เครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

Automatic Dish Washer using Programmable Logic Control

นายกิตติธัช จินดาเชื้อ

นายชัชวาลย์ ทองเรือง

นายรุจิรพงศ์ เพ็ชรโยธา

นางสาวปาณิสรา แวนไชยสง

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2556

56EE207

รหัสโครงงาน 56EE207

เครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

Automatic Dish Washer using Programmable Logic Control

บทคัดย่อ (Abstract)

โครงงานนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี โดยประกอบด้วยโครงสร้างหลักของตัวเครื่อง ชุดเพิ่มความดันให้กับน้ำ อุปกรณ์ชุดทำความร้อน และชุดควบคุมระบบการทำงานของเครื่องโดยใช้ PLC การทำงานของเครื่องเริ่มจาก ตั้งโปรแกรมการล้างได้ 5 แบบคือ โปรแกรมA ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°C โปรแกรม C ล้างแบบประหยัดที่อุณหภูมิ 50°C โปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้วที่อุณหภูมิ 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C จากการทดลองพบว่า โปรแกรมA ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°C โปรแกรม C ล้างแบบประหยัดที่อุณหภูมิ 50°C โปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้วที่อุณหภูมิ 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C

จากการทดลองพบว่าโปรแกรมA ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°C และมีสมรรถนะการทำงานได้สะอาดกว่าทุกโปรแกรม ซึ่งมีอัตราเปอร์เซ็นต์ การเกิดคราบ 16.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้วที่อุณหภูมิ 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C มีอัตราเปอร์เซ็นต์ การเกิดคราบ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำ 24,000 mL ต่อการล้าง 1 ครั้ง และมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าขนาด 3 kW

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเครื่องล้างจานอัตโนมัติ โดยใช้ PLC ในการควบคุมการทำงานสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ภรชัย จูอนุวัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานฉบับนี้ ทั้งได้ทำการตรวจสอบแก้ไขจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไวท์เอนจิเนียร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ตลอดจนวัตถุดิบในการทดลองโครงงานนี้จะสำเร็จไม่ได้ถ้าขาดกำลังใจจากเพื่อน ๆ ของคณะผู้จัดทำและผู้ที่เกี่ยวข้อง ทุกท่าน และทุก ๆ ท่านที่มิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ด้วยและสุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดาและอาจารย์ผู้ซึ่งมีส่วนวางรากฐานทางการศึกษา ให้แก่คณะผู้จัดทำและให้กำลังใจตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
กิตติกรรมประกาศ	**ข**
สารบัญ	**ค**
สารบัญตาราง	**จ**
สารบัญภาพ	**ฉ**
คำอธิบายสัญลักษณ์	**ซ**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ของโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการทำโครงงาน	2
1.6 เวลาการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 น้ำร้อนและเครื่องทำน้ำร้อน	4
2.2 การคำนวณหาขนาดของตัวให้ความร้อน	11
2.3 ท่อส่งสารตัวกลางการทำงาน	13
2.4 วาล์ว	14
2.5 การไหลในท่อ	18
2.6 ปั๊มและการทำงานของปั๊ม	21
2.7 มอเตอร์ไฟฟ้า	26
2.8 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ

3.1 การออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้ PLC 36

3.2 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ 36

3.3 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์มาตรฐานและการคำนวณ 38

3.4 ส่วนประกอบทางด้านซอฟแวร์ 47

บทที่ 4 ทดสอบและวิธีการทดสอบ

4.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ 50

4.2 ส่วนรายละเอียดการทดสอบใช้งานโปรแกรม PLC 53

4.3 รายละเอียดผลการทดลอง 54

4.4 สรุปผลการทดลอง 63

4.5 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ 63

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 64

5.2 ข้อเสนอแนะ 65

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สมบัติทางฟิสิกข์ของน้ำ, ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรองและ Moody Chart 69

ภาคผนวก ข เทอร์โมคับเปิลตัวให้ความร้อนและฉนวนความร้อน 77

ภาคผนวก ค ข้อมูลเครื่องล้างจานในท้องตลาด 90

ภาคผนวก ง สมบัติวัสดุแต่ละชนิด 98

ภาคผนวก จ ประวัติผู้จัดทำ 106

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติท่อประเภทต่าง ๆ	14
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าความขรุขระของท่อแต่ละชนิด	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองโปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้น 70 °C	58
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโปรแกรม B ล้างแบบธรรมดา 65 °C	59
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโปรแกรม C ล้างแบบประหยัด 50 °C	60
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองโปรแกรม D ล้างล้างภาชนะจาน - แก้ว 40 °C	61
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองโปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไป 45 °C	62
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ	63

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ลวดความต้านทานชนิดถอดเปลี่ยนได้	7
ภาพที่ 2.2	ลวดความต้านทานชนิดถอดเปลี่ยนขดไม่ได้	8
ภาพที่ 2.3	การวางขดลวดในแนวตั้ง	9
ภาพที่ 2.4	ลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดหม้อต้มมีฉนวนหุ้ม	10
ภาพที่ 2.5	โซลินอยด์วาล์ว ระบบ เปิด-ปิด โดยตรง (Direct acting)	15
ภาพที่ 2.6	โซลินอยด์วาล์ว ระบบ เปิด-ปิด ทางอ้อม (Pilot control)	16
ภาพที่ 2.7	โซลินอยด์วาล์ว ระบบผสม (Combined operation)	16
ภาพที่ 2.8	โซลินอยด์วาล์วขนาด 0.5 นิ้ว (220 VAC)	17
ภาพที่ 2.9	โซลินอยด์วาล์วขนาด 0.5 นิ้ว (20 VDC)	17
ภาพที่ 2.10	การจำแนกประเภทของปั๊ม	22
ภาพที่ 2.11	ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง (Gear Pump)	24
ภาพที่ 2.12	ปั๊มโรตารี่แบบครีบ (Vane) ก. Swing – Vane Pump และ ข. Slide – Vane Pump	24
ภาพที่ 2.13	ปั๊มโรตารี่แบบลอน ก. สองลอน (Two – Lobe) ข. สามลอน (Three – Lobe)	25
ภาพที่ 2.14	ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน (Screw Pump) ก. สว่านเดียว (Single – Screw) ข. สองสว่าน (Two – Screw)	25
ภาพที่ 2.15	สเตเตอร์ (Stator)	27
ภาพที่ 2.16	ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก	27
ภาพที่ 2.17	ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก	28
ภาพที่ 2.18	โรเตอร์	28
ภาพที่ 2.19	แปรงถ่าน	29
ภาพที่ 2.20	ซองแปรงถ่าน	29
ภาพที่ 2.21	โครงสร้าง PLC	32
ภาพที่ 2.22	ส่วนประกอบของ CPU	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 3.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการสร้าง	35
ภาพที่ 3.2	ลักษณะโครงสร้างและชิ้นส่วนที่สำคัญ	36
ภาพที่ 3.3	ไดอะแกรมของเครื่องสูบของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ	42
ภาพที่ 3.4	แสดงระดับพลังงานศักย์	45
ภาพที่ 3.5	แสดงวงจรการทำงานและหลักการทำงาน	48
ภาพที่ 4.1	โครงสร้างภายนอกหลักเครื่องล้างจานอัตโนมัติ	50
ภาพที่ 4.2	ฝาครอบตัวเครื่องล้างจานอัตโนมัติ	51
ภาพที่ 4.3	ถาดวางจานและผลิตภัณฑ์	51
ภาพที่ 4.4	โครงสร้างภายในของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ กรองเศษอาหาร หัวจ่ายสปริงเกอร์ (Sprinkle)	52
ภาพที่ 4.5	ตู้ควบคุมควบคุมและPLC	52
ภาพที่ 4.6	แสดงการตั้งค่าฟังก์ชันการทำงาน	53
ภาพที่ 4.7	เครื่องล้างจานอัตโนมัติ	54
ภาพที่ 4.8	นาฬิกาจับเวลาและอุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาตร	55
ภาพที่ 4.9	ขนาด ผลิตภัณฑ์ประเภทแก้ว ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	55
ภาพที่ 4.10	ขนาดผลิตภัณฑ์ภาชนะจานที่ใช้ในการทดลอง	56
ภาพที่ 4.11	ผังขั้นตอนการทดลองและการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ	67

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
P	กำลัง	W
F	แรง	N
V	ความเร็ว	m/s
Q_m	อัตราการไหลเชิงปริมาตร	m^3/s
L	ความยาว	m
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
m	มวล	kg
W	น้ำหนัก	N
υ	ความหนืดจลน์	m^2/s
μ	ความหนืดสัมบูรณ์	Pa.s
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
Δp	ความดันลด	Pa
$\forall$	ปริมาตร	m^3
I	โมเมนต์แห่งความเฉื่อย	m^4
k	รัศมีไจเรชั่น	m
σ_y	ความเค้นจุดคราก	N/mm^2
E	โมดูลัสความยืดหยุ่น	N/mm^2
t	ความหนา	m

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในแถบยุโรปและอเมริกาเครื่องล้างจานได้ใช้กันแพร่หลายจนกลายเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับครัวเรือนไปแล้ว ขณะที่ในประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะใช้ในเชิงธุรกิจเท่านั้นในครัวเรือนยังมีน้อยมาก โดยอุปกรณ์ในการล้างภาชนะใส่อาหารและเครื่องดื่มเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเครื่องล้างจานหรือเครื่องล้างแก้ว หลายคนอาจจะมองว่าในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นการใช้เครื่องล้างจานเป็นสิ่งจำเป็นมากเพราะคงไม่มีใครมายืนทรมานล้างจานด้วยมือขณะที่อากาศหนาวเหน็บ แต่ประเทศไทยอากาศร้อน และค่าจ้างแรงงานยังต่ำ การล้างจานด้วยมือยังคงทำได้ นอกจากนี้ยังมีความเชื่อถือกันว่า การล้างจานด้วยเครื่องล้างจานจะล้างได้ไม่สะอาดเท่าล้างด้วยมือและยังเปลืองไฟเปลืองน้ำ ราคาเครื่องก็ยังค่อนข้างสูงมาก แต่ทุกวันนี้เครื่องล้างจานได้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีทั้งในเรื่องของการประหยัดน้ำ มีการแข่งขันกันในเรื่องปริมาณน้ำที่ใช้ต่อรอบการล้างให้ต่ำที่สุด การนำน้ำที่ล้างกลับมาใช้ใหม่ รูปแบบของการฉีดน้ำไปบนภาชนะ การปรับอุณหภูมิของน้ำให้เหมาะกับภาชนะที่ใส่อาหารแต่ละประเภทเพื่อประหยัดพลังงานและอื่น ๆ ที่จะช่วยแก้ปัญหาจากความเชื่อเดิม ๆ ที่มีอยู่

จากการศึกษาค้นคว้าและการหาข้อมูลเบื้องต้นนั้น สรุปได้ว่าเครื่องล้างอัตโนมัติในท้องตลาดมีข้อเสียอยู่ เช่น การทำงานของเครื่องมีเสียงดัง ล้างเศษอาหารจากภาชนะไม่สะอาด ล้างน้ำยาไม่สะอาด เอาน้ำเดิมขึ้นมาล้างใหม่ หัวฉีดน้ำหรือแรงดันของน้ำฉีดไม่ถึงก้นภาชนะจะทำให้ภาชนะไม่ใส เช่น แก้วเป็นต้น และเครื่องล้างจานอัตโนมัตินี้มีขนาดใหญ่เคลื่อนย้ายลำบากและกินเนื้อที่ในการติดตั้ง ทำจากโลหะแข็งที่มีน้ำหนักมากและมีราคาสูง เช่น สแตนเลส มีราคาหลักหมื่นถึงหลักแสน ส่วนใหญ่แล้วจะมีตามร้านอาหารและภัตตาคารที่มีถ้วยชามราคาแพงและตามโรงพยาบาลเป็นต้นดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะทำการออกแบบและสร้างเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซีโดยประกอบด้วยโครงสร้างหลักชุดเพิ่มความดันให้กับน้ำ อุปกรณ์ให้ความร้อนกับน้ำ และชุดควบคุมระบบการทำงานโดยใช้ PLC ซึ่งมีหลักการทำงาน 2 ขั้นตอน ได้แก่สถานีรับจาน สถานีล้างซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมการล้างได้ 5 โปรแกรมการล้าง: 70°C ล้างแบบเข้มข้น, 65°C ล้างแบบธรรมดา 50°C ล้างแบบประหยัด, 40°C ล้างภาชนะ-แก้ว, และ 45°C ล้างด่วนแบบทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อแก้ปัญหาการล้างจานที่ต้องพึ่งน้ำยาล้างจานจากต่างประเทศและช่วยในการประหยัดน้ำ

1.2.3 เพื่อประหยัดเวลาในการล้างจาน

1.2.4 เพื่อลดปัญหาจานชำรุดจากการล้างด้วยมือ

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1.3.1 สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องล้างจานอัตโนมัติ โดยใช้PLCในการควบคุมการทำงาน

1.3.2 เวลาที่ใช้ในการทำงาน 5–15 นาที

1.3.3 สามารถล้างจานขนาด 5-10 นิ้ว ได้ 20 ใบ

1.3.4 สามารถล้างจานได้สะอาด ไม่มีคราบสิ่งสกปรกและหยดน้ำ

1.3.5 สามารถใช้กับน้ำยาล้างจานที่นิยมใช้ในครัวเรือน

1.3.6 ฆ่าเชื้อโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงสุด 70 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องต้นแบบเครื่องล้างจานอัตโนมัติ โดยใช้PLCในการควบคุมการทำงาน

1.4.2 ช่วยในการประหยัดน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการล้างด้วยมือ

1.4.3 สามารถประหยัดเวลาในการล้างจาน

1.4.4 ได้จานที่มีความสะอาด ปราศจากเชื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับการล้างด้วยมือและสามารถลดปัญหาจานชำรุดจากการล้างด้วยมือ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 รวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาการทำงานเครื่องล้างจานในท้องตลาด

1.5.3 ออกแบบและคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์มาตรฐาน

1.5.4 เลือกวัสดุและอุปกรณ์

1.5.5 สร้างเครื่องล้างจานโดยควบคุมด้วย PLC

1.5.6 ทำการทดลองและปรับปรุงแก้ไข

1.5.7 สรุปและประเมินผลงาน

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการนำเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาเป็นข้อมูลของการทำเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี แบ่งเป็นเนื้อหาหลัก ๆ 8 หัวข้อ ดังนี้

2.1 น้ำร้อนและชนิดเครื่องทำน้ำร้อน

2.2 การคำนวณหาขนาดของตัวให้ความร้อน (Heater)

2.3 ท่อส่งสารตัวกลางการทำงาน

2.4 วาล์ว

2.5 การไหลในท่อ (Flow in closed Conduits)

2.6 ปั๊มและการทำงานของปั๊ม

2.7 มอเตอร์

2.8 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC)

2.1 น้ำร้อนและเครื่องทำน้ำร้อน [1] [5] [7] [9]

น้ำมีส่วนประกอบของไฮโดรเจนและออกซิเจน น้ำบริสุทธิ์มีสูตรทางเคมี H_2O น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตซึ่งจะขาดน้ำไม่ได้ กว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในร่างกายของเราประกอบด้วยน้ำ น้ำจะถูกนำมาใช้ทั้งการอุปโภคและบริโภค รวมทั้งการทำน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคารด้วยก่อนจะนำน้ำเย็นไปทำเป็นน้ำร้อนควรรู้จักคุณสมบัติของน้ำเสียก่อน ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังจะได้อธิบายต่อไป

2.1.1 คุณสมบัติของน้ำ

น้ำมีน้ำหนักและเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ซึ่งคุณสมบัตินี้มีค่าความสำคัญยิ่งต่อการออกแบบและติดตั้งระบบน้ำร้อน ขณะเดียวกันก็มีผลต่อการวางจุดปล่อยน้ำโดยอาศัยน้ำหนักของน้ำรวมทั้งความสูงของจุดปล่อยน้ำและมีผลต่ออัตราการไหล

การคำนวณหาแรงและความกดดันน้ำภายในท่อและถังเก็บน้ำจะใช้ความหนาแน่นของน้ำ 1,000 กก/ม^3 นอกจากคุณสมบัตินี้ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย

1. น้ำ 1 m^3 มีจำนวน 1,000 L
2. น้ำ 1 L มีจำนวน 1,000 g

น้ำบริสุทธิ์จะไม่มีกลิ่นและรสที่ความกดดันบรรยากาศอุณหภูมิ 0°C และ 100°C มีลักษณะใสเป็นของเหลวเกือบไม่มีสี

2.1.2 น้ำร้อน

น้ำร้อนจะถูกนำมาใช้กับเครื่องสุขภัณฑ์มากพอ ๆ กับน้ำเย็น เพราะให้ประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างกว้างขวาง เฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีสภาพอากาศหนาวจัด จึงต้องการน้ำร้อนเพื่อให้ความอบอุ่นภายในอาคาร นอกจากนั้นน้ำร้อนยังถูกนำไปใช้กับเครื่องซักผ้า เครื่องล้างชามเพื่อความสะดวกและประสิทธิผลในการล้างคราบไขมันต่าง ๆ ได้ดีกว่าน้ำเย็น

ประโยชน์ของน้ำร้อนที่นำมาใช้กับระบบทั่วไป พอจะแย่งออกได้ดังนี้

1. กรณีเป็นน้ำอุ่น อุณหภูมิของน้ำอุ่นจะถูกผสมระหว่างน้ำเย็นและน้ำร้อน หรือน้ำอุ่นโดยไหลผ่านเครื่องทำน้ำร้อน ซึ่งสามารถใช้อาบ-ล้างมือ-ล้างหน้าได้ราว 35°C การอาบน้ำและแช่น้ำอุ่นนาน ๆ จะทำให้รูขุมขนขยายตัวมากขึ้นการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายได้ดี ผ่อนคราบความตึงเครียดของกล้ามเนื้อและการปวดเมื่อย การไหลเวียนของโลหิตในร่างกายดีขึ้น ลดความหยาบกร้านของผิวหนัง ผิวพรรณสวยงาม สรุปแล้วการอาบน้ำอุ่นมีผลดีต่อสุขภาพพลานามัยอย่างยิ่ง

2. กรณีเป็นน้ำร้อน อุณหภูมิสูงสุดราว 80°C ถูกนำมาใช้กับระบบทำความอุ่นในอาคาร เฉพาะประเทศที่มีอากาศหนาว ใช้ในการซักผ้า ล้างจานฆ่าเชื้อโรค ประกอบอาหารและกิจกรรมอื่นตามความต้องการ

ตามที่กล่าวมาพบว่าน้ำร้อนให้ประโยชน์อย่างมากมายต่อผู้อาศัยในอาคาร ก็ให้เกิดความสะดวกสบาย มีสุขภาพอนามัยที่ดี สำหรับประเทศไทยการติดตั้งระบบน้ำร้อนยังไม่แพร่หลายมากนัก ส่วนมากจะอยู่ตามโรงแรม โรงพยาบาล อพาร์ตเมนต์ โรงซักรีด ภัตตาคาร หรือ สถานบริการบางประเภท อนาคตเชื่อว่าน้ำร้อนจะเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่อาศัยของผู้ใช้มากขึ้นเป็นลำดับ เพราะเครื่องทำน้ำร้อนเป็นสุขภัณฑ์อันหนึ่งที่ขาดไม่ได้

2.1.3 ชนิดของเครื่องทำน้ำร้อน

เครื่องทำน้ำร้อนที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแยกออกได้ตามชนิดของพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำให้ร้อน ลักษณะของหม้อต้นน้ำและชนิดที่นิยมใช้กันแพร่หลายขณะนี้ แบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ

1. เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า
2. เครื่องทำน้ำร้อนใช้ก๊าซ
3. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

2.1.4 หลักการทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าเป็นพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทำน้ำร้อนกันมาก น้ำจะร้อนเมื่อปล่อยกระแสไฟผ่านขดลวดความต้านทานที่จุ่มอยู่ในหม้อต้ม ขดลวดความต้านทานจุ่มอยู่ภายในส่วนภายนอกหม้อต้มมีฉนวนหุ้มเอาไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนไปจากน้ำ ท่อน้ำเย็นเข้าหม้อต้มจะต่ออยู่ส่วนล่างของหม้อใกล้กับขดลวดความต้านทาน และจัดให้น้ำหมุนวนรอบ ๆ ขดลวดจะได้ร้อนเร็วขึ้น การควบคุมปริมาณความร้อน ทำโดยผู้ใช้คือหมุนปุ่มปรับที่ติดอยู่ด้านนอกของเครื่อง ขนาดเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้ามี 1 กิโลวัตต์ 2 กิโลวัตต์ และ 3 กิโลวัตต์ เฉพาะผู้ใช้คนเดียวเท่านั้น หากจำนวนผู้ใช้มากกว่านี้อาจมีปริมาณเกินขนาด 3 กิโลวัตต์ มีความต้องการกระแสไฟฟ้าราว 15 แอมแปร์

กำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kWh) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา 1 ชั่วโมง กระแส 1 วัตต์ ทำให้เกิดความร้อน 0.24 แคเลอรี่ ในเวลา 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ใน 1 ชั่วโมง จะให้ปริมาณความร้อน (1kWh) = 0.24 x 3600 = 860 กิโลแคเลอรี่ หากเปลี่ยนเป็นหน่วยเอสไอ จะได้ค่าปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อน 1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง = 1000 x 3600 x W x S = 3,600,000 J/s หรือ 1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง = 3600 กิโลจูล และปริมาณความร้อน 4.186 กิโลจูล ทำให้น้ำ 1 ลิตร (1 กก.) มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ต้องใช้ปริมาณความร้อน 4.186 กิโลจูล ดังนั้นหากกำลัง 1 กิโลวัตต์ ปล่อยไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้น้ำปริมาณ 3,600 กิโลจูลต่อชั่วโมง / 4.186 กิโลจูลต่อชั่วโมง = 860 ลิตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ต่อชั่วโมง หรือถ้าให้น้ำมีอุณหภูมิ 55°C ต่อชั่วโมง น้ำจะมีปริมาณเท่ากับ 860/55 = 15.6 ลิตร

2.1.4.1 ส่วนประกอบเครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า

ส่วนประกอบเครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้าชนิดหม้อต้ม มีดังต่อไปนี้ คือ

1. เปลือกหม้อต้มและฝาครอบ
2. ฉนวน
3. ท่อจ่ายน้ำเย็นเข้าหม้อต้ม
4. แท่งแอโนด
5. ขดลวดความต้านทาน
6. หม้อต้มของเครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้าเหมือนกับหม้อต้มใช้ก๊าซ มีการเคลือบผิวป้องกันการกัดกร่อนของน้ำร้อน หม้อต้มอาจมีรูที่ด้านบนหรือด้านล่าง เพื่อต่อท่อน้ำเย็นเข้าและน้ำร้อนออกพร้อมกับมีวาล์วระบายความกดดันติดตั้งอยู่ด้านบดหรือด้านข้าง มีขนลวดความต้านทานจุ่มอยู่และวาล์วระบายน้ำติดอยู่ก้นถัง เพื่อระบายน้ำออกจากหม้อต้ม

7. เทอร์โมสตัท จะติดตั้งไว้บนเครื่องทำน้ำร้อนเพื่อเริ่มจ่ายและปิดกั้นการไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดความต้านทาน และปับให้อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มร้อนตามต้องการ เทอร์โมสตัทเป็นตัวรับรู้อุณหภูมิภายนอกและในหม้อต้ม เครื่องทำน้ำร้อนบางชนิดจะใช้เทอร์โมสตัทที่มีกระเปาะรับอุณหภูมิสอดอยู่ภายในหม้อต้มเพื่อประสิทธิผลในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อน

8. อุปกรณ์ควบคุมจำกัดอุณหภูมิสูง เครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าทั้งหลายจะมีอุปกรณ์ควบคุมจำกัดอุณหภูมิสูง จุดประสงค์เพื่อหยุดการไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรขดลวดความต้านทาน เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำเท่ากับที่ตั้งไว้ อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นอุปกรณ์นิรภัยที่ใช้อุณหภูมิของน้ำไม่ให้สูงเกินไป เนื่องจากการเสียหายของเทอร์โมสตัท เนื่องจากการเสียหายของเทอร์โมสตัทหรือขดลวดความต้านทานรั่วลงดิน

