

การลดอุณหภูมิของผนังอาคารด้วยวิธีการฝังท่อน้ำภายในผนัง

REDUCTION OF EXTERNAL PRECAST CONCRETE WALL
TEMPERATURE BY BUILT-IN WATER PIPE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมปัตตานี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-15-1662-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การลดอุณหภูมิของผนังอาคารด้วยวิธีการฝังท่อน้ำภายในผนัง

**REDUCTION OF EXTERNAL PRECAST CONCRETE WALL
TEMPERATURE BY BUILT-IN WATER PIPE**



**พรอรรด สิงหเสนี
PORN-ART SINGHASENI**

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **60261**
วัน,เดือน,ปี **27 ส.ย. 2549**

b. **115851416**
i.

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2543**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ISBN 974-15-1662-2** ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REDUCTION OF EXTERNAL PRECAST CONCRETE WALL
TEMPERATURE BY BUILT-IN WATER PIPE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUTE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

ISBN 974 - 15 - 1662 - 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดอุณหภูมิของอาคารด้วยวิธีการฝังท่อในผนัง
ชื่อนักศึกษา	นาย พรอรรถ สิงหนณี
เลขประจำตัว	45062101
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ธีรมน ไวโรจนกิจ

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการที่จะทำการศึกษาแนวทางในการลดการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังผิวนอกอาคาร เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งหมดไปกับการปรับสภาพความน่าสบายในส่วนขอระบบปรับอากาศ โดยจะทำการออกแบบรูปแบบและทดสอบถึงประสิทธิภาพของผนังที่ใช้เทคนิคการลดความร้อนของผนังด้วยการฝังท่อในผนัง ซึ่งความร้อนที่เกิดที่ผนัง มาจากการที่ผนังถูกรังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบ และการแผ่รังสีของสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ทำให้เกิดการสะสมความร้อน และแผ่รังสีความร้อนเข้ามายังภายในอาคาร

จากการศึกษาพบว่า รูปแบบของผนังที่สามารถใช้กับเทคนิคการลดความร้อนนี้ได้ดีที่สุดในคือผนังประเภทผนังคอนกรีต เนื่องจากผิวสัมผัสของท่อกับเนื้อของคอนกรีตมีมากที่สุด และวัสดุของท่อที่ใช้สำหรับเทคนิคนี้ควรเป็นท่อพลาสติกขุ่นสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ขนาดบาง และการฝังท่อในผนังควรมีระยะห่างไม่เกิน 15 เซนติเมตร และฝังไว้ในตำแหน่งที่ใกล้กับผิวนอกของผนังที่หันออกสู่ด้านนอก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

โดยผลของการลดการส่งผ่านความร้อนของผนังได้มากที่สุดจากการทดสอบ คือการใช้เทคนิคการขังน้ำและปล่อยน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด โดยที่ช่วงระยะเวลาในการทำการทดสอบเป็นช่วงเวลาตั้งแต่หลัง 12.00 น. ถึง 19.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ผนังทางด้านทิศตะวันตกได้รับผลกระทบจากรังสีของดวงอาทิตย์มากที่สุด

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ สามารถพิสูจน์ได้ว่าเทคนิคการลดอุณหภูมิของผนังผิวนอกอาคารด้วยวิธีการฝังท่อในผนัง สามารถลดอุณหภูมิได้จริง โดยผลที่ลดอุณหภูมิได้สูงสุดคือ 7.3 องศาเซลเซียส จากการใช้เทคนิคการขังน้ำนาน 14 นาที 30 วินาที แล้วปล่อยน้ำนาน 30 วินาที เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการประหยัดพลังงานจึงนำน้ำร้อนที่ผ่านผนังมาใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องใช้ไฟฟ้าจำพวกเครื่องทำน้ำอุ่นได้อีก ซึ่งจะเป็นการลดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้น ๆ และจากการทดลองชุดนี้ยังสามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องลงจากที่แตกต่างกับอุณหภูมิอากาศภายนอก 7-9 องศาเซลเซียส เหลือเพียง 2-3.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่างจากอากาศภายนอกเพียงเล็กน้อย อีกทั้งยังช่วยลดการแผ่รังสีความร้อนที่ผิวหนังภายนอกลงจากเดิมได้ 3-4 องศาเซลเซียส ในการทดสอบยังสามารถลดอุณหภูมิของผิวหนังลงได้อีกโดยการลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ปล่อยเข้าไปในห้องเหลือเพียง 19.5 องศาเซลเซียส จะได้ผลในการช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวหนังภายในได้ 10 องศาเซลเซียส โดยน้ำที่มีอุณหภูมิดำเนินมาจากน้ำของระบบทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ก็ได้

สำหรับผลการทดสอบที่ได้ มาจากการทดสอบกับผนังที่มีขนาด 0.90 x 0.90 เมตร หนา 0.10 เมตร ที่หันไปด้านทิศตะวันตก ซึ่งผลการทดสอบสำหรับผนังที่มีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่า มีการลดประสิทธิภาพลงเมื่อเทียบกับผนังขนาดเล็ก 2-2.4 °C หรือ 32.2 % โดยที่ผนังขนาดใหญ่ มีขนาดใหญ่ขึ้น 12 เท่า ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ใช้ระยะเวลาในการขังน้ำและปล่อยน้ำเท่าเดิม แต่ขนาดของผนังและความยาวของท่อที่เพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ในการรับรังสีดวงอาทิตย์มีมากขึ้นเกิดการสะสมความร้อนมากขึ้น และแผ่มายังภายในได้มากขึ้น

อย่างไรก็ดีผลสรุปในการใช้เทคนิคนี้ในการลดอุณหภูมิของผนังผิวนอกอาคาร ด้วยวิธีการฝังท่อน้ำภายในผนัง สามารถลดอุณหภูมิได้จริงตามสมมติฐานของการวิจัย แต่ปริมาณของความร้อนที่ลดได้ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยของพื้นที่ตั้งของโครงการ ขนาดของพื้นที่ผนัง และระยะเวลาในการขังน้ำและปล่อยน้ำ รวมทั้งแรงดันของน้ำที่ใช้ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่ทำให้ผู้ทำไปใช้ต้องพิจารณาและปรับใช้ให้เหมาะสม โดยที่เทคนิคนี้อาจเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาวิธีสุดท้ายที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงในการใช้พื้นที่ที่ติดกับผนังทางด้านทิศตะวันตกได้ และไม่สามารถออกแบบให้ผนังมีอุปกรณ์สำหรับการบังแดดหรือพืชพันธุ์ไม้ในการให้ร่มเงาแก่ผนังทางด้านทิศตะวันตกได้

Thesis Title	REDUCTION OF EXTERNAL PRECAST CONCRETE WALL TEMPERATURE BY BUILT-IN WATER PIPE
Student	Mr. Porn-art Singhaseni
Student ID.	45062101
Degree	Master of Architecture
Programme	Tropical Architecture
Year	2005
Thesis Adviser	Assoc. Prof. Teeramon Wairojanakich

ABSTRACT

This research study's objective is to find the way to reduce the heat transfer of the external wall of buildings, which will help to reduce the expense of the air conditioning for obtaining a comfort zone in the interior environment. The design and testing can improve the efficiency for the reduction of heat transfer from the external surface of the wall, by using built-in water piping in the wall. The heat from the wall are absorbed from the solar radiation and the radiation of outside surroundings thus giving off heat radiation into the building interior.

It was found that, the best material for wall is concrete because the piping and concrete have closed area-contact and their characteristics are comparatively similar with one another, The base piping used is metal pipe galvanized-coated and measured to at least one inch (1") in diameter. The best process to insure good circulation and coolness is to locate the pipes at no more than 15 centimeters apart and the pipe should be placed nearest to the outside surface of the wall.

After the testing the best result could be obtained from maintaining the water in the pipes and turning on water every following the time table. The period of test was between 12:00-19:00 pm., The wall are its hottest period due to the heat from the solar radiation facing the sunset.

Proof and results from the test insure the above process of built-in water pipe in concrete wall. The temperature cooling of the interior surface of the wall obtained was up to 7.3 °C by keeping the water 14 minute and 30 second before releasing it through out the pipe and leaving the water running for 30 second at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The warm water that has been remaining in the pipe can also be used for hot water heater and other purposes, thus helping to reduce the cost of energy for water heating.

After the testing it was found that the interior air temperature of the wall fitting with water piping have difference with outside air temperature at 2-3.5⁰C while the wall without the water piping have difference with outside air temperature at 7-9⁰C. The wall outside surface with water piping will also benefit because the surface will be 3-4⁰C cooler. Other results from the testing show that if using water that is at least 19.5⁰C this will help reducing the heat from the inside surface wall up to another 10⁰C

The size of the wall used for the testing was 3 x 3 feet and a thickness of 4 inches, facing to the sunset. Other testing can be proved that walls that were 12 times larger in size yielded 2 - 2.4⁰C or 32.2% lower in efficiency, because of the increased surface area of the wall and increased length of the pipes.

The result from the test could insure a reduction of heat from the wall. Results were varied due to the designed wall areas, surroundings, and following the time table of releasing and the water pressure as well. In applying this system of cooling we must also look into all of the above listed development. May this be the last solution for cooling the wall facing sunset, especially for those walls which cannot be employed with other better shading devices.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัยทุก
ขั้นตอนจาก รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ ซึ่งเป็นผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณใน
ความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และ ผศ.ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่ให้คำแนะนำและ
ช่วยเหลือตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์วรากร สงวนทรัพย์ อาจารย์ปณิดา จิระกานูวัฒน์ และอาจารย์คำรพ
ศิริเฉลิมลาภ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คุณย่า ม.ร.ว. โสกา กาญจนะวิชัย ผู้มีส่วนสำคัญในการสนับสนุนการจัดทำ
วิทยานิพนธ์ เล่มนี้ รวมทั้ง คุณพ่อ, คุณแม่, พี่ ๆ ทุกคน และคุณก้อย ที่ช่วยเหลือทางด้านกำลังใจเป็น
อย่างดี และขอขอบคุณตัวเองที่พยายามจนสำเร็จได้

สุดท้ายขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้การสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่า
และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรอรรถ สิงทเสนี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 ระยะเวลาและแผนในการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พฤติกรรมการส่งผ่านความร้อน.....	5
2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร.....	9
2.3 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีและแนวทางการทดลอง.....	20
3.1 ขอบเขตการศึกษา.....	20
3.2 การวิเคราะห์กำหนดและควบคุมค่าตัวแปร.....	20
3.3 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลการทดลอง.....	21
3.4 ขั้นตอนและแนวทางการทำการทดลอง.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิของผนังอาคารด้วยวิธีการฝังท่อน้ำ	
ภายในผนัง	30
4.1 การพิจารณาชนิดของผนังที่เหมาะสมกับการวิจัย	30
4.2 การพิจารณาวัสดุของท่อที่ที่เหมาะสมกับการวิจัย.....	31
4.3 การทดสอบหาปริมาณและระยะความห่างของท่อภายในผนัง	32
4.4 การกำหนดและออกแบบรูปร่างของแนวท่อและขนาดของผนัง.....	36
4.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพของการลดความร้อน.....	37
บทที่ 5 การประเมินและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	58
5.1 ประเภทของผนังอาคารที่เหมาะสมกับเทคนิคและการวิจัย.....	58
5.2 คุณสมบัติของท่อที่นำมาใช้.....	58
5.3 ระยะความห่างของท่อที่ใช้ฝังในผนัง.....	58
5.4 ออกแบบการจัดวางแนวท่อและรูปร่างของผนัง.....	59
5.5 ประสิทธิภาพในการลดการส่งผ่านความร้อน.....	66
5.6 ปริมาณพลังงานที่ใช้กับระบบ.....	68
5.7 รูปแบบการวางระบบท่อเพื่อการนำกลับ ไปใช้ให้ก่อประโยชน์สูงสุด.....	68
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	70
6.1 ประโยชน์และการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	76
ประวัติผู้เขียน	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่า Heat Capacity of Materials by Volume.....	10
2.2 แสดงช่วงระยะเวลาการหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ.....	12
4.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผลิตท่อน้ำชนิดต่างๆ.....	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การนำความร้อนผ่านแผ่นราบ.....	7
2.2 ผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบชั้นเดียว.....	7
2.3 ผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบ 3 ชั้น (วัสดุต่างชนิดกัน).....	8
2.4 แผนภูมิ Time Lag และ decrement factor.....	11
2.5 รูปแบบระบบผนังน้ำ.....	13
2.6 รูปแบบระบบ Solar Absorber และการติดตั้งใช้งานกับสระว่ายน้ำ.....	14
2.7 รูปแบบระบบ CONCRETE CORE	15
2.8 รูปแบบระบบ SUSPENDED CEILING PANEL.....	16
2.9 รูปแบบระบบ CAPILLARY TUBE.....	17
2.10 การติดตั้งกับแผ่นโลหะเพื่อกระจายความร้อน และชนิดของท่อที่ใช้.....	17
2.11 ระบบ HYDRONIC RADIANT FLOOR SYSTEM และการติดตั้ง.....	18
2.12 แผนภูมิสัดส่วนการเปรียบเทียบความลึกและอุณหภูมิภายใต้ผิวดิน.....	19
3.1 สาย Thermo couple.....	22
3.2 สาย Pyranor meter.....	22
3.3 Universal user	22
3.4 Data Logger.....	23
3.5 Digital Thermometer.....	23
3.6 Laptop Computer.....	23
3.7 แสดงรูปแบบผนังสำหรับการทดลองชุด 3.4.3.....	25
3.8 แสดงรูปแบบผนังสำหรับการทดลองชุด 3.4.5.2.....	27
3.9 น้ำแข็งสำหรับการปรับสภาพอุณหภูมิของน้ำ.....	28
4.1 รูปตัดของผนังคอนกรีตและผนังก่ออิฐ.....	30
4.2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผิวผนังของการทดลองชุด ก.	32
4.3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผิวผนังของการทดลองชุด ข.	32
4.4 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด ก.	33
4.5 กราฟผลการทดลองชุด ก.	33
4.6 รูปตัดผนังและรัศมีของอุณหภูมิที่ตกลงโดยรอบท่อน้ำการทดลองชุด ก.	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด ข.	34
4.8 กราฟผลการทดลองชุด ข.	35
4.9 รูปตัดผนังและรัศมีของอุณหภูมิต่ำที่ลดลงโดยรอบที่อัตราการทดลองชุด ข.	35
4.10 รูปตัดผนังและรัศมีของอุณหภูมิต่ำที่ลดลงโดยรอบที่อัตราการทดลองชุด ก.และ ข.	36
4.11 รูปแบบผนังสำหรับการทดสอบตากอากาศแบบ 4.4	37
4.12 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.1.1	37
4.13 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.1.1	38
4.14 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.2.2	39
4.15 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.2.2	39
4.16 สรุปผลอุณหภูมิต่ำผนังด้านในของการทดลองชุด 4.5.1	40
4.17 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.2.1	40
4.18 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.2.1	41
4.19 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.2.2	42
4.20 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.2.2	42
4.21 กราฟเปรียบเทียบ การทดลองชุด 4.5.2	43
4.22 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.3.1	44
4.23 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.3.1 ชั่งน้ำหนัก 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที	44
4.24 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.3.1	45
4.25 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.3	45
4.26 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.3.2 ชั่งน้ำหนัก 19 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที	46
4.27 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.3.2	46
4.28 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.3.3	47
4.29 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.3.3 ชั่งน้ำหนัก 29 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที	48
4.30 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.3.3	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.31 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหนังที่มีท่อและไม่มีท่อ การทดลอง 4.5.3	49
4.32 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ปล่อยออกมา ทั้ง 3 วัน ของการทดลอง 4.5.3	49
4.33 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.4	50
4.34 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.4 การทดสอบการปล่อยน้ำไหลตลอดเวลา	50
4.35 ความแตกต่างของอุณหภูมิ ผิวหนังที่มีท่อและไม่มีท่อการทดสอบการปล่อยน้ำไหล ตลอดเวลา	51
4.36 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.5	52
4.37 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.5 ทดสอบกรณีที่อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้าลดลง	52
4.38 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.5	52
4.39 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหนังที่มีท่อและไม่มีท่อ เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าลดลง.....	53
4.40 การเปรียบเทียบขนาดของผนังเพื่อใช้สำหรับการทดสอบ	54
4.41 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยผิวหนังด้านในของผนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (5,8/3/05)	55
4.42 กราฟความต่างของอุณหภูมิที่ผิวหนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (5,8/3/05)	55
4.43 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยผิวหนังด้านในของผนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (6,7/3/05)	55
4.44 กราฟค่าความต่างของอุณหภูมิที่ผิวหนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (6,7/3/05)	55
4.45 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิของการทดลอง 4.5.3.1 ที่มีท่อและที่ไม่มีท่อ (5,7/2/05)	56
4.46 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิของการทดลอง 4.5.6 ที่มีท่อและ ที่ไม่มีท่อ (7.1, 7.2)	56
5.1 รูปแบบและระยะในการฝังท่อน้ำไว้ในผนัง	59
5.2 รูปแบบผนังสำหรับการทดสอบ	59
5.3 รูปแบบการติดตั้งผนังให้เป็นผนังขนาดใหญ่	60
5.4 รูปแบบอุปกรณ์สำหรับประกอบและติดตั้งผนัง.....	61
5.5 รูปแบบแนวท่อน้ำและการติดตั้งท่อน้ำในผนังที่เป็นผนังขนาดใหญ่ 1	61
5.6 รูปด้านเมื่อเป็นผนังขนาดใหญ่.....	62
5.7 แผ่นชิปซัมบอร์ด เจาะรูยึดน๊อตปิดรอยต่อท่อน้ำ.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.8 ทักษะภาพผนังและการติดตั้งผนังเป็นผนังขนาดใหญ่ รูปแบบที่ 1	63
5.9 รูปแบบการติดตั้งผนังให้เป็นผนังขนาดใหญ่รูปแบบที่ 2	64
5.10 รูปแบบแนวท่อน้ำและการติดตั้งท่อน้ำในผนังที่เป็นผนังขนาดใหญ่ 2	65
5.11 ทักษะภาพผนังและการติดตั้งผนังเป็นผนังขนาดใหญ่ รูปแบบที่ 2	65
5.12 กราฟอุณหภูมิของผิวผนังภายในระหว่างผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ	67
5.13 กราฟอุณหภูมิของผิวผนังภายนอกระหว่างผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ	67
5.14 กราฟอุณหภูมิของอากาศภายในและภายในระหว่างผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ	67
5.15 รูปแบบการวางระบบของท่อน้ำเพื่อนำกลับ ไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันแนวความคิดในการประหยัดพลังงาน เป็นสิ่งที่กำลังได้รับการเอาใจใส่จากหลายๆ บุคคลหรือจากหลายหน่วยงานทั่วโลก โดยที่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานหรือแนวความคิดในการอนุรักษ์พลังงานคือ การลดการใช้พลังงานและการหันมาใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมรอบๆ ตัวและของโลกมากขึ้น จากสัดส่วนของการใช้พลังงานในปัจจุบันพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารส่วนใหญ่จะหมดไปกับการสร้างสภาวะน่าสบายให้แก่ผู้ใช้อาคาร ซึ่งมีสองส่วนได้แก่ ระบบแสงสว่าง และการปรับสภาพภูมิอากาศภายในอาคารให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าสบาย ซึ่งภาระในการปรับสภาพภูมิอากาศหรือการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร เป็นการต่อสู้กับสภาวะแวดล้อมภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าภายในและส่งผลกระทบต่ออาคาร จากการส่งผ่านความร้อนเข้ามาซึ่งภายในอาคารผ่านผนัง และส่วนต่าง ๆ ของอาคารและจากการที่ระบบปรับอากาศทำงานหนักขึ้นก็จะทำให้เกิดการบริโภคพลังงานในการที่ลดความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาให้ลดลงหรือหมดไป

การเลือกใช้ชนิดของผนังและฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่ผนังอาคาร นับเป็นทางออกให้แก่การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น สำหรับการเลือกใช้วิธีการป้องกันความร้อนโดยวิธีการฝังท่อน้ำไว้ในผนังเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังอาคารที่ได้รับความร้อนซึ่งมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์กับน้ำที่อยู่ภายในท่อ เหมือนการใช้น้ำเป็นตัวดูดซับความร้อนและป้องกันความร้อนที่จะส่งผ่านเข้ามานั่นเอง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการเสนอเทคนิคการใช้น้ำเพื่อเป็นตัวดูดซับความร้อนให้กับผนังอาคาร โดยการเลือกใช้ขนาดของท่อน้ำที่ใช้สำหรับฝังไว้ในผนังทางด้านทิศใต้และทิศตะวันตกของอาคารให้มีปริมาณที่เหมาะสม ในการที่จะสามารถช่วยให้การป้องกันการส่งความร้อนเข้ามาภายในอาคาร

จากที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาและวิจัยอย่างจริงจังเกี่ยวกับการหารูปแบบและขนาดรวมทั้งชนิดของท่อน้ำที่จะฝังไว้ในผนัง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับความร้อนและลดอุณหภูมิของผนังให้กับอาคารในการป้องกันหรือลดความร้อนที่จะส่งผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคาร ซึ่งหากมีการศึกษาอย่างจริงจัง อันจะนำไปสู่แนวทางการออกแบบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลงานการวิจัยดังกล่าวนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับส่วนต่าง ๆ ของอาคารได้อีก อาทิ เช่น แผงบังแดด หลังคาคอนกรีต (SLAB) หรือพื้นที่ ๆ มีลักษณะเป็นพื้นลาดแข็ง (HARD SCAPE) โคจรอบอาคารที่ได้รับผลกระทบจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงและยังสามารถผสมผสานการออกแบบ (INTERGRATED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN) ให้สามารถนำน้ำที่น้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นไปปล่อยออกมาจากระบบมาใช้ยังส่วนต่าง ๆ ภายในอาคารได้อีกด้วย

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาหาปริมาณและรูปแบบที่เหมาะสม ในการที่จะส่งท่อน้ำไว้ในผนัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ผนัง เพื่อที่จะสามารถป้องกันหรือลดความร้อนที่จะส่งผ่านเข้ามาสู่ภายในอาคารทางผนังทางด้านทิศใต้และทิศตะวันตกที่ได้รับผลกระทบจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงของอาคาร

โดยการเลือกขนาดและความยาวท่อน้ำหรือระบบของท่อน้ำ รวมทั้งชนิดของเนื้อวัสดุของท่อน้ำที่ใช้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การส่งผ่านความร้อนระหว่างผนังกับท่อน้ำและน้ำที่อยู่ภายในท่อได้ และหากเมื่อน้ำมีการสะสมความร้อนจากความร้อนที่ผนังส่งผ่านมายังน้ำ จะทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิของผนัง และเปิดให้มีการระบายน้ำเอาน้ำร้อนภายในระบบท่อออกไปและนำเอาน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้าไปแทนที่ จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิให้แก่ผนังของอาคารได้ในปริมาณเท่าไรหรือเมื่อเทียบกับไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ ในกรณีที่เป็นผนังคอนกรีตหล่อที่ความหนา 10 เซนติเมตร

ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและเลือกใช้กับการออกแบบที่เหมาะสม ในแต่ละกรณีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารทางผนังได้ผลดียิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ หรือใช้ร่วมกับอาคารที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ได้อีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะศึกษาแนวทางและวิธีการการออกแบบรูป รวมทั้งปริมาณที่เหมาะสมของการใช้ท่อน้ำและความถี่ของการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ที่ฝังไว้ในผนังของอาคาร ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำภายในท่อกับผนังเพื่อลดอุณหภูมิ อันจะทำให้ผู้ใช้อาคารเกิดสภาวะน่าสบายขึ้นและจะนำไปสู่การช่วยลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.3.1 เพื่อศึกษาปริมาณ ขนาดและคุณสมบัติของท่อน้ำที่ใช้ฝังในผนังซึ่งมีผลต่อการถ่ายเท และนำความร้อนที่แตกต่างกัน

1.3.2 เพื่อศึกษาการวางระบบและรูปแบบของท่อน้ำที่ใช้ฝังในผนังที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.3 เพื่อศึกษาหาความแตกต่างของการส่งผ่านความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร หลังจากการใช้เทคนิคนี้กับผนังของอาคาร ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงไร
- 1.3.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับส่วนอื่นๆ ของอาคาร

