



รายงานการวิจัย



การออกแบบเครื่องมือวัดและพัฒนาระบบควบคุมใน
กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก

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

โดย

RCH
ท2145
2554

รศ.ดร.ทวีพล ชี้อัตย์
ผศ.ดร.นวกัทรာ หนูนา

b. 12690831

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 137234
วันเดือนปี 0 5 0 2558

สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม และ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปี พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยภายใต้โครงการการออกแบบเครื่องมือวัดและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการสนับสนุนทุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 ทำให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินไปจนเสร็จสิ้นด้วยดี และขอขอบคุณบริษัท แวนต้าพีรีเสิร์ฟฟู้ด จำกัด จ.กาญจนบุรี ในการเอื้อเฟื้อข้อมูลในการวิจัย วัตถุประสงค์ในการทดลอง ตลอดจนสถานที่ในการทดลองอุปกรณ์ด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัย การออกแบบเครื่องมือวัดและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหาร
ด้วยวิธีออสโมติก

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

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2552

จำนวนเงิน 974,600 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 7 กันยายน 2552 ถึง 7 กันยายน 2553

รายนามคณะผู้วิจัย

- 1) ชื่อ-นามสกุล รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กทม. 10520
 โทรศัพท์ 02-739-2407 ต่อ 109 โทรสาร 02-739-2406
- 2) ชื่อ-นามสกุล ผศ.ดร.นวกัศรา หนูนาถ
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 เขตลาดกระบัง กทม. 10520
 โทรศัพท์ 02-329-8356-7 ต่อ 17 โทรสาร 02-329-8358 ต่อ 13
- 3) หน่วยงาน บริษัท แวนต้าพีรีเทียร์ฟู้ด จำกัด
 สถานที่ติดต่อ 57 หมู่ที่ 7 ต.แสนตอ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี
 โทรศัพท์ 034-542634-7 โทรสาร 034-641417 หรือ 034-542638

บทคัดย่อ

กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเบื้องต้น โดยปราศจากการให้ความร้อน ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวล การควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ตลอดกระบวนการจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาของการแปรรูป ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้คงที่และพัฒนาสู่ระบบควบคุมการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด PC – based Control จากการทดสอบระบบการแปรรูปอย่างอัตโนมัติโดยควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ พบว่า เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นสามารถใช้งานได้ดีในช่วงความเข้มข้น 30-65 Brix ซึ่งเป็นช่วงใช้งาน และสามารถใช้งานร่วมกับระบบควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามเครื่องมือตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นนี้มีความไวต่อสัญญาณรบกวนจำเป็นต้องอาศัยการปรับแต่งค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อชดเชยค่าที่ได้จากการตรวจวัด

คำสำคัญ

กระบวนการออสโมติก ตัวตรวจวัดความเข้มข้น สารละลายออสโมติก การควบคุมบนพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ อินพุทเอาต์พุทแบบกระจาย

Abstract

The osmotic process is pretreatment process without thermal treatment. Concentration of osmotic solution (OS) is a factor affecting mass transfer rate of food. It should be maintained constantly along the process to achieve the short process time. Therefore, this research is design and development of the instrument for monitoring and control the concentration of OS based on changing of capacitive values. The output from concentration sensor is sent to PC – based controller for control concentration and reuse of OS. From system testing, it was found that the developed instrument could be performed well under the concentration range of 30-65 Brix and it could be worked out with the developed software and control system. However, this instrument is sensitive to the noise signal. It should be adjusted in the computer software to compensate the measured value.

Keywords

Osmotic Process, Concentration sensor, Osmotic Solution, PC- Based Control, Distributed Input Output

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ปกใน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฎ
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
1.5 ขอบเขตของโครงการ	4
1.6 หน่วยงานที่นำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก	6
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติก	8
2.3 วิธีการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล	8
2.4 ประเภทของระบบควบคุมอัตโนมัติ	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 การออกแบบ พัฒนาและทดสอบระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก	28
3.1 การแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบปัจจุบัน	28
3.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล	29
3.3 การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด PC-based Control	39
3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานบนพื้นฐานคอมพิวเตอร์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
3.5 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ	46
3.6 การทำงานของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติ	55
3.7 การทดสอบการทำงาน	56
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	61
ประวัติคณะวิจัย	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าความถี่วิทยุในย่านต่างๆ	17
ตารางที่ 3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจากโรงงาน	37
ตารางที่ 3.2 ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะละกอและน้ำแกนสับประรดที่ถึงแช่ที่ 1 2 และ 3	40
ตารางที่ 3.3 อักขระและรหัส (ASCII BINARY)	45
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงความเชื่อมโยงระหว่าง โครงการวิจัยย่อยภายใต้ภาชงานวิจัย	3
รูปที่ 2.1 หลักการถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมติก	7
รูปที่ 2.2 ระบบการสะท้อนของแสง	9
รูปที่ 2.3 รีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา	10
รูปที่ 2.4 รีแฟรคโตมิเตอร์ (ก) ชนิดพกพาแบบดิจิทัล (ข) แบบตั้งโต๊ะ (Abbe refractometer)	11
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของรีแฟรคโตมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ	11
รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นแบบในกระบวนการ	12
รูปที่ 2.7 สเปคโตรมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ	12
รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของสเปคโตรมิเตอร์	13
รูปที่ 2.9 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยออสซิเลทแบบท่อด้วย	14
รูปที่ 2.10 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการตรวจจับความดัน	15
รูปที่ 2.11 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการวัดอัตราการไหลของมวล โครีโอไลส	15
รูปที่ 2.12 การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิค	16
รูปที่ 2.13 ตัวเซนเซอร์การวัดค่าความเข้มข้นด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิค	16
รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นโดยใช้ไมโครเวฟ	18
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างเฟสและความเข้มข้น	18
รูปที่ 2.16 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยไมโครเวฟ	19
รูปที่ 2.17 ผังการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุ	20
รูปที่ 2.18 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุ	20
รูปที่ 2.19 Capacitive Transducer ลักษณะทรงกระบอก	21
รูปที่ 2.20 เครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้แต่ละประเภท	27
รูปที่ 2.21 Analog module	28
รูปที่ 2.22 Digital module	29
รูปที่ 3.1 กระบวนการเชื่อมต่อในโรงงาน	31
รูปที่ 3.2 การวัดค่าทางไฟฟ้าในการทดลอง	32
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในการทดลองและหัววัดค่าการนำไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ	34
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ	35
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ	36
รูปที่ 3.8 แผนวงจรสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย	37
รูปที่ 3.9 วงจรวัดค่าประจุไฟฟ้าสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย	38
รูปที่ 3.10 แผนวงจรและหัวข้อวัดต้นแบบที่สร้างขึ้นในการทดลอง	39
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ	40
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ	40
รูปที่ 3.13 วงจรอินเทอร์เฟซแบบอนุกรม RS232 และ RS485	42
รูปที่ 3.14 วงจรอินพุทและเอาต์พุทแบบดิจิทัล	42
รูปที่ 3.15 วงจรอินพุทและเอาต์พุทแบบอนาล็อก	42
รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมอัตโนมัติ	43
รูปที่ 3.17 การทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมอัตโนมัติ	43
รูปที่ 3.18 การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม	44
รูปที่ 3.19 รูปแบบข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม	45
รูปที่ 3.20 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน	46
รูปที่ 3.21 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ	47
รูปที่ 3.22 ระบบออสโคปิกแบบสามมิติ	49
รูปที่ 3.23 ถังแช่และถังเก็บสารละลายออสโคปิก	49
รูปที่ 3.24 ระบบออสโคปิกด้านหลังและด้านบน	50
รูปที่ 3.25 ส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโคปิก	50
รูปที่ 3.26 ถังผสม	52
รูปที่ 3.27 มอเตอร์ใบกวนผสม	52
รูปที่ 3.28 ใบกวนผสม	53
รูปที่ 3.29 เครื่องมือวัดระดับชนิดลูกกลิ้ง	53
รูปที่ 3.30 ถังและตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่าง	54
รูปที่ 3.31 การติดตั้งหัวข้อวัดความเข้มข้นลงถึงออสโคปิก	54
รูปที่ 3.32 เครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเมื่อนำมาใช้กับระบบ	55
รูปที่ 3.33 โซลินอยด์วาล์วขนาด ½ นิ้ว	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.34 ตู้ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบ	56
รูปที่ 3.35 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

C คือค่าความจุ (F)

ϵ_0 คือค่าความถี่ซายของระยะห่าง(Permittivity of Space) 8.854×10^{-12} (F/m)

A คือพื้นที่ของแผ่นตัวนำ (m^2)

d คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ(m)

k คือค่าคงที่ของ ไดอิเล็กตริก(Dielectric Constant)

E คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

G คือ ค่าความนำ (S)

I คือ กระแส (A)

R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรม กลุ่มสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรจัดเป็นสินค้าที่สร้างรายได้ให้กับประเทศอย่างมหาศาล โดยมีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้นในปี พ.ศ. 2551 มูลค่ากว่า 662,251.53 ล้านบาท โดยคิดเป็นพืชผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์ 20,488.21 ล้านบาท (ที่มา: กรมส่งเสริมการส่งออก, 2551) ผักและผลไม้จัดเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่ต้องเก็บเกี่ยวตามฤดูกาล นำเสียดีได้ง่าย มีอายุการเก็บรักษาสั้น ส่งผลให้ผลิตผลมีมูลค่าการขายค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปริมาณของสินค้า (Supply) มากกว่าปริมาณความต้องการของผู้บริโภค (Demand) ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการแปรรูปผักและผลไม้ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การอบแห้ง การกวน หรือการดอง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปจะสามารถเก็บไว้ได้เป็นระยะเวลานาน และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าของผักและผลไม้อีกด้วย

กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการแปรรูป ผักผลไม้ โดยปราศจากการให้ความร้อนสามารถทำได้ง่ายในระดับครัวเรือน (นวกัทรรา หนูนาถ, 2551) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการแปรรูปด้วยหลักการออสโมติกในระดับอุตสาหกรรมถูกจำกัด เรื่องการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้คงที่ และการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่อง สาเหตุเพราะขาดการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือวัดที่เหมาะสมและระบบการ ควบคุมเฉพาะสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างจริงจัง ซึ่งเครื่องมือวัดที่จำเป็น สำหรับระบบนี้มีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายออสโมติกเป็นหลัก เครื่องมือวัดที่ ใช้ทั่ว ๆ ไปได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดค่า pH และส่วนที่สำคัญที่สุดคือเครื่องมือวัด ความเข้มข้นของสารละลาย

โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการการวัดความเข้มข้นของสารละลายใช้เทคนิคสเปกโทรสโคป ซึ่ง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติพบว่ามีความแม่นยำที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม นอกจาก การวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคดังกล่าวแล้ว ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถนำมา ประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้เช่นกัน โดยแต่ละเทคนิคจะเหมาะสม สำหรับการตรวจวัดสารละลายแต่ละชนิดแตกต่างกันไป เช่น การใช้ความสัมพัทธ์ของค่าความนำ ไฟฟ้า (Electrical Conductivity) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเกลือ และการใช้ ความสัมพัทธ์ของค่าความจุไฟฟ้า (Electrical Capacitance) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย น้ำตาล (Schmidt, 1927) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่น่าระบบการควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เนื่องจากปัจจุบันปริมาณความต้องการในการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทั้งในและต่างประเทศ ทำให้กระบวนการผลิตต้องปรับตัวให้สามารถผลิตได้ปริมาณมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาปรับใช้ในการแปรรูปอาหาร (Bhuyan, 2007) ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายประเภทแบ่งตามขนาดของโรงงาน ได้แก่ DCS เป็นเครื่องควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น ส่วนเครื่อง PLC และ PC-based Control เหมาะสำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารกว่าร้อยละ 90 ใช้เครื่อง PLC เป็นเครื่องควบคุม อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบ PC-based Control กับ PLC พบว่า PC-based Control มีต้นทุนที่ถูกกว่า สามารถแสดงผลและบันทึกผลได้ เนื่องจากปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้หลากหลาย มีความสะดวกในการเชื่อมต่อเครือข่ายและการติดต่อสื่อสาร ในขณะที่ PLC สามารถควบคุมเครื่องจักรได้ดีแต่ในการแสดงผลจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมอีกมาก PC-based Control จึงมีแนวโน้มในการนำมาปรับใช้แทน PLC ที่มีต้นทุนสูงกว่า

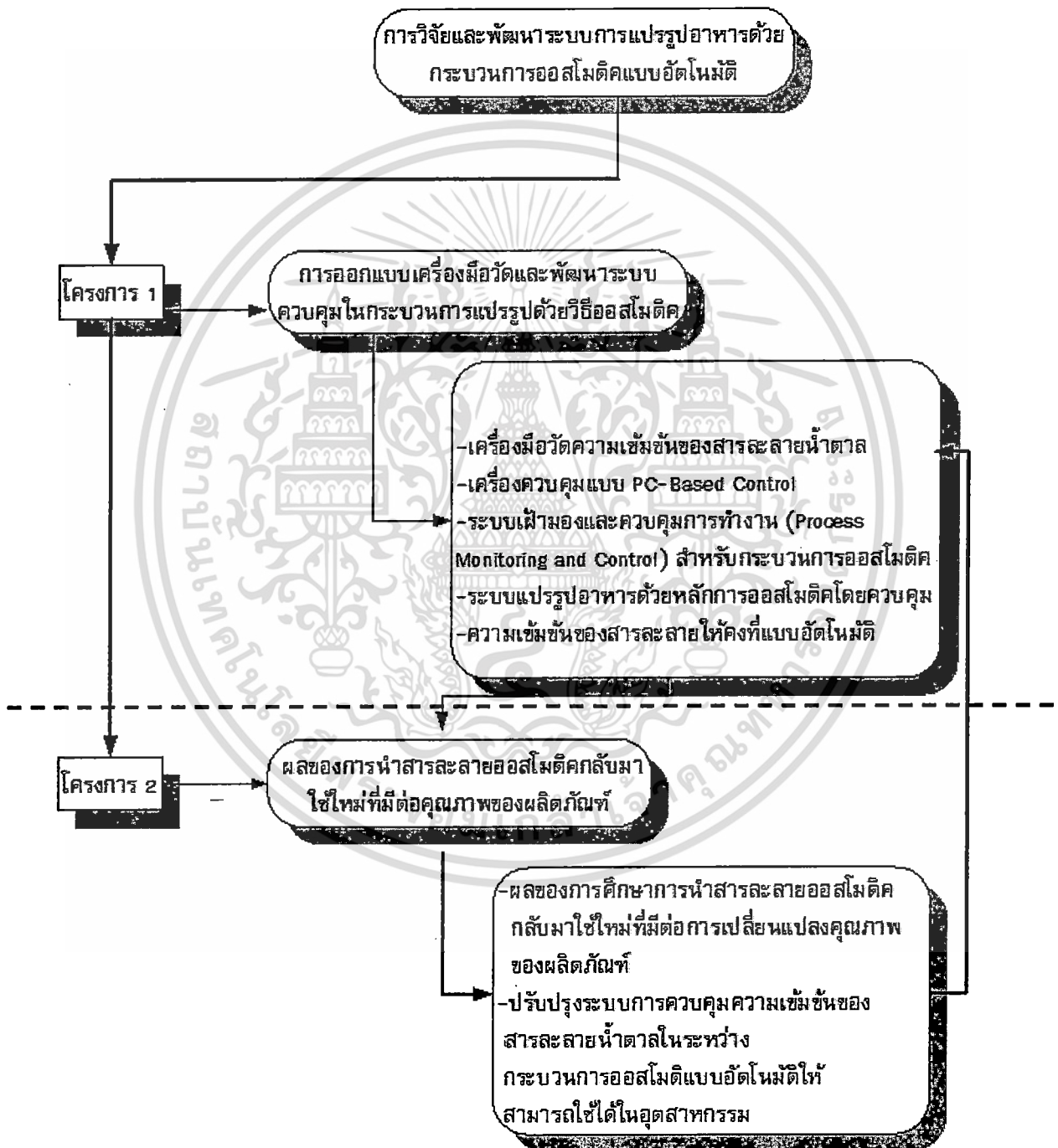
ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสร้างเครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลชนิดต้นทุนต่ำ เพื่อใช้ในการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้คงที่และพัฒนาสู่ระบบควบคุมการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด PC-based Control โดยเขียนโปรแกรมให้แสดงผลด้วยกราฟฟิคและส่งสัญญาณควบคุมในลักษณะการควบคุมแบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ที่สามารถใช้งานได้จริง และราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเครื่องควบคุมชนิดอื่น การนำระบบควบคุมอัตโนมัติใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกนี้ จะสามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตได้ เป็นสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้และรวมไปถึงอาหารชนิดอื่น ๆ สามารถส่งออกและแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกแบบ In-line เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการแปรรูปด้วยหลักการออสโมติก
- 2) เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่บนพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ (PC-Based Control)
- 3) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมการแปรรูปด้วยหลักการออสโมติกแบบต่อเนื่องให้สามารถใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

1.3 รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย

ภายใต้แผนการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาระบบการแปรรูปอาหารด้วยกระบวนการออสโมติกแบบอัตโนมัติ” ประกอบด้วยโครงการจำนวน 2 โครงการ ระยะเวลาสำหรับแผนการวิจัยนี้รวมทั้งสิ้น 2 ปี รายละเอียดแต่ละโครงการดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้รายงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีที่ 1 (โครงการที่ 1) มีผลผลิตคือ

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

ปีที่ 2 (โครงการที่ 2) มีผลผลิตคือ

- ระบบการเตรียมสารละลายอย่างอัตโนมัติ
- ข้อมูลการใช้งานระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ
- ข้อมูลการใช้งานระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกและการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างอัตโนมัติ
- ข้อมูลการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินการพัฒนาสู่อุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้เครื่องมือวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลชนิดต้นทุนต่ำ
- 2) ได้ระบบควบคุมการแปรรูปผักและผลไม้ด้วยหลักการออสโมติก ชนิดควบคุมความเข้มข้นของ สารละลายออสโมติกให้คงที่และสามารถนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ
- 3) ได้ระบบต้นแบบของการแปรรูปผักและผลไม้ที่อาศัยหลักการออสโมติกที่สามารถนำมาพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและย่อม
- 4) ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผักผลไม้หรืออาหารชนิดอื่น ๆ ที่แปรรูปด้วยหลักการเดียวกันนี้ได้

1.5 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล
- 2) พัฒนาระบบควบคุมความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้คงที่ในระหว่างกระบวนการออสโมติก
- 3) พัฒนาระบบควบคุมและสั่งการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ (PC-Based Control) โดยทำงานในลักษณะกราฟฟิกบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) พัฒนาระบบควบคุมร่วมกับเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปด้วยหลักการออสโมติก ได้แก่ เครื่องมือวัดค่า pH อุณหภูมิ และความเข้มข้น รวมไปถึงการควบคุมการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่

1.6 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทุกชนิดที่อาศัยหลักการออสโมติกหรือการดองโดยประโยชน์ที่จะได้รับคือ การลดระยะเวลา ลดพื้นที่ (ในกรณีที่ผลิตปริมาณมาก) ลดต้นทุน (จากการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่) สามารถขยายขนาดและเพิ่มกำลังผลิตได้ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ปริมาณวัตถุดิบมากเกินกว่ากำลังที่ผู้ประกอบการจะเก็บในรูปแบบของวัตถุดิบสดหรือในช่วงเวลาที่มีรายการสั่งซื้อสูง เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

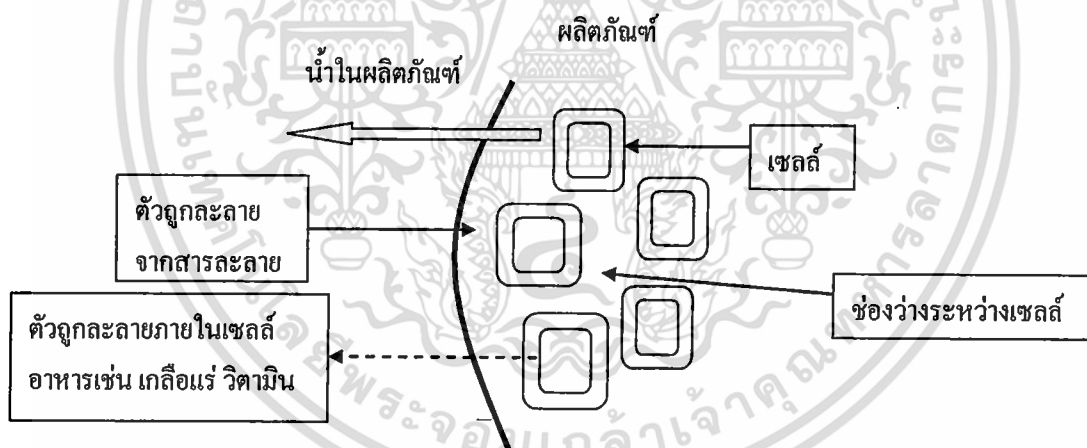
กระบวนการออสโมติก (Osmotic Process) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเบื้องต้นที่อาศัยการดึงน้ำบางส่วนออกจากอาหาร โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ โดยการแช่ชิ้นอาหารเช่น ผักหรือผลไม้ ลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงหรือสารละลายออสโมติก เช่น สารละลายน้ำตาลและสารละลายเกลือ เป็นต้น เนื่องจากสารละลายความเข้มข้นสูงเหล่านี้มีปริมาณน้ำอิสระต่ำ มีความดันออสโมติกสูง จึงส่งผลให้เกิดแรงขับเคลื่อนของน้ำในชิ้นอาหารผ่านผนังเซลล์เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ในระหว่างกระบวนการออสโมติกเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสองอย่างขึ้นพร้อมกันในทิศทางตรงข้ามกัน ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเป็นช่วงการถ่ายเทมวลที่สำคัญที่สุด น้ำจะซึมออกจากอาหารผ่านผนังเซลล์เข้าสู่สารละลายออสโมติก และในขณะเดียวกันของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายออสโมติกจะซึมผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์อาหาร ในความเป็นจริงแล้วไม่เพียงแต่น้ำจากชิ้นอาหารที่ซึมออกจากเซลล์เท่านั้น แต่ของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่อยู่ในอาหาร เช่น วิตามิน เกลือแร่ ต่าง ๆ บางส่วนก็ซึมออกมาสู่สารละลายออสโมติกด้วยเช่นกัน (รูปที่ 2.1) แต่เนื่องจากปริมาณที่ซึมออกมานั้นเป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการถ่ายเทมวลของน้ำในชิ้นอาหารและของแข็งในสารละลายดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น ในการพิจารณาการถ่ายเทมวลในหลายกรณีจึงไม่พิจารณาการถ่ายเทมวลของของแข็งธรรมชาติที่อยู่ในเซลล์อาหาร (Lerici et al., 1985; Raoult-Wack et al., 1992; Rastogi et al., 1997; Nieto et al., 2004) กระบวนการถ่ายเทมวลทั้งหมดจะดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลระหว่างแรงดันออสโมติกในชิ้นอาหารและสารละลายออสโมติก

กระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติกนี้เป็นกระบวนการที่ปราศจากการให้ความร้อน จึงช่วยประหยัดพลังงาน อีกทั้งน้ำหนักโดยรวมของชิ้นอาหารที่ผ่านกระบวนการออสโมติกลดลง ทำให้ช่วยประหยัดต้นทุนในการขนส่ง ลดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลในผลไม้ สามารถปรับแต่งคุณภาพของอาหารในด้านสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ ในระหว่างการเก็บรักษาค่าปริมาณสารอาหารที่อยู่ในผลไม้ที่ผ่านการดึงน้ำออกด้วยวิธีนี้ยังคงมีปริมาณสูง (Torreggiani, 1993; Raoult-Wack 1994) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีนี้เป็นการดึงน้ำออกเพียงบางส่วน จึงไม่สามารถเก็บรักษาอาหารได้เป็นระยะเวลานาน หากต้องการขยายระยะเวลาในการเก็บรักษา จำเป็นต้องมีกระบวนการอื่นร่วมด้วย เช่น การนำอาหารที่ผ่านกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติกไปผ่านกระบวนการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ ต่อไป เพื่อลดค่าปริมาณน้ำอิสระลงให้เหลือในปริมาณที่เหมาะสม เป็นต้น วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการออสโมติกมีมากมายหลายชนิดเช่น เนื้อสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ผักและผลไม้ ซึ่งผักและผลไม้จะเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากเป็นอาหารที่เชื่อมสภาพได้ง่าย มีปริมาณน้ำ แป้งและน้ำตาล เป็นองค์ประกอบภายในสูง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ เชื้อจุลินทรีย์

สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ต่ำ ไม่เป็นอันตรายต่อ สุขภาพและไม่ทำให้เสียรสชาติของอาหาร สารออสโมติกที่นิยมใช้คือ สารละลายน้ำตาลและเกลือ โดยสารละลายน้ำตาลนิยมใช้มากกับกระบวนการออสโมติกผลไม้และสารละลายเกลือนิยมใช้กับ ผัก น้ำตาลมีบทบาทสำคัญต่อการดึงน้ำออก มีตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล และยังช่วยป้องกันการสูญเสียสารระเหยในระหว่างกระบวนการ อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลาย น้ำตาลจะถูกจำกัดที่ความเข้มข้นสูง เนื่องจากจะทำให้เกิดการตกผลึก สามารถแก้ไขได้โดยการเติม กรดน้ำส้มหรือกรดซิตริก ในส่วนของสารละลายเกลือก็มีบทบาทสำคัญเช่นกัน สามารถช่วยเพิ่ม รสชาติให้กับอาหาร รวมทั้งช่วยลดยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้ยืดอายุการเก็บ รักษาอาหารได้ (Adambounou et al., 1983; Lenart et al., 1996)



รูปที่ 2.1 หลักการถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมติก
(ที่มา: นวภัทรา หนูนาค (2551))

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติก

กระบวนการดึงน้ำออกหรือการเพิ่มปริมาณของแข็งด้วยวิธีออสโมติกโดยทั่วไปเป็นการ ทำงานแบบช้า ๆ ใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานเพื่อที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ ต้องการ โดยอาศัยกลไกความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของอาหารกับสารละลายออสโมติก เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารหรือเรียกว่า ค่าความดันออสโมติก โดยค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันยิ่งสูงอัตราการแลกเปลี่ยนของมวลสารจะมีค่าสูงด้วย อัตราการสูญเสียน้ำต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายปัจจัย เช่น ชนิด โครงสร้างและคุณสมบัติของสารละลาย โครงสร้างของอาหาร และสภาวะการทำงานต่าง ๆ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติกมีหลายปัจจัย โดยปัจจัยสำคัญที่มีความสำคัญกับการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทมวลจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความดันออสโมติกระหว่างสารละลายกับชิ้นอาหารสูงขึ้น ทำให้แรงขับเคลื่อน (driving force) สูงขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลจึงสูงขึ้น (Rastogi et al., 2002; Falade et al., 2007) ในระหว่างกระบวนการค่าความเข้มข้นของสารละลายจะถูกเจือจางด้วยน้ำในชิ้นอาหารที่เคลื่อนที่ออกมาและในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งในชิ้นอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากของแข็งในสารละลายเคลื่อนที่เข้าสู่ชิ้นอาหาร ในช่วงเริ่มต้น อัตราการถ่ายเทมวลจะมีค่าสูงและจะลดลงเมื่อความดันต่างมีค่าลดลง (นวกัทราน หนูนาถ, 2551)

2.3 วิธีการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

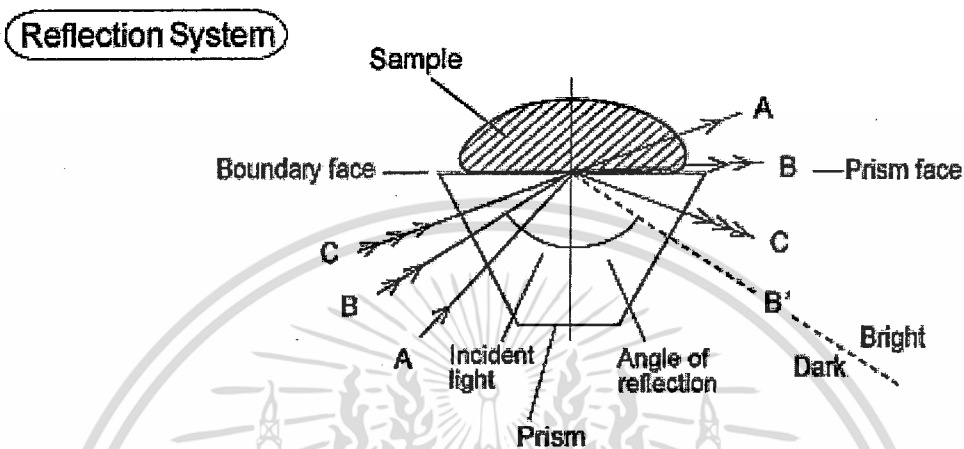
โดยทั่วไปวิธีการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การวัดด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) ระบบคลื่นเสียงอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ระบบไมโครเวฟ (Microwave system) สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ตัวออสซิลเลตแบบท่อตัว (Oscillator u-tube) และอีกหลายวิธี ซึ่งสามารถจำแนกหลักการและเทคนิคที่ใช้ในการวัดได้คือหลักการทางแสง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

2.3.1 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางแสง

2.3.1.1 รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer)

รีแฟรคโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นโดยอาศัยหลักการวัดค่าดัชนีหักเหของแสงที่นิยมใช้มากในห้องปฏิบัติการ โดยตัวชี้ของการหักเหของแสงนี้คำนวณได้จากกฎของสเนลล์ (Snell's law) และสามารถหาความสัมพันธ์ของส่วนประกอบในสารละลายด้วยความสัมพันธ์ของแกดสตันเดอเล[6] (Gladstone-Dale relation) รีแฟรคโตมิเตอร์ที่ใช้กันมีอยู่ 4 ชนิด คือ ชนิดพกพาแบบดั้งเดิม ชนิดพกพาแบบดิจิทัล และ แบบวางตั้งในห้องปฏิบัติการ (laboratory or Abbe refractometers) และชนิดวัดในกระบวนการ (in-line process refractometer) โดยทั่วไปค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ ชนิด และความเข้มข้นของตัวถูกละลาย เครื่องมือที่เรียกว่านี้ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกโดย Ernst Abbe ในปี 1874 ซึ่งจะแปลงค่าดัชนีหักเหของสารละลายไปเป็นความเข้มข้น ตัวอย่างเช่น การนำเครื่องมือไปวัดค่าความเข้มข้นของน้ำผลไม้ เนื่องจากสารละลายน้ำผลไม้ มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาล (มีสารที่ให้สี กรด และอื่นๆ ด้วยแต่มีผลน้อยกว่า) จึง

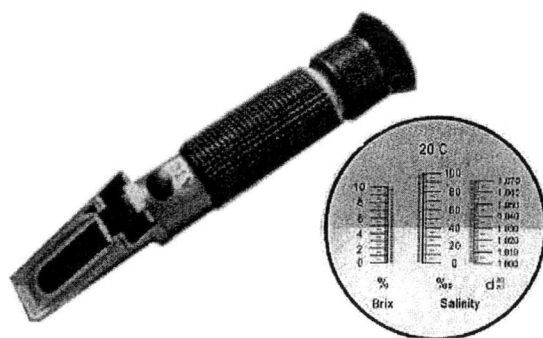
อนุมานได้ว่าค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนไปเกิดจากน้ำตาลเป็นหลัก ในการวัดโดยทั่วไปผู้วัดไม่ต้องการความละเอียดมากนักจึงมักไม่ควบคุมอุณหภูมิขณะวัดซึ่งเป็นความยุ่งยาก หลักการของรีแฟรคโตมิเตอร์อธิบายได้คร่าวๆดังนี้



รูปที่ 2.2 ระบบการสะท้อนของแสง

จากรูปที่ 2.2 การหักเหเป็นสมบัติของแสงที่เกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวกลางที่มีดัชนีหักเหไม่เท่ากันและเกิดขึ้นที่ช่วงมุมตกกระทบจำกัดค่าหนึ่ง มุมสูงสุดที่ทำให้แสงเกิดการหักเหเรียกว่ามุมวิกฤติ แสงจะหักเหขนานไปกับผิวรอยต่อของตัวกลาง มุมตกกระทบที่มีค่ามากกว่านี้ จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด ภายในรีแฟรคโตมิเตอร์มีปริซึมซึ่งมีค่าดัชนีหักเหสูงทำหน้าที่ช่วยหักเหแสง ผู้วัดจะต้องหยดสารละลาย 1-2 หยดลงบนปริซึมแล้วปิดฝา เพราะค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีค่าน้อยกว่าปริซึม แสงที่ส่องผ่านปริซึมมาที่รอยต่อระหว่างชั้นของเหลวกับปริซึมจึงเกิดการหักเหในช่วงตั้งแต่มุมตกกระทบตั้งฉากผิวรอยต่อจนถึงค่ามุมวิกฤติแล้วจึงเกิดการสะท้อนกลับหมด ค่ามุมวิกฤติจะโตเพียงไร ในแต่ละกรณีขึ้นอยู่กับดัชนีหักเห แต่ค่าดัชนีหักเหแปรผกผันกับความเข้มข้นโดยประมาณ เราจึงได้ว่าถ้าสารมีความเข้มข้นมากขึ้น ดัชนีหักเหก็จะน้อยลง ซึ่งทำให้มุมวิกฤติมีค่าน้อยลงด้วย ถ้าเราเอาฉากอันหนึ่งไปขวางแสงสะท้อน เราจะพบว่าลักษณะแสงสะท้อนที่ได้ คือ มีส่วนสว่างกว่าและส่วนมืดกว่าซึ่งเกิดจากการที่แสงบางส่วนที่ตกกระทบหักเหเข้าไปในชั้นสารละลายไม่ได้สะท้อนมาบนฉาก ดังรูปที่ 2.3 บริเวณรอยต่อระหว่างส่วนมืดกับส่วนสว่างคือการสะท้อนที่มุมวิกฤติซึ่งเป็นจุดแบ่งระหว่างการสะท้อนกลับหมดของแสง(ซึ่งให้ความสว่างกว่า) กับการสะท้อนบางส่วน (บางส่วนหักเหเข้าไปในชั้นของเหลว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



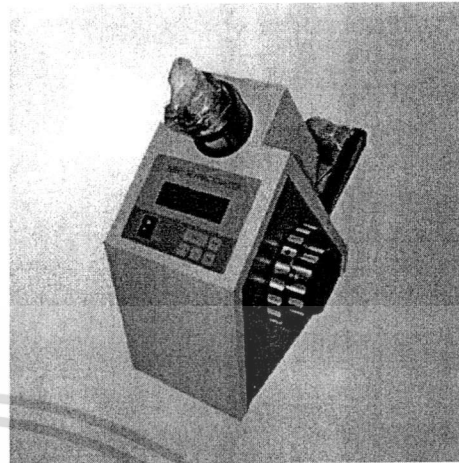
รูปที่ 2.3 รีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา

สามารถระบุได้ว่าสารละลายมีความเข้มข้นมากหรือน้อยด้วยการสังเกตตำแหน่งของส่วนรอยต่อนี้บนฉากรับ ถ้าทำการทดลองกับสารละลายที่รู้ความเข้มข้นที่อุณหภูมิมาตรฐานหลายๆค่า ความเข้มข้น สามารถสร้างสเกลบนฉากเพื่อบอกค่าความเข้มข้นของสารได้ ทำให้การวัดเปลี่ยนจากเชิงคุณภาพเป็นเชิงปริมาณ สามารถพิจารณาตำแหน่งรอยต่อที่เกิดจากสารตัวอย่างเพื่อวัดความเข้มข้นได้ รีแฟรคโตมิเตอร์ได้รับการออกแบบให้แสงสะท้อนไปตกบนฉีกสเกลที่อยู่ภายในเครื่อง ซึ่งสามารถอ่านค่าออกมาเป็นองศา Brix ได้ทันที

รีแฟรคโตมิเตอร์มีออปติคัลเป็นเครื่องมือสำหรับการวัดดัชนีหักเหของสารละลาย ความแตกต่างจากแบบดั้งเดิมคือใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสง LED ที่อยู่ด้านล่าง เมื่อตัวอย่างของเหลวที่ใช้วางบนปริซึมแสงไฟจาก LED จะส่งผ่าน ในขณะที่แสงสะท้อนตกลงบน photodiodes ที่สร้างเป็นแบบอาร์เรย์ เจดซ์ดัชนีหักเหจะสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของเส้นเงาบน photodiodes แล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล แสดงผลเป็นตัวเลขบนจอ LCD ให้อ่านง่ายกว่า กรณีที่อ่านค่าความเข้มข้นของเหลวที่รูปเส้นเงาเลื่อน ตำแหน่งของเส้นเงาจะได้รับการปรับปรุงโดยอัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์ภายใน ทำให้ใช้งานได้สะดวกดังรูปที่ 2.4 สำหรับเครื่องวัดแบบตั้งโต๊ะ (Abbe refractometer) ใช้หลักการเดียวกันกับแบบดิจิทัลแต่ถูกออกแบบให้มีความละเอียดสูงครอบคลุมย่านการวัดที่กว้างกว่า



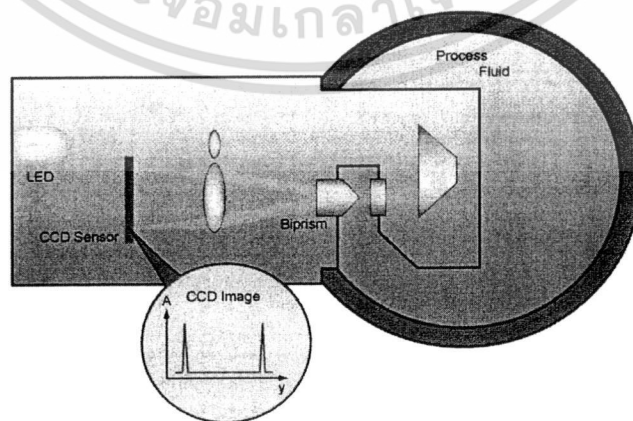
(ก)



(ข)

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

เครื่องวัดความเข้มข้นรีแฟรคโตมิเตอร์แบบในกระบวนการนี้ เป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางเคมี และการกลั่นกระดาช อาหาร น้ำตาลและยาอุตสาหกรรม เช่น การวัดความเข้มข้นในกระบวนการสามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดแบบเวลาจริง (real-time) ก็ใช้หลักการเดียวกันแต่ในการรับและแปลงสัญญาณเพื่อส่งต่อให้ระบบควบคุม อาศัยตัวตรวจจับแบบ CCD Sensor ดังในรูปที่ 2.5 การเก็บค่าดัชนีหักเหร่วมกับและอุณหภูมิเพื่อนำมาคำนวณและชดเชยด้วยตัวประมวลผลกลาง ค่าความเข้มข้นของของเหลวจะถูกแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐานเป็น 4 – 20 mA หรือ สัญญาณออกแบบดิจิทัลผ่าน Ethernet หรือพอร์ทอนุกรม



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของรีแฟรคโตมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นแบบในกระบวนการ

2.3.1.2 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยสเปกโตรมิเตอร์หรือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ใช้หลักการหาคุณสมบัติของสเปกตรัมของแสงในแต่ละค่าความยาวคลื่นมีทั้งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและวัดในกระบวนการดังในรูปที่ 2.7

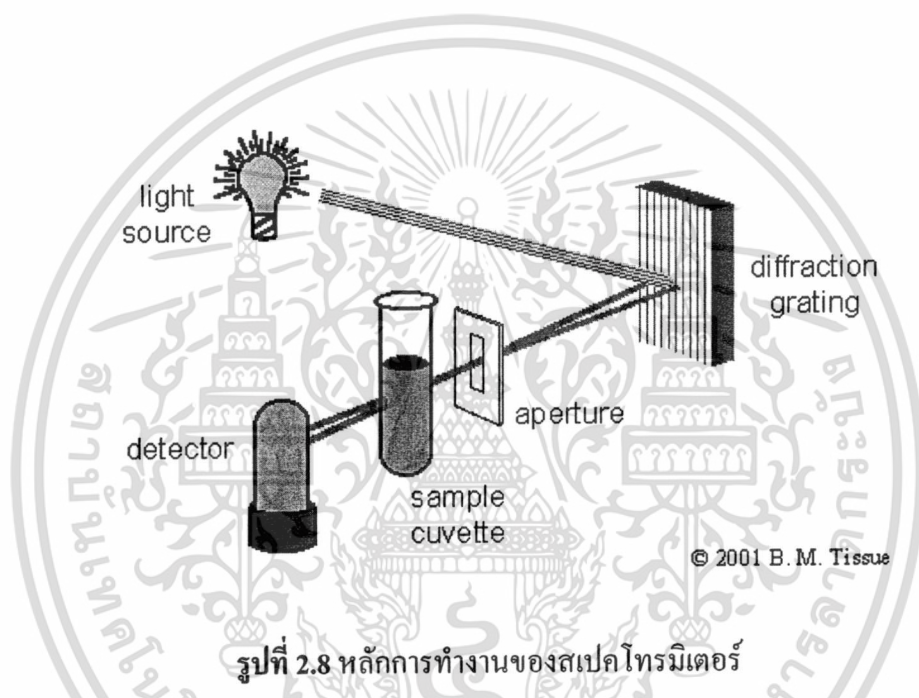


รูปที่ 2.7 สเปกโตรมิเตอร์แบบวัดในกระบวนการ

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นหลักการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์ประกอบไปด้วยตัวกำเนิดแสง และตัวรับแสง การตอบสนองในการส่งผ่านของแสงในแต่ละค่าความยาวคลื่นในรูปแบบสเปกตรัมของแสงสามารถระบุคุณลักษณะของสารละลายนั้นได้ เช่น คุณสมบัติของสี ความเข้มข้น และองค์ประกอบในสารละลายนั้น ตัวแปรอิสระคือความยาวคลื่นของแสงที่เป็นสัดส่วนกับพลังงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตอน เช่นแรงเคลื่อนของอิเล็กตรอนที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่น เครื่องสเปกโตรมิเตอร์นี้ออกแบบมาเพื่อวัดการดูดซับของพลังงานแสงซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)
2. เลือความยาวคลื่นแยกความยาวคลื่นที่ต้องการจากแหล่งกำเนิด
3. ภาชนะใส่ สำหรับบรรจุตัวอย่าง
4. ตัวตรวจจับแสง(Photo Detector) การแปลงพลังงานแสง การวัดสัญญาณและอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล

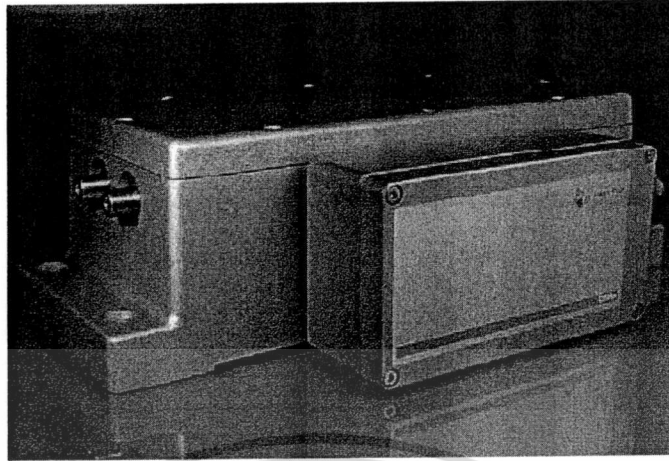


2.3.2 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางกล

2.3.2.1 ออสซิลเลตแบบท่อตัวยู (Oscillator u-tube)

ตัวออสซิลเลตแบบท่อตัวยู (Oscillator u-tube) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของเหลวหรือก๊าซ ด้วยวงจรรีเลคทรอนิกส์สำหรับวัดความถี่ของการออสซิลเลตซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสิ่งที่ไหลผ่านท่อตัวยู หลักการในการวัดมาจากพื้นฐานของตัวแบบ Mass-Spring โดยที่ของเหลวที่ไหลผ่านท่อตัวยูนี้จะกำเนิดความถี่ต่างกันตามค่าความเข้มข้นของสารละลาย สัญญาณจะถูกขยายและประมวลผลเป็นค่าความเข้มข้นดังรูปที่ 2.9 วิธีนี้เหมาะกับการวัดในกระบวนการที่มีการเคลื่อนที่ของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยออสซิลเลทแบบท่อตัวอย่าง

2.3.2.2 การวัดค่าความหนาแน่น

เครื่องวัดแบบนี้ประกอบด้วยตัวตรวจวัดค่าความดัน (Pressure Sensor) แบบ capacitive จำนวน สองตัวส่งค่าความดันมาคู่กัน ซึ่งการใช้งานจะต้องเชื่อมต่อในสารละลายในกระบวนการ ตัวตรวจจับส่งสัญญาณผ่านหลอด Capillary ซึ่งมีเซ็นเซอร์อุณหภูมิอยู่ระหว่างตัวตรวจวัดความดันทั้งสอง การวัดค่าความดันจะถูกชดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าความดันนี้จะสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น ความเข้มข้น และความหนืด ดังแสดงในรูปที่ 2.10

