

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อการใช้งานในกระบวนการ
ผลิตไอศกรีมอย่างมีประสิทธิภาพ



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **71939**
วัน,เดือน,ปี... - 6 ส.ย. 2550

b. 117 60667
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CLEAN TECHNOLOGY APPLICATION FOR EFFECTIVE USE OF WATER
IN ICE-CREAM FACTORY**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

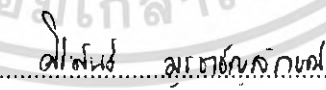
ปริญญานิพนธ์เรื่อง การประยุกต์หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อการใช้งานใน
กระบวนการผลิตไอศกรีมอย่างมีประสิทธิภาพ
โดย นายยุทธศาสตร์ พรหมแบน
นายวิทยา รัตนพลที
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณศศิอร เหลืองอร่าม¹
1. ผู้จัดการแผนกผลิต-ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม
บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....กรรมการ
(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)


.....กรรมการ
(ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)


.....กรรมการ
(อ.ศิริพันธ์ มุรธาชัยลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การประยุกต์หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อการใช้งานในกระบวนการผลิตไอศกรีมอย่างมีประสิทธิภาพ
โดย	นายยุทธศาสตร์ พรหมแบน นายวิทยา รัตนพลที
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณศศิธร เหลืองอร่าม ¹ 1. ผู้จัดการแผนกผลิต-ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โซลคิงส์ จำกัด
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ประยุกต์หลักการของเทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีมของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา เลือกลำสายการผลิตพี จี และจี 10 ที่มีปริมาณการใช้น้ำสูงเป็นสายการผลิตต้นแบบในการปรับปรุงกระบวนการ และ/หรือเปลี่ยนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการใช้น้ำเกินความจำเป็น และจากการปล่อยทิ้งน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับปริมาณ 33 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงหาแนวทางนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผันกลับมีความกระด้างทั้งหมดในรูปแบบแคลเซียมคาร์บอเนต 385 – 400 มก./ล. ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกินความกระด้างทั้งหมดลดลงเหลือ 150 มก./ล. และเมื่อเจือจางด้วยน้ำที่ใช้ล้างท่อส่งไอศกรีมในอัตราส่วนมากกว่า 1 : 6 โดยปริมาตร พบว่าค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงต่ำกว่า 30 มก./ล. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในหอหล่อเย็นได้

Report Title Clean Technology Application for Effective Use of Water in Ice-cream
Factory

By Mr.Yutasart Promban
 Mr.Wittaya Rattanaphontee

Advisor Assoc.Prof.Dr. Anchaleeporn Waritswat Lotongkum

Co-Advisor Miss Sasi-on Luengaram¹

 1. Production Manager - Ice-cream,
 The Unilever Thai Holdings Limited.

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project applies the concepts of clean technology to reduce the amount of water used in an ice-cream process of a case study company. The P, G and G 10 production lines of high water consumption were chosen as the model lines in improving the process and/or changing instruments or equipment that caused high water consumption. In addition, the concentrate water from the reverse osmosis system about 33 m³/day was observed. Its physical properties were analyzed to find the possibility for reuse. It was found that the total hardness as calcium carbonate content was 385-400 mg/L. After passing through the excess lime process, the total hardness was reduced to 150 mg/L. Subsequently, after dilution with the water from cleaning-in-piping system at the volumetric ratio greater than 1:6, the total hardness of the concentrate water from the reverse osmosis system was less than 30 mg/L, which was acceptable to use in the cooling tower.

กิตติกรรมกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้ง จำกัด ดร.วิวรรณ ฤกษ์ภูษิมะ รองประธานกรรมการบริหารฝ่ายซัพพลายเชน นาวาเอกพิชเชนทร์ ต้นประเสริฐ ผู้อำนวยการฝ่ายผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารและไอศกรีม และคุณอาหาร โกมลพันธ์พร ผู้จัดการฝ่ายความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ที่ให้โอกาสในการทำโครงการที่โรงงาน

ขอขอบคุณคุณคุณชนากร ศิลกุล ผู้จัดการสนับสนุนฝ่ายผลิตไอศกรีม คุณจิรพงศ์ สุขนันท์ หัวหน้าฝ่ายเทคนิคและสุขอนามัย นางสาวปริยานุช ศีลธรรมพิทักษ์ นักศึกษาฝึกงาน และพนักงานทุกท่านที่ให้ข้อมูลและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดช่วงของการทำโครงการ

ขอขอบคุณโครงการ โครงการอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (Industrial and Research Projects for Undergraduate Students: IRPUS) ประจำปี 2549 ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบริษัท ที่สนับสนุนเงินทุนในการดำเนินโครงการ

รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และคุณศศิธร เหลืองอร่าม ผู้จัดการแผนกผลิต-ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โรงงานไอศกรีม บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้ง จำกัด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการทำงาน และตรวจแก้ไขรายงาน ทำให้ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และคำแนะนำตลอดมา หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดคณะผู้ดำเนินโครงการขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้

ยุทธศาสตร์ พรหมเบน

วิทยา รัตนพลที

16 กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	4
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย	5
2.1 เทคโนโลยีสะอาด	5
2.1.1 หลักการสำคัญของแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด	5
2.1.2 หลักการเทคโนโลยีสะอาด	5
2.1.3 เทคนิคเทคโนโลยีสะอาด	6
2.1.4 การประเมินผลโอกาสในการทำเทคโนโลยีสะอาด	7
2.1.5 ประโยชน์ของเทคโนโลยีสะอาดในเชิงเศรษฐศาสตร์	9
2.1.6 ตัวอย่างการประยุกต์หลักการเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมต่างๆ	10
2.2 การลดความกระด้างของน้ำ	11
2.2.1 คุณสมบัติของน้ำ	11
2.2.2 กระบวนการลดความกระด้าง	22
2.2.3 ส่วนประกอบและอุปกรณ์สำหรับระบบลดความกระด้าง	24
2.2.4 ผลพลอยได้จากการใช้กระบวนการลดความกระด้างแบบเติมสารเคมี	25
2.3 กระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน	25
2.3.1 ลักษณะทั่วไป	25
2.3.2 แบบที่เรียกที่ไม่สร้างมีเทน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ IV อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 แบบที่เรียที่สร้างมีเทน	28
2.3.4 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการย่อยไม่ใช่ออกซิเจน	30
2.3.5 ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบ ไม่ใช่ออกซิเจน	33
2.3.6 ข้อดีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช่ออกซิเจน เปรียบเทียบกับแบบที่ใช้ ออกซิเจน	34
2.3.7 ข้อเสียของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช่ออกซิเจน	35
บทที่ 3 การดำเนินงาน	36
3.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ไอศกริม	36
3.1.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในสายการผลิตพี	37
3.1.2 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในสายการผลิตจี	41
3.1.3 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในสายการผลิตจี 10	49
3.2 การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ไอศกริม	53
3.3 การนำน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผ่นกลับ ที่ปรับสภาพแล้ว กลับมาใช้ใหม่	54
3.3.1 การวิเคราะห์สภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการ ออสโมซิสผ่นกลับ	54
3.3.2 การวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ออกจาก กระบวนการออสโมซิสผ่นกลับและน้ำล้างท่อส่ง ไอศกริม	54
3.3.3 การปรับสภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการ ออสโมซิสผ่นกลับ	56
3.4 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำทิ้ง จากกระบวนการผลิต ไอศกริม	57
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล	58
4.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ไอศกริม	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และv้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีม	58
4.3 การนำน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ ที่ปรับสภาพแล้ว กลับมาใช้ใหม่	58
4.3.1 การวิเคราะห์สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ	58
4.3.2 การวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate จาก กระบวนการออสโมซิสผั่นกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม	60
4.3.3 การปรับสภาพน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ	61
4.4 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำทิ้ง จากกระบวนการผลิตไอศกรีม	63
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	67
5.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีม	67
5.2 การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีม	67
5.3 การนำน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ ที่ปรับสภาพแล้ว กลับมาใช้ใหม่	67
5.4 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำทิ้ง จากกระบวนการผลิตไอศกรีม	67
5.5 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์น้ำจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ	70
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ออกจาก กระบวนการออสโมซิสผั่นกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค ผลการตกตะกอนน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิส ผั่นกลับโดยกระบวนการปูนขาวส่วนเกินและการเจือจางด้วยน้ำล้าง ท่อส่งไอศกรีม	77
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณความกระด้างทั้งหมด	80
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการ ปูนขาวส่วนเกินและค่าใช้จ่ายในกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน	82
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม	84



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำที่แปรผันตามอุณหภูมิ	12
ตารางที่ 2.2 ระดับความกระด้างของน้ำ	18
ตารางที่ 2.3 ค่าความสามารถในการละลายของสารเคมีที่ใช้ในการลดความกระด้าง	20
ตารางที่ 2.4 การจัดหมู่ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เป็นเชื้อบริสุทธ์	29
ตารางที่ 2.5 ประเภทของสารพิษต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	34
ตารางที่ 4.1 สภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2549	59
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารละลายอิตีที่เอที่ใช้ในการไทเทรตและความกระด้างทั้งหมดของน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม	61



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 หักส่วนค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภคของโรงงานผลิตไอศกรีมในปี 2548	1
รูปที่ 1.2 ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น	2
รูปที่ 2.1 ลำดับความสำคัญของการแก้ปัญหาด้วยเทคโนโลยีสะอาด	7
รูปที่ 2.2 กราฟแปลงค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่าสารละลายน้ำทั้งหมด	14
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างในรูปต่างๆ กับความเป็นกรด-เบส	17
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบส ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์ กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ	21
รูปที่ 2.5 ผังการไหลของระบบลดความกระด้างแบบปูนขาวเย็น	24
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน	27
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต แบบไม่ใช้ออกซิเจน	32
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตไอศกรีม	37
รูปที่ 3.2 การไล่น้ำที่ตกค้างออกจากท่อส่งไอศกรีมและเครื่องทำความเย็น (ก) น้ำช่วงแรกที่ยังสะอาดแต่ถูกปล่อยทิ้ง (ข) พนักงานต้องใช้น้ำเพิ่มขึ้น เพื่อล้างคราบ ไอศกรีมบนพื้น	38
รูปที่ 3.3 ถังรีเวิร์ก (ก) และรถเข็นสำหรับดูดน้ำกลับเข้าไปในระบบล้างท่อ (ข)	38
รูปที่ 3.4 การฉีดน้ำทำความสะอาดระหว่างเดินเครื่อง (ก) การฉีดน้ำล้างคราบ ไอศกรีม (ข) การฉีดน้ำไล่เศษกระดาษหรือพลาสติก	39
รูปที่ 3.5 สภาพน้ำที่ใช้ฉีดล้างแม่พิมพ์ที่บ่อที่ 1-3	39
รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อน้ำล้างแม่พิมพ์เมื่อผลิตไอศกรีมประเภทที่ใช้ครีม เป็นส่วนผสม (ก) น้ำล้างแม่พิมพ์ทำไอศกรีมที่ถูกทิ้งบนพื้น (ข) แม่บ้าน ทำความสะอาดคราบไอศกรีม	40
รูปที่ 3.7 ลักษณะของถังเคลือบช็อกโกแลต (ก) พนักงานปล่อยน้ำที่ใช้ล้างถังเคลือบ ช็อกโกแลตลงบนพื้น (ข)	40
รูปที่ 3.8 ระบบการระบายน้ำล้างถังเคลือบและกวนช็อกโกแลตและน้ำทิ้งจากบ่อน้ำล้าง แม่พิมพ์ทำไอศกรีม	41
รูปที่ 3.9 ลักษณะของรถฝั่งวัตถุคิบ (ก) และรถเข็นน้ำยามาเชื้อ (ข)	42
รูปที่ 3.10 รถฝั่งวัตถุคิบ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง (ค) ด้านบน (ง) แบบรถฝั่งวัตถุคิบ	42
รูปที่ 3.11 ฝาครอบท่อฉีดน้ำล้างแม่พิมพ์ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง (ค) ด้านล่าง (ง) ด้านบน	43

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 สายพานลำเลียงกรวยไอศกรีม (ก) และถาดลำเลียงกรวยไอศกรีมไหลเข้าเครื่อง cake walk (ข)	44
รูปที่ 3.13 เศษกระดาษห่อไอศกรีมและคราบไอศกรีมที่ตกหล่นลงใต้เครื่องจักร	45
รูปที่ 3.14 แบบถาดรองไอศกรีมที่แตกและหล่นใต้เครื่องจักร	45
รูปที่ 3.15 การไล่เนื้อไอศกรีมที่ค้างอยู่ในท่อส่งและหัวจ่ายเนื้อไอศกรีม	46
รูปที่ 3.16 แบบถาดรองรับเนื้อไอศกรีม (ก) ถาดรองรับเนื้อไอศกรีมของสายการผลิตอื่น (ข) โครงสร้างของถาดรองรับเนื้อไอศกรีม (ค) ด้านล่าง (ง) ด้านบน	46
รูปที่ 3.17 คราบสกปรกใต้เครื่องจักรสายการผลิต	47
รูปที่ 3.18 แบบถาดรองรับน้ำใต้เครื่องจักรสายการผลิต	47
รูปที่ 3.19 การฉีดน้ำล้างถาดลำเลียงกรวยไอศกรีมก่อนการปรับปรุง	48
รูปที่ 3.20 แบบถาดรองรับน้ำล้างถาดลำเลียงกรวยไอศกรีม	48
รูปที่ 3.21 ความสกปรกเนื่องจากน้ำแข็งที่จับตัวหนาบนเครื่องจักร (ก) น้ำแข็งที่ขอบแม่พิมพ์ไอศกรีม (ข) น้ำแข็งที่จุดศูนย์กลางเครื่องจักร (ค) ท่อระบายน้ำและคราบไอศกรีมต่างๆ	49
รูปที่ 3.22 บริเวณพื้นที่ใต้เครื่องจี 10	49
รูปที่ 3.23 แบบข้อต่อสายยางระบายน้ำทิ้ง ของเครื่องจี 10	50
รูปที่ 3.24 ลักษณะการติดตั้งข้อต่อกับสายยางที่เชื่อมโยงไปที่ท่อระบายน้ำทิ้งของเครื่องจี 10	50
รูปที่ 3.25 รถเข็นแช่ถุนมชั้นหวานในน้ำร้อนแบบเดิม (ก) และเครื่องทำน้ำร้อน (ข)	51
รูปที่ 3.26 แบบรถเข็นแช่ถุนมชั้นหวานด้วยน้ำร้อน	52
รูปที่ 3.27 การติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนกับรถเข็นแช่ถุนมชั้นหวาน	52
รูปที่ 3.28 แบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2	53
รูปที่ 4.1 สภาพน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผันกลับ	60
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต	61
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกระด้างทั้งหมดกับอัตราส่วนน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม ต่อ น้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน	62
รูปที่ 4.4 ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ X ให้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 ความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ไอศกรีมเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549	64
รูปที่ 4.6 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ไอศกรีมเดือนกันยายน พ.ศ. 2549	64
รูปที่ 4.7 ความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ไอศกรีมเดือนกันยายน พ.ศ. 2549	65
รูปที่ 4.8 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ไอศกรีมเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549	65
รูปที่ 4.9 ความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ไอศกรีมเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549	66



บทที่ 1

บทนำ

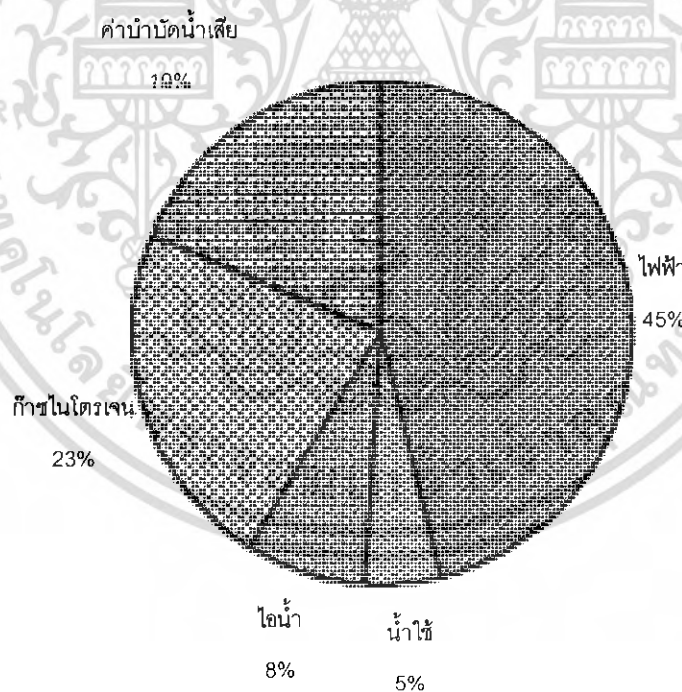
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานผลิตไอศกรีมวอลล์เป็นโรงงานในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารและไอศกรีมของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ที่มีอัตราการใช้น้ำสูงกว่าหน่วยการผลิตอื่นของบริษัทและมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตจำนวนมาก น้ำเสียจะถูกส่งไปบำบัดที่บ่อบำบัดน้ำเสียกลางของบริษัท เพราะฉะนั้นจึงเกิดต้นทุนการผลิตที่ไม่จำเป็น 2 ทาง คือ

- 1) ต้นทุนค่าน้ำดิบที่รับมาจากการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง
- 2) ต้นทุนค่าน้ำบำบัดน้ำเสียที่ต้องจ่ายให้กับส่วนกลางของบริษัท ซึ่งมีราคาสูงกว่าน้ำที่รับเข้ามาถึง 3 เท่า

รูปที่ 1.1 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภคต่างๆ ของโรงงานผลิตไอศกรีมในปี พ.ศ.

2548

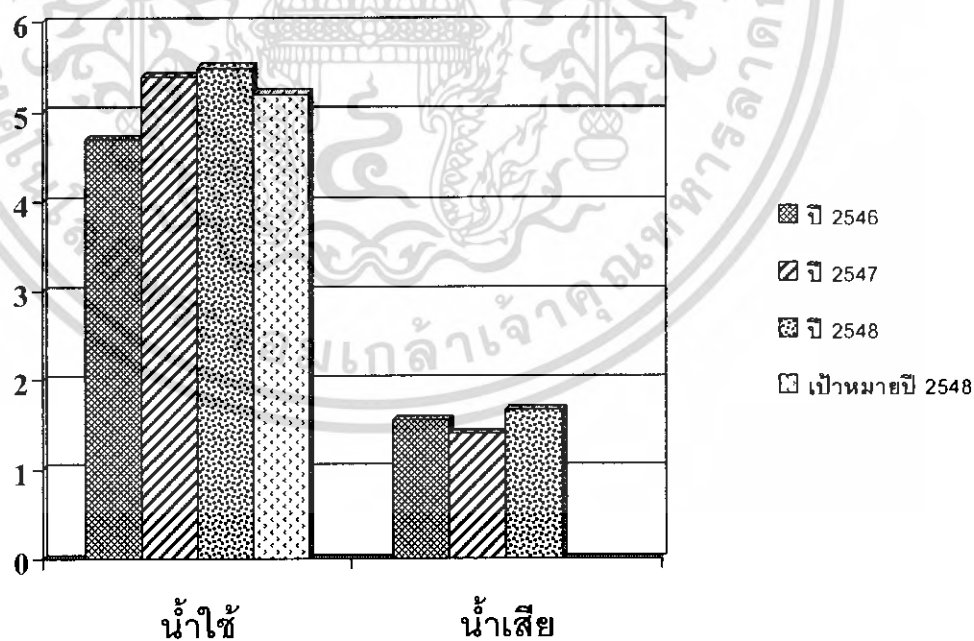


รูปที่ 1.1 สัดส่วนค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภคของโรงงานผลิตไอศกรีมในปี พ.ศ. 2548 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.1 แม้ว่าค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซในโตรเจนค่อนข้างสูงจากการทำความเข้าใจในกระบวนการผลิต แต่สัดส่วนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและการใช้น้ำเมื่อรวมกันจะเป็นอันดับ 2 ของค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภคของโรงงาน ดังนั้นนักศึกษาและทีมงานของบริษัทจึงให้ความสำคัญที่จะลดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เพราะคาดว่าจะมีความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาได้เร็วกว่าการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซในโตรเจน รูปที่ 1.2 แสดงปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น พบว่าแนวโน้มของการใช้น้ำสูงขึ้นทุกปี และในปี พ.ศ. 2548 มีการใช้น้ำเกินเป้าหมายที่กำหนดไว้ จากหลักการเทคโนโลยีสะอาด ถ้าสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการ หรือสามารถนำน้ำใช้แล้วที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและได้คุณภาพดีกลับมาใช้ใหม่สำหรับการหล่อเย็นปริมาณน้ำเสียก็จะลดลง หรือถ้าสามารถลดสิ่งเจือปนในน้ำเสียลงได้ ต้นทุนการผลิตจากค่าน้ำและค่าบำบัดน้ำก็จะลดลง ในปัจจุบันน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผกกลับประมาณ 33 ลูกบาศก์เมตร/วัน ถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ฉะนั้นการหาแนวทางปรับสภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผกกลับเพื่อกลับมาใช้ใหม่ จึงควรได้รับการพิจารณาและดำเนินการอย่างเร่งด่วน เพราะถ้าบริษัทมีต้นทุนการผลิตต่ำก็สามารถขายผลิตภัณฑ์ให้แก่ผู้บริโภคในราคาที่ต่ำลงได้โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพสูง นอกจากนี้ยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า

ปริมาณน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/ตันลิตร)



รูปที่ 1.2 ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสำรวจกระบวนการผลิตไอศกรีมในระหว่างการฝึกงานภาคฤดูร้อน พบว่าส่วนใหญ่การใช้้ในกระบวนการเกิดจาก

- 1) การฉีดล้างแม่พิมพ์ในระหว่างการผลิต
- 2) น้ำล้างทำความสะอาดภายในท่อส่งไอศกรีม (Cleaning in Pipe: CIP)
- 3) การทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนการผลิตครั้งใหม่
- 4) การฉีดล้างคราบไอศกรีมหรือคราบสกปรกต่างๆ บนเครื่องจักรและพื้น

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการใช้น้ำเกินความจำเป็น เช่น

- 1) พฤติกรรมการใช้น้ำของพนักงานแต่ละบุคคล
- 2) วิธีการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้อง เช่น รถเข็นสำหรับล้างอุปกรณ์ปล่อยน้ำหลังการล้างลงพื้นทำให้ต้องใช้น้ำทำความสะอาดพื้นอีกครั้ง
- 3) การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการล้างไม่เหมาะสมและเครื่องจักรบางส่วนไม่ดี ทำให้สิ้นเปลืองน้ำในการผลิต
- 4) การวางแผนการผลิตไม่เหมาะสม

โครงการนี้จะนำหลักการเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตไอศกรีม เพื่อให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ต้องการลดปริมาณการใช้น้ำดิบในกระบวนการผลิตไอศกรีมในสายการผลิตต้นแบบ โดยการปรับปรุงกระบวนการ และ/หรือ เปลี่ยนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีมที่เป็นสาเหตุในการใช้น้ำเกินความจำเป็น และนำน้ำที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผ้นกลับที่ปรับสภาพแล้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งผลที่ได้จากโครงการนี้จะสามารถนำไปใช้กับสายการผลิตอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตและลดต้นทุนการผลิตของโรงงาน และเกิดการใช้ทรัพยากรการผลิตให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ลดปริมาณการใช้น้ำดิบในกระบวนการผลิต
- 1.2.2 นำน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผ้นกลับที่ปรับสภาพแล้วกลับมาใช้ใหม่
- 1.2.3 ลดปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้การใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีมเกินความจำเป็น
- 1.3.2 เลือกสายการผลิตต้นแบบที่มีปริมาณการใช้น้ำมากเป็นกรณีศึกษา
- 1.3.3 วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด
- 1.3.4 หาแนวทางปรับสภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผ้นกลับเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
- 1.3.5 เสนอแนวทางแก้ไขปัญหให้กับบริษัท

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.4.1 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อหาแนวทางในการทำงาน
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการผลิตและขั้นตอนต่างๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสีย
- 1.4.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.4 รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต
- 1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูล สาเหตุของปัญหา และหาแนวทางการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และวิเคราะห์สภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผ้นกลับ
- 1.4.6 เสนอแนวทางการแก้ปัญหาตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดให้หัวหน้างานและทีมงานของบริษัทพิจารณา
- 1.4.7 นำแนวทางที่ผ่านการเห็นชอบแล้วมาปฏิบัติตามแผน
- 1.4.8 วิเคราะห์ผลที่ได้
- 1.4.9 สรุปผลการดำเนินงาน และเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 การใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีมมีประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้น้ำ
- 1.5.2 สามารถลดต้นทุนการใช้น้ำและการบำบัดน้ำเสีย
- 1.5.3 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า
- 1.5.4 มีฐานข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยการผลิตอื่นๆ ของบริษัท หรือระบบการผลิตของบริษัทอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เทคโนโลยีสะอาด [2-7]

เทคโนโลยีสะอาด คือ เทคโนโลยีการผลิตเชิงอุตสาหกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรการผลิต เช่น วัตถุดิบ และพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ หลักการคือป้องกันและลดของเสียที่แหล่งกำเนิดแทนการควบคุมการบำบัดและจัดการของเสียที่ปลายทางแบบเดิม โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) การปรับปรุงกระบวนการ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ เป็นต้น เพื่อป้องกันการเกิดของเสียหรือเกิดผลิตภัณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องทิ้งหรือต้องนำมาทำรีเวิร์ค ทำให้สามารถใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ลดต้นทุนการผลิตและการบริการอย่างต่อเนื่อง เพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ช่วยรักษาและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างภาพพจน์ที่ดีของสถานประกอบการ นอกจากนี้ยังเป็นจุดเริ่มต้นในการทำมาตรฐาน ISO 14000

2.1.1 หลักการสำคัญของแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด ประกอบด้วย

2.1.1.1 หลักการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continual Improvement) หมายถึง การดำเนินการให้มีการปรับเปลี่ยนที่ดีขึ้นอยู่เสมอ โดยคำนึงถึงความพร้อมขององค์กรเป็นสำคัญ หากประเด็นปัญหาใดยังไม่พร้อมที่จะดำเนินการปรับแก้ ก็ให้ดูแลรักษาระดับเอาไว้อย่าให้แย่ลงกว่าเดิม

2.1.1.2 หลักการป้องกัน (Prevention) หมายถึง การมุ่งแก้ไขปัญหา โดยเน้นที่การป้องกัน ไม่ใช่การแก้ไข เน้นการลดปัญหาที่ต้นเหตุ ไม่ใช่ปลายเหตุ เน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานเพื่อลดความสูญเสีย ไม่ใช่การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการบำบัดที่ปลายทาง

