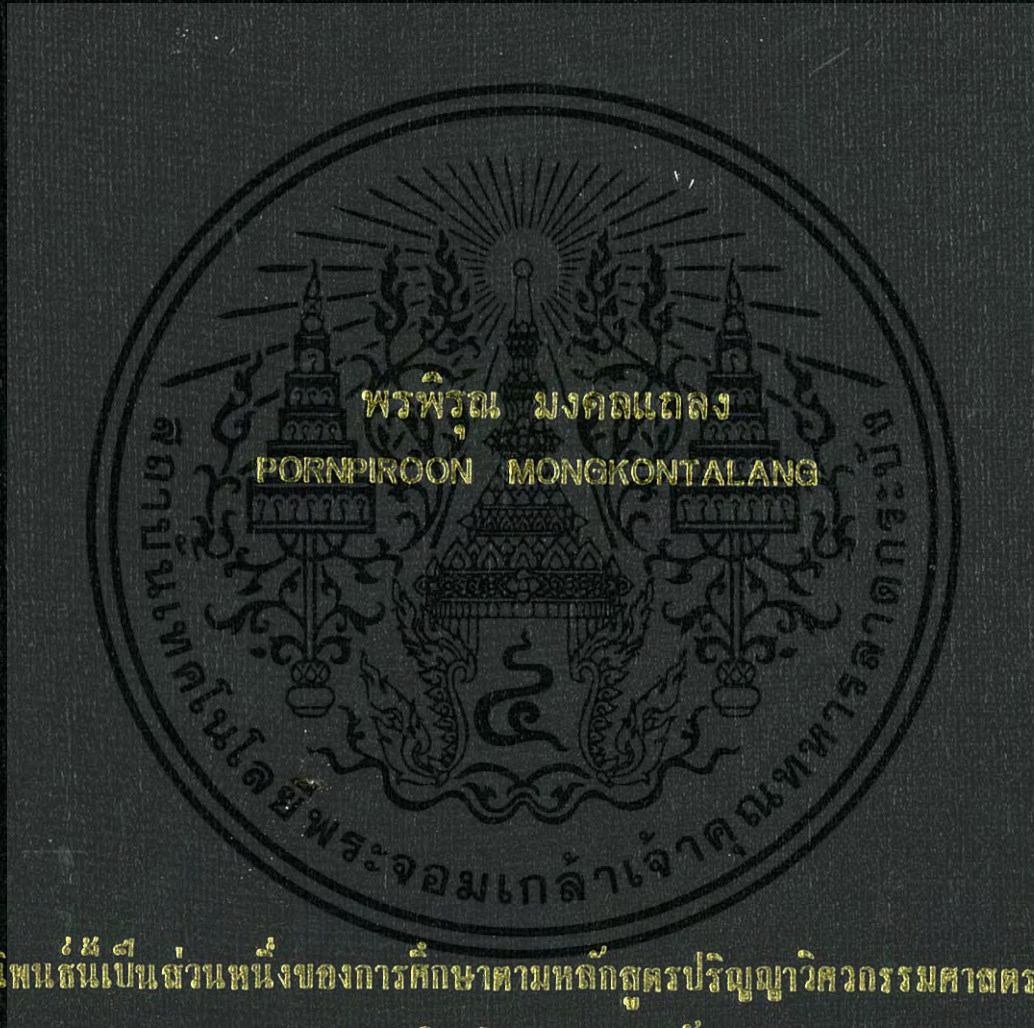


ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติ สำหรับกระบวนการแปรรูป
อาหารแช่แข็ง

SEMI-AUTOMATIC PREPARATION SYSTEM FOR SUGAR SOLUTION IN
OSMOTIC PROCESS



๒๕๕๗
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-060-170

ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติ สำหรับกระบวนการแปรรูป
อาหารแช่แข็ง

SEMI-AUTOMATIC PREPARATION SYSTEM FOR SUGAR SOLUTION IN
OSMOTIC PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

KMITL-2013-EN-M-060-170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEMI-AUTOMATIC PREPARATION SYSTEM FOR SUGAR SOLUTION IN
OSMOTIC PROCESS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

KMITL-2013-EN-M-060-170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง
Thesis Title Semi-Automatic Preparation System for Sugar Solution in Osmotic Process
นักศึกษา นางสาวพรพิรุณ มงคลแสง
รหัสประจำตัว 54611617
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-060-170

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
ดร.ยุทธพงศ์	ทัพผดุง	
รศ.สุพรรณ	กุลพานิชย์	
รศ.ดร.ทวีพล	ชื้อสัตย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลา 11.00-13.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น (E12) ห้อง E12-403

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติ สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง
นักศึกษา	นางสาวพรพิรุณ มงคลแสง
รหัสประจำตัว	54611617
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์

บทคัดย่อ

การควบคุมความเข้มข้นและการเตรียมสารละลายน้ำตาลในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการแช่แข็งมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อให้อัตราการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างต่อเนื่องและการใช้สารละลายน้ำตาลอย่างคุ้มค่า เนื่องจากระบบดั้งเดิมอาศัยผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้วัดค่าความเข้มข้นและผสมสัดส่วนของสารละลายน้ำตาล ซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดสูงทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับเตรียมสารละลายน้ำตาลแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น(มวลต่อปริมาตร) และคำนวณสัดส่วนในการผสมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากระเบียบวิธีของเพียร์สันสแควร์ ระบบนี้ประกอบด้วย ถังผสม โพลดเซลล์ชั่งน้ำหนัก อุปกรณ์วัดระดับ และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผล ควบคุมการทำงานโดยการเชื่อมต่อผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม RS 485 ด้วย Modbus RTU โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลเพื่อให้ได้ปริมาตรและค่าความเข้มข้นตรงตามที่กำหนด และการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีค่าที่ยอมรับได้ที่ $\pm 5^\circ\text{Brix}$ ซึ่งสามารถรองรับการนำไปใช้ในกระบวนการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติได้ในอนาคต

Thesis	Semi-Automatic Preparation System for Sugar Solution in Osmotic Process
Student	Ms.Pornpiroon Mongkotalang
Student ID.	54611617
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol Suesut

ABSTRACT

The concentration control and preparation of the sugar solution in osmotic processing are very important in order to maintain the mass transfer rate as well as cost-effectively using the sugar solution. The traditional method is performed the measuring the concentration and preparing the mixing ratio of the sugar solution by human, which is found a high error and consumption of raw materials. Therefore, this research develops the semi-automatic preparation system for sugar solution by measuring the concentration of the sugar density (mass per volume) and mixing ratio calculated with a computer program based on the Pearson Square method. This system consists of a mixing tank load cells, level sensor and a microcontroller for data processing and control which is connected via RS 485 serial communication with Modbus RTU. The software in this work developed using LabVIEW, which can calculate the proportion of mixed sugar solution to the target volume and measuring the concentration of the sugar solution is acceptable at ± 5 °Brix, which can be used in the preparation of sugar solution for osmotic processing in industrial automation in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล
ซื่อสัตย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาลดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่
ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นวกัทร หนูนาค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ที่เป็น
ประโยชน์ ให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัย และเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ของภาควิชา
วิศวกรรมอาหารในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในวิชา
ต่างๆที่ข้าพเจ้าได้ศึกษา ทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ ความสามารถในการนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการ
ดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ นายภาณุพล โขลนกระโทก นักศึกษาปริญญาเอกภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านของการดำเนินการวิจัย ทั้งช่วยในเรื่องการดำเนินงานวิจัยร่วม
ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบและทำการทดลอง ให้ความรู้ คำแนะนำ
คำปรึกษา รวมทั้งกำลังใจ

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ ทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องนักศึกษาภายใต้การควบคุมของอาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำที่ดี และให้การช่วยเหลือ
ต่างๆ

และขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนในการศึกษาในทุกๆด้าน ให้
คำแนะนำ คำปรึกษา ความรัก ความหวังใจและกำลังใจที่ดีมากเสมอมา

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มากก็น้อย และขออภัย
มา ณ ที่นี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด

พรพิรุณ มงคลถาวร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 หลักการออสโมติก.....	6
2.2 ระเบียบวิธีของเพียร์สัน.....	7
2.3 การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย.....	8
วิธีการวัดทางแสงโดยใช้เส้นใยนำแสงแบบไม่ใช้เปลือกหุ้ม.....	8
วิธีการวัดโดยอาศัยหลักการวัดอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายมีสภาวะถึงจุดเยือกแข็ง.....	9
(Freezing Point)	
วิธีการวัดโดยใช้สมบัติของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave).....	10
วิธีการวัดโดยใช้สมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic).....	10
วิธีการวัดโดยใช้เทคนิคการวัดความถี่การสั่นของท่อรูปตัวยู (Oscillating U-tube).....	11
วิธีการวัดโดยใช้หลักการวัดความหนืด (Viscosity) ของสารละลาย.....	12
วิธีการวัดโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer).....	12
วิธีการวัดโดยใช้รีแฟกโตมิเตอร์.....	13
2.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลาย.....	15
2.3.2 บริกซ์ (°Brix).....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานด้านการควบคุมและเครื่องมือวัด.....	16
2.4.1 โหลดเซลล์ (Load Cell).....	16
2.4.2 อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Summing Box)	17
2.4.3 เครื่องมือวัดปริมาตร	18
2.4.4 อุปกรณ์ประมวลสัญญาณและแสดงผล.....	18
2.4.4.1 Modbus.....	18
2.4.5 แลปวิว (LabVIEW).....	22
2.5 การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical Analysis).....	23
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 การออกแบบของระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหาร.....	25
ด้วยหลักการออสโมติก	
3.2 การทำงานของระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก.....	27
3.3 การเตรียมสารละลายออสโมติก.....	28
3.4 การออกแบบและการทดสอบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล.....	28
3.4.1 การออกแบบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล.....	28
3.4.2 การทดสอบการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	30
3.4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลาย.....	30
3.4.4 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากรีแฟกโตมิเตอร์.....	31
กับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ออกแบบ	
3.5 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์แลปวิวเพื่อใช้ในการคำนวณสัดส่วนผสม.....	32
ในการเตรียมสารละลายน้ำตาลจากการคำนวณสัดส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน	
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	35
4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	35
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาล.....	36
4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล.....	37
4.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จาก.....	38
เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นที่ออกแบบ กับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล	
ที่วัดได้จากรีแฟกโตมิเตอร์	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลการทดลองการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้น.....	40
ของสารละลายน้ำตาลจากการคำนวณส่วนผสมที่ต้องเติมโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน	
4.6 ผลการทดลองแสดงหน้าตาการวัดค่าความเข้มข้น และการคำนวณค่าสัดส่วนปริมาณ.....	44
ส่วนผสมสำหรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล	
โดยใช้โปรแกรมแลปวิว	
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางการวัดของเครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับวัดความเข้มข้น.....	35
4.2 แสดงผลการทดลองเพื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าน้ำหนักเฉลี่ยของ.....	36
สารละลายน้ำตาล	
4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จาก.....	39
เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นที่ออกแบบ กับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัด ได้จากรีแฟคโตมิเตอร์	
4.4 ผลการทดลองแสดงค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำ.....	41
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ กรณีเตรียมสารละลาย น้ำตาลจากน้ำตาลทรายขาวกับน้ำที่ความเข้มข้น 30 35 45 55 65 บริกซ์	
4.5 ผลการทดลองแสดงค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำ.....	42
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ กรณีปรับเพิ่มความเข้มข้น สารละลายน้ำตาลจากการเติมน้ำตาลทรายขาวเพิ่มในสารละลายน้ำตาลทรายเดิมที่มีอยู่เพื่อให้ได้ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 30 35 45 55 65 บริกซ์	
4.6 ผลการทดลองแสดงค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำ.....	43
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ กรณีปรับเพิ่ม ความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลจากการเติมน้ำตาลทรายขาวเพิ่มความเข้มข้นสูง (65บริกซ์) เพิ่มในสารละลายน้ำตาลทรายเดิมที่มีอยู่ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 30 35 45 55 65 บริกซ์	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการวัดความหนาแน่นของสารละลายโดยใช้วิธีการวัดด้วยเส้นใยนำแสง.....9	
แบบไม่ใช่เปลือกหุ้ม	
2.2 ระบบการวัดความเข้มข้นของของเหลว โดยอาศัยหลักการวัดอุณหภูมิที่ทำให้สารละลาย.....9	
มีสภาวะถึงจุดเยือกแข็ง	
2.3 หลักการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคคลื่นไมโครเวฟ.....10	
2.4 ระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคคูลตราโซนิค.....11	
2.5 (ก) รูปแบบการสั่นของลูกบอลที่มีมวลแตกต่างกัน.....11	
2.5 (ข) ระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคการวัดความถี่การสั่นของท่อรูปตัวยู.....11	
เมื่อสารละลายที่ต้องการวัดความเข้มข้นไหลผ่าน	
2.6 ไฮโดรมิเตอร์.....12	
2.7 แสดงหลักการหักเหของแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง.....14	
2.8 โหลดเซลล์แบบวัดจุดเดียว (Single point load cell).....16	
2.9 วงจรฟูลบริดจ์.....17	
2.10 การเชื่อมต่อ Summing Box กับโหลดเซลล์.....17	
2.11 การติดต่อสื่อสารแบบ Master – Slave.....19	
2.12 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ Modbus ในโหมดแอสกี.....20	
2.13 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ Modbus ในโหมดแอสกี.....20	
2.14 ลักษณะข้อมูลของ Modbus ในโหมด RTU.....21	
2.15 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ Modbus ในโหมด RTU.....22	
3.1 (ก) ถังผสมสารละลาย (ข) ถังเก็บสารละลาย และ(ค) ถังแช่ออสโมติก.....26	
3.2 ระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก.....26	
3.3 กระบวนการทำงานของระบบปรับปรุงสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก.....27	
3.4 การเตรียมสารละลายออสโมติก.....28	
3.5 การออกแบบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล.....29	
3.6 แสดงชุดถังผสมที่ออกแบบเป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล.....30	
ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว	
3.7 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล....31	
โดยทำการกำหนดให้ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลคงที่	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 รีแฟกโทมิเตอร์ ยี่ห้ออะตาโก ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล	32
3.9 แสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณสัดส่วนผสมเพื่อเตรียม.....	33
สารละลายน้ำตาล	
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาล.....	37
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล.....	38
4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จากเครื่องมือวัด.....	39
ค่าความเข้มข้นที่ออกแบบ กับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จากรีแฟกโทมิเตอร์	
4.4 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีเตรียม.....	44
สารละลายน้ำตาลจากน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 35 บริกซ์	
4.5 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีปรับเพิ่ม.....	45
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้น 35 บริกซ์ จากสารละลายน้ำตาลเดิม (30บริกซ์)กับน้ำตาล	
4.6 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีปรับเพิ่ม.....	46
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้น 35 บริกซ์ จากสารละลายน้ำตาลเดิม (30บริกซ์)กับน้ำตาล	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันการเพิ่มมูลค่าผักและผลไม้ที่นิยมในระดับอุตสาหกรรม คือ การนำมาแปรรูป ไม่เพียงแต่เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ยังเพิ่มอายุการเก็บรักษาด้วย การแปรรูปอาหารมีหลากหลายวิธี เช่น การกำจัดน้ำออกจากอาหาร (Dehydration) การทำให้เข้มข้น (Concentration) หรือใส่ตัวถูกละลาย เช่น เกลือหรือน้ำตาล เพื่อเพิ่มแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ของอาหาร ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ ได้แก่ การดองหรือหมักด้วยเกลือ การกวน การเชื่อม การเชื่อมด้วยน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง เป็นต้น [1] วิธีที่นำมาศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปในงานวิจัยนี้ คือ การแปรรูปอาหารเชื่อมด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้หลักการออสโมติก

กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น ผักและผลไม้สด ด้วยวิธีการเชื่อมด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้หลักการออสโมติกในระดับอุตสาหกรรมนั้น เริ่มจากการแช่ผักและผลไม้สดในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่ำและค่อยๆ ปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้สูงขึ้น จนได้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเนื้อผักและผลไม้ตามที่ต้องการ โดยกระบวนการออสโมติกเป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากผิวหน้าของชิ้นอาหาร เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มสูงขึ้น หากความเข้มข้นของสารละลายสูงมากจนเกินไปอัตราการถ่ายเทมวลในช่วงแรกที่มีค่าสูงจะส่งผลให้ผิวหน้าของหนังเซลล์เกิดการเสียรูป และในขณะเดียวกันสารละลายที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงจะเกิดการถ่ายเทเข้าสู่เซลล์บริเวณผิวหน้ามากขึ้น ทำให้ขีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำและของแข็งในเซลล์ขึ้นใน สำหรับผักและผลไม้ไม่นิยมใช้สารละลายน้ำตาลที่มีช่วงความเข้มข้น 30–70 บริกซ์ ($^{\circ}$ Brix) เป็นสารละลายออสโมติก ซึ่งความเข้มข้นที่ใช้แตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ของผักและผลไม้ ซึ่งการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจนกว่าจะได้ความเข้มข้นตามที่กำหนดทำได้โดยวิธีการเติมผลึกน้ำตาลหรือสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง (65 บริกซ์) [2] [3] น้ำตาลจึงเป็นตัวแปรสำคัญในด้านต้นทุนการผลิต และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจึงจำเป็นต้องควบคุมให้ระดับความเข้มข้นคงที่ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลให้ดีขึ้น ในปัจจุบันการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้ได้ความเข้มข้นตามที่กำหนด อาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานในการประมาณปริมาณเพื่อเติมผลึกน้ำตาลหรือสารละลายน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นสูง (65 บริกซ์) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ โดยอาศัยการวัดความเข้มข้นด้วยรีแฟกโตมิเตอร์ (Refractometer) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาสำหรับการประมาณปริมาณที่ต้องการ และในบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาด ทำให้สิ้นเปลืองปริมาณน้ำตาล ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มต้นทุนต่อหน่วยการผลิต และยังไม่มีการพัฒนาระบบการวัดความเข้มข้นและเตรียมสารละลายน้ำตาล โดยเฉพาะสำหรับการแปรรูปอาหารแช่แข็งด้วยหลักการออสโมติก

ในส่วนของการเตรียมสารละลายน้ำตาล และการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล สามารถนำระเบียบวิธีของเพียร์สัน (Pearson square method) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณปริมาณของสัดส่วนผสมที่ต้องการนำมาผสมกันเพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นและปริมาตรตรงตามที่เราต้องการได้ [4] จึงสามารถนำมาใช้คำนวณหาสัดส่วนของส่วนผสมที่ต้องเติมเข้าไปเพื่อเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ผ่านการใช้งานมาแล้วได้ ซึ่งเป็นการช่วยให้การนำสารละลายน้ำตาลกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งทำได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยทั่วไป มีเครื่องมือวัดจำนวนมากที่นำมาใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ ยกตัวอย่างเช่น รีแฟกโตมิเตอร์ เครื่องมือที่ใช้หลักการอุลตราโซนิก เครื่องมือที่ใช้หลักการไมโครเวฟ สเปกโตรมิเตอร์ และเครื่องมือที่ใช้หลักการสั้นของทอรูปตัวยู [5] แต่เครื่องมือวัดเหล่านี้บางประเภทมีราคาค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดสำหรับการนำไปใช้ในการวัดแบบในกระบวนการ (in-line)

ถึงแม้ว่าก่อนหน้านี้ ได้มีการทำการวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความเข้มข้นโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้า โดยใช้ความสัมพันธ์ของการวัดค่าความนำไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของสารละลายที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งมีต้นทุนต่ำและสามารถใช้สำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ดีในช่วงความเข้มข้น 30-65 บริกซ์ ซึ่งเป็นช่วงการใช้งานในกระบวนการออสโมติก แต่ยังมีข้อจำกัดในหลายปัจจัย เช่น การรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางไฟฟ้าของสารละลายทำให้ค่าที่วัดได้ อาจเกิดการผิดพลาด [6] เครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายนี้ จึงยังไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายในระหว่างกระบวนการออสโมติก

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรม โดยพัฒนาในส่วนของระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น เพื่อลดปัญหาเรื่องคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารละลายน้ำตาลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าความจุไฟฟ้า ค่าความต้านทานไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเพื่อพัฒนาให้ระบบสามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สันได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถนำสารละลายน้ำตาลกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง
2. เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรม
3. เพื่อออกแบบและสร้างโปรแกรมคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติเพื่อให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนาระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง
2. ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรมด้วยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น
3. ออกแบบและสร้างโปรแกรมคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติเพื่อให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สันและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลผ่านซอฟต์แวร์แลปวิว (LabVIEW)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีการแช่แข็งด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้หลักการออสโมติกที่มีอยู่ในปัจจุบันและหาข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. ศึกษาเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่มีในปัจจุบัน และพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรมโดยเฉพาะเจาะจง ซึ่งใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น
3. ออกแบบและพัฒนาระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง
4. ออกแบบและสร้างโปรแกรมคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติเพื่อให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สันและแสดงผลผ่านซอฟต์แวร์แลปวิว