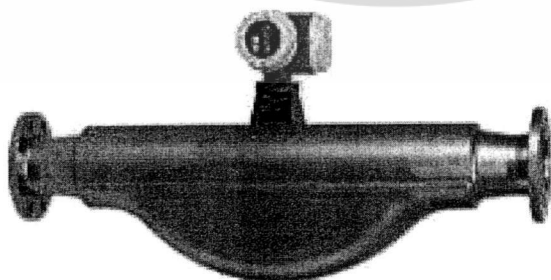
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยการตรวจจับความดัน

2.3.2.3 การวัดอัตราการไหลของมวลโคริโอลิส

หลักการวัดชนิดนี้ อาศัยการวัดการไหลของมวลบนพื้นฐานของผลกระทบโคริโอลิส[17] (Coriolis Effect) แรงโคริโอลิส (CORIOLIS FORCE) หมายถึง แรงเฉื่อยแรงเบี่ยงเบน การวัดความหนาแน่นอิสระของสารละลายถูกคำนวณจากความถี่จิ้งหะของการสั่นสะเทือนของตัวตรวจจับแบบท่อ (tube sensor) เทียบกับตารางมาตรฐานของสภา Brix เพื่อแปรผลออกมาเป็นค่าความเข้มข้น ผู้ใช้สามารถโปรแกรมค่าลงในตารางและหรือทำการชดเชยค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นที่อุณหภูมิต่างกัน วิธีนี้สามารถวัดตัวแปรได้หลายตัวแปรพร้อมกันในเวลาเดียว เช่น การวัดไหลของมวลหรือปริมาณความหนาแน่น กำหนดและอุณหภูมิที่ตั้งแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เครื่องวัด

ความเข้มข้นด้วยการวัดอัตราการไหลของ

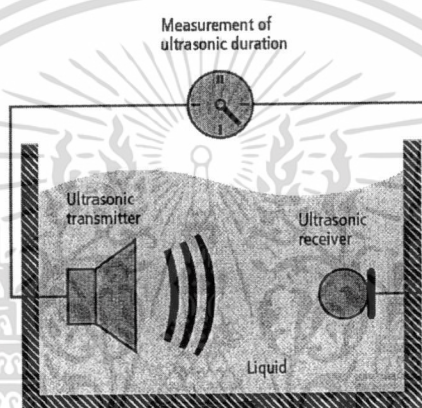
มวลโคริโอลิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

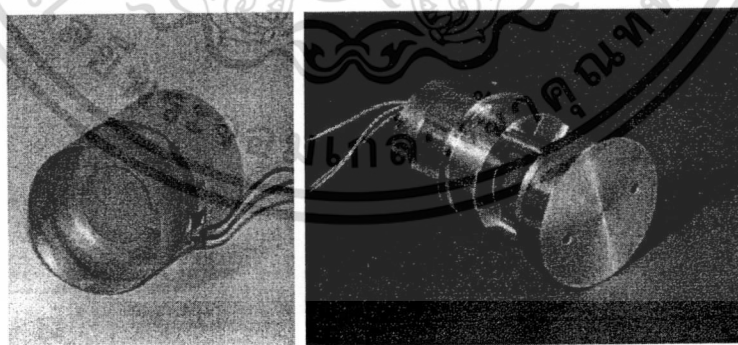
2.3.3 วิธีการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า

2.3.3.1 อัลตราโซนิก (Ultrasonic)

ในการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกนี้ประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ พบว่าความเร็วในการรับสัญญาณของตัวรับจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเข้มข้นขององค์ประกอบในสารละลาย ทำให้สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งตัวเซนเซอร์ที่ใช้แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก



รูปที่ 2.13 ตัวเซนเซอร์การวัดค่าความเข้มข้นด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

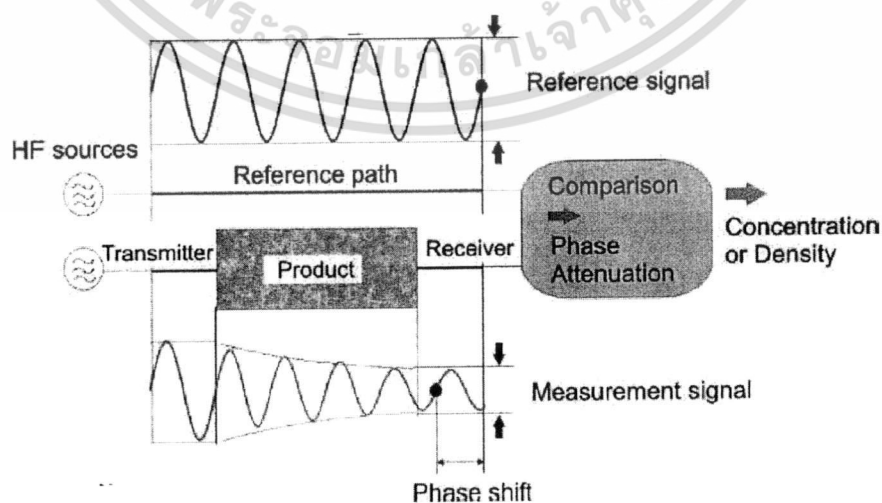
2.3.3.2 คลื่นไมโครเวฟ (Microwave measurement)

การวัดค่าความเข้มข้นด้วยเทคนิคคลื่นอัลตราโซนิกและเทคนิคทางแสงยังมีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้กับการวัดสารละลายที่มีฟองอากาศผลที่ได้จะคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมากการวัดความเอกสาดนี้ยังใช้กับวิธีอื่นที่ง่ายกว่าเช่นการใช้เครื่องมือวัดความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในของเหลวที่มีความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการวัดค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ความถี่ในย่านของไมโครเวฟอยู่ที่ 300- 3000 MHz (ตารางที่ 2.1) โดยปกติแล้วเตาอบ(Microwave oven) จะใช้กำลัง 1000 W โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile phone) ใช้กำลัง 2 W วิธีนี้อาศัยการปล่อยคลื่นความถี่ไมโครเวฟกำลังต่ำน้อยกว่า 0.1 mW ไปยังขั้วตัวส่ง จากนั้นตัวรับจะรับสัญญาณกลับเพื่อนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ สัญญาณที่ความเร็วและพลังงานลดลงจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายดังในรูปที่ 2.15 โดยที่การเลื่อนเฟสของสัญญาณจะสามารถนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้จากรูปที่ 2.14 ตัวส่งสัญญาณไมโครเวฟจะส่งผ่านไปยังตัวสารละลาย และรูปที่ 2.16 คือ เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยไมโครเวฟ

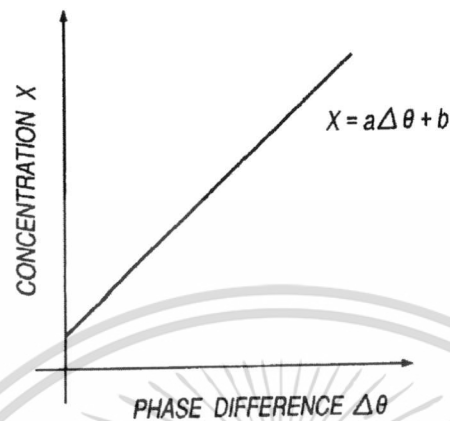
ตารางที่ 2.1 ค่าความถี่วิทยุในย่านต่างๆ

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

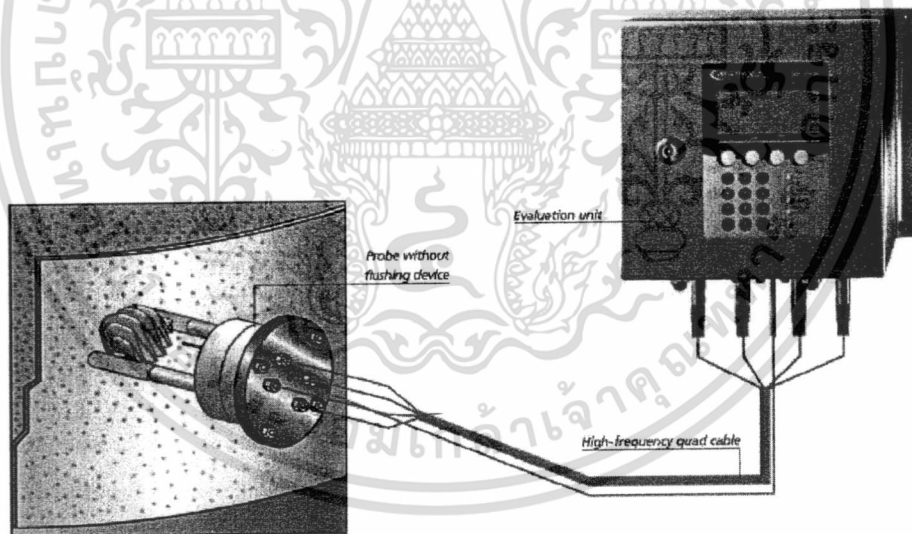


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นโดยใช้ไมโครเวฟ



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างเฟสและความเข้มข้น

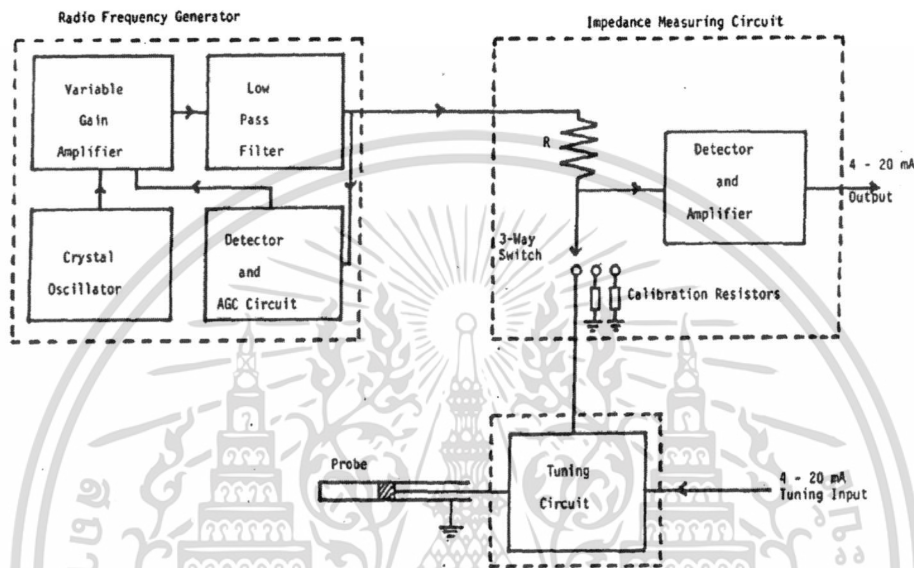


รูปที่ 2.16 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยไมโครเวฟ

2.3.3.3 คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency measurement)

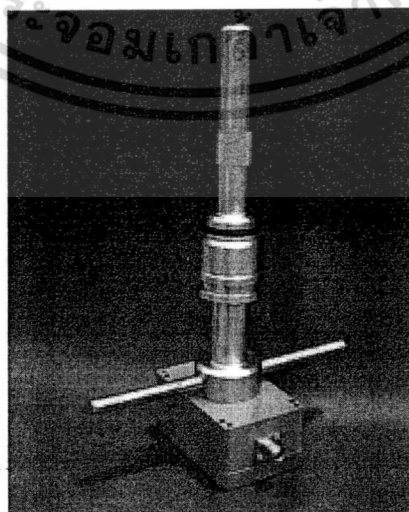
เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นสารละลายด้วยคลื่นความถี่วิทยุส่วนใหญ่เป็นแบบวัดในกระบวนการ คือเครื่องมือที่วัดความเข้มข้น โดยอาศัยการวัดค่าความต้านทานที่มีแหล่งกำเนิดความถี่วิทยุผ่านไปยังขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วที่จุ่มอยู่ในสารละลาย ค่าความต้านทานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ประกอบด้วย ค่าความต้านทานรวมกับค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความนำและความเป็นฉนวนที่อยู่ในสารละลายหรือเรียกว่าค่าอิมพีแดนซ์ ความสัมพันธ์นี้สามารถนำมาหาค่าความเข้มข้นในหน่วยของสารริกซ์ (Brix) ได้ จากผังการทำงานในรูปที่ 2.16 ประกอบด้วยวงจรกำเนิดความถี่วิทยุที่ส่งค่าให้กับ วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์และวงจรแปลงสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ซึ่งวงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์นี้จะเชื่อมต่อกับชุดหัววัดที่จุ่มอยู่ในสารละลาย



รูปที่ 2.17 ผังการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุ

เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าค่อนข้างต่ำความถี่ที่ใช้จะต้องสูง อย่างน้อยจะต้องมีความถี่เป็น 10 MHz เมื่อรับค่าที่วัดมาได้ ร่วมกับตัววัดอุณหภูมิเพื่อชดเชยอุณหภูมิ จากนั้นทำการคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มข้น ในหน่วยของสารริกซ์ เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุแสดงในรูปที่ 2.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 เครื่องวัดความเข้มข้นด้วยความถี่วิทยุ

การวัดค่าความจุไฟฟ้า

รูปแบบที่สามารถพบเห็นทั่วไปของตัวเก็บประจุแบบเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้ที่ใช้สำหรับวัดการกระจัด คือ มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นแผ่น (Plate) เก็บประจุสองแผ่นวางขนานกัน โดยสามารถปรับระยะห่างระหว่างแผ่นและขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำทั้งสองได้ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุจากแผ่นเก็บประจุคู่ขนานสามารถทำได้ โดยการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (d) การปรับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำ (A) หรือการเปลี่ยนค่าความเป็นฉนวนหรือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant, k) ความสัมพันธ์แสดงดังสมการ

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

C คือค่าความจุ (F)

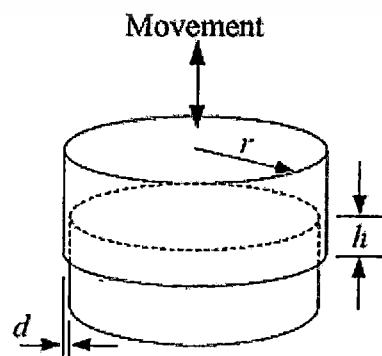
ϵ_0 คือค่าความซึมซับของระยะห่าง (Permittivity of Space) 8.854×10^{-12} (F/m)

A คือพื้นที่ของแผ่นตัวนำ (m^2)

d คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (m)

k คือค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)

ทรานสดิวเซอร์บางประเภทมีลักษณะ โครงสร้างเป็นแท่งทรงกระบอกสองอันที่เหมือนกัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.19 แท่งทรงกระบอกภายใน (เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กกว่า) ถูกหุ้มด้วยแท่งทรงกระบอกภายนอก (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า) โดยมีระยะห่างระหว่างทรงกระบอกภายในและภายนอกคงที่ เมื่อแท่งทรงกระบอกภายในเคลื่อนที่ จะมีผลทำให้พื้นที่ความจุของส่วนหนึ่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะลดลง การเปลี่ยนแปลงค่าความจุจะแปรผันตรงกับระยะการกระจัดของแท่งทรงกระบอกที่อยู่ภายใน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 Capacitive Transducer ลักษณะทรงกระบอก

ลักษณะการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้คือ การอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าของไดอิเล็กตริกของสารละลายที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ 2 แผ่น ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของความจุโดยตรง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ไปใช้ในการประยุกต์สำหรับตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายได้ตลอดจนการแยกแยะชนิดของสารเคมี

การวัดค่าความนำทางไฟฟ้า

ค่าความนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของความต้านทาน โดยที่ค่าความต้านทานมีหน่วยวัดเป็นโอห์ม ค่าความนำไฟฟ้าหน่วยวัดซีเมนส์ (SI, siemens) เดิมชื่อโมห์ (mho) ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้น กับปริมาณของความเข้มข้น ค่า pH และอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 1 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ค่าความนำเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2-3%

ค่าความนำ (Conductance: G) ในหน่วยซีเมนส์ (S) ที่เกิดขึ้นในสารละลายแต่ละชนิดสามารถพิจารณาได้ด้วยกฎของโอห์ม (Ohm's Law) ดังนี้

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

เมื่อ E คือ แรงดันไฟฟ้า (V)
 I คือ กระแส (A)
 R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)

เนื่องจาก

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

เมื่อแทนค่าจากสมการที่(1) ลงในสมการที่ (2) จะได้ว่า

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

เมื่อต่อแรงดันไฟฟ้า E ให้กับแท่งอิเล็กโทรด 2 แท่ง ที่วางขนานกันและจุ่มอยู่ในของเหลว จะทำให้กระแส I ไหลผ่านระหว่างแท่งอิเล็กโทรดซึ่งเหมือนกันกรณีกระแสไหลผ่านตัวนำโลหะ แต่ในตัวนำโลหะนั้นกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ส่วนตัวนำของเหลว นั้นกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของไอออนจากสมการที่ (2.4) ถ้ากำหนดให้ค่าแรงดันไฟฟ้า E คงที่ จะได้ว่าค่าความนำ G แปรผันตามกระแส I (หรือการเคลื่อนที่ของไอออน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดความเข้มข้น เช่นความเค็มจะอาศัยหลักการของค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด จากหลักการนี้คือการวัดค่าความนำซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของไอออนในสารละลายนั้นๆ ซึ่งมีหน่วยเป็น mS/cm หรือ mMho/cm โดยการวัดจะใช้อิเล็กโทรด 2 ตัวเป็นขั้วไฟฟ้าให้ไอออนเคลื่อนที่ ดังนั้นหากใช้ไฟกระแสตรงมาเป็นขั้วไอออนก็จะทำให้เกิดการจับตัวของไอออน เราจึงจะต้องใช้ไฟกระแสสลับ โดยใช้วงจรกำเนิดความถี่ ที่ค่าความถี่ต่างๆ จะมีผลการการนำกระแสของอุปกรณ์การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในลักษณะของการวัดค่าความนำ โดยทั่วไป สารละลายจะมีองค์ประกอบทางไฟฟ้าของค่าความต้านทานและค่าของประจุไฟฟ้า ในแต่ละชนิดของสารละลายจึงมีค่าความถี่ที่ใช้ที่เหมาะสมต่างกันไป ในการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาค่าความถี่ที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรสำหรับวัดระดับความเข้มข้นที่สมบูรณ์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร

งานวิจัยที่ผ่านมา ได้รายงานถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ

ทูกงานวิจัยที่ผ่านมา รายงานผลที่สอดคล้องกันว่า ค่าการนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Wang and Sastry, 1997; Palaniappan and Sastry, 1991; De Alwis and Fryer, 1989; Gupta and Jindal, 1992; Marcotte and Piette, 1998) เหตุผลคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้จำนวนของไอออนที่เคลื่อนที่ภายในอาหารเพิ่มมากขึ้น และการเคลื่อนที่ของไอออนเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้ก็คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

ปริมาณของแข็งในอาหารเหลว

การนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า ปริมาณของแข็งในอาหารเหลวมีความสัมพันธ์กับค่าความนำไฟฟ้าอย่างไร เนื่องจากของแข็งแต่ละชนิดที่อยู่ในอาหารเหลวมีผลต่อการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณไอออนที่แตกตัวได้ (Barbosa-Canovas and Juliano, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของสารละลาย Hydrocolloid

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

ปริมาณเถ้า(Ash content)

ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณเถ้า (%db) เพราะปริมาณเถ้าแปรผันตามปริมาณของอนินทรีย์ที่อยู่ในอาหาร ซึ่งปริมาณและชนิดของอนินทรีย์สารที่อยู่ในอาหารมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร (Marcotte and Piette, 1998)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

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

ความถี่ของไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ มีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความถี่ของไฟฟ้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร แต่รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้น ยังไม่สามารถสรุปแน่นอน (Palaniappan and Sastry, 1991; Maron and Prutton, 1972) สำหรับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายกระแสสลับในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ Balaya และ Sunandana ทำการทดลองพบว่าความถี่ 1 kHz ถึง 60 kHz เป็นค่าความถี่ที่เหมาะสมในการออกแบบวงจรสำหรับวัดค่าความเค็มโดยอาศัยหลักการของการวัดค่าความนำ Mabrook, และ M.C. Petty (2003) ได้ออกแบบการวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่าง แลคโตสในน้ำนมและค่าความนำไฟฟ้า โดยพบว่าความถี่ของวงจรที่เหมาะสมอยู่ที่ 100 kHz