9. ขดลวดความต้านทาน ขดลวดความต้านทานจะเป็นตัวให้ความร้อนแก้น้ำเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ขดลวดนี้จุ่มสัมผัสอยู่กับน้ำทำให้น้ำร้อนเร็วและมีประสิทธิภาพถาวรถ่ายเทความร้อนสูงก่อนใช้ต้องเติมน้ำให้เต็มหม้อเสียก่อน เพื่อป้องกันการไหม้เสียหายของขดลวด ขดลวดความต้านทานแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

9.1 ชนิดถอดเปลี่ยนขดได้ สามารถถอกเปลี่ยนขดได้โดยไม่ต้องระบายน้ำออกจากหม้อต้ม ส่วนประกอบของขดลวดมีตัวความต้านทานที่ทำจากลวดนิกเกิลโครม พันเป็นเกลียววางอยู่ในฉนวน ทนไฟ และสอดอยู่ในท่อทองแดงบางอีกชั้นหนึ่ง

9.2 ชนิดถอดเปลี่ยนขดไม่ได้ ประกอบด้วยขดลวดความต้านทานนิกเกิลโครมวางอยู่ในฉนวนและสอดติดกับท่อทองแดง ท่อจะดัดงอเป็นรูปทรงและบัดกรีเข้ากับขั้วต่อสายไฟ

ภาพที่ 2.1 ลวดความต้านทานชนิดถอดเปลี่ยนได้

ภาพที่ 2.2 ลวดความต้านทานชนิดถอดเปลี่ยนขดไม่ได้

2.1.4.2 ตำแหน่งการวางขดลวดความต้านทานในหม้อต้ม

การวางขดลวดความต้านทานให้ความร้อนในหม้อต้ม อยู่ในตำแหน่งแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ขึ้นอยู่กับทางเข้าและชนิดของหม้อต้ม

1. ตำแหน่งแนวตั้ง ขดลวดความต้านทานจะประกอบอยู่ด้านบนหรือด้านล่างของหม้อต้ม หากอยู่ด้านบนจะต้องยาวพอ เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำได้ปริมาณที่ร้อนตามต้องการ น้ำจะเริ่มร้อนและลอยขึ้นสู่ส่วนบนของหม้อต้ม เกิดชั้นน้ำร้อนราว 20 มม. ต่อมาความร้อนจะแผ่ลงสู่ส่วนล่างจะกระทั้งน้ำร้อนทั่วกันทั้งหม้อต้ม

2. ตำแหน่งแนวนอน ขดลวดความต้านทานจะสอดอยู่เหนือด้านล่างก้นถังราว 51 มม. ที่ตำแหน่งนี้น้ำทั้งหมดในหม้อต้มจะค่อยๆ ร้อนขึ้นและร้อนถึงอุณหภูมิกำหนดไม่เกิน 2 ชั่วโมง แสดงตำแหน่งติดตั้งขดลวดในแนวตั้ง ถ้าวางขดลวด ดังภาพที่ 2.4 จะทำให้น้ำร้อนหลังจากต่อกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไป 2-3 นาที

ภาพที่ 2.4 การวางขดลวดในแนวตั้ง

เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้าในอาคารมีขนาด 250,500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 3,000 วัตต์ สำหรับการใช้ในอาคารที่ต้องการปริมาณน้ำร้อนมากมีขนาดตั้งแต่ 4-24 กิโลวัตต์ การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำร้อนอาจถูกกำหนดด้วยปริมาณความจุหม้อต้มน้ำ เช่น 6-8 ลิตร ใช้ 12-15 กิโลวัตต์ 9-12 ลิตร ใช้ 18-24 กิโลวัตต์ ขณะอุณหภูมิของน้ำร้อนราว 40°C อุณหภูมิน้ำร้อนควรตั้งตามสภาพน้ำโดยปรับที่เทอร์โมสตัทสำหรับน้ำกระด้างตั้ง 60°C และน้ำอ่อน 71°C เพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน ในหม้อต้ม

2.1.5 ชนิดเครื่องทำน้ำร้อนแบบใช้ไฟฟ้า

เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า แบ่งออกได้ 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. เครื่องทำน้ำร้อนชนิดหม้อต้มมีฉนวนหุ้ม เครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้มีฉนวนหุ้มผนังด้านนอกของหม้อต้ม ผนังหม้อต้มทำจากทองแดงหากเป็นหม้อต้มที่ใช้กับน้ำความกดดันสูงผนังหม้อต้มต้องทำจากเหล็กอาบสังกะสี ถัดจากฉนวนจะเป็นเปลือกและฝาครอบหม้อต้ม

การทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้เป็นไปโดยอัตโนมัติเพียงตั้งปุ่มปรับอุณหภูมิให้ได้ตามความต้องการเท่านั้น เทอร์โมสตัทจะเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของเครื่องทั้งหมด ช่วงอุณหภูมิที่ให้เลือกด้วยการตั้งปุ่มปรับคือน้ำอุ่นราว 37°C (ต่ำสุด) ร้อนปานกลาง 55°C และน้ำร้อนราว 85°C

อุณหภูมิของน้ำจะคงอยู่ได้นานและร้อนอยู่ตลอดเวลา ขณะเดียวกันน้ำก็จะไหลเข้าสู่หม้อต้มเรื่อยไป ฉนวนสามารถลดการสูญเสียความร้อนจากน้ำได้ดีพอสมควรประมาณว่าปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากน้ำประมาณ 2-5 วัตต์ต่อลิตร.ชั่วโมง การเลือกขนาดเครื่องทำน้ำร้อนต้องให้ใหญ่พอที่จะใช้ทั้งปัจจุบันและอนาคตด้วย

ภาพที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดหม้อต้มมีฉนวนหุ้ม

2. เครื่องทำน้ำร้อนชนิดหม้อต้มไม่มีฉนวนหุ้ม เครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ผนังหม้อต้ม จะไม่มีฉนวนหุ้มกับการสูญเสียความร้อน แต่ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปมีจำนวนน้อยเนื่องจากน้ำร้อนถูกปล่อยออกมาใช้งานก่อนเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนลดลงมาถึงจุดที่ตั้งไว้ เครื่องทำน้ำร้อนจะทำงานขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดความต้านทาน หลักการทำงานง่ายเมื่อเทียบกับชนิดมีฉนวนหุ้ม เพียงแต่เติมน้ำให้เต็มหม้อต้มเท่านั้น น้ำที่เติมเข้าจะร้อนขึ้น

3. เครื่องทำน้ำร้อนชนิดน้ำผ่าน เครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้มีความสิ้นเปลืองมากกว่า เพราะน้ำไหลผ่านแล้วจะร้อนทันที ดังนั้นจึงต้องการกำลังไฟฟ้ามาก หม้อต้มมีขนาดเล็กการถ่ายเทความร้อนรวดเร็ว น้ำไหลผ่านด้วยปริมาณจำกัด เพื่อให้น้ำร้อนทั่วถึงกัน ขนาดของเครื่องทำน้ำร้อนที่มีให้เลือกใช้ 12, 18, 21 หรือ 24 กิโลวัตต์

2.2 การคำนวณหาขนาดของตัวให้ความร้อน (Heater) [7] [9] [10] [12]

ตัวให้ความร้อนหรือฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน ทำจากขดลวด Kanthal เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน และจะนำความร้อนไปสู่ปลอดโลหะจะมีฉนวนแม๊กนีเซียมออกไซด์ (Mag.Oxide) มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่มีการนำความร้อนดีมากทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับผิวโลหะเพื่อป้องกันไม่ให้กระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ

2.2.1 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อน

ชนิดของความร้อนที่เกิดขึ้นกับน้ำจะแบ่งได้ 2 ชนิดดังต่อไปนี้

1. ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) คือ ความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของสสารเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ
2. ความร้อนแฝง (Latent heat) คือ ความร้อนที่ทำให้สสารเปลี่ยนแปลงสถานะโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

สำหรับโครงงานนี้สารตัวกลางการทำงาน (น้ำ) ไม่มีการเปลี่ยนสถานะดังนั้นพลังงานความร้อนที่ต้องการให้กับสารตัวกลางการทำงานคือ

$$Q_S = mC_p\Delta T \qquad (2.1)$$

โดยที่ Q_S = ปริมาณความร้อน (kW)
m = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)
C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg^{o}C)
ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิน้ำ (^{o}C)

2.2.2 กำลังจากทฤษฎีของฮีตเตอร์จะหาได้จาก

$$Q_{Hth} = VI = I^2R \qquad (2.2)$$

โดยที่ Q_{Hth} = พลังงานความร้อนทางทฤษฎี (W)
I = กระแสที่ป้อนเข้าไปในฮีตเตอร์ (A)

V = แรงดันตกคร่อม (V)

R = ความต้านทานของขดลวด Kanthal (Ω)

ซึ่งการหากำลังจากทฤษฎีของฮีตเตอร์จะออกได้เป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีไฟฟ้า 1 เฟส

สมการกำลังไฟฟ้า

$$P = I^2R = VI \qquad (2.3)$$

โดยที่

P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

R = ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)

กรณีไฟฟ้า 3 เฟส

สมการกำลังไฟฟ้า

$$P = 1.73VI \cos\phi \qquad (2.4)$$

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

2.3 ท่อส่งสารตัวกลางการทำงาน [1] [3] [5] [6]

2.3.1 ท่อพีวีซี (PVC) เป็นชื่อเรียกที่คนทั่วไปรู้จักมักคุ้นกันเป็นอย่างดี PVC ย่อมาจากคำว่า Polyvinyl Chloride เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น มีความเหนียวยืดหยุ่นตัวได้ ทนต่อแรงดันน้ำได้ดี ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดหรือด่างได้ดี ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี เพราะไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นวัสดุไม่ติดไฟ ผิวมันเรียบช่วยให้การไหลของน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบา และราคาถูก แต่มีข้อด้อยอยู่บ้าง เช่น มีความเปราะไม่ทนทานต่อแรงกระแทก ไม่ทนทานต่อ แสง UV เพราะจะทำให้กรอบและแตกหักได้ ท่อ พีวีซีที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างแบ่งออกได้อีก 3 ชนิดคือ ท่อสีฟ้า ท่อสีเหลือง และท่อสีเทา

2.3.2 ท่อพีอี (PE) คือ ท่อน้ำสีดำๆที่โค้งไปงอมาได้ ใช้แทนท่อน้ำเหล็กหรือท่อ PVC มีความยืดหยุ่นสูง ราคาก็ไม่แพงมาก (ประมาณเท่ากับท่อ PVC) แต่ค่อนข้างยุ่ง ยากตอนที่จะต่อกัน เพราะต้องใช้ความร้อนในการเชื่อม และเมื่อเชื่อมแล้วจะมี ตะเข็บบ่าในท่อ หากของเหลวที่ไหลอยู่ในท่อมีตะกรัน ก็จะทำให้ตะกรันเหล่านั้น เกาะติดและวันหนึ่งก็อาจจะอุดตันได้ แต่ข้อดีก็คือ มีความทนทานและโค้งงอได้ ง่าย โดยไม่ต้องมีข้อต่อข้องออย่างท่อเหล็กหรือท่อ PVC

2.3.3 ท่อพีบี (PB) คือ ท่อที่มีคุณสมบัติเหมือนกับท่อ พีอี (PE) แต่สามารถทนความร้อน ได้ดีกว่า เพราะท่อพีบีทำมาจากวัสดุสารสังเคราะห์โพลีบิวทิลีน (Polybutylene, PB) ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยมิได้ผสมหรือเคลือบสารโลหะหรือสารเคมีใด ๆ จึงทำให้สามารถใช้เป็นท่อลำเลียงน้ำดื่มหรือของเหลวที่เป็นอาหารได้อย่างปลอดภัย ทนอุณหภูมิร้อนจัดได้ 100°C และเย็นจัดได้ -50°C

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติท่อประเภทต่าง ๆ [7]

คุณสมบัติ	ท่อพีวีซี	ท่อพีอี	ท่อพีบี	ท่อเหล็ก
น้ำหนักท่อ	D = 143 g/cm^3	D = 0.95 g/cm^3	D = 0.93 g/cm^3	D = 10 g/cm^3
ขนาด (มม.)	18 – 600	16 - 1200	15 - 150	¼ -120 in.
การโค้งงอ	ไม่ได้	20 – 40 เท่า	10 – 20 เท่า	ไม่ได้
ทนแรงดัน	13.5 kg/cm^2	20 kg/cm^2	16.5 kg/cm^2	50 kg/cm^2
ทนอุณหภูมิ	0 – 65°C	-(40) – 80°C	(-50) – 100°C	(-100) – 300°C
อายุการใช้งาน	50 ปี	50 ปี	50 ปี	10 – 30 ปี
ทนต่อสารเคมี	ทนทานต่อกรดและด่างได้ดียกเว้นสารละลายบางอย่าง			เป็นสนิมและหินปูน
ทนต่อแรงกระแทก	ทนแรงกระแทกน้อย	ทนแรงกระแทกได้ดี ไม่ร้าวหรือแตกหัก		ทนแรงกระแทกดีมาก

2.4 วาล์ว [2] [8]

วาล์วเป็นอุปกรณ์อีกชนิดที่นำมาติดตั้งกับประกอบระบบท่ออุตสาหกรรม เพื่อบังคับการไหลเปลี่ยนทิศทาง ควบคุมอัตราการไหล ปิดเปิดการไหล ลด-เพิ่มความกดดันและบังคับให้ไหลในทิศทางเดียว มีหลายชนิดให้เลือกใช้อย่างเหมาะสมกับงาน กรณีเกิดรั่วของท่อต้องปิดวาล์วเพื่อหยุดการไหลจึงจะทำการซ่อมแซมได้

2.4.1 หน้าที่ของวาล์ว

วาล์วแต่ละชนิดที่ผลิตขึ้นมาใช้งานเฉพาะและเหมาะสมที่สุด แม้จะคล้ายคลึงกันก็ตาม หน้าที่ต่าง ๆ ของวาล์วมีดังนี้

1. เปิดและปิดกั้นการไหล
2. บังคับการไหล
3. ป้องกันการไหลกลับ
4. บังคับความกดดัน
5. ระบายความดัน

2.4.2 โซลินอยด์วาล์ว

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปิดปิดน้ำควบคุมด้วยตัวโซลินอยด์ (Solenoid) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับรีเลย์ (Relay) ภายในโครงสร้างของโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กที่ภายในประกอบด้วยแม่เหล็กชุดบนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็กดึงแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกันทำให้ครบวงจรทำงาน เมื่อวงจรถูกตัดกระแสไฟฟ้าทำให้แท่งเหล็กส่วนล่างหมดอำนาจแม่เหล็กสปริงก็จะดันแท่งเหล็กส่วนบนกลับสู่ตำแหน่งปกติยกตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น ในโรงเรือน ในฟาร์ม ระบบรดน้ำที่ต้องการจ่ายน้ำหลายๆจุด แบ่งเป็นโซนๆ หลายๆโซน โดยต่อกับระบบ Control มี Pressure Switch หรือ Timer เป็นตัวสั่งงานให้ โซลินอยด์วาล์วทำงาน เป็นต้น ในปัจจุบันโซลินอยด์วาล์ว หรือ วาล์วที่ เปิด-ปิด ด้วยไฟฟ้า ซึ่งมีหน้าที่ ในการเปิดและปิดการไหล ของของไหล เช่น น้ำ หรือ อากาศ ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในระบบการจ่ายของไหลแบบอัตโนมัติ โซลินอยด์วาล์ว เหมาะสำหรับการใช้กับงานทั่วไป เพื่อใช้ในการเปิดหรือ ปิด ของเหลวมีให้เลือกใช้ 2 แบบ คือ

2.4.2.1 โซลินอยด์วาล์วแบบ 2/2 ทาง (ทางเข้า-ทางออก) และ มี 2 สถานะ คือ ปิด หรือ เปิด

2.4.2.2 โซลินอยด์วาล์วแบบ 3/2 ทาง (ทางเข้า-ทางออก-ระบาย) และ มี 2 สถานะ เช่นกัน คือ ปิด หรือ เปิด

2.4.2.3 โซลินอยด์วาล์วแบบ 2/2 ทาง และ 3/2 ทาง แบ่งตามลักษณะการทำงาน ได้ 3 ระบบ คือ

1. โซลินอยด์วาล์ว ระบบ เปิด-ปิด โดยตรง (Direct acting) การเปิดและปิดของโซลินอยด์วาล์ว อาศัยแรงจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก คอยล์ และตัวสปริง เป็นตัวช่วยในการเปิดหรือ ปิดของ ตัวโซลินอยด์วาล์ว แต่เพียงอย่างเดียว

ภาพที่ 2.5 โซลินอยด์วาล์ว ระบบ เปิด-ปิด โดยตรง (Direct acting)

2. โซลินอยด์วาล์ว ระบบ เปิด-ปิด ทางอ้อม (Pilot control) การเปิด และ ปิด นอกจากต้องอาศัยแรงจากคอยล์แล้ว ยังต้องอาศัยความแตกต่างของความดัน ที่ด้านบนและด้านล่างของแผ่นไดอะเฟรม ภายในตัววาล์ว การใช้งานจึงมีความจำเป็น ต้องมีความดันด้านขาเข้า ประมาณ 0.1-0.2 บาร์ ตามสเปคของบริษัทผู้ผลิตระบุไว้ ถ้าไม่มีความดันด้านขาเข้าเลย ตัววาล์วก็ไม่สามารถทำงานได้ ถึงแม้จะจ่ายไฟให้คอยล์แล้วก็ตาม แต่มีข้อดี คือ สามารถ ออกแบบให้ตัว โซลินอยล์วาล์ว มีขนาดใหญ่กว่าระบบ เปิด-ปิด โดยตรง ได้ มีขนาดให้เลือกใช้ ตั้งแต่ขนาดเกลียวท่อ 0.375 นิ้ว จนถึงขนาด 2 นิ้ว

ภาพที่ 2.6 โซลินอยด์วาล์ว ระบบ เปิด-ปิด ทางอ้อม (Pilot control)

3. โซลินอยด์วาล์ว ระบบผสม (Combined operation) การทำงานเป็นการรวมข้อดี ของระบบเปิด-ปิด โดยตรง และระบบเปิด-ปิดทางอ้อม เข้าด้วยกัน คือ อาศัยทั้งแรงจากคอยล์ และความแตกต่างของความดัน ด้านบนและด้านล่างของแผ่นไดอะเฟรม ภายในตัววาล์ว ทำให้ในการใช้งาน ถึงแม้จะไม่มีความดันขาเข้าในระบบ ก็ยังสามารถ ทำงานได้โดยอาศัยแรงจากคอยล์เพียงอย่างเดียว และสามารถออกแบบให้มีขนาดใหญ่กว่าระบบ เปิด-ปิดโดยตรง คือมีขนาดตั้งแต่ 0.375 นิ้ว จนถึงขนาด 1 นิ้วครึ่ง และไม่จำเป็นต้องมีความดันขาเข้าในระบบก็สามารถใช้งานได้

ภาพที่ 2.7 โซลินอยด์วาล์ว ระบบผสม (Combined operation)

สำหรับ แรงดันไฟฟ้า ที่ใช้กับ คอยล์ ของ โซลินอยด์วาล์วทั่วไปตามท้องตลาดส่วนมากจะมีแหล่งจ่าย 3 ระบบคือ แบบ 24 VDC, 110 VAC และ 220 VAC

ภาพที่ 2.8 โซลินอยด์วาล์วขนาด 0.5 นิ้ว (220VAC)

ภาพที่ 2.9 โซลินอยด์วาล์วขนาด 0.5 นิ้ว (20VDC)

2.5 การไหลในท่อ (Flow in closed Conduits) [1] [5] [6]

การไหลในท่อ หมายถึง การไหลของของไหลแบบเต็มท่อ (Fully Develop) สิ่งที่ควรรู้ในการไหลในท่อ มีดังต่อไปนี้

อัตราการไหลเชิงปริมาตร

$$Q = Av \tag{2.5}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2)

v = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

สมการต่อเนื่อง $Q_1 = Q_2$

$$A_1v_1 = A_2v_2 \tag{2.6}$$

2.5.1 การไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน

การไหลในท่อแบ่งออกได้ 2 กรณี คือ การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้เลขเรย์โนลด์เป็นตัวกำหนดถ้า

$R_e < 2000$ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

$R_e > 4000$ เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ตัวเลขเรย์โนลด์ หาจากสมการ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = VD/\upsilon \tag{2.7}$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่น(kg/m^3)

V = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

μ = ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa.s)

υ = ความหนืดจลน์ (m^2/s)

2.5.2 การหาการสูญเสียหลักสำหรับการไหลในท่อ

การสูญเสียที่เกิดจากการไหลในท่อที่เกิดจากความยาวท่อหาได้จากสูตรของดารซี-เวสบาช (Darcy-Wiesbach)

$$h_f = \frac{fLV^2}{2gD} \quad (2.8)$$

โดยที่ f = แฟคเตอร์ความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ (m)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

ε = ค่าความขรุขระของท่อแต่ละชนิด ดูได้จาก ตารางที่ 2.2

ถ้า $R_e < 2000$ ค่า $f = \frac{64}{Re}$

ถ้า $R_e > 4000$ ค่า f หาจาก Moody Diagram โดยมีค่า $\frac{\varepsilon}{D}$ และ Re เป็นข้อมูล

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าความขรุขระของท่อแต่ละชนิด [21]

Material(new)	**Roughness (ε)**
	m
Riveted steel	0.0009-0.009
Concrete	0.0003-0.003
Cast iron	0.00026
Galvanized iron	0.00015
Commercial steel or wrought iron	0.000046
Drawn Brass or copper tubing	0.0000015
Glass and plastic	“smooth”

ที่มา: Jack B. Evett, 1998.

