = \frac{\text{มก. ตัวอย่าง}}{\text{มล. ตัวอย่าง}}$$

- ปริมาณของแข็งระเหยได้ (Volatile solids) (APHA, AWWA, and WPCF, 1985)

#### เครื่องมือ

เตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550°C

#### วิธีการหา

- นำจานระเหย ที่ชั่งหาปริมาณ ของแข็งทั้งหมด แล้วไปเผาไหม้ในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 550°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที)
- ปล่อยให้เย็นลงจนเท่าอุณหภูมิห้องใน เดสซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนัก ของแข็ง ที่เหลืออยู่ (Fixed Solids)

#### การคำนวณ

มก. ของแข็งที่เหลือ x1000

$$\text{ของแข็งที่เหลืออยู่ (มก./ลิตร)} = \frac{\text{มก. ของแข็งที่เหลือ} \times 1000}{\text{มล. ตัวอย่างที่ใช้}}$$

$$\text{ของแข็งระเหยได้ (มก./ลิตร)} = \text{มก./ลิตร ของแข็งทั้งหมด} - \text{มก./ล ของแข็งที่เหลืออยู่}$$

4. ปริมาณของแข็งตกตะกอน (Settleable solids) (APHA, AWWA, and WPCF, 1985)

เครื่องมือ

Imhoff cone, ความจุ 1 ลิตร

วิธีการหา

1. เทตัวอย่างน้ำที่คนจนเข้ากันดีแล้วใน Imhoff Cone จนถึงขีด 1 ลิตร
2. ปล่อยให้สารที่หนักจมตัวลงเป็นเวลา 45 นาที ค่อย ๆ ใช้แท่งแก้วทวนข้าง ๆ Cone เพื่อให้สารจมตัวได้ถึงก้นให้หมด
3. ปล่อยให้ทิ้งไว้อีก 15 นาที อ่านปริมาตรของสารที่จมตัวได้เป็น มล./ลิตร

5. ปริมาณไขมัน (grease) โดยวิธีสกัด (การพิจารณา คีโรสิงห์, 2528)

เครื่องมือ

1. กรวยแยก ซึ่งมีจุกหาคด้วย Teflon ซึ่ง inert และ ไม่ต้องใช้พวกสารทำให้ลื่นซึ่งส่วนมากเป็นกรีนส์

2. Electric heating mantle

น้ำยาเคมี

1.  $H_2SO_4$  1:1

2. ตัวทำละลายอินทรีย์ในการทดลองนี้เลือกใช้ บีโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum ether) จุดเดือด 35-60°ซ

วิธีการหา

1. การเตรียมตัวอย่าง น้ำตัวอย่าง 100 มล. ใส่ในกรวยแยกทำให้เป็นกรดด้วย conc.  $H_2SO_4$  5 มล./ล.

2. สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ล้างขวดตัวอย่างด้วย 15 มล. บีโตรเลียมอีเธอร์ และเติมน้ำล้างลงไปในกรวยแยก เติม บีโตรเลียมอีเธอร์ อีก 25 มล. เขย่าอย่างแรง 2 นาที ปล่อยให้แยกชั้น ดูดส่วนที่เป็นน้ำของตัวอย่างลงในภาชนะที่สะอาด และเทชั้นตัวทำละลายในขวดกลั่นจุประมาณ 3 เท่าของ บีโตรเลียมอีเธอร์ ที่ใช้

ถ้าไม่ใส่ให้กรองก่อนด้วยกระดาษกรอง WHATMAN NO.40 ให้ใช้กรวยเล็กในการกรองและล้างด้วย บีโตร์เลียมอีเธอร์ อีกครั้ง (5 มล) เอน้ำล้างใส่ลงในส่วนของตัวอย่างที่เป็นน้ำ เดิม บีโตร์เลียมอีเธอร์ ลงไปอีก 25 มล. เทลงในกรวยแยกเขย่าอย่างแรง 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น โขยชั้นน้ำทิ้งไป เอาส่วนที่สกัดได้ซึ่งอยู่ในชั้นตัวทำละลายใส่ลงในขวดกลั่น ล้างกรวยแยกด้วยตัวทำละลาย 20 มล. รวมน้ำล้างเข้าในขวดกลั่น

3. การกำจัดตัวทำละลาย กลั่น บีโตร์เลียมอีเธอร์ ทิ้งไปประมาณ 10 มล. โดยใช้อ่าง ใส่น้ำแล้วระเหยส่วนที่เหลือโดยใช้ไอน้ำ นำไปอบแห้ง แล้วทำให้เย็นในเตลีเคเตอร์ซึ่งน้ำหนัก

#### การคำนวณ

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในพลาสติก (มก)

น้ำมันหรือไขมัน (มก/ล): \_\_\_\_\_

ตัวอย่าง (มก)

#### 6. Biochemical Oxygen Demand (BOD). (APHA, AWWA, and WPCF, 1985)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดมาตรฐาน ความจุ 250-300 มล. มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอขณะ incubate ที่ 20°C เพื่อป้องกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนใช้
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C สามารถใช้ได้กับตู้เย็นธรรมดา
3. ตู้เย็นขนาด 6 ลูกบาศก์ฟุต หรือใหญ่กว่า
4. กระจกตวง ขนาด 1 ลิตร

##### น้ำยาเคมี

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่าง (alkalinity) กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มก/ลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย  $\text{HK}_2\text{PO}_4$  8.5 กรัม  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  21.75 กรัม  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  33.4 กรัม และ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้ว เจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย  $\text{CaCl}_2$  ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้ว เจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ ละลาย  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้ว เจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่คงที่สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น
7. สารละลายกรดและด่าง 1 นอร์มัล สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

#### วิธีการหา

##### 1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1. ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด
2. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และ เฟอร์ริคคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มล. ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร
3. เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.

##### 2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

1. ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลางคือ pH ประมาณ 7 ด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 นอร์มัล หรือ  $\text{NaOH}$  1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี
2. ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1-2 ชม. คลอรีนส่วนเหลือก็จะสลายตัวไป

แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว ยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มาก ต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟท์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของ โซเดียมซัลไฟท์ที่จะเติมหาได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100-1000 มล. เติมกรดอะซิติก (1+1) หรือกรดซัลฟูริก

(1+50) 10 มล. แล้วไตเตรทด้วยโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแบ่งเป็น  
อินดิเคเตอร์ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟท์ที่จะต้องใส่ แล้วจึงนำตัวอย่างน้ำที่  
กำจัดคลอรีนส่วนเกินแล้วไปหาค่า BOD ต่อไป

3. ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็น  
พิเศษ

#### วิธีการเจือจาง

1. เลือกเบอร์เซนต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า BOD อยู่ในช่วงที่กำหนด  
แล้วจึงเลือกเบอร์เซนต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ชั้น  
ตามตารางภาคผนวก 1 ดังนั้นจำเป็นต้องรู้ค่า BOD โดยประมาณก่อน
  2. ค่อย ๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 มล. ในกระบอกตวงขนาด 1000 มล. โดย  
พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ
  3. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
  4. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ
  5. ค่อย ๆ รินใส่ขวด BOD 3 ขวด ปิดจุก นำไปเก็บในตู้ 20°ซ 2 ขวด ส่วนขวดที่  
เหลือนำไปหา DO ทันที เพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น ( $D_1$ )
  6. ทิ้งไว้เช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 2 ถึงข้อ 5 สำหรับเบอร์เซนต์ตัวอย่างเจือจางที่ต่ำกว่า  
และสูงกว่าตามลำดับ
4. การหาปริมาณ DO หาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น โดยวิธี Azide Modification of the  
Iodometric Method ดังจะกล่าวในข้อที่ 6.1
5. การเพาะเลี้ยง (Incubation)  
เพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเบอร์เซนต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมีดอกหูกมูมิ  
20+1°ซ เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO ( $D_2$ ) ตามหัวข้อ 4
6. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง  
รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่ง  
เพาะที่ 20°ซ ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที ผลต่างของปริมาณ DO ที่ได้ในตอนแรก  
และตอนหลัง (5 วัน) จะเป็นเครื่องชี้ให้เห็นคุณภาพของน้ำกลั่นที่ใช้เจือจาง ถ้าปรากฏว่า  
ปริมาณ DO ลดลง ผลที่ได้นั้นไม่ควรใช้เป็น Blank Correction ปกติแล้ว ปริมาณ DO  
ไม่ควรเกินกว่า 0.2 มล. หรือที่ต้แล้วไม่ควรเกิน 0.1 มล.

## 7. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมามีค่าปริมาณ DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1 มก./ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มก./ลิตร จึงจะหาให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด

## 8. การคำนวณ

ตารางภาคผนวก 1 : ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD	% ตัวอย่าง
20,000 - 70,000	0.01
10,000 - 25,000	0.02
4,000 - 14,000	0.05
2,000 - 7,000	0.1
1,000 - 3,500	0.2
400 - 1,400	0.5
200 - 700	1.0
100 - 350	2.0
40 - 140	5.0
20 - 70	10.0
10 - 35	20.0
4 - 14	50.0
0 - 7	100.0

## 6.1 ออกซิเจนละลายได้ (Dissolved Oxygen) โดยวิธี Azide Modification of Iodometric.

### น้ำยาเคมี

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต: ละลาย  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  480 กรัม หรือ  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  400 กรัม หรือ  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายอัลคาไล-ไฮโอไดด์-อาไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) 400 กรัม และโซเดียมไฮโอไดด์ ( $\text{NaI}$ ) 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมจนเป็นลิตรเสร็จแล้วเติมโซเดียมอาไซด์ ( $\text{NaN}_3$ ) 10 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 ลิตร
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
4. น้ำแข็ง ละลายแอมโมเนีย 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มล. ค่อย ๆ เติลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มล. ที่ต้มจนเดือดและคนจนเป็นเนื้อเดียว เติมน้ำอีกจนเป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ปิดไฟตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเติมกรด Salicylic 1.25 กรัม หรือใช้ Toluene 2-3 หยด เติลงในสารละลายน้ำแข็ง เพื่อกันบูด
5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล ใช้ในการไตเตรท สารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  6.205 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดใหม่ ๆ และปล่อยให้เย็นแล้วเติมจน ปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพอยู่ได้ โดยเติม  $\text{NaOH}$  0.4 กรัม ต่อลิตร สารละลายมาตรฐานนี้ 1 มล. จะมีค่าเท่ากับ ปริมาณสารละลายออกซิเจน (DO) 0.200 มก.

### การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ด้วยสารละลายไดโครเมท

1. สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมท 0.025 นอร์มัล ละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ที่อบแห้ง 1.226 กรัม ในน้ำกลั่นและเติมจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. ละลาย KI 2 กรัม ในขวดแก้ว Erlenmeyer flask ด้วยน้ำกลั่น 100-150 มล.
3. เติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1+9) 10 มล.
4. เติมสารละลายมาตรฐาน  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  20 มล.
5. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที
6. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 400 มล. โดยประมาณ
7. ไตเตรท ไอโอดีน ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

8. Normality ของสารละลายไฮโอซิลเพต  $a \times N$ 

20

a = มล. ไฮโอซิลเพตที่ใช้

N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน  $K_2Cr_2O_7$ 

## 9. ปรับสารละลายไฮเดียมไฮโอซิลเพต ให้มีความเข้มข้นแน่นอน เป็น 0.025 นอร์มัล

วิธีการหา

1. จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในขวด 250-300 มล. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มล.
2. แล้วเติมสารละลาย อัลคาไลด์-ไดโอไดด์-ฮาไซค์ ตามลงไปทันที 2 มล. ให้ปลายหลอดจุ่มอยู่ในตัวอย่างน้ำ
3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลง เขย่าแบบพลิกมือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนกัน
4. รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มล. ค่อย ๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดเข้มข้นลงไปทันที 2 มล. ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด
5. ปิดจุก ค่อย ๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด
6. ตวงสารละลายที่ได้ 203 มล. ใส่ลงใน ฟลาสค์ ขนาด 500 มล. (ปริมาตรจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำจริง ๆ 200 มล. เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มล. ที่เติมลงไปเป็นขวดขนาด 300 มล. ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไตเตรทจึงควรเป็น  $200 \times 300 = 203$  มล.)  
(300-4)
7. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานไฮเดียมไฮโอซิลเพต 0.0250 นอร์มัล จนได้สีเหลืองอ่อน ๆ
8. เติมน้ำแข็ง 1-2 มล. และ ไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหาย

การคำนวณ

เนื่องจาก 1 มล. ของ 0.250 นอร์มัล ไฮเดียมไฮโอซิลเพตที่ใช้ไตเตรทจะเท่ากับ ปริมาณ DO. 0.200 มก. เพราะฉะนั้น 1 มล. ของ ไฮเดียมไฮโอซิลเพตจะเท่ากับ 1 มก./ลิตร DO. เมื่อใช้ ปริมาตรของตัวอย่าง 200 มล. ในการไตเตรท



7. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl method (A.O.A.C., 1984)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือในการย่อย
2. เครื่องมือในการกลั่น

น้ำยาเคมี

1. น้ำกลั่น
2. สารละลาย Mercuric sulfate : ละลาย HgO สีแดง 8 กรัม ใน H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1+5) 50 มล. และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.
3. Digestion solution : ละลาย K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 267 กรัมในน้ำ 1300 มล. เติมด้วยกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 400 มล. และสารละลาย Mercuric sulfate 50 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร
4. สารละลาย Sodium hydroxide-Sodium thiosulfate : ละลาย NaOH 500 กรัมและ Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O 25 กรัมในน้ำแล้วเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตร
5. Phenolphthalein indicator : ละลาย Phenolphthalein 5 กรัมในแอลกอฮอล์ หรือ Isopropanol 500 มล. แล้วเติมน้ำ 500 มล. หลังจากนั้นหยดสารละลาย NaOH 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายนี้สีชมพูอ่อนเกิดขึ้น
6. สารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน : เตรียมสารละลายซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล แล้วทำการปรับมาตรฐาน ค่าที่ได้จากการดีเตรท 1.00 มล. กรดซัลฟูริกมาตรฐานเท่ากับ 0.28 มก ไนโตรเจน
7. Boric solution : ละลาย H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 20 กรัมในน้ำ แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
8. อินดิเคเตอร์ (Mix indicator):ผสม 0.2 % Alcohol Methyl red 2 ส่วน โดยปริมาตร กับ 0.2 % Alcohol Methylene blue 1 ส่วน (ต้องเตรียมใหม่ทุก 30 วัน)

วิธีการหา

ขนาดของตัวอย่าง = 50-100 มก /ล ใช้ตัวอย่าง 25 มล.