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถสร้างเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรมด้วยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นได้
2. สามารถออกแบบและพัฒนาระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งที่เหมาะสมที่สุดได้
3. สามารถออกแบบและสร้างโปรแกรมคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติเพื่อให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน และแสดงผลผ่านซอฟต์แวร์แลปวิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. สามารถนำสารละลายน้ำตาลกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ
5. สามารถลดความผิดพลาด ลดระยะเวลา และลดต้นทุน ในกระบวนการเตรียมสารละลายน้ำตาลจากวิธีการปฏิบัติดั้งเดิมได้

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่สนใจ เพื่อนำมาสู่กระบวนการของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่มีความสำคัญต่องานวิจัยนี้ ทั้งทฤษฎีของหลักการออสโมติก ระเบียบวิธีของเพียร์สัน การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย ทฤษฎีพื้นฐานด้านการควบคุมและเครื่องมือวัด และทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงสถิติ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการออกแบบระบบต้นแบบ การเตรียมสารละลายออสโมติก การออกแบบและทดสอบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง ซึ่งแสดงผลการทดลองในการทดสอบการทำงานของเครื่องมือวัดที่ออกแบบ และแสดงผลการทดลองที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปและข้อเสนอแนะ เป็นการสรุปผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากงานวิจัยนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่สามารถนำไปใช้ประกอบการพัฒนาในอนาคต เพื่อให้ระบบมีความเป็นอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นต่อไป

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการออสโมติก

กระบวนการออสโมติก (Osmotic Process) คือ การกำจัดน้ำออกจากอาหารโดยการแช่ในสารละลายออสโมติก ซึ่งเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง มีความดันออสโมติกสูง และมีปริมาณน้ำอิสระต่ำ เช่น สารละลายน้ำตาลและสารละลายเกลือ เป็นต้น [7] สารละลายออสโมติกจะส่งผลให้เกิดแรงขับเคลื่อนของน้ำในชั้นอาหารผ่านผนังเซลล์เมมเบรน ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ในระหว่างการออสโมติกจะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสองอย่างขึ้นพร้อมกันในทิศทางตรงข้ามกัน คือ น้ำจะซึมออกจากอาหารผ่านผนังเซลล์เข้าสู่สารละลายออสโมติก และในขณะเดียวกันของแข็งที่ละลายในสารละลายออสโมติกจะซึมผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์อาหาร โดยกระบวนการทั้งหมดจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งเกิดความสมดุลคงที่ระหว่างแรงดันออสโมติกในชั้นอาหารและสารละลายออสโมติก ในการถ่ายเทมวลนอกจากจะมีน้ำจากชั้นอาหารที่ออกจากเซลล์แล้วยังมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ภายในอาหาร เช่น วิตามิน เกลือแร่ต่าง ๆ บางส่วนก็ซึมออกมาสู่สารละลายออสโมติกด้วยเช่นกัน [8]

โดยทั่วไปกระบวนการดึงน้ำออกหรือการเพิ่มปริมาณของแข็งด้วยวิธีออสโมติกเป็นการทำงานแบบช้า ๆ ใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานเพื่อที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยอาศัยกลไกความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของอาหารกับสารละลายออสโมติกเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารหรือเรียกว่า ค่าความดันออสโมติก โดยค่าความแตกต่างยิ่งสูงอัตราการแลกเปลี่ยนของมวลสารจะมีค่าสูงด้วย อัตราการสูญเสียน้ำต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายปัจจัย เช่น ชนิด โครงสร้างและคุณสมบัติของสารละลาย โครงสร้างของอาหาร และสภาวะการทำงานต่าง ๆ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติกมีหลายปัจจัย โดยปัจจัยสำคัญที่มีความสำคัญกับการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทมวลจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความดันออสโมติกระหว่างสารละลายกับชั้นอาหารสูงขึ้น ทำให้แรงขับเคลื่อน (Driving force) สูงขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลจึงสูงขึ้น [9] [10] ในระหว่างกระบวนการค่าความเข้มข้นของสารละลายจะถูกเจือจางด้วยน้ำในชั้นอาหารที่เคลื่อนที่ออกมาและในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งใน

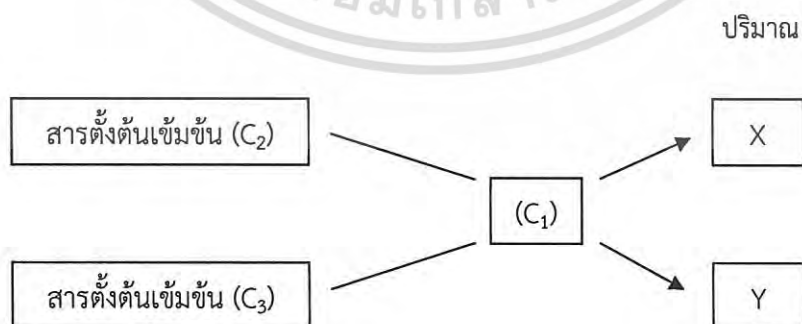
ขึ้นอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากของแข็งในสารละลายออสโมติกเคลื่อนที่เข้าสู่ขึ้นอาหาร ในช่วงเริ่มต้น อัตราการถ่ายเทมวลจะมีค่าสูงและจะลดลงเมื่อความดันต่างมีค่าลดลง

2.2 ระเบียบวิธีของเพียร์สัน

ระเบียบวิธีของเพียร์สัน เป็นวิธีการอย่างง่ายที่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณสัดส่วนโดยปริมาตรหรือน้ำหนักของส่วนผสมที่ต้องการผสมกันเพื่อให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตรงตามที่ต้องการ [11] [12] [13] [14] ยกตัวอย่างเช่น Mullan W.M.A. ใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สันสำหรับการคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างนมและหางนม เพื่อให้ได้นมที่มีไขมันตรงตามที่ต้องการ [15] มีการนำไปใช้ในการคำนวณในการปรับค่าความเข้มข้นน้ำตาลและกรดในน้ำผลไม้ในการทำไวน์ผลไม้ [16] นำไปใช้ในการคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างน้ำผลไม้กับน้ำเชื่อมเพื่อใช้ในการทำน้ำผลไม้เข้มข้น และการคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างน้ำเชื่อมกับเนื้อผลไม้ในการทำแยมผลไม้ [17] ในงานวิจัยนี้จึงนำระเบียบวิธีของเพียร์สันมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนของปริมาณน้ำกับน้ำตาลทราย (หรือสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 เปอร์เซ็นต์) เพื่อให้ได้สารละลายน้ำตาลตรงตามความเข้มข้นและปริมาตรที่ต้องการ โดยวิธีการคำนวณสัดส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน ทำได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$X = \frac{A \times Z}{C} \quad (2.1)$$

$$Y = \frac{B \times Z}{C} \quad (2.2)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

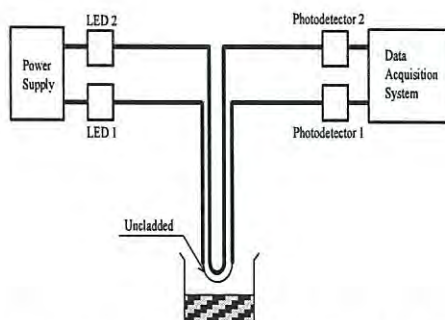
- เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ (บริกซ์)
 C_2 คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ 1 (บริกซ์)
 C_3 คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ 2 (บริกซ์)
 X คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ 1 (กิโลกรัมหรือลิตร)
 Y คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ 2 (กิโลกรัมหรือลิตร)
 Z คือ ปริมาณของสารละลายที่ต้องการ (กิโลกรัมหรือลิตร)
 A คือ C_3-C_1 (บริกซ์)
 B คือ C_2-C_1 (บริกซ์)
 C คือ $A+B$ (บริกซ์)

2.3 การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย

โดยทั่วไป มีเครื่องมือวัดจำนวนมากที่นำมาใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ ยกตัวอย่างเช่น รีแฟคโตมิเตอร์ ไฮโดรมิเตอร์ เครื่องมือที่ใช้หลักการอุตราสโตนิก เครื่องมือที่ใช้หลักการไมโครเวฟ สเปกโตรมิเตอร์ และเครื่องมือที่ใช้หลักการสั่นของท่อรูปตัวยู ซึ่งหลักการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายของแต่ละวิธีมีดังนี้

วิธีการวัดทางแสงโดยใช้เส้นใยนำแสงแบบไม่ใช้เปลือกหุ้ม

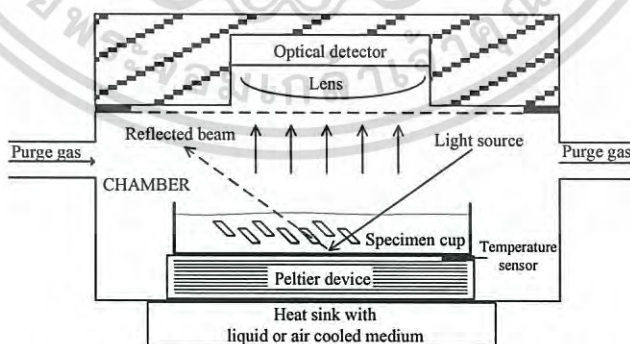
วิธีทางแสงคือการใช้ความสัมพันธ์ของดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางกับความหนาแน่นของสารละลาย โดยการใช้อุปกรณ์เส้นใยนำแสงแบบไม่ใช้เปลือกหุ้มเป็นเซนเซอร์ ซึ่งอาศัยการวัดการสูญเสียความเข้มแสงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวรอยต่อของแกนกลางเส้นใยแก้วนำแสงกับสารละลายที่ล้อมรอบ ระบบการวัดแสดงดังรูป 2.1 โดยให้ลำแสงจากไดโอดเปล่งแสง (LED) ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปยังส่วนโค้งที่ปกเปลือกหุ้มออก เหลือไว้เพียงส่วนแกนกลาง ซึ่งจุ่มในสารละลายตัวอย่าง ลำแสงที่ผ่านใยแก้วนำแสงออกมาจะถูกวัดด้วยตัววัดแสง (Photodetector) เปรียบเทียบความเข้มแสงกับลำแสงที่ได้จากใยแก้วนำแสงที่ไม่ปกเปลือกหุ้มซึ่งเป็นสัญญาณอ้างอิงที่มีดัชนีหักเหคงที่ ซึ่งความเข้มแสงที่สูญเสียไปสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสารละลายตัวอย่าง ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ เหมาะกับการวัดความหนาแน่นของสารละลายที่มีค่าดัชนีหักเหน้อยกว่าค่าดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยนำแสง สารละลายที่ต้องการวัดควรเป็นสารเนื้อเดียว เพื่อหลีกเลี่ยงการกระเจิงกลับ (Back Scattering) ของแสง ควรจ่ายกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงคงที่มากที่สุด เพื่อช่วยลดปัญหาความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอ [18] [19]



รูป 2.1 ระบบการวัดความหนาแน่นของสารละลายโดยใช้วิธีการวัดด้วยเส้นใยนำแสงแบบไม่ใช่เปลือกหุ้ม

วิธีการวัดโดยอาศัยหลักการวัดอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายมีสถานะถึงจุดเยือกแข็ง (Freezing Point)

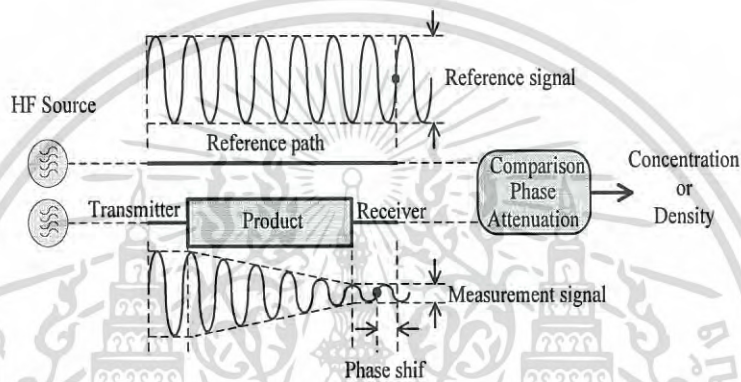
ระบบการวัดแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีอุปกรณ์ให้ความเย็น (Peltier Device) กับของเหลวที่ต้องการวัดความเข้มข้น เพื่อให้ของเหลวมีอุณหภูมิต่ำลง จากนั้นเมื่อของเหลวมีสถานะถึงจุดเยือกแข็งคือ อุณหภูมิค่าแรกที่ทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ตัวตรวจจับแสงจะตรวจจับแสงที่สะท้อนออกมาหลังจากตกกระทบกับของเหลวที่เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งแล้ว จากนั้นทำการบันทึกอุณหภูมิต่ำนั้น ซึ่งของเหลวที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันจะใช้อุณหภูมิต่ำที่ทำให้ของเหลวมีสถานะถึงจุดเยือกแข็งแตกต่างกันด้วย ข้อเสียของวิธีการนี้คือ จะต้องมีการจัดการที่ดีกับการระบายความร้อนให้กับเพลทีเยร์ด้านที่ร้อน เนื่องจากจะมีอุณหภูมิต่ำค่อนข้างสูง และไม่สามารถนำมาใช้ในการวัดแบบในกระบวนการได้ [20]



รูปที่ 2.2 ระบบการวัดความเข้มข้นของของเหลว โดยอาศัยหลักการวัดอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายมีสถานะถึงจุดเยือกแข็ง

วิธีการวัดโดยใช้สมบัติของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave)

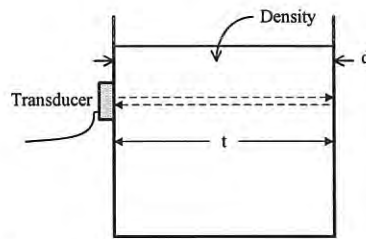
อาศัยหลักการที่ขนาดและเฟสของคลื่นเปลี่ยนไปเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน โดยหลักการวัดแสดงดังรูปที่ 2.3 การวัดจะเปรียบเทียบสัญญาณของคลื่นไมโครเวฟระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณที่วัดได้หลังจากที่เดินทางผ่านตัวกลางแล้ว ในการประยุกต์ใช้กับการวัดความเข้มข้นของสารละลาย ให้คลื่นเดินทางผ่านสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันแล้ววัดขนาดและเฟสของคลื่นที่ได้ ซึ่งขนาดและเฟสของคลื่นจะมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแตกต่างกัน ข้อเสียของระบบนี้คือ ระบบการวัดมีราคาค่อนข้างสูง [21]



รูปที่ 2.3 หลักการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคคลื่นไมโครเวฟ

วิธีการวัดโดยใช้สมบัติของคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic)

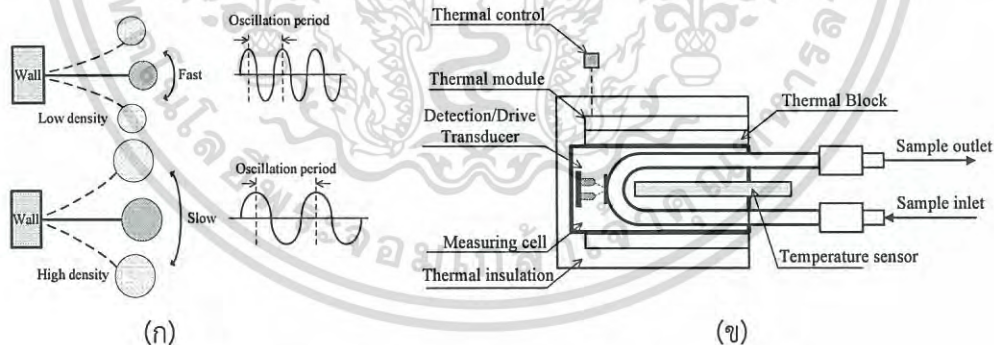
เทคนิคการใช้คลื่นอุลตราโซนิกเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางกับความเข้มข้นของสารละลาย โดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานของอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในของเหลวจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลว ระบบการวัดแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วย ถังบรรจุสารละลายที่ติดตั้งอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ที่ผนังของถังบรรจุสารละลาย ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับและตัวส่งสัญญาณ การวัดจะใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่นอุลตราโซนิกในของเหลว โดยในของเหลวที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คลื่นอุลตราโซนิกจะใช้เวลาในการเดินทางผ่านตัวกลางต่างกัน ส่งผลให้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงแตกต่างกันด้วย ข้อเสียของเทคนิคนี้ คือ หากสารละลายมีฟองอากาศจะทำให้ค่าที่วัดได้ไม่แม่นยำ [22]



รูปที่ 2.4 ระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคคูลตราโซนิค

วิธีการวัดโดยใช้เทคนิคการวัดความถี่การสั่นของท่อรูปตัวยู (Oscillating U-tube)

เป็นวิธีการวัดความถี่การสั่นของท่อรูปตัวยู เมื่อมีสารละลายที่ต้องการวัดความเข้มข้นไหลผ่านจากรูปที่ 2.5 (ก) แสดงถึงรูปแบบการสั่นของลูกบอลที่มีมวลแตกต่างกัน โดยการยึดติดลูกบอลกับคานที่มีความยืดหยุ่นซึ่งยึดติดอยู่กับผนัง เมื่อให้มีแรงมากระทำกับลูกบอลเพื่อให้ลูกบอลเกิดการสั่น เมื่อวัดความถี่การสั่นของลูกบอลที่มีมวลแตกต่างกันพบว่า ความถี่การสั่นมีค่าแตกต่างกันด้วย จากความสัมพันธ์นี้ทำให้นำมาประยุกต์ใช้ในการวัดความหนาแน่นของสารละลายที่ต้องการทราบค่าความเข้มข้นได้ ในรูปที่ 2.5 (ข) แสดงระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายโดยการวัดความถี่การสั่นของท่อรูปตัวยู โดยให้สารละลายไหลผ่านท่อรูปตัวยู แล้วมีเซนเซอร์วัดความถี่การสั่น โดยระบบจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ข้อเสียของระบบนี้คือ ระบบการวัดมีราคาค่อนข้างสูง และต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของสารละลายที่ต้องการวัดให้คงที่ด้วย [23]



รูปที่ 2.5 (ก) รูปแบบการสั่นของลูกบอลที่มีมวลแตกต่างกัน

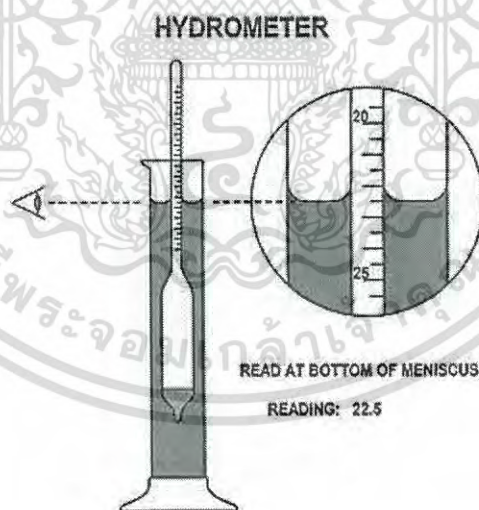
(ข) ระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคการวัดความถี่การสั่นของท่อรูปตัวยูเมื่อสารละลายที่ต้องการวัดความเข้มข้นไหลผ่าน

วิธีการวัดโดยใช้หลักการวัดความหนืด (Viscosity) ของสารละลาย

อาศัยความสัมพันธ์ของความหนืดกับความเข้มข้นของสารละลาย โดยใช้อุปกรณ์ที่วัดความหนืดของของไหล ที่เรียกว่า มาตราวัดความหนืด (Viscometer) โดยให้สารละลายเคลื่อนที่ที่ระยะทางหนึ่งแล้วทำการจับเวลาเพื่อวัดอัตราการไหลของสารละลายตัวอย่าง แล้วนำไปคำนวณหาค่าความหนืด ซึ่งค่าความหนืดจะแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การวัดความหนืดที่แม่นยำ จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน สิ่งเจือปนต่างๆอย่างระมัดระวัง [24]

วิธีการวัดโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

เป็นอุปกรณ์วัดความถ่วงจำเพาะ หรือความหนาแน่นของของเหลวชนิดหนึ่ง โดยอาศัยหลักการลอยตัวของวัตถุ (Buoyant force) ทำจากแก้ว ปิดสนิททุกด้าน ด้านบนของไฮโดรมิเตอร์ เรียกว่า ส่วนก้าน (Stem) มีลักษณะเป็นหลอดยาวแคบๆ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับจับเมื่อจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายที่ต้องการวัด บนส่วนก้านมีสเกลบอกความหนาแน่นของของเหลว ด้านล่างเป็นกระเปาะ ซึ่งปลายกระเปาะถ่วงด้วยตะกั่ว ปิดทับด้วยขี้ผึ้งหรือไข (Wax) แสดงดังรูปที่ 2.6 ระดับความลึกที่จมในสารละลายจะแปรผกผันกับความหนาแน่นของของเหลว



