27

รายงานการวิจัย

งานบัณฑิตวิทยาลัย

การออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

(Design and Build an Essential Oil Distillation from Leech Lime Peel Machine)

โดย

นายชัยยะ	ปราณีตพลกรัง	หัวหน้าโครงการ
ผศ.นฤทธิ์	คชฤทธิ์	ผู้ร่วมวิจัย
นายไพฑูรย์	พูลสุขโข	ผู้ร่วมวิจัย
นายศักดิ์ชัย	จันทศรี	ผู้ร่วมวิจัย
นายปราโมทย์	พูนนายม	ผู้ร่วมวิจัย

ลงทะเบียนวันที่ 13 มี.ค. 2561
เลขทะเบียน 060516
เลขหมู่ RM
ผู้เรื่อง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยมีการออกแบบกระบวนการทำงานของเครื่อง คือ ผิวมะกรูดจะวางอยู่บนตะแกรงเหนือน้ำในชุดถังต้ม โดยที่ไอน้ำจากการต้มจะทำให้ผนังเซลล์ของผิวมะกรูดอ่อนตัวด้วยไอน้ำร้อน ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจะแพร่ผ่านผนังเซลล์ ระเหยกลายเป็นไอน้ำและไหลไปตามท่อนำไอน้ำผ่านชุดควบแน่นทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำแล้วไหลไปตามท่อเข้าสู่ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด และมีปัจจัยในการทดลองดังต่อไปนี้ ใช้ปริมาณผิวมะกรูดที่ 20 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิในการต้มที่ 100^{0}C และ 120^{0}C ใช้ระยะเวลาในการกลั่นที่ 6 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในการควบแน่นไม่เกิน 30^{0}C สรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้ ทำให้ทราบว่าปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดมีความแตกต่างกันน้อยมาก ที่อุณหภูมิ 100^{0} C และ 120^{0} C ซึ่งเครื่องสามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดได้ 3.50 % ของน้ำหนัก และจากการเฝ้าระวัง ตรวจเช็คการทำงานของเครื่องในระหว่างการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด พบว่าในส่วนของชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำยังมีน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเหลืออยู่อีกบางส่วน จะต้องปรับปรุงในส่วนของชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

Abstract

This researeh is focus on design and builds a maehine whieh distills an essential oil from leech lime peel. The machine composes with a boiler tank, a condenser and a separate tank. The proeesses of distillation are started from the boiler producing vapor to the leech lime peel which lay on the top of the boiler tank. After that, the essential oil from the leech lime peel is taken by the vapor to the condenser tank whieh cooled by water. The vapor becomes to essential oil mixed with water and flows to the separate tank. The essential oil mixed with water is separated in this tank.

The experiment is eonducted by using leech lime peel 20 kilograms each and using temperature 100 °C and 120 °C to boil the water. The time for distillation is 6 hours.

From the results of the experiment shown that the maehine can distill the essential oil 3.50% by weight of leech lime peel. There is no differenee in the amount of the essential oil between the temperatures 100 °C and 120 °C. The maehine has operated successfully but only separate tank has to be modified because it still has a little bit of essential oil inside the tank.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความร่วมมือของคณะผู้วิจัยทุกท่าน และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการวิจัย สุดท้ายนี้งานวิจัยจะเกิดขึ้นไม่ได้เลยถ้าขาดงบประมาณสนับสนุนจากสภาวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
กิตติกรรมประกาศ	**ข**
สารบัญ	**ค**
สารบัญตาราง	**ง**
สารบัญรูปภาพ	**จ**
รายการสัญลักษณ์	**ฉ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 มะกรูด	4
2.2 กรรมวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย	6
2.3 สารสกัดจากสมุนไพร	7
2.4 การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด	10
2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเครื่อง	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	**39**
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	39
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่อง	41
3.3 ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง	47
3.4 การวิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	**48**
4.1 การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด	48
4.2 การวิเคราะห์ผลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด	49
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	**50**
5.1 สรุปผลงานวิจัย	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	**52**
ภาคผนวก ก. รายการคำนวณ	**53**
ภาคผนวก ข. แบบเครื่อง	**58**
ภาคผนวก ค. รายการตารางและมาตรฐาน	**64**
ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้เครื่อง	**75**

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ	15
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ	40
4.1 ผลจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่อุณหภูมิ 100^0 C	48
4.2 ผลจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่อุณหภูมิ 120^0 C	48
ค.-1 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม	65
ค.-2 น้ำอิ่มตัว – ตารางอุณหภูมิ	66
ค.-3 สมบัติต่างๆ ของโลหะ	67
ค.-4 ความร้อนจำเพาะของของแข็งและของเหลวที่ 25^0 C	68
ค.-5 อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)	68
ค.-6 มาตรฐานของขนาดสายไฟฟ้า	69
ค.-7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	70
ค.-8 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ	71
ค.-9 สวิทช์ลูกลอยแบบติดตั้งด้านข้างถัง	72
ค.-10 แม็กเนติก คอนแทคเตอร์	73
ค.-11 รีเลย์ (Relay)	74

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงมะกรูด	4
2.2 แสดงขั้นตอนการกลั่นน้ำมันหอมระเหย	10
2.3 แสดงแรงดันตามแนวเส้นรอบวง	13
2.4 แสดงแรงดึงตามแนวยาว	14
2.5 แสดงการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังราบ	17
2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามกันและแบบไหลสวนทาง	18
2.7 แสดงแผนภาพอุณหภูมิและความดันสำหรับสาร	20
2.8 แสดงตัวทำความร้อน (Heater)	21
2.9 แสดงผลของซีแบ็ค	22
2.10 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	22
2.11 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส	29
2.12 แสดงการเปลี่ยนสถานะหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์เมื่อจ่ายไฟที่ขดลวด	35
2.13 แสดงแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป	35
2.14 แสดง Push Button Switch แบบต่างๆ	36
2.15 แสดง Thermal Overload Relay	37
2.16 แสดงสัญลักษณ์ของโอเวอร์โหลดรีเลย์	37
3.1 แสดงการออกแบบระบบการทำงานส่วนต่างๆ ของเครื่อง	41
3.2 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดถังต้ม	42
3.3 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดควบแน่น	43
3.4 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ	44
3.5 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดควบคุมการทำงาน	45
3.6 แสดงเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด	46
5.1 แสดงน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด	50

รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)
C_p	=	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)
dt/dx	=	ค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน
D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (m)
F	=	แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันภายใน
h_g	=	Enthalpy ของสารในสถานะก๊าซ (kJ/kg)
h_l	=	Enthalpy ของสารในสถานะของเหลว (kJ/kg)
k	=	ค่าการนำความร้อนของสารตัวกลาง (W/m.K)
l	=	ค่าความร้อนแฝงของการข้ามสถานะ
L	=	ความยาวของทรงกระบอก (mm)
m	=	มวลของของเหลว (kg)
P	=	ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน (kPa)
Q_{cond}	=	อัตราการนำความร้อน (W)
Q_{conv}	=	อัตราการพาความร้อน (W)
r	=	ความร้อนแฝงของการควบแน่นของของไหลที่เปลี่ยนสถานะ
S_u	=	ความต้านแรงดึงสูงสุด
S_y	=	ความต้านแรงดึงจุดคราก
t	=	ความหนาของผนัง (mm)
T_s	=	อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)
T_f	=	อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิว (K)
ΔT_m	=	ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอกาลิซึม
ΔT	=	ความแตกต่างอุณหภูมิขณะที่เริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย (K)
W	=	อัตราการไหลของตัวกลางหล่อเย็น (kg/s)
σd	=	แรงเค้นตามแนวเส้นรอบวง (N/m^2)

บทที่ 1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร มีการประกอบอาชีพนี้มานานตั้งแต่รุ่นบรรพบุรุษ จึงทำให้ประเทศไทยอุดมสมบูรณ์ไปด้วยผักและผลไม้นานาชนิด ซึ่งมีให้บริโภคตลอดทั้งปี พืชผักที่นิยมบริโภคนั้น ส่วนใหญ่จะมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพรด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องเทศต่างๆ เช่น ขิง ข่า ตะไคร้ มะกรูด เป็นต้น นอกจากใช้สำหรับบริโภคแล้ว สมุนไพรเหล่านี้ยังมีสรรพคุณอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ตะไคร้ สามารถสกัดเอาน้ำมันเพื่อใช้กันยุงได้ น้ำมันจากสะเดาสามารถใช้ฉีดป้องกันแมลงจากพืชผักได้ เป็นวิธีการที่เรียกว่าเกษตรอินทรีย์ ช่วยให้เกษตรไม่ต้องใช้สารเคมี ช่วยลดต้นทุนการผลิตและผู้บริโภคยังได้รับประทานผักที่ปลอดสารพิษอีกด้วย

นอกจากสมุนไพรต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์มากนั่นคือมะกรูด ซึ่งเป็นสมุนไพรที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมายทั้งใบและผล สรรพคุณของมะกรูดมีมากมายเช่น แก้ลมหน้ามืด แก้ลมวิงเวียน ใช้สระผมทำให้ผมดกดำ เงางาม ไม่มีรังแคและไม่คันศรีษะ นอกจากนี้ยังใช้เป็นยาขับลม แก้ปวดท้อง รากของมะกรูดจะมีรสเย็นจืด แก้พิษฝีภายใน แก้เสมหะ ปรุงผสมกับยาตัวอื่นเป็นยาแก้ลมจุกเสียด ถอนพิษสำแดง เป็นต้น ส่วนผิวของผลมะกรูดนั้น สามารถนำมาสกัดเอาน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) ซึ่งปัจจุบันน้ำมันหอมระเหยกลายเป็นสิ่งจำเป็นต่อมนุษย์เพิ่มขึ้นและมีบทบาทอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เช่น ใช้ทำน้ำหอม แชมพู สบู่ ครีม น้ำมันใส่ผม เครื่องสำอางหรือโลชั่นทาผิว เป็นต้น

1.1 ความสำคัญของโครงการวิจัย

ปัจจุบันการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวของผลมะกรูดจะทำแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน ซึ่งใช้วิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยนำผิวมะกรูดหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำเข้าเครื่องบีบอัด ซึ่งใช้สกรูสำหรับบีบอัด น้ำมันที่ได้เรียกว่าน้ำมันดิบ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมานานแล้ว ข้อด้อยของวิธีนี้คือต้องนำน้ำมันดิบมากสกัดอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหย จากความไม่สะดวกที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงมีความคิดสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดขึ้น เพื่อช่วยลดขั้นตอนในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดแบบวิธีเดิม

ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้คณะผู้ทำวิจัย ได้ทำการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยเครื่องกลั่นที่สร้างขึ้นนี้ใช้ระบบการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam Distillation) โดยมีส่วนที่ทำการควบแน่น (Condenser) แยกต่างหากจากชุดต้ม การใส่ผิวมะกรูดสามารถทำได้ง่าย โดยเครื่องทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Food Grade)

เครื่องที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถใช้ผลิตในอุตสาหกรรมครัวเรือน เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตเองได้และมีรายได้เพิ่มขึ้น ซึ่งในรายละเอียดของเครื่องฯ จะกล่าวในบทต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

1.2.2 เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของตัวเองเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีต้นทุนการผลิตต่ำและมีคุณภาพดีและช่วยลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

1.2.3 เพื่อพัฒนาการใช้วัตถุดิบภายในประเทศเพื่ออุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (Water and Steam Distillation)

1.3.2 สามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดได้ไม่ต่ำกว่า 3% ของน้ำหนักมะกรูด

1.3.3 เครื่องสามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิได้

1.3.4 ทดลองกับวัตถุดิบมะกรูด

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรและการกลั่นด้วยไอน้ำ

1.4.2 ออกแบบและเขียนแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

1.4.3 สร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดตามแบบ

1.4.4 ทดลองกลั่นและแก้ไขปัญหา ปรับปรุงเครื่องให้มีความสามารถในการกลั่นได้อย่างสมบูรณ์

1.4.5 ทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องฯ

1.4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.7 สรุปผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.5.1 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดสำหรับใช้ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์

1.5.2 เป็นการใช้วัตถุดิบภายในประเทศและเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตผลทางการเกษตร สนับสนุนและกระตุ้นให้ชุมชนทำการผลิตน้ำมันหอมระเหยมากขึ้น

1.5.3 ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันหอมระเหยจากต่างประเทศ เป็นการช่วยลดการสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศ

1.5.4 เป็นแนวทางในการส่งเสริมการส่งออกทั้งน้ำมันหอมระเหยและผลิตภัณฑ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันน้ำมันหอมระเหยเป็นที่ต้องการในตลาดเป็นจำนวนมาก เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหยที่เป็นประโยชน์มากมาย แต่การผลิตน้ำมันหอมระเหยในประเทศไทยยังมีไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ จึงมียอดการนำเข้าอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปัจจุบันมีผู้สนใจลงทุนเพิ่มมากขึ้น แต่การผลิตก็ยังมีข้อจำกัดด้านเครื่องกลั่นซึ่งถูกผลิตมาสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่านั้น ดังนั้นนักลงทุนรายย่อยหรือชาวบ้านที่ต้องการสร้างผลิตภัณฑ์ สร้างรายได้ เช่นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ จึงไม่สามารถที่จะลงทุนได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างต้นแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยเพื่อเผยแพร่ให้ผู้ที่สนใจนำไปเป็นต้นแบบในการสร้างหรือนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้งานต่อไป

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดนี้ มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.1 มะกรูด

เป็นพืชในสกุลส้ม (Citrus) มีผลเขียวเข้ม เปลือกเป็นปุ่มปุ่ำ เนื้อข้างในมีน้ำแต่ไม่มากอย่างส้มชนิดอื่นๆ ใบมีสีเขียวเข้ม ขอบใบเว้าแบ่งเป็นสองส่วน และมีกลิ่นฉุน ยาวประมาณ 6 นิ้ว และกว้าง 2 นิ้ว ใบด้านบนสีเข้ม ใต้ใบสีอ่อน

รูปที่ 2.1 แสดงมะกรูด

- มะกรูด

  (Ma-krut), Kaffir lime, leech lime

- ชื่อทางวิทยาศาสตร์

  Citrus hystrix DC.

- วงศ์

  RUTACEAE

- ชื่ออื่นๆ

  หนองคาย : มะหูด (Ma-hut)

  ภาคเหนือ : มะกูด (Ma-kut)

  ภาคใต้ : ส้มมั่วผี (Som-mua-phi) หรือส้มกรูด (Som-krut)

  เขมร : โกรยเชียด (Kroit-chait)

- ถิ่นกำเนิด

  ประเทศไทย มาเลเซีย พม่า อินโดนีเซีย สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ และประเทศอินเดีย

- รูปลักษณะ

  ไม้พุ่มขนาดใหญ่ ลำต้นเกลี้ยงเกลากิ่งก้านมีหนามแหลม ใบสีเขียวหนา มีกลิ่นหอมฉุน มีน้ำมันหอมระเหย ออกดอกเป็นช่อสีเขียวมีนวลเหลืองบ้าง ลูกกลมผิวหนาขรุขระ

- สรรพคุณและส่วนที่นำมาใช้เป็นยา

  ใบ : มีน้ำมันหอมระเหย ใช้ประกอบอาหาร

  ผล : ใช้แต่งกลิ่น สระผม

  ผิวจากลูก : มีน้ำมันหอมระเหย บำรุงเป็นยาขับลมในลำไส้ แก้แน่น

  ราก : ถอนพิษ แก้ปวดท้อง แก้พิษฝีภายใน

  ลูกมะกรูด : หมักดองเป็นยาดองเปรี้ยวเค็ม รับประทานฟอกล้างและบำรุงโลหิต

การใช้มะกรูดสระผมน่าจะรู้จักกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ วิธีการสระ บ้างก็ใช้ผลดิบผ่าแล้วบีบน้ำสระโดยตรง บ้างก็นำไปเผา หรือต้มก่อนสระ มะกรูดยังมีใช้ในพระราชพิธีสำคัญ เช่น พระราชพิธีโสกันต์ ซึ่งระบุไว้ในพระราชพิธีสิบสองเดือนไว้ ว่าจะต้องมีผลมะกรูดและใบส้มป่อยประกอบในพิธีด้วย เข้าใจว่าน่าจะใช้เพื่อการสระผมนั่นเอง

น้ำมะกรูดมีรสเปรี้ยว กลิ่นฉุนคล้ายใบ แต่ไม่ค่อยจะได้ประโยชน์กันมาก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะหาได้ยากกว่า และได้น้ำน้อยกว่า เพราะมะกรูดมีส่วนเปลือกที่หนา ขณะที่มะนาวหาได้ง่ายกว่า น้ำ

มากกว่า และรสชาติที่ถูกปากมากกว่า อย่างไรก็ตาม มีอาหารบางชนิดที่นิยมใช้น้ำมะกรูดเช่นกัน

2.2 กรรมวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย

มีพืชมากมายหลายชนิดที่พบในประเทศไทยที่ให้กลิ่นหอม บางชนิดให้กลิ่นหอมที่ใบ ต้น เปลือก ผล เมล็ด ราก และยาง กลิ่นหอมดังกล่าวสามารถสกัดและแยกออกมาได้ สารสกัดที่ได้นี้เป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน อาจจะเป็นของแข็งหรืออาจจะเป็นของเหลวกึ่งของแข็งคล้ายขี้ผึ้ง สามารถระเหยได้ในอุณหภูมิปกติ เราเรียกสารดังกล่าวว่า น้ำมันหอมระเหย การที่จะสกัดน้ำมันหอมให้ได้ประสิทธิภาพที่สุดนั้น จำเป็นต้องศึกษาธรรมชาติและสรีระของพรรณไม้ชนิดนั้นๆ ต้นไม้บางชนิดมีสรีระไม่เหมือนกัน บางชนิดเมื่อเด็ดจากต้นแล้วกลิ่นลดลง เช่น กุหลาบ เป็นต้น ดังนั้น การที่จะใช้วิธีใดสกัดและแยกน้ำมันหอมระเหย จึงต้องพิจารณาให้รอบคอบ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยประกอบด้วยสารประกอบหลายตัว ทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว การแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาจากพืชที่ใช้ทำกันมีหลายวิธี ดังเช่น

การกลั่น (Distillation) หลักของการกลั่น คือ การให้น้ำร้อนหรือไอน้ำ เข้าไปแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากพืช โดยการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช ความร้อนจะทำให้สารละลายออกมากลายเป็นไอ โดยทั่วไปเทคนิคการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้กันอยู่มีดังต่อไปนี้

2.2.1 การกลั่นด้วยน้ำร้อน (Water Distillation & Hydro Distillation)

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นโดยวิธีนี้ พืชที่กลั่นต้องจุมอยู่ในน้ำเดือดทั้งหมด อาจพบพืชบางชนิดเบาและลอยน้ำได้ ข้อควรระวังในการกลั่นวิธีนี้ คือ พืชจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ ตรงกลางมักจะได้รับความร้อนมากกว่าด้านข้าง จะมีปัญหาการไหม้ กลิ่นไหม้จะปนมากับน้ำมันหอมระเหย และอาจมีสารที่ไม่ต้องการติดมาด้วย การเลือกใช้วิธีการกลั่นนี้จึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมากลั่นด้วย

2.2.2 การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and Steam Distillation)

การกลั่นด้วยวิธีนี้ใช้ตะแกรงรองพืชที่จะกลั่นให้เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชหรือตัวอย่างที่จะกลั่น ส่วนน้ำจะไม่ถูกกับพืชที่กลั่นเลย ไอน้ำจากน้ำเดือดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัวหรือเรียกว่า ไอเปียก ไม่ร้อนจัด เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด คุณภาพน้ำมันออกมาดีกว่าวิธีแรก การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า

2.2.3 การกลั่นด้วยไอน้ำ (Direct Steam Distillation)

วิธีนี้จะวางพืชที่ต้องการกลั่นไว้บนตะแกรงในหม้อกลั่นซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ไอน้ำจากภายนอกซึ่งอาจจะเป็นไอร้อนจัดหรือไอเปียก ถูกส่งผ่านมาตามท่อมายังตะแกรงที่ใส่พืช น้ำมันหอมระเหยของพืชเมื่อถูกไอน้ำร้อนก็จะระเหยออกมา ข้อดีของการกลั่นวิธีนี้ คือ สามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเอาพืชใส่หม้อกลั่น ไม่ต้องเสียเวลารอให้ร้อน ปล่อยไอร้อนเข้าไปได้เลย ปริมาณของสารที่กลั่นได้ก็มีปริมาณมาก