2.1.1.3 หลักการมองปัญหาแบบองค์รวม (Integration) หมายถึง เปลี่ยนใช้การวิเคราะห์ปัญหาแบบแยกส่วนเป็นการมองแบบดูความสัมพันธ์ร่วมกันในทุกๆ กิจกรรมขององค์กร และทุกๆ ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเน้นการมีส่วนร่วมของคนทั้งองค์กร (Participatory Approach) ในการศึกษาปัญหาร่วมกัน และนำเอาประสบการณ์ของตนเองมาช่วยเสริมสร้างแนวทางในการแก้ไขปัญหา

2.1.2 หลักการเทคโนโลยีสะอาด (CT Concept) มีหลักการดังนี้ คือ

2.1.2.1 ป้องกันและลดการเกิดมลพิษและของเสียต่าง ๆ

2.1.2.2 ใช้ทรัพยากรและวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

2.1.2.3 ลดอันตราย ความเสี่ยงของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อมลพิษต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เทคนิคเทคโนโลยีสะอาด (CT Techniques)

เทคโนโลยีสะอาดมุ่งเน้นที่การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดและการใช้ซ้ำ หรือนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีเทคนิคในการทำให้บรรลุเป้าหมายดังนี้

2.1.3.1 การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ได้แก่

ก) เปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ เช่น

- ออกแบบให้มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด
- ออกแบบให้ผลิตภัณฑ์มีอายุใช้งานยาวนาน

ข) เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต เช่น

- เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ เช่น ใช้วัตถุดิบที่สะอาด เปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบที่มี

ความเป็นพิษน้อย เป็นต้น

- เปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี เช่น เปลี่ยนการออกแบบใหม่ เพิ่มระบบ

อัตโนมัติ ปรับปรุงข้อจำกัดในการปฏิบัติงาน ปรับปรุงคุณภาพอุปกรณ์ เป็นต้น

ค) ปรับปรุงกระบวนการดำเนินงาน เช่น

- มีกระบวนการทำงานและขั้นตอนบำรุงรักษาที่ชัดเจน
- มีการบริหารการปฏิบัติงาน
- มีการจัดการให้การไหลของงานเป็นไปโดยราบรื่น
- ปรับปรุงเทคโนโลยีการขนถ่ายวัสดุ
- มีขั้นตอนการผลิตที่ชัดเจน
- มีการทำรายงานบันทึกการควบคุมสินค้าคงคลัง
- มีการฝึกอบรมพนักงาน
- มีการแยกแยะมลพิษออกจากกันตามวิธีการกำจัด

2.1.3.2 การใช้ซ้ำหรือการเปลี่ยนแปลงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่

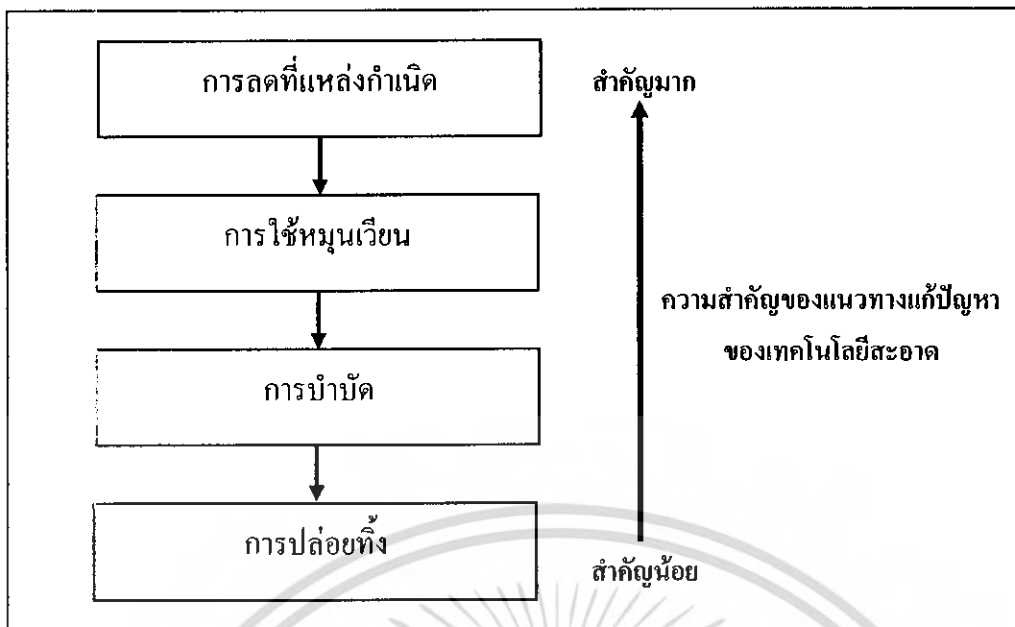
ก) การใช้ซ้ำ เช่น ใช้ในกระบวนการผลิตเดิม หรือนำไปใช้ในกระบวนการอื่น

เป็นต้น

ข) การเปลี่ยนแปลงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ผ่านกระบวนการเพื่อนำทรัพยากร

กลับมาใช้อีก หรือผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เป็นผลพลอยได้ เป็นต้น

รูปที่ 2.1 แสดงลำดับความสำคัญของการแก้ปัญหาด้วยเทคโนโลยีสะอาด



รูปที่ 2.1 ลำดับความสำคัญของการแก้ปัญหาด้วยเทคโนโลยีสะอาด [4]

2.1.4 การประเมินผลโอกาสในการทำเทคโนโลยีสะอาด มี 4 ขั้นตอน คือ

2.1.4.1 ขั้นตอนการวางแผนและการจัดระบบ

สิ่งจำเป็นของการวางแผนและการจัดระบบสำหรับโปรแกรมเทคโนโลยีสะอาด คือ การได้ค้ำประกันสัญญาจากผู้บริหารในการทำโปรแกรมนี การตั้งเป้าหมาย และการตั้งคณะทำงานทำโปรแกรมการประเมิน

2.1.4.2 ขั้นตอนการประเมิน

ก) รวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตและหน่วยงานอื่นๆ

การรวบรวมข้อมูลในกระบวนการผลิต และหน่วยอื่นๆ เช่น ของเสียจากหน่วยต่างๆ ควรมีการระบุและจำแนกคุณสมบัติของข้อมูลเกี่ยวกับของเสีย อาจหาได้จากบัญชีรายการของเสียที่เป็นอันตรายจากโปรแกรมการเก็บตัวอย่างประจำ และจากแหล่งอื่นๆ

กระบวนการประเมินโอกาสในการทำเทคโนโลยีสะอาด จำเป็นต้องมีการพัฒนาความเข้าใจพื้นฐานของกระบวนการของหน่วยต่างๆ ที่ทำให้มีของเสียเกิดขึ้น ควรจัดเตรียมแผนผังการทำงานของกระบวนการเพื่อบ่งบอกปริมาณ ชนิด และอัตราการเกิดของเสียในกระบวนการ และจัดทำคุณมวลของกระบวนการทั้งหลาย เพื่อประโยชน์ในการติดตามปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ และสามารถชี้บ่งปริมาณที่สูญเสียหรือปล่อยออกสู่อากาศ ซึ่งอาจยัง ไม่มีการจัดทำมาก่อน

ข) เรียงลำดับความสำคัญและคัดเลือกเป้าหมายของการประเมิน

การเรียงลำดับความสำคัญและคัดเลือกเป้าหมายของการประเมินในทางอุดมคติ ควรทำการประเมินความเป็นไปได้ในการลดของเสียจากทุกๆ หน่วย อย่างไรก็ตามโดยข้อจำกัดที่มีอยู่ ผู้จัดการโรงงานอาจจำเป็นต้องมุ่งเน้นการลดของเสียเฉพาะในบางพื้นที่เท่านั้น การพิจารณาปริมาณของเสีย คุณสมบัติที่เป็นอันตราย ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยของพนักงาน หลักการทางเศรษฐศาสตร์ และคุณลักษณะอื่นๆ ต้องนำมาประเมินในการเลือกเป้าหมาย

กลุ่มผู้ประเมินควรประกอบด้วย ผู้ที่มีความรู้ ความรับผิดชอบ โดยตรง และมีความรู้เกี่ยวกับของเสียชนิดนั้นๆ หรือพื้นที่การผลิต ตัวอย่างเช่น ควรประกอบด้วยหัวหน้างาน พนักงานเดินเครื่อง เป็นต้น

ค) ทบทวนข้อมูลและตรวจสอบพื้นที่

พิจารณาข้อมูลและตรวจสอบพื้นที่ กลุ่มผู้ประเมินทำการพิจารณาข้อมูลจากกระบวนการก่อนการตรวจสอบพื้นที่ การตรวจสอบควรพิจารณากระบวนการเป้าหมาย โดยเริ่มจากจุดที่วัตถุดิบเข้ามาในหน่วย จนถึงจุดที่ได้ผลิตภัณฑ์และมีของเสียออกมา กลุ่มผู้ประเมินควรระบุแหล่งที่สงสัยว่าเป็นที่มาของของเสีย ซึ่งอาจรวมถึงกระบวนการผลิต การซ่อมบำรุง สถานที่เก็บวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ และงานที่ดำเนินอยู่ การตรวจสอบอาจทำให้ได้ผลสรุปขั้นต้นเกี่ยวกับโอกาสในการทำเทคโนโลยีสะอาด การรับรองผลสรุปอย่างสมบูรณ์อาจต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม ทำการวิเคราะห์ และเยี่ยมชมพื้นที่

ง) เสนอทางเลือกต่างๆ

การเสนอทางเลือกต่างๆ จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ เพื่อเสนอทางเลือกการทำเทคโนโลยีสะอาดอย่างละเอียดชัดเจน เพื่อนำไปพิจารณาในขั้นต่อไป เนื่องจากว่าในขั้นต่อไปจะเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของทางเลือกแต่ละข้อ โดยพิจารณาทั้งทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ จึงยังไม่ตัดทางเลือกใดๆ ทิ้งในขั้นตอนนี้ ข้อมูลจากการตรวจสอบพื้นที่ รวมทั้งข้อมูลจากสมาคมการค้า หน่วยงานของรัฐบาล รายงานทางเทคนิค และทางการค้า ผู้จำหน่ายเครื่องมือ ที่ปรึกษา วิศวกรโรงงาน และพนักงานเดินเครื่อง สามารถเป็นแหล่งที่มาของความคิด ให้ได้ทางเลือกต่างๆ ในการทำเทคโนโลยีสะอาดในการทำเทคโนโลยีสะอาด ควรพิจารณาทางเลือกที่เป็นการลดวัตถุดิบและการนำกลับมาใช้

จ) กลั่นกรองและเลือกทางเลือกต่างๆ เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้

การกลั่นกรองและเลือกทางเลือกเพื่อศึกษาต่อไป กระบวนการกลั่นกรองนี้ เพื่อให้สามารถเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับนำไปศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์อย่างเต็มรูปแบบ ทางเลือกใดที่เห็นว่าไม่สำคัญ ทำไม่ได้ หรือดีกว่าจะถูกคัดออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้

ทางเลือกที่แสดงความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์เท่านั้น จึงจะนำมาพิจารณาเลือกใช้ในหน่วยงาน การประเมินทางเทคนิคจะดูว่าทางเลือกที่เสนอนั้น สามารถใช้ได้กับหน่วยงานนั้นๆ หรือไม่ การเปลี่ยนทั้งกระบวนการ และชนิดเครื่องมือจะต้องมีการประเมิน เพื่อดูผลรวมทั้งหมดที่มีต่อปริมาณของเสียและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ใช้วิธีการมาตรฐานของการวัดผลกำไร เช่น ระยะเวลาคืนทุน ผลตอบแทนต่อการลงทุน และราคาสุทธิปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายของโครงการ แบ่งได้เป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ นอกจากนี้ต้องทำการพิจารณา ค่าใช้จ่ายที่จะประหยัดได้จากการดำเนินงานตาม โครงการ และรายได้ที่เปลี่ยนแปลงด้วยการปฏิบัติ

2.1.4.4 ขั้นตอนการลงมือปฏิบัติ

ทางเลือกที่ผ่านการพิจารณา ทบทวนความเป็นไปได้ทั้งด้านเทคนิค และทางด้านเศรษฐศาสตร์ ควรนำมาดำเนินการในหน่วยงานนั้น จากนั้นจะขึ้นกับคณะผู้ทำการประเมิน โอกาสในการทำเทคโนโลยีสะอาด โดยการสนับสนุนจากผู้บริหารในการติดตามของเสียต่างๆ อย่างต่อเนื่อง และชี้บอกโอกาสในการทำเทคโนโลยีสะอาดของหน่วยงานนั้น โดยการประเมินซ้ำเป็นระยะๆ

2.1.5 ประโยชน์ของเทคโนโลยีสะอาดในเชิงเศรษฐศาสตร์

2.1.5.1 การใช้วัตถุดิบลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง เพราะว่า

- ปริมาณการใช้วัสดุ/สารเคมี ลดลง
- ปริมาณพลังงานที่ใช้ลดลง
- ความสูญเสียจากการขนถ่าย และจัดเก็บวัตถุดิบลดลง

2.1.5.2 ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย

- พลังงานที่ใช้ในการบำบัดของเสียลดลง
- ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้เพื่อการบำบัดของเสียลดลง
- กำลังคน และเครื่องมือที่จำเป็นในการบำบัด และการควบคุมมลพิษของ

โรงงานลดลง

2.1.5.3 เพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

- ผลผลิตเพิ่มขึ้น
- พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตลดลง
- มีการดูแลอุปกรณ์และอาคารที่ดีขึ้น
- การเกิดมลพิษลดน้อยลง

2.1.5.4 ลดค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสีย

- ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พื้นที่เก็บของลดลง และมีพื้นที่ว่างสำหรับการผลิตเพิ่มขึ้น
- ของเสียถูกเก็บแยกชนิด ทำให้ลดการปนเปื้อนระหว่างของเสีย ทำให้สามารถนำไปขายให้กับอุตสาหกรรมอื่น หรือสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบใหม่
- พื้นที่ที่ต้องใช้ในการเก็บของเสียที่เป็นของแข็งลดลง

2.1.6 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.1.6.1 การใช้น้ำอย่างคุ้มค่า

- คิดตั้งมาตรวัดน้ำและอุปกรณ์ควบคุมระดับที่ท่อส่งน้ำหลัก
- อุดรอยรั่ว หรือเปลี่ยนท่อที่ชำรุด
- คิดตั้งอุปกรณ์อัตโนมัติควบคุมการไหลของน้ำในท่อ
- ทำแถบสีแยกให้ชัดเจนระหว่างท่อน้ำทิ้งและท่อน้ำดี
- นำน้ำล้างในอ่างล้างที่สะอาดที่สุดกลับมาใช้ใหม่
- หลีกเลี่ยงการล้างระบบน้ำดื่ม
- ใช้การล้างแบบไหลสวนทาง
- นำน้ำล้างที่ใช้แล้วมาทำให้สะอาด โดยผ่านระบบการกรองเชื้อเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

เพื่อการบำบัดอย่างถูกวิธี

2.1.6.2 ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย

- คิดตั้งระบบตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อมเพื่อตรวจวัดการใช้ทรัพยากร
- ทำแผนการสุ่มตัวอย่างและวิเคราะห์ผล เพื่อพัฒนาระบบการเก็บข้อมูล
- ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย โดยควบคุมปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ
- ควรมีการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดอย่างเหมาะสม
- ควรแยกการระบายน้ำฝนออกจากระบบบำบัด
- พิจารณานำเอาน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้อยกลับมาใช้ใหม่

2.1.6.3 การใช้สารเคมีอย่างเหมาะสม

- ศึกษาการจัดการกับสิ่งทอแต่ละชนิดเพื่อพยายามใช้สารเคมีให้น้อยที่สุด
- นำสารเคมีในกระบวนการกลับมาใช้ใหม่
- เปลี่ยนมาใช้สารเคมีที่ให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ

(Biochemical Oxygen Demand: BOD) ต่ำ

- ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการผสมสีเพื่อลดการย้อมซ้ำและเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
- ควบคุมปริมาณโซดาไฟ และนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.4 การอนุรักษ์พลังงาน

- การนำพลังงานความร้อนจากน้ำทิ้งอุณหภูมิสูงมาใช้โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

แลกเปลี่ยนความร้อน

- นำน้ำจากการควบแน่นกลับมาเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

- เปลี่ยนท่อไอน้ำที่ชำรุด และหุ้มฉนวนท่อใหม่

- ตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างละเอียด โดยพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ระบบส่องสว่าง

เผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ระบบส่องสว่าง

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

2.1.6.5 ด้านสุขภาพและความปลอดภัยของพนักงาน

- จัดตั้งสัญญาณเตือนภัยในเขตอันตราย

- จัดตั้งอุปกรณ์ป้องกันในบริเวณที่พนักงานอาจเกิดการสัมผัสกับน้ำร้อน

ไอน้ำ และสารเคมีหกกระเด็น

- หุ้มฉนวนให้ทั่วบริเวณพื้นผิวที่ร้อน

- ดูแลให้บริเวณที่ทำงานปราศจากน้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก ผุ่น และน้ำ

- กำจัดสิ่งขี้มอมที่เสื่อมสภาพและถังเปล่าที่ใช้บรรจุอย่างเหมาะสม

2.1.6.6 การอบรมพนักงาน

- ให้การอบรมเรื่องการจัดการที่ดีในโรงงาน และความระมัดระวังภายใน

อาคาร

2.2 การลดความกระด้างของน้ำ [8-9]

2.2.1 คุณสมบัติของน้ำ

2.2.1.1 ความนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Conductance)

ความนำไฟฟ้าจำเพาะเป็นดัชนีชี้บอกปริมาณเกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะสารที่ละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solid: TDS) ทั้งนี้เพราะน้ำบริสุทธิ์จะมีความนำไฟฟ้าต่ำ โดยน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าความนำไฟฟ้าตั้งแต่ 0.04-2.0 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร

2.2.1.2 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของน้ำหาได้โดยการชั่งน้ำที่มีปริมาตรจำนวนหนึ่งที่อุณหภูมิหนึ่ง เช่น น้ำบริสุทธิ์จะมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.000 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ถ้าน้ำมีเกลือแร่ต่างๆละลายปนอยู่ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเพียง 0.001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือร้อยละ 0.1 เท่านั้น ดังนั้น น้ำที่มีเกลือแร่ละลายอยู่ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ยังถือว่ามีความหนาแน่นใกล้เคียงน้ำบริสุทธิ์โดยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำที่แปรผันตามอุณหภูมิ [9]

อุณหภูมิ (⁰ ซ)	ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	ปริมาตรจำเพาะ (กรัม/มล.)	ความดันไอ (มม.ปรอท)	ความหนืด (เซนติพอยส์)
0	0.99987	1.00113	4.580	1.787
5	0.99999	1.00001	6.538	1.516
10	0.99973	1.00027	9.203	1.306
15	0.99913	1.00087	12.782	1.138
20	0.99823	1.00177	17.529	1.002
25	0.99707	1.00293	23.753	0.8903
30	0.99568	1.00434	31.824	0.7975
40	0.99224	1.00782	55.338	0.6531
50	0.98807	1.01207	92.56	0.5467
60	0.98324	1.01705	149.57	0.4666
70	0.97781	1.02270	233.81	0.4049
80	0.97183	1.02899	355.31	0.3554
90	0.96534	1.03590	525.92	0.3156
100	0.95838	1.04343	760.00	0.2829

2.2.1.3 สี (Color)

น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน โดยเฉพาะส่วนที่ไหลผ่านพื้นที่ที่เป็นไร่นาจะมีสีที่เกิดจากสารจำพวกแทนนิน กรดฮิวมิก และสารที่สลายจากกลีคนินของพืช เป็นเหตุให้น้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะที่จะใช้งานทางอุตสาหกรรม สีในน้ำจะเกิดจากอนุภาคคอลลอยด์ประจุลบที่สามารถกำจัดได้โดยกระบวนการรวมตัว (Coagulation) โดยการใช้เกลือของโลหะที่มีวาเลนซ์สาม เช่น อะลูมิเนียมและเหล็ก สีที่เกิดเนื่องจากมีสารแขวนลอยอยู่มากเรียกว่า สีปรากฏ (Apparent Color) เช่น น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาในฤดูฝน น้ำที่ไหลมาจากทางเหนือจะละลายดินตะกอนสีแดง ทำให้น้ำขุ่นมากกว่าปกติ สีแท้ (True Color) เป็นสีที่เกิดเนื่องจากการสลายตัวของพืชหรือสารอินทรีย์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของคอลลอยด์ นอกจากนี้ สียังเกิดจากของเสียทั้งหลายที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือแหล่งชุมชน การวัดสีจะต้องวัดสีของน้ำตัวอย่างเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานซึ่งเตรียมจากโพแทสเซียมคลอโรแพลททินेट (K_2PtCl_6) และโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1 หน่วยสีจะมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัมแพลทินัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 สารแขวนลอยหรือตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)

สารแขวนลอยหรือตะกอนแขวนลอย คือ ของแข็งส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่แขวนลอยอยู่ในน้ำทำให้เกิดความขุ่น (Turbidity) ตะกอนแขวนลอยเป็นของแข็งส่วนที่กรองได้ โดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองชนิด glass-fiber filter แล้วอบตะกอนที่กรองได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2.2.1.5 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่เป็นต้นเหตุทำให้น้ำไม่ใส อีกนัยหนึ่งความขุ่นหมายถึงปริมาณเนื้อแห้งของสารที่อยู่ในน้ำ ความขุ่นเป็นการวัดทางด้านที่เกี่ยวกับแสง เพราะหน่วยวัดความขุ่นนั้น บ่งบอกถึงความหยาบละเอียด สี และรูปร่างของอนุภาคสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ หน่วยวัดความขุ่นที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 3 หน่วย คือ

ก) JTU = Jackson Turbidity Unit

ข) FTU = Formazin Turbidity Unit

ค) NTU = Nephelometric Turbidity Unit

2.2.1.6 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid: TDS)

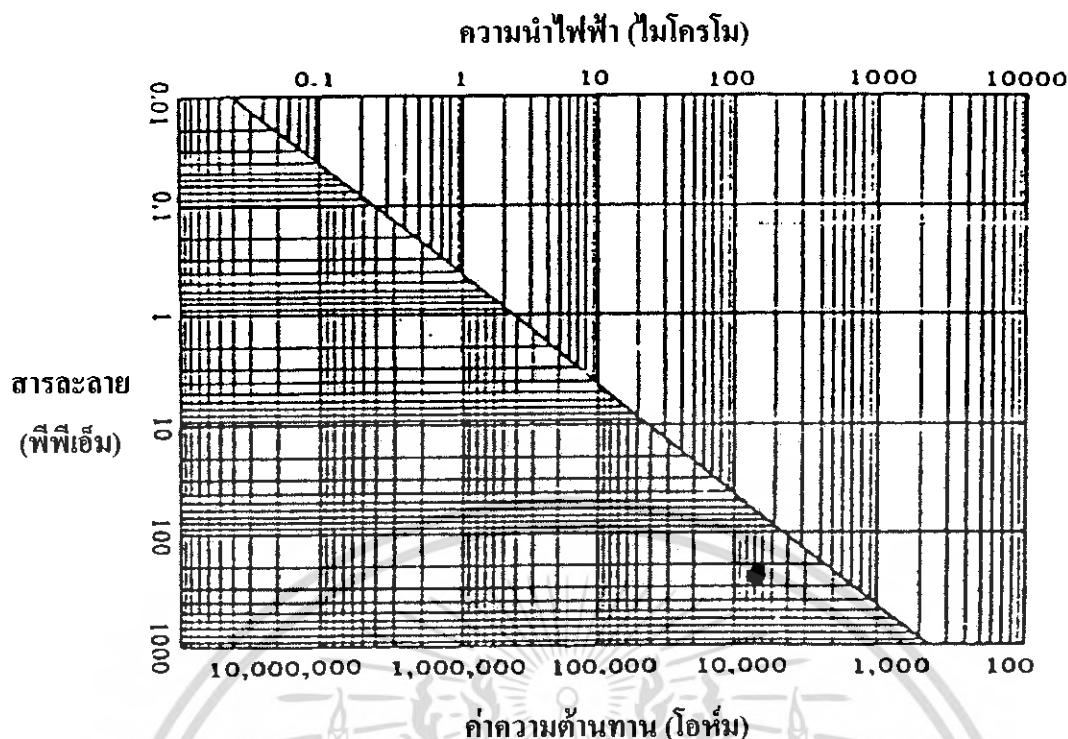
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด คือ สิ่งที่ละลายอยู่ในน้ำได้ทั้งหมด ตรวจสอบได้โดยการระเหยตัวอย่างน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีวิธีการประมาณปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้จากการวัดค่าความนำไฟฟ้า ค่านี้จะบอกถึงความสามารถที่น้ำตัวอย่างจะนำไฟฟ้าได้มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า (Ionized) อยู่ในน้ำ พวกละอุนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำมักจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น แม้ว่าความนำไฟฟ้าจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ คือ คุณสมบัติของไอออนชนิดต่างๆ ปริมาณและความเข้มข้นของประจุ (Ionic Strength) การวัดค่าการนำไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นวิธีการประมาณสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด = ค่าคงที่ X ความนำไฟฟ้า

เมื่อ ค่าคงที่อยู่ในช่วง 0.55-0.80

ความนำไฟฟ้าหาได้จากกราฟแปลงค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่าสารละลายน้ำทั้งหมด

ผังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแปลงค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่าสารละลายน้ำทั้งหมด [8]

2.2.1.7 ความเป็นกรด-เบส (pH)

ค่าความเป็นกรด-เบสเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่แตกตัวในน้ำ เพราะไม่ว่าจะเป็นน้ำหรือสารละลายเคมีอื่นๆ เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวมากขึ้นขึ้นอยู่กับสมบัติของสาร สมการที่ใช้หาความเป็นกรด-เบส แสดงดังสมการที่ 2.1

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (2.1)$$

เมื่อ $[\text{H}^+]$ คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน, โมลต่อลิตร

2.2.1.8 ความเป็นกรด (Acidity)

ความเป็นกรดของน้ำเป็นความสามารถของน้ำนั้นที่จะให้โปรตอน (H^+) พวกกรดแร่ หรือ กรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดแอสติก ตลอดจนพวกเกลือซึ่งไฮโดรไลซ์ได้ เช่น เฟอร์รัสซัลเฟต อะลูมิเนียมซัลเฟต เหล่านี้ ล้วนมีส่วนเพิ่มความเป็นกรดของน้ำ ความเป็นกรดของน้ำในธรรมชาติแบ่งเป็น 2 ประเภท

ก) ความเป็นกรดเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ ความเป็นกรดส่วนใหญ่ของน้ำในธรรมชาติ เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำให้กรดคาร์บอนิก คาร์บอนไดออกไซด์อาจเกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในน้ำโดยแบคทีเรียทั้งแบบที่ใช้

ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน น้ำธรรมชาติที่มีแร่กรดเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความเป็นกรด-เบสมากกว่า 4.5

