



**DESIGN OF INSTRUMENTATION AND DEVELOPMENT OF  
CONTROL SYSTEM IN OSMOTIC PROCESS OF FOOD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2010**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบเครื่องมือวัดและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการ  
แปรรูปอาหาร ด้วยวิธีออสโมติก  
DESIGN OF INSTRUMENTATION AND DEVELOPMENT OF  
CONTROL SYSTEM IN OSMOTIC PROCESS OF FOOD.

นักศึกษาผู้จัดทำ นาย นินาท แสงอุบล รหัสนักศึกษา 50010825  
นาย ปฐพี สุขเกษม รหัสนักศึกษา 50010948  
นาย ปิยะพงษ์ วิเศษสถาพร รหัสนักศึกษา 50010980  
นาย อัครพล กิมป์สุทธิรักษ์ รหัสนักศึกษา 50011911

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีพล ชัยสัตถ์	

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบเครื่องมือวัดและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการ  
แปรรูปอาหาร ด้วยวิธีออสโมติก  
DESIGN OF INSTRUMENTATION AND DEVELOPMENT OF  
CONTROL SYSTEM IN OSMOTIC PROCESS OF FOOD.

นักศึกษาผู้จัดทำ นาย นินาท แสงอุบล รหัสนักศึกษา 50010825  
นาย ปฐพี สุขเกษม รหัสนักศึกษา 50010948  
นาย ปิยะพงษ์ วิเศษสถาพร รหัสนักศึกษา 50010980  
นาย อัครพล ลิ้มปัฐริราชต์ รหัสนักศึกษา 50011911

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีพล ชื้อสัตย์  
ปีการศึกษา 2553

### บทคัดย่อ

กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก นั้นเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการแปรรูปผักผลไม้โดยปราศจากการให้ความร้อนสามารถทำได้ง่ายในระดับครัวเรือน อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การแปรรูปด้วยหลักการออสโมติก ในระดับอุตสาหกรรมถูกจำกัดเรื่อง ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้คงที่และการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ อย่างต่อเนื่อง ในงานวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาเครื่องมือวัด ที่เหมาะสมและระบบการควบคุมเฉพาะ สำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก ซึ่งเครื่องมือวัดที่จำเป็น สำหรับระบบนี้มีหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายออสโมติกเป็นหลัก เครื่องมือวัดที่นำมาใช้ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดค่า pH และส่วนที่สำคัญที่สุดคือ เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลาย โดยทั่วไปใน ห้องปฏิบัติการการวัดความเข้มข้นของสารละลายใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี ซึ่งเมื่อนำประยุกต์ใช้ใน ระบบควบคุมอัตโนมัติพบว่ามีความยุ่งยากและซับซ้อน อย่างไรก็ตาม นอกจากการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคดังกล่าวแล้วยังมีเทคนิคอื่นๆอีก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายต่างๆได้เช่นกัน โดยแต่ละเทคนิคจะเหมาะสมสำหรับการตรวจวัด สารละลายแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้า (Electrical Capacitance) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เครื่องมือวัดจะทำงานร่วมกับระบบ ควบคุมที่พัฒนาขึ้นมาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวที่พัฒนาการ โปรแกรมแบบเพทรีเน็ตซึ่งสะดวก สำหรับผู้ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุม

**Thesis Title** Design of Instrumentation and Development of Controlsystem  
in osmotic process of food.

**Authors** Mr. Ninat Sangubon  
Mr. Pathaphi Sukkasem  
Mr. Piyapong Wisetsatporn  
Mr. Akrapol Limpsutiratchata

**Thesis Advisor** Assoc. Prof. Dr. Taweepol Suesut

**Year** 2010

### ABSTRACT

Principles of food processing by osmotic is the process that used in the processing of fruits and vegetables without heating and can be done easily in the household. However, the current process with the principles of osmotic in industrial is limited by the control concentration of osmotic at a constant and its recovery continues. This research presents the development of appropriate instrumentation and control systems for a food with the principles of osmotic. The instrumentation required for this system vary depending on the type of osmotic solution such as Thermometer pH meter and the most important part is measuring the concentration of the solution by using technique specification calling spectroscopy. And we found the new application in automatic control systems that have a relatively high cost. However, there are other techniques that can be applied to measure the concentration measurements of solution as well and each technique is appropriate for measuring each vary type of solution . In this research, the relationship of the capacitance (Electrical Capacitance) and the concentration of sugar solution are using and the Instrumentation will be working with developed control system with embedded technology development program which is convenient for users to control programming.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ทวีพล ชื่อดัตต์ ที่ให้ความช่วยเหลือเพื่อข้อมูล ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงการวิจัยนี้ขอขอบคุณ ผศ.ดร.นวกัทรာ หนูนาท ที่ให้คำปรึกษาและเอื้อเพื่อข้อมูลในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท แวนด้า พรีเมียร์ฟู้ด จำกัด ตำบลแสนตอ อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ที่เอื้อเพื่อข้อมูลการแปรรูปผักและผลไม้แช่แข็งด้วยกระบวนการออสโมติก

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่เอื้อเพื่อ อุปกรณ์คำแนะนำและสถานที่ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์คำแนะนำและสถานที่ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องทุกท่าน ใน สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำโครงการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์และที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.5 ขอบเขตของโครงการ.....	4
1.6 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก.....	6
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติก.....	7
2.3 หน่วยวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล.....	8
2.4 วิธีการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล.....	8
2.4.1 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางแสง.....	8
2.4.1.1 รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer).....	8
2.4.1.2 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer).....	12
2.4.2 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางกล.....	13
2.4.2.1 ออสซิลเลทแบบท่อตัวยู (Oscillator u-tube).....	13
2.4.2.2 การวัดค่าความหนาแน่น.....	14
2.4.2.3 การวัดอัตราการไหลของมวลโครีโอลิส.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า.....	16
2.4.3.1 อัลตราโซนิก (Ultrasonic).....	16
2.4.3.2 คลื่นไมโครเวฟ (Microwave measurement).....	16
2.4.3.3 คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency measurement).....	18
2.5 การวัดค่าความจุไฟฟ้า.....	20
2.6 การวัดค่าความนำทางไฟฟ้า.....	21
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร.....	22
2.8 ประเภทของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
<b>บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก.....</b>	<b>29</b>
3.1 การแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบปัจจุบัน.....	29
3.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล (ต้นแบบ).....	30
3.2.1 ถ้าการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ.....	30
3.2.1.1 สารละลายกรด.....	31
3.2.1.2 สารละลายน้ำตาล.....	33
3.2.2 การออกแบบเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้น.....	35
3.2.3 การทดสอบเครื่องมือวัดสารละลายในการผลิต (จากโรงงาน).....	37
3.3 การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด PC-based Control.....	39
3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานบนพื้นฐานคอมพิวเตอร์.....	41
3.5 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ.....	46
3.6 การทำงานของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติ.....	57
3.7 การทดสอบการทำงาน.....	58
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>59</b>
4.1 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	59

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	60
ภาคผนวก.....	63



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความถี่วิทยุในย่านต่างๆ.....	17
3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจากโรงงาน.....	35
3.2 ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะละกอและน้ำแกนสับปะรดที่ถึงแช่ที่ 1 2 และ 3.....	38
3.3 ตัวอย่างการคำนวณ FCS.....	42
3.4 ตารางแสดงส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก.....	51



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังแสดงความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้รายงานวิจัย.....	3
2.1 หลักการถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมติก.....	7
2.2 ระบบการสะท้อนของแสง.....	9
2.3 รีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา.....	10
2.4 รีแฟรคโตมิเตอร์ ชนิดพกพาแบบคิงคอลลและ แบบตั้งโต๊ะ (Abbe refractometer).....	11
2.5 หลักการทำงานของรีแฟรคโตมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ.....	11
2.6 เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นแบบในกระบวนการ.....	12
2.7 สเปคโตรมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ.....	12
2.8 หลักการทำงานของสเปคโตรมิเตอร์.....	13
2.9 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยออสซิลเลทแบบท่อด้วย.....	14
2.10 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการตรวจจับความดัน.....	15
2.11 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการวัดอัตราการไหลของมวลโครีโอสติค.....	15
2.12 การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิค.....	16
2.13 ตัวเซนเซอร์การวัดค่าความเข้มข้นด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิค.....	16
2.14 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นโดยใช้ไมโครเวฟ.....	17
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างเฟสและความเข้มข้น.....	18
2.16 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยไมโครเวฟ.....	18
2.17 ผังการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุ.....	19
2.18 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุ.....	19
2.19 Capacitive Transducer ลักษณะทรงกระบอก.....	20
2.20 แท่งอิเล็กโทรด.....	22
2.21 เครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้แต่ละประเภท.....	27
2.22 Analog module.....	28
2.23 Digital module.....	28
3.1 กระบวนการเชื่อมในโรงงาน.....	30
3.2 การวัดค่าทางไฟฟ้าในการทดลอง.....	31
3.3 อุปกรณ์ในการทดลองและหัววัดค่าการนำไฟฟ้า.....	32
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ.....	33
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ.....	34
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ.....	34
3.8 แผนวงจรสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย.....	36
3.9 วงจรวัดค่าประจุไฟฟ้าสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย.....	36
3.10 แผนวงจรและหัวข้อต้นแบบที่สร้างขึ้นในการทดลอง.....	37
3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ .....	38
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ.....	38
3.13 วงจรอินเทอร์เฟซแบบอนุกรม RS232 และRS485 .....	40
3.14 วงจรอินพุทและเอาต์พุทแบบดิจิทัล.....	40
3.15 วงจรอินพุทและเอาต์พุทแบบอนาล็อก.....	40
3.16 ผังการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรม.....	41
3.17 การทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรม.....	41
3.18 การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม.....	42
3.19 รูปแบบข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม .....	43
3.20 คอมพิวเตอร์และ โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน.....	44
3.21 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ.....	44
3.22 โปรแกรมควบคุมส่วนอัตโนมัติ.....	46
3.23 การเลือก Port ที่ใช้ในการควบคุม.....	46
3.24 กระบวนการอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ.....	48
3.25 ระบบอุตสาหกรรมแบบสามมิติ.....	49
3.26 ถังแช่และถังเก็บสารละลายอุตสาหกรรม.....	49
3.27 ระบบอุตสาหกรรมด้านหลังและด้านบน.....	50
3.28 ส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการอุตสาหกรรม.....	50
3.29 ถังผสม.....	52
3.30 มอเตอร์ใบกวนผสม.....	52
3.31 ใบกวนผสม.....	53

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.32 เครื่องมือวัดระดับชนิดลูกลอย.....	53
3.33 ถังและตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่าง.....	54
3.34 การติดตั้งหัววัดความเข้มข้นลงถังออสโมติก.....	54
3.35 เครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเมื่อนำมาใช้กับระบบ .....	55
3.36 โซลินอยล์วาล์วขนาด ½ นิ้ว.....	55
3.37 ตู้ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบ.....	56
3.38 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	57



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์และที่มาของปัญหา

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรม กลุ่ม สินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปทาง การเกษตร จัดเป็นสินค้าที่สร้างรายได้ให้กับประเทศอย่างมาก โดยมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น ในปี พ.ศ.2551 มูลค่ากว่า 662,251.53 ล้านบาท โดยคิดเป็นพืชผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์ 20,488.21 ล้านบาท (ที่มา: กรมส่งเสริมการส่งออก, 2551) ผักและผลไม้ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ที่ต้องเก็บเกี่ยวตามฤดูกาล เน้นเสียได้ง่าย มีอายุการเก็บรักษาสั้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าการขายค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก ปริมาณของสินค้า (Supply) มากกว่าปริมาณความต้องการ ของผู้บริโภค (Demand) ซึ่ง ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดย การแปรรูปผักและผลไม้ด้วยวิธีต่างๆ เช่น การอบแห้ง การกวน หรือการดอง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปจะสามารถเก็บไว้ได้เป็นระยะเวลานาน และยัง เป็นการเพิ่มมูลค่าของผักและผลไม้อีกด้วย

กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการทางออสโมติกเป็น กระบวนการหนึ่ง ที่ใช้ในการแปรรูปผักผลไม้ โดยปราศจากการให้ความร้อนสามารถทำได้ง่ายในระดับอย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การแปรรูปด้วยหลักการออสโมติกในระดับอุตสาหกรรมถูกจำกัดเรื่องการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ให้คงที่และการนำสารละลายกลับ มาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องสาเหตุเพราะขาด การศึกษาและพัฒนาเครื่องมือวัดที่เหมาะสมและระบบการควบคุมเฉพาะสำหรับการแปรรูปอาหาร ด้วยหลักการออสโมติกอย่างจริงจัง ซึ่งเครื่องมือวัดที่จำเป็นสำหรับระบบนี้มีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายออสโมติกเป็นหลัก เครื่องมือวัดที่ใช้ทั่วๆ ไปได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดค่า pH และส่วนที่สำคัญที่สุดคือเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลาย

โดยทั่วไปใน ห้องปฏิบัติการ การวัดความเข้มข้นของสารละลายใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี ซึ่งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ ในระบบควบคุมอัตโนมัติ พบว่ามีต้นทุนที่ค่อนข้างสูงมาก อย่างไรก็ตาม นอกจาก การวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคดังกล่าวแล้ว ยังมีเทคนิคอื่นๆอีกที่สามารถนำมาประยุกต์ ใช้ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้เช่นกัน ซึ่งโดยแต่ละเทคนิคนั้น เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลายแต่ละชนิด แตกต่างกันไป เช่น การใช้ความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเกลือและการใช้ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้า (Electrical Capacitance) กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย น้ำตาล (Schmidt, 1927) เป็นต้น

อุตสาหกรรมอาหารเป็น อุตสาหกรรมหนึ่ง ที่นำระบบการควบคุมอัตโนมัติ มาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เนื่องจากปัจจุบันปริมาณความต้องการ ในการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทั้งในและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างประเทศ ทำให้กระบวนการผลิตต้องปรับตัวให้สามารถผลิตได้ปริมาณมากขึ้น ในระยะเวลาอันสั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาปรับใช้ในการแปรรูปอาหาร

ระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีหลายประเภท แบ่งตามขนาดของโรงงาน ได้แก่ DCS เป็นเครื่องควบคุม ที่เหมาะสำหรับการใช้งานในโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น ส่วนเครื่อง PLC และ PC-based Control เหมาะสำหรับโรงงานขนาดกลางและโรงงานขนาดเล็กปัจจุบัน อุตสาหกรรมอาหารกว่าร้อยละ 90 ใช้เครื่อง PLC เป็นเครื่องควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับ PC-based Control กับ PLC พบว่า PC-based Control มีต้นทุนที่ถูกกว่า ซึ่งสามารถแสดงผลและบันทึกผลได้ เนื่องจากปัจจุบันคอมพิวเตอร์ ได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้หลากหลาย มีความสะดวกในการเชื่อมต่อเครือข่ายและการติดต่อสื่อสาร ในขณะที่ PLC สามารถควบคุมเครื่องจักรได้ดี แต่ในการแสดงผลจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมอีกมาก PC-based Control จึงมีแนวโน้มในการนำมาปรับใช้แทน PLC ที่มีต้นทุนสูงกว่า

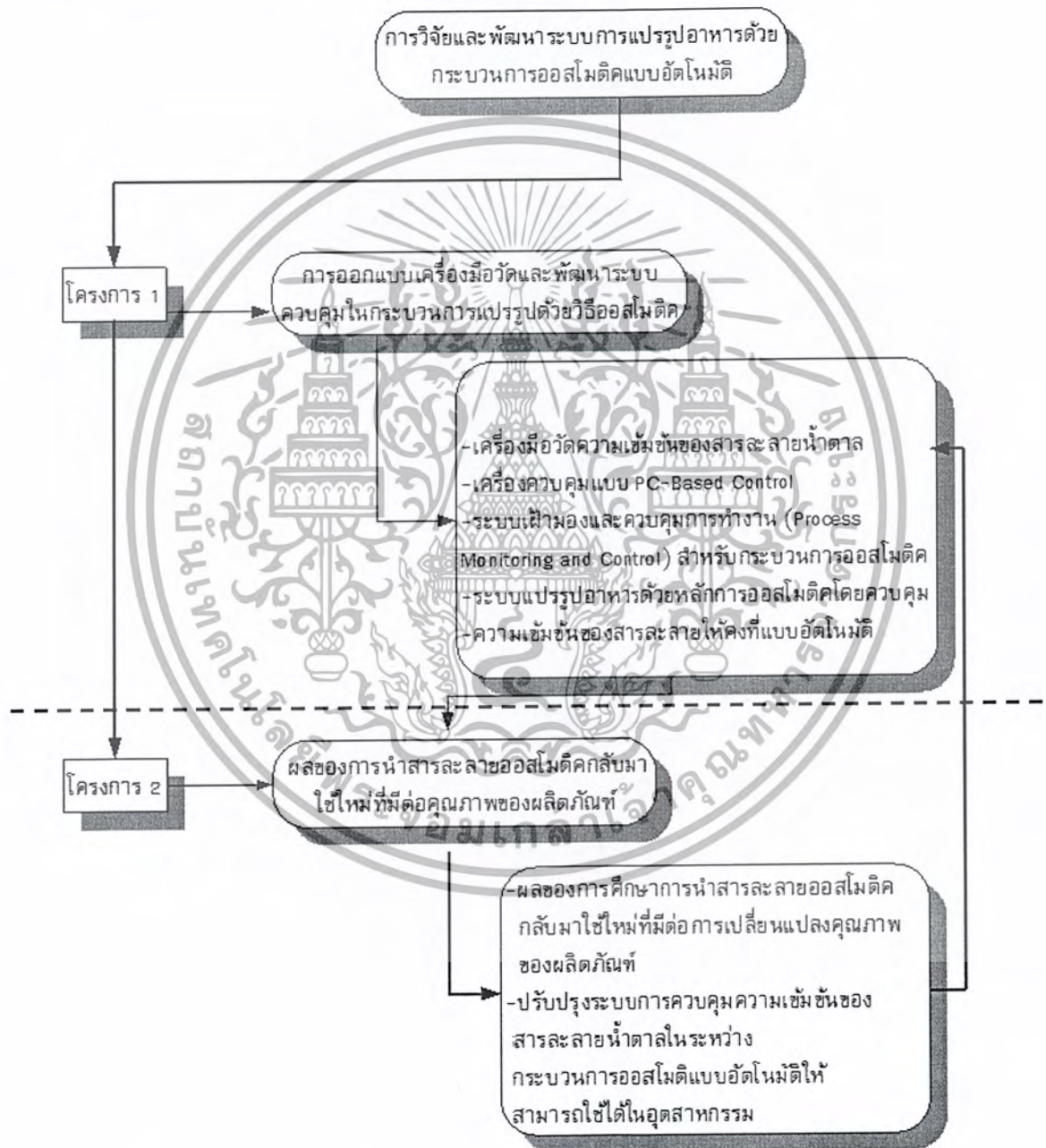
ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงได้ ออกแบบสร้างเครื่องตรวจวัด ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต้นทุนต่ำ เพื่อใช้ในการควบคุม ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้คงที่และพัฒนาสู่ ระบบควบคุมการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด PC-based Control โดยเขียน โปรแกรมให้แสดงผลด้วยภาพกราฟฟิคและส่งสัญญาณควบคุมในลักษณะการควบคุมแบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ที่สามารถใช้งานได้จริงและราคาไม่แพงมาก เมื่อเทียบกับเครื่องควบคุมชนิดอื่น การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการ แปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกนี้ จะสามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตได้ เป็นสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้และรวม ไปถึงอาหารชนิดอื่นๆ สามารถส่งออกและแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศได้อย่างยั่งยืน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อออกแบบเครื่องมือวัดความเข้มข้น ของสารละลายออสโมติก แบบ In-line เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการแปรรูปด้วยหลักการออสโมติก
2. เพื่อพัฒนาระบบควบคุม โดยการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ บนพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ (PC-Based Control)
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบต่อเนื่อง ให้สามารถใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

### 1.3 รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย

ภายใต้แผนการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาระบบการแปรรูปอาหารด้วยกระบวนการออสโมติกแบบอัตโนมัติ” ประกอบด้วยโครงการจำนวน 2 โครงการ ระยะเวลาสำหรับแผนการวิจัยนี้รวมทั้งสิ้น 2 ปีรายละเอียดแต่ละโครงการดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีที่ 1 (โครงการที่ 1) มีผลผลิตคือ

- เครื่องมือวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล
- ระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด PC-based Control
- โปรแกรมควบคุมการทำงาน
- ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ

ปีที่ 2 (โครงการที่ 2) มีผลผลิตคือ

- ระบบการเตรียมสารละลายอย่างอัตโนมัติ
- ข้อมูลการใช้งานระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ
- ข้อมูลการใช้งานระบบแปรรูปอาหาร ด้วยหลักการออสโมติกและการนำ สารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างอัตโนมัติ
- ข้อมูลการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินการพัฒนาอุตสาหกรรม

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เครื่องมือวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลชนิดต้นทุนต่ำ
2. ได้ระบบควบคุมการแปรรูปผักและผลไม้ ด้วยหลักการทางออสโมติก ชนิดควบคุมความเข้มข้น ของสารละลายออสโมติกให้คงที่และสามารถ นำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ
3. ได้ระบบต้นแบบของการแปรรูปผักและผลไม้ ที่อาศัยหลักการออสโมติกที่สามารถนำมาพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและย่อม
4. ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผักผลไม้ หรืออาหารชนิดอื่นๆ ที่แปรรูปด้วยหลักการเดียวกันนี้ได้

#### 1.5 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล
2. พัฒนาระบบควบคุม ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ให้คงที่ในระหว่างกระบวนการออสโมติก
3. พัฒนาระบบควบคุมและสั่งการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ (PC-Based Control) โดยทำงานในลักษณะกราฟฟิกบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์
4. พัฒนาระบบควบคุมร่วมกับเครื่องมือวัด ในกระบวนการแปรรูป ด้วยหลักการออสโมติก ได้แก่ เครื่องมือวัดค่า pH อุณหภูมิและความเข้มข้น รวมถึงการควบคุมการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทุกชนิดที่อาศัยหลักการออสโมติกหรือการดอง โดยประโยชน์ที่จะได้รับคือ การลดระยะเวลา ลดพื้นที่ (ในกรณีที่ผลิตปริมาณมาก) ลดต้นทุน (จากการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่) สามารถขยายขนาดและเพิ่มกำลังผลิตได้ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ปริมาณวัตถุดิบมากเกินกว่ากำลังที่ผู้ประกอบการจะเก็บในรูปของวัตถุดิบสดหรือในช่วงเวลาที่มีรายการสั่งซื้อสูง เป็นต้น



## บทที่ 2

# การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

กระบวนการออสโมติก (Osmotic Process) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเบื้องต้นที่อาศัยการดึงน้ำบางส่วนออกจากอาหาร โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ โดยการแช่ชิ้นอาหารเช่น ผักหรือผลไม้ ลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงหรือสารละลายออสโมติก เช่น สารละลายน้ำตาลและสารละลายเกลือ เป็นต้น เนื่องจากสารละลายความเข้มข้นสูงเหล่านี้ มีปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำ มีค่าความดันออสโมติกสูง จึงส่งผลให้เกิดแรงขับเคลื่อนของน้ำในชิ้นอาหาร ผ่านผนังเซลล์เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านในระหว่างเกิดกระบวนการออสโมติกเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสองอย่างขึ้นพร้อมกันในทิศทางตรงข้ามกัน ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเป็นช่วงการถ่ายเทมวลที่สำคัญที่สุด น้ำจะซึมออกจากอาหาร โดยผ่านผนังเซลล์เข้าสู่สารละลายออสโมติกและในขณะที่เดียวกันของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายออสโมติก จะซึมผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์อาหาร ซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่เพียงแต่น้ำจากชิ้นอาหารที่ซึมออกมาจากเซลล์เท่านั้น แต่ของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่อยู่ในอาหาร เช่น วิตามิน เกลือแร่ต่างๆ บางส่วนนั้นก็ซึมออกมาสู่สารละลายออสโมติกด้วยเช่นกัน (ดังรูปที่ 2.1) แต่เนื่องจากปริมาณที่ซึมออกมานั้น เป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการถ่ายเทมวลของน้ำในชิ้นอาหารและของแข็งในสารละลายดังกล่าวข้างต้นดังนั้น ในการพิจารณาการถ่ายเทมวลในหลายกรณีจึงไม่พิจารณา การถ่ายเทมวลของของแข็งธรรมชาติที่อยู่ในเซลล์อาหาร ซึ่งกระบวนการถ่ายเทมวลทั้งหมดจะดำเนิน ไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลระหว่างแรงดันออสโมติก ในความชื้นของอาหารและสารละลายออสโมติก

กระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติกนี้ เป็นกระบวนการที่ปราศจาก การให้ความร้อน จึงช่วยประหยัดพลังงาน อีกทั้งน้ำหนักโดยรวมของชิ้นอาหารที่ผ่าน กระบวนการออสโมติกลดลง ทำให้ช่วยประหยัดต้นทุนในการขนส่งลดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในผลไม้ สามารถปรับแต่งคุณภาพของอาหารในด้านสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ ในระหว่างการเก็บรักษา ค่าปริมาณสารอาหารที่อยู่ในผลไม้ที่ผ่านการดึงน้ำออกด้วยวิธีนี้ยังคงมีปริมาณอย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีนี้เป็นการดึงน้ำออกเพียงบางส่วน จึงไม่สามารถที่จะเก็บรักษาอาหารได้เป็นระยะเวลานาน หากต้องการขยายระยะเวลาในการเก็บรักษา จำเป็นต้องมีกระบวนการอื่นร่วมด้วย เช่น การนำอาหารที่ผ่านกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติกไปผ่านกระบวนการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ต่อไป เพื่อลดค่าปริมาณน้ำอิสระลงให้เหลือในปริมาณที่เหมาะสมเป็นต้นวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการออสโมติคนั้นมีมากมายหลายชนิดเช่น เนื้อสัตว์ต่างๆ ผักและผลไม้ ซึ่งผักและผลไม้จะเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากเป็น

อาหารที่เสื่อมสภาพได้ง่าย มีปริมาณน้ำ แป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบภายในสูงซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity,  $a_w$ ) ต่ำ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและไม่ทำให้เสียรสชาติของอาหาร สารออสโมติกที่นิยมใช้คือ สารละลายน้ำตาลและเกลือ โดยสารละลายน้ำตาล นิยมใช้มากกับกระบวนการออสโมติกในผลไม้และสารละลายเกลือ นิยมใช้กับผัก น้ำตาลมีบทบาทสำคัญต่อการดึงน้ำออกซึ่งมีตัวยับยั้งในการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลและยังช่วยป้องกันการสูญเสียสารระเหยในระหว่างกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตามการใส่สารละลายน้ำตาล จะถูกจำกัดที่ความเข้มข้นสูง เนื่องจากจะทำให้เกิดการตกผลึก สามารถแก้ไขได้โดยการเติมกรดน้ำส้มหรือกรดซิตริกในส่วนของสารละลายเกลือก็มีบทบาทสำคัญเช่นกัน สามารถช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหาร รวมทั้งช่วยลดยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ (Adambounou et al., 1983; Lenart et al., 1996)



รูปที่ 2.1 หลักการถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมติก

## 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติก

กระบวนการดึงน้ำออกหรือการเพิ่มปริมาณของแข็งด้วยวิธีออสโมติกโดยทั่วไป เป็นการ ทำงานแบบช้าๆ ซึ่งจะใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานเพื่อที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ ต้องการ โดยอาศัยกลไกความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของอาหารกับสารละลายออสโมติก เป็นแรงขับเคลื่อนก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารหรือเรียกว่า ค่าความดันออสโมติก โดยค่าความ แตกต่างยิ่งสูงอัตราการแลกเปลี่ยนของมวลสารนั้นจะมีค่าสูงด้วย ซึ่งอัตราการสูญเสียน้ำต่อปริมาณ ของแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายปัจจัย เช่น ชนิดโครงสร้างและคุณสมบัติของ สารละลาย โครงสร้างของอาหาร และสภาวะการทำงานต่างๆ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการ ถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติกมีหลายปัจจัยด้วยกัน โดยปัจจัยสำคัญที่มีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความดันออสโมติกระหว่างสารละลายกับชั้นอาหารสูงขึ้น ทำให้แรงขับเคลื่อน (driving force) สูงขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลจึงสูงขึ้น (Rastogi et al., 2002; Falade et al., 2007) ในระหว่างกระบวนการค่าความเข้มข้นของสารละลายจะถูกเจือจางด้วยน้ำในชั้นอาหารที่เคลื่อนที่ออกมาและในขณะเดียวกัน ปริมาณของแข็งในชั้นอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากของแข็งในสารละลายเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นอาหาร ในช่วงเริ่มต้น อัตราการถ่ายเทมวลจะมีค่าสูงและจะลดลงเมื่อความดันต่างมีค่าลดลง (นวกัทรพา หนูนาท, 2551)

### 2.3 หน่วยวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

องศาบริกซ์ (สัญลักษณ์ °Bx) เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาล ของสารละลาย หนึ่งองศาบริกซ์จะมีค่าเท่ากับกับ 1 กรัม น้ำตาลใน 100 กรัมของสารละลายซึ่งเป็นการแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลาย โดยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% w / w) (อีกนัยคือโดยมวล) โดย °Bx โดยทั่วไปในการแสดงค่าของ ไวน์, น้ำตาล, น้ำผลไม้, น้ำผึ้งและอุตสาหกรรมอื่น ๆ

ถึงแม้ °Bx ยังไม่ได้เป็นหน่วยแทนจำนวนที่แน่นอนของสารละลายน้ำตาล แต่ในวงการด้านอาหารในปัจจุบัน ก็เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเข้าใจ โดยทั่วไปใน อุตสาหกรรม