2.3 สารสกัดจากสมุนไพร

เป็นการคัดหรือสกัดเอาเฉพาะส่วนที่มีประโยชน์ของพืชสมุนไพรออกมา ซึ่งจัดว่าเป็นการแปรรูปพืชสมุนไพรในขั้นแรกก่อนการนำสารสกัดดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป โดยการสกัดสารจากสมุนไพรมีมูลเหตุจูงใจหลักมาจากการเล็งเห็นถึงคุณค่าของสมุนไพรที่มีสมบัติในการรักษาหรือบรรเทาอาการเจ็บป่วยไม่สบายเฉกเช่นเดียวกับยา และการช่วยบำรุงและรักษาสภาวะความสมดุลของร่างกายมนุษย์ รวมถึงการนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านเกษตรกรรมในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ที่ไม่มีฤทธิ์ตกค้างที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ทั้งนี้สมุนไพรที่มีการนำมาสกัด สามารถจำแนกตามวิธีการสกัดและคุณประโยชน์ของสมุนไพร ได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 สารสกัดที่เป็นน้ำมันหอมระเหย

สมุนไพรที่ใช้สกัดเป็นสารสกัดประเภทนี้เป็นพวกที่มีน้ำมันหอมระเหยอยู่ในตัว สามารถนำมาสกัดโดยวิธีนำมากลั่น ซึ่งจะมีกลิ่นและปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของสมุนไพร สารสมุนไพรประเภทน้ำมันหอมระเหยที่รู้จักกันดี ดังเช่น

- ตะไคร้หอม และมะกรูด สกัดเป็นน้ำมันตะไคร้หอมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ แชมพู น้ำหอม และสารไล่แมลง
- ไพล สกัดเป็นน้ำมันไพล ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมทาภายนอก ลดการอักเสบฟกช้ำ
- กระวาน สกัดเป็นน้ำมันกระวานใช้แต่งกลิ่นเหล้า เครื่องดื่มต่างๆ และอุตสาหกรรมน้ำหอม
- พลู สกัดเป็นน้ำมันพลู ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง หรือเจลทาภายนอกแก้อาการคัน

2.3.2 สารสกัดที่ใช้เป็นยารับประทาน

มีสมุนไพรหลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดใช้รับประทานเพื่อรักษาอาการของโรคต่างๆ ดังเช่น

- บอระเพ็ด ฟ้าทะลายโจร มีสรรพคุณแก้ไข้ เจ็บคอ
- กระเพรา ไพล ขิง มีสรรพคุณแก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ

- ขี้เหล็ก ไมยราบ มีสรรพคุณระงับประสาท
- คำฝอย กระเจี๊ยบแดง กระเทียม มีสรรพคุณลดไขมันในเส้นเลือด

2.3.3 สารสกัดที่ใช้เป็นยาทาภายนอก

มักเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณบำบัดโรคที่เกิดตามผิวหนังรวมทั้งแผลที่เกิดในช่องปาก ดังเช่น

- บัวบก หว้า โทงเทง มีสรรพคุณรักษาแผลในปาก
- ฝรั่ง กานพลู มีสรรพคุณระงับกลิ่นปาก
- ผักบุ้งทะเล เสลดพังพอน ตำลึง เท้ายายม่อม มีสรรพคุณแก้แพ้
- บัวบก ยาสูบ ว่านหางจระเข้ มีสรรพคุณรักษาแผลน้ำร้อนลวก
- ตำลึง พุดตาน ว่านมหากาฬ เสลดพังพอน มีสรรพคุณรักษาอาการงูสวัด

2.3.4 สารสกัดที่ใช้ทำเป็นส่วนผสมของอาหารและเครื่องดื่ม

เป็นเครื่องดื่มที่สกัดจากสมุนไพรธรรมชาติที่ให้ประโยชน์ในการรักษาโรคควบคู่ไปด้วย ดังเช่น

- บุก ให้ประโยชน์ในการดูดจับไขมันจากเส้นเลือด มีสรรพคุณลดน้ำหนัก
- ส้มแขก มีสรรพคุณดูดไขมัน ลดน้ำหนัก
- หญ้าหนวดแมว หญ้าหวาน คำฝอย เห็ดหลินจือ มีสรรพคุณลดน้ำหนัก บำรุงสุขภาพ

2.3.5 สารสกัดที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องสำอาง

มีสมุนไพรหลายชนิดในปัจจุบันที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง เช่น แชมพู ครีมนวดผม สบู่ โลชั่นบำรุงผิว และได้รับความนิยมอย่างดี เนื่องจากผู้ใช้มั่นใจว่าปลอดภัยมากกว่าการใช้สารเคมี เช่น ว่านหางจระเข้ อัญชัน ปะคำดีควาย ซึ่งช่วยในการบำรุงผม ขจัดรังแค

2.3.6 สารสกัดที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช

มักจะสกัดจากสมุนไพรจำพวกที่มีฤทธิ์เบื่อเมา หรือมีรสขม ข้อดี คือไม่มีฤทธิ์ตกค้าง ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สะเดา ยาสูบ ตะไคร้หอม ไพล เป็นต้น

สารสกัดจากสมุนไพรจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบ หรือส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หลายๆ ประเภท ตามการจำแนกตามคุณประโยชน์ที่มีอยู่มากมายดังกล่าวไว้ในข้างต้น โดยตลาดของสารสกัดจากสมุนไพรในปัจจุบันมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระแสของสังคมในการหันมาใส่ใจด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยมุ่งเน้นการใช้วิธีทางธรรมชาติในการบำบัดและบำรุงรักษาร่างกาย รวมทั้งสภาพแวดล้อมด่างๆ ทดแทนการใช้ยาแผนปัจจุบัน และสารเคมีต่างๆ ที่สังเคราะห์ขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสมุนไพรมีความ

ต้องการมากขึ้น โดยเฉพาะยาสมุนไพร และเครื่องอุปโภคบริโภคที่ใช้ในชีวิตประจำวันประเภท สบู่ ยาสีฟัน แชมพูสระผม ครีมนวดผม ครีมบำรุงผิว และเครื่องสำอางประเภทต่างๆ เป็นต้น

ยาหรือผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคบริโภคที่มีส่วนผสมหรือทำจากสมุนไพรในปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบกับยาแผนปัจจุบัน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมหรือทำจากสารเคมีสังเคราะห์ จะพบว่าคุณภาพและคุณประโยชน์ต่างๆ ทัดเทียมกัน ขณะเดียวกันการเกิดผลข้างเคียงหรืออันตรายของยาสมุนไพรและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสมุนไพรจะน้อยกว่า ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้สารสกัดจากสมุนไพร และผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องของสารสกัดจากสมุนไพรสามารถทำการขยายตลาดได้อย่างดี โดยการเข้าไปแทนที่ยาแผนปัจจุบันและผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมหรือทำจากสารเคมีสังเคราะห์

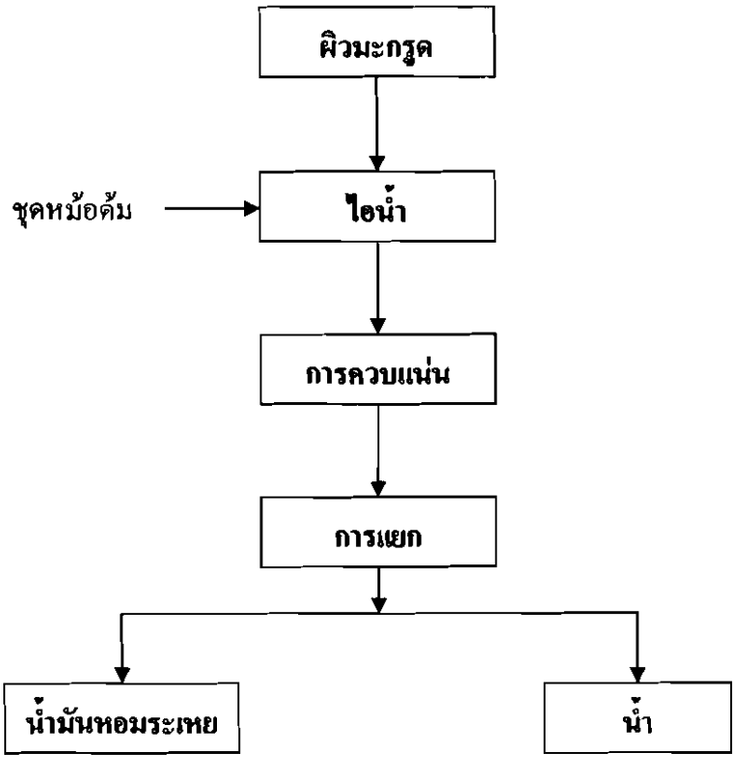
สารสกัดจากสมุนไพรจัดว่าเป็นส่วนผสมหรือวัตถุดิบเพื่อการผลิตสินค้าขั้นต่อไป ทั้งนี้ตลาดหลักหรือกลุ่มผู้ที่ใช้สารสกัดจากสมุนไพรเป็นวัตถุดิบหรือส่วนผสมในการผลิต ได้แก่ ผู้ผลิตยาสมุนไพร ผู้ผลิตเครื่องสำอางที่ทำจากสมุนไพร เช่น สบู่ แชมพูและครีมนวดผม ครีมขัดร่างกาย และครีมบำรุงผิว เป็นต้น รวมทั้งผู้ผลิต ผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มสมุนไพร และอาหารเสริมสุขภาพ เช่น ชาชงสมุนไพร เครื่องดื่มผสมบุก และเครื่องดื่มสมุนไพรชนิดต่างๆ เป็นต้น

ดังนั้นโอกาสทางการตลาดของสารสกัดจากสมุนไพรจะขึ้นอยู่กับการขยายตัวของการผลิตและการตลาดของผลิตภัณฑ์สมุนไพรเป็นสำคัญ โดยปัจจุบันตลาดผลิตภัณฑ์สมุนไพรมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นแบบก้าวกระโดด ในปี 2544 ขยายตัวประมาณร้อยละ 30 ของมูลค่าตลาดรวมที่อยู่ ณ ระดับ 30,000 ล้านบาทต่อปี (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย) เป็นมูลเหตุให้โอกาสในการขยายตัวของสารสกัดจากสมุนไพรเพิ่มสูงขึ้นไปด้วยเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาด้านการนำเข้าสารสกัดจากสมุนไพรจากต่างประเทศ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตภัณฑ์สมุนไพร พบว่า มีมูลค่าการนำเข้าสูงถึงกว่า 1,500 ล้านบาทในปี 2544 โดยเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากปี 2543 ประมาณร้อยละ 25 โดยมีแหล่งนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา เดนมาร์ก ฝรั่งเศส ฟิลิปปินส์และเม็กซิโก ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันอีกชั้นหนึ่งของปริมาณความต้องการสารสกัดจากสมุนไพรภายในประเทศว่ายังมีอยู่เป็นจำนวนมาก

สำหรับตลาดต่างประเทศหรือตลาดส่งออกสำหรับสารกัดจากสมุนไพร ตลาดที่สำคัญที่สุดของไทยได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น โดยในปี 2544 มียอดการส่งออกประมาณ 340 ล้านบาท หรือประมาณร้อยละ 90 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด ซึ่งมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2543 ประมาณร้อยละ 5.4 จากที่เคยขยายตัวเพิ่มขึ้นโดยตลอด

2.4 การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

เป็นระบบการกลั่นด้วยไอน้ำที่มีความดันในชุดหม้อต้ม และมีระบบที่ทำการควบแน่น โดยแยกออกมาต่างหาก และมีหลักการ คือ การทำให้ผนังเซลล์ของผิวมะกรูดอ่อนตัวด้วยไอน้ำ ทำให้น้ำมันหอมระเหยจะแพร่ผ่านผนังเซลล์ ระเหยกลายเป็นไอน้ำไหลผ่านระบบควบแน่นกลายเป็นน้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำ หลังจากนั้นก็จะผ่านขั้นตอนสุดท้าย คือ การแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ โดยมีขั้นตอนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเครื่อง

ในการออกแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด มีทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบเครื่อง ดังต่อไปนี้

2.5.1 การออกแบบถัง

สำหรับการออกแบบถังเพื่อใช้งานจะต้องสามารถรับแรงดันที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ ซึ่งในการออกแบบจำเป็นต้องทราบข้อมูลต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1.1 ปริมาตรถัง

ในการหาปริมาตรถังสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} \qquad (2.1)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตร (m^3)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางถัง (m)

H คือ ความสูงถัง (m)

2.5.1.2 ความดัน

ความดัน คือ แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และหน่วยที่ใช้ความดันมีหลายหน่วย เพราะความดันมีค่าตั้งแต่ความดันต่ำ (Vacuum) จนถึงความดันสูงๆ หน่วยที่ใช้วัดความดัน เช่น นิวตัน/ตารางเมตร (N/m^2) ปอนด์/ตารางนิ้ว (lb/in^2) และปาสคาล (Pascal) เป็นต้น โดยการหาความดันได้จากสมการ ดังนี้

$$P = \rho \cdot g \cdot h \qquad (2.2)$$

โดยที่ P คือ ความดัน (N/m^2)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

h คือ ความสูงของของเหลว (m)

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

2.5.1.3 ความหนาผนัง

ความหนาผนังที่ต้องการในถังภายใต้ความดันภายใน (Code UG-45) ความหนาที่คำนวณได้สำหรับภาระแรงที่ประยุกต์ใช้ใน UG-22 บวกค่าเผื่อการกัดกร่อน และสำหรับทางเข้าหรือรูเจาะอื่นๆ ตรวจสอบมีค่าไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

ความหนาที่ต้องการสำหรับความดันภายใน (สมมติประสิทธิภาพรอยต่อ E = 1) แต่ไม่ว่ากรณีใดต้องไม่น้อยกว่าค่าที่น้อยที่สุดสำหรับตัวถังและฝาถังที่กำหนดใน UG-16 (b) ความหนาที่น้อยที่สุดของท่อผนังมาตรฐานบวกด้วยค่าเผื่อการกัดกร่อน

ดังนั้น ความหนาผนังที่ต้องการสำหรับถังทรงกระบอกภายใต้ความดันภายในที่ต้องการหาได้จากสมการดังนี้

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \qquad (2.3)$$

โดยที่ t คือ ความหนาผนัง (mm)

P คือ ความดันสูงสุด (N/m^2)

S คือ ค่าความเค้นของวัสดุ (kg/cm^2)

E คือ ประสิทธิภาพรอยต่อ

R คือ รัศมีภายใน (mm)

2.5.1.4 แรงเค้นในถังความดันผนังบาง

ในถังความดันที่มีความหนาไม่เกิน 1/20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ความดันในถังจะทำให้เกิดแรงเค้นในผนังขึ้น ในการคำนวณจะถือว่าแรงเค้นกระจายสม่ำเสมอทั่วความหนาโดยไม่มีแรงต้านที่เป็นแรงดัดเลย แรงที่เกิดขึ้นจะมีเฉพาะแรงดึงหรือแรงอัดเท่านั้น และการยึดหดตั้งแต่ผิวนอกถึงผิวในของถังเท่านั้น ยกเว้นบริเวณที่มีการเสริมความแข็งและบริเวณใกล้ฝาปิดของถัง

การหาแรงเค้นในถังทรงกระบอกผนังบาง หาได้ดังต่อไปนี้

1) แรงเค้นตามแนวเส้นรอบวง สามารถหาได้จากสมการดังนี้

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันภายใน = ความดัน x พื้นที่รับแรง

$$F = P2rL \qquad (2.4)$$

แรงด้านที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเค้นตามแนวเส้นรอบวง

$$F = 2\sigma_H Lt \qquad (2.5)$$

โดยที่ F คือ แรงเค้นที่เกิดขึ้น

L คือ ความยาวทรงกระบอก

σ_H คือ แรงเค้นตามแนวเส้นรอบวง

t คือ ความหนาของผนัง

ถ้าภาชนะยังคงรูปเดิมอยู่ได้

$$\sigma_H = \frac{(Pr)}{t} \tag{2.6}$$

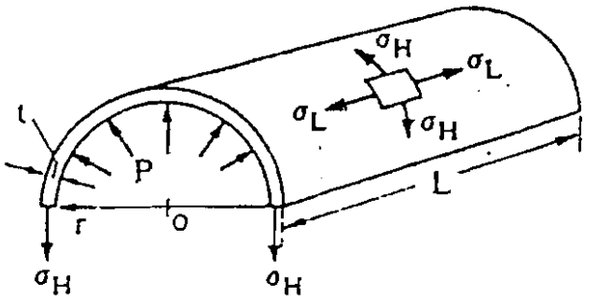
โดยที่ t คือ ความหนาของผนัง (mm)

r คือ รัศมีของถังทรงกระบอก (mm)

σ_H คือ แรงเค้นตามแนวเส้นรอบวง (N/m^2)

P คือ ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน (kPa)

L คือ ความยาวของทรงกระบอก (mm)



รูปที่ 2.3 แสดงแรงดันตามแนวเส้นรอบวง

2) แรงเค้นตามแนวยาว สามารถหาได้จากสมการดังนี้

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันภายใน = ความดัน x พื้นที่รับความดัน

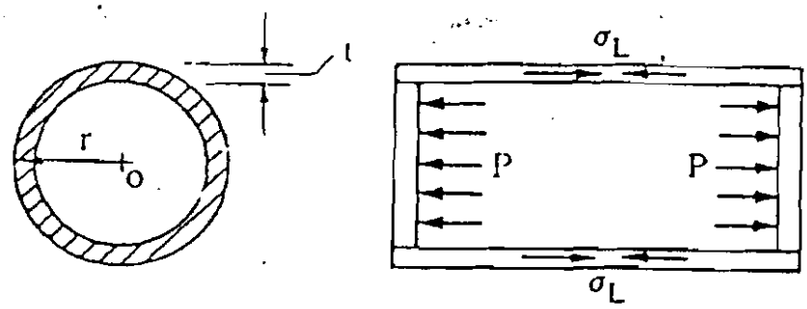
$$F = p \cdot \pi \cdot r^2 \tag{2.7}$$

แรงต้านที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเค้นตามแนวยาว

$$F = \sigma_L 2\pi rL \tag{2.8}$$

ถ้าภาชนะคงรูปอยู่ได้

$$\sigma_L = \frac{(Pr)}{2t} \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.4 แสดงแรงเค้นตามแนวยาว

3) ตัวประกอบของความปลอดภัย

คือ ตัวเลขที่ใช้หารค่าความแข็งแรง (Strength) วัสดุที่จะใช้ให้ได้ค่าความเค้นออกแบบ (Design Stress) ที่จะใช้ในการออกแบบ ในความหมายที่แท้จริงของคำว่า ตัวประกอบของความปลอดภัย หมายถึง ตัวประกอบที่จะทำให้การออกแบบเกิดความปลอดภัย (Design Factor) เขียนแทนด้วย n ความเค้นออกแบบเขียนแทนด้วย σ สำหรับ ความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength) เขียนแทนด้วย S_U และ ความต้านแรงดึงจุดคราก (Yield Strength) เขียนแทนด้วย S_Y จะได้สมการ ความเค้นออกแบบ ดังนี้

$$\sigma_d = S_u/n_u \quad \text{หรือ} \quad \sigma_d = S_y/n_y \tag{2.10}$$

การเลือกค่าความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ชนิดของแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน ซึ่งจัดอยู่ในประเภทนิ่งหรือเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาการใช้งาน
- ลักษณะการใช้งานที่จะก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นสูญเสียชีวิตหรือไม่
- น้ำหนักของชิ้นงานมีความจำเป็นจะต้องเบาที่สุดหรือไม่
- เนื้อวัสดุที่นำมาออกแบบอาจไม่เสมอกัน สามารถทำให้รับแรงได้ต่างกัน

ตารางที่ 2.1 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

ชนิดของแรง	เหล็กกล้าและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ	ไม้
	S_u	S_y	S_u	S_u
แรงอยู่นิ่ง	3-4	1.5-2	5-6	7
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรงกระแทกน้อย	6	3	7-8	10
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกน้อย	8	4	10-12	15
แรงกระแทกหนัก	10-15	5-7	15-20	20

2.5.2 สมบัติของน้ำ

น้ำมีน้ำหนักและเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ นอกจากนี้คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำประกอบไปด้วย

- น้ำ 1 $ม^3$ มีค่าเท่ากับ 1,000 ลิตร
- น้ำ 1 ลิตร มีค่าเท่ากับ 1,000 กรัม
- น้ำบริสุทธิ์จะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศปรกติ

2.5.3 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน เป็นการส่งผ่านพลังงานไปยังตำแหน่งต่างๆ โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 บริเวณ สิ่งที่ต้องการค้นหาพฤติกรรมของความร้อน คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่อุณหภูมิสูงไปยังที่อุณหภูมิต่ำเสมอ เมื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนจะเกิดการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางของความร้อน โดยที่ตัวกลางนี้อาจเป็นของเหลว ของแข็งหรือก๊าซ การถ่ายเทความร้อนจากบริเวณหนึ่งสู่บริเวณหนึ่งนั้น สามารถเกิดขึ้นได้ โดยสิ่งนี้เรียกว่า การนำความร้อนและการพาความร้อน โดยมีรูปแบบเฉพาะดังนี้

2.5.3.1 การนำความร้อน

คือ การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยอุณหภูมิที่แตกต่าง ระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้ชิดกัน การถ่ายเทความร้อนแบบนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ จะปรากฏได้เด่นชัดในของแข็งและพบได้มากกว่า เพราะของแข็งโมเลกุลจะอยู่ชิดกันมากกว่าของเหลวและก๊าซ หลักการ