ข) ความเป็นกรดเนื่องจากกรดแร่ (Mineral Acidity) น้ำซึ่งมีความเป็นกรดนี้จะมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 4.5 มักพบในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมถลุงโลหะ โรงงานผลิตสารอินทรีย์ น้ำตามธรรมชาติอาจมีกรดแร่ได้ เช่น ในกรณีที่น้ำไหลผ่านพวกเหมืองเก่า ๆ ซึ่งมักจะมีพวกกรดกำมะถัน เกลือของกรดกำมะถัน ซัลไฟด์ เหล็กไพไรต์ (FeS_2) อยู่ สำหรับ ซัลไฟด์ เหล็กไพไรต์ อาจถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดกำมะถัน และซัลเฟต โดยอาศัย sulfur oxidizing bacteria ภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจนดังสมการที่ 2.2 และ 2.3



เกลือของโลหะหนักบางตัว เช่น เหล็กและอลูมิเนียม เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้กรดแร่ เช่น สมการที่ 2.4 และ 2.5



ความสำคัญและประโยชน์ของค่าความเป็นกรด

- ค่าความเป็นกรดสูงเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการกัดกร่อน (Corrosion) เช่น ในระบบระบายน้ำทิ้ง น้ำเสีย แก๊ซโดยเติมอากาศหรือทำให้เป็นกลางด้วยปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมีและชีววิทยา

- สามารถใช้ค่าความเป็นกรดสำหรับปรับค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำที่จะทิ้งลงแม่น้ำลำคลอง เพื่อให้ค่าความเป็นกรด-เบสใกล้เคียงกับน้ำในธรรมชาติและไม่กระทบกระเทือนต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์ในน้ำ

- ใช้สำหรับควบคุมภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งทางชีววิทยา (Biological Process) เมื่อทราบค่าความเป็นกรดจะสามารถคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมลงไปเพื่อให้มีค่าความเป็นกรด-เบสที่ต้องการ

- ใช้ในการคำนวณปริมาณปูนขาวเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ โดยวิธีปูน-โซดา

2.2.1.9 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

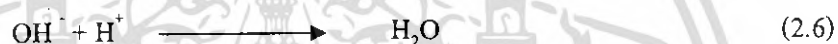
ความเป็นด่างของน้ำ คือ ความสามารถที่ฆ่าฤทธิ์กรด ความเป็นด่างมีสาเหตุเกิดจากเกลือของกรดอ่อนและบางครั้งก็เกิดจากด่างอ่อนหรือด่างแก่ น้ำธรรมชาติปกติจะมีความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 6-8 ซึ่งเกิดจากการสมดุลทางเคมีของไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

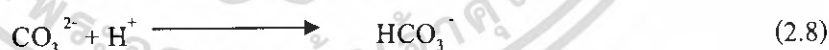
ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยไอออนต่างๆ เช่น คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) แต่ไอออนตัวอื่นๆ เช่น บอเรต (Borate) ซิลิเกต (Silicate) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ก็มีส่วนในค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) ด้วยเช่นกัน ส่วนมากจะพบว่าความเป็นด่างของน้ำในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งบางครั้งรวมโซเดียมไบคาร์บอเนตด้วย

ความเป็นด่างของน้ำหาได้โดยการไทเทรตตัวอย่างน้ำกับกรดซัลฟิวริกมาตรฐานเข้มข้น 0.02 นอร์มัล มีหน่วยเป็นพีพีเอ็มหรือมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (ppm or mg/l as CaCO_3) ความเป็นด่างจะมีค่าสัมพันธ์อยู่กับค่าความเป็นกรด-เบสที่เป็นจุดเปลี่ยนสีของสารละลายฟีนอล์ฟทาเลินและเมทิลออเรนจ์ ความเป็นด่างแสดงได้ 3 แบบ คือ

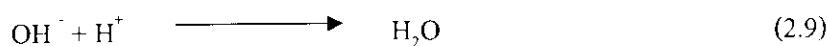
ก) ความเป็นด่างไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Alkalinity) หมายถึง ค่าความเป็นด่างที่หาได้จากตัวอย่างน้ำที่เติมแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) แล้วไทเทรตกับกรดจนถึงความเป็นกรด-เบส 8.3 ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนสีของสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน ความเป็นด่างนี้จะเกิดจากไฮดรอกไซด์ และไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ ปฏิกิริยาที่เกิดดังสมการที่ 2.6



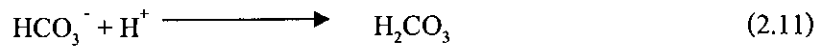
ข) ความเป็นด่างฟีนอล์ฟทาเลิน (Phenolphthalein Alkalinity or P-Alkalinity) หมายถึง ค่าความเป็นด่างที่หาได้จากการไทเทรตกับกรดจนถึงความเป็นกรด-เบส 8.3 ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนสีของสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน ความเป็นด่างฟีนอล์ฟทาเลินจะประกอบด้วยความเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ทั้งหมด และเนื่องจากคาร์บอเนตเพียงครึ่งหนึ่งของคาร์บอเนตทั้งหมด น้ำธรรมชาติที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อิสระละลายอยู่จะไม่มีค่าความเป็นด่างฟีนอล์ฟทาเลิน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.7 และ 2.8



ค) ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์ (Methyl Alkalinity or M-Alkalinity) บางครั้งเรียกว่า ความเป็นด่างทั้งหมด หมายถึง ค่าความเป็นด่างที่ได้จากการไทเทรตกับกรดจนถึงความเป็นกรด-เบส 4.5 ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนสีของสารละลายเมทิลเรนจ์ ความเป็นด่างทั้งหมดจะเกิดจากไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และเกลือของกรดอ่อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.9 ถึง 2.11

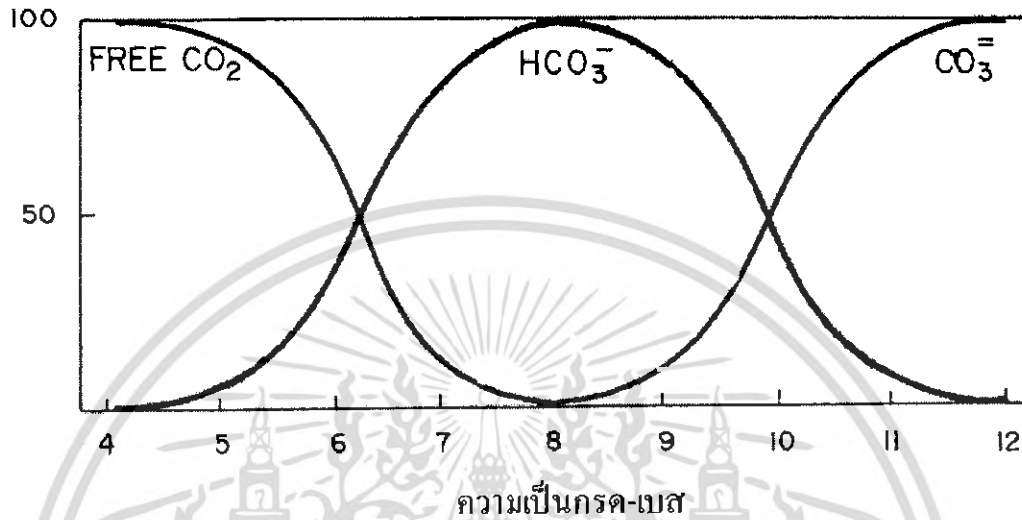


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างในรูปแบบต่างๆ กับความเป็นกรด-เบสแสดงในรูปที่ 2.3

ร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างในรูปแบบต่างๆ กับความเป็นกรด-เบส [8]

ความเป็นด่างมีความสำคัญต่อกระบวนการปรับสภาพน้ำ การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะในน้ำ น้ำในหม้อไอน้ำมีทั้งความเป็นด่างคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจากไบคาร์บอเนตในน้ำสลายตัว เมื่อน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำจะไม่ละลายในน้ำต่อไปอีก แต่จะระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้สมดุลความเป็นด่างเปลี่ยนจากไบคาร์บอเนตเป็นคาร์บอเนต และจากคาร์บอเนตเป็นไฮดรอกไซด์

2.2.1.10 ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้างของน้ำเกิดขึ้นจากเกลือแร่ประเภทที่มีประจุไฟฟ้าสองบวกขึ้นไป ละลายเจือปนอยู่ ระดับความกระด้างของน้ำแบ่งออกได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับความกระด้างของน้ำ [8]

ความกระด้าง ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (พีพีเอ็ม)	สภาพน้ำ
0-50	น้ำอ่อน
50-100	ค่อนข้างอ่อน
100-150	กระด้างเล็กน้อย
150-250	ค่อนข้างกระด้าง
250-350	กระด้าง
มากกว่า 350	กระด้างมาก

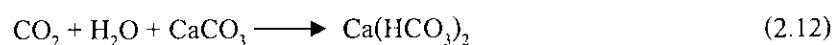
น้ำที่มีความกระด้างปานกลางขึ้นไปจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการผลิตทางอุตสาหกรรมหลายประการ เช่น ทำให้ท่อน้ำอุดตัน เกิดตะกรันจับภายในหม้อไอน้ำ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์บางประเภทไม่ได้มาตรฐาน เช่น ส่วนผสมของเกลือแร่ผิดไปหรือมีตะกรันจับเกาะติดอยู่ เป็นต้น

ไอออนสำคัญที่ทำให้เกิดความกระด้าง คือ แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) และอาจจะมีธาตุอื่นๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส และสตรอนเชียม (Sr) อยู่เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมและแมกนีเซียม ธาตุทั้งสองนี้จะรวมตัวกับประจุลบ เช่น ไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และคลอไรด์ (Cl^-) ละลายเจือปนอยู่ในน้ำ ซิลิกา (SiO_2) ซึ่งไม่ใช่ความกระด้างโดยตรงก็ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องตะกรันได้ ความกระด้างแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

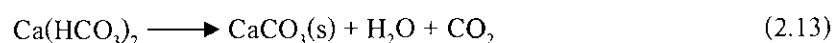
ก. ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) คือ ผลรวมของความกระด้างแคลเซียม (Calcium Hardness) และความกระด้างแมกนีเซียม (Magnesium Hardness) การรายงานผลการวิเคราะห์น้ำอาจจะเป็นความเข้มข้นของไอออนของแคลเซียมหรือแมกนีเซียม หรือในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

ข. ความกระด้างชั่วคราว (Temporary Hardness หรือ Carbonate Hardness) คือ ความกระด้างที่อยู่ในรูปของเกลือไบคาร์บอเนตจะสลายตัวเมื่อถูกความร้อน

โดยธรรมชาติน้ำจะเกิดความกระด้างเนื่องมาจากการสัมผัสกับแหล่งเกลือ โดยเฉพาะพวกหินปูนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ 2.12 และ 2.13



และเมื่อถูกความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมคาร์บอเนตละลายน้ำได้น้อยมากก็จะตกตะกอนกลายเป็นตะกรัน และยังคงมีเกลือคาร์บอเนตบางส่วนละลายน้ำอยู่

ค. ความกระด้างถาวร (Permanent Hardness หรือ Non-Carbonate Hardness) คือ ความกระด้างที่อยู่ในรูปเกลือแร่อื่นที่ไม่ใช่ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต เช่น เกลือคลอไรด์ และซัลเฟต เป็นต้น เช่น แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) และแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) ซึ่งความร้อนจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นด่างและความกระด้าง

ในน้ำธรรมชาติทั่วไปซึ่งมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 6.5-8.0 ค่าความเป็นด่างก็คือความกระด้างคาร์บอเนต เนื่องจากค่าความเป็นด่างของน้ำธรรมชาติจะประกอบด้วยไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตที่อยู่ในน้ำ ซึ่งจะสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างและความกระด้างได้ดังนี้คือ

- ถ้าความกระด้างทั้งหมด เท่ากับหรือน้อยกว่าค่าความเป็นด่างคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตแล้ว ค่าความกระด้างทั้งหมดจะเท่ากับค่าความกระด้างคาร์บอเนต โดยค่าความกระด้างถาวรจะมีค่าเท่ากับศูนย์

- ถ้าความกระด้างทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าความเป็นด่างคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตแล้ว ค่าความกระด้างถาวรจะมีค่าเท่ากับค่าความกระด้างทั้งหมดลบด้วยค่าความกระด้างคาร์บอเนต

ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility)

ความสามารถในการละลายน้ำของสารต่างๆ ในการลดความกระด้างโดยวิธีการเติมสารเคมีนั้นเป็นการใช้ปฏิกิริยาให้เกิดการตกตะกอน (Precipitation) ออกมา ซึ่งเป็นการอาศัยความสามารถในการละลายน้ำของสารต่างๆ ให้ตกตะกอนหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ตารางที่ 2.3 สรุปค่าความสามารถในการละลายน้ำของสารเคมีที่ใช้ในการลดความกระด้าง

การลดความกระด้างของน้ำโดยวิธีการนี้คือการเปลี่ยนความกระด้างแคลเซียมให้อยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตและความกระด้างแมกนีเซียมให้อยู่ในรูปแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) ซึ่งมีความสามารถละลายน้ำได้น้อยที่สุด

ตารางที่ 2.3 ค่าความสามารถในการละลายของสารเคมีที่ใช้ในการลดความกระด้าง [9]

สารเคมี	สูตร	น้ำหนัก โมเลกุล	น้ำหนัก สมมูล	ค่าความสามารถในการละลายที่ 68 องศาฟาเรนไฮต์ กรัมต่อน้ำ 100 มล.
แคลเซียมคาร์บอเนต	CaCO ₃	100	50	0.0014
แคลเซียมออกไซด์	CaO	56	28	0.2
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	Ca(OH) ₂	74	37	0.2
แคลเซียมซัลเฟต	CaSO ₄	136	68	0.2
แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	Mg(OH) ₂	58	29	0.002
แมกนีเซียมคาร์บอเนต	MgCO ₃	84	42	0.01
โซเดียมคาร์บอเนต	Na ₂ CO ₃	106	53	21.5
โซเดียมอะลูมิเนต	Na ₂ Al ₂ O ₄	164	164	40.0
โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	40	40	109.0
อะลูมิเนียมซัลเฟต	Al ₂ (SO ₄) ₃	342	57	71

แผนภาพแท่ง (Bar Diagram)

แสดงสารละลายในน้ำ การใช้แผนภาพแท่งช่วยในการแสดงปริมาณสารละลายในน้ำทั้งก่อนและหลังลดความกระด้างจะอำนวยความสะดวกในการคำนวณและมองเห็นภาพ แผนภาพแท่งอาจใช้หน่วยเป็น มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตหรืออาจใช้หน่วยน้ำหนักสมมูลต่อลิตร (Milli equivalents/liters: meq/l) ก็ได้ การใช้หน่วย มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต จะแสดงให้เห็นภาพของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำ ส่วนหน่วยน้ำหนักสมมูลต่อลิตรจะสะดวกในการคำนวณ

- สูตรการหาน้ำหนักสมมูลต่อลิตรของสารแต่ละชนิด

น้ำหนักสมมูลต่อลิตร = มก./ล. ของสารที่ละลายน้ำ/น้ำหนักสมมูลของสาร

- สูตรการหา มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตของสารแต่ละชนิด

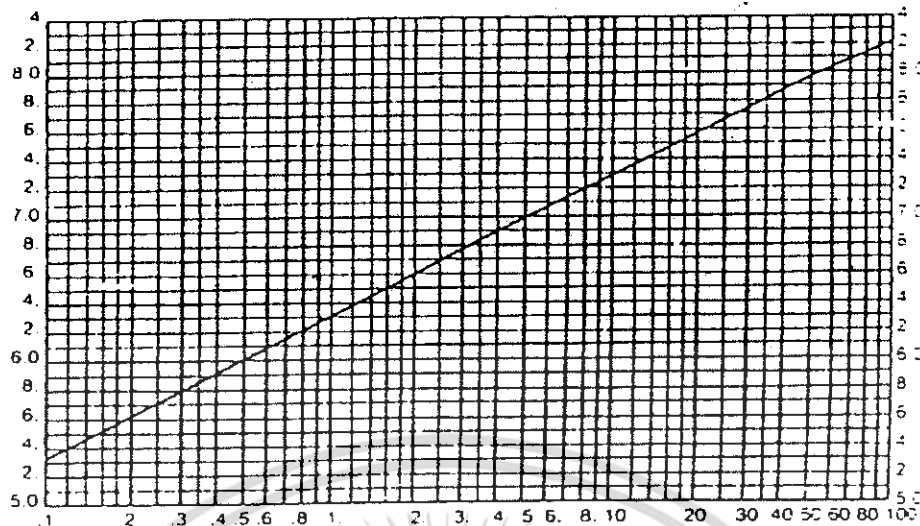
มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต = (มก./ล. ของสารที่ละลายในน้ำ x 50)/
น้ำหนักสมมูลของสาร

ความสัมพันธ์ของความเป็นด่างเมทิลเรนจ์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตามที่ได้กล่าวแล้วว่าในน้ำธรรมชาติทั่วไปจะมีค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ระหว่าง 6.5-8.0 และเนื่องจากในน้ำจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่เสมอ ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-เบส ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์และปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นกรด-เบส



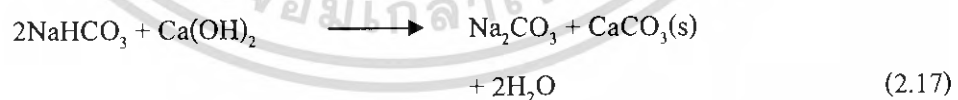
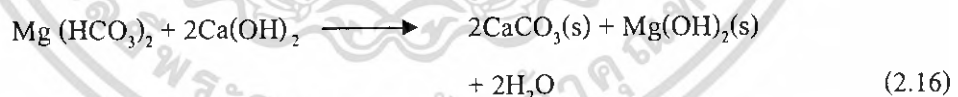
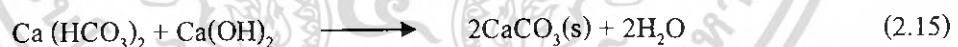
อัตราส่วนความเป็นด่างเมทิลเรนจ์ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
(มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต/ มก./ล. ของคาร์บอนไดออกไซด์)

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบส ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์ (M-Alkalinity) กับ
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ [8]

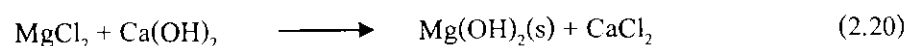
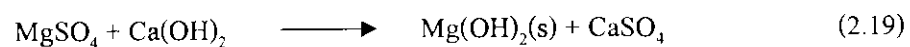
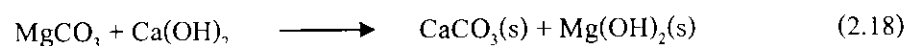
ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการลดความกระด้าง

- ปฏิกิริยาลดความกระด้างชั่วคราวหรือความกระด้างคาร์บอเนต โดยใช้ปูนขาว

ดังสมการที่ 2.14 ถึง 2.17

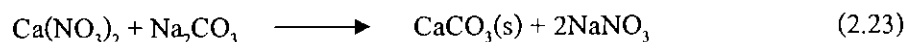
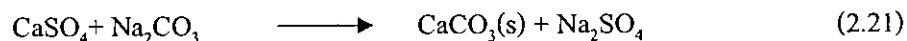


และปฏิกิริยาลดความกระด้างแมกนีเซียมทั้งหมดด้วยปูนขาวดังสมการที่ 2.18 ถึง 2.20

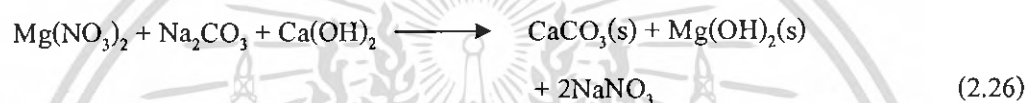
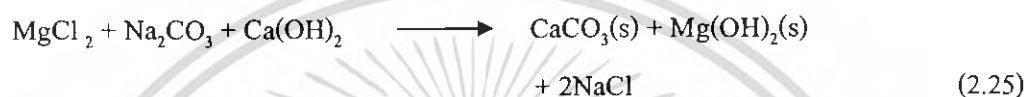
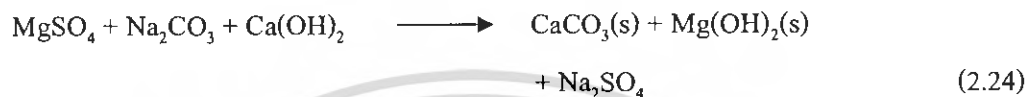


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

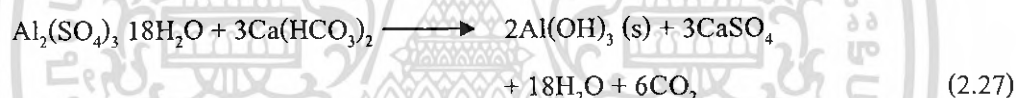
- ปฏิกริยาลดความกระด้างถาวรหรือความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตโดยใช้โซดาแอสดังสมการที่ 2.21 ถึง 2.23



และปฏิกริยาลดความกระด้างถาวรแมกนีเซียมดังสมการที่ 2.24 ถึง 2.26



- กระบวนการรวมตัวหรือโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารสร้างตกตะกอน คือ สารส้ม ดังสมการที่ 2.27



2.2.2 กระบวนการลดความกระด้าง

กระบวนการลดความกระด้างโดยการเติมสารเคมีมี 4 วิธี ขึ้นอยู่กับว่าต้องการลดความกระด้างประเภทใดและลดความกระด้างลงให้เหลืออยู่เท่าไร การเติมสารเคมีเพื่อลดความกระด้างจะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำออกไปก่อน

2.2.2.1 กระบวนการปูนขาวตรง (Straight Lime) เป็นวิธีการเติมเคมีให้เหมาะสมกับความกระด้างที่ต้องการกำจัด ใช้กับน้ำที่มีความกระด้างแคลเซียมคาร์บอเนตสูง แมกนีเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่า 40 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต และไม่มี ความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนต ถ้ามีความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนตก็จะไม่ถูกกำจัดออก กระบวนการนี้จะใช้ในการลดความกระด้างแคลเซียมและกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสำคัญ

2.2.2.2 กระบวนการปูนขาวส่วนเกิน (Excess Lime) เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับน้ำที่มีทั้งความกระด้างแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนตสูง และไม่มี ความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนต ถ้ามีความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนตก็จะไม่ถูกกำจัดออก

2.2.2.3 กระบวนการปูนขาว-โซดาแอชตรง (Straight Lime-Soda Ash) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับน้ำที่มีความกระด้างแคลเซียมคาร์บอเนตสูง แมกนีเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่า 40 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนตและมีความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนต

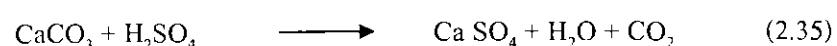
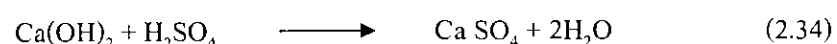
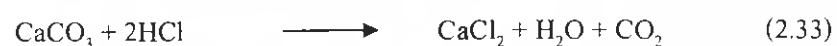
2.2.2.4 กระบวนการปูนขาว-โซดาแอชส่วนเกิน (Excess Lime-Soda Ash) เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับน้ำที่มีทั้งความกระด้างแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนตสูง และมีความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนต

การปรับค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำอ่อน น้ำอ่อนที่ผ่านกระบวนการปูนขาวตรง จะมีค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 10 ขึ้นไป และน้ำอ่อนที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน จะมีค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 11 ขึ้นไป ซึ่งน้ำอ่อนนี้จะไม่มีความเสถียรและมีโอกาสที่จะตกตะกอน เกิดตะกอนอุดตันถังกรองทรายและระบบท่อส่งน้ำ ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้ต่ำลงเพื่อป้องกันการอุดตัน วิธีการที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

ก) การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Recarbonation) วิธีนี้เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปล่องควันปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถเดินท่อต่อเข้ามาที่ระบบผลิตน้ำอ่อน วิธีการนี้สามารถลดค่าความเป็นกรด-เบส ให้ลงเหลือประมาณ 8.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตที่มีอยู่ ดังสมการที่ 2.28 ถึง 2.31



ข) การเติมกรด (Acid Addition) วิธีนี้เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีปล่องควันปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าใช้จ่ายจะสูงกว่าวิธีแรก แต่จะสามารถปรับค่าความเป็นกรด-เบสลงได้ตามค่าที่ต้องการ กรดที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการที่ 2.32 ถึง 2.35



การใช้กรดจะทำให้เกิดความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนตขึ้น ควรจะหลีกเลี่ยงการใช้กรดซัลฟิวริก เพราะแคลเซียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อตกเป็นตะกอนแล้ว จะล้างทำความสะอาดออกลำบาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับเกลือแมกนีเซียมก็จะคล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ส่วนประกอบและอุปกรณ์สำหรับระบบลดความกระด้าง

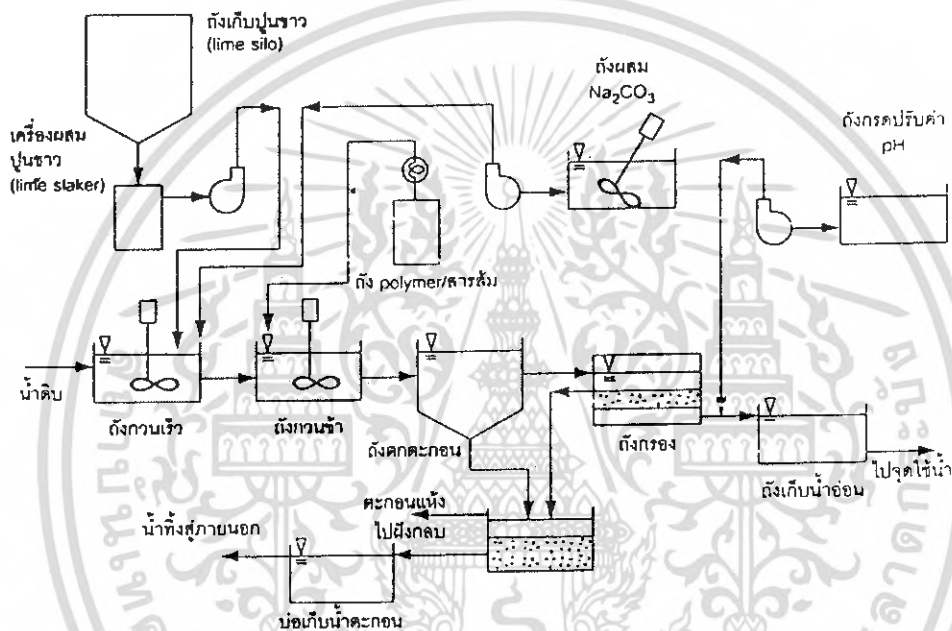
ระบบลดความกระด้างแบบกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบลดความกระด้างแบบปูนขาวส่วนเกิน แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ระบบเติมเคมี เช่น ปูนขาว โซดาแอช กรด และพอลิเมอร์