### 2.4 วิธีการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

โดยทั่วไปวิธีการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การวัดด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) ระบบคลื่นเสียงอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ระบบไมโครเวฟ (Microwave system) สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ออสซิลเลตแบบท่อด้วย (Oscillator u-tube) และอีกหลายวิธี ซึ่งสามารถจำแนกหลักการและเทคนิคที่ใช้ในการวัดได้คือหลักการทางแสง หลักการทางกล และ หลักการทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้

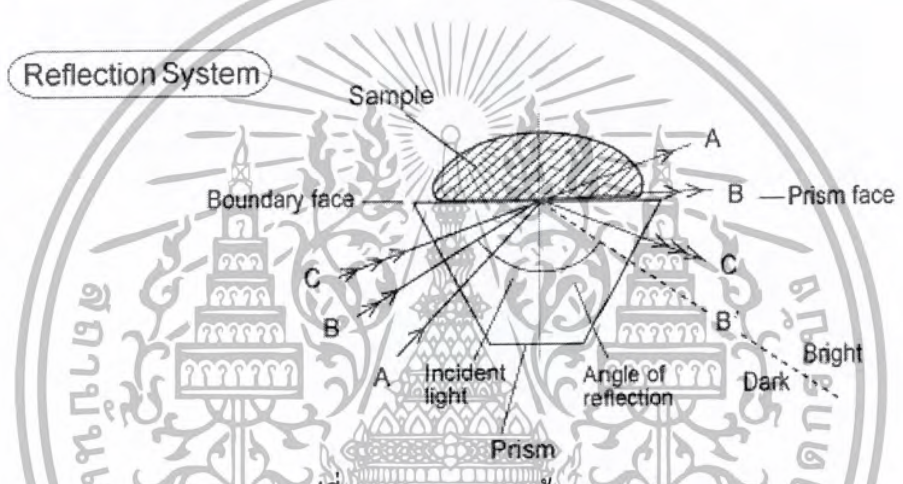
#### 2.4.1 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางแสง

##### 2.4.1.1 รีแฟรคโตมิเตอร์(Refractometer)

รีแฟรคโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นโดยการอาศัย หลักการวัดค่าดัชนีหักเหของแสงที่นิยมใช้มากในห้องปฏิบัติการ โดยตัวชี้ของการหักเหของแสงนี้ กำหนดได้จากกฎของสเนลล์ (Snell's law) และยังสามารถหาความสัมพันธ์ของส่วนประกอบในสารละลายด้วยความสัมพันธ์ของเกลดสตันเดล (Gladstone-Dale relation) ซึ่งรีแฟรคโตมิเตอร์ที่ใช้กันมีอยู่ 4 ชนิด คือ ชนิดพกพาแบบดั้งเดิม ชนิดพกพาแบบ

บดจิตอลและแบบวางตั้งในห้องปฏิบัติการ (laboratory or

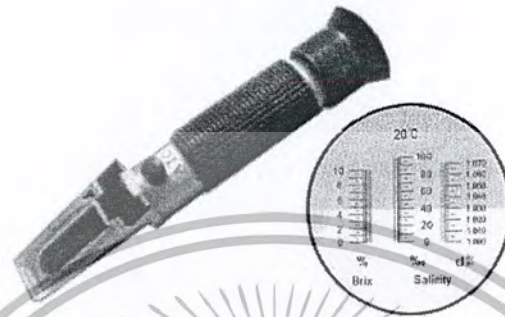
Abbe refractometers) และชนิดวัดในกระบวนการ (in-line process refractometer) โดยทั่วไปค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ ชนิด และความเข้มข้นของตัวถูกละลาย เครื่องมือที่เรียกว่านี้ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกโดย Ernst Abbe ในปี 1874 ซึ่งจะแปลงค่าดัชนีหักเห ของสารละลายไปเป็นความเข้มข้น ดังตัวอย่างเช่น การนำเครื่องมือไปวัดค่าความเข้มข้นของน้ำผลไม้เนื่องจากสารละลายน้ำผลไม้ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาล (มีสารที่ให้สี กรด และอื่นๆด้วยแต่มีผลน้อยกว่า) จึงอนุมานได้ว่า ค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนไปนั้น เกิดจากน้ำตาลเป็นหลัก ดังนั้นในการวัดโดยทั่วไปผู้วัดไม่ต้องการความละเอียดมากนักจึงมักไม่ควบคุมอุณหภูมิขณะวัดซึ่งเป็นการยุ่งยาก หลักการของรีแฟรคโตมิเตอร์อธิบายได้คร่าวๆดังนี้



รูปที่ 2.2 ระบบการสะท้อนของแสง

จากรูปที่ 2.2 การหักเหเป็นสมบัติของแสงที่เกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวกลางที่มีดัชนีหักเหไม่เท่ากันและเกิดขึ้นในช่วงมุมตกกระทบจำกัดค่าหนึ่ง มุมสูงสุดที่ทำให้แสงเกิดการหักเห เรียกว่ามุมวิกฤติ แสงจะหักเหขนานไปกับผิวรอยต่อของตัวกลาง มุมตกกระทบที่มีค่ามากกว่านี้ จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด ภายในรีแฟรคโตมิเตอร์มีปริซึมซึ่งมีค่าดัชนีหักเหสูงทำหน้าที่ช่วยหักเหแสง ผู้วัดจะต้องหยดสารละลาย 1-2 หยดลงบนปริซึมแล้วปิดฝาเพราะว่าค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีค่าต่ำกว่าปริซึม แสงที่ส่องผ่านปริซึมมาที่รอยต่อระหว่างชั้นของเหลวกับปริซึม จึงเกิดการหักเหในช่วงตั้งแต่มุมตกกระทบตั้งฉากผิวรอยต่อจนถึงค่ามุมวิกฤติแล้ว จึงเกิดการสะท้อนกลับหมด ค่ามุมวิกฤตินั้นจะโตเพียงไร ในแต่ละกรณีขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหด้วย แต่ค่าดัชนีหักเหแปรผกผันกับความเข้มข้น โดยประมาณเราจึงได้ว่าถ้าสารมีความเข้มข้นมากขึ้น ดัชนีหักเหก็จะน้อยลง ซึ่งทำให้มุมวิกฤติมีค่าน้อยลง ถ้าเราเอาฉากอันหนึ่งไปขวางแสงสะท้อนเราจะพบว่าลักษณะแสงสะท้อนที่ได้ คือ มีส่วนสว่างกว่าและส่วนมืดกว่าซึ่งเกิดจากการที่แสงบางส่วนที่ตกกระทบหักเหเข้าไปในชั้นสารละลายไม่ได้สะท้อนมาบนฉาก ดังรูปที่ 2.3 บริเวณรอยต่อระหว่างส่วนมืดกับส่วนสว่างคือการ

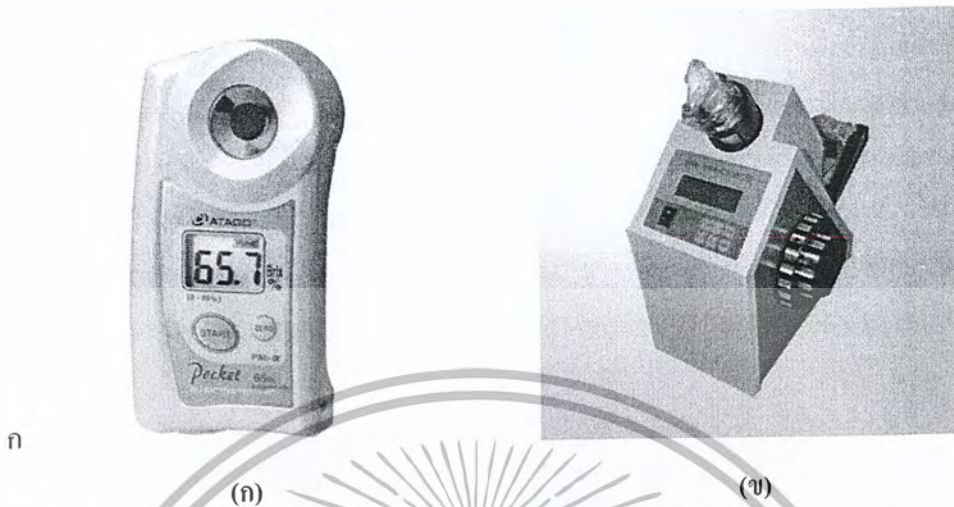
สะท้อนที่มุมวิกฤติซึ่งเป็นจุดแบ่งระหว่างการสะท้อนกลับหมดของแสง (ซึ่งให้ความสว่างกว่า) กับการสะท้อนบางส่วน (บางส่วนหักเหเข้าไปในชั้นของเหลว)



รูปที่ 2.3 รีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา

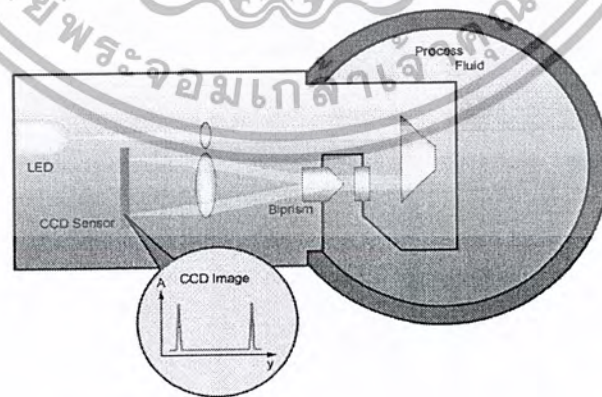
สามารถระบุได้ว่า สารละลายนั้นมีความเข้มข้นมากหรือน้อย ด้วยการสังเกตตำแหน่งของส่วนรอยต่อที่บนฉากรับ ถ้าทำการทดลองกับสารละลายที่รู้ความเข้มข้นที่อุณหภูมิมาตรฐานหลายๆ ค่าความเข้มข้น สามารถสร้างสเกลบนฉากเพื่อบอกค่าความเข้มข้นของสารได้ ทำให้การวัดเปลี่ยนจากเชิงคุณภาพเป็นเชิงปริมาณ สามารถพิจารณาตำแหน่งรอยต่อที่เกิดจากสารตัวอย่าง เพื่อวัดความเข้มข้นได้ รีแฟรคโตมิเตอร์ได้รับการออกแบบให้แสงสะท้อน ไปตกบนฉีกสเกลที่อยู่ภายในเครื่อง ซึ่งสามารถอ่านค่าออกมาเป็นองศา Brix ได้ทันที

รีแฟรคโตมิเตอร์มือถือดิจิทัลเป็นเครื่องมือสำหรับการวัดดัชนีหักเหของสารละลาย ความแตกต่างจากแบบดั้งเดิมคือใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสง LED ที่อยู่ด้านล่างเมื่อตัวอย่างของเหลวที่ใช้วางบนปริซึมแสงไฟจาก LED จะส่งผ่านในขณะที่แสงสะท้อนตกลงบน photodiodes ที่สร้างเป็นแบบอาร์เรย์ เงามัดดัชนีหักเหจะสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของเส้นเงาบน photodiodes แล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล แสดงผลเป็นตัวเลขบนจอ LCD ให้อ่านง่ายกว่า กรณีที่อ่านค่าความเข้มข้นของเหลวที่รูปเส้นเงาเลื่อน ตำแหน่งของเส้นเงาจะได้รับการปรับปรุงโดยอัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์ภายใน ทำให้ใช้งานได้สะดวกดังรูปที่ 2.4 สำหรับเครื่องวัดแบบตั้งโต๊ะ (Abbe refractometer) ใช้หลักการเดียวกันกับแบบดิจิทัลแต่ถูกออกแบบให้มีความละเอียดสูงครอบคลุมย่านการวัดที่กว้างกว่า



รูปที่ 2.4 รีแฟรคโตมิเตอร์ (ก) ชนิดพกพาแบบดิจิทัล (ข) แบบตั้งโต๊ะ (Abbe refractometer)

เครื่องวัดความเข้มข้นรีแฟรคโตมิเตอร์แบบในกระบวนการนี้ เป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมกระบวนการ การทางเคมี และการกลั่นกระดองอาหารน้ำตาลและยาอุตสาหกรรม เช่น การวัดความเข้มข้นในกระบวนการสามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดแบบเวลาจริง (real-time) ก็ใช้หลักการเดียวกันแต่ในการรับและแปลงสัญญาณเพื่อส่งต่อให้ระบบควบคุม อาจารย์ตัวตรวจจับแบบ CCD Sensor ดังในรูปที่ 2.5 การเก็บค่าดัชนีหักเหร่วมกับและอุณหภูมิเพื่อนำมาคำนวณและชดเชยด้วยตัวประมวลผลกลาง ค่าความเข้มข้นของของเหลวจะถูกแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐานเป็น 4 – 20 mA หรือ สัญญาณออกแบบดิจิทัลผ่าน Ethernet หรือพอร์ทอนุกรม



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของรีแฟรคโตมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นแบบในกระบวนการ

#### 2.4.1.2 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยสเปกโตรมิเตอร์หรือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ใช้หลักการหาคุณสมบัติของสเปกตรัมของแสงในแต่ละค่าความยาวคลื่นซึ่งมีทั้งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและวัดในกระบวนการ ดังในรูปที่ 2.7

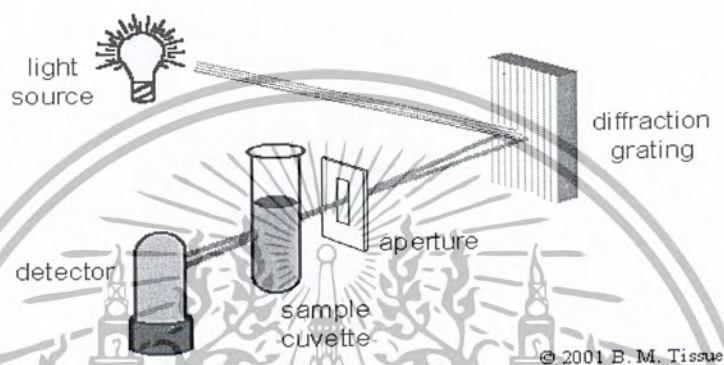


รูปที่ 2.7 สเปกโตรมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นหลักการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์ประกอบไปด้วยตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง ซึ่งการตอบสนองในการส่งผ่านของแสง ในแต่ละค่าความยาวคลื่นในรูปแบบสเปกตรัมของแสง สามารถระบุคุณลักษณะของสารละลายนั้นได้ เช่น คุณสมบัติของความเข้มข้น และองค์ประกอบในสารละลายนั้น ตัวแปรอิสระคือความยาวคลื่นของแสง ที่เป็นสัดส่วนกับพลังงานโปรตอนเช่นแรงเคลื่อนของอิเล็กตรอนที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่น เครื่องสเปกโตรมิเตอร์นี้ออกแบบมาเพื่อวัดการดูดซับของพลังงานแสงซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)
2. เลือความยาวคลื่นแยกความยาวคลื่นที่ต้องการจากแหล่งกำเนิด
3. ภาชนะใส่ สำหรับบรรจุตัวอย่าง
4. ตัวตรวจจับแสง (PhotoDetector) การแปลงพลังงานแสงการวัดค่าสัญญาณและอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล

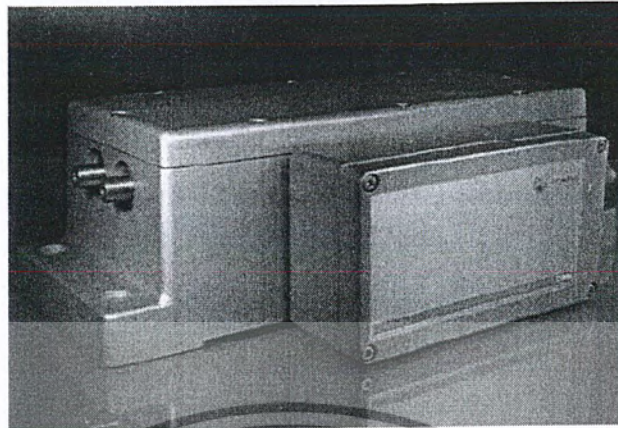


รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์

#### 2.4.2 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางกล

##### 2.4.2.1 ออสซิลเลตแบบท่อตัว (Oscillator u-tube)

ตัวออสซิลเลตแบบท่อตัว (Oscillator u-tube) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของของเหลวหรือก๊าซ ด้วยวงจรรีเลคทรอนิกส์สำหรับวัดความถี่ของการออสซิลเลตซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสิ่งที่ไหลผ่านท่อตัว หลักการในการวัดมาจากพื้นฐานของตัวแบบ Mass-Spring โดยที่ของเหลวที่ไหลผ่านท่อตัวนี้จะกำเนิดความถี่ต่างกันตามค่าความเข้มข้นของสารละลายสัญญาณจะถูกขยายและประมวลผลเป็นค่าความเข้มข้นดังรูปที่ 2.9 วิธีนี้เหมาะกับการวัดในกระบวนการที่มีการเคลื่อนที่ของสารละลาย



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยออสซิลเลทแบบท่อด้วย

#### 2.4.2.2 การวัดค่าความหนาแน่น

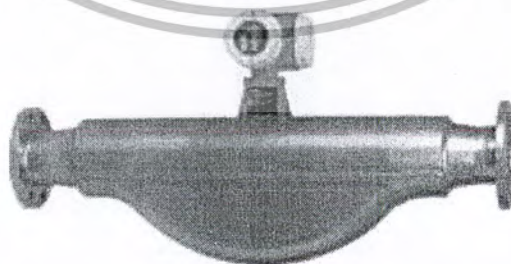
เครื่องวัดแบบนี้ประกอบด้วยตัวตรวจวัดค่าความดัน (Pressure Sensor) แบบ capacitive จำนวนสองตัว ส่งค่าความดันมาคู่กัน ซึ่งการใช้งานนี้จะต้องเชื่อมต่อในสารละลายในกระบวนการ ตัวตรวจจับส่งสัญญาณผ่านหลอด Capillary ซึ่งมีเซ็นเซอร์อุณหภูมิอยู่ระหว่างตัวตรวจวัดความดันทั้งสอง การวัดค่าความดันจะถูกชดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าความดันนี้จะสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น ความเข้มข้น และความหนืด ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการตรวจจับความดัน

#### 2.4.2.3 การวัดอัตราการไหลของมวลโคริโอลิส

หลักการวัดชนิดนี้อาศัยหลักการไหลของมวลบนพื้นฐานของผลกระทบโคริโอลิส (Coriolis Effect) แรงโคริโอลิส (CORIOLIS FORCE) หมายถึง แรงเฉื่อยเบนการวัดความหนาแน่นอิสระของสารละลาย ถ้าวัดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของตัวตรวจจับแบบท่อ (tube sensor) เทียบกับตารางมาตรฐานของค่า Brix เพื่อแปลผลออกมาเป็นค่าความเข้มข้น ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมค่าต่างๆลงในตาราง หรือ ทำการชดเชยค่าสัมประสิทธิ์โดยการขยายตัวเชิงเส้นความสัมพันธ์ของความหนาแน่น ที่อุณหภูมิต่างกัน วิธีนี้จะสามารถวัดตัวแปรได้หลายตัวแปรพร้อมกันได้ในเวลาเดียว เช่น การวัดการไหลของมวลหรือปริมาณความหนาแน่นกำหนดและอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.11

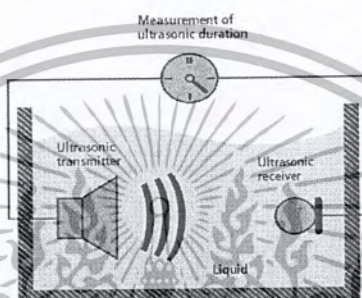


รูปที่ 2.11 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการวัดอัตราการไหลของมวลโคริโอลิส

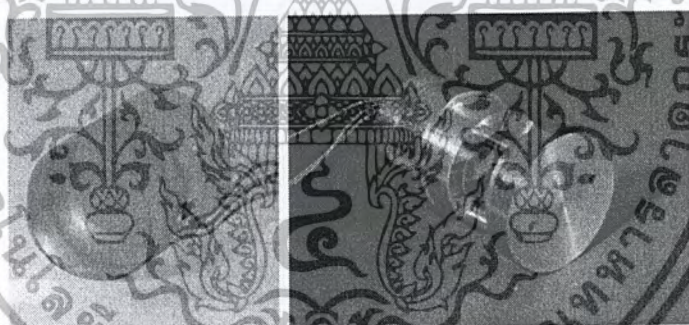
## 2.4.3 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า

### 2.4.3.1 อัลตราโซนิก(Ultrasonic)

ในการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกประกอบ ด้วยตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ พบว่าค่าความเร็วในการรับสัญญาณของตัวรับนั้นจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเข้มข้นขององค์ประกอบในสารละลาย ทำให้สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งตัวเซนเซอร์ที่ใช้แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก



รูปที่ 2.13 ตัวเซนเซอร์การวัดค่าความเข้มข้นด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

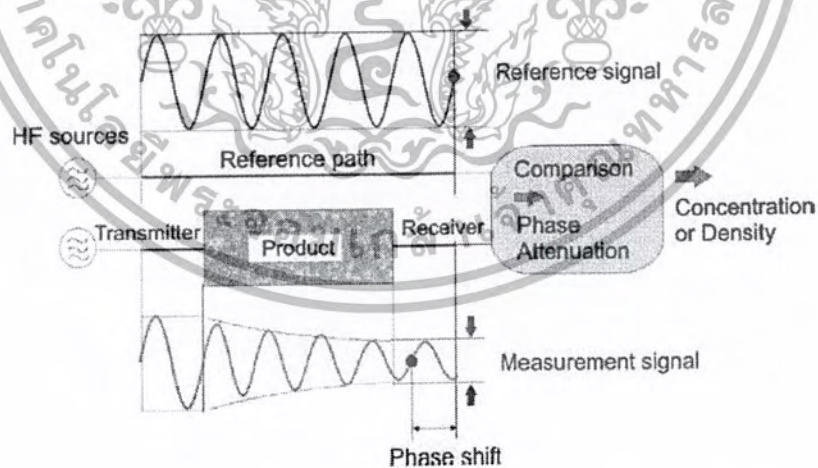
### 2.4.3.2 กลิ่นไมโครเวฟ (Microwave measurement)

การวัดความเข้มข้นด้วยเทคนิคคลื่นอัลตราโซนิกและเทคนิคทางแสง ยังมีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้กับการวัดสารละลายที่มีฟองอากาศ ผลที่ได้จะคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก การวัดความเข้มข้นโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ความถี่ในย่านของไมโครเวฟอยู่ที่ 300 - 3000 MHz (ตารางที่ 2.1) โดยปกติแล้ว เตาอบ (Microwave oven) จะใช้กำลัง 1000 W โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile phone) ใช้กำลัง 2 W วิธีนี้อาศัยการปล่อยคลื่นความถี่ไมโครเวฟกำลังต่ำน้อยกว่า 0.1 mW ไปยังขั้วตัวส่ง จากนั้นตัวรับจะรับสัญญาณกลับมาเพื่อนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ สัญญาณที่ความเร็วและพลังงานลดลง จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย ดังในรูปที่ 2.15 โดยที่การ

เลื่อนเฟสของสัญญาณ จะสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ได้จากรูปที่ 2.14 ตัวส่งสัญญาณไมโครเวฟจะส่งผ่านไปยังตัวสารละลายและรูปที่ 2.16 คือเครื่องวัดความเข้มข้นด้วยไมโครเวฟ

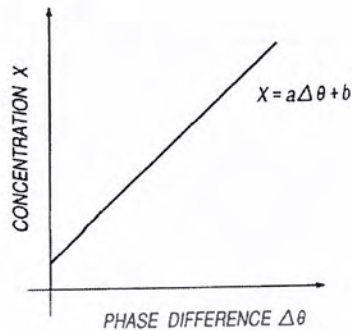
ตารางที่ 2.1 ค่าความถี่วิทยุในย่านต่างๆ

Symbols	Frequency Range	Typical sources
ELF	3 to 30 Hz	deeply-submerged submarine communication
SLF	30 to 300 Hz	submarine communication, ac power grids
ULF	300 to 3 kHz	earth quakes, earth mode communication
VLF	3 to 30 kHz	near-surface submarine communication,
LF	30 to 300 kHz	AM broadcasting, aircraft beacons
MF	300 to 3000 kHz	AM broadcasting,
HF	3 to 30 MHz	Sky wave long range radio communication
VHF	30 to 300 MHz	FM radio broadcast, television broadcast
UHF	300 to 3000 MHz	microwave oven, television broadcast, GPS, mobile phone communication WLAN (Wi-Fi), Bluetooth
SHF	3 to 30 GHz	DBS satellite television broadcasting, WLAN (Wi-Fi), WiMAX, radars
EHF	30 to 300 GHz	directed-energy weapon (Active Denial System), WiMAX, high resolution radar

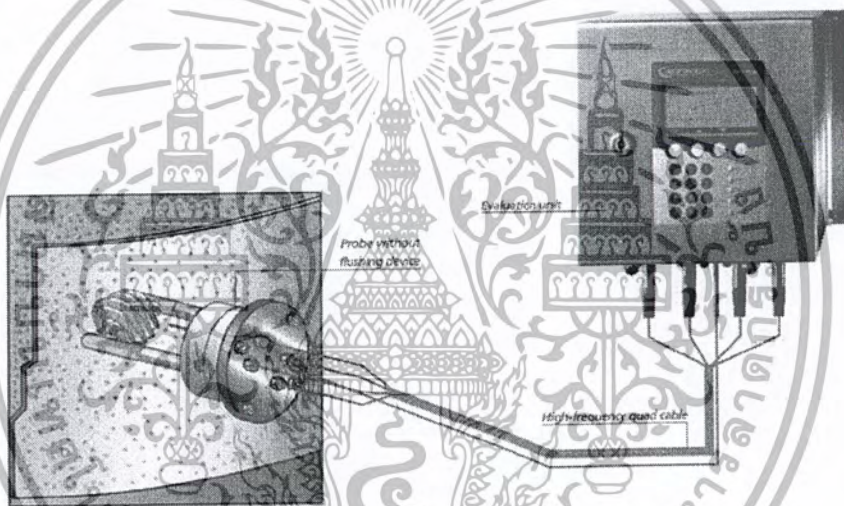


รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นโดยใช้ไมโครเวฟ

119454



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างเฟสและความเข้มข้น

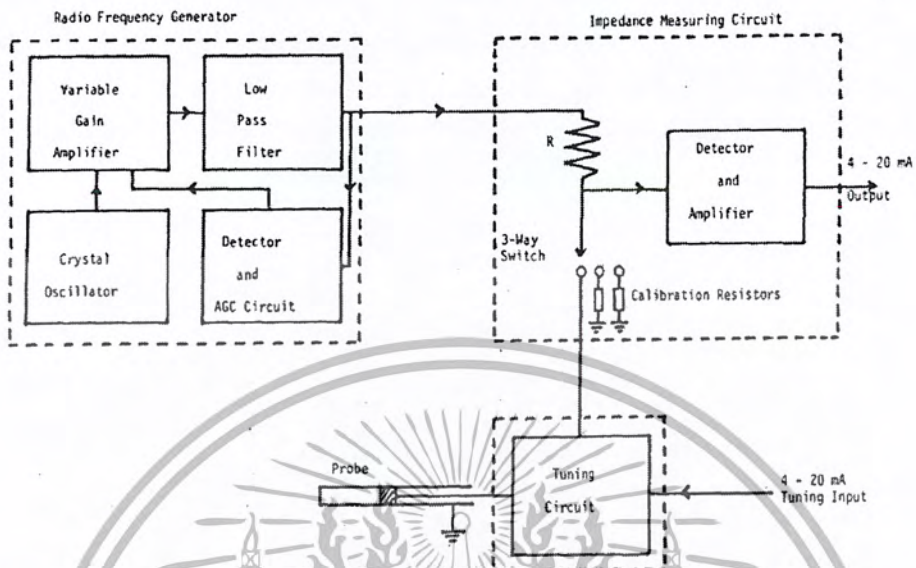


รูปที่ 2.16 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยไมโครเวฟ

#### 2.4.3.3 กลั่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency measurement)

เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นสารละลายด้วยคลื่นความถี่วิทยุส่วนใหญ่เป็นแบบวัดในกระบวนการ คือเครื่องมือที่วัดความเข้มข้น โดยอาศัยการวัดค่าความต้านทานที่มีแหล่งกำเนิดความถี่วิทยุ ผ่านไปยังขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วที่จุ่มอยู่ในสารละลาย ค่าความต้านทานนี้ประกอบด้วย ค่าความต้านทานรวมกับค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความนำและความเป็นฉนวนที่อยู่ในสารละลายหรือเรียกว่าค่าอิมพีแดนซ์ ความสัมพันธ์นี้ สามารถนำมาหาค่าความเข้มข้นในหน่วยของบRIXได้ จากฟังก์ชันการทำงานในรูปที่ 2.17 ประกอบ ด้วยวงจรกำเนิดความถี่วิทยุที่ส่งค่าให้กับ วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์และวงจรแปลงสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ซึ่งวงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์นี้จะเชื่อมต่อกับชุดหัววัดที่จุ่มอยู่ในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ผังการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นด้วยควมถี่วิทยุ

เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ความถี่ที่ใช้จะต้องสูงอย่างน้อยจะต้องมีความถี่เป็น 10 MHz เมื่อรับค่าที่วัดมาได้ ร่วมกับตัววัดอุณหภูมิเพื่อชดเชยอุณหภูมิ จากนั้นทำการคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มข้น ในหน่วยของสารริช เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยควมถี่วิทยุแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยควมถี่วิทยุ

## 2.5 การวัดค่าความจุไฟฟ้า

รูปแบบที่สามารถพบเห็นทั่วไปของตัวเก็บประจุ แบบเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้ ที่ใช้สำหรับวัดการกระจัด คือ มีลักษณะ โครงสร้างที่เป็นแผ่น (Plate) เก็บประจุสองแผ่นวางขนานกัน โดยสามารถปรับระยะห่าง ระหว่างแผ่นและขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำทั้งสองได้ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุจากแผ่นเก็บประจุคู่ขนานสามารถทำได้ โดยการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (d) การปรับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำ (A) หรือการเปลี่ยนค่าความเป็นฉนวนหรือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant, k) ความสัมพันธ์แสดงดังสมการ

$$C = \frac{k\epsilon_0 A}{d} \quad (2.1)$$

C คือค่าความจุ (F)

