

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบการผลิตเชิงแบบกึ่งอัตโนมัติ

DEVELOPMENT OF THE SEMI-AUTOMATIC GINGER POWDER  
PRODUCTION



T119566



61841  
2553

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 119566  
วัน,เดือน,ปี. - 8 S.A. 2554

b. 12361402  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF THE SEMI-AUTOMATIC GINGER POWDER  
PRODUCTION**



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

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2009** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การพัฒนาระบบการผลิตขิงผงแบบกึ่งอัตโนมัติ

DEVELOPMENT OF THE SEMI-AUTOMATIC GINGER POWDER  
PRODUCTION

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายสถิตย์วิมล ใจกว้าง

รหัสนักศึกษา 49012096

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2552

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีพล ช่อสัดย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาระบบการผลิตขิงผงแบบกึ่งอัตโนมัติ  
DEVELOPMENT OF THE SEMI-AUTOMATIC GINGER POWDER  
PRODUCTION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายสถิตย์วิมล ใจกว้าง รหัสนักศึกษา 49012096  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีพล ชื้อสตัย  
ปีการศึกษา 2552

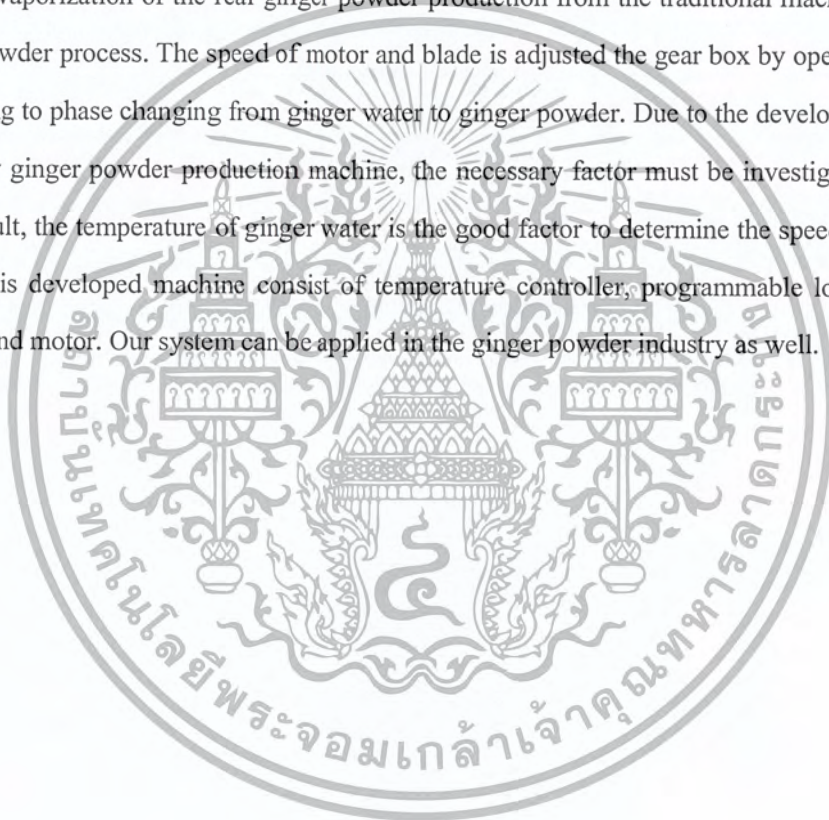
### บทคัดย่อ

โครงการนี้ ได้ทำการศึกษากระบวนการระเหยน้ำออกจากน้ำขิง จากเครื่องจักรเดิมที่ใช้ในกระบวนการผลิตขิงผงซึ่งใช้คนเป็นผู้ปรับความเร็วของใบควน เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการเปลี่ยนสภาพจากน้ำขิงไปสู่ขิงผง เพื่อนำมาออกแบบและพัฒนาเป็นเครื่องผลิตขิงผงแบบกึ่งอัตโนมัติ จากการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและเคมีของขิงผง เพื่อให้ได้ขิงผงที่มีคุณภาพร่วมกับกระบวนการผลิต พบว่าอุณหภูมิของน้ำขิงที่เปลี่ยนไปสามารถนำมาใช้เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนความเร็วของใบควนได้เป็นอย่างดี เครื่องผลิตขิงผงนี้ประกอบด้วย ตัวควบคุมอุณหภูมิ เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ อินเวอร์เตอร์ ระบบที่ออกแบบสามารถตอบสนองกระบวนการผลิตขิงผงในอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

**Thesis Title**                    Development of the Semi-Automatic Ginger Powder  
**Authors**                         Mr. Satitwimon        Jaikwang  
**Thesis Advisor**                Assoc.Prof.Dr. Taweepol Suesut  
**Year**                                2009

## ABSTRACT

This thesis present the development of an Semi-automatic ginger powder production and study on vaporization of the real ginger powder production from the traditional machine in the real ginger powder process. The speed of motor and blade is adjusted the gear box by operator manually responding to phase changing from ginger water to ginger powder. Due to the development for high efficiency ginger powder production machine, the necessary factor must be investigated. From the study result, the temperature of ginger water is the good factor to determine the speed of motor and blade. This developed machine consist of temperature controller, programmable logic controller, inverter and motor. Our system can be applied in the ginger powder industry as well.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยความกรุณาและอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ และ ดร.นวกทรา หนูนาท ที่ได้สละเวลาส่วนตัวให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะ  
และแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาท  
วิชาความรู้จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการ IRPUS ผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัทคันทรส  
อินเตอร์เนชันแนล ผู้ผลิตชิงผงรายใหญ่ที่ให้การสนับสนุน สถานที่ วัดฤดีบ และเครื่องมือบางส่วน

สุดท้ายขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ และยายผู้ล่วงลับไปแล้วที่ให้โอกาสได้ศึกษาเล่าเรียน และ  
ให้กำลังใจ คำปล้ำใจ ความหวังใจและการสนับสนุนเป็นอย่างดีเสมอมา



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปริยญาณีพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริยญาณีพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริยญาณีพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี.....</b>	<b>4</b>
2.1 ชนิดของอินเวอร์เตอร์.....	4
2.1.1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งแรงดัน (Voltage Source Inverter).....	4
2.1.2 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งกระแส (Current Source Inverter).....	4
2.2 การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulate, PWM).....	5
2.3 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	7
2.3.1 วงจรและรูปคลื่นสัญญาณ.....	7
2.3.2 เทคนิคการมอดูเลตแบบ SINE PWM.....	10
2.3.3 เทคนิคการมอดูเลตแบบ Third-Harmonic Injection PWM.....	11
2.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	14
2.4.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	16
2.4.2 สนามแม่เหล็กหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	17
2.4.3 ความเร็วและค่าต่างๆที่สัมพันธ์กับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	19
2.5 โครงสร้างและส่วนประกอบของ PLC.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ส่วนประกอบของ PLC.....	21
2.6.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU).....	22
2.6.2 หน่วยความจำ (Memory Unit).....	22
2.6.3 ส่วนของหน่วยรับข้อมูลและหน่วยส่งข้อมูล (I/O Unit).....	23
2.6.4 อุปกรณ์ติดต่อภายนอก (Peripheral Devices).....	23
2.7 การทำงานของ PLC.....	24
2.8 ข้อมูลของ PLC รุ่น C28H.....	25
2.8.1 ส่วนประกอบของ CPU ของ C28H.....	25
2.8.2 ทางด้านการเปรียบเทียบระหว่าง Relay และ PLC ของ Omron.....	26
2.8.3 โครงสร้างของพื้นที่ข้อมูล (DATA AREAS).....	27
2.8.4 ในส่วนของ Memory Areas.....	28
2.8.5 หลักการใช้งานเบื้องต้นของ PLC.....	29
2.9 การปรับปรุงผัง.....	29
2.9.1 ส่วนประกอบ.....	29
2.9.2 กระบวนการปรับปรุงผัง.....	32
<b>บทที่ 3 หลักการและการออกแบบ.....</b>	<b>36</b>
3.1 การทดลอง.....	36
3.2 การออกแบบระบบควบคุม.....	40
3.3 หลักการในส่วน Motor Controller.....	41
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>44</b>
4.1 การทดลอง.....	44
4.1.1 ตัวแปรที่จะใช้วัดในการวัดค่า.....	44
4.2 ผลการทดลอง.....	45
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....</b>	<b>46</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราส่วนระหว่างค่าRMSของฮาร์มอนิกส์กับ $V_G$ ของแรงดันสายอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	9
2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างศัพท์ของ Relay และ PLC ของ Omron.....	27
2.3 แสดงประสิทธิภาพ CPU ของ PLC รุ่น C28H.....	27
2.4 ประกอบด้วยชื่อ ขนาด และช่วงที่ใช้งานของแต่ละพื้นที่.....	28
2.5 จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล.....	32
2.6 รายละเอียดขั้นตอนการแปรรูปขิงผงของโรงงาน.....	34
3.1 การจัดเตรียมวัตถุดิบ.....	36
3.2 รายละเอียดขั้นตอนการแปรรูปขิงผงพื้นฐาน.....	38
3.3 ขั้นตอนการทดลองที่โรงงาน.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงภาพลักษณะชุดควบคุมพร้อมมอเตอร์และชุดเกียร์ ใช้สำหรับการระเหยน้ำ.....	3
2.1 การใช้เทคนิค PWM กับวงจรทอนระดับ.....	6
2.2 วงจรและรูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ PWM .....	8
2.3 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แสดงช่วงพลังงานไม่ไหลสู่โหลด...10	
2.4 แรงดันเฟสและแรงดันไลน์จากการมอดูเลตแบบ SINE PWM.....	11
2.5 เทคนิค Third-Harmonic Injection .....	12
2.6 แรงดันเฟสและแรงดันไลน์จากการมอดูเลตแบบ Third-Harmonic Injection PWM .....	13
2.7 ลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	14
2.8 ส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์.....	14
2.9 ตัวหมุนแบบกรงกระรอก.....	15
2.10 ตัวหมุนที่มีขดลวดพันอยู่รอบๆ.....	15
2.11 บล็อกโคอะแกรมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	16
2.12 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสให้กับมอเตอร์.....	17
2.13 รูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส.....	18
2.14 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส.....	18
2.15 แสดง PLC รุ่น C28H.....	25
2.16 แสดง CPU ของ PLC รุ่น C28H.....	25
2.17 แสดงพื้นที่ส่วนของ Indicator.....	26
2.18 ลักษณะทางกายภาพของพันธู๋ขึงเล็กหรือขึงเ็ด.....	31
2.19 กรรมวิธีการแปรรูปขึงผง.....	33
3.1 กรรมวิธีแปรรูปขึงผงเบื้องต้น.....	37
3.2 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิของเหลวผสมด้วย Infrared Thermometer.....	37
3.3 ตัวอย่างที่เก็บนำไปวิเคราะห์คุณภาพ.....	39
3.4 แสดงโครงสร้างโดยรวมของตัวเครื่อง.....	40
3.5 แสดง Block Diagram ของส่วนควบคุม.....	40
3.6 แสดงส่วนของ Motor Controller.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 แสดงส่วน Motor Controller ด้านหน้า.....	42
3.8 แสดงการต่อสายใน Motor Controller.....	42
3.9 แสดง Ladder Diagram ใน PLC.....	43
4.1 กราฟการวัดความเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า.....	44
4.2 กราฟการวัดอุณหภูมิข้างถังและจุดกึ่งกลางถัง.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

จิง (Zingiber officinale Roscoe) จัดเป็นพืชอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย จากข้อมูลการส่งออกในปี 2551 ประเทศไทยส่งออกมากถึง 34,000 ตัน/เดือน มูลค่าการส่งออกจึงมากกว่า 500 ล้านบาทต่อปี จัดเป็นอันดับ 8 ของโลก (FAO, 2008) ในปัจจุบันความต้องการบริโภคจิงแปรรูป ทั้งตลาดในและต่างประเทศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากวิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงของผู้บริโภค รวมถึงกระแสความต้องการในด้าน การดูแลสุขภาพที่สูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปจิงผงจึงเป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ สมุนไพรที่มีสรรพคุณในการขับลม แก้อักเสบ แนนท้อง บำรุงธาตุและสามารถรับประทานได้ง่าย นอกจากนี้การบำบัดด้วยกลิ่นหอม หรือโรมาเทอร์ราพี (Aromatherapy) ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงใหม่ ที่ใช้กลิ่นหอมในการบำบัดรักษา เพื่อเยียวยาอาการเจ็บป่วย อ่อนเพลียและช่วยให้รู้สึกสดชื่น น้ำมันหอมระเหยจากจิงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความนิยม (ธีรศิลป์, 2550)

ปัจจุบันโรงงาน (บริษัท คัมภรต อินเตอร์-เนชั่นแนล จำกัด) อาศัยแรงงานคนในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในกระบวนการระเหย ซึ่งไม่สามารถควบคุมคุณภาพผงได้อย่างที่ ผู้ประกอบการต้องการ เนื่องจากต้องอาศัยประสบการณ์เฉพาะของบุคคลและการปรับความเร็วที่ไม่เหมาะสม เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน เพิ่มต้นทุน ในการผลิตและเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับ คนงาน อีกทั้งในระหว่างกระบวนการระเหยจะมีการสูญเสียความร้อนและน้ำมันหอมระเหยพร้อมกับไอรระเหย โดยมีได้นำมาใช้ประโยชน์ใด ๆ เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากร พลังงานและวัตถุดิบที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งสร้างสภาพการทำงานภายในห้องปฏิบัติงานให้ดีขึ้น ดังนั้นจึงได้ ทำการออกแบบเครื่องมือวัดและควบคุมไอรระเหยจากจิงผงแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยอาศัยค่าตัวแปร สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการระเหยเช่น อุณหภูมิ เป็นต้น เป็น input ในการควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ส่วนแนวทางการใช้ประโยชน์ของน้ำมันหอมระเหยจากไอรระเหย จากวิธีการควบแน่นแบบต้มกลั่น เนื่องจากสภาวะการควบแน่นแบบต้มกลั่นให้ปริมาณน้ำมันหอม ระเหยมากที่สุดและเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตจิงในโรงงาน ในการติดตั้ง ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบอัตโนมัติมีต้นทุนสูง จึงสามารถติดตั้งระบบสัญญาณเตือน แทน เพื่อกำหนดเวลาในการเปลี่ยน ความเร็วรอบมอเตอร์โดยใช้คน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาผลของความเร็วยรอบของใบกวนที่มีต่อพฤติกรรม และคุณสมบัติของน้ำจิง ในระหว่างกระบวนการระเหยน้ำเพื่อผลิตขิงผง
2. เพื่อควบคุมการปรับความเร็วยรอบใบกวนแบบกึ่งอัตโนมัติและลดการใช้พลังงาน

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบ Ladder ควบคุมการหมุนมอเตอร์ในส่วน PLC ได้
2. เขียนโปรแกรม PLC ให้รับคำสั่งจาก Temp. Controller ได้
3. เขียนโปรแกรม PLC ให้ส่งสัญญาณไปให้ Inverter ได้

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการควบคุมด้วยแรงงานคน (วิธีปัจจุบันของทางโรงงาน) และข้อมูลการใช้พลังงาน โดยจากการเข้าเยี่ยมชม โรงงานสามารถรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้  
**เครื่องกวน** มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกคล้ายกระทะทรงสูงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 นิ้ว ใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า (1.5 กิโลวัตต์) มีเกียร์ 4 เกียร์ ใช้ในการปรับลดความเร็วยรอบ ใช้แรงงานคนในการควบคุมปรับเกียร์ ดังแสดงในรูปที่ 1
- ขั้นตอนที่ 1** ผสมน้ำจิงแก่และน้ำตาล จะใช้เกียร์ 2 (ความเร็วยรอบ 38 รอบ / นาที) มีไฟแรง อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส
- ขั้นตอนที่ 2** เมื่อมีการขึ้นฟู จะใช้เกียร์ 4 (ความเร็วยรอบ 60 รอบ / นาที) มีไฟอ่อน ลดอุณหภูมิลงใช้เวลา 5 นาที
- ขั้นตอนที่ 3** หลังจาก 5 นาที จึงใช้เกียร์ 1 (ความเร็วยรอบ 16 รอบ / นาที) หยุดการให้ความร้อน



ภาพที่ 1.1 แสดงภาพลักษณะชุดควบคุมพร้อมมอเตอร์และชุดเกียร์ ใช้สำหรับการระเหยน้ำ

2. ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของขิงแก่สด ขิงผง น้ำขิงสด และน้ำขิงผง ทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน เช่น ความชื้นฐานเปียก (% w.b.) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สี (colour) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) ปริมาณน้ำอิสระ( $a_w$ ) ความสามารถในการละลาย และอื่นๆ ซึ่งแสดงข้อมูลเบื้องต้นดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเป้าหมายในการเปรียบเทียบคุณภาพของขิงผง
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ในระหว่างการระเหยน้ำเช่น สี ค่าความหนืด ค่าพีเอช ภาพแสดงการลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำขิงในระหว่างการให้ความร้อน
4. ศึกษาผลของความเร็วยรอบ และอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการระเหยน้ำ และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการระเหยน้ำออกจากน้ำขิง
5. ออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วยรอบของมอเตอร์ โดยอาศัยพารามิเตอร์และค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองข้างต้น ชุดเครื่องมือวัดและควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพขิงผง เช่น อุณหภูมิ ความเร็วยรอบใบกวน เป็นต้น
2. แนวทางการควบคุมระบบการแปรรูปขิงผงแบบอัตโนมัติ
3. แนวทางการใช้ประโยชน์จากไอระเหยในระหว่างกระบวนการระเหยน้ำ
4. ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีขั้นตอนการระเหยน้ำอยู่ใน

