

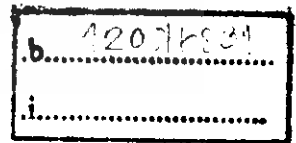
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ

EGG SPRAY COLOR AUTOMATIC MACHINE



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 95163
วัน,เดือน,ปี..... 21 พ.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อปีการศึกษา 2550 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EGG SPRAY COLOR AUTOMATIC MACHINE



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ
EGG SPRAY COLOR AUTOMATIC MACHINE
นักศึกษาผู้จัดทำ นายฐนพงศ์ เขาท่าเพชร รหัสนักศึกษา 47012053
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท		ลายมือชื่อ
รศ.ประภาส อุกกสิมาพันธุ์		
ศศ.พิทยา ปานนิล		
อ.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ		
	EGG SPRAY COLOR AUTOMATIC MACHINE		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายรณพงศ์	เขาท่าเพชร	รหัสนักศึกษา 47012053
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประภาส	อुकคกิม่าพันธุ์	
	ผศ.พิทยา	ปานนิล	
	อ.กฤษณ์	เสมอพิทักษ์	
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอศึกษาและสร้างเครื่องพ่นสีเปลือกไข่เยียว้าแบบอัตโนมัติเพื่อแทนการพ่นแบบเดิมที่ใช้การพ่นด้วยมือ ซึ่งทำให้การแห้งของสีเปลือกไข่ล่าช้าและต้องพึ่งแรงงานคนในการผลิต เครื่องพ่นสีเปลือกไข่ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยส่วนหลักคือ ส่วนของพ่นสีเปลือกไข่ที่ใช้หัวพ่นสีแบบ Air Atomizing ซึ่งเป็นการพ่นแบบผสมระหว่างสีและอากาศทำให้สีที่ออกมา มีความเนียนมากขึ้น และส่วนของการอบสีเปลือกไข่ได้ใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดในการสร้างความร้อนของสีบนเปลือกไข่ ผลของการใช้เครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัตินี้จะทำให้สีเปลือกไข่เยียว้าแห้งเร็วขึ้นและยังสามารถลดจำนวนคนงานในการผลิตอีกด้วย

Thesis Title	Egg Spray Color Automatic Machine	
Authors	Mr.Tanaphong	Khaotapet
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Prapart	Ukakimaparn
	Assit.Prof.Pittaya	Pannil
	Mr.Krit	Smerpitak
Year	2007	

ABSTRACT

This project presents the study and design of an egg spray color automatic machine. It is used for substitution the original egg spray color that do by human. Since it is used hand spray, so the eggshell color to dry slowly and also used a lot of workers. The proposed machine is consisted of the importance parts as the color spraying of eggshell using “Air Atomizing” spray which is a spraying method combining air and color causing the resulting shell colors to be smooth. The other part is the heating of the eggshell using “Infrared Heater” to dry the shell color. As a result of using this automatic eggshell color sprayer, the soil black preserved eggshell will dry faster and the process will use less number of workers.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตา คำแนะนำและความช่วยเหลือจาก รศ.ประภาส อุกคติกิมาพันธุ์ ผศ.พิทยา ปานนิล และอาจารย์กฤษณ์ เสมอพิทักษ์

ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับการให้โอกาสในการแก้ไขในสิ่งที่ทำพลาดไป และคำปรึกษาที่ดี ๆ จาก ผศ.พิทยา ปานนิล และขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว นายจุมพล ดีทะเนตร์และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ เสียงหัวเราะและแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงเกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแก่ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน



ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความดันระบบลม

2.1 กฎของปาสกาล (กฎส่งผ่านความดัน).....	3
2.2 กฎของบอยล์.....	3
2.3 กฎของชาร์ลส์.....	4
2.4 ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัดหรือชุดบริการลมอัด (Air Service).....	4
2.5 วาล์วควบคุมทิศทาง Directional Control Valves (D.C.V).....	6

บทที่ 3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อน

3.1 การถ่ายเทความร้อน.....	9
3.1.1 การถ่ายเทความร้อน โดยการนำ (Conduction Heat Transfer).....	9
3.1.2 การถ่ายเทความร้อน โดยการพา (Convection heat transfer).....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการถ่ายเทรังสี (Radiation heat transfer).....	12
3.2 อุปกรณ์ความร้อนอินฟราเรดฮีทเตอร์ (Infrared Heater).....	14
บทที่ 4 ทฤษฎีการควบคุมความร้อน	
4.1 อาร์ทีดี (RTD).....	19
4.2 การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Controllers).....	20
4.2.1 การควบคุมมมูเฟส.....	21
4.2.2.1 การควบคุมมมูเฟสแบบครึ่งคลื่น.....	21
4.2.2.2 การควบคุมมมูเฟสแบบเต็มคลื่นที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน.....	23
4.3 หลักการควบคุมแบบต่างๆ.....	24
4.3.1 การควบคุมแบบ ON-OFF.....	24
4.3.2 การควบคุมแบบ Proportional (P).....	25
4.3.3 การควบคุมแบบ Integral (I).....	26
4.3.4 การควบคุมแบบ Derivative (D).....	27
4.3.5 การควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID).....	28
บทที่ 5 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์	
5.1 อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-Wave Inverter).....	30
5.2 อินเวอร์เตอร์แบบ SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation).....	31
บทที่ 6 โครงสร้าง หลักการทำงาน	
6.1 ส่วนประกอบของส่วนพ่นสีเปลือกไข่.....	35
6.1.1 หัวสเปรย์แบบ Air Atomizing.....	35
6.1.2 ถังแรงดันสี.....	36
6.1.3 Solenoid Valve.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.1.4 Air Filter and Air Regulator.....	38
6.1.5 การติดตั้งและการควบคุมการทำงานของหัวพ่น.....	38
6.2 ส่วนของการอบสีเปลือกไข่.....	40
6.2.1 ส่วนของการตรวจวัดอุณหภูมิ.....	40
6.2.2 ส่วนของตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller).....	40
6.2.3 เครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้า (Phase Control).....	41
6.2.4 ฮีทเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater).....	42
6.2.5 การติดตั้งและการควบคุมอุณหภูมิ.....	42
บทที่ 7 การทดลอง	
7.1 การทดลองการพ่นสีและการอบสี.....	44
7.1.1 ในส่วนการพ่นสี.....	44
7.1.2 ในส่วนการอบสี.....	45
7.2 การตั้งค่าในการทดลอง.....	45
7.3 ขั้นตอนการทดลองการพ่นสีและการอบสี.....	45
7.4 แสดงผลอุณหภูมิการอบสีเปลือกไข่ที่ระยะ 15 ซม. และ 10 ซม.....	45
7.4.1 การทดลองการอบสี ที่ระยะ 15 ซม.....	46
7.4.2 การทดลองการอบสี ที่ระยะ 10 ซม.....	47
7.5 การทดลองการวัดความหนืดของสี (Viscosity).....	48
บทที่ 8 สรุปปัญหาและแนวทางการพัฒนาต่อ	
8.1 สรุปปัญหา.....	50
8.2 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.2.1 ส่วนของสายพานลำเลียงมีส่วนประกอบดังนี้.....	51
8.2.1.1 สายพานลำเลียง.....	51
8.2.1.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	53
8.2.1.3 มอเตอร์เกียร์.....	53
8.2.2 การติดตั้งและการควบคุมมอเตอร์.....	54
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก.....	57
ภาคผนวก ข.....	69



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสัญลักษณ์ของจำนวนตำแหน่งทำงานของวาล์ว.....	6
2.2 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ของช่องต่อช่องลม.....	6
2.3 แสดงสัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่านภายในวาล์วที่แสดงด้วยลูกศรและช่องปิด.....	7
2.4 แสดงความหมายของสัญลักษณ์วาล์วในตำแหน่งทำงานและรีเซ็ต.....	8
3.1 แสดงตัวอย่างการเลือกค่า V, W, Length ตามการติดตั้ง.....	16
7.1 แสดงผลอุณหภูมิขณะอบสี ที่ระยะ 15 ซม.....	46
7.2 แสดงผลอุณหภูมิหลังจากผ่านการอบสีที่ระยะห่าง 15 ซม.....	46
7.3 แสดงผลอุณหภูมิขณะอบสี ที่ระยะ 10 ซม.....	47
7.4 แสดงผลอุณหภูมิหลังจากผ่านการอบสีที่ระยะห่าง 10 ซม.....	47
7.3 แสดงผลการวัดความชื้นของสี.....	49



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กฎของปาสคาล.....	3
2.2 กฎของบอยล์.....	4
2.3 กฎของชาร์ลส์.....	4
2.4 แสดงสัญลักษณ์ชุดบริการลมอัด.....	5
2.5 แสดงชุดบริการลมอัด.....	5
2.6 แสดงชุดบริการที่แบบแยกส่วนที่นำมาประกอบกัน.....	6
2.7 แสดงวาล์วควบคุมชนิดต่างๆ.....	8
3.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่.....	10
3.2 แสดงลักษณะการพาความร้อนในชั้นชิดผิวความร้อนและชั้นชิดผิวความเร็ว.....	11
3.3 การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม.....	13
3.4 อินฟราเรดฮีตเตอร์.....	15
3.5 โมเลกุลยึดเหนี่ยวระหว่างกัน.....	15
3.6 แสดงการยึดเกาะของวัตถุไฮโมเลกุล.....	16
4.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	19
4.2 แสดงโครงสร้างหัววัดอุณหภูมิแบบ RTD.....	20
4.3 วงจรและสัญญาณการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการควบคุมมุมเฟสครึ่งคลื่น.....	21
4.4 วงจรและสัญญาณการควบคุมแบบเต็มคลื่นที่โหลดเป็นตัวต้านทาน.....	23
4.5 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional.....	25
4.6 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Integral.....	26
4.7 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Derivative.....	27
4.8 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PID (Direct action).....	28
4.9 แสดง Block Diagram ที่ประกอบด้วย PID Control.....	29
5.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	30
5.2 หลักการสร้างสัญญาณ SPWM.....	31
5.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3เฟสแบบ SPWM.....	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 การชดเชยแรงดันเพื่อให้ฟลักแม่เหล็กคงที่ขณะแรงดันต่ำ.....	33
6.1 แสดงเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติในส่วนของ การพ่นสีและการอบ.....	34
6.2 หัวสเปรย์แบบ Air Atomizing.....	36
6.3 ถังแรงดันสี.....	37
6.4 Solenoid Valve.....	37
6.5 Air Filter and Air Regulator.....	38
6.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนของ การพ่นสี.....	39
6.7 แสดงเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติในส่วนของ การอบสีเปลือกไข่.....	40
6.8 ตัวควบคุมอุณหภูมิ.....	41
6.9 Phase Control.....	41
6.10 Infrared Heater.....	42
6.11 แสดงวงจรควบคุมอุณหภูมิ.....	43
7.1 หัวพ่นแบบ Air Atomizing แบบ ไม่มี Shut Off.....	44
7.2 เครื่องทดลองการพ่นสีและอบสี.....	45
7.3 การวัดความหนืดของสี.....	48
8.1 โครงสร้างเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ.....	51
8.2 แสดงส่วนประกอบของสายพานลำเลียง.....	52
8.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	53
8.4 มอเตอร์เกียร์.....	53
8.5 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเติบโตจากการที่เป็นประเทศเกษตรกรรม การแปรรูปผลผลิตจากอุตสาหกรรมเกษตรจึงมีความสำคัญต่อประเทศ ดังจะเห็นได้จากการค้นคว้า วิจัยและพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ช่วยในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารเป็นจำนวนมาก ไข่เป็นผลผลิตจากการเกษตรชนิดหนึ่งที่มักนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ไข่เค็ม ไข่เยี่ยวม้า ฯลฯ สำหรับในการผลิตไข่เยี่ยวม้ามีกระบวนการสำคัญอย่างหนึ่งคือ การพ่นสีลงบนเปลือกไข่เพื่อการเก็บรักษาคุณภาพของไข่ให้ยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามการเคลือบหรือพ่นสีเปลือกไข่ในปัจจุบัน ยังคงเป็นกรรมวิธีแบบชาวบ้านคือใช้การพ่นสีเปลือกไข่ด้วยมือ ซึ่งทำให้ไม่สามารถพ่นสีเปลือกไข่ได้ครั้งละมาก ๆ อีกทั้งยังทำให้เสียเวลาในการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพและมาตรฐานอีกด้วย ดังนั้นผู้จัดทำโครงการปริญญานิพนธ์จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติต้นแบบขึ้น เพื่อแก้ปัญหาจากที่กล่าวมาขึ้นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและค้นคว้าการออกแบบเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ
2. เพื่อศึกษาการทำงานและการอบสีด้วยฮีทเตอร์ อินฟราเรด
3. เพื่อศึกษาการใช้งานของระบบนิวแมติก
4. เพื่อนำสิ่งที่ศึกษาและออกแบบมาประยุกต์เพื่อสร้างเครื่องจริง

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ
2. นำสิ่งที่ศึกษามาประยุกต์และออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการออกแบบเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ
2. ศึกษาการทำงานและการอบสีด้วยฮีทเตอร์ อินฟราเรด
3. ศึกษาการใช้งานของระบบนิวแมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสิ่งที่ศึกษามาประยุกต์และออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจถึงระบบการทำงานของระบบนิวมัติมากขึ้น
2. สามารถเข้าใจถึงระบบการทำงานของฮาร์ดแวร์มากขึ้น
3. สามารถเข้าใจถึงระบบการทำงานของระบบสายพานมากขึ้น
4. สามารถเข้าใจถึงระบบการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องที่ออกแบบได้
5. ได้เครื่องพ่นสีเปลือกไข่อัตโนมัติเพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

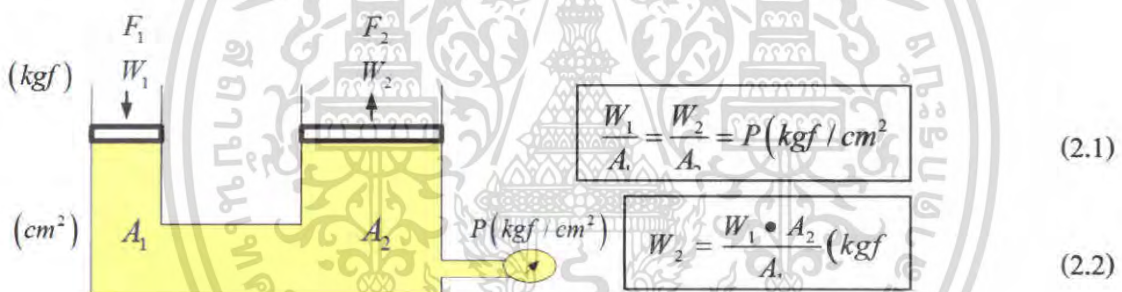
บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับความดันและระบบลม

กระบวนการพ่นสีลงบนเปลือกไข่นั้น จะต้องเข้าใจถึงทฤษฎีเกี่ยวกับความดันและระบบลมเพื่อที่จะเลือกใช้อุปกรณ์และประยุกต์การใช้งานให้เหมาะสม อย่างเช่นในส่วนของการออกแบบถังแรงดันสีจะใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับความดันมาช่วยในการคิดออกแบบ หรือในส่วนของการควบคุมการทำงานของหัวพ่นสีนั้นสามารถนำทฤษฎีไปเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมทิศทางแบบต่าง ๆ ได้

2.1 กฎของปาสคาล (กฎส่งผ่านความดัน)

กฎของปาสคาลซึ่งเกี่ยวกับการส่งผ่านความดันสถิตหรือความดันที่ไม่เคลื่อนที่(Static pressure) กฎนี้กล่าวว่า “ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนใดของของไหลที่อยู่นิ่งในภาชนะปิด จะกระทำต่อทุกส่วนของภาชนะในแนวตั้งฉาก” ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กฎของปาสคาล

W_1, W_2 คือ งานที่กระทำกับฝาสูบ

F_1, F_2 คือ แรงที่กระทำกระทำกับฝาสูบ

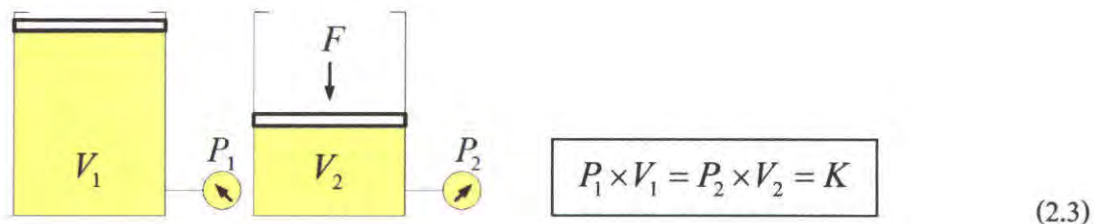
A_1, A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดของฝาสูบ

P คือ ความดัน

2.2 กฎของบอยล์

กฎของบอยล์กล่าวว่า “ถ้ากดลูกสูบในกระบอกซึ่งมีก๊าซบรรจุอยู่ภายใน ปริมาตรก๊าซจะลดลงในขณะที่ความดันก๊าซเพิ่มขึ้น” กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า “ณ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรก๊าซจะเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับความดันก๊าซนั้น” ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กฎของบอยล์

P_1, P_2 คือ ความดัน

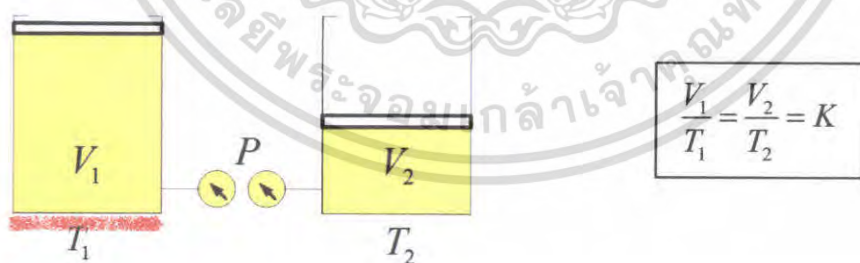
V_1, V_2 คือ ปริมาตรภายในถัง

F คือ แรงที่กระทำกระทันหันกับฝาสูบ

K คือ ค่าคงที่

2.3 กฎของชาร์ลส์

กฎของชาร์ลส์กล่าวว่า “ถ้าความดันอากาศคงที่ค่าหนึ่ง ปริมาตรของอากาศจำนวนหนึ่งจะแปรผันเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ” หมายความว่าเมื่ออากาศจำนวนหนึ่งซึ่งมีปริมาตร V_1 และอุณหภูมิ T_1 ถูกทำให้ร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ T_2 ภายใต้ความดันคงที่ ปริมาตรอากาศจะเปลี่ยนแปลงเป็น V_2 ตามความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กฎของชาร์ลส์

V_1, V_2 คือ ปริมาตรภายในถัง

T_1, T_2 คือ อุณหภูมิของอากาศ

K คือ ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

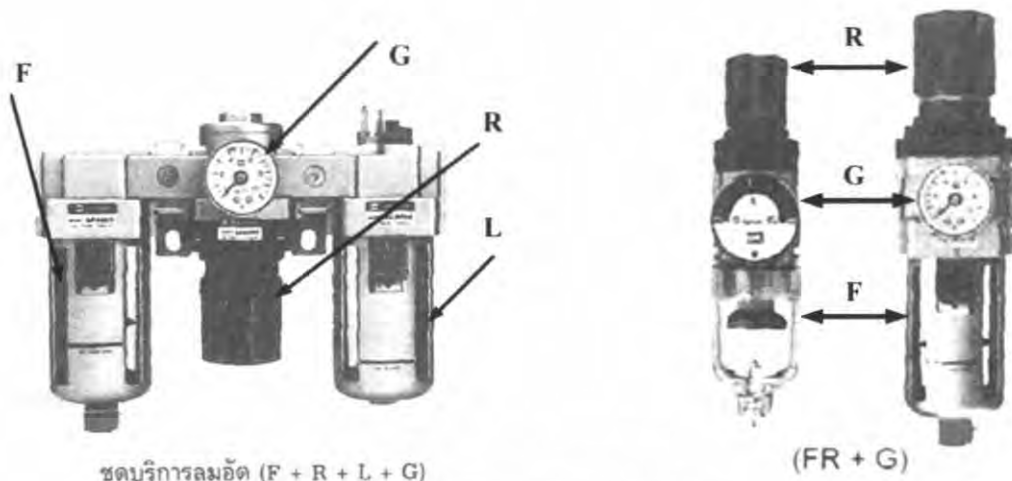
2.4 ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัดหรือชุดบริการลมอัด (Air Service)

มีหน้าที่ในการทำให้ลมอัดสะอาดก่อนการใช้งาน รวมทั้งมีความดันคงที่ตามที่ต้องการ และมีสัดส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม ชุดปรับปรุงคุณภาพจะประกอบด้วย ชุดกรองลมอัด (Air Filter) ชุดควบคุมความดัน (Air Regulator) เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) และชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น (Air Lubricator) โดยปกติแล้วชุดบริการหนึ่งจะมีอุปกรณ์ทั้ง 4 ส่วน ความหมายของการกำหนดรหัสตัวอักษร เช่น FR+L+G แสดงสัญลักษณ์ไว้ในรูปที่ 2.4 มีความหมายว่า ชุดบริการนี้มีชุดกรองลมอัดกับชุดควบคุมลมอัดอยู่ในชุดเดียวกัน (FR) แล้วเพิ่มชุดเติมน้ำมัน (L) และเกจวัดความดัน (G) เพิ่มเติม จากรูปที่ 2.6 (ข) เป็นชุดบริการอากาศที่ไม่มีชุดเติมน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากอุปกรณ์นิวแมติกส์ในปัจจุบันบางชนิดไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นจากภายนอก เพราะได้อัดสารหล่อลื่นไว้ในตัวอุปกรณ์แล้ว



รูปที่ 2.5 แสดงชุดบริการลมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชุดบริการลมอัด (F + R + L + G) (ก) ชุดบริการที่ประกอบจาก 4 ส่วน (ข) ชุดบริการอากาศที่ไม่มีชุดเติมน้ำมันหล่อลื่น

รูปที่ 2.6 แสดงชุดบริการที่แบบแยกส่วนที่นำมาประกอบกัน




จากรูปที่ 2.5 ลมอัดจะไหลเข้าท่อลมผ่านภายในหลอดแก้วซึ่งเป็นที่จำกัด ทำให้ลมอัดไหลวน ละอองน้ำและฝุ่นละอองจะถูกเหวี่ยงไปมากระทบกับผนังกรอบแก้ว เมื่อไหลผ่านไส้กรอง จะได้ลมอัดที่สะอาดผ่านออกสู่ลิ้นควบคุมแรงดันอากาศเพื่อไหลไปสู่ภายในหลอดแก้วของอุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันในหลอดแก้วจะไหลผ่านท่อพลาสติกขึ้นไปและหยดอยู่ในช่องแคบโดยความดันลมอัดภายในหลอดแก้วและความดันตกคร่อมที่ช่องแคบ น้ำมันที่หยดลงมาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การปรับสกรู หยดน้ำมันนี้จะไหลผ่านหัวฉีดทำให้เป็นละอองน้ำมัน ละอองน้ำมันที่มีขนาดใหญ่จะตกลงในหลอดแก้ว ส่วนละอองน้ำมันที่มีขนาดเล็กจะผสมกับลมอัดและไหลออกจากท่อตรงทางออกใช้งาน

