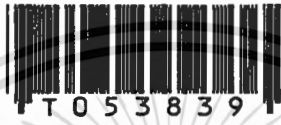


การใช้ระบบ การทำความเย็นด้วยดิน มาช่วยระบบการทำความเย็นโดยใช้การ
ระเหยของน้ำแบบทางอ้อมเพื่อทดแทนการทำความเย็นด้วยเครื่องปรับอากาศ

THE INTEGRATION OF EARTH COOLING-AND INDIRECT EVAPORATIVE
COOLING-SYSTEM FOR THE REPLACEMENT OF CONVENTIONAL AIR
CONDITIONING



ธิตี มนต์วิบูลย์ชัย

THITI MONTRIWIBOONCHAI

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 53839

วัน,เดือน,ปี..... 26 พ.ย. 2547

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ วิทยาเขต เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเข้าถึงฟรีเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก
ฉบับ
b.....
i.....

THE INTEGRATION OF EARTH COOLING-AND INDIRECT EVAPORATIVE
COOLING-SYSTEM FOR THE REPLACEMENT OF CONVENTIONAL AIR
CONDITIONING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN INTERIOR ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTUTITE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้ระบบ การทำความเย็นด้วยดิน มาช่วยระบบการทำความเย็น โดยใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อมเพื่อทดแทนการทำความเย็นด้วยเครื่องปรับอากาศ

นักศึกษา

นาย ธิติ มนต์วิบูลย์ชัย

รหัสประจำตัว

44063321

ปริญญา

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

สาขาสถาปัตยกรรมภายใน

พ.ศ.

2547

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. นพดล สหชัยเสรี

บทคัดย่อ

การสร้างสภาวะความสบายภายในอาคารโดยทั่วไป จะใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติ แต่ในบางอาคาร ที่พักอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งรบกวน เช่น ทางเสียง กลิ่น เป็นต้น จำเป็นต้องใช้ระบบปรับอากาศ แต่ระบบปรับอากาศจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานและการดูแลรักษาสูง จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีระบบทำความเย็นที่ใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ซึ่งมีประสิทธิภาพดี สามารถทำความเย็นได้ใกล้เคียงกับระบบปรับอากาศชนิดสารทำความเย็น (Air Condition) แต่ระบบนี้ใช้กับสภาพอากาศร้อนแห้ง การนำมาใช้กับสภาพอากาศร้อนชื้นของเมืองไทย จำเป็นต้องหาทางลดความชื้นให้กับอากาศก่อนเข้าสู่ระบบนี้ โดยการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระบบการทำความเย็นด้วยดิน สามารถทำให้น้ำในอากาศกลั่นตัวได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบดังกล่าว เพื่อนำมาใช้ปรับอากาศภายในอาคารในที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จึงนำมาสู่วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ

ศึกษาการนำเอาระบบ การทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม เชื่อมกับระบบ การทำความเย็นด้วยดิน เพื่อช่วยลดความชื้นให้กับอากาศก่อนเข้าสู่ระบบ ทำให้ระบบการทำความเย็นดังกล่าว มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ กับ เครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น นอกจากนี้จะนำความรู้ที่ได้ไปหาแนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบ เพื่อสร้างสภาวะความสบายแก่ภายในอาคารต่อไป โดยการศึกษาวิจัยนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกลุ่มทฤษฎี 3 กลุ่มใหญ่ๆคือ กลุ่มทฤษฎี หลักการถ่ายเทความร้อน หลักการทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ และหลักการทำความเย็นด้วยดิน

ในการทดลอง จัดทำหน่วยทดสอบขนาดใกล้เคียงกับห้องที่ใช้งานตามบ้านพักอาศัยทั่วไป 2 หน่วยทดสอบ โดยหน่วยแรก จะต่อระบบทำความเย็นแบบใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อมซึ่งต่อรวมกับระบบการทำความเย็นด้วยดิน ส่วนหน่วยทดสอบที่ 2 ต่อกับระบบทำความเย็นแบบใช้การระเหยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำทางอ้อมธรรมชาติและติดตั้งระบบปรับอากาศแบบใช้สารทำความเย็น เพื่อเปรียบเทียบที่ผลการทดลองโดยการทดลองที่ 1 จะใช้หน่วยทดสอบที่ 1 ในการทดสอบ ส่วนการทดลองที่ 2 และ 3 ใช้ทั้ง 2 หน่วยทดสอบ โดยการทดลองที่ 2 จะเปรียบเทียบระหว่างระบบการทำความเย็นชนิดใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อม ที่ต่อระบบกับระบบการทำความเย็นด้วยดินกับแบบไม่ต่อเชื่อมระบบ ส่วนการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่อกับระบบทำความเย็นด้วยดินกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น

ในขั้นตอนการติดตั้งระบบท่อฝังดินพบปัญหาเรื่องวัสดุในการทำท่อฝังดิน มีความแข็งแรงไม่มากพอที่จะฝังลึกลงใต้ดิน ต้องปรับเป็นฝังท่อนครึ่งล่างกับดิน ส่วนด้านบนท่อนต้องใช้วัสดุกลบฝังเป็นกาบมะพร้าวสับเพื่อให้เกิดการระเหยของน้ำได้มากที่สุด และน้ำหนักไม่มากพอที่ท่อสังกะสีที่ทำ รับน้ำหนักได้ ทำให้การทำจากเดิมเน้นที่ใช้มวลของดินในการทำความเย็นโดยมีการระเหยของน้ำช่วยนั้น จำเป็นต้องเปลี่ยนเป็น ระบบท่อฝังดินที่ใช้การระเหยของน้ำมาช่วยทำความเย็นเป็นหลักแทน

จากการทดลองพบว่าระบบทำความเย็นด้วยการใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อม ยังขาดประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้งาน โดยอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบแตกต่างกับอุณหภูมิของภายในอาคารที่ไม่ได้ติดตั้งระบบปรับอากาศค่าเฉลี่ยเพียงแค่ 1.88 องศา เท่านั้น แต่ระบบการทำความเย็นโดยใช้ท่อฝังดินซึ่งเป็นการทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำทางอ้อม อีกรูปแบบหนึ่งกลับมีค่าการทำความเย็นได้สูงถึง 5 องศา ซึ่งเพียงพอที่จะทำความเย็นได้ ทำให้ต้องปรับปรุงการทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพระบบท่อฝังดิน ผลการทดลอง โดยต่อตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบ พบว่า ระบบที่ได้มีความสามารถในการทำความเย็นที่ดีเพียงพอ แต่การระบายอากาศจากระบบท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบได้ความเร็วลมต่ำ โดยสันนิษฐานว่า มาจากกำลังพัดลม หรือไม่กี่ ความเสียดทานของท่อฝังดินที่มีต่ออากาศเนื่องจากความคดเคี้ยวของท่อ ในการทดลองที่ 3 จึงเปลี่ยนแปลงระบบพัดลมให้มีกำลังมากขึ้น และ ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบปรับอากาศกับระบบท่อฝังดิน โดยให้ระบบปรับอากาศใช้พลังงานเป็น 100 % ที่ระยะเวลาเท่ากับระบบท่อฝังดินที่ใช้พัดลม 198 w. ใช้พลังงานเท่ากับ 67.84% แต่ถ้าใช้พัดลม 48 w. 2 ตัวจะใช้พลังงานเท่ากับ 16% ของพลังงานที่ระบบปรับอากาศใช้ ซึ่งในช่วงอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

จากการทดลองพบว่าการใช้ระบบการทำความเย็นโดยการใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำไม่เหมาะที่จะต่อกับระบบการทำความเย็นด้วยดินเนื่องจากอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดินนั้นจะมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ปริมาตรอากาศลดลง โดยที่มีปริมาณน้ำในอากาศเท่าเดิม ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นเมื่ออากาศออกมาจากท่อฝังดินจึงไม่เหมาะที่จะใช้ระบบที่ทำให้อากาศเย็นช่วยลดความชื้นให้กับอากาศ แต่จากการทดลองพบว่าระบบท่อฝังดินเป็นทางเลือกที่น่าจะเหมาะในการทำความเย็นในอาคารมากกว่าในหลายปัจจัยทั้ง อุณหภูมิที่ต่ำจนสามารถสร้างสภาวะความสบายได้ ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ได้ ต้องการการดูแลรักษาน้อย ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนในการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The integration of Earth Cooling- and Indirect Evaporative-Cooling-system for the replacement of conventional air conditioning
Student	Thiti Montriwiboonchai
Student ID.	44063321
Degree	master of architecture (interior)
Program	interior architecture
Year	2547
Thesis Adviser	Assoc.Prof. Noppadol Sahachaiseri

ABSTRACT

The growing usage of air-conditioners for household thermal comfort has intensified the present energy shortage problem. Such active cooling system requires both high operational- and maintenance-cost. The Indirect Evaporative Cooling system is one of the effective alternatives. It is, however, applicable to a hot arid climate rather than a humid one, where evaporation is usually prevented by the saturation of humidity in the air. The attempt to apply the system to the tropical context is in fact a challenging maneuver.

This research was built upon the assumption that reducing the amount of fluid in the air before supplying it to the system could imitate the arid climate, and thus might accommodate the evaporative cooling system to work more efficiently. The initial attempt of my research was, therefore, to test the effect of integrating the *earth tube system* with the indirect evaporative cooling system. It was assumed that reducing the air humidity by means of condensation prior to the cooling process via indirect evaporation should make the indirect evaporative system applicable in the tropical area. Therefore, the objective of the study was three folds. First, it aimed to investigate the cooling performance between this integrated system and the conventional Indirect Evaporative Cooling system. Second, it attempted to compare the energy consumption of the integrated system with that of the conventional air-conditioning system. Finally, the study endeavored to bring about a design guideline for the application of this passive cooling system to the interior environment of most Thai buildings. The logic and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

methodology of the research based on three lines of theories and principles—heat transfer, indirect evaporative cooling, and earth cooling principles.

Three phases of experiments were conducted utilizing two testing cells—an integrated-system cell and a control cell equipped with a conventional air-conditioner. The first experiment aimed to uncover the optimal air speed for the integrated system. The second experiment intended to compare the performance between the integrated system and the conventional indirect evaporative cooling system. The final experiment aimed to compare the energy consumption between the integrated system and that of the conventional air-conditioner system.

In the first experiment, an earth cooling system was replaced by an indirect evaporative cooling system due to construction problems. The system comprised a 30 cm diameter galvanized metal tube, running 136 meters in length on-grade covered with wet-chopped coirs.

The result of the initial experiment, however, failed to support the assumption portrayed in the first objective. It founded that an optimal air speed could not sufficiently bring down the room temperature—only 1.88 degrees celsius below the average temperature—with a much lower performance comparing to the conventional AC system. The temperature inside the indirect evaporative cooling tube—covered with wet-chopped coirs—was found 5 degrees celsius below the average air temperature, however.

The research thus focused on only the effect of the indirect evaporative cooling without a second indirect evaporative heat exchange unit. The experiment at this stage was modified by bringing the air from the indirect evaporative cooling tubes directly to the chamber with a cm diameter electric fan. The result showed that very little air circulation was mobilized due to the extended length of the tube and the small size of electric fan. A cm fan was thus replaced. The third experiment found that an outlet at fifty centimeters above the floor, the system was able to bring down the air temperature almost as much as did the conventional air-conditioner system, while consuming only 67.84 % of energy that of the AC system.

It can be concluded from the three experiments that the integrated system—an Indirect Evaporative cooling and a passive cooled tubes—was not applicable because
ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the air temperature in the tubes was not cool enough to induce condensation. It tends to increase the level of relative humidity instead. However, with an appropriate air speed, the indirect evaporative cooling tube was able to be used for indoor cooling with less energy consumption, more stable temperature, lower operational cost, and easier maintenance than that of a conventional AC system.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความเมตตาจาก รศ.ดร. นพดล สหชัยเสรี ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และมีส่วนในการสร้างขวัญและกำลังใจ ตลอดเวลา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ฉัตรชัย อินทรโชติ และ อาจารย์กฤษฏา อินทรสถิตย์ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ การรถไฟแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์ ดินสำหรับถมที่ ในการเตรียมสถานที่ ทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์ ยิปซัมแผ่นและวัสดุอื่นๆ ในการสร้างหน่วยทดสอบ

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ตลอดจนเพื่อนๆ ที่สนับสนุน และให้กำลังใจ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และลุล่วงได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ธิดิ มนต์วิบูลย์ชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XI
สารบัญภาพ	XII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
คำนำ.....	1
ความสำคัญ และความเป็นมา.....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
คำถามการวิจัย.....	2
สมมติฐานการวิจัย.....	2
กรอบการวิจัย.....	3
ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	6
กรอบทฤษฎี.....	6
สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
สรุปวิธีการวิจัยที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	21
สรุปตัวแปรและความสัมพันธ์ของตัวแปรในการวิจัย.....	22
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	25
การแปลงนิยามทางด้านมโนทัศน์ สู่นิยามปฏิบัติการ.....	25
การเตรียมการดำเนินการวิจัย.....	31
การทดลองย่อยเพื่อหาวัสดุทดแทนดินในการกลบท่อฝังดิน.....	44
การวิจัยจากคำถามการวิจัยย่อยข้อ 1.....	45
การวิจัยจากคำถามการวิจัยย่อยข้อ 2.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
การทดลองย่อยที่ 2.1.....	53
การทดลองย่อยที่ 2.2.....	59
การทดลองย่อยที่ 2.3.....	61
การทดลองย่อยที่ 2.4.....	63
การทดลองย่อยที่ 2.5.....	66
การเตรียมระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำทางอ้อม.....	69
การทดลองย่อย เพื่อหาพองน้ำที่เหมาะสมกับระบบทำความเย็น.....	79
การเตรียมหน่วยทดสอบ.....	82
การติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Coolingที่รวมกับระบบ Earth Cooling เข้ากับหน่วยทดสอบ.....	87
เครื่องมือชี้วัดตัวแปร.....	93
การเตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิอัตโนมัติก่อนเริ่มการดำเนินงานวิจัย.....	96
วิธีการปรับเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติโดยการใช้สถิติ.....	97
การเตรียมระบบรดน้ำให้กับ Earth Cooling	101
การวิเคราะห์ผลสรุปของข้อมูล.....	103
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	105
การทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1.....	105
การเตรียมการทดลองและการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	105
ผลการทดลองคำถามการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 1 (ความเร็วลมภายในท่อ ฝั่งดินสูงและต่ำ).....	107
การเตรียมการทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 2 (ความเร็วลม สูง).....	108
ผลการวิจัยตามคำถามการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 2(ความเร็วลม สูง).....	109
การวิเคราะห์ผลทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 2 (ความเร็วลม สูง).....	111
ผลการวิจัยจากคำถามการวิจัยที่ 1 ส่วนที่ 2 (ความเร็วลม ต่ำ).....	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

การวิเคราะห์ผลการวิจัยตามคำถามการวิจัยที่ 1 ส่วนที่ 2 (ความเร็วลม ต่ำ).....	116
สรุปผลจากการทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1.....	118
การทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็น ด้วยระบบท่อฝังดิน.....	119
การเตรียมการทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็น ด้วยระบบท่อฝังดิน.....	120
ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็น ด้วยระบบท่อฝังดิน.....	122
การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็น ด้วยระบบท่อฝังดิน.....	124
การเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิ.....	126
สรุปผลการทดลองที่2.....	127
การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานระหว่างระบบทำ ความเย็นแบบEarth Cooling กับระบบปรับอากาศ.....	128
การเตรียมการทดลองที่3.....	129
ผลการทดลอง การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานระหว่างระบบทำ ความเย็นแบบEarth Cooling กับระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น.....	132
การวิเคราะห์ผลการทดลองที่3.....	134
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบด้วยความต่างของอุณหภูมิ.....	135
การวิเคราะห์ค่าสภาวะความสบายเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน.....	137
การเปรียบเทียบค่าการใช้กระแสไฟฟ้า.....	138
การทดลองย่อย การเปรียบเทียบความเร็วลม กำลังความเร็วลม ของพัดลม กับการถ่ายเทอากาศเข้าสู่หน่วยทดสอบ.....	140
สรุปผลการทดลองย่อย.....	142
บทที่ 5 บทสรุปและเสนอแนะ.....	143
การสรุปผลการทดลองตามคำถามการวิจัย.....	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ข้อสรุปของตัวระบบ Indirect Evaporative Cooling.....	143
ข้อสรุปส่วนของระบบท่อฝังดิน.....	144
ข้อคำนึงถึงในการประยุกต์ ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบ.....	147
ตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้.....	152
ข้อเสนอแนะในการทำการวิจัยครั้งต่อไป.....	154
บรรณานุกรม	156
ประวัติผู้เขียน	158



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการแปลงนิยามด้านมโนทัศน์สู่นิยามปฏิบัติการของตัวแปรต่างๆ.....	25
3.2 ตารางเปรียบเทียบวัสดุกับราคาต่อหน่วย และราคารวมของวัสดุทำท่อฝังดิน.....	34
3.3 ตารางเปรียบเทียบราคาของวัสดุ ที่สามารถนำมาใช้ทำระบบ การระเหยทางอ้อมของน้ำ.....	69
3.4 การเปรียบเทียบประเด็นที่จะทดลองในแต่ละหน่วยทดสอบ.....	81
3.5 แสดงสมการของเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ของแต่ละหัวอ่าน.....	97
4.1 แสดงรายการค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบท่อฝังดิน (โดยประมาณ).....	149
4.2 แสดงอัตราการใช้ค่าไฟฟ้าตามอัตราที่พักอาศัยทั่วไป.....	150



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนผังแสดงกรอบการวิจัย	4
2.1 ภาพประกอบ การให้ปริมาณความร้อน.....	7
2.2 ภาพประกอบการส่งผ่านการสัมผัสของโมเลกุล.....	7
2.3 การพาความร้อนโดยการพาซึ่งอาศัยตัวกลางในการพาความร้อน.....	8
2.4 การส่งผ่านความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.5 แสดงการทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำดื่มอุณหภูมิที่หลังคาออกมา.....	12
2.6 Indirect Evaporative Cooler.....	13
2.7 Earth Cooling	14
2.8 ภาพ Indirect Evaporative Cooling system.....	15
2.9 ภาพ indirect Evaporative Cooler ของ Megacool co.,ltd.....	15
2.10 ภาพวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อนของบริษัท mastercool	16
2.11 ภาพแสดงการเจาะช่องเลยจากปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบไป 0.30 เมตร.....	21
3.1 ภาพก่อนและหลังการถมดินในพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต เพื่อยกระดับการวางท่อฝังดิน.....	31
3.2 หลังการไถดินออกจากพื้นที่ทำการศึกษา เพื่อติดตั้งระบบท่อฝังดินก่อนค่อยกลบ.....	32
3.3 การวางแผนการติดตั้งท่อฝังดิน.....	32
3.4 แสดงปัญหาในระหว่างการทดลองเรื่องสภาพดิน กับเครื่องมือที่แก้ปัญหา.....	33
3.5 การเชื่อมต่อแผ่นสังกะสีโดยสังกะสีเชื่อมสังกะสีเข้าด้วยกันโดยใช้รีเวท.....	36
3.6 การวางท่อเป็น 2 ฟากสวนกลางไว้เพื่อให้รถแมคโครสามารถเข้ามากลบท่อได้.....	37
3.7 การทำกระดุกเสริมท่อ เสาคาน ในการแก้ปัญหาด้านการรับน้ำหนักของท่อ.....	39
3.8 การเชื่อมต่อท่อ โดยใช้ผ้าดิบที่ทายาทากันซึม.....	40
3.9 แสดงการทำช่องท่อฝังดินโดยใช้ปี๊ป.....	41
3.10 การเชื่อมต่อท่อสังกะสีลอนกับช่องท่อที่ใช้ปี๊ปทำ.....	41
3.11 ขั้นตอนการทาน้ำยาทากันซึมหลังจากการเชื่อมต่อท่อกับช่อง.....	42
3.12 แสดงการรูปตัวของท่อสังกะสี.....	43
3.13 ภาพเปรียบเทียบระบบท่อฝังดินเดิมกับระบบที่ปรับใหม่.....	44
3.14 การติดตั้งระบบในการวัดอุณหภูมิที่ระดับต่างๆกัน.....	46
3.15 การรดน้ำให้แกลบในการทดลองย่อย.....	46
3.16 แสดงน้ำส่วนที่เหลือไหลไปรวมกันที่พื้น.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.17 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับต่างกันของแกลบ.....	47
3.18 แผนภูมิความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษา.....	49
3.19 การติดตั้งระบบการรดน้ำและวัสดุที่ทำการทดสอบ.....	53
3.20 กราฟผลการทดลองที่ 2.1.1 เป็นผลที่รวมวัสดุทุกชนิดที่ระดับ 10 และ 20 ซม.....	54
3.21 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.1.1 เป็นผลที่ไม่รวมความชื้นสัมพัทธ์.....	54
3.22 การวัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้กระบอกพลาสติกวางในร่มและรองน้ำที่รดวัสดุ.....	55
3.23 การติดตั้งหัวอ่านอุณหภูมิน้ำภายในสายยาง.....	56
3.24 กราฟการทดลองที่ 2.1.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุที่มีการรดน้ำ 5-10 นาที.....	56
3.25 เปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุที่รดน้ำ 5-10 นาทีไม่รวมอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำ.....	57
3.26 พัดลมที่ใช้ในการทดลองและการติดตั้งลงบนพื้นที่ทำการ.....	58
3.27 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.2.....	59
3.28 กราฟผลการทดลองที่ 2.2 โดยตัดส่วนความชื้นสัมพัทธ์ออกเพื่อขยายรายละเอียด.....	59
3.29 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.3 แสดงผลการเปรียบเทียบวัสดุที่ทดสอบกับหิน.....	61
3.30 แสดงผลการทดลองที่ 2.3 เปรียบเทียบวัสดุที่ทดสอบกับหิน โดยไม่รวมความชื้นสัมพัทธ์.....	61
3.31 แสดงผลการทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดสอบที่เตรียมไว้.....	63
3.32 เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างหน่วยทดสอบ กับวัสดุ โดยไม่รวมความชื้นสัมพัทธ์.....	63
3.33 เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างหน่วยทดสอบ กับวัสดุโดยไม่รวม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิน้ำ.....	64
3.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดลอง ความชื้นอากาศ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ.....	63
3.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดลอง อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ ไม่รวมความชื้นอากาศ.....	66
3.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดลอง อุณหภูมิอากาศ ไม่รวมความชื้นอากาศ และอุณหภูมิน้ำ.....	66
3.37 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบใช้ การระเหยทางอ้อมของน้ำ.....	68
3.38 แสดงแบบดำเนินการที่ใช้กำหนดขนาดในการผลิต Indirect Evaporative Cooler.....	71
3.39 แสดงสังกะสีแผ่นเรียบที่นำมาทำตัวระบบIDE ทั้งช่องแห้งและช่องเปียก.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.40 เครื่องมือที่ใช้ในการตัดสังกะสี.....	72
3.41 แสดงการวาดแบบกระดาดขลงบนสังกะสีที่ตัดไว้.....	73
3.42 แสดงเครื่องพับเหล็กแผ่น ชนิดความกว้างไม่เกิน 90ซม.....	73
3.43 แสดงวิธีการพับสังกะสีตามแนวที่วาดไว้.....	74
3.44 การพับครั้งที่สองโดยต้องตัดเศษเพื่อใส่เครื่องพับได้.....	74
3.45 หลังจากพับแผ่นสังกะสีเรียบร้อยแล้ว ทั้ง2แบบ.....	74
3.46 การนำแต่ละคู่มาเชื่อมต่อกันและยาแนว.....	75
3.47 ภาพช่องเบี่ยงหลังจากการเคาะปรับแต่งและยาแนว.....	75
3.48 นำช่องเบี่ยงและช่องแห้งมาเชื่อมกันเป็นคู่ๆด้วย ริเวท.....	75
3.49 ภาพการขึ้นแบบหลังจากการตัดได้ตามขนาด.....	76
3.50 เมื่อยึดจนแข็งแรงดีแล้วก็เชื่อมจนครบตามจุดข้อต่อต่างๆ.....	76
3.51 การเชื่อมต่อโครงสร้างกับถาดสังกะสีและ การเชื่อมเหล็กฉาก เพื่อปิดช่องเบี่ยงและแห้ง.....	77
3.52 การเชื่อมเหล็กฉากต้องวัดจากจุดอ้างอิงเดียวกันเพื่อกันการคลาดเคลื่อน.....	77
3.53 การติดตั้งหน่วยทดสอบ เพื่อหาความหนาแน่นของฟองน้ำที่ เหมาะสมในการทดลอง.....	79
3.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการระเหยของฟองน้ำโดยใช้อุณหภูมิที่ วัดได้จากฟองน้ำแต่ละชนิด.....	80
3.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการระเหยของฟองน้ำแต่ละชนิดโดย เปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกหน่วยทดสอบ.....	80
3.56 แสดงระดับเพดานภายในอาคารปฏิบัติการแสงสว่างที่มีระดับความสูงต่างกัน.....	83
3.57 แพลนอาคารแสดงระดับฝ้าเพดานในแต่ละช่วงเสา	83
3.58 แสดงพื้นที่ที่คาดว่าจะติดตั้งหน่วยทดสอบ ทั้ง 4 พื้นที่ ภายในอาคารที่ได้รับอนุญาต....	84
3.59 แพลนแสดงพื้นที่ติดตั้งหน่วยทดสอบ ทั้ง 2หน่วย.....	85
3.60 แสดงขั้นตอนการติดตั้งผนังหน่วยทดสอบ ในแต่ละขั้นตอน.....	86
3.61 แสดงการติดตั้งพัดลมและแนวการเดินทางท่อระหว่างหน่วยทดสอบ กับระบบทำความเย็น.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.62 แสดงขั้นตอนการติดตั้งระบบทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ กับ ระบบการทำความเย็นด้วยดิน.....	88
3.63 แสดงการติดตั้งท่อฉนวนจากระบบทำความเย็นด้วยการระเหยทางอ้อมของน้ำกับหน่วย ทดสอบ.....	89
3.64 หลังจากเดินท่อและทายากันซีม(ฟิล์มโค้ท) และ การปิดหน้าต่าง ในหน่วยทดสอบที่ 1 ด้วยโฟม 3 นิ้ว	89
3.65 แสดงปัญหาที่พบและการแก้ปัญหา ในการติดตั้งระบบให้ร่มเงาแก่ พื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดิน.....	90
3.66 แสดงการเจาะช่องท่อลมเข้าและ การติดตั้งประตูทางเข้าหน่วยทดสอบ.....	91
3.67 แสดงขั้นตอนการติดตั้งระบบการทำความเย็นโดยใช้การระเหย ทางอ้อมของน้ำ และการเดินท่ออากาศเข้าหน่วยทดสอบที่ 2.....	92
3.68 แสดงการติดตั้งฟองน้ำเข้าสู่ระบบทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ.....	93
3.69 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ.....	94
3.70 เครื่องวัดความเร็วลมหรือ ฮอทไวร์แอนนิโมมิเตอร์.....	95
3.71 แสดงการติดตั้ง เครื่องบันทึกอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในการทดสอบค่า ความเที่ยงตรง เพื่อหาสมการของแต่ละเครื่อง.....	96
3.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ.....	98
3.73 กราฟหลังการปรับเปลี่ยนข้อมูลจากเครื่องมือวัด (Data logger).....	99
3.74 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละหัวอ่านที่บันทึกได้ก่อนการปรับเปลี่ยนค่า.....	99
3.75 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์หลังการปรับเปลี่ยนด้วยสมการที่ได้ จากการหาค่า Regression.....	100
3.76 แสดงปัญหาและการแก้ไขเรื่องแรงดันน้ำที่ให้กับระบบท่อฝังดิน	102
4.1 แสดงตำแหน่งและการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในการทดลองที่ 1.....	106
4.2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมจากหัววัดอุณหภูมิทั้งหมด เมื่อความเร็วลม 0.90 เมตร/วินาที.....	107
4.3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมจากหัววัดอุณหภูมิทั้งหมด เมื่อความเร็วลม 1.96 เมตร/วินาที(สูง).....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 ผลการทดลองในช่วง 2 วันแรก จะเปิดน้ำ 2 ชั่วโมง/ครั้ง	
ส่วน 4 วันที่เหลือ เปิดทุกชั่วโมง.....	109
4.5 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม พบว่ากลางคืนพื้นที่ติดตั้งEarth Cooling	
นั้นมีความชื้นสูง.....	110
4.6 แสดงหน้าตัดแสดงความเร็วลมภายในท่ออากาศจาก	
Indirect Evaporative Coolingเข้าสู่หน่วยทดสอบ.....	112
4.7 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร	
ภายนอกอาคาร กับ Earth Cooling.....	113
4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิจะพบว่าอุณหภูมิของลมที่มาจาก Earth cooling.....	115
4.9 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม.....	115
4.10 กราฟแสดงค่าความต่างของอุณหภูมิในหน่วยทดสอบกับภายในอาคาร และ	
ภายนอก.....	117
4.11 แสดงการเปลี่ยนระบบท่ออากาศโดยนำระบบการทำความเย็น	
ด้วยการระเหยทางอ้อมของน้ำออก และต่อระบบท่อตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบ.....	121
4.12 แสดงการติดตั้งและตำแหน่งของเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ	
ในการทดลองที่ 2.....	122
4.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมเมื่อเดินระบบ Earth Cooling	
ตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบ.....	123
4.14 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม พบว่าค่าความชื้นภายในระบบ	
ท่อฝังดินมีค่าผิดปกติ.....	123
4.15 กราฟแสดงค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิภายในอาคาร ในหน่วยทดสอบ	
นอกอาคาร และภายในท่อฝัง.....	126
4.16 แสดงการเตรียมการสำหรับการทดลองที่ 3 โดยการติดมาตรวัดไฟฟ้า	
และเครื่องปรับอากาศ.....	128
4.18 พัดลมที่เปลี่ยนโดยมีกำลังมากขึ้น และการติดตั้งพัดลมภายในท่ออากาศ.....	130
4.19 แสดงตำแหน่งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ	
ในการเตรียมการทดลองที่ 3.....	131

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 เปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องนำอากาศจาก Earth Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบที่1.....	131
4.21 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (Data logger) บริเวณกลางหน่วยทดสอบที่ 1.....	132
4.22 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมของหน่วยทดสอบที่ 1 และ 2.....	133
4.23 กราฟเมื่อเทียบเฉพาะอุณหภูมิตัวแทนของหน่วยทดสอบทั้ง 2.....	133
4.24 กราฟเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม.....	134
4.25 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิมะหว่างหน่วยทดสอบ ภายนอก-ภายในอาคาร และในห้องฝังดิน.....	136
4.26 การเปรียบเทียบค่าสภาวะความสบายที่ได้จากหน่วยทดสอบกับค่ามาตรฐาน.....	137
4.27 กราฟแสดงค่าการใช้พลังงานในช่วง3 ชั่วโมง ของเครื่องปรับอากาศภายใน หน่วยทดสอบที่2.....	139
4.28 แผนภูมิตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองย่อยในการเปรียบเทียบอัตราการ ระบายอากาศเข้าสู่หน่วยทดสอบกับพัดลม.....	141
4.30 แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบความเร็วลมในการติดตั้งพัดลมที่ต่างกัน.....	141
5.1 แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ.....	145
5.2 แนวคิดของการประยุกต์ใช้ระบบในพื้นที่ที่มีคอนข้างจำกัดของบ้านแบบที่ 1 และมีปัญหาเรื่องการระบายลม	152
5.3 แบบบ้านแบบที่ 2 ระบบห้องฝังดินที่มีการระบายอากาศมาช่วยลดความร้อน และมีต้นไม้ให้ร่มเงาแก่บ้าน.....	153
5.4 แบบบ้านแบบที่ 3 บ้านที่มีอยู่แล้วต้องการติดตั้งระบบ บนลานบ้าน.....	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

การสร้างสภาวะความสบายภายในอาคาร ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นหลักซึ่งการใช้สารทำความเย็น (Refrigerant) มีความสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก และยังสามารถแพร่ก๊าซพิษ (CFC.) ออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ โดยปัจจุบันมีการรณรงค์ด้านการประหยัดการใช้พลังงาน แต่เรามีทางเลือกในการลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นโดยวิธีใดบ้างที่พอจะเป็นทางเลือกในการนำมาทดแทนเครื่องปรับอากาศในการสร้างสภาวะความสบายให้กับอาคารโดยที่ใช้พลังงานน้อยกว่า

1.2 ความสำคัญ และความเป็นมา

ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อสร้างสภาวะความสบายมีมากขึ้น ตลอดจนบางพื้นที่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิ และ หรือ ห้องที่มีข้อจำกัดด้านการระบายอากาศ เช่น อาคารที่ถูกอาคารอื่นขวางทิศทางลม หรือ อาคารที่อยู่ใกล้สถานที่ที่เป็นแหล่งมลพิษ เช่น โรงงานกำจัดขยะ การทำความเย็นโดยการใช้การระบายอากาศสามารถใช้ได้ต่อเมื่อสภาพอากาศภายนอกไม่ร้อนหรือชื้นมากเกินไป ส่วนการสร้างสภาวะความสบายโดยการใช้สารทำความเย็น หรือ เครื่องปรับอากาศมีการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายมาก

จากการศึกษาระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) ซึ่งเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานและเป็นระบบที่ใช้ได้ผลมากในพื้นที่ที่มีอากาศร้อน แต่ระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) แบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) จะเหมาะกับสภาพอากาศแบบร้อนชื้นมากกว่า เนื่องจากไม่เพิ่มความชื้นให้กับภายในอาคาร (Givoni.1994) แต่ตัวระบบยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการใช้งานเนื่องจากความชื้นของอากาศ

การรวมระบบกับ ระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) ซึ่งมีการกลั่นตัวของน้ำในอากาศ (Givoni.1994) เป็นแนวทางหนึ่ง ซึ่งคาดว่าน่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นภายในอาคารได้มากขึ้น โดยคาดว่าน่าจะสามารถทดแทนเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็นได้

การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การลดความชื้นของอากาศที่จะเข้าสู่ระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) โดยการใช้ระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็น โดยเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น เพื่อแสดงค่าการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นของระบบนี้ด้านการคำนวณว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดจนเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมมาช่วยสร้างสภาวะความสบายภายในอาคาร

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

จากปัญหาในการวิจัยดังกล่าวทำให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1. เพื่อศึกษาการนำเอาระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) เชื่อมกับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) เพื่อให้ระบบ Indirect Evaporative Cooling มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ กับ เครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น
3. นำความรู้ที่ได้ไปหาแนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบ เพื่อสร้างสภาวะความสบายภายในอาคารต่อไป

โดยการวิจัยนี้เน้นที่กระบวนทัศน์ (Paradigm) ทางด้านการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในแบบยั่งยืน (Sustainability)

1.4 คำถามการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ายังมีประเด็นที่ไม่ได้รับการศึกษาในกรณีที่มีการรวมระบบทั้งสองเข้าด้วยกันดังนี้

1. ความเร็วลมภายในห้องที่เหมาะสมควรเป็นเท่าไร
2. เมื่อรวมระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) กับ ระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) เข้าด้วยกันจะให้ผลด้านประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ที่แตกต่างกันกับแบบที่ไม่รวมกันอย่างไร
3. เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศ (Air Condition) มีค่าการใช้พลังงานที่อุณหภูมิเท่ากันแตกต่างกันอย่างไร

1.5 สมมติฐานการวิจัย

1. จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ต้องการความเร็วลมมากเพื่อช่วยให้การระเหยได้เร็ว ส่วนระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) ต้องการความเร็วลมต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องการเวลาในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ ฉะนั้นคาดว่าความเร็วลมที่เหมาะสมต่อระบบที่รวมกันจะมีความเร็วไม่มาก

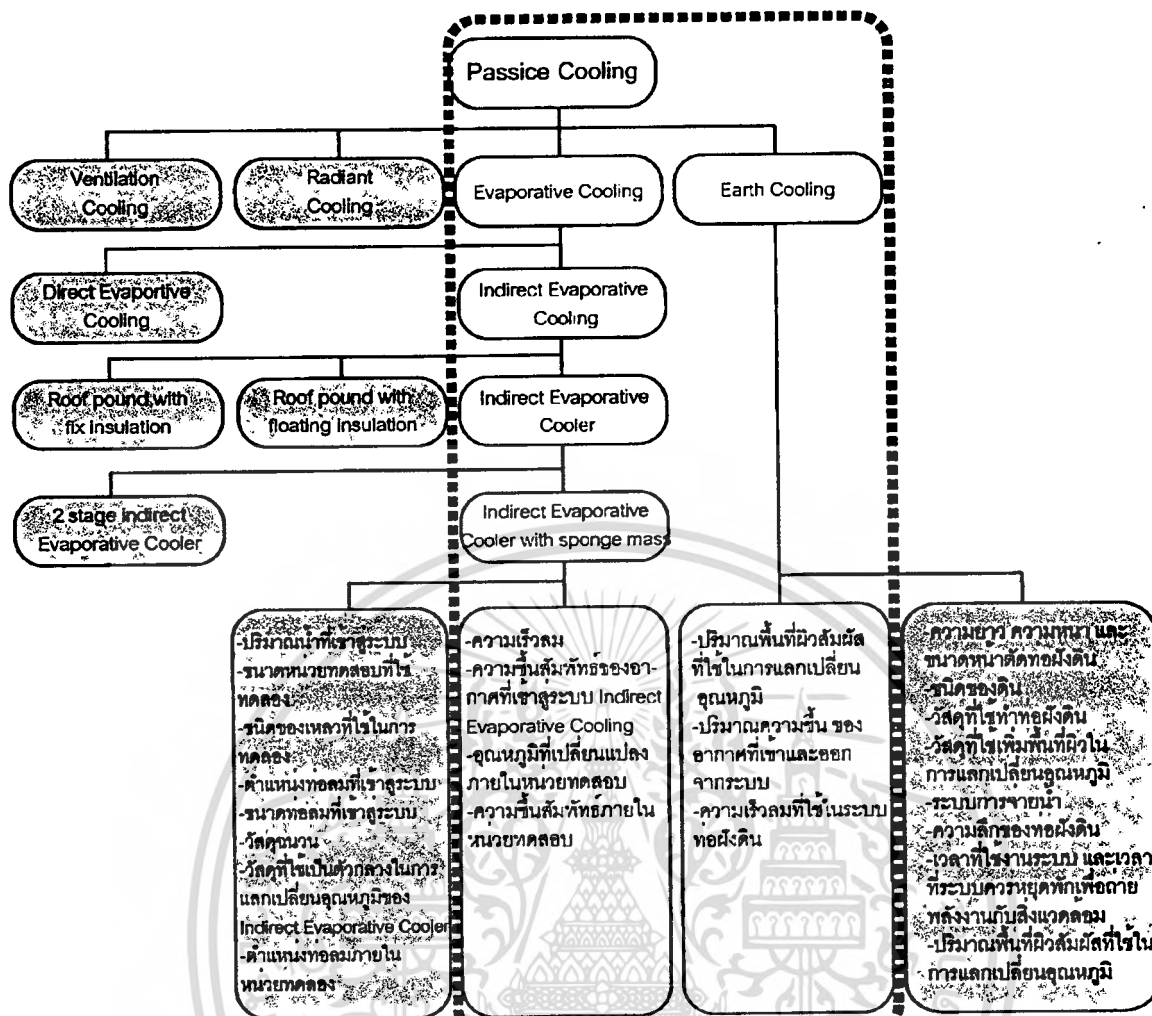
2. การต่อระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) กับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) น่าจะส่งผลต่อระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
3. ระบบที่รวมกันจะมีค่าการใช้พลังงานมากขึ้นแต่ยังน้อยกว่าค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Air Condition)

1.6 กรอบการวิจัย

การวิจัยนี้ อาศัยทฤษฎีการทำความเย็นระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) จากการศึกษา วิจัย และพัฒนาของนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย มาเป็นต้นแบบแนวคิด อันเนื่องจากเป็นระบบที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด และตัวระบบมีความเหมาะสมในการนำมาทดลองอันเนื่องจากมีขั้นตอนในการทำไม่ยุ่งยาก แต่มีบางส่วนที่ต้องปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับเมืองไทย โดยการแยกอากาศที่หมุนเวียนในหน่วยทดสอบ กับอากาศภายนอกออกจากกัน และสะดวกในการทำการวิจัย และการควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่จะส่งผลต่อตัวแปรที่ทำการศึกษา เช่น ลมที่พัดเข้าภายในห้อง เป็นต้น และบางส่วนจำเป็นต้องมีการใช้ไฟฟ้าเข้ามาช่วย เช่น พัดลม โดยจะเน้นการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และศึกษาเน้นที่ประเด็นดังต่อไปนี้คือ

- ความชื้นของอากาศภายนอกที่มีผลต่อระบบในกรณี เวลากลางวัน และกลางคืน และกรณีที่อากาศมีความชื้นมาก
- ความสามารถในการลดความชื้นในอากาศที่เข้ามาในระบบ เมื่อต่อเข้ากับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) และปริมาณน้ำที่ออกมาจากการควบแน่นภายในระบบเพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบ
- การเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทพลังงานด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ ทั้งภายในและภายนอก มาใช้ภายในห้องใต้ดิน เพื่อเทียบประสิทธิภาพที่ส่งผลต่อระบบการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooler) กับการต่อกับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) แบบเดิม

โดยสามารถสรุปเป็น แผนผัง เพื่อให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนี้



ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงกรอบการวิจัย โดยกรอบเส้นประแสดงขอบเขตของการวิจัยที่ศึกษา

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเหมาะสมและปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ในการนำระบบทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ในการสร้างสภาวะความสบายให้กับอาคารในเมืองไทย
2. ทราบความเหมาะสมในการทดแทนเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น
3. เป็นแนวทางแก้ปัญหาของระบบ Passive Cooling ด้วยระบบ Passive Cooling ด้วยกัน

ข้อจำกัดในการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีข้อจำกัดและอุปสรรคในระหว่างการวิจัยด้วยกันหลายประเด็น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เนื่องจากช่วงเวลาที่ได้รับอนุญาตในการทำการวิจัยนั้นมีเพียง 1 ปี โดยต้องทำการสร้างระบบวิจัยในส่วนต่างๆ ประกอบกับการหาเงินทุนอุดหนุนต่างๆ ทำให้การวิจัยไม่สามารถเลือกช่วงฤดูกาลมาเป็นปัจจัยในการวิจัยได้
2. ในการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเป็นวัสดุ แต่ไม่ได้รับเงินทุนอุดหนุนในการทำการวิจัยแต่อย่างใด ทำให้ผู้วิจัยต้องหาเงินมาสนับสนุนการวิจัยด้วยตัวเอง ด้วยการทำงาน ทำให้ระยะเวลาในการทำการวิจัยยาวกว่าที่ควรจะเป็น
3. เมื่อไม่ได้รับการสนับสนุนทางการเงินทำให้ผู้วิจัยต้องทำการติดตั้งระบบทั้งหมดเอง อาทิ เช่น ถมดิน ขุด วางท่อ ผึ่งท่อ ติดตั้งหน่วยทดสอบ เป็นต้น ทำให้การวิจัยมีการคลาดเคลื่อนเรื่องเวลา เนื่องจากผู้วิจัยขาดความชำนาญในการด้านต่างๆทั้งหมดต้องเรียนรู้ใหม่ และลองผิดลองถูก ในระหว่างการจัดทำ และติดตั้งส่วนต่างๆ
4. และจากปัจจัยดังกล่าวทำให้การตัดสินใจเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำการวิจัยจำเป็นต้องเน้นที่วัสดุราคาถูกเป็นหลัก เช่นท่อที่ใช้ฝังดินก็ใช้สังกะสีลอนม้วนเป็นท่อ เพื่อประหยัดงบประมาณในการซื้อ เป็นต้น โดยต่อมาต้องแก้ปัญหาที่ติดตามมาจากการใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม
5. จากเครื่องมือที่ใช้ทำการวิจัยนั้น มีจำนวนจำกัด ประกอบกับต้องใช้ในระยะเวลาที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น ทำให้การศึกษาประเด็นเพิ่มเติมที่พบระหว่างการทดลอง ไม่สามารถทำได้ โดยทำเฉพาะประเด็นที่ได้ตั้งไว้ตามวัตถุประสงค์และที่เกี่ยวข้องมากที่สุดเท่านั้น

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

เนื้อหาประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะพูดถึงกรอบทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง ในส่วนต่อมาจะกล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และผลสรุป ในส่วนท้ายจะเป็นการสรุปตัวแปรที่จะใช้ในงานวิจัย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งเป็นกลุ่มดังนี้

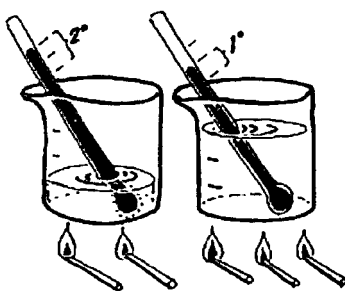
- กลุ่มทฤษฎีด้านการถ่ายเทความร้อน อันได้แก่ หลักการถ่ายเทความร้อน และ อนุวนความร้อน
 - หลักการควบแน่นและการเปลี่ยนสถานะ
 - สภาพโดยรวมของภูมิอากาศในเมืองไทย
 - สภาวะความสบายภายในอาคาร
- หลักการของ Indirect Evaporative Cooling
- หลักการของ หลักการของ Earth Cooling

2.1 กรอบทฤษฎี

2.1.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน มีด้วยกัน 3 แบบคือ การนำ การพาความร้อน และการแผ่รังสี โดยในเบื้องต้นจะทำความเข้าใจเบื้องต้นให้ตรงกันเรื่อง ความร้อน กับ อุณหภูมิ
อุณหภูมิ (Temperature) คือ การวัดค่าการเฉลี่ยพลังงานที่ใช้ในการสั่นในแต่ละโมเลกุลของวัสดุ มีหน่วยเป็น Celsius หรือ Fahrenheit

ความร้อน (Heat) คือ พลังงานของสั่นโมเลกุลในวัสดุ มีหน่วยเป็น BTU หรือ Calorie
ความร้อนยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. **Sensible Heat** คือ การสั่นของโมเลกุลที่มีผลจากพลังงาน สามารถวัดได้ด้วย เทอร์โมมิเตอร์
2. **Latent Heat** คือ พลังงานความร้อนที่ให้หรือดึงออกจากสสาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิยังคงที่อยู่ (สุนทร บุญญาธิการ. 2542 : 220)
3. **Radiant Heat** คือ ความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มากระทบผิววัสดุแล้วเกิดการสั่นของโมเลกุล (Moore.1993)

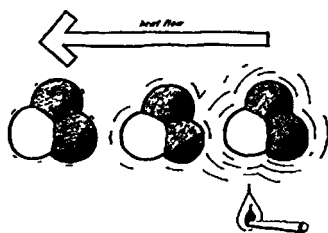


ภาพที่ 2.1 ภาพประกอบ การให้ปริมาณความร้อน กับน้ำที่มีมวลน้อยและมาก ได้ผลของ อุณหภูมิที่ต่างกันโดยที่มวลน้อยได้ความร้อนน้อยกว่า แต่อุณหภูมิเพิ่มมากกว่า อุณหภูมิของน้ำที่มีมวลมากกว่า เนื่องจากมีการรวมความร้อนไว้ให้กับมวลที่น้อยกว่า (Moore.1993 : 8)

2.1.1.1 การนำความร้อน (Conduction) คือการส่งผ่านพลังงานในการสั่นของ โมเลกุลที่ติดกัน โดยปกติจะส่งผ่านจากพื้นที่ที่ร้อน (มีการสั่นมาก) ไปยังส่วนที่เย็น (มีการสั่น น้อย) โดยสามารถเกิดได้ ในทุกๆทิศทางต่างๆกัน ไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วง การนำความร้อนจะ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลในวัสดุ ยิ่งวัสดุที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลมากยิ่งนำความร้อนได้ดี (Moore.1993)

อากาศจะเป็นตัวนำที่ไม่ดีหรือเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ในวัสดุที่มีรูพรุนเช่น Fiber Glass Insulation, Rigid Foam ซึ่งจะบรรจุอากาศ (Air Space) เล็กๆไว้ปริมาณมาก จะเป็นฉนวนความร้อนที่ดี นำมาใช้กับโครงสร้างอาคารเพื่อลดการสูญเสียหรือได้รับความร้อน เพราะการนำจะขึ้นอยู่กับ การส่งผ่านพลังงาน ในการสั่นของโมเลกุลที่ติดกันจะไม่มี การนำความร้อนเกิดขึ้นในที่ๆไม่มี โมเลกุล เช่น สูญญากาศ จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการนำความร้อนได้ดังนี้

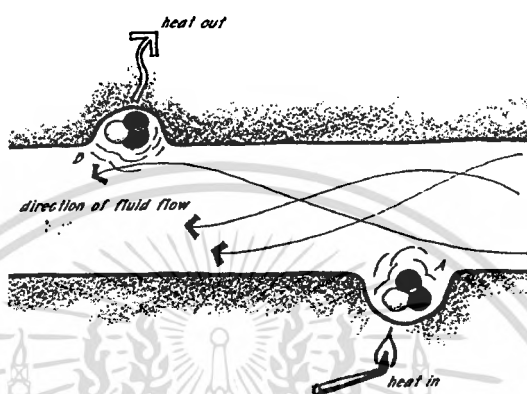
1. ความสามารถในการนำความร้อนของตัววัสดุเอง
2. ความแตกต่างของอุณหภูมิ
3. ความหนาของวัสดุที่ความร้อนผ่าน ความหนา ยิ่งน้อยยิ่งนำได้ดี
4. พื้นที่ที่ส่งผ่านความร้อน ยิ่งมากยิ่งนำความร้อนได้ดี
5. ช่วงเวลาที่ส่งผ่านความร้อน ยิ่งนานยิ่งดี (Moore.1993)



ภาพที่ 2.2 การส่งผ่านการสั่นสะเทือนของโมเลกุลจากส่วนที่มีการสั่นมากไปสู่ที่มีการสั่นน้อย (Moore. 1993 : 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อน้ำเกิดการระเหยจะทำให้เกิดอุณหภูมิความร้อนรู้สึก(Sensible Heat) เกิดจากความร้อนแฝงที่อยู่ในไอน้ำ เพราะก่อนที่จะกลายเป็นไอ จะมีความร้อนชนิดหนึ่งมาช่วยให้กลายเป็นไอเรียกว่า “ความร้อนแฝงของการระเหย” (Latent Heat of Evaporation) การที่เรารู้สึกเย็นที่ผิวหนังเมื่อเวลาเกิดการระเหยออกจากผิวหนังก็เพราะว่าการระเหยช่วยลดอุณหภูมิผิวหนังลง (วิเชียร สุวรรณรัตน์ 2537)



ภาพที่ 2.3 การพาความร้อนโดยการพาซึ่งอาศัยตัวกลางในการพาความร้อนจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง (Moore.1993 :17)

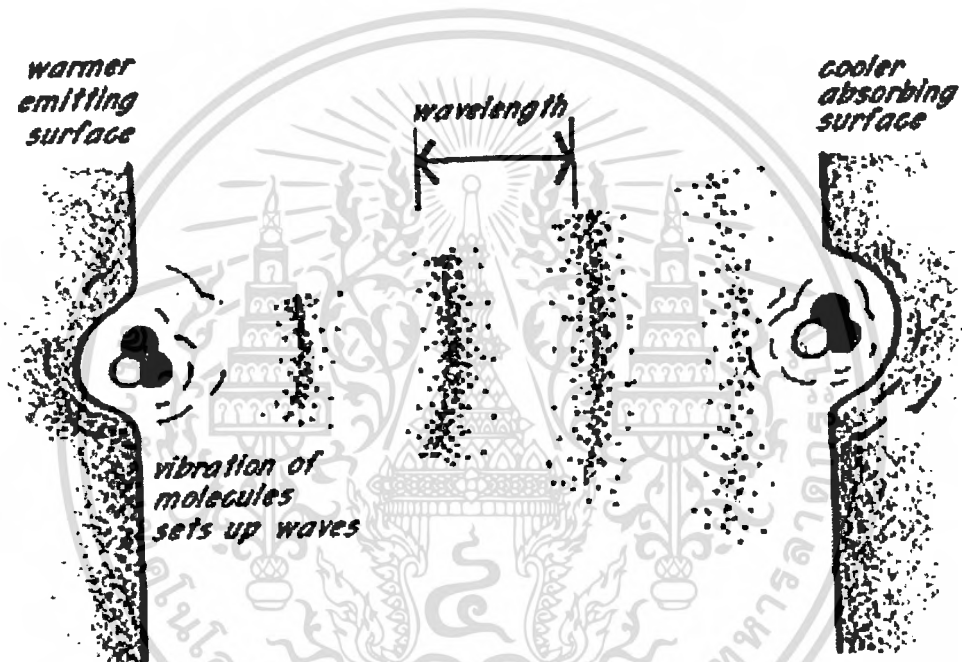
2.1.1.2 การพาความร้อน (Convection) คือการส่งผ่านความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของการไหลของตัวกลาง เช่น น้ำ อากาศ โดยแตกต่างจากการนำ โดยการนำเป็นการส่งผ่านพลังงานต่อกันไปเป็น แบบ Domino effect แต่การพาคือการส่งผ่านพลังงานโดยที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวกลาง เช่นอากาศเมื่อโมเลกุลได้รับความร้อนก็เกิดการลอยตัวขึ้นด้านบนส่วนที่เย็นก็ลงมาแทนที่ด้านล่าง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจึงได้รับผลจากแรงโน้มถ่วงด้วย โดยทิศทางการไหลของความร้อนจะขึ้นด้านบนเสมอ โดยการพาความร้อนอาจเกิดจากแรงภายนอกด้วย (force convection) เช่น พัดลม บัมน้ำ หรือ ลม การพาความร้อนแบบนี้ไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงและการลอยตัว โดยสามารถเกิดได้ในทุกทิศทาง การพาความร้อนมีปัจจัยพื้นฐานดังนี้

1. อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างพื้นที่ร้อนและเย็น
2. อัตราการไหล
3. ความร้อนและความหนาแน่นในตัวกลาง

โดยถ้าไม่มีแรงภายนอกเข้ามาอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ

(Moore.1993)

2.1.1.3 การแผ่รังสี (Radiation) คือการส่งผ่านความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โมเลกุลบนพื้นผิววัสดุจะสั่นเมื่อได้รับการแผ่รังสีจากการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยหลักการคล้ายกับการนำความร้อนคือพลังงานจะส่งผ่านจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่จะแตกต่างกับการนำความร้อนคือไม่ต้องการโมเลกุลตัวกลาง และจะเกิดอย่างสมบูรณ์ในที่มีสภาพสุญญากาศ และการสั่นของโมเลกุลบนพื้นผิวของวัสดุจะสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสามารถจากไปด้วยความเร็วแสง การสั่นของโมเลกุลจะน้อยลงเมื่อพลังงานถูกพาไปโดยการแผ่รังสี คลื่นที่แผ่ออกไปจะไปหยุดลงที่พื้นผิวอื่นและกลายเป็นพลังงานความร้อนต่อไป (Moore.1993)



ภาพที่ 2.4 การส่งผ่านความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะส่งจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ต่ำ (Moore.1993 :13)

โดยในวันที่อากาศดีไม่มีเมฆ รังสีดวงอาทิตย์แผ่มายังโลกมากกว่าที่พื้นดินโดยจะสะท้อนกลับ ประมาณ 20% และดูดซับไว้ ประมาณ 80% โดยรังสีความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก จะมีลักษณะเป็นคลื่นช่วงยาว และช่วงสั้นคลื่นช่วงยาว (Long Wave) จะทำให้เรามองเห็นสิ่งต่างๆ เมื่อส่องผ่านบรรยากาศจะทำให้อากาศรอบๆตัวเราร้อนขึ้นจะหยุดเมื่อกระทบถูกพื้นผิววัตถุใดๆ ส่วนคลื่นช่วงสั้น (Short Wave) ไม่ให้แสงสว่างไม่ทำให้อากาศร้อน แต่ทำให้อุณหภูมิของวัตถุที่มันถูกกระทบร้อนขึ้น รังสีนี้จะถูกดูดซับโดยสีดำ และพืชสีเขียว และจะสะท้อนกับวัตถุวัตถุที่มีผิวมันเรียบ และสีอ่อน รังสีคลื่นนี้สามารถทะลุผ่านกระจกได้ (วิเชียร สุวรรณรัตน์ 2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการควบแน่น การเปลี่ยนสถานะ และความชื้น

2.1.2.1 การควบแน่น(Condensation) คือ เมื่ออากาศที่มีไอน้ำอยู่เย็นลง การสั่นของ molecules ช้าลงและเข้าใกล้กันมากขึ้นในขณะที่เดียวกันก็เกิดการควบแน่นขึ้น การควบแน่นเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสถานะจากไอน้ำ เป็นของเหลว โดยการคายความร้อน จะเกิดต่อเมื่อ อุณหภูมิ (Sensible heat) ลดลงแต่ความชื้นในอากาศคงที่ (Moore.1993) ความสามารถในการระเหยไอน้ำของอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ (วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537) สามารถสรุปปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะของน้ำคือ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์

2.1.2.2 การเปลี่ยนสถานะ(Phase Change) คือการที่วัสดุดูดซับหรือคายความร้อนเป็นปริมาณมาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะ เช่นน้ำสามารถดูดซับความร้อนเป็นปริมาณมากจะกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำในอากาศคือความชื้นอันเกิดจากการระเหยของน้ำแทรกตัวเข้าไปในอากาศ ไอน้ำที่แทรกตัวอากาศ ณ อุณหภูมิต่างๆจะมีปริมาณจำกัด เมื่อรับน้ำได้ปริมาณหนึ่งถึงจุดสูงสุดที่ตามขีดจำกัดจุดนี้อากาศจะมีความกดดันสูงสุด เรียกว่า "อากาศอิ่มตัว" (Saturated) โดยอากาศ 1 ลบ.ม. สามารถรับไอน้ำไว้ได้อย่างมากที่สุด 9.3, 17.5, 30.5 กรัม ที่อากาศมีอุณหภูมิ 10, 20, 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ (วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2531)

2.1.2.3 ความชื้น (Humid) คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศโดย แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เป็นอัตราส่วนความชื้นในอากาศที่มีในขณะนั้น กับปริมาณความชื้นในอากาศอากาศอย่างมากที่สุดที่อากาศจะรับไว้ได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน โดยจะมีค่าสูงสุดในช่วงเช้ามีดจนอาจเกิดจุดอิ่มตัวกลั่นตัวกลายเป็นหมอกขึ้น (วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537)

ความชื้นสมบูรณ์ (Absolute Humidity) คือ ปริมาณความชื้นหรือจำนวนน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะหนึ่ง คิดเป็นกรัมต่อ 1 ลบ.ม. ความชื้นสมบูรณ์จะเป็นปัจจัยแรกที่น่าสนใจมาพิจารณาลักษณะลมฟ้าอากาศ เพราะมีส่วนสำคัญต่อสภาวะของอากาศที่ทำให้ฝนตกได้(วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537)

ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) คือ อัตราส่วนของไอน้ำที่มีอยู่จริงๆในอากาศขณะนั้น เทียบกับน้ำหนักของไอน้ำปนอยู่ในอากาศ โดยน้ำหนักของอากาศขึ้น เท่ากับน้ำหนักของอากาศแห้ง บวกกับน้ำหนักของไอน้ำในอากาศ (วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537)

2.1.3 สภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ระหว่างละติจูด $5^{\circ} 37'$ เหนือ กับ $20^{\circ} 27'$ เหนือ และระหว่างลองจิจูด $97^{\circ} 22'$ ตะวันออก กับ $105^{\circ} 37'$ ตะวันออก มีพื้นที่ทั้งหมด ประมาณ 513,115 ตารางกิโลเมตร ใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี เว้นแต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไป ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงชัดเจนในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยเฉพาะฤดูร้อนจะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำสุดในรอบปี ในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 72-74 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเหลือ 62-69 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงฤดูหนาว ส่วนบริเวณที่อยู่ติดฝั่งทะเลได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงใต้จะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า โดยเฉพาะภาคใต้มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 79-80 เปอร์เซ็นต์

การที่ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาพอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยมีค่าประมาณ 27°C . อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล พื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินบริเวณตั้งแต่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือขึ้นไปจนถึงภาคเหนือจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาวและระหว่างกลางวันกับกลางคืน โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่ายปกติจะสูงถึงเกือบ 40°C . (กรมอุตุนิยมวิทยา. 2545) ภูมิอากาศแบบฝนเมืองร้อน (Tropical Rainy Climates) อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศตลอดปีประมาณ 27°C องศาเซลเซียส สูงสุดเฉลี่ย 32°C องศาเซลเซียส ต่ำสุดเฉลี่ย 22°C องศาเซลเซียส ช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ อากาศเย็นและแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศน้อย ส่วนช่วงเดือน พฤษภาคม-ตุลาคมมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีฝนตกทั่วทุกภาคและมีความชื้นสัมพัทธ์สูง และช่วงกุมภาพันธ์-เมษายน เป็นช่วงฤดูร้อนอากาศโดยทั่วไปร้อนและแห้งแล้ง (วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537)

2.1.4 ภาวะความสบายในประเทศไทย

สภาวะความสบาย, สภาวะน่าสบาย คือ สภาวะที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อน หรือหนาวจนเกินไป โดยมีองค์ประกอบหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกของมนุษย์ 6 ตัวแปร (สุนทร. 2542 : 219) ได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ (Air temperature)
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
3. อุณหภูมิพื้นเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
4. ความเร็วลม (Air Velocity)
5. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Cloth-Value)

จากการทดลองหาผลของอุณหภูมิ (Effective Temperature) พบว่าภาวะที่นำสบาย (Comfort Zone) จากประชาชนที่อาศัยอยู่ในประเทศที่ตั้งอยู่ในบริเวณเขตร้อนสูง อุณหภูมิเฉลี่ยของ “ภาวะที่นำสบาย” ภายในอาคารอยู่ระหว่าง 22.5 – 26 องศาเซลเซียส และจากการวิจัย “การประหยัดพลังงาน” ได้กำหนด เกณฑ์ความสบายในประเทศไทย ว่าอยู่ระหว่าง 22 - 24.5 องศาเซลเซียส ภาวะความสบายนั้นขึ้นอยู่กับความเคยชิน สภาพแวดล้อม และความเป็นอยู่ของแต่ละชาติ (จิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537)

