

เอกสารวิจัย

เครื่องปรับอากาศในเรือขนาดไม่เกิน ๓ ตัน

กรมพัฒนาการช่าง

กรมอู่ทหารเรือ
๗

เอกสารวิจัย

เรื่อง เครื่องปรับอากาศในเรือขนาดไม่เกิน ๓ ตัน

โดย

คณะกรรมการโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องปรับอากาศในเรือขนาดไม่เกิน ๓ ตัน ตามคำสั่งคณะกรรมการ
อำนวยการวิจัยและพัฒนาการทหารของ อร.ที่ ๗/๒๕๔๐ ประกอบด้วย

๑. น.อ.มานิตย์ สุนนาคำ	หน. คณะทำงานและนายทหารโครงการ
๒. น.อ. เสริมเกียรติ จันทระสะอาด	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๓. น.อ. พจน์ กลมกล่อม	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๔. น.อ. พิสุทธิ์ ไช้สุวรรณ	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๕. น.อ. มนต์ชัย กาทอง	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๖. น.อ. กิตติพงศ์ รุมาคม	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๗. น.อ. พจน์ ภูวนารณกุล	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๘. น.ท. สง่า นุชนาคา	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๙. น.ต. สมศักดิ์ คงโชติ	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๑๐. น.ต. ปรัชญา กัญจิมล	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๑๑. น.ต. ศิลปชัย จีรังสวัสดิ์	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
๑๒. น.ต. ก้องเกียรติ สิกนุช	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย

สาระสังเขป

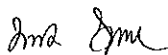
งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ และผลิตเครื่องปรับอากาศต้นแบบขนาดไม่เกิน 3 ตัน โดยใช้ R-134a ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่ปราศจากสาร CFCs แทนสาร R-12 สำหรับใช้งานในเรือ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาทั้งด้านการส่งกำลังบำรุง และเป็นการแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบในการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของกองทัพเรือ โดยการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ประกอบระบบที่ให้ความเย็นประมาณ 3 ตัน แล้วเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ มาสร้างเป็นระบบปรับอากาศในตู้สินค้าที่มีภาระทางความร้อนและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับห้องสะพานเดินเรือ และห้องวิทยุในเรือจริง ซึ่งผลจากการทดลองใช้งานพบว่า ระบบปรับอากาศที่ใช้ R-134a จะใช้ปริมาณของสารทำความเย็นน้อยกว่าระบบที่ใช้ R-12 ขณะที่ปริมาณความเย็นที่ได้ และประสิทธิภาพการทำงาน (C.O.P.) ลดลงเล็กน้อย โดยใช้กำลังในการขับ Compressor เพิ่มขึ้น ขณะที่ยังสามารถใช้ชุดอุปกรณ์ Condenser และชุด Fancoil ของระบบ R-12 ได้

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนวทางการติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้กับเรือขนาดเล็ก เช่น เรือตรวจการใกล้ฝั่ง และเรือตรวจการชายฝั่งรุ่นเก่า ที่ไม่มีระบบปรับอากาศ และกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประจำเรือ ไม่เพียงพอต่อการติดตั้งระบบปรับอากาศทั่วไป โดยใช้กำลังส่วนสำรอง (Reserve Power) ของเครื่องจักรใหญ่ เป็นต้นกำลังของระบบปรับอากาศขนาด 3 ตัน ซึ่งเพียงพอไปใช้งานในห้องที่มีภาระทางความร้อนเหมาะสมได้

คำนำ

เนื่องจากเรือในกองทัพเรือจำนวนหนึ่ง ใช้เครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน แต่เครื่องปรับอากาศดังกล่าวมีแบบ และชนิดต่าง ๆ ทำให้การจัดหาไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน และส่งผลทำให้การจัดเตรียมอะไหล่ในการซ่อมบำรุงจะต้องมีการเตรียมอะไหล่ไว้เป็นจำนวนหลายรายการ ซึ่งไม่เป็นผลดีในด้านการส่งกำลังบำรุง ดังนั้นการกำหนดแบบมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศ ที่ใช้ในเรือ จะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ได้ ประกอบกับขณะนี้ทั่วโลกได้ลดปริมาณการผลิตสารทำความเย็นที่เป็นสาร CFCs และสาร HCFCs ลง และจะยุติการผลิตในที่สุด ซึ่งกองทัพเรือก็เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ใช้สาร CFCs และสาร HCFCs เช่น R-12 และ R-22 เป็นสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศทั้งในอาคารสำนักงาน ตลอดจนเรือต่าง ๆ ของกองทัพ ดังนั้นเพื่อเป็นการเตรียมพร้อมถึงปัญหาการขาดแคลนสารทำความเย็นของกองทัพเรือในอนาคต จึงต้องเร่งทำการศึกษาสารทำความเย็นชนิดใหม่ที่เป็นสารปราศจากสาร CFCs ว่ามีสารชนิดใดบ้างที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศของกองทัพเรือ เพื่อเป็นการเตรียมการรองรับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ทางคณะทำงานได้เล็งเห็นว่า การจัดการด้านพลังงานนั้น นับวันจะมีความสำคัญยิ่งขึ้น จึงได้เสนอแนวทางการติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้กับเรือขนาดเล็ก โดยใช้กำลังส่วนสำรอง (Reserve Power) ของเครื่องจักรใหญ่ เป็นต้นกำลังของระบบปรับอากาศขนาด 3 ตัน ซึ่งเพียงพอไปใช้งานในห้องที่มีภาระทางความร้อนเหมาะสมได้ เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากพลังงานสำรองอย่างมีประสิทธิภาพ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทางคณะทำงาน ฯ จึงได้รวมวัตถุประสงค์ทั้งสามประการ เสนอเป็นงานวิจัยซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อกองทัพเรือ และประเทศชาติสืบไป

นาวาเอก 

(มานิตย์ สุนาคำ)

รอง จก. กผช. อร.

หน.คณะทำงาน และนายทหารโครงการ

สารบัญ

หน้า

สารสังเขป	ก
คำนำ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ และความมุ่งหมายของโครงการ	1
ความต้องการในการใช้งาน	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 สารทำความเย็น	3
กล่าวนำ	3
คุณสมบัติที่สำคัญของสารทำความเย็น	3
สารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ	4
สารทำความเย็นชนิดที่ปราศจากสาร CFCs	5
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	9
การเลือกใช้ R-134a แทน R-12 ในระบบปรับอากาศ	9
แนวความคิดในการออกแบบเครื่องปรับอากาศในเรือ	9
การคำนวณเพื่อใช้ R-134a แทน R-12	10
การจำลองสถานการณ์ และการคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ประกอบเป็นระบบต้นแบบ	12
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	16
การสร้างระบบปรับอากาศ	16
การทดลอง และผลการทดลอง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การคำนวณค่าต่าง ๆ เมื่อนำระบบไปใช้งานในเครื่องจริง	23
เปรียบเทียบการใช้งานของ R-134a กับ R-12	25
บทที่ 5 บทสรุป	27
สรุป	27
ข้อเสนอแนะ	28
บรรณานุกรม	29
ผนวก ก ตาราง และแผนภูมิที่ใช้ในการคำนวณ	30
ตารางที่ 1 REFRIGERANT 134a (TETRAFLUOROETHANE) PROPERTY OF SATURATED LIQUID AND SATURATED VAPOR	31
ตารางที่ 2 PROPERTY OF REFRIGERANT 12, LIQUID AND SATURATED VAPOR	32
ตารางที่ 3 RMA STANDARD SIZE LIST (CLASSIC V-BELT)	34
ตารางที่ 4 BELT DESIGN WITH NON-STANDARD PULLEYS	35
ตารางที่ 5 RATED HORSEPOWER PER BELT FOR "A" SECTION	36
ตารางที่ 6 RECOMMENDED REFRIGERANT LINE SIZE	37
ภาพที่ 1 MOLLIER (PRESSURE-ENTHALPY) DIAGRAM FOR R-12	38
ภาพที่ 2 PRESSURE-ENTHALPY DIAGRAM FOR HFC-134a	39
ผนวก ข รายละเอียดการคำนวณภาระทางความร้อนของห้องเมสทหารชุดเรือ ต.11	40
ผนวก ค รายละเอียดการคำนวณภาระทางความร้อนของผู้สินค้าที่ใช้เป็นผู้ทดลอง	45
ผนวก ง แบบระบบปรับอากาศห้องเมสทหารชุดเรือ ต.11	47
แบบระบบปรับอากาศห้องเมส	48
รูปแปลน (ตำแหน่งติดตั้ง COMPRESSOR)	49
รูปด้านข้าง (ตำแหน่งติดตั้ง COMPRESSOR)	50
แบบฐานแท่น COMPRESSOR	51
แบบ CONDENSER	52
แบบวงจรไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ	53

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 (a) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของสารทำความเย็น	5
ตารางที่ 2.1 (b) เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของสารทำความเย็น	5
ตารางที่ 2.2 ความเป็นไปได้ในการนำสารทำความเย็นชนิดใหม่มาแทนสารที่ใช้ในปัจจุบัน	6
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของ R-12 และ R-134a	7
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของ R-22 และ R-125	7
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการใช้งานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R-134a กับค่าที่ คำนวณได้ เมื่อใช้ R-12 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	25

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 4.1 ตู้สินค้าที่ใช้เป็นตู้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศตามโครงการวิจัย ฯ	17
ภาพที่ 4.2 คอมเพรสเซอร์ ND-DENSO พร้อมมอเตอร์ขับ ELEKTRIM	17
ภาพที่ 4.3 Condensing Unit ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว	18
ภาพที่ 4.4 Fan Coil Unit และอุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งแล้วเสร็จในตู้ทดลอง	18

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากเรือในกองทัพเรือจำนวนหนึ่ง ใช้เครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน แต่เครื่องปรับอากาศดังกล่าวมีแบบ และชนิดต่าง ๆ ทำให้การจัดหาไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน และส่งผลทำให้การจัดเตรียมอะไหล่ในการซ่อมบำรุงจะต้องมีการเตรียมอะไหล่ไว้เป็นจำนวนหลายรายการ ซึ่งไม่เป็นผลดีในด้านของการส่งกำลังบำรุง นอกจากนี้การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศของเรือในกองทัพเรือจำนวนมากยังคงใช้สาร R-12 และ R-22 ซึ่งเป็นสาร CHLOROFLUOROCARBONS หรือสาร CFCs ที่เป็นตัวทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน โดยตามอนุสัญญาเวียนนา และพิธีสารมอนทรีออล ซึ่งประเทศไทยเป็นภาคีสมาชิกอยู่นั้น กำหนดให้ลดการใช้สารดังกล่าวลงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และจะมีการยุติการผลิตและการใช้ทั่วโลกในปี พ.ศ.2553 สำหรับสาร CFCs และปี พ.ศ. 2573 สำหรับสาร HCFCs ดังนั้นการศึกษาวิจัย เพื่อดำเนินการผลิตเครื่องปรับอากาศต้นแบบโดยใช้สารที่ปราศจากสาร CFCs สำหรับใช้งานในเรือจึงเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทั้งด้านการส่งกำลังบำรุง กล่าวคือการเตรียมการจัดหาอะไหล่เพื่อการซ่อมบำรุงจะสามารถดำเนินการได้ง่าย และยังเป็นการแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบในการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของกองทัพเรืออีกด้วย

วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของโครงการ

การศึกษาวิจัย เพื่อดำเนินการผลิตเครื่องปรับอากาศต้นแบบขนาดไม่เกิน 3 ตัน ในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อให้ได้ต้นแบบของเครื่องปรับอากาศมาตรฐานขนาดไม่เกิน 3 ตัน ที่จะนำไปใช้งานในเรือ ซึ่งจะทำให้การจัดหาอะไหล่สำรองคลัง และการบริหารงานซ่อมบำรุงสามารถกระทำได้โดยสะดวก
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศในเรือจาก R-12 ซึ่งเป็นสาร CFCs ไปเป็นสารที่ปราศจากสาร CFCs โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ และทำการทดลองเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ติดตั้งในเรือขนาดเล็ก

ความต้องการในการใช้งาน

เนื่องจากเรือขนาดเล็กเช่นเรือตรวจการใกล้ฝั่ง และเรือตรวจการชายฝั่งรุ่นเก่า ไม่มีระบบปรับอากาศ และกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประจำเรือ ไม่เพียงพอกับการติดตั้งระบบปรับ

อากาศทั่วไป โครงการวิจัยนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ติดตั้งกับเรือประเภทนี้ได้โดยใช้กำลังสำรอง (Reserve Power) ของเครื่องจักรใหญ่ เป็นต้นกำลังของระบบปรับอากาศขนาด 3 ตัน ซึ่งเพียงพอไปใช้งานในห้องสะพานเดินเรือและห้องวิทยุขณะเรือเดินทาง

ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะดำเนินการออกแบบและผลิตเครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน ที่ใช้สาร R-134a เป็นสารทำความเย็น สำหรับการติดตั้งในเรือขนาดเล็ก แต่เพื่อให้การทดลองสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องและไม่ขัดขวางต่อการปฏิบัติงานของเรือ จึงจะจำลองสถานการณ์ และสภาพแวดล้อมจากห้องสะพานเดินเรือ และห้องวิทยุในเรือจริง มาใช้ตู้สินค้าที่มีภาระทางความร้อนใกล้เคียงกันแทน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ต้นแบบเครื่องปรับอากาศมาตรฐานขนาดไม่เกิน 3 ตัน สำหรับติดตั้งในเรือขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการบริหารงานซ่อมบำรุง
2. แนวทางในการเปลี่ยนการใช้สารทำความเย็นจากสาร CFCs มาเป็นสารที่ปราศจากสาร CFCs สำหรับระบบปรับอากาศในเรือ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศที่มีขนาดเกินกว่า 3 ตัน ได้เช่นเดียวกัน
3. เป็นการนำกำลังสำรองของเครื่องจักรมาประยุกต์ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

สารทำความเย็น

กล่าวนำ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ขณะนี้ทั่วโลกได้ลดปริมาณการผลิตสารทำความเย็นที่เป็นสาร CFCs ลง และจะยุติการผลิตและการใช้ในปี พ.ศ. 2553 สำหรับสาร CFCs และปี พ.ศ. 2573 สำหรับสาร HCFCs ซึ่งกองทัพอากาศก็เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ใช้สาร CFCs และสาร HCFCs เช่น R-12 และ R-22 เป็นสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศทั้งในอาคารสำนักงาน ตลอดจนเรือต่าง ๆ ของกองทัพ ดังนั้นเพื่อเป็นการเตรียมพร้อมถึงปัญหาการขาดแคลนสารทำความเย็นของกองทัพอากาศในอนาคต จึงต้องเร่งทำการศึกษาสารทำความเย็นชนิดใหม่ที่เป็นสารปราศจากสาร CFCs ว่ามีสารชนิดใดบ้างที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศของกองทัพอากาศ

คุณสมบัติที่สำคัญของสารทำความเย็น

จุดเดือดต่ำ : สารทำความเย็นที่ดี ควรมีจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดของอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) เพื่อป้องกันความชื้นในอากาศที่อาจจะเข้าไปในกรณีที่เกิดการรั่วซึมมา

อุณหภูมิวิกฤตสูง : อุณหภูมิวิกฤตคือ อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดที่สารทำความเย็นไม่สามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวได้ โดยไม่คำนึงถึงความดัน อุณหภูมิวิกฤตนี้ควรมีค่าสูงมากและควรสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดของคอนเดนเซอร์

ความดันในการใช้งานปานกลาง : ความดันในการทำงานของระบบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ และคอนเดนเซอร์ ความดันในการกลั่นตัวเป็นของเหลวควรมีค่าต่ำ เพื่อลดค่าใช้จ่าย และน้ำหนักของอุปกรณ์ หรือระบบเครื่องทำความเย็น

S.C.D. ต่ำ : S.C.D. (Specific Compressor Displacement) คือมาตรวัดของความจุต่อกิโวลต์ของการทำความเย็นซึ่งควรมีค่าต่ำเพื่อจะทำให้ขนาดของคอมเพรสเซอร์มีขนาดเล็ก

C.O.P. สูง : C.O.P. (Coefficient of Performance) คือการวัดประสิทธิภาพของสารทำความเย็นทางทฤษฎี แม้ว่าค่า C.O.P. นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการทำงานของระบบก็ตาม แต่ค่า C.O.P. ที่สูงจะแสดงถึงประสิทธิภาพของสารทำความเย็นที่สูงด้วย ดังนั้นสารทำความเย็นที่ดีควรมีค่า C.O.P. สูง

คงทนในทางเคมี : สารทำความเย็นที่ดีควรมีความคงทนทางเคมี และไม่ควรถูกเสื่อมสภาพได้
สภาวะการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็น และไม่ควรถูกทำปฏิกิริยาทางเคมีใด ๆ กับวัสดุอุปกรณ์ของ
ระบบ

ไม่เป็นสารพิษ : สารทำความเย็นจะต้องไม่เป็นสารที่มีพิษต่อร่างกาย ซึ่งอาจจะสัมผัสได้ใน
กรณีที่เกิดการรั่วขึ้นในระบบ

ไม่ติดไฟ : สารทำความเย็นจะต้องไม่ติดไฟและไม่เกิดระเบิดขึ้น หากเกิดการรั่วขึ้นมา

ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นได้ : สารทำความเย็นจะมีโอกาสที่เข้าผสมกันกับน้ำมันหล่อลื่นใน
คอมเพรสเซอร์ ซึ่งการรวมตัวกันนี้จะต้องไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับอีวาโปเรเตอร์

ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารทำความเย็น เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่
สุดของสารทำความเย็นในปัจจุบัน และได้มีการกำหนดกฎหมายในการห้ามใช้สารทำความเย็นที่ทำลาย
สิ่งแวดล้อมแล้ว

สารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ

ก่อนที่จะพิจารณาเลือกสารทำความเย็นชนิดใหม่ ๆ มาทดแทนสารทำความเย็นชนิดเดิมคือ
R-12 และ R-22 ที่กองทัพเรือใช้อยู่นั้น เราจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ
เสียก่อนเพื่อให้การเลือกสารทำความเย็นชนิดใหม่ ทดแทน R-12 และ R-22 นั้นสามารถกระทำได้อย่าง
เหมาะสม ซึ่งสารทำความเย็นแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

R-744 (Carbondioxide) เป็นสารทำความเย็นที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย ไม่เป็นพิษ, ไม่ติดไฟ
และมีความคงทนทางเคมีเป็นอย่างดีระบบที่ใช้สารทำความเย็นแบบนี้จะต้องทำงานที่ความดันสูง ทำให้
โครงสร้างของอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องมีความแข็งแรงและน้ำหนักมาก ข้อเสียของ R-744 คือ มีค่า C.O.P.
และค่าอุณหภูมิวิกฤตต่ำ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงด้วย และจากประสบการณ์ พบว่าการ
ทำงานของระบบควบคุมหายก เมื่อใช้ในภูมิประเทศเขตร้อน

R-717 (Ammonia) เป็นสารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ดีมาก และมี
ค่า C.O.P. สูง ข้อเสียคือ มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนต่อวัสดุประเภททองแดง และทองแดงผสม เมื่อ
ผสมกับอากาศ ทำให้ส่วนผสมสามารถระเบิดขึ้นได้ และเป็นก๊าซที่มีพิษ ก่อให้เกิดการคัน

R-12 ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ มีความคงทนทางเคมีสูง และผสมเข้ากันได้ดีกับน้ำมันหล่อลื่น
ปิโตรเลียม ระบบทำความเย็นใช้แรงดันพอสมควร และมีค่า C.O.P. สูง ดังนั้น R-12 จึงถูกนำมาใช้เป็น
สารทำความเย็นกันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจาก R-12 ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ ทำให้ไม่เหมาะ
สมที่จะนำมาใช้ต่อไป

R-22 มีคุณสมบัติคล้ายกับ R-12 คือ มีความคงทนทางเคมีสูงไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ เนื่องจาก
R-22 มีค่าจุดเดือดต่ำกว่าทำให้ R-22 สามารถใช้กับระบบทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แม้ว่าความดัน

ของระบบจะสูงกว่าก็ตาม ข้อดีของ R-22 คือ มีค่า S.C.D. ต่ำ และมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทำให้ระบบที่ใช้ R-22 จะมีขนาดของคอมเพรสเซอร์ที่เล็กกว่า และใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นที่เท่ากันที่ใช้ R-12 ปัญหาของ R-22 ในอดีตก็คือ มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิต่ำไม่ดีนัก แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นทั้งชนิดปิโตรเลียม และชนิดสังเคราะห์ ขึ้นมาใหม่ทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป

ตารางที่ 2.1 (a) และตารางที่ 2.1 (b) เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของสารทำความเย็น และเปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของสารทำความเย็น ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 (a) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของสารทำความเย็น

สารทำความเย็น	จุดเดือด °C ที่ 1.0137 บาร์	อุณหภูมิ วิกฤต °C	เป็นสารพิษ	ติดไฟ/เกิด การระเบิดได้	ผสมกับน้ำมัน หล่อลื่นได้
R-717 แอมโมเนีย	-33.3	133.0	เป็น	ได้	ไม่ได้
R-744 คาร์บอนไดออกไซด์	-78.4	31.1	ไม่เป็น	ไม่ได้	ไม่ได้
R-12	-29.79	112.0	ไม่เป็น	ไม่ได้	ได้
R-22	-40.76	96.0	ไม่เป็น	ไม่ได้	ได้

ตารางที่ 2.1 (b)* เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของสารทำความเย็น

สารทำความเย็น	ความดัน อีวาโปเรเตอร์ (บาร์)	ความดัน คอนเดนเซอร์ (บาร์)	อุณหภูมิ คอมเพรสเซอร์ (°C)	S.C.D. (L/s/kW)	C.O.P.
R-717 แอมโมเนีย	2.36	11.64	95	0.463	4.84
R-744 คาร์บอนไดออกไซด์	22.91	72.08	70	0.065	2.96
R-12	1.83	7.45	38	0.784	4.69
R-22	2.96	11.92	53	0.476	4.75

* ตามสภาวะการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎี ซึ่งจะได้อุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ -15 °C, อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ +30 °C

สารทำความเย็นชนิดที่เป็นสารปราศจากสาร CFCs

ในหลายปีที่ผ่านมา บริษัทผู้ผลิตสารเคมีใหญ่ ๆ หลายรายได้ทุ่มทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตสารทำความเย็นชนิดใหม่ เพื่อใช้ทดแทนชนิดเก่าที่ถูกระบุว่าห้ามใช้ในพิธีสารมอนทรีออล และทดแทน R-22 ซึ่งจะถูกห้ามใช้ในอนาคตเช่นเดียวกัน โดยสารทำความเย็นชนิดใหม่นี้จะมีคุณสมบัติทางกาย

ภาพ และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ใกล้เคียงกับชนิดเดิม เพื่อที่ว่าระบบทำความเย็นและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะไม่ต้องดัดแปลงหรือแก้ไขให้น้อยที่สุด เมื่อใช้กับสารทำความเย็นชนิดใหม่นี้ และแน่นอนสารทำความเย็นชนิดใหม่นี้จะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด

ตารางที่ 2.2 จะแสดงเปรียบเทียบสารทำความเย็นชนิดใหม่ที่จะนำมาใช้แทน R-12 และ R-22 ในแง่ของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม R-152a จะใช้แทน R-12 ได้เหมาะสมที่สุด แต่เนื่องจาก R-152a มีคุณสมบัติในการติดไฟ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปฏิบัติ ดังนั้น สารทำความเย็นที่จะมาแทน R-12 ในอนาคตคือ R-134a ในทำนองเดียวกัน R-32 จะใช้แทน R-22 ได้เหมาะสมที่สุด แต่ R-32 มีคุณสมบัติในการติดไฟ ดังนั้นจึงควรใช้ R-125 แทน R-22 ซึ่งเราจะมาพิจารณาดังคุณสมบัติต่าง ๆ ของ R-134a และ R-125 ในลำดับต่อไป

ตารางที่ 2.2 ความเป็นไปได้ในการนำสารทำความเย็นชนิดใหม่มาแทนสารที่ใช้ในปัจจุบัน

สารทำความเย็น	ระดับของการทำลายโอโซน (O.D.P.)	ระดับของผลกระทบที่ทำให้โลกร้อนขึ้น (G.W.P.)	จุดเดือด (°C) ที่ 1.0132 บาร์	สามารถถูกติดไฟ
R-12 Dichlorodifluoromethane	1.0	3.1	-29.8	ไม่ได้
R-152a Difluoroethane	0	0.03	-24.7	ได้
R-134a Tetrafluoroethane	0	0.3	-26.5	ไม่ได้
R-22 Chlorodifluoromethane	0.05	0.36	-40.8	ไม่ได้
R-32 Methylene Fluoride	0	-	-52.0	ได้
R-125 Pentafluoroethane	0	0.60	-48.5	ไม่ได้

R-134a เป็นสารทำความเย็นชนิดใหม่ตัวแรกที่จะถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง และได้มีการผลิตออกมาจำหน่ายแล้วในปี ค.ศ. 1991 ตารางที่ 2.3 จะแสดงถึงคุณสมบัติทางประสิทธิภาพของ R-134a เมื่อเทียบกับ R-12 โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากสารทำความเย็นทั้งสองตัว มีจุดเดือดใกล้เคียงกันทำให้ความดันในระบบจะมีค่าใกล้เคียงกันด้วยแต่ค่า S.C.D. ของ R-134a สูงกว่าของ R-12 เล็กน้อยทำให้การทำความเย็นลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ R-134a แทนในระบบที่ใช้ R-12 ซึ่งสามารถแก้ไขได้ โดยการเพิ่มปริมาณความจุของคอมเพรสเซอร์ เช่น เพิ่มรอบของคอมเพรสเซอร์นั่นเอง และแม้ว่าค่า C.O.P. จะแสดงให้เห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานทางทฤษฎีจะสูงขึ้นเมื่อใช้ R-134a ก็ตามแต่ในการทดลองใช้ R-134a ในระบบทำความเย็นที่ใช้ R-12 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความจุของคอมเพรสเซอร์ขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสุทธิจะลดลง

ข้อเสียของ R-134a มีอยู่เพียงข้อเดียว คือ R-134a จะไม่สามารถรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาคัดค้นหาน้ำมันหล่อลื่นชนิดใหม่มาทดแทน

ตารางที่ 2.3 *เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของ R-12 และ R-134a

สารทำความเย็น	จุดเดือด °C ที่ 1.0132 บาร์	อุณหภูมิวิกฤต °C	ความดันไอวาโปรเตอร์ (บาร์)	ความดันคอนเดนเซอร์ (บาร์)	S.C.D. L/s/kW	C.O.P.
R-12	-29.8	112	1.83	7.45	0.784	4.69
R-134a	-26.2	101	1.64	7.68	0.820	4.50

* ตามสภาวะการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎี ซึ่งจะได้อุณหภูมิไอวาโปรเตอร์ -15 °C, อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ +30 °C

R-125 ในปัจจุบัน R-125 ยังคงอยู่ในขั้นทดลองเท่านั้น เนื่องจากกฎหมายจะห้ามใช้ R-22 หลังจากปี พ.ศ. 2573 ซึ่งบริษัททางเคมีในประเทศเยอรมนีกำลังพัฒนาอยู่ และในขณะนี้ เรามีเพียงข้อมูลทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของ R-125 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับ R-22 ในระบบทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต้นแบบธรรมดาแสดงใน ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 *เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของ R-22 และ R-125

สารทำความเย็น	จุดเดือด °C ที่ 1.0132 บาร์	อุณหภูมิวิกฤต °C	ความดันไอวาโปรเตอร์ (บาร์)	ความดันคอนเดนเซอร์ (บาร์)	S.C.D. L/s/kW	C.O.P.
R-22	-40.8	96.2	1.05	17.2	1.49	1.8
R-125	-48.5	66.25	1.49	20.42	1.62	1.5

* ตามสภาวะการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎี ซึ่งจะได้อุณหภูมิไอวาโปรเตอร์ -40 °C, อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ 45 °C, อุณหภูมิขับคูลถึง 5 °C

แม้ว่าอุณหภูมิวิกฤตจะต่ำกว่า R-22 แต่ค่าที่ได้ก็ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดของคอนเดนเซอร์ที่ใช้อยู่ในระบบทั่วไป และค่าความดันของระบบจะสูงกว่าเช่นเดียวกัน แต่ก็ยังคงอยู่ในขอบเขตของการออกแบบระบบทำความเย็น

แม้ว่า S.C.D. ในตารางจะแสดงให้เห็นว่า มีการสูญเสียการทำความเย็นไปบ้าง และค่า C.O.P. ที่ต่ำกว่าแสดงให้เห็นว่า จะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานทางทฤษฎีสูงกว่าเมื่อนำไปใช้ในระบบทำความ

เย็นที่ใช้ R-22 อย่างไรก็ตามค่าต่าง ๆ ที่ได้ดังนี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานทางทฤษฎีเท่านั้น และในทางปฏิบัติจริง อาจจะพบเช่นเดียวกับการใช้ R-134a ควบคู่ไปกับการเพิ่มปริมาณความจุของคอมเพรสเซอร์ก็ได้ว่า ผลของการสิ้นเปลืองพลังงานสุทธิจะเท่ากัน

ในส่วนของคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ คาดว่าจะคล้ายกับ R-134a ซึ่งการทดสอบนี้คงจะทำได้ก็ต่อเมื่อ R-125 ได้มีการผลิตเพื่อจำหน่ายแล้ว

นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีการผลิตสารทำความเย็นชนิดใหม่ที่เป็นสารปราศจากสาร CFCs อีกหลายรายการเช่น R-401a, MP-39, MP-66 และ HC-12c เป็นต้น

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การเลือกใช้ R-134a แทน R-12 ในระบบปรับอากาศ

จากการศึกษาคุณสมบัติของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ พบว่า R-134a มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ R-12 และเมื่อได้ทำการศึกษาสารนี้ในเชิงธุรกิจการค้าก็พบว่า R-134a ได้มีการนำเข้าสู่ประเทศไทยอย่างมากมาย เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในรถยนต์ทั้งที่นำเข้า และผลิตในประเทศไทยในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเปลี่ยนสารทำความเย็นจาก R-12 เป็น R-134a แทบทั้งสิ้น ทำให้ R-134a มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มว่าจะมีราคาถูกลงเรื่อย ๆ จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะมีการใช้ R-134a เป็นสารทำความเย็น ของระบบปรับอากาศในเรือทดแทน R-12 ต่อไป นอกจากนี้ กองทัพเรือสหรัฐ ฯ ก็เลือกใช้ R-134a เป็นสารทำความเย็น ของระบบปรับอากาศในเรือทดแทน R-12 เช่นเดียวกัน

แนวความคิดในการออกแบบเครื่องปรับอากาศในเรือ

เมื่อทางคณะทำงาน ฯ ตกลงใจเลือก R-134a เป็นสารทำความเย็น ของระบบปรับอากาศในเรือทดแทน R-12 แล้วนั้น ลำดับต่อไปก็เป็นการกำหนดแนวความคิดในการออกแบบ ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทางคณะทำงาน ฯ ก็ดำเนินการสำรวจความเหมาะสมของเรือต่าง ๆ ที่จะสามารถติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดประมาณ 3 ตัน ตามโครงการวิจัยนี้ได้ และพบว่า เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดเรือ ต.11 ซึ่งเป็นเรือรุ่นเก่าที่ได้รับมอบจาก กองทัพเรือสหรัฐ ฯ ไม่มีเครื่องปรับอากาศในเรือ และมีห้องเมสซาร์ที่มีการระบายความร้อนของห้องใกล้เคียงที่จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดประมาณ 3 ตัน ได้ (รายละเอียดการคำนวณ ตามผนวก ข) และเมื่อมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแล้ว จะเกิดผลดีคือช่วยทำให้ความเป็นอยู่ของทหารประจำเรือ ขณะออกปฏิบัติการกวดลาดตระเวนดีขึ้น ถือเป็นการสร้างเสริมขวัญและกำลังใจให้กับทหารประจำเรือได้ประการหนึ่ง

แต่เนื่องจากเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดเรือ ต.11 มีเครื่องไฟฟ้าขนาดไม่ใหญ่นัก ดังนั้นการที่จะออกแบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้มอเตอร์ เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเพรสเชอร์นั้น จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องไฟฟ้ามากเกินไป ดังนั้นจึงต้องพิจารณาดับกำลังขับเคลื่อนเพรสเชอร์จากแหล่งอื่น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากระบบขับเคลื่อนก็พบว่า โดยทั่วไปแล้วในการออกแบบระบบขับเคลื่อนเรื่อนั้น มักจะให้เครื่องจักรใหญ่มี Power Margin เป็นกำลังสำรอง ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ เสมอ ซึ่งนั่นก็เพียงพอที่จะนำมาใช้ขับเคลื่อนเพรสเชอร์ของเครื่องปรับอากาศได้ และโดยการปฏิบัติการตามปกติของเรือประเภทนี้ในการลาดตระเวนมักจะใช้ความเร็วคงที่ในการลาดตระเวน ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่ จะออก

แบบให้ต้นกำลังขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ มาจากเครื่องจักรใหญ่ โดยใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลัง เช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศในรถยนต์ทั่วไปนั่นเอง และจากการคำนวณภาระทางความร้อนของห้องเมสซาทหารเรือ ต.11 ซึ่งมีภาระทางความร้อนของห้องประมาณ 3 ตัน ดังนั้นทางคณะทำงาน ฯ จึงเลือกที่จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดประมาณ 1.5 ตัน จำนวน 2 ชุด สำหรับห้องดังกล่าว ทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ของระบบ เนื่องจากข้อมูลจากการสำรวจอุปกรณ์ในท้องตลาดพบว่า คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศในรถตู้โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 1.5 ตันพอดี ดังนั้นรายละเอียดของการคำนวณต่อไปก็จะเป็นการคำนวณสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 1.5 ตัน

การคำนวณเพื่อใช้ R-134a แทน R-12

การปรับอากาศโดยวิธี Mechanical Refrigeration ปกติจะควบคุมอุณหภูมิการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นภายใน Evaporator ไม่ให้ต่ำกว่า 32°F เพื่อมิให้ผิวภายนอก Evaporator Coils เกิดน้ำแข็งเกาะ และจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือที่ Evaporating Temperature: $\text{ET} = 34^{\circ}\text{F}$ ในส่วนของอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นภายใน Condenser (Condensing Temperature: CT) จะอยู่ระหว่าง $120^{\circ} - 150^{\circ}\text{F}$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กัอุณหภูมิแวดล้อมขณะนั้น (Ambient Temperature)

ระบบ R-12:

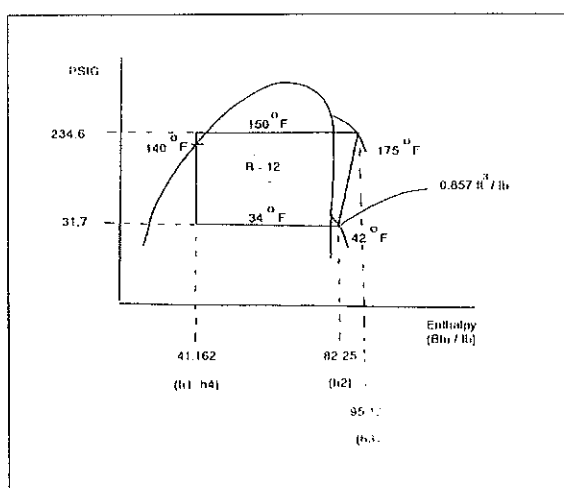
- กำหนดค่า ET ที่ 34°F

CT ที่ 150°F

Superheating ที่ 8°F (ปกติ $8^{\circ} - 12^{\circ}\text{F}$)

Sub Cooling ที่ 10°F (ปกติ $5^{\circ} - 10^{\circ}\text{F}$)

นำค่าดังกล่าว plot ลงใน P-h Diagram ของ R-12 และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-12

กำลังดัน High Side = 234.6 PSIG.

กำลังดัน Low Side = 31.7 PSIG.

อุณหภูมิเข้า Comp. = 42°F

อุณหภูมิออกจาก Comp. = 175°F

อุณหภูมิกลั่นตัว (CT) = 150°F

อุณหภูมิกลายเป็นไอ (ET) = 34°F

Enthalpy h_1, h_4 = 41.162 Btu/lb.

h_2 = 82.25 Btu/lb.

h_3 = 95.12 Btu/lb.

Specific Volume 34°F (v_g) = 0.857 ft³/lb

หา Volume Displacement ให้เหมาะสมกับ Heat Load ที่ประมาณการไว้ คือที่ 1.5 Ton

$$\begin{aligned} m &= (200 \times \text{ton}) / (h_2 - h_1) \\ &= (200 \times 1.5) / (82.25 - 41.162) \\ &= 7.30 \text{ lb/min} \end{aligned}$$

m : มวลของ R-12

$$\begin{aligned} V &= m \times v_g \\ &= 7.30 \times 0.857 \\ &= 6.39 \text{ ft}^3/\text{lb} \end{aligned}$$

V : Volume Displacement

v_g : ปริมาตรกลายเป็นไอที่ 34°F
(Specific Volume)

คำนวณค่าต่าง ๆ ของระบบ R-12

$m = V/v_g$	=	$6.39/0.857$	=	7.46 lb/min
$QE = \{m(h_2-h_1)\}/200$	=	$\{7.46(82.25-41.162)\}/200$	=	1.53 Ton
$QC = \{m(h_3-h_4)\}/200$	=	$\{7.46(95.12-41.162)\}/200$	=	2.01 Ton
$W = \{m(h_1-h_2)\}/42.42$	=	$\{7.46(91.12-82.25)\}/42.42$	=	1.56 HP.
$COP = (h_3-h_1)/(h_1-h_2)$	=	$(82.25-41.162)/(91.12-82.25)$	=	4.63

เมื่อพิจารณาใช้สารทำความเย็น R-134a แทน R-12 ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบการทำงานโดยใช้ค่าที่กำหนด เช่นเดียวกับ R-12 คือ

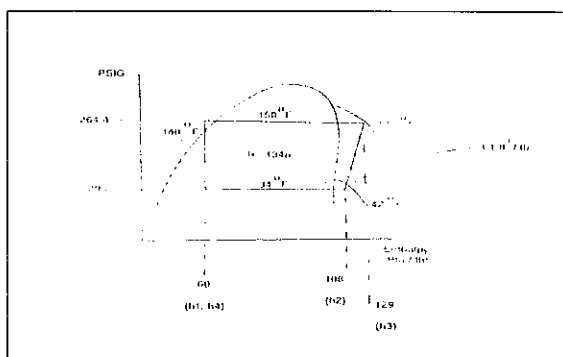
กำหนดค่า ET ที่ 34°F

CT 150°F

Superheating ที่ 8°F (ปกติ $8^{\circ} - 12^{\circ}\text{F}$)

Sub Cooling ที่ 10°F (ปกติ $5^{\circ} - 10^{\circ}\text{F}$)

นำค่าดังกล่าว plot ลงใน P-h Diagram ของ R-134a และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



กำลังดัน High Side = 264.4 PSIG.

กำลังดัน Low Side = 29.2 PSIG.

อุณหภูมิเข้า Comp. = 42°F

อุณหภูมิออกจาก Comp. = 172°F

อุณหภูมิกลั่นตัว (CT) = 150°F

อุณหภูมิกลายเป็นไอ (ET) = 34°F

$$\text{Enthalpy } h_1, h_4 = 60 \text{ Btu/lb.}$$

ภาพที่ 3.2 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-134a

$$h_2 = 108 \text{ Btu/lb.}$$

$$h_3 = 129 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{Specific Volume } 34^\circ\text{F } (v_g) = 1.1 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

หาปริมาณในการสูบส่ง R-134a (Volume Displacement)

$$\begin{aligned} m &= (200 \times \text{ton}) / (h_2 - h_1) \\ &= (200 \times 1.5) / (108 - 60) \\ &= 6.25 \text{ lb/min} \end{aligned}$$

m : มวลของ R-134a

$$\begin{aligned} V &= m \times v_g \\ &= 6.25 \times 1.1 \\ &= 6.875 \text{ ft}^3/\text{lb} \end{aligned}$$

V : Volume Displacement

v_g : ปริมาตรกลายเป็นไอที่ 34°F
(Specific Volume)

คำนวณค่าต่าง ๆ ของระบบ R-134a เพื่อเทียบเคียงกับระบบ R-12

$$m = V/v_g = 6.875/1.1 = 6.25 \text{ lb/min}$$

$$QE = \{m(h_2 - h_1)\} / 200 = \{6.25(108 - 60)\} / 200 = 1.5 \text{ Ton}$$

$$QC = \{m(h_3 - h_4)\} / 200 = \{6.25(129 - 60)\} / 200 = 2.16 \text{ Ton}$$

$$W = \{m(h_3 - h_2)\} / 42.42 = \{6.25(129 - 108)\} / 42.42 = 3.09 \text{ HP.}$$

$$\text{COP} = (h_2 - h_1) / (h_3 - h_2) = (108 - 60) / (129 - 108) = 2.29$$

การจำลองสถานการณ์ และการคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ประกอบเป็นระบบต้นแบบ

เพื่อให้การทดลองสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่อง และไม่ขัดขวางต่อการปฏิบัติงานของเรือ การวิจัยในครั้งนี้จึงจำลองสถานการณ์ และสภาพแวดล้อมจากห้องเมสทหารในเรือจริง มาใช้ตู้สินค้า ขนาด $2.45 \times 2.60 \times 6.00 \text{ ม.}^3$ ซึ่งมีภาระทางความร้อนประมาณ 1.5 ตัน แทน (รายละเอียดการคำนวณ ตาม ผผนวก ค) ซึ่งระบบต้นแบบนี้จะใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน Compressor แทนเครื่องจักรใหญ่ในเรือ

หาขนาดของ Compressor เป็น CC. ที่ความเร็ว IDLE SPEED 1,300 RPM.

จาก Volume Displacement (V) ของ R-134a ที่คำนวณไว้ คือ $6.875 \text{ ft}^3/\text{lb}$

$$(6.875 \times 1.728) / (1.300 \times 0.061) = 149.8 \text{ (150 CC.)}$$

Compressor รุ่นที่ใกล้เคียงเป็นของ ND-DENSO รุ่น 6P-148A (R-134a) ขนาด 148 CC.

ประมาณการที่ความเร็วเฉลี่ย 2,000 RPM. จะได้ Volume Displacement ที่ 100 %

$$= (148 \times 2,000 \times 0.061) / 1,728 = 10.449 \text{ ft}^3/\text{min}$$

ในทางใช้งานจริง (Efficiency Volume Displacement) งานที่ 85 % คงเหลือ $= 8.882 \text{ ft}^3/\text{min}$

ตรวจสอบก่อนการติดตั้งระบบ R-134a โดยใช้ค่าจาก ภาพที่ 3.2 ได้ค่าดังนี้

$$m = V/v_g = 8.882/1.1 = 8.075 \text{ lb/min}$$

$$QE = \{8.075(108-60)\}/200 = 1.938 \text{ Ton}$$

$$QC = \{8.075(129-60)\}/200 = 2.786 \text{ Ton}$$

$$W = \{8.075(129-108)\}/42.42 = 3.997 \text{ HP.}$$

$$\text{COP} = (108-60)/(129-108) = 2.29$$

ดังนั้น Compressor รุ่นที่พิจารณาเลือกใช้จึงมีความเหมาะสม

หาขนาดของ Evaporator

เปรียบเทียบค่า Specific Volume (v_g) ระหว่าง R-134a กับ R-22 (เนื่องจากระบบเครื่องปรับอากาศที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดใช้ R-22) ได้ดังนี้

ที่อุณหภูมิ Saturated Vapor 34 ° F : R-134a	มีค่า $v_g = 1.062 \text{ ft}^3/\text{lb}$ (ตารางที่ 1 หน่วย ก)
R-22	มีค่า $v_g = 0.728 \text{ ft}^3/\text{lb}$ (ตารางที่ 2 หน่วย ก)

ถ้ากำหนดให้ Effective Volume Displacement เท่ากัน จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่า R-22 มีปริมาตรน้อยกว่า R-134a ประมาณ 31%

จากค่า QE ที่ได้ตรวจสอบก่อนติดตั้ง คือ 1.9 Ton ดังนั้นในการพิจารณาเลือก Evaporator ที่ใช้กับ R-22 เพื่อใช้กับ R-134a จึงควรลดขนาดลงประมาณ 31% ก็จะเหลือเพียงประมาณขนาด 1.3 Ton จึงเลือกขนาด 1 Ton เพื่อใช้ติดตั้ง

หาขนาดของ Condenser

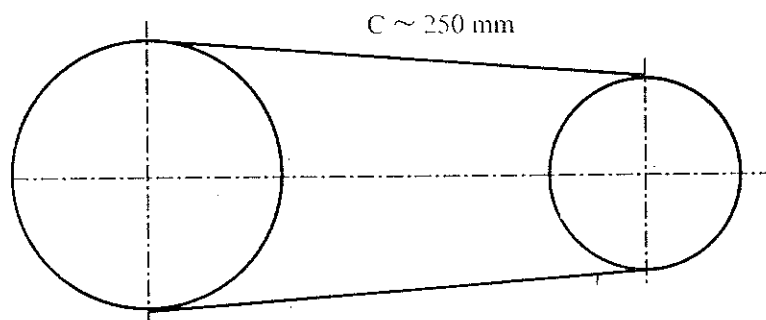
เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้อุปกรณ์ในท้องตลาดจึงพิจารณาใช้ Condenser แบบระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบบต้นแบบ และใช้การเปรียบเทียบเช่นเดียวกับ Evaporator ได้ดังนี้

ที่อุณหภูมิ Saturated Vapor 150 ° F : R-134a	มีค่า $v_g = 0.157 \text{ ft}^3/\text{lb}$ (ตารางที่ 1 หน่วย ก)
R-22	มีค่า $v_g = 0.1216 \text{ ft}^3/\text{lb}$ (ตารางที่ 2 หน่วย ก)

ถ้า Effective Volume Displacement เท่ากัน จากการเปรียบเทียบจะได้ R-22 มีปริมาตรน้อยกว่า R-134a ประมาณ 22.5% ดังนั้นจากค่า QC ที่ตรวจสอบก่อนติดตั้ง คือ 2.8 Ton ถ้าจะพิจารณาเลือก Condenser ที่ใช้กับ R-22 สำหรับนำไปใช้กับ R-134a จึงควรลดขนาดลง 22.5% จึงเลือกได้ขนาด 2 Ton แต่เนื่องจากเกณฑ์ CT ที่ใช้ค่า Maximum คือ 150 ° F (จาก 120 ° F-150 ° F) จึงพิจารณาขนาดลงเหลือขนาด 1.5 Ton

หาขนาดของ Motor ขับ Compressor

การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ จากภาระทางความร้อน 1.5 ตัน จึงเลือกใช้ Compressor ชนิดลูกสูบ สามารถทำความเย็นได้ 1.5 ตัน และเพื่อให้ได้การทำงานที่ความเร็วรอบของ Compressor ใกล้เคียงกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในเรือเมื่อเดินเครื่องเต็มที่ (ประมาณ 1800 RPM) จึงเลือกใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน 4 Poles ความเร็วรอบประมาณ 1440 RPM ซึ่งกำหนดขนาดดังนี้



Motor Pulley ขนาด Pitch Diameter 165 mm.
(6.5") ความเร็วรอบ 1440 RPM

Compressor Pulley ขนาด Pitch Diameter
120 mm. (4.75") (ขนาดมาตรฐานของ
Compressor) ความเร็วรอบ 1,970 RPM

1. คำนวณหาขนาดสายพาน

$$\begin{aligned} \text{สูตร } L_o &= 2C + 1.57(D+d) + (D-d)^2/4C \\ L_o &= \text{Belt Effective Pitch Length} \\ C &= \text{Center Distance} \\ D &= \text{Pitch Diameter of large Pulley} \\ d &= \text{Pitch Diameter of Small Pulley} \\ \therefore L_o &= 2 \times 250 + 1.57(165+120) + (165-120)^2/(4 \times 250) \\ &= 950 \text{ mm.} \end{aligned}$$

เลือกใช้สายพาน V Type A (ตามมาตรฐานของ Compressor) จากข้อมูลใน BANDO V-BELT DESIGN MANUAL (ตารางที่ 3 ผนวก ก) ขนาด A-35

2. คำนวณหาขนาดของมอเตอร์

$$\begin{aligned} \text{สูตร } \text{Design Horsepower} &= \text{Transmission Horsepower} \times \text{Correction Factor} \\ \text{Correction Factor} &= 1.3 \quad (\text{ตารางที่ 4 ผนวก ก}) \\ \text{Speed Ratio} &= 1:1.36 \\ \text{Design Horsepower} &= 5.22 \times 1.36 = 7.10 \text{ HP. (ตารางที่ 5 ผนวก ก)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Transmission Horsepower} &= \text{Design Horsepower/Correction Factor} \\ &= 5.60/1.3 = 4.3 \text{ HP.} \end{aligned}$$

เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 5 HP 4 Poles

จากขนาดของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ ทำให้สามารถประมาณได้ว่าเมื่อนำเครื่องปรับอากาศเช่นเดียวกันนี้ไปติดตั้งในเรือจริง (เรือชุด ต.11) โดยใช้สายพานต่อจากเครื่องจักรใหญ่เพื่อใช้ขับ Compressor แล้ว ก็จะกินกำลังของเครื่องประมาณ 5 HP. เช่นเดียวกัน ซึ่งคิดเป็นประมาณ 1 % ของกำลังสูงสุดต่อเนื่องของเครื่องจักรใหญ่เท่านั้น

Expansion Valve

จากค่า QE 1.938 Ton เพื่อให้เหมาะสมกับ Evaporator แบบ Split type ที่มีพื้นที่ Heating Surface มากกว่า Evaporator ที่ใช้กับรถยนต์ จึงพิจารณาใช้ขนาด 1.5 Ton R-134a

ระบบท่อทาง

พิจารณาเลือกโดยใช้ข้อมูลของ Tecumseh Products Co. (ตารางที่ 6 หน้า 6 ก) จะได้ขนาดของท่อต่าง ๆ ในระบบดังนี้

Suction Line ใช้ขนาด ϕ โคนอก 5/8 นิ้ว
 Liquid Line ใช้ขนาด ϕ โคนอก 5/16 นิ้ว
 Discharge Line ใช้ขนาด ϕ โคนอก 5/16 นิ้ว

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

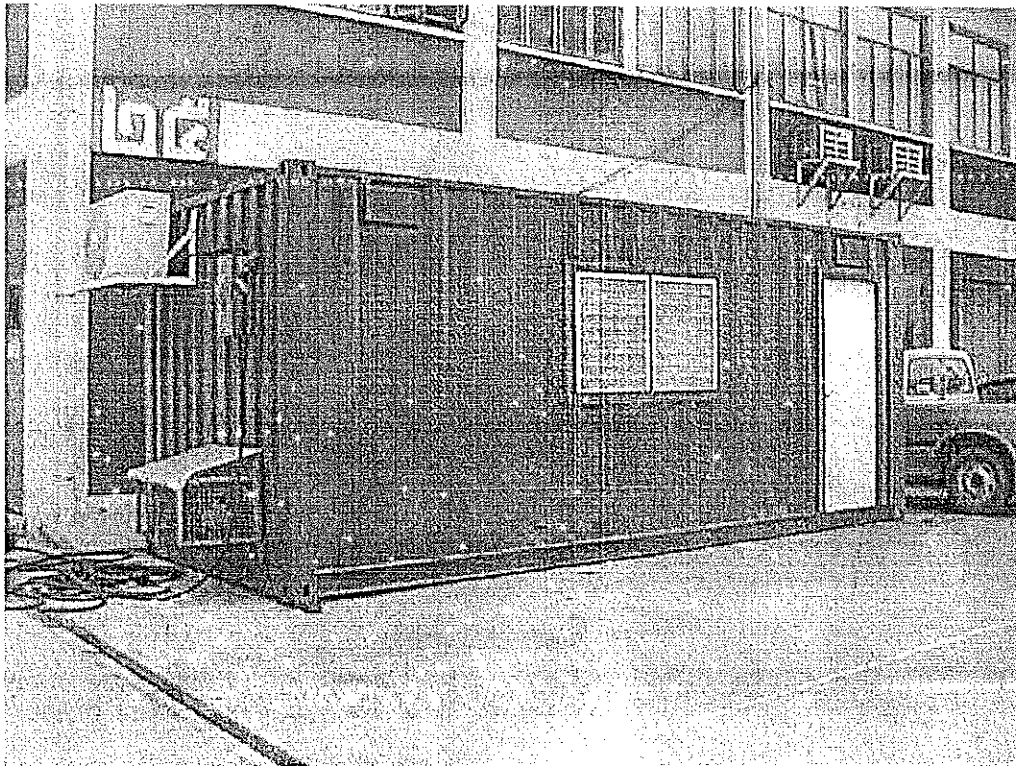
การสร้างระบบปรับอากาศ

เมื่อจัดหาได้อุปกรณ์ประกอบระบบตามผลการคำนวณแล้ว ก็ดำเนินการติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในตู้สินค้า ที่ให้เป็นตู้ทดลอง ดังในภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.4 โดยมีรายการอุปกรณ์หลักที่สำคัญดังนี้

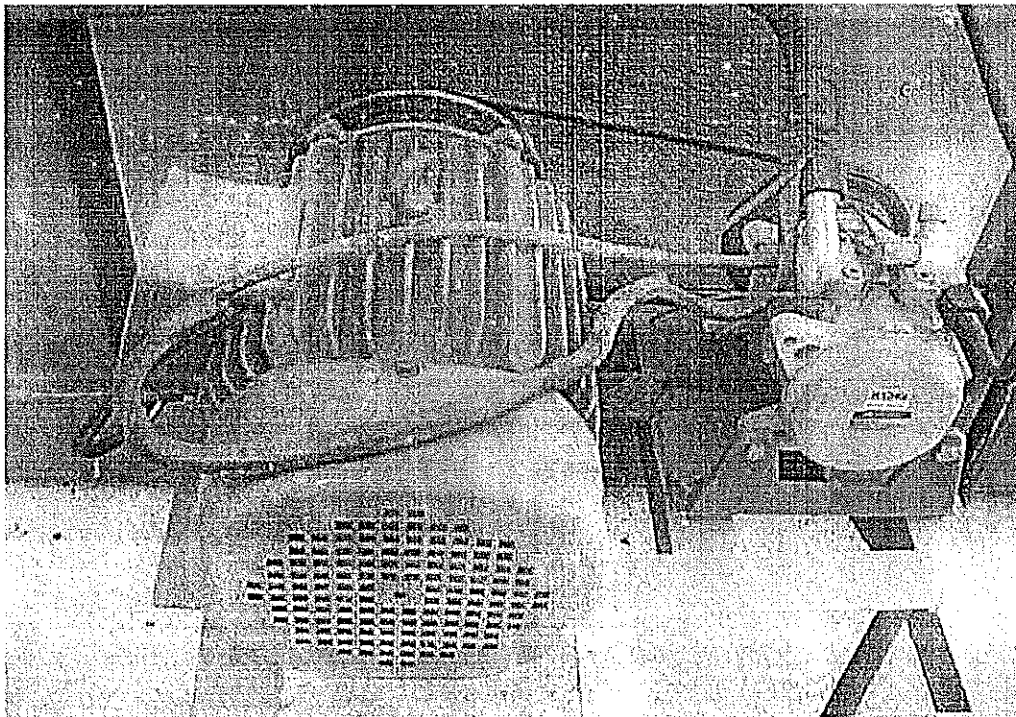
1. Compressor
 'ND-DENSO' Model 6P148A R-134a
 Capacity 1.5 TONS จำนวน 1 ตัว
2. Motor ขับ Compressor
 'ELEKTRIM' ขนาด 5HP., 220/380 V. 3 Ø 1440 RPM จำนวน 1 ตัว
3. Condenser
 Model 18 KCU, 18,000 BTU/hr
 Fan Motor 900 RPM, 1-50-220, 1.6 Amp. จำนวน 1 ตัว
4. Evaporator
 Model 18 KVC, 18000 BTU/hr
 Blower Motor 1/12 HP, 3 Speed, 1-50-220, 1.45 Amp. จำนวน 1 ตัว
5. Expansion Valve
 ขนาด 1.5 TON. R-134a. EXTERNAL TYPE จำนวน 1 ตัว

รายการอุปกรณ์ย่อยประกอบระบบ

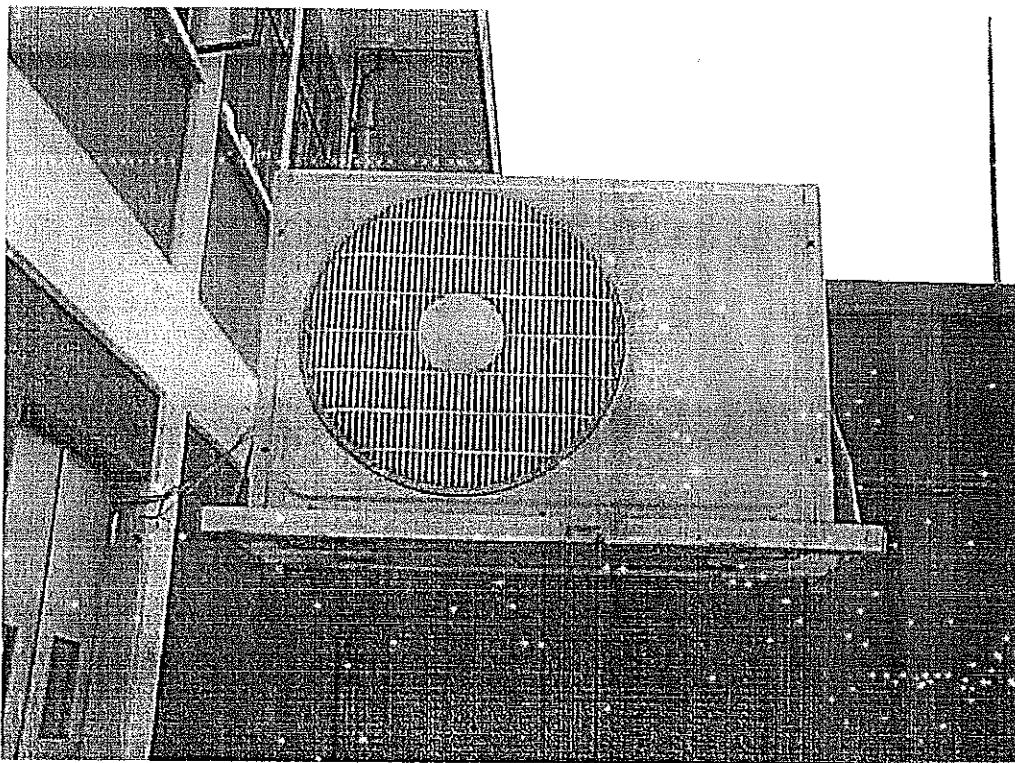
1. Gage วัดกำลังดัน HIGH PRESSURE 1 ตัว
2. Gage วัดกำลังดัน LOW PRESSURE 1 ตัว
3. SWITCH HIGH PRESSURE (100-450 PSI) 1 อัน
4. SWITCH LOW PRESSURE (7-150 PSI) 1 อัน
5. DIGITAL THERMOMETER (° C) 4 ชุด
6. SIGHT GLASS FLARE 3/8" 1 ตัว
7. อุปกรณ์ควบคุมการทำงานไฟฟ้า 1 ชุด



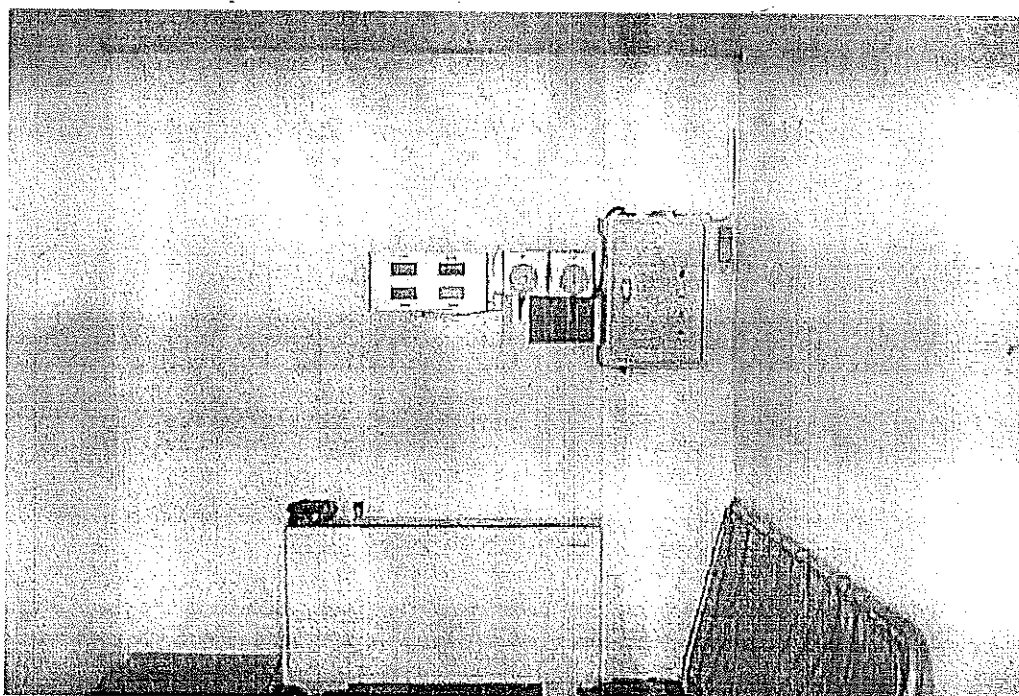
ภาพที่ 4.1 ตู้สินค้าที่ใช้เป็นตู้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศตามโครงการวิจัย ๔



ภาพที่ 4.2 คอมเพรสเซอร์ ND-DENSO พร้อมมอเตอร์จาก ELEKTRIM



ภาพที่ 4.3 Condensing Unit ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

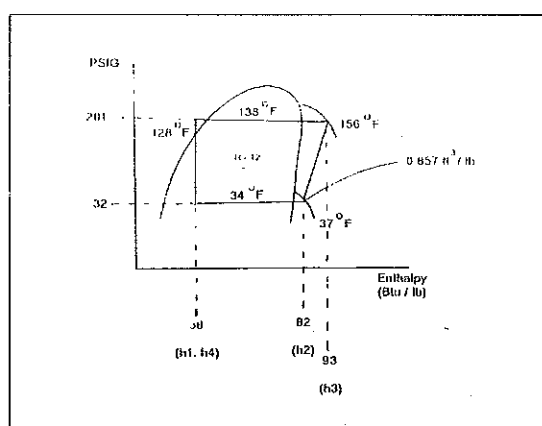


ภาพที่ 4.4 Fan Coil Unit และอุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งแล้วเสร็จในตู้ทดลอง

$$\begin{aligned}
 M &= V/v_g = 8.075/10.62 = 7.604 \text{ lb/min} \\
 QE &= \{m(h_2-h_1)\}/200 = \{7.604(107-57)\}/200 = 1.9 \text{ Ton} \\
 QC &= \{m(h_3-h_4)\}/200 = \{7.604(124-57)\}/200 = 3.23 \text{ Ton} \\
 W &= \{m(h_3-h_2)\}/42.42 = \{7.604(124-107)\}/42.42 = 3.05 \text{ HP.} \\
 COP &= (h_2-h_1)/(h_3-h_2) = (107-57)/(124-107) = 2.94
 \end{aligned}$$

เปรียบเทียบกับ R-12

โดยนำค่า ET 34°F, CT 138°F, Superheat 3°F และค่า Sub. Cool 10°F จากการทดลองที่ Ambient Temperature 90°F มา Plot ลงใน P-h Diagram ของ R-12 และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{กำลังดัน Low Side} &= 32 \text{ PSIG.} \\
 \text{กำลังดัน High Side} &= 201 \text{ PSIG.} \\
 \text{อุณหภูมิ ก่อนเข้า Compressor} &37^\circ\text{F} \\
 \text{อุณหภูมิ ออกจาก Compressor} &156^\circ\text{F} \\
 \text{อุณหภูมิ Liquid Line} &128^\circ\text{F} \\
 v_g &= 0.857 \text{ ft}^3/\text{lb}
 \end{aligned}$$

ภาพที่ 4.6 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-12

วิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบกับ R-134a ที่ ambient Temperature 90°F

$$\begin{aligned}
 M &= 8.075/0.857 = 9.42 \text{ lb/min} && : \text{ค่า 8.075 คือที่กำหนด Volume Displacement @ 1,970 RPM} \\
 QE &= \{9.42(82-38)\}/200 = 2.07 \text{ Ton} \\
 QC &= \{9.42(93-38)\}/200 = 2.59 \text{ Ton} \\
 W &= \{9.42(93-82)\}/42.42 = 2.44 \text{ Ton} \\
 COP &= (82-38)/(93-82) = 4
 \end{aligned}$$

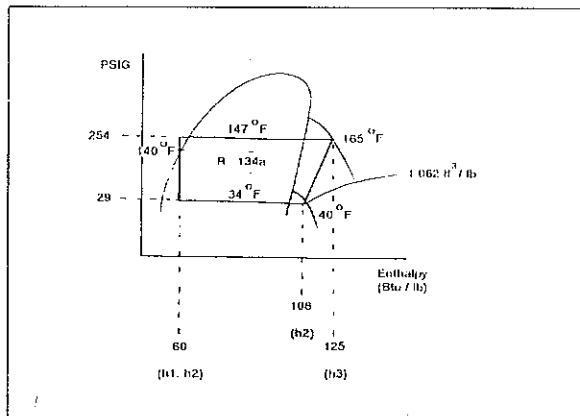
ทดลองที่ Ambient Temperature 100°F (นอกอาคารอยู่ใต้ร่มเงา) ตรวจวัดค่า Parameter ต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังดัน Low Side} &29 \text{ PSIG.} \\
 \text{กำลังดัน High Side} &254 \text{ PSIG.} \\
 \text{อุณหภูมิ ก่อนเข้า Compressor} &40^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

อุณหภูมิออกจาก Compressor 165°F

อุณหภูมิ Liquid Line 140°F

นำค่าที่ได้ Plot ลงใน P-h Diagram ของ R-134a และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



ET	=	34°F
CT	=	147°F
V_g	=	$1.062 \text{ ft}^3/\text{lb}$
Superheat	=	$40^{\circ}-34^{\circ} = 6^{\circ}\text{F}$
Sub Cool	=	$147^{\circ}-140^{\circ} = 7^{\circ}\text{F}$

ภาพที่ 4.7 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-134a

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ Ambient Temperature 100°F

ที่ความเร็วรอบ Compressor 1,970 RPM

Volume Displacement = $8.075 \text{ ft}^3/\text{min}$

$M = 8.075/1.062 = 7.604 \text{ lb/min}$

$QE = \{7.604(108-60)\}/200 = 1.8 \text{ Ton}$

$QC = \{7.604(125-60)\}/200 = 2.47 \text{ Ton}$

$W = \{7.604(125-108)\}/42.42 = 3.05 \text{ HP.}$

$COP = (108-60)/(125-108) = 2.82$

เปรียบเทียบกับ R-12

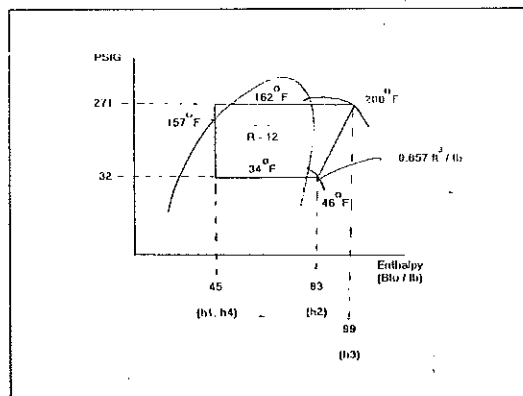
โดยนำค่า ET 34°F , CT 147°F , Superheat 6°F และค่า Sub Cool 7°F จากการทดลองที่ Ambient Temperature 100°F มา Plot ลงใน P-h Diagram ของ R-12 และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้

วิเคราะห์การทดลองที่ Ambient Temperature 110°F ที่ความเร็วรอบ Compressor 1,970 RPM

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Displacement} &= 8.075 \text{ ft}^3/\text{min} \\
 M &= 8.075/1.062 = 7.604 \text{ lb/min} \\
 QE &= \{7.604(111-67)\}/200 = 1.67 \text{ Ton} \\
 QC &= \{7.604(131-67)\}/200 = 2.43 \text{ Ton} \\
 W &= \{7.604(131-111)\}/42.42 = 3.59 \text{ HP.} \\
 \text{COP} &= (111-67)/(131-111) = 2.2
 \end{aligned}$$

เปรียบเทียบกับ R-12

โดยนำค่า ET 34°F , CT 162°F , Superheat 12°F และค่า Sub. Cool 5°F จากการทดลองที่ Ambient Temperature 110°F มา Plot ลงใน P-h Diagram ของ R-12 และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{กำลังดัน Low Side} &= 32 \text{ PSIG.} \\
 \text{กำลังดัน High Side} &= 271 \text{ PSIG.} \\
 \text{อุณหภูมิก่อนเข้า Compressor} &= 46^{\circ}\text{F} \\
 \text{อุณหภูมิออกจาก Compressor} &= 200^{\circ}\text{F} \\
 \text{อุณหภูมิ Liquid Line} &= 157^{\circ}\text{F} \\
 V_g &= 0.857 \text{ ft}^3/\text{lb}
 \end{aligned}$$

ภาพที่ 4.10 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-12

วิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบกับ R-134a ที่ ambient Temperature 110°F

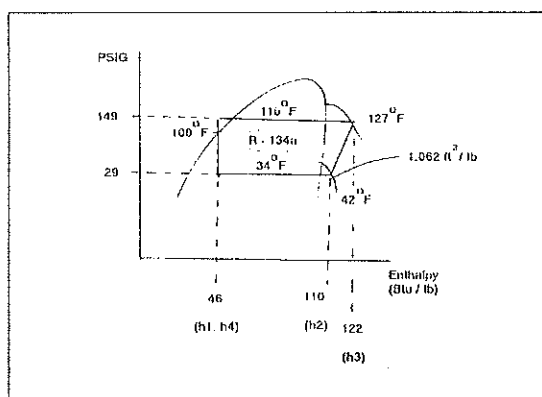
$$\begin{aligned}
 M &= 8.075/0.857 = 9.42 \text{ lb/min} \\
 QE &= \{9.42(83-45)\}/200 = 1.79 \text{ Ton} \\
 QC &= \{9.42(99-45)\}/200 = 2.54 \text{ Ton} \\
 W &= \{9.42(99-83)\}/42.42 = 3.55 \text{ HP.} \\
 \text{COP} &= (83-45)/(99-83) = 2.38
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าต่าง ๆ เมื่อนำระบบไปใช้งานจริงในเรือ

เมื่อนำไปใช้กับเรือ Condenser จะเปลี่ยนจากอากาศเป็นน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน สำหรับอุณหภูมิในการกลั่นตัวของสารทำความเย็นโดยทั่วไป CT จะสูงกว่าอุณหภูมิน้ำที่เข้า Condenser ระหว่าง 20°F - 25°F ดังนั้นถ้าอุณหภูมิน้ำทะเลเฉลี่ยอยู่ที่ 85°F ค่า CT จะประมาณ 105°F - 110°F

ประมาณการระบบที่จะติดตั้งในเรือ โดยใช้ค่า ET 34°F, CT 110°F, Superheat 8°F และ Sub. Cool 10°F

นำค่าที่ได้ Plot ลงใน P-h Diagram ของ R-134a ได้ดังนี้ และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



กำลังดัน Low Side	= 29 PSIG.
กำลังดัน High Side	= 149 PSIG.
อุณหภูมิ ก่อนเข้า Compressor	= 42°F
อุณหภูมิ ออกจาก Compressor	= 127°F
อุณหภูมิ Liquid Line	= 157°F
v_g	= 1.062 ft³/lb

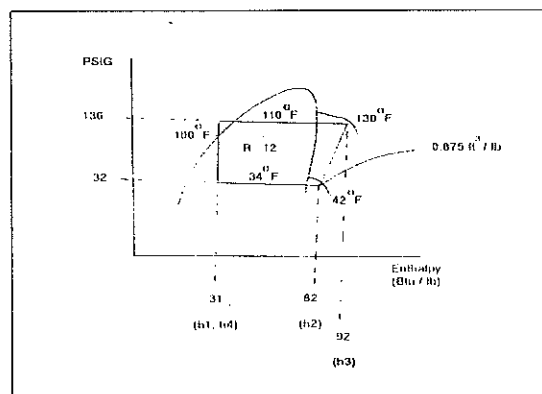
ภาพที่ 4.11 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-134a

วิเคราะห์ ถ้านำไปใช้ในเรือจริง ที่ความเร็วรอบ Compressor 1,970 RPM Volume Displacement = 8.075 ft³/min จะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

M	= 8.075/1.062	= 7.604 lb/min
QE	= {7.604(110-46)}/200	= 2.43 Ton
QC	= {7.604(122-46)}/200	= 2.89 Ton
W	= {7.604(122-110)}/42.42	= 2.15 HP.
COP	= (110-46)/(122-110)	= 5.3

การนำไปใช้งานจริงกับเรือเมื่อเปรียบเทียบกับ R-12

โดยใช้ค่าเหมือนระบบ R-134a คือ ET 34°F, CT 110°F, Superheat 8°F และ Sub. Cool 10°F Plot ลงใน P-h Diagram ของ R-12 และอ่านค่าจากการ Plot ได้ดังนี้



กำลังดัน Low Side	= 32 PSIG.
กำลังดัน High Side	= 136 PSIG.
อุณหภูมิ ก่อนเข้า Compressor	= 42°F
อุณหภูมิ ออกจาก Compressor	= 130°F
อุณหภูมิ Liquid Line	= 100°F
v_g	= 0.875 ft³/lb

ภาพที่ 4.12 การ plot ค่าลงใน P-h Diagram ของ R-12

วิเคราะห์ เปรียบเทียบกับ R-134a ที่จะใช้งานจริงในเรือที่ความเร็วรอบ Compressor 1,970 RPM Volume Displacement 8.075 ft³/min จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$$M = 8.075/0.857 = 9.42 \text{ lb/min}$$

$$QE = \{9.42(82-31)\}/200 = 2.4 \text{ Ton}$$

$$QC = \{9.42(92-31)\}/200 = 2.87 \text{ Ton}$$

$$W = \{9.42(92-82)\}/42.42 = 2.22 \text{ HP.}$$

$$COP = (82-31)/(92-82) = 5.1$$

เปรียบเทียบการใช้งานของ R-134a กับ R-12

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R-134a มาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้เมื่อใช้ R-12 จะได้ค่าตามในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการใช้งานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R-134a กับค่าที่คำนวณได้เมื่อใช้ R-12 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

รายละเอียด	หน่วย	Ambient Temp. 90 ^o F		Ambient Temp. 100 ^o F		Ambient Temp. 110 ^o F	
		R-134a	R-12	R-134a	R-12	R-134a	R-12
อุณหภูมิที่ Evaporator	°F	34	34	34	34	34	34
อุณหภูมิที่ Condenser	°F	138	138	147	147	162	162
กำลังดัน Low Side	PSIG	29	32	29	32	29	32
กำลังดัน High Side	PSIG	224	201	254	226	310	271
อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์	°F	37	37	40	40	46	46
อุณหภูมิออกจาก Compressor	°F	155	156	165	175	190	200
ปริมาตรในการสูบส่ง: V	ft ³ /lb	8.075	8.075	8.075	8.075	8.075	8.075
ปริมาณสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ: m	lb/min	7.604	9.42	7.604	9.42	7.604	9.42
ปริมาณความเย็นที่ทำได้: QE	Tons	1.9	2.07	1.8	1.98	1.67	1.79
ปริมาณความร้อนที่คายออก: QC	Tons	3.23	2.59	2.47	2.54	2.43	2.54
กำลังงานที่ใช้กับ Compressor: W	HP	3.05	2.44	3.05	2.66	3.59	3.55
สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ: COP	-	2.94	4	2.82	3.5	2.2	2.38

จากการเปรียบเทียบการใช้งานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R-134a กับค่าที่คำนวณได้เมื่อใช้ R-12 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิที่ Evaporator อุณหภูมิที่ Condenser อุณหภูมิ

ก่อนเข้า Compressor และปริมาณในการสูบส่ง เท่ากัน ส่วนกำลังดัน Low Side กำลังดัน High Side อุณหภูมิออกจาก Compressor ปริมาณสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ ปริมาณความเย็นที่ทำได้ ปริมาณความร้อนที่คายออก กำลังงานที่ใช้ขับ Compressor และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ มีความแตกต่างกัน ดังนี้

- กำลังดัน Low Side ของระบบ R-134a ต่ำกว่า R-12 เล็กน้อย
- กำลังดัน High Side ของระบบ R-134a สูงกว่า R-12 ขึ้นอยู่กับ Ambient Temp.
- อุณหภูมิออกจาก Compressor ของระบบ R-134a ต่ำกว่า R-12 ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature
- ปริมาณสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ ระบบ R-134a ต่ำกว่า R-12 ประมาณ 20 %
- ปริมาณความเย็นที่ทำได้ R-134a ต่ำกว่า R-12 ประมาณ 7 % - 8 % ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature
- ปริมาณความร้อนที่คายออก R-134a อาจจะสูงกว่า หรือต่ำกว่า R-12 ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature
- กำลังงานที่ใช้ขับ Compressor R-134a สูงกว่า R-12 ประมาณ 1 % - 25 % ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature โดยระบบมีแนวโน้มความแตกต่างของการใช้กำลังงานลดลง เมื่อ Ambient Temperature สูงขึ้น
- สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ R-134a ต่ำกว่า R-12 ประมาณ 7 % - 26 % ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature โดยระบบมีแนวโน้มความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะลดลง เมื่อ Ambient Temperature สูงขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป

สรุป

การศึกษาวิจัย เพื่อดำเนินการผลิตเครื่องปรับอากาศต้นแบบขนาดไม่เกิน 3 ตัน โดยใช้สารที่ปราศจากสาร CFCs สำหรับใช้งานในเรือ เพื่อเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาด้านการส่งกำลังบำรุง และเป็นการแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบในการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของกองทัพเรือ นั้น ได้ผลสรุป ดังนี้

1. ได้ต้นแบบของเครื่องปรับอากาศมาตรฐานขนาดไม่เกิน 3 ตัน ที่จะนำไปใช้งานในเรือต่อไป ซึ่งจะทำให้การจัดหาอะไหล่สำรองคลัง และการบริหารงานซ่อมบำรุงสามารถกระทำได้โดยสะดวก

2. จากศึกษาการเปลี่ยนสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศในเรือจาก R-12 ซึ่งเป็นสาร CFCs ไปเป็นสาร R-134a ซึ่งเป็นสารที่ปราศจากสาร CFCs โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบบางส่วน และทำการทดลองโดยใช้ตู้สินค้าเป็นห้องทดลองได้ผลสรุป ดังนี้

- ระบบเดิมที่ใช้ Compressor แบบ R-12 สามารถเปลี่ยนแปลงมาใช้สาร R-134a ได้โดยการคำนวณ และเลือกใช้ Compressor ที่มีขนาดเหมาะสมกับภาระทางความร้อน และเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนของอุปกรณ์เดิมบางรายการเท่านั้น โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์หลัก เช่น Compressor, Condenser, Evaporator และระบบท่อทางต่าง ๆ
- ในระบบที่ให้ความเยือกใกล้เคียงกับระบบ R-134a จะใช้ปริมาณสารทำความเย็นน้อยกว่าระบบที่ใช้ R-12
- กำลังงานที่ใช้ขับ Compressor R-134a สูงกว่า R-12 ประมาณ 1 % - 25 % ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature โดยระบบมีแนวโน้มความแตกต่างของการใช้กำลังงานลดลง เมื่อ Ambient Temperature สูงขึ้น
- สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ R-134a ต่ำกว่า R-12 ประมาณ 7 % - 26 % ขึ้นอยู่กับ Ambient Temperature โดยระบบมีแนวโน้มความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะลดลง เมื่อ Ambient Temperature สูงขึ้น

3. ระบบที่ทดลองในการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ติดตั้งในเรือตรวจการณ์ขนาดเล็ก ที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้เนื่องจากกำลังไฟฟ้าไม่พอ ซึ่งสามารถติดตั้งได้โดยใช้กำลังสำรองจากเครื่องจักรใหญ่เป็นต้นกำลังในการขับ Compressor โดยหากพิจารณาสำหรับเรือตรวจการณ์ชายฝั่ง

ชุดเรือ ค.11 แล้ว กำลังที่นำมาใช้นั้นจะมีค่าเพียง 1 % ของกำลังสูงสุดต่อเนื่องของเครื่องจักรใหญ่แต่ละเครื่องเท่านั้น และผลดีที่ได้รับในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในเรือก็คือ จะช่วยทำให้ความเป็นอยู่ของทหารประจำเรือ ขณะออกปฏิบัติการกิจลาดตระเวนดีขึ้น ก็เป็นการสร้างเสริมขวัญ และกำลังใจให้กับทหารประจำเรือได้ประการหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อดำเนินการผลิตเครื่องปรับอากาศต้นแบบขนาดเล็กไม่เกิน 3 ตัน เท่านั้น แต่ในสภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน ขณะที่ทั่วโลกกำลังยกเลิกการผลิตสาร CFCs แต่กองทัพเรือยังคงมีเครื่องปรับอากาศ และเครื่องทำความเย็นที่ใช้สาร CFCs และ HCFCs ขนาดต่าง ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการเตรียมรับสถานการณ์ขาดแคลนสาร CFCs ในอนาคต และยังเป็น การแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมก็ประการหนึ่ง กองทัพเรือจึงควรจัดทำแผนการเปลี่ยนแปลงระบบปรับอากาศ และระบบทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนไปใช้สารที่ปราศจากสาร CFCs โดยจัดทำเป็นแผนระยะยาว เพื่อมิให้ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณแต่ละปี เป็นจำนวนมาก

บรรณานุกรม

1. จุฬามาศ จันทะยานี, สมศรี สุวรรณเจรัส, จริญญา นิตระอุปลัมภ์ และ ทิพย์วรรณ อรุณรังสีเวช. ประเทศไทยกับการฟื้นฟูชั้นโอโซน, กรุงเทพมหานคร: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม
2. Althouse, Turnquist and Bracciano, Modern refrigeration and Air Conditioning, Illinois: The Goodheart- Willecox Company, Inc., 1988
3. Bando, V-Belt Design Manual, Osaka: Bando Distributor
4. Billy C. Langley, Fundamentals of Refrigeration, New York: Delmar Publishers, 1995
5. Carrier Air Conditioning Company, Handbook of Air Conditioning System Design, New York: McGraw-Hill Book Company, 1965
6. Haines, Roger W. and C. Lewis, HVAC System Design Handbook, New York: McGraw-Hill Book Company, 1994
7. Stocker and W.F. (Wilbert F.), Refrigeration & Air Conditioning, Auckland: McGraw-Hill Book Company, 1982

ผนวก ก

ตารางและแผนภูมิที่ใช้ในการคำนวณ

TEMP. °F	PRESSURE psia	VOLUME ft ³ /lb		DENSITY lb/ft ³		ENTHALPY Btu/lb			ENTROPY Btu/(lb·°R)		TEMP. °F
		LIQUID v _f	VAPOR v _g	LIQUID 1/v _f	VAPOR 1/v _g	LIQUID h _f	LATENT h _{fg}	VAPOR h _g	LIQUID s _f	VAPOR s _g	
30	40.800	0.0124	1.1538	80.96	0.8667	21.6	85.9	107.4	0.0473	0.2227	30
31	41.636	0.0124	1.1315	80.85	0.8838	21.9	85.7	107.6	0.0480	0.2226	31
32	42.486	0.0124	1.1098	80.74	0.9011	22.2	85.5	107.7	0.0486	0.2226	32
33	43.349	0.0124	1.0884	80.62	0.9188	22.5	85.3	107.9	0.0492	0.2225	33
34	44.225	0.0124	1.0676	80.51	0.9367	22.8	85.2	108.0	0.0498	0.2224	34
35	45.115	0.0124	1.0472	80.40	0.9549	23.2	85.0	108.1	0.0505	0.2223	35
36	46.018	0.0125	1.0274	80.28	0.9733	23.5	84.8	108.3	0.0512	0.2223	36
37	46.935	0.0125	1.0080	80.17	0.9921	23.8	84.6	108.4	0.0518	0.2222	37
38	47.866	0.0125	0.9890	80.05	1.0111	24.1	84.4	108.6	0.0525	0.2221	38
39	48.812	0.0125	0.9705	79.94	1.0304	24.5	84.2	108.7	0.0531	0.2221	39
40	49.771	0.0125	0.9523	79.82	1.0501	24.8	84.1	108.8	0.0538	0.2220	40
41	50.745	0.0125	0.9346	79.70	1.0700	25.1	83.9	109.0	0.0544	0.2219	41
42	51.733	0.0126	0.9173	79.59	1.0902	25.4	83.7	109.1	0.0551	0.2219	42
43	52.736	0.0126	0.9003	79.47	1.1107	25.8	83.5	109.2	0.0557	0.2218	43
44	53.754	0.0126	0.8837	79.35	1.1316	26.1	83.3	109.4	0.0564	0.2217	44
45	54.787	0.0126	0.8675	79.24	1.1527	26.4	83.1	109.5	0.0570	0.2217	45
46	55.835	0.0126	0.8516	79.12	1.1742	26.7	82.9	109.7	0.0576	0.2216	46
47	56.898	0.0127	0.8361	79.00	1.1960	27.1	82.7	109.8	0.0583	0.2216	47
48	57.976	0.0127	0.8210	78.88	1.2181	27.4	82.5	109.9	0.0589	0.2215	48
49	59.070	0.0127	0.8061	78.76	1.2405	27.7	82.3	110.1	0.0596	0.2214	49
50	60.180	0.0127	0.7916	78.64	1.2633	28.0	82.1	110.2	0.0602	0.2214	50
51	61.305	0.0127	0.7774	78.53	1.2864	28.4	81.9	110.3	0.0608	0.2213	51
52	62.447	0.0128	0.7634	78.41	1.3099	28.7	81.8	110.5	0.0615	0.2213	52
53	63.604	0.0128	0.7498	78.29	1.3337	29.0	81.6	110.6	0.0621	0.2212	53
54	64.778	0.0128	0.7365	78.16	1.3578	29.4	81.4	110.7	0.0628	0.2211	54
55	65.963	0.0128	0.7234	78.04	1.3823	29.7	81.2	110.9	0.0634	0.2211	55
56	67.170	0.0128	0.7106	77.92	1.4072	30.0	81.0	111.0	0.0640	0.2210	56
57	68.394	0.0129	0.6981	77.80	1.4324	30.4	80.8	111.1	0.0647	0.2210	57
58	69.635	0.0129	0.6859	77.68	1.4579	30.7	80.6	111.3	0.0653	0.2209	58
59	70.892	0.0129	0.6739	77.56	1.4839	31.0	80.4	111.4	0.0659	0.2209	59
60	72.167	0.0129	0.6622	77.43	1.5102	31.4	80.2	111.5	0.0666	0.2208	60
61	73.459	0.0129	0.6507	77.31	1.5369	31.7	80.0	111.6	0.0672	0.2208	61
62	74.769	0.0130	0.6394	77.19	1.5640	32.0	79.7	111.8	0.0678	0.2207	62
63	76.096	0.0130	0.6283	77.06	1.5915	32.4	79.5	111.9	0.0685	0.2207	63
64	77.440	0.0130	0.6175	76.94	1.6194	32.7	79.3	112.0	0.0691	0.2206	64
65	78.803	0.0130	0.6069	76.81	1.6477	33.0	79.1	112.2	0.0698	0.2206	65
66	80.184	0.0130	0.5965	76.69	1.6764	33.4	78.9	112.3	0.0704	0.2205	66
67	81.582	0.0131	0.5863	76.56	1.7055	33.7	78.7	112.4	0.0710	0.2205	67
68	83.000	0.0131	0.5764	76.44	1.7350	34.0	78.5	112.5	0.0717	0.2204	68
69	84.435	0.0131	0.5666	76.31	1.7649	34.4	78.3	112.7	0.0723	0.2204	69
70	85.890	0.0131	0.5570	76.18	1.7952	34.7	78.1	112.8	0.0729	0.2203	70
71	87.363	0.0131	0.5476	76.05	1.8260	35.1	77.9	112.9	0.0735	0.2203	71
72	88.855	0.0132	0.5384	75.93	1.8573	35.4	77.6	113.0	0.0742	0.2202	72
73	90.366	0.0132	0.5294	75.80	1.8889	35.7	77.4	113.2	0.0748	0.2202	73
74	91.897	0.0132	0.5206	75.67	1.9210	36.1	77.2	113.3	0.0754	0.2201	74
75	93.447	0.0132	0.5119	75.54	1.9536	36.4	77.0	113.4	0.0761	0.2201	75
76	95.016	0.0133	0.5034	75.41	1.9866	36.8	76.8	113.5	0.0767	0.2200	76
77	96.606	0.0133	0.4950	75.28	2.0201	37.1	76.6	113.7	0.0773	0.2200	77
78	98.215	0.0133	0.4868	75.15	2.0541	37.4	76.3	113.8	0.0780	0.2200	78
79	99.844	0.0133	0.4788	75.02	2.0885	37.8	76.1	113.9	0.0786	0.2199	79
80	101.494	0.0134	0.4709	74.89	2.1234	38.1	75.9	114.0	0.0792	0.2199	80
81	103.164	0.0134	0.4632	74.75	2.1589	38.5	75.7	114.1	0.0798	0.2198	81
82	104.855	0.0134	0.4556	74.62	2.1948	38.8	75.4	114.3	0.0805	0.2198	82
83	106.566	0.0134	0.4482	74.49	2.2312	39.2	75.2	114.4	0.0811	0.2197	83
84	108.290	0.0134	0.4409	74.35	2.2681	39.5	75.0	114.5	0.0817	0.2197	84
85	110.050	0.0135	0.4337	74.22	2.3056	39.9	74.8	114.6	0.0824	0.2196	85
86	111.826	0.0135	0.4267	74.08	2.3436	40.2	74.5	114.7	0.0830	0.2196	86
87	113.626	0.0135	0.4198	73.95	2.3821	40.5	74.3	114.9	0.0836	0.2196	87
88	115.444	0.0135	0.4130	73.81	2.4211	40.9	74.1	115.0	0.0843	0.2195	88
89	117.281	0.0136	0.4064	73.67	2.4607	41.2	73.8	115.1	0.0849	0.2195	89

ตารางที่ 1 / REFRIGERANT 134a (TETRAFLUOROETHANE) PROPERTY OF SATURATED
LIQUID AND SATURATED VAPOR

จัดทำโดย : Billy C. Langley, Fundamentals of Refrigeration

TEMP (F)	PRESSURE (lb/sq in.)		VOLUME (cu ft/lb)		DENSITY (lb/cu ft)		ENTHALPY (Btu/lb)			ENTROPY (Btu/lb-R)		TEMP (F)
	Absolute P	Gage P	Liquid v _l	Vapor v _g	Liquid 1/v _l	Vapor 1/v _g	Liquid h _l	Latent h _{fg}	Vapor h _g	Liquid s _l	Vapor s _g	
-100	1.4280	27.0138*	0.009985	22.164	100.15	0.045119	-12.466	78.714	66.248	-0.032005	0.18683	-100
-98	1.5381	26.7896*	.010002	20.682	99.978	.048352	-12.055	78.524	66.469	-.030866	.18623	-98
-96	1.6551	26.5514*	.010020	19.316	99.803	.051769	-11.644	78.334	66.690	-.029733	.18565	-96
-94	1.7794	26.2984*	.010037	18.057	99.627	.055379	-11.233	78.144	66.911	-.028606	.18508	-94
-92	1.9112	26.0301*	.010055	16.895	99.451	.059189	-10.821	77.954	67.133	-.027484	.18452	-92
-90	2.0509	25.7456*	.010073	15.821	99.274	.063207	-10.409	77.764	67.355	-.026367	.18398	-90
-88	2.1988	25.4443*	.010091	14.828	99.097	.067441	-9.9971	77.574	67.577	-.025256	.18345	-88
-86	2.3554	25.1255*	.010109	13.908	98.919	.071900	-9.5845	77.384	67.799	-.024150	.18293	-86
-84	2.5210	24.7884*	.010128	13.056	98.740	.076591	-9.1717	77.194	68.022	-.023049	.18242	-84
-82	2.6960	24.4321*	.010146	12.226	98.561	.081525	-8.7586	77.003	68.244	-.021953	.18192	-82
-80	2.8807	24.0560*	.010164	11.533	98.382	.086708	-8.3451	76.812	68.467	-.020862	.18143	-80
-78	3.0756	23.6592*	.010183	10.852	98.201	.092151	-7.9314	76.620	68.689	-.019776	.18096	-78
-76	3.2811	23.2409*	.010202	10.218	98.021	.097863	-7.5173	76.429	68.912	-.018695	.18050	-76
-74	3.4975	22.8002*	.010221	9.6290	97.839	.10385	-7.1029	76.238	69.135	-.017619	.18004	-74
-72	3.7254	22.3362*	.010240	9.0802	97.657	.11013	-6.6881	76.046	69.358	-.016547	.17960	-72
-70	3.9651	21.8482*	.010259	8.5687	97.475	.11670	-6.2730	75.853	69.580	-.015481	.17916	-70
-68	4.2172	21.3350*	.010278	8.0916	97.292	.12359	-5.8574	75.660	69.803	-.014418	.17874	-68
-66	4.4819	20.7959*	.010298	7.6442	97.108	.13078	-5.4416	75.467	70.025	-.013361	.17833	-66
-64	4.7599	20.2299*	.010317	7.2302	96.924	.13831	-5.0254	75.273	70.248	-.012308	.17792	-64
-62	5.0516	19.6360*	.010337	6.8412	96.739	.14617	-4.6088	75.080	70.471	-.011259	.17753	-62
-60	5.3575	19.0133*	.010357	6.4774	96.553	.15438	-4.1919	74.885	70.693	-.010214	.17714	-60
-58	5.6780	18.3607*	.010377	6.1367	96.367	.16295	-3.7745	74.691	70.916	-.009174	.17676	-58
-56	6.0137	17.6773*	.010397	5.8176	96.180	.17189	-3.3567	74.495	71.138	-.008139	.17639	-56
-54	6.3650	16.9619*	.010417	5.5184	95.993	.18121	-2.9386	74.299	71.360	-.007107	.17603	-54
-52	6.7326	16.2136*	.010438	5.2377	95.804	.19092	-2.5200	74.103	71.583	-.006080	.17568	-52
-50	7.1168	15.4313*	.010459	4.9742	95.616	.20104	-2.1011	73.906	71.805	-.005056	.17533	-50
-48	7.5183	14.6139*	.010479	4.7267	95.426	.21157	-1.6817	73.709	72.027	-.004037	.17500	-48
-46	7.9375	13.7603*	.010500	4.4940	95.236	.22252	-1.2619	73.511	72.249	-.003022	.17467	-46
-44	8.3751	12.8693*	.010521	4.2751	95.045	.23391	-0.8417	73.312	72.470	-.002011	.17435	-44
-42	8.8316	11.9399*	.010543	4.0691	94.854	.24576	-0.4211	73.112	72.691	-.001003	.17403	-42
-40	9.3076	10.9709*	.010564	3.8750	94.661	.25806	0.0000	72.913	72.913	0.000000	.17373	-40
-38	9.8035	9.9611*	.010586	3.6922	94.469	.27084	0.4215	72.712	73.134	.001000	.17343	-38
-36	10.320	8.909*	.010607	3.5198	94.275	.28411	0.8434	72.511	73.354	.002005	.17313	-36
-34	10.858	7.814*	.010629	3.3571	94.081	.29788	1.2659	72.309	73.575	.003088	.17285	-34
-32	11.417	6.675*	.010651	3.2035	93.886	.31216	1.6887	72.106	73.795	.004296	.17257	-32
-30	11.999	5.490*	.010674	3.0585	93.690	.32696	2.1120	71.903	74.015	.005491	.17229	-30
-28	12.604	4.259*	.010696	2.9214	93.493	.34231	2.5358	71.698	74.234	.006742	.17203	-28
-26	13.233	2.999*	.010719	2.7917	93.296	.35820	2.9601	71.494	74.454	.008019	.17177	-26
-24	13.886	1.649*	.010741	2.6691	93.098	.37466	3.3848	71.288	74.673	.009294	.17151	-24
-22	14.564	0.270*	.010764	2.5529	92.899	.39171	3.8100	71.081	74.891	.010584	.17126	-22
-20	15.267	0.571	.010788	2.4429	92.699	.40934	4.2357	70.874	75.110	.011883	.17102	-20
-18	15.996	1.300	.010811	2.3387	92.499	.42758	4.6618	70.666	75.328	.013195	.17078	-18
-16	16.753	2.057	.010834	2.2399	92.298	.44645	5.0885	70.456	75.545	.014522	.17055	-16
-14	17.536	2.840	.010858	2.1461	92.096	.46595	5.5157	70.246	75.762	.015864	.17032	-14
-12	18.348	3.652	.010882	2.0572	91.893	.48611	5.9434	70.036	75.979	.017218	.17010	-12
-10	19.189	4.493	.010906	1.9727	91.689	.50693	6.3716	69.824	76.196	.018584	.16989	-10
-8	20.059	5.363	.010931	1.8924	91.485	.52843	6.8003	69.611	76.411	.019964	.16967	-8
-6	20.960	6.264	.010955	1.8161	91.280	.55063	7.2296	69.397	76.627	.021358	.16947	-6
-4	21.891	7.195	.010980	1.7436	91.074	.57354	7.6594	69.183	76.842	.022766	.16927	-4
-2	22.854	8.158	.011005	1.6745	90.867	.59718	8.0898	68.967	77.057	.024188	.16907	-2
0	23.849	9.153	.011030	1.6089	90.659	.62156	8.5207	68.750	77.271	.025624	.16888	0
2	24.878	10.182	.011056	1.5463	90.450	.64670	8.9522	68.533	77.485	.027074	.16869	2
4	25.939	11.243	.011082	1.4867	90.240	.67263	9.3843	68.314	77.698	.028538	.16851	4
6	27.036	12.340	.011107	1.4299	90.030	.69934	9.8169	68.094	77.911	.029999	.16833	6
8	28.167	13.471	.011134	1.3758	89.818	.72687	10.250	67.873	78.123	.031453	.16815	8
10	29.335	14.639	.011160	1.3241	89.606	.75523	10.684	67.651	78.335	.032904	.16798	10
12	30.539	15.843	.011187	1.2748	89.392	.78443	11.118	67.428	78.546	.034359	.16782	12
14	31.780	17.084	.011214	1.2278	89.178	.81449	11.554	67.203	78.757	.035818	.16765	14
16	33.060	18.364	.011241	1.1828	88.962	.84544	11.989	66.977	78.966	.037280	.16750	16
18	34.378	19.682	.011268	1.1399	88.746	.87729	12.426	66.750	79.176	.038744	.16734	18
20	35.736	21.040	.011296	1.0988	88.529	.91006	12.863	66.522	79.385	.040211	.16719	20
22	37.135	22.439	.011324	1.0596	88.310	.94377	13.300	66.293	79.593	.041681	.16704	22
24	38.574	23.878	.011352	1.0220	88.091	.97843	13.739	66.061	79.800	.043154	.16690	24
26	40.056	25.360	.011380	0.98612	87.870	1.0141	14.178	65.829	80.007	.044631	.16676	26
28	41.580	26.884	.011409	0.95173	87.649	1.0507	14.618	65.596	80.214	.046111	.16662	28

*Inches of mercury below one atmosphere.

Courtesy of E. I. du Pont de Nemours & Co.

ตารางที่ 2 PROPERTY OF REFRIGERANT 12, LIQUID AND SATURATED VAPOR

ที่มา : Carrier Air Conditioning Company, Handbook of Air Conditioning System Design

TEMP (F)	PRESSURE (lb/sq in.)		VOLUME (cu ft/lb)		DENSITY (lb/cu ft)		ENTHALPY (Btu/lb)			ENTROPY (Btu/lb-R)		TEMP (F)
	Absolute P	Gage p	Liquid v _f	Vapor v _g	Liquid 1/v _f	Vapor 1/v _g	Liquid h _f	Latent h _{fg}	Vapor h _g	Liquid s _f	Vapor s _g	
30	43.148	28.452	0.011438	0.91880	87.426	1.0884	15.058	65.361	80.419	0.033013	0.16648	30
32	44.760	30.064	.011468	.88725	87.202	1.1271	15.500	65.124	80.624	.033905	.16635	32
34	46.417	31.721	.011497	.85702	86.977	1.1668	15.942	64.886	80.828	.034796	.16622	34
36	48.120	33.424	.011527	.82803	86.751	1.2077	16.384	64.647	81.031	.035683	.16610	36
38	49.870	35.174	.011557	.80023	86.524	1.2496	16.828	64.406	81.234	.036569	.16598	38
40	51.667	36.971	0.011588	0.77357	86.296	1.2927	17.273	64.163	81.436	0.037453	0.16586	40
42	53.513	38.817	.011619	.74798	86.066	1.3369	17.718	63.919	81.637	.038334	.16571	42
44	55.407	40.711	.011650	.72341	85.836	1.3823	18.164	63.673	81.837	.039213	.16562	44
46	57.352	42.656	.011682	.69982	85.604	1.4289	18.611	63.426	82.037	.040091	.16551	46
48	59.347	44.651	.011714	.67715	85.371	1.4768	19.059	63.177	82.236	.040966	.16540	48
50	61.394	46.698	0.011746	0.65537	85.136	1.5258	19.507	62.926	82.433	0.041839	0.16530	50
52	63.494	48.798	.011779	.63444	84.900	1.5762	19.957	62.673	82.630	.042711	.16519	52
54	65.646	50.950	.011811	.61431	84.663	1.6278	20.408	62.418	82.826	.043581	.16509	54
56	67.853	53.157	.011845	.59495	84.425	1.6808	20.859	62.162	83.021	.044449	.16499	56
58	70.115	55.419	.011879	.57632	84.185	1.7352	21.312	61.903	83.215	.045316	.16489	58
60	72.433	57.737	0.011913	0.55839	83.944	1.7909	21.766	61.643	83.409	0.046180	0.16479	60
62	74.807	60.111	.011947	.54112	83.701	1.8480	22.221	61.380	83.601	.047044	.16470	62
64	77.239	62.543	.011982	.52450	83.457	1.9066	22.676	61.116	83.792	.047905	.16460	64
66	79.729	65.033	.012017	.50848	83.212	1.9666	23.133	60.849	83.982	.048765	.16451	66
68	82.279	67.583	.012053	.49305	82.965	2.0282	23.591	60.580	84.171	.049624	.16442	68
70	84.888	70.192	0.012089	0.47818	82.717	2.0913	24.050	60.309	84.359	0.050482	0.16434	70
72	87.559	72.863	.012126	.46383	82.467	2.1559	24.511	60.035	84.546	.051338	.16425	72
74	90.292	75.596	.012163	.45000	82.215	2.2222	24.973	59.759	84.732	.052193	.16417	74
76	93.087	78.391	.012201	.43666	81.962	2.2901	25.435	59.481	84.916	.053047	.16408	76
78	95.946	81.250	.012239	.42378	81.707	2.3597	25.899	59.201	85.100	.053900	.16400	78
80	98.870	84.174	0.012277	0.41135	81.450	2.4310	26.365	58.917	85.282	0.054751	0.16392	80
82	101.86	87.16	.012316	.39935	81.192	2.5041	26.832	58.631	85.463	.055602	.16384	82
84	104.92	90.22	.012356	.38776	80.932	2.5789	27.300	58.343	85.643	.056452	.16376	84
86	108.04	93.34	.012396	.37657	80.671	2.6556	27.769	58.052	85.821	.057301	.16368	86
88	111.23	96.53	0.012437	0.36575	80.407	2.7341	28.241	57.757	85.998	.058149	.16360	88
90	114.49	99.79	0.012478	0.35529	80.142	2.8146	28.713	57.461	86.174	0.058997	0.16353	90
92	117.82	103.12	.012520	.34518	79.874	2.8970	29.187	57.161	86.348	.059844	.16345	92
94	121.22	106.52	.012562	.33540	79.605	2.9815	29.663	56.858	86.521	.060690	.16338	94
96	124.70	110.00	.012605	.32594	79.334	3.0680	30.140	56.551	86.691	.061536	.16330	96
98	128.24	113.54	.012649	.31679	79.061	3.1566	30.619	56.242	86.861	.062381	.16323	98
100	131.86	117.16	0.012693	0.30794	78.785	3.2474	31.100	55.929	87.029	0.063227	0.16315	100
102	135.56	120.86	.012738	.29937	78.508	3.3404	31.583	55.613	87.196	.064072	.16308	102
104	139.33	124.63	.012783	.29106	78.228	3.4357	32.067	55.293	87.360	.064916	.16301	104
106	143.18	128.48	.012829	.28303	77.946	3.5333	32.553	54.970	87.523	.065761	.16293	106
108	147.11	132.41	.012876	.27524	77.662	3.6332	33.041	54.643	87.684	.066606	.16286	108
110	151.11	136.41	0.012924	0.26769	77.376	3.7357	33.531	54.313	87.844	0.067451	0.16279	110
112	155.19	140.49	.012972	.26037	77.087	3.8406	34.023	53.978	88.001	.068296	.16271	112
114	159.36	144.66	.013022	.25328	76.795	3.9482	34.517	53.639	88.156	.069141	.16264	114
116	163.61	148.91	.013072	.24641	76.501	4.0584	35.014	53.296	88.310	.069987	.16256	116
118	167.94	153.24	.013123	.23974	76.205	4.1713	35.512	52.949	88.461	.070833	.16249	118
120	172.35	157.65	0.013174	0.23326	75.906	4.2870	36.013	52.597	88.610	0.071680	0.16241	120
122	176.85	162.15	.013227	.22698	75.604	4.4056	36.516	52.241	88.757	.072528	.16234	122
124	181.43	166.73	.013280	.22089	75.299	4.5272	37.021	51.881	88.902	.073376	.16226	124
126	186.10	171.40	.013335	.21497	74.991	4.6518	37.529	51.515	89.044	.074225	.16218	126
128	190.86	176.16	.013390	.20922	74.680	4.7796	38.040	51.144	89.184	.075075	.16210	128
130	195.71	181.01	0.013447	0.20364	74.367	4.9107	38.553	50.768	89.321	0.075927	0.16202	130
132	200.64	185.94	.013504	.19821	74.050	5.0451	39.069	50.387	89.456	.076779	.16194	132
134	205.67	190.97	.013563	.19294	73.729	5.1829	39.588	50.000	89.588	.077623	.16185	134
136	210.79	196.09	.013623	.18782	73.406	5.3244	40.110	49.608	89.718	.078469	.16177	136
138	216.01	201.31	.013684	.18283	73.079	5.4695	40.634	49.210	89.844	.079316	.16168	138
140	221.32	206.62	0.013746	0.17799	72.748	5.6184	41.162	48.805	89.967	0.080205	0.16159	140
142	226.72	212.02	.013810	.17327	72.413	5.7713	41.693	48.394	90.087	.081065	.16150	142
144	232.22	217.52	.013874	.16868	72.075	5.9283	42.227	47.977	90.204	.081928	.16140	144
146	237.82	223.12	.013941	.16422	71.732	6.0895	42.765	47.553	90.318	.082794	.16130	146
148	243.51	228.81	.014008	.15987	71.386	6.2551	43.306	47.122	90.428	.083661	.16120	148
150	249.31	234.61	0.014078	0.15564	71.035	6.4252	43.850	46.684	90.534	0.084531	0.16110	150
152	255.20	240.50	.014148	.15151	70.679	6.6001	44.399	46.238	90.637	.085404	.16099	152
154	261.20	246.50	.014221	.14750	70.319	6.7799	44.951	45.784	90.735	.086280	.16088	154
156	267.30	252.60	.014295	.14358	69.954	6.9648	45.508	45.322	90.830	.087159	.16077	156
158	273.51	258.81	.014371	.13976	69.584	7.1551	46.068	44.852	90.920	.088041	.16065	158
160	279.82	265.12	0.014449	0.13604	69.209	7.3509	46.633	44.373	91.006	0.088927	0.16053	160

ตารางที่ 2 (ต่อ) PROPERTY OF REFRIGERANT 12, LIQUID AND SATURATED VAPOR

ที่มา : Carrier Air Conditioning Company, Handbook of Air Conditioning System Design

RMA Standard Size List

Classical V-Belt

A Section			B Section			C Section			D Section			E Section		
Outside Circumference (In.)	V-Belt Number	Pitch Length (In.)	Outside Circumference (In.)	V-Belt Number	Pitch Length (In.)	Outside Circumference (In.)	V-Belt Number	Pitch Length (In.)	Outside Circumference (In.)	V-Belt Number	Pitch Length (In.)	Outside Circumference (In.)	V-Belt Number	Pitch Length (In.)
28	A-26	27.3	38	B-35	36.8	55	C-51	53.9	125	D-120	123.3	187	E-180	184.5
33	A-31	32.3	41	B-38	39.8	64	C-60	62.9	133	D-128	131.3	202	E-195	199.5
37	A-35	36.3	45	B-42	43.8	72	C-68	70.9	149	D-144	147.3	217	E-210	214.5
40	A-38	39.3	49	B-46	47.8	79	C-75	77.9	163	D-158	161.3	243	E-240	241.0
44	A-42	43.3	54	B-51	52.8	85	C-81	83.9	178	D-173	176.3	273	E-270	271.0
48	A-46	47.3	58	B-55	56.8	89	C-85	87.9	185	D-180	183.3	303	E-300	301.0
53	A-51	52.3	63	B-60	61.8	94	C-90	92.9	200	D-195	198.3	333	E-330	331.0
57	A-55	56.3	71	B-68	69.8	100	C-96	98.9	215	D-210	213.3	363	E-360	361.0
62	A-60	61.3	78	B-75	76.8	109	C-105	107.9	242	D-240	240.8	393	E-390	391.0
70	A-68	69.3	84	B-81	82.8	116	C-112	114.9	272	D-270	270.8	423	E-420	421.0
77	A-75	76.3	88	B-85	86.8	124	C-120	122.9	302	D-300	300.8	483	E-480	481.0
82	A-80	81.3	93	B-90	91.8	132	C-128	130.9	332	D-330	330.8	542	E-540	541.0
87	A-85	86.3	100	B-97	98.8	148	C-144	146.9	362	D-360	360.8	603	E-600	601.0
92	A-90	91.3	108	B-105	106.8	162	C-158	160.9	392	D-390	390.8	663	E-660	661.0
96	A-96	97.3	115	B-112	113.8	177	C-173	175.9	422	D-420	420.8			
107	A-105	106.3	123	B-120	121.8	184	C-180	182.9	482	D-480	480.8			
114	A-112	113.3	131	B-128	129.8	199	C-195	197.9	542	D-540	540.8			
122	A-120	121.3	147	B-144	145.8	214	C-210	212.9	602	D-600	600.8			
130	A-128	129.3	161	B-158	159.8	242	C-240	240.9	662	D-660	660.8			
			176	B-173	174.8	272	C-270	270.9						
			183	B-180	181.8	302	C-300	300.9						
			198	B-195	196.8	332	C-330	330.9						
			213	B-210	211.8	362	C-360	360.9						
			241	B-240	240.3	392	C-390	390.9						
			271	B-270	270.3	422	C-420	420.9						
			301	B-300	300.3									

Power Ace

3V				5V				8V			
Outside Circumference (In.)	Power Ace Power	Outside Circumference (In.)	Power Ace Power	Outside Circumference (In.)	Power Ace Power	Outside Circumference (In.)	Power Ace Power	Outside Circumference (In.)	Power Ace Power	Outside Circumference (In.)	Power Ace Power
25	3V250	71	3V710	50	5V500	140	5V1400	100	8V1000	280	8V2800
26½	3V265	75	3V750	53	5V530	150	5V1500	106	8V1060	300	8V3000
28	3V280	80	3V800	56	5V560	160	5V1600	112	8V1120	315	8V3150
30	3V300	85	3V850	60	5V600	170	5V1700	118	8V1180	335	8V3350
31½	3V315	90	3V900	63	5V630	180	5V1800	125	8V1250	355	8V3550
33½	3V335	95	3V950	67	5V670	190	5V1900	132	8V1320	375	8V3750
35½	3V355	100	3V1000	71	5V710	200	5V2000	140	8V1400	400	8V4000
37½	3V375	106	3V1060	75	5V750	212	5V2120	150	8V1500	425	8V4250
40	3V400	112	3V1120	80	5V800	224	5V2240	160	8V1600	450	8V4500
42½	3V425	118	3V1180	85	5V850	236	5V2360	170	8V1700	475	8V4750
45	3V450	125	3V1250	90	5V900	250	5V2500	180	8V1800	500	8V5000
47½	3V475	132	3V1320	95	5V950	265	5V2650	190	8V1900	560	8V5600
50	3V500	140	3V1400	100	5V1000	280	5V2800	200	8V2000		
53	3V530			106	5V1060	300	5V3000	212	8V2120		
56	3V560			112	5V1120	315	5V3150	224	8V2240		
60	3V600			118	5V1180	335	5V3350	236	8V2360		
63	3V630			125	5V1250	355	5V3550	250	8V2500		
67	3V670			132	5V1320			265	8V2650		

ตารางที่ 3 RMA STANDARD SIZE LIST (CLASSIC V-BELT)

ที่มา : BANDO, V-Belt Design Manual

Belt Design with Non-Standard Pulleys

Procedure 1 Calculation of design horsepower

Calculate the design horsepower from the following equation.

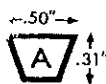
Design horsepower = transmission horsepower x correction factor.

- Refer to the driven machines listed in table 12 and select the adequate correction factor.
- It is advisable to use the load transmitted to the driven machine as the transmission horsepower required for belt design. However, when it is uncertain use the rated horsepower shown on the drive machine's name plate.

Driven Machine	DriveR					
	AC Motors: Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase. DC Motors: Shunt Wound. Engines: Multiple Cylinder Internal Combustion.			AC Motors: High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring. DC Motors: Series Wound, Compound Wound. Engines: Single Cylinder Internal Combustion. Line shafts Clutches		
	Intermittent Service 3-5 Hours Daily or Seasonal	Normal Service 8-10 Hours Daily	Continuous Service 16-24 Hours Daily	Intermittent Service 3-5 Hours Daily or Seasonal	Normal Service 8-10 Hours Daily	Continuous Service 16-24 Hours Daily
The machines listed below are representative samples only. Select the group listed below whose load characteristics most closely approximate those of the machine being considered. See Page 139 for additional help in selecting service factors.						
Agitators for Liquids Blowers and Exhausters Centrifugal Pumps & Compressors Fans up to 10 Horsepower Light Duty Conveyors	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Belt Conveyors For Sand, Grain, Etc. Dough Mixers Fans Over 10 Horsepower Generators Line Shafts Laundry Machinery Machine Tools Punches-Presses-Shears Printing Machinery Positive Displacement Rotary Pumps Revolving and Vibrating Screens	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Brick Machinery Bucket Elevators Exciters Piston Compressors Conveyors (Drag-Pan-Screw) Hammer Mills Paper Mill Beaters Piston Pumps Positive Displacement Blowers Pulverizers Saw Mill and Woodworking Machinery Textile Machinery	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Crushers (Gyratory-Jaw-Roll) Mills (Ball-Rod-Tube) Hoists Rubber Calendar-Extruders-Mills	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

ตอนที่ 4 BELT DESIGN WITH NON-STANDARD PULLEYS

ที่มา : BANDO, V-Belt Design Manual



Rated Horsepower per Belt for "A" Section

RPM of Faster Pulley	Standard Horsepower per Belt for Small Pulley Pitch Diameter															RPM of Faster Pulley	Additional Horsepower Per Belt for Speed Ratio										
	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.20	4.60	4.80	5.00	5.20	5.60	6.00	6.40	7.00		1.00 to 1.01	1.02 to 1.03	1.04 to 1.06	1.07 to 1.08	1.09 to 1.12	1.13 to 1.16	1.17 to 1.22	1.23 to 1.32	1.33 to 1.50	1.51 to over	
950	1.13	1.35	1.56	1.78	1.99	2.20	2.41	2.83	3.03	3.24	3.44	3.84	4.24	4.64	5.22	950	0.00	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21	
1160	1.29	1.55	1.81	2.00	2.32	2.57	2.82	3.31	3.55	3.80	4.04	4.51	4.99	5.45	6.18	1160	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	
1425	1.46	1.79	2.09	2.40	2.70	3.00	3.29	3.88	4.17	4.46	4.74	5.30	5.86	6.40	7.20	1425	0.00	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.28	0.32	
1750	1.67	2.04	2.41	2.77	3.13	3.48	3.83	4.52	4.86	5.20	5.53	6.13	6.83	7.45	8.38	1750	0.00	0.04	0.09	0.13	0.17	0.22	0.26	0.30	0.35	0.39	
2850	2.12	2.67	3.20	3.73	4.24	4.75	5.24	6.20	6.67	7.12	7.57	8.42	9.23	9.99	11.0	2850	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.43	0.50	0.57	0.64	
3450	2.24	2.86	3.46	4.05	4.63	5.19	5.74	6.78	7.28	7.76	8.23	9.10	9.99	10.6	11.5	3450	0.00	0.09	0.17	0.26	0.34	0.43	0.52	0.60	0.69	0.77	
200	.35	.40	.46	.51	.56	.61	.66	.77	.82	.87	.92	1.02	1.12	1.22	1.37	200	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	
400	.60	.70	.80	.90	1.00	1.09	1.19	1.38	1.48	1.58	1.67	1.86	2.05	2.24	2.51	400	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	
600	.81	.96	1.10	1.24	1.38	1.52	1.66	1.94	2.08	2.22	2.35	2.63	2.89	3.16	3.56	600	0.00	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	
800	1.03	1.19	1.37	1.55	1.74	1.92	2.10	2.46	2.64	2.81	2.99	3.34	3.68	4.02	4.53	800	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	
1000	1.17	1.40	1.62	1.85	2.07	2.29	2.51	2.94	3.16	3.37	3.59	4.01	4.42	4.84	5.44	1000	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	
1200	1.32	1.59	1.85	2.12	2.38	2.63	2.89	3.40	3.65	3.90	4.15	4.64	5.12	5.60	6.30	1200	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	
1400	1.46	1.77	2.07	2.37	2.66	2.96	3.25	3.83	4.11	4.40	4.63	5.23	5.78	6.31	7.10	1400	0.00	0.03	0.07	0.10	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	
1600	1.59	1.93	2.27	2.60	2.93	3.26	3.59	4.23	4.55	4.86	5.18	5.79	6.39	6.98	7.84	1600	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	
1800	1.70	2.08	2.45	2.82	3.19	3.55	3.91	4.61	4.96	5.30	5.64	6.31	6.96	7.60	8.53	1800	0.00	0.04	0.09	0.13	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.40	
2000	1.80	2.22	2.62	3.03	3.42	3.82	4.21	4.97	5.34	5.71	6.08	6.80	7.49	8.17	9.15	2000	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.36	0.40	0.45	
2200	1.90	2.34	2.78	3.21	3.64	4.07	4.48	5.30	5.70	6.10	6.48	7.24	7.98	8.69	9.71	2200	0.00	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.38	0.44	0.49	
2400	1.98	2.45	2.92	3.39	3.85	4.30	4.74	5.61	6.03	6.45	6.86	7.65	8.42	9.16	10.2	2400	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	
2600	2.05	2.56	3.06	3.55	4.03	4.51	4.98	5.89	6.33	6.77	7.19	8.02	8.81	9.57	10.6	2600	0.00	0.06	0.13	0.19	0.26	0.32	0.39	0.45	0.52	0.58	
2800	2.11	2.65	3.17	3.69	4.20	4.70	5.19	6.14	6.60	7.06	7.50	8.35	9.15	9.91	11.0	2800	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	
3000	2.16	2.72	3.28	3.82	4.35	4.87	5.38	6.37	6.85	7.31	7.76	8.63	9.44	10.2	11.2	3000	0.00	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.52	0.60	0.67	
3200	2.20	2.79	3.37	3.93	4.49	5.03	5.56	6.57	7.06	7.53	7.99	8.87	9.68	10.4	11.4	3200	0.00	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	
3400	2.23	2.84	3.45	4.03	4.60	5.16	5.71	6.75	7.24	7.72	8.18	9.06	9.88	10.6	11.5	3400	0.00	0.08	0.17	0.25	0.34	0.42	0.51	0.59	0.68	0.76	
3600	2.25	2.89	3.51	4.11	4.70	5.28	5.83	6.89	7.39	7.87	8.33	9.20	9.98	10.7		3600	0.00	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81	
3800	2.26	2.92	3.56	4.18	4.78	5.37	5.93	7.00	7.50	7.98	8.44	9.29	10.0	10.7		3800	0.00	0.09	0.19	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.76	0.85	
4000	2.25	2.93	3.59	4.23	4.84	5.44	6.01	7.08	7.58	8.06	8.51	9.32	10.0			4000	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	
4200	2.24	2.94	3.61	4.26	4.89	5.49	6.06	7.13	7.62	8.09	8.52	9.30				4200	0.00	0.10	0.21	0.31	0.42	0.52	0.63	0.73	0.84	0.94	
4400	2.22	2.93	3.61	4.27	4.91	5.51	6.09	7.15	7.63	8.08	8.50	9.22				4400	0.00	0.11	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	
4600	2.18	2.91	3.60	4.27	4.91	5.51	6.08	7.13	7.60	8.03	8.42					4600	0.00	0.11	0.23	0.34	0.46	0.57	0.69	0.80	0.92	1.03	
4800	2.13	2.87	3.57	4.25	4.88	5.49	6.05	7.07	7.52	7.93						4800	0.00	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08	
5000	2.07	2.82	3.53	4.20	4.84	5.44	5.99	6.98	7.40							5000	0.00	0.12	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.87	1.00	1.12	
5200	2.00	2.75	3.47	4.14	4.77	5.36	5.90	6.85								5200	0.00	0.13	0.26	0.39	0.52	0.65	0.78	0.91	1.04	1.16	
5400	1.92	2.67	3.39	4.06	4.68	5.26	5.78									5400	0.00	0.13	0.27	0.40	0.54	0.67	0.81	0.94	1.08	1.21	
5600	1.82	2.58	3.29	3.96	4.57	5.13	5.63									5600	0.00	0.14	0.28	0.42	0.56	0.70	0.84	0.98	1.12	1.25	
5800	1.71	2.47	3.18	3.83	4.43	4.97	5.46									5800	0.00	0.14	0.29	0.43	0.58	0.72	0.87	1.01	1.16	1.30	
6000	1.58	2.34	3.05	3.69	4.27	4.78										6000	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.04	1.20	1.34	
6200	1.45	2.20	2.89	3.52	4.08	4.57										6200	0.00	0.15	0.31	0.46	0.62	0.77	0.93	1.08	1.24	1.39	
6400	1.30	2.04	2.72	3.33	3.85											6400	0.00	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.11	1.27	1.43	
6600	1.13	1.87	2.53	3.11												6600	0.00	0.16	0.33	0.49	0.66	0.82	0.99	1.15	1.31	1.48	
6800	.95	1.67	2.32	2.88												6800	0.00	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.02	1.18	1.35	1.52	
7000	.75	1.46	2.08													7000	0.00	0.17	0.35	0.52	0.70	0.87	1.05	1.22	1.39	1.57	
7200	.54	1.23	1.83													7200	0.00	0.18	0.36	0.54	0.72	0.90	1.08	1.25	1.43	1.61	
7400	.32	.99														7400	0.00	0.18	0.37	0.55	0.74	0.92	1.11	1.29	1.47	1.66	
7600	.08	.72														7600	0.00	0.19	0.38	0.57	0.76	0.95	1.14	1.32	1.51	1.70	

For numbers marked , consult Bando distributors.

TABLE 5 RATED HORSEPOWER PER BELT FOR "A" SECTION

FROM: BANDO V-Belt Design Manual

RECOMMENDED REFRIGERANT LINE SIZES						
COMPRESSOR CAPACITY BTU/HR.		LENGTH OF RUN				
		15 FT.	25 FT.	35 FT.	50 FT.*	100 FT.*
		TUBE DIA.	TUBE DIA.	TUBE DIA.	TUBE DIA.	TUBE DIA.
SUCTION LINE	18,500–20,000	5/8	5/8	5/8		
	20,000–22,000	5/8	5/8	5/8		
	22,000–24,000	5/8	5/8	5/8	3/4	3/4
	24,000–34,000	5/8	5/8	3/4	3/4	3/4
	38,000–40,000	3/4	3/4	3/4	7/8	7/8
	40,000–44,000	3/4	7/8	7/8	7/8	7/8
	44,000–51,000	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8
	53,000–66,000	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8
LIQUID LINE	18,500–20,000	5/16	5/16	5/16		
	20,000–22,000	5/16	5/16	5/16		
	22,000–24,000	5/16	3/8	3/8	3/8	3/8
	24,000–34,000	5/16	3/8	3/8	3/8	3/8
	38,000–40,000	5/16	3/8	3/8	3/8	3/8
	40,000–44,000	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
	44,000–51,000	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
	53,000–66,000	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
DISCHARGE LINE	18,500–20,000	5/16	3/8	3/8		
	20,000–22,000	3/8	3/8	3/8		
	22,000–24,000	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2
	24,000–34,000	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2
	38,000–40,000	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2
	40,000–44,000	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2
	44,000–51,000	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8
	53,000–66,000	1/2	1/2	5/8	5/8	3/4

(1) These recommendations are based on the use of standard refrigeration tubing with .028 or .032 wall thickness.

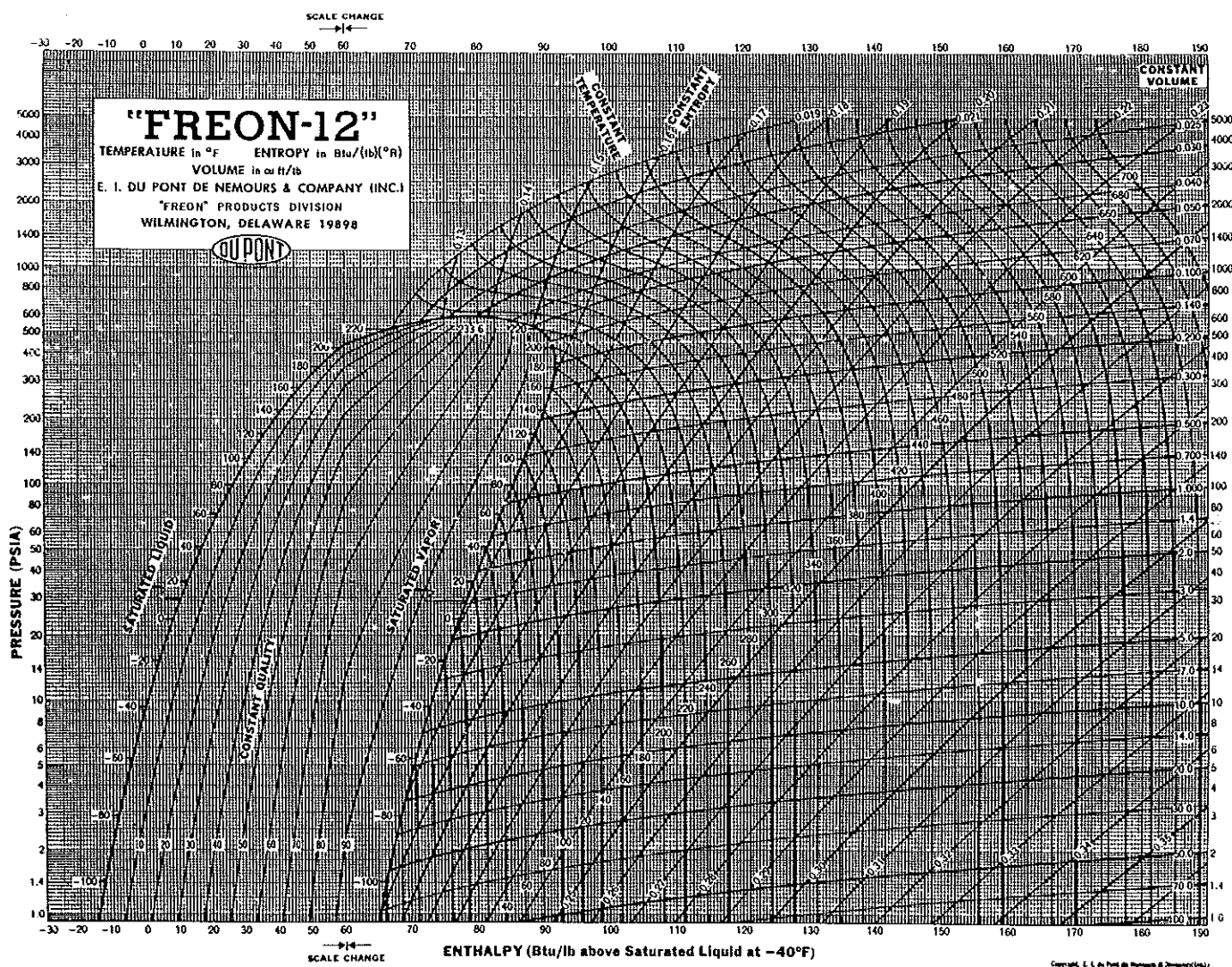
(2) Line sizes listed are outside tube dimensions.

(3) These suggestions do not include consideration for additional pressure drop due to elbows, valves or reduced joint sizes.

* = Add 3 fluid ounces for each 10 ft. of pipe over 35 ft.

ตารางที่ 6 RECOMMENDED REFRIGERANT LINE SIZE

ที่มา : Althouse, Turnquist and Bracciano, Modern Refrigeration and Air Conditioning



ภาพที่ 1 MOLIER (PRESSURE-ENTHALPY) DIAGRAM FOR R-12

ที่มา : Althouse, Turnquist and Bracciano, Modern Refrigeration and Air Conditioning

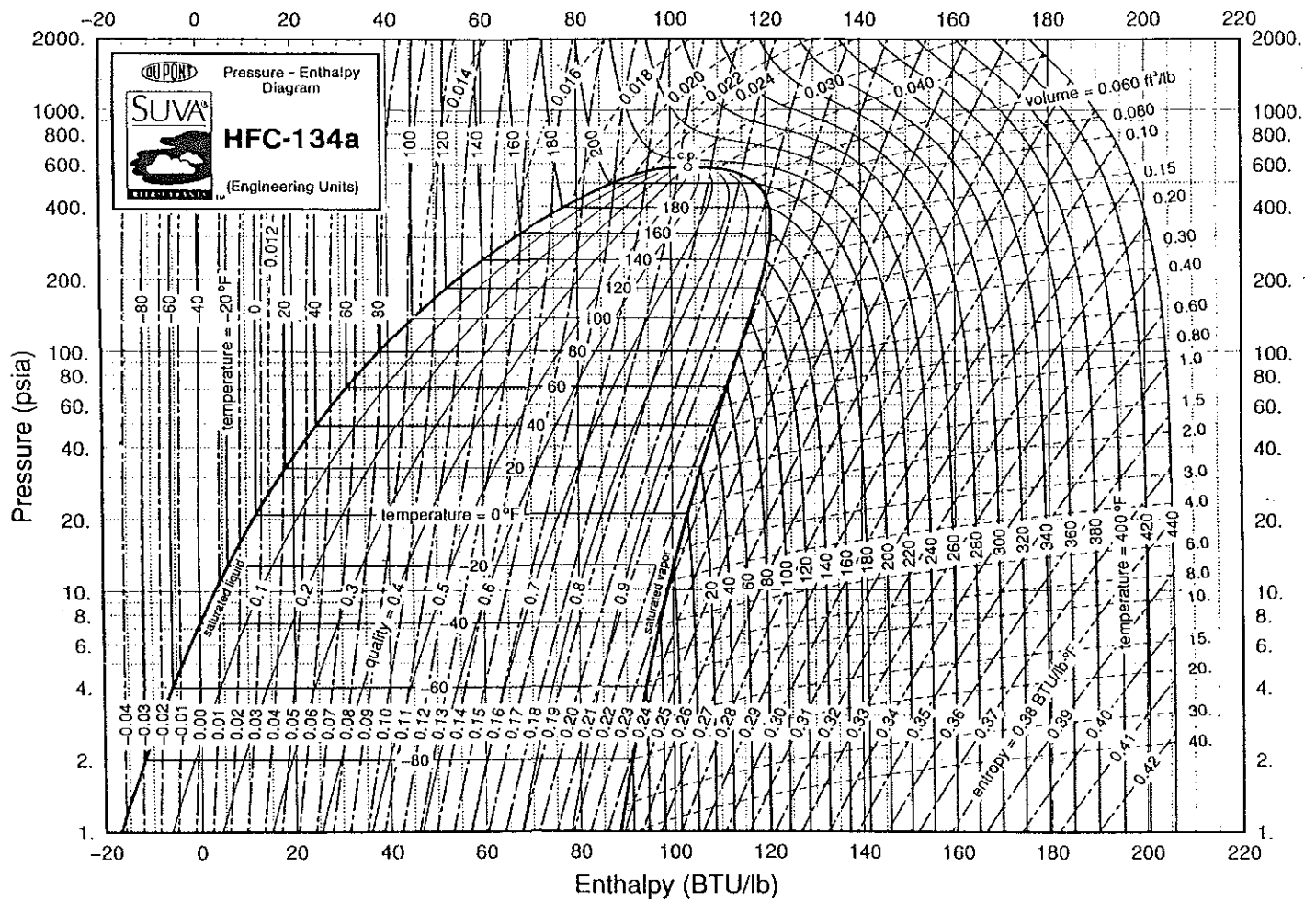


FIGURE 2 PRESSURE-ENTHALPY DIAGRAM FOR HFC-134a

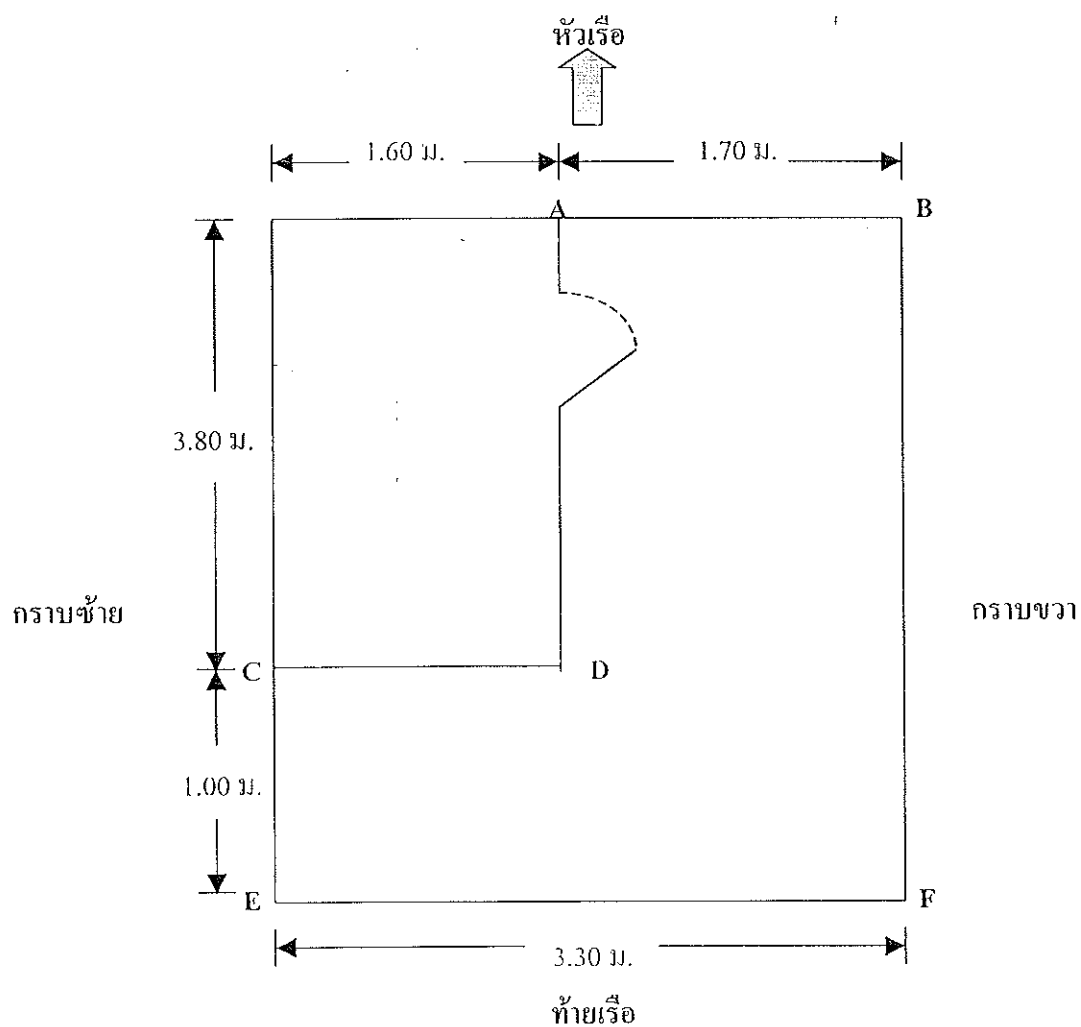
FIGURE 3 Billy C. Langley, Fundamentals of Refrigeration

ผนวก ข

รายละเอียดการคำนวณภาระทางความร้อนของห้องเมสซहार ชุดเรือ ต.11

รายละเอียดของห้องเมสซहार ชุดเรือ ต.11

- ห้องขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 3.3 x 4.8 x 1.95 ม. ผนังจำนวนทุกด้านหนา 2 นิ้ว ด้วย Aluminum Foil
- หลอดไฟขนาด 20 Watts จำนวน 8 หลอด
- ตู้เย็นใช้ไฟ 220 V. ขนาด 4.5 คิว จำนวน 2 ตู้ (~280 Watts/ตู้)
- คนจำนวน 12 คน
- ที่วี ขนาด 20 นิ้ว 1 เครื่อง 125 Watts
- กระจกน้ำร้อน 1 ใบ 635 Watts



การคำนวณภาระทางความร้อนของห้องเมสซาร ชุตเรือ ต.11

อุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบภายใน 75°FDB 50%RH อุณหภูมิภายนอก 95°FDB

1. ปริมาณความร้อนผ่านผนังด้านหัวเรือ (AB)

$$\begin{aligned} Q_1 &= \text{AUTD } (U = 0.23 \text{ Btu/hr/ft}^2/\text{°F}) \\ &= (1.95 \times 3.281) \times (1.70 \times 3.281) \times 0.23(95-75) \\ &= 164.15 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

2. ปริมาณความร้อนผ่านผนังด้านท้ายเรือ (EF)

$$\begin{aligned} Q_2 &= (3.30 \times 3.281) \times (1.95 \times 3.281) \times 0.23(95-75) \\ &= 318.65 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

3. ปริมาณความร้อนผ่านด้านข้างกราบขวา (BF)

$$\begin{aligned} Q_3 &= (4.80 \times 3.281) \times (1.95 \times 3.281) \times 0.23(95-75) \\ &= 463.50 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

4. ปริมาณความร้อนผ่านผนังติดกับห้องครัว (AD) และ (CD)

4.1 ด้าน AD

$$\begin{aligned} Q_{4.1} &= (3.80 \times 3.281) \times (1.95 \times 3.281) \times 0.23\{(95-10)-75\} \\ &= 550.40 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

4.2 ด้าน CD

$$\begin{aligned} Q_{4.2} &= (1.60 \times 3.281) \times (1.95 \times 3.281) \times 0.23\{(95+10)-75\} \\ &= 231.75 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= Q_{4.1} + Q_{4.2} = 550.40 + 231.75 \\ &= 782.15 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

5. ปริมาณความร้อนผ่านผนัง CE

$$\begin{aligned} Q_5 &= (1 \times 3.281) \times (1.95 \times 3.281) \times 0.23(95-75) \\ &= 96.56 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

6. ปริมาณความร้อนผ่านพื้น

$$\begin{aligned} Q_6 &= \{(4.80 \times 3.281) \times (3.30 \times 3.281) - (1.60 \times 3.281)(3.80 \times 3.281)\} \times 0.23 \times (95-75) \\ &= 483.299 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

7. ปริมาณความร้อนผ่านเพดาน (เหนือเพดานเป็นฝ้ามี Temp. สูงกว่า)

$$\begin{aligned}
 Q_7 &= \{(4.80 \times 3.281)(3.30 \times 3.281) - (1.60 \times 3.281)(3.80 \times 3.281)\} \times 0.23 \\
 &\quad \times (95-75) \\
 &= 483.31 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

8. ปริมาณความร้อนจากหลอดไฟแสงสว่าง (หลอดธรรมดา)

$$\begin{aligned}
 Q_8 &= 20 \times 8 \times 3.413 \\
 &= 546.08 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

9. ปริมาณความร้อนจากตู้เย็น (4.5 คิว ใช้ไฟ 280 Watts/ตู้)

$$\begin{aligned}
 Q_9 &= 280 \times 2 \times 3.413 \\
 &= 1,911.28 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

10. ปริมาณความร้อนจาก TV

$$\begin{aligned}
 Q_{10} &= 125 \times 3.413 \\
 &= 426.63 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

11. ปริมาณความร้อนจากกระติกน้ำร้อน (635 Watts)

$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= 635 \times 3.413 \\
 &= 2,167.26 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

12. ปริมาณความเย็นจากอากาศถ่ายเท (ต้องการอากาศบริสุทธิ์ 15 CFM / คน)

$$\text{อุณหภูมิอากาศภายนอก } 95^\circ\text{FDB, 75\%RH.} \quad \text{HRo} = 188.57 \text{ gain/lb อากาศแห้ง}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในห้อง } 75^\circ\text{FDB, 50\%RH.} \quad \text{HRi} = 64 \text{ gain/lb อากาศแห้ง}$$

$$\text{ต้องการอากาศบริสุทธิ์} = (12 \times 15) = 180 \text{ CFM}$$

$$12.1 \text{ ปริมาณความร้อนจำเพาะ (q_s)} = 1.08 \times 180 (T_o - T_i)$$

$$= 1.08 \times 180 (95-75)$$

$$= 3,888 \text{ Btu/hr}$$

$$12.2 \text{ ปริมาณความร้อนจำเพาะ (q_L)} = 0.69 Q (\Delta\text{HR})$$

$$= 0.69 \times 180(188.57-64)$$

$$= 15,471.59 \text{ Btu/hr}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนจากอากาศถ่ายเท } Q_{12} = q_s + q_L$$

$$= 19,359.59 \text{ Btu/hr}$$

13. ปริมาณความร้อนจากคน 12 คน

$$\text{ปริมาณความร้อนจำเพาะ } q_s = 12 \times 255 = 3,060 \text{ Btu/hr}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนแฝง } q_L = 12 \times 325 = 3,900 \text{ Btu/hr}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนจากคน } Q_{15} &= q_s + q_L \\
 &= 6,960 \text{ Btu/hr} \\
 \text{รวมปริมาณความร้อนทั้งหมด } Q_T &= (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{15}) \\
 &= 164.15 + 318.65 + 463.5 + 782.15 + 96.56 \\
 &\quad + 483.299 + 483.31 + 546.08 + 1,911.28 + \\
 &\quad 426.63 + 2,167.26 + 19,359.59 + 6,960 \\
 &= 34,712.87 \text{ Btu/hr} \\
 Q_T &= 2.892 \text{ Tons}
 \end{aligned}$$

ผนวก ค

รายละเอียดการคำนวณภาระทางความร้อนของผู้สินค้าที่ใช้เป็นผู้ทดลอง

รายละเอียดการคำนวณภาระทางความร้อนของตู้สินค้าที่ใช้เป็นตู้ทดลอง

CONTAINER : SHEET METAL

INSULATION : FIBERGLASS 2" THICK

SPACE DIMENSION 2.35 x 5.90 x 2.45 m³

DESIGN CONDITIONS

	DB	% RH	WB	TH	GR / LB
OUTSIDE	95	85	67		
INSIDE	77	55			
DIFFERENCE	18	30			

INTERNAL SPACE SENSIBLE HEAT GAINS

BTUH

1. PEOPLE	:	6 x 220	1,320
2. SUN GLASS	:	6 ft ² x 2 x 200	2,400
3. GLASS	:	-	-
4. WALL OR PARTITION	:	440 ft ² x 14	6,160
5. FLOOR	:	158 ft ² x 15	2,370
6. CEILING	:	158 ft ² x 13	2,054
7. LIGHT	:	2 x 18 W x 3.4	122.40
8. VENTILATION	:	-	-
9. INFILTRATION	:	150 ft ³ x 6	900
10. MISCELLANEOUS	:	-	-
TOTAL SPACE SENSIBLE HEAT			15,326.40

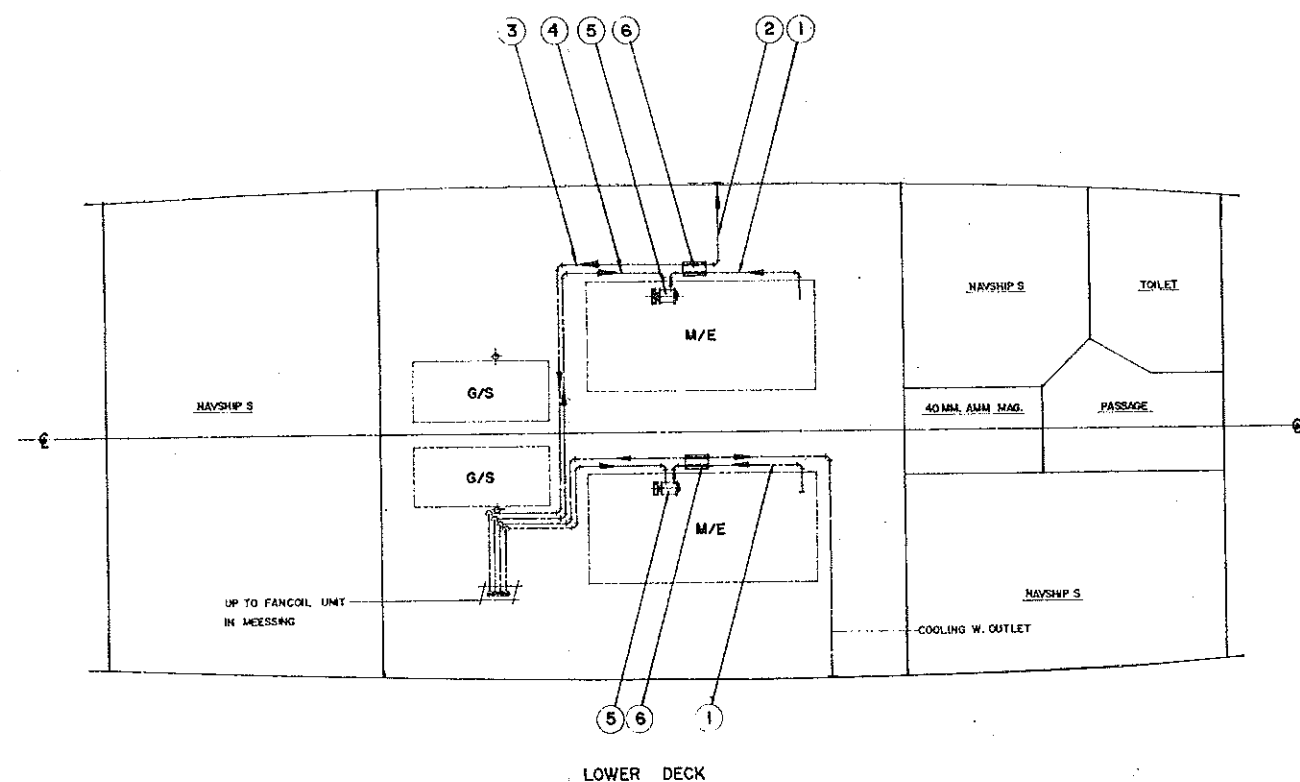
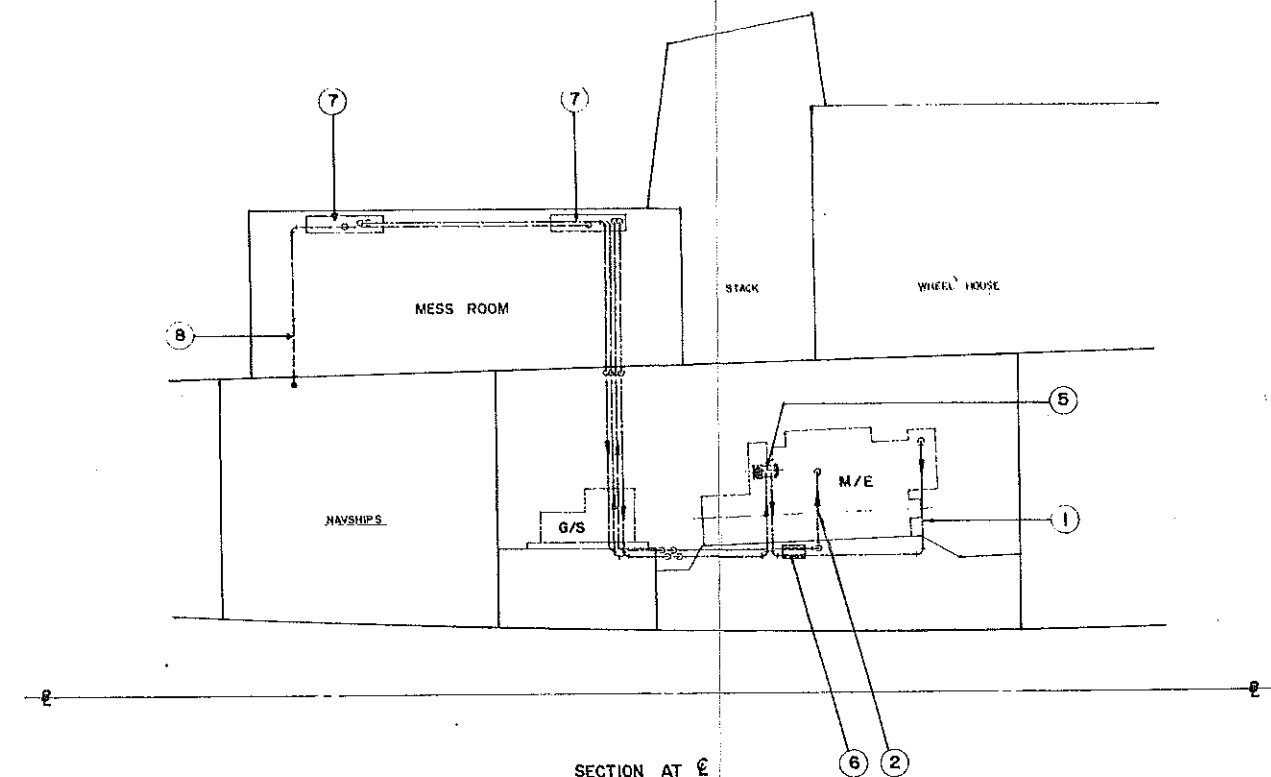
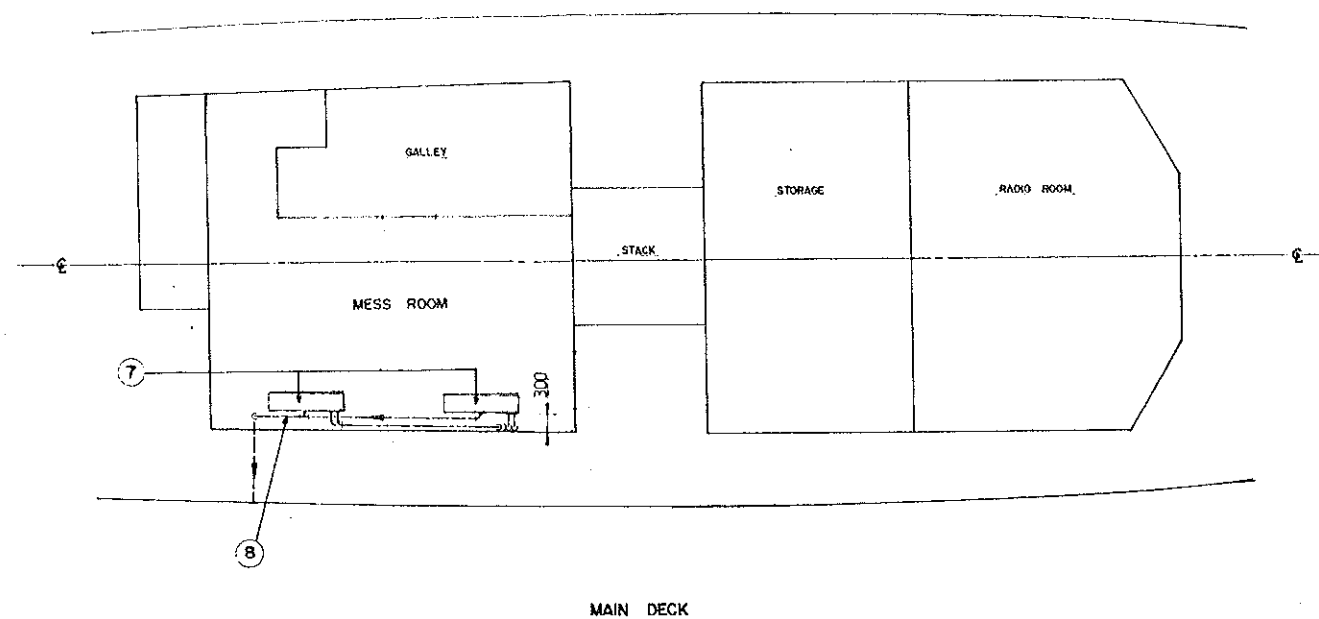
INTERNAL SPACE LATENT HEAT GAINS

BTUH

1. PEOPLE	:	6 x 380	2,280
2. VENTILATION	:	-	-
3. MISCELLANEOUS	:	-	-
TOTAL SPACE LATENT HEAT			2,280
TOTAL SPACE SENSIBLE HEAT			15,326.40
TOTAL SPACE HEAT			17,606.40
REFRIGERATION TOTAL HEAT			17,606.40
AIR CONDITIONER SELECTION			18,000

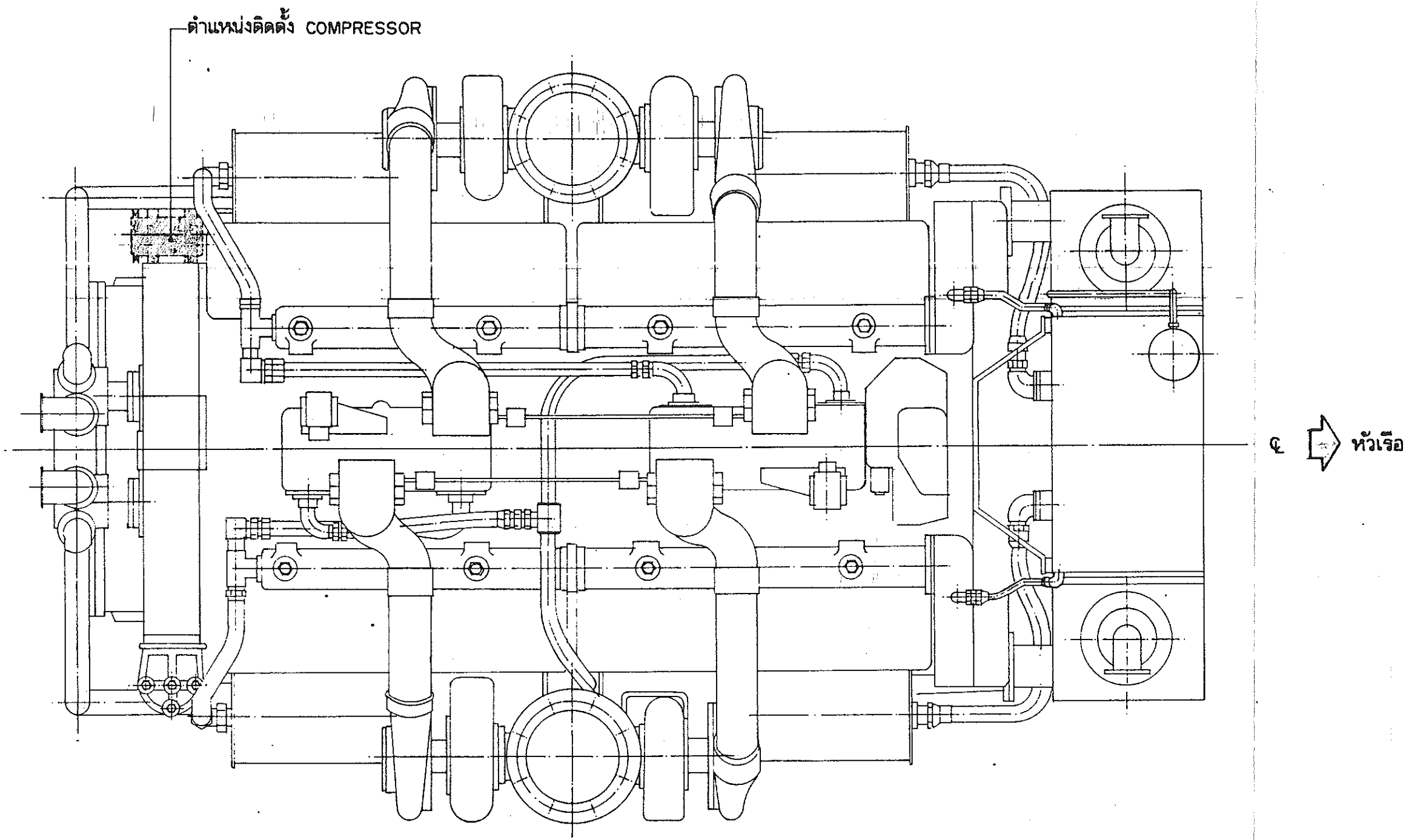
ผนวก

แบบระบบปรับอากาศห้องเมสซาร ชุตเรือ ต.11



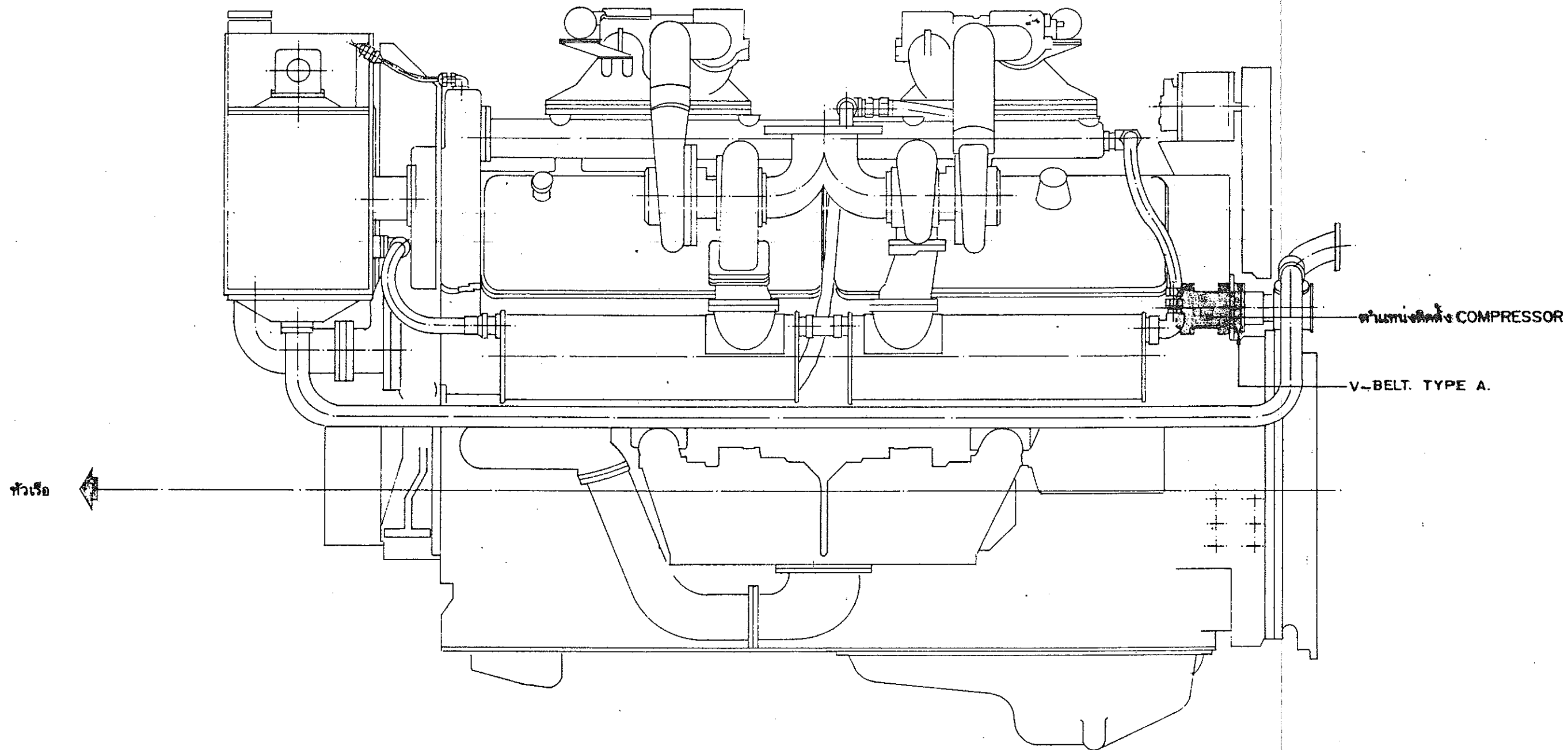
ที่	รายการ	ขนาด	วัสดุ	หมายเหตุ
1	ท่อทางน้ำหล่อ CONDENSER	๑ 7/8" หน้า 1.2	ทองแดง	
2	ท่อทางน้ำออกจาก CONDENSER	๑ 7/8" หน้า 1.2	ทองแดง	
3	ท่อน้ำยา HIGH PRESSURE	๑ 3/8" หน้า 0.71	ทองแดง	
4	ท่อน้ำยา LOW PRESSURE	๑ 5/8" หน้า 0.71	ทองแดง	หุ้มฉนวนกันความร้อน TUBE INSULATION หน้า 1/2"
5	COMPRESSOR CLUTCH 12 V. D.C. R-134A			ตราอักษร DENSO รุ่น 6PI48A, 6 CYLINDER, 140 CC/REV, 5.6 kg
6	CONDENSER ตราอักษร KOLDWAVE รุ่น SA031-A-192 FOR A/C 16,000 BTUH.		Cu NI	ดูแบบขยาย
7	FANCOIL UNIT			MOTOR BLOWER 1/20 HP 0.4 Amp. 115 V.
8	ท่อระบายน้ำจาก FANCOIL	๑ 1/2"	ท่อเหล็กดำ	

คณะกรรมการวิจัยเครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน					
				ออกแบบ	ผอ.พ.๑๐๓
				เขียน	อ.พ.๑๐๓
				ตรวจ	ผอ.พ.๑๐๓
				ตรวจเขียน	
ที่	รายการ	เขียน/ตรวจ	วันที่	หน้า	
				หน้า ๑๐๓	หน้า ๑๐๓
ตารางบันทึกการแก้ไขแบบ					1/6
เรือ ต. 11 (โครงการวิจัย)				แบบระบบปรับอากาศห้อง MESS	
NA.	M.	E.			



รูปแปลน
1 8 10

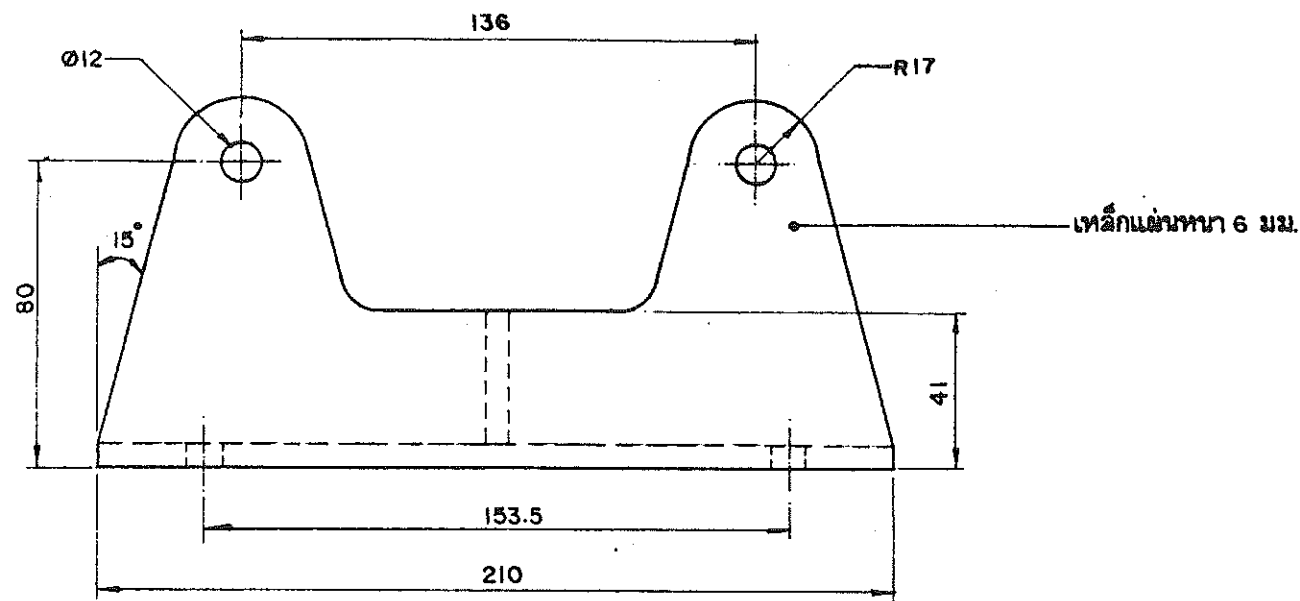
คณะกรรมการวิจัยเครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน					
				ออกแบบ	๒๒ พ.ค. ๖๓
				เขียน	๒๒ พ.ค. ๖๓
				ตรวจ	๓๐ พ.ค. ๖๓
				ตรวจเขียน	
				ทน.	
				ทน.คนระ	๓๐ พ.ค. ๖๓
ที่	รายการ	เขียน/ตรวจ	วันที่		
ตารางบันทึกการแก้ไขแบบ					
				2/6	
เรือ ด. 1 (โครงการวิจัย)				รูปแปลน (ตำแหน่งติดตั้ง COMPRESSOR)	
NA.	M.	E.			



รูปมองไปทางกราบขวา

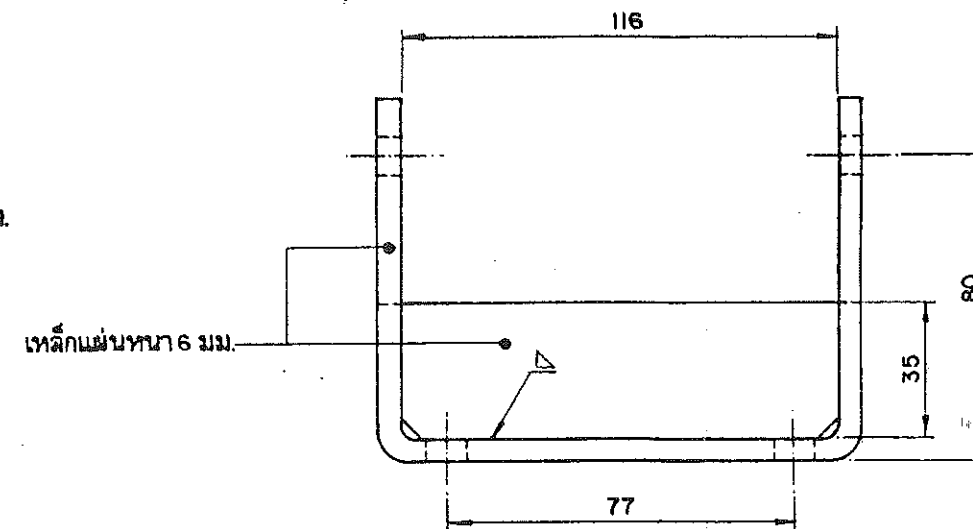
1 8 10

คณะกรรมการวิจัยเครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน			
		ออกแบบ	อ.พ.ด.ค.
		เขียน	อ.พ.ด.ค.
		ตรวจ	ก.พ.ด.ค.
		ตรวจเขียน	
		ทบท.	
		ทบท. คณะฯ	ก.พ.ด.ค.
ที่	รายการ	เขียน ตรวจ	วันที่
ตารางบันทึกการแก้ไขแบบ			
เรือ ค.11 (โครงการวิจัย)			
NA.	M.	E.	รูปด้านข้าง (ตำแหน่งติดตั้ง COMPRESSOR)



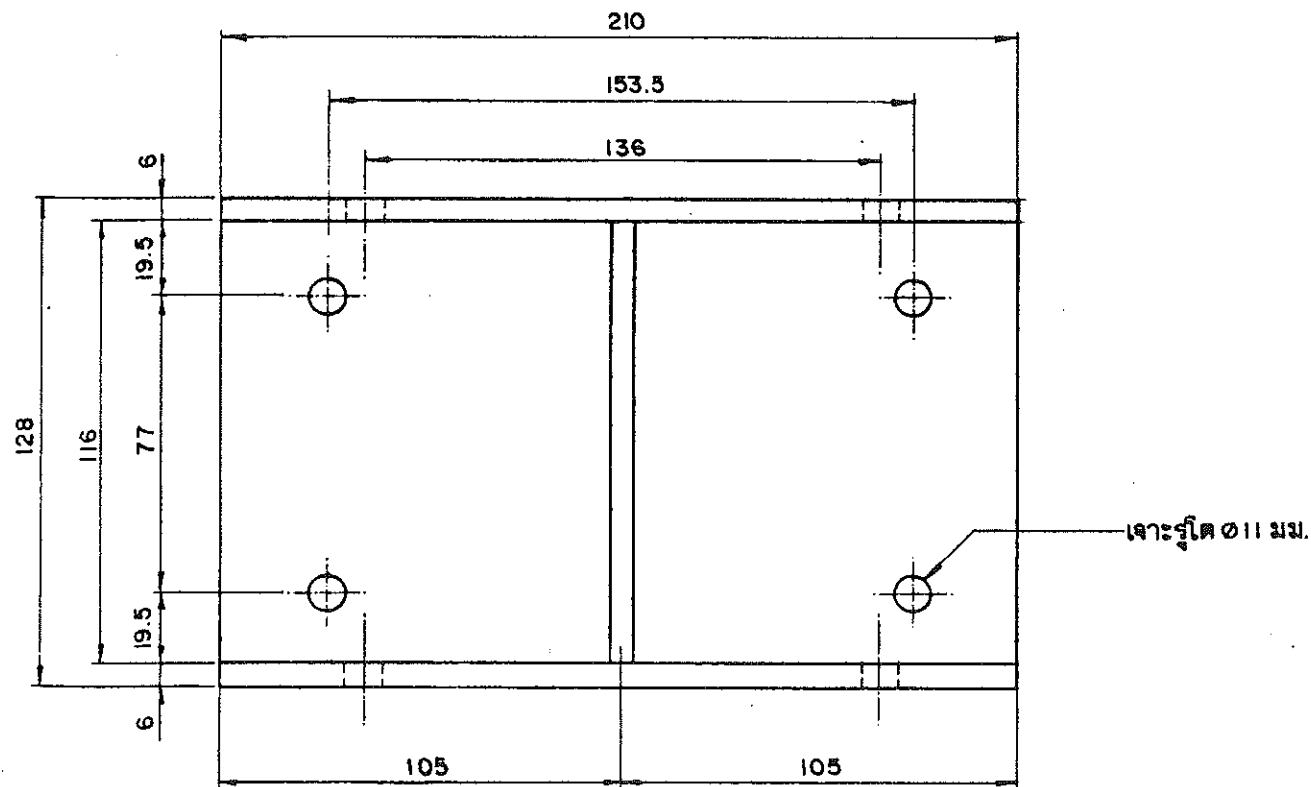
รูปด้านหน้า

182



รูปด้านข้าง

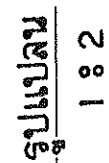
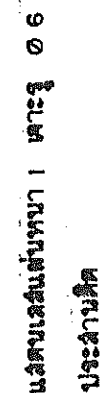
182



รูปแปลน

182

คณะกรรมการวิจัยเครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน					
	ผอ.วิจัย	รองผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย
	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย
	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย	ผอ.วิจัย
ที่	รายการ	เขียน/ตรวจ	วันที่	หน้า	หน้า
ตารางบันทึกการแก้ไขแบบ				หน้า	หน้า
เรื่อง ค.11 (โครงการวิจัย)				หน้า	หน้า
NA.	M.	E.	แบบฐานแท่น COMPRESSOR		



				คณะกรรมการวิจัยเครื่องปรับอากาศขนาดไม่เกิน 3 ตัน			
				รองศาสตราจารย์	ออกแบบ	ผศ.พ.ด.ด.ค.	
				ร.อ.พันโท ร.น.ร.	เขียน	ผศ.พ.ด.ด.ค.	
				รองศาสตราจารย์	ตรวจ	ผศ.พ.ด.ด.ค.	
					ตรวจเขียน		
					หน.		
ที่	รายการ	เขียน ตรวจ	วันที่	ร.อ. พันโท ร.น.ร.	หน.คณะฯ	พ.พ.ด.ด.ค.	
ตารางบันทึกการแก้ไขแบบ							5 6
				เรื่อง ต. 11 (โครงการวิจัย)		แบบ CONDENSER	
NA.	M.	E.					