2.5.3 การหาการสูญเสียรองสำหรับการไหลในท่อ

การสูญเสียที่เกิดจากไหลในท่อที่เกิดจาก ลิ้น ข้อต่อ ท่อแยก ท่อทางเข้า และทางออก หาได้จากสูตร

$$h_m = \frac{KV^2}{2g} \quad (2.9)$$

โดยที่ K = แฟตเตอร์การสูญเสียรอง (ดูจากภาคผนวก ข - 2)

V = ความเร็วเฉลี่ยในท่อ (สำหรับท่อเปลี่ยนขนาดให้ใช้ความเร็วในท่อเล็ก)

2.5.4 สมการพลังงานของการไหลในท่อ

สมการพลังงานสำหรับการไหลในท่อ มาจากการประยุกต์กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ในที่นี้จะไม่พิจารณาความร้อนและพลังงานจากภายนอกดังนั้นสมการเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_P = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L + h_T \quad (2.10)$$

โดยที่ $\frac{P}{\gamma}$ = ความดัน (m)

$\frac{V^2}{2g}$ = หัวความเร็ว (m)

Z = ความสูง (m)

h_L = การสูญเสียรวมในระบบ ($h_f + h_m$) (m)

h_P = ปั๊ม (m)

h_T = กังหัน (m)

2.6 ปั๊มและการทำงานของปั๊ม [3]

ปั๊มหรือเครื่องสูบ เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่น ๆ ก็ได้

2.6.1 การแยกประเภทปั๊ม

ปัจจุบันได้มีการผลิตปั๊มออกจำหน่ายมากมายหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปจนบางครั้งทำให้เกิดความสับสน ดังนั้นจึงได้มีการจัดหมวดหมู่เพื่อให้สามารถแยกประเภทและเรียกชื่อได้ชัดเจนขึ้น การแยกประเภทอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

1. แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

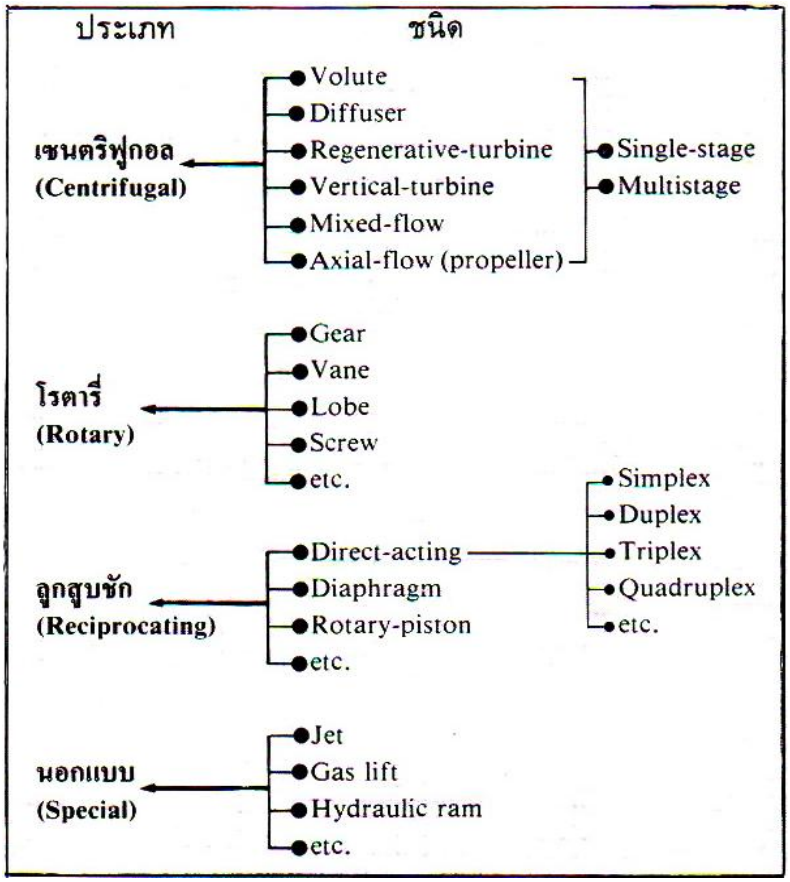
ก. ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มประเภทนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นประเภท Roto - dynamic

ข. ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง

ค. ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ

ง. นอกแบบ (Special) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

ในแต่ละประเภทตามที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงออกไปเป็นแบบต่าง ๆ อีกหลายแบบ และมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.10 การจำแนกประเภทของปั๊ม

2. แยกประเภทตามลักษณะการขับดันของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ด้วยกัน คือ

ก. ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Non – Positive Displacement) ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้

ข. ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และลูกสูบชักอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.6.2 ลักษณะและการทำงานของปั๊มแบบโรตารี่

ปั๊มโรตารี่ เป็นแบบที่ทำงานโดยของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่ที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย

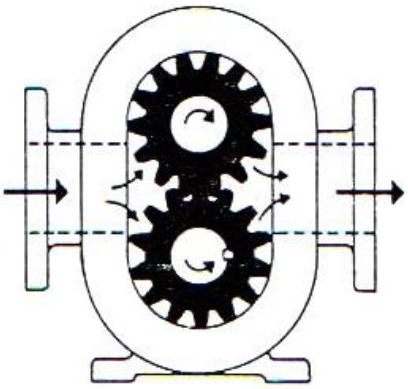
อัตราการสูบของปั๊มแบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแทนที่ของเหลวของโรเตอร์ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะต่ำกว่าแบบอื่น ประสิทธิภาพของการทำงานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ช่องว่าง (Clearance) ระหว่างโรเตอร์กับผนังของห้องสูบ ความแตกต่างของความดันระหว่างด้านสูบกับด้านจ่าย ความข้นเหนียว (Viscosity) ของของเหลวและความเร็วของการหมุน เป็นต้น ปั๊มแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงได้ถึง 80 – 85% อัตราความเร็วรอบของปั๊มแบบนี้อยู่ที่ 400-500 rpm ถ้าใช้กับของเหลวที่มีความข้นเหนียวสูง

ผู้ผลิตได้ออกแบบปั๊มประเภทนี้ต่าง ๆ กันมากมายหลายแบบ ลักษณะการทำงานของทุกแบบคล้ายคลึงกัน จะผิดกันก็คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่หมุนเพื่อก่อให้เกิดการแทนที่ของเหลว การเรียกชื่อจริงเรียงตามลักษณะรูปร่างของส่วนนี้เป็นหลัก ตัวอย่างของปั๊มประเภทนี้ ได้แก่

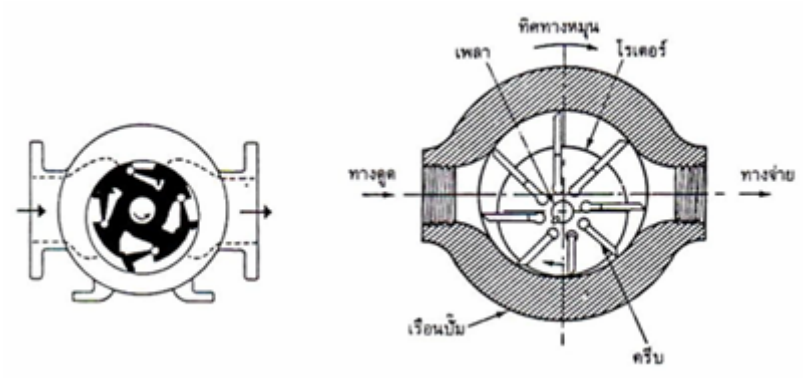
1. ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง (Gear pump ภาพที่ 2.16) เป็นแบบที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด ปั๊มแบบนี้ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวจากทางดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟัน ซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางจ่าย ซี่ของฟันเฟืองซึ่งชิดกับผนังของห้องสูบป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนมาสู่ทางดูดได้ เมื่อมาถึงทางจ่ายแล้วร่องฟันเฟืองซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ก็จะถูกแทนที่ด้วยฟันจากเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งขบกันสนิทจนของเหลวไม่สามารถไหลผ่านฟันเฟืองไปสู่ด้านดูดได้

2. ปั๊มโรตารี่แบบครีบ (Vane Pump ภาพที่ 2.12) ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์ให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางจ่าย

รอบ ๆ โรเตอร์จะมีครีบซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบเมื่อโรเตอร์หมุนครีบเหล่านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางจ่าย ปั๊มแบบนี้ได้เปรียบแบบเฟือง (Gear Pump) ตรงที่ว่า การสึกหรอของผนังห้องสูบหรือปลายครีบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมากเหมือนการสึกหรอของฟันเฟือง เพราะครีบสามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังห้องสูบได้สนิท

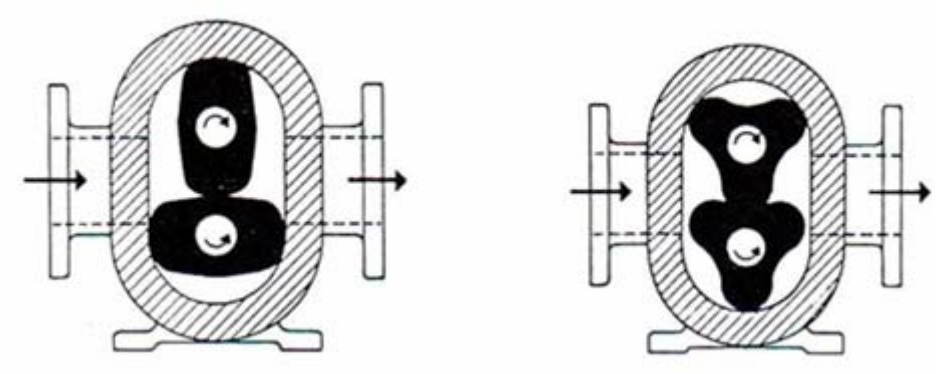


ภาพที่ 2.11 ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง (Gear Pump)



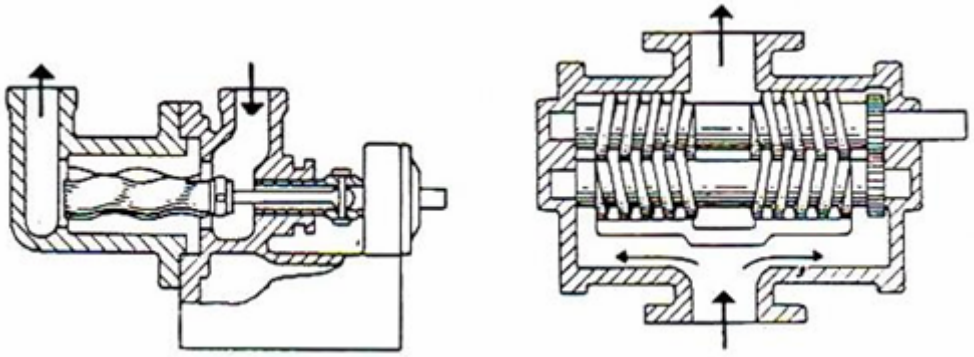
ก. ข.

ภาพที่ 2.12 ปั๊มโรตารี่แบบครีบ (Vane) ก. Swing – Vane Pump และ ข. Slide – Vane Pump



ก. ข.

ภาพที่ 2.13 ปั๊มโรตารี่แบบลอน ก. สองลอน (Two – Lobe) ข. สามลอน (Three – Lobe)



ก. ข.

ภาพที่ 2.14 ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน (Screw Pump) ก. สว่านเดียว (Single – Screw) ข. สองสว่าน (Two – Screw)

3. ปั๊มโรตารี่แบบลอน (Lobe Pump ภาพที่ 2.13) ปั๊มแบบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับแบบเฟือง (Gear Pump) แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพูสองถึงสี่ลอน ช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้าง ดังนั้นอัตราการสูบจึงสูงกว่าแบบแรก แต่เนื่องจากการถ่ายทอดกำลังหมุนของโรเตอร์แบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์ทั้งสองเข้ากันได้พอดี

4. ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน (Screw Pump ภาพที่ 2.14) ปั๊มแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่ 1 – 3 ตัว

2.6.3 กำลังงานที่ต้องการของปั๊ม

กำลังงาน หมายถึง อัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้กันทั่ว ๆ ไป คือ แรงม้า (1 hp = 746 W) กำลังงานที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับปั๊มมีอยู่ 2 อย่างด้วยกัน คือ

1. กำลังทางทฤษฎี (Theoretical Power) เป็นจำนวนกำลังที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด

$$P = \rho g h_P Q \qquad (2.11)$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)
h_P = เฮดรวมของปั๊ม (m)
Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

2. กำลังของต้นกำลัง (Brake Power) เป็นกำลังงานที่มอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ต้นกำลังขับเคลื่อนปั๊มหรือให้แก่ปั๊ม

$$P_b = \frac{P}{\eta_P \eta_m} \qquad (2.12)$$

โดยที่ P_b = กำลังของต้นกำลัง (W)
η_m = ประสิทธิภาพของต้นกำลัง (%)
η_p = ประสิทธิภาพของปั๊ม (%)

2.7 มอเตอร์ไฟฟ้า [2]

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้น ๆ มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR) หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล

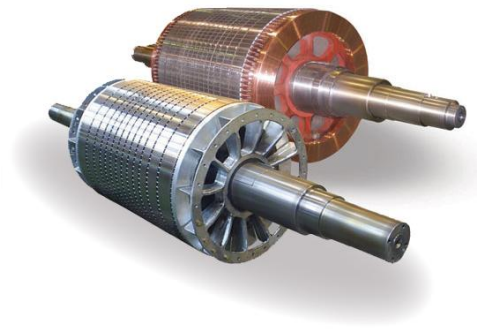
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. MOTOR) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

2.7.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

ภาพที่ 2.15 สเตเตอร์ (Stator)

2. เฟรม (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรง



ภาพที่ 2.16 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่ง ยึดติดกับเฟรมส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)

ภาพที่ 2.17 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

2.7.2 ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นและเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2.7.3 ตัวหมุน (Rotor) หรือเรียกว่าโรเตอร์ ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์

ภาพที่ 2.18 โรเตอร์

โรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

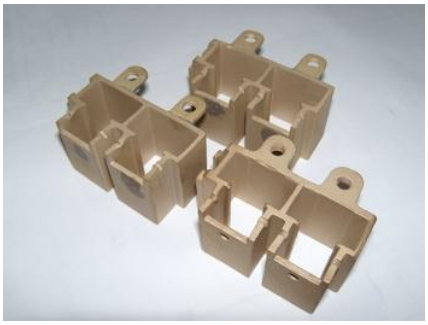
1. แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาเมเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2. แกนเหล็กอาเมเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอามาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวของซี่คอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาเมเจอร์ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปทรงกระบอกมีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาเมเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor action)

4. ขดลวดอาเมเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสล๊อต (Slot) ของแกนอาเมเจอร์ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆเพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆแปรงถ่าน (Brushes)

ภาพที่ 2.19 แปรงถ่าน



ภาพที่ 2.20 ซองแปรงถ่าน

ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นผ้าในซองแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแสและส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาเมเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอกคือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาเมเจอร์เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้

2.7.4 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับ (Motor Action) เมื่อจ่ายแรงดันกระแสไฟฟ้าสลับเข้าไปในมอเตอร์ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาเมเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นและกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ–ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกันตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาเมเจอร์ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ทำให้อาเมเจอร์นี้หมุนได้ขณะที่ตัวอาเมเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุนการที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกันทำให้ขดลวดอาเมเจอร์หรือโรเตอร์ หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง (Fleming left hand rule)

2.7.5 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์ มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่ากำลังได้จาก

$$P_m = T\omega = 2\pi TN \qquad (2.13)$$

โดยที่ P_m คือ กำลังงานที่มอเตอร์ (W)

T คือ โมเมนต์บิด (ทอร์ค) (N. m)

ω คือ ความเร็วเชิงมุมเป็น (rad/s)

N คือ ความเร็วรอบเป็น (rev/s)

สำหรับนำไปติดตั้งกับเครื่องสูบหรือปั๊ม

$$P_b = \frac{P}{\eta_P \eta_m} \qquad (2.14)$$

โดยที่ P_m = กำลังงานที่มอเตอร์ (W)

η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)

η_p = ประสิทธิภาพของปั๊ม (%)

P = กำลังงานที่เครื่องสูบหรือปั๊ม (W)

2.8 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ (PLC) [11] [13]

2.8.1 ความหมายของ Programmable Logic Controller

เครื่องควบคุมเชิงตรรกะ ที่สามารถโปรแกรมได้ PLC : Programmable Logic Controller (PLC) (มีต้นกำเนิดจากประเทศสหรัฐอเมริกา) เป็นเครื่องควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม ที่สามารถจะโปรแกรมได้ ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนวงจรรีเลย์อันเนื่องมาจากความต้องการที่อยากจะได้เครื่องควบ คุมที่มีราคาถูกสามารถใช้งานได้อย่างเอนกประสงค์และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย

2.8.2 ประวัติ PLC

PLC ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกโดย บริษัท Bedford Associates โดยใช้ชื่อว่า Modular Digital Controller (Modicon) ให้กับโรงงานผลิตรถยนต์ในอเมริกาชื่อ General Motors Hydromantic Division บริษัท Allen-Bradley ได้เสนอระบบควบคุมโดยใช้ชื่อว่า PLC ได้มีการพัฒนาให้ PLC มีการประมวลผลที่เร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลง Microprocessor ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง PLC กับ PLC โดยระบบแรกคือ Modbus ของ Modicon เริ่มมีการใช้อินพุท/เอาท์พุทที่เป็นสัญญาณ Analog มีความพยายามที่จะสร้างมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลของ PLC โดยบริษัท General Motor ได้สร้างโปรโตคอลที่เรียกว่า Manufacturing Automation Protocol (MAP) ขนาดของ PLC ลดลงเรื่อย ๆ ผลิตซอฟแวร์ที่สามารถโปรแกรม PLC ด้วยภาษา Symbolic โดยสามารถโปรแกรมผ่านทาง Personalcomputer แทนที่จะโปรแกรมผ่านทาง Handheld หรือ Programing Terminal ค.ศ.1990-ปัจจุบันได้มีความพยายามในการที่จะทำให้ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรม PLC มีมาตรฐานเดียวกันโดยใช้มาตรฐาน IEC1131-3 สามารถโปรแกรม PLC ได้ด้วย

- IL (Instruction List)
- LD (Ladder Diagrams)
- FBD (Function Block Diagrams)
- SFC (Sequential Function Chart)
- ST (Structured Text)

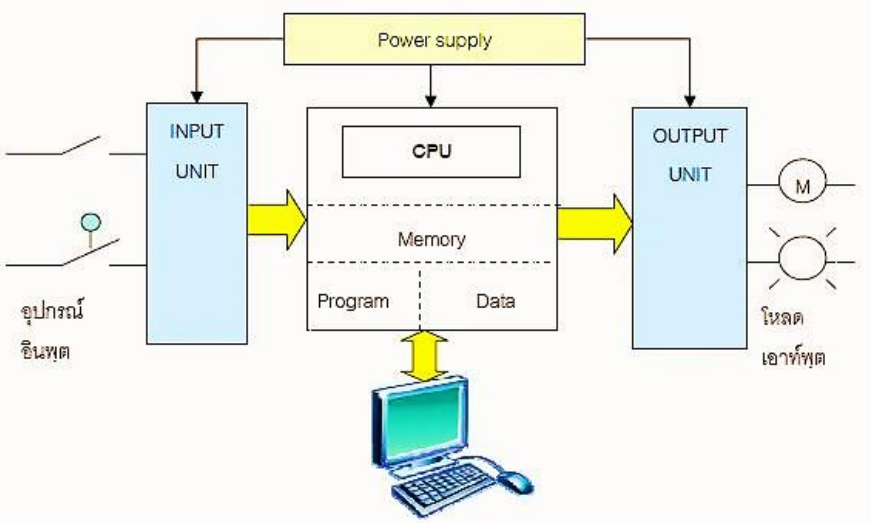
2.8.3 โครงสร้างโดยทั่วไปของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม PLC ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม PLC ขนาดเล็ก ส่วนประกอบทั้งหมด ของ PLC จะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ได้หน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วย หน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และข้อมูลสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ ROM ย่อมาจาก Read Only Memory สามารถโปรแกรมได้แต่ลบไม่ได้ ถ้าชำรุดแล้วซ่อมไม่ได้

1. RAM (Random Access Memory) หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็ก ๆ ต่อไว้เพื่อใช้เลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟลัด การอ่านและเขียนโปรแกรมลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก จึงเหมาะกับการใช้งานในระยะทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมบ่อย ๆ

2. EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิด EPROM นี้จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนโปรแกรม การลบโปรแกรมทำได้โดยใช้แสงอุลตราไวโอแลตหรือตากแดด ร้อน ๆ นาน ๆ มีข้อดีตรงที่โปรแกรมจะไม่สูญหาย แม้ไฟดับ จึงเหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องการเปลี่ยนโปรแกรม

3. EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิดนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรม โดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเหมือนกับ RAM นอกจากนั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟเมื่อไฟดับ ราคาจะแพงกว่า แต่จะรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้ง RAM และ EPROM เอาไว้ด้วย



ภาพที่ 2.21 โครงสร้าง PLC

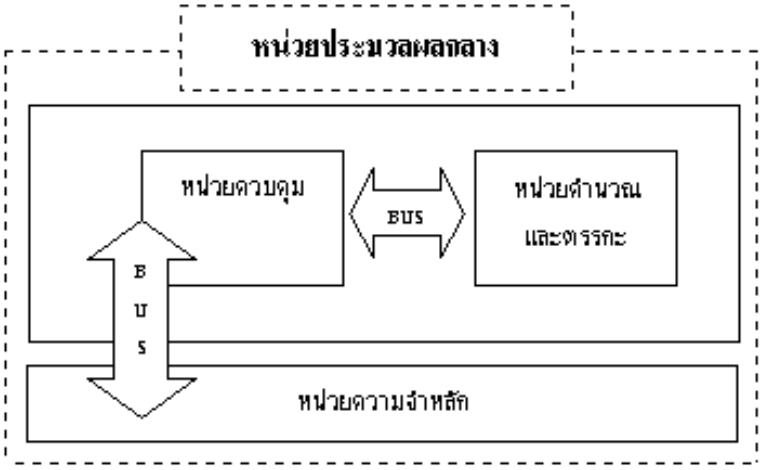
2.8.4 ส่วนประกอบของ PLC

ส่วนประกอบของ PLC แบ่งออกได้ 3 ส่วนด้วยกันคือ

2.8.4.1 Control Processing Unit: CPU

CPU เป็นส่วนมีนสมองของระบบ ภายใน CPU จะประกอบไปด้วยวงจร Logic Gate ชนิดต่างหลายชนิด และมี Microprocessor-based ใช้สำหรับแทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) เคาน์เตอร์ (Counter) ไทเมอร (Timer) และซีแควนเซอร์ (Sequencers) เพื่อให้ผู้ใช้ได้ออกแบบใช้วงจรรีเลย์แลดเดอร์ ลอจิก (Relay Ladder Logic) เข้าไปได้

CPU จะยอมรับ (Read) อินพุตเดต้า (Input Data) จากอุปกรณ์ให้สัญญาณ (Sensing Device) ต่าง ๆ จากนั้นจะปฏิบัติการและเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ และส่งข้อมูลที่เหมาะสมถูกต้องไปยังอุปกรณ์ควบคุม (Control Device) แหล่งของกระแสไฟฟ้าตรง (DZ Current) สำหรับใช้สร้างโวลต์ต่ำ (Low Lever Voltage) ซึ่งใช้โดยโปรเซสเซอร์ (Processor) และไอโอ โมดูล (I/O Modules) และแหล่งจ่ายไฟนี้จะเก็บไว้ที่ CPU หรือแยกออกไปติดตั้งที่จุดอื่นก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละราย



ภาพที่ 2.22 ส่วนประกอบของ CPU

2.8.4.2 ส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit)

ส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit) จะต่อร่วมกับชุดควบคุมเพื่อรับสภาวะและสัญญาณต่าง ๆ เช่น หน่วยอินพุตรับสัญญาณ หรือสภาวะแล้วส่งไปยัง CPU เพื่อประมวลผล เมื่อ CPU ประมวลผลแล้วจะส่งให้ส่วนของเอาต์พุต เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้

สัญญาณอินพุตจากภายนอกที่เป็น สวิตช์และตัวตรวจจับชนิดต่าง ๆจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็น AC หรือ DC เพื่อส่งให้ CPU ดังนั้น สัญญาณเหล่านี้จึงต้องมีความถูกต้องไม่เช่นนั้นแล้ว CPU จะเสียหายได้

สัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้

1. ทำให้สัญญาณเข้า ได้ระดับที่เหมาะสมกับ PLC
2. การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกันด้วยลำแสง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อต้องการแยกสัญญาณ (Isolate) ทางไฟฟ้าให้ออกจากกัน เป็นการป้องกันไม่ให้ CPU เสียหายเมื่ออินพุตเกิดลัดวงจร
3. หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั่นสะเทือน (Contact Chattering)

ในส่วนของเอาต์พุต จะทำหน้าที่รับค่าสภาวะที่ได้จากการประมวลผลของ CPU แล้วนำค่าเหล่านี้ไปควบคุมอุปกรณ์ทำงาน เช่น รีเลย์ โซลินอยด์ หรือหลอดไฟ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว ยังทำหน้าที่แยกสัญญาณของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ออกจากอุปกรณ์เอาต์พุต โดยปกติเอาต์พุตนี้จะมีความสามารถขับโหลดด้วยกระแสไฟฟ้าประมาณ 1-2 แอมแปร์ แต่ถ้าโหลดต้องการกระแสไฟฟ้ามากกว่านี้ จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์ขับอื่นเพื่อขยายให้รับกระแสไฟฟ้ามากขึ้น เช่น รีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุท ได้แก่ พรอกซิมิตี้สวิตช์ (Proximity Switch) ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) ไทเมอร (Timer) โฟโตอิเลคตริกสวิทช์(Photoelectric Switch) เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) เคาน์เตอร์ (Counter) เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณเอาท์พุท ได้แก่ รีเลย์ (Relay) มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) โซลินอยด์ (Solenoid) ขดลวดความร้อน (Heat Coil) หลอดไฟ (Lamp) เป็นต้น

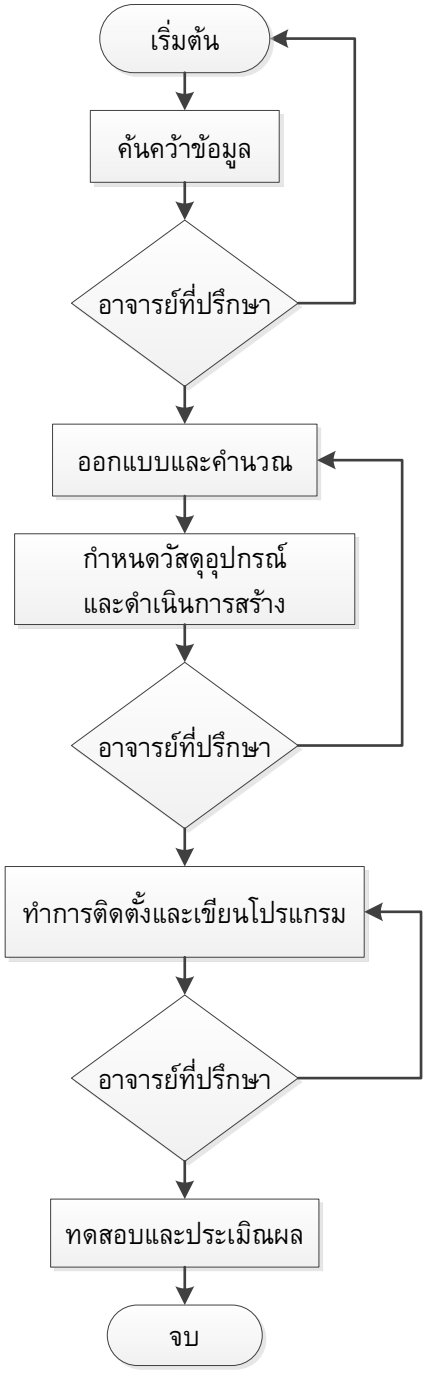
2.8.4.3 เครื่องป้องโปรแกรม (Programming Device)