100-200 มก /ล ใช้ตัวอย่าง 10 มล.

1. ตวงตัวอย่างน้ำกลั่น Kjedadahl flask ขนาด 300 มล.
2. เติม Digestion solution 25 มล. แล้วนำไปย่อยในตู้ดูดควันจนกระทั่งหมดควัน  $\text{SO}_3$  และสารละลายตัวอย่างไม่มีสีหรือเป็นสีเหลืองอ่อน
3. ทำให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มล.
4. เติมสารละลาย  $\text{NaOH} - \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ปริมาตร 30 มล. ให้ไหลลงคอขวดช้า ๆ หลังจากนั้นต่อ Kjedadahl flask เข้ากับตัว Condenser ซึ่งมีปลายด้านหนึ่งจุ่มอยู่ภายใต้ Boric solution 2 % ปริมาตร 10 มล. บรรจุใน ฟลาสค์ ขนาด 250 มล. หยดด้วย อินดิเคเตอร์ ผสม 3 หยด
5. ทำการกลั่นเป็นเวลา 15 นาที ใช้น้ำกลั่นพัดบริเวณปลาย condenser ก่อนนำฟลาสค์ 250 มาทำการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจน
6. ตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยการไตเตรทสารละลายข้อ 5 ด้วยสารละลายกรดซัลฟริกมาตรฐาน

#### การคำนวณ

$$= (\text{มล. ของ } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ มาตรฐานในตัวอย่าง} - \text{มล. ของกรด } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ ใน Blank}) \times \text{นอมนัลลิตี้ } \text{H}_2\text{SO}_4 \times 14.01 \times 1000 / \text{มล. ของตัวอย่างที่ย่อย}$$

9. ปริมาณฟอสเฟต โดยวิธี อิมิโนแนฟโธซัล โหนิคแอซิด (เสริมพล รัดสุข และ ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์, 2525)

#### เครื่องมือ

1. Spectrophotometer
2. เครื่องมือใช้ในการกรอง และกระดาษกรองที่ล้างด้วยน้ำกรดเจือจางได้
3. เครื่องแก้วที่ล้างสะอาดด้วยกรดและน้ำกลั่น เช่น  
Erlenmeyer flasks ขนาด 125 มล.  
Volumetric flasks ขนาด 50 มล.  
เครื่องแก้วต่าง ๆ ควรจะล้างด้วยกรดเกลือเจือจางที่ต้มจนร้อน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด

## 4. Hot plate

น้ำยาเคมี

1. ฟีนอลฟธาไลน์อินดิเคเตอร์ ใช้ได้ทั้งชนิดละลายในน้ำและละลายในอัลกอฮอล์
2. สารละลายกรดเข้มข้น ค่อย ๆ เติม  $H_2SO_4$  เข้มข้น 300 มล. เติมน้ำในน้ำประมาณ 600 มล. ทำให้เย็น เติมกรด  $HNO_3$  เข้มข้น 4 มล. แล้วจึงเจือจางจนเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ละลาย  $(NH_4)_6 Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$  31.4 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มล. ค่อย ๆ เติมกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น 400 มล. ลงในน้ำกลั่น 400 มล. ทำให้เย็น เติมกรด  $HNO_3$  เข้มข้น 3.4 มล. แล้วเติมสารละลายโมลิบเดตลงไป เสร็จแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายอิมิโนเนฟโรซัลโฟนิค ซึ่ง 1-อิมิโน-2-แนฟโธล-4-ซัลโฟนิค (ใช้ชนิดผงที่มีสีชมพูอ่อน) 0.75 กรัม  $Na_2SO_3$  2.2 กรัม และ  $Na_2S_2O_5$  70 กรัม กรดซัลโฟนิคแอซิดกับ  $Na_2S_2O_5$  เล็กน้อยในครกที่สะอาด นำเกลือส่วนที่เหลือคือ  $Na_2S_2O_5$  &  $Na_2SO_3$  ละลายในน้ำกลั่น 900 มล. เเทซัลโฟนิคแอซิดที่บดละเอียดลงไป คนให้ละลายแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายในขวดแก้วสีน้ำตาลปิดสนิทอุณหภูมิ ไม่เกิน  $50^\circ C$  สารละลายนี้เมื่อเก็บไว้นานสีจะจางลง แต่ถ้าไม่มีสารอื่นลงไปเจือปนก็สามารถเก็บไว้ใช้ได้จนถึง 4 เดือน หรือมากกว่านั้น
5. สารละลายฟอสเฟตมาตรฐาน ละลาย  $KH_2PO_4$  21.9 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ 1 มล. = 50.0 ไมโครกรัม  $PO_4-P$
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

วิธีการหา

1. ดูน้ำตัวอย่างที่คนเข้ากันดีแล้ว 50 มล. หรือน้อยกว่าแต่เติมน้ำกลั่นจนเป็น 50 มล. ใส่ลงใน ฟลาสค์ ขนาด 125 มล.
2. หยดฟีนอลฟธาไลน์ อินดิเคเตอร์ 1 หยด
3. ถ้ามีสีชมพูเกิดขึ้น เติมสารละลายกรดเข้มข้นที่ละหยดจนสีชมพูหายไปแล้วหยดให้มากขึ้นพอตึก 1 หยด ให้มากขึ้นพอ 1 มล.
4. ต้มให้เดือดค่อย ๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 90 นาที คอยเติมน้ำกลั่นเพื่อให้ปริมาตรอยู่ระหว่าง 10-20 มล.