กระบวนการผลิตเช่น การผลิตกระเจียบผงกักขวยผงหรือการเคี่ยวน้ำตาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ชนิดของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งตามชนิดของแหล่งจ่ายได้ 2 ชนิดคือ

1. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งแรงดัน (Voltage Source Inverter ,VSI)
2. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งกระแส (Current Source Inverter ,CSI)

##### 2.1.1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งแรงดัน (Voltage Source Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งแรงดัน ใช้แรงดันไฟตรงค่าคงที่ และทำให้แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์คงที่ด้วย ซึ่งไม่ขึ้นกับโหลด โดยใช้การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM)

ข้อดีของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งแรงดัน

- สามารถควบคุมความถี่และความถี่ได้ง่าย
- ปรับความถี่ได้ในย่านกว้างๆ
- ใช้กับมอเตอร์พร้อมกันหลายๆตัวพร้อมกันได้

ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งแรงดันคือ

- มักมีปัญหาในเรื่องการลัดวงจร (Short Through) ของอุปกรณ์สวิตช์ภายในกิ่งเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในทางปฏิบัติมีการสร้างเวลาหยุดพัก (Dead Time) เป็นตัวช่วยป้องกัน

##### 2.1.2 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งกระแส (Current Source Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งกระแสประกอบด้วยไทรสเตอร์เรกติไฟร์ ที่สามารถควบคุมได้โดยควบคุมเฟสของเอซีไลน์ และยังมีอินดักเตอร์ตัวใหญ่ต่ออนุกรมอยู่ แต่ไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานเพื่อสร้างแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งแตกต่างจากอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งแรงดัน ส่วนควบคุมสัญญาณกระแสที่เปลี่ยนความถี่ได้อาจใช้อุปกรณ์ไทรสเตอร์ร่วมกับไดโอด

ข้อดีของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งกระแส

- ไม่มีโอกาสที่จะมีการลัดวงจรเหมือนใน VSI
- กำลังสูญเสียต่ำเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ไทรสเตอร์

ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งกระแส

- วงจรมีขนาดใหญ่ราคาแพง
- ไม่สามารถทำงานในขณะไม่มีโหลดได้

## 2.2 การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulate, PWM)

การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) เป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์ย่อย ๆ หลายพัลส์ โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างไม่เท่ากัน

### การเฉลี่ยเฉพาะที่ของสัญญาณ PWM

แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ของวงจรทอนระดับสัญญาณดังภาพ 2.1(ก) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างค่า 0 ถึงค่า  $V_s$  โดยที่วัฏจักรงาน  $D$  มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าเราให้  $D$  เป็นฟังก์ชันของเวลา  $d(t)$  โดยที่  $d(t)$  มีการเปลี่ยนแปลงค่าช้าๆ เมื่อเทียบกับคาบของการสวิตช์ ซึ่งถ้าเป็นในกรณีเช่นนี้เราสามารถสังเคราะห์แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจะเป็นฟังก์ชันของเวลาและมีค่าเท่ากับ  $d(t)V_s$  อย่างไรก็ตามเวลาในการเฉลี่ยค่า  $V_o$  จำเป็นต้องช่วงเวลาที่นานเมื่อเทียบกับค่าเวลาของการสวิตช์  $T$  แต่คาบเวลาดังกล่าวจะต้องสั้นกว่าเมื่อเทียบกับค่าเวลาของ  $d(t)$

การเฉลี่ยค่าแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ในที่นี้หมายถึงการเฉลี่ยเฉพาะที่ (local averaging) และจะใช้สัญลักษณ์  $V_o(t)$  สำหรับสัญลักษณ์  $\langle V_o \rangle$  หมายถึงค่าเฉลี่ยจริงซึ่งเป็นค่าคงตัว หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ ซึ่งได้จากการกรองสัญญาณแรงดันเอาต์พุตด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยจัดความถี่สูงออกและคงเหลือไว้แต่สัญญาณความถี่ต่ำๆ เช่น องค์ประกอบหลักมูล (fundamental component) ในขณะที่ถ้าส่วนค่าเฉลี่ยที่ได้จากการกรองทุกความถี่ออก จะคงเหลือไว้แต่องค์ประกอบไฟตรง

สำหรับวงจรทอนระดับสัญญาณแสดงในภาพที่ 2.1(ก) ถ้าเราให้วัฏจักรงาน  $d(t)$  เป็นฟังก์ชันไซน์ซอซด์

$$d(t) = 0.5 + m_a \sin(\omega_a t) \quad (2.1)$$

เราจะได้แรงดันเอาต์พุตที่เป็นองค์ประกอบไฟตรงบวกกับไซน์ซอซด์ ได้ดังนี้

$$V_o = 0.5V_s + m_a V_s \sin(\omega_a t) \quad (2.2)$$

$m_a$  คือ อัตราการมอดูเลตขนาด  $m_a \leq 0.5$

$\omega_a$  คือ ความถี่ในการมอดูเลต

โดยมีเงื่อนไขดังนี้

$$T \leq \frac{L}{R} \leq \frac{2\pi}{\omega_a} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน  $V_d$  เป็นพัลส์ที่มีความถี่เท่ากับ  $1/T$  แต่มีความกว้างพัลส์ที่ไม่คงตัว เราเรียกรูปคลื่นที่วัฏจักรงานเป็นฟังก์ชันทางเวลาของรูปคลื่นสัญญาณ PWM ค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของรูปคลื่น PWM หรือ  $V_d$  จะเป็นฟังก์ชันทางเวลา ถ้าเราทำการกรอง  $V_d$  ด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์  $L$  และ  $R$  โดยมีพารามิเตอร์เป็นไปตามเงื่อนไขสมการที่ (2.3) ดังนั้นค่าความถี่การสวิตช์จะถูกกรองออกไป แต่ความถี่  $\omega_a$  ไม่ถูกลดทอน



ภาพที่ 2.1 การใช้เทคนิค PWM กับวงจรทอนระดับ

ในรูปที่ 2.1(ข)  $V_o$  คือค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของรูปคลื่น PWM เนื่องจาก  $d(t)$  เป็นฟังก์ชันไซน์ซอซด์ ค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของรูปคลื่น PWM จึงเป็นรูปไซน์ซอซด์ด้วย แต่  $d(t)$  อาจเป็นฟังก์ชันของเวลาใดๆ (ที่เป็นไปตามเงื่อนไขสมการที่ (2.3))  $V_d(t)$  ก็จะเป็นฟังก์ชันที่เหมือนกับ  $d(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดี แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ของวงจรทอนระดับสัญญาณยังมีองค์ประกอบไฟตรงผสมอยู่ (เป็นไปตามสมการที่ (2.2) และภาพที่ 2.1(ข)) ดังนั้นการกำจัดองค์ประกอบไฟตรงสามารถทำได้โดยการต่อวงจรทอนระดับ 2 วงจร โดยที่สัญญาณมอดูเลตของวงจรทั้งสองมีเฟสต่างกัน  $180^\circ$  (ดังแสดงในภาพที่ 2.1(ค)) เมื่อนำสัญญาณด้านเอาต์พุตมาลบกัน จะส่งผลให้แรงดันไฟตรงก็จะหักล้างกันไปเหลือแต่แรงดันไฟสลับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกระแสด้านออก  $i_o$  เป็นกระแสสลับวงจรทอนระดับที่ใช้จะต้องเป็นชนิดที่พลังงานไหลได้ 2 ทิศทาง กล่าวคือ แต่ละวงจรใช้สวิตช์ ที่กระแสไหลได้ 2 ทาง จำนวน 2 ตัวถ้าให้สัญญาณมอดูเลตเป็นฟังก์ชันใดๆ แต่องค์ประกอบความถี่สูงสุดยังเป็นไปตามเงื่อนไขสมการที่ (2.3) แรงดันด้านออกจะเป็นฟังก์ชันเดียวกับสัญญาณมอดูเลตเพียงแต่จ่ายกำลังได้มากขึ้น ในแง่นี้วงจรทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกำลังแบบวิธีสวิตช์ (Switchmode power amplifier)

$$m_f = \frac{f}{f_a}$$

(2.4)

$m_f$  = อัตราการมอดูเลตความถี่

$f$  = ความถี่การสวิตช์

$f_a$  = ความถี่การมอดูเลต

## 2.3 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

### 2.3.1 วงจรและรูปคลื่นสัญญาณ

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสเหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งโครงสร้างและรูปคลื่นสัญญาณของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแสดงอยู่ในภาพที่ 2.2(ก)

เทคนิค PWM สามารถใช้ได้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคไซน์ตัดสามเหลี่ยม หรือเทคนิคการกำจัดฮาร์โมนิกส์ต่ำ หรือการควบคุมรูปคลื่นของกระแส

ภาพที่ 2.2(ข) แสดงหลักการของเทคนิคไซน์ตัดสามเหลี่ยม เรามีรูปสามเหลี่ยม  $V_T$  ซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ และมีสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์ 3 สัญญาณได้แก่คือ  $V_{rA}$ ,  $V_{rB}$  และ  $V_{rC}$  ซึ่งมีมุมเฟสต่างกัน  $120^\circ$  โดยมีจุดตัดระหว่าง  $V_T$  กับ  $V_{rA}$  ( $V_{rB}$  และ  $V_{rC}$ ) เป็นตัวกำหนดการตัดต่อวงจรของสวิตช์  $Q_1$ ,  $Q_4$  ( $Q_3$ ,  $Q_6$  และ  $Q_5$ ,  $Q_2$  ตามลำดับ) รูปคลื่นของแรงดัน  $V_{AG}$ ,  $V_{BG}$  (G คือสายลบของแหล่งแรงดันไฟตรง) และ  $V_{AB}$  แสดงอยู่ในภาพที่ 2.2(ค) สังเกตได้ว่าองค์ประกอบหลักมูลของ  $V_{AG}$  หรือ  $V_{AG1}$  มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับค่าที่แสดงในสมการที่(2.5) ( $V_{AG}$  ต่างกับ  $V_{A0}$  เพียงค่าแรงดันไฟตรง  $V_g/2$ )

$$V_{AG1} = m_a V_s \quad ; m_a \leq 0.5 \quad (2.5)$$

แรงดันสาย  $V_{AB}$  มีองค์หลักมูลเท่ากับ  $V_{AB1}$  แอมพลิจูดของ  $V_{AB1}$  เท่ากับ ของแอมพลิจูดของ  $V_{AG1}$  เนื่องจาก  $V_{AG}$  และ  $V_{BG}$  มีเฟสต่างกัน  $120^\circ$  และ  $V_{AB1}$  มีเฟสล้าหลัง  $V_{AG1}$  อยู่  $30^\circ$  (แสดงในรูปที่ 2.2(ค)) ดังนั้น

$$V_{AB1} = \sqrt{3m_a V_s} \quad ; m_a \leq 0.5 \quad (2.6)$$



ภาพที่ 2.2 วงจรและรูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ PWM

ในการออกแบบระบบ โดยทั่วไปนิยมเลือกอัตราการมอดูเลตความถี่  $M_f$  เป็นเลขคี่และเป็นพหุคูณของ 3 และให้ความลาดชันของ  $V_r$  และ  $V_r$  ณ จุดที่แรงดันทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกัน (แสดงในภาพที่ 2.2(ข)) ในกรณีนี้ถ้า  $m_a \leq 0.5$  สเปกตรัมของ  $V_{AB}$  จะเป็นดังแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นชอบหรือเห็นผิดในการนำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

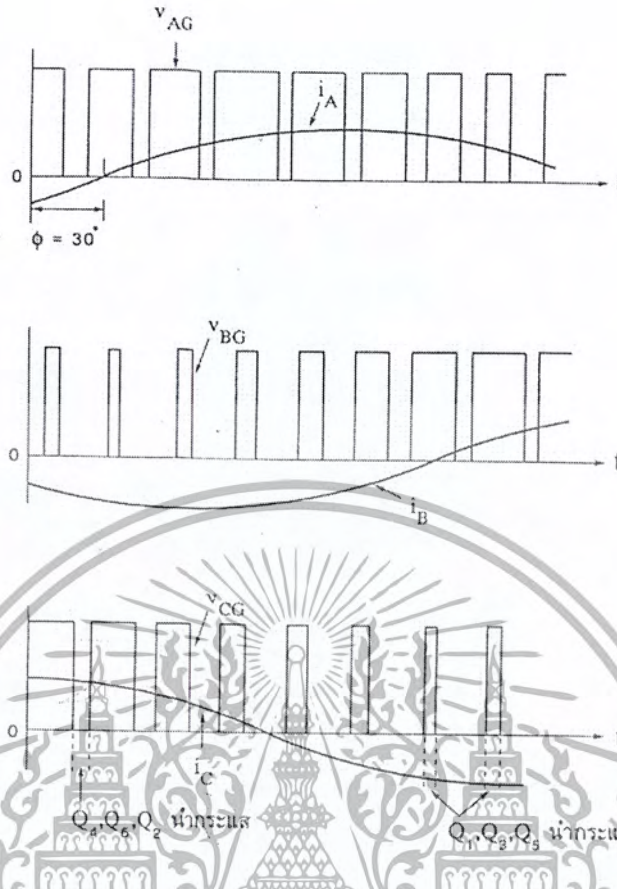
ในภาพที่ 2.2(ง) นอกจากนี้สังเกตได้ว่าฮาร์มอนิกส์ต่ำสุดเกิดขึ้นที่ความถี่  $(m_f \pm 2k)f_s$  ตารางที่ 2.1 แสดงฮาร์มอนิกส์ของแรงดันสายของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสเราอาจจะออกแบบให้วงจรทำงานถึงในย่านการมอดูเลตเกิน เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่มีค่าสูงขึ้น ส่วนข้อเสียมีเนื่องมาจากฮาร์มอนิกส์ที่เพิ่มขึ้น แต่มักจะพอยอมรับได้

ถ้าโหลดมีลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำโดยมีค่าคงตัวเวลาที่เป็นไปตามเงื่อนไขสมการที่ (2.3) กระแสโหลดจะเป็นรูปใกล้เคียงไซน์โดย ทิศทางของกระแสโหลดเป็นตัวกำหนดการนำกระแสของไดโอด เช่น กรณีที่เฟสของโหลดเท่ากับ  $30^\circ$  (ตามล้าหลัง) รูปคลื่นจะเป็นดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยสังเกตได้ว่าในช่วงเวลาที่  $i_c > 0$  และ  $V_{CG} = 0$  ( $Q_2$  หรือ  $D_2$  นำกระแส) แต่ทิศทางของ  $i_c$  แสดงว่า  $D_2$  นำกระแส (แสดงในภาพที่ 2.2(ก))

เมื่อพิจารณารูปคลื่นสัญญาณในภาพที่ 2.2 จะพบว่า ในบางช่วงเวลาดังแสดงในรูปด้านล่าง สวิตช์จะต่องิ่งทั้งสามของโหลดเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่าย  $V_s$  (เช่น เมื่อ  $Q_4, Q_6, Q_2$  นำกระแส) และบางช่วงเวลาดีสวิตช์จะต่องิ่งทั้งสามของโหลดเข้ากับขั้วบวกของแหล่ง  $V_s$  (เช่น เมื่อ  $Q_1, Q_3, Q_6$  นำกระแส) ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าว กระแสอินพุทของอินเวอร์เตอร์ ( $i_d$  ในภาพที่ 2.2(ก)) มีค่าเป็นศูนย์ หมายความว่าพลังงานไม่ไหลจากแหล่งจ่ายสู่โหลด ซึ่งระยะเวลาของการควบคุมช่วงเวลาดังกล่าว เป็นการควบคุมพลังงานที่จ่ายให้แก่โหลดหรือควบคุมกำลังประกอบหลักมูลของแรงดันเอาต์พุตนั่นเอง

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนระหว่างค่าRMSของฮาร์มอนิกส์กับ  $V_s$  ของแรงดันสายอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

h	$m_f$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
1		0.122	0.245	0.367	0.490	0.612
$m_f \pm 2$		0.010	0.037	0.080	0.135	0.195
$m_f \pm 4$					0.005	0.011
$2m_f \pm 1$		0.116	0.200	0.227	0.192	0.111
$2m_f \pm 5$					0.008	0.020
$3m_f \pm 2$		0.027	0.085	0.124	0.108	0.038
$3m_f \pm 4$			0.007	0.029	0.064	0.096
$4m_f \pm 1$		0.100	0.096	0.005	0.064	0.042
$4m_f \pm 5$				0.021	0.051	0.073
$4m_f \pm 7$					0.010	0.030



ภาพที่ 2.3 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แสดงช่วงพลังงานไม่ไหลสู่โหลด

2.3.2 เทคนิคการมอดูเลตแบบ SINE PWM

การมอดูเลตแบบ SINE PWM จะมีลักษณะดังภาพที่ 2.2 สัญญาณ PWM ที่ได้ก็เป็นไปตามสมการที่ 2.2 ซึ่งเป็นแรงดัน  $V_u$  เทียบของเฉพาะเฟส และเมื่อต้องการค่าแรงดันของ 3 เฟสที่ต่างกันก็สามารถหาได้จากสมการที่ 2.7 (โดยเฉพาะ U,V,W ในสมการที่ 2.7 เป็นตัวเดียวกับเฟส A,B,C ในรูปที่ 2.2)