คำนวณการนำความร้อนตั้งขึ้นโดย โจเซฟ ฟูริเยร์ (Joseph Fourier) โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองตั้งเป็นสมการดังนี้

$$Q_{cond} = -kA(dt/dx) \qquad (2.11)$$

โดยที่ k คือ ค่านำความร้อน (Thermal Conductivity) ของสารตัวกลาง (W/m.K)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)

dt/dx คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

2.5.3.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนจะเกิดขึ้นในขณะที่มีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลในสสารสสารที่มีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลคือของไหล ของไหลจะพาความร้อนที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง เพราะอุณหภูมิที่แตกต่างกันของชั้นของไหลทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในชั้นในของไหลและทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้เองโดยปราศจากแรงภายนอก เรียกกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบนี้ว่า การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural or Free Convection) การพาความร้อนอีกแบบหนึ่งซึ่งมีการบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่โดยใช้กลไกภายนอก เรียกว่าการพาความร้อนโดยการบังคับ (Force Convection) ในการคำนวณการพาความร้อนนี้ จะใช้กฎของนิวตัน คือ

$$Q_{cond} = h_1 A(T_s - T_f) \qquad (2.12)$$

โดยที่ h_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นกับของไหล ($W/m^2.K$)

หรือ $h_1 = k/x \qquad (2.13)$

K คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของสารตัวกลาง (W/m.K)

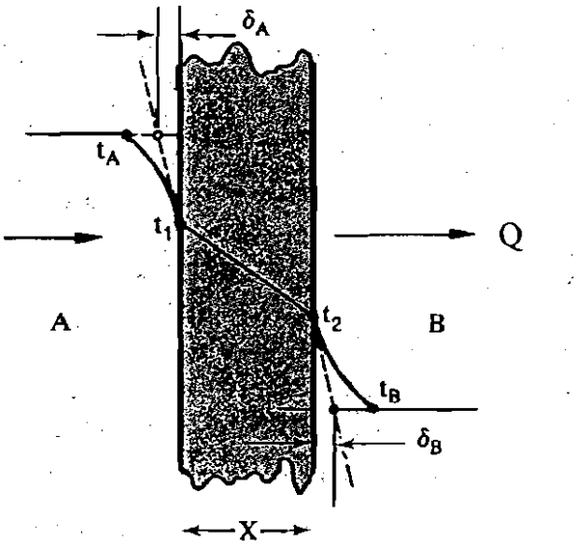
x คือ ความหนาของภาชนะ

A คือ พื้นที่ที่เกิดการพาความร้อน (m^2)

T_s-T_f คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ในกระบวนการพาความร้อน ระหว่างผิวของแข็งกับของเหลว (K)

2.5.4 สัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อน

ในการถ่ายเทความร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่การนำและการพา การคำนวณจะต้องหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อน โดยรวมเอาความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำ การพา เข้าด้วยกัน เมื่อรวมความต้านทานการนำความร้อนและการพาความร้อนเข้าด้วยกันเหมือนการรวมความต้านทานทางไฟฟ้า เราเรียกว่า ความต้านทานทางความร้อน (Thermal Resistance)



รูปที่ 2.5 แสดงการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังราบ

จากรูปที่ 2.5 ได้สมการการถ่ายเทความร้อนจากจุด A ไปยัง จุด B คือ

$$q = h_1A(T_A-T_1) = (\Delta x/kA)(T_1-T_2) = h_2A(T_2-T_B) \qquad (2.14)$$

$$q = \frac{T_A - T_B}{(1/h_1A)+(\Delta x/kA)+(1/h_2A)} \qquad (2.15)$$

ในทำนองเดียวกัน สมการที่ (2.2) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Q = UA\,(T_A-T_B) \qquad (2.16)$$

$$q = U(T_A - T_B) \tag{2.17}$$

และการหาค่าความร้อนที่เคลื่อนที่จากผนังไปยัง h_2 ได้คือ

$$q = h_2(T - T_2) \tag{2.18}$$

โดยที่ $$h_2 = 1.42(\Delta T/L)^{1/4} \tag{2.19}$$

ให้สัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อน คือ

$$U = \frac{1}{(1/h) + (\Delta x/k) + (1/h_2)} \tag{2.20}$$

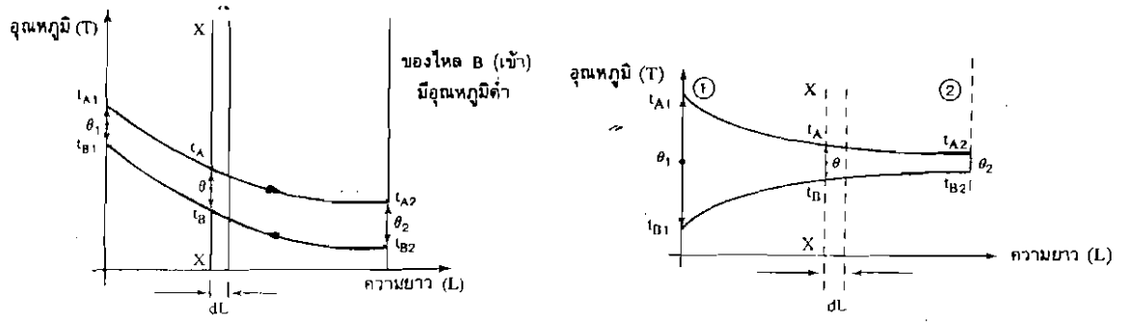
ดังนั้น $$Q_c = AU\Delta T_m \tag{2.21}$$

โดยที่ ΔT_m คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอกกาลิธึม

$$\Delta T_m = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2/\Delta T_1)$$

$$\Delta T_2 = T_{A2} - T_{B2}$$

$$\Delta T_1 = T_{A1} - T_{B1}$$



รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามกันและแบบไหลสวนทาง

2.5.5 การระเหย

การระเหย คือ การทำให้สารละลายที่ต้องการเข้มข้นขึ้น โดยให้ความร้อนแก่สารละลายจนสารละลายกลายเป็นไอแยกออกจากผลิตภัณฑ์ ในการระเหยสารละลายที่เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพโดยไม่สูญเสียสมบัติเฉพาะที่ต้องการ เช่น สี รส กลิ่นและสารออกฤทธิ์ จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปเพราะจะทำให้ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งมักจะทำการระเหยภายใต้ความดันที่ต่ำกว่าปกติมากๆ เพื่อเป็นการลดจุดเดือดของสารละลายเพื่อไม่ให้เกิดการเสียหาย เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในทางเทอร์โมไดนามิกส์ การระเหยจะต้องให้พลังงานแก่ของเหลวจนถึงจุดเดือด ซึ่งพลังงานที่ให้ไปนั้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความจุความร้อนจำเพาะ มวลของของเหลวและความแตกต่างของอุณหภูมิของของเหลว ขณะเริ่มต้นจนถึงจุดที่ต้องการ แสดงเป็นรูปสมการได้คือ

$$Q = mC_p \Delta t \qquad (2.22)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการระเหย

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (kj/kg.K)

m คือ มวลของของเหลว (kg)

Δt คือ ความแตกต่างอุณหภูมิขณะที่เริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย (K)

เมื่อมีการให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารมาถึงจุดเดือด ณ ความดันนั้นๆ แล้ว อุณหภูมิของสารละลายจะคงที่ พลังงานที่ให้เข้าไปต่อไปนั้น จะไม่มีผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก (สำหรับสารบริสุทธิ์) แต่จะมีการนำเอาพลังงานนั้นมาใช้ในการเปลี่ยนสถานะ พลังงานที่ให้ขณะนี้จะขึ้นกับมวล และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ สำหรับในของแข็งที่กลายเป็นไอ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวในของแข็งที่จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว แสดงเป็นสมการคือ

$$q = ml \qquad (2.23)$$

โดยที่ q คือ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว

l คือ ค่าความร้อนแฝงของการข้ามสถานะ

m คือ มวลของของเหลว

สำหรับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอนั้น เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสาร ซึ่งสามารถแสดงได้ในอีกลักษณะหนึ่งคือ

$$l = h_g - h_l \qquad (2.24)$$

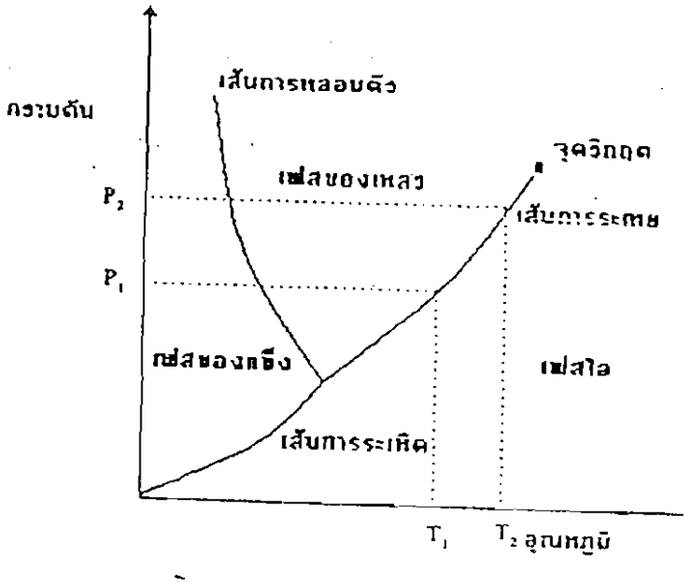
โดยที่ l คือ ค่าความร้อนแฝงของการข้ามสถานะ

h_g คือ เอนทาลปี (Enthalpy) ของสารในสถานะก๊าซ (kJ/Kg)

h_l คือ เอนทาลปีของสารในสถานะของเหลว (kJ/Kg)

2.5.6 ความสัมพันธ์ของจุดเดือดและความดัน

สำหรับสารบริสุทธิ์นั้นสามารถเกิดได้ทุกสถานะและในทุกๆ สถานะจะมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน แต่การเปลี่ยนสถานะจะต้องทำให้ของเหลวนั้นถึงจุดเดือดหรือทำให้ของแข็งนั้นมีอุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว ในการเปลี่ยนสถานะนั้นยังมีความสัมพันธ์กับความดันด้วย ความดันทำให้จุดเดือดจุดหลอมเหลวเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.7



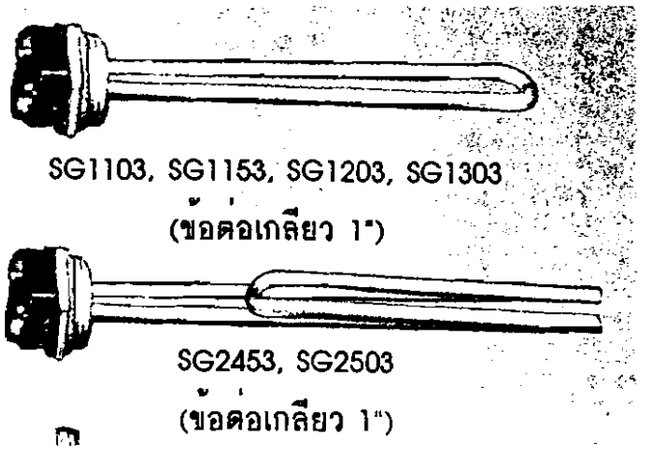
รูปที่ 2.7 แสดงแผนภาพอุณหภูมิและความดันสำหรับสาร

จากรูปที่ 2.7 จะพบเส้น 3 เส้นคือ เส้นแรกจะแบ่งสถานะระหว่างของแข็งและของเหลว จึงมีชื่อว่าเส้นหลอมตัว (Fusion Line) กระบวนการที่จะข้ามเส้นนี้ไปได้คือ กระบวนการหลอมเหลว (Melting Process) เส้นต่อมาคือ เส้นแบ่งสถานะของแข็งและไอ มีชื่อว่า เส้นการระเหิด (Sublimation Line) และเส้นสุดท้ายคือเส้นแบ่งสถานะของเหลวและไอ มีชื่อว่าเส้นการระเหย (Vaporization Line) กระบวนการที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอคือ กระบวนการกลายเป็นไอ (Vaporize Process) ซึ่งสำคัญมากในกระบวนการระเหย จากแผนภาพความสัมพันธ์ของความดัน

และอุณหภูมิของจุดเดือด คือหากความดันจาก P_2 กลายเป็น P_1 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอจะลดลงจาก T_2 กลายเป็น T_1 จากรูปการณ์แบบนี้จะมีประโยชน์มาก ในการเพิ่มอัตราการระเหยในขณะที่ใช้อุณหภูมิต่ำๆ และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อการทำลายของความร้อนในขณะที่ทำการระเหยได้เป็นอย่างดี

2.5.7 อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)

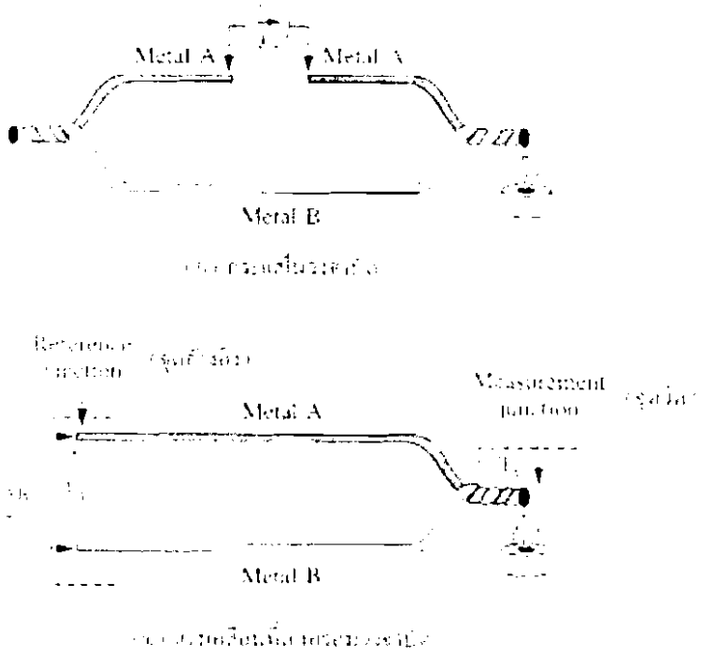
เครื่องทำความร้อนส่วนมากทำมาจากนิกเกิล-โครเมียม ทำเป็นเส้นลวดซึ่งมีแรงดึงดึงสูงมากและความต้านทานไฟฟ้าสูง ความต้านทานไฟฟ้าสามารถที่จะวัดได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์เมื่อมันทำงานอย่างเหมาะสม อุปกรณ์ความร้อนมีหลายรูปแบบและขนาด ซึ่งจะถูกใช้สำหรับ เครื่องทำอาหาร เครื่องอบผ้าแห้ง เครื่องทำน้ำร้อนสำหรับเครื่องซักผ้า เครื่องล้างจานชามและอื่นๆ อุปกรณ์ทำความร้อนนี้ถ้าเกิดเสียหายหรือชำรุดไม่สามารถซ่อมได้ต้องเปลี่ยนใหม่อย่างเดียว ลักษณะของอุปกรณ์ทำความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงตัวทำความร้อน (Heater)

2.5.8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

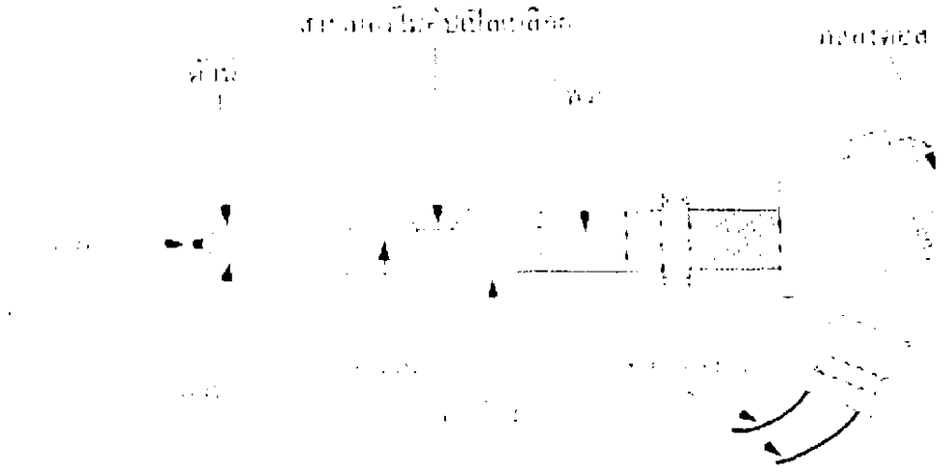
เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomus Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในรูปที่ 2.9 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีแบ็คดังกล่าว



รูปที่ 2.9 แสดงผลของซีแบ็ค

2.5.8.1 สมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

1. ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณดังรูปที่ 2.10 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากแสตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอโมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (Peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.5.8.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

<u>ข้อดีของแบบ S</u>

- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง(oxidizing)
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใดๆได้ง่าย ๆ
- นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550^{0}C และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ –50 ถึงประมาณ 1700^{0}C
- หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด
- ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74^{0}C) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.43^{0}C) ตามมาตรฐาน IPTS 68

ข้อเสียของแบบ S

- ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ
- ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reduzing)
- ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสุญญากาศ (vacuum)
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของอโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ

ข้อดีของแบบ R

- ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาท์พุตสูงกว่าแบบ S
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600^{0}C
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง-50 ถึงประมาณ 1700^{0}C
- เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
- ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี

ข้อเสียแบบ R เช่นเดียวกับแบบ S แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่มอุณหภูมิต่ำกว่า 540^{0}c

3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

ข้อดีของแบบ B

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วงประมาณ 100 ถึงประมาณ 1600^{0}C
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1750^{0}C
- แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสภาวะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (lincarity) ดี

ข้อเสียของแบบ B

- ให้แรงเคลื่อนของไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน
- ไม่เหมาะกับสภาวะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง
- ไม่เหมาะกับสภาวะที่เป็นสุญญากาศ
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ Rและ S
- ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (double value region)จากอุณหภูมิในช่วง 0-42^{0}C ทำให้ไม่สามารถทาราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0^{0}cจะแรงเลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42^{0}C
- ให้ความชัน(การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น ๆ

4. เทอร์โมคัปเปิลแบบ J พบว่าหากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลความคุ้มทุนก็ลดลงไป ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลราคาถูกลง จึงใช้วัตถุธาตุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนแพลทินัม โดยรหัสสีตามมาตรฐาน BS มีดังนี้ ถ้าขั้วบวก จะเป็นสีดำ ขั้วลบจะเป็นสีขาว ทั้งตัวจะเป็นสีดำ ความแน่นอนตามมาตรฐาน BS 1797 Part 30 , 1993ได้แก่

- Class 1 = -40^{0}C ถึง +750^{0}C $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^0$C
- Class 2 = -40^{0}C ถึง + 750^{0}C $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^0$C

เมื่อ t คือ อุณหภูมิจริง

ข้อดีของแบบ J

- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ –210 ถึง 1200^{0}C
- เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่ งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760^{0}C
- นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

ข้อเสียของแบบ J

- วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T
- ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0^{0}C

- หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538^{0}C จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง
- หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

5. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิเกิลลบบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์มคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1) ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2) ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200^{0}C ถึง 600^{0}C)เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮีสเตอร์รีซีสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3) ที่อุณหภูมิ 1000^{0}C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4) การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงนการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270^{0}c ถึง $+1,370^{0}$c

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

Class 1 = -40^{0}C ถึง $+1,000^{0}$C $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{0}$C

Class 2 = -40^{0}C ถึง $+1,200^{0}$C $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{0}$C

Class 1 = -200^{0}C ถึง $+40^{0}$C $\pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{0}$C

เมื่อ t อุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสีสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 Part 30 ,1993 (รหัสสีตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชดเชยแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชดเชยสัญญาณ (ชนิด VX) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมาโดยสรุป

<u>ข้อดีของแบบ K</u>

- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180^{0}C ถึงประมาณ $1,350^{0}$C
- สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย(inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

<u>ข้อเสียของแบบ K</u>

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ)
- หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

6. เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

ข้อดีของแบบ T

- ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง
- ให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100^{0}C ความแน่นอนจะเป็น ± 1%)
- มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิดี
- การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงรีดิวซิงและงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี
- วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง –185 ถึง 300^{0}C และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง –250 ถึง 400 ^{0}C
- ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี

ข้อเสียของแบบ T

- เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ
- หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370 ^{0}C จะทำให้เกิดออกไซมาก
- ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง(ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย)
- เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน
- คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น (แต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ)

7. เทอร์โมคัปเปิลชนิด E

ข้อดีของแบบ E

- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800^{0}C
- คุณสมบัติอื่น ๆ คล้ายกับแบบ K

การแก้ไขให้ระบบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลให้ทำงานได้ดีขึ้น ต้องปฏิบัติดังนี้

- ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพราะมันจะไม่พ่วงเอาความร้อนออกจาก พื้นที่การวัดเข้ามา