2.5 วาล์วควบคุมทิศทาง Directional Control Valves (D.C.V)





มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางของลมอัดที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยภายในจะประกอบด้วยลิ้นวาล์วที่เคลื่อนที่ได้ ตำแหน่งของลิ้นวาล์วที่เคลื่อนที่ได้จะเรียกว่า ตำแหน่งทำงาน (Position) ใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมแทนจำนวนตำแหน่งที่ลิ้นวาล์วที่สามารถเปลี่ยนได้ตามข้อกำหนดการเรียกชื่อวาล์วควบคุมตามมาตรฐาน ISO 1219 โดยแยกอธิบายตารางสัญลักษณ์ออกเป็น 4 ตารางคือ จำนวนตำแหน่งการทำงานของวาล์วแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ช่องต่อช่องลมแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ลักษณะการเชื่อมต่อภายในแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์วาล์วในตำแหน่งทำงานและรีเซ็ตแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 ส่วนรูปที่ 2.7 แสดงลักษณะทางกายภาพของวาล์วชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้









ตารางที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ของตำแหน่งทำงานของวาล์ว

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ลิ้นวาล์วเปลี่ยน 2 ตำแหน่งทำงาน
	ลิ้นวาล์วเปลี่ยน 3 ตำแหน่งทำงาน
	ลิ้นวาล์วเปลี่ยน 4 ตำแหน่งทำงาน

ตารางที่ 2.2 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ของช่องต่อช่องลม

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ช่องต่อสำหรับท่อลม
	ช่องต่อสำหรับจ่ายลมอัดให้วาล์ว
	ช่องต่อสำหรับระบายลมทิ้งแบบเปิด (มีช่องต่อท่อลม)
	ช่องระบายลมทิ้งแบบปิด (ไม่มีช่องต่อท่อลม)

ตารางที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์เส้นทางไหลผ่านภายในวาล์วที่แสดงด้วยลูกศรและช่องปิด

สัญลักษณ์	ความหมาย
	เส้นทางภายในรูปสี่เหลี่ยม หมายถึง เส้นทางที่ลมอัดไหลผ่านได้ตามทิศทางลูกศร
	เส้นทางเดินลมที่ถูกระงับแสดงด้วยเส้นตรงตัดสั้นหัวท้าย
	เส้นทางเดินลมภายใน 2 เส้นทางที่ไม่ได้ตัดกัน และมีช่องต่อท่อลม 4 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้ทางเดียวและมีช่องต่อท่อลม 3 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้ทางเดียวและมีช่องต่อท่อลม 3 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้สองทางและมีช่องต่อท่อลม 5 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้สองทางและมีช่องต่อท่อลม 5 ช่อง
	เส้นทางเดินลมที่ต่อดังกันภายในเขียนด้วยจุดตัดเต็มและมีช่องต่อท่อลม 4 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อน

กระบวนการการทำความร้อนเพื่ออบสีเปลือกไข่นั้น จะต้องเข้าใจถึงทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและหลักการสร้างความร้อน เพื่อที่จะประยุกต์การใช้งานให้เหมาะสม อุปกรณ์การสร้างความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบสี คือฮีทเตอร์อินฟราเรด โดยฮีทเตอร์อินฟราเรดจะสร้างความร้อนขึ้น โดยตรงที่พื้นผิวของสี ทำให้ระยะเวลาในการอบสั้นลงและยังประหยัดพลังงานที่ใช้อีกด้วย

3.1 การถ่ายเทความร้อน

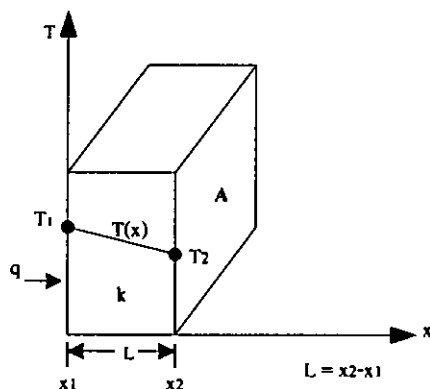
เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างจุด 2 จุด ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมินี้มีชื่อเรียกว่าความร้อน ซึ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

- การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน (Conduction)
- การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อน (Convection)
- การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี หรือการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในการออกแบบและการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น จะต้องเข้าใจหลักการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแบบและความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบนั้น ๆ ดังนี้

3.1.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction Heat Transfer)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในอะตอมโมเลกุลของสสาร โดยปกติโมเลกุลของสสารจะมีการเคลื่อนที่อยู่แล้วอย่างเป็นอิสระทั้งหมดรอบตัวเองและเคลื่อนที่ เมื่อมีความร้อนส่งผ่านผิวที่ด้านหนึ่งจะทำให้โมเลกุลมีพลังงานสูงขึ้น ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะพยายามทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ไปในทิศทางด้านที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งขณะที่โมเลกุลที่มีพลังงานสูงเคลื่อนที่มาด้านที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน ทำให้อุณหภูมิลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่า (T_1) มาสู่ด้านที่อุณหภูมิต่ำกว่า (T_2) เป็นปริมาณการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (q_{con}) ซึ่งสามารถหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนระบบการนำต่อพื้นที่ตัวกลางได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

q = ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

k = ค่าคงที่ของการนำความร้อนของตัวกลาง $\frac{W}{m \cdot K}$

$\frac{dT}{dx}$ = อัตราส่วนความแตกต่างของความร้อนต่อระบบซึ่งมีค่า $\frac{T_2 - T_1}{L}$

เมื่อคิดการเคลื่อนที่การถ่ายเทความร้อนเป็นเชิงเส้น

L = ความหนาของวัตถุตัวกลาง $L = x_2 - x_1$

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.2)$$

$$q = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3.3)$$

$$q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3.4)$$

$$\frac{qL}{kA} = T_1 - T_2 \quad (3.5)$$

จากสมการข้างบนสามารถนำไปหาค่าความต้านทานของการนำความร้อนได้ดังนี้

$$R_{cd} = \frac{T_1 - T_2}{q} = \frac{L}{kA} \quad (3.6)$$

R_{cd} = ค่าความต้านทานของการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

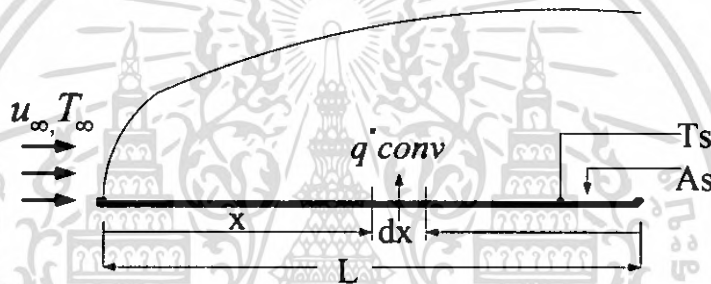
3.1.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Convection heat transfer)

การพาความร้อน หมายถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในของไหล (ของเหลวและก๊าซ) โดยที่โมเลกุลของของไหลเคลื่อนที่และพาความร้อนไปด้วย ในขณะที่เดียวกันในแต่ละโมเลกุลของของไหลก็มีการนำความร้อนเกิดขึ้นด้วย การเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานี้เกิดขึ้นได้คือ

1. เมื่อของไหลที่อยู่รอบ ๆ แหล่งกำเนิดความร้อนได้รับความร้อน ของไหลนั้นจะมีความหนาแน่นน้อยลง ในขณะที่เดียวกันของไหลที่อยู่รอบ ๆ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเข้ามาแทนที่ วิธีนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ (Free or natural convection)

2. เกิดขึ้นโดยทางกลไก เช่น ใช้ปั๊มหรือพัดลมบังคับให้ความร้อนถ่ายเทออกไป วิธีนี้เรียกว่า ความร้อนแบบกลไก (Forced convection)

ลักษณะการพาความร้อนในชั้นขีดยความร้อนและชั้นขีดยความเร็วดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการพาความร้อนในชั้นขีดยความร้อนและชั้นขีดยความเร็ว

รูปที่ 3.2 พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A_s อุณหภูมิ T_s ขณะของไหลไหลผ่านด้วยความเร็ว u_∞ และอุณหภูมิ T_∞ คงที่ ฟลักซ์ความร้อนเฉพาะ ที่เป็นไปตามกฎการทำให้เย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ดังสมการ

$$q'_{conv} = h(T_s - T_\infty) \quad (3.7)$$

เมื่อ q'_{conv} คือ ค่าฟลักซ์ความร้อนเฉพาะที่ (W/m^2)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ (W/m^2)

ดังนั้นสามารถหาอัตราการพาความร้อนทั้งหมด ($Q'_{convection}$) บนพื้นผิว A_s จาก

$$Q'_{convection} = \int_{A_s} q'_{conv} dA_s \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (T_s - T_\infty) h d A_s \quad (3.9)$$

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา นั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เป็นต้นว่าคุณสมบัติของของไหล ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาดังนี้คือ

$$Q_{conv}^{\dot{}} = hA(T_s - T_\infty) \quad (3.10)$$

เมื่อ $Q_{conv}^{\dot{}}$ คือ อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ($W / m^2 \cdot K$)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W / m^2 \cdot K$)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิที่ร้อน (K)

T_∞ คือ อุณหภูมิที่เย็น (K)

3.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานความร้อนซึ่งแผ่ออกโดยสาร ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ แม้ว่าเราจะเน้นการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นที่เป็นของแข็ง แต่การแผ่รังสีนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยของเหลวหรือก๊าซ และไม่ว่าจะมีสถานะใดก็ตาม การแผ่รังสีจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบอิเล็กตรอนในอะตอมของสาร พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) และในขณะที่การนำและการพาความร้อนจำเป็นต้องมีตัวกลาง แต่การแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่ต้องการตัวกลาง ซึ่งที่จริงแล้วการแผ่รังสีความร้อนจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในสุญญากาศ

รังสีความร้อนที่พื้นผิวใด ๆ สามารถแผ่ออกไปมากที่สุด (Maximum flux ; W / m^2) นั้นเป็นไปตามสมการที่ (3.11) ซึ่งเรียกว่า Stefan-Boltzmann Law

$$q^{\dot{}} = \sigma T_s^4 \quad (3.11)$$

โดยที่ T_s คืออุณหภูมิสมบูรณ์ (Absolute temperature ; K) ของพื้นผิว และ σ คือ Stefan-Boltzmann constant ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2 \cdot K^4$)

$q^{\dot{}} = \sigma T_s^4$ คือสมการการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวอุดมคติ ซึ่งเรียกว่าวัตถุดำ (Black body) ค่า Heat flux ที่ส่งออกมาจากพื้นผิวที่แท้จริงจะมีค่าน้อยกว่านี้ เป็นไปตามสมการที่ (3.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q' = \epsilon \sigma T_s^4 \tag{3.12}$$

โดยที่ ϵ คือคุณสมบัติของการแผ่รังสีความร้อนตัวหนึ่ง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Emissivity เป็นตัวบอกระสิทธิภาพของการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว โดยเปรียบเทียบกับวัตถุดำ

สมการที่ (3.12) นั้นใช้สำหรับหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนโดยพื้นผิวหนึ่งๆเท่านั้น การหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิระหว่างพื้นผิวต่างๆนั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่ามาก อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์พิเศษที่พบบ่อยในทางปฏิบัตินั้น เกี่ยวพันกับอัตราการแลกเปลี่ยนสุทธิระหว่างพื้นผิวเล็กๆ กับพื้นผิวขนาดใหญ่กว่ามาก ซึ่งครอบคลุมพื้นผิวเล็กไว้ทั้งหมดดังรูปที่ 3.3 ถ้าสมมุติว่าพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม (Surrounding) นั้นแยกกัน โดยก๊าซซึ่งไม่มีผลต่อการแผ่รังสีความร้อน อัตราการส่งถ่ายรังสีความร้อนสุทธิระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม (ต่อหน่วยพื้นที่ของพื้นผิว) สามารถคำนวณได้จาก



รูปที่ 3.3 การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม

$$q'_{rad} = \frac{q}{A} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \tag{3.13}$$

โดยที่ A คือพื้นที่ของพื้นผิว ϵ คือค่า emissivity ของพื้นผิวและ T_{sur} คืออุณหภูมิสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมสำหรับกรณีนี้พื้นที่และ emissivity ของสิ่งแวดล้อมจะไม่มีผลต่อ q'

ในหลายกรณีอัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิมักเขียนอยู่ในรูปที่สะดวกกว่า และคล้ายคลึงกับ Newton's law cooling คือ

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{sur}) \tag{3.14}$$

โดยสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer coefficient) ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น $h_r = \epsilon \sigma (T_s + T_{sur})(T_s^2 + T_{sur}^2)$ โปรดนำไปใช้ประโยชน์ (3.15) การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งที่จริงแล้วจากสมการที่ (3.15) นั้นเป็นเพียงการจัดรูปของสมการให้คล้ายกับกรณีของการพาความร้อน แต่สามารถสังเกตได้จากสมการที่ (3.15) ว่า h_c นั้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิอย่างมาก ในขณะที่เดียวกันสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้น แม้ว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบ้างแต่ก็ไม่มากนัก

พื้นผิวภายในสิ่งแวดล้อมอาจถ่ายเทความร้อนได้ ทั้งโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อนในเวลาเดียวกัน ซึ่งในกรณีนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจากพื้นผิวคือผลรวมของอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองแบบ นั่นคือ

$$q = q_{conv} + q_{rad} \quad (3.16)$$

$$\text{หรือ} \quad q = hA(T_s - T_\infty) + \varepsilon A\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (3.17)$$

3.2 อุปกรณ์ความร้อนอินฟราเรดฮีตเตอร์ (Infrared Heater)

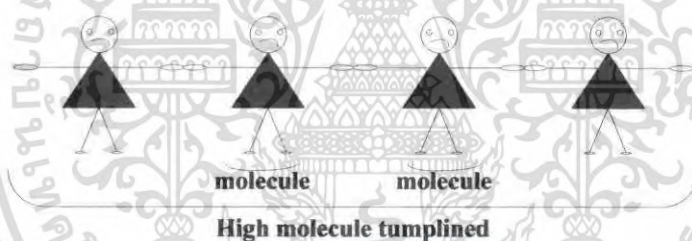
ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าซึ่งใช้ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน แต่ในโครงการนี้ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการอบสีเปลือกไข่ คือฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

หลักการทำความร้อน คือให้กำเนิดแสงอินฟราเรดและส่งไปยังวัตถุ โดยภายในแท่งอินฟราเรดฮีตเตอร์จะมีขดลวดความร้อน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ส่งผลให้เนื้อเซรามิกชนิดพิเศษที่หุ้มรอบๆ ขดลวดเกิดความร้อนขึ้นด้วย ซึ่งเนื้อเซรามิกนี้เองที่เป็นตัวทำให้เกิดคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นรังสีนี้จะอยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรดไกล โดยเป็นแสงคลื่นยาวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ ซึ่งรังสีคลื่นยาวนี้จะทำให้โมเลกุลของวัตถุที่ได้รับรังสีนี้เข้าไปเกิดการสั่นทำให้เกิดความร้อนขึ้น หลักการนี้จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เรียงกันเป็นแถวยาว เช่น สี กาว พลาสติก แล็กเกอร์



รูปที่ 3.4 อินฟราเรดฮีตเตอร์

หน่วยเล็กที่สุดของวัตถุ คือ โมเลกุลซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุต่าง ๆ การที่วัตถุสามารถอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ เนื่องจากโมเลกุลมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.5



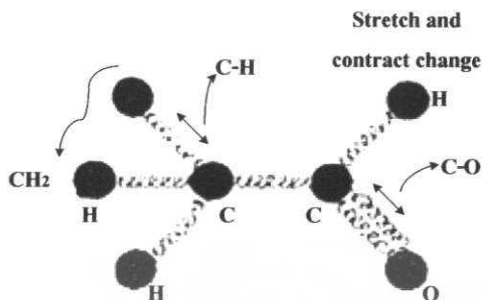
รูปที่ 3.5 โมเลกุลยึดเหนี่ยวระหว่างกัน

อะตอมของวัตถุไฮโมเลกุล (โมเลกุลที่เกาะกันเป็นสายยาว เช่น สี พลาสติก ยาง) จะยึดเกาะกันคล้ายสปริง ซึ่งจะมีการสั่นอยู่บ้าง เมื่อวัตถุไฮโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความถี่ของคลื่นใกล้เคียงกับการสั่นของโมเลกุล จะส่งผลให้โมเลกุลต่าง ๆ มีการสั่นที่รุนแรงขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระมีพลังงานมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัววัตถุ ช่วงรังสีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำความร้อนกับวัตถุ คือ ช่วงรังสีคลื่นยาว คลื่นความยาวช่วงอื่นจะถือเป็นความสูญเสีย เนื่องจากวังทะลุวัตถุหรือถูกสะท้อนกลับ ดังนั้น Infrared Heater ที่มีประสิทธิภาพ จะต้องมีความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของคลื่นอินฟราเรดให้ได้มากที่สุด คืออยู่ในช่วง 3 – 10 mm. องค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดและวัตถุเป้าหมาย ซึ่งในขณะที่การทำความร้อนด้วยวิธีการพา และการนำความร้อนจะเน้นไปที่ตัวกลาง

จากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าภายใน โมเลกุลหนึ่งนั้นจะประกอบไปด้วยการยึดเกาะของอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่แจ้งชื่อผู้จัดทำเอกสาร หรือมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่แจ้งชื่อผู้จัดทำเอกสาร กรุณาแจ้งชื่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้ง

หลายตัว เมื่ออะตอมได้รับคลื่นรังสีอินฟราเรด จะทำให้เกิดการสั่นระหว่างการยึดเกาะของแต่ละอะตอม



รูปที่ 3.6 แสดงการยืดเกาะของวัตถุไฮโมเลกุล

คุณสมบัติของอินฟราเรดฮีตเตอร์ (Infrared Heater)

1. เป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี ทำให้เกิดความร้อนโดยตรงที่พื้นผิวสรีได้รวดเร็วกว่าแบบการพาความร้อน ทำให้มีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ จึงประหยัดไฟได้ 30-50%
2. สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1-10 เท่า (การให้ความร้อนแบบการพาและการนำความร้อน จะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิวแล้วค่อยๆ ซึมเข้าไปเนื้อใน จึงใช้เวลามาก)
3. มีขนาดเล็กกว่าฮีตเตอร์แบบทั่วๆ ไป ทำให้ประหยัดเนื้อที่การติดตั้ง และการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่าย
4. มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนทำจากเซรามิก ทำให้มีความเป็นฉนวนสูง
5. ให้รังสีช่วง 3 – 10 mm. ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี
6. การให้ความร้อนแบบอินฟราเรด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือตัววัตถุจะต้องดูดซับรังสีได้ดี ดังนั้นวัตถุบางชนิดที่มีผิวมันวาวหรือมีคุณสมบัติการสะท้อนแสงที่ดี จะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้

จากตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเลือกซื้ออินฟราเรดฮีตเตอร์ ว่าลักษณะการติดตั้ง ความยาวที่ใช้งาน เส้นผ่ากลางและกำลังไฟฟ้าของแท่งอินฟราเรดฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

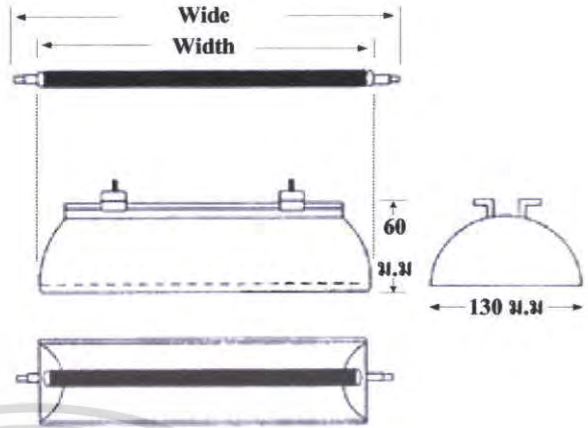
ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเลือกค่า V, W, Length ตามการติดตั้ง



Infrared Heater แบบแท่ง + โคม

IH H 17 x 500/220-650W

- ① ② ③ ④ ⑤ ⑥

- ① Infrared Heater
- ② H : ใช้ได้เฉพาะแนวอนเท่านั้น
V : ใช้ได้ทั้งแนวตั้งและแนวอน
- ③ เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)
- ④ ความยาวใช้งาน (mm)
- ⑤ แรงดัน (V)
- ⑥ กำลังวัตต์ (W)



Model	Length mm.		Voltage	Wattage
	Wide	Width	V	W
IHH ϕ 14 มม. ติดตั้งเฉพาะในแนวอน 	250	370	110 V.	300 W
	300	420	110 V.	350 W
	300	420	220 V.	500 W
	350	470	110 V.	400 W
	350	470	220 V.	450 W
	500	620	110 V.	550 W
	600	720	220 V.	650 W
IHH ϕ 17 มม. ติดตั้งเฉพาะในแนวอน 	250	370	220 V.	500 W
	300	420	220 V.	500 W
	400	520	220 V.	500 W
	450	570	220 V.	550 W
	500	620	110 V.	650 W
	500	620	220 V.	650 W
	550	670	220 V.	650 W
	600	720	220 V.	800 W
	600	720	220 V.	1000 W
	750	870	220 V.	800 W
	750	870	220 V.	1000 W

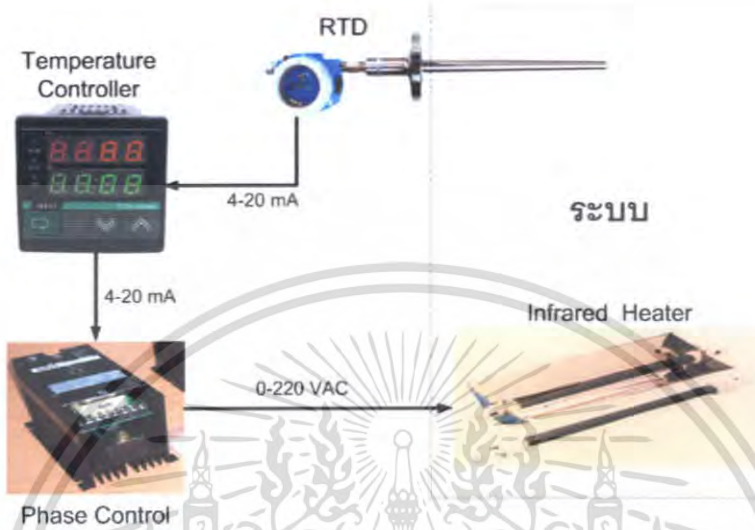
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 750 วัตต์ การติดตั้งในแนวอน 870 มม. ไม่ควรใช้เกิน 800 วัตต์ ขึ้นต้นการคำนวณ
 ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	750	870	220 V.	1000 W
	1000	1140	220 V.	1300 W
	1200	1340	220 V.	1600 W
	1200	1340	220 V.	2000 W
	1350	1490	220 V.	1800 W
	1500	1640	220 V.	1500 W
	1500	1640	220 V.	2000 W
IHV Φ 17 มม. ติดตั้งได้ทั้งแนวนอน และแนวตั้ง 	500	620	220 V.	650 W
	600	720	220 V.	650 W
	600	720	220 V.	1000 W
	750	870	220 V.	1000 W
	750	870	220 V.	1400 W
	1000	1120	220 V.	1300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีการควบคุมความร้อน