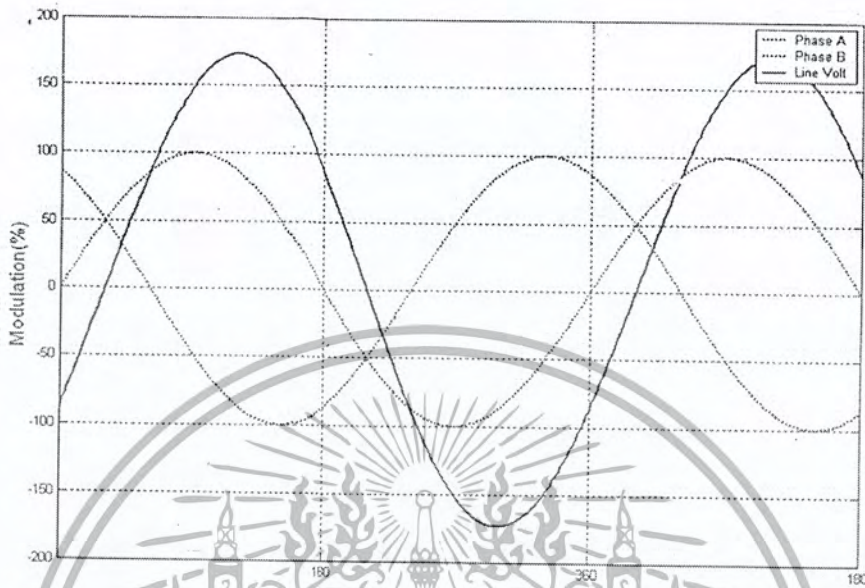
$$\begin{aligned}
 V_u &= 0.5V_s + m_a V_s \sin(\omega_a t) \\
 V_v &= 0.5V_s + m_a V_s \sin(\omega_a t + 120^\circ) \\
 V_w &= 0.5V_s + m_a V_s \sin(\omega_a t - 120^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

จากสมการที่ 2.7 สามารถหาแรงดันระหว่างเฟสหรือแรงดันไลน์สูงสุด ( $m_a = 0.5$ )ได้จากสมการที่

2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{uv} = 0.866V_s \sin(\omega_a t - 30) \quad (2.8)$$



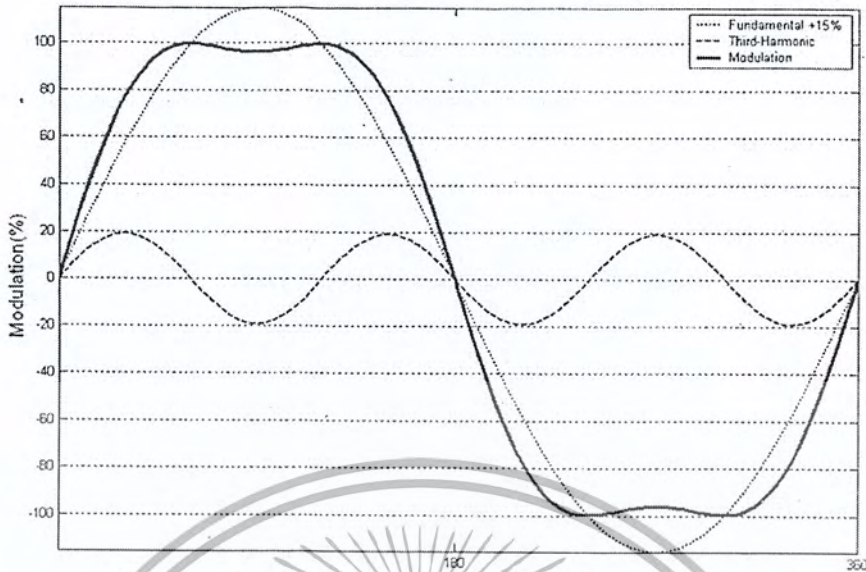
ภาพที่ 2.4 แรงดันเฟสและแรงดันไลน์จากการมอดูเลตแบบ SINE PWM

ภาพที่ 2.4 นั้นเป็นสัญญาณความถี่หลักมูลจากการมอดูเลตแบบ SIN PWM ในสมการที่ 2.7 - 2.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้วยวิธีการมอดูเลตแบบนี้มีข้อจำกัดคือ สามารถให้ขนาดของความถี่หลักมูลของแรงดันไลน์ (Line Volt) สูงสุดที่ 86.6% ของแรงดันไฟตรง ตามสมการที่ 2.8 ซึ่งอาจจะต้องใช้วิธีการที่สามารถเพิ่มขนาดของแรงดันไลน์ให้สูงขึ้น เช่น การมอดูเลตเกิน (Overmod) ส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกต่ำขึ้นที่มอเตอร์ ทำให้กำลังงานสูญเสียที่มอเตอร์เพิ่มขึ้น

### 2.3.3 เทคนิคการมอดูเลตแบบ Third-Harmonic Injection PWM

จากเทคนิค SINE PWM ถ้าเราต้องการแรงดันระหว่างเฟส  $V_{uv}$  ในสมการที่ 2.8 เท่ากับแรงดันไฟตรง เราต้องเพิ่มอัตราการมอดูเลต  $m_a$  ขึ้น 15.4% แต่การเพิ่มอัตราการมอดูเลตนั้น ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของความถี่หลักมูลเนื่องจากการมอดูเลตเกิน แต่ถ้าลองพิจารณาภาพที่ 2.5 ประกอบ จะเห็นว่าการเพิ่มฮาร์มอนิกที่ 3 ที่มีขนาดเหมาะสมเข้าไปกับความถี่หลักมูลสามารถแก้ไขความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้น จากการมอดูเลตเกินนี้ได้ จึงให้ขนาดของแรงดันเฟสต่อเฟส หรือ แรงดันไลน์สูงสุดเท่ากับแรงดันไฟตรง ดังรูปที่ 2.5 มีผลให้สนามแม่เหล็ก (Flux) สูงขึ้น แรงบิด (Torque) มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 เทคนิค Third-Harmonic Injection

จากการหาขนาดของฮาร์โมนิกลำดับที่สามที่เหมาะสม ด้วยการจำลองการทำงานบนโปรแกรม MicroSim Eval 8 จะได้ค่าอยู่ในช่วง 18.5%-20% ของความถี่หลักมูลและค่าที่ให้ผลดีที่สุดคือ 19.2% จากสมการที่ 2.2 สามารถคำนวณหาขนาดของแรงดันชั่วขณะต่อเฟส  $V_o$  เมื่อใช้วิธี Third-Harmonic Injection PWM ได้ดังสมการที่ 2.9

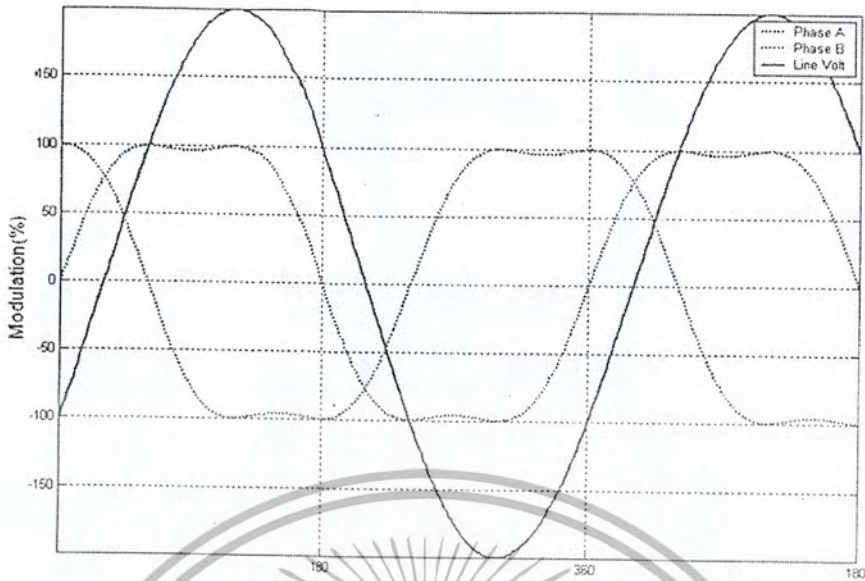
$$V_o = 0.5V_s + (1.154m_a V_s \sin(\omega_a t) + 0.192m_a V_s \sin(3\omega_a t)) \quad (2.9)$$

ทำให้แรงดันเฟสต่อเฟสไม่มีเทอมของฮาร์โมนิกที่ 3 และมีขนาดเพิ่มขึ้นจากสมการที่ 2.8 ( $m_a = 0.5$ )

$$V_{uv} = V_s \sin(\omega_a t - 30) \quad (2.10)$$

ภาพที่ 2.4 นั้นเป็นสัญญาณความถี่หลักมูลจากการมอดูเลตแบบ Third-Harmonic Injection PWM ในสมการที่ 2.9-2.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้วยวิธีการมอดูเลตแบบนี้ให้ขนาดความถี่หลักมูลของแรงดันไลน์ (Line Volt) สูงสุดที่ 100% ของแรงดันไฟตรง ตามสมการที่ 2.10 ซึ่งสูงกว่าในภาพที่ 2.5 ที่ให้แรงดันไลน์แค่ 86.6% ของแรงดันไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แรงดันเฟสและแรงดันไลน์จากการมอดูเลตแบบ Third-Harmonic Injection PWM

### การเปรียบเทียบเทคนิค PWM

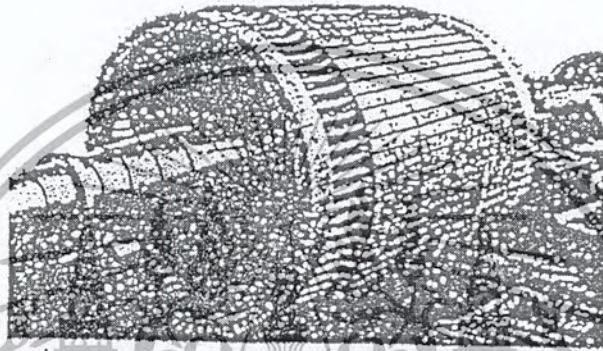
เทคนิคการมอดูเลต ได้มีการถูกนำมาใช้ในการสร้างรูปสัญญาณความถี่หรือรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าสัญญาณมอดูเลต PWM ที่ใช้ในการสวิตช์อินเวอร์เตอร์ นั้นถูกสร้างมาจากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณพาหุรูปคลื่นสามเหลี่ยม ความถี่สูงและสัญญาณ ไซน์ซอชต์อ้างอิงสามสัญญาณ ซึ่งหลักการพื้นฐานนี้ได้ถูกนำมาพัฒนาสร้างทั้งทางอนาลอกและดิจิทัลสำหรับการแปลงพลังงาน

สำหรับวิธี Third-Harmonic สามารถให้แรงดันไลน์สูงเท่ากับแรงดันไฟตรงเหมือนกับวิธี  $60^\circ$  PWM และ SVM และให้เอาท์พุทเป็น ไซน์ซอชต์ แต่การใช้เทคนิคนี้อาจต้องใช้วงจรที่มีความซับซ้อนมากหรือใช้ตัวประมวลผลที่มีความสามารถในทางคำนวณที่สูงเพื่อให้ได้สัญญาณ PWM ที่ถูกต้อง



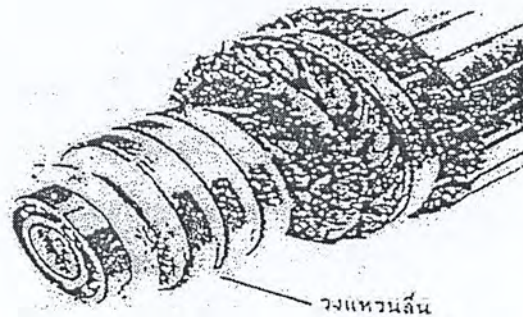
- ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบที่มีตัวหมุดคล้ายกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) และส่วนที่ตัวหมุนมีขดลวดพันอยู่รอบๆ (Wound Rotor)

ตัวหมุดคล้ายกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) มอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบนี้ซึ่งมีชื่อเรียกว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก โรเตอร์ชนิดนี้สร้างง่ายที่สุด ประกอบด้วยแท่งอลูมิเนียมฝังอยู่ในท่อนโรเตอร์ ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ ประกอบเป็นท่อนโรเตอร์ ปลายทั้งสองด้านของแท่งอลูมิเนียมจะเชื่อมด้วยกันกับวงแหวน ดังนั้นจึงมีรูปร่างคล้ายกรงกระรอก



ภาพที่ 2.9 ตัวหมุนแบบกรงกระรอก

ตัวหมุนแบบมีขดลวดพันอยู่รอบๆ (Wound Rotor) บนโรเตอร์จะมีช่องสเตเตอร์สำหรับพันขดลวด โดยพันให้มีจำนวนขั้วแม่เหล็กเท่ากับด้านสเตเตอร์ ปลายด้านหนึ่งของขดลวดโรเตอร์จะต่อร่วมกันเป็นจุดสตาร์ และปลายที่เหลือทั้งสาม จะไปต่อกับวงแหวนลื่น (Slip Ring) ที่ยึดติดอยู่กับเพลลาของตัวโรเตอร์ แปรงถ่านทั้งหมดที่ต่ออยู่กับวงแหวนลื่นจะ ไปต่อไปยังตัวต้านทานแปรค่า 3 ตัวที่ต่อร่วมกันเป็นแบบสตาร์ เพื่อปรับความต้านทานในวงจรโรเตอร์ให้เพิ่มขึ้นในตอนที่มอเตอร์ทำให้กระแสในตอนที่เริ่มหมุนต่ำลง ทำให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงขึ้นในสภาวะมอเตอร์ทำงาน

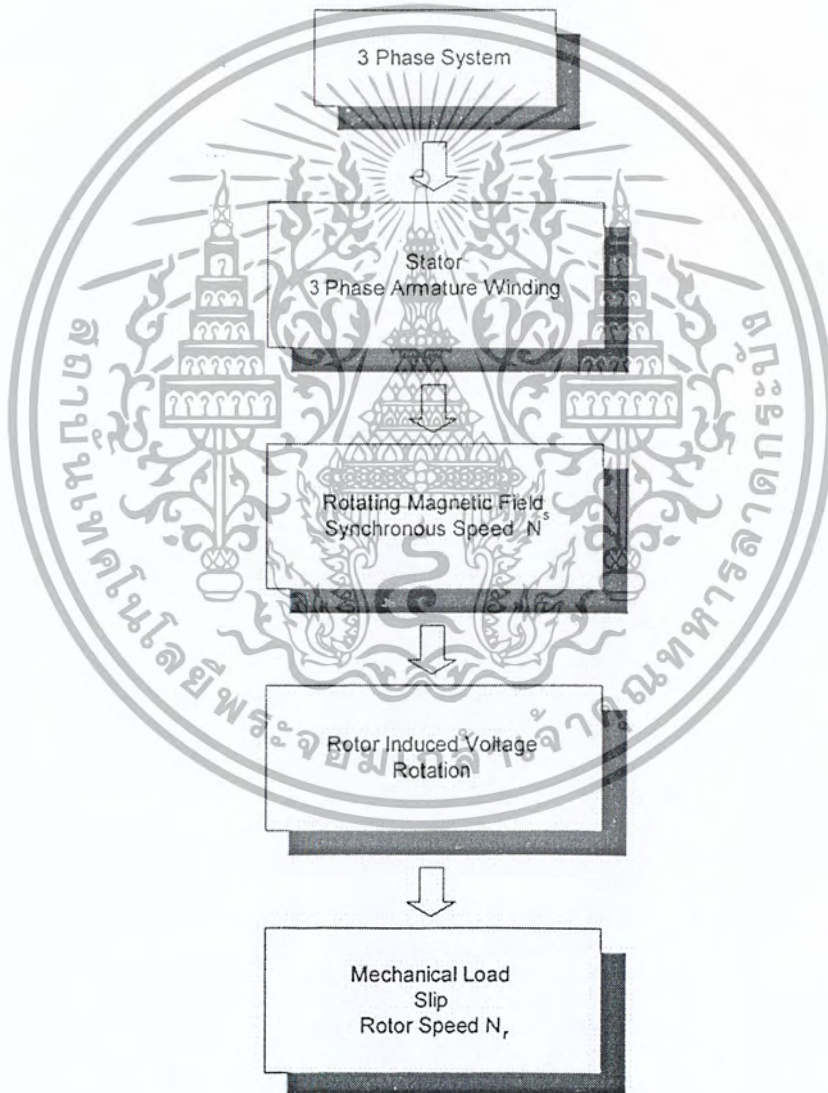


ภาพที่ 2.10 ตัวหมุนที่มีขดลวดพันอยู่รอบๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อป้อนไฟสามเฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ เคลื่อนที่หมุนไปรอบช่องว่างอากาศ ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัส ( $N_s$ ) สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะไปเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ จะดึงดูดให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนจากโรเตอร์ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์จะต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.4.2 สนามแม่เหล็กหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