5. บดย่อยให้เย็น กรองถ้ามีตะกอนขุ่น ทำให้เป็นกลางด้วย NaOH 1 นอร์มัล จนสารละลายมีสีชมพูอ่อน ๆ แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 50 มล. เท้าตอนแรก
6. เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 2.0 มล. เขย่าให้เข้ากัน
7. เติมสารละลายอะมีโนแนฟโธซัลโฟติดแอซิด 2.0 มล. เขย่าให้เข้ากัน
8. ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำไปวัดเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่านโดยเทียบกับ Blank ซึ่งวัดค่าเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่านได้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer 535 นาโนเมตร

หมายเหตุ จะต้องทำ เส้นกราฟมาตรฐาน (Standard curve) โดยใช้สารละลายฟอสเฟตมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะในช่วงความเข้มข้น 0.1 ถึง 30 มก. / ล PO<sub>4</sub><sup>-</sup>

การคำนวณ

$$\text{มก./ลิตร P} = \frac{\text{มก.P.} \times 1000}{\text{มล. ตัวอย่างที่ใช้}}$$

#### 10. ปริมาณคลอไรด์ โดยวิธี Mercuric-Nitrate Method (A.O.A.C, 1984)

น้ำยาเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 นอร์มัล ละลาย 824.1 มก. NaCl (อบให้แห้งที่ 140°ซ ก่อน) ในน้ำกลั่นและเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร
2. HNO<sub>3</sub> 0.1 นอร์มัล
3. NaOH 0.1 นอร์มัล
4. Mixed indicator reagent ละลาย 5.9 กรัม Diphenylcarbazone และ 0.5 กรัม Bromphenol blue ใน 750 มล. 95 % C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH หรือ Isopropyl alcohol เติมจนครบปริมาตร 1 ลิตร ด้วย 95 % C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH หรือ Isopropyl alcohol ที่ใช้

5. Strong standard  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  0.141 นอร์มัล : ละลาย 25 กรัมของ  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ในน้ำกลั่น 900 มล. ซึ่งเติม 5 มล. ของ  $\text{HNO}_3$  เรียบร้อย แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรน้อยกว่า 1 ลิตร Standardize โดยใช้ 25 มล. ของสารละลายมาตรฐาน  $\text{NaCl}$  และ 25 มล. น้ำกลั่น ปรับความเข้มข้นของ  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  จนได้ 0.141 นอร์มัลพอดี ซึ่งทำให้ 1 มล. ของ  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  สมมูลกับคลอไรด์ 5.00 มก.

#### วิธีการหา

บีเปิดตัวอย่างน้ำ 50 มล. ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มล. (อาจใช้ตัวอย่างน้ำ 5.00 มล. ในกรณีที่ใช้ไตเตรท ไบมากกว่า 5 มล.) เติม 0.5 มล. ของ mixed indicator reagent ผสมให้เข้ากัน ควรจะได้เป็นสีม่วง เติม 0.1 N  $\text{HNO}_3$  ทีละหยดจนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ไตรเตรทด้วย 0.141 N  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  จนกระทั่งสีเปลี่ยนกลับเป็นสีม่วงแก่อย่างถาวร ใช้ไตเตรทหาค่า Blank โดยใช้ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีเดียวกัน

#### การคำนวณ

$$\text{คลอไรด์ (CL) (มก/ล)} = \frac{(A-B) \times N \times 35450}{\text{มล. ตัวอย่าง}}$$

มล. ตัวอย่าง

A = มล. ของ  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = มล. ของ  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  ที่ใช้ในการไตเตรท blank

N = นอร์มัลลิตีของ  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

11. กรดระเหย (Volatile acids) โดยวิธีไตเตรท (Direct Titration Method)  
(APHA, AWWA, and WPCF, 1985)

การไตเตรทกรดระเหยควรกระทำทันทีหรือภายใน 24 ชั่วโมง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
2. บิวเรตขนาด 50 2 อันและขาตั้งบิวเรต
3. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
4. เครื่องกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)

5. บีกเกอร์ขนาด 200 ลบ.ซม.

#### น้ำยาเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00
2. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4.00
3. สารละลายกรดซัลฟริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

#### วิธีการหา

1. ตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งที่จะหากรดระเหยให้ตกตะกอนและรินเอาแต่ส่วนที่ใส
2. ตวงน้ำทิ้งใส่บีกเกอร์ขนาด 200 มล. โบละ 50 มล. 2 ใบ
3. ปรับเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ทั้ง 2 ค่า พีเอช
4. วัดพีเอชของน้ำทิ้ง
5. ไตเตรตน้ำทิ้งด้วยสารละลายกรดมาตรฐาน เขย่าตลอดเวลาโดยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็ก ลดปริมาตรกรดที่พีเอช 4 แล้วไตเตรตต่อจนพีเอชเป็น 3.5 หรือ 3.30
6. ต้มให้เดือดเบา ๆ ประมาณ 3 นาที ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
7. ไตเตรตน้ำทิ้งข้อ 7 ด้วยสารละลายต่างมาตรฐานจนพีเอชขึ้นเป็น 4 โดยกานดลดเวลาจากพีเอช 4 ไตเตรตต่อจนพีเอชขึ้นเป็น 7 ลดจำนวนต่างที่ใช้ในการไตเตรตจากพีเอช 4 ถึง พีเอช 7

#### การคำนวณ

1. ค่าความเป็นด่างของน้ำทิ้งทั้งหมด (Total alkalinity) (มก/ล. ในรูป  $\text{CaCO}_3$ )

$$= \frac{\text{มล. ของ } 0.1 \text{ N กรดซัลฟริกที่ใช้จนพีเอชเป็น } 4 \times 0.1 \times 50 \times 1000}{\text{มล. ของน้ำตัวอย่าง} \times 50}$$

มล. ของน้ำตัวอย่าง  $\times 50$

$$= (\text{มล. ของกรดมาตรฐานที่ใช้จนพีเอชเป็น } 4) \times 100$$

2. คำนวณหาค่าความเป็นด่างเนื่องจากการระเหย (Volatile acid alkalinity) (มก./ล ในรูป  $\text{CaCO}_3$ )

$$= \frac{\text{มล. ของ } 0.1 \text{ N NaOH ที่ใช้เปลี่ยนที่เลข 4 เป็น 7} \times 0.1 \times 50 \times 1000}{\text{มล. ของน้ำตัวอย่าง} \times 50}$$

$$= (\text{มล. ของ } 0.1 \text{ นอร์มัล NaOH ที่ใช้เปลี่ยนที่เลข 4 เป็น 7}) \times 100$$

3. การคำนวณค่าของกรดระเหย จากค่าความเป็นด่างของกรดระเหยในข้อ 2

กรณี 1 ความเป็นด่างระเหยมากกว่า 180 มก./ล  $\text{CaCO}_3$  = ความเป็นด่างระเหย  $\times 1$

กรณี 2 ความเป็นด่างระเขยน้อยกว่า 180 มก./ล  $\text{CaCO}_3$  = ความเป็นด่างระเหย  $\times 1.5$

12. ค่า Chemical Oxygen Demand โดยวิธี Dichromate Reflux Method (APHA, AWWA, and WPCF, 1985)

#### เครื่องมือ

1. Reflux apparatus ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีคอที่ทำด้วย ground glass 24/40 และ condenser 300 mm Jacket liebig ซึ่งมีข้อต่อซึ่งทำด้วย ground glass 24/40
2. hot plate
3. บuret ขนาด 50 มิลลิลิตร