2.2.3.2 ถังกวนเร็วและถังกวนช้า

2.2.3.3 ถังตกตะกอน

2.2.3.4 ถังกรอง เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ เนื่องจากการตกตะกอนจะไม่สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องกรองสิ่งแขวนลอยที่หลุดออกจากถังตกตะกอน



รูปที่ 2.5 ผังการไหลของระบบลดความกระด้างแบบปูนขาวเย็น [9]

2.2.3.5 ระบบการจัดการตะกอนและน้ำทิ้ง สามารถกำจัดตะกอนได้ 3 วิธี คือ

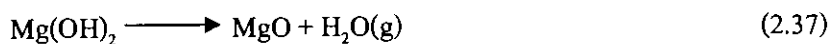
ก) นำไปทิ้งในที่ฝังกลบขยะได้เนื่องจากตะกอนส่วนใหญ่เป็นสารหินปูนและแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ข) นำไปผสมกับดินที่เป็นกรด เพื่อปรับสภาพดินให้มีค่าความเป็นกรด-เบสที่เป็นกลางหรือเป็นด่างได้ตามความเหมาะสม

ค) เผาเพื่อให้ได้ปูนขาวและแมกนีเซียมมาใช้งานได้ใหม่ดังสมการที่ 2.36 และ 2.37 ในกรณีของระบบที่ค่อนข้างใหญ่และใช้ปูนขาวจำนวนมาก การนำกลับมาใช้ใหม่อาจจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



น้ำตะกอนที่ผ่านการกรองลานทรายก็อาจจะทิ้งออกสู่ภายนอก หรือใช้ในการรดน้ำสนามหญ้าและต้นไม้หรืออาจจะนำน้ำกลับมาใช้ผสมกับน้ำดิบเพื่อใช้งานอีกเช่นเดียวกัน

2.2.4 ผลพลอยได้จากการใช้กระบวนการลดความกระด้างแบบเติมสารเคมี

2.2.4.1 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำอ่อนลดลงจากน้ำดิบ ซึ่งจะสามารถใช้ซ้ำที่หอหล่อเย็น (Cooling Tower)

2.2.4.2 สามารถลดค่าเหล็กและแมงกานีสให้น้อยลง

2.2.4.3 ลดค่าความขุ่นและสีของน้ำดิบ ทำให้น้ำมีสีใสสะอาด

2.2.4.4 สามารถฆ่าแบคทีเรีย และ ไวรัสบางประเภทได้จากการที่ปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้สูงหรือใช้ความร้อนจากไอน้ำ

2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน [10-11]

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน การเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยแบคทีเรียหลายชนิดช่วยย่อยสลายสารปนเปื้อน วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการที่ทำให้สารปนเปื้อนในน้ำเสียและกากตะกอนเกิดการย่อยสลายจนได้สารที่คงที่และไม่ย่อยสลายต่อไป

2.3.1 ลักษณะทั่วไป

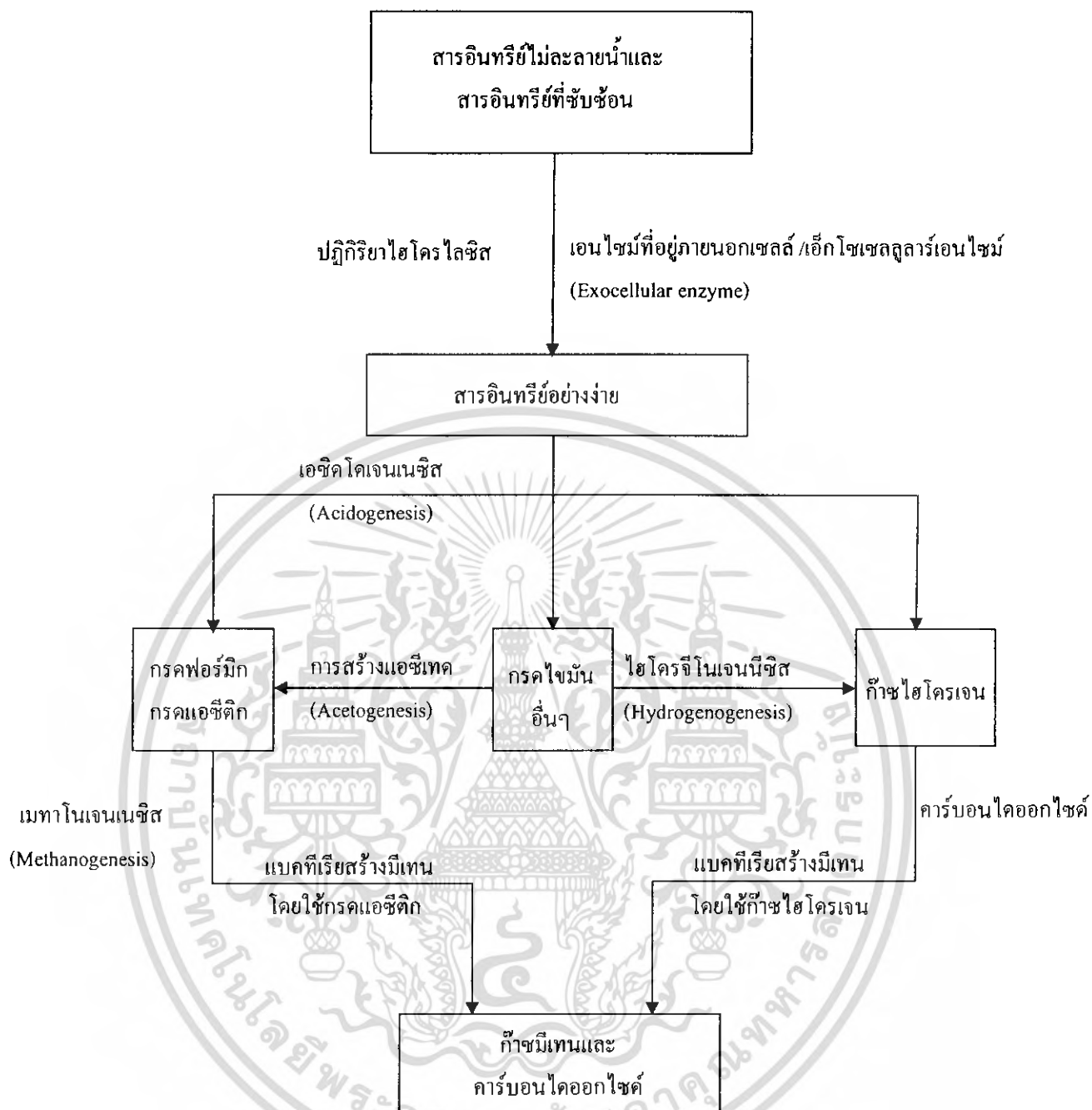
ภายในถังปฏิกิริยาหรือถังย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกขนส่งผ่านเข้าไปในเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้เลย ส่วนสารประกอบที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะต้องถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กจนสามารถถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดส์หลายครั้ง จนในที่สุดกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้ายมีหลายขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยสังเขป ปฏิกิริยาที่ใช้ลดขนาดของสารอินทรีย์เพื่อให้สามารถนำเข้าไปในเซลล์ได้มักเป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งใช้เอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลขนาดเล็กที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปรีดิวซ์และรูปออกซิไดส์ ผลิตภัณฑ์เป็นรูปออกซิไดส์ส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Acids) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้ เรียกว่า เอซิดโคเจเนซิส (Acidogenesis) และแบคทีเรียที่ใช้ เรียกว่า แบคทีเรียสร้างกรด ส่วนผลผลิตที่เป็นรูปรีดิวซ์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและภาวะแวดล้อมของเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แบคทีเรียบางตัวสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดแอซิดิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกริยาหลังที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจเนซิส (Hydrogenogenesis) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน นักวิทยาศาสตร์จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non-Methanogenic Bacteria) แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งสามารถย่อยสลายไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดแอซิดิก เพื่อสร้างก๊าซมีเทน แบคทีเรียประเภทหลังนี้ เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

แบคทีเรียประเภทนี้ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) และพวกที่ใช้ออกซิเจนได้บ้าง (Facultative Anaerobes) ผลปฏิกิริยาที่ได้จึงเป็นไปได้ต่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้ว ผลปฏิกิริยาที่เป็นโมเลกุลอย่างง่าย เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก กรดแอสिटิก และเมทานอล ถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนผลปฏิกิริยาอย่างอื่นที่เกิดขึ้นด้วยต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดแอสिटิกหรือไฮโดรเจนหรือสารโมเลกุลอย่างง่ายตัวอื่นก่อนจึงจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้

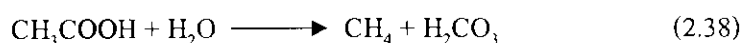
ในปัจจุบันปรากฏว่าแบคทีเรียประเภทที่ไม่สร้างมีเทนที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่มีบทบาทสำคัญในฐานะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดแบบธรรมดาและแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาที่สร้างไฮโดรเจน เช่น ปฏิกิริยาฟอสฟอโรคลาสติก (Phosphoroclastic) สามารถสร้างกรดแอสिटิกได้จากสารอินทรีย์อื่นด้วย นักวิจัยพบว่าไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นหากสะสมตัวภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนขึ้นมา แต่ยั้งดีที่ว่าไฮโดรเจนถูกใช้รีดิวส์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างและไม่สร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนสร้างกรดแอสिटิกและสารอินทรีย์อย่างง่ายให้เป็นอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่ไม่สามารถมีเทน ลักษณะการดำรงชีวิตร่วมกันของแบคทีเรีย 2 กลุ่มดังกล่าวเรียกว่า มีชีวิตแบบ syntrophic

2.3.3 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน

งานวิจัยต่างๆ ได้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่บอบบางและเลือกชนิดอาหารมาก เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย หรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงความเป็นกรด-เบสระหว่าง 6.8-9.2 เป็นต้น ตารางที่ 2.4 เป็นรายชื่อของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งจะเห็นได้ว่าซับสเตรดที่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนทุกกลุ่มสามารถใช้ได้มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิก มีเพียงกลุ่มเดียวที่ใช้กรดแอสिटิกและเมทานอลได้

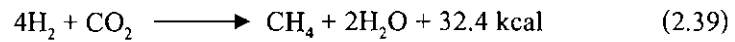
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดแอสिटิก (Obligate Acetoclastic Methanogen) คือ แบคทีเรียที่สามารถใช้กรดแอสिटิกเป็นแหล่งของคาร์บอนและแหล่งของพลังงานได้เพียงสารเดียว ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดแอสिटิกแสดงในสมการที่ 2.38 ได้เพียงอย่างเดียว โดยใช้เป็นแหล่งพลังงาน

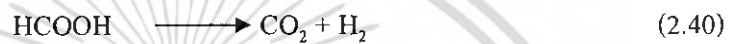


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen) คือแบคทีเรียที่สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งของพลังงานและใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอนเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเรียกว่าเป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2 Utilizer) ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนแสดงในสมการที่ 2.39



แบคทีเรียชนิดนี้นอกจากสามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนแล้วยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารตั้งต้นได้ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่ายดังสมการที่ 2.40



3. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนหรือกรดแอซีติก (Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen) คือแบคทีเรียที่สามารถใช้ทั้งกรดแอซีติกหรือก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซมีเทน แต่อย่างไรก็ตามแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความชอบใช้ไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นมากกว่าใช้กรดแอซีติก

ตารางที่ 2.4 การจัดหมู่ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เป็นเชื้อบริสุทธิ์ [10]

สกุลและชนิดของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน	ซับสเตรค
Methanobacterium formicium DSM 863	H_2 , CO_2 , Formate
Methanobacterium thermoautotrophicum ΔH	H_2 , CO_2
Methanobacterium bryantii M.O.H.	H_2 , CO_2
Methanobacterium wolfei DSM 2970	H_2 , CO_2
Methanobacterium uliginosum P2St	H_2 , CO_2
Methanobacterium alcaliphilum WeN4	H_2 , CO_2
Methanobrevibacter ruminantium M1	H_2 , CO_2 , Formate
Methanobrevibacter smithii PS	H_2 , CO_2 , Formate
Methanobrevibacter arboriphilicus DH1	H_2 , CO_2
Methanothermus fervidus DSM 2088	H_2 , CO_2
Methanococcus vanniellii DSM 1224	H_2 , CO_2 , Formate
Methanococcus voltae PS	H_2 , CO_2 , Formate
Methanococcus thermolithotrophicus DSM 2095	H_2 , CO_2 , Formate
Methanococcus maripaludis JJ	H_2 , CO_2 , Formate
Methanococcus jannaschii JAL-1	H_2 , CO_2
Methanococcus halophilus INMIZ-7982	Methanol, Trimethylamine
Methanospirillum hungatei JF1	H_2 , CO_2 , Formate

ตารางที่ 2.4 การจัดหมู่ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เป็นเชื้อบริสุทธ์ (ต่อ)

สกุลและชนิดของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน	ข้อสนเทศ
Methanomicrobium mobile BP	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanomicrobium paynteri G-2000	H ₂ , CO ₂
Methanogenium cariaci JR1	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanogenium marisnigri JR1	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanogenium thermophilicum CR1	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanogenium aggregansMS1	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanogenium bourgense MS2	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanosarcina barkeri MS	H ₂ , CO ₂ , Methanol, Trimethylamine, Acetate
Methanosarcina mazei S+6	Methanol, Trimethylamine, Acetate
Methanosarcina acetivorans C2A	H ₂ , CO ₂ , Methanol, Trimethylamine
Methanosarcina thermophila TM-1	Acetate
Methanoplanus limicola DSM 2279	Methanol, Trimethylamine, Acetate
Methanococcoides methylutens TMA-10	H ₂ , CO ₂ , Formate
Methanolobus tindarius Tindari 3	Methanol, Trimethylamine
Methanotherix soehngenii Opfikon	Methanol, Trimethylamine
Methanotherix concilii GP6	Acetate
Methanospaera stadmanae MCB-3	Acetate Methanol, H ₂

2.3.4 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.7 ประกอบด้วย

- 1) ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)
- 2) การสร้างกรดหรือเอซิด โดเจนเนซิส (Acidogenesis)
- 3) การสร้างแอซีเทต (Acetogenesis)
- 4) การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ทั้ง 4 ขั้นตอน ต้องอาศัยแบคทีเรีย 3 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรียสร้างแอซีเทต แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน [9]

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาวตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายนี้นี้

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น แอซีติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตก๊าซไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของ substrates และความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen Partial Pressure) ที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างแอสिटเตตจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

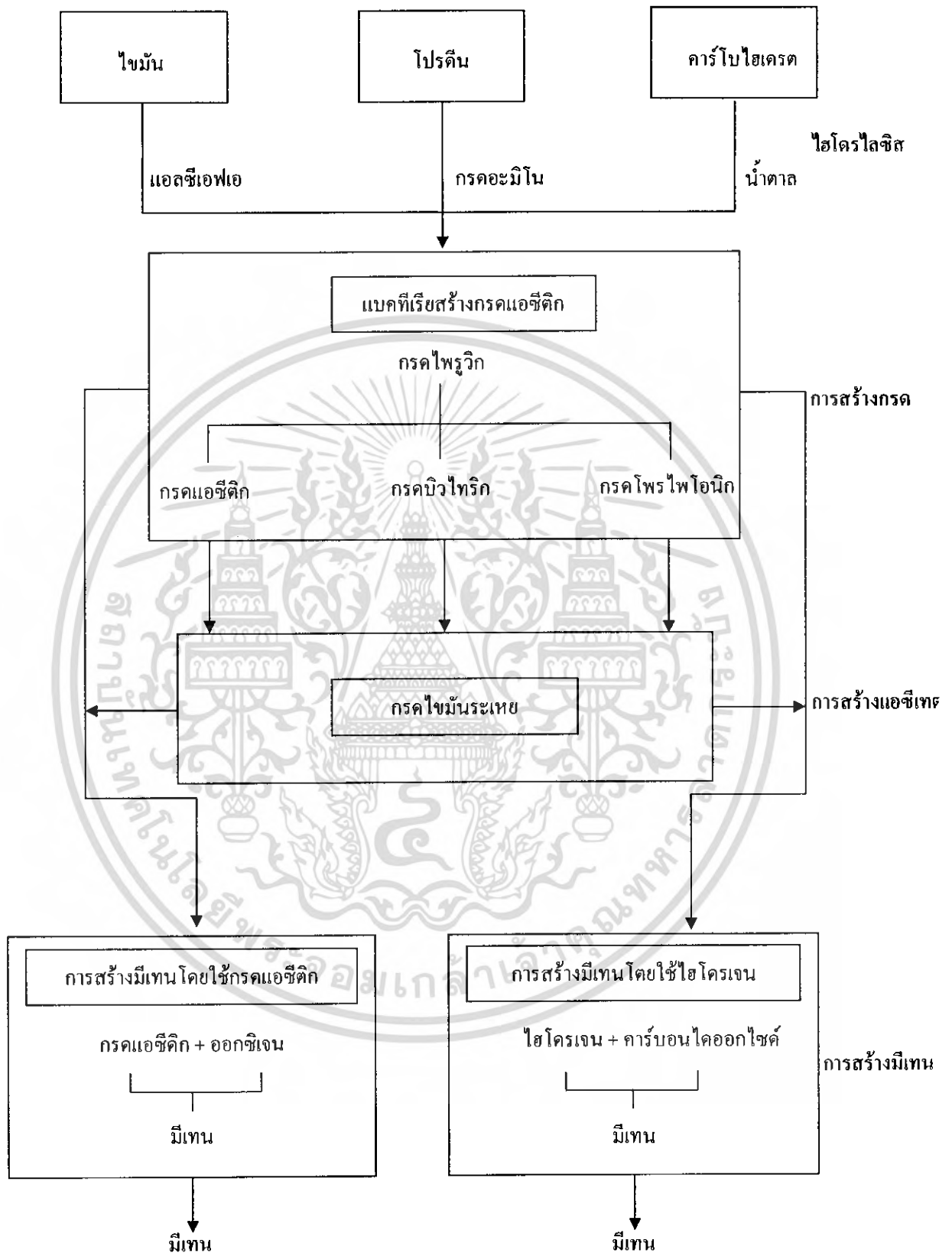
แบคทีเรียแอสिटโตเจนิกหรือแบคทีเรียสร้างแอสिटเตตมีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการ substrates เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดแอซีติก กรดฟอร์มิก ก๊าซไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) สำหรับกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมคือ กรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ไม่อาจใช้เป็น substrates ที่ผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียแอสिटโตเจนิกมีความสามารถในการย่อยสลายกรดบิวไทริกและกรดโพรไพโอนิกให้กลายเป็นกรดแอซีติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่มีความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ ตามลำดับ

ขั้นตอนการสร้างแอสिटเตตจากกรดไขมันระเหยนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะที่ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดแอซีติกได้ภายใต้ภาวะความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนสูง

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน

แบคทีเรียใช้กรดแอซีติกและก๊าซไฮโดรเจนสร้างก๊าซมีเทนภายใต้ภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด ดังสมการที่ 2.41 และ 2.42





รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต แบบไม่ใช้ออกซิเจน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.3.5.1 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากชนิดหนึ่งในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนเป็นแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายแบบนี้และเป็นแบคทีเรียที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก ดังนั้นจึงต้องมีการระมัดระวังในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบควรมีความผันแปรไม่เกิน 5%

2.3.5.2 ความเป็นกรด-เบส เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของแบคทีเรียในถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน ถ้าค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าที่ไม่เป็นกลางการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้งทำให้ระบบการย่อยสลายทั้งระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมความเป็นกรด-เบสอาจจะต้องมีการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาวหรือโซเดียมคาร์บอเนต

2.3.5.3 เวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังย่อยสลาย (Retention time) ต้องเป็นเวลาที่เหมาะสมและเพียงพอที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์

2.3.5.4 สารพิษ (Toxicant) สารพิษที่ปนเปื้อนในน้ำเสียมียุทธศาสตร์แสดงในตารางที่ 2.5 ยกตัวอย่างเช่น ซัลไฟด์มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน นอกจากนั้นพบว่ายังมีสารพิษอีกหลายชนิดปนเปื้อนในน้ำเสียที่ทำให้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนล้มเหลว การตรวจวัดความล้มเหลวของระบบดังกล่าวสามารถดูจากปริมาณก๊าซมีเทนที่ลดลงและปริมาณของกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายสูงขึ้นเนื่องจากสารพิษจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถเปลี่ยนสาร โมเลกุลใหญ่ชนิดต่างๆ ในน้ำเสียไปเป็นกรดระเหยง่าย (Volatile Acid) และเปลี่ยนจากกรดที่ระเหยง่ายไปเป็นกรดแอซิดิก เพราะแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม สามารถใช้กรดแอซิดิกและก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนได้ แต่ถ้ามีปริมาณกรดแอซิดิกจำนวนน้อยจะทำให้แบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์เอาชนะแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนได้ เพราะแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์มีความสามารถในการจับสารตั้งต้นหรือตัวให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่าแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นถ้ากรดแอซิดิกในระบบเกิดขึ้นในปริมาณน้อยจะทำให้ขั้นตอนสุดท้ายในถังย่อยสลายแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาสัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction) ได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และทำให้ระบบล้มเหลวได้

ตารางที่ 2.5 ประเภทของสารพิษต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน [11]

ประเภทของสารพิษ	ชนิดของสารพิษ
สารอินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> - ฟีนอล - สารประกอบฟีนอล - คลอโรฟอร์ม
สารอนินทรีย์ พิษสูง	<ul style="list-style-type: none"> - โลหะหนัก เช่น โครเมียม นิกเกิล สังกะสี ทองแดง และสารหนู - ไซยาไนต์
พิษต่ำ	<ul style="list-style-type: none"> - โซเดียม - แคลเซียม - โพแทสเซียม - แมงกานีส - เหล็ก

2.3.6 ข้อดีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเปรียบเทียบกับแบบที่ใช้ออกซิเจน

2.3.6.1 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนเหมือนกับกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน การใช้ก๊าซออกซิเจนในระบบบำบัดแบบที่ใช้ออกซิเจนทำให้มีค่าใช้จ่ายในปริมาณสูง แต่กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนซึ่งเป็นก๊าซที่พบได้ในสิ่งแวดล้อมทุกระบบ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับถังย่อยสลายระบบนี้

2.3.6.2 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่มีการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นในกระบวนการดังกล่าวจึงผลิตกากตะกอนหรือเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่ในปริมาณที่น้อยกว่าซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอนในขั้นตอนต่อไป

2.3.6.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะผลิตก๊าซที่เป็นประโยชน์คือ ก๊าซมีเทนที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นก๊าซหุงต้มหรือนำมาเผาไหม้เพิ่มความร้อนหรือนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ซึ่งจะเป็นการทำให้เกิดรายได้มาทดแทนค่าใช้จ่ายบางส่วน

2.3.6.4 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.5 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่สามารถรับการเติมสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง

2.3.7 ข้อเสียของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.3.7.1 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนใช้เวลาในการย่อยสลายสารปนเปื้อนนานกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบที่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

2.3.7.2 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอนรวมทั้งขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความไวต่อสารพิษ ดังนั้นจึงทำให้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงมีความไวต่อสารพิษได้มากกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบที่ใช้ออกซิเจน

2.3.7.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีเวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นของการทำงาน (Start-up) นานกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตช้า

2.3.7.4 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องมีการป้อนสารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นในปริมาณที่สูงและเป็นระบบที่ไม่สามารถปรับตัวได้ดีกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสีย ค่าบีโอดี อุณหภูมิ และสภาวะแวดล้อมอื่นๆ

2.3.7.5 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีกลิ่นเหม็นรวมทั้งยังสามารถทำปฏิกิริยากับ โลหะหรือโลหะหนักทำให้น้ำเสียนี้อุดตันและทำให้ระบบการย่อยสลายล้มเหลวได้

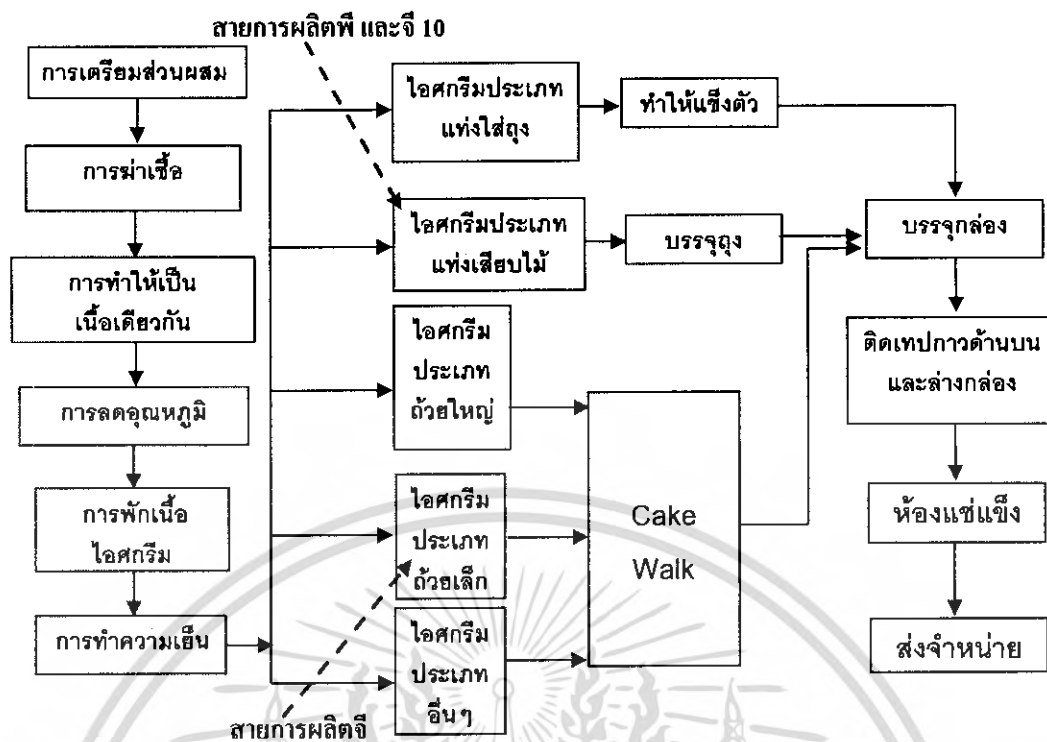
บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีม

กระบวนการผลิตไอศกรีมทุกสายการผลิตเป็นกระบวนการผลิตแบบกะ (Batch) มีขั้นตอนการผลิต 9 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 คือ