069516
29

สถาบันวิทยบริการ

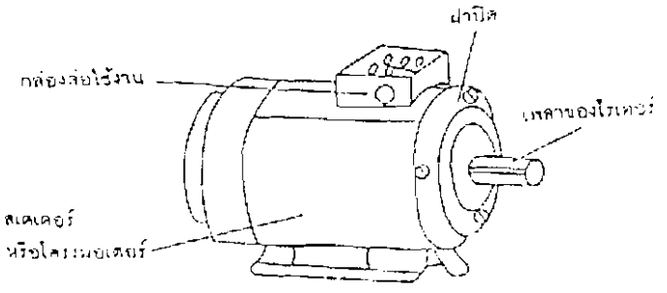
- ถ้าต้องการใช้สายขนาดเล็ก ๆ ให้ใช้เฉพาะในขอบเขตที่ทำการวัด และใช้สายนำสัญญาณ (Extention wire) ในขอบเขตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสาย
- หลีกเลี่ยงความเค้นทางกลและการสั่นสะเทือนที่มีผลให้เกิดความเครียดในสาย
- เมื่อใช้สายเทอร์โมคัปเปิลยาว ๆ ให้ต่อชีลด์ที่สายไปยังขั้วต่อสายของดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และใช้สายขยายสัญญาณแบบบิดเกลียว
- หลีกเลี่ยงบริเวณที่เต็มไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลางสาย
- พยายามเลือกสายเทอร์โมคัปเปิลในพิกัดอุณหภูมิของมัน
- ป้องกันวงจรแปลง Integrate A/D จากการรบกวน
- ใช้สายขยายเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสายน้อย ๆ
- ทดสอบและเก็บค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก่า ๆ ไว้ พร้อมกับวัดค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก็บไว้เป็นช่วง ๆ

2.5.9 ปั๊มโรตารี

ปั๊มโรตารีมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับปั๊มแบบรีซิโปรเคตดิ้ง คือทำให้เกิดช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าสู่ปั๊ม แล้วจะถูกอัดต่อไปยังด้านนอก ปั๊มแบบนี้ต่างจากปั๊มแบบรีซิโปรเคตดิ้งตรงที่ลักษณะการอัด ปั๊มแบบรีซิโปรเคตดิ้งจะอัดแบบเป็นจังหวะๆ ทำให้ของเหลวไหลไม่สม่ำเสมอ แต่ปั๊มแบบโรตารีของเหลวจะไหลอย่างสม่ำเสมอ ปั๊มโรตารีจะมีเสื้อปั๊มอยู่กับที่ ภายในเสื้อปั๊มอาจเป็นเกียร์ลูกเบี้ยว (Cam) เวน (Vane) สกรูหรืออื่นๆหมุนอยู่ โดยมีช่องว่าง (Clearance) น้อยมาก เนื่องจากปั๊มแบบนี้มีช่องว่างระหว่างตัวโรเตอร์และเสื้อปั๊มน้อย ดังนั้นของเหลวที่ใช้กับปั๊มโรตารีจึงต้องเป็นของเหลวที่สะอาดปราศจากของแข็งหรือแขวนลอยอยู่

2.5.10 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส

มอเอตร์แบบนี้เหมาะกับที่ที่มีไฟฟ้าแบบสามเฟส เช่นตามเขตเมือง จังหวัดและอำเภอต่างๆ ซึ่งมอเตร์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูง มีขนาดตั้งแต่ 0.5 แรงม้าและขนาดใหญ่ 400 แรงม้าขึ้นไป ส่วนประกอบของมอเตอร์สามเฟสที่สำคัญมีอยู่ 3 อย่างคือ สเตเตอร์ โรเตอร์ และฝาปิดทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.11 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส

การเลือกขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับขนาดของงาน เราสามารถคำนวณหาขนาดของพิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการได้ โดยพิจารณาจากสมการของแรงและกำลังงานดังนี้

จาก $F = WL$ Newton (kg.m)

$P = F/t$ N/s (kg.m/s)

$= WL/t$ (kg.m)/s

ซึ่ง L/t = ความเร็ว (V) m/s

ดังนั้น $P = WV$ (kg.m)/s (2.25)

เนื่องจาก 1 kg.m = 9.8 จูล (J) แทนในสมการ (2.24)

$P = 9.8\ WV$ Watts (J/S) (2.26)

โดยที่ P คือ ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของขาออก (Watts)

W คือ น้ำหนักของวัสดุที่ต้องการดึง (kg)

V คือ ความเร็วที่ใช้ในการดึงวัตถุ (m/s)

L คือ ระยะทาง (m)

F คือ แรงที่ต้องใช้ (N) or (kg.m)

2.5.11 ระบบควบแน่น

ระบบควบแน่นเป็นระบบถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ไอร้อนจากสารซึ่งไหลไปตามผนังท่อของเครื่องควบแน่นและจะถ่ายเทความร้อนให้กับตัวกลางหล่อเย็น จะทำให้ไอร้อนของสารนั้นกลั่นตัวเป็นของเหลว ตัวกลางหล่อเย็นที่นิยมใช้กันได้แก่ อากาศ น้ำและทั้งน้ำและอากาศ ตัวเครื่องควบแน่นทุกตัวมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมากน้อยขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องควบแน่น จำนวนพื้นผิวที่จะถ่ายเทความร้อน กำลังของลมที่จะผ่าน อุณหภูมิของไหลที่ควบแน่นในเครื่องควบแน่นนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวกลางหล่อเย็น ที่ไหลผ่านเครื่องควบแน่น ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องควบแน่นและยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศที่เข้ามาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเครื่องควบแน่น ส่วนอัตราการไหลของตัวกลางหล่อเย็นหากลดต่ำลง การไหลของตัวกลางหล่อเย็นจะเป็นแบบ สตีมไลน์ (Steam Line) มากกว่าแบบทิวบูเลนท์ (Turbulent)

และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะต่ำ ในทางกลับกันหากอัตราการไหลมากเกินไปความดันในเครื่องควบแน่นจะลดลงมาก เป็นผลให้ต้องใช้พลังงานในการหมุนเวียนตัวกลางหล่อเย็นมากขึ้น

อัตราการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่ของเหลวมีการเปลี่ยนแปลงสถานะนั้น สามารถหาได้จากสมการสมดุลความร้อนต่อไปนี้

$$Q = Wr \tag{2.27}$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน

W คือ อัตราการไหลของของไหลที่เปลี่ยนสถานะ หรืออัตราการระเหยของสารนั้น

r คือ ความร้อนแฝงของการควบแน่น (การระเหย) ของของไหลที่เปลี่ยนสถานะ

สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนของของเหลวที่ไม่มีการปลี่ยนแปลงสถานะ ซึ่งในที่นี้หมายถึงตัวกลางหล่อเย็น (น้ำ) นั้นหาได้จาก

$$Q = WC_p\Delta T \tag{2.28}$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของของเหลว

W คือ อัตราการไหลของตัวกลางหล่อเย็น (kg/s)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของตัวกลางหล่อเย็นสำหรับน้ำ

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิเข้าและออกของตัวกลางหล่อเย็น

สมรรถนะของเครื่องควบแน่นนั้นหาได้จากสมการพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$Q_c = AU\Delta T_m \tag{2.29}$$

โดยที่ Q_c คือ สมรรถนะของเครื่องควบแน่น (kW)

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน

U คือ สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม

ΔT_m คือ Long Mean Temperature Difference ระหว่างสารตัวกลางหล่อเย็นกับของไหลควบแน่น

การหาอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอกกาลิธึม กรณีของไหลไหลตามกันดังนี้

$$\Delta T_m = (\Delta T_2 - \Delta T_1)/\ln(\Delta T_2/\Delta T_1) \quad (2.30)$$

โดยที่ ΔT_m คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอกกาลิธึม

ΔT_1 คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิไอร้อนกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น

ΔT_2 คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลร้อนออกกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องควบแน่น

การหาค่าสัมประสิทธิ์การกลั่นตัว (ควบแน่น) ของของไหลร้อนหาได้ดังนี้

$$h_{cond} = 0.725 \frac{\left[g\rho^2 h_{fg} k^3\right]^{1/4}}{\mu \Delta t N D} \quad (2.31)$$

โดยที่ h_{cond} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกลั่นตัว

g คือ ค่าความโน้มถ่วงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

h_{fg} คือ ความหนาแน่นของของไหลร้อน

ρ คือ ความร้อนแฝงของการควบแน่น

μ คือ ความหนืดของของไหลร้อน

K คือ ค่าการนำความร้อนของของไหลร้อน

Δt คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิเข้าและออกจากเครื่องควบแน่น

N คือ จำนวนท่อที่ต้องการ

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดท่อ

การหาค่าความต้านทางการถ่ายเทความร้อนของท่อสามารถหาได้จาก

$$(x/k)(A_o/A_m) \quad (2.32)$$

โดยที่ x คือ ความหนาแน่นของท่อที่เลือกไว้

K คือ ค่าการนำความร้อนของท่อ

A_o คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดภายนอกของท่อที่เลือกไว้

A_m คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของท่อที่เลือกไว้

การหาค่าอัตราการไหลของปริมาตรของน้ำ (V) หาได้ดังนี้

$$V = W(kg/s)/1000(kg/m^3) \quad (2.33)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของน้ำ (m^3)
W คือ อัตราการไหลโดยมวลของน้ำ (kg/s)

การหาค่าอัตราการไหลโดยปริมาตร (V) ทำให้เราทราบความเร็วของน้ำ (v) เมื่อไหลผ่านถังขนาดพื้นที่หน้าตัด (A) ได้ดังนี้

$$v = V/A \quad (2.34)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วของน้ำ
V คือ ปริมาตรของน้ำ
A คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดถัง

ภารหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในด้านของน้ำหล่อเย็นที่ไหลในท่อ โดยใช้คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ตามตารางคุณสมบัติของน้ำดังนี้

$K = 0.611\ W/m\ ^{o}C$

$\rho = 996.28\ kg/m^3$

$\mu = 8.96 \times 10^{-4}\ kg/m^3$

$Pr = 6.13$

จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำได้ โดยใช้สมการ

$$Nu = Cre^{n}Pr^{m} \quad (2.35)$$

และสามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$(hD)/k = 0.023 \frac{[vD\rho]^{0.8}}{\mu} \times Pr^{0.4} \quad (2.36)$$

ในการหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะถูกนำไปสู่ขนาดความยาวของท่อที่ต้องการนั้น เราต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_0) ดังนี้

$$(1/U_0) = (1/h_0) + [(x/k)(A_0/A_m)] + [(1/h_f)(A_0/A1)] + [(1/h_i)(A_0/A_i)] \qquad (2.37)$$

โดยที่ h_0 คือ สัมประสิทธิ์การกลั่นตัว (ควบแน่น) ของของไหลร้อน ($W/m^{2O}C$)

$[(x/k)(A_0/A_m)]$ คือ ค่าความต้านทางการถ่ายเทความร้อนของท่อ ($m^{2O}C/W$)

$(1/h_f)$ คือ Fouling Factor มีค่าเท่ากับ 0.000176 $m^{2O}C/W$

h_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำหล่อเย็นที่ไหลในท่อ

A_0 คือ ขนาดพื้นที่ภายนอกของท่อ (m^2)

A_i คือ ขนาดพื้นที่ภายในของท่อ (m^2)

A_m คือ ขนาดพื้นที่เฉลี่ยของท่อ (m^2)

การหาค่าพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน (A) ได้ดังนี้

$$A = q/(U\Delta T_m) \qquad (2.38)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^{2O}C$)

ΔT_m คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอกกาลิธึม (^OC)

จากพื้นที่การถ่ายเทความร้อน เราสามารถหาขนาดความยาวของท่อ (L) ที่ต้องการได้ดังนี้

$$L = A/(D\pi) \qquad (2.39)$$

โดยที่ L คือ ความยาวท่อ (m)

A คือ พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

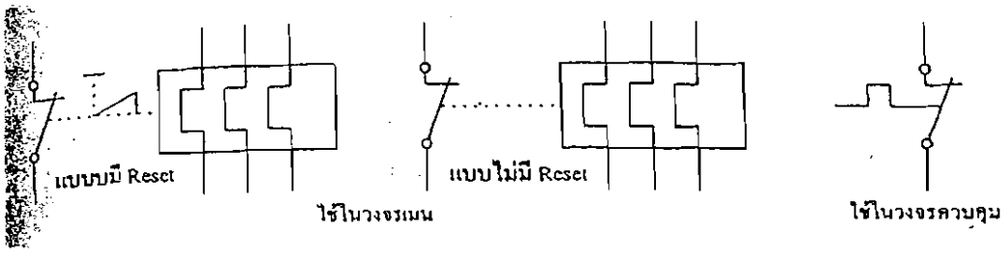
D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (m)

2.5.12 อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าควบคุม

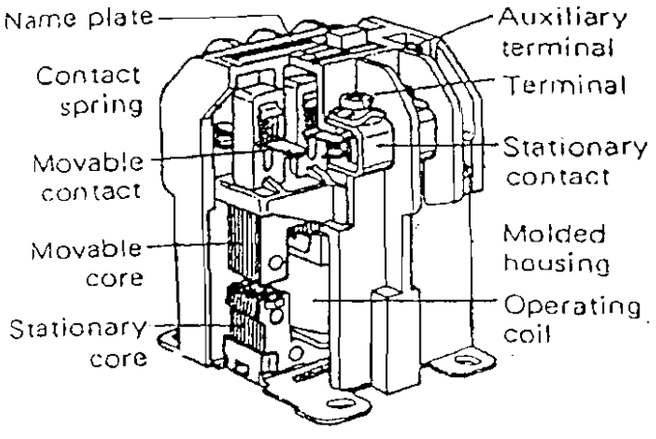
ชุดควบคุมของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายอย่าง ซึ่งได้แก่

2.5.12.1 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contractor)

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ตัดหรือต่อวงจรเหมือนสวิตช์ทั่วๆ ไป แต่ตัวคอนแทคจะทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กดูดแกนเหล็กของคอนแทคเตอร์ซึ่งมีหน้าที่สัมผัสติดอยู่หน้าสัมผัสกัน แทนการสับสวิตช์ด้วยมือโดยตรง ในแกนเหล็กของคอนแทคเตอร์ที่หน้าสัมผัสมีหลายชุดติดอยู่บนแกนเดียวกัน ลักษณะของหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์มีทั้งปกติปิด (Normally Open หรือ N.O) และปกติปิด (Normally Closed หรือ N.C) จำนวนหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์จะมีมากหรือน้อยแตกต่างกันในแต่ละแบบ



รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนสถานะหน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์เมื่อจ่ายไฟที่ขดลวด



รูปที่ 2.13 แสดงแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป

ข้อมูลในการเลือกใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

- จำนวนกระแสที่เมนคอนแทคทนได้ โดยดูที่พิกัดของโหลดที่นำมาต่อ
- จำนวนคอนแทคช่วย
- ขนาดของแรงดันใช้งาน

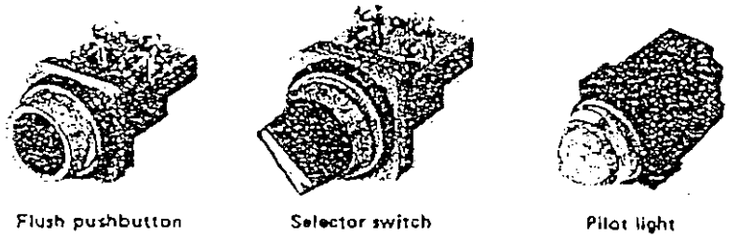
2.5.12.2 สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการควบคุมวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม เช่น หยุดหรือเริ่ม สวิตช์กดปุ่มที่นิยมใช้มีหลายชนิด ได้แก่

1) สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดาที่ใช้งานเริ่ม (Start) และหยุด (Stop) ลักษณะจะเป็นปุ่มกดหัวกลมอาจจะมีสี เช่น สีเขียว สีแดง เป็นต้น

2) สวิตช์ปุ่มกดแบบ Gain Head Push Button เป็นสวิตช์ปุ่มกดหัวใหญ่กว่าธรรมดาเพื่อให้มีพื้นที่ในการกดสัมผัสมากขึ้น เหมาะสำหรับใช้เป็นปุ่มฉุกเฉิน (Emergency Push Button Switch) ในกรณีที่ต้องการให้วงจรหยุดการทำงานทันทีเมื่อเกิดอาการผิดปกติเกิดขึ้น (ซึ่งสวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดาอาจกดได้ไม่สะดวก)

3) สวิตช์ปุ่มกดแบบ Foot Push Button เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบในการใช้งานเหมาะสำหรับเครื่องจักรที่ต้องการอาศัยเท้าเข้าร่วมในการปฏิบัติงานเช่น เครื่องตัดเหล็กขนาดใหญ่

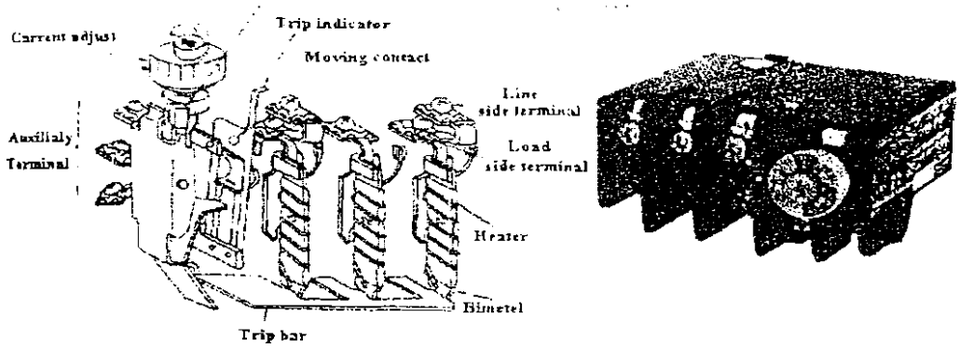


รูปที่ 2.14 แสดง Push Button Switch แบบต่างๆ

2.5.12.3 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินและกระแสลัดวงจร

1. โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload Protection) มอเตอร์ที่เรานำมาใช้งานอยู่อาจเกิดกระแสไฟเกินกว่าอัตราพิกัด อันอาจมีสาเหตุมาจากโหลดที่จะใช้มอเตอร์ฉุดมีมากเกินกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้ามาไม่ครบเฟส ต้นเหตุเหล่านี้ทำให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสมากขึ้น เมื่อกระแสไหลในปริมาณมากจะเป็นสาเหตุทำให้ขดลวดมอเตอร์ร้อนและไหม้ในที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต้องมีการต่ออุปกรณ์ที่ป้องกันกระแสเกิน โดยถ้ามีกระแสเกินจะต้องมีการตัดกระแสและให้มอเตอร์หยุดทำงานทันที ก่อนที่จะเกิดความเสียหายและทำการตรวจซ่อมแซมก่อนที่จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานอีก

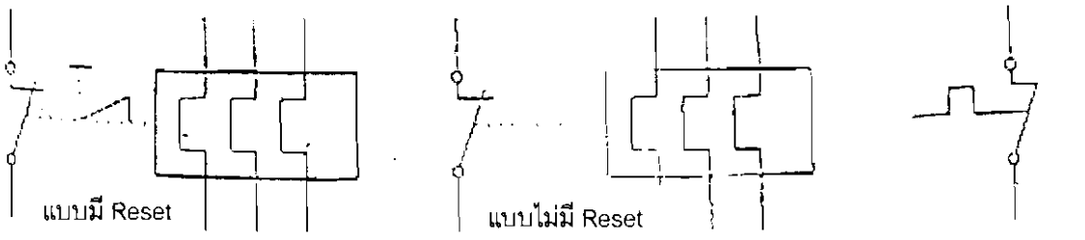
ครั้ง สำหรับโอเวอร์โหลดมีหลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบที่ใช้แผ่นไบเมทัล (Bimetal) ซึ่งอาศัยความร้อนจากกระแสไหลผ่านโลหะสองชนิดหรือใช้ขดลวดความร้อนที่ต่ออนุกรมกันโหลดพันอยู่กับแผ่นไบเมทัล เมื่อมีกระแสไหลปริมาณมากจะทำให้แผ่นไบเมทัลร้อนและโก่งตัวไปดันให้คานส่ง เคลื่นที่ไปดันคอนแทคควบคุมให้ออกจากกัน



รูปที่ 2.15 แสดง Thermal Overload Relay

โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload Relay) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แบบไม่มี Reset แบบนี้เวลาไบเมทัลเย็นตัวลง คอนแทคจะกลับมาอยู่ที่เดิม
- แบบมี Reset แบบนี้ถ้าต้องการให้คอนแทคกลับที่เดิมต้องกดปุ่ม Reset ก่อน