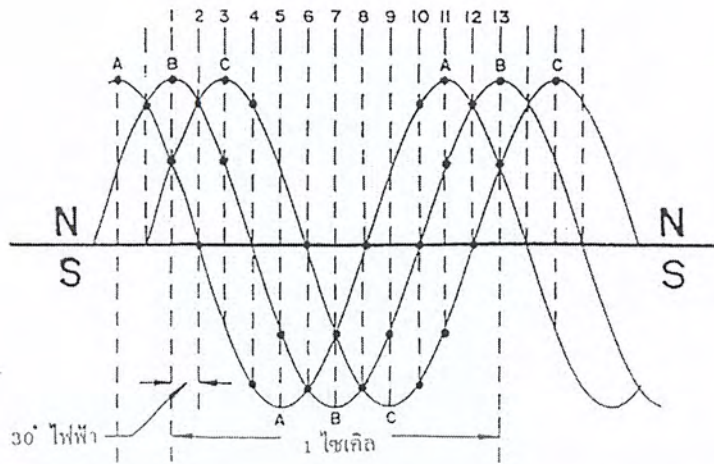
สนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อมีกระแสไฟฟ้าระบบ 3 เฟสจ่ายให้กับขดลวด 3 เฟส เป็นผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์นั้น สนามแม่เหล็กหมุนจะตัดกับตัวนำโรเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ และจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในโรเตอร์ เพราะที่โรเตอร์มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้เช่นเดียวกับสเตเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์นั้น จะเกิดการผลักและดูดกับขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน ผลที่ได้ของการดูด และผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิด

หลักการหมุนของสนามแม่เหล็กโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ดังภาพที่ 2.12 เป็นการแสดงให้เห็นว่าถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าเฟสระบบ 3 เฟสให้กับขดลวดในสเตเตอร์ ในช่วงขณะหนึ่ง สมมติให้เป็นครึ่งไซเคิลบวกดังแสดงในภาพที่ 2.12 ด้านขวามือ โดยการต่อไฟฟ้าเฟส A เข้ากับเฟส A ของมอเตอร์ และเฟส B เฟส C เข้ากับมอเตอร์ในเฟสถัดไป



ภาพที่ 2.12 แสดงการจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าสามเฟสให้กับมอเตอร์

เมื่อกระแสไฟฟ้าในครึ่ง ไซเคิลบวกเฟส A ไหลเข้าไปในขดลวดของเฟส A มอเตอร์จะทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดในเฟส A ของมอเตอร์นั้นทำให้เกิดขั้ว N ขึ้น และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับเฟส A มอเตอร์ค่อยๆ ลดลงอำนาจแม่เหล็กขั้ว N ก็จะค่อยๆ ลดลงอำนาจ หรือความเข้มลง และในขณะที่เฟสถัดไปก็จะมีอำนาจแม่เหล็กคล้ายๆ กับเฟส A แต่ในเวลาถัดไปจนครบ 3 เฟสในหนึ่งขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ (คือเฟส A,B และ C) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในครึ่ง ไซเคิลบวกสิ้นสุดเรียบร้อยแล้ว ในครึ่ง ไซเคิลลบถัดไปที่ขั้วแม่เหล็กดังกล่าวข้างต้นจะเปลี่ยนสภาวะจากขั้ว N ไปเป็นขั้ว S และในอีกหนึ่งขั้วแม่เหล็กถัดไปก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับขั้วแม่เหล็กแรกที่กล่าวถึง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับว่าสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆ สเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เหมือนกับหมุนไปรอบๆ นี้เรียกสั้นๆ ว่าสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field)



ภาพที่ 2.13 รูปคลื่น ไชน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส



ภาพที่ 2.14 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส

จากภาพที่ 2.13 และภาพที่ 2.14 เป็นการแสดงถึงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว ที่สามารถพิจารณาที่ละขั้นได้คือ

ที่จุดที่ 1 บนรูปไซเคิลไชน์จะเห็นว่าเฟส B อยู่ที่ตำแหน่งความเข้มสูงสุดของขั้วเหนือ เฟส A ก็เป็นขั้วเหนือ แต่ลดลงจากจุดสูงสุดและเฟส C เป็นขั้วเหนือและกำลังเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.14 (ก) ของสเตเตอร์คือเฟส B เป็นขั้วเหนือมาก เฟส A และเฟส C เป็นขั้วเหนือขึ้นน้อย

ที่จุดที่ 2 บนรูปคลื่นไชน์ เฟส A เป็น 0 เฟส B เป็นขั้วเหนือแต่กำลังลดลง ส่วนเฟส C เป็น

ขั้วเหนือแต่กำลังเพิ่มขึ้นแสดงในภาพที่ 2.14(ข) ของสเตเตอร์ เฟส A เป็น 0 เฟส B และเฟส C เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นชอบหรือใช้ขานการคำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วเหนือและมีความเข้มเท่ากัน ซึ่งจะเกิดระหว่าง 2 เฟสคือ เฟส B กับเฟส C ดังนั้นจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 30 องศาไฟฟ้า ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (30 Electrical Degree Clockwise)

ที่จุดที่ 3 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส C จะมีความเข้มสูงสุดของขั้วเหนือ เฟส B ลดจากจุดสูงสุดและเฟส A เพิ่มขึ้นแต่เฟส A เป็นขั้วได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.14(ค) ของสเตอร์ เฟส C จะเป็นขั้วเหนือและมีค่าความเข้มมาก ส่วนเฟส B มีความเข้มของขั้วเหนือ้อย และเฟส A เป็นขั้วได้น้อย ดังนั้นจากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 3 ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 30 องศาไฟฟ้า ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

บนภาพคลื่นไซน์ที่จุดต่างๆ ในไซเคิลก็จะเกิดหมุนเวียนกันไปเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างเช่น ที่จุดที่ 6 ในภาพที่ 2.13 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส A และเฟส B จะเป็นขั้วได้ ส่วนเฟส C จะเป็น 0 ดังแสดงในภาพที่ 2.14(ง) ของสเตอร์ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 150 องศาไฟฟ้าในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากจุดที่ 1 เป็นอันว่าครบไซเคิลของขั้วเหนือ หรือหมุนครบ 1 รอบ 360 องศา

#### 2.4.3 ความเร็วและค่าต่างๆที่สัมพันธ์กับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อทำการป้อนไฟฟ้าให้กับขดลวดสเตเตอร์แล้ว จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน ขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์และความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดมอเตอร์ โดยที่ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะแปรผันโดยตรงกับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่จะแปรผกผันกับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ตัวนั้น ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed,  $N_s$ )

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

เมื่อ	$N_s$	คือ	ความเร็วซิงโครนัส ; rpm (รอบต่อนาที)
	$f$	คือ	ความถี่ของระบบไฟฟ้า ; Hz (ไซเคิลต่อนาที)
	$P$	คือ	จำนวนขั้วแม่เหล็ก ; Pole (ขั้ว)

สลลิป (Slip หรือ  $s$ ) ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัส ( $N_s$ ) กับความเร็วของโรเตอร์ ( $N_r$ ) หรือเรียกว่าความเร็วสลลิป (Slip speed) ในทางปฏิบัติความเร็วของโรเตอร์จะช้ากว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนบนตัวสเตเตอร์ ( $N_s$ ) ถ้าความเร็วของรอบโรเตอร์หมุนเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุนแสดงว่าไม่มีความเร็วสัมพัทธ์ (Relative speed) ก็จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดโรเตอร์ และไม่มีการแสไหลในวงจรโรเตอร์ ทำให้ไม่มีแรงบิดที่เกิดจากการดูดและผลักทางขั้วแม่เหล็กที่จะเร่งให้ตัวโรเตอร์หมุน จึงเป็นสาเหตุให้ความเร็วของโรเตอร์ต้องน้อยกว่าของสนามแม่เหล็กหมุนบนสเตเตอร์ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสลลิป

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

เมื่อ  $s$  คือ slip

$N_s$  คือ Synchronous speed (rpm)

$N_r$  คือ Rotor speed (rpm)

ความถี่ของแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดโรเตอร์อยู่ในสภาวะอยู่กับที่ ความถี่ในวงจรโรเตอร์ (Rotor Frequency) จะมีค่าเท่ากับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็ว  $N_r$  อัตราการตัดสนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับรอบต่อนาที  $N_s - N_r$  ความถี่ในวงจรโรเตอร์จะขึ้นอยู่กับ สลิปสลิปโดยมีสมการในรูปแบบเดียวกันกับสมการของความถี่เชิงโครนัส

Slip speed  $sN_s = N_s - N_r$  rpm

Rotor speed  $N_r = (1 - s)N_s$  rpm

Rotor Frequency  $f_r = sf$  rpm

ขณะมอเตอร์เริ่มหมุน (Starting) โรเตอร์หยุดนิ่งอยู่กับที่  $s = 1$  Rotor Frequency เท่ากับ Stator Frequency

## 2.5 โครงสร้างและส่วนประกอบของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมชนิดหนึ่ง ที่นำมาแทนที่การควบคุมที่ใช้รีเลย์ ทำให้สะดวกขึ้น PLC เป็นอุปกรณ์ชนิด Solid State ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Function) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Slid-State Digital Element เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟ ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟใหม่ซึ่งเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้ว การเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิต-สเตท ซึ่งหน้าเชื่อถือกว่าเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องการขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร จึงกล่าวได้ว่า PLC สามารถควบคุมเครื่องจักรได้ทุกชนิดอีกทั้งมีประสิทธิภาพสูง น่าเชื่อถือกว่าระบบควบคุมแบบเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับระบบซีควีนซ์ (Sequence) หรือใช้การเดินสายไฟแบบเก่าแล้ว PLC มีข้อดีกว่าดังต่อไปนี้

- แก้ไขได้ง่าย
- ติดต่อกับระบบอื่นได้ง่าย
- ติดต่อง่าย
- ลดการเดินสายไฟฟ้ควบคุม
- เนื้อที่ติดตั้งน้อยกว่า
- มีความน่าเชื่อถือสูงกว่า
- บำรุงรักษา และซ่อมแซมง่าย
- มีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่า

## 2.6 ส่วนประกอบของ PLC

PLC (Programmable Logic Controller) แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนด้วยกัน

- 2.6.1 ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU)
- 2.6.2 ส่วนที่เป็นหน่วยความจำ (Memory Unit)
- 2.6.3 ส่วนที่เป็นหน่วยรับข้อมูลและหน่วยส่งข้อมูล (Input /Output: I/O)
- 2.6.4 ส่วนที่เป็นอุปกรณ์ติดต่อภายนอก (Peripheral Devices)

### 2.6.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

หน่วยประมวลผลกลาง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ PLC โดยภายในจะประกอบไปด้วยวงจร Logic Gate ชนิดต่างๆหลายชนิด และมี Microprocessor – based ใช้สำหรับแทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) เคาน์เตอร์ (Counter) ไทเมอร์ (timer) และซีควเ็นเซอร์ (Sequencer) เพื่อให้ผู้ใช้ได้ออกแบบใช้วงจรรีเลย์ แลคเคอร์ ลอจิก (Relay Ladder Logic) เข้าไปได้ หน่วยประมวลผลกลางจะรับข้อมูล (Read Input Data) จากอุปกรณ์ให้สัญญาณ (Sensing Device) ต่างๆ จากนั้นจะปฏิบัติการเก็บข้อมูล โดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ และส่งข้อมูลที่เหมาะสมถูกต้องไปยังอุปกรณ์ควบคุม (Control Device) แหล่งของกระแสไฟฟ้าตรง (DC Current) สำหรับใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำๆ (Low Level Voltage) ซึ่งใช้โดยโปรเซสเซอร์ (Processor) และ I/O Modules ซึ่งแหล่งจ่ายไฟนี้จะเก็บไว้ที่ หน่วยประมวลผลกลาง หรือแยกออกไปติดตั้งที่จุดอื่นก็ได้

การประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลางจากโปรแกรม ทำได้โดยรับข้อมูลจากหน่วยอินพุตเข้ามาแล้วทำการประมวลผล แล้วจึงส่งข้อมูลที่ได้ออกไปยังเอาต์พุต จากนั้นก็วกกลับไปรับข้อมูลอินพุตเข้ามาอีก ทำซ้ำๆ ในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ การทำในลักษณะนี้เรียกว่า การสแกน (Scan Time)

นอกจากนี้ CPU ยังทำหน้าที่ รับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ติดต่อภายนอก (Peripheral device) ตรวจสอบเช็คตัวเองและหน่วยความจำ, ตรวจสอบเช็คแหล่งจ่ายไฟฟ้า

### 2.6.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

หน่วยความจำเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของระบบ เพราะใช้เป็นที่เก็บโปรแกรมและข้อมูลขนาดต่าง ๆ ของหน่วยความจำ จะเป็นสิ่งกำหนดความสามารถของระบบ ระบบที่มีหน่วยความจำมากจะทำให้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนต่าง ๆ ได้มากขึ้น โดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูล (Data Bit) ภายในหน่วยความจำ 1 บิต ก็จะมีค่าสถานะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันไปแต่ค่าตั้งหน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วยหน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และ ข้อมูลสำหรับการปฏิบัติงานของ PLC ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ ROM (Read Only Memory) สามารถโปรแกรมได้แต่ลบไม่ได้ ถ้าชำรุดแล้วซ่อมไม่ได้

### 2.6.3 ส่วนของหน่วยรับข้อมูลและหน่วยส่งข้อมูล (I/O Unit)

หน่วยรับข้อมูล (Input) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกที่เป็นสวิทช์และตัวตรวจจับชนิดต่างๆ (Sensor) ของเครื่องจักรหรือกระบวนการ แล้วแปลงสัญญาณเป็น AC หรือ DC ที่เหมาะสมเพื่อส่งให้แก่หน่วยประมวลผลกลาง

สัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้

1. ทำให้สัญญาณเข้าได้ระดับที่เหมาะสมกับ PLC
2. การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกับด้วยลำแสง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อต้องการแยกสัญญาณ (Isolate) ทางไฟฟ้าให้ออกจากกันเป็นการป้องกันไม่ให้ CPU เสียหายเมื่ออินพุตเกิดลัดวงจร
3. หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั่นสะเทือน (Contact Chattering)

ในส่วนของหน่วยส่งข้อมูล (Output) จะทำหน้าที่รับค่าสถานะที่ได้จากการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลางแล้วนำค่าที่ได้ไปขยายสัญญาณออกให้มีขนาดใหญ่พอจะขับอุปกรณ์ภายนอก เช่น รีเลย์ โซลินอยด์ หลอดไฟ มอเตอร์ วาล์ว หรือปั๊ม เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่แยกสัญญาณของหน่วยประมวลผลกลางออกจากอุปกรณ์เอาต์พุตเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้โดยปกติเอาต์พุตนี้จะสามารถขับโหลดได้ด้วยกระแสไฟฟ้าประมาณ 1-2 แอมแปร์ ถ้าโหลดต้องการกระแสมากกว่านี้ จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์ขับหรือขยายอีกที่เช่น รีเลย์ โซลิดสเตทรีเลย์ และคอนแทคเตอร์

### 2.6.4 อุปกรณ์ติดต่อภายนอก (Peripheral Devices)

ทำหน้าที่ป้อน โปรแกรมของผู้ใช้ในหน่วยความจำของ PLC นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้กับ PLC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจการปฏิบัติงานของ PLC และผลการควบคุมเครื่องจักร และกระบวนการตามโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นได้อีกด้วย หน้าที่ของอุปกรณ์ติดต่อภายนอก ได้แก่

1. ป้อนโปรแกรมเข้าไปในหน่วยความจำของระบบ
2. ใช้ในการแก้ไขโปรแกรม
3. ใช้ในการเก็บรักษาโปรแกรม
4. ใช้ในการพิมพ์โปรแกรม
5. ใช้แสดงสถานะการควบคุม

## Computer กับ PLC

การเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับ PLC นั้น ส่วนใหญ่นั้นจะใช้สาย RS-232 เป็นตัวเชื่อมต่อ และ PLC สามารถใช้ software ของแต่ละบริษัทจึงไม่เหมือนกันแต่มีจุดประสงค์การใช้งานที่ใกล้เคียงกัน

## 2.7 การทำงานของ PLC

เครื่องจักรที่ควบคุมด้วย PLC จะมีความสามารถเขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักร และมีความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรม เช่น เปลี่ยนแปลงแก้ไขเพิ่มเติมก็สามารถทำได้ ซึ่งจะรวมถึงมีไทมเมอร์ (Timer) เคาน์เตอร์ (Counter) หรือฟังก์ชันคำสั่งพิเศษต่าง ๆ มากมาย เช่น MOV Data เพื่อที่จะได้ใช้งานควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ไม่ว่าจะเป็น มอเตอร์ โซลีนอยด์หรือหลอดไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC กับ Computer เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันหรืออาจจะติดต่อกับอุปกรณ์อื่น เช่น จอสัมผัส (Touch Screen) เพื่ออำนวยความสะดวกต่อสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งไปกว่านั้นการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ขีดความสามารถในการควบคุมนั้นสูงขึ้นอีกด้วย โดยการควบคุมนั้นสามารถทำได้ โดยการเขียนวงจรแลดเดอร์ (Ladder Diagram) ซึ่งแลดเดอร์ไดอะแกรมจัดเป็นภาษาสัญลักษณ์ที่สามารถดูตามโครงสร้างแล้วเข้าใจการทำงาน แต่ที่เวลาที่ PLC จะทำงานจะอาศัยชุดคำสั่ง (Instruction) ทำงาน โดยวิธีการเขียนลงในส่วนหน่วยความจำ ข้อมูลในหน่วยความจำนั้น จะจัดเก็บเป็นรหัส (Code) ไม่สามารถจัดเก็บแลดเดอร์โดยตรงได้ ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องเข้าใจชุดคำสั่ง เพราะชุดคำสั่งนั้นก็แปลงภาษามาจากแลดเดอร์ไดอะแกรมนั่นเอง

### วงจรตรรกะ (ลอจิก)

จากพื้นฐานความรู้หลักการของเลขฐานชนิดต่างๆแล้ว หลักการทำงานของ PLC ก็ยังใช้วงจรตรรกะ (ลอจิก) เพื่อให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่มีเงื่อนไข (สัญญาณเอาต์พุต) ชนิดต่างๆ หลักการของวงจรตรรกะ มีดังต่อไปนี้