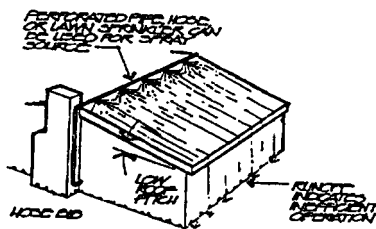
2.1.5 หลักการของ Evaporative Cooling

การเปลี่ยนสถานะของน้ำจะดูดซับพลังงานเพื่อให้เกิดการระเหยเป็นปริมาณมาก โดยการเปลี่ยนสถานะของน้ำ 1 กรัมโดยไม่มีความร้อนจากภายนอกจะต้องการพลังงานหรือความร้อนเกือบๆ 0.6 BTU/lb.F หรือ 0.66 K calorie [ความร้อน 1 บีทียู หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 ปอนด์ ร้อนขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์(สุนทร. 2547 : 221)] ซึ่งน้ำจะดึงความร้อนจากวัตถุที่ติดกันหรือสภาพแวดล้อมโดยรอบเพื่อนำไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ

โดยมี 2 แนวทางในการนำเอากระบวนการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) มาใช้ ในการทำความเย็นหรือสร้างภาวะความสบายให้กับภายในอาคาร

2.1.5.1 แนวทางที่ 1 เป็นการทำให้อากาศเย็นลงโดยผ่านกระบวนการการระเหย โดยการนำเอาไอน้ำเข้ามาแบบทางตรง (Direct Evaporative Cooling)คือการนำลมพัดผ่านน้ำเข้าสู่ตัวอาคาร ทำให้อากาศที่ได้จะเย็น แต่ชื้น การนำเอาอากาศเข้ามาภายในอาคารโดยการใช้พัดลม เช่น พัดลมไอน้ำ และ โดยวิธีจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่นการวางกระถางดินเผาใส่น้ำไว้ที่หน้าต่างปล่อยให้ลมธรรมชาติพัดเข้ามาภายในอาคาร โดยมี 2 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ

1. ต้องใช้ในพื้นที่ๆอากาศมีความชื้นต่ำ หรือแห้ง ที่ต้องการความชื้น เช่น ใน Phoenix, Arizona สหรัฐอเมริกา หรือพื้นที่ที่มีอากาศร้อนแห้ง (dry arid) เพราะเป็นระบบที่ให้ความชื้นเข้ามาภายในอาคารในขณะที่ระบบทำงานอยู่
2. ความเร็วลม เนื่องจากในการทำความเย็นจำเป็นต้องใช้ลมที่มีอัตราการหมุนเวียนสูงซึ่งจะส่งผลต่ออากาศภายในห้อง และความรู้สึกของผู้ใช้

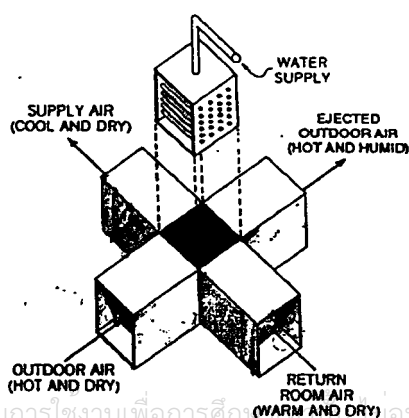


ภาพที่ 2.5 แสดงการทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำดึงอุณหภูมิที่หลังคาออกมา โดยการระเหยของน้ำที่ผิวหลังคา ทำให้หลังคาไปดึงอุณหภูมิอากาศภายในบ้านให้ลดลงอีกที (วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537)

2.1.5.2 แนวทางที่ 2 เป็นการทำความเย็นให้กับส่วนประกอบของอาคาร เช่นการทำการระเหยบนหลังคา แบบนี้เป็นการทำความเย็นแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) เป็นการทำการระเหยของน้ำบนผิววัสดุ โดยจะดึงความร้อนจากวัสดุ และอากาศที่อยู่อีกด้านของวัสดุ จากหลักการนำความร้อน จะเกิดการนำความร้อนผ่านตัวกลางไปสู่ น้ำ ทำให้อากาศที่ได้เย็น และไม่มี ความชื้น

Indirect Evaporative Cooler เป็นการนำเอาหลักการทางด้าน Indirect Evaporative Cooling ข้างต้นมาประยุกต์ใช้โดยย่อมาทำเป็นตู้ที่ขนาดกระทัดรัด เพื่อสะดวกในการใช้งาน หรือติดตั้งเพื่อทำความเย็นให้กับอาคารโดยได้มีการพัฒนาออกมาในรูปแบบทางการค้า และในการวิจัยนี้เน้นที่การศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบนี้ ที่ได้รับการปรับปรุงโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียดังที่ได้กล่าวมาแล้วในที่มาและความสำคัญของปัญหาในบทที่ 1

หลักของระบบคือการทำหน่วยแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะทำการแยกอากาศภายในห้อง กับภายนอกห้องออกจากกัน อากาศภายนอกห้องจะทำหน้าที่ระเหยน้ำที่หน่วยแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งประกอบไปด้วย ท่ออากาศ 2 ชั้นชั้นนอกจะสำหรับอากาศภายนอกและชั้นในเป็นท่อเล็กๆ หลายนๆที่รวมกัน ซึ่งจะมีน้ำรดท่ออยู่ภายนอก ให้อากาศภายในท่อเล็กๆเหล่านั้น เย็นลงและส่งอากาศเหล่านั้นเข้าท่อที่หมุนเวียนภายในห้อง ทำให้อากาศภายในห้องเย็นลงเมื่อเปิดระบบไปซักพักหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.6 ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooler) ที่ใช้ในระบบทางการค้าโดยอาศัยหลักการของระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) มาทำเป็นระบบแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศภายในห้องกับภายนอกโดยที่อากาศภายในและภายนอกไม่ได้แลกเปลี่ยนกันโดยตรง (Norbert. 1991: 202)

2.1.6 หลักการของระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling)

คือการใช้ มวล (Mass) ของดิน ที่อยู่ รอบ ๆ หรือใต้อาคาร หรือบางครั้งก็บนตัวอาคารมาใช้ในการทำความเย็นให้กับอาคาร โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นดินที่มีความลึกมากจะมีความแตกต่างกับของอุณหภูมิที่ผิวดินมาก พบว่าความลึกที่ใช้อยู่ที่ 2-3 เมตร ในช่วงฤดูร้อนก็เพียงพอต่อการทำความเย็นให้กับอาคาร (Givoni. 1994) แต่บางพื้นที่ที่มีภูมิอากาศร้อนอุณหภูมิพื้นจะสูงเกิน มี 2 วิธีที่ทำให้อุณหภูมิพื้นดินเย็นลงคือ

1. การให้ร่มเงาแก่พื้นที่นั้น และ
2. การให้น้ำเพื่อให้เกิดการระเหยบนพื้นผิวดิน

โดยสามารถสรุปเป็น 2 แนวทางคือ

1. คลุมพื้นด้วยพืช กระจูด หรือเศษไม้ ที่ความหนา 10 cm. และรดน้ำเพื่อให้เกิดการระเหย
2. บนพื้นดินที่มีการให้ร่มเงา ให้น้ำโดยรดน้ำหรือน้ำฝน เพื่อให้เกิดการระเหย

การให้ ร่มเงาแก่พื้นดินเพื่อป้องกันความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ ในขณะที่เกิดการระเหย การทำให้พื้นดินเย็นตัวลงยังสามารถทำความเย็นให้กับอาคารโดยการนำ หรือการถ่ายเทอุณหภูมิระหว่างดินกับอาคาร หรือ การประยุกต์เป็นเปลือกอาคาร และโดยการใช้ท่อฝังดินนำเอาอากาศจากภายในตัวอาคารเองหรือจากภายนอกอาคารมาหมุนเวียนในระบบเพื่อถ่ายเทอุณหภูมิ แล้วกลายเป็นอากาศเย็นเข้าสู่อาคาร

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระบบที่อยู่ใกล้ผิวดินจะขึ้นอยู่กับ การปกปิดผิวดินหรือวัสดุที่อยู่เหนือดิน กับการให้น้ำที่ผิวดินหรือความชื้นที่ผิวดิน และสีของผิวดินที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ได้ การเลือกใช้พืชที่ผิวดินเปียกจะมีค่าการนำความร้อนที่ดีกว่าดินที่แห้ง และจากการทดลองของ Baruch Givoni อุณหภูมิภายในห้องจะคงที่ที่ระดับความลึก 1 เมตร โดยมีค่าการแกว่งของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 1 องศาเซลเซียส (+1, -1)

การระเหยของน้ำที่ผิวดินยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความชื้นที่ผิวดิน และยังมีเรื่องความชื้นของอากาศที่อยู่เหนือผิวดินด้วยโดยอัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นโดยความเร็วลม แต่ลมต้องเป็นไป

ในทิศทางเดียวกันเนื่องจากการเพิ่มการพาความร้อน และการคลุมผิวดินด้วยหญ้าหรือพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่หนาแน่น จะลดอัตราการระเหย หรือนำความร้อนออกจากผิวดิน รวมถึงการที่มีใบพืชคลุมที่ผิวดินก็จะลดอัตราการระเหยลงด้วย

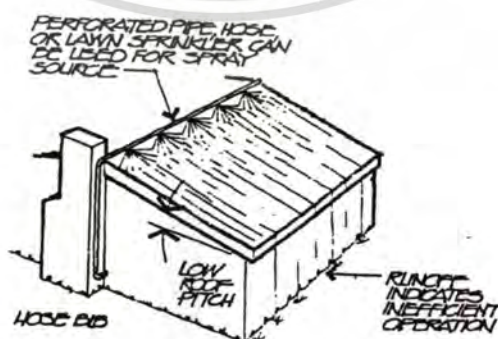


ภาพที่ 2.7 Earth cooling ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับอุณหภูมิที่ลดลง โดยมีการนำเวลาตามลำดับความลึกของท่อ และภาพระบบที่มีการประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัยโดยมีการหมุนเวียนอากาศในท่อในหน้าหนาวให้อากาศจากท่อไปทำความเย็นให้กับมวลหรือดิน และนำกลับมาใช้ในฤดูร้อน

ในกรณีที่สภาพอากาศที่ฝนตลอดเวลา หรือพื้นดินมีน้ำอยู่เกือบตลอด อัตราการระเหยของน้ำบนผิวดินเปล่าๆ จะดีกว่าที่มีหินปกคลุม แต่ก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวดินและอัตราการระบายอากาศหรือความเร็วลมด้วย โดยควรจะเป็นไปภายใต้การให้ร่มเงาแก่ผิวดิน (Givoni; 1994)

2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

2.2.1 งานวิจัยทางการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) (Givoni. 1994, วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537, www.magacool.ru .2002, www.mastercool.com . 2002)

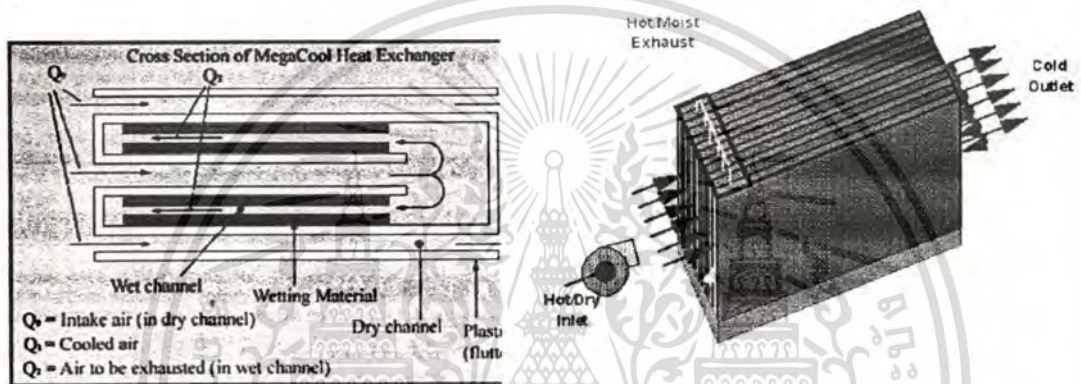


ภาพที่ 2.8 ภาพการทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อม

(indirect Evaporative Cooling system) : วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัย การทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม(indirect Evaporative Cooling) โดยการพ่นละอองน้ำบนหลังคา โดยต่อท่อน้ำที่มีหัว พ่นน้ำ(Spray Nozzles) ที่ปลายท่อ กระจายน้ำบนหลังคา จะช่วยลดอุณหภูมิได้ประมาณ 33% (ประมาณ 50 องศาฟาเรนไฮด์) เมื่อผ่านไป 45 นาที จากการทดลองจะเห็นว่าเป็นระบบที่ใช้หลักการระเหยของน้ำเป็นหลักโดยใช้การพ่นละอองน้ำ มีข้อเสียตรงที่มีการใช้น้ำเป็นปริมาณมาก ใช้เวลานานแต่สามารถลดอุณหภูมิได้มาก เหมาะกับสถานที่ที่ไม่มีปัญหาด้านการขาดแคลนน้ำ และมีปัญหาเรื่องวัสดุหลังคา และฉนวน โดยสามารถนำไปปรับใช้ในส่วนที่มีปัญหาใกล้เคียงกันได้เช่น ผนัง แต่ต้องคำนึงถึงผลข้างเคียงด้านอื่นๆ เช่นการกัดเซาะของน้ำที่ ส่งผลต่อความเสียหายภายหลังของวัสดุ



ภาพที่ 2.9 ภาพตัวระบบทำความเย็นโดยใช้หลักการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (indirect Evaporative Cooler) หรือเรียกอีกอย่างว่า ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange) โดยอาศัยหลักการแยกช่องเปียกและแห้ง โดยภายในช่องเปียกจะมีพองน้ำ ช่วยในการทำความเย็นให้ระบบ ทำให้อากาศจากในช่องแห้งเย็นลง จาก www.magacool.ru. 2002

-การศึกษาตัวระบบการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม indirect Evaporative Cooler โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ได้พัฒนา indirect Evaporative Cooler มาแก้ไขข้อบกพร่องจากของเดิม โดยเปลี่ยนวัสดุภายในเป็นพลาสติกเพื่อลดการสึกกร่อนของโลหะเมื่อถูกน้ำจากของเดิม และใช้พองน้ำติดที่ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อให้เกิดมวล (mass) และใช้พองน้ำในการให้น้ำกับระบบโดยวิธีการซึมผ่าน(osmosis) แทน การให้น้ำกับระบบแบบเดิมที่ใช้ปั๊มน้ำเป็นการลดการใช้พลังงานลง โดยระบบมีความสามารถในการทำความเย็นสูงสุดที่สภาพอากาศที่นั่นถึงจุดกลั่นตัว (Dew point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 ภาพวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อนของบริษัท Master cool ที่ใช้วัสดุเซลลูโลสเพื่อกันการ
สึกกร่อนและการใช้วัสดุที่เป็นลอนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ

- ส่วนการพัฒนา ของ Adobe Inc. ได้พัฒนาพื้นผิวที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น
แบบลอน และวัสดุเปลี่ยนเป็น Cellulose และข้อกำหนดในการติดตั้งระบบ Indirect Evaporative
Cooler ของ ต้องให้มีระยะห่างจากส่วนอื่นๆของอาคารอย่างน้อย 30 เซนติเมตร
(www.mastercool.com . 2002)

2.2.2 งานวิจัยทางการทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) (Givoni. 1994)

- จากงานทดลองของ Baruch Givoni ใน Israel พบว่าสามารถทำความเย็นได้ต่ำกว่า
พื้นผิว 8 - 10 องศาเซลเซียส ในช่วงฤดูร้อน และใน Florida ที่ระดับลึก 1 เมตรมีความแตกต่าง
ระหว่างบนพื้นผิว กับใต้ดินถึง 12 องศาเซลเซียส

- Austi Brown ได้ทำการศึกษาเรื่องระดับท่อที่ฝังดิน กับการให้น้ำช่วยในการลดอุณหภูมิ
โดยคลุมผิวดินด้วยก้อนกรวด (Pabbles) และท่อมีระดับความลึกที่ 10 30 และ 60 เซนติเมตร จะ
มีค่าของอุณหภูมิต่ำใกล้เคียงกัน และค่อนข้างคงที่โดยมีค่าใกล้เคียงกับผิวดิน (ประมาณ 21
องศา) ส่วนท่อฝังดินที่ไม่มีก้อนกรวดปกคลุมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าทุกระดับความลึก(Givoni. 1994)

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การฝังท่อลงดินที่ไม่ลงที่ระดับลึกจำเป็นต้องมีการปก
คลุมผิวดิน และมีน้ำระเหยที่ผิวดินเพื่อช่วยในการทำความเย็นให้กับดิน และการแผ่รังสีคลื่นยาว
ในเวลากลางคืน ช่วยในการทำความเย็นให้ดิน ส่งผลให้ท่อที่อยู่ใกล้ผิวดินสามารถทำความเย็นได้
ใกล้เคียงกับท่อที่ฝังลึกกว่าได้ แต่ในสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยนั้นเป็นเมืองร้อนชื้นที่มีฝนตก
บ่อย และมีเมฆมาก บางเวลาจะเป็นอุปสรรคในการแผ่รังสีคลื่นยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การศึกษาของ Ellis Haysom พบว่าไม่มีความจำเป็นในการฝังท่อลึก การฝังท่อที่ระดับ 0.5- 1.00 เมตรให้ประสิทธิภาพในการเก็บความร้อนอย่างเพียงพอแล้วเพราะว่าความร้อนจะมารวมตัวกันที่ระดับนี้และใช้การระเหยของน้ำช่วย โดยจะแตกต่างกันในด้าน Time lag เท่านั้น (Givoni. 1994)

- Kusuda (1975) ทำการทดลองเกี่ยวกับอุณหภูมิใต้ดินที่อยู่ใต้พื้นผิวที่แตกต่างกัน 5 ชนิดคือ Black Asphaltหนา 12.5 เซนติเมตร, Asphalt (white painted), พื้นดินที่ไม่มีกรปกคลุม, พื้นที่ทำปกคลุมด้วยหญ้าสูง 10 เซนติเมตร, พื้นที่มีหญ้าปกคลุมสูงที่ไม่ได้ตัด พบว่าที่พื้นผิวดินที่มีหญ้าปกคลุม มีอุณหภูมิสูงสุดต่างจากที่ไม่มีหญ้าปกคลุมอยู่ 4 องศา และต่างจากพื้นที่มี Black Asphalt คลุมอยู่ 11.5 องศาเซลเซียส โดยที่พื้นที่เป็นหญ้าปกคลุมจะมีน้ำ และการแผ่รังสีคลื่นยาวช่วยในการทำความเย็นในเวลากลางวัน โดยส่วนชั้นที่ต่ำกว่าระดับผิวดิน ที่ 0.3, 1.2, 3.0 และ 9.0 เมตร พบว่ามีอุณหภูมิลดลงโดยจะใกล้เคียงกันที่ระดับ 9 เมตร (Givoni. 1994)

จากการทดลองนี้พบว่าทำให้ต้นไม้ปกคลุมมีความสามารถในการทำความเย็นให้กับดินมากที่สุดโดยยังเป็นพืชที่คลุมดินที่มีความสูงของต้นพอควรจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยถ้าทำท่อที่ความลึกมาก (9 เมตร) การทำความเย็นที่ผิวนั้นไม่มีผลมากนัก(ต่างกันประมาณ 12 องศา ระหว่าง Black Asphalt กับ พื้นที่ทำปกคลุมด้วยหญ้าสูง)

-การศึกษาของ Princeton Energy Group (PEG) ใน Trenton, N.J. (Givoni. 1994)

โดยการสร้างโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าการให้พลังงาน ของระบบ "Cool Pipe" ในช่วงต้นของฤดูร้อน พบว่าความเย็นที่ได้รับมีค่าเท่ากับพลังงาน 1136 kw/h ในช่วง 3 เดือนของฤดูร้อน โดยใช้ท่อเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 38 เซนติเมตร ยาว 24.4 เมตร และอัตราความเร็วลมอยู่ที่ 680 ลบ.ม. /ชม. จากการศึกษาของ PEG สรุปว่าความสามารถในการนำความร้อนของดินมีผลน้อยมากกับฤดูกาล สิ่งที่มีผลมากที่สุดคือ ความเร็วลม และรองลงมา คือความยาวท่อโดยสรุปเป็นสมการ Regression ไว้ที่ระดับความลึก 1.2 เมตร และสภาพอากาศที่ N.J. ไว้ว่า

$$\text{Expected Cooling (kiwi/h)} = 0.8 \times F + 2.54 \times D + 16.1 \times L + 28.5 \times \text{Cond} + 0.92 \times \text{HC} \quad [1]$$

โดย F = air flow (m^3/h) (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

D = Diameter (cm) (เซนติเมตร)

L = Length (m) (เมตร)

C = Soil Conductivity (w/mC) (วัตต์ต่อเมตร-เซลเซียส)

HC = Soil Heat Capacity (wh/ m^3C) (วัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร-เซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเราสามารถสรุปตัวแปรหลักในการทำความเย็นให้กับระบบการทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) ได้ว่า มี อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านท่อ, รัศมีท่อหรือความกว้างของท่อที่ฝังดิน, ความยาวของท่อ ค่าการนำความร้อนของดิน, และค่าการกักเก็บความร้อนของดิน

-การทดลองของ Scott, Parsons, Muehling (1983)(Givoni. 1994)

ทดลองโดยใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. ยาว 132 เมตร ที่ความลึก 2.40 ม. ใน Ithaca, New York. โดยการเปิดพัดลมต่อเนื่อง และเปิดเป็นพักๆ โดยใช้สมการในการคำนวณค่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน ความร้อนภายในท่อดังนี้

$$E = \frac{(\text{inlet temp.}) - (\text{outlet temp.})}{(\text{Inlet temp.}) - (\text{undisturbed temp.})} \quad [2]$$

โดยค่าที่ได้เกิดจากการเปิดพัดลมอย่างต่อเนื่องพบว่าในการทำความเย็นอยู่ที่ 60-66 % ส่วนการเปิดพัดลมเป็นช่วงๆ พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มเป็น 80 % โดยสรุปว่าดินที่ติดกับท่อสามารถทำความเย็นให้ตัวเองในเวลากลางวันในขณะที่พัดลมไม่ทำงาน จะเห็นว่าเราต้องเปิดการทำงานของระบบเป็นช่วงเวลา เพื่อให้ระบบมีการคายพลังงานความร้อนที่รับเข้าไปในเวลากลางวันเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นดียิ่งขึ้น

-การทดลองของ Francis (1981) ใน Midwest, United States (Givoni. 1994)

ในส่วนแรกฝังท่อลึก 3 เมตร ท่อยาว 120 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. ใช้พัดลมที่มีกำลัง 1 แรงม้า อัตราการไหลของลมภายในท่อ 408 ลบ.ม./ชม. (240 cfm) ความเร็วลมภายในท่อ 3.4 m/s (685 fpm) มีน้ำกลั่นตัวออกจากอากาศ 18.6 กรัมจากอากาศทุก 1 กิโลกรัม พบว่า ประมาณ 80% ของการทำความเย็นของท่อจะอยู่ที่ ช่วง 60 เมตร Francis จึงสรุปว่าน่าจะเป็นท่อที่มีขนาดสั้น แต่มีจำนวนมากขึ้นจะมีประสิทธิภาพมากกว่า และระบบท่อควรมีความยาวมากกว่า 60 ม.

และในส่วนที่ 2 ใช้ท่อที่มีขนาด 15 เซนติเมตร ยาว 17 ม. และลึก 3 ม. ความเร็วลมที่ 119 ลบ.ม/ชม.(70 cfm) ได้น้ำที่กลั่นตัวจากอากาศ 708 กรัมต่อชั่วโมง จะเห็นว่าสามารถกลั่นน้ำในอากาศได้มากจึงน่าจะใช้ท่อที่มีขนาดสั้น มีจำนวนมาก และ ความเร็วลมที่ไม่มากจนเกินไป น่าจะช่วยในการดึงน้ำในอากาศได้ดี

Baruch Givoni ได้สรุปเกี่ยวกับการทดลองของ Francis ไว้ว่ากว่า 70 % ของประสิทธิภาพของระบบในการทำความเย็นจะได้ผลดีที่ความยาวท่อประมาณ 12 เมตร และไม่ควรเกินกว่า 15 เมตรต่อช่วง และอัตราการไหลของอากาศจะขึ้นอยู่กับจำนวนท่อ และขนาดที่เพิ่มขึ้น

-การทดลองของ Akride และ Benton (1981) (Givoni. 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าดินที่อยู่รอบท่อ 30 ซม. โดยรอบจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรู้สึกได้หลังการใช้งานท่อเป็นเวลา 8 ชม./วัน จะเห็นว่าเราควรเปิดระบบที่ 8 ชม./วัน และ การวางท่อ ควรมีระยะห่างระหว่างท่อมากกว่า 60 ซม. เพื่อท่อจะได้มี Mass ในการถ่ายเทอุณหภูมิอย่างเพียงพอ

-การทดลองของ Goetsch, Peterson and Muehling (Givoni. 1994)

ทำการทดลองเป็น 4 ระบบ โดย

ระบบที่ 1 ที่ Mason Country ทำในพื้นที่ดินเป็นดินทราย โดยใช้ท่อ 8 แถว

เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. ยาว 30.5 เมตร กระจายตัวเป็นรัศมีวงกลม โดยศูนย์กลางเป็นที่ระบายน้ำทิ้ง ความลึกเฉลี่ยอยู่ที่ 2.4 เมตร Slope ½% มีบิ๊มในการดูน้ำที่ก้นตัวออกจากระบบ ความเร็วลมภายในท่ออยู่ที่ 1.11 m/s ได้อัตราการทำความเย็นต่อความยาวท่อที่ 19.7 w/m (วัตต์ต่อเมตร) สามารถทำให้น้ำควบแน่นและดูออกจากระบบที่อัตรา 13.2 ลิตรต่อชั่วโมงที่อัตราการไหลเวียนของอากาศที่ 1630 m³/hr โดยเฉลี่ยสามารถรีดความชื้นออกจากอากาศได้ที่ 8 กรัมต่อลบ.ม.

ระบบที่ 2 ที่ Montgomery Country, Illinois ทำในดินโคลนที่มีน้ำ วางท่อเป็นรัศมีวงกลมมายังส่วนระบายน้ำทิ้งตรงกลาง มี 3 แถว เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 ซม. มี 3 ชุดแต่ละเส้นยาว 45.7 เมตร ที่ความลึก 2.4 เมตร ความเร็วลมที่ 1700 m³/hr ความสามารถในการทำความเย็นที่ 10.6 w/m (วัตต์ต่อเมตร)

ระบบที่ 3 ใน Macoupin, Illinois ประกอบด้วยท่อ 22 แถว เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ยาว 55 เมตรวางขนานกันระยะห่าง 1.2 เมตร ที่ความลึก 2.4-2.7 เมตร ในดินโคลน (Silte loam soil) อัตราการระบายลมอยู่ที่ 10,195 m³/hr ความสามารถในการทำความเย็นอยู่ที่ 29.5 w/m โดยสรุปว่าผลที่ออกมาเกิดจากความยาวของท่อ (55 ม.) ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วลมที่ 2.54 m/s และความเป็นสื่อในการนำความร้อนที่ดีของดิน

ระบบที่ 4 ที่ South of Central Sangamon County, Illinois ประกอบด้วยท่อ 5 แถว เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม.วางขนานกันแต่ละอันยาว 79 เมตร ที่ความลึก 3 เมตร ความสามารถในการทำความเย็น อยู่ที่ 38.8 w/m อัตราการระบายอากาศที่ 3480 m³/hr ความเร็วลมที่ 2.67 m / s

จากการทดลองทั้ง 4 ระบบข้างต้นระบบที่ 1 สามารถทำให้น้ำก้นตัวออกมาได้มาก โดยความเร็วลมต่ำกว่าระบบอื่น และเส้นผ่าศูนย์กลางท่อควรอยู่ที่ 25-30 เซนติเมตร

สรุป จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า การกำหนดขนาดท่อ ต้องการการรีดน้ำออกจากอากาศให้มากที่สุดจึงกำหนดขนาดท่อ ที่เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25-30 เซนติเมตร แต่เราควรวางท่อแบบขนาน โดยความยาวของท่อแต่ละอันต้องการท่อที่สั้นที่สุดที่สามารถรีดน้ำออกจากอากาศได้มาก โดยจากการทดลองของ Francis (1981) พบว่าท่อฝังดินที่มีความยาว 120 เมตรก็สามารถรีดน้ำออกจากอากาศได้ดี โดยความเร็วลมภายในท่อที่ใช้ไม่ควรเกิน 3.4 เมตร / วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

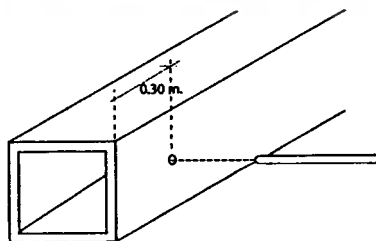
ความลาดเอียงของท่ออยู่ที่ประมาณ 1/2-1% โดยต้องมีดินอยู่รอบท่อรัศมีโดยรอบไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร การต่อท่อต้องต่อเป็นช่วงโดยแต่ละช่วงมีความยาว 12-15 เมตร การเปิด-ปิดระบบเป็นช่วงโดยมีเวลาพักให้กับระบบ 6-8 ชั่วโมงระบบจะมีประสิทธิภาพกว่าเนื่องจากระบบต้องการเวลาในการคายความร้อน

2.3 สรุปวิธีการวิจัยที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา

2.3.1 ด้านการจำลองสภาพการณ์ จากงานวิจัยที่ผ่านการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยทางด้านการศึกษาอุณหภูมิ ทั้งของระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooling) และ ระบบการทำความเย็นโดยอาศัยมวลดิน (Earth Cooling) จะใช้การทำวิจัยโดยการติดตั้งระบบจริง โดยทดสอบกับหน่วยทดสอบ หรือห้องที่มีขนาดใกล้เคียงกับห้องที่ใช้งานจริงโดยที่ใช้เป็นหน่วยทดสอบจะมีขนาดอยู่ที่ 3x3x3 และ 4x4x4 เมตร ทำให้สามารถวัดค่าต่างๆได้จริง

2.3.2 ด้านการชี้วัดตัวแปรด้วยเครื่องมือต่าง ๆ

- 2.3.2.1 อุณหภูมิ และความชื้น – วัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ และนำค่าที่วัดได้มาแสดงผลในคอมพิวเตอร์
- 2.3.2.2 การวัดปริมาณน้ำที่กลั่นตัว- ติดตั้งท่อและปอดักน้ำที่กลั่นตัวออกจากอากาศมาที่ปอดัก วัดปริมาณน้ำและคำนวณหาปริมาณน้ำที่กลั่นตัวได้
- 2.3.2.3 การวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า- ทำการวัดด้วยเครื่องวัด แอมมิเตอร์ แล้วไปคำนวณรวมกับเวลาที่ใช้ไฟฟ้า จะได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบ
- 2.3.2.4 เครื่องวัดความเร็วลม- ใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบก้านแข็ง (ฮอทวายร์แอนนิโมมิเตอร์) ทำการวัดภายในท่อที่เดินระบบท่อโดยเจาะท่อเลยปากปล่องไปแล้ว 30 เซนติเมตรเพื่อป้องกันลมหวอนทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อน



ภาพที่ 2.11 แสดงการเจาะช่องเลยจากปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบไป 0.30 เมตร ในการวัดค่าความเร็วลมด้วย เครื่องวัดความเร็วลมแบบก้านแข็ง(ฮอทวายร์แอนนิโมมิเตอร์) เพื่อป้องกันการ

เอกสารของกรมสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สรุปตัวแปรและความสัมพันธ์ของตัวแปรในการวิจัย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปตัวแปรในการวิจัยได้ดังนี้
จากคำถามการวิจัยข้อที่ 1

Conceptual Variable	Operational Variable	Indicator
ตัวแปรอิสระ		
- ความเร็วลมภายในท่อ	- ความเร็วลมภายในท่อที่ระดับ 1.00 1.50 2.00 2.50 m/s	- เครื่องวัด ความเร็วลม
ตัวแปรตาม		
- ประสิทธิภาพในการทำความเย็น ของ Indirect Evaporative Cooler	- สภาพความสบายภายใน Cell ทดลอง	- อุณหภูมิและ ความชื้น โดยการ วัดด้วยเครื่อง RH/Temp Data logger (HOBO)
<hr/>		
ตัวแปรควบคุม		
- ขนาด Cell ทดลอง	- ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง	
- ตำแหน่งและขนาดท่อลม	- วัสดุฉนวน	
- indirect Evaporative Cooler	- ความยาวของท่อที่ฝังดิน	
- ความลึกของท่อฝังดิน	- ชนิดของดิน	
- วัสดุที่ใช้ทำท่อฝังดิน	- ระยะห่างของท่อที่วางใต้ดิน	
- ช่วงเวลาที่ระบบทำงานและเวลาที่ระบบหยุดพัก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคำถามการวิจัยข้อที่ 2

Conceptual Variable	Operational Variable	Indicator
<u>ตัวแปรอิสระ</u> -ผลด้านการลดความชื้นจาก การรวมระบบ Indirect Evaporative Cooling กับ ระบบ Earth Cooling	-ความชื้นภายในห้องส่งลมเข้า ฝู Indirect Evaporative Cooler -ปริมาณน้ำที่ได้จากการ ควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ภายในห้อง -อุณหภูมิภายใน Cell	-เครื่องวัด อุณหภูมิและ ความชื้นอัตโนมัติ -วัดปริมาณน้ำที่ ได้จากการ ควบแน่น
<u>ตัวแปรตาม</u> - ประสิทธิภาพในการทำความ เย็น ของ Indirect Evaporative Cooler	-สภาวะความสบาย ภายใน Cell ทดลอง -ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ ใช้	-อุณหภูมิ และ ความชื้นภายใน Cell โดยการวัด ด้วยเครื่องเครื่อง RH/Temp Data logger (HOBO) -พลังงานวัดโดย แอมมิเตอร์
.....		
<u>ตัวแปรควบคุม</u> -ความเร็วลม -ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง -วัสดุฉนวน -ความยาวของท่อที่ฝังดิน -ชนิดของดิน -ช่วงเวลาที่ระบบทำงานและเวลาที่ระบบหยุดพักเพื่อระบายความร้อนออก -ระยะห่างของท่อที่วางใต้ดิน	- ขนาด Cell ทดลอง - ตำแหน่งและขนาดท่อลม - indirect Evaporative Cooler - ความลึกของท่อฝังดิน - วัสดุที่ใช้ทำท่อฝังดิน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคำถามการวิจัยข้อที่ 3

Conceptual Variable	Operational Variable	Indicator
ตัวแปรอิสระ		
-ความแตกต่างของการใช้พลังงานระหว่างระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับ ระบบ Earth Coolingเปรียบเทียบกับ เครื่องปรับอากาศ	-ปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับอาคารของระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับ ระบบ Earth Cooling -ปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับอาคารของระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น	-การคำนวณ จาก กระแสไฟฟ้า กับเวลาที่ เครื่องเดิน ระบบอยู่และ มาตรฐานไฟฟ้า
ตัวแปรตาม		
- ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน	-ความแตกต่างของการใช้พลังงานระหว่างระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับ ระบบ Earth Cooling กับระบบปรับอากาศที่ใช้	-การคำนวณ
<hr/>		
ตัวแปรควบคุม		
- ความเร็วลม - ขนาด Cell ทดลอง - ตำแหน่งและขนาดท่อลม - indirect Evaporative Cooler - ความลึกของท่อฝังดิน - วัสดุที่ใช้ทำท่อฝังดิน - ช่วงเวลาที่ระบบทำงานและเวลาที่ระบบหยุดพักเพื่อระบายความร้อนออก	- ความชื้นของอากาศที่เข้ามาในระบบ - ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง - วัสดุฉนวน - ความยาวของท่อที่ฝังดิน - ชนิดของดิน - ระยะห่างของท่อที่วางใต้ดิน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการแปลงนิยามมโนทัศน์สู่นิยามปฏิบัติการ หน่วยทดสอบ สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือวัด และข้อจำกัดในการวิจัย พร้อมทั้งปัญหาและแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติจริงเพื่อเป็นแนวทางต่อผู้ที่ต้องการศึกษาต่อไป

3.1 การแปลงนิยามด้านมโนทัศน์(Conceptual Definition) สู่นิยามปฏิบัติการ (Operational Definition)

จากการสรุปตัวแปรในการวิจัยในตอนท้ายบทที่ 2 นำมาสู่การแปลงนิยามปฏิบัติการ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือกลุ่มตัวแปรตาม กลุ่มตัวแปรอิสระ และกลุ่มตัวแปรควบคุม ในแต่ละตัวแปรจะกล่าวถึงนิยามด้านมโนทัศน์ และนิยามปฏิบัติการ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการแปลงนิยามด้านมโนทัศน์สู่นิยามปฏิบัติการของตัวแปรต่างๆ

ชนิดตัวแปร	นิยามด้านมโนทัศน์ (Conceptual Definition)	นิยามปฏิบัติการ (Operational Definition)
กลุ่มตัวแปรตาม		
ตัวแปรตาม จากคำถามการวิจัยที่ 1-2	ประสิทธิภาพในการทำ ความเย็น ของระบบทำ ความเย็นโดยอาศัยการ ระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling)	ประสิทธิภาพในการทำ ความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบ ทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ดู จากอุณหภูมิของอากาศภายในหน่วยทดสอบ ในที่นี้ใช้การวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (เครื่อง RH/Temp Data logger (HOBO)) อุณหภูมิที่ได้หน่วยเป็น เซลเซียส โดยขนาดของ ระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ แบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling)) ของ บริษัท megacool ซึ่งเป็นขนาด ที่ใช้ระบบนี้ ออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ (0.60x0.75x0.90 เมตร) คำว่าประสิทธิภาพใน ที่นี้เป็นของระบบที่มีขนาดดังกล่าวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

<p>ตัวแปรตาม จากคำถามการ วิจัยที่ 3</p>	<p>ประสิทธิภาพการใช้ พลังงาน</p>	<p>เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ที่รวมกับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) โดยนำมาเทียบสัดส่วนกับค่าการใช้พลังงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศ ว่ามีสัดส่วนแตกต่างกันอยู่ที่เปอร์เซ็นต์</p>
<p>กลุ่มตัวแปรอิสระ</p>		
<p>ตัวแปรอิสระ จากคำถามการ วิจัยที่ 1</p>	<p>-ความเร็วลมภายในห้อง</p>	<p>คือความเร็วลมที่ผ่านท่ออากาศที่นำอากาศจากระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) เข้าสู่ระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ทางช่องเปียก (Wet Channel) ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมสทวอยร์แอนนีโนมีเตอร์</p>
<p>ตัวแปรอิสระ จากคำถามการ วิจัยที่ 2</p>	<p>ผลด้านการลดความชื้น จากการรวมระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) กับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling)</p>	<p>โดยสมมติฐานขั้นต้นคาดว่าเมื่อรวมระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) กับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) จะสามารถลดความชื้นในอากาศให้กับระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ช่วยให้ระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) มีประสิทธิภาพมากขึ้น การชี้วัดทำโดยการวัดความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสำเร็จรูป (เครื่อง RH/Temp Data logger (HOBO)) โดยการทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 2 จะเปรียบเทียบ</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

		ระหว่างระบบระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cool) ที่ต่อกับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) กับระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ชรรมดา ว่าให้ผลด้านอุณหภูมิแตกต่างกันแค่ไหน
ตัวแปรอิสระ จากคำถามการวิจัยที่ 3	-ความแตกต่างของการใช้พลังงานระหว่างระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ที่รวมกับ ระบบ ทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) เปรียบเทียบกับ เครื่องปรับอากาศ	หมายถึงการหาค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับหน่วยทดสอบโดยเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในหน่วยทดสอบที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศกับหน่วยทดสอบที่ติดตั้งระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ที่ต่อกับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) โดยทดสอบกับหน่วยทดสอบที่มีขนาดเดียวกันที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน โดยการทดสอบของเครื่องปรับอากาศนั้นจะติดตั้ง มาตรวัดไฟฟ้า ส่วนของพัดลมที่ใช้ในระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ที่รวมกับระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) จะคำนวณจากค่าการใช้พลังงาน จากสูตร ค่าพลังงาน = จำนวนกระแสไฟฟ้า(amp.) x แรงดันไฟฟ้า(v.) x จำนวนชั่วโมงที่ใช้(h) หรือ จากสูตร จำนวนกำลังไฟฟ้า(watt) x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		จำนวนชั่วโมงที่ใช้(h)=ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมด โดยหน่วยที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้น เป็น วัตต์/ชั่วโมง (w/h)
กลุ่มตัวแปรควบคุม		
	ตำแหน่งและขนาดท่อลม	ตำแหน่งของท่อลมเข้าและออกจากหน่วยทดสอบให้มีตำแหน่งและขนาดที่เท่ากัน โดยขนาดท่อลมให้ระยะภายในท่อสี่เหลี่ยมขนาด 0.30x0.30 เมตร
	Indirect Evaporative Cooler	คือตัวแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศภายในกับภายนอกอาคาร โดยใช้การระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็นให้กับอากาศ โดยขนาดกำหนดมาจากตัวระบบแบบเดียวกันนี้ที่กำหนดมา (ข้อมูลจาก www.megacool.ru . 2002) และขนาดที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ 0.60x 0.75x 0.90 เมตร
	ความลึกของท่อฝังดิน	ระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) มี 2 ระบบ โดยระบบแรกต้องการระดับดินที่ลึกตั้งแต่ 1-6 เมตร โดยใช้มวลของดินในการทำความเย็น ส่วนระบบที่ 2 ต้องการระดับดินที่ตื้นกว่า โดยใช้วัสดุคลุมดินและการรดน้ำช่วยในการทำความเย็นทำให้ไม่ต้องการระดับดินที่ลึกมาก ในการวิจัยนี้จะใช้ระบบท่อฝังดินแบบที่ 2 (ดูเนื้อหาในส่วนการติดตั้งระบบท่อฝังดิน) โดยกำหนดให้ท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 ซม. ถูกฝังลึก 0.20 ซม. ส่วนที่เหลือใช้วัสดุคลุมดินปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ทับที่ความหนา 5-10 ซม.
	วัสดุที่ใช้ทำท่อฝังดิน	การวิจัยนี้ต้องการให้ท่อมีค่าความนำความร้อนได้ดีจึงกำหนดวัสดุท่อเป็นโลหะ ในการวิจัยนี้ใช้ท่อสังกะสีลอนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 0.30 ซม. (ดูเนื้อหาในส่วนการทำท่อฝังดิน)
	ของเหลวที่ใช้ในการระเหย	ในที่นี้เพื่อความสะดวกในการทดลองจึงใช้น้ำประปา เนื่องจากมีแรงดันในการเคลื่อน หัวสปริงเกอร์ให้พ่นน้ำได้เพียงพอต่อการให้น้ำในระบบท่อฝังดิน
	วัสดุฉนวน	วัสดุฉนวนในการวิจัยนี้ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว เป็นวัสดุทำท่ออากาศเย็นเข้าสู่หน่วยทดสอบ และเป็นวัสดุกรุภายในผนังยิปซั่มที่กันขึ้นมาใหม่ด้วย
	ความยาวท่อฝังดิน	จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการศึกษาวิจัยระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) ที่มีหลายขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางและหลายความยาวรวมท่อ แต่ที่มีความยาวน้อยที่สุดที่อากาศภายในท่อสามารถกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำได้ความยาวท่อรวมอยู่ที่ 120 เมตร
	ชนิดของดิน	เนื่องจากปัญหาเรื่องการปรับระดับพื้นดินเพื่อหนีระดับน้ำใต้ดินนั้น (ดูเรื่องการปรับพื้นที่ก่อนทำการวิจัย) ทำให้ต้องถมที่ดิน โดยผู้วิจัยได้ทำการติดต่อขอความอนุเคราะห์จากการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ซึ่งกำลังปรับปรุงระบบรางรถไฟอยู่ในบริเวณใกล้เคียงนั้นเพื่อขอดินมาปรับพื้นที่ โดยดินที่ได้เป็นดินลูกลังผสมกับหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		รถไฟ ทำให้ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นเฉพาะดินชนิดนี้เท่านั้นเนื่องจากชนิดของดินมีผลต่อค่าความนำความร้อนที่แตกต่างกัน
	ระยะห่างของท่อฝังดิน	จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) ที่มีการวิจัยที่ระยะรอบท่อประมาณ 30 ซม. นั้นอุณหภูมิดินเปลี่ยนผู้วิจัยจึงกำหนดให้ท่อมีระยะห่างกันจากขอบข้างท่ออย่างต่ำ 75 ซม. ซึ่งก็คือจากเส้นผ่าศูนย์กลางถึงเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ 1.00 เมตร
	ขนาดหน่วยทดสอบ	การกำหนดขนาดหน่วยทดสอบจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอยู่ที่ประมาณ 3x3x3 เมตร และ 4x4x4 เมตร แต่งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการให้มีขนาดใกล้เคียงห้องมากที่สุดโดยกำหนดขั้นต้นที่ 4x4x4 เมตร โดยหน่วยทดสอบนั้นต้องมี 2 ห้องเพื่อใช้เปรียบเทียบอุณหภูมิ ฉะนั้นทั้ง 2 ห้องควรมีขนาดเท่าๆกัน และมีปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อความร้อนเข้าหน่วยทดสอบเท่ากัน เช่นช่องเปิดต่างๆ เป็นต้น
	การกำหนดช่วงเวลาหยุดพักระบบ	จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าถ้าระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) นั้นมีการหยุดพักระบบเพื่อคายความร้อนแล้วการทำความเย็นจะดีขึ้น โดยการกำหนดเวลาเป็นกลางวันกับกลางคืน และเปิดระบบเวลากลางวันในช่วงเวลาทำงานคือ 9.00 – 18.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมการดำเนินการวิจัย

จากการเตรียมการด้านตัวแปรต่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว การดำเนินงานขั้นต่อมาคือ การดำเนินการการวิจัยโดยอาศัยวิธีทดลองซึ่งต้องมีการเตรียมการในหลายส่วนโดยแต่ละส่วนมีความสำคัญต่อการวิจัยอย่างมาก แต่ในการเตรียมการในแต่ละส่วนนั้น มีปัญหาต่างๆที่เข้ามาจนทำให้ผู้วิจัยต้องทำการปรับปรุงการดำเนินการทดลองเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น โดยจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

3.2.1. การเตรียมพื้นที่ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำเรื่องขอใช้พื้นที่ภายใน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อใช้ในการวิจัย โดยพื้นที่ที่ได้รับการอนุมัติจากทางคณะสถาปัตยกรรมฯ ให้ใช้ในการวิจัย คือ ภายในอาคารปฏิบัติการแสงสว่าง เพื่อสร้างหน่วยทดสอบทั้งสองหน่วย และ ที่ดินบริเวณหลังอาคารซึ่งเป็นส่วนที่ติดตั้งระบบท่อฝังดิน อยู่ระหว่างแนวรั้วสถาบันฯ กับอาคารฯ



ภาพที่ 3.1 ภาพก่อนและหลังการถมดินในพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตทำการวิจัย เพื่อยกระดับการวางท่อฝังดิน

ปัญหาที่พบ จากการสำรวจที่ดินในการติดตั้งระบบท่อฝังดินเบื้องต้น พบปัญหาว่าที่ดินมีระดับต่ำ เมื่อขุดลงไปเพียงแค่ 20 ซม. พบว่ามีน้ำซึมออกมาหลังจากทิ้งไว้ 1 ชม. มีน้ำขึ้นมาที่ระดับต่ำกว่าผิวดิน 10 ซม. แสดงให้เห็นว่าที่ดินมีสภาพใกล้เคียงกับระดับน้ำใต้ดิน โดยที่ดินนี้เดิมเป็นบ่อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วทำการถมด้วยซีเมนต์ ทำให้ที่ดินมีลักษณะนิ่มเป็นเลน เมื่อเหยียบ จะมีน้ำซึมออกมา ซึ่งการฝังท่อไม่สามารถทำได้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำได้จะเป็นอุณหภูมิน้ำแทน

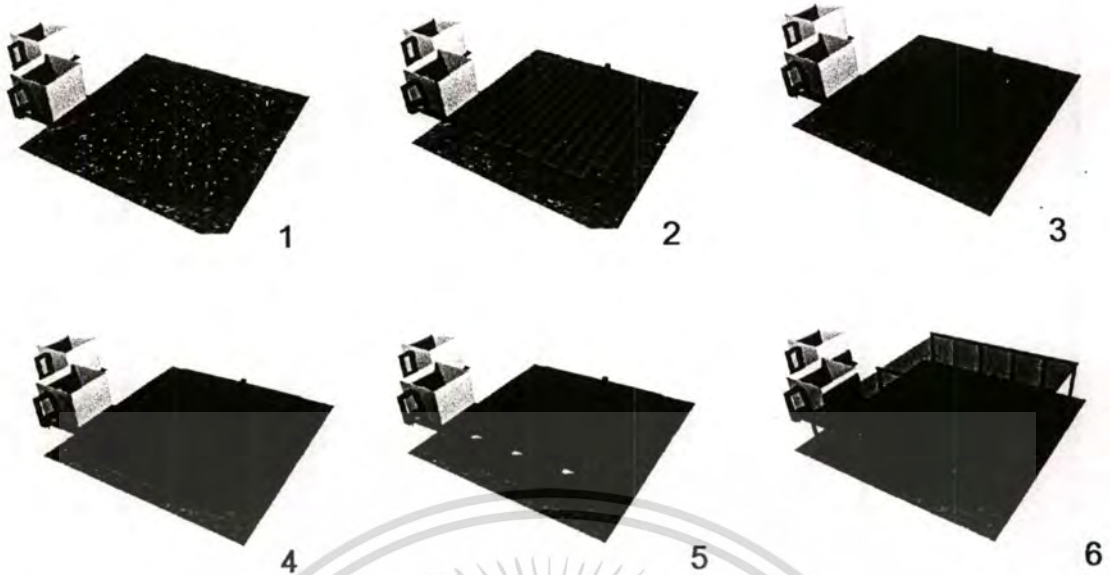


ภาพที่ 3.2 หลังการไถดินออกจากพื้นที่ทำการศึกษา เพื่อติดตั้งระบบท่อฝังดินก่อนค่อยกลับ

ปัญหาเรื่องระดับดิน ที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยต้องหาดินมาถมที่เพื่อให้ท่อฝังดินอยู่พื้นระดับน้ำใต้ดิน โดยทำการถมดินในส่วนที่ทำการฝังท่อ และต้องขุดที่ดินเพิ่มเพื่อกองดินสำหรับกลับท่อ โดยผู้วิจัยได้ติดต่อขอความอนุเคราะห์ไปยังการรถไฟแห่งประเทศไทย เพื่อขุดดินที่ทางการรถไฟขุดลอกโดยพื้นที่ที่ทำการขุดลอกอยู่ไม่ไกลจากที่ทำการวิจัยมากนัก และได้รับความอนุเคราะห์อย่างดี ทำให้ได้พื้นที่วิจัยที่เตรียมสำหรับวางท่อ และดินที่เตรียมสำหรับกลับท่อ โดยจ้างรถแมคโคร เพื่อช่วยในการไถดินจากริมถนนหรือพื้นที่ที่รถขนดินเข้าใกล้พื้นที่ได้มากที่สุด เข้าสู่พื้นที่ที่ทำการศึกษา ถมดินบนที่ทำการวิจัยสูงจากระดับเดิม 1.00 เมตร

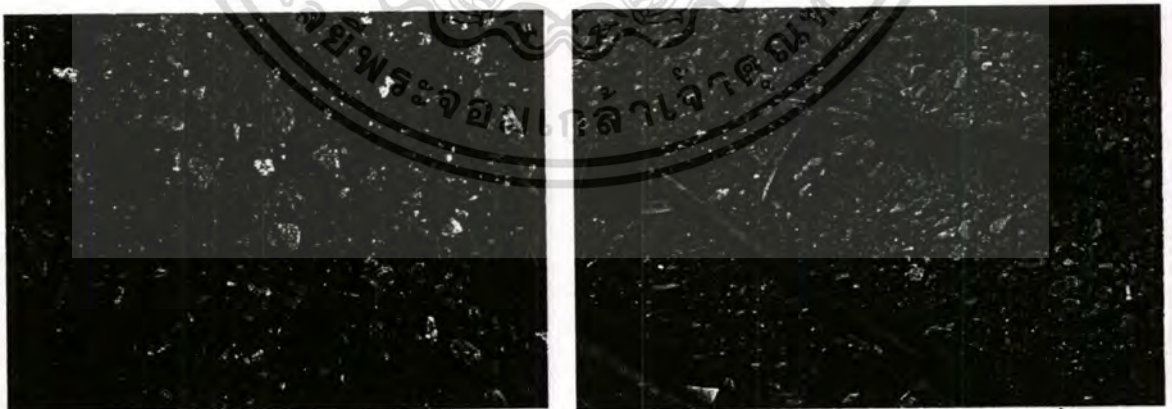
แต่จากการถมดินในครั้งแรกเสร็จเรียบร้อย มีปัญหาเรื่องการขุดเพื่อวางท่อเนื่องจากระยะที่จะวางท่อห่างกันเพียงแค่ 1.00 เมตร ทำให้รถแมคโครที่จ้างมาไม่สามารถทำการขุดได้เนื่องจากมือขุดมีขนาดใหญ่เกิน

จากการคำนวณที่ผิดพลาดดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยต้องติดต่อขอความอนุเคราะห์จากสำนักงานเขตลาดกระบัง โดยขอรถแมคโคร ล้อยางเข้ามาทำการลอกดินออกให้เหลือระดับต่ำพอที่จะทำการวางท่อ โดยลอกออกจนเหลือ สูง 20 ซม. จากระดับดินเดิม และปาดหน้าดินให้เรียบเพื่อสะดวกในการติดตั้งระบบท่อฝังดิน



ภาพที่ 3.3 แผนการที่จะต้องติดตั้งระบบท่อฝังดินโดยเริ่มจากการเตรียมพื้นที่โดยการถมดิน การวางท่อฝังดินที่ระยะห่างระหว่างท่อที่ 1.00 เมตร การกลบท่อ การวางหินที่ระดับผิว ติดตั้งพัดลม การทำshading ให้กับที่ดินตามลำดับ

ในการเตรียมดินเพื่อติดตั้งระบบท่อฝังดินจำเป็นต้องถ่ายระดับเพื่อให้หน้าในท่อมีการถ่ายเทออกจากท่อได้ จากการตรวจเช็คหลังจากการปรับหน้าดินแล้วพบว่าการเอียงของที่ดินพอดี มีบางส่วนที่ต้องปรับด้วยคน แต่เป็นปัญหามากเนื่องจากดินที่มีลักษณะปนหินประมาณ 40-50% ทำให้การทำงานด้วยคนเป็นเรื่องลำบากมาก



ภาพสภาพดินที่ใช้ในการทำการวิจัยเป็นหิน 40-50% ทำให้การขุดโดยใช้จอบเป็นปัญหา

จอบและอีเตอร์ซึ่งเป็นตัวแก้ปัญหาเรื่องความแข็งของดิน และหินที่ปนดิน

ภาพที่ 3.4 แสดงปัญหาในระหว่างการทดลองเรื่องสภาพดิน กับเครื่องมือที่แก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาเรื่องสภาพดิน จากสภาพดินที่เป็นอยู่เป็นผลมาจากดินที่ได้เป็นดินที่มาจาก การลอกวางรถไฟเก่าทำให้มีหินที่ปูตามรางรถไฟติดมาด้วยเป็นจำนวนมากและเครื่องมือที่ใช้ในการ ขุดคือ จอบ ที่ไม่เหมาะกับดินที่มีสภาพดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยต้องหาทางแก้ปัญหาในส่วนนี้ เนื่องจากในส่วนต่อไป จำเป็นต้องปรับแต่งด้วยแรงคนเป็นส่วนมาก ผู้วิจัยจึงต้องปรับเครื่องมือ โดยใช้ “อีเตอร์” มาช่วยในการปรับแต่งที่ดินโดยใช้คู่กับจอบให้ผลที่ดีมาก

3.2.2.การกำหนดวัสดุทำท่อฝังดิน

วัสดุท่อเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากในการทำวิจัยชิ้นนี้ แต่การเลือกวัสดุที่จะใช้มีหลาย ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง อันจะส่งผลต่องานวิจัย แต่วัสดุท่อที่มีอยู่ในท้องตลาดมีหลากหลายประเภท และ มีวัสดุบางประเภทที่สามารถทำดัดแปลงทำเป็นท่อได้ด้วย ซึ่งไม่น่ามองข้าม

การหาวัสดุท่อที่เหมาะสมในการทดลองทำโดยนำวัสดุท่อที่มีอยู่ในท้องตลาด และวัสดุอื่น ที่สามารถนำมาทำท่อได้ มาเปรียบเทียบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำมาทดลองโดยคำนึงถึง ปัจจัยด้าน คุณสมบัติในการนำความร้อน ความยาก-ง่ายในการติดตั้ง และราคา ได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบวัสดุกับราคาต่อหน่วย และราคารวมของวัสดุทำท่อฝังดิน

ชนิดของท่อต่างๆ ที่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. และวัสดุอื่นๆ ที่ เทียบเท่า	ราคาต่อหน่วย	ราคาท่อรวมทั้งหมดที่ต้อง ใช้ในการทดลอง	ความยากง่ายในการติดตั้ง	การนำความร้อน	หมายเหตุ
ท่อ PVC	2,250 บาท / 4เมตร	67,500บาท	ง่าย	ไม่นำ	-
ท่อ PE เส้นผ่าศูนย์กลาง 315 มม.	1,728 บาท /4เมตร	51,840บาท	ง่าย	ไม่นำ	-
ท่อ เหล็ก อาบสังกะสี เส้นผ่าศูนย์กลางที่ 6 นิ้ว	เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ราคา 2,168 บาท / 6 ม.	-	ยาก	นำ	ต้องเชื่อมท่อ และไม่มี ขนาดที่ ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ท่อซีเมนต์ชนิดไม้เสริมเหล็ก	162บาท/เมตร	19,440บาท	ยาก	น้ำ	-
ท่อซีเมนต์ชนิดเสริมเหล็ก	205บาท/เมตร	24,600 บาท	ยาก	น้ำ	-
ท่อซีเมนต์ใยหินทนความดันชั้น15	2,235บาท/5เมตร	53,640 บาท	ยาก	น้ำ	-
ท่อซีเมนต์ใยหินธรรมดา	800 บาท/4เมตร	24,000 บาท	ง่าย	น้ำ	-
วัสดุอื่นๆที่สามารถนำมาประยุกต์ทำท่อแทนอันได้แก่					
- สังกะสีแผ่นเรียบ 3x8ฟุต (91.5x2.44 ม.)	หนา 0.35 มม. 168บาท/แผ่น	10,080 บาท	ง่าย	น้ำ	ต้องม้วนท่อ
- สังกะสีลอนใหญ่ หนา35มม.กว้าง 2.5ฟุต	10.75บาท/ฟุต 8 ฟุต/แผ่น =86บาท/แผ่น	7,740 บาท (รวมราคาที่ต้องต่อให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางที่ 30 ซม.)	ยาก	น้ำ	ความกว้าง 2.5ฟุตไม่พอทำท่อที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม.ต้องต่ออีก1/2 แผ่น
- สังกะสีลอนเล็ก หนา 35มม. กว้าง2.5ฟุต	10.75บาท/ฟุต 8 ฟุต/แผ่น =86บาท/แผ่น	7,740 บาท (รวมราคาที่ต้องต่อให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางที่ 30 ซม.)	ยาก	น้ำ	-
- อลูมิเนียมแผ่น 4x8ฟุต	หนา 30 มม. 280 บาท/แผ่น	16,800 บาท	ง่าย	น้ำ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

- เหล็กแผ่น4x8ฟุต	หนา 2 มม. 620บาท	37,200 บาท	ง่าย	น้ำ	-
	หนา 3 มม. 849บาท	50,940 บาท	ง่าย	น้ำ	-

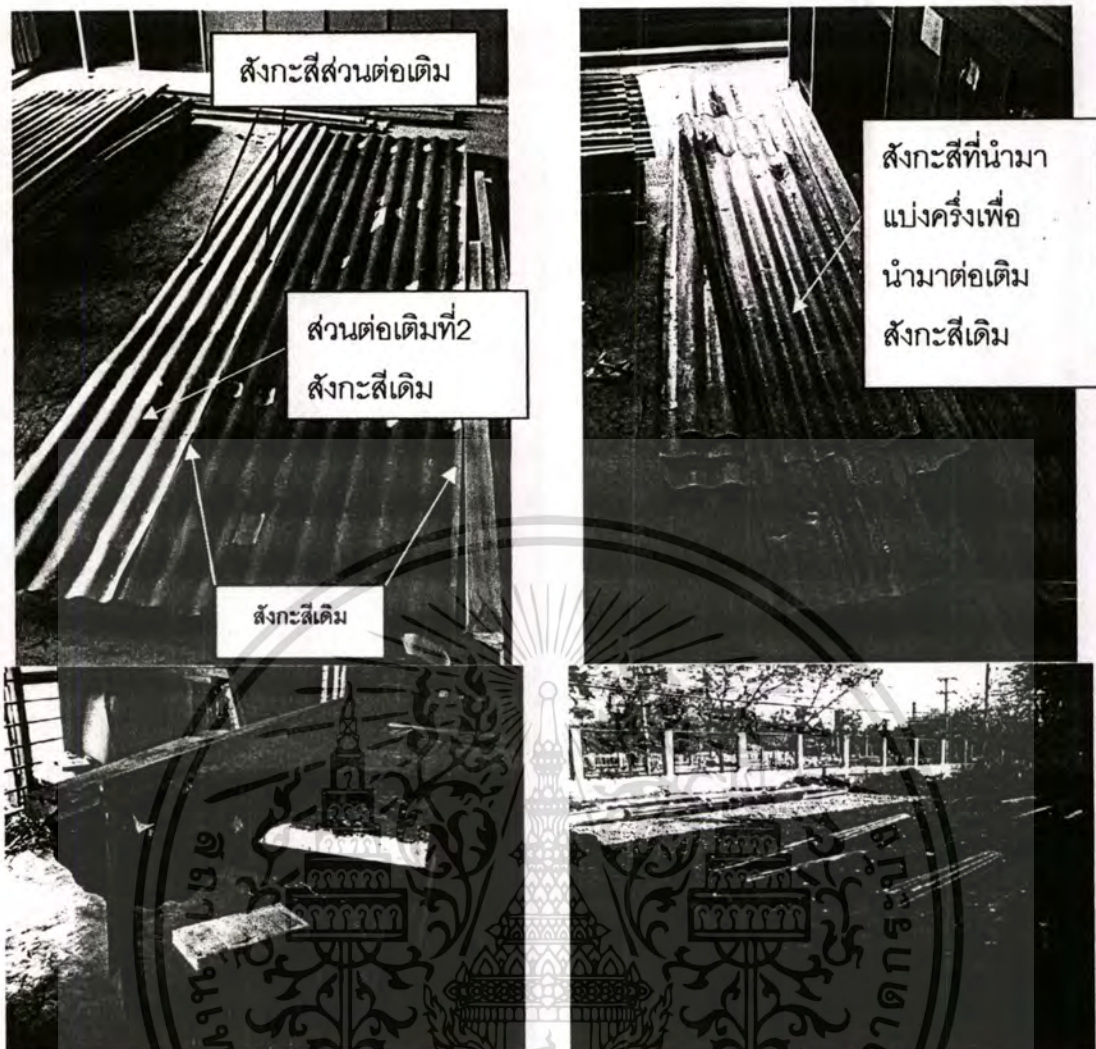
ที่มา www.thaibase.com, www.thaicons.com และ www.thaibuild.com วันที่ 7 กรกฎาคม 2546