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ

จากรูป แสดงถึงส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยเริ่มจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบ RTD จะทำหน้าที่แปลงตัวแปรอุณหภูมิให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะทำหน้าที่ประเมินค่าที่วัดได้ (PV) กับค่าที่ผู้ใช้ตั้งไว้ (SV) แล้วจะส่งเอาท์พุท 4-20 mAdc ออกไปควบคุมเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อควบคุมฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) อีกทีหนึ่ง

4.1 อาร์ทีดี (RTD)

อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector) จัดเป็นทรานสดิวเซอร์อีกแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิ โดยใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งวัสดุเหล่านี้ได้แก่ แพลทินัม (Platinum) ทองแดง (Copper) และนิกเกิล (Nickel) แต่โดยทั่วไปจะใช้อาร์ทีดีที่ทำมาจากแพลทินัม เนื่องจากแพลทินัมมีความเที่ยงตรงและมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุด ซึ่งจะเรียกว่า PT100 (Platinum Temperature) โดยที่ตัวเลข 100 หมายถึงที่อุณหภูมิ 0°C ค่าความต้านทานภายในของอาร์ทีดีจะมีค่าเท่ากับ 100 โอห์ม ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของเส้นลวดตัวนำกับอุณหภูมิสามารถจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_t = R_{ref}(1 + a\Delta t) \quad (4.1)$$

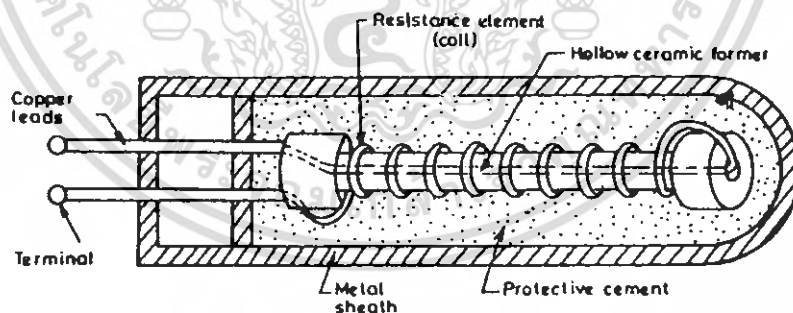
เมื่อ R_t = ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ t °C ใดๆ

R_{ref} = ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิอ้างอิง (โดยทั่วไปคือ 0 °C)

a = สัมประสิทธิ์ของค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของโลหะตัวนำ

Δt = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ t °C ใดๆกับอุณหภูมิอ้างอิง

โดยทั่วไปแล้วควรจะใช้วัสดุที่มีค่า a สูง เพราะหมายถึงว่าค่าความต้านทานของโลหะตัวนำจะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยก็ตาม ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปนี้สามารถจะวัดได้โดยใช้ Whetstone Bridge และปรับเทียบให้แสดงค่าเป็นค่าของอุณหภูมิได้ การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของโลหะตัวนำหลาย ๆ แบบเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะเห็นได้ว่า ค่าความต้านทานของแพลทินัมและทองแดงนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ ในขณะที่นิกเกิลนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ค่อยจะเป็นเชิงเส้นนัก จากรูปที่ 4.2 ขดลวดแพลทินัมถูกพันอยู่บนเปลือกฉนวนเซรามิกกลวงที่ทำเป็นร่องและถูกปิดทับอีกชั้นด้วยซีเมนต์ป้องกัน ปลายของขดลวดแพลทินัมจะถูกนำไปเชื่อมต่อกับสายทองแดงที่แข็งแรง เพื่อนำไปต่อกับกับแขนข้างหนึ่งของวงจรวัด โครงสร้างที่มีลักษณะนี้สามารถนำไปวัดอุณหภูมิได้โดยตรง ซึ่งจะให้การตอบสนองที่รวดเร็ว อย่างไรก็ตามในการใช้งานส่วนใหญ่จะนำไปสวมด้วยเปลือกโลหะป้องกันอีกชั้นหนึ่งเพื่อทำให้เกิดความแข็งแรง



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างหัววัดอุณหภูมิแบบ RTD

4.2 การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Controllers)

การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Controllers) เป็นการควบคุมแรงดันประสิทธิผล (V_{rms}) ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จะจ่ายไปยังโหลด โดยใช้อุปกรณ์ไทรสเตอร์มาเป็นสวิตช์เชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกับโหลด เพื่อควบคุมแรงดันประสิทธิผล (V_{rms})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

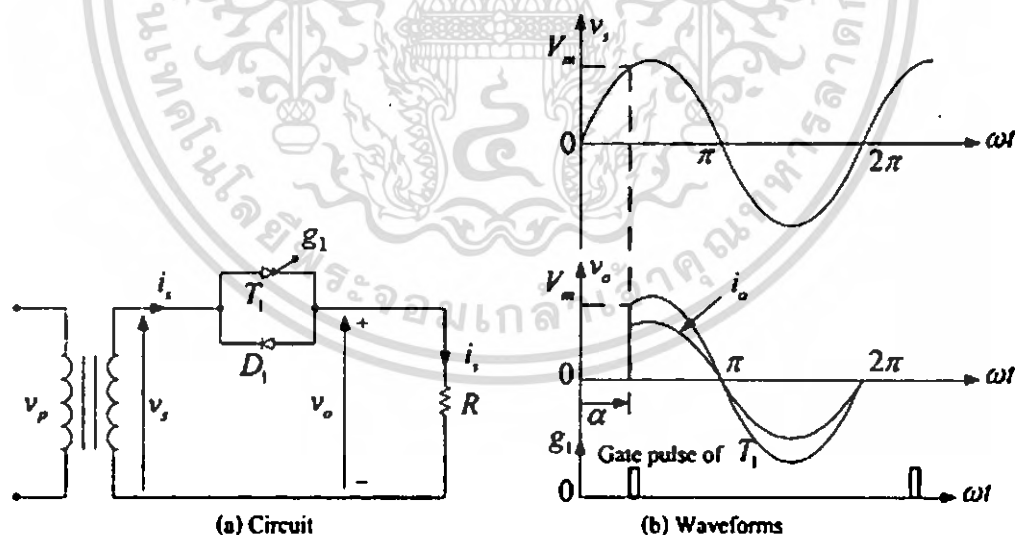
ที่จ่ายให้กับโหลดให้มีค่าตามที่ต้องการ การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามารถนำไปประยุกต์การใช้งานในอุปกรณ์ทำความร้อน (Heating) การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การควบคุมโดยการเปิด-ปิด และการควบคุมมุมเฟส แต่ในโครงการนี้ใช้การควบคุมแบบการควบคุมมุมเฟสเต็มคลื่นที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

4.2.1 การควบคุมมุมเฟส

การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมมุมเฟส เป็นการควบคุมค่ามุมในการนำกระแสของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ ในแต่ละคาบของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแบบครึ่งคลื่น (ทิศทางเดียว) และแบบเต็มคลื่น (สองทิศทาง)

4.2.2.1 การควบคุมมุมเฟสแบบครึ่งคลื่น

การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับแบบครึ่งคลื่นหรือแบบทิศทางเดียว เป็นการควบคุมแรงดันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพียงครึ่งคลื่น ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ทั้งครึ่งบวกหรือครึ่งลบของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ ซึ่งโหลดที่เป็นค่าความต้านทานจะทำให้กระแสและแรงดันที่เอาท์พุทมีเฟสตรงกัน ตามรูปที่ 4.3 จะใช้เอสซีอาร์เป็นตัวควบคุมสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับในครึ่งบวก ส่วนครึ่งลบของสัญญาณจะไหลผ่านทาง ไดโอด โดยที่ไม่มีการควบคุม



รูปที่ 4.3 วงจรและสัญญาณการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมมุมเฟสครึ่งคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป กำหนดให้สมการของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านอินพุต (V_s) มีค่าเท่ากับ $V_s = V_m \sin \omega t$ ดังนั้นค่าแรงดันประสิทธิผล (V_{rms}) ทางด้านเอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \left[\frac{1}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right) \right] \quad (4.2)$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \left(\frac{1}{2\pi} \left(2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

เมื่อ V_m แทนค่าแรงดันเฟสสูงสุดหรือค่าแรงดันขอคกลิ้น

โดยที่มุมทริกเอสซิวาร์ (α) มีการเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ π ถึง 0 ซึ่งทำให้แรงดันที่เอาต์พุตมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ในช่วง $\frac{V_s}{\sqrt{2}}$ ถึง V_s

แทนค่ามุม α เท่ากับ π ในสมการที่ 4.3 จะได้

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{V_m}{\sqrt{2}\sqrt{2}} \\ &= \frac{V_s}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

แทนค่ามุม α เท่ากับ 0 ในสมการที่ 4.3 จะได้

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \\ &= V_s \end{aligned}$$

การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมมุมเฟสแบบครึ่งคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะสามารถควบคุมได้ที่ครึ่งที่เป็นบวกเท่านั้น จึงทำให้เอาต์พุตที่ได้มีค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเกิดขึ้น เนื่องจากครึ่งที่เป็นบวกและครึ่งที่เป็นลบของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าแรงดันเฉลี่ยที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} V_m \sin \omega t d\omega t \right) \quad (4.4)$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha - 1) \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่มุมทริกเอสซอร์ (α) มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ π ถึง 0 ซึ่งจะทำให้แรงดันเฉลี่ยที่เอาต์พุตมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $-0.318V_m$ ถึง 0

แทนค่า α เท่ากับ π ในสมการที่ 4.5 จะได้

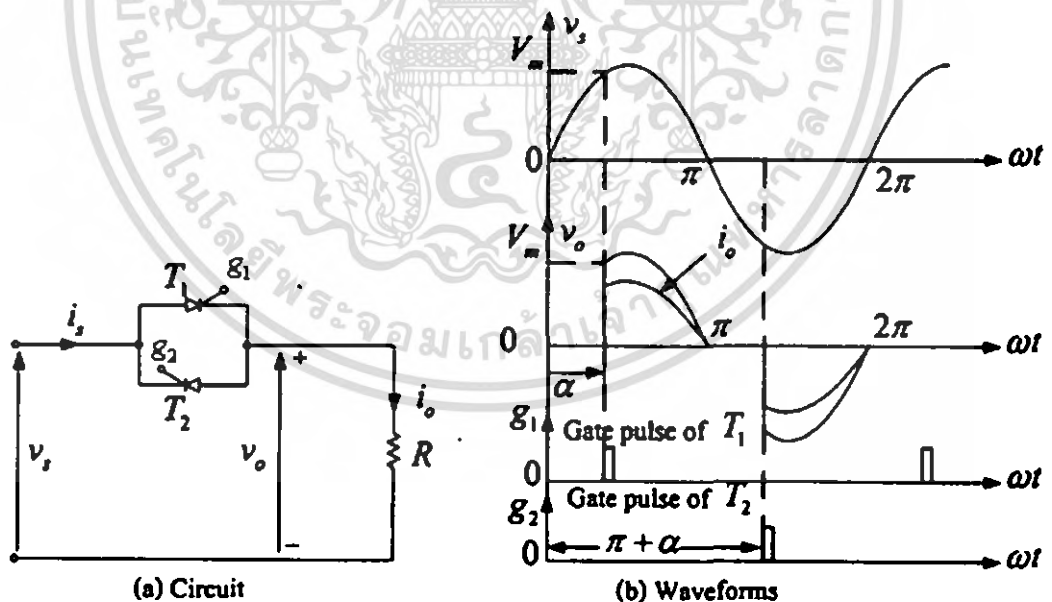
$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{-V_m}{\pi} \\ &= -0.318V_m \end{aligned}$$

แทนค่า α เท่ากับ 0 ในสมการที่ 4.5 จะได้

$$V_{dc} = 0$$

4.2.2.2 การควบคุมมุมเฟสแบบเต็มคลื่นที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

การควบคุมมุมเฟสแบบเต็มคลื่นที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะใช้เอสซอร์ 2 ตัว เป็นตัวควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตโดยที่เอสซอร์ T_1 จะควบคุมสัญญาณในครึ่งบวกและเอสซอร์ T_2 จะควบคุมสัญญาณในครึ่งลบ ซึ่งโวลต์ที่เป็นค่าความต้านทานจะทำให้กระแสและแรงดันที่เอาต์พุตมีเฟสตรงกัน และเมื่อค่าแรงดันเอาต์พุตลดลงมาที่ศูนย์จะทำให้เอสซอร์หยุดนำกระแสที่จุดศูนย์ โดยที่ V_m แทนค่าแรงดันเฟสสูงสุดหรือค่าแรงดันขอคคลื่น V_s แทนค่าแรงดันทางด้านอินพุต



รูปที่ 4.4 วงจรและสัญญาณการควบคุมแบบเต็มคลื่นที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันประสิทธิผล (V_{rms}) ที่เอาท์พุทสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.6

$$V_0 = \left[\frac{1}{2\pi} \left(\int_a^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\pi+a}^{2\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.6)$$

$$= V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.7)$$

โดยที่มุมทริกเอสซิวาร์ (α) มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ π ถึง 0 ซึ่งจะทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง V_s

แทนค่ามุม α เท่ากับ π ในสมการที่ 4.7 จะได้

$$V_0 = 0$$

แทนค่ามุม α เท่ากับ π ในสมการที่ 4.7 จะได้

$$V_0 = V_s$$

กระแสประสิทธิผล (I_{rms}) ที่ไหลผ่านเอสซิวาร์แต่ละตัว

$$I_R = \left[\frac{1}{2\pi} \int_a^\pi I_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.8)$$

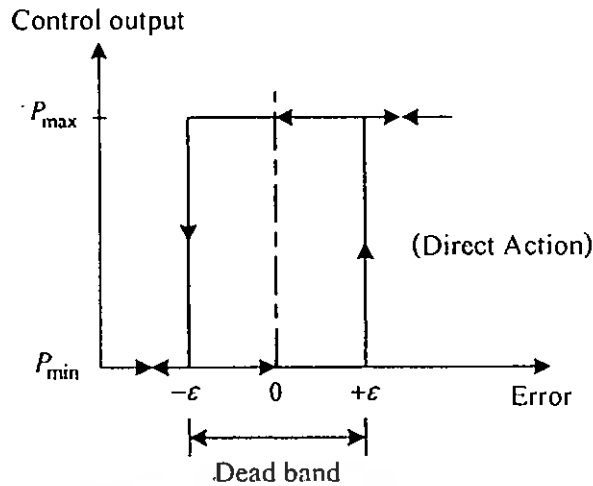
$$= \left[\frac{1}{2\pi} \int_a^\pi \left(\frac{V_m}{R} \right)^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.9)$$

$$= \frac{V_m}{R} \left[\frac{1}{2\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.10)$$

4.3 หลักการควบคุมแบบต่างๆ

4.3.1 การควบคุมแบบ ON-OFF

การควบคุมแบบ ON-OFF เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและนิยมนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยการควบคุมจะทำงานเพียง 2 สถานะ คือ เปิด (100%) กับปิด (0%) กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการควบคุมแบบ ON-OFF

จะเห็นว่าถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต ($+\varepsilon$) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต ($-\varepsilon$) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ค่าเอาต์พุตที่อยู่ในช่วงเขตแบนด์ (Dead Band) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด บางครั้งก็จำเป็นต้องทำให้ช่วงเขตแบนด์ขึ้นเพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยเกินไปอันจะทำให้อุปกรณ์การควบคุมหรือกระบวนการได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเขตแบนด์ต้องไม่กว้างนักเพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการควบคุมลดลง ทรัพยากรการควบคุมแบบ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$m(t) = \begin{cases} 0\%, e < -\varepsilon \\ 100\%, e > +\varepsilon \end{cases} \quad (4.11)$$

เมื่อ $m(t)$ = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุม

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน

ε = $\frac{1}{2}$ ของค่าเขตแบนด์

4.3.2 การควบคุมแบบ Proportional (P)

การควบคุมแบบ P นั้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม การควบคุมแบบ P สามารถเขียนสมการ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_p(t) = K_p e(t) + \bar{m} \quad (4.12)$$

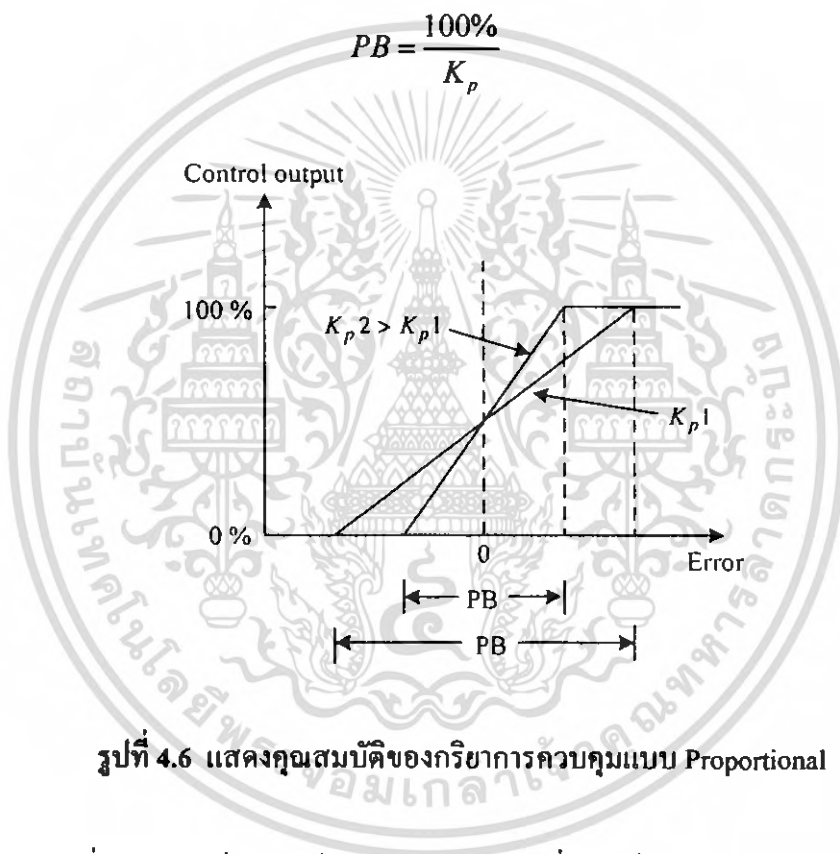
เมื่อ $m_p(t)$ = ของเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Proportional

K_p = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional

\bar{m} = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตัวควบคุมแบบ P บางตัวอาจจะใช้ค่า Proportional Band (PB) แทนการใช้ค่า K_p ซึ่ง PB คือ ช่วงของค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่างที่เอาต์พุตของตัวควบคุมมีค่า 0-100% ดังสมการที่ 4.13

$$PB = \frac{100\%}{K_p} \quad (4.13)$$



รูปที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional

จากรูปที่ 4.6 K_p เป็นเกณฑ์ของตัวควบคุม K_p ยิ่งมากก็จะเข้าสู่ Set-point ได้เร็วกว่า K_p น้อย ๆ แต่ถ้ามากเกินไปจะส่งผลให้เกิด Over Shoot

4.3.3 การควบคุมแบบ Integral (I)

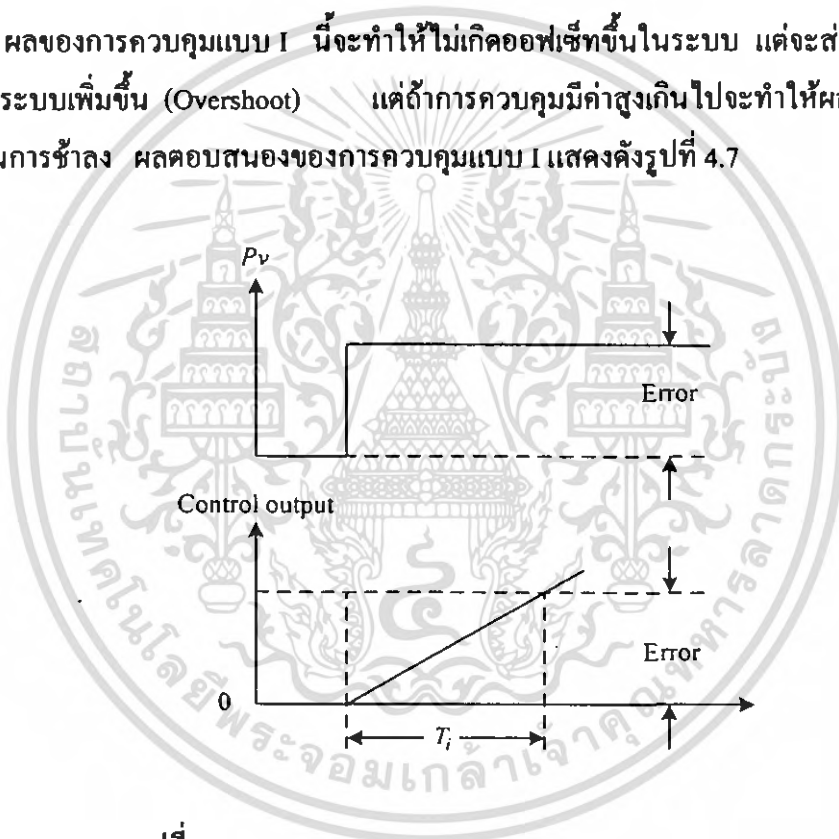
การควบคุมแบบ I หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม สามารถหาได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนแบบเวลาคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Grain) ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_i(t) = K_i \int_0^t e(t) dt + \overline{m}_i(0) \quad (4.14)$$

เมื่อ $m_i(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Integral
 K_i = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral
 $\int_0^t e(t) dt$ = พื้นที่ทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน
 $\overline{m}_i(0)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่เวลา t เท่ากับศูนย์

ผลของการควบคุมแบบ I นี้จะทำให้ไม่เกิดออฟเซตขึ้นในระบบ แต่จะส่งผลให้เกิดค่าพุ่งเกินของระบบเพิ่มขึ้น (Overshoot) แต่ถ้การควบคุมมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ I แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Integral

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงกริยาควบคุมแบบ I กล่าวคือทุกครั้งของการ Sampling ที่เกิด Error Action I จะคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟและสร้างสัญญาณควบคุม $m_i(t)$

จากกราฟจะเห็นว่า Error คงที่ ทำให้สัญญาณเอาต์พุตของเทอม I เพิ่มขึ้นในอัตราคงที่

4.3.4 การควบคุมแบบ Derivative (D)

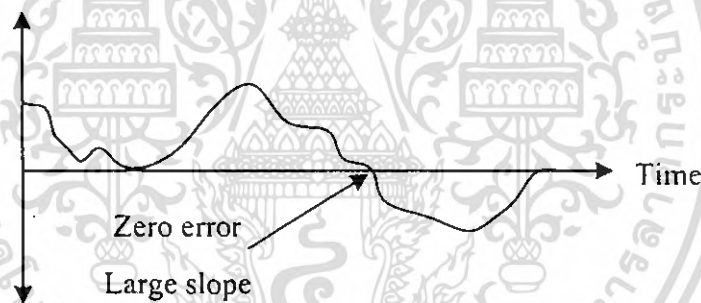
การควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยที่สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม จะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่าอัตราส่วนกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (4.15)$$