#### น้ำยาเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 0.250 นอร์มัล ละลาย 12.259 กรัม  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (อบให้แห้งที่  $103^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติม 120 มิลลิกรัม sulfamic acid เพื่อกำจัดกาซซัลฟิวริกที่เกิดจาก  $\text{NO}_2$ )

2. กรดกำมะถัน เติม 22 กรัม  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ลงในขวด conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ขนาด 9 ปอนด์ หรือ 4 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ละลาย
3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.10 นอร์มัล : ละลาย 39 กรัม  $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ในน้ำกลั่น เติม 20 มิลลิลิตร conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ลงไป ทิ้งให้เย็นแล้ว เติมน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร

การหาค่ามาตรฐานของเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต

ตดสารละลายมาตรฐานโบตัสเซียมไดโครเมตมาร 10.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติม 30 มิลลิลิตร conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ทิ้งให้เย็น ทิเทรตด้วยสารละลาย เฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟตใช้เฟอร์ไรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

ml  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.25$

Normality = \_\_\_\_\_

ml  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

4. สารละลายเฟอร์ไรอินดิเคเตอร์ ละลาย 1.485 กรัม 1-10 phenanthroline - monohydrate และ 695 มิลลิกรัม  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.
5. เงินซัลเฟต เป็นผง
6. เมอร์คิวริซัลเฟต เป็นผง
7. ซัลฟามิคแอซิด ใช้ในกรณีที่ห้จะกำจัดไนไตร์เท่านั้น

วิธีการ

1. ตดตัวอย่างในปริมาตร 10.0 - 50.0 มิลลิกรัม และ ปรับปริมาตร น้ำหนักและ นอร์มัลลิตี ของน้ำยาเคมีโดยดูจากตารางที่ 23 เพื่อหาอัตราส่วนของตัวอย่าง กับ น้ำยาเคมีที่จะ เติม.
2. เติม  $\text{HgSO}_4$  ตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางภาคผนวก 2 พร้อมด้วย glass beads และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ที่ผสม  $\text{AgSO}_4$  เรียบร้อยแล้วควรเติมกรดอย่างช้า ๆ พร้อมกับเขย่าเพื่อ ละลาย  $\text{HgSO}_4$



3. เติม 0.250 นอร์มัลของสารละลาย  $K_2Cr_2O_7$  ตามปริมาตรที่กำหนดในตารางภาคผนวก 2 และผสมอีกครั้ง สวมขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากับเครื่อง condenser เปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่านผสมของผสม ในขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากันดีก่อน ที่จะให้ความร้อน
4. รีฟลักซ์ของผสมนี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือน้อยกว่านี้ (สำหรับน้ำเสียบางชนิดที่พบว่าให้ค่า COD มากที่สุด) ปล่อยให้ตั้งไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้าง condenser.
5. เจือจางของผสมในขวดน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 2 เท่า ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง ทิเทรตไดโครเมตที่เกินพอสารละลาย มาตรฐานเปอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด (0.10-0.15 มิลลิลิตร) เป็นอินดิเคเตอร์ (ปริมาตรอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรจะคงที่ ทุกครั้ง) ถึงเอาจุดที่มีการเปลี่ยนสีจากสีเขียว - น้ำเงินไปเป็นสีน้ำตาล-แดงทันทีเป็นจุดยุติ ถึงแม้ว่าเมื่อตั้งไว้ 2-3 นาที สีเขียว-น้ำเงินจะกลับคืนมาก็ตาม
6. ทาบแล้ง โดยใช้ น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง หากการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการ รวมทั้งน้ำยาเคมี ที่ใช้ก็ต้องเท่ากันด้วย

#### การคำนวณ

$$\text{mg/1 COD} = \frac{(a-b)N \times 8000}{\text{ml sample}}$$

เมื่อ COD = ค่า chemical oxygen demand จากไดโครเมต

A = มิลลิลิตรของ  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  ที่ใช้ในการทิเทรตแบล้ง

B = มิลลิลิตรของ  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  ที่ใช้ในการทิเทรตตัวอย่าง

N = นอร์มัลลิตซ์ของ  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  ที่ใช้

ตารางภาคผนวก 2 : น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่าง ๆ

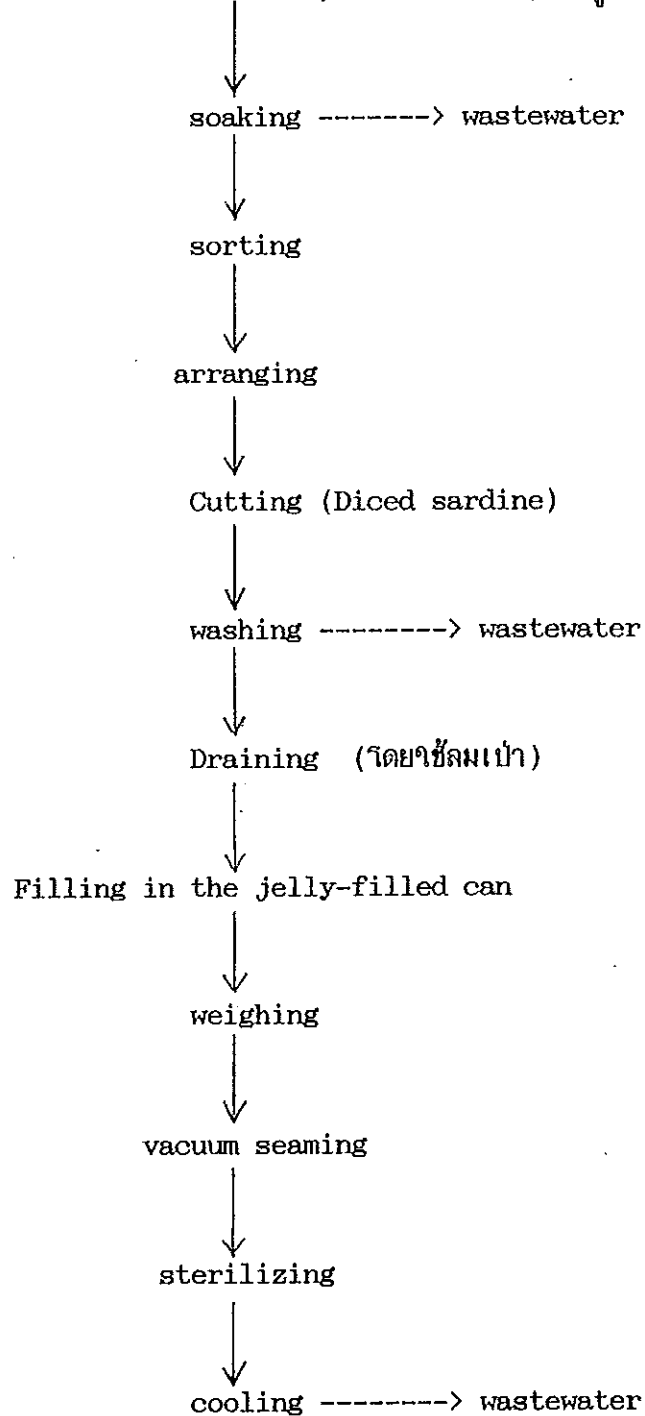
sample size (ml)	0.25 N Standard di- chromate (ml)	conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> with Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	HgSO <sub>4</sub>	Normality of Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Final volume before titra- tion (ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