จากการเปรียบเทียบวัสดุตามตารางข้างต้นพบว่า ราคาท่อฝังดินส่วนใหญ่มีราคาต่อหน่วยสูง มีวัสดุทดแทนที่ราคาต่ำ ในแง่การวิจัยผู้วิจัยเน้นที่การนำมาทำการทดลองโดยมีงบประมาณในการทำการทดลองค่อนข้างจำกัดทำให้ไม่สามารถเลือกวัสดุที่มีราคาสูงในการวิจัยได้ ในการเปรียบเทียบทำให้ได้ข้อสรุปในส่วนวัสดุทำท่อได้ว่าควรเป็นสังกะสีแบบลอนโดยต้องนำมาคำนวณเป็นตนเอง

เนื่องจากทราบว่าสังกะสีแบบลอนมีจำหน่ายเป็นวัสดุมือสอง จึงทำการสำรวจจากตลาดวัสดุมือสองย่านอ่อนนุช ทราบว่าราคาวัสดุจะลดลงอีก ซึ่งเหลือราคาต่อแผ่นที่ ประมาณ 70-80 บาท/แผ่น และพบว่าสังกะสีแบบลอนใหญ่สามารถหาได้ง่ายกว่าลอนเล็ก จึงเลือกใช้ในการทดลอง

3.2.2.1 การทำท่อโดยการใช้น้ำสังกะสีลอน

การทำท่อฝังดินต้องการความยาวท่อรวมทั้งระบบ120 เมตรประกอบด้วย10แถวๆละ 12 เมตร เมื่อรวมข้อต่อต่างๆจะอยู่ที่ประมาณ 136 เมตร ในการทำท่อโดยการใช้น้ำสังกะสีมาทำ จำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อสังกะสีเนื่องจากขนาดสังกะสีแบบลอนใหญ่มีความกว้างที่ 2.5 ฟุตโดยการวัดจริงอยู่ที่ขนาด 75 ซม. ถ้าจะทำให้มีความกว้างเพียงพอที่จะม้วนให้เป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ต้องต่อให้มีความกว้างประมาณ 94 ซม. ทำให้ต้องต่ออีกประมาณ ครึ่งแผ่นสังกะสีตามยาว และใช้รีเวทในการเชื่อม โดยการใช้สว่านเจาะนำ และยิงตัวรีเวทตามร่องที่เจาะนำไว้



ภาพที่ 3.5 การเชื่อมต่อแผ่นสังกะสีโดยสังกะสีที่ใช้เชื่อมต่อมีขนาดเล็กกว่าทำให้ต้องต่อเป็นสองช่วงและทำการเชื่อมสังกะสีเข้าด้วยกันโดยใช้ริเวท การเชื่อมสังกะสีให้เป็นสังกะสีแผ่นใหญ่ที่มีขนาด ความกว้าง 90 ซมโดยประมาณ



ภาพที่ 3.6 การวางแผนการติดตั้งท่อ โดยนำท่อวางบนที่ดินโดยการวางท่อ เป็น 2 ฟาก และเว้นที่ส่วนกลางไว้เพื่อให้รถแมคโครสามารถเข้ามาหลบท่อได้

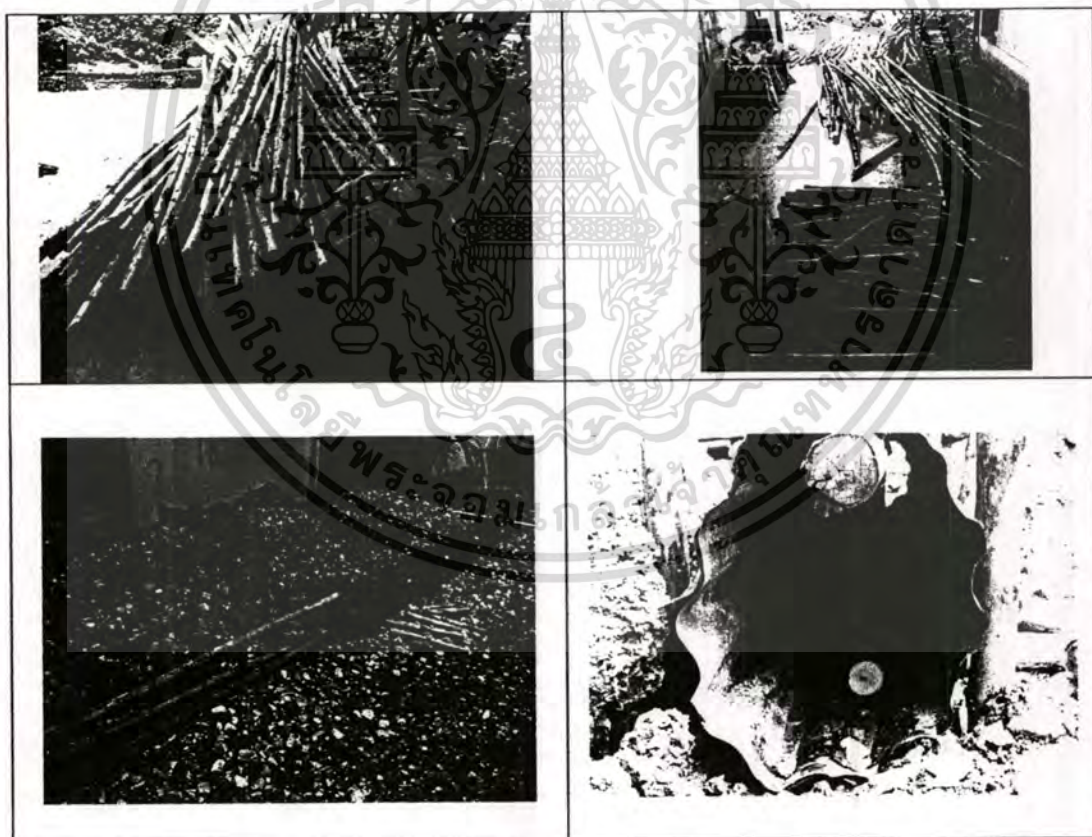
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การติดตั้งท่อฝังดิน

การทำกรติดตั้งท่อสังกะสีมีปัญหาเรื่องสังกะสีมีความอ่อนตัวมาก จึงต้องหาวิธีที่ท่อที่ประกอบขึ้นจะมีความสามารถรองรับน้ำหนักดินได้จากการศึกษาพบว่าการถ่วงน้ำหนักที่ตกลงจากด้านบนเป็นสาเหตุที่ทำให้ท่อแบน

การแก้ปัญหาจึงน่าจะแก้ที่การเปลี่ยนถ่วงน้ำหนักลงมาที่ดินโดยให้ผิวท่อรับน้ำหนักน้อยที่สุด ทางแก้ที่ง่ายที่สุดคือการใช้กระดูกเสริมภายในท่อให้น้ำหนักที่ตกลงสามารถถ่วงจากด้านบนลงสู่ด้านล่างได้เลยโดยทำให้ผิวท่อสังกะสีรับแรงน้อยลง

วิธีการทำกระดูก ใช้ไม้ยูคาขมาทำ เพราะมีลักษณะลำต้นตรง ราคาไม่แพงมากนัก ต้นละ 12 บาทที่ความยาว 3 เมตร โดย นำไม้ที่ซื้อมา แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกสำหรับทำกระดูกภายในท่อ ส่วนที่ 2 สำหรับทำเสาเข็มยึดท่อ ส่วนที่ 3 สำหรับทำคานสำหรับยึดกระดูกท่อกับเสา โดยกระดูกจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ กระดูกที่ท่อต่อกันเอง กับกระดูกที่ท่อต่อกับข้องอ โดยจะต่างกันที่ขนาดประมาณ 10 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 การทำกระดุกเสริมท่อ เสาคาน ในการแก้ปัญหาด้านการรับน้ำหนักของท่อ โดยให้ผ่านตัวกระดุกถ่ายลงดินส่วนล่าง โดยมีคานและเสาช่วยประคองกระดุก และรับน้ำหนัก

การติดตั้งท่อทำโดยตอกหมุดเสายึดแนวสำหรับวางท่อ แล้วค่อยวางท่อสังกะสี ใส่กระดุก แล้วค่อย ตีคานยึดและการวางท่อมีข้อที่ต้องคำนึงถึงคือ การม้วนสังกะสีเป็นท่อจะมีรอยต่อสังกะสี ให้นำ รอยต่อดังกล่าวลงด้านล่าง เพื่อกันน้ำที่จะเกิดจากการฝนละอองน้ำที่ผิวซึมลงไป และจะเข้าไปใน ท่อได้

การประกอบท่ออันต่อไป ใช้ท่อสังกะสีที่เตรียมไว้มามัดส่วนปลายท่อที่ต้องการบีบด้วย ลวดผูกเหล็กหรือลวดทั่วไป (โดยการม้วนท่อควรเว้นช่องในการยิงรีเวทในช่วงปลายท่อ เพื่อถ่ายต่อการบีบหัวท่อให้เสียบกับอีกท่อหนึ่งได้ง่าย แต่ในกรณีไม่เว้นก็สามารถทำได้แต่ยากกว่านิดหน่อย) นำไปมัดอย่างหลวมๆที่ปลายท่อที่จะบีบ แล้วใช้คีมจับที่ลวด แล้วบิดให้ลวดพันที่คีม จนปลายท่อ หดตัวเข้า ก็ดันเข้าไปในท่ออีกอัน แล้วปล่อยให้ลวดคลายตัว จากนั้นให้ใส่กระดุกไปรับแรงภายใน และยิงรีเวทตามรอยต่อท่อ ให้ท่อทั้งสองเชื่อมต่อกัน จากนั้นทำการยาแนวรอยต่อด้วยยาทา กันซึม เช่น เซลล์ฟรินโค้ท เป็นต้น ให้ทายาทากันซึมบางๆก่อนหนึ่งครั้ง แล้วค่อยใช้เศษผ้ามาชุบน้ำยา กันซึมแปะทับลงไป รอจนแห้ง หรือใช้การทำทับรอยต่อด้วยยาทากันซึม แล้วเอาผ้าทับ และทาซ้ำ อีกครั้งก็ได้ ในระหว่างที่ยาทากันซึมยังไม่แห้งระวังน้ำ เนื่องจากถ้ายาทากันซึมที่ยังไม่แห้งโดนน้ำ จะละลายออก ผู้วิจัยเคยทำแล้วฝนตก หลังจากที่ทายาทากันซึมแล้วปรากฏว่าผ้าดิบที่ทายากันซึม ไว้จนสีดำกลายเป็นสีผ้าดิบเหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 การเชื่อมต่อท่อ โดยใช้ผ้าดิบที่ทากันซึมจนผ้าเป็นสีดำ แต่ถูกฝนชะออกจนสีผ้าเกือบเหมือนเดิม และ ยาทากันซึม

3.2.2.3 การทำช่องท่อฝังดิน

ข้อต่อหักมุมหรือที่เรียกว่าข้องอนั้นเป็นส่วนที่ช่วยให้ท่อฝังดินแล้วได้ 90 องศา หรือ 180 องศา โดยการต่อ 2 ครั้ง และยังเป็นที่ ติดตั้งระบบระบายน้ำออกจากท่อฝังดิน เพื่อระบายน้ำที่ กลับตัวภายในท่อ ออกมาภายนอกเพื่อให้ น้ำไม่ท่วมขังภายในท่อ อันจะส่งผลให้ระบบไม่สามารถ ดูดน้ำออกจากอากาศได้ ข้อต่อหักมุมหรือข้องอนจึงมีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการทดลองนี้

การทำช่องท่อฝังดิน โดยการนำสังกะสีลอนที่เป็นท่อมาปรับเป็นข้องอนั้นยากมากและเป็นปัญหาในการเชื่อมต่อ ผู้วิจัยเห็นว่าน่าจะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมน่าจะทำงานง่ายกว่า โดยตั้งใจจะใช้สังกะสีแบบเรียบมาทำกล่องสำหรับทำข้องอนแทน แต่ติดที่ต้นทุนในการทำต่อกล่องค่อนข้างราคาสูงเนื่องจากราคาวัสดุ ทำให้ต้องปรับวัสดุโดยหันไปหาป๊อปที่เหลือใช้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขนาดจากการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อสังกะสีพบว่า สามารถปรับใช้งานแทนกันได้ แต่เนื่องจากเป็นวัสดุใช้แล้วจึงมีปริมาณจำกัดแต่โชคดีที่ผู้วิจัยได้ในปริมาณที่พอที่จะมาทำช่องท่อฝังดินได้

การทำต่อ 1 ข้องอนจะใช้ป๊อป 4 ใบโดยใบที่เป็น ส่วนหัวที่ต้องเชื่อมต่อกับท่อสังกะสีจะฉีกออกตามรูปประกอบ เพื่อให้สวมเข้ากับท่อสังกะสี โดยส่วนที่ยื่นออกมาเป็นสามเหลี่ยมจะทำหน้าที่สำหรับเชื่อมต่อกับท่อสังกะสีด้วยการยิงรีเวท

ส่วนการประกอบส่วนตัวข้องอน ป๊อปด้วยกันใช้วิธีการเจาะหัวท้ายป๊อปและนำเศษหัวท้ายที่ตัดออก มาตัดเป็นชิ้นย่อยๆ พันรอบป๊อป แล้วยิงรีเวทเชื่อมเข้าหากันตามภาพประกอบ



ภาพที่ 3.9 แสดงการทำช่องท่อฝังดินโดยใช้ปิ๊ป ด้านซ้ายแสดงการฉีกตัวปิ๊ปออกเพื่อเปิดรับท่อสังกะสี ด้านขวาแสดงการเชื่อมต่อระหว่างปิ๊ปด้วยรีเวท

ปัญหาในการเชื่อมต่อระหว่างท่อสังกะสีกับช่องอ

การเชื่อมต่อของวัสดุผิวเรียบกับลอนย่อมมีปัญหาในการติดตั้งคือ การฉีกของปิ๊ปเพื่อรับท่อสังกะสี จะได้เป็นช่อง สี่เหลี่ยม แต่ท่อสังกะสีมีลักษณะกลมและยังมีลอนรอบๆอีก แม้ว่าการเชื่อมกันของทั้งสองอย่างจะทำโดยการบีบท่อสังกะสีให้มีลักษณะค่อนข้างเหลี่ยม แต่ก็จะมีช่องว่างมากมายรอบๆรอยต่ออันเกิดจากผิววัสดุที่เป็นลอน ในตอนแรกใช้ยางมะตอยก้อน ในการยาแนวแต่ยางมะตอยก้อนไม่สามารถทนความร้อนจากท่อที่วางกลางแดดได้

ผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาโดยการเชื่อมต่อโดยการใช้น้ำยาทากันซึม (พรีนโค้ท) มาช่วย ในขั้นต้นทำการทดสอบโดยการเชื่อมต่อท่อกับช่องอ และยิงรีเวทเพื่อเชื่อมต่อท่อกับช่องอเข้าด้วยกัน และทำการทาน้ำยากันซึมกับผ้าเพื่อปิดทับรอยต่อตามภาพ



ภาพที่ 3.10 การเชื่อมต่อท่อสังกะสีลอนกับช่องอที่ใช้ปิ๊ปทำ โดยทำการอุดร่องตามรอยต่อโดยใช้ผ้าและยาทากันซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจแต่ มีพื้นที่บางส่วนไม่สามารถห่อหุ้มได้ซึ่งอาจจะมีผลต่อการทดลอง ภายหลังได้คือการทายากันซีมกับผ้ามันไม่สามารถห่อลงไปบริเวณใต้ท่อได้ จากจุดนี้ผู้วิจัยจึงปรับ การเชื่อมต่อระหว่างท่อกับช่องอ โหม่โดยทำการเชื่อมกันในส่วนที่ช่องอต้องเชื่อมกับท่อก่อนที่จะ ตัดตั้งลงพื้น ทำให้สามารถแก้ปัญหาในส่วนรอยต่อด้านใต้ท่อได้



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการทำงานนำยาทายากันซีมหลังจากการเชื่อมต่อท่อกับช่องอโดยการทายากัน ซีมก่อนตัดตั้งลงพื้น

3.2.2.4 วัสดุคลุมท่อ

วัสดุคลุมท่อเป็นส่วนที่จะส่งผลด้านอุณหภูมิภายในท่อโดยจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวกัน ความร้อนเข้าสู่ท่อและต้องเป็นตัวที่ทำให้ท่อเย็นลงโดยอาศัยการระเหยของน้ำ อันจะส่งผลให้ อากาศที่อยู่ในท่อมีการถ่ายเทในอากาศไปจับตัวตามผนังภายในท่อ วัสดุคลุมท่อจึงสำคัญมาก อีกส่วนหนึ่ง

ในการทดสอบการใช้ดินกลบท่อซึ่งเป็นวัสดุพื้นฐานในระบบทำความเย็นแบบท่อฝังดิน โดยทำการกลบท่อที่ติดตั้งกระดูกภายในท่อแล้ว พบว่าแม้ว่าจะมีการเสริมกระดูกภายในท่อแล้วก็ตาม แต่ยังคงมีการยุบตัวของท่อจากทางด้านข้างแม้ว่าเพิ่งจะกลบดินไปได้เพียงแค่ 20 ซม. เท่านั้น อันเนื่องจากดินที่มีน้ำหนักอยู่แล้วเมื่อรดน้ำเพื่อให้ดินเข้าไปตามซอกต่างๆส่งผลให้เห็นว่า ท่อที่ทำขึ้นนั้นไม่สามารถรับแรงในด้านข้างหรือแนวที่ไม่มีกระดูกช่วยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 แสดงการยุบตัวของท่อสังกะสีที่มีกระดุกช่วยรับแรงแล้วยังไม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องน้ำหนักของดินได้

จากผลการทดสอบดังกล่าวทำให้ต้อง เปลี่ยนแนวคิดที่จะกลบท่อ เป็นฝังเพียงแค่ครึ่งท่อ แทน เนื่องจากความแข็งแรงของท่อไม่เพียงพอ และต้องเปลี่ยนวัสดุที่จะมากลบท่อฝังดิน โดยสามารถทดแทนดินได้ และกลบท่อสังกะสีได้โดยท่อสังกะสีไม่ยุบ คือต้องมีน้ำหนักเบา และสามารถทำอุณหภูมิภายในท่อให้ต่ำที่สุด เพื่อให้เกิดการกลั่นตัวของน้ำ ในอากาศที่ผ่านท่อเกิดขึ้นได้

3.2.2.5 การเปลี่ยนแปลงระบบการทำความเย็นด้วยดิน (Earth Cooling) เป็นระบบท่อฝังดิน

และเนื่องจากการติดตั้งระบบท่อฝังดิน (Earth tube) เป็นส่วนหนึ่งของระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) แต่ระบบ Earth Cooling เดิมนั้น เป็นระบบที่เน้นการนำความร้อนที่มาจากการเก็บอุณหภูมิของดิน ซึ่งมีการหน่วงเวลาในการทำงานมาทำความเย็นให้กับภายในอาคาร โดยจำเป็นต้องมีการฝังดินที่ระดับ 0.50-1.00 เมตร อย่างต่ำ (ดูบทที่ 2 ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการทำความเย็นด้วยดินของ Ellis Hajeem) แต่จากผลการติดตั้ง ระบบท่อฝังดินที่ผู้วิจัยทำเองนั้น พบว่าท่อที่ทำไม่สามารถฝังลึกได้ถึงระดับ 0.50-1.00 เมตร ซึ่งเป็นระดับขั้นต่ำสุดของระบบการทำความเย็นด้วยดิน (Earth Cooling) ได้ ทำให้ต้องปรับระบบเล็กน้อยคือยังคงใช้ระบบท่อฝังดินในการทำความเย็นให้อากาศภายในท่อ แต่การทำความเย็นให้ระบบท่อฝังดินนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยปรับเปลี่ยนเป็นการใช้ระบบรดน้ำแทนการใช้มวลของดินในการทำความเย็นให้ระบบ โดยการฝังดินยังคงมีอยู่แต่ฝังครึ่งท่อด้านล่างส่วนที่ติดพื้น (ท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม.) คือฝังลงไปประมาณ 15 ซม. โดยจากการปรับระบบดังกล่าว ระบบจะเปลี่ยนเป็นระบบที่ใช้หลักของ การทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) แทน เนื่องจากระบบที่เปลี่ยนจะใช้การระเหยของน้ำในการทำความเย็นให้ระบบท่อฝังดิน มากกว่าการใช้มวลของดินในการทำความเย็น ตามแนวคิดของการทำความเย็นด้วยดิน (Earth Cooling) โดยในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าระบบท่อฝังดิน(Earth tube)แทน

และเพื่อให้ท่อยังคงรูปอยู่ได้ส่วนด้านบนของท่อฝังดิน เดิมต้องใช้หินในการติดตั้งพบผิวหน้าของระบบท่อฝังดิน ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักน้อยกว่า แต่สามารถทำความเย็นให้ระบบท่อฝังดินได้ใกล้เคียงกับ การปูผิวบนด้วยหิน

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อหาวัสดุที่จะมาคลุมท่อในระบบท่อฝังดินใหม่ แต่วัสดุอะไรที่จะ ที่จะมีความสามารถในการทำความเย็นได้ดีพอๆกับดิน และมีน้ำหนักน้อยกว่าจนท่อสังกะสีสามารถรับน้ำหนักได้



ภาพที่ 3.13 ภาพเปรียบเทียบระบบท่อฝังดินเดิมกับระบบที่ปรับใหม่ระบบท่อฝังดินแบบเดิมทางขวามือที่ใช้ระบบการทำความเย็นโดยใช้มวลของดิน(Earth Cooling) กับระบบที่ปรับตามสภาพปัญหากับระบบที่เปลี่ยนใหม่ทางซ้ายมือจะเป็นการทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำเป็นหลัก(Indirect Evaporative Cooling)

3.3 การทดลองย่อยเพื่อหาวัสดุทดแทนดินในการกลบท่อฝังดิน

เนื่องจากการใช้วัสดุท่อที่เป็นสังกะสีมีความอ่อนตัวด้านการรับแรงกดทับถึงแม้ว่าจะเสริมโครงสร้างเพื่อให้สามารถรับแรงจากทางด้านบนได้โดยผ่านทางแกนไม้ที่เสริมเข้าไป แต่ผลจากการกลบท่อด้วยดินทำให้เกิดน้ำหนักมาก และประกอบกับต้องรดน้ำเพื่อให้ระบบเกิดการระเหย ทำให้ดินที่อุ้มน้ำมีน้ำหนักมากจนท่อสังกะสีไม่สามารถรับน้ำหนักได้ จึงจำเป็นต้องหาวัสดุอื่นที่มีน้ำหนักเบามาทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยนำวัสดุที่มีอยู่ทั่วไปและที่ใช้ในการทดลองด้าน Earth cooling ที่สามารถทดแทนวัสดุ ดิน จากการทบทวนวรรณกรรม (Givoni. 1994) สรุปได้ดังนี้คือ

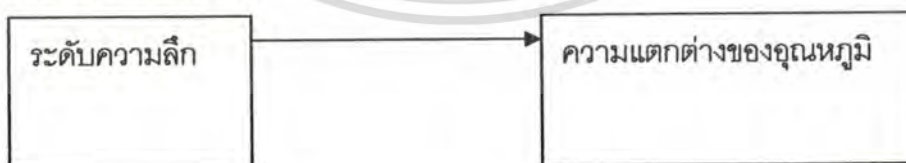
1. ก้อนกรวด – เป็นวัสดุที่มีค่าดีที่สุดในการทดลองโดยการทำความเย็นด้วยดิน
2. ชี้เลื่อย
3. แกลบ
4. กาบมะพร้าว-โดยแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบป่น และ แบบสับเป็นก้อน

จากการศึกษาวัสดุข้างต้นพบว่าวัสดุ หิน,กรวด มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด แต่ไม่เหมาะสม เนื่องจากน้ำหนักมาก โดย แกลบ และก้ามมะพร้าว ผู้วิจัยเพิ่มเติม เข้าไปเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือ ใช้ และคุณสมบัติน่าจะใกล้เคียงกันกับชี้เลื่อย และก้ามมะพร้าวในห้องทดลองมี 2 ประเภทคือ แบบ ป่น และแบบสับ โดยแบบป่นผู้วิจัยจัดเป็นพวกเดียวกับชี้เลื่อย และแกลบ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มา จากพืช และมีลักษณะเป็นเศษเล็กๆจึงนำมาทดสอบเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมที่สุด ส่วนก้าม มะพร้าวสับจะแตกต่างออกไป เนื่องจากมีลักษณะเป็นก้อนและมีความกลวงของอากาศมากกว่า วัสดุอื่น แต่เนื่องจากความกลวงที่อากาศสามารถไหลผ่านได้ ทำให้การระเหยน่าจะทำได้ดีด้วย ดังนั้น จึงเน้นที่การเปรียบเทียบวัสดุทั้ง 4 อย่างคือ แกลบ ชี้เลื่อย ก้ามมะพร้าวแบบป่น และก้าม มะพร้าวแบบสับและเกิดเป็นคำถามการวิจัยย่อย โดยมีอยู่ 2 ประเด็นที่สนใจดังนี้

1. ควรฝังที่ระดับความลึกเท่าไร
2. วัสดุที่เหมาะสมควรเป็นอะไร

3.3.1 การวิจัยจากคำถามการวิจัยย่อยข้อ 1

การหาระดับความลึกที่เหมาะสมโดยการระเหยของน้ำจะไม่ลึกจนเกินไป แต่ที่ระดับ เท่าไรที่เราจะกำหนดความหนาของวัสดุที่จะมาคลุมท่อฝังดินโดยที่จุดที่เหมาะสมมากที่สุดโดย ไม่ลึกมากเกินไปและไม่น้อยเกินไป



วิธีการทดลอง

ทำการทดลองโดย นำวัสดุตัวแทนคือแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาต่ำที่สุด และหาได้ง่าย มา ทำการเปรียบเทียบกันในระดับที่แตกต่างกันโดยดู คุณสมบัติในการทำความเย็นโดยวัดที่ระดับ ผิว ดิน ต่ำกว่าผิวดิน 10 ซม. ต่ำกว่าผิวดิน 20 ซม. และต่ำกว่าผิวดิน 40 ซม. โดยใช้แกลบในการ

ทดลองโดยรดน้ำที่ระดับผิวดินในที่นี้ไม่ได้วัดที่ระดับ 5 ซม. เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าที่ระดับ 5 ซม. ยังมีผลที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ (Givoni.1994)

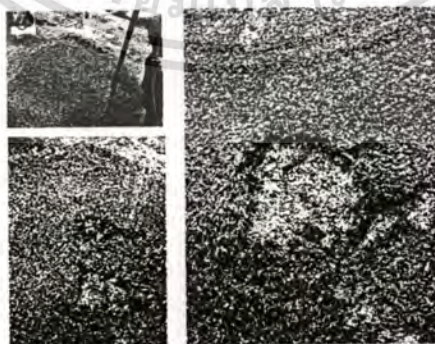
การทดลองทำการวัดในเวลากลางวัน โดยเริ่มวัดตอน 12.00 น. ทำการรดน้ำก่อนหน้านั้นเล็กน้อย โดยรดน้ำอีกครั้งตอน 12.15-12.30น. เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุณหภูมิ เมื่อเกิดการระเหยและในกรณีไม่มีการระเหย ในเวลา 14.00 น. แกลบแห้งสนิท และลองรดน้ำอีกครั้งตอน 16.00 น. และเก็บเครื่องวัดตอน 17.00น.



ภาพที่ 3.14 การติดตั้งระบบในการวัดอุณหภูมิที่ระดับต่างๆกัน โดยวัดที่ระดับความลึกผิวดิน, ต่ำกว่าผิวดิน 0.10, 0.20, 0.40 ม. เพื่อหาระยะที่ให้ผลด้านการลดอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยที่ฝังที่

ผลการทดลองย่อย

จากการทดลองพบว่าน้ำไม่สามารถเข้าสู่ระดับต่ำกว่าผิวดินได้เลย จากรูปพบว่าน้ำสามารถซึมเข้าไปได้แค่ 5 ซม. จากผิวด้านบน ส่วนที่ต่ำกว่านั้นแห้งสนิทโดยน้ำได้ซึมออกทางด้านข้างและไหลลงไปที่พื้น บางส่วนจะตกลงตรงๆสู่พื้นเลยไม่ซึมไปยังบริเวณใกล้เคียงเหมือนวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน



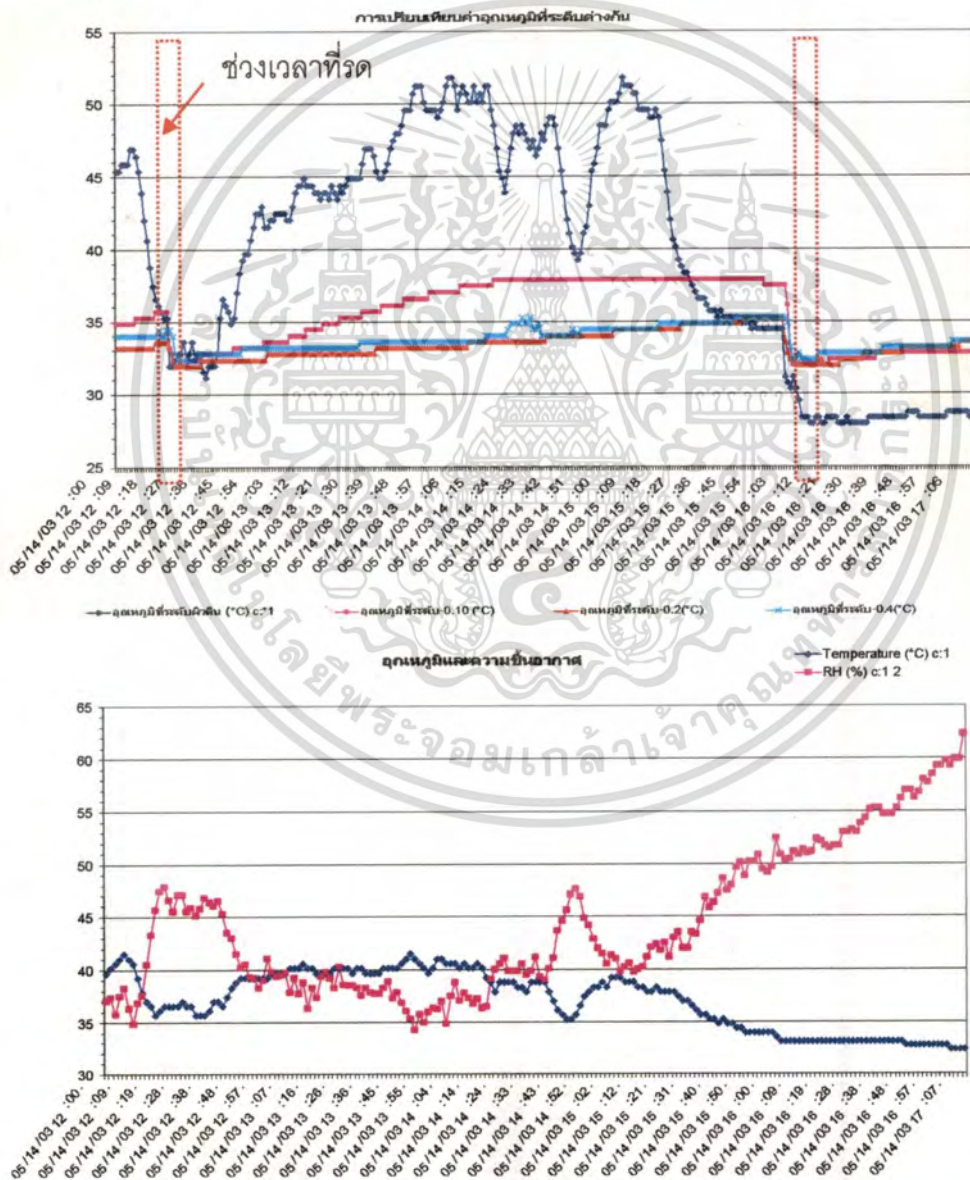
ภาพที่ 3.15 การรดน้ำให้แกลบ ปรากฏว่าน้ำซึมเฉพาะด้านบน และไม่อมน้ำ โดยไหลผ่านลงด้านล่างด้านนอกเปียกแต่ด้านในกองแกลบแห้งเนื่องจากแกลบไม่อุ้มน้ำเหมือนดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 แสดงนำส่วนที่เหลือไหลไปรวมกันที่พื้นตามรูป

และค่าการวัดอุณหภูมิที่ได้ในแต่ละระดับความลึกโดยแบ่งเป็นความลึกที่ระดับผิว ลึก 10 และ 40 ซม. ดังกราฟ



ภาพที่ 3.17 อุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับต่างกันของแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อมีการรดน้ำอุณหภูมิจะลดลงอันเนื่องจากอุณหภูมิน้ำและหลังจากการรดน้ำแล้วยังมีการลดอุณหภูมิลงอีกอันเนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ แต่เนื่องจากมีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้ความร้อนค่อยๆสะสมตัวขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อรดน้ำซ้ำอีกครั้ง ทั้งที่สภาพอากาศที่ร้อนแต่กลับลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วโดยสามารถลดลงมาถึง 6-7 องศา และการระเหยเกิดขึ้นในเวลาที่มีสภาพอากาศร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ทำให้การระเหยสามารถทำได้ดี โดยค่าอุณหภูมิที่ระดับความลึก 10 ซม. จะได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าที่ระดับ 20 และ 40 ซม. มาก และค่าอุณหภูมิที่ระดับความลึก 20 และ 40 ซม. มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน

สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองที่ได้ทำให้เราเห็นว่าที่ระดับความลึกต่ำกว่าผิวน้ำตั้งแต่ 20 ซม. น่าจะเหมาะสมในการนำไปใช้กับการกำหนดความลึกของท่อฝังดิน เพราะค่าอุณหภูมิที่ระดับ 20 ซม. ใช้วัสดุคลุมดินน้อยแต่ให้ผลด้านอุณหภูมิใกล้เคียงกับ การฝังที่ระดับความลึก 40 ซม. ซึ่งใช้วัสดุคลุมดินมากกว่าถึง 1 เท่าตัว

ค่าที่น่าสังเกตอีกส่วนหนึ่งคือ การรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิมีกการแกว่งตัวสูงในระดับผิวน้ำ อันเนื่องจากการรับรังสีคลื่นยาวและเมฆ ทำให้ที่ผิวน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกากาศในเวลาเดียวกัน และเกิดการสะสมความร้อนที่ระดับชั้นใต้ดินเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่ระดับต่ำกว่ามีการเพิ่มอุณหภูมิตามแต่แกว่งตามในปริมาณไม่มากเท่าระดับผิวน้ำ แสดงให้เห็นว่าวัสดุตัวนี้จะทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนแบบหนึ่ง ในกรณีที่ไม่มีการระเหยของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง

และแสดงให้เห็นว่าในการทำการทดลองของระบบ Indirect Evaporative Cooling ในส่วนระบบท่อฝังดินไม่ควรให้ระบบมีการรับรังสีความร้อนอันจะส่งผลต่ออุณหภูมิภายในท่อได้

ข้อผิดพลาดที่พบจากการทดลอง

การทดสอบในการวัดควรวัดจากวัสดุหลายๆตัวเนื่องจาก ค่าที่ได้ไม่น่าจะเท่ากัน ในการทดลองต่อไปจึงควรใช้วัสดุหลายๆอย่างในการทดสอบ

3.3.2 การวิจัยจากคำถามการวิจัยย่อยที่ 2

วัสดุที่เหมาะสมควร ในการเป็นตัวแทนดินที่เป็นวัสดุเดิมที่มีปัญหาในการทดลองอันเนื่องจากน้ำหนักของตัวดินเองและเมื่อดินที่จะใช้ในระบบต้องทำการรดน้ำตัวดินจะอุ้มน้ำและส่งผลให้มีน้ำหนักมากขึ้นจำเป็นต้องหาวัสดุอื่นมาทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

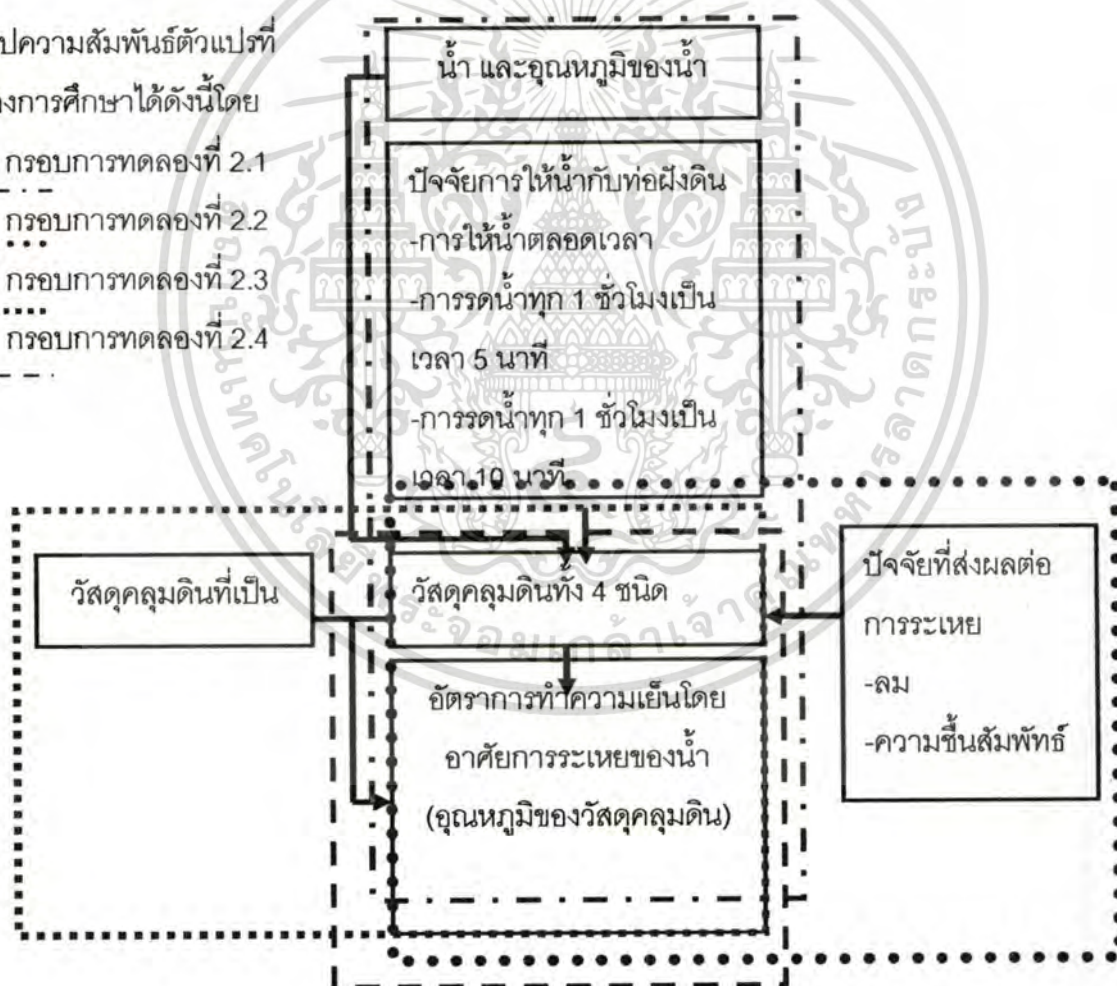
จากข้อสรุปจากการทบทวนวรรณกรรมทำให้ได้ข้อสรุปมาเกี่ยวกับวัสดุที่สามารถนำมาทดแทนในการวิจัยได้เป็นวัสดุ 4 ประเภทคือ แกลบ ชี้เลี้ยง กาบมะพร้าวป่น และกากมะพร้าวสับ แต่การหาความเหมาะสมของวัสดุที่สามารถทำความเย็นให้กับท่อส่งกะสีได้นั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น น้ำและอุณหภูมิของน้ำ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการระเหยของน้ำต่อตัววัสดุทดแทนเช่น ลม ความชื้นสัมพัทธ์ และลักษณะการให้น้ำกับวัสดุที่เชื่อมต่อการระเหย โดยจากปัจจัยดังกล่าวเราจะดูที่ผลการทำความเย็นของวัสดุ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดอัตราการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำที่มีต่อวัสดุแต่ละประเภท

เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับอัตราการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำของแต่ละวัสดุทำให้ต้องแยกการทดลองเป็นการทดลองย่อยๆ 4 การทดลอง โดยมีแผนภูมิความสัมพันธ์ของตัวแปรดังนี้

สรุปความสัมพันธ์ตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้ดังนี้โดย

- กรอบการทดลองที่ 2.1
- กรอบการทดลองที่ 2.2
- กรอบการทดลองที่ 2.3
- กรอบการทดลองที่ 2.4



ภาพที่ 3.18 แผนภูมิความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษาสามารถสรุปเป็นการทดลองย่อยๆ ในแต่ละประเด็นได้ดังนี้

การทดลองที่ 2.1 การหาอัตราการให้น้ำในการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุ ดีที่สุด

เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการระเหย การตั้งอุณหภูมิจากวัสดุ และยังเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของวัสดุอีกด้วย เราจึงจำเป็นต้องรู้ว่าการให้น้ำแก่ระบบมีความแตกต่างกันอย่างไรในแง่การอัตราการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ การกำหนดเวลา 5 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่น้ำสามารถกระจายตัวได้ทั่วถึงวัสดุดีแล้ว ส่วนการให้น้ำที่เวลา 10 นาที เพื่อดูความแตกต่างระหว่างเวลาในการให้น้ำที่เพิ่มอีก 1 เท่า กับอุณหภูมิที่ได้ว่าแตกต่างกันเท่าไร

โดยการทดลองนี้ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นของวัสดุที่ผ่านการระเหยที่มีการให้น้ำแก่ระบบที่ต่างกัน โดยไม่มีลมจากพัดลมมาช่วย เพื่อดูผลด้านการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ และทำการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิวัสดุทั้ง 4 ชนิด โดยวัดที่ระดับ 10 ซม. และระดับ 20 ซม. และรตน้ำเปรียบเทียบ โดยเทียบระหว่าง

1. การรดน้ำตลอดเวลา
2. การรดน้ำทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 นาที
3. การรดน้ำทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 นาที

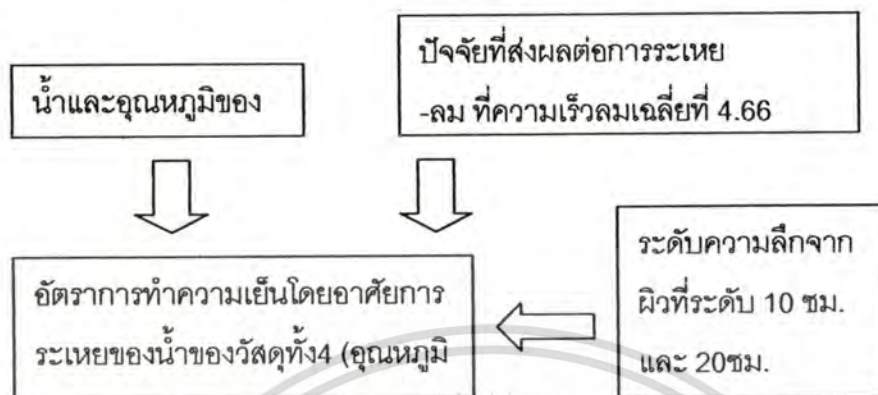


การทดลองที่ 2.2. การหาผลเกิดจากลมที่มีต่ออัตราการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุ

ปัจจัยที่สำคัญต่อมาต่อการระเหยของน้ำคือ ลม ซึ่งเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดการพาความร้อน การให้ลมยิ่งได้ความเร็วมากเท่าไรยิ่งดีต่อการระเหย จึงต้องทำการทดสอบ ว่าในสภาพที่มีปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมการระเหยเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่ออัตราการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำของวัสดุทั้ง 4 ว่าเป็นเช่นไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

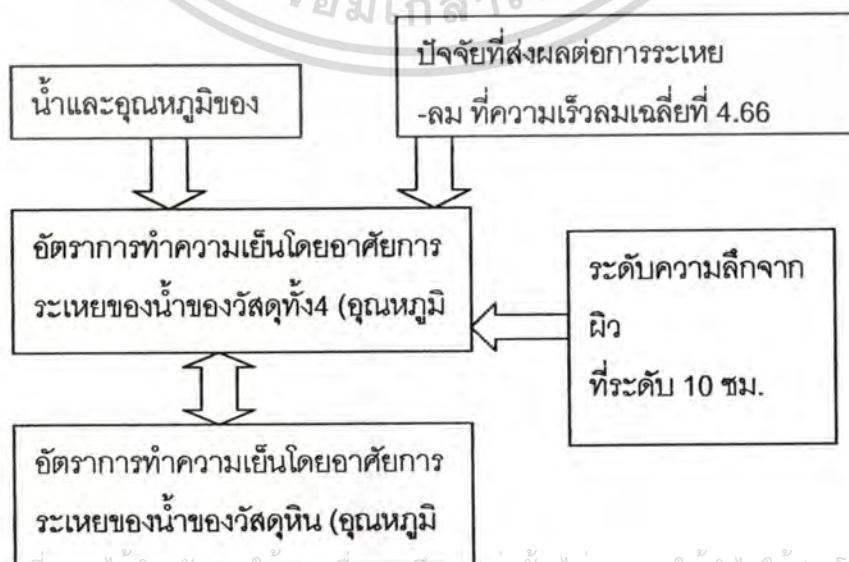
ในการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบค่าการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำในวัสดุแต่ละประเภท ซึ่งมีปัจจัยลมเพิ่มเข้ามา ใช้พัดลมมอเตอร์ไฟฟ้า มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 4.66 เมตร/วินาที และรดน้ำให้ระบบโดยใช้ผลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 2.1



การทดลองที่ 2.3. การหาค่าความต่างระหว่างวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการทดลอง กับ หิน

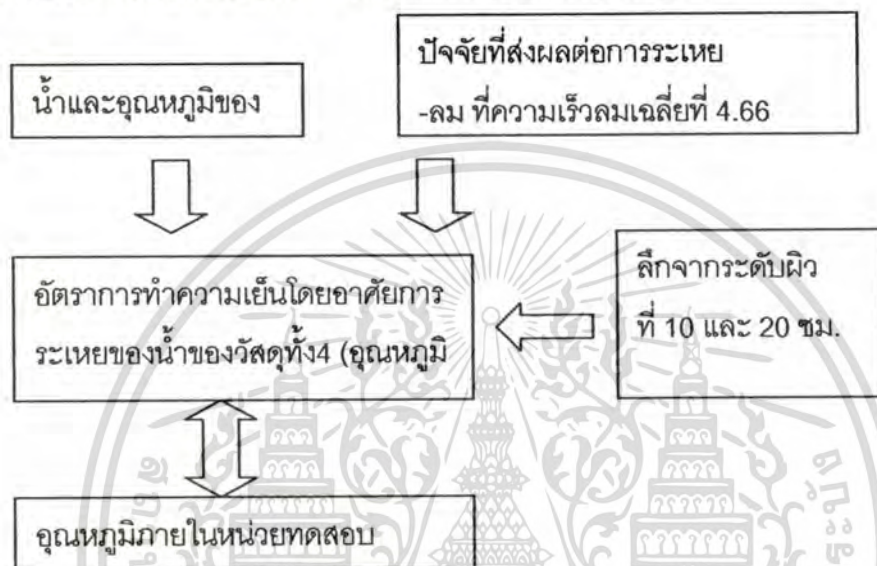
ในการทำความเย็นด้วยดินนั้น วัสดุที่ดีในการทำความเย็นในระบบนี้จากการทบทวนวรรณกรรม(Givoni Baruch, 1994) พบว่าหินเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการทำความเย็นด้วยดิน แต่ไม่สามารถนำมาใช้งานในการทดลองนี้ได้เนื่องจากมีน้ำหนักมาก แต่ต้องการทราบ ว่าวัสดุอื่นๆ ที่สามารถทำความเย็นได้มากที่สุดจากการทดลองที่ 2.2 นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับหินแล้วจะมีค่าแตกต่างกันอย่างไร

โดยการทดลองย่อยนี้จะเปรียบเทียบค่าการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำในระหว่างวัสดุอื่นๆ กับหิน ว่ามีค่าแตกต่างกันมากน้อยแค่ไหนโดยมีปัจจัยลมที่เกิดจากพัดลมความเร็วลมเฉลี่ย 4.66 เมตร/วินาที และรดน้ำตามผลการทดลองที่ 2.1



การทดลองที่ 2.4. การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากอัตราการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุกับหน่วยทดสอบ

จากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาเราสามารถบอกได้ว่าวัสดุที่ทำการทดสอบชนิดใดมีความสามารถในการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำของวัสดุตัวใดดีกว่ากัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยทดสอบที่สร้างไว้ จะเป็นเช่นไร อุณหภูมิวัสดุที่ทำได้แม้ว่าจะต่ำเพียงใดแต่ถ้าไม่ต่ำกว่าหน่วยทดสอบที่เตรียมไว้ ก็มีแนวโน้มว่าระบบที่ทำจะไม่ได้ผล

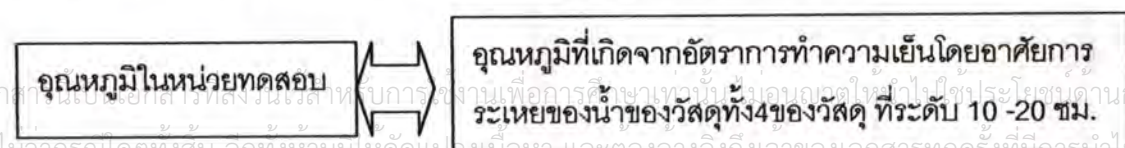


ในการทดลองย่อยนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุที่เกิดจากอัตราการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำของวัสดุทั้ง 4 กับอุณหภูมิอากาศภายในหน่วยทดสอบที่เตรียมไว้ เป็นตัวแทนห้อง ว่ามีอุณหภูมิแตกต่างกันแค่ไหน โดยให้น้ำแก่ระบบตามผลการทดสอบที่ 2.1 และให้ลมจากพัดลมไฟฟ้า ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 4.66 m/s

การทดลองที่ 2.5. การหาระดับอุณหภูมิวัสดุ เมื่อไม่มีปัจจัยที่เอื้อในการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุว่าแตกต่างกันอย่างไร

ในการทดสอบทั้งหมดจะเห็นว่าปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อระบบ ทำให้เกิดคำถามตามมาว่าในถ้าไม่มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการระเหยแล้วระบบจะเป็นอย่างไร และเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยทดสอบแล้วแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

การทดลองย่อยนี้เพื่อทดสอบว่าถ้าวัสดุไม่มีปัจจัยที่ช่วยในการระเหยคือลมและน้ำที่รดให้วัสดุ แต่ให้ shading สำหรับกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เท่านั้น จะมีผลอย่างไรในแต่ละวัสดุ



วิธีการทดลองย่อย

จากการสรุปข้างต้นเพื่อให้เห็นหลักการ และข้อแตกต่างของการทดลองย่อยในแต่ละส่วน โดยในแต่ละการทดลองย่อยมีเนื้อหาที่แตกต่างกันดังนี้

การทดลองที่ 2.1 การหาอัตราการให้น้ำอัตราการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุที่ดีที่สุด

เป็นการทดสอบการรดน้ำที่มีผลต่อปัจจัยการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำของแต่ละวัสดุ ว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างไร โดยในการทดลองนี้เพื่อสะดวกในการวิจัยทำให้ต้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยคือ

การทดลองย่อยที่ 2.1.1 เป็นการทดสอบในกรณีรดน้ำให้ระบบตลอดเวลา

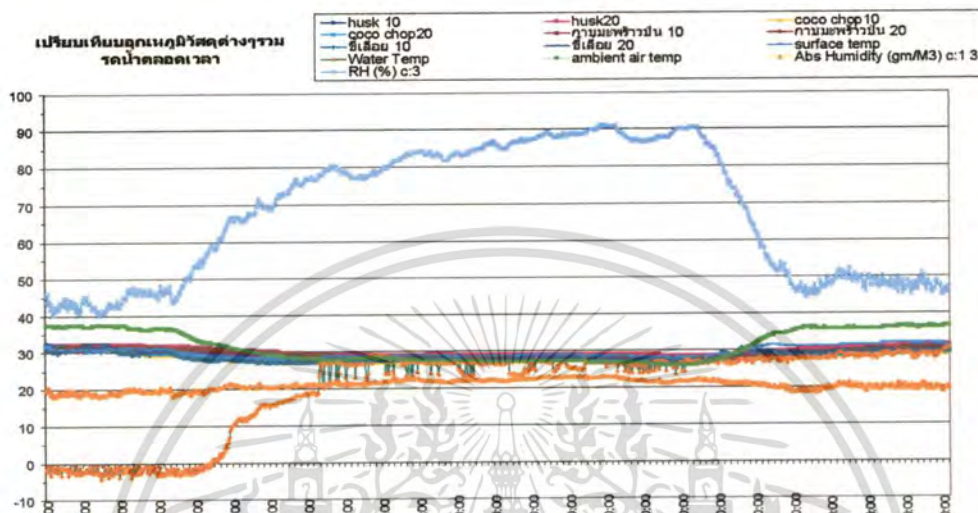


ภาพที่ 3.19 การติดตั้งระบบการรดน้ำและวัสดุที่ทำการทดสอบ โดยมีวัสดุขนาดต่างกันแสงแดด และติดตั้งสายวัดอุณหภูมิที่ระดับต่างกัน ที่ระดับ 10 และ 20 ซม.

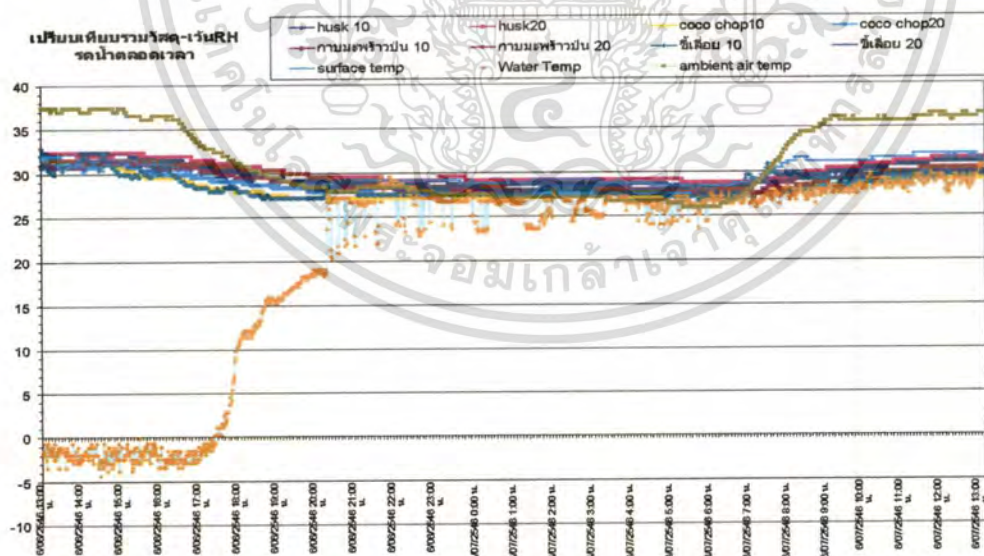
โดยทำการติดตั้งระบบทดลองโดยนำวัสดุทั้ง 4 ประเภท อันได้แก่ แกลบ ชี้เลื่อย กาบมะพร้าวป่น และกาบมะพร้าวสับ มาวางบนโฟมหนา 3 นิ้วเพื่อกันความร้อนที่จะมาจากดิน และน้ำ โดยทำที่บังแดดสูงประมาณ 70 ซม. เพื่อกันรังสีความร้อนที่จะมีผลต่อการทดลอง และกันแดดที่จะส่องโดนวัสดุทั้ง 4 ได้ตลอดทั้งวัน โดยเว้นช่องทางด้านทิศเหนือ-ใต้ เป็นช่องทางลมประจำผ่าน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งหัวสปริงเกอร์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดโดยนำมาทดสอบว่าหัวชนิดใดที่ให้ขนาดละอองน้ำที่เล็กที่สุดเพื่อให้เกิดอัตราการระเหยได้มากที่สุด

ติดตั้งระบบไว้ที่บริเวณสถานที่จริงในการดำเนินการก่อสร้างท่อฝังดินเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของระบบ และทำการทดสอบโดยเปิดน้ำตลอดเวลาได้ผลดังกราฟ ประกอบการทดลองที่ 2.1.1



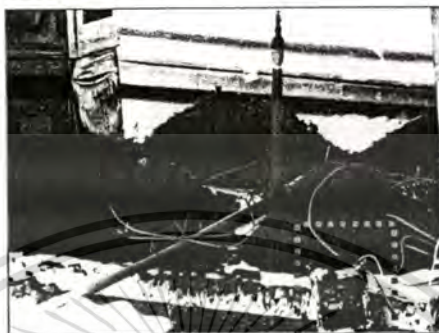
ภาพที่ 3.20 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.1.1 เป็นผลที่รวมวัสดุทุกชนิดที่ระดับ 10 และ 20 ซม. อุณหภูมิความชื้น และอุณหภูมิน้ำ



ภาพที่ 3.21 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.1.1 เป็นผลที่ไม่รวมความชื้นสัมพัทธ์เพื่อให้เห็นรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าอุณหภูมิน้ำมีค่าต่ำมากจนติดลบโดยคาดว่าน่าจะเกิดจากการผิดพลาดของ เครื่องมือวิจัยเนื่องจากอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงมาก และอุณหภูมิก็เริ่มขยับตัวสูงขึ้นโดย มีการแกว่งตัวสูงถึง 7-8 องศา และค่อยๆ เบาลงจนค่าเกาะกลุ่มกันและเริ่มคงที่ โดยอุณหภูมิน้ำจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของวัสดุอื่นๆ อยู่ ประมาณ 1-2 องศา และอุณหภูมิเกาะกลุ่มกันไปเรื่อยๆ จาก โดยวัสดุที่ระดับ 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าระดับ 20 ซม.