จากวิธีการวัดที่กล่าวมาข้างต้นถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการที่ต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาแต่เฉพาะชนิดที่ใช้วัดในกระบวนการ เครื่องวัดความเข้มข้นแบบรีแฟรคโตมิเตอร์ให้ความแม่นยำในการวัดสูง สามารถใช้วัดความเข้มข้นที่อยู่หนึ่งและไหลผ่านท่อได้ โครงสร้างภายในซับซ้อน แต่จะเกิดความผิดพลาดถ้าหากพบฟองอากาศ และสิ่งเจือปนมาบดบังจุดตรวจวัด ราคาในท้องตลาดค่อนข้างสูงมาก เครื่องวัดแบบสเปคโตรมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดที่เหมาะสมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดในเรื่องของสีมากกว่าความเข้มข้น เนื่องจากอาศัยหลักการในการวัดผลตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงย่านอินฟราเรด และจะเกิดข้อผิดพลาดการวัดได้ถ้าหากจุดรับและส่งแสงถูกบดบังด้วยสิ่งเจอปนหรือฟองอากาศ ราคาในห้องตลาดจะสูงมากเนื่องจากโครงสร้างมีความซับซ้อน เครื่องวัดโดยใช้เทคนิคทางกล ได้แก่ เครื่องวัดการไหลของมวลโคริโอลิส แบบเครื่องวัดตัวออกสซิเลทพร้อมด้วย เป็นวิธีที่เหมาะสมกับสารละลายที่มีการไหลในท่อ ความแม่นยำและช่วงในการวัดไม่สูงนักแต่จะมีข้อดีคือไม่มีส่วนที่เป็นจุดอับ ซึ่งเป็นสาเหตุของการสะสมของเชื้อ และเครื่องวัดความเข้มข้นแบบตรวจวัดความหนาแน่นจะอาศัยการวัดค่าความดันเพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้น วิธีนี้เหมาะสมกับสารละลายที่มีความเหนียวและความเข้มข้นสูงสามารถใช้วัดค่าความเข้มข้นของของเหลวที่อยู่ในถังได้ โครงสร้างของเครื่องมือวัดความเข้มข้นที่อาศัยเทคนิคทางกลจะมีความซับซ้อนซึ่งยากที่จะพัฒนาขึ้นเอง เครื่องวัดค่าความเข้มข้นแบบ อัลตราโซนิกและ ไมโครเวฟ มีลักษณะที่คล้ายกันคือ ใช้การส่งคลื่นผ่านไปยังสารละลายและมีตัวรับเพื่อรับสัญญาณกลับ ผลต่างที่ได้จะสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย วิธีการวัดแบบไมโครเวฟจะมีข้อดีกว่า เมื่อนำมาใช้กับการวัดสารละลายที่มีฟองอากาศ ความแม่นยำในการวัดสูงใช้ได้ทุกย่านการวัด ราคาค่อนข้างสูงและการพัฒนาค่อนข้างยากเนื่องจากใช้ค่าความถี่สูงมาก ส่วนการวัดค่าความเข้มข้นด้วยคลื่นความถี่วิทยุจะใช้หลักการวัดค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งประกอบด้วยค่าความจุและค่าความต้านทาน เนื่องจากค่าความจุมีค่าน้อยจึงต้องออกแบบให้มีค่าความถี่สูง ซึ่งค่าที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้น เครื่องวัดนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถวัดได้ในทุกย่านการวัด โครงสร้างไม่ซับซ้อนมากนักแต่ราคาในห้องตลาดก็สูงเช่นกัน จากวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเครื่องมือวัดที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ครอบคลุมย่านการใช้ที่กว้างและราคาค่อนข้างสูง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติพบว่ามีความคุ้มค่าที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม นอกจากการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคดังกล่าวแล้ว ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้เช่นกัน โดยแต่ละเทคนิคจะเหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลายแต่ละชนิดแตกต่างกันไป เช่น การใช้ความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเกลือ และการใช้ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้า (Electrical Capacitance) กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการพื้นฐานของการวัดค่าความนำไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้า เช่นเดียวกับการวัดโดยใช้ความถี่วิทยุ แต่ได้ทำการพิจารณาออกแบบให้ใช้วัดในช่วงค่าความเข้มข้นที่ใช้ในกระบวนการออสโมติก ทำให้ลดความซับซ้อนในการออกแบบและลดต้นทุนในการพัฒนาได้

2.4 ประเภทของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานหรือขนาดของโรงงานได้ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ระบบควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (PLC) เหมาะสำหรับการควบคุมในโรงงานขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ส่วนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) เหมาะสำหรับโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น (Sasha และคณะ, 2001) และระบบควบคุมแบบ PC-based Control ที่เป็นการนำส่วนของการเขียนโปรแกรมมาอยู่บนคอมพิวเตอร์

คำจำกัดความของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller :PLC) ก็คือเครื่องควบคุมที่มีระบบการทำงานเป็นแบบดิจิทัล ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่ผู้ใช้สามารถโปรแกรมรูปแบบการทำงาน เงื่อนไข และชุดคำสั่งต่างๆ ลงในหน่วยความจำได้ ในชุดคำสั่งประกอบไปด้วย ฟังก์ชันการทำงานทางลอจิก ฟังก์ชันแบบไล่ลำดับขั้น ฟังก์ชันตัวตั้งเวลาตัวนับจำนวน ฟังก์ชันทางการคำนวณ และฟังก์ชันพิเศษอื่นๆ เพื่อใช้ในการควบคุม ผ่านอุปกรณ์ อินพุท เอาท์พุท แบบดิจิทัลหรืออนาล็อก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรหรือกระบวนการที่ทำการควบคุม ระบบควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก เนื่องจากผู้ใช้สามารถแก้ไขดัดแปลง โปรแกรมเพิ่มเติมลงในหน่วยความจำ ตามเงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักร โดยไม่จำเป็นต้องต่อวงจรทางไฟฟ้าใหม่เหมือนกับระบบเดิมๆ ที่ใช้การออกแบบวงจรรีเลย์หรือวงจร ลอจิกเกตอาจกล่าวได้ว่า เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เป็นคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรให้ทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ และมีจุดเด่นซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากคอมพิวเตอร์ทั่วไปดังนี้

1. การโปรแกรมจะเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขการควบคุมทางลอจิกและคำสั่งแบบฟังก์ชันบล็อก
2. การเชื่อมต่อทางวงจรกับอุปกรณ์ภายนอกจะถูกรวมอยู่ภายในตัวควบคุม
3. เครื่องควบคุมได้ถูกออกแบบมาให้ทนทานต่อแรงสั่นสะเทือน อุณหภูมิ ความชื้น และสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

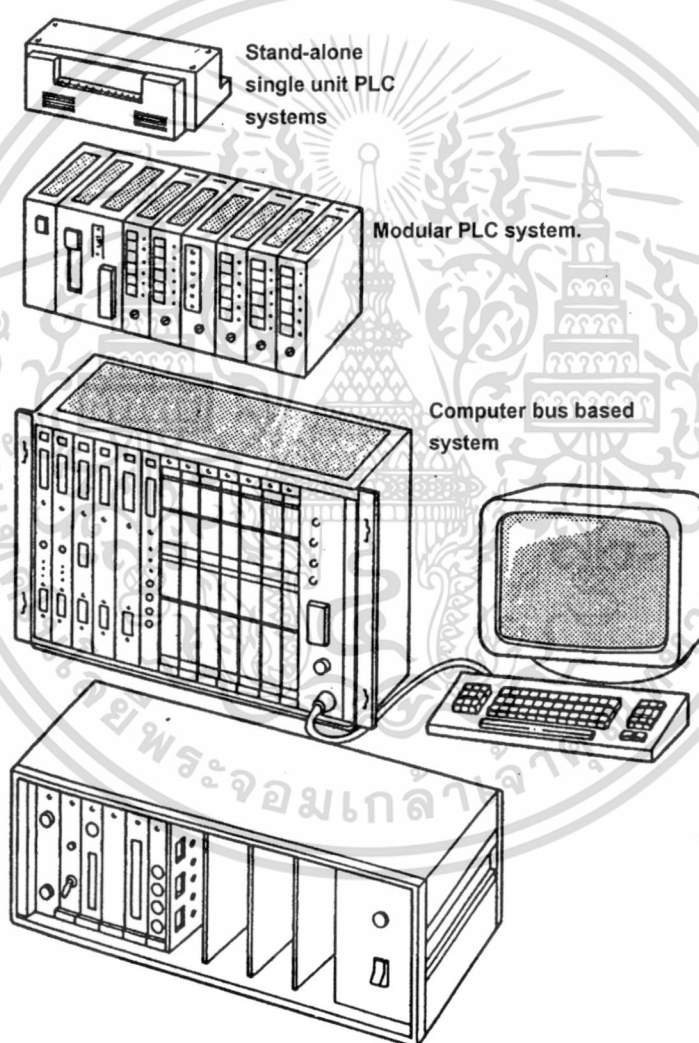
การแบ่งประเภทของระบบควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้จะแบ่งตามขนาดหรือจำนวนจุดที่ใช้ในการควบคุมดังนี้

2.4.1 เครื่องควบคุมขนาดเล็ก หรือ Stand-alone single unit PLC systems.

เป็นเครื่องควบคุมขนาดเล็กที่มีจำนวนจุดควบคุมของอินพุทและเอาท์พุทที่จำกัด ถูกติดตั้งมากับตัวเครื่องควบคุม แต่สามารถขยายจุดควบคุมโดยเพิ่มโมดูลขยาย (Expansion module) ได้ประมาณ 8 – 100 I/O เหมาะกับระบบที่แยกส่วนและความซับซ้อนในการทำงานไม่มาก

2.4.2 เครื่องควบคุมขนาดกลาง หรือ Modular PLC system.

เป็นเครื่องควบคุมขนาดกลางที่ส่วนต่างๆเป็น โมดูลออกจากกันเช่น โมดูลอินพุท โมดูลเอาต์พุท โมดูลอนาล็อก โมดูลประมวลผลกลาง โมดูลแหล่งจ่ายไฟ และ โมดูลพิเศษ เช่น โมดูลสำหรับการติดต่อสื่อสาร โมดูลภาษาระดับสูงสำหรับการคำนวณ โมดูลสำหรับการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งโมดูลต่างๆ จะถูกประกอบลงบนแผงบัสข้อมูลหลัก (Bus back-plane) ผู้ใช้สามารถเลือกโมดูลได้หลากหลายตามความเหมาะสมของการทำงาน นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันการทำงานพิเศษจำนวนมาก นิยมใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนสูง



รูปที่ 2.20 เครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้แต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 เครื่องควบคุมขนาดใหญ่ หรือ Computer bus based system

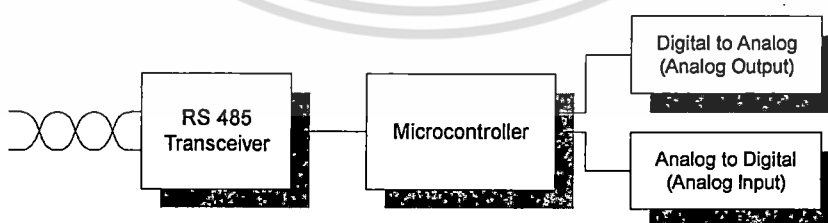
ระบบนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่จะเรียกว่าเป็น เครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้(PLC) แต่ก็มีการทำงานที่คล้ายกันคือใช้ในการควบคุมกระบวนการในงานอุตสาหกรรม เรียกว่าเป็น คอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม (Industrial Computer) เมื่อระบบนี้มีการเชื่อมโยงติดต่อสื่อสารเพื่อกระจายการควบคุม เราจะเรียกว่าระบบควบคุมแบบกระจายส่วนหรือ DCS ถูกออกแบบให้มีช่องเสียบแผงวงจร (Bus back-plane/Rack) ในรูปแบบต่างๆ เช่นแผงหน่วยประมวลผล แผงการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย แผงของหน่วยอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิทัลหรือแบบอนาลอก และระบบนี้เองได้ถูกพัฒนาให้เป็นมาตรฐานสากล เช่น STE bus (Euro-card) และ VME bus ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรมจะเป็นภาษาระดับสูง เช่น ภาษาซี หรือ ภาษาปาสคาล เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dalla Rosa และคณะ (1992 และ 1995) นำเสนอระบบต้นแบบสำหรับแปรรูปกีวีชนิดแผ่นด้วยหลักการออสโมติกแบบต่อเนื่อง โดยใช้หลักการพ่นฝอยทางด้านบน พบว่า หากเปลี่ยนชนิดของสารละลายออสโมติกต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม และควรให้ความสำคัญกับค่าอัตราการสูญเสียน้ำ เป็นสำคัญ

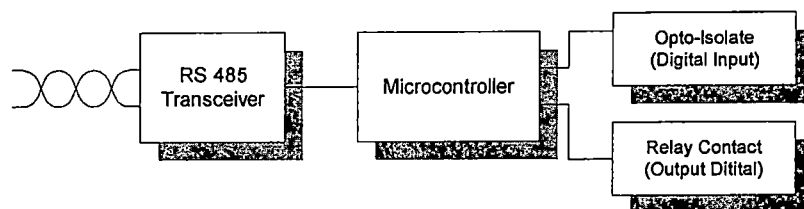
Marouze และคณะ (1997) ทำการศึกษากระบวนการออสโมติกแบบต่อเนื่องโดยหลักการพ่นฝอย เช่นเดียวกันกับ Dalla Rosa และคณะ (1992 และ 1995) แตกต่างกันที่ลักษณะการออกแบบระบบ

Suesut และคณะ (1999, 2000) สร้าง Input/ Output แบบกระจายเพื่อใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ ระบบนี้สามารถทำการเชื่อมต่อได้ในระยะไกลถึง 4000 ฟุต และควบคุมได้หลายจุดในเวลาเดียวกัน ลักษณะการออกแบบการเชื่อมต่อแสดงในรูปที่ 2.21 และ 2.22



รูปที่ 2.21 Analog module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 Digital module

โดยชุดกระจายการควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบอินพุทเอาต์พุท ดิจิตอล และอินพุทเอาต์พุทแบบอนาลอก การเชื่อมต่อเป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน EIA (Electronics Institute Association) แบบ RS 485 สามารถเชื่อมในระยะไกล จะเห็นได้ว่าระบบที่ ออกแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการขยายจุดควบคุม และการ โปรแกรมการทำงานสามารถสั่งการ ควบคุมได้ตามเงื่อนไขของข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารที่สร้างขึ้นเพื่อรับสัญญาณจากอินพุทและ ส่งสัญญาณเอาต์พุทและสามารถกระจายจุดควบคุมได้ทั้งหมด 32 ชุด ซึ่งในแต่ละชุดสามารถสร้าง ให้มีจุดควบคุมได้ 16 อินพุท และ 16 เอาต์พุท

Sasha และคณะ (2001) ทำการสำรวจการประยุกต์ระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าใน ระดับกระบวนการผลิตมีการนำระบบควบคุมกระบวนการมาใช้ในการควบคุมเครื่องจักรเกือบ 100% โดยกว่า 90% ใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (PLC) เหมาะสำหรับการใช้งานใน โรงงานผลิตอาหารตั้งแต่โรงงานขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ สำหรับ โรงงานขนาดใหญ่มากจะใช้ ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) และ ระบบ PC – based Control เป็นระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ พื้นฐานในการควบคุมเหมาะสำหรับ โรงงานขนาดเล็กและกลาง ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือมีต้นทุนใน การสร้างค่อนข้างต่ำ

Sasha และคณะ (2001) และ Harrington (1997) พบว่าในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำระบบ คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยใน HACCP ช่วยในการออกแบบ (CAD) ช่วยในการควบคุมคุณภาพและยัง มีการนำระบบเข้ามาใช้ในระบบบริหารจัดการอีกด้วย

การออกแบบและพัฒนาระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

3.1 การแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบปัจจุบัน

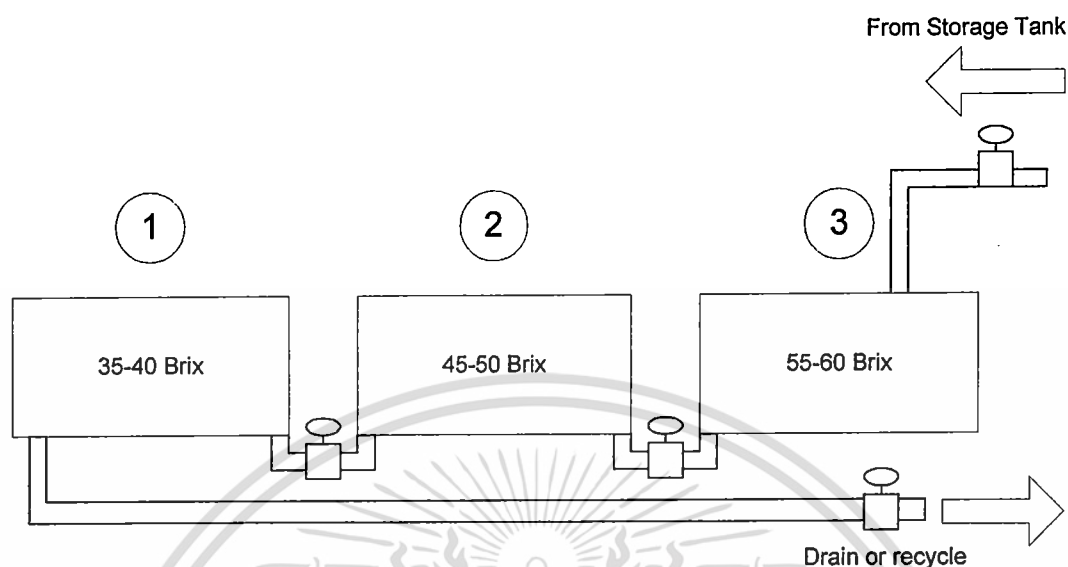
ผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตจากโรงงานแวนด้าพีริสเฟรฟู้ด มีหลายชนิด ได้แก่ มะละกอ เปลือกส้ม โอ สับปะรด แคนสับปะรด มะม่วงและอื่น ๆ โดยทางโรงงานจะส่งออกผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อเพื่อให้โรงงานลูกค้านำไปติดตามผลิตภัณฑ์เอง กระบวนการผลิตผลไม้อิ่มแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชนิดโดยภาพรวมแล้ววัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นรายละเอียดเฉพาะซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีพิเศษสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกสำหรับโรงงานประกอบไปด้วยถังสเตนเลส ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และ สูง 1 เมตร สำหรับแช่อิ่มจำนวน 3 ถังในแต่ละถังจะบรรจุ น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นต่างกันคือ ความเข้มข้น 35-40 องศาBrix 45-50 องศา Brix และ 55-60 องศาBrix ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การแช่อิ่มจะเริ่มต้นจากถังที่ 1 ถังที่ 2 และ ถังที่ 3 ตามลำดับ โดยมี เคนสำหรับยกเพื่อเปลี่ยนถัง การแช่อิ่มจะเริ่มจากความเข้มข้นต่ำไปหาความเข้มข้นสูง ในแต่ละถัง ใช้ เวลา 4-10 ชั่วโมง และแต่ละถลอกจะใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน เพื่อให้การถ่ายเทมวลเร็วขึ้น ได้มีการใช้ตัวทำความร้อนให้กับน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีระบบ ปลดอยลมเข้าถังแช่เพื่อให้สารละลายและอาหารเกิดการเคลื่อนที่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของ สารละลายถูกควบคุมอยู่ในช่วง pH = 3-4 ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

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

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้น พบว่าโรงงานไม่มีมาตรการใด ๆ สำหรับการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ตลอดกระบวนการหรือมาตรการสำหรับการ ตัดสินใจเพื่อย้ายอาหารจากถังที่ 1 ไปถังที่ 2 หรือจาก ถังที่ 2 ไปถังที่ 3 ในบางครั้งผู้ปฏิบัติงาน ตัดสินใจบนพื้นฐานความเชื่อมั่นส่วนบุคคล ซึ่งจัดเป็นปัญหาในเรื่องของการควบคุมคุณภาพ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายและการวางแผนการผลิต การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ อยู่ ในช่วงความเข้มข้นที่ต้องการได้จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งสร้าง เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นที่ให้ค่าเอาท์พุทเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปพัฒนาเป็นระบบ การแปรรูปแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กระบวนการเชื่อมในโรงงาน

3.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล (ต้นแบบ)

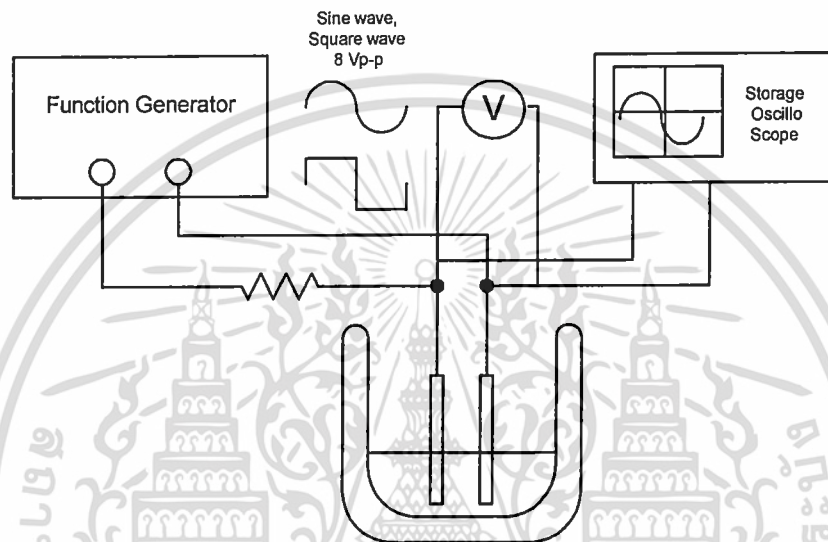
การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ามีหลายเทคนิคด้วยกัน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การวัดความเข้มข้นด้วยวิธีใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency measurement) ซึ่งพัฒนาสำหรับนำมาใช้งานเพื่อการตรวจวัดและควบคุมแบบในกระบวนการ (in-line process measurement and control) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดความเข้มข้นชนิดอื่น ๆ พบว่า เครื่องมือวัดชนิดนี้ไม่มีความซับซ้อนในการออกแบบ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดมีราคาไม่แพง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาให้ใช้งานได้กับย่านการใช้งานใด ๆ การวัดความเข้มข้นของสารละลายโดยใช้คลื่นความถี่ในย่านของคลื่นความถี่วิทยุที่นำมาพัฒนาใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ การวัดค่าความนำไฟฟ้าและการวัดค่าความจุไฟฟ้า

3.2.1 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ

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 จากอิลีกโทรด ร่วมกับ ตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นโหลด ที่ค่าความต้านทาน 5 และ 10 $M\Omega$ นอกจากนี้การทดลองได้เปรียบเทียบผลจากการทดลองของรูปสัญญาณแบบ sine wave และ square wave จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า เมื่อมีการเพิ่มค่าความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณให้สูงขึ้นค่าของแรงดันที่วัดจากอิลีกโทรดก็มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ค่าความถี่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