รูปที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ของโอเวอร์โหลดรีเลย์

2. เซอร์กิตเบรคเกอร์ หมายถึงอุปกรณ์ตัดวงจร ที่ออกแบบให้ ON และ OFF อย่างไม่อัตโนมัติ แต่จะตัดวงจรอย่างอัตโนมัติเมื่อเกิดกระแสเกินหรือเกิดกระแสลัดวงจรโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ในระบบแรงต่ำ (พิกัดแรงดันไม่เกิน 600 V.) นั้นก็มีจุดมุ่งหมายการป้องกันเช่นเดียวกับฟิวส์ แต่เซอร์กิตเบรคเกอร์เมื่อตัดวงจร (Trip) แล้วสามารถจะตั้งใหม่ (Reset) ให้ทำงานเหมือนเดิมได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์เลย เซอร์กิตเบรค

เกอร์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ Metal Case และแบบ Molded Case การเลือกใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์มีข้อที่จะต้องคำนึงถึงคือ ขนาดของกระแสที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ทนได้ โดยดูที่พิกัดของโหลดที่นำมาต่อกัน, ขนาดของแรงดันใช้งานและแรงดันของขดลวด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดงกฤษและคณะฯ ได้พัฒนาและสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยใช้วิธีการกลั่นแบบไอน้ำ (Steam Distillation) จากการทดลองกลั่นโดยใช้ผิวมะกรูดจำนวน 750 กรัม นำมาผ่านไอน้ำที่ต้มด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 3% ของน้ำหนักผิวมะกรูด เครื่องกลั่นนี้มีข้อด้อยคือ หลังจากที่กลั่นน้ำมันหอมระเหยออกมาแล้วมีน้ำผสมอยู่ในน้ำมันหอมระเหยจำนวนมาก การแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำต้องใช้มือ โดยการใช้หลอดดูดเอาน้ำมันหอมระเหยออกซึ่งลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งทำให้เสียเวลามาก และคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยยังมีคุณภาพไม่ดีเนื่องจากมีน้ำผสมอยู่มาก นอกจากนี้เครื่องยังออกแบบมาไม่ดีนักทำให้ถอด ประกอบยาก และเสียเวลาในการใส่พืชเข้าไปใหม่

สุรัตน์วดี ได้พัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยขนาดเล็ก เพื่อใช้สำหรับกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากชิ้นส่วนของพืชโดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (Hydro Distillation) โดยมีส่วนทำการควบแน่นแยกต่างหาก จากการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด สามารถกลั่นได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 4.6% ของน้ำหนักผิวมะกรูด

เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้ได้เครื่องที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเครื่องที่จะสร้างขึ้นมาใหม่นี้จะใช้วิธีการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and Steam Distillation) วิธีนี้จะวางพืชที่ต้องการกลั่นไว้บนตะแกรงอยู่ด้านบนโดยแยกจากส่วนที่บรรจุน้ำในหม้อกลั่น ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านยังตะแกรงที่ใส่พืช น้ำมันหอมระเหยของพืชเมื่อถูกไอน้ำร้อนก็จะระเหยออกมา ข้อดีของการกลั่นวิธีนี้คือ สามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว สะดวกที่สุด เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนหรือขนาดเล็ก (OTOP) ปริมาณของสารที่กลั่นได้ก็มีปริมาณมาก และทำการพัฒนาสร้างระบบแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำได้เลย โดยมีรายละเอียดในบทต่อไป

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยเครื่องกลั่นที่สร้างขึ้นนี้ใช้ระบบการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam Distillation) โดยมีส่วนที่ทำการควบแน่น (Condenser) แยกต่างหากจากชุดต้ม การใส่ผิวมะกรูดสามารถทำได้ง่าย โดยเครื่องทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Food Grade) เครื่องที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถใช้ผลิตในอุตสาหกรรมครัวเรือน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลในการวิจัย และทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลงานวิจัย โดยมีองค์ประกอบในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรและการกลั่นด้วยไอน้ำ
- ออกแบบและเขียนแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด
- สร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดตามแบบ
- ทดลองกลั่นและแก้ไขปัญหา ปรับปรุงเครื่องให้มีความสามารถในการกลั่นได้อย่างสมบูรณ์
- ทดลองกลั่นและหาอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยมากที่สุด
- วิเคราะห์ผลการทดลอง
- สรุปผลงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

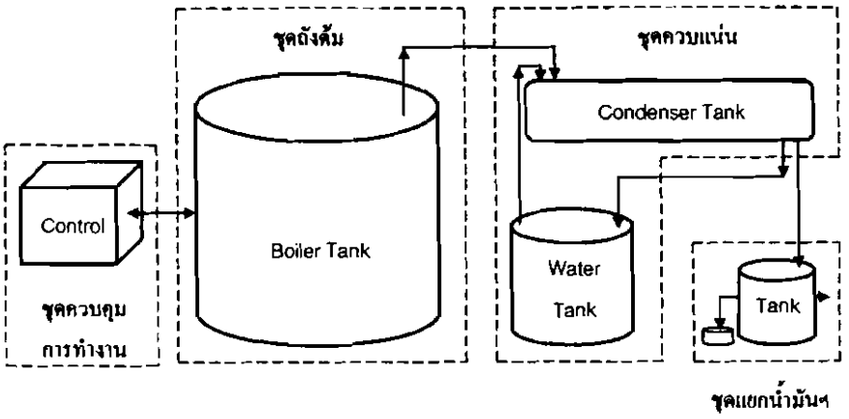
ในออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด คณะทำการวิจัยได้กำหนดลำดับขั้นตอนการดำงานวิจัยต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ

งาน	2548			2549								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.ภ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรและการกลั่นด้วยไอน้ำ	←	→										
ออกแบบและเขียนแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด		←	—	→								
สร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดตามแบบ					←	—	—	→				
ทดลองกลั่นและแก้ไขปัญหา ปรับปรุงเครื่องให้มีความสามารถในการกลั่นได้อย่างสมบูรณ์								←	→			
ทดลองกลั่นและหาอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยมากที่สุด										←	→	
วิเคราะห์ผลการทดลอง										←	→	
สรุปผลงานวิจัย											←	→

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่อง

จากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการแยกน้ำมันหอมระเหยนั้น ทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมดมาทำการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยกระบวนการทำงานมีดังนี้ คือ ผิวมะกรูดจะวางอยู่บนตะแกรงเหนือน้ำในชุดถังต้ม (ระบบการกลั่นด้วยไอน้ำ) โดยที่ไอน้ำจากการต้มจะทำให้ผนังเซลล์ของผิวมะกรูดอ่อนตัวด้วยไอน้ำร้อน ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจะแพร่ผ่านผนังเซลล์ ระเหยกลายเป็นไอน้ำและไหลไปตามท่อนำไอน้ำผ่านชุดควบแน่นทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำแล้วไหลไปตามท่อเข้าสู่ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยดูได้จากแผนภาพแสดงระบบการทำงานส่วนต่างๆ ของเครื่องฯ จากการออกแบบ ดังรูปที่ 3.1 และสามารถดูรายละเอียดการคำนวณและแบบได้ในภาคผนวก ก. และภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบระบบการทำงานส่วนต่างๆ ของเครื่อง

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการผลิต

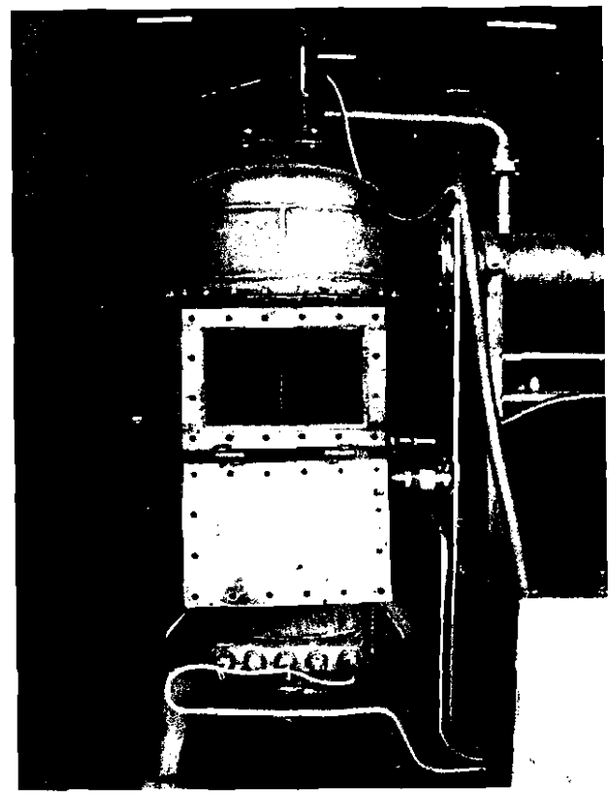
วัสดุและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ได้แก่

- Stainless Steel (Food Grade) โดย Stainless Steel เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตเครื่อง เช่น ชุดถังต้ม ชุดควบแน่น ท่อนำไอน้ำ และชุดควบแน่น
- วาล์ว ปิด-เปิด และวาล์วนิรภัย (Safety Valve) สำหรับควบคุมการไหลของไอน้ำ และป้องกันไอน้ำเมื่อความดันเกินขีดความปลอดภัย
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- เครื่องวัดความดัน (Pressure Gauge)
- ตัวทำความร้อน (Heater)
- ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)

หมายเหตุ รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค.

3.2.2 ชุดถังต้ม

การออกแบบชุดถังต้มจะมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอก มีอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) และมีใบสำหรับกวนผิวมะกรูด ส่วนด้านล่างของถังต้ม มีตะแกรงสำหรับรองรับผิวมะกรูดที่อยู่ด้านบนสำหรับแยกจากส่วนที่บรรจุน้ำ โดยส่วนที่บรรจุผิวมะกรูดออกแบบให้มีปริมาตรไม่น้อยกว่า 3 เท่าของส่วนที่บรรจุน้ำ ชุดถังต้มประกอบไปด้วย 2 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ถังต้ม และฝาถังต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และสามารถดูรายละเอียดการคำนวณและแบบได้ในภาคผนวก ก. และ ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.2 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดถังต้ม

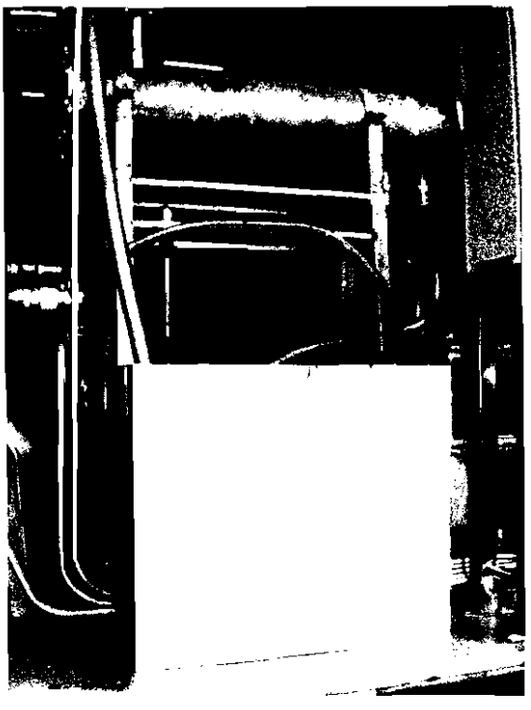
จากรูปที่ 3.2 ชุดถังต้มประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ตัวถังต้มรูปทรงกระบอก
- ฝาถังต้ม
- ตะแกรงสำหรับว่างผิวมะกรูด
- ตัวทำความร้อน (Heater)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- เครื่องวัดความดัน (Pressure Gauge)
- ลูกลอยไฟฟ้าสำหรับเช็คระดับน้ำในถังต้มเพื่อที่จะเติมน้ำเข้าไปในถังต้ม

- วาล์วสำหรับปิดเปิดน้ำ
- วาล์วนิรภัย (Safety Valve)
- ชุดใบบัดพร้อมมอเตอร์สำหรับกวนผิวมะกรูด
- ท่อนำไอน้ำ
- และอุปกรณ์ชิ้นส่วนมาตรฐานอื่นๆ

3.2.3 ชุดควบแน่น

การออกแบบชุดควบแน่นจะมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกกลวงมีฝาปิดทั้งสองด้าน ภายในบรรจุท่อนำไอน้ำหลายๆ ท่อ และมีผนังกั้นแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อให้ไอน้ำอยู่ในตัวควบแน่นได้นานขึ้น ชุดควบแน่นที่ด้านหน้ามีท่อนำไอน้ำไหลเข้าและมีท่อสำหรับน้ำเย็นไหลออก ส่วนที่ด้านหลังมีท่อนำน้ำมันหอมระเหยที่ปนกับน้ำไหลออกไปที่ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำและมีท่อสำหรับน้ำเย็นไหลเข้า โดยลักษณะการไหลส่วนทางระหว่างไอน้ำกับน้ำเย็นในชุดควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และสามารถดูรายละเอียดการคำนวณและแบบได้ใน<u>ภาคผนวก ก.</u> และ <u>ภาคผนวก ข.</u>



รูปที่ 3.3 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดควบแน่น

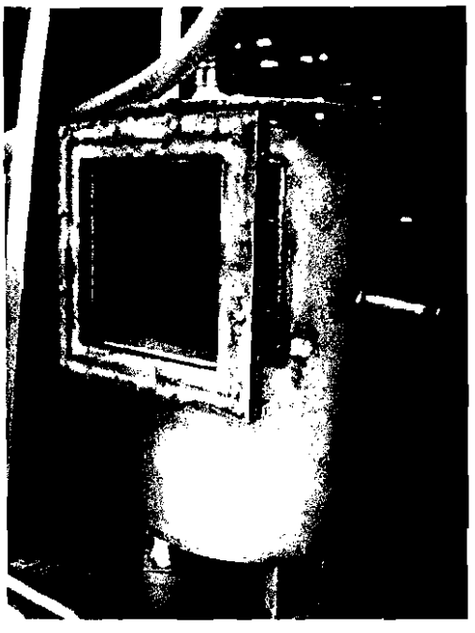
จากรูปที่ 3.3 ชุดควบแน่นประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ตัวควบแน่นลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงมีฝาปิดทั้งสองด้าน ภายในบรรจุท่อนำไอน้ำหลายๆ ท่อ และมีผนังกั้นแบ่งเป็นส่วนๆ

- ท่อสำหรับต่อเข้าระบบไอน้ำ
- ท่อสำหรับต่อเข้าระบบน้ำหล่อเย็น
- ถังเก็บน้ำหล่อเย็น
- ปั๊มน้ำ
- และอุปกรณ์ชิ้นส่วนมาตรฐานอื่นๆ

3.2.4 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

การออกแบบชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำจะมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอก ภายในจะมีกรวยสำหรับแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ คือ เมื่อน้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำที่ได้จากการกลั่นจะไหลเข้าสู่ชุดแยกและเมื่อระดับน้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในระหว่างระดับเพิ่มขึ้นนั้นน้ำมันหอมระเหยจะลอยอยู่เหนือน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าน้ำ ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันหอมระเหยไหลสู่กรวยดักเข้าในถังเก็บ ส่วนน้ำที่อยู่ด้านล่างจะมีท่อดักเพื่อไหลออกไปที่ถังเก็บและนำกลับมาต้มใหม่ในชุดถังต้มเมื่อระดับน้ำในถังต้มต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และสามารถดูรายละเอียดการคำนวณและแบบได้ในภาคผนวก ก. และ ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.4 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

จากรูปที่ 3.4 ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ตัวถังรูปทรงกระบอก
- ฝาปิดถัง

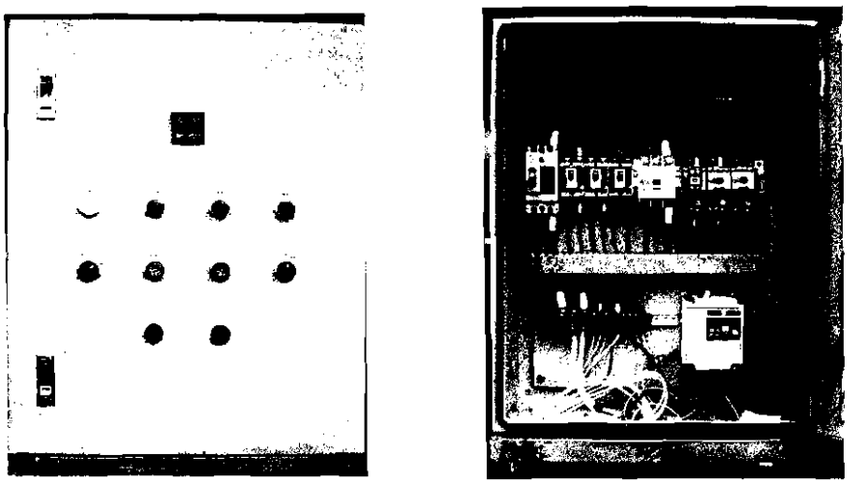
- กรวยดักสำหรับแยกน้ำมันหอมระเหย
- ท่อสำหรับน้ำมันหอมระเหยไหลเข้าสู่ถังเก็บ
- ชุดถังเก็บน้ำมันหอมระเหย
- และอุปกรณ์ชิ้นส่วนมาตรฐานอื่นๆ

3.2.5 ชุดควบคุมการทำงาน

การออกแบบชุดควบคุมการทำงานจะมีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยม ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการควบคุมการทำงานดังนี้

- ควบคุมระบบตัวทำความร้อน (Heater) และเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) ในชุดถังต้ม มีการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยการตั้งค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการ
- ควบคุมระบบลูกลอยไฟฟ้าและปั๊มน้ำ เมื่อระดับน้ำในถังต้มมีระดับต่ำลง ก็จะทำการเติมน้ำโดยอัตโนมัติ
- ควบคุมชุดใบกวนผิวมะกรูด มีการทำงานแบบสวิทช์ปิด-เปิด

ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และสามารถดูแบบและรายละเอียดได้ใน<u>ภาคผนวก ข.</u> และ <u>ภาคผนวก ค.</u>



รูปที่ 3.5 แสดงรูปทรงและลักษณะของชุดควบคุมการทำงาน

จากรูปที่ 3.5 ชุดควบคุมการทำงานประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- ตัวตู้ควบคุม ภายในติดตั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
- ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)
- เบรกเกอร์ (Breaker)
- โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload Relay)

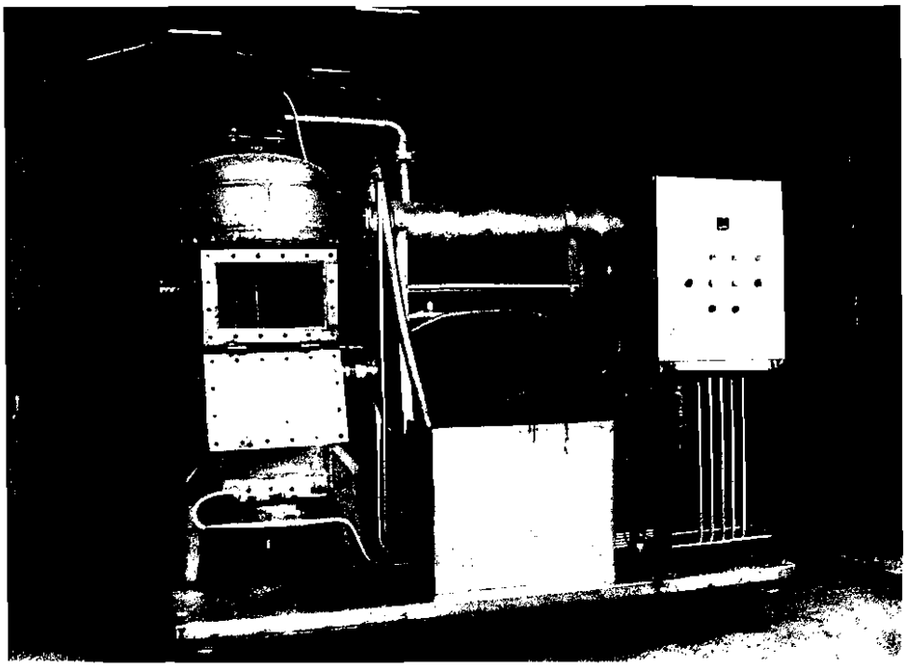
- แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)
- สวิทช์ปุ่มกด (Push Button Switch)
- สวิทช์บิต (Selector Switch)
- จอแสดงผล
- และอุปกรณ์ชิ้นส่วนมาตรฐานอื่นๆ

3.2.6 วิธีการทำงานของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

คือ ใส่น้ำและผิวมะกรูด เสร็จแล้วก็ทำการเปิดให้เครื่องทำงาน ตัวทำความร้อน (Heater) จะทำงานจนทำให้น้ำเดือด ไอน้ำจะลอยผ่านชั้นที่บรรจุผิวมะกรูดขึ้นมา โดยที่ไอน้ำจะระเหยน้ำมันหอมระเหยที่มีอยู่ในผิวมะกรูดให้กลายเป็นไอปนออกมากับไอน้ำ แล้วไหลผ่านตามท่อนำไอน้ำด้านบนของฝาถัง โดยสามารถควบคุมความเร็วในการไหลของไอน้ำและความดันภายในถังโดยการใช้วาล์ว (Valve) ไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยจะไหลผ่านท่อนำไอน้ำเข้าสู่ตัวควบแน่น (Condenser) แล้วกลั่นตัวเป็นของเหลว คือ น้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำ แล้วไหลลงสู่ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ ซึ่งชุดแยกก็จะทำการแยกเอาน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

