

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ดินเป็นแหล่ง
ระบายความร้อนทิ้ง

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AIR CONDITIONER
BY USING GROUND AS A HEAT SINK



T 0 3 3 9 7 1



โดย

นาย ชินพรรดิ ชุติวังศ์สกุล

นาย ทศพล หาญวิวัฒน์กิจ

นางสาว รัชดาภรณ์ แก้วกล้า

นาย สติธิพงษ์ พงษ์พริ้ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต จะถือว่าผิดกฎหมายและมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหม.....
เลขทะเบียน.....**33971**
วัน, เดือน, ปี.....**23 ก.ย. 2542**

ปีการศึกษา 2541

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้ง

โดย

นาย ชินพรรค ชุตินวงศ์สกุล

นาย ทศพล หาญวิวัฒนกิจ

นางสาว รัชดาภรณ์ แก้วกล้า

นาย สิทธิพงษ์ พจน์พริ้ง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ทรงวุฒิ แสงจันทร์

อาจารย์วัชระ เพิ่มชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2541


ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้ง

ผู้จัดทำ

1. นาย ชินพรรคิ์ ชุตินวงศ์สกุล
2. นาย ทศพล หาญวิวัฒน์กิจ
3. นางสาว รัชดาภรณ์ แก้วกล้า
4. นาย สิทธิพงษ์ พจน์พริ้ง


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ทรงวุฒิ แสงจันทร์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วัชระ เพิ่มชาติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้ง

ชินพรรค์ ชุตินวงศ์สกุล

ทศพล หาญวิวัฒน์กิจ

รัชดาภรณ์ แก้วกล้า

สิทธิพงษ์ พงษ์พริ้ง

ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

วัชร เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินช่วยในการระบายความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศพบว่า มีความเป็นไปได้ โดยโครงการได้เริ่มต้นที่การศึกษาถึงศักยภาพของดินที่จะใช้เป็นแหล่งระบายความร้อน และจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าอุณหภูมิดินพบว่าอุณหภูมิดินที่ความลึก 1 เมตร โดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าประมาณ 27°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ จากนั้นจึงได้ทำการดัดแปลง Condensing Unit ของเครื่องปรับอากาศ โดยการฝังท่อคอยล์ร้อนลงในดิน และไม่ใช้พัดลมระบายความร้อน ท่อคอยล์ร้อนใหม่มีความยาวประมาณ 65 เมตร (ท่อคอยล์ร้อนเดิมยาวประมาณ 22 เมตร) คို့งใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นจำนวน 5.9 กิโลกรัม (เครื่องปรับอากาศเดิมใช้ 1.1 กิโลกรัม) ผลการทดลองพบว่า ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศเดิมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.0 และ ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.1 โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเดิมมีค่า 6.68 แอมแปร์ และ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่มีค่า 5.78 แอมแปร์ โดยเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วระบบมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period) 4.7 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Improvement of Air Conditioner By Using Ground As a Heat Sink

Chinapat Chutivongsakul

Thosaphol Harnvivatanakij

Rachadaporn Kaewklum

Sittipong Pojpring

Songvoot Sangchan Advisor

Watchara Permchart Advisor

Abstract

This project was focus on the possibility of using ground as a heat sink of air conditioner, it's found that it's possible. First, we study the potential of ground to use it as a heat sink. By using a mathematic model, We found that a ground temperature became constant at 1 m. depth and the annual average ground temperature was 27 degree Celsius. To this end, we modify a condensing unit of normal air conditioner and the copper coil of condenser of about 65 m. (22 m. for normal unit) was buried at 1 m. depth where the ground temperature was constantly in yearround. The required amount of R-22 refrigerant was 5.9 kg. (1.1 kg. for normal unit).It's found that with this modified unit, a COP of modified air conditioner was much higher than the normal one. It was 7.1 compared to 3 in normal unit. To this, the saving of electrical consumption has to be considered. It was 5.78 Amp. compared to 6.68 Amp. in normal unit. Payback period of a modified air conditioner was 4.7 years.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| สารบัญ | ก |
| สารบัญรูปภาพ | ค |
| สารบัญตาราง | ง |
| รายการสัญลักษณ์และคำย่อ | จ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาของโครงการ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี | 3 |
| 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.2 การใช้ประโยชน์จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับดิน | 6 |
| 2.3 วัฏจักรการทำความเย็น | 9 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 12 |
| 3.1 อุปกรณ์การทดลอง | 12 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 15 |
| 3.3 การคำนวณและออกแบบระบบ | 18 |
| 3.4 การคำนวณค่า COP | 21 |
| 3.5 การวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า | 22 |
| 3.6 การวัดอุณหภูมิดินบริเวณที่ฝังท่อคอยล์ร้อน | 22 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล | 24 |
| 4.1 การทำนายอุณหภูมิดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ | 24 |
| 4.2 ผลการวัดสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติ | 25 |
| 4.3 ผลการวัดสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing modified | 27 |
| 4.4 ตรวจสอบสมรรถนะการทำงานจากแผนภูมิโมดูลีเยอร์ | 29 |
| 4.5 ตรวจสอบค่าดัชนีโพลีโทรปิก | 30 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.6 ผลการวัดอุณหภูมิดินบริเวณที่ฝังท่อคอยล์ร้อน | 31 |
| 4.7 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ | 33 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | 34 |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา | 34 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 35 |
| ภาคผนวก ก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ | 36 |
| - Soil Temperature Estimator Program For Wet Sunlit Surface | 37 |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง | 41 |
| - ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปกติ | 41 |
| - ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing modified | 43 |
| ภาคผนวก ค กลุ่มข้อมูลสภาวะอากาศ | 45 |
| - T_m , Hourly atmospheric temperature | 45 |
| - I , Hourly solar radiation | 48 |
| - v , Average wind velocity | 50 |
| - γ , Average relative humidity | 50 |
| กิตติกรรมประกาศ | 51 |
| เอกสารอ้างอิง | 52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 Horizontal groundloop | 4 |
| 2.2 Vertical groundloop | 4 |
| 2.3 วัฏจักรการทำความเย็น | 9 |
| 2.4 แผนภูมิโมดเลียร์ | 10 |
| 2.5 แผนภูมิโมดเลียร์แสดงสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ | 11 |
| 3.1 เครื่องมือวัดทางอุณหภูมิมหาวิทยาลัย | 12 |
| 3.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลม | 13 |
| 3.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ | 13 |
| 3.4 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ | 14 |
| 3.5 เครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger | 14 |
| 3.6 ระบบ Ground – Source heat pump | 16 |
| 3.7 ระบบ Earth to air heat exchanger | 17 |
| 3.8 ระบบ Condensing modified | 17 |
| 3.9 แผนที่แสดงพื้นที่ทำการทดลอง | 20 |
| 3.10 การนำท่อทองแดงลง ฝังในดิน | 21 |
| 3.11 Condensing unit ของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่ | 21 |
| 3.12 จุดวัดอุณหภูมิและความดันในวัฏจักรการทำความเย็นที่จุด A,B และC | 21 |
| 3.13 การวัดอุณหภูมิดินบริเวณที่ฝังท่อคอยล์ร้อน | 23 |
| 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 1 เมตรกับอุณหภูมิอากาศ | 25 |
| 4.2 ค่า COP เปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบปกติกับแบบใหม่ | 26 |
| 4.3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบปกติ | 27 |
| 4.4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่ | 28 |
| 4.5 แผนภูมิโมดเลียร์แสดงสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติกับแบบใหม่ | 29 |
| 4.6 จุดที่ได้ทำการวัดอุณหภูมิดิน | 32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|-----------------|--|------|
| 4.1 | อุณหภูมิดัชนีขณะเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified ไม่ได้ทำงานและทำงาน | 32 |
| ตารางภาคผนวกที่ | | |
| 1 | ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปกติ (วันที่ 27 ตุลาคม 2541) | 41 |
| 2 | ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing modified (วันที่ 23 ตุลาคม 2541) | 43 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | | |
|--------------|---|--|-----------------------------------|
| I_A | = | เอนทาลปีที่สภาวะก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ | kJ/kg |
| I_B | = | เอนทาลปีที่สภาวะออกจากคอมเพรสเซอร์ | kJ/kg |
| I_D | = | เอนทาลปีที่สภาวะก่อนเข้าอีวาपोเรเตอร์ | kJ/kg |
| Q | = | ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ | W |
| S | = | Shape factor | |
| Z | = | ความลึกของดินที่ใช้ในการฝังท่อ | m |
| K | = | ค่าการนำความร้อนของดิน | $\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ |
| T_1 | = | อุณหภูมิสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ | $^{\circ}\text{C}$ |
| T_2 | = | อุณหภูมิดินเฉลี่ย | $^{\circ}\text{C}$ |
| D | = | เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ | inch |
| L | = | ความยาวท่อ | m |
| W | = | งานของคอมเพรสเซอร์ | kW |
| \dot{m} | = | อัตราการไหลของสารทำความเย็น | kg/s |
| p_1 | = | ความดันสารทำความเย็นที่สภาวะเข้าคอมเพรสเซอร์ | kPa |
| p_2 | = | ความดันสารทำความเย็นที่สภาวะออกคอมเพรสเซอร์ | kPa |
| v_1 | = | ปริมาตรจำเพาะสารทำความเย็นที่สภาวะเข้าคอมเพรสเซอร์ | m^3/kg |
| v_2 | = | ปริมาตรจำเพาะสารทำความเย็นที่สภาวะออกคอมเพรสเซอร์ | m^3/kg |
| ΔI | = | ผลต่างของค่าเอนทาลปี | kJ/kg |
| COP | = | Coefficient Of Performance | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ที่มาของโครงการ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้เครื่องปรับอากาศเพิ่มมากขึ้นทำให้มีปริมาณของความต้องการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย มาตรการหนึ่งที่รัฐบาลใช้ในการแก้ปัญหาความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้คือ การรณรงค์ให้มีการประหยัดไฟฟ้าในรูปแบบและวิธีการต่างๆ เช่น โครงการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand – Side Management หรือ DSM) โดยใช้หลักการของการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด เพื่อลดความต้องการไฟฟ้าลงแทนที่จะสร้างโรงงานไฟฟ้าใหม่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ประโยชน์” โดยดูจากผลที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่าอุณหภูมิของอากาศจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากในรอบ 1 วัน แต่ที่ความลึกตั้งแต่ 1 เมตร ลงไปอุณหภูมิของดินจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง สำหรับที่กรุงเทพฯ เมื่อทำการวัดอุณหภูมิจะพบว่าอุณหภูมิของดินนั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ จึงเห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมีวิธีการที่จะนำความร้อนจากดินมาใช้ด้วยกัน 3 วิธีการ คือ

- วิธี Ground – Source heat pump
- วิธี Earth to air heat exchange
- วิธี Condensing modified

โครงการนี้จะนำวิธี Condensing Modified ซึ่งเป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากดินโดยใช้ดินเป็นตัวระบายความร้อนทิ้งจาก Condensing Unit ของเครื่องปรับอากาศมาประยุกต์ใช้จริง โดยจะพิจารณาถึงสมรรถนะในการใช้งานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เป็นสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศเพื่อช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- โครงการนี้ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิดินและคุณสมบัติของดินเฉพาะที่กรุงเทพมหานครเท่านั้น
- ใช้เครื่องปรับอากาศแบบ Split type ขนาด 12,000 Btu/hr
- ในการเปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศแบบปกติกับแบบ Condensing modified จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรือค่า COP และค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นเกณฑ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการนี้เราคาดว่าจะนำดินมาใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ เพื่อที่จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม อันเกิดจากการระบายความร้อนทิ้งสู่อากาศ เรื่องของเสียงดังที่เกิดจากมอเตอร์พัดลม นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เจษฎา บุษเชิด และ สุรพันธ์ ชงไชยะ

ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับดิน โดยอาศัยหลักการที่ว่าอุณหภูมิดินที่ความลึกค่าหนึ่งจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและค่อนข้างจะคงที่ งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่ความลึกต่าง ๆ และเก็บข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ค่ารังสีแสงอาทิตย์ จากนั้นนำข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้มาวิเคราะห์โดยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิดิน ผลการทำนายมีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ในการทำนายอุณหภูมิดิน