## ภาคผนวก ข

แหล่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ของโรงงานรอแยลแคนนิ่ง จำกัด และโรงงานทรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด

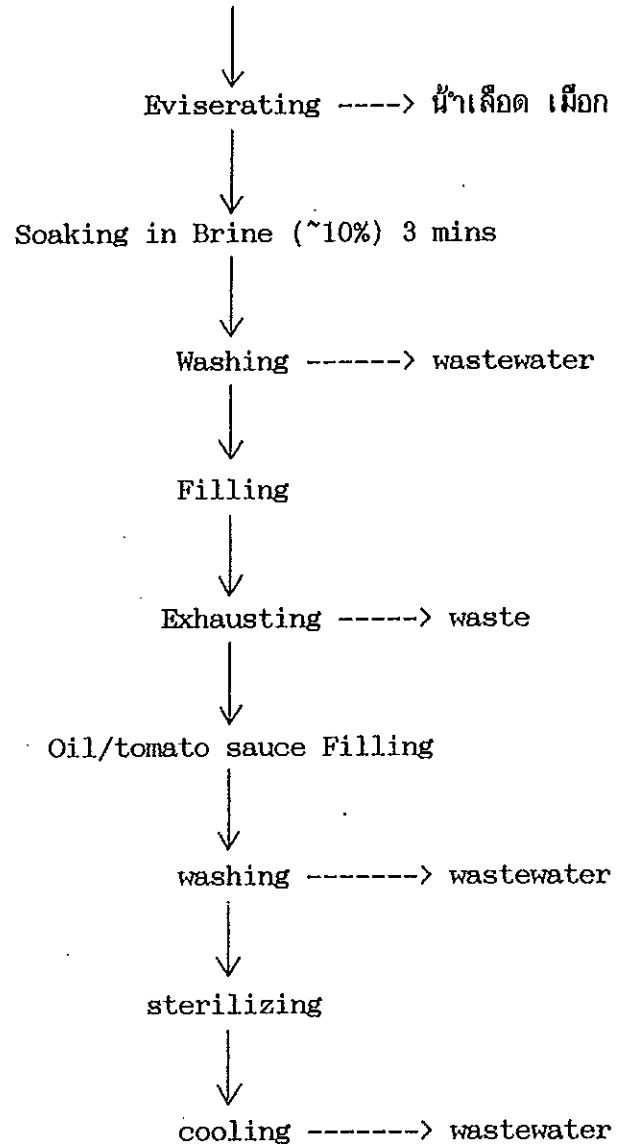
## 1. กระบวนการผลิตปลาแมว

Raw materials : ปลาซาร์ดีน, ปลาข้างเหลือง, ปลาทูแขก

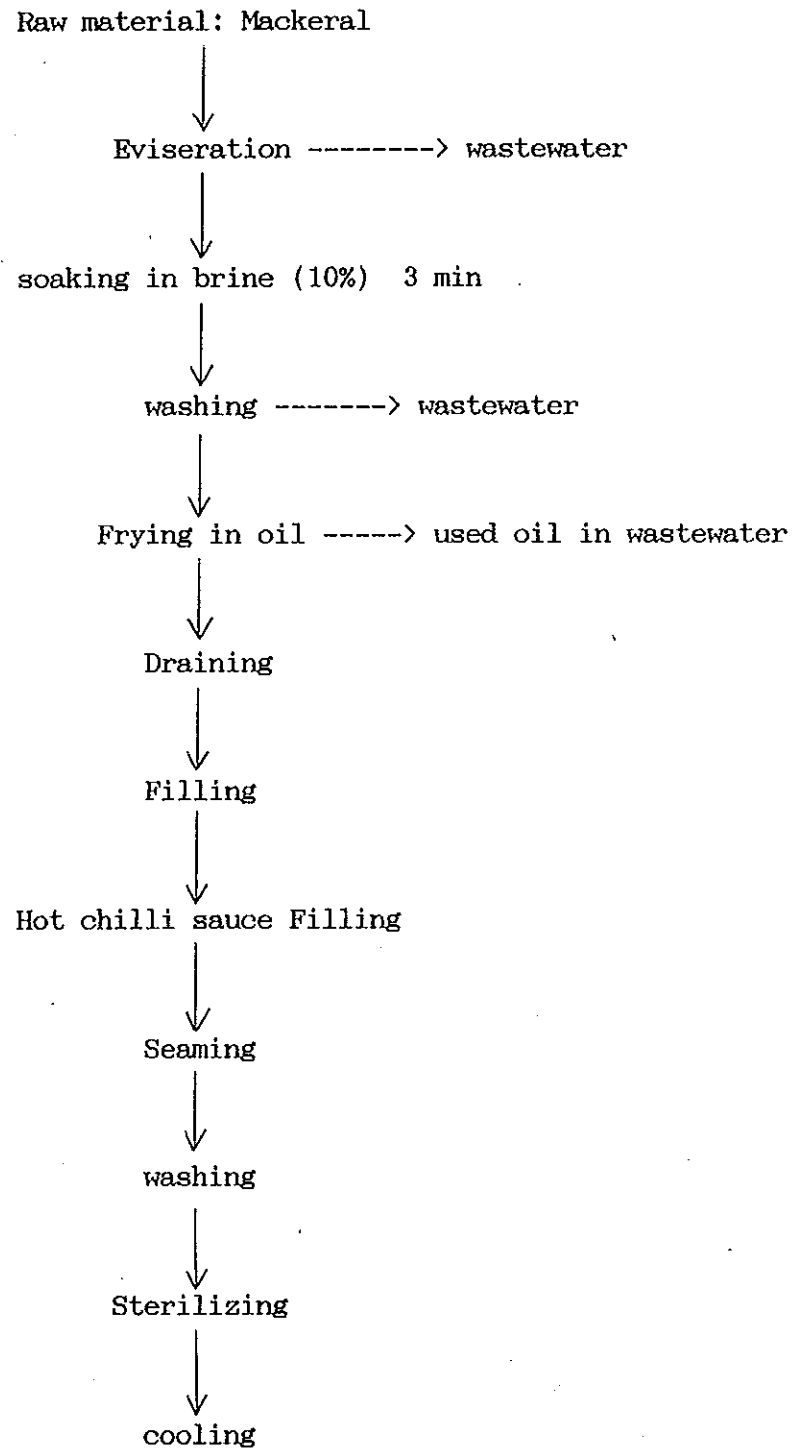


## 2. กระบวนการผลิต ปลาซ็อส

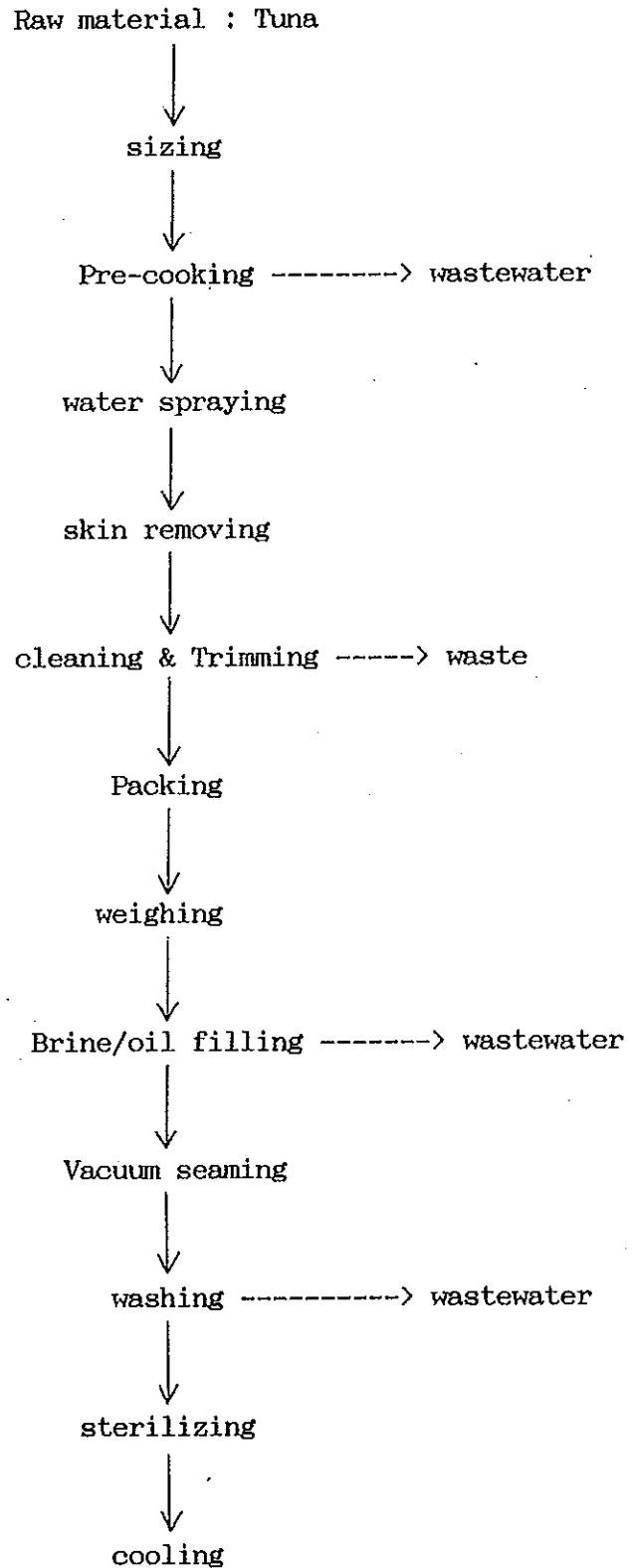