วงจรตรรกะหมายถึง วงจรไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือระบบรีเลย์ ที่มีสัญญาณเพียง 2 ระดับ หรือ 2 สภาวะเท่านั้น PLC ใช้สัญญาณไฟฟ้า 2 ระดับแทน 2 เหตุการณ์ที่ต่างกัน เช่น การเปิดวาล์ว การปิด-เปิด สวิตช์ เป็นต้น วงจรตรรกะมี 2 ชนิดคือ แบบบวก (Positive Logic) แบบลบ (Negative Logic) ลอจิกบวก จะใช้สัญญาณไฟระดับสูงแทนสภาวะลอจิก “1” และใช้สัญญาณไฟระดับต่ำแทนสภาวะลอจิก “0” ส่วนวงจรลอจิกแบบลบจะใช้สัญญาณไฟระดับต่ำแทนสภาวะลอจิก “1” และใช้สัญญาณไฟระดับสูงแทนสภาวะลอจิก “0”

สภาวะทางลอจิก คือ สภาวะ “1” หรือ “0” ใช้แทนการทำงานของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ และ PLC จะนำเอาสถานะของอุปกรณ์เหล่านี้มาปฏิบัติลอจิก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

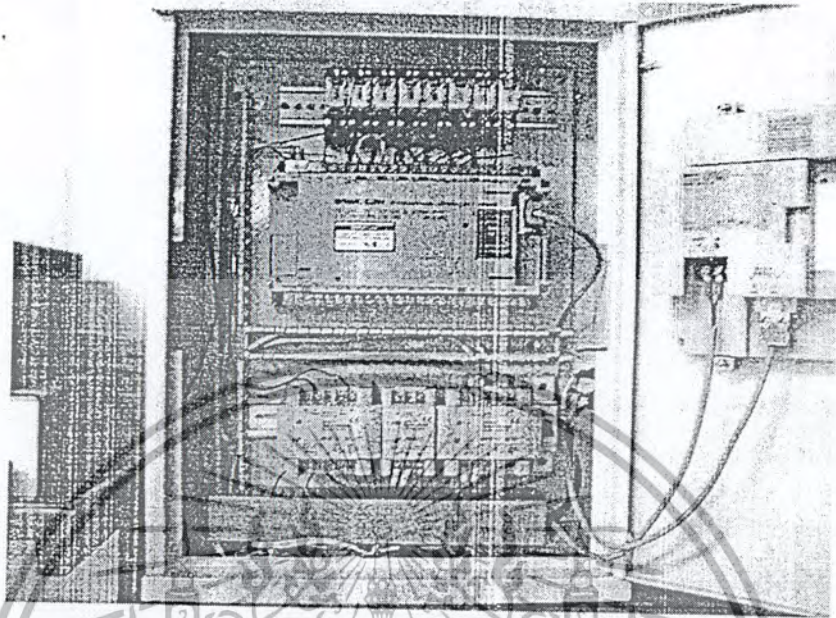
ด้วยกัน เพื่อให้เข้ากันเงื่อนไขการควบคุม ปฏิบัติการลอจิกประกอบด้วย AND OR และ NOT เพื่อให้สภาวะอินพุตต่างๆ เช่น A,B ทำให้เกิดเอาต์พุต Y เป็นต้น ส่วนพีชคณิตบูลีนมีไว้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ทางลอจิกเพื่อที่จะให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

## 2.8 ข้อมูลของ PLC รุ่น C28H



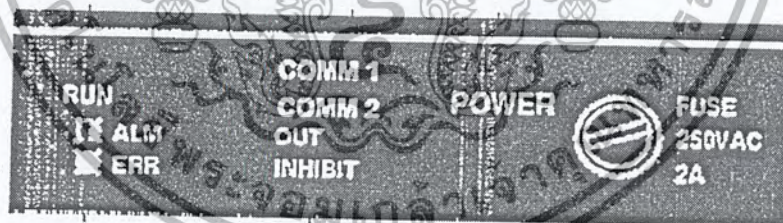
ภาพที่ 2.15 แสดง PLC รุ่น C28H

## 2.8.1 ส่วนประกอบของ CPU ของ C28H



ภาพที่ 2.16 แสดง CPU ของ PLC รุ่น C28H

1. Indicator (ตัวชี้สถานะและไฟแสดงสถานะ) ต่างๆ



ภาพที่ 2.17 แสดงพื้นที่ส่วนของ Indicator

RUN	ไฟสีเขียวจะติดเมื่อ CPU กำลังทำงานตามปกติ
ALM	ไฟสีส้มจะติดเมื่อเกิดความผิดพลาดของระบบขึ้น แต่ยังไม่ถึงกับขั้นที่ CPU หยุดการทำงาน
ERR	ไฟสีแดงจะติดเมื่อเกิดความผิดพลาดถึงขั้น CPU หยุดการทำงานแล้วจะทำให้ไฟการ RUN หยุด การทำงานและหน่วย OUTPUT ก็จะหยุดการทำงานด้วย
COMM1	ไฟสีส้มจะติดก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ภายนอกถูกต่อกับระบบและทำงาน
COMM2	ไฟสีส้มจะติดก็ต่อเมื่อสาย RS-232 ถูกเชื่อมต่อระหว่าง PLC กับ อุปกรณ์อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER ไฟสีเขียวจะติดเมื่อมีไฟจ่ายให้ PLC

2. Fuse เป็นฟิวส์ของเครื่อง CPU ของ PLC ช่วยป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติทางวงจรขึ้นมา
3. Removable Terminal Block เป็นส่วนที่รับไฟฟ้ามาจากภายนอก หรือเป็นส่วนที่ส่งสัญญาณต่างๆไปยังอุปกรณ์ภายนอก
4. Cable connector for peripheral devices เป็นส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น Programming Console
5. RS-232 Connector เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น โดยผ่านสาย RS-232

### 2.8.2 ทางด้านการเปรียบเทียบระหว่าง Relay และ PLC ของ Omron

PLC นั้นจะใช้ระบบคำสั่งที่ต่างจาก Relay แต่ความหมายนั้นเหมือนกันซึ่ง ตามตารางด้านล่างนี้จะเปรียบเทียบให้เห็นเฉพาะส่วนสำคัญเท่านั้น

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างศัพท์ของ Relay และ PLC ของ Omron

Relay Term	Equivalent
Contact	Input or condition
Coil	Output or work bit
NO Relay	Normally open Condition
NC Relay	Normally close Condition

ซึ่งในความเป็นจริงแต่ละ Term ไม่จำเป็นต้องมีความหมายตามด้านบนนี้เสมอไป เช่น Condition นั้นจะใช้ในการอธิบาย Ladder อย่างเดียวไม่สามารถใช้ในการเขียนได้

## ตารางที่ 2.3 แสดงประสิทธิภาพ CPU ของ PLC รุ่น C28H

Function	C200HS					
	CPU01-E	CPU21-E	CPU31-E	CPU03-E	CPU23-E	CPU33-E
Built-in clock/calendar	Yes					
Error log	Yes <sup>1</sup>					
Data Trace	Yes					
Differential Monitor	Yes					
Expansion DM	3K words max. <sup>2</sup>					
General-use DM	8K words					
Ladder Program capacity	15.2K words max. <sup>2</sup>					
SR Area	SR 236 to SR 255 and SR 256 to SR 299					
New instructions: (See 1-8-3 Larger Instruction Set for a list of the 38 new instructions.)	Yes					
Network Instructions: NETWORK SEND - SEND(90) NETWORK RECEIVE - RECV(98)	No	No	Yes	No	No	Yes
Power Supply	AC			DC		

Note – 1. CPU C-200HS นี้สามารถบันทึกวันและเวลาที่เกิดปัญหาการรบกวนทาง Power

2. ในส่วนของ Word ที่ 16k UM จะถูกติดตั้งในส่วน Expansion DM

### 2.8.3 โครงสร้างของพื้นที่ข้อมูล (DATA AREAS)

เมื่อมีการกำหนดพื้นที่ข้อมูลต่างๆ จะใช้ตัวย่อซึ่งมาจากศัพท์เต็มของแต่ละพื้นที่ เช่น IR หรือ SR Areas อย่างไรก็ตามคำย่อของ IR หรือ SR Areas จะถูกนำไปใช้บ่อยในการอธิบายความหมายต่างๆ ส่วน Data Areas อื่นๆ จะถูกสมมุติให้อยู่ในรูปของ IR หรือ SR Areas เพราะว่า IR หรือ SR Areas นั้นจะทำงานอยู่ตลอด

โดยในความเป็นจริงข้อมูลของ Data Areas นั้นจะอยู่แต่ข้างในพื้นที่ของ TC Areas จะออกแบบให้อยู่ในรูปของ Address ซึ่งการระบุที่อยู่ของพื้นที่ TC นี้ จะอยู่ในรูปแบบของ Bits และ Words พื้นที่ของ TC นี้จะประกอบไปด้วย TC Numbers และพื้นที่ของ TC Areas นี้ จะถูกนำไปใช้ในหน้าที่พิเศษของพวก Timer และ Counter ส่วน Data Areas อื่นๆ ที่เหลือนอกจากนี้ เช่น IR, SR, HR, DM, AR และ LR Areas ก็จะถูกจัดอยู่ในรูปของ Words ต่างๆ และแต่ละ Words นั้นจะประกอบด้วย 16 bits ซึ่งจะเริ่มต้นจาก 00 จนถึง 15 จากขวาไปซ้าย ซึ่ง Bit 00 จะถูกเรียกว่า Rightmost ส่วนทาง Bit 15 จะถูกเรียกว่า Leftmost

## 2.8.4 ในส่วนของ Memory Areas

ตารางที่ 2.4 ประกอบด้วยชื่อ ขนาด และช่วงที่ใช้งานของแต่ละพื้นที่

Area	Size	Range	Comments
I/O Area	480 bits	IR 000 to IR 029	I/O words are allocated to the CPU Rack and Expansion I/O Racks by slot position. <sup>1</sup>
Group-2 High-density I/O Unit and B7A Interface Unit Area	320 bits	IR 030 to IR 049	Allocated to Group-2 High-density I/O Units and to Group-2 B7A Interface Units 0 to 9. <sup>1</sup>
SYSMAC BUS Area	800 bits	IR 050 to IR 099	Allocated to Remote I/O Slave Racks 0 to 4. <sup>1</sup>
Special I/O Unit Area	1,600 bits	IR 100 to IR 199	Allocated to Special I/O Units 0 to 9. <sup>1</sup>
Optical I/O Unit and I/O Terminal Area	612 bits	IR 200 to IR 231	Allocated to Optical I/O Units and I/O Terminals. <sup>1</sup>
Work Area 1	64 bits	IR 232 to IR 235	For use as work bits in the program.
Special Relay Area 1	312 bits	SR 23600 to SR 25607	Contains system clocks, flags, control bits, and status information.
Special Relay Area 2	704 bits	SR 258 to SR 299 (298 to 299 reserved by system)	Contains flags, control bits, and status information.
Macro Area	64 bits	SR 230 to SR 293	Inputs
	64 bits	SR 294 to SR 297	Outputs
Work Area 2	3,092 bits	IR 300 to IR 511	For use as work bits in the program.
Temporary Relay Area	9 bits	TR 00 to TR 07	Used to temporarily store and retrieve execution conditions when programming certain types of branching ladder diagrams.
Holding Relay Area	1,500 bits	HR 00 to HR 99	Used to store data and to retain the data values when the power to the PLC is turned off.
Auxiliary Relay Area	448 bits	AR 00 to AR 27	Contains flags and bits for special functions. Retains status during power failure.
Link Relay Area	1,024 bits	LR 00 to LR 63	Used for data links in the PC Link System. <sup>1</sup>
Timer/Counter Area	512 counters/timers	TC 000 to TC 511	Used to define timers and counters, and to access completion flags, PV, and SV. Interval timers 0 through 2 and high-speed counters 0 through 2 provided in separate area. TIM 000 through TIM 015 can be refreshed via interrupt processing as high-speed timers.
Data Memory Area	6,144 words	DM 0000 to DM 6143	Read/Write
	1,000 words	DM 0000 to DM 0999	Normal DM
	1,000 words	DM 1000 to DM 1999	Special I/O Unit Area
	4,000 words	DM 2000 to DM 5999	Normal DM
	31 words (44 words)	DM 6000 to DM 6036	History Log
Fixed DM Area	512 words	DM 6100 to DM 6143	Link test area (reserved)
	56 words	DM 6144 to DM 6599	Fixed DM Area (read only)
Expansion DM Area	56 words	DM 6600 to DM 6655	PC Setup
	3,000 words max.	DM 7000 to DM 9999	Read only

Note – 1. การที่จะใช้พื้นที่ของ Words และ Bits ต่างๆตามตาราง ควรใช้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะใช้งาน

2. DM7000-7999 นี้สามารถที่จะถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่พิเศษของ I/O Area

## 2.8.5 หลักการใช้งานเบื้องต้นของ PLC

จากเนื้อหาที่จะกล่าวไว้ในส่วนต่อไปนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานเป็นขั้นตอนรวมถึงการเขียนโปรแกรม หากคุณมี PC ที่สามารถเขียนโปรแกรมได้คุณจะต้องเริ่มการคิดเป็นขั้นตอนโดยทำงานเป็นขั้นๆตั้งแต่ Step ที่ 1, 2, 3, 4...10 หรือต่อไปเรื่อยๆซึ่งต่อไปนี้จะพูดถึงขั้นตอนการคิด

เอกสารนี้เป็น Step ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัดสินใจดูว่าเราต้องการที่จะทำอะไร ควบคุมระบบอะไร ใช้เวลาเท่าไร
2. ดูว่างานที่เราต้องการควบคุมต้องการใช้อะไรบ้าง คิดตั้ง Guide C200HS ดูว่าการเชื่อมต่อต้องใช้อะไรบ้าง
3. ในการเขียนควรเขียนในกระดาษก่อน ควรกำหนด Input/Output ของอุปกรณ์ต่างๆและ ตัดสินใจในการใช้ว่า I/O ตัวไหนใช้บิตไหน หากระบบใช้ในการลิงค์เชื่อมต่อกับตัวอื่นให้ดู ตำแหน่งพื้นที่ของการใช้พื้นที่ต่างๆ ในตาราง Memory Area
4. ในการใช้สัญลักษณ์ต่างๆของ PLC ในการเขียน Ladder ควรจะเขียนให้ถูกหลักการ เขียนได้จากหนังสือต่างๆ
5. ทำการป้อนข้อมูลลงในเครื่อง PC
6. ทำการ Debug โปรแกรมแล้วหากมีข้อผิดพลาดก็ทำการแก้ไขที่ตรงจุด
7. ทำการต่อสายจาก PLC ไปยังอุปกรณ์ต่างๆ
8. ทำการ Test โปรแกรมกับตัว Simulator เพื่อทดสอบโปรแกรมต่างๆ
9. บันทึกไฟล์ไว้ 2 ไฟล์เพื่ออาจมีการย้ายโปรแกรมติดตั้งยังอีกเครื่อง

## 2.9 การแปรรูปขิงผง

การแปรรูปขิงผง เป็นการแปรรูปอาหารโดยการทำแห้ง โดยอาศัยความร้อนส่งผ่านให้น้ำในอาหาร เพื่อทำให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่และระเหยออกจากผิวอาหาร ส่งผลให้ความชื้นของอาหารลดลงจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งมีค่า water activity ( $a_w$ ) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารได้นาน (ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2552)

### 2.9.1 ส่วนประกอบ

ส่วนประกอบหลักสำหรับกระบวนการแปรรูปขิงผงได้แก่ขิงและน้ำตาลทรายแสดงรายละเอียดดังนี้

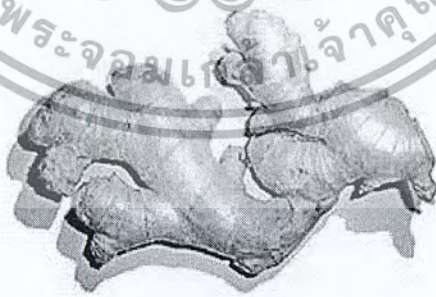
ขิง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber officinale* Roscoe. อยู่ในวงศ์ ZINGIBERACEAE เป็นพืชล้มลุกมีเหง้าใต้ดิน (Rhizome) สูงประมาณ ๑ เมตร ใบรูปพายกาบใบยาวหุ้มลำต้น ดอกเล็กๆเป็นช่อทรงกระบอก ตั้งออกจากเหง้าใต้ดิน กาบสีแดง กลีบสีเหลืองอมเขียว ผลกลม นิยมปลูกไว้ปรุงอาหารขยายพันธุ์โดยการแยกหน่อเหง้าแก่ โดยมีสรรพคุณแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน จุกเสียดและแน่นเพื่อ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการบริโภค การแปรรูปและยารักษาโรค (จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล, 2552) พันธุ์ขิงในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 7 พันธุ์ (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540) ได้แก่