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

งานวิจัยนี้มีการแบ่งขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

- 1.4.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 กำหนดชนิดของผนังที่จะใช้ทำการวิจัย โดยกำหนดให้เป็นผนังคอนกรีตชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
- 1.4.3 ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่อน้ำที่จะใช้ทำการวิจัย โดยพิจารณาคุณสมบัติของเนื้อวัสดุและความสะดวกในการจัดทามาใช้งาน
- 1.4.4 หาขนาดของผนัง รวมทั้งความหนาที่เหมาะสมที่จะใช้ทำการวิจัยให้เป็น ในลักษณะที่เป็นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป
- 1.4.5 สร้างอาคารจำลองขึ้นมามีลักษณะเป็นห้องหรือกล่องที่มีผนังปิดทุกด้าน เพื่อใช้ทำการทดสอบจากการวัดการส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายใน
- 1.4.6 ออกแบบแนวท่อน้ำที่ใช้ฝังภายในผนังและสร้างผนังสำหรับการทดสอบ ที่มีการผิวนโดยหันผนังไปทางทิศตะวันตก และพิจารณาค่าการส่งผ่านความร้อนตามที่วัดได้
- 1.4.7 ทดสอบรูปแบบการขังน้ำและปล่อยน้ำที่เหมาะสม
- 1.4.8 เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ
- 1.4.9 ขั้นตอนการประเมินผลจากผลที่ได้จากการทดสอบ
- 1.4.10 สรุปผลและข้อเสนอแนะในการวิจัย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาถึงปริมาณการลดการส่งผ่านความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาระหว่างผนังที่ใช้เทคนิคนี้และที่ไม่ได้ใช้
- 1.5.2 ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่อน้ำที่ใช้สำหรับฝังไว้ในผนัง รวมทั้งขนาดความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยนี้
- 1.5.3 ศึกษาถึงวิธีการออกแบบรูปแบบการวางฝังและปริมาณท่อน้ำที่ใช้ฝังภายในผนัง ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกผ่านผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5.4 ศึกษาถึงการลดอุณหภูมิของผนังเมื่อทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังเข้าไปแทนที่
- 1.5.5 ศึกษาถึงรูปแบบการออกแบบระบบของท่อน้ำที่ใช้ให้สามารถนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ได้ หรือนำไปใช้เพื่อเกิดประโยชน์จากอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นได้
- 1.5.6 สามารถสรุปผลของการวิจัยว่าสามารถนำไปพัฒนาและใช้งานได้จริง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เป็นแนวทางในการเลือกใช้ระบบและเทคนิคที่สามารถลดการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังเข้าสู่ภายในได้อีกแนวทางหนึ่ง
- 1.6.2 สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองการฝังท่อน้ำไว้ในผนังอาคาร ไปประยุกต์ใช้กับอาคารจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.6.3 สามารถเป็นแนวทางในการวิจัยเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำเทคนิคนี้มาใช้กับความต้องการอื่น ๆ
- 1.6.4 เป็นการออกแบบ แบบผสมผสาน (INTEGRATED DESIGN) ที่สามารถนำเอาน้ำที่ผ่านกระบวนการไปใช้กับส่วนอื่นภายในอาคารได้อีก ซึ่งจะเป็นการสอดคล้องกับการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน หรือเป็นการใช้พลังงานทดแทนที่คุ้มค่าอีกวิธีหนึ่ง

1.7 ระยะเวลาและแผนในการดำเนินงาน

- 1.7.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
- 1.7.2 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่อน้ำที่จะนำมาใช้
- 1.7.3 ขั้นตอนการออกแบบปริมาณและแนวของท่อน้ำที่ฝังในผนัง
- 1.7.4 ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์สำหรับการทดสอบขนาดเท่าจริง
- 1.7.5 ขั้นตอนการทดสอบจากหุ่นจำลองกับสภาพภูมิอากาศจริงพร้อมทั้งเก็บข้อมูล
- 1.7.6 ขั้นตอนการประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
- 1.7.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานการส่งผ่านความร้อน

ความร้อนที่ผิวหนังของอาคารเกิดขึ้นจากการได้รับรังสีความร้อนที่ดวงอาทิตย์แผ่มายังโลก การแผ่ความร้อนที่ส่งออกมาเป็นคลื่นความร้อน รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกมี 2 ชนิด คือ รังสีคลื่นยาวและรังสีคลื่นสั้น

รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) เป็นรังสีที่มองเห็นได้ มีอุณหภูมิสูง คือความร้อนที่มีอยู่ในแสงสว่าง เช่น จากรังสีดวงอาทิตย์ จากการสะท้อนโดยผิวที่มีสีอ่อนและผิวที่เป็นมัน รังสีนี้จะถูกดูดซึมโดยสีดำ แต่สามารถทะลุผ่านกระจกได้

รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) เกิดขึ้นจากแสงอาทิตย์ส่งผ่านวัตถุ เมื่อวัตถุนั้นร้อนขึ้น จะถ่ายเทความร้อนออกไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยการแผ่รังสีคลื่นยาว เช่น ถนนคอนกรีต ฝ้าเพดาน หรือแท่งโลหะที่นำไปไว้กลางแจ้ง แดด จะพบว่าอุณหภูมิของคอนกรีตสูงถึง 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิโลหะสูงถึง 100 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศรอบ ๆ ตัวเรา โดยวัดได้ประมาณ 30 – 38 องศาเซลเซียสเท่านั้น

2.1.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

ความร้อนเป็นพลังงานชนิดหนึ่ง มีการเปลี่ยนแปลงหรือส่งผ่านพลังงาน โดยมีปัจจัยมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นหลัก โดยพฤติกรรมแล้วความร้อนจะส่งผ่านจากอุณหภูมิที่สูงกว่าไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า เราเรียกขบวนการที่ว่านี้ว่า “การส่งผ่านความร้อน หรือ Heat transfer” จะมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ การนำ การพา การแผ่รังสี โดย 2 อย่างแรกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ต้องอาศัยตัวกลาง เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ส่งผ่านโดยการแผ่รังสีจะเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเคลื่อนตัวของความร้อนในรูปแบบพลังงานจากด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ เกิดเป็นขบวนการการถ่ายเทความร้อน (Heat Transmission) ค่าที่ใช้เรียกการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ คือค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (Overall Coefficient of Transmission หรือเรียกว่า ค่า “U”)

2.1.2 การนำความร้อน (Thermal Conduction)

การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำของไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียงจะเป็นสาเหตุให้เกิดการนำความร้อนขึ้น จากการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัตถุ(ด้านที่อุณหภูมิสูงและต่ำ) และพื้นที่ผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนไหลผ่าน โดยมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน แต่จะเป็นสัดส่วนกลับกันกับความหนาของวัสดุนั้นๆ การนำความร้อนผ่านแผ่นราบสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังนี้

$$Q = [k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)] / X \quad \dots(2.1)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที (w)

K = สภาพการนำความร้อนหรือ Thermal conductivity (W/m.K)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

T_1, T_2 = อุณหภูมิสูงและต่ำของแต่ละด้านตามลำดับ (K)

X = ความหนาของแผ่นราบ (m.)

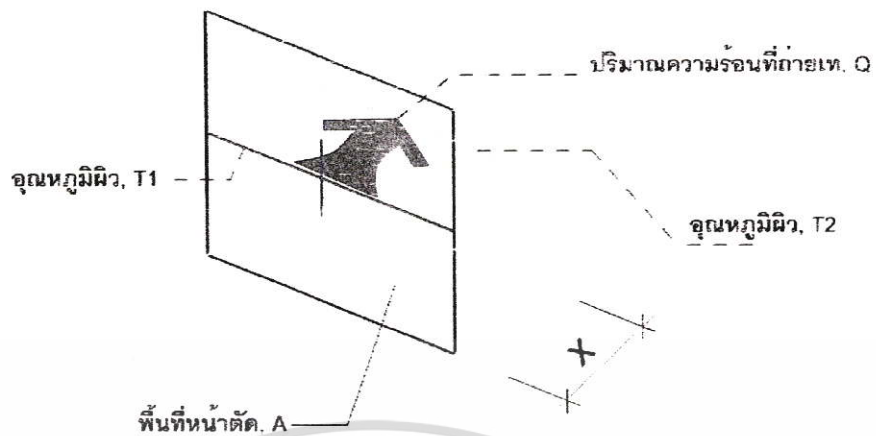
ตามสมการนี้ สภาพการนำความร้อน (k) เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด ปกติค่า k จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่หากอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนักสามารถใช้ค่าที่สมมุติว่าค่า k คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิได้ เนื่องจากการในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุ จะคิดในเทอมของการต้านทานการถ่ายเทความร้อน ฉะนั้นเมื่อพิจารณาความต้านทานความร้อนเทียบกับ ความต้านทานทางไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ ($V_1 - V_2$) ในลักษณะนี้ซึ่งมีผลต่างของอุณหภูมิ ($T_1 - T_2$) สมการ 2.1 สามารถกลายเป็น

$$Q = (T_1 - T_2) / R \quad \dots(2.2)$$

โดยที่

$$R = x/k \cdot A$$

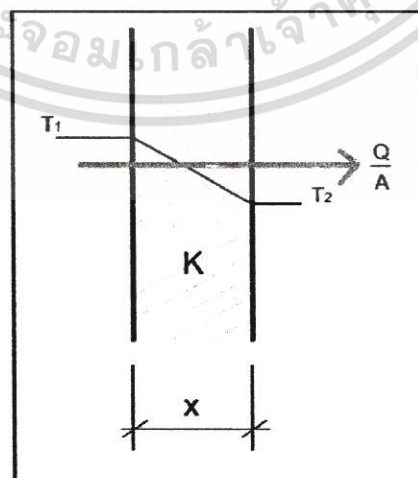
(ที่มา: ตระการ ก้าวกลกรรณ.2537. คู่มือจนวนความร้อน. กรุงเทพฯ)



ภาพที่ 2.1 การนำความร้อนผ่านแผ่นราบ

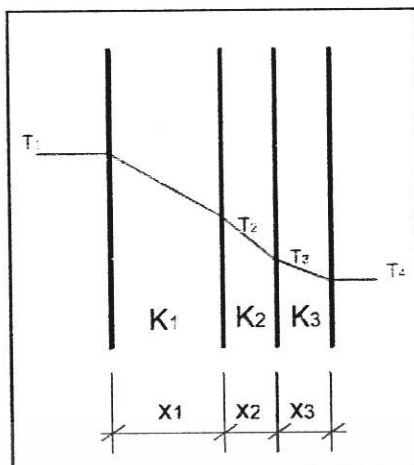
จากการที่ถือว่าค่า k คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดและความหนาตามภาพประกอบ 2.2 ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีลักษณะเชิงเส้นตามภาพประกอบ หากพิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังราบประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกันดังภาพ 2.3 โดยคิดว่าการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ Steady state และมีการเปลี่ยนแปลงถ่ายความร้อนผ่านวัตถุในอัตรา Q ที่เท่าเทียมกันตามกรรมวิธีข้างต้นจะได้สมการการถ่ายเทความร้อนรวมกลายเป็น

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \dots)} \dots (2.3)$$



ภาพที่ 2.2 ผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 ผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบ 3 ชั้น (วัสดุต่างชนิดกัน)

2.1.3 การพาความร้อน (Thermal Convection)

เกิดจากการเคลื่อนที่ของของมวลของไหล เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกัน เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดพาความร้อนเกิดขึ้น การพาความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือการพาความร้อนแบบอิสระ (Free or Natural Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อของไหลได้รับอุณหภูมิที่สูงจะมีความหนาแน่นลดลงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดแรงยกตัว (Buoyancy force) และการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แรงภายนอกมาเคลื่อนที่ของไหลผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ปริมาณการถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้จากกฎของนิวตัน ว่าด้วยการเย็นตัวคือ

$$Q = H * A (T_s - T_f) \dots(2.4)$$

โดยที่

H = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (W / M².K)

A = พื้นที่ผิวของของแข็งที่ของไหลสัมผัส (m²)

T_s = อุณหภูมิพื้นผิวของแข็ง (K)

T_f = อุณหภูมิของไหล (K)

2.1.4 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาโดยวิธีการแผ่ ซึ่งเกิดขึ้นจากคลื่นอิเล็กตรอนที่มองไม่เห็นคล้ายกับการเปลี่ยนพลังงานเป็นแสงหรือคลื่นวิทยุ การแผ่รังสีความร้อนมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบเหมือนการส่งผ่านความร้อนอื่นๆ คือขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น อัตราการแผ่รังสีความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิและการแผ่รังสีจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

ดังนั้นวัตถุที่แผ่รังสีความร้อนจะต้องไม่ถูกกีดขวางในการแผ่รังสีไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ความสัมพันธ์ด้านเรขาคณิตและพื้นที่ของทั้ง 2 วัตถุมีความสำคัญพอๆ กันต่อการส่งผ่านความร้อน โดยสมการของการแผ่รังสีความร้อนมีดังนี้

$$Q_r = \sigma \times F \times \epsilon \times A \times (T_1 - T_2)^4$$

where

Q_r = radiation heat transfer, Btu/h
 σ = Stephan-Boltzmann constant, 1.714×10^{-9} , Btu/h - ft² - °R⁴
 F = shape factor
 ϵ = emittance of radiating object
 A = area of radiating object, ft²
 T_1 = temperature of radiating object, °R; °R = °F + 460
 T_2 = temperature of absorbing object.

ค่า σ = ค่าคงที่ที่ใช้กับทุกสมการของการแผ่รังสี
 ค่า F = ค่าที่อธิบายว่า วัตถุที่แผ่รังสีเปิดออกสู่วัตถุอื่นๆ มากน้อยเพียงใด มีค่าตั้งแต่ 0-1
 ค่า ϵ มีค่าตั้งแต่ 0-1 เป็นค่าที่บ่งบอกคุณสมบัติของวัตถุว่าเป็นตัวแผ่รังสีที่ดีเพียงใด
 ตัวแผ่รังสี (Radiator) และตัวรับรังสี (Receiver) ที่ดีที่สุดเรียกว่า “Black Body” มีค่า $\epsilon = 1$ วัตถุ
 อื่นๆ เช่น อิฐ, คอนกรีต, ไม้, กระจก มีค่า ϵ ประมาณ 0.85 หรือมากกว่า

2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร

ผนังอาคารเป็นส่วนสำคัญที่มีการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน โดยเฉพาะส่วนบริเวณผนังภายนอกที่โดนแสงแดด คุณสมบัติของมวลสารที่มีการกักเก็บความร้อนและการหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อน จึงจะมีผลโดยตรงต่อช่วงเวลาที่เกิดการทำความเย็นสูงสุดของระบบปรับอากาศ จึงจะมีผลต่อการใช้พลังงาน (Cooling Load) และอิทธิพลต่าง ๆ เหล่านี้ ประกอบไปด้วย

2.2.1 ความจุความร้อน (Heat Capacity)

มวลสารของวัสดุต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการเก็บกักความร้อน และยอมให้มีการถ่ายเทความร้อนที่มีอัตราที่แตกต่างกัน เรียกว่า “ค่าความจุความร้อนของวัสดุ” หมายถึง ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้น 1 องศา โดยทั่วไป วัสดุที่มีมวลมาก (Heavy materials) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ มักจะมีค่าความจุความร้อนสูง แต่น้ำมีค่าความจุความร้อนที่สูงมาก แม้ว่าจะไม่จัดว่าอยู่ในวัสดุที่มีมวลมาก เนื่องจากน้ำเป็นมวลสารประเภท Middleweight materials โดยพิจารณาได้จากตารางประกอบที่ 2.1

ในทางด้านสถาปัตยกรรมจะมุ่งเน้นไปที่เรื่องของคุณสมบัติความจุความร้อนต่อปริมาตร หรือเรียกว่า ค่าความจุความร้อน (Heat capacity)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Heat Capacity of Materials by Volume

Materials	Heat Capacity per Volume	
	(btu / ft ³ - °F)	
Water	62.4	
Steel	59	
Wood	26	
Brick	25	
Concrete (Stone)	22	
Foam insulation	1	
Air	0.02	

ที่มา : หนังสือ Heating Cooling Lighting โดย Norbert Lechner . 1991 p.125

2.2.2 ค่าความต้านทานอุณหภูมิ (Thermal Resistance)

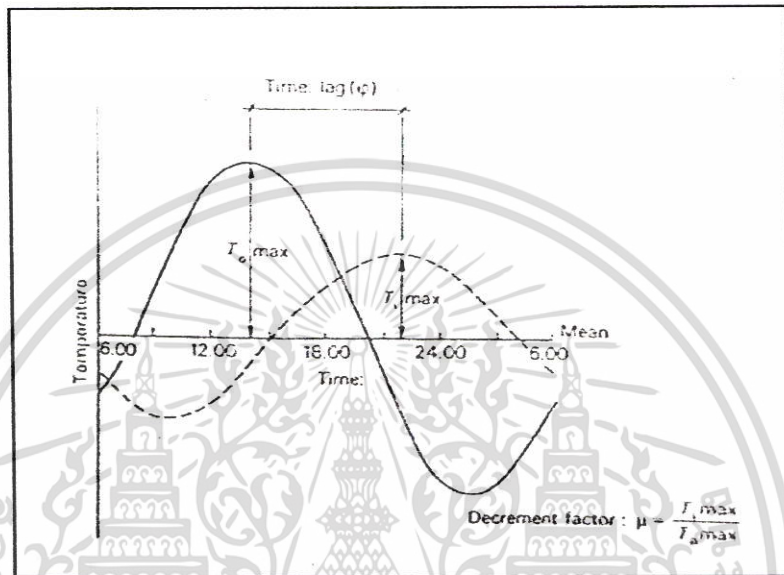
ค่าความต้านทานมีค่าตรงกันข้ามกับค่าการส่งผ่านความร้อน หรือสภาพที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ได้น้อยหรือได้ไม่ดี เราเรียกคุณสมบัตินี้ว่า “ค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุ หรือ Thermal Resistance , R” คุณสมบัติค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุจะใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถด้านการต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อให้ตรงกับประโยชน์การใช้งาน

2.2.3 การหน่วงเวลา (Time Lag)

เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของวัสดุใด ๆ ด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ แต่อุณหภูมิด้านที่ต่ำกว่าจะยังไม่สูงขึ้นในทันที แต่จะค่อย ๆ อุณหภูมิขึ้นจนกระทั่งร้อน ภายในระยะเวลาหนึ่งจนถึงจุดอิ่มตัว (Fill up the heat capacity) ปรากฏการณ์การชะลอการถ่ายเทความร้อนนี้เรียกว่า การหน่วงเวลา หรือ Time Lag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ Time Lag จะสิ้นสุดลงเมื่อปริมาณของความจุความร้อนมีการกักเก็บความร้อนเต็มที่ (The Storage tank is full) อีกทั้งภายใต้สภาวะคงที่จะไม่เกิดการหน่วงนำเวลา แต่ในสภาพความเป็นจริง การหน่วงเวลาของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลาย ๆ ประการ



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิ Time Lag และ decrement factor

ประโยชน์ของ Time Lag สำหรับการนำเอามาช่วยลดการถ่ายเทความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารที่เห็นได้ชัดจะอยู่ในสภาพพื้นที่ที่มีภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง (Hot and dry Climate) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วง 1 วันสูง (Swing Temperature) ผลของการหน่วงเวลาที่เกิดจากมวลของผนังที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน จะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนถูกกักเก็บไว้ในผนังช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนออกมาในเวลากลางคืน แต่เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนไม่ต่างกันมากพอที่จะทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนได้มากเหมือนกับเขตร้อนแห้ง

ตารางที่ 2.2 แสดงช่วงระยะเวลาการหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	U-Value (W/m ² -°C)	Time Lag	
อิฐ	4	0.61	2 ¹ / ₂	ช.ม.
	8	0.41	5 ¹ / ₂	ช.ม.
	12	0.31	8 ¹ / ₂	ช.ม.
คอนกรีต	4	0.85	2 ¹ / ₂	ช.ม.
	8	0.67	5	ช.ม.
	12	0.55	8 ¹ / ₂	ช.ม.
แผ่นฉนวนกันความร้อน	2	0.16	40	นาที
	4	0.09	3	ช.ม.
ไม้	1/2	0.68	10	นาที
	1	0.47	25	นาที
	2	0.30	1	ช.ม.

ที่มา : Egan, Concepts in Thermal Comfort, Prentice - Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1975, p84 และตรึงใจ บุรณะสมภพ, การออกแบบเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, กรุงเทพฯ

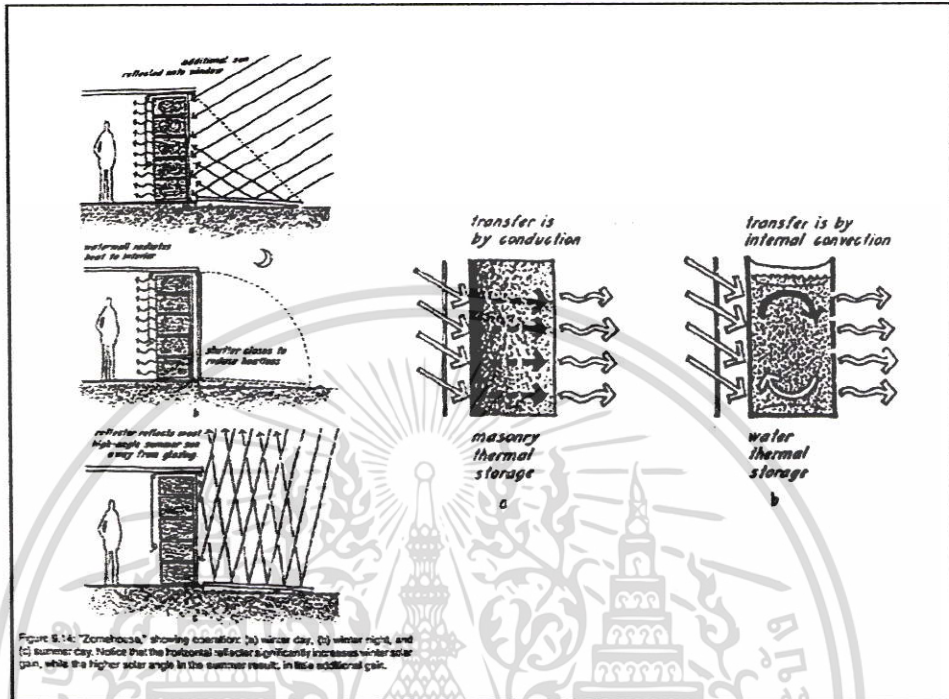
2.3 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบการลดอุณหภูมิของผนังผิวนอกอาคารด้วยวิธีการส่งท่อน้ำไว้ภายในผนัง เป็นการทดสอบที่ยังเคยมีใครค้นคว้าและทดลองมาก่อน พบแต่เพียงรูปแบบของการวิจัยและการทดลองที่คล้ายคลึงกันและพบเพียงบริเวณที่มีภูมิอากาศที่หนาวเย็นแตกต่างจากประเทศไทย แต่การทดลองต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นแนวทางในการนำมาวิเคราะห์และปรับใช้ได้กับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วย

2.3.1 ระบบผนังน้ำ (WATER WALL SYSTEM)

ระบบผนังน้ำ เป็นระบบของการใช้น้ำเป็นวัสดุในการเก็บกักความร้อนจากรังสีความร้อน ทำหน้าที่เหมือนผนังระบบ Thumb wall ที่นำความร้อนผ่านผนังอิฐ ซึ่งข้อดีของผนังน้ำคือ ช่วยให้

ผู้ใช้อาคารไม่สัมผัสกับการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง ของอากาศโดยตรง และน้ำเป็นสื่อที่เก็บความร้อนได้ดี สามารถใช้เพียงปริมาณ 1/3 - 1/5 ของน้ำหนักผนังอิฐ จึงจะสามารถใช้งานได้ดี



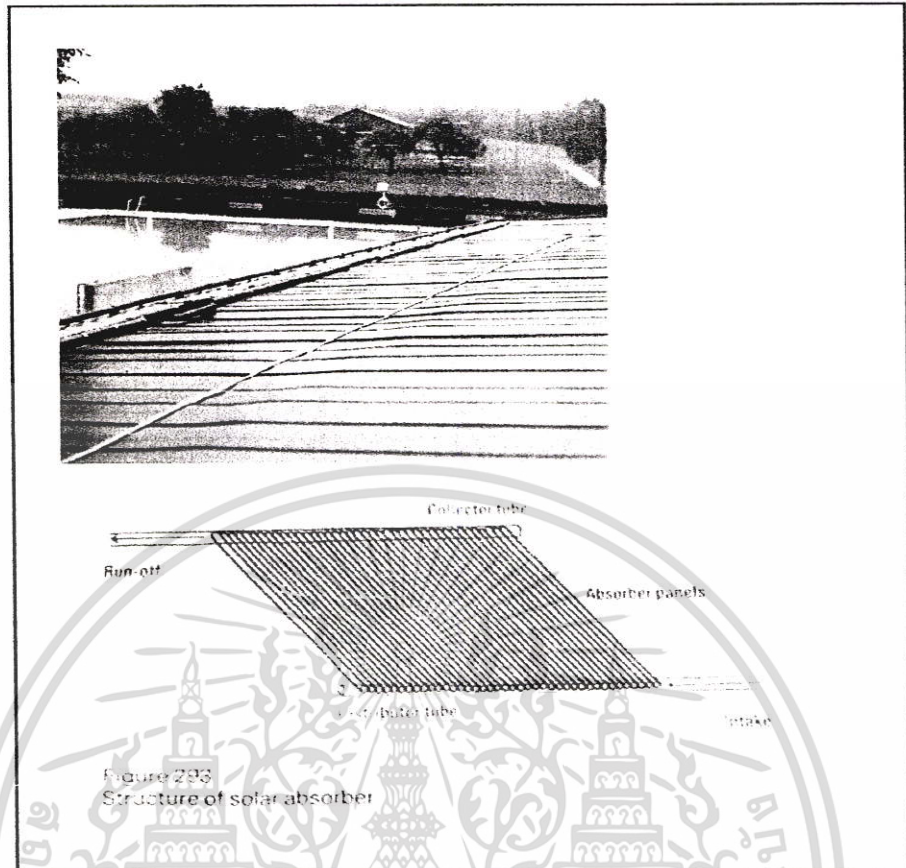
ภาพที่ 2.5 รูปแบบระบบผนังน้ำ

ที่มา : Fuller Moore, Environmental control systems Heating cooling lighting, Mc Graw-Hill Inc., p131