รูปที่ 2.6 ไฮโดรมิเตอร์

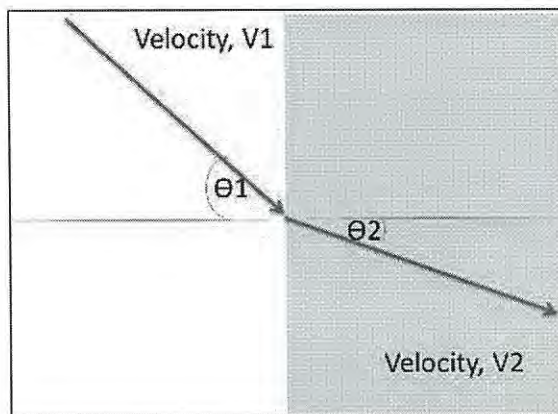
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของไฮโดรมิเตอร์มีหลายชนิด จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับวัดความหนาแน่นของของเหลวที่ต่างชนิดกัน สเกลบนไฮโดรมิเตอร์จึงมีช่วงตัวเลขที่แตกต่างกันออกไป โดยการสอบเทียบค่า (Calibration) การจมในของเหลวที่ทราบความหนาแน่นแล้ว ซึ่งไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้วัดความหนาแน่นของของเหลวต่างๆ มีหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น Baume ' scale hydrometer สเกลชนิดนี้ได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวางเพราะมีการแสดงค่าของความถ่วงจำเพาะเป็นสเกลตัวเลขที่อ่านได้ง่าย สเกลนี้จะวัดค่าที่ได้เป็นองศาโบเม (Degree's Baume) Salt-brine hydrometer ไฮโดรมิเตอร์ชนิดนี้ใช้ในการวัดความอืดตัวของเกลือในน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ และ Brix scale hydrometer เป็นไฮโดรมิเตอร์ชนิดที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมน้ำตาล องศาบนสเกลจะเท่ากับเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลต่อน้ำหนัก เป็นต้น

Brix scale hydrometer สเกลบนไฮโดรมิเตอร์ชนิดนี้ มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ซึ่งหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อน้ำหนักของสารละลาย องศาบนสเกลจะเท่ากับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำตาลต่อน้ำหนักของของเหลว (ปริมาณของน้ำตาลต่อน้ำหนัก 100 กรัมของของเหลว) สเกลบริกซ์นี้ใช้ในการบ่งชี้ปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในไวน์และใช้บ่งชี้ปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ได้ เป็นต้น [25]

วิธีการวัดโดยใช้รีแฟคโตมิเตอร์

ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดย Dr. Ernst Abbe นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน/ออสเตรีย ในต้นศตวรรษที่ 20 โดยหลักการทำงานของรีแฟคโตมิเตอร์เป็นการวัดดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ จากน้ำสู่คริสตัล (Crystal) ทำให้ความเร็ว (Velocity, v) ของแสงแตกต่างกันเนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน เมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกัน หลักการแสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้



รูปที่ 2.7 แสดงหลักการหักเหของแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง

รีแฟกโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร ในการนำมาวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย เช่น ใช้วัดปริมาณน้ำตาลในน้ำคั้นจากผลไม้สด ในน้ำเชื่อม หรือในเครื่องดื่ม เป็นต้น ซึ่งค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นบริกซ์ โดยเป็นการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพื่อใช้ประเมินความหวาน (Sweetness)

รีแฟกโตมิเตอร์แบบพกพา (Hand held refractometer) มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา พกพาได้ ใช้งานง่ายสะดวกรวดเร็ว วิธีการวัดค่า ทำได้โดยการหยดสารละลายที่ต้องการทราบค่าบนแผ่นปริซึม ปิดด้วยแผ่นปิด แล้วส่องมองผ่านช่องโนที่มีแสง จะมองเห็นเป็นแถบสีที่อ่านค่าตัวเลขได้ตามสเกลที่เครื่องกำหนดไว้ เช่น เป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำตาล น้ำเชื่อม หรือน้ำผลไม้ โดยค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นบริกซ์ ก่อนและหลังการใช้งาน ควรทำความสะอาดแผ่นปริซึม ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้หยดสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ เช็ดฝุ่นละอองหรือคราบสกปรกบนแผ่นปริซึม และสารละลายที่หยดต้องไม่มีฟองอากาศ ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของค่าที่อ่านได้ [26]

เนื่องจากเครื่องมือวัดเหล่านี้บางประเภทมีราคาค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดต่างๆสำหรับการนำไปใช้ในการวัดแบบในกระบวนการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลสำหรับใช้ในกระบวนการออสโมติก โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น

2.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลาย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลาย โดยการกำหนดปริมาตรของสารละลายให้คงที่และชั่งน้ำหนักของสารละลายด้วยโหลดเซลล์ควบคู่กัน โดยควบคุมอุณหภูมิของสารละลายเท่ากับอุณหภูมิห้อง (25°C) เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นโดยมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้น [27] จากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่นของสารละลาย (Density , ρ) ตามสมการที่ 2.3 จากปริมาตรที่กำหนด และจากน้ำหนักที่โหลดเซลล์วัดได้ เปรียบเทียบเพื่อดูความสัมพันธ์ที่แต่ละค่าความเข้มข้นที่กำหนด นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) ที่แต่ละค่าความเข้มข้นด้วย

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.3)$$

เมื่อ m เป็นมวลของสารละลาย มีหน่วยเป็น kg

v เป็นปริมาตรของสารละลาย มีหน่วยเป็น m^3

โดยค่าความหนาแน่นสัมพันธ์ คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.4)

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (2.4)$$

เมื่อ ρ_s เป็นความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล มีหน่วยเป็น kg/l

ρ_w เป็นความหนาแน่นของน้ำ มีค่าเท่ากับ 997.1 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ 25 °C

2.3.2 บริกซ์ คือหน่วยที่ใช้บอกความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก มักใช้กับน้ำเชื่อม น้ำผลไม้ เช่น น้ำเชื่อมเข้มข้น 10 บริกซ์ หมายถึง น้ำเชื่อมน้ำหนัก 100 กรัม มีน้ำตาลซูโครสละลายอยู่ 10 กรัม ค่าที่วัดได้ในสารละลาย เป็นการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ (Total Soluble Solids) การวัดค่าบริกซ์ อาจวัดได้ด้วยไฮโดรมิเตอร์ หรือรีแฟคโตมิเตอร์ รายงานผลเป็นองศาบริกซ์ [28]

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานด้านการควบคุมและเครื่องมือวัดด้วยหลักการวัดความหนาแน่น

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล โดยอาศัยการวัดค่าความหนาแน่น ซึ่งทำได้โดยการวัดปริมาตรและน้ำหนักของสารละลายควบคู่กันไป ในการออกแบบเครื่องมือวัดค่าความหนาแน่นทำได้โดยการชั่งน้ำหนักสารละลายด้วยโหลดเซลล์ และวัดปริมาตรด้วยเซนเซอร์วัดระดับของถังบรรจุสารละลายซึ่งรู้พื้นที่หน้าตัด ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ปริมาตร และน้ำหนักคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F8628 เป็นตัวส่งข้อมูล และการเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งน้ำหนักผ่าน Modbus Protocol สัญญาณไฟฟ้าของระดับความสูงและน้ำหนักของสารละลายจะแสดงเป็นตัวเลขดิจิทัลได้ที่ชุดแสดงผล ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ทอนุกรม (RS 232 C) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมแลปวิว เพื่อคำนวณค่าความหนาแน่นและค่าความเข้มข้น โดยต้องทำการสอบเทียบค่าความเข้มข้นที่ทราบค่า ซึ่งส่วนประกอบในส่วนของเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีดังต่อไปนี้

2.4.1 โหลดเซลล์ (Load Cell) คือ เซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกดหรือแรงดึงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ โหลดเซลล์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ โหลดเซลล์แบบกด (Compression Load Cell) โหลดเซลล์แบบดึง (Tension Load Cell) และโหลดเซลล์แบบกดและดึง (Compression and Tension Load Cell) โดยในงานวิจัยนี้ใช้โหลดเซลล์แบบกดวัดจุดเดียว ดังรูปที่ 2.8



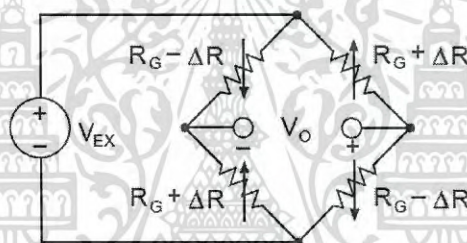
รูปที่ 2.8 โหลดเซลล์แบบวัดจุดเดียว (Single point load cell)

ซึ่งเป็นโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell) หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียด(Strain)จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าตามแรงที่มากระทำ ปกติแล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัวในการวัด ซึ่งมีวงจรแบบวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge Circuit) โดยเกจตัวต้านทานทั้งสี่จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลง

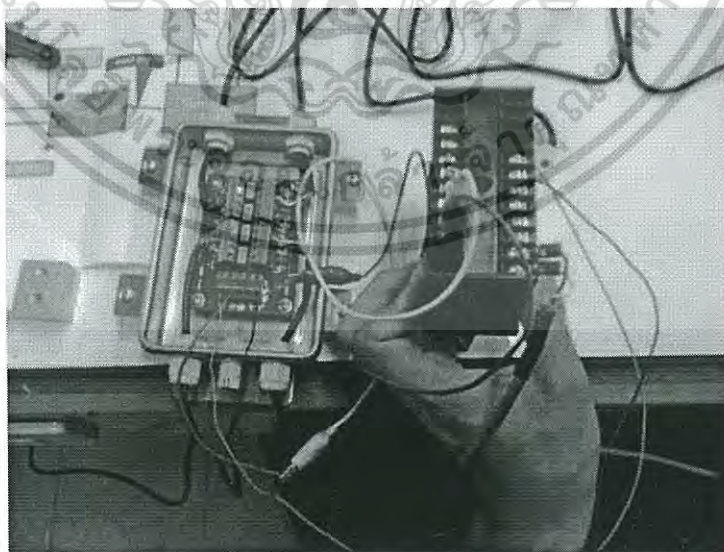
แรงที่กระทำกับโพลดเซลล์ ไม่ว่าจะเป็แรงกดหรือแรงดึงและส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ต่อโวลต์ (mV/V) [29]

ในส่วนของการชั่งน้ำหนักของงานวิจัยนี้ ใช้โพลดเซลล์จำนวน 4 ตัว แต่ละตัวสามารถชั่งน้ำหนักได้ 50 กิโลกรัม เมื่อรวมกันแล้วเครื่องมือชั่งน้ำหนักนี้สามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 200 กิโลกรัม ซึ่งโพลดเซลล์ทั้ง 4 ตัวจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รวมสัญญาณ (Summing box) เพื่อแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งต่อเข้าทรานสมิตเตอร์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

2.4.2 อุปกรณ์รวมสัญญาณ คือ อุปกรณ์ปรับสมดุลของสัญญาณอินพุตให้สมดุลกัน โดยรับสัญญาณไฟฟ้ามาจากโพลดเซลล์ด้วยวงจรวีทสโตนบริดจ์ ซึ่งวงจรมีประกอบด้วย สเตรนเกจจำนวน 4 ตัว เรียกว่า ฟูลบริดจ์ (Full-Bridge) เพื่อเพิ่มความไวของสัญญาณในการวัดให้ดีขึ้น การต่อวงจรฟูลบริดจ์ แสดงดังรูปที่ 2.9 และการเชื่อมต่ออุปกรณ์รวมสัญญาณ กับโพลดเซลล์ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 วงจรฟูลบริดจ์



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่ออุปกรณ์รวมสัญญาณกับโพลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 เครื่องมือวัดปริมาตร การวัดปริมาตรทำได้โดยคำนวณจากการวัดระดับของของเหลวในภาชนะที่ทราบพื้นที่หน้าตัด การวัดระดับของสารละลายน้ำตาลโดยใช้เกจวัดระดับแบบลูกลอยทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์วัดระดับของเหลวแล้วแปลงสัญญาณที่วัดได้ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล (Level Transmitter) ซึ่งเป็นการวัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง มีโครงสร้างอย่างง่ายซึ่งสามารถใช้ได้กับงานในสถานะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ง่ายต่อการใช้ในการวัดระดับของของเหลวโดยอาศัยการลอยตัวของลูกลอย หากลูกลอยสามารถลอยอยู่บนบนของเหลว แสดงว่าแรงเนื่องจากน้ำหนักของลูกลอยที่กดลงมามีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่ลูกลอยจมลงในของเหลว ถ้าระดับของของเหลวเปลี่ยนแปลงจะทำให้ลูกลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงตามไปด้วย จึงสามารถต่อแกนขึ้นในแนวตั้งเพื่อชั่งบอกค่าของระดับได้ [30]

2.4.4 อุปกรณ์ประมวลสัญญาณและแสดงผล

อุปกรณ์ประมวลสัญญาณและแสดงผลนี้รับสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์วัดระดับและเครื่องชั่งน้ำหนัก จากนั้นแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ สำหรับระบบการวัด โดยสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์วัดระดับเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมแปร์ (mA) และสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์รวมสัญญาณสำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักจะเป็นสัญญาณในระดับมิลลิโวลต์ (mV) ซึ่งจะต้องผ่านวงจรการขยายสัญญาณภายในอุปกรณ์ประมวลสัญญาณและแสดงผล โดยการแสดงผลสามารถอ่านได้จากตัวเลขแบบดิจิทัลในหน่วยของน้ำหนักและระดับ

2.4.4.1 Modbus

เนื่องจากตัวแสดงผลในงานวิจัยนี้ใช้ 7-Segment จำนวน 4 หลัก ซึ่งมีข้อจำกัดที่จำนวนหลักจึงแสดงผลได้ไม่ละเอียด แต่แท้จริงแล้วอุปกรณ์ประมวลสัญญาณสามารถแสดงผลได้มากกว่า 4 หลัก โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้โปรโตคอลสำหรับใช้เพื่อสื่อสารข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท Modicon เมื่อ ค.ศ. 1979 (พ.ศ. 2522) เพื่อนำมาใช้กับ PLCs (Programmable Logic Controllers) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม มีชื่อว่า Modbus

โปรโตคอล Modbus เป็นการสื่อสารข้อมูลจากอุปกรณ์แม่ (Master) เครื่องเดียว ไปยังอุปกรณ์ลูก (Slave) ได้หลายๆเครื่อง โดยสามารถกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ได้สูงสุดถึง 247 ซึ่งสามารถเขียนข้อมูลไปยัง Slave ได้ โดยให้อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารกันผ่านทางอนุกรม (Serial Ports) เช่น RS-232 RS-422 และ RS-485 เป็นต้น โดยรูปแบบการติดต่อสื่อสารแสดงดังรูปที่ 2.11 เริ่มต้นจากอุปกรณ์แม่

จะต้องระบุหมายเลขของอุปกรณ์ลูกที่ต้องการสั่งให้เริ่มต้นทำงาน และระบุหมายเลขฟังก์ชันเพื่อ กำหนดคำสั่ง ยกตัวอย่างเช่น ฟังก์ชัน 01 (Read Coil Status) คือ คำสั่งให้อ่านสถานะ ON/OFF ของเอาต์พุตจากอุปกรณ์ลูก ตามด้วยข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้อุปกรณ์ลูกสามารถทำตามคำสั่งตาม หมายเลขฟังก์ชันที่ระบุได้ และตามด้วยรหัสตรวจสอบความผิดพลาด จากนั้นอุปกรณ์ลูกจะส่ง ข้อความตอบกลับคำสั่งตามหมายเลขฟังก์ชันที่อุปกรณ์แม่ระบุ และตามด้วยข้อมูลที่เก็บค่าได้ เช่น ค่า จากรีจิสเตอร์หรือสถานะต่างๆ หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้น จะมีการสร้างหมายเลขฟังก์ชันเพื่อระบุ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกลับมา และไบนารีของข้อมูลจะมีรหัสอธิบายความผิดพลาด ซึ่งการตรวจสอบ ความผิดพลาดนี้จะช่วยให้อุปกรณ์แม่สามารถยืนยันได้ว่าเนื้อหาของข้อความตอบกลับมีความถูกต้อง

Query message from Master

Slave Address
Function Code
Data Bytes
Error Check

Slave Address
Function Code
Data Bytes
Error Check

Response message from Slave

รูปที่ 2.11 การติดต่อสื่อสารแบบ Master - Slave

มีลักษณะการรับส่งข้อมูล 2 แบบ คือ

1. ข้อมูลแบบแอสกี (ASCII) ซึ่งการรับส่งข้อมูลในโหมดนี้ จะมองข้อมูลขนาด 1 ไบต์เป็น 2 ตัวอักษร เช่น ค่า 0x5B ซึ่งเป็นเลขฐานสิบหก จะถูกมองเป็นตัวอักษร 5 และตัวอักษร B จากนั้นจะ ทำการค้นหารหัสแอสกีของตัวอักษรทั้ง 2 ตัวนี้ ซึ่งก็คือ 0x35 สำหรับตัวอักษร 5 และ 0x42 สำหรับ ตัวอักษร B แล้วทำการส่งรหัส แอสกีทั้ง 2 ไบต์นี้ออกไป ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด 1 ไบต์ในโหมด RTU ทำให้การส่งข้อมูลในโหมดแอสกีมีอัตราเร็วในการสื่อสารต่ำกว่าในโหมด RTU ซึ่งโหมดแอสกีออกแบบ มาสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่สามารถกำหนดช่วงระยะเวลาห่างของการส่งเฟรมข้อมูล แต่ในโหมด RTU สามารถกำหนดได้ว่าจะส่งเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมออกมาด้วยเวลาห่างกันเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ในโหมดแอสกี ไม่ต้องกำหนดช่วงระยะเวลาของการส่งเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรม แต่อุปกรณ์ต้องสามารถตรวจจับช่วงระยะเวลาในระหว่างการส่งข้อมูลรหัสแอสกีแต่ละตัวได้ ซึ่งหากเว้นช่วงระยะเวลาการส่งข้อมูลห่างกันนานเกินไป ระบบจะแจ้งว่ามีความผิดพลาดในการสื่อสารเกิดขึ้น โดยปกติจะกำหนดค่าเวลานี้ไว้ที่ 1 วินาที เรียกค่าเวลานี้ว่า Time Out Period ถ้าเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลระหว่างเฟรมข้อมูลในโหมดแอสกี กับ โหมด RTU จะพบว่า การส่งข้อมูลในโหมดแอสกีนั้น หากต้องการส่งไบต์ข้อมูลให้ได้เท่ากับโหมด RTU จะต้องส่งข้อมูลรหัสแอสกีออกไปเป็นจำนวน 2 เท่าของจำนวนไบต์ข้อมูล เช่นในโหมด RTU เฟรมข้อมูล 1 เฟรมสามารถส่งข้อมูลได้มากที่สุด 252 ไบต์ ซึ่งหากเป็นโหมดแอสกี จะต้องส่งข้อมูลตัวอักษรออกไปทั้งหมด 2×252 เท่ากับ 504 ตัวอักษร และเพื่อให้มาตรฐานขนาดของเฟรมข้อมูลของทั้ง 2 โหมดมีขนาดเท่ากัน จึงกำหนดให้ค่า 504 เป็นค่าจำนวนตัวอักษรมากสุดในการส่งเฟรมข้อมูลด้วยโหมดแอสกี

ในโหมดนี้เริ่มต้นเฟรมข้อมูลด้วยการส่งรหัสแอสกีที่กำหนดให้หมายถึงจุดเริ่มต้น คือ 0x3A ซึ่งตรงกับอักษร ':' ตามด้วยแอดเดรสของสเลฟ, หมายเลขฟังก์ชัน, ข้อมูล, รหัสตรวจสอบ LRC และรหัสแอสกี 2 ตัว ที่กำหนดให้หมายถึงจุดสิ้นสุด คือ รหัส 0x0D และ 0x0A คือ รหัส CR (Carriage Return) และ LF (Line Feed) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.12 โดยขณะที่บัสข้อมูลว่างจากการรับส่งข้อมูล อุปกรณ์ทุกตัวจะคอยตรวจสอบข้อมูลในบัสว่ามีการส่งรหัส ASCII ของ ':' ออกมาหรือไม่ ถ้ามีก็จะรับรู้ว่ขณะนี้ ได้มีการเริ่มต้นส่งเฟรมข้อมูลออกมาแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการรับข้อมูลต่อไป

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	LRC CHECK	END
1 CHAR	2 CHARS	2 CHARS	n CHARS	2 CHARS	2 CHARS CRLF

รูปที่ 2.12 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ Modbus ในโหมดแอสกี

With Parity Checking									
Start	1	2	3	4	5	6	7	Par	Stop
Without Parity Checking									
Start	1	2	3	4	5	6	7	Stop	Stop

รูปที่ 2.13 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ Modbus ในโหมดแอสกี