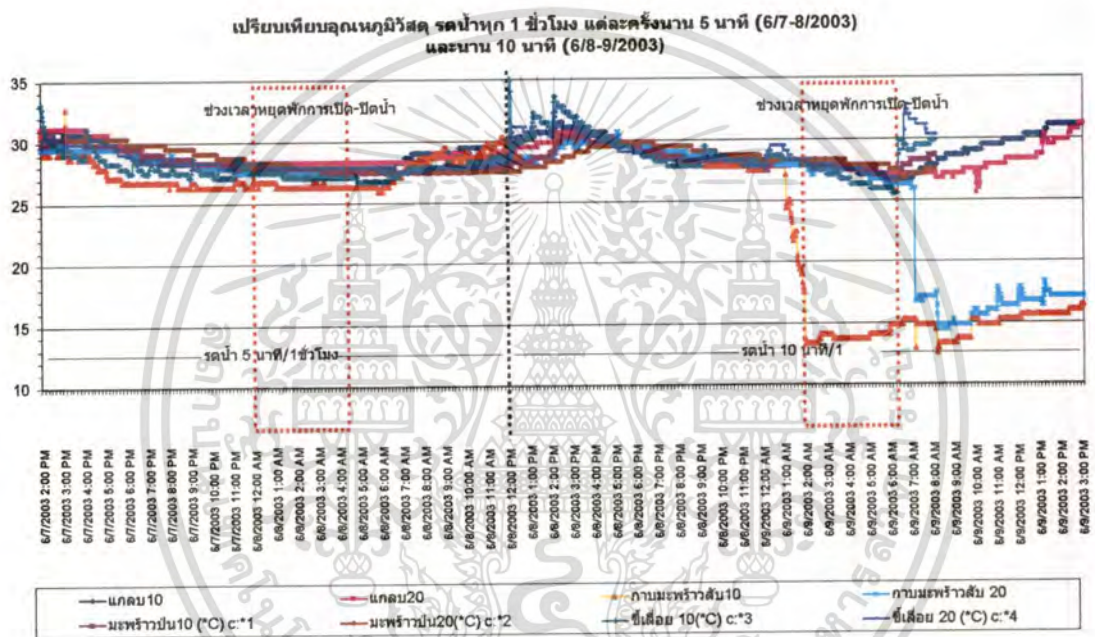
ภาพที่ 3.22 การวัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้ระบบพลศาสตร์ภายในร่มและร่อนน้ำที่วัสดุ เพื่อเป็นตัวแทนอุณหภูมิน้ำ

สรุปผลการทดลอง 2.1.1 ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำเป็นปัจจัยหลักในการลดอุณหภูมิของวัสดุต่างๆ ในกรณีการร่อนน้ำตลอดเวลาถึงแม้ว่าจะปรับน้ำให้มีอัตราการไหลในปริมาณต่ำแล้วก็ตามคือน้อยที่สุดที่ทำให้สปริงเกอร์ทำงานได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้น้ำในระบบต่อเนื่องไม่เป็นผลดี เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้เป็นอุณหภูมิน้ำไม่ได้เกิดจากการระเหยของน้ำ และมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมากเกินความจำเป็นมาก และผลที่ได้ด้านอุณหภูมิวัสดุ ในเวลากลางวันในช่วงที่มีอากาศร้อนที่สุด กาบมะพร้าวสับที่ 10 และ 20 ซม. ได้อุณหภูมิต่ำสุดและช่วงเวลาเช้า มีขี้เลื่อย 10 ซม. ที่มีอุณหภูมิต่ำด้วย แต่ทั้งหมดนี้เกิดตามอุณหภูมิน้ำที่ได้

การทดลองที่ 2.1.2 การร่อนน้ำทุกชั่วโมงโดยแต่ละครั้งนาน 5 นาที และ นาน 10 นาที เปรียบเทียบกันการทำการทดลองในส่วนยังคงส่วนอื่นๆ เหมือนการทดลองที่ 2.1.1 แต่ผู้วิจัยทำการเปิด-ปิดน้ำทุกชั่วโมงโดยเปิดน้ำทุกครั้งนาน 5 นาทีในช่วง 24 ชั่วโมงแรก (วันที่ 7-8 มิถุนายน 2003) และเปลี่ยนเป็นเปิด-ปิดน้ำ ทุกชั่วโมง แต่ละครั้งนาน 10 นาที ในช่วงหลัง (วันที่ 8-9 มิถุนายน 2003) การทดลองนี้เน้นที่ความสามารถในการทำความเย็นเป็นหลัก และไม่ได้วัดมวล แต่เทียบปริมาตรวัสดุที่ใช้ขนาดเท่าๆ กัน ทุกกอง โดยการให้น้ำที่หัวจ่ายเดียวกันซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม

การเปลี่ยนระบบการวัดอุณหภูมิน้ำพบว่าอุณหภูมิน้ำมีการแกว่งตัวในช่วงที่เปิดน้ำ เนื่องจากน้ำในท่อวางกลางแจ้งทำให้ท่อได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เมื่อเปิดน้ำ น้ำที่ออกมาจึงร้อน เมื่อน้ำร้อนที่ไหลออกไปอุณหภูมิน้ำก็ต่ำลง และเมื่อปิดน้ำก็มีการสะสมความร้อนขึ้นเรื่อยๆ จนถึงรอบเปิดน้ำใหม่(อุณหภูมิน้ำจากกราฟประกอบ ผลการทดลองที่ 2.1.2)

โดยคราวนี้พบว่าน้ำมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ และแม้ว่าจะมีการปิดระบบคือการหยุดเปิด-ปิดน้ำในเวลากลางคืนค่าก็ไม่ต่างกับขณะเปิดระบบมากนัก โดยในการทดลองนี้พบว่ากามมะพร้าวแบบสับสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าวัสดุอื่น โดยซีลีอ้อมีอุณหภูมิสูงสุด



ภาพที่ 3.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุที่มีการรดน้ำ 5-10 นาทีในทุก 1 ชั่วโมง ไม่รวมอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำ

โดยที่ผิววัสดุมีค่าอุณหภูมิต่ำทั้งที่อุณหภูมิน้ำสูงแสดงว่ามีการระเหยเกิดขึ้น โดยจากการเปรียบเทียบกราฟทั้ง 2 วัน ค่าอุณหภูมิผิวในวันที่รดน้ำ 10 นาที จะดีกว่า มีค่ากามมะพร้าวสับในวันที 2 แปรกกว่าวัสดุอื่นคือต่ำกว่ามาเรื่อยๆถึง 15 องศาในขั้นต้นคาดว่าเกิดข้อผิดพลาดกับเครื่องมือเก็บข้อมูล

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าการรดน้ำทุกชั่วโมง เป็นเวลา 10 นาที จะให้ผลดีใกล้เคียงกับการให้น้ำเป็นเวลา 5 นาที และกามมะพร้าวสับมีค่าการทำความเย็นที่น่าสนใจ และวัสดุที่ให้อุณหภูมิต่ำได้น้อยที่สุดคือขี้เลื่อย โดยน้ำที่อยู่ในท่อควรมีการปรับปรุงเพื่อให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่เป็นอยู่ เช่น การนำมาพักน้ำก่อนเข้าสู่ระบบ (จากการทดลองที่ 2.1 เมื่อน้ำเต็มด้วยที่รองน้ำ น้ำจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่) การบังแดดให้กับท่อเพื่อลดการรับรังสีความร้อนให้กับท่อน้ำอันมีผลต่ออุณหภูมิน้ำ และการลดอุณหภูมิโดยทำให้เกิดการระเหยโดยพ่นเป็นละอองฝอยทำให้น้ำมีการระเหยตัวอันเป็นผลให้มีการลดอุณหภูมิของน้ำลง เป็นต้น

และผลที่ได้ข้างต้นมีการพบส่วนของการลดอุณหภูมิน้ำ และการกันรังสีความร้อน ที่จะมามีผลกับอุณหภูมิวัสดุในวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ขาดไป แต่ยังมีปัจจัยด้านการเพิ่มอัตราการระเหยซึ่งปัจจัยหลักคือลมและความชื้น ถ้าเกิดมีลมมาช่วยในการระเหย จะลดอุณหภูมิได้มากแค่ไหน

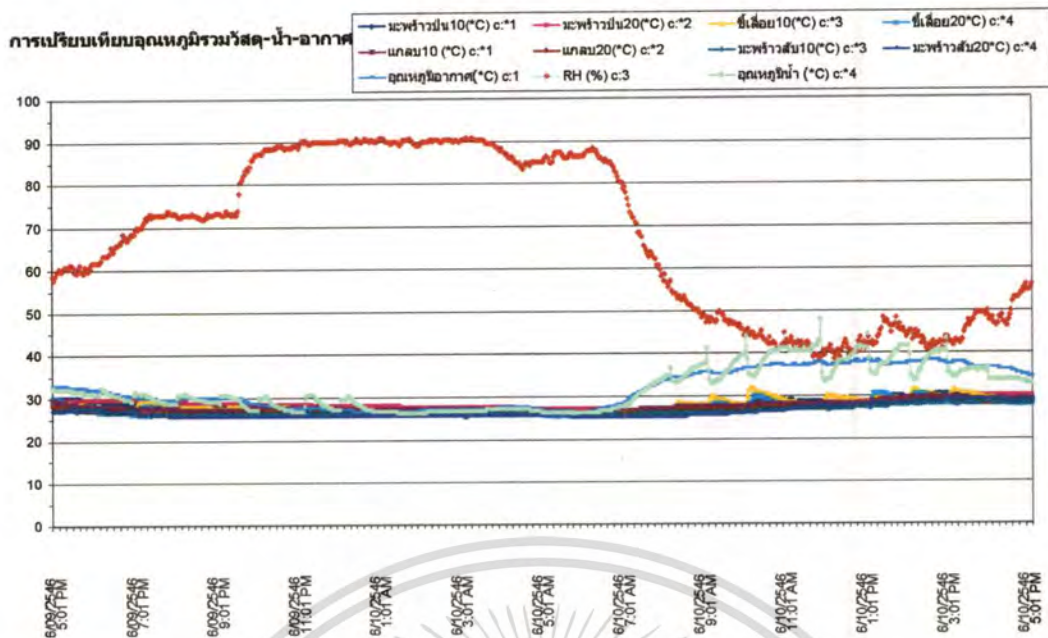
การทดลองที่ 2.2 การหาผลเกิดจากลมที่มีต่ออัตราการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุ

การทดลองย่อยนี้จะกล่าวถึงการเพิ่มปัจจัยที่เพิ่มอัตราการระเหยให้สูงขึ้นอีกโดยการเพิ่มปัจจัยด้านความเร็วลม โดยเตรียมการทดลองเหมือนกับที่ผ่านมา แต่เพิ่มพัดลม(ใบพัดขนาด 12 นิ้ว 220v 0.2 amp) โดยวัดความเร็วลมเฉลี่ย ได้ 4.33 m/s มาติดตั้งเพิ่มเพื่อเพิ่มปัจจัยในการระเหยให้มากขึ้น โดยวางให้ลมสามารถพัดผ่านวัสดุทุกกอง รดน้ำเป็นเวลา 10 นาทีในทุกชั่วโมง

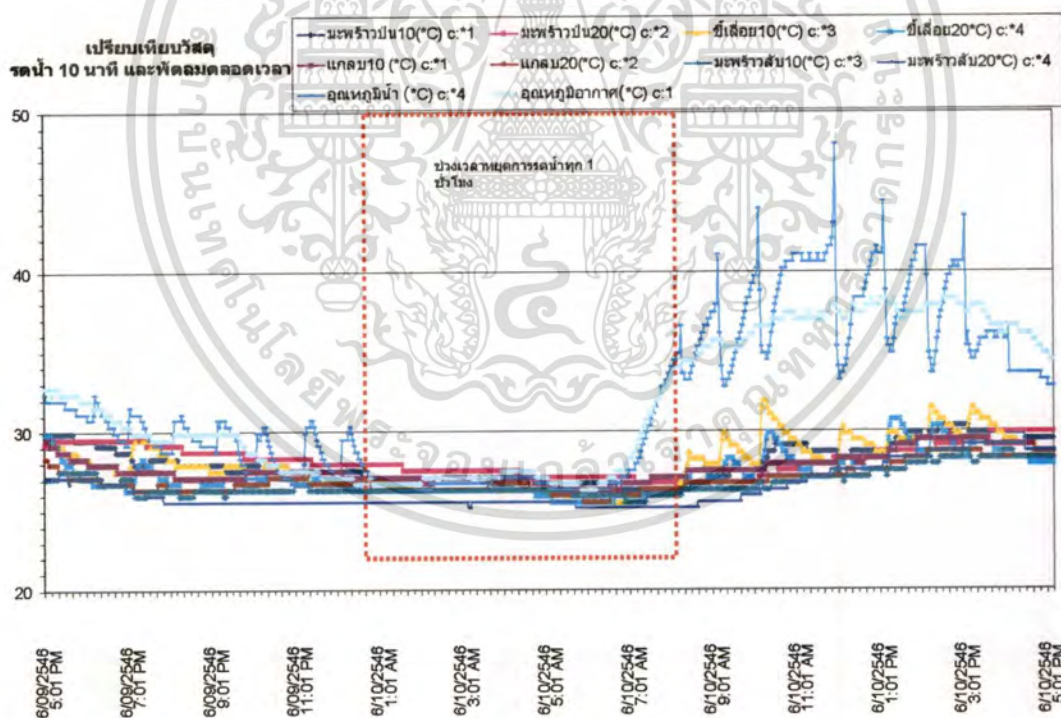


ภาพที่ 3.26 ภาพประกอบการทดลอง พัดลมที่ใช้ในการทดลองและการติดตั้งลงบนพื้นที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.27 กราฟผลการทดลองที่ 2.2 การวัดอุณหภูมิวัสดุ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิน้ำ



ภาพที่ 3.28 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.2 โดยตัดส่วนความชื้นสัมพัทธ์ออกเพื่อขยายรายละเอียดอุณหภูมิวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าที่วัดได้พบว่าน้ำยังคงมีค่าแอมป์ไปมาและสูง เกาะไปกับอุณหภูมิอากาศ แต่ตัวอุณหภูมิวัดมีการแกว่งตัวของอุณหภูมิน้อย มีเฉพาะที่เคลื่อนที่แกว่งตัวตามอุณหภูมิ น้ำ ส่วนวัสดุที่มีค่าการลดอุณหภูมิได้มากที่สุดคือกามมะพร้าวสับดีที่สุดคือที่ 20 ซม. รองมาคือ ที่ระดับ 10 ซม. โดยกามมะพร้าวสับที่ระดับ 10 ซม. จะทำได้ดีกว่าในเวลากลางวันช่วงเวลาประมาณ บ่ายโมงถึง บ่าย 3 โมง โดยกามมะพร้าวสับ 20 ซม. ทำได้ดีในเวลากลางคืน และโดยเฉลี่ยดีกว่าวัสดุอื่นอยู่ 1-2 องศา

สรุปผลการทดลอง

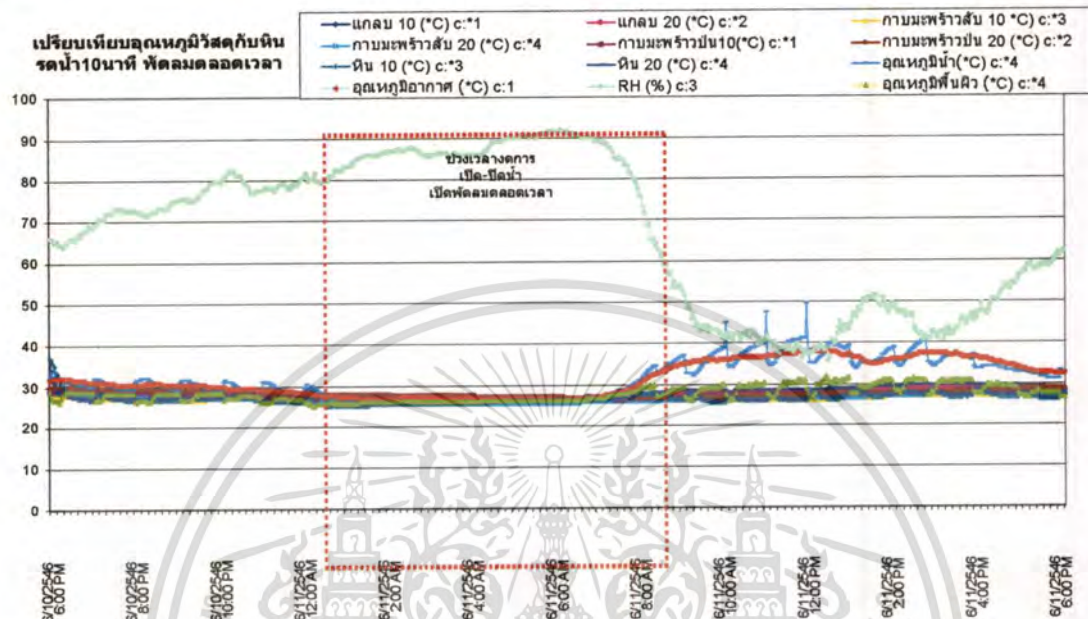
จากผลการทดลองเราจะพบว่าวัสดุที่น่าจะนำมาใช้ควรจะเป็น กามมะพร้าวสับ รองลงมาคือ แกลบ ส่วนที่เคลื่อนที่นั้นอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับน้ำทั้งระดับ 10 และ 20 ซม. จึงไม่น่าใช้ในระบบการทำความเย็นที่ใช้การระเหยของน้ำ ในช่วงเวลากลางคืนเป็นช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้มีการระเหยได้ยากแม้มีพัดลมเป่าลมช่วยอยู่ตลอดเวลาแล้วก็ตาม ทำให้การไม่รดน้ำให้ระบบก็ไม่มีเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของวัสดุมากนัก ดังนั้นระบบนี้ไม่น่าจะเหมาะกับการทำความเย็นในเวลากลางคืน เพราะอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิวัสดุใกล้เคียงกันมาก ระบบไม่น่าจะทำความเย็นได้มากนัก

แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าหินมีคุณสมบัติที่ดี ในการทำความเย็นด้วยดิน (Earth Cooling) และจากผลการทดลองข้างต้นทำให้คิดว่าน่าจะมีการเปรียบเทียบค่าระหว่างวัสดุที่ได้ จากผลการทดลองข้างต้นมาเปรียบเทียบกับ หิน เพื่อดูคุณสมบัติที่แตกต่างระหว่างวัสดุทั้งสอง ในด้านการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำที่มีต่อวัสดุว่าแตกต่างกันอย่างไร

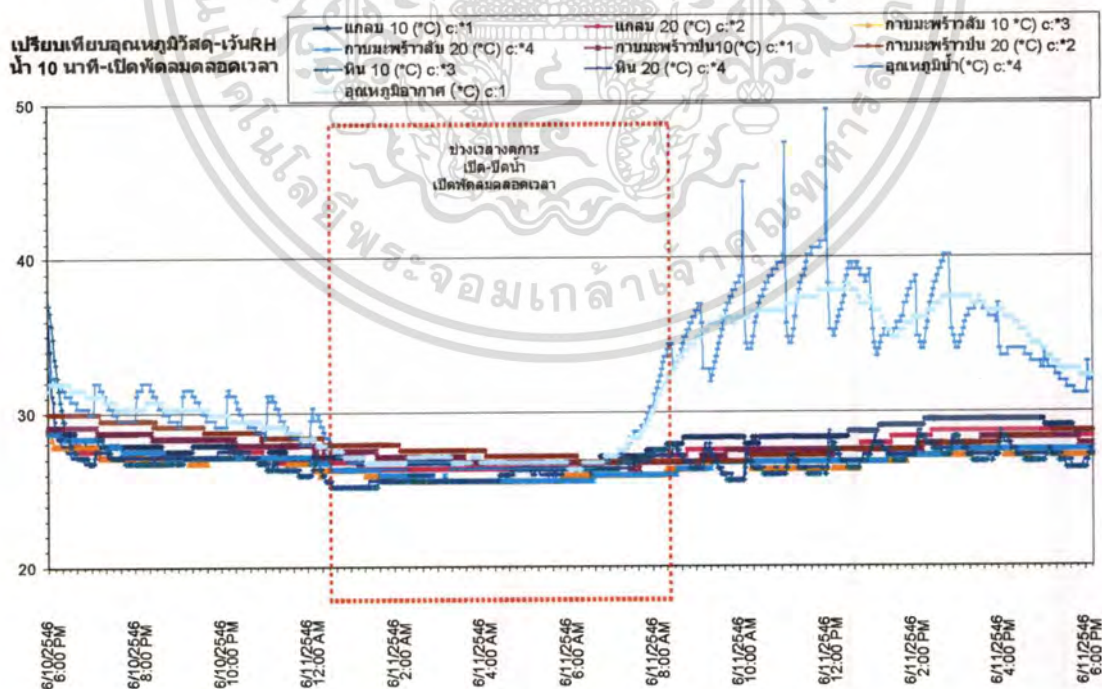
การทดลองที่ 2.3 การหาค่าความต่างระหว่างวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการทดลอง กับ หิน

ในการทดลองย่อยนี้ต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านความสามารถในการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุเน้นที่กามมะพร้าวสับ เปรียบเทียบกับ หินซึ่งเป็นวัสดุในทางทฤษฎีที่น่าจะทำความเย็นในระบบการทำความเย็นด้วยดินได้ดีที่สุด

การเตรียมการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา แต่ปรับวัสดุ ขี้เลื่อย ออกเนื่องจาก การทดลองที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติไม่เหมาะสมและเนื้อที่ในการทำการทดลองจำกัด โดยนำเอาหินเข้ามาเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นให้ระบบโดยวางแทนที่กองขี้ เลื่อย



ภาพที่ 3.29 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.3 แสดงผลการเปรียบเทียบวัสดุที่ทดสอบ กับหิน



ภาพที่ 3.30 แสดงผลการทดลองที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบวัสดุที่ทดสอบกับหิน โดยไม่รวม ความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าจากกราฟที่ได้ พบว่าหินมีค่าการแกว่งตัวของอุณหภูมิตามอุณหภูมิน้ำ แต่ก็มี
ความสามารถในการทำความเย็นได้ดีที่สุด โดยควบคุมมากับกามมะพร้าวสับ ที่ระดับ 10 ซม.และ
กามมะพร้าวสับ 20 ซม.ทั้งที่เวลากลางวันมีอุณหภูมิสูงแต่วัสดุทั้ง 3 สามารถลดอุณหภูมิลงได้
ประมาณ 10 องศา (จาก 37 องศาเหลือ 27 องศา) ส่วนแกลบนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุตัวอื่น อยู่ 2-
3 องศา

สรุปผลการทดลอง

กามมะพร้าวแบบสับทั้งที่ระดับ 10 ซม.และระดับ 20 ซม.สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุม
ดินได้ดีพอกับหิน ทั้งที่มีน้ำหนักน้อยกว่า และ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมีผลต่อวัสดุ
น้อยกว่ามาก

ฉะนั้นในการทดลอง เราสามารถสรุปวัสดุตัวแทนเพื่อใช้ในการทดลองได้ คือกามมะพร้าว
สับ แต่ในการทำการทดลองการใช้วัสดุที่ระดับ 10 ซม.น่าจะดีกว่าเพราะใช้วัสดุคลุมดินน้อยกว่า
ครึ่งแต่ได้อุณหภูมิใกล้เคียงกับที่ระดับ 20 ซม.มาก

แต่การทำอุณหภูมิที่ได้ สามารถทำความเย็นให้กับท่อได้เพียงพอแล้วหรือยัง อุณหภูมิที่ได้
แตกต่างจากอุณหภูมิของหน่วยทดสอบเท่าไร เพราะการที่อุณหภูมิหน่วยทดสอบที่ไม่แตกต่างจาก
อุณหภูมิวัสดุ อาจทำให้ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิได้

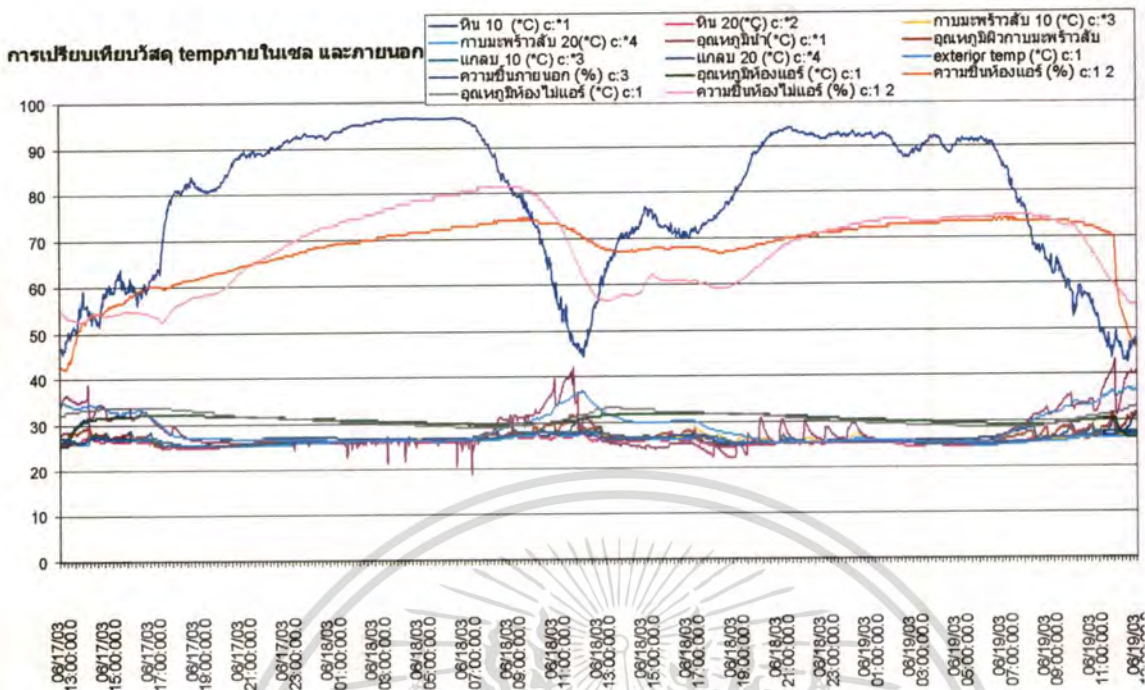
การทดลองที่ 2.4 การเปรียบเทียบ อุณหภูมิที่ได้จากอัตราการทำ ความเย็นจากการระเหยของน้ำ
ในแต่ละวัสดุ กับอุณหภูมิหน่วยทดสอบ

การทดลองนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้ของวัสดุกับอุณหภูมิเขตทดลอง โดยการ
ติดตั้งระบบวัดอุณหภูมิเหมือนการทดลองที่ผ่านมา โดยวัดอุณหภูมิเขตทดลองที่มีอยู่ ทั้ง 2 ห้องมา
เปรียบเทียบกันเพื่อหาความต่างของอุณหภูมิของหน่วยทดสอบทั้ง 2 และ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ
ของวัสดุ เพื่อหาค่าความสามารถในการทำความเย็นของวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบกับในหน่วยทดสอบ
ที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ กับไม่ติดตั้งระบบปรับอากาศนั้นมีค่าอุณหภูมิที่ได้ใกล้เคียงหรือแตกต่างกัน
อยู่เท่าไร

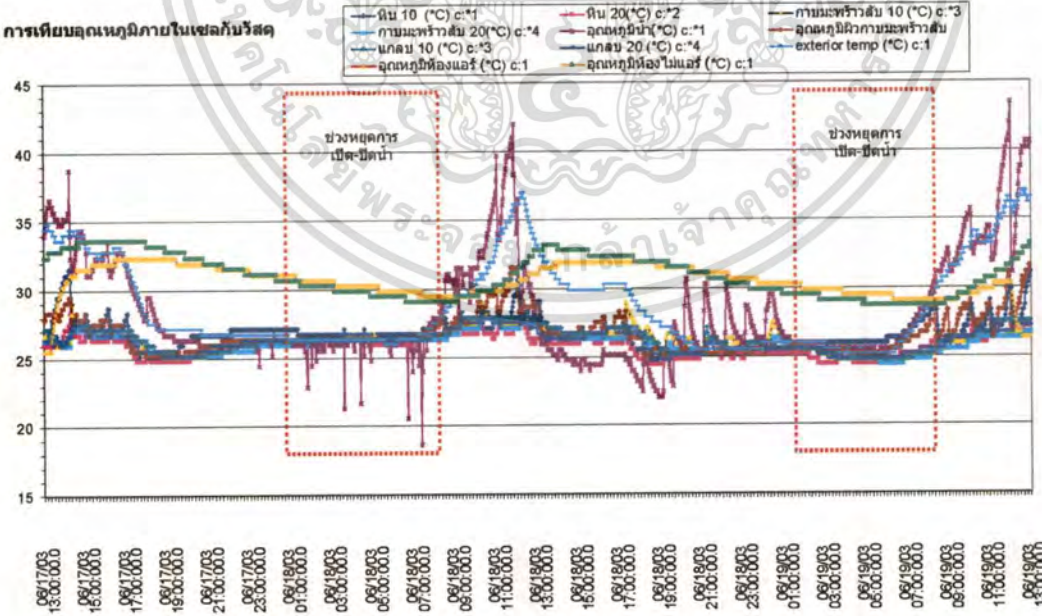
ปัญหาที่พบระหว่างการทดลอง

ในหน่วยทดสอบที่ 2 เป็นหน่วยทดสอบที่มีการติดตั้งระบบทำความเย็น (Air condition) มี
การเข้าใช้พื้นที่ของเจ้าหน้าที่ในหน่วยทดสอบโดยจะมีการเปิดแอร์ในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น.-
13.00 น.ในวันทำการราชการทำให้ผลการวัดในส่วนของการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 2 หน่วยมี
ปัจจัยที่คลาดเคลื่อน แต่เราจะทราบผลที่เกิดจากการเข้าใช้พื้นที่ในการเปิดเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

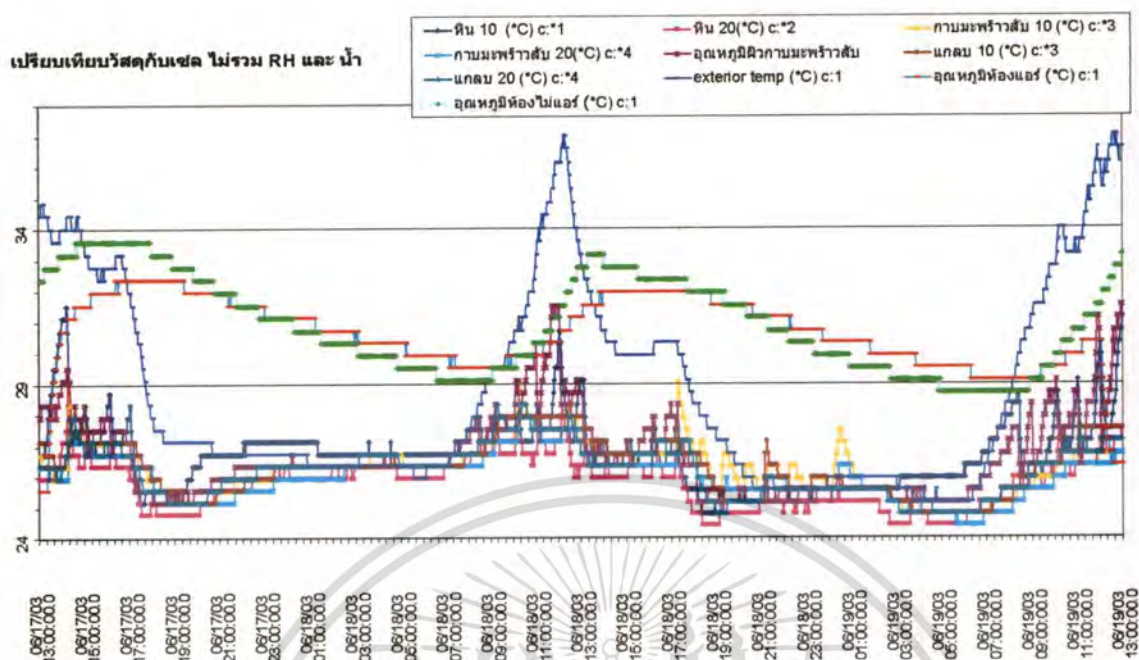


ภาพที่ 3.31 แสดงผลการทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดสอบที่เตรียมไว้ โดยรวมอุณหภูมิวัสดุ อากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และหน่วยทดสอบทั้ง 2 หน่วย



ภาพที่ 3.32 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างหน่วยทดสอบ กับวัสดุ โดยไม่รวมความชื้นสัมพัทธ์ ในวันอังคาร-พฤหัสบดี ที่ 17-19 มิถุนายน 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.33 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างหน่วยทดสอบ กับวัสดุ โดยไม่รวมความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิน้ำ

จากกราฟแสดงผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิน้ำมีค่าแปรปรวนมาก แต่อุณหภูมิวัสดุแก้วตัวค่อนข้างคงที่คืออยู่ในช่วง 26-28 องศา และมีอุณหภูมิต่ำที่แก้วตัวตามอุณหภูมิน้ำ แต่ยังคงทำความเย็นได้ดี โดยอุณหภูมิวัสดุจะต่ำกว่าอุณหภูมิหน่วยทดสอบอยู่ประมาณ 5-6 องศา ในเวลากลางวัน แต่ในช่วงเวลาที่ทดสอบ สภาพอากาศทั้ง 2 วันอากาศมีเมฆมากตลอดวันทำให้อุณหภูมิกายนอกอาคารเย็นกว่าภายในหน่วยทดสอบทั้งสอง

หน่วยทดสอบที่ติดเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดเครื่องปรับอากาศทำอุณหภูมิลงได้ถึง 25 องศาในเวลาใช้งาน (12.00-13.00 น.)และเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิปรับตัวใกล้เคียงกันในเวลา ประมาณ 21.00 น.

สรุปผลการทดลอง

อุณหภูมิกามมะพร้าวสับที่ระดับ 10 ซม.มีการแกว่งตัวตามอุณหภูมิน้ำแต่ยังเกาะกลุ่มกับกามมะพร้าวสับที่ระดับ 20 ซม. และหินที่ 20 ซม.ซึ่งสามารถทำความเย็นได้ดี โดยหิน 10 ซม.มีการแกว่งตัวในเวลากลางวันใกล้กับอุณหภูมิความมะพร้าวสับ ซึ่งสูงกว่าวัสดุตัวอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิหน่วยทดสอบทั้ง 2 เมื่อดูจากกราฟแสดงให้เห็นว่า กาบมะพร้าวสับ ที่ 10 และ 20 ซม. ทำอุณหภูมิได้ต่ำกว่าหน่วยทดสอบแบบไม่ติดเครื่องปรับอากาศอยู่ 5-7 องศาในเวลากลางวัน

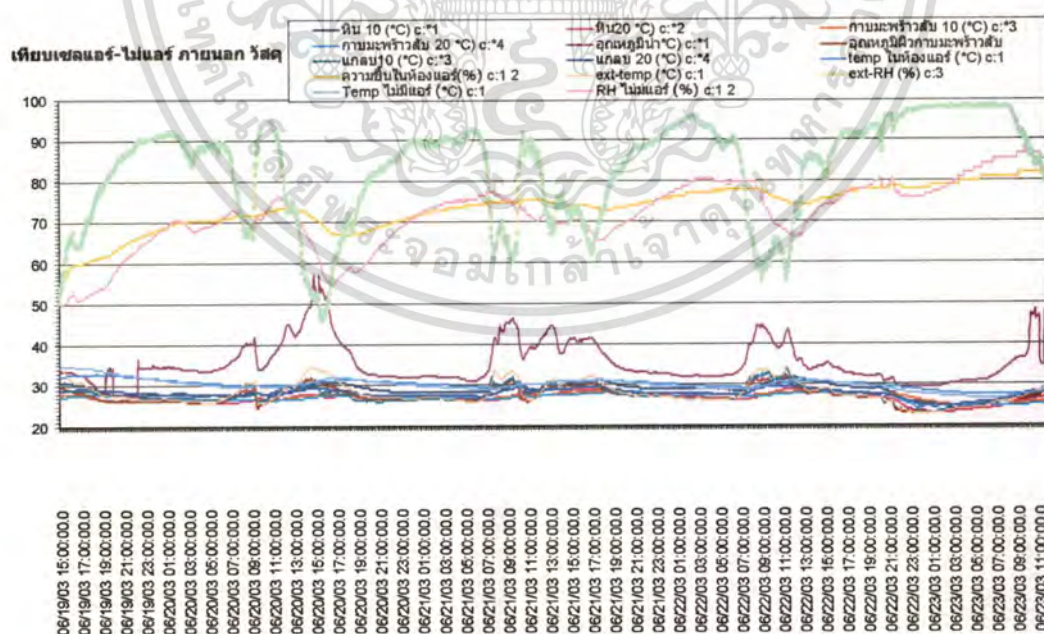
และอุณหภูมิหน่วยทดสอบที่ติดเครื่องปรับอากาศ จะต่ำกว่าหน่วยทดสอบที่ไม่ติดแอร์ในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. จะต่ำกว่าประมาณ 7 องศา ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิความต่างของ กาบมะพร้าวสับกับอุณหภูมิห้อง

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการทดสอบอุณหภูมิหน่วยทดสอบ ทั้ง 2 โดยเปรียบเทียบให้มีปัจจัยเหมือนกันคือ งดการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อดูความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้ง 2 ห้อง

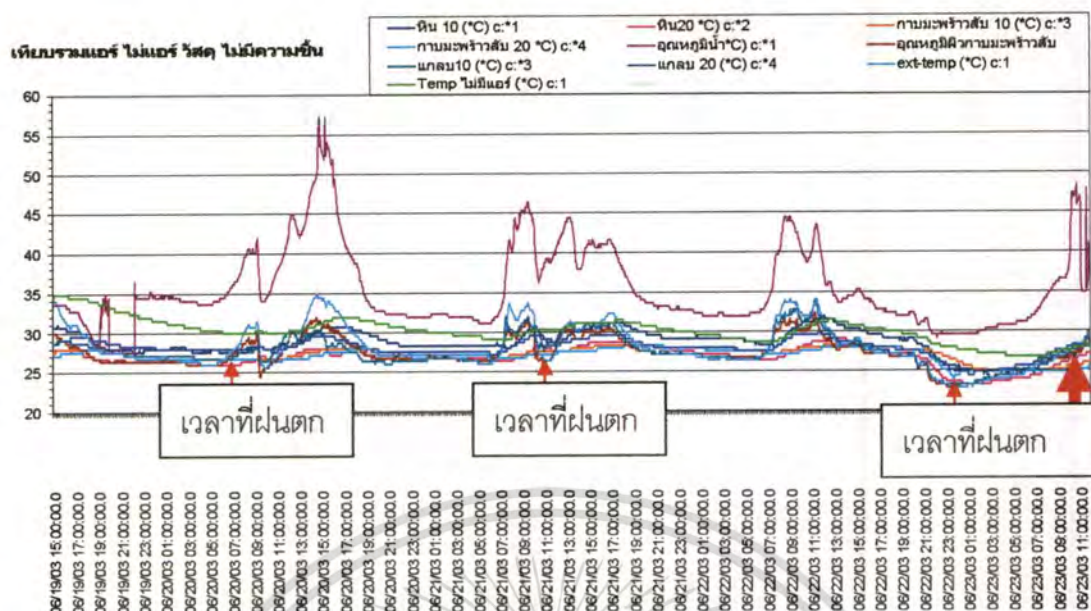
การทดลองที่ 2.5 การหาระดับอุณหภูมิวัสดุ เมื่อไม่มีปัจจัยที่เอื้อในการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำในแต่ละวัสดุว่าแตกต่างกันอย่างไร

การทดสอบในส่วนนี้ เน้นที่ความแตกต่างในการทำอุณหภูมิ ของวัสดุที่เมื่อไม่มีปัจจัยอื่นสนับสนุนในการระเหยเลยจะมีผลแตกต่างกันกับอุณหภูมิห้องแค่ไหน แต่ยังคงให้ ร่มเงา (shading) เพียงอย่างเดียวจะให้ผลอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบโดยมีลมภายนอกความเร็วอยู่ในช่วง 0.5 -0.9 เมตรวินาที ซึ่งค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีอาคารบังลม

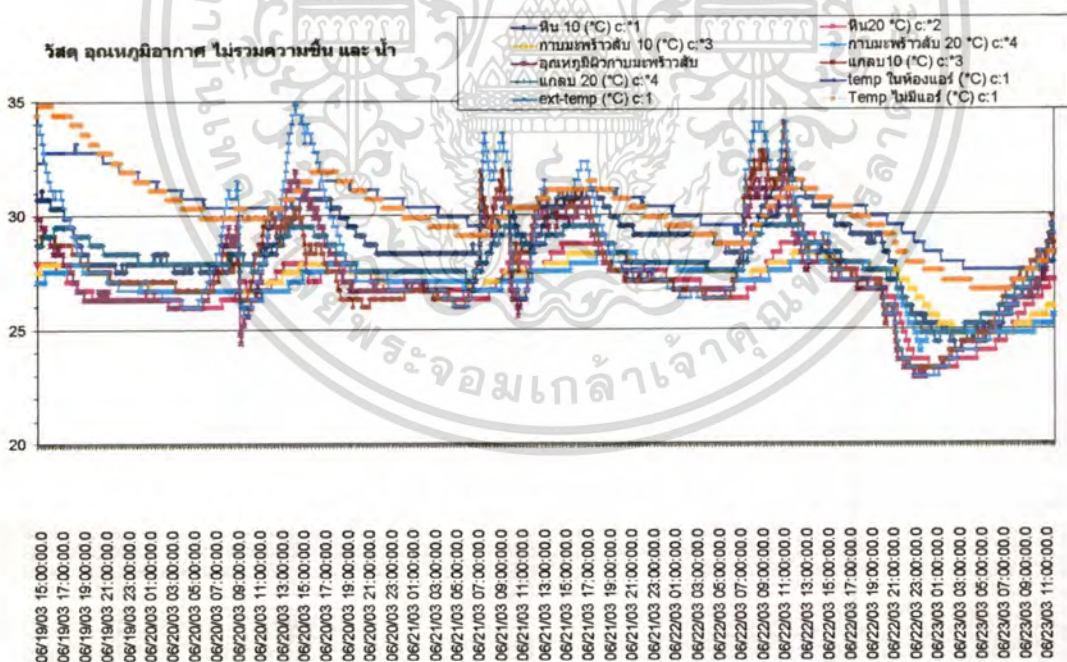


ภาพที่ 3.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดลอง ความชื้นอากาศ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดลอง อุณหภูมิอากาศ
อุณหภูมิน้ำ ไม่รวมความชื้นอากาศ



ภาพที่ 3.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุ กับหน่วยทดลอง อุณหภูมิอากาศ ไม่รวม
ความชื้นอากาศ และอุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเก็บข้อมูลระหว่างการทดลองพบว่าสภาพอากาศมีเมฆครึ้มทั้งวันตั้งแต่วันที่20-22 เดือน มิถุนายน และมีฝนตกเป็นช่วงๆโดยวันที่ 19 เป็นวันศุกร์ หน่วยทดสอบมีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศมาก่อนหน้า (12.00-13.00 น.) ทำให้อุณหภูมิในหน่วยทดสอบมีอุณหภูมิต่ำอยู่ ส่วนในวันที่20-21 เป็นวันเสาร์-อาทิตย์ ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศจะพบว่าในเวลา กลางวันหน่วยทดสอบทั้ง 2 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันแต่เย็น-กลางคืนมีความต่างของอุณหภูมิล็กน้อยประมาณ ครึ่งถึง 1 องศา

ในวันจันทร์มีฝนตกหนักตอนเวลาประมาณ 3 ทุ่มส่งผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างมาก

สรุปผลการทดลอง

วัสดุที่ทำความเย็นได้ดีในเวลากลางวันยังคงเป็นกาบมะพร้าวสับ 10 และ 20 ซม.โดยทำ อุณหภูมิต่ำกว่าหน่วยทดสอบทั้งสองอยู่ประมาณ 5 องศา แต่เมื่อมีฝนตกอุณหภูมิผิวกาบมะพร้าว สับตกลงอย่างมากอันเนื่องมาจากละอองฝนทำให้เกิดการระเหยที่ผิววัสดุ แต่ที่ระดับความลึก 10 และ 20 ซม. ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

เป็นที่น่าสังเกตว่าแม้ว่าสภาพที่ไม่มีการช่วยในการระเหยเพื่อดึงความร้อนออกจากวัสดุ แต่อุณหภูมิจากกาบมะพร้าวสับที่ระดับ 10 และ 20 ซม. กลับมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอก 3-4 องศาโดย น่าจะเป็นที่อุณหภูมิภายนอกต่ำอยู่แล้วเนื่องจากสภาพที่อากาศมีเมฆมาก และมีฝนตก เป็นระยะทำให้อากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้อุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบไม่สูงด้วยทำให้ ความแตกต่างของอุณหภูมิจากวัสดุกับหน่วยทดสอบแตกต่างกันไม่มาก

ข้อสรุปจากการทดลองย่อย

จากผลการทดลองจะพบว่า "กาบมะพร้าวสับ" หนาที่ระดับ 10 ซม. เหมาะสมในการ นำมาทำวิจัยมากที่สุดโดยพิจารณาจากผลการทดลอง และงบประมาณในการลงทุนทำวิจัย

ผลจากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา จะเห็นว่าระบบการทำความเย็นด้วยดินนี้ไม่น่าที่จะ เหมาะสำหรับการทำความเย็นในเวลากลางคืน เนื่องจาก ปริมาณความชื้นในอากาศในเวลา กลางคืนสูงมาก ส่งผลต่อการระเหยของน้ำต่ำลง อันทำให้ระบบการทำความเย็นด้วยดินโดยอาศัย การระเหยของน้ำในพื้นที่นี้ไม่มีประสิทธิภาพ

ระบบน้ำที่มาจากท่อ หรือจากแหล่งน้ำ ควรมีบ่อพักเพื่อให้อุณหภูมิน้ำลดลง หรือมีการให้ ร่มเงาเพื่อลดการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำ ซึ่งมีผลกระทบกับ อุณหภูมิวัสดุกับระบบการทำความเย็นด้วยดิน

ส่วนตัวระบบท่อฝังดินควรกันแดดด้วยเนื่องจากการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยตรงนั้นส่งผลต่ออุณหภูมิภายในท่อ และเป็นการลดประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบ การทำความเย็นด้วยดินโดยอาศัยการระเหยของน้ำด้วย

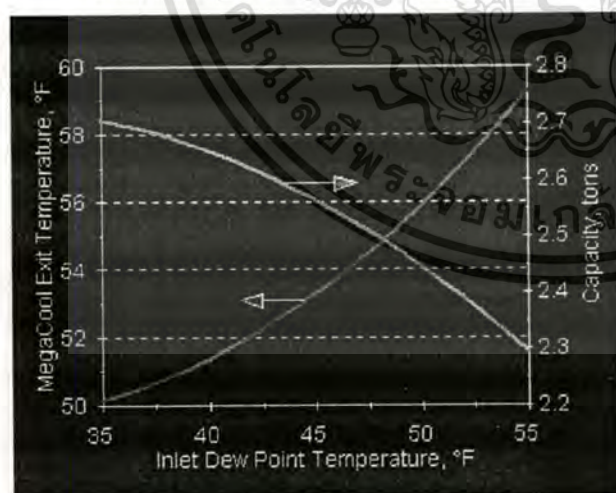
การให้น้ำกับระบบควรทำที่ระยะเวลาทุก 1 ชั่วโมง โดยรดน้ำด้วยสปริงเกอร์แบบที่ฝอยละเอียดที่สุด เป็นเวลา 10 นาที ในการทำจริงควรมีระบบที่สามารถเปิด-ปิดน้ำ ตามเวลาดังกล่าวได้ด้วยตัวเองแบบอัตโนมัติ

ควรติดตั้งระบบพัดลมหรือระบบที่ทำให้อากาศเคลื่อนตัวทำให้เกิดการพาความร้อน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยของน้ำให้กับระบบการทำความเย็นด้วยดินโดยอาศัยการระเหยของน้ำได้

3. การเตรียมระบบ Indirect evaporative cooling (IDE)

ในการเตรียมระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect evaporative cooling system) มีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ วัสดุที่ใช้ทำตัวระบบ ขนาด และวัสดุที่ใช้ช่วยในการระเหย (พองน้ำ) จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าขนาดที่ระบบนี้ทำกันอยู่มีหลายขนาดแต่ที่มีขนาดเล็กที่สุดเป็นของนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย สามารถทำความเย็นจากระบบนี้ได้มากดังกราฟ

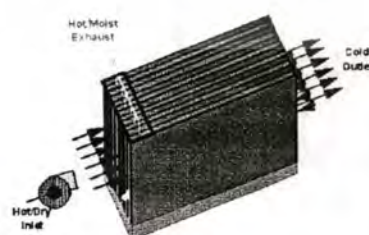
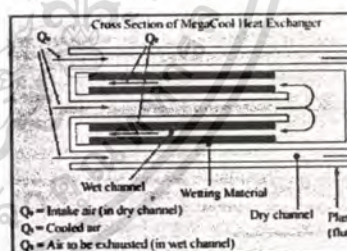
กราฟแสดงประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Indirect Evaporative Cooler ที่พัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย จาก www.megacool.ru



Performance: Inlet Temperature = 110°F

Exhaust Ratio = 40%

Dimensions: 1.8'Lx1.9'Wx2.4'H



ภาพที่ 3.37 กราฟแสดงประสิทธิภาพและภาพตัวระบบทำความเย็นแบบใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ จาก www.megacool.ru

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีขนาดเพียงแค่ว่า 1.8 x1.9 x2.4 ฟุต เรายนำมาเป็นแนวทางในการกำหนดขนาดของตัวระบบIDE(Indirect Evaporative Cooling) เป็นขนาด 0.60x0.75x0.90 ม.

แต่เนื่องจากระบบทางธุรกิจจึงไม่มีรายละเอียดของช่องแห้ง(Dry channel) และช่องแฉก(Wet channel) มาให้ ทำให้ต้องกำหนดเอาโดยอ้างอิงจากขนาดโดยรวมของระบบ โดยกำหนดให้จำนวนช่องมากที่สุด ได้เป็นช่องแฉก มีขนาดกว้าง 1 ซม. และช่องเปียก มีขนาดกว้าง 1.5 ซม. โดยขนาดดังกล่าวเน้นความสะดวกในการขึ้นรูปวัสดุเป็นหลัก โดยจะได้ช่องเปียก และช่องแห้ง อย่างละ 15 ช่อง

ในที่นี้ช่องแห้ง(Dry Channel) คือส่วนที่อากาศจากภายในห้องที่ต้องการปรับอากาศจะหมุนเวียนเข้ามาที่ช่องแห้งนี้เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นอากาศเย็นเข้าสู่ห้อง ทำให้ห้องมีอากาศเย็น

ส่วนช่องเปียก(Wet Channel) คือส่วนที่อากาศจากภายนอกมาช่วยให้หน้าที่ซึ่งอยู่ในช่องเปียกมีการระเหย การระเหยของน้ำจะดึงพลังงานหรือความร้อนจากช่องแห้งไปใช้ ทำให้อากาศในช่องแห้งเย็นตัวลงเนื่องจากเสียพลังงานให้กับช่องเปียกโดยช่องเปียกและช่องแห้งต้องติดกันและวัสดุที่ระหว่งกันนั้นต้องมีค่าการนำความร้อนสูงด้วย

การกำหนดวัสดุในการทำระบบIDE(Indirect Evaporative Cooling)

วัสดุที่เหมาะสมในการทำระบบIDE(Indirect Evaporative Cooling) นั้น ควรเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการนำความร้อนได้ดี และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย โลหะแผ่นจึงเป็นวัสดุที่น่าจะเหมาะสมที่สุด แต่ในการวิจัยจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องงบประมาณในการทำงานด้วย จึงเลือกวัสดุที่ราคาไม่สูงมากนัก ได้ดังตาราง

ตารางที่3.3 ตารางเปรียบเทียบราคาวัสดุ ที่สามารถนำมาใช้ทำระบบการระเหยทางอ้อมของน้ำ

วัสดุที่สามารถทำระบบ IDE	ราคา/แผ่น	จำนวน ตร.ม./แผ่น	จำนวน ราคา/ ตร.ม.	หมายเหตุ
สังกะสีแผ่นเรียบ 3x8ฟุต(91.5x2.44 ม.) หนา 0.35 มม.	168บาท/แผ่น	2.23 ตร.ม/แผ่น	75.33 บาท/ตร.ม.	-

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

อลูมิเนียมแผ่น 4x8ฟุต หนา 0.30 มม.	280บาท/แผ่น	2.97 ตร.ม/แผ่น	94.27 บาท/ตร.ม.	-
เหล็กแผ่น4x8ฟุต หนา 2 มม.	620บาท	2.97 ตร.ม/แผ่น	208.75 บาท/ตร. ม.	-
สังกะสีแผ่นเรียบ ขนาด1.50x2.25 ม. (5 x 8 ฟุต) หนา 2 มม.	ราคา 200 บาท/แผ่น	3.37 ตร.ม/แผ่น	59.34 บาท/ตร.ม.	-เป็นสังกะสีเก่า มือสอง บรรจุ ภัณฑ์ สำหรับ Container ส่งออก

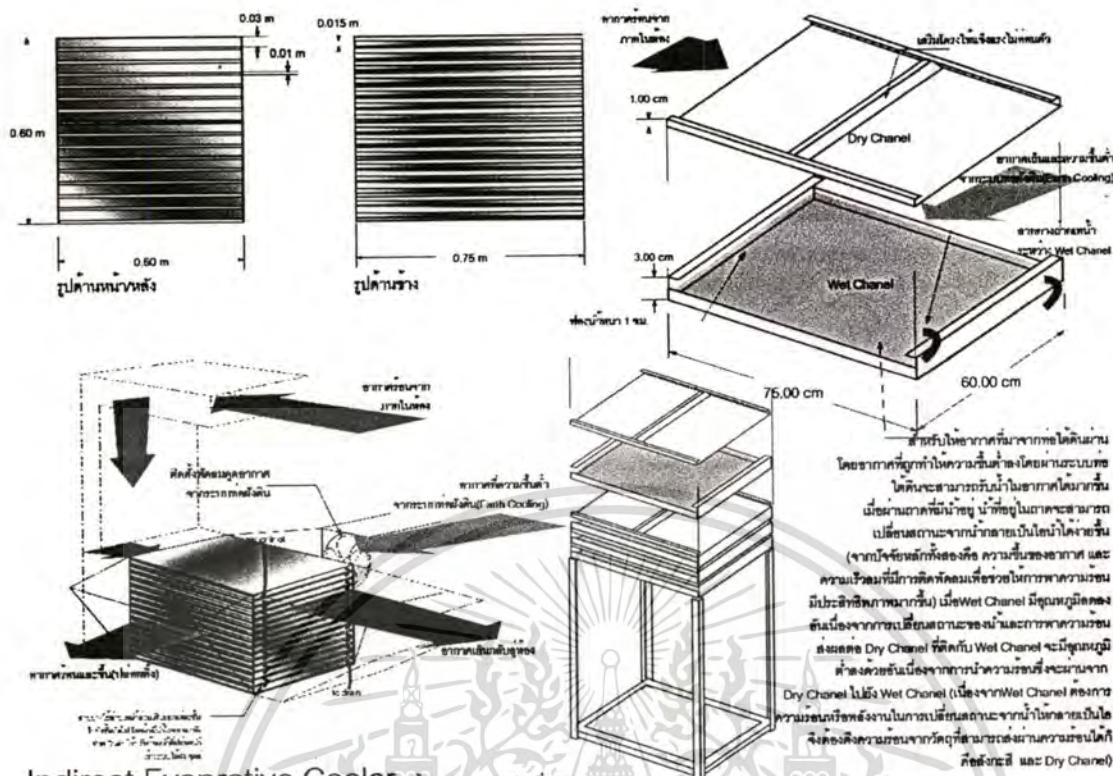
จากตารางข้างต้นแสดงราคาเปรียบเทียบแต่ละวัสดุ/ตารางเมตร เพื่อหาวัสดุที่มีค่าใช้จ่ายต่อ ตารางเมตร น้อยที่สุด จะพบว่าสังกะสีแผ่นเรียบขนาด 5 x 8 ฟุต มีความเหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนการทำให้ระบบ IDE (Indirect Evaporative Cooling)

ในขั้นตอนต่อไปเป็นการทำให้ระบบ IDE (Indirect Evaporative Cooling) นั้นมีขั้นตอน ย่อยดังนี้

1. การทำช่องแห้งและช่องเปียก
2. การทำโครงสร้างของตัวระบบ
3. การกำหนดวัสดุช่วยในการทำความเย็น

โดยทำการออกแบบระบบตามขนาดที่ได้ออกมาดังภาพ



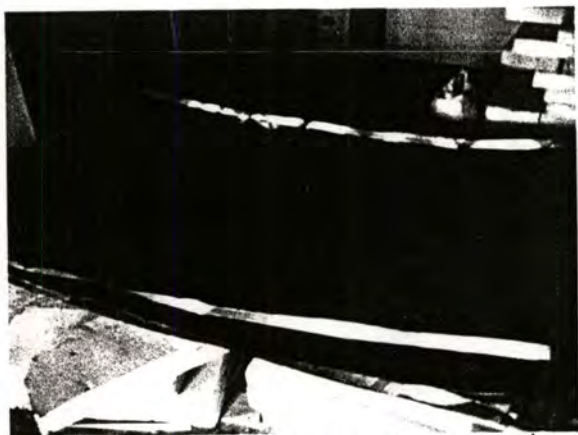
Indirect Evaporative Cooler ใช้กระดาษประมาณ 15 แผ่น/ฟุต

ภาพที่ 3.38 แสดงแบบดำเนินที่ใช้กำหนดขนาดในการผลิต Indirect Evaporative Cooler

การทำช่องแห้ง(Wet Channel) และช่องเปียก(Dry Channel)

พบปัญหาเนื่องจากเครื่องตัดโลหะแผ่นที่มีอยู่ ไม่สามารถตัดโลหะแผ่นที่มีความกว้างเกิน 0.90 เมตร ได้(ขนาดสังกะสีกว้าง 1.50 x 2.40 ม.)จำเป็นต้องแก้ปัญหาโดยนำวัสดุที่ได้มาตัด โดย เลื่อยไฟฟ้าขนาดเล็ก(JIGZAW) มาเป็นเครื่องมือแทน ในขั้นแรกใช้ เลื่อยไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่มีกำลัง เครื่องขนาด 250 watt ไม่มีกำลังพอรองรับงานตัดเหล็กได้ ทำให้มอเตอร์ไหม้ ต้องเปลี่ยนเป็น เครื่องที่มีกำลังขนาด 380 watt จึงสามารถตัดชิ้นงานได้ โดยรองด้านล่างด้วยโฟมหนา 3 นิ้ว จึง จะทำให้ใบตัดยาวไม่ถึงพื้น โดยใบเลื่อยจะอยู่ในชั้นความหนาของโฟม ทำให้ตัดสังกะสีที่มีขนาด ใหญ่ได้สะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



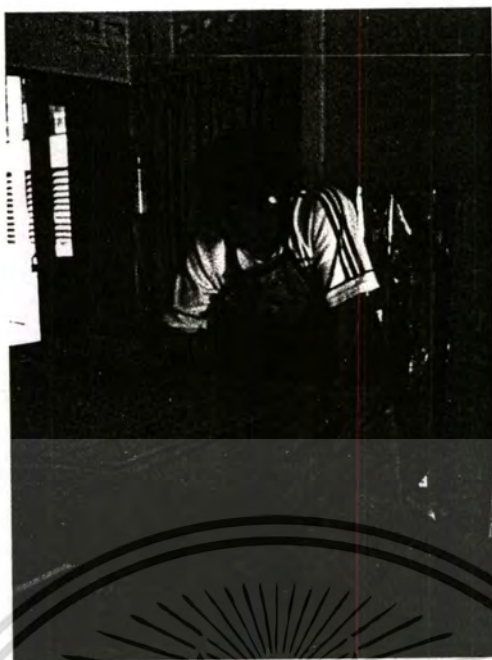
ภาพที่ 3.39 แสดงสังกะสีแผ่นเรียบที่นำมาทำตัวระบบIDE ทั้งช่องแห้งและช่องเปียก



ภาพที่ 3.40 เครื่องมือที่ใช้ในการตัดตัวซ้ายมือมีกำลังที่ 250 watt กำลังเครื่องไม่พอต้องเปลี่ยนเครื่องเป็น ตัวขวามือ มีกำลัง 380 watt แทน

หลังจากการตัดกินแม่แบบที่เขียนด้วยกระดาษมาวาง แล้ววาดตามเพื่อให้ทุกอันมีขนาดเดียวกันแล้วนำไปเข้าเครื่องพับ โดยการพับต้องทำ 2 ขั้นตอน คือในแนว บน-ล่างของแผ่นสังกะสี และแนวซ้ายขวาของสังกะสี โดยเมื่อพับแนวบน-ล่างเสร็จแล้ว ต้องทำการตัดมุมทั้ง 4 ออก จึงพับในแนวซ้ายขวาได้ เนื่องจากไม่สามารถนำเข้าเครื่องพับได้ หลังจากนั้นนำถาดทั้งสองแบบไปอุดรูรั่วด้วยซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.41 แสดงการวาดแบบกระดาดลงบนสังกะสีที่ตัดไว้



ภาพที่ 3.42 แสดงเครื่องพิมพ์เหล็กแผ่น ชนิดความกว้างไม่เกิน 90 ซม.