2.3.2 ระบบ Solar Absorber

เป็นวิธีการจัดเก็บหรือดูดเอาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้ท่อขงที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถทนต่อสภาพอากาศที่ร้อนจัดและเย็นจัดได้ (-50°C ถึง 120°C) ทำการติดตั้ง Solar Absorber ไว้ในบริเวณตำแหน่งที่สามารถรับแดดได้ดีที่สุด ซึ่งเทคนิคนี้สามารถผลิตน้ำอุ่นจากรังสีของดวงอาทิตย์ได้ถึง 50°C

โดยที่น้ำอุ่นที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยทั่วไป ในภาพเป็นการนำไปใช้กับสระว่ายน้ำเพื่อทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในสระสูงขึ้น และสามารถนำมาใช้ประโยชน์กับส่วนอื่นๆ ของบ้านพักอาศัยได้โดย การจัดเก็บไว้ในแทงค์ที่เก็บน้ำสำรองของบ้านนั้นๆ แล้วใช้ปั๊มน้ำดูดขึ้นมาส่งไปยังส่วนต่างๆ เช่นเครื่องทำน้ำอุ่นหรือส่วนอื่นๆ ได้



ภาพที่ 2.6 รูปแบบระบบ Solar Absorber และการติดตั้งใช้งานกับสระว่ายน้ำ

ที่มา : Klaus Daniels, The Technology of Ecological Building, Birkhauser Verlag, p.209

2.3.3 ระบบ THERMOSIPHON SYSTEM

ในปี 1977 Givoni เสนอวิธีนี้เป็นการทำให้อากาศเย็นโดยให้อากาศสัมผัสกับด้านล่างของแผ่นสะท้อนรังสี ซึ่งจะทำให้อากาศจะเคลื่อนที่ผ่าน Rock Bed ระบบนี้จะช่วยลดปัญหาพร้อมกับการป้องกันการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และจากอากาศ โดยรอบตลอดทั้งวัน

ข้อดีของระบบคือ ความร้อนจากภายในจะถูกส่งผ่านจากอากาศไปยัง Rock Bed และถูกส่งย้อนกลับไปยังอากาศอีกครั้ง ซึ่งอากาศจะต้องไหลวนผ่าน Radiator Panel อากาศเป็นของไหลที่ส่งผ่านความร้อนได้ยาก เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำและมีความจุความร้อนน้อยและประสิทธิภาพในการพาความร้อนจะลดลงเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลงด้วย

2.3.4 ระบบ RADIATIVE PANEL COOLING

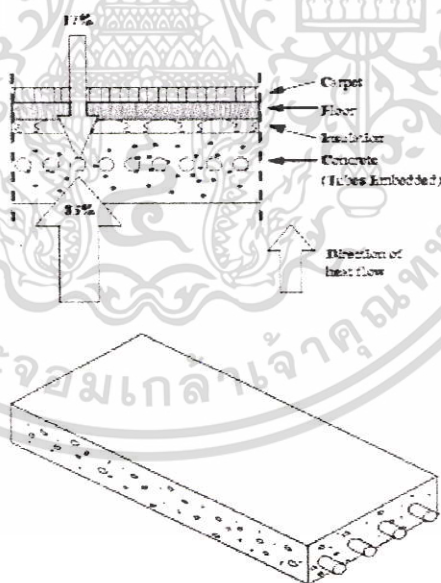
ระบบนี้มีการทดลองน้อยกว่าระบบ ROOF POND แม้จะมีการทดสอบในหลากหลายพื้นที่ แต่มีการนำไปใช้จริงน้อยมาก PANEL มีความคล้ายคลึงกับแผ่นโลหะสะสมความร้อนแบบแบน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก (Flat Plate Solar Collectors) โดยระบบจะมีแผ่นโลหะเป็นตัวแผ่รังสี ซึ่งแผ่นโลหะจะอยู่ภายใน ฉนวนกันความร้อน โดยมีวัสดุโปร่งแสงที่ยอมให้เกิดการแผ่รังสีอินฟราเรดอยู่เหนืออีกชั้นหนึ่ง และมีท่อที่มีน้ำไหลเวียนติดอยู่กับแผ่นโลหะ น้ำที่เย็นจะไหลตามท่อไปดูดซับความร้อนจากภายใน อาคาร

2.3.5 ระบบ HYDRONIC RADIANT COOLING

ระบบนี้มีการทดลองโดยการจำลองสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันมาทดสอบ ด้วยการ ใช้ Program DOE-2 และ POWER DOE ทดสอบ โดยมีทั้งระบบ Passive และ Active ระบบนี้ เรียกว่า “HYDRONIC RADIANT SYSTEM” เป็นระบบที่ใช้อากาศหมุนเวียนน้อยกว่าระบบ Conventional HVAC และประหยัดพลังงานกว่าโดยอาศัยหลักการแผ่รังสี ระบบนี้จะใช้อากาศและ น้ำ โดยในขั้นแรกจะใช้การกระจายอากาศเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ ในขั้นต่อมาใช้การกระจาย น้ำไปตามท่อเพื่อลดอุณหภูมิ ระบบนี้จะลดปริมาณในการขนส่งอากาศ (Transport Air) เนื่องจาก ใช้เฉพาะอากาศภายนอกในการระบายอากาศโดยไม่ใช้อากาศหมุนเวียน ซึ่งระบบนี้ประกอบไปด้วย เทคนิคต่าง ๆ คือ

2.3.5.1 ระบบ CONCRETE CORE SYSTEM

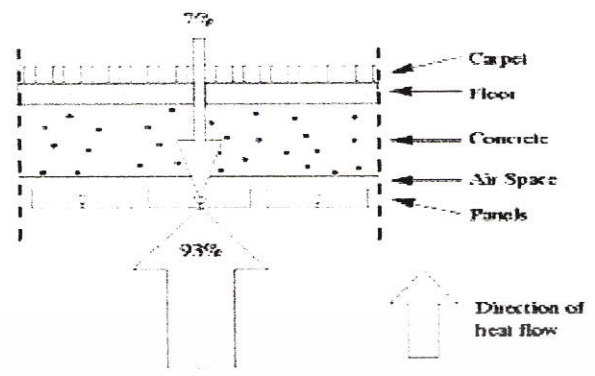


ภาพที่ 2.7 รูปแบบระบบ Concrete Core

ระบบนี้ใช้ท่อเย็นในฝ้าเพดานในการรักษาสมดุลของระบบความร้อน โดยใช้น้ำ ไหลผ่านท่อพลาสติกที่ฝังอยู่ภายในฝ้าเพดานคอนกรีต โดยใช้ประโยชน์จากคอนกรีต เช่นพื้นที่ใน การดูดซับความร้อนเพื่อสามารถเลี้ยง Peak Load ของอาคารดังแสดงตามลูกศรในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.2 ระบบ SUSPENDED CEILING PANEL

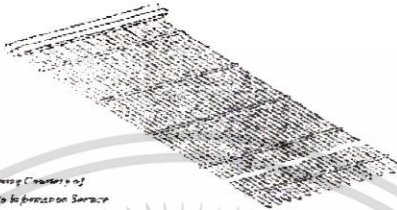
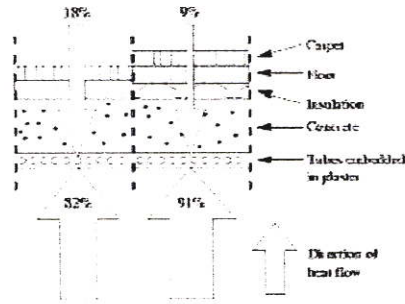


ภาพที่ 2.8 รูปแบบระบบ SUSPENDED CEILING PANEL

ระบบนี้นิยมใช้มากที่สุดเรียกว่า “Panel System” โดยมาก Panel ทำจากอะลูมิเนียม และท่อโลหะที่วางประกบกัน และมีวิธีอื่นที่คิดก็คือ การทำระบบประกบ (Sandwich System) คือ ให้นำน้ำถูกประกบด้วยแผ่นอะลูมิเนียม 2 แผ่นประกบกัน และหากเลือกใช้วัสดุที่นำความร้อนได้ดี ทำให้ลดความร้อนภายในห้องได้ดียิ่งขึ้นด้วย

2.3.5.3 ระบบ CAPILLARY TUBE

ระบบนี้จะใช้ท่อน้ำเล็กๆ ยึดเป็นตะแกรงทำความเย็น โดยฝังหรือครึ่งในปูนฉาบ ชิปซัมบอร์ด หรือยึดกับแผงฝ้า (Ceiling Panel) ระบบนี้ก่อให้เกิดการกระจายอุณหภูมิที่พื้นผิว เนื่องจากความยืดหยุ่นของท่อพลาสติก ระบบนี้อาจเป็นวิธีหนึ่งที่คิดที่สุกในการนำมาใช้งานจริง ระบบนี้ถูกพัฒนาในสหรัฐอเมริกาแต่ยังไม่เคยพัฒนาผลิตขายในท้องตลาดเช่นเดียวกับในแถบยุโรป ช่วง 1930 – 1950 ที่ผู้ใช้สอยตำหนิระบบปรับอากาศทุกระบบ จึงทำให้ผู้ออกแบบต้องเปลี่ยนแนวคิดต่อเทคโนโลยี ในขณะที่มีการเสนอระบบ HYDRONIC SYSTEM ที่มีการควบคุมที่คิดว่า ร่วมกับระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพและการควบคุมความชื้น ระบบนี้จึงเป็นแนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจกว่า Conventional HVAC System ซึ่งสมควรที่จะนำมาพิจารณาประกอบในการออกแบบ



CAPILLARY TUBE SYSTEM

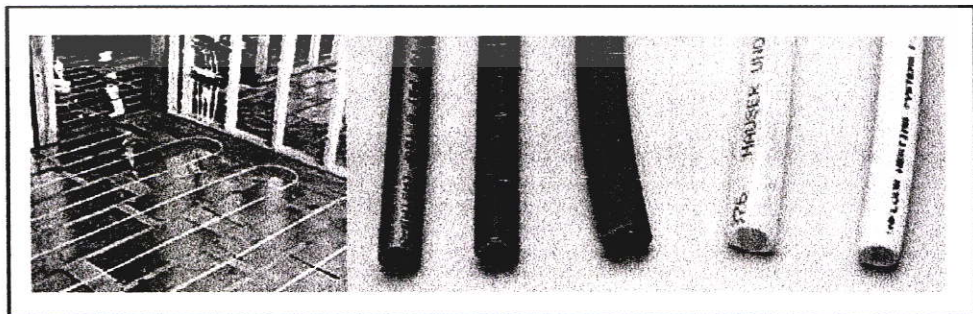
ภาพที่ 2.9 รูปแบบระบบ CAPILLARY TUBE

ที่มา : <http://www.toolbase.org/>

2.3.6 ระบบ HYDRONIC RADIANT FLOOR HEATING

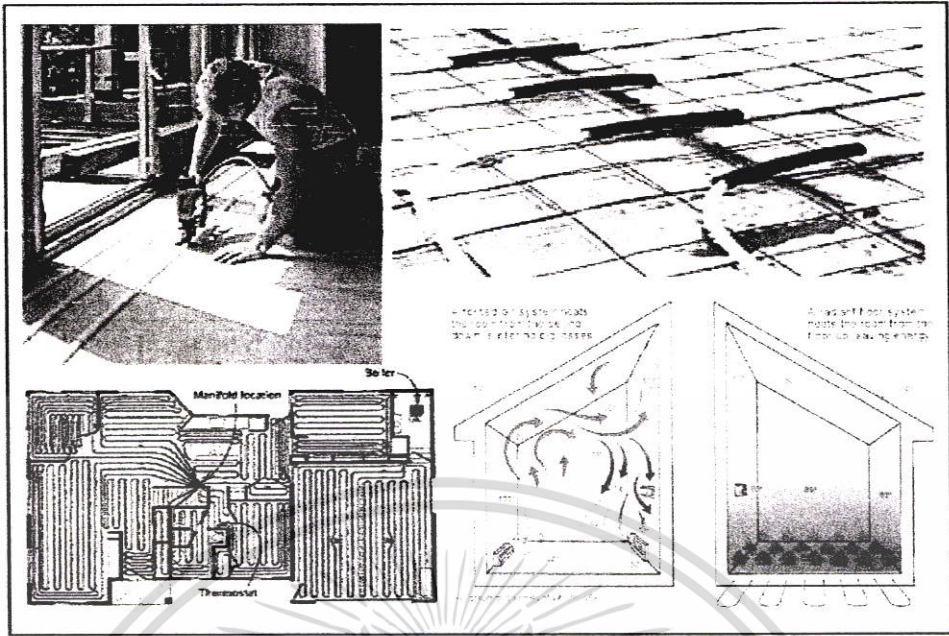
ระบบนี้เป็นระบบตรงกันข้ามกับ Radiant Cooling ตรงที่เปลี่ยนเป็นความร้อน แทน แต่ใช้เทคนิคเดียวกัน ซึ่งมีการใช้งานจริงในเขตประเทศเมืองหนาว โดยการเดินท่อน้ำที่เป็นท่อชนิดพิเศษที่สามารถทนความร้อน และมีความยืดหยุ่นสูง และต่อเข้ากับเครื่องค้ำน้ำร้อนซึ่งจะส่งน้ำร้อนมาตามท่อน้ำที่ได้ฝังไว้ในพื้น

ระบบนี้มีทั้งที่เป็นการเดินท่อฝังเพียงอย่างเดียว และมีชนิดที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมหรือแผ่นทองแดงติดกับตัวท่อ เพื่อเป็นตัวช่วยกระจายอุณหภูมิให้มากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการติดตั้งกับแผ่นโลหะเพื่อกระจายความร้อน และชนิดของท่อที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

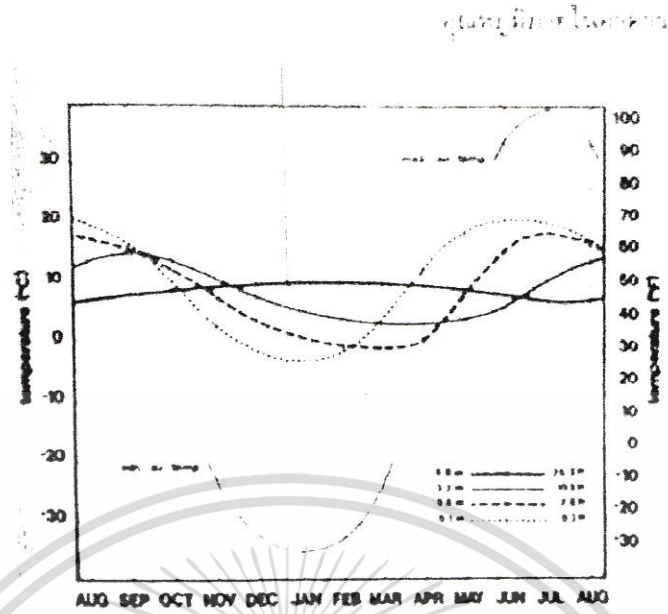


ภาพที่ 2.11 ระบบ HYDRONIC RADIANT FLOOR SYSTEM และการติดตั้ง

ที่มา : Rick Arnold and Mike Guertin, The best of Home building Energy-Efficient Building, p.122

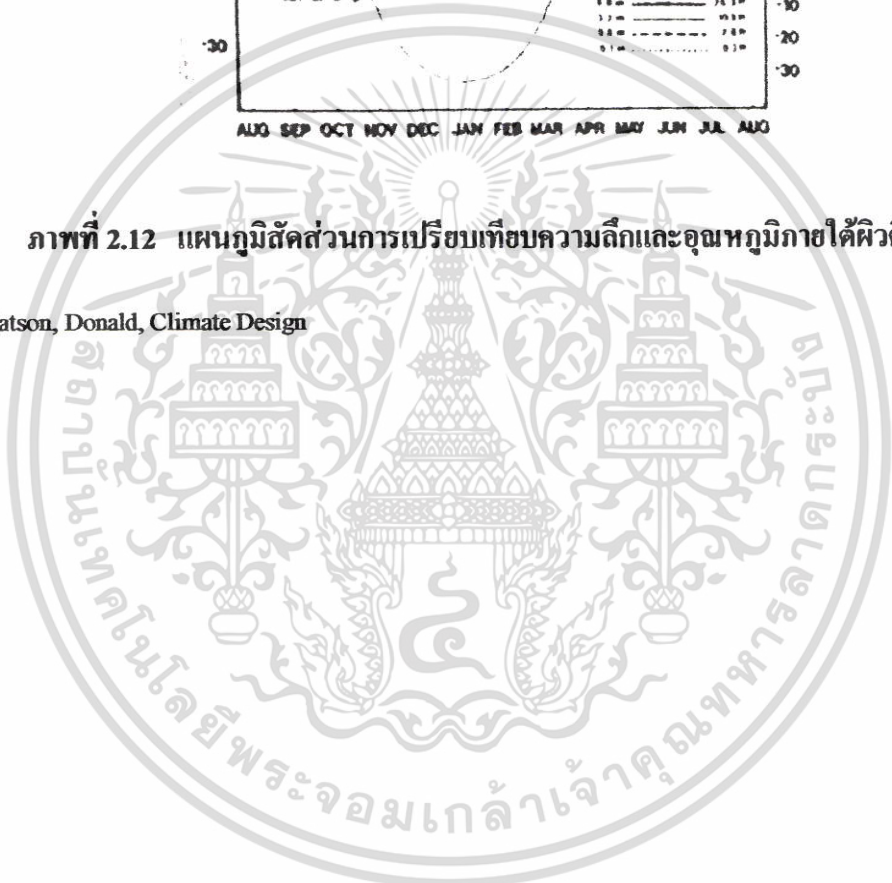
2.3.6 การรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่

กล่าวถึง การออกแบบบ้านใต้ดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิจัยในระดับความลึกของบ้านที่ฝังลงไปใต้ดิน เปรียบเสมือนการฝังถังเก็บน้ำไว้ใต้ดินที่มีระดับอุณหภูมิที่คงที่อยู่ตลอดเป็นที่ทราบกันดีว่าอุณหภูมิใต้ผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศชั้นอยู่กึ่งกับ ระดับความลึกประเภทของดินและอุณหภูมิที่ค่อนข้างจะคงที่ตลอดทั้งวันและต้องอยู่ในระดับความลึกที่เหมาะสม เนื่องจากดินเป็นตัวกักเก็บความร้อนที่ดีเก็บความร้อนและคายความร้อน ได้ช้า เราจึงเอาคุณสมบัตินี้มาใช้กับการทำให้น้ำเย็นอยู่ตลอดเวลา และดินที่มีความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ รวมทั้งดินที่มีการอัดแน่นจะมีความเย็นว่าดินที่ร่วนในระดับที่ความลึกเท่ากัน (จากภาพ 2.12) แสดงอุณหภูมิที่สูงสุดและต่ำสุดเปรียบเทียบกันในระดับดินที่ความลึกต่างๆ กัน เส้นทึบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิใต้ผิวดิน จะคงที่เมื่อถึงระดับความลึก 8 เมตร



ภาพที่ 2.12 แผนภูมิแสดงส่วนการเปรียบเทียบความลึกและอุณหภูมิภายในตัวอาคาร

ที่มา : Watson, Donald, Climate Design



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แนวทางและวิธีการทดลอง

3.1 ขอบเขตการศึกษา

การทดสอบการลดการส่งผ่านความร้อน ของผนังผิวนอกอาคารด้วยวิธีการฝังท่อน้ำไว้ในผนังที่ทำการทดลอง โดยทำการทดลองในบริเวณพื้นที่ของกรุงเทพมหานครของประเทศไทย ที่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูร้อน โดยมีผู้ศึกษาผนังทางด้านทิศตะวันตก ที่ได้รับผลกระทบจากการได้รับรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาหลัง 12:00 น. จนถึงเวลาประมาณ 18.00 น.

การทดลองนี้จะนำไปสู่บทสรุปของประสิทธิภาพของเทคนิคผนังที่ฝังท่อน้ำ เพื่อช่วยลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน และมีวิธีการอย่างไร เพื่อเป็นพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาได้ต่อไป

3.2 การวิเคราะห์กำหนดและควบคุมค่าตัวแปร

การศึกษารายการแผ่รังสีความร้อนของผนังจากภายนอกสู่ภายใน ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยทางธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ภูมิอากาศของพื้นที่ตั้ง สภาพแวดล้อมของที่ตั้ง และทิศทางของผนังที่หันปะทะกับทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผนังทางด้านทิศตะวันตก เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในเบื้องต้น จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ไว้ดังนี้

3.2.1 ทิศทางของผนังที่จะทำการทดสอบ

เนื่องจากสภาพแสงและทิศทางของดวงอาทิตย์ของประเทศไทย จะมีผลกระทบต่อผนังซึ่งจะก่อให้เกิดการสะสมความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมากระทบผนัง และดูดซับไว้แล้วแผ่รังสีความร้อนเข้ามาภายในอาคาร ผนังด้านที่โดนรังสีของดวงอาทิตย์มากที่สุด จนทำให้เกิดการสะสมความร้อนมากที่สุดได้แก่ผนังทางด้านทิศตะวันตก เพราะฉะนั้นจึงเลือกศึกษาผนังที่อยู่ในด้านทิศตะวันตก

3.2.2 การกำหนดประเภทอาคารที่จะใช้ศึกษา

ประเภทของอาคารที่ควรเป็นอาคารขนาดเล็ก เนื่องจากระบบของผนังที่เป็นรูปแบบผนังสำเร็จรูปขนาดเล็ก และควรเป็นอาคารที่สามารถนำเอาน้ำที่ผ่านกระบวนการซึ่งทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อได้ เช่น ใช้กับเครื่องทำน้ำอุ่นสำหรับอาบน้ำหรือล้าง

งาน อาคารประเภทนี้ก็ได้แก่ บ้านพักอาศัย อาคารบ้านสำนักงาน (HOME OFFICE) หรือ ร้านอาหาร เป็นต้น

3.2.3 เวลาที่ใช้สำหรับการทดลองและจัดเก็บข้อมูล

ช่วงเวลาในการรับรังสีดวงอาทิตย์ของผนังด้านทิศตะวันตกคือ ช่วงเวลาหลัง 12:00-18:00 น. เพราะฉะนั้นจึงเริ่มมีการเก็บข้อมูลที่ทดสอบตั้งแต่เวลา 12:30-18:00 น.

3.2.4 สภาพท้องฟ้าสำหรับการทดสอบ

เนื่องจากการทดลองนี้ได้อาศัยความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นสำคัญเพราะฉะนั้นในการทดสอบจึงจำเป็นต้องทดสอบในวันที่มีสภาพท้องฟ้ามีปลอดโปร่ง มีเมฆน้อยและมีค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

3.2.5 วิธีการนำมาใช้และจัดการกับน้ำที่ออกไปจากระบบ

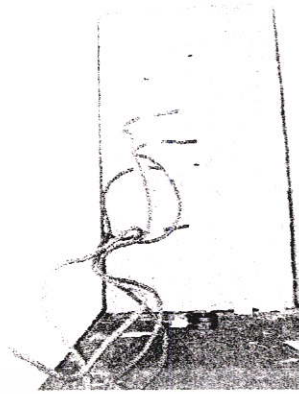
การวิจัยนี้เป็นการทดลองการลดความร้อนของผนัง โดยอาศัยน้ำที่มีอุณหภูมิที่เย็นกว่าอุณหภูมิผนังเข้าไปในระบบ ความร้อนของผนังจะถ่ายเทสู่อุณหภูมิน้ำและไปยังน้ำซึ่งอยู่ภายในท่อซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นอุณหภูมิน้ำที่ใช้จึงจำเป็นต้องคงที่และต่ำกว่าอุณหภูมิผนัง เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แน่นอน กำหนดให้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ปล่อยเข้าสู่ระบบจึงอยู่ที่ระดับ 27.5 องศาเซลเซียส และน้ำที่ปล่อยออกมาจะถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

3.3 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลการทดลอง

จากสมมุติฐานและข้อกำหนดของการทดลอง จำเป็นต้องมีการสร้างหุ่นจำลองสำหรับการทดสอบให้มีขนาดที่แตกต่างกันไปแล้วแต่การทดลอง ซึ่งหุ่นจำลองทั้งหมดสำหรับการทดลองนี้มีขนาดสัดส่วนเท่าของจริง (1:1) และวัสดุที่ทดสอบเป็นวัสดุจริงทั้งหมด รวมทั้งจะต้องใช้อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลที่ได้มาตรฐาน จากสภาวะแวดล้อมจริงในพื้นที่ทำการทดสอบ ซึ่งจะทำได้ผลตามเงื่อนไขและข้อกำหนดในเบื้องต้น อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบไปด้วย

3.3.1 สาย THERMO COUPLE

เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิที่ผิวผนังและของอากาศ



ภาพที่ 3.1 Thermo couple

3.3.2 PYRANOMETER

เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 3.2 สาย Pyranometer

3.3.3 UNIVERSAL USER

เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น ของอากาศภายนอก

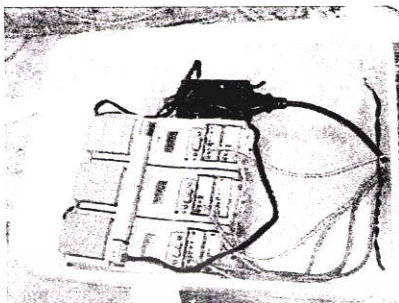


ภาพที่ 3.3 Universal user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 DATA LOGGER

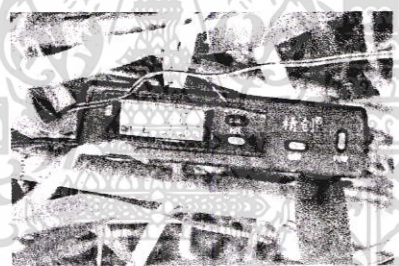
เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ



ภาพที่ 3.4 Data Logger

3.3.5 THERMOMETER

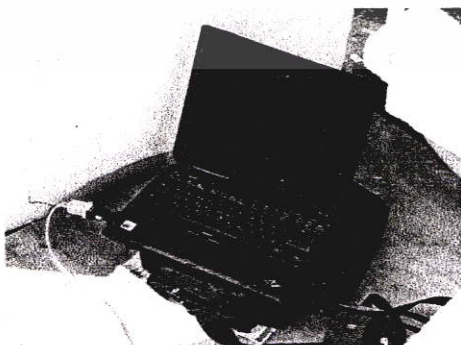
เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออก



ภาพที่ 3.5 Digital Thermometer

3.3.6 Computer

เป็นสำหรับจัดเก็บรวบรวมข้อมูลและประมวลผล



ภาพที่ 3.6 Laptop Computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนและแนวทางการทำการทดลอง

3.4.1 การพิจารณาชนิดของผนังที่เหมาะสมกับการวิจัย

วัตถุประสงค์	เพื่อหาชนิดของผนังที่เหมาะสมในการนำมาใช้กับการวิจัย
สมมติฐาน	ผนังที่มีเนื้อสัมผัสกับท่อมากเท่าใดจะยิ่งดีที่สุด
วิธีการทดสอบ	พิจารณาจากรูปแบบและชนิดของผนังแต่ละประเภท

3.4.2 การพิจารณาวัสดุของท่อที่ที่เหมาะสมกับการวิจัย

วัตถุประสงค์	เพื่อหาชนิดของท่อที่ที่เหมาะสมในการนำมาใช้กับการวิจัย
สมมติฐาน	ท่อทองแดงนำความร้อนได้ดีที่สุดตามคุณสมบัติของเนื้อวัสดุ
วิธีการทดสอบ	พิจารณาจากคุณสมบัติของเนื้อวัสดุแต่ละประเภท

3.4.3 การทดสอบหาปริมาณและระยะความห่างของท่อน้ำภายในผนัง

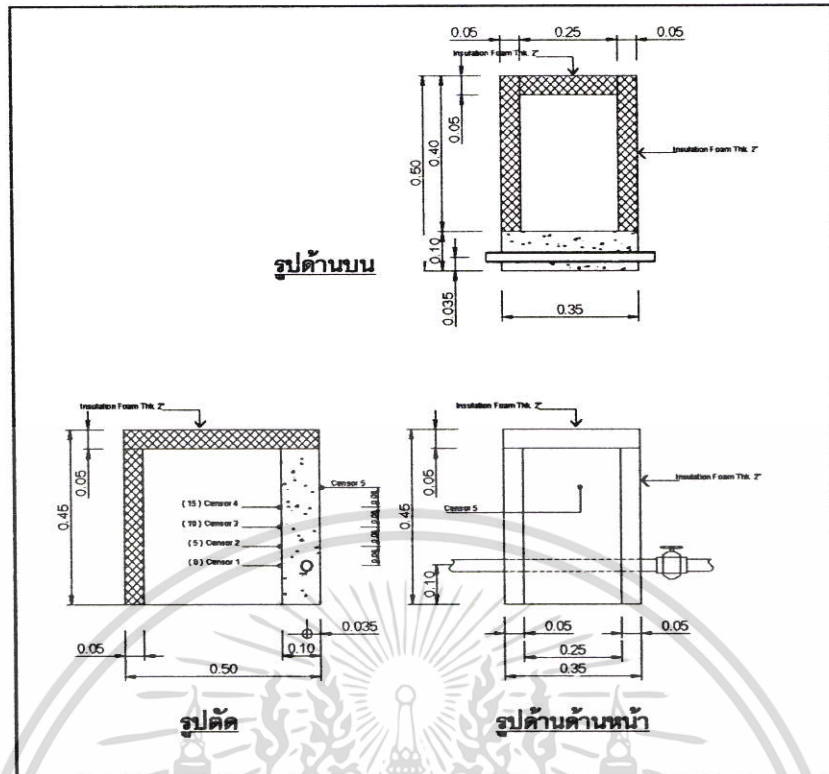
วัตถุประสงค์	เพื่อหาระยะห่างในการฝังท่อน้ำไว้ในผนัง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
สมมติฐาน	ระยะห่างของท่อควรห่างกันไม่ควรเกิน 15 เซนติเมตร
วิธีการทดสอบ	วัดค่าอุณหภูมิผิวผนังที่ห่างจากแนวท่อน้ำที่ฝังไว้ในผนัง ว่ามีค่าในการลดลงของอุณหภูมิเท่าใดเมื่อมีระยะห่างจากแนวท่อน้ำเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบมีไม่เพียงพอต่อความละเอียดของระยะที่จะทำการวัด จึงแบ่งการทดสอบเป็นสองชุด

- เป็นการทดสอบชุดที่มีการวัดที่ระยะห่าง ทุก ๆ 5 เซนติเมตรจากแนวท่อน้ำ
- เป็นการทดสอบชุดที่มีการวัดที่ระยะห่าง ทุกๆ 2.5 เซนติเมตรจากแนวท่อน้ำ

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

- ผนังคอนกรีตหล่อ ขนาด 25 x 40 เซนติเมตรหนา 10 เซนติเมตร ฝังท่อน้ำขนาด 1 นิ้ว
- ผนังห้องทดลองทุกด้านยกเว้นกรด้วยแผ่นโพลีไมขนาดหนา 2 นิ้ว มีขนาดห้อง 35 x 45 x 50 เซนติเมตร (กxขxต) โดยให้ผนังคอนกรีตหันไปทางทิศตะวันตก
- ปั้มน้ำพร้อมสายยางส่งน้ำ หุ้มด้วยฉนวนป้องกันแสงแดด พร้อมวาล์ว เปิด-ปิดน้ำ (ดูภาพประกอบเพิ่มเติมในภาคผนวก)



ภาพที่ 3.7 รูปแบบผนังสำหรับการทดลองชุด 3.4.3

3.4.4 การกำหนดและออกแบบรูปแบบแนวท่อน้ำและขนาดของผนัง

วัตถุประสงค์ เพื่อหาแนวท่อน้ำที่เหมาะสมในผนังเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดกับขนาดของผนังหลักเกณฑ์ในการพิจารณา

1. ประเภทของอาคาร
2. ขนาดความหนาของผนัง
3. ต้องเป็นผนังชนิดหล่อสำเร็จพร้อมประกอบ
4. ความสะดวกในการใช้งาน
5. ระยะห่างและปริมาณของท่อน้ำที่ใช้ฝังไว้ในผนัง
6. รูปแบบของการติดตั้งและใช้งาน

3.4.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพของการลดความร้อน

วัตถุประสงค์ เพื่อหารูปแบบวิธีการลดความร้อนให้แก่ผนังได้มากที่สุด

สมมติฐาน ยิ่งมีการปล่อยน้ำดื่มมากเท่าไรก็จะทำให้ลดอุณหภูมิได้มากขึ้น

วิธีการทดสอบ สามารถลำดับการทดสอบได้ดังนี้

3.4.5.1 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผนังที่มีท่อน้ำเปล่า ๆ กับผนังที่มีท่อน้ำและมีน้ำขังไว้และกับผนังที่ไม่มีท่อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ เปรียบเทียบผนังใต้อาจจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน
สมมติฐาน ผนังที่มีน้ำควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้
วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบที่ผนังทั้งสามชนิด

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

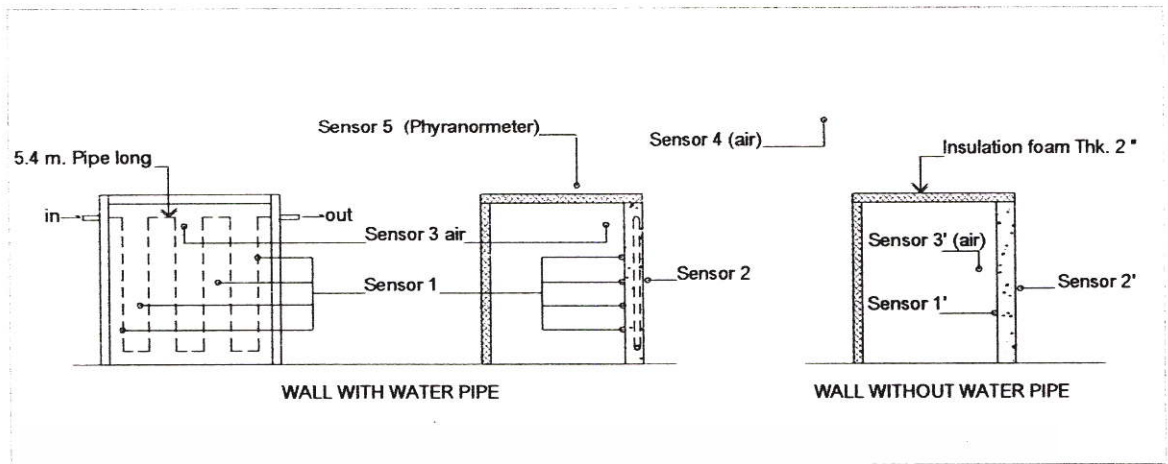
1. ผนังคอนกรีตหล่อ ขนาด 25 x 40 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร ฝังท่อน้ำขนาด 1 นิ้ว (ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกับการทดลองที่ 3.4.3)
2. ผนังห้องทดลองทุกด้านกรุด้วยแผ่นโฟม ขนาดหนา 2 นิ้ว มีขนาดห้อง 35 x 45 x 50 เซนติเมตร (กxขxต) โดยให้ผนังคอนกรีตหันไปทางทิศตะวันตก
3. ป้อน้ำพร้อมสายยางส่งน้ำ หุ้มด้วยฉนวนป้องกันแสงแดด พร้อมวาล์วเปิด-ปิดน้ำ

3.4.5.2 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผนังที่ขังน้ำไว้กับผนังที่มีการปล่อยน้ำ

วัตถุประสงค์ เปรียบเทียบผนังใต้อาจจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน
สมมติฐาน ผนังที่มีการปล่อยน้ำควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้ดีกว่า
วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบโดยการขังน้ำและปล่อยน้ำ

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

1. ผนังคอนกรีตหล่อขนาด 0.90 x 0.90 เมตร และหนา 0.10 เมตร ฝังท่อน้ำขนาด 1 นิ้ว ตามที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนการออกแบบ
2. ผนังคอนกรีตหล่อขนาด 0.90 x 0.90 เมตร และหนา 0.10 เมตร ไม่มีการฝังท่อน้ำไว้ในผนัง เพื่อเป็นผนังทดสอบเปรียบเทียบ
3. ผนังห้องทดลองกรุด้วยแผ่นโฟมขนาดหนา 2 นิ้ว มีขนาดห้อง 1.00 x 0.90 x 0.95 เมตร (กxขxต) จำนวน 2 ห้อง โดยให้ผนังคอนกรีตหันไปทางทิศตะวันตก
4. ป้อน้ำพร้อมสายยางส่งน้ำ หุ้มด้วยฉนวนป้องกันแสงแดดและวาล์วเปิด-ปิดน้ำ
5. นั่งร้านเหล็กสำหรับวางชุดหุ่นจำลองสำหรับการทดสอบ เพื่อให้สามารถหลบพื้นเงาของต้นไม้ในบริเวณใกล้เคียง (ดูภาพประกอบเพิ่มเติมในภาคผนวก)



ภาพที่ 3.8 รูปแบบผนังสำหรับการทดลองชุด 3.4.5.2

3.4.5.3 การทดสอบการซังน้ำและปล่อยน้ำในเวลาที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบผนังใคน่าจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน

สมมติฐาน

ผนังที่ปล่อยน้ำดี ควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้มากที่สุด

วิธีการทดสอบ

ทดสอบเปรียบเทียบการปล่อยน้ำตามช่วงเวลาที่กำหนด

- คือ
1. ชังน้ำนาน 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที
 2. ชังน้ำนาน 19 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที
 3. ชังน้ำนาน 29 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที

โดยที่แต่ละการทดลองเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีท่อด้วย

หลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ

1. ต้องมีห้องจำลองทั้งแบบมีท่อและไม่มีท่อในการทำการทดสอบพร้อมกัน
2. ทดสอบโดยการหันผนังไปด้านทิศตะวันตก
3. ทดสอบโดยการชังน้ำและปล่อยน้ำตามเวลาที่กำหนด
4. อุณหภูมิของผิวผนังภายในระหว่างผนังที่มีท่อและไม่มีท่อแตกต่างกันเพียงใด

5. อุณหภูมิที่ได้จากน้ำที่ปล่อยออกกับน้ำเข้ามีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงใด

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกับการทดลองที่ 3.4.5.2

3.4.5.4 การทดสอบกรณีปล่อยน้ำไหลตลอด

- วัตถุประสงค์** เปรียบเทียบกับผลข้อ 3.4.5.3 ว่าเทคนิคไหนจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน
- สมมติฐาน** ผนังที่ปล่อยน้ำตลอดควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้มากกว่า
- วิธีการทดสอบ** ทดสอบเปรียบเทียบโดยการปล่อยน้ำในปริมาณน้อย ๆ แต่ไหลตลอดเวลา

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

ใช้อุปกรณ์ในชุดเดียวกับการทดลองที่ 3.4.5.2

3.4.5.5 การทดสอบเปรียบเทียบ เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้ามีอุณหภูมิที่ลดลง

- วัตถุประสงค์** เปรียบเทียบกับผลข้อ 3.4.5.3 ว่าเทคนิคไหนจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน

สมมติฐาน น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ควรจะลดอุณหภูมิของผนังได้มากกว่า

วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบการปล่อยน้ำตามช่วงเวลาที่กำหนด

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกับการทดลองที่ 3.4.5.2 และน้ำแข็ง สำหรับการปรับสภาพน้ำให้เย็นกว่าปกติ



ภาพที่ 3.9 น้ำแข็งสำหรับการปรับสภาพอุณหภูมิของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.6 การทดสอบเปรียบเทียบเมื่อผนังมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบในกรณีพื้นที่ของผนังและความยาวของท่อที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะยังคงลดลงที่หรือไม่หากยังใช้น้ำและปล่อยน้ำด้วยเวลาเท่าเดิม ตามผล ข้อ 3.4.5.4

สมมติฐาน การลดลงของอุณหภูมิผิวผนังจะน้อยลงเมื่อพื้นที่ผนังใหญ่ขึ้น และความยาวของท่อเพิ่มขึ้น

- วิธีการทดสอบ**
1. หาขนาดของผนังขนาดเล็กและขนาดใหญ่
 2. ตรวจสอบความยาวท่อที่ใช้ฝังในท่อของผนังเล็กและผนังใหญ่
 3. คำนวณหาเวลาในการปล่อยน้ำของผนังแต่ละขนาดจนหมดผนัง
 4. ปล่อยน้ำตามเวลาที่คำนวณได้ หาค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ของผนังตัวแรกและตัวสุดท้าย แล้วนำมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิทั้งผนัง
 5. นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีท่อและผนังพื้นเล็ก

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกับการทดลองที่ 3.4.5.2

3.4.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการทดลอง

3.4.7 สรุปผลการทดลองทั้งหมด

บทที่ 4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิของผนังอาคาร ด้วยวิธีการฝังท่อในผนัง

การทดสอบการลดอุณหภูมิของผนังอาคารด้วยวิธีการฝังท่อในผนัง เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ และข้อเท็จจริงในการช่วยลดการส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในอาคารได้หรือไม่ และสามารถช่วยลดได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งจากข้อกำหนดและแนวทางในการทดสอบต่าง ๆ ในข้างต้นสามารถทดสอบได้ผลต่าง ๆ ดังนี้

4.1 การพิจารณาชนิดของผนังที่เหมาะสมกับการวิจัย

วัตถุประสงค์ เพื่อหาชนิดของผนังที่เหมาะสมในการนำมาใช้กับการวิจัย

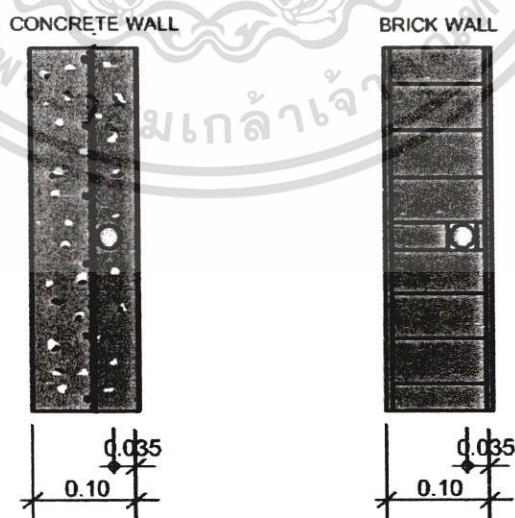
สมมติฐาน ผนังที่มีเนื้อสัมผัสกับท่อมากเท่าใดจะยิ่งดีที่สุด

วิธีการทดสอบ พิจารณาจากรูปแบบและชนิดของผนังแต่ละประเภท

ผลการวิเคราะห์ ผนังคอนกรีตหล่อ “Concrete wall” เป็นผนังที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสของท่อน้ำกับเนื้อคอนกรีตมากกว่าผนังที่ก่อด้วยอิฐ จึงจะมีผลต่อการส่งผ่านความร้อน หากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะยิ่งทำให้เกิดการถ่ายเทได้มากและเร็วยิ่งขึ้น (ภาพ 4.1) และพิจารณาเลือกใช้ผนังคอนกรีตหล่อที่ความหนา 10 เซนติเมตร ที่เป็นขนาดของผนังอาคารโดยทั่วไป

สรุปผลการพิจารณา

เลือกใช้ผนังคอนกรีตหล่อ ที่มีขนาดความหนา 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.1 รูปตัดของผนังคอนกรีตและผนังก่ออิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การพิจารณาวัสดุของท่อที่นํ้าที่เหมาสมกับการวิจัย

วัตถุประสงค์ เพื่อหาชนิดของท่อที่นํ้าที่เหมาสมในการนํ้ามาใช้กับการวิจัย
สมมติฐาน ท่อทองแดงนํ้าความร้อนได้ดีที่สุดตามคุณสมบัติของเนื้อวัสดุ
วิธีการทดสอบ พิจารณาจากคุณสมบัติของเนื้อวัสดุแต่ละประเภท
หลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ

1. เป็นท่อที่ใช้สำหรับส่งนํ้าได้
2. เป็นวัสดุที่นํ้าความร้อนได้ดี
3. เป็นวัสดุที่มีขายและใช้ทั่วไปตามท้องตลาด
4. พิจารณาความหนาและความคงทนต่อ สภาพแวดล้อมและแรงอัดของคอนกรีตและแรงดันของนํ้า

ผลการวิเคราะห์ พบว่าท่อที่มีใช้ตามท้องตลาดมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ประเภทที่อยู่ในเกณฑ์จะประกอบไปด้วย 3 ชนิดหลัก ๆ คือ ท่อเหล็กชุบสังกะสี, ท่อทองแดง, ท่อพลาสติก (PVC) ส่วนท่อที่นํ้าความร้อนได้ดีที่สุดคือ ท่อทองแดง ตามตารางที่ 4.1 แต่ทองแดงเป็นวัสดุที่มีราคาสูงและหาได้ยากกว่าวัสดุชนิดอื่นตามท้องตลาด ส่วนเหล็กก็มีคุณสมบัตินํ้าความร้อน (Thermal Conductivity) ที่ดีรองลงมาและหาซื้อได้ง่ายและนิยมใช้ตามท้องตลาด

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผลิตท่อที่นํ้าชนิดต่าง ๆ

Materials	Thermal conductivity (W/m °C)
Cast iron	40
Copper & Alloys	130-120
Polyethylene	0.5

ที่มา : Ernst Neufert Architects's Data (Second International English Edition) โยช วินนต์ โจนส์ . 1982. p.382

สรุปผลการพิจารณา

ควรเลือกใช้ท่อเหล็กชุบสังกะสี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ชนิดบางที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร เนื่องจากความแข็งแรงของผนังที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ไม่สามารถฝังท่อที่มีขนาดใหญ่มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบหาปริมาณและระยะความห่างของท่อในผนัง

วัตถุประสงค์ เพื่อหาระยะห่างในการฝังท่อในผนัง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

สมมติฐาน ระยะห่างของท่อควรห่างกันไม่ควรเกิน 15 เซนติเมตร

วิธีการทดสอบ วัดค่าอุณหภูมิของผิวผนังที่ห่างจากแนวท่อที่ฝังไว้ในผนัง ว่ามีค่าในการลดลงของอุณหภูมิเท่าใดเมื่อมีระยะห่างจากแนวท่อเพิ่มมากขึ้น

หลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ

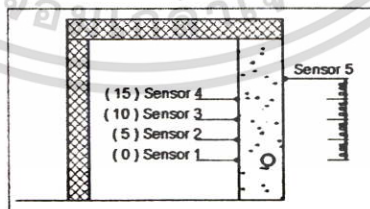
1. เป็นผนังที่มีการฝังท่อและมีการเปิดน้ำ
2. วัดอุณหภูมิที่ได้เพื่อหาระยะห่างของการแผ่รังสีความร้อนของน้ำสู่ผนัง
3. ทำการทดสอบกับผนังที่หันไปทางทิศตะวันตกและทำการทดสอบในช่วงเวลา 13:00 – 17:30 น.

รูปแบบการขังน้ำและปล่อยน้ำ พิจารณาจากระยะเวลาในการตั้งค่าการเก็บข้อมูล

1. เวลาในการเปิด – ปิด น้ำตั้งแต่เวลา 13:00 – 17:30 น.
2. ทดสอบในกรณีที่ขังน้ำเป็นเวลา 19 นาที 30 วินาทีแล้วปล่อยน้ำ โดยเปิดน้ำนานครั้งละ 30 วินาที
3. ผนังที่ทำการศึกษาไป ด้านทิศตะวันตก
4. ตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิผิวผนังจะต้องติดอยู่ที่ผนัง และมีระยะห่างตั้งแต่ 2.5 ซม.- 5 ซม.

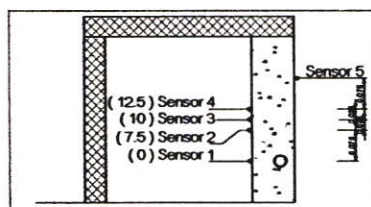
เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบมีไม่เพียงพอต่อความละเอียดของระยะที่จะทำการวัด จึงแบ่งการทดสอบเป็นสองชุด

ก. เป็นการทดสอบชุดที่มีการวัดที่ระยะห่าง ทุก ๆ 5 เซนติเมตรจากแนวท่อ



ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผิวผนังของทดลองชุด ก.

ข. เป็นการทดสอบชุดที่มีการวัดที่ระยะห่าง ทุกๆ 2.5 เซนติเมตรจากแนวท่อ

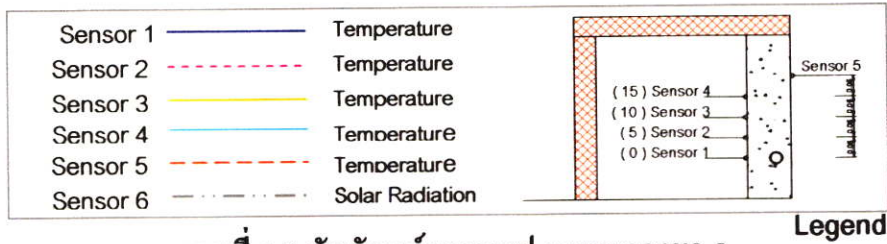


ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผิวผนังของการทดลองชุด ข.

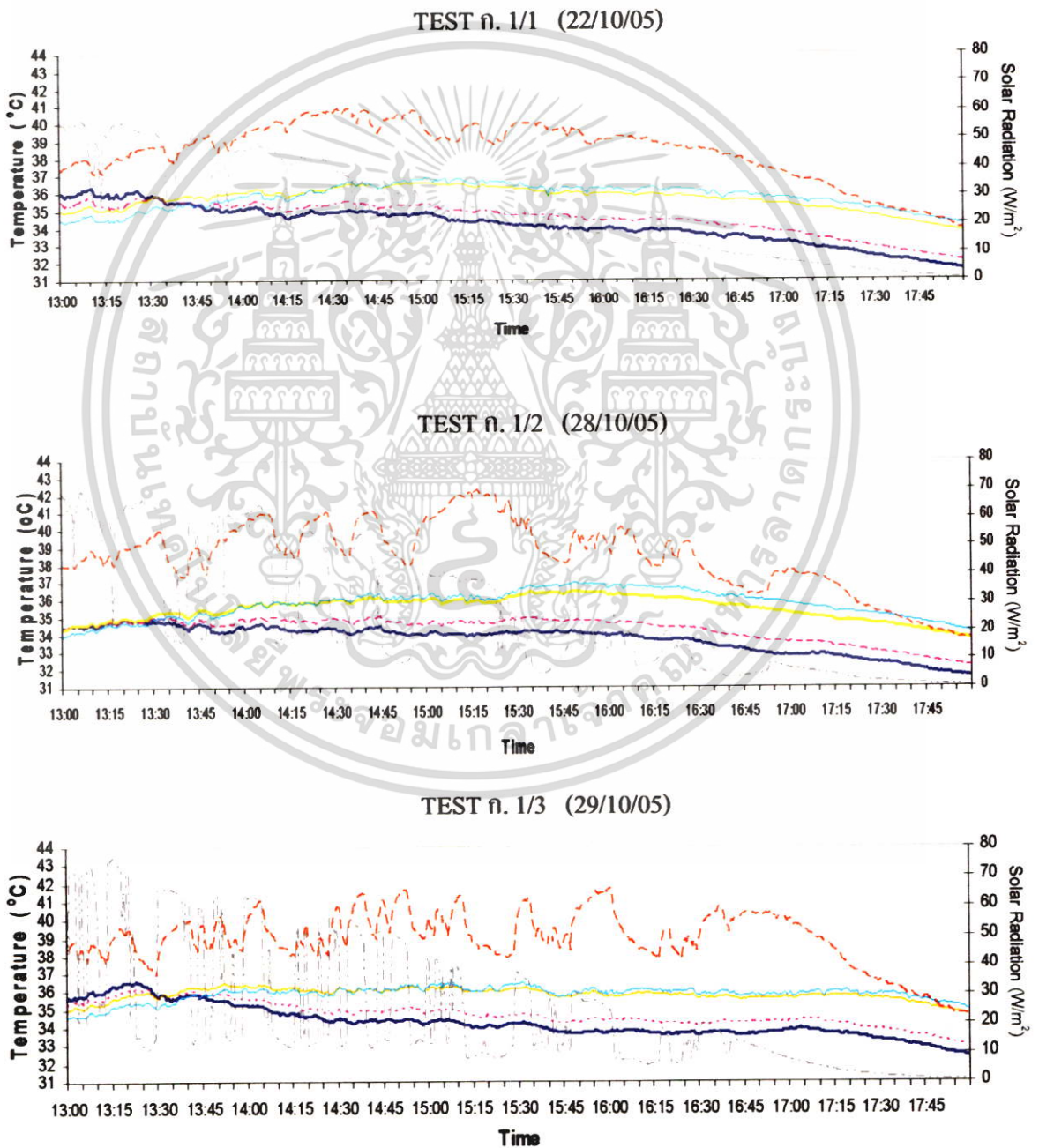
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในโครงการอื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบชุดการทดลอง ก.

ชุดทดสอบที่มีการวัดที่ระยะห่าง ทุก ๆ 5 เซนติเมตรจากแนวท่อน้ำ



ภาพที่ 4.4 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด ก.

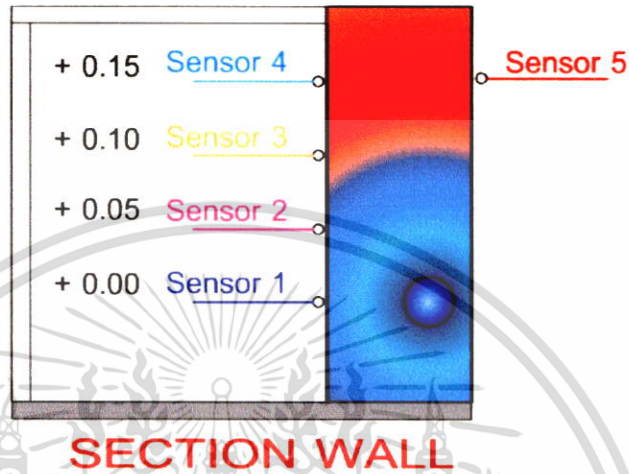


ภาพที่ 4.5 กราฟผลการทดลองชุด ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ ก.

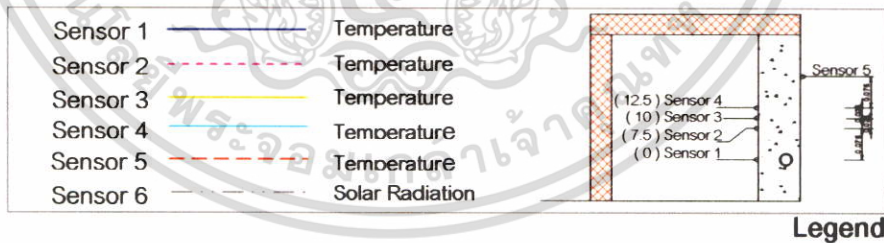
พบว่าผนังที่มีการฝั่งท่อและทำการขังน้ำและเปิด-ปิด น้ำพบว่ามียุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ใกล้ท่อมากที่สุด (ตำแหน่งท่อ) จะมีอุณหภูมิที่ต่ำมากที่สุดและจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ และอุณหภูมิจะสูงคงที่ ที่ระยะห่างตั้งแต่ 5 เซนติเมตร เป็นต้นไป



ภาพที่ 4.6 รูปตัดผนังและรัศมีของอุณหภูมิที่ลดลงโดยรอบท่อน้ำการทดลองชุด ก.

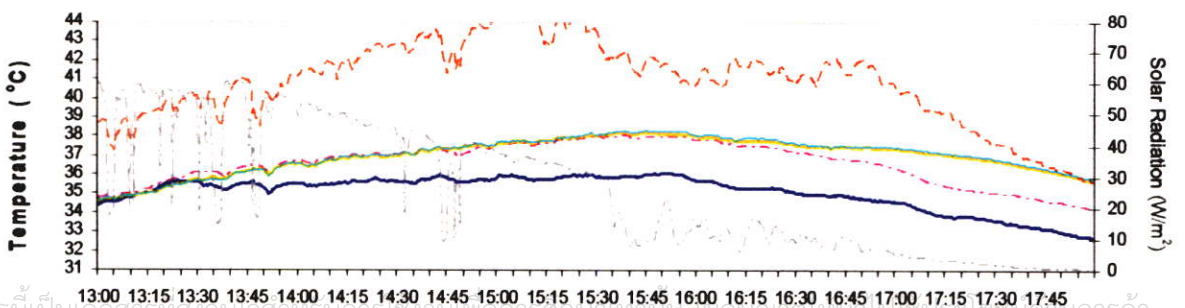
ผลทดสอบชุดการทดลอง ข.

ชุดทดสอบที่มีการวัดที่ระยะห่าง ทุก ๆ 2.5 เซนติเมตรจากแนวท่อน้ำ



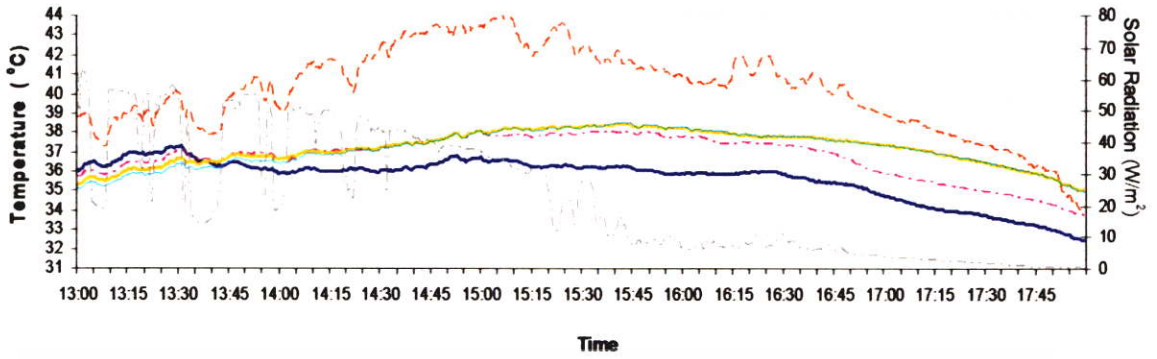
ภาพที่ 4.7 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด ข.

TEST ข. 1/3 (11/11/05)

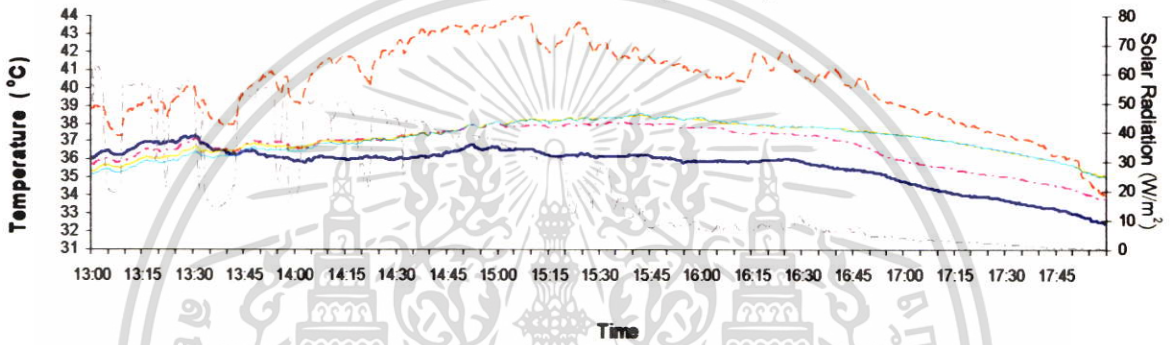


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นหน้าใบโฆษณาหรือเห็นหน้าการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST ข. 2/3 (15/11/05)



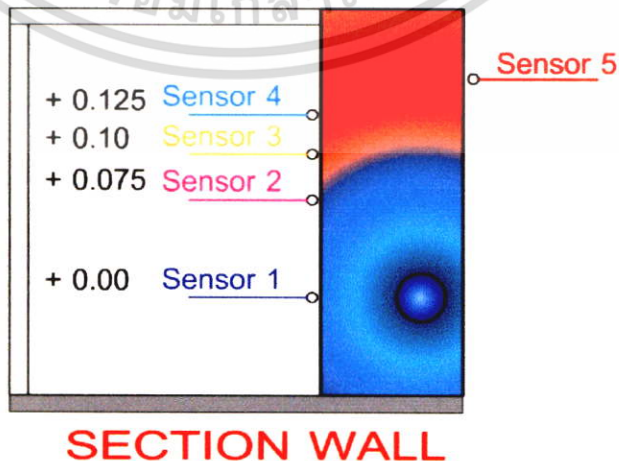
TEST ข. 3/3 (17/11/05)



ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดลองชุด ข.

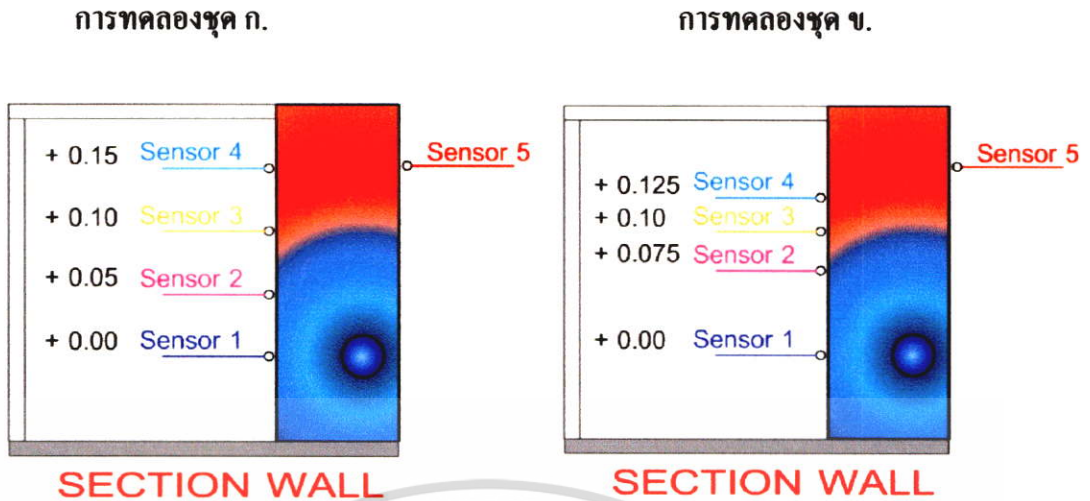
สรุปผลการทดสอบ ข.

พบว่าผนังที่มีการฝังท่อและทำการขังน้ำและเปิด-ปิด น้ำพบว่ามียุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ใกล้ท่อมากที่สุด (ตำแหน่งท่อ) จะมีอุณหภูมิที่ต่ำมากที่สุดและจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ และอุณหภูมิจะสูงคงที่ ที่ระยะห่างตั้งแต่ 7.5 เซนติเมตร เป็นต้นไป



ภาพที่ 4.9 แสดงรูปตัดผนังและรัศมีของอุณหภูมิที่ลดลงโดยรอบท่อน้ำการทดลองชุด ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 แสดงรูปตัดผนังและรัศมีของอุโมงค์ที่ตกลงโดยรอบท่อสำหรับการทดลองชุด ก.และ ข.

ผลสรุปการทดลอง 4.3 การทดสอบหาปริมาณและระยะความห่างของท่อภายในผนัง

การทดสอบโดยการขังน้ำและเปิด-ปิด น้ำเป็นเวลา ได้ผลของระยะห่างของท่อควรอยู่ห่างกันในระยะไม่เกิน 10 – 15 เซนติเมตร

4.4 การกำหนดและออกแบบรูปแบบของแนวท่อและขนาดของผนัง

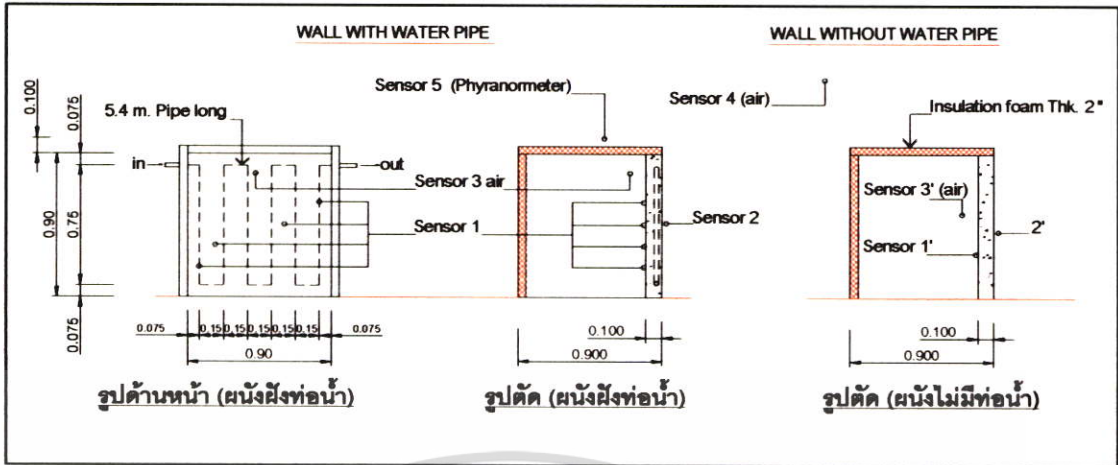
วัตถุประสงค์ : เพื่อคัดเลือกรูปแบบและขนาดของผนังที่จะใช้ในการทดสอบและใช้งานจริง หลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ

1. ประเภทของอาคาร
2. ขนาดความหนาของผนัง
3. ต้องเป็นผนังชนิดหล่อสำเร็จพร้อมประกอบ
4. ความสะดวกในการใช้งาน
5. ระยะห่างและปริมาณของท่อที่ใช้ฝังไว้ในผนัง
6. รูปแบบของการติดตั้งและใช้งาน

ผลการวิเคราะห์และออกแบบ

จากหลักเกณฑ์ในการพิจารณาและผลของการทดลองที่ 4.3 สามารถออกแบบผนังสำหรับทำการทดสอบที่เหมาะสม โดยมีขนาดของผนัง 90 x 90 เซนติเมตรและมีความหนา 10 เซนติเมตร ที่มีลักษณะเป็นผนังระบบ โมดูล่า (MODULAR SYSTEM) และมีการฝังท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วไว้ภายใน โดยแต่ละแนวท่อจะมีระยะห่างกันไม่เกิน 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงรูปแบบผนังสำหรับการทดสอบการออกแบบ 4.4

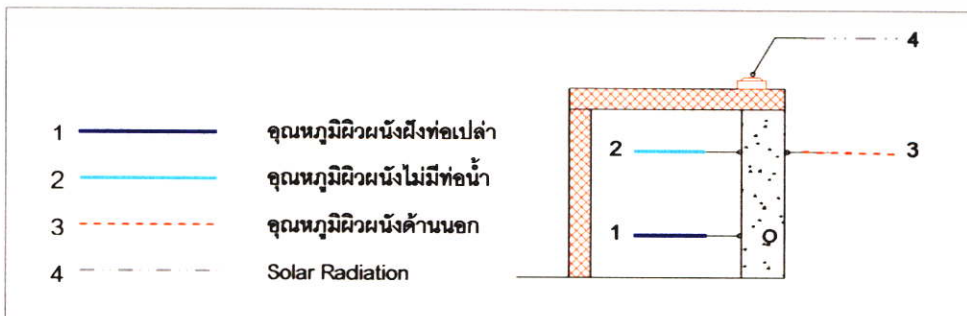
4.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพของการลดความร้อน

วัตถุประสงค์ เพื่อหารูปแบบวิธีการลดความร้อนให้แก่ผนังได้มากที่สุด
สมมติฐาน ยิ่งมีการปล่อยน้ำดื่มมากเท่าไรก็จะทำให้ลดอุณหภูมิได้มากขึ้น
วิธีการทดสอบ สามารถลำดับการทดสอบได้ดังนี้

4.5.1 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผนังที่มีท่อน้ำเปล่า ๆ กับผนังที่ไม่มีท่อน้ำและผนังที่มีท่อน้ำขังน้ำไว้

วัตถุประสงค์ เปรียบเทียบผนังใดน่าจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน
สมมติฐาน ผนังที่มีน้ำควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้
วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างผนังทั้งสามชนิดโดยแยกการทดสอบเป็น 2 ชุด

การทดสอบชุดที่ 4.5.1.1 ทดสอบระหว่างผนังไม่ฝังท่อน้ำกับผนังที่ฝังท่อแต่ไม่มีน้ำ

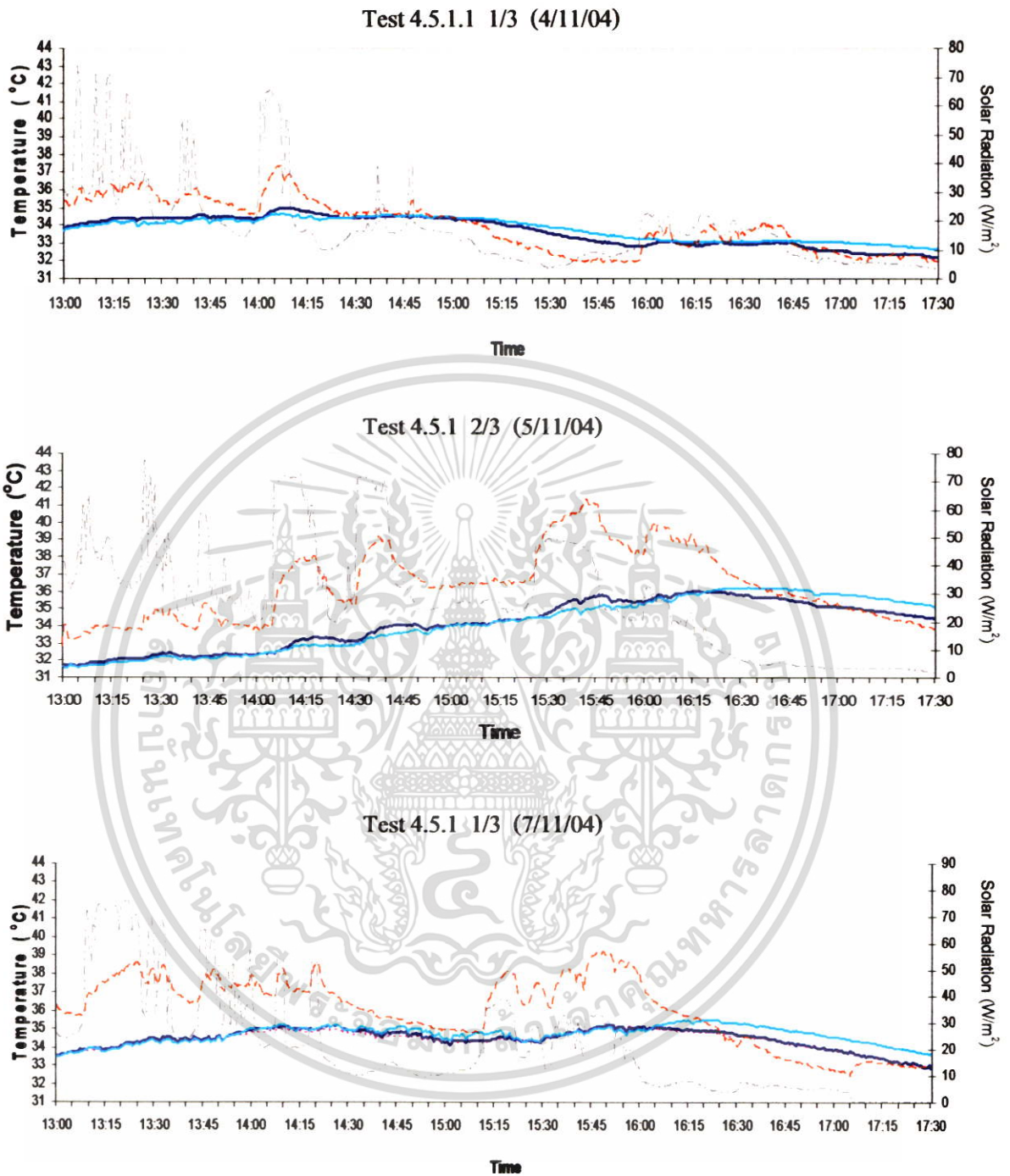


Legend

ภาพที่ 4.12 แสดงสัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบชุด 4.5.1.1

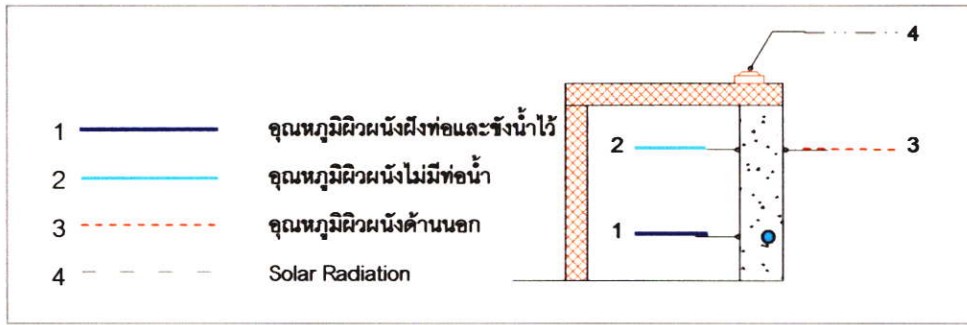


ภาพที่ 4.13 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.1.1

ผลการทดสอบพบว่า ผนังที่มีท่อน้ำฝังไว้โดยไม่มีน้ำ มีอุณหภูมิสูงกว่าผนังที่ไม่มีท่อน้ำอยู่ในช่วงเวลาที่มืด โดยมีความต่างของอุณหภูมิประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความร้อนที่ตัวท่อสะสมไว้แล้วแผ่ออกมา

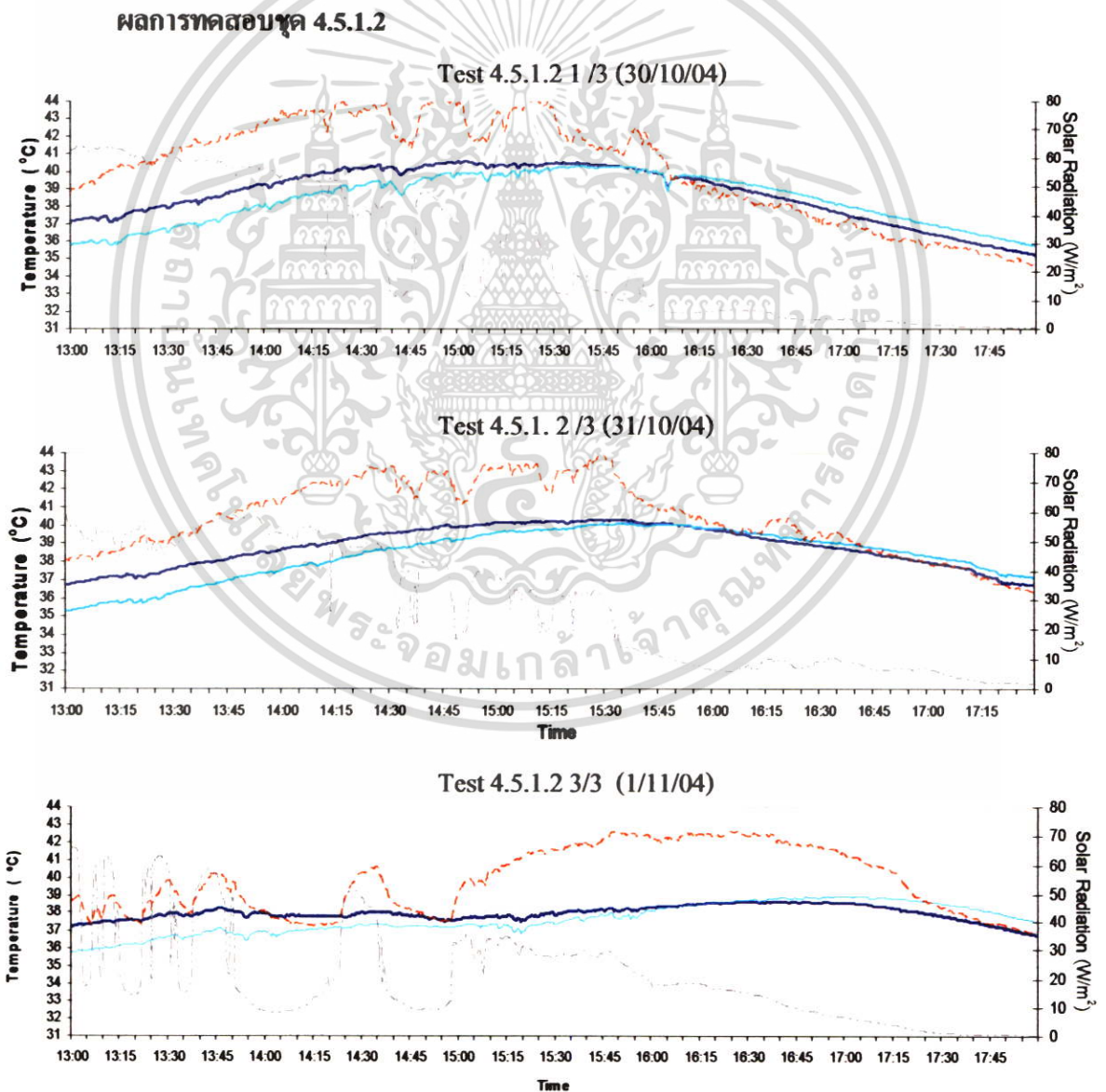
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบชุดที่ 4.5.1.2 ทดสอบระหว่างผนังไม่ฝังท่อน้ำกับผนังที่ฝังท่อและขังน้ำไว้



Legend

ภาพที่ 4.14 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.1.2



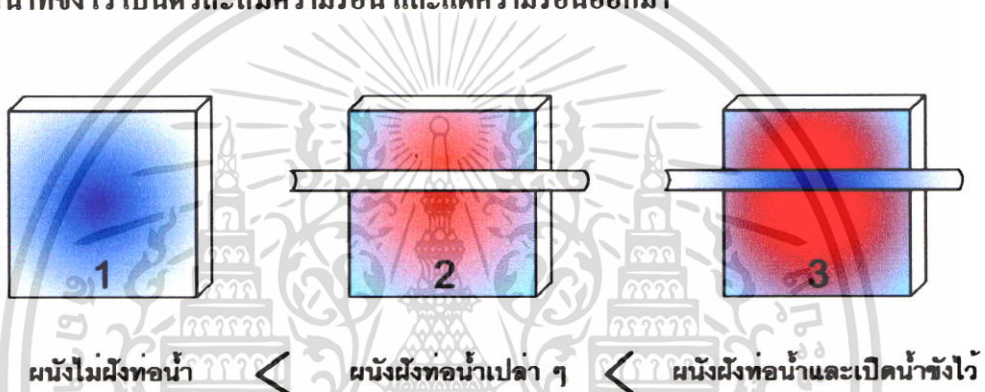
ภาพที่ 4.15 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบพบว่า ผนังที่มีท่อน้ำฝังไว้และมีน้ำขังไว้ มีอุณหภูมิสูงกว่าผนังที่ไม่มีท่อฝัง ในช่วงเวลาที่มีแดด และช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีค่ามากถึง 1.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากได้รับความร้อนจากตัวท่อและน้ำขังไว้

ผลสรุปการทดลอง 4.5.1 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผนังที่มีท่อเปล่า ๆ กับผนังที่ไม่มีท่อและผนังที่มีท่อที่ขังน้ำไว้

การทดสอบโดยการเปรียบเทียบจากผลการทดลองพบว่า ผนังที่ไม่มีท่อฝังอยู่เลยเป็นผนังที่มีอุณหภูมิสูงชันน้อยสุดเมื่อเทียบกับผนังที่มีท่อเปล่า ๆ ฝังไว้ และหากมีการขังน้ำไว้จะพบว่าผนังมีอุณหภูมิสูงชันมากกว่าที่ไม่มีน้ำขังไว้ เนื่องมาจากน้ำมีค่าความจุความร้อนสูงกว่าอากาศ จึงทำให้น้ำที่ขังไว้ เป็นตัวสะสมความร้อน และแผ่ความร้อนออกมา



ภาพที่ 4.16 สรุปผลอุณหภูมิผิวผนังด้านในของการทดลองชุด 4.5.1

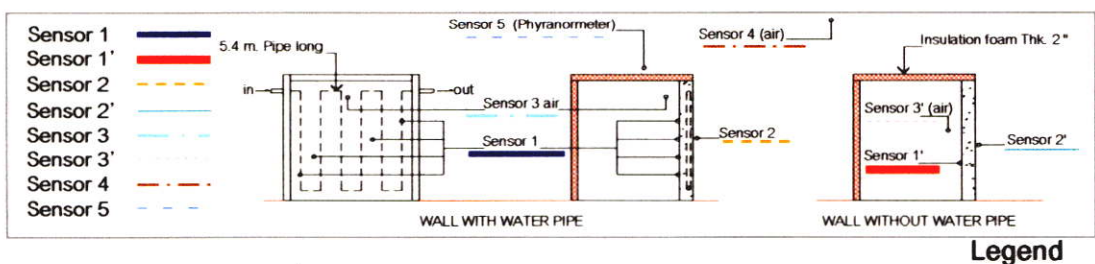
4.5.2 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผนังที่ขังน้ำไว้กับผนังที่มีการปล่อยน้ำ

วัตถุประสงค์ เปรียบเทียบผนังใคน่าจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน

สมมติฐาน ผนังที่มีการปล่อยน้ำควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้ดีกว่า

วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบ โดยการขังน้ำและปล่อยน้ำตามระยะเวลาและเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีท่อ เพื่อสังเกตค่าอุณหภูมิที่ลด โดยแยกทำการทดสอบ 2 ชุดคือ

การทดสอบชุด 4.5.2.1 การทดสอบโดยการขังน้ำไว้ในท่อ



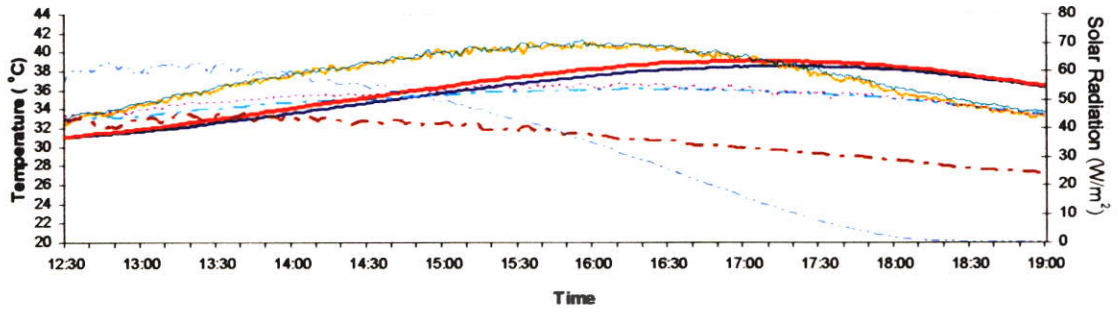
Legend

ภาพที่ 4.17 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.2.1

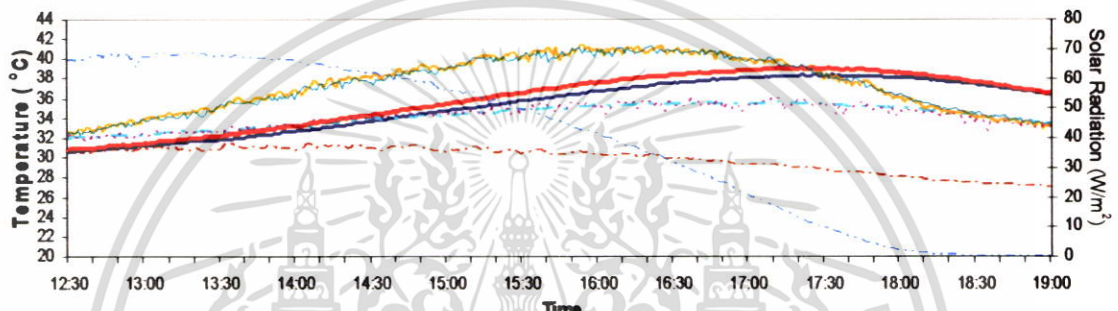
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบชุด 4.5.2.1 การทดสอบโดยการขังน้ำไว้ในท่อน้ำ

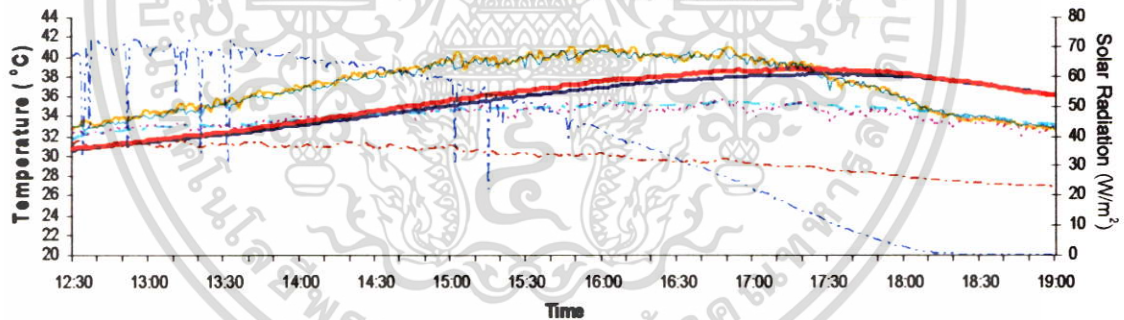
Test 4.5.2.1 1/3 (30/01/05)



Test 4.5.2.1 2/3 (3/02/05)



Test 4.5.2.1 3/3 (4/02/05)



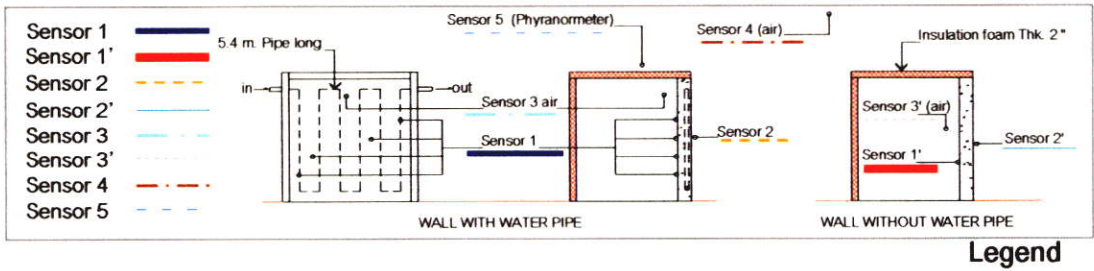
ภาพที่ 4.18 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.2.1

ผลการทดสอบพบว่า ผนังที่มีการขังน้ำไว้วัดค่าอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในของผนัง มีค่าต่ำกว่าผนังที่ไม่มีท่อน้ำ ความแตกต่างที่วัดได้มีค่าสูงสุดประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

การทดสอบชุด 4.5.2.1 การทดสอบโดยการขังน้ำและปล่อยน้ำ ตามกำหนดเวลา

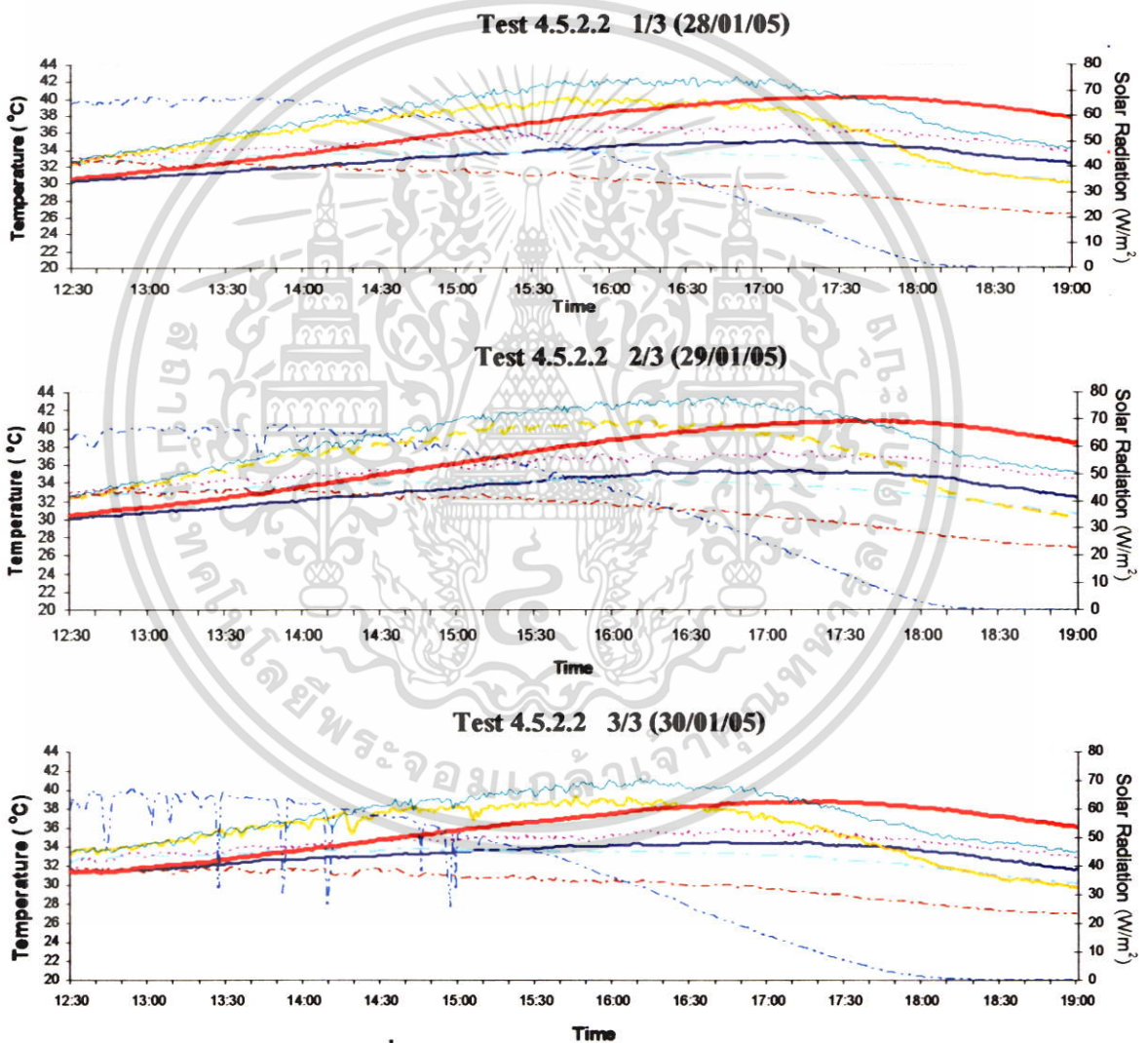
กำหนดระยะเวลาในการขังน้ำและปล่อยน้ำ คือ ขังน้ำนาน 29 นาที และปล่อยน้ำนาน 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.2.2

ผลการทดสอบชุด 4.5.2.2 การทดสอบโดยการขังน้ำและปล่อยน้ำตามกำหนดเวลา



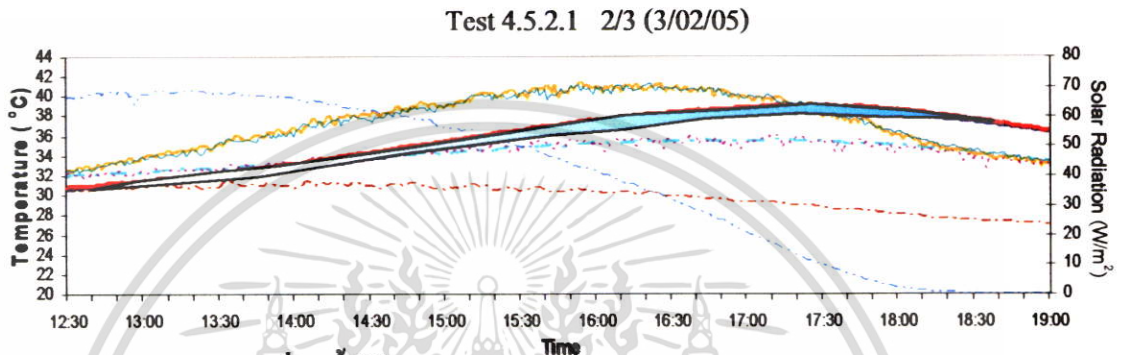
ภาพที่ 4.20 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.2.2

ผลการทดสอบพบว่า ผนังที่มีการขังน้ำและปล่อยน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด คือ ขังน้ำนาน 29 นาที และปล่อยน้ำนาน 1 นาที วิศวคณูหภูมิที่ผิวผนังด้านในของผนัง มีค่าต่ำกว่าผนังที่ไม่มีที่น้ำสูงสุดประมาณ 6 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

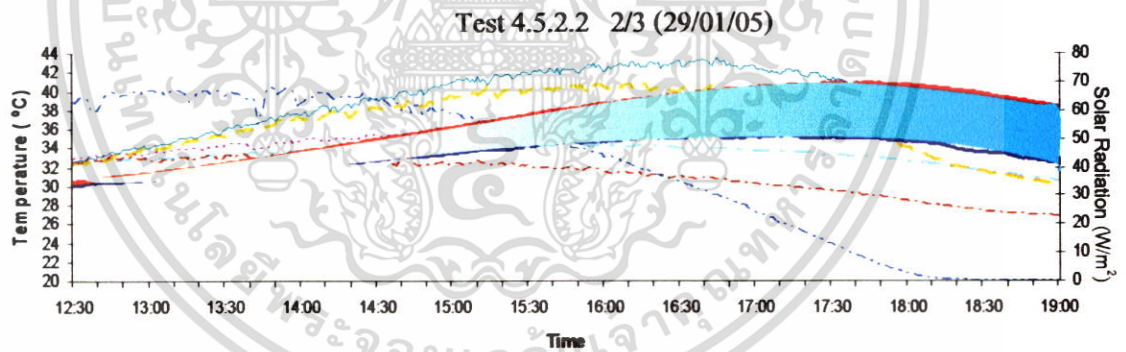
ผลสรุปการทดลอง 4.5.2 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผนังที่ขังน้ำไว้กับผนังที่มีการขังน้ำและปล่อยน้ำเป็นเวลา

การทดสอบโดยการเปรียบเทียบจากผลการทดลองพบว่า ผนังที่มีการฝังท่อน้ำและมีการขังน้ำและปล่อยน้ำตามกำหนดระยะเวลา มีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในผนังทดสอบ มีค่าลดลงมากกว่าผนังที่มีการขังน้ำไว้เฉย ๆ ซึ่งตรงกับสมมติฐาน



ผลการทดสอบ ผนังที่ขังน้ำไว้เฉย ๆ

 = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



ผลการทดสอบ ผนังที่ขังน้ำไว้และปล่อยน้ำตามกำหนดระยะเวลา

ภาพที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบ การทดลองชุด 4.5.2

4.5.3 การทดสอบการขังน้ำและปล่อยน้ำในเวลาที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ เปรียบเทียบผนังใดน่าจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน

สมมติฐาน ผนังที่ปล่อยน้ำดี ควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้มากที่สุด

วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบการปล่อยน้ำตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ

4.5.3.1 ขังน้ำนาน 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที

4.5.3.2 ขังน้ำนาน 19 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที

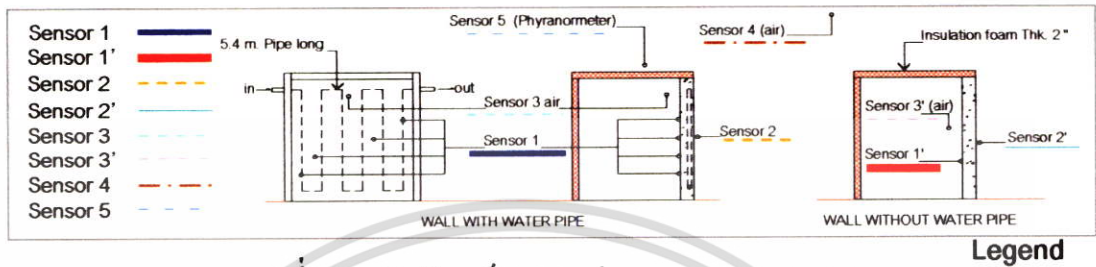
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3.3 ชงน้ำนาน 29 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที

โดยที่แต่ละการทดลองเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีท่อและอุณหภูมิน้ำที่

ปล่อยออกมาด้วย

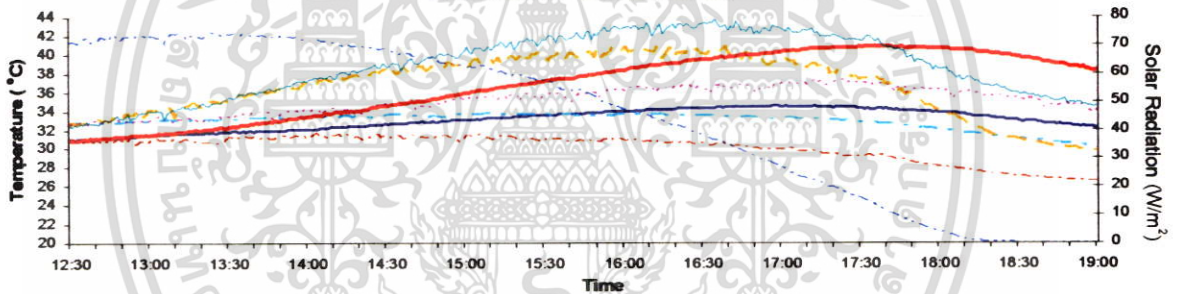
4.5.3.1 ชงน้ำนาน 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที



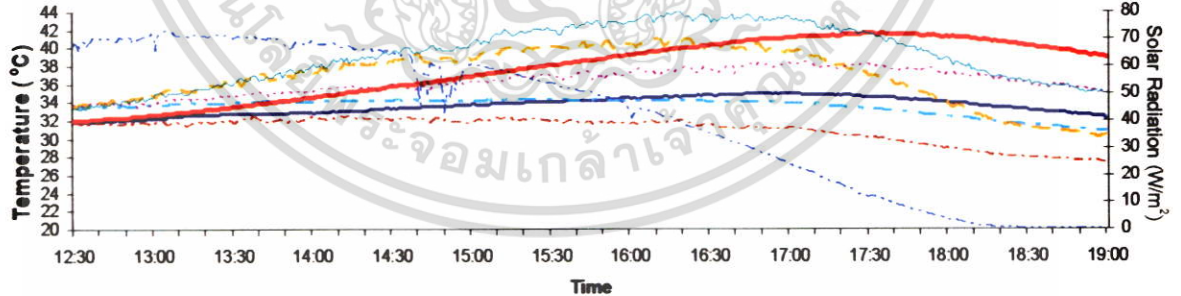
ภาพที่ 4.22 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.3.1

ผลการทดสอบชุด 4.5.3.1 การทดสอบโดยการชงน้ำนาน 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที

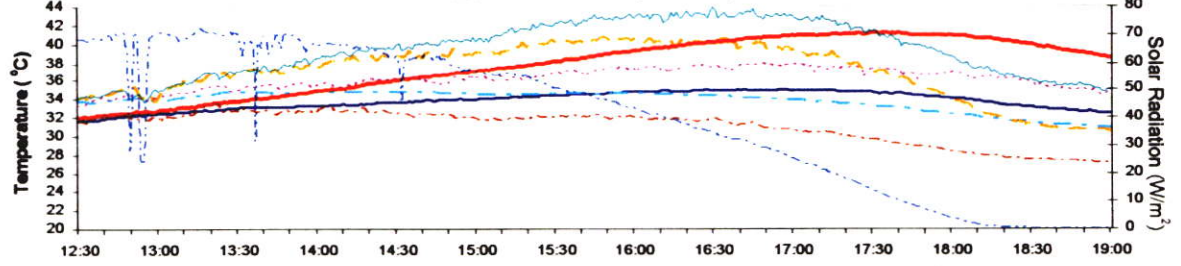
Test 4.5.3.1 1/3 (5/02/05)



Test 4.5.3.1 2/3 (7/02/05)



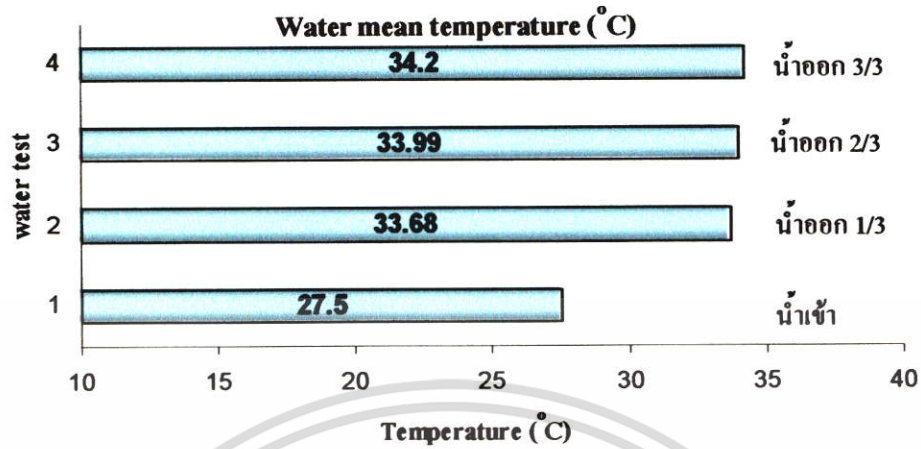
Test 4.5.3.1 3/3 (8/02/05)



ภาพที่ 4.23 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.3.1 ชงน้ำนาน 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ปล่อยเข้าและออกของการทดลอง 4.5.3.1

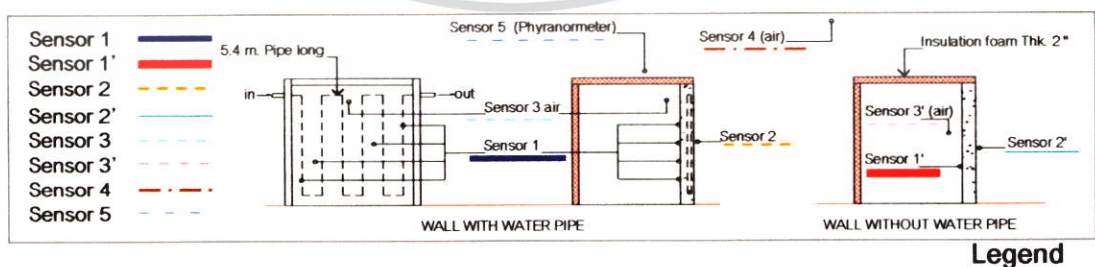


ภาพที่ 4.24 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.3.1

ผลการทดสอบโดยการชั่งน้ำหนักานาน 14:30 นาที ปล่อยน้ำ 30 วินาที

- อุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังระหว่าง ผนังที่มีท่อ- ไม่มีท่อ มีอุณหภูมิต่างกัน สูงสุด 7.3 องศาเซลเซียส
- ได้น้ำในปริมาณ 51 ลิตร / ชั่วโมง
- อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ปล่อยเข้าในระบบอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส
- ได้อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ปล่อยออกมาที่ 33.9 องศาเซลเซียส

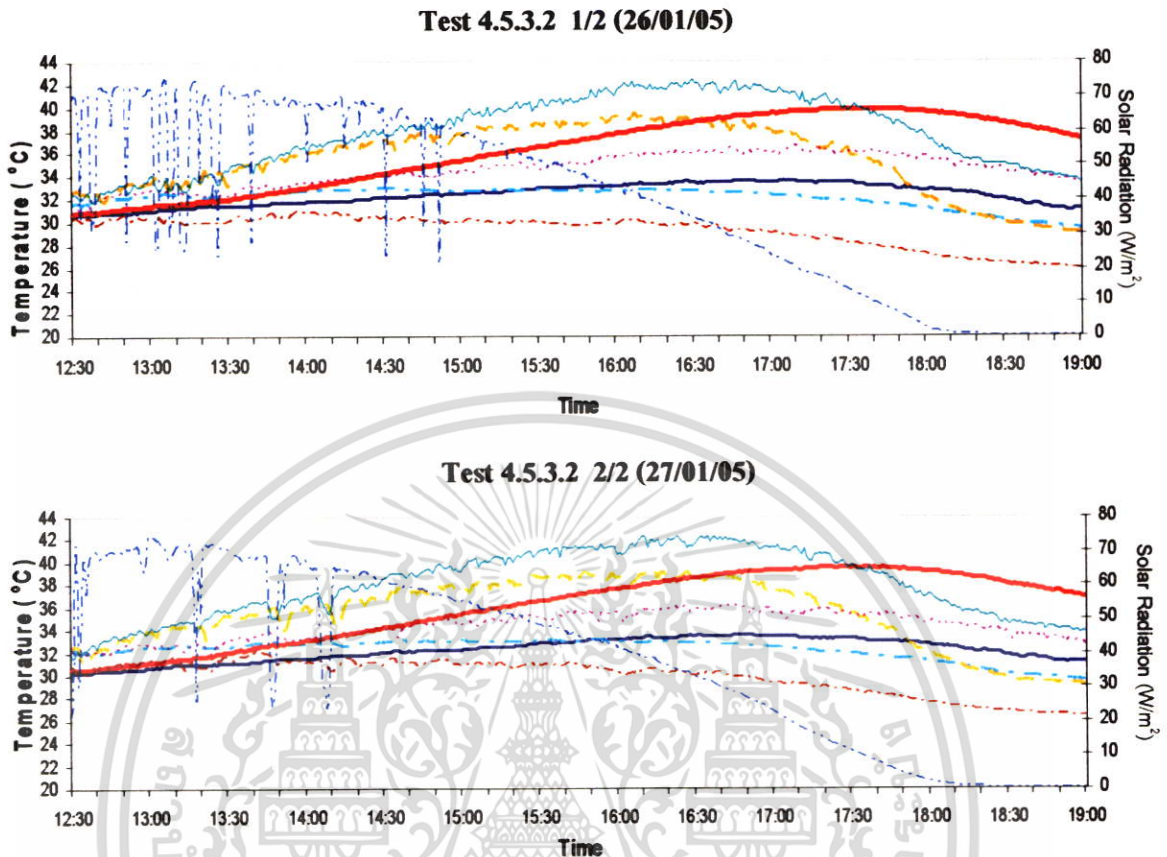
4.5.3.2 ชั่งน้ำหนักานาน 19 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที



ภาพที่ 4.25 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.3.2

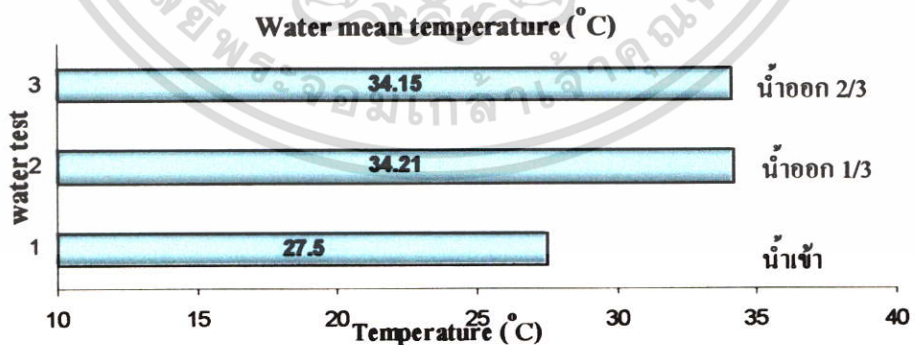
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบชุด 4.5.3.2 การทดสอบโดยการขังน้ำนาน 19 นาที ปล่อน้ำ 1 นาที



ภาพที่ 4.26 กราฟ ผลการทดลองชุด 4.5.3.2 ขังน้ำนาน 19 นาที ปล่อน้ำ 1 นาที

ผลการทดสอบ เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำที่ปล่อน้ำเข้าและออกของการทดลอง 4.5.3.2



ภาพที่ 4.27 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.3.2

ผลการทดสอบโดยการขังน้ำนาน 19 นาที ปล่อน้ำ 1 นาที

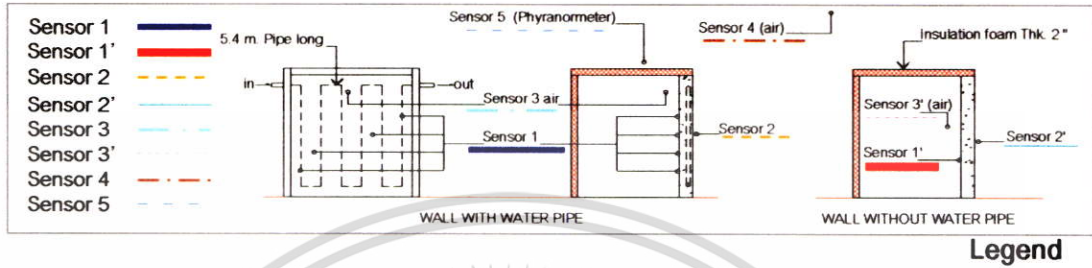
- อุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังระหว่าง ผนังที่มีท่อ-ไม่มีท่อ มีอุณหภูมิต่าง

กันสูงสุด 6.8 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

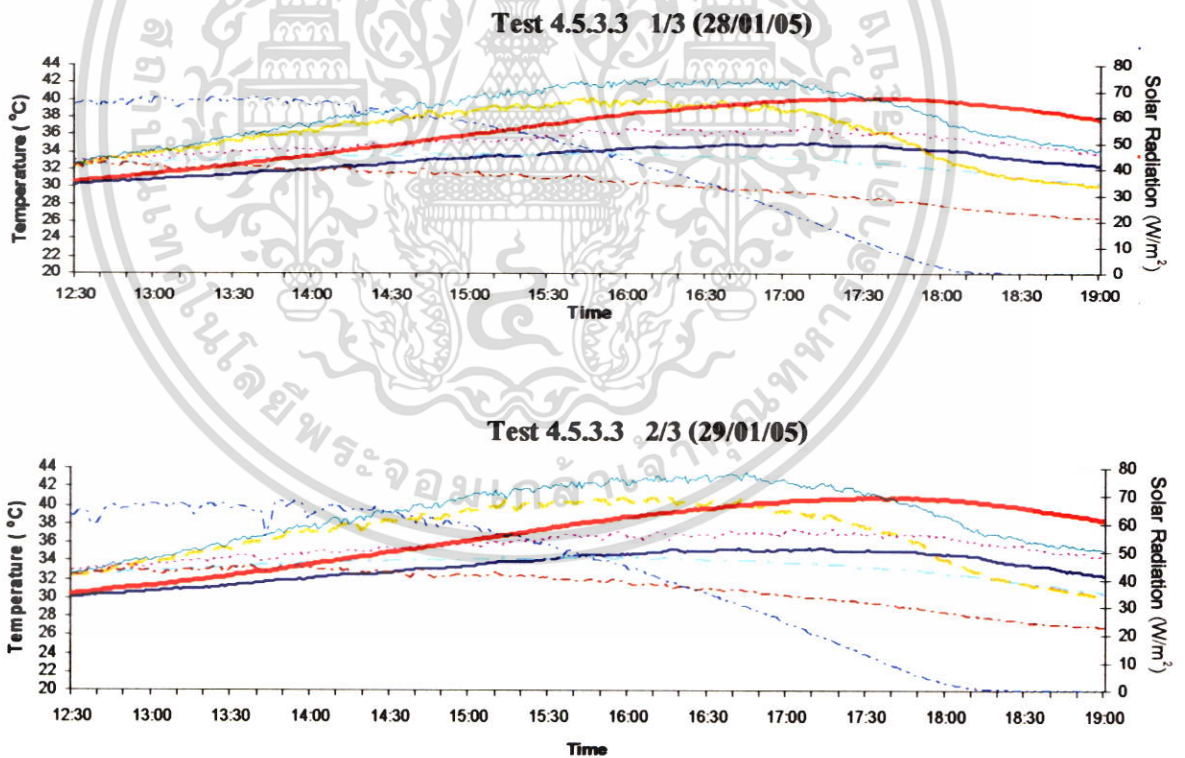
- ได้น้ำในปริมาณ 76.5 ลิตร / ชั่วโมง
- อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ปล่อยเข้าในระบบอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส
- ได้อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ปล่อยออกมาที่ 34.21 องศาเซลเซียส

4.5.3.3 ชงน้ำนาน 29 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที

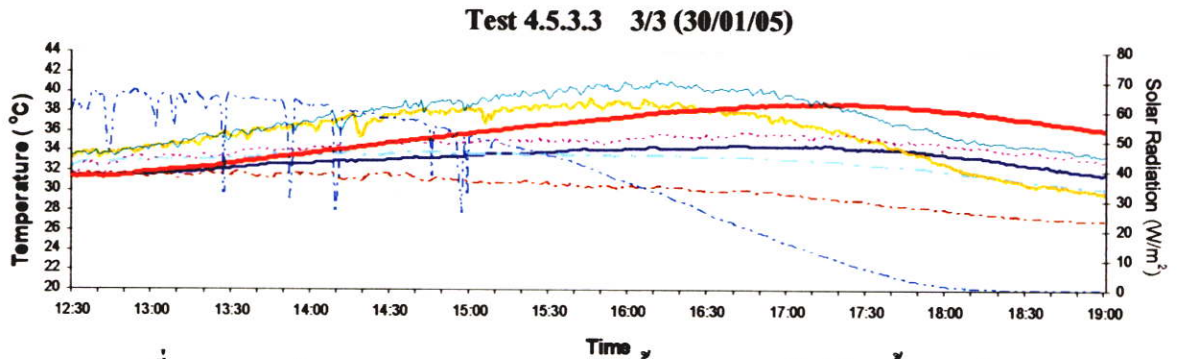


ภาพที่ 4.28 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.3.3

ผลการทดสอบชุด 4.5.3.3 การทดสอบโดยการชงน้ำนาน 29 นาที ปล่อยน้ำ 1 นาที

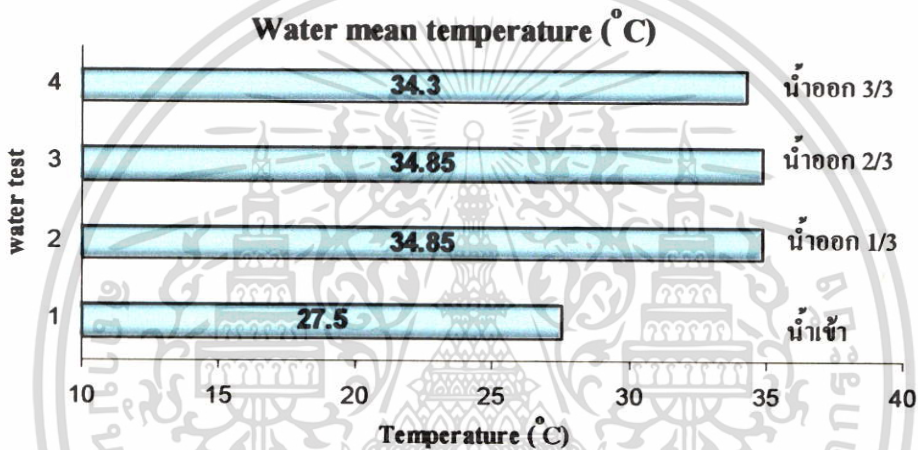


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.3.3 ชั่งน้ำหนัก 29 นาที ปล่อน้ำ 1 นาที

ผลการทดสอบ เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำที่ปล่อยเข้าและออกของการทดลอง 4.5.3.3



ภาพที่ 4.30 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกของการทดลอง 4.5.3.3

ผลการทดสอบโดยการชั่งน้ำหนัก 29 นาที ปล่อน้ำ 1 นาที

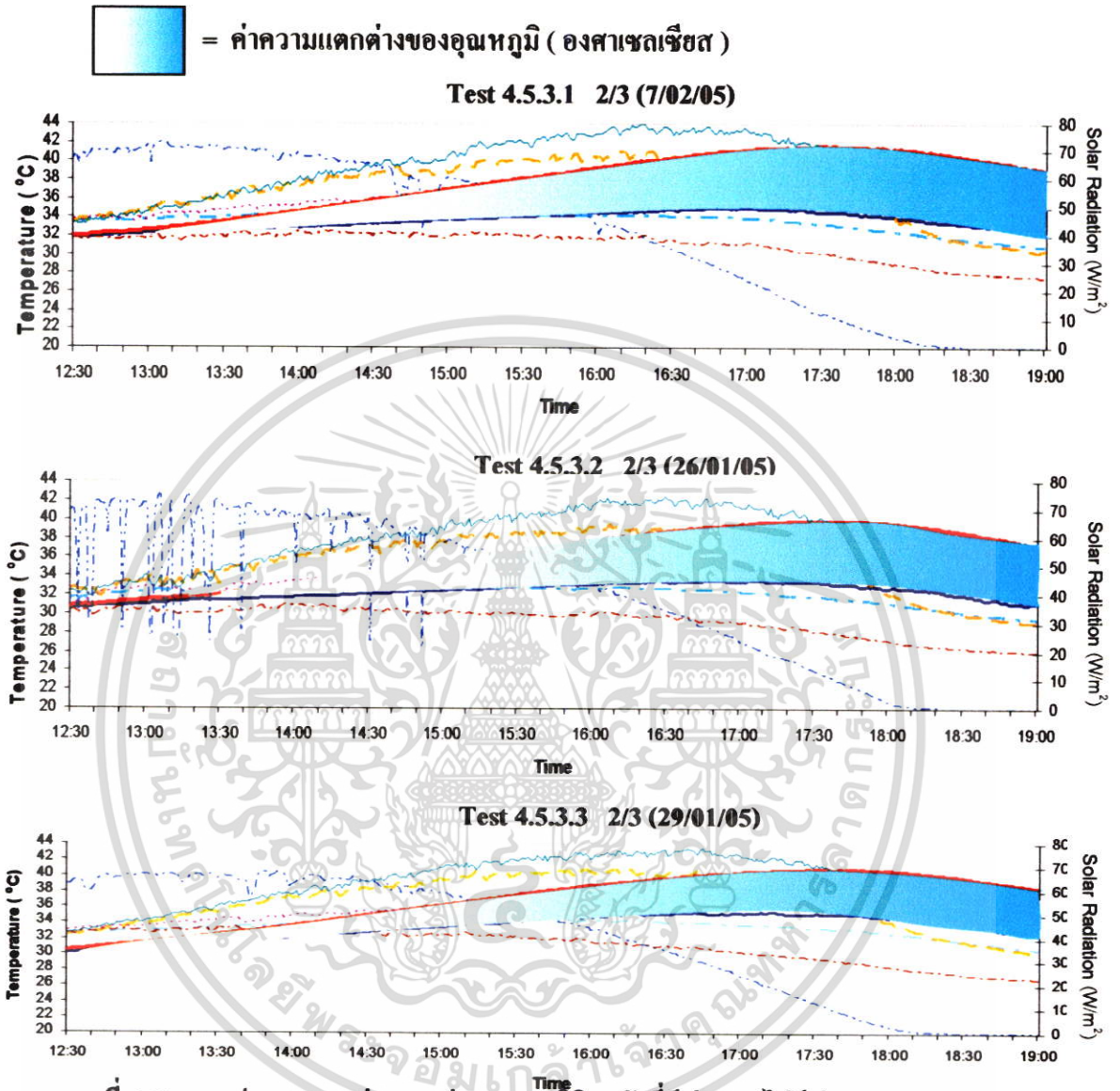
- อุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังระหว่าง ผนังที่มีท่อ-ไม่มีท่อ มีอุณหภูมิ ลดลงต่างกัน สูงสุด 5.5 องศาเซลเซียส
- ได้น้ำในปริมาณ 51 ลิตร / ชั่วโมง
- อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ปล่อยเข้าในระบบอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส
- ได้อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ปล่อยออกมาที่ 34.85 องศาเซลเซียส

ผลสรุปการทดลอง 4.5.3 การทดสอบการชั่งน้ำและปล่อน้ำในเวลาที่แตกต่างกัน

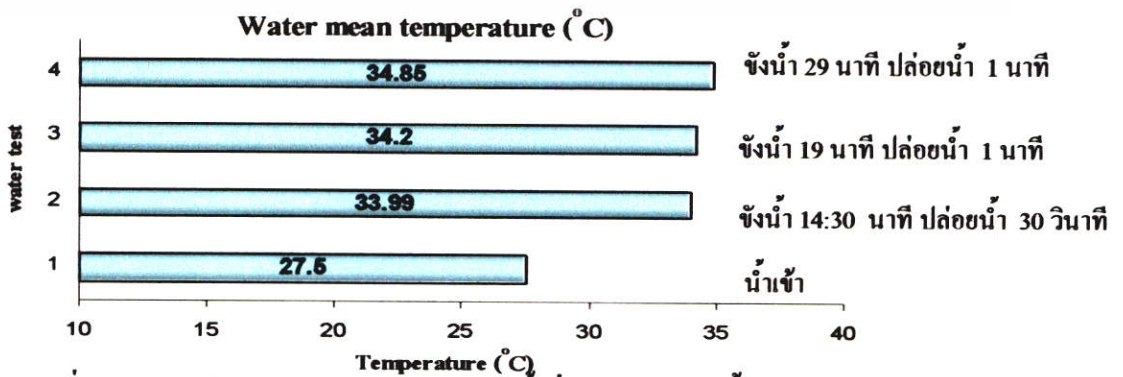
การทดสอบโดยการเปรียบเทียบจากผลการทดลองพบว่า การชั่งน้ำ 14 นาที 30 วินาที และ ปล่อน้ำ 30 วินาที ตามการทดลองที่ 4.5.3.1 มีผลทำให้อุณหภูมิจาน้ำภายในลดลงได้ 7.3 องศาเซลเซียส ตามภาพ 4.31 และความร้อนของน้ำที่ปล่อยออกมา มีอุณหภูมิสูงสุด 33.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนที่วัดได้ต่ำสุดใน 3 การทดสอบนี้ อันเนื่องมาจากเวลาในการชั่งน้ำ หากชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น่านขึ้นอุณหภูมิของน้ำก็จะยิ่งสูงขึ้นตาม แต่จากปริมาณความร้อนของน้ำที่ปล่อยออกมา ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ในการใช้ทำน้ำอุ่นต่อไป



ภาพที่ 4.31 กราฟความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ การทดลอง 4.5.3



ภาพที่ 4.32 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ปล่อยออกมา ทั้ง 3 วัน ของการทดลอง 4.5.3

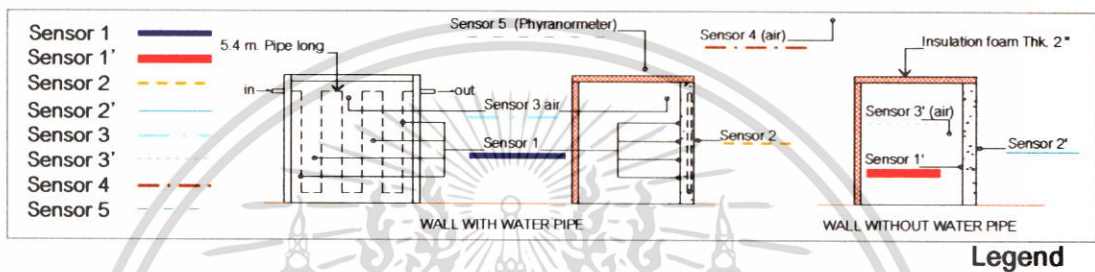
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับการแข่งขันนี้หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 การทดสอบกรณีปล่อยน้ำไหลตลอด

วัตถุประสงค์ เปรียบเทียบกับผลการขังน้ำ 14 นาที 30 วินาทีและปล่อยน้ำ 30 วินาที ว่าเทคนิคไหนจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน

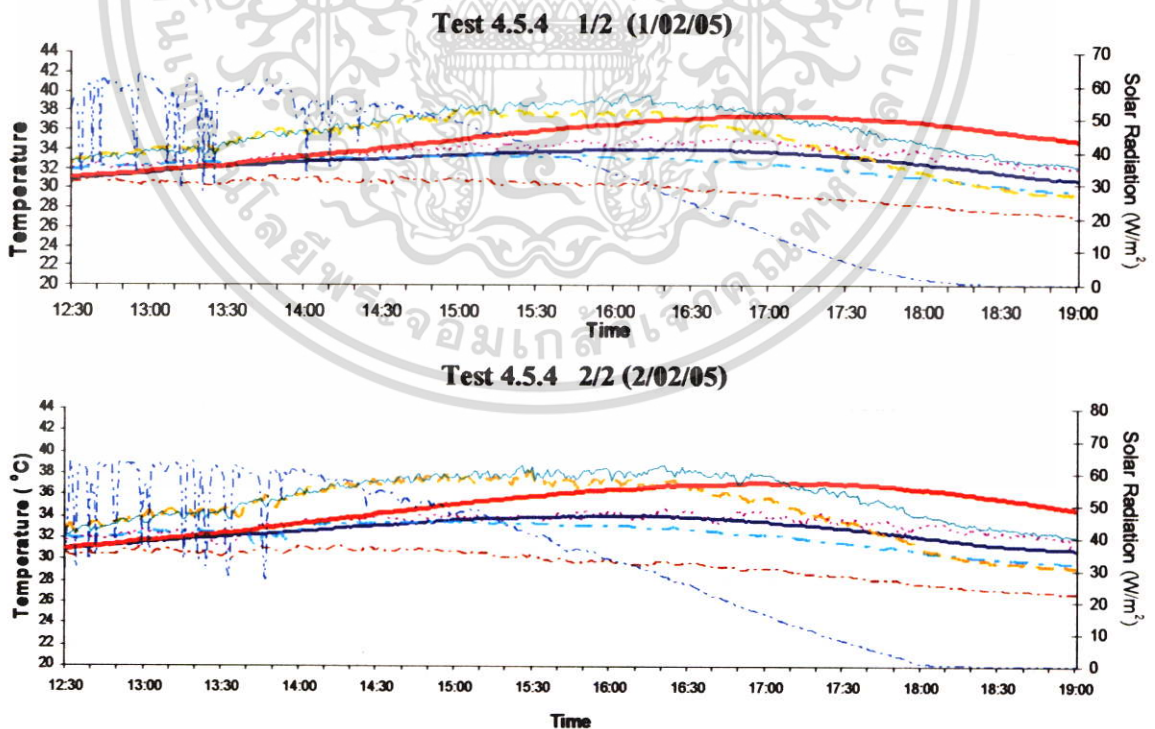
สมมติฐาน ผนังที่ปล่อยน้ำตลอดควรจะสามารถลดอุณหภูมิของผนังได้มากกว่า

วิธีการทดสอบ ทดสอบเปรียบเทียบโดยการปล่อยน้ำในปริมาณน้อย ๆ แต่ไหลตลอดเวลา กำหนดให้ปล่อยน้ำในอัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที



ภาพที่ 4.33 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.4

ผลการทดสอบชุด 4.5.4 การทดสอบการปล่อยน้ำไหลตลอดเวลา



ภาพที่ 4.34 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.4 การทดสอบการปล่อยน้ำไหลตลอดเวลา

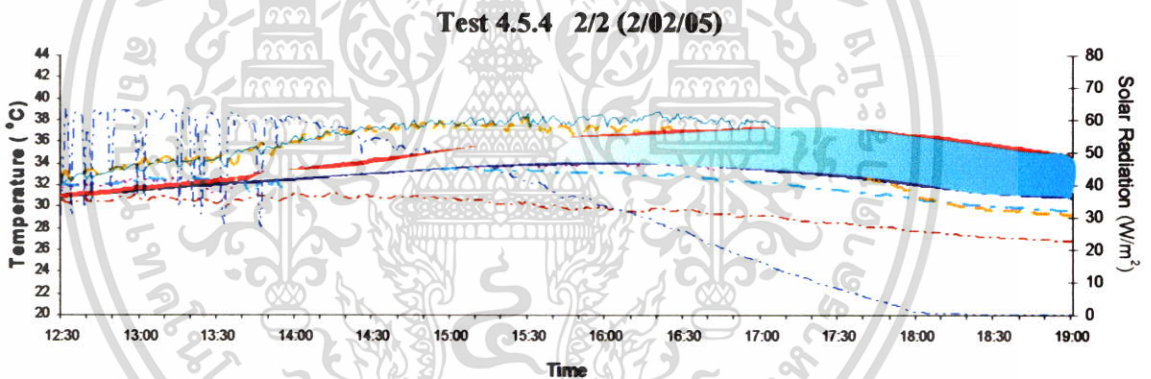
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ เปิดน้ำไหลผ่านตลอดเวลาด้วยปริมาณ 0.5 ลิตร/นาที

- อุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังระหว่าง ผนังที่มีท่อและ ไม่มีท่อ มีอุณหภูมิต่างกันสูงสุดอยู่ระหว่าง 3 – 3.5 องศาเซลเซียส
- ได้น้ำในปริมาณ 30 ลิตร / ชั่วโมง
- อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ปล่อยเข้าในระบบอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส

ผลสรุปการทดลอง 4.5.4 การทดสอบการเปิดน้ำไหลตลอดเวลาด้วยปริมาณ 0.5 ลิตร / นาที

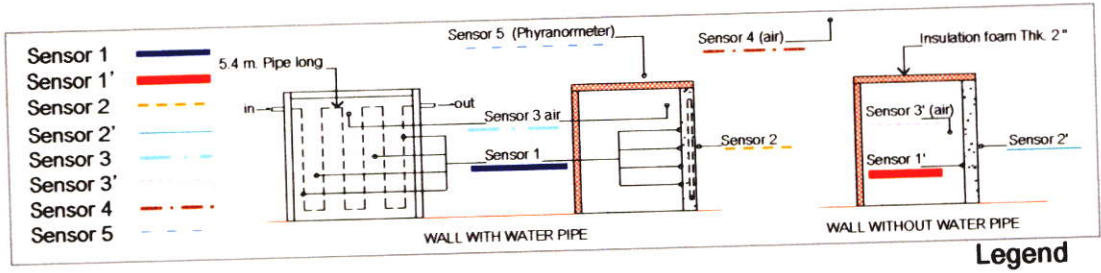
การทดสอบโดยการเปรียบเทียบจากผลการทดลองพบว่า เปิดน้ำไหลตลอดเวลาด้วยปริมาณ 0.5 ลิตร/นาที ให้ผลในการลดความร้อนที่ผิวด้านในของผนังทดสอบได้น้อยกว่าผลของการทดลองที่ 4.5.3 เนื่องจากปริมาณน้ำที่ปล่อยออกน้อยเกินไป และจากการทดลองพบว่า น้ำที่ปล่อยออกมามีปริมาณความร้อนที่สูงขึ้นเพียง 1-1.5 องศาเซลเซียส และหากปล่อยน้ำที่ปริมาณมากกว่าหรือแรงกว่าการทดลองนี้ อาจทำให้น้ำที่ปล่อยออกมามีปริมาณความร้อนที่ลดลงไปอีก เนื่องจากน้ำเคลื่อนที่เร็วเกินกว่าที่จะเกิดการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 4.35 ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวผนังที่มีท่อและ ไม่มีท่อ ในการทดสอบการปล่อยน้ำไหลตลอดเวลา

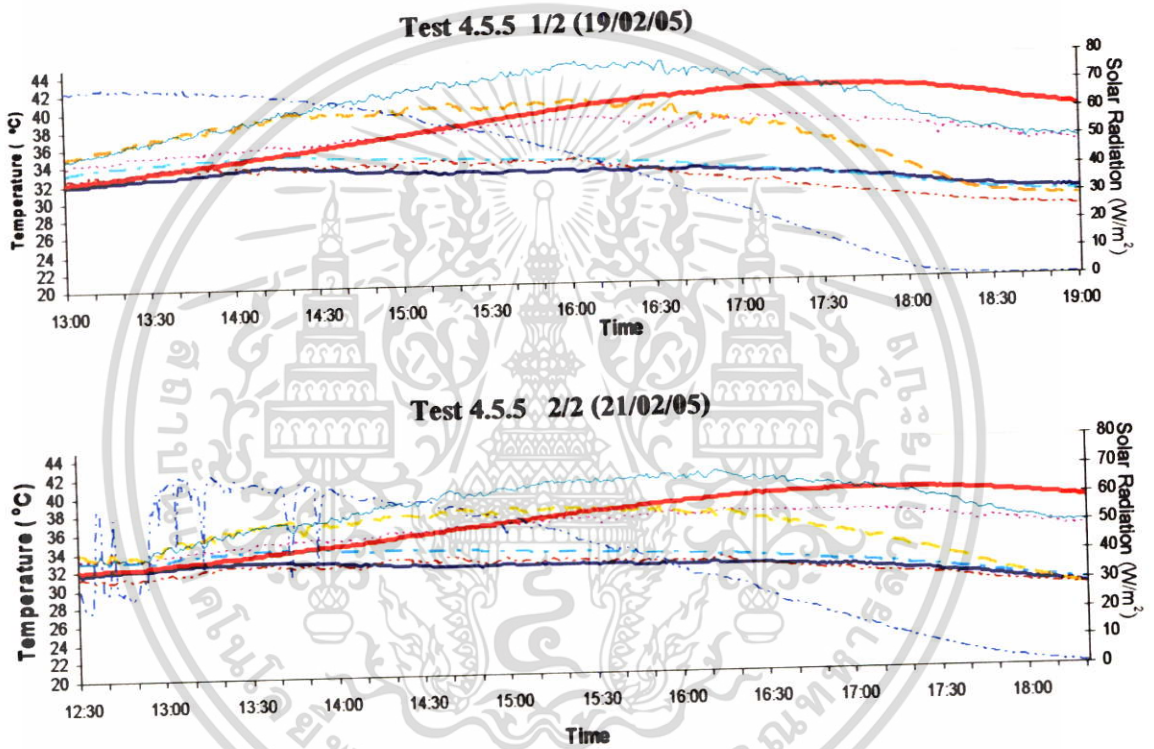
4.5.5 การทดสอบเปรียบเทียบเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้ามีอุณหภูมิต่ำลง

- วัตถุประสงค์** เปรียบเทียบกับผลข้อ 3.4.5.3 ว่าเทคนิคไหนจะลดความร้อนได้ดีกว่ากัน
- สมมติฐาน** น้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าควรลดอุณหภูมิของผนังได้มากกว่า
- วิธีการทดสอบ** ทดสอบโดยปล่อยน้ำตามผลการทดลอง 4.5.3.1 โดยปรับสภาพน้ำที่จะปล่อยเข้าให้มีอุณหภูมิต่ำประมาณ 19.5 องศาเซลเซียส

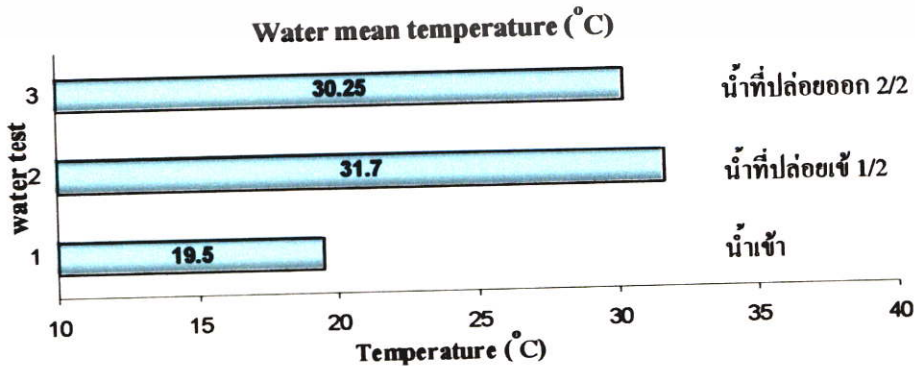


ภาพที่ 4.36 สัญลักษณ์ของกราฟ การทดลองชุด 4.5.5

ผลการทดสอบชุด 4.5.5 การทดสอบเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้าลดลง



ภาพที่ 4.37 กราฟผลการทดลองชุด 4.5.5 ทดสอบกรณีที่อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้าลดลง



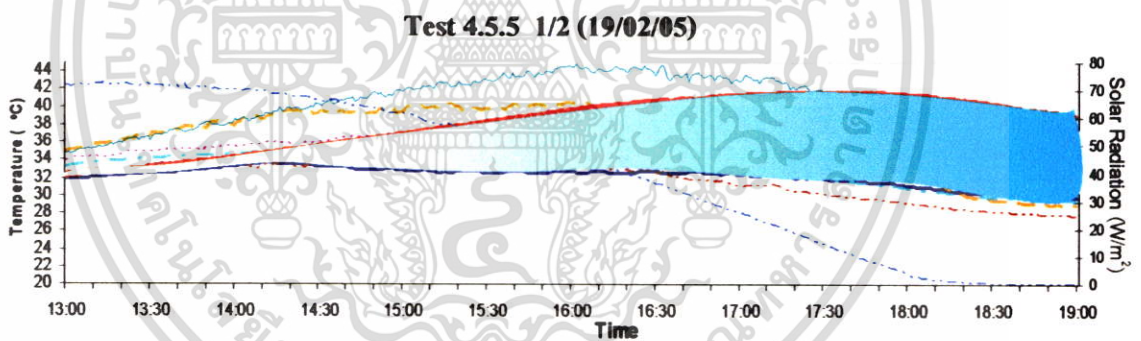
เอกสารนี้เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยพลังงานเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน เมื่อผู้เผยแพร่เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ 4.5.5 กรณีเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้ามีอุณหภูมิลดลง

- อุณหภูมิที่ผิวค้ำในของผนังระหว่าง ผนังที่มีท่อและ ไม่มีท่อมีอุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส
- ได้น้ำในปริมาณ 51 ลิตร / ชั่วโมง
- อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ปล่อยเข้าในระบบอยู่ที่ 19.5 องศาเซลเซียส
- ได้อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ปล่อยออกมาที่ 31.7 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของผนังจะเย็นเร็วยิ่งขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำที่ขัง

ผลสรุปการทดลอง 4.5.5 การทดสอบเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยเข้าลดลง

การทดสอบโดยการเปรียบเทียบจากผลการทดลองพบว่า ผลในการลดความร้อนที่ผิวค้ำในของผนังทดสอบสามารถลดได้มากกว่าผลของการทดลองที่ 4.5.3 เนื่องจากความเย็นของน้ำที่ปล่อยเข้าไปทำให้ผนังได้รับความเย็นจากน้ำเย็นในปริมาณมาก ผนังจึงสามารถลดความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาได้มากถึง 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยออกมามีความร้อนที่สูงกว่าน้ำปกติที่ไม่ใช่น้ำเย็นเล็กน้อย แต่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากแรกเข้าที่ปล่อยเข้าถึง 12.2 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.39 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิผิวผนังที่มีท่อและ ไม่มีท่อ เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าลดลง

4.5.6 การทดสอบเปรียบเทียบเมื่อผนังมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบในกรณีพื้นที่ของผนังและความยาวของท่อที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะยังลดลงคงที่หรือไม่หากยังขังน้ำและปล่อยน้ำด้วยเวลาเท่าเดิม ตามผลการทดลอง 4.5.3

สมมติฐาน การลดลงของอุณหภูมิผิวผนังจะน้อยลงเมื่อพื้นที่ผนังใหญ่ขึ้น และความยาวของท่อเพิ่มขึ้น

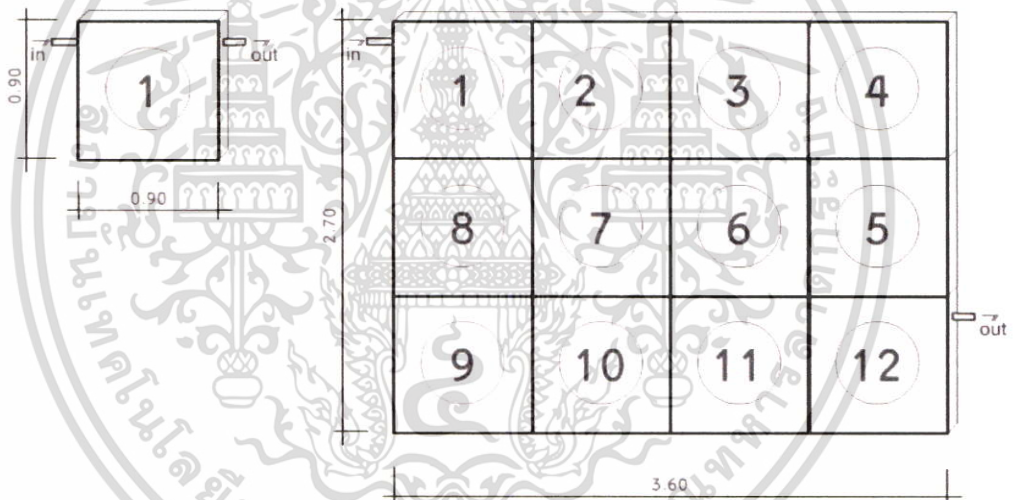
วิธีการทดสอบ 1. หาขนาดของผนังขนาดเล็กและขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตรวจสอบความยาวท่อที่ใช้ฝังในผนังทั้งผนังเล็กและผนังใหญ่
3. คำนวณหาเวลาในการปล่อยน้ำของผนังแต่ละขนาดจนหมดผนัง
4. ปล่อยน้ำตามเวลาที่คำนวณได้ หาค่าของอุณหภูมิตัววัดได้ของผนังตัวแรกและตัวสุดท้าย แล้วนำมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตั้งผนัง
5. นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีท่อและผนังผิวนเล็ก

ผลการทดสอบชุด 4.5.6

1. เปรียบเทียบและหาขนาดของผนังขนาดเล็กและขนาดใหญ่



ภาพที่ 4.40 การเปรียบเทียบขนาดของผนังเพื่อใช้สำหรับการทดสอบ

2. ตรวจสอบความยาวท่อที่ใช้ฝังในท่อน้ำของผนังเล็กและผนังใหญ่

ผนังขนาดเล็กมีขนาดความยาวท่อทั้งหมด	5.40	เมตร
ผนังขนาดใหญ่มีความยาวท่อทั้งหมด	64.8	เมตร

3. คำนวณหาเวลาในการปล่อยน้ำของผนังแต่ละขนาดจนหมดผนัง

เวลาที่ปล่อยน้ำจนหมดของผนังเล็ก	7	วินาที
เวลาที่ปล่อยน้ำจนหมดของผนังใหญ่	84	วินาที

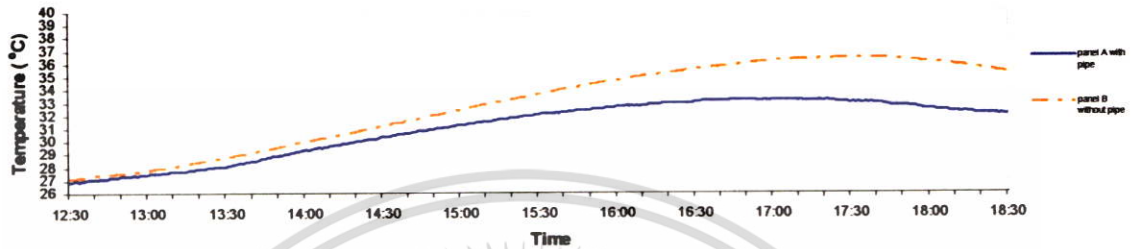
ดังนั้น ผนังตัวแรกใช้เวลาขังน้ำ 14 นาที 30 วินาที แล้วปล่อยน้ำ 7 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

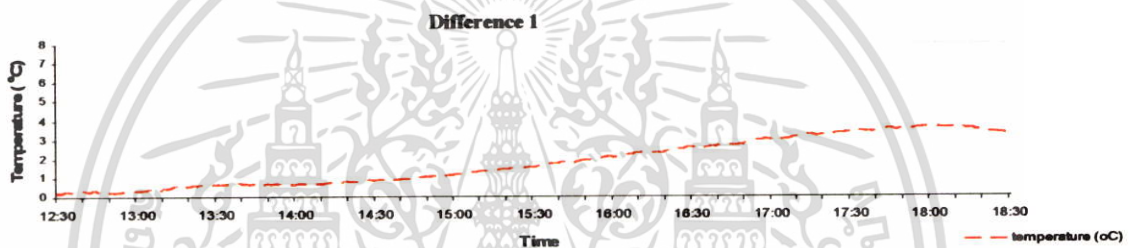
ผนังตัวสุดท้ายใช้เวลาขังน้ำ 15 นาที 17 วินาที แล้วปล่อยน้ำ 7 วินาที

4. นำค่าอุณหภูมิที่ได้ของผนังตัวแรกและตัวสุดท้ายมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิ ทั้งผนังและนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีท่อ

ผลการทดสอบ 4.5.6.1 ทดสอบเปรียบเทียบเมื่อผนังมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

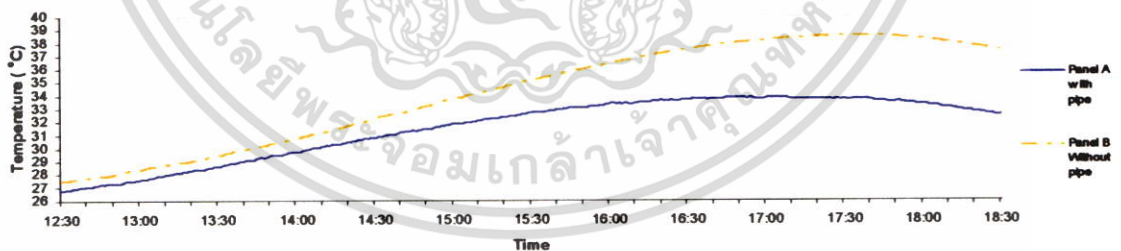


ภาพที่ 4.41 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยผิวผนังด้านในของผนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (5,8/3/05)

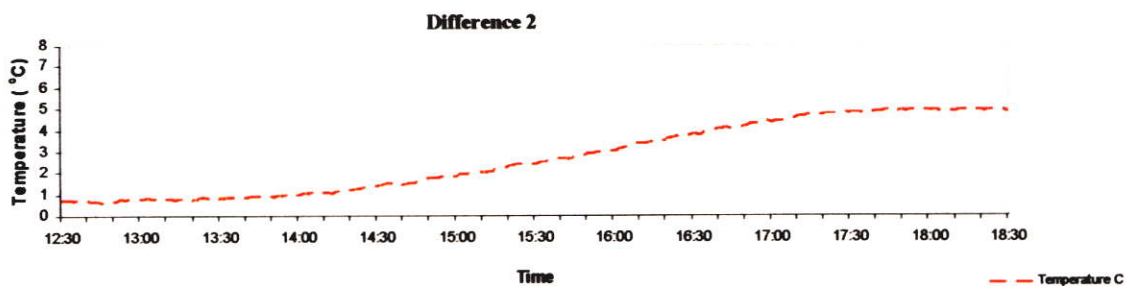


ภาพที่ 4.42 กราฟความต่างของอุณหภูมิที่ผิวผนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (5,8/3/05)

ผลการทดสอบ 4.5.6.2 ทดสอบเปรียบเทียบเมื่อผนังมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4.43 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยผิวผนังด้านในของผนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (6,7/3/05)

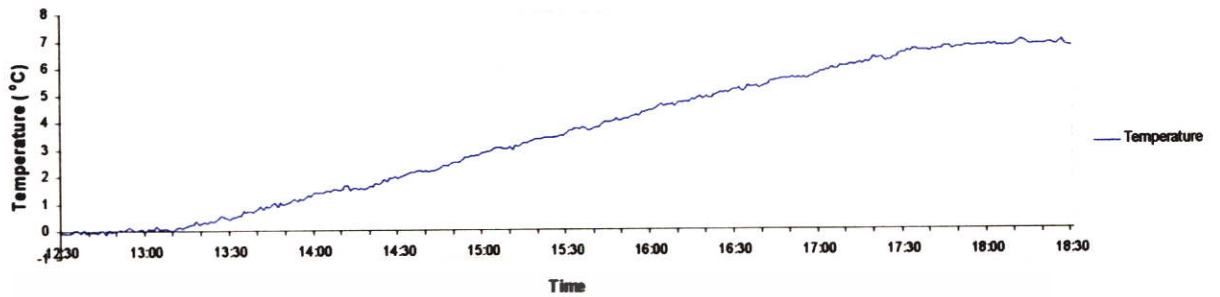


ภาพที่ 4.44 กราฟความต่างของอุณหภูมิที่ผิวผนังใหญ่ ที่มีท่อ และที่ไม่มีท่อ (6,7/3/05)

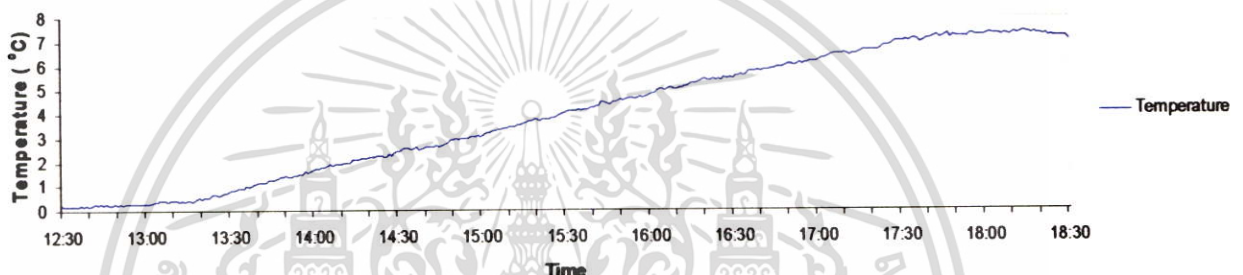
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบโฆษณาหรือการคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ลดของการทดลอง 4.5.3.1