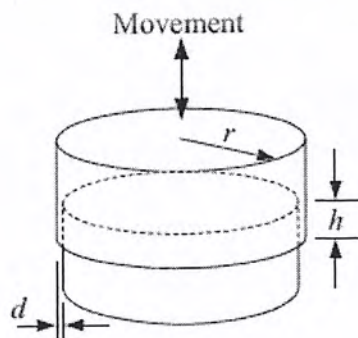
$\epsilon_0$  คือค่าความซึมของระยะห่าง (Permittivity of Space)  $8.854 \times 10^{-12}$  (F/m)

A คือพื้นที่ของแผ่นตัวนำ ( $m^2$ )

d คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (m)

k คือค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)

ทรานสดิวเซอร์บางประเภท มีลักษณะ โครงสร้างเป็นแท่งทรงกระบอกสองอันที่เหมือนกัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.19 แท่งทรงกระบอกภายใน (เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กกว่า) ถูกหุ้มด้วยแท่งทรงกระบอกภายนอก (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า) โดยมีระยะห่างระหว่างทรงกระบอกภายในและภายนอกคงที่ เมื่อแท่งทรงกระบอกภายในเคลื่อนที่จะมีผลทำให้พื้นที่ความจุส่วนหนึ่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะลดลงการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ จะแปรผันตรงกับระยะการกระจัดของแท่งทรงกระบอกที่อยู่ภายใน



รูปที่ 2.19 Capacitive Transducer ลักษณะทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการใช้งานทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้คือการอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าของ ใดอิเล็กทริกของสารละลายที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ 2 แผ่น ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของความจุโดยตรง ดังนั้นจึงสามารถนำทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ ไปใช้ในการประยุกต์สำหรับตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายได้ตลอดจนการแยกแยะชนิดของสารเคมี

## 2.6 การวัดค่าความนำทางไฟฟ้า

ค่าความนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของความต้านทาน โดยค่าความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม ค่าความนำไฟฟ้าหน่วยวัดซีเมนส์ (SI, siemens) เดิมชื่อ โมห์ (mho) ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้น กับปริมาณของความเข้มข้น ค่า pH และอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 1 องศาเซลเซียสซึ่งจะทำให้ค่าความนำเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 2-3%

ค่าความนำ (Conductance: G) ในหน่วยของซีเมนส์ (S) ที่เกิดขึ้น ในสารละลายแต่ละชนิดนั้นสามารถพิจารณาได้ด้วยกฎของโอห์ม (Ohm's Law) ดังนี้

$$E = IR \quad (2.2)$$

เมื่อ

E คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

I คือ กระแส (A)

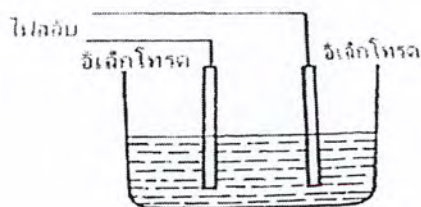
R คือ ค่าความต้านทาน ( $\Omega$ )

เนื่องจาก

$$G = 1/R \quad (2.3)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการที่ (1) ลงในสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$G = 1/E \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.20 แท่งอิเล็กโทรด

เมื่อต่อแรงดันไฟฟ้า  $E$  ให้กับแท่งอิเล็กโทรด 2 แท่ง ที่วางขนานกันและจุ่มอยู่ในของเหลว จะทำให้กระแส  $I$  ไหลผ่านระหว่างแท่งอิเล็กโทรดซึ่งเหมือนกันกรณีกระแสไหลผ่านตัวนำโลหะ แต่ในตัวนำโลหะนั้นกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.20 ส่วนตัวนำของเหลวนั้นกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของไอออน จากสมการที่ (2.4) ถ้ากำหนดให้ค่าแรงดันไฟฟ้า  $E$  คงที่ จะได้ว่าค่าความนำ  $G$  แปรผันตามกระแส  $I$  (หรือการเคลื่อนที่ของไอออน)

ในการวัดความเข้มข้น เช่นความเค็มจะอาศัยหลักการของค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ขณะที่ทำการตรวจวัด จากหลักการนี้คือการวัดค่าความนำ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของไอออนในสารละลายนั้นๆ ซึ่งมีหน่วยเป็น  $\text{mS/cm}$  หรือ  $\text{mMho/cm}$  โดยการวัดจะใช้อิเล็กโทรด 2 ตัวเป็นขั้วไฟฟ้าให้ไอออนเคลื่อนที่ ดังนั้นหากใช้ไฟกระแสตรงมาเป็นขั้วไอออน ก็จะทำให้เกิดการจับตัวของไอออน เราจึงต้องใช้ไฟกระแสสลับ โดยใช้วงจรกำเนิดความถี่ที่ค่าความถี่ต่างๆ จะมีผลการนำกระแสของอุปกรณ์การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย ในลักษณะของการวัดค่าความนำ โดยทั่วไป สารละลายจะมีองค์ประกอบทางไฟฟ้าของค่าความต้านทานและค่าของประจุไฟฟ้า ในแต่ละชนิดของสารละลายจึงมีค่าความถี่ที่เหมาะสมแตกต่างกันไปในการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาค่าความถี่ที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรสำหรับวัดระดับความเข้มข้นที่สมบูรณ์ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

## 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร

งานวิจัยที่ผ่านมา ได้รายงานถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

### อุณหภูมิ

ทุกงานวิจัยที่ผ่านมา รายงานผลที่สอดคล้องกันว่า ค่าการนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เหตุผลคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้จำนวนของไอออนที่เคลื่อนที่ภายในอาหารเพิ่มมากขึ้นและการเคลื่อนที่ของไอออนเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้คือปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

### ปริมาณของแข็งในอาหารเหลว

การนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า ปริมาณของแข็งในอาหารเหลวมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าอย่างไร เนื่องจากของแข็งแต่ละชนิดที่อยู่ในอาหารเหลว มีผลต่อการนำไฟฟ้าแตกต่างกันทั้งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณ ไอออนที่แตกตัวได้ (Barbosa-Canovas and Juliano, 2006)

### ความเข้มข้นของสารละลาย Hydrocolloid

ค่าการนำไฟฟ้าแปรผันตามความเข้มข้นของสายละลาย Hydrocolloid (Wang and Sastry, 1997) โดยการแปรผันดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย Hydrocolloid ด้วย เนื่องจากสารละลาย Hydrocolloid แต่ละชนิดแตกตัวให้ชนิดและปริมาณไอออนที่แตกต่างกัน

### ปริมาณเถ้า (Ash content)

ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณเถ้า (%db) เพราะปริมาณเถ้าที่แปรผันตามปริมาณของสารอินทรีย์ในอาหาร ซึ่งปริมาณและชนิดของอินทรีย์สารที่อยู่ในอาหารมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร (Marcotte and Piette, 1998)

### ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า pH (Barbosa-Canovas and Juliano, 2006; Palaniappan and Sastry, 1991; Wang and Sastry, 1997) เนื่องจากการวัดค่า pH เป็นการวัดเฉพาะค่าการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนไอออน ในอาหารเท่านั้น แต่ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารขึ้นอยู่กับทุกไอออนที่มีอยู่ในอาหาร ไม่ใช่เฉพาะไฮโดรเจนไอออน

## ความถี่ของไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ มีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความถี่ของไฟฟ้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร แต่รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าการนำไฟฟ้า ของอาหารนั้น ยังไม่สามารถสรุปแน่นอน สำหรับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายกระแสสลับ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ Balaya และ Sunandana ทำการทดลองพบว่าความถี่ 1 kHz ถึง 60 kHz เป็นค่าความถี่ที่เหมาะสมในการออกแบบวงจร สำหรับวัดค่าความเค็ม โดยอาศัยหลักการของการวัดค่าความนำ Mabrook, และ M.C. Petty (2003) ได้ออกแบบการวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่าง แลคโตส ในน้ำนมและค่าความนำไฟฟ้า โดยพบว่าความถี่ของวงจรที่เหมาะสมอยู่ที่ 100 kHz

จากวิธีการวัดที่กล่าวมาข้างต้น ถูกออกแบบให้มีความเหมาะสม กับกระบวนการที่ต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ จะพิจารณาแค่เฉพาะชนิดที่ใช้วัดในกระบวนการ เครื่องวัดความเข้มข้นแบบรีแฟรคโตมิเตอร์ให้ความแม่นยำในการวัดสูง สามารถใช้วัดความเข้มข้นที่อยู่สูงและไหลผ่านท่อได้ โครงสร้างภายในซับซ้อน แต่จะเกิดความผิดพลาดถ้าหากพบฟองอากาศ และสิ่งเจือปนมา บดบังจุดตรวจวัด ราคาในท้องตลาดค่อนข้างสูงมาก เครื่องวัดแบบสเปคโตรมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดที่เหมาะสมกับการวัดในเรื่องของสีมากกว่าความเข้มข้น เนื่องจากอาศัยหลักการในการวัด ผลตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงย่านอินฟราเรด และจะเกิดข้อผิดพลาดการวัดได้ ถ้าหากจุดรับและส่งแสงถูก บดบังด้วยสิ่งเจือปนหรือฟองอากาศ ราคาในท้องตลาดจะสูงมาก เนื่องจากโครงสร้างมีความ ซับซ้อน เครื่องวัดโดยใช้เทคนิคทางกล ได้แก่ เครื่องวัดการไหลของมวลโคโรลิทรีโอสิส แบบเครื่องวัด ตัว ออสซิลเลทอตัว เป็นวิธีที่เหมาะสมกับสารละลายที่มีการไหลในท่อ ความแม่นยำและช่วงในการ วัดไม่สูงนักแต่จะมีข้อดีคือไม่มีส่วนที่เป็นจุดอับ ซึ่งเป็นสาเหตุของการสะสมของเชื้อ และเครื่องวัด ความเข้มข้นแบบตรวจวัดความหนาแน่น จะอาศัยการวัดค่าความดัน เพื่อกำหนดหาความสัมพันธ์ กับค่าความเข้มข้น วิธีนี้เหมาะสมกับสารละลายที่มีความหนืดและความเข้มข้นสูง สามารถใช้วัดค่า ความเข้มข้นของของเหลวที่อยู่ได้ถึง เครื่องวัดของเครื่องมือวัดความเข้มข้นที่อาศัยเทคนิคทาง กลจะมีความซับซ้อนซึ่งยากที่จะพัฒนาขึ้นเอง เครื่องวัดค่าความเข้มข้นแบบ อัลตราโซนิกและ ไมโครเวฟ มีลักษณะที่คล้ายกันคือใช้การส่งคลื่นผ่านไปยังสารละลายและมีตัวรับเพื่อรับสัญญาณ กลับ ผลต่างที่ได้จะสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย วิธีการวัดแบบไมโครเวฟจะมีข้อดี กว่า เมื่อนำมาใช้กับการวัดสารละลายที่มีฟองอากาศ ความแม่นยำในการวัดสูงใช้ได้ทุกย่านการวัด ราคาค่อนข้างสูงและการพัฒนาค่อนข้างยาก เนื่องจากใช้ค่าความถี่สูงมาก ส่วนการวัดค่าความ เข้มข้นด้วยคลื่นความถี่วิทยุจะใช้หลักการวัดค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งประกอบด้วยค่าความจุและค่าความ ต้านทาน เนื่องจากค่าความจุมีค่าน้อยจึงต้องออกแบบให้มีค่าความถี่สูงซึ่งค่าที่วัดได้มีความสัมพันธ์ กับค่าความเข้มข้น เครื่องวัดนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถวัดได้ในทุกย่านการวัด โครงสร้างไม่ ซับซ้อนมากนักแต่ราคาในท้องตลาดก็สูงเช่นกัน จากวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเครื่องมือวัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบมาให้ใช้งานได้ครอบคลุมย่านการใช้ที่กว้างและราคาค่อนข้างสูง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ใน ระบบควบคุมอัตโนมัติพบว่ามีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม นอกจากการวัดความเข้มข้นของ สารละลายด้วยเทคนิคดังกล่าวแล้ว ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดค่า ความเข้มข้นของสารละลายได้เช่นกัน โดยแต่ละเทคนิคจะเหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลาย แต่ละชนิดแตกต่างกันไป เช่น การใช้ความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) กับปริมาณค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ และการใช้ค่าความสัมพันธ์ของ ค่าความจุไฟฟ้า (Electrical Capacitance) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ใช้ หลักการพื้นฐานของการวัดค่าความนำไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้า เช่นเดียวกับการวัดโดยใช้ความถี่ วิทยุ แต่ได้ทำการพิจารณา ออกแบบให้ใช้วัดในช่วงค่าความเข้มข้นที่ใช้ในกระบวนการออสโมติก ทำให้ลดความซับซ้อนในการออกแบบและลดต้นทุนในการพัฒนาได้

## 2.8 ประเภทของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ สามารถที่จะแบ่งตามลักษณะการใช้งานหรือขนาดของโรงงานได้ ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือระบบควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (PLC) นั้นเหมาะสำหรับการ ควบคุมในโรงงานขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ส่วนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) เหมาะ สำหรับโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้นและระบบควบคุมแบบ PC-based Control ที่เป็นการนำส่วนของการ เขียนโปรแกรมมาอยู่บนคอมพิวเตอร์

(Programmable Logic Controller :PLC) ก็คือเครื่องควบคุมที่มีระบบการทำงานเป็นแบบ ดิจิตอล ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานอุตสาหกรรม โดยที่ผู้ใช้สามารถโปรแกรมรูปแบบการทำงาน เงื่อนไข และชุดคำสั่งต่างๆ ลงในหน่วยความจำได้ ในชุดคำสั่งประกอบไปด้วย ฟังก์ชันการทำงาน ทางลอจิก ฟังก์ชันแบบไสลด์บัส ฟังก์ชันตัวตั้งเวลาตัวนับจำนวน ฟังก์ชันทางการคำนวณ และ ฟังก์ชันพิเศษอื่นๆ เพื่อใช้ในการควบคุม ผ่านอุปกรณ์ อินพุท เอาท์พุท แบบดิจิตอลหรืออนาลอก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรหรือกระบวนการ ที่ทำการควบคุมระบบการควบคุม แบบตรรกะที่ โปรแกรมได้ เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก เนื่องจากผู้ใช้สามารถแก้ไขดัดแปลง โปรแกรม เพิ่มเติมลงในหน่วยความจำ ตามเงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักร โดยไม่จำเป็นต้องต่อวงจรทาง ไฟฟ้าใหม่ เหมือนกับระบบเดิมๆที่ใช้การออกแบบวงจรรีเลย์หรือวงจร ลอจิกเกตอาจกล่าวได้ว่า เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เป็นคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการ ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรให้ทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ และมีจุดเด่นซึ่งเป็นข้อแตกต่างจาก คอมพิวเตอร์ทั่วไปดังนี้

1. การโปรแกรมจะเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขการควบคุมทางลอจิกและคำสั่งแบบฟังก์ชันบล็อกรวม
2. การเชื่อมต่อทางวงจรกับอุปกรณ์ภายนอกจะถูกรวมอยู่ในตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องควบคุมได้ถูกออกแบบมาให้ทนทานต่อแรงสั่นสะเทือน อุณหภูมิ ความชื้น และ สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

การแบ่งประเภทของระบบควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้จะแบ่งตามขนาดหรือจำนวน จุดที่ใช้ในการควบคุมดังนี้

### 2.8.1 เครื่องควบคุมขนาดเล็ก หรือ Stand-alone single unit PLC systems.

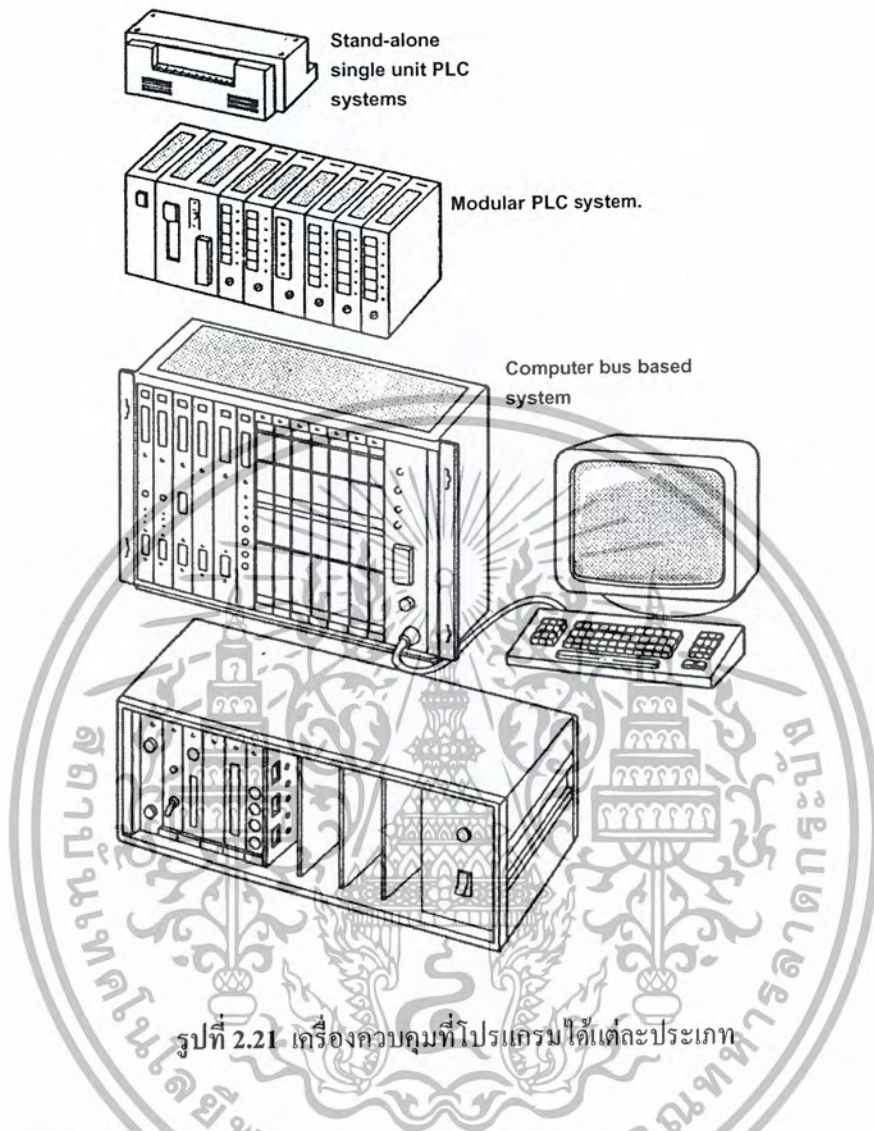
เป็นเครื่องควบคุมขนาดเล็กที่มีจำนวนจุดควบคุมของอินพุตและเอาต์พุตที่จำกัด ถูกติดตั้ง มากับตัวเครื่องควบคุม แต่สามารถขยายจุดควบคุมโดยเพิ่มโมดูลขยาย (Expansion module) ได้ ประมาณ 8 – 100 I/O เหมาะกับระบบที่แยกส่วนและความซับซ้อนในการทำงานไม่มาก

### 2.8.2 เครื่องควบคุมขนาดกลาง หรือ Modular PLC system.

เป็นเครื่องควบคุมขนาดกลางที่ส่วนต่างๆเป็นโมดูลออกจากกันเช่น โมดูลอินพุต โมดูล เอาต์พุต โมดูลอนาล็อก โมดูลประมวลผลกลาง โมดูลแหล่งจ่ายไฟ และ โมดูลพิเศษ เช่น โมดูล สำหรับการติดต่อสื่อสาร โมดูลภาษาระดับสูงสำหรับการคำนวณ โมดูลสำหรับการควบคุม ตำแหน่ง ซึ่งโมดูลต่างๆ จะถูกประกอบลงบนแผงบัสข้อมูลหลัก (Bus back-plane) ผู้ใช้สามารถ เลือกโมดูลได้หลากหลายตามความเหมาะสมของการทำงาน นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันการทำงาน พิเศษจำนวนมาก นิยมใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนสูง

### 2.8.3 เครื่องควบคุมขนาดใหญ่ หรือ Computer bus based system .

ระบบนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่จะเรียกว่าเป็น เครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้ (PLC) แต่ ก็มีการทำงานที่คล้ายคลึงกัน คือใช้ในการควบคุมกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม เรียกว่าเป็น คอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม (Industrial Computer) เมื่อระบบนี้มีการเชื่อมโยงติดต่อสื่อสารเพื่อ กระจายการควบคุม เราจะเรียกว่าระบบควบคุมแบบกระจายส่วนหรือ DCS ถูกออกแบบให้มีช่องเสียบ แผงวงจรถ่าย (Bus back-plane/Rack) ในรูปแบบต่างๆ เช่นแผงหน่วยประมวลผล แผงการเชื่อมต่อกับ ระบบเครือข่าย แผงของหน่วยอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิทัลหรือแบบอนาล็อก และระบบนี้เองได้ถูก พัฒนาให้เป็นมาตรฐานสากล เช่น STE bus (Euro-card) และ VME bus ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรม จะเป็นภาษาระดับสูง เช่น ภาษาซี หรือ ภาษาปาสคาล เป็นต้น



รูปที่ 2.21 เครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้แต่ละประเภท

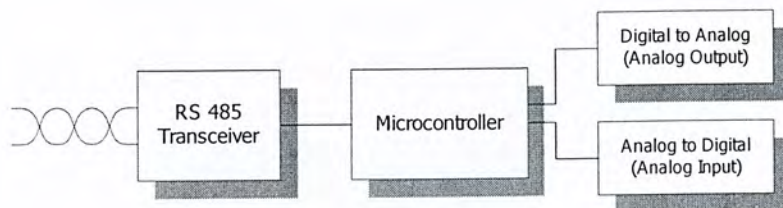
## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dalla Rosa และคณะ (1992 และ 1995) นำเสนอระบบต้นแบบสำหรับแปรรูปกีวีชนิดแผ่นด้วยหลักการออสโมติกแบบต่อเนื่องโดยใช้หลักการพ่นฝอยทางด้านบน พบว่า หากเปลี่ยนชนิดของสารละลายออสโมติกต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม และควรให้ความสำคัญกับค่าอัตราการสูญเสีย น้ำเป็นสำคัญ

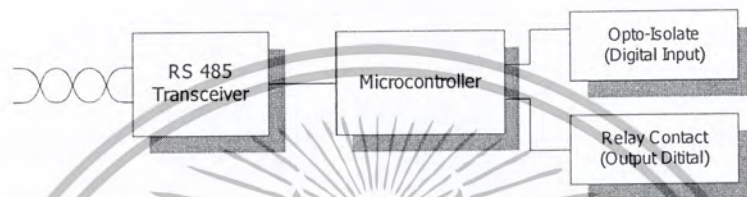
Marouze และคณะ (1997) ทำการศึกษาระบวนการออสโมติกแบบต่อเนื่องโดยหลักการพ่นฝอยเช่นเดียวกันกับ Dalla Rosa และคณะ (1992 และ 1995) แตกต่างกันที่ลักษณะการออกแบบระบบ

Suesut และคณะ (1999, 2000) สร้าง Input/ Output แบบกระจายเพื่อใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ ระบบนี้สามารถทำการเชื่อมต่อได้ในระยะไกลถึง 4000 ฟุต และควบคุมได้หลายจุดในเวลาเดียวกัน ลักษณะการออกแบบการเชื่อมต่อแสดงในรูปที่ 2.22 และ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 Analog module



รูปที่ 2.23 Digital module

โดยชุดกระจายการควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ก็คือแบบอินพุทเอาต์พุทดิจิทัล และอินพุทเอาต์พุทแบบอนาล็อก การเชื่อมต่อเป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน EIA (Electronics Institute Association) แบบ RS 485 สามารถเชื่อมในระยะไกล จะเห็นได้ว่าระบบที่ออกแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการขยายจุดควบคุม และการโปรแกรมการทำงานสามารถตั้งการควบคุมได้ตามเงื่อนไขของข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารที่สร้างขึ้นเพื่อรับสัญญาณจากอินพุทและส่งสัญญาณเอาต์พุทและสามารถกระจายจุดควบคุมได้ทั้งหมด 32 จุด ซึ่งในแต่ละชุดสามารถสร้างให้มีจุดควบคุมได้ 16 อินพุท และ 16 เอาต์พุท

Sasha และคณะ (2001) ทำการสำรวจการประยุกต์ระบบอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมอาหารพบว่า ในระดับกระบวนการผลิต มีการนำระบบควบคุมกระบวนการมาใช้ในการควบคุมเครื่องจักรเกือบ 100% โดยกว่า 90% ใช้เครื่องควบคุมแบบวงจรที่โปรแกรมได้ (PLC) เหมาะสำหรับการใช้งานในโรงงานผลิตอาหารตั้งแต่โรงงานขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ สำหรับโรงงานขนาดใหญ่มากจะใช้ระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) และระบบ PC – based Control เป็นระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์พื้นฐานในการควบคุม เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็กและกลาง ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือมีต้นทุนในการสร้างค่อนข้างต่ำ

Sasha และคณะ (2001) และ Harrington (1997) พบว่าในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยใน HACCP ช่วยในการออกแบบ (CAD) ช่วยในการควบคุมคุณภาพ และยังมีการนำระบบเข้ามาใช้ในระบบบริหารจัดการอีกด้วย

## บทที่ 3

# การออกแบบและพัฒนาระบบแปรรูปอาหารด้วย หลักการออสโมติก

### 3.1 การแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบปัจจุบัน

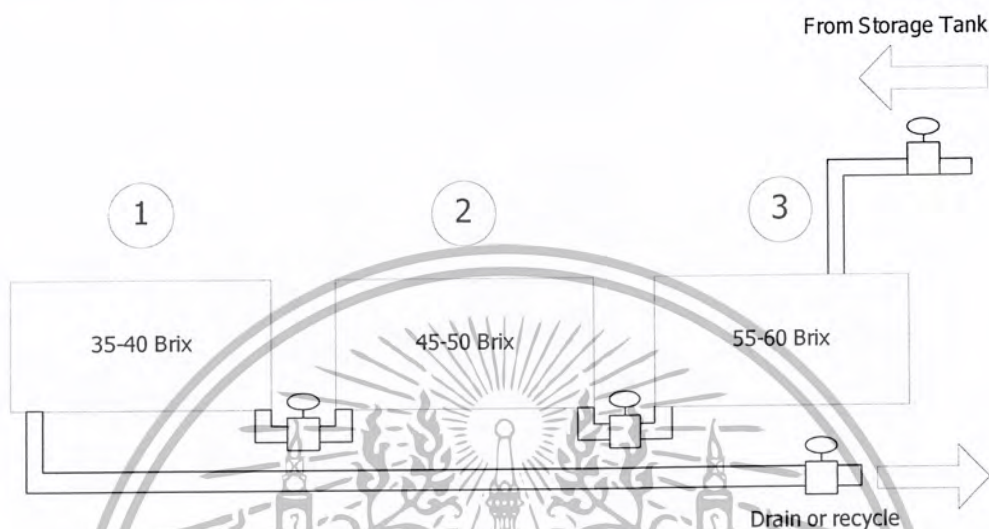
ผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้ง ที่ผลิตจากโรงงานแวนด้าพีริเซิร์ฟู้ดมีหลายชนิดได้แก่ มะละกอ เปลือกส้มโอ สับปะรด แคนสับปะรด มะม่วงและอื่น ๆ โดยทางโรงงานจะส่งออกผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อ เพื่อให้โรงงานลูกค้านำไปติดตราผลิตภัณฑ์เอง กระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งแต่ละชนิด โดยภาพรวมแล้ววัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นรายละเอียดเฉพาะซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีพิเศษสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกสำหรับโรงงาน ประกอบด้วยถังสแตนเลส ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และ สูง 1 เมตร สำหรับแช่อิ่มจำนวน 3 ถังในแต่ละถังจะบรรจุ น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นต่างกันคือ ความเข้มข้น 35-40 องศา Brix 45-50 องศา Brix และ 55-60 องศา Brix ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การแช่อิ่มจะเริ่มต้นจาก ถังที่ 1 ถังที่ 2 และ ถังที่ 3 ตามลำดับโดยมี เครื่องสำหรับยกเพื่อเปลี่ยนถัง การแช่อิ่มจะเริ่มจากความเข้มข้นต่ำไปหาความเข้มข้นสูง ในแต่ละถัง ใช้ เวลา 4-10 ชั่วโมง และแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน เพื่อให้การถ่ายเทมวลเร็วขึ้นได้มี การใช้ตัวทำความร้อนให้กับน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีระบบ ปล่อยลมเข้าถังแช่ เพื่อทำให้สารละลายและอาหารเกิดการเคลื่อนที่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของ สารละลายถูกควบคุมอยู่ในช่วง pH = 3-4 ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

ในแต่ละวันน้ำเชื่อมจะถูกเก็บตัวอย่างนำไปตรวจสอบคุณภาพ โดยทั่วไปน้ำเชื่อมในถังที่ 3 จะมีความเข้มข้นสูงซึ่งได้จากการเตรียมและเก็บสำรองไว้ เมื่อความเข้มข้นลดลงจะถูกเปลี่ยนถ่าย ไปยังถังที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าในถังที่ 2 และ ถังที่ 1 น้ำเชื่อมที่เริ่มเปลี่ยนสีหรือเจือจางจะถูกนำไป ทำการปรับปรุงสภาพสีและการระเหยน้ำออก จากนั้นนำกลับมาใช้ใหม่ น้ำเชื่อมทั้งหมดจะถูกนำ กลับมาใช้ใหม่และผสมกับน้ำเชื่อมใหม่