จากรูป 2.13 หน่วยของชุดข้อมูลในโหมดแอสกี คือ ตัวอักษร เนื่องจากเป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบของรหัสแอสกี ซึ่งสามารถกำหนดได้ด้วยบิตข้อมูลจำนวน 7 บิต ดังนั้น จากรูปจะเห็นได้ว่าบิตที่ต้องการส่งรหัส แอสกี 1 ตัว ได้แก่ บิตเริ่มต้น (Start) 1 บิต บิตข้อมูลรหัสแอสกี 7 บิต บิตตรวจสอบ Parity ของข้อมูล 1 บิต และบิตหยุด (Stop) 1 บิต รวมทั้งหมด 10 บิต ซึ่งบิตตรวจสอบ Parity เราสามารถเลือกประเภทการตรวจสอบได้ว่าเป็นแบบคู่ หรือคี่ หรือ ไม่มีบิตการตรวจสอบ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นบิตหยุดแทน และรหัสแอสกีที่ปรากฏในบัสข้อมูลนอกเหนือจากรหัสเริ่มต้นและรหัสสิ้นสุดแล้ว จะเป็นรหัสแอสกีของตัวอักษรตั้งแต่ 0 ถึง 9 และ A ถึง F เท่านั้น

การตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลใน Modbus ASCII จะตรวจสอบในลักษณะ LRC (Longitudinal Redundancy Check) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่นำค่าข้อมูลของตัวอักษรแอสกีที่ส่งออกไปตั้งแต่ตัวแรก นำมาผ่านลอจิก (Exclusive-OR, XOR) ไปจนถึงตัวสุดท้ายจนได้ค่าตัวอักษร BCC (Block Check Character) จำนวน 2 ตัวอักษร

2. ข้อมูลแบบ RTU เป็นข้อมูลแบบเลขฐาน 2 (Binary) เฟรมข้อมูลในโหมดนี้ แสดงดังรูปที่ 2.14 ประกอบด้วยข้อมูลแสดงตำแหน่งแอดเดรสของสเลฟ 1 ไบต์ หมายเลขฟังก์ชัน 1 ไบต์ ข้อมูลที่ทำการรับส่งจำนวนมากสุดไม่เกิน 252 ไบต์ และมีรหัสตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบ CRC (Cyclical Redundancy Checking) ขนาด 2 ไบต์ ค่า CRC นี้เป็นค่าที่คำนวณมาจากข้อมูลทุกไบต์ ไม่รวมบิต Start Stop และ Parity Check โดยตัวเลขที่ส่งข้อมูลออกมาจะสร้างรหัส CRC แล้วส่งตามท้ายไบต์ข้อมูลออกมา ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่นำข้อมูลแต่ละไบต์มาหาร $X^2+X^2+X^2+1$ ในรูปสมการโพลีโนเมียลของเลขฐาน 2 หลังจากนั้นเมื่อมาสเตอร์ได้รับเฟรมข้อมูล และถอดข้อมูลออกจากเฟรมแล้ว จะทำการคำนวณค่า CRC ตามสูตรเดียวกับสเลฟ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า CRC ทั้ง 2 ค่า ว่าตรงกันหรือไม่ หากไม่ตรงกัน แสดงว่าในการรับส่งข้อมูลเกิดความผิดพลาด

การส่งข้อมูล 1 ไบต์ในโหมด RTU จะต้องทำการส่งบิตข้อมูลรวม 11 บิต คือ บิตเริ่มต้น (Start) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต บิตตรวจสอบ Parity ของข้อมูล 1 บิต และบิตหยุด (Stop) 1 บิต หรือหากเลือกแบบไม่มีบิต Parity ก็จะเป็นแบบ Stop แทน 2 บิต ดังแสดงในรูปที่ 2.15

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC CHECK	END
T1-T2-T3-T4	8 Bits	8 Bits	n x 8 Bits	16 Bits	T1-T2-T3-T4

รูปที่ 2.14 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ Modbus ในโหมด RTU

With Parity Checking										
Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Par	Stop
Without Parity Checking										
Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Stop	Stop

รูปที่ 2.15 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ Modbus ในโหมด RTU

สำหรับระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลนี้ควบคุมการทำงานของวาล์วและปั๊ม และอ่านค่าจากตัวแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8628 ซึ่งติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือวัดผ่านการสื่อสารทางอนุกรมRS-485ด้วย Modbus protocol เพื่อนำค่าน้ำหนักและปริมาตรของสารละลายที่ได้มาคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) ปั๊มแบบเซนทริฟิวส์ (Centrifugal pump) 1 ตัว เป็นต้น [31]

2.4.5 แลปวิว

แลปวิว คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบแอปพลิเคชัน โดยการใช้โค้ดรูปภาพแทนการเขียนด้วยตัวหนังสือ เป็นการเขียนโปรแกรมแบบลากวาง แล้วโยงเส้นสัญญาณเชื่อมต่อเข้าหากันในแต่ละบล็อก เป็นเครื่องมือวัดที่เสมือนจริงและสามารถจำลองการทำงานได้ เป็นซอฟต์แวร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการวัด การวิเคราะห์ การทดสอบ และการควบคุมแบบอัตโนมัติ [32] ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมแลปวิว เวอร์ชัน 2012 ของบริษัท National Instruments ในการแสดงผลแบบกราฟฟิก

2.5 การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical Analysis)

ในงานวิจัยนี้ ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลที่ออกแบบต้องมีการทดสอบความสามารถของระบบในด้านการวัด เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงความสามารถทางด้านการวัดของเครื่องมือที่ออกแบบ ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ ดังนี้

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง หากต้องการให้เครื่องมือวัดอ่านค่าได้ถูกต้องควรทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างสม่ำเสมอ มีการแสดงผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำหรือค่าความถูกต้อง (%Accuracy) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (2.5)$$

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด คำนวณได้จาก ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนดังสมการที่ 2.6 และ 2.7

$$Relative\ error = |(X_{mea} - X_t) / X_t| \quad (2.6)$$

$$\%Error = Relative\ error * 100 \quad (2.7)$$

โดย X_t คือ ค่าจริง (True value)

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measured value)

ในการวัดทุกครั้งอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่งการวัดค่าตัวแปรในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันแต่ครั้งค่าที่ได้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการบันทึกผลการวัดหลายครั้งแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าการวัดเพียงครั้งเดียว การประเมินความไม่แน่นอนทำได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ โดยนำข้อมูลจากการวัดซ้ำหรือจากการสุ่มจากกระบวนการวัดมาวิเคราะห์ และนำมาคำนวณหาค่าทางสถิติดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean, x_m) คือค่ากลางที่อ่านได้จากการวัด สามารถคำนวณได้จากการรวมค่าที่อ่านได้จากการวัดทุกค่าแล้วหารด้วยจำนวนครั้งของการวัด ดังสมการที่ 2.8

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.8)$$

โดย x_m คือ ค่าเฉลี่ย

x_1, x_2, \dots, x_i คือ ค่าที่ได้จากการวัด

n คือ จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) จากการทดลองทำการวัดซ้ำ เป็นการบอกถึงการกระจายของข้อมูลในทางสถิติ หากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำจะแสดงถึงค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้งไม่แตกต่างกันมาก ถ้าเท่ากับศูนย์แสดงว่าผลการวัดนั้นเท่ากันทุกครั้งไม่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$SD = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

และโดยทั่วไปจำนวนครั้งสำหรับการวัด 20 ครั้ง เพียงพอสำหรับการพิจารณาความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดได้ [33]

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย

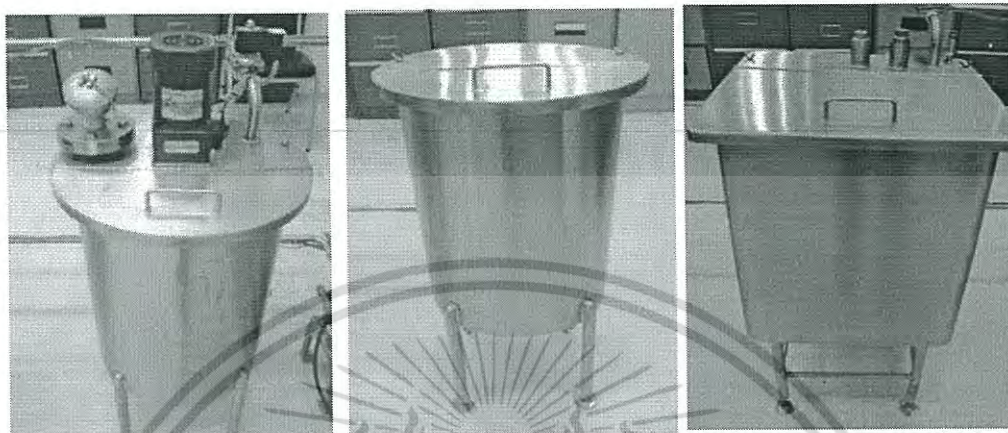
ในระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติ สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่เย็นนี้ ได้ออกแบบการทำงานของระบบให้มีความเป็นกึ่งอัตโนมัติ โดยในระบบได้พัฒนาการทำงานทั้งใน ส่วนของการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และในส่วนของการเตรียมสารละลายน้ำตาล เนื่องจากในกระบวนการออสโมติก การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีความสำคัญอย่างยิ่ง และในการเตรียมสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้นตรงตามที่เราต้องการนั้น ระบบการวัดค่า ความเข้มข้นจะต้องมีความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เพื่อให้การคำนวณ สัดส่วนของสารละลายน้ำตาลมีความถูกต้อง ซึ่งส่งผลให้ระบบสามารถเตรียมสารละลายน้ำตาลได้ตรง ตามความเข้มข้นที่ต้องการ จึงมีการออกแบบการทดลองดังหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การออกแบบของระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการ ออสโมติก

ในระบบการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและปรับปรุงให้รองรับ กับกระบวนการแช่เย็นในปัจจุบัน ซึ่งในระบบประกอบไปด้วยถังจำนวน 5 ถัง ได้แก่ ถังผสม สารละลาย 1 ถัง ซึ่งเป็นถังที่ออกแบบให้เป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วย ถังแช่ออสโมติก 1 ถัง และถังบรรจุสารละลายน้ำตาล 3 ถัง(ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนระดับความเข้มข้น ของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการ) แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยในขั้นตอนการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลโดย การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ออกแบบให้อาหารคงที่อยู่ในถังแช่ออสโมติก แล้วใช้ การเวียนสารละลายน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่ำไปจนถึงระดับความเข้มข้นสูงตามกระบวนการแช่ อิ่มในระดับอุตสาหกรรม โดยระบบที่ทำการออกแบบมีขั้นตอนการแปรรูปเริ่มจากการแช่วัตถุดิบใน สารละลายน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่ำและเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้ สูงขึ้นตามความต้องการ สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นลดลงหรือเจือจางจะนำมาผสมกับ สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงกว่าในถังผสมเพื่อปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับไปใช้ใหม่ นอกจากนี้ภายในระบบมีการติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยให้ระบบทำงานอย่างมี ประสิทธิภาพ สำหรับวัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบต้นแบบที่ต้องสัมผัสกับสารละลาย น้ำตาลและวัตถุดิบจะใช้วัสดุที่ทำจากสแตนเลส โดยถังต่าง ๆ เชื่อมต่อกันด้วยระบบท่อ และติดตั้งปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลำเลียงสารละลายน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างๆผ่านระบบท่อไปยังถังแช่ออสโมติก ถังผสมสารละลาย และถังเก็บสารละลาย 3 ถัง ซึ่งระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติกที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.2

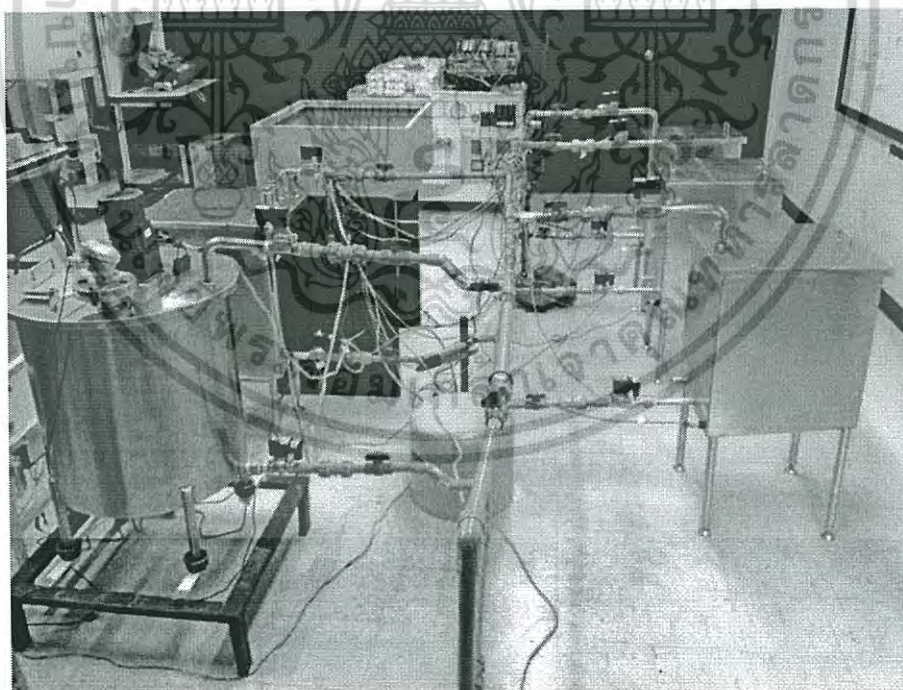


(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.1 (ก) ถังผสมสารละลาย (ข) ถังเก็บสารละลาย และ(ค) ถังแช่ออสโมติก

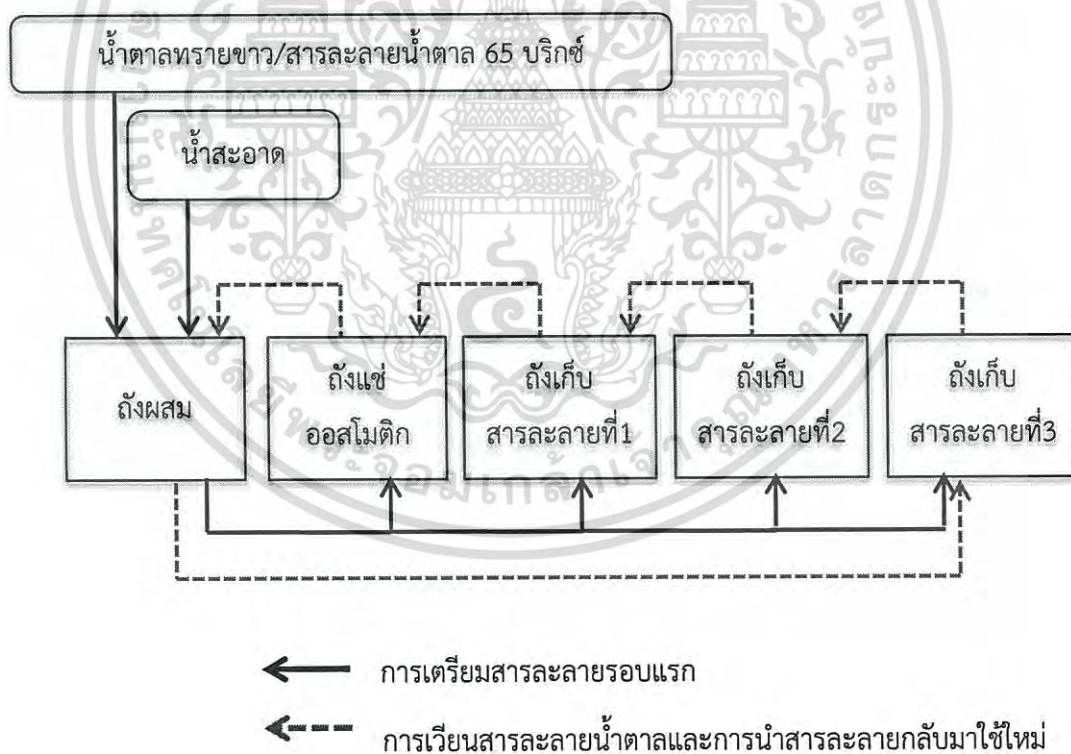


รูปที่ 3.2 ระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทำงานของระบบต้นแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

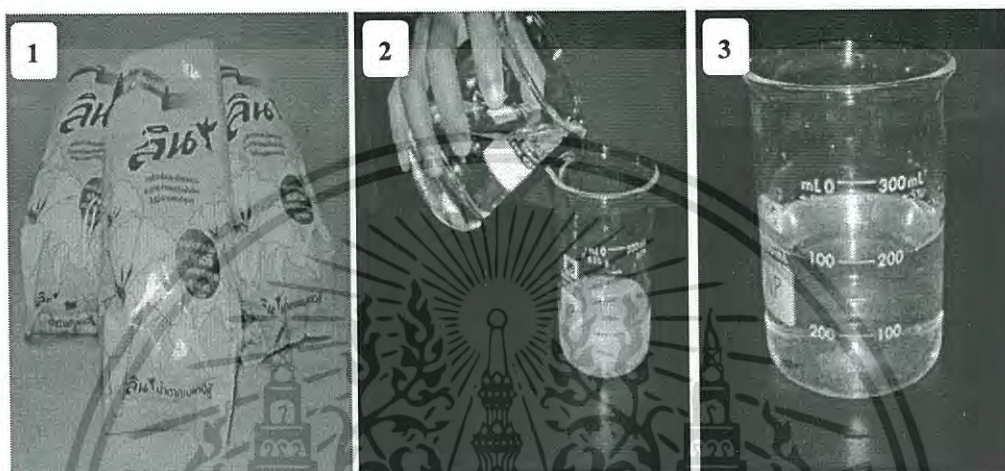
การทำงานของระบบเริ่มต้นจากการเตรียมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 35 45 55 และ 65 ปริกซ์ โดยเตรียมสารละลายน้ำตาลในถังผสมเพื่อทำการวัดค่าความเข้มข้นและปริมาตรให้ได้ตรงตามความต้องการ จากนั้นนำสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 35 ปริกซ์ไปไว้ที่ถังแช่เพื่อทำการแช่อาหารในระดับความเข้มข้นเริ่มต้นตามเวลาที่กำหนด ส่วนสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 45 55 และ 65 ปริกซ์ จะถูกนำไปเก็บในถังเก็บสารละลายที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อครบตามเวลาการแช่อาหารที่กำหนดระบบก็จะทำการเวียนสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นสูงขึ้นที่ค่าความเข้มข้น 45 55 และ 65 ปริกซ์ ตามลำดับเพื่อนำไปแช่อาหารตามเวลาที่กำหนดตามกระบวนการแช่อิม และสารละลายที่ผ่านการแช่อาหารแล้วจะถูกเวียนมาปรับเพิ่มความเข้มข้นให้เท่าเดิมในถังผสมโดยการเติมสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 ปริกซ์ เพื่อเก็บไว้ใช้ในการแช่อาหารสำหรับกระบวนการแช่อิมในครั้งต่อไป ซึ่งกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการทำงานของระบบปรับปรุงสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

3.3 การเตรียมสารละลายออสโมติก

ในการทดลอง ทำการเตรียมสารละลายออสโมติก ซึ่งในงานวิจัยใช้เป็นสารละลายน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 35 45 55 และ 65 บริกซ์ ด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สันสแควร์ (ในหัวข้อ 2.2) จากการนำน้ำตาลทราย (จากกลุ่มบริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง) มาละลายกับน้ำสะอาด ดังรูปที่ 3.4 และวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยเครื่องรีแฟคโตมิเตอร์



รูปที่ 3.4 การเตรียมสารละลายออสโมติก

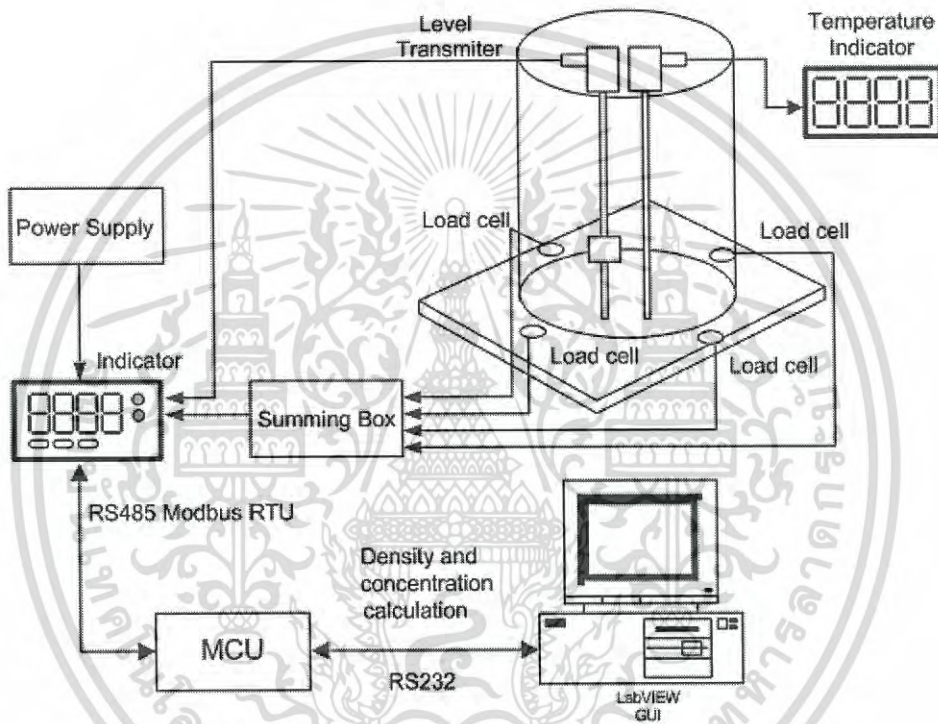
3.4 การออกแบบและการทดสอบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

3.4.1 การออกแบบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

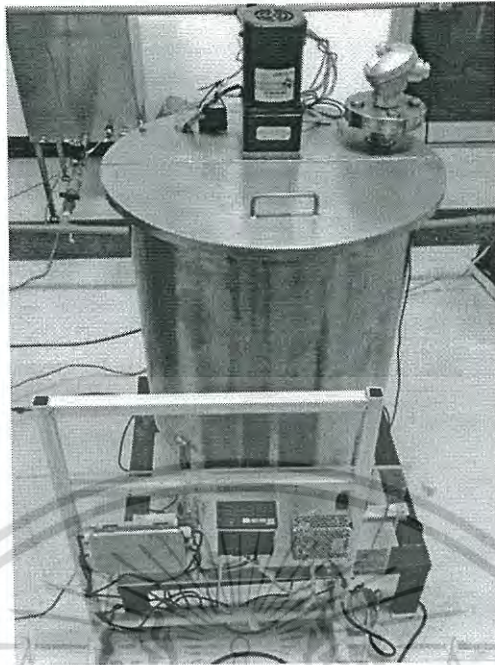
ในการทำงานของระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลนี้ ถึงผสมจะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นโดยอาศัยการวัดค่าความหนาแน่นของสารละลายผ่านการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะคำนวณหาสัดส่วนในการผสมให้ได้ค่าความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายน้ำตาลตามต้องการ โดยการทำงานของระบบเริ่มจากปล่อยสารละลายน้ำตาลที่ต้องการวัดค่าความเข้มข้นเข้าสู่ถังผสม น้ำหนักของสารละลายน้ำตาลจะสามารถวัดได้จากโหลดเซลล์จำนวน 4 ตัว ซึ่งภายในประกอบด้วยตัวตรวจรู้แบบเกจวัดความเครียด สัญญาณจะถูกส่งเข้ากล่องรวมสัญญาณ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซิ่ง 24 โวลต์ ระดับของสารละลายน้ำตาลสามารถวัดได้จากตัวตรวจรู้ระดับแบบต่อเนื่อง ซึ่งให้สัญญาณมาตรฐานของเครื่องมือวัดคือ 4-20 มิลลิแอมแปร์ ระดับของของเหลวสามารถนำมาคำนวณหาค่าปริมาตรได้จากความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัด ค่าน้ำหนักและค่าระดับจะสามารถอ่านค่าได้จากชุดแสดงผลและส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ โดยค่าที่ได้จะส่งไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งทำหน้าที่ในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล แล้วส่งต่อให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยการสื่อสารอนุกรมแบบระยะไกลตามมาตรฐาน RS 485 อาศัยข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารแบบ Modbus Protocol และเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งการทำงานของระบบทั้งหมดนี้แสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงชุดถังผสมที่ออกแบบเป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.5 การออกแบบเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล



รูปที่ 3.6 แสดงชุดถังผสมที่ออกแบบเป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล
ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

3.4.2 การทดสอบการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนัก

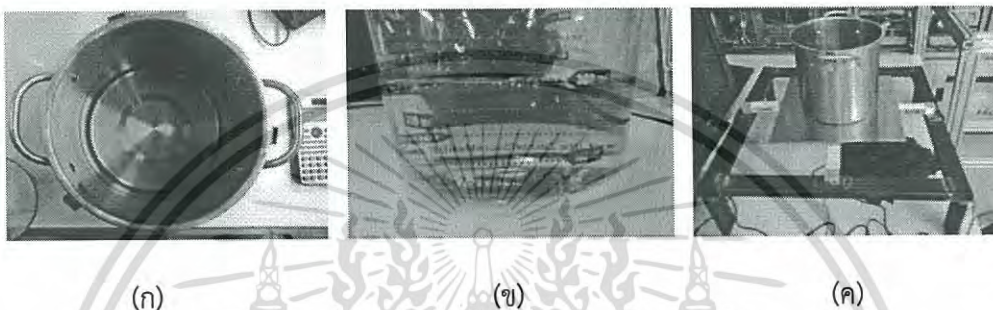
การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบค่าคุณสมบัติทางการวัดของเครื่องมือวัด เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การสอบเทียบน้ำหนักทำได้โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเป็นอุปกรณ์ในการสอบเทียบความถูกต้องในการวัด โดยในการทดลองนี้ได้นำตุ้มน้ำหนักขนาด(กรัม) 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000 6500 7000 7500 และ8000 มาเพื่อทดสอบหาค่าความแม่นยำ ค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความเที่ยงตรง (Precision) โดยทำการทดลองในแต่ละค่าจำนวน 20 ครั้ง

3.4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลาย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลาย โดยการกำหนดปริมาตรของสารละลายให้คงที่และชั่งน้ำหนักของสารละลายด้วยโหลดเซลล์ควบคู่กัน โดยควบคุมอุณหภูมิของสารละลายเท่ากับอุณหภูมิห้อง(25°C) จากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่นของสารละลาย(ρ) ตามสมการที่ 2.3 (ในหัวข้อ2.3.1)จากปริมาตรที่กำหนด และจากน้ำหนักที่โหลดเซลล์วัดได้ เปรียบเทียบเพื่อดูความสัมพันธ์ที่แต่ละค่าความเข้มข้นที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการเตรียมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 0 14.88 25.4 35.2 45 55.2 66 บริกซ์ ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เตรียมขึ้นวัดได้จาก รีแฟคโตมิเตอร์ ในแต่ละค่าความเข้มข้นกำหนดปริมาตรสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 8000 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทำการทดลองใช้ โพลดเซลล์อ่านค่าน้ำหนักของสารละลายน้ำตาลเป็นจำนวน 20 ครั้ง ในแต่ละค่าความเข้มข้น ซึ่งอ่านค่าครั้งละ 100 ค่าเพื่อนำมาหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาลที่แต่ละความเข้มข้น อุปกรณ์ และวิธีการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลโดยทำการกำหนดให้ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลคงที่
(ก) ภาพขณะทดสอบขนาด 8,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ข) ภาพขณะสำหรับตวงสารละลายน้ำตาล
(ค) การทดลองชั่งน้ำหนักด้วยโพลดเซลล์

3.4.4 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากรีแฟคโตมิเตอร์กับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ออกแบบ

การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากรีแฟคโตมิเตอร์กับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมือที่ออกแบบของสารละลายน้ำตาลสามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มข้นที่ทราบค่าจากการวัดจากรีแฟคโตมิเตอร์ (ในงานวิจัยนี้ใช้ รุ่น Master-22 (0-33 บริกซ์) รุ่น Master- α (28-62 บริกซ์) และรุ่น Master-32 (58-90 บริกซ์) จากบริษัท อะตาโก จำกัด ประเทศญี่ปุ่น) ดังรูปที่ 3.8 เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมือที่ออกแบบที่ได้จากหลักการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสารละลาย จากการทดลองกับค่าความเข้มข้นที่ 0 15.6 32 48.4 และ 65.8 บริกซ์ เพื่อทดสอบว่าสามารถวัดระดับความเข้มข้นได้ตรงตามค่าความเข้มข้นที่ทราบค่า เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับการควบคุมระบบออสโมติกแบบอัตโนมัติได้

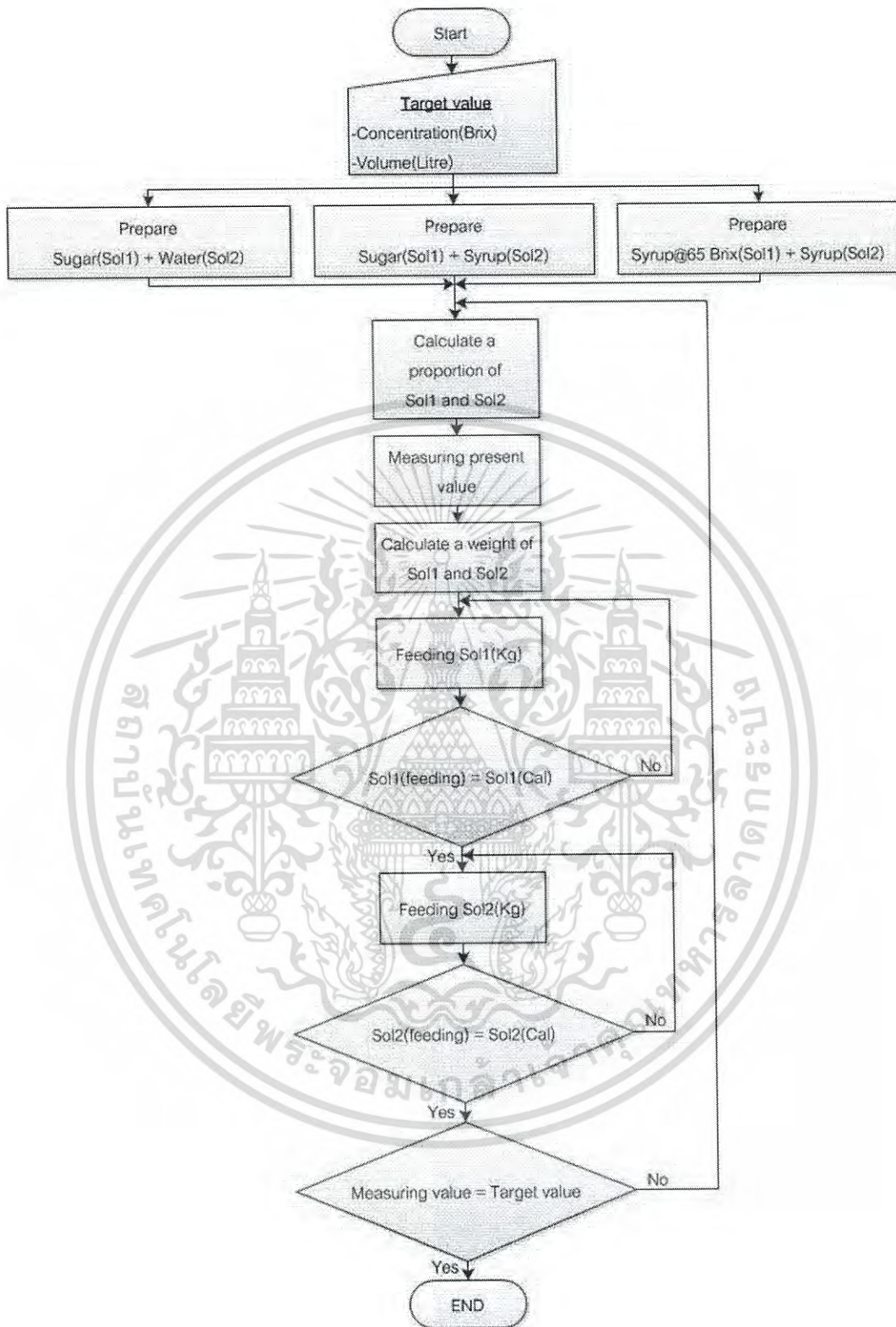


รูปที่ 3.8 รีแฟคโตมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล

3.5 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์(แลปวิว)เพื่อใช้ในการคำนวณสัดส่วนผสมในการเตรียมสารละลายน้ำตาลจากการคำนวณส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน

สำหรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลเพื่อให้ได้ปริมาตรและความเข้มข้นตามที่กำหนดนั้น ในการทดลองจะทำการกำหนดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลให้คงที่ไว้เท่ากับ 8000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำการคำนวณน้ำหนักรวมของสารละลายน้ำตาลที่ต้องการที่แต่ละความเข้มข้นออกมาโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ (2.3) คือ $m = \rho \times v$

จากนั้นวัดน้ำหนักและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่มีอยู่ เพื่อคำนวณว่าต้องใช้สารละลายเติมเท่าไรและเพื่อคำนวณหาสัดส่วนปริมาณผลึกน้ำตาลหรือปริมาณสารละลายน้ำตาล ความเข้มข้นสูง (65 บริกซ์) ที่ต้องเติม เพื่อปรับเพิ่มปริมาตรและความเข้มข้นให้ได้ตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน ซึ่งระบบจะทำการคำนวณค่าความเข้มข้นและสัดส่วนผสมของสารละลายน้ำตาลในถังสำหรับผสม แสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิวที่พัฒนาไว้ ค่าความเข้มข้นจะถูกคำนวณจากค่าความหนาแน่น และการคำนวณสัดส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน ทำได้ตั้งสมการที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณสัดส่วนผสม
เพื่อเตรียมสารละลายน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณสัดส่วนผสมเพื่อเตรียมสารละลายน้ำตาลแสดงในรูปที่ 3.9 เริ่มต้นโปรแกรมโดยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถป้อนค่าความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายน้ำตาลที่ต้องการได้ (บนหน้าต่างโปรแกรมแลปวิวที่พัฒนาขึ้น) และผู้ปฏิบัติงานต้องป้อนค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่ 1 และ 2 ซึ่งเปรียบเสมือนการเลือกว่าจะเตรียมสารละลายน้ำตาลด้วยกรณีใด โดยกำหนดให้ผลึกน้ำตาลมีความเข้มข้นเท่ากับ 100 บริกซ์ น้ำสะอาดมีความเข้มข้นเท่ากับ 0 บริกซ์ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ 1 และ 2 ที่ต้องเติม และระบบจะทำการวัดและแสดงค่าความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายที่มีอยู่ในถังวัดในขณะนั้น โปรแกรมจะทำการคำนวณปริมาณของสารตั้งต้นที่ 1 และ 2 ที่ต้องเติมออกมาเป็นค่าน้ำหนักที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัม เมื่อผู้ปฏิบัติงานเติมสารตั้งต้นที่ 1 ลงไป โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าค่าที่เติมนั้นตรงกับค่าที่โปรแกรมคำนวณไว้หรือไม่ หากไม่ยังไม่ตรง ก็จะแสดงผลให้เติมสารตั้งต้นที่ 1 อีก แต่หากเติมสารตั้งต้นที่ 1 เท่ากับค่าที่โปรแกรมคำนวณแล้ว ผู้ปฏิบัติงานก็สามารถเติมสารตั้งต้นที่ 2 ต่อไปได้ โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบเช่นเดียวกันกับตอนเติมสารตั้งต้นที่ 1 หากค่าที่ระบบวัดได้ ยังไม่ตรงกับค่าที่ผู้ปฏิบัติงานป้อนไว้ในตอนต้น โปรแกรมจะวนลูปลงไปคำนวณสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ 1 และ 2 ที่ต้องเติมเพิ่มใหม่อีกครั้ง แต่หากค่าที่ระบบวัดได้ เท่ากับค่าที่ผู้ปฏิบัติงานป้อนไว้ในตอนต้นแล้ว ระบบจะสั่งให้วาล์วและปั๊มทำงาน เพื่อเวียนสารละลายที่เตรียมได้ความเข้มข้นและปริมาตรตรงตามที่ต้องการแล้วไปยังถังแช่เอสโมติกหรือถังเก็บสารละลายเพื่อใช้งานในกระบวนการแปรรูปต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนัก

การทดลองนี้เพื่อทดสอบค่าคุณสมบัติทางการวัดของเครื่องมือวัด เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การสอบเทียบน้ำหนักทำได้โดยการใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเป็นอุปกรณ์ในการสอบเทียบความถูกต้องในการวัด โดยในการทดลองนี้ได้นำตุ้มน้ำหนักขนาด(กรัม) 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000 6500 7000 7500 และ8000 มาเพื่อทดสอบหาค่าความแม่นยำ ค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความเที่ยงตรง โดยทำการทดลองในแต่ละค่าจำนวน 20 ครั้ง จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 พบว่าที่ค่าน้ำหนักสูงให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงดีกว่าน้ำหนักต่ำ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบสามารถยืนยันได้ถึงความแม่นยำของโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางการวัดของเครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับวัดความเข้มข้น

Weight(kg)	True value	Measure value	Error		Accuracy (%)	Precision (%)
			Absolute	Relative (%)		
0.5	0.46	0.41	0.136	29.614	70.385	4.753
1.0	0.94	0.91	0.104	10.991	89.008	2.804
1.5	1.44	1.40	0.110	7.697	92.302	2.365
2.0	1.98	1.93	0.113	5.732	94.267	1.789
2.5	2.52	2.50	0.102	4.042	95.957	0.896
3.0	3.02	3.01	0.098	3.270	96.729	0.941
3.5	3.56	3.54	0.091	2.562	97.437	0.700
4.0	3.98	3.97	0.078	1.969	98.030	0.676
4.5	4.46	4.46	0.087	1.950	98.049	0.700
5.0	4.96	4.95	0.116	2.347	97.652	1.087
5.5	5.46	5.46	0.099	1.810	98.189	0.756
6.0	6.00	6.00	0.106	1.775	98.224	0.791
6.5	6.50	6.50	0.095	1.462	98.537	0.710
7.0	6.99	6.99	0.094	1.352	98.647	0.409
7.5	7.48	7.49	0.068	0.918	99.081	0.175
8.0	7.94	7.94	0.050	0.641	99.358	0.140

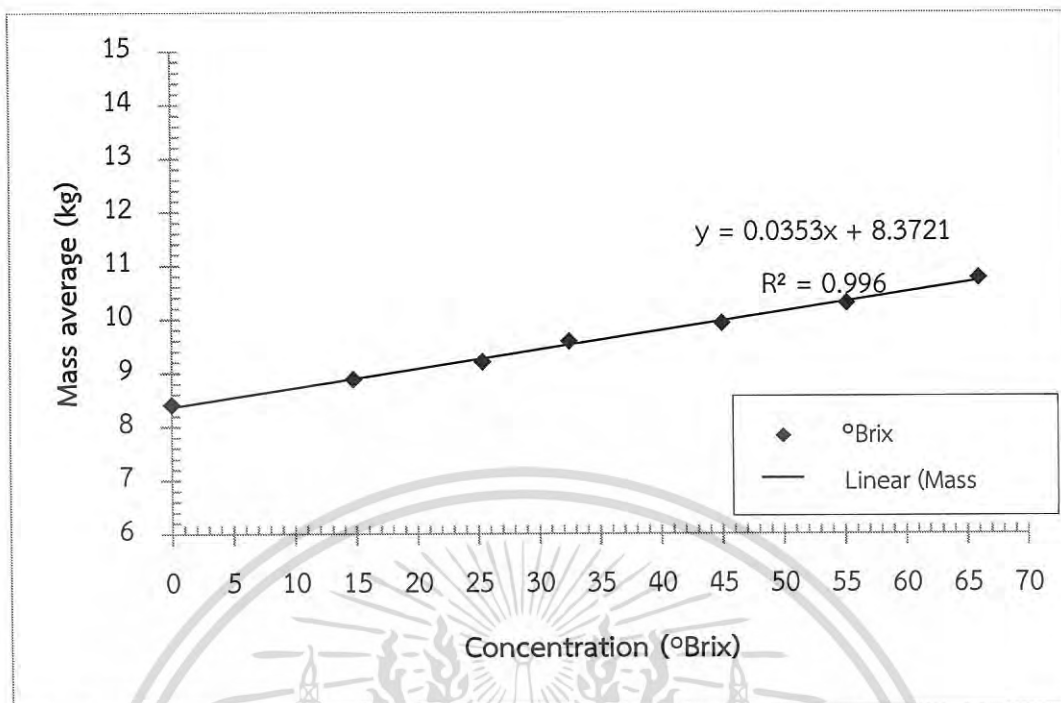
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาล

จากการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาล โดยทำการเตรียมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 0 14.88 25.4 35.2 45 55.2 66 บริกซ์ ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เตรียมขึ้นวัดได้จาก รีแฟคโตมิเตอร์ ในแต่ละค่าความเข้มข้นกำหนดปริมาตรสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 8 ลิตร โดยทำการทดลองใช้โพลดเชลล์ อ่านค่าน้ำหนักของสารละลายน้ำตาลเป็นจำนวน 20 ครั้ง ในแต่ละค่าความเข้มข้น ซึ่งอ่านค่าครั้งละ 100 ค่าเพื่อนำมาหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาลในแต่ละความเข้มข้นผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาล

°Brix	Mass Average (kg)	Standard Deviation (SD)
0.00	8.410	0.0133
14.80	8.879	0.0431
25.40	9.205	0.0082
32.50	9.583	0.0070
45.00	9.913	0.0077
55.20	10.289	0.0117
66.00	10.757	0.0104



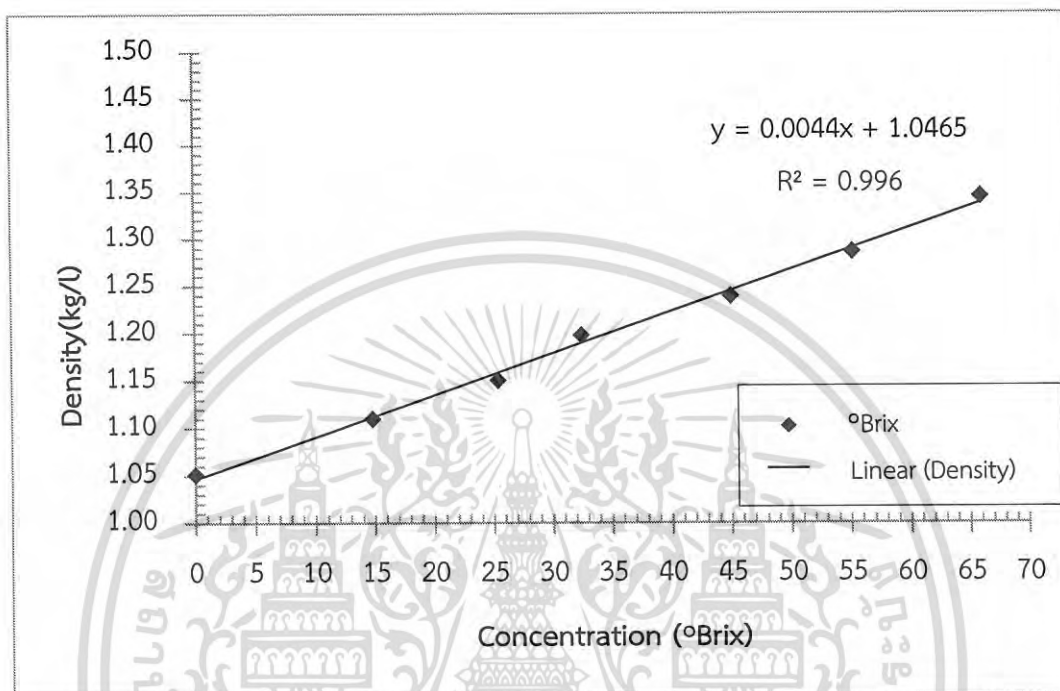
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาล

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสารละลายน้ำตาลมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น ค่าน้ำหนักของสารละลายน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.043 ซึ่งบ่งบอกได้ถึงค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้งไม่มีความแตกต่างกันมาก มีความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่อนข้างน้อยมาก

4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล

จากการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล โดยทำการเตรียมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 0 14.88 25.4 35.2 45 55.2 66 บริกซ์ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เตรียมขึ้นวัดได้จาก รีแฟกโตมิเตอร์ ในแต่ละค่าความเข้มข้นกำหนดปริมาตรสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 8 ลิตร โดยทำการทดลองใช้โพลดเซลล์อ่านค่าน้ำหนักของสารละลายน้ำตาลเป็นจำนวน 20 ครั้ง ในแต่ละค่าความเข้มข้น ซึ่งอ่านค่าครั้งละ 100 ค่าเพื่อนำค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสารละลายน้ำตาลในแต่ละความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลตามสมการที่ 2.3 (ในหัวข้อที่ 2.3.1) ซึ่งจากผลการทดลอง เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลจะเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0044x + 1.0465$ และนำสมการที่ได้ไปใช้

ในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล เพื่อใช้ในการสร้างเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นต่อไป



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล

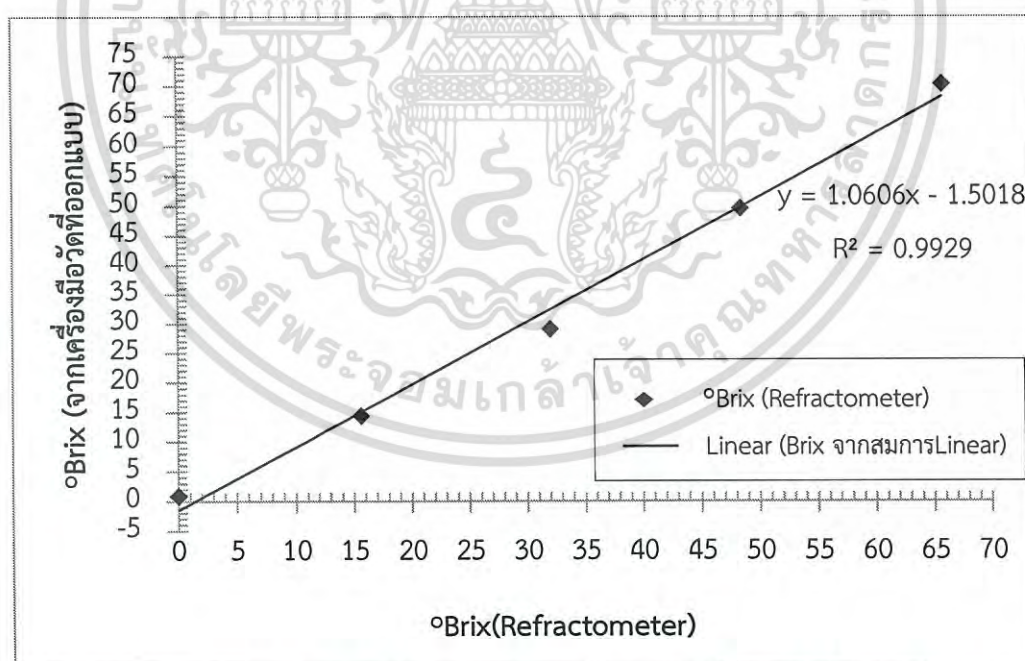
4.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นที่ออกแบบ กับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จาก รีแฟคโตมิเตอร์

การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากรีแฟคโตมิเตอร์กับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ออกแบบของสารละลายน้ำตาลสามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มข้น (บริกซ์) ที่ทราบค่าจากการวัดจากรีแฟคโตมิเตอร์ เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ออกแบบที่ได้จากหลักการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสารละลาย จากการทดลองกับค่าความเข้มข้นที่ 0 14.88 25.4 35.2 45 55.2 และ 66 บริกซ์ เพื่อทดสอบว่าสามารถวัดระดับความเข้มข้นได้ตรงตามค่าความเข้มข้นที่ทราบค่า เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับการควบคุมระบบการเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติได้ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 โดยค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เครื่องมือวัดที่ออกแบบวัดได้ มีความแตกต่างจากค่าที่วัดได้จาก

รีแฟคโตมิเตอร์ ในแต่ละความเข้มข้นไม่เกิน ± 5 บริกซ์ และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดไม่เกิน 9.27% และมีค่าความแม่นยำมากกว่า 90.73%

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นที่ออกแบบ กับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จาก รีแฟคโตมิเตอร์

°Brix (Reflectrometer)	°Brix (เครื่องมือวัดที่ออกแบบ)	Relative error	%Error	%Accuracy
0.0	0.8	0.00	0.00	100.00
15.6	14.3	0.08	8.07	91.93
32.0	29.0	0.09	9.27	90.73
48.4	49.5	0.02	2.47	97.53
65.8	70.2	0.06	6.81	93.19



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นที่ออกแบบ กับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่วัดได้จากรีแฟคโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากการคำนวณส่วนผสมที่ต้องเติมโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน

ในการทดลองแบ่งเป็น 3 กรณี คือ 1.การเตรียมสารละลายน้ำตาลจากผลึกน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 30-65 บริกซ์ , 2.การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับผลึกน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30-65 บริกซ์ และ 3.การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง65บริกซ์ ที่ความเข้มข้น 30-65บริกซ์ แล้วแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำจากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 – 4.6 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเปรียบเทียบค่าปริมาตร พบว่าค่าปริมาตรที่วัดได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าปริมาตรที่กำหนดไม่เกิน 1.255% และค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เครื่องมือวัดได้จากการเตรียมสารละลายน้ำตาลในแต่ละกรณีค่อนข้างมีความแม่นยำ โดยค่าความเข้มข้นที่วัดได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5.552% และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ ± 5 บริกซ์ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากโพลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดน้ำหนัก ทำให้มีผลต่อความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลจึงทำให้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองแสดงค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ กรณีเตรียมสารละลายน้ำตาลจากผลึกน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 30 35 45 55 65 ปริกซ์

Actual		Calculated	
Volume(L)	Concentration (° Brix)	sugar(kg)	water(kg)
8	30	2.6839	6.2625
8	35	3.2012	5.9452
8	45	3.2012	5.9452
8	55	5.4705	4.4759
8	65	6.7252	3.6312
Experimental		Experimental	
Volume (L)	Concentration (° Brix)	sugar(kg)	water(kg)
7.98	29.93	2.6360	6.1708
7.97	34.97	3.1512	5.8596
7.90	43.78	4.1010	5.2662
7.93	51.94	5.0375	4.6600
7.91	62.18	6.2882	3.8237

Relative Error		%Error		%Accuracy	
Volume	Concentration	Volume	Concentration	Volume	Concentration
0.002	0.002	0.250	0.227	99.750	99.772
0.003	0.001	0.375	0.082	99.625	99.918
0.012	0.027	1.250	2.710	98.750	97.289
0.008	0.055	0.875	5.552	99.125	94.447
0.011	0.043	1.125	4.328	98.875	95.671

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแสดงค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ กรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลจากการเติมผลึกน้ำตาลเพิ่มในสารละลายน้ำตาลเดิมที่มีอยู่ (Solution before) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 30 35 45 55 65 บริกซ์

Actual		Actual		Calculated	
Volume(L)	Concentration (° Brix)	Solution before(kg)		sugar(kg)	
8	30	water6.26248		2.6839	
8	35	8.4931		0.6533	
8	45	8.0777		1.4687	
8	55	8.1380		1.8084	
8	65	8.0472		2.2992	
Experimental		Experimental		Experimental	
Volume (L)	Concentration (° Brix)	Solution before(kg)		sugar(kg)	
7.98	29.93	water6.1708		2.6360	
7.97	34.99	8.3691		0.6424	
7.90	43.50	8.1321		1.2238	
7.93	52.26	8.4282		1.2821	
7.91	61.55	8.6175		1.4687	
Relative Error		%Error		%Accuracy	
Volume	Concentration	Volume	Concentration	Volume	Concentration
0.002	0.002	0.250	0.227	99.750	99.772
0.003	0.001	0.375	0.027	99.625	99.972
0.012	0.033	1.250	3.327	98.750	96.672
0.008	0.049	0.875	4.978	99.125	95.021
0.011	0.053	1.125	5.303	98.875	94.696

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

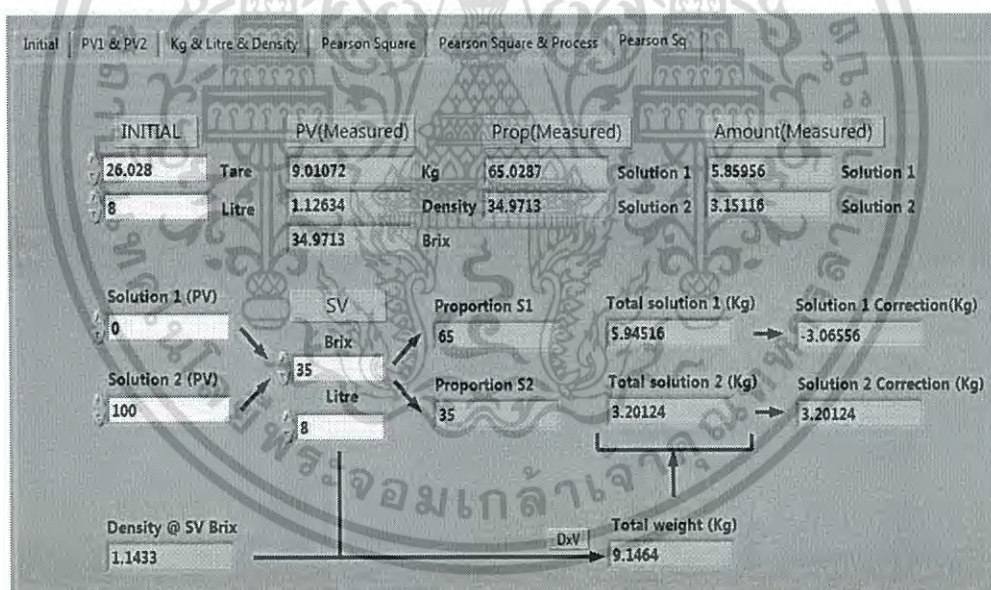
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองแสดงค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ กรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลจากการเติมสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง(65บริกซ์) เพิ่มในสารละลายน้ำตาลเดิม (Solution before) ที่มีอยู่ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 30 35 45 55 65 บริกซ์

Actual		Calculated			
Volume(L)	Concentration (° Brix)	Solution before(kg)	Solution 65 °Brix(kg)		
8	30	water4.81729	4.1291		
8	35	7.8398	1.3066		
8	45	6.3643	3.1821		
8	55	4.9732	4.9732		
8	65	0.0000	10.4512		
Experimental		Experimental			
Volume (L)	Concentration (° Brix)	Solution before(kg)	Solution 65 °Brix(kg)		
7.98	29.14	water4.8406	3.9344		
8	34.73	7.7832	1.2181		
7.98	44.40	6.4473	2.9452		
7.97	54.09	5.3365	4.4479		
Relative Error		%Error		%Accuracy	
Volume	Concentration	Volume	Concentration	Volume	Concentration
0.002	0.028	0.250	2.854	99.750	97.145
0.000	0.007	0.000	0.753	100.000	99.246
0.002	0.013	0.250	1.318	99.750	98.682
0.003	0.016	0.375	1.651	99.625	98.348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลองแสดงหน้าตาต่างการวัดค่าความเข้มข้น และการคำนวณค่าสัดส่วน ปริมาณส่วนผสมสำหรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลโดยใช้โปรแกรมแลปวิว

จากการออกแบบระบบการวัดค่าความเข้มข้นและการคำนวณสัดส่วนผสมของสารละลายน้ำตาลให้ได้ปริมาตรและความเข้มข้นตามที่เรากำลังต้องการ จะแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิวที่พัฒนาไว้ เมื่อระบบมีการเติมส่วนผสมตามที่คำนวณไปแล้ว ระบบจะทำการวัดค่าความเข้มข้นและสัดส่วนผสมซึ่งค่าทั้งหมดจะแสดงในหน้าตาต่างดังรูปที่ 4.4 – 4.6 ซึ่งหน้าตาต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิวได้ถูกออกแบบให้รองรับกับระบบการเตรียมสารละลายน้ำตาลกึ่งอัตโนมัติได้ทั้ง 3 กรณี คือ 1.การเตรียมสารละลายน้ำตาลจากผลึกน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 30-65 บริกซ์ , 2.การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับผลึกน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30-65 บริกซ์ และ 3.การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 บริกซ์ ที่ความเข้มข้น 30-65 บริกซ์

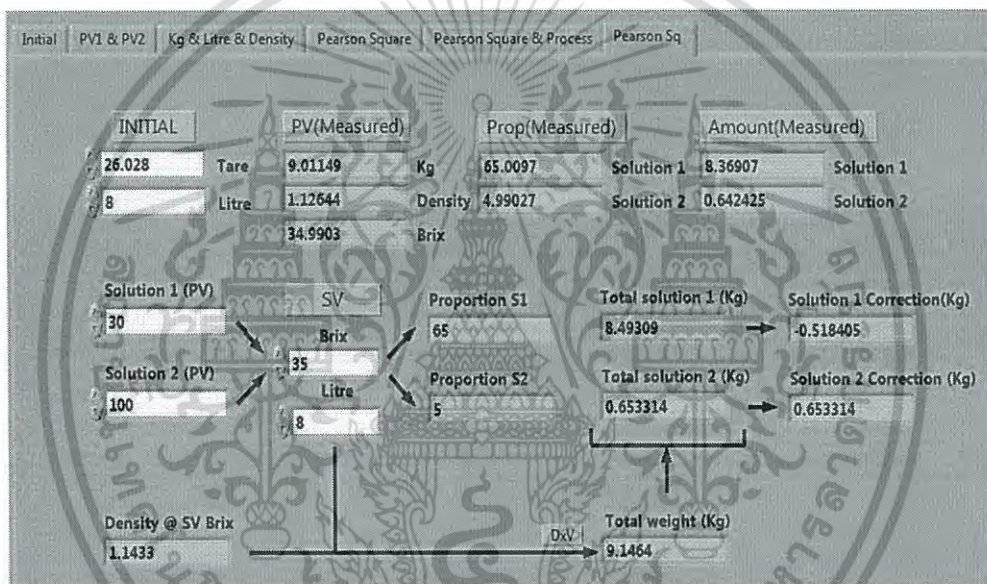


รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างหน้าตาต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีเตรียมสารละลายน้ำตาลจากผลึกน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 35 บริกซ์

จากรูปที่ 4.4 เป็นหน้าตาต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีเตรียมสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 35 บริกซ์ จากผลึกน้ำตาลกับน้ำ โดยผู้ปฏิบัติงานกรอกค่าความเข้มข้นของน้ำซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 0 ในช่อง Solution 1(PV) และกรอกค่าความเข้มข้นของผลึกน้ำตาลซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 100 ในช่อง Solution 2(PV) จากนั้นกรอกค่าความเข้มข้นและปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารละลายน้ำตาลที่ต้องการในช่อง Brix และ Litre เท่ากับ 35 และ 8 ตามลำดับ โปรแกรมจะทำการแสดงค่าสัดส่วน และค่าน้ำหนักของผลึกน้ำตาลกับน้ำที่ต้องเติมในช่อง Total solution 1(Kg), Total solution 2(Kg) ในหน่วยกิโลกรัม นอกจากนี้โปรแกรมยังแสดงค่าความหนาแน่น (Density@SV Brix) และน้ำหนักรวม(Total weight(Kg)) ของสารละลายน้ำตาลตามความเข้มข้นที่ผู้ปฏิบัติงานต้องการด้วย จากนั้นระบบจะทำการวัดค่าและแสดงผลในช่อง PV (Measured) ได้แก่ น้ำหนัก (Kg) ความหนาแน่น (Density) และความเข้มข้น (Brix) ของสารละลายน้ำตาล ซึ่งในกรณีนี้ระบบสามารถวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เตรียมขึ้นตามสัดส่วนจากที่โปรแกรมคำนวณ ได้มีค่าเท่ากับ 34.9713 บริกซ์

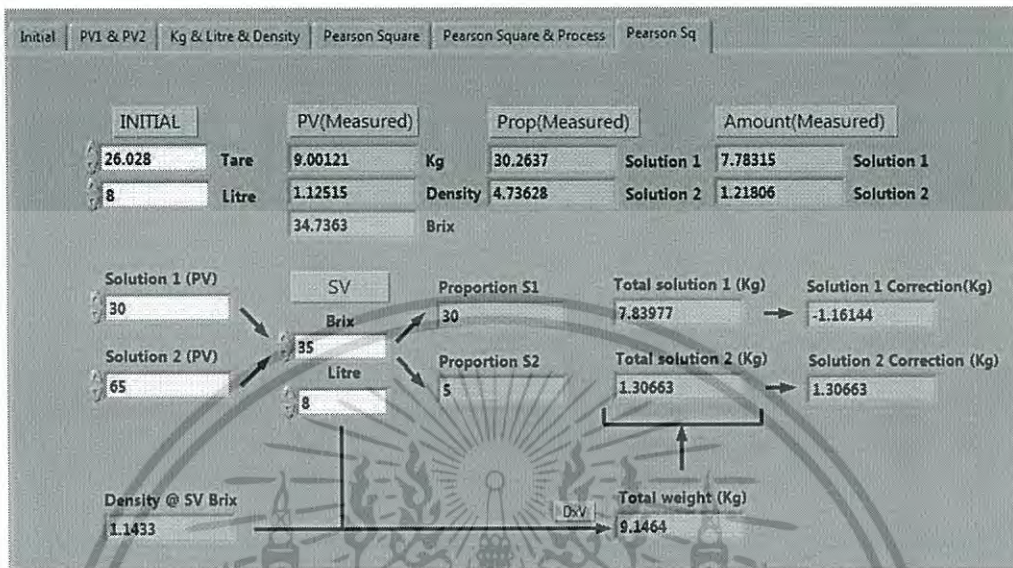


รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้น 35บริกซ์ จากสารละลายน้ำตาลเดิม (30 บริกซ์) กับผลึกน้ำตาล

จากรูปที่ 4.5 เป็นหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้น 35 บริกซ์ จากสารละลายน้ำตาลเดิมที่มีอยู่ (30 บริกซ์) กับผลึกน้ำตาล โดยผู้ปฏิบัติงานกรอกค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ในช่อง Solution 1(PV) เท่ากับ 30 และกรอกค่าความเข้มข้นของผลึกน้ำตาลซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 100 ในช่อง Solution 2(PV) จากนั้นกรอกค่าความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ต้องการในช่อง Brix และ Litre เท่ากับ 35 และ 8 ตามลำดับ โปรแกรมจะทำการแสดงค่าสัดส่วน และค่าน้ำหนักของสารละลายน้ำตาล 30 บริกซ์กับผลึกน้ำตาลที่ต้องเติม และแสดงค่าอื่นๆในช่องต่างๆเช่นเดียวกันกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.4 ซึ่งในกรณีนี้ระบบสามารถวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เตรียมขึ้นตามสัดส่วนจากที่โปรแกรมคำนวณได้มีค่าเท่ากับ 34.9903 บริกซ์



รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้น 35 บริกซ์ จากสารละลายน้ำตาลเดิม (30 บริกซ์) กับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 บริกซ์

จากรูปที่ 4.6 เป็นหน้าต่างแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์แลปวิว ในกรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้มีความเข้มข้น 35 บริกซ์ จากสารละลายน้ำตาลเดิมที่มีอยู่ (30 บริกซ์) กับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 บริกซ์ โดยผู้ปฏิบัติงานกรอกค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ในช่อง Solution 1(PV) เท่ากับ 30 และกรอกค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง ซึ่งเท่ากับ 65 ในช่อง Solution 2(PV) จากนั้นกรอกค่าความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ต้องการในช่อง Brix และ Litre เท่ากับ 35 และ 8 ตามลำดับ โปรแกรมจะทำการแสดงค่าสัดส่วน และค่าน้ำหนัก ของสารละลายน้ำตาล 30 บริกซ์กับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 บริกซ์ ที่ต้องเติม และแสดงค่าอื่นๆในช่องต่างๆเช่นเดียวกันกับในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งในกรณีนี้ระบบสามารถวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เตรียมขึ้นตามสัดส่วนจากที่โปรแกรมคำนวณได้มีค่าเท่ากับ 34.7363 บริกซ์

เมื่อผู้ปฏิบัติงานได้ค่าความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายน้ำตาลตรงตามที่ต้องการแล้ว ระบบจะสั่งให้วาล์วและปั๊มทำงาน เพื่อเวียนสารละลายน้ำตาลที่เตรียมได้ไปยังถังแช่เอสโมติกหรือถังเก็บสารละลาย เพื่อใช้งานในกระบวนการแปรรูปต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการวัดความเข้มข้นโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของสารละลาย จากการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าความหนาแน่นมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยค่า $R^2 > 0.99$ และมีการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อให้ระบบมีการรองรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลให้ได้ความเข้มข้นตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สันได้ โดยจากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนผสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่ออกแบบ ในกรณีเตรียมสารละลายน้ำตาลจากผลึกน้ำตาลกับน้ำ และกรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมที่มีอยู่ด้วยการเติมผลึกน้ำตาล หรือการเติมสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65 บริกซ์ ที่ความเข้มข้น 30-65 บริกซ์ พบว่าเครื่องมือวัดที่ออกแบบค่อนข้างมีความสามารถในการอ่านค่าความเข้มข้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ ± 5 บริกซ์ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นที่วัดได้อาจเกิดจากโพลดเชลล์ที่ใช้ในการวัดน้ำหนัก และอุณหภูมิ ทำให้มีผลต่อความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล และเครื่องมือวัดและซอฟต์แวร์แลปวิวที่ออกแบบนั้นรองรับการนำไปใช้ในกระบวนการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติต่อไป ทั้งนี้ในอนาคตอาจมีการพัฒนาให้มีระบบการเติมผลึกน้ำตาลกับน้ำอัตโนมัติอย่างสมบูรณ์ได้ เนื่องจากระบบที่พัฒนายังใช้ผู้ปฏิบัติงานในการเติมน้ำตาลและน้ำด้วยมือ เพราะค่าใช้จ่ายในการพัฒนาส่วนนี้ค่อนข้างสูง และปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการขยายสเกลสำหรับใช้ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ขนาดของถังต่างๆ โพลดเชลล์ เครื่องมือวัดระดับ ท่อ วาล์ว และปั๊ม ซึ่งขนาดจะต้องขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2556. Food preservation การถนอมอาหาร. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0333/food-preservation-การถนอมอาหาร>.
- [2] Dalla Rosa, M. Bressa, F. Mastrocola, D. and Pittia, P. 1995. "Use of Osmotic Treatments to Improve the Quality of High Moisture-Minimally Processed Fruits." 69-87. In Lenart, A. and Lewicki, P.P. *Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables*. Warsaw, Poland : Warsaw Agriculture University Press.
- [3] Dalla Rosa, M. and Giroux, F. 2011. "Osmotic Treatments (OT) and Problems Related to the Solution Management." *Journal of Food Engineering*. 49 : 223-236.
- [4] วีระ ปิยธีรวงศ์. 2556. การประกอบสูตรอาหาร(Feed formulations). [PPT].
- [5] Manabendra Bhuyan. 2009. "Measurement and Control in Food Processing." CRC Press.
- [6] Nunak, N. and Suesut, T. 2010. "Design of an Instrument for Concentration Control of sugar solution during Osmotic Process." *International Conference on Precision Instrumentation and Measurement*. Kiryu, Japan.
- [7] นวกัทธา หนูนาค. 2552. "ปัจจัยและกระบวนการเบื้องต้นที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลของชิ้นอาหารในระหว่างกระบวนการออสโมติก." *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 32
- [8] Leric, C.L. Pinnavaia, G. Dalla Rosa, M. and Bartolucci, L. 1985. "Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality." *Journal of Food Science*. 50(5) : 1217-1219.
- [9] Rastogi, N.K. Raghavarao, K.S.M.S. and Niranjana, K. 1997. "Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration." *Journal of food engineering*. 31(4) : 423-432.
- [10] Falada, K.O. Igbeka, J.C. and Ayanwuyi, F.A. 2007. "Kinetics of Transfer, and Colour Changes During Osmotic Dehydration of Watermelon." *Journal of Food Engineering*. 80(3) : 979-985.
- [11] Wagner, J. and Stanton, T.L. 2006. "Formulating Rations With the Pearson Square." *COLORADO STATE UNIVERSITY COOPERATIVE EXTENSION*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Milan Shipka. 2011. "Formulating Feed Rations Using the Pearson Square Method." *Alaska Live stock Series*.
- [13] Matt Mathews. n.d. "Using Pearson's Square."
- [14] Clyde Lane, Jr., Professor. James Neel, Professor. and Warren Gill, Professor. n.d. "UTILIZING THE "SQUARE" METHOD TO BALANCE RATIONS."
- [15] Mullan, W.M.A. 2006. *Pearson Square or Rectangle*. [online]. Available : www.dairyscience.info/calculators-models/133-pearson.html.
- [16] ไพบุลย์ ต่วนวิรุฑัย. และคณะ. 2549. ไวน์ผลไม้และสาโท ผลิตด้วยความมั่นใจได้อย่างไร ขอนแก่น.
- [17] Sue Azam Ali. 2003. *Small-Scale Food Processing: A Directory of Equipment and Methods*. 2nd ed. Nottingham : ITDG Publishing.
- [18] Camilo Quintáns Graña. Jorge Marcos Acevedo. Ana Maria Cao y Paz. and Maria José Graña Caneiro. 2009. "Experiment in Measuring Density by Fiber Optic Sensor in the Grape Juice Fermentation Process." *XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology*. 2579-2582.
- [19] นันทิยา กลิ่งผล และ วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล. 2546. "การหาความหนาแน่นของของเหลว โดยใช้เทคนิคทางแสง." *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* 41 : 112-119.
- [20] American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM D5972-05. Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels (Automatic Phase Transition Method)*. United States of America : ASTM International.
- [21] Makoto Oda. Atsushi Mase. and Kiichiro Uchino. 2012. "Nondestructive Measurement of Sugar Content in Apples by Millimeter-Wave Reflectometry." *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. 33(2) : 228-236.
- [22] Carl, A. Swoboda. Donald, R. Fredrickson. Stephen, D. Gabelnick. Philip, H. Cannon. Fred Hornstra, N.P. Yao, K.A. Phan and M.K. Singletery. 1983. "Development of an Ultrasonic Technique to Measure Specific Gravity in Lead-Acid Battery Electrolyte." *IEEE TRANACTION ON SONICS AND ULTRASONICS*. 30(2).
- [23] American Society for Testing and Materials. *ASTM D4042-11. Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter*. United States of America : ASTM International.
- [24] Joseph W. Shannon. and Kent, Ohio. 1991. "Apparatus and Technique for Setting Brix in a Soft Drink Dispenser." *United States Patent*.

- [25] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Hydrometer ไฮโดรมิเตอร์ หรือ มาตรฐานความหนาแน่นของเหลว. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0374/hydrometer> -ไฮโดรมิเตอร์-หรือ-มาตรฐานความหนาแน่นของเหลว.
- [26] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Refractometer มาตรฐานดัชนีหักเห. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0469/refractometer-มาตรฐานดัชนีหักเห>.
- [27] Maciej Starzak. and Mohamed Mathlouthi. 2006. "Temperature Dependence of Water Activity in Aqueous Solutions of Sucrose." *International Workshop on Water in Foods*. 96(3) : 346-370.
- [28] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Brix บริกซ์. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0215/brix-บริกซ์>.
- [29] boonbunchaSun. 2010. ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Load cell. [online]. Available : <http://archive.wunjun.com/boon/5/1227.html>
- [30] ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์. 2554. ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม Industrial Automation. 2nd ed. กรุงเทพฯ : งานบริการการเรียนการสอน โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.
- [31] Modicon Industrial Automation System. 1996. Modicon Modbus Protocol Reference Guide. [Online]. Available : http://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf.
- [32] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุศรี. 2550. การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [33] นวภัทรา หนูนาค และทวีพล ชี้อัสต์ย์. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด MEASUREMENT & INSTRUMENTATION. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.



ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 51 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The Proceeding of 51st Kasetsart University Annual Conference

เล่มที่ 5

สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

(Subject: Architecture and Engineering)

จัดโดย (Organized by)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

ร่วมกับ (in cooperation with)

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (Commission of Higher Education)

กระทรวงศึกษาธิการ (Ministry of Education)

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Ministry of Agriculture and Cooperatives)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Ministry of Science and Technology)

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

(Ministry of Natural Resource and Environment)

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

(Ministry of Information and Communication Technology)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (National Research Council of Thailand)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The Thailand Research Fund)

5 - 7 กุมภาพันธ์ 2556 (February 5 - 7, 2013)

ISBN 978-616-278-068-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33. สท.วศ.46/O201 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณที่ไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ตัวกรองโพลีโนเมียลและอัลกอริทึมแอดแอดิมเอสแบบปรับค่าได้..... 257
Nonlinear Channel Estimation by Using Polynomial Filtering and Adaptive Algorithms
โดย พลาพันธ์.จิตต์สำราย และสุวิพล สิริชีวภาค
34. สท.วศ.47/O203 การวางแผนการปลดโหลดในสภาวะฉุกเฉินในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีค้นหาเชิงพันธุกรรม..... 265
Load Shedding Planning of Power System in Emergency State Using Genetic Algorithm Search
โดย อีรัตน์ จิวานพันธ์ สมพร สิริสำราญกุล และจุฑานนท์ แก้วมณี
35. สท.วศ.48/O205 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการทำนายลักษณะการทำงานของเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบใส่เชื้อเพลิงเป็นชุดชนิดไหลขึ้น..... 273
Temperature Changing Behavior and Mode-of-Operation Prediction of a Batch Type Updraft Gasifier
โดย ธนศักดิ์ แก้วสมบูรณ์ และวิชัย ศิวะโกศิษุ
36. สท.วศ.50/O206 ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลอัดโนมิตีสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง..... 280
Automatic Preparation System for Sugar Solution in Osmotic Process
โดย พรพิรุณ มงคลแกลง ภาณุพล ไชลนกระโทก นวภัทรา หนูนาถ และทวีพล ช่อสัตย์
- ภาคโปสเตอร์ (Poster Presentation)
1. สท.วศ.2/P179 การวิเคราะห์อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน..... 291
Energy Efficiency Ratio Analysis of Split Type Air Conditioner
โดย กฤษณะ ธรรมิกานนท์ และมนต์ศักดิ์ พิมสาร

ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง

Automatic Preparation System for Sugar Solution in Osmotic Process

พรพิรุณ มงคลแดง¹ ภาณุพล ไชลนกระโทก¹ นวภัทรา หนูนา² และ ทวีพล ชื้อสัดย์¹

Pornpiroon Mongkoltalang¹ Panupon Khlonkratok¹ Navaphattra Nunak² and Taweepol Suesut¹

บทคัดย่อ

การควบคุมความเข้มข้นและการเตรียมสารละลายน้ำตาลในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการแช่แข็งมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อให้อัตราการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างต่อเนื่องและการใช้สารละลายน้ำตาลอย่างคุ้มค่า เนื่องจากระบบดั้งเดิมอาศัยผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้วัดค่าความเข้มข้นและผสมสัดส่วนของสารละลายน้ำตาลซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดสูงทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับเตรียมสารละลายน้ำตาลแบบอัตโนมัติ โดยการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น(มวลต่อปริมาตร) และคำนวณสัดส่วนในการผสมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากระเบียบวิธีของเพียร์สันสแควร์ ระบบนี้ประกอบด้วย ถังผสม โหลดเซลล์ซึ่งน้ำหนัก อุปกรณ์วัดระดับ และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผล ควบคุมการทำงานโดยการเชื่อมต่อผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม RS 485 ด้วย Modbus RTU โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้พัฒนามาเป็นโปรแกรม Labview ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลเพื่อให้ได้ปริมาตรตรงตามที่กำหนด และการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีค่าที่ยอมรับได้ที่ $\pm 5^\circ\text{Brix}$ ซึ่งสามารถรองรับการนำไปใช้ในกระบวนการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติได้ในอนาคต

ABSTRACT

The concentration control and preparation of the sugar solution in osmotic processing are very important in order to maintain the mass transfer rate as well as cost-effectively using the sugar solution. The traditional method is performed the measuring the concentration and preparing the mixing ratio of the sugar solution by human, which is found a high error and consumption of raw materials. Therefore, this research develops the automatic preparation system for sugar solution by measuring the concentration of the sugar density (mass per volume) and mixing ratio calculated with a computer program based on the Pearson Square method. This system consists of a mixing tank load cells, level sensor and a microcontroller for data processing and control which is connected via RS 485 serial communication with Modbus RTU. The software in this work developed using LabVIEW, which can calculate the proportion of mixed sugar solution to the target volume and measuring the concentration of the sugar solution is acceptable at $\pm 5^\circ\text{Brix}$, which can be used in the preparation of sugar solution for osmotic processing in industrial automation in the future.

Key Words: Osmotic process, Concentration measurement, Pearson square

e-mail address: pmf_ser@hotmail.com, panupon@gmail.com, kbnavaph@kmitl.ac.th and kstaweep@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Instrumentation and Control Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok Thailand

²ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Food Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น ผักและผลไม้ ด้วยวิธีการแช่อบแห้งในระดับอุตสาหกรรมนั้น น้ำตาลเป็นตัวแปรสำคัญในด้านต้นทุนการผลิต และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจึงจำเป็นต้องควบคุมให้ระดับความเข้มข้นคงที่ ซึ่งจะช่วยให้การถนอมรักษาคุณภาพให้ดีขึ้น(Dalla Roso et al., 1995,2001) กระบวนการแปรรูปเริ่มจากการแช่ผักและผลไม้ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่ำและค่อยๆปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้สูงขึ้น จนได้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเนื้อผักและผลไม้ตามที่ต้องการ ซึ่งการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจนกว่าจะได้รับความเข้มข้นตามที่กำหนดทำได้โดยวิธีการเติมผลึกน้ำตาลหรือสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง (65 °Brix) ในปัจจุบันการเตรียมสารละลายน้ำตาลให้ได้รับความเข้มข้นตามที่กำหนด อาศัยการวัดค่าความเข้มข้นด้วยรีแฟรกซ์โตมิเตอร์ ซึ่งยังไม่มีการพัฒนาระบบการวัดความเข้มข้นและเตรียมสารละลายน้ำตาล โดยเฉพาะสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก(การแช่อบ) และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต้องใช้เวลานานสำหรับการประมาณปริมาณที่ต้องการ และในบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาด ทำให้สิ้นเปลืองปริมาณน้ำตาล ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มต้นทุนต่อหน่วยการผลิต

โดยทั่วไป มีเครื่องมือวัดจำนวนมากที่นำมาใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลได้ ยกตัวอย่างเช่น รีแฟรกซ์โตมิเตอร์, เครื่องมือที่ใช้หลักการออสโตรราโซนิก, เครื่องมือที่ใช้หลักการไมโครเวฟ, สเปกโตรมิเตอร์ และออสซิลเลเตอร์ u-tube (Manabendra Bhuyan, 2009) ซึ่งหลักการวัดความเข้มข้นของสารละลายของแต่ละวิธีมีดังนี้ เช่น วิธีทางแสงคือการใช้ความสัมพันธ์ของดัชนีหักเหของแสงกับความเข้มข้นของสารละลายโดยการใช้อุปกรณ์ไฟเบอร์ออปติกแบบการไม่ใช้เปลือกหุ้ม (Camilo Quintáns et al., 2009) หรือใช้การหักเหของแสงร่วมกับสภาวะอุณหภูมิเยือกแข็ง (ASTM D5972-05, 2010) การใช้สมบัติของคลื่น เช่นคลื่นไมโครเวฟที่ขนาดและเฟสของคลื่นเปลี่ยนไปเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความเข้มข้นต่างๆ (Makoto Oda et al., 2011)หรือใช้คลื่นอัลตราโซนิกเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางของคลื่นอัลตราโซนิกและความเข้มข้นของสารละลาย(Carl A.Swoboda et al., 1983) วิธีการวัดทางเคมี โดยใช้หลักการพัลส์แอมเพอโรเมตรี(สิริมาลย์ และคณะ, 2554) วิธีการวัดความถี่การสั่นของท่อบรูปตัวยูเมื่อมีสารละลายที่ต้องการวัดความเข้มข้นไหลผ่าน (ASTMD4052-11) ใช้ความสัมพันธ์ของความหนืดกับความเข้มข้นของสารละลายโดยให้สารละลายเคลื่อนที่ที่ระยะทางหนึ่งแล้วทำการจับเวลาเพื่อวัดอัตราการไหลของสารละลายตัวอย่าง (Joseph W.Shannon et al., 1991) แต่เครื่องมือวัดเหล่านี้บางประเภทมีราคาค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดสำหรับการนำไปใช้ในการวัดแบบin-line

ระเบียบวิธีของเพียร์สัน(Pearson square method) สามารถใช้ในการคำนวณปริมาณของส่วนผสมที่ต้องการผสมกันเพื่อให้ได้ความเข้มข้นตรงตามที่เราต้องการได้ ยกตัวอย่างเช่น Mullan,W.M.A.(2006) ใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน การคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างนมและหางนม เพื่อให้ได้นมที่มีไขมันตรงตามที่ต้องการ และมีการนำไปใช้ในการคำนวณในการปรับค่าความเข้มข้นน้ำตาลและกรดในน้ำผลไม้ในการทำไวน์ผลไม้ (ไพบูลย์ และคณะ, 2549) และนำไปใช้ในการคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างน้ำผลไม้กับน้ำเชื่อมเพื่อใช้ในการทำน้ำผลไม้เข้มข้น และการคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างน้ำเชื่อมกับเนื้อผลไม้ในการทำแยมผลไม้(Sue Azam Ali et al., 2002) ดังนั้น ในการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสามารถนำระเบียบวิธีของเพียร์สัน มาใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนของส่วนผสมที่ต้องเติมเข้าไปเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ผ่านการใช้งานมาแล้วได้ ซึ่งเป็นการช่วย

ให้การนำสารละลายน้ำตาลกลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งทำได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการวัดความเข้มข้นและเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้ สามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลให้ได้ความเข้มข้นตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน และสามารถนำสารละลายน้ำตาลกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ

อุปกรณ์และวิธีการ

การทำงานของระบบสำหรับการแปรรูปอาหารด้วยหลักการออสโมติก

สารละลายน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการนำไปใช้งานมาแล้วจะมีค่าความเข้มข้นลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียหลังจากกระบวนการแช่แข็ง การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เจือจางลงให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นตามที่ต้องการ จะทำโดยนำสารละลายน้ำตาลที่เจือจางลงหลังจากกระบวนการแช่แข็งในภาชนะ นำไปผึ่งเชื้อด้วยการให้ความร้อนระเหยที่ความดันสูญญากาศ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่ภาชนะเก็บสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง และจะทำการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และคำนวณสัดส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน เพื่อใช้ในกระบวนการแช่แข็งต่อไป

ระบบการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

การทำงานของระบบเริ่มจากปล่อยสารละลายน้ำตาลที่ต้องการวัดค่าความเข้มข้นเข้าสู่ถังผสม น้ำหนักจะสามารถวัดได้จากโหลดเซลล์จำนวน 4 ตัว ซึ่งภายในประกอบด้วยตัวตรวจรู้แบบเกจวัดความเครียด(Strain gauge) สัญญาณจะถูกส่งเข้ากล่องรวมสัญญาณ (Summing Box) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซิ่ง 24 โวลต์ ระดับของสารละลายน้ำตาลสามารถวัดได้จากตัวตรวจรู้ระดับแบบต่อเนื่อง ซึ่งให้สัญญาณมาตรฐานของเครื่องมือวัดคือ 4-20 มิลลิแอมแปร์ ระดับของของเหลวสามารถนำมาคำนวณหาค่าปริมาตรได้จากความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัด ค่าน้ำหนักและค่าระดับจะสามารถอ่านค่าได้จากชุดแสดงผลและส่งสัญญาณ โดยค่าที่ได้จะส่งไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งทำหน้าที่ในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล แล้วส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยการสื่อสารอนุกรมแบบระยะไกลตามมาตรฐาน RS 485 อาศัยข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารแบบ Modbus Protocol และเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(Total Soluble Solid;TSS, °Brix) มอเตอร์และใบกวน ทำหน้าที่ในการกวนให้สารละลายเข้ากันได้ดี ซึ่งการทำงานของระบบทั้งหมดนี้แสดงในFigure 1

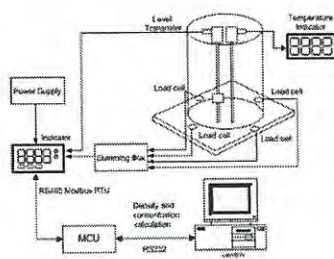


Figure 1 Diagram of the system for measuring the concentration of sugar solution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากการคำนวณส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน (Pearson square method)

สำหรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลเพื่อให้ได้ปริมาตรและความเข้มข้นตามที่กำหนดนั้น ในการทดลองจะทำการกำหนดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลให้คงที่ไว้เท่ากับ 8 ลิตรแล้วทำการคำนวณน้ำหนักรวมของสารละลายน้ำตาลที่ต้องการที่แต่ละความเข้มข้นออกมาโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ (1)

$$m = \rho \times v \quad (1)$$

เมื่อ m เป็นมวลรวมของสารละลาย มีหน่วยเป็น kg

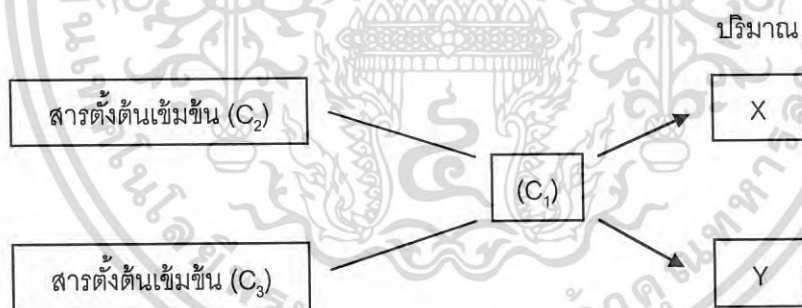
v เป็นปริมาตรของสารละลาย มีหน่วยเป็น m^3

ρ เป็นค่าความหนาแน่นของสารละลายที่แต่ละความเข้มข้น มีหน่วยเป็น kg/m^3

จากนั้นวัดน้ำหนักและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่มีอยู่ เพื่อกำหนดว่าต้องใช้สารละลายเดิมเท่าไรและเพื่อกำหนดหาสัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลหรือปริมาณสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง(65°Brix)ที่ต้องเติม เพื่อปรับเพิ่มปริมาตรและความเข้มข้นให้ได้ตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สัน ซึ่งระบบจะทำการคำนวณค่าความเข้มข้นและสัดส่วนผสมของสารละลายน้ำตาลในภาชนะสำหรับผสม แสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์Labviewที่พัฒนาไว้ ค่าความเข้มข้นจะถูกคำนวณจากค่าความหนาแน่น และการคำนวณสัดส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน ทำได้ดังสมการที่ 2 และ 3 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณสัดส่วนผสมเพื่อเตรียมสารละลายน้ำตาลแสดงใน Figure 2

$$X = (AxZ) / C \quad (2)$$

$$Y = (BxZ) / C \quad (3)$$



เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ ($^{\circ}$ Brix), C_2 คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ 1 ($^{\circ}$ Brix), C_3 คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ 2 ($^{\circ}$ Brix), X คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ 1 (g or ml), Y คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ 2 (g or ml), Z คือ ปริมาณของสารละลายที่ต้องการ (g or ml), A คือ $C_3 - C_1$ ($^{\circ}$ Brix), B คือ $C_2 - C_1$ ($^{\circ}$ Brix), C คือ $A+B$ ($^{\circ}$ Brix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

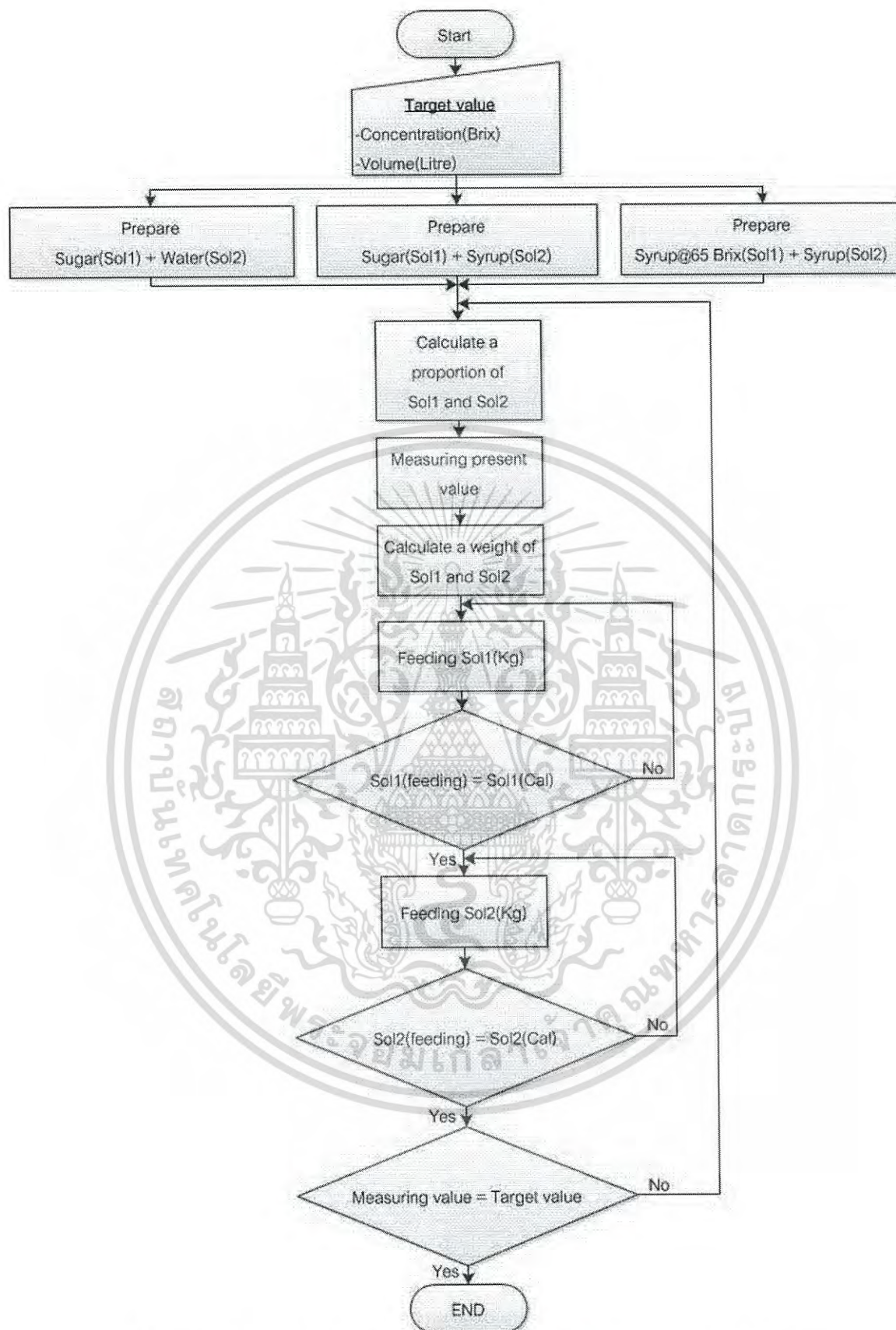


Figure 2 Flowchart of the computer program for calculating the mixing ratio for prepare the sugar solution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องมือวัดความเข้มข้นโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาล โดยผลการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองแสดงใน Figure 3 โดยค่าความเข้มข้นมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลด้วยค่า $R^2 > 0.99$

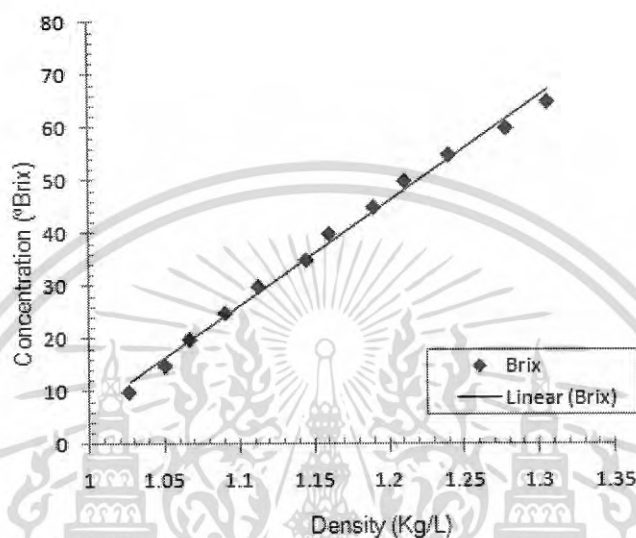


Figure 3 The relative between the concentration and the density of the sugar solution.

ผลการทดลองการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากการคำนวณส่วนผสมที่ต้องเติมด้วยระเบียบวิธีของเพียร์สัน (Pearson square method)

ในการทดลองแบ่งเป็น 3 กรณี คือ 1. การเตรียมสารละลายน้ำตาลจากน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 30-65°Brix , 2. การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30-65°Brix และ 3. การปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง 65°Brix ที่ความเข้มข้น 30-65°Brix แล้วแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบค่าปริมาตร ค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลกับน้ำจากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือที่ออกแบบ ซึ่งผลการทดลองแสดงดัง Table 1-3 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเปรียบเทียบค่าปริมาตร พบว่าค่าปริมาตรที่วัดได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าปริมาตรที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากการวัดด้วยกระบอกตวง ซึ่งอาจมีสารละลายติดอยู่ที่กระบอกตวงอยู่บ้าง เนื่องจากสารละลายมีความหนืด และค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เครื่องมือวัดได้จากการเตรียมสารละลายน้ำตาลในแต่ละกรณีค่อนข้างมีความแม่นยำ โดยค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ $\pm 5^\circ\text{Brix}$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจาก load cell ที่ใช้ในการวัดน้ำหนัก ทำให้มีผลต่อความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลจึงทำให้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 shows the comparing the volume, concentration and the ratio of sugar and water calculated by the program with the value measured by tool designed in the case of the preparation sugar solution from sugar and water at concentrations 30-65 ° Brix.

Actual Volume(L)	Actual Concentration (° Brix)	Calculated		Experimental Volume (L)	Experimental Concentration (° Brix)	Experimental		%Accuracy	
		sugar(kg)	water(kg)			sugar(kg)	water(kg)	Volume(L)	Concentration (° Brix)
8	30	2.6839	6.2625	7.98	29.9318	2.6360	6.1708	99.7500	99.7727
8	35	3.2012	5.9452	7.97	34.9713	3.1512	5.8596	99.6250	99.9180
8	45	3.2012	5.9452	7.90	43.7803	4.1010	5.2662	98.7500	97.2896
8	55	5.4705	4.4759	7.93	51.946	5.0375	4.6600	99.1250	94.4473
8	65	6.7252	3.6312	7.91	62.1863	6.2882	3.8237	98.8750	95.6712

Table 2 shows the comparing the volume, concentration and the ratio of sugar and water calculated by the program with the value measured by tool designed in the case of the adding concentration sugar solution from the used sugar solution and sugar at concentrations 30-65 ° Brix.

Actual Volume(L)	Actual Concentration (° Brix)	Calculated		Experimental Volume (L)	Experimental Concentration (° Brix)	Experimental		%Accuracy	
		Solution before(kg)	sugar(kg)			Solution before(kg)	sugar(kg)	Volume(L)	Concentration (° Brix)
8	30	water6.26248	2.6839	7.98	29.9318	water6.1708	2.6360	99.7500	99.7727
8	35	8.4931	0.6533	7.97	34.9903	8.3691	0.6424	99.6250	99.9723
8	45	8.0777	1.4687	7.90	43.5025	8.1321	1.2238	98.7500	96.6722
8	55	8.1380	1.8084	7.93	52.2617	8.4282	1.2821	99.1250	95.0213
8	65	8.0472	2.2992	7.91	61.5525	8.6175	1.4687	98.8750	94.6962

Table 3 shows the comparing the volume, concentration and the ratio of sugar and water calculated by the program with the value measured by tool designed in the case of the adding concentration sugar solution from the used sugar solution and high concentration sugar solution(65°Brix) at concentrations 30-65°Brix.

Actual Volume(L)	Actual Concentration (° Brix)	Calculated		Experimental Volume (L)	Experimental Concentration (° Brix)	Experimental		%Accuracy	
		Solution before(kg)	Solution 65 °Brix(kg)			Solution before(kg)	Solution 65 °Brix(kg)	Volume(L)	Concentration (° Brix)
8	30	water4.81729	4.1291	7.98	29.1437	water4.8406	3.9344	99.7500	97.1457
8	35	7.8398	1.3066	8	34.7363	7.7832	1.2181	100.0000	99.2466
8	45	6.3643	3.1821	7.98	44.4069	6.4473	2.9452	99.7500	98.6820
8	55	4.9732	4.9732	7.97	54.0918	5.3365	4.4479	99.6250	98.3487
8	65	0.0000	10.4512						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงหน้าต่างการวัดค่าความเข้มข้น และการคำนวณค่าสัดส่วนปริมาณส่วนผสมสำหรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลและการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลโดยใช้โปรแกรม Labview

จากการออกแบบระบบการวัดค่าความเข้มข้นและการคำนวณสัดส่วนผสมของสารละลายน้ำตาลให้ได้ปริมาตรและความเข้มข้นตามที่เรากำลังต้องการ จะแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์บนซอฟต์แวร์ Labview ที่พัฒนาไว้ โดยในหน้าต่างซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้น เราสามารถระบุปริมาตรและค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการได้ และเลือกระบุได้ว่า จะเตรียมสารละลายในกรณีใด หน้าต่างก็จะแสดงผลการคำนวณทั้งสัดส่วน และน้ำหนักของสารละลายที่เราต้องเติม เมื่อระบบมีการเติมส่วนผสมตามที่คำนวณไปแล้ว ระบบจะทำการวัดค่าความเข้มข้นและสัดส่วนผสม ซึ่งค่าทั้งหมดจะแสดงใน Figure 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างของหน้าต่างซอฟต์แวร์ในกรณีที่เราเลือกเตรียมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 35°Brix ปริมาตร 8 ลิตร

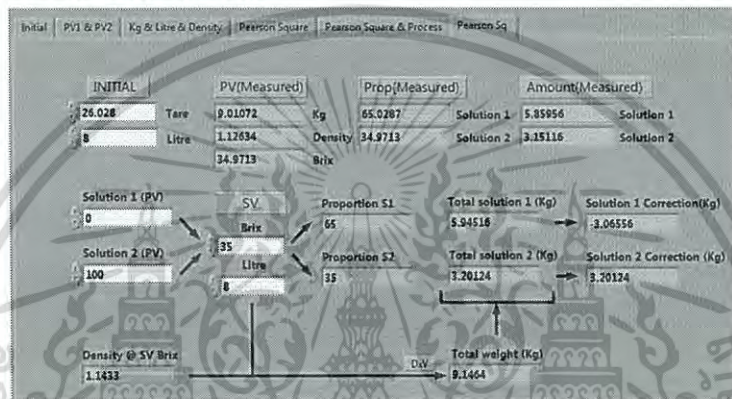


Figure4 In the case of the preparation sugar solution from sugar and water to a concentration at 35°Brix.

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการวัดความเข้มข้นโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของสารละลาย จากการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าความหนาแน่นมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยค่า $R^2 > 0.99$ และมีการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อให้ระบบมีการรองรับการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่ อิมในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรตามที่กำหนดโดยใช้ระเบียบวิธีของเพียร์สันได้ โดยจากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น และค่าสัดส่วนผสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่ออกแบบ ในกรณีเตรียมสารละลายน้ำตาลจากน้ำตาลกับน้ำที่ความเข้มข้น 30-65°Brix กรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลกับน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30-65°Brix กรณีปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลเดิมกับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง (65°Brix) ที่ความเข้มข้น 30-65°Brix พบว่าเครื่องมือวัดที่ออกแบบค่อนข้างมีความสามารถในการอ่านค่าความเข้มข้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ $\pm 5^\circ\text{Brix}$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากload cellที่ใช้ในการวัดน้ำหนัก ทำให้มีผลต่อความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลจึงทำให้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน และเครื่องมือวัดกับซอฟต์แวร์ที่ออกแบบนั้นรองรับการนำไปใช้ในกระบวนการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่ อิมในระดับอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- 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.
- Manabendra Bhuyan. n.d. "Measurement and Control in Food Processing". CRC Press, India
- Camilo Quintáns Graña, Jorge Marcos Acevedo, Ana Maria Cao y Paz and María José Graña Caneiro. Experiment in Measuring Density by Fiber Optic Sensor in the Grape Juice Fermentation Process. XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology. September 6–11, 2009.
- ASTM D5972–05. (Reapproved 2010). Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels (Automatic Phase Transition Method). n.p.
- Makoto Oda, Atsushi Mase, Kiichiro Uchino. Nondestructive Measurement of Sugar Content in Apples by Millimeter-Wave Reflectometry. Springer Science+Business Media, LLC 2011
- Carl A.Swoboda, Donald R. Fredrickson, Stephen D.Gabelnick, Philip H.Cannon, Fred Hornstra,N.P. Yao, K.A. Phan and M.K. Singleterry. Development of an Ultrasonic Technique to Measure Specific Gravity in Lead-Acid Battery Electrolyte. IEEE TRANACTION ON SONICS AND ULTRASONICS. VOL.30. NO.2. MARCH. 1983.
- สิริมาลย์ งามชนะ, เลอพงษ์ พิศนุย. การพัฒนาเครื่องวัดน้ำตาลซูโครสด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าสำหรับงานอุตสาหกรรมน้ำตาล. วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมไทย. ปีที่2. ฉบับที่1. มกราคม - เมษายน 2554.
- ASTM D4052–11. Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter. n.p.
- Joseph W.Shannon and Kent, Ohio. Apparatus and Technique for Setting Brix in a Soft Drink Dispenser. Patent 1991. United States
- Mullan, W.M.A. 2006. Pearson Square or Rectangle. www.dairyscience.info/calculators-models/133-pearson.html. Accessed: October 1,2012.
- ไพบุลย์ และคณะ. มกราคม 2549. ไวน์ผลไม้และสาโท ผลิตภัณฑ์ความมันใจได้อย่างไร. ม.ป.ท.
- Sue Azam Ali et al. Small-Scale Food Processing: A Directory of Equipment and Methods. February 1, 2002.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพรพิรุณ มงคลแสง
วัน เดือน ปีเกิด	9 พฤษภาคม 2531 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	39/320 หมู่บ้านอรุณนิเวศน์ ถ.นวมินทร์ แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230
ประวัติการศึกษา	2553 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2556 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น Metal evaporator, Sputtering, Plasma, Gloves Box เป็นต้น 2.) การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เช่น Scanning electron microscope (SEM), Atomic force microscope (AFM), UV-VIS, Universal Testing Machine, FT-IR, Confocal เป็นต้น
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2556	ตำแหน่งSales Engineer บริษัทเทค ควอลิตี้ จำกัด
พ.ศ.2553-2554	ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย บริษัท เม็กเท็ค แมนูแฟคเจอร์ริง คอร์ปอเรชั่น(ประเทศไทย) จำกัด -วิจัยสร้าง Embedded Capacitor และ Resistor -วิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับการสร้าง Patterning เพื่อใช้กับFlexible Printed Circuit Board
พ.ศ.2554	งานวิจัยเรื่อง Characterization of PVA-Chitosan Nanofibers Prepared by Electrospinning ได้รับการตีพิมพ์แสดงบนwww.sciencedirect.com
พ.ศ.2556	งานวิจัยเรื่อง ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลอัลติโนมิติ สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง ได้รับการยอมรับเข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 51 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้