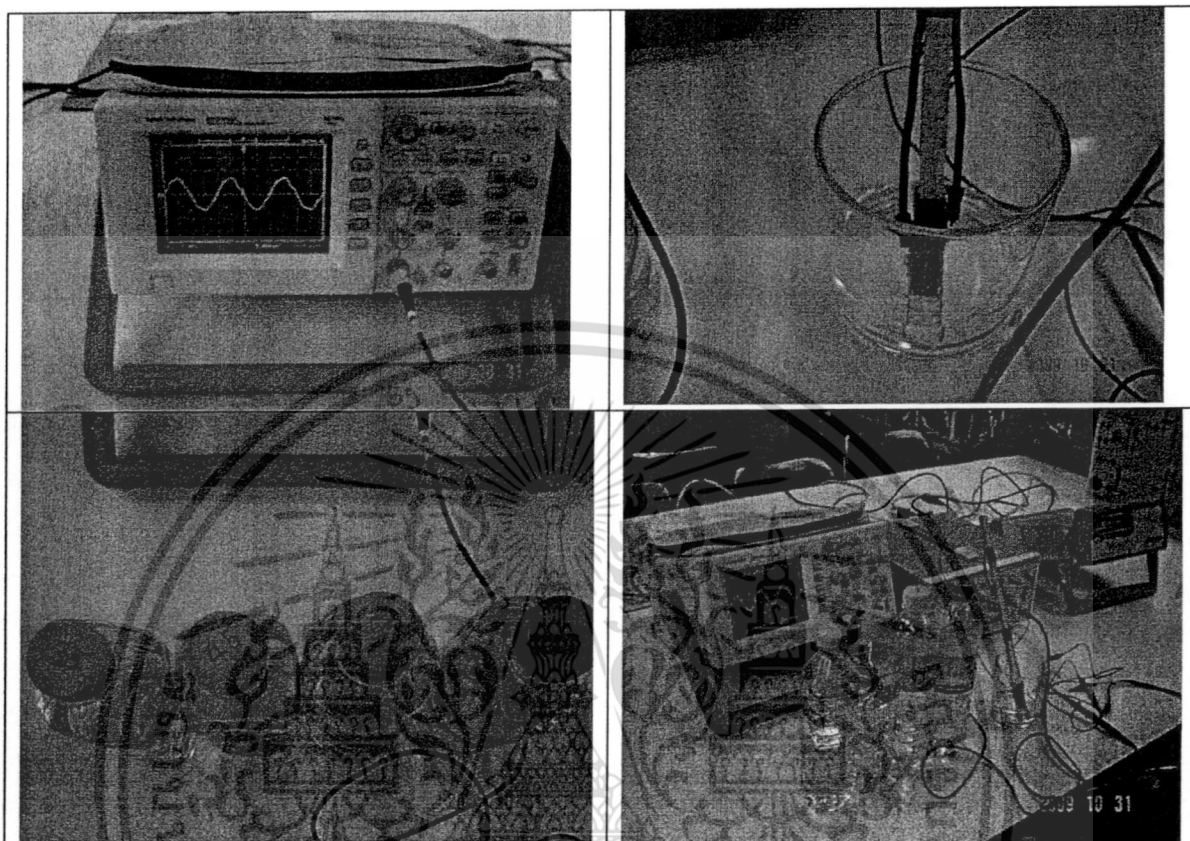
เหมาะสมที่ให้อาจสามารถระบุระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ดีจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 500 kHz จนถึง 2 MHz โดยประมาณ โดยลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณไม่มีผลต่อค่าของการวัดมากนัก ดังนั้นจึงเลือกคลื่นสัญญาณลักษณะ square wave เนื่องจากสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณง่ายกว่าแบบ sine wave โดยค่าความถี่ที่เหมาะสมที่สุดและนำไปใช้ในการออกแบบคือ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



รูปที่ 3.2 การวัดค่าทางไฟฟ้าในการทดลอง

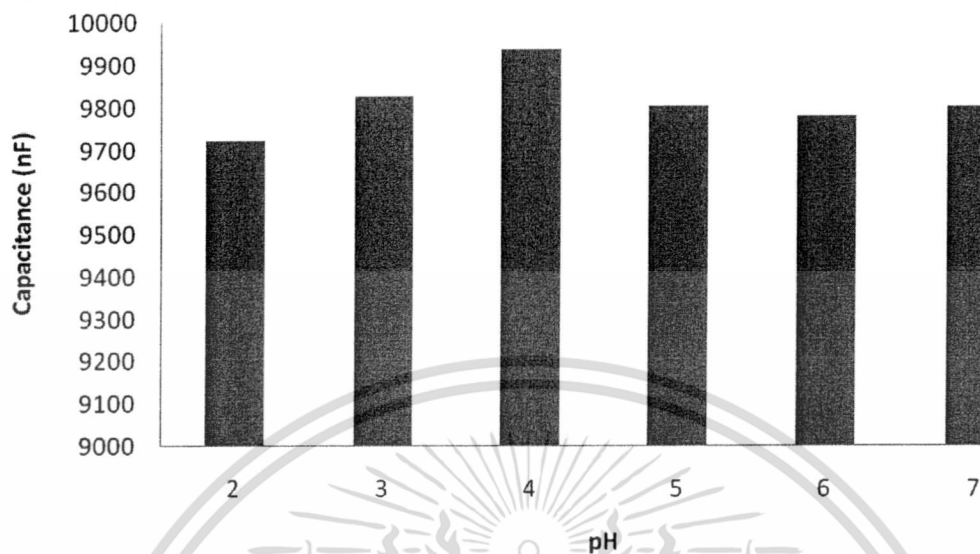
3.2.1.1 สารละลายกรด

เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่าง ๆ กันตั้งแต่ 2-7 และวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้าที่ pH ต่าง ๆ ลักษณะความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 โดยค่าความนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่า pH ในขณะที่ไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.5$) ของค่าความจุไฟฟ้า เนื่องจาก ลักษณะของหัววัดและหลักการทำงานที่แตกต่างกัน วัสดุของหัววัดที่นำมาใช้ในการตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้ามีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า สารละลายที่ทดสอบไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับหัววัดเนื่องจากมีฉนวนไฟฟ้ากั้นอยู่ ในขณะที่ลักษณะของหัววัดที่ใช้วัดค่าการนำไฟฟ้ามีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ 2 แผ่น ดังนั้น เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรดที่เปลี่ยนไปจึงส่งผลโดยตรงต่อค่าการนำไฟฟ้า

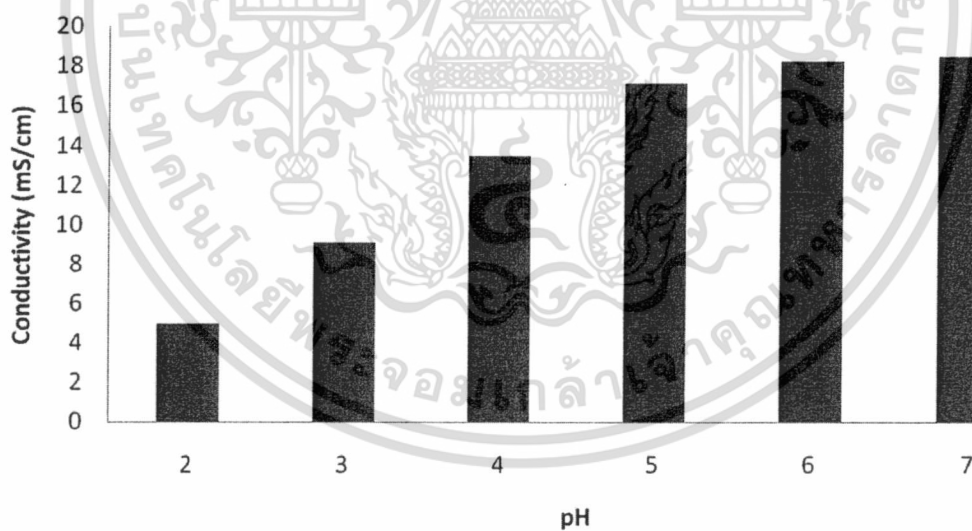


รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในการทดลองและห้วงวัดค่าการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ

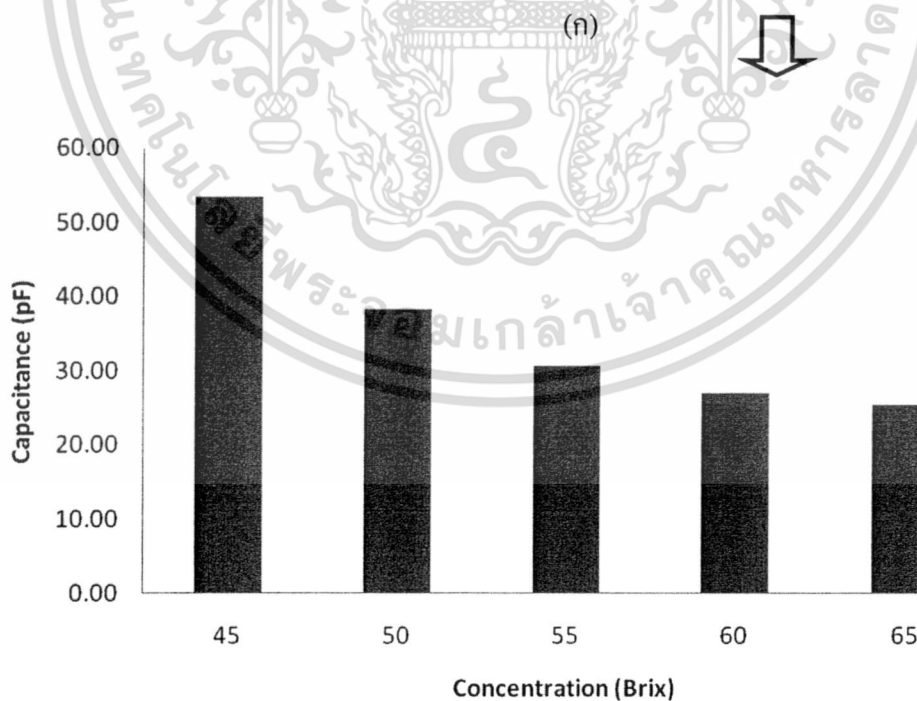
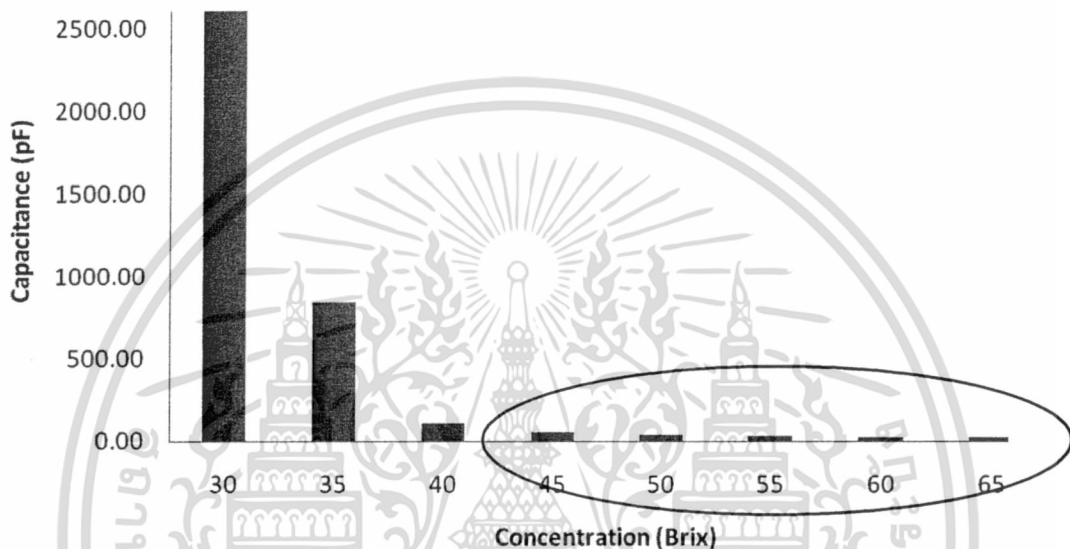


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายกรดที่ pH ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

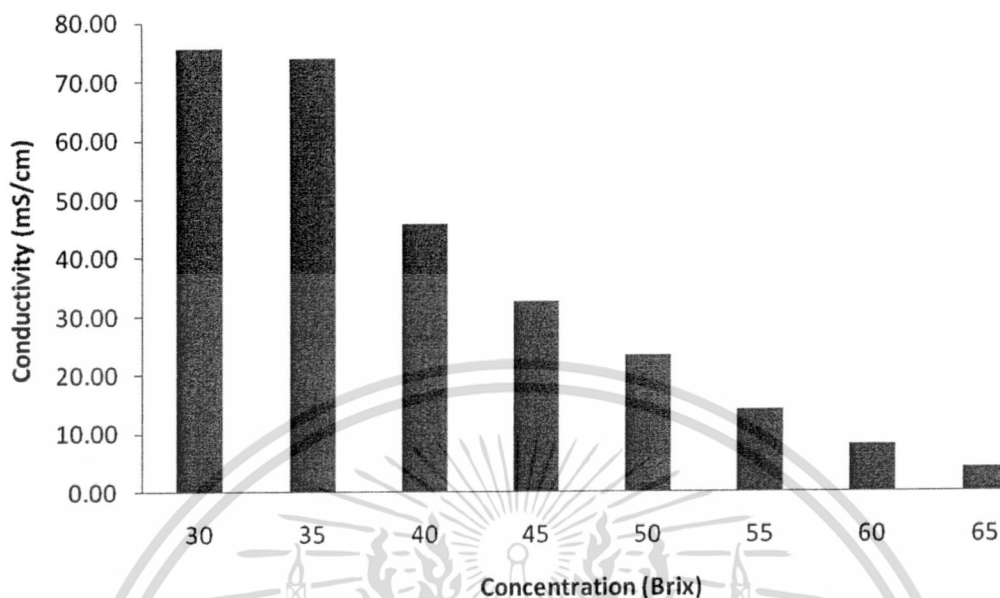
3.2.1.2 สารละลายน้ำตาล

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



(ข)

รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ

พิจารณาจากรูปที่ 3.6 และ 3.7 พบว่า ค่าความนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์อย่างเป็นเส้นตรงเชิงผกผันกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย โดยเมื่อสารละลายมีค่าความเข้มข้นมากขึ้นความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะมีค่าลดลงทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลพบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าความจุไฟฟ้ามีค่าลดลงหรือค่าไดอิเล็กตริกของตัวกลางมีค่าลดลงนั่นเอง ในช่วงความเข้มข้น 30-65 Brix นี้ สามารถแบ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความเข้มข้นออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วง 30-45 Brix และช่วง 45-65 Brix ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ก และ ข ตามลำดับ ซึ่งหากออกแบบเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นโดยอาศัยค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้า โดยใช้ค่าความถี่เดียวกันตลอดย่านการวัดจำเป็นต้องอาศัยการชดเชยในระบบควบคุม 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 องศาเซลเซียส วงจรอิเล็กทรอนิกส์ใน รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้และผู้เผยแพร่เห็นชอบที่จะเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่มีการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3.8 ได้รับการออกแบบสำหรับการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ที่ถูกออกแบบมาเพื่อสร้างความถี่ kHz 1-100 kHz เพื่อช่วยให้หัววัดเพื่อทำการวัดค่าความเข้มข้นและส่งผ่านให้วงจรแปลงสัญญาณเพื่อทำการประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ต่อไป

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

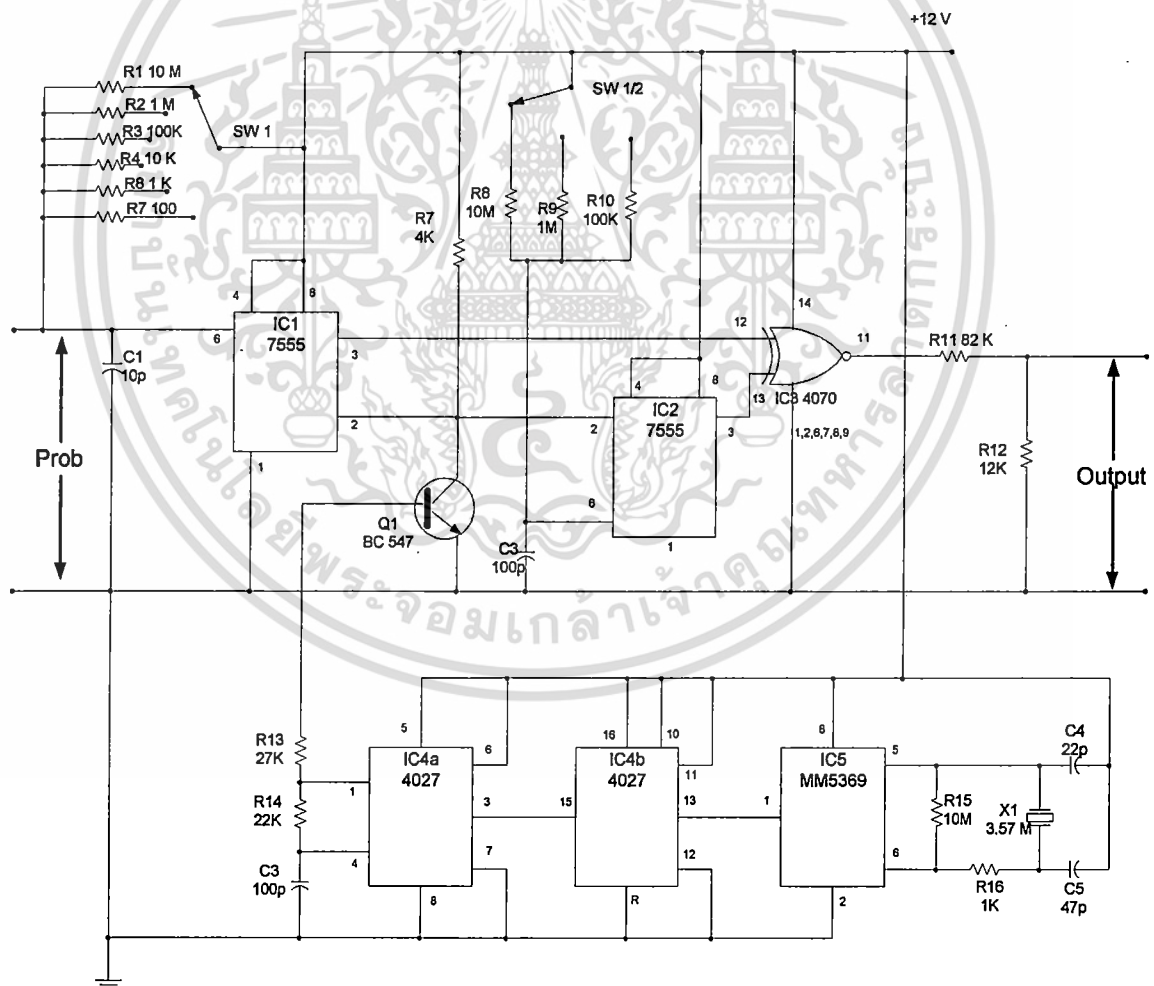


รูปที่ 3.8 แผงวงจรสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

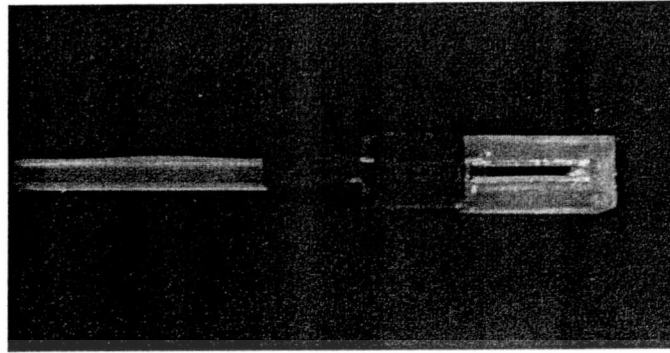
การออกแบบวงจรและหัววัด

จากการทดลองซ้ำกันหลายๆ ครั้งพบว่าหัววัดที่ออกแบบในครั้งแรกจะทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสารละลายที่มีส่วนประกอบของ ค่าความต้านทาน(Resistance) และค่าประจุไฟฟ้า (Capacitance) เมื่อใช้วัดกับสารละลายที่มีความเป็นกลาง (pH=7) จะสามารถทำได้ดี แต่เมื่อนำมาใช้กับสารละลายที่มีความเป็นกรด ส่งผลให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดเนื่องจากหัววัดส่วนที่เป็นโลหะถูกออกแบบให้สัมผัสกับสารละลาย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาหัววัดตัวใหม่ซึ่งไม่มีส่วนของโลหะที่สัมผัสกับสารละลาย โดยสนใจเฉพาะค่าประจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว จากนั้นได้ทำการทดลองกับสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นและค่า pH ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเครื่องมือวัดสามารถแยกค่าความแตกต่างได้ดี โดยตัดความสัมพันธ์ในเรื่องค่าความนำไฟฟ้าออกไป ผลจากการทดลองได้ทำการวัดค่าประจุไฟฟ้าของสารละลายที่ออกจากหัววัดตัวใหม่ที่ออกแบบขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 วงจรวัดค่าประจุไฟฟ้าสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผงวงจรและหัววัดต้นแบบที่สร้างขึ้นในการทดลอง

หลักการทำงานของวงจรประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือวงจรทรานซิสเตอร์ และวงจรโมโนสเตเบิล วงจรทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย IC5 และ IC4 โดยที่ IC5 จะกำเนิดสัญญาณความถี่ เมื่อนำเอาที่พุ่มนี้ป้อนให้กับ IC4 ทำหน้าที่เป็น โมโนสเตเบิล และปรับค่าความถี่ได้จากสวิทช์ ซึ่งเชื่อมต่อกับ R1-R6 เมื่อได้รับสัญญาณทรานซิสเตอร์พัลส์จาก Q1 จะได้สัญญาณที่มีความกว้างขึ้นอยู่กับค่า C_x ออกที่ขา 3 ป้อนให้กับวงจรเอกคลูซีฟเฟอร์ ผ่านไปยังตัว R11 เพื่อส่งสัญญาณให้กับส่วนการแสดงผลและประมวลผลบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

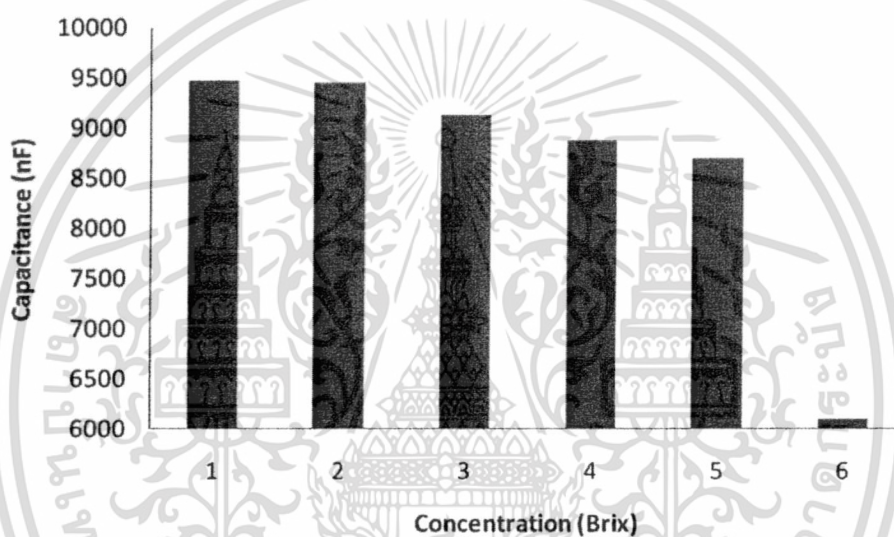
3.2.3 การทดสอบเครื่องมือตรวจวัดสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการผลิต (จากโรงงาน)

