การพัฒนาอุปกรณ์ทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

Development of Experimental Plate Heat Exchanger Unit

โดย

นางสาวกิตติมา ดำรงค์ศักดิ์

นางสาวกุลชาดา ปกรโณดม

นางสาวเบญจมาภรณ์ นัยเนตร

วัน เดือน ปี 4 ต.ค. 2541

เลขทะเบียน 038635

เลขเรียกหนังสือ T 400 ก 2541 ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

038635

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2540

การพัฒนาอุปกรณ์ทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

Development of Experimental Plate Heat Exchanger Unit

โดย

นางสาวกิตติมา ดำรงค์ศักดิ์ 37014020

นางสาวกุลชาดา ปครโฉดคม 37014022

นางสาวเบญจมาภรณ์ นัยเนตร 37014223

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สรรวริศ อุ่ยวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง พัฒนาอุปกรณ์ทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

Development of Experimental Plate Heat Exchanger Unit

ผู้จัดทำ นางสาวกิตติมา ดำรงค์ศักดิ์ 37014020

นางสาวกุลชาดา ปกรโณดม 37014022

นางสาวเบญจมาภรณ์ นัยเนตร 37014223

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สรรวิศ อุ่ยวัฒนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การพัฒนาอุปกรณ์ทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

นางสาวกิตติมา คำรงค์ศักดิ์ 37014020
นางสาวกุลชาดา ปกรโฉดม 37014022
นางสาวเบญจมาภรณ์ นัยเนตร 37014223
อาจารย์สรรวริศ อุ่ยวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2540

โครงงานนี้ได้ศึกษา ออกแบบพัฒนาและทดสอบ ชุดอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น โดยอาศัยหลักการของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นการจำลองรูปแบบของการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร จากอุปกรณ์หลัก 2 อย่างคือ คอนเดนเซอร์ยูนิต และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ในขั้นแรกคอนเดนเซอร์ยูนิตจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับน้ำยา ทำให้น้ำที่ได้มีอุณหภูมิลดต่ำลง ในขณะที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นจากคอนเดนเซอร์ยูนิตกับของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จนกระทั่งของเหลวที่ต้องการมีอุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเพิ่มขึ้นในช่วงอัตราการไหลที่ทำการทดลอง (0.6-2.15 m^3/hr) และทำให้ทราบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของ Condenser Unit ณ เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Development Of Experimental Plate Heat Exchanger Unit

Kittima Dumrongsak 37014020

Kunlachada Pakaranodom 37014022

Benjamaporn Naiyanate 37014223

Sunvaris Uywattana Advisor

1997

Development Of Experimental Plate Heat Exchanger Unit was concerned with design , developed and tested the Experimental Plate Heat Exchanger Unit with the principle of heat transfer.Using hypothesis of heat exchanger in food industrail that have 2 equipment , condenser unit and plate heat exchanger. At first condenser unit exchanges heat between water and freon22 this would decrease water temperature , after that plate heat exchanger exchanged heat between cold water from condenser unit and higher temperature liquid until liquid temperature was decreased . With experimental , found that changing mass flow rate effects heat transfer rate and overall coefficiency of heat transfer , when mass flow rate was increased heat transferate and overall coefficiency of heat transfer increase (Mass flow rate about 0.6-2.15 m^3/hr).And found that coefficient of performance of condenser unit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญรูปภาพ	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	49
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	58
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	68
เอกสารอ้างอิง	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงการถ่ายเทความร้อนสามรูปแบบ	3
รูปที่ 2 แสดงการนำความร้อนมีลักษณะเป็นการแพร่กระจายโมเลกุล	4
รูปที่ 3 แสดงการนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนัง	5
รูปที่ 4 แสดงการเกิด boudary layer ในการพาความร้อน	6
รูปที่ 5 แสดงกระบวนการพาความร้อน	7
รูปที่ 6 แสดงการแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม	10
รูปที่ 7 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	10
รูปที่ 8 แสดงเครื่องควบแน่นใช้น้ำหล่อเย็นแบบท่อคู่	12
รูปที่ 9 แสดงเครื่องควบแน่นแบบใช้อากาศหล่อเย็น	13
รูปที่ 10 แสดงแผนภาพเครื่องควบแน่นแบบระเหยตัว	14
รูปที่ 11 แสดงรูปตัดของ dri-fan เครื่องควบแน่นแบบระเหย	14
รูปที่ 12 แสดง Water Chiller Turbocompresser	15
รูปที่ 13 แสดง Water Chiller ขนาด 50 ตัน	15
รูปที่ 14 แสดงการออกแบบท่อเปลือยแบบธรรมดา	16
รูปที่ 15 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่นขึ้นรูปเป็นลอนนูน	17
รูปที่ 16 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่นรูปร่างต่างๆ กัน	17
รูปที่ 17 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่น	18
รูปที่ 18 แสดงการเรียงครีบแบบต่างๆ	19
รูปที่ 19 แสดงอีแวปโพเรเตอร์ติดตั้งไว้ได้เพดานใช้ครีบอลูมิเนียมหล่อ	20
รูปที่ 20 แสดง อีแวปโพเรเตอร์ติดข้างผนังห้องเย็น	20
รูปที่ 21 แสดงการติดตั้งกระบังลมช่วยการไหลเวียนแบบธรรมชาติ	21
รูปที่ 22 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบท่อคู่	21
รูปที่ 23 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบ baudelot	22
รูปที่ 24 แสดงการติดตั้งอีแวปโพเรเตอร์แบบถัง	22
รูปที่ 25 แสดง Flooded faceway coil	23
รูปที่ 26 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบเปลือยและคอยล์	23
รูปที่ 27 แสดงอีแวปโพเรเตอร์แบบเปลือกและท่อ	24
รูปที่ 28 แสดงรูปตัดขวางแสดงรายละเอียดโครงสร้างของ dry-expansion chiller	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 29 แสดงการจัดท่อและการกระจายสารความเย็นของ dry-expansion chiller 25
รูปที่ 30 แสดง (a) แผ่นกั้นใน dry-expansion chiller
(b)แผ่นปิดด้านหัวสารความเย็นสำหรับ dry-expansion chiller 26
รูปที่ 31 แสดงการออกแบบให้มีช่องหลาย ๆ ช่องทางเพื่อให้ของไหลเย็นใน Flooded chiller
เกิดการไหลเวียนโดยแผ่นกั้นยึดด้วยสกรูที่ด้านท้ายของ chiller 27
รูปที่ 32 แสดงภายในเปลือกของ flood chiller บรรจุท่อไว้ส่วนหนึ่ง เพื่อให้มีพื้นที่ว่างใน
การกลายเป็นไอของสารความเย็น 27
รูปที่ 33 แสดงChiller แบบเปลือกและท่อในแนวตั้งเป็นการทำงานแบบ flooded น้ำตกลงมาผ่าน
ท่อที่หมุนโดยการสอดหัวฉีดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ 28
รูปที่ 34 แสดงภาพตัดของเครื่องอัดแบบลูกสูบอัดทางเดียว 30
รูปที่ 35 แสดงภาพตัดของเครื่องอัดแบบลูกสูบอัดทางเดียว 30
รูปที่ 3 6 แสดงเครื่องอัดแบบอิสระขับเคลื่อนด้วยระบบสายพาน 31
รูปที่ 37 แสดงเครื่องอัดแบบกึ่งปิดสนิท (Semi-hermetec compressor) 32
รูปที่ 38 แสดง เครื่องอัดแบบปิดสนิท 33
รูปที่ 39 แสดงภาพตัดของเครื่องอัดปิดสนิท 33
รูปที่ 40 แสดงการทำงานของเครื่องอัดแบบโรตารี 34
รูปที่ 41 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี 34
รูปที่ 42 แสดงเครื่องอัดแรงหมุนแบบลูกสูบใช้ใบมีดกั้นไอสารความเย็น 35
รูปที่ 43 แสดงภายในตัวเครื่องอัดแบบใบพัด 36
รูปที่ 44 แสดงลักษณะการจัดตำแหน่งเกลียวของเครื่องอัดแบบเกลียวหนอน 37
รูปที่ 45 แสดงโครงสร้างภายในของเครื่องอัดแบบเกลียวหนอน 37
รูปที่ 46 แสดงชุด impeller wheel ของเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยง 38
รูปที่ 47 แสดงเป็นเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยง 2 ชั้น 39
รูปที่ 48 แสดงลักษณะของเพลท 40
รูปที่ 49 แสดง FLOW CHART แสดงการทำงานของระบบ 53
รูปที่50 แสดงการเดินท่อเข้า-ออกของแต่ละอุปกรณ์ 54
รูปที่ 51แสดงแบบของชุดอุปกรณ์ที่จะนำไปสร้าง 55
รูปที่52 แสดงรูปโครงเหล็กที่ใช้ประกอบชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อน 56
รูปที่53 แสดงรูปตู้ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ 56
รูปที่54 แสดงรูปชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนหุ้มฉนวน 57
รูปที่55 แสดงรูปชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อน 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปกราฟ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอัตราการไหล 64
รูปกราฟ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับอัตราการไหล 65
รูปกราฟ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การทำความเย็นกับอัตราการไหลที่เวลาใดๆ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อาหารจึงเก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน ทำให้มีการนำวิธีถนอมอาหารแบบต่างๆ มาใช้ เพื่อคงคุณสมบัติของอาหาร ตัวอย่างเช่น การเก็บรักษาอาหารไว้ที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำมากๆ ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนจัดว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนในที่นี้มีความหมายคือ การส่งถ่ายพลังงานซึ่งมีผลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ เช่น การลดความร้อนจากวัตถุในอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี และการทำความเย็นในรูปแบบอื่นๆ เป็นต้น จะเห็นว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนมีความหมายตั้งแต่ขบวนการที่จะทำให้วัตถุมีอุณหภูมิลดต่ำลงถึงจุดที่ต้องการ รวมไปถึงวิธีการที่จะควบคุมให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิคงที่ ณ จุดที่ต้องการ ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงได้ขยายออกไปอย่างกว้างขวาง

ได้มีการนำการแลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทางด้านการผลิตอาหาร การเก็บรักษา และการส่งจำหน่ายแก่ผู้บริโภค อาหารบางอย่าง เช่น ผักผลไม้บางชนิด จะต้องส่งจำหน่ายในลักษณะสด จำเป็นต้องใช้การทำความเย็นในการคงความสดให้ไว้ได้นาน ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรม

ปัจจุบันได้มีการศึกษาค้นคว้าเรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อนกันมากขึ้นเพื่อใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารให้มีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนต่ำ และคุณค่าทางอาหารไม่สูญเสียไป สำหรับอาหารบางชนิดใช้วิธีแช่แข็ง เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นม ไอศกรีม เนยลูกกวาด เป็นต้น แต่ในอุตสาหกรรมอาหารเหลว นิยมใช้วิธีการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงนำมาสู่การศึกษาเรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น โดยใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการใช้เครื่องทำน้ำเย็น Shell and Tube Chiller เป็นอุปกรณ์ในการทำน้ำเย็น โดยมีน้ำยาทำความเย็นเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบ ถ้าหากควบคุมระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมาะสมก็จะสามารถทำให้ได้เห็นลักษณะการทำงานจริง โดยใช้หลักการทำงานอย่างง่ายๆ มีประสิทธิภาพเหมาะสมการศึกษาและให้ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลองเรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดลองเรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอุปกรณ์ Shell and Tube และ Plate Heat Exchanger
2. เพื่อศึกษาการนำระบบการทำความเย็น โดยอุปกรณ์ Shell and Tube และ Plate Heat Exchanger มาประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน
4. เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน

1.2 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนรวมและอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้หลักการทำงานอย่างง่ายๆ ราคาถูก มีประสิทธิภาพและสามารถเผยแพร่การใช้เครื่องและวิธีการที่เหมาะสมในการใช้งานให้แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาข้อมูลและผู้ที่สนใจ

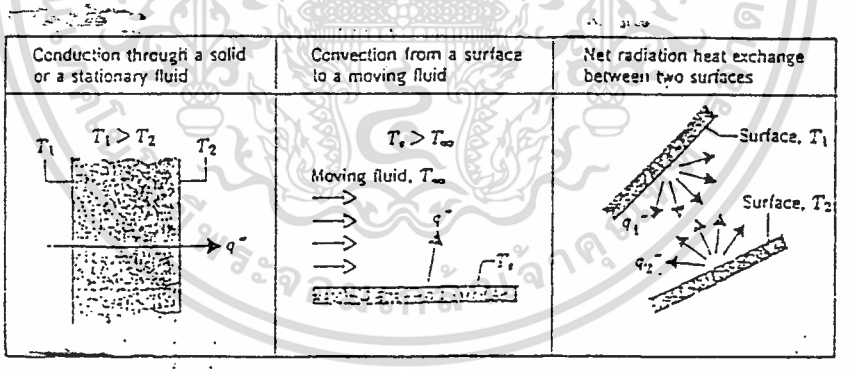
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน

คำจำกัดความอย่างง่าย ๆ ของการถ่ายเทความร้อน คือ การส่งถ่ายพลังงานซึ่งมีผลเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นเห็นได้ว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเสมอเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางใด ๆ

การถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น สามรูปแบบตามรูป 1 โดยคำว่า " การนำความร้อน (conduction)" ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน (คือเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ) ในตัวกลางที่อยู่กับที่ ซึ่งอาจจะเป็นของแข็งหรือของไหล ในขณะเดียวกันคำว่า " การพาความร้อน(convection)" นั้นใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิว และของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน รูปแบบที่สามการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ " การแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation)" ซึ่งวัตถุทุกชนิด ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะส่งพลังงานออกมาในรูปของเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) ดังนั้นจะมีการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกันเสมอแม้ว่าจะไม่มีตัวกลางก็ตาม



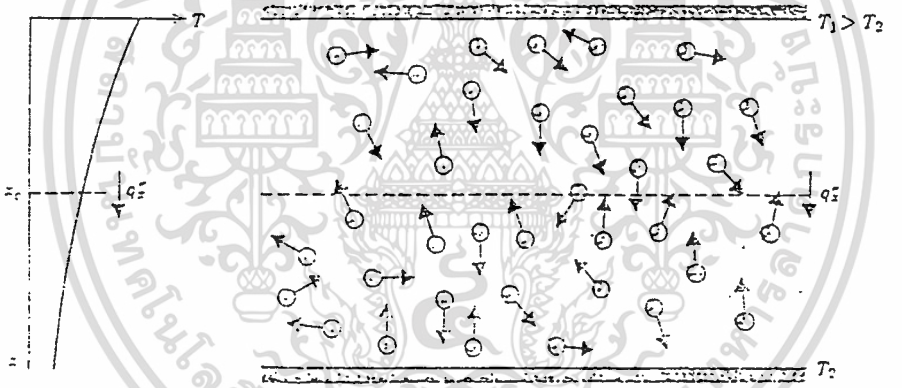
รูปที่ 1 การถ่ายเทความร้อนตามรูปแบบคือ การนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน

2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการนำความร้อนนั้นได้แก่ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตัวกลางหนึ่ง ๆ การนำความร้อนนั้นสามารถมองได้ว่าเป็นการส่งถ่ายพลังงานจากอนุภาคของสารที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่าเมื่ออนุภาค ทั้งสองมากระทบกัน กลไกทางกายภาพของการนำความร้อนสามารถอธิบายได้โดยการพิจารณาก๊าซจำนวนหนึ่ง ซึ่งแต่ละอนุภาคของก๊าซมีอุณหภูมิต่างกัน สมมุติว่าก๊าซนี้ไม่มีการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (no bulk motion) และก๊าซนี้อาจจะครอบคลุมบริเวณระหว่างพื้นผิวสองแห่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างกัน เช่น ในรูปที่ 2 ที่จุดใด ๆ ในบริเวณดังกล่าวก๊าซจะมี

อุณหภูมิค่าหนึ่ง และโมเลกุลของก๊าซ ณ จุดนี้จะมีพลังงานอยู่จำนวนหนึ่ง พลังงานนี้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ซึ่งไม่เป็นแบบแผน (random motion) และกับการสั่นสะเทือนของโมเลกุล โมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงจะมีพลังงานสูง การเคลื่อนที่ซึ่งไม่เป็นแบบแผนของโมเลกุลทำให้โมเลกุลของก๊าซกระทบกันอยู่เสมอ และเมื่อเกิดการกระทบกันก็จะเกิดการส่งถ่ายพลังงานระหว่างโมเลกุลขึ้น ถ้าโมเลกุลมีอุณหภูมิต่างกัน (เรียกว่ามี " temperature gradient" ในบริเวณที่ก๊าซครอบคลุมอยู่)

พลังงานที่ถูกส่งถ่ายนี้ก็คือพลังงานความร้อน และกระบวนการดังกล่าวนั้นเรียกว่า " การนำความร้อน" การถ่ายเทความร้อนนี้จะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับทิศทางที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2 การเคลื่อนที่ซึ่งไม่เป็นแบบแผนของโมเลกุลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านพื้นผิวสมมติ x_0 ขึ้นและลงอยู่เสมออย่างไรก็ดีโมเลกุลที่อยู่เหนือ x_0 มีอุณหภูมิสูงกว่า โมเลกุลที่อยู่ต่ำกว่า x_0 ดังนั้นจะมีการส่งถ่ายสุทธิ (net transfer) ของพลังงานในทิศทางบวกตามแกน X ในบางครั้ง การส่งถ่ายสุทธิของพลังงานซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่อันไม่เป็นแบบแผนของโมเลกุลนี้เรียกว่าการแพร่กระจาย (diffusion) ของพลังงาน



รูปที่ 2 การนำความร้อนมีลักษณะเป็นการแพร่กระจายโมเลกุล

สำหรับในของเหลวสถานะการณ์ก็จะเป็นเช่นเดียวกัน เพียงแต่โมเลกุลของของเหลวนั้นอยู่ใกล้กันมากกว่า ดังนั้นการนำความร้อนจึงเกิดในของแข็งได้ง่ายกว่าในของเหลวหรือก๊าซ ตัวอย่างของการนำความร้อนนี้เห็นได้ชัดเจนเมื่อจุ่มช้อนโลหะลงในกาแฟที่ร้อนจัด ซึ่งในที่สุดจะพบว่าส่วนของช้อนที่ไม่ได้จมอยู่ในกาแฟจะร้อนขึ้น ปรากฏการณ์นี้เป็นผลเนื่องมาจากการนำความร้อนในช้อนโลหะ

อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการอัตรา สมการเหล่านี้จะใช้ในการคำนวณหาจำนวนพลังงานความร้อนที่ถูกส่งถ่ายต่อหน่วยเวลา สมการอัตราสำหรับการนำความร้อนมีชื่อเรียกว่า กฎฟูเรีย (Fourier's law) สำหรับ กรณีในรูปที่ 3 ซึ่งการกระจายอุณหภูมิในผนังราบเป็นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิติเดียวหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าอุณหภูมิ T(x) แปรผันกับระยะทางตามแกน X เท่านั้น สมการฟูเรียเขียนได้เป็น

$$q''_x = -k\frac{dT}{dx} \qquad (1)$$

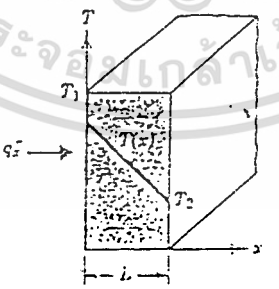
โดยที่ q''_x (หน่วย W/m^2) ซึ่งเรียกว่า "heat flux" ได้แก่อัตราการถ่ายเทความร้อนในทิศทาง x ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางของการถ่ายเทความร้อนจากสมการเห็นได้ว่า q''_x แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature gradient : dT/dx) ในทิศทาง x นี้ ค่า k คือค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันซึ่งเป็นคุณสมบัติในการส่งถ่ายพลังงาน (เรียก transport property) และมีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity : W/m.K) ค่าของมันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำผนัง เครื่องหมายลบในสมการนี้เป็นเพราะความร้อนจะต้องถ่ายเทในทิศทางที่อุณหภูมิลดลงเสมอ ภายใต้สภาวะคงตัวการกระจายอุณหภูมิในผนังจะเป็นสมการเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 3 และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ตามทิศทาง x เขียนได้เป็น

$$\frac{dT}{dx} = \frac{(T_2 - T_1)}{L} \qquad (2)$$

ดังนั้น "heat flux" มีค่าเท่ากับ

$$q''_x = -k\frac{(T_2 - T_1)}{L} \qquad (3)$$

สมการที่ 2 ให้ค่าของ "heat flux" หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อน(โดยการนำความร้อน) ทั้งหมด q_x ผ่านผนังซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A มีค่าเท่ากับผลคูณของ"heat flux" และพื้นที่ดังกล่าว หรือ $q_x = q''_x.A$

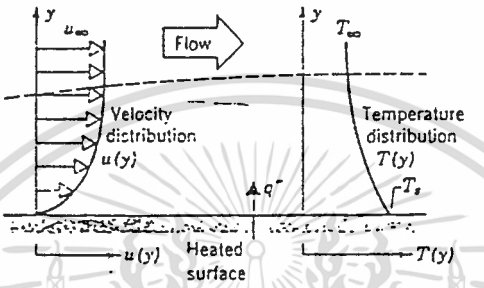


รูปที่ 3 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การพาความร้อน(convection)

การพาความร้อนนั้นประกอบไปด้วยกลไกสองชนิด คือนอกจากพลังงานซึ่งถูกส่งถ่ายโดยการเคลื่อนที่ไม่เป็นแบบแผนหรือที่เรียกว่า การแพร่กระจาย ยังมีพลังงานซึ่งถูกส่งถ่ายเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน(bulk หรือ macroscopic motion) ของของไหล โดยสากลนิยมใช้ชื่อ "convection" เมื่อกล่าวถึงผลรวมของกลไกทั้งสองชนิด คำว่า "advection" นั้นจะใช้เมื่อกล่าวถึงการส่งถ่ายอันเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (bulk motion) ของของไหล



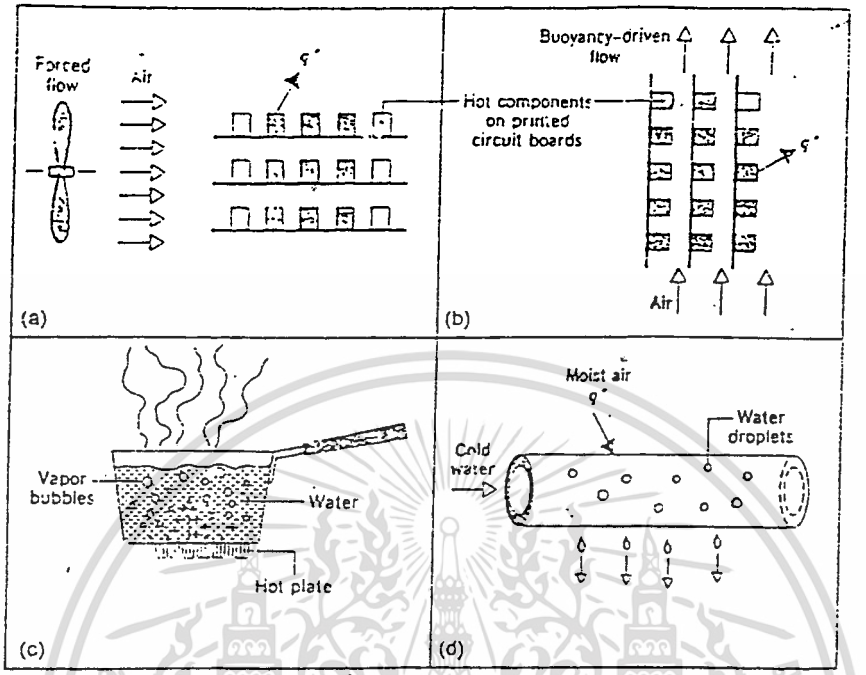
รูปที่ 4 การเกิด boundary layer ในการพาความร้อน

การพาความร้อน กรณีซึ่งได้รับความสนใจเป็นกรณีพิเศษได้แก่ กรณีที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่านวัตถุซึ่งมีอุณหภูมิต่างกับของไหล เช่นในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการไหลผ่านพื้นที่ผิวที่ร้อน ความหนืดของของไหลทำให้เกิดย่านการไหลที่ ของไหลมีความเร็วเปลี่ยนแปลงจากศูนย์ที่พื้นผิวจนถึงความเร็วค่าหนึ่ง (u_α)และชั้นของไหลในย่านนี้มีชื่อเรียกว่า "hydrodynamic หรือ velocity boundary layer" นอกจากนั้นแล้วถ้าพื้นผิวและของไหลส่วนใหญ่มีอุณหภูมิต่างกันก็จะมีย่านหนึ่งในของไหลที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก T_s ที่พื้นที่ผิว(ที่ y = 0) ถึง T_α ที่ระยะหนึ่งจากพื้นผิว ชั้นของไหลในย่านนี้มีชื่อเรียกว่า "thermal boundary layer" ซึ่งอาจจะบางกว่า หนากว่า หรือมีขนาดเดียวกันกับ "velocity boudary layer" ก็ได้ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นกรณีใด ถ้า $T_s > T_\alpha$ จะมีการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการพาความร้อนจากพื้นผิวสู่ของไหลเสมอ

การพาความร้อนอาจจะแบ่งออกได้ตามธรรมชาติของการไหล โดยเรียกการรพาความร้อนว่าเป็นแบบ บังคับ(Force Convection) เมื่อการไหลมีสาเหตุเนื่องมาจากการกระทำภายนอก เช่น โดยพัดลม ปั๊ม ฯลฯ ส่วนการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) นั้น การเคลื่อนของของไหลมีสาเหตุเนื่องมาจากแรงลอยตัวในของไหล แรงเหล่านี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากมีความแตกต่างอุณหภูมิในของไหล ตัวอย่างของ การพาความร้อนตามธรรมชาติ ได้แก่ การพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างพื้นถนนที่ร้อนจัดกับอากาศเหนือถนน อากาศในย่านที่อยู่ติดกับถนนมีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของอากาศที่เย็นกว่าข้างบน ดังนั้นอากาศ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ร้อนจะลอยตัวขึ้นและอากาศที่เย็นจะเคลื่อนที่ลงมาแทน ทำให้เกิดการไหลวนของกระแสอากาศ รูปที่ 5 แสดงการพาความร้อนแบบต่างๆ



รูปที่ 5 กระบวนการพาความร้อน a) การพาความร้อนแบบบังคับ b) การพาความร้อนตามธรรมชาติ c) การเดือด d) การควบแน่น