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้น พบว่าโรงงานไม่มีมาตรการใดๆ สำหรับการควบคุม ความเข้มข้นสารละลายให้คงที่ตลอดกระบวนการหรือมาตรการสำหรับการตัดสินใจ เพื่อย้ายอาหารจากถังที่ 1 ไปถังที่ 2 หรือจาก ถังที่ 2 ไปถังที่ 3 ในบางครั้งผู้ปฏิบัติงานตัดสินใจบน พื้นฐานความเชื่อมั่นส่วนบุคคล ซึ่งจัดเป็นปัญหาในเรื่องของการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย และการวางแผนการผลิต การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่

ต้องการได้จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งสร้างเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นที่ให้ค่าเอาท์พุทเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปพัฒนาเป็นระบบการแปรรูปแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.1 กระบวนการเชื่อมในโรงงาน

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล (ต้นแบบ)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ามีหลายเทคนิคด้วยกัน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การวัดความเข้มข้นด้วยวิธีใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency measurement) ซึ่งพัฒนาสำหรับนำมาใช้งานเพื่อการตรวจวัดและควบคุมแบบในกระบวนการ (in-line process measurement and control) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดความเข้มข้นชนิดอื่นๆ พบว่า เครื่องมือวัดชนิดนี้ไม่มีความซับซ้อนในการออกแบบ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดมีราคาไม่แพง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาให้ใช้งานได้กับย่านการใช้งานใดๆ การวัดความเข้มข้นของสารละลายโดยใช้คลื่นความถี่ในย่านของคลื่นความถี่วิทยุ ที่นำมาพัฒนาใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ การวัดค่าความนำไฟฟ้าและการวัดค่าความจุไฟฟ้า

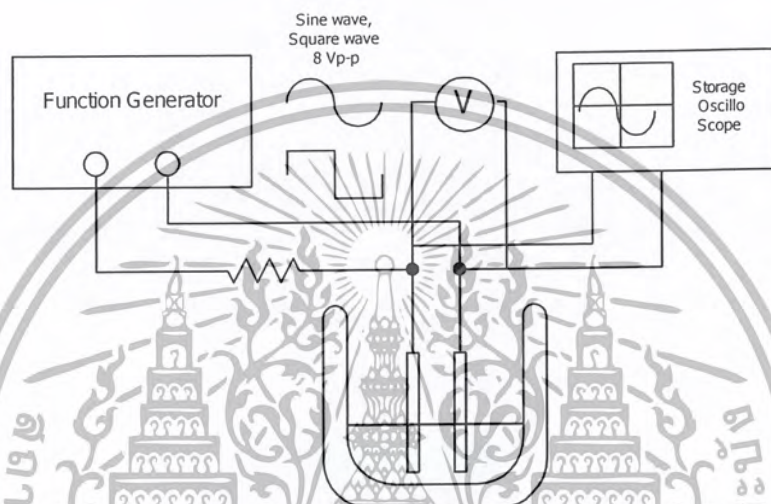
#### 3.2.1 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ

อุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าการนำไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ทำการทดลองโดยการปรับระดับของค่าความถี่โดยเริ่มจาก DC, 0.1 , 1, 5, 10, 50, 500 kHz และ 1,2,4 MHz โดยวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ( $V_{rms}$ ,  $V_{peak}$ ) ด้วย Digital multi-meter ร่วมกับการวัดเฟสและความถี่ด้วย Oscilloscope จากอิลเล็กโทรคร่วมกับตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นโหลด ที่ค่าความต้านทาน 5 และ 10 M $\Omega$  นอกจากนี้การทดลองได้เปรียบเทียบผลจากการทดลองของรูปสัญญาณ

แบบ sine wave และ square wave จากการทดลองในเบื้องต้นนั้นพบว่า เมื่อมีการเพิ่มค่าความถี่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

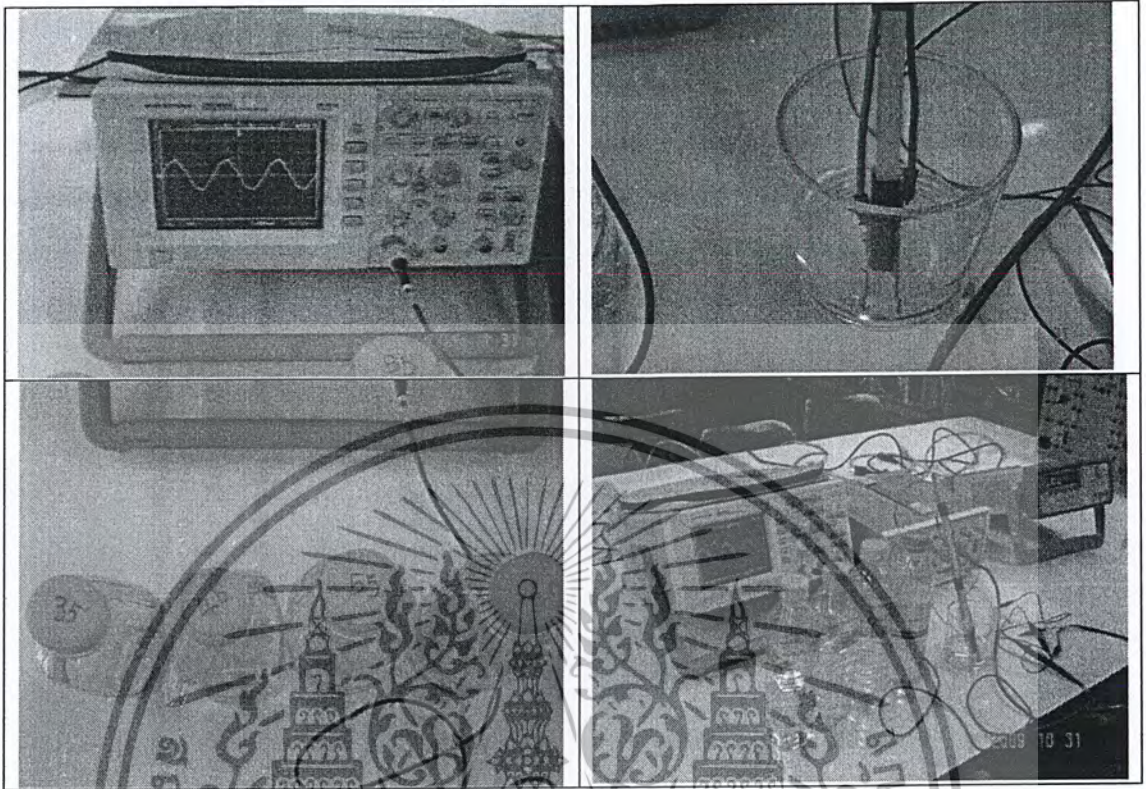
แหล่งกำเนิดสัญญาณให้สูงขึ้นค่าของแรงดันที่วัดจากอิเล็กทรอนิกส์ก็มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ค่าความถี่ที่เหมาะสมที่ให้อาจสามารถระบุระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้คือจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 500 kHz จนถึง 2 MHz โดยประมาณ โดยลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณไม่มีผลต่อค่าของการวัดมากนัก ดังนั้นจึงเลือกคลื่นสัญญาณลักษณะ square wave เนื่องจากสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณง่ายกว่าแบบ sine wave โดยค่าความถี่ที่เหมาะสมที่สุดและนำไปใช้ในการออกแบบคือ 100 kHz



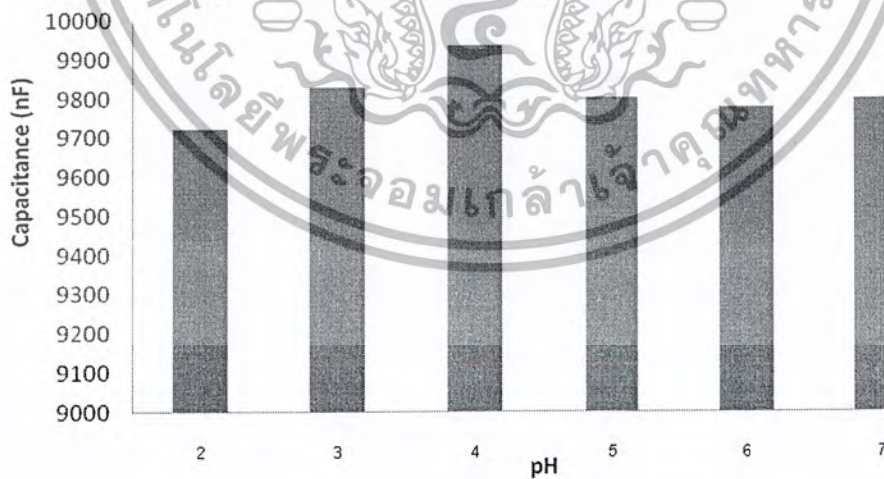
รูปที่ 3.2 การวัดค่าทางไฟฟ้าในการทดลอง

### 3.2.1.1 สารละลายกรด

เตรียมสารละลายกรดชนิดที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่าง ๆ กันตั้งแต่ 2-7 และวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้าที่ pH ต่าง ๆ ลักษณะความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 โดยค่าความนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรงกับค่า pH ในขณะที่ไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.5$ ) ของค่าความจุไฟฟ้า เนื่องจากลักษณะของหัววัดและหลักการทำงานที่แตกต่างกัน วัสดุของหัววัดที่นำมาใช้ในการตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้า มีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า สารละลายที่ทดสอบไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับหัววัดเนื่องจากมีฉนวนไฟฟ้ากั้นอยู่ ในขณะที่ลักษณะของหัววัดที่ใช้วัดการนำไฟฟ้ามีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าอย่างดี เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ผ่านตัวนำที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ 2 แผ่น ดังนั้น เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรดที่เปลี่ยนไปจึงส่งผลโดยตรงต่อค่าการนำไฟฟ้า

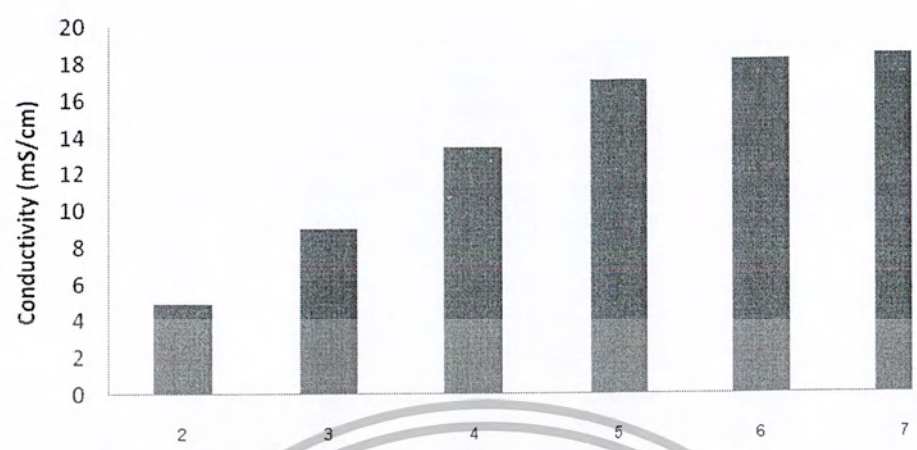


รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในการทดลองและหาค่าการนำไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ

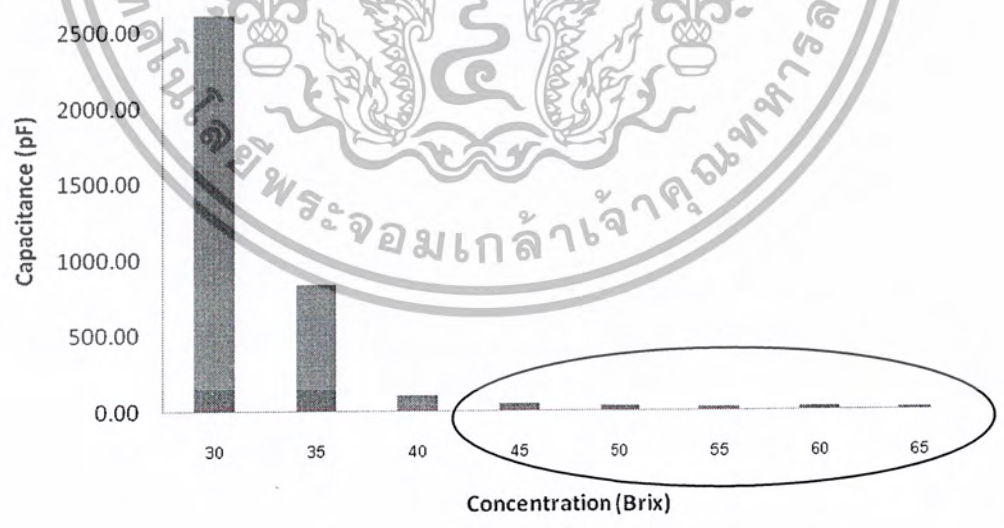
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ

### 3.2.1.2 สารละลายน้ำตาล

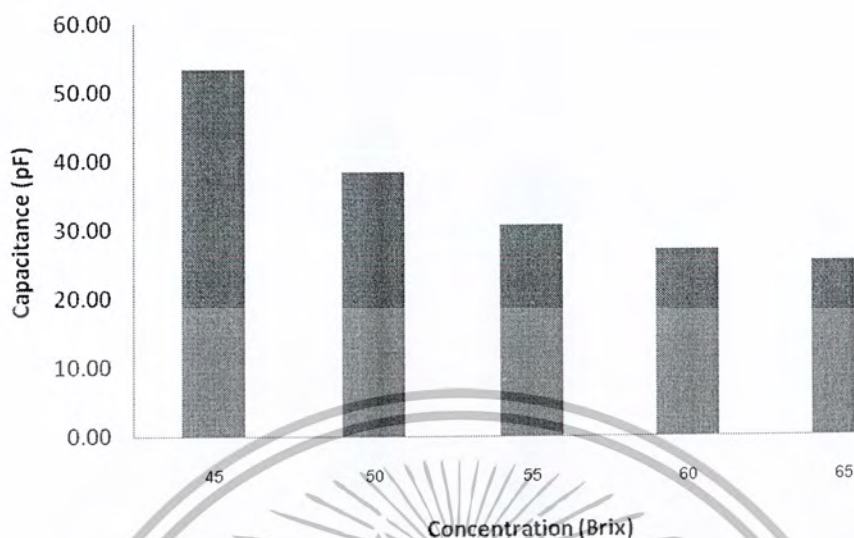
เตรียมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (30-65 °Brix) จากนั้นวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้าที่ความเข้มข้นใดๆ ลักษณะความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (ก และ ข) และ 3.7ตามลำดับ



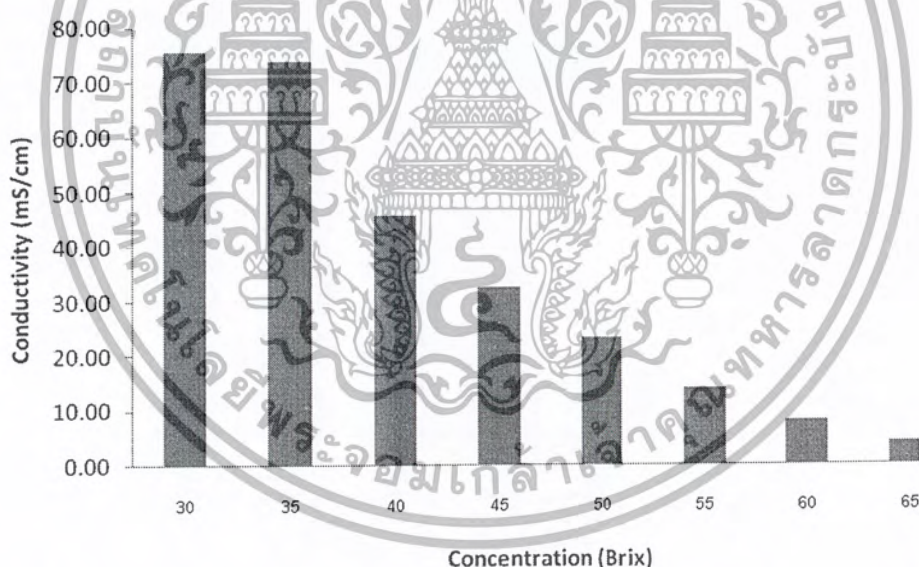
(ก)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ

พิจารณาจากรูปที่ 3.6 และ 3.7 พบว่า ค่าความนำไฟฟ้านั้นมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเส้นตรงเชิงผกผันกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย โดยเมื่อสารละลายมีค่าความเข้มข้นมากขึ้น ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะมีค่าลดลงทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลพบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าความจุไฟฟ้ามีค่าลดลงหรือค่าไดอิเล็กตริกของตัวกลานั้นมีค่าลดลงนั่นเอง ในช่วงความเข้มข้นที่ 30-65 Brix นี้ สามารถแบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

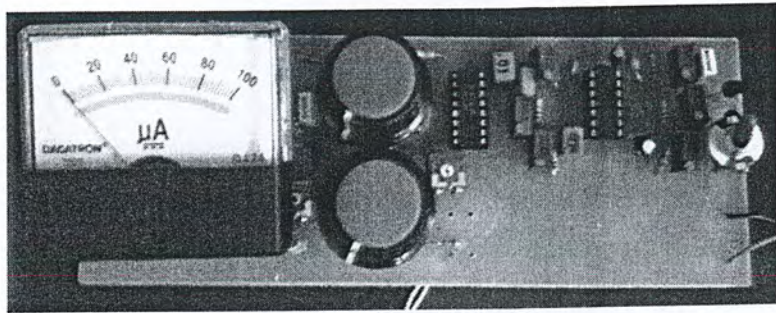
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความเข้มข้นออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วง 30-45 Brix และ ช่วง 45-65 Brix ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ก และ ข ตามลำดับ ซึ่งหากออกแบบเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นโดยอาศัยค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้า โดยใช้ค่าความถี่เดียวกันตลอดย่านการวัด จำเป็นต้องอาศัยการชดเชยในระบบควบคุม โดยแบ่งเป็นการชดเชย 2 ย่านดังกล่าวข้างต้น

### 3.2.2 การออกแบบเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้น

จากการทดลองวัดค่าคุณสมบัติของสารละลายจากโรงงานดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 10-67 องศาบริกซ์ ค่า pH อยู่ระหว่าง 3-5 อุณหภูมิในการปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 30-70 องศาเซลเซียส ข้อมูลนี้มีความจำเป็นในการกำหนดขอบเขตของเครื่องมือวัดความเข้มข้นให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน โดยกำหนดการใช้งานของเครื่องมือตรวจวัดที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 35-40 องศาเซลเซียสวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในรูปที่ 3.8 ได้รับการออกแบบสำหรับการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ที่ถูกออกแบบมาเพื่อสร้างความถี่ kHz 1-100 kHz เพื่อจ่ายให้หัววัดเพื่อทำการวัดค่าความเข้มข้นและส่งให้วงจรแปลงสัญญาณเพื่อทำการประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจากโรงงาน

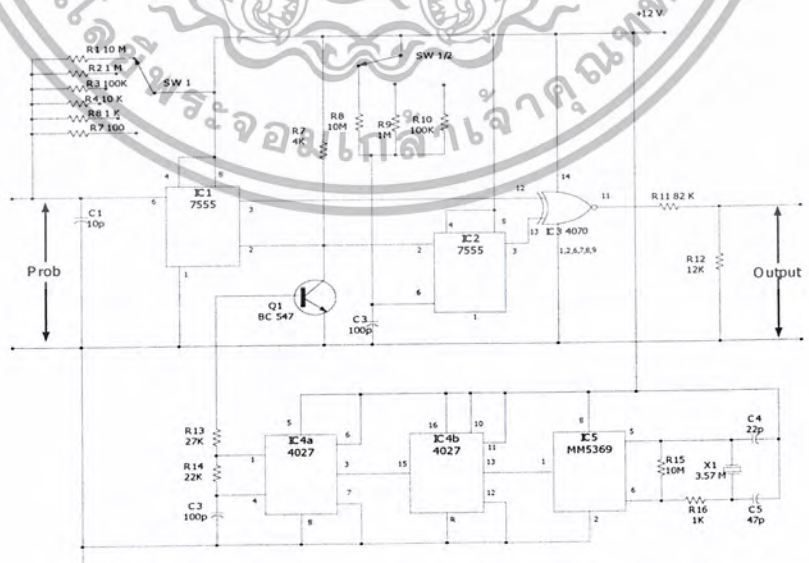
ชนิดของสารละลาย	ค่า pH	ความเข้มข้น (°Brix)
น้ำมะละกอ stock	3.16	> 60
น้ำมะละกอ ชุด 1	3.5	19
น้ำมะละกอ ชุด 2	2.61	> 60
น้ำมะละกอ ชุด 3	2.91	40
น้ำแกน 1	4.13	54
น้ำแกน 2	4.14	36
น้ำแกน 3	2.82	14
น้ำแกน stock	3.95	> 60
น้ำเชื่อมก่อนฟอก	3.19	56
น้ำเชื่อมหลังฟอก	3.45	58



รูปที่ 3.8 แผงวงจรสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย

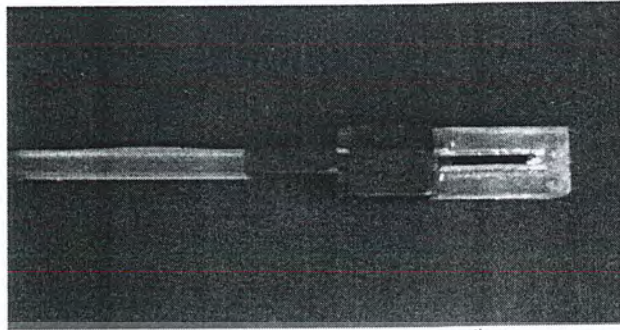
การออกแบบวงจรและหัววัด

จากการทดลองซ้ำกันหลายๆครั้งพบว่า หัววัดที่ออกแบบในครั้งแรกนั้น จะทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสารละลายที่มีส่วนประกอบของ ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่าประจุไฟฟ้า (Capacitance) เมื่อใช้วัดกับสารละลายที่มีความเป็นกลาง (pH=7) จะสามารถทำได้ดี แต่เมื่อนำมาใช้กับสารละลายที่มีความเป็นกรด กลับส่งผลให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาด เนื่องจากหัววัดส่วนที่เป็นโลหะถูกออกแบบให้สัมผัสกับสารละลาย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาหัววัดตัวใหม่ ซึ่งไม่มีส่วนของโลหะที่สัมผัสกับสารละลาย โดยสนใจเฉพาะค่าประจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว จากนั้นได้ทำการทดลองกับสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นและค่า pH ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเครื่องมือวัดสามารถแยกค่าความแตกต่างได้ดี โดยตัดความสัมพันธ์ในเรื่องค่าความนำไฟฟ้าออกไป ผลจากการทดลองได้ทำการวัดค่าประจุไฟฟ้าของสารละลายที่ออกมาจากหัววัดตัวใหม่ที่ออกแบบขึ้นมา ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.9 วงจรวัดค่าประจุไฟฟ้าสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผงวงจรและหัววัดคั้นแบบที่สร้างขึ้นในการทดลอง

หลักการทำงานของวงจรประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือวงจรทรานซิสเตอร์ และวงจรโมโนสเตเบิล วงจรทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย IC5 และ IC4 โดยที่ IC5 จะกำเนิดสัญญาณความถี่ เมื่อนำเอาที่พุทนี้ไปป้อนให้กับ IC4 ซึ่งทำหน้าที่เป็นโมโนสเตเบิล และปรับค่าความถี่ได้จากสวิทช์ ซึ่งเชื่อมต่อกับ R1-R6 เมื่อได้รับสัญญาณทรานซิสเตอร์พัลส์จาก Q1 จะได้สัญญาณที่มีความกว้างขึ้นอยู่กับค่า Cx ออกที่ขา 3 ป้อนให้กับวงจรเอคคูลูซีฟเฟอร์ ผ่านไปยังตัว R11 เพื่อส่งสัญญาณให้กับส่วนการแสดงผลและประมวลผลบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.2.3 การทดสอบเครื่องมือวัดสารละลายน้ำตาที่ใช้ในกระบวนการผลิต (จากโรงงาน)

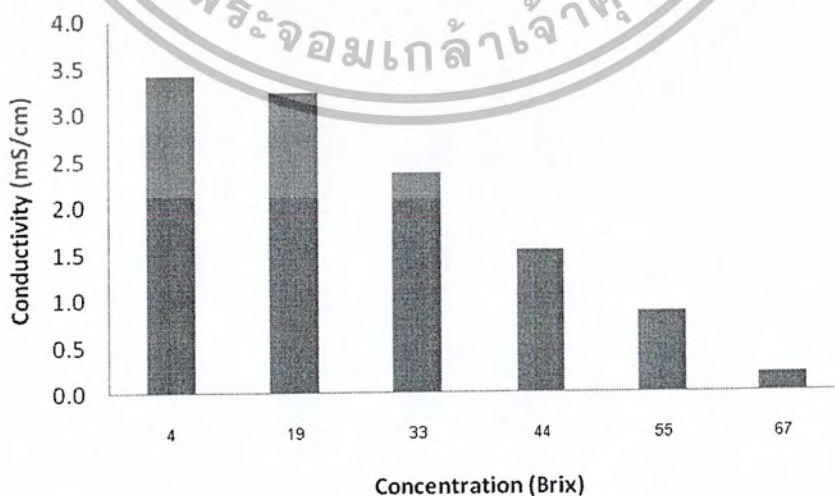
ค่าความจุไฟฟ้าใน ตารางที่ 3.2 ได้จากการหัววัดและวงจรที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 3.2.2 ส่วนค่าความนำไฟฟ้าได้จากมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า ค่า pH ที่ของสารละลายที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 3-4 จากผลกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ แสดงใน รูปที่ 3.11 และ 3.12 พบว่าทั้งค่าความจุไฟฟ้าและความนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าความนำไฟฟ้า แสดงความสัมพันธ์ในลักษณะการแยกความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ชัดเจนกว่าค่าความจุไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า pH พบว่า ค่าความนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามค่า pH ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองเบื้องต้นในหัวข้อที่ 3.2.1 ผลดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของค่าเอาท์พุท ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงยังคงยืนยันที่จะเลือกพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้น โดยที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าและนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดที่พัฒนานี้ ส่งเข้าสู่ระบบควบคุม เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบการแปรรูปอาหาร ด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติชนิดควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ ดังจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 3.2 ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะละกอและน้ำแกนสับปะรดที่ถังแช่ที่ 1 2 และ 3

สารละลาย	Brix	pH	Capacity(nf)			avg	Conductivity			
			psu	mS/cm	mg/L					
น้ำมะละกอ	Bx1	67	3.48	5842	6098	5842	5927.33	0.1	0.213	106.4
	Bx2	44	3.36	8966	8870	8874	8903.33	0.77	1.527	764
	Bx3	19	3.41	9465	9452	9456	9457.67	1.71	3.23	1613
น้ำแกนสับปะรด	Bx1	55	3.53	8180	8688	8686	8518.00	0.43	0.867	433
	Bx2	33	3.52	9077	9122	9078	9092.33	1.24	2.36	1182
	Bx3	4	3.05	9477	9480	9468	9475.00	1.74	3.42	1711



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

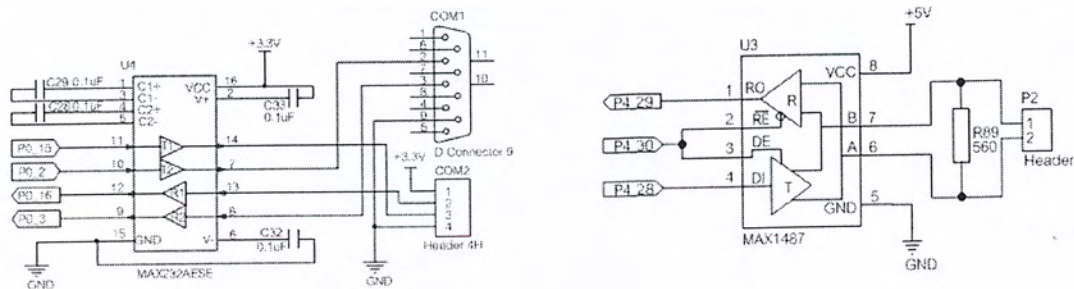
### 3.3 การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด PC-based Control

อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่น่าระบบการ การควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เนื่องจากปัจจุบันปริมาณความต้องการในการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทั้งในและต่างประเทศ ทำให้กระบวนการผลิตต้องปรับตัวให้สามารถผลิตได้ปริมาณมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติ มาปรับใช้ในการแปรรูปอาหาร ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายประเภท แบ่งตามขนาดของโรงงานได้แก่ DCS (Distributed Control System) เป็นเครื่องควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น ส่วนเครื่อง PLC (Programmable Logic Controller) และ PC-based Control เหมาะสำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก

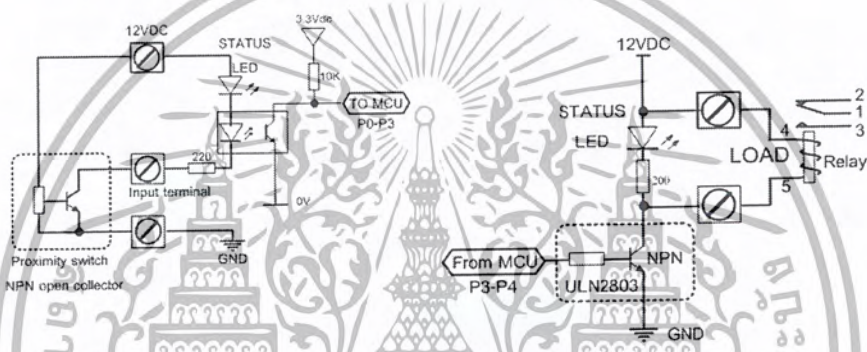
ระบบที่ทำการออกแบบดังรูปที่ 3.16 ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่กระจายการควบคุมผ่านพอร์ทอนุกรม เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุทเอาท์พุทระยะไกล ที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีของไมโครโปรเซสเซอร์ โดยชุดกระจายการควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบอินพุทเอาท์พุทดิจิทัล และอินพุทเอาท์พุทแบบอนาล็อก อินพุทแบบดิจิทัลจะใช้วงจรรอปัดไอโซเลท (Opto-Isolate) เพื่อที่จะป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือกระแสไฟฟ้าเกินจากภายนอกเข้ามาทำลายวงจร ส่วนเอาท์พุทดิจิทัลจะเป็นแบบหน้าสัมผัสรีเลย์ สามารถตอบสนองอุปกรณ์เอาท์พุท ที่ใช้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับอินพุทแบบอนาล็อกจะเชื่อมต่อกับตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 12 บิตที่สามารถตอบสนองการอ่านค่าจากอุปกรณ์การวัดค่าความเข้มข้นได้เป็นอย่างดีการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลต่างๆ เป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน EIA (Electronics Institute Association) แบบ RS 485 สามารถเชื่อมในระยะไกลถึง 4000 ฟุต ด้วยสายคู่ตีเกลียว จะเห็นได้ว่าระบบที่ออกแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการขยายจุดควบคุมและการโปรแกรมการทำงาน สามารถสั่งการควบคุมได้ตามเงื่อนไขของข้อตกลง ในการติดต่อสื่อสารที่สร้างขึ้นเพื่อรับสัญญาณจากอินพุท ส่งสัญญาณเอาท์พุทและสามารถกระจายจุดควบคุมได้ทั้งหมด 32 ชุด ซึ่งในแต่ละชุดสามารถสร้างให้มีจุดควบคุมได้ 16 อินพุท และ 16 เอาท์พุทและอนาล็อกอินพุทจำนวน 4 ช่อง