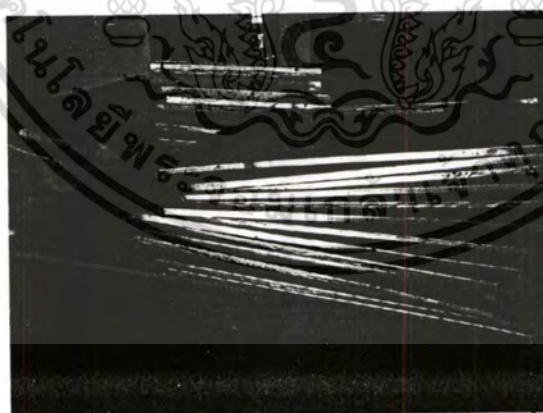
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.43 แสดงวิธีการพับสังกะสีตามแนวที่วาดไว้



ภาพที่ 3.44 การพับครั้งที่สองโดยต้องตัดเศษเพื่อใส่เครื่องพับได้



ภาพที่ 3.45 หลังจากพับแผ่นสังกะสีเรียบร้อยแล้ว ทั้ง 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.46 การนำแต่ละคูมาเชื่อมต่อกันและยาแนว



ภาพที่ 3.47 ภาพช่องเปียกหลังจากการเคาะปรับแต่งและยาแนว

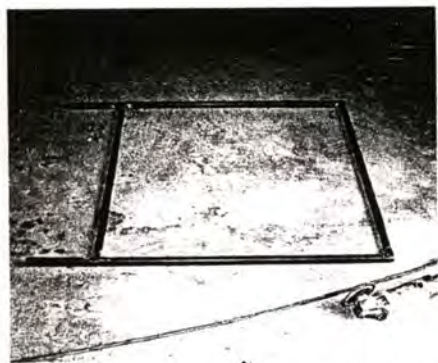


ภาพที่ 3.48 นำช่องเปียกและช่องแห้งมาเชื่อมกันเป็นคูๆด้วย ริเวท

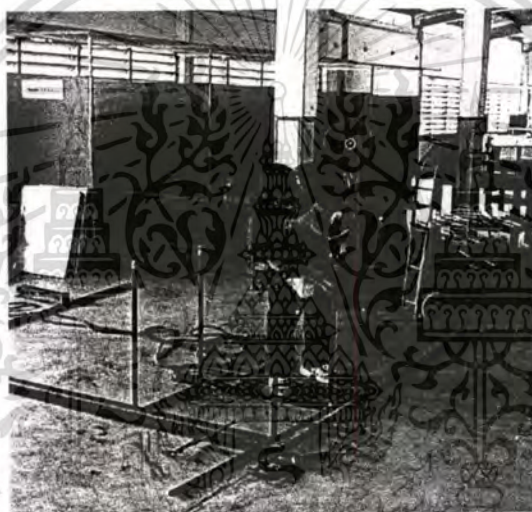
การทำโครงสร้างของตัวระบบ

นำขนาดโครงสร้างของช่องแห้งและช่องเปียกมาหาขนาดเพื่อกำหนดโครงสร้าง โดยกำหนดให้เหล็กชนิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสมาใช้งานเนื่องจาก หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะไม่บิดตัว ที่หน้าตัดเท่าๆกันกับแบบอื่น โดยกำหนดขนาดที่ 1 นิ้ว เพื่อให้ทำโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.49 ภาพการขึ้นแบบหลังจากการตัดได้ตามขนาดและ ทำเหล็กฉากมาช่วยโดยใช้แคมป์
บีบโดยใช้ท่อนเหล็กช่วยยึด



ภาพที่ 3.50 เมื่อยึดจนแข็งแรงดีแล้วก็เชื่อมจนครบตามจุดข้อต่อต่างๆ เจียรรอยเชื่อมให้เรียบเพื่อ
เตรียมใส่ถาดสังกะสีต่อไป

นำเอาช่องแห้งและช่องเปียกที่ประกอบไว้มาเชื่อมต่อกันกับโครงสร้างที่เตรียมไว้ แต่พบ
ปัญหาอีกส่วนคือ วัสดุที่นำมาทำช่องแห้ง-ช่องเปียกนั้นเป็นสังกะสี ไม่สามารถเชื่อมด้วยการเชื่อม
ไฟฟ้าได้ ต้องหาวิธีเชื่อมโดยการใช้อเหล็กฉากมาบีบช่องเปียกและช่องแห้งให้อยู่กับโครงสร้างเหล็ก
และใช้การบัดกรีด้วยตะกั่ว ทำการเชื่อมระหว่างสังกะสีหรือระหว่างช่องแห้งและช่องเปียกไว้
ด้วยกัน จึงแก้ปัญหาส่วนนี้ไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.51 การเชื่อมต่อโครงสร้างกับถาดสังกะสีและ การเชื่อมเหล็กฉากเพื่อบับช่องเป็ยก และแห้งให้ติดกับโครงสร้างที่เป็นเหล็ก



ภาพที่ 3.52 การเชื่อมเหล็กฉากต้องวัดจากจุดอ้างอิงเดียวกันเพื่อกันการคลาดเคลื่อนทำให้ทุกช่องมีขนาดเท่ากันและ ภาพหลังจากการเชื่อมกับโครงสร้างและบัดกรีรอยต่อระหว่างชั้นถาดสังกะสี(ช่องแห้งและช่องเป็ยก) และใช้ซิลิโคนอุดรูรั่วต่างๆ

การกำหนดวัสดุช่วยในการทำความเย็น

ในการเตรียมการในการทำการทดลองในส่วนของพองน้ำที่จะใช้กับระบบ Indirect evaporative cooling พบว่ายังขาดข้อมูลเกี่ยวกับพองน้ำที่จะนำมาใช้กับระบบเนื่องจากเป็นข้อมูลทางธุรกิจจึงจำเป็นต้องแก้ปัญหาโดยการใช้พองน้ำเท่าที่มีอยู่ภายในประเทศ โดยการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของพองน้ำ พบว่ามีมากมายหลายประเภท แต่จะสนใจในปัจจุบันที่ทำให้พองน้ำมีความสามารถช่วยให้ระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

evaporative cooling) มีความสามารถในการทำความเย็นได้มากที่สุด โดยปัจจัยที่น่าจะมีผลสามารถแบ่งตามสมมติฐานได้ดังนี้

1. พองน้ำที่มีความหนาแน่นน้อย-จะมีพื้นผิวมากจนเกิดการระเหยได้มาก
2. พองน้ำที่มีความหนาแน่นมาก-จะมีมวลมากช่วยให้เก็บความร้อนได้มากที่สุดให้กับระบบได้มาก
3. พองน้ำที่มีความหนาแน่นปานกลาง-จะเป็นส่วนผสมระหว่างพองน้ำที่มีความหนาแน่นน้อยและมาก

จากสมมติฐานข้างต้นทำให้ต้องทำการทดลองเพื่อหาพองน้ำที่ทำความเย็นได้มากที่สุด โดยในที่นี้จะเปรียบเทียบกันระหว่างพองน้ำ 3 ประเภท และ ถาดใส่น้ำเปล่าๆที่ไม่มีพองน้ำเพื่อดูการระเหยอย่างเดียวโดยไม่มี มวลเข้ามาเกี่ยวข้อง

การเตรียมการทดลองย่อย เพื่อหาพองน้ำที่เหมาะสมกับระบบทำความเย็น

โดยเตรียมถาดน้ำ(ช่องเปียก) และช่องลมแห้งรวมเป็นหน่วยทดสอบ สำหรับทำการทดสอบ โดยแยกเป็นชั้นๆ ระหว่างหน่วยทดสอบ โดยมีโฟมหนา 3 นิ้ว กัน แต่ละชั้นทำโดยเตรียมพองน้ำชนิดความหนาแน่นสูง(Code : CR-132, บริษัท กรุงเทพโฟม ซี.เอส.เอ จำกัด)ความหนาแน่นอยู่ที่ 40 kg/m^2 และพองน้ำความหนาแน่นต่ำ(Code : AS, บริษัท กรุงเทพโฟม ซี.เอส.เอ จำกัด) ความหนาแน่นอยู่ที่ 8 kg/m^2 และถาดเปล่าสำหรับใส่น้ำอย่างเดียว

การเตรียมการทดลองโดยนำพองน้ำแต่ละชนิดมาตัดให้พอดีกับถาดสังกะสี(ช่องเปียก) โดยถาดสังกะสีจะมีช่องแห้งประกบบน-ล่าง ของช่องเปียก แล้วนำไปวางแยกหน่วยทดสอบโดยมีฉนวนในที่นี้คือ โฟมหนา 3 นิ้วกั้นกลางระหว่างหน่วยทดสอบ หลังจากนั้นติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (Temp/RH Data logger (HOBO)) ตามหน่วยทดสอบโดยแยกเป็นช่องแห้งและช่องเปียก ปิดช่องแห้งให้สนิทด้วยเทปกาวย และติดตั้งพัดลมเพื่อเป่าเข้าช่องเปียกเพื่อช่วยในการระเหยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



ชนิดของฟองน้ำทั้ง 3 แบบและถาดเปล่าสำหรับใส่น้ำ



การวางหน่วยทดสอบโดยมีฉนวนโฟมกัน



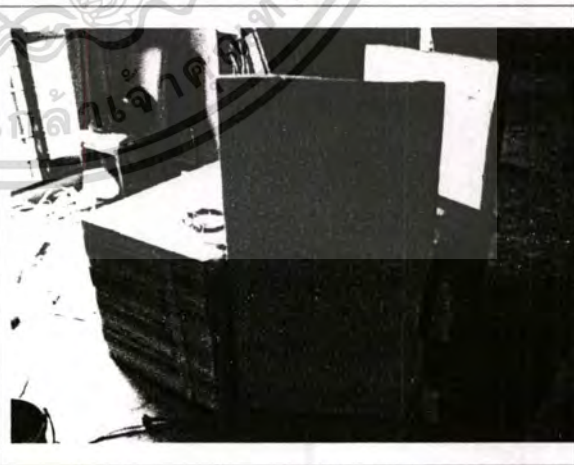
การติดตั้ง (Temp/RH Data logger (HOBO)) เพื่อวัดอุณหภูมิทั้งช่องแห้งและเปียก



ภาพเมื่อติดตั้งช่องแห้งและเปียกและเดินสายวัดอุณหภูมิแล้ว



ภาพการติดตั้งพัดลมเป่าเข้าช่องเปียกเพื่อช่วยการระเหย

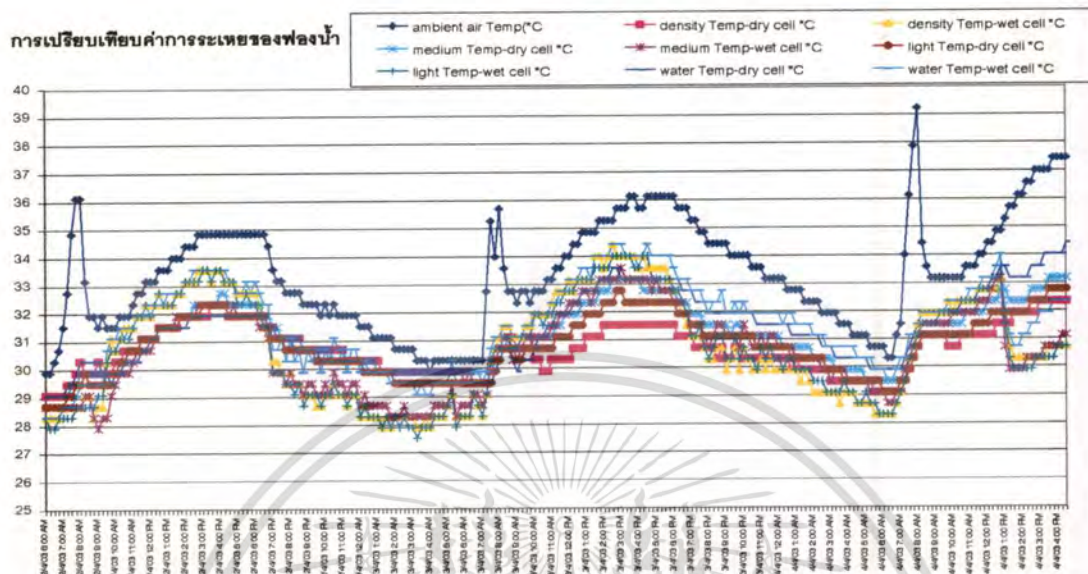


ภาพเมื่อประกอบพัดลมและปิดช่องอากาศในแต่ละหน่วยทดสอบเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ

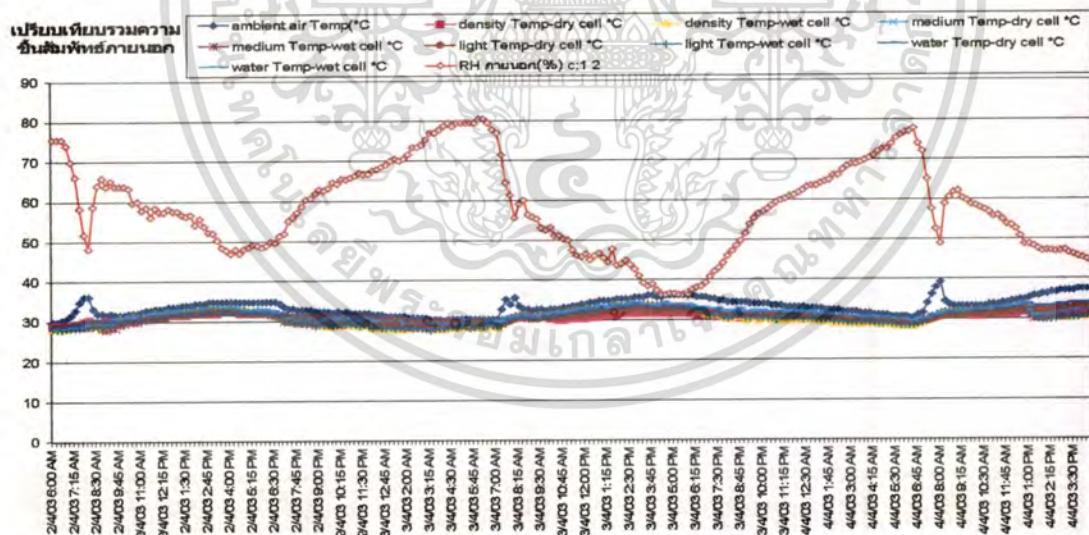
ภาพที่ 3.53 การติดตั้งหน่วยทดสอบ เพื่อหาความหนาแน่นของฟองน้ำที่เหมาะสมในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเติมน้ำจนท่วมฟองน้ำแล้ว ทำการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน ทั้งกลางวันและกลางคืน
ได้ผลดังกราฟ



ภาพที่ 3.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการระเหยของฟองน้ำโดยใช้อุณหภูมิที่วัดได้จาก ฟองน้ำแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการระเหยของฟองน้ำแต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบกับค่า ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกหน่วยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าการเปรียบเทียบค่าการทำความเย็นของฟองน้ำดังกราฟพบว่าฟองน้ำที่สามารถทำความเย็นได้สูงสุดคือฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงโดยเฉพาะเวลากลางวันและค่าการทำความเย็นที่ต่ำที่สุดคือน้ำเปล่าที่ไม่มีฟองน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากมวลของฟองน้ำที่มีมากทำให้ฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงสามารถเก็บความร้อนได้ดีกว่าฟองน้ำชนิดอื่น ส่วนเวลากลางคืนมีค่าอุณหภูมิที่ช่องเปียก(Wet Channal) จะต่ำกว่าอันเป็นผลมาจากตอนกลางคืนความชื้นจะขึ้นสูงทำให้การระเหยต่ำลงส่งผลให้อุณหภูมิช่องเปียกและช่องแห้งแตกต่างกัน

จากผลการทดลองทำให้สรุปวัสดุฟองน้ำที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นต่อไปคือ ฟองน้ำชนิดความหนาแน่นสูง (Code : CR-132, บริษัท กรุงเทพโฟม ซี.เอส.เอ จำกัด) ความหนาแน่นอยู่ที่ 40 kg/m²

4.เตรียมหน่วยทดสอบ

การเตรียมห้องสำหรับทดสอบอุณหภูมิของระบบทำความเย็นจำเป็นต้องใช้ห้องที่มีขนาดเท่าๆกันเพื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิจากคำถามการวิจัยที่ 1-3 โดย โดยจากคำถามการวิจัยสามารถแยกเป็นการเปรียบเทียบความต้องการของหน่วยทดสอบในแต่ละประเด็นดังนี้

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบประเด็นที่จะทดลองในแต่ละหน่วยทดสอบ

	ประเด็นในการทดสอบ	ความต้องการของหน่วยทดสอบ	หมายเหตุ
คำถามการวิจัยที่ 1	เปรียบเทียบความเร็วลมที่เหมาะสมในตู้ระบบ Indirect Evaporative Coolingที่รวมกับ Earth Cooling	ต้องการห้องทดสอบ 1 ห้อง ที่ติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Coolingที่รวมกับระบบ Earth Cooling แล้ว	ทดสอบเปรียบเทียบระหว่างอากาศภายนอกกับภายในห้องทดสอบ
คำถามการวิจัยที่ 2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ Indirect Evaporative Coolingที่รวมกับระบบ Earth Cooling กับระบบ Indirect Evaporative Coolingธรรมดา	ต้องการห้อง 2 ห้องที่มีขนาดเท่าๆกัน ห้องแรกติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Coolingที่รวมกับ Earth Cooling ส่วนห้องที่ 2 ติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling อย่างเดียว	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นระหว่างทั้ง 2 ห้อง กับอากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

คำถามการวิจัยที่ 3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการทำความเย็นกับเครื่องปรับอากาศ	ต้องการห้อง 2 ห้อง ห้องแรกติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling กับระบบ Earth Cooling ส่วนห้องที่ 2 ติดเครื่องปรับอากาศ	เปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานระหว่างการปรับอากาศของทั้ง 2 ห้อง
--------------------	--	--	---

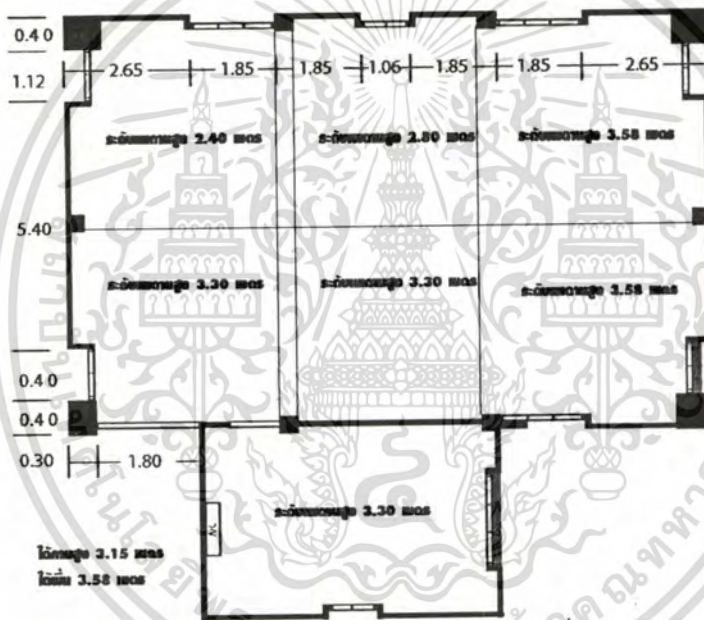
จากตารางข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าการสร้างเซลล์ต้องการอย่างต่ำคือห้องที่เป็นหน่วยทดสอบอย่างต่ำ 2 ห้อง โดยห้องแรกต้องการระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับระบบ Earth Cooling ส่วนห้องที่ 2 ต้องการระบบ Indirect Evaporative Cooling ธรรมดา และติดระบบปรับอากาศ (Air Condition) โดยใช้ห้องที่ 1 ในคำถามการวิจัยที่ 1 และห้องที่ 1 และ 2 ในคำถามการวิจัยที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่าง Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับระบบ Earth Cooling กับ Indirect Evaporative Cooling ธรรมดา ส่วนคำถามการวิจัยที่ 3 ก็ใช้ห้องที่ 1 และ 2 เปรียบเทียบระหว่าง Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับระบบ Earth Cooling กับ ระบบปรับอากาศ (Air Condition)

โดยห้องที่ เตรียม ต้องการห้องที่มีขนาดใกล้เคียงกับห้องที่มีการใช้งานจริง โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ห้องที่มีขนาดประมาณ 3x3 และ 4x4 เมตร และความสูงของห้องทั่วไปในการใช้งานอยู่ที่ 2.50 เมตร จากข้อมูลขั้นต้นดังกล่าว จึงนำมาเป็นเกณฑ์ในการเตรียมห้องทดสอบ

โดยการขออนุญาตใช้พื้นที่ในการทำกรวิจัย ทางภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จล. ได้อนุญาตให้ใช้พื้นที่ดำเนินการวิจัยที่อาคารปฏิบัติการแสงสว่างซึ่งเป็นอาคารที่มีขนาดความสูงภายในแตกต่างกัน เนื่องจากการทำฝ้าเพดานเพื่อติดตั้งโคมไฟเพื่อใช้ในการเรียนการสอนด้านแสงสว่างภายในอาคาร



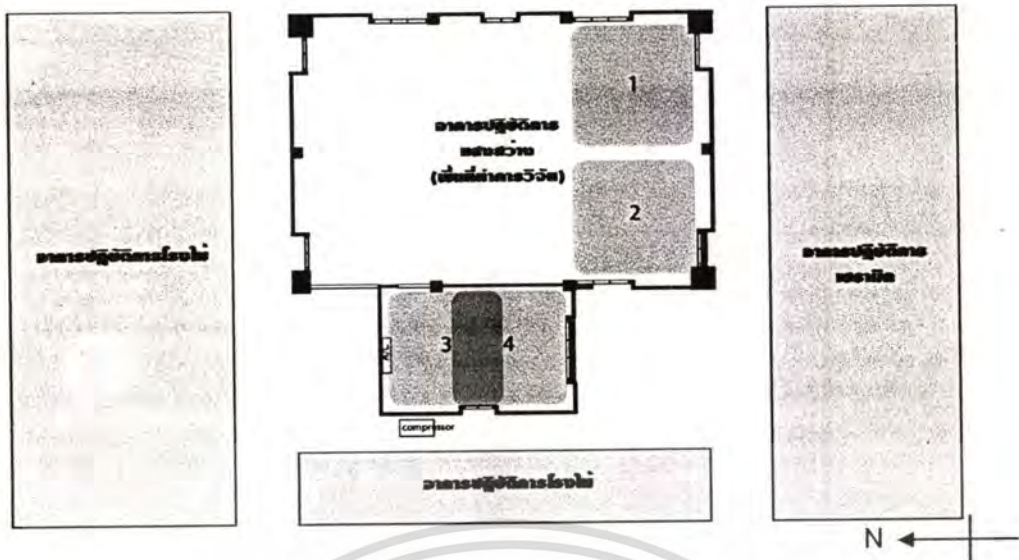
ภาพที่ 3.56 แสดงระดับเพดานภายในอาคารปฏิบัติการแสงสว่างที่มีระดับความสูงต่างกัน



ภาพที่ 3.57 แปลนอาคารแสดงระดับฝ้าเพดานในแต่ละช่วงเสา ที่แตกต่างกันเนื่องจากการเล่นระดับฝ้าเพดาน

การเลือกพื้นที่ติดตั้งหน่วยทดสอบ ต้องการพื้นที่ ที่มีขนาดเท่าๆกัน มีความสูงเท่าๆกัน หรือ มีปริมาตรอากาศภายในหน่วยทดสอบเท่าๆกัน และสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการติดตั้งหน่วยทดสอบ คือปัจจัยด้านความร้อนภายนอกอาคารที่มีผลต่อผนังหน่วยทดสอบที่จะทำคือแสงแดด การรับรังสีความร้อนจากภายนอกต้องอยู่ในสภาวะใกล้เคียงกัน และมีช่องเปิด เช่น ประตู หน้าต่าง ขนาดพอๆกันการกำหนดพื้นที่ติดตั้งหน่วยทดสอบจากข้อจำกัดจากปัจจัยดังกล่าวทำให้ได้กำหนดพื้นที่ที่จะติดตั้งหน่วยทดสอบได้ตามแผนผังดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

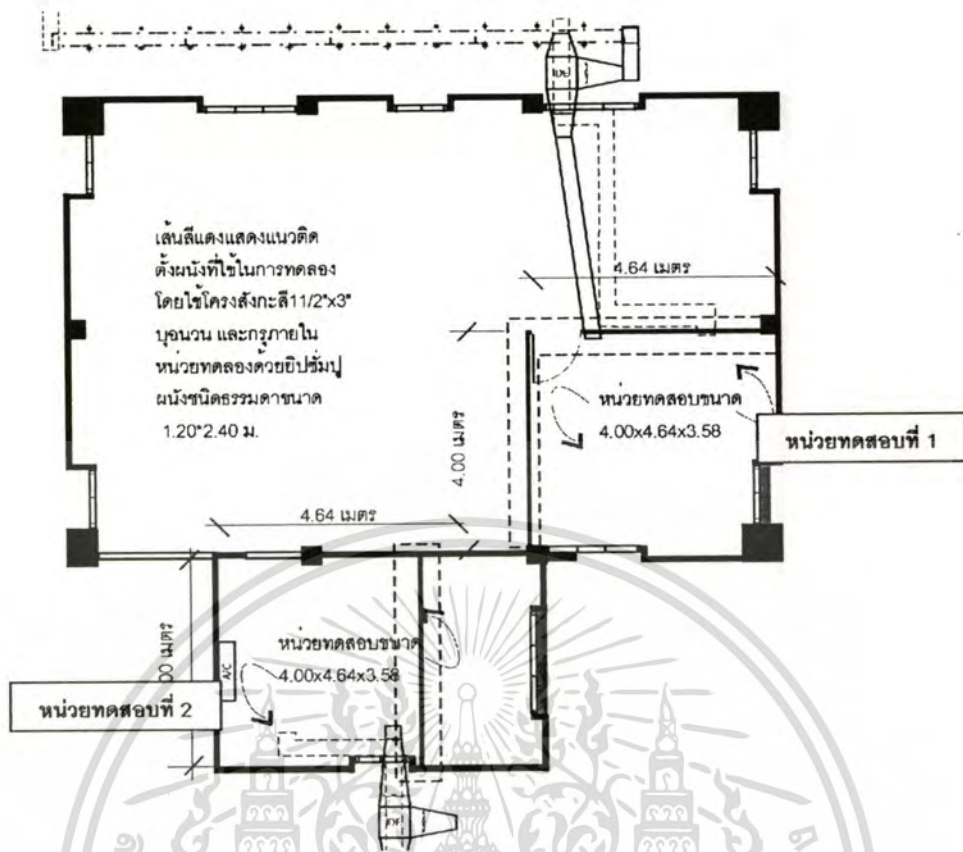


ภาพที่ 3.58 แสดงพื้นที่ที่คาดว่าจะติดตั้งหน่วยทดสอบ ทั้ง 4 พื้นที่ ภายในอาคารที่ได้รับอนุญาต

การคัดเลือกพื้นที่ แบ่งพื้นที่ที่สามารถสร้างเป็นหน่วยทดสอบได้ 4 พื้นที่ตามภาพโดยคำนึงถึงตามปัจจัยจากระดับเพดาน และช่องเปิด และการรับแสงแดด โดยการคัดเลือกพื้นที่ในส่วนที่ 1 ไม่เหมาะสมเนื่องจากได้รับแสงแดดตอนเช้า และพื้นที่ ส่วนที่ 4 เป็นพื้นที่ ที่ต้องการติดตั้งห้องทดสอบที่มีระบบปรับอากาศที่มีอยู่ในห้องนั้น อยู่แล้ว จึงสรุปว่าต้องเลือกพื้นที่ส่วนที่ 3 และส่วนที่ 2 ในการทำหน่วยทดสอบในการวิจัยครั้งนี้

โดยการกันจำเป็นต้องขยายพื้นที่ห้องที่ทำเป็นหน่วยทดสอบออกไปอีกเนื่องจากการกำหนดห้องขนาด 4x4 เมตรนั้น จะทำให้ห้องในหน่วยทดสอบที่ 2 นั้นติดหน้าต่างจำเป็นต้องขยายห้องออกจนพ้นแนวหน้าต่าง ส่งผลให้การกันผนังในหน่วยทดสอบที่ 1 นั้นต้องขยายออกไปด้วยโดยจะพอดีกับแนวได้คานพอดี ส่วนเรื่องระดับเพดานที่ต่างกันนั้นในหน่วยทดสอบที่ 1 ไม่มีฝ้าเพดาน ส่วนหน่วยทดสอบที่ 2 นั้นมีเพดานโครงเคร่า ทีบาร์ ซึ่งทางผู้วิจัยเห็นว่าสามารถถอดแผ่นยิปซัมออกก่อนเพื่อใช้ในการทำการวิจัยได้ ทำให้ปัญหาเรื่องฝ้าเพดาน หรือปริมาตรของห้องหมดไป

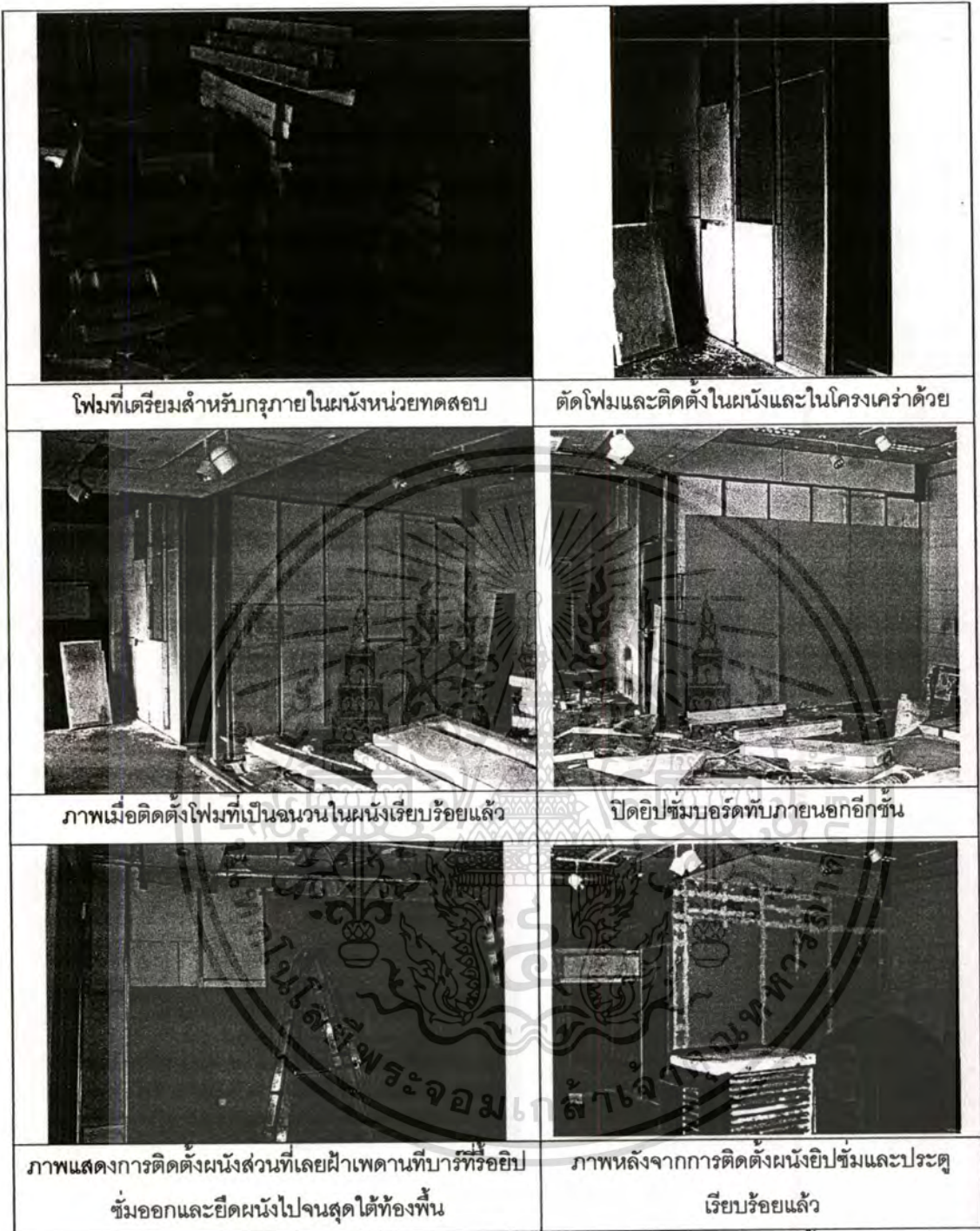
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.59 แพลนแสดงพื้นที่ติดตั้งหน่วยทดสอบ ทั้ง 2 หน่วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.60 แสดงขั้นตอนการติดตั้งผนังหน่วยทดสอบ ในแต่ละขั้นตอน

การติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่รวมกับระบบ Earth Cooling เข้ากับหน่วยทดสอบ

หลังจากการติดตั้งหน่วยทดสอบเรียบร้อยแล้ว ส่วนต่อมาเป็นการเชื่อมระบบ Indirect Evaporative Cooling เข้ากับ Earth Cooling แล้วนำมาต่อกับหน่วยทดสอบที่ 1 ส่วนหน่วย

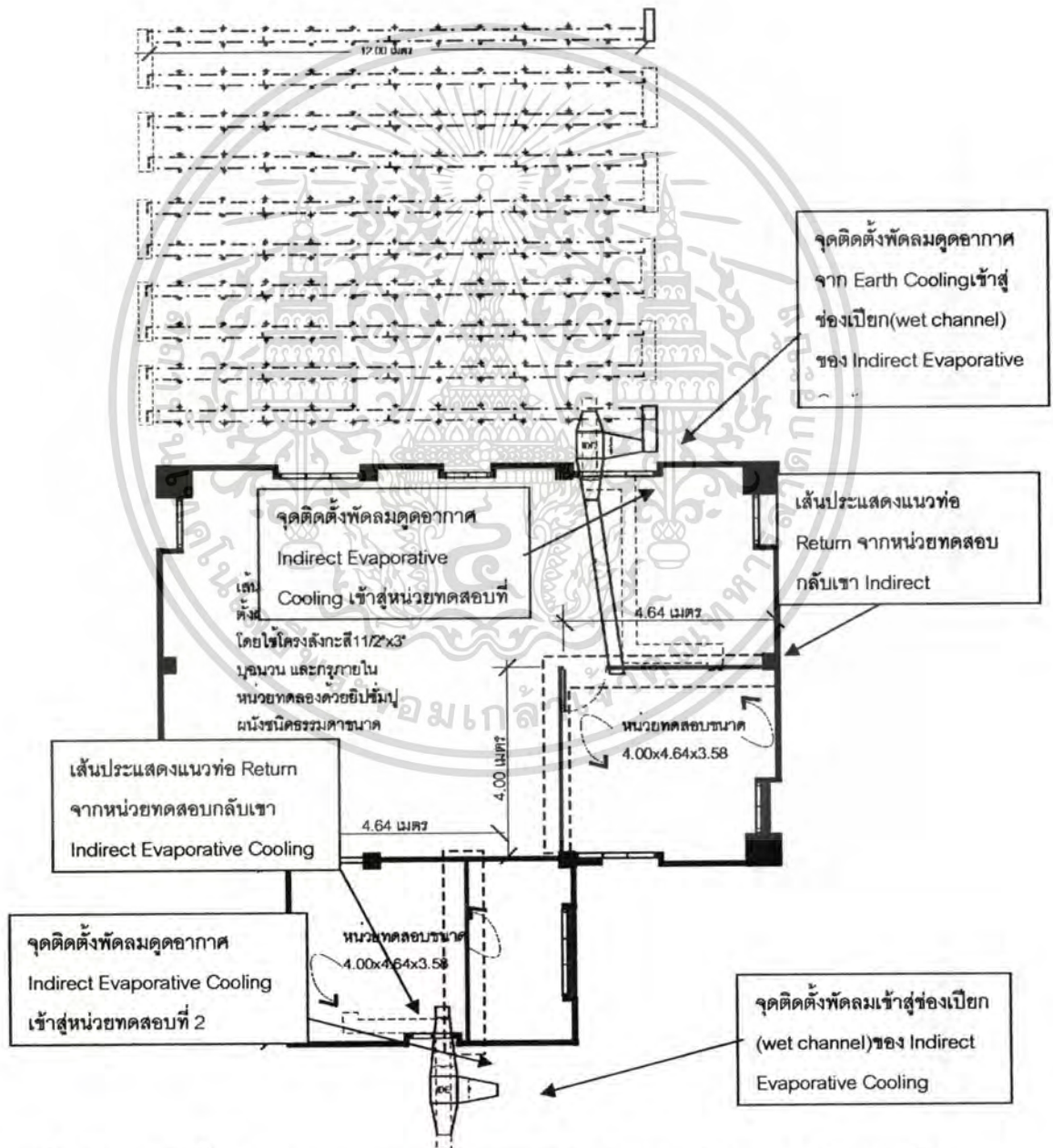
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบที่ 2 ติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling แบบธรรมชาติ (เดิมมีระบบปรับอากาศ (Air Condition) อยู่แล้วไม่ต้องติดตั้งเพิ่ม)

ในการต่อระบบของหน่วยทดสอบที่ 1 เริ่มจากการติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling ลงบนพื้นที่ที่กำหนด และเดินท่อจากระบบ Earth Cooling มาเชื่อมต่อโดยติดตั้งพัดลมไว้ปลายท่อ Earth Cooling ก่อนเข้าสู่ระบบ Indirect Evaporative Cooling และเดินท่อเชื่อมเข้าหน่วยทดสอบ การเดินท่อมียู่ 2 ส่วน คือ ส่วนลมเข้า (Supply air) และส่วนลมออก (Return air)

เส้นแสดงแนวรั้ว สถาบันฯ

แนวติดตั้งท่อน้ำทิ้งของสถาบันฯ



ภาพที่ 3.61 การติดตั้งพัดลมและแนวการเดินท่อระหว่างหน่วยทดสอบกับระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.62 แสดงขั้นตอนการติดตั้งระบบทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ กับระบบการทำความเย็นด้วยดิน และการเดินท่อ เตรียมต่อเข้าหน่วยทดสอบตลอดจนการติดตั้งพัดลมภายในห้อง

วัสดุที่ใช้ในการทำท่อลมเข้า (Supply air tube) จะใช้โฟมหนา 3 นิ้ว ในการทำท่อ โดยจะใช้การตัดโฟมได้ขนาดและยึดด้วยไม้เสียบและกาวลาเท็กซ์ หลังจากนั้นใช้กาวลาเท็กซ์ผสมผงโฟมเพื่ออุดรอยรั่วและเพิ่มความแข็งแรงให้กับท่อ ส่วนวัสดุท่อลมออก (Return air tube) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อกระดาษ โดยใช้กระดาษชั้นประเภท 5 ชั้น (กระดาษลังหรือกระดาษลูกฟูกอย่างหนา) มาทำ
 เนื่องจากเป็นฉนวนอย่างหนึ่งแต่ค่าความเป็นฉนวนไม่เท่ากับโฟม ซึ่งท่อลมออกไม่ต้องระวังเรื่อง
 การสูญเสียความเย็นมากนักและง่ายต่อการทำท่อ และทาภายในท่อกระดาษด้วยฟิล์มโค้ทเพื่อ
 ป้องกันการควบแน่นของน้ำในอากาศไปจับที่ผิวภายในท่อ



ภาพที่ 3.63 แสดงการติดตั้งท่อฉนวนจากระบบทำความเย็นด้วยการระเหยทางอ้อมของน้ำกับ
 หน่วยทดสอบ



ภาพที่ 3.64 หลังจากเดินท่อและทากันซึม(ฟิล์มโค้ท) และ การปิดหน้าต่างในหน่วยทดสอบที่
 1 ด้วยโฟม 3 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในหน่วยทดสอบที่ 1 มีหน้าต่าง ที่มากกว่าหน่วยทดสอบที่ 2 อยู่ 1 ชุดจำเป็นต้องปิด เพื่อควบคุมช่องเปิดให้มีขนาดเท่าๆกัน โดยปิดหน้าต่างและใช้โพนหนา 3 นิ้ว ปิดทับตลอดทั้งบาน เพื่อกันแสงแดดตอนบ่ายที่จะเข้ามาทางหน้าต่าง รวมทั้งช่องลมที่อยู่ด้านบนช่องหน้าต่างก็ปิดด้วย กระดาษชั้นและเทปกาว

ส่วนพื้นที่ ที่ติดตั้งระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) ด้านนอกอาคารก็ติดตั้ง แสลง (พลาสติกสานเป็นผืนใหญ่เพื่อให้ร่มเงา มีระดับความมืดของเงาเป็นเปอร์เซ็นต์ในการทดลอง นี้ใช้ที่ 60 เปอร์เซ็นต์) เพื่อให้ร่มแก่พื้นที่ดินที่ใช้ในการทำ ความเย็น เพื่อลดการรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ การตั้งแสลงทำโดยนำแสลงมาเย็บติดกันเป็นผืนใหญ่ และนำมาเย็บติดกับไม้ไผ่ที่ต่อกันไว้ให้ได้ขนาดยาวตามพื้นที่ เว้นเป็นระยะๆ นำมาวางบนพื้นที่แล้วยกขึ้นด้วยไม้โครงสูง 2.5 เมตร มัดปลายด้วยลวดและฝั่งปลายไม้โครงลงดินโดยขุดลงไปประมาณ 20 ซม. ด้วย ชแลง และฝั่ง ปลายไม้โครงอัดดินให้แน่นมัดมุมแสลงทั้ง 4 ด้านเข้ากับอาคารและรั้ว

ในตอนต้นผู้วิจัยใช้เชือกฟางมัดแสลงเข้าไว้ด้วยกัน พบว่าต่อมาเชือกฟางขาดเนื่องจากตัว เชือกผุ และเปื่อยก่อนเวลาที่คาดไว้ ทำให้ผู้วิจัยต้องมัดแสลงที่เชือกฟางเคยมัดไว้ทั้งหมดมามัด ใหม่ด้วยเชือกไนลอน



ภาพที่ 3.65 แสดงปัญหาที่พบและการแก้ปัญหา ในการติดตั้งระบบให้ร่มเงาแก่พื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดิน





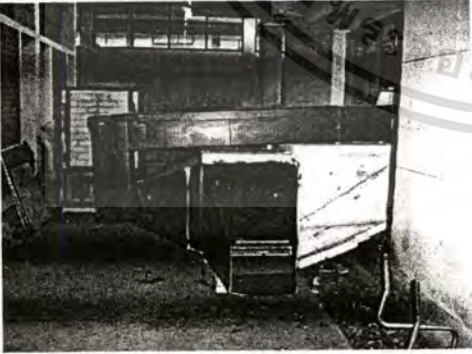

	
ภาพภายในหน่วยทดสอบที่ 1 แสดงการเจาะท่อลมเข้า(supply air) และ ท่อลมออก(return air)	ภาพประตูที่ติดตั้งสำหรับหน่วยทดสอบที่ 1 โดยเลือกขนาดใกล้เคียงกับประตูเข้าหน่วยทดสอบที่ 2

ภาพที่ 3.66 แสดงการเจาะช่องท่อลมเข้าและ การติดตั้งประตูทางเข้าหน่วยทดสอบ

ส่วนหน่วยทดสอบที่ 2 ก็หลังจากกันผนังภายในห้องทดสอบเรียบร้อยแล้วก็ทำการติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling ในกระบวนการการติดตั้งเหมือนกับหน่วยทดสอบที่ 1 คือนำระบบ Indirect Evaporative Cooling มาวางแล้วเดินท่อเข้าห้องโดยใช้ท่อโฟมหนา 3 นิ้ว ส่วนท่อลมออกใช้เป็นท่อกระดาษ ทาสีภายในด้วยน้ำยาทากันชื้น (พลีนโค้ท) โดยระยะห่างระหว่างท่อลมเข้าและลมออกมีระยะใกล้เคียงกันกับท่อลมเข้าและออกของหน่วยทดสอบที่ 1

	
ยกระบบ IDE ที่เชื่อมและอุดรูรั่วต่างๆมาวาง	หนุนฐานและระดับด้วยสายยางวัดระดับน้ำ
	
นำกระดาษขึ้นมามาทำกรวยเพื่อสอบขนาดเข้า	นำช่องท่อกระดาษที่เตรียมไว้มาติดตั้งโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับขนาดท่อ30ซม.	ยึดด้วยกาวลาเท็กซ์
	
<p>ยาแนวด้วยกาวลาเท็กซ์ผสมเศษโฟมและทาเคลือบภายนอกท่อด้วยน้ำยาทากันซึม (พอลิโคทีท)</p>	<p>ภายในหน่วยทดสอบที่ 2 ติดตั้งท่อลมเข้าและลมออก โดยติดตั้งเข้ามาในห้องเนื่องจากผนังเป็นผนังเดิมจึงเจาะเข้ามาไม่ได้</p>
	
<p>ระยะห่างระหว่างช่องลมเข้าและออก เท่ากับของหน่วยทดสอบที่ 1</p>	<p>การเชื่อมต่อระหว่างท่อภายในหน่วยทดสอบและนอกหน่วยทดสอบ</p>
	
<p>ภาพ IDE ที่ต่อท่อเรียบร้อยแล้ว</p>	<p>ภาพการเดินท่อภายในหน่วยทดสอบที่ 2 เมื่อเดินท่อภายในห้องเรียบร้อยแล้ว</p>

ภาพที่ 3.67 แสดงขั้นตอนการติดตั้งระบบการทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ และการเดินท่ออากาศเข้าหน่วยทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งพองน้ำในIndirect Evaporative Cooling

หลังจากการติดตั้งระบบทั้งหมดเรียบร้อยแล้วการ เหลือการติดตั้งพองน้ำเข้าระบบIDE โดยจากผลการวิจัยย่อยที่ผ่านมา (ดูผลการวิจัยย่อยเรื่องการเปรียบเทียบชนิดของพองน้ำเพื่อใช้ ในระบบIndirect Evaporative Cooling) พบว่าต้องใช้พองน้ำชนิดความหนาแน่นสูง ผู้วิจัยได้ จัดหามาและตัดออกตามขนาดช่องเปียก (Wet Channel) และใส่ การใส่ในช่องเปียกผู้วิจัยเกรงว่า พองน้ำจะอมน้ำไม่ทั่วถึงจึงชุบน้ำก่อนนำเข้าช่องเปียก พบว่า ไม่สามารถนำเข้าช่องเปียกได้ เนื่องจากการที่ช่องมีขนาดเล็กและพองน้ำเมื่ออมน้ำแล้วจะมีน้ำหนักมากขึ้นมากเมื่อนำไปใส่ใน ช่องเปียกจะใส่ได้ยากมาก ต่อมาจึงแก้โดยใส่พองน้ำเข้าไปก่อน ค่อยใส่น้ำเข้าไป และใช้ไม้ยาวกด ตามพองน้ำในช่องเปียกให้ชุ่มน้ำทั่วกัน



ภาพที่ 3.68 แสดงการติดตั้งพองน้ำเข้าสู่ระบบทำความเย็นโดยใช้การระเหยทางอ้อมของน้ำ

เครื่องมือชีวิตตัวแปร

ในส่วนนี้จะกล่าวถึง การเลือกใช้เครื่องมือในการชีวิตตัวแปรต่างๆ และการกำหนด ตำแหน่ง การติดตั้งเครื่องมือในหน่วยทดสอบ รวมถึงหลักการเตรียมเครื่องมือ และตัวแปรทาง สภาพแวดล้อมที่อยู่นอกหน่วยทดสอบ

การเลือกเครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรต่างๆ

ในการวิจัยนี้มีตัวแปรที่ต้องการเครื่องมือวัดหลายตัว แต่สามารถแบ่งเครื่องมือที่วัดออกเป็น 3 ส่วนคือ ด้านความชื้น ด้านอุณหภูมิ และด้านความเร็วลม โดยผู้วิจัยเน้นที่เครื่องมือที่ทางสถาบันมีให้เป็นหลัก ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในสถาบันที่เลือกใช้มีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. **เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ** (Temperature/RH Data logger) แบบHobo ซึ่งเป็นเครื่องบันทึกอุณหภูมิที่มีหัวอ่านความชื้นในตัวเดียวกัน โดยเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ จะมี 2 แบบ คือ แบบแรกมีหัวอ่านอุณหภูมิ และความชื้น โดยมีสายต่อ อีก 1 เส้นเพื่อต่อข้อมูลจากเครื่องมือวัดแบบอื่นๆ ในการวิจัยนี้ใช้สายต่อวัดอุณหภูมิ ส่วนอีก แบบคือตัวเครื่องมือมีสายต่อสัญญาณเข้า 4 สายไม่มีหัวอ่านความชื้น ข้อดีของแบบนี้คือสามารถเก็บข้อมูลได้ 4 แบบตามแต่ที่สายสัญญาณจะต่อกับเครื่องมือวัดชนิดไหน โดยในการวิจัยครั้งนี้ จะต่อกับสายวัดอุณหภูมิ ทำให้ได้หัววัดอุณหภูมิถึง 4 หัว แต่ไม่มีหัวอ่านความชื้น



ภาพที่ 3.69 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ (เครื่อง RH/Temp Data logger (HOBO)) แบบแรกสายต่อสัญญาณ 1 สาย และแบบสายต่อสัญญาณเข้า 4 สาย

2. **เครื่องวัดความเร็วลม** ในการวิจัยนี้ ใช้เครื่องวัด แสดงการเจาะช่องเลยจากปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบไป 0.30 เมตร โดยสามารถวัดความเร็วลมต่ำสุดได้ถึง 0.01 เมตร/วินาที และวัดอุณหภูมิของลมได้คงที่ ซึ่งถือว่ามีค่าที่ต่ำและมีความเที่ยงตรงสูงประกอบกับสามารถวัดในตำแหน่งที่ต้องการได้เนื่องจากปลายสามารถยืด-หดได้ สามารถเจาะรูวัดความเร็วลมภายในท่อได้ตลอดจนสามารถใช้หาค่าเฉลี่ยความเร็วลมได้ในทันที จึงเลือกใช้เครื่องวัดความเร็วลมชนิดนี้ในการทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.70 เครื่องวัดความเร็วลมหรือ ฮอทวายร์แอนนีโมมิเตอร์

การเตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิอัตโนมัติก่อนเริ่มการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ (Temp/RH Data logger(HOBO)) ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องมือหลักในการชี้วัดผลการวิจัย จำเป็นต้องได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ฉะนั้นในการเตรียมเครื่องมือวิจัยมีสมมติฐานขั้นต้นว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ (Temp/RH Data logger(HOBO)) มีค่าการวัดอุณหภูมิไม่น่าจะเท่ากัน หรือมีค่าการอ่านอุณหภูมิ น่าจะมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่บ้าง จึงต้องทำการทดสอบเครื่องมือก่อนดำเนินงานวิจัย เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของผลการวิจัย

วิธีการเตรียมการทดสอบเครื่องมือ

ทำโดยการนำเครื่องวัดทั้งหมดที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ไปวัดในที่เดียวกันโดยวางบนวัสดุฉนวน (ในที่นี้ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว) ผู้วิจัยใช้หน่วยทดสอบที่ 1 ในการวางเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ โดยอยู่บนพื้นที่ประมาณ 20x20 ซม. และปิดห้องเพื่อทำการทดสอบเป็นเวลา 5 วัน เพื่อดูค่าของอุณหภูมิ และความชื้นที่ได้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ผลจากการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้ของอุณหภูมิแตกต่างกัน ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ จำเป็นต้องมีการปรับเพื่อให้มีการอ่านค่าที่คลาดเคลื่อนกันให้น้อยลงเพื่อความเที่ยงตรงของข้อมูลที่ได้



ภาพที่ 3.71 แสดงการติดตั้ง เครื่องบันทึกอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในการทดสอบค่าความเที่ยงตรง เพื่อหาสมการของแต่ละเครื่อง

วิธีการปรับเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติโดยการใช้สถิติ

การปรับค่าเครื่องมือวัดทำโดยนำค่าที่บันทึกได้มาหาค่าเฉลี่ยกลางของทุกตัว เพื่อได้ค่าที่เป็นตัวแทนเพื่อใช้ในการปรับค่าอื่นๆให้ลงมาตามค่ากลางนี้ จากนั้นนำค่าที่บันทึกอุณหภูมิที่ได้มาหาค่า Regression ซึ่งต้องการให้กำหนดช่วงค่า X และค่า Y ในที่นี้ค่า $Y = x$ เฉลี่ยรวม ส่วนค่า X = ค่าอุณหภูมิที่บันทึกมาของแต่ละหัวอ่านอุณหภูมิ ในที่นี้ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Excel ในการหาค่าทางสถิติ ซึ่งจะได้ค่าตัวแทนที่เป็นสมการเส้นตรงจากการหาค่า Regression (จากสมการ $y = ax + b$ [3.1] โดยค่า a เป็นค่าความชันของเส้นตรง และค่า b เป็นค่าคงที่) หลังจากการหาค่า Regression จะได้ค่าคงที่ (b หรือ ค่า intercept จาก Excel) และ ค่าความชัน (a หรือค่า x-variable จาก Excel) จากนั้นนำเข้าสมการตัวใหม่ โดยนำค่าที่ได้มาสร้างสมการเส้นตรงอันใหม่ โดยนำค่าคงที่ (c) และค่าความชัน (a) มาใส่ในสมการใหม่ได้ดังนี้ $y = ax + b$ [3.1] โดยในที่นี้ ค่า a เป็นค่าความชัน หรือค่า x-variable จาก โปรแกรม Excel และค่า b ซึ่งเป็นค่าคงที่ หรือ ค่า intercept จากการ โปรแกรม Excel และสุดท้ายคือค่า x ในที่นี้คือค่าอุณหภูมิเดิมที่วัดได้ และนำสมการที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิใหม่ ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง (ดูกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของแต่ละหัววัด ก่อนและหลังการปรับค่า)

โดยวิธีการข้างต้นนำไปใช้กับบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละหัวอ่านด้วย ทำให้แต่ละหัวอ่าน ทั้งอุณหภูมิและความชื้น จะมีสมการรองรับอยู่ทุกอันเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าให้คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

โดยค่าที่ได้จากวิธีการข้างต้นทั้งจากแต่ละหัววัดอุณหภูมิและจากแต่ละหัววัดค่าความชื้น นำมาถอดเป็นสมการ การตั้งรหัสแบ่งตาม ตัวเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ แต่ละตัว ส่วนที่มีสายต่อก็คะแยกสมการตามเครื่องที่ติดตั้งสายต่อวัดอุณหภูมิ แต่ละอันได้เป็นสมการดังตาราง

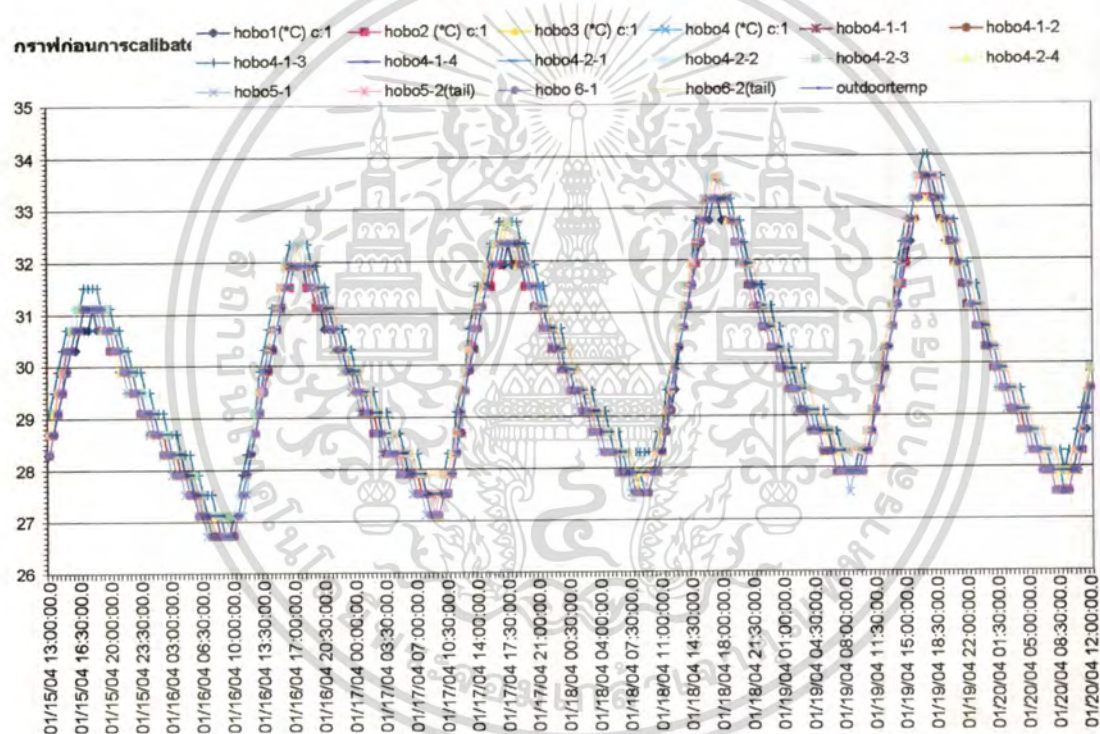
ตารางที่ 3.5 แสดงสมการของเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ของแต่ละหัวอ่าน

เครื่องวัดอุณหภูมิ#หมายเลข-สายต่อที่	สมการที่ได้จากการหาค่าRegression
Hobo # 1	$y=1.029116692x-0.745673554$
Hobo # 2	$y=1.02040838x-0.530384735$
Hobo # 3	$y=0.94542355x+1.60663016$
Hobo # 4	$y=0.961336006x+1.077965814$
Hobo # 4-1-1	$y=1.009927981x-0.36514661$
Hobo # 4-1-2	$y=1.01079025x-0.346570718$
Hobo # 4-1-3	$y=1.001335814x-0.456461611$
Hobo # 4-1-4	$y=1.074759213x-2.293757889$
Hobo # 4-2-1	$y=1.018405621x-0.48959628$
Hobo # 4-2-2	$y=0.986004743x+0.232387142$
Hobo # 4-2-3	$y=1.000635669x-0.168657884$
Hobo # 4-2-4	$y=1.011189521x-0.288749574$
Hobo # 5-1	$y=0.959239875x+1.327442714$
Hobo # 5-2	$y=0.968689023x+0.951329127$
Hobo # 6-1	$y=0.971166728x+0.921856315$
Hobo # 6-2	$y=1.023720098x-0.939824444$
Hobo # Exterior	$y=1.00857331x-0.324570652$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

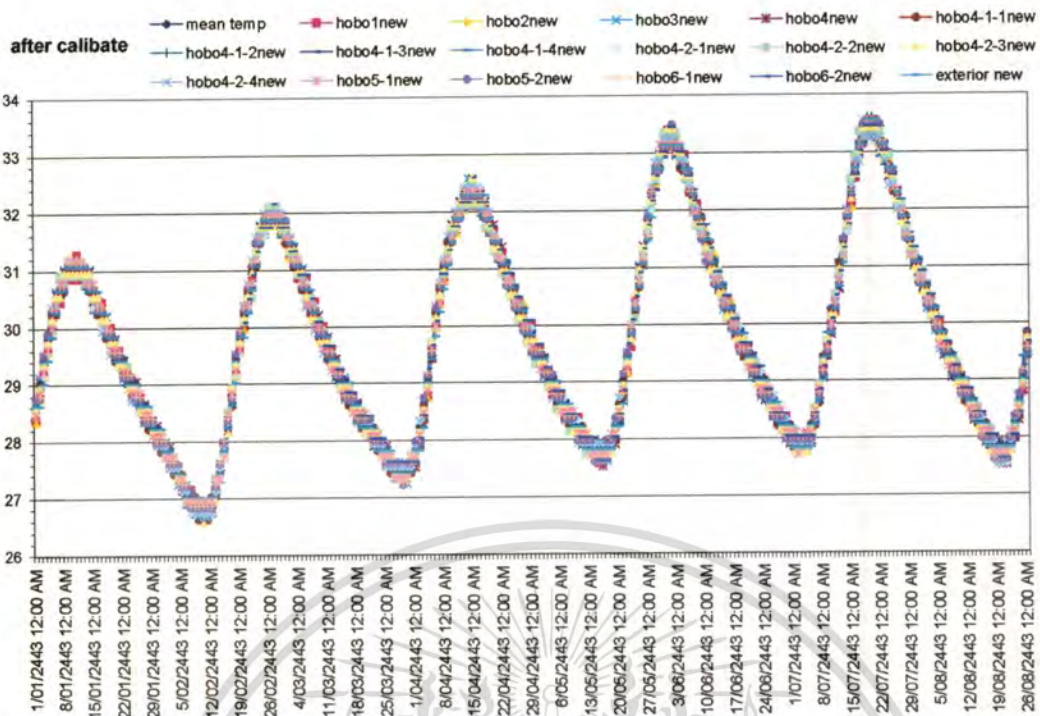
ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

หัวข้อ ความชื้นสัมพัทธ์ #หมายเลข	สมการที่ได้จากการหาค่าRegression
Hobo # 1	$y=1.038681503x-1.761701068$
Hobo # 2	$y=1.008553175x-1.14368795$
Hobo # 3	$y=0.948681266x+1.716345139$
Hobo # 4	$y=0.894041775x+7.94963427$
Hobo # 5	$y=0.91643309x+0.693908999$
Hobo # 6	$y=0.972969638x+3.743279864$
Hobo # Exterior	$y=1.190025813x-12.77321176$

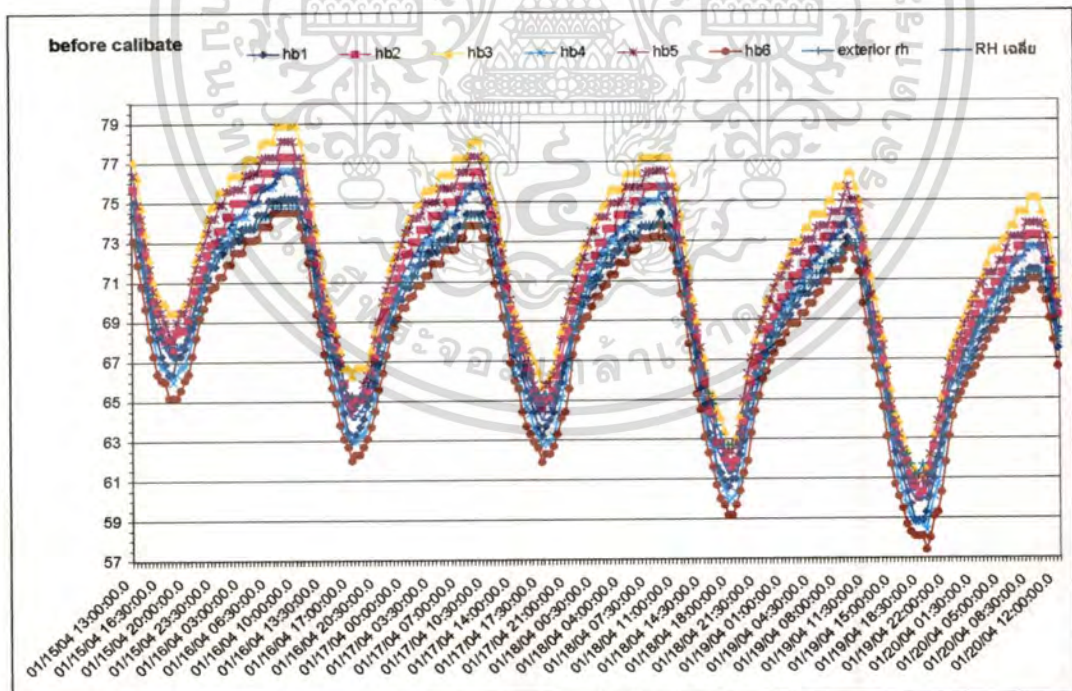


ภาพที่ 3.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ จะเห็นว่ามี การคลาดเคลื่อน อยู่ที่ประมาณ 0.5-1.0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

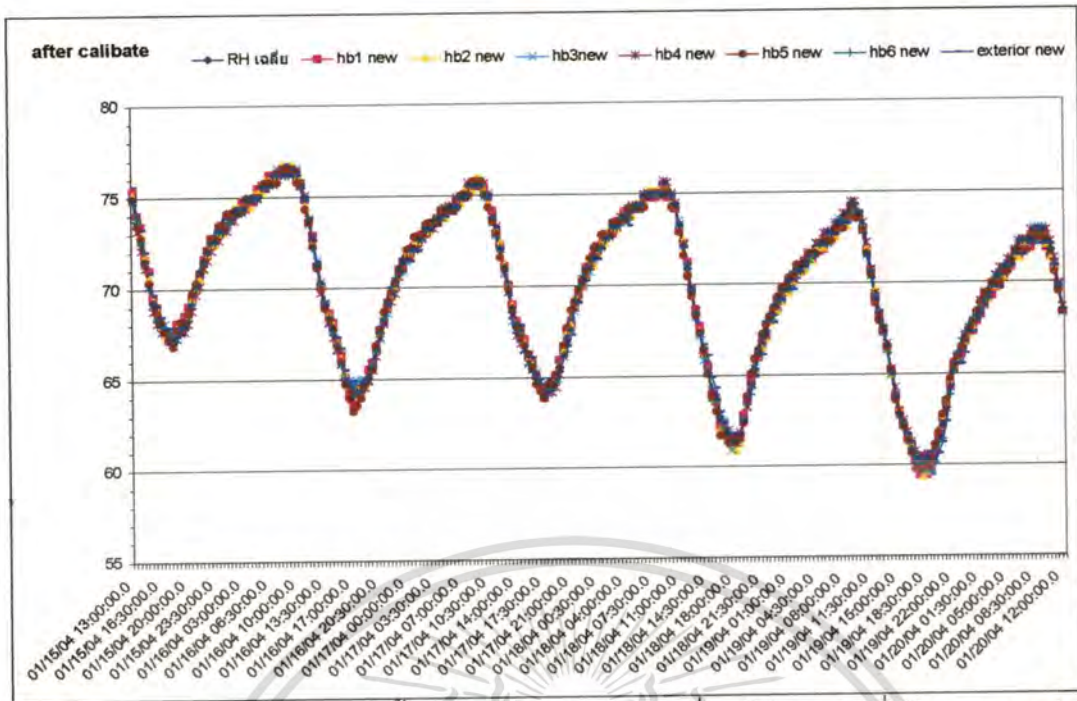


ภาพที่ 3.73 กราฟหลังการปรับเปลี่ยนข้อมูลจากเครื่องมือวัด(Data logger) โดยการค่า Regression ปรับค่าของแต่ละหัวอ่านอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.74 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์แต่ละหัวอ่านก่อนการปรับเปลี่ยนค่าด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



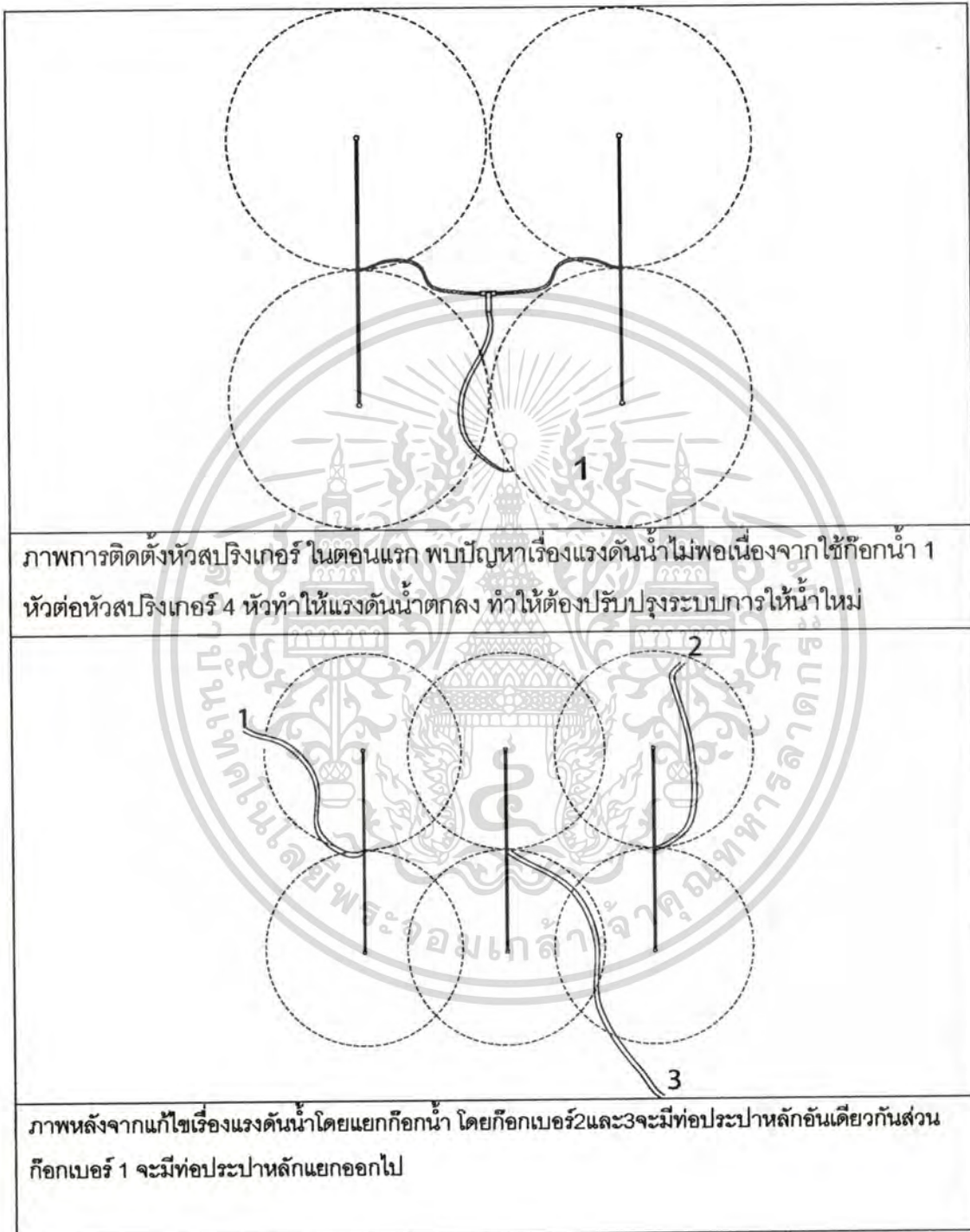
ภาพที่ 3.75 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์หลังการปรับเปลี่ยนด้วยสมการที่ได้จากการหาค่า Regression จะเห็นว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงอย่างมาก

การเตรียมระบบรดน้ำให้กับ Earth Cooling

การรดน้ำให้ระบบ Earth Cooling นั้นต้องรดน้ำให้กับผิวดินที่ทำการฝังท่อเอาไว้เพื่อให้เข้าไปช่วยดึงความร้อนออกจากดิน และท่อฝังดิน ทำให้อากาศภายในท่อฝังดินเย็นตัวลงได้ ทั้งนี้ต้องลดการเพิ่มความร้อนให้ดินด้วยการให้ ร่ม ด้วย(ในที่นี้ใช้แสลน) โดยการรดน้ำให้ระบบ Earth Cooling นั้นจากการทดลองย่อยที่ผ่านมาพบว่าต้องรดน้ำแก่ระบบประมาณ 5 นาทีที่จะได้ผลดีกว่า ส่วนการเตรียมระบบรดน้ำมีการวางท่อ PVC ตามแนวท่อฝังดินโดยในตอนต้นผู้วิจัยแบ่งสปริงเกอร์ 4 หัวคิดว่าเพียงพอเนื่องจากการนำสปริงเกอร์มาต่อเข้ากับท่อน้ำแล้วลองเปิด ได้ระยะรัศมีของหัวสปริงเกอร์ที่ 3 เมตร โดยแบ่งเป็น 2 เส้น (1เส้นมีสปริงเกอร์ 2 หัว) มีข้อต่อเชื่อม 2 เส้นไว้โดยท่อน้ำตี 1 สาย โดยแต่ละเส้นมีหัวสปริงเกอร์ 2 หัว เว้นระยะห่างแต่ละหัวประมาณ 6 เมตร โดยแต่ละเส้นมีท่อน้ำตีเข้าบริเวณกึ่งกลางเส้น เพื่อให้แรงดันน้ำส่งไปยังหัวสปริงเกอร์ทั้ง 2 ข้างได้เท่าๆกัน ผลจากการติดตั้งโดยต่อน้ำตี 1 เส้นเข้ากับ ท่อ pvc. 2 เส้น หรือ 4 หัวสปริงเกอร์ พบว่าแรงดันน้ำตกลงอย่างมาก น้ำมีรัศมี 0.25-0.50 ซม. ต่อ 1 หัวสปริงเกอร์ เท่านั้น ทำให้ต้องแยกออกเป็น 1เส้น(สปริงเกอร์ 2 หัว) ต่อสายน้ำตี 1สาย จึงจะมีแรงดันรัศมีออกกว้าง 3 เมตร โดยทางผู้วิจัยต้องเพิ่ม ท่อ pvc. อีก 1 เส้น (สปริงเกอร์ 2 หัว) เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ โดยแต่ละเส้นจะต่อกับก๊อกน้ำตี 1 ก๊อก ก๊อกน้ำทั้ง 3 ก๊อกนั้นมาจากท่อประปาหลัก 2 สาย ทำให้ผู้วิจัยสามารถเปิดน้ำ 2 ก๊อกได้ 5 นาที และเปิดอีก 1 ก๊อก อีก 5 นาทีเพื่อให้แรงดันเพียงพอ(เดิมผลผู้วิจัยย่อยบอกว่าต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รดน้ำ 5 นาที แต่ก๊อกน้ำ 1 ก๊อกไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้ จำเป็นต้องเปิดที่ละก๊อกเพื่อ
แก้ปัญหา) และลดเวลาในการเปิดน้ำ เป็น 10 นาที แทนที่จะเป็น 15 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ท่อ 1 เส้นมี 2 หัว สปริงเกอร์ต่อท่อน้ำดีที่กึ่งกลางจะได้
รัศมีต่อหัวสปริงเกอร์ 1 หัว ถึง 3 เมตรโดยต้องยกหัวขึ้น
อีก 35 ซม.

ต้องแบ่งท่อ pvc ออกเป็น 3 เส้น โดยแต่ละเส้นให้
ท่อน้ำดีจากก๊อก 1 ก๊อกแรงดันน้ำจึงจะเพียงพอ

ภาพที่ 3.76 แสดงปัญหาและการแก้ไขเรื่องแรงดันน้ำที่ให้กับระบบท่อฝังดิน

เมื่อติดตั้งหัวสปริงเกอร์เสร็จพบว่าแรงดันน้ำมีมากขึ้นมากแต่ รัศมีทำการยังไม่เป็นไป
ตามที่ต้องการคือยังมีรัศมีแค่ 1-1.50 เมตร เท่านั้น ทำให้การให้น้ำกับพื้นที่ไม่ครอบคลุมทั้งหมด
จำเป็นต้องปรับอีก โดยเพิ่มความสูงหัวสปริงเกอร์เพิ่มขึ้นมา 35 ซม. และพบว่าคราวนี้สามารถให้
น้ำกับระบบอย่างครอบคลุมพื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดิน

จากการเตรียมการในการวิจัยและการพบกับปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น ทางผู้วิจัยเห็นว่ามีส่วนที่
ช่วยให้ผู้วิจัยเพิ่มกระบวนการเรียนรู้อีกมากแม้ว่าหลายอย่างจะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานวิจัยชิ้น
นี้ แต่สิ่งเหล่านั้นจะส่งผลต่อกระบวนการคิดที่รอบคอบขึ้น การมองปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต
ได้ชัดเจนขึ้น สามารถทำการแก้ปัญหาโดยอาศัยประสบการณ์ที่ผ่านมาเป็นตัวช่วยหาแนวทาง ทำ
ให้แก้ปัญหาต่างๆ ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากผู้วิจัยได้พบเห็นและแก้ไขปัญหามาแล้ว กับสิ่งเหล่านั้นมาก่อน
และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย หรืองานอื่นๆ ได้อีกในโอกาสข้างหน้า

การวิเคราะห์ผลสรุปของข้อมูล

หลังจากที่ได้มีการทำการทดลองและสรุปข้อมูล โดยนำผลสรุปดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อ
ตอบคำถาม การวิจัยที่ได้ตั้งไว้ โดยวิเคราะห์ตามลำดับคำถามการวิจัยทีละข้อ โดยในแต่ละข้อจะ
มีการวิเคราะห์ดังนี้

คำถามการวิจัยที่ 1

1. เปรียบเทียบอุณหภูมิในแต่ละส่วน โดยเน้นที่อุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ ภายในท่อ
อากาศของระบบ Indirect Evaporative Cooling และกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มี
ระบบปรับอากาศ ทั้งความเร็วลมมาก และน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบด้านความเร็วลมที่เปลี่ยนไปมีผลต่อประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น โดยดูจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในอาคาร กับอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ

คำถามการวิจัยที่ 2

- เปรียบเทียบอุณหภูมิในแต่ละส่วนของทั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ต่อกับระบบ Earth Cooling กับระบบ Indirect Evaporative Cooling ธรรมดา โดยเน้นที่อุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ ภายในที่อากาศของระบบ Indirect Evaporative Cooling และกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ทั้งความเร็วลมมาก และน้อย
- นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิของระบบทั้งสอง โดยดูจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในอาคาร กับอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพในการทำความเย็นให้หน่วยทดสอบ

คำถามการวิจัยที่ 3

- ทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของหน่วยทดสอบที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ กับหน่วยทดสอบที่ติดตั้งระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ต่อกับระบบ Earth Cooling โดยหน่วยทดสอบที่ติดตั้งระบบปรับอากาศใช้แอร์ที่มีขนาด 9,000 บีทียู ในการทำความเย็นและต่อกับมาตรวัดไฟฟ้าเพื่อวัดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไป ส่วนระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ต่อกับระบบ Earth Cooling จะวัดโดยการคำนวณจากกำลังไฟฟ้าของพัดลมต่อหน่วยเวลาเพื่อคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้
- นำค่าที่ได้จากมาตรวัดไฟฟ้า และจากการคำนวณมาหาค่าความแตกต่าง โดยเทียบสัดส่วนกันว่าแตกต่างกันอยู่เท่าไร

ในส่วนต่อจากนี้ผู้วิจัยขอแนะนำเข้าสู่เนื้อหาการวิจัยในส่วนของการทดลองหลังจากได้ผ่านการเตรียมงานมาเป็นเวลาเกือบ 1 ปีในการสร้างระบบการทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำแบบทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ระบบทำความเย็นด้วยมวลดิน (Earth Cooling) หน่วยทดสอบทั้งสองห้อง และการเดินท่ออากาศทั้งหมด และได้แบ่งการทดลองออกเป็นส่วนๆ ดังที่จะกล่าวในส่วนต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละคำถามการวิจัยตลอดจนสิ่งที่ได้พบในแต่ละส่วน เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยแบ่งเป็นผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย ต่อเนื่องกันไป ตามคำถามการวิจัยแต่ละข้อ เนื่องจากผลการวิจัยในคำถามการวิจัยที่ 1 นั้นมีผลต่อเนื่องถึงผลการวิจัยในข้อ 2 และ 3 และการวิจัยในคำถามการวิจัยที่ 2 ก็มีผลต่อเนื่องถึงการวิจัยในคำถามการวิจัยที่ 3 ดังนั้นในบทนี้จึงขอกกล่าวถึงผลการวิจัยรวมกับการวิเคราะห์ผลการวิจัยไว้ด้วยกันดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1

จากข้อสงสัยที่ว่าความเร็วลมที่เหมาะสมภายใน ท่อฝัดดิน ที่มีกระรอกเหวที่ผิวดินช่วยทำความเย็นที่ต่อกับระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooling) ควรมีความเร็วลมมากภายในท่อฝัดดินมากหรือน้อย

ซึ่งปัจจัยในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooling) นั้นต้องการความเร็วลมที่มากเพื่อให้เกิดการระเหยได้ดี ส่วนระบบท่อฝัดดิน นั้นต้องการความเร็วลมต่ำ เพื่อให้ท่อมีเวลาในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับอากาศภายในท่อ ทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศภายในท่อฝัดดินเมื่อต้องมาต่อกับระบบที่ต้องการความเร็วลมที่สูงกว่าระบบตัวเองผลทางด้านประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ได้ความเร็วลมแบบใดจะให้ผลดีที่สุด

ในการทดลองส่วนนี้เพื่อหาความเร็วลมที่เหมาะสมในการทำให้ระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooling) ที่ต่อรวมกับระบบท่อฝัดดินแบบใช้การระเหยของน้ำช่วยทำความเย็นที่ผิวดินนั้น เหมาะกับความเร็วลมแบบใดและจะนำความเร็วลมที่ใช้ได้ดีในการทดลองนี้ไปใช้กับการทดลองของคำถามการวิจัยที่ 2 ต่อไป

4.1.1 การเตรียมการทดลองและการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เตรียมระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect Evaporative Cooling) ที่ต่อรวมกับระบบท่อฝัดดิน แล้วทำการเปลี่ยนความเร็วพัดลม โดยพัดลมที่ใช้ เป็นพัดลม ที่ใช้ตามบ้าน เนื่องจากมีความเร็วลมที่พอเหมาะกับการใช้งานตามปกติของบ้านพักอาศัย โดยความเร็วลมของพัดลมที่ใช้ในการดึงลมจากท่อฝัดดินเข้าสู่ระบบทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยทางอ้อมของน้ำ (Indirect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Evaporative Cooling) นั้นใช้ มีอยู่ 2 ความเร็วลมคือ ความเร็วลมอยู่ที่ 0.95 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมต่ำ ส่วนความเร็วลมสูงสุดที่ใช้ อยู่ที่ 1.95 เมตร/วินาที

<p>ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ตามรูปด้านข้าง</p>	<p>ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ตามแปลน</p>
<p>ภาพแสดงจุดที่ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิภายในห้อง</p>	<p>แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิกลางแจ้ง</p>
<p>แสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิภายในห้องลมเข้าหน่วยทดสอบ โดยแขวนลอยกลางห้อง</p>	<p>การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิกลางแจ้งโดยมีกล่องโฟมเจาะรูเพื่อให้วัดอุณหภูมิอากาศอย่างเดียว</p>

ภาพที่ 4.1 แสดงตำแหน่งและการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในการทดลองที่ 1

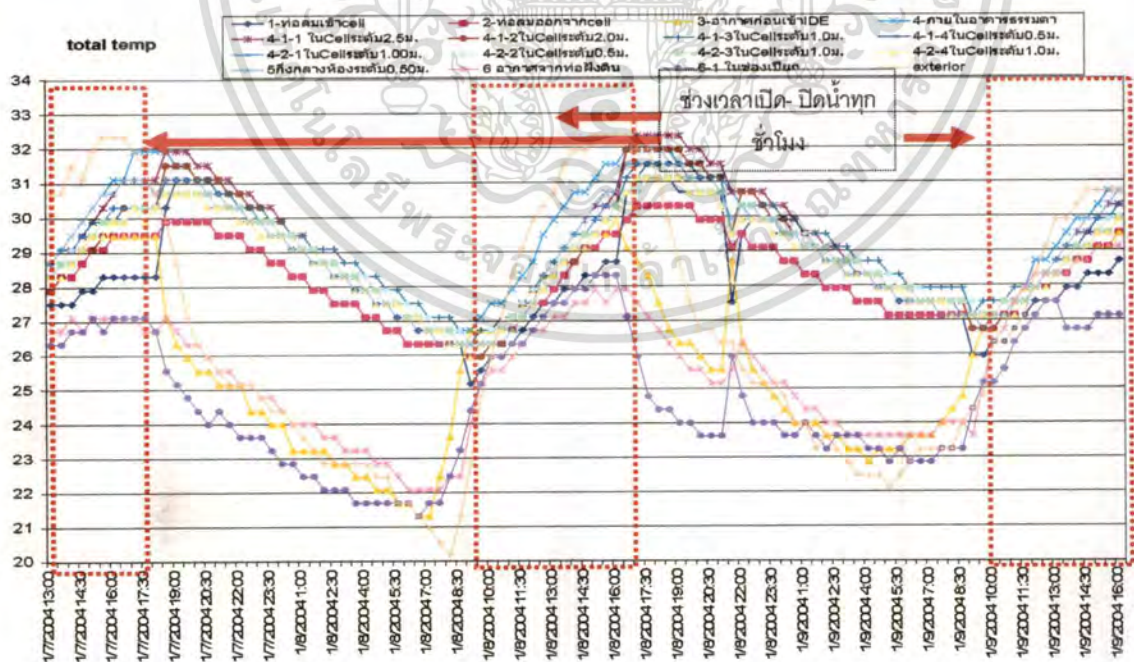
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองทำโดยเปิดน้ำเฉพาะเวลากลางวัน ทำการทดลองเป็นเวลา 3 วัน โดยความเร็วลมภายในท่อที่ต่อจากระบบท่อฝังดิน เข้าสู่ระบบ Indirect Evaporative Cooling อยู่ที่ 0.98 เมตร/วินาที

4.1.1.1. ผลการทดลองค่าการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 1 (ความเร็วลมภายในท่อฝังดินสูงและต่ำ)

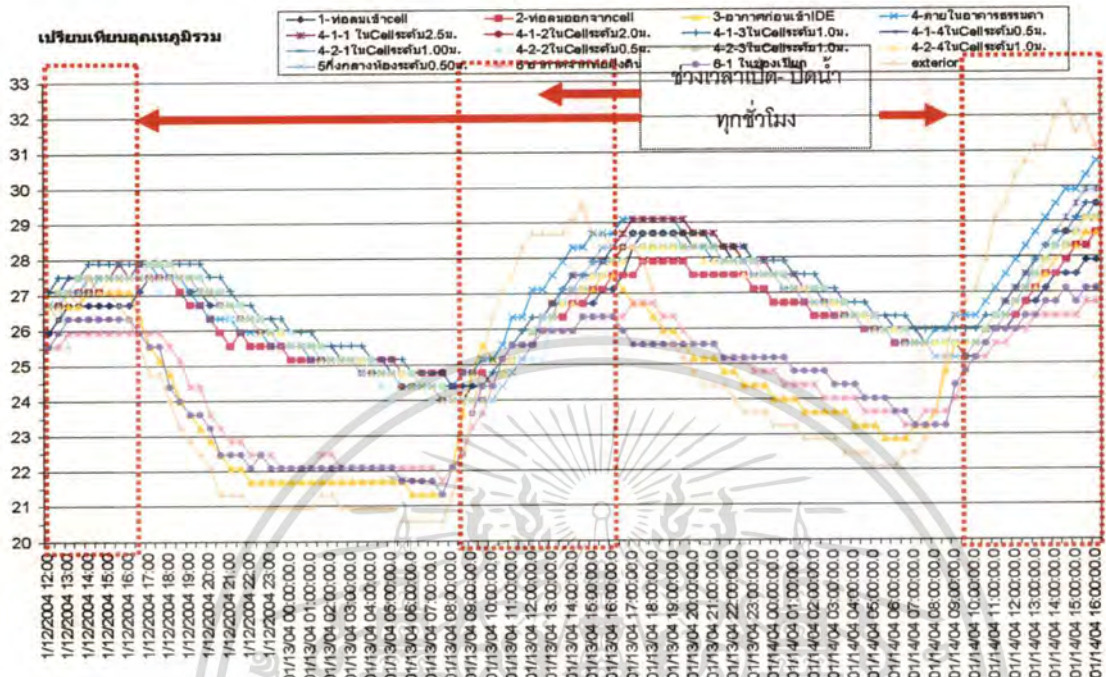
จากกราฟที่ได้พบว่าทั้งสองกราฟสอดคล้องกัน โดยอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ (กราฟรหัส 4-1 ทดสอบอุณหภูมิในแนวตั้งและรหัส 4-2 ทดสอบในแนวระดับ รหัส 5 เป็นกึ่งกลางห้องที่ระดับ 50 ซม. ซึ่งเป็นตัวแทนระดับทำนอน และที่ระดับ 1.00 เมตรเป็นตัวแทนระดับทำนั่งของผู้เข้าใช้อาคาร ดูรูปประกอบ 4.1.1-4.1.4) นั้นต่ำกว่าอากาศภายนอก(เส้นกราฟ exterior) และต่ำกว่าภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศ (กราฟเบอร์ 4) แต่อุณหภูมิต่ำในช่วงเช้าและสูงในช่วงบ่ายโดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามอุณหภูมิอากาศภายนอก

แต่ค่าที่น่าสนใจในผลที่ได้คือในช่วงเวลากลางคืน อากาศในท่อฝังดิน(กราฟรหัส 6) ในช่องแห้ง (Dry Channel รหัส 3) ซึ่งเป็นอากาศที่อยู่ในระบบท่อเดินอากาศเข้าสู่หน่วยทดสอบแต่เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ไม่ได้เดินระบบพัดลม และในช่องเปียกยังคงมีอัตราการระเหยอยู่ทำให้อุณหภูมิกอากาศต่ำมากในช่วงเวลากลางคืน แสดงว่าระบบในเวลากลางคืนนั้นน่าจะเย็นกว่าเวลากลางวัน แต่จะสามารถทำให้อากาศในหน่วยทดสอบนั้นลดลงได้ขนาดไหน



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิรวมจากหัววัดอุณหภูมิทั้งหมด เมื่อความเร็วลม 0.90 เมตร/วินาที (ต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิรวมจากหัววัดอุณหภูมิทั้งหมด เมื่อความเร็วลม 1.96 เมตรวินาที (สูง)

จากผลการทดลองข้างต้นทำให้ พบว่าค่าที่ทดสอบในเวลากลางวันเพียงอย่างเดียวนั้นไม่น่าจะเพียงพอ และพบการแกว่งตัวของอุณหภูมิที่สูงมากไม่สามารถให้คำตอบด้านประสิทธิภาพของระบบที่ชัดเจนได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงการทดลองเป็นรตน้ำทั้งเวลากลางวันและกลางคืนแทน

4.1.2 การเตรียมการทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 2(ส่วนความเร็วลมในห้องฝั่งดิน-สูง)

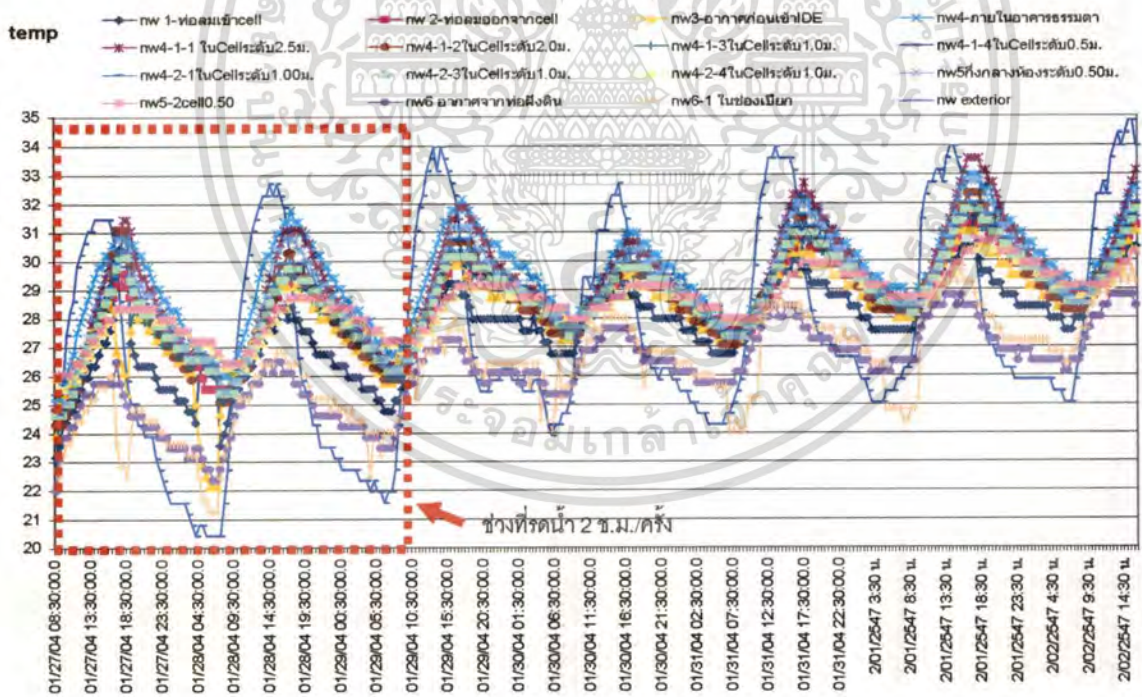
การทดลองนี้เปลี่ยนการรดน้ำเป็นรดทั้งกลางวันและกลางคืนจากผลการวิจัยในการทดลองครั้งแรก ดังนั้นจึงทำการทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1 ใหม่อีกครั้ง โดยทำการเตรียมการทดลองเหมือนครั้งแรก โดยความเร็วพัดลม ที่ดูดอากาศจากท่อฝั่งดินอยู่ที่ 1.96 เมตร/วินาที เป็นความเร็วลมสูง แต่การรดน้ำให้ระบบท่อฝั่งดินจะทำทั้งกลางวันและกลางคืน โดยผู้วิจัยได้แทรกช่วงเวลา 2 วันแรกของการทดลอง (คือวันที่ 27-28) เปิดน้ำให้กับระบบ เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง/ครั้ง ส่วนวันที่เหลือ รดน้ำเหมือนเดิมคือ ชั่วโมงละ 1 ครั้ง แต่ละครั้งเป็นเวลา 5 นาที เนื่องจากระหว่างการทดลองครั้งแรกนั้นผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่า ระหว่างการรดน้ำ ชั่วโมงละครั้งก่อนการรดน้ำครั้งต่อมาสภาพาบมะพร้าวสับยังคงเปียก ไม่มีรอยแห้งเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเห็นว่าอุณหภูมิที่ได้ถ้าทั้งเวลาไม่นานพอ อุณหภูมิที่ได้น่าจะเป็นอุณหภูมิของน้ำมากกว่า อุณหภูมิที่ได้จากการระเหยของน้ำ จึงทดลองแยกการรดน้ำเป็นสองช่วงคือการรดน้ำชั่วโมงละครั้ง กับ 2 ชั่วโมงต่อครั้ง

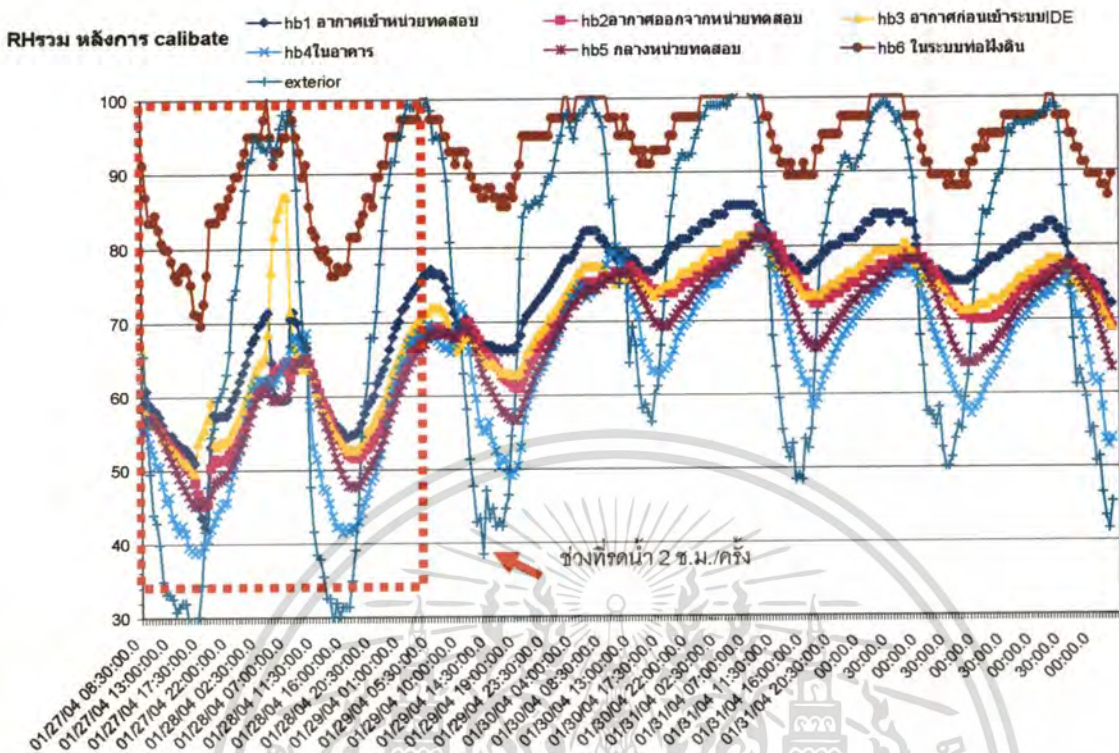
4.1.3 ผลการวิจัยตามคำถามการวิจัยที่ 1 ครั้งที่ 2 (ส่วนความเร็วลมในท่อฝังดิน-สูง)

โดยจากผลการทดลองพบว่าช่วงเวลาที่รดน้ำ 2 ชั่วโมง / ครั้ง นั้นให้ผลด้านการลดอุณหภูมิที่ดีกว่าการที่ให้น้ำในระบบ 1 ชม. / ครั้ง เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการระเหยของน้ำ นั้นอัตราการระเหยของน้ำมีน้อยกว่าในปริมาณน้ำเดียวกัน คือการระเหยของน้ำในปริมาณเดียวกันแต่ใช้เวลาในการระเหยมากกว่าจะได้ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอหรือระเหยมากกว่า โดยจะดึงความร้อนจากสภาพแวดล้อมที่อยู่โดยรอบมาใช้ในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้อากาศภายในท่อฝังดินอุณหภูมิลดลงได้มากกว่าการให้น้ำกับระบบบ่อยเกินไป การให้น้ำในระบบที่บ่อยเกินไปจะส่งผลต่อการระเหยของน้ำจะไปดึงเอาอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ระบบใหม่แทนการดึงจากสภาพแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิที่ได้จะเกิดจากอุณหภูมิน้ำที่รด



ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองในช่วง 2 วันแรก จะเปิดน้ำ 2 ชั่วโมง/ครั้ง ส่วน 4 วันที่เหลือ เปิดทุกชั่วโมงทำให้อุณหภูมิ ระหว่างการรดน้ำทั้ง 2 ช่วงแตกต่างกัน (ดูภาพประกอบการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิในภาพประกอบที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม พบว่ากลางคืนพื้นที่ติดตั้งEarth Cooling นั้นมีความชื้นสูง

จากค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดในเวลากลางวันและต่ำกว่าอุณหภูมิในหน่วยทดสอบ ในเวลากลางคืน อุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ ที่ระดับ 2.5 เมตร (กราฟอุณหภูมิรหัส 4-1-1 ในหน่วยทดสอบที่ระดับ 2.50ม.) มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ (กราฟรหัส 4 ภายในอาคาร) ส่วนอุณหภูมิในหน่วยทดสอบในแนวระดับ 0.50 และ 1.00 เมตร นั้นจะเกาะกลุ่มกัน (กราฟรหัส 4-1-3, 4-1-4, 4-2-1 ถึง 4-2-4, 5-1 และ 5-2) มีอุณหภูมิของปากปล่องท่ออากาศก่อนเข้าหน่วยทดสอบ จะต่ำกว่าในหน่วยทดสอบ (กราฟรหัส nw 1 fr ide) และอุณหภูมิในท่อฝังดิน และในช่องเป็ยก มีค่าต่ำกว่าในหน่วยทดสอบมาก ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยค่าในท่ออากาศจากภายในหน่วยทดสอบเข้าสู่ช่องแห้งของระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้น กลับมีค่าเกาะกันกับอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ และสูงกว่า ปากท่ออากาศที่จะเข้าสู่หน่วยทดสอบ

และค่าที่น่าสนใจที่สุดคือค่าอุณหภูมิอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน (รหัส 6-1) พบว่าต่ำมาก คู่กับในช่องเป็ยก (รหัส 6-2) เนื่องจากเป็นลมอันเดียวกันแต่วัดก่อนและหลังเข้าช่องเป็ยกเท่านั้นโดยสามารถทำความเย็นได้แตกต่างกับภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับในหน่วยทดสอบ อยู่ในช่วง 1-6 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ดูกราฟจากภาพประกอบ 4.1.12 ค่าความต่างของอุณหภูมิของภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับอุณหภูมิในท้องผืนดิน (nw4-nw6-1)) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้ภายในอาคารมาก

4.1.4 การวิเคราะห์ผลการวิจัยตามคำถามการวิจัยที่ 1 (ส่วนความเร็วลมในท้องผืนดิน-สูง)

ภายในหน่วยทดสอบมีการวัดเป็น 2 ประเด็นหลักคืออุณหภูมิในแนวตั้ง และอุณหภูมิในแนวระดับ โดยแนวระดับแบ่งออกเป็น ที่ระดับ 50 ซม. และ 1 เมตร ค่าจากกราฟพบว่า อุณหภูมิที่ระดับ 2.50(4-1-1) และระดับ 2.00(4-1-2) เมตรนั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศใดๆ (4 ภายในอาคาร) เนื่องจากท่ออากาศที่ต่อจากระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นอยู่ที่ระดับ 1.80 ม. ทำให้อากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับสูงเกินกว่า 1.80 เมตร มีอุณหภูมิเท่ากับอากาศที่อยู่ในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศ (กราฟรหัส 4 ภายในอาคาร) เนื่องจากอากาศเย็นจะตกลงสู่ที่ต่ำและอากาศร้อนจะลอยขึ้นที่สูง (ดูเรื่องการพาความร้อนในบทบทวนวรรณกรรม) ทำให้อากาศแยกตัวเป็นสองส่วนโดยส่วนล่างเป็นส่วนที่ต้องการปรับอากาศ

ส่วนค่าในแนวระดับ ที่ระดับ 50 ซม.(5-1, 5-2) และที่ระดับ 1.00 เมตร นั้น (กราฟรหัส 4-1-3, 4-1-4, 4-2-1 ถึง 4-2-4) จะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าปากท่อที่ส่งลมเย็นจาก Indirect Evaporative Cooling (nw1) มีความเป็นไปได้ในกรณีนี้อยู่ 2 ประเด็นคือ

1. เนื่องจากการระบายอากาศในระบบท่ออากาศนั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอทำให้อากาศในท่อส่งลมที่มาจากระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นมีการกระจายตัวสูงในหน่วยทดสอบได้อย่างไม่ทั่วถึงส่งผลให้อากาศในหน่วยทดสอบกับภายในท่ออากาศแตกต่างกัน
2. เนื่องจากระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ทำมานั้นมีขนาดไม่เหมาะสมกับขนาดห้อง โดยขนาดของระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นผู้วิจัยได้นำมาจากระบบที่ทำจำหน่ายนั้นอยู่ในพื้นที่ ที่มีอากาศร้อนแห้ง(Dry arid) เป็นไปได้ว่าขนาดของระบบที่นำมาอาจจะไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น(hot-humid)ซึ่งสภาพอากาศแบบร้อนชื้นอาจจะต้องการขนาดพื้นที่ของระบบภาคแห้ง(dry channel) และภาคเปียก (wet channel) ที่มากกว่านั้น และสัมพันธ์กับขนาดปริมาตรอากาศภายในหน่วยทดสอบด้วย

จากความเป็นไปได้ในทั้ง 2 ประเด็นข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบในส่วนของประเด็นแรกโดยวัดความเร็วลมที่ได้จากท่อที่ต่อจากระบบ Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบ(ตำแหน่งเดียวกับ 1) โดยวัดความเร็วลมได้ดังภาพ

0.74	0.76
0.83	
0.62	0.71

ความเร็วลมหน่วย เมตร/วินาที

ภาพที่ 4.6 แสดงหน้าตัดแสดงความเร็วลมภายในห้องอากาศจาก Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบ(nw1) โดยวัดอุณหภูมิเฉลี่ย 5 จุดได้ค่าตามภาพ

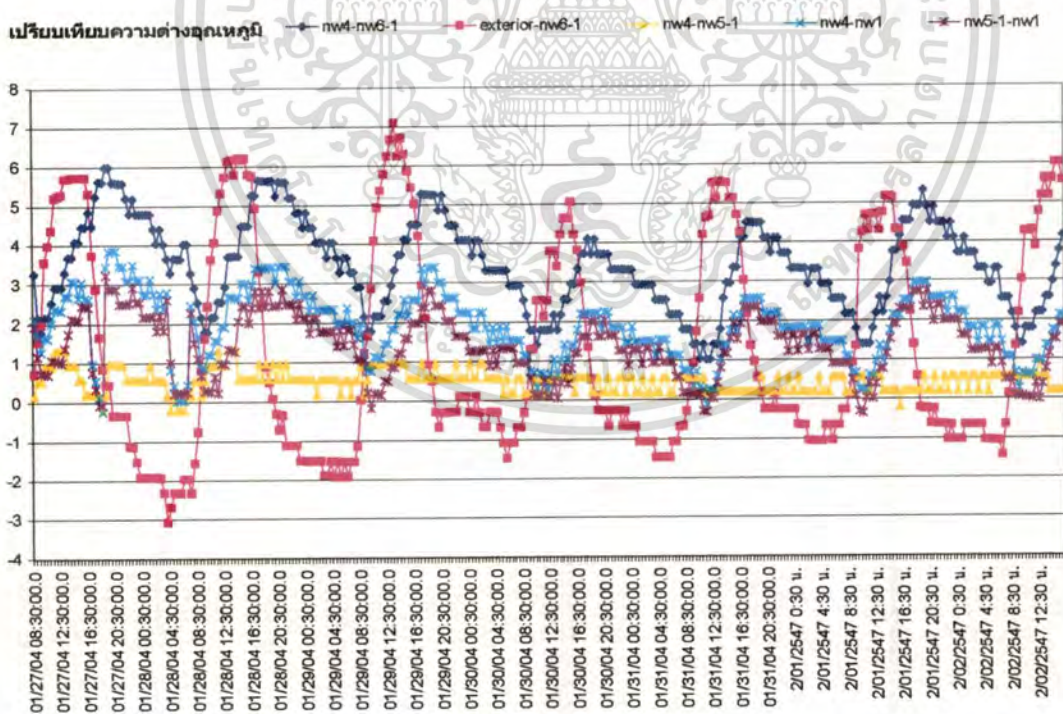
จากค่าความเร็วลมที่ได้พบว่าลมภายในห้องมีความเร็วลมที่ต่ำมาก คาดว่ามาจากความถี่ของห้องที่มีผลกับอากาศภายในห้อง และเนื่องจากการทำความเย็นให้ภายในอาคารหรือหน่วยทดสอบนั้นจำเป็นต้องมีการหมุนเวียนของปริมาตรอากาศโดยควรจะเปลี่ยน หลายครั้งภายใน 1 ชั่วโมง โดยปริมาตรอากาศในหน่วยทดสอบ มีขนาด 4.00x4.64x3.58 เมตร (ดูบทที่ 3 เรื่องการกำหนดขนาดหน่วยทดสอบ) จะได้ปริมาตรอากาศในหน่วยทดสอบเท่ากับ 66.44 ลบ.ม. ส่วนอากาศที่ไหลผ่านห้องอากาศใน 1 ชม. มีค่าเท่ากับ (ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมรวม $(0.74+0.76+0.83+0.62+0.71)/5$) เท่ากับ 0.732 เมตร/วินาที ในห้องที่มีปริมาตร 0.30x0.30 เมตร หรือ 0.09 ตร.ม. ได้ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านห้อง ต่อชั่วโมงเท่ากับ $0.732 \times 0.09 \times 60 \times 60 = 237.168$ ลบ.ม./ชั่วโมง ก็คือในเวลา 1 ชั่วโมงระบบสามารถเปลี่ยนอากาศภายในห้องได้แค่ประมาณ 3.5 ครั้งเท่านั้น โดยความเร็วลมในระบบห้องอากาศที่หมุนเวียนอากาศในหน่วยทดสอบเข้าสู่ระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นน่าจะมีความเร็วมากกว่านี้

ส่วนในประเด็นที่ 2 นั้น ต้องดูค่าความสามารถในการทำอุณหภูมิของระบบ Indirect Evaporative Cooling โดยถ้าระบบมีประสิทธิภาพเพียงพอ ค่าที่ได้ของระบบในการทำอุณหภูมินั้น จะอยู่ในช่วงระหว่างอากาศที่มาจากปล่องลมเข้าหน่วยทดสอบ (nw1) กับอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ (nw4-1-3, 4-1-4, 4-2-1 ถึง 4-2-4 และ 5-1, 5-2) โดยอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบจะใกล้กับอุณหภูมิปากท่ออากาศเข้าหน่วยทดสอบ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ระบบ Indirect Evaporative Cooling สามารถทำได้ โดยค่าที่ได้ในเวลากลางวันค่าค่อนข้างเข้าใกล้กัน ระหว่างอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบกับอุณหภูมิอากาศในห้องที่มาจากระบบ Indirect Evaporative Cooling แต่เวลากลางคืนมีค่าอุณหภูมิต่างกัน จากค่าที่ได้จะพบว่าระบบ Indirect Evaporative Cooling สามารถทำอุณหภูมิได้พอควร เนื่องจากค่าที่ได้จึงตามอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศ โดยมีความต่างอยู่ประมาณ 1-3 องศา ซึ่งจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วนเพื่อดูความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าระบบนี้มีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวจึงต้องหาค่าความต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วนเพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วน โดยจะเน้นเปรียบเทียบอุณหภูมิ 5 ส่วน ตามประเด็นดังนี้

1. เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับในระบบท่อฝังดินเพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ระบบท่อฝังดินสามารถทำได้(nw4-nw6-1)
2. เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ (กราฟรหัส exterior-nw6-1)
3. เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับภายในหน่วยทดสอบที่ระดับ 50 ซม. (กราฟรหัส nw4-nw5-1)
4. เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับอุณหภูมิในท่ออากาศที่มาจากระบบ Indirect Evaporative Cooling เพื่อส่งเข้าหน่วยทดสอบ(กราฟรหัส nw4-nw1)
5. เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบกับอุณหภูมิในท่ออากาศที่มาจากระบบ Indirect Evaporative Cooling เพื่อส่งเข้าหน่วยทดสอบ(กราฟรหัส nw5-1-nw1)



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร ภายนอกอาคาร กับ Earth Cooling ค่าที่ติดลบเนื่องจากช่วงเวลานั้นอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำกว่าภายใน Earth Cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟข้างต้นพบว่าช่วงความต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับอากาศภายในห้องฝังดิน (เส้นกราฟ nw4-nw6-1 และ nw4-nw6-2) นั้นแตกต่างกันอยู่ในช่วงต่ำสุด 1 องศา และมากที่สุดอยู่ที่ 5 องศา ส่วนความต่างระหว่าง ภายในหน่วยทดสอบที่ระดับ 50 ซม.กับภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ค่าแตกต่างกันไม่ถึง 1 องศา จากค่าที่ได้แสดงว่าระบบนี้ไม่สามารถปรับอากาศภายในหน่วยทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าความต่างระหว่างปากปล่องลมจาก Indirect Evaporative Cooling ที่ปล่อยลมเข้าสู่หน่วยทดสอบมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ 1-3 องศา(จากเส้นกราฟ nw5-1-nw1) และค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่าง ภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศกับปากท่อที่ปล่อยลมจาก Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบต่างกันอยู่ 1-3 องศา ค่าเฉลี่ยความต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 1.88966 องศา (จากเส้นกราฟnw4-nw1)

จากผลข้างต้นแสดงว่าระบบ Indirect Evaporative Cooling สามารถทำความเย็นได้อยู่ในช่วง 1-3 องศาหรือน้อยกว่านั้น และระบบการระบายอากาศจากท่อเข้าสู่หน่วยทดสอบยังไม่มีประสิทธิภาพทำให้อุณหภูมิของลมจากท่อและหน่วยทดสอบแตกต่างกันได้ถึง 3 องศา

ผลการทดลองของค่าตามการวิจัยที่ 1 ส่วนแรกที่เป็นความเร็วลมที่เร็ว แล้วผลของส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ช้า จะเป็นอย่างไร

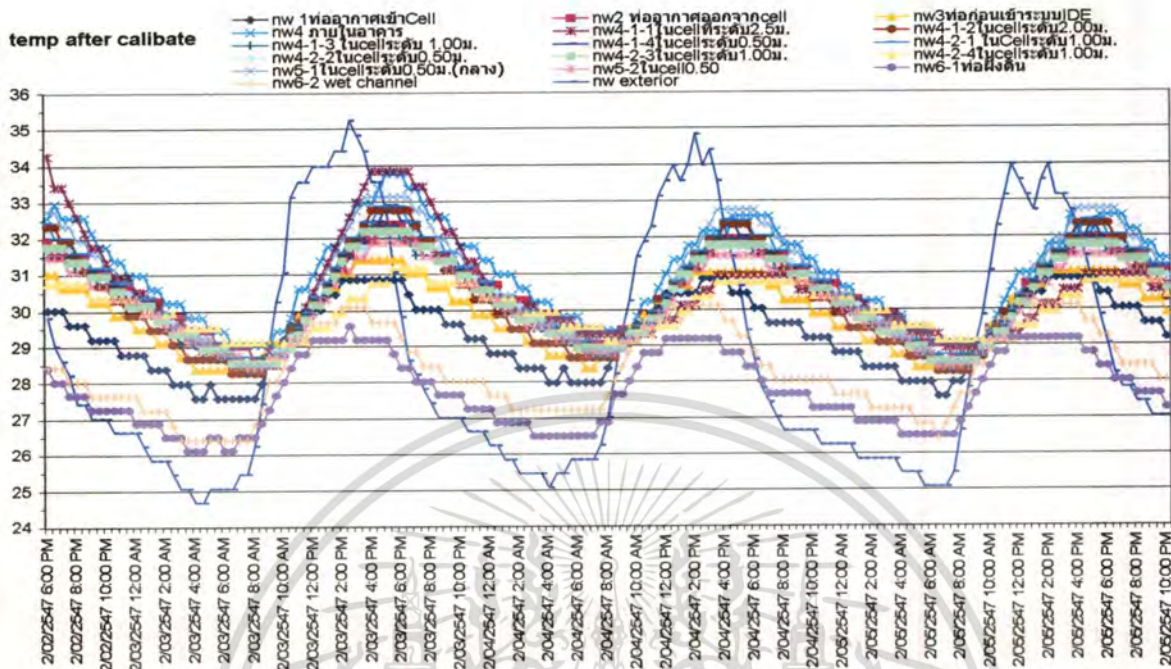
4.1.5 ผลการวิจัยจากคำถามการวิจัยที่ 1 ส่วนที่ 2 (ความเร็วลมภายในห้องฝังดิน-ต่ำ)

คำถามการวิจัยที่ 1 ส่วนที่ 2 ความเร็วลมที่ช้า หลังจากทำส่วนแรกที่มีความเร็วลมสูงไปแล้ว ส่วนที่ 2 จะมีการบวนการในการเตรียมการทดลองเหมือนกับการทดลองคำถามการวิจัยที่ 1 ส่วนแรก จะต่างตรงที่ความเร็วลมจากห้องฝังดิน นั้นจะต่ำลง ในการทดลองส่วนนี้จะอยู่ที่ 0.98 เมตร/วินาที ทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วัน และรดน้ำ 1 ชั่วโมง/ครั้ง (ครั้งละ 5 นาที)

การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิในการวิจัยส่วนนี้ยังคงติดตั้งเหมือนกับในการวิจัยก่อนหน้านี้ โดยเปลี่ยนความเร็วลมเป็นความเร็วลมต่ำ มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.98 เมตร/วินาที เพื่อดูว่ามีผลอย่างไรถ้าความเร็วลมในระบบห้องฝังดินมีความเร็วลมไม่มาก

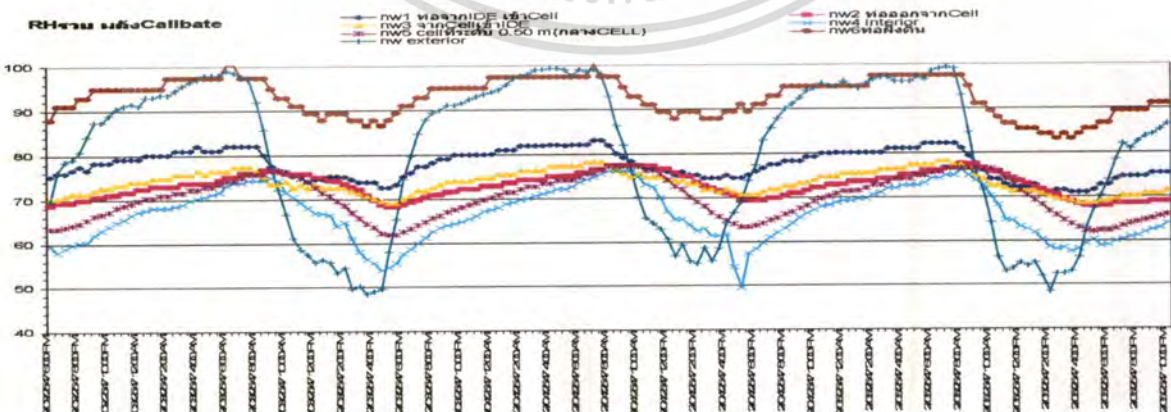
ค่าจากกราฟพบว่าภายในหน่วยทดสอบอุณหภูมิในแนวระดับ ที่ 50 ซม.(nw 4-1-4, 4-2-2, 5-1 และ 5-2) กลับมีค่าสูงเท่ากับค่าอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศใดๆ (nw int) โดยอากาศภายในห้องฝังดินยังคงค่าที่ต่ำสุด(nw6-1, nw6-2) และอุณหภูมิที่ปากปล่องท่อส่งลมจากระบบ Indirect Evaporative Cooling ยังคงแยกห่างจากอุณหภูมิหน่วยทดสอบ (nw4-1-3, 4-1-4, 4-2-1ถึง4-2-4 และ 5-1,5-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิจะพบว่าอุณหภูมิของลมที่มาจาก Earth cooling มีค่าต่ำมาก ส่วนอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบกลับสูงเกือบเท่าอุณหภูมิของภายในอาคารที่ไม่ได้มีระบบปรับอากาศ

โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศจากระบบท่อฝังดินมีค่าสูงกว่าส่วนอื่นๆ แต่ไม่แกว่งตัวเท่ากับ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ส่วนความชื้นภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าส่วนอื่นๆ และอากาศภายในหน่วยทดสอบมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 65-75%



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ รวม พบค่าของลมที่มาจากท่อฝังดิน มีความชื้นสูงมาก

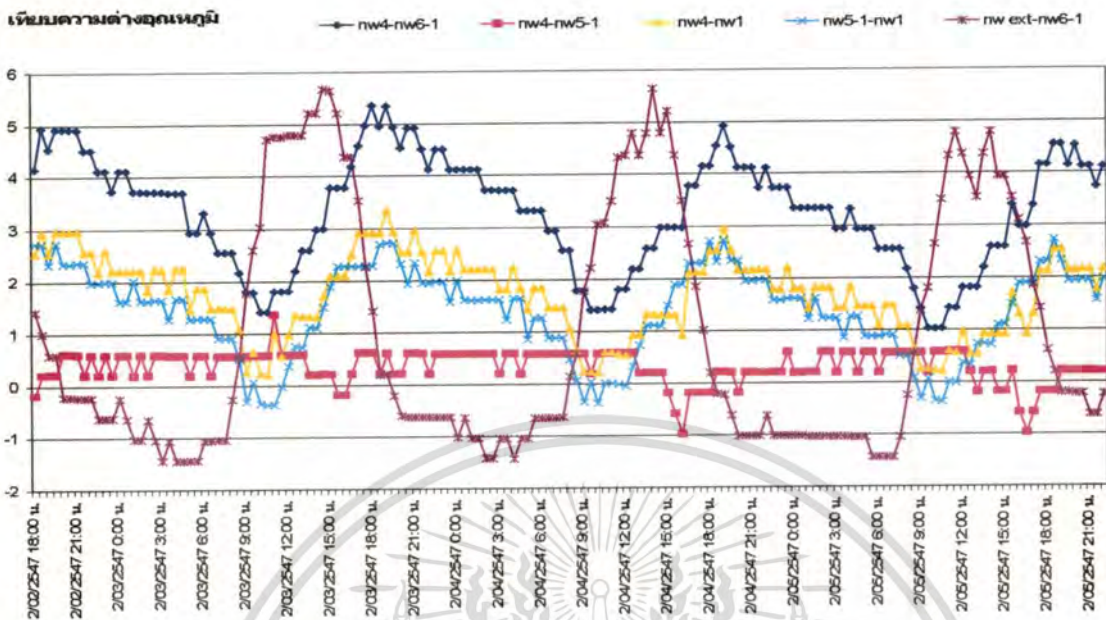
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัยตามคำถามการวิจัยที่ 1 ส่วนที่ 2 (ส่วนความเร็วลมในท่อฝังดิน-สูง)

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมข้างต้นพบว่า การเปรียบเทียบอุณหภูมิในแนวตั้งพบว่าค่าในระดับ 2.50 และ 2.00 เมตร มีค่าใกล้เคียงกับส่วนแรก โดยในแนวระดับคือที่ระดับ 0.50 และ 1.00 เมตรนั้น พบว่ามีการเกาะกลุ่มกันซึ่งการวางตำแหน่งเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นในส่วนคำถามการวิจัยที่ 1 นี้ จะติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศอยู่ 2 ส่วน คือ อยู่ใน บริเวณที่น่าจะมีกระแสลมผ่าน เนื่องจากเป็นทางออกของลมจากปากปล่อง (nw4-1-4, 4-1-2) กับทางลมผ่านเข้าสู่ท่อลมดูดอากาศเข้าสู่ระบบ Indirect Evaporative Cooling (nw4-2-4, 5-2) บริเวณจุดอับลมคือคาดว่ากระแสลมจากระบบไม่น่าจะพัดผ่าน (nw4-2-1 ถึง 4-2-3) และบริเวณกลางหน่วยทดสอบ (nw5-1)

จากค่าอุณหภูมิที่ได้เกาะกลุ่มกันแสดงว่ากระแสลมที่มาจากท่ออากาศเข้าหน่วยทดสอบน่าจะไม่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอต่อการกระจายอากาศภายในหน่วยทดสอบทำให้อุณหภูมิในหน่วยทดสอบในแต่ละจุดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทั้งที่อยู่ในจุดที่คาดว่ามีความต่างของอุณหภูมิเนื่องจาก อยู่ในจุดที่กระแสลมเย็นจากระบบ Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบพัดผ่าน และ ในจุดที่คาดว่าไม่น่าจะมีกระแสลมเย็นพัดผ่าน ประกอบกับอากาศจากปากปล่องท่ออากาศจากระบบ Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบยังคงมีค่าอุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิ ภายในหน่วยทดสอบ อย่างเห็นได้ชัดแสดงถึงการกระจายลมจากระบบ Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบนั้น ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอทำให้อุณหภูมิของอากาศที่มาจากระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นแตกต่างจากอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ ซึ่งถ้าการระบายอากาศมีประสิทธิภาพเพียงพอแล้ว อุณหภูมิในท่อส่งลมเข้าหน่วยทดสอบกับ อุณหภูมิในหน่วยทดสอบจะเข้าใกล้กันมากกว่านี้

ส่วนในประเด็นด้านประสิทธิภาพของระบบ Indirect Evaporative Cooling จากค่าของอุณหภูมิที่ได้อุณหภูมิของอากาศที่มาจากระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้น (nw1) ซึ่งเป็นอากาศจากระบบก่อนเข้าสู่หน่วยทดสอบ จะแสดงความสามารถในการทำความเย็นของระบบ Indirect Evaporative Cooling แทนที่จะเป็นอุณหภูมิที่มาจากภายในหน่วยทดสอบเนื่องจากระบบการกระจายอากาศไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยทำการเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิเพื่อแสดงความสามารถของระบบในกรณีที่อากาศภายในระบบท่อฝังดินมีความเร็วลมต่ำ (ความเร็วลมที่ 0.98 เมตร/วินาที) โดยทำการเปรียบเทียบได้ดังกราฟ



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความต่างของอุณหภูมิในหน่วยทดสอบกับภายในอาคาร และภายนอก

จากกราฟข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเทียบเป็นคู่คือความต่างของอุณหภูมিরะหว่าง

1. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน(Earth Cooling) (nw4-nw6-1)
2. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบ(nw4-nw 5-1)
3. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิภายในท่ออากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน(Supply air) (nw4-nw1)
4. อุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 ม. กับอุณหภูมิภายในท่ออากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน(Supply air) (nw5-1-nw1)
5. อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน(Earth Cooling) (ext-hb6-1)

ผลที่ได้ค่าความต่างระหว่าง อากาศที่ผ่านระบบ Indirect Evaporative Cooling (nw1) นั้นค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองแรกคืออยู่ในช่วงประมาณ 1-3 องศา และค่าเฉลี่ยความต่างอุณหภูมิ(nw 4-nw1)อยู่ที่1.721955 องศา แสดงถึงค่าช่วงอุณหภูมิ ที่ Indirect Evaporative Cooling สามารถทำความเย็นให้กับหน่วยทดสอบได้ โดยดูจากค่าความต่างของอุณหภูมิหน่วยทดสอบที่ 50 ซม. กับท่อลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจาก Indirect Evaporative Cooling (nw 5-1-nw1) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันแสดงว่าระบบนี้สามารถทำ
 อุณหภูมิให้หน่วยทดสอบได้น้อยมากเนื่องจากกราฟทั้งสองเส้นเกาะกันไปแสดงถึงอุณหภูมิภายในหน่วย
 ทดสอบกับภายในอาคารแตกต่างกันน้อยมาก โดยค่าเฉลี่ยความต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับการทดลอง
 ที่ 1 ซึ่งได้ 1.88966 องศาแสดงว่าระบบในการทดลองที่ 1 น่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากมีค่า
 ความต่างของอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิปากปล่องอากาศจากระบบ
 Indirect Evaporative Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบมีค่ามากกว่า จากเหตุผลดังกล่าวแสดงว่าระบบ
 Indirect Evaporative Cooling เมื่อเทียบกับระบบ Earth Cooling แล้วต้องการความเร็วลมที่มาก คาดว่ามา
 จากที่ระบบท่อฝังดินมีการเดินทางของอากาศภายในท่อเป็นระยะทางที่เพียงพอที่จะถ่ายเทอุณหภูมิแล้ว
 จึงไม่ต้องการเวลาในการถ่ายเทอุณหภูมิมักทำให้เมื่อใช้ความเร็วลมที่สูงจะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า
 แต่การที่ระบบทำความเย็นให้ภายในอาคารสามารถทำความเย็นได้ประมาณ 2 องศา นั้นประสิทธิภาพไม่
 เพียงพอที่จะทำความเย็นภายในอาคาร

และจากค่าความต่างของอุณหภูมิที่ได้ของอุณหภูมิของอากาศในท่อฝังดินมีความต่างกับอากาศ
 ภายนอก และภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศอยู่มาก (nw ext-nw6-1, nw ext-nw6-2) แต่ช่วง
 กลางคืน อากาศภายนอกติดลบ แสดงว่าอุณหภูมิกอากาศภายนอกต่ำกว่าในท่อฝังดิน และช่วงความต่าง
 ภายนอกกับภายในอาคาร เนื่องจากอากาศภายนอกในตอนกลางคืนมีสภาพอากาศเย็น แต่ผลที่ได้มีความ
 ต่างระหว่างในท่อฝังดิน กับภายในอาคาร และภายนอกอาคารกับภายในท่อฝังดิน มีค่าใกล้เคียงกัน และ
 จากค่า อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศกับภายในหน่วยทดสอบที่ระดับ 50 ซม. ยังคงมี
 ค่าความต่างน้อยมากคือไม่เกิน 1 (nw 4-nw5-1) แสดงว่าระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ติดตั้ง
 นั้นขาดประสิทธิภาพในการทำความเย็นให้กับภายในอาคาร

4.1.7 สรุปผลจากการทดลองตามคำถามการวิจัยที่ 1

พบว่า การทำความเย็นโดยใช้ระบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นไม่น่าที่จะทำให้อากาศ
 ภายในหน่วยทดสอบเย็นลงจนอยู่ในสภาวะสบายได้เนื่องจากความสามารถในการทำความเย็นสามารถ
 ทำได้ สูงสุด 3 องศาหรือค่าที่ได้จากความต่างจากอุณหภูมิอากาศในอาคารกับในท่ออากาศที่จะเข้าสู่
 หน่วยทดสอบค่าเฉลี่ยได้แค่ 1.886 องศาเท่านั้น ซึ่งแสดงว่าระบบสามารถส่งความเย็นให้กับหน่วยทดสอบ
 ได้เพียงเล็กน้อย สาเหตุมาจากการทำความเย็นให้กับอากาศในระบบท่อฝังดินนั้น ส่งผลให้อากาศหดตัว
 เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เมื่อปริมาณน้ำในอากาศที่มีอยู่เท่าเดิมแต่ปริมาณอากาศลดลง ส่งผลให้ค่าความชื้น
 สัมพัทธ์สูงขึ้น เมื่ออากาศออกจากท่อจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงเมื่อต่อเข้าสู่ระบบการทำความเย็นโดยใช้

การระเหยของน้ำแล้ว ในหลักการระเหยต้องการให้ความชื้นในอากาศต่ำ และความเร็วลมสูง จึงจะทำให้เกิดการระเหยได้ดี แต่เมื่ออากาศที่มาจากระบบท่อฝังดินมีความชื้นสูง การช่วยในการระเหยของระบบทำความเย็นด้วยน้ำแบบทางอ้อมก็ไม่มีประสิทธิภาพ และถ้าการกระจายความเย็นจากท่อทำได้ดีกว่านี้ อุณหภูมิของหน่วยทดสอบไม่น่าจะต่ำลงอีกเกิน 0.5 - 1.5 องศาซึ่งยังคงไม่น่าจะมีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะทำความเย็นให้หน่วยทดสอบ

แต่จากค่าที่ได้กลับพบว่า การทำความเย็นโดยใช้ท่อฝังดิน และมีการใช้การระเหยของน้ำที่ช่วยดึงความร้อนออกจากอากาศภายในห้องนั้น กลับมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากสามารถทำความเย็นได้ถึงประมาณ 5 องศา ในขณะที่อากาศภายในห้องถูกถ่ายทิ้งโดยผ่านช่องเปียก (Wet Channel) ออกไปซึ่งเป็นระบบเปิดยังสามารถทำความเย็นได้ขนาดนี้ แล้วถ้ากลายเป็นระบบปิดระบบนี้น่าจะส่งผลต่อการทำความเย็นได้ดีโดยจะทำได้ถึง 5 องศา

ดังนั้นในการวิจัยขั้นต่อไปผู้วิจัยจำเป็นต้องปรับการทดลองในส่วนคำถามการวิจัยข้อที่ 2 ที่ว่าด้วยการเปรียบเทียบระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ต่อเข้ากับระบบท่อฝังดินกับระบบ Indirect Evaporative Cooling ธรรมดา เป็นการทดลองประสิทธิภาพของระบบท่อฝังดินที่มีการระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็นให้กับอากาศภายในท่อฝังดิน มาต่อตรงเข้ากับ หน่วยทดสอบ แทน และจะให้ผลเป็นอย่างไร

4.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดิน

ข้อสรุปจากการทดลองที่ 1 ทั้งสองส่วนทำให้การทดลองที่ 2 นี้ไม่เป็นไปตามคำถามการวิจัยเดิมที่ตั้งไว้ เนื่องจากผลที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าระบบ Indirect Evaporative Cooling ไม่เหมาะในการทำความเย็นในอาคารเนื่องจากประสิทธิภาพที่ได้ต่ำเกินไป แต่กลับพบว่าระบบท่อฝังดิน มีความเหมาะสมในการนำมาทำความเย็นให้กับอาคาร มากกว่าเนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 1 นั้น ระบบท่อฝังดิน แม้จะเป็นส่วนที่เป็นระบบเปิด แต่กลับสามารถทำความเย็นได้ถึง 5 องศา