หน้าที่ของเครื่องป้อนโปรแกรมคือ ควบคุมโปรแกรมของผู้ใช้ลงในหน่วยความจำ ของ PLC นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้กับ PLC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจการปฏิบัติงานของ PLC และผลการควบคุมเครื่องจักร และกระบวนการตามโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นได้อีกด้วยเครื่องป้อนโปรแกรม (Hand Held) แต่ละยี่ห้อจะไม่เหมือนกันแต่มีจุดประสงค์อันเดียวกัน ต่อไปนี้ จะเป็นตัวอย่างของเครื่องป้อนโปรแกรมยี่ห้อต่าง ๆ

บทที่ 3

การออกแบบและคำนวณ

การดำเนินการสร้างเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซีทางคณะผู้จัดทำได้มีการวางแผนขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้



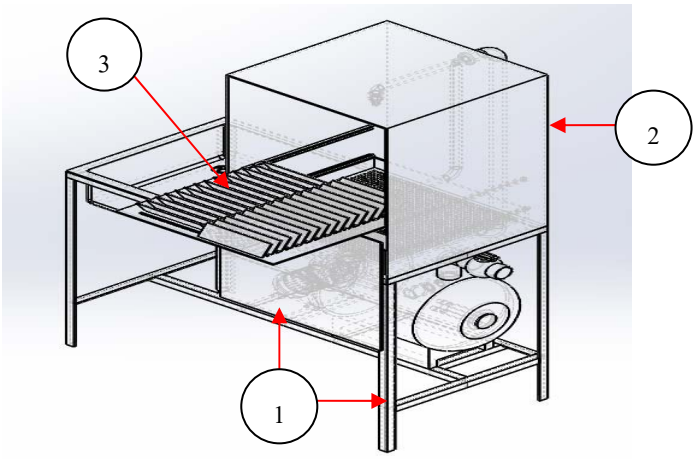
ภาพที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

3.1 การออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ โดยใช้ PLC จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ

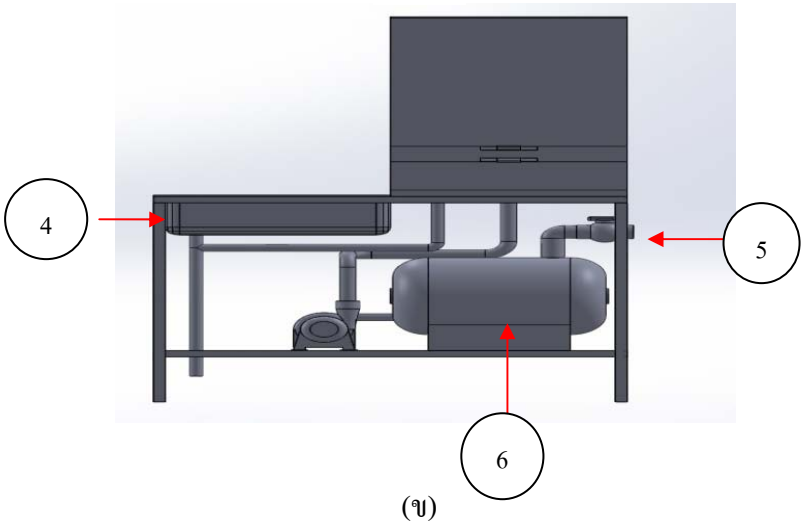
3.1.1 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้แก่ โครงสร้างหลักของเครื่องล้างจานและตัวทำความร้อน (Heater) ปั๊มน้ำและ PLC

3.1.2 ส่วนประกอบทางด้านซอฟแวร์ (Software) ได้แก่ โปรแกรมที่ป้อนเข้าไปยัง PLC เพื่อให้ได้การทำงานตามลำดับความต้องการ โดยกำหนดเวลาในการทำความร้อนให้น้ำ เวลาในการฉีดน้ำและเวลาการทำงานของวาล์วควบคุม เป็นต้น

3.2 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) รายละเอียดอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เครื่องล้างจานที่ออกแบบมีรายละเอียดและชิ้นส่วนที่สำคัญดังแสดงในภาพที่ 3.2 (ก-ง)

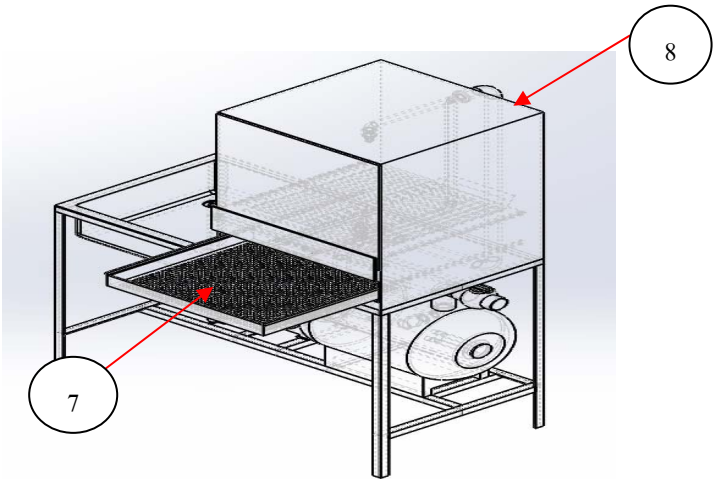


(ก)

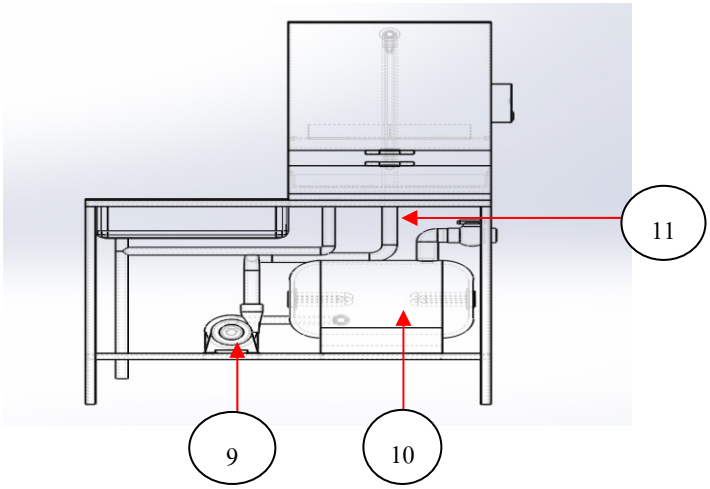


(ข)

ภาพที่ 3.2 (ก-ง) ลักษณะโครงสร้างและชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3.2 (ต่อ)

จากภาพที่ 3.2 ลักษณะโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซีประกอบไปด้วยชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 โครงสร้างหลักเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

หมายเลข 2 ฝาครอบตัวเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

หมายเลข 3 ถาดวางจาน

หมายเลข 4 อ่างล้างเศษอาหาร

หมายเลข 5 บอลวาล์ว

หมายเลข 6 ถังบรรจุน้ำแบบนอนขนาด 20 ลิตร

หมายเลข 7 ตะแกรงกรองเศษอาหาร

หมายเลข 8 หัวจ่ายสปริงเกอร์ (Sprinkle)

หมายเลข 9 ชุดเครื่องสูบและมอเตอร์

หมายเลข 10 ตัวทำความร้อนแบบจุ่มน้ำ (Heater)

หมายเลข 11 ท่อ PB

3.3 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์มาตรฐานและการคำนวณ

3.3.1 โครงสร้างหลักเครื่องล้างจานอัตโนมัติ (หมายเลข 1)

1. โครงสร้างหลักของเครื่องล้างจานอัตโนมัติจะทำจากวัสดุ SS400 เป็นเหล็กรีดร้อนใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดีเชื่อมต่อได้ง่าย สามารถต้านทานแรงดึง 22 kgf/mm^2 (216 MPa) ขึ้นไป ซึ่งสามารถรับแรงกระแทกได้ดีขนาดที่ใช้จากภาคผนวก ง-5 เลือกเหล็กฉากขนาด 25 mm $\times$ 25 mm $\times$ 3 mm มีพื้นที่หน้าตัดขวาง 1.42 cm^2

2. โครงสร้างหลักเครื่องล้างจานอัตโนมัติมีหน้าที่รองรับน้ำหนักของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของระบบเพื่อป้องกันอันตรายจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในขณะที่ระบบทำงานโดยที่น้ำหนักของเครื่องล้างจานจากโปรแกรม Solid Work 2007 (สงวนลิขสิทธิ์) ประมาณ 60 kg (รวมผลิตภัณฑ์และน้ำในระบบ)

3. ความเค้นอัดคงที่ (σ) ที่เกิดขึ้นจากการรองรับน้ำหนักคงที่ 60 kg และจะทำการออกแบบให้มีภาระเพิ่มขึ้นจากเดิมเนื่องจากอาจเกิดภาระต่างๆที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด เช่นแรงกระแทกจากการเคลื่อนที่และการทำงานดังนั้นจะใช้ค่าแฟคเตอร์ความปลอดภัยมีค่าเป็น 1.2 (n_d=1.2) ดังนั้นความเค้นอัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเหล็กโครงสร้างจากสมการ

$$\sigma = n_d W/A$$

โดยที่ W คือ น้ำหนักของระบบ (60 kg)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ใช้ในการรับแรง (1.42 cm^2)

ดังนั้น

$$\sigma = 1.2(60)/1.42$$
$$= 50.70 \text{ kg/cm}^2$$
$$= 0.51 \text{ kg/mm}^2$$

สำหรับวัสดุที่เลือกใช้จะมีค่าต้านทานแรงคราก (Yield Strength, S_y) = 22 kg/mm^2 ดังนั้น ค่าความเค้นที่เกิดขึ้น 0.51kg/mm^2 ซึ่งไม่เกิน 22 kg/mm^2 ทำให้โครงสร้างหลักเหล็กฉากขนาด 25 mm × 25 mm × 3 mm ของเครื่องล้างจานอัตโนมัติจึงมีความปลอดภัยจากการรองรับน้ำหนักของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของระบบ

3.3.2 ฝาครอบเครื่องล้างจานอัตโนมัติ (หมายเลข 2)

1. โครงสร้างประกอบตัวเครื่องล้างจานอัตโนมัติจะทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียว 316 มีสมบัติในการทนการสึกกร่อน (Erosion Corrosion) ได้ดีใช้สำหรับงานประเภทอาหารทั่วไป สามารถต้านทานแรงคราก 35 ksi (241 MPa) ซึ่งสามารถรับแรงกระแทกได้ดีขนาดที่ใช้มีความหนา 1.5 mm

2. โครงสร้างประกอบตัวเครื่องล้างจานอัตโนมัติมีหน้าที่เป็นฝาครอบชุดล้างผลิตภัณฑ์ ใช้เพื่อปิดผนึกอุปกรณ์การเคลื่อนที่จากการฉีดน้ำภายในระบบให้ดูสวยงามและป้องกันอันตรายจากการทำงานตลอดจนป้องกันฝุ่นละอองที่จะเข้าไปยังระบบ

3.3.3 ถาดวางจาน (หมายเลข 3)

1. ถาดวางจานเป็นอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งในท้องตลาดส่วนมากจะทำจากวัสดุ PP (Polypropylene) และเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียว และสำหรับวัสดุโพลีโพไพลีน (PP) ซึ่งจะมีคุณสมบัติทั่วไป คือทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน ทนต่อแรงดึง แรงกระแทกและทรงตัวดี ผิวแข็งไม่มีแนวโน้มของการสึกกร่อน ไม่ดูดซึมน้ำ จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 ºC

2. ถาดวางจานเป็นอุปกรณ์มาตรฐานทำหน้าที่นำป้อนผลิตภัณฑ์ (จาน) การเลือกใช้จำเป็นต้องสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ (จาน) ได้ไม่น้อยกว่า 20 ใบ และสามารถนำเข้าระบบได้สะดวกและปลอดภัย

3.3.4 อ่างล้างเศษอาหาร (หมายเลข 4)

1. อ่างล้างเศษอาหารเป็นอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งในท้องตลาดส่วนมากจะทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียวเกรด 316 มีสมบัติในการทนการสึกกร่อน (Erosion Corrosion) และไม่เป็นสนิมใช้ได้ดีใช้สำหรับงานประเภทอาหารทั่วไป

2. อ่างล้างเศษอาหารเป็นอุปกรณ์มาตรฐานทำหน้าที่รับน้ำที่ผ่านการล้างผลิตภัณฑ์และคราบเศษอาหารระหว่างการทำงานของระบบการเลือกใช้จำเป็นต้องให้เหมาะสมกับถาดวางจานและตะแกรงกรองเศษอาหารซึ่งอ่างล้างเศษอาหารจะมีขนาด 450 × 320 × 2 mm

3.3.5 บอลวาล์ว (หมายเลข 5)

1. บอลวาล์วเป็นอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย มีน้ำหนักเบา ภายในจะบรรจุด้วยลูกบอลทองเหลือง โดยมีการเจาะรูให้มีขนาดท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแบบหรือน้อยกว่าท่อแบบซึ่งสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิไม่เกิน 100°C

2. บอลวาล์วเป็นอุปกรณ์มาตรฐานทำหน้าที่ ปิด-เปิด สารตัวกลางการทำงานของระบบ (น้ำ) เพื่อควบคุมการจ่ายและหยุดจ่ายน้ำในระบบแต่ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้

3.3.6 ถังบรรจุน้ำแบบนอนขนาดความจุ 20 ลิตร (หมายเลข 6)

1. ถังบรรจุน้ำแบบนอนเป็นอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งมีหลายขนาดให้เลือกทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียว 316 ขนาดความจุ 20 ลิตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 25 cm ยาว 40 cm และหนา 1.5 mm และทำการหุ้มฉนวนสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียว316 จะมีค่าต้านทานแรงคราก (S_y) 241 MPa

2. ถังบรรจุน้ำแบบนอนเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน ทำหน้าที่เป็นที่ติดตั้งตัวทำความร้อน (Heater) และบรรจุน้ำร้อนเพื่อจ่ายให้กับสปริงเกอร์ในการล้างผลิตภัณฑ์

3. ความเค้นของภาชนะความดันของถังบรรจุจากสมการ

$$\frac{S_y}{N_y} = \frac{P_r}{t}$$

โดยที่ P = ความดันที่ถังบรรจุรับได้สูงสุด (MPa)

r = รัศมีถังบรรจุ 0.125 m

N_y = ส่วนปลอดภัยสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียว = 4

S_y = 241 MPa

ดังนั้น

$$\frac{241}{4} = \frac{(P)(0.125)}{0.0015}$$

$$P = 0.723 \text{ MPa}$$

$$= 7.23 \text{ bar}$$

ผลลัพธ์ที่คำนวณถังบรรจุน้ำหนา 1.5 mm. สามารถทนความดันได้สูงสุด 7.23 bar ซึ่งในการใช้งานจริงไม่เกิน 1.5 bar (Gauge) ดังนั้นถังบรรจุน้ำร้อนมีความปลอดภัยในการใช้งาน

3.3.7 ตะแกรงกรองเศษอาหาร (หมายเลข 7)

1. ตะแกรงกรองเศษอาหารเป็นอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งในท้องตลาดส่วนมากจะมีให้เลือกอยู่ 3 ขนาดคือตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16, 30 และ 50 ทำจากลวดเหล็กกล้าคาร์บอนเคลือบนิกเกิลและลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียวเกรด 316 มีสมบัติในการทนการสึกกร่อน (Erosion Corrosion) และไม่เป็นสนิมซึ่งกรอบจะทำจากอลูมิเนียม

2. ตะแกรงกรองเศษอาหารเป็นอุปกรณ์มาตรฐานทำหน้าที่กรองเศษอาหารที่เหลือจากการล้างผลิตภัณฑ์และคราบไขมันระหว่างการทำงานของระบบการเลือกใช้จำเป็นต้องให้เหมาะสมกับถาดวางจานและอ่างล้างเศษอาหารซึ่งตะแกรงกรองเศษอาหารขนาด 470×330 mm. ตามมาตรฐานเบอร์ 16 (U.S. Sieve, No.16) ซึ่งมีขนาดช่องว่าง 1.19 mm

3.3.8 สปริงเกอร์ (Sprinkle) (หมายเลข 8)

1. สปริงเกอร์ (Sprinkle) หรือหัวฉีดเป็นอุปกรณ์ที่ฉีดพ่นของเหลวให้เป็นฝอยของเหลวจะแตกตัวเป็นละอองเล็กๆและฟุ้งกระจายเป็นละอองได้ต้องใช้พลังงานให้กับของไหลดังนั้นหัวฉีดจึงถูกแบ่งออกตามประเภทของพลังงานที่ก่อให้เกิดละอองโดยทั่ว ๆ ไปจะทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

- ทำให้สารแตกกระจายเป็นละอองสาร
- ควบคุมการกระจายของละอองสาร
- ควบคุมอัตราการไหลของสาร

2. สปริงเกอร์ (Sprinkle) หรือหัวฉีดเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน ในโครงงานนี้จะใช้สปริงเกอร์แบบใช้แรงดันของเหลวและเป็นสปริงเกอร์แบบแรงปะทะลักษณะของสปริงเกอร์สำหรับใช้แรงดันนี้ของเหลวที่ไหลผ่านรูนี้จะปะทะกับแผ่นกั้นแล้วกระจายตัวออก เป็นละอองสารในลักษณะรูปพัดจะมีมุมระหว่าง 25-180 องศาขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้แต่โดยทั่วไปสปริงเกอร์แบบนี้จะใช้แรงดันต่ำประมาณ 4-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (เกจ) (0.27-1.02 bar(g))

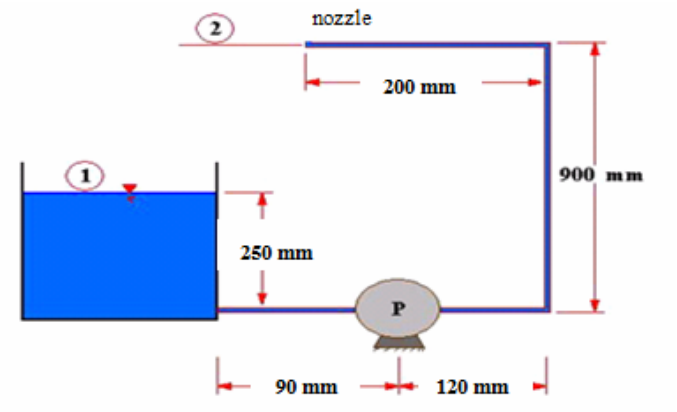
3.3.9 ชุดเครื่องสูบและมอเตอร์ (หมายเลข 9)

1. ชุดเครื่องสูบและมอเตอร์เป็นอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งในท้องตลาดจะมีเครื่องสูบและมอเตอร์ในชุดเดียวกันหรือมีให้เลือกเฉพาะเครื่องสูบอย่างเดียวในกรณีที่มีต้นกำลังอยู่แล้ว

2. ปั๊มหรือเครื่องสูบ เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามต้องการพลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์หรือ มอเตอร์

3. มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานในโครงนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) ชนิดเหนี่ยวนำ

4. การคำนวณเครื่องสูบ



ภาพที่ 3.3 ไดอะแกรมของเครื่องสูบของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

การคำนวณกำลังขับปั๊มของเครื่องล้างจานอัตโนมัติจะใช้สมการพลังงานโดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์การไหลในท่อของระบบ

พิจารณาเลือกใช้ท่อ PB ขนาด 1 นิ้ว ID = 18.92 มม. และ OD = 22.23 มม.

ความเร็วในท่อจากสมการ

$$V = \frac{Q}{A}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตรจากเงื่อนไขในการออกแบบและคำนวณจะพิจารณาอัตราการไหลสูงสุด 20 ลิตรต่อนาที (0.000334 m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2)

V = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

$$V = \frac{0.000334}{\pi(0.00946)^2}$$

$$V = 1.188 \text{ m/s}$$

ตัวเลขเรย์โนลด์ $R_e = \frac{\rho VD}{\mu} = VD/\upsilon$ จากสมการที่ 2.7

โดยที่ μ = ความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ (Pa.s)

ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

V = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

$\upsilon = \mu/\rho$ (ความหนืดจลน์ของน้ำ (1.02×10^{-6} m^2/s, จากภาคผนวก ก-1)

ดังนั้น $$R_e = \frac{(1.188)(0.01892)}{(0.00000102)}$$

$$= 22036$$

R_e = 22036 > 4000 (การไหลเป็นแบบปั่นป่วน)

4.2 การวิเคราะห์การสูญเสียภายในท่อ

1. การสูญเสียหลัก (h_f)

ท่อตรงยาวทั้งหมด1.31 m

สำหรับ

Re = 22036 จาก Moody Chart จะได้ตัวประกอบความเสียดทาน

f = 0.021 (ภาคผนวก ก-2) (Smooth Pipe) และ จากสมการของ Darcy Wiesbach

$$h_f = \frac{fLV^2}{2gD}$$ จากสมการที่ 2.8

โดยที่ f = แฟคเตอร์ความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ (m)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

V = ความเร็วในท่อ (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

$$h_f = \frac{(0.021)(1.31)(1.188)}{2(9.81)(0.01892)}$$

$$= 0.09 \text{ m}$$

∴ ค่าการสูญเสียหลัก (h_f) มีค่าเท่ากับ 0.09 m

2. การสูญเสียรอง (h_m) (จากตารางภาคผนวก ก-3)

สูญเสียทางเข้า ($k_1 = 0.5$)

ข้องอ 90 องศาจำนวน 2 ตัว ($k_2 = 1.5$)

Glove หรือ Ball Valve (fully open) จำนวน 1 ตัว ($k_3 = 10$)

สูญเสียทางออก ($k_4 = 1.0$)

$$\sum h_m = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)\frac{V^2}{2g}$$

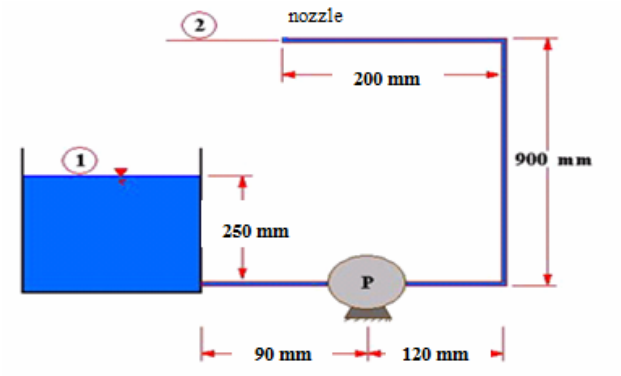
$$= [(0.5+2(1.5)+10+1.0)]\ \frac{(1.188)^2}{2(9.81)}$$

$$= 0.97 \text{ m}$$

∴ ค่าการสูญเสียรอง (h_m) มีค่าประมาณเท่ากับ 1.0 m

4.3 การคำนวณหาต้นกำลังขับปั๊ม

จากสมการพลังงานระหว่าง ① กับ ② โดยให้ ③ เป็นจุดอ้างอิง



ภาพที่ 3.4 แสดงระดับพลังงานศักย์ ระหว่าง ① กับ ②

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1+h_P=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+h_f+\sum h_m$$ จากสมการที่ 2.10

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} = 0$$ (เปิดสู่บรรยากาศ)

$Z_1 = 0$

$Z_2 = 0.9$ m (เฮดสถิตย์รวม)

$V_2 = V_{ท่อ}$

$V_2 = 1.188$ m/s

$$h_P = \frac{(1.188)^2}{2(9.81)}+0.9+0.09+1.0$$

$= 2.062$ m

จากสมการหาต้นกำลังขับปั๊มที่ 2.11 และ 2.12

$$P_m = \frac{P}{\eta_m\eta_p}$$

$$= \frac{\rho g Q h_p}{\eta_m\eta_p}$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของของไหล (998kg/m^3)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 m/s^2)

Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (0.000334 m^3/s)

η_P = ประสิทธิภาพของปั๊มโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 80-90% (เลือกใช้80%)

η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 80-90% (เลือกใช้ 80%)

h_p = เฮดปั๊ม (2.062m)

ดังนั้น $$P = \frac{(988)(9.81)(0.000334)(2.062)}{(0.8)(0.8)}$$

$$= 10.43 \quad W$$

$\therefore$ เลือกใช้ Pump ที่มี Head มากกว่า 2.062 m Max. และกำลังของมอเตอร์มากกว่า 10.43 W

3.3.10 ตัวทำความร้อนแบบจุ่มน้ำ (Heater)(หมายเลข 10)

1. ตัวทำความร้อนหรือฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน ทำจากขดลวด Kanthal เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน และจะนำความร้อนไปสู่ปลอดโลหะจะมีฉนวนแม๊กนีเซียมออกไซด์ (Mag.Oxide) มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่มีการนำความร้อนดีมากทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับผิวโลหะเพื่อป้องกันไม่ให้กระแสรั่ว (Leak Current) จากขดลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ

2. การหาขนาดตัวให้ความร้อน

การหาขนาดตัวให้ความร้อนจะมีเงื่อนไขในการออกแบบต่อไปนี้

- พิจารณาน้ำสูงสุด 15ลิตร (m=15kg)
- อุณหภูมิเริ่มต้น (T_1)25 $^\circ$ C และอุณหภูมิสุดท้าย (T_2)70 $^\circ$ C
- เวลาในการทำความร้อนภายในช่วงเวลาทำงาน 30นาที (กรณีไม่มีการติด Booster Heater)
- ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (Specific Heat, C_p) 4.18 kJ/kg-$^\circ$C

จากสมการที่ 2.1 $$Q_S = mC_p\Delta T$$

$$= (15)\ (4.18)\ (70\text{-}25)$$

$$= 2821.5 \text{ kJ}$$

นั่นคือ พลังงานความร้อนที่ต้องการเพื่อถ่ายเทให้กับน้ำมีค่าเป็น 2821.5 kJ ถ้าภายในช่วงเวลาทำงาน 30 นาที ขนาดของตัวทำความร้อน (Heater) คือ

$$Q_H = Q_S/\Delta t$$
$$= 2821.5 / (1,800)$$
$$= 1.5675 \text{ kW}$$

เนื่องจากระบบมีการสูญเสียความร้อนจึงพิจารณาเลือกตัวให้ความร้อนที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งพิจารณาเลือกตัวทำความร้อนไม่น้อยกว่า 1.8 kw ในกรณีที่มีการติด Booster Heater ตัวให้ความร้อนต้องขนาดน้อยลงตามอัตราส่วนและการทำงานของระบบจะเร็วขึ้น

3.3.11 ท่อส่งสารตัวกลางการทำงาน (หมายเลข 11)

1. ท่อส่งสารตัวกลางการทำงานจะเลือกใช้ท่อ PB ซึ่งท่อพีบีทำมาจากวัสดุสารสังเคราะห์โพลีบิวทิลีน (Polybutylene, PB) ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยมิได้ผสมหรือเคลือบสารโลหะหรือสารเคมีใดๆจึงทำให้สามารถใช้เป็นท่อลำเลียงน้ำดื่มหรือของเหลวที่เป็นอาหารได้อย่างปลอดภัย ทนอุณหภูมิร้อนจัดได้ 100°C และเย็นจัดได้ -50°C

2. ท่อส่งสารตัวกลางการทำงานมีหน้าที่ใช้ส่งสารตัวกลางการทำงานที่เป็นของเหลว โครงงานนี้จะใช้ท่อ PB ขนาด 1 นิ้ว ID = 18.92 มม. และ OD = 22.23 มม.