- พันธุ์ขิงไทย ได้แก่ ขิงใหญ่หรือขิงหยวกหรือขิงขาวนิยมรับประทานเป็นขิงอ่อนหรือขิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พันธุ์จาไมก้า (Jamaican ginger of west indies) เป็นจิงที่มีคุณภาพสูงที่สุด มีกลิ่น (Aroma) และรสชาติดี มีคุณสมบัติเป็นยาสมุนไพร มักใช้อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม (Soft drink)
- พันธุ์อินเดีย เป็นจิงที่มีเผ็งมากกว่าและเผ็ดมากกว่านิยมใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์แบ่งได้ 2 ชนิด คือ จิงโคชิน (Cochin ginger) เป็นจิงที่ดีที่สุดของอินเดีย ภายในเป็นสีน้ำตาลอ่อนหรือปนเทา มีกลิ่นมะนาวเล็กน้อย และจิงคาลิกัต (Calicuginger) มีกลิ่นมะนาวมากกว่าจิงโคชิน จิงคาลิกัตเป็นจิงที่ดีที่สุด มีกลิ่นและรสชาติจิงชนิดนี้สามารถทำเป็นจิงแห้งได้ดีแม้จะมีใบดำ
- พันธุ์อูฟาfrica แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ จิงไนจีเรีย (Nigeria) และ จิงเซียร์ราเลโอน (Sieria leone) ไม่เหมาะแก่การทำจิงดองเกลือ นิยมใช้อุตสาหกรรมเนื้อ
- พันธุ์จีน มีผิวขาว ไม่มีเส้นใยในเนื้อจิง จึงเหมาะกับการทำจิงดอง
- พันธุ์ญี่ปุ่น เป็นจิงชนิด *Zingiber mioga* และ *Zingiber zerumbet* มีลักษณะเผ็งเล็ก เปราะหักง่าย เส้นใยน้อย มีกลิ่นหอมฉุน รสเผ็ดมาก เหมาะแก่การใช้ทำมาคินี (Martinique ginger)
- พันธุ์ออสเตรเลีย มีคุณภาพดีกว่าจิงพันธุ์อื่นๆ เช่น เป็นจิงที่มีกลิ่นมะนาวมากกว่าจิงพันธุ์อินเดียซึ่ง ซึ่งมีปริมาณกรดมะนาวสูงถึง 8-27 เปอร์เซ็นต์ (Connell and Jordan, 1971)

จิงเล็กหรือจิงเผ็ด ดังภาพที่ 2.18 นิยมนำมาผลิตจิงผงยารักษาโรคและสกัดทำน้ำมัน ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำมันหอมระเหย (1-3%) น้ำมันชัน (4-7.5%) ใย (11-12 %) แป้ง (40-60%) โปรตีนและไขมัน (10%) โดยน้ำมันหอมระเหยจะประกอบด้วยสารสำคัญที่ให้กลิ่นหอมคือ เซสควิเทอร์พีน ไฮโดรคาร์บอน (SesQuiterpene hydrocarbon) เอสเตอร์ (Ester) ฟีนอล (Phenol) เซสควิเทอร์พีนแอลกอฮอล์ (SesQuiterpene alcohols) และ โมโนเทอร์พีนอยด์ (Monoterpenoids) (ธีรศิลป์ ชมแก้วและคณะ, 2550)



ภาพที่ 2.18 ลักษณะทางกายภาพของพันธุ์จิงเล็กหรือจิงเผ็ด

น้ำตาลทราย เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในการแปรรูปจิงผง ผลิตจากอ้อย จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตประเภทไดแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสและฟรุคโตส

มีความสามารถในการละลายน้ำประมาณร้อยละ 65 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายจะเร็วขึ้น การนำน้ำตาลทรายไปใช้

ละลายของน้ำตาลจะใช้เวลามากขึ้น โดยจุดเดือดของน้ำตาลจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (ศิริลักษณ์ สินชวาลย์, 2525) ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล

อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะน้ำเชื่อม	ลักษณะการเดือด	ลักษณะในน้ำเย็นจัด
105-106	ใส	เดือดเป็นฟองใหญ่	ตกลงก้นภาชนะแล้วละลาย
110-112	เป็นเส้นคล้ายเส้นด้าย (Thread)	เดือดฟุ้งเป็นฟองขนาดกลาง สีใส	เป็นเส้นหรือพรายยาวประมาณ 2 นิ้ว
112-115	ป็นเป็นก้อนอ่อนไม่อยู่ตัว (Soft ball)	เดือดเป็นฟองขนาดกลาง สีเหลืองใส	หยดในน้ำเย็นเป็นก้อนอ่อนแต่ไม่อยู่ตัว เมื่อยกจากน้ำจะแบนราบ
118-120	ป็นเป็นก้อนอยู่ตัว (Firm ball)	เดือดเป็นฟองขนาดเล็กลง สีเข้มขึ้น แต่ใส	เป็นก้อนอยู่ตัว ยกจากน้ำไม่แบนราบ
121-130	ป็นเป็นก้อนแข็ง (Hard ball)	เดือดเป็นฟองเล็ก สีเข้มขึ้น	เป็นก้อนแข็งแต่เมื่อยกจากน้ำยังหยุ่นได้
132-143	เส้นแข็งหักได้ (Soft crack)	เดือดเป็นฟองขึ้น สีเข้มขึ้น	เป็นเส้นแข็งหักได้แต่ไม่เปราะ
149-154	เส้นแข็งเปราะ (Hard crack)	เดือดเป็นฟองขึ้น สีเข้มขึ้น	หยดในน้ำแยกเป็นเส้นแข็งและเปราะ
160	หลอมเหลวใส (Clear liquid)	น้ำเชื่อมยังคงใสอยู่	เหลว
170	เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Caramel)	เดือดเป็นฟองเล็กๆ สีน้ำตาล มีกลิ่นไหม้	หยดในน้ำเป็นก้อนแข็งและมีสีน้ำตาลไหม้

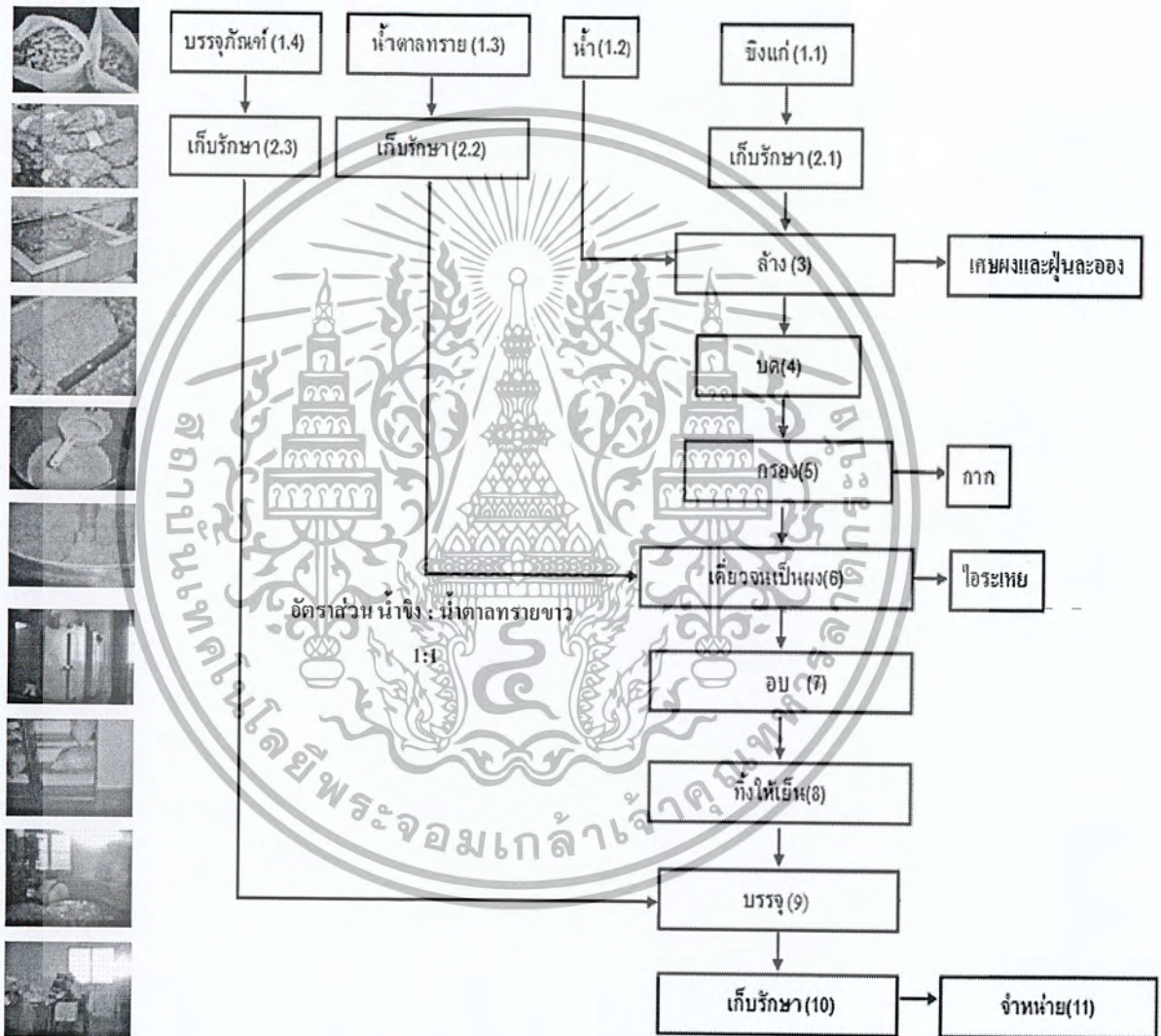
ที่มา : ลักษณะความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่จุดเดือดต่างกัน (ศิริลักษณ์ สินชวาลย์, 2525)

## 2.9.2 กระบวนการแปรรูปชิงผง

กระบวนการแปรรูปชิงผงเริ่มจากการนำชิงแก่สด ล้าง หั่นเป็นชิ้น เข้าสู่เครื่องบดหยาบและเครื่องบดละเอียด ตามลำดับ เพื่อคั้นให้ได้น้ำชิง จากนั้นนำน้ำชิงผสมกับน้ำตาลทรายและให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำ ทำให้น้ำตาลทรายซึ่งเป็นตัวถูกละลาย เกิดการรวมตัวระหว่างอนุภาคของแข็งในน้ำตาลกับอนุภาคของเหลวในน้ำชิง เมื่อเข้าสู่กระบวนการระเหย ตัวทำละลายจะลดลงและความเข้มข้นของน้ำชิงจะเพิ่มขึ้น อนุภาคของน้ำตาลทรายจะจับตัวกับสารในน้ำชิงจนเกิดเป็นของแข็ง

(พูนศักดิ์ สักกทัตติยกุล, 2551) และการให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเอกลสารนี้เป็นเอกลสารที่ส่งวนเวลาหรือการแข็งขึ้นเพื่อการรักษารสชาติให้นาน เมื่อผู้ผลิตเห็นถึงประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกลสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ขิงผงทั้งในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส การละลายและสารเคมีบางตัว การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ หากให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการไหม้และเกิดการสลายของสารเคมีบางส่วน (อนงค์ เสรีวาสนา และคณะ, 2551) จนกระทั่งเปลี่ยนสภาพเป็นขิงผง จึงนำไปอบ บรรจุของพลาสติกจะได้ผลิตภัณฑ์ขิงผงสุดท้าย ก่อนนำไปเก็บรักษาในห้องเก็บของ เพื่อเตรียมส่งออกจำหน่ายต่อไปแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2.22 และตารางที่ 2.6



ภาพที่ 2.19 กรรมวิธีการแปรรูปขิงผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดขั้นตอนการแปรรูปขิงผงของโรงงาน

ขั้นตอนที่	ชื่อขั้นตอน	รายละเอียดของขั้นตอน
1.1	ขิงสด	ขิงที่ใช้เป็นขิงแก่พันธุ์ขิงเล็ก/ขิงเผ็ด จากจังหวัดเพชรบูรณ์
1.2	น้ำ	น้ำประปา
1.3	น้ำตาลทราย	น้ำตาลทรายที่ใช้เป็นน้ำตาลทรายแดงและขาว ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ซื้อ (การนำน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายแดงจะใช้อัตราส่วนน้ำขิงต่อน้ำตาลทรายคือ 1:1 และ 1:1.5 ตามลำดับ)
1.4	บรรจุภัณฑ์	ซองพลาสติกสี ประกอบด้วยโลโก้ของห้างสรรพสินค้า
2.1	เก็บรักษาขิงสด	นำขิงแก่สดในถุงปิดมิดชิดเก็บในโกดัง
2.2	เก็บรักษาน้ำตาลทราย	เก็บในกระสอบป่านบริเวณที่ผลิต
2.3	เก็บรักษาบรรจุภัณฑ์	เก็บในห่อพลาสติกบริเวณที่ผลิต
3	ล้าง	นำขิงสดล้างน้ำประปา 1-2 ครั้ง เพื่อล้างเศษผงและฝุ่นละออง
4	บด	นำขิงเข้าเครื่องบด ทำการบด 2 ครั้งแบ่งเป็นบดหยาบและบดละเอียด จะได้กากผสมน้ำขิง
5	กรอง	กรองน้ำขิงด้วยตะแกรง
6	เคี่ยวจนเป็นผง	ใช้อัตราส่วนน้ำขิงต่อน้ำตาล 1:1 ผสมน้ำขิงแก่และน้ำตาลทรายด้วยความเร็วรอบ 38.4 rpm เมื่อมีการขึ้นฟูใช้ความเร็วรอบ 48 rpm หรือไฟลง ใช้ความเร็วรอบ 24 rpm (ใช้เวลาในการเคี่ยวประมาณ 2 ชั่วโมง) ให้ความร้อนด้วยแก๊ส LPG และกวนด้วยใบกวนแบบกากบาท วางติดกับก้นกระทะ มี 2 แขน คือ แขนเหล็กสแตนเลส เพื่อจุดผลิตภัณฑ์และแขนยาง เพื่อกวาดไม่ให้ติดกระทะ
7	อบ	อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
8	ทิ้งให้เย็น	ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิสภาพแวดล้อม
9	บรรจุ	บรรจุในลงซองพลาสติกสีขาวขนาด 18 กรัม
10	เก็บรักษา	เก็บในห้องเก็บของภายในบริเวณผลิต
11	จำหน่าย	ภายในห้างสรรพสินค้าและร้านสะดวกซื้อทั่วไป

สำหรับการแปรรูปขิงผงในอุตสาหกรรมขนาดย่อมทั่วไปจะนำขิงแก่สดมาล้าง ปอกเปลือก หั่นและเข้าเครื่องบด จากนั้นนำน้ำขิงมาผสมกับน้ำตาลทรายและให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำ จนเปลี่ยนสภาพกลายเป็นผง ทิ้งให้เย็นก่อนนำมาบดละเอียด เข้าสู่เครื่องอบและบรรจุเพื่อจำหน่าย (ศิริฉินา เลื่อนแป้น, 2549) ซึ่งมีความแตกต่างจากการแปรรูปขิงผงในระดับอุตสาหกรรม ในเรื่องการใช้วัสดุอุปกรณ์พื้นฐานที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป เช่น การใช้ไม้พายกวนและกระทะทองเหลือง แทนการใช้เครื่องเคียวที่ควบคุมความเร็วรอบใบกวนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขั้นตอนการบดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากรอให้ผลิตภัณฑ์จึงผงเย็นตัวลงแทนการใช้แรงกวนของใบกวนจากมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากการเปลี่ยนสภาพจากของเหลวหนืดเป็นก้อนแข็งจะต้องใช้แรงสูง ดังนั้นแรงที่ใช้การกวนจากมนุษย์จะไม่คงที่เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