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบและควบคุม (Control and monitoring) เชื่อมต่อไปยังจุดควบคุมผ่านพอร์ทอนุกรมไปยังตัวแปลงสัญญาณจาก RS232 เป็น RS485 ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารแบบหลายจุด (Multi-points communication) และจะเชื่อมต่อกับชุดกระจายการควบคุม อุปกรณ์อินพุทเอาท์พุทแบบดิจิทัลจะถูกใช้ในการสั่งงานเปิดปิดวาล์วและปั๊ม ส่วนอุปกรณ์อินพุทเอาท์พุทแบบอนาล็อกจะถูกเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายและตัวตรวจวัดค่า pH ในการทดสอบการทำงานเบื้องต้นในรูปที่ 3.17 ได้ทำการจำลองสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อดูความเร็วในการตอบสนองการทำงานและฟังก์ชันในการทำงานหลังจากกระบวนการออสโมติก ที่กำลังดำเนินการสร้างเสร็จสมบูรณ์ เราจึงสามารถนำระบบควบคุมที่สร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน

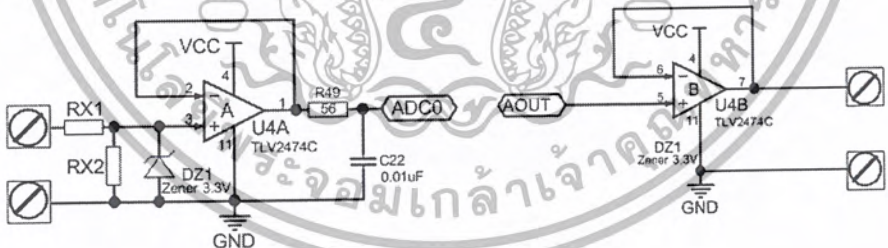
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วงจรอินเทอร์เฟซแบบอนุกรม RS232 และRS485

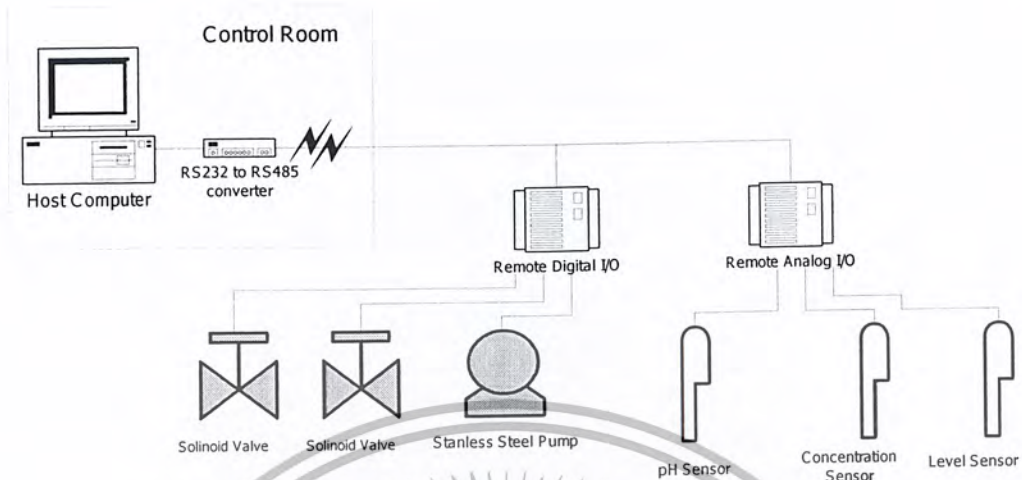


รูปที่ 3.14 วงจรอินพุตและเอาต์พุตแบบดิจิทัล

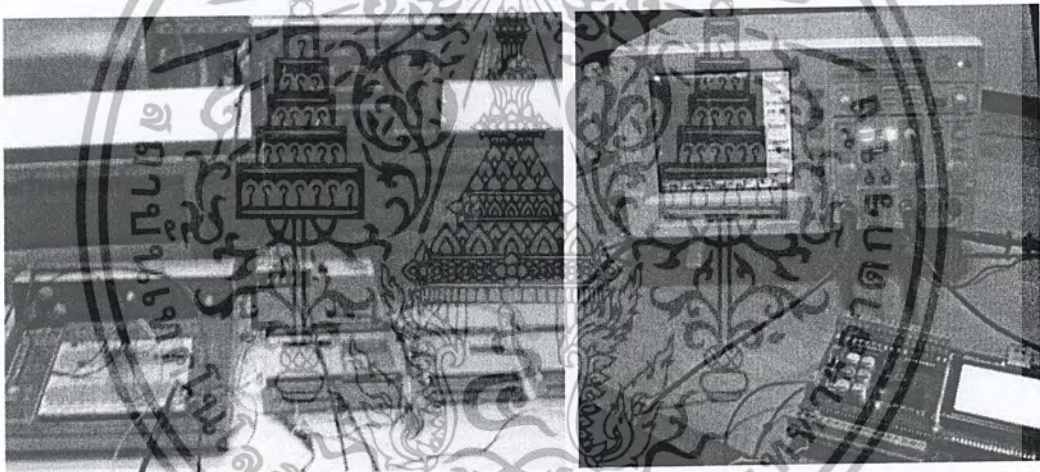


รูปที่ 3.15 วงจรอินพุตและเอาต์พุตแบบอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ



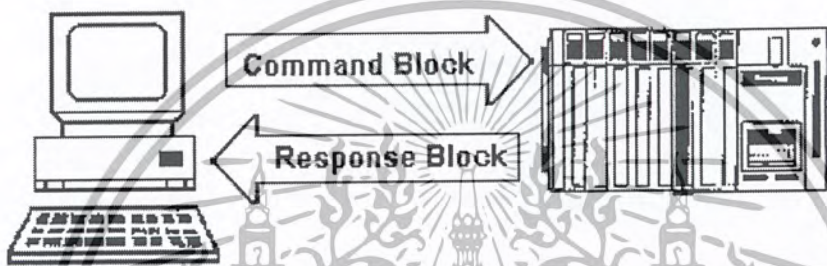
รูปที่ 3.17 การทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

### 3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานบนพื้นฐานคอมพิวเตอร์

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกพัฒนาบน ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือระบบสมองกลฝังตัว ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ รับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทางด้านอินพุท ได้แก่ เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้น เครื่องมือ วัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดค่า pH เครื่องมือวัดระดับ และ อุปกรณ์ตรวจจับอื่นๆ ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุท ได้แก่ มอเตอร์ใบกวน ปั้มน้ำ และ โซลินอยด์วาล์ว โปรแกรมนี้พัฒนาด้วยภาษาแอสเซมบลีของ MCS51 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ผ่านหน่วยความจำของตัวควบคุม โดยอาศัยข้อตกลงในการ ติดต่อสื่อสาร (Communication Protocol) ที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อลักษณะนี้ สามารถออกแบบฮาร์ดแวร์ให้รองรับการเชื่อมต่อแบบหลายจุดได้ (Multi-drop) โดยฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นอาศัยการติดต่อสื่อสารแบบ RS485 ที่สามารถเชื่อมต่อได้ 32 จุด ผ่านสายคู่ตีเกลียว ระยะทางของสายสัญญาณทำได้สูงสุด 4000 ฟุต ความเร็วในการรับส่งข้อมูลอยู่ 9600 บิตต่อวินาที การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับชุดควบคุมนี้เป็นลักษณะ การส่งคำสั่งหรือการร้องขอไปยังตัวเป้าหมายก่อน จากนั้นจะรอการตอบรับกลับ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล จึงมีการออกแบบให้ตรวจสอบความผิดพลาดด้วยวิธี Frame Check Sequence (FCS)



รูปที่ 3.18 การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม

#### การคำนวณ FCS

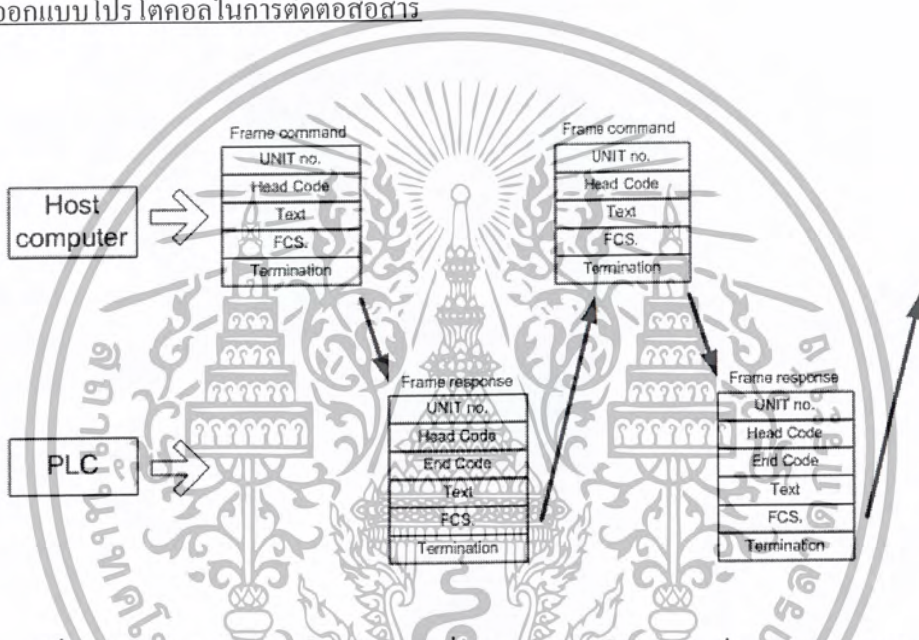
FCS หรือ Frame Check Sequence วิธีนี้จะตรวจสอบลำดับของเฟรมข้อมูล โดยนำมาคำนวณ XOR ในแต่ละไบต์จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้เมื่อข้อมูลตรงกันแสดงว่าข้อมูลถูกต้อง เป็นสิ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการสื่อสาร เป็นการเปลี่ยนข้อมูล 8 บิตเป็น 2 ตัวอักษรข้อมูล ASCII แล้วนำมาทำการจับคู่ EXCLUSIVE OR (XOR) โดยเริ่มจาก @ จนถึงตัวอักษรตัวสุดท้ายของ TEXT ดังตัวอย่างในการคำนวณดัง ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณ FCS

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณ FCS

อักขระ	รหัส(ASCII BINARY)	(HEX)
@	0100 0000	[40]
0	0011 0000	[30]
0	0011 0000	[30]
R	0101 0010	[52]
R	0101 0010	[52]
0	0011 0000	[30]
0	0011 0000	[30]
3	0011 0011	[33]

0	0011 0000	[30]
0	0011 0000	[30]
0	0011 0000	[30]
0	0011 0000	[30]
2	0011 0010	[32]
FCS	0100 0001	[41]

การออกแบบโปรโตคอลในการติดต่อสื่อสาร

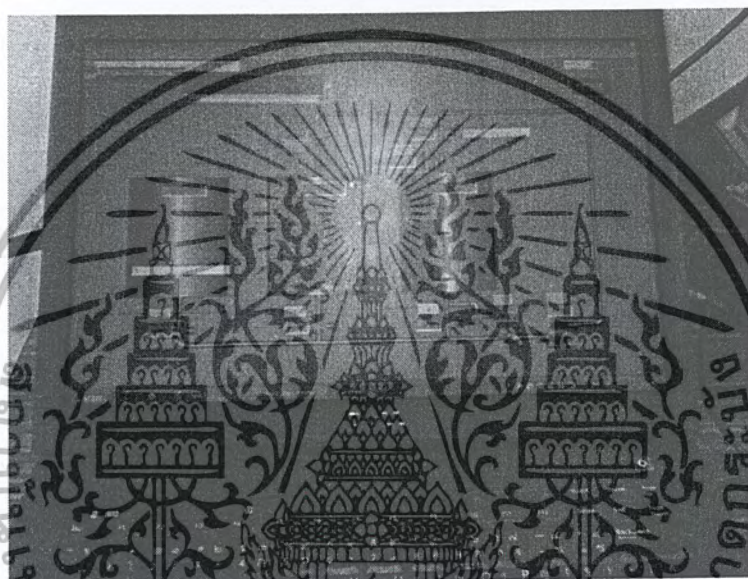


รูปที่ 3.19 รูปแบบข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม

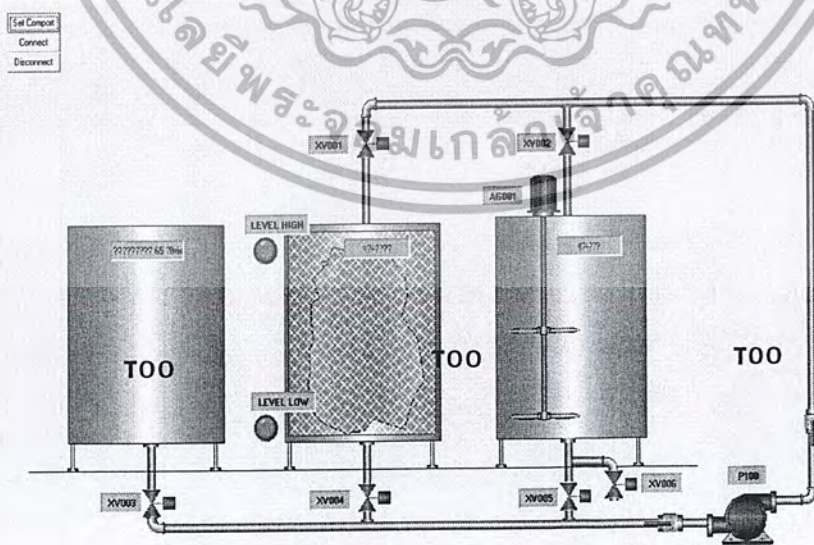
ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องควบคุม

- @ ใช้เริ่มต้นการติดต่อสื่อสาร
- Unit No., ระบุปลายทางของชุดควบคุมหรือชุดอินพุตสัญญาณ (00 - 31)
- Header code, ชุดของคำสั่งที่ใช้ประกอบด้วยอักขระจำนวน 2 ตัว ดังความหมายต่อไปนี้  
RD คือ อ่านข้อมูลดิจิทัล RA คืออ่านข้อมูลอนาล็อก และ WA คือเขียนข้อมูลดิจิทัล และ  
WA คือเขียนข้อมูลอนาล็อก
- End code, ผลการแจ้งกลับของคำสั่งตอบสนอง 00:Over Range, 01:Format error, 02:FCS error
- Text, ชุดคำสั่งที่แสดงถึงพื้นที่ของข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียน

ส่วนที่ 2 คือการพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์โดยใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ สำหรับใช้ในการตรวจสอบสถานะและควบคุมกระบวนการออสโมติก ใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ พัฒนาด้วยโปรแกรม Delphi เพื่อให้ทำงานร่วมกับเครื่องควบคุมที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232 และเชื่อมต่อผ่านตัวแปลงสัญญาณให้เป็น RS485 เพื่อให้การติดต่อสื่อสารทำได้ระยะทางไกลขึ้น จาก 50 ฟุต เป็น 4000 ฟุต โดยที่ผู้ใช้สามารถปฏิบัติงานอยู่ในห้องควบคุม โดยสั่งการและตรวจสอบสถานะการทำงานจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังขั้นตอนต่อไปนี้



รูปที่ 3.20 คอมพิวเตอร์และ โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.21 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ

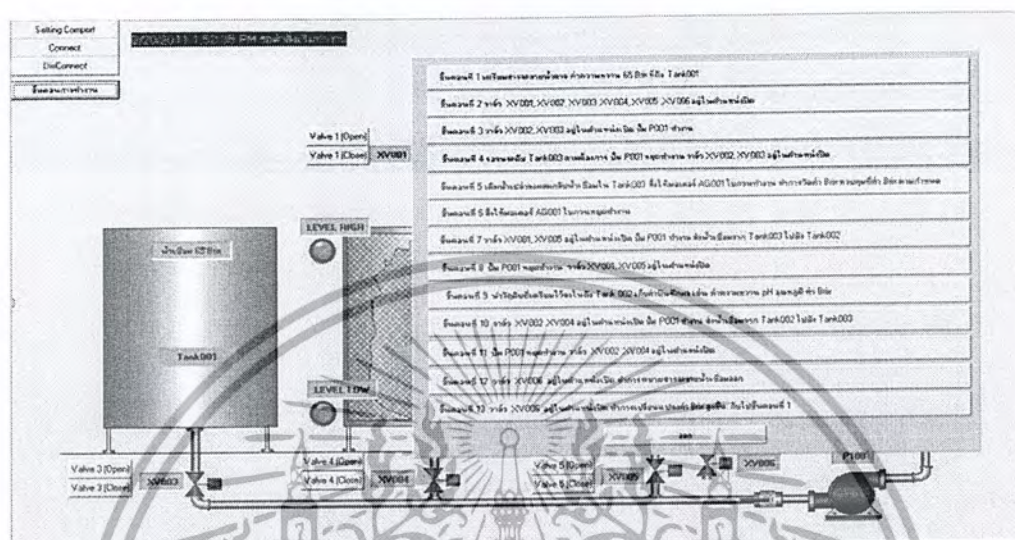
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทำงานของระบบ

1. เตรียมสารละลายน้ำตาล ค่าความหวาน 65 Brix ที่ถัง T001
2. จ่ายไฟให้กับระบบ กดปุ่ม PB Start
3. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV001,XV002,XV003,XV004,XV005,XV006 อยู่ในตำแหน่งปิด
4. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV002,XV003 อยู่ในตำแหน่งเปิด
5. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ปั๊ม P001 ทำงาน เพื่อที่จะส่งสารละลายน้ำเชื่อม 65 Brix ไปที่ถัง T003 เมื่อถึงระดับที่ LI001 ที่ตั้งค่าไว้จะหยุด P001 ทำงาน ValveXV002,XV003 อยู่ในตำแหน่งปิด
6. กดปุ่ม PB Start AG001 โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ AG001 ทำงาน ทำการเติมน้ำเปล่าที่เตรียมไว้ลงในถัง T003 ตามที่คำนวณไว้เพื่อให้ได้ค่าความหวานของน้ำเชื่อมอยู่ที่ 35 Brix PB Stop AG001 จะหยุดทำงาน
7. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV001,XV005 อยู่ในตำแหน่งเปิด
8. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ปั๊ม P001 ทำงานเมื่อได้ระดับที่ต้องการให้สั่งหยุด P001
9. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV001,XV005 อยู่ในตำแหน่งปิด
10. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ลงในถัง T002 เก็บค่าบันทึกผล เช่น ค่าความหวาน pH อุณหภูมิ เมื่อค่าความหวานลดระบบจะทำงานอัตโนมัติ โปรแกรมควบคุมจะสั่งให้ ValveXV001,XV005 อยู่ในตำแหน่งเปิดเพื่อเติมน้ำเชื่อมในถัง T003 ไปที่ถัง T002 เมื่อได้ผลการทดลองตามที่ต้องการแล้ว ก็จะ Drain น้ำเชื่อมออกจากถัง T002
11. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV002,XV004 อยู่ในตำแหน่งเปิด
12. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ปั๊ม P001 ทำงาน เมื่อน้ำเชื่อมออกจากถัง T002 หมดแล้วให้หยุดปั๊ม P001
13. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV002,XV004 อยู่ในตำแหน่งปิด
14. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV006 อยู่ในตำแหน่งเปิดทำการ Drain น้ำเชื่อมออกจากถัง T003
15. เมื่อ Drain น้ำเชื่อมออกจากถัง T003 หมดโปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV006 อยู่ในตำแหน่งปิด
16. กลับไปที่ซ้ำ ลำดับ 4 แต่เปลี่ยนค่าความหวานของน้ำเชื่อมอยู่ที่ 45 Brix จนถึงลำดับ 16
17. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV001,XV003 อยู่ในตำแหน่งเปิด
18. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ P001 ทำงาน เมื่อได้ระดับที่ต้องการให้หยุดทำงาน
19. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ ValveXV001,XV003 อยู่ในตำแหน่งปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ลงในถัง T002 เก็บค่าบันทึกผล เช่น ค่าความหวาน pH อุณหภูมิ บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.22 โปรแกรมควบคุมส่วนอัตโนมัติ



รูปที่ 3.23 การเลือก Port ที่ใช้ในการควบคุม

### 3.5 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ

จากการร่วมประชุมกับผู้เชี่ยวชาญของโรงงานเมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2553 เพื่อร่วมกันหารือเรื่องการออกแบบระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติกนั้น พบว่ากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง ควรเป็นดังรูปที่ 3.24 โดยทำการปรับปรุงจากกระบวนการต้นแบบ (ดูรูปที่ 3.1) ให้มีถังจากสามถังเหลือเพียงสองถัง ถังแรกจะทำการปรับค่าความเข้มข้นเริ่มจาก 40 องศาบริกซ์ และระบบวัดและควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดค่าและปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

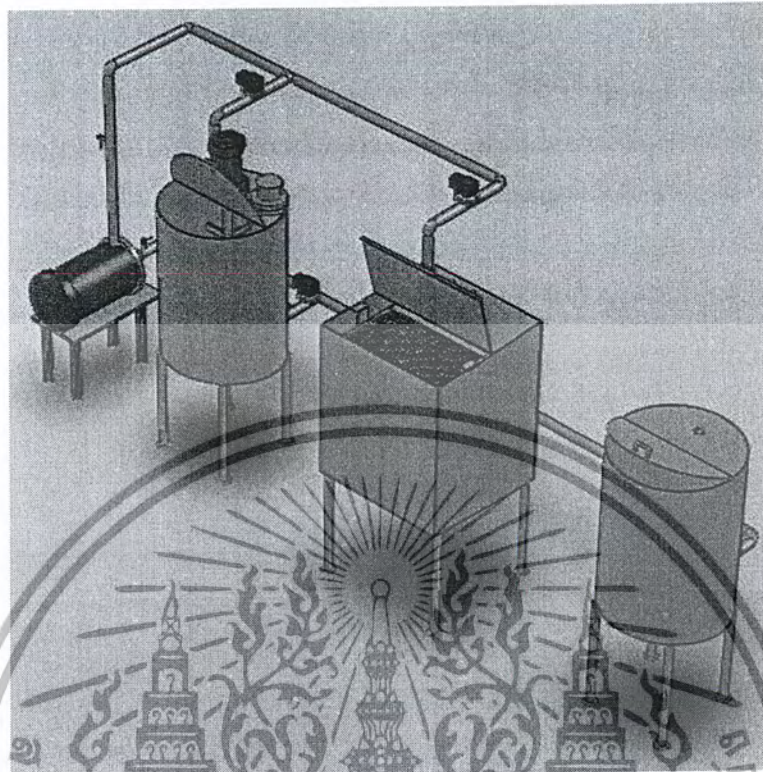
ความเข้มข้นให้คงตลอดจนอัตราการถ่ายเทมวลเริ่มลงที่ ระบบจะทำการปรับค่าความเข้มข้นให้เป็น 50 องศาบริกซ์ และทำเช่นเดียวกันจนเสร็จกระบวนการ จากนั้นทำการเปลี่ยนถังมาถังที่มีความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ กระบวนการนี้จะทำเช่นเดียวกัน แต่การทดสอบจะกระทำกับตัวอย่างอาหาร เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ น้ำเชื่อมที่ถูกถ่ายออกจะถูกนำมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการระเหยด้วยความร้อน และปรับปรุงคุณภาพทางด้านสีของสารละลาย นำมาเก็บไว้ที่ถังเก็บเพื่อการใช้งานในรอบต่อไป





รูปที่ 3.24 กระบวนการออสโมติกแบบอัดโนมิตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

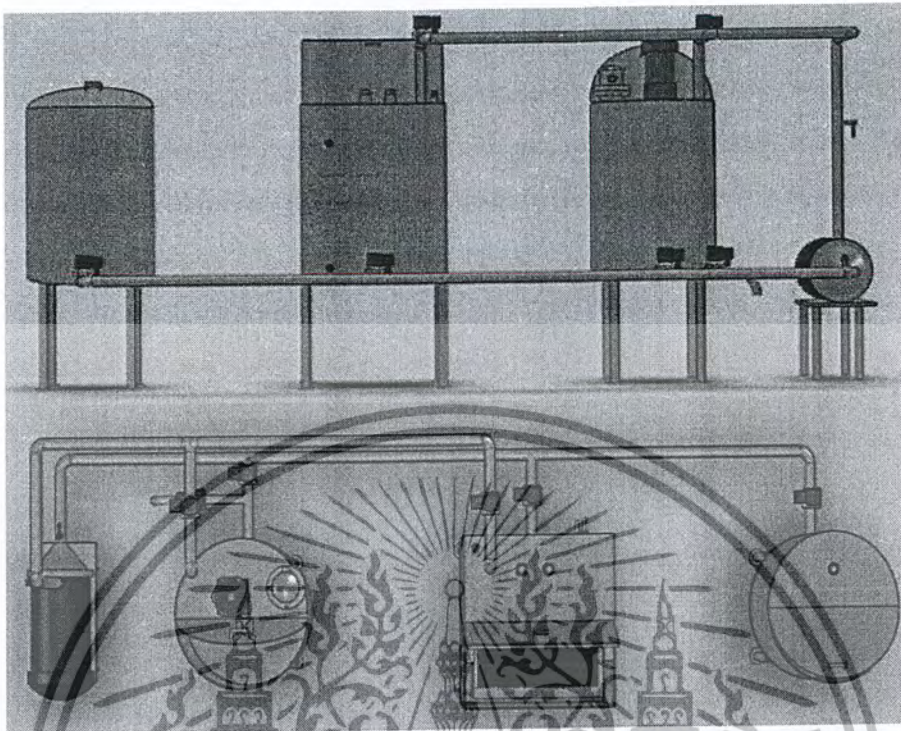


รูปที่ 3.25 ระบบอัตโนมัติแบบสามมิติ



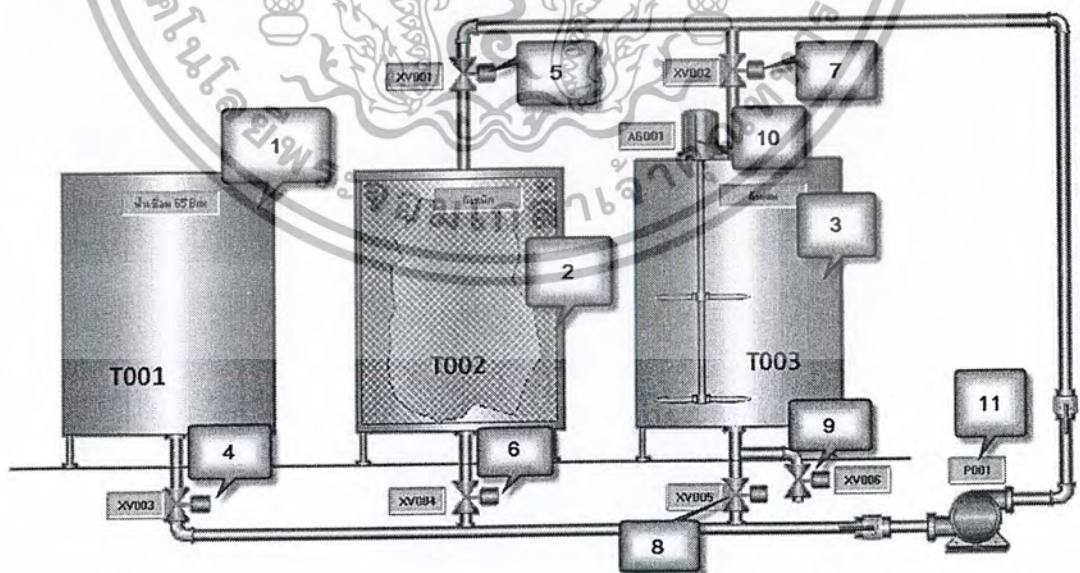
รูปที่ 3.26 ถังแช่และถังเก็บสารละลายออสโมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ระบบอัตโนมัติ ด้านหลังและด้านบน

รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ประกอบด้วยดังนี้  
ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 3.27 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.28 ส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

ลำดับ	โครงสร้าง	ขนาด
1	ถังเก็บสารละลายความเข้มข้น 65 Brix	ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง 50 ซม.
2	ถังผสมสารละลายน้ำตาล	ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง 50 ซม.
3	ถังแช่ออสโมติก	ถังขนาด 35x52x17 ซม.
4	โซลินอยล์วาล์ว	ขนาด ½ นิ้ว แรงดัน 220 โวลท์
5	มอเตอร์ใบกวน	ขนาด 65 W แรงดัน 220 โวลท์
6	ปั๊มน้ำสแตนเลสและมอเตอร์ไฟฟ้า	ขนาด 0.75 kW3 เฟส แรงดัน 380 โวลท์