เมื่อ $m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

$\frac{de(t)}{dt}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t



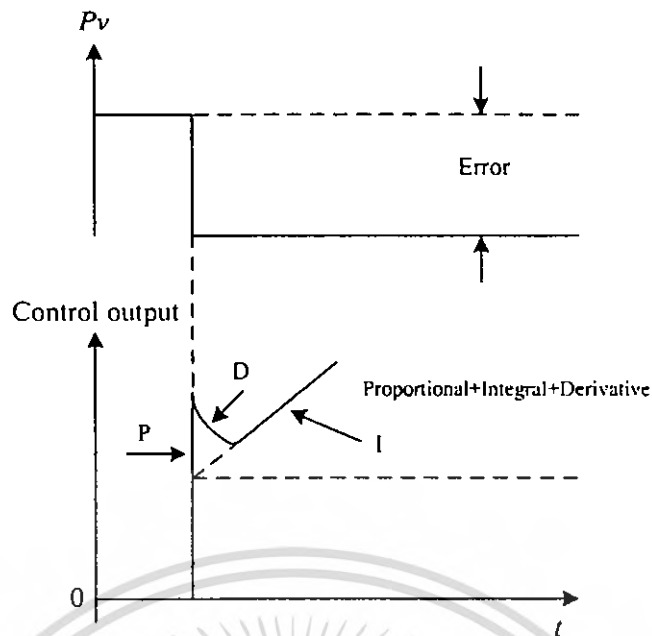
รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Derivative

4.3.5 การควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อตอบสนองของระบบควบคุมให้มีสมรรถนะเป็นไปตามค่าที่ต้องการจึงใช้การควบคุมทั้ง 3 แบบร่วมกัน ซึ่งจะทำได้การควบคุมแบบ PID ที่มีสมการดังต่อไปนี้

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PID (Direct action)

จากรูปที่ 4.9 เมื่อการควบคุม PID เอาต์พุตของตัวควบคุมจะเกิดพร้อมกันทั้ง 3 เทอม กล่าวคือ Error เกิดขึ้น เทอม P จะเป็นเอาต์พุตหลัก เทอม I ก็จะคำนวณผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟ แล้วสร้างสัญญาณควบคุม ในส่วนนี้จะเป็นการลดผลต่างระหว่าง S_p กับ P_v (offset) ลงไป และมีค่าเป็นศูนย์ในที่สุด (ที่ steady state)

บทที่ 5

ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์

อินเวอร์เตอร์ คือวงจรหรือระบบที่ทำหน้าที่แปลงแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage-Fed Inverter) และอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current-Fed Inverter)

สำหรับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันจะมีภาคเรียงกระแส ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับอินเวอร์เตอร์ ซึ่ง ω ค่าแรงดันใด ๆ ที่ภาคเรียงกระแสถูกสั่งให้คงค่านั้นไว้เมื่อโหลดเปลี่ยนแรงดันจะคงที่ แต่กระแสเปลี่ยนตามโหลด

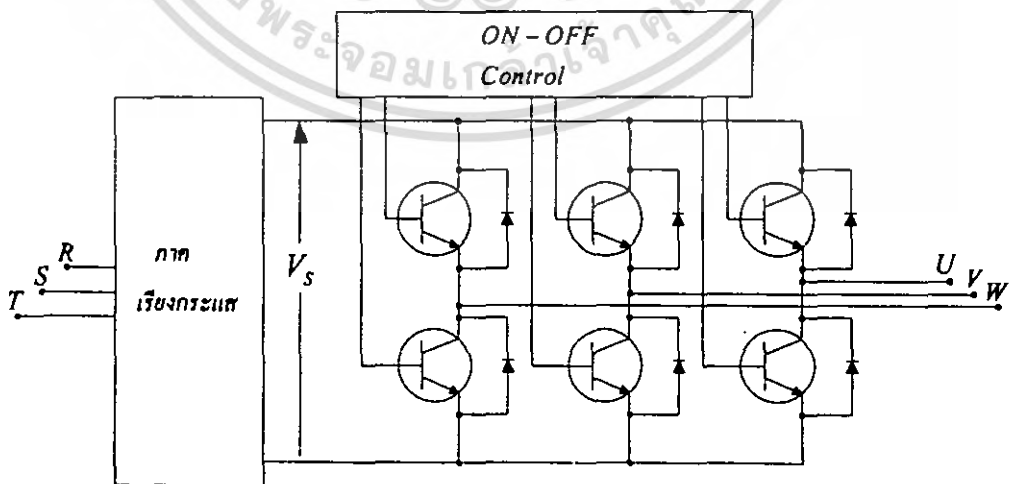
ส่วนอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสจะมีภาคเรียงกระแส ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ โดยที่ ω ค่ากระแส ค่าใดค่าหนึ่งเมื่อเปลี่ยนโหลด กระแสจะคงที่แต่แรงดันจะเปลี่ยนตามโหลด

อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันนั้น ถือได้ว่าเป็นประเภทอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

5.1 อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-Wave Inverter)

5.2 อินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation Inverter)

5.1 อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-Wave Inverter)



รูปที่ 5.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

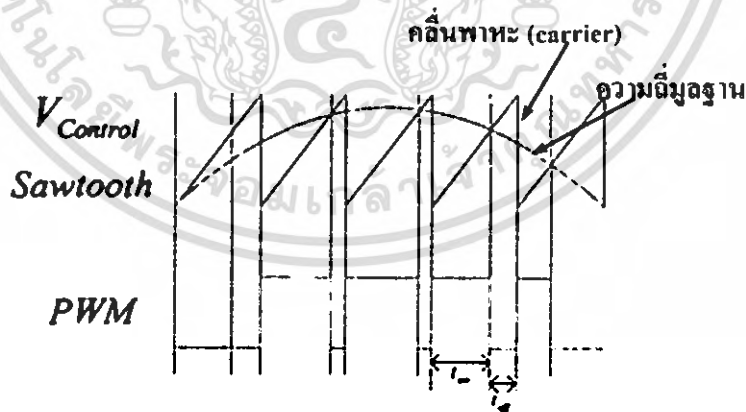
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส จะแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับ 3 เฟส ตามรูปเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 6 ตัว ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย V_s ซึ่งถ้า V_s มีแรงดัน 380 V ความถี่ 50 Hz อุปกรณ์ ON-OFF Control จะทำหน้าที่ควบคุมการตัดต่อการทำงานของทรานซิสเตอร์ให้แรงดันและความถี่ทางเอาต์พุตมีค่าตามต้องการ ซึ่งแรงดันทางด้านเอาต์พุตตามรูปจะมีทั้งหมด 3 จุด คือจุด U จุด V และจุด W โดยการนำเอาต์พุตไปต่อกับมอเตอร์

ในการเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์โดยให้แรงบิดคงที่ จำเป็นจะต้องควบคุมแรงดันกับความถี่ให้เป็นสัดส่วนเดียวกัน เพื่อให้แรงดันส่วนความถี่ (V/f) คงที่ สำหรับอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้ เมื่อเปลี่ยนความถี่ที่ภาคอินเวอร์เตอร์ก็จะต้องเปลี่ยนแรงดัน V_s ตาม ผลของการทำงานในลักษณะนี้ได้สร้างข้อเสียหลายประการ ดังนั้นจึง ได้มีผู้คิดค้นอินเวอร์เตอร์แบบใหม่ขึ้นคือ อินเวอร์เตอร์แบบ SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

5.2 อินเวอร์เตอร์แบบ SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

SPWM แบบซายน์ เป็นการนำเอาสัญญาณคลื่นรูปซายน์มามอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม โดยสัญญาณรูปคลื่นซายน์เป็นสัญญาณของความถี่มูลฐาน ซึ่งเป็นความถี่เดียวกับความถี่มูลฐานที่มอเตอร์จะได้รับ ส่วนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมจะคลื่นพาหะ (Carrier) จะทำหน้าที่ร่วมกับสัญญาณความถี่มูลฐานเพื่อปรับให้ระดับแรงดันประสิทธิผล (V_{rms}) เปลี่ยนแปลงไปเพื่อรักษาแรงดันส่วนความถี่ (V/f) ให้คงที่

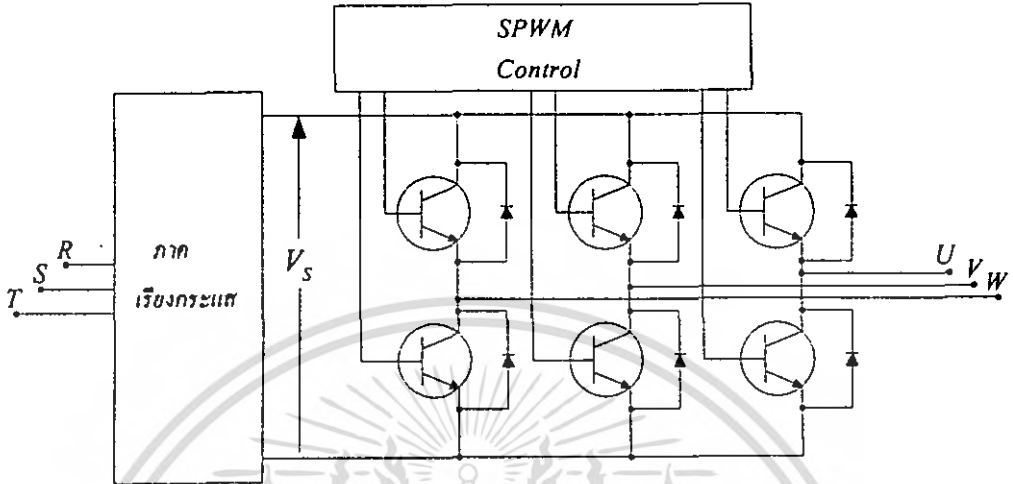


รูปที่ 5.2 หลักการสร้างสัญญาณ SPWM

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า สัญญาณ SPWM ได้จากนำสัญญาณรูปคลื่นซายน์ความถี่เท่ากับ ความถี่ที่ต้องการมามอดูเลตกับคลื่นพาหะรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีความถี่สูงกว่ารูปคลื่นซายน์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPWM ที่ได้จะเกิดจากการเปรียบเทียบจุดตัดของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจุดตัดนี้จะเป็นตัวกำหนดการ ON-OFF ของอุปกรณ์กำลังที่ภาคอินเวอร์เตอร์ โดยอุปกรณ์กำลังของอินเวอร์เตอร์จะทำงานเป็นแบบสวิตซ์ซึ่ง



รูปที่ 5.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ SPWM

จากรูปที่ 5.3 โหลดที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ SPWM นี้คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรืออาจจะเป็นโหลดชนิดอื่นก็ได้ สำหรับโหลดที่มอเตอร์กระแสสลับนั้นก็จะมีทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส ให้เลือกใช้ด้วย สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทดลองจะเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ดังนั้นจะใช้มอเตอร์ 3 เฟสเป็นโหลด โดยการทำงานของมอเตอร์จะมีขดลวดสเตเตอร์ เมื่อจ่ายแรงดันเข้าขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน โดยความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะเป็นความเร็วซิงโครนัส (N_s) ตามสมการที่ 5.1

$$N_s = 120f/P \quad (5.1)$$

ในขณะที่สนามแม่เหล็กหมุนไปจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวนำบนแกนโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์เหนี่ยวนำสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมา และมีกระแสไหลในตัวนำจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมาแม่เหล็กบนสเตเตอร์จะผลักสนามแม่เหล็กที่ตัวนำโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ได้ตามกฎของฟาราเดย์

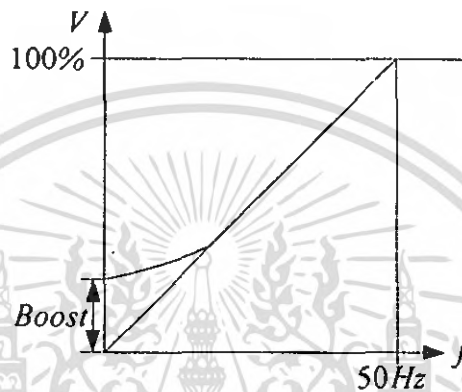
การควบคุมให้อัตราส่วนแรงดันส่วนความถี่ (V/f) คงที่ จะทำให้ได้แรงบิดคงที่ เนื่องจากสมการแรงบิดจะแปรผันตรงกับเส้นแรงแม่เหล็ก แต่ถ้าป้อนแรงดันเกินจุดที่ V/f คงที่ จะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัว แต่จะทำให้มอเตอร์กินกระแสเพิ่มมากขึ้น

ในรูปของการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานอินเวอร์เตอร์นอกจากจะรักษาอัตราส่วน V/f ให้คงที่แล้วยังสามารถขยายช่วงความเร็วมอเตอร์ให้สูงขึ้นหรือต่ำกว่าความเร็วพิกัดได้ โดยการปรับความถี่ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ที่ค่าความเร็วพิกัด (แรงดันพิกัด)

การใช้งานช่วงที่ 2 ของ Constant V/f Ratio คือการใช้งานที่ต่ำกว่าความเร็วพิกัดแรงดันที่ต่ำที่สุดเท่ากับที่เกิดกับสเตเตอร์ (Stator IR Drop) ในขณะที่ปรับความเร็วลดลงเข้าใกล้ 0 Hz และเพื่อให้ฟลักแม่เหล็กคงที่ที่ความเร็วต่ำ แรงดันที่ป้อนจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยผลของความต้านทานที่สเตเตอร์ การชดเชยดังกล่าวเรียกว่า Voltage Boost ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การชดเชยแรงดันเพื่อให้ฟลักแม่เหล็กคงที่ขณะแรงดันต่ำ

บทที่ 6

โครงสร้าง หลักการทำงาน

ในการออกแบบเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัตินี้ ผู้จัดทำโครงการได้นำความรู้ และทฤษฎีจากที่กล่าวมาในบทก่อนหน้ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งการออกแบบได้แบ่งโครงสร้าง ออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนของการพ่นสีเปลือกไข่ ส่วนของการอบสีเปลือกไข่และส่วน ของสายพานลำเลียง โดยหลักการทำงานในส่วนของการพ่นสีเปลือกไข่นั้นจะใช้หัวพ่นสีแบบ Air Atomizing ซึ่งการพ่นจะใช้การผสมระหว่างสีและอากาศ ทำให้สีที่ออกมาเป็นอนุภาคเล็ก โดยส่วนของสีที่จะเข้าหัวพ่นนั้น ได้ออกแบบใช้ถังแรงดันสีแทนการใช้ปั๊มสีเพื่อป้องกันการอุดตัน ในตัวปั๊มสี ส่วนของการอบสีเปลือกไข่ได้ใช้อินฟราเรดฮีทเตอร์ในการสร้างความร้อนที่สีบน เปลือกไข่ โดยจะใช้เวลาในการอบสีประมาณ 4 นาที จึงทำให้สีแห้ง

ด้วยโครงสร้างของเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติที่ออกแบบมีขนาดใหญ่ ทำให้ ต้องใช้งบประมาณสูงในการทำทั้งหมดที่ได้ออกแบบ รวมทั้งโครงการนี้ทำเพียงคนเดียว โครงการนี้จึงทำเสร็จเพียงส่วนของการพ่นสีและการควบคุมความร้อนในการอบเปลือกไข่เท่านั้น อย่างไรก็ตามผู้จัดทำจะขอกำลังเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติต้นแบบที่ผู้ทำได้ออกแบบไว้ ทั้งระบบในบทต่อไปเพื่อเป็นแนวทางที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต



รูปที่ 6.1 แสดงเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติในส่วนของการพ่นสีและการอบ

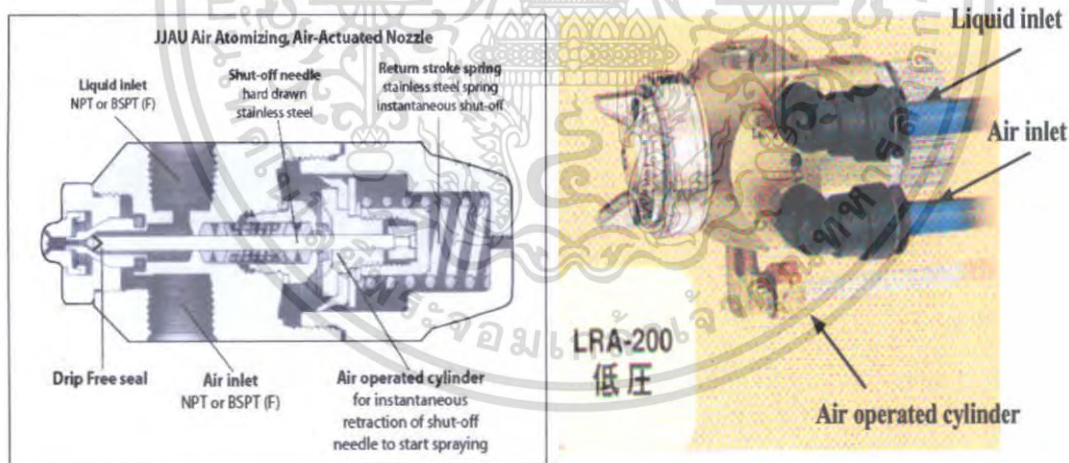
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 ส่วนประกอบของส่วนพ่นสีเปลือกไข่

ส่วนของชุดพ่นสีเปลือกไข่ประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้

6.1.1 หัวสเปรย์แบบ Air Atomizing

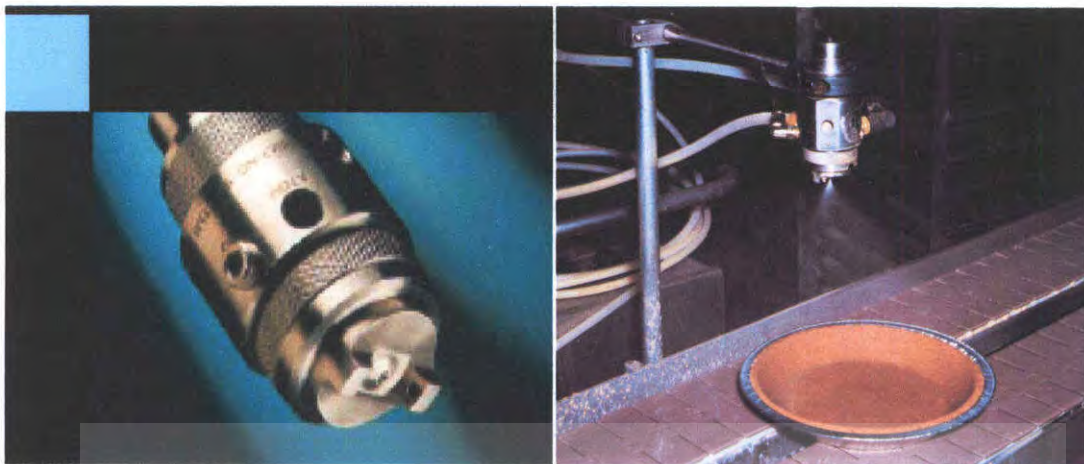
เป็นหัวสเปรย์ที่แตกต่างจาก Spray Gun ทั่วไป คือสามารถตอบสนองไวต่อแรงการใช้งานมากกว่า และใช้หัวเข็มเปิดปิดทำให้ระยะเวลาเปิดปิดแม่นยำ อีกทั้งยังส่งผลต่อการควบคุมปริมาณสี ระยะและความกว้างของสเปรย์ หัวสเปรย์แบบ Air Atomizing จะมีทางเข้าของลม 2 ช่องทาง และทางเข้าของสี 1 ช่อง ทางเข้าของลมช่องทางที่ 1 จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของสเปรย์และความแรงของการพ่น ทางเข้าของลมช่องทางที่ 2 จะเป็นตัวควบคุมการเปิดปิดของหัวพ่น ทั้ง 2 ช่องทางของลมนั้นสามารถปรับได้โดยใช้ Regulator มาช่วย โดยทั่วไปหัวสเปรย์แบบ Air Atomizing จะทำจาก Stainless Steel ทั้งชิ้น ทำให้ใช้งานได้นานและยังทนต่อแรงดันสูงอีกด้วย โดยในรูปที่ 6.2 (ก) แสดงภาพตัดแบ่งลักษณะภายในของหัวสเปรย์ รูปที่ 6.2 (ข) แสดงช่องต่อใช้งานของหัวสเปรย์ รูปที่ 6.2 (ค) แสดงหัวสเปรย์คุณภาพสูงที่ทำจาก Stainless Steel ทั้งชิ้น และในรูปที่ 6.2 (ง) แสดงการประยุกต์การใช้งานหัวสเปรย์



(ก) แสดงภาพตัดแบ่งลักษณะภายใน

(ข) แสดงช่องต่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



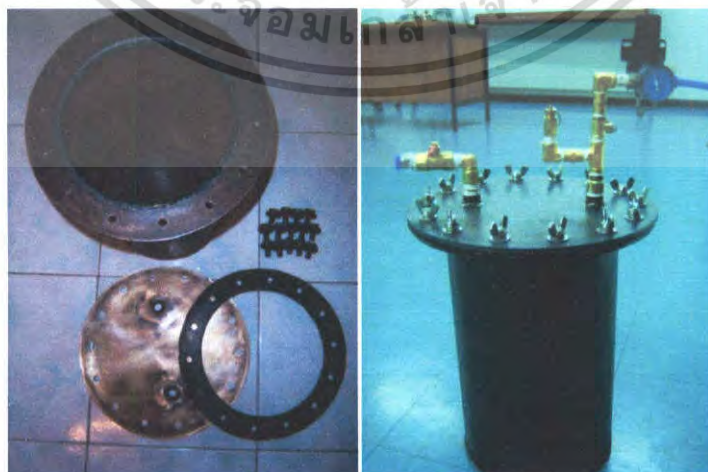
(ค) แสดงหัวสเปรย์คุณภาพสูง

(ง) แสดงการประยุกต์การใช้งาน

รูปที่ 6.2 หัวสเปรย์แบบ Air Atomizing

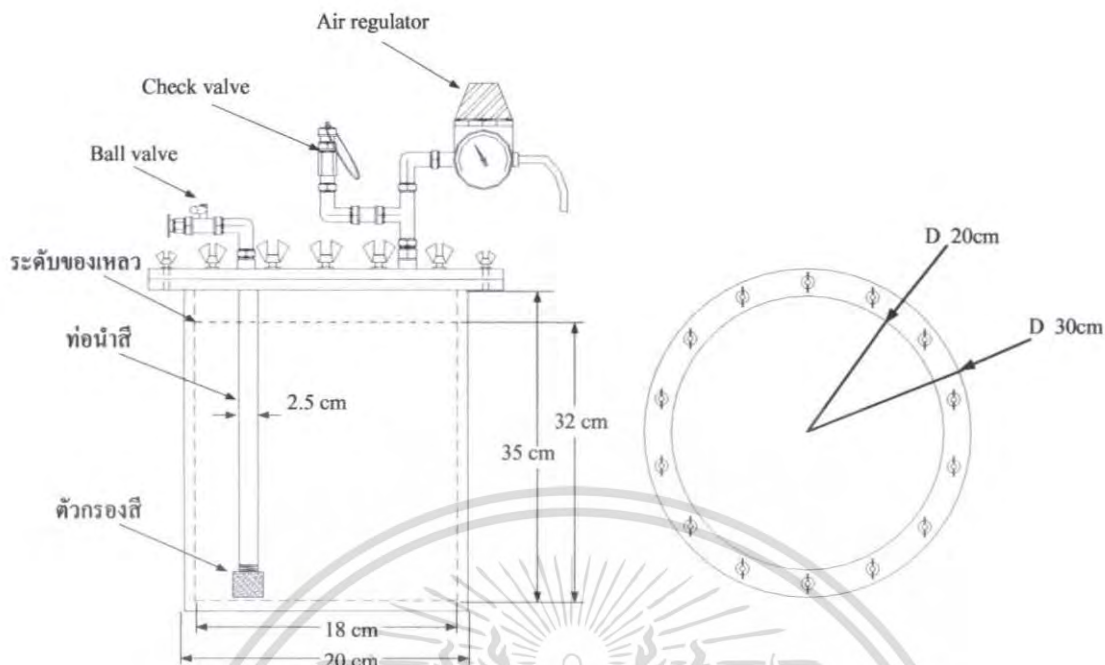
6.1.2 ถังแรงดันดี

ถังแรงดันดีที่ได้ออกแบบนี้สามารถนำไปใช้ทดแทนปั๊มดี เพื่อเป็นการป้องกันการอุดตันในตัวปั๊มดี ง่ายต่อการดูแลรักษาและเพื่อความต่อเนื่องของแรงดันดี โดยจะใช้การอัดลมที่ควบคุมแรงดันแล้วอัดลงไปในถังแรงดันดี ส่งผลให้ดีที่อยู่ภายในไหลขึ้นมาทางท่อหน้าดี โดยถังแรงดันดีที่ได้ออกแบบนี้สามารถทนแรงดันได้มากกว่า 7 บาร์จึงมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยในรูปที่ 6.3 (ก) แสดงถังแรงดันดีก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ ในรูปที่ 6.3 (ข) แสดงถังแรงดันดีในขณะพร้อมใช้งาน ในรูปที่ 6.3 (ค) แสดงการกำหนดขนาดของตัวถัง และในรูปที่ 6.3 (ง) แสดงการกำหนดขนาดของฝาถัง