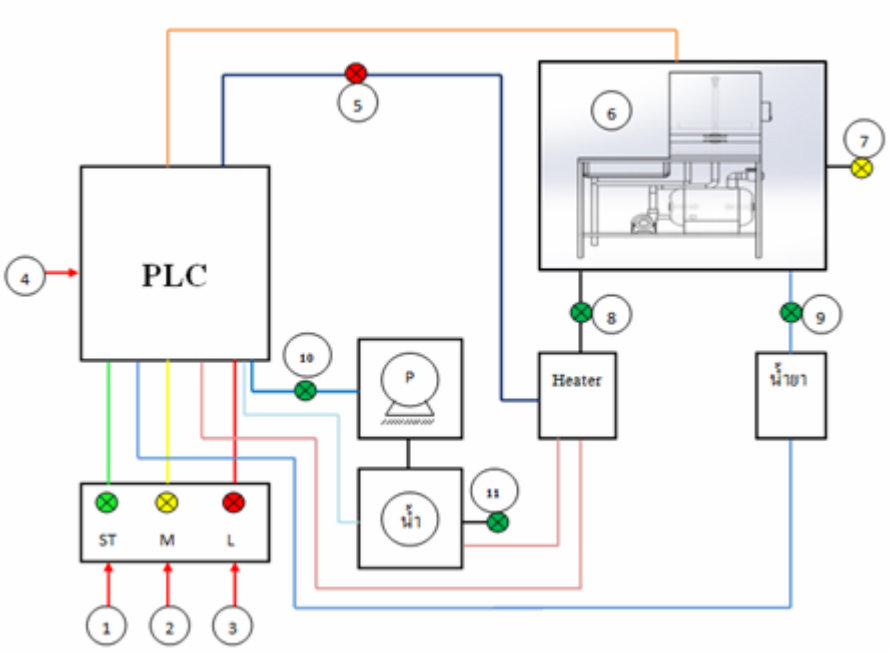
3.4 ส่วนประกอบทางด้านซอฟแวร์ (Software) และหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

3.4.1 ส่วนประกอบทางด้านซอฟแวร์ (Software)

ส่วนประกอบทางด้านซอฟแวร์ (Software) คือโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปยัง PLC เพื่อให้ได้การทำงานตามลำดับความต้องการ โดยกำหนดเวลาให้ได้ตามเงื่อนไขในการทำงานคือ

1. เงื่อนไขเวลาได้แก่ เวลาปล่อยน้ำยาล้างจาน, เวลาการทำงานของเครื่อง
2. เงื่อนไขอุณหภูมิ การตั้งอุณหภูมิที่ฮีตเตอร์
3. โหมดควบคุมการทำงานซึ่งมีหลักการทำงาน 2ขั้นตอนได้แก่สถานีรับจาน สถานีล้าง ซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมการล้างได้ 5 โปรแกรมการล้าง: 70°C ล้างแบบเข้มข้น, 65°C ล้างแบบธรรมดา 50°C ล้างแบบประหยัด, 40°C ล้างภาชนะ-แก้ว, และ 45°C ล้างด่วนแบบทั่วไป

3.4.2 วงจรการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี



ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรการทำงานและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

จากภาพที่ 3.5 เป็นวงจรการทำงานและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซีมีส่วนประกอบดังนี้

1. ปุ่มเริ่มต้นในการทำงาน (Start)
2. โหมดตั้งการควบคุมการทำงาน
3. ไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่อง
4. PLC
5. ตัวปรับค่าอุณหภูมิ (Sensor Temperature) การทำงาน
6. เครื่องล้างจาน
7. Sensor ปิด-เปิดฝาเครื่อง
8. ไฟแสดงสถานะการทำงานของตัวทำความร้อน
9. ไฟแสดงสถานะปล่อยน้ำยาล้างจานโดยควบคุมด้วย Solenoid Valve
10. ไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่องสูบหรือปั๊ม
11. Sensor ตรวจสอบน้ำในระบบ

3.4.3 วิธีการใช้งานเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

1. ล้างเศษอาหารบนจานออกในอ่างล้างเศษอาหารพร้อมวางจานในถาดวางจาน
2. เปิดฝาเครื่องนำถาดวางจานเข้าในเครื่องไฟแสดงสถานะหมายเลข 7 แสดงการทำงาน (Sensorปิด-เปิดฝาเครื่อง)
3. ปิดฝาเครื่องไฟแสดงสถานะหมายเลข 7 แสดงการทำงาน (Sensor ปิด-เปิดฝาเครื่อง)
4. กดปุ่มสตาร์ท (ไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่อง หมายเลข 3)
5. Sensor ตรวจสอบน้ำในระบบว่ามีหรือไม่ไฟแสดงสถานะพร้อมการทำงานแสดง (หมายเลข 11)
6. Sensor ตัวให้ความร้อนแสดงสถานการณ์การทำงานของตัวทำความร้อนหมายเลข 8 (ปรับอุณหภูมิการทำงานของตัวให้ความร้อน หมายเลข 5)
7. เลือกโหมดการทำงาน 1, 2, 3, 4และ 5 (หมายเลข 2)
8. เมื่ออุณหภูมิพร้อมตามโหมดการทำงานที่ถูกเลือกเครื่องสูบทำงาน (ไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่องสูบหรือปั๊ม หมายเลข 10)
9. ไฟแสดงสถานะปล่อยน้ำยาล้างจานควบคุมด้วย Solenoid Valve (หมายเลข 9)
10. เครื่องทำงานตามกลุ่มโหมดที่ถูกเลือกจนสิ้นสุดการทำงาน
11. เปิดเครื่องล้างจานและนำถาดวางจานออกไฟแสดงสถานะหมายเลข 7 แสดงการทำงาน (Sensor ปิด-เปิดฝาเครื่อง)
12. เปิดฝาล้างนำตะแกรงกรองเศษอาหารทำความสะอาด (กรณีเศษอาหารเต็ม)

3.4.4 หลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี

หลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติเริ่มต้นจากตัวให้ความร้อน (ฮีตเตอร์) ทำการให้ความร้อนแก่น้ำจนได้อุณหภูมิตามต้องการโปรแกรมควบคุม (PLC) จะทำการตัดการทำงานของตัวให้ความร้อน ทำการเปิดปั๊มน้ำดูดน้ำขึ้นไปสู่ขั้นตอนการตะบันน้ำ (หัวจ่ายน้ำ) ขณะเดียวกันน้ำยาล้างจานทำการปล่อยโดยผ่านลิ้นโซลินอยด์ทำการล้างจานที่ลำเลียงอยู่ในถาดวางจาน ตามโหมดที่ทำการเลือกโปรแกรมควบคุม (PLC) ทำการปิดระบบการทำงาน เสร็จแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเครื่องเป็นการเสร็จสิ้นการทำงานของระบบ

บทที่ 4
การทดสอบและวิธีการทดสอบ

จากการดำเนินงานออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องล้างจานอัตโนมัติตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยในบทนี้จะมีรายละเอียดที่สำคัญด้วยกัน 3 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ การทดสอบเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้ PLC ควบคุมการทำงาน และผลการทดลอง ตามหัวข้อวัตถุประสงค์ของโครงงาน

4.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

4.1.1 ส่วนรายละเอียดของชิ้นส่วนเครื่องต้นแบบเครื่องล้างจานอัตโนมัติที่ทำการออกแบบและประยุกต์ใช้ มีลักษณะดังภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.5

ส่วนประกอบที่สำคัญของชิ้นส่วนเครื่องต้นแบบเครื่องล้างจานอัตโนมัติมีดังนี้

ภาพที่ 4.1 โครงสร้างภายนอกหลักเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

ภาพที่ 4.2 ฝาครอบตัวเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

ภาพที่ 4.3 ถาดวางจานและผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 4.4 โครงสร้างภายในของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ กรองเศษอาหารหัวจ่ายสปริงเกอร์ (Sprinkle)

ภาพที่ 4.5 ตู้ควบคุมควบคุมและPLC

4.1.2 หลักการทำงานตัวเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

หลักการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์และทำการตรวจสอบฟังก์ชันการทำงานเครื่องล้างจานอัตโนมัติให้เรียบร้อย
2. ต่อน้ำจากท่อผ่าน solenoid valve เข้าเครื่องล้างจานอัตโนมัติให้เรียบร้อย
3. ใส่อุปกรณ์ที่ต้องการทำความสะอาด จานหรือแก้วจากป้อนวัสดุภัณฑ์ที่ต้องการล้างบรรจุภายในเครื่องทำการเลือกฟังก์ชันหน้าที่การทำงานของระบบ ตามความต้องการ

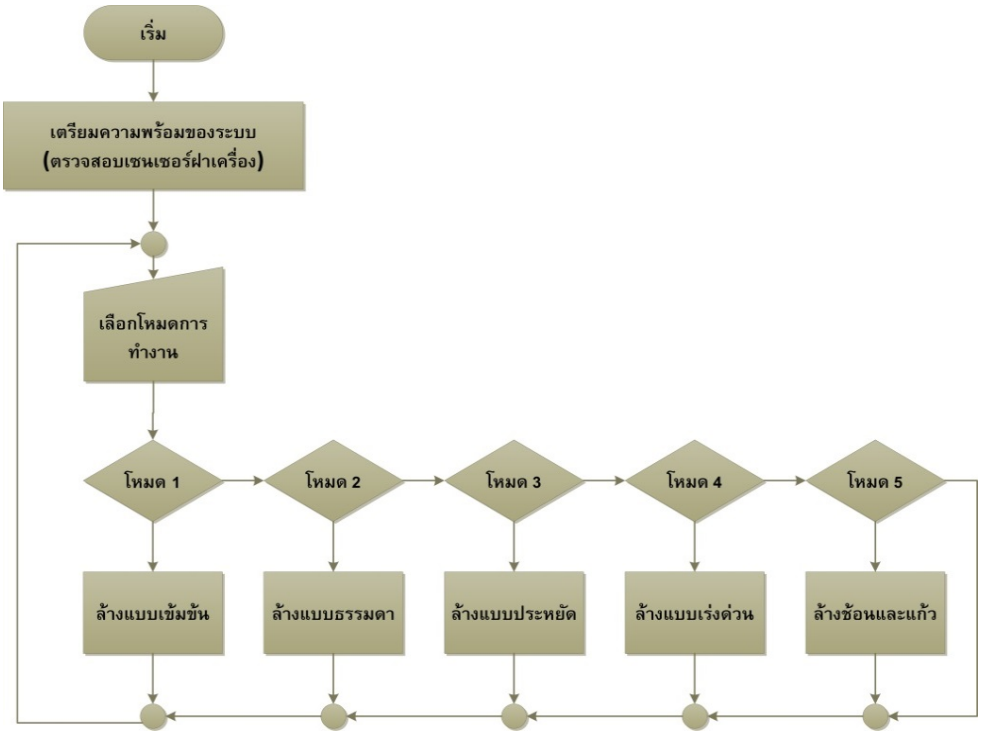
4. กดสวิทช์ให้ระบบทำงานอัตโนมัติ หลังจากนั้นตัวให้ความร้อน (ฮีตเตอร์) ทำการให้ความร้อนแก่น้ำจนได้อุณหภูมิตามต้องการ (จากการเลือกฟังก์ชันหน้าที่การทำงานของระบบ) โปรแกรมควบคุม (PLC) จะทำการตัดการทำงานของตัวให้ความร้อน ทำการเปิดปั๊มน้ำดูดน้ำขึ้นไปสู่ขั้นตอนการตะบันน้ำ (หัวจ่ายน้ำ) ขณะเดียวกันน้ำยาล้างจานทำการปล่อยโดยผ่านลิ้นโซลินอยด์ทำการล้างจานที่ลำเลียงอยู่ในถาดวางจาน ตามโหมดที่ทำการเลือกโปรแกรมควบคุม (PLC)

5. ทำการปิดระบบการทำงาน เสร็จแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเครื่องเป็นการเสร็จสิ้นการทำงานของระบบ

6. ตรวจสอบความสะอาดด้วยสายตา (vision) และบันทึกผลการทดลอง

4.2 ส่วนรายละเอียดการทดสอบใช้งานโปรแกรม PLC เครื่องล้างจานอัตโนมัติ

4.2.1 การใช้งานโปรแกรม Cx-Programer



ภาพที่ 4.6 แสดงการตั้งค่าฟังก์ชันการทำงาน

4.2.2 การเลือกฟังก์ชันสถานะในการทำงาน

หลังจากการเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมลงในโปรแกรม Cx-Programer (ควบคุมระบบทั้งหมดแบบอัตโนมัติ) ฟังก์ชันสถานะในการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติมีการใช้งาน ดังนี้

โปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้น 70°C

โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดา 65°C

โปรแกรม C ล้างแบบประหยัด 50°C

โปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้ว 40°C

โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไป 45°C

4.3 รายละเอียดผลการทดลอง

4.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

1. เครื่องล้างจานอัตโนมัติ

ภาพที่ 4.7 เครื่องล้างจานอัตโนมัติ

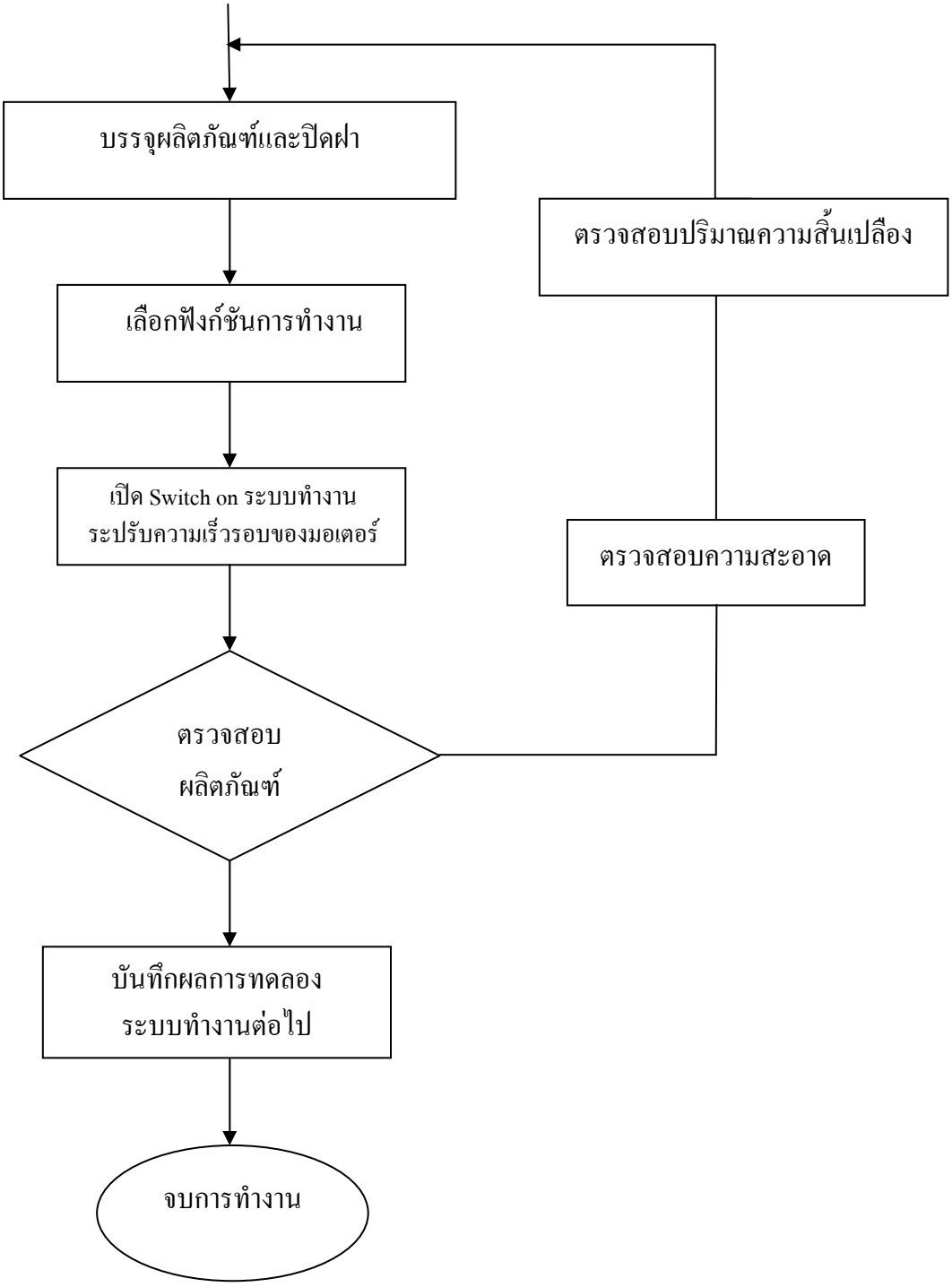
2. นาฬิกาจับเวลาและอุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาตร

ภาพที่ 4.8 นาฬิกาจับเวลาและอุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาตร

3. สายไฟและอุปกรณ์ทางไฟฟ้า 1 ชุด
4. ชุดประแจช่าง1 ชุด
5. ภาชนะ จาน แก้วชนิดต่างๆ
6. ภาชนะรองรับผลิตภัณฑ์
7. ผลิตภัณฑ์สารเคมีในการล้างจาน

ภาพที่ 4.9 ขนาดผลิตภัณฑ์ประเภทแก้วชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 4.10 ขนาดผลิตภัณฑ์ภาชนะจานที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 4.11 ผังขั้นตอนการทดลองและการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

4.3.2 ผลการทดลอง

คณะผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดกรอบการทดสอบไว้โดยลำดับโดยมีภาชนะจาน 3 ประเภท โดยมี ภาชนะจาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 205 mm. (J_1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง240 mm. (J_2) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 270 mm. (J_3) ภาชนะแก้ว 3ประเภทโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 mm. สูง 95 mm. (G_1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 63 mm. สูง 120 mm. (G_2) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 730 mm. สูง 120 mm. (G_3) จะทำการทดสอบ ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ ซึ่งผลการทดลองพอสังเขปเป็นดังนี้

1. ผลการทดลองโปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองโปรแกรมA ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C

การทดสอบครั้งที่	ปริมาณการป้อน (ใบ)	เวลา (นาที)	ประเภทผลิตภัณฑ์		ผลจากการทดลอง		
			G	J	ไม่มีคราบ	มีคราบ (จำนวนจุด)	ความสิ้นเปลือง (mL)
1.	20	15	G_1	J_1			24,000
2.	20	15	G_1	J_1		1	
3.	20	15	G_2	J_2			
4.	20	15	G_2	J_2			
5.	20	15	G_3	J_3			
6.	20	15	G_3	J_3			
% การเกิดคราบ						16.6%	

2. ผลการทดลองโปรแกรม B ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°C

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโปรแกรม B ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°C

การทดสอบครั้งที่	ปริมาณการป้อน (ใบ)	เวลา (นาที)	ประเภทผลิตภัณฑ์		ผลจากการทดลอง		
			G	J	ไม่มีคราบ	มีคราบ (จำนวนจุด)	ความสิ้นเปลือง (mL)
1.	20	15	G_1	J_1			24,000
2.	20	15	G_1	J_1			
3.	20	15	G_2	J_2			
4.	20	15	G_2	J_2			
5.	20	15	G_3	J_3		1	
6.	20	15	G_3	J_3			
% การเกิดคราบ						16.6%	

3. ผลการทดลองโปรแกรม C ล้างแบบประหยัดที่อุณหภูมิ 50°C

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโปรแกรม C ล้างแบบประหยัดที่อุณหภูมิ 50°C

การทดสอบครั้งที่	ปริมาณการป้อน (ใบ)	เวลา (นาที)	ประเภทผลิตภัณฑ์		ผลจากการทดลอง		
			G	J	ไม่มีคราบ	มีคราบ (จำนวนจุด)	ความสิ้นเปลือง (mL)
1.	20	15	G_1	J_1			24,000
2.	20	15	G_1	J_1		1	
3.	20	15	G_2	J_2			
4.	20	15	G_2	J_2		1	
5.	20	15	G_3	J_3			
6.	20	15	G_3	J_3			
% การเกิดคราบ						33.3%	

4. ผลการทดลองโปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้วที่อุณหภูมิ 40°C

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองโปรแกรม D ล้างล้างภาชนะจาน-แก้วที่อุณหภูมิ 40°C

การทดสอบครั้งที่	ปริมาณการป้อน (ใบ)	เวลา (นาที)	ประเภทผลิตภัณฑ์		ผลจากการทดลอง		
			G	J	ไม่มีคราบ	มีคราบ (จำนวนจุด)	ความสิ้นเปลือง (mL)
1.	20		G_1	J_1		2	24,000
2.	20		G_1	J_1			
3.	20		G_2	J_2			
4.	20		G_2	J_2			
5.	20		G_3	J_3		1	
6.	20		G_3	J_3			
% การเกิดคราบ						50%	

5. ผลการทดลองโปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองโปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C