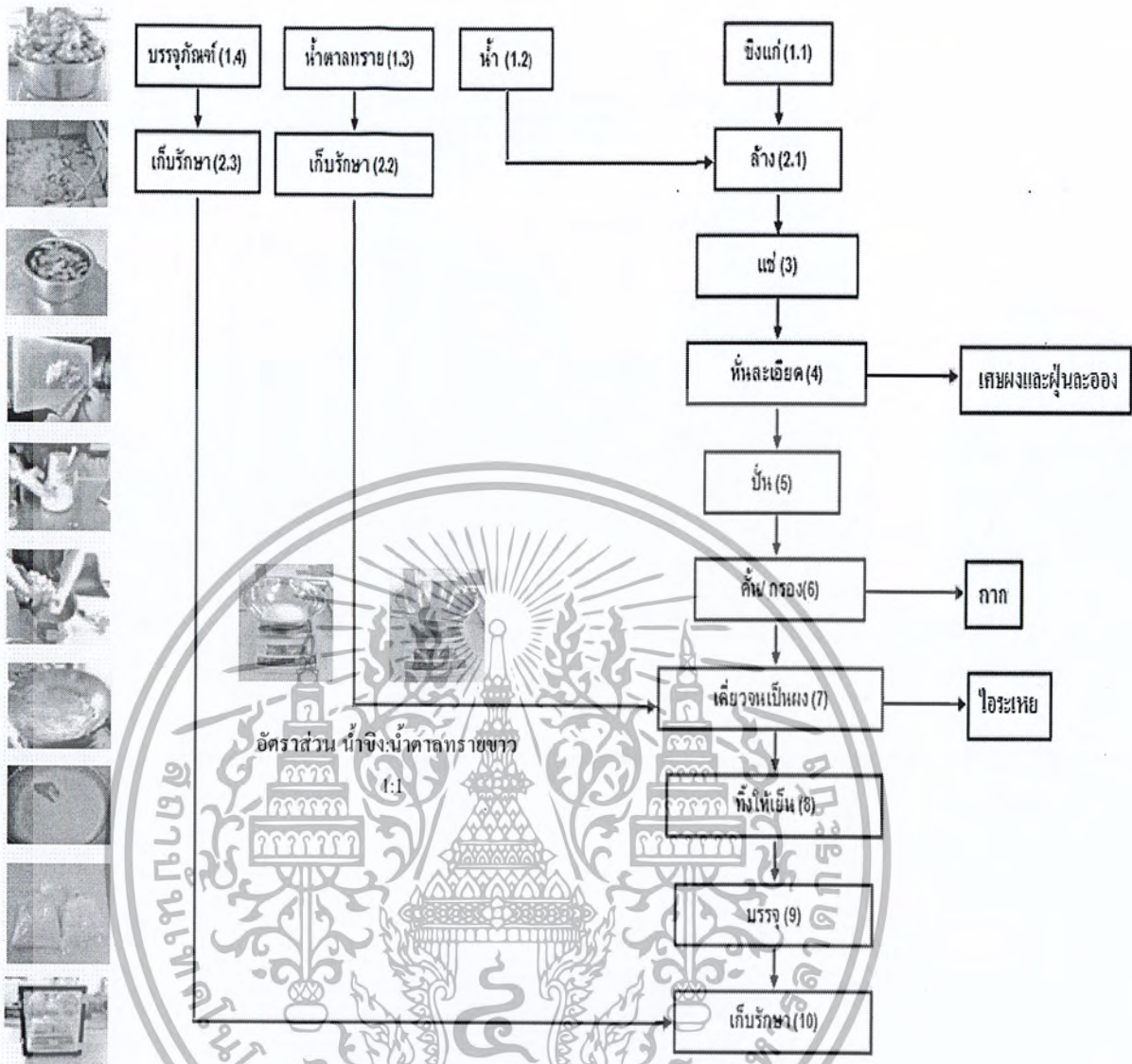
## หลักการและการออกแบบ

### 3.1 การทดลอง

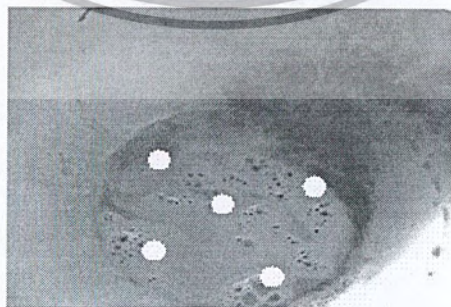
กลุ่มที่ 1 นำวัสดุดิบที่จัดเตรียมจากแบบที่ 1 ในอัตราส่วน 1:1 ดังตารางที่ 3.1 เทผสมในกระทะทองเหลือง เริ่มให้ความร้อนจากเตาแก๊สและกวนด้วยไม้พายแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 บันทึกอุณหภูมิของเหลวผสมทุก ๆ 2 นาทีด้วย Infrared Thermometer (Fluke-561: Fluke Electronics) โดยทำการวัดอุณหภูมิของเหลวผสมทั้งหมด 5 ตำแหน่งในกระทะทองเหลืองดังรูปที่ 3.2 เพื่อดำเนินการหาอุณหภูมิเฉลี่ยและสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น สี การเกิดฟอง การเปลี่ยนเฟส เป็นต้น เพื่อนำไปใช้เป็นค่าตัวแปรอินพุตในระบบควบคุมอัตโนมัติ จากนั้นนำไปทดสอบที่โรงงานและวิเคราะห์ผลที่ได้

ตารางที่ 3.1 การจัดเตรียมวัสดุดิบ

การทดลอง	ขั้นตอนการคั้นน้ำขิง	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำตาลทรายขาว
กลุ่มที่ 1	เครื่องปั่นและกรองด้วยผ้าขาวบาง	200	200
กลุ่มที่ 2	เครื่องบดหยาบและเครื่องบดละเอียด	20000	20000



ภาพที่ 3.1 กรรมวิธีแปรรูปชিংผงเบื้องต้น



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิของเหลวผสมด้วย Infrared Thermometer (แทนด้วยวงกลมที่บสีขาว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดขั้นตอนการแปรรูปจึงผงพื้นฐาน

ขั้นตอนที่	ชื่อขั้นตอน	รายละเอียดของขั้นตอน
1.1	จึงสด	จึงที่ใช้เป็นจึงแก่พันธุ์จึงเล็ก/จึงเผ็ด จากจังหวัดเพชรบูรณ์
1.2	น้ำ	น้ำประปา
1.3	น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลที่ใช้เป็นน้ำตาลทรายขาว ยี่ห้อเซฟแพ็ค
1.4	บรรจุภัณฑ์	ถุงพลาสติกสีขาวใส พร้อมยางรัดของ และสติ๊กเกอร์ที่เป็นฉลาก ชื่อจากร้านค้าทั่วไป
2.1	ล้าง	นำจึงแก่สดล้างน้ำประปา 1-2 ครั้ง
2.2	เก็บรักษา	เก็บในภาชนะพลาสติกปิดสนิท
2.3	เก็บรักษาบรรจุภัณฑ์	เก็บรักษาในตู้เก็บของ
3	แช่	นำจึงที่ผ่านการล้าง แช่ในน้ำ เพื่อถนอมรักษาจึงแก่สด
4	หั่นละเอียด	นำจึงแก่สดมาหั่นละเอียดบนเชิงพลาสติก และมีคสแตนเลส ค้ามพลาสติกหั่นชื่อจากร้านบ้านอิสรณ์
5	ปั่น	นำจึงที่หั่นละเอียดเข้าเครื่องปั่นยี่ห้อ Philips รุ่น CUCINA 500 W 2 ครั้ง
6	คั้น / กรอง	นำจึงที่ปั่นแล้วคั้น/กรองด้วยผ้าขาวบางชื่อจากร้านค้าทั่วไป
7	เคี่ยวนเป็นผง	ใช้น้ำจึงต่อน้ำตาล 1:1 เคี่ยวในกระทะทองเหลือง โดยให้ไฟจนเป็นฟองขนาดเล็ก ปิดไฟและเคี่ยวต่อจนแห้งเป็นผง (ใช้เวลาในการเคี่ยว 15-30 นาที) ให้ความร้อน โดยแก๊ส LPG และใช้ไม้พายกวนส่วนผสม
8	ทำให้เย็น	ทิ้งให้เย็นในกระทะทองเหลือง
9	บรรจุ	บรรจุในถุงพลาสติกสีขาวใสขนาด 40 กรัม
10	เก็บรักษา	เก็บในตู้สุญญากาศ

กลุ่มที่ 2 นำวัตถุดิบที่จัดเตรียมจากแบบที่ 2 ในอัตราส่วน 1:1 ดังตารางที่ 3.1 เทผสมในหม้อเคี่ยว เริ่มให้ความร้อนจากเตาแก๊ส ซึ่งมีการควบคุมการให้ความร้อนจากเตาแก๊สและความเร็วรอบใบกวน โดยเริ่มลดระดับให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิของของเหลวผสม (T) อยู่ในช่วง 120 -130 °C เนื่องจากอุณหภูมิของเหลวผสมต่ำกว่า 120 °C ของเหลวผสมจะไม่จับตัวเป็นก้อนแข็งและอุณหภูมิของเหลวผสมสูงกว่า 130 °C ของเหลวผสมจะเกิดการไหม้ และควบคุมความเร็วรอบใบกวนในช่วงเปลี่ยนเฟส (n) เนื่องจากอัตราเร็วใบกวนจะส่งผลต่อขนาดของอนุภาคสุดท้ายที่มารวมตัวกัน (กรวลีย์ พันธุ์แพและคณะ, 2550) ดังตารางที่ 3.3 บันทึกอุณหภูมิของเหลวผสมทุกๆ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาทีและโหลตมอเตอร์ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างขิงผงหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ ดังรูปที่ 3.3 (ก) เพื่อหาปริมาณความชื้นที่ลดลง โดยนำไปเปรียบเทียบกับความชื้นฐานเปียกของผลิตภัณฑ์ขิงผงหลังผ่านขั้นตอนการอบ และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขิงผงหลังผ่านขั้นตอนการอบ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ขิงผงต่อไป ดังรูปที่ 3.3 (ข)

ตารางที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองที่โรงงาน

Treatment	n (rpm)	T ( $^{\circ}$ C)
1	24	120
2	24	128
3	16	120
4	16	128

หมายเหตุ : 1) n คือความเร็วรอบใบกวนช่วงเปลี่ยนไฟส 2) T คือของเหลวผสมช่วงลดความร้อน

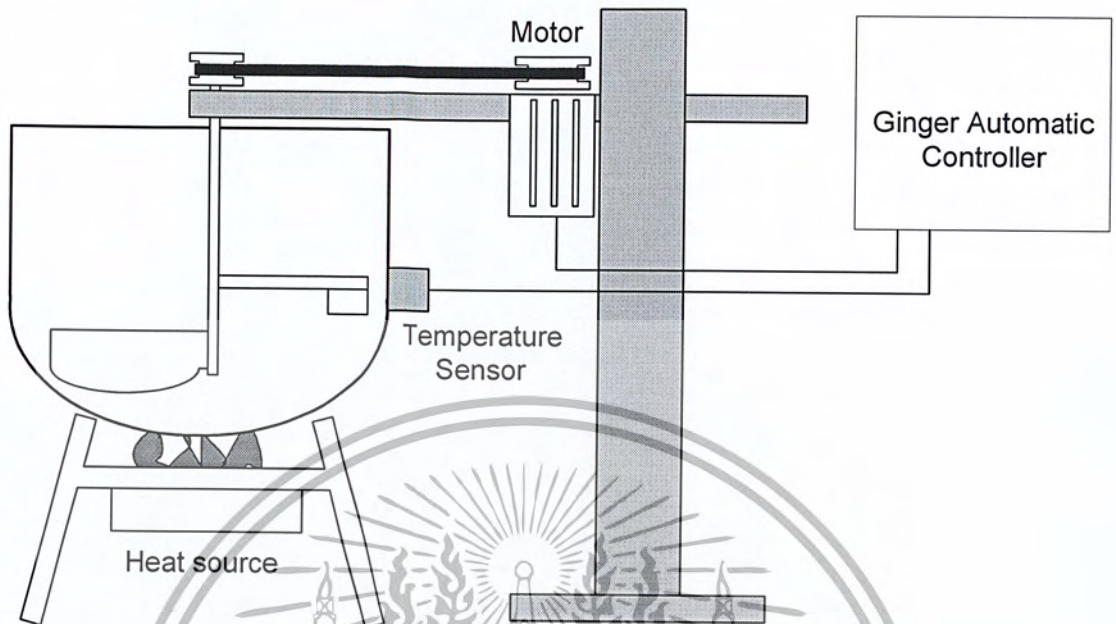


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างที่เก็บนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

(ก) ขิงผงหลังเสร็จสิ้นกระบวนการระเหยน้ำ

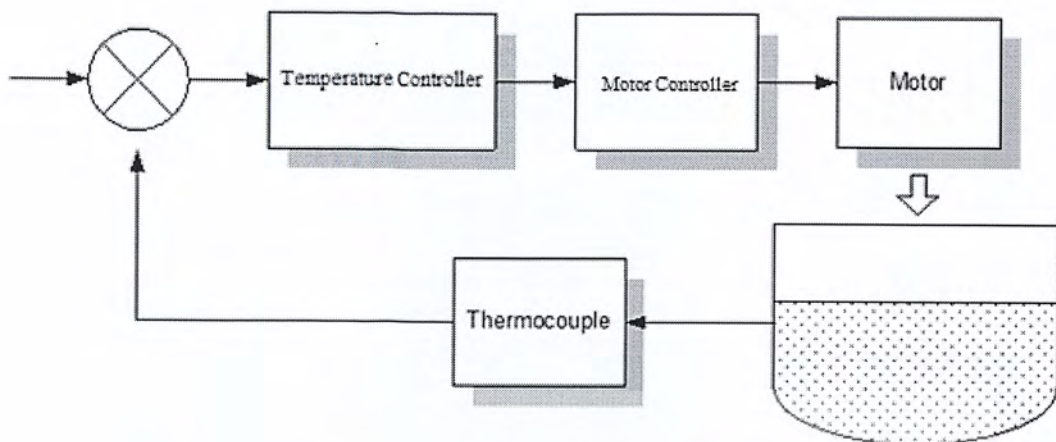
(ข) ผลิตภัณฑ์ขิงผงหลังผ่านขั้นตอนการอบ

### 3.2 การออกแบบระบบควบคุม



ภาพที่ 3.4 แสดง โครงสร้างโดยรวมของตัวเครื่อง

จากภาพที่ 3.4 คือ โครงสร้างโดยรวมของเครื่องผลิตขิงผงแบบอัตโนมัติ หลักการมีอยู่ว่า ใช้ตัวเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัววัดอุณหภูมิจากข้างถึงกวนขิงและส่งต่อไปให้ Temp. Control คอยสั่งการให้ความเร็วรอบมอเตอร์หมุนตรงตามช่วงอุณหภูมิที่ได้ทำการทดลองไว้ โดยทำงานแบบสวิทช์เปิดปิด ค่าที่ได้จะส่งไปให้อินเวอร์เตอร์ โดยมี PLC คอยควบคุมอินเวอร์เตอร์อีกทีหนึ่งก่อนจะสั่งการให้มอเตอร์หมุน ในส่วนดังกล่าวจะอยู่ในส่วน Motor Controller โดยจะกล่าวถึงอย่างละเอียดในส่วนต่อไป



ภาพที่ 3.5 แสดง Block Diagram ของส่วนควบคุม

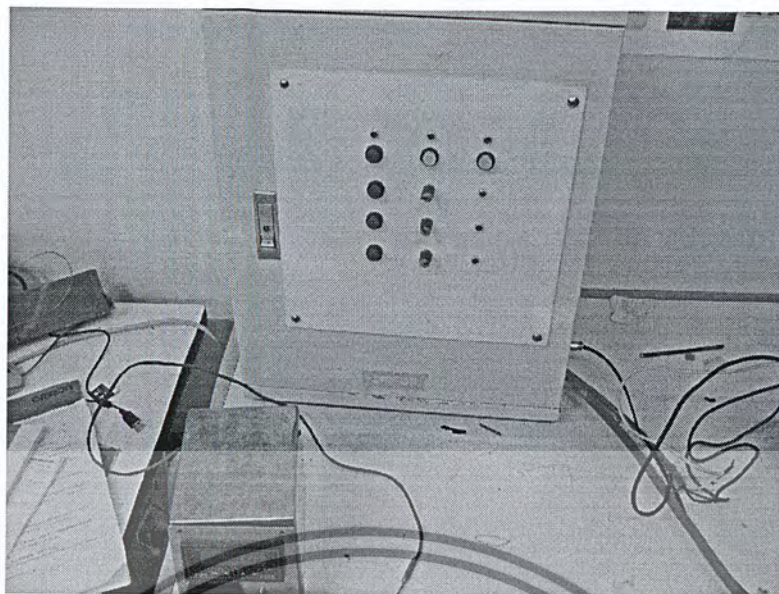
หลักการและการออกแบบอุปกรณ์เครื่องผลิตขิงผงแบบกึ่งอัตโนมัติ พิจารณาภาพที่ 3.5 ใน ส่วนของ Motor Controller ประกอบไปด้วย เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (PLC), อินเวอร์เตอร์, สวิตช์เปิด/ปิด และสวิตช์เปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ 3 ระดับ ดังภาพที่ 3.6 และ ภาพที่ 3.7

### 3.3 หลักการในส่วน Motor Controller



ภาพที่ 3.6 แสดงส่วนของ Motor Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 แสดงส่วน Motor Controller ด้านหน้า

ในส่วนของ Motor Controller นั้นเป็นการนำเครื่องมือรวมไว้อยู่ในลักษณะเดียวเพื่อความสะดวกในการติดตั้งกับทางโรงงาน โดยมีการติดตั้งภายในดังนี้ (พิจารณาภาพที่ 3.8)

- ในส่วนของสวิตช์ปรับระดับความเร็วมอเตอร์จะต่อเข้ากับตัวด้านทานแบบปรับค่าได้ทั้ง 3 สวิตช์

- ต่อสวิตช์เข้ากับพอร์ต 004 ของ PLC ใช้เป็นสวิตช์ปิดการทำงานของมอเตอร์

- ต่อสวิตช์เข้ากับพอร์ต 005 ของ PLC ใช้เป็นสวิตช์เริ่มการทำงาน (Sp1)

- ต่อสวิตช์เข้ากับพอร์ต 006 ของ PLC ใช้เป็นสวิตช์ปรับเปลี่ยนความเร็วเป็นระดับ 2

(Sp2)

- ต่อสวิตช์เข้ากับพอร์ต 007 ของ PLC ใช้เป็นสวิตช์ปรับเปลี่ยนความเร็วเป็นระดับที่ 3

(Sp3)

- ต่อสายจากเซนแนล 27 ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับพอร์ต 200 ของ PLC

- ต่อสายจากเซนแนล 28 ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับพอร์ต 201 ของ PLC

- ต่อสายจากเซนแนล 30 ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับพอร์ต 202 ของ PLC

- ต่อสายจากเซนแนล 4 ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับพอร์ต Com ของ PLC

- ต่อสายจากเซนแนล 5 ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับพอร์ต Com ของ PLC