(ก) แสดงถังแรงดันดีก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ (ข) แสดงถังแรงดันดีในขณะพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) แสดงการกำหนดขนาดของตัวถัง

(ง) แสดงการกำหนดขนาดของฝาถัง

รูปที่ 6.3 ถังแรงดันสี

6.1.3 Solenoid Valve

โซลินอยด์วาล์วที่นำมาใช้ควบคุมนั้นมีอยู่ 2 แบบ คือโซลินอยด์วาล์วแบบ 2 ทาง และโซลินอยด์วาล์วแบบ 3 ทาง (3/2) โดยโซลินอยด์วาล์วแบบ 2 ทางนั้นเอาไว้ควบคุมการเปิด-ปิด อากาศที่จะเข้าไปผสมกับสีที่หัวพ่น ส่วนโซลินอยด์วาล์วแบบ 3 ทาง (3/2) นั้นจะควบคุมการ เปิด-ปิดของเข็ม Shut off ซึ่งเมื่อโซลินอยด์วาล์วสั่งปิดเพื่อหยุดจ่ายลม ลมที่ค้างอยู่ในท่อก็จะระบาย ที่ง้อออกไป

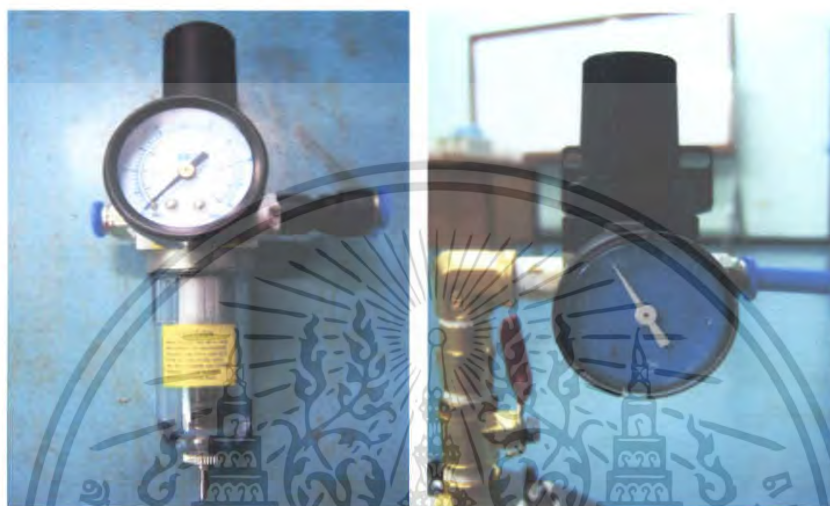


รูปที่ 6.4 Solenoid Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 Air Filter and Air Regulator

เครื่องกรองลมอัดและควบคุมลมอัดนี้ประกอบด้วยวาล์วลดความดันและชุดกรอง ซึ่งจะนำไปใช้ 2 ส่วน คือส่วนของการควบคุมแรงดันลมก่อนเข้าถังสีเพื่อจะได้แรงดันของสีตามที่ต้องการ ส่วนที่ 2 คือการควบคุมแรงดันลมที่จะเข้าหัวพ่นซึ่งในส่วนนี้ชุดกรองจะสามารถป้องกันการอุดตันที่หัวพ่น โดยจะกรองสิ่งสกปรกที่ตกค้างในท่อลมออกให้หมดได้

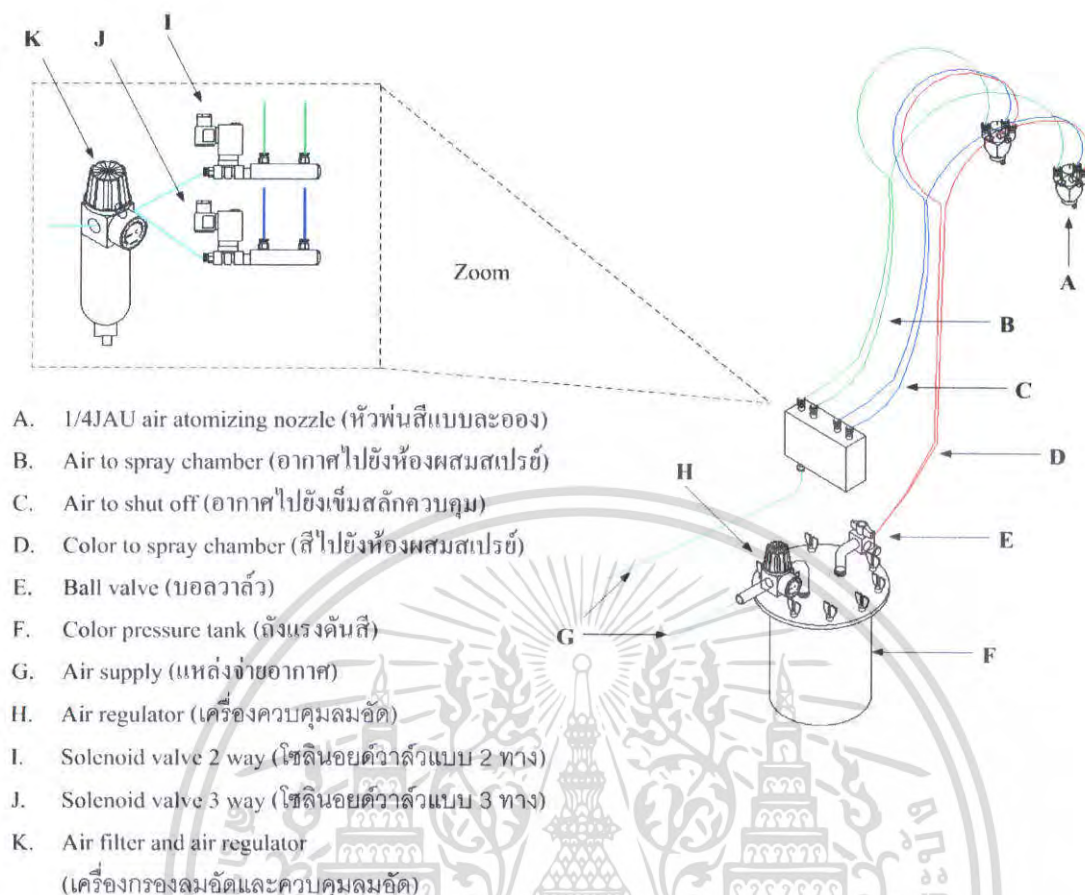


รูปที่ 6.5 Air Filter and Air Regulator

6.1.5 การติดตั้งและการควบคุมการทำงานของหัวพ่น

การต่อลมเข้าที่หัวสเปรย์จะต้องมีการกรองฝุ่นละอองและความชื้นจากลมเสียก่อน ซึ่งทำได้โดยใช้ Air filter และสามารถปรับระยะความกว้างของสเปรย์โดยใช้ Air regulator การควบคุมการเปิด-ปิดของลมจะใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นตัวเปิด-ปิด

ส่วนของสีที่จะเข้าที่หัวสเปรย์จะต้องมีการอัดลมเข้าถังสีเสียก่อน โดยสีจะไหลผ่านตะขวยกรองตะกอน เพื่อกรองตะกอนสีหลังจากนั้นจะไหลไปยังที่หัวสเปรย์โดยความดันของสีที่ไหลเข้าสามารถปรับได้โดยใช้ Air regulator ของลมที่อัดเข้าถังสี



รูปที่ 6.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนของการพ่นสี

การควบคุมการทำงานของหัวพ่นแบ่งออกเป็น 3 ช่วงการทำงานคือ

1. ช่วงการเปิดการทำงานของหัวพ่น ทำได้โดยเปิดบอลวาล์ว (Ball Valve) เพื่อให้สีเข้าไปยังหัวพ่น พร้อมทั้งกดสวิทช์สั่งเปิด โซลินอยด์วาล์วแบบ 2 ทาง ที่ใช้ควบคุมทางเข้าของลม แล้วจึงกดสวิทช์สั่งเปิด โซลินอยด์วาล์วแบบ 3 ทางที่ใช้ควบคุมเข็ม Shut off
2. ช่วงการปิดการทำงานของหัวพ่นแบบไม่ถาวร ทำได้โดยการกดสวิทช์สั่งเปิด โซลินอยด์วาล์วแบบ 3 ทางที่ใช้ควบคุมเข็ม Shut off
3. ช่วงการปิดการทำงานของหัวพ่นแบบถาวร ทำได้โดยปิดโซลินอยด์วาล์วทั้ง 2 ตัวเพื่อปิดเข็ม Shut off และหยุดจ่ายลมไปยังหัวพ่น ซึ่งการปิดแบบนี้จะส่งผลให้ไม่มีสีตกค้างในหัวพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ส่วนของการอบสีเปลือกไข่

ส่วนของชุดอบสีเปลือกไข่ประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้



รูปที่ 6.7 แสดงเครื่องฟ้นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติในส่วนของการอบสีเปลือกไข่

6.2.1 ส่วนของการตรวจวัดอุณหภูมิ

ส่วนของการตรวจวัดอุณหภูมิได้ประยุกต์ใช้อาร์ทีดี (RTD) Pt100 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิตามหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน โดยที่ Pt100 จะมีความต้านทานที่ 100 โอห์ม ที่ 0°C และมีความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อาร์ทีดีที่ใช้คือยี่ห้อ Temperature sensors รุ่น RB-10 (Pt-100) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2mm ความยาว 150mm สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด 800°C

6.2.2 ส่วนของตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิในระบบทำความร้อน โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีฟังก์ชันการควบคุมอยู่หลายแบบแล้วแต่กรณีการควบคุม เช่น การควบคุมแบบ ON-OFF แบบ PI และแบบ PID การทำงานของตัวควบคุมอุณหภูมิจะรับอินพุตซึ่งเป็นผลของอุณหภูมิจาก Pt 100 และจะส่งเอาต์พุต 4-20 mAdc. ไปควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้า (Phase Control) เพื่อควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนอินฟราเรด ตัวควบคุมอุณหภูมิที่ใช้คือยี่ห้อ Shinko รุ่น JSC-33A ซึ่งใช้ไฟ 120/240V AC 50/60 Hz, 24V AC/DC 50/60 Hz รูปแบบการควบคุม PID,PI,PD,P,ON/OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 ตัวควบคุมอุณหภูมิ

6.2.3 เครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้า (Phase Control)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Controllers) ในรูปแบบของการควบคุมแรงดันประสิทธิผล (V_{rms}) ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จะจ่ายไปยังโหลด โดยใช้อุปกรณ์ไทรสเตอร์มาเป็นสวิตช์เชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกับโหลด เพื่อควบคุมแรงดันประสิทธิผลที่จ่ายให้กับโหลดซึ่งในที่นี้คือ ฮีตเตอร์อินฟราเรดให้มีค่าตามที่ต้องการ เครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ใช้คือยี่ห้อ Union รุ่น UN-050 Single phase กระแสสูงสุดชั่วขณะ 50A กระแสสูงสุดเมื่อใช้งานต่อเนื่อง 40A กำลังวัตต์ 12.5kW สัญญาณอินพุต 4-20mA, 0-20mA, 1-5V DC, 0-5V DC



รูปที่ 6.9 Phase Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 ฮีทเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

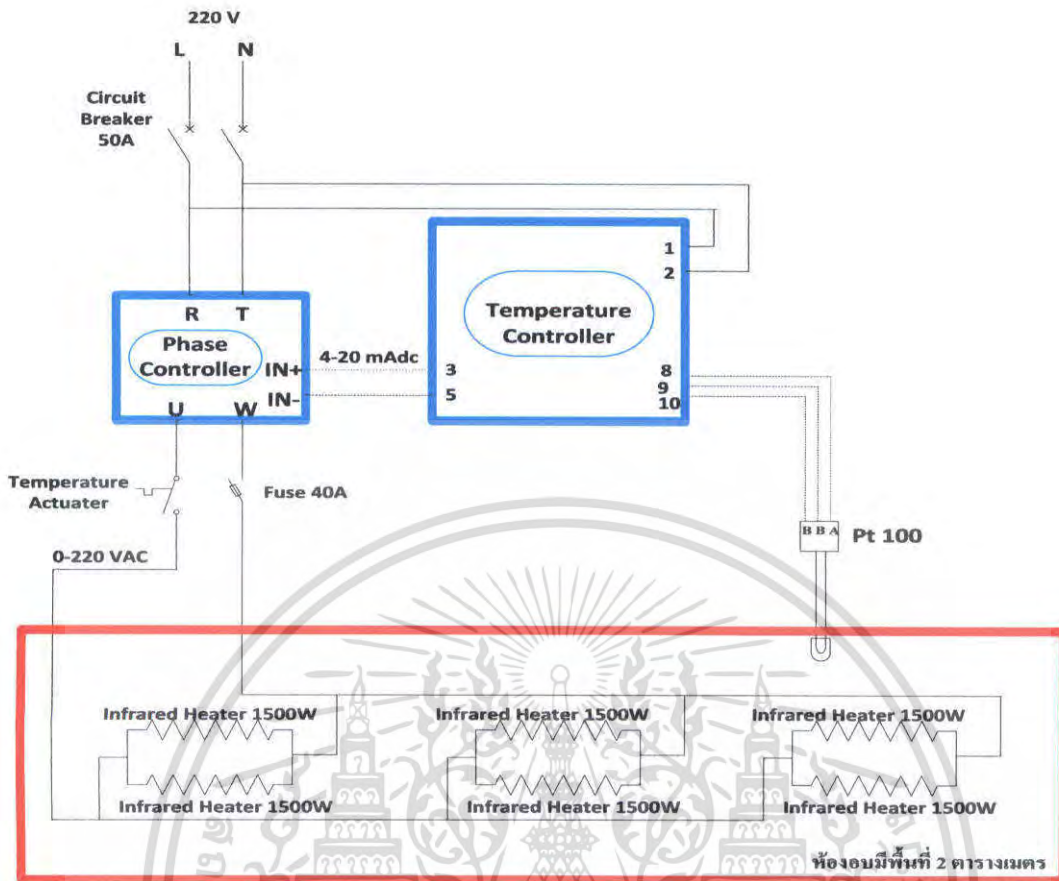
ฮีทเตอร์อินฟราเรดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงอินฟราเรดและส่งไปยังวัตถุ โดยเป็นแสงคลื่นยาวซึ่งรังสีคลื่นยาวนี้ จะทำให้โมเลกุลของสีที่ได้รับรังสีนี้เข้าไปเกิดการสั่นทำให้เกิดความร้อนขึ้น ฮีทเตอร์อินฟราเรดที่ใช้คือยี่ห้อ Infrapara รุ่น IH H 17 x 1500/220-1500W ชนิดแบบแท่ง กำลังไฟฟ้า 1500 วัตต์ ติดตั้งในแนวนอน ความยาว 1.5m



รูปที่ 6.10 Infrared Heater

6.2.5 การติดตั้งและการควบคุมอุณหภูมิ

การติดตั้งและการควบคุมอุณหภูมิในส่วนของการทดลองและเครื่องต้นแบบที่จะเสนอแนะนั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ในส่วนเครื่องต้นแบบที่จะเสนอแนะนั้นฮีทเตอร์อินฟราเรดที่ใช้จะใช้ถึง 6 แท่งเนื่องจากสายพานยาว ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมโดยรวมเป็นดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 แสดงวงจรควบคุมอุณหภูมิ

การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยเริ่มจากสังเกตเห็นรูปแบบการทำงานและตั้งจูนเครื่องแบบอัตโนมัติตามคู่มือการใช้งานแล้ว การทำงานในระบบควบคุมอุณหภูมิเริ่มจากตัวควบคุมจะรับสัญญาณอินพุต (PV) ที่ได้จาก Pt 100 จากการวัดในกระบวนการจริง (Pt 100 จะติดตั้งใกล้กับฟองไข่จากทางด้านข้าง) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (SP) ที่ต้องการควบคุม เมื่อได้ผลต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับสัญญาณที่วัดมา (DV) ตัวเครื่องจะคำนวณเพื่อผลิตสัญญาณควบคุม (MV) ออกมาควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามต้องการ โดยจะส่งเอาท์พุต 4-20 mAdc. ออกไปควบคุมเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าให้ผลิตแรงดันไฟฟ้า ณ ขณะนั้น (0-220 V AC) ที่เหมาะสมแก่ฮีตเตอร์อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

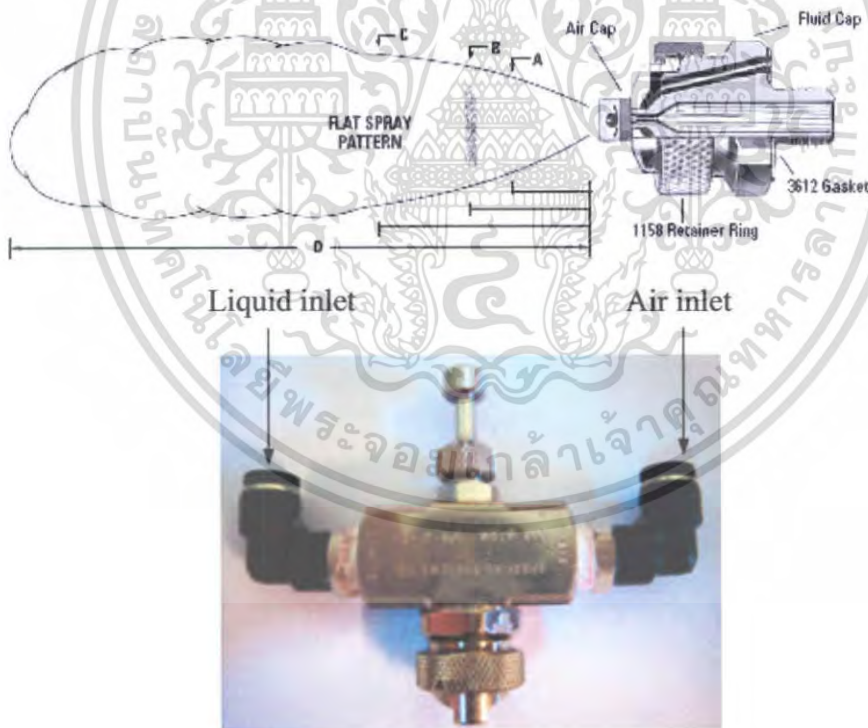
บทที่ 7

การทดลอง

7.1 การทดลองการพ่นสีและการอบสี

7.1.1 ในส่วนการพ่นสี

ได้เลือกใช้หัวพ่นแบบ Air Atomizing แบบไม่มี Shut off ของบริษัท Pavin รุ่น SUE 15 มาเป็นหัวพ่นในการทดลอง ซึ่งรุ่นนี้จะแตกต่างจากหัวพ่นแบบ Air Atomizing ในบทที่ 6 คือในรุ่นนี้จะไม่มี Shut off จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดหัวพ่นได้โดยตรง ระยะการติดตั้งจากสเปคของหัวพ่นได้กำหนดให้ติดตั้ง ระยะห่างจากวัตถุที่จะพ่นถึงหัวพ่น ที่จุด B คือ 16.5 ซม. ความดันลม 2.5 บาร์ ความดันสี 1.5 บาร์ ซึ่งที่จุด B ความดันสีและลม ณ จุดนี้จะทำให้สีที่ออกมามีความทั่วถึงมากที่สุด



รูปที่ 7.1 หัวพ่นแบบ Air Atomizing แบบไม่มี Shut Off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 ในส่วนการอบสี

ได้เลือกใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มม. (ติดตั้งในแนวนอน) มีความยาว 30 ซม. กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ยี่ห้อ Infrapara มาติดตั้งที่ระยะห่างจากวัตถุที่จะอบถึงฮีตเตอร์ที่ระยะ 15 ซม.

7.2 การตั้งค่าในการทดลอง

1. ปรับความกว้างของระยะสเปรย์ โดยการหมุนปรับที่บริเวณเข็มด้านหลังของหัวพ่น
2. ปรับความดันลมที่จะเข้าถึงแรงดันสีเพื่อให้ความดันสีออกมา 1.5 บาร์
3. ปรับความดันลมที่จะเข้าหัวพ่นที่ 2.5 บาร์
4. เปิดเบรกเกอร์จ่ายไฟให้ฮีตเตอร์อินฟราเรด เพื่อรอให้อุณหภูมิฮีตเตอร์ถึงจุดสูงสุดเป็นเวลา 5 นาที

7.3 ขั้นตอนการทดลองการพ่นสีและการอบสี

1. จ่ายไฟ 24 V ให้กับโซลินอยด์วาล์วเพื่อสั่งเปิดความดันลมที่จะเข้าหัวพ่น
2. เปิดบอวาล์วที่ถึงแรงดันสีเพื่อให้สีไหลเข้าหัวพ่น
3. เมื่อสีพ่นติดเปลือกไขจนทั่วถึง จึงนำเข้าสู่อุณหภูมิอบสี
4. การอบสีจะอบที่ระยะ 15 ซม. เป็นเวลา 4 นาที
5. ใช้มือกลับด้านไขในส่วนที่ยังไม่ได้พ่น(ส่วนด้านล่าง) ขึ้นมาทำตามขั้นตอน 1-4 อีกครั้ง



รูปที่ 7.2 เครื่องทดลองการพ่นสีและอบสี

7.4 แสดงผลอุณหภูมิการอบสีเปลือกไขที่ระยะ 15 ซม. และ 10 ซม.