การทดสอบครั้งที่	ปริมาณการป้อน (ใบ)	เวลา (นาที)	ประเภทผลิตภัณฑ์		ผลจากการทดลอง		
			G	J	ไม่มีคราบ	มีคราบ (จำนวนจุด)	ความสิ้นเปลือง (mL)
1.	20	15	G_1	J_1			24,000
2.	20	15	G_1	J_1			
3.	20	15	G_2	J_2		1	
4.	20	15	G_2	J_2		1	
5.	20	15	G_3	J_3			
6.	20	15	G_3	J_3		1	
% การเกิดคราบ						50%	

4.4 สรุปผลการทดลอง

โปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°C โปรแกรม C ล้างแบบประหยัดที่อุณหภูมิ 50°C โปรแกรม D ล้างภาชนะจาน –แก้วที่อุณหภูมิ 40°C โปรแกรมF ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C จากการทดลองพบว่าโปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C โปรแกรมB ล้างแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 65°Cและมีสมรรถนะการทำงานได้สะอาดกว่าทุกโปรแกรม ซึ่งมีอัตราการเกิดคราบเป็นจุดเฉลี่ยคิดเป็น 0.166 ส่วนโปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้วที่อุณหภูมิ 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 45°C มีอัตราการเกิดคราบเป็นจุดเฉลี่ยคิดเป็น 0.5โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะ (น้ำ) 24,000 mL และมีอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะ (ไฟฟ้า) เฉลี่ยคิดเป็น 9 บาท/hr

4.5 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

พารามิเตอร์	ข้อมูลจำเพาะ
น้ำหนักสุทธิ	48kg.
แหล่งจ่าย	220 V. / 50 Hz.
เครื่องสูบ	0.125 hp, 20 L/min, Max.1450 rpm.
อัตราการผลิตสูงสุดเฉลี่ย	900ใบ/hr.(จาน)
เวลาการทำงานสูงสุด	12 ชั่วโมง /วัน
อัตราการป้อนสูงสุด	ไม่เกิน40ใบ
ชนิดของผลิตภัณฑ์	จาน-แก้วทั่วไป
ตัวให้ความร้อน(Heater)	850 W
ค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะ(พลังงาน)	9บาท/hr
เวลาประมาณในการทำงานเริ่มต้น	Approx. 20 min.
พื้นที่ในการติดตั้งต่ำสุด	5.5 m^2

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงงานวิศวกรรมศาสตร์นี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซีโดยประกอบด้วยโครงสร้างหลัก ชุดเพิ่มความดันให้กับน้ำ อุปกรณ์ให้ความร้อนกับน้ำ และชุดควบคุมระบบการทำงานโดยใช้ PLC ซึ่งมีหลักการทำงาน 2 ขั้นตอนได้แก่สถานีรับจาน สถานีล้างซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมการล้างได้ 5 โปรแกรมการล้าง: 70°C ล้างแบบเข้มข้น, 65°C ล้างแบบธรรมดา 50°C ล้างแบบประหยัด, 40°C ล้างภาชนะ-แก้ว, และ 45°C ล้างด่วนแบบทั่วไปซึ่งปัจจุบันเครื่องล้างจานได้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีทั้งในเรื่องของการประหยัดน้ำ มีการแข่งขันกันในเรื่องปริมาณน้ำที่ใช้ต่อรอบการล้างให้ต่ำที่สุด การนำน้ำที่ล้างกลับมาใช้ใหม่ รูปแบบของการฉีดน้ำไปบนภาชนะ การปรับอุณหภูมิของน้ำให้เหมาะกับภาชนะที่ใส่อาหารแต่ละประเภทเพื่อประหยัดพลังงานและอื่น ๆ ที่จะช่วยแก้ปัญหาจากความเชื่อเดิม ๆ ที่มีอยู่ต่อจากนี้จะเป็นบทสรุปของการทดสอบเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซีเพื่อจะได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องต้นแบบต่อไปในอนาคต

หลังจากการเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมลงในโปรแกรม Cx-Programer (ควบคุมระบบทั้งหมดแบบอัตโนมัติ) ฟังก์ชันสถานะในการทำงานของเครื่องล้างจานอัตโนมัติมีการใช้งานคือ โปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้น 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดา 65°C โปรแกรม C ล้างแบบประหยัด 50°C โปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้ว 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไป 45°C จากการทดลองพบว่าโปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้น 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดา 65°C โปรแกรม C ล้างแบบประหยัด 50°C โปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้ว 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไป 45°C จากการทดลองพบว่าโปรแกรม A ล้างแบบเข้มข้น 70°C โปรแกรม B ล้างแบบธรรมดา 65°C และมีสมรรถนะการทำงานได้สะอาดกว่าทุกโปรแกรม ซึ่งมีอัตราการเกิดคราบเป็นจุดเฉลี่ยคิดเป็น 0.166 ส่วนโปรแกรม D ล้างภาชนะจาน-แก้ว 40°C โปรแกรม F ล้างด่วนแบบทั่วไป 45°C มีอัตราการเกิดคราบเป็นจุดเฉลี่ยคิดเป็น 0.5โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะ (น้ำ) 24000 mL และมีอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะ (ไฟฟ้า) เฉลี่ยคิดเป็น 9 บาท/hr

การทดสอบเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี สามารถทำให้เห็นถึงการการทำงานของเครื่องสามารถควบคุมอุณหภูมิการล้างได้ ล้างเศษอาหารจากภาชนะสะอาด น้ำยาล้างไม่สิ้นเปลืองหัวฉีดน้ำหรือแรงดันของน้ำฉีดกระจายไปถึงก้นภาชนะทำให้ภาชนะใส สะอาดสามารถลดที่ลดแรงงานคนประหยัดเวลาในการล้างจาน และลดปัญหาจานชำรุดจากการล้างด้วยมือในระดับที่น่าพอใจและถ้าจะมีการพัฒนาเครื่องต้นแบบต่อไป มีข้อเสนอแนะและข้อควรระวังต่อไปนี้

5.3.1 เนื่องจากเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี เป็นอุปกรณ์ทางกลและไฟฟ้าด้วยควรระมัดระวังเป็นพิเศษ

5.3.2 ในการใช้เครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี จะต้องทดสอบการทำงานของเครื่องก่อนเสมอว่าระบบทำงานได้และปลอดภัย

5.3.3 ตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องล้างจานอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี อย่างสม่ำเสมอ

5.3.4 หมั่นตรวจสอบ Switch ต่างๆหลังจากการใช้เครื่องทุกครั้ง

5.3.5 การทำงานเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดปัญหากับมอเตอร์ได้

5.3.6 สวมใส่ถุงมืออนามัยทุกครั้งในการปฏิบัติงาน

5.3.7 ถ้าพิจารณาเป็นระบบอัตโนมัติมากขึ้น ควรจะใช้ระบบ Conveyor มาช่วยป้อนผลิตภัณฑ์ โดยใช้ชุดควบคุมการลำเลียงเข้าและออกพร้อมมีระบบรอบเวลาการทำงานมาเกี่ยวข้องด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. **กลศาสตร์ของไหล.** 125/46 ม.5 ต.บางกรวย อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 2532.

[2] ไชยชาญ หินเกิด. **เครื่องกลไฟฟ้า.** พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : กรุงเทพมหานคร. 2547.

[3] วิบูลย์ บุญยธโรกุล. **ปั๊มและระบบสูบน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมชลทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพมหานคร, 2529.

[4] อำนาจ ทองผาสุก. **การควบคุมมอเตอร์.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซ่อน : กรุงเทพมหานคร, 2540.

[5] ชาญ ถนัดงาน. **กลศาสตร์ของไหล**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ, 2535.

[6] **คู่มือสินค้า ท่อ ข้อต่อและอุปกรณ์ท่อ ตราช้าง.** บริษัท นวพลาสติค : สระบุรี, 2555.

[7] ดัชนีสินค้า. **"การเลือกใช้ฮีทเตอร์"** วรสารเทคนิคเ ครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ, ฉบับที่ 118, บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด : กรุงเทพมหานคร, 2537.

[8] พจนาฎ สุวรรณมณี. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น**. สำนักพิมพ์สมาคมไทย-ญี่ปุ่น : กรุงเทพมหานคร, 2546.

[9] ชาญ ถนัดงาน. **การถ่ายเทความร้อน.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

[10] ตระการ ก้าวกระสิกรรม. **คู่มือฉนวนความร้อน**. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด : กรุงเทพมหานคร.

[11] ณรงค์ ตันธีวะวงศ์. **ระบบ PLC**. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : กรุงเทพมหานคร, 2548.

[12] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. **คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์**. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร.

[13] หน่วยการเรียนที่ 2 : **"PLCS"** (2557), [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา:http://mte.kmutt.ac.th/elearning , เข้าไปดูเมื่อวันที่ 14/01/57.

[14] เครื่องล้างจาน" FAGOR รุ่น 2LF-013 SX สแตนเลส", [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: www.fagorthailand.co.th, เข้าไปดูเมื่อวันที่ 12/12/56.

[15] เครื่องล้างจาน" ELECTROLUX รุ่น ESF6210LOW" , [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: www.electrolux.co.th, เข้าไปดูเมื่อวันที่ 12/12/56.

[16] เครื่องล้างจาน “SIEMENS รุ่น SK25E200EU” ,[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.siemens.co.th, เข้าไปดูเมื่อวันที่ 24/12/56.

[17] เครื่องล้างจาน “SMEG รุ่น BLV2R-1 สีแดง” ,[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.smeg.co.thhttps://www.siemens.co.th/, เข้าไปดูเมื่อวันที่ 24/12/56.

[18] เครื่องล้างจาน “TEKA รุ่น DW8 59 FI” ,[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.teka.com https://www.siemens.co.th/, เข้าไปดูเมื่อวันที่ 24/12/56.

[19] WILLAM S. JANNA. INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS, 3ed. Publishing Company. Boston Massachusetts, 1993.

[20] Jack B. Evett ,Cheng Liu,” FUNDAMENTAL OF FLUID MECHANICS “McGraw-Hill Book Company ,Singpore,1974.

[21] Richard G. Budynas “Shigley’s Mechanial Engineering Design” Eighth Edition in SI unit McGraw – Hill in Bangkok 1985.

ภาคผนวก

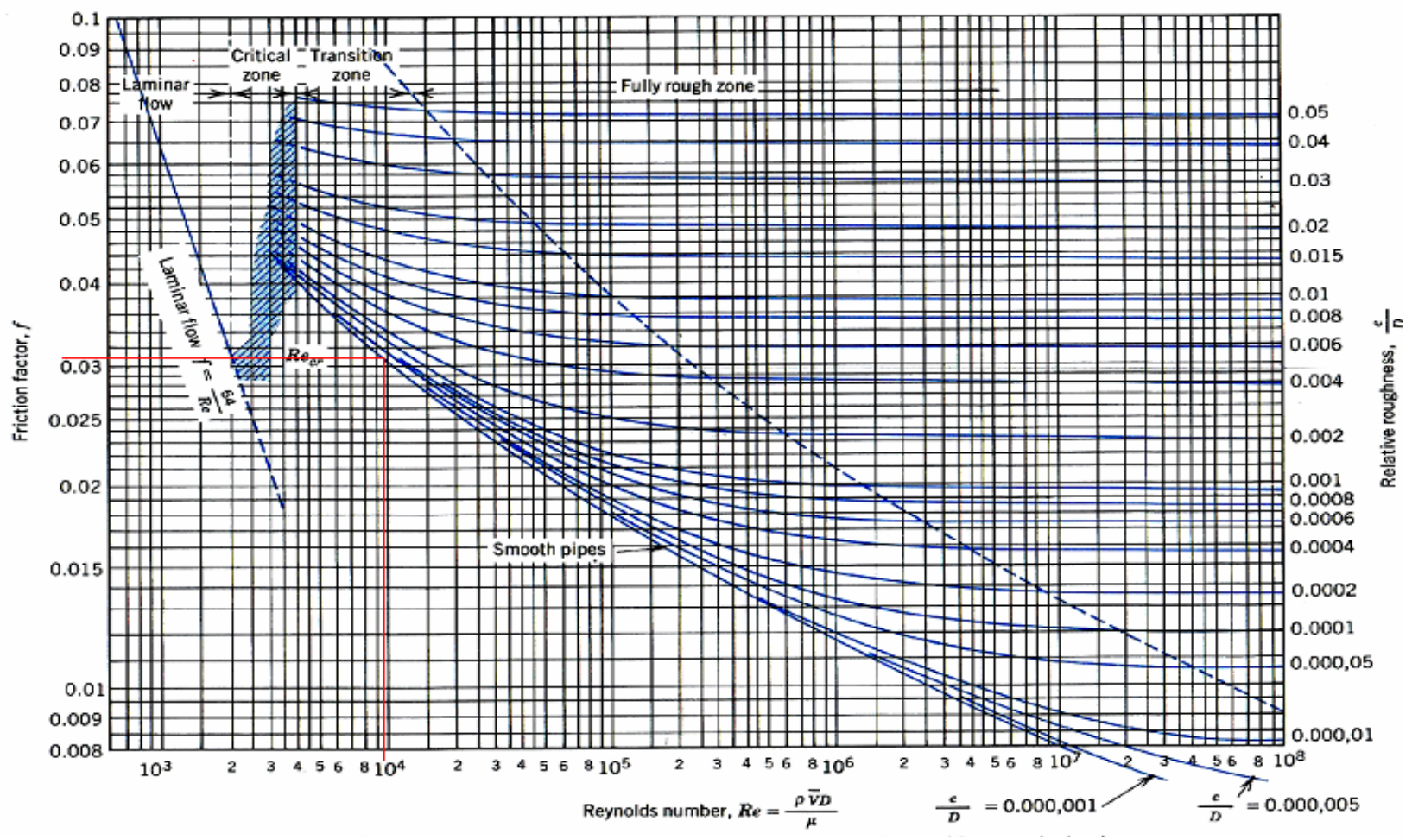
ภาคผนวก ก
สมบัติทางฟิสิกข์ของน้ำ, ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง และ Moody Chart

ตารางที่ ก - 1 คุณสมบัติทางฟิสิกข์ของน้ำ (SI Unit) [21]

Tempera-ture (°C)	Specific (or unit) weight, γ (kN/m^3)	Mass density, ρ (kg/m^3)	Dynamic Viscosity, μ (N-s/m^2)	Kinematic Viscosity, ν (m^2/s)	Vapor Pressure, (kN/m^2) (kPa)	Surface Tension,† σ (N/m)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}	0.611	0.0756
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}	1.23	0.0742
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}	2.34	0.0728
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}	4.24	0.0712
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}	7.38	0.0696
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}	12.3	0.0679
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}	19.9	0.0662
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}	31.2	0.0644
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}	47.4	0.0626
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}	70.1	0.0608
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}	101.3	0.0589

† In contact with air.

ตารางที่ ก -2 Moody Chart [21]



ตารางที่ ก - 3 แสดงการสูญเสียรอง [21]

Nominal diameter, in	*Screwed*				Flanged				
	1/2	*1*	*2*	*4*	1	2	4	8	20
Valves (fully open):									
Globe	*14*	*8.2*	*6.9*	*5.7*	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Gate	*0.30*	*0.24*	*0.16*	*0.11*	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Swing check	*5.1*	*2.9*	*2.1*	*2.0*	2.0	2.0	20	2.0	2.0
Angle	*9.0*	*4.7*	*2.0*	*1.0*	4.5	2.4	20	2.0	2.0
Elbows									
45 º regular	*0.39*	*0.32*	*0.30*	*0.29*					
45 º long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	00.14
90º regular	*2.0*	*1.5*	*0.95*	*0.4*	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90 º long radius	*1.0*	*0.72*	*0.41*	*0.3*	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180 º regular	*2.0*	*1.5*	*0.95*	*0.64*	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180 º long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tees:									
Line flow	*0.90*	*0.90*	*0.90*	*0.90*	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Branch flow	*2.4*	*1.8*	*1.4*	*1.1*	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

ภาคผนวก ก–4 การสูญเสียพลังงานที่ทางออก เมื่อมีการไหลผ่านท่อสู้อ่างเก็บน้ำหรือถังเก็บน้ำ จะมีการสูญเสียพลังงาน

การไหลจากท่อออกสู่อ่างเก็บน้ำหรือถังเก็บน้ำ เขียนเป็นสมการทั่วไปได้ โดยที่

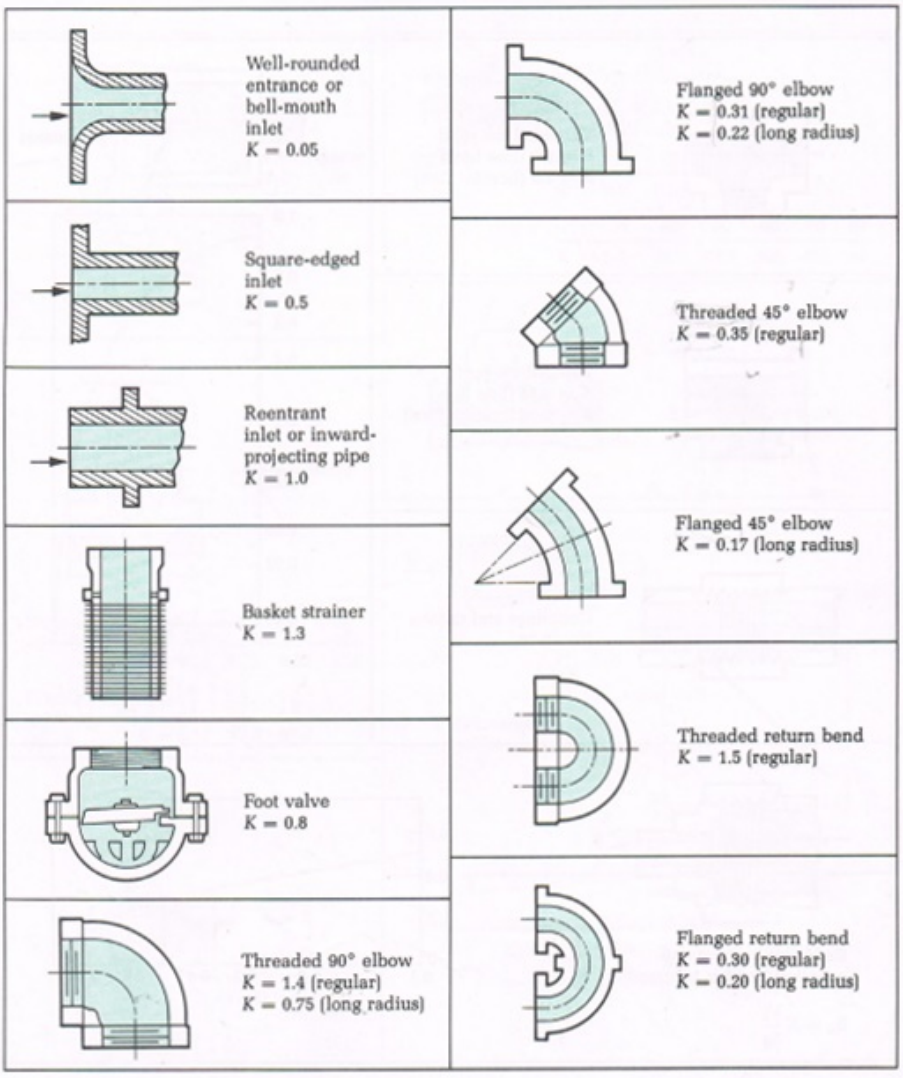
$$h_{exit} = \frac{V_t^2}{2g}$$

$$h_{exit} = K_{exit}\frac{V_t^2}{2g}$$

$$K_{exit} = 1$$

ภาคผนวก ก– 5 สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองของข้อต่อต่าง ๆ [20]

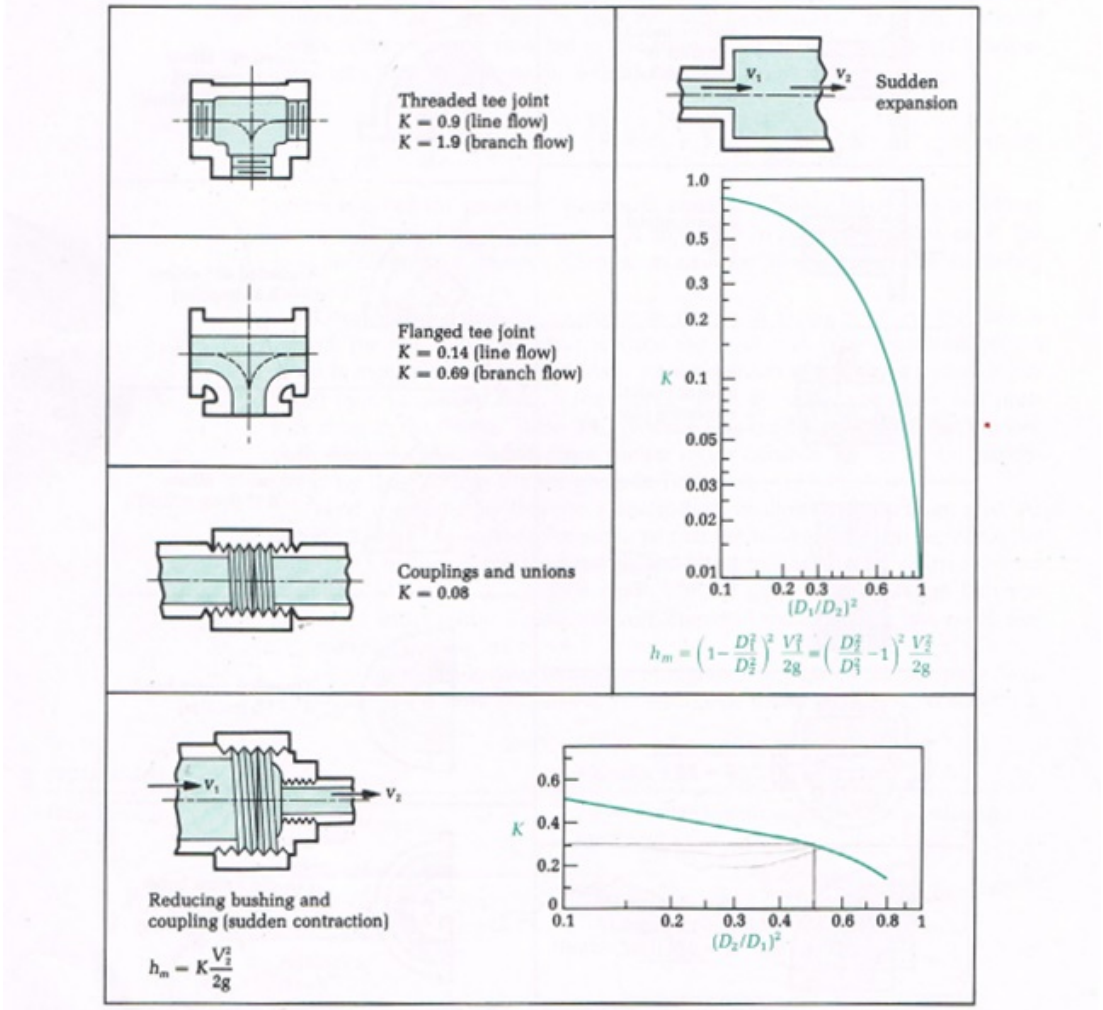
TABLE 5.4 Loss Coefficients for Various Fittings



Note: Many fittings have losses that vary with nominal diameter D_n; K for threaded fittings is taken at $D_n = 1$ in.; K for flanged fittings is taken at $D_n = 4$ in.