ผู้วิจัยจึงเห็นว่าน่าจะทำการศึกษาต่อโดยยังยึดประเด็นหลักคือต้องการหาระบบทำความเย็นให้ภายในอาคารโดยประหยัดพลังงานมากที่สุด ซึ่งการนำเอาระบบท่อฝังดิน ซึ่งเป็นระบบ Passive Cooling ประเภทหนึ่งเหมือนกันมาประยุกต์ ในการทำความเย็นให้ภายในอาคารต่อไป

แต่เนื่องจากข้อจำกัด บัณฑิตทางด้านเวลาที่ต้องใช้เครื่องมือในเวลาจำกัด และเรื่องเงินทุน ทำให้ต้องปรับระบบเป็นประเด็นดังนี้

1. ด้านประสิทธิภาพในการทำความเย็น ด้วยการต่อระบบท่อฝังดิน ตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบ โดยยกระบบ Indirect Evaporative Cooling เดิมออกและเชื่อมท่อเข้าหากันก็จะทำให้ระบบท่อฝังดินสามารถต่อ

ตรงเข้าหน่วยทดสอบได้เลยแต่จะมีเรื่องความคดเคี้ยวของท่อที่เกิดขึ้นอันอาจจะส่งผลต่อแรงลม และ ประสิทธิภาพในการทำควมเย็น

2. เนื่องจากระบบเดิมเป็นระบบปิด การต่อระบบใหม่เข้าไปควรจะเป็นระบบปิดเหมือนกัน แต่ เนื่องจากเวลาที่ขออนุญาตใช้สถานที่ทำวิจัย และเครื่องมือ กำลังจะหมดเวลา ประกอบกับบริเวณปลาย ท่อลมที่ดูดลมเข้าสู่ระบบท่อฝังดินนั้นอยู่ไกลมาก

และเนื่องจากไม่ได้คาดว่าจะเป็นระบบมาเชื่อมกันตั้งแต่ต้นจึงจำเป็นต้องปรับเป็นระบบเปิดแทนโดย ต้องเจาะผนัง ในหน่วยทดสอบออก ขนาด 4x4 นิ้ว เพื่อระบายอากาศออก ทำให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ ภายในห้องได้ เนื่องจากมีลมเข้า ก็ต้องมีทางให้ลมออกไม่เช่นนั้นอากาศจะไม่ไหลเวียน และปิดท่อลมออก (Return air) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ด้วย

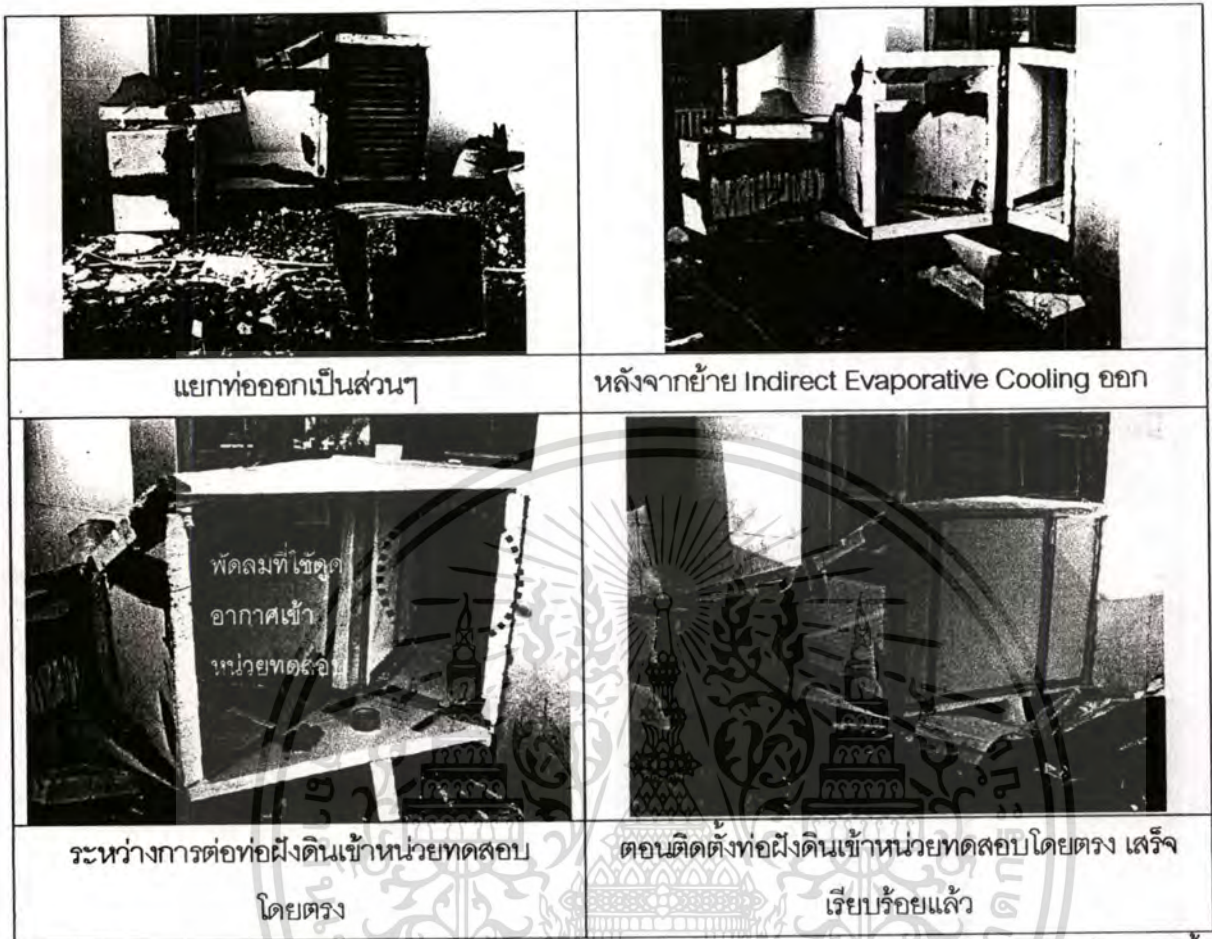
3. ด้านเวลาที่รดน้ำ จากผลการทดลองพบว่า การรดน้ำโดยเว้นช่วง 2 ชั่วโมง/ครั้ง นั้นทำให้ระบบ ท่อ ฝังดิน ที่มีการระเหยของน้ำมาช่วยในการทำควมเย็นนั้น มีประสิทธิภาพในการทำควมเย็นมากขึ้น แต่ ผู้วิจัยยังเห็นว่า การระเหยน้ำจะต้องการเวลามากกว่านี้อีกเนื่องจากหลังจากการรดน้ำไปแล้ว 2 ชั่วโมง สภาพความชื้นที่เปียกอยู่และยังไม่มีส่วนที่แห้งจึงมีความเห็นว่าควมยืดระยะเวลา ระหว่างรดน้ำแต่ ละครั้งออกไปเป็น 3 ชั่วโมง/ครั้ง

4.2.1 การเตรียมการทดลองที่ 2 ทดสอบระบบทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดิน

โดยแก้ไขหน่วยทดลองโดยการเจาะระบายอากาศ ย้าย Indirect Evaporative Cooling ออกและ ต่อท่อฝังดินตรงเข้าหน่วยทดลอง และการรดน้ำให้ระบบท่อฝังดินทำทุก 3 ชั่วโมง โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



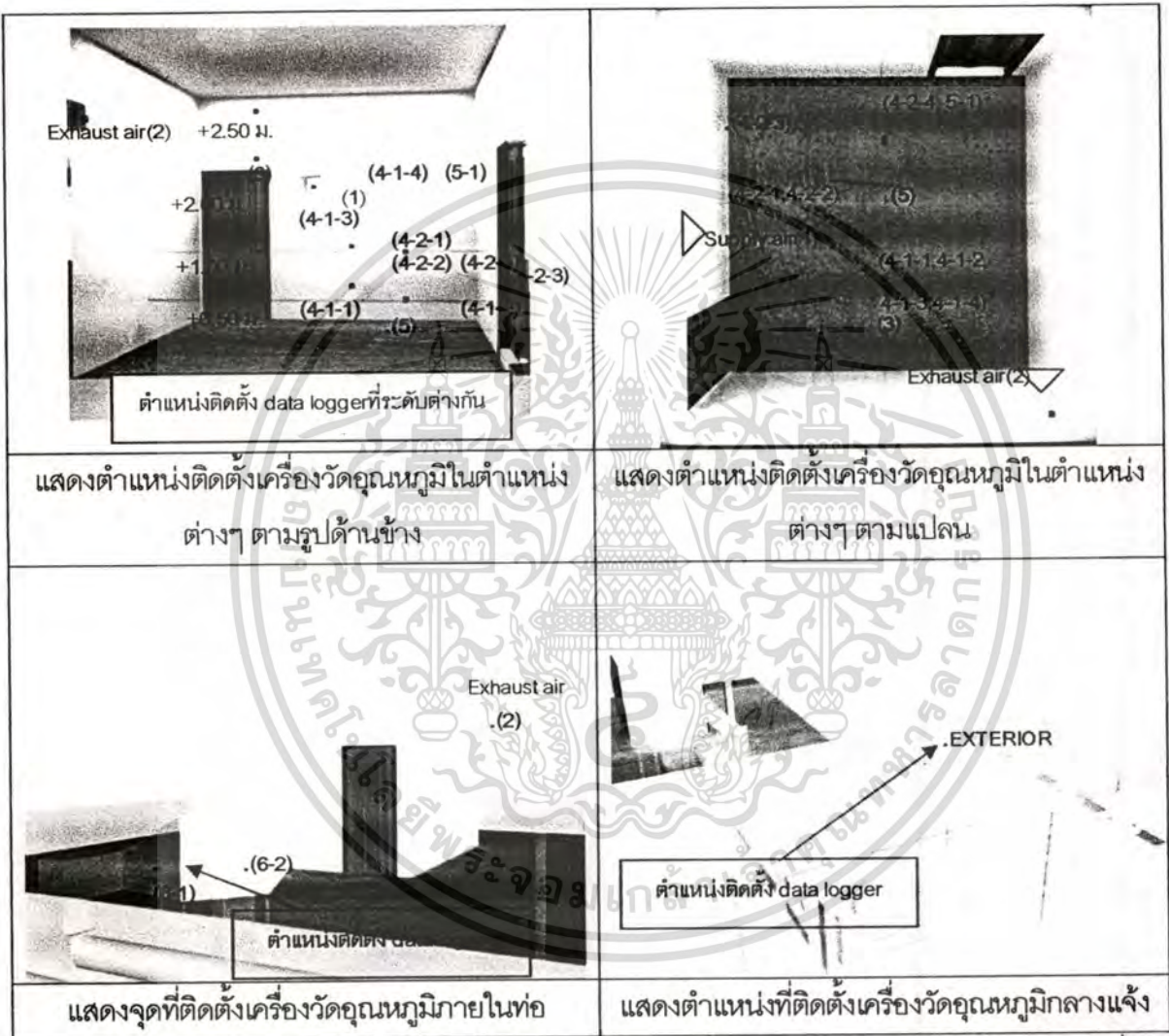
ภาพที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนระบบท่ออากาศโดยนำระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยทางอ้อมของน้ำ ออก และต่อระบบท่อตรงเข้าหน่วยทดสอบ

ในการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติในการทดลองครั้งนี้จะแตกต่างกับการทดลองที่ผ่านมาตรงที่เนื่องจากการปิดท่อดูดลมออกจากหน่วยทดสอบออกเนื่องจากยกเลิกระบบ Indirect Evaporative Cooling จึงย้ายเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ (Temp/RH Data logger(HOBO)) มาวางที่ช่องระบายลมออก (Exhaust air) แทน(เครื่องเบอร์b-2) และติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ (Temp/RH Data logger(HOBO))เพิ่มบริเวณระหว่าง ปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบ (Supply air) กับ ปากทางระบายอากาศออกจากหน่วยทดสอบ (Exhaust air) (เครื่องเบอร์b-3) เพื่อดูผลของอุณหภูมิที่อากาศเดินทางผ่านระหว่างช่องลมเข้าและออกจากหน่วยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดิน

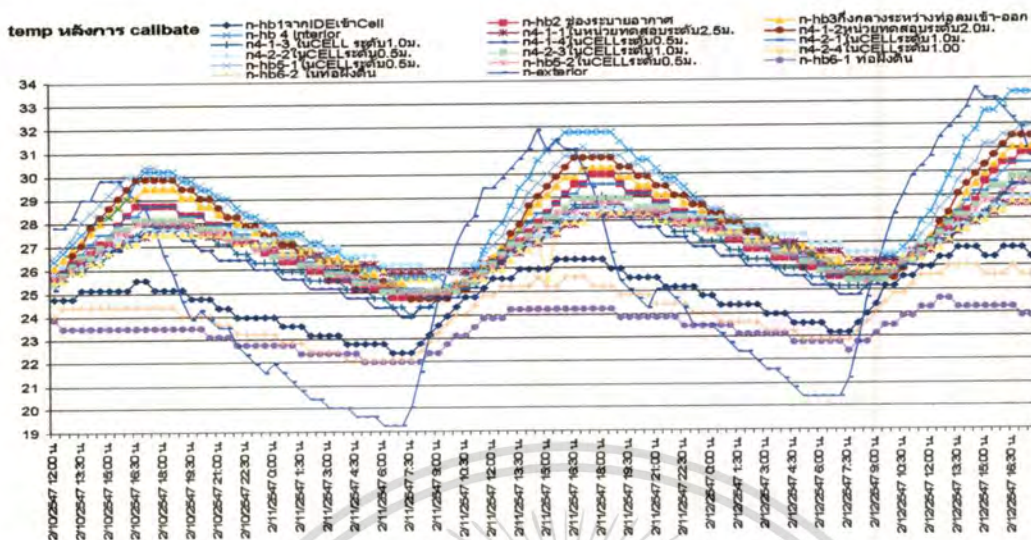
หลังจากการเก็บข้อมูลพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องก่อนเข้าหน่วยทดสอบมีอุณหภูมิลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ส่วนอื่นๆ ภายในหน่วยทดสอบกลับไม่ได้ลดลงตามมา ส่งผลให้เห็นถึงความภาพที่ 4.13 แสดงการติดตั้งและตำแหน่งของเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 4.12 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในจุดต่างๆ ในการทดลองที่ 2

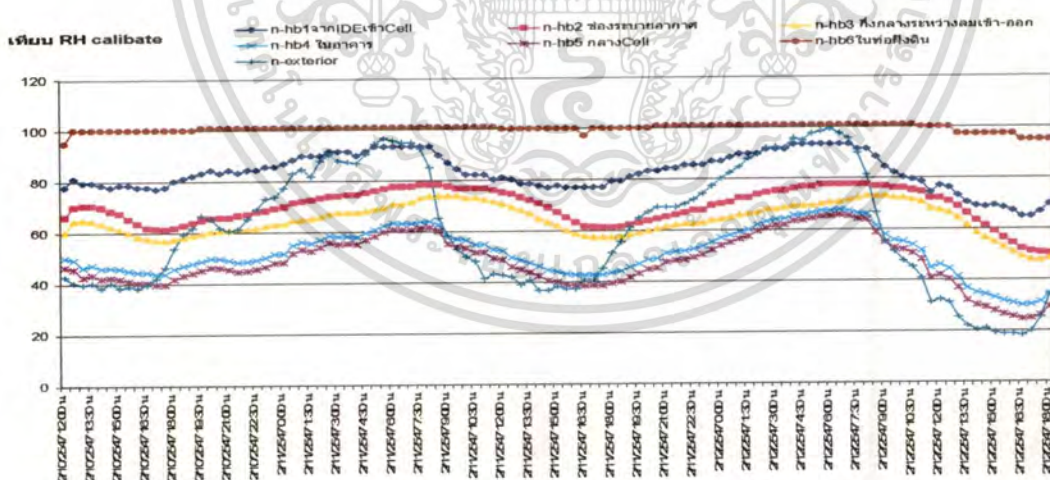
ความสามารถของพัดลมในห้อง ลมเข้าหน่วยทดสอบ ที่ไม่สามารถดึงอากาศจากภายในห้องฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในหน่วยทดสอบลดลงได้ ทั้งที่อุณหภูมิห้องลมเข้าจาก ห้องฝังดิน(n-hb1) เข้าหน่วยทดสอบนั้นมีเส้นกราฟที่ค่อนข้างต่ำ แยกตัวออกจากกลุ่มกราฟที่เป็นอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมเมื่อเดินระบบ Earth Cooling ตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบ

ซึ่งถ้าการระบายลมที่มาจากห้องฝังดินถ้ามีประสิทธิภาพเพียงพอต่อระบบแล้วอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบจะมีค่าต่ำกว่านี้โดยเส้นกราฟน่าจะต่ำลงเข้าใกล้เส้นท่อลมเข้าหน่วยทดสอบ(n-hb1) ในขณะที่อุณหภูมิในห้องฝังดินจะสูงกว่านี้โดยน่าจะเข้าใกล้เส้นกราฟของลมเข้าสู่หน่วยทดสอบ (n-hb1)



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม พบว่าค่าความชื้นภายในระบบห้องฝังดินมีค่าผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบค่าที่มีปัญหาคือค่าของความชื้นภายในระบบท่อฝังดินนั้นมีค่าแปรปรวนมากโดยมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ และบางค่าสูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลสามารถตีความได้ 2 ประเด็น คือ การบันทึกข้อมูลของเครื่องผิดพลาดเนื่องจากค่าที่ได้มากเกินไป 100 เปอร์เซ็นต์ หรือในอีกประเด็นคือการเย็นตัวของอากาศภายในท่อนั้น ส่งผลให้ความชื้นสูงขึ้นจริง โดยข้อสันนิษฐานว่ามาจากการที่อากาศเย็นตัวลงทำให้ปริมาตรอากาศหดตัวในขณะที่ปริมาณน้ำในอากาศที่มีอยู่เดิม ปริมาตรอากาศลดลงส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในขณะนั้นสูงขึ้น (ความชื้นสัมพัทธ์คือปริมาณน้ำในอากาศในขณะนั้นเทียบกับปริมาณน้ำในอากาศที่อุณหภูมิขณะนั้นสามารถรับได้โดยเทียบเป็น เปอร์เซ็นต์ และเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าถึง 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำในอากาศจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ) แต่ในกรณีนี้คาดว่าเป็นค่าที่ผิดพลาดมากกว่าเนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าไม่เกิน 100 % เนื่องจากเป็นสัดส่วนเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำที่อากาศสามารถรับได้กับปริมาณน้ำในอากาศในขณะนั้น ซึ่งถ้าค่าถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอากาศมีการกลั่นตัวของน้ำในอากาศเช่นน้ำค้างในตอนเช้าที่ปรากฏตามใบไม้

4.2.3. การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบระบบการทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดิน

อุณหภูมิจากท่อฝังดินที่เข้ามาสู่หน่วยทดสอบจะมีลำดับจากออกจากท่อ(n-hb6-1) บริเวณกลางท่อ(n-hb6-2) และบริเวณปากท่อก่อนเข้าสู่หน่วยทดสอบ(n-hb1) พบว่าอุณหภูมิตั้งแต่ออกจากท่อฝังดินขึ้นมาตามท่ออากาศนั้นมีการเสียอุณหภูมิไปบ้าง แม้จะทำท่ออากาศเป็นฉนวนโฟมแล้ว โดยอุณหภูมิปากท่อก่อนเข้าสู่หน่วยทดสอบมีค่าเข้าใกล้กับท่อฝังดินมาก และค่าอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบจะแยกตัวออกไปอย่างเห็นได้ชัด ทำให้เห็นว่าระบบระบายอากาศจากระบบท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบนั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ แต่จากค่าที่ปากปล่องท่ออากาศที่จะเข้าสู่หน่วยทดสอบนั้น(n-hb1) มีสิ่งที่น่าสังเกตว่าค่าค่อนข้างคงที่มากกว่าในผลการทดลองก่อนหน้า โดยมีค่าการแกว่งตัวของอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืนต่างกันแค่ 3 องศาเท่านั้น โดยเวลากลางวัน ที่อุณหภูมิปากท่อ(n-hb6-1) จะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคารและภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศอยู่ประมาณ 5 องศา แสดงให้เห็นว่าถ้าระบบท่อฝังดิน ที่มีการระบายอากาศจากท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบที่มีประสิทธิภาพแล้ว น่าจะสามารถทำความเย็นให้หน่วยทดสอบได้ดีต่ำกว่าภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบถึงประมาณ 6 องศา

จะสังเกตว่าอุณหภูมิภายนอกที่มีการแกว่งตัว จะส่งผลต่ออุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบอันเนื่องจากการหน่วงเวลาของมวลของอาคาร โดยอุณหภูมิในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศจะค่อนข้างเท่ากับอุณหภูมิของอากาศภายนอกแต่มีการเหลื่อมเวลาเท่านั้น เนื่องจากการหน่วงเวลาของมวลของเปลือกอาคาร ส่วนอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบจะมีค่าต่ำกว่าโดยเฉพาะในระดับ 0.50 – 1.00 เมตร ใน

จุดที่อุณหภูมิสูงที่สุดพบว่าอุณหภูมิในหน่วยทดสอบมีค่าต่ำกว่าในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศอยู่ประมาณ 4-5 องศา จากจุดนี้แสดงให้เห็นว่าการต่อระบบท่อฝังดิน ตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบนั้นมีความเป็นไปได้ในการทำความเย็นให้กับภายในอาคาร

และจากค่าความชื้นที่ได้ พบว่าในระบบท่อฝังดินที่มีค่าสูงมาก คาดว่าน่าจะมาจากการผิพลาตของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ-ความชื้น และจะสังเกตค่าความชื้นที่ได้จากปากท่อก่อนเข้าหน่วยทดสอบพบว่าค่าความชื้นยังสูงแต่ลดลงเมื่ออากาศจากระบบท่อฝังดินเข้าสู่ภายในหน่วยทดสอบ โดยความชื้นที่วัดระหว่างปากท่อลมเข้ากับท่อลมออก (between supply air and exhaust air) (n-hb3) กับอุณหภูมิท่อลมออก (exhaust air) พบว่าในสองจุดนี้มีค่าความชื้นสูงคู่กันโดยท่อลมออกมีค่าความชื้นสูงกว่าเล็กน้อย แต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในหน่วยทดสอบที่(ระดับ 0.50 เมตร)กับ ภายในอาคารที่ไม่ได้ติดระบบปรับอากาศ ค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 เมตรนั้นมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงว่าความชื้นที่มาจากระบบท่อฝังดิน เข้ามาขยายตัวภายในหน่วยทดสอบที่ช่วงบนคือระดับ 1.50-1.80 เมตร (ระดับที่ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างท่อลมเข้า และท่อลมออกอยู่ที่ระดับ 1.50 เมตร และที่ระดับท่อลมเข้าและออกอยู่ที่ระดับ 1.80 เมตร) และถูกดูดออกจากหน่วยทดสอบ ทำให้ภายในหน่วยทดสอบมีค่าความชื้นต่ำ

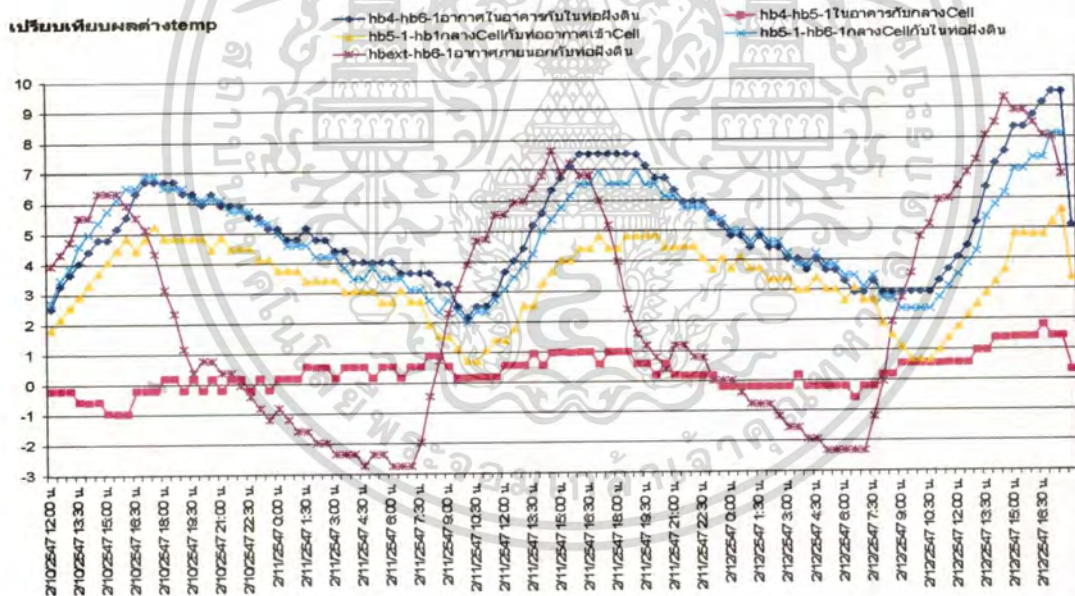
จากค่าข้างต้นในส่วนของความชื้นที่แตกต่างกันของหน่วยทดสอบทำให้เห็นว่าเราสามารถนำความชื้นออกจากหน่วยทดสอบโดยความชื้นจะลอยอยู่กับอากาศถ้าติดตั้งส่วนดูดอากาศออกจากระบบที่อยู่สูง จะสามารถรีดความชื้นออกจากหน่วยทดสอบได้ โดยอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดินที่เย็นตัวจะแยกตัวลงเนื่องจากอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดินนั้นมีอุณหภูมิต่ำก็จะลอยลงต่ำในบริเวณส่วนล่างของหน่วยทดสอบ ส่วนความชื้นที่มากับอากาศจากระบบท่อฝังดิน ซึ่งเดิมเป็นอากาศภายนอกอาคารที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบท่อฝังดิน และเมื่อถูกดึงพลังงานความร้อนจากอากาศในเวลาที่อยู่ในระบบท่อฝังดิน ทำให้ความชื้นที่มีอยู่เดิมแต่ปริมาตรอากาศหดตัวลงเนื่องจากการลดอุณหภูมิของอากาศทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงเมื่อออกมาจากระบบท่อฝังดิน และเมื่อเข้าสู่หน่วยทดสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ไปรวมตัวกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในหน่วยทดสอบทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลง และมีการกระจายตัวในอากาศภายในหน่วยทดสอบโดยจะอยู่ที่ระดับใกล้ๆกับหน่วยทดสอบ และเมื่อเราติดระบบดูดอากาศออกจากหน่วยทดสอบที่ระดับสูง(1.80 เมตร) อากาศที่มีความชื้นนั้นก็ถูกดูดออก (โดยดูจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของท่อลมออก(n-hb2) ซึ่งค่าสูงใกล้เคียงกับความชื้นที่มาจากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบ(n-hb1)) โดยอากาศที่เย็นก็ยังคงอยู่ในห้องโดยความชื้นในอากาศโดนดูดออกจากห้องด้วย ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิ และความชื้นในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1. การเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิ

เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบท่อฝังดิน ที่ใช้การระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็นให้กับระบบ จึงต้องทำการเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วนได้ดังกราฟต่อไปนี้ จากกราฟข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเทียบเป็นคู่คือความต่างของอุณหภูมิต่างๆ

1. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน (hb4-hb6-1)
2. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบ(hb4-hb5-1)
3. อุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 ม. กับอุณหภูมิภายในท่ออากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน(Supply air) (hb5-1-hb1)
4. อุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน (hb5-1-hb6-1)
5. อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน (ext-hb6-1)



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิภายในอาคาร ในหน่วยทดสอบ นอกอาคาร และภายในท่อฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วน จะพบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบ กับภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศนั้น มีค่า อยู่ประมาณระหว่าง 1 กับ -1 แสดงว่าอากาศภายในหน่วยทดสอบกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศนั้นแทบไม่แตกต่างกันเลย (มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.318 องศาโดยค่าเป็นบวกแสดงว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงกว่าภายในหน่วยทดสอบ ที่ ระดับ 0.50 ม. อยู่เฉลี่ย 0.318 องศา)

ค่าจากกราฟความต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 ม. กับอุณหภูมิภายในห้องอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน(Supply air) (hb5-1-hb1) แตกต่างอย่างมากในบางช่วงเวลา (แสดงถึงความไม่มีประสิทธิภาพของการระบายอากาศจากท่อเข้าสู่หน่วยทดสอบ ซึ่งน่าจะทำการแก้ไขในการทดลองต่อไป

เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน (hb4-hb6-1) ที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมินั้น ถึง 5.08 องศาแสดงถึงความไม่มีประสิทธิภาพของการระบายอากาศจากท่อเข้าสู่หน่วยทดสอบ เช่นกัน

อุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 ม. กับอุณหภูมิภายในห้องอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน(Supply air) (hb5-1-hb1) โดยมีการแกว่งตัวโดยค่าความต่างจะมีค่าน้อยเมื่ออยู่ในช่วงเช้ามืด ไปถึงช่วงสายๆ ของวัน และมีค่าแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นในช่วงบ่ายๆ ไปจนถึงกลางคืน โดยมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างอยู่ที่ 3.36 องศา แสดงว่าอากาศในท่อฝังดินเดินทางเข้ามาในหน่วยทดสอบไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ สอดคล้องกับข้อมูลข้างต้น

4.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้างต้นในส่วนการนำความชื้นออกจากหน่วยทดสอบ โดยอาศัยกฎการพาความร้อน ที่นำอากาศเย็นจากระบบท่อฝังดินลงสู่ระดับการใช้งานภายในอาคาร(0.50-1.00เมตร) และดึงความชื้นออกจากหน่วยทดสอบในเวลาเดียวกันน่าจะเป็นวิธีในการในการสร้างสภาวะความสบายให้ภายในอาคารได้วิธีหนึ่ง และใช้พลังงานน้อยในการดำเนินการ

และจากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การต่อระบบท่อฝังดินเข้าสู่ตัวอาคารนั้นสามารถทำให้อุณหภูมิอยู่ในสภาวะความสบายได้ ถ้าการระบายลมจากท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบมีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยจำเป็นต้องมีการแก้ไขประเด็นเรื่องการระบายอากาศให้มีการหมุนเวียนอากาศได้ดีขึ้น และจากการแปลงระบบทำความเย็นเป็นระบบต่อตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบนั้นพบว่าการทำความเย็นในหน่วยทดสอบใช้พลังงานเพียงแค่พัดลม 1 ตัว เท่านั้น (จากเดิมที่ต้องใช้พัดลมถึง 2 ตัว ซึ่งต้องใช้ในระบบ Indirect Evaporative Cooling) ทำให้น่าจะประหยัดลงได้ เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศ แต่จะประหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

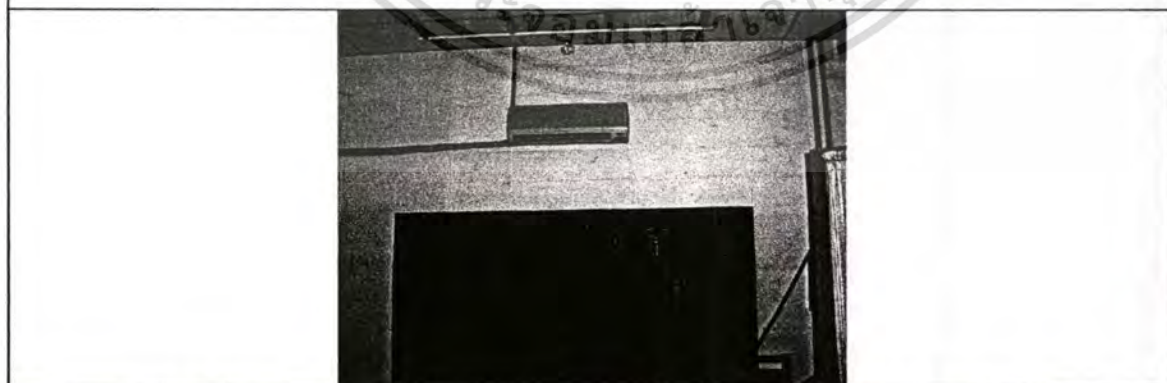
มากกว่ากันแค่นิด และแตกต่างกันอยู่เท่าไร นั่นจะต้องไปเทียบดูถึงค่าการใช้พลังงานที่ต่างกันใน การทดลองส่วนต่อไป

4.3. การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานระหว่างระบบทำความเย็นแบบEarth Cooling กับระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น

ในส่วนของกรวิจัยในส่วนนี้ เพื่อต้องการเปรียบเทียบปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าในการทำความเย็นให้หน่วยทดสอบ ระหว่างการทำความเย็นโดยใช้เครื่องปรับอากาศ และการทำความเย็นโดยการใช้ระบบทำความเย็นโดยใช้ท่อฝังดินและใช้การระเหยของน้ำที่ผิวดินในการทำความเย็นให้กับอากาศภายในท่อระบบท่อฝังดิน เพื่อเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานระหว่าง 2 ระบบว่าแตกต่างกันเท่าไร



แสดงการติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้ากับเมนสวิตช์บอร์ดเพื่อวัดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้



แสดงเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่ในหน่วยทดสอบที่ 2 ที่ต่อสายไฟเข้ากับมาตรวัดไฟฟ้า

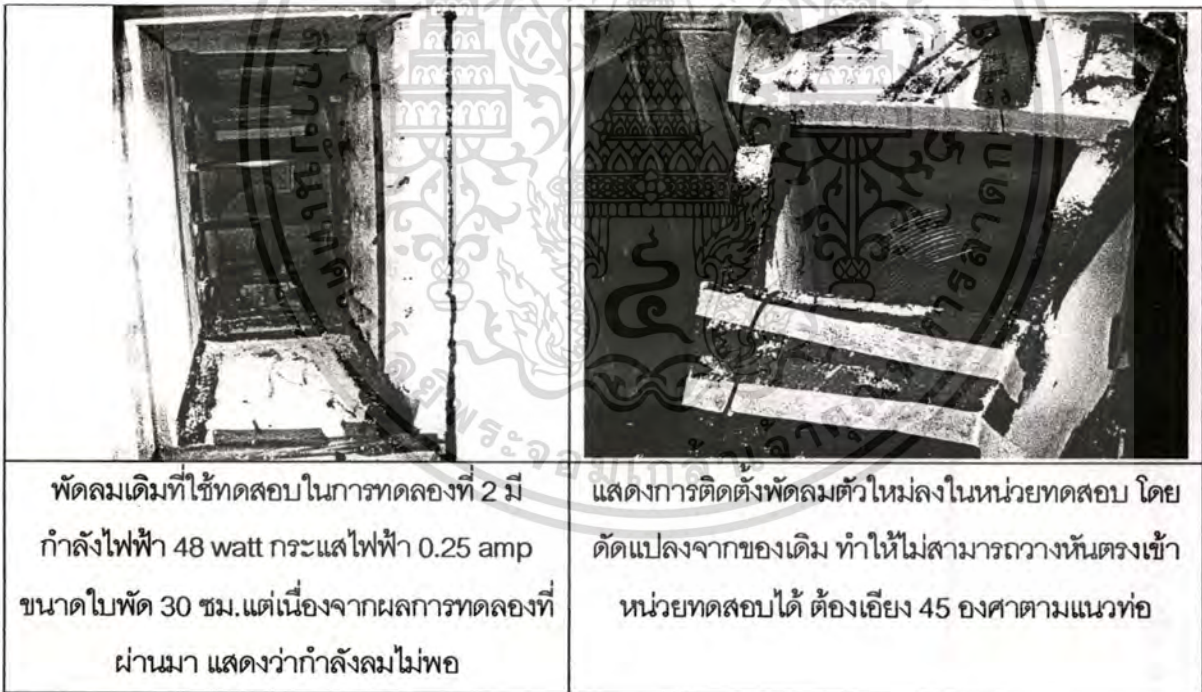
ภาพที่ 4.16 แสดงการเตรียมการสำหรับการทดลองที่ 3 โดยการติดมาตรวัดไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การเตรียมการทดลองที่ 3

การหาค่าการใช้พลังงานที่แตกต่างกันของระบบปรับอากาศภายในอาคาร ในส่วนของระบบปรับอากาศ ทำโดยใช้มาตรวัดไฟฟ้า (มิเตอร์ไฟฟ้า) มาวัดอัตราการใช้ไฟฟ้าของหน่วยทดสอบที่ 2 ซึ่งติดตั้งระบบปรับอากาศ ขนาด 9,000 BTU (โดยผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ ที่จะติดตั้งหน่วยทดสอบ เป็นพื้นที่ที่มีเครื่องปรับอากาศอยู่แล้วเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง) โดยต่อเข้ากับเมนสวิตช์บอร์ดที่จ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่องปรับอากาศ และจัดทำหน่วยทดสอบที่ 2 ให้มีปริมาตรห้องเท่ากับหน่วยทดสอบที่ 1 (ที่ติดตั้งระบบทำความเย็นโดยการใช้ท่อฝังดิน)

และจากผลการทดลองที่ 2 ที่พบว่าระบบการทำความเย็นด้วยการฝังท่อในดินและใช้การระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็นนั้น ต้องการระบายอากาศเย็นในท่อให้เข้ามาสู่อุณหภูมิในหน่วยทดสอบที่ 1 ดีกว่าเดิม ผู้วิจัยจึงเปลี่ยน พัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศจากเดิมเป็นพัดลมที่มีกำลังขนาด 48 วัตต์ เปลี่ยนเป็น พัดลมที่มีกำลังขนาด 198 วัตต์



พัดลมเดิมที่ใช้ทดสอบในการทดลองที่ 2 มีกำลังไฟฟ้า 48 watt กระแสไฟฟ้า 0.25 amp ขนาดใบพัด 30 ซม. แต่เนื่องจากผลการทดลองที่ผ่านมา แสดงว่ากำลังลมไม่พอ

แสดงการติดตั้งพัดลมตัวใหม่ลงในหน่วยทดสอบ โดยดัดแปลงจากของเดิม ทำให้ไม่สามารถวางหันตรงเข้าหน่วยทดสอบได้ ต้องเอียง 45 องศาตามแนวท่อ

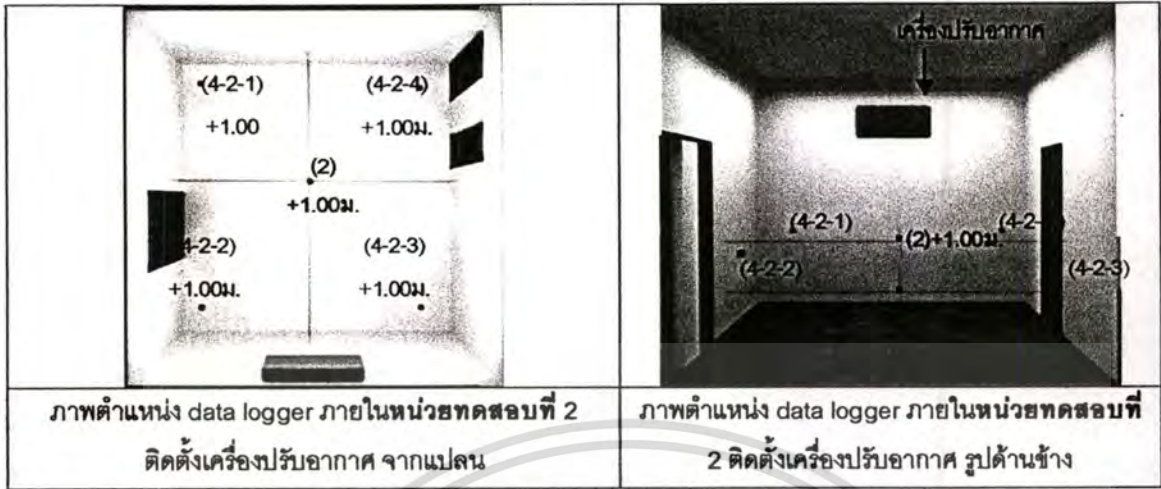
	
<p>แสดงตัวพัดลมที่เปลี่ยนใหม่ที่มีกำลังแรงขึ้น</p>	<p>พัดลมที่เปลี่ยนใหม่ มีกำลังไฟฟ้า 198 watt. ใช้กระแสไฟฟ้า 0.87 amp. มีขนาดใบพัดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม.</p>

ภาพที่ 4.18 พัดลมที่เปลี่ยนโดยมีกำลังมากขึ้น และการติดตั้งพัดลมภายในห้องอากาศ

จากคำถามการวิจัยข้อนี้ที่ต้องวัดอุณหภูมิหน่วยทดสอบเป็น 2 หน่วย ทำให้ต้องแยกเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ (Data logger) เป็น 2 กลุ่มจากเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติที่มีอยู่เดิม โดยการวัดจะสนใจในอุณหภูมิที่แนวระดับเป็นหลัก โดยการวัดจะวัดที่ระดับ 1.00 เมตร แยกเป็นกึ่งกลางห้อง และมุมห้องทั้ง 4 ด้านเพื่อดูการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้อง โดยหน่วยทดสอบที่ 1 จะมีวัดอุณหภูมิที่ปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบ(hb1) และท่อที่มาจาก ระบบท่อฝังดิน(hb6) ด้วย โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ (hb4) และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (exterior)

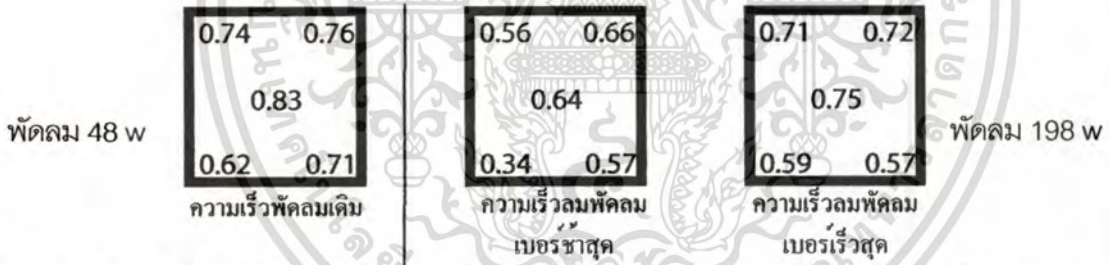
	
<p>ภาพตำแหน่ง data logger ภายในหน่วยทดสอบที่ 1 จากแปลน ติดตั้งระบบท่อฝังดินต่อเข้าหน่วยทดสอบ</p>	<p>ภาพตำแหน่ง data logger ภายในหน่วยทดสอบที่ 1 รูปด้านข้าง ติดตั้งระบบท่อฝังดินต่อเข้าหน่วยทดสอบ</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

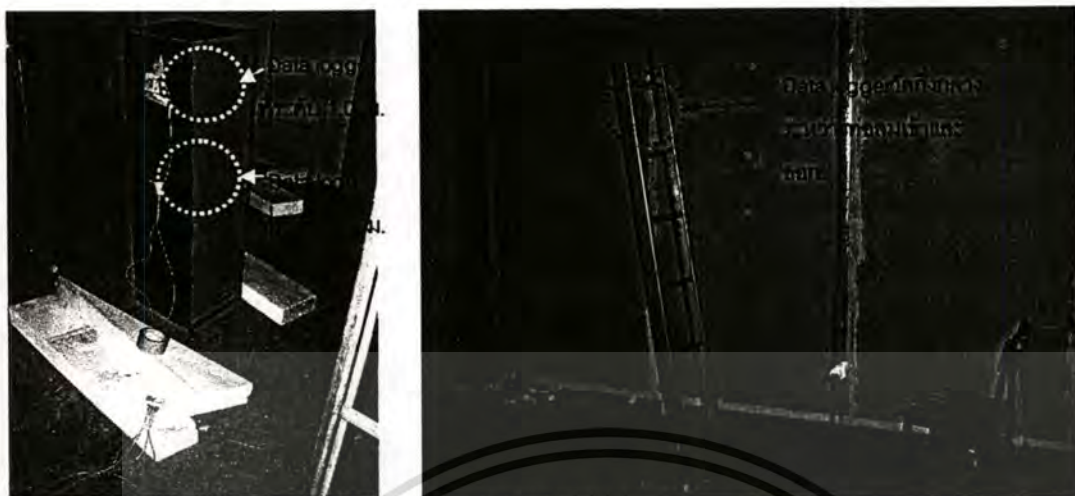


ภาพที่ 4.19 แสดงตำแหน่งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ ในการเตรียมการทดลองที่ 3

หลังจากติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นอัตโนมัติ (Data logger) ทำการทดสอบเป็นเวลา 5 วัน โดยรดน้ำ 3 ชั่วโมง/ครั้ง ครั้งละ 5 นาที และ พัดลมที่ใช้เปิดเบอร์แรงสุด โดยได้ทดสอบความเร็วลมภายในห้องอากาศที่เข้าหน่วยทดสอบที่ 1 ดังตาราง



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องนำอากาศจาก Earth Cooling เข้าสู่หน่วยทดสอบที่ 1



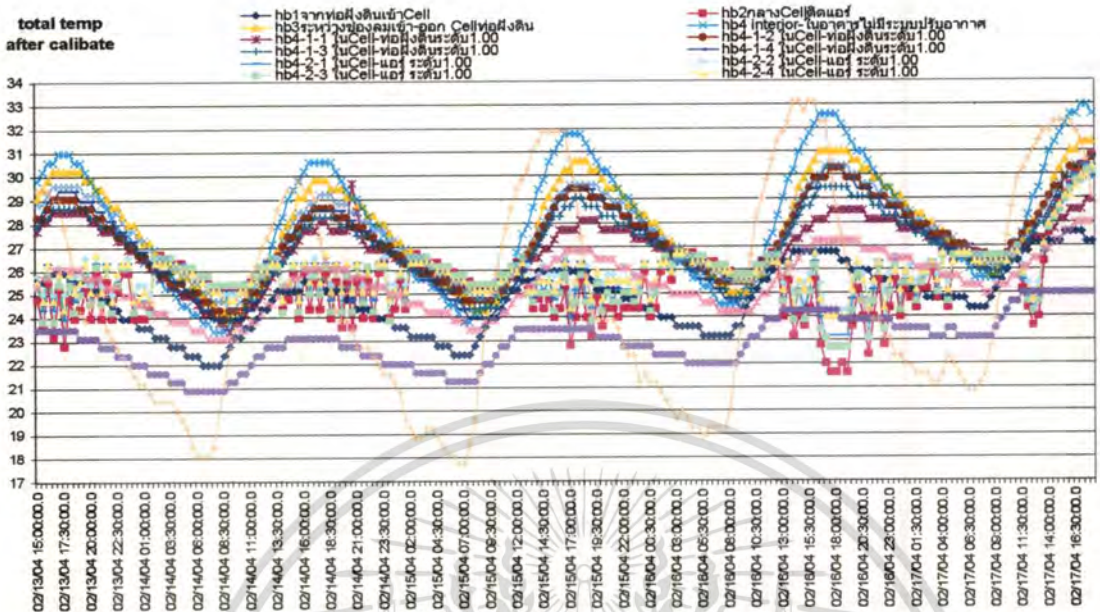
ภาพที่ 4.21 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (Data logger) บริเวณกลางหน่วยทดสอบที่ 1 และ การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (Data logger) บริเวณ กึ่งกลางระหว่างท่อลมเข้าและออก ในหน่วยทดสอบที่ 1

4.3.2 ผลการทดลอง การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานระหว่างระบบทำความเย็นแบบ Earth Cooling กับระบบปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น

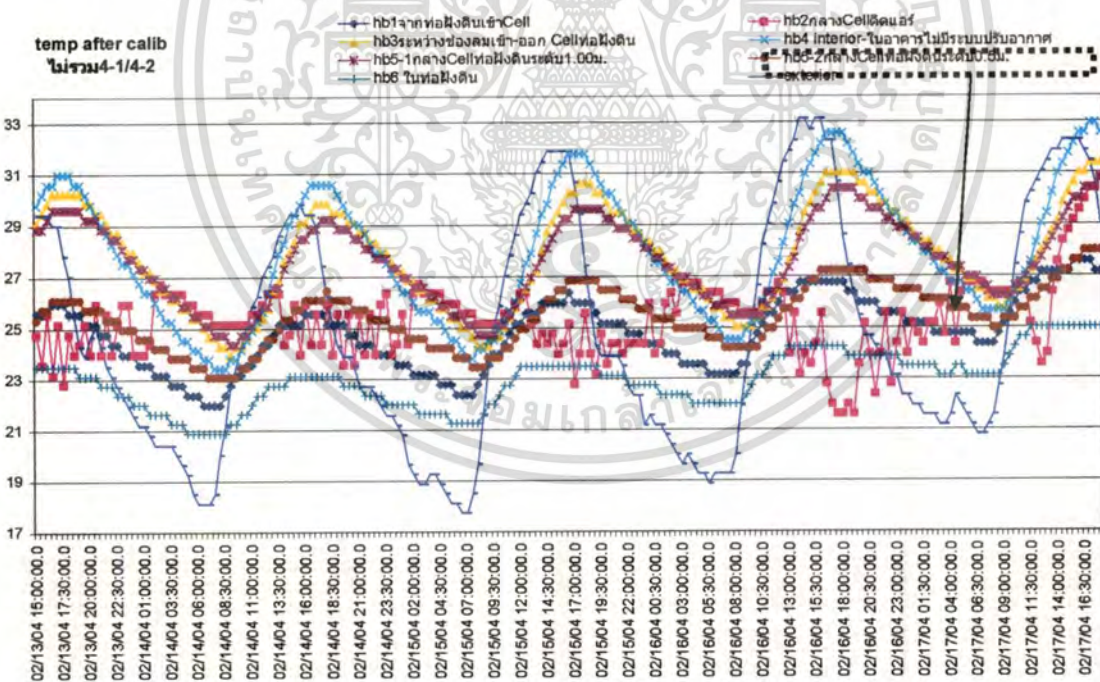
จากการทดสอบความเร็วลมโดยการใช้เครื่องวัดความเร็วลม (ฮอทไวร์แอนนีโมมิเตอร์) ทำการวัดความเร็วลมเฉลี่ยภายในท่อที่นำอากาศเข้าจากท่อฝังดิน โดยวัดเข้าไป ประมาณ 30 ซม. จากปากท่อ พบว่าความเร็วลมเดิมของพัดลมตัวเล็กกลับมีความมากกว่า พัดลมตัวใหญ่ที่เปลี่ยนเข้าไปแทนที่ ซึ่งจะกล่าวถึงการทดสอบเรื่องความเร็วลมของท่อนี้อีกครั้งในส่วนถัดไป โดยการทดลองในครั้งนี้จึงเปลี่ยนเป็นพัดลมตัวที่ใหญ่ขึ้นตามข้อมูลข้างต้น

ค่าของกราฟแสดงอุณหภูมิที่ได้พบค่าที่น่าสนใจ โดยค่าอุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบทั้งสองจะรวมตัวอยู่ในกลุ่มเดียวกันจึงทำการแยกกราฟเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเปรียบเทียบรวมอุณหภูมิทั้ง 2 หน่วยทดสอบทั้งหมด ส่วนกราฟที่ 2 เฉพาะอุณหภูมิบริเวณจุดกึ่ง กลางของหน่วยทดสอบเป็นตัวแทนของแต่ละหน่วย ซึ่งทำให้การมองกราฟสามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจน

โดยค่าของหน่วยทดสอบที่ 2 ซึ่งติดตั้งระบบปรับอากาศนั้น (hb2) มีค่าแอมป์ตัวรับของอุณหภูมิมากเนื่องจากระบบปรับอากาศจะทำงานโดยมีตัวตั้งอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเย็นตามที่เครื่องตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์ ก็จะหยุดทำงาน และเมื่ออุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบสูงขึ้นเกินกว่าที่เครื่องปรับอากาศตั้งไว้ เครื่องก็จะเริ่มทำงานอีกครั้งทำให้มีค่าการแอมป์ของอุณหภูมิไปมาดังกราฟ



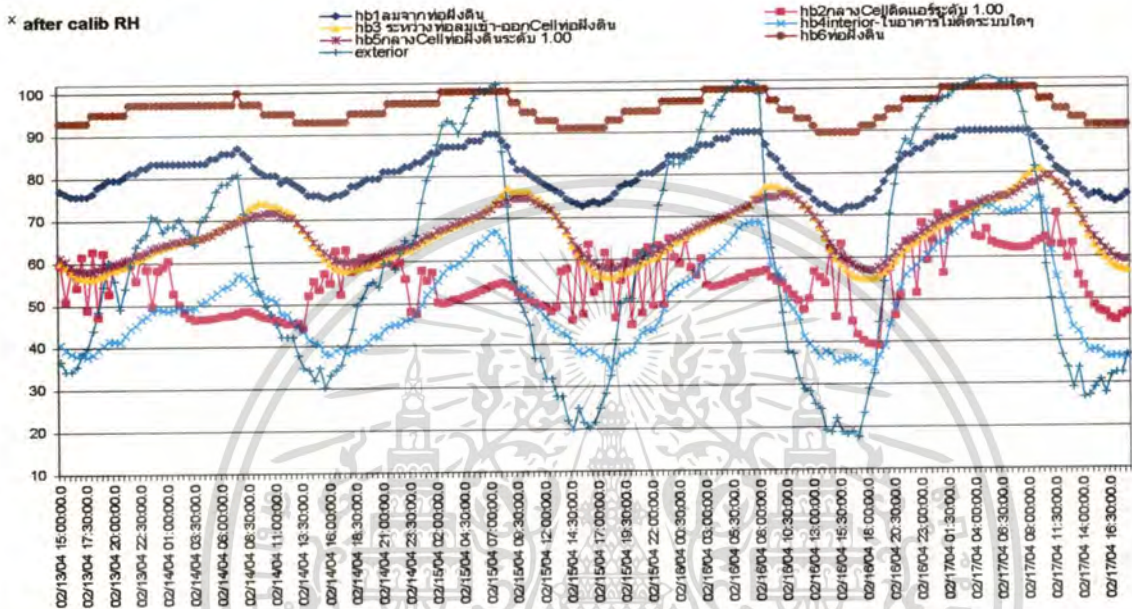
ภาพที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรวมของหน่วยทดสอบที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.23 กราฟเมื่อเทียบเฉพาะอุณหภูมิตัวแทนของหน่วยทดสอบทั้ง 2 ที่กลางห้อง (hb5,hb2 หน่วยทดสอบที่1และ2ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพบว่าค่าอุณหภูมิที่มาจากระบบท่อฝังดิน นั้นค่าที่ได้ต่ำมาก โดยค่าอุณหภูมิที่ปากปล่องก่อนเข้าหน่วยทดสอบนั้นมีค่าสูงขึ้นตามมา ซึ่งเกาะมากกับอุณหภูมิของหน่วยทดสอบที่ 1 ที่ระดับ 50 ซม.ซึ่งติดตั้งระบบท่อฝังดิน โดยเฉพาะเวลากลางวันส่วนเวลากลางคืนจะต่างกันอยู่ประมาณ 1 องศา แต่ที่ระดับ 1.00 เมตรนั้นค่าอุณหภูมิกับ อยู่สูงกว่าในหน่วยทดสอบเดียวกันที่ระดับ 0.50 เมตร



ภาพที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์รวม จะสังเกตว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในท่อฝังดินสูงมาก

และจากการบันทึกข้อมูลระหว่างการทดลอง พบว่าในระหว่าง เวลา 03.00 น. ของวันที่ 16 ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าที่บริเวณพื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดินมีหมอกลง ซึ่งแปลว่าในระหว่างการเก็บข้อมูลนั้นสภาพอากาศมีค่าถึงจุดน้ำค้าง (Dew point) ซึ่งแสดงว่ามีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100 % แต่ระบบยังสามารถทำงานได้

4.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบที่ 1 ที่ระดับ 0.50 เมตร (hb5-2) มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิในหน่วยทดสอบที่ 2 (hb2) ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศที่เปิดไว้ตลอดเวลาเหมือนกันแต่ค่าที่ระดับ 1.00 เมตร นั้น (hb5-1) กลับมีค่าสูงกว่ามาก แสดงว่าระบบการระบายอากาศยังไม่ดีพอ และจะสังเกตว่าอุณหภูมิของปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบที่ 1 (Supply Air) นั้นกลับมามีค่าเข้าใกล้กับอุณหภูมิที่กึ่งกลางหน่วยทดสอบที่ 1 มาก โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน แสดงว่าการระบายลมดีขึ้น แต่ระดับ

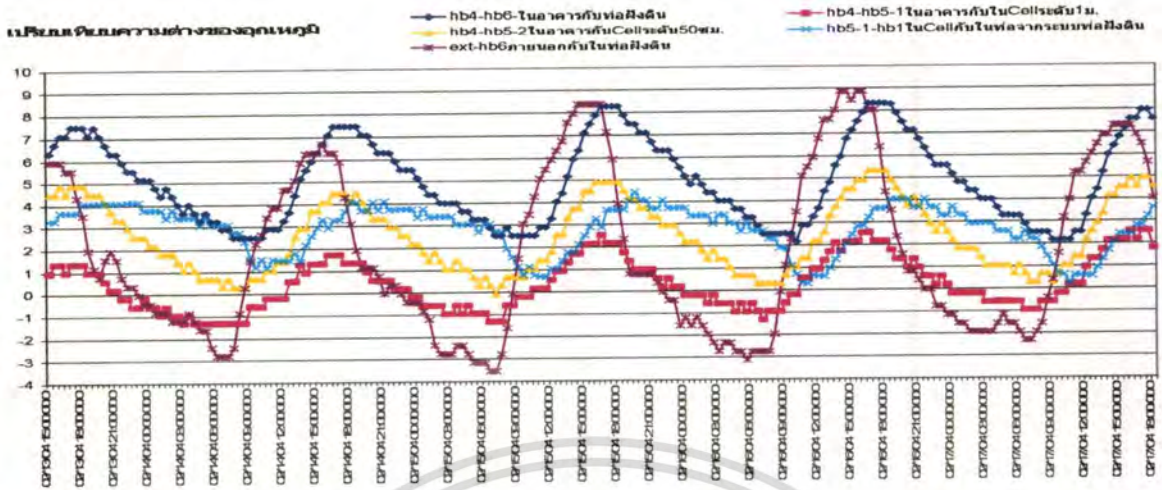
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในปากท่อลมเข้าหน่วยทดสอบ (Supply air) กับกึ่งกลางหน่วยทดสอบ อุณหภูมิยังแตกต่างกับ อุณหภูมิในท่อฝังดิน จากผลดังกล่าวแสดงว่า ลมที่มาจากท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบยังไม่มีกำลังเพียงพอ และอุณหภูมิที่ได้จากการทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดินที่มีการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็นด้วยนั้น น่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอในการนำไปใช้กับภายในอาคารพักอาศัย

และจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้อากาศภายในหน่วยทดสอบมีความชื้นปานกลาง ส่วนในระบบท่อฝังดินมีค่าค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากการที่อากาศภายในท่อฝังดินนั้นมีการเย็นตัวลง (ค่าจากกราฟอุณหภูมิ) ทำให้อากาศเดิมจากภายนอกเมื่อเข้าสู่ระบบท่อฝังดิน ที่มีความชื้นอยู่เท่าเดิมนั้น มีการหดตัวลง ทำให้ปริมาณน้ำที่มีในอากาศมีปริมาณเท่าเดิม กลายเป็นมีความหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ถ้ามีมากพอจะส่งผลให้อากาศภายในท่อฝังดินสามารถกลั่นตัวเป็นน้ำได้ และทำให้อากาศ ที่ออกมาจากหน่วยทดสอบซึ่งอาจมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงมากในตอนออกมาจากท่อฝังดิน แต่เมื่อมาถึงภายในหน่วยทดสอบอากาศก็จะรวมตัวกับอากาศที่มีอยู่เดิม ประกอบกับมีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลง (ดูกราฟความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบจากอากาศภายนอก กับอากาศในระบบท่อฝังดิน อากาศที่มาจาก) โดยดูจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในหน่วยทดสอบเปรียบเทียบ จากค่านี้แสดงให้เห็นว่าแม้ความชื้นภายในท่อฝังดินจะมากก็ไม่ มีผลมากนักเมื่อเข้ามาในหน่วยทดสอบ (ดูเรื่องผลการทดลองในผลการทดลองที่ 2) ซึ่งค่าความชื้นที่ได้ เป็นค่าจากอากาศภายนอก

4.3.3.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบด้วยความต่างของอุณหภูมิ

และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทั้งสองจึงทำการเปรียบเทียบ ค่าความต่างของ อุณหภูมิแต่ละจุดของหน่วยทดสอบและระหว่าง ภายในหน่วยทดสอบ โดยมีค่าความแตกต่าง ของ อุณหภูมิดังกราฟ



ภาพที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างหน่วยทดสอบ ภายนอก-ภายในอาคาร และในท่อฝังดิน

โดยและจากกราฟข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเทียบเป็นคู่ คือความต่างของอุณหภูมิระหว่าง

1. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอากาศในระบบท่อฝังดิน (hb4-hb6)
2. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 1.00 ม.(hb4-hb5-1)
3. อุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ กับอากาศในหน่วยทดสอบระดับ 0.50 ม.(hb4-hb5-2)
4. อุณหภูมิอากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 ม. กับอุณหภูมิอากาศในท่ออากาศที่มาจากระบบท่อฝังดิน(Supply air) (hb5-1-hb1)
5. อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร กับอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดิน(Earth Cooling) (ext-hb6)

จากกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิข้างต้น จะเห็นว่า อากาศในหน่วยทดสอบที่ระดับ 0.50 ม.นั้นแตกต่างจากภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ สูงสุดที่ประมาณ 5 องศา ในขณะที่ระดับ 1.00 เมตร นั้นแตกต่างกันสูงสุดอยู่ประมาณ 4 องศา แต่การทำความเย็นของระบบสามารถทำได้มากกว่านี้ถ้าระบบระบายอากาศภายในท่อที่ต่อจากระบบท่อฝังดินนั้น สามารถดึงอากาศเย็นภายในท่อฝังดินขึ้นมาได้มากกว่านี้ โดยดูจากค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิภายในอาคารกับอุณหภูมิในท่อฝังดิน (hb4-hb6) จะพบว่าแตกต่างกับสูงสุดถึงประมาณ 8 องศา ซึ่งถ้าระบบระบายอากาศดีกว่านี้ระบบท่อฝัง