การนำฮีตเตอร์อินฟราเรดมาติดตั้งให้ระยะห่างจากฟองไขถึงฮีตเตอร์อินฟราเรด เป็นระยะที่ 15 ซม. และ 10 ซม. เพื่อให้ทราบว่า อุณหภูมิเท่าใดจะมีผลต่อสภาพรวมของไข และรวมถึงการไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งของสีเปลือกไข่ ซึ่งจากการทดลองนี้เพื่อที่จะทราบถึงอุณหภูมิของเปลือกไข่มากที่สุด จึงได้ใช้อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์มาใช้ในการวัด ซึ่งการวัดจะนำหัวอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ถือห่างจากฟองไข่ที่จะอบที่ระยะ 12.5 ซม. ซึ่งจะแสดงผลการวัดไว้ดังนี้

7.4.1 การทดลองการอบสี ที่ระยะ 15 ซม.

ตารางที่ 7.1 แสดงผลอุณหภูมิขณะอบสี ที่ระยะ 15 ซม.

เวลา	อุณหภูมิ c° ที่พื้นผิวขณะอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
30 วินาที	58	62	65
45 วินาที	68	72	72
60 วินาที	80	86	87
75 วินาที	88	95	95
90 วินาที	98	104	106
105 วินาที	102	110	110
2 นาที	110	116	118
2 นาที 30 วินาที	120	122	122
3 นาที	120	124	122
3 นาที 30 วินาที	120	124	122
4 นาที	122	122	124

ตารางที่ 7.2 แสดงผลอุณหภูมิหลังจากผ่านการอบสีที่ระยะห่าง 15 ซม.

การทดลอง	อุณหภูมิ c° ที่พื้นผิว หลังจากผ่านการอบสี	
	พื้นผิวด้านบน	พื้นผิวด้านล่าง
ครั้งที่ 1	84	52
ครั้งที่ 2	86	54
ครั้งที่ 3	86	54

สรุปจากการทดลองการอบสี ที่ระยะ 15 ซม. จนสีเปลือกไข่แห้งใช้เวลาในการอบ 4 นาที โดยอุณหภูมิตรงพื้นผิวเปลือกไข่จะมีความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าประมาณ 122-124 c° จะมีอุณหภูมิต่ำ โดยในตารางที่ 7.1 และ 7.2 นั้นมีค่าอุณหภูมิไม่สอดคล้องกัน เพราะในตารางที่ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นวัดอุณหภูมิขณะใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดอบสียู่ ทำให้ค่าอุณหภูมิสูงกว่าปกติเนื่องจากรังสีอินฟราเรดจากฮีตเตอร์สะท้อนเข้าสู่หัวอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ แต่ในตารางที่ 7.2 นั้นเป็นการวัดในขณะที่ปิดอบเสร็จ (ปิดฮีตเตอร์อินฟราเรดแล้ว) ทำให้ค่าอุณหภูมิที่ออกมาคืออุณหภูมิที่แท้จริงของเปลือกไข่ ผลจากการเก็บไข่ที่ได้ผ่านการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือนยังคงมีคุณภาพ แต่เนื้อไข่ขาวที่อยู่ภายในปรากฏมีการหดตัวกว่าปกติเล็กน้อย

7.4.2 การทดลองการอบสี ที่ระยะ 10 ซม.

ตารางที่ 7.3 แสดงผลอุณหภูมิขณะอบสี ที่ระยะ 10 ซม.

เวลา	อุณหภูมิ c° ที่พื้นผิวขณะอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
30 วินาที	77	83	80
45 วินาที	89	90	92
60 วินาที	103	100	97
75 วินาที	107	104	102
90 วินาที	115	104	110
105 วินาที	120	123	123
2 นาที	117	120	120
2 นาที 30 วินาที	124	124	117
3 นาที	122	122	120
3 นาที 30 วินาที	124	122	124

ตารางที่ 7.4 แสดงผลอุณหภูมิหลังจากผ่านการอบสีที่ระยะห่าง 10 ซม.

การทดลอง	อุณหภูมิ c° ที่พื้นผิว หลังจากผ่านการอบสี	
	พื้นผิวด้านบน	พื้นผิวด้านล่าง
ครั้งที่ 1	85	50
ครั้งที่ 2	85	52
ครั้งที่ 3	87	54

สรุปจากการทดลองการอบสี ที่ระยะ 10 ซม. จนสีเปลือกไข่แห้งใช้เวลาในการอบ 3 นาที 30 วินาที โดยอุณหภูมิตรงพื้นผิวเปลือกไข่จะมีความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

122-124 c° จะมีอุณหภูมิคงที่ โดยในตารางที่ 7.3 และ 7.4 นั้นมีค่าอุณหภูมิไม่สอดคล้องกัน เพราะในตารางที่ 7.3 นั้นวัดอุณหภูมิขณะใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดอบสีอยู่ทำให้ค่าอุณหภูมิสูงกว่าปกติ เนื่องจากรังสีอินฟราเรดจากฮีตเตอร์สะท้อนเข้าสู่หัวอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ แต่ในตารางที่ 7.4 นั้นเป็นการวัดในขณะที่ปิดอบเสร็จ (ปิดฮีตเตอร์อินฟราเรดแล้ว) ทำให้ค่าอุณหภูมิที่ออกมาคือ อุณหภูมิที่แท้จริงของเปลือกไข่ และผลจากการเก็บไข่ที่ได้ผ่านการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน ยังคงมีคุณภาพ แต่เนื้อไข่ขาวที่อยู่ภายในปรากฏมีการหดตัวกว่าปกติเล็กน้อย

โดยลักษณะและปริมาณการหดตัวของเนื้อไข่ขาวที่ผ่านการอบสีเปลือกไข่ที่ระยะ 10 ซม. และที่ระยะ 15 ซม. นั้นมีลักษณะใกล้เคียงกัน และจากการอบสีเปลือกไข่ที่ระยะห่างทั้ง 2 ระยะนี้ ผลปรากฏว่าใช้เวลาในการแห้งไม่เท่ากัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโคมสะท้อนที่ติดตั้งกับฮีตเตอร์อินฟราเรด อาจเพราะค่าจุดตัดของรังสีที่สะท้อนออกจากโคมในแต่ละโคมสะท้อนนั้นจะมีจุดตัดหนึ่งเท่านั้นที่ทำให้เกิดการแห้งที่เร็วที่สุด

7.5 การทดลองการวัดความหนืดของสี (Viscosity)

ความหนืด (Viscosity) เป็นแรงต้านภายในของของเหลว เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวต้านต่อการไหล ซึ่งมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของสีที่นำมาพ่นว่าอยู่ในช่วงของมาตรฐานที่เคยตั้งไว้หรือไม่ อีกทั้งยังมีผลต่อการเลือกซื้อหัวพ่นสี โดยการทดลองการวัดความหนืดได้เลือกใช้การวัดจากถ้วย DIN Cup เบอร์ 4 จากรูปที่ 7.3 ด้านซ้ายแสดงรูปลักษณะทั่วไปของถ้วย DIN Cup รูปด้านขวาเป็นรูปขณะการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 7.3 การวัดความหนืดของสี** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลองการวัดความหนืดของสี (Viscosity) เป็นดังนี้

1. เอาถ้วย DIN Cup จุ่มลงในสีให้ขอบถ้วย DIN Cup เสมอกับระดับของเหลว
2. ยกขึ้นพร้อมกับจับเวลา
3. หยุดเวลาตรงหยดสีหยดสุดท้ายที่ไหลแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการวัดความหนืดของสี

การทดลองครั้งที่	เวลา(วินาที)
1	22.71
2	22.68
3	22.70
4	22.70
5	22.73
6	22.62
7	22.42
8	22.29
9	22.86
10	22.75
ค่าเฉลี่ยเวลาในการทดลอง(วินาที)	22.65

สรุปผลการทดลองการวัดความหนืดของสี จากการทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้ง ค่าเฉลี่ยของเวลาอยู่ที่ 22.65 วินาที ค่าเวลาอยู่ระหว่าง 22.29-22.86 วินาที ฉะนั้นการเปรียบเทียบคุณภาพของสีครั้งต่อไปจะอยู่ระหว่างเวลาดังกล่าว

บทที่ 8

สรุปปัญหาและแนวทางการพัฒนาต่อ

8.1 สรุปปัญหา

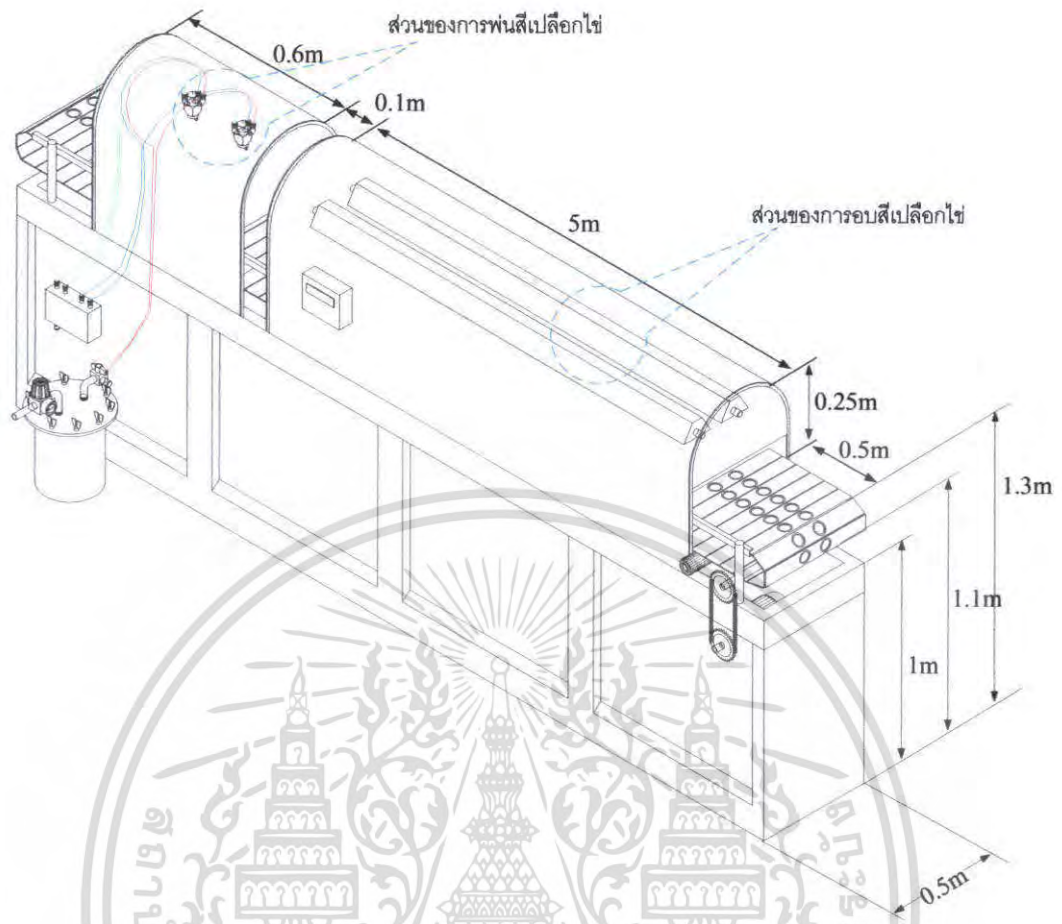
ในการทำโครงการนี้ การออกแบบเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติให้ได้ออกมาเป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถใช้ได้จริงนั้นประสบปัญหาเป็นอย่างมาก เนื่องจากการทำสายพานลำเลียงนั้นไม่สามารถหาซื้อในท้องตลาดได้ จึงต้องมีการออกแบบใหม่เพื่อให้สามารถลำเลียงไข่ในสภาวะที่ร้อนได้ ซึ่งในส่วนนี้เองที่ทำให้ประสบกับค่าใช้จ่ายที่สูงมาก เนื่องจากต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความร้อน น้ำหนักเบา และสายพานก็มีความยาวมาก ทำให้การออกแบบเครื่องต้นแบบนี้ไม่สามารถนำมาทดลองให้เห็นในสภาวะจริงได้

ดังนั้น ผู้จัดทำจึงได้จำลองในส่วนของการทำงานและการอบสีเปลือกไข่ให้ทราบว่าในความเป็นจริงนั้นการพ่นแบบดั้งเดิม โดยใช้มือพ่นและใช้ลมพัดเพื่อให้สีแห้งนั้นสามารถทดแทนโดยการใช้การพ่นแบบอัตโนมัติและใช้ระบบทำความร้อนที่สามารถลดเวลาจากปกติ การพ่นสีและการรอให้สีแห้งแบบดั้งเดิมนั้นต้องใช้เวลาเกือบ 45 นาที แต่ถ้าใช้ระบบตามที่ออกแบบสามารถย่นระยะเวลาเหลือเพียง 4 นาทีเท่านั้น

ในการทดลองในส่วนของ การอบสีเปลือกไข่ ต้องคำนึงถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงภายในฟองไข่ ซึ่งจากผลการทดลองอบด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด แล้วนำไปเก็บระยะเวลา 1 เดือน (ระยะเวลาของการสต็อกของร้านค้า) ยังคงมีคุณภาพใกล้เคียงเหมือนกับที่ไม่ได้ผ่านการอบ แต่เนื้อไข่ขาวที่อยู่ภายในปรากฏมีการหดตัวว่าปกติเล็กน้อยเนื่องจากเชื้อหุ้มเปลือกไข่แห้งกว่าปกติ ทำให้มีการระเหยของน้ำภายในฟองไข่ออกมาสู่ด้านนอก

8.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นของบทที่ 6 ว่าเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัตินี้ ผู้ทำได้ออกแบบ โดยมีโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนของการพ่นสีเปลือกไข่ ส่วนของการอบสีเปลือกไข่และส่วนของสายพานลำเลียง แต่ด้วยโครงสร้างที่ออกแบบมีขนาดใหญ่และต้องใช้งบประมาณสูงในการทำทั้งชุดที่ได้ออกแบบ รวมทั้งโครงการนี้ทำเพียงคนเดียว ทำให้โครงการนี้ทำเสร็จเพียงส่วนของการพ่นสีและการควบคุมความร้อนในการอบเปลือกไข่เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ผู้จัดทำได้ออกแบบเครื่องพ่นสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติต้นแบบไว้ทั้งระบบดังรูปที่ 8.1 ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางที่จะพัฒนาต่อได้ในอนาคต



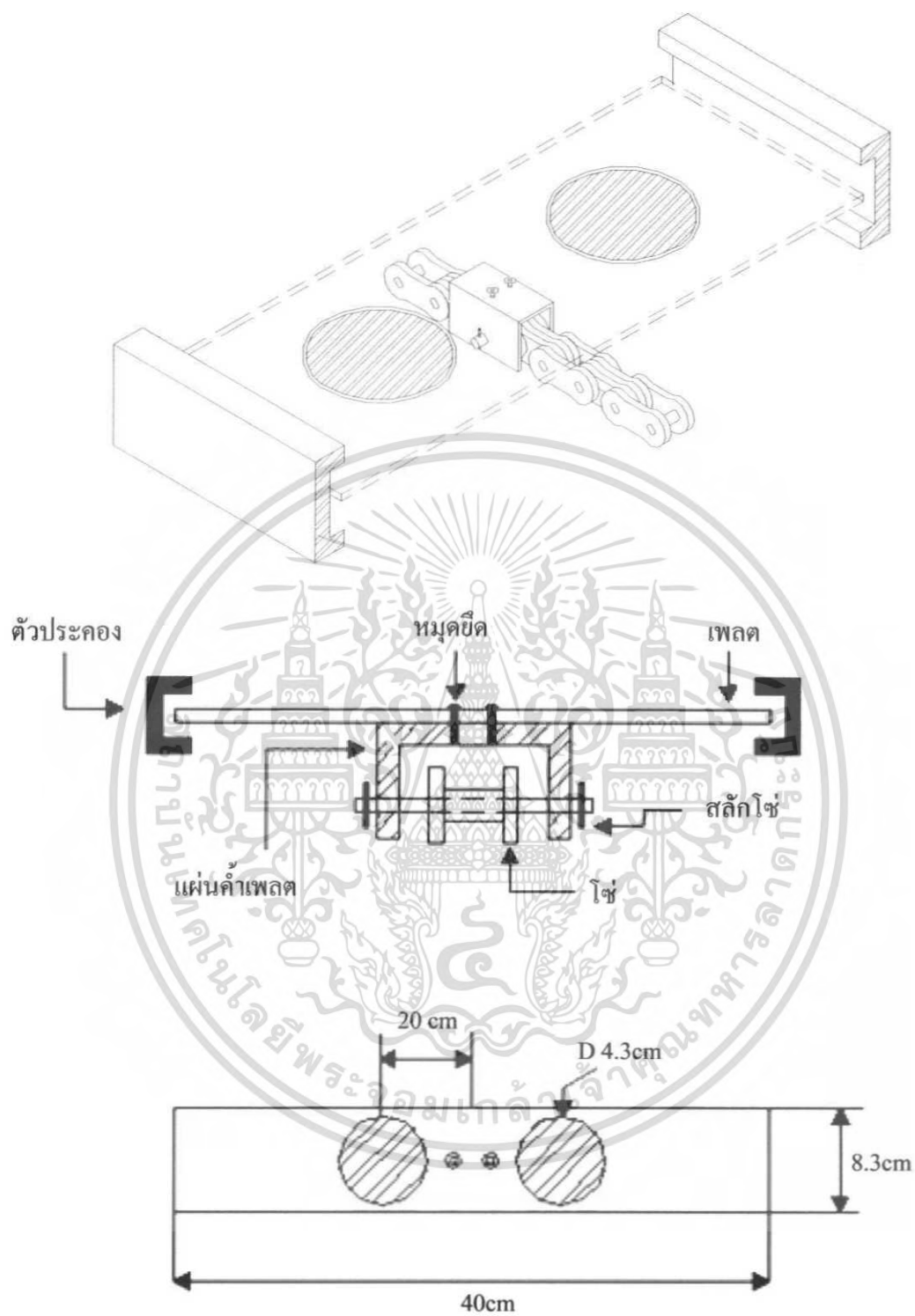
รูปที่ 8.1 โครงสร้างเครื่องพัดสีเปลือกไข่แบบอัตโนมัติ

8.2.1 ส่วนของสายพานลำเลียงมีส่วนประกอบดังนี้

8.2.1.1 สายพานลำเลียง

สายพานลำเลียงสามารถแยกส่วนประกอบออกเป็น 3 ส่วนคือ เพลต แผ่นค้ำเพลต ไซ้ โดยจากรูปที่ 8.2 จะเห็นว่าเพลตจะถูกยึดกับแผ่นค้ำเพลต และแผ่นค้ำเพลตนี้จะถูกยึดกับไซ้ ด้วยสลักไซ้ที่ยาวเป็นพิเศษจากรูปจะเห็นว่าเพลต 1 ชิ้นจะใช้ระยะไซ้ 3 ซี่ และจะถูกยึดเพียง 1 สลักเท่านั้น โดยสายพานลำเลียงทั้งระบบจะใช้เพลตและแผ่นค้ำเพลตอย่างละประมาณ 158 แผ่น เพลตและแผ่นค้ำเพลตนี้ทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 1/4" ทำให้มีน้ำหนักเบา ไม่เกิดสนิม ทำความสะอาดง่าย และสามารถทนความร้อนอีกด้วย แต่ก็มีราคาสูงด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 แสดงส่วนประกอบของสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.1.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยจะปรับขนาดแรงดันและความถี่ป้อนให้แก่มอเตอร์ ซึ่งทำให้มอเตอร์หมุนได้อย่างราบเรียบและคงที่ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้คือ Yaskawa VS-606V7 ซึ่งมีอินพุต Single Phase 230V,50/60 Hz และเอาต์พุต Three Phase 1.1 KVA,0.4 KW,230 V,5 A,0-400 Hz สามารถควบคุมความเร็ว Induction Motor 4 Pole ได้ 0-12000 RPM



รูปที่ 8.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

8.2.1.3 มอเตอร์เกียร์

เป็นอุปกรณ์ส่งผ่านกำลังเพื่อขับเคลื่อนระบบสายพานลำเลียง โดยที่มอเตอร์จะมีอุปกรณ์ทดรอบความเร็วมอเตอร์ลงด้วยอัตรา 1/80 ส่วนการควบคุมการทำงานของมอเตอร์สามารถควบคุมการทำงานได้จากอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์ที่ใช้คือ ยี่ห้อ Suntech Induction Motor 3 Phase , HP/kw 0.5/0.4 , 220/380 Volts , 4 Pole , 50 Hz , 3.5/2.0 Amps , 1380/1680 RPM (17.25/21 RPM)



รูปที่ 8.4 มอเตอร์เกียร์

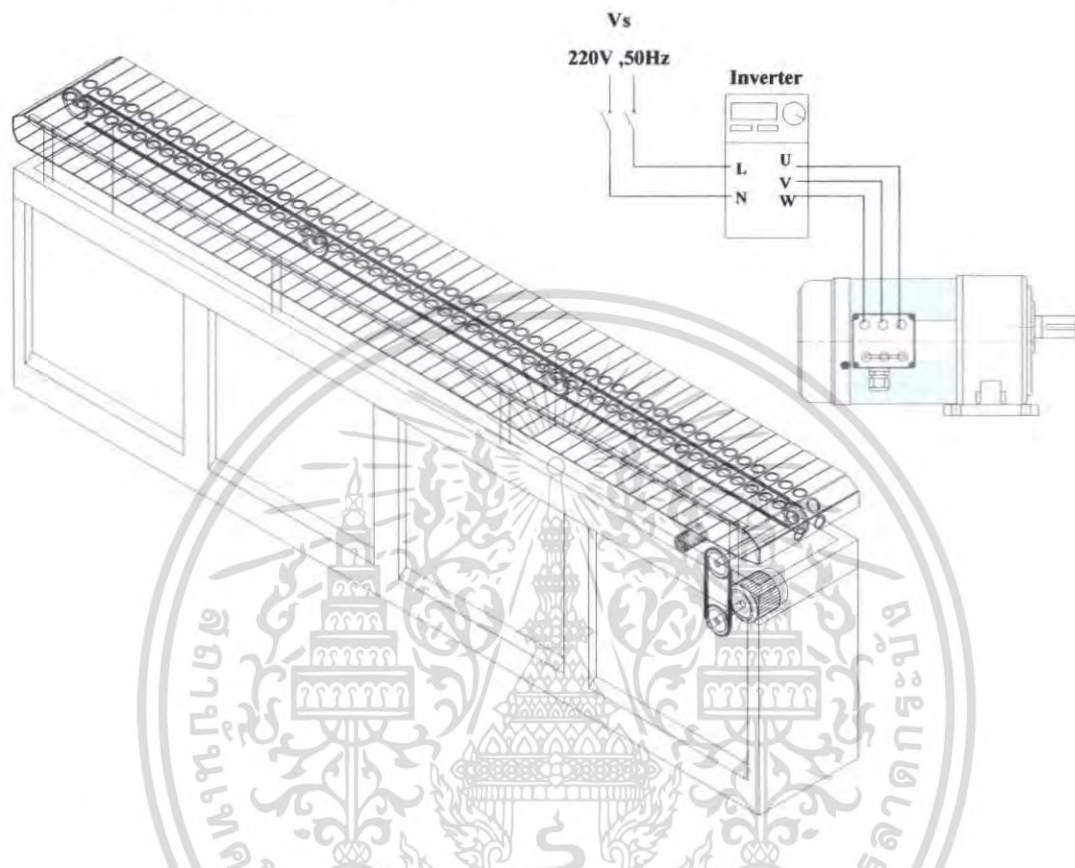
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2 การติดตั้งและการควบคุมมอเตอร์

เมื่อต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับมอเตอร์เป็นคั้งรูปแล้ว

ขั้นตอนต่อไปคือขั้นตอนการตั้ง

พารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญต่อการควบคุมและความปลอดภัยของอุปกรณ์



รูปที่ 8.5 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์

1. ตั้งค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ เปรียบเสมือนการแนะนำอินเวอร์เตอร์ให้รู้จักกับมอเตอร์ ซึ่งในส่วนนี้ต้องปรับตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ให้ตรงตาม Nameplate ของมอเตอร์ หากตั้งค่าที่ไม่ถูกต้องอาจมีผลทำให้เกิดความเสียหายขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญมีขนาดของแรงดันที่ใช้กับมอเตอร์ ขนาดของกระแสที่ให้มอเตอร์ กำลังวัตต์ของมอเตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์
2. กำหนดรูปแบบการควบคุม คือการกำหนดรูปแบบของการเปิด-ปิดอินเวอร์เตอร์ หรือ รูปแบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์
3. กำหนดช่วงความถี่ใช้งาน คือการกำหนดความถี่ต่ำสุด (Minimum Motor Frequency) โดยทั่วไปไม่ควรตั้งต่ำกว่า 10 Hz เนื่องจากจะทำให้มอเตอร์ทอร์ค (torque) ตกไม่มีกำลัง และความถี่สูงสุดที่อินเวอร์เตอร์จะให้แก่มอเตอร์ ซึ่งความถี่ที่ตั้งจะเป็นตัวกำหนดความเร็วต่ำสุดหรือสูงสุดของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. 2546. นิเวศน์กมลอุตสาหกรรม. ส.ส.ท. : พิมพ์ครั้งที่ 2
- [2] ฐิชาธิย์ ถมยา. 2549. นิเวศน์กมลและนิเวศน์กมลไฟฟ้าเบื้องต้น. ส.ส.ท. : พิมพ์ครั้งที่ 6
- [3] ไสว พงศ์สวัสดิ์. 2544. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : พิมพ์ครั้งที่ 1
- [4] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. 2547. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง : พิมพ์ครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงาน

1. Air Atomizing Nozzles

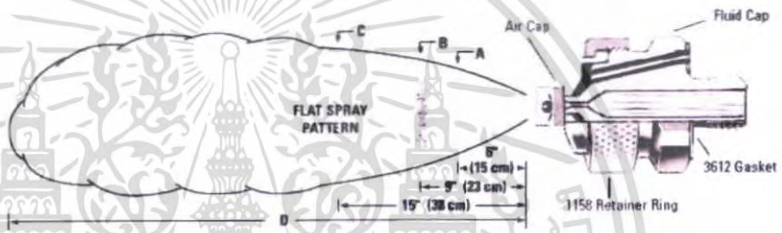
AIR ATOMIZING NOZZLES • 1/8J and 1/4J Set-ups • External Mix

AIR ATOMIZING NOZZLES

AIR CAPS



External Mix Air Caps
External Mix Air Caps used in these spray set-ups produce a flat spray.