ดังนั้น จากการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด จะมีรายละเอียดดังนี้

- ขนาด 345 ลิตร
- สามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 170^{0}C



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

3.3 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

เมื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเสร็จแล้วนั้น ก็ทำการทดลองเดินเครื่องฯ และปรับปรุงแก้ไขในส่วนต่างๆ จนสามารถใช้งานได้และรวมถึงความปลอดภัย จากนั้น จะทำการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดและบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดลอง

- ใช้ปริมาณผิวมะกรูดที่ 20 กิโลกรัม
- ใช้อุณหภูมิในการต้มที่ 100^{0}C และ 120^{0}C
- ใช้ระยะเวลาในการกลั่นที่ 6 ชั่วโมง (เริ่มนับที่อุณหภูมิ 100^{0}C และ 120^{0}C)
- ใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในการควบแน่นไม่เกิน 30^{0}C

3.3.2 การบันทึกผลการทดลอง

- บันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิ 100^{0}C
- บันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิ 120^{0}C

3.4 การวิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

นำค่าที่ได้หลังจากทำการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จการทดลอง ซึ่งบันทึกผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามที่กำหนดไว้ จะได้ข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วย ดังนี้

- ค่าปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิ 100^{0}C
- ค่าปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิ 120^{0}C

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลและสรุปผลงานวิจัยในบทต่อๆ ไป เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยที่วางไว้

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ซึ่งเครื่องกลั่นที่สร้างขึ้นนี้ใช้ระบบการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam Distillation) และทำการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่อง โดยกำหนดปัจจัยดังต่อไปนี้ ใช้ปริมาณผิวมะกรูดที่ 20 กิโลกรัม อุณหภูมิในการต้มที่ 100^0 C และ 120^0 C ใช้ระยะเวลาในการกลั่นที่ 6 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในการควบแน่นไม่เกิน 30 ^{0}C ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

หลังจากทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดครั้งละ 20 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100^0 C และ 120^0 C นั้น โดยมีผลจากการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่อุณหภูมิ 100^0 C

ครั้งที่	เวลาในการกลั่น (ชั่วโมง)	ปริมาณผิวมะกรูด (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (กิโลกรัม)
1	6	20	0.65
2	6	20	0.69
3	6	20	0.72
		ผลจากการกลั่น (ค่าเฉลี่ย)	**0.687**

ตารางที่ 4.2 ผลจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่อุณหภูมิ 120^0 C

ครั้งที่	เวลาในการกลั่น (ชั่วโมง)	ปริมาณผิวมะกรูด (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (กิโลกรัม)
1	6	20	0.67
2	6	20	0.70
3	6	20	0.73
		ผลจากการกลั่น (ค่าเฉลี่ย)	**0.70**

4.2 การวิเคราะห์ผลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

จากผลการทดลองเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยใช้ปริมาณผิวมะกรูดที่ 20 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการกลั่นที่ 6 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในการควบแน่นไม่เกิน 30° C และใช้อุณหภูมิในการต้มที่ 100° C และ 120° C ผลจากการวิเคราะห์ดังนี้

อุณหภูมิในการต้มที่ 100° C ได้น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเฉลี่ยที่ 0.687 กิโลกรัม และคิดเป็นร้อยละได้ 3.44 % จากชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

อุณหภูมิในการต้มที่ 120° C ได้น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเฉลี่ยที่ 0.70 กิโลกรัม และคิดเป็นร้อยละได้ 3.50 % จากชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

ดังนั้น จากการทดลองการกลั่นที่อุณหภูมิในการต้มที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดมีความแตกต่างกันน้อยมาก และจากการเฝ้าระวังตรวจเช็คการทำงานของเครื่องในระหว่างการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด พบว่าในส่วนของชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ ยังมีน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเหลืออยู่อีกบางส่วน ซึ่งแสดงว่าเครื่องสามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดได้มากกว่า 3.50 % ดังนั้น จะต้องปรับปรุงในส่วนของชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

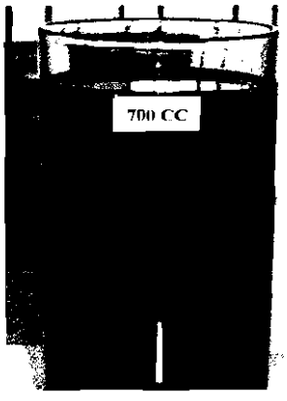
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยมีหลักการทำงาน คือ ใส่น้ำและผิวมะกรูด เสร็จแล้วก็ทำการเปิดให้เครื่องทำงาน ตัวทำความร้อน (Heater) จะทำงานจนทำให้น้ำเดือด ไอน้ำจะลอยผ่านชั้นที่บรรจุผิวมะกรูดขึ้นมา โดยที่ไอน้ำจะระเหยน้ำมันหอมระเหยที่มีอยู่ในผิวมะกรูดให้กลายเป็นไอปนออกมากับไอน้ำ แล้วไหลผ่านตามท่อนำไอน้ำด้านบนของฝาถัง โดยสามารถควบคุมความเร็วในการไหลของไอน้ำและความดันภายในถังโดยการใช้วาล์ว (Valve) ไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยจะไหลผ่านท่อนำไอน้ำเข้าสู่ตัวควบแน่น (Condenser) แล้วกลั่นตัวเป็นของเหลว คือ น้ำมันหอมระเหยปนกับน้ำ แล้วไหลลงสู่ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ ซึ่งชุดแยกก็จะทำการแยกเอาน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

ปัจจัยในการทดลองดังต่อไปนี้ ใช้ปริมาณผิวมะกรูดที่ 20 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิในการต้มที่ 100^{0}C และ 120^{0} C ใช้ระยะเวลาในการกลั่นที่ 6 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในการควบแน่นไม่เกิน 30^{0}C สรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด เครื่องสามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดร้อยละ 3.5 % ของน้ำหนักผิวมะกรูด



รูปที่ 5.1 แสดงน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

ซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ กล่าวคือ เครื่องสามารถทำการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดได้ตามปริมาณที่มากกว่าที่ได้กำหนดไว้ (มากกว่า 3% ของน้ำหนัก)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงแก้ไขชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. เพิ่มระบบทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้การควบแน่นเร็วขึ้น

บรรณานุกรม

1. สมชัย อัครทิวา และขวัญจิต วงษ์ชารี, 2544, **เทอร์โมไดนามิกส์,** แปลจากสำนักพิมพ์แมคกรอฮิล.
2. บัญชา ธนบุญสมบัติ,2542, **การออกแบบทางวิศวกรรม,** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
3. ประเสริฐ เพเทียนนิมิตร, 2541, **ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์,** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น.
4. มานะศิษฎ์ พิมพ์สาร, 2533, ระบบน้ำร้อนในอาคาร, บริษัทเอ็มแอนด์อี จำกัด.
5. วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2529, **ปั๊มและระบบสูบน้ำ,** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
6. วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุล, 2536, **คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี,** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
7. 2545, **เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย,** สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตหันตรา.
8. สุนันท์ ศรัณยนิตย์, 2545, **การถ่ายเทความร้อน,** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
9. สุรันต์วดี จิวะจินดา, 2545, **เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยขนาดเล็ก,** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
10. 2546, **ระบบท่อ วาล์ว ปั๊ม,** บริษัทเอ็มแอนด์อี จำกัด.
11. อนันต์ วงศ์กระจ่าง, 2533, **ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล,** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
12. www.doa-vegetoil.com/essentialmain.htm
13. www.doa-vegetoil.com/processoil_page.htm

ภาคผนวก ก.

รายการคำนวณ

1. ความหนาของถังต้ม

จากสมการที่ (2.6)

$$\sigma_H = \frac{(Pr)}{t}$$

เมื่อ σ_H = 310 N/mm^2 (ตารางที่ ค.-1)

P = 0.7917 N/mm^2 (ตารางที่ ค.-2)

ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 5

ประสิทธิภาพรอยเชื่อมเท่ากับ 0.85

310 = (0.7917 x 300 x 5) / t

t = (0.7917 x 300 x 5) / (310 x 0.85)

t = 4.50 mm

ดังนั้น เลือกใช้ความหนาของผนังที่ 6 มิลลิเมตร เนื่องจากในการขึ้นรูปมีการเชื่อมประกอบและเพื่อความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

2. อัตราการนำความร้อนของถังต้ม

จากสมการที่ (2.11)

Q_{cond} = -kA (dt/dx)

เมื่อ k = 14.4 W/m.K (ตารางที่ ค.-3)

Q_{cond} = -14.4 W/m.K [(π x 0.6^2) / 4] (-140 k / 0.006 m)

Q_{cond} = 95.141 kW

เพราะฉะนั้น อัตราการนำความร้อนของถังต้มเท่ากับ 95.141 kW.

3. การพาความร้อนของถังต้ม

จากสมการที่ (2.12)

Q_{conv} = $h_1 A (T_s - T_f)$

เมื่อ h_1 = k/x

= (14.4 W/m.k) / (0.006 m)

= 2400 $W/m^2.k$

A = 0.283 m^2

T_s = 170^0 C

T_f = 30^0 C

Q_{conv} = (2400 $W/m^2.k$) x (0.283 m^2) x (140 k)

$\mathbf{Q_{conv}}$ = **95.088 kW**

เพราะฉะนั้น การพาความร้อนของถังต้มเท่ากับ 95.088 kW.

4. สัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อน

ถังต้มหนา 6 มิลลิเมตร อุณหภูมิสูงสุด 170^0 C และอุณหภูมิภายนอก 30^0 C ความสามารถในการนำความร้อนของสแตนเลส 14.4 W/m.k ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนด้านใน (h_1) 2400 $W/m^2.k$

จากสมการที่ (2.19) การพาความร้อนสำหรับผิวทรงกระบอก

h_2 = $1.42 (\Delta T/L)^{1/4}$

= $1.42 \times (140 / 0.6)^{1/4}$

h_2 = **81.666 $W/m^2.k$**

จากสมการที่ (2.20) การถ่ายเทความร้อนรวม

$$U = \frac{1}{(1/h) + (\Delta x / k) + (1/h_2)}$$

$$= \frac{1}{(1/2400) + (0.006/14.4) + (1/81.66)}$$

U = **76.462 $W/m^2.k$**

5. พลังงานความร้อนที่ใช้

ปริมาตรของถังต้ม = $[(\pi d^2/4) \times 1.22]$

= $[((\pi \times 0.6^2) / 4) \times 1.22]$

= **0.345 m^3 หรือ 345 ลิตร**

แต่ส่วนที่เก็บน้ำสำหรับต้มเพียง 1 ใน 3 ส่วน ของถังต้ม

ปริมาตรของน้ำที่จะต้ม = 345/3

= **115 ลิตร**

จากสมบัติทางกายภาพของน้ำบริสุทธิ์ น้ำ 1 ลิตร หนัก 1 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้น น้ำ 115 ลิตร หนัก 115 กิโลกรัม

จากสมการที่ (2.22)

$$Q = mC_p \Delta t$$

เมื่อ $\Delta t = t_1 - t_2$

C_p = 4.184 kJ/(kg.K) (ตารางที่ ค.-4)

$$Q = mC_p (t_1 - t_2)$$

$$= 115 \times 4.184 \times (170 - 30)$$

$$Q = \mathbf{67362.40\ kJ}$$

พลังงานความร้อนที่ใช้ในเวลา 2 1/2 ชั่วโมง

พลังงานความร้อนที่ใช้ = 67362.40 kJ / 9000 S

= 7485 W

เลือกใช้ตัวทำความร้อน (Heater) ขนาด 3000 W จำนวน 3 ตัว

เวลาที่จะต้องเดินเครื่อง = 67362.40 kJ / 9000 W

= 2 ชั่วโมง

เพราะฉะนั้น เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำที่อุณหภูมิสูงสุดของเครื่องที่ 170° C คือ 2 ชั่วโมง

6. ตัวควบแน่น

กำหนดให้

- ตัวควบแน่นมีรูปทรงกระบอกนอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.385 เมตร ยาว 1 เมตร
- อุณหภูมิของไอน้ำภายในตัวควบแน่น $T_{in} = 170^0$ C (คิดที่สูงสุด) และมี $T_{out} = 30^0$ C และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำ = 0.0125 เมตร มีจำนวน 22 ท่อ
- อุณหภูมิของน้ำในท่อ $T_{in} = 25^0$ C และมี $T_{out} = 30^0$ C

ปริมาตรของตัวควบแน่น $= [(\pi d^2/4) \times 1]$

$= [((\pi \times 0.385^2) / 4) \times 1]$

$=$ **$0.116\ m^3$ หรือ 116 ลิตร**

ปริมาตรของท่อน้ำ $= [(\pi d^2/4) \times 1] \times 22$

$= [((\pi \times 0.0125^2) / 4) \times 1] \times 22$

$=$ **$0.00269\ m^3$ หรือ 2.69 ลิตร**

อัตราการถ่ายเทความร้อน

จากสมการที่ (2.21)

$$Q_c = AU\Delta T_m$$

เมื่อ $\Delta T_m = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)$

$= [(170-30) - (30-25)] / \ln [(170-30) / (30-25)]$

$= 40.51^0$ C

$= 593.47$ K

$U = 76.462\ W/m^2.k$

$A = (\pi d^2/4) \times 22$

$= 0.00269\ m^2$

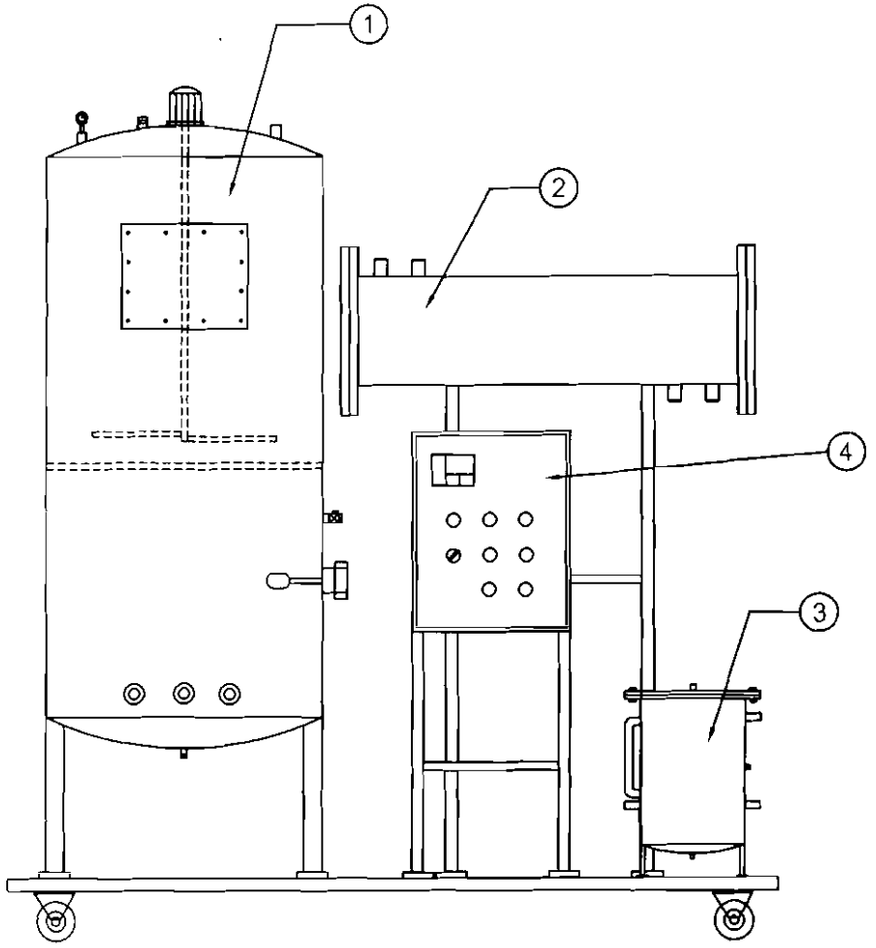
ดังนั้น

$Q_c = 0.00269 \times 76.462 \times 593.47$

$Q_c =$ **122.066 W**

ภาคผนวก ข.

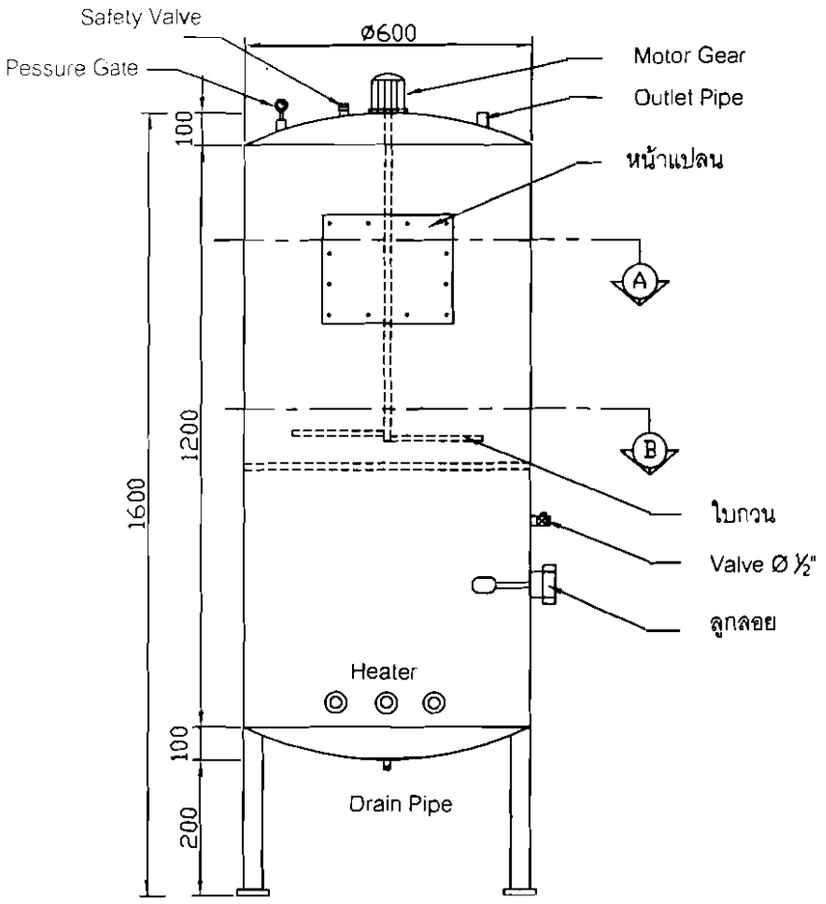
แบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด



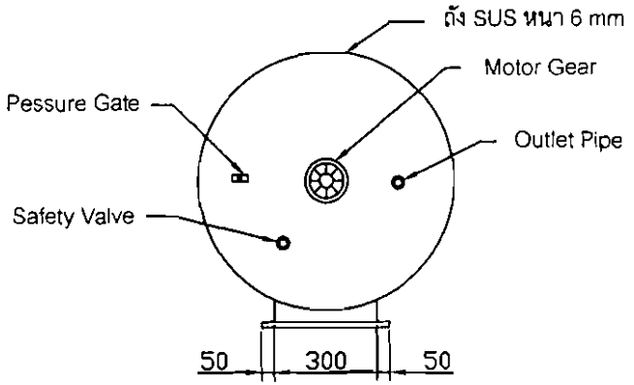
ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ
4	ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง	St
3	ชุดแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ	SUS 304
2	ชุดควบแน่น	SUS 304
1	ชุดถังต้ม (Heater 9000W)	SUS 304

มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน
1:15	เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

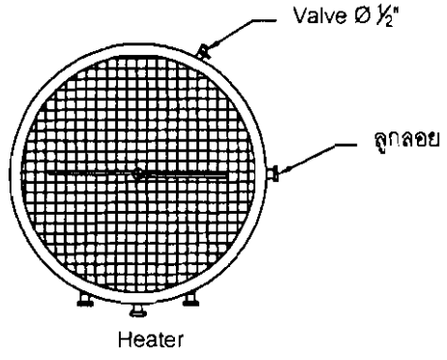
①



Scale 1:15



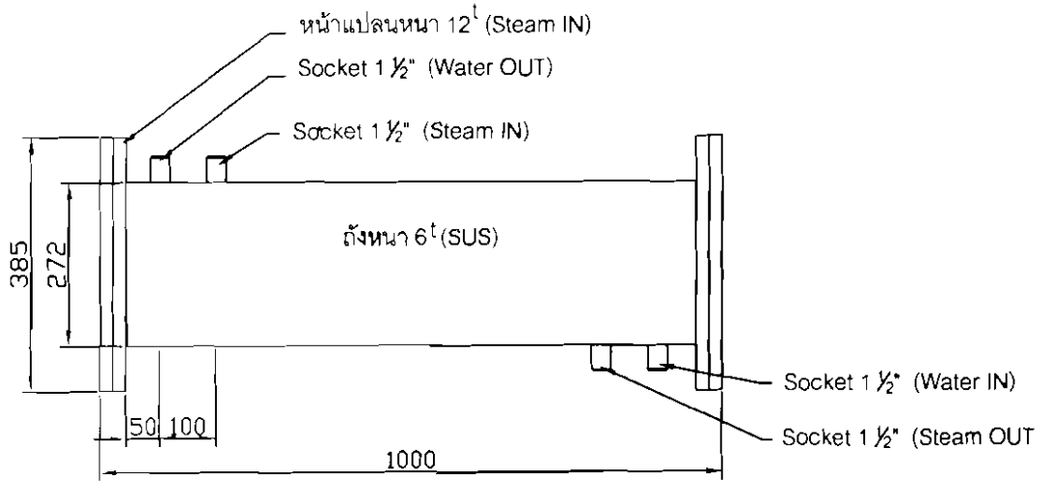
Section "A"