### 1. ถังเก็บสารละลาย

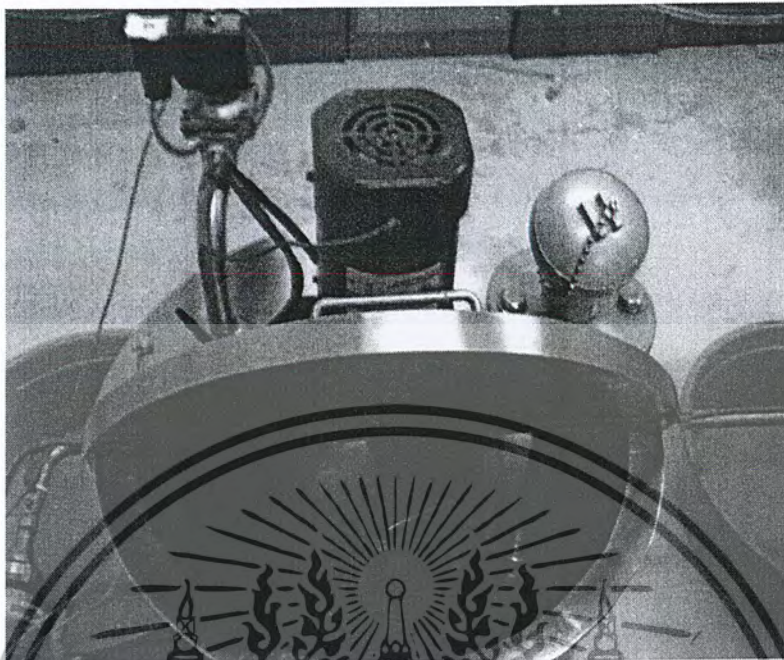
ถังเก็บสารละลายความเข้มข้น 65 Brix ทำด้วยสแตนเลสเป็นถังรูปทรงกระบอกบริเวณฐานทำเป็นโค้งเพื่อลดการสะสมของอาหารและน้ำเชื่อม ถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง 50 ซม. ทางด้านบนมีฝาปิดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากภายนอก

### 2. ถังผสมสารละลาย

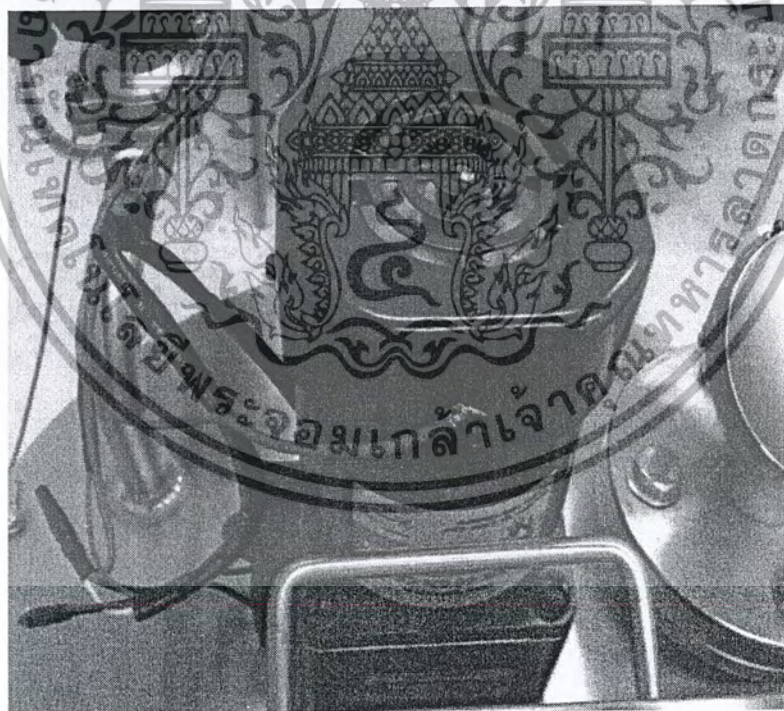
ถังผสมสารละลาย (รูปที่ 3.23) เพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายให้ได้ตามที่ต้องการ ตัวถังทำด้วยสแตนเลสเป็นถังรูปทรงกระบอก บริเวณฐานทำเป็นโค้งเพื่อลดการสะสมของน้ำเชื่อม ถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง 50 ซม. ทางด้านบนมีฝาปิดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากภายนอก ติดตั้งมอเตอร์ใบกวนผสมไว้ที่บริเวณฝาถัง (รูปที่ 3.24) ลักษณะของใบกวนดังแสดงในรูปที่ 3.25 ภายในถังติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับแบบต่อเนื่องชนิดลูกลอย ดังแสดงในรูปที่ 3.26

### 3. ถังแช่ออสโมติก

ถังสำหรับใส่ตัวอย่างทำด้วยสแตนเลสออกแบบให้เป็นทรงเหลี่ยมขนาด กว้าง 17 ซม. ยาว 35 ซม. สูง 52 ซม. ด้านข้างถูกกันไว้สำหรับใส่อุปกรณ์วัดได้แก่ หัววัดค่า pH หัววัดค่าความเข้มข้น และ เซนเซอร์วัดระดับ ส่วนที่ใช้สำหรับใส่ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นตระแกรงเพื่อให้สารละลายสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี รูปถังแช่และตระแกรงสำหรับบรรจุตัวอย่างอาหารแสดงดังรูปที่ 3.27 ภายในถังแช่ติดตั้งหัววัดค่าความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 3.28 ส่วนรูปที่ 3.29 แสดงเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเมื่อนำมาใช้กับระบบ



รูปที่ 3.29 ดังผสม



รูปที่ 3.30 มอเตอร์ใบกวนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

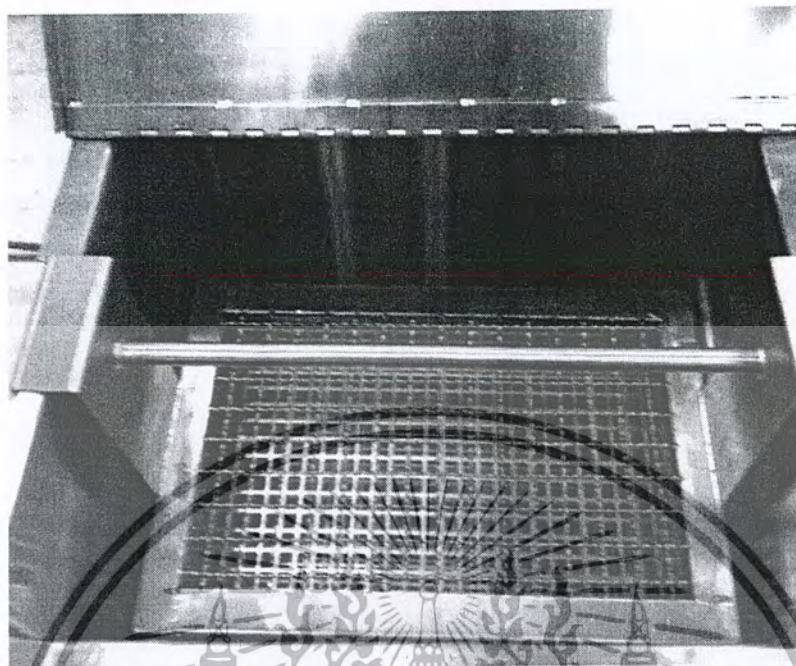


รูปที่ 3.31 ใบควานผสม



รูปที่ 3.32 เครื่องมือวัดระดับชนิดลูกลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

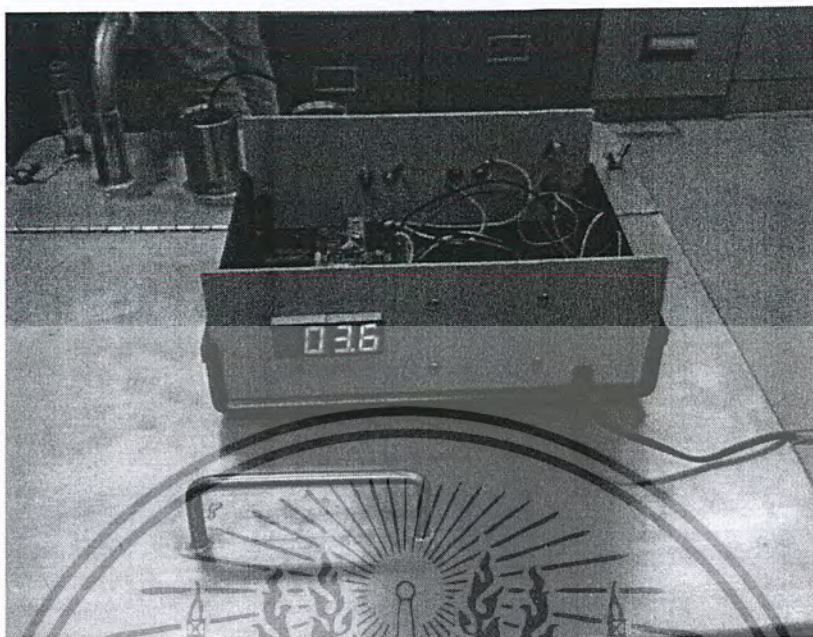


รูปที่ 3.33 ถังและตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่าง



รูปที่ 3.34 การติดตั้งหัววัดความเข้มข้นลงถังออกสโมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 เครื่องวัดค่าความเข้มขึ้นของสารละลายน้ำตาลเมื่อนำมาใช้กับระบบ



รูปที่ 3.36 โพลีนอยล์ว่าลั้วขนาด ½ กิโล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ระบบท่อและโซลินอยด์วาล์ว

ท่อภายในระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติ ทำด้วยสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 1/2" ควบคุมทิศทางการไหลของของไหลภายในท่อด้วยระบบการเปิดปิดวาล์ว (ON-OFF) โดยใช้โซลินอยด์วาล์ว ภายในระบบมีโซลินอยด์วาล์วทั้งสิ้นจำนวน 6 ตัว ลักษณะของโซลินอยด์วาล์วดังแสดงในรูปที่ 3.30

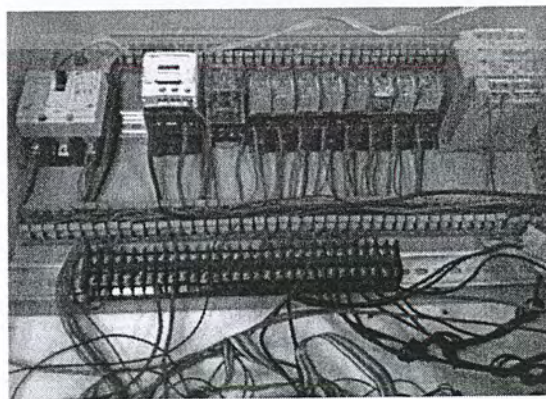
#### 5. มอเตอร์ใบกวน

มอเตอร์ใบกวนมีขนาด 65 w แรงดัน 220 โวลต์ สั่งการอัตโนมัติด้วยระบบควบคุม

#### 6. ปั๊มน้ำสแตนเลสและมอเตอร์ไฟฟ้า

ปั๊มน้ำสแตนเลสที่ใช้ในระบบการออสโมติก มีขนาด 0.75 แรงม้า แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ควบคุมความเร็วให้เหมาะสม ด้วยอินเวอร์เตอร์และสั่งการอัตโนมัติจากระบบควบคุม มอเตอร์ไฟฟ้าที่เลือกใช้ นั้น คือ มอเตอร์เลียร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีขนาด 1/2 แรงม้า (0.4 kW) 10 แอมป์ 380 โวลต์ 50 Hz

นอกจากระบบดังกล่าวข้างต้นแล้ว ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือตู้ควบคุมหรือระบบควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.36 ภายในตู้ควบคุมวงจรไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำ มอเตอร์ใบกวนและโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งสั่งงานอัตโนมัติทั้งสิ้นผ่านชุดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และรีเลย์ ที่ทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงได้ มอเตอร์สำหรับปั๊มน้ำเป็นมอเตอร์สามเฟสที่ควบคุมความเร็วให้เหมาะสมด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ควบคุมปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของอินคัลชั่นมอเตอร์ โดยใช้หลักการเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ ยี่ห้อ GAVAZZI รุ่น Variflex220 V 1 phase to 3 phases 0.75 kW (0.5 Hp) ความถี่ที่รองรับได้ 50-60 Hz



รูปที่ 3.37 ตู้ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติเมื่อติดตั้งเสร็จ

### 3.6 การทำงานของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติ

ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติประกอบด้วยถัง 3 ถัง ดังนี้

- ถังเก็บสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65 Brix
- ถังแช่อาหารและสารละลายน้ำตาล
- ถังผสมน้ำเชื่อม

ระบบนั้นเริ่มต้นด้วยการเตรียมน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้น 65 Brix บรรจุไว้ในถังเก็บสารละลาย จากนั้นผสมสารละลายความเข้มข้น 65 Brix ดังกล่าวด้วยน้ำสะอาดปรับให้ได้ความเข้มข้นระดับที่ 1 คือ 30 Brix จากนั้นปั้มน้ำเชื่อมความเข้มข้นที่ผสมในถังผสมเข้าถังแช่ ในระหว่างกระบวนการออสโมติก น้ำจากตัวอย่างอาหารที่แช่จะเคลื่อนที่สู่สารละลาย ส่งผลให้ความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลลดลง เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นทำการตรวจสอบความเข้มข้น เมื่อระบบตรวจพบความเข้มข้นลดลงกว่าที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการปั้มน้ำเชื่อมออกจากถังแช่เข้าถังผสมและทำการปั้มน้ำเชื่อมความเข้มข้น 65 Brix เข้าผสมเพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายให้สูงขึ้นเท่าเดิม เมื่ออัตราการถ่ายเทมวลลดลง ระบบจะทำการผสมน้ำเชื่อมเข้าสู่ระดับที่ 2 เท่ากับ 40 Brix ทำเช่นนี้เช่นเดิมกับความเข้มข้นระดับที่ 1 เท่ากับ 30 Brix เมื่ออัตราการถ่ายเทมวลในระดับที่ 2 นั้นเข้าใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้สภาวะสมดุลจะทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเข้าสู่ระดับที่ 3 เท่ากับ 50 Brix ระดับที่ 4 เท่ากับ 60 Brix และระดับสุดท้าย เท่ากับ 65 หรือ 70 Brix ขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแปรรูประบบ จะทำการปรับความเข้มข้นอย่างอัตโนมัติจนเสร็จสิ้นกระบวนการแปรรูป

### 3.7 การทดสอบการทำงาน

เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ออกแบบ สามารถแยกความความเข้มข้นได้ตามเงื่อนไขของกระบวนการควบคุม โดยจำเป็นจะต้องทำการสอบเทียบและปรับค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สอดคล้องกับค่าจริง ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดเป็นค่าตัวเลข BCD ที่เป็นอินพุทเพื่อป้อนให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้การ Look up table ที่ได้ปรับแต่งค่าจากกระบวนการจริง ค่าที่วัดได้ยังมีความอ่อนไหวต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้ามารบกวนแต่อาศัยการปรับแต่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็สามารถแก้ปัญหาได้

ระบบควบคุมบนคอมพิวเตอร์ (PC Based Control system) สามารถรับสัญญาณจากอินพุทจากอุปกรณ์ตรวจจับเครื่องวัด โดยผ่านทางดิจิทัลอินพุทและอนาล็อกอินพุท ส่งสัญญาณควบคุมผ่านเอาต์พุทแบบดิจิทัลได้ในระยะไกลผ่านการติดต่อสื่อสารอนุกรม RS 485 นอกจากนี้จะสามารถควบคุมได้ตามเงื่อนไขแล้ว ยังสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานได้ถูกต้อง และการประมวลผลมีความเร็วเพียงพอกับการควบคุมการทำงาน

## บทที่ 4

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 4.1 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ออกแบบสามารถแยกความความเข้มข้นได้ตามเงื่อนไขของกระบวนการควบคุม โดยที่จำเป็นจะต้องทำการสอบเทียบและปรับค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สอดคล้องกับค่าจริงทำให้ระบบควบคุมนี้สามารถที่จำแนกความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงในกระบวนการได้และสั่งให้ กระบวนการออกสโมคิก ทำการหมุนเวียนสารละลายใหม่เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย

อย่างไรก็ตาม ผลผลิตภายใต้ โครงการที่ 1 นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดและควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ตลอดกระบวนการซึ่งจากการทำงานของระบบ ณ ปัจจุบันระบบยังไม่สามารถระบุได้ว่าควรปรับความเข้มข้นจากระดับ 1 เป็น 2 3 หรือ 4 เมื่อไร เนื่องจาก ระบบยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติม ในเรื่องของอัตราการถ่ายเทมวลเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลและตัดสินใจปรับระดับความเข้มข้น ซึ่งเป็นผลผลิตภายใต้โครงการที่ 2 นอกจากนี้ระบบการทำงาน ณ ปัจจุบันยังต้องการการปรับแต่งสัญญาณ จากเครื่องมือวัดและปรับปรุงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณรบกวน เพื่อให้ระบบสามารถทำงานอย่างอัตโนมัติสมบูรณ์ จำเป็นต้องเพิ่มส่วนการเตรียมน้ำเชื่อม อย่างอัตโนมัติ

ในส่วนของการตัดสินใจ เพื่อลงทุนปรับเปลี่ยนระบบแปรรูปอาหาร ด้วยหลักการออกสโมคิกอย่างอัตโนมัติดังกล่าวข้างต้นนั้น ยังคงต้องการข้อมูลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความเป็นไปได้ ของการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างอัตโนมัติ ซึ่งในส่วนที่เหลือทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น เป็นผลผลิตภายใต้โครงการที่ 2 โดยความสัมพันธ์ ของผลผลิตภายใต้ทั้งสอง โครงการแสดงดังรูปที่ 1.1

## บรรณานุกรม

- [1] การส่งออกสินค้าเกษตรกรรม. 2551. กรมส่งเสริมการส่งออก.
- [2] นวกัทธา หนูนาถ 2551. ปัจจัยและกระบวนการเบื้องต้นที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลของชิ้นอาหารในระหว่างกระบวนการออสโมติก. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, มกราคม – มีนาคม 2552
- [3] A. Rajendran a, P. Neelamegam b. *Measurement of conductivity of liquids using AT89C55WD microcontroller*. Measurement Volume 35, pages59–63 (2004)
- [4] Argaiz, A., Welti, J., and Lopez-Malo, A., 1996. *Effect of syrup reuse on the quality of fruits preserved by combined methods*. In IFT annual meeting: book of abstracts (p. 101), Chicago: Institute of Food Technologists.
- [5] Barbosa-Cánovas G.V. and Juliano, Washington State University, P. PelegM., University of Massachusetts. *Engineering properties of foods*. USA, 2006
- [6] Bhuyan M., *Measurement and Control in Food Processing*. CRC Press, India, 2007  
Available online: <http://www.vernier.com>
- [7] Browning, John (1882). *How to work with the spectroscope: a manual of practical manipulation with spectroscopes of all kinds*
- [8] DallaRoso, M., Bressa, F., Giavedoni, P., and Pinnavaia, G., 1992. *Industrial application of direct osmosis: syrup changes during concentration of kiwifruit slices*. IFTEC Book of abstract (p. 151); International Food Technology Exposition and Conference. The Hague, The Netherlands, 15-18 November.
- [9] DallaRoso, M., Bressa, F., Mastrocola, D. and Pittia, P., 1995. *Use of osmotic treatments to improve the quality of high moisture-minimally processed fruits*. In A. Lenart, P.P. Lewicki, Osmotic dehydration of fruits and vegetables. (pp. 69-87). Warsaw, Poland: Warsaw Agriculture University Press.
- [10] Dalla Rosa, M. and Giroux, F., 2001. *Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management*. Journal of Food Engineering, Vol. 49, pp. 223-236.
- [11] De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J., 1989. *A Finite-Element Analysis of Heat Generation and Transfer During Ohmic Heating of Food*. Chemical Engineering Science, Vol. 45, No. 6, pp. 1547-1549.

- [12] Giroux, F., Castillo, M., and Valdez-Fragoso, A., 2000. *Recycling of concentrated solutions in osmotic dehydration processes and application to their automatic control. In Proceedings of eighth international congress on engineering and food*, ICEF8, 9-13 April. Puebla, Mexico.
- [13] Gupta, V. and Jindal, V.K., 1992. *Electrical Conductivity of Selected Fruit Juice.*, Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, 7-10 December 1992, Bangkok, pp. 1187-1195.
- [14] Harrington, J. *Computer Integrated Manufacturing*. Industrial Press Inc., New York, USA, 1997.
- [15] *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*. ed. E. Kress-Rogers (Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1993).
- [16] James, John (2007). *Spectrograph Design Fundamentals (Cambridge University Press) ISBN 0521864631*
- [17] Manabendra Bhuyan. *Measurement and Control in Food Processing*. CRC Press, India
- Marcotte, M. and Piette, J.P.G and Ramaswamy, H.S., 1998. *Electrical Conductivities of Hydrocolloid Solutions*. Journal of Food Process Engineering, Vol. 21, pp. 503-520.
- [18] Marouze, C., Mens, F., Rivier, M., and Collignan, A., 1997. *Process and equipment for dehydration and/or impregnation of foods by spraying*. French-Patent-Application.
- [19] Marybeth, L., Brian, F.H. and Sasty, S.K., 1999. *The Effect of Frequency and Wave on the Electrical Conductivity-Temperature Profiles of Turnip Tissue*. Journal of Food Process Engineering, Vol. 22, pp. 41-54.
- [20] N.Nunak and T.Suesut. *Design of an Instrument for Concentration Control of Sugar solution during Osmotic Process*. International Conference on Precision Instrumentation and Measurement 2010, Japan 2010.
- [21] Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991. *Electrical Conductivity of Selected Juice : Influences of Temperature, Solid content, Apply Voltage, and Particle Size*. Journal of Food Process Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 247-260.
- [22] Palaniappan, S. and Sastry, S.K., 1991. *Electrical Conductivity of Selected Food During Ohmic Heating*. Journal of Food Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 221-236.
- [23] Parrot, D.L., 1992. *Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates*. Food Technology, Vol. 46, No. 12, pp. 68-72.

- [24] Schmidt, C.C., 1927. *The Dielectric Constants of four Electrolytes as given by the Carman Electrometer Method*. Physical Review, Vol.30, pp.926-931
- [25] Stabinger, Hans: *Density Measurement using modern oscillating transducers*. South Yorkshire Trading Standards Unit, Sheffield 1994
- [26] TaweepolSuesut, ViriyaKongratana, VittayaTipsuwanporn and SuphanKulphanich. *A Technique to Expand the I/O of the PLC Using Remote I/O module*. The 14th Korea Automatic Control Conference, pp E-61 –64, Korea OCT 1999
- [27] T.Suesut ,P.Rerngruen, V.Tipsuwanporn, S.Kulphanich and S.Chuenarom. *Design of the PLC network Using Remote I/O module Application for A multi grup of machine*. The 3rd Asian Control Conference pp2818-2821, Shanghai, China, July 2000
- [28] Ulrich Klute. *Microwave measuring technology for the sugar industry*. Berthold Technologies GmbH& Co. KG Calmbacher, Germany.
- [29] VitalSensors Technologies LLC. *Inline Networked Smart Infrared Sensors for Real-Time Process Monitoring; Continuous Accurate Brix measurement of Regular and Diet Beverages industry*. VS-1000B Series Inline Brix Sensors for the Beverage Copyright, 2008
- [30] Wang, W.c. and Sastry, S.K., 1997. *Chang in Electrical Conductivity of SelectesVegetables During Multiple Thermal Treatment*. Journal of Food Process Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 499-516.

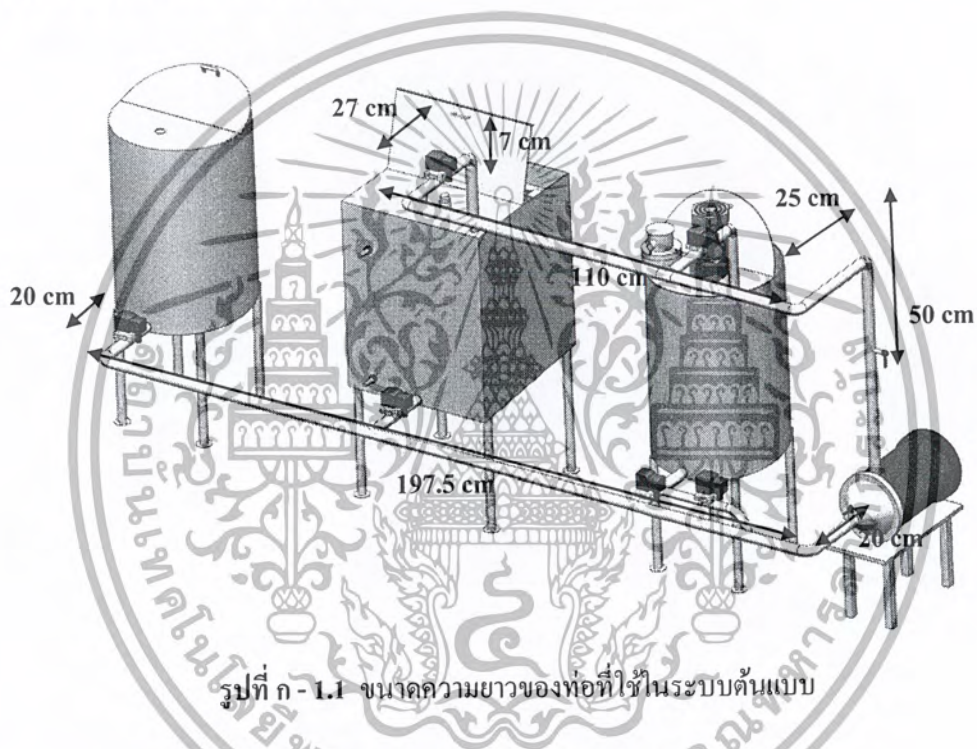


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การคำนวณการออกแบบระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติ สำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

### 1.1 การคำนวณหาขนาดของปั๊ม



รูปที่ ก - 1.1 ขนาดความยาวของท่อที่ใช้ในระบบต้นแบบ

กำหนดค่าต่าง ๆ ท่อและอุปกรณ์ที่ใช้ภายในระบบต้นแบบ

ท่อมีขนาด	½ นิ้ว	อัตราการไหล	0.5	$\text{m}^3/\text{hr}$
ข้อต่อสามทางจำนวน	3	ตัว	ข้องอ 90° จำนวน	6
Solenoid valve	2	ตัว	Ball valve	2
ค่า Roughness ของ สแตนเลส	$0.015 \times 10^{-3} \text{ m}$	ประสิทธิภาพปั๊ม	80%	

กำหนดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเชื่อม @25°C 65°Brix

ความหนาแน่น ( $\rho$ )	1,290	$\text{kg}/\text{m}^3$
ความหนืด ( $\mu$ )	$105.59 \times 10^{-3}$	Pa-s

จากสมการสมการที่ 2.4 (หัวข้อ 2.6.1)

$$h_L = h_{Lmajor} + h_{Lminor}$$

เมื่อ  $h_{Lmajor} = h_2 + h_5$

$$h_{Lminor} = h_1 + h_3 + h_4 + h_6$$

$$h_1 \text{ เฮดสูญเสียทางเข้า} = k_1 \left( \frac{v_s^2}{2g} \right)$$

$$h_2 \text{ เฮดสูญเสียในท่อทางดูด} = f_s \left( \frac{Lv_s^2}{D2g} \right)$$

$$h_3 \text{ เฮดสูญเสียที่วาล์ว} = k_3 \left( \frac{v_d^2}{2g} \right)$$

$$h_4 \text{ เฮดสูญเสียที่ข้อต่อต่างๆ} = k_4 \left( \frac{v_d^2}{2g} \right)$$

$$h_5 \text{ เฮดสูญเสียทางท่อจ่าย} = f_d \left( \frac{Lv_d^2}{D2g} \right)$$

$$h_6 \text{ เฮดสูญเสียที่วาล์ว} = k_6 \left( \frac{v_d^2}{2g} \right)$$

หาความเร็ว

$$\begin{aligned} v_s = v_d = \frac{Q}{A} &= \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2} \\ &= \frac{0.5}{\frac{\pi}{4} \times (0.0127)^2 \times 3600} = 1.1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

หา  $f_s$

$$\begin{aligned} N_R &= \frac{\rho D v_s}{\mu} \\ &= \frac{1290 \times 0.0127 \times 1.1}{105.59 \times 10^{-3}} = 107.67 \text{ m} \end{aligned}$$

$\therefore N_R \leq 2100$  เป็น Laminar flow

เมื่อเป็นการไหลแบบ Laminar หาค่า  $f_s$  จาก

$$f_s = \frac{64}{N_R} = \frac{64}{107.67} = 0.59 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาเสดสูญเสี่ยต่าง ๆ

$$h_1 = k_1 \left( \frac{v_s^2}{2g} \right); k_1 = 0.5(\text{sharp-edged})$$

$$= \frac{0.5 \times 1.1^2}{2 \times 9.81} = 0.03 \text{ m}$$

$$h_2 = f_s \frac{Lv_s^2}{D2g}$$

$$= \frac{0.59 \times 2.38 \times 1.1^2}{0.0127 \times 2 \times 9.81} = 6.80 \text{ m}$$

$$h_3 = k_3 \frac{v_d^2}{2g}; k_3 = 2k_{\text{solenoid}} + 2k_{\text{ballvalve}}$$

$$k_3 = [(2 \times 0.5) + (2 \times 0.05)] = 0.2$$

$$\therefore h_3 = \frac{0.2 \times 1.1^2}{2 \times 9.81} = 0.01 \text{ m}$$

$$h_4 = k_4 \frac{v_d^2}{2g}; k_4 = 6k_{\text{gate}} + 3k_{\text{gate}}$$

$$k_4 = [(6 \times 3) + (3 \times 0.2)] = 2.4$$

$$\therefore h_4 = \frac{2.4 \times 1.1^2}{2 \times 9.81} = 0.15 \text{ m}$$

$$h_5 = f_d \frac{Lv_d^2}{D2g}$$

$$= \frac{0.59 \times 2.19 \times 1.1^2}{0.0127 \times 2 \times 9.81} = 6.27 \text{ m}$$

$$h_6 = k_6 \frac{v_d^2}{2g}$$

$$= \frac{1 \times 1.1^2}{2 \times 9.81} = 0.06 \text{ m}$$

$$\text{ดังนั้นค่าเสดความสูญเสี่ยรวมทั้งหมด}(h_p) = h_{L\text{major}} + h_{L\text{minor}}$$

$$= h_2 + h_5 + h_1 + h_3 + h_4 + h_6$$

$$= 6.80 + 6.27 + 0.03 + 0.01 + 0.15 + 0.06$$

$$= 13.32 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา  $\Delta P$  ที่เกิดขึ้นในระบบ

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho gh \\ &= 1290 \times 9.81 \times 13.32 = 168.56 \text{ KPa}\end{aligned}$$

หาขนาดของมอเตอร์(กำลังของมอเตอร์)จากสมการที่ 2.7

$$\begin{aligned}\text{Power} &= \frac{\Delta P Q}{\eta} \\ &= \frac{168.56 \times 10^3 \times 0.5}{3600 \times 0.80} \\ &= 29.26 \text{ Watt} \\ &= 0.04 \text{ hp}\end{aligned}$$

## 1.2 การคำนวณหาขนาดของใบกวน

กำหนดให้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ( $D_t$ ) = 35 ซม.