Note: The No. 1158 Retainer Ring and No. 3612 Gasket must be ordered separately from the spray set-up, but are included in the standard nozzle assembly. Please contact your sales engineer.

DESIGN FEATURES

Atomization can be controlled by varying the air pressure without changing liquid flow rates with external mix set-ups. For the flat spray, dimensions "A", "B", and "C" are the pattern widths at

distances from the nozzle as shown. The total distance of spray projection from the nozzle to the maximum dispersal point is represented by "D".

When using a Pressure-Fed Liquid System, the liquid is supplied to the nozzle under pressure. The liquid and compressed air or gas are mixed externally to produce a completely atomized spray.

PERFORMANCE DATA

FLAT SPRAY (External Mix)

Spray Set-up No.	Spray Set-up Consists of Fluid and Air Cap Combination	Liquid Capacity (liters per hour) and Air Capacity (liters per minute)														Spray Dimensions						
		Liquid Pressure																				
		0.2 bar		0.3 bar		0.7 bar		1.5 bar		3 bar		Air bar	Liquid bar	A (cm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)					
Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)	Air Press. (bar)	Air (liters/min)					
SUE15B	Fluid Cap 1650 + Air Cap 67228-45°	.20	25.2	2.8	3.5	26.3	3.5	.70	31.2	5.3	1.4	45.3	7.8	2.8	73.6	11.0	.20	.20	9.0	15.0	23	.90
		.35	26.3	2.8	.70	31.2	3.5	1.05	39.6	5.3	1.75	53.8	7.8	3.5	85	11.0	1.05	.20	9.0	15.0	23	1.2
		.70	31.2	2.8	1.05	39.6	3.5	1.4	45.3	5.3	2.1	59.5	7.8	4.2	102	11.0	1.4	35	10.0	15.0	23	1.2
		1.05	39.6	2.8	1.4	45.3	3.5	1.75	53.8	5.3	2.8	73.6	7.8	4.9	119	11.0	1.4	1.4	11.5	18.0	25	1.5
		1.4	45.3	2.8	1.75	53.8	3.5	2.1	59.4	5.3	3.5	85	7.8	5.3	127.5	11.0	1.75	.70	11.5	15.0	24	1.5
		1.75	53.8	2.8	2.1	59.4	3.5	2.8	73.6	5.3	4.2	102	7.8	5.6	139	11.0	2.8	1.4	13.0	18.0	28	1.8
2.1	59.4	2.8	2.8	73.6	3.5	3.5	85	5.3	5.6	139	7.8	6.3	159	11.0	4.9	2.8	15.0	18.0	24	2.4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air Atomizing Nozzles • 1/8J and 1/4J Set-ups • External Mix

AIR ATOMIZING NOZZLES

PERFORMANCE DATA

FLAT SPRAY (External Mix)

Spray Set-up No.	Spray Set-up Consists of Fluid and Air Cap Combination	Liquid Capacity (liters per hour) and Air Capacity (liters per minute)															Spray Dimensions					
		Liquid Pressure																				
		0.2 bar			0.3 bar			0.7 bar			1.5 bar			3 bar			Air bar	Liquid bar	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (mm)
		Air Press. bar	Air (l/min)	L/h	Air Press. bar	Air (l/min)	L/h	Air Press. bar	Air (l/min)	L/h	Air Press. bar	Air (l/min)	L/h	Air Press. bar	Air (l/min)	L/h						
SUE25B	Fluid Cap 35100 + Air Cap 134255-45°	.70	85	13.4	1.0	102	16.4	1.4	116	25	2.5	178	37	3.2	212	52	.70	.20	13.0	19.0	25	1.7
		1.0	102	13.4	1.4	116	16.4	1.8	139	25	2.8	195	37	3.5	232	52	1.8	.20	13.0	19.0	25	2.7
		1.4	116	13.4	1.8	139	16.4	2.1	156	25	3.5	227	37	3.9	255	52	2.1	.35	15.0	19.0	28	3.0
		1.8	139	13.4	2.1	156	16.4	2.5	178	25	4.2	266	37	4.2	275	52	2.5	.70	15.0	22	28	3.5
		2.1	156	13.4	2.8	195	16.4	2.8	195	25	4.9	312	37	4.9	314	52	2.5	1.4	16.5	23	36	3.7
		2.8	195	13.4	3.5	227	16.4	3.5	227	25	5.6	360	37	5.6	360	52	4.2	1.4	16.5	23	37	4.3
3.5	227	13.4	4.2	266	16.4	4.2	266	25	6.3	411	37	6.3	411	52	4.9	2.8	16.5	22	32	4.9		
SUE28B	Fluid Cap 35100 + Air Cap 122281-60°	.60	91	13.4	.70	102	16.4	1.4	156	25	2.1	210	37	3.2	285	52	1.4	.30	33	38	48	3.8
		.70	102	13.4	1.1	130	16.4	2.1	210	25	2.8	260	37	4.2	360	52	2.1	.70	33	40	56	4.3
		1.1	130	13.4	1.8	184	16.4	2.5	235	25	3.5	310	37	5.3	430	52	3.2	1.5	38	48	66	4.6
		1.4	156	13.4	2.1	210	16.4	2.8	260	25	4.2	360	37	5.6	455	52	4.2	1.5	38	48	64	5.2
		1.8	184	13.4	2.8	235	16.4	3.5	310	25	4.9	411	37	6.3	488	52	4.9	2.0	41	51	69	4.6
		2.1	210	13.4	3.5	260	16.4	4.2	360	25	5.6	455	37	6.3	455	52	4.2	3.0	38	51	71	4.9
SUE25A	Fluid Cap 40100 + Air Cap 134255-45°	.70	95	17.6	1.4	116	22	1.8	139	33	2.8	195	48	3.5	232	68	.70	.35	15.0	19.0	27	2.1
		1.0	102	17.6	1.8	139	22	2.1	156	33	3.2	212	48	4.2	275	68	1.8	.70	15.0	19.0	27	3.0
		1.4	116	17.6	2.1	156	22	2.5	178	33	3.5	227	48	4.9	314	68	2.5	1.4	15.0	22	33	3.4
		1.8	139	17.6	2.5	178	22	2.8	195	33	4.2	266	48	5.3	340	68	2.8	1.4	15.0	22	36	3.8
		2.1	156	17.6	2.8	195	22	3.5	227	33	4.9	312	48	5.6	360	68	2.8	1.4	16.5	25	37	4.0
		2.8	195	17.6	3.5	227	22	4.2	266	33	5.6	360	48	6.3	411	68	4.2	2.1	16.5	25	37	4.9
3.5	227	17.6	4.2	266	22	4.9	312	33	6.3	411	48	6.6	428	68	5.3	2.8	18.0	23	36	5.8		
SUE28A	Fluid Cap 40100 + Air Cap 122281-60°	.60	91	17.6	.70	102	22	1.1	130	33	2.5	235	48	3.5	310	68	1.1	.20	33	38	51	3.5
		1.1	130	17.6	1.4	156	22	1.8	184	33	3.2	285	48	4.6	380	68	1.8	.70	35	48	64	3.0
		1.4	156	17.6	1.8	184	22	2.5	235	33	3.9	330	48	6.0	475	68	2.5	1.5	38	46	64	3.8
		1.8	184	17.6	2.1	210	22	2.8	260	33	4.2	360	48	6.7	525	68	3.2	1.5	33	43	61	4.3
		2.1	210	17.6	2.8	235	22	3.5	310	33	4.9	411	48	6.3	455	68	4.2	1.5	30	43	58	4.9
		2.8	235	17.6	3.5	310	22	4.2	360	33	5.6	455	48	6.3	455	68	4.2	2.0	33	43	61	5.2
SUE28	Fluid Cap 60100 + Air Cap 122281-60°	.70	102	36	1.1	130	45	1.8	184	68	3.2	285	100	5.3	430	141	2.1	.30	40	56	76	3.0
		1.1	130	36	1.4	156	45	2.1	210	68	3.5	310	100	6.0	475	141	2.8	.70	46	58	81	4.0
		1.4	156	36	1.8	184	45	2.5	235	68	3.9	330	100	6.7	525	141	3.2	1.5	48	58	79	4.3
		1.8	184	36	2.1	210	45	2.8	260	68	4.2	360	100	6.7	525	141	4.6	1.5	43	53	76	4.9
		2.1	210	36	2.8	235	45	3.2	285	68	4.9	405	100	6.7	525	141	5.6	1.5	38	51	66	5.8
		2.8	235	36	3.5	310	45	3.5	310	68	5.6	455	100	7.0	550	141	3.9	2.0	48	64	84	4.3
3.5	266	36	4.2	360	45	4.2	360	68	6.3	455	100	7.0	550	141	6.3	3.0	41	56	79	5.8		



Spraying Systems Co.

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air Atomizing Nozzles • 1/8J and 1/4J Set-ups • External Mix



AIR ATOMIZING NOZZLES

PERFORMANCE DATA

FLAT SPRAY (External Mix)

Spray Set-up No.	Spray Set-up Consists of Fluid and Air Cap Combination	Liquid Capacity (liters per hour) and Air Capacity (liters per minute)														Spray Dimensions						
		Liquid Pressure																				
		0.2 bar			0.3 bar			0.7 bar			1.5 bar			3 bar			Air bar	Liquid bar	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (in)
Air Press. bar	Air l/min	l/h	Air Press. bar	Air l/min	l/h	Air Press. bar	Air l/min	l/h	Air Press. bar	Air l/min	l/h	Air Press. bar	Air l/min	l/h	Air Press. bar	Air l/min	l/h					
SUE25	Fluid Cap 60100 + Air Cap 134255-45*	1.0	102	36	1.8	139	45	2.5	178	68	3.2	212	100	3.9	255	141	1.0	.20	15.0	20	25	2.7
		1.4	116	36	2.1	156	45	2.8	195	68	3.5	227	100	4.2	275	141	2.1	.20	15.0	22	29	3.0
		1.8	139	36	2.5	178	45	3.2	212	68	3.9	246	100	4.6	297	141	2.8	.35	18.0	24	36	3.5
		2.1	156	36	2.8	195	45	3.5	227	68	4.2	266	100	4.9	314	141	3.2	1.4	20	28	39	3.7
		2.5	178	36	3.2	212	45	4.2	266	68	4.9	312	100	5.6	360	141	3.5	.70	19.0	27	38	4.0
		2.8	195	36	3.5	227	45	4.9	312	68	5.6	360	100	6.3	411	141	4.2	1.4	20	28	39	4.3
		3.5	227	36	4.2	266	45	5.6	360	68	6.3	411	100	7.0	453	141	5.6	2.8	18.0	24	38	5.9
SUE45B	Fluid Cap 60150 + Air Cap 200278-45*	1.8	235	36	1.8	235	45	2.5	300	68	3.9	410	100	—	—	—	1.8	.20	15.0	20	29	3.0
		2.1	260	36	2.1	260	45	2.8	330	68	4.2	445	100	—	—	—	2.1	.20	15.0	20	30	3.4
		2.5	300	36	2.5	300	45	3.2	355	68	4.6	480	100	—	—	—	2.8	.30	15.0	20	30	4.0
		2.8	330	36	2.8	330	45	3.5	360	68	4.9	529	100	—	—	—	3.5	.70	17.0	22	32	4.3
		3.2	355	36	3.2	355	45	3.9	410	68	5.3	565	100	—	—	—	3.9	1.5	17.0	22	34	4.6
		3.5	380	36	3.5	380	45	4.2	445	68	5.6	600	100	—	—	—	4.2	1.0	17.0	23	33	4.7
		4.2	445	36	4.2	445	45	4.9	520	68	6.3	685	100	—	—	—	4.9	1.5	17.0	23	34	5.5
SUE45A	Fluid Cap 80150 + Air Cap 200278-45*	2.1	260	64	2.8	330	78	3.9	410	119	4.9	520	175	—	—	—	2.1	.20	17.0	24	34	3.5
		2.5	300	64	3.2	355	78	4.2	445	119	5.3	565	175	—	—	—	3.2	.20	18.0	24	36	4.3
		2.8	330	64	3.5	380	78	4.6	480	119	5.6	600	175	—	—	—	3.9	.30	18.0	25	36	4.9
		3.2	355	64	3.9	410	78	4.9	520	119	6.0	640	175	—	—	—	4.9	.70	18.0	25	36	5.5
		3.5	380	64	4.2	445	78	5.3	565	119	6.3	685	175	—	—	—	4.9	1.5	20	25	38	5.5
		4.2	445	64	4.9	520	78	5.6	600	119	—	—	175	—	—	—	5.3	1.0	18.0	25	38	5.8
		4.9	520	64	5.6	600	78	6.3	685	119	—	—	175	—	—	—	5.6	1.5	20	25	38	6.1
SUE45	Fluid Cap 100150 + Air Cap 200278-45*	2.8	330	102	3.5	380	125	4.6	480	192	5.6	600	280	—	—	—	2.8	.20	19.0	25	36	4.6
		3.2	355	102	3.9	410	125	4.9	520	192	6.0	640	280	—	—	—	3.9	.20	20	25	37	4.9
		3.5	380	102	4.2	445	125	5.3	565	192	6.3	685	280	—	—	—	4.6	.30	20	25	37	5.2
		3.9	410	102	4.6	480	125	5.6	600	192	—	—	280	—	—	—	5.3	.70	22	27	38	5.5
		4.2	445	102	4.9	520	125	6.0	640	192	—	—	280	—	—	—	5.6	1.0	22	27	41	5.5
		4.6	480	102	5.3	565	125	6.3	685	192	—	—	280	—	—	—	5.6	1.5	22	27	41	5.8
		4.9	520	102	5.6	600	125	—	—	192	—	—	280	—	—	—	6.0	1.5	22	27	41	6.1



Spraying Systems Co.

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air Atomizing Nozzles • 1/8J and 1/4J Series

AIR ATOMIZING NOZZLES

1/8J, 1/4J



1/8" and 1/4" NPT or BSPT

1/8JN, 1/4JN



1/8" and 1/4" NPT or BSPT with shut-off needle

1/8JCO, 1/4JCO



1/8" or 1/4" NPT or BSPT with clean-out needle

11005-1/8J, 11005-1/4J



1/8" or 1/4" NPT or BSPT with shut-off/clean-out needle

AIR ACTUATED



46135-1/8J, 46135-1/4J
NPT or BSPT (normally open)
46137-1/8J, 46137-1/4J
NPT or BSPT (normally closed)
Pneumatically actuated
clean-out assembly

DESIGN FEATURES

The basic J Series nozzle assembly consists of a body and a spray set-up. Various assemblies can be added to provide shut-off and clean-out functions.

1/8J, 1/4J

1/8J and 1/4J bodies have liquid and air feeds at opposite ends of the body and is provided with a removable plug so other needle assemblies may be added in the future.

1/8JN, 1/4JN

The JN models feature a manual shut-off needle that enables the flow of liquid to the nozzle to be stopped.

1/8JCO, 1/4JCO

The JCO models feature a clean-out needle that is activated manually. The needle slides through the liquid orifice to clear obstructions. It is ideal for intermittent spraying applications when liquid can dry in the orifice between uses.

11005-1/8J, 11005-1/4J

The 11005 combines the features of the JN and JCO models, offering a combination shut-off/clean-out needle.

Air Actuated

The 1/8J and 1/4J nozzles can be supplied with a pneumatically actuated clean-out assembly for automatic operation.

Available in two variations, normally open and normally closed, and requires a 1/8" cylinder air connection.

MATERIALS

Material	Material Code	Nozzle Type					
		J	JN	JCO	11005	46135	46137
Nozzle Bodies							
Nickel-plated Brass	(none)	•	•	•	•	•	•
303 Stainless Steel	SS	•	•	•	•	•	•
Lucite*	LUC	•					
Spray Set-ups							
Lucite*	LUC	•					
Nickel-plated Brass	SSBR	•	•	•		•	•
Air Cap and 303 Stainless Steel Fluid Cap							
303 Stainless Steel	SS	•	•	•	•	•	•

* May not be available for all spray set-ups listed. Other materials available upon request.



Spraying Systems Co.

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air Atomizing Nozzles • 1/8J and 1/4J Series



AIR ATOMIZING NOZZLES

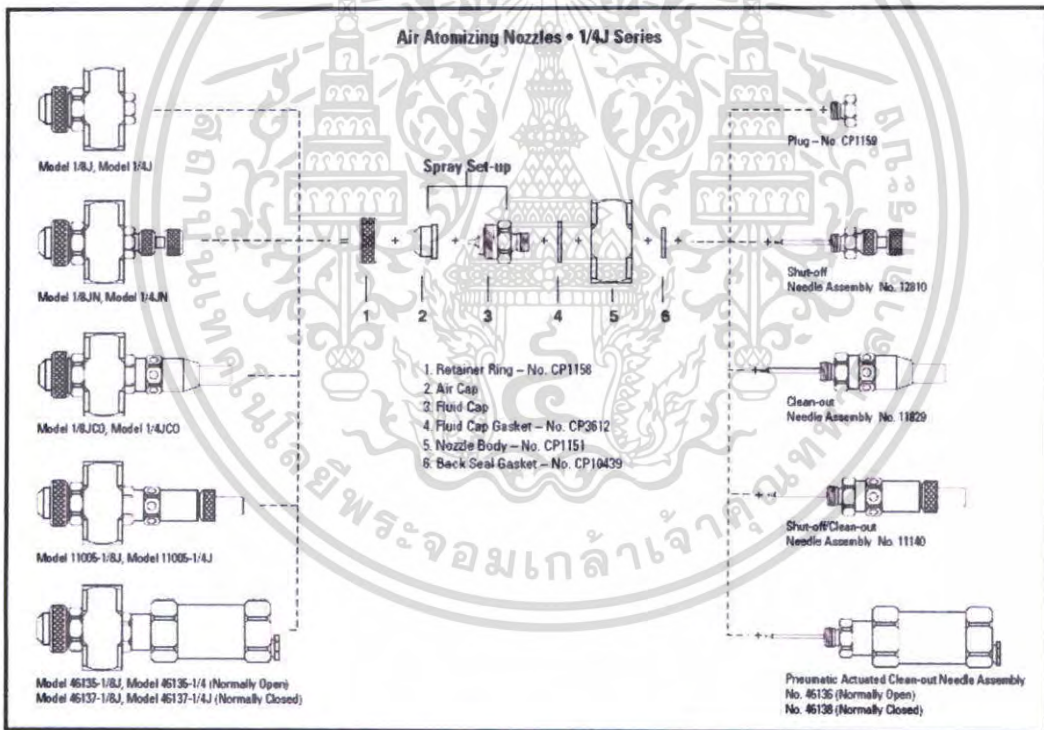
ORDERING INFO

COMPLETE NOZZLE ASSEMBLY				
[NOZZLE BODY]		[SPRAY SET-UP]		
1/4 JN - SS		SU11 - SS		
Inlet Conn.	Nozzle Body Assembly Type	Material Code	Spray Set-up No.	Material Code

SPRAY SET-UP ONLY	
[SPRAY SET-UP]	
SU11 - SS	
Spray Set-up No.	Material Code

* Includes retainer and gasket.
 To order fluid cap only, use fluid cap number (shown in performance data chart) and material code: 2050-SS
 To order air cap only, use air cap number (shown in performance data chart) and material code: 67147-SS
 To order spray nozzle without set-up, use inlet connection, nozzle body, and material code: 1/4JN-SS

To order spray set-up only, use spray set-up number and material code: SU11-SS



Spraying Systems Co.

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Temperature Controller

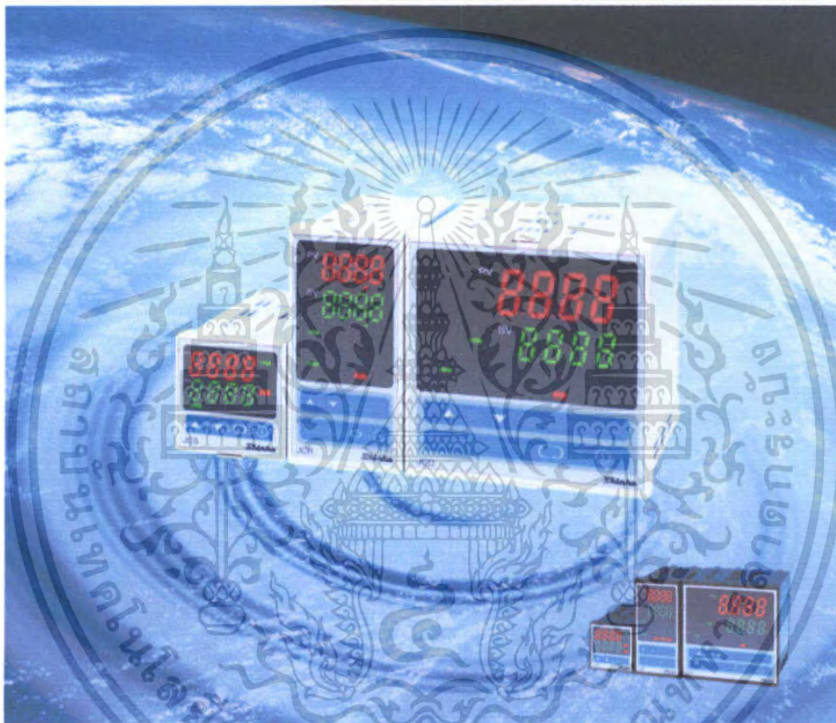
Digital indicating controller

NEW PRODUCTS



CE

JC SERIES



Go Global!