ค่าความจุไฟฟ้าในตารางที่ 3.2 ได้จากการหัววัดและวงจรที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 3.2.2 ส่วนค่าความนำไฟฟ้าได้จากมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า ค่า pH ที่ของสารละลายที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 3-4 จากผลกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.12 พบว่า ทั้งค่าความจุไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าความนำไฟฟ้าแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะการแยกความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ชัดเจนกว่าค่าความจุไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า pH พบว่า ค่าความนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามค่า pH ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองเบื้องต้นในหัวข้อที่ 3.2.1 ผลดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของค่าเอาท์พุท ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงยังคงยืนยันที่จะเลือกพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้น โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าและนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดที่พัฒนานี้ส่งเข้าสู่ระบบควบคุม เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติชนิดควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ ดังจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

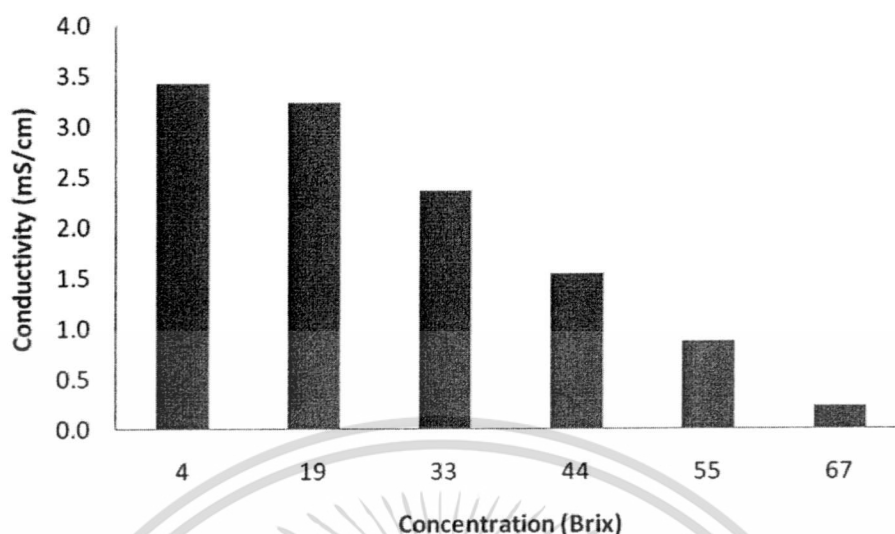
ตารางที่ 3.2 ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะละกอและน้ำแกนสับประรดที่ถึงแช่ที่ 1 2 และ 3

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
น้ำแกนสับประรด	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 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นใด ๆ

3.3 การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด PC-based Control

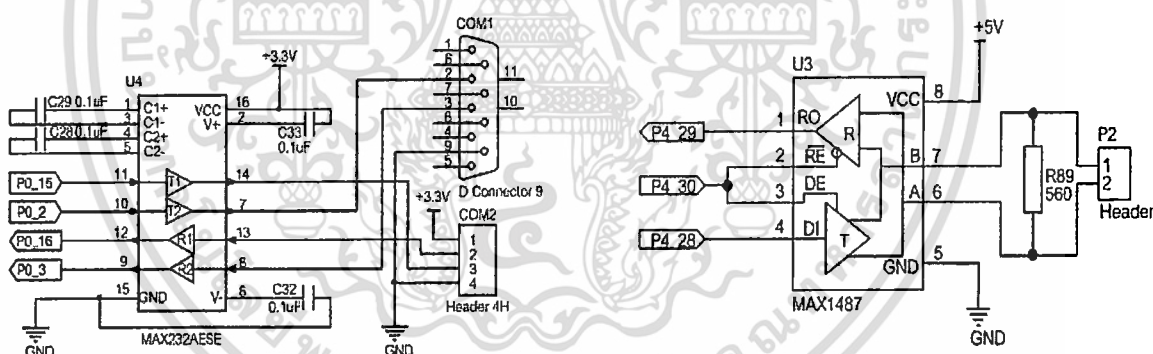
อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่น่าระบบการควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เนื่องจากปัจจุบันปริมาณความต้องการในการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทั้งในและต่างประเทศ ทำให้กระบวนการผลิตต้องปรับตัวให้สามารถผลิตได้ปริมาณมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาปรับใช้ในการแปรรูปอาหารระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายประเภทแบ่งตามขนาดของโรงงานได้แก่ DCS (Distributed Control System) เป็นเครื่องควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้น ส่วนเครื่อง PLC (Programmable Logic Controller) และ PC-based Control เหมาะสำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก

ระบบที่ทำการออกแบบดังรูปที่ 3.16 ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่กระจายการควบคุมผ่านพอร์ทอนุกรมเชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทระยะไกลที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีของไมโครโปรเซสเซอร์ โดยชุดกระจายการควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบอินพุทเอาต์พุทดิจิทัล และอินพุทเอาต์พุทแบบอนาลอก อินพุทแบบดิจิทัลจะใช้วงจรรอปโต้ไอโซเลท (Opto-Isolate) เพื่อป้องกันกระแสลัดวงจรหรือกระแสไฟฟ้าเกินจากภายนอกเข้ามาทำลายวงจร ส่วนเอาต์พุทดิจิทัลจะเป็นแบบหน้าสัมผัสรีเลย์ สามารถตอบสนองอุปกรณ์เอาต์พุทที่ใช้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับอินพุทแบบอนาลอกจะเชื่อมต่อกับตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 12 บิตที่สามารถตอบสนองการอ่านค่าจากอุปกรณ์การวัดค่าความเข้มข้นได้เป็นอย่างดี การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลต่างๆ เป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน EIA (Electronics Institute Association) แบบ RS 485 สามารถเชื่อมในระยะไกลถึง 4000 ฟุต ด้วยสายคู่ตีเกลียว จะเห็นได้ว่าระบบที่ออกแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการขยายจุดควบคุม และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนหรือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

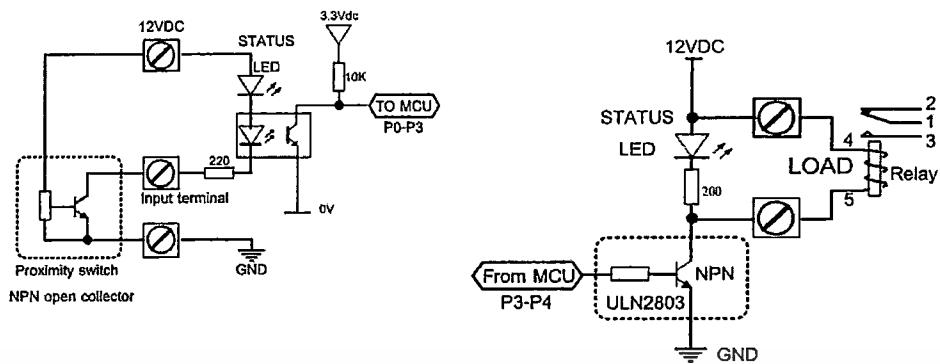
การโปรแกรมการทำงานสามารถสั่งการควบคุมได้ตามเงื่อนไขของข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารที่สร้างขึ้นเพื่อรับสัญญาณจากอินพุตและส่งสัญญาณเอาต์พุตและสามารถกระจายจุดควบคุมได้ทั้งหมด 32 จุด ซึ่งในแต่ละจุดสามารถสร้างให้มีจุดควบคุมได้ 16 อินพุต และ 16 เอาต์พุต และอนุลอกอินพุตจำนวน 4 ช่อง

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบและควบคุม (Control and monitoring) เชื่อมต่อไปยังจุดควบคุมผ่านพอร์ทอนุกรมไปยังตัวแปลงสัญญาณจาก RS 232 เป็น RS 485 ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารแบบหลายจุด (Multi-points communication) และจะเชื่อมต่อกับชุดกระจายการควบคุม อุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตแบบดิจิทัลจะถูกใช้ในการสั่งงานเปิดปิดวาล์วและปั๊ม ส่วนอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตแบบอนาลอกจะถูกเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลาย และตัวตรวจวัดค่า pH ในการทดสอบการทำงานเบื้องต้นในรูปที่ 3.17 ได้ทำการจำลองสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อดูความเร็วในการตอบสนองการทำงานและฟังก์ชันในการทำงาน

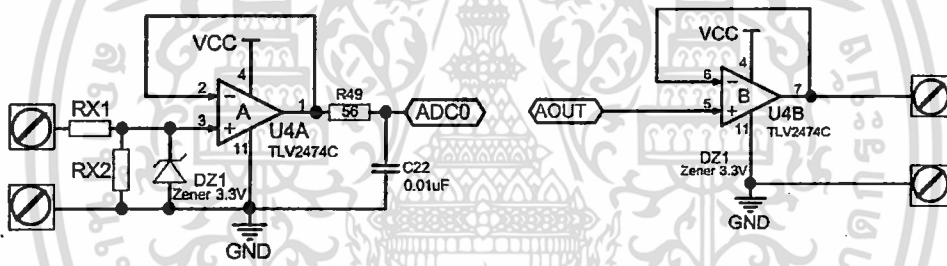


รูปที่ 3.13 วงจรอินเทอร์เฟซแบบอนุกรม RS232 และ RS485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

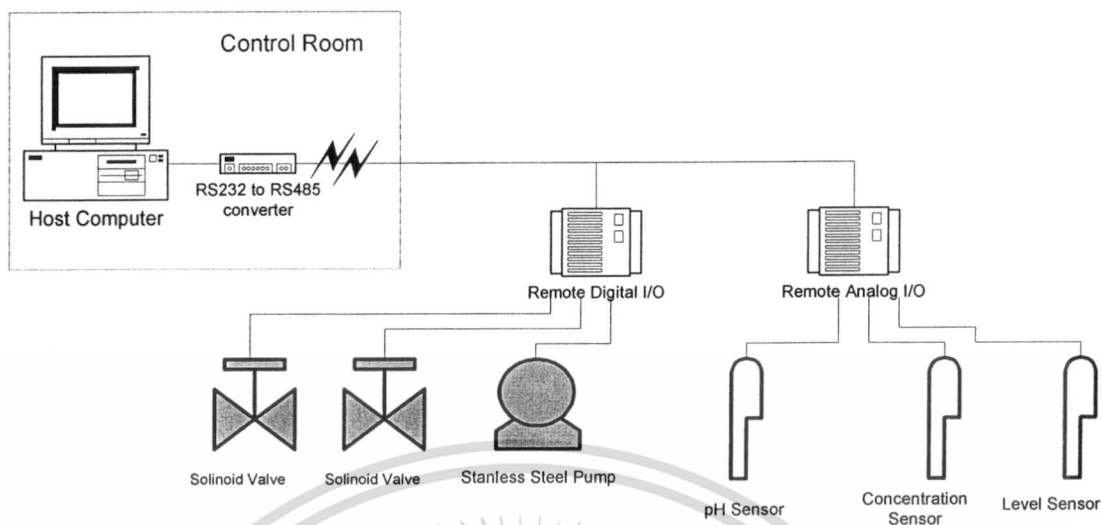


รูปที่ 3.14 วงจรอินพุทและเอาต์พุทแบบดิจิทัล

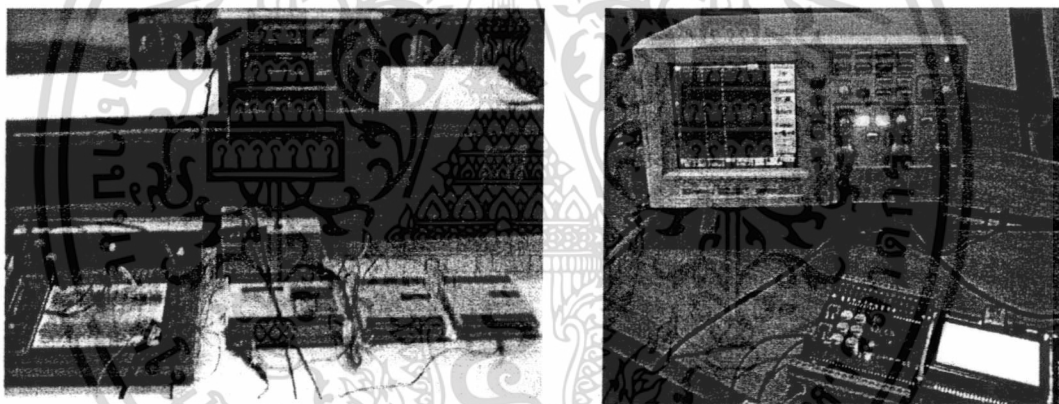


รูปที่ 3.15 วงจรอินพุทและเอาต์พุทแบบอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ฟังก์การทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

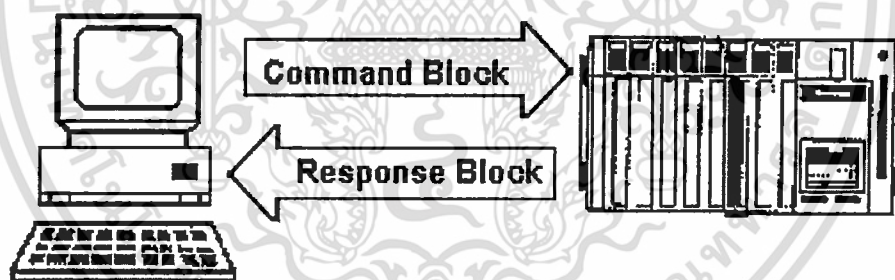


รูปที่ 3.17 การทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานบนพื้นฐานคอมพิวเตอร์

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกพัฒนาบนไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือระบบสมองกลฝังตัว ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทางด้านอินพุท ได้แก่ เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดค่า pH เครื่องมือวัดระดับ และ อุปกรณ์ตรวจจับอื่นๆ ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุท ได้แก่ มอเตอร์ใบกวน ปั่นน้ำ และ โซลินอยล์วาล์ว โปรแกรมนี้พัฒนาด้วยภาษาแอสแซมบลีของ MCS 51 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ผ่านหน่วยความจำของตัวควบคุมโดยอาศัยข้อตกลงในการติดต่อสื่อสาร (Communication Protocol) ที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ในการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถออกแบบฮาร์ดแวร์ให้รองรับการเชื่อมต่อแบบหลายจุดได้ (Multi-drop) โดยฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นอาศัยการติดต่อสื่อสารแบบ RS 485 ที่สามารถเชื่อมต่อได้ 32 จุด ผ่านสายคู่ตีเกลียว ระยะทางของสายสัญญาณทำได้สูงสุด 4000 ฟุต ความเร็วในการรับส่งข้อมูลอยู่ 9600 บิตต่อวินาที การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับชุดควบคุมนี้จะเป็นลักษณะ การส่งคำสั่งหรือการร้องขอไปยังตัวเป้าหมายก่อน จากนั้นจะรอการตอบรับกลับ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล จึงมีการออกแบบให้ตรวจสอบความผิดพลาดด้วยวิธี Frame Check Sequence (FCS)



รูปที่ 3.18 การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบควบคุม

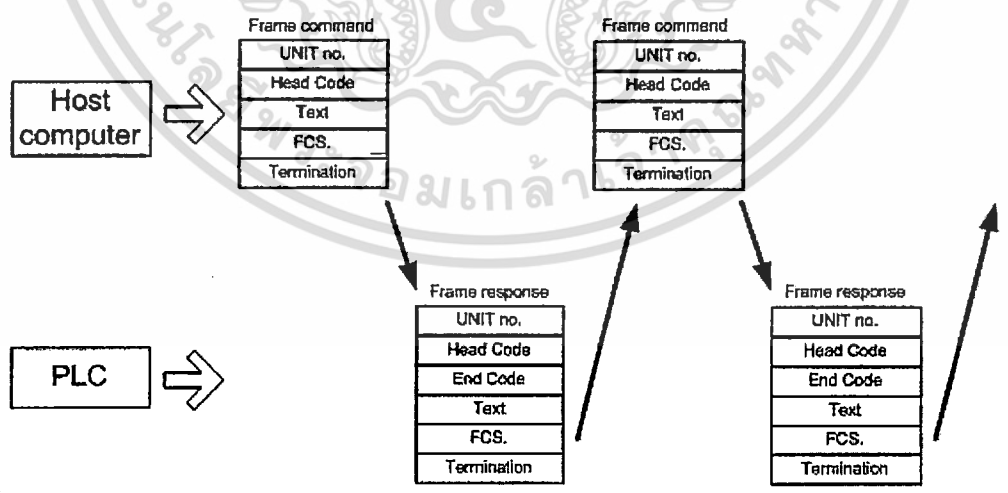
การคำนวณ FCS

FCS หรือ Frame Check Sequence วิธีนี้จะตรวจสอบลำดับของเฟรมข้อมูล โดยนำมาคำนวณ XOR ในแต่ละไบต์จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้เมื่อข้อมูลตรงกันแสดงว่าข้อมูลถูกต้อง เป็นสิ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของ การ สื่อสาร เป็นการเปลี่ยนข้อมูล 8 บิต เป็น 2 ตัวอักษรข้อมูล ASCII แล้วนำมาทำการจับคู่ EXCLUSIVE OR (XOR) โดยเริ่มจาก @ จนถึง ตัวอักษรตัวสุดท้ายของ TEXT ดังตัวอย่างในการคำนวณดังตารางที่ 3.3 ตัวอย่าง การคำนวณ 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 เอกสารประกอบเอกสารที่ส่งวันเวลาให้รับในเฟรมที่คอยทำหน้าที่ เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

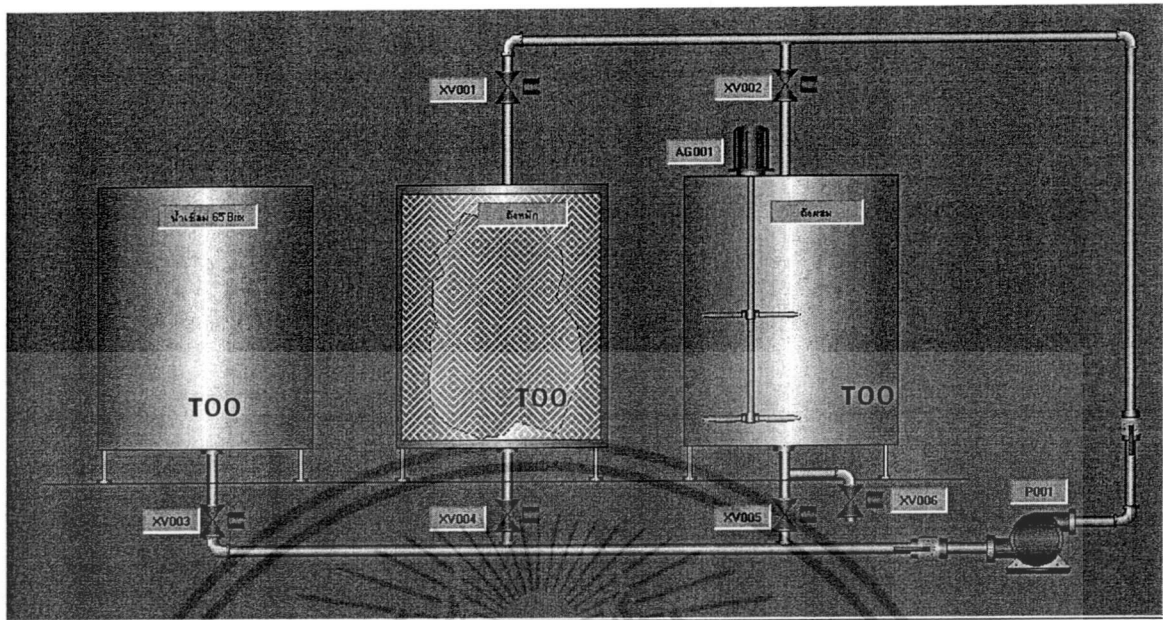
- @ ใช้เริ่มต้นการติดต่อสื่อสาร
- Unit No., ระบุปลายทางของชุดควบคุมหรือชุดอินพุตสัญญาณ (00 - 31)
- Header code, ชุดของคำสั่งที่ใช้ประกอบด้วยอักขระจำนวน 2 ตัว ดังความหมายต่อไปนี้
RD คือ อ่านข้อมูลดิจิทัล RA คืออ่านข้อมูลอนาล็อก และ WA คือเขียนข้อมูลดิจิทัล และ
WA คือเขียนข้อมูลอนาล็อก
- End code, ผลการแจ้งกลับของคำสั่งตอบสนอง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

ส่วนที่ 2 คือการพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์โดยใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ สำหรับใช้ในการตรวจสอบสถานะและสั่งควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ ที่พัฒนาให้ใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ พัฒนาด้วยโปรแกรม Delphi เพื่อให้ทำงานร่วมกับเครื่องควบคุมที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS 232 และเชื่อมต่อผ่านตัวแปลงสัญญาณให้เป็น RS 485 เพื่อให้การติดต่อสื่อสารทำได้ระยะทางไกลขึ้น จาก 50 ฟุต เป็น 4000 ฟุต โดยที่ผู้ใช้สามารถปฏิบัติงานอยู่ในห้องควบคุมโดยสั่งการและตรวจสอบสถานะการทำงานได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ตั้งขึ้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.20 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ

ขั้นตอนการทำงานของระบบ

1. เตรียมสารละลายน้ำตาล ค่าความหวาน 65 Brix ที่ถัง T001
2. จ่ายไฟให้กับระบบ กดปุ่ม PB Start
3. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV001 XV002 XV003 XV004 XV005 XV006 อยู่ในตำแหน่งปิด
4. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV002, XV003 อยู่ในตำแหน่งเปิด
5. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ปั๊ม P001 ทำงาน เพื่อที่จะส่งสารละลายน้ำเชื่อม 65 Brix ไปที่ถัง T003 เมื่อถึงระดับที่ LI001 ที่ตั้งค่าไว้จะหยุด P001 ทำงาน Valve XV002, XV003 อยู่ในตำแหน่งปิด
6. กดปุ่ม PB Start AG001 โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ AG001 ทำงาน ทำการเติมน้ำเปล่าที่เตรียมไว้ลงในถัง T003 ตามที่คำนวณไว้เพื่อให้ได้ค่าความหวานของน้ำเชื่อมอยู่ที่ 35 Brix PB Stop AG001 จะหยุดทำงาน
7. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV001 XV005 อยู่ในตำแหน่งเปิด
8. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ปั๊ม P001 ทำงาน เมื่อได้ระดับที่ต้องการให้สั่งหยุด P001
9. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV001 XV005 อยู่ในตำแหน่งปิด
10. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ลงในถัง T002 เก็บค่าบันทึกผล เช่น ค่าความหวาน pH อุณหภูมิ เมื่อค่าความหวานลดลงระบบจะทำงานอัตโนมัติ โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV001 XV005 อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