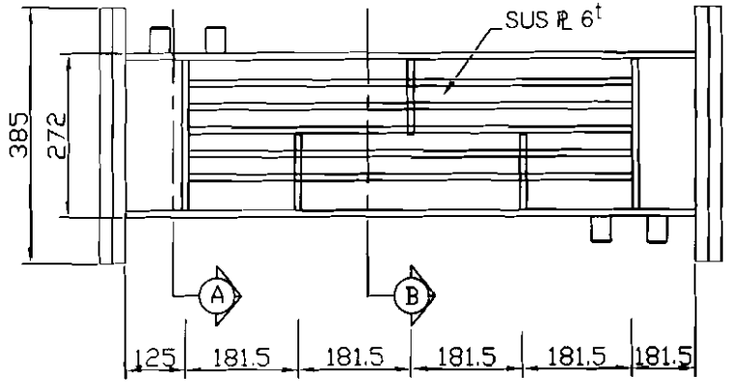
Section "B"

Boiler Tank

②

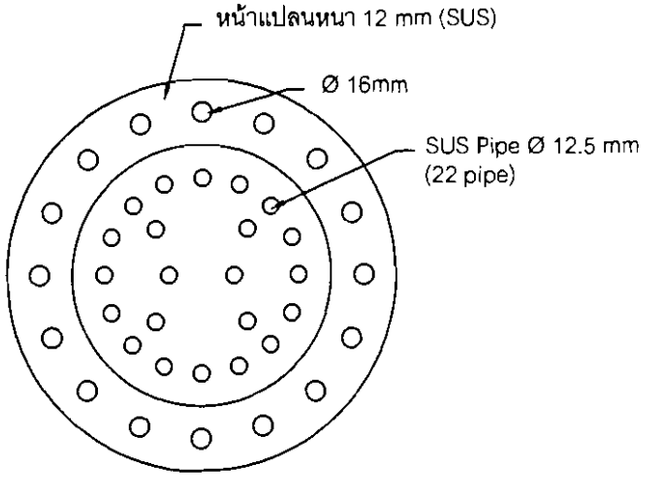


Condensor

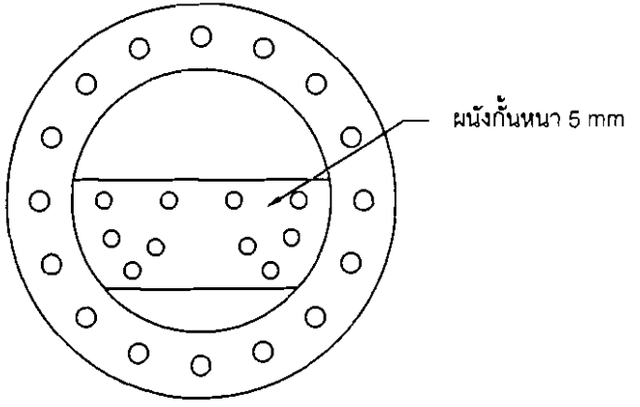


Detail Condensor

Scale 1:10

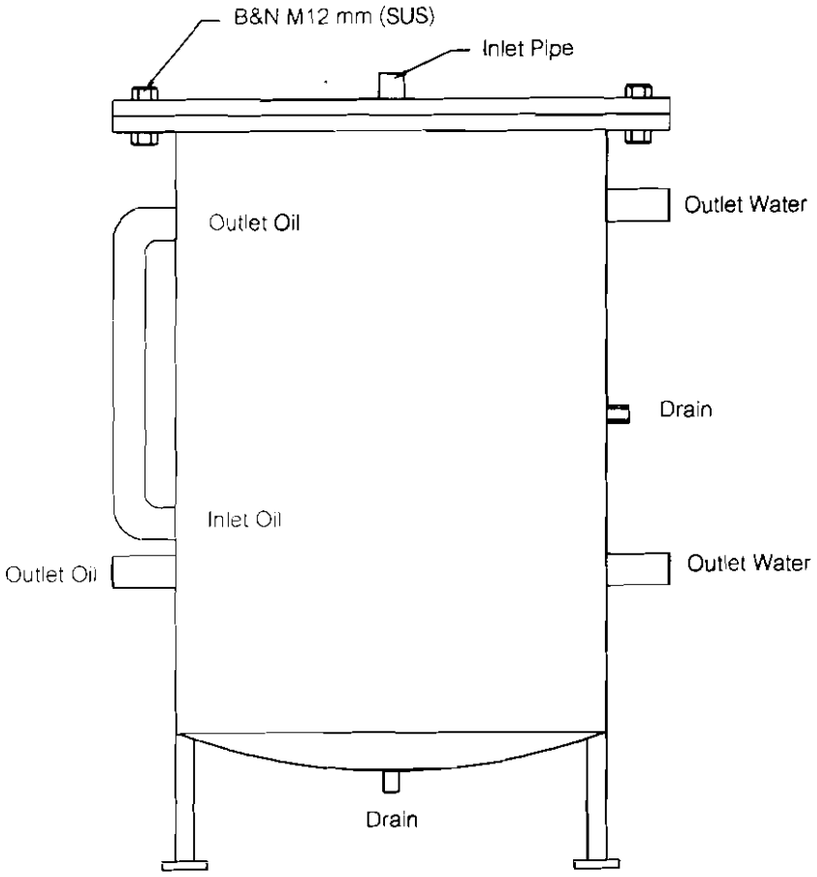


Section "A"



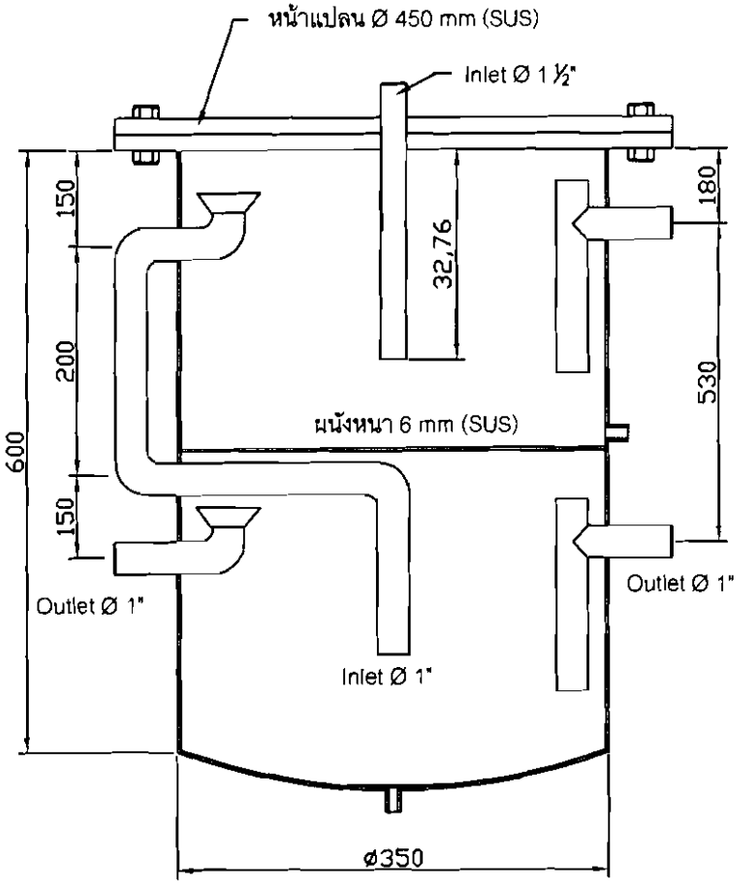
Section "A"

③



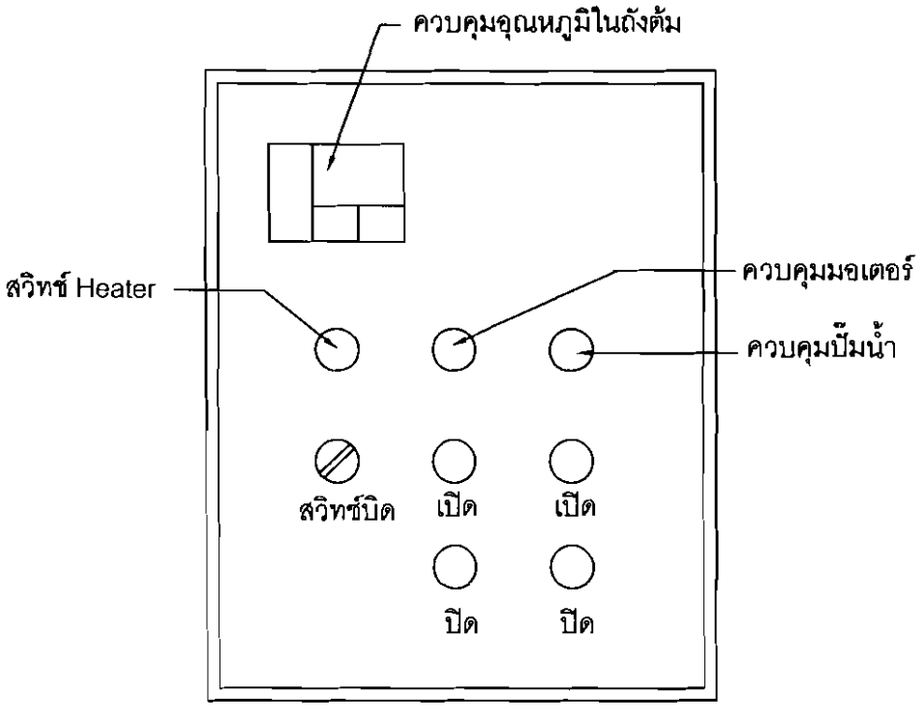
Separate Tank

Scale 1:5



Detail Inside

④



ตู้ควบคุมการทำงานของเครื่อง

ภาคผนวก ค.

รายการตารางอ้างอิงและชิ้นส่วนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.-1 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม

BS Number	**Processing**	**Max. size (mm.)**	**Min. S_y (N/mm^2)**	**Tensile, S_{ut} (N/mm^2)**	**% Elongation $5.65\sqrt{A_0}$**	**HB**
403S17	Soft	63	245	430	20	170
410S21	Tempered	63	495	700-850	25	201-255
416S21	Tempered	63	495	700-800	20	201-255
416S29	Tempered	29	555	775-925	10	223-277
416S37	Tempered	150	555	775-925	10	223-227
416S41	Tempered	63	495	700-850	20	201-255
420S29	Tempered	29	555	775-925	20	223-277
420S37	Tempered	150	555	775-925	10	223-277
431S29	Tempered	150	635	850-1000	15	248-302
302S31	Soft	160	190	510	40	183
	CD	25	555	790	15	229
304S11	Soft	160	180	480	40	183
	CD	45	**310**	650	28	188
310S31	Soft	160	205	510	40	207
303S42	Soft	160	190	510	40	183

ตารางที่ ค.-2 น้ำอิ่มตัว – ตารางอุณหภูมิ

อุณหภูมิ	ความดัน	ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg)		พลังงานภายในจำเพาะ (kJ/kg)			เอนทัลปีจำเพาะ (kJ/kg)			เอนโทรปีจำเพาะ (kJ/kg · K)		
(°C)	(kPa)	Sat.liquid	Sat.vapor	Sat.liquid	Evap.	Sat.vapor	Sta.liquid	Evap.	Sat.vapor	Sat.liquid	Evap.	Sta.vapor
T	P_{sat}	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.94	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
	(MPa)											
100	0.10133	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.313	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663

ตารางที่ ค.-3 สมบัติต่างๆ ของโลหะ

โลหะ	ส่วนผสม (%)	สมบัติที่ 293 K หรือ 20° C			
		ρ (kg/m^3)	C_p (J/kg.K)	k (W/m.K)	$\alpha x10^6$ (m^2/S)
Aluminum					
Duralumin	94-96Al, 3-5Cu, trace Mg	2,787	833	164	6.676
Silumin	87Al, 13Si	2,659	871	164	7.099
Copper					
Bronze	75Cu, 25Al	8,666	343	26	0.859
Red Brass	85Cu, 9Sn, 6Zn	8,714	385	61	1.804
Brass	70Cu, 30Zn	8,522	385	111	3.413
Iron					
Cast Iron	$\approx 4^0$ C	7,272	420	52	1.702
Steel					
Carbon Steel	1^0 C	7,801	473	43	1.172
	1.5^0 C	7,753	486	36	0.970
Chrome Steel	1 Cr	7,865	460	61	1.665
	5 Cr	7,833	460	40	1.110
	10 Cr	7,785	460	31	0.867
Chrome-Nickel Steel	15 Cr, 10 Ni	7,865	460	19	0.526
	20 Cr, 15 Ni	7,833	460	15.1	0.415
Nickel Steel	10 Ni	7,945	460	26	0.720
	20 Ni	7,993	460	19	0.526
	40 Ni	8,169	460	10	0.279
	60 Ni	8,378	460	19	0.493
Nickel-Chrome Steel	80 Ni, 15^0 C	8,522	460	17	0.444
	40 Ni, 15^0 C	8,073	460	11.6	0.305
Manganese Steel	1 Mn	7,865	460	50	1.388
	5 Mn	7,849	460	22	0.637
Stainless Steel	Type 304	7,817	461	14.4	0.387
	Type 347	7,817	461	14.3	0.387

ตารางที่ ค.-4 ความร้อนจำเพาะของของแข็งและของเหลวที่ 25^0 C

ของแข็ง	Cp, kJ/(kg.K)	ρ(kg/m^3)	ของเหลว	Cp, kJ/(kg.K)	ρ(kg/m^3)
Aluminum	0.900	2,700	Ammonia	4.800	602
Copper	0.386	8,900	Ethanol	2,456	783
Granite	1.017	2,700	Refrigerant-12	0.977	1,310
Graphite	0.711	2,500	Mercury	0.139	13,560
Iron	0.450	7,840	Methanol	2.550	787
Lead	0.128	11,310	Oil (Light)	1.800	910
Rubber (Soft)	1.840	1,100	Water	**4.184**	997
Silver	0.235	10,470			
Tin	0.217	5,730			

ตารางที่ ค.-5 อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)

IMMERSION HEATERS

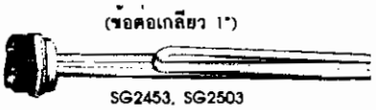
ใช้กับน้ำ, น้ำมัน และของเหลว

MODEL : SG/ FTG Series

KONSTANZ

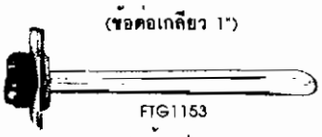
SG1103, SG1153, SG1203, SG1303

(ข้อต่อเกลียว 1")



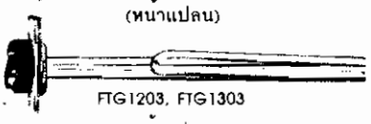
SG2453, SG2503

(ข้อต่อเกลียว 1")



FTG1153

(หน้าแปลน)



FTG1203, FTG1303

(หน้าแปลน)

- WATT 1000W, 1500W, 2000W, 3000W, 4500W, 5000W (รุ่น SG Series)
- WATT 1500W, 2000W, 3000W (รุ่น FTG Series)
- ใช้ไฟ 220 VAC

IMMERSION HEATERS

ใช้กับน้ำ, น้ำมัน และของเหลว

MODEL : EGO Series

KONSTANZ

EGO-302, EGO-303

(ข้อต่อเกลียว 1 1/2")

EGO-602, EGO-603

(ข้อต่อเกลียว 1 1/2")

EGO-902, EGO-903

(ข้อต่อเกลียว 1 1/2")

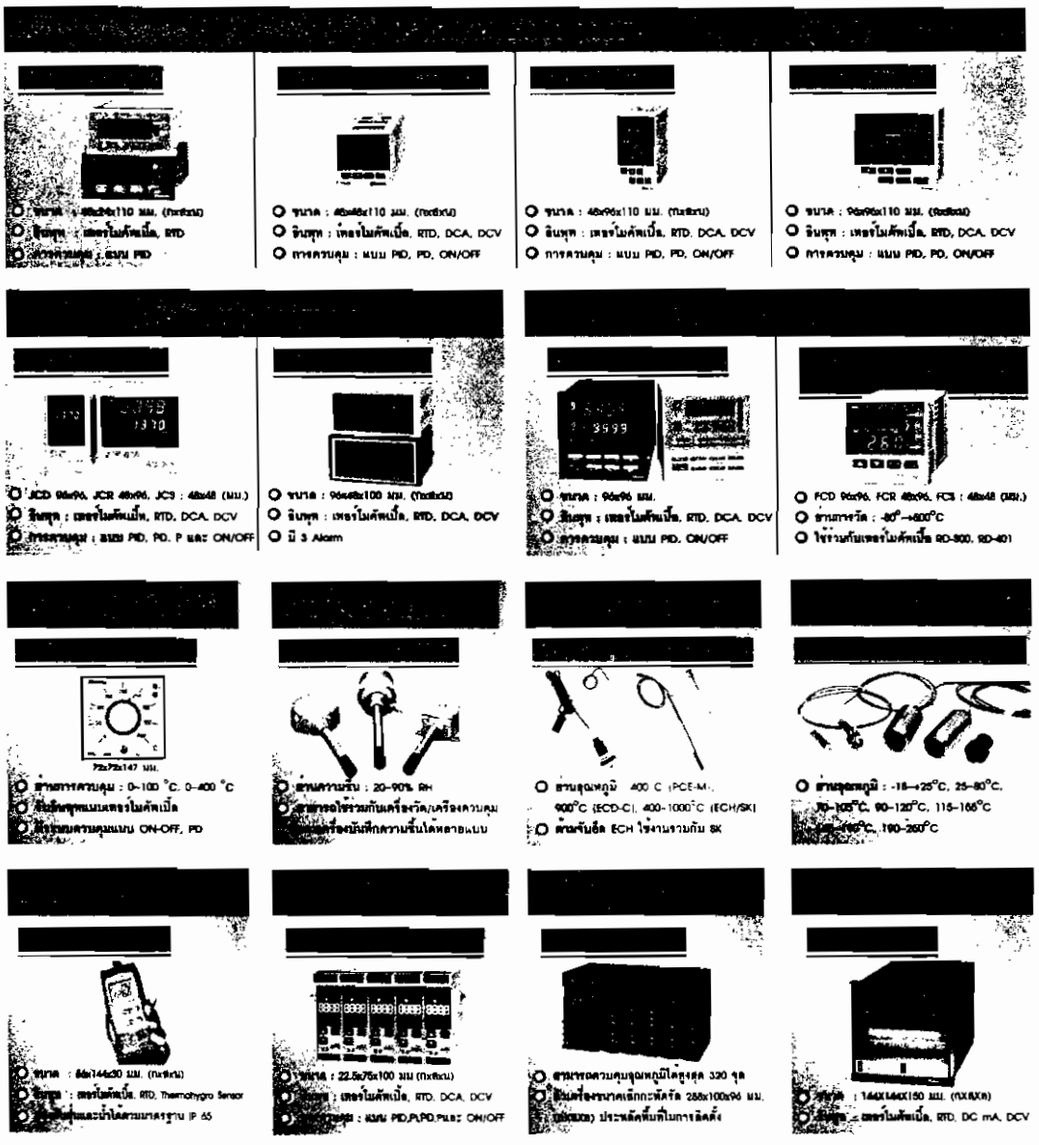
- WATT : 3000W, 4500W, 6000W, 7500W, 9000W
- ใช้ไฟ : 220 VAC, 380 VAC
- การติดตั้งง่ายเป็นแบบเกลียว Ø1 1/2", ชุดขั้วต่อสายไฟเป็นแบบต่อสาย
- เลือกขนาดความยาวได้หลากหลายตามความเหมาะสมการนำไปใช้งาน
- การใช้งาน ใช้สำหรับอุ่นหรือต้มของเหลวได้เกือบทุกประเภท เช่น น้ำ, น้ำมัน, อุ่นกาว, ยางมะตอย, ใช้สำหรับอุ่นอาหารหรือเครื่องดื่ม ฯลฯ

ตารางที่ ค.-6 มาตรฐานของขนาดสายไฟฟ้า

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแส (A)						
	อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C				อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C		
	สายเดินในอากาศ		สายเดินในท่อไม่เกิน 3 เส้น หรือไม่เกิน 3 แกน		สายเดินในท่อฝังใต้ดิน 3 เส้น หรือไม่เกิน 3 แกน		ฝังดินโดยตรง
	IV,THW (70°C)	VAF,VVF (70°C)	IV,THW,NYY,VCT (70°C)		IV,THW,NYY (70°C)		NYY (70°C)
	-	เกาะผนัง	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	-
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1.0	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	599	455	552
500	818	-	541	469	684	516	623

ตารางที่ ค.-7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

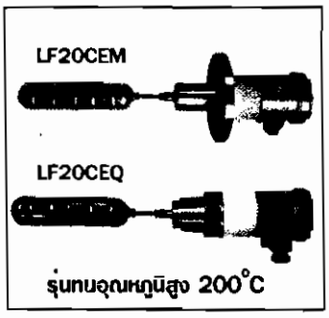
ตารางที่ ค.-8 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ



ตารางที่ ค.-9 สวิทช์ลูกลอยแบบติดตั้งด้านข้างถัง

SIDE MOUNTING LEVEL SWITCH

สวิทช์ลูกลอยแบบติดตั้งด้านข้างถัง

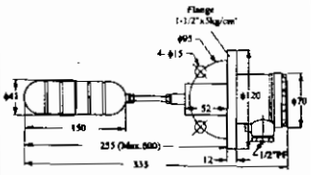


MODEL : LF SERIES

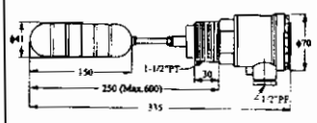
LF Series เป็นสวิทช์ควบคุมระดับของเหลวแบบติดตั้งด้านข้างถัง เพื่อใช้ในการตรวจจับระดับของเหลว และนำสัญญาณเอ้าท์พุทไปใช้ในการตัดต่อมอเตอร์ปั๊ม เพื่อทำการสูบน้ำเข้าหรือออก จากถังกักเก็บ นอกจากรุ่นมาตรฐานแล้วยังมีรุ่นทนอุณหภูมิสูงถึง 200, 350°C ให้เลือกใช้งานอีกด้วย

ขนาดและรูปร่าง (หน่วย : มม.)