2.1.2 Maritime Geothermal Ltd., CANADA, www.discribe.ca/nordic

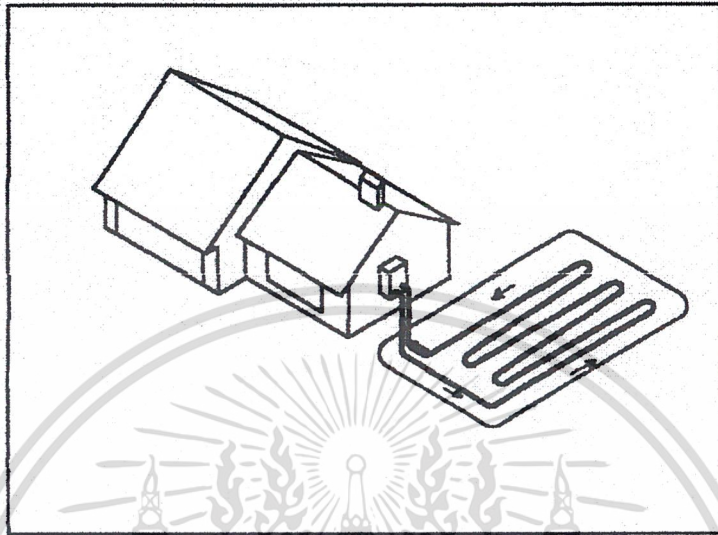
ได้ทำการคิดค้นและผลิต Geothermal heat pump แบบ Direct expansion หรือแบบถ่ายเทความร้อนโดยตรงภายใต้ ชื่อรุ่น “DX” เครื่องนี้สามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็น โดยจะทำความร้อนในฤดูหนาวและทำความเย็นในฤดูร้อน ในการทำความร้อน นอกจากจะเป็นการปรับอากาศแล้ว (DX – to AIR) ยังสามารถทำน้ำร้อนได้อีกด้วย (DX – to WATER)

ส่วนประกอบของเครื่องมี 2 ส่วน คือ

- Geothermal unit หรือ Heat pump จะมีลักษณะเป็นตู้ ติดตั้งอยู่ภายในอาคาร ภายในจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ Compressor, Expansion device, Reversing value, Refrigerant to air heat exchanger
- Ground coil system เป็นท่อทองแดง ฝังอยู่ในพื้นดินภายนอกอาคาร โดยใช้การฝังแบบ Closed loop โดยลักษณะการจัดวางท่อ มี 2 แบบ

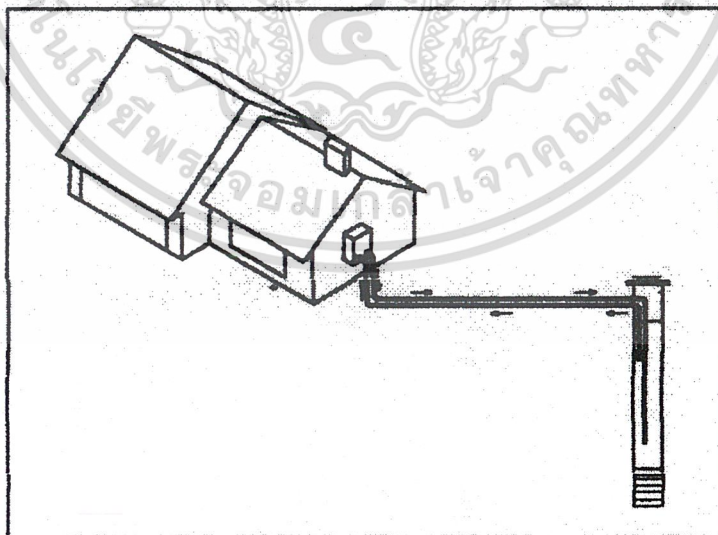
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Horizontal groundloop



รูปที่ 2.1 Horizontal groundloop

- Vertical groundloop



รูปที่ 2.2 Vertical groundloop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการงานจะอาศัยข้อเท็จจริงที่ว่า อุณหภูมิดินจะมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ โดยในฤดูร้อนอุณหภูมิในดินจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ในฤดูหนาวอุณหภูมิในดินจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิส่วนที่แตกต่างนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยใช้หลักการของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำงานกับดินและอากาศ สารทำงานจะถูกถ่ายเทความร้อนโดย Heat exchanger ที่ Geothermal unit และ Ground coil system

2.1.3 The Geothermal Heat Pump Consortium, Inc., USA, www.ghpc.org

เสนอระบบแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสามารถปรับสภาพอากาศในที่พักอาศัยได้ทั้งความร้อนและความเย็นในระบบเดียวกัน อีกทั้งสามารถทำน้ำร้อนได้จากความร้อนส่วนทิ้ง โดยสามารถแบ่งระบบออกได้ 5 แบบ คือ

- Horizontal ground closed loops
- Vertical ground closed loops
- Pond closed loops
- Open loops system
- Standing column well system

ข้อได้เปรียบของระบบนี้ในแง่ค่าใช้จ่าย คือ สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เฉลี่ยลง 30 - 60% ไม่เปลืองพื้นที่ และ ค่าบำรุงรักษาค่า ในแง่ความสะดวกสบาย กะทัดรัด ควบคุมง่าย ขณะทำงานไม่มีเสียงดังรบกวน และไม่ทำลายสภาพแวดล้อม

2.1.4 Fort Polk, Louisiana USA,

www.igshpa-okstate.edu/Publication/Casestudy/fort-polk

เป็นที่ทำการและที่พักของหน่วยงานทางทหารในรัฐหลุยส์เซียน่า ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับการติดตั้งระบบ Geothermal heat pump โดย Co-Energy group หน่วยงานนี้ตั้งอยู่บนพื้นที่ 300 ตารางไมล์ ประกอบไปด้วยอาคาร 1,296 หลัง แบ่งเป็น 4,003 ยูนิต มีคนอยู่ทั้งสิ้นประมาณ 23,000 คน ระบบที่ติดตั้งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6,600 – tons closed loop GHP system
- GHP ขนาด 1.5 - 2.5 tons ต่อยูนิต
- ท่อ polyethylene ขนาด 1 นิ้ว ความยาวรวมทั้งสิ้น 6 ล้านฟุต
- หลุมฝังท่อลึก 130 – 325 ฟุต

ระบบนี้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 44 ล้านเหรียญ ในระยะเวลา 20 ปี ประหยัดพลังงานมากกว่า 33.6 ล้านกิโลวัตต์-ชม. ประหยัดแก๊สได้ 19,800 Btu รวมถึงการรักษาสภาพแวดล้อม โดยสามารถช่วยลดมลพิษที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้เท่ากับ 38,480 ตัน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) 100 ตันและไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) 90 ตัน

2.2 การใช้ประโยชน์จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับดิน

โดยทั่วไปดินจะสามารถดูดและเก็บสะสมความร้อนที่รับมาจากดวงอาทิตย์ได้ จากงานวิจัยของ Baruch และ Leon (เอกสารอ้างอิงที่ 8) ได้ศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินโดยการวัดจริง และการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า อุณหภูมิดินที่ลึกลงไปจากผิวดินจะค่อนข้างคงที่และเปลี่ยนแปลงช้ากว่าอุณหภูมิที่ผิวดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและคุณสมบัติของดินเป็นสำคัญ

ความร้อนที่เก็บสะสมอยู่ในดินนี้ จะมีปริมาณที่ไม่คงที่และแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ จากงานวิจัยของ Bharadwaj และ Bansal (เอกสารอ้างอิงที่ 9) พบว่าเมื่อสภาพพื้นที่ต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินที่ความลึกต่าง ๆ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เท่ากัน โดยที่ความลึกเท่ากัน ดินที่เปียกชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่าดินแห้ง

Khatry , Sodha และ Malik (เอกสารอ้างอิงที่ 10) ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายอุณหภูมิดินที่ความลึกและเวลาต่าง ๆ โดยคำนวณมาจากสมดุลย์พลังงานที่ผิวดินในขณะที่ถูกแสงแดด ดังนี้

$$T_A := \left[\frac{[h + (0.013 \cdot R_1) \cdot \gamma \cdot h] \cdot T_{m_b} + \frac{\alpha_0 \cdot I}{H}}{H} \right] - \left[\frac{(0.013 \cdot R_2) \cdot h \cdot (1 - \gamma)}{H} \right] - \frac{\Lambda \cdot \epsilon}{H} \quad (2.1)$$

$$T_s := a_0 + \sum_{m=1}^6 B_m \cdot (\exp(-1 \cdot m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x)) \cdot \cos[m \cdot \omega \cdot t - (m^{0.5} \cdot \alpha \cdot x - \sigma_m \cdot \beta_m)] \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยพลังงานจลน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu := \frac{\left(\frac{k \cdot \omega \cdot \rho \cdot c}{2}\right)^{0.5}}{h} \quad (2.3)$$

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{24} \quad (2.4)$$

$$\alpha := \left(\frac{\omega \cdot \rho \cdot c}{2 \cdot k}\right)^{0.5} \quad (2.5)$$

$$m := 1.6$$

$$\beta_m := a \tan \left[\frac{m^{0.5} \cdot \mu}{(1 + m^{0.5} \cdot \mu)} \right] \quad (2.6)$$

$$B_m := a_m \cdot \left[(1 + m^{0.5} \cdot \mu)^2 + m \cdot \mu^2 \right]^{0.5} \quad (2.7)$$

$$a_0 := \frac{\sum_{i=1}^{24} TA_i}{24} \quad (2.8)$$

$$\sigma_m := a \tan \left(\frac{N_m}{M_m} \right) \quad (2.9)$$

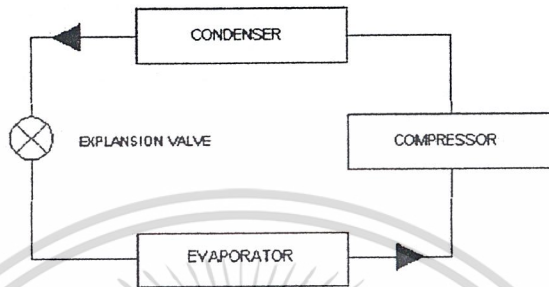
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

| | | | |
|------------|---|---|------------------------|
| v | = | wind velocity | m/s |
| h | = | heat transfer coefficient the soil surface | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| α_0 | = | absorptivity of solar radiation at the surface | |
| ϵ | = | long wave emissivity of the surface | |
| Δ | = | difference between the long wave radiation and the radiation emitted by a black body at atmospheric air temperature | W/m^2 |
| I | = | intensity of solar radiation | W/m^2 |
| T_m | = | ambient temperature | $^\circ C$ |
| R_1 | = | constant in the expansion of saturated water vapour pressure | $N/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| R_2 | = | constant in the expansion of saturated water vapour pressure | N/m^2 |
| H | = | effective heat transfer coefficient | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| γ | = | relative humidity | % |
| T_A | = | soil – air temperature | $^\circ C$ |
| k | = | thermal conductivity of soil | $W/m \cdot ^\circ C$ |
| ρ | = | density of soil | kg/m^3 |
| c | = | specific heat of soil | $kJ/kg \cdot ^\circ C$ |
| x | = | soil depth | m |
| t | = | time | hr |
| T_s | = | soil temperature at various depth | $^\circ C$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วัฏจักรการทำความเย็น



รูปที่ 2.3 วัฏจักรการทำความเย็น

ประกอบด้วย 4 กระบวนการ

1. การระเหย (Evaporation)

อีวาपोเรเตอร์เป็นขดท่อที่มีแผ่นครีป สารทำความเย็นจะระเหยขณะที่ไหลไปตามท่อ ดูดเอาความร้อนจากอากาศที่อยู่รอบ ๆ ท่อ ขณะที่สารทำความเย็นระเหยจะมีสถานะทั้งที่เป็นของเหลวและเป็นไอ

2. การอัด (Compression)

เครื่องอัดดูดเอาไอสารทำความเย็นที่กำลังระเหยในอีวาपोเรเตอร์เข้าไปในกระบอกสูบเพื่อให้ความดันในอีวาपोเรเตอร์ต่ำอยู่เสมอ และให้อุณหภูมิการระเหยของสารทำความเย็นต่ำ ขณะเดียวกันเครื่องอัดอัดไอสารทำความเย็นให้อยู่ในภาวะที่จะทำให้เป็นของเหลวได้ง่าย นั่นคืออัดให้มีความดันสูง เพื่อที่จะแปลงไอสารทำความเย็นให้กลับกลายเป็นสารทำความเย็นเหลวอีก

3. การควบแน่น (Condensation)

ไอสารทำความเย็นที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงสามารถเปลี่ยนให้เป็นสารทำความเย็นเหลวได้โดยการทำให้เย็นลงโดยใช้อากาศระบายความร้อน ขณะที่สารทำความเย็นเปลี่ยนจากไอไปเป็นของเหลว สารทำความเย็นจะอยู่ในสภาวะทั้งเป็นไอและของเหลว

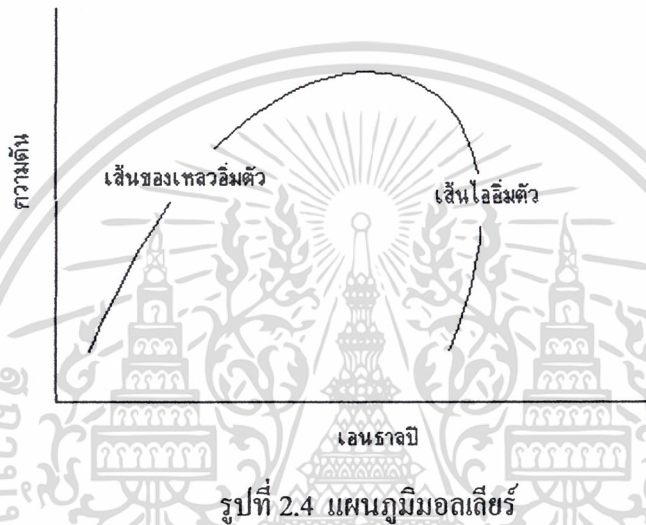
4. การขยายตัว (Expansion)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับลดความดันของสารทำความเย็นเหลวที่มีความดันสูงในเครื่องควบแน่นให้มีความดันต่ำตามต้องการคือ วาล์วขยายตัวและท่อแคปิลารี (ใช้ในเครื่องปรับอากาศ

ขนาดเล็ก) เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านวาล์วขยายตัวหรือท่อแคปิลารีความดันจะลดลง และ

สารทำความเย็นจะขยายตัวแบบแอดิยาติก สารทำความเย็นเหลวความดันต่ำจะไหลเข้าไปในอีวาพอเรเตอร์ดูดความร้อนจากอากาศรอบ ๆ แล้วระเหยกลายเป็น ไอ ไปเรื่อย ๆ

วัฏจักรดังกล่าวจะดำเนินซ้ำต่อ ๆ ไป

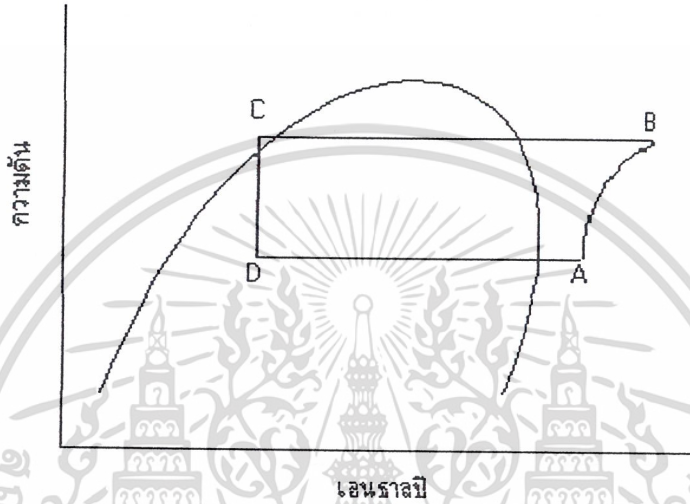


แผนภูมิโมลลีย์แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำความเย็น โดยกำหนดให้ความดัน (P) อยู่บนแกนตั้ง และเอนทาลปี (I) อยู่บนแกนนอน แผนภูมิโมลลีย์จึงถูกเรียกว่า แผนภูมิ ความดัน - เอนทาลปี หรือ แผนภูมิ P-I

แผนภูมิโมลลีย์ถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ของเหลวเย็นเยือก (Subcooled liquid) ไอเปียก (Wet vapor) และไอร้อนชวคดียิ่ง (Superheated vapor) โดยเส้นของเหลวอิ่มตัวและไอ อิ่มตัว แสดงดังรูปที่ 2.4 จุดที่มีค่าความดัน เอนทาลปี อุณหภูมิ ปริมาตรจำเพาะ ความแห้ง และ เอนโทรปี เดียวกันจะถูกต่อด้วยเส้นและมีค่าแสดงไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจัยกรการทำควมเยึบนนแผนภูมิมอลเดี๋ย



รูปที่ 2.5 แผนภูมิมอลเดี๋ยแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

$$\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะ} = \frac{\text{ความสามารถในการทำควมเยึ}}{\text{กำลังเพลทเครื่องอดต้องการ}}$$

$$\text{COP} = \frac{I_C - I_D}{I_B - I_A} \quad (2.10)$$

- เมื่อ
- I_A = เอนทาลปีก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์, kJ/kg
 - I_B = เอนทาลปีออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg
 - I_D = เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์, kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องปรับอากาศ เนื่องจากห้องที่ใช้ทำการทดลองมีขนาด $2.5*4*3.5$ ตารางเมตร จึงใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr ในการทดลอง

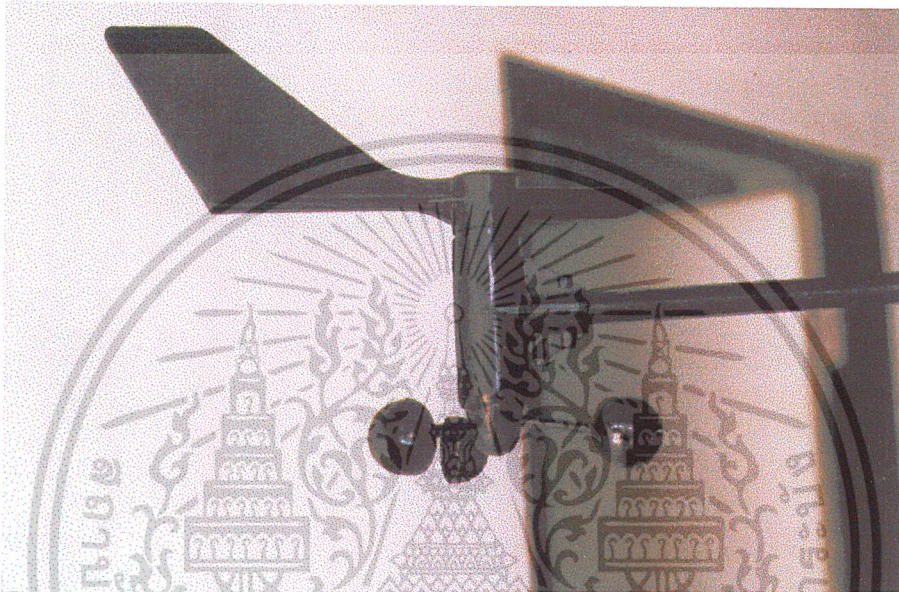
3.1.2 เครื่องวัดทางอุศุนิยมวิทยา Starburst เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บสภาพอากาศในขณะที่ทำการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.1



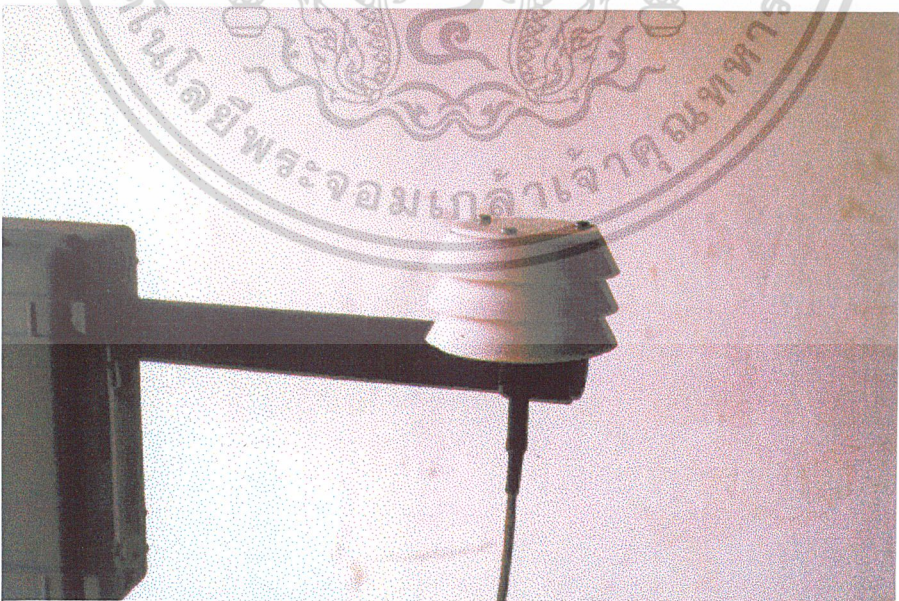
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดทางอุศุนิยมวิทยา Starburst
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งประกอบไปด้วย

- เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลม ดังรูปที่ 3.2
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ ดังรูปที่ 3.3
- เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ (Solar radiation) ดังรูปที่ 3.4

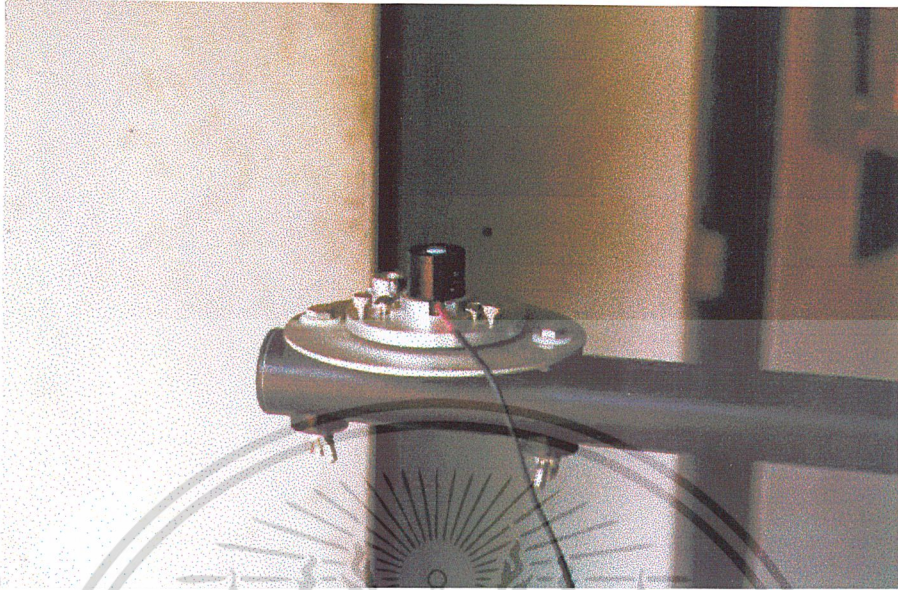


รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลม



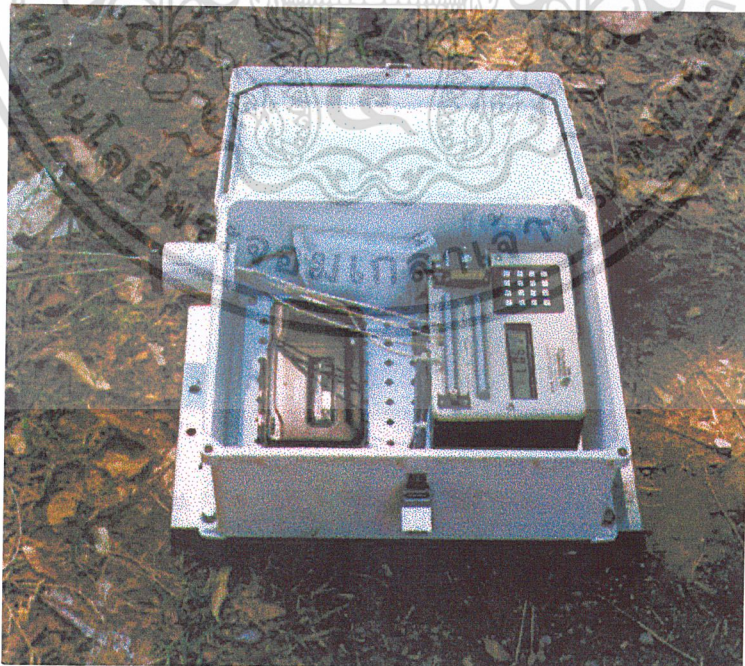
รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

3.1.3 เครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ โดยอุปกรณ์ตัวนี้จะต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งปลายอีกข้างหนึ่งจะนำไปไว้ในจุดที่ต้องการอ่านค่าอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 Clamp meter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

3.1.5 ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างคอยล์ร้อนของเครื่องปรับอากาศใหม่

3.1.6 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K glass braided ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิโดยนำไปต่อกับเครื่อง Data Logger

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 ศึกษาการเก็บความร้อนของดิน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าอุณหภูมิดิน จากภาคผนวก ก นำมาใช้คำนวณอุณหภูมิดินในพื้นที่ที่จะทำการทดลอง แต่ในการที่จะใช้แบบจำลองในการคำนวณได้นั้น เราจะต้องทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการ ดังนี้

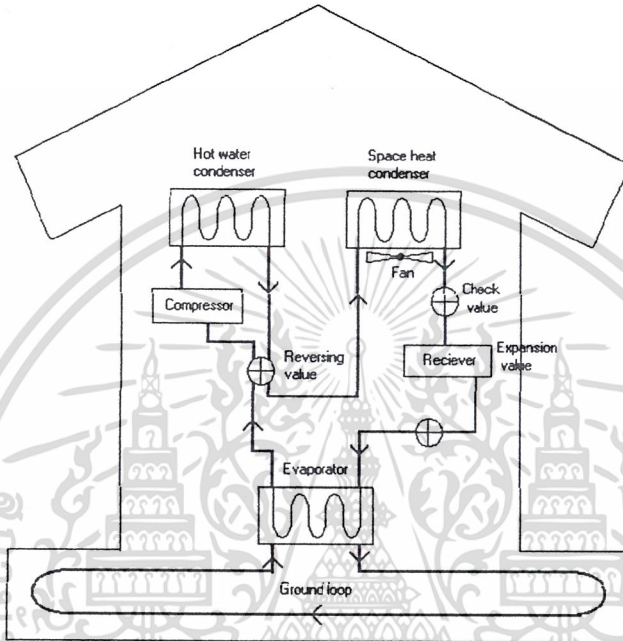
- ค่าความจุความร้อนจำเพาะของดิน (Specific heat of soil)
- ค่าการนำความร้อนของดิน (Thermal conductivity of soil)
- ค่าความหนาแน่นของดิน (Density of soil)
- ค่าความเร็วลม (Wind velocity)
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity)
- ค่าความลึกของดินที่ต้องการจะทราบอุณหภูมิ (Soil depth)
- ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมง (Intensity of solar radiation)
- ค่าอุณหภูมิของอากาศรายชั่วโมง (Atmospheric temperature)

เมื่อเราทราบค่าตัวแปรต่างๆ ที่ต้องการใช้ในสมการแล้ว เราก็สามารถทำนายอุณหภูมิของดินที่ความลึกที่ต้องการได้

3.2.2 ศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์จากดิน จากเอกสารอ้างอิงที่ 1 ได้ทำการศึกษาไว้ดังนี้

- Ground – Source heat pump เป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนใต้ดิน ช่วยในการระบายความร้อนระบบนี้เหมาะที่จะใช้ในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวมาก ๆ เช่น ประเทศในแถบยุโรปและอเมริกาเพราะเป็นระบบที่สามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็น จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในประเทศไทยโดยเฉพาะที่กรุงเทพฯ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

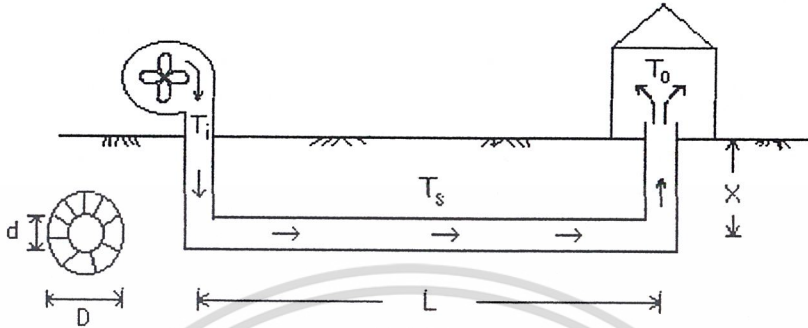
เนื่องจากเป็นระบบที่มีมูลค่าการลงทุนที่สูงมากด้วยและไม่มีคามจำเป็นที่จะใช้ระบบในการทำ ความร้อน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ระบบ Ground - Source heat pump

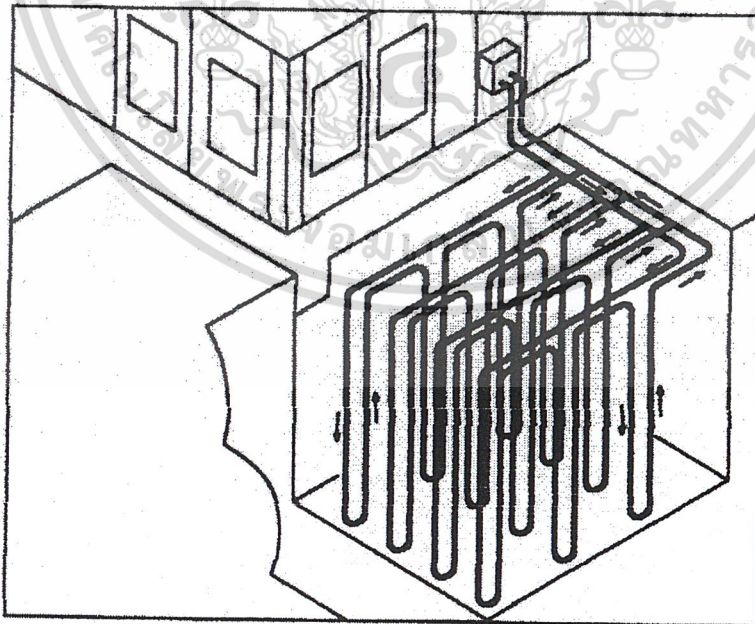
- Earth to air heat exchanger เป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่ เก็บสะสมอยู่ในดิน โดยใช้การฝังท่อลงในดิน ปลายท่อด้านหนึ่งต่อเข้ากับพัดลมเพื่อเป่าอากาศเข้าไปภายในท่อ อากาศจะถ่ายเทความร้อนให้กับดินในฤดูร้อนและจะรับความร้อนจากดินในฤดูหนาว ส่วนปลายท่ออีกด้านหนึ่งต่อเข้าสู่ภายในบ้าน เพื่อลดภาระของระบบปรับอากาศลง ระบบนี้ในประเทศไทยได้มีผู้ทำการทดลองแล้ว และพบว่าระบบจะสามารถทำงานได้เพียง 2-3 ชั่วโมงแรกใน 1 วันเท่านั้น ซึ่งไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ระบบ Earth To Air Heat Exchanger

- Condensing modified เป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เก็บสะสมในดิน โดยการดัดแปลง Condensing unit ของระบบปรับอากาศปกติ ให้ถ่ายเทความร้อนลงสู่ดิน โดยการฝังคอยล์ลงในดิน ซึ่งมีอุณหภูมิในการถ่ายเทความร้อนได้ต่ำกว่าอากาศ ดังรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.8 ระบบ Condensing modified ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแนวทางที่ได้ทำการศึกษามาแล้ว จึงเลือกแนวทางที่ 3 ในการทำโครงการ

3.3 การคำนวณและออกแบบระบบ

หาขนาดของเครื่องปรับอากาศ ในการทดลองเราใช้พื้นที่ของอาคารปฏิบัติการภาควิศวกรรมเกษตร ซึ่งห้องมีพื้นที่ $2.5 \times 4 \times 3.5$ ตารางเมตร ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบปกติก่อน พร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศด้วย เพราะจะได้นำวันที่มีสภาพภูมิอากาศที่คล้ายกันของวันที่ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปกติกับวันที่ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปรับปรุงใหม่มาเปรียบเทียบกันได้

3.3.1 เลือกขนาดท่อทองแดงและคำนวณหาความยาว

โดยใช้สมการตามเอกสารอ้างอิงที่ 4

$$Q = SK\Delta T \quad (3.1)$$

โดย

$$S = \frac{2\pi L}{4Z \ln\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (3.2)$$

Q = ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ, W

= 3,500 W (12,000 Btu/hr)

Z = ความลึกของดินที่ใช้ในการฝังท่อ, m

= 1 m

K = ค่าการนำความร้อนของดิน, W/m.°C

= 0.6 W/m°C

ΔT = $(T_1 - T_2)$ °C

= อุณหภูมิสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์-อุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปี

= (110 - 27)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ท่อมีขนาด

$$D = \frac{3}{8} \text{ inch} = 0.0095 \text{ m}$$

$$D = \frac{4}{8} \text{ inch} = 0.0127 \text{ m}$$

จากสมการ 3.1

$$S = \frac{Q}{k\Delta T}$$

$$S = 70.28$$

$$S = \frac{3500}{0.6 * 83}$$

$$L = \frac{70.28 \ln\left(\frac{4 * 1}{0.0127}\right)}{2\pi}$$

$$S = 70.28$$

$$L = 64.34 \text{ m}$$

จากสมการ 3.2

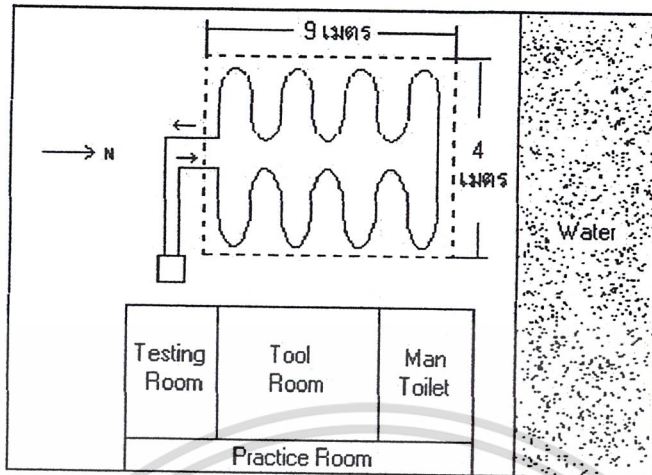
$$L = \frac{4Z}{2\pi} \ln\left(\frac{4 * 1}{D}\right)$$

$$L = \frac{70.28 \ln\left(\frac{4 * 1}{0.0095}\right)}{2 * \pi}$$

$$L = 67.59 \text{ m}$$

จากการคำนวณความยาวท่อ จะเห็นได้ว่าความยาวที่หามาได้ของสองขนาดนี้ต่างกันไม่มากนัก แต่เนื่องจากต้องนำท่อไปฝังดิน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับท่อได้จึงเลือกท่อที่มีความหนามากกว่าคือ ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว เราจะทำการขุดท่อทองแดงลงในพื้นที่ที่จะทำการทดลอง ซึ่งมีขนาด 4*9 เมตร ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผนที่แสดงพื้นที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.10 การนำท่อทองแดงลงไปฝังในดิน

เมื่อทำการฝังท่อทองแดงเรียบร้อยแล้ว Condensing unit จะเหลือแต่เพียง

คอมเพรสเซอร์ เท่านั้น ดังรูป 3.11

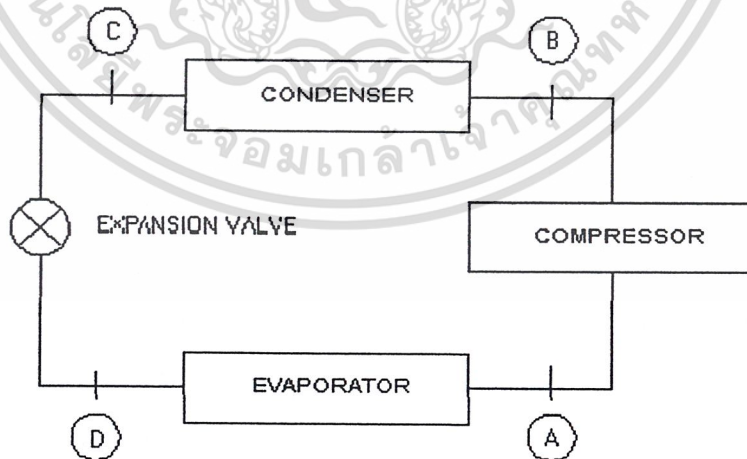
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 Condensing unit ของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่

3.4 การคำนวณค่า COP

ในการคำนวณค่า COP จะทำการวัดอุณหภูมิและความดันที่จุดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.12 จุดวัดอุณหภูมิและความดันในวัฏจักรการทำความเย็นที่จุด A,B และC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว เราจะทำการเก็บข้อมูล ซึ่งจะเป็นค่าอุณหภูมิและค่าความดัน นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า COP จาก

$$\text{COP} = \frac{I_A - I_D}{I_B - I_A}$$

*หมายเหตุ ที่จุด C และ D มีค่าเอนทัลปีเท่ากัน เนื่องจาก สารทำความเย็นไหลผ่านวาล์วขยายทำให้ความดันลดลง และสารทำความเย็นจะขยายตัวแบบอะเดียแบติกหรือขยายตัวแบบเอนทัลปีคงที่

3.5 การวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้านั้น เราได้ใช้ Clamp meter วัดที่สายไฟของอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในการทำงานของเครื่อง สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing modified จะวัดด้วยกัน 2 จุดคือ ที่คอมเพรสเซอร์ และ Evaporator fan ซึ่งค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น แอมแปร์

3.6 การวัดอุณหภูมิอินบริเวณที่ฝั่งท่อคอยล์ร้อน

เมื่อเราทำการฝั่งท่อทองแดงเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการกลบดินในพื้นที่ให้เต็ม และทำการวัดอุณหภูมิอินในขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงาน เพื่อดูว่าการนำความร้อนไประบายทิ้งลงสู่ดินจะมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอินมากน้อยเพียงใด ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การวัดอุณหภูมิดินบริเวณที่ฝังท่อคอยล์ร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

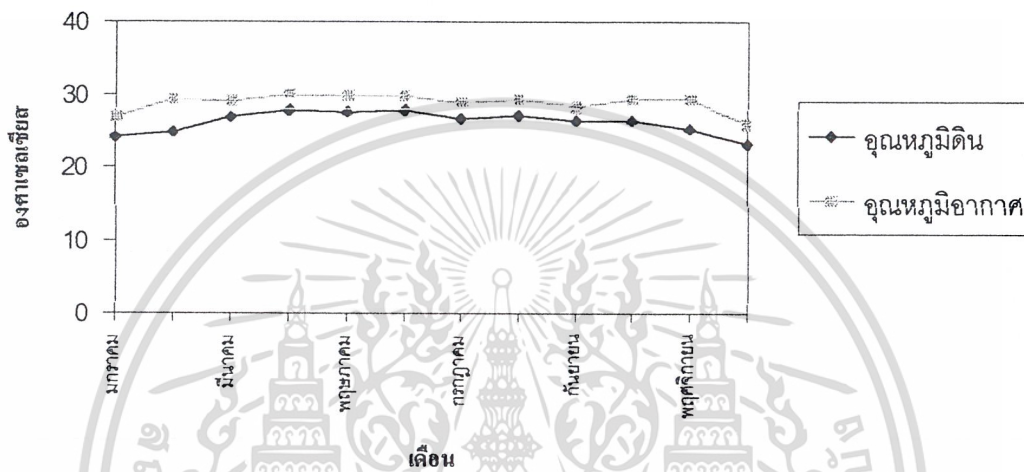
4.1 การทำนายอุณหภูมิดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการใช้แบบจำลองในการทำนายอุณหภูมิดินนั้น ได้เลือกใช้ในกรณีที่สภาพพื้นดินเป็นดินเปียกและถูกแสงแดด ซึ่งเป็นกรณีที่ใกล้เคียงกับดินบริเวณที่ทำการทดลองมากที่สุด ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

- ค่า Specific heat of soil (c)
ค่าที่ใช้ในสมการคือ $2.705 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ เนื่องจากดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียวที่มีความชื้นประมาณ 30%
- ค่า Density of soil (ρ)
ค่าที่ใช้ในสมการคือ 2318 kJ/m^3 ซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นของดินเหนียว
- ค่า Thermal conductivity of soil (k)
ค่าที่ใช้ในสมการคือ $0.6 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ซึ่งเป็นค่าการนำความร้อนของดินเหนียวที่ความชื้น 30%
- ค่า Wind velocity (v)
ค่าที่ใช้ในสมการเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยของปี ค.ศ.1995-1997 แสดงในภาคผนวก ค
- ค่า Relative humidity (γ)
ค่าที่ใช้ในสมการเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของปี ค.ศ. 1991-1997 แสดงในภาคผนวก ค
- ค่า Intensity of solar radiation (I)
ค่าที่ใช้ในสมการเป็นค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยของปี ค.ศ. 1995 - 1998 แสดงในภาคผนวก ค
- ค่า Atmospheric temperature (T_m)
ค่าที่ใช้ในสมการเป็นค่าอุณหภูมิของอากาศรายชั่วโมงเฉลี่ยของปี ค.ศ. 1995 - 1997 แสดงในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ไปแทนในสมการทำนายอุณหภูมิคืนที่ความลึก 1 เมตร จะทำให้ได้ค่าอุณหภูมิคืนดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า ค่าอุณหภูมิคืนมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27°C



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิคืนที่ความลึก 1 เมตรกับอุณหภูมิอากาศ

4.2 ผลการวัดสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติ

ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบปกติกับเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing modified จะทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรือ COP และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

4.2.1 การวัดสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบปกติจะหาจากค่าเอนทาลปีของสารทำงานที่เปลี่ยนแปลงในระบบ โดยการวัดค่าอุณหภูมิและความดันของสารทำงานที่ก่อนเข้า และออกจากคอมเพรสเซอร์ และวัดค่าอุณหภูมิของสารทำงานที่ทางออกของคอนเดนเซอร์ สำหรับสมการหาเอนทาลปีของสารทำความเย็น R-22 ที่สภาวะต่าง ๆ ของวัฏจักรได้นำรูปแบบมาจากเอกสารอ้างอิงที่ 2 ซึ่งสมการเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เอนทาลปีของ R-22 ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (I_A)

$$I_A = 443.65468 - 6.08661 \ln P_A + 0.70529 t_A - 0.00036 t_A^2$$

$$\text{โดยที่} \quad 0 \leq t_A \leq 40 \quad ^\circ\text{C}$$

$$350 \leq P_E \leq 550 \quad \text{kPa (abs)}$$

- เอนทาลปีของ R-22 ออกจากคอมเพรสเซอร์ (I_B)

$$I_B = 421.69647 - 3.93376 \ln P_B + 0.67825 t_B + 0.0017 t_B^2$$

$$\text{โดยที่} \quad 80 \leq t_B \leq 120 \quad ^\circ\text{C}$$

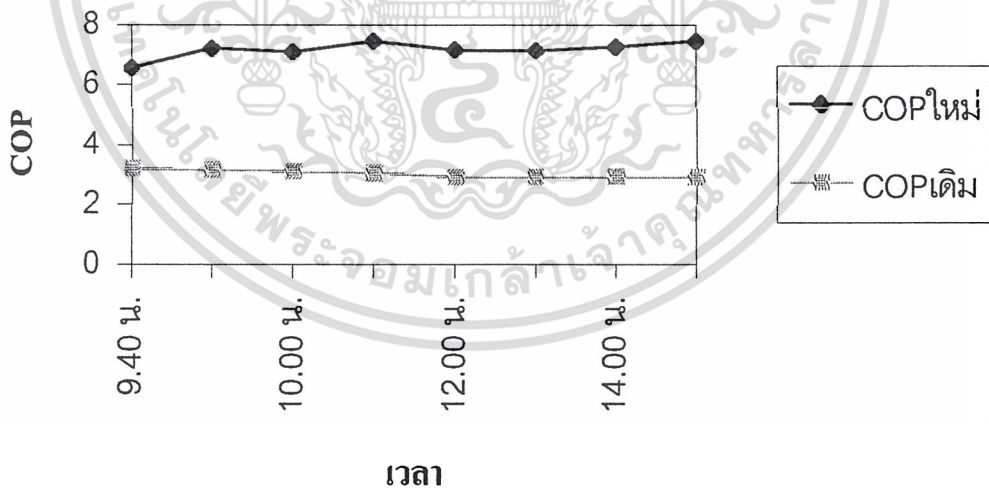
$$1,400 \leq P_B \leq 2,000 \quad \text{kPa (abs)}$$

- เอนทาลปีของ R-22 ออกจากคอนเดนเซอร์ (I_C)

$$I_C = 0.00003 t_C^3 - 0.0002 t_C^2 + 1.2195 t_C + 199.55$$

$$\text{โดยที่} \quad 20 \leq t_C \leq 60 \quad ^\circ\text{C}$$

การทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปกติ จากตารางข้อมูลภาคผนวก ข ในวันที่ 27 ตุลาคม 2541 ผลการวัดค่า COP เป็นดังรูปที่ 4.2



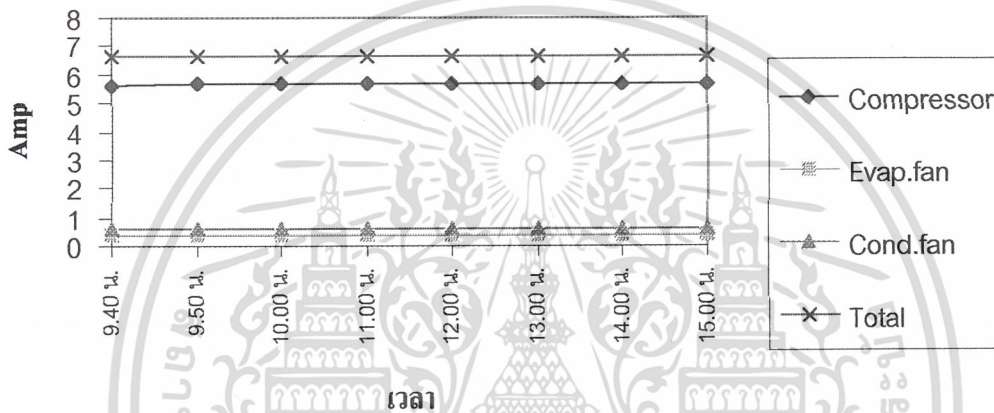
รูปที่ 4.2 ค่า COP เปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบปกติกับแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติ อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า 3 ส่วน คือ คอมเพรสเซอร์, Evaporator fan และ Condensing fan ซึ่งผลการวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบปกติแสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบปกติ



จากกราฟจะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ามากที่สุดคือ คอมเพรสเซอร์ รองลงมาคือ Condensing fan และอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ Evaporator fan

4.3 ผลการวัดสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified

4.3.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

ในการวัดค่า COP ของเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing modified ทำในลักษณะเดียวกับเครื่องปรับอากาศแบบปกติ สำหรับการหาเอนทาลปีของ R-22 ที่สถานะต่างๆ ของวัฏจักรเป็นดังนี้

- เอนทาลปีของ R-22 ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (I_A)

$$I_A = 4.587319 - 8.96808 \ln P_A + 0.58106 t_A - 0.00198 t_A^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยที่ $0 \leq t_A \leq 40$ °C
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารฉบับนี้โดยเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 $450 \leq P_A \leq 650$ kPa (abs)

- เอนทัลปีของ R-22 ออกจากคอมเพรสเซอร์ (I_B)

$$I_B = 6.1715172 - 31.22118 \ln P_B + 0.7413 t_B + 0.00158 t_B^2$$

$$\text{โดยที่} \quad 40 \leq t_B \leq 80 \quad ^\circ\text{C}$$

$$1,500 \leq P_B \leq 2,200 \quad \text{kPa (abs)}$$

- เอนทัลปีของ R-22 ออกจากคอนเดนเซอร์ (I_C)

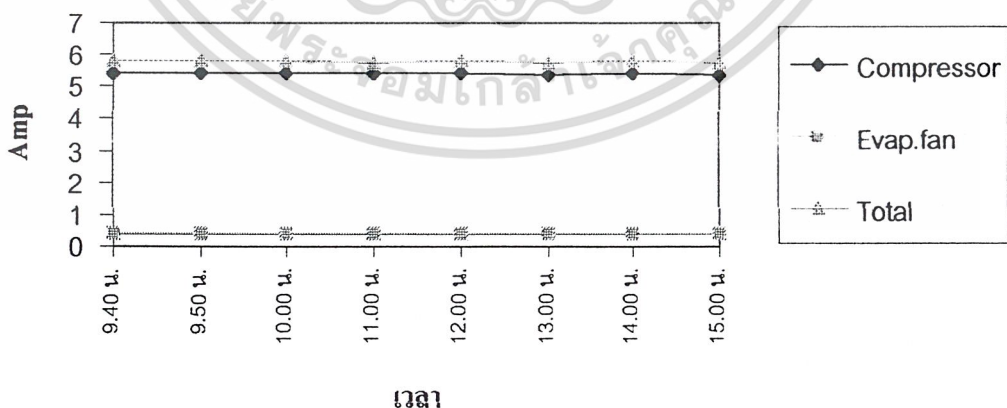
$$I_C = 0.00003 t_c^3 - 0.0002 t_c^2 + 1.2195 t_c + 199.55$$

$$\text{โดยที่} \quad 20 \leq t_c \leq 60 \quad ^\circ\text{C}$$

การทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified ในวันที่ 23 ตุลาคม 2541 ผลการวัดค่า COP เป็นดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าค่า COP ของเครื่องปรับอากาศแบบปกติจะมีค่าประมาณ 3 ซึ่งน้อยกว่า COP ของเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified ซึ่งมีค่าประมาณ 7 แสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่า

4.3.2 การวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า

สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในการทำงานจะลดลงเหลือเพียง 2 อุปกรณ์เท่านั้นคือ คอมเพรสเซอร์ และ Evaporator fan ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยรวมลดลงจากเดิม เป็นดังรูปที่ 4.4

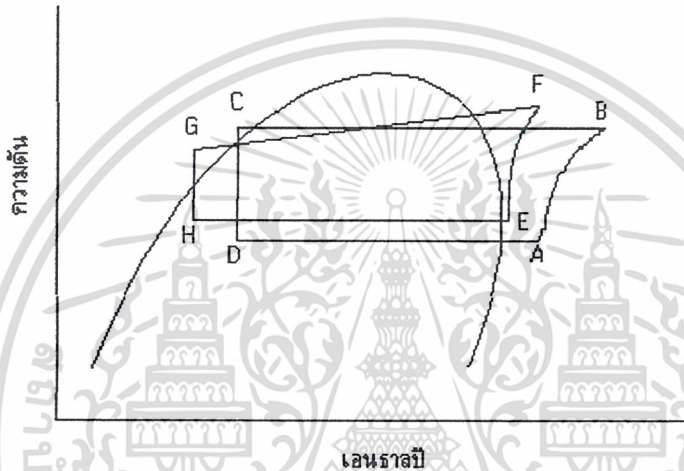


รูปที่ 4.4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ตรวจสอบสถานะการทำงานจากแผนภูมิโมลลีย์

นำผลข้อมูลจากภาคผนวก ข มาแสดงลงในแผนภาพมอลลีย์เพื่อดูสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภูมิโมลลีย์แสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติแบบใหม่

เครื่องปรับอากาศแบบปกติ (จุด ABCD)

จากภาคผนวก ข (ตารางข้อมูลวันที่ 27 ตุลาคม 2541)

| | | | |
|---|------------|----------|-----|
| จุด A เป็นสถานะเข้าคอมเพรสเซอร์ มีค่าดังนี้ | ความดัน = | 521.92 | kPa |
| | อุณหภูมิ = | 21 | °C |
| จุด B เป็นสถานะออกคอมเพรสเซอร์ มีค่าดังนี้ | ความดัน = | 1904.371 | kPa |
| | อุณหภูมิ = | 107.875 | °C |
| จุด C เป็นสถานะออกคอนเดนเซอร์ มีค่าดังนี้ | ความดัน = | 1695.935 | kPa |
| | อุณหภูมิ = | 39.31 | °C |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified (จุด EFGH)

จากภาคผนวก ข (ตารางข้อมูลวันที่ 23 ตุลาคม 2541)

| | | | |
|---|------------|----------|-----|
| จุด E เป็นสถานะเข้าคอมเพรสเซอร์ มีค่าดังนี้ | ความดัน = | 583.9789 | kPa |
| | อุณหภูมิ = | 5 | °C |
| จุด F เป็นสถานะออกคอมเพรสเซอร์ มีค่าดังนี้ | ความดัน = | 1962.979 | kPa |
| | อุณหภูมิ = | 56.987 | °C |
| จุด G เป็นสถานะออกคอนเดนเซอร์ มีค่าดังนี้ | ความดัน = | 1449.3 | kPa |
| | อุณหภูมิ = | 31.0375 | °C |

ซึ่งจากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า คอมเพรสเซอร์ ทำงานลดลง

4.5 ตรวจสอบค่าดัชนีโพลีโทรปิก หรือค่า n

สมการ โพลีโทรปิกเป็นสมการแสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ใช้งาน
ได้จริง โดยค่า n หาจากสมการ

$$W = (p_2 v_2 - p_1 v_1) \left(\frac{n}{n-1} \right) m \quad (4.1)$$

โดยที่ W = งานของ คอมเพรสเซอร์

$$= \Delta I * m \text{ (kW)}$$

m = อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

p_1 = ความดันสารทำความเย็นที่สถานะเข้า คอมเพรสเซอร์ (kPa)

p_2 = ความดันสารทำความเย็นที่สถานะออก คอมเพรสเซอร์ (kPa)

v_1 = ปริมาตรสารทำความเย็นที่สถานะเข้า คอมเพรสเซอร์ (m^3/kg)

v_2 = ปริมาตรสารทำความเย็นที่สถานะออก คอมเพรสเซอร์ (m^3/kg)

เครื่องปรับอากาศแบบปกติ

$$\Delta I = 4.771345 - 420.3498$$

$$= 56.7847 \quad \text{kJ/kg}$$

$$m = 0.0149 \quad \text{kg/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \therefore W &= 56.7847 \cdot 0.0149 \\
 &= 0.846 \quad \text{kW} \\
 p_1 &= 521.92 \\
 p_2 &= 1904.371 \\
 v_1 &= 0.048 \\
 v_2 &= 0.0166 \\
 \therefore n &= 1.13
 \end{aligned}$$

เครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified

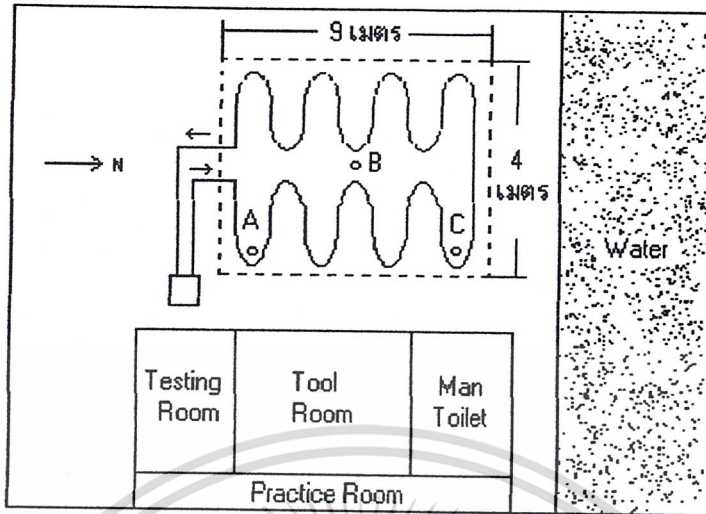
$$\begin{aligned}
 \Delta I &= 427.8033 - 404.5613 \\
 &= 23.242 \quad \text{kJ/kg} \\
 \dot{m} &= 0.0358 \quad \text{kg/s} \\
 \therefore W &= 23.242 \cdot 0.0358 \\
 &= 0.832 \quad \text{kW} \\
 p_1 &= 583.9789 \\
 p_2 &= 1962.979 \\
 v_1 &= 0.04 \\
 v_2 &= 0.0125 \\
 \therefore n &= 1.05
 \end{aligned}$$

เครื่องปรับอากาศแบบปกติมีค่า n มากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified แสดงว่าการทำงานของระบบที่ปรับปรุงใหม่นี้ดีขึ้น

4.6 ผลการวัดอุณหภูมิในบริเวณที่ฝังท่อคอยล์ร้อน

ทำการวัดอุณหภูมิในบริเวณที่ฝังท่อคอยล์ร้อนในพื้นที่ทำการทดลองว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง ซึ่งจุดที่ทำการวัดแสดงดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 จุดที่ได้ทำการวัดอุณหภูมิ

ผลของข้อมูลอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจากตารางจะเห็นว่าอุณหภูมิที่จุด A ซึ่งเป็นจุดที่สารทำความเย็นเพิ่งออกจากคอมเพรสเซอร์มีค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่เมื่อสารทำความเย็นเคลื่อนที่ถึงจุด B และ C อุณหภูมิสารทำความเย็นก็จะเย็นลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิตามมากขึ้น ซึ่งเมื่อดูโดยรวมแล้วจะเห็นว่า ก่อนที่จะเปิดเครื่องปรับอากาศกับขณะที่เปิดให้เครื่องปรับอากาศทำงานแล้วอุณหภูมิมียุทธค่าต่างกันน้อยมากซึ่งก็แสดงว่า ดินบริเวณที่ทำการทดลองสามารถที่จะดูดซับความร้อนที่ระบายจากเครื่องปรับอากาศได้โดยไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าเราสามารถประโยชน์จากดินในการปลูกต้นไม้ได้ประโยชน์ได้เป็นปกติ

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิขณะเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified ไม่ได้ทำงานและทำงาน

| เวลา | อุณหภูมิที่ความลึก 1 เมตร, องศาเซลเซียส | | | | | |
|----------|---|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | ไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ | | | เปิดให้เครื่องปรับอากาศทำงาน | | |
| | จุด A | จุด B | จุด C | จุด A | จุด B | จุด C |
| 9.00 น. | 28.23 | 28.86 | 28.69 | 28.49 | 28.57 | 28.98 |
| 10.00 น. | 28.34 | 28.75 | 28.87 | 29.37 | 28.98 | 29.04 |
| 11.00 น. | 28.65 | 28.68 | 28.92 | 30.37 | 29.11 | 29.11 |
| 12.00 น. | 29.05 | 28.79 | 29.11 | 30.87 | 29.13 | 29.25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อที่งานวิจัยและพัฒนาของศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษาด้านการเกษตร

| เวลา | อุณหภูมิดินที่ความลึก 1 เมตร, องศาเซลเซียส | | | | | |
|----------|--|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | ไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ | | | เปิดให้เครื่องปรับอากาศทำงาน | | |
| | จุด A | จุด B | จุด C | จุด A | จุด B | จุด C |
| 13.00 น. | 29.12 | 29 | 29.06 | 30.89 | 29.27 | 29.34 |
| 14.00 น. | 29.41 | 29.25 | 29.14 | 30.87 | 29.41 | 29.47 |
| 15.00 น. | 29.36 | 29.17 | 29.13 | 30.76 | 29.53 | 29.38 |
| 9.00 น. | 28.35 | 27.98 | 28.36 | 28.52 | 28.15 | 28.41 |
| 10.00 น. | 28.22 | 27.87 | 28.34 | 28.92 | 28.24 | 28.63 |
| 11.00 น. | 28.37 | 27.93 | 28.11 | 29.37 | 28.16 | 28.49 |
| 12.00 น. | 28.18 | 27.88 | 28.23 | 29.54 | 28.01 | 28.26 |
| 13.00 น. | 28.29 | 27.89 | 28.27 | 29.67 | 27.96 | 28.18 |
| 14.00 น. | 28.31 | 27.94 | 28.17 | 29.48 | 28.02 | 28.11 |
| 15.00 น. | 28.21 | 27.86 | 28.21 | 29.31 | 27.92 | 28.25 |

4.7 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กำหนดให้ระบบทำงาน 8 ชั่วโมงต่อ 1 วัน เพราะฉะนั้น 1 ปี ระบบทำงาน 2,920 ชั่วโมง
จากการทำการทดลองจะพบว่า ประหยัดค่าไฟฟ้า 0.9 Amp ต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= 0.9 \times 220 \times 0.8 \\ &= 160 \text{ วัตต์ หรือ } 0.16 \text{ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น 1 ปี ประหยัด $0.16 \times 2,920 = 467.2$ หน่วย

ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.5 บาท เพราะฉะนั้น 1 ปีจะประหยัด $467.2 \times 2.5 = 1,168$ บาท

ใช้เงินในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศทั้งหมด 5,500 บาท

เพราะฉะนั้นมีระยะเวลาคืนทุน $5,500/1,168 = 4.7$ ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยใช้ดินช่วยในการระบายความร้อนทั้งพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำดินไปใช้เป็นแหล่งระบายความร้อนทั้งให้กับเครื่องปรับอากาศโดยดินที่มีความลึกประมาณ 1 เมตร มีค่าอุณหภูมิตลอดปีประมาณ 27 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศซึ่งมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงจะนำมาเป็นแหล่งระบายความร้อนทั้งให้กับเครื่องปรับอากาศ

จากการออกแบบชุดคอยล์ร้อนใหม่ จะต้องใช้ท่อทองแดงยาว ประมาณ 65 เมตร (เครื่องปรับอากาศปกติใช้ 22 เมตร) ทำให้ต้องใช้สารทำความเย็น R-22 ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 5.9 กิโลกรัม (เครื่องปรับอากาศเดิมใช้ 1.1 กิโลกรัม) ชุดคอยล์ร้อนนี้จะถูกนำไปฝังลงดินทำให้ Condensing Unit มีขนาดเล็กลงเนื่องจากไม่ได้ใช้พัดลมระบายความร้อน เหลือเพียงคอมเพรสเซอร์เท่านั้น ทำให้ลดพื้นที่ติดตั้ง Condensing Unit อีกทั้งยังไม่มีเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากพัดลมระบายความร้อน ทำให้ลดค่าบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศและมอเตอร์พัดลม นอกจากนี้พื้นดินบริเวณดังกล่าวยังสามารถที่จะใช้ประโยชน์ได้ปกติ เพราะผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิดินที่เพิ่มขึ้นมีน้อยมาก

เมื่อทำการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ระบบ โดยพิจารณาค่า COP และค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าแล้ว พบว่า เครื่องปรับอากาศแบบเดิมมีค่าเฉลี่ย 3.0 และแบบใหม่มีค่าเฉลี่ย 7.1 ส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบเดิมมีค่าเฉลี่ย 6.68 แอมแปร์ และแบบใหม่มีค่าเฉลี่ย 5.78 แอมแปร์ โดยค่า COP ที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่สูงขึ้น สำหรับปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง เนื่องจากไม่ได้ใช้พัดลมระบายความร้อนที่ Condensing Unit และ การะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากการระบายความร้อนที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ท่อคอยล์ร้อนที่ได้รับการออกแบบใหม่พบว่า มีความยาวมากเกินไป โดยพิจารณาจากค่าความดันลด (Pressure drop) ที่มากขึ้น และ ค่า COP ที่เพิ่มมากขึ้น 136.7 % โดยการใส่ไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ที่ลดลง 5 % ดังนั้น จึงเป็นไปได้ที่จะลดความยาวท่อลงอีก ซึ่งจะทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์จะลดลงได้มากกว่านี้

2. สำหรับการฝังชุดท่อคอยล์ร้อน สามารถเลือกกระทำได้หลายแบบ โดยถ้ามีพื้นที่ขนาดเล็กหรือสามารถทำการขุดได้ง่ายก็สามารถทำการฝังแบบ Vertical Loops ได้ สำหรับโครงการนี้ พื้นที่ที่ทำการฝังท่อคอยล์ร้อนขุดได้ยากเนื่องจากพื้นที่มีหินปนอยู่มาก จึงเลือกทำการฝังแบบ Horizontal Loops

3. อายุการใช้งานของท่อทองแดงที่ฝังอยู่ใต้ดินเป็นเวลานาน เป็นสิ่งที่ควรจะนำมาพิจารณาด้วย

4. สำหรับสภาพพื้นที่ที่ค่อนข้างแห้ง จะทำให้ค่าความนำความร้อนของดินต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้ต้องใช้ท่อทองแดงมากขึ้น ปริมาณสารทำความเย็นมากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้มีโอกาสที่สารทำความเย็นเก็บสะสมอยู่ที่ อีวาปอเรเตอร์ และอาจทำความเสียหายให้กับ คอมเพรสเซอร์ได้ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการติดตั้งถังพัก (Receiver tank) ที่ทางออกของคอนเดนเซอร์

ภาคผนวก ก

Parameters used in program

| | | | |
|------------|---|---|------------------------|
| v | = | wind velocity | m/s |
| h | = | heat transfer coefficient the soil surface | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| α_0 | = | absorptivity of solar radiation at the surface | |
| ϵ | = | long wave emissivity of the surface | |
| Λ | = | difference between the long wave radiation and the radiation emitted by a black body at atmospheric air temperature | W/m^2 |
| I | = | intensity of solar radiation | W/m^2 |
| T_m | = | ambient temperature | $^\circ C$ |
| R_1 | = | constant in the expansion of saturated water vapour pressure | $N/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| R_2 | = | constant in the expansion of saturated water vapour pressure | N/m^2 |
| H | = | effective heat transfer coefficient | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| γ | = | relative humidity | % |
| TA | = | soil – air temperature | $^\circ C$ |
| k | = | thermal conductivity of soil | $W/m \cdot ^\circ C$ |
| ρ | = | density of soil | kg/m^3 |
| c | = | specific heat of soil | $kJ/kg \cdot ^\circ C$ |
| x | = | soil depth | m |
| t | = | time | hr |
| T_s | = | soil temperature at various depth | $^\circ C$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{sind}(x) := \sin(x \cdot \text{deg})$$

$$\text{cosd}(x) := \cos(x \cdot \text{deg})$$

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |
| 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 |
| 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| 75 | 150 | 225 | 300 | 15 | 90 |
| 90 | 180 | 270 | 360 | 90 | 180 |
| 105 | 210 | 315 | 60 | 165 | 270 |
| 120 | 240 | 360 | 120 | 240 | 360 |
| 135 | 270 | 45 | 180 | 315 | 90 |
| 150 | 300 | 90 | 240 | 30 | 180 |
| 165 | 330 | 135 | 300 | 105 | 270 |
| $\theta_1 :=$ 180 | $\theta_2 :=$ 360 | $\theta_3 :=$ 180 | $\theta_4 :=$ 360 | $\theta_5 :=$ 180 | $\theta_6 :=$ 360 |
| 195 | 30 | 225 | 60 | 255 | 90 |
| 210 | 60 | 270 | 120 | 330 | 180 |
| 225 | 90 | 315 | 180 | 45 | 270 |
| 240 | 120 | 360 | 240 | 120 | 360 |
| 255 | 150 | 45 | 300 | 195 | 90 |
| 270 | 180 | 90 | 360 | 270 | 180 |
| 285 | 210 | 135 | 60 | 345 | 270 |
| 300 | 240 | 180 | 120 | 60 | 360 |
| 315 | 270 | 225 | 180 | 135 | 90 |
| 330 | 300 | 270 | 240 | 210 | 180 |
| 345 | 330 | 315 | 300 | 285 | 270 |
| 360 | 360 | 360 | 360 | 360 | 360 |

$$\mathbf{R}_1 := 249$$

$$\alpha_0 := 0.6$$

$$\mathbf{R}_2 := -3013$$

$$\epsilon := 1$$

$$\mathbf{h} := 5.67 + (3.86 \cdot \mathbf{v})$$

$$\Lambda := 63$$

$$\mathbf{H} := \mathbf{h} \cdot (1 + 0.013 \cdot \mathbf{R}_1)$$

$$\mathbf{b} := 1..24$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{TA}_b := \left[\frac{[\mathbf{h} + (0.013 \cdot \mathbf{R}_1) \cdot \gamma \cdot \mathbf{h}] \cdot \mathbf{Tm}_b + \frac{\alpha_0 \cdot \mathbf{I}_b}{\mathbf{H}}}{\mathbf{H}} \right] - \left[\frac{(0.013 \cdot \mathbf{R}_2) \cdot \mathbf{h} \cdot (1 - \gamma)}{\mathbf{H}} \right] - \frac{\Lambda \cdot \varepsilon}{\mathbf{H}}$$

$$\mathbf{M}_1 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{1i})}{12}$$

$$\mathbf{N}_1 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{sind}(\theta_{1i})}{12}$$

$$\mathbf{M}_2 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{2i})}{12}$$

$$\mathbf{N}_2 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{sind}(\theta_{2i})}{12}$$

$$\mathbf{M}_3 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{3i})}{12}$$

$$\mathbf{N}_3 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{sind}(\theta_{3i})}{12}$$

$$\mathbf{M}_4 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{4i})}{12}$$

$$\mathbf{N}_4 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{sind}(\theta_{4i})}{12}$$

$$\mathbf{M}_5 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{5i})}{12}$$

$$\mathbf{N}_5 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{sind}(\theta_{5i})}{12}$$

$$\mathbf{M}_6 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{cosd}(\theta_{6i})}{12}$$

$$\mathbf{N}_6 := \sum_{i=1}^{24} \frac{(\mathbf{TA}_i) \cdot \text{sind}(\theta_{6i})}{12}$$

$$\mathbf{a}_1 := \sqrt{(\mathbf{M}_1)^2 + (\mathbf{N}_1)^2} \quad \mathbf{a}_2 := \sqrt{(\mathbf{M}_2)^2 + (\mathbf{N}_2)^2} \quad \mathbf{a}_3 := \sqrt{(\mathbf{M}_3)^2 + (\mathbf{N}_3)^2}$$

$$\mathbf{a}_4 := \sqrt{(\mathbf{M}_4)^2 + (\mathbf{N}_4)^2} \quad \mathbf{a}_5 := \sqrt{(\mathbf{M}_5)^2 + (\mathbf{N}_5)^2} \quad \mathbf{a}_6 := \sqrt{(\mathbf{M}_6)^2 + (\mathbf{N}_6)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{24}$$

$$\mu := \frac{\left(\frac{\mathbf{k} \cdot \omega \cdot \rho \cdot \mathbf{c}}{2} \right)^{0.5}}{\mathbf{h}}$$

$$\alpha := \left(\frac{\omega \cdot \rho \cdot \mathbf{c}}{2 \cdot \mathbf{k}} \right)^{0.5}$$

$$\mathbf{m} := 1..6$$

$$\beta_{\mathbf{m}} := \text{atan} \left[\frac{\mathbf{m}^{0.5} \cdot \mu}{(1 + \mathbf{m}^{0.5} \cdot \mu)} \right]$$

$$\mathbf{B}_{\mathbf{m}} := \mathbf{a}_{\mathbf{m}} \cdot \left[(1 + \mathbf{m}^{0.5} \cdot \mu)^2 + \mathbf{m} \cdot \mu^2 \right]^{-0.5}$$

$$\sigma_{\mathbf{m}} := \text{atan} \left(\frac{\mathbf{N}_{\mathbf{m}}}{\mathbf{M}_{\mathbf{m}}} \right)$$

$$\mathbf{a0} := \frac{\sum_{\mathbf{i}=1}^{24} \mathbf{TA}_{\mathbf{i}}}{24}$$

$$\mathbf{t} := 1..24$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คำนวณไว้สำหรับใช้ในการ (บนที่ 6 หรือ 7) และค่าที่ไปบน (6 หรือ 7) ที่ไปใช้ประโยชน์ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง $\mathbf{m} = 1$ ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปกติ (วันที่ 27 ตุลาคม 2541)

| Time | Room temp. (°C) | Position of temperature (°C) and pressure (psi) measurement | | | | | | Electrical consumption , Amp. | | | |
|------|--------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------|----------|----------|-------|
| | | T in comp. | P in comp. | T out comp. | P out comp. | T out cond. | P out cond. | Comp. | Evap.fan | Cond.fan | total |
| 9.00 | 30.5 | 35.1 | 151 | 35.3 | 154 | 33.4 | 148 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9.05 | 29.3 | 20.9 | 50 | 42.4 | 210 | 35.1 | 188 | 5.18 | 0.39 | 0.61 | 6.18 |
| 9.10 | 28.5 | 27.1 | 52 | 60.9 | 220 | 36.3 | 197 | 5.30 | 0.39 | 0.62 | 6.31 |
| 9.15 | 26.9 | 25.1 | 58 | 81.5 | 240 | 36.6 | 215 | 5.32 | 0.39 | 0.62 | 6.33 |
| 9.20 | 25.7 | 23 | 58 | 95.3 | 258 | 36.7 | 232 | 5.49 | 0.39 | 0.62 | 6.50 |
| 9.25 | 25.6 | 21.9 | 60 | 99.1 | 258 | 37.8 | 234 | 5.45 | 0.38 | 0.62 | 6.45 |
| 9.30 | 25.4 | 21.3 | 60 | 101.2 | 260 | 37.5 | 233 | 5.52 | 0.38 | 0.62 | 6.52 |
| 9.40 | 25.2 | 21.4 | 62 | 104.6 | 260 | 37.6 | 229 | 5.62 | 0.39 | 0.62 | 6.63 |
| 9.50 | 25.3 | 21.1 | 60 | 105.3 | 261 | 38.1 | 232 | 5.67 | 0.39 | 0.62 | 6.68 |

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบปกติ (วันที่ 27 ตุลาคม 2541) (ต่อ)

| Time | Room temp. ($^{\circ}\text{C}$) | Position of temperature ($^{\circ}\text{C}$) and pressure (psi) measurement | | | | | | Electrical consumption , Amp. | | | |
|-------|--------------------------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------|----------|----------|-------|
| | | T in comp. | P in comp. | T out comp. | P out comp. | T out cond. | P out cond. | Comp. | Evap.fan | Cond.fan | total |
| 10.00 | 25.2 | 21.6 | 60 | 106.1 | 262 | 39.2 | 228 | 5.67 | 0.39 | 0.62 | 6.68 |
| 11.00 | 24.9 | 20.8 | 60 | 106.5 | 262 | 39.5 | 230 | 5.68 | 0.39 | 0.62 | 6.69 |
| 12.00 | 24.5 | 20.9 | 60 | 110.4 | 262 | 39.4 | 231 | 5.68 | 0.39 | 0.61 | 6.68 |
| 13.00 | 24.3 | 21.2 | 62 | 110.2 | 261 | 40.1 | 232 | 5.68 | 0.39 | 0.62 | 6.69 |
| 14.00 | 24.6 | 21.4 | 62 | 109.8 | 262 | 40.3 | 234 | 5.67 | 0.39 | 0.62 | 6.68 |
| 15.00 | 24.2 | 21.1 | 62 | 110.1 | 262 | 40.3 | 233 | 5.66 | 0.39 | 0.62 | 6.67 |

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified (วันที่ 23 ตุลาคม 2541)

| Time | Room temp. ($^{\circ}\text{C}$) | Position of temperature ($^{\circ}\text{C}$) and pressure (psi) measurement | | | | | | Electrical Consumption ,Amp | | |
|-------|--------------------------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|----------|-------|
| | | T in comp. | P in comp. | T out comp. | P out comp. | T out cond. | P out cond. | Comp. | Evap.fan | total |
| 9.00 | 30.6 | 44.3 | 205 | 44.7 | 210 | 35.4 | 202 | 0 | 0 | 0 |
| 9.05 | 27.3 | 26.2 | 80 | 60.7 | 290 | 31.4 | 228 | 4.99 | 0.38 | 5.37 |
| 9.10 | 26.3 | 18.2 | 75 | 81.9 | 280 | 31.1 | 208 | 5.27 | 0.39 | 5.66 |
| 9.15 | 25.9 | 5.8 | 70 | 84.1 | 270 | 31 | 196 | 5.31 | 0.39 | 5.70 |
| 9.20 | 25.3 | 4.9 | 70 | 76.5 | 270 | 30.9 | 200 | 5.34 | 0.39 | 5.73 |
| 9.25 | 25.1 | 4.8 | 70 | 71.2 | 270 | 30.9 | 197 | 5.39 | 0.39 | 5.78 |
| 9.30 | 25.1 | 5.1 | 70 | 68.1 | 270 | 30.9 | 195 | 5.38 | 0.38 | 5.76 |
| 9.40 | 24.7 | 4.8 | 70 | 59.2 | 270 | 31 | 195 | 5.39 | 0.39 | 5.78 |
| 9.50 | 24.5 | 4.9 | 70 | 56.7 | 270 | 31.1 | 195 | 5.41 | 0.39 | 5.80 |
| 10.00 | 24.2 | 5 | 70 | 57.2 | 270 | 31 | 195 | 5.40 | 0.39 | 5.79 |
| 11.00 | 24.2 | 5.2 | 70 | 56.1 | 270 | 31.1 | 192 | 5.39 | 0.38 | 5.77 |