*By meeting global specifications, our new
JC series can be used anywhere.*

Shinko

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name and sections



[JCS-33A]



[JCR-33A]



[JCD-33A]

- ① : PV display
Indicates PV (process variable). While setting, this indicates characters.
- ② : SV display
Indicates SV (setting value). While setting, it indicates various setting values and the status of the selected value.
- ③ : SV1 indicator
Lights when SV1 is indicated on the SV display.
- ④ : SV2 indicator
Lights when SV2 is indicated on the SV display.
- ⑤ : OUT 1 indicator
Lights when control output 1 is ON.
(For current output type, it blinks according to output manipulated variable in 0.25 seconds cycle.)
- ⑥ : OUT 2 indicator
Lights when control output 2 is ON.
(For current output type, it blinks according to output manipulated variable in 0.25 seconds cycle.)
- ⑦ : AT indicator
Blinks when PID auto-tuning and PD auto-reset are performing.
- ⑧ : TX/RX indicator
Blinks when responding to the command from host computer during serial communication (Option).
- ⑨ : HB indicator
Lights when Heater burnout alarm (Option) or Sensor burnout is ON.
- ⑩ : A1 indicator
Lights when alarm 1 is ON.
- ⑪ : A2/LA indicator
Lights when Alarm 2 (Option) is ON and/or Loop break alarm (Option) is ON.
- ⑫ : EVT indicator (Only JCS-33A)
Lights when Alarm 2 (Option), Loop break alarm (Option), or Heater burnout alarm (Option) is ON.
- ⑬ : Increase key
This key is used to select various setting items or value.
(Increases numerical value of the setting value.)
- ⑭ : Decrease key
This key is used to select various setting items or value.
(Decreases numerical value of the setting value.)
- ⑮ : Mode key
This key is used to switch the setting mode and register the setting value.
- ⑯ : OUT/OFF key
Performs output ON or OFF.

Standard specifications

Display	JCS-33A: PV [Red 4 digits, Character size: 10.2 x 4.9mm (H x W)], SV [Green 4 digits, Character size: 8.8 x 4.9mm (H x W)] JCR-33A: PV [Red 4 digits, Character size: 11.2 x 5.4mm (H x W)], SV [Green 4 digits, Character size: 11.2 x 5.4mm (H x W)] JCD-33A: PV [Red 4 digits, Character size: 19 x 8mm (H x W)], SV [Green 4 digits, Character size: 12.6 x 6mm (H x W)]
Input	Thermocouple ——— K, J, R, S, B, E, T, N, Pt-100, C (W/Re5-26) External resistance: 100Ω or less (However, for B input: 40Ω or less) RTD ——— Pt100, JPt100 3-wire system (Allowable input lead wire resistance per wire: 10Ω or less) DC current ——— 0 to 20mA DC, 4 to 20mA DC Input impedance: 50Ω (Connect shunt resistor 50Ω between input terminals.) DC voltage ——— 0 to 1V DC Allowable input current: 50mA or less (When shunt resistor 50Ω is used) 0 to 5V DC, 1 to 5V DC, 0 to 10V DC Input impedance: 1MΩ or greater Allowable input voltage: 5V or less Allowable signal source resistance: 2KΩ or less Input impedance: 100KΩ or greater Allowable input voltage: 15V or less Allowable signal source resistance: 100Ω or less
Accuracy (Setting - Indicating)	Thermocouple ——— Within ±0.2% of each input span ±1 digit or ±2°C (4°F) whichever is greater However, R or S input: 0 to 200°C (0 to 400°F): Within ±6°C (12°F) B input: 0 to 300°C (0 to 600°F): Accuracy is not guaranteed. RTD ——— K, J, E, and N input less than 0°C (32°F): Within ±0.4% of each input span ±1 digit DC current and DC voltage ——— Within ±0.1% of each input span ±1 digit or ±1°C (2°F) whichever is greater DC current and DC voltage ——— Within ±0.2% of each input span ±1 digit
Input sampling period	0.25 seconds
Control output (OUT 1)	Relay contact ——— 1a1b (JCS-33A: 1a) 3A 250V AC (Resistive load), 1A 250V AC (Inductive load cos φ = 0.4), Electric life: 100,000 times Non-contact voltage ——— 12V DC Max. 40mA (Short-circuit protected) DC current ——— 4 to 20mA DC Load resistance: Max. 550Ω
Control action	Actions mentioned below can be selected by key operation. [Default: PID] PID (with auto-tuning function), PI, PD (with auto reset function), P (with auto reset function), ON/OFF OUT1 proportional band (P) ——— Thermocouple: 0 to 1000°C (0 to 2000°F) (ON/OFF action when set to 0) RTD: 0.0 to 999.9°C (0.0 to 999.9°F) (ON/OFF action when set to 0.0) DC current and DC voltage: 0.0 to 100.0% (ON/OFF action when set to 0.0) Integral time (I) ——— 0 to 1000 seconds (OFF when set to 0) Derivative time (D) ——— 0 to 300 seconds (OFF when set to 0) OUT1 proportional cycle ——— 1 to 120 seconds (Not available for DC current output type) OUT1 ARW ——— 0 to 100% Hysteresis ——— Thermocouple and RTD: 0.1 to 100.0°C (°F) DC current and DC voltage: 1 to 1000 (The placement of the decimal point follows the selection.) OUT1 output limit ——— -5 to 105%

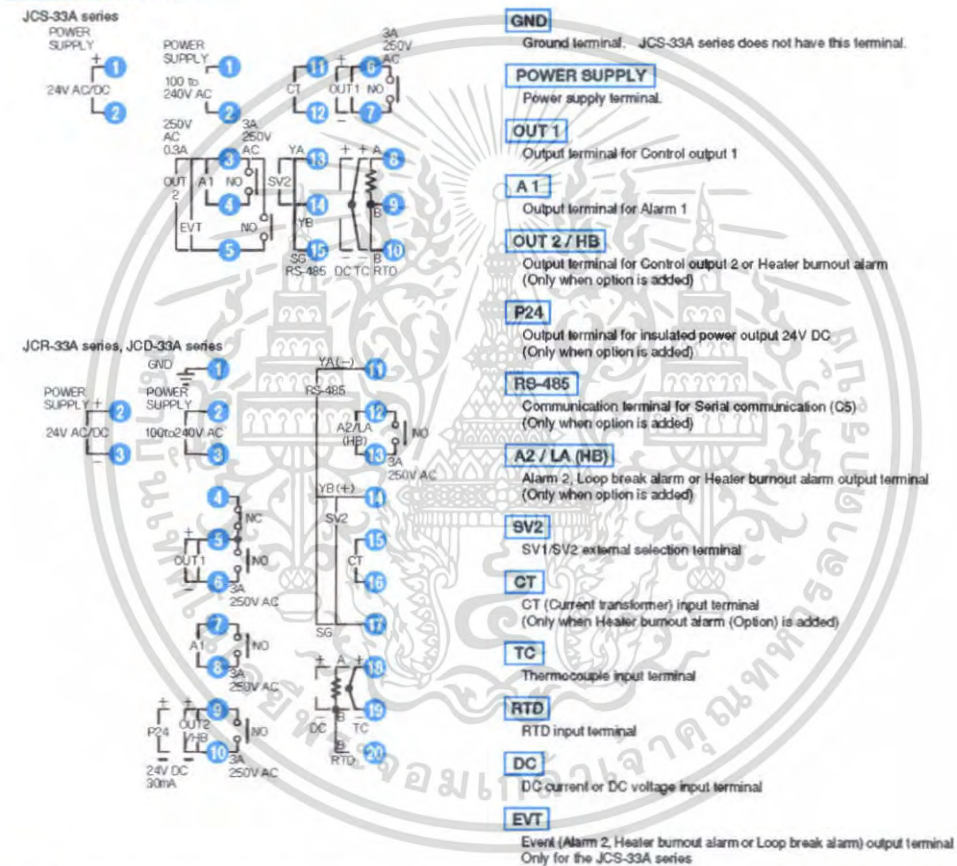
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>Alarm action and Energized/Deenergized can be selected by key operation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - No alarm - High limit alarm (Deviation setting) Setting range: —(Input span) to Input span - Low limit alarm (Deviation setting) Setting range: —(Input span) to Input span - High/Low limits alarm (Deviation setting) Setting range: 0 to Input span - High/Low limit range alarm (Deviation setting) Setting range: 0 to Input span - Process high alarm Setting range: Input range low limit value to Input range high limit value - Process low alarm Setting range: Input range low limit value to Input range high limit value - High limit alarm w/standby (Deviation setting) Setting range: —(Input span) to Input span - Low limit alarm w/standby (Deviation setting) Setting range: —(Input span) to Input span - High/Low limits alarm w/standby (Deviation setting) Setting range: 0 to Input span <p>When input is with decimal point, the negative low limit value is —199.9 and the positive high limit value is 999.9. When input is DC current or DC voltage, input span is scaling span. When input is DC current or DC voltage, input range low limit value is scaling low limit value and input range high limit value is scaling high limit value.</p> <p>Setting accuracy——The same as the indicating accuracy Action——ON/OFF action Hysteresis——Thermocouple and RTD: 0.1 to 100.0°C (°F) DC current and DC voltage: 1 to 1000 (The placement of the decimal point follows the selection.) Output——Relay contact 1a 3A 250V AC (Resistive load), Electric life: 100,000 times</p>
Alarm 1 (A1)	<p>Selects SV1 or SV2 from the external contact. (For JCS-33A, [Option: SM] needs to be added.) SV1: Contact open (Terminal between 14 and 17 is open) SV2: Contact closed (Terminal between 14 and 17 is closed)</p>
SV1/SV2 external selection	
Supply voltage	100 to 240V AC 50/60Hz, 24V AC/DC 50/60Hz
Power consumption	Allowable voltage fluctuation: 85 to 264V AC, 20 to 28V AC/DC Approx. 6VA
Insulated resistance	When control output (OUT1) is Non-contact voltage or DC current output with [Option: DS or DA] is added, insulation test between Control output (OUT1) terminal and Heater burnout alarm output terminal, between Control output (OUT1) terminal and Control output (OUT2) terminal, between Control output (OUT1) terminal and insulated power output terminal must not be carried out. When control output (OUT1) is Non-contact voltage or DC current output, insulation test between Control output (OUT1) and SV1/SV2 external switch terminal, between control output (OUT1) and communication terminal must not be carried out. When control output (OUT2) is Non-contact voltage or DC current output, insulation test between Control output 2 (OUT2) and SV1/SV2 external switch terminal, between control output (OUT2) and communication terminal must not be carried out. Other combinations: 500V DC 10MΩ or greater
Dielectric strength	1.5kV AC for 1min between input terminal and ground terminal, between input terminal and power terminal 1.5kV AC for 1min between power terminal and ground terminal 1.5kV AC for 1min between output terminal and ground terminal, between output terminal and power terminal
Environment	Ambient temperature: 0 to 50°C Ambient humidity: 35 to 85%RH (No condensation)
Material · Color	Material: Flame resisting resin Color: Light gray
Mounting method	Screw type mounting bracket is used. (Mountable panel thickness: Within 1 to 15mm)
Setting method	Sheet key input
External dimension	JCS-33A: W48 x H48 x D96.5mm, JCR-33A: W48 x H96 x D98.5mm, JCD-33A: W96 x H96 x D98.5mm
Weight	JCS-33A (Approx. 200g), JCR-33A (Approx. 250g), JCD-33A (Approx. 370g)
Attached function	Sensor correction, Setting value LOCK, Power failure countermeasure, Self diagnosis, Automatic cold junction temperature compensation (Only thermocouple), Sensor burnout alarm, Input burnout, Warm-up display, Auto/Manual control selection Dust-proof and Drip-proof structure IP66
Options	
[Select options according to your needs. When ordering, designate the Option code to be added.] JCS-33A has Event output which involves Alarm 2 (A2), Heater burnout alarm (W), Control output (OUT 2) and Loop break alarm (LA) output.	
Alarm 2 (A2) [A2]	When this option is added, 1 alarm point is added. Alarm action type, Setting range and Relay contact type are the same as those of Alarm 1 (A1). See Alarm 1 (A1) section.
Heater burnout alarm [W]	Watches the heater current with CT (current transformer), and detects the burnout. Heater rated current must be selected from 5A, 10A, 20A and 50A. Setting accuracy——Within ±5% of heater rated current Output——Relay contact 1a 3A 250V AC (Resistive load), Electric life: 100,000 times Self-holding——Not available Accessories——CT (for single phase: 1)
Control output (OUT2) (Heating/Cooling control) [DR, DS, DA, DT]	If this option is applied, control output 2 is added and enables Heating/Cooling control. There are 4 types of control output i.e. Relay contact output (DR), Non-contact voltage output (DS), DC current output (DA) and Non-contact relay output (DT). The type must be designated when ordering. (Relay contact output, Non-contact voltage output and DC current output can be applied to JCR-33A and JCD-33A series.) [Only Non-contact relay output (DT) can be applied to the JCS-33A series.] Heating control action (Heating side): The same as control output (OUT1) Cooling control action (Cooling side): Proportional band (P)——0.0 to 10.0 times the control output (OUT1) proportional band (ON/OFF action when set to 0.0) Integral time (I)——The same as the integral time setting value of the control output (OUT1). Derivative time (D)——The same as the derivative time setting value of the control output (OUT1). Proportional cycle——1 to 120 seconds (Not available for DC current output type) Overlap band/Dead band——Thermocouple and RTD: -100.0 to 100.0°C (°F) DC current and DC voltage: -1000 to 1000 (The placement of the decimal point follows the selection.) Hysteresis——0.1 to 100.0°C (°F) Control output - Relay contact (DR) : 1a 3A 250V AC (Resistive load), 1A 250V AC (Inductive load cos φ=0.4), Electric life: 100,000 times - Non-contact voltage (DS) : 12V V DC Max: 40mA (Short-circuit protected) - DC current (DA) : 4 to 20mA DC Load resistance: Max. 550 Ω - Non-contact relay (DT) : 0.3A 250V AC (Resistive load) Cooling action mode (This must be selected by key operation from below.) - Air cooling (Linear characteristic) - Oil cooling (1.5 th Power of the linear characteristic) - Water cooling (2 nd Power of the linear characteristic)
Serial communication [CS]	Various setting status changing, reading and setting of the JCS-33A can be performed from external computer. By combining Shinko programmable controller (Option: SVTC added) with JCS-33A (Option: CS added), it is possible to transmit the SV (setting value) of the programmable controller digitally to the JCS-33A Communication interface——Based on EIA, RS-485 Communication method——Half-duplex communication start-stop synchronous Data transfer rate——(2400/4800/9600/19200bps) Selectable by key operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial communication [C5]	Parity _____ (Even/ Odd/ No parity) Selectable by key operation Stop bit _____ (1 or 2) Selectable by key operation Communication protocol _____ Based on Shinko standard protocol or Modbus (Selectable by key operation) (When Modbus is selected, RTU mode or ASCII mode can be selected by key operation.) Number of connectable units _____ A maximum of 31 units per host computer Communication error detection _____ Parity check and Checksum
SV1/SV2 external selection [SM]	SV1 and SV2 can be changed by external contact. [Option: SM] can be added only to the JCS-33A. Terminal between 13 and 14 is open: SV1, Terminal between 13 and 14 is closed: SV2
Loop break alarm [LA]	This option enables Heater burnout, Sensor burnout and actuator trouble to be detected. Loop break alarm time _____ 0 to 200 minutes Loop break alarm action span _____ Thermocouple and RTD: 0 to 150°C (°F), 0.0 to 150.0°C (°F) DC current and DC voltage: 0 to 1500 Output _____ Relay contact 1a 3A 250V AC (Resistive load), Electric life: 100,000 times
Insulated power output [P24]	When this option is added, 24V DC is outputted from the terminal 9 to 10 of JCD-33A and JCR-33A and can be the power source of 2-wire transmitter. Output voltage _____ : 24±3V DC (When load current is 30mA.) Ripple voltage _____ : 200mV (When load current is 30mA.) Maximum load current: 30mA
Terminal cover [TC]	Electrical shock protecting cover Be sure to designate this option, when there is a probability that the back of the controller is touched by someone when power is on.
Color Black [BK]	Case and base: black.

Terminal arrangement



- The terminal board of this instrument is designed to be wired from the left.
- When [Option: P24] is added, [Option: W] or [Option: DR, DS, DA] cannot be applied together with [Option: P24].
- SV1/SV2 external selection cannot be used when [Option: C5] is added.
- [Option: SM] cannot be added to the JCS-33A.
- Only DT (Non-contact relay) from [Option: DR, DS, DA, DT] can be added to the JCS-33A.
- For DC current output type, [Option: W] cannot be added.

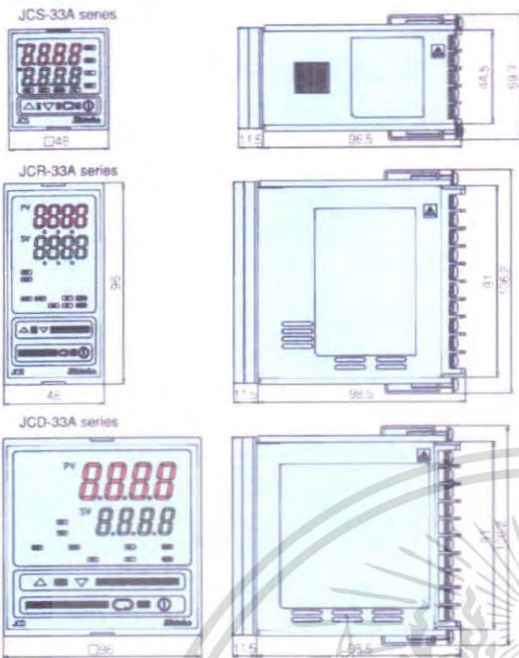
Goldless terminal

Use a solderless terminal with an insulation sleeve that fits to the M3 screw as shown below.
Tightening torque: 0.6N·m to 1.0N·m

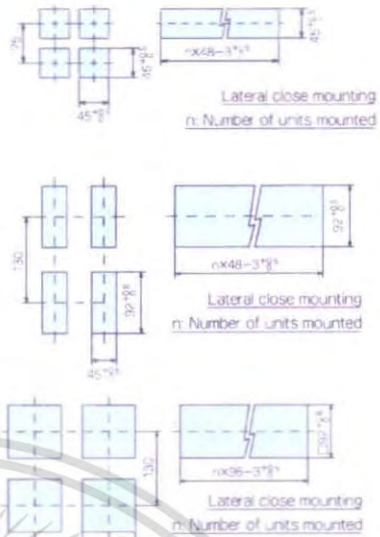


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External dimension

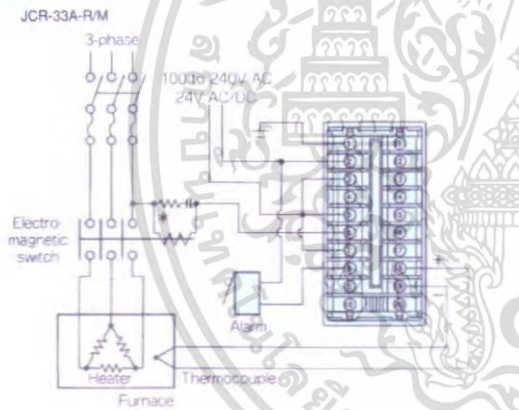


Panel cutout

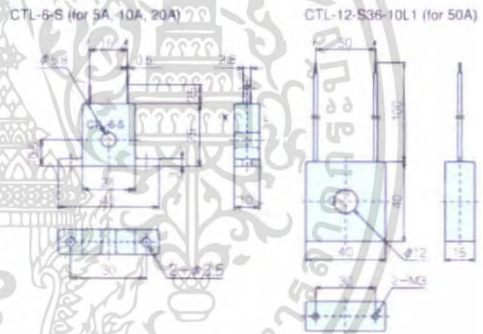


Caution: When Lateral close mounting is applied, Dust-proof and Drip-proof specification is not fulfilled.

Wiring example



CT dimension



*: To prevent the unit from harmful effects of unexpected level noise, it is recommended that a surge absorber be installed between the electromagnetic switch coils.

- This catalog is as of July 2002. Specifications are subject to change without notice.
- When inquiring, please consult our agency or the shop where you purchased the unit.



SHINKO TECHNOS CO., LTD.
OVERSEAS DIVISION

Reg. Office : 1-2-48, Ina, Minoo, Osaka, 562-0015, Japan
Mail Address: P. O. Box 17, Minoo, Osaka, Japan
Tel : 81-727-21-2781
Fax : 81-727-24-1760
URL : <http://www.shinko-technos.co.jp>
E-mail : overseas@shinko-technos.co.jp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลระยะความกว้างและความยาวของฟองไข่

ลำดับที่	ระยะความกว้างที่ 1/4 ของปลายด้านที่วัด		ระยะความยาว ของฟองไข่ (ซม.)
	ด้านบน(แหลม)(ซม.)	ด้านล่าง(มน)(ซม.)	
1	4.4	4.4	6.1
2	4.2	4.3	6.0
3	4.2	4.3	6.1
4	4.2	4.4	6.0
5	4.1	4.2	6.1
6	4.2	4.4	6.2
7	4.3	4.3	6.3
8	4.2	4.3	6.1
9	4.2	4.3	5.7
10	4.3	4.5	6.3
11	4.2	4.3	6.1
12	4.0	4.3	5.7
13	4.1	4.3	6.1
14	4.5	4.6	6.2
15	4.1	4.3	6.1
16	4.2	4.4	6.0
17	4.2	4.3	6.3
18	4.1	4.5	5.9
19	4.3	4.5	6.2
20	4.2	4.2	6.0
21	4.1	4.2	6.0
22	4.0	4.3	6.1
23	4.3	4.4	6.0
24	4.1	4.2	6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	4.3	4.3	6.2
26	4.3	4.5	6.0
27	4.2	4.3	5.8
28	4.0	4.1	5.9
29	4.5	4.5	6.3
30	4.1	4.2	6.0
31	4.2	4.2	6.1
32	4.1	4.2	6.2
33	4.2	4.2	6.2
34	4.2	4.1	6.5
35	4.2	4.4	6.1
36	4.3	4.3	6.5
37	4.3	4.5	6.0
38	4.1	4.3	6.0
39	4.1	4.2	6.6
40	4.2	4.2	6.1
41	4.0	4.2	5.8
42	4.1	4.3	6.0
43	4.2	4.4	6.1
44	4.2	4.2	6.3
45	4.2	4.4	6.2
46	4.1	4.2	6.0
47	4.3	4.4	6.3
48	4.0	4.1	5.9
49	4.0	4.3	5.7
50	4.3	4.5	6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้