Raw materials : Mackerel &amp; Sardines



## 3. กระบวนการผลิตปลาทอดน้ซอสพริก

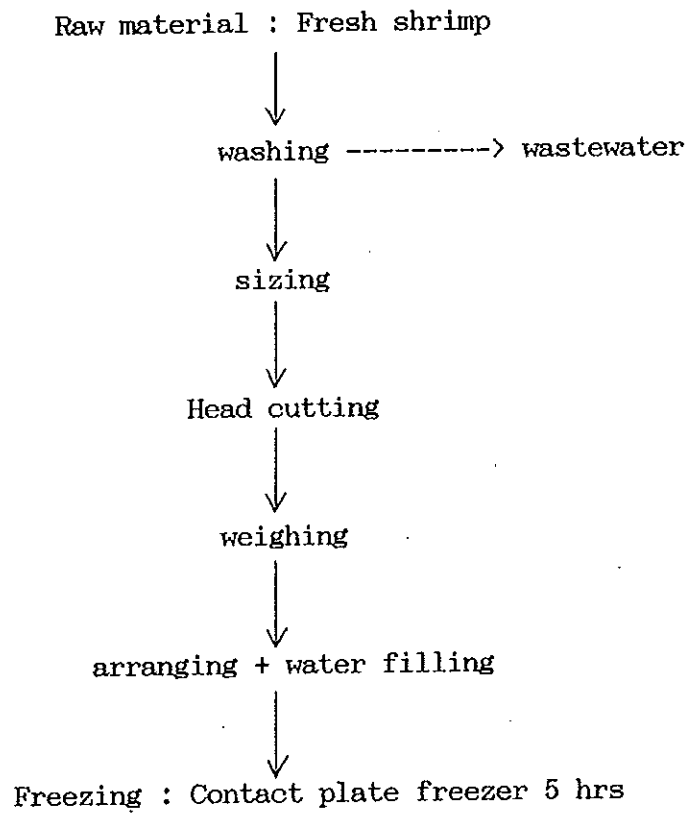


## 4. กระบวนการผลิตปลาทูน่า

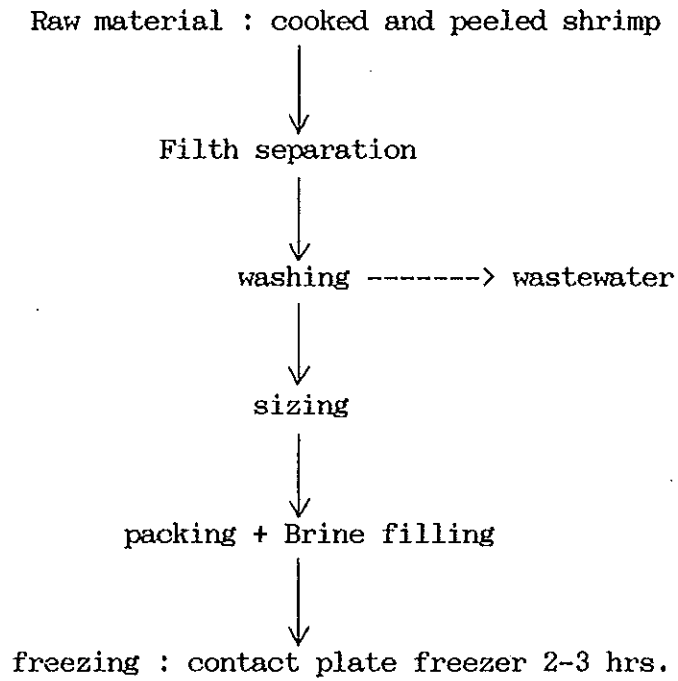


## 5. ขบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง

## 5.1 การผลิตกุ้งสดแช่เยือกแข็ง



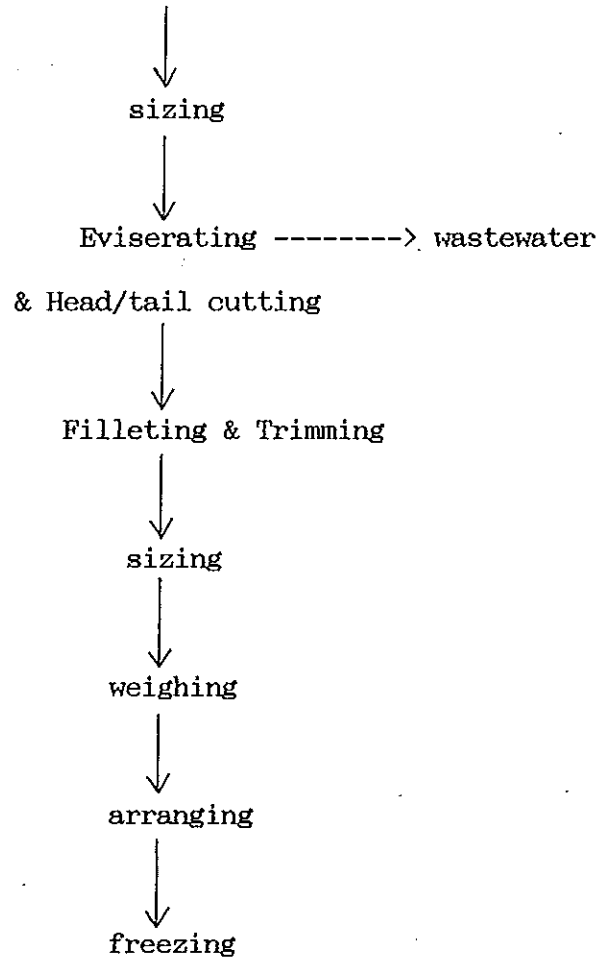
## 5.2 การผลิตกุ้งต้มแช่เยือกแข็ง





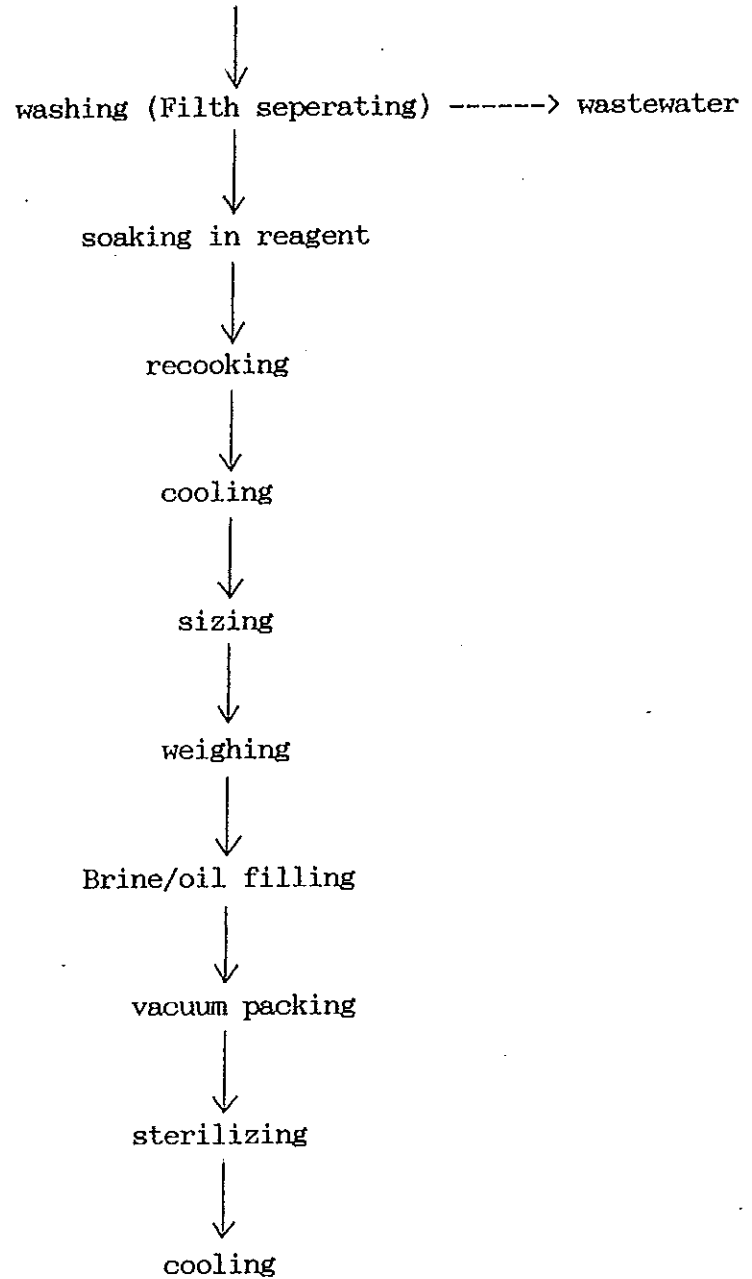