ภาคผนวก ก– 5 สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองของข้อต่อต่าง ๆ [20] (ต่อ)

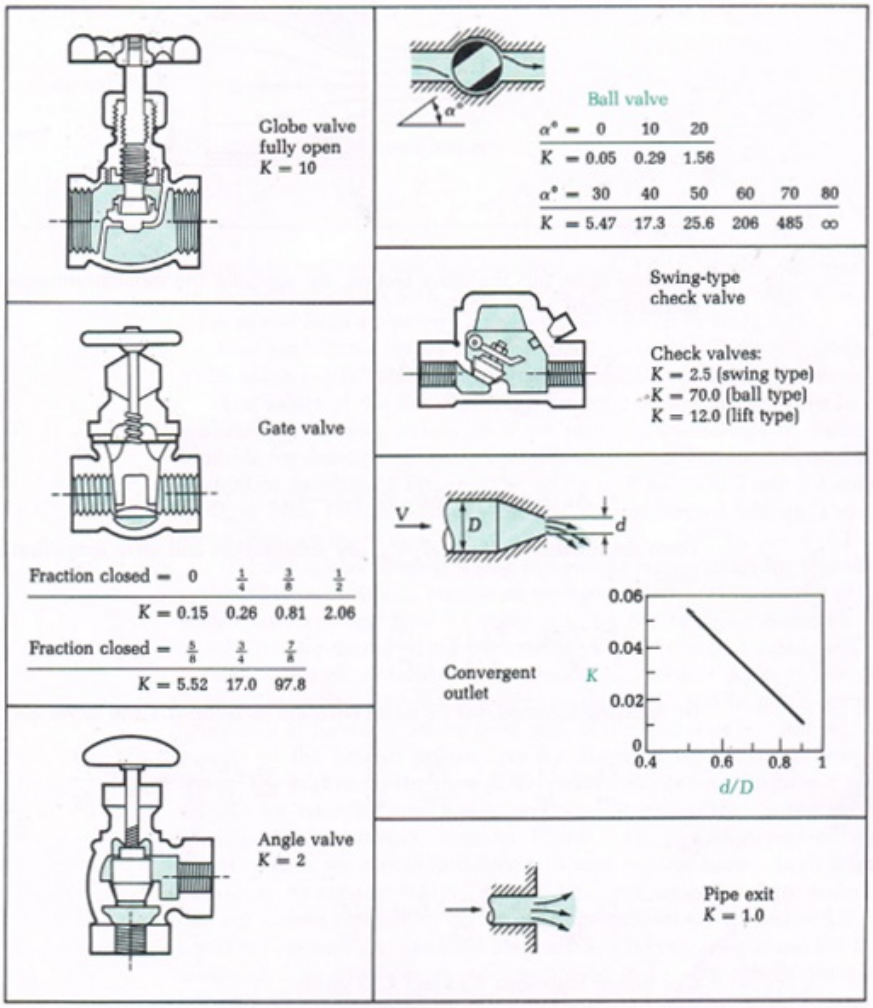
TABLE 5.4 *continued*



(continues)

ภาคผนวก ก– 5 สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองของข้อต่อต่าง ๆ [20] (ต่อ)

TABLE 5.4 *continued*



Note: With plastic pipe, fittings can be sleeved and cemented. With copper tubing, fittings can be soldered together. Both can be taken as equivalent to threaded fittings.

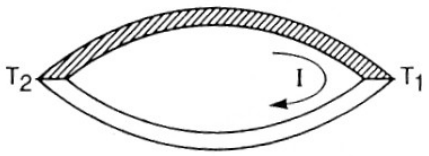
Source: From the *Engineering Data Book*. Copyright © 1979 by The Hydraulic Institute. Reprinted by permission.

ภาคผนวก ข
เทอร์โมคับเปิลตัวให้ความร้อนและฉนวนความร้อน

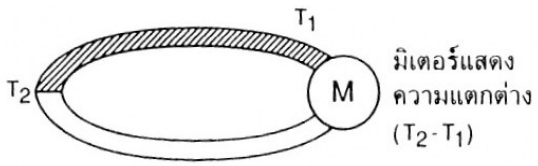
ภาคผนวก ข–1 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

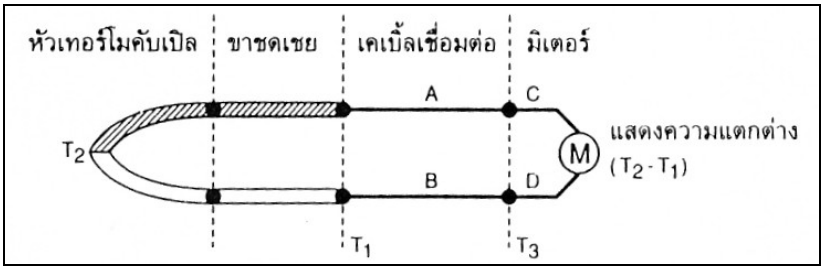
ถ้าหากนำเอาโลหะ 2 ชนิดที่แตกต่างกันมาต่อกันดังในภาพที่ 2.13 ณ จุดต่อด้านหนึ่งจะสามารถตอบสนองกับอุณหภูมิสูง (ซึ่งกำหนดให้เป็น T_2) ในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะตอบสนองกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (กำหนดให้เป็น T_1) กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลได้ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิตรงปลายทั้งสอง (T_2–T_1) ลักษณะดังกล่าวคือ ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) อันเป็นพื้นฐานเบื้องต้นของตัวตรวจจับอุณหภูมิที่เรียกว่า เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)



ภาพที่ ข–1 ลักษณะของการเกิดปรากฏการณ์เพลเกียร์อันเป็นพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล

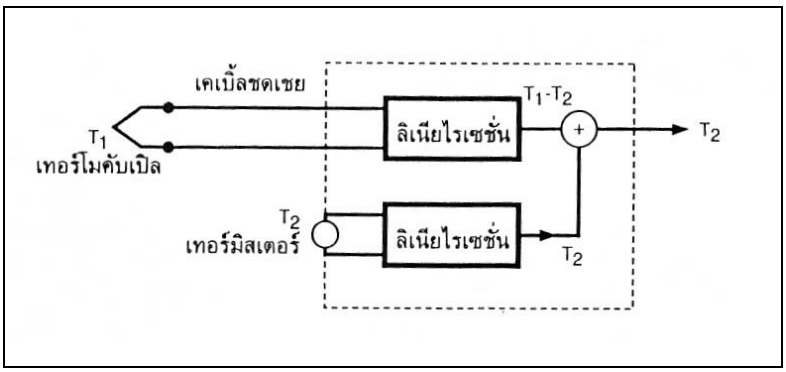


ภาพที่ ข–2 แสดงการต่อมิเตอร์เพื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิในเทอร์โมคัปเปิล



ภาพที่ ข–3 การต่อสายไฟธรรมดาเข้ากับเทอร์โมคัปเปิล

วงจรเบื้องต้นของการใช้เทอร์โมคัปเปิลแสดงดังภาพที่ ก–2 ที่จุดต่อ T_1 จะมีมิเตอร์ต่อกันอยู่ เพื่อเป็นตัวแสดงความแตกต่างของ T_2และT_1แต่ในทางปฏิบัติจริง ที่ตัวมิเตอร์นี้จะอยู่ห่างจากเทอร์โมคัปเปิลมาก ๆ จึงต้องมีการต่อสายจากเทอร์โมคัปเปิลออกมา โดยจำเป็นต้องใช้สายไฟธรรมดา เพราะถ้าหากใช้สายเทอร์โมคัปเปิลเองจะสิ้นเปลืองมาก ดังภาพที่ ก–3 เมื่อใช้สายไฟธรรมดาจึงจำเป็นต้องมีวงจรเพื่อทำการชดเชยความสูญเสียหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เนื่องจากความต้านทานของสายไฟและความยาวของสาย โดยมีไดอะแกรมของวงจรชดเชยดังภาพที่ ก–4 ซึ่งเรียกว่า Cold Junction Compensation



ภาพที่ ข–4 ไดอะแกรมการต่อวงจรลิเนียไรเซชั่นเพื่อชดเชยความสูญเสียอันเนื่องมาจากสายไฟในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิล

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยายที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ ทำงานได้เร็ว สามารถสนองการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว และต้องมีอัตราการขยายสูงมาก ๆ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตที่สูงมากพอที่จะนำไปประมวลผลต่อไปได้

ตารางที่ ข–1 ข้อมูลของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ [9]

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล	วัสดุที่ใช้	ชื่ออื่นของเทอร์โมคัปเปิล	สีของฉนวน	สีของปลอกห่อหุ้ม	ย่านอุณหภูมิ	เอาต์พุต (mV)	อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออุณหภูมิ (μV/°C) ที่ 100°C
B	+ พลาตินั่ม– 30% โรเดียม - พลาตินั่ม– 6% โรเดียม	-	-	-	100 ถึง 1600°C	13.6	1
E	+ นิเกิลโครเมี่ยม - ทองแดง – นิเกิล	โครเมล (chromel) โคคอนสแตนตัน (Constantan)	น้ำตาล น้ำเงิน	น้ำตาล	0 ถึง 800 °C	75.0	68
J	+ เหล็ก - ทองแดง – นิเกิล	คอนสแตนตัน (Constantan)	เหลือง น้ำเงิน	ดำ	-180 ถึง 700 °C	50.0	46
K	+ นิเกิลโครเมียม - นิเกิลอลูมิเนียม	โครเมล(Chromel) อะลูเมล(Alumel)	น้ำตาล น้ำเงิน	แดง	-180 ถึง 1100 °C	56.0	42
R	+ พลาตินั่ม -13% โรเดียม - พลาตินั่ม	-	ขาว น้ำเงิน	เขียว	0 ถึง 1600 °C	18.7	8
S	+ พลาตินั่ม– 10% โรเดียม - พลาตินั่ม	-	ขาว น้ำเงิน	เขียว	0 ถึง 1550 °C	16.0	8
T	+ ทองแดง - ทองแดง - นิเกิล	คอนสแตนตัน (Constantan)	ขาว น้ำเงิน	น้ำเงิน	-185 ถึง 300 °C	26.0	46

ที่มา : พจนาฎ : 2546

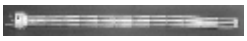
ภาคผนวก ข–2 ฮีทเตอร์ (Heater)

ฮีทเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้น ลวดที่ใช้ผลิตฮีทเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง สำหรับลวดฮีดเตอร์ของเราเป็นลวด Khantal (นิกเกิ้ล: โครเมียม/80 : 20) จากประเทศสวีเดน ทนอุณหภูมิได้ถึง 1250°C เป็นลวดผลิตฮีทเตอร์ที่ดีที่สุดในโลก ส่วนประกอบอื่น ๆ ในการผลิตฮีทเตอร์มีดังนี้

ตารางที่ ข–2 ชนิดของ Heater [8]

ฮีทเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน			
	ฮีทเตอร์แท่ง	**Cartridge Heater**	ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่าง ๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก
	ฮีทเตอร์ครีบ	**Finned Heater**	ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้งในเตาอบ
	ฮีทเตอร์ท่อกลม	**Tubular Heater**	ใช้ให้ความร้อนกับอากาศในลักษณะเดียวกันกับฮีทเตอร์ครีบ
	ฮีทเตอร์จุ่ม	**Immersion Heater**	หรือบางทีเรียกว่า ฮีทเตอร์ต้มน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานต้มน้ำ ต้มน้ำมัน งานผสมสาร

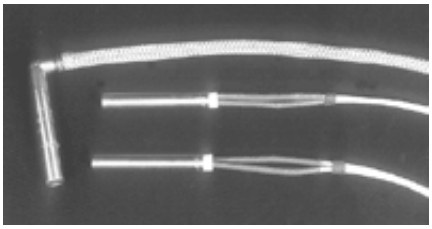
ตารางที่ ข–2 (ต่อ)

ฮีทเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน			
	**บอบบิ้นฮีทเตอร์**	**Bobbin Heater**	ใช้ให้ความร้อนของเหลว เหมือน ฮีทเตอร์จุ่ม
	ฮีทเตอร์ อินฟราเรด	**Infrared Heater**	ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ที่ติดตั้งในเตาอบ หรือเหนือคอนเวย์เยอร์ได้
	ฮีทเตอร์รัดท่อ	**Band Heater**	ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อ
	ฮีทเตอร์แผ่น	**Strip Heater**	ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรง

ที่มา: ดัชนีสินค้า :2537

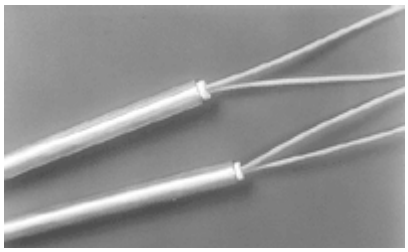
1. ฮีทเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)

ลักษณะการใช้งานทั่วไปของ Cartridge Heater คือ ใส่ไว้ในช่องบนวัตถุ ความร้อนจะถูกส่งผ่านจาก Heater ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน ตัวอย่างงาน เช่นให้ความร้อนแม่พิมพ์ของเครื่องบรรจุหีบห่อ Cartridge Heater แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ High Density และ Low Density (บางครั้งเรียกว่า High Temperature และ Low Temperature)



ภาพที่ ข–5 High Density

หลักการทำ Cartridge Heater ชนิด High Density มีขั้นตอนที่ต้องรีดท่อโลหะที่มีตัวนำและฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ภายในลง ทำให้ทนอุณหภูมิได้สูง และมีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่ (Watt /cm^2) สูงขึ้น



ภาพที่ ข–6 Low Density

หลักการทำ Cartridge Heater ชนิด Low Density คือ ร้อยลวดตัวนำในฉนวน Ceramic แล้วใส่ไว้ในท่อโลหะ ช่องว่างระหว่างท่อโลหะกับลวดอัดด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์

การกำหนดว่า Cartridge Heater ตัวใดเป็น High Density หรือ Low Density จะพิจารณาจากค่า Watt Density ซึ่งเป็นหน้าที่ของทางผู้ผลิต สามารถผลิตฮีทเตอร์ให้ตามที่ต้องการได้ โดยผู้ใช้งานเพียงระบุค่า 4 ค่าเท่านั้น คือ

1. เส้นผ่าศูนย์กลาง
2. ความยาว
3. แรงดัน
4. กำลังวัตต์

2. ฮีทเตอร์จุ่ม (Immersion Heater)

ทำจาก Tubular Heater ที่ดัดเป็นรูปตัว U และเชื่อมติดกับเกลียวซึ่งมีขนาดเกลียวตั้งแต่ 1" , 1 ^{1}/4", 1 ^{1}/2" , 2", 2 ^{1}/2" ขนาดของเกลียวจะขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีทเตอร์ จะมีตั้งแต่ 1U 2U 3U 6U ตามความเหมาะสมของกำลัง Watt และความยาวของตัวฮีทเตอร์

ภาพที่ ข–7 ฮีทเตอร์จุ่ม

ฮีทเตอร์แบบจุ่มเหมาะสำหรับใช้กับของเหลว เช่น ต้มน้ำและอุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใส่ฮีทเตอร์แบบเกลียวเข้าไป โดยตัวฮีทเตอร์ขนานกับพื้นถัง ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีทเตอร์โผล่พ้นของเหลว เนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไป ทำให้อายุการใช้งานสั้น และเพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึงควรติดตั้งใบพัดกวนของเหลวด้วย

3. Tubular Heater

โครงสร้างของ Tubular Heater คือ มีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะ ช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อนและท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐาน วัสดุที่ใช้ทำ Tubular Heater มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้

ตารางที่ ข–3 ลักษณะของ Tubular Heater[8]

ทองแดง	ใช้กับ	น้ำสะอาด
สแตนเลส 304	ใช้กับ	อากาศที่มีการหมุนเวียน, เตาอบ, น้ำ, น้ำมัน, ของเหลว หรือในอุตสาหกรรมอาหารที่มี pH 5–9
สแตนเลส 316	ใช้กับ	อากาศที่มีการหมุนเวียน, กรด, สารละลาย, สารเคมีหรือ ของเหลวที่มีลักษณะกัดกร่อน
อินโคลอย 800	ใช้กับ	อากาศที่ไม่มีการหมุนเวียนเช่นในเตาอบ, น้ำ, น้ำมัน และของเหลวทั่วไป

ที่มา: ดัชนีสินค้า :2537

ฮีทเตอร์ท่อกลมใช้กับงานต่อไปนี้

- ใช้ในเตาอบ
- ใช้ในท่อ DUCT
- ใช้กับเครื่องปรับอากาศ

การติดตั้งสามารถทำให้ 2 วิธี คือติดตั้งแบบให้ความร้อนโดยตรง และแบบส่งผ่านความร้อนจากห้องเผาไปยังห้องอบโดยใช้ลมร้อนไม่สามารถถ่ายเทได้ ในกรณีที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ไม่หมุนเวียน ควรเลือกวัสดุที่ใช้ทำฮีทเตอร์เป็นอินโคลอย เนื่องจากมีคุณสมบัติถ่ายเทความร้อนได้ดี และทนอุณหภูมิได้สูงกว่าชนิดอื่น

4. ฮีทเตอร์ครีบ (Finned Heater)

ฮีทเตอร์ครีบ ทำจาก Tubular Heater ที่ดัดเป็นรูปต่าง ๆ และเพิ่มแผ่นครีบม้วนติดกับท่อฮีทเตอร์อย่างต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ส่วนของแผ่นครีบที่เพิ่มขึ้นมาจะทำให้ฮีทเตอร์สามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้น ส่วนฮีทเตอร์ท่อกลมคือ Tubular Heater ที่ใช้ให้ความร้อนโดยตรงโดยไม่ติดครีบ

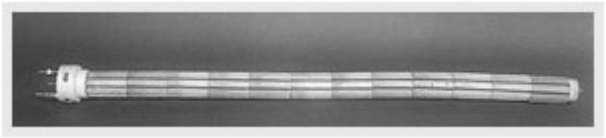
ฮีทเตอร์ครีบและฮีทเตอร์ท่อกลม ใช้กับงานต่อไปนี้

- ใช้ในเตาอบ
- ใช้ในท่อ DUCT
- ใช้กับเครื่องปรับอากาศ

การติดตั้งสามารถทำให้ 2 วิธี คือติดตั้งแบบให้ความร้อนโดยตรง และแบบส่งผ่านความร้อนจากห้องเผาไปยังห้องอบโดยใช้ลมร้อนไม่สามารถถ่ายเทได้ ในกรณีที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ไม่หมุนเวียน ควรเลือกวัสดุที่ใช้ทำฮีทเตอร์เป็นอินโคลอย เนื่องจากมีคุณสมบัติถ่ายเทความร้อนได้ดี และทนอุณหภูมิได้สูงกว่าชนิดอื่น

5. บอบบิ้นฮีทเตอร์ (Bobbin Heater)

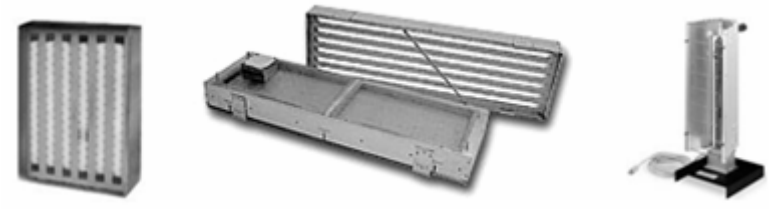
เป็นฮีทเตอร์แบบจุ่มชนิดหนึ่ง ถูกออกแบบสำหรับให้ความร้อนกับของเหลวสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ปลอกฮีทเตอร์สามารถเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีให้เลือกทั้งสแตนเลส 304, สแตนเลส 316 และควอทซ์โดยแบบสแตนเลสมีข้อดีคือ เมื่อฮีทเตอร์เสียสามารถซ่อมได้ แบบควอทซ์ใช้สำหรับงานชุบโดยใช้ไฟฟ้า, แช่ในกรด หรือสารละลาย



ภาพที่ ข–8 สแตนเลสฮีทเตอร์

6. อินฟราเรด ฮีทเตอร์ (Infrared Heater)

มีหลักการทำความร้อน คือ ให้กำเนิดแสงอินฟราเรดและส่งไปยังวัตถุ โดยเป็นแสงคลื่นยาวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ซึ่งรังสีคลื่นยาวนี้ จะทำให้โมเลกุลของวัตถุที่ได้รับรังสีนี้เข้าไปเกิดการสั่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น หลักการนี้จะมีประสิทธิภาพมาก เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เรียงกันเป็นแถวยาว เช่น สี, กาว, อาหาร, พลาสติก, แลกเกอร์



ภาพที่ ข–9 อินฟาเรดฮีทเตอร์

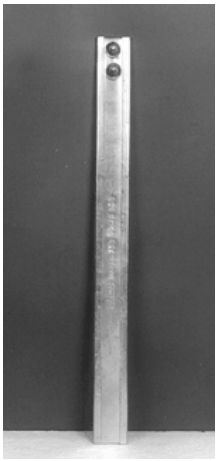
7. ฮีทเตอร์รัดท่อ (Band Heatter)

ได้รับการออกแบบสำหรับถัง หรือท่อรูปทรงกระบอก ฉนวนของฮีทเตอร์ทำจากแผ่น Mica และ ลวดฮีทเตอร์แบบแบน (Ribbon Wire Heating Element) จึงทำให้ฮีทเตอร์ชนิดนี้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กขนาด 25 mm. หรืออาจใหญ่ถึง 300 mm. ก็ได้ ส่วนความกว้างอยู่ระหว่าง 20 – 100 mm. ตัวถังด้านนอกจะเป็นแผ่นเหล็ก หรือสแตนเลส เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับเครื่องฉีดพลาสติก

ภาพที่ ข–10 ฮีทเตอร์รัดท่อ

8. ฮีทเตอร์แผ่น (Strip Heater)

โครงสร้างจะเป็นแบบเดียวกับฮีทเตอร์รัดท่อ แต่รูปทรงจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับแม่พิมพ์



ภาพที่ ข-11 ฮีทเตอร์แผ่น

ภาคผนวก ข-3 ฉนวน (Insulator)

ฉนวนศัพท์คำว่า "ฉนวน" คือ คำรวม ๆ ของวัสดุที่มีคุณสมบัติในการหน่วงความร้อน หรือเสียง ฉนวนที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม หรือ ตึกอาคารในทุกวันนี้ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่า 0.06 (W/m.K) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 0 องศาเซลเซียส สัมประสิทธิ์การนำความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิของตัวกลางที่ฉนวนกั้นอยู่ปัจจุบันมีการพัฒนาฉนวนให้มีคุณสมบิตดีขึ้น ค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วง 0.025 ถึง 0.050 (W/m.K)

ฉนวน มีหน้าที่ป้องกันการแผ่รังสีความร้อนใช้ในการห่อหุ้มวัสดุที่มีความร้อนและสามารถป้องกันการเกิดอันตรายได้อีกด้วย ชนิดฉนวนสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท อาทิ เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน

ภาพที่ ข–12 ฉนวนใยแก้ว

ภาพที่ ข–13 ฉนวนใยหินชนิดต่างๆ

คุณสมบัติของฉนวน

- ทนต่ออุณหภูมิสูงและต่ำโดยไม่เสื่อมคุณภาพ
- มีโครงสร้างแข็งแรง
- ไม่เสื่อมสมบัติทางเคมี
- การติดตั้ง การใช้งาน ซ่อมแซม บำรุงรักษา สะดวกและง่าย
- ไม่เป็นเชื้อเพลิงที่จะทำให้ลุกติดไฟได้

ประโยชน์ของการหุ้มฉนวน

- ประหยัดเชื้อเพลิงและรักษาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
- ควบคุมอุณหภูมิหม้อไอน้ำไม่ให้ออกสู่บรรยากาศ
- ทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ เพื่อลดความเค้นของวัสดุ
- ป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำไปตามท่อ (การเกิดตะกัน)
- ป้องกันอันตรายจากคนไปสัมผัส

ตารางที่ ข–4 สมบัติทางกายภาพของฉนวนความร้อน [11]

ชนิดของฉนวน	**หมวดหมู่ของฉนวนความร้อน**	**ค่าการนำความร้อน (W/m. K)**	**ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)**	**ความหนาแน่น (kg/m3)**
Polyethylene	ฉนวนความร้อนสำเร็จรูป No.1 – 13	0.23	0.84	135
ใยแก้ว	ฉนวนความร้อนสำเร็จรูป	0.0324	0.84	45
ใยหิน	ฉนวนความร้อนสำเร็จรูป	0.0314	1.13	100

ที่มา: ตระการ: คู่มือฉนวนความร้อน

ภาคผนวก ค
ข้อมูลเครื่องล้างในท้องตลาด

ภาคผนวก ค – 1

เครื่องล้างจาน FAGOR รุ่น 2LF-013 SX สแตนเลส [14]

ราคาพิเศษ: 66,900.00 บาท

รายละเอียด:

เครื่องล้างจาน FAGOR รุ่น 2LF-013 SX สแตนเลส

- **2LF-013 SX**
- ควบคุมการทำงานด้วยระบบอิเลคทรอนิค
- ล้างจานชามได้ 12 ชุดแบบยุโรปหรือ 144 ชิ้น
- ระบบคำนวณน้ำตามปริมาณภาชนะที่ล้าง
- ระบบพ่นน้ำ 3 จุด
- ทำงานได้ 5 โปรแกรม :
  โปรแกรมล้างน้ำเปล่า
  โปรแกรมล้างแบบปกติ (65 ^{o}C)
  โปรแกรมล้างภาชนะสกปรกมาก (70 ^{o}C)
  โปรแกรมล้างแบบประหยัดพลังงาน (50 ^{o}C)
  โปรแกรมล้างแบบรวดเร็ว (55 ^{o}C)
- ตั้งเวลาล้างล่วงหน้าอัตโนมัติสูงสุด 19 ชั่วโมง พร้อมแสดงเวลาคงเหลือของการทำงาน
- สัญญาณไฟเตือนระดับเกลือ, เกลือปรับสภาพน้ำ, น้ำยาเคลือบเงา
- สามารถปรับระดับความสูงของตะกร้าได้
- ตะกร้าด้านบนและล่างถูกออกแบบเพื่อให้ใส่ภาชนะได้หลายรูปแบบ
- เสียงเตือนเมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน
- ระดับเสียงรบกวน 50 เดซิเบล
- ใช้น้ำเพียง 14 ลิตร (1 ใน 4 เท่าเมื่อเทียบกับการล้างด้วยมือ)ใช้เวลาในการล้างสูงสุด 163 นาที