- 1) การเตรียมส่วนผสม เช่น น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หางนม น้ำตาล ในถังผสมวัตถุดิบ (Mixing Tank)
- 2) การนำเชื้อในส่วนผสมที่ได้จากถังผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องพาสเจอร์ไรเซอร์ (Pasteurizer) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 29 วินาที
- 3) การทำให้องค์ประกอบต่างๆ ของเนื้อไอศกรีม เช่น น้ำตาล หางนม หรือผงช็อกโกแลตผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization)
- 4) การลดอุณหภูมิ (Cooling Process) ของเนื้อไอศกรีมจาก 80-90 องศาเซลเซียส ให้เหลือประมาณ 4 องศาเซลเซียส ก่อนส่งเข้าถังพักไอศกรีม
- 5) การพักเนื้อไอศกรีม (Aging) ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแล้วที่ถังพักเนื้อไอศกรีม
- 6) การทำความเย็น (Freezing Process) เพื่อปรับอุณหภูมิของเนื้อไอศกรีมให้เย็นลงอย่างเหมาะสมก่อนการขึ้นรูปไอศกรีม
- 7) การรับเนื้อไอศกรีมจากเครื่องทำความเย็นด้วยฮอปเปอร์ เพื่อรอส่งไปหัวจ่ายไอศกรีม (Filling) ก่อนบรรจุไอศกรีมลงแม่พิมพ์หรือถ้วย
- 8) การปรับอุณหภูมิ โดย cake walk เพื่อให้ไอศกรีมที่บรรจุลงถ้วยแข็งตัว
- 9) การบรรจุ



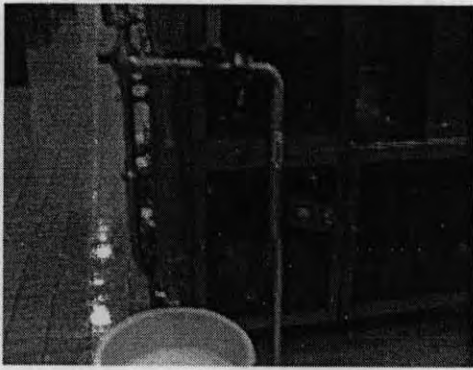
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตไอศกรีม

จากการศึกษากระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน พบว่าในขั้นตอนที่ 6-8 ใช้น้ำมากกว่าขั้นตอนที่ 1-5 และ 9 เนื่องจากต้องล้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ บ่อยครั้ง ผู้วิจัยจึงได้เลือกสายการผลิตที่มีปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 3 สายการผลิต คือ สายการผลิตพี สายการผลิตจี และสายการผลิตจี 10 เป็นสายการผลิตต้นแบบเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากเกินความจำเป็น ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

3.1.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในสายการผลิตพี แบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

3.1.1.1 ช่วงก่อนเริ่มเดินเครื่อง

ปัญหา คือ ช่วงก่อนเริ่มเดินเครื่องพนักงานต้องไล่น้ำร้อนที่ตกค้างจากการล้างทำความสะอาดท่อส่งไอศกรีมและเครื่องทำความเย็นออกดังรูปที่ 3.2 พบว่าน้ำทิ้งช่วงแรกยังมีความสะอาดเพียงพอที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก แต่พนักงานมักปล่อยทิ้งให้หกเลอะลงบนพื้นจึงต้องฉีดน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อล้างคราบ ไอศกรีมที่เกิดขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 การไล่น้ำที่ตกค้างออกจากท่อส่งไอศกรีมและเครื่องทำความเย็น (ก) น้ำช่วงแรกที่ยังสะอาดแต่ถูกปล่อยทิ้ง (ข) พนักงานต้องใช้น้ำเพิ่มขึ้นเพื่อล้างคราบไอศกรีมบนพื้น

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ

ก) ใช้ถังรีเวิร์คองน้ำไว้ใช้ประโยชน์อย่างอื่นดังรูปที่ 3.3 ก นอกจากช่วยป้องกันไม่ให้พื้นเปียกแล้วยังไม่เกิดคราบไอศกรีมที่พื้น

ข) ใช้รถเข็นคูดน้ำกลับเข้าไปใช้ในระบบล้างท่อส่งไอศกรีม (Cleaning in Pipe

Return: CIP Return) รูปที่ 3.3 ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 ถังรีเวิร์ค (ก) และรถเข็นสำหรับคูดน้ำกลับเข้าไปในระบบล้างท่อ (ข)

3.1.1.2 ระหว่างเดินเครื่อง (Run)

ก) ปัญหา คือ ต้องฉีดน้ำไล่คราบไอศกรีมและเศษกระดาษหรือพลาสติก ดังรูปที่ 3.4

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ จัดหาอุปกรณ์ทำความสะอาดแบบแห้งให้พนักงานและแม่บ้าน เช่น ไม้กวาดและที่ตักผงเพื่อโกยเศษพลาสติก หรือใช้ผ้าชุบน้ำทำความสะอาดคราบไอศกรีมที่สกปรกเพียงเล็กน้อย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 การฉีดน้ำทำความสะอาดระหว่างเดินเครื่อง (ก) การฉีดน้ำล้างคราบไอศกรีม (ข) การฉีดน้ำไล่เศษกระดาษหรือพลาสติก

ข) ปัญหา คือ ในขั้นตอนการฉีดน้ำล้างแม่พิมพ์ทำไอศกรีม (Mould) ที่บ่อที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้มากเกินไปจนเกิดน้ำล้น เนื่องจากเพื่อความสะดวกของน้ำที่ใช้ฉีดล้างจากแต่ละบ่อจึงต้องเปิดน้ำให้ไหลล้น (Over Flow) ตลอดเวลา ดังรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าน้ำในบ่อส่วนท้ายจะสะอาดกว่า โดยเฉพาะน้ำที่บ่อที่ 3 ซึ่งโดยปกติจะส่งกลับมาใช้ซ้ำที่บ่อที่ 1



รูปที่ 3.5 สภาพน้ำที่ใช้ฉีดล้างแม่พิมพ์ที่บ่อที่ 1-3

แนวทางแก้ไขปัญหา เนื่องจากน้ำในบ่อที่ 2 มีความสะอาดพอ จึงจะนำมาใช้ซ้ำที่บ่อที่ 1 ร่วมกับน้ำจากบ่อที่ 3 ปกติถ้าปริมาณน้ำในบ่อที่ 1 ลดลง พนักงานจะใช้สายยางเติมน้ำดีเข้าบ่อที่ 1 ทำให้เปลืองน้ำ จึงจะติดลูกลอยที่บ่อที่ 1 เพื่อควบคุมระดับน้ำ ดังนั้นถ้าปริมาณน้ำในบ่อที่ 1 ลดลง วาล์วที่ต่อกับลูกลอยจะเปิดให้น้ำจากบ่อที่ 2 และ 3 ไหลเข้า

ค) ปัญหา คือ ต้องใช้น้ำในการล้างอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สายพาน มีดตัด เครื่องม้วน เป็นต้น

แนวทางแก้ไขปัญหา คือ จะต้องติดหัวฉีดที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ล้างอุปกรณ์ให้เหมาะสม

ง) ปัญหา คือ ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำล้างแม่พิมพ์ทำไอศกรีมจากทั้ง 3 บ่อ ทุกๆ 3 กะ เมื่อผลิตไอศกรีมประเภทที่ใช้ครีมเป็นส่วนผสมเพราะมีความสกปรกสูง แต่เนื่องจากไม่มีระบบการส่งน้ำลงท่อน้ำทิ้งโดยตรง พนักงานจึงปล่อยน้ำลงบนพื้นทำให้สิ้นเปลืองน้ำในการล้างพื้นเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3.6

แนวทางแก้ไขปัญหา คือ จะต่อท่อเพื่อรวมน้ำจากทั้ง 3 บ่อ ไปลงในท่อระบายน้ำโดยตรง ทำให้ไม่ต้องเปลืองน้ำล้างพื้นอีกครั้ง



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อน้ำล้างแม่พิมพ์เมื่อผลิตไอศกรีมประเภทที่ใช้ครีมเป็นส่วนผสม
(ก) น้ำล้างแม่พิมพ์ทำไอศกรีมที่ถูกทิ้งบนพื้น (ข) แม่บ้านทำความสะอาดคราบไอศกรีม

3.1.1.3 ช่วงหยุดเครื่อง (Shut down)

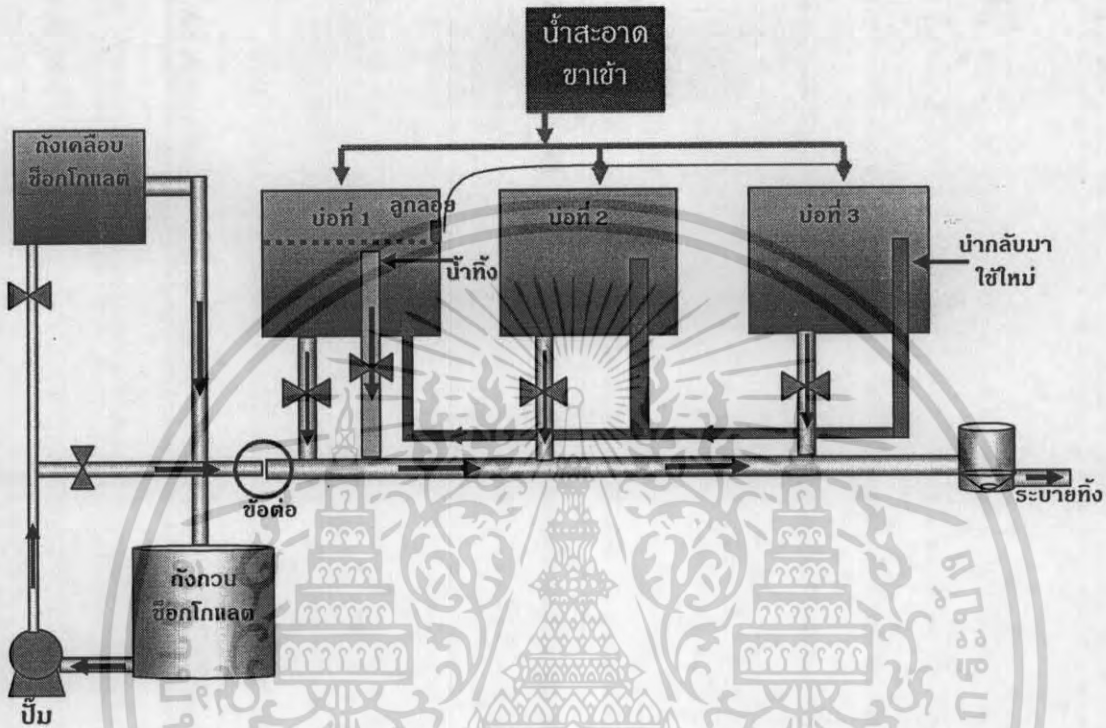
ก) ปัญหา คือ ช่วงหยุดเครื่องต้องปล่อยน้ำจากบ่อน้ำล้างแม่พิมพ์ บ่อที่ 1, 2 และ 3 ทั้งทั้งหมด และต้องล้างถังเคลือบช็อกโกแลตและถังกวนช็อกโกแลต ปัจจุบันต้องถอดถังเคลือบช็อกโกแลตลงมาล้างและพนักงานจะปล่อยน้ำล้างลงบนพื้นเนื่องจากไม่มีระบบการส่งลงท่อน้ำทิ้งโดยตรงและถังเคลือบช็อกโกแลตมีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 3.7 ข ทำให้ต้องใช้น้ำล้างคราบไอศกรีมและช็อกโกแลตเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.7 ลักษณะของถังเคลือบช็อกโกแลต (ก) และพนักงานปล่อยน้ำที่ใช้ล้างถังเคลือบช็อกโกแลตลงบนพื้น (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ จะไม่ถอดถังเคลือบช็อกโกแลตลงมาล้าง แต่จะเทช็อกโกแลตจากถังกววนช็อกโกแลตออกก่อนและใช้น้ำร้อนเดิมเข้าไปในถังกววนช็อกโกแลต แล้วเปิดปั๊มให้น้ำร้อนไหลวนทำความสะอาดถังเคลือบช็อกโกแลตและถังกววนช็อกโกแลต และส่งน้ำล้างเข้ารวมกับน้ำทิ้งจากน้ำล้างแม่พิมพ์ทำไอศกรีมทั้ง 3 บ่อ (หัวข้อ 3.1.1.2 ง) โดยใช้ปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อน เพื่อส่งลงระบบน้ำทิ้งรวม ตามแบบดังรูปที่ 3.8

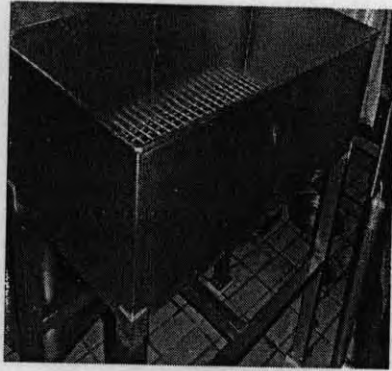


รูปที่ 3.8 ระบบการระบายน้ำล้างถังเคลือบและกววนช็อกโกแลตและน้ำทิ้งจากบ่อน้ำล้างแม่พิมพ์ทำไอศกรีม

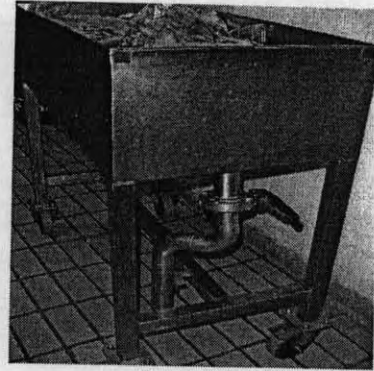
3.1.2 การป้องกันและแก้ไขปัญหาคาใช้น้ำในสายการผลิต แบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

3.1.2.1 ช่วงก่อนเริ่มเดินเครื่อง

ก) ปัญหา คือ ในการเตรียมส่วนผสมก่อนเริ่มการผลิต ไอศกรีมคอนเนตโตต้องนำถุงส่วนผสมวัตถุดิบไอศกรีมจากรถแช่น้ำยามาเชื่อมาทักในรถฝั้ววัตถุดิบดังรูปที่ 3.9 ก่อนยกไปเทลงถังผสม แต่เนื่องจากรถฝั้ววัตถุดิบมีขนาดใหญ่จึงไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปใกล้ถังผสมที่ตั้งอยู่ในพื้นที่จำกัดได้ พนักงานต้องขนถ่ายถุงวัตถุดิบจึงทำให้น้ำยามาเชื่อมจากถุงวัตถุดิบหยดลงพื้น และเนื่องจากพื้นของรถฝั้ววัตถุดิบเป็นตะแกรงเหล็กและไม่มีกรรองรับน้ำ จึงทำให้พื้นที่การผลิตเปียกเป็นบริเวณกว้างและต้องฉีดน้ำเป็นครั้งคราวเพื่อไล่น้ำยามาเชื่อมและคราบสกปรก



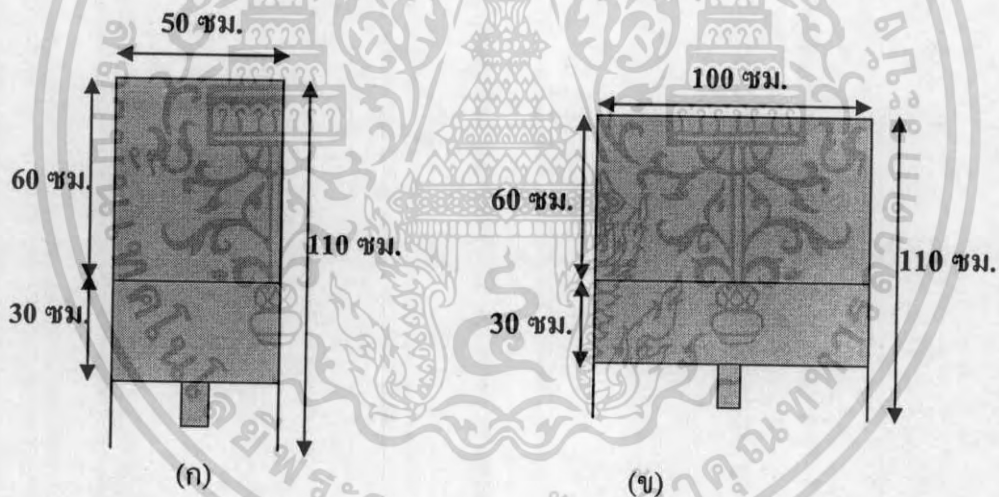
(ก)



(ข)

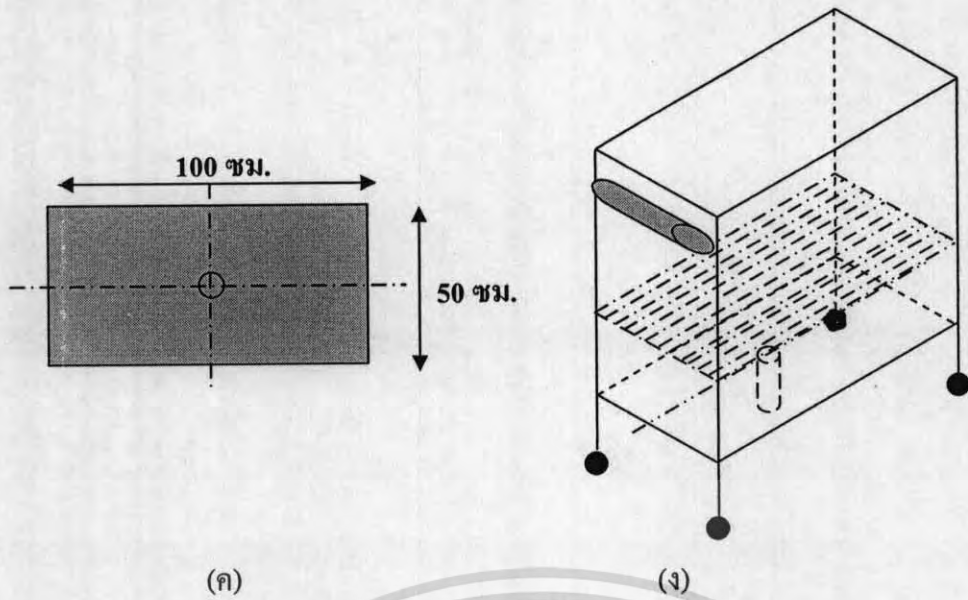
รูปที่ 3.9 ลักษณะของรถฝังวัตถุคิบ (ก) และรถแช่น้ำยาฆ่าเชื้อ (ข)

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ ได้ออกแบบรถสำหรับฝังวัตถุคิบ ดังรูปที่ 3.10 ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่เข้าไปถึงถึงผสม โดยออกแบบเป็น 2 ชั้น มีตะแกรงเหล็กคั้นระหว่างชั้น และแยกน้ำยาฆ่าเชื้อเก็บไว้ชั้นล่างก่อนปล่อยทิ้งลงท่อระบายน้ำ



รูปที่ 3.10 รถฝังวัตถุคิบ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง

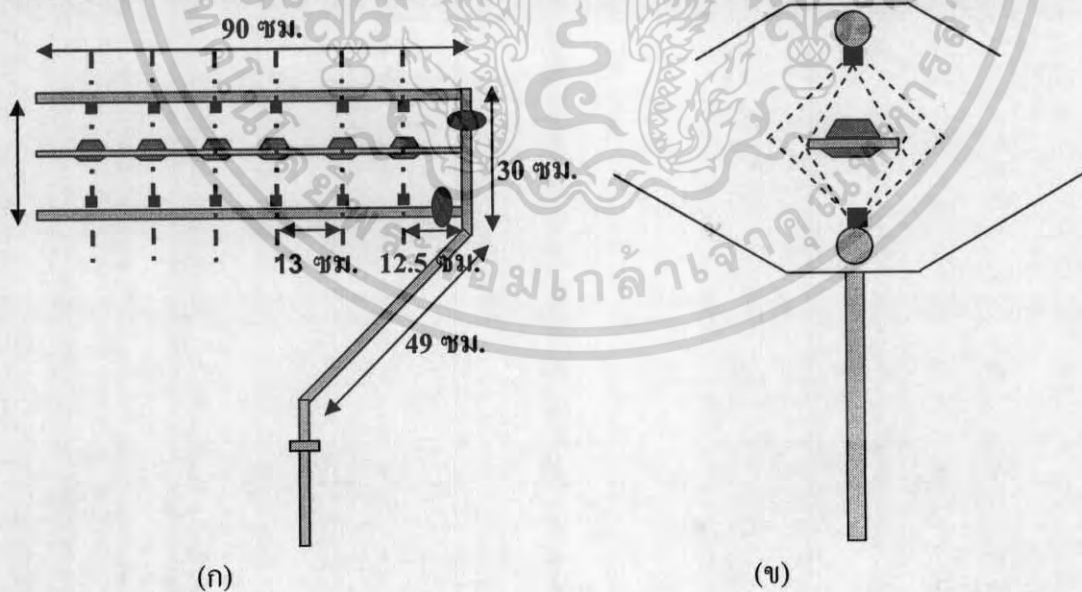
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 (ต่อ) รถฝั้ววัตถุดิบ (ค) ด้านบน (ง) แบบรถฝั้ววัตถุดิบ

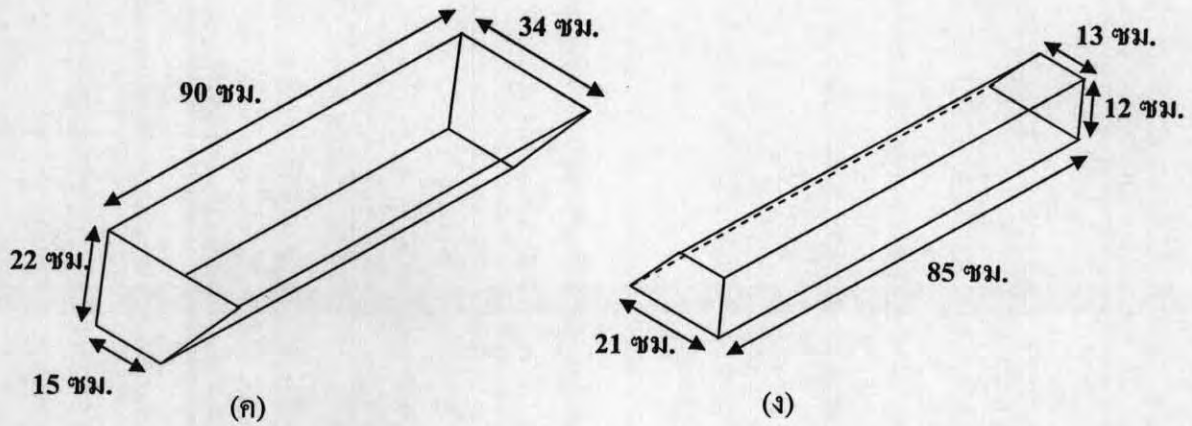
ข) ปัญหา คือ ในการบรรจุเนื้อไอศกรีมลงกรวยไอศกรีม บางครั้งเนื้อ ไอศกรีมจะติด เลอะแม่พิมพ์จึงต้องฉีดล้างแม่พิมพ์ด้วยท่อฉีดน้ำที่ไม่มีฝาครอบซึ่งอยู่ติดกับถาดรองเศษขนมปัง บริเวณส่วนหน้าของเครื่องจักร ดังนั้นเมื่อเปิดท่อฉีดน้ำล้างแม่พิมพ์ น้ำจะกระจ่ายไปถูกเศษขนมปัง ทำให้เปียกชื้นและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น จึงลำบากในการเคลื่อนย้ายหรือทำความสะอาด

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ เปลี่ยนตำแหน่งท่อฉีดน้ำล้างแม่พิมพ์จากบริเวณส่วนหน้า ของเครื่องจักร ไปอยู่บริเวณส่วนกลางของเครื่องจักรและออกแบบให้มีฝาครอบดังรูปที่ 3.11 เพื่อ ป้องกันการกระจ่ายของน้ำจะทำให้สามารถทำความสะอาดและเคลื่อนย้ายเศษขนมปังได้ง่าย



รูปที่ 3.11 ฝาครอบท่อฉีดน้ำล้างแม่พิมพ์ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 (ต่อ) ฝาครอบท่อฉีดน้ำล้างแม่พิมพ์ (ก) ด้านล่าง (ง) ด้านบน

3.1.2.2 ระหว่างเดินเครื่อง

ก) ปัญหา คือ ในขั้นตอนการลำเลียงกรวยไอศกรีมลงถาดลำเลียงกรวยไอศกรีมก่อนส่งเข้าเครื่อง cake walk สายพานลำเลียงกรวยไอศกรีมไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน ดังรูปที่ 3.12 ก ทำให้กรวยไอศกรีมหล่นลงไม่ตรงช่องของถาดลำเลียงกรวยไอศกรีม สายพานลำเลียงบางช่องจึงเลอะคราบไอศกรีม ดังนั้นพนักงานต้องใช้น้ำราดสายพานลำเลียงเพื่อล้างคราบไอศกรีมออกจึงทำให้พื้นเปียกและลื่นเปลืองน้ำมากขึ้น

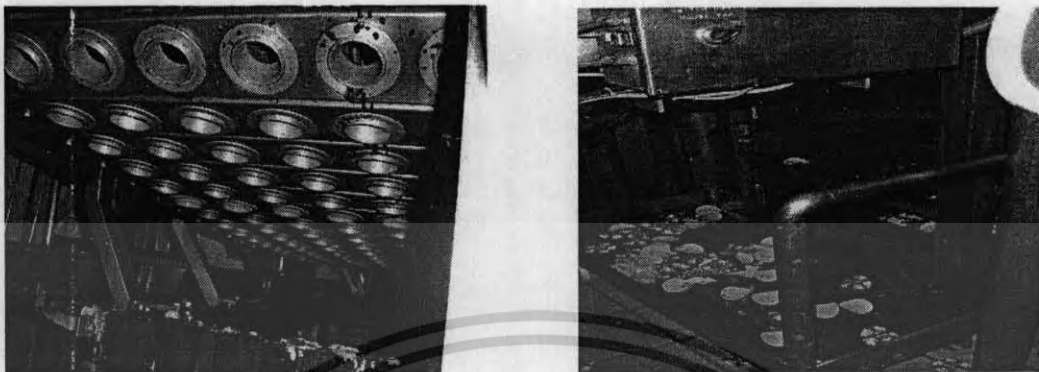


รูปที่ 3.12 สายพานลำเลียงกรวยไอศกรีม (ก) และถาดลำเลียงกรวยไอศกรีมไหลเข้าเครื่อง cake walk (ง)

แนวทางแก้ไขปัญหา คือ เปลี่ยนประเภทสายพานลำเลียงกรวยไอศกรีมจากผิวเรียบเป็นผิวขรุขระเพื่อให้กรวยไอศกรีมสัมผัสกับสายพานลำเลียงได้ดีขึ้นและทำให้การลำเลียงกรวยไอศกรีมอยู่ในแนวเดียวกัน

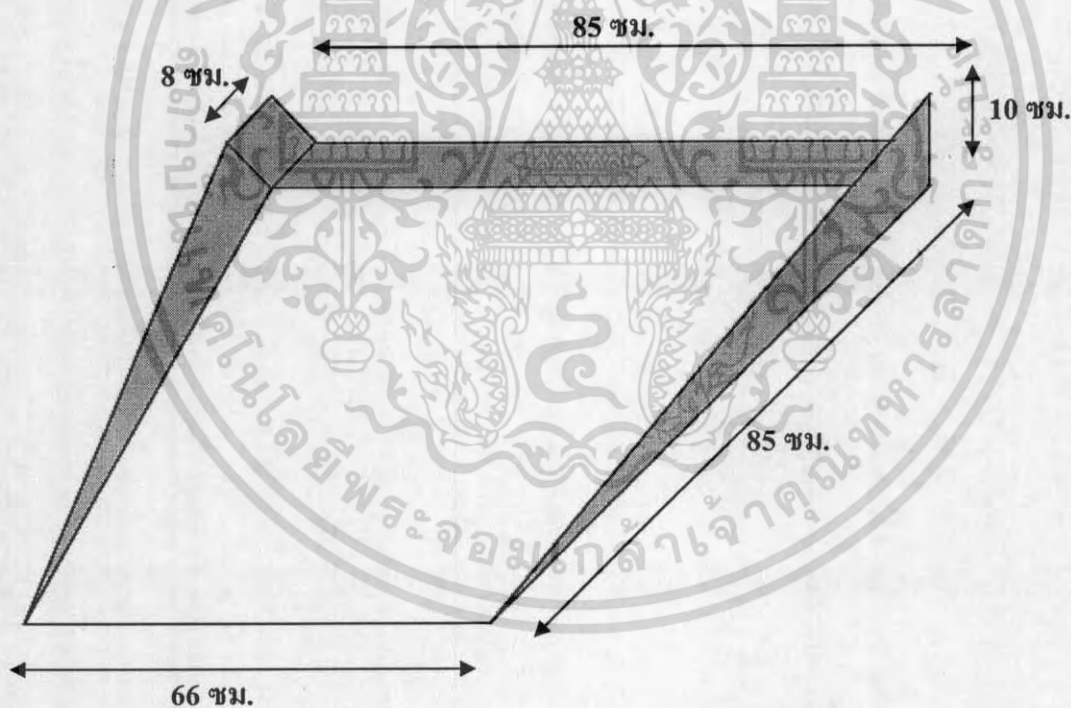
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) ปัญหา คือ การปล่อยไอศกรีมไม่ตรงช่องสายพานลำเลียง ทำให้ไอศกรีมบางส่วนแตกเสียหายและตกลง สกปรกบริเวณพื้นใต้เครื่องจักรดังรูปที่ 3.13 จึงต้องใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดพื้นเป็นระยะ



รูปที่ 3.13 เศษกระดาษห่อไอศกรีมและคราบไอศกรีมที่ตกลงลงใต้เครื่องจักร

แนวทางแก้ปัญหา คือ ออกแบบถาดรองไอศกรีมส่วนที่แตกและหล่นระหว่างจุดปล่อยไอศกรีมจากแม่พิมพ์กับสายพานลำเลียง ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แบบถาดรองไอศกรีมที่แตกและหล่นใต้เครื่องจักร

3.1.2.3 ช่วงหยุดเครื่อง

ก) ปัญหา คือ ในการไล่เนื้อไอศกรีมที่ค้างอยู่ในท่อลำเลียงเนื้อไอศกรีมและหัวจ่ายเนื้อไอศกรีมด้วยน้ำร้อนดังรูปที่ 3.15 น้ำร้อนบางส่วนจะไหลออกมาพร้อมกับเนื้อไอศกรีม ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

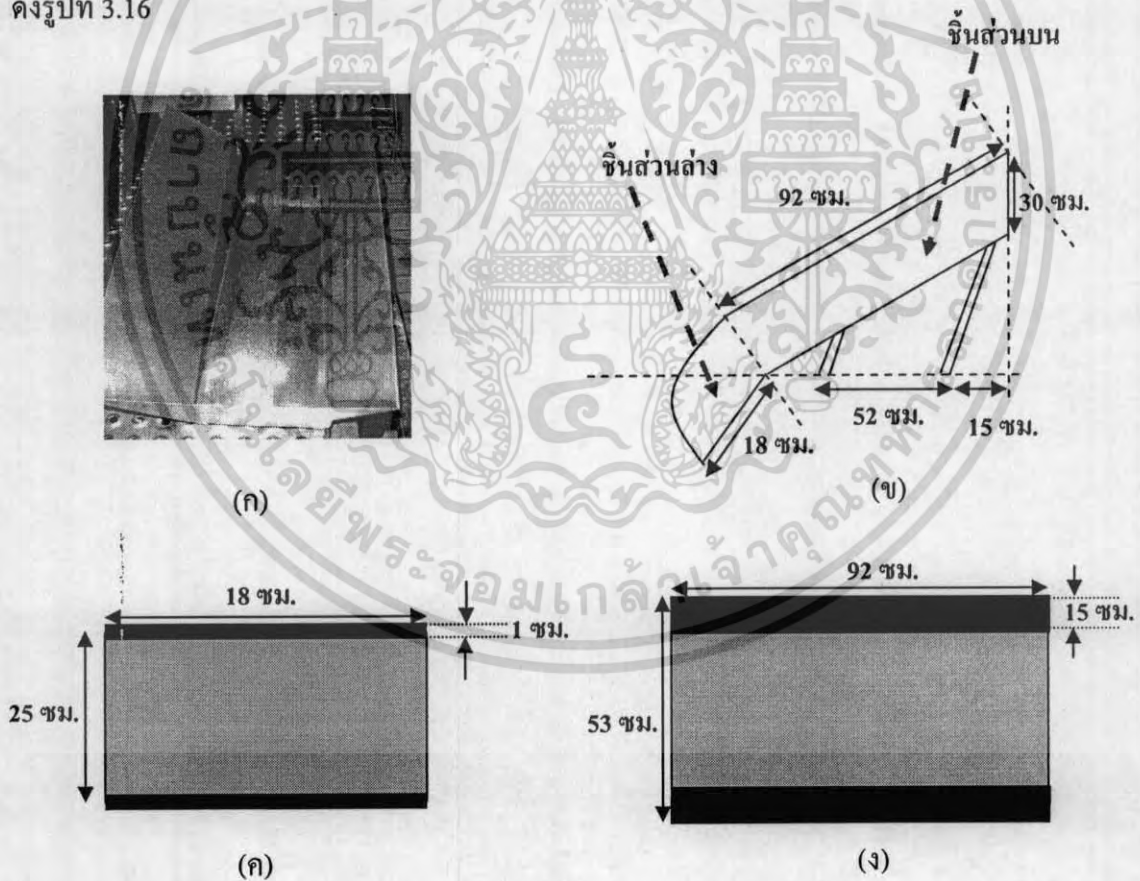
ถาดรองรับเนื้อไอศกรีมรับเนื้อไอศกรีมไม่ทันจึงล้นออกจากถาด เพราะถาดรองรับเนื้อไอศกรีมมีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นต้องสิ้นเปลืองน้ำล้างคราบ ไอศกรีมที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.15 การไล่เนื้อไอศกรีมที่ค้างอยู่ในท่อส่งและหัวจ่ายเนื้อไอศกรีม

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ ปรับปรุงถาดรองรับเนื้อไอศกรีมให้สูงและกว้างขึ้น

ผังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แบบถาดรองรับเนื้อไอศกรีม (ก) ถาดรองรับเนื้อไอศกรีมของสายการผลิตอื่น

(ข) โครงสร้างของถาดรองรับเนื้อไอศกรีม (ค) ด้านล่าง (ง) ด้านบน

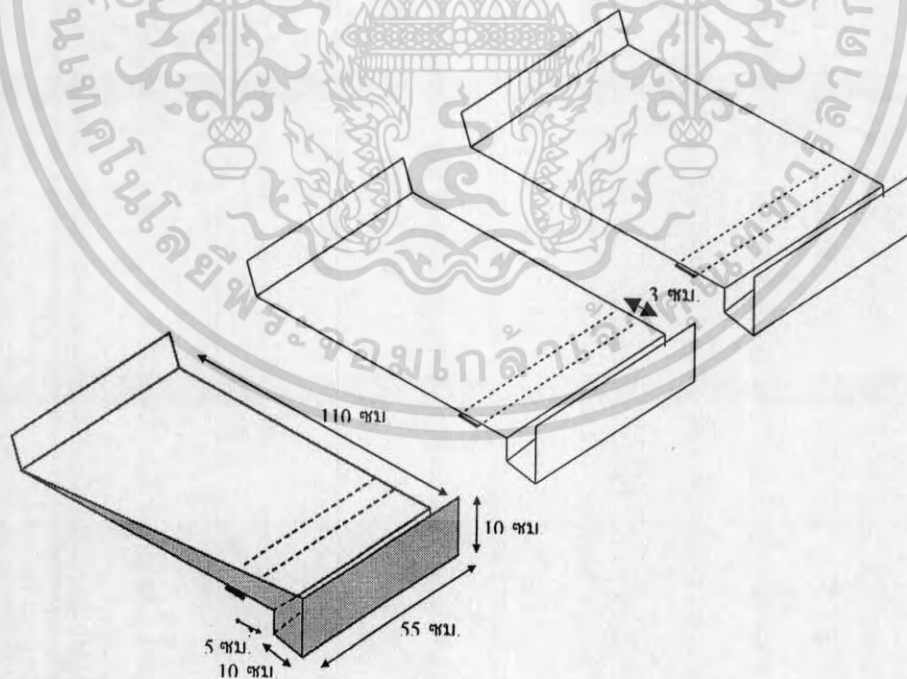
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) ปัญหา คือ ในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ชิ้นใหญ่ๆ ต้องล้างบนเครื่องจักร ทำให้น้ำล้างและคราบไอศกรีมไหลลงพื้น ดังรูปที่ 3.17 และไหลไปสายการผลิตที่อยู่ใกล้เคียง จึงสิ้นเปลืองน้ำใช้ทำความสะอาดพื้นเป็นบริเวณกว้าง



รูปที่ 3.17 คราบสกปรกใต้เครื่องจักรสายการผลิต

แนวทางแก้ปัญหา คือ ออกแบบถาดรองรับน้ำใต้เครื่องจักร โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นต่อกัน ดังรูปที่ 3.18 เพื่อกักน้ำล้างทั้งหมดให้ไหลลงรางระบายน้ำที่ออกแบบไว้ ก่อนปล่อยลงท่อระบายน้ำโดยตรง

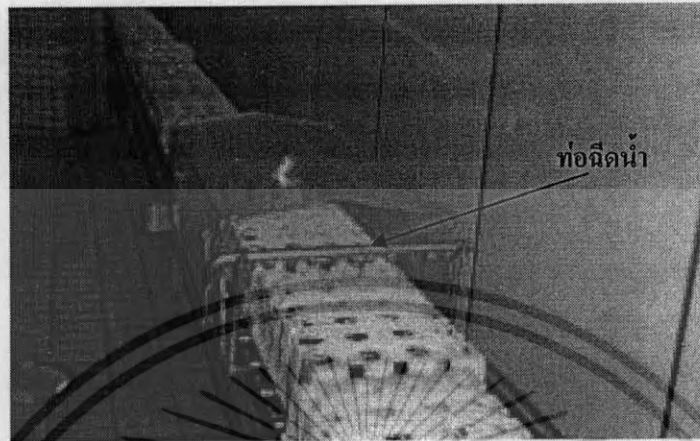


รูปที่ 3.18 แบบถาดรองรับน้ำใต้เครื่องจักรสายการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

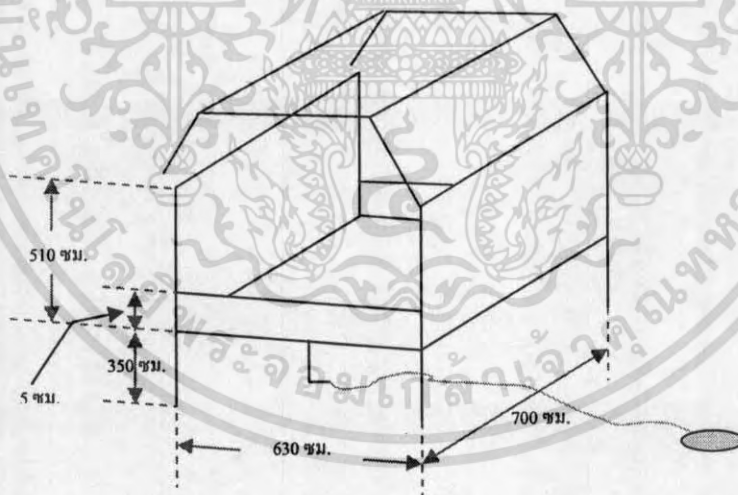
3.1.2.4 ปัญหาอื่นๆ

ปัญหา คือ ใต้ท่อฉีดน้ำล้างอาคารลำเลียงกรวยไอศกรีม (รูปที่ 3.19) ไม่มีอาคารรองรับน้ำล้าง ดังนั้นน้ำล้างอาคารลำเลียงกรวยไอศกรีมจะไหลลงพื้นจึงต้องฉีดน้ำล้างพื้นเป็นระยะ



รูปที่ 3.19 การฉีดน้ำล้างอาคารลำเลียงกรวยไอศกรีมก่อนการปรับปรุง

แนวทางแก้ไขปัญหา คือ ออกแบบอาคารรองรับน้ำด้านล่างของสายพานลำเลียงอาคารลำเลียงไอศกรีม ดังรูปที่ 3.20

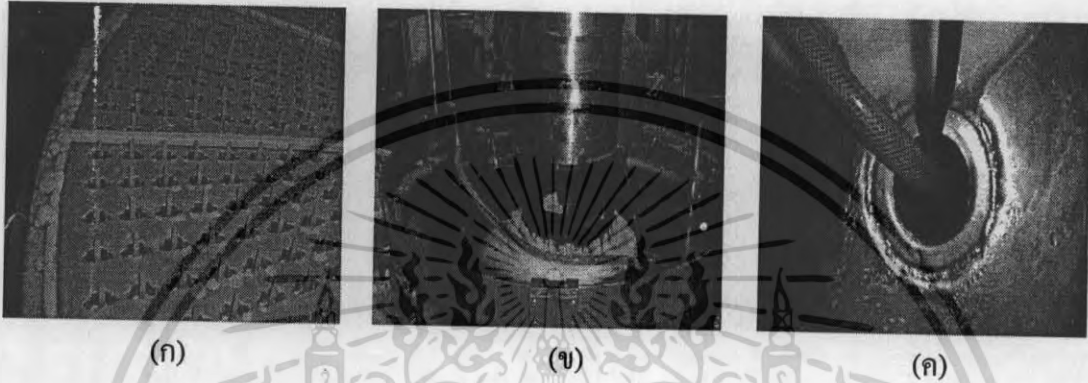


รูปที่ 3.20 แบบอาคารรองรับน้ำล้างอาคารลำเลียงกรวยไอศกรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในสายการผลิตจี้ 10 ระหว่างเดินเครื่อง ดังนี้

3.1.3.1 ปัญหา คือ ภายในเครื่องผลิตไอศกรีมจี้ 10 จะใช้ก๊าซแอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นเพื่อทำให้ไอศกรีมแข็งตัวก่อนบรรจุลง ซึ่งแตกต่างจากสายการผลิตจี้ที่ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวด้วยเครื่อง cake walk จึงทำให้เกิดน้ำแข็งจับตัวกันบริเวณขอบแม่พิมพ์ไอศกรีมและที่จุดศูนย์กลางเครื่องจักร ดังรูปที่ 3.21 เมื่อน้ำแข็งจับตัวหนาขึ้นเรื่อยๆ พนักงานต้องชูดน้ำแข็งนั้นทิ้งลงท่อระบายน้ำที่อยู่กลางเครื่องจักร ทำให้มีน้ำแข็งบางส่วนละลายไหลลงพื้นใต้เครื่องจักร จึงต้องใช้น้ำล้างคราบสกปรกใต้เครื่องจักรเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.21 ความสกปรกเนื่องจากน้ำแข็งที่จับตัวหนานบนเครื่องจักร (ก) น้ำแข็งที่ขอบแม่พิมพ์ไอศกรีม (ข) น้ำแข็งที่จุดศูนย์กลางเครื่องจักร (ค) ท่อระบายน้ำและคราบไอศกรีมต่างๆ

รูปที่ 3.22 แสดงความสกปรกบริเวณพื้นที่ใต้เครื่องจี้ 10 ซึ่งปกติในระหว่างเดินเครื่องจะเปียกชื้นอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากมีน้ำแข็งบางส่วนละลายไหลลงมา

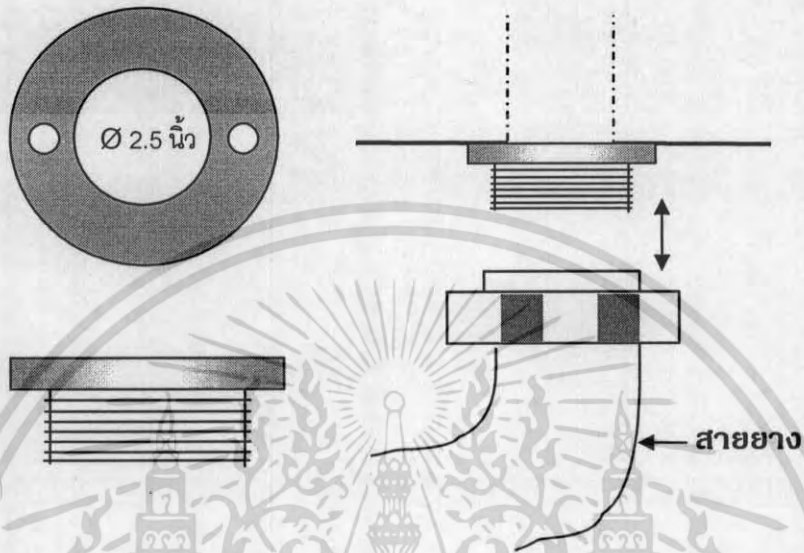


ท่อระบายน้ำใต้เครื่องจี้ 10

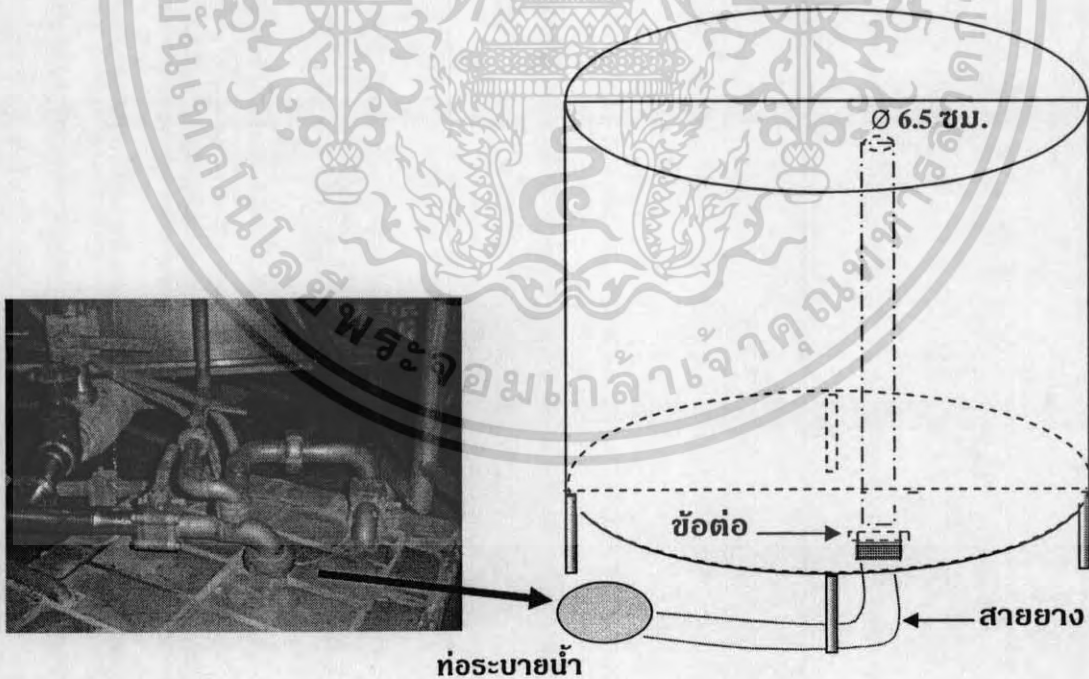
รูปที่ 3.22 บริเวณพื้นที่ใต้เครื่องจี้ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ ออกแบบข้อต่อสายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายน้ำทิ้งของเครื่องจักร ดังรูปที่ 3.23 และนำไปติดตั้งไว้ที่ปลายทางของท่อระบายน้ำทิ้งได้เครื่องจักรตามแบบในรูปที่ 3.24 และใช้ข้อต่อสายยางเชื่อมโยงไปลงในท่อระบายน้ำ



รูปที่ 3.23 แบบข้อต่อสายยางระบายน้ำทิ้งของเครื่องจักร 10



รูปที่ 3.24 ลักษณะการติดตั้งข้อต่อกับสายยางที่เชื่อมโยงไปท่อระบายน้ำทิ้งของเครื่องจักร 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 ปัญหา คือ ในขั้นตอนการผลิตไอศกรีมประเภทที่ใช้นมข้นหวานเป็นส่วนผสม หลังจากแช่ถุงนมข้นหวานในน้ำยาฆ่าเชื้อแล้ว ต้องนำถุงนมข้นหวานมาแช่น้ำร้อนในรถเข็น (รูปที่ 3.25 ก) เพื่อล้างน้ำยาฆ่าเชื้อออกและทำให้นมข้นหวานไม่เหนียวจนเกินไป ก่อนที่จะนำไปพักไว้ในรถฝัดตุ๋นดิบแล้วยกไปเทลงถังผสม แต่ในขั้นตอนการแช่ถุงนมข้นหวานในน้ำร้อนพนักงานต้องเปลี่ยนน้ำร้อนอย่างน้อยชั่วโมงละ 1 ครั้ง เพราะน้ำร้อนจะเย็นลงจนใช้อีกไม่ได้ ดังนั้นจึงทำให้สิ้นเปลืองน้ำจนเกินความจำเป็น



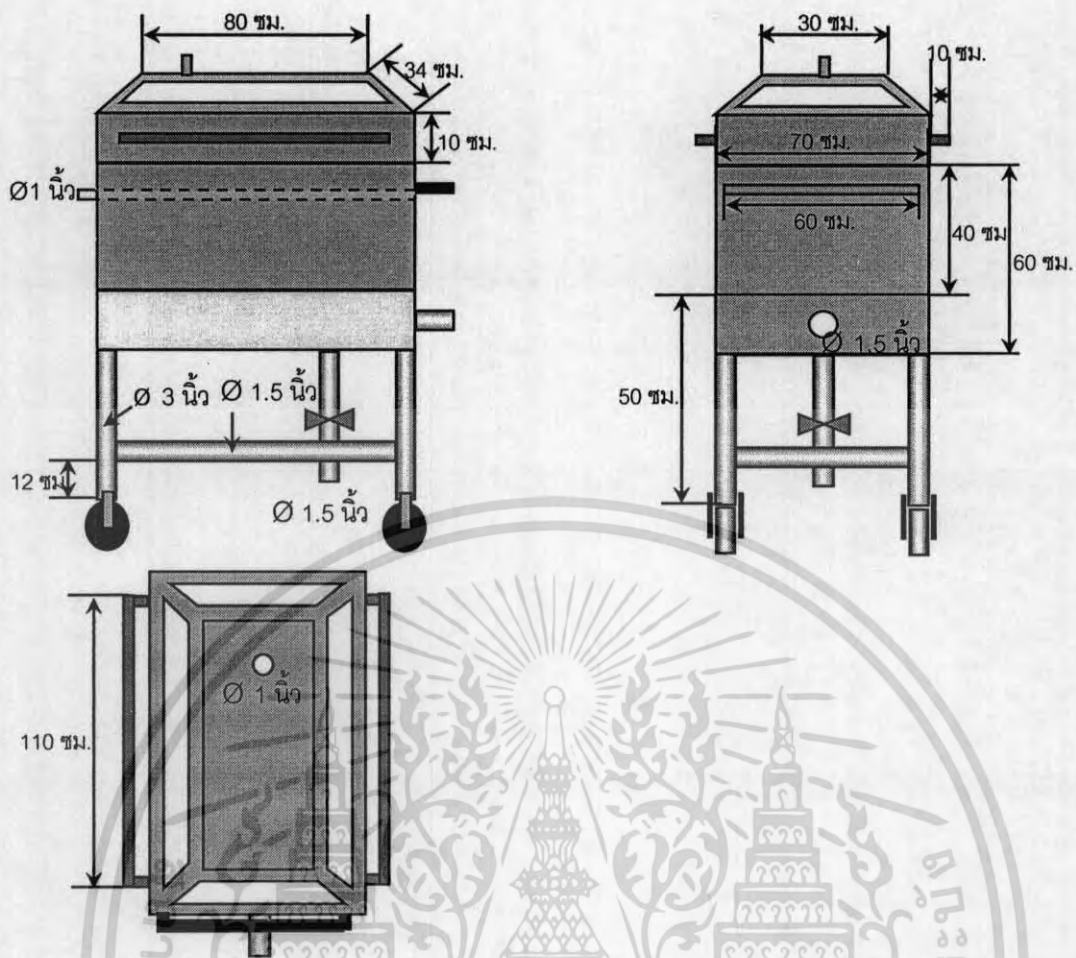
(ก)



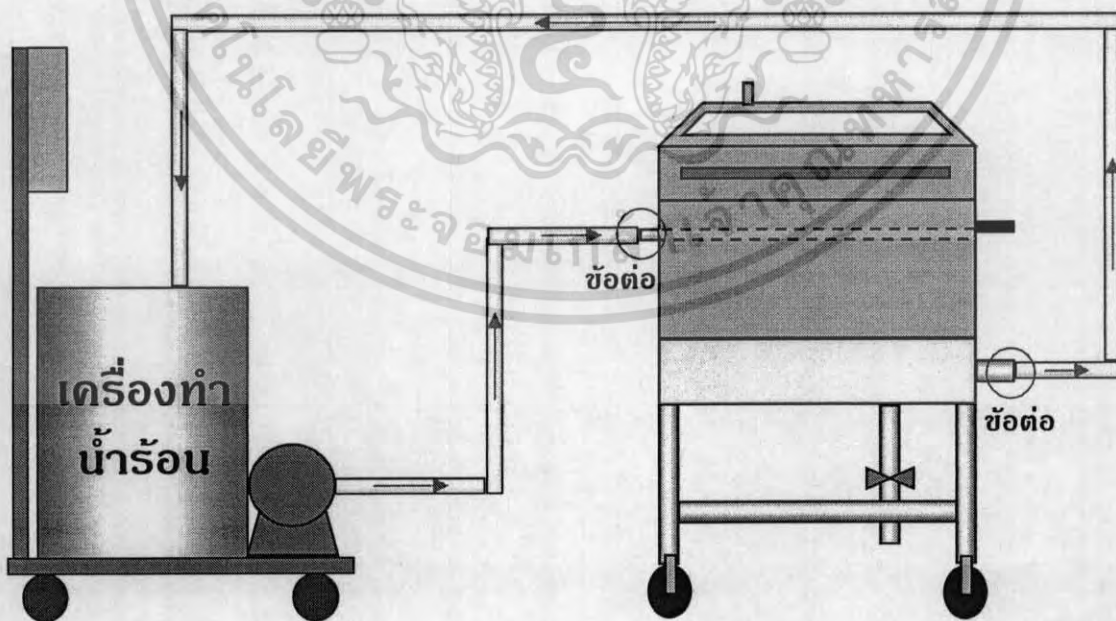
(ข)