อย่างไรก็ตามไม่ว่าธรรมชาติของการพาความร้อนจะเป็นเช่นใด สมการสำหรับใช้คำนวณอัตราการพาความร้อนจะเขียนอยู่ในรูป

$$q'' = h(T_s - T_\alpha) \qquad (3)$$

โดยที่ q" คือค่า "Convective Heat Flux"(หน่วย W/m^2) ซึ่งแปรผันตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและของไหล T_s และ T_α ตามลำดับ สัมประสิทธิ์ของการแปรผัน h (หน่วย W/m^2K) มีชื่อเรียกว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(Convective Heat Transfer Coefficient) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่าเป็น "Film Conductance หรือ Film Coefficient" สมการที่ 3 มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า "Newton's Law of Cooling" เป็นสมการที่รวมผลทั้งหมดที่ทำให้เกิดการพาความร้อน เช่นสภาพต่าง ๆ ในการไหล ไว้เป็นสัมประสิทธิ์เพียงตัวเดียว การพาความร้อนมักปรากฏเป็นเงื่อนไขที่ขอบเขต (Boundary Condition) ของสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการนำความร้อนอยู่เสมอ โดยในเบื้องต้นนี้จะสมมติว่าค่า h เป็นค่าที่รู้ โดยใช้ค่าคร่าว ๆ จากตาราง เช่น ตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table typical value of the convection heat transfer coefficient	
PROCESS	h (W/m^2K)
Free convection	
Gases	2-25
Liquids	50-1,000
Force convection	
Gases	25-250
Liquids	50-20,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2,500-100,000

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานความร้อน ซึ่งแผ่ออกโดยสาร ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ แม้ว่าเราจะเน้นการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวที่เป็นของแข็ง แต่การแผ่รังสีนั้นสามารถเกิดขึ้นโดยของเหลวหรือก๊าซ และไม่ว่าสารจะมีสถานะใดก็ตามการแผ่รังสีจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบอิเลคตรอนในอะตอมสาร พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Eletromagnetic Waves) และในขณะที่การนำและการพาความร้อนจะเป็นต้องมีตัวกลาง แต่การแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่ต้องการตัวกลาง ซึ่งที่จริงแล้วการแผ่รังสีความร้อนจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในสูญญากาศ

รังสีความร้อนที่พื้นผิวใด ๆ สามารถแผ่ออกไปได้มากที่สุด (Maximum Flux;W/m^2) นั้นเป็นไปตามสมการซึ่งเรียกว่า "Stefan-Botzmann Law"

$$q'' = \delta T_s^4 \qquad (4)$$

โดยที่ T_s คืออุณหภูมิสมบูรณ์(Absolute Temperature;K) ของพื้นผิวและ δ คือ "Stefan Boizmann Constant"($\delta = 5.67 \times 10^{-8}\ W/m^2K^4$)

สมการที่ 4 คือสมการการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวทางอุดมคติ ซึ่งเรียกว่า วัตถุดำ(Black Body) ค่า "Heat Flux" ที่ส่งออกมาจากพื้นผิวที่แท้จริงจะมีค่าน้อยกว่านี้และเป็นไปตามสมการ

$$q'' = \varepsilon \delta T_s^4 \qquad (5)$$

โดยที่ ε คือคุณสมบัติของการแผ่รังสีความร้อนตัวหนึ่ง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า "Emissivity" เป็นตัวบอกประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว โดยเปรียบเทียบกับวัตถุดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 5 นั้นใช้สำหรับหาอัตราการแผ่รังสีความร้อน โดยพื้นผิวหนึ่ง ๆ เท่านั้น การหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิระหว่างพื้นผิวต่าง ๆ นั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่ามาก อย่างไรก็ดี กรณีพิเศษที่พบบ่อยในทางปฏิบัตินั้น มักเกี่ยวพันกับอัตราการแลกเปลี่ยนสุทธิระหว่างพื้นผิวเล็ก ๆ กับพื้นผิวขนาดใหญ่กว่ามาก ซึ่งครอบคลุมพื้นผิวเล็กไว้ทั้งหมดดังรูปที่ 6 ถ้าสมมติว่าพื้นผิว และสิ่งแวดล้อม นั้นแยกกัน โดยก๊าซซึ่งไม่มีผลต่อการแผ่รังสีความร้อน อัตราการส่งถ่ายรังสีความร้อนสุทธิระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม(ต่อหน่วยพื้นที่ของพื้นผิว) สามารถคำนวณได้จาก

$$q'' = q/A = \varepsilon\delta(T_s^4 - T_{Sur}^4) \qquad (6)$$

โดยที่ A คือพื้นที่ของพื้นผิว ε คือค่า "Emissivity" ของพื้นผิว และ T_{SUR} คืออุณหภูมิสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อม สำหรับกรณีพิเศษนี้ พื้นที่ และ "Emissivity" ของสิ่งแวดล้อมจะไม่มีผลต่อ q"

ในหลายกรณี อัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิมักเขียนในรูปที่สะดวกกว่า และให้คล้ายคลึงกับ "Newton's Law of Cooling" คือ

$$q_{rad} = h_r A(T_s - T_{SUR}) \qquad (7)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfe Coefiicient) ได้แก่

$$h_r = \varepsilon\delta(T_s^2 - T_{Sur}^2)(T_s - T_{Sur}) \qquad (8)$$

ซึ่งที่จริงแล้วสมการที่ 7 เป็นเพียงการจัดรูปของสมการให้คล้ายกับกรณีของการพาความร้อน แต่สามารถสังเกตได้จากสมการที่ 8 ว่า h_r นั้นเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ และขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิอย่างมาก ในขณะเดียวกันในกรณีนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจากพื้นผิวคือผลรวมอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองแบบ นั่นคือ

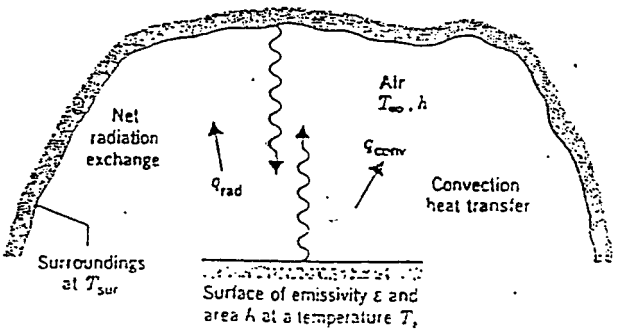
$$q = q_{conv} + q_{rad}$$

หรือ

$$q = hA(T_s - T_\alpha) + \varepsilon A\delta(T_s^4 - T_{SUR}^4) \qquad (9)$$

ในที่นี้ q_{conv} ค่าผลคูณของ "Heat Flux" ในสมการที่ 3 กับพื้นที่ผิว T_α คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม (รูปที่ 6)

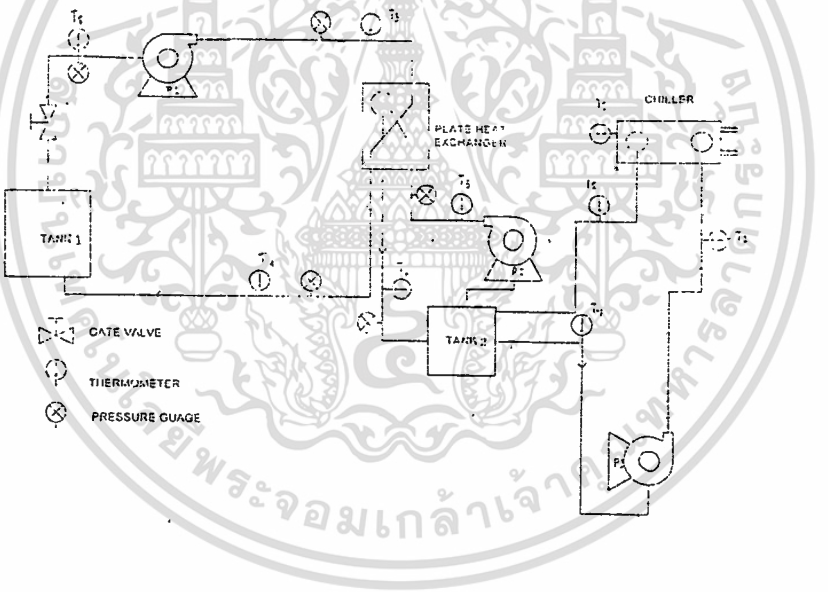
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม

2.2 ส่วนประกอบของระบบการแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทำอุปกรณ์การทดลองเรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อน ได้ประยุกต์นำเอาระบบปรับอากาศ และระบบการถ่ายเทความร้อนมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์ชิ้นนี้ โดยมีไดอะแกรมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนดังรูป



รูปที่ 7 ไดอะแกรมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

จะเห็นได้ว่าชุดอุปกรณ์ทดลองนี้จะประกอบไปด้วยกระบวนการพื้นฐาน 4 กระบวนการ คือ การระเหย,การอัดตัว,การควบแน่น และการขยายตัวแบบทรอททลิ้ง ซึ่งประกอบด้วย เครื่องควบแน่น,เครื่องอัด,อีแวปโพเรเตอร์ ซึ่งมีสาร R-22 เป็นสารความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เครื่องควบแน่น (condenser)

เครื่องควบแน่นเป็นอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ไอร้อนจากสารความเย็นซึ่งไหลไปตามผนังท่อของเครื่องควบแน่นจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารหล่อเย็น และผลจากการถ่ายเทความร้อนนี้จะทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลว เครื่องควบแน่นสามารถแยกในแบบของตัวกลางหล่อเย็นได้ดังนี้ คือ แบบน้ำหล่อเย็น (water-cooled) แบบอากาศหล่อเย็น(air-cooled) และแบบรวมของอากาศและน้ำหล่อเย็นที่เรียกว่า evaporative condenser ระบบการใช้งานที่มีขนาดการทำความเย็นจำนวนมากเกือบทั้งหมดที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบอากาศหล่อเย็น สำหรับระบบทำความเย็นขนาดเล็ก (10 ตัน และน้อยกว่า) เครื่องควบแน่นแบบหล่อเย็นใช้ได้ดีสำหรับระบบในบ้านเรือน และสำหรับที่ซึ่งค่าใช้จ่ายของน้ำมีราคาสูงหรือที่ที่มีปัญหาการกำจัดน้ำหรือที่ที่มีปริมาณน้ำเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดความเสียหาย evaporative condenser จะใช้ในระบบการทำงานขนาดปานกลาง

ระบบเครื่องควบแน่นแบบใช้น้ำหล่อเย็น มี 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้น้ำแล้วทิ้งและระบบที่ใช้น้ำหมุนเวียน ระบบที่ใช้น้ำแล้วทิ้งนี้จะคำนึงถึงราคาของน้ำเป็นสิ่งสำคัญ ในการคำนวณหาปริมาตรการไหลของน้ำต่อหน่วยภาระของเครื่องควบแน่นนั้น ทั่วไปแล้วราคาที่ประหยัดคิดจากความสมดุลระหว่างราคาน้ำ และพลังงาน คิดอัตราการไหลโดยประมาณ 0.025 ลิตร/วินาที ต่อ 1 KW ของความสามารถในการทำความเย็น ในระบบที่ใช้น้ำหมุนเวียนนี้ น้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่นจะถูกส่งตามท่อไปยังหอทำน้ำเย็น(cooling tower) เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะกลับเข้าเครื่องควบแน่นอีกครั้ง โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายค่าพลังงานที่ใช้จะประหยัดที่สุดเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในระบบอยู่ระหว่าง 0.045 และ 0.06 ลิตร/วินาทีต่อ 1KW

เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเป็นฟังก์ชั่นของเวลา เมื่อปริมาณน้ำน้อยอุณหภูมิในเครื่องควบแน่นจะเพิ่มขึ้น เพราะว่าเวลาที่น้ำสัมผัสกับไอสารความเย็นที่ไหลอยู่ในเครื่องควบแน่นจะนานกว่า ในทางกลับกันน้ำมีอัตราการไหลสูง ความเร็วของน้ำจะเพิ่มขึ้นเวลาที่น้ำสัมผัสกับไอสารความเย็นในเครื่องควบแน่นจะน้อยอุณหภูมิก็จะลดต่ำลงแต่ควรจะให้ระบบที่ทำงานในช่วงเวลาที่สั้นเพื่อลดความดันที่ลดลงให้น้อยที่สุด

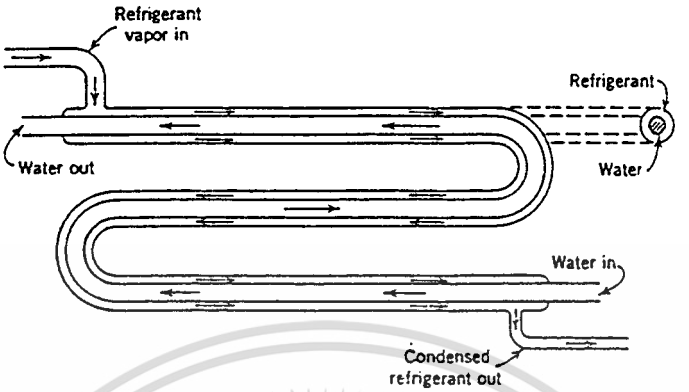
2.2.1.1 เครื่องควบแน่นแบบใช้น้ำหล่อเย็น (Water-coled condensers)

เครื่องควบแน่นชนิดนี้ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นในระบบ เพื่อให้สารทำความเย็นในสถานะก๊าซภายในเครื่องควบแน่นกลั่นตัวเป็นสารทำความเย็นเหลว ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ท่อคู่ (double tube)
2. เปลือกและคอยล์(Shell and coil)
3. เปลือกและท่อ(Shell and tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบแน่นท่อคู่ประกอบด้วยท่อ 2 ท่อซ้อนกันอยู่ โดยท่อหนึ่งสอดอยู่ในอีกท่อหนึ่ง น้ำหล่อเย็นจะไหลในท่อใน ส่วนสารความเย็นจะไหลสวนทางในท่อนอก การไหลในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เครื่องควบแน่นมีการจัดรูปร่างหลายลักษณะตามรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 8 เครื่องควบแน่นใช้น้ำหล่อเย็นแบบท่อคู่

เครื่องควบแน่นแบบเปลือกและคอยล์ ประกอบด้วยท่อเปลือยหรือท่อและมีครีบ แล้วเชื่อมปิดด้วยเปลือกที่หุ้มปิดท่อคอยล์ น้ำหล่อเย็นจะไหลในท่อซึ่งขดเป็นคอยล์ ส่วนสารความเย็นจะไหลอยู่ภายในเปลือกหุ้มปิดท่อคอยล์ ไอร้อนของสารความเย็นจะผ่านเข้าด้านบนของเปลือก จากนั้นจะกลั่นตัวเมื่อไหลผ่านคอยล์ลงไปข้างล่างของเปลือก ซึ่งทำหน้าที่เป็นถังเก็บไปในตัว

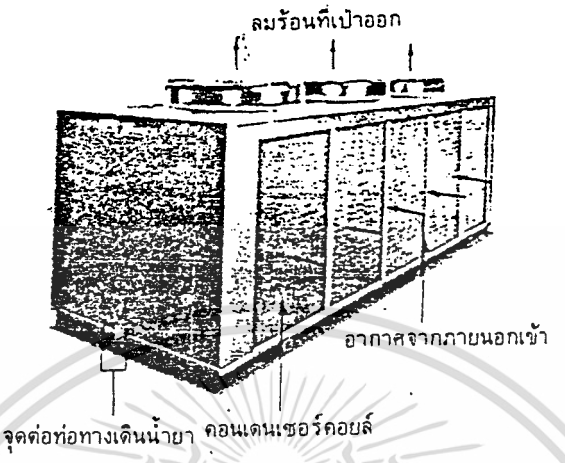
เครื่องควบแน่นแบบเปลือกและท่อ ประกอบด้วย เปลือกโลหะเหล็ก โดยมีท่อบาง ๆ หรือโครงถูกเชื่อมในปลายแต่ละด้าน ทั้งท่อแบบผิวเรียบหรือท่อแบบครีบจะถูกสอดผ่านรูต่าง ๆ ในท่อบางและเดินไปตามยางของเปลือก ส่วนปลายของแต่ละท่อจะถูกม้วนเข้าไปในโครงของท่อเพื่อทำให้การต่อไม่มีน้ำไหลออกมา โดยมี Header สวมอยู่ในแต่ละด้านซึ่งยึดเหนือท่อโครง Header นี้จะด้านทานโดยน้ำที่ถูกส่งเพื่อทำให้ผ่านได้หลาย ๆ ทางในเครื่องควบแน่น ลักษณะปกติน้ำจะไหลเวียนผ่านท่อต่าง ๆ และสารความเย็นอยู่ในเปลือกท่อ

2.2.1.2 เครื่องควบแน่นแบบใช้อากาศหล่อเย็น(Air-Cooled Condensers)

เครื่องแบบนี้มีความต้องการการบำรุงรักษาน้อย ซึ่งจะใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนออกจากผิวของเครื่องควบแน่น ซึ่งอาจเป็นอากาศที่หมุนเวียนโดยธรรมชาติหรืออาจใช้พัดลมช่วยก็ได้ สำหรับแบบที่ใช้อากาศพาความร้อนออกจากผิวของเครื่องควบแน่นโดยธรรมชาติ ปริมาณของอากาศที่หมุนเวียนผ่านผิวของเครื่องควบแน่นจะมีจำนวนน้อยและเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนออกจากเครื่องควบแน่นเป็นไปอย่างเพียงพอจึงจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิวของเครื่องควบแน่นให้มีขนาดใหญ่ ฉะนั้นเครื่องควบแน่นแบบใช้อากาศหมุนเวียน โดยธรรมชาติจึงมีขีดจำกัดในการใช้งานคือใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.แบบใช้อากาศหมุนเวียนพาความร้อนออกโดยธรรมชาติ อากาศโดยรอบเครื่องควบแน่นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศปกติ จึงลอยตัวสูงขึ้น อากาศซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่เพื่อการระบายความร้อนออกจากผิวของเครื่องควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เครื่องควบแน่นแบบใช้อากาศหล่อเย็น

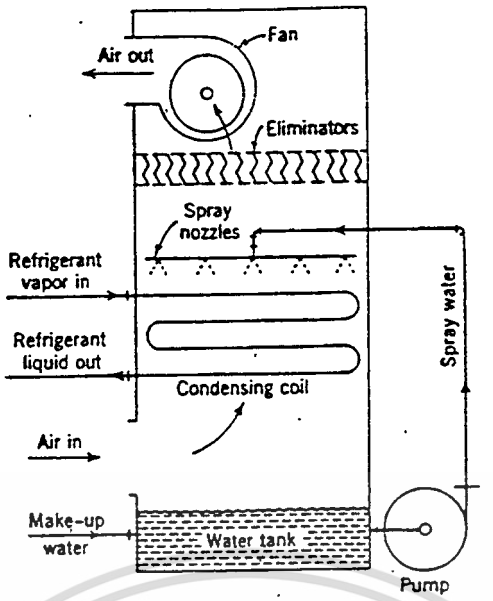
2. แบบมีพัดลมช่วย เครื่องควบแน่นแบบนี้จะใช้พัดลม ช่วยในการเพิ่มปริมาณลมที่ผ่านผิวของเครื่องควบแน่นมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดขนาดของเครื่องควบแน่นมากขึ้น และช่วยให้สามารถลดขนาดของเครื่องควบแน่นให้เล็กลงได้ เช่นคอนเดนเซอร์ยูนิต ซึ่งเครื่องควบแน่นแบบนี้สามารถใช้กับเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศขนาดตั้งแต่ 1 ตันไปถึง 100ตันหรือมากกว่า

โครงสร้างของเครื่องควบแน่นชนิดนั้นประกอบด้วยขดท่อเหล็ก หรือทองแดง และมีครีบอลูมิเนียมเป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนโดยอากาศที่ผ่านเข้ามาบนผิวหน้าของเครื่องควบแน่น อากาศที่ผ่านเครื่องควบแน่นนี้เป็นอากาศที่ได้จากพัดลม ถ้ามีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกอื่นๆ อุดตันที่ครีบของเครื่องควบแน่น จะทำให้การระบายความร้อนออกจากน้ำยาเพื่อกลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลวไม่ดี และความดันในระบบด้านความดันสูงจะสูงเกินเกณฑ์ ทำให้มอเตอร์เครื่องอัดกินกระแสสูง

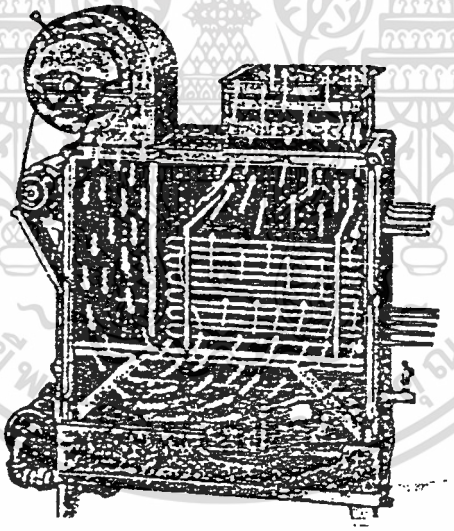
2.2.1.3 เครื่องควบแน่นแบบระเหยตัว

การทำงานปั๊มจะทำการปั๊มน้ำจากอ่างข้างล่างขึ้นไปที่หัวฉีดด้านบน และพ่นเป็นละอองฝอยลงมาผ่านคอยล์สารความเย็น และไหลกลับลงไปที่อ่างเก็บด้านล่าง ส่วนอากาศจะเข้าจากภายนอกทางด้านล่าง และถูกพัดลมซึ่งติดไว้ด้านบนเป่าออกไป อากาศที่ผ่านไปทางด้านล่างนี้จะพาเอาน้ำที่พ่นเป็นละอองไปด้วย จึงมีแผ่น eliminator เป็นตัวละอองไอน้ำตามรูปที่ 10 บางแบบอาจใช้ blower ดูดอากาศจากด้านล่างและเป่าอากาศผ่านละอองน้ำไปออกด้านบนดังรูปที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แผนภาพเครื่องควบแน่นแบบระเหยตัว

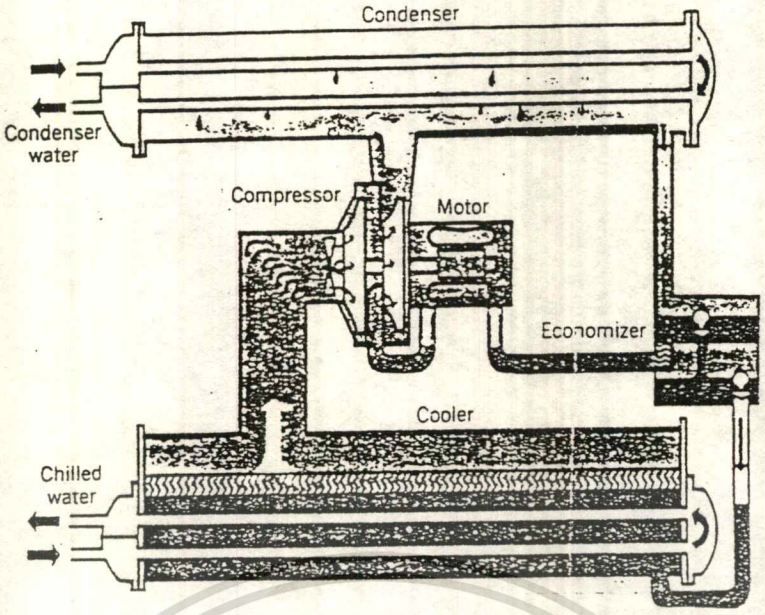


รูปที่ 11 รูปตัดของ dry-fan เครื่องควบแน่นแบบระเหย

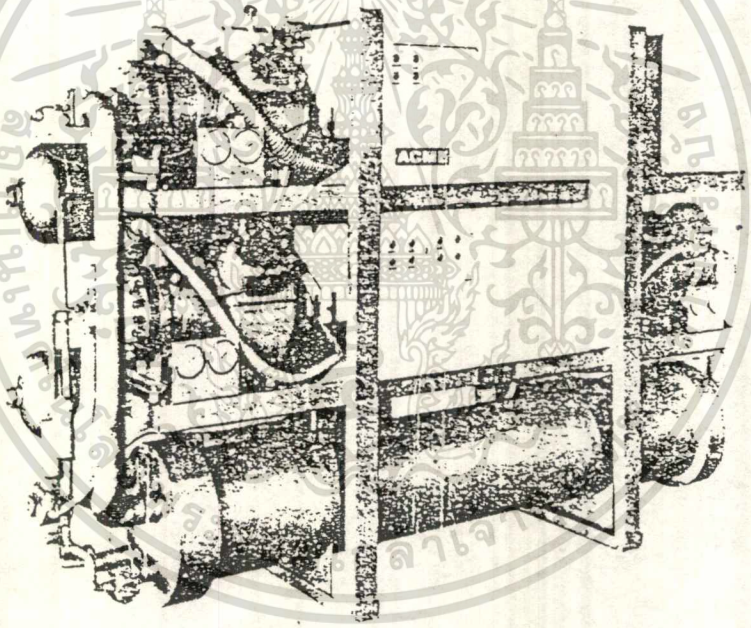
Water Chiller Condensing Unit

Water Chiller Condensing Unit ที่มีขนาดตั้งแต่ 200 ตัน ปกติเป็นแบบ Turbocompresser ดังรูปที่ 12 ได้แสดงเครื่องทั่วไปของเครื่องแบบนี้ Water chiller ในช่วงขนาด 50 ตัน ที่ใช้เครื่องอัดแบบลูกสูบเคลื่อนที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 Water Chiller Turbocompresser



รูปที่ 13 Water Chiller ขนาด 50 ตัน

2.2.2. อีแวปโพเรเตอร์ (Evaporator)

อีแวปโพเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการที่ของเหลวระเหยกลายเป็นไอ เพื่อจุดประสงค์ในการดึงเอาความร้อนออกไปจากผลิตภัณฑ์ หรือช่องว่างที่ต้องการทำให้เย็น และเพราะว่าเครื่องทำความเย็นแบบทางกลถูกนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการออกแบบและผลิตอีแวปโพเรเตอร์จึงมีความแตกต่างกัน ทั้งชนิด รูปร่าง ขนาดและการออกแบบ การแบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบและผลิตอีแวปโพเรเตอร์จึงมีความแตกต่างกัน ทั้งชนิด รูปร่าง ขนาดและการออกแบบ การแบ่งชนิดของอีแวปโพเรเตอร์จึงมีวิธีการแบ่งแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น แบ่งตามโครงสร้างตามลักษณะการทำงาน วิธีการหมุนเวียนของอากาศ หรือน้ำที่ผ่านอีแวปโพเรเตอร์ ชนิดของอุปกรณ์ควบคุมการไหลของน้ำยา และชนิดของเครื่องทำความเย็นที่ใช้งาน

2.2.2.1 แบบตามโครงสร้าง (type of construction) อาจแบ่งได้เป็นแบบย่อยๆ ได้ 3 แบบ คือ

1.แบบเปลือย (bare-type)