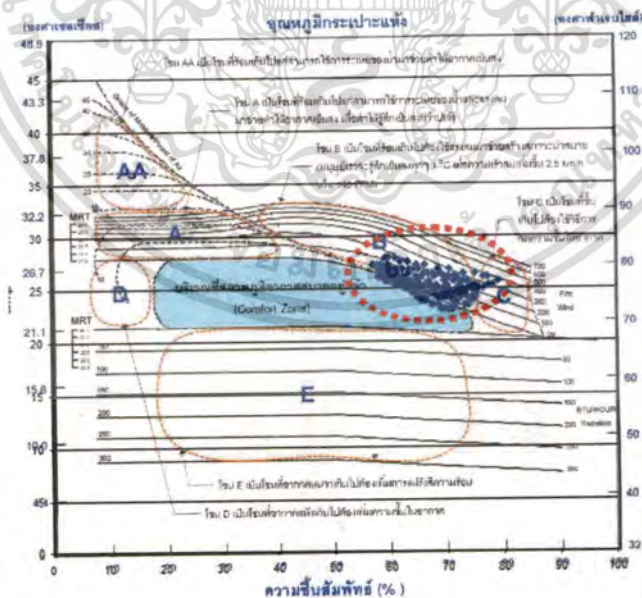
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิน ที่มีการระเหยของน้ำช่วยทำความเย็นให้ท้องดินนั้นน่าจะทำความเย็นให้หน่วยทดสอบได้แตกต่างกับ
 อุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วง 5-8 องศาได้ แต่จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำความเย็นที่
 ได้นั้น สามารถทำให้อุณหภูมิภายในหน่วยทดสอบสามารถอยู่ในสภาวะความสบายได้ตามค่ามาตรฐาน
 สภาวะความสบายภายในอาคารหรือไม่

4.3.3.2 การวิเคราะห์ค่าสภาวะความสบายเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

ประเด็นหลักในการทำการติดตั้งระบบคือการทำให้สภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในสภาวะความ
 สบาย แต่ระบบที่ทำจะมีประสิทธิภาพในการสร้างสภาวะความสบายได้ขนาดไหน จึงต้องตรวจสอบ ค่า
 อุณหภูมิและความชื้นจาก Bioclimatic chart เพื่อเปรียบเทียบค่าสภาวะความสบายภายในหน่วยทดสอบ
 กับค่ามาตรฐานโดยใช้ค่าอุณหภูมิ-ความชื้นที่กลางห้องเป็นค่าตัวแทนในการทดสอบ

จากค่าการเปรียบเทียบพบว่า ค่าสภาวะความสบายภายในหน่วยทดสอบ ยังอยู่นอกกรอบ
 สภาวะความสบายมาตรฐานอยู่ โดยจะสังเกตว่าค่าอุณหภูมิอยู่ระดับเดียวกับค่าสภาวะความสบาย
 มาตรฐาน ส่วนค่าจากความชื้นมีอยู่สูง ซึ่งมาจากอากาศภายในนั้น ทำให้หลุดออกจากกรอบสภาวะ
 ความสบาย ซึ่งค่าสภาวะความสบายจากหน่วยทดสอบกว่า 80 % อยู่นอกกรอบ และส่วนที่อยู่นอกกรอบที่
 ได้จะอยู่ในโซน ที่สามารถขยาย สภาวะความสบายได้โดยการใช้ความเร็วลมช่วย



ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าสภาวะความสบายที่ได้จากหน่วยทดสอบกับค่ามาตรฐาน โดยใช้
 Bioclimatic Chart (ที่ค่ามาตรฐานสภาวะความสบาย : สุนทร บุญญฤทธิ์การ ; 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากกราฟจะพบว่า ประเด็นในการสร้างสภาวะความสบายในหน่วยทดสอบนั้น มีสิ่งที่จะต้องแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดสภาวะความสบาย ในแต่ละประเด็นดังนี้

1. ถ้าสามารถทำให้ลมในหน่วยทดสอบมีการเพิ่มความเร็วลมได้ 300-400 f/min (ประมาณ 1.52-2.03 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าที่พัดลมธรรมดาสามารถทำได้) จะทำให้ ค่าสภาวะความสบายภายในหน่วยทดสอบได้ เนื่องจากการติดตั้งระบบต้องติดพัดลมอยู่แล้วแต่ในการขยายสภาวะความสบาย จำเป็นต้องใช้ความเร็วลมมาช่วยในการทำความเย็น โดยปรับหน้ากก หรือช่องลมให้พัดผ่านตัวผู้ใช้ภายในอาคาร

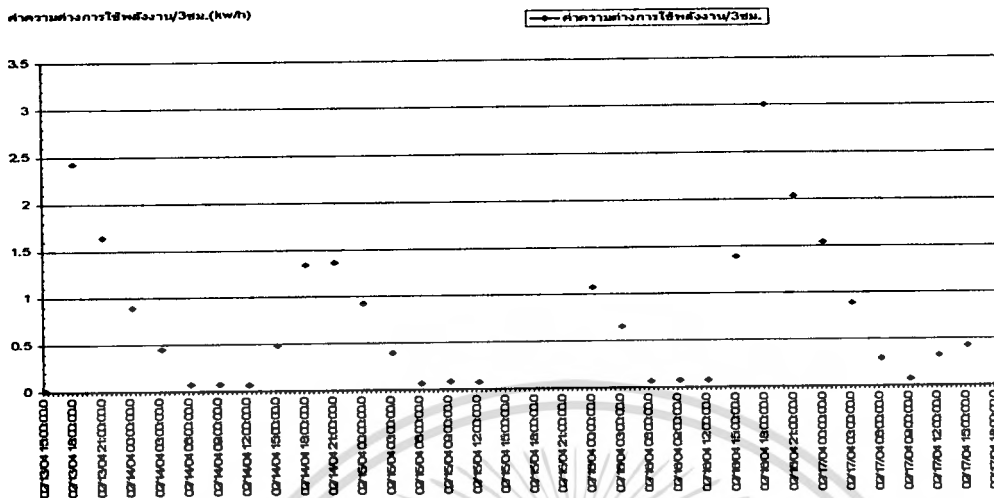
2. การลดอุณหภูมิเป็นทางเลือกต่อมาที่จะปรับสภาวะความสบายในหน่วยทดสอบเข้าสู่เกณฑ์มาตรฐาน โดยการเพิ่มความยาวท่อฝังดินให้ยาวขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของอากาศที่จะเข้าในหน่วยทดสอบ ส่วนการลดความชื้นให้กับอากาศถ้าเป็นระบบเปิดจะทำได้ยาก

3. การออกแบบให้ระบบท่อฝังดินเป็นระบบปิด การทำให้เป็นระบบปิดจะทำให้ระบบสามารถควบคุมความชื้นที่มีอยู่ได้ และยังสามารถทำให้อากาศเย็นตัวลงได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งน่าจะส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่สูงมาก และอุณหภูมิลดต่ำลงจนอยู่ในกรอบสภาวะความสบายมาตรฐานได้

โดยจากหลักการที่วิเคราะห์ได้สามารถนำ หลักการทั้งสามมาประยุกต์ร่วมกันได้ ตามแต่ความเหมาะสมในการติดตั้งระบบ ส่วนค่าการทำความเย็นที่ได้มีค่าการทำอุณหภูมิที่น่าสนใจ แต่ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจะมีค่าแตกต่างจากการทำความเย็นด้วยระบบปรับอากาศมาขนาดไหน

4.3.4 การเปรียบเทียบค่าการใช้กระแสไฟฟ้า

ในระหว่างการทดลองผู้วิจัยได้ทำการบันทึกค่าการใช้พลังงานโดยจดค่าจาก มาตรวัดไฟฟ้าเพื่อ บันทึกค่าการใช้พลังงานโดยจดทุก 3 ชั่วโมงเพื่อดูช่วงเวลาเครื่องปรับอากาศใช้กระแสไฟฟ้ามาก-น้อยในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยขณะเริ่มบันทึกค่ามาตรวัดไฟฟ้าอยู่ที่ 0.00 kw/h หลังจากสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าการใช้พลังงาน 5 วันรวมอยู่ที่ 27.14 kw/h เฉลี่ยวันละ 5.428 kw/h หรือ 5.42 ยูนิต เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในแต่ละช่วงผู้วิจัยได้ ค่าการผลต่างของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงมาบันทึกเป็นกราฟ



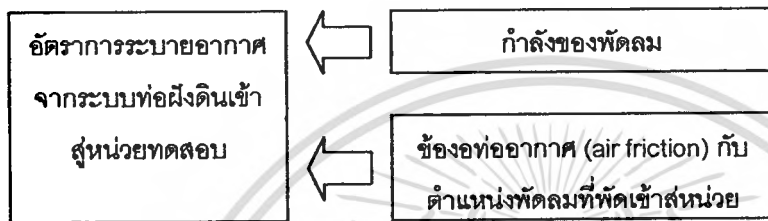
ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงค่าการใช้พลังงานในช่วง 3 ชั่วโมง ของเครื่องปรับอากาศภายในหน่วย ทดสอบที่ 2

ผลจากกราฟข้างต้นพบว่าเครื่องปรับอากาศมีการใช้พลังงานสูงในช่วงเวลาหัวค่ำ ทั้งที่ช่วงเวลาที่ทำการวิจัยนั้นอุณหภูมิอากาศภายนอกไม่สูงมากนักเนื่องจากเป็นช่วงที่อากาศเย็นคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศไม่ได้ทำงานมากเหมือนในฤดูร้อน แต่ก็ยังกินกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาหัวค่ำ สูงถึง 1,500 ถึง 3,000 วัตต์/3 ชม. ส่วนเวลากลางคืนค่าการใช้พลังงานต่ำมากเนื่องจากคอมเพรสเซอร์ไม่ได้ทำงานเลย มีแต่พัดลมที่อยู่กับเครื่องปรับอากาศเท่านั้น

เมื่อเทียบกับพัดลมที่ใช้ในระบบ ทั้งแบบตัวใหญ่กินไฟมากถึง 198 วัตต์/ชม.(คิดจากจำนวนกระแสไฟฟ้า=จำนวนวัตต์ที่ใช้ x ชม. จากพัดลมที่มีค่า 198 วัตต์เมื่อใช้ 1 ชั่วโมงก็จะกินกระแสไฟฟ้าเท่ากับ $198 \times 1 = 198$ วัตต์/ชั่วโมง) พัดลมตัวใหญ่ จะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าตลอดการทดลอง 5 วันอยู่ที่ 93 ชั่วโมง ฉะนั้น จะใช้ไฟฟ้าไป $198 \times 93 = 18,414$ วัตต์ สามารถลดค่าการใช้ไฟฟ้าลงได้ 8,726 วัตต์ ($27,140 - 18,414 = 8,726$) หรือลดการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าจาก 100% เหลือ 67.84% แต่ถ้าใช้พัดลมตัวเล็กจะอยู่ที่ 48 วัตต์/ชม. จะใช้พลังงาน ตลอดการทดลอง (93 ชั่วโมง) เท่ากับ 4,464 วัตต์เท่านั้น สามารถลดค่าการใช้พลังงานลงได้เท่ากับ 22,676 วัตต์ ($27,140 - 4,464 = 22,676$) หรือเท่ากับลดเหลือการใช้พลังงานแค่ 16% จากการศึกษาความเย็นด้วยเครื่องปรับอากาศจากค่าการใช้พลังงานข้างต้นทำให้เห็นแนวทางการใช้พัดลมในระบบว่า การใช้พัดลมตัวใหญ่ 1 ตัวใช้พลังงานมากกว่า การใช้พัดลมตัวเล็ก หลายเท่า สิ่งที่น่าสนใจคือ เป็นไปได้ไหมว่าการใช้พัดลมในระบบนั้นไม่ใช้พัดลมตัวใหญ่ แต่ใช้พัดลมตัวเล็ก 2 ตัวแทน

4.3.4.1 การทดลองย่อย การเปรียบเทียบความเร็วลม กำลังความเร็วลมของพัดลม กับ การถ่ายเทอากาศเข้าสู่หน่วยทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบพัดลมในห้องโดยมีการเปรียบเทียบพัดลมตัวใหญ่กับตัวเล็กในการทำการดึงอากาศจากระบบท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบโดยวัดค่าความเร็วลมเฉลี่ยจากปากท่อก่อนเข้าสู่หน่วยทดสอบโดยสนใจในประเด็นดังนี้

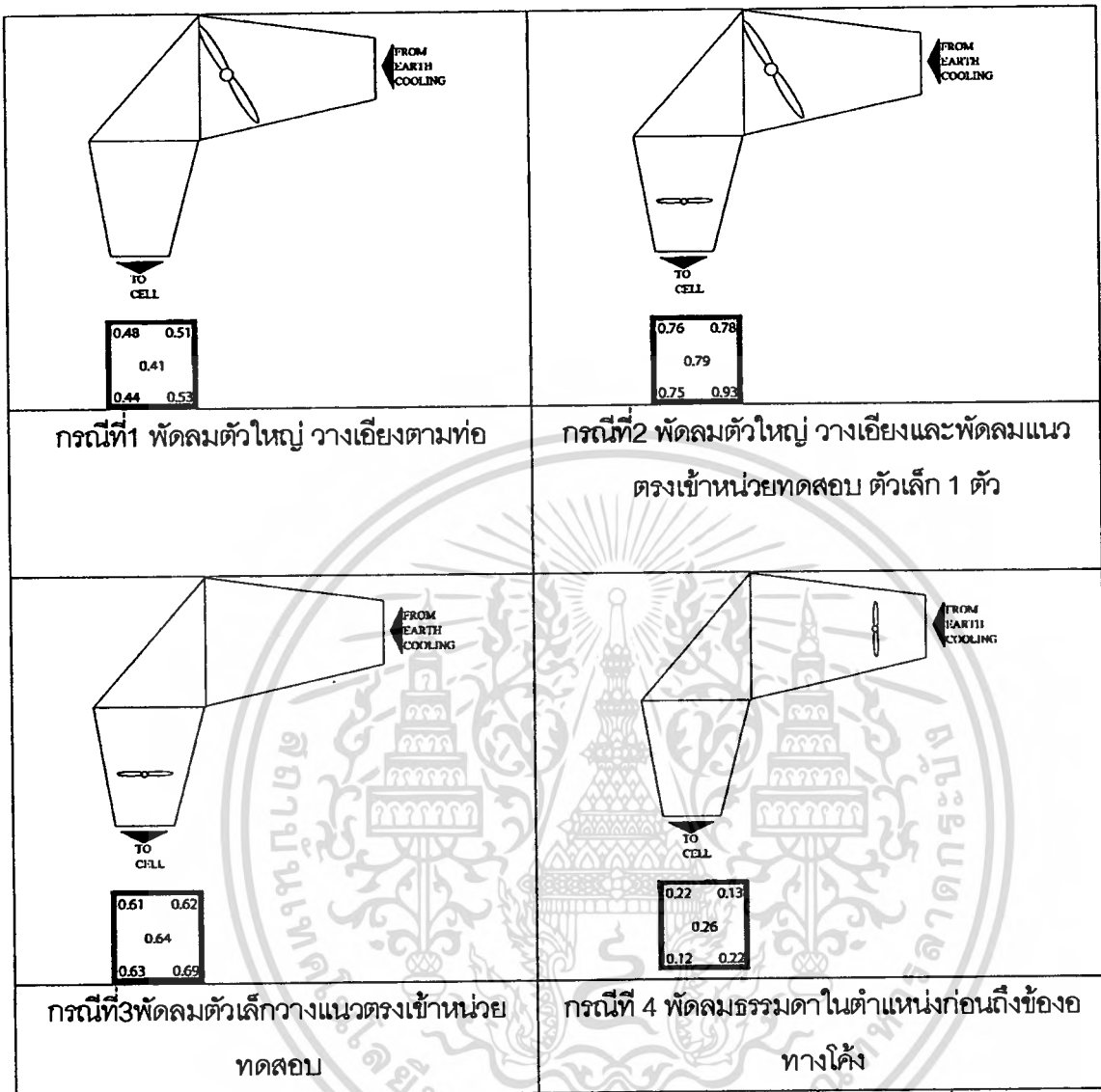


ภาพที่ 4.28 แผนภูมิตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองย่อยในการเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศเข้าสู่หน่วยทดสอบกับพัดลม

การทดลองใช้พัดลมที่มีอยู่ในหน่วยทดสอบ โดยมีทั้งหมด 3 ตัว แยกเป็นปัจจัยที่ต่างกัันดังนี้

1. กรณีพัดลมที่มีกำลังแรง (ในที่นี้ 198 watt) สามารถให้ความเร็วลมในกรณีที่อยู่บริเวณช่องของท่ออากาศนั้นจะให้ผลด้านการระบายอากาศเป็นอย่างไร
2. กรณีที่มีพัดลมกำลังแรงที่บริเวณช่องของท่ออากาศ และมีพัดลมธรรมดา(48 watt) ในท่อทางตรงเข้าหน่วยทดสอบ จะให้ผลดีขึ้นกว่ากรณีที่ 1 เท่าไร
3. กรณีที่มีพัดลมธรรมดา อย่างเดียวที่ท่อทางตรงก่อนเข้าหน่วยทดสอบให้ผลที่แตกต่างจากกรณีที่ 1 และ 2 เท่าไร
4. กรณีที่พัดลมธรรมดาที่ อยู่บริเวณก่อนถึงช่องของท่ออากาศก่อนเข้าหน่วยทดสอบนั้น มีค่าแตกต่างจากกรณีอื่นๆเป็นเท่าไรบ้าง

ในทั้ง 4 กรณีสมมติฐานขั้นต้นคาดว่า กรณีที่ 1 และ 2 น่าจะมีความเร็วมากกว่า กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 และจากการทดลองพบค่าที่น่าสนใจดังภาพ



ภาพที่ 4.30 แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบความเร็วลมในการติดตั้งพัดลมที่ต่างกัน(วัดที่ระยะ 30 ซม. ก่อนถึงปากท่อเข้าหน่วยทดสอบ)

ค่าที่ได้จะเห็นว่าพัดลมตัวใหญ่ที่วางเอียงค่าน้อยกว่าพัดลมตัวเล็กที่พัดตรงเข้าสู่หน่วยทดสอบ และการใช้พัดลมตัวใหญ่ มารวมกับตัวเล็กก็สามารถทำให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้นได้ โดยเพิ่มมากกว่าพัดลมตัวเล็กที่วางทางตรงเล็กน้อย ในขณะที่พัดลมตัวเล็กที่วางในแนวตั้งฉากต้องพัดกระทบผนังก่อนเข้าสู่ท่อตรงเข้าหน่วยทดสอบนั้นค่าต่ำมาก และจะพบว่าการวางพัดลมอยู่หลังแนวโค้งของท่อสามารถลดความเร็วของลมลงได้มาก และค่าความเร็วลมพัดลมใช้ในการดึงอากาศจากท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบนั้น มีความเร็วลมตกลงอย่างมาก (พัดลมตัวเล็กก่อนนำเข้าติดตั้งวัดความเร็วลมหน้าพัดลมได้ 2.5-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร/วินาที แต่พอติดตั้งเข้าสู่ระบบแล้วเหลือ 0.6 กว่าๆเท่านั้น) แสดงให้เห็นว่าท่อฝังดินที่มีความคดเคี้ยวไปมานั้น ส่งผลให้เกิดค่าความต้านทานทำให้อากาศเดินทางได้ช้าลงอย่างมาก

4.3.4.2 สรุปผลการทดลองย่อย

จากค่าที่ได้สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งพัดลมที่จะดูดอากาศจากท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบนั้น ควรหลีกเลี่ยงการวางพัดลม หลังห้องภายในท่อเดินอากาศเนื่องจากห้องอมีแรงต้านทานสูงทำให้ประสิทธิภาพของพัดลมลดลงอย่างมากทำให้สิ้นเปลืองไฟฟ้ามาก การติดตั้งพัดลมนั้นเราสามารถหลีกเลี่ยงความต้านทานอากาศภายในท่อด้วยการใช้พัดลมทางตรงเป็นหลัก โดยถ้าดูจากผลการทดลองหลักแล้ว เราน่าจะทำได้ 2 วิธี คือ

1. การติดตั้งพัดลมตรง โดยใช้พัดลมตัวใหญ่ 1 ตัว วิธีนี้จะได้ปริมาณลมมากที่สุดแต่จะเปลืองปริมาณไฟฟ้ามากที่สุด
2. การติดตั้งพัดลมขนาดเล็กทางตรง 1 ตัวและทางหัวโค้ง อีก 1 ตัว เพื่อช่วยในการดึงอากาศจากท่อฝังดินเข้าสู่หน่วยทดสอบได้ตรงลงมาแต่ประหยัดไฟฟ้ามากกว่าแบบแรกถึง 2 เท่า(ดูผลการทดลองที่3) แม้ว่าจะใช้พัดลมถึง 2 ตัว
3. ออกแบบพัดลมใหม่ที่ใช้ออเตอร์ 1 ตัวโดยเชื่อมต่อกับใบพัด 2-3 ตัวด้วยระบบแกนหมุนเดียวกัน โดยวางพัดลมในตำแหน่งที่ช่วยดึงอากาศในส่วนที่เป็นทางตรง และทางโค้งของท่ออากาศ วิธีนี้น่าจะประหยัดพลังงานมากที่สุดแต่ต้องคิดและติดตั้งระบบพัดลมใหม่ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า เนื่องจากใช้พลังงานเท่ากับพัดลม 1 ตัว แต่มีใบพัดที่ช่วยในการดึงลมได้ 2-3 ใบ ส่งผลต่อการหมุนเวียนอากาศได้ดีกว่า

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปของระบบในแต่ละประเด็น รวมถึงหลักการในการนำระบบไปประยุกต์ใช้ ตลอดจนข้อควรคำนึงในการใช้งานระบบ และส่วนสุดท้ายของบทจะกล่าวถึงประเด็นที่น่าจะทำการศึกษาเพื่อต่อยอดการวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทั้ง ระบบการเรียนรู้และความรู้ที่จะได้รับ และการพัฒนาตัวระบบเพื่อลดความบกพร่องต่างๆ อันนำไปสู่การใช้งานได้ โดยเกิดปัญหาน้อยที่สุดทั้งกับมนุษย์และสภาพแวดล้อม

5.1 การสรุปผลการทดลองตามคำถามการวิจัย

จากประเด็นหลักที่ทำการวิจัยนี้คือการลดความชื้นของระบบทำความเย็นด้วยการระเหยทางอ้อมของน้ำ โดยต่อเข้ากับระบบทำความเย็นด้วยดิน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการทดลองตามคำถามการวิจัยแรกพบว่าระบบทำความเย็นด้วยดิน จะทำให้อากาศเย็นตัวลง ทำให้ปริมาตรอากาศหดตัวลง โดยปริมาณน้ำในอากาศเท่าเดิมทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็น ค่าของน้ำในอากาศเทียบกับปริมาณความชื้นมากที่สุดที่อากาศในขณะนั้นจะรับได้ มีค่าสูงขึ้น โดยอากาศที่มาจากระบบท่อฝังดินซึ่งใช้การระเหยของน้ำมาทำความเย็น ก็พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์สูง ในการต่อระบบเข้ากับระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำแบบทางอ้อมจะไม่ส่งผลด้านการเสริมประสิทธิภาพแต่อย่างใด และยังอาจเป็นอุปสรรคต่อการทำความเย็นที่อาศัยการระเหยของน้ำ

ส่วนการต่อระบบ การทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดินจะส่งผลต่อความชื้นที่เข้าสู่หน่วยทดสอบ จะทำให้ระบบที่ได้มีความชื้นในอากาศสูงแปรผันตามสภาพอากาศภายนอก ในการประยุกต์ใช้งานควรทำเป็นระบบปิดทำให้อากาศขึ้นจากภายนอกไม่เข้าสู่ภายในหน่วยทดสอบ ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากกว่า

โดยจากการวิเคราะห์ผลการทดลองในบทก่อนหน้านี้ ยังทำให้สามารถสรุปประเด็นย่อยๆแยกเป็นส่วนๆได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ข้อสรุปของตัวระบบ Indirect Evaporative Cooling

ตัวระบบมีความสามารถในการทำความเย็น และเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย แต่จากการกำหนดขนาดที่ผิดพลาด เนื่องจากใช้ขนาดของระบบที่มาจากสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน และโดยไม่ได้คำนึงถึงขนาดและปริมาตรของหน่วยทดสอบ ทำให้ผลการทดสอบออกมาว่า

ระบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพมากเท่าที่ควร แต่ผู้วิจัยเห็นว่าระบบ Indirect Evaporative Cooling นี้ น่าจะมีประสิทธิภาพดีอยู่ โดยดูจากผลการทดลองในบทที่ 1 ส่วนแรกซึ่งมีการเปิดระบบตอนกลางวัน และปิดระบบตอนกลางคืน จะเห็นว่าตอนกลางคืนที่ระบบปิดนั้นจริงๆแล้วยังมีการระเหยของน้ำอยู่ที่ถาดน้ำ (wet channel) และอุณหภูมิที่ได้ในช่องแห้งก็เย็นลง เท่าๆกับอุณหภูมิของระบบท่อฝังดิน และเกือบเท่ากับอุณหภูมิภายนอกอาคารเวลากลางคืน ทั้งที่ช่องแห้งเป็นระบบปิดจากภายนอกและอากาศภายนอกในเวลากลางคืนมีความชื้นสูงซึ่งน่าจะเป็นอุปสรรคต่อการทำความเย็นของระบบที่ใช้การระเหยของน้ำ ทำให้ผู้วิจัยเห็นว่าน่าจะมีการทำการศึกษาดังกล่าวถึงขนาดที่เหมาะสมของระบบใหม่ ให้สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และสัมพันธ์กับขนาดห้องที่ติดตั้งระบบ

5.1.2 ข้อสรุปส่วนของระบบท่อฝังดิน

ระบบท่อฝังดินซึ่งในการวิจัยนี้เป็นระบบ Indirect Evaporative Cooling แบบหนึ่งซึ่งมีการระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็นให้กับระบบ (ดูบทที่ 3 ประกอบเรื่องการเปลี่ยนแปลงระบบท่อฝังดิน) มีความสามารถในการทำความเย็นที่ดีมาก เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีปัญหาด้านการระบายอากาศตามธรรมชาติ หรือใช้ในกรณีที่ต้องการสภาพอากาศภายในอาคารเป็นแบบปิด เช่น ห้องสมุดที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตลอดเวลา ห้องที่ต้องการสภาพความสบายโดยไม่เปิดหน้าต่าง อันเนื่องมาจากการต้องการความเป็นส่วนตัว หรือต้องการปิดกั้นเสียง หรือสิ่งรบกวนจากภายนอกอาคาร เป็นต้น ทั้งนี้ต้องเป็นอาคารที่สามารถติดตั้งระบบท่อฝังดินได้ด้วยขึ้นกับลักษณะอาคารและสภาพแวดล้อมประกอบ

โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการติดตั้งระบบท่อฝังดินสามารถแบ่งเป็นประเด็นย่อยๆได้ ดังนี้คือ

5.1.2.1 ความแปรปรวนของอุณหภูมิ - เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้จากระบบนี้ จะยังคงแปรผันตามอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูกราฟบทผลการวิจัยและวิเคราะห์ส่วนการทดลองที่ 3 ประกอบ) โดยถ้าต้องการลดความแปรผันของอุณหภูมิตามสภาวะอากาศภายนอกให้น้อยลง ควรฝังท่อให้ลึกกว่านี้ (ระดับท่อฝังดินที่ใช้ในการทดลองนี้ฝังอยู่แค่ครึ่งท่อเท่านั้นครึ่งบนเป็นการกลบท่อด้วยกาวมะพร้าวสับ) เนื่องจากการระเหยของน้ำจะทำความร้อนให้กับดินและดินจะส่งอุณหภูมิที่ได้ให้กับท่อฝังดินอีกทีหนึ่งทำให้อากาศที่ได้มีความแปรปรวนน้อยกว่านี้

5.1.2.2 ชนิดของวัสดุท่อฝังดิน- ควรเป็นท่อที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งในชั้นใต้ดิน โดยสามารถรับแรงกดทับของดินได้ เนื่องด้วยในการทดลองไม่สามารถฝังท่อให้อยู่ระดับลึกกว่านี้ได้ทำ

5.1.2.3 **ขนาดท่อฝังดิน** – เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 ม.มีความเหมาะสมในการกำหนดขนาดท่อโดยอาจจะใหญ่กว่านี้ได้เล็กน้อยแต่ไม่เกิน 0.50 ม. เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของท่อ และการติดตั้ง ยังมีเรื่องการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิส่วนใหญ่จะเกิดที่พื้นที่ผิวภายในท่อทำให้ ทำให้อากาศบริเวณกลางท่อไม่ได้รับการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิโดยตรงกับพื้นผิwt่อ

ส่วนความยาวของระบบทั้งหมด ผู้วิจัยเห็นว่าน่าจะยาว 120-150 เมตร (ในการวิจัยนี้ความยาวท่อฝังดินรวมทั้งหมด 136 เมตรรวมช่องอด้วย) หรือยาวกว่านี้ เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้านเวลาในการทำความเย็น สำหรับห้องที่มีขนาด 4 x 4 เมตร เพดานสูงไม่เกิน 2.50 เมตร ซึ่งในความเป็นจริง ปริมาตรห้องในบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปนั้นจะมีความสูงอยู่ที่ 2.50 เมตร แต่ของหน่วยทดสอบที่มีขนาดความสูง 3.5 เมตรนั้นทำให้ปริมาตรห้องมากกว่าความเป็นจริง แต่ยังสามารถทำอุณหภูมิได้ตามขนาดนี้ ซึ่งระบบนี้ถ้าอยู่ในพื้นที่ ที่มีปริมาตรอากาศภายในห้องที่ 4.00x4.00x2.50 เมตร ซึ่งเป็นขนาดห้องในบ้านพักอาศัยทั่วไปแล้ว การลดอุณหภูมิให้ห้องน่าจะมีประสิทธิภาพดีมากกว่านี้ โดยการติดตั้งจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งแตกต่างกันไปตามลักษณะพื้นที่ที่จะติดตั้งท่อ แต่จะใช้พื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดินประมาณ 156 ตร.ม.(เทียบกับพื้นที่ติดตั้งท่อฝังดินที่ใช้ในการทดลองคือขนาด 12x13 เมตร)

5.1.2.4 **การติดตั้งท่อฝังดิน** – ควรมียังช่อง หรือส่วนที่ทำให้ท่อฝังดินมีความเสียดทานของอากาศภายในท่อให้น้อยที่สุดโดย เนื่องจากการวางท่อที่ทำให้เกิดความเสียดทานภายในท่อฝังดินสูง จะทำให้การดูดอากาศจากท่อฝังดินทำได้ยาก ได้ความเร็วลมต่ำ และใช้พลังงานในการดูดลมจากท่อสูงโดยไม่จำเป็น โดยการติดตั้งท่อควรคำนึงถึงเรื่องการให้น้ำกับระบบท่อฝังดินเพื่อดึงความร้อนออกจากท่อประกอบกันด้วย ในเรื่องการลดความเสียดทานภายในท่อฝังดิน สามารถทำได้ดังนี้

5.1.2.4.1 โดยให้มีช่องอมุมจากน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

5.1.2.4.2 มีสิ่งกีดขวางภายในท่อให้น้อยที่สุด หรือไม่มีเลยจะดีมาก

5.1.2.4.3 ให้ส่วนที่เป็นช่องอมุมมีความโค้งเพื่อลดความเสียดทานของอากาศภายในท่อ

อนึ่งการติดตั้งระบบไม่ควรมีการรั่วซึมภายในระบบท่อฝังดิน เนื่องจากในการทดลองนั้นพบว่ามีการดินปนเข้ามาในหน่วยทดสอบ ในปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยเห็นว่าถ้าติดตั้งระบบท่อฝังดินที่สมบูรณ์ในการเชื่อมต่อท่อฝังดินที่ดีแล้วเรื่องดินที่ปนมากับอากาศจากท่อน่าจะหมดไป

5.1.2.5 **การติดตั้งระบบให้น้ำกับระบบท่อฝังดิน** – การติดตั้งระบบให้น้ำโดยการให้แรงดันของน้ำประปา จำเป็นต้องมีการติดตั้งก๊อกน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบตั้งเวลาปิดเปิด ซึ่งระบบนี้ติดตั้งไม่ยากและใช้พลังงานไม่มาก โดยมีก๊อกน้ำไฟฟ้า เช่น ก๊อกน้ำไฟฟ้าที่พบตามเครื่องซักผ้าทั่วไป เป็นต้น ต่อเข้ากับวงจรกิจจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมระยะเวลาปิด-เปิดของระบบรดน้ำ หรือกรณีที่แรงดันน้ำ

ของระบบประปามีไม่เพียงพอ จำเป็นต้องใช้ปั๊มน้ำไฟฟ้าช่วย ควบคุมกับระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมระยะเวลาปิด-เปิด โดยจะมีค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5.1.2.6 การให้ร่มเงาแก่ระบบท่อฝังดิน-ควรมีการให้ร่มเงาแก่พื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดิน เพื่อป้องกันความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ โดยการให้ร่มสามารถทำได้โดย

- 5.1.2.6.1 การใช้ต้นไม้ใหญ่ ให้ร่มเงาแก่พื้นที่ติดตั้งระบบท่อฝังดิน โดย ร่มเงาไม้ใหญ่ ในที่นี้เป็นต้นไม้พุ่มทรงสูงให้ร่มเงาได้กว้าง และการเลือกชนิดต้นไม้ในกรณีนี้ ควรระวังเรื่องรากไม้ด้วย เช่น ต้นไทรซึ่งมีรากแผ่กว้าง อาจส่งผลกระทบต่อท่อฝังดินได้
- 5.1.2.6.2 การฝังท่อใต้อาคารเพื่อใช้ร่มเงาของอาคาร โดยช่องว่างเป็นใต้ถุน เพื่อใช้ในการรดน้ำ และ การระบายอากาศ
- 5.1.2.6.3 การใช้วัสดุคลุมเป็นหลังคาหรือให้ร่มเงา แก่พื้นที่ติดตั้งระบบท่อ เช่น สแลนที่มีค่าการให้ร่มเงาตั้งแต่ 65% ขึ้นไป (เนื่องจาก สแลนที่ใช้ในการทดลองมีค่า 65%ซึ่งให้ผลด้านการทำความเย็นดีพอสมควร) หรือวัสดุทึบเช่น หลังคาแผ่นสำเร็จรูป, แผงจาก เป็นต้น

โดยการให้ร่มเงากับพื้นที่ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบ และอาจรวมวิธีการให้ร่มเงาเข้าด้วยกัน เช่นการให้ท่อฝังดินอยู่ใต้ร่มไม้ใหญ่ และบางส่วนก็ติดตั้งสแลนเพื่อห่อหุ้มครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ได้

5.2 ข้อคำนึงถึงในการประยุกต์ ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบ

ในการนำระบบไปใช้ยังคงมีข้อที่ต้องคำนึงถึง บริบทของสภาพแวดล้อมแบบใด ที่สภาพอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีในหลายประเด็นดังนี้คือ

5.2.1 แหล่งน้ำ – เนื่องจากการใช้ระบบท่อฝังดินในการทำความเย็นให้กับอากาศที่จะเข้าสู่อาคารนั้นจำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีแหล่งน้ำที่มีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การใช้แหล่งน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาตินั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาคือการใช้การกักเก็บน้ำ เช่นการขุดบ่อน้ำ

โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 0.2 ลบ.ม.ต่อการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 0.24x0.24x0.35 ลบ.ม.ในเวลา 1 นาที 30 วินาที หรือ 0.013 ลบ.ม./นาที ในการทดลองใช้ก็อกน้ำ 3 หัวเปิดแต่ละก็อกเป็นเวลา 5 นาที จะใช้น้ำทั้งหมด 0.2 ลบ.ม.ต่อการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง) ใน 1 วัน

ถ้าเปิดระบบตลอดเวลากลางวันและกลางคืนจะใช้ น้ำ 1.6 ลบ.ม. / 24 ชม. จะพบว่ามีการใช้น้ำเป็น ปริมาณไม่มากนักถ้ามีแหล่งน้ำราคาถูก หรือใช้ระบบน้ำประปา ก็จะมีค่าน้ำเพิ่มขึ้นมา 12.4 บาท/วัน ในกรณีเปิดระบบทั้งวันทั้งคืน หรือ กรณีเปิดระบบแค่ช่วงกลางวัน 12 ชม. จะลดเหลือ 6.2 บาท/วัน (ราคาจากอัตราสำหรับที่อยู่อาศัย 7.75 บาท/ลบ.ม. ข้อมูลจาก การประปาสวนภูมิภาค http://www.pwa.co.th/service/tariff_rate.html วันที่ 26/4/2547)

5.2.2 ขนาดพื้นที่ – การติดตั้งระบบทำความเย็นด้วยระบบท่อฝังดิน ต้องการพื้นที่ในการ ฝังท่อโดยความยาวท่อโดยรวมต้องไม่น้อยกว่า 136 เมตร (เป็นขนาดที่ใช้ในการทดลอง) หรือมากกว่า นั้น ซึ่งต้องการให้มีระยะห่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางท่ออยู่ที่ 1.00 เมตร เพื่อมีช่องว่างในการดูดและ คายพลังงานระหว่างดินหรือวัสดุกลบท่อกับอากาศภายในท่อ

โดยพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบ ในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด อาจใช้พื้นที่ใต้อาคารโดยยกใต้ถุนสูงประมาณ 1.00 -1.50 เมตร เพื่อติดตั้งระบบท่อฝังดิน และระบบรดน้ำ ในที่นี้เป็นการให้นำกับระบบด้วยสปริง เกออร์ จึงใช้ระดับความสูงใต้ถุน

5.2.3 การนำระบบท่อฝังดินไปใช้ร่วมกับระบบอื่น - การนำไปใช้ยังอาจนำไปใช้ควบคู่ กับระบบทำความเย็นแบบ อื่นด้วยเช่น ร่วมกับระบบ Indirect Evaporative Cooling ที่ใช้การระเหย ของน้ำที่ผิวบนอาคาร หรือที่หลังคา ช่วยในการดึงความร้อนออกจากภายในอาคาร เมื่อรวมกับระบบ Earth Cooling ที่มีการระเหยของน้ำช่วยทำความเย็นให้ท่อฝังดิน แล้วจะช่วยให้การลดอุณหภูมิ ภายในอาคารเป็นไปได้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดภาระค่าใช้จ่ายไฟฟ้างได้อย่างมาก โดยเฉพาะช่วงเวลาหัวค่ำ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มวลของอาคารคายความร้อนที่เก็บสะสมมาในเวลา กลางวัน มาถ่ายเทเข้าสู่อาคารในช่วงหัวค่ำ ถ้ามีระบบช่วยดึงความร้อนในช่วงนี้ออกไปจะช่วยลด ภาระของระบบทำความเย็นอย่างมาก

5.2.4 การบำรุงรักษาระบบ – ในการดูแลรักษาระบบท่อฝังดินนั้น ในทางปฏิบัติควรมีการ ซ้ำระล้างภายในท่อฝังดินได้ด้วย โดยอาจใช้การเปิดช่องระบายน้ำที่กลั่นตัว และเปิดน้ำให้ไหลเข้า ระบบท่อฝังดิน และปล่อยออก รอคจนแห้งแล้วค่อยเดินระบบต่อ ส่วนระบบให้น้ำ จะมีปัญหาในเรื่อง การอุดตันของหัวสปริงเกอร์ ซึ่งที่ผู้วิจัยพบจะมาจากเศษ ตะไคร่น้ำที่เกิดจากภายในสายยาง เนื่องจาก สายยางที่ใช้เป็นแบบใสทำให้เกิดตะไคร่น้ำ ในการออกแบบจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้สายยางแบบใส เพื่อลดภาระการดูแล ซึ่งจะเห็นว่าการดูแลระบบนั้นน้อยมากและไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญก็ สามารถดูแลระบบทำความเย็นนี้ได้

5.2.5 การคำนวณความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศ - ซึ่งการคิดความคุ้มค่าของระบบต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเมื่อเดินระบบ และการดูแลรักษาระบบด้วย โดย การคิดค่าไฟฟ้าจะใช้เกณฑ์จากตารางดังนี้

5.2.5.1 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ระบบทำความเย็นโดยใช้ท่อฝังดิน- จะมีค่าใช้จ่ายเป็น ส่วนๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงรายการค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบท่อฝังดิน (โดยประมาณ)

รายการ	วัสดุ	ราคาต่อหน่วย	ราคาทั้งหมด (136 m.)	หมายเหตุ
ท่อฝังดิน	-ท่อซีเมนต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร ชนิดเสริมเหล็ก	205 บาท / 1 เมตร	27,880 บาท	-
	-ท่อซีเมนต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร ชนิดไม่เสริมเหล็ก	162 บาท/ 1 เมตร	22,032 บาท	-
ซีเมนต์ ผสมเสร็จ	-ซีเมนต์ผสมเสร็จ	2,210 บาท / 1คันรถ	2,210 บาท	ใช้ เชื่อมต่อ ระหว่าง ท่อฝังดิน
ท่ออากาศ จากระบบท่อ ฝังดินเข้าสู่ ห้อง	-สังกะสีแผ่นเรียบ แผ่นเหล็ก อาบสังกะสี ชนิดแผ่นเรียบ ไม่ชุบสี ขนาด 3' x 8' ความ หนา 0.25 มม.	140.19 บาท	-	ราคา ขึ้นอยู่กับ ระยะทาง ของท่อ
	-ฉนวนใยแก้ว ชนิดธรรมดา ความหนาแน่น 16 กก/ลบ. ม .ตราไมโครไฟเบอร์	1,750 บาท (ขนาด 1.22 x 30.50 ม . ความหนา 25 มม)	-	โดยยัง ไม่ได้รวม ค่าแรงจัด จ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วัสดุคลุมดิน	-กาบมะพร้าวสับ	-กระสอบละ 50บาท	-30กระสอบ= 1500 บาท	ใช้ 2 อย่างหรือ หินอย่าง เดียว
	-หินกรวดก่อสร้างเบอร์ 1	- 310 บาท/ลบ. ม.	-ตามปริมาณที่ใช้ ฝังท่อ	
ระบบให้น้ำ	-สปริงเกอร์, ท่อ Pvc., เทป	-	-300 บาท	ราคา ประมาณ
	-พันท่อประปา, กาว	-	-800-1,000 บาท	
	-ปั้มน้ำ	-	-n/a	
	-ระบบวงจรเปิด-ปิดน้ำ อัตโนมัติ	-	-	
ค่าจ้างรถแมค โคร ใช้ในการ ติดตั้งท่อฝัง ดิน	-ขนาดใหญ่	-4,500 บาท/วัน	9,000 บาท(2วัน)	ขึ้นกับ ขนาดรถที่ หาได้ แต่ ขนาดเล็ก จะดีกว่า
	-ขนาดเล็ก	-2,000 บาท/วัน	6,000 บาท(3วัน)	
พัดลมดูด อากาศ	-พัดลม ดูดอากาศจากระบบ ท่อฝังดิน	-	800 -1,200 บาท	ขึ้นกับ กำลัง เครื่อง

ที่มา www.thaibase.com : วันที่ 26 /4 /2547

จากตารางข้างต้นจะพบว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบท่อฝังดินจะอยู่ที่ ประมาณ 30,000- 50,000 บาท ขึ้นกับความยาวท่อ วัสดุคลุมดิน วัสดุที่เลือกใช้ และค่าแรงในการติดตั้ง โดยจะมีค่าใช้จ่ายของระบบ ต่อเดือน มีค่าไฟฟ้า ของพัดลม ราคานี้เป็นราคาที่คำนวณจากวัสดุที่มีในท้องตลาด

ส่วนค่าเครื่องปรับอากาศ สำหรับบ้านพักอาศัย ที่ระดับความสูงห้อง 2.50 เมตร ห้องขนาด ประมาณ 4 x 4 เมตร จะใช้แอร์ประมาณ 9,000-13,000 BTU โดยจะมีราคาประมาณ 18,000-28,000 บาท (ที่มาราคา www.powerbuy.co.th ; วันที่ 30 /4/2547)

5.2.5.2 ค่าใช้จ่ายในการทำความเย็น – โดยการเทียบค่าไฟฟ้าของทั้ง 2 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตราที่พักอาศัยทั่วไป ที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วย/เดือน

ประเภท 1.1 การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	
5 หน่วย) หน่วยที่ 1-5)	เป็นเงิน 0.00 บาท
10 หน่วยต่อไป) หน่วยที่ 6-15)	หน่วยละ 1.3576 บาท
10 หน่วยต่อไป) หน่วยที่ 16-25)	หน่วยละ 1.5445 บาท
10 หน่วยต่อไป) หน่วยที่ 26-35)	หน่วยละ 1.7968 บาท
65 หน่วยต่อไป) หน่วยที่ 36-100)	หน่วยละ 2.1800 บาท
50 หน่วยต่อไป) หน่วยที่ 101-150)	หน่วยละ 2.2734 บาท
250 หน่วยต่อไป) หน่วยที่ 151-400)	หน่วยละ 2.7781 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย) หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ 2.9780 บาท
**ค่าบริการรายเดือน เดือนละ 8.19 บาท	

(ที่ทำการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค <http://www.pea.or.th/save/index.htm.2547>) ในที่นี้ไม่รวมค่า FT.

ของการไฟฟ้า

โดยการคิดค่าไฟฟ้าใช้เป็น "หน่วย" โดย 1 หน่วยหรือยูนิต เท่ากับ 1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง หรือ 1,000 วัตต์ต่อชั่วโมง

โดยถ้าใช้ พัดลมกำลังเครื่อง 48 วัตต์ 1 ตัว เปิด 8 ชั่วโมง/วัน ในระยะเวลา 1 เดือนจะใช้ไฟฟ้า เท่ากับ $48 \times 8 \times 30 = 11,520$ วัตต์/เดือน หรือ 11.5 หน่วย จะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าต่อเดือนเป็นเงิน $.19 + (1.3576 \times 6.5) = 17.014$ บาท

ถ้าต้องใช้พัดลม 2 ตัว ขนาด 48 วัตต์ เท่ากับ 23,040 วัตต์/เดือน หรือ 23 หน่วย จะต้องจ่ายค่าไฟฟ้า ต่อเดือนเป็นเงิน $8.19 + 13.576 + (1.5445 \times 8) = 34.122$ บาท

หรือใช้พัดลมที่ 198 วัตต์ 1 ตัว เปิด 8 ชั่วโมง/วัน ในระยะเวลา 1 เดือน จะใช้ไฟฟ้าเท่ากับ $198 \times 8 \times 30 = 47,520$ วัตต์/เดือน หรือ 47.52 หน่วย จะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเท่ากับ $8.19 + 13.576 + 17.968 + (12.52 \times 2.180) = 67.027$ บาท

เมื่อนำมาเทียบกับ เครื่องปรับอากาศ ขนาด 1300 วัตต์ จำนวน 1 เครื่อง ถ้าเปิดใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง สมมติคอมเพรสเซอร์ทำงานวันละ 5 ชั่วโมง (วิธีการจาก การไฟฟ้านครหลวง :

http://www.mea.or.th/howto_calcu44.htm; วันที่ 30 เมษายน 2547) จะใช้ไฟฟ้าวันละ) $1300 \times 1 \times$

5)/ 1000 = 6.5 หน่วย หรือประมาณเดือนละ) 30 * 6.5) = 195 หน่วย จะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเท่ากับ
 8.19+13.576+17.968+141.70+113.67+125.014= 420.1185 บาท

จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานโดย
 เมื่อเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนเมื่อติดตั้งระบบเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศขนาด 1,300 วัตต์ หรือ
 ประมาณเท่าแอร์ 1 ตัน โดยเครื่องปรับอากาศ ขนาด 1 ตันจะมีราคาอยู่ที่ประมาณ 19,900 บาท
 ค่าแรงติดตั้ง 2,695 บาท ค่าอุปกรณ์แขวนคอนเดนเซอร์ 500 บาท (ราคาจาก www.powerbuy.co.th
 .2547) รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 23,095 บาท และมีค่าล้างแอร์ทุก 6 เดือน 500 บาท และเติมน้ำยาแอร์
 ประมาณ 1000 บาท/ปี โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายของทั้ง 2 ระบบ จะเท่ากันโดยประมาณที่ เดือนที่
 36-51(ขึ้นกับราคาเครื่องปรับอากาศ) หลังการติดตั้ง (ยังไม่ได้รวมค่าเติมน้ำยาแอร์) โดยระบบท่อฝัง
 ดินไม่ต้องการการดูแลมากเหมือนระบบปรับอากาศ ที่ต้องมีการเติมน้ำยาแอร์ทุก 1ปี และล้างแอร์ทุก
 6 เดือน

5.2.8 การติดตั้งพัฒนาคูอากาศจากระบบท่อฝังดิน – แบ่งเป็น 2 กรณี

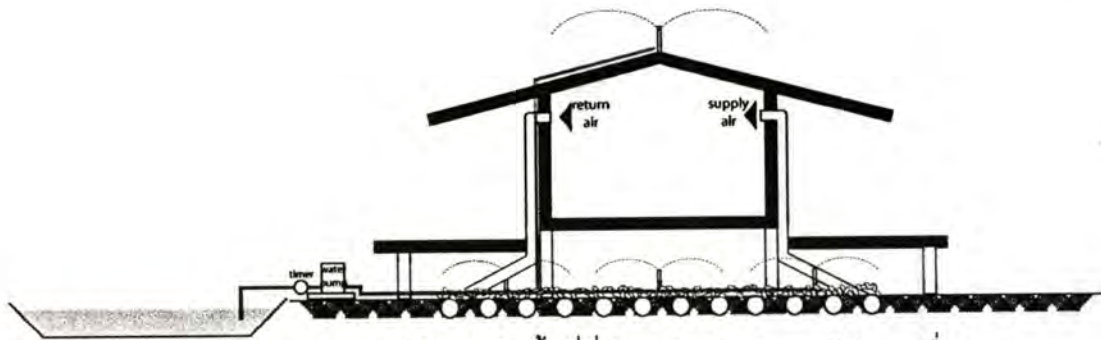
5.2.8.1 ควรใช้พัดลม ขนาดเล็ก 2 ตัว มากกว่าใช้ตัวใหญ่ 1 ตัว เนื่องจากประหยัดไฟฟ้า
 มากกว่า

5.2.8.2 ในกรณีที่สามารรถต่อแกนมอเตอร์พัดลม ให้ใช้ได้ 2 ใบพัดโดยใช้พัดลมตัวเล็กได้ จะเป็น
 ระบบที่ประหยัดไฟฟ้าที่สุด

5.3 ตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้

ในการประยุกต์ใช้งานตามแนวคิดข้างต้น สามารถนำเสนอเป็นแนวทาง ในการประยุกต์ใช้
 ตามแนวคิดที่ได้จากการทดลองโดยแบ่งเป็น 3 แบบคือ

5.3.1 แบบที่มีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด โดยมีปัญหาเรื่องการปิดล้อมของพื้นที่ทำให้อากาศ
 ถ่ายเทไม่สะดวก เช่นพื้นที่ ที่ถูกอาคารสูงบังลม จำเป็นต้องใช้ระบบท่อฝังดิน และพื้นที่ไม่มีต้นไม้ให้ร่ม
 เงาได้จึงใช้ระบบรดน้ำบนหลังคาเพื่อช่วยดึงความร้อนออกจากภายในอาคารด้วย และ โดยแบบที่ 1 นี้
 เน้นที่พื้นที่น้อยทำให้ต้องเดินท่อใต้บ้านโดยตัวบ้านยกได้สูง 1.00 -1.50 เมตร เพื่อกันแดดให้กับ
 ระบบท่อฝังดิน และมีพื้นที่สำหรับรดน้ำได้ด้วย ซึ่งถ้าไม่สามารถมีแหล่งน้ำอาจใช้น้ำประปาช่วย โดย
 จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่ม



ภาพที่ 5.2 แนวคิดของการประยุกต์ใช้ระบบในพื้นที่ที่มีค่อนข้างจำกัดและมีปัญหาเรื่องการระบายลม แบบที่ 1

5.3.2 แบบที่มีพื้นที่มากขึ้นสามารถมีต้นไม้ใหญ่ให้ร่มเงาแก่อาคาร และมีการระบายอากาศดีพอสมควร แต่สภาพแวดล้อมภายนอก มีเสียงรบกวน หรือมีกลิ่นรบกวนทำให้ภายในอาคารไม่เหมาะที่จะเปิดรับอากาศภายนอก จำเป็นต้องติดตั้งระบบท่อฝังดินเพื่อสร้างสภาวะความสบายให้ภายในอาคาร โดยแบบที่ 2 นี้ จะคล้ายกับแบบที่ 1 แต่จะเหมาะกับบ้านที่มีพื้นที่กว้างกว่าแบบแรก โดยระบบท่อฝังดินอาจเลยออกมาด้านนอกอาคาร แต่อยู่ใต้ร่มไม้ได้ด้วยตามแต่สภาพพื้นที่ที่อำนวยความสะดวก โดยใช้การระบายลมมาช่วยดึงความร้อนจากใต้หลังคา ด้วยเพื่อลดภาระการทำงานของระบบท่อฝังดิน โดยการติดตั้งระบบท่อฝังดิน จะใช้ระบบปิด ท่ออากาศจากระบบท่อฝังดิน เมื่อผ่านเข้าไปในอาคารแล้ว จะออกผ่านทางท่อดูดลมกลับไปยังระบบท่อฝังดินอีกครั้ง และมีต้นไม้ใหญ่ให้ร่มเงากับบ้านช่วยลดการรับรังสีความร้อนที่บ้านจะได้รับลงได้อีก ส่วนการติดตั้งบ่อน้ำควรทำบ่อน้ำให้อยู่ปลายลมเพื่อจะได้ไม่พัดพาเอาอากาศชื้นเข้าสู่ระบบท่อฝังดิน เนื่องจากอากาศที่ผ่านระบบท่อฝังดินถ้ามีความชื้นต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพการระเหยดีขึ้น



ภาพที่ 5.3 ระบบท่อฝังดินที่มีการระบายอากาศมาช่วยลดความร้อน และมีต้นไม้ให้ร่มเงาแก่บ้าน

5.3.3 แบบที่ 3 เป็นแบบที่มีพื้นที่ค่อนข้างมาก สามารถปลูกต้นไม้เพื่อช่วยให้ร่มเงากับอาคารได้ โดยตัวอาคารไม่ต้องการยกใต้ถุนสูง หรือเป็นบ้านที่มีอยู่เดิมต้องการจะต่อเติมระบบท่อฝังดิน เพื่อสร้างความสบายภายในบ้าน โดยใช้พื้นที่ลานบ้านติดตั้งระบบท่อฝังดิน และกลบ โดยโรยกรวด หินไว้ด้านบนเหมือนลานบ้านทั่วไป แต่จะติดตั้งระบบให้น้ำด้วย ซึ่งปัจจุบันมีระบบสปริงเกอร์แบบฝังใต้ดิน และยกตัวเองขึ้นเมื่อมีแรงดันน้ำมา ทำให้ลานบ้านยังคงเรียบ และใช้ทำกิจกรรมได้ ในตอนที่ไม่ได้เปิดระบบ แต่ระบบท่อฝังดินอาจจะต้องการความแข็งแรงกว่าแบบที่ติดตั้งกับแบบบ้านที่ 1 และ 2 ถ้าต้องมีรถวิ่งผ่านด้วย ส่วนตัวลานถ้ามีบางส่วนไม่อยู่ใต้ร่มไม้ไม่สามารถทำเสาชิงแสลมเพื่อช่วยให้ร่มเงาได้ ตามแต่ความเหมาะสมกับพื้นที่



ภาพที่ 5.4 แบบบ้านแบบที่ 3 บ้านที่มีอยู่แล้วต้องการติดตั้งระบบ บนลานบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแบบที่ 3 นี้เหมาะกับอาคารที่ติดกับพื้นที่ที่เป็นลาน แต่ไม่ได้รับลมโดยตรงก็ได้ หรือ เป็นห้องที่อยู่ใต้ลมของอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีปัญหาด้านการระบายอากาศสำหรับห้องที่อยู่ใต้ลม

ทั้ง 3 แบบเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานตามสภาพปัญหาของแต่ละพื้นที่ ในขั้นตอนการทำงานจริงนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงในอีกหลายประเด็น เช่น การวางท่อฝังดินให้มีความเสียดทานในท่อน้อยที่สุด คือมีข้องอให้น้อยที่สุด การติดตั้งหน้าฉากเพื่อป้องกันของลมให้เข้าสู่ตัวผู้ใช้งานภายในห้อง เป็นต้น

5.6 ข้อเสนอแนะในการทำการวิจัยครั้งต่อไป

ในการทำการวิจัยเพื่อต่อยอดการวิจัยนี้จากผลการทดลองที่ได้ยังพบว่ามีประเด็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอยู่หลายส่วนดังแยกย่อยได้ดังนี้

5.6.1 ประเด็นของระบบท่อฝังดิน

- การหาวิธีระบายอากาศจากระบบท่อฝังดิน ให้มีความเร็วมากขึ้น เช่น การติดตั้งพัดลมภายในท่อฝังดินบริเวณกลางท่อ หรือ ติดตั้งระบบกักกันภายในท่อฝังดินเพื่อช่วยเพิ่มแรงดันอากาศภายในท่อ เป็นต้น
- ระยะเวลากับปริมาณการให้น้ำของระบบท่อฝังดิน กับ ระยะห่างระหว่างการให้น้ำกับระบบท่อฝังดินในแต่ละครั้ง มีจุดที่คุ้มค่าที่สุด สัมพันธ์กันอย่างไร
- การปลูกต้นไม้ประเภทต่างๆ ที่มีผลต่อการทำความเย็นของระบบท่อฝังดิน เช่น ไม้พุ่มเตี้ย ไม้พุ่มปานกลาง ไม้พุ่มสูง ไม้ยืนต้น พืชคลุมดิน เป็นต้น
- ความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุดินเผามาทำระบบท่อฝังดิน เนื่องจากปัจจัยด้านราคา ความทนทาน และเป็นเทคโนโลยีที่ บุคคลทั่วไปสามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานได้
- ความยาวของระบบท่อฝังดินที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของเมืองไทย ที่สามารถทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด
- การนำระบบท่อฝังดินมาประยุกต์ใช้กับผนัง เพื่อลดการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ โดยจากระบบเดิมเป็นแนวนอนมาเป็นแนวตั้ง

5.6.2 ประเด็นของระบบ Indirect Evaporative Cooler

- วัสดุ ระยะห่างระหว่างถาด และขนาดของถาดที่ใช้กำหนด ถาดน้ำ(Wet Channel) และ ถาดอากาศ (Dry Channel) ของ Indirect Evaporative Cooler เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าเดิม
- ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดห้องกับขนาดของ Indirect Evaporative Cooler เพื่อหาสมการในการกำหนดขนาดของระบบ ตามขนาดห้องที่จะติดตั้ง



บรรณานุกรม

- [1] Fuller Moore, "Environmental Control Systems heating cooling lighting", Mc Graw – Hall, Inc., 1993
- [2] Nopadon Sahachaisaree editor, "Green Architecture, Conference Proceedings", Published April, 2000 by the -Council of Deans of Architecture Schools of Thailand.
- [3] Baruch Givoni.1994 "Passive and Low Energy Cooling of buildings" Van Nostrand Reinhold, International Thomson Publishing, Inc.
- [4] Henry J. Cowan, Department of Architectural Science, University of Sydney, Australia." Solar Energy Applications in the design of buildings." Applied Science Publishers. Ltd. London. 1980
- [5] Le Chner, Norbert 1991, "Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects." New York: John Wiley & Sons. Chapter 2 "Basic Principles"p.12-28 and Chapter 8 "Passive Cooling" p.183-206
- [6] Megacool, 2002, Megacool evaporative cooling,[online] Available: www.megacool.ru
- [7] Adobe air, 2002, Mastercool, [online] Available: www.mastercool.com
- [8] Home energy magazine, www.homeenergy.org 1/6/2545
- [9] Lewis G. Harriman III, Ashrae Journal "Evaluating Active Desiccant Systems for Ventilating Commercial Buildings" www.ashraejournal.org, October 1999
- [10] Jeffrey Cook, "Passive Cooling", The MIT Cambridge, Massachusetts, London, England 2001 p.84-345
- [11] ผศ.วิเชียร สุวรรณรัตน์, "ภูมิอากาศวิทยา และการออกแบบสถาปัตยกรรม", ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2531
- [12] ดร.สุนทร บุญญาธิการ, "เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า" สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2542
- [13] ผศ.กฤษฏา อินทรสถิตย์, เอกสารประกอบการเรียน วิชา Interior Environmental Technology 1 เรื่อง ภาวะความสบายภายในอาคาร, แขนงวิจัยสภาพแวดล้อมภายในภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] ผศ.กฤษฎา อินทรสถิตย์, เอกสารประกอบการเรียน วิชา Interior Environmental Technology 2 เรื่อง Passive Cooling ,Thermal Comfort และ Interior Air Quality และ Indoor Air Quality, แขนงวิจัยสภาพแวดล้อมภายใน ภาควิชาสถาปัตยกรรม ภายใน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [15] กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545, สภาพภูมิอากาศในประเทศไทย, [online] Available: www.tmd.go.th.
- [16] การประปาส่วนภูมิภาค, 2547, อัตราค่าน้ำ, [online] Available: http://www.pwa.co.th/service/tariff_rate.html
- [17] Central online, 2547, powerbuy, [online] Available: www.powerbuy.co.th
- [18] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2547, อัตราค่าไฟฟ้า บ้านที่อยู่อาศัย, [online] Available: <http://www.pea.or.th/save/index.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธิตี มนต์วิบูลย์ชัย
วัน เดือน ปีเกิด	14 พฤศจิกายน 2515 ที่กรุงเทพฯ
ที่อยู่	200/97 ม.5 ถนน พุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170 โทร. 02-889-3179
ประวัติการศึกษา	2538 สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรมภายใน) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547 สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (สถาปัตยกรรมภายใน แขนงวิจัยสภาพแวดล้อมภายใน) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. ออกแบบตกแต่งภายในบ้านพักอาศัย ร้านค้า และสำนักงาน 2. ควบคุมงานตกแต่งภายใน 3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทางด้านสถาปัตยกรรมภายใน ได้แก่ 3D MAX, 3D- VIZ, AUTOCAD, PHOTOSHOP, ILLUSTRATOR 4. ระบบ Passive cooling ด้านการทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำ
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2538-2540	บริษัท คัลเลอร์ปาร์ตี จำกัด - ร้าน By design เช่นทรัลพลาซ่าลาดพร้าว และฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต - ผลงานการออกแบบบ้านพักอาศัย ขนาดทั่วไป และขนาดใหญ่
พ.ศ. 2540-2542	นักออกแบบอิสระ - บ้านพักอาศัย หมู่บ้าน Garden city lagoon - ห้องประชุม พรรคเอกภาพ - Booth จำหน่ายสินค้า ร้านแมจิกคอร์น ภายในห้างฟิวเจอร์พาร์ค บางแค
พ.ศ. 2542-2544	บริษัท G.L.TO.O จำกัด - ออกแบบ Promotion Booth สำหรับจัด Event เครื่องสำอาง Bobbi Brown - ตกแต่งร้านจำหน่ายเครื่องสำอาง Bobbi Brown ในห้างสรรพสินค้า
พ.ศ. 2544-ปัจจุบัน	นักออกแบบอิสระ (ระหว่างศึกษาปริญญาโท) - ร้านจำหน่ายวิดีโอ "มดงาน" ของบริษัท EVS, เดอะมอลล์ บางกะปิ - ออกแบบตกแต่งภายใน ห้องพัก "จิตราภา คอนโดมิเนียม" ลาดพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้