## 5.3 การผลิตปลาแช่แข็ง

Raw material : Sardine, Mackerel etc.



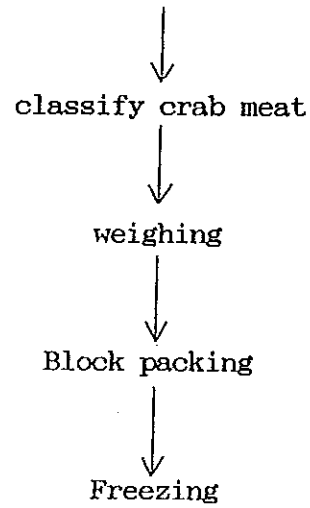
## 6. กระบวนการผลิตกุ้งบรรจุกระป๋อง

Raw material : cooked and peeled shrimp



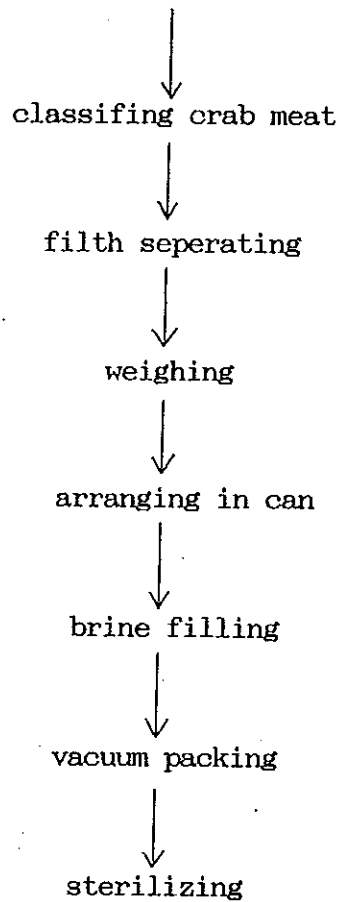
## 7. ขบวนการผลิตเนื้อปูแช่เยือกแข็ง

Raw material : crab meat



## 8. ผลิตภัณ์ปูบรรจุกระป๋อง

Raw material : crab meat



9. **หอยนางรม (baby clam)**