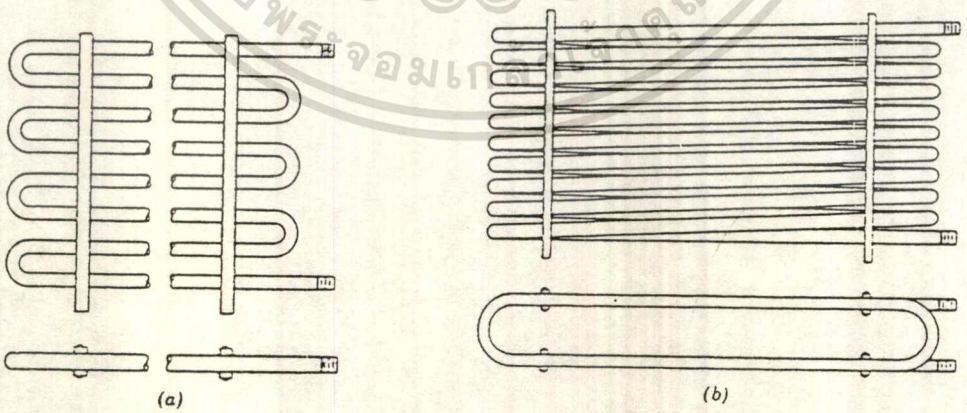
2.แบบแผ่น (plate-surface)

3.แบบครีบ (finned)

ในแบบเปลือยและแบบแผ่นบางครั้งอาจจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันรวมเรียกว่า แบบผิวหน้าขั้นต้น (prime-surfaced evaporator) ซึ่งพื้นที่ผิวทั้งหมดจะสัมผัสกับสารความเย็น ส่วนแบบครีบนั้นตัวครีบจะไม่เป็นผิวหน้าขั้นต้น เพราะไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับสารความเย็นและตัวครีบจะเป็นขั้นสอง(sevondary-surface) ซึ่งครีบจะทำหน้าที่เพียงดูดความร้อนจากอากาศบริเวณรอบอีแวปโพเรเตอร์ และส่งผ่านความร้อนให้กับตัวอัดอีกทีหนึ่ง

- อีแวปโพเรเตอร์แบบท่อเปลือย(bare-type evaporator)

แบบนี้มักจะสร้างจากท่อเหล็กหรือท่อทองแดง ท่อเหล็กมักจะใช้กับสารความเย็นพวกแอมโมเนีย เพราะทองแดงจะทำปฏิกิริยาแล้วเกิดการสึกกร่อน และมักใช้กับการทำความเย็นขนาดเล็กและสารความเย็นที่ไม่ใช้แอมโมเนียอื่นๆ อีแวปโพเรเตอร์แบบท่อเปลือยนี้มีหลายขนาดหลายแบบ และมักใช้กับงานแต่ละอย่างแยกกันไป รูปร่างโดยทั่วๆ ไปจะเป็นแบบซิกแซก และ oval trombone ดังแสดงในรูปที่ 14



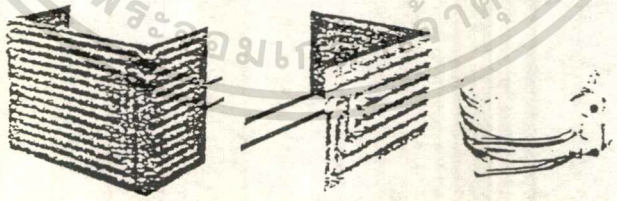
รูปที่ 14 การออกแบบท่อเปลือยแบบธรรมดา (a) ท่อแบบซิกแซก (b) ท่อแบบ oval trombone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่น (plate-surface evaporator)

แบบนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายแบบ บางอย่างสร้างโดยใช้โลหะแผ่น 2 แผ่น แผ่นหนึ่งกดขึ้นเป็นลอนนูนอีกแผ่นเรียบ แล้วทำการเชื่องติดกัน และช่องที่เป็นลอนนูนจะทำเป็นท่อทางของสารทำความเย็น ดังรูปที่ 15 สำหรับอีแวปโพเรเตอร์แบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในพวกตู้เย็นภายในบ้าน เพราะทำความสะอาดง่าย และผลิตขายเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นยังสามารถขึ้น รูปได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 16

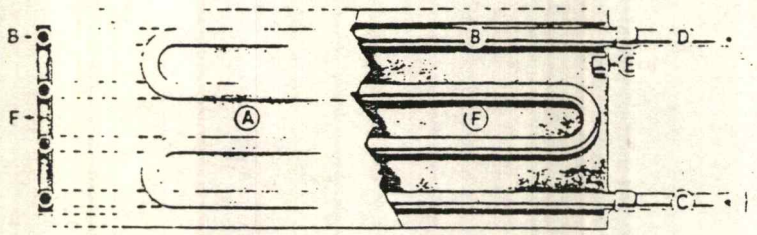
รูปที่ 15 อีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่นขึ้นรูปเป็นลอนนูน



รูปที่ 16 อีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่นรูปร่างต่างๆ กัน

แบบอื่นๆ ของอีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่น ประกอบขึ้นด้วยการนำท่อสารทำความเย็นมาประกบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่น แล้วเชื่อมติดกันที่ขอบของโลหะ 2แผ่นนี้ ดังรูปที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 อีแวปโพเรเตอร์แบบแผ่น

(A) แผ่นด้านนอกเสื้อเชื่อมไฟฟ้าผิวหน้าเรียบ

(B) ท่อผ่านของสารความเย็น

(C) ทางเข้าจากเครื่องอัด

(D) ทางออกไปยังเครื่องอัด ใช้ทองแดงสำหรับสารความเย็นทุกชนิดยกเว้นแอมโมเนียใช้ท่อเหล็ก

(E) ช่องทางทำให้เป็นสูญญากาศแล้วปิดอย่างถาวร

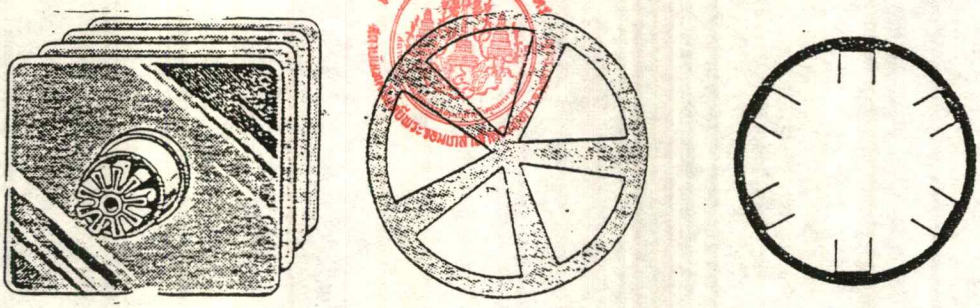
(F) พื้นที่ภายในแผ่นสูญญากาศบรรจุสารบูเทคติคภายใต้สูญญากาศไม่ต้องบำรุงรักษา ติดตั้งง่าย ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ ไม่มีการสึกหรอหรือเสีย

และเพื่อที่จะทำให้หน้าสัมผัสของโลหะ 2 แผ่นดียิ่งขึ้น เพื่อการถ่ายเทความร้อนที่ดียิ่งขึ้นไปอีก อาจทำได้โดยเติมสาร eutectic solution ลงไปในช่องว่างของโลหะทั้ง 2 หรือดูดอากาศระหว่างแผ่นโลหะออก เพื่อให้ความดันอากาศภายนอกกดแผ่นโลหะให้แนบกันยิ่งขึ้น อีแวปโพเรเตอร์แบบนี้มักจะใช้รถบรรทุกที่มีตู้เย็น ซึ่งในกรณีนี้อีแวปโพเรเตอร์สามารถติดตั้งได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน จากผนังหรือเพดานของรถบรรทุกก็ได้

- อีแวปโพเรเตอร์แบบครีบ(finned evarporators)

เป็นการสร้างจากท่อเปลือยธรรมดา เพียงแต่เพิ่มแผ่นโลหะลงไปที่เรียกกันว่าครีบ ดังรูปที่ 18 ตัวครีบจะเป็นลักษณะของพื้นผิวขั้นที่ 2 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นผิวด้านนอกของอีแวปโพเรเตอร์อันจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความเย็นให้มากขึ้น โดยครีบจะทำตัวเสมือนเป็นตัวเก็บความร้อนจากอากาศบริเวณริบๆที่ไม่ได้สัมผัสกับท่อโดยตรง แล้วครีบก็จะทำการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อของสารความเย็นอีกต่อหนึ่งอย่างไรก็ตามผลของครีบจะดีเพียงใดยังต้องขึ้นอยู่กับการติดครีบให้กับท่อได้ดีเพียงใด ถ้าติดไม่แนบสนิทจะมีผลให้การนำความร้อนน้อยลงไปอย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 การเรียงครีบแบบต่างๆ

ขนาดของครีบและระยะช่องว่างระหว่างครีบจะเป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของการใช้งานของคอยล์สารความเย็น ซึ่งขนาดของท่อจะเป็นตัวกำหนดขนาดของครีบ ถ้าเล็กก็จะใช้ครีบเล็กเป็นต้น ส่วนช่องว่างระหว่างครีบโดยมากอยู่ในช่วง 40 ถึง 500 ครีบต่อเมตรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน การเกิดน้ำแข็งเกาะเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อากาศไหลผ่านช่องว่างของครีบไม่ได้นั้น เราสามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยการขยายขนาดช่องว่างระหว่างครีบให้มากขึ้น

ถ้าใช้คอยล์ในลักษณะแบบที่ให้อากาศไหลเวียนโดยธรรมชาตินั้น เราจะต้องไม่ทำให้ครีบเป็นตัวขัดขวางการไหลของอากาศ ซึ่งก็ทำได้โดยการเพิ่มขนาดของช่องว่างระหว่างครีบให้มากขึ้น

อย่างไรก็ตามถ้าใส่ครีบมากเกินไป อาจจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากถ้ามีครีบมากก็จะเป็นตัวต้านทานการไหลของอากาศ และทำให้สัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนมากขึ้นด้วย แต่ถ้าใส่ครีบพอประมาณแล้วจะมีผลดีคือ ในประสิทธิภาพที่เท่ากัน อีแวปโพเรเตอร์แบบครีบจะมีขนาดเล็กกว่าแบบท่อเปลือย ดังนั้นจึงนิยมใช้กับระบบที่มีพัดลมเป็นตัวพัดพาอากาศ และระบบที่มีพื้นที่ติดตั้งน้อย

ข้อได้เปรียบของครีบ (The advantage of fins)

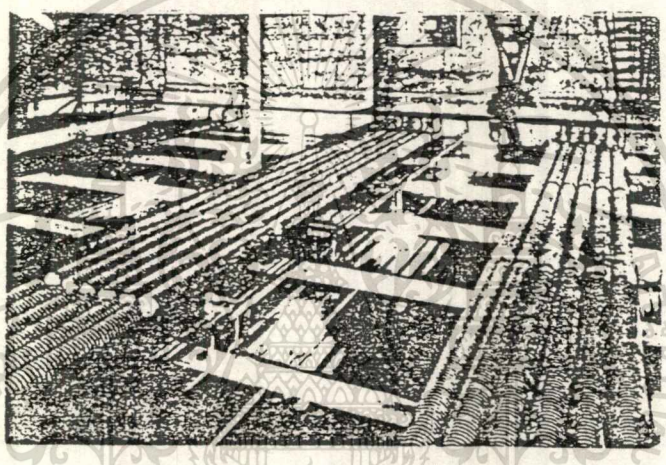
ข้อดีต่างๆ ของครีบนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มที่ผิวใน และนอกท่อ และขึ้นอยู่กับอัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกต่อภายใน โดยปกติทั่วไปความร้อนที่ถูกดูดโดยสารความเย็นจะมากกว่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าที่ผิวนอกท่อ ถ้าเราเพิ่มครีบเข้าไปจะทำให้พื้นที่ ภายนอกเพิ่มขึ้น อันจะเป็นการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นจนเกือบเท่ากับอัตราการดูดความร้อนภายในท่อ ทำให้สมรรถนะในการทำงานของอีแวปโพเรเตอร์ดีขึ้น และเพราะว่าการถ่ายเทความร้อนจะมีมากขึ้นเมื่อถ่ายเทกับของเหลว ด้วยเหตุนี้ในระบบของอีแวปโพเรเตอร์ที่ใช้อากาศหมุนเวียนจะนิยมใช้แบบครีบเพื่อให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีมากขึ้น ส่วนในแบบใช้ของเหลวหมุนเวียนอาจไม่ต้องใช้ครีบช่วยก็ได้ ในบางครั้ง เช่น ใช้ fluorocarbon เป็นสารความเย็น และใช้ของเหลวไหล เวียนรอบ
อีแวปโพเรเตอร์นั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผิวนอกมีมากกว่า อัตราการดูดความร้อนที่ผิวใน ดังนั้นการติดครีบจึงติดที่ผิวในของท่อแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
038635

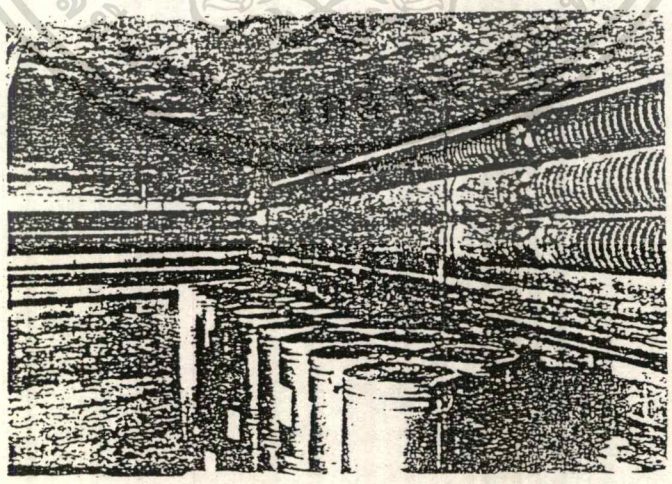
2.2.2.2 อีแวปโพเรเตอร์แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (natural convection evaporators)

มักจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้การคายน้ำจากผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เพราะอากาศไหลเวียนจะน้อย เช่น ใช้ในตู้เย็นตามบ้าน หรือห้องเก็บอาหารขนาดใหญ่ การไหลเวียนของอากาศผ่านคอยล์เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิระหว่างคอยล์กับห้องทำความเย็น ถ้าอุณหภูมิยิ่งต่างกันมากก็จะทำให้การไหลเวียนอากาศมีมากด้วย การไหลเวียนอากาศนี้ยังมีผลจากรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งการติดตั้งของอีแวปโพเรเตอร์ เนื่องจากอากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะตกสู่เบื้องล่าง อากาศร้อนจะลอยขึ้นบน ดังนั้นควรติดตั้งคอยล์ไว้ด้านบนของห้อง แต่ไม่ติดเพดาน ควรมีช่องให้อากาศไหลเวียนได้ ดังรูปที่ 19 แต่ถ้าห้องไม่สูงอาจจะใช้คอยล์แบบติดผนังก็ได้ ดังรูปที่ 20

ในเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก อาจจะใช้กระบังลม (baffles) ติดเข้าไปเพื่อช่วยให้การไหลเวียนของอากาศเป็นไปในทิศทางที่ต้องการ และมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 21

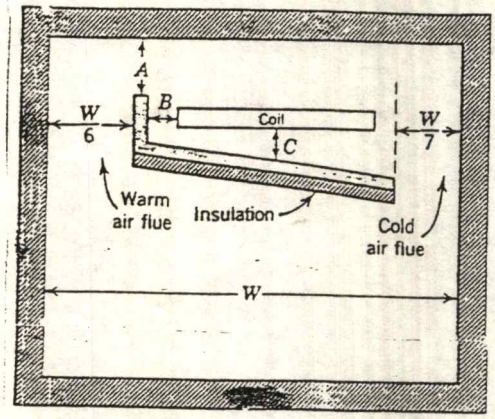


รูปที่ 19 อีแวปโพเรเตอร์ติดตั้งไว้ได้เพดานใช้ครีบอลูมิเนียมหล่อ



รูปที่ 20 อีแวปโพเรเตอร์ติดข้างผนังห้องเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 ติดตั้งกระบังลมช่วยการไหลเวียนแบบธรรมชาติ

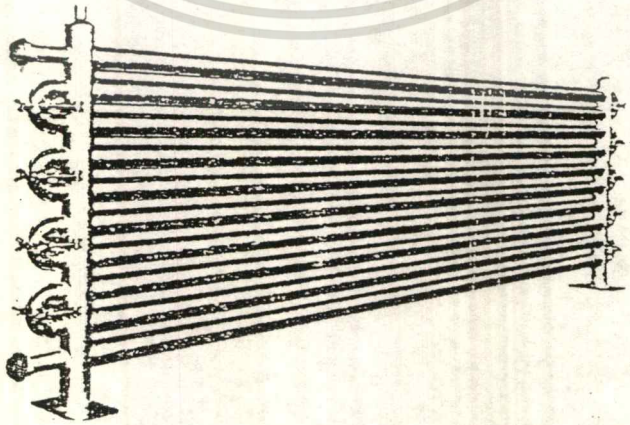
2.2.2.3 อีแวปโพเรเตอร์แบบใช้ของเหลวพาความเย็น(liquid chilling evaporators)

เหมือนกับแบบใช้อากาศพาความเย็น แบบใช้ของเหลวนี้ก็มีหลายแบบ และออกแบบตามความมุ่งหมายการใช้งาน โดยทั่ว ๆ ไป อาจแบ่งได้เป็น 5 แบบ คือ

1. แบบท่อคู่(double pipe cooler)
2. แบบ baudelot cooler
3. แบบถัง(tank-type cooler)
4. แบบเปลือกและคอยล์(shell and coil cooler)
5. แบบเปลือกและท่อ(shell and tube cooler)

1. แบบท่อคู่ (double pipe coolers)

ประกอบด้วยท่อ 2 ท่อ โดยจัดให้ท่อหนึ่งสอดอยู่ข้างในอีกท่อหนึ่ง ของไหลที่ใช้เป็นตัวพาความเย็นจะไหลอยู่ในท่อใน ส่วนสารความเย็นจะไหลสวนทางในท่อนอก แบบหนึ่งของท่อคู่ แสดงในรูปที่ 22 ท่อนอกจะเชื่อมติดด้วย header ในแนวตั้ง ส่วนท่อในจะสอดทะลุ header แล้วงอมาเชื่อมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความแข็งแรง อันเป็นข้อดี

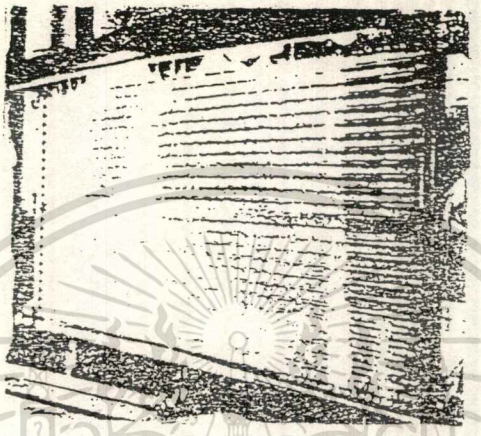


รูปที่ 22 อีแวปโพเรเตอร์แบบท่อคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบ baudelot coolers

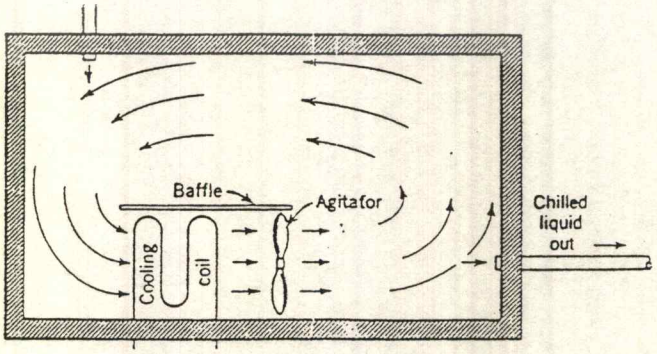
ดังแสดงในรูปที่ 23 ประกอบด้วยท่อในแนวนอนวางอนุกรมกัน โดยแต่ละอันจะวางอยู่ใต้กันและต่อเข้าด้วยกันเป็นวงจร โดยสารความเย็นจะไหลอยู่ภายในท่อ และของเหลวจะไหลภายนอกจากบนลงล่าง โดยแรงโน้มถ่วง ไหลมาจากตัวจ่าย (distributor) ที่วางอยู่ด้านบนเนื่องจากของเหลวไหลภายนอก ดังนั้นการทำอุณหภูมิให้ใกล้จุดแข็งตัวจึงไม่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ และ ข้อดีของแบบนี้คือ วงจรของสารความเย็นแตกออกเป็นหลายทาง ซึ่งทำให้เกิดการเริ่มทำความเย็น(percooling) ของของเหลวที่นำความเย็น



รูปที่ 23 อีแวปโพเรเตอร์แบบ baudelot

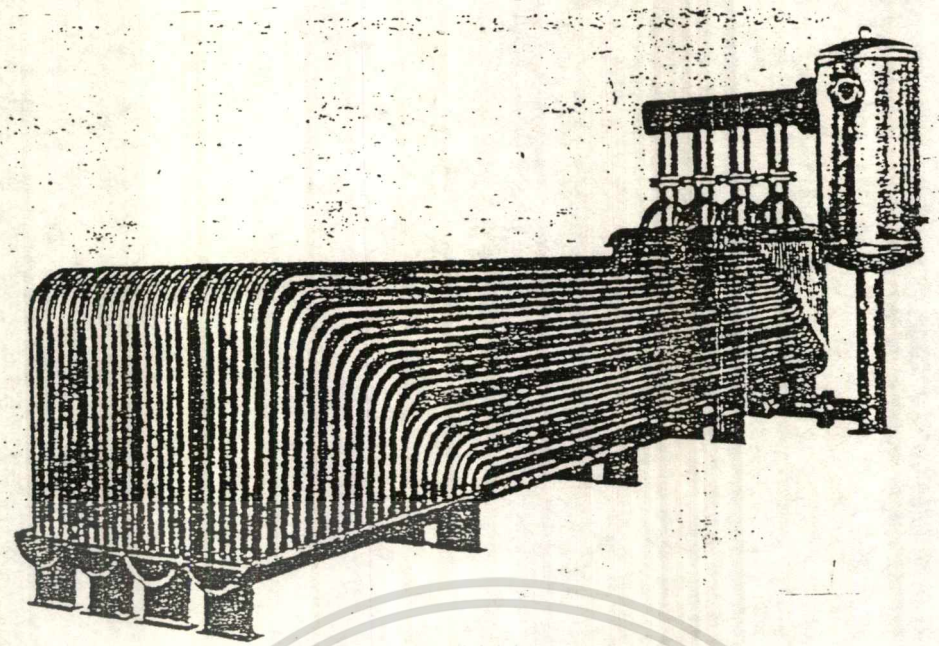
3. แบบอัง (tank-type coolers)

ประกอบด้วยท่อของสารความเย็นแบบเปลือย(bare-tube) ติดตั้งอยู่ตรงกลางที่ด้านหนึ่งของถังเหล็กขนาดใหญ่ที่บรรจุด้วยของเหลวพาความเย็น ถึงแม้ว่าคอยล์จะจุ่มอยู่ในของเหลวนำความเย็น แต่ก็มีการติดตั้งกระบังเพื่อแยกออกจากตัวถังไว้ส่วนหนึ่ง ดังรูปที่ 24 จะมีมอเตอร์หมุนขับเพื่อให้ของเหลวพาความเย็นไหลเวียนผ่านคอยล์ด้วยความเร็วค่อนข้างสูง ในรูปที่ 25 ก็เป็นคอยล์แบบหนึ่งเรียกว่าแบบ raceway-type ซึ่งประกอบจากท่อเปลือยรวมกันแบบถังนี้สามารถใช้งานได้กว้าง ซึ่งไม่ต้องคำนึงถึงด้านสุขลักษณะ และมักจะใช้เป็นน้ำเป็นตัวพาความเย็น หรือสารอื่นๆ



รูปที่ 24 การติดตั้งอีแวปโพเรเตอร์แบบอัง

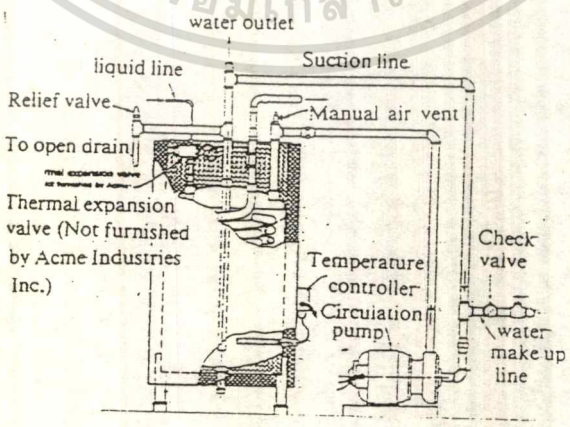
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 Flooded faceway coil

4. แบบเปลือยและคอยล์ (shell and coil coolers)

โดยปรกติมักจะใช้ท่อเปลือยมาขดเป็นวง อาจจะ 1 ชั้นหรือมากกว่า แล้วจะใช้แผ่นโลหะมาเชื่อมครอบอีกชั้นหนึ่ง ดังรูปที่ 26 การทำงานนั้น สารความเย็นจะไหลในท่อคอยล์และสารพาความเย็นจะอยู่บริเวณนอกท่อ และอยู่ภายในถังที่ครอบคอยล์อยู่ ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า "dry expansion" แต่ในบางครั้งจะกลับกันคือ สารพาความเย็นอยู่ในท่อ ส่วนสารทำความเย็นจะอยู่ที่เปลือก ซึ่งแบบนี้เรียกว่า "flooded" ซึ่งลักษณะนี้นำไปใช้ในการทำน้ำดื่มได้ แต่ข้อเสียของแบบ flood คือ ของเหลวพาความเย็นไม่สามารถไหลวนได้ จะต้องเป็นแบบไหลผ่าน แล้วพาความเย็นไปทันที บางครั้งเราจึงเรียกได้อีกแบบว่า "instantaneous" นอกจากนี้อาจมีปัญหาเรื่องสารพาความเย็นแข็งตัวอยู่ในท่อได้ ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายแก่คอยล์ได้ ดังนั้นแบบ flooded นี้จึงใช้งานในอุณหภูมิต่ำๆ ได้ไม่ดี



รูปที่ 26อีแวปโพเรเตอร์แบบเปลือยและคอยล์

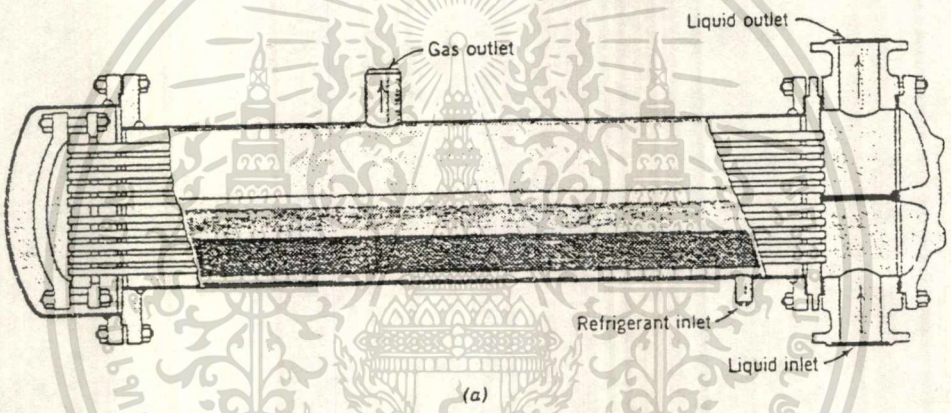
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แบบเปลือยและท่อ (shell and tube chillers)

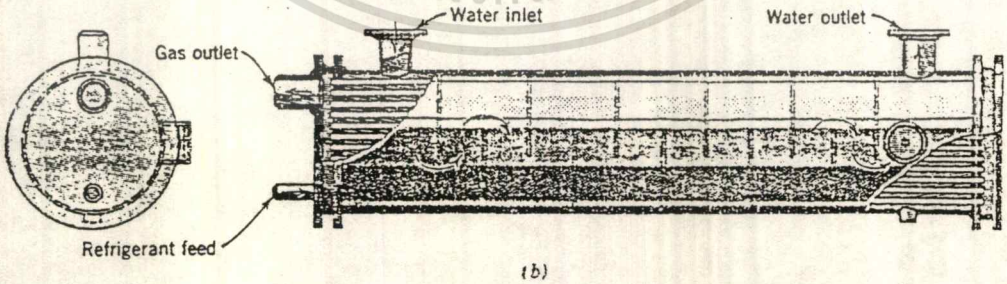
แบบนี้ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพสูง บำรุงรักษาง่าย ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย และสามารถดัดแปลงใช้กับแบบอื่นๆ ได้เกือบทั้งหมด ด้วยเหตุนี้แบบเปลือกและท่อนี้จึงใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดถึง แม้ว่าการออกแบบจะแตกต่างกันบ้าง ขึ้นอยู่กับสารความเย็นที่ใช้ และใช้เป็นแบบ dry expansion หรือเป็นแบบ flooded แบบเปลือยและท่อนี้ประกอบขึ้นด้วย เหล็กทรงกระบอกซึ่งทำเป็นเปลือก และข้างในเปลือกจะบรรจุด้วยท่อตรงขนานกันหลายๆ ท่อ และที่ปลายท่อเหล่านี้จะมีท่อตรงเชื่อมติดกันอีกที่หนึ่ง

ถ้าเราใช้แบบ dry expansion สารทำความเย็นจะไหลในท่อ ดังรูปที่ 27(b)

ถ้าเราใช้แบบ flooded สารพาความเย็นก็จะเป็นตัวไหลในท่อ ดังรูป 27a แต่ทั้ง 2 แบบ สารพาความเย็นจะมีการไหลเวียนโดยใช้ปั๊มช่วย ทรงกระบอกที่ทำเป็นเปลือกอาจจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มม. ถึง 1.5 ม. และจำนวนท่อข้างในมีตั้งแต่ 2-3 ท่อ ไปจนกระทั่งมากกว่า 50 ท่อ และความยาวท่อตั้งแต่ 1.5 ม. ถึง 6 ม.