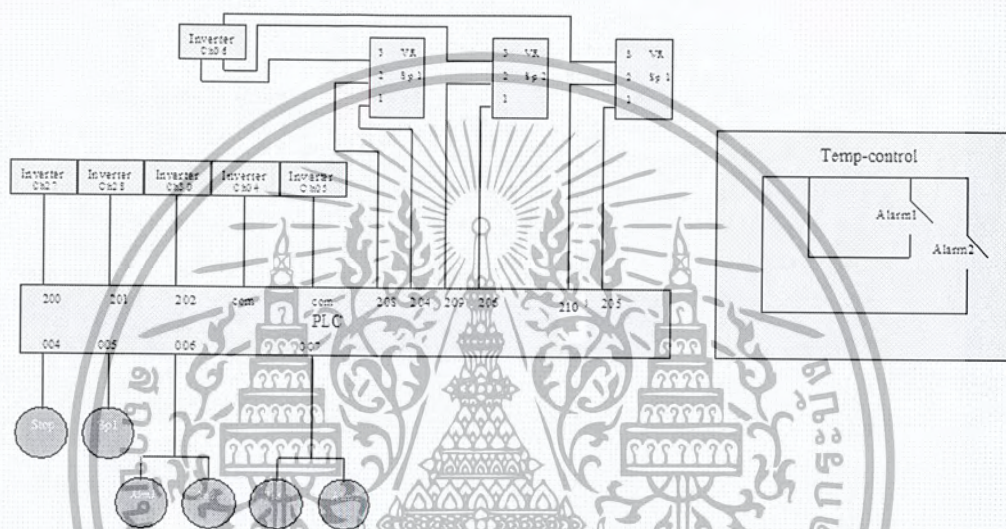
- ต่อสายจากเซนแนล 6 ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับตัวด้านทานแบบปรับค่าได้ทั้ง 3 ตัว

- ต่อสายจาก PLC พอร์ต 208 และ 204 เข้ากับตัวด้านทานแบบปรับค่าได้ตัวแรก

กำหนดให้เป็นตัวปรับความเร็วระดับที่ 1

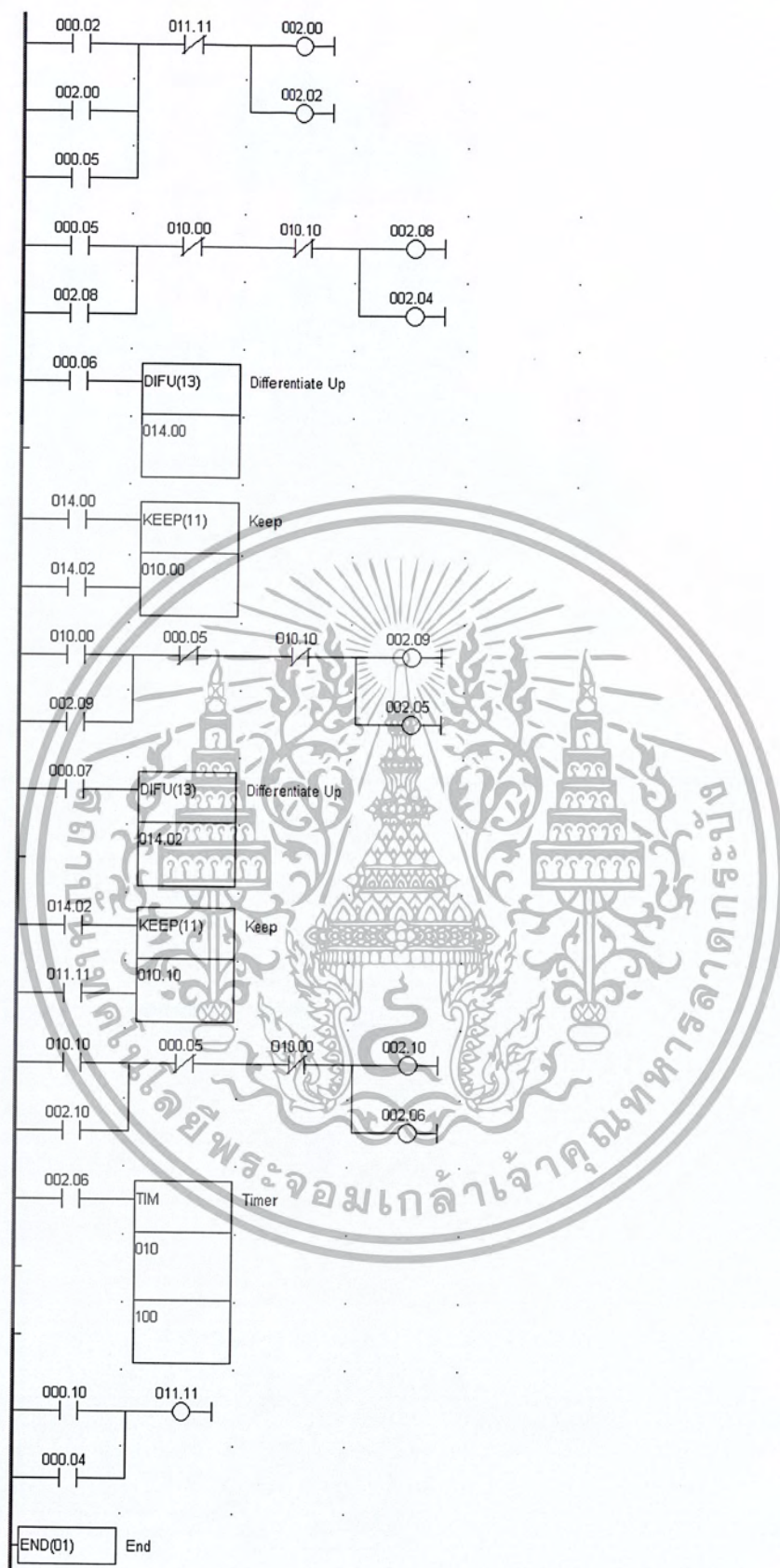
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อสายจาก PLC พอร์ต 209 และ 206 เข้ากับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ตัวที่สอง กำหนดให้เป็นตัวปรับความเร็วระดับที่ 2
- ต่อสายจาก PLC พอร์ต 210 และ 205 เข้ากับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ตัวที่สาม กำหนดให้เป็นตัวปรับความเร็วระดับที่ 3
- ต่อสายจาก Temp. Controller เข้ากับสวิตช์ที่ 2 และสวิตช์ที่ 3 กำหนด Alarm 1 เป็นสวิตช์ที่ 2 และ Alarm 2 เป็นสวิตช์ที่ 3



ภาพที่ 3.8 แสดงการต่อสายใน Motor Controller

พิจารณาภาพที่ 3.9 เป็น Ladder Diagram ที่ได้โปรแกรมลงใน PLC เป็นการโปรแกรมให้ PLC ทำงานคล้ายกับสวิตช์คอยตัดสัญญาณเมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนด โดยการติดตั้งกับทางโรงงานจะเป็นการติดตั้งเฉพาะส่วน Motor Controller เพียงส่วนเดียว ตัวถังและมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทางโรงงานใช้งานอยู่ โดยเมื่อเครื่องกวนทำงานความเร็วใบกวนจะอยู่ที่ระดับที่ 1 จนถึงอุณหภูมิที่เราได้ทำการศึกษาว่าน้ำแข็งเดือดได้ที่แล้ว ความเร็วใบกวนจะเพิ่มไปที่ระดับที่ 2 โดยอัตโนมัติ ในขณะที่ผู้ใช้งานหยุดการให้ความร้อนโดยการดับไฟ และเมื่อถึงเวลาที่น้ำแข็งแปรสภาพเป็นแข็งผง การทำงานของเครื่องกวนก็จะหยุดลง โดยตั้งเวลาที่ PLC เพื่อให้ผู้ใช้งานนำแข็งผงไปอบต่อในกระบวนการต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาพที่ 3.9 แสดง Ladder Diagram ใน PLC อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

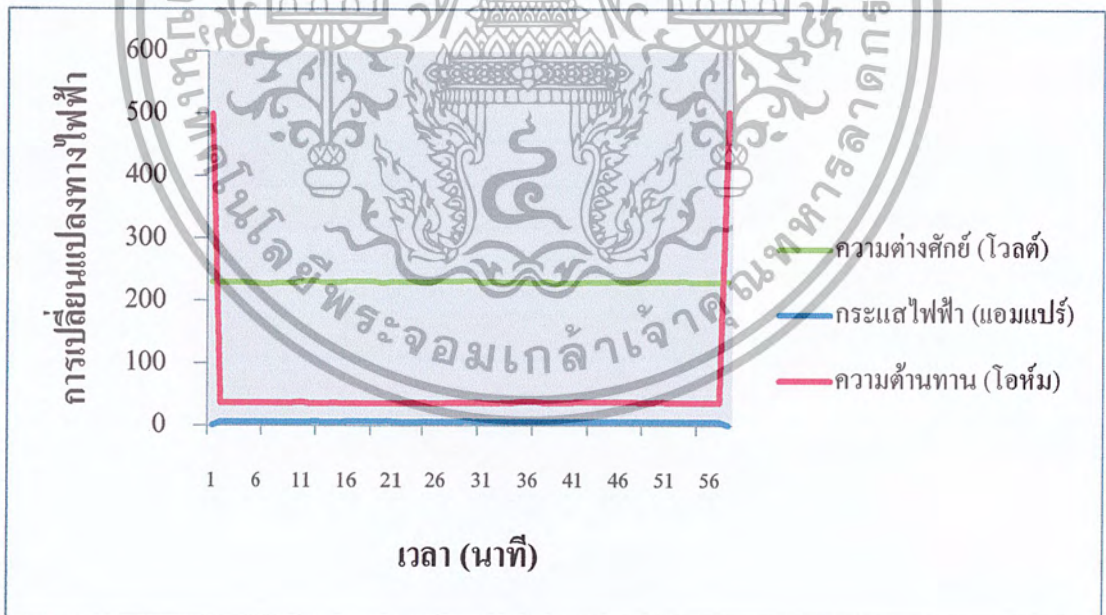
#### 4.1 การทดลอง

##### 4.1.1 ตัวแปรที่จะใช้วัดในการวัดค่า

ในการที่เราจะสามารถควบคุมความไวมอเตอร์เพื่อที่จะควบคุมใบกวนได้นั้น เราต้องทราบก่อนว่าจะใช้อะไรเป็นตัวแปรเพื่อบอกคุณลักษณะของน้ำจึงในขณะนั้นได้ จากการที่ทางโรงงานใช้แรงงานคนในการเปลี่ยนเกียร์มอเตอร์เอง โดยสังเกตเอาจากลักษณะของน้ำจึงว่าเหมาะสมกับช่วงความเร็วไหน คนงานต้องอาศัยประสบการณ์ค่อนข้างที่จะสูง ทำให้คุณภาพที่ได้ไม่มีมาตรฐานในการวัด

จากที่ได้กล่าวมานั้น จึงได้ทำการทดลอง โดยเริ่มจากสมมุติฐานตัวแปร

- ความหนืด การวัดค่าความหนืดสามารถวัดได้หลายวิธี ในที่นี้เพื่อให้ง่ายต่อการวัดและการจัดหาอุปกรณ์จะนำค่าความเปลี่ยนแปลงจากไฟฟ้ามาใช้หาค่าความหนืด เนื่องจากตัวแปรอื่นๆไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตจึงผง



ภาพที่ 4.1 กราฟการวัดความเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

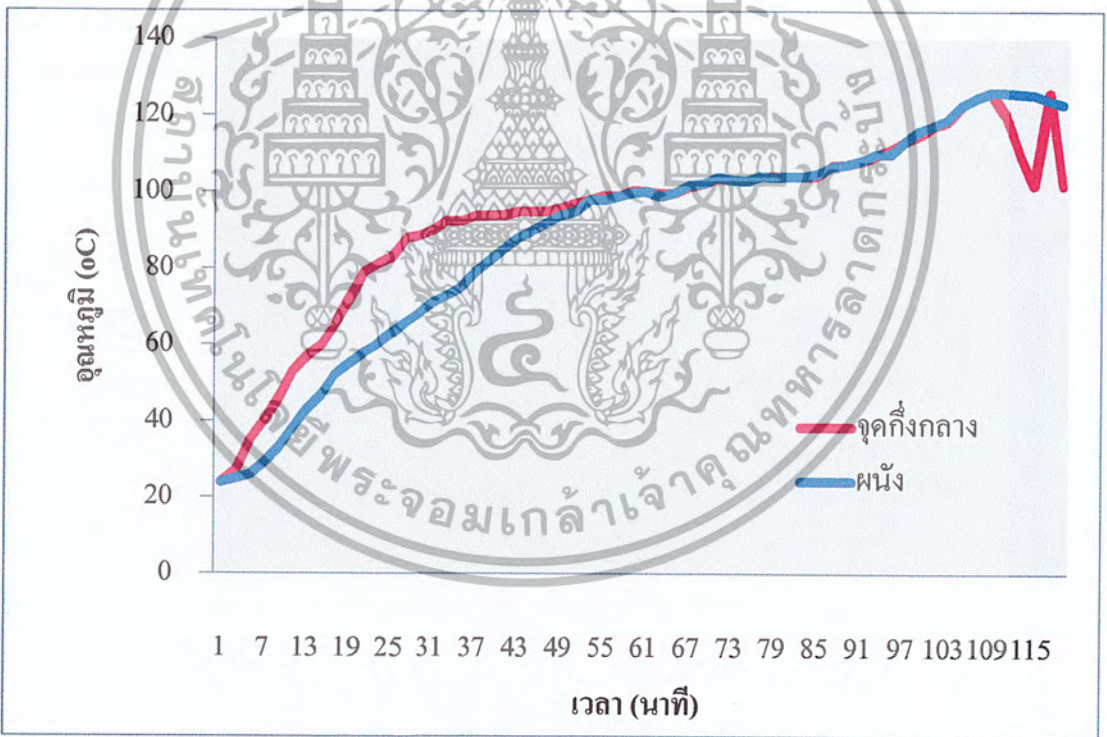
จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าความเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้ามีค่าคงที่ทุกค่า โดยที่ค่าความเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้านี้สามารถนำไปเป็นตัวแปรในการหาค่าของความหนืดได้ เมื่อค่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง เราจึงไม่ใช้ความหนืดเป็นตัวแปรในการวัด

- อุณหภูมิ

เราเลือกใช้อุณหภูมิเป็นตัวแปรเพราะค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน (พิจารณาภาพที่ 4.2) สามารถเลือกช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมมาเป็นตัวแปรในการเปลี่ยนความเร็วใบกวนในกระบวนการผลิตจึงผงได้ รวมทั้งง่ายต่อการวัดและติดตั้ง

**4.2 ผลการทดลอง**

- ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตจึงผงคืออุณหภูมิเมื่อหยุดไฟ และความเร็วรอบของใบกวน
- การวัดอุณหภูมิจากด้านข้างของถังด้านนอก และตรงกลางของตัวถังมีค่าไม่แตกต่างกัน จึงใช้วิธีติดตั้งตัววัดอุณหภูมิจากข้างของถังด้านนอกเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟการวัดอุณหภูมิข้างถังและจุดกึ่งกลางถัง

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### สรุปผลการทดลอง

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพจึงผง ได้แก่ อุณหภูมิของเหลวผสมช่วงลดความร้อน 120 – 130°C และความเร็วในการกวน จึงนำไปเป็นแนวทางในการควบคุมระบบการแปรรูปจึงผงแบบอัตโนมัติด้วยระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยมีอุณหภูมิของเหลวผสมช่วงลดความร้อนเป็นตัวแปรอินพุท ส่งสัญญาณไปควบคุมความเร็วรอบใบกวน แทนการใช้แรงงานคนในการควบคุม
2. การเพิ่มอุณหภูมิของเหลวผสมช่วงลดความร้อน และความเร็วรอบใบกวนของมอเตอร์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์จึงผงดีขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของเหลวผสมช่วงลดความร้อนและความเร็วรอบใบกวนที่เหมาะสมที่สุด คือ 128°C และ 24 rpm ตามลำดับ
3. เมื่อใบกวนมีความเร็วรอบที่ 24 rpm ช่วงเวลาดำเนินการที่น้ำจึงแปรสภาพเป็นจึงผง จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงผง ซึ่งจากการทดลองกับทางโรงงานพบว่าช่วงเวลาที่เหมาะที่จะหยุดใบกวนโดยที่ได้จึงผงคุณภาพดีอยู่ที่ 10 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน โดยสามารถนำไปปรับเปลี่ยนช่วงเวลาเพื่อให้เหมาะสมแต่ละผู้ใช้งานได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ค่าสีของจึงผงและจึงขง จะขึ้นอยู่กับความชอบของผู้บริโภค ถ้าทางโรงงานต้องการสีของจึงผงและจึงขงอ่อน อาจจะเปลี่ยนการควบคุมอุณหภูมิของเหลวผสมช่วงลดความร้อนและความเร็วรอบใบกวนเป็น 120°C และ 24 rpm ตามลำดับ ในที่นี้จะไม่แนะนำให้ใช้ความเร็วรอบใบกวน 16 rpm เพราะจะทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์จึงผงต่ำลง เช่น ความชื้นฐานเปียกเจลลี่ การตกตะกอนเพิ่มขึ้นได้
2. ในการควบคุมความเร็วรอบแบบอัตโนมัติ จำเป็นจะต้องใช้ต้นทุนสูง อาจจะเลือกใช้การติดตั้งสัญญาณเตือนแบบ alarm แทนได้

## บรรณานุกรม

- [1] นคร ภัคดีชาติ. คู่มือทางการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วย โปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30 .บริษัท อินโนเวทีฟ เอกเพอริเมนต์ จำกัด, 2550
- [2] ศิวะ หงส์นภา. การควบคุมและประยุกต์ใช้งานเอชไมโครพี. บริษัท กู๊ดวิลลีไดเรกชัน จำกัด, 2547
- [3] อุดม อุดมทรัพย์สันติ. การเลือกวิธีการเลือกเดินมอเตอร์ขนาดใหญ่, 2524
- [4] ผศ.ดร.เกษตร์ สิริสันติสัมฤทธิ์. หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม, 2539