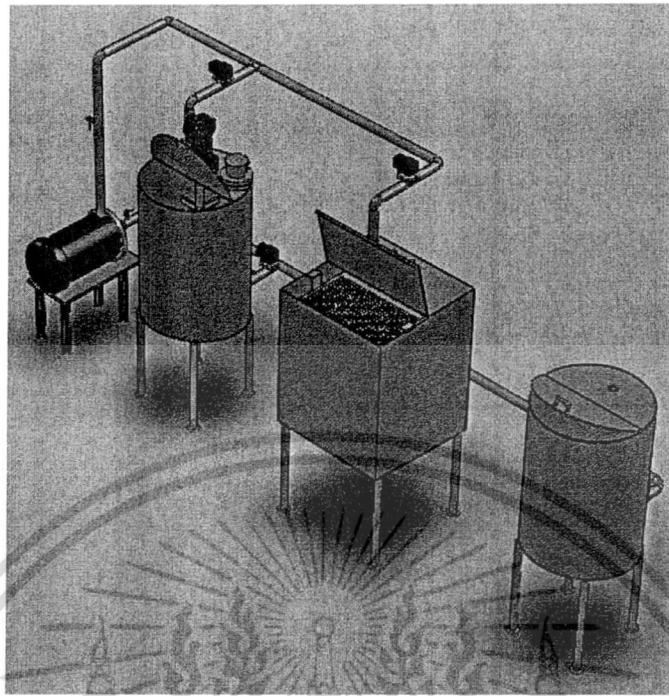
ในตำแหน่งเปิดเพื่อเติมน้ำเชื่อมในถัง T003 ไปที่ ถัง T002 เมื่อได้ผลการทดลองตามที่ต้องการแล้ว ก็จะ Drain น้ำเชื่อมออกจากถัง T002

11. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV002 XV004 อยู่ในตำแหน่งเปิด
12. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ปั๊ม P001 ทำงาน เมื่อน้ำเชื่อมออกจากถัง T002หมดแล้วให้หยุดปั๊ม P001
13. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV002 XV004 อยู่ในตำแหน่งปิด
15. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV006 อยู่ในตำแหน่งเปิดก็จะ Drain น้ำเชื่อมออกจากถัง T003
16. เมื่อ Drain น้ำเชื่อมออกจากถัง T003 หมด โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV006 อยู่ในตำแหน่งปิด
17. กลับไปที่ซ้ำ ลำดับ 4 แต่เปลี่ยนค่าความหวานของน้ำเชื่อมอยู่ที่ 45 Brix จนถึง ลำดับ 16
18. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV001, XV003 อยู่ในตำแหน่งเปิด
19. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ P001 ทำงาน เมื่อได้ระดับที่ต้องการให้หยุดทำงาน
20. โปรแกรมควบคุมสั่งการทำงานให้ Valve XV001, XV003 อยู่ในตำแหน่งปิด
21. นำวัสดุคิปที่เตรียมไว้ลงในถัง T002 เก็บค่าบันทึกผล เช่น ค่าความหวาน pH อุณหภูมิ บันทึกผลการทดลอง

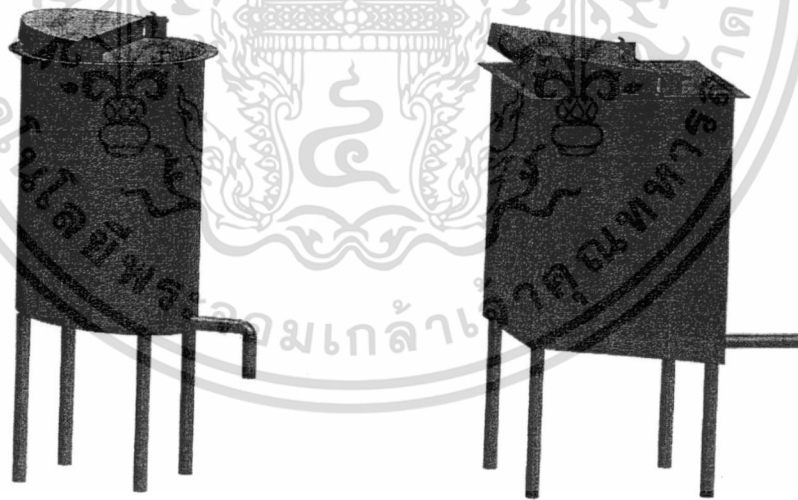
3.5 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติ

จากการร่วมประชุมกับผู้เชี่ยวชาญของโรงงานเมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2553 เพื่อร่วมกันหารือเรื่องการออกแบบระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก พบว่ากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงควรเป็นดังรูปที่ 3.22 โดยทำการปรับปรุงจากกระบวนการต้นแบบ (ดูรูปที่ 3.1) ให้มีถังจากสามถังเหลือเพียงสองถัง ถังแรกจะทำการปรับค่าความเข้มข้นเริ่มจาก 40 องศาบริกซ์ และระบบวัดและควบคุมจะทำหน้าตรวจวัดค่าและปรับค่าความเข้มข้นให้คงตลอดจนอัตราการถ่ายเทมวลเริ่มคงที่ ระบบจะทำการปรับค่าความเข้มข้นให้เป็น 50 องศาบริกซ์ และทำเช่นเดียวกันจนเสร็จกระบวนการ จากนั้นทำการเปลี่ยนถังมาถังที่มีความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ กระบวนการนี้จะทำเช่นเดียวกัน แต่การทดสอบจะกระทำกับตัวอย่างเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ น้ำเชื่อมที่ถูกถ่ายออกจะถูกนำมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการระเหยด้วยความร้อน และปรับปรุงคุณภาพทางด้านสีของสารละลาย นำมาเก็บไว้ที่ถังเก็บเพื่อการใช้งานในรอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

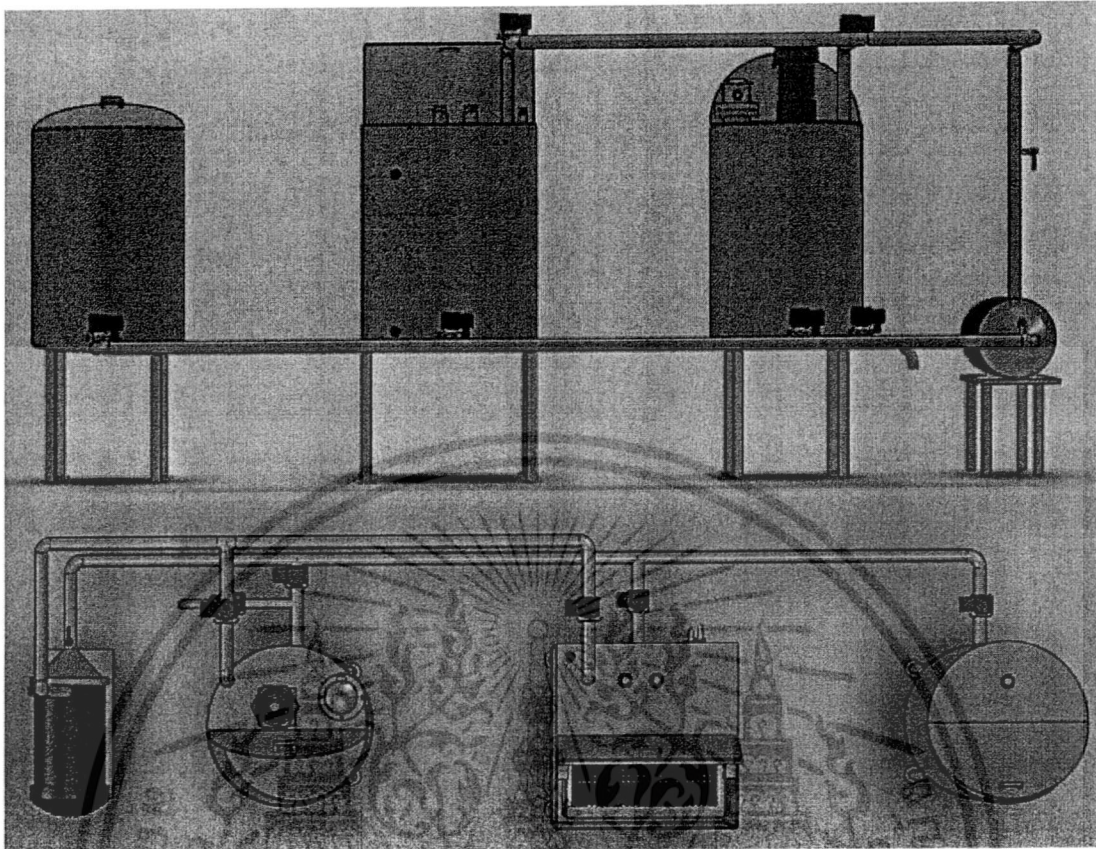


รูปที่ 3.22 ระบบออสโมติกแบบสามมิติ



รูปที่ 3.23 ถังแช่และถังเก็บสารละลายออสโมติก

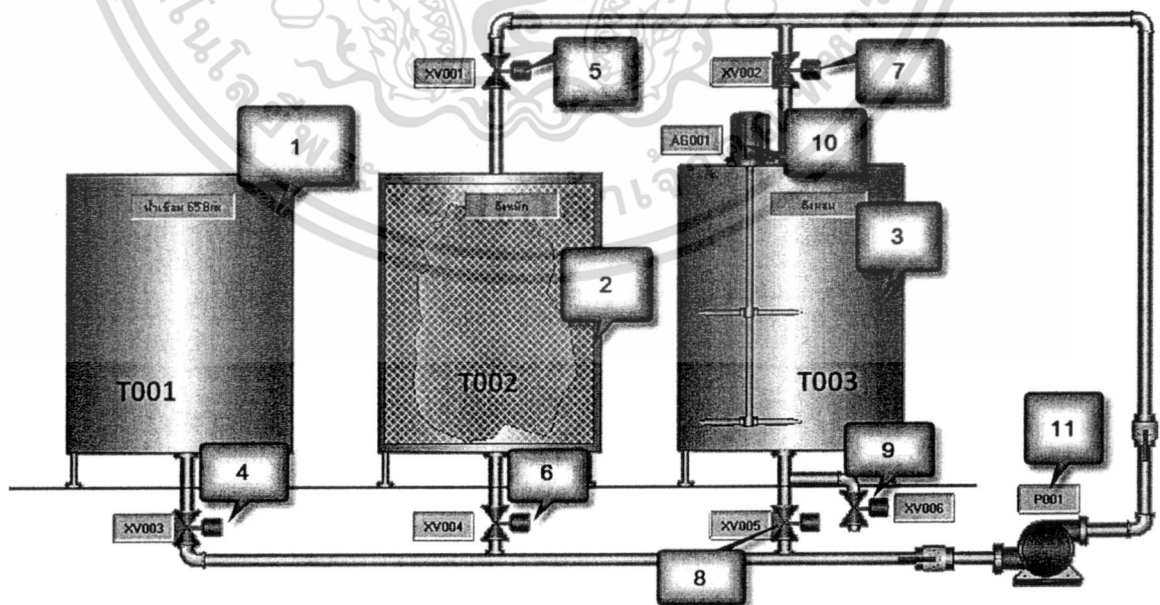
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ระบบออสโมติกด้านหลังและด้านบน

รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแสดงดังรูปที่ 3.25 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.25 ส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงส่วนประกอบของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

ลำดับ	โครงสร้าง	ขนาด
1	ถังเก็บสารละลายความเข้มข้น 65 Brix	ถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง ชม.
2	ถังผสมสารละลายน้ำตาล	ถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง ชม.
3	ถังแช่ออสโมติก	ถึงขนาด 35 x 52 x 17 ชม.
4-9	โซลินอยล์วาล์ว	ขนาด ½ นิ้ว แรงดัน 220 โวลท์
10	มอเตอร์ใบกวน	ขนาด 65 W แรงดัน 220 โวลท์
11	ปั้มน้ำสแตนเลสและมอเตอร์ไฟฟ้า	ขนาด 0.75 kW 3 เฟส แรงดัน 380 โวลท์

1. ถังเก็บสารละลาย

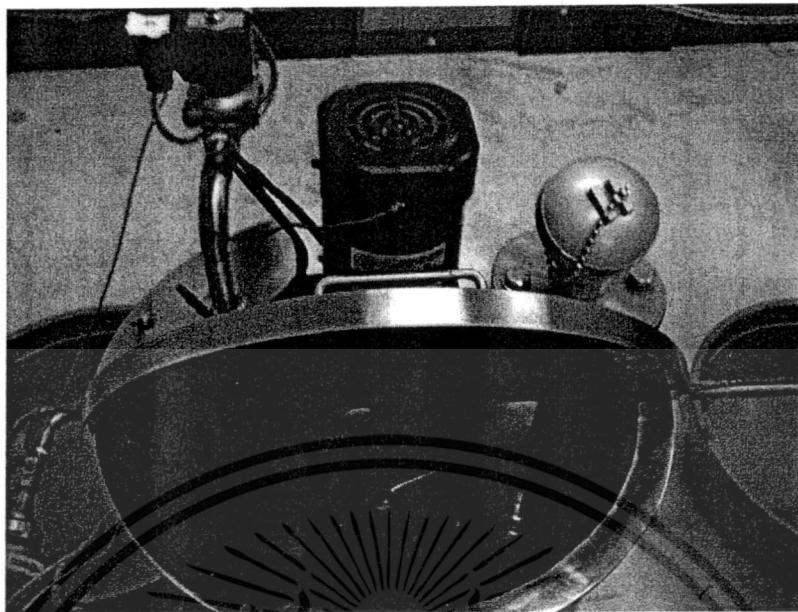
ถังเก็บสารละลายความเข้มข้น 65 Brix ทำด้วยสแตนเลสเป็นถังรูปทรงกระบอกบริเวณฐานทำเป็นโค้งเพื่อลดการสะสมของอาหารและน้ำเชื่อม ถึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง ชม. ทางด้านบนมีฝาปิดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากภายนอก

2. ถังผสมสารละลาย

ถังผสมสารละลาย (รูปที่ 3.26) เพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายให้ได้ตามที่ต้องการ ตัวถังทำด้วยสแตนเลสเป็นถังรูปทรงกระบอกบริเวณฐานทำเป็นโค้งเพื่อลดการสะสมของน้ำเชื่อม ถึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูง ชม. ทางด้านบนมีฝาปิดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากภายนอก ติดตั้งมอเตอร์ใบกวนผสมไว้ที่บริเวณฝาถัง (รูปที่ 3.27) ลักษณะของใบกวนดังแสดงในรูปที่ 3.28 ภายในถังติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับแบบต่อเนื่องชนิดลูกลอย ดังแสดงในรูปที่ 3.29

3. ถังแช่ออสโมติก

ถังสำหรับใส่ตัวอย่างทำด้วยสแตนเลสออกแบบให้เป็นทรงเหลี่ยมขนาด กว้าง ยาว สูง ชม. ด้านข้างถูกกันไว้สำหรับใส่อุปกรณ์วัดได้แก่ หัววัดค่า pH หัววัดค่าความเข้มข้น และ เซนเซอร์วัดระดับ ส่วนที่ใช้สำหรับใส่ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นตระแกรงเพื่อให้สารละลายสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี รูปถังแช่และตระแกรงสำหรับบรรจุตัวอย่างอาหารแสดงดังรูปที่ 3.30 ภายในถังแช่ติดตั้งหัววัดค่าความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 3.31 ส่วนรูปที่ 3.32 แสดงเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเมื่อนำมาใช้กับระบบ

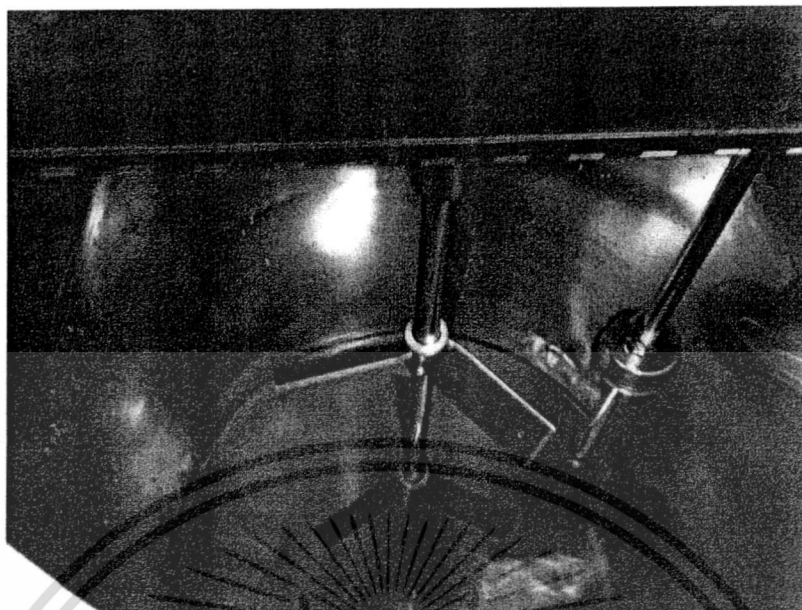


รูปที่ 3.26 ถังผสม



รูปที่ 3.27 มอเตอร์ใบกวนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

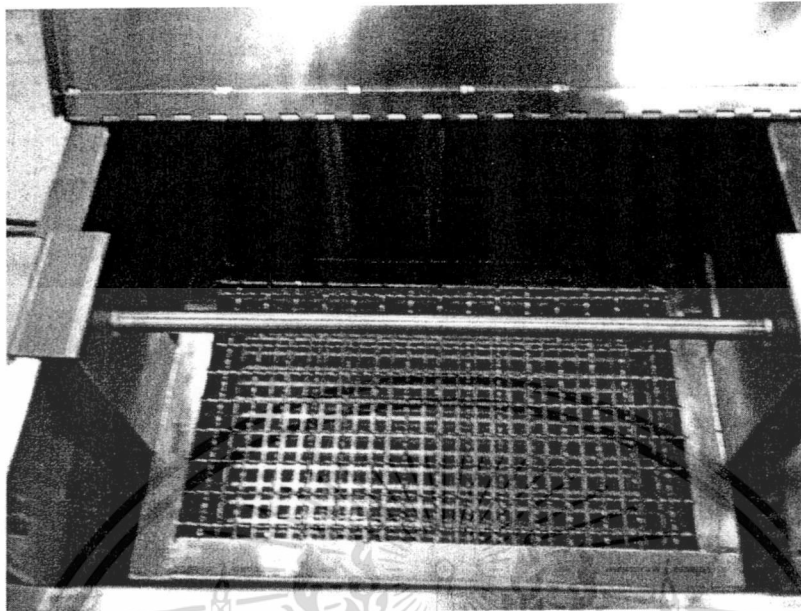


รูปที่ 3.28 ใบกวนผสม



รูปที่ 3.29 เครื่องมือวัดระดับชนิดตุลกลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

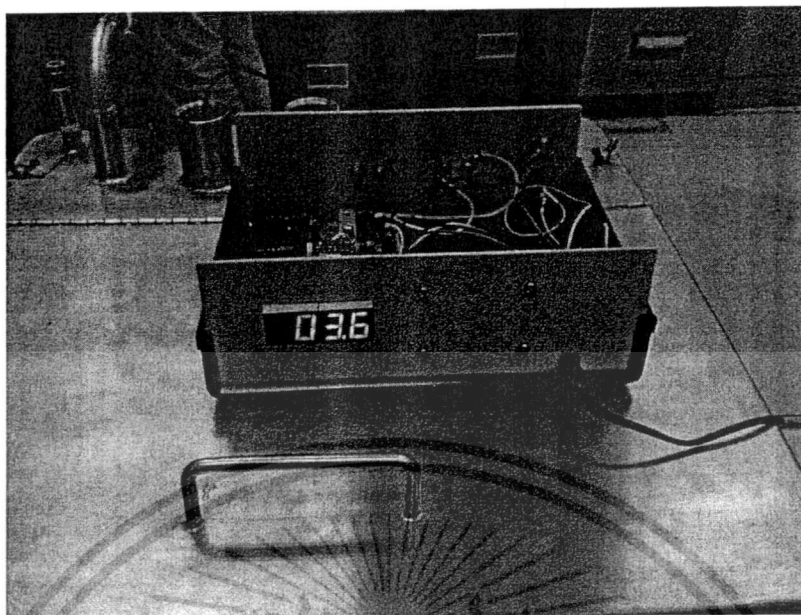


รูปที่ 3.30 ถังและตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่าง



รูปที่ 3.31 การติดตั้งหัววัดความเข้มข้นลงถังออกสโมคิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 เครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเมื่อนำมาใช้กับระบบ



รูปที่ 3.33 โซลินอยด์วาล์วขนาด 1/2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-9 ระบบท่อและโซลินอยล์วาล์ว

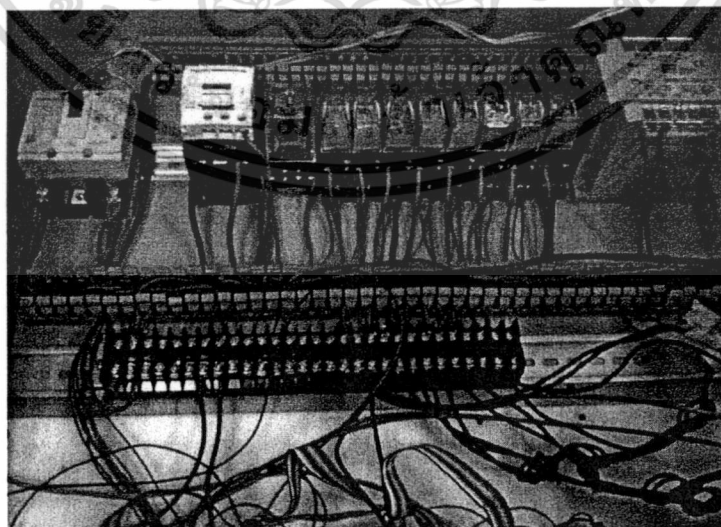
ท่อภายในระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติทำด้วยสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ $\frac{1}{2}$ " ควบคุมทิศทางการไหลของของไหลภายในท่อด้วยระบบการเปิดปิดวาล์ว (ON-OFF) โดยใช้โซลินอยล์วาล์ว ภายในระบบมีโซลินอยล์วาล์วทั้งสิ้นจำนวน 6 ตัว ลักษณะของโซลินอยล์วาล์วดังแสดงในรูปที่ 3.33

11. ปั้มน้ำสแตนเลสและมอเตอร์ไฟฟ้า

ปั้มน้ำสแตนเลสที่ใช้ในกระบวนการออสโมติกมีขนาด 0.75 แรงม้า แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ควบคุมความเร็วให้เหมาะสมด้วยอินเวอร์เตอร์ และสั่งการอัตโนมัติจากระบบควบคุม