รูปที่ 3.25 รถเข็นแช่ถุงนมข้นหวานในน้ำร้อนแบบเดิม (ก) และเครื่องทำน้ำร้อน (ข)

แนวทางแก้ไขปัญหาคือ ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนกับรถเข็นแช่นมข้นหวานเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำแช่นมข้นหวานให้ร้อนตลอดเวลาโดยไม่ต้องเปลี่ยนน้ำใหม่บ่อยครั้ง จากการสำรวจพบว่าโรงงานมีเครื่องทำน้ำร้อน (รูปที่ 3.25 ข) ที่ใช้สำหรับฆ่าเชื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ หลังจากการล้างทำความสะอาดอยู่แล้ว จึงจะนำมาใช้ทำความร้อนให้น้ำไหลหมุนเวียนในรถเข็นแช่นมข้นหวานที่ได้ออกแบบไว้โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนน้ำทิ้งบ่อยครั้ง ดังรูปที่ 3.26 และ 3.27



รูปที่ 3.26 แบบรถเข็นเข้มน้ร้อนด้วยน้ำร้อน



รูปที่ 3.27 การติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนกับรถเข้มน้ร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

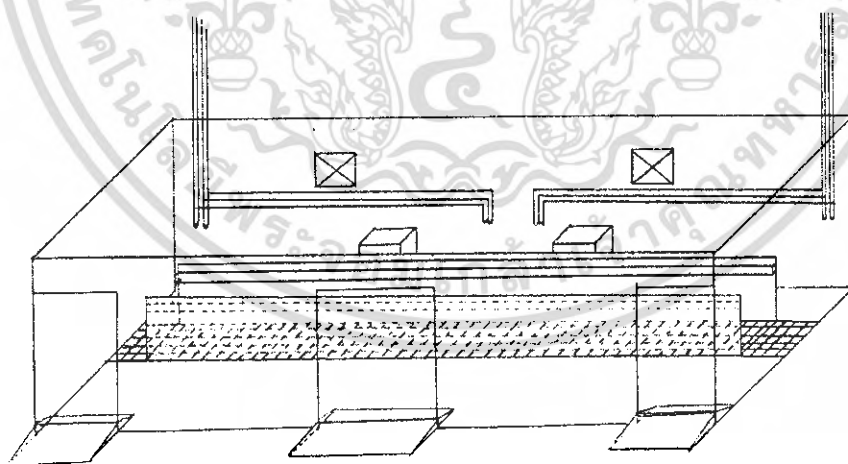
3.2 การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีม

การล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีมหลังจากหยุดเดินเครื่อง มี 5 ขั้นตอน คือ

- 3.2.1 การล้างด้วยน้ำสะอาด
- 3.2.2 การขัดถู
- 3.2.3 การล้างด้วยน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส
- 3.2.4 การแช่น้ำยาฆ่าเชื้อ
- 3.2.5 การล้างด้วยน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส อีกครั้ง

ปัญหา คือ ไม่มีพื้นที่เฉพาะสำหรับล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ จึงต้องล้างในบริเวณพื้นที่ว่างที่ใกล้กับเครื่องจักร ทำให้พื้นที่บริเวณเครื่องจักรและสายการผลิตที่อยู่ใกล้เคียงเปียกและสกปรกเป็นบริเวณกว้างจึงต้องสิ้นเปลืองน้ำในการล้างคราบสกปรกที่เกิดขึ้น

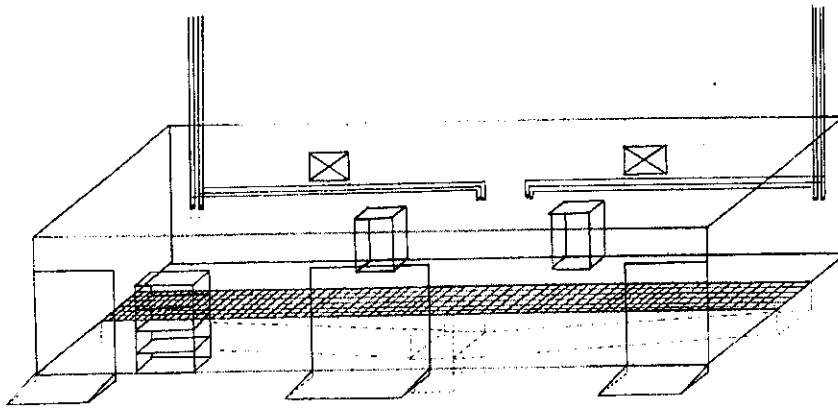
แนวทางแก้ไขปัญหา คือ ออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ไอศกรีม เพื่อแยกพื้นที่ล้างทำความสะอาดออกจากบริเวณเครื่องจักรและสายการผลิตที่อยู่ใกล้เคียง ซึ่งมี 2 แบบ คือ 1) ใช้สายพานลำเลียงถาดใส่เครื่องมือและอุปกรณ์มาล้างในห้องทำความสะอาดตามขั้นตอนการทำความสะอาดดังรูปที่ 3.28 ก หรือ 2) ทำรางระบายน้ำมีตะแกรงกั้นบนพื้นและใช้รถเข็นเครื่องมือและอุปกรณ์มาล้างในห้องทำความสะอาดตามขั้นตอนการทำความสะอาดดังรูปที่ 3.28 ข



(ก)

รูปที่ 3.28 แบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ (ก) แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.28 (ต่อ) แบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ (ข) แบบที่ 2

3.3 การนำน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับที่ปรับสภาพแล้ว กลับมาใช้ใหม่

น้ำที่ระบบออสโมซิสผันทกลับประกอบด้วย

- 1) น้ำขาเข้า คือ น้ำดิบที่รับมาจากการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง
- 2) น้ำ permeate ซึ่งคือน้ำอ่อนที่ผลิตได้และนำไปใช้ในกระบวนการผลิตไอศกรีม
- 3) น้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ ซึ่งปกติทิ้ง ในงานวิจัยนี้จะ

นำไปปรับสภาพและหาแนวทางนำกลับไปใช้ใหม่

แนวทางการนำน้ำ concentrate กลับมาใช้ใหม่มี 3 ขั้นตอน คือ

3.3.1 การวิเคราะห์สภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ

ดำเนินการวิเคราะห์สภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ จากข้อมูลของทางบริษัทที่รับเหมาวิเคราะห์ เก็บตัวอย่างน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ เดือนละ 1 ครั้ง เพื่อหาความสัมพันธ์ของสภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ

3.3.2 การวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) ของน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม [1]

การหาความกระด้างทั้งหมด โดยการไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอ

3.3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- ก) สารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 นอร์มัล
- ข) สารละลายบัพเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 10
- ค) เอรียโอโครมแบลคที (Eriochrome Black T) อินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ก) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
- ข) บิวเรต ขนาด 25 มล.
- ค) ปิเปต ขนาด 2 และ 100 มล.
- ง) บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มล.
- จ) กรวยกรอง
- ฉ) กระดาษกรอง
- ช) แท่งแก้วคน

3.3.2.3 วิธีการทดลอง

- ก) การเตรียมสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 นอร์มัล
 - ละลายอีดีทีเอจำนวน 3.7422 กรัม ด้วยน้ำกลั่น คนสารละลายให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 มล. เก็บไว้ในขวดสีชา
- ข) การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 10
 - ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 67.6 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น จำนวน 572 มล.
 - ละลายอีดีทีเอ 4.716 กรัมกับแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) 3.120 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 มล.
- ค) วิเคราะห์หาความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม
 - ปิเปตน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
 - เติมสารละลายบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 10 ลงไป 2 มล.
 - เติมเอริโอโครมเบลคทีอินดิเคเตอร์ เล็กน้อย
 - ไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงอมม่วงเป็นสีน้ำเงิน
 - บันทึกปริมาตรสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 นอร์มัล ที่ใช้
 - ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับเป็นน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม
- ง) การคำนวณหาปริมาณความกระด้างทั้งหมด

$$\text{ความกระด้างทั้งหมด} = (\text{ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอ}) \times (\text{ความเข้มข้นของอีดีทีเอ } 0.01 \text{ นอร์มัล}) \times 1,000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การปรับสภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ

3.3.3.1 การกำจัดความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับด้วยกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน (Excess Lime)

เมื่อทราบช่วงค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ สามารถกำจัดความกระด้างของน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ โดยผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน

1. สารเคมีที่ใช้

- ก) แคลเซียมไฮดรอกไซด์
- ข) สารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 นอร์มัล
- ค) สารละลายบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 10
- ง) เฮอร์โอ โครมเบลคทีอินคิเคเตอร์

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- ก) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
- ข) บิวเรต ขนาด 25 มล.
- ค) บีเปต ขนาด 2 และ 100 มล.
- ง) บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มล.
- จ) แท่งแก้วคน
- ฉ) กรวยกรอง
- ช) กระดาษกรอง

3. วิธีการทดลอง

- ก) ตวงน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับ จำนวน 1,000 มล.
- ข) เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- ค) รอจนกระทั่งการตกตะกอนสมบูรณ์ประมาณ 50 – 60 นาที
- ง) กรอง
- จ) หาปริมาณความกระด้างทั้งหมดหลังจากผ่านการตกตะกอน เช่นเดียวกับการหาความกระด้างทั้งหมดในหัวข้อที่ 3.3.2
- ฉ) ทำการทดลองซ้ำข้อ ก) – จ) โดยเพิ่มปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- ช) นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกระด้างทั้งหมดกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาค่าความกระด้างที่สามารถลดได้

3.3.3.2 การปรับสภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน โดยการเจือจางด้วยน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม

ตามเกณฑ์มาตรฐานของบริษัท น้ำที่ส่งเข้าหอหล่อเย็นจะต้องมีความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่เกิน 30 มก./ล. น้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกินในหัวข้อที่ 3.3.3.1 ยังไม่สามารถเข้าหอหล่อเย็น ต้องปรับสภาพโดยการเจือจางด้วยน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมในอัตราส่วนโดยปริมาตร

1. สารเคมีที่ใช้

- ก) สารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 นอร์มัล
- ข) สารละลายบัพเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 10
- ค) เอรียโอ โครมเบลคทีอินดิเคเตอร์

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- ก) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
- ข) บิวเรต ขนาด 25 มล.
- ค) ปิเปต ขนาด 2 และ 100 มล.
- ง) บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มล.

จ) แท่งแก้วคน

3. วิธีการทดลอง

ก) เจือจางน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกินกับน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยปริมาตร ลงบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มล.

ข) ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

ค) หาปริมาณความกระด้างทั้งหมดเช่นเดียวกับการหาความกระด้างทั้งหมดในหัวข้อที่ 3.3.2

ง) เปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกินกับน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมจาก 1 ต่อ 5 เป็น 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 7 และ 1 ต่อ 8 โดยปริมาตร แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ

ก) – ค) ตามลำดับ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

3.4 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ คือค่าซีโอดีและความเป็นกรด-เบส ของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

4.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีม

การปรับปรุงกระบวนการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ตามแนวทางและการออกแบบที่ได้
นำเสนอ จะเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2550

4.2 การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีม

การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต
ไอศกรีม จะเริ่มสร้างหลังการดำเนินการในหัวข้อที่ 4.1

4.3 การนำน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับที่ปรับสภาพแล้ว กลับมาใช้ใหม่

4.3.1 การวิเคราะห์สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ

สุ่มตัวอย่างน้ำของระบบออสโมซิสผั่นกลับ 3 ตำแหน่ง คือ น้ำขาเข้า น้ำ permeate
และน้ำ concentrate ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ 4.1 แสดงสภาพน้ำ concentrate
ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผั่นกลับ

ตารางที่ 4.1 สภาพน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2549

	น้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับ				
	21/04/49	06/05/49	14/06/49	08/07/49	16/09/49
1. สี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2. ความเป็นกรด-เบส	8.59	8.48	8.57	8.61	8.47
3. ค่าการนำไฟฟ้า, ไมโครโมต่อเซนติเมตร	3,000	2,500	3,300	2,600	2,400
4. ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.	2,100	2,500	2,310	1,820	1,680
5. ความเป็นด่างฟีนอลที่ทาลีน ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.	293	176	138	269	111
6. ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์ ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.	1,120	1,273	1,460	1,208	1,236
7. ความกระด้างทั้งหมด ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.	250	210	320	250	190
8. คลอไรด์, มก./ล. ของคลอไรด์	130	54	212	61	54
9. เหล็กทั้งหมด, มก./ล. ของเหล็ก	0.130	0.019	0.127	0.100	0.105

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 4.1 สรุปได้ดังนี้

4.3.1.1 ค่าความเป็นด่างจะอยู่ในรูปคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเท่านั้น ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์อิสระและไฮดรอกไซด์ เพราะค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ในช่วง 8.00 – 9.00

4.3.1.2 สภาพน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผันกลับเป็นประเภทความกระด้างชั่วคราว เนื่องจากความกระด้างทั้งหมดน้อยกว่าความเป็นด่างเมทิลเรนจ์

4.3.1.3 การกำจัดความกระด้างชั่วคราวจะใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

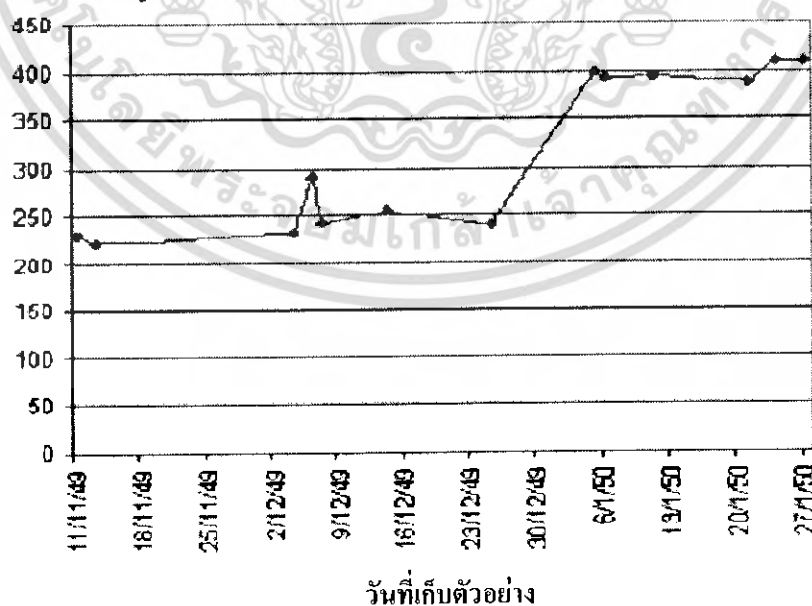
4.3.2 การวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม

พิจารณาความกระด้างทั้งหมด เนื่องจากคุณภาพน้ำที่เข้าหอหล่อเย็นจะต้องมีค่าความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตต่ำกว่า 30 มก./ล. ถ้าน้ำที่เข้าหอหล่อเย็นมีค่าความกระด้างสูง เมื่อได้รับความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 54.5 องศาเซลเซียส แคลเซียมคาร์บอเนตจะตกตะกอนออกมาเป็นตะกรันที่บริเวณท่อลำเลียงและแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง ค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าช่วงความกระด้างของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับแตกต่างกัน 2 ช่วง คือ เดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 250 มก./ล. และตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2550 ค่าความกระด้างทั้งหมดเข้าใกล้ 400 มก./ล. สาเหตุเนื่องจากคุณภาพน้ำที่เข้าโรงงานเปลี่ยนแปลงเพราะแหล่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอศกรีมเปลี่ยนจากน้ำบาดาลมาเป็นน้ำประปาแทน

สรุปว่าค่าความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับอยู่ในช่วง 385 – 400 มก./ล. ส่วนความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตของน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมไม่เกิน 10 มก./ล.

ความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.



รูปที่ 4.1 สภาพน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตและความกระด้างทั้งหมดของน้ำล้างท่อส่งไอสกปรก

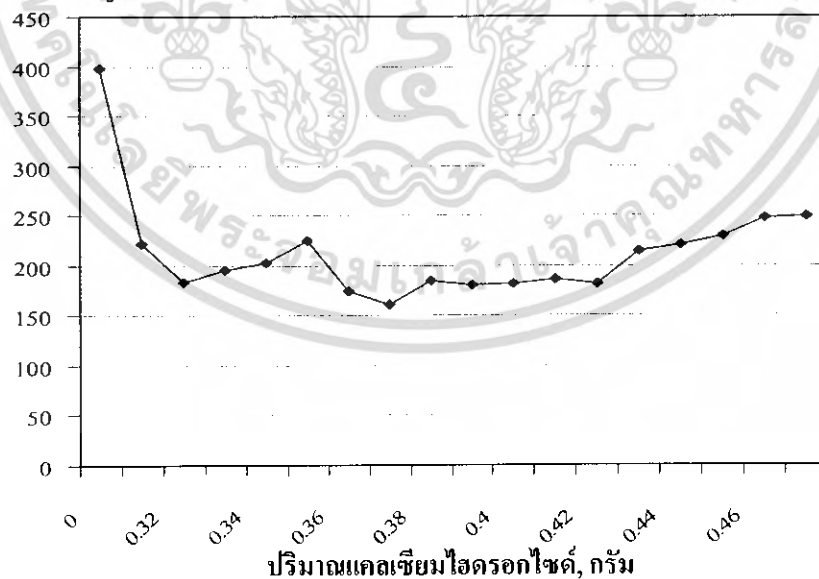
วันที่	ปริมาณสารละลายอีดีทีเอ, มล.				ความกระด้างทั้งหมด ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
30/11/49	0.4	0.4	0.4	0.40	4.0
04/12/49	0.2	0.2	0.2	0.20	2.0
06/12/49	0.4	0.3	0.3	0.33	3.3
07/12/49	0.7	0.7	0.7	0.70	7.0
14/12/49	0.3	0.3	0.3	0.30	3.0

4.3.3 การปรับสภาพน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับ

4.3.3.1 การกำจัดความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับด้วยกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน

ค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตหลังจากเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากเกินไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมดก่อนการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากเกินไปคือ 380 มก./ล.

ความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

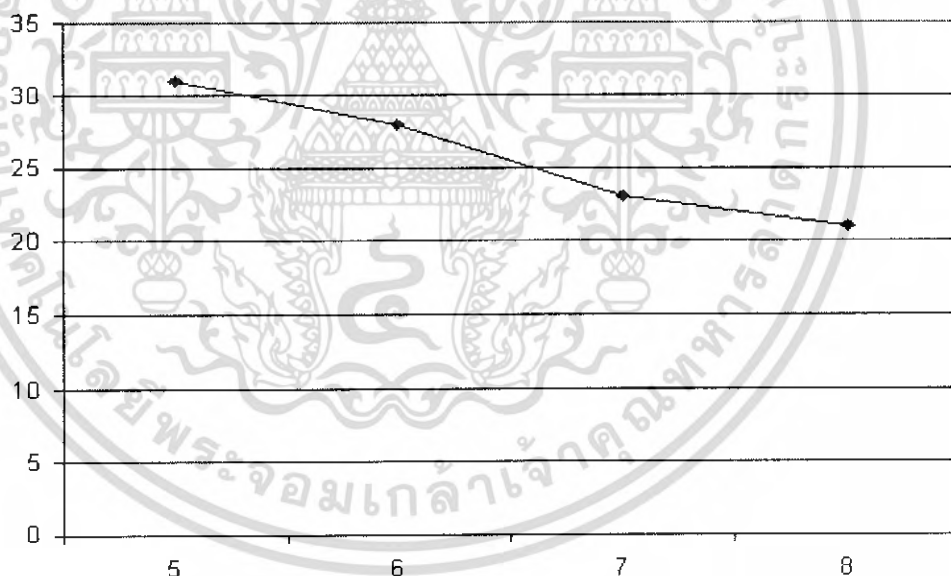
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ความกระด้างทั้งหมดจะลดลงถึงค่าหนึ่ง และความกระด้างทั้งหมดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีก เพราะเมื่อเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปมากๆ ปริมาณแคลเซียมจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้างอยู่ในน้ำจะไปเพิ่มความกระด้างทั้งหมดให้ระบบ กระบวนการปูนขาวส่วนเกินสามารถลดความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตลงเหลือประมาณ 160 มก./ล. ซึ่งต้องใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 0.37 กรัมในการกำจัดความกระด้างทั้งหมดของน้ำ 1,000 มล.

4.3.3.2 การปรับสภาพน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน โดยการเจือจางด้วยน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม

เมื่อเจือจางน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกินกับน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมในอัตราส่วนโดยปริมาตร มากกว่า 1:6 ค่าความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตจะต่ำกว่า 30 มก./ล. ดังรูปที่ 4.3 ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.2 จากค่าความกระด้างทั้งหมดนี้แสดงว่าอยู่ในเกณฑ์ที่จะนำกลับไปใช้ใหม่ที่หอหล่อเย็นได้ [1]

ความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.



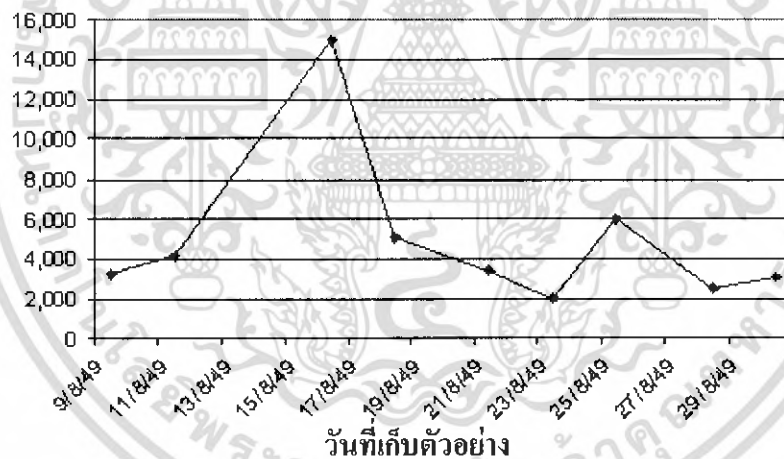
อัตราส่วนโดยปริมาตรน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมต่อน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกระด้างทั้งหมดกับอัตราส่วนน้ำล้างท่อส่งไอศกรีมต่อน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน

4.4 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม

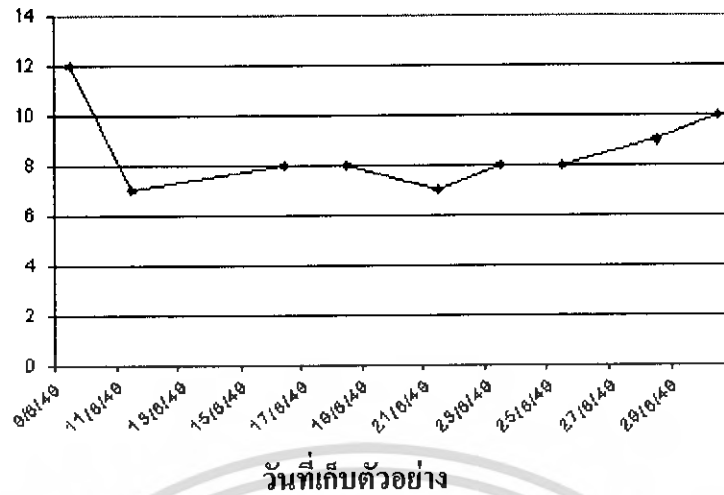
การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งของกระบวนการผลิตไอศกรีม ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์คือค่าซีโอดีและความเป็นกรด-เบส ดังรูปที่ 4.4-4.9 ภาคผนวก จ แสดงข้อมูลค่าซีโอดีและความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งของกระบวนการผลิตไอศกรีม พบว่าค่าซีโอดีและค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งในแต่ละวันไม่คงที่ เนื่องจากการผลิตไอศกรีมในแต่ละประเภทหรือประเภทเดียวกันแต่วัตถุดิบที่ใช้ต่างกัน โดยปกติน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมจะมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ช่วง 8.00-9.00 แต่ในบางวันค่าความเป็นกรด-เบสจะสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งเมื่อเปลี่ยนชนิดของไอศกรีมหรือเมื่อหยุดการผลิต ต้องล้างทำความสะอาดท่อส่งไอศกรีม เพราะน้ำยาที่ใช้ล้างทำความสะอาดท่อส่งไอศกรีมมีค่าความเป็นกรด-เบสค่อนข้างสูง เมื่อปล่อยน้ำยาส่วนนี้ลงบ่อพักจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมโดยรวมมีค่าสูงขึ้นมาก ถ้าค่าความเป็นกรด-เบสมากกว่า 9 จะมีผลกระทบต่อการทำงานของแบริโอเทคที่เรียกที่สร้างก๊าซมีเทน [10]

ค่าซีโอดี, มก./ล.



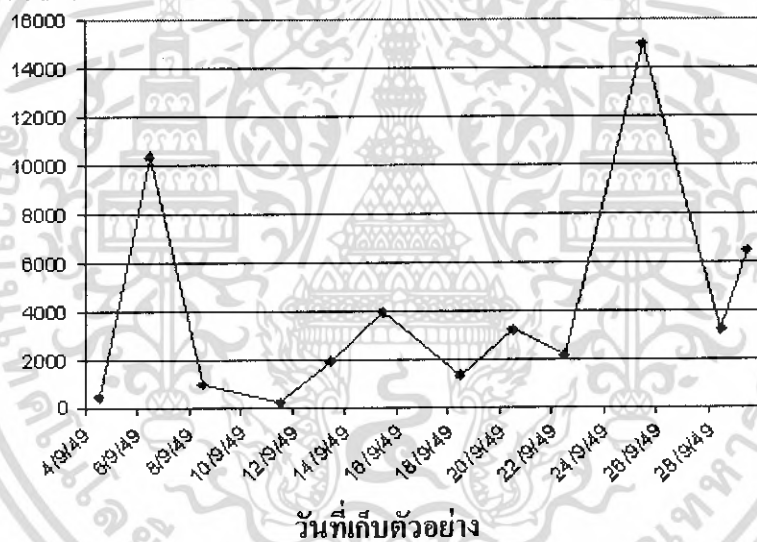
รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนสิงหาคม พ.ศ.2549

ความเป็นกรด-เบส



รูปที่ 4.5 ความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนสิงหาคม พ.ศ.2549

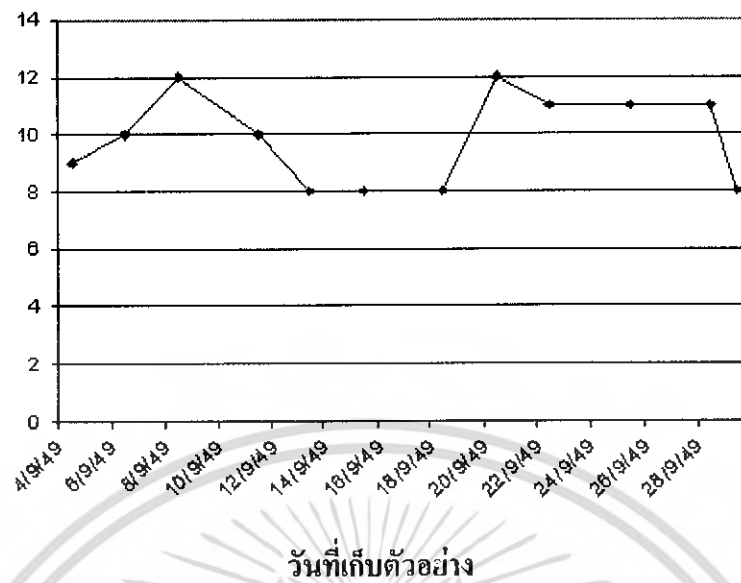
ค่าซีโอดี, มก./ล.