(a)แบบ Flooded



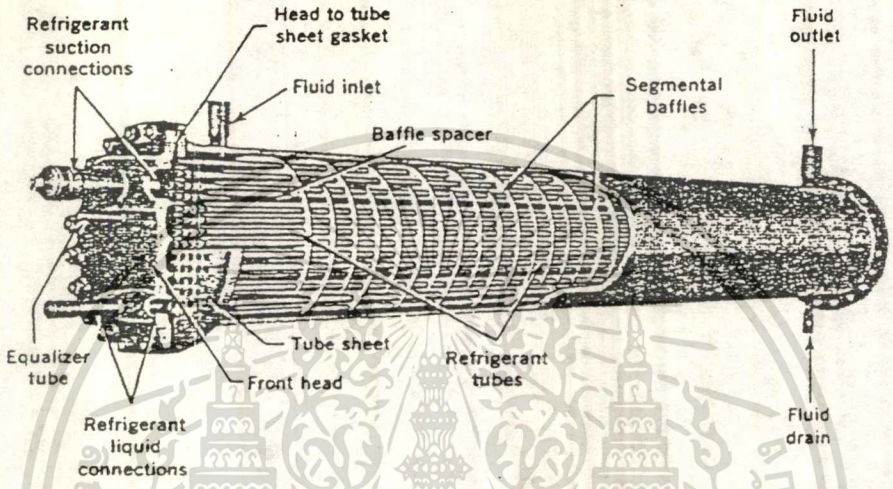
(b) แบบdry - expansion

รูปที่ 27 อีแวปโพเรเตอร์แบบเปลือกและท่อ

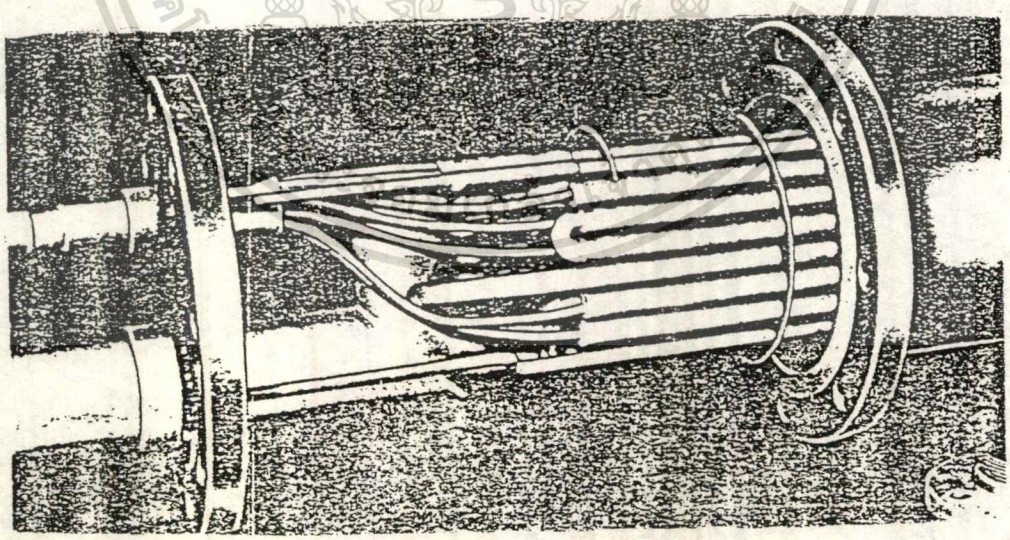
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 dry-expansion chillers

ข้อดีของแบบนี้เมื่อ เทียบกับแบบ flooded คือใช้สารทำความเย็นน้อยกว่า และมั่นใจได้ในเรื่องน้ำมันย้อยเข้าเครื่องอัด นอกจากนี้ปัญหาเรื่องการแข็งตัวก็ไม่เป็นปัญหาใหญ่เพราะสารทำความเย็นไม่ได้ไหลในคอยล์เหมือนแบบ flooded รายละเอียดของโครงสร้างในหลายๆ แบบของ dry-expansion chillers และในรูปที่ 28 และ 29



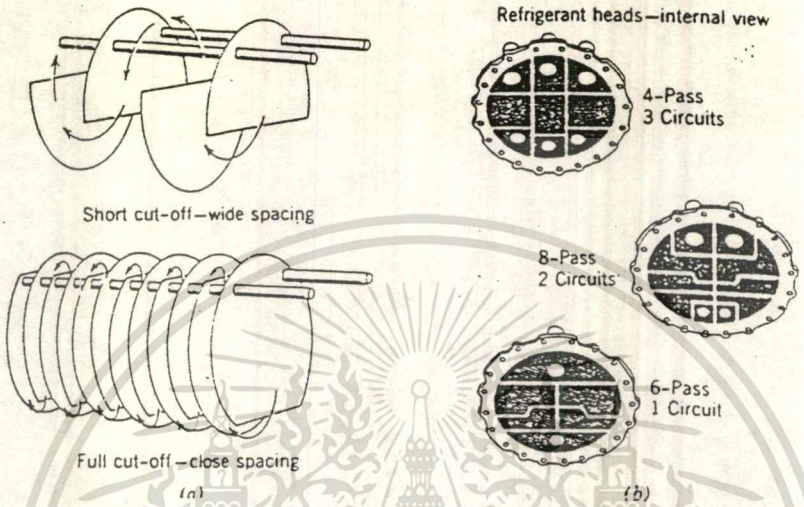
รูปที่ 28 รูปตัดขวางแสดงรายละเอียดโครงสร้างของ dry-expansion chiller



รูปที่ 29 แสดงการจัดท่อและการกระจายสารความเย็นของ dry-expansion chiller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อรักษาระดับความเร็วของของไหลพาความเย็น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานสูงที่สุด และมีความดันลดน้อยสุด ความเร็วของสารพาความเย็นจะถูกควบคุมโดยการแปรเปลี่ยนความยาวและช่องว่างของกระบังแบบเลี้ยว เมื่ออัตราการไหลหรือความหนืดของสารพาความเย็นสูง กระบังก็จะทำให้เกิดช่องกว้างและสั้น เพื่อลดความเร็วลงดังรูปที่ 30



รูปที่ 30(a) แผ่นกั้นใน dry-expansion chiller

(b)แผ่นปิดด้านหัวสารความเย็นสำหรับ dry-expansion chiller

ส่วนจำนวนและความยาวของวงจรสารความเย็น เพื่อจะรักษาระดับความเร็วของสารความเย็นนั้น ต้องพิจารณาถึงภาระ และความสัมพันธ์ของความเร็วกับค่า METD ของ chiller ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้แปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องออกแบบตามลักษณะของการใช้งานแต่ละแบบ

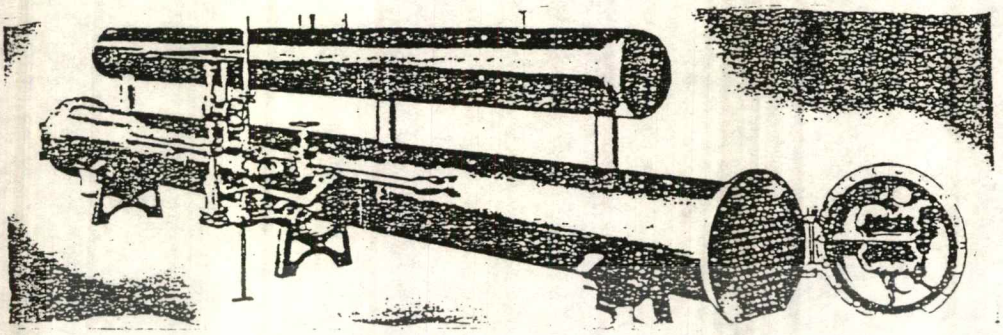
5.2 flooded chillers

ในแบบมาตรฐานมีการจัดวางท่อทั้งแบบทางเดียวและหลายทาง สำหรับแบบท่อเดียวจัดให้สารพาความเย็นไหลผ่านทุก ๆท่อในทิศทางเดียว แต่สำหรับแบบหลายทางนั่นจะสามารถทำให้สารพาความเย็นไหลได้โดยใช้กระบัง ซึ่งขันน็อตติดที่ปลายของ chiller ดังรูปที่ 31

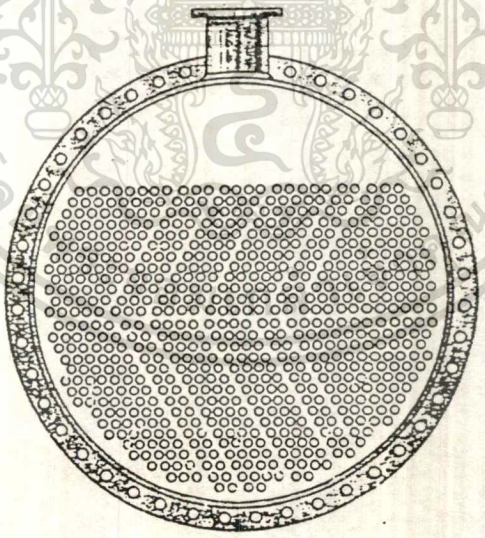
ใน flooded chiller บางแบบตัวเปลือกจะบรรจุด้วยท่อในบางส่วนเท่านั้นทั้งนี้เพื่อให้มีพื้ นว่าง ทำให้ของไหลไหลด้วยความเร็วต่ำได้ดังรูปที่ 32 และพื้นที่ที่ว่างนี้จะทำให้สารความเย็นเป็นไอได้ดีขึ้น เป็นการป้องกันการเป็นของเหลวเมื่อดูดเข้าเครื่องอัด

สำหรับแบบเปลือกและท่อในรูปที่ 33 มีข้อดีคือ ใช้พื้นที่ของพื้นสำหรับติดตั้งน้อยที่สุดสารพาความเย็นจะเข้ามาทางด้านบน และไหลโดยแรงโน้มถ่วงอยู่ภายในท่อ และจะมีปั๊มดูดสารพาความเย็นจากถังเก็บด้านล่างขึ้นไปตามท่อ เพื่อการไหลเวียนผ่านไปที่ตัวจ่ายด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

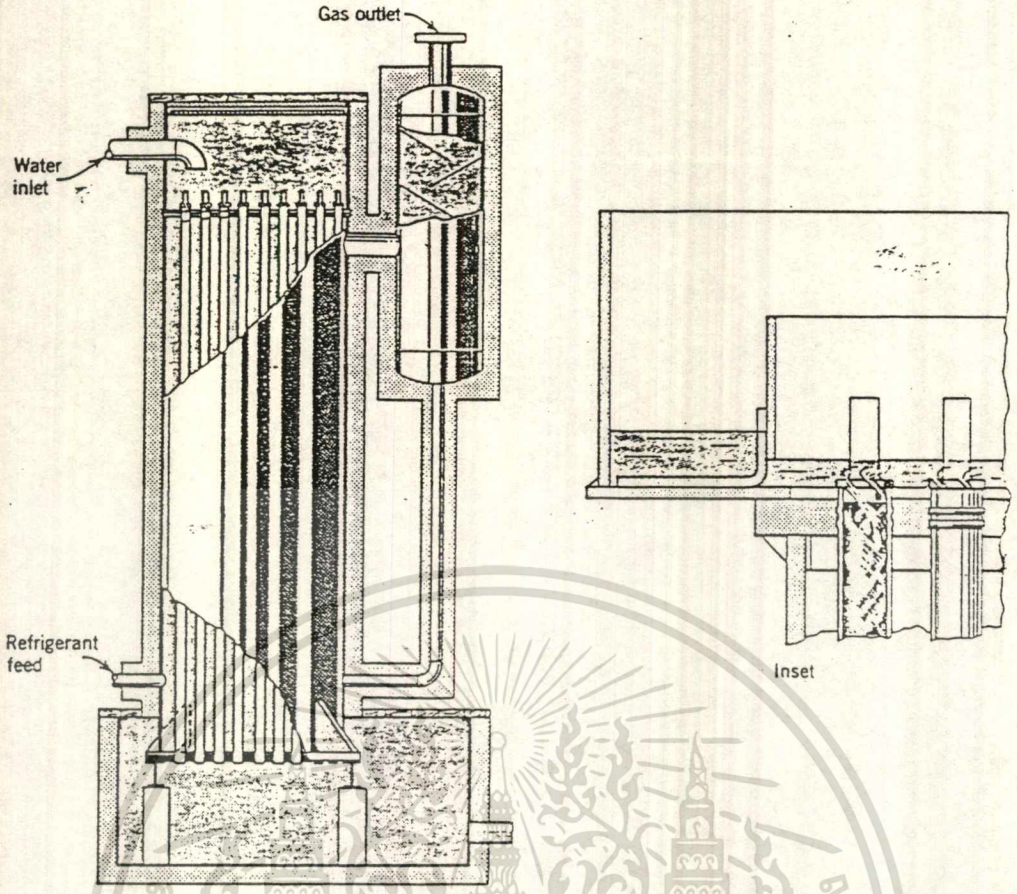


รูปที่ 31 การออกแบบให้มีช่องหลาย ๆ ช่องทางเพื่อให้ของไหลเย็นใน Flooded chiller เดิดการไหลเวียนโดยแผ่นกั้นยึดด้วยสกรูที่ด้านท้ายของ chiller



รูปที่ 32 ลายในเปลือกของ flood chiller บรรจุท่อไว้ส่วนหนึ่ง เพื่อให้มีพื้นที่ว่างในการกลายเป็นไอของสารความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33 Chiller แบบเปลือกและท่อในแนวตั้งเป็นการทำงานแบบ flooded น้ำตกลงมาผ่านท่อที่หมุนโดยการฉีดหัวฉีดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ

5.3 แบบสเปรย์ (spray-type chillers)

มีโครงสร้างคล้ายกันกับแบบ conventional flooded chiller ยกเว้นสารความเย็นเหลวจะถูกฉีดที่ด้านบนท่อน้ำ โดยหัวฉีด ซึ่งหัวฉีดติดตั้งอยู่ที่ header ซึ่งอยู่บนกลุ่มของท่อ ส่วนสารความเย็นเหลวที่ยังระเหยไม่หมดจะตกลงสู่ถังรองด้านล่าง และจะถูกดูดด้วยปั๊มแรงดันต่ำขึ้นไปเพื่อการฉีดต่อไป แต่การไหลเวียนนี้มีอัตราสูงเพื่อทำให้ท่อนั้นเปียกอยู่เสมอ ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

ข้อดีของแบบนี้ คือมีประสิทธิภาพสูงและใช้สารความเย็นค่อนข้างน้อย แต่ข้อเสียของแบบนี้คือราคาค่าติดตั้งสูง และจะต้องมีปั๊มสำหรับทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียน

2.2.3 เครื่องอัด (Compressor)

เครื่องอัด เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญอันหนึ่งของระบบเครื่องทำความเย็นก็คือสร้างความดันที่แตกต่างกันระบบท่อสารความเย็นของเครื่องทำความเย็น เพื่อให้สารความเย็นที่มีในระบบไหลเวียนได้หากจำแนกการทำงานอาจแบ่งได้สองหน้าที่คือ (1) ดึงไอสารความเย็นจากอีแวปโพเรเตอร์ และในเวลาเดียวกันเป็นการลดความดันที่มีในอีแวปโพเรเตอร์สอดคล้องกับอุณหภูมิของอีแวปโพเรเตอร์ที่ผู้ใช้เครื่องทำความเย็นต้องการ (2) เครื่องอัด (Compressor) เป็นตัวเพิ่มความดันให้กับไอสารความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในคอนเดนเซอร์เพื่อให้ความดันสอดคล้องกับอุณหภูมิอิ่มตัวและเมื่อลดอุณหภูมิอิ่มตัวลงบ้าง สารความเย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้อีก

2.2.3.1 ชนิดของเครื่องอัด

เครื่องอัดที่ใช้กันอยู่ในงานเครื่องทำความเย็น มีแตกต่างกันอยู่หลายชนิดคือ

1. แบบลูกสูบ (reciprocating)
2. แบบโรตารี (rotary)
3. แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (centrifugal)
4. แบบเกียร์ (gear)
5. แบบไดอะแฟรม (diaphragm)
6. แบบสวอชเพลต (swash plate)

อย่างไรก็ตามมีอยู่ 3 แบบเท่านั้นที่นิยมใช้กันในงานเครื่องทำความเย็น คือ เครื่องอัดแบบลูกสูบ แบบโรตารี และแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

เครื่องอัดแบบลูกสูบและแบบแรงหมุนเป็นเครื่องอัดที่มีแรงดูด (positive displacement) ขณะลูกสูบหรือใบพัดอยู่ในจังหวะดูดและอัดไอสารความเย็น โดยอุปกรณ์ทางกลของเครื่องอัดสำหรับเครื่องอัดแบบลูกสูบงานอัดกระทำโดยลูกสูบ ขณะที่เครื่องอัดแบบแรงหมุนงานอัดเกิดขึ้นขณะที่เพลากลางหมุนพาเอาใบพัด (vane) กวาดสารความเย็นหมุนตามไปด้วย เครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์เรียกแบบแรงเหวี่ยง อาศัยความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของกลีบใบพัดเหวี่ยงไอสารความเย็นออกรอบตัว

เครื่องอัดแต่ละแบบเหมาะสมกับงานทำความเย็นแต่ละขนาด รวมถึงวิธีการติดตั้งที่ถูกต้องด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- **เครื่องอัดแบบลูกสูบ**

ปัจจุบัน การใช้เครื่องอัดแบบลูกสูบสำหรับงานทำความเย็นยังเป็นที่นิยม เพราะสามารถใช้ได้แม้งานทำความเย็นขนาดเล็ก และใช้กับสารทำความเย็นหลายชนิด เช่น R-12, R-22, R-500, R-717(แอมโมเนีย) เป็นต้น

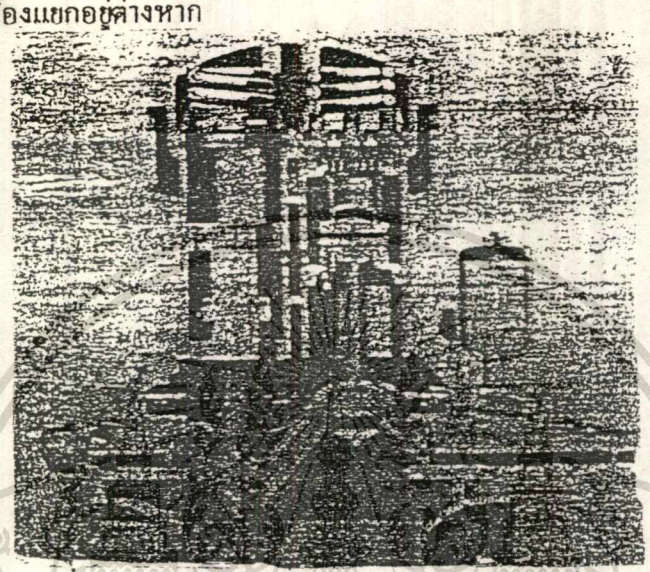
การใช้เครื่องอัดแบบลูกสูบมีข้อจำกัดที่ขนาดของวาล์ว ต้องให้เหมาะสมกับขนาดของลูกสูบ และอัตราส่วนของอัตราส่วนของกำลังอัด (Compression Ratio) สูง จึงไม่นิยมใช้เครื่องอัดแบบลูกสูบสำหรับระบบทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ การทำงานของการดูดและอัดจะอยู่ในที่ปิดสนิท โดยการดูดและอัดของลูกสูบจะอยู่ในที่ปิดสนิท โดยการดูดและอัดของลูกสูบจะเกิดจากแรงหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงให้ก้านสูบ เลื่อนลูกสูบให้ขึ้น – ลงอีกทอดหนึ่ง

เครื่องอัดแบบลูกสูบแบ่งออกเป็นชนิด ทำงานอัดทางเดียว (Single acting) และอัดสองทางชนิดแรกการอัดตัวเกิดขึ้นเพียงด้านเดียวของกระบอกสูบหรือเพียงครั้งเดียวของการหมุนแต่ละรอบของ

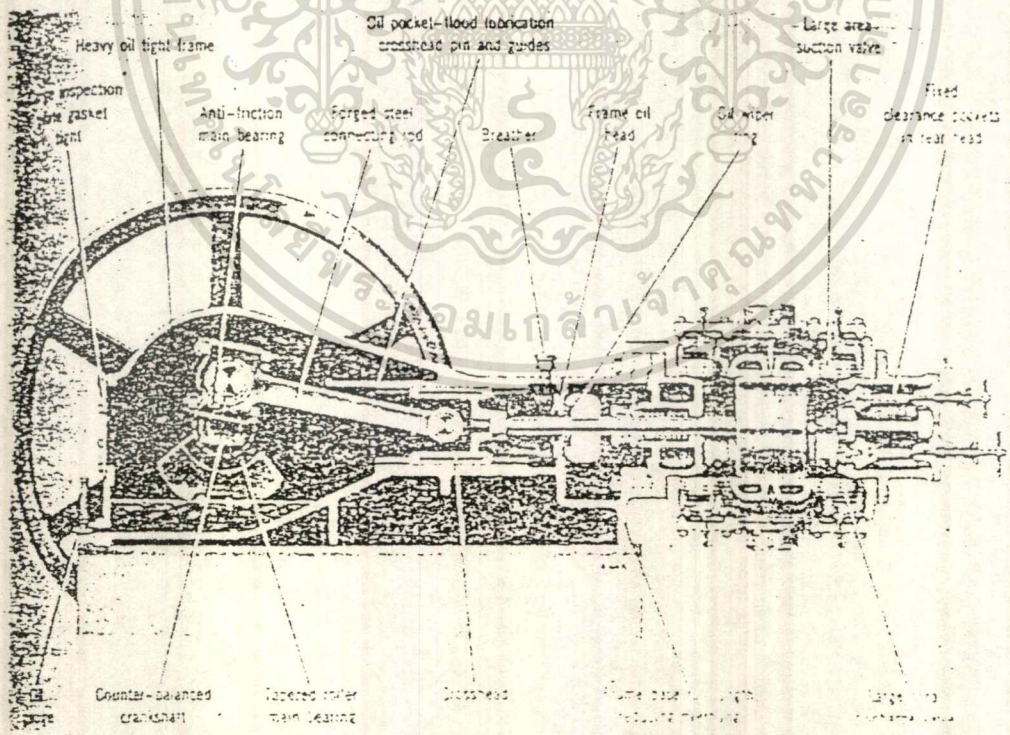
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลาข้อเหวี่ยง ส่วนชนิดหลังการอัดตัวมีทั้ง 2 ด้านของลูกสูบ ดังนั้นจะเกิดการอัดตัว 2 ครั้งต่อการหมุนเพลาข้อเหวี่ยง 1 รอบ

เครื่องอัดแบบลูกสูบที่ทำงานอัดทางเดียวจะเป็นชนิดที่ก้านสูบและข้อเหวี่ยงอยู่ภายในอ่างน้ำมันเครื่องดังรูปที่ 34 ส่วนเครื่องอัดที่ลูกสูบทำงานสองทางข้อเหวี่ยงจะอยู่ภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 35 ส่วนดีของเครื่องอัดที่ลูกสูบทำงานสองทางคือ จะไม่มีสารความเย็นรั่วไหลออกมาปนกับน้ำมันหล่อลื่น เพราะอ่างน้ำมันเครื่องแยกอยู่ต่างหาก



รูปที่ 34 ภาพตัดของเครื่องอัดแบบลูกสูบอัดทางเดียว



รูปที่ 35 ภาพตัดของเครื่องอัดแบบลูกสูบอัดทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันเครื่องอัดแบบลูกสูบที่ทำงานสองทางไม่มีใช้ เพราะไม่สามารถสร้างให้มีขนาดเล็กต้องใช้กับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งค่าสร้างแพงและยังมีข้อเสียเกี่ยวกับซีลกันรั่วที่ก้านสูบจะต้องทนความดัน 2 ด้าน ผิดกับแบบที่ทำงานทางเดียวที่ทนความดันเพียง 1 ด้านเท่านั้น

เครื่องอัดแบบลูกสูบที่ทำงานด้านเดียวสามารถแยกได้เป็น 3 แบบด้วยกันคือ

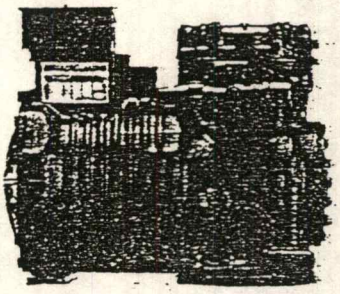
1. **เครื่องอัดแบบอิสระ** (Open type compressor) เครื่องอัดแบบนี้นิยมใช้กันมากในสมัยที่มีการพัฒนาเครื่องทำความเย็นขึ้นใหม่ๆ การขับเคลื่อนจะเป็นเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ และใช้สายพานเป็นตัวถ่ายทอดกำลังตามรูปที่ 36 เครื่องอัดส่วนมากเป็นแบบลูกสูบ โดยทั้งเสื้อสูบ ลูกสูบและเพลาข้อเหวี่ยงจะรวมอยู่ในชุดเดียวกัน และที่เพลาข้อเหวี่ยงจะมีก้านต่อออกมารับกับวงล้อ (pulley) เพื่อให้วงล้อรับแรงขับเคลื่อนจากเครื่องต้นกำลัง

เครื่องอัดแบบอิสระมีข้อเสียเปรียบในเรื่องของรูปร่างและน้ำหนักมากเพราะตัวเรือนสร้างด้วยเหล็กหล่อ เป็นเหตุให้เครื่องอัดมีราคาสูง การปิดกันรั่วซึมของสารความเย็นบริเวณแขนของเพลาข้อเหวี่ยง กระทำได้ยากหากจะให้มีการขับเคลื่อนโดยตรง โดยไม่ต้องใช้สายพาน การตั้งแนวระดับกระทำได้ยาก ขณะใช้งานมีเสียงดัง

รูปที่ 36 เครื่องอัดแบบอิสระขับเคลื่อนด้วยระบบสายพาน

2. **เครื่องอัดแบบกึ่งปิดสนิท** (Semi-hermetic compressor) หมายถึงเครื่องอัดที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยให้เครื่องอัดและมอเตอร์ไฟฟ้ารวมอยู่ในเรือนเดียวกัน ตัวหมุนของมอเตอร์ต่อตรงกับเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องอัดและอุปกรณ์ทุกชิ้นของมอเตอร์จะไม่สัมผัสโดยตรงกับระบบทำความเย็น การออกและสร้างเครื่องอัดลักษณะนี้จะขจัดปัญหาบางอย่างคือ ปัญหาของสายพาน การรั่วซึมของสารความเย็นบริเวณเพลาขับและขนาดของมอเตอร์ที่เหมาะสม เป็นต้น ทำให้สามารถออกแบบสร้างเครื่องอัดให้มีขนาดกะทัดรัดยิ่งขึ้นและเสียงขณะใช้งานมีน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 37 เครื่องอัดแบบกึ่งปิดสนิท (Semi-hermetec compressor)

การซ่อมการให้บริการกับเครื่องอัดแบบกึ่งปิดสนิททำได้สะดวกเพราะฝาครอบลูกสูบ แผ่นคลุมตัวมอเตอร์ หรือแผ่นพื้นเครื่องอัดสามารถถอดได้ สำหรับงานสร้างโลหะที่จะหล่อเป็นตัวเรือนของเครื่องอัดกึ่งปิดสนิทจะต้องเป็นโลหะเนื้อ ละเอียด (close gram) เพื่อป้องกันการรั่วซึมของสารความเย็นผ่านช่องว่างของเนื้อโลหะ

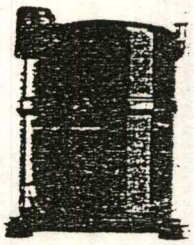
3. เครื่องอัดแบบปิดสนิท (Hermetic compressor) เครื่องอัดแบบนี้ได้รับการออกแบบสร้างเพื่อลดขนาดของเครื่องอัด หมายถึง ลดต้นทุนการสร้างเครื่องทำความเย็นซึ่งมีผลคือ สามารถจำหน่ายได้ในราคาที่ถูกกว่าจึงนิยมใช้เครื่องอัดแบบปิดสนิทสำหรับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกภายในบ้าน เช่น ตู้แช่ ตู้เย็น หรือเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดน้อยกว่าห้าตัน

รูปแบบการสร้าง เพลาใช้งานของเครื่องอัดและของมอเตอร์ต้นกำลังจะใช้ร่วมกันเช่นเดียวกับแบบกึ่งปิดสนิท (Semi-hermetic compressor) แต่เปลือกนอกของเครื่องอัดแบบปิดสนิท จะเป็นโลหะแผ่นที่สร้างหุ้มตัวเรือนของเครื่องอัดและมอเตอร์และที่แผ่นหุ้มจะเชื่อมปิดสนิท ด้วยเหตุนี้การผ่าซ่อมเครื่องอัดแบบนี้ในบริเวณบ้านที่ไปให้บริการ ซ่อมย่อมไม่สะดวก

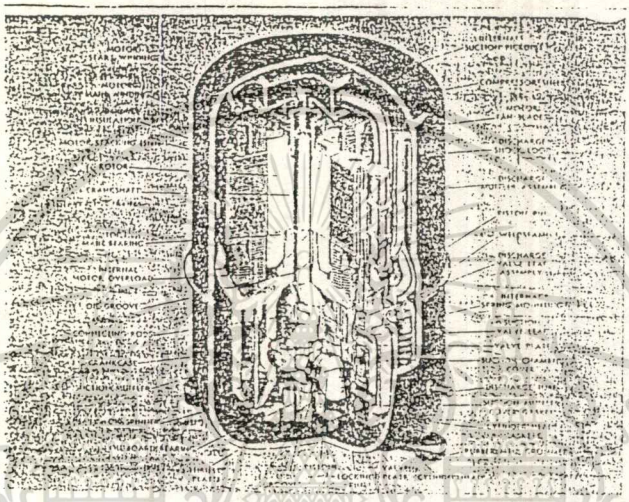
เครื่องอัดแบบปิดสนิทดูได้จากรูปที่ 38 และรูปที่ 39 โดยมีเสื้อสูบเป็นโลหะหล่ออาจเป็นอลูมิเนียมหรือโลหะผสม (alloy) อื่น ๆ อุปกรณ์ ของเครื่องอัดทุกชิ้นรวมทั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนด้วยจะประกอบแล้ววางเหนือสปริงภายในเปลือกหุ้มเพื่อป้องกันแรงสะเทือนจากการทำงานของชุดเครื่องอัดสู่ภายนอก

การทำงาน ไอสารความเย็นที่ใช้งานแล้วจากอีแวปโพเรเตอร์ผ่านท่อดูด (suction time) สู่ภายในตัวของเครื่องอัดและช่องดูดของเครื่องอัดจะดูดไอสารความเย็นผ่านแผ่นวาล์วดูด (suction valve leaf) อัดโดยลูกสูบกับเสื้อสูบ และถูกดันออกผ่านวาล์วออก (discharge valve leaf) สู่ท่อทางออก (discharge line) สู่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นไอสารความเย็นให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 38 เครื่องอัดแบบปิดสนิท



รูปที่ 39 ภาพตัดของเครื่องอัดปิดสนิท

เครื่องอัดแบบลูกสูบที่ใช้กับแอมโมเนียจะเป็นแบบ Open type ระบบทำความเย็นที่ใช้ฮาโรคาร์บอนเป็นสารความเย็นจะใช้เครื่องอัดแบบ hermetic และ Semi-hermetic ใช้ในเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กและขนาดกลาง

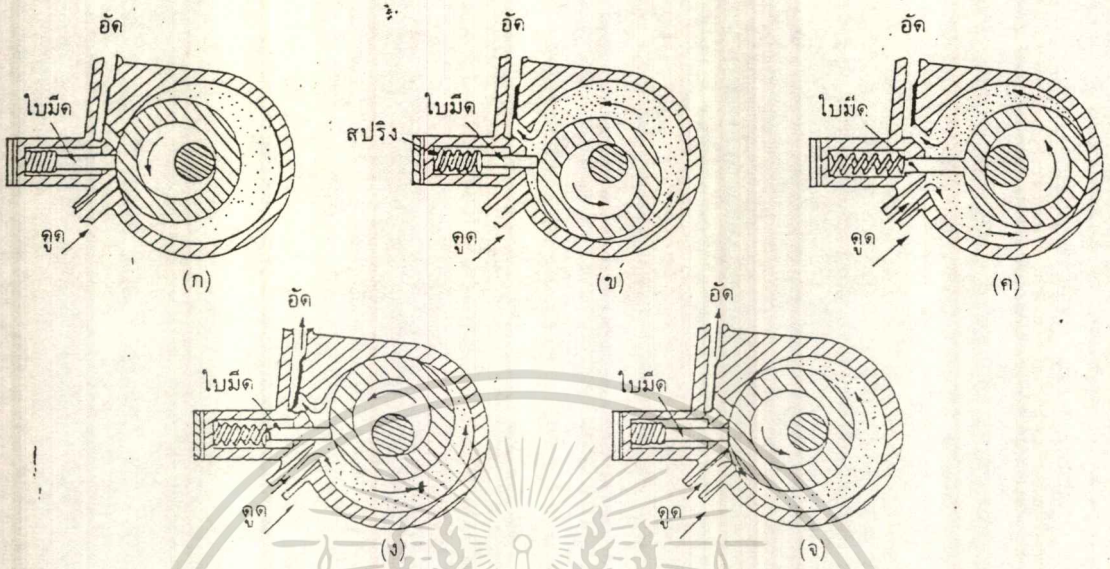
- เครื่องอัดแบบโรตารี

เครื่องอัดแบบโรตารีทำหน้าที่ดูดและอัดน้ำยาในสถานะแก๊ส โดยอาศัยการกวาดตัวตามแกนโรเตอร์ (rotor) เนื่องจากเครื่องอัดแบบโรตารีนี้มีขีดจำกัดในการทำงาน คือจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง กินไฟน้อย กับระบบเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กจนถึงไม่เกิน 1-2 ตัน แต่ถ้าระบบขนาดใหญ่เกินกว่านี้แล้ว เครื่องอัดแบบโรตารีจะใช้งานไม่สู้ดีนัก

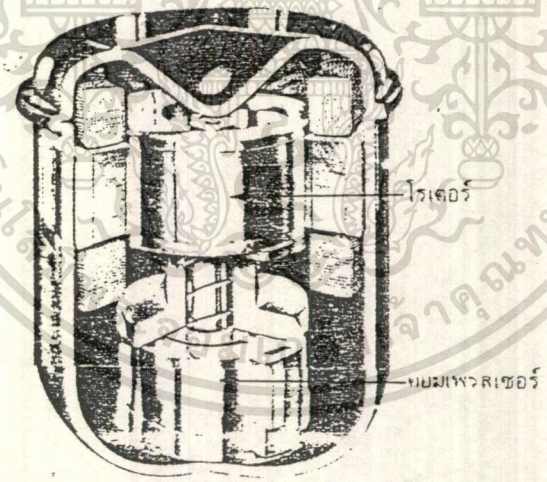
หลักการทำงานของเครื่องอัดแบบโรตารีก็คือทำหน้าที่ดูดและอัดน้ำยาในสถานะแก๊ส โดยอาศัยการกวาดตัวตามแกนโรเตอร์ ดังรูปที่ 40 จากรูปที่ 40 (ก) เป็นตำแหน่งเริ่มการดูดอัดภายในกระบอกสูบมีน้ำที่มีสถานะเป็นแก๊สอยู่ เต็มตำแหน่งในรูป(ข) แก๊สในกระบอกสูบถูกกวาดอัดตัวพร้อมๆกับการเริ่มจังหวะดูด ตำแหน่งในรูป(ค) ช่วงจังหวะการดูดและอัดอยู่ระหว่างครึ่งต่อครึ่ง ตำแหน่งในรูป(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิ้นทางอัดเปิดในช่วงจังหวะอัดพร้อมๆกับสารความเย็นถูกดูดเข้ามาเพิ่มมากขึ้นในกระบอกสูบ และที่ตำแหน่งในรูป(จ)จังหวะการดูดและอัดครบรอบ



รูปที่ 40 การทำงานของเครื่องอัดแบบโรตารี



รูปที่ 41 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี

เครื่องอัดแบบแรงหมุนที่ใช้งานทั่วไปมี 3 แบบ คือ

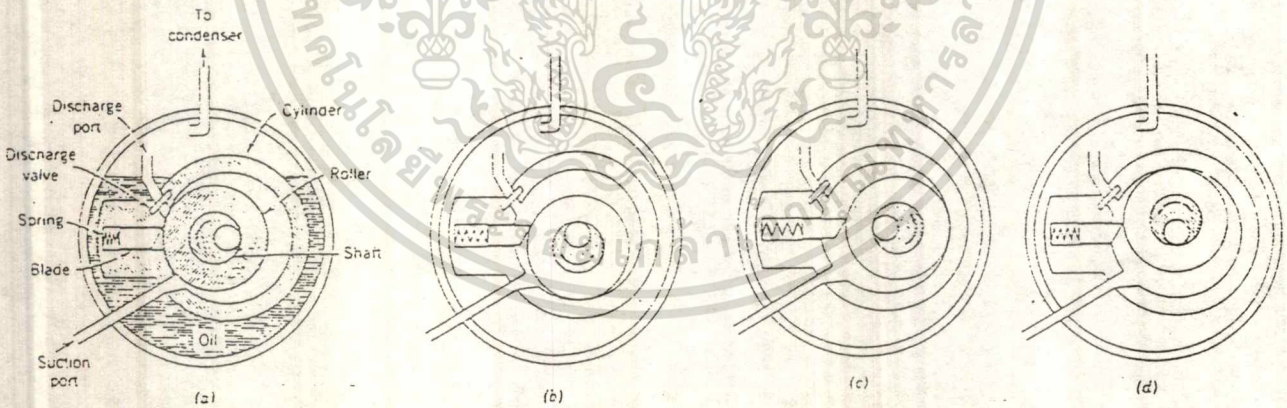
1. แบบลูกสูบหมุน (rolling piston)
2. แบบใบพัดปลิว (rotating vane)
3. แบบเกลียวหนอน (helical lobe-screw)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องอัดแบบลูกสูบหมุน (rolling piston) ประกอบด้วยเดือยทรงกลมยาวหมุนเบนศูนย์ในกระบอกทรงกลมดังรูปที่ 42 ด้วยเหตุที่ใช้กับลูกสูบหมุนเบนศูนย์ การติดตั้งจะต้องให้เปลือกของลูกสูบให้ใกล้เคียงกับผนังของกระบอกสูบ แบบให้มีช่องว่าง (Clearance) ระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบน้อยที่สุด ที่กระบอกสูบจะมีใบมีดที่บังคับด้วยแรงสปริงให้สัมผัสกับลูกสูบตลอดเวลา เพื่อเป็นตัวกั้นระหว่างแรงดันสูงด้านคอนเดนเซอร์ และแรงดันต่ำด้านอีแวปโพเรเตอร์

แผ่นปิดตัวท้ายของเครื่องอัดนอกจากใช้ประโยชน์สำหรับกันการรั่วไหลของไอสารความเย็นแล้วยังทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของเพลาหมุนด้วย กระเปาะไอสารความเย็นด้านดูดและด้านจ่ายจะอยู่ภายในของชุดเครื่องอัดใกล้กับช่องของมีดกันแรงดัน (blade) ไอสารความเย็นด้านดูดจะแยกออกจากไอสารความเย็นด้านอัดตรงจุดที่ใบมีดสัมผัสกับลูกสูบ สัมผัสกับกระบอกสูบ

โปรดสังเกตว่า ทางออกของไอสารความเย็นแรงดันสูง อุณหภูมิสูงจะอยู่ในตัวเรือนของเครื่องอัดเหนือระดับน้ำมันก่อนที่จะออกไปตามท่อทางออก (discharge line) จากรูปแบบของเครื่องอัดจะเป็นว่าวาล์วสำหรับทางดูดไม่จำเป็น แต่ควรมีวาล์วสำหรับทางออกเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับสู่เสื้อสูบของไอสารความเย็นและคณะเครื่องอัดทำงาน น้ำมันหล่อลื่นที่เคลือบกระบอกสูบและลูกสูบเป็นตัวกั้น (seal) ระหว่างด้านแรงดันสูงกับด้านแรงดันต่ำ แต่ขณะที่เครื่องอัดพักการทำงาน น้ำมันหล่อลื่นที่เคลือบที่กระบอกสูบและลูกสูบจะย้อยหมด ไปทำให้แรงดันที่แตกต่างระหว่างแรงดันสูงและแรงดันต่ำไหลถึงกันได้ จึงเป็นการเฉลี่ยแรงดันที่ต่างกันทั้งสองด้านให้เท่ากัน แต่จะไม่เกี่ยวข้องกับสารความเย็นแรงดันสูงที่อยู่ในคอนเดนเซอร์ เพราะมีวาล์วสำหรับทางออก (discharge valve) กั้นอยู่

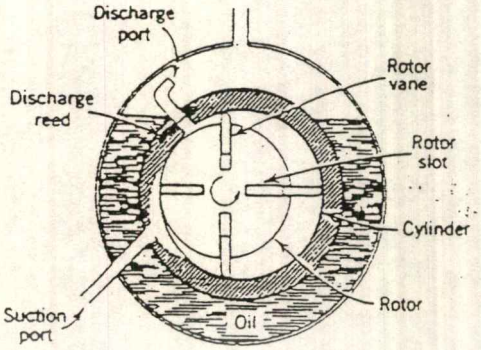


รูปที่ 42 เครื่องอัดแรงหมุนแบบลูกสูบใช้ใบมีดกั้นไอสารความเย็น

2. เครื่องอัดแบบใบพัด (rotating vane) ตามรูปที่ 43 เป็นภาพตัดแสดงให้เป็นโครงสร้างภายในของเครื่องอัดแบบใบพัด โดยใบพัดที่เคลื่อนที่เข้าออกได้ด้วยแรงสปริงจะติดตั้งอยู่ในร่องของลูกสูบหรือตัวหมุน (rotor) และการติดตั้งตัวหมุนจะเบนออกจากศูนย์กลางของกระบอกสูบ (cylinder) โดยผิวของตัวหมุนเกือบสัมผัสถูกกระบอกสูบ การกั้นเขตแรงดันระหว่างแรงดันสูงและแรงดันต่ำจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นที่เคลือบผิวของตัวหมุนและกระบอกสูบอยู่ แผ่นปิดหัว-ท้ายของเครื่องอัดนอกจากกันการรั่วไหลของสารความเย็นแล้วยังใช้สำหรับบังคับตัวหมุนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องด้วย



รูปที่ 43 ภายในตัวเครื่องอัดแบบใบพัด

การเคลื่อนที่ของใบพัด (rotor vane) จะต้องเคลื่อนที่เข้าออกตามความโค้งของผนังกระบอกสูบขณะกำลังหมุน การเคลื่อนตัวออกของใบพัดจะอัดแน่นกับผนังกระบอกสูบด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (centrifugal force) สำหรับบางเครื่องอาจมีสปริงหนุนใต้ใบพัดด้วย

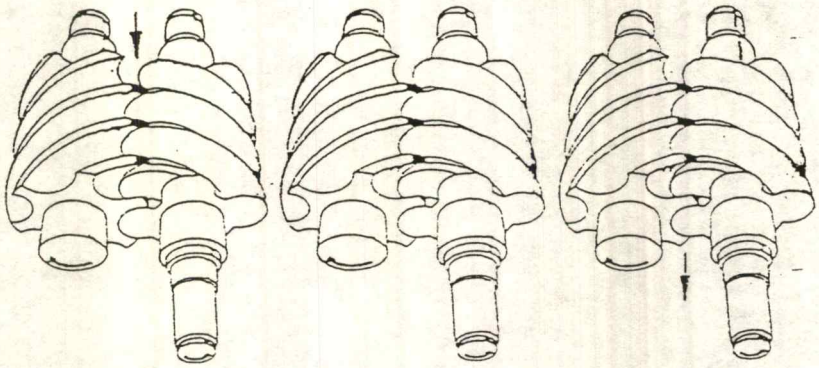
ไอสารความเย็นที่ถูกอัดและส่งไปด้านแรงดันสูงจะถูกดูดสู่กระบอกสูบของเครื่องอัดทางช่องดูดและถูกกักโดยใบพัดที่อัดกับผนังของกระบอกสูบ เมื่อช่องระหว่างกระบอกสูบและตัวหมุนที่มีไอสารความเย็นบรรจุอยู่เต็มหมุนต่อไป ช่องว่างดังกล่าวจะลดลงเป็นการบีบให้แรงดันของไอสารความเย็นสูงขึ้น แล้วจึงปล่อยไอสารความเย็นที่มีแรงดันสูงอุณหภูมิสูง ผ่านวาล์วทางออก สู่คอนเดนเซอร์ต่อไป อัตราส่วนการอัดของไอสารความเย็นจะอยู่ประมาณ 7 ต่อ 1

เครื่องอัดแรงแบบใบพัดมีอุปกรณ์ใช้งานที่เหมือนกับเครื่องอัดแบบลูกสูบหมุน คือ ต้องมีวาล์วกันกลับ (Check valve) สำหรับทางออกของสารความเย็นเพื่อป้องกันไอสารความเย็นย้อนกลับสู่เครื่องอัด

เครื่องอัดแรงหมุนแบบใบพัดขนาดใหญ่ใช้กับสารความเย็นR-12,R-22 หรือR-717(แอมโมเนีย) เพื่อเสริมระบบทำความเย็นอุณหภูมิต่ำมาก หรือระบบทำความเย็นที่มีขั้นตอนการทำความเย็นหลายชั้น (multi-stage compression system) เครื่องอัดที่ใช้งานระดับนี้อาจต้องใช้น้ำหล่อเย็นหรือน้ำมันหล่อเย็นเพื่อป้องกันระดับความร้อนสูงมากเกินไป และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอัดด้วย

3. เครื่องอัดแบบเกลียวหนอน (helical lobe-scew) เครื่องอัดเกลียวนี้เป็นเครื่องอัดที่มีแรงดึงดูดเพื่ออัด งานอัดไอสารความเย็นเกิดจากการหมุนตัวที่เป็นร่องเกลียวหนอนสองตัว ตัวเมียและตัวผู้ขบกันตามรูปที่ 44 ตัวผู้ทางขวาเป็นตัวขับ เมื่อตัวผู้ของชุดเกลียวหนอนซึ่งมีสี่โหนกหมุน จะพาตัวเมียซึ่งมีหกแฉกให้หมุนด้วย แต่มีทิศทางตรงข้าม ขณะที่เกลียวหนอนทั้งสองตัวจะพาเอาไอความเย็นที่ติดระหว่างฟันเกลียวให้เคลื่อนที่ตามไปสู่ทางออกผ่านท่อออก(discharge line) และสู่คอนเดนเซอร์

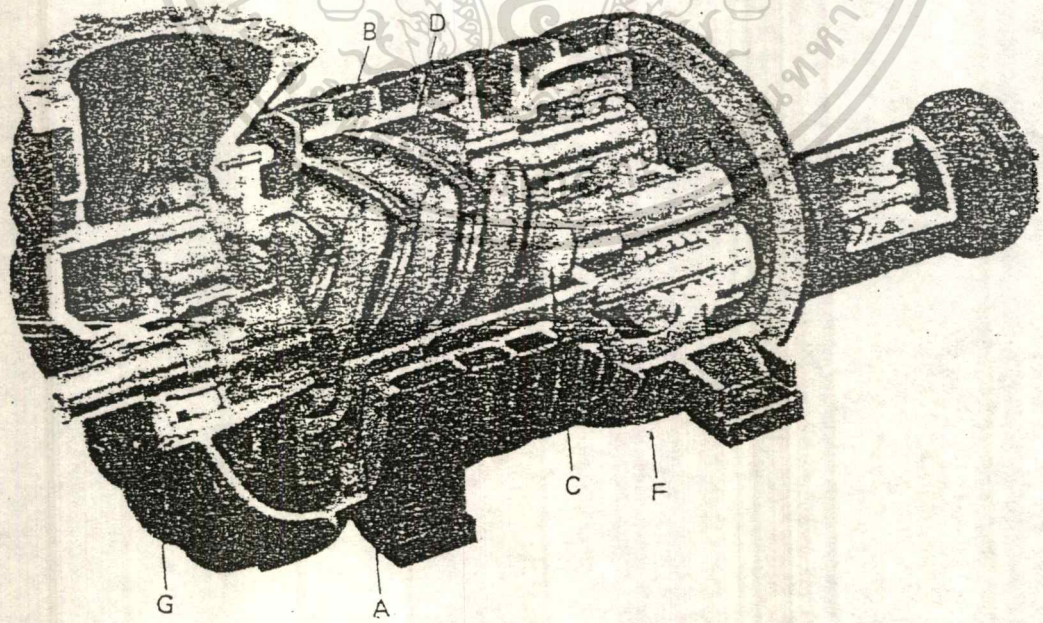
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่44 ลักษณะการจัดตำแหน่งเกลียวของเครื่องอัดแบบเกลียวหนอน

รูปที่ 45 แสดงให้เห็นโครงสร้างภายในของเครื่องอัดแบบเกลียวหนอน เครื่องอัดแบบนี้มักใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาด 100 ตันขึ้นไป และเป็นระบบน้ำเย็น(Chilled water system)ใช้กับอาคารขนาดใหญ่ มีห้องที่ต้องการปรับอากาศหลายห้อง และหลายชั้น ระบบทำความเย็นจะใช้สารความเย็นสองประเภท ประเภทแรกเป็นสารความเย็นที่ใช้ทั่วไป เช่น สารความเย็นR-11,R-12,R-22 เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้สารความเย็นกลุ่มประเภทแรกมีราคาแพง การเดินท่อจ่ายสารความเย็นไปยังและห้องต่างๆ มีความยุ่งยาก และต้องมีการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศที่ไม่ได้ปรับอากาศสู่ท่อสารความเย็นซึ่งรวมปัญหาแล้วมีมาก จึงใช้สารความเย็นประเภทสองสำหรับงานปรับอากาศ



รูปที่ 45 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดแบบเกลียวหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารความเย็นประเภทสองอาจเป็น น้ำ สารละลายของแคลเซียมคลอไรด์ กับโซเดียมคลอไรด์ หรือสารละลายอีทีลีน สารละลายโปรพีลีน แอลกอฮอล์ กลีเซอลีน เป็นต้น เหล่านี้เป็นสารความเย็นตัวรอง(secondary refrigerants) ระบบทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่มักเลือกใช้น้ำเป็นสารความเย็นตัวรอง โดยน้ำที่ทำให้เย็นแล้วส่งไปสู่ขดท่อทำความเย็น(cooling coils)ของห้องต่างๆ เมื่อน้ำเย็นไหลผ่านขด ท่อทำหน้าที่ดูดอากาศที่มีอุณหภูมิสูงในห้องผ่านขดท่อความเย็น พัดลมซึ่งประกอบอยู่ในชุดขดท่อความเย็นนี้การดูดอากาศที่มีอุณหภูมิสูงในอากาศที่
ผ่านที่ท่อถ่ายเทความร้อนสู่ท่อ จากท่อสู่น้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารความเย็นตัวรอง

ข้อควรจำในกรณีใช้น้ำเป็นสารความเย็นตัวรองคือ น้ำเย็นที่ส่งไปตามท่อจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำคือ สูงกว่า 32 ℉ หรือ 0 ℃

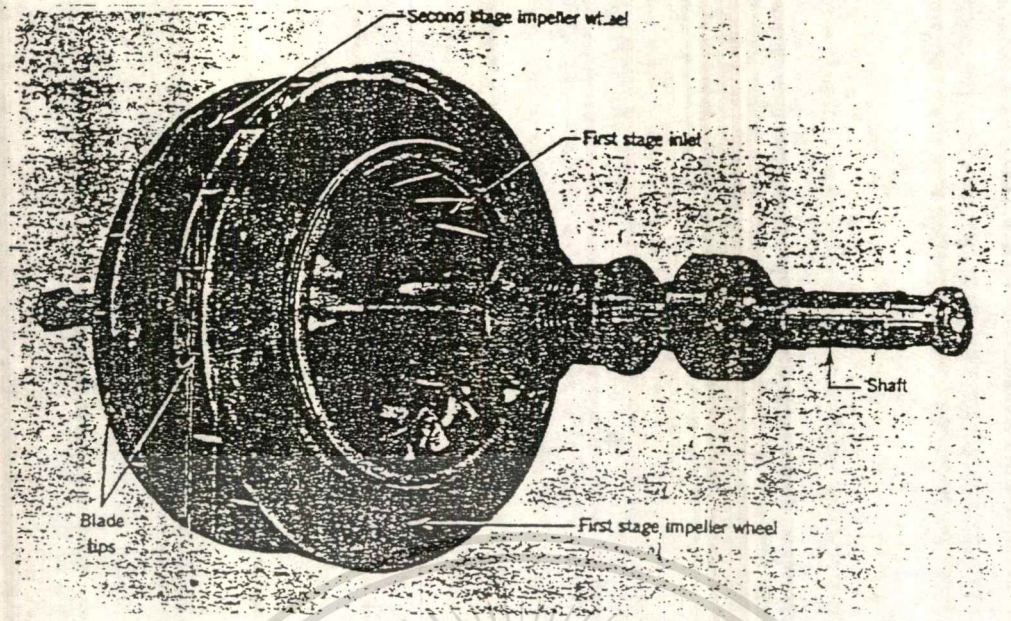
- เครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifugal Compressor)

เครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยงประกอบด้วยชุดใบพัดหลายชุดต่อกันเป็นอนุกรมบนเพลาเหล็กกล้าตัวเดียวกัน บรรจุอยู่ในตัวเรือนซึ่งทำด้วยเหล็กหล่อ จำนวนของชุดใบพัดมีมากเท่าใดขึ้นอยู่กับ Thermodynamics head ซึ่งเครื่องอัดจะต้องสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการอัดตัว โดยทั่วๆไป แล้วจะมี 2,3 หรือ 4 วง(ขั้นตอนการอัดตัว 7 จำนวนชุด impeller wheels ที่มากขึ้นจะใช้เพื่อต้องเพิ่ม head ให้มากขึ้นเพียงพอกับความต้องการ เช่นชุด impeller wheels ที่มี 12 วง ซึ่งมีจำนวน wheels มากจะใช้ล้างในบางกรณี

ตามรูปที่ 46 เป็นชุดใบพัดของเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยงประกอบด้วยจาน 2 อันคือ จานดุม (hub disc) และจานปิดคลุม (disc cover) กับใบพัดจำนวนหนึ่งติดตั้งอยู่ในแนวรัศมีระหว่างจานทั้งสอง เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการสึกหรอและการกรัดกร่อน ดังนั้น ตัวใบพัดจึงถูกสร้างขึ้นด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรือเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high carbon steel) และเคลือบผิวด้วยตะกั่ว (lead coating) ตามรูปที่ 47 เป็นเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยง 2 ชั้น

รูปที่ 46 ชุด impeller wheel ของเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 47 เป็นเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยง 2 ชั้น

หลักการทำงานของเครื่องอัดใช้แรงเหวี่ยงก็เหมือนกับพัดลมหรือปั๊มหอยโข่ง เริ่มจากไอสารความเย็นที่ความดัน และความเร็วต่ำจากท่อดูดจะถูกดูดเข้าสู่โพรงทางเข้า (inlet clarity) ของชุดใบพัดตามแนวแกนของเพลา เมื่อไอสารความเย็นเข้าสู่ภายในจะถูกกระทำโดยแรงเหวี่ยงที่สร้างขึ้น โดยใบพัดในแนวรัศมีให้ออกไปอยู่ระหว่างชุดใบพัด และถูกจ่าขออกทางปลายใบพัดเข้าสู่ตัวเรือนเครื่องอัดด้วยความเร็วสูงและมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ไอสารความเย็นที่จ่าขออกมาจากรอบนอกของ wheels ที่มีความดัน และความเร็วสูงนี้จะรวมตัวกันในช่องผ่านแบบพิเศษที่ถูกออกแบบไว้ภายในตัวเรือนเพื่อลดความเร็วของ ไอสารความเย็นลง และส่งไอสารความเย็นไปยังใบพัดชุดถัดไป หรือไปยัง discharge chamber ในกรณีที่เป็นใบพัดชุดสุดท้าย และจาก chamber นี้จะส่งต่อไปยังท่อจ่ายและเข้าสู่เครื่องควบแน่นต่อไป

2.2.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

2.2.4.1 โครงสร้างของ Plate heat exchanger

Plate heat exchanger ประกอบด้วยชุดของแผ่นโลหะหรือเพลทที่ปั๊มให้เป็นลอนซึ่งมีช่องให้ของเหลวไหลผ่านเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกัน ส่วนตัวเพลทจะมีปะเก็นหุ้มอยู่โดยรอบเพื่อป้องกันการรั่ว และกำหนดทิศทางการไหลของของเหลว

ชุดของแผ่นโลหะ จะมีเฟรมประกบอยู่ทั้งสองด้าน โดยที่เฟรมอันหนึ่งจะอยู่กับที่ และเฟรมอีกอันหนึ่งจะสามารถเลื่อนไปมาได้ตาม carrying bar และ Guide bar ชุดของเพลทนี้จะถูกขันให้แน่นติดกับเฟรมโดยอาศัยโบลท์เป็นตัวยึด connections ของเหลวทั้งสองชนิดที่จะแลกเปลี่ยนความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนกัน จะอยู่บนเฟรมที่เลื่อนไปมาได้ หรือจะอยู่บนเฟรมที่ยึดติดอยู่กับที่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและชนิดของการใช้งาน

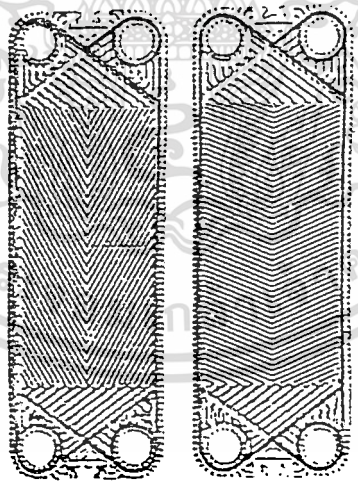
2.2.4.2 สาเหตุที่ เพลทต้องมีลักษณะเป็นลอน

1.เพื่อทำให้เกิดช่องทางเดิน ของของเหลวระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่ประกบกันอยู่และทำให้เกิดการไหลของของเหลวแบบสับสนที่เรียกว่า turbulence flow ซึ่งจะช่วยให้การถ่านเทความร้อนดีขึ้น

2.เพื่อทำให้มีจุดยึดระหว่างแผ่นโลหะซึ่งทำให้เกิดความแข็งแรงพอที่จะรับความดันที่ต่างกันระหว่างของเหลวทั้ง 2 ชนิด ได้

3.เพื่อทำให้เกิดร่องสำหรับการติดตั้งปะเก็น

โดยทั่วไปลักษณะของลอนจะเป็นก้างปลา ตามรูปที่ 48 ซึ่งจะเป็นลักษณะที่ทำให้เกิด turbulence flow อย่างรุนแรงที่สุด อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนทิศทางการไหลตลอดเวลาตามลักษณะของส่วนโค้งของลอนที่ค่าตัวแปรเนื่องจากการไหล ประมาณ 10 นอกจากนั้นก็ทำให้มีจุดยึดระ หว่าง เพลทมากพอที่จะทำให้เพลทหนา 0.5 มม. ได้ โดยการวางเรียงให้ปลายแหลมของก้างปลาชี้ขึ้นและชี้ลงสลับกันซึ่งสามารถทนความดันได้สูงถึง 25 บาร์



a b

รูปที่ 48 ลักษณะของเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นเพลท

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นเพลทมีหลายชนิดแล้วแต่ความเหมาะสมของงานนั้น ๆ ที่ใช้กันแพร่หลายก็มี เช่น

- Stainless steel AISI 304 ,316
- ไทเทเนียม
- Incoloy 825
- Hastelloy C276

2.2.4.4 ชนิดของปะเก็นที่ใช้ใน Plate heat exchanger

สำหรับปะเก็นที่ใช้มีหลายชนิด เช่น

- nitrile rabber
- resin-cured butyl rubber
- EPDM
- Hypaion
- Vition
- CAF

2.2.4.5 หลักการทำงานของ Plate heat exchanger

ของเหลว 2 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกันจะไหลผ่านแผ่นโลหะไปคนละด้านของเพลท โดยที่ส่วนใหญ่จะไหลสวนทางกัน และจะมีแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกันผ่านแผ่นโลหะนั้น

ขนาดของ Plate heat exchanger จะขึ้นกับจำนวนเพลทที่ใช้ในแต่ละงาน ซึ่งก็ต้องดูปริมาณการไหล,อุณหภูมิเข้า-ออก และความดันลดที่ต้องการมาเป็นตัวกำหนดจำนวนแผ่นโลหะที่จะใช้ซึ่งจะต้องทำการคำนวณเพื่อออกแบบขนาด,การจัดเรียงแผ่นโลหะ เพื่อให้ได้ Plate heat exchanger ขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานนั้น ๆ ทั้งด้านประสิทธิภาพและราคา

2.2.4.6 จุดเด่นของ Plate heat exchanger

Plate heat exchanger มีจุดเด่นหลายด้าน เช่น

- ขนาด Plate heat exchanger มีขนาดเล็กกะทัดรัด เช่น Plate heat exchanger ขนาดกลางที่มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อน 200 ตร.ม. จะใช้พื้นที่ติดตั้งขนาด 3x1.5x2 ม. โดยรวมที่ว่างเผื่อไว้สำหรับการดูแลบำรุงรักษา ในขณะที่ shell and tube heat exchanger ที่ รู้จักต้องใช้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนถึง 6 ตร.ม. สำหรับงานเดียวกัน (เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่ามาก) ซึ่งจะมีขนาดยาว 5 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร และยังต้องการพื้นที่เพิ่มอีกประมาณ 5 เมตร สำหรับการดึงท่อออกมา

- ปริมาตรความจุ Plate heat exchanger ขนาด 200 ตร.ม. จะมีความจุสำหรับของเหลวแต่ละชนิด 0.4 ลบ.ม. ในขณะที่ shell and tube มี 3.5 ลบ.ม.ทางด้าน tube-side และทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

shell-side ซึ่งการที่มีปริมาตรความจุน้อยกว่าทำให้ Plate heat exchanger ปรับตัวได้ไวต่อสภาพการใช้งานได้ดีกว่า (ใช้เวลาสตาร์ทน้อยกว่า และตอบสนองเร็วกว่า)

- น้ำหนักของ Plate heat exchanger ขนาด 200 ตร.ม. จะหนักประมาณ 4 ตัน

เมื่อรวมของเหลวเข้าไปด้วย ก็จะมีน้ำหนักทั้งหมด 4.8 ตัน ในขณะที่ shell and tube หนัก ประมาณ 6 ตัน ซึ่งเมื่อรวมของเหลวเข้าไปด้วยก็จะหนักถึง 11 ตัน ดังนั้นในการติดตั้ง Plate heat exchangerจึงไม่จำเป็นจะต้องมีฐานพิเศษรองรับ

- ปะเก็น มีหน้าที่กำกับทิศทางการไหลของของเหลวและป้องกันการรั่วซึมของของเหลวอีกด้วย การออกแบบปะเก็นทำได้ 2 ลักษณะคือ

1. ปะเก็นรอบเพลท และขัน plate pack ให้ได้ระยะตามที่กำหนด เพื่อป้องกันการรั่วซึมของของเหลว

2. ปะเก็น 2 ชั้น เพื่อป้องกันการผสมกันระหว่างของเหลวทั้ง 2 ชนิด โดยในระหว่างปะเก็นทั้งสองจะมีช่องเปิดออกสู่ภายนอก ดังนั้นไม่ว่าปะเก็นชั้นไหนรั่วของเหลวก็จะไหลออกจาก plate pack ไม่มีโอกาสที่ของเหลวจะไหลเข้าไปผสมกันได้ ปะเก็นที่ดีจะ ต้องเป็นชิ้นเดียวกันตลอดไม่มีรอยต่อที่มักจะเป็นเหตุของการรั่ว

-ความคล่องตัวในการใช้งาน Plate heat exchanger สามารถลดหรือเพิ่มจำนวนให้เหมาะกับงานนั้น ๆได้ตามต้องการ เช่น เมื่อต้องการเพิ่มปริมาณการไหลให้มากขึ้นก็ไม่ต้อง เปลี่ยน Plate heat exchanger เพียงเพิ่มจำนวนเพลทเข้าไปให้เหมาะสมกับหน้าที่ใหม่

-อัตราส่วนการไหล ช่องทางเดินของของเหลวทั้งสองจะเหมือนกัน แต่ Plate heat exchanger ก็สามารถรับการไหลของของเหลวทั้งสองต่างกันได้ในอัตราส่วน 1.2 ถึง 1.5 และอาจจะรับอัตราส่วนที่มากกว่านี้ได้ โดยการจัดจำนวนการไหลวนของของเหลวแต่ละชนิดให้ต่างกันออกไป

- heat recovery เนื่องจาก Plate heat exchanger มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงมาก ตลอดจนข้อได้เปรียบจากอัตราส่วนการไหล และ counter current flow ทำให้สามารถ recover heat ได้สูงถึงมากกว่า 90 % ดังนั้น Plate heat exchanger จึงเหมาะสำหรับการประหยัดพลังงาน

- สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง เนื่องจาก Plate heat exchanger มี turbulence ที่รุนแรง จึงทำให้การตกตะกอนหรือการจับตัวของตะกรันเกิดขึ้นน้อยกว่าปกติ

- การทำความสะอาด Plate heat exchanger สามารถถอดเพลทออกมาทำความสะอาดได้ทีละแผ่นอย่างง่ายดาย เพียงแต่ถอดโบลท์ออกและเลื่อนเฟรมออกมาเท่านั้น โดยวิธีนี้ทำให้สามารถทำความสะอาดได้ทุกซอกทุกมุม หรืออาจปั๊มสารละลายทำความสะอาดเช่น โซดาไฟเจือจาง เข้าไปใน Plate heat exchanger โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.7 ข้อจำกัดของ Plate heat exchanger

Plate heat exchanger จะใช้ได้ดีอย่างสมบูรณ์ในช่วงอุณหภูมิและความดันปานกลางเท่านั้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 250 $^{\circ}$C และความดันเกิน 25 บาร์ ก็ควรใช้ Shell-and-tube heat exchanger และมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนสูงถึง 2,200 ตร.ม. ขนาดท่อต่อสูงสุด 450 มม. อีกทั้งมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 6,500 w/m^2 $^{\circ}$C

2.2.5. ปั๊ม (PUMP)

ลักษณะการทำงานของปั๊ม ซึ่งทำให้เกิดการไหลของของเหลวแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. ทำให้เกิดความดันต่ำภายในปั๊ม เพื่อให้ของเหลวภายนอกซึ่งโดยปกติอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศ ไหลเข้าสู่ปั๊มทางท่อเข้า (Suction)

2. อัดของเหลวให้เกิดความดันสูงขึ้น เพื่อให้ของเหลวนั้นพุ่งออกทางท่อออก (Discharge)

2.2.5.1 ชนิดและแบบของปั๊ม

แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 ชนิด ได้แก่

1. รีซิโปรเคตติ้งปั๊ม (Reciprocating Pump)
2. ปั๊มโรตารี่ (Rotary Pump)
3. ปั๊มหอยโข่ง (Centrifugal Pump)

- ปั๊มหอยโข่ง

ของเหลวที่เข้าสู่ปั๊มจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นโดยใบพัดของปั๊ม และหลังจากนั้นความเร็วจะเปลี่ยนไปในรูปความดัน โดยทั่วไปตัวเสื้อปั๊มจะมีลักษณะแบบหอยโข่ง จึงเรียกว่า "ปั๊มหอยโข่ง"

ปั๊มหอยโข่งแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ ตามลักษณะการไหลของของเหลวได้ 3 แบบคือ

1. Radial Flow หรือ Centrifugal ลักษณะของเสื้อปั๊มและใบพัดทำให้ของเหลวภายในปั๊มเคลื่อนที่ในแนวรัศมี นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม และงานทั่ว ๆ ไป เช่น ปั๊มน้ำ สารเคมี น้ำมัน เป็นต้น ใช้กับของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอยอยู่ ใช้กับงานที่ต้องการ head สูง และการส่งน้ำเข้าสู่ Boiler

2. Axial Flow หรือ Propeller ของเหลวภายในปั๊มเคลื่อนที่ในแนวแกนของปั๊ม ลักษณะของใบพัดคล้ายใบพัดของพัดลม ใช้ในงานที่ต้องการ head ต่ำ แต่ต้องการ capacity สูง ๆ เช่น งานระบายน้ำ แก้ปัญหาน้ำท่วม เป็นต้น

3. Mixed Flow เป็นปั๊มที่รวมลักษณะของ Radial Flow และ Axial Flow เข้าด้วยกัน ใช้ในงานที่มี head ต่ำ แต่ต้องการ capacity สูง เช่น งานระบายน้ำ

ปั๊มแบบ Radial Flow ยังสามารถแบ่งย่อยได้หลายแบบ ขึ้นกับลักษณะของการแบ่ง

1. แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Volute type

2) Diffuser type

3) Turbine type

2. แบ่งตามจำนวนเสตจ (stage)

1) แบบเสตจเดียว

2) แบบหลายเสตจ

3. แบ่งตามแนวแกนของแกนโรเตอร์

1) แบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน แบบที่ใช้งานทั่ว ๆ ไป

2) แบบแกนหมุนอยู่ในแนวดิ่ง ใช้ในงานสูบของเหลวจากบ่อลึก ๆ

3) แบบแกนหมุนอยู่ในแนวเอียง เป็นปั๊มที่ออกแบบเฉพาะงานบางอย่างเท่านั้น

- ชิ้นส่วนของปั๊มหอยโข่งที่สำคัญ

1. เสื้อปั๊ม ทำหน้าที่ลดความเร็วของของเหลวที่ถูกเหวี่ยงจากใบพัด แบ่งเป็นแบบต่าง ๆ ตามลักษณะการผ่าซีกของมัน ดังนี้

1.1 ผ่าซีกตามแนวแกน

1.2 ผ่าซีกตามแนวรัศมี

2. ใบพัด (impeller) ใบพัดของปั๊มแต่ละแบบมีลักษณะต่างกัน เพื่อให้เหมาะสำหรับงานแต่ละชนิด แบ่งชนิดของใบพัดได้ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะของทางที่ของเหลวเข้าได้ 2 แบบคือ

1) ใบพัดทางเข้าด้านเดียว (single suction impeller)

2) ใบพัดทางเข้าสองด้าน (double suction impeller)

2. แบ่งตามรูปร่างลักษณะของใบพัด

1) แบบเวนตรง (Straight-Vane impeller)

2) แบบฟรานซิสเวน (Francis-Vane impeller)

3) แบบ Mixed Flow

4) แบบ Axial Flow

3. แบ่งตามลักษณะการออกแบบ

1) แบบเปิด (open) ใช้กับปั๊มตัวเล็กราคาถูก และของเหลวที่มีการกัดกร่อนสูง

2) แบบกึ่งเปิด (semi-open) มีแผ่นกลมยึดด้านหนึ่งของเวน

3) แบบปิด (closed) มีแผ่นกลมยึดสองด้านของเวน

3. แวริ่ง-ริง (wearing-ring) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบกับตัวเสื้อปั๊ม และใบพัดส่วนที่อยู่ชิดกันมาก เป็นส่วนที่สึกหรอเร็ว แต่สามารถเปลี่ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพลาและปลอกหุ้มเพลา (shaft and shaft sleeve) เพลาทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังใบพัดของปั๊ม ถ้าเพลาที่เราออกแบบมามีค่าความถี่ตามธรรมชาติใกล้เคียงกับความเร็วที่ปั๊มทำงาน จะเกิดการสั่นที่ตัวปั๊มมาก ทำให้เกิดการเสียหายอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการใช้งานไปนาน ๆ ย่อมเกิดการสึกหรอของเพลา เนื่องจากการกัดกร่อนของของเหลวในปั๊ม ซึ่งแก้ไขปัญหาโดยการสวมปลอกหุ้มเพลาเพื่อให้เกิดการเสียหายที่ตัวปลอกหุ้มเพลาแทน

5. สตัฟฟิ่งบ๊อกซ์ (stuffing box) ป้องกันไม่ให้ของเหลวภายในปั๊มรั่วออกตรงจุดที่เพลาสอดผ่านปั๊ม และป้องกันอากาศรั่วเข้าสู่ภายในเมื่อความดันภายในปั๊มต่ำกว่าบรรยากาศ

6. ซีล ป้องกันการรั่วรอบ ๆ เพลา ช่วยป้องกันการรั่วของสตัฟฟิ่งบ๊อกซ์

ข้อดีและข้อเสียของปั๊มหอยโข่ง

ข้อดี

- ลักษณะของโครงสร้างและส่วนประกอบง่ายไม่ซับซ้อน
- ในส่วนของตัวปั๊มเองไม่มีวาล์ว และชิ้นส่วนที่เป็นลูกสูบหรือกระบอกสูบ
- มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวเพียง 2-3 ชิ้น
- การสัมผัสเสียดสีของชิ้นส่วนที่ต้องมีช่องว่าง (clearance) แคบมีน้อย
- สูญเสียพลังงานในการส่งกำลังน้อย
- สมรรถภาพในการทำงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการกระแทกของของเหลว
- มีอายุการใช้งานนาน มีความกะทัดรัด น้ำหนักเบา
- สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ต้นกำลังมาตรฐานได้โดยตรง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า
- สามารถบำรุงรักษาง่าย มีการซ่อมแซมเพียงส่วนน้อย และราคาถูก

ข้อเสีย

- ไม่สามารถดูดของเหลวขึ้นมาได้เอง ยกเว้นจะติดอุปกรณ์ล่อน้ำ (priming device) หรือติดฟุตวาล์วเข้าช่วย
- มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับการส่งของเหลวไปมาน้อยกว่า 10 แกลลอนต่อนาที และความดันสูงกว่า 30 ฟุต

2.2.6 สารทำความเย็น

สารทำความเย็น หรือ น้ำยาทำความเย็น ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายเทความร้อน โดยการดูดซึมความร้อนเข้าสู่ตัวเองหรือดูดกลืนความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในขณะที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ และสามารถถ่ายเทความร้อนออกจากตัวเองหรือคายความร้อนแฝงเพื่อให้เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ในขณะที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง

2.2.6.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็น

สารที่ใช้ทำความเย็นควรจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทำความเย็นที่ได้รับจากการระเหยตัวของของเหลว สารทำความเย็นจะต้องระเหยตัวกลายเป็นไอได้ง่าย

2. การกลายเป็นไอหรือก๊าซจะต้องใช้ความร้อนแฝงมาก สารทำความเย็นที่ใช้หมุนเวียนก็จะน้อยลง ดังนั้นสารทำความเย็นก็จะน้อยลงด้วย

3. อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ทำความเย็นจะต้องปลอดภัย ดังนั้นสารทำความเย็นจะต้องไม่ติดไฟหรือเกิดระเบิด

4. สารทำความเย็นจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และถ้ารั่วออกมาสามารถตรวจหาได้โดยการดมกลิ่น

5. มีความคงตัวสูง สามารถนำกลับไปใช้ได้อีกหลาย ๆ ครั้ง โดยไม่เปลี่ยนแปลงสถานะหรือแยกตัว

6. จะต้องไม่เป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ หรือปะเก็นที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ และไม่เป็นอันตรายต่อน้ำมันหล่อลื่นและส่วนอื่น ๆ

7. อุณหภูมิจุดวิกฤตจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิการกลั่นตัว

8. ความดันในการกลายเป็นไอ ควรจะสูงกว่าความดันบรรยากาศ

9. ผสมกลมกลืนได้อย่างดีกับน้ำมัน

10. ไม่มีปฏิกิริยาต่อความชื้น

11. มีประสิทธิภาพดำเนินงานต่อความกดในทางบวก

2.2.6.2 ชนิดของสารทำความเย็น

ตามมาตรฐานของ The National Refrigeration Safety Code (NRSC) ของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดแยกชนิดของสารทำความเย็นออกเป็น 3 Group ได้แก่

Group 1 - เป็นสารทำความเย็นที่ปลอดภัยที่สุด

Group 2 - ผสมกับอากาศจุดไฟติด ทำให้ระคายเคืองและค่อนข้างจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต

Group 3 - ไวไฟ

- สารทำความเย็น Group 1

นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะสารทำความเย็นกลุ่มนี้ไม่มีพิษจุดไฟไม่ติด มีคุณ-สมบัติต่าง ๆ และลักษณะงานที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปของสารทำความเย็นแต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

R-12 Dichlorodifluoromethane

- ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย
- ไม่กัดกร่อนโลหะ
- มีเสถียรภาพดีมาก
- ราคาถูกกว่า R-22 อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องอัดก็ต่ำกว่า
- ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การตรวจรอยรั่วในระบบท่อ ใช้น้ำสบู่ , ตะเกียงฟู่ฮาไลด์ หรือใช้เครื่องตรวจอิเล็คโทรนิค

R-22 Monochlorodifluoromethane

- ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย
- ไม่กัดกร่อนโลหะ
- มีเสถียรภาพดีมาก
- รวมตัวกับน้ำได้ดี เพื่อป้องกันการมีน้ำผสมใน R-22 จึงมีสารดูดความชื้นออกจาก R-22 ในวัฏจักร
- ใช้กับระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิไม่ต่ำมากนัก ระบบปรับอากาศขนาดเล็ก หรือ ตู้เย็น
- การตรวจรอยรั่วในระบบท่อ ใช้น้ำสบู่ , ตะเกียงฟู่ฮาไลด์ หรือใช้เครื่องตรวจอิเล็คโทรนิค
- ในขนาดความเย็นเดียวกันกับ R-12 จะใช้เครื่องอัดที่มีปริมาตรขจัดเล็กกว่า

R-500 น้ำยาทำความเย็น Azeotropes

- จุดไฟไม่ติด ไม่มีพิษ ไม่กัดกร่อนโลหะต่าง ๆ
- มีความสามารถในการทำความเย็นได้มากกว่า R-12 ประมาณ 20% เมื่อใช้มอเตอร์ขับขนาดเดียวกัน
- ใช้กับระบบทำความเย็นที่มีความถี่ไม่แน่นอน (50-60 Hz)
- ละลายได้ดีทั้งในน้ำและน้ำมัน
- การตรวจรอยรั่วในระบบท่อ ใช้น้ำสบู่ , ตะเกียงฟู่ฮาไลด์ , ใช้เครื่องตรวจอิเล็คโทรนิค หรือใช้สารผสมที่เป็นสีสำหรับตรวจหารอยรั่วได้

R-502 น้ำยาทำความเย็น Azeotropes

- จุดไฟไม่ติด ไม่มีพิษ ไม่กัดกร่อนโลหะต่าง ๆ
- เหมาะกับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง (0 $^{\circ}$F - 60°F) นิยมใช้กับห้องเก็บผลิตภัณฑ์อาหารแบบแช่แข็ง
- จะให้ความดันและอุณหภูมิของการควบแน่นค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของวาล์วและชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบ
- การตรวจรอยรั่วทำได้โดยใช้น้ำสบู่ , ตะเกียงฟู่ฮาไลด์ หรือใช้เครื่องตรวจอิเล็คโทรนิค

R-503 น้ำยาทำความเย็น Azeotropes

- จุดไฟไม่ติด ไม่มีพิษ ไม่กัดกร่อนโลหะต่าง ๆ
- เหมาะกับงานอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ
- การตรวจรอยรั่วทำได้โดยใช้น้ำสบู่ , ตะเกียงฟู่ฮาไลด์ หรือใช้เครื่องตรวจอิเล็คโทรนิค

สารทำความเย็น Group 2

เมื่อผสมกับอากาศจะจุดไฟติด มีพิษเมื่อสูดเข้าไปทำให้แสบและระคายเคืองต่อผิวหนัง หรือเยื่อในจมูกและตา มีคุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของสารทำความเย็นแต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R-40 Methyl Chloride

- เป็น Halocarbon ของ Methane
- มีกลิ่นอ่อน ๆ เมื่อผสมกับอากาศมีกลิ่นคล้ายคลอโรฟอร์ม
- เมื่อผสมกับน้ำจะกัดกร่อนโลหะพวกอลูมิเนียม สังกะสี แมกนีเซียม และอาจเกิดการระเบิดขึ้นได้
- เมื่อผสมกับอากาศในสัดส่วน 8.1% - 17.2% โดยปริมาตรแล้วจะจุดไฟติด หรือระเบิดได้
- การตรวจรอยรั่วโดยใช้น้ำสบู่
- ปัจจุบันไม่นิยมใช้ R-40 แล้ว

R-717 Ammonia

- นิยมใช้มากในวงการอุตสาหกรรมที่ต้องการการทำความเย็นขนาดใหญ่
- เป็นพิษ ทำอันตรายต่อผิวหนังและทำลายเยื่ออ่อนในจมูก ตา ปาก
- จุดไฟติด และอาจระเบิดได้เมื่อผสมกับอากาศได้สัดส่วน
- แอมโมเนียบริสุทธิ์ไม่กัดกร่อนโลหะ แต่ถ้ามีความชื้นผสมอยู่จะกัดกร่อนโลหะพวกทองเหลือง ทองแดง
- การตรวจรอยรั่วโดยใช้เทียนกำมะถัน , กระดาษลิตมัสสีแดง

R-764 Sulphur Dioxide

- มีพิษมาก กลิ่นฉุนจัด แต่จุดไฟไม่ติด
- R-764 บริสุทธิ์ ไม่กัดกร่อนโลหะ แต่ถ้าผสมน้ำจะกัดกร่อนเหล็กได้

สารทำความเย็น Group 3

ปัจจุบันไม่ได้ใช้แล้ว เนื่องจากไวไฟ และมีข้อเสียมาก

R-170 Ethane

- ไวไฟ มีกลิ่นเฉพาะตัว
- ทำปฏิกิริยากับปะเก็น หรือชิ้นส่วนที่เป็นยาง แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะ
- ใช้ในระบบที่ต้องการอุณหภูมิต่ำมาก ๆ

R-290 Propane

- ไม่มีกลิ่น แต่ถ้าสูดดมเข้าไปมากจะทำให้สลบได้
- กัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นยาง แต่ไม่กัดกร่อนโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

1. Plate heat exchanger
2. Condenser unit
3. Data logger
4. ตู้ Control
5. Tank
6. Flow meter
7. Pump
8. ท่อ PVC
9. เข็มขัดรัดท่อ
10. เหล็กฉาก
11. สายยาง
12. Pressure gauge
13. Breaker
14. ประตูน้ำ
15. ล้อเหล็ก
16. ไม้อัด

จากชุดอุปกรณ์การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีอุปกรณ์หลักที่ใช้อยู่ 3 อย่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger) ประกอบด้วย

1. วัสดุ
   - 1.1 เฟรม ทำด้วยเหล็กพ่นสีอีป๊อกซี่
   - 1.2 แผ่นทำด้วยสเตนเลส เกรด AISI 316
   - 1.3 ประเก็น ทำด้วยยาง
   - 1.4 ท่อเข้า-ออก ทำด้วยสเตนเลส เกรด AISI 316
2. การใช้งาน
   - 2.1 สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ 126 เมกกะแคลอรี่/ชม.
   - 2.2 มีค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน 3500-5500 วัตต์/ตร.เมตร.องศาเซลเซียส
   - 2.3 ใช้กับความดันสูงสุด 1.6 เมกกะปาสคาล
3. ขนาด
   - 3.1 กว้าง 180 มิลลิเมตร
   - 3.2 สูง 480 มิลลิเมตร
   - 3.3 ท่อเข้า-ออก 1 ¼ นิ้ว
   - 3.4 ช่องการไหล 2.4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 0.8 ตร.เมตร

3.6 มีแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างน้อย 27 แผ่น

CONDENSER UNIT ขนาด 2 ตัน ประกอบด้วย

1. Compressor ชนิด Hermetic ขนาด 2 ½ HP
2. Condenser coil ชนิด Plate fin / Aluminum fin / Copper tube
3. Condenser fan แบบ Propeller fan ขนาด 18 นิ้ว 780 rpm
4. สารน้ำยาทำความเย็นชนิด R-22
5. Water chiller มีขนาดท่อเข้า-ออก ¾ นิ้ว

PUMP สำหรับ pump ที่ใช้เป็น pump น้ำ มีอยู่ด้วยกัน 3 ตัวอย่าง

ตัวที่1 มีรายละเอียดดังนี้

H = 35 m.	Q = 40 l/min	HZ = 50
V = 220	RPM = 2,800	A = 2.3
KW = 0.335	HP = 0.5	

ตัวที่2 มีรายละเอียดดังนี้

H = 38÷5 m.	Q = 5÷40 l/min	HZ = 50
V = 220	Q_{max} = 40 l/min	H_{max} = 40 m.
KW = 0.37	HP = 0.5	W_{max} = 550
RPM = 2,900 min		

ตัวที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้

HP = 0.5	HZ = 50	V = 220
RPM = 2,900		

3.2 ขั้นตอนการคำนวณ

1. หาอัตราการไหล
2. หารการสูญเสียแรงดันในท่อ
3. ปริมาตร Tank

3.2.1 คำนวณหาอัตราการไหล

จากปั๊มน้ำ Q = 40 l/min ; ต้องการหา m

จะได้ Q = 40 l/min = 40/1000 = 0.04 m^3/min

∴ อัตราการไหลทางด้านน้ำเย็นมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ อัตราการไหลทางด้านน้ำเย็นมีค่า

$m = 0.04*60 = 2.4\ m^3/hr$

$v = Q/A = 0.04/60*(\pi/4)(0.031)^2 = 0.88\ m/s$

โดยที่ Q = ปริมาตรการไหล (m^3/min)

m = อัตราการไหล (m^3/hr)

v = ความเร็วของของเหลว (m/s)

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (m^2)

จากสมการความร้อนจำเพาะสำหรับสารที่เป็นของเหลวที่ปริมาตรคงที่

$$mC_{p,h}(T_{h,i}-T_{h,o}) = mC_{p,i}(T_{c,o}-T_{c,i})$$

เนื่องจาก Cp มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก

$$\therefore C_{p,h} \approx C_{p,o}$$

$$m(20) = 2.4(18)$$

$$m = 2.4*18/20 = 2.16\ m^3/hr$$

∴ จะได้อัตราการไหลทางด้านความร้อน 2.16 m^3/hr

3.2.2 คำนวณหาการสูญเสียแรงดันในท่อ

1. สูญเสียแรงดันเนื่องจากความขรุขระหรือความยาวท่อจาก

$$E_f = Fv^2L/R$$

$$Re = \rho VD/\mu$$

$$= 1000*0.96*0.031/0.001$$

$$= 2.1*10^4$$

สำหรับ Stell $\in$ = 0.00015

∴ $\in/D$ = 0.0048

จากกราฟได้ f = 0.0075

$$E_f = Fv^2L/R$$

$$= 0.0075*(0.96)^2*7*2/0.031$$

$$= 1.51\ J/kg$$

2. สูญเสียแรงดันเนื่องจากข้องอและวาล์ว

$$E_f = kv^2/2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง Friction Losses For Standard Fittings

จะได้ค่าคงที่ของ Globe vavle open สำหรับท่อขนาด 1 ¼ นิ้ว

$$K = 12$$

ซึ่งมีวาล์วทั้งหมด 3 ตัว และข้องอ 25 ชุด

$$\therefore E_f = Kv_1^2/2 + Kv_2^2/2$$

$$= 3*11(0.69)^2/2 + 25*1.2(0.96)^2/2$$

$$= 15 \text{ J/kg}$$

3. สูญเสียความเร็วเนื่องจากน้ำในท่อ

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$h = \tfrac{1}{2}v^2/g$$

$$= \tfrac{1}{2}*(0.69)^2/9.81$$

$$= 0.024 \text{ m}$$

4. เนื่องจากความสูงของอุปกรณ์

$$h = 1.5 \text{ m}$$

การสูญเสียรวมจากข้อ 1+ 2 รวมกันได้

$$1.51 + 15 = 16.51 \text{ J/kg}$$

$$= 1.68 \text{ mH}_2\text{O}$$

$\therefore$ การสูญเสียรวมทั้งหมด 1.68 + 0.024 + 1.5 = 3.18 m

3.2.3 หาปริมาตรของ Tank

ปริมาตรของน้ำที่ไหลในท่อ ซึ่งมีขนาด $\varnothing$ = 1 ¼ นิ้ว = 0.031 m ท่อยาว 7 เมตร จะได้

$$v = \pi/4d^2h$$

$$= \pi/4(0.031)^2*7$$

$$= 5.28*10^{-3} \text{ m}^3$$

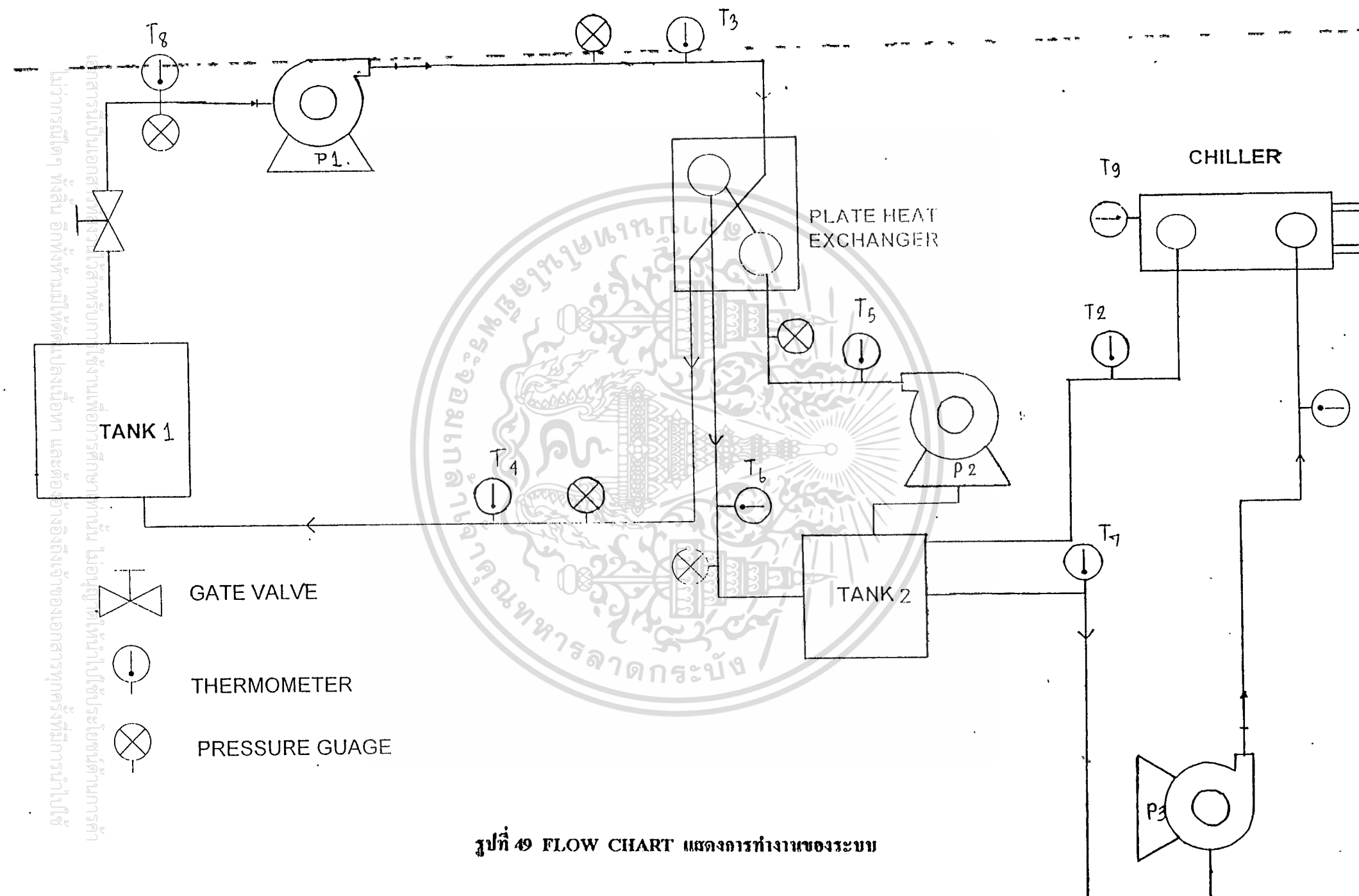
ปริมาตรของ Tank ต้องเผื่อปริมาตรของของเหลวที่จะไหลเข้าคอนเดนเซอร์ กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ซึ่งในที่นี้จะใช้ขนาด Tank ที่มีปริมาตรประมาณ 4 เท่าของปริมาตรน้ำในท่อ จะได้

$$v = 4*5.28*10^{-3}$$

$$= 0.021 \text{ m}^3$$

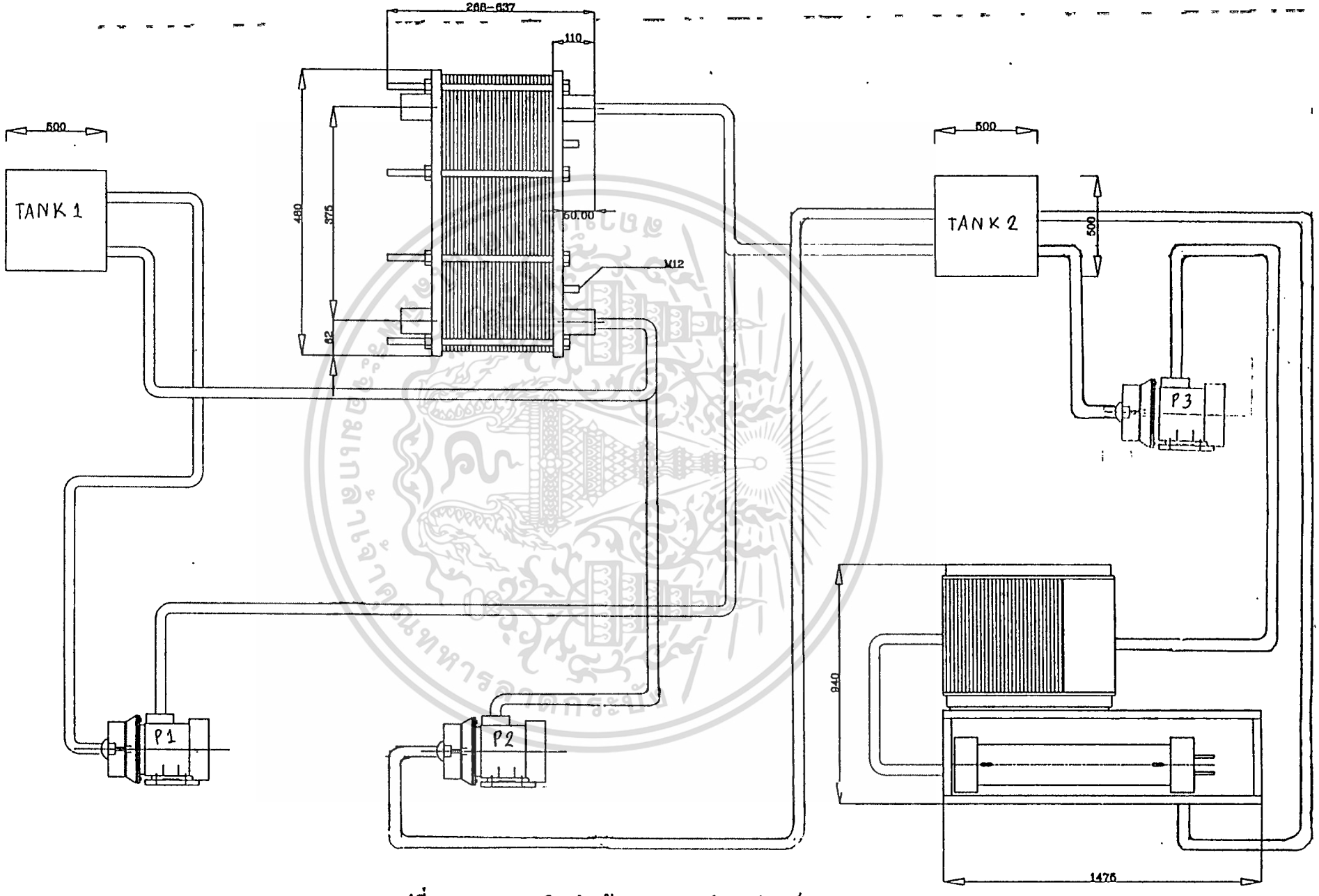
ดังนั้นเราจะให้ Tank มีขนาดประมาณ 0.5*0.5*0.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

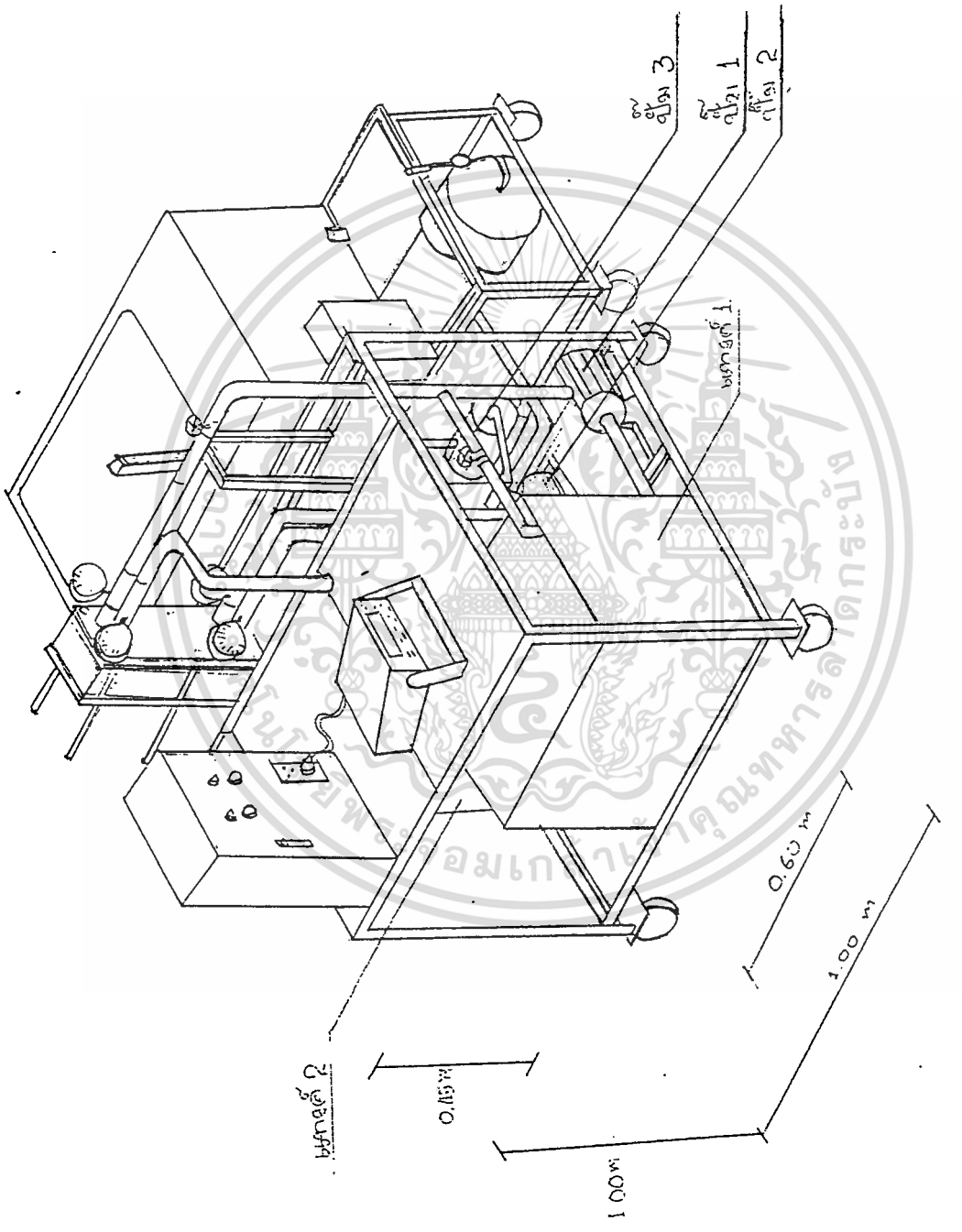


รูปที่ 49 FLOW CHART แสดงการทำงานของระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



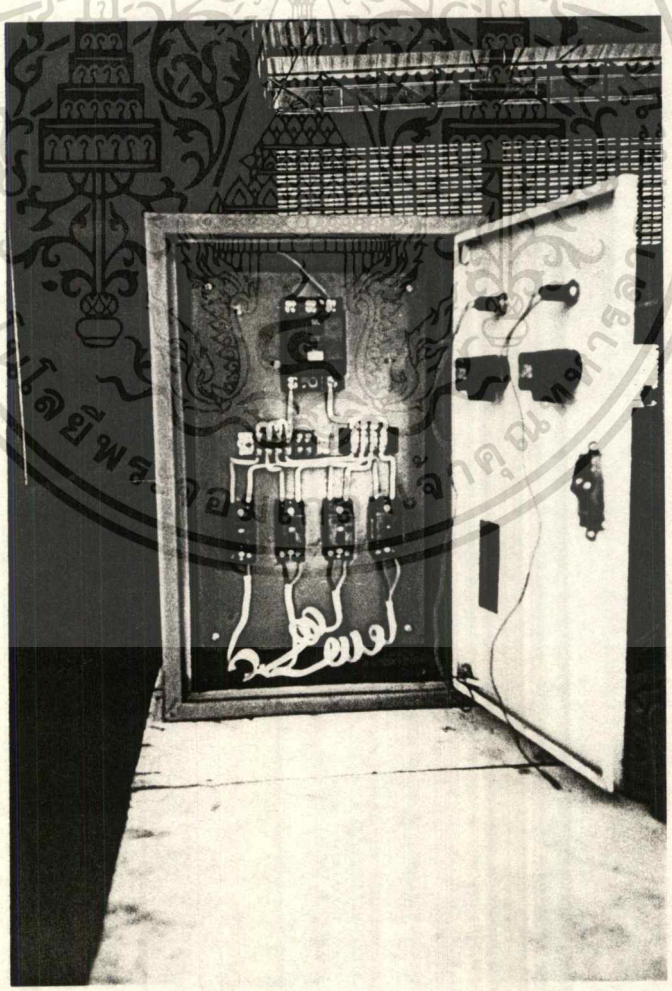
รูปที่ 50 แสดงการเดินท่อเข้า-ออกของแต่ละอุปกรณ์



รูปที่ 51 แบบของชุดอุปกรณ์ที่ละน้ำไม่ร้าง

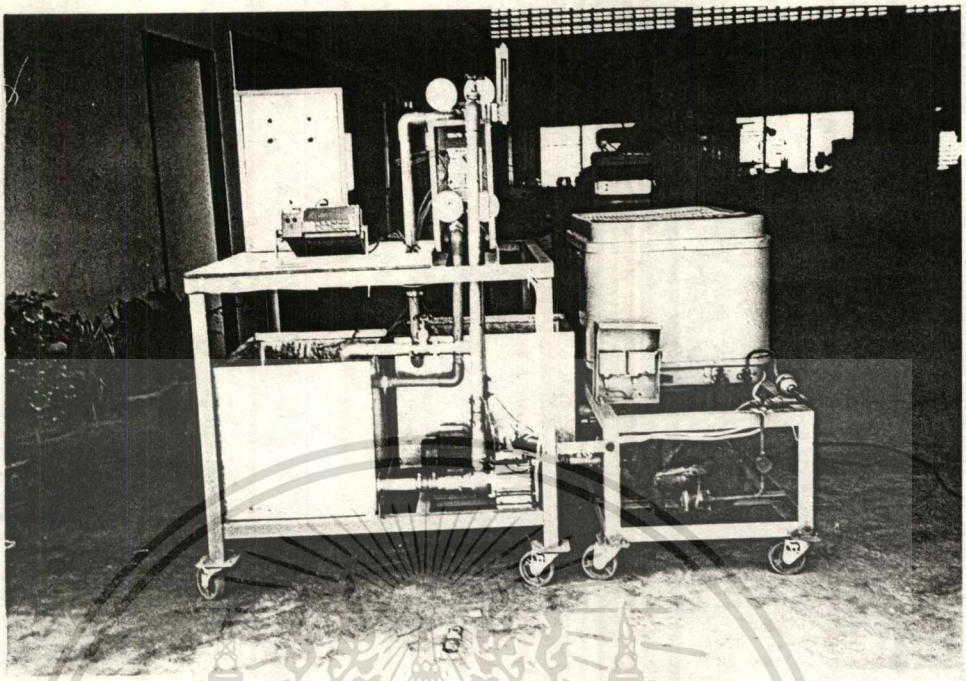
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 52 รูปโครงเหล็กที่ใช้ประกอบชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อน

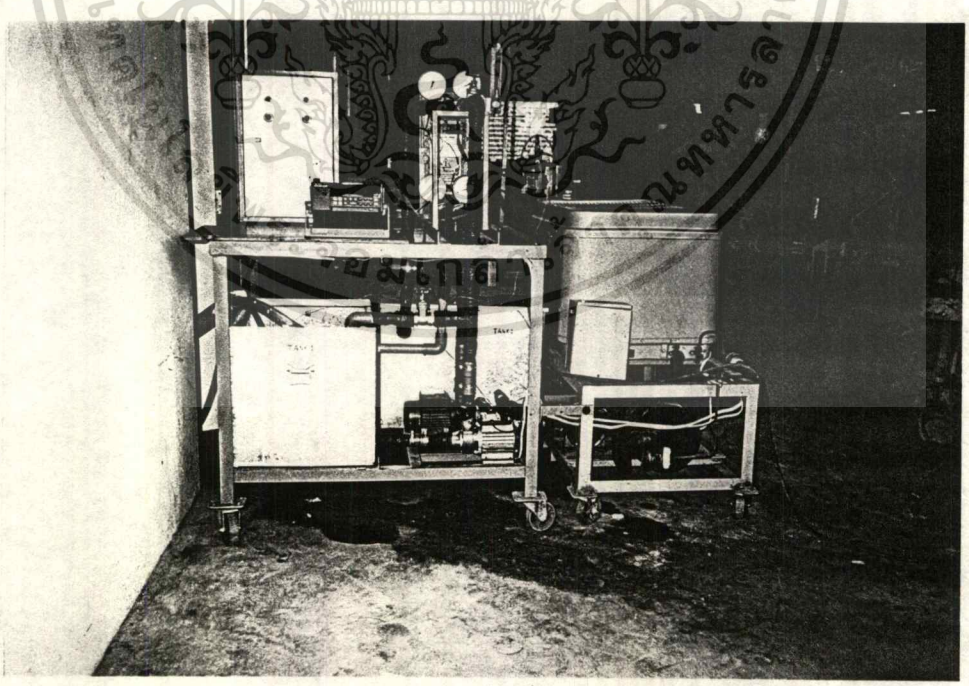


รูปที่ 53 รูปตู้ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 54 รูปชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนหุ้มฉนวน



รูปที่ 55 รูปชุดอุปกรณ์ทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของ Condenser Unit
2. เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน
3. เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

4.2 วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
2. เครื่องวัดอัตราการไหล (FLOW METER)
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ (DATA LOGGER)
4. เกจวัดความดัน (PRESSURE GUAGE)
5. น้ำ

4.3 วิธีการทดลอง

1. วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของ TANK1 และ TANK2 , บันทึกผล
2. เปิดสวิทช์ CONDENSER UNIT และ PUMP3
3. เดินเครื่องทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำที่ TANK2 มีอุณหภูมิเป็น 0.4 องศาเซลเซียส , บันทึกผล
4. เปิดสวิทช์ PUMP1 , PUMP2 แล้วปรับอัตราการไหลที่ FLOW METER เป็น 0.6 m^3/hr
5. วัดอุณหภูมิทุก ๆ 30 วินาที (T1 - T9) 4 ครั้ง จากนั้นให้วัดห่างขึ้นเป็น 1 นาที อีก 3 ครั้ง , บันทึกผล
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 โดยปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.2 m^3/hr จนถึงค่าสุดท้ายที่ 2.15 m^3/hr ตามลำดับ , บันทึกผล
7. นำค่าที่ได้ ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น , ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
8. นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นกับอัตราการไหล ณ เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

1. คำนวณหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน จากสูตร

$$q = \rho Q c_{p,h}(T_3 - T_4)$$

และ $$q = \rho Q c_{p,c}(T_6 - T_5)$$

โดย q = อัตราการแลก เปลี่ยนความร้อน (KJ/s)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ = 1,000 kg/m^3

Q = ปริมาตรการไหล m^3/s

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (KJ/Kg-K)

T_3 = อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้า Plate Heat Exchanger (K)

T_4 = อุณหภูมิของน้ำที่ทางออก Plate Heat Exchanger (K)

2. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม จากสูตร

$$U = q / A \Delta Tm$$

โดย U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2-K)

q = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน (KJ/s)

A = พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

= 0.032 m^2

ΔTm = ค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับการแตกต่างของอุณหภูมิ(K)

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

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

โดย $\Delta T_1 = (T_3 - T_6)$

$\Delta T_2 = (T_4 - T_5)$

T_5 = อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ทางเข้า Plate Heat Exchanger (K)

T_6 = อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ทางออก Plate Heat Exchanger (K)

3. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของ CONDENSER UNIT จากสูตร

$$COP_R = 1 / ((T_9 / T_2) - 1)$$

โดย COP_R = ค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น

T_9 = อุณหภูมิของลมที่ออกจาก CONDENSER UNIT (K)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของ CONDENSER UNIT (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตารางบันทึกผลการทดลอง

Q (m^3/hr)	Time (min)	TEMPERATURE (°C)								
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
0.6	0	5.5	4.2	33.8	33.5	33.6	33.7	0.4	33.2	36.4
	0.5	6.5	4.8	33.7	24.7	18.0	19.3	4.3	33.7	36.7
	1.0	7.0	5.3	33.7	22.4	16.3	18.3	6.7	33.9	36.7
	1.5	9.4	7.0	33.7	21.3	15.8	19.0	8.2	34.0	36.8
	2.0	9.6	7.3	33.7	21.1	15.8	19.7	10.6	34.1	37.3
	3.0	12.8	10.6	33.6	21.1	16.1	20.9	12.4	34.0	37.4
	4.0	17.4	12.5	33.6	21.7	17.2	22.3	15.2	34.1	37.5
	5.0	17.5	15.7	33.5	22.8	18.7	23.7	18.4	34.0	37.4
0.8	0	5.9	4.4	33.6	32.7	27.1	29.2	0.4	34.5	36.9
	0.5	7.5	5.3	34.0	22.0	15.7	20.9	5.9	34.5	36.8
	1.0	8.2	5.9	34.0	20.8	15.0	19.7	8.2	34.6	37.1
	1.5	10.6	7.9	34.1	20.3	15.1	20.4	9.5	34.7	37.3
	2.0	11.0	8.5	34.1	20.2	15.5	20.9	11.6	34.8	37.7
	3.0	14.7	12.7	34.0	20.7	16.8	22.0	15.5	34.8	37.7
	4.0	16.1	14.3	33.9	22.0	18.2	23.3	16.7	34.7	37.7
	5.0	18.5	16.7	33.8	23.4	19.4	23.9	17.8	34.6	37.7
1.0	0	5.7	2.4	31.0	30.6	30.6	30.9	0.4	32.6	37.1
	0.5	6.0	3.0	31.1	24.6	16.8	20.8	8.6	32.7	37.0
	1.0	9.3	5.7	31.1	22.1	16.0	20.1	9.0	32.8	37.2
	1.5	10.1	6.8	31.5	21.4	16.1	20.6	11.7	32.7	37.3
	2.0	12.6	9.8	31.7	21.2	16.4	21.3	13.1	32.7	37.5
	3.0	14.6	12.7	31.8	21.7	17.6	22.8	16.6	32.8	37.8
	4.0	18.7	16.9	32.6	23.2	19.6	24.2	19.4	32.8	37.8
	5.0	20.0	18.8	32.0	24.3	21.2	25.5	22.0	32.8	37.8
1.2	0	5.7	2.3	32.2	32.0	32.0	32.2	0.4	33.0	37.0
	0.5	6.5	2.9	32.2	29.2	17.9	22.2	7.3	32.9	36.8
	1.0	9.8	6.1	32.5	24.9	16.9	21.2	9.6	32.9	36.9
	1.5	10.4	6.9	32.7	23.7	16.9	21.8	12.0	33.2	37.0
	2.0	13.0	10.0	33.0	23.2	17.2	22.6	12.4	33.4	37.5
	3.0	15.5	13.7	33.0	23.6	18.7	24.6	17.5	33.4	37.4
	4.0	19.4	17.9	32.9	24.9	20.5	26.3	20.6	33.4	37.5
	5.0	21.3	20.1	32.9	26.1	22.3	27.5	23.0	33.3	37.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

Q (m^3/hr)	Time (min)	TEMPERATURE (°C)								
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
1.4	0	5.7	2.4	32.8	32.5	32.5	32.8	0.4	33.4	37.0
	0.5	8.0	4.3	33.1	26.2	18.0	23.3	1.3	33.4	36.8
	1.0	8.9	5.6	33.2	24.2	17.4	22.4	9.0	33.5	36.5
	1.5	12.1	8.9	33.7	24.0	17.6	23.1	12.4	33.7	36.9
	2.0	12.7	10.2	33.7	24.0	18.0	23.9	14.1	34.0	37.1
	3.0	17.5	16.0	33.6	24.9	19.7	25.5	17.5	33.9	37.1
	4.0	19.7	18.5	33.5	26.1	21.6	27.3	21.5	33.7	37.2
	5.0	32.9	21.9	33.5	27.0	23.5	28.6	24.7	33.7	37.1
1.6	0	5.8	2.5	33.4	33.1	33.2	33.3	0.4	33.5	36.9
	0.5	6.6	3.1	33.7	25.9	18.6	24.4	7.1	34.0	37.1
	1.0	10.1	6.3	33.7	24.9	17.8	23.8	9.2	33.9	37.0
	1.5	11.0	7.7	33.8	24.8	18.0	24.4	12.9	34.4	37.2
	2.0	14.1	11.7	34.3	25.2	18.5	25.3	15.0	34.8	37.5
	3.0	17.0	15.6	34.1	25.9	20.3	26.9	20.5	34.4	37.8
	4.0	21.2	19.8	34.0	27.2	22.3	28.4	22.8	34.2	37.8
	5.0	23.1	22.1	33.8	28.3	24.2	29.6	25.0	34.0	37.6
1.8	0	6.1	2.6	34.2	33.8	33.9	34.2	0.4	33.1	37.2
	0.5	6.7	3.2	34.1	26.4	19.2	25.0	8.1	34.1	37.2
	1.0	10.0	6.4	34.2	25.5	18.2	24.4	10.7	34.1	37.3
	1.5	11.2	7.8	34.4	25.5	18.4	24.9	13.9	34.7	37.5
	2.0	14.3	12.0	34.7	25.9	18.9	25.8	14.8	35.1	37.8
	3.0	17.2	15.9	34.5	26.8	20.7	27.6	21.1	34.6	37.7
	4.0	21.4	20.3	34.3	28.0	22.7	28.9	23.4	34.4	37.9
	5.0	23.3	22.5	34.2	29.0	24.6	30.2	25.2	34.2	37.8
2.0	0	5.6	3.1	34.3	33.9	34.0	34.3	0.4	35.1	37.4
	0.5	7.4	4.1	34.8	26.9	19.4	26.3	7.7	35.3	37.1
	1.0	8.7	5.8	34.9	26.5	18.4	25.4	13.0	35.2	37.7
	1.5	12.5	8.8	34.9	26.6	18.8	25.8	14.6	35.1	38.0
	2.0	13.3	9.8	35.0	27.0	19.4	27.1	17.7	36.0	37.9
	3.0	17.4	14.3	35.0	27.5	20.4	28.0	19.2	35.0	37.7
	4.0	19.8	18.0	34.5	28.3	22.5	29.2	23.0	29.5	37.8
	5.0	23.1	21.5	34.0	29.0	24.0	29.9	24.5	31.6	37.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

Q (m^3/hr)	Time (min)	TEMPERATURE (°C)								
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
2.2	0	5.5	4.5	33.1	32.3	32.2	33.0	0.4	34.7	37.3
	0.5	7.7	5.7	34.2	26.4	18.4	25.8	8.2	34.8	37.3
	1.0	8.9	7.0	34.4	26.2	17.9	25.1	12.5	35.8	37.8
	1.5	13.0	10.6	35.0	26.7	18.6	25.8	14.7	35.8	38.0
	2.0	13.6	11.9	35.0	27.0	19.3	26.7	18.4	35.2	37.9
	3.0	19.2	17.7	34.6	28.4	21.5	28.2	21.2	34.6	37.8
	4.0	21.5	20.4	34.3	29.0	23.7	29.8	24.9	34.1	38.0
	5.0	24.6	23.5	34.1	30.0	25.6	30.5	27.0	28.5	37.8

โดย T_1 = อุณหภูมิของน้ำจาก Tank 2 ที่เข้า CONDENSER UNIT

T_2 = อุณหภูมิของน้ำที่ออกจาก CONDENSER UNIT เข้าสู่ Tank 2

T_3 = อุณหภูมิของน้ำจาก Tank 1ที่เข้า PLATE HEAT EXCHANGER

T_4 = อุณหภูมิของน้ำที่ออกจาก PLATE HEAT EXCHANGER เข้าสู่ Tank 1

T_5 = อุณหภูมิของน้ำเย็นจาก Tank 2 เข้าสู่ PLATE HEAT EXCHANGER

T_6 = อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจาก PLATE HEAT EXCHANGER เข้าสู่ Tank 2

T_7 = อุณหภูมิของน้ำใน Tank 2

T_8 = อุณหภูมิของน้ำใน Tank 1

T_9 = อุณหภูมิของลมที่ออกจาก CONDENSER UNIT

Tank 1 = Tank น้ำ

Tank 2 = Tank น้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ปริมาตรการไหล = 0.6 m^3/hr , ที่ 0.5 นาที มีค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ เป็นดังนี้

T_1 = 6.5 °c , T_2 = 4.8 °c , T_3 = 33.7 °c , T_4 = 24.7 °c , T_5 = 18.0 °c ,

T_8 = 19.3 °c , T_7 = 4.3 °c , T_8 = 33.7 °c , T_9 = 36.7 °c

จะคำนวณหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนได้จาก

$$q = \rho Q c_{p,h}(T_3 - T_4)$$

และ $$q = \rho Q c_{p,c}(T_6 - T_5)$$

$\therefore q$ = (1,000 kg/m^3)*(0.6 /3,600 m^3/s)*(1.87 kJ/kg-K)*(306.7-297.7 K)

= 2.805 kW (คิดทางด้านน้ำ)

$\therefore q$ = (1,000 kg/m^3)*(0.6 /3,600 m^3/s)*(1.87 kJ/kg-K)*(292.3-291 K)

= 0.405 kW (คิดทางด้านน้ำเย็น)

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้จาก

$$U = q / A \Delta Tm$$

โดย $$\Delta Tm = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)$$

$\Delta T_1 = (T_3 - T_6)$

$\Delta T_2 = (T_4 - T_5)$

$\therefore \Delta Tm$ = (14.4 - 6.7)/ ln (14.4/6.7)

= 10.06

$\therefore$ U = (2.805 kW)/(0.032 m^2)*(10.06 K)

= 0.903 kW/m^2-K (คิดทางด้านน้ำ)

$\therefore$ U = (0.405 kW)/(0.032 m^2)*(10.06 K)

= 0.130 kW/m^2-K (คิดทางด้านน้ำเย็น)

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของ Condenser Unit จาก

$$COP_R = 1 / ((T_9 / T_2) - 1)$$

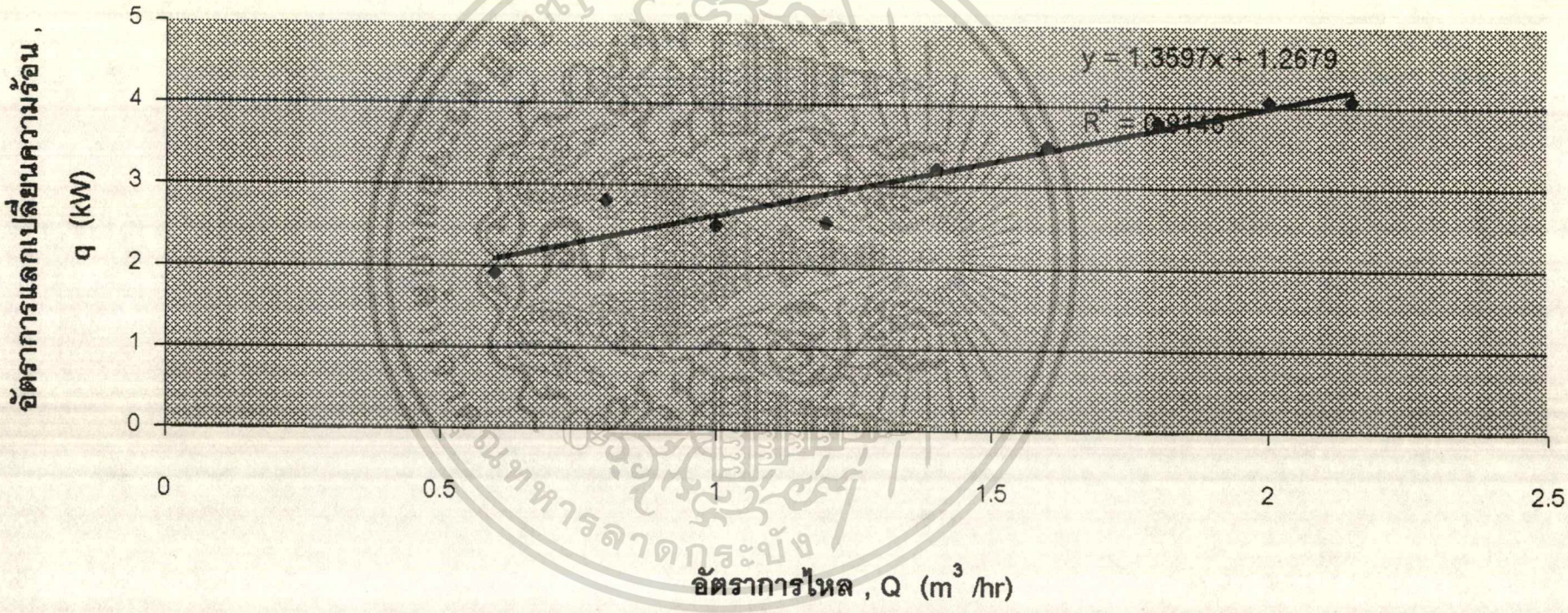
$\therefore$ COP_R = 1 / ((309.7 K/277.8 K)-1)

= 8.7

นำค่าที่คำนวณไปพล็อตกราฟ

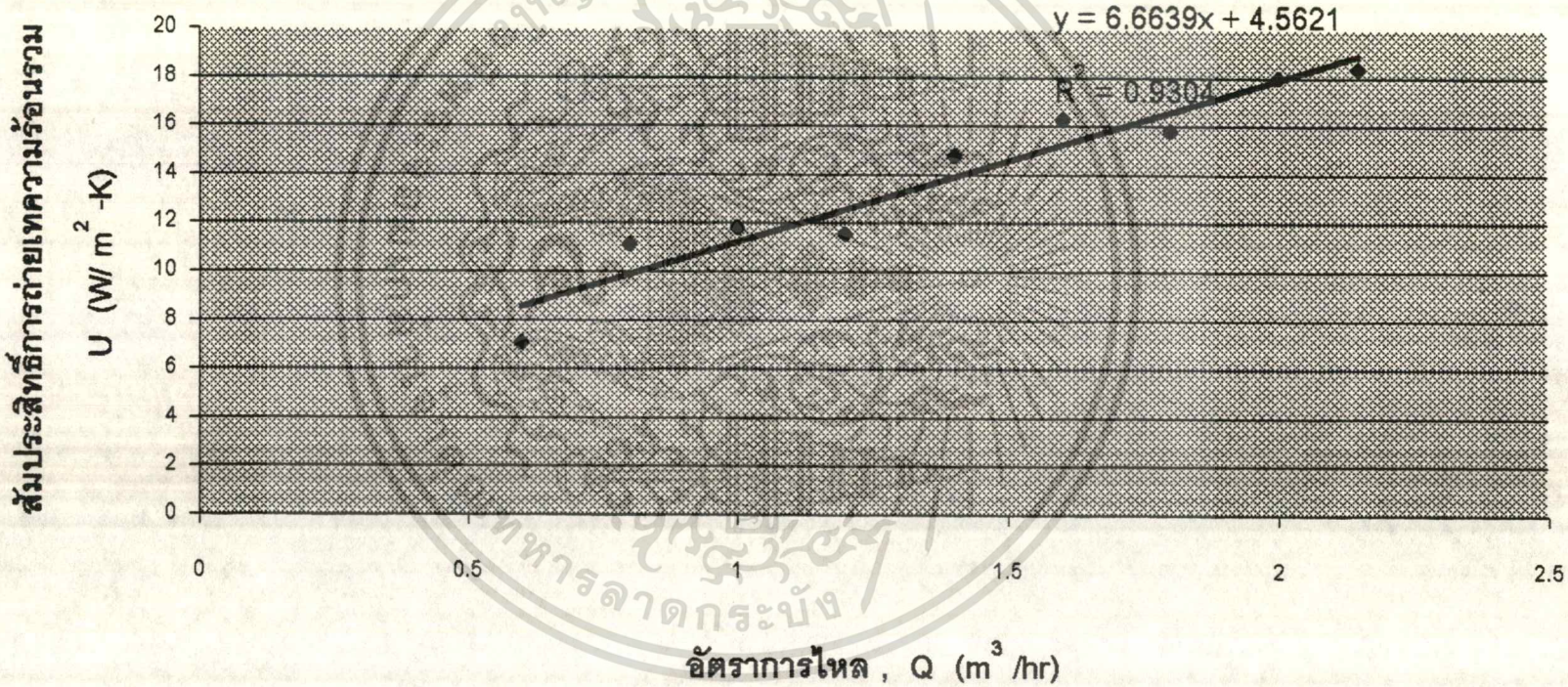
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน กับ อัตราการไหล

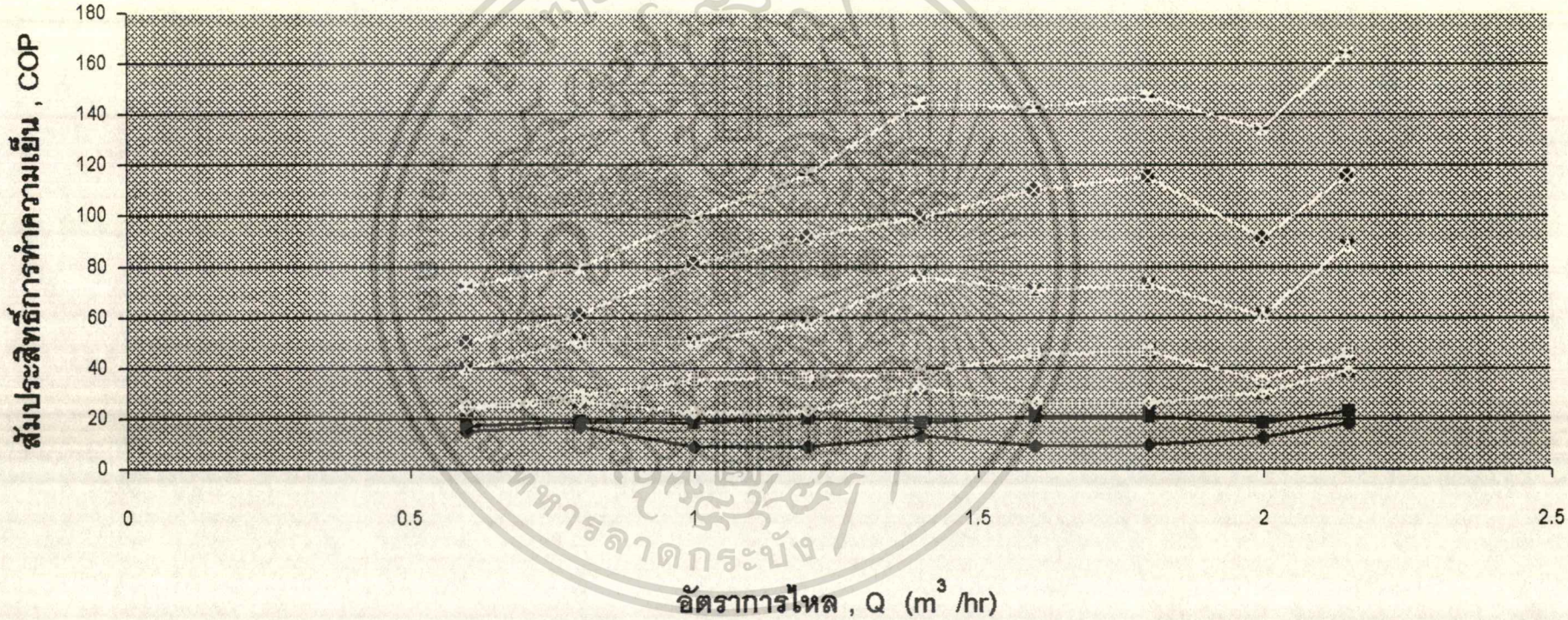


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม กับอัตราการไหล



กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การทำความเย็น กับอัตราการไหลที่เวลาใด ๆ



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง เมื่อนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดมาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น ณ เวลาใดๆ มีผลการทดลองเป็นดังนี้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน จะพบว่าเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งจากกราฟแสดงว่า เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นตามในช่วงอัตราการไหลที่ทำการทดลอง (0.6-2.15 m^3/hr)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม จะพบว่า เมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งจากกราฟแสดงว่า เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมก็จะเพิ่มขึ้นตามในช่วงอัตราการไหลที่ทำการทดลอง (0.6-2.15 m^3/hr)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น ณ เวลาใดๆ ทำให้เราทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของ Condenser Unit ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและวิจารณ์

จากการค้นคว้าและทดลองพบว่า เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟและจากการวิเคราะห์กราฟพบว่าค่าที่ได้นั้นเป็นไปตามทฤษฎีคือ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลมีผลต่อค่าอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนรวม และทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของ Condenser Unit ณ เวลาใดๆ ซึ่งในการทำโครงงานครั้งนี้พบปัญหาที่เกี่ยวกับการทำโครงงานคือ

ปัญหาที่พบในการทำโครงงาน

1. จากการทดลองไม่สามารถวัดค่าความดันได้ เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากจนเกินกว่าที่จะวัดได้
2. ฉนวนที่นำมาหุ้มท่อยังไม่ดีพอ จึงทำให้เกิดการสูญเสียอุณหภูมิเนื่องจากการไหลในท่อได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาโครงงาน

1. เพิ่มขนาดของ TANK ทั้งสองให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
2. ควรเลือกฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้
3. ควรเลือกปั๊มที่มีปริมาตรการไหลมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จิระพล ฉายับฐิต, "ปั๊ม", 69 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล,พิมพ์ครั้งที่ 4, 2535, หน้า 247-265.
2. วิวัฒน์ อำพรผล, "Plat Heat Exchanger" , 65 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล,2535
3. วิทยากร, "สารทำความเย็น", คู่มือเครื่องปรับอากาศและตู้เย็นภาคปฏิบัติ,แพร่วิทยา.
4. สมศักดิ์ สุโมตยกุล, เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ,หน้า 59-127, ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
5. มนต์ชัย กาทอง, "พื้นฐานการถ่ายเทความร้อน" ,การถ่ายเทความร้อน,2539.
6. อัครเดช สิทธุภัค, การปรับอากาศ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2535, หน้า 343-351.
7. อัครเดช สิทธุภัค, การทำความเย็น, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2533, หน้า 59-127.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้