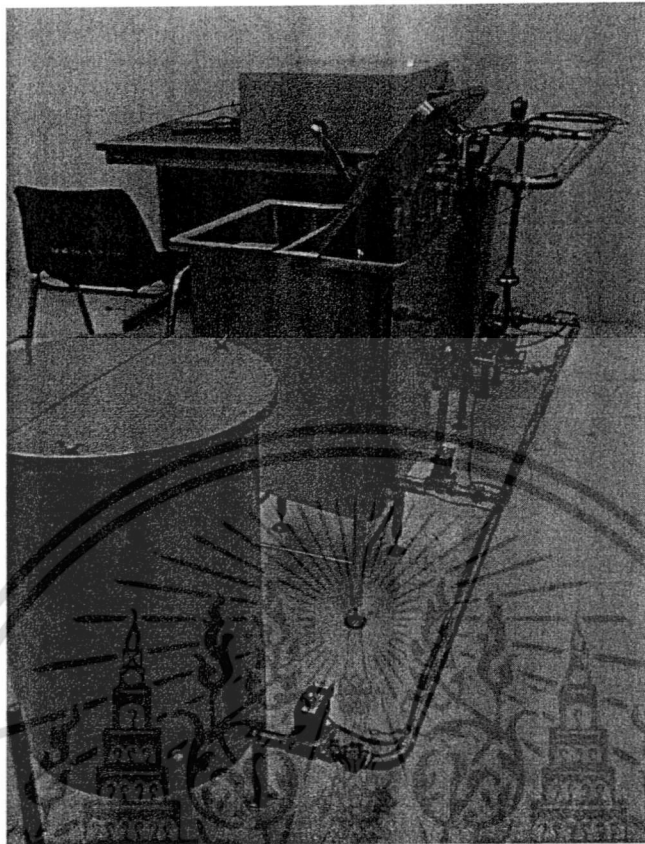
มอเตอร์ไฟฟ้าที่เลือกใช้ คือ มอเตอร์เกียร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาด 1/2 แรงม้า (0.4 kW) 10 แอมป์ 380 โวลต์ 50 Hz

นอกจากระบบดังกล่าวข้างต้นแล้ว ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือตู้ควบคุมหรือระบบควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3.34 ภายในตู้ควบคุมวงจรไฟฟ้าประกอบด้วย สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ มอเตอร์ใบกวน และ โซลินอยล์วาล์ว ซึ่งสั่งงานอัตโนมัติผ่านชุดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และรีเลย์ ที่ทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงได้ มอเตอร์สำหรับปั้มน้ำ เป็นมอเตอร์สามเฟสที่ควบคุมความเร็วให้เหมาะสมด้วย อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของอินคักชั่นมอเตอร์ โดยใช้หลักการเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ยี่ห้อ GAVAZZI รุ่น Variflex 220 V 1 phase to 3 phases 0.75 kW (0.5 Hp) ความถี่ที่รองรับได้ 50-60 Hz



รูปที่ 3.34 ตู้ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.6 การทำงานของระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติ

ระบบแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกแบบอัตโนมัติประกอบด้วยถัง 3 ถัง ดังนี้

- ถังเก็บสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65 Brix
- ถังแช่อาหารและสารละลายน้ำตาล
- ถังผสมน้ำเชื่อม

ระบบเริ่มต้นด้วยการเตรียมน้ำเชื่อมความเข้มข้น 65 Brix บรรจุไว้ในถังเก็บสารละลาย จากนั้นผสมสารละลายความเข้มข้น 65 Brix ดังกล่าวด้วยน้ำสะอาด ปรับให้ได้ความเข้มข้นระดับที่ 1 เท่ากับ 30 Brix จากนั้นปั้มน้ำเชื่อมความเข้มข้นที่ผสมในถังผสมเข้าถังแช่ ในระหว่างกระบวนการออสโมติกน้ำจากตัวอย่างอาหารที่แช่จะเคลื่อนที่สู่สารละลายส่งผลให้ความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลลดลง เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นทำการตรวจสอบความเข้มข้น เมื่อระบบตรวจพบว่าความเข้มข้นลดลงกว่าที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการปั้มน้ำเชื่อมออกจากถังแช่เข้าถังผสม และทำการปั้มน้ำเชื่อมความเข้มข้น 65 Brix เข้าผสมเพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายให้สูงขึ้นเท่าเดิม เมื่ออัตราการถ่ายเทมวลลดลง ระบบจะทำการผสมน้ำเชื่อมเข้าสู่ระดับที่ 2 เท่ากับ 40 Brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำเช่นนี้เช่นเดิมกับความเข้มข้นระดับที่ 1 เท่ากับ 30 Brix เมื่ออัตราการถ่ายเทมวลในระดับที่ 2 เข้าใกล้สู่ภาวะสมดุลจะทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเข้าสู่ระดับที่ 3 เท่ากับ 50 Brix ระดับที่ 4 เท่ากับ 60 Brix และระดับสุดท้าย เท่ากับ 65 หรือ 70 Brix ขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแปรรูป ระบบจะทำการปรับความเข้มข้นอย่างอัตโนมัติจนเสร็จสิ้นกระบวนการแปรรูป

3.7 การทดสอบการทำงาน

เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ออกแบบสามารถแยกความเข้มข้นได้ตามเงื่อนไขของกระบวนการควบคุม โดยจำเป็นจะต้องทำการสอบเทียบและปรับค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สอดคล้องกับค่าจริง ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดเป็นค่าตัวเลข BCD ที่เป็นอินพุตเพื่อป้อนให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้การ Look up table ที่ได้ปรับแต่งค่าจากกระบวนการจริง ค่าที่วัดได้ยังมีความอ่อนไหวต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้ามารบกวนแต่อาศัยการปรับแต่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็สามารถแก้ปัญหาได้

ระบบควบคุมบนคอมพิวเตอร์(PC Based Control system) สามารถรับสัญญาณจากอินพุตจากอุปกรณ์ตรวจจับ และเครื่องมือวัดโดยผ่านทางดิจิทัลอินพุต และ อนุล็อกอินพุต และส่งสัญญาณควบคุมผ่านเอาต์พุตแบบดิจิทัล ได้ในระยะไกลผ่านการติดต่อสื่อสารอนุกรม RS 485 นอกจากนี้จะสามารถควบคุมได้ตามเงื่อนไขแล้ว ยังสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานได้ถูกต้อง และการประมวลผลมีความเร็วเพียงพอกับการควบคุมการทำงาน

จากการทดสอบพบว่า เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นอาศัยหลักการทางไฟฟ้านี้สามารถใช้สำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ดีในช่วงความเข้มข้น 30-65 Brix ซึ่งเป็นช่วงใช้งานในกระบวนการออสโมติกผลไม้อื่น เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้งานร่วมกับระบบควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สอดคล้องกับค่าจริง ก่อนการใช้งานควรต้องทำการสอบเทียบและปรับแต่งค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อชดเชยค่าที่ได้จากการตรวจวัดซึ่งเป็นปัญหาเนื่องจากความไวต่อสัญญาณรบกวน เนื่องจากเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายนี้พัฒนาด้วยหลักการทางไฟฟ้า ในระหว่างกระบวนการออสโมติกสารละลายมีการปรับเปลี่ยนสภาพความเป็นกรด-ด่าง รวมถึงการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นน้ำตาลอินเวอร์ต ซึ่งทั้งสองปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางไฟฟ้าของสารละลาย ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้อาจเกิดการผิดพลาด สามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดความเข้มข้นที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสำหรับการใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในระหว่างกระบวนการเตรียมสารละลายใหม่ หรือหากต้องการนำไปใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายในระหว่างกระบวนการออสโมติกสามารถใช้ได้เช่นกัน โดยจำเป็นต้องทำการชดเชยและปรับแต่งค่าให้เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละผลิตภัณฑ์ทุกครั้งก่อนการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ออกแบบสามารถแยกความเข้มข้นได้ตามเงื่อนไขของกระบวนการควบคุม โดยจำเป็นจะต้องทำการสอบเทียบและปรับค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สอดคล้องกับค่าจริง ทำให้ระบบควบคุมสามารถจำแนกความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงในกระบวนการได้ และสั่งให้กระบวนการออสโมติกทำการหมุนเวียนสารละลายใหม่เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย อย่างไรก็ตามผลผลิตภายใต้โครงการที่ 1 นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดและควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ตลอดกระบวนการ ซึ่งจากการทำงานของระบบ ณ ปัจจุบันระบบยังไม่สามารถระบุระยะเวลาสำหรับการปรับความเข้มข้นจากระดับ 1 เป็น 2 3 หรือ 4 เนื่องจากระบบยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องของอัตราการถ่ายเทมวลเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลและตัดสินใจปรับระดับความเข้มข้นซึ่งเป็นผลผลิตภายใต้โครงการที่ 2 นอกจากนี้ระบบการทำงาน ณ ปัจจุบันยังต้องการการปรับแต่งสัญญาณจากเครื่องมือวัด และปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณรบกวน และเพื่อให้ระบบสามารถทำงานอย่างอัตโนมัติโดยสมบูรณ์จำเป็นต้องเพิ่มส่วนการเตรียมน้ำเชื่อมอย่างอัตโนมัติ

ในส่วนของการตัดสินใจเพื่อลงทุนปรับเปลี่ยนระบบการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกอย่างอัตโนมัติดังกล่าวข้างต้น ยังคงต้องการข้อมูลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความเป็นไปได้ของการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างอัตโนมัติ ในส่วนที่เหลือทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นเป็นผลผลิตภายใต้โครงการที่ 2 โดยความสัมพันธ์ของผลผลิตภายใต้ทั้งสองโครงการแสดงดังรูปที่ 1.1

ประเด็นสำคัญที่พบจากโครงการการออกแบบเครื่องมือวัดและพัฒนากระบวนการควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ปัจจุบันระบบยังไม่สามารถระบุระยะเวลาสำหรับการปรับเพิ่มระดับความเข้มข้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปได้ เนื่องจากระบบยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องของอัตราการถ่ายเทมวลเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลและตัดสินใจปรับระดับความเข้มข้น

2) ระบบการทำงานยังต้องการการปรับแต่งสัญญาณจากเครื่องมือวัด และปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณรบกวน

3) เพื่อให้ระบบสามารถทำงานต่อเนื่องและนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างอัตโนมัติ ควรทำการออกแบบและพัฒนากระบวนการเตรียมน้ำเชื่อมสารละลายอย่างอัตโนมัติเพิ่มเติม

4) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารละลายในระหว่างกระบวนการออสโมติก เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การศึกษาผลของการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ต (invert sugar) ที่มีต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ข้อมูลในส่วนที่เหลือดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ของการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างอัตโนมัติเพื่อช่วยในการตัดสินใจลงทุนปรับเปลี่ยนระบบดังกล่าวข้างต้น

ดังนั้น การพัฒนาระบบการเตรียมสารละลายอย่างอัตโนมัติ การศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติก การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่อง โดยพิจารณาสมบัติของสารละลายและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญ จึงควรได้รับการพิจารณาเพื่อทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ประโยชน์ที่จะได้รับโดยตรงคือช่วยลดระยะเวลา ลดต้นทุนจากการเตรียมสารละลายและจากการบำบัดน้ำเสีย สามารถขยายขนาดและเพิ่มกำลังการผลิตได้ สร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้รวมไปถึงอาหารชนิดอื่น ๆ



บรรณานุกรม

การส่งออกสินค้าเกษตรกรรม. 2551. กรมส่งเสริมการส่งออก.

Available online: <http://www.dephtai.go.th>

นวกัฑรา หนูนาถ, 2551, “ปัจจัยและกระบวนการเบื้องต้นที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลของชิ้นอาหารในระหว่างกระบวนการออสโมติก”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, มกราคม – มีนาคม 2552

A. Rajendran a,* , P. Neelamegam b, “Measurement of conductivity of liquids using AT89C55WD microcontroller”, Measurement Volume 35, pages 59–63 (2004), Elsevier.

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.

Barbosa-Cánovas G.V. and Juliano, Washington State University, P. Peleg M., University of Massachusetts “Engineering properties of foods”, USA, 2006

Bhuyan M., “Measurement and Control in Food Processing”, CRC Press , India, 2007

Available online: <http://www.vernier.com>

Browning, John (1882), How to work with the spectroscope: a manual of practical manipulation with spectroscopes of all kinds

Dalla Roso, 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.

Dalla Roso, 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.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- 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.
- Gupta, V. and Jindal, V.K., 1992, "Electrical Conductivity of Selected Fruit Juices", *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference*, 7-10 December 1992, Bangkok, pp. 1187-1195.
- Harrington, J. "Computer Integrated Manufacturing", Industrial Press Inc., New York, USA, 1997.
- Instrumentation and Sensors for the Food Industry*, ed. E. Kress-Rogers (Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1993).
- James, John (2007), *Spectrograph Design Fundamentals* (Cambridge University Press) ISBN 0521864631
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.*
- 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.
- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Parrot, D.L., 1992, "Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates", Food Technology, Vol. 46, No. 12, pp. 68-72.
- Schmidt, C.C., 1927, " The Dielectric Constants of four Electrolytes as given by the Carman Electrometer Method", Physical Review, Vol.30, pp.926-931
- Stabinger, Hans: "Density Measurement using modern oscillating transducers", South Yorkshire Trading Standards Unit, Sheffield 1994
- Taweepol Suesut, Viriya Kongratana, Vittaya Tipsuwanporn and Suphan Kulphanich, " A Technique to Expand the I/O of the PLC Using Remote I/O module" , The 14 th Korea Automatic Control Conference, pp E-61 -64, Korea OCT 1999
- 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
- Ulrich Klute, "Microwave measuring technology for the sugar industry", Berthold Technologies GmbH & Co. KG Calmbacher, Germany.
- 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
- Wang, W.c. and Sastry, S.K., 1997, "Chang in Electrical Conductivity of Selectes Vegestables During Multiple Thermal Treatment", Journal of Food Process Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 499-516.

ประวัติคณะผู้วิจัย

ก. หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-นามสกุล

นาย ทวีพล ชี้อัตย์

Mr. Taweepol SUESUT

หมายเลขบัตรประชาชน 3250400144339

ตำแหน่งปัจจุบัน

รองศาสตราจารย์ ระดับ 7

หน่วยงาน

สาขาวิศวกรรมการวัดและระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์

02-739-2407 โทรสาร 02-739-2406

E-mail

kstaweep@kmitl.ac.th และ taweepol.suesut@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมการวัดคุม)	2539	ส.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	2541	ส.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปริญญาคุณวุฒิปริญญาตรี (Dr.Mont.- Institute for Automation)	2551	University of Leoben, Austria

สาขาที่ชำนาญพิเศษ

- การออกแบบเครื่องจักรและระบบโรงงานอัตโนมัติ
- การวัดคุมทางอุตสาหกรรม
- การวัดและทดสอบ
- ระบบตรวจสอบด้วยมาชีนวิชั่น ประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมอาหาร

ประสบการณ์ภาคอุตสาหกรรม

- ที่ปรึกษาในการออกแบบ สร้างเครื่องตรวจสอบคุณภาพของตัวเก็บประจุกำลังในโรงงานพานาโซนิคมัสซึชิตะประเทศไทย จำกัด
- ที่ปรึกษาในการออกแบบ ติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงานเครื่องระยองพานเนล
- ที่ปรึกษาในการออกแบบติดตั้งระบบแสดงผลแจ้งการทำงานในโรงงานฮอนด้าด้านแมนูแฟคเจอร์ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการนำเสนอ

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติกว่า 30 บทความ

Selected Presentations

- Nunak N. and Taweepol S. (2007). Measuring Geometric Mean Diameter of Fruit and Vegetable using Computer Vision. "PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007", 10-11. May 2007, Phuket.
- Taweepol Suesut and Banchar Mongkhoin, "Demand Forecasting Approach Inventory Control for CIMS" , 2004 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Kunming,China, 6-9 December 2004
- T.Suesut, P.Inban, P.Nilas, P.Rerngerun and S.Gulphanich, "Interpretation Petri Net model to IEC 1131-3:LD For Programmable Logic Controller", 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 1-3 December, 2004
- T.Suesut, V.Tipsuwanporn, P.Nilas, P. Rerngereun and A.Numsonran, "Multi-level Contract Net Protocol based on Holonic Control system Implement to Industrial Network", 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 1-3 December, 2004
- Taweepol Suesut, Sathit Intajag and Prapas Roeruen, "Design of Automatic Warehouse and Inventory control under HMS concept", ICCAS 2004 International Conference on Control, Automation and Systems, Bangkok, Thailand 25-27 August, 2004
- A.Phonphithak, P.Pannil, T.Suesut, R. Masuchun and P. Julsereewong, "Self-Tuning PID Controller Based on PLC", ICCAS 2004 International Conference on Control, Automation and Systems, Bangkok, Thailand 25-27 August, 2004
- T.Suesut, P.Inban, A.Numsomran and V.Tipsuwanporn, "Redundant System based PLC Network for High Priority Process", ICCAS 2003 International Conference on Control, Automation and Systems, Gyeongju, Korea 22-25 October, 2003
- T.Suesut, C. Hankarjonsook, N.Tammarugwattana and K.Tirasesth, "Internet Based for Computer Integration Manufacturing System", ICCAS 2003 International Conference on Control, Automation and Systems, Gyeongju, Korea 22-25 October, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V.Tipsuwanporn, J.Anotaiadikoon, S.Gulpanich, V.Kongratana and T.Suesut, “Automation Cleaning Reverse Osmosis System based on Computer Analysis”, PSE Asia 2002 International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Process, Taipei, Taiwan 4-6 December, 2002
- T. Suesut, V.Tipsuwanporn, S.Gulphanich, J.Rodcumtui and P. Sukprasert, “A Design of Automatic Warehouse for Internet Based System”, 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology, Bangkok, Thailand 11-14 December, 2002
- V.Tipsuwanporn, A.Sangrayub, T. Suesut, A. Numsomran and S.Gulphanich, “Development of PLC Fiber-optic Network for Redundant System”, 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology, Bangkok, Thailand 11-14 December, 2002
- Taweepol Suesut, Viriya Kongratana, Vittaya Tipsuwanporn and Suphan Kulphanich, “A Technique to Expand the I/O of the PLC Using Remote I/O module”, The 14 th Korea Automatic Control Conference, pp E-61 –64, Korea OCT 1999
- 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

ข. ผู้ร่วมวิจัย**ชื่อ-นามสกุล**

นางนวกัศรา หนูนาค

Mrs.Navaphattra NUNAK

หมายเลขบัตรประชาชน 3679900089811**ตำแหน่งปัจจุบัน**

อาจารย์ ระดับ 7

หน่วยงาน

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ติดต่อ

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง

เขตลาดกระบัง กทม. 10520

โทรศัพท์

02-739-2348-9 ต่อ 17 โทรสาร 02-739-2348-9 ต่อ 13

E-mailkbnavaph@kmitl.ac.th และ kbnavaph2@yahoo.com**ประวัติการศึกษา**

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)	2542	ส.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร- ลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (Post-Harvest and Food Process Engineering)	2545	Asian Institute of Technology (AIT)
ปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต (Food Technology)	Dr.Nat.Tech 2549	University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria (BOKU),

- สาขาที่ชำนาญพิเศษ

- Measurement and Instruments in Food Processing
- Hygienic Design of Food Processing Equipment
- Food Properties - Mechanical, Optical, Thermal and Textural Properties
- Osmotic Dehydration Process

ผลงานที่ได้รับการนำเสนอ (Presentations)

- Nunak N. and Taweepol S. (2007). Measuring Geometric Mean Diameter of Fruit and Vegetable using **Computer Vision**. "PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007", 10-11. May 2007, Phuket.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Nunak N. and Schleining (2007). Evaluation of the water transfer in **osmotically dehydrated fruit and vegetable** using TA-XT2. In: Thavachai, Somgiat Eds. Thai Society of Agricultural Engineering, "International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology", 21-24. January 2007, Khon Kaen.
- Schleining G. and Nunak N. (2005). A rapid texture measurement method to determine the mass transfer in **osmotically dehydrated plant products**. In: Pedro Fito and Fidel Toldra: Intrafood 2005: Innovations in traditional foods, 25-28 October, Valencia; Conference Proceedings, Vol 1, 261-264; Elsevier, London; ISBN 84-9705-880-1.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ (Publications)

- Nunak N. and Schleining G. (2006). A rapid blade cutting method for the evaluation of **osmotic dehydration of apples and potatoes**. Journal of Texture Studies, 37, 1, 80-92
- Jarimopas B., Nunak T., and Nunak N. (2005). **Electronic device** for measuring volume of selected **fruit and vegetables**. Postharvest Biology and Technology, 35, 25-31

ผลงานการวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

- การศึกษาหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตไซโป้วหวาน
- การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำออกจากกระบวนการผลิตไซโป้ว
- การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการล้างและลดความเค็มของแมงกะพรุนดอง
- การศึกษาหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า
- ชุดตรวจสอบความสดของกุ้งด้วย Machine Vision
- ชุดตรวจสอบขนาดปลาด้วยแมชชีนวิชัน โดยใช้เทคนิค Structured Light Sectioning

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

- “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบการนึ่งปลาทูน่า เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ระยะเวลา ดำเนินการ (1 กันยายน 2550-30 เมษายน 2551)

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- การศึกษาหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตไซโป้วหวาน
แหล่งทุน: โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม ประจำปี 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเผยแพร่: นิทรรศการเทิดพระเกียรติ “ตามรอยเบื้องพระยุคลบาท” รวบรวมผลงาน
โครงการที่ได้รับทุน โครงการ IRPUS ประจำปี 2550
- การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำออกจากกระบวนการผลิตไซโป้
แหล่งทุน: โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม ประจำปี 2550
การเผยแพร่: นิทรรศการเทิดพระเกียรติ “ตามรอยเบื้องพระยุคลบาท” รวบรวมผลงาน
โครงการที่ได้รับทุน โครงการ IRPUS ประจำปี 2550
 - ชุดตรวจสอบความสดของกุ้งด้วย Machine Vision
แหล่งทุน: ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2550
การเผยแพร่: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9
ประจำปี 2551, 31 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมอิมพีเรียลเม้ง จังหวัดเชียงใหม่
 - ตรวจสอบขนาดปลาด้วยเมชชีนวิชัน โดยใช้เทคนิค Structured Light Sectioning
แหล่งทุน: ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2551
การเผยแพร่: รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
 - “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบการนึ่งปลาทูน่า เพื่อเพิ่มผลผลิตและ
คุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง
แหล่งทุน: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
การเผยแพร่: รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และอื่น ๆ
 - ISEKI_Mundus – Integrating Safety and Environment Knowledge in World Food
Studies
แหล่งทุน The European Commission: Framework of Erasmus Mundus
สถานะ ผู้ร่วมโครงการ
ระยะเวลา 1st November 2007 – 30th September 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้