รูปที่ 4.6 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนกันยายน พ.ศ.2549

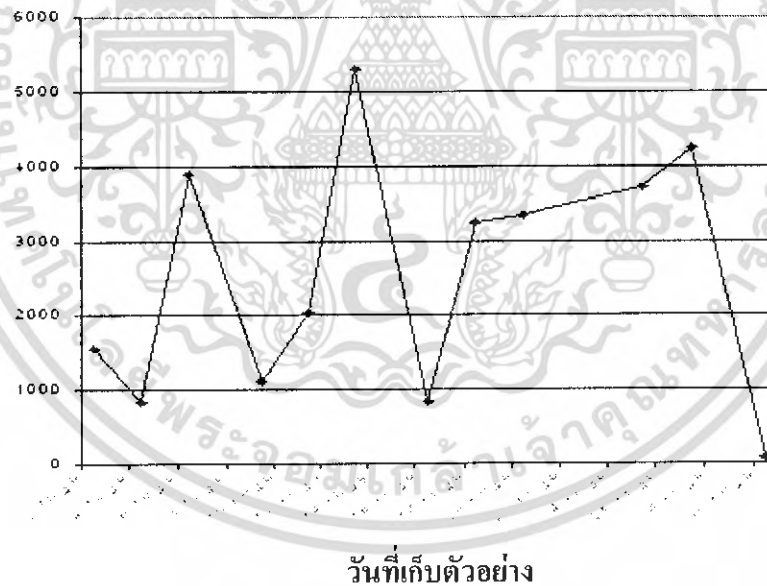
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นกรด-เบส



รูปที่ 4.7 ความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนกันยายน พ.ศ.2549

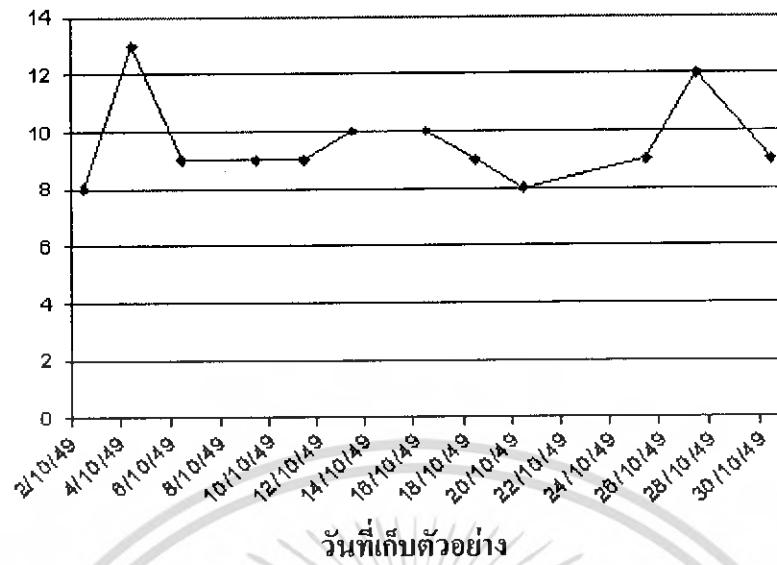
ค่าซีโอดี, มก./ล.



รูปที่ 4.8 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนตุลาคม พ.ศ.2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นกรด-เบส



รูปที่ 4.9 ความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีมเดือนตุลาคม พ.ศ.2549



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 การป้องกันและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไอศกรีม

การปรับปรุงกระบวนการและออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีมได้ทำแล้วบางส่วน แต่ส่วนใหญ่ จะเริ่มดำเนินการเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2550

5.2 การออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีม

สำหรับการออกแบบห้องล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตไอศกรีม จะเริ่มดำเนินการสร้างหลังการปรับปรุงกระบวนการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในหัวข้อ 4.1

5.3 การนำน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับที่ปรับสภาพแล้ว กลับมาใช้ใหม่

น้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผันทกลับประมาณ 33 ลบ.ม./วัน ที่ได้ปรับสภาพแล้วมีค่าความกระด้างทั้งหมดต่ำกว่า 30 มก./ล. จึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ที่หอหล่อเย็น คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ประมาณ 164,340 บาทต่อเดือน (การคำนวณแสดงในภาคผนวก จ)

5.4 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม

ข้อจำกัดคือ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งแต่ละวัน ไม่คงที่ ในบางวันค่าความเป็นกรด-เบสจะสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อมีการใช้น้ำยาที่ใช้ล้างทำความสะอาดท่อส่งไอศกรีมที่มีค่าความเป็นกรด-เบสค่อนข้างสูง ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าสูงจะทำให้แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 หลังจากการปรับปรุงกระบวนการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ เสร็จตามแผน เพื่อให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพ ควรตรวจสอบและติดตามการปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิต ให้ปฏิบัติงานตามมาตรฐานการล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเพิ่มเติม ได้แก่ ค่าบีโอดี ค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนต อุณหภูมิของน้ำเสีย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารโรงงานไอศกรีม บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด.
- [2] เอกสารการฝึกอบรมสำหรับผู้เข้าร่วมกิจกรรมฝึกงานเทคโนโลยีสะอาดประจำปี 2543 (The 2000 Cleaner Technology Internship Program). 20-25 มีนาคม 2543. เทคนิคการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด. โครงการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมสำหรับงานพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [3] พิสมัย สุริสินสิทธิ์ เอี่ยมสกุลรัตน์. เทคโนโลยีสะอาด/การป้องกันมลพิษ. [Online]. Available: <http://library.dip.go.th/multim/edoc/04197.pdf>. 2005.
- [4] เทคโนโลยีสะอาด [Online]. Available: <http://www.thaifactory.com>. 2005.
- [5] ธีราวุธ พงศ์ประยูร. เทคโนโลยีสะอาด. [Online]. Available: <http://www.library.kmitnb.ac.th>. 2005.
- [6] ธเนศ อุทิศธรรม. การใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและขนาดย่อม : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.ว. กรุงเทพมหานคร 2548.
- [7] คุณาวุฒิ เทียมทอง. เทคโนโลยีสะอาด [Online]. Available: <http://www.eng.cmu.ac.th>. 2006
- [8] ณรงค์ วุทธเสถียร. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2540.
- [9] ไพศาล วีรกิจ. การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี, 2545
- [10] มั่นสิน ตันกุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่มที่ 2 พิมพ์ครั้งที่ 1: บริษัท แชน. อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด 2542.
- [11] สุบัณฑิต นิมรัตน์. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์น้ำจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับเดือนเมษายน 2549

หัวข้อ	19/04/49		
	น้ำขาเข้า	น้ำ permeate	น้ำ concentrate
สี	ใส	ใส	ใส
ความเป็นกรด-เบส	8.42	7.07	8.59
ค่าการนำไฟฟ้า, ไมโครโมต่อเซนติเมตร	960	94	3,000
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	672	66	2,100
ความเป็นด่างฟีนอลฟาทาลีน, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	18	ไม่มี	293
ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	349	70	1,120
ความกระด้างทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	76	ไม่มี	250
คลอไรด์, มก./ล. ของคลอไรด์	52	10	130
เหล็กทั้งหมด, มก./ล. ของเหล็ก	0.071	ไม่มี	0.130

ตารางที่ ก.2 สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับเดือนพฤษภาคม 2549

หัวข้อ	13/05/49		
	น้ำขาเข้า	น้ำ permeate	น้ำ concentrate
สี	ใส	ใส	ใส
ความเป็นกรด-เบส	8.40	7.09	8.48
ค่าการนำไฟฟ้า, ไมโครโมต่อเซนติเมตร	740	50	2,500
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	518	50	2,500
ความเป็นด่างฟีนอลฟาทาลีน, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	22	ไม่มี	176
ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	349	22	1,273
ความกระด้างทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	64	ไม่มี	210
คลอไรด์, มก./ล. ของคลอไรด์	19	8	54
เหล็กทั้งหมด, มก./ล. ของเหล็ก	0.055	ไม่มี	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับเดือนมิถุนายน 2549

หัวข้อ	20/06/49		
	น้ำขาเข้า	น้ำ permeate	น้ำ concentrate
สี	ใส	ใส	ใส
ความเป็นกรด-เบส	8.40	7.00	8.57
ค่าการนำไฟฟ้า, ไมโคร โมต่อเซนติเมตร	580	110	3,300
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	616	77	2,310
ความเป็นด่างฟีนอลฟาทาลีน, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	26	ไม่มี	168
ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	345	44	1,460
ความกระด้างทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	92	8	320
คลอไรด์, มก./ล. ของคลอไรด์	54	16	212
เหล็กทั้งหมด, มก./ล. ของเหล็ก	0.068	ไม่มี	0.127

ตารางที่ ก.4 สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับเดือนกรกฎาคม 2549

หัวข้อ	06/07/49		
	น้ำขาเข้า	น้ำ permeate	น้ำ concentrate
สี	ใส	ใส	ใส
ความเป็นกรด-เบส	8.32	7.32	8.61
ค่าการนำไฟฟ้า, ไมโคร โมต่อเซนติเมตร	780	110	2,600
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	546	77	1,820
ความเป็นด่างฟีนอลฟาทาลีน, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	22	ไม่มี	269
ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	345	52	1,206
ความกระด้างทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	60	8	250
คลอไรด์, มก./ล. ของคลอไรด์	19	5	61
เหล็กทั้งหมด, มก./ล. ของเหล็ก	0.060	ไม่มี	0.100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 สภาพน้ำจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับเดือนตุลาคม 2549

หัวข้อ	14/09/49		
	น้ำขาเข้า	น้ำ permeate	น้ำ concentrate
สี	ใส	ใส	ใส
ความเป็นกรด-เบส	8.32	7.11	8.47
ค่าการนำไฟฟ้า, ไมโครโมต่อเซนติเมตร	760	62	2,400
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	532	43	1,680
ความเป็นด่างฟีนอล์ฟทาลิน, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	11	ไม่มี	111
ความเป็นด่างเมทิลเรนจ์, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	345	33	1,236
ความกระด้างทั้งหมด, มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	56	ไม่มี	190
คลอไรด์, มก./ล. ของคลอไรด์	21	5	54
เหล็กทั้งหมด, มก./ล. ของเหล็ก	0.080	ไม่มี	0.105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ออกจาก
กระบวนการออสโมซิสผันกลับและน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 สรุปปริมาณสารละลายอดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตและความกระด้างทั้งหมด
ของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับ

วันที่	ปริมาณสารละลายอดีทีเอ, มล.				ความกระด้างทั้งหมด ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
11/11/49	22.6	23.7	23.0	23.1	231.0
13/11/49	21.9	22.3	22.5	22.2	222.0
04/12/49	17.3	17.2	17.1	17.2	172.0
06/12/49	28.8	29.0	29.0	28.9	289.0
07/12/49	24.1	24.3	24.3	24.2	242.0
14/12/49	15.4	15.3	15.3	15.3	153.0
25/12/49	24.1	24.1	24.1	24.1	241.0
เฉลี่ย				22.1	221.0
05/01/50	39.8	39.8	39.8	39.8	398.0
06/01/50	32.3	32.4	32.4	32.4	324.0
11/01/50	39.4	39.4	39.4	39.4	394.0
21/01/50	38.7	38.7	38.7	38.7	387.0
24/01/50	41.0	41.0	41.0	41.0	410.0
เฉลี่ย				38.3	383.0

หมายเหตุ

$$\begin{aligned}
 \text{ความกระด้างทั้งหมด} &= (\text{ปริมาณของอดีทีเอ}) \times (\text{ความเข้มข้นของอดีทีเอ } 0.01 \text{ นอร์มัล}) \times 1,000 \\
 &= 23.00 \times 0.01 \times 1,000 \\
 &= 230.0 \text{ มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ปริมาณสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตและความกระด้างทั้งหมดของน้ำล้างท่อส่งไฮสกริม

วันที่	ปริมาณสารละลายอีดีทีเอ, มล.				ความกระด้างทั้งหมด ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
30/11/49	0.4	0.4	0.4	0.40	4.0	
04/12/49	0.2	0.2	0.2	0.20	2.0	
06/12/49	0.4	0.3	0.3	0.33	3.3	
07/12/49	0.7	0.7	0.7	0.70	7.0	
14/12/49	0.3	0.3	0.3	0.30	3.0	
	เฉลี่ย				0.39	3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการตกตะกอนน้ำ concentrate ที่ออกจากกระบวนการออสโมซิสผันกลับ
โดยกระบวนการปูนขาวส่วนเกินและการเจือจางด้วยน้ำล้างท่อส่งไอศกรีม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการตกตะกอนน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผันกลับโดย
กระบวนการหมุนเวียนส่วนเกิน เดือน มกราคม พ.ศ. 2550

ปริมาณแคลเซียม ไฮดรอกไซด์, กรัม	ปริมาณอิทธิเอ, มก./ล.					ความกระด้างทั้งหมด ในรูปแคลเซียม คาร์บอเนต, มก./ล.
	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 11	วันที่ 21	วันที่ 24	
0.00	39.8	32.4	39.3	38.7	41.0	398.0
0.31		17.2	19.6	22.9		222.7
0.32	22.3	17.0	21.2	21.0	23.1	183.7
0.33			19.1	19.3	22.6	195.0
0.34			17.4	17.0	21.6	203.0
0.35	18.4		17.8	15.7	19.7	225.3
0.36			19.5	15.9	17.0	174.7
0.37				15.9	16.4	161.5
0.38	19.5		20.3	18.3	15.9	185.0
0.39			19.1	18.4	16.8	181.0
0.40			18.0	20.0	16.4	181.3
0.41	20.3			19.0	16.8	187.0
0.42				19.0	17.5	182.5
0.43	22.5			21.4	20.4	214.3
0.44				22.1	21.9	220.0
0.45					22.9	229.0
0.46				23.7	25.8	247.5
0.47				24.9		249.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ปริมาตรของอีดีทีเอที่ไทเทรตกับความกระด้างทั้งหมดของน้ำ concentrate ที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน เมื่อเจือจางกับน้ำล้างท่อส่งไฮดรอกไซด์

อัตราส่วนโดยปริมาตรน้ำล้างท่อส่งไฮดรอกไซด์ต่อน้ำ concentrate ที่ผ่านกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน	ปริมาตรอีดีทีเอ, มก./ล.				ความกระด้างทั้งหมดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, มก./ล.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
5	3.1	3.1	3.1	3.10	31.0
6	2.8	2.8	2.8	2.80	28.0
7	2.3	2.3	2.3	2.30	23.0
8	2.1	2.1	2.1	2.10	21.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณความกระด้างทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณความกระด้างทั้งหมด

จากตารางที่ ข-1 วันที่ 11 พฤศจิกายน 2549 ปริมาตรสารละลายอีดีทีเอเฉลี่ยเท่ากับ 23.1 มล.

$$\begin{aligned}
 \text{ความกระด้างทั้งหมด} &= (\text{ปริมาตรของอีดีทีเอ}) \times (\text{ความเข้มข้นของอีดีทีเอ}) \times 1,000 \\
 &= 23.1 \times 0.01 \times 1,000 \\
 &= 231.0 \text{ มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต}
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์
ในกระบวนการปูนขาวส่วนเกินและค่าใช้จ่ายในกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในกระบวนการปูนขาวส่วนเกินและค่าใช้จ่ายในกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน

การคำนวณปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต่อวัน

ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ค.1) ที่เติมและทำให้ความกระด้างทั้งหมดในข้อ 4.3.3.1 ต่ำสุดที่ 160 มก./ล. = 0.37 กรัมต่อลิตร

จากข้อมูลของบริษัทฯ อัตราการไหลของน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับ = 33 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = 0.37×33
= 12.21 กิโลกรัมต่อวัน

ค่าใช้จ่ายในกระบวนการปูนขาวส่วนเกิน

ราคาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ = 200 บาทต่อกิโลกรัม

หรือ = 12.21×200
= 2,442 บาทต่อวัน

ราคาค่าบำบัดน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับ

= 240 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
= 33×240
= 7,920 บาทต่อวัน

ดังนั้นเงินที่ประหยัดได้จากการนำน้ำ concentrate จากกระบวนการออสโมซิสผกกลับกลับมาใช้ใหม่

= $7,920 - 2,442$
= 5,478 บาทต่อวัน

หรือ = $5,478 \times 30$

= 164,340 บาทต่อเดือน

ภาคผนวก ฉ
ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนมกราคม 2549

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
02/01/49	190	1,723.6	7.00	39
03/01/49		1,457.00	9.00	106
05/01/49	1,950.0	3,252.00		209
06/01/49	1,390	7,860.00	13.00	178
09/01/49	7,580	1,015.60	10.00	146
10/01/49		1,593.40		136
11/01/49		5,934.00		133
12/01/49		1,153.20		164
13/01/49	4,190	2,458.30	8.00	158
16/01/49	80	1,047.8	8.00	114
17/01/49		2,336.3	8.00	167
18/01/49	4,900	1,178.0	9.00	174
20/01/49	5,370	1,227.6	9.00	151
25/01/49	1,200	2,067.9	11.00	165
26/01/49		7,296.0	14.00	174
27/01/49	10,950	4,656.0	14.00	165
30/01/49	300	4,722.0	12.00	158
31/01/49		1,630.6	8.00	175
เฉลี่ย	3,784	2,687	10	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนกุมภาพันธ์ 2549

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการใช้, ลบ.ม./วัน
06/02/49	490	758.26	9.00	150
07/02/49		2,257.00	10.00	161
08/02/49	3,800	981.46	9.00	172
09/02/49		1,283.40	8.00	206
10/02/49	2,550	1,537.60	8.00	136
14/02/49	4,830	1,860.5	11.00	290
16/02/49		5,712.0	9.00	159
17/02/49	2,070	5,172.0	14.00	191
20/02/49	1,880	2,623.0	12.00	177
21/02/49		732.2	9.00	163
22/02/49		829.6	8.00	183
23/02/49		850.6	10.00	169
24/02/49	10,490	1,246.2	9.00	199
27/02/49	3,390	3,408.0	12.00	140
28/02/49		1,289.6	11.00	147
เฉลี่ย	3,264	1,989	10	175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนมีนาคม 2549

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
06/03/49	1,330	1,339.20	8.00	157
07/03/49		2,000.80	12.00	160
08/03/49	7,220	1,636.80	7.00	38
09/03/49	3,930	2,013.00	7.50	150
10/03/49	2,370	1,711.20	11.00	197
13/03/49	5,940	1,698.80	9.00	184
16/03/49		2,513.2	12.00	172
17/03/49	1,520	1,872.7	9.00	168
20/03/49	2,940	2,860.9	11.00	66
21/03/49		1,804.2	12.00	211
22/03/49	2,510	1,791.8	12.00	198
23/03/49		2,745.0	11.00	175
24/03/49	980	2,464.4	12.00	175
เฉลี่ย	3,333	2,137	10	158

ตารางที่ ๓.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนเมษายน 2549

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
05/04/49		1,927.60	9.00	116
06/04/49		3,606.00	12.00	163
11/04/49	2,310	1,044.70	10.00	90
12/04/49		2,324.10	11.00	156
18/04/49	480	1,909.3	10.00	133
19/04/49		3,222.0	12.00	131
20/04/49		3,054.0	11.00	193
21/04/49		3,786.0	14.00	208
22/04/49	1,520	2,244.8	12.00	182
25/04/49	860	2,354.6	10.00	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนเมษายน 2549 (ต่อ)

วันที่	ซีโอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
26/04/49		1,333.0	11.00	191
27/04/49		2,214.3	12.00	199
28/04/49		3,822.0	12.00	184
29/04/49	1,690	1,605.8	8.00	188

ตารางที่ ๓.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนพฤษภาคม 2549

วันที่	ซีโอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
08/05/49	1,220	1,939.80	12.00	245
09/05/49	1,240	1,705.00	7.00	236
10/05/49	3,470	1,599.60	7.00	207
11/05/49		2,372.90	12.00	235
15/05/49	3,100	1,333.0	8.00	266
16/05/49	6,250	1,169.9	8.00	227
17/05/49	2,280	842.9	8.00	229
18/05/49		931.2	8.00	235
19/05/49	2,460	626.6	9.00	247
23/05/49		1,543.8	10.00	244
24/05/49	2,010	1,574.8	9.00	221
25/05/49		1,320.6	11.00	218
26/05/49	1,480	790.0	9.00	222
29/05/49	20	1,152.9	9.00	233
30/05/49	4,610	1,736.0	8.00	237
31/05/49	1,270	2,458.3	8.00	261
เฉลี่ย	2,602	1,430	9	238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนมิถุนายน 2549

วันที่	ซีโอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
06/06/49		874.00	9.00	268
07/06/49	4,450	4,440.00	12.00	268
08/06/49		1,885.00	8.00	304
12/06/49	1,110	900.00	8.00	217
13/06/49		2,049.00	9.00	259
14/06/49	1,590	2,507.0	10.00	217
15/06/49		904.0	9.00	248
16/06/49	1,550	2,128.0	8.00	267
19/06/49	2,560	1,915.0	8.00	256
20/06/49		2,989.0	8.00	257
21/06/49	2,290	2,616.0	7.00	294
22/06/49		3,456.0	8.00	224
23/06/49	3,120	3,228.0	8.00	263
26/06/49	1,250	1,836.0	8.00	220
27/06/49	2,880	2,623.0	9.00	258
28/06/49	1,470	5,172.0	14.00	278
29/06/49		1,872.0	8.00	285
30/06/49	1,550	1,320.0	9.00	304
เฉลี่ย	2,165	2,373	9	260

ตารางที่ ๑.7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนกรกฎาคม 2549

วันที่	ซีโอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
03/07/49	2,790	895.00	7.00	335
04/07/49		1,345.00	9.00	309
05/07/49	1,000.0	2,976.00	14.00	339
06/07/49		1,860.00	11.00	378
07/07/49	2,530	1,836.00	8.00	355

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนกรกฎาคม 2549

(ต่อ)

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
12/07/49	13,020	4,020.00	12.00	292
13/07/49		894.00	9.00	309
14/07/49	1,980	3,048.0	12.00	333
17/07/49	2,400	1,264.0	9.00	175
18/07/49		1,351.0	10.00	292
19/07/49	560	2,397.0	8.00	290
20/07/49		795.0	8.00	381
21/07/49	1,510	1,717.0	9.00	329
24/07/49		984.0	9.00	188
25/07/49		836.0	9.00	238
26/07/49	5,870	1,345.0	8.00	300
27/07/49		3,098.0	12.00	279
28/07/49	2,950	4,494.0	14.00	307
31/07/49	15,000	1,444.0	7.00	258
เฉลี่ย	4,510	2,007	10	301

ตารางที่ ๗.8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนสิงหาคม 2549

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
07/08/06		3,288.00	8.00	280
08/08/49		2,464.00	7.00	247
09/08/49	3,270	3,234.00	12.00	280
10/08/49		2,366.00	11.00	272
11/08/49	4,150	3,378.00	7.00	290
15/08/49		1,994.0	7.00	222
16/08/49	15,000	2,684.0	8.00	289
17/08/49		1,326.0	9.00	236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๘.8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนสิงหาคม 2549 (ต่อ)

วันที่	ซีโอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
18/08/49	5,070	2,433.0	8.00	280
21/08/49	3,370	3,720.0	7.00	164
22/08/49		2,507.0	8.00	225
23/08/49	1,990	3,702.0	8.00	230
24/08/49		5,250.0	12.00	225
25/08/49	6,000	3,414.0	8.00	262
28/08/49	2,450	7,020.0	9.00	266
29/08/49		2,519.0	9.00	282
30/08/49	3,070	1,661.0	10.00	308
เฉลี่ย	4,692	3,099	9	261

ตารางที่ ๘.9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนกันยายน 2549

วันที่	ซีโอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
04/09/49	420	1,395.00	9.00	299
05/09/49		2,110.00	9.00	304
06/09/49	10,380	1,692.00	10.00	307
07/09/49		1,744.00	13.00	272
08/09/49	950	1,467.00	12.00	270
11/09/49	220	1,866.00	10.00	233
12/09/49		2,714.00	8.00	271
13/09/49	1,890	2,025.00	8.00	348
14/09/49		2,842.6	11.00	280
15/09/49	3,950	2,312.6	8.00	273
18/09/49	1,360	3,048.0	8.00	282
19/09/49		2,275.0	7.00	272
20/09/49	3,160	5,130.0	12.00	280
21/09/49		1,705.0	8.00	298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.๑ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนกันยายน 2549 (ต่อ)

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
22/09/49	2,150	1,822.0	11.00	334
25/09/49	15,000	4,104.0	11.00	253
26/09/49		1,264.0	7.00	278
27/09/49		1,152.0	9.00	372
28/09/49	3,150	1,921.0	11.00	298
29/09/49	6,460	1,810.0	8.00	296
เฉลี่ย	4,091	2,220	10	291

ตารางที่ ๑.10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนตุลาคม 2549

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
02/10/49	1,570	696.0	8.00	203
03/10/49		1,866.00	9.00	273
04/10/49	840	2,263.00	13.00	290
05/10/49		2,116.00	13.00	275
06/10/49	3,890	1,550.00	9.00	334
09/10/49	1,120	1,163.00	9.00	256
10/10/49		3,540.00	7.00	286
11/10/49	2,030	2,311.00	9.00	308
12/10/49		1,705.00	8.00	232
13/10/49	5,300	1,934.40	10.00	244
16/10/49	840	2,116.0	10.00	67
17/10/49		1,933.0	8.00	210
18/10/49	3,240	1,711.0	9.00	273
19/10/49		1,457.0	9.00	311
20/10/49	3,330	2,311.0	8.00	277
24/10/49		902.0	8.00	264
25/10/49	3,710	1,165.0	9.00	273

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไอศกรีม เดือนตุลาคม 2549 (ต่อ)

วันที่	ซีไอดี, ส่วนในล้านส่วน	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ส่วนในล้านส่วน	ความเป็น กรด-เบส	อัตราการไหล, ลบ.ม./วัน
26/10/49		1,568.0	11.00	230
27/10/49	4,240	3,642.0	12.00	253
30/10/49	80	993.0	9.00	254
31/10/49		1,401.0	7.00	235
เฉลี่ย	3,096	2,038	9	258



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้