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Condensing Modified (วันที่ 23 ตุลาคม 2541) (ต่อ)

| Time | Room temp. ($^{\circ}\text{C}$) | Position of temperature ($^{\circ}\text{C}$) and pressure (psi) measurement | | | | | | Electrical Consumption ,Amp | | |
|-------|--------------------------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|----------|-------|
| | | T in comp. | P in comp. | T out comp. | P out comp. | T out cond. | P out cond. | Comp. | Evap.fan | total |
| 12.00 | 24.0 | 4.9 | 70 | 56.9 | 270 | 31.1 | 195 | 5.41 | 0.39 | 5.80 |
| 13.00 | 24.0 | 5.1 | 70 | 57.1 | 270 | 31 | 195 | 5.38 | 0.39 | 5.77 |
| 14.00 | 23.8 | 5.2 | 70 | 56.8 | 270 | 31.1 | 198 | 5.39 | 0.39 | 5.78 |
| 15.00 | 24.0 | 4.9 | 70 | 55.9 | 270 | 30.9 | 200 | 5.38 | 0.38 | 5.76 |

ภาคผนวก ค

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือน (Tm , hourly atmospheric temperature °C)

| เวลา | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
|---------|--------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| 01.00น. | 24.5 | 25.9 | 27.7 | 28.63 | 27.9 | 28.17 | 27.83 | 27.73 | 26.55 | 26.9 | 26.7 | 24.7 |
| 02.00น. | 24.17 | 25.5 | 27.5 | 28.4 | 27.8 | 28 | 27.63 | 27.57 | 26.5 | 26.75 | 24 | 24.2 |
| 03.00น. | 23.83 | 25.17 | 27.3 | 28.2 | 27.66 | 27.77 | 27.43 | 27.33 | 26.4 | 26.55 | 26.05 | 23.8 |
| 04.00น. | 23.5 | 24.87 | 27.13 | 28 | 27.46 | 27.57 | 27.27 | 27.17 | 26.25 | 26.3 | 25.85 | 23.4 |
| 05.00น. | 23.3 | 24.63 | 26.97 | 27.8 | 27.26 | 27.37 | 27.13 | 26.97 | 26.2 | 26.15 | 25.5 | 22.95 |
| 06.00น. | 23 | 24.4 | 26.83 | 27.5 | 26.55 | 27.23 | 26.97 | 26.9 | 26.15 | 26.15 | 25.3 | 22.55 |
| 07.00น. | 22.9 | 24.33 | 26.7 | 27.6 | 27.4 | 27.57 | 27.23 | 27.13 | 26.35 | 26.3 | 25.3 | 22.4 |
| 08.00น. | 23.37 | 25.07 | 27.87 | 28.97 | 28.8 | 29.03 | 28.17 | 28.13 | 27.35 | 27.45 | 26.4 | 23.25 |
| 09.00น. | 25.5 | 26.83 | 29.5 | 30.57 | 30.31 | 30.23 | 29.33 | 29.27 | 28.5 | 28.6 | 28 | 25.2 |
| 10.00น. | 27.33 | 28.37 | 30.9 | 31.87 | 31.4 | 31.33 | 30.27 | 30.17 | 29.6 | 29.8 | 29.3 | 26.85 |
| 11.00น. | 28.87 | 29.67 | 31.97 | 32.83 | 32.25 | 32.13 | 31.03 | 31.07 | 30.15 | 30.35 | 30.2 | 28.2 |

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือน (Tm , hourly atmospheric temperature °C) (ต่อ)

| เวลา | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
|---------|--------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| 12.00น. | 30.07 | 30.73 | 32.8 | 33.63 | 32.85 | 32.7 | 31.47 | 31.6 | 30.6 | 30.9 | 30.95 | 29 |
| 13.00น. | 30.7 | 31.5 | 33.33 | 34.1 | 33.36 | 33.07 | 31.83 | 31.87 | 30.35 | 31.05 | 31.35 | 29.8 |
| 14.00น. | 31.13 | 31.87 | 33.67 | 34.27 | 33.51 | 33.07 | 32 | 31.87 | 30.7 | 31.15 | 31.3 | 30.25 |
| 15.00น. | 31.5 | 32.17 | 33.67 | 34.23 | 33.2 | 33.17 | 31.9 | 31.7 | 30.5 | 30.95 | 31.15 | 30.4 |
| 16.00น. | 31.3 | 31.97 | 33.3 | 34.07 | 32.71 | 32.97 | 31.27 | 31.37 | 30.1 | 30.75 | 30.85 | 30.05 |
| 17.00น. | 30.5 | 31.23 | 32.37 | 33.2 | 32.06 | 32.33 | 30.7 | 30.8 | 29.4 | 30.05 | 30 | 29.25 |
| 18.00น. | 29.2 | 29.93 | 30.83 | 31.83 | 31.16 | 31.13 | 29.87 | 29.93 | 28.65 | 29.45 | 29.25 | 28.3 |
| 19.00น. | 27.77 | 28.53 | 29.53 | 30.57 | 30 | 30.1 | 29.03 | 29.23 | 28 | 28.9 | 28.65 | 27.45 |
| 20.00น. | 26.9 | 27.67 | 28.87 | 30 | 29.25 | 29.57 | 28.53 | 28.73 | 27.5 | 28.45 | 28.2 | 26.75 |
| 21.00น. | 26.3 | 27.17 | 28.57 | 30 | 28.8 | 29.23 | 28.37 | 28.53 | 27.15 | 28.15 | 27.8 | 26.25 |
| 22.00น. | 25.83 | 26.9 | 28.33 | 29.2 | 28.5 | 28.93 | 28.27 | 28.17 | 26.95 | 27.85 | 27.5 | 25.85 |
| 23.00น. | 25.43 | 26.6 | 28.17 | 29.1 | 28.25 | 28.63 | 28.03 | 28.13 | 26.8 | 27.65 | 27.25 | 25.35 |

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือน (T_m , hourly atmospheric temperature $^{\circ}\text{C}$) (ต่อ)

| เวลา | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
|---------|--------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| 24.00น. | 25.03 | 26.23 | 27.97 | 28.83 | 28.05 | 28.4 | 28.3 | 27.9 | 26.7 | 27.35 | 27 | 24.95 |



ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือน (I , hourly solar radiation W/m²)

| เวลา | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
|---------|--------|------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| 7.00น. | 4.802 | 3.954 | 11.356 | 35.627 | 59.346 | 56.791 | 42.963 | 33.961 | 33.346 | 29.115 | 36.336 | 31.81 |
| 8.00น. | 86.091 | 90.554 | 131.663 | 187.876 | 221.245 | 209.065 | 174.007 | 157.841 | 157.99 | 160.749 | 167.13 | 162.383 |
| 9.00น. | 546.35 | 263.496 | 313.943 | 375.906 | 392.357 | 387.125 | 342.08 | 241.959 | 321.238 | 348.54 | 329.753 | 338.52 |
| 10.00น. | 421.72 | 431.003 | 479.94 | 566.234 | 552.311 | 562.093 | 493.288 | 499.811 | 479.441 | 493.24 | 475.419 | 493.627 |
| 11.00น. | 578.29 | 593.306 | 645.72 | 705.515 | 684.183 | 683.714 | 605.518 | 626.157 | 603.763 | 567.463 | 568.307 | 599.027 |
| 12.00น. | 673.98 | 717.206 | 771.46 | 844.931 | 768.647 | 777.429 | 673.929 | 675.243 | 605.953 | 614.283 | 601.623 | 657.593 |
| 13.00น. | 718.24 | 766.94 | 836.7 | 885.1 | 801.067 | 757.422 | 688.15 | 682.985 | 581.7 | 559.663 | 578.423 | 631.243 |
| 14.00น. | 675.63 | 760.97 | 820.861 | 855.386 | 754.315 | 717.603 | 642.185 | 635.779 | 543.487 | 474.887 | 484.1 | 568.79 |
| 15.00น. | 581.21 | 669.23 | 715.91 | 748.408 | 612.852 | 619.824 | 568.798 | 533.418 | 471.751 | 401.34 | 389.82 | 448.56 |

ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือน (I , hourly solar radiation W/m²) (ต่อ)

| เวลา | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
|---------|--------|------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| 16.00น. | 418.25 | 504.06 | 547.07 | 575.418 | 461.16 | 476.98 | 413.595 | 399.563 | 339.464 | 288.317 | 260.193 | 296.367 |
| 17.00น. | 230.38 | 313.054 | 335.642 | 357.542 | 281.519 | 319.987 | 254.338 | 243.359 | 173.103 | 150.317 | 109.973 | 139.253 |
| 18.00น. | 59.13 | 100.235 | 113.285 | 107.495 | 111.509 | 141.18 | 112.185 | 89.992 | 50.231 | 33.282 | 23.494 | 24.425 |
| 19.00น. | 8.076 | 5.27 | 6.829 | 11.582 | 15.184 | 30.479 | 21.921 | 11.377 | 19.857 | 52.505 | 0 | 24.58 |

* หมายเหตุ เวลา 20.00 น. - 6.00 น. ค่า I เป็นศูนย์

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน (v , average wind velocity m/s)

| ปี | เดือน | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
| 1995 | 2.35 | 3.36 | 3.66 | 3.41 | 1.96 | 2.06 | 3.31 | 2.88 | 2.6 | 2.27 | 2.93 | 2.26 |
| 1996 | 2.62 | 3.29 | 3.76 | 3.31 | 2.62 | 2.45 | 2.65 | 2.48 | 2.09 | 2.04 | 2.3 | 2.6 |
| 1997 | 2.52 | 3.43 | 3.72 | 2.51 | 2.94 | 2.76 | 2.77 | 2.8 | 1.57 | 1.16 | - | - |
| เฉลี่ย | 2.49 | 3.36 | 3.71 | 3.08 | 2.51 | 2.42 | 2.91 | 2.72 | 2.09 | 1.82 | 2.62 | 2.43 |

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน (average relative humidity %)

| เดือน | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
|-------|--------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| RH% | 69.1 | 68.7 | 72.6 | 71 | 74.2 | 74.7 | 74.8 | 77.3 | 79.7 | 77.3 | 67.8 | 63.4 |

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณ อาจารย์วัชรระ เพิ่มชาติ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อมูลต่าง ๆ มากมาย อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์ ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการเก็บข้อมูล เจ้าหน้าที่กรมอุตุณิมวิทยา ที่ให้ข้อมูลต่างๆ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่กรุณาเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ นายวรวุฒิ อริยสินสุวรรณ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการพิมพ์และจัดแต่ง จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

วันที่ 1 เมษายน 2542

คณะผู้จัดทำ

นาย ชินพรรค์ ชุตินวงศ์สกุล

นาย ทศพล หาญวิวัฒน์กิจ

นางสาว รัชดาภรณ์ แก้วกล้า

นาย สิทธิพงษ์ พจน์พริ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. เจษฎา บุษเชิด และ สุรพันธ์ ธงไชยะ , “ปริญญานิพนธ์เรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากดินขึ้นมาใช้ประโยชน์” , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540 , 77 หน้า
2. เทียบ เอื้อกิจ , “ การศึกษาสมรรถนะของระบบปรับอากาศชนิดที่ใช้สารทำความเย็นผสม R22 / R152a / R124 ” , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2539 , หน้า 45-47
3. ดร.ไพบุลย์ หังสพฤกษ์ และ ดร.เฮอิโซ ไชโต , “ การปรับอากาศ ” , พิมพ์ครั้งที่ 7 , 2540 , บริษัท สำนักพิมพ์ดวงกลม (2520) จำกัด , 351 หน้า
4. J.P. Holman , “ Heat Transfer ” , McGraw – Hill Publishing Company
5. Maritime Geothermal Ltd. , CANADA , www.discribe.ca/nordic
6. The Geothermal Heat Pump , Inc. , USA , www.ghpc.org
7. Fort Polk , Louisiana USA , www.igshpa-okstate.edu/Pubication/Casestudy/fort-polk
8. Baruch Givoni and Leon Katz , “Earth Temperature and Underground Building” ,Energy and Building , 1985 , Vol. 8 , pp. 15 – 25
9. S.S. Bharadwaj and N.K. Bansal , “Temperature Distribution Inside Ground for Various Surface Condition” , Building and Environment , 1981 , Vol. 16 , pp. 183 – 192
10. A.K. Khattry , M.S. Sodha and M.A.S. Malik , “Periodic Variation of ground Temperature with Depth” , Solar Energy , 1978 , Vol. 20 , pp. 425 - 427

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้