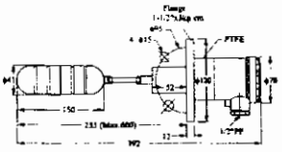
LF10CEM ราคาประหยัด



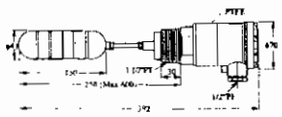
LF10CEQ ราคาประหยัด



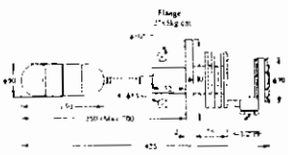
LF20CEM ทนอุณหภูมิสูง 200°C



LF20CEQ ทนอุณหภูมิสูง 200°C



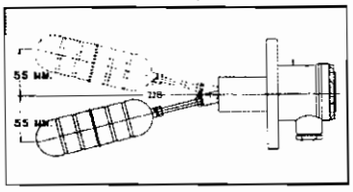
LF62DFM ทนอุณหภูมิสูง 350°C



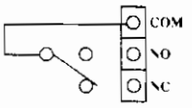
คุณสมบัติ

รุ่น	LF10CEM	LF10CEQ	LF20CEM	LF20CEQ	LF62DFM
การติดตั้ง	หน้าแปลน	เกลียว	หน้าแปลน	เกลียว	หน้าแปลน
ขนาด	JIS5K, 1 1/2"	1 1/2"PT	JIS5K, 1 1/2"	1 1/2"PT	JIS5K, 2"
วัสดุ	ส่วนติดตั้ง : สเตนเลส 304 (สเตนเลส 316 สั่งพิเศษ) ก้าน,ลูกลอย : สเตนเลส 304 (สเตนเลส 316 สั่งพิเศษ) โครงเครื่อง : อลูมิเนียมอัลลอยด์				
อุณหภูมิใช้งาน	-10~+100°C		-25~+200°C		-10~+350°C
ความดันสูงสุด	15 bar				30 bar
เอ้าท์พุท	1 SPDT (เลือก NO และ NC ในตัว)				
ขนาดสวิทช์	5A, 250VAC		30W, 200VDC (ควรใช้ไฟ 12~24VDC)		5A, 250VAC
ความถ่วงจำเพาะ	0.65				0.55
ความยาวก้านและลูกลอย	255 มม. (สั่งพิเศษสูงสุดไม่เกิน 600 มม.)				
ระดับการป้องกัน	IP65				
รูเข้าสายเคเบิ้ล	PF 1/2"				

ระยะในการทำงานของลูกลอย



การต่อสายใช้งาน



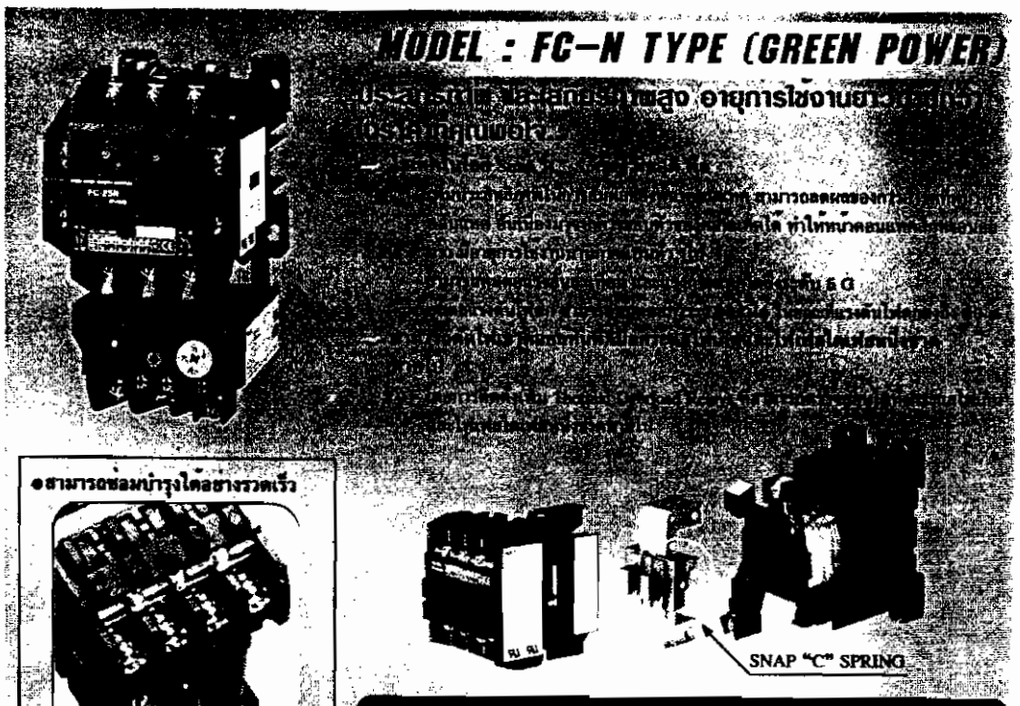
รีดสวิทช์ → 30W/ 200VDC

ไมโครสวิทช์ → 5A/ 250VAC

การสั่งซื้อ

1. หากเป็นรุ่นมาตรฐานให้ระบุรุ่นจากตารางได้ทันที
2. หากต้องการคุณสมบัติอื่นนอกจากรุ่นมาตรฐาน กรุณาระบุ
   2.1 ชนิดของของเหลวใช้งาน
   2.2 อุณหภูมิของของเหลวใช้งาน และตรวจสอบค่าความดันในถัง
   2.3 ลักษณะการติดตั้ง (ระบุขนาดเกลียว, หน้าแปลนตามมาตรฐาน JIS ANSI, DIN)
   2.4 ความยาวของก้านพร้อมลูกลอย (ส่วนที่ยื่นเข้าไปในถัง)

ตารางที่ ค.-10 แม็กเนติก คอนแทคเตอร์



โครงการออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนชุดหน้าสัมผัสได้จาก
ไดรไม่ต้องใช้เครื่องมือใดๆ

ป้องกันฝุ่นละออง และวัตถุแปลกปลอม
เข้าลอดเข้าไปภายในหน้าคอนแทคได้

* Panasonic the new name for NAIS

สภาวะการทำงาน	สปริงที่ใช้อยู่ใน Magnetic Contactor ทั่วไป	SNAP "C" SPRING ของ NAIS
เมื่อขดลวดอยู่ในสภาวะ ON (สภาวะที่มีไฟเข้าคอยล์ หน้าคอนแทคจะถูกดูดไฟและกัน)	เนื่องจากสปริงลูกกลมตัวแรงดูดทำให้เกิดแรงต้านจากสปริงตามทิศทางลูกศร เป็นจำนวนมาก ถ้ามีการสั่นสะเทือนจะทำให้หน้าคอนแทคขยับตัวได้	เนื่องจากสภาวะนี้โครงสร้างของสปริงถูกแรงดูดลงมา ทำให้ Snap "C" Spring มีสภาวะอยู่ในแนวราบ ทำให้แรงต้านจากสปริงในทิศทางขึ้นบนมีน้อย หน้าคอนแทคจึงสัมผัสกันได้แน่นกว่า
เมื่อขดลวดอยู่ในสภาวะ OFF (สภาวะที่ไม่ได้ป้อนไฟเข้าคอยล์ หน้าคอนแทคจะจากออก)	เนื่องจากสปริงคลายตัวอยู่ ทำให้แรงต้านทานของสปริงตามทิศทางของลูกศร เกิดขึ้นน้อย ถ้ามีแรงกระแทกอาจทำให้หน้าคอนแทคขยับมาและกันโดยไม่ตั้งใจได้	เนื่องจาก Snap " C " Spring คลายตัวเอียงขึ้นไปด้านบนตามรูป ทำให้แรงต้านทานจากสปริงในทิศทางขึ้นบนมีมาก ถ้ามีแรงกระแทกโอกาสที่คอนแทคจะขยับตัวและกันจะเป็นไปได้ยาก

รุ่น	แรงดันไฟคอยล์	ชุดคอนแทค	อัตราการขับกระแสไฟ		
FC-15N	24V AC, 220V AC, 380V AC	3P+1a หรือ 3P+1b	13.5A	20A	10A
FC-20N			22A	32A	16A
FC-25N		3P+2a2b	30A	50A	16A
FC-35N			45A	60A	21A

ตารางที่ ค.-11 รีเลย์ (Relay)

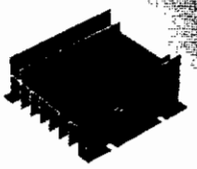
รีเลย์ขนาดเล็ก

- ขนาดกะทัดรัด [illegible]
- โครงสร้างแข็งแรงทนทาน [illegible] จึงให้ความเชื่อถือในการทำงานสูง
- หน้าสัมผัสเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีแคดเมียม (cd)
- ซ็อคเกตรั้วคลอสายแบบสกรูว์ ยึดรีเลย์โดยการเกี่ยว จึงถอดเปลี่ยนได้ง่าย
- คอนแทคเอาท์พุทแบบ SPDT 2 ชุด ทนกระแส 5A 250V AC, 5A 30V DC (โหลดความต้านทาน)

แรงดันไฟของคอยล์	แบบ Plug - in	แบบ Plug - in พร้อมไฟ LED	แบบ Plug - in พร้อมไดโอด	แบบ Plug - in พร้อมไฟ LED และไดโอด
5V DC	AHN22005	AHN22105	AHN22205	AHN22305
6V DC	AHN22006	AHN22106	AHN22206	AHN22306
12V DC	AHN22012	AHN22112	AHN22212	AHN22312
24V DC	AHN22024	AHN22124	AHN22224	AHN22324
48V DC	AHN22048	AHN22148	AHN22248	AHN22348
100V DC	AHN220X0	AHN221X0	AHN222X0	AHN223X0
110V DC	AHN220X1	AHN221X1	AHN222X1	AHN223X1
12V AC	AHN21012	AHN21112	-	-
24V AC	AHN21024	AHN21124	-	-
100/ 110V AC	AHN21DX0	AHN211X0	-	-
110/ 120V AC	AHN21GX1	AHN211X1	-	-
200/ 220V AC	AHN21GY0	AHN211Y0	-	-
220/ 240V AC	AHN21GY2	AHN211Y2		

โซลิดสเตทรีเลย์

(Heat sink)



- รีเลย์ [illegible]
- มี Heat [illegible] (ตัวเลือก)

รุ่น / รายละเอียด	คอนแทค	แรงดันไฟฟ้าขดลวด	อิมพีแดนซ์ขดลวด (โดยประมาณ)
AQR10 A2-S-Z 10/18VDC	Zero - Cross 10A	10 ถึง 18VDC	0.86kΩ
AQR10 A2-S-Z 18/28VDC		18 ถึง 28VDC	1.86kΩ
AQR15 A2-S-Z 10/18VDC	Zero - Cross 15A	10 ถึง 18VDC	0.86kΩ
AQR15 A2-S-Z 18/28VDC		18 ถึง 28VDC	1.36kΩ
AQR20 A2-S-Z 10/18VDC	Zero - Cross 20A	10 ถึง 18VDC	0.86kΩ
AQR20 A2-S-Z 18/28VDC		18 ถึง 28VDC	1.36kΩ

รีเลย์ขนาดเล็ก

- มีคอนแทค 2 แบบให้เลือกใช้คือ
  Form C SPDT 4 ชุด (5A 250VAC)
  Form C SPDT 2 ชุด (7A 250VAC)
- มีระบบตรวจจับขดลวดชำรุดขึ้นมา (เฉพาะรุ่นที่มี LED เท่านั้น)
- ซ็อคเกตรั้วคลอสายที่ป้องกันนิ้วมือ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน
- หน้าสัมผัสเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีแคดเมียม (Cd)
- ซ็อคเกตมี 2 รุ่น คือ
  HJ2-SFD-S 2 แขนแลช
  HJ4-SFD-S 4 แขนแลช

รุ่น / รายละเอียด	ชนิด	ใช้ไฟ	เคาท์ชุด
HJ2-DC 12V	Plug-in	12V DC	SPDT 2 ชุด
HJ4-DC 12V			SPDT 4 ชุด
HJ2-DC 24V		24V DC	SPDT 2 ชุด
HJ4-DC 24V			SPDT 4 ชุด
HJ2-AC 220/240V		220/ 240V AC	SPDT 2 ชุด
HJ4-AC 220/240V			SPDT 4 ชุด
HJ2-L-DC 12V	Plug-in พร้อม LED	12V DC	SPDT 2 ชุด
HJ4-L-DC 12V			SPDT 4 ชุด
HJ2-L-DC 24V		24V DC	SPDT 2 ชุด
HJ4-L-DC 24V			SPDT 4 ชุด
HJ2-L-AC 220/240V		220/ 240V AC	SPDT 2 ชุด
HJ4-L-AC 220/240V			SPDT 4 ชุด

เพาเวอร์รีเลย์

- ขนาดกะทัดรัด แต่ทนกระแสได้สูง [illegible] 10 A 250 VAC
- โครงสร้างแข็งแรงทนทาน [illegible]

- ทนกระแสได้สูงถึง 20 A 250 VAC มี 3 แบบให้เลือกใช้ คือแบบคอนแทค 2 ชุด, 3 ชุด และ 4 ชุด
- คอนแทคมีความน่าเชื่อถือสูง แม้ใช้งานเป็นเวลานานแล้ว
- สามารถใช้กับชั้วต่อที่มีการบัดกรี, การเชื่อมต่อได้

รุ่น	รายละเอียด	ชนิด	อุณหภูมิแวดล้อม	ความเร็วในการทำงาน	อัตราสับเปลี่ยนของขดลวด
15A (DC) SPACE SAVING POWER RELAY	HL2-H DC 12V	Plug - in 2 FORM C	-30°C~+70°C	สูงสุด 20 cpm	12VDC
	HL2 H DC 24V				24VDC
	HL2-H AC 240V				240VAC
20A POWER RELAY	HG2-DC 12V	2 FORM C	-60°C~+40°C		12VDC
	HG2-DC 24V				24VDC
	HG2-AC 240V				240VAC
	HG3-DC 12V	3 FORM C			12VDC
	HG3-DC 24V				24VDC
	HG3-AC 240V				240VAC
	HG4-DC 12V	4 FORM C			12VDC
	HG4-DC 24V				24VDC
	HG4-AC 240V				240VAC

* Panasonic...the new name for NAIS

ภาคผนวก ง.

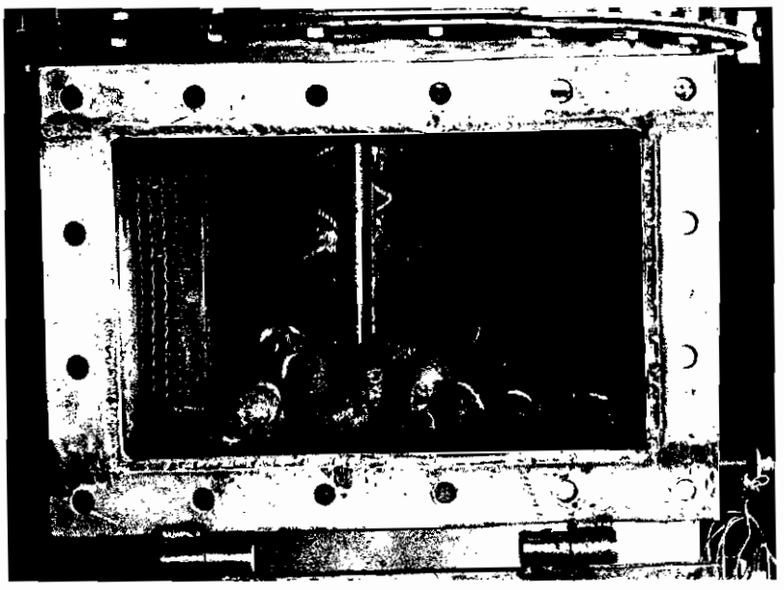
คู่มือการใช้เครื่อง

วิธีการใช้เครื่อง

สำหรับวิธีการใช้เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด มี 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

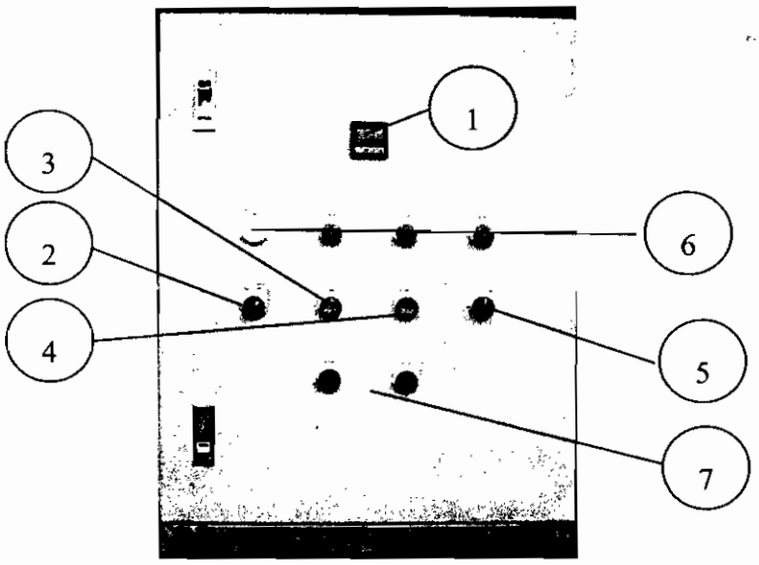
ขั้นตอนที่ 1

1) ทำการใส่น้ำในถังต้มจนถึงระดับลูกลอย
2) ทำการใส่ผิวมะกรูดในถังต้ม
3) ทำการปิดฝาถังต้มให้สนิท
4) ก่อนเดินเครื่องตรวจสอบความพร้อมให้เรียบร้อยเพื่อความปลอดภัยทุกครั้ง เช่น ตรวจสอบระบบไฟฟ้า



รูปแสดงการใส่ผิวมะกรูด

ขั้นตอนที่ 2



แสดงตู้ควบคุมการทำงานของเครื่อง

1) ก่อนเดินเครื่องทำงานจะต้องทำการเปิด Breaker ในตู้ควบคุมก่อน
2) ทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน โดยกดที่ปุ่มลูกศร ขึ้น-ลง ที่ตัวควบคุมอุณหภูมิ **หมายเลข 1**
3) ทำการเปิดการทำของ Heater ที่สวิทช์ลูกศร **หมายเลข 2**
4) ทำการเปิดปั๊มน้ำหล่อเย็นที่สวิทช์แบบกดปุ่ม **หมายเลข 4** และทำการเปิดปั๊มน้ำที่สวิทช์แบบกดปุ่ม **หมายเลข 3** สำหรับเติมน้ำเข้าถังต้มเมื่อเวลาน้ำในถังต้มแห้งถึงระดับลูกลอย ปั๊มน้ำจะทำงานโดยอัตโนมัติ
5) เมื่ออุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ทำการเปิดการทำงานของใบกวนผิวมะกรูด ที่สวิทช์ลูกศร **หมายเลข 5**
6) สำหรับ **หมายเลข 6** ไฟสีขาวและสีเขียว จะแสดงการทำงานของเครื่อง ส่วน **หมายเลข 7** เป็นสวิทช์ปิดการทำงานแบบกดปุ่ม สำหรับปั๊มน้ำทั้ง 2 ตัว