ความสูงของถัง (H) = 50 ซม.

หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวนจากสมการที่ 2.8 (หัวข้อ 2.6.2)

$$\begin{aligned}D_a &= \frac{1}{3} D_t \\ &= \frac{1 \times 35}{3} = 11.67 \text{ ซม.}\end{aligned}$$

หาระยะห่างจากก้นถังของใบกวนจากสมการที่ 2.9 (หัวข้อ 2.6.2)

$$\begin{aligned}E &= \frac{1}{3} D_t \\ &= \frac{1 \times 35}{3} = 11.67 \text{ ซม.}\end{aligned}$$

หาความยาวของใบกวนจากสมการที่ 2.10 (หัวข้อ 2.6.2)

$$\begin{aligned}L &= \frac{1}{4} D_a \\ &= \frac{1 \times 11.67}{4} = 2.90 \text{ ซม.}\end{aligned}$$

หาความกว้างของใบกวนจากสมการที่ 2.11 (หัวข้อ 2.6.2)

$$W = \frac{1}{5} D_a$$

$$= \frac{1 \times 11.67}{5} = 2.30 \text{ ซม.}$$

### 1.3 การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ใบกวน

กำหนดให้

ความเร็วรอบของใบพัด 90 r/min ความหนืดของน้ำเชื่อม ( $\mu$ )  $105.59 \times 10^{-3}$  Pa·s  
ความหนาแน่นของน้ำเชื่อม ( $\rho$ )  $1290 \text{ kg/m}^3$  ความโน้มถ่วงของโลก ( $g$ )  $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$

หาขนาดของมอเตอร์ใบกวน

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 n \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(11.67 \times 10^{-2})^2 (1.5) (1290)}{105.59 \times 10^{-3}} = 249.57$$

$$N_{Fr} = \frac{n^2 D_a^3}{g}$$

$$= \frac{1.5^2 (11.67 \times 10^{-2})^3}{9.81} = 0.027$$

$$m = \frac{a - \log_{10} N_{Re}}{b}$$

$$= \frac{1.7 - \log_{10} 249.57}{18} = -0.04$$

$$N_P = N_{Fr}^m$$

$$= 0.027^{-0.04} = 1.16$$

$$P = \frac{N_P n^3 D_a^5 \rho}{g}$$

$$= \frac{1.16 (1.5)^3 (11.67 \times 10^{-2})^5 (1290)}{9.81}$$

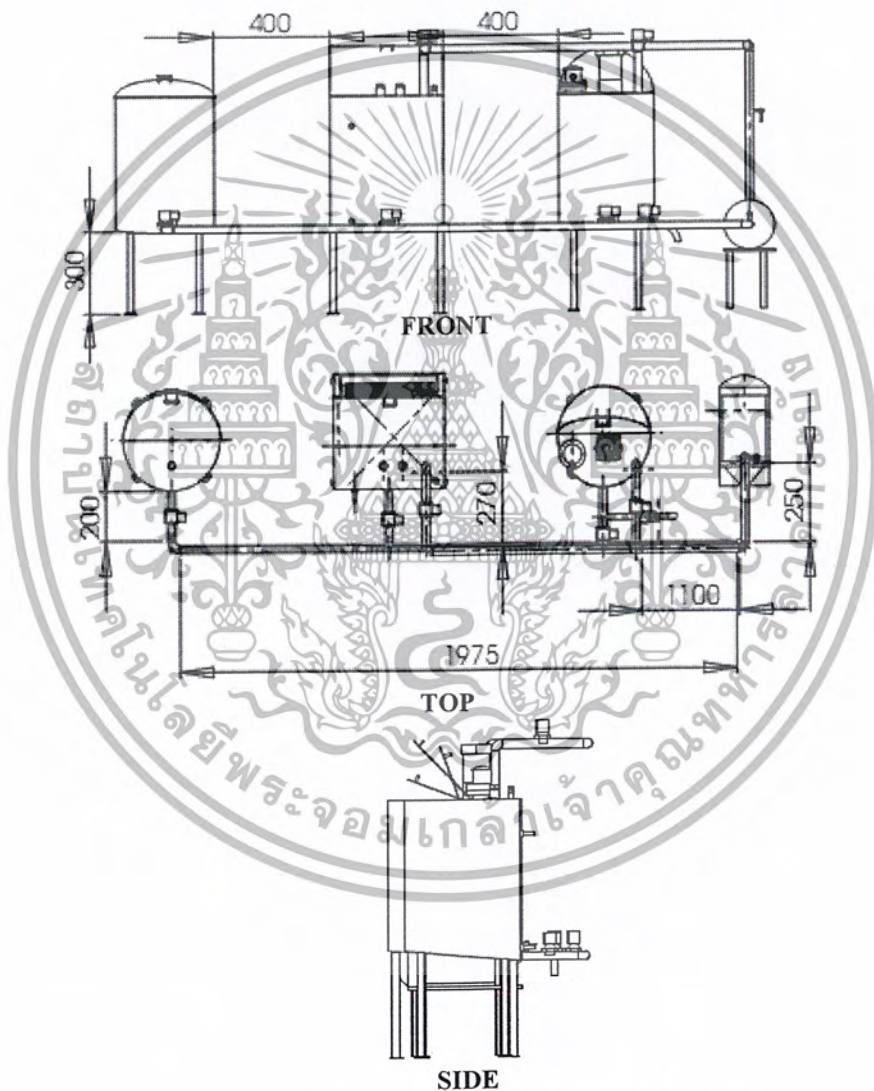
$$= 0.011 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}$$

$$= 0.11 \text{ Watt}$$

## ภาคผนวก ข

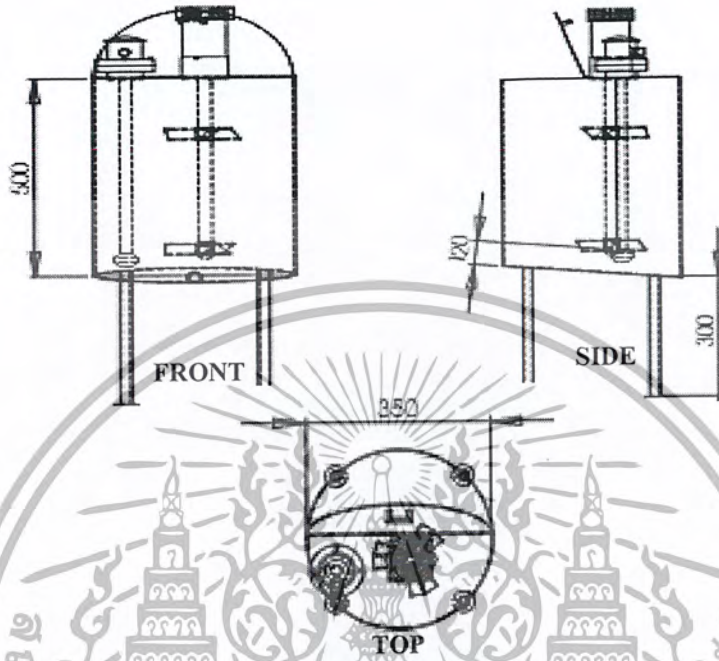
ข - 1 ภาพ 2 มิติการออกแบบระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติ  
สำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

## 1.1 ภาพรวมของระบบต้นแบบ



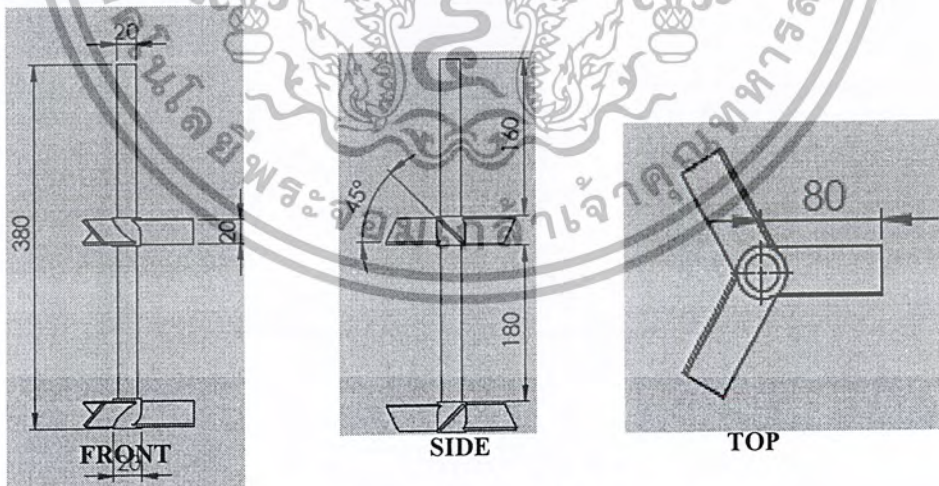
รูปที่ ข- 1.1 การออกแบบภาพรวมของระบบต้นแบบ

## 1.2 ถังผสมสารละลาย



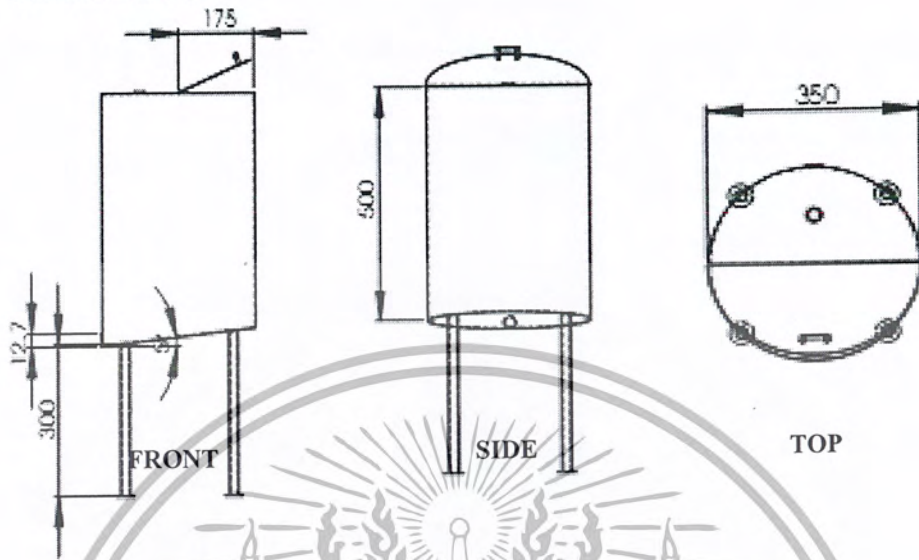
รูปที่ ข-1.2 การออกแบบส่วนประกอบของถังผสมสารละลาย

## 1.3 ไบคอนผสมในถังผสมสารละลาย



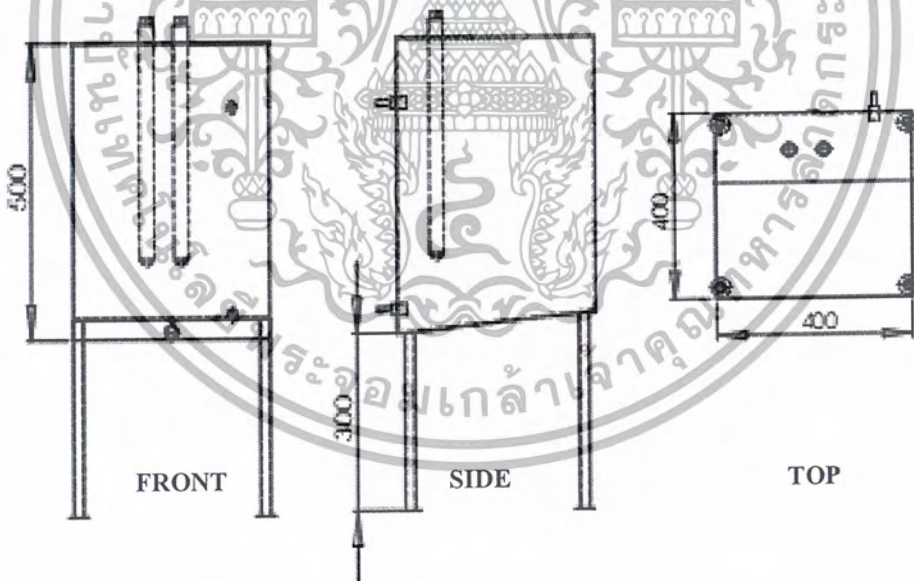
รูปที่ ข-1.3 การออกแบบไบคอนที่ใช้ในถังผสมสารละลาย

## 1.4 ถังเก็บสารละลาย



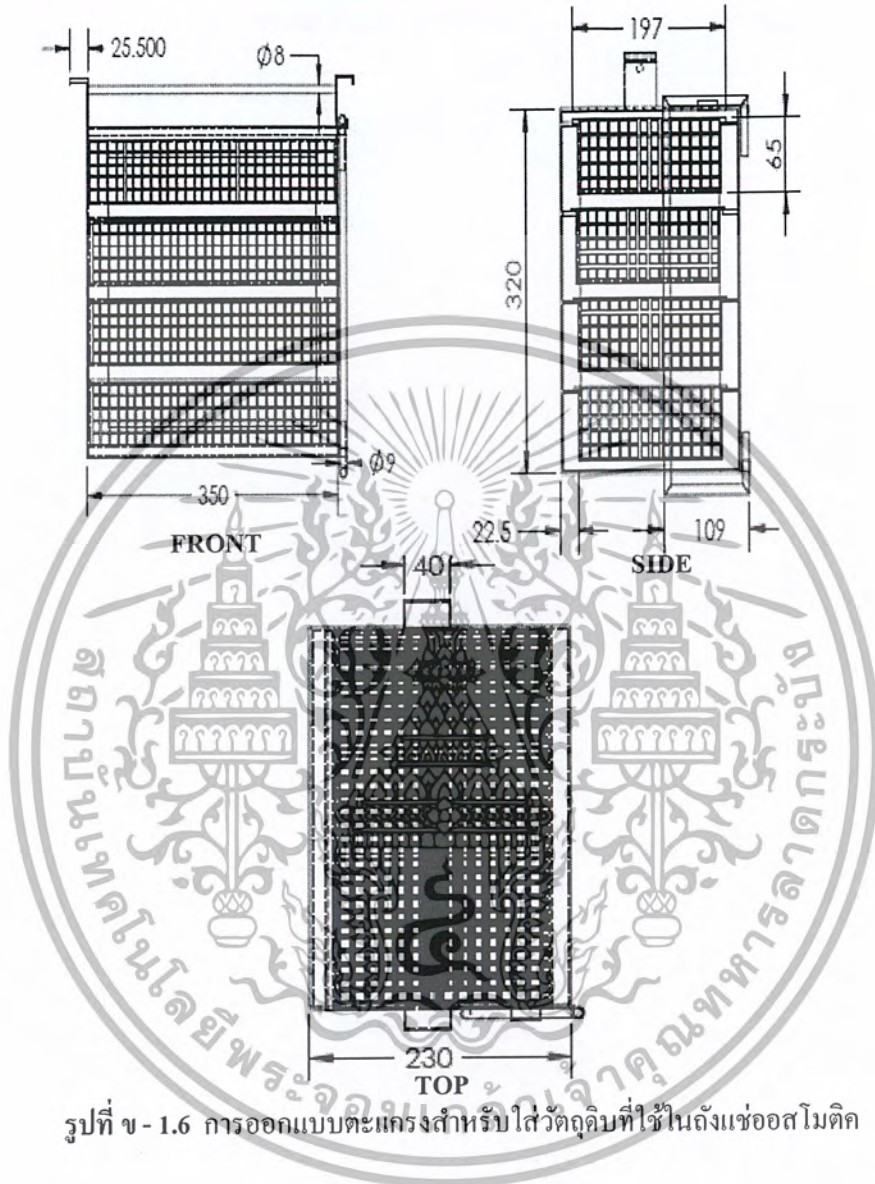
รูปที่ ข-1.4 การออกแบบส่วนประกอบของถังเก็บสารละลาย

## 1.5 ถังแช่ออสโมติก



รูปที่ ข-1.5 การออกแบบส่วนประกอบของถังเก็บสารละลาย

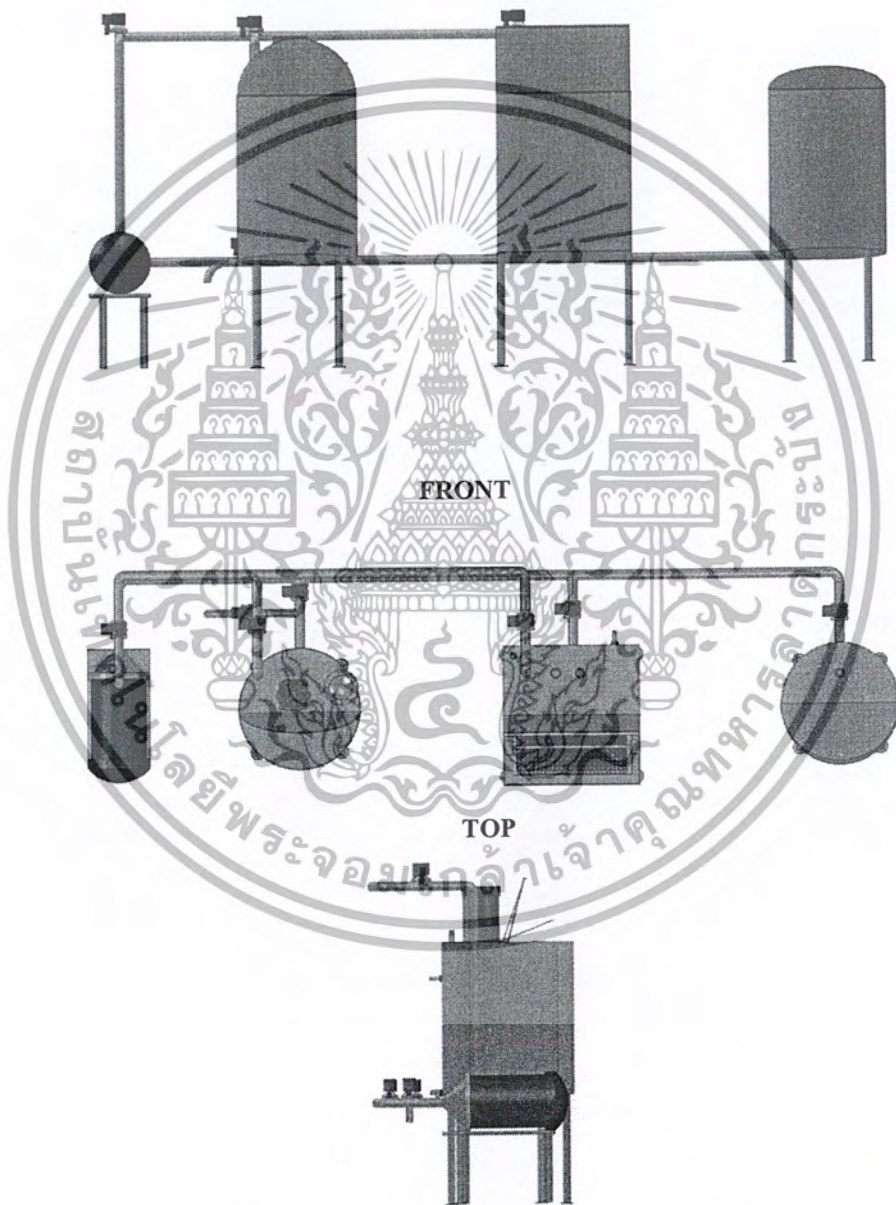
### 1.6 ตะแกรงใส่ตัวอย่างอาหารในถังแช่ออสโมติก



รูปที่ ข - 1.6 การออกแบบตะแกรงสำหรับใส่วัตถุดิบที่ใช้ในถังแช่ออสโมติก

## ข - 2 ภาพ2 มิติการออกแบบระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติ สำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

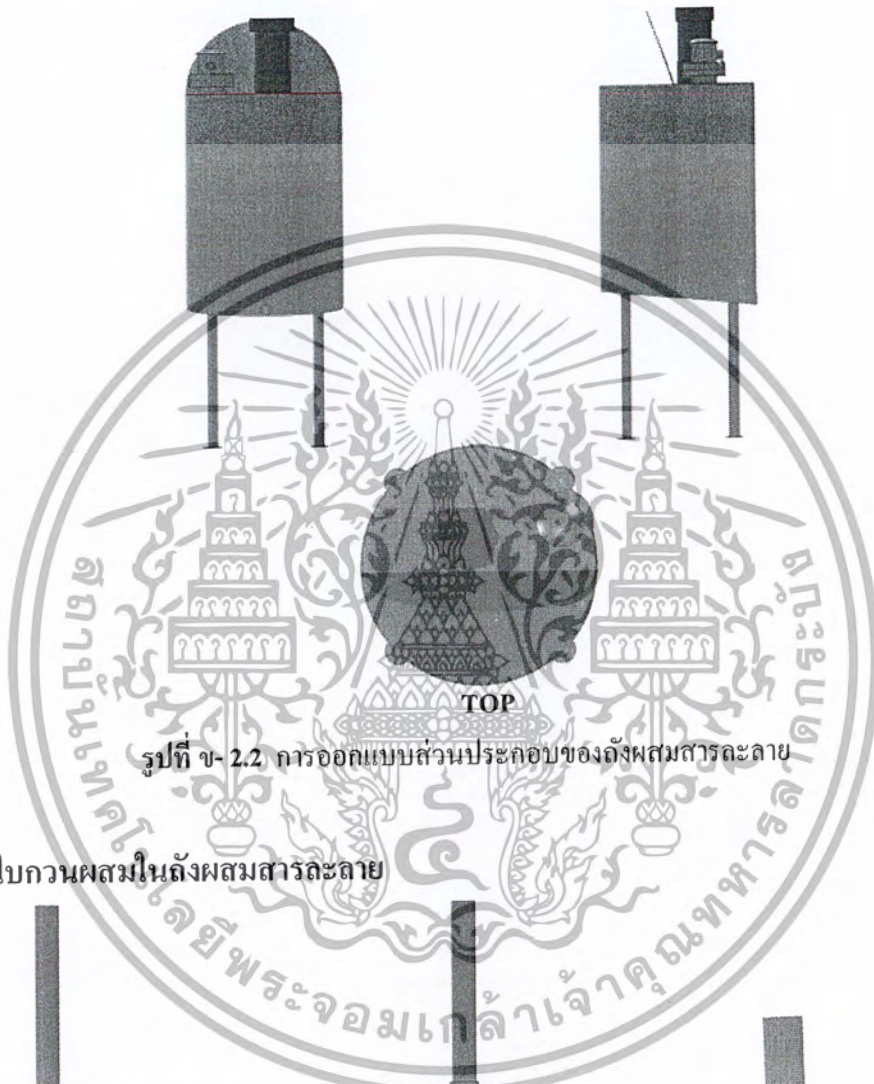
### 2.1 ภาพรวมของระบบต้นแบบ



รูปที่ ข- 2.1 การออกแบบภาพรวมของระบบต้นแบบ

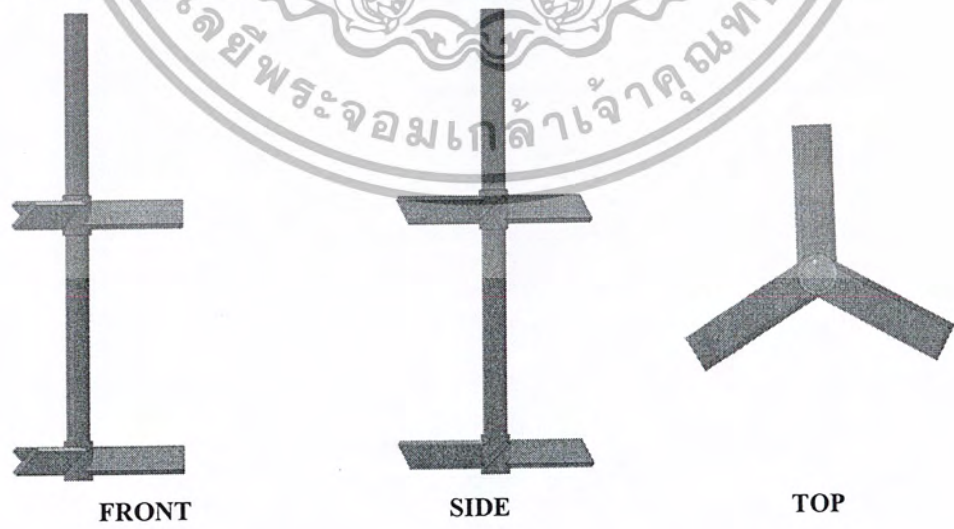
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2 ถังผสมสารละลาย



รูปที่ ข- 2.2 การออกแบบส่วนประกอบของถังผสมสารละลาย

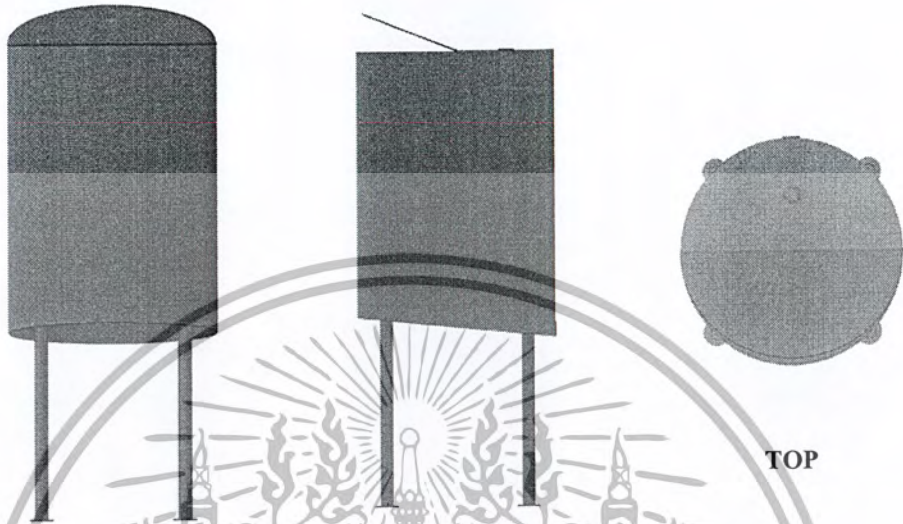
### 2.3 ไบกานผสมในถังผสมสารละลาย



รูปที่ ข- 2.3 การออกแบบไบกานที่ใช้ในถังผสมสารละลาย

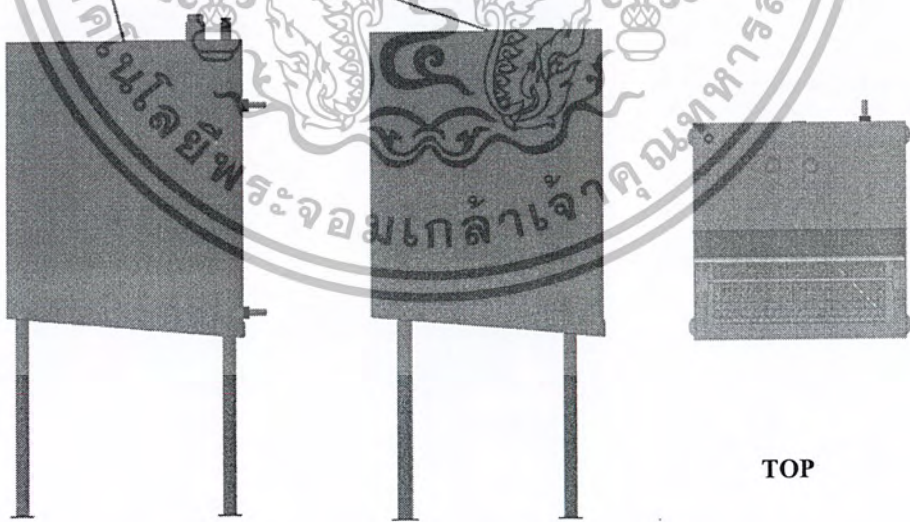
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4 ถังเก็บสารละลาย



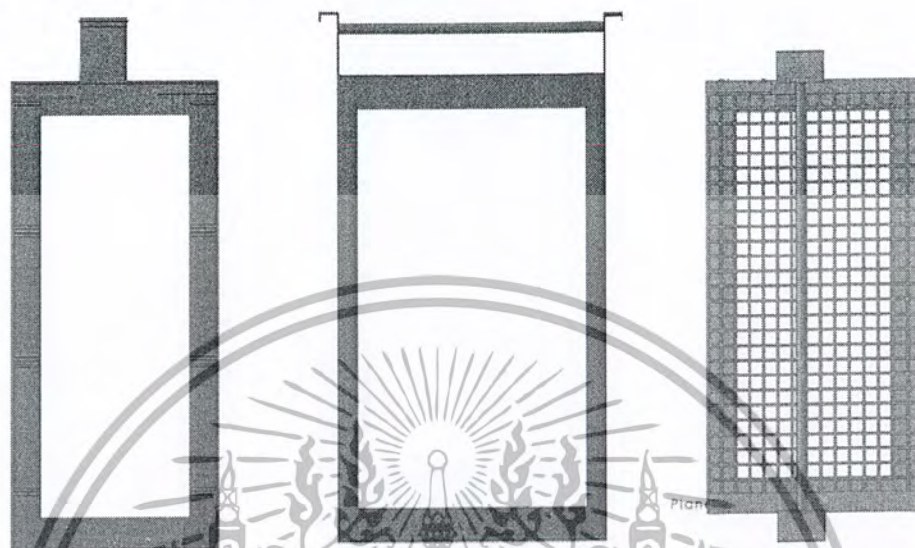
รูปที่ ข-2.4 การออกแบบส่วนประกอบของถังเก็บสารละลาย

### 2.5 ถังแช่ออสโมติก

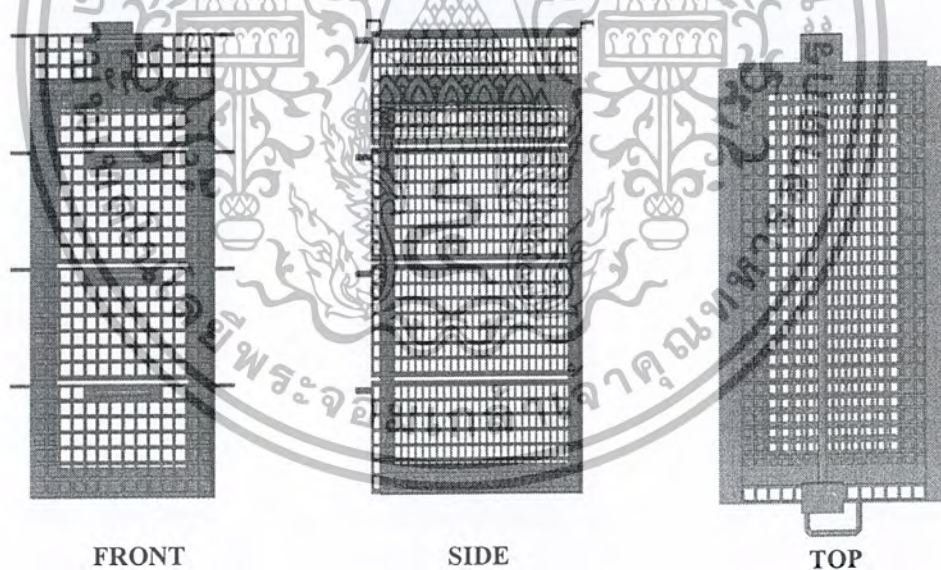


รูปที่ ข-2.5 การออกแบบส่วนประกอบของถังเก็บสารละลาย

## 2.6 ตะแกรงใส่ตัวอย่างอาหารในถังแช่เอสโมติก



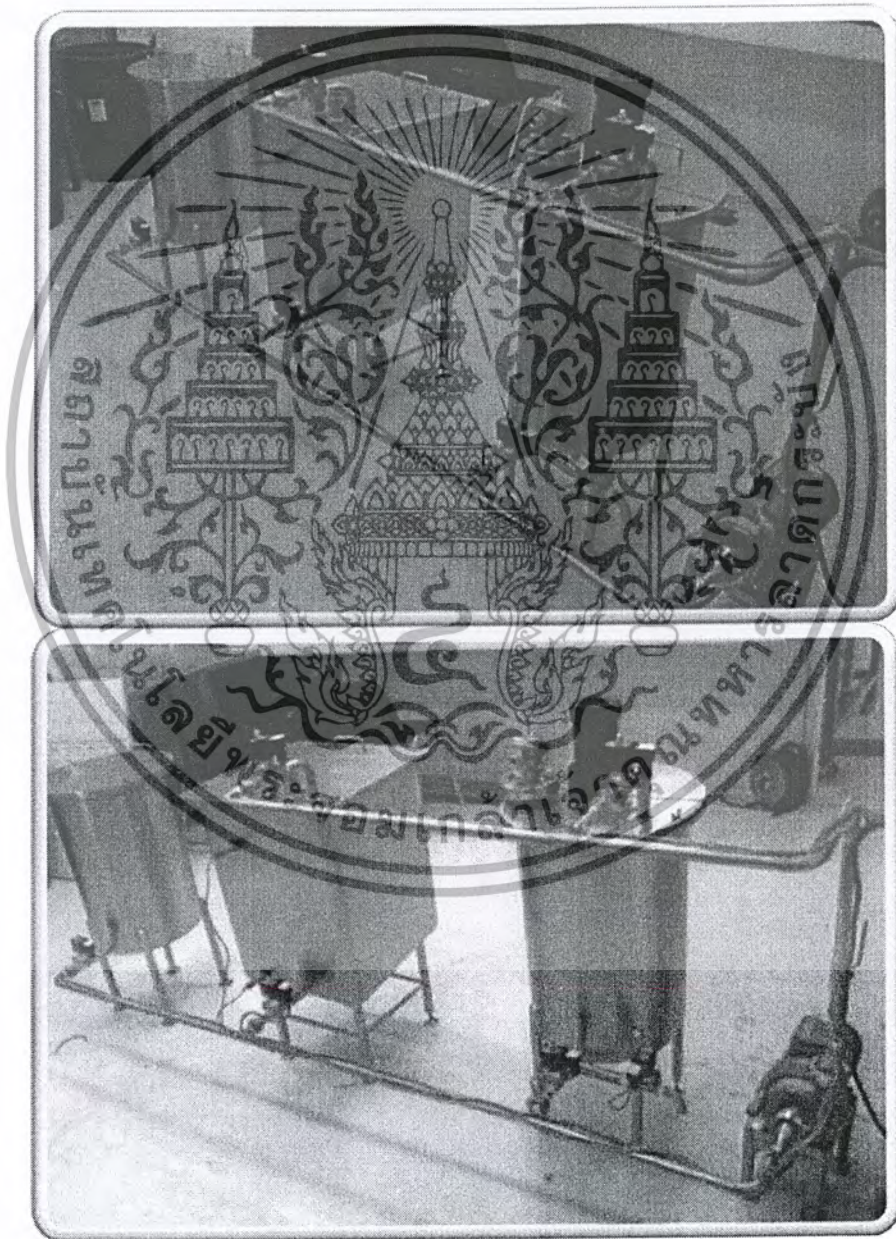
รูปที่ ข- 2.6 การออกแบบโครงตะแกรงสำหรับใส่วัตถุคิบที่ใช้ในถังแช่เอสโมติก



รูปที่ ข- 2.7 การออกแบบตะแกรงสำหรับใส่วัตถุคิบที่ใช้ในถังแช่เอสโมติก

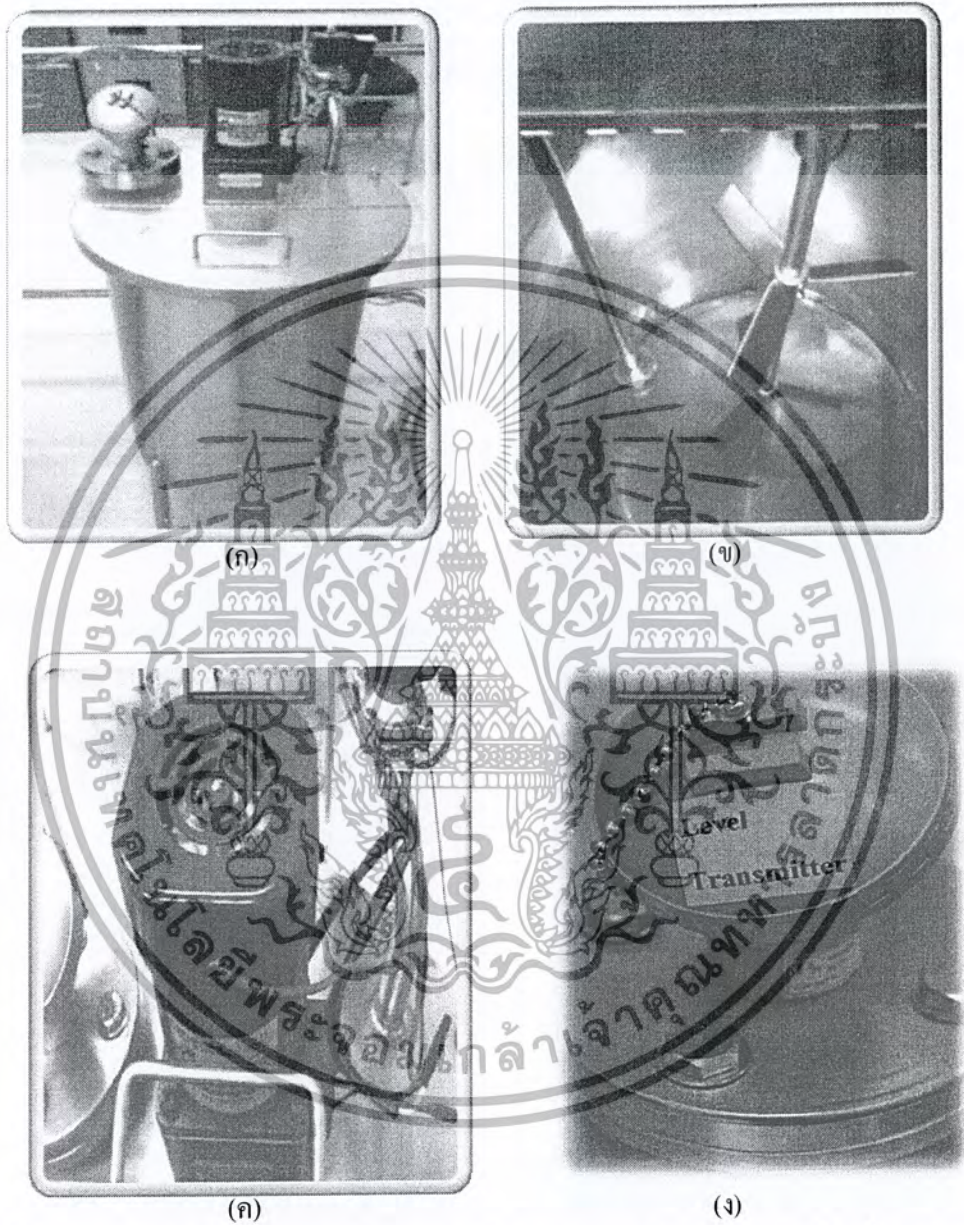
## ข - 3 ภาพถ่ายเครื่องจริงของระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการ แปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

### 1.1 ภาพรวมของระบบต้นแบบ



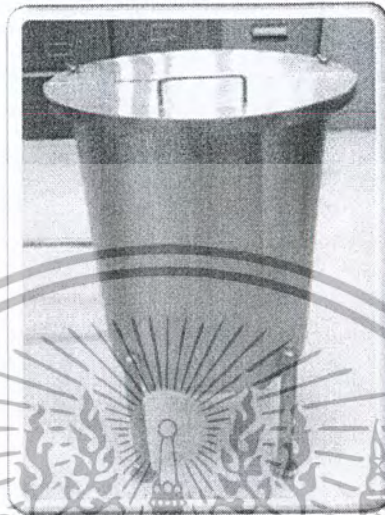
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ถังผสมสารละลาย



รูปที่ ข - 3.2 ถังผสมสารละลาย (ก) ลักษณะของถังภายนอก (ข) ลักษณะใบกวนที่ติดตั้งภายในถัง  
 (ค) ลักษณะของมอเตอร์เกียร์ (ง) ลักษณะของเครื่องมือวัดระดับแบบต่อเนื่องชนิดลูกลอย

### 3.3 ถังเก็บสารละลาย



รูปที่ ข- 3.3 ถังเก็บสารละลาย

### 3.4 ถังแช่ออสโมติก



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ข- 3.4 ถังแช่ออสโมติก (ก) ลักษณะของแช่ออสโมติก

(ข) ลักษณะการติดตั้งหัววัดความเข้มข้น (ค) ลักษณะของตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งภายในระบบ



รูปที่ ข - 3.5 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งภายในระบบ (ก) โซลินอยด์วาล์ว

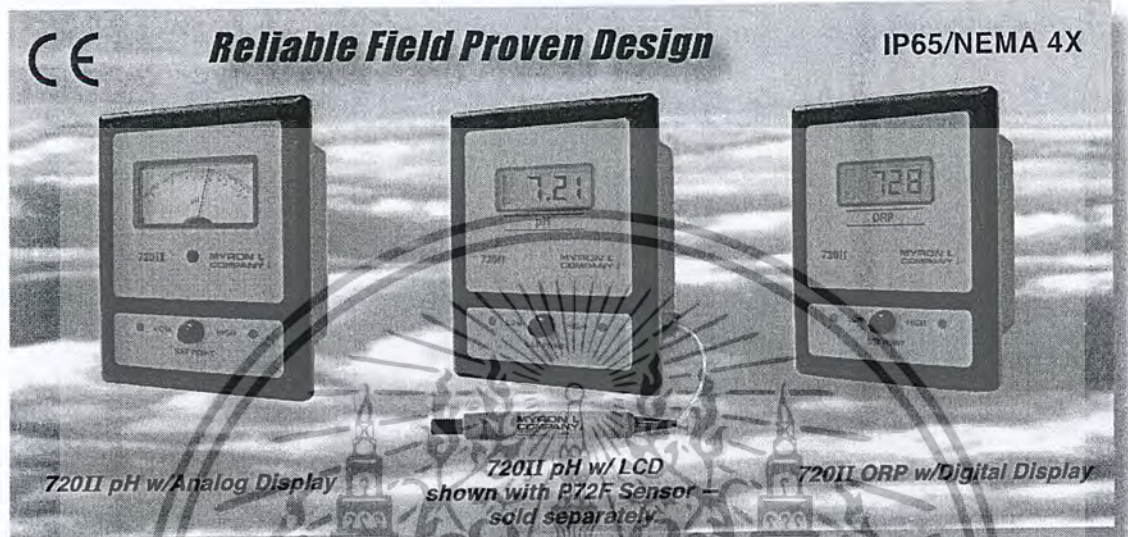
(ข) ป้อนน้ำสแตนเลสและบอลลวาล์ว



# pH & ORP MONITOR / CONTROLLERS

## 720 Series II

OVER  
50  
YEARS



### BENEFITS:

- **Affordable**
- **Ease of Operation**
- **Low Maintenance**
- **Ensures Product Quality**

### APPLICATIONS:

- **Process Control**
- **Reverse Osmosis**
- **Seawater Desalination**
- **Waste Treatment**
- **Food Processing**
- **Plating**
- **Power Plants**
- **Laboratories**
- **Printing**
- **Paper and Pulp**
- **Boilers & Cooling Towers**
- **Potable Water**
- **Waste Water Treatment**
- **Swimming Pools & Spas**
- **Bleach Manufacturing**
- **Reduction of Chromate Waste**
- **Environmental**

### FEATURES:

- pH 0-14 or ORP  $\pm 2000$  mV
- Choice of 3½ digit display or analog meter
- Advanced "Isolated" circuitry
- Automatic temperature compensation to 25°C (NERNST equation)
- Isolated 0-10 VDC Recorder Output standard
- IP65/NEMA 4X water resistant and corrosion-proof enclosure

- Built-in electronic calibration
- Single set point/alarm standard
- Adjustable set point hysteresis
- Solid State 24 VDC Output
- 10 amp relay operates on choice of increasing or decreasing reading
- Push-to-test set point check
- Internal set point discourages unauthorized adjustment
- Selectable 115/230 VAC
- CE Certified
- Unique, easily installed sensors
- Heavy duty "F" model sensors may be installed in ANY direction including inverted

#### Options include:

- Second Alarm/control Module
- 4-20 mA Isolated Output
- Piezo Electric Alarm
- 3½ Digit Backlit Display
- Temperature Module
- 24 VAC Isolated Power Supply
- 24 VDC Isolated Power Supply

The advanced "isolated" circuitry of the 720 Series II pH/ORP Monitor/controllers guarantees accurate and reliable measurements — completely eliminating ground-loop and noise issues.

The unique sensor preamp allows for longer distances between the sensor and the Monitor/controller without the loss of accuracy or reliability.

All Myron L Monitor/controllers feature a highly refined and precise Temperature Compensation circuit. This feature

perfectly matches the NERNST equation correcting the displayed reading to 25°C. The TC may be disabled to conform with USP requirements.

Built-in electronic calibration allows for fast quality checks without buffers. (Note: for maximum system accuracy buffers are recommended).

A push-to-test button makes set point checks easy, while the internal alarm set discourages unauthorized adjustments.

Standard on all controller models is a heavy-duty 10 amp output relay, operating on either increasing or decreasing readings. Bright green/red LEDs indicate above/below set point readings.

All 720 Series II models feature an IP65/NEMA 4X water resistant and corrosion-proof rated enclosure. Compact in size, at 152 x 122 mm/6 x 4.8 in., the 720 Series II models are suitable for panel, bench or surface mounting.

Additional options include a Remote Alarm™ model RA.

**CUSTOM & OEM MODELS AVAILABLE**

**MYRON L COMPANY**  
Water Quality Instrumentation  
**Accuracy • Reliability • Simplicity**

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SPECIFICATIONS

<b>Ranges</b>	0-14 pH or ±2000 mV ORP
<b>Display</b>	Analog Models: 2.5 in./63 mm meter Digital Models: .5 in./13 mm 3½ Digit LCD Optional: 3½ Digit Backlit
<b>Linearity</b>	Electronics: ±0.05% (±0.01 pH units/±1 mV of full scale)
<b>Resolution</b>	Analog Meter: ±0.13 pH units/±40 mV Digital Display: ±0.01 pH units/±1 mV
<b>Sensitivity</b>	0.05% of full scale (0.01 pH units/1.0 mV)
<b>Stability</b>	±0.05% of full scale (±0.01 pH units/±1.0 mV)
<b>Repeatability</b>	±0.05% of full scale (±0.01 pH units/±1.0 mV)
<b>Calibration Check</b>	Built-in (7 and 0 pH / 0 and -2000 mV)
<b>Recorder Output</b>	Isolated 0-10 VDC @ 5 mA max. (linear); standard all models
<b>Output Impedance</b>	100Ω ±5%
<b>Sensor Inputs</b>	1; 3 input option available. (pH & ORP sensors may NOT be mixed).
<b>Control Function</b>	Single Alarm/controller fully adjustable 0-100% of full scale Hysteresis: Adjustable from 0.3-3% of full scale Indicators: Above (red) and below (green) set point LEDs (reversible) Contact Rating: SPDT 10 amp @ 125 VAC, 30 VDC. Relay operates increasing or decreasing reading (selectable) Second Alarm/controller, with above specifications - optional
<b>Solid State Output</b>	Powered; 24 VDC unregulated 30 mA max.
<b>Power</b>	115/230 VAC, 50/60 Hz, ±15% (user selectable) 24 VAC or VDC optional
<b>Maximum Power Consumption</b>	@ 115V: 100 milliwatts
<b>Dimensions</b>	152 H x 122 W x 96 D mm / 6 H x 4.8 W x 3.8 D in.
<b>Construction</b>	Fully gasketed heavy-duty ABS case; water resistant and corrosion proof IP65/NEMA 4X rated
<b>Ambient Temp Range</b>	0 - 60°C / 32 - 140°F
<b>Weight</b>	0,9 kg/2 lbs.

## TO ORDER 720II pH/ORP MONITOR/CONTROLLERS -- Select

MODEL	OPTIONS*
<b>pH</b>	
721II Analog Monitor only	-SC Second Control Module
722II Analog Monitor/controller	-4A 4-20 mA Module (Digital only)
723II Digital Monitor/controller	-PA Built-in 70 db Piezo Electric Alarm (723II and 728II)
724II Digital Monitor only	
<b>ORP</b>	
726II Analog Monitor only	-PAT Piezo Alarm w/Timer (723II and 728II)
727II Analog Monitor/controller	-35BL 3½ Digit Backlit LCD
728II Digital Monitor/controller	-TP Temperature Module Requires separate sensor (Digital only)
729II Digital Monitor only	

*Note:* Above monitor/controllers do not include sensor. Please specify sensor when ordering.

\* See Price List for complete selection.

## TO ORDER SENSORS -- Select

<b>P7XX (pH) or O7XX (ORP)</b>	2 or 4 S D LC F	Fitting Size 1/2" or 3/4" Single Junction Double Junction (Environmental) Low Conductivity (RO/DI pH applications) Heavy Duty Flat Tip
<b>Example:</b> P72D-25 (1/2" MNPT double junction pH sensor with a 25 ft./8 meter cable)	<b>Standard Options include:</b> -25 -100	25 ft./8 meter cable 100 ft./30 meter cable

*See 720II Sensor Selection Guide for details.*

2450 Impala Drive  
Carlsbad, CA 92010-7226 USA  
Tel: +1-760-438-2021  
Fax: +1-800-869-7668 / +1-760-931-9189  
www.myronl.com

**Built On Trust.** Founded in 1957, the Myron L Company is one of the world's leading manufacturers of water quality instruments. Because of our commitment to product improvement, changes in design and specifications are possible. You have our assurance any changes will be guided by our product philosophy: accuracy, reliability, and simplicity.



## SENSORS

These highly accurate sensors utilize a preamplifier to ensure stability over longer distances, and to eliminate potential noise problems thereby ensuring accurate repeatable readings.

In addition, these reliable sensors feature an integral temperature sensor to ensure accurate and rapid automatic temperature compensation. Several choices of sensors are available, in 1/2" MNPT or 3/4" MNPT, depending on the demands of the application. The basic pH sensor utilizes the standard round glass electrode with a single reference junction. The basic ORP sensor utilizes a Platinum electrode with a single reference junction. See 720II Sensor Selection Guide for additional information.



**NOTE:**  
Heavy Duty "F" model sensors may be installed in ANY direction including inverted.

## SPECIFICATIONS

**Temperature Compensation:** Integral temperature sensor provides automatic TC to 25°C between 0 - 100°C / 32 - 212°F.

**Pressure/Temperature Limits:** P72S: Intermittent use up to 50 psi/690 kPa 100°C/212°F. High Temperature models available, see pH/ORP Sensor Selection Guide.

**Cable:** 5 wire, 24 ga. shielded, 10 ft./3 meters standard. 25 and 100 ft./8 and 30 meter lengths available.

**Material:** 1/2" MNPT: CPVC body. 3/4" MNPT: Ryton® body.

**Dimensions:** P72S typical: overall length 165 mm/6.5 in., body 127 mm/5 in., electrode length 19 mm/.75 in.

\*Ryton® PPS is a registered trademark of Chevron Phillips Chemical Company LLC.

## ACCESSORIES

MODEL	DESCRIPTION
SMP50	Surface Mounting Plate
PAO	70 db Piezo Electric Alarm
RA	Remote Alarm™ - RA
RAW200	Wire (200 ft./60 meters) for Remote Alarm™
024-1	24 VAC 1" Solenoid Valve

*Note:* 4, 7, and 10 pH calibration buffers are available.

*Note:* See Price List for complete selection. Custom & OEM Monitors/controllers available. Price and delivery upon request.

## LIMITED WARRANTY

All Myron L Monitor/controllers have a Two (2) Year Limited Warranty. pH & ORP Sensors have a Six (6) Month Limited Warranty. If any Monitor/controller fails to function normally, return the unit to the factory prepaid. If, in the opinion of the factory, failure was due to materials or workmanship, repair or replacement will be made without charge.

A reasonable service charge will be made for diagnosis or repairs due to normal wear, abuse or tampering. Warranty is limited to the repair or replacement of Monitor/controller only. The Myron L Company assumes no other responsibility or liability.

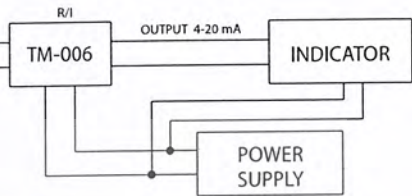
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Myron L Company 2009 720II PDS 19/09

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LP-07 LEVEL INDICATOR / SENSOR**  
**LP-07-I LEVEL INDICATOR / SENSOR 4 - 20 mA OUTPUT**

■ **Type LP-07-I**

■ **Type LP-07**



■ **ข้อมูลทางเทคนิค**

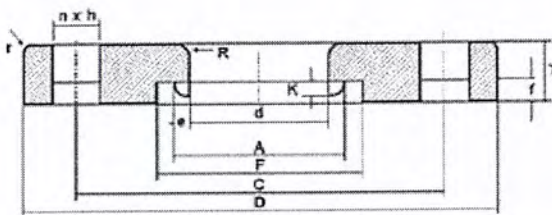
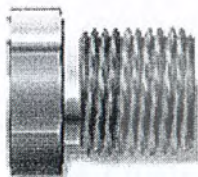
- ความยาว : สามารถสั่งทำได้สูงสุด 6 เมตร
- ค่า Linearity : +0.05%
- กระแสไฟฟ้า : สูงสุด 10 mA
- ความเร็วในการทำงาน : 200 m/s<sup>2</sup> สูงสุด 20 g
- เอาต์พุต : 0-5 kW
- ความดัน : สูงสุด 12 kg/cm<sup>2</sup>
- วัสดุที่ใช้ทำ : สแตนเลส SUS304

■ **วิธีการติดต่อสั่งซื้อ**

TYPE LP-07 - I - A - D1 - 1 - L1

Output	
4-20 mA	I
Mounting	
Flange	A
Thread	B
Float Type	
46 x 46	D1
50 x 50	D2
74 x 74	D3
Float Quality	
1	1
Length	
500 mm.	L1
1000 mm.	L2
1500 mm.	L3
2000 mm.	L4

STANDARD	1 1/2"	2"	3"
NPT			



STANDARD	ITEM	25 (1")	32 (1 1/4")	40 (1 1/2")	50 (2")	65 (2 1/2")	80 (3")
JIS 10K	D	125	135	140	155	175	185
	C	90	100	105	120	140	150
	T	14	16	16	16	18	18
	n x h	4 x 19	4 x 19	4 x 19	4 x 19	4 x 19	8 x 19

# CAPACITIVE SENSORS SC18S ATEX series



- PLASTIC CYLINDRICAL HOUSING M18x1 (SC18SP)
- METALLIC CYLINDRICAL HOUSING M18x1 (SC18SM)
- AMPLIFIED 4 WIRES D.C. - SHIELDED CABLE
- IN CONFORMITY WITH: - ATEX Directive 94/9/CE GROUP "II" CATEGORY "3" DUSTY ATMOSPHERES "D" ( ZONE 22 )  
 - Electromagnetic compatibility directive 89/336 CE  
 - Product norm EN60947-5-2

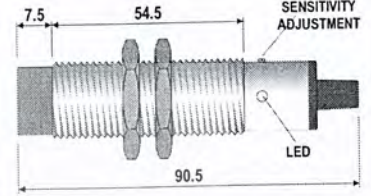
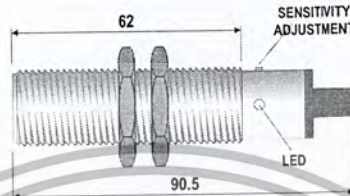
**TS = EMBEDDABLE**

**PS = NOT EMBEDDABLE**

**SAFETY FUNCTION FOR TEMPERATURES >75°C**

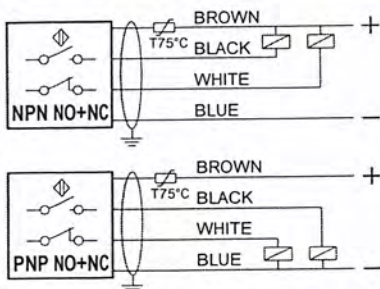
The ATEX approved capacitive sensors are equipped with a device that irreversible interrupts functionality when the maximum temperature limit established by the norm has been exceeded and also in relation to the values printed on sensor label. This type of function makes the equipment safer in potentially explosive environments.

**Dimensions mm**



TECHNICAL CHARACTERISTICS		TS		PS	
		NPN	NO+NC	NO+NC	NO+NC
		SC18SP - C5 NPN NO+NC AD3	SC18SP - C5 NPN NO+NC AD3	SC18SP - CE10 NPN NO+NC AD3	SC18SP - CE10 NPN NO+NC AD3
		SC18SM - C5 NPN NO+NC AD3	SC18SM - C5 NPN NO+NC AD3	SC18SM - CE10 NPN NO+NC AD3	SC18SM - CE10 NPN NO+NC AD3
		SC18SP - C5 PNP NO+NC AD3	SC18SP - C5 PNP NO+NC AD3	SC18SP - CE10 PNP NO+NC AD3	SC18SP - CE10 PNP NO+NC AD3
		SC18SM - C5 PNP NO+NC AD3	SC18SM - C5 PNP NO+NC AD3	SC18SM - CE10 PNP NO+NC AD3	SC18SM - CE10 PNP NO+NC AD3
Switching distance (Sn) adjustable	mm	0 + 5		0 + 10	
Continuous voltage (res. ripple ≤ 10%)	V	10 + 40 (Absolute maximum ratings ripple included)			
Hysteresis	%Sn	≤ 20			
Switching frequency	Hz	10			
Repeatability (at constant temperature)	%Sn	≤ 5			
Max. current supply	mA	200			
Max. no-load supply current	mA	≤ 10			
Voltage drop (output ON)	V	≤ 1.8			
Short circuit protection		Incorporated			
Led		Incorporated			
Operating temperature range	°C	-20 ÷ +70			
Storage temperature range	°C	-20 ÷ +70			
Max temperature on the surface	°C	+ 80			
Additional temperature limit system		Non-resettable at + 75°C intervention			
IP rating	IP	67			
Housing		Plastic (Grey polycarbonate) or Metallic (Nickelled brass)			
Cable PVC	3m	4 x 0,25 mm <sup>2</sup> shielded II 3D IP67 T=80°C			
Marking					

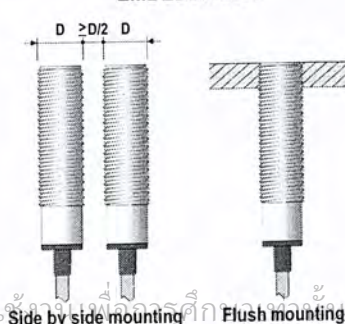
**WIRING DIAGRAMS**



N.B.: 5 and 10m cable version are available upon request.

**INSTRUCTIONS FOR CORRECT INSTALLATION**

**EMBEDDABLE**



**NOT EMBEDDABLE**