ภาคผนวก ค – 2

เครื่องล้างจาน ELECTROLUX รุ่น ESF6210LOW [15]

- มาตรฐานประหยัดพลังงาน ความสะอาด ความแห้ง AAA
- ความจุ 12 ชุด มาตรฐาน 144 ชิ้น
- 5 โปรแกรมการล้าง และตั้งอุณหภูมิได้ 4 ระดับ

  Intensive 70 c

  Normal 65 c

  Quick 50 c

  Eco 50 c

  Rinse
- ตั้งเวลาการทำงานล่วงหน้า 3 ชั่วโมง
- ไฟสัญญาณเตือนเมื่อเกลือและน้ำยาแวววาวหมด
- การทำงานเงียบด้วยระดับเสียง 49 เดซิเบล
- ปริมาณการใช้น้ำ 14.3 ลิตร ในโปรแกรม Eco
- ไฟสัญญาณแจ้งบอกสถานะการทำงาน
- ระบบป้องกันน้ำล้นน้ำรั่ว
- กำลังไฟสูงสุด 2,200 วัตต์
- น้ำหนักสุทธิ 49 กก.
- ขนาด กว้าง X สูง X ลึก : 60 X 85 X 61 ซม.
- สีขาว

ผู้ผลิต: ELECTROLUX

ปกติ 40,900.00 บาท

ภาคผนวก ค – 3

เครื่องล้างจาน ELECTROLUX รุ่น ESF66070XR 60CM

- โปรแกรม Auto สะดวกในการใช้งานเครื่องจะเลือกตั้งค่าอุณหภูมิน้ำและปริมาณน้ำ ตามระดับความสกปรกของน้ำและปริมาณภาชนะที่ล้าง
- โปรแกรมตั้งเวลาล้างล่วงหน้า 1-24 ชั่วโมง
- ตัวถังขนาด XXL
- ใหญ่กว่าเครื่องล้างจานทั่วไปถึง 15%
- ป้องกันน้ำรั่ว น้ำล้น ด้วยระบบ Aqua Control
- รองรับการใส่อุปกรณ์ล้างจานแบบ Multitab
- โปรแกรมล้างแบบเร่งด่วนเพียง 30 นาที ด้วยความร้อนสูงถึง 60°C
- มาตรฐาน AAA วางใจได้ในเรื่องการประหยัดพลังงาน ความสะอาด และความแห้ง

ข้อมูลทางเทคนิค

- ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์พร้อมจอแสดงผล LCD
- โปรแกรมตั้งเวลาล้างล่วงหน้า 1-24 ชั่วโมง
- โปรแกรมการล้าง 5 โปรแกรม (Auto 45-70°, Bio 50° with Prerinse, Quick 60°, Intensive 70°, Rinse & Hold)
- โปรแกรมป้องกันน้ำล้น Aqua Control
- กำหนดความจุ 12ชุด มาตรฐานIEC
- ระดับเสียง 49 dB(A)
- ปริมาณน้ำที่ใช้ 11 ลิตร (โปรแกรม Eco)
- กำลังไฟสูงสุด 2,200 วัตต์
- ขนาดผลิตภัณฑ์ (กว้าง*สูง*ลึก,มิลลิเมตร) 596 x 850 x 620 มม.
- ขนาดติดตั้งใต้เคาน์เตอร์โดยถอดฝาครอบด้านบน 596 x 850 x 620 มม.

ผู้ผลิต: ELECTROLUXปกติ 69,900.00 บาท

ภาคผนวก ค - 4

เครื่องล้างจาน SIEMENS รุ่น SK25E200EU [16]

Compact tabletop dishwasher 55 cm.

- เครื่องล้างจานแบบตั้งโต๊ะขนาดกะทัดรัด
- ความจุ: ชุดภาชนะมาตรฐาน 6 ชุด (72 ชิ้น) นับรวม จาน , ช้อน , แก้ว , ชาม
- ประสิทธิภาพการประหยัดพลัง ล้าง และอบแห้ง ระดับ AAB
- 5 โปรแกรมการล้าง: 70°C ล้างแบบเข้มข้น, 65°C ล้างแบบธรรมดา
- 50°C ล้างแบบประหยัด, 40°C ล้างภาชนะ-แก้ว, และ 45°C ล้างด่วน
- Dosage Assist ช่องจ่ายผงล้างจานแบบเม็ด ควบคุมการละลายได้เต็มประสิทธิภาพ
- ระบบป้องกันน้ำท่วม
- สัญญาณแจ้งปริมาณเกลือและน้ำยาต่ำ
- การทำงานเงียบด้วยระดับเสียงเพียง 54 เดซิเบล
- ระดับปริมาณการใช้น้ำและไฟฟ้าสำหรับโปรแกรมประหยัด 7 ลิตร / 0.63 กิโลวัตต์
- ขนาดผลิตภัณฑ์ (สูงxกว้างxลึก): 450X551X500 มม.
- กำลังไฟ 220-240 V, 50 Hz

ผู้ผลิต: SIEMENS ปกติ 47,900.00 บาท

ภาคผนวก ค - 5

เครื่องล้างจาน SIEMENS รุ่น SN24D201EU

60 cm dishwasher Freestanding - white

- ประหยัดพลังงาน A+
- ปริมาณการรองรับภาชนะสูงสุด 12 ชุดมาตรฐาน
- มีโปรแกรมการล้างให้เลือกถึง 4 รูปแบบ

  Intensive 70°C,

  Auto 45-65°C,

  Economy 50°C,

  Quick Wash 45°C
- ปริมาณน้ำที่ใช้ในโหมดปกติ 12 ลิตร
- ปรับอุณหภูมิได้ 4 ระดับ
- มีหน้าจอ LCD แจ้งสถานะการทำงานและเวลาที่เหลือในการล้าง
- ฟังค์ชั่น Half load ล้างครึ่งถัง
- ระบบปรับความสูงตะกร้าบนได้ 3 ระดับ “Rack
- dosageAssistช่องใส่ผงล้างจานอัดเม็ด
- ตั้งเวลาการล้างล่วงหน้าได้ 1 - 24 ช.ม.
- ระดับเสียง 46 dB.
- ระบบป้องกันน้ำท่วม 24 ชม.(Aqua stop)
- ขนาด กว้าง x สูง x ลึก : 60 x 85 x 60 ซม.

  ผู้ผลิต: SIEMENSปกติ 44,900.00 บาท

ภาคผนวก ค - 6

เครื่องล้างจาน TEKA รุ่น DW8 59 FI [18]

Full integrated dishwasher without front panel

- เครื่องล้างจานแบบติดตั้งเคาน์เตอร์ ไม่มีหน้าบาน
- ความจุ : ถ้วยถาม 12 ชุดมาตรฐาน ล้างได้ 144 ชิ้น นับรวม จาน ช้อนแก้ว
- แผงควบคุมการทำงานแบบอิเล็คทรอนิคบนขอบประตู
- ระบบฉีดน้ำรอบทิศทาง
- 5 โปรแกรมการทำงาน, โปรแกรมการทำงานแบบ 3 in 1
- 4 ระดับอุณหภูมิน้ำ (45/55/55/65/70 C)
- โปรแกรมล้างด่วน 45 นาที,
- มีสัญญาณเตือนเมื่อเกลือหรือน้ำยาหมด,
- ระบบป้องกันน้ำรั่ว
- ตะกร้าด้านบนสามารถปรับได้,
- ระบบล้างแบบครึ่งถัง (เลือกล้างตะกร้าบน หรือล่างได้)
- มาตรฐานประหยัด A/A/A
- ปริมาณการใช้น้ำ 14 ลิตร
- สีสแตนเลส
- จัดเตรียมหน้าบานโดยผู้ซื้อ

ผู้ผลิต: TEKAปกติ 59,000.00 บาท

ภาคผนวก ค - 7

เครื่องล้างจาน TEKA รุ่น LP7 811

Free standing dishwasher

- เครื่องล้างจานแบบตั้งพื้น สามารถติดตั้งได้ทั้งแบบ Freestanding และใต้เคาน์เตอร์
- ความจุ : ถ้วยถาม 12 ชุดมาตรฐาน ล้างได้ 144 ชิ้น นับรวม จาน ช้อนแก้ว
- แผงควบคุมการทำงานแบบอิเล็คทรอนิค,
- ระบบฉีดน้ำรอบทิศทาง
- 5 โปรแกรมการทำงาน,
- 5 ระดับอุณหภูมิน้ำ (38/45/55/65/70 C)
- โปรแกรมล้างด่วน 30 นาที,
- มีสัญญาณเตือนเมือเกลือหรือน้ำยาหมด,
- ระบบป้องกันน้ำรั่ว
- ตะกร้าด้านบนสามารถปรับได้,
- มาตรฐานประหยัด A/A/A
- ปริมาณการใช้น้ำ 16 ลิตร
- สีขาว
- ขนาด กว้าง X สูง X ลึก : 60 X 85 X 60 ซม.

ผู้ผลิต: TEKAปกติ 48,900.00 บาท

ภาคผนวก ง
สมบัติวัสดุแต่ละชนิด

ตารางที่ ง–1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม (Mechanical Properties of lain carbon and alloy steels) (ชิ้นทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 mm) ตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN) [4]

วัสดุ	ยังส์โมดุลัส (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	ความต้านทานแรงดึง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	ความต้านทานแรงดึงคราก (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	ความต้านทานแรงเฉือนคราก (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	โมดุลัสความแข็งแกร่ง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
St 37	210000	370	300	140	70000
St 42	210000	420	300	160	70000
St 50	210000	500	300	200	80000
St 52	210000	520	320	200	80000
St 60	210000	600	360	220	80000
St 70	210000	700	420	260	80000
37 Mn Si 5	210000	1000	750	280	26500
Al Cu Mg	72000	420	280	130	27000

ที่มา : ชนะ กสิภาร์ (2543 : 443)

ภาคผนวก ง – 2

ตารางที่ ง–2 คุณสมบัติของโลหะชนิดต่าง ๆ [21]

Typical Properties of Selected Materials Used in Engineering[1,5]

Material	Density kg/m³	Ultimate Strength			Yield Strength[3]		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa	Coefficient of Thermal Expansion, 10^{-6}/°C	Ductility, Percent Elongation in 50 mm
		Tension, MPa	Compression,[2] MPa	Shear, MPa	Tension, MPa	Shear, MPa				
Steel										
Structural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	200	77.2	11.7	21
High-strength-low-alloy										
ASTM-A709 Grade 345	7860	450			345		200	77.2	11.7	21
ASTM-A913 Grade 450	7860	550			450		200	77.2	11.7	17
ASTM-A992 Grade 345	7860	450			345		200	77.2	11.7	21
Quenched & tempered										
ASTM-A709 Grade 690	7860	760			690		200	77.2	11.7	18
Stainless, AISI 302										
Cold-rolled	7920	860			520		190	75	17.3	12
Annealed	7920	655			260	150	190	75	17.3	50
Reinforcing Steel										
Medium strength	7860	480			275		200	77	11.7	
High strength	7860	620			415		200	77	11.7	
Cast Iron										
Gray Cast Iron										
4.5% C, ASTM A-48	7200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Malleable Cast Iron										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
Aluminum										
Alloy 1100-H14 (99% Al)	2710	110		70	95	55	70	26	23.6	9
Alloy 2014-T6	2800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Alloy-2024-T4	2800	470		280	325		73		23.2	19
Alloy-5456-H116	2630	315		185	230	130	72		23.9	16
Alloy 6061-T6	2710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Alloy 7075-T6	2800	570		330	500		72	28	23.6	11
Copper										
Oxygen-free copper (99.9% Cu)										
Annealed	8910	220		150	70		120	44	16.9	45
Hard-drawn	8910	390		200	265		120	44	16.9	4
Yellow-Brass (65% Cu, 35% Zn)										
Cold-rolled	8470	510		300	410	250	105	39	20.9	8
Annealed	8470	320		220	100	60	105	39	20.9	65
Red Brass (85% Cu, 15% Zn)										
Cold-rolled	8740	585		320	435		120	44	18.7	3
Annealed	8740	270		210	70		120	44	18.7	48
Tin bronze (88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			145		95		18.0	30
Manganese bronze (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	8360	655			330		105		21.6	20
Aluminum bronze (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	8330	620	900		275		110	42	16.2	6

ภาคผนวก ง-3 มาตรฐานของเหล็ก JISและTIS

ง-3.1 SS400 เป็นมาตรฐานของเหล็ก JIS เหล็กรีดร้อนสำหรับงานโครงสร้าง (Hot rolled steel for general structure)

คุณสมบัติ เป็นเหล็กรีดร้อนใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดี สามารถเชื่อมต่อได้ง่ายใช้ในงานโครงสร้างต่าง ๆ เช่น งานก่อสร้างตึก งานเรือ งานสร้างสะพาน หรือใช้ในงานอุตสาหกรรมยานยนต์เทียบกับมาตรฐานเหล็กมาตรฐานอื่น เช่น SS400 (Hitachi), SS400 (Nippon Koshuha)

การใช้งาน ใช้ในงานโครงสร้างต่าง ๆ เช่น งานก่อสร้างตึก งานเรือ งานสร้างสะพาน หรือใช้ในงานอุตสาหกรรมยานยนต์เทียบกับมาตรฐาน และงานโครงสร้างทั่วไป

ส่วนผสมธาตุในเนื้อเหล็ก - P = 0.050 % Max

- S = 0.050 % Max

สมบัติเชิงกล - Yield Strength : 22 kgf/mm^2ขึ้นไป

- Tensile Strength : 41 – 52 kgf/mm^2

- Elongation : 17 %ขึ้นไป

ความแข็งแรง มีค่าอยู่ระหว่าง 116 – 152 HB

ง-3.2 (Thailand Industrial Standard) มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) เป็นมาตรฐานเหล็กของไทย กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (สมอ.) แบ่งหมวดหมู่เหล็กตามลักษณะการใช้งาน โดยใช้สัญลักษณ์กำหนดมาตรฐานเหล็กของไทย เป็นตัวย่อ มอก. หรือ TIS นำหน้า แล้วตามด้วยตัวเลขที่บอกหมวดหมู่ตามลักษณะการใช้งานและตามด้วย พ.ศ. ที่ออกมาตรฐาน ดังตารางที่ ก - 6

ตารางที่ ง -3 ตารางมาตรฐานเหล็ก มอก. (TIS)

มาตรฐานเหล็กโครงสร้าง มอก.				
เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง เลขที่ มอก. 107 - 2533				
ชั้นคุณภาพ (เกรดเหล็ก)	Shape	Yield St. (ksc)	Ult. St (ksc)	Elongation (%)
HS41	Circular and Rect.	มากกว่า 2396	มากกว่า 4098	มากกว่า 23
HS50	Circular and Rect.	มากกว่า 3201	มากกว่า 4995	มากกว่า 23
HS51	Circular Only	มากกว่า 3598	มากกว่า 5097	มากกว่า 15

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปร้อน เลขที่ มอก. 1227 - 2537						
ชั้นคุณภาพ (เกรดเหล็ก)	Min. Yield St. (ksc)		Ult. St (ksc)	Min. Elongation (%)		
	หนาไม่เกิน 16 mm	หนาเกิน 16 mm		หนาเกิน 5 mm	หนา 5 - 16 mm	หนาเกิน 16 mm
SM 400	2497	2396	4077-5199	23	18	22
SM 490	3313	3211	4995-6218	22	17	21
SM 520	3721	3619	5301-6524	19	15	19
SM 570	4689	3976	5810-7339	19	19	26

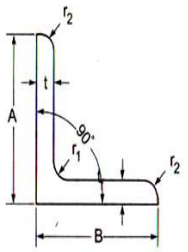
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา “วรสารเทคนิค เครื่องจักรกลไฟฟ้าอุตสาหการ” ฉบับที่ 317 กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2554 : หน้า 88.

ภาคผนวก ง-4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียวบางชนิด

(Mechanical properties of some wrought stainless steels)

AISI Type	Tensile Strength, ksi			Yield Strength, ksi			Elong.in 2 in, %			Reduction of Area, %		Brinell Hardness BHN		
	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Annealed	Cold Worked	Hardened &PTempered
Austenitic														
302	85	110	-	35	75	-	60	35	-	70	60	115	240	-
304	85	110	-	35	75	-	60	60	-	70	-	149	240	-
310,310S	95	-	-	45	-	-	50	-	-	65	-	179	-	-
316	80	90[d]	-	30	60[d]	-	60	45[d]	-	70	65[d]	149	190[d]	-
321	85	100[d]	-	35	65[d]	-	55	40[d]	-	65	60[d]	150	212[d]	-
347,348	90	100[d]	-	35	65[d]	-	50	40[d]	-	-	60[d]	160	212[d]	-

ภาคผนวก ง-5 ขนาดระบุของเหล็กขาเท่ากันชนิดผลิตร้อน (Equal angles)

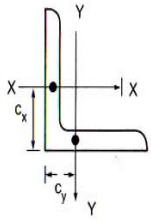


โมเมนต์อิเนอร์เชีย; $I = A \cdot r^2$

รัศมีไจเรชัน; $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

มอดุลัสหน้าตัด; $S = \frac{I}{c}$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัด



ขนาด A×B×t (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	ความยาวด้าน A = B (mm)	ความหนา t (mm)	รัศมีส่วนโค้ง (mm)		ระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วง (cm)			โมเมนต์อิเนอร์เชีย (cm^4)			รัศมีไจเรชัน (cm^3)			มอดุลัสหน้าตัด (cm^3)
					r_1	r_2	$Cx=Cy$	C_u	C_v	$I_x=I_y$	I_u	I_v	$r_x=r_y$	r_u	r_v	$S_x=S_y$
25 × 25 × 3	1.12	1.42	25	3	4	2.0	0.72	–	–	0.80	1.26	0.33	0.75	0.94	0.48	0.45
30 × 30 × 3	1.36	1.73	30	3	4	2.0	0.84	–	–	1.42	2.26	0.69	0.91	1.14	0.58	0.66
40 × 40 × 3	1.84	2.35	40	3	6	3.0	1.07	2.83	1.52	3.45	5.46	1.44	1.23	1.52	0.78	1.18
40 × 40 × 4	2.42	3.08	40	4	6	3.0	1.12	2.83	1.58	4.47	7.09	1.85	1.21	1.52	0.78	1.55
50 × 50 × 4	3.06	3.89	50	4	7	3.5	1.36	3.54	1.92	8.97	14.2	3.72	1.53	1.91	0.98	2.46
50 × 50 × 6	4.47	5.69	50	6	7	3.5	1.45	3.54	2.04	12.8	20.4	5.33	1.50	1.89	0.97	3.61
50 × 50 × 8	5.82	7.41	50	8	7	3.5	1.52	3.54	2.16	16.3	25.7	6.87	1.48	1.86	0.96	4.68
65 × 65 × 6	5.91	7.53	65	6	9	4.5	1.80	4.60	2.55	29.2	46.3	12.1	1.98	2.49	1.27	6.21
65 × 65 × 8	7.73	9.85	65	8	9	4.5	1.89	4.60	2.67	37.5	59.4	15.3	1.95	2.46	1.26	8.13
65 × 65 × 11	10.3	13.2	65	11	9	4.5	2.00	4.60	2.85	48.8	76.8	20.7	1.91	2.42	1.25	10.8
75 × 75 × 6	6.87	8.75	75	6	10	5.0	2.04	5.30	2.89	45.6	72.2	18.9	2.28	2.87	1.47	8.35
75 × 75 × 10	11.1	14.1	75	10	10	5.0	2.21	5.30	3.12	71.4	113	29.8	2.25	2.83	1.45	13.5
75 × 75 × 12	13.1	16.7	75	12	10	5.0	2.29	5.30	3.24	82.4	130	34.7	2.22	2.79	1.44	15.8
90 × 90 × 6	8.30	10.6	90	6	11	5.2	2.41	6.36	3.40	80.3	127	33.3	2.76	3.47	1.78	12.2
90 × 90 × 10	13.4	17.1	90	10	11	5.2	2.58	6.36	3.65	127	201	52.8	2.72	3.42	1.76	19.8
90 × 90 × 12	15.9	20.3	90	12	11	5.2	2.66	6.36	3.76	148	234	62.0	2.70	3.40	1.75	23.3
100 × 100 × 8	12.2	15.5	100	8	12	6.0	2.74	7.07	3.87	145	230	59.9	3.06	3.85	1.96	15.5
100 × 100 × 10	15.0	19.2	100	10	12	6.0	2.82	7.07	3.99	177	230	72.9	3.04	3.83	1.95	24.6
100 × 100 × 12	17.8	22.7	100	12	12	6.0	2.90	7.07	4.11	207	328	85.7	3.02	3.80	1.94	29.1
120 × 120 × 8	14.7	18.7	120	8	13	6.5	3.23	8.49	4.50	255	400	103	3.69	4.65	2.37	29.1
120 × 120 × 10	18.2	23.2	120	10	13	6.5	3.31	8.49	4.69	313	597	129	3.67	4.63	2.36	36.0
120 × 120 × 12	21.6	27.5	120	12	13	6.5	3.40	7.49	4.80	368	584	151	3.65	4.60	2.35	42.7
150 × 150 × 10	23.0	29.3	150	10	16	8.0	4.03	10.6	5.71	624	991	259	4.62	5.82	2.97	56.9
150 × 150 × 12	27.3	34.8	150	12	16	8.0	4.12	10.6	5.83	737	1,170	303	4.60	5.80	2.95	67.7
150 × 150 × 15	33.8	43.0	150	15	16	8.0	4.25	10.6	6.01	898	1,430	370	4.57	5.76	2.93	69.5
200 × 200 × 16	48.5	61.8	200	16	18	9.0	5.52	14.1	7.81	2,340	3,720	959	6.16	7.76	3.94	162

ที่มา: มนัส อนุศิริ (การออดแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก)

ตารางภาคผนวก ง-6 รายละเอียดตะแกรงมาตรฐาน (U.S. Sieve)

ตะแกรงมาตรฐาน (U.S. Sieve)	ขนาดช่องว่าง (มิลลิเมตร)	ตะแกรงมาตรฐาน (U.S. Sieve)	ขนาดช่องว่าง (มิลลิเมตร)
No.4	4.75	No.30	0.589
No.8	2.38	No.50	0.297
No.16	1.19	No.100	0.15

ที่มา: ศิริวัฒน์ ชัยชนะ **“ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี”**

ภาคผนวก จ
ประวัติผู้จัดทำ

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ	นาย ชัชวาลย์ ทองเรือง
รหัสนักศึกษา	52012212 (090-9733677)
	[kham.37@hotmail.com]
ที่อยู่ปัจจุบัน	133 หมู่ 9 ตำบลหนองขมาร อำเภอคูเมือง
	จังหวัดบุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
	จากวิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
	จังหวัดสมุทรปราการ
	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ	นาย รุจิรพงศ์ เพ็ชรโยธา
รหัสนักศึกษา	52014332 (090-1671932)
	[Ruchirapong.phet@hotmail.com]
ที่อยู่ปัจจุบัน	64/5 หมู่ 2 ตำบลสระแก้ว อำเภอท่าศาลา
	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
	จากวิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
	จังหวัดนครศรีธรรมราช
	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ	นายกิตติธัช จินดาเชื้อ
รหัสนักศึกษา	52002516 (083-1567475)
	[kittithus@hotmail.com]
ที่อยู่ปัจจุบัน	185/8 หมู่ 7 ตำบลศรีสุนทร อำเภอถลาง
	จังหวัดภูเก็ต
ประวัติการศึกษา	การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
	จากวิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต
	จังหวัดภูเก็ต
	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ	นางสาว ปาณิสรา แวนไชยสง
รหัสนักศึกษา	52017128 (081-9417407)
	[pamisara@hotmail.com]
ที่อยู่ปัจจุบัน	136/1 หมู่ ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง
	จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
	จากโรงเรียนดรุณาราชบุรีโปลีเทคนิค
	จังหวัดราชบุรี
	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน