



รลข.01

ทะเบียนข้อมูลเลขที่ ว1. 7758

หนังสือรับรองการแจ้งข้อมูล

ลิขสิทธิ์

ออกให้เพื่อแสดงว่า

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ได้แจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ ประเภทงาน วรรณกรรม

ลักษณะงาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ชื่อผลงาน โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

ไว้ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา ตามคำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ เลขที่ 370635

เมื่อวันที่ 18 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

ให้ไว้ ณ วันที่ 26 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

ลงชื่อ.....**ปรีชา พ.**.....

(นายปรีชา ไพโรจน์กุลมณี)

นักวิชาการพาณิชย์ชำนาญการพิเศษ

ปฏิบัติราชการแทนผู้อำนวยการสำนักลิขสิทธิ์

- หมายเหตุ**
1. เอกสารนี้มีได้รับรองความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์
 2. การเปลี่ยนแปลงรายการข้างต้น ให้ดูด้านหลัง

 คำนำ

บทที่ 1	หลักการและทฤษฎี.....	1
1.1	ปั๊มความร้อน.....	1
1.1.1	วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์.....	2
1.1.2	วัฏจักรจริงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	4
1.2	สมการทางคณิตศาสตร์.....	5
1.2	การเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	7
1.2.1	เงื่อนไขเริ่มต้นการคัดเลือกสารทำงาน.....	7
1.2.2	ขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณสมบัติสารทำงาน.....	7
1.2.3	คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน.....	8
1.2.4	การจำลองการทำงาน.....	8
1.2.5	ผลการจำลองและวิเคราะห์.....	9
บทที่ 2	คู่มือการใช้งาน.....	16
2.1	การจำลองเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	16
2.2	การจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	27
	ตัวย่อและสัญลักษณ์.....	32

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 การขับเคลื่อนทางความร้อนของปั๊มความร้อน	1
รูปที่ 1.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นและระบบปั๊มความร้อน.....	2
รูปที่ 1.3 แผนภาพอุณหภูมิและเอนโทรปี (T-s Diagram) ของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุดมคติ .3	
รูปที่ 1.4 แผนภาพแรงดันและเอนทัลปี (P-h Diagram) ของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุดมคติ	3
รูปที่ 1.5 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของวัฏจักรจริงกับวัฏจักรทางอุดมคติของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	4
รูปที่ 1.6 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนบนแผนภูมิแรงดันและเอนทัลปี	5
รูปที่ 1.7 การเปรียบเทียบอัตราการไหลต่ออัตราความร้อน.....	9
รูปที่ 1.8 การเปรียบเทียบปริมาตรกระบอกสูบ	10
รูปที่ 1.9 การเปรียบเทียบความดันสารทำงานสูงสุด	11
รูปที่ 1.10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสารทำงานสูงสุด	13
รูปที่ 1.11 การเปรียบเทียบอัตราส่วนการอัด	14
รูปที่ 1.12 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะ.....	14
รูปที่ 2.1 หน้าแรกของโปรแกรม VCHP	16
รูปที่ 2.2 การเลือกจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอแบบต่างๆ	17
รูปที่ 2.3 การป้อนข้อมูลการเปรียบเทียบการทำงานของสารทำงานชนิดต่างๆ	19
รูปที่ 2.4 การป้อนข้อมูลชื่อสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	19
รูปที่ 2.5 ชื่อสารทำงานชนิดสารเดี่ยวที่สามารถเรียกใช้ได้.....	20
รูปที่ 2.6 การแสดงผลการคำนวณ COP	21
รูปที่ 2.7 การแสดงผลการคำนวณ Vapor of volume.....	21
รูปที่ 2.8 การแสดงผลการคำนวณ Displacement volume	22
รูปที่ 2.9 การแสดงผลการคำนวณ Compression discharge pressure	22
รูปที่ 2.10 การแสดงผลการคำนวณ Discharge temperature.....	23
รูปที่ 2.11 การแสดงผลการคำนวณ Pressure ratio	23
รูปที่ 2.12 การแสดงผลการคำนวณทั้งหมด.....	24
รูปที่ 2.13 การวางข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft office excel	24
รูปที่ 2.14 การจัดเรียงข้อมูล	25
รูปที่ 2.15 การจัดเรียงข้อมูล (ต่อ).....	25
รูปที่ 2.16 การจัดเรียงข้อมูลโดยการเว้นวรรค.....	26
รูปที่ 2.17 ข้อมูลที่ถูกรวบรวมแล้วเสร็จ	26

รูปที่ 2.18 การเข้าสู่การคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	27
รูปที่ 2.19 การป้อนข้อมูลการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	29
รูปที่ 2.20 การแสดงผลสถานะการทำงานจุดต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	30
รูปที่ 2.21 แผนภาพแสดงสถานการณ์ทำงานจุดต่างๆ ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	31

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน 8

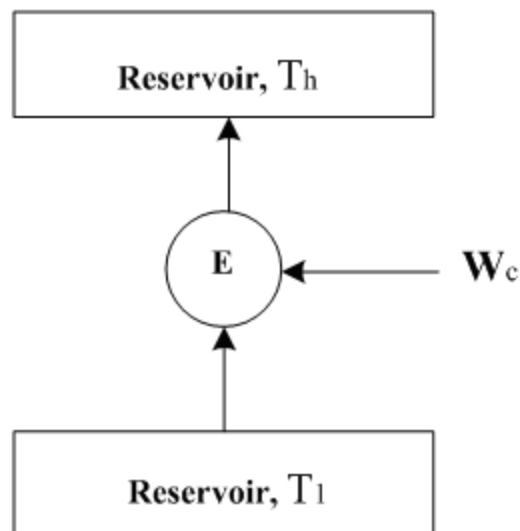
บทที่ 1

หลักการและทฤษฎี

1.1 ป้อนความร้อน

โดยปกติความร้อนจะเคลื่อนที่จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ แต่หากต้องการย้อนกลับวัฏจักรดังกล่าว เพื่อให้แหล่งอุณหภูมิต่ำสามารถเพิ่มคุณภาพขึ้นกลายเป็นความร้อนอุณหภูมิสูงได้แล่นั้น ต้องป้อนพลังงานส่วนหนึ่งให้แก่ระบบ โดยการขับเคลื่อนดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 ทั้งนี้ระบบที่มีลักษณะการทำงานดังกล่าวเรียกว่า ป้อนความร้อน

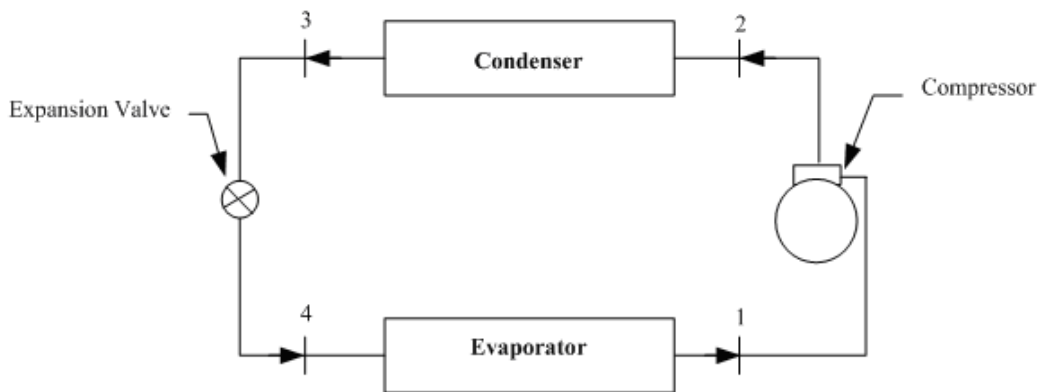
ป้อนความร้อนมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ ป้อนความร้อนแบบอัดไอ (Vapor compression heat pump) ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนระบบ แต่มีประสิทธิภาพสูง (COP ประมาณ 3) และป้อนความร้อนแบบดูดกลืน (Absorption heat pump) ที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อนระบบ และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วยเล็กน้อย แต่ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพค่อนข้างน้อย (COP ประมาณ 0.5) มีขนาดใหญ่ รวมทั้งมีราคาค่อนข้างสูง การดูแลรักษาค่อนข้างยาก



รูปที่ 1.1 การขับเคลื่อนทางความร้อนของป้อนความร้อน

1.1.1 วัฏจักรบีบความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์

กระบวนการต่างๆ ของวัฏจักรบีบความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 อุปกรณ์ คือ เครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องทำระเหย (Evaporator) และ วาล์วลดความดัน (Expansion valve) ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นและระบบบีบความร้อน

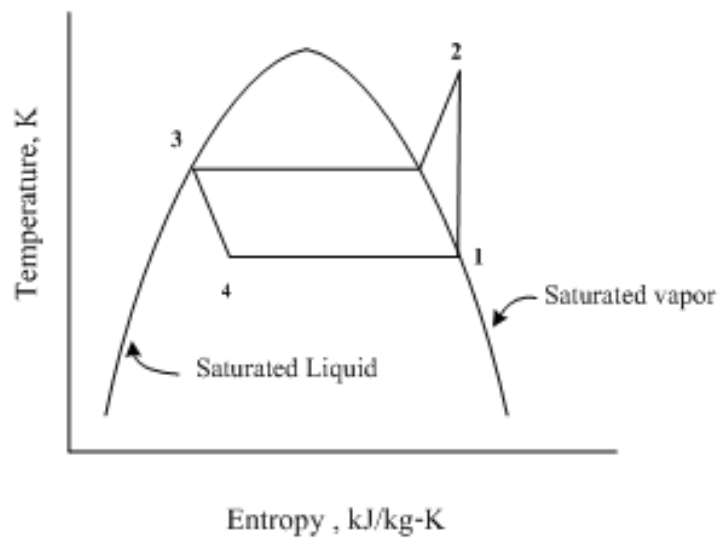
จากรูปที่ 1.2 วัฏจักรบีบความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์ ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ กระบวนการ 1-2 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นอัดแบบไอเซนทรอปิกด้วยเครื่องอัดไอให้ไอสารทำความเย็นมีอุณหภูมิ และความดันสูงขึ้น (Isentropic process)

กระบวนการ 2-3 คือ กระบวนการที่ไอสารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวคายความร้อนออกมา ซึ่งเกิดที่เครื่องควบแน่นเป็นกระบวนการความดันคงที่

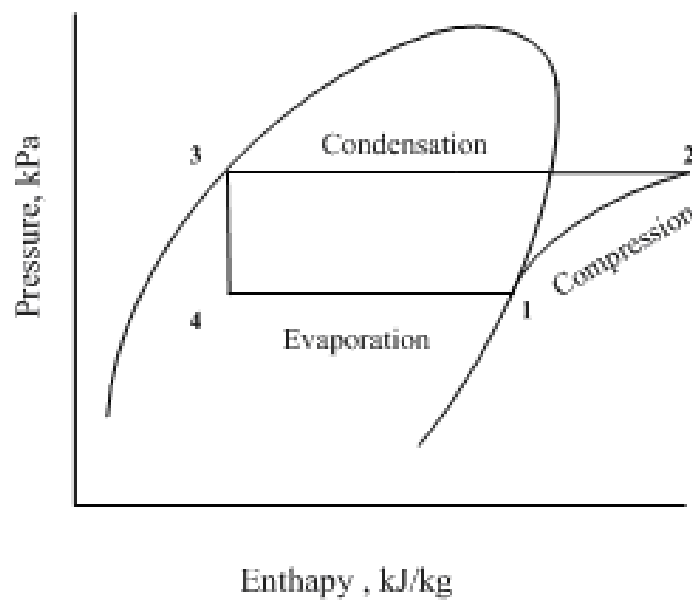
กระบวนการ 3-4 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวลดความดันด้วยวาล์วลดความดัน ซึ่งเป็นกระบวนการเอนทัลปีคงที่ (Throttling process)

กระบวนการ 4-1 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นสถานะเป็นของเหลวจะเดือดกลายเป็นไอจึงดูดความร้อนเข้าไปเกิดที่เครื่องทำระเหย ซึ่งเป็นกระบวนการความดันคงที่

ในวัฏจักรบีบความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์ สามารถอธิบายการทำงานของวัฏจักรด้วยการทำงานของสารทำความเย็นในวัฏจักร ซึ่งนิยมใช้แผนภูมิในการบรรยายคุณสมบัติ โดยทางทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ มักใช้แผนภูมิอุณหภูมิและเอนทัลปี ทั้งนี้เอนทัลปีเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและถูกใช้งานมากที่สุด ซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภูมิความดันและเอนทัลปี ดังแสดงในรูปที่ 1.4



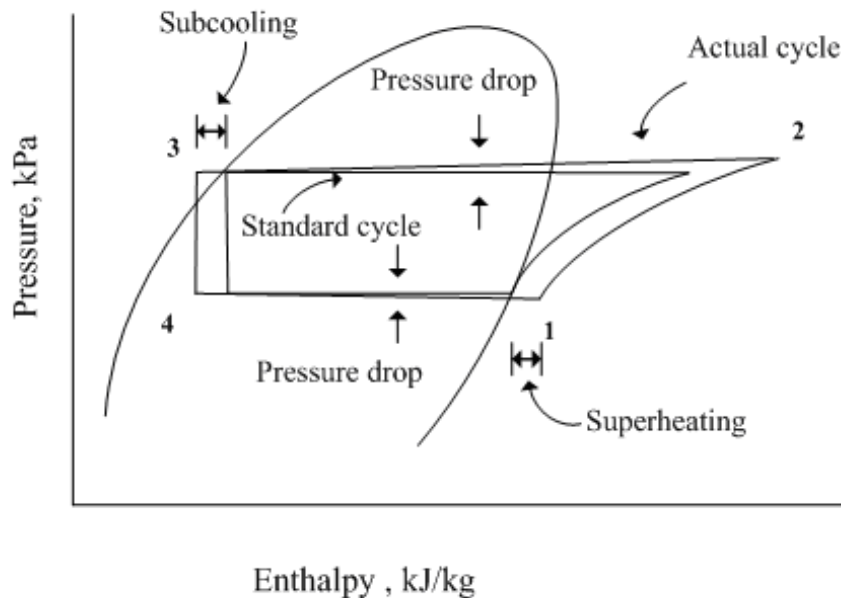
รูปที่ 1.3 แผนภาพอุณหภูมิและเอนโทรปี (T-s Diagram) ของวัฏจักรบีบอัดไอทางอุดมคติ



รูปที่ 1.4 แผนภาพแรงดันและเอนทัลปี (P-h Diagram) ของวัฏจักรบีบอัดไอทางอุดมคติ

1.1.2 วัฏจักรจริงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

วัฏจักรจริงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เมื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรปั๊มความร้อนทางอุณหพลศาสตร์จะมีบางอย่างที่แตกต่างไป ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของวัฏจักรจริงกับวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

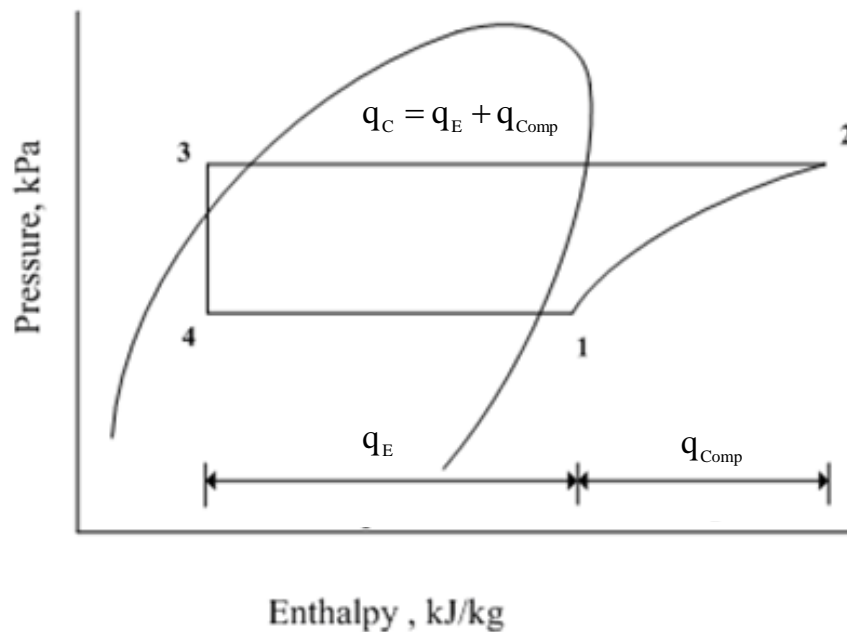
จากรูปที่ 1.5 จะเห็นข้อแตกต่างที่สำคัญของลักษณะการทำงานในวัฏจักรจริงกับวัฏจักรอุณหพลศาสตร์ 2 เหตุผลดังนี้ คือ

1. ผลที่เกิดขึ้นโดยไม่อาจหลีกเลี่ยง ได้แก่ ความดันที่ตกลงในเครื่องควบแน่นและเครื่องทำระเหยที่เกิดขึ้นในวัฏจักรจริง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานระหว่างสารทำความเย็นกับผนังท่อ และในวัฏจักรจริงการอัดตัวในเครื่องอัดไอไม่ได้เป็นแบบไอเซนทรอปิก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดไอจริงต่ำกว่าเครื่องอัดไอทางอุณหพลศาสตร์ สาเหตุเนื่องจากในตัวเครื่องอัดไอมีแรงเสียดทานและการสูญเสียอื่นๆ
2. เหตุผลที่เกิดขึ้น โดยเจตนาได้แก่การทำให้เกิดสภาวะ Superheating และ Subcooling แก่สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องทำระเหยและเครื่องควบแน่นตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากเพื่อให้แน่ใจว่าสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องทำระเหยมีสถานะเป็นไอทั้งหมด เพราะถ้าของเหลวเข้าสู่เครื่องอัดไอจะทำให้เครื่องอัดไอชำรุด และเพื่อให้แน่ใจว่าสารทำความเย็นที่เข้าวาล์วขยายตัวมีสถานะเป็นของเหลวทั้งหมด

1.2 สมการทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์วัฏจักรป้อนความร้อนแบบอัดไอจะอาศัยสมมุติฐานต่างๆ ดังนี้ คือ วิเคราะห์ระบบตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สถานะต่างๆ ของระบบคงที่และไม่พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์

เอนทัลปีเป็นคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่สำคัญและถูกใช้บ่อยๆ จึงแสดงการวิเคราะห์ระบบด้วยแผนภูมิแรงดันและเอนทัลปี ดังนี้



รูปที่ 1.6 การวิเคราะห์วัฏจักรป้อนความร้อนบนแผนภูมิแรงดันและเอนทัลปี

จากรูปที่ 1.6 วิเคราะห์ระบบโดยแยกแต่ละกระบวนการออกเป็นดังนี้

กระบวนการ 1-2 คือ กระบวนการอัดสารทำความเย็นตามกระบวนการไอเซนทรอปิก

$$q_{\text{Comp}} = h_2 - h_1 \quad \text{สมการที่ 1.1}$$

กระบวนการ 2-3 คือ กระบวนการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นตามกระบวนการความดันคงที่

$$q_C = h_2 - h_3 \quad \text{สมการที่ 1.2}$$

หรือ

$$q_C = q_E + q_{\text{Comp}} \quad \text{สมการที่ 1.3}$$

กระบวนการ 3-4 คือ กระบวนการขยายตัวของสารทำความเย็นตามกระบวนการเอนทัลปี

$$h_3 = h_4 \quad \text{สมการที่ 1.4}$$

กระบวนการ 4-1 คือ กระบวนการดูดความร้อนของสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะตามกระบวนการความดันคงที่

$$q_E = h_1 - h_4 \quad \text{สมการที่ 1.5}$$

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรปั๊มความร้อน ดังนี้
ความสามารถในการให้ความร้อนสุทธิของน้ำพุร้อนแก่เครื่องทำระเหย

$$Q_{HW} = \dot{m}_{HW} C_{p, \text{bulk, HW}} (T_{HW, i} - T_{HW, o}) \quad \text{สมการที่ 1.6}$$

ความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องทำระเหย

$$Q_E = \varepsilon_{HX} Q_{HW} \quad \text{สมการที่ 1.7}$$

$$Q_E = \dot{m}_{ref} q_E \quad \text{สมการที่ 1.8}$$

ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของเครื่องควบแน่น

$$Q_C = \dot{m}_{ref} q_C \quad \text{สมการที่ 1.9}$$

งานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอทางอุณหพลศาสตร์

$$W_{Comp} = \dot{m}_{ref} q_{Comp} \quad \text{สมการที่ 1.10}$$

ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลในวัฏจักร

$$V_{ref} = \dot{m}_{ref} v_1 \quad \text{สมการที่ 1.11}$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (Coefficient of performance, COP)

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของทำความเย็น

$$COP_{Cooling} = T_1 / (T_h - T_1) \quad \text{สมการที่ 1.12}$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

$$COP_{Heating} = T_h / (T_h - T_1) \quad \text{สมการที่ 1.13}$$

และ

$$COP_{Heating} = COP_{Cooling} + 1 \quad \text{สมการที่ 1.14}$$

จากรูปที่ 1.6 เมื่อนำวัฏจักรแบบอัดไอมาแสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบจะได้ว่า

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น

$$COP_{Cooling} = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \quad \text{สมการที่ 1.15}$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

$$COP_{Heating} = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1) \quad \text{สมการที่ 1.16}$$

1.2 การเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

การคัดเลือกสารทำงาน (Working fluid) ที่เหมาะสมมาจากเหตุผลที่ว่าสารทำงานแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การนำสารต่างๆ เหล่านั้นมาใช้ประโยชน์สำหรับการอบแห้ง จึงต้องนำคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำพุร้อนอุณหภูมิต่ำ มาวิเคราะห์ในการออกแบบและเลือกสารทำงานต่อไป

โดยในเอกสารฉบับนี้ได้ยกตัวอย่าง การเลือกสารทำงานที่เหมาะสมในห้องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอมาเป็นกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 เงื่อนไขเริ่มต้นการคัดเลือกสารทำงาน

- น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 42 °C
- อัตราการไหลของน้ำพุร้อนประมาณ 15 m³/h
- อุณหภูมิการใช้งานภายในห้องอบแห้งประมาณ 80 °C
- อัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งประมาณ 15,000 cfm

1.2.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณสมบัติสารทำงาน

สารทำงานในการคัดเลือกประกอบไปด้วยสารทำงานต่างๆ 5 ชนิด ที่สามารถหาซื้อได้และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในทางวิศวกรรมภายในประเทศไทย การเปรียบเทียบอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของระบบทางทฤษฎีเป็นเงื่อนไขการพิจารณา สารทำงานที่ใช้ในการเปรียบเทียบประกอบด้วย R-22 (Chlorodifluoromethane) R-290 (Propane) R-134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) R-717 (Ammonia) และ R-123 (2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของระบบพิจารณาจากตัวบ่งชี้ค่าต่างๆ ดังนี้ คือ อัตราการไหลของสารทำงานต่อความร้อนที่ได้ (Mass flow rate per unit heat output comparison) ปริมาตรกระบอกสูบของ Compressor (Volume flow rate) ความดันของสารทำงานที่ออกจากอุปรณ์อัดไอ (Pressure discharge point) อุณหภูมิของสารทำงานที่ออกจากอุปรณ์อัดไอ (Temperature discharge point) อัตราส่วนการอัด (Compression ratio) และสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (Coefficient of performance, COP) สารทำงานในระบบปั๊มความร้อนและระบบปรับอากาศ เป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบมาก การเลือกใช้สารทำงานที่เหมาะสมนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปัจจัยหลักที่ใช้ในการคัดเลือกสารทำงานในอดีต คือ ประสิทธิภาพของระบบ ความปลอดภัย และราคาของสารทำงาน

1.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน

คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน คือ คุณสมบัติที่ใช้ในการคัดเลือกสารทำงานของระบบปรับอากาศ/เพิ่มความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติหลายตัวเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการทำงาน และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบที่จะทำงานได้ดี คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการเลือกสารทำงานแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 โดยสารทำงานที่เลือก สามารถนำมาใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการได้

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน

สารทำงาน	R-22	R-290	R-134a	R-717	R-123
สูตรเคมี	CHClF_2	C_3H_8	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	NH_3	CHCl_2CF_3
มวล โมเลกุล (kg/kmol)	86.46	44.10	102.03	17.03	152.93
อุณหภูมิวิกฤติ ($^{\circ}\text{C}$)	96.14	96.68	101.06	132.25	183.68
ความดันวิกฤติ (MPa)	4.99	4.25	4.06	11.33	3.66
ความหนาแน่นวิกฤติ (kg/m^3)	523.84	218.50	511.90	225.00	550.00
จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	-40.81	-42.09	-26.07	-33.33	27.82
ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอ* (kJ/kg)	170.04	312.65	166.15	1113.17	166.26
ติดไฟ	NO	YES	NO	YES	NO
เป็นพิษ	NO	NO	NO	YES	YES
ALT (Yr , Atmosphere Life Time)	13.3	< 1	14	< 1	1.4
ODP (CO_2 - related, Ozone Depletion Potential)	0.034	~ 0	0.0015	~ 0	0.02
GWP (100 Years, Global Warming Potential)	1780	0	1320	0	76

หมายเหตุ* : คุณสมบัติดังกล่าวคิดที่อุณหภูมิสารทำงาน 37°C

อุณหภูมิวิกฤติของ R-22 มีค่าเท่ากับ 96.14°C และค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับอุณหภูมิของลมร้อนที่ต้องการนำไปใช้งาน ดังนั้นสารทำงานในระบบ Geothermal heat pump จึงไม่ควรใช้ R-22 แต่เนื่องด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบที่มีขายในท้องตลาด เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับ R-22 การพิจารณาเลือกสารทำงานที่เหมาะสมจึงต้องอ้างอิงคุณสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับ R-22 เป็นมาตรฐานการอ้างอิง

1.2.4 การจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานของระบบเพิ่มความร้อนที่ใช้น้ำพุร้อนอุณหภูมิต่ำเป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยใช้สารทำงานที่คัดเลือกไว้มีข้อกำหนดและเงื่อนไขการทำงานของระบบดังนี้

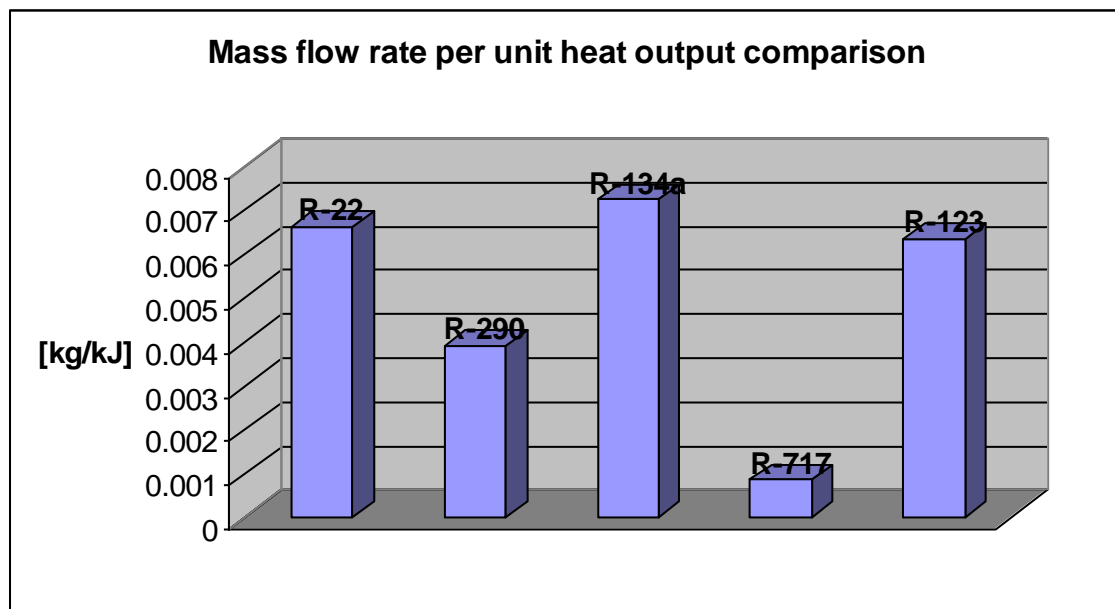
1. การทำงานอยู่ภายใต้วัฏจักรอัดไอ (Vapor compression cycle)
2. ไม่คิดความดันตก (Pressure drop) อันเนื่องมาจากการไหลของสารทำงานในอุปกรณ์ต่างๆ

3. อุณหภูมิคอยล์ร้อน (Condenser) = 90 °C
4. อุณหภูมิคอยล์เย็น = 37 °C (อุณหภูมิน้ำพุร้อน 42 °C)
5. Isentropic efficiency = 80%
6. Degree of superheating = 4.0 °C
7. Degree of subcooling = 3.5 °C
8. คุณสมบัติของสารทำงานอ้างอิงจากโปรแกรม REFPROP

1.2.5 ผลการจำลองและวิเคราะห์

ผลการจำลองระบบการทำงานของระบบ Geothermal heat pump โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้สารทำงานในระบบชนิดต่างๆ มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน (Mass flow rate per unit heat output comparison) สามารถบ่งบอกถึง ปริมาณสารทำงานที่ต้องใช้ในระบบทั้งหมด โดยในการจำลองนี้ได้กำหนดตัวแปรขึ้นมาใหม่ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงานต่ออัตราความร้อนที่ได้ของวัฏจักรจากการควบแน่น เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบระหว่างสารทำงานแต่ละชนิดที่สภาวะการทำงานเดียวกัน ซึ่งผลจากการจำลองแสดงในรูปแบบที่ 1.7



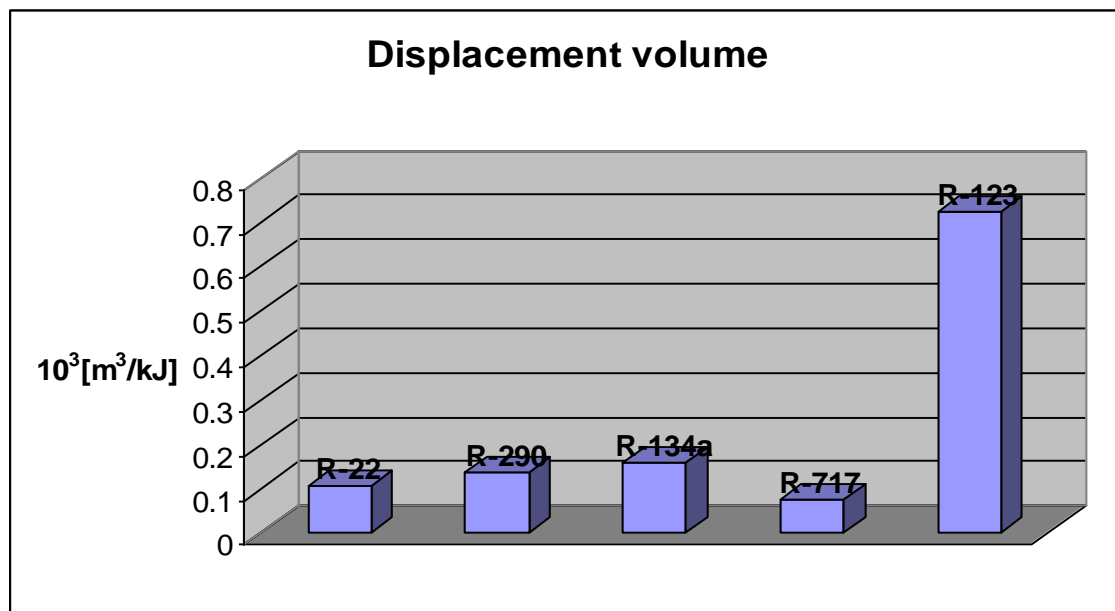
รูปที่ 1.7 การเปรียบเทียบอัตราการไหลต่ออัตราความร้อน

จากรูปที่ 1.7 จะเห็นว่าสารทำงานในกลุ่มของ Hydrocarbon หรือ R-290 มีอัตราการไหลที่ต่ำกว่าอัตราการไหลของ R-22 ประมาณเท่าตัว ในขณะที่ R-717 มีอัตราการไหลน้อยกว่าอัตราการไหลของ R-22 ประมาณ 8 เท่า

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า R-717 มีข้อเสีย คือ เป็นสารพิษและเป็นสารไวไฟซึ่งอาจทำให้การใช้งานจำกัดอยู่ในเพียงบางด้านเท่านั้น แต่มีข้อดีหลายด้าน เช่น มีผลต่อชั้นบรรยากาศของโลกน้อยที่สุด คือ อยู่ในชั้นบรรยากาศน้อยกว่า 2 อาทิตย์เมื่อเทียบกับ R-22 ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศถึง 12 ปีจึงจะสลายตัว นอกจากนี้ R-717 ยังมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำมากกว่า R-22 ประมาณ 8 เท่าในช่วงอุณหภูมิ 0 °C ถึง 70 °C ส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำงานต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ R-22 ทำให้ขนาดของท่อที่ใช้ในระบบของ R-717 จะมีขนาดเล็กกว่าขนาดของท่อที่ใช้สารทำงานชนิดอื่น หมายความว่า ความหนาแน่น อุณหภูมิและความดันที่ใช้งานเดียวกัน

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอีกข้อหนึ่ง คือ การทำปฏิกิริยากับทองแดง เป็นที่ทราบกันดีว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็นและปั๊มความร้อนโดยทั่วไปจะทำขึ้นจากทองแดง โดยสารทำงานที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพียงชนิดเดียวที่ไม่สามารถใช้กับทองแดงได้ คือ R-717 เนื่องจากทำปฏิกิริยากับทองแดง เกิดการกัดกร่อนทองแดงเมื่อสัมผัสกับ R-717

ปริมาตรของสารทำงานก่อนเข้า Compressor (Volume flow rate) ให้ข้อมูลที่สำคัญสองประการ คือ ขนาดของ Displacement volume ของ Compressor และขนาดของท่อที่ใช้ในระบบ โดยในการจำลองจะใช้หลักการคล้ายกับในหัวข้อที่ผ่านมา คือ การประมาณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงาน ณ ตำแหน่งก่อนเข้า Compressor ต่ออัตราความร้อนที่ได้ของวัฏจักรจากการควบแน่น โดยผลจากการจำลองแสดงในรูปแบบที่ 1.8

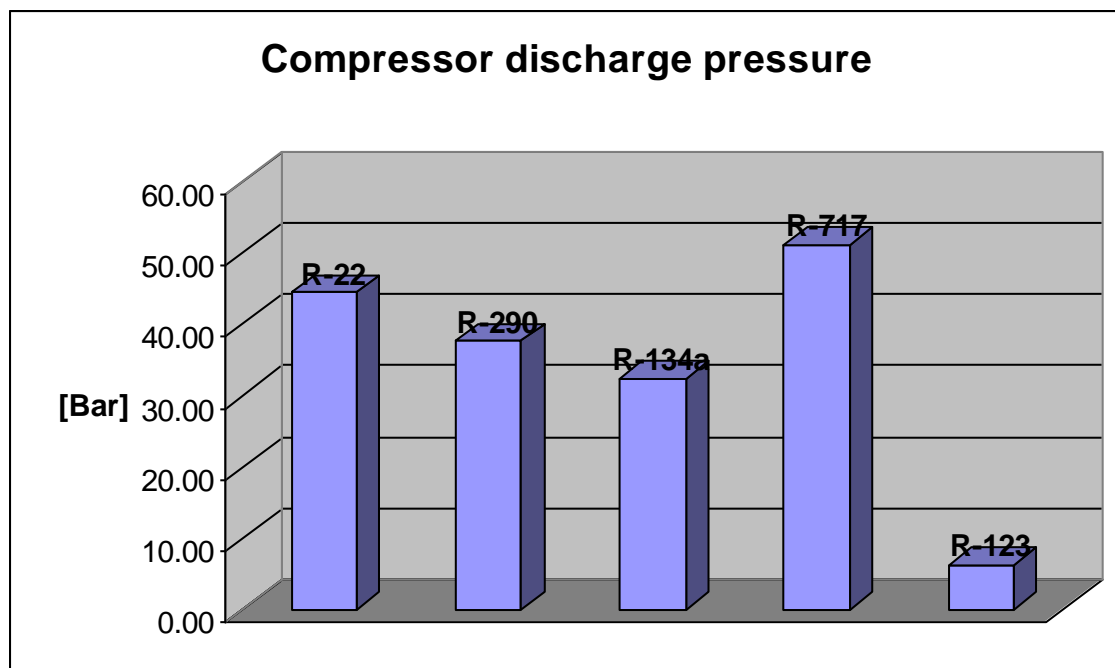


รูปที่ 1.8 การเปรียบเทียบปริมาตรกระบอกสูบ

ในรูปที่ 1.8 เห็นได้ว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่ออัตราความร้อนที่ได้ของ R-290 และ R-134a มีค่าสูงกว่า R-22 ประมาณ 30% และ 45% ตามลำดับ ในขณะที่ R-123 มีค่ามากกว่าประมาณ 560% ซึ่งหมายความว่าขนาด Displacement volume ของ Compressor ที่ใช้สารทำงาน คือ R-123 ต้องมีขนาดใหญ่ ประมาณ 6 เท่า ของ Compressor ที่ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน หรือต้องใช้ Compressor ขนาดใหญ่ ซึ่ง Compressor ขนาดใหญ่มักจะเป็นแบบ Open type ที่มีมอเตอร์และส่วนอัดไออยู่คนละชุดกัน มีสายพานส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังส่วนอัดไอ

ข้อมูลจากรูปที่ 1.8 ยังพบว่า R-717 มีค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่ออัตราความร้อนน้อยกว่าสารทำงานทุกชนิด ทำให้ Compressor ที่ใช้มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ Compressor สำหรับ R-717 ผู้ใช้งานต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพราะวัสดุที่ใช้ใน Compressor ต้องทนต่อการกัดกร่อนของ R-717 ได้รวมทั้งเรื่องน้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่นภายใน Compressor อีกด้วย

ความดันสูงสุด (Pressure discharge point) ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรอัดไอเกิดขึ้น ณ ทางออกของ Compressor ซึ่งความดันนี้จะถูกกำหนดโดยอุณหภูมิของสสารร้อน หรืออีกนัยหนึ่ง คือ อุณหภูมิที่ต้องการจากการทำงานของวัฏจักรทำได้ โดยความดันสูงสุดนี้จะเป็นตัวกำหนดชนิดและขนาดของวัสดุที่ใช้ในระบบ Geothermal heat pump ผลจากการจำลองแสดงในรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 การเปรียบเทียบความดันสารทำงานสูงสุด

จากรูปที่ 1.9 เห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นกับสารทำงานต่างๆ โดยใช้ความดันด้านสูง (Discharge pressure) ของระบบ Geothermal heat pump ซึ่งความดันดังกล่าวเป็นขีดจำกัดสูงสุดของ Compressor ที่สามารถทำงานได้ โดยมีค่าประมาณ 20 Bar หรือประมาณ 300 psi เป็นเกณฑ์การพิจารณา

จากผลการจำลองสามารถแยกผลดังกล่าวได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่งประกอบด้วย R-22 R-290 R-134a และ R-717 มีความดันสูงสุดเกิน 20 Bar จากผลดังกล่าวสรุปในเบื้องต้นได้ว่า Compressor ซึ่งเป็นอุปกรณ์เพิ่มระดับแรงดันในระบบ ไม่สามารถเพิ่มระดับแรงดันให้ถึงระดับที่ต้องการได้ หรือที่อุณหภูมิคอยล์ร้อน (Condenser) 90 °C

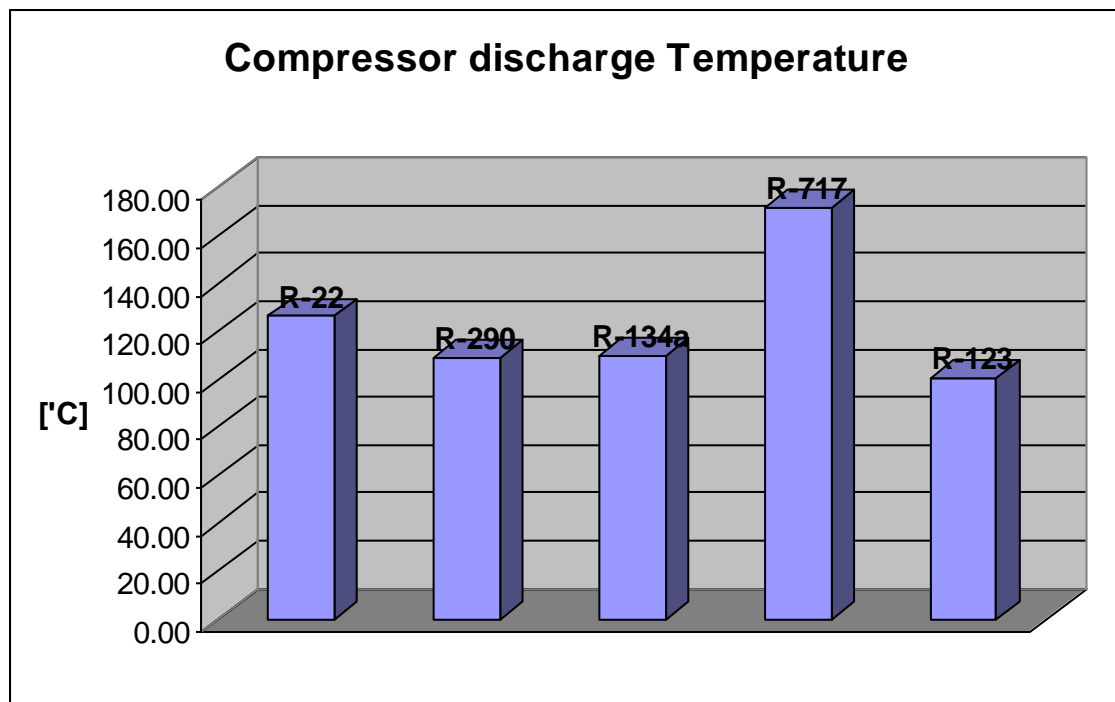
R-123 มีความดันสูงสุดต่ำกว่า 20 Bar ในเบื้องต้นสรุปได้ว่า สารทำงานดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในการใช้งานในระบบ Geothermal heat pump แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาคูณสมบัติอื่นๆ ประกอบด้วย

อุณหภูมิสูงสุดของสารทำงาน (Temperature discharge point) ณ ทางออกของ Compressor ที่เป็นผลจากการใช้สารทำงานชนิดต่างๆ ในระบบ Geothermal heat pump วัฏจักรจะมีอุณหภูมิคอยล์เย็น (Evaporator) สูงกว่าปกติ และเมื่อรวมผลของ Degree of Superheating แล้ว จะทำให้อุณหภูมิสูงสุดของระบบ Geothermal heat pump มีค่าสูงกว่าเป้าหมายโดยทั่วไป ซึ่งจากการจำลอง สามารถแสดงในรูปแบบที่ 1.10

จากรูปที่ 1.10 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการใช้สารทำงานที่ต่างกันนั้น ค่าอุณหภูมิสูงสุดของ R-717 นั้นมีค่าสูงมากกล่าวคือ มีค่าประมาณ 180 °C ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในสารทำงานอื่นๆ มีค่าต่ำกว่าค่าของ R-22

อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในวัฏจักรนี้ส่งผลโดยตรงถึงคุณสมบัติของสารหล่อลื่นที่ใช้ใน Compressor โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของสารหล่อลื่นลดลงและกลายเป็นละอองเล็กๆ ได้ง่าย ละอองของสารหล่อลื่นนี้จะถูกสารทำงานพาออกไปจาก Compressor ได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับการทำงานที่อุณหภูมิปกติ ผลเสียของปรากฏการณ์นี้มีสองประการ คือ เมื่อละอองของสารหล่อลื่นนี้ไหลไปที่คอยล์เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ จะเกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบที่ผิวท่อ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์เย็นลดลง ผลเสียข้อที่สอง คือ เมื่อสารหล่อลื่นหายไปจาก Compressor ในปริมาณที่สูงในขณะที่การไหลกลับมาค่อนข้างช้าจะทำให้การหล่อลื่นใน Compressor ลดลง ส่งผลให้อายุการใช้งานของ Compressor ลดลงด้วย ซึ่งปกติอุณหภูมิสูงสุดของสารทำงานในสถานะก๊าซควรมีค่าไม่เกิน 115 °C

ผลการจำลองพบว่าสารทำงานที่มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 115 °C ในระบบ Geothermal heat pump คือ R-290 R-134a และ R-123 มีค่าเท่ากับ 109 °C 110 °C และ 100 °C ตามลำดับ

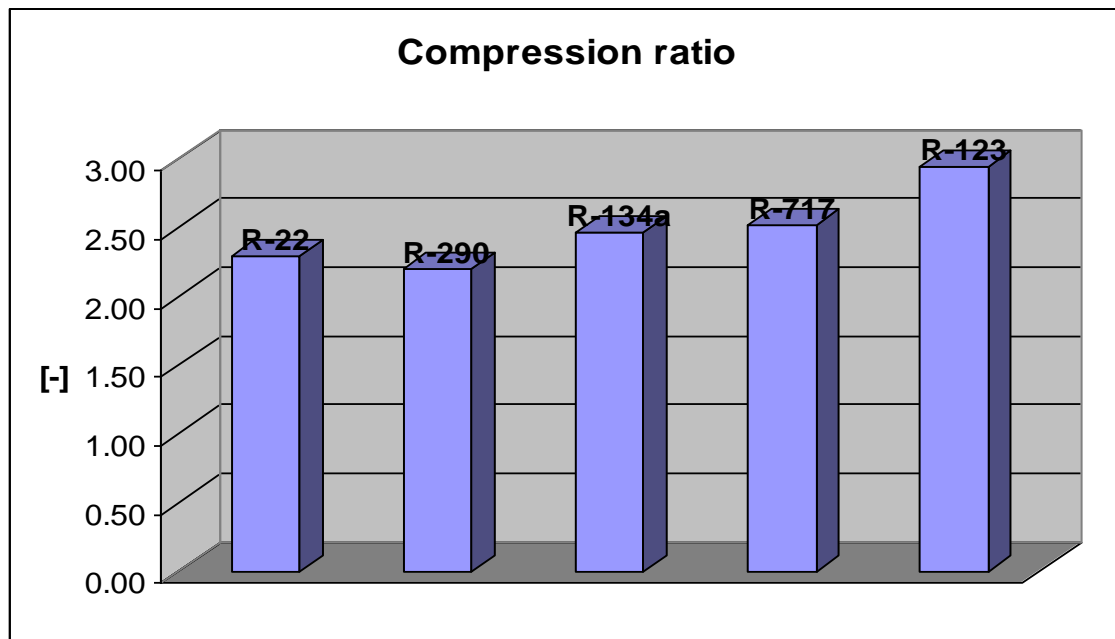


รูปที่ 1.10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสารทำงานสูงสุด

อุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature point) ของ R-290 ใกล้เคียงกับอุณหภูมิวิกฤติของ R-22 ทำให้การใช้งานในทางปฏิบัติ R-290 สามารถอ้างอิงคุณสมบัติการทำงานในช่วงอุณหภูมิเดียวกับ R-22 ได้ โดยมีข้อจำกัด คือ อุณหภูมิด้านสูงหรือในคอยล์ร้อนไม่ควรเกิน 90 °C เพราะจะทำให้อุณหภูมิของสารทำงานเข้าใกล้อุณหภูมิวิกฤติ โดยในช่วงนี้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารจะต่ำ ทำให้ต้องการอัตราการไหลของสารทำงานสูงมาก และ R-290 มี จุดสำคัญอีกจุดหนึ่งที่ต้องระมัดระวัง คือ สารทำงานในกลุ่ม Hydrocarbon หรือ R-290 มีความไวไฟที่ค่อนข้างสูง การเลือกใช้เครื่องอัดไอแบบ Hermetic ที่ทั้งมอเตอร์และส่วนอัดไออยู่ในชุดเดียวกันจะมีความเสี่ยงของการเกิดประกายไฟจากขดลวดของมอเตอร์ภายในได้

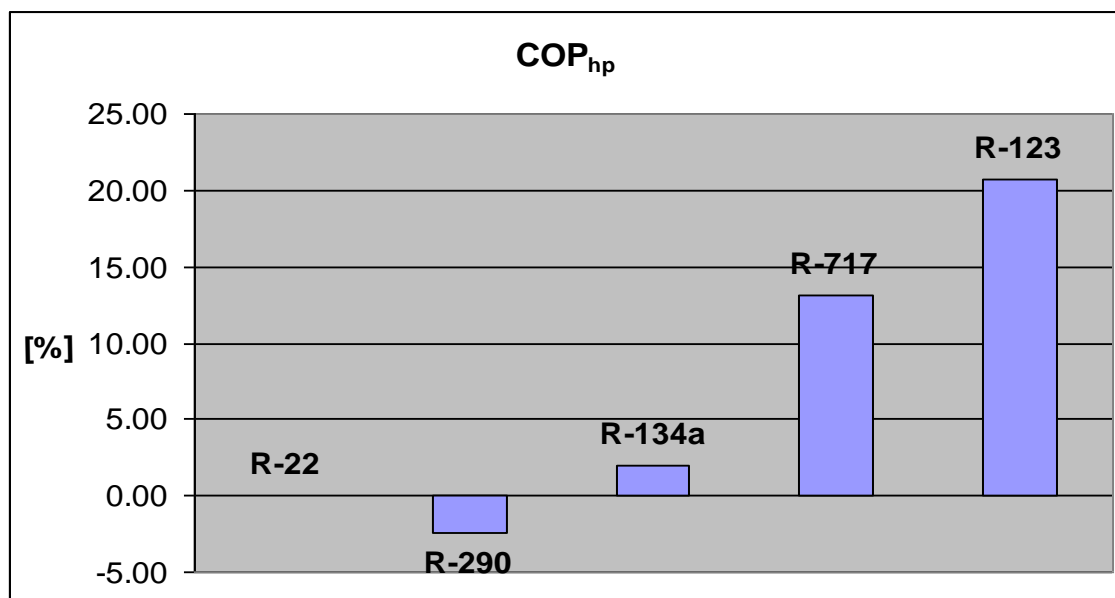
อัตราส่วนการอัด (Compression ratio) คือ ความสามารถของ Compressor ในการเพิ่มระดับแรงดันจากด้านต่ำไปสู่ด้านสูงให้แก่ระบบ ซึ่งอัตราส่วนการอัดนี้ยังหมายถึงความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบอีกด้วย แรงดันด้านสูงมีค่าสูง พลังงานที่ป้อนให้แก่ Compressor ย่อมมากตามไปด้วย

ในการออกแบบระบบ Geothermal heat pump ต้องคำนึงถึงขีดความสามารถสูงสุดของ Compressor ด้วยว่าสามารถทำแรงดันได้ตามต้องการหรือไม่ โดยทั่วไปอัตราส่วนการอัดจะอยู่ที่ประมาณ 7.5:1 pressure ratio (Absolute discharge pressure to absolute suction pressure, Scroll compressors) และจากผลการจำลองในรูปที่ 1.11 สารทำงานทั้ง 5 ชนิดมีอัตราส่วนการอัดน้อยกว่าค่ากำหนด



รูปที่ 1.11 การเปรียบเทียบอัตราส่วนการอัด

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance) หรือ COP_{hp} คำนวณได้จากผลต่างของเอนทัลปีของสารทำงานที่เข้าและออกจากคอยล์ร้อนต่อผลต่างของเอนทัลปีของสารทำงานที่เข้าและออกจากคอยล์เย็น ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากการจำลองการทำงานของสารทำงานนั้นมีความแตกต่างกันไม่มากนักจึงแสดงผลการคำนวณในรูปแบบของความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจากสารทำงานเปรียบเทียบหรือ R-22 ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

จากรูปที่ 1.12 จะเห็นว่า เมื่อเลือกใช้สารทำงาน R-134a R-717 และ R-123 ค่า COP_{hp} สูงกว่าค่าของ R-22 ในขณะที่ถ้าใช้ R-290 ทดแทน R-22 ค่า จะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่แสดงไว้นี้ เป็นเพียงค่าที่ได้จากคำนวณ ในการใช้งานจริงยังต้องคำนึงถึงการแลกเปลี่ยน การถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกล่าวต่างๆ ด้วย ซึ่งบางครั้งอาจทำให้ค่าของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเปลี่ยนไปจากที่ได้กล่าวมา

จากการเปรียบเทียบทั้งด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และผลจากการจำลองการทำงานของสารทำงานที่ได้คัดเลือกไว้พบว่า สารทำงานที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผล สำหรับใช้ใน ระบบ Geothermal heat pump (GHP) คือ R-123 โดยเป็นสารที่สามารถทำงานในช่วงอุณหภูมิสูงๆ ได้ และที่สำคัญ คือ สามารถใช้กับอุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ผลิตใช้กับ R-22 ได้ เมื่อเปรียบเทียบค่า แล้วพบว่ามีความมากกว่า R-22

บทที่ 2

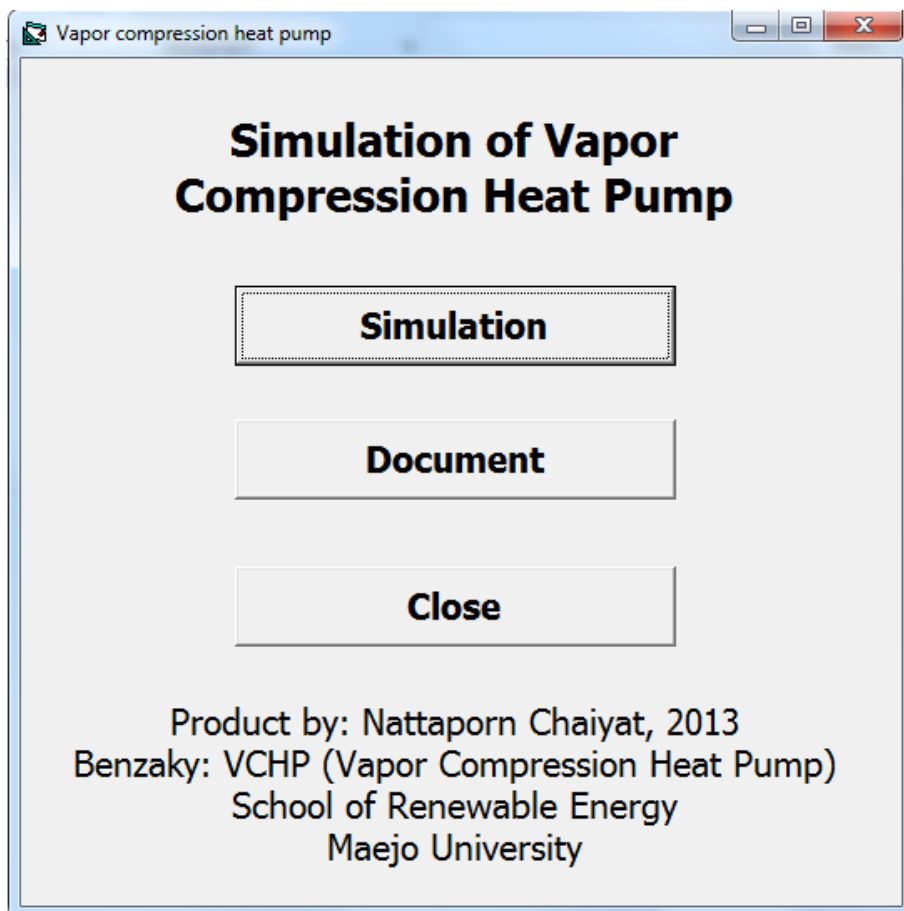
คู่มือการใช้งาน

2.1 การจำลองเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

โปรแกรม VCHP นี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เพื่อผลิตความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยโปรแกรมนี้สามารถจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ใช้สารทำงานชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกันได้ เพื่อหาสารทำงานที่เหมาะสมที่สุดในระบบ ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม VCHP มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.1.1 เลือก **Start >> VCHP** เพื่อเข้าสู่โปรแกรม VCHP แสดงดังรูปที่ 2.1 ต่อจากนั้นระบบจะเข้าสู่โปรแกรม VCHP

- โดย หัวข้อ **Simulation** จะเข้าสู่แบบจำลองการคำนวณระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ
หัวข้อ **Document** ระบบจะเรียกคู่มือการใช้งานโปรแกรมฉบับนี้ขึ้นมา
หัวข้อ **Close** ระบบจะหยุดการทำงานของโปรแกรม



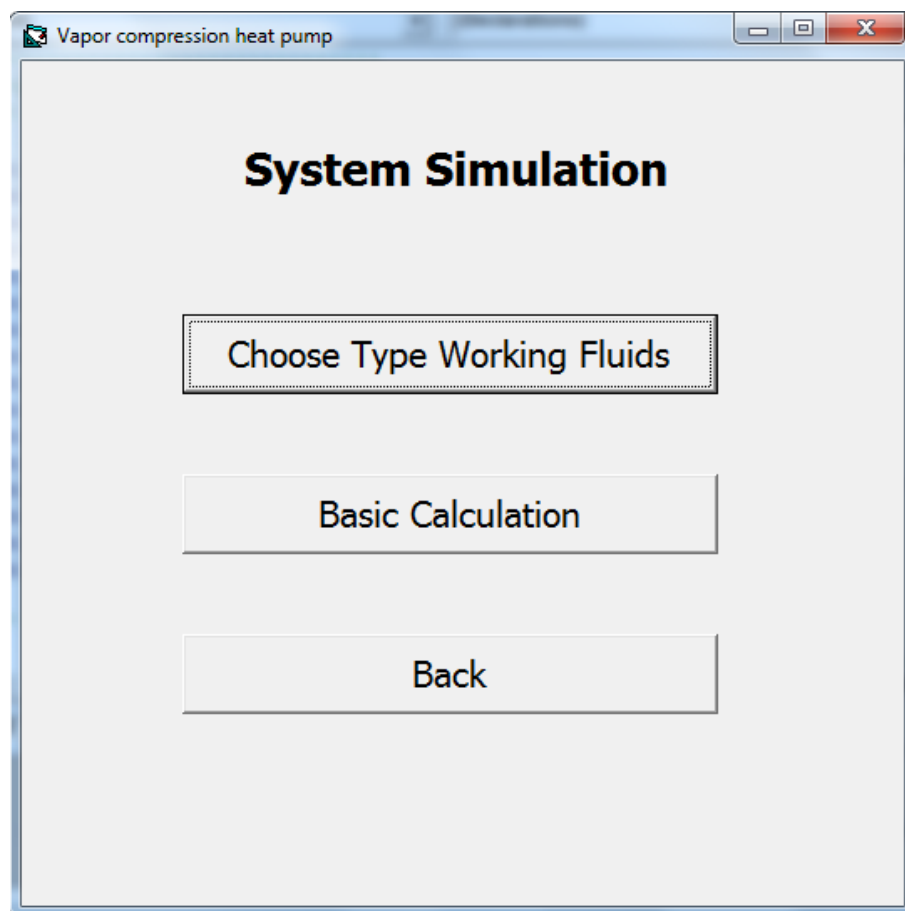
รูปที่ 2.1 หน้าแรกของโปรแกรม VCHP

2.1.2 เลือก **Simulation** เพื่อเข้าสู่การจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

โดย หัวข้อ **Choose Type Working Fluids** จะเข้าสู่แบบจำลองการเปรียบเทียบสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

หัวข้อ **Basic Calculation** จะเข้าสู่การแสดงผลการจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

หัวข้อ **Back** ระบบจะกลับเข้าสู่หน้าแรกของโปรแกรม VCHP



รูปที่ 2.2 การเลือกจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอแบบต่างๆ

2.1.3 เลือก **Choose Type Working Fluids** เพื่อเข้าสู่การเปรียบเทียบสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอดังแสดงในรูปที่ 2.4

โดย หัวข้อ **Heat Capacity of Evaporator** คือ การบ่อนความสามารถการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่ Evaporator เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มคุณภาพความร้อนต่อไป มีหน่วยเป็น kW

หัวข้อ **Evaporating Temperature** คือ การบ่อนอุณหภูมิการเดือดที่ Evaporator มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Subcooling** คือ การบ่อนอุณหภูมิของสารทำงานหลังจากควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อผ่าน Condenser โดยมากมีอุณหภูมิประมาณ 3-5 °C

หัวข้อ **Condensing Temperature** คือ การบ่อนอุณหภูมิการควบแน่นที่ Condenser มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Safety Factor** คือ การบ่อนเปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนหรือ Effectiveness ของ Evaporator

หัวข้อ **Superheating** คือ การบ่อนอุณหภูมิของสารทำงานหลังจากระเหยเป็นไอก่อนเข้าสู่ Compressor โดยมากมีอุณหภูมิประมาณ 3-5 °C

หัวข้อ **Number Refrigerant** คือ การบ่อนจำนวนสารทำงานที่ต้องการเปรียบเทียบการทำงาน สามารถบ่อนได้มากที่สุด 8 สารทำงาน

หัวข้อ **Isentropic Efficiency** คือ การบ่อนประสิทธิภาพของ Compressor

2.1.4 เลือก **Number Refrigerant** เพื่อเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

การบ่อนชื่อสารทำงานต่างๆ ในช่อง Refrigerant ชื่อที่บ่อนต้องเป็นชื่อที่มีในโปรแกรมเท่านั้น ซึ่งสามารถเลือกสารทำงานได้ 2 กลุ่ม คือ สารทำงานชนิดเดี่ยวและสารประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

โดย สารทำงานชนิดเดี่ยวสำหรับ Computer 64 bit สามารถดูชื่อได้ในไคลเร็กทอรี C:\Program Files (x86)\Benzaky\VCHP\fluids

สารทำงานชนิดเดี่ยวสำหรับ Computer 32 bit สามารถดูชื่อได้ในไคลเร็กทอรี C:\Program Files\Benzaky\VCHP\fluids

สารทำงานผสมสำหรับ Computer 64 bit สามารถดูชื่อได้ในไคลเร็กทอรี C:\Program Files (x86)\Benzaky\VCHP\mixtures

สารทำงานผสมสำหรับ Computer 32 bit สามารถดูชื่อได้ในไคลเร็กทอรี C:\Program Files\Benzaky\VCHP\mixtures

Vapor compression heat pump

Comparison Working Fluid of Compression Heat Pump

Initial Condition

<input type="text" value="10"/>	Heat Capacity of Evaporator (kW)	<input type="text" value="50"/>	Evaporating Temperature (°C)
<input type="text" value="3.5"/>	Subcooling (°C)	<input type="text" value="90"/>	Condensing Temperature (°C)
<input type="text" value="100"/>	Safety Factor (%)	<input type="text" value="4"/>	Superheating (°C)
<input type="text" value=""/>	Number Refrigerant	<input type="text" value="80"/>	Isotropic Efficiency (%)

รูปที่ 2.3 การป้อนข้อมูลการเปรียบเทียบการทำงานของสารทำงานชนิดต่างๆ

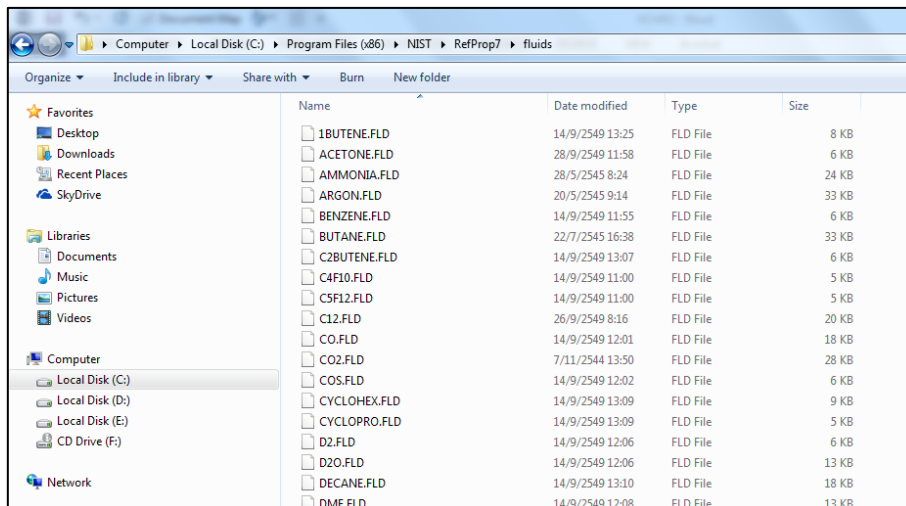
Vapor compression heat pump

Comparison Working Fluid of Compression Heat Pump

Initial Condition

<input type="text" value="10"/>	Heat Capacity of Evaporator (kW)	<input type="text" value="50"/>	Evaporating Temperature (°C)
<input type="text" value="3.5"/>	Subcooling (°C)	<input type="text" value="90"/>	Condensing Temperature (°C)
<input type="text" value="100"/>	Safety Factor (%)	<input type="text" value="4"/>	Superheating (°C)
<input type="text" value="3"/>	Number Refrigerant	<input type="text" value="80"/>	Isotropic Efficiency (%)
<input type="text" value="R22"/>	Refrigerant 1	<input type="text" value="R134A"/>	Refrigerant 2
<input type="text" value="R11"/>	Refrigerant 3		

รูปที่ 2.4 การป้อนข้อมูลชื่อสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.5 ชื่อสารทำงานชนิดสารเดี่ยวที่สามารถเรียกใช้ได้

2.1.5 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Calculate** เพื่อคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เลือก **Clear Data** เมื่อต้องการป้อนข้อมูลชุดใหม่ หรือเลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าการเลือกรูปแบบการคำนวณ

2.1.6 เลือก **Calculate** โปรแกรมจะแสดงผลการเปรียบเทียบการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

COP แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

Vapor of volume แสดงผลปริมาตรของสารทำงานต่อน้ำหนักของสารทำงานในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

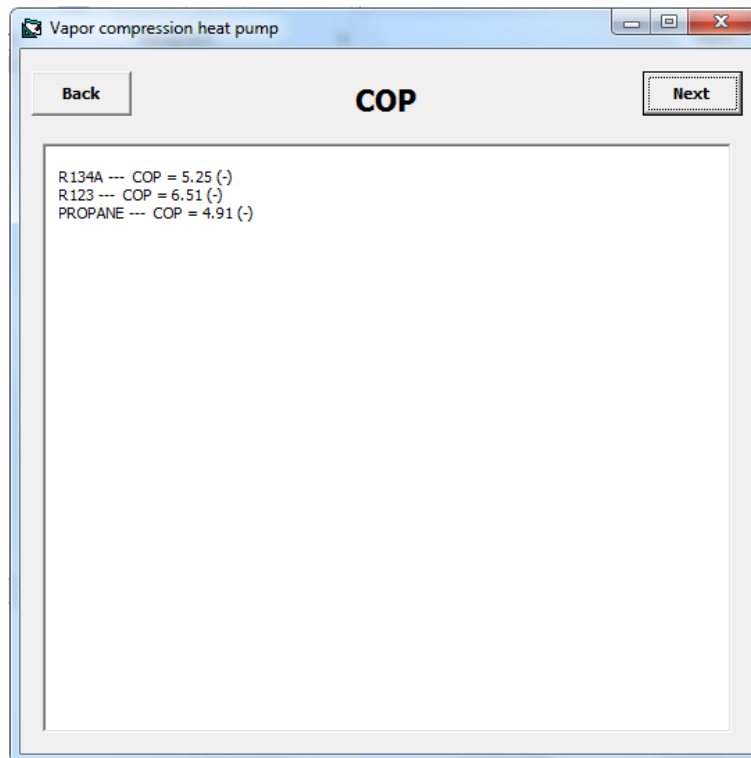
Displacement volume แสดงผลปริมาตรของสารทำงานในสถานะไอก่อนเข้า Compressor ดังแสดงในรูปที่ 2.8

Compression discharge pressure แสดงค่าความดันของสารทำงานที่ออกจาก Compressor ดังแสดงในรูปที่ 2.9

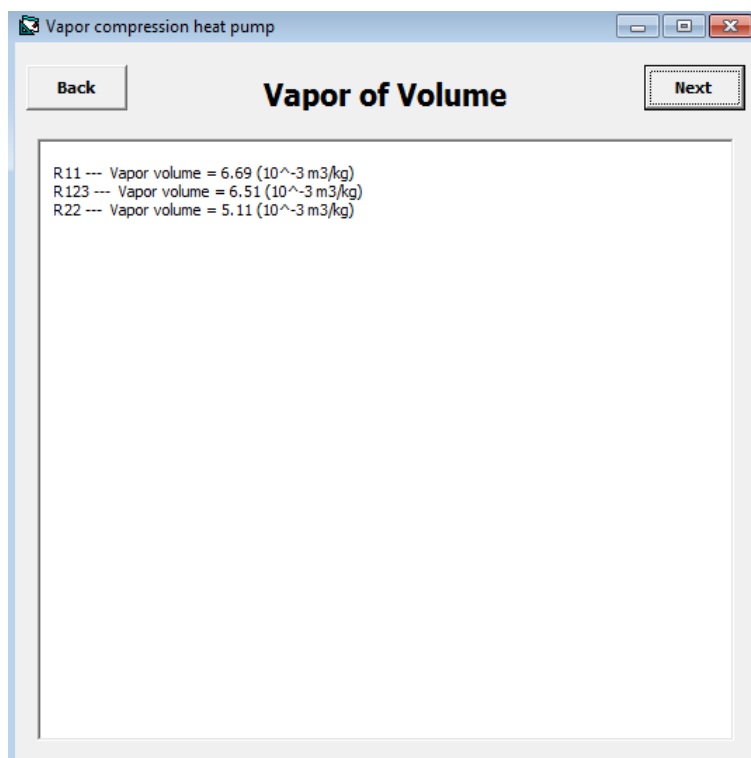
Discharge temperature แสดงอุณหภูมิของสารทำงานที่ออกจาก Compressor ดังแสดงในรูปที่ 2.10

Pressure ratio แสดงอัตราส่วนของความดันสูงต่อความดันต่ำในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

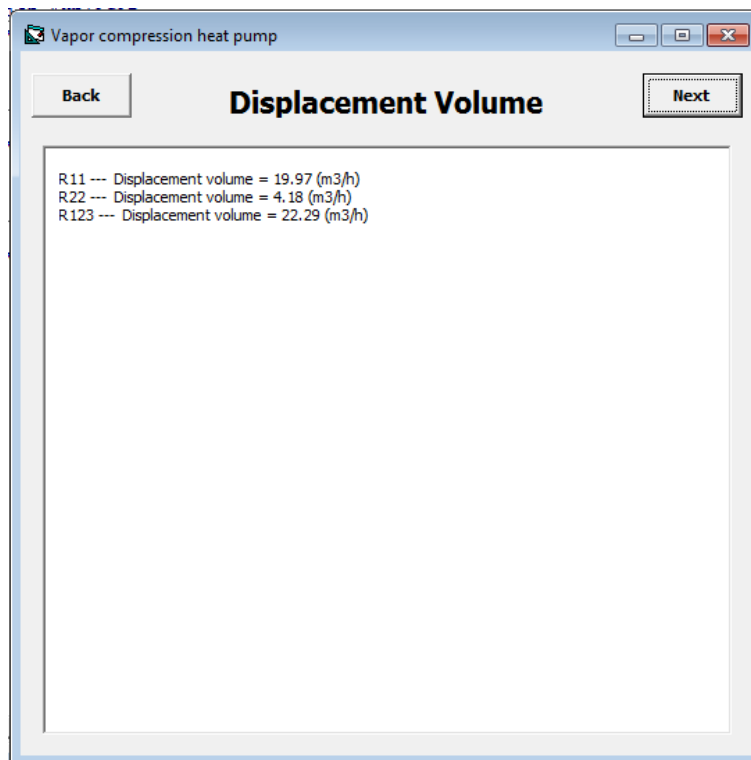
รูปที่ 2.12 แสดงผลการคำนวณรวมทั้งหมดของการเปรียบเทียบการทำงานของสารแต่ละชนิด



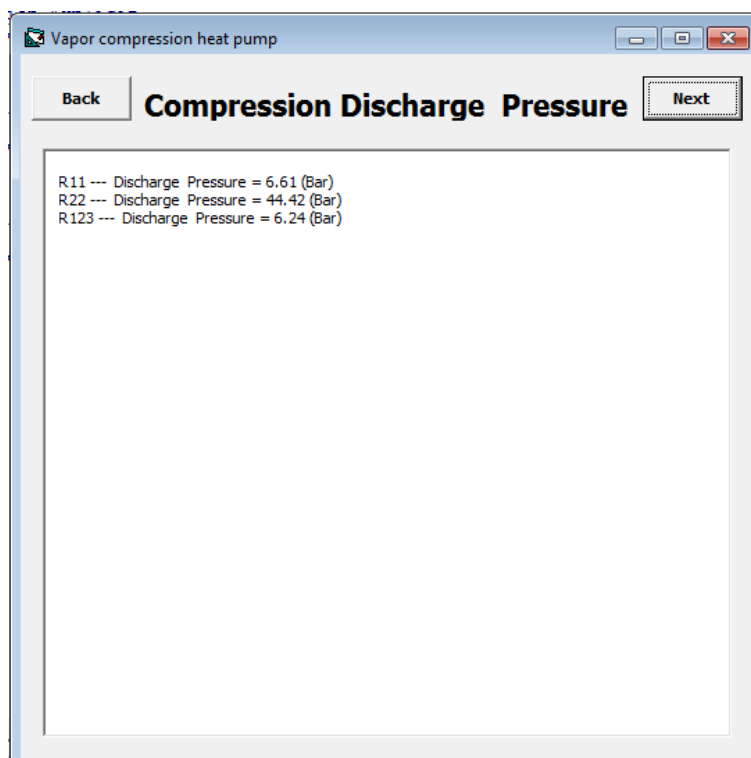
รูปที่ 2.6 การแสดงผลการคำนวณ COP



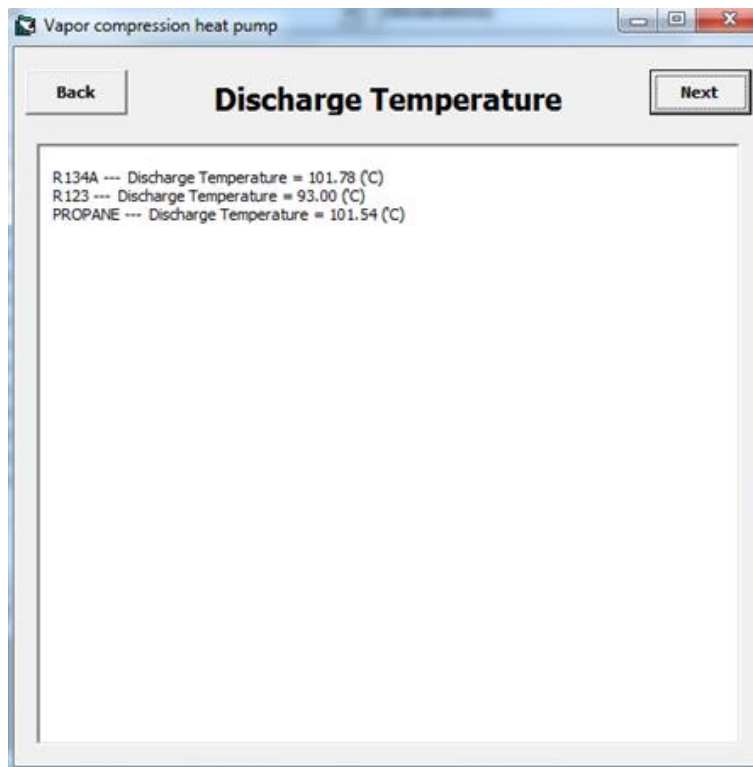
รูปที่ 2.7 การแสดงผลการคำนวณ Vapor of volume



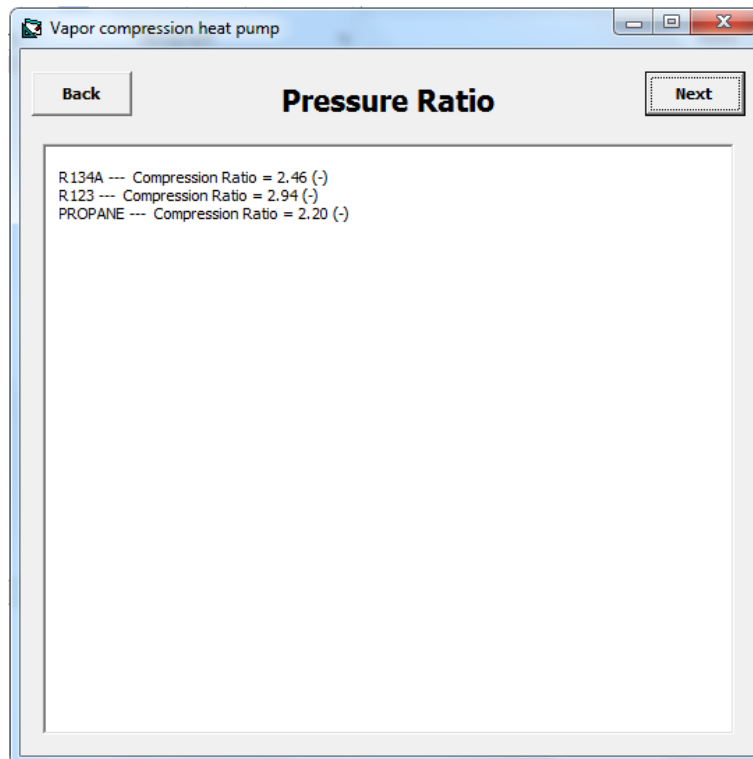
รูปที่ 2.8 การแสดงผลการคำนวณ Displacement volume



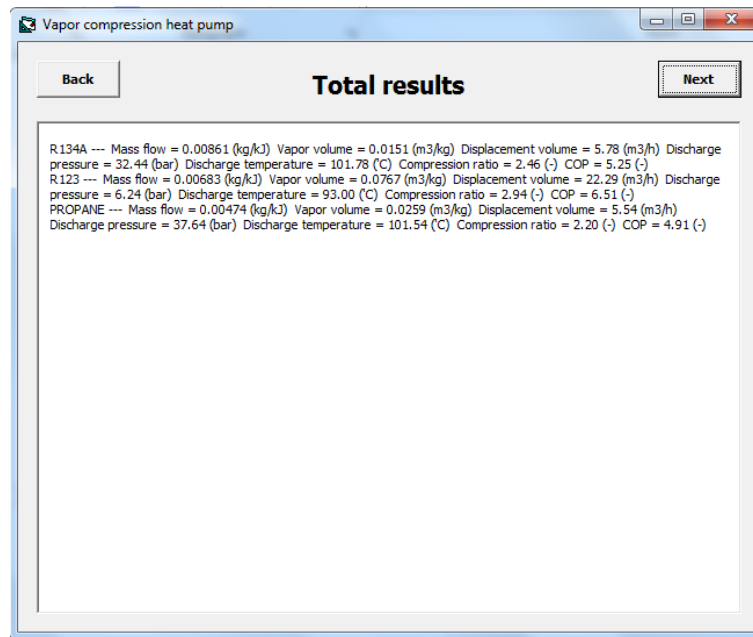
รูปที่ 2.9 การแสดงผลการคำนวณ Compression discharge pressure



รูปที่ 2.10 การแสดงผลการคำนวณ Discharge temperature



รูปที่ 2.11 การแสดงผลการคำนวณ Pressure ratio



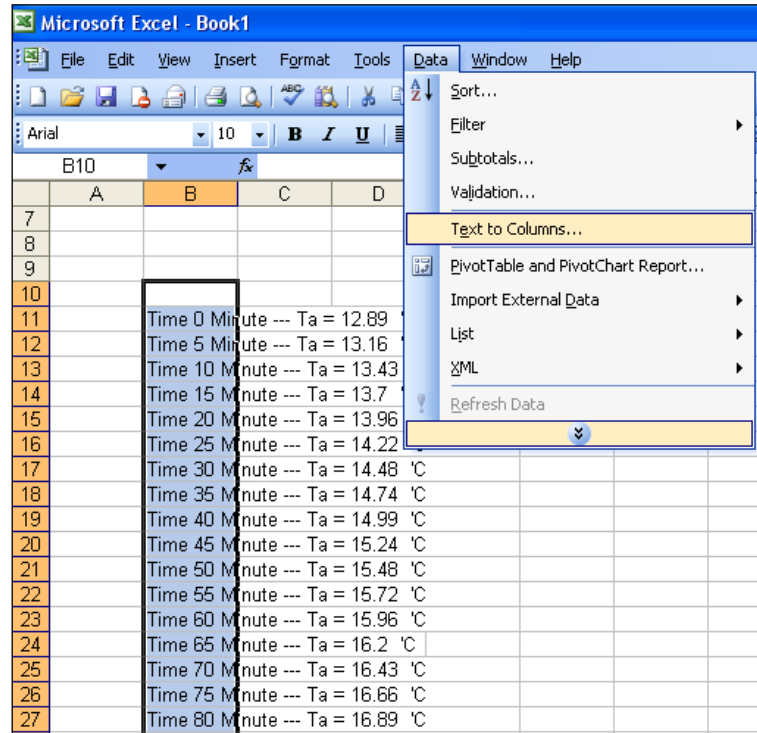
รูปที่ 2.12 การแสดงผลการคำนวณทั้งหมด

2.1.7 การคัดลอกข้อมูลในโปรแกรมลงสู่โปรแกรม Microsoft office excel สามารถทำได้โดยกด Ctrl + V เพื่อเป็นคำสั่งวางข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จากนั้นจะทำการจัดเรียงข้อมูลตั้งขั้นตอนต่อไป

Time	Ta (°C)
Time 0 Minute	12.89
Time 5 Minute	13.16
Time 10 Minute	13.43
Time 15 Minute	13.7
Time 20 Minute	13.96
Time 25 Minute	14.22
Time 30 Minute	14.48
Time 35 Minute	14.74
Time 40 Minute	14.99
Time 45 Minute	15.24
Time 50 Minute	15.48
Time 55 Minute	15.72
Time 60 Minute	15.96

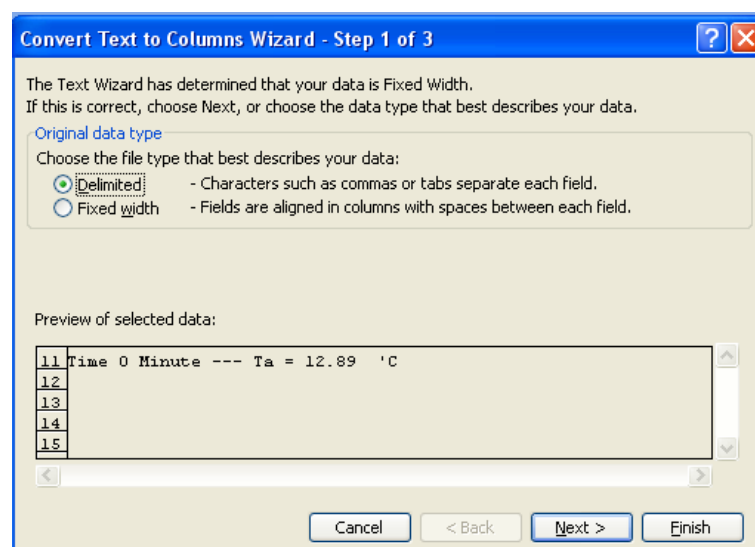
รูปที่ 2.13 การวางข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft office excel

2.1.8 กด Ctrl + A ครอบข้อมูลทั้งหมดจากนั้นเลือกที่ **Data >> Text to Columns..** ดังรูปที่ 2.14 เพื่อให้ข้อความทั้งหมดแบ่งออกเป็นคอลัมน์ หลังจากนั้น โปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างถัดไป



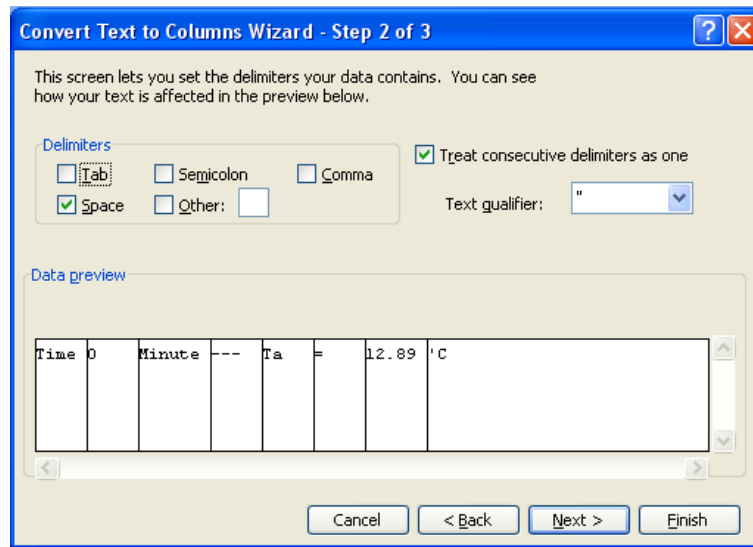
รูปที่ 2.14 การจัดเรียงข้อมูล

2.1.9 เลือก Delimited ดังรูปที่ 2.15 เพื่อเลือกลักษณะการจัดเรียงข้อความ หลังจากนั้นเลือก **Next** โปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างถัดไป



รูปที่ 2.15 การจัดเรียงข้อมูล (ต่อ)

2.1.10 เลือก **Space** จากนั้นกด **Finish** ข้อมูลจะถูกจัดเรียงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การจัดเรียงข้อมูล โดยการเว้นวรรค

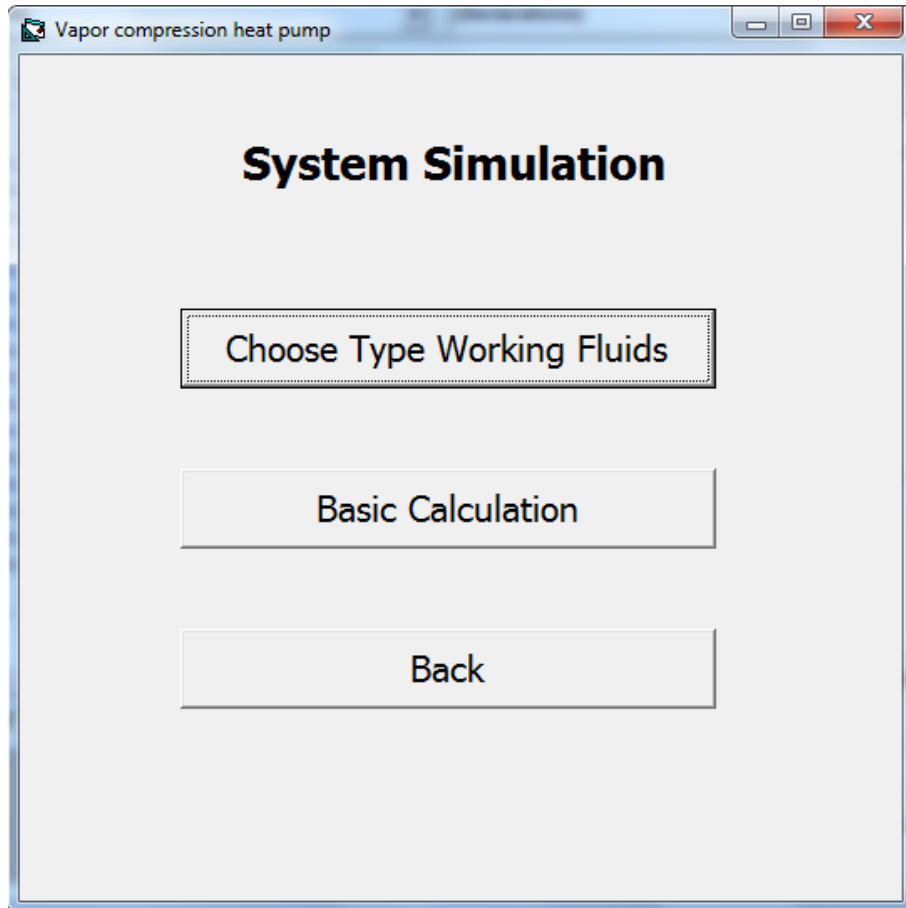
2.1.11 ข้อมูลที่ถูกคัดลอกและวางลงในโปรแกรม Microsoft office excel นี้สามารถนำไปใช้เป็นตัวแปรต้นในการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7									
8									
9									
10									
11		Time	0 Minute	---	Ta	=		12.89	°C
12		Time	5 Minute	---	Ta	=		13.16	°C
13		Time	10 Minute	---	Ta	=		13.43	°C
14		Time	15 Minute	---	Ta	=		13.7	°C
15		Time	20 Minute	---	Ta	=		13.96	°C
16		Time	25 Minute	---	Ta	=		14.22	°C
17		Time	30 Minute	---	Ta	=		14.48	°C
18		Time	35 Minute	---	Ta	=		14.74	°C
19		Time	40 Minute	---	Ta	=		14.99	°C
20		Time	45 Minute	---	Ta	=		15.24	°C
21		Time	50 Minute	---	Ta	=		15.48	°C
22		Time	55 Minute	---	Ta	=		15.72	°C
23		Time	60 Minute	---	Ta	=		15.96	°C
24		Time	65 Minute	---	Ta	=		16.2	°C
25		Time	70 Minute	---	Ta	=		16.43	°C
26		Time	75 Minute	---	Ta	=		16.66	°C
27		Time	80 Minute	---	Ta	=		16.89	°C

รูปที่ 2.17 ข้อมูลที่ถูกจัดเรียงแล้วเสร็จ

2.2 การจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

2.2.1 เลือก **Basic Calculation** เพื่อเข้าสู่การคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การเข้าสู่การคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

2.2.2 เมื่อเลือก **Basic Calculation** เพื่อเข้าสู่การทำงานระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

โดย หมวด **Hot Water**

หัวข้อ **Mass flow rate** คือ อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนให้แก่ Evaporator มีหน่วยเป็น l/s

หัวข้อ **Temperature** คือ การป้อนอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าสู่ Evaporator มีหน่วยเป็น °C

หมวด **Initial Conditions**

หัวข้อ **Refrigerant** คือ การป้อนชนิดสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

การป้อนชื่อสารทำงานต่างๆ ในช่อง Refrigerant ชื่อที่ป้อนต้องเป็นชื่อที่มีในโปรแกรมเท่านั้น ซึ่งสามารถเลือกสารทำงานได้ 2 กลุ่ม คือ สารทำงานชนิดเดี่ยวและสารประกอบ

โดย สารทำงานชนิดเดี่ยวสำหรับ Computer 64 bit สามารถดูชื่อได้ในไดเรกทอรี
C:\Program Files (x86)\Benzaky\VCHP\fluids

สารทำงานชนิดเดี่ยวสำหรับ Computer 32 bit สามารถดูชื่อได้ในไดเรกทอรี
C:\Program Files\Benzaky\VCHP\fluids

สารทำงานผสมสำหรับ Computer 64 bit สามารถดูชื่อได้ในไดเรกทอรี
C:\Program Files (x86)\Benzaky\VCHP\mixtures

สารทำงานผสมสำหรับ Computer 32 bit สามารถดูชื่อได้ในไดเรกทอรี
C:\Program Files\Benzaky\VCHP\mixtures

หัวข้อ **Condensing Temperature** คือ การป้อนอุณหภูมิการควบแน่นที่ Condenser มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Safety Factor** คือ การป้อนเปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนหรือ Effectiveness ของ Evaporator

หัวข้อ **Subcooling** คือ การป้อนอุณหภูมิของสารทำงานหลังจากควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อผ่าน Condenser โดยมากมีอุณหภูมิประมาณ 3-5 °C

หัวข้อ **Superheating** คือ การป้อนอุณหภูมิของสารทำงานหลังจากระเหยเป็นไอก่อนเข้าสู่ Compressor โดยมากมีอุณหภูมิประมาณ 3-5 °C

หัวข้อ **Isentropic Efficiency** คือ การป้อนประสิทธิภาพของ Compressor

Vapor compression heat pump

Calculation

Hot Water

1 Mass flow rate (liter/s) 50 Temperature (°C)

Initial Conditions

R22 Refrigerant 90 Condensing temperature (°C)

3.5 Subcooling (°C) 4 Superheating (°C)

100 Safety Factor (%) 80 Isotropic Efficiency (%)

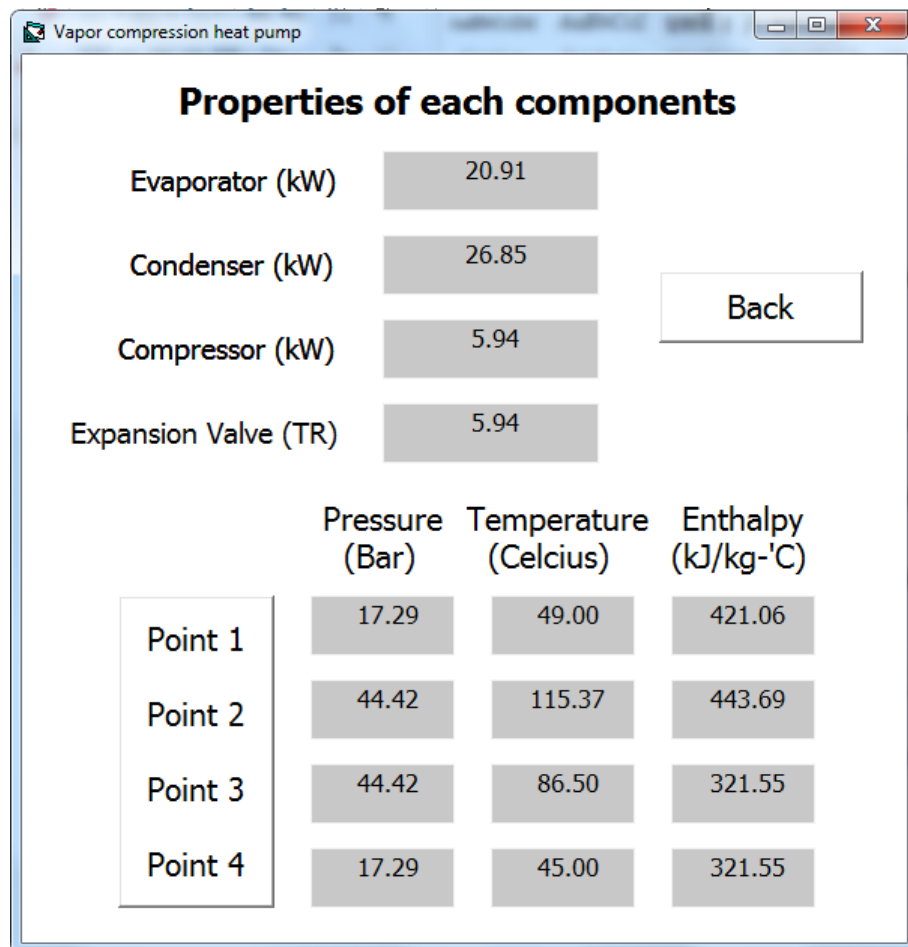
Back Clear Data Calculate

รูปที่ 2.19 การป้อนข้อมูลการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

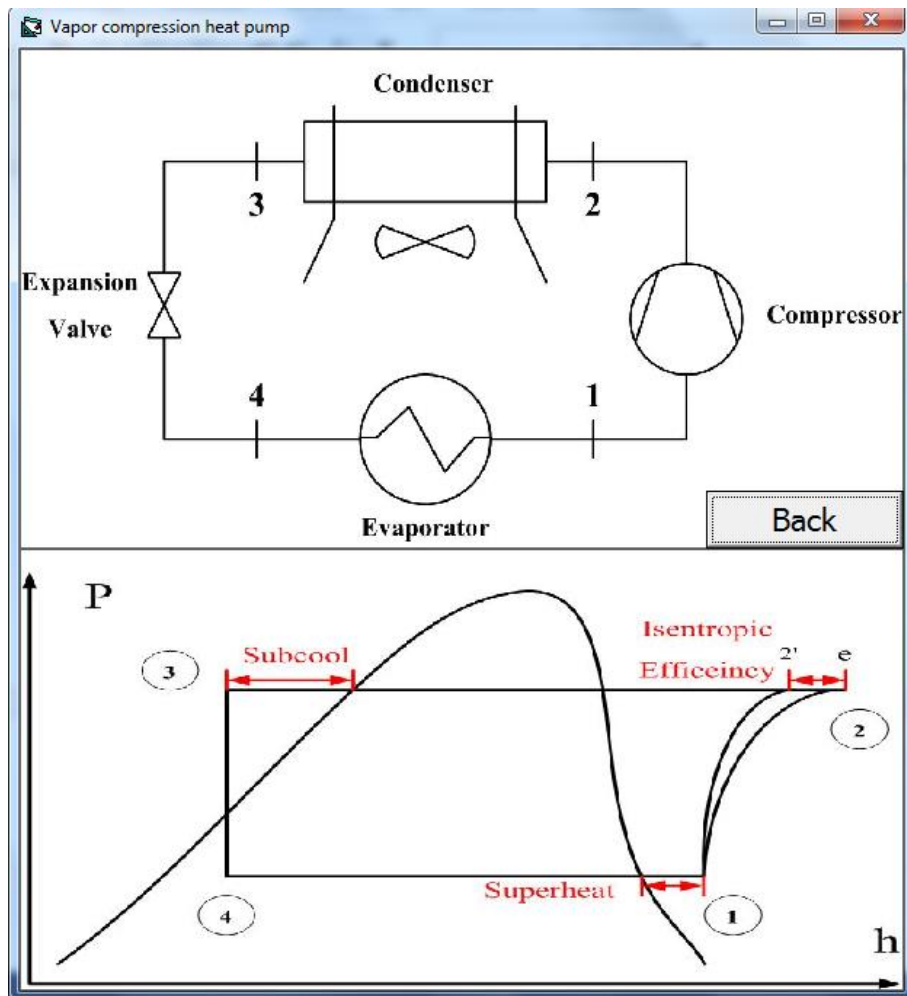
2.2.3 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Calculate** เพื่อคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เลือก **Clear Data** เมื่อต้องการป้อนข้อมูลชุดใหม่ หรือเลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าการเลือกรูปแบบการคำนวณ

2.2.4 เลือก **Calculate** โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณสถานะการทำงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.20

2.2.5 เลือก **Point** โปรแกรมจะแผนผังการทำงานที่สถานะต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 การแสดงผลสถานะการทำงานจุดต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.21 แผนภาพแสดงสถานการณ์ทำงานจุดต่างๆ ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

ตัวย่อและสัญลักษณ์

h	Enthalpy, (kJ/kg)
\dot{m}	Mass flow rate, (kg/s)
P	Pressure, (Bar)
Q	Heat rate, (kW)
R	Refrigerant, (-)
v	Specific volume, (m ³ /kg)
V	Volume, (m ³)
s	Entropy, (kJ/kg.K)
SC	Subcooling, (°C)
SH	Superheating, (°C)
T	Temperature, (°C)
W	Work, (kW)

Greek symbol

η	Efficiency, (%)
ε	Effectiveness, (%)

Subscript

C	Condenser
Comp	Compressor
e	Super heat
E	Evaporator
H	High
HP	Heat pump
L	Low
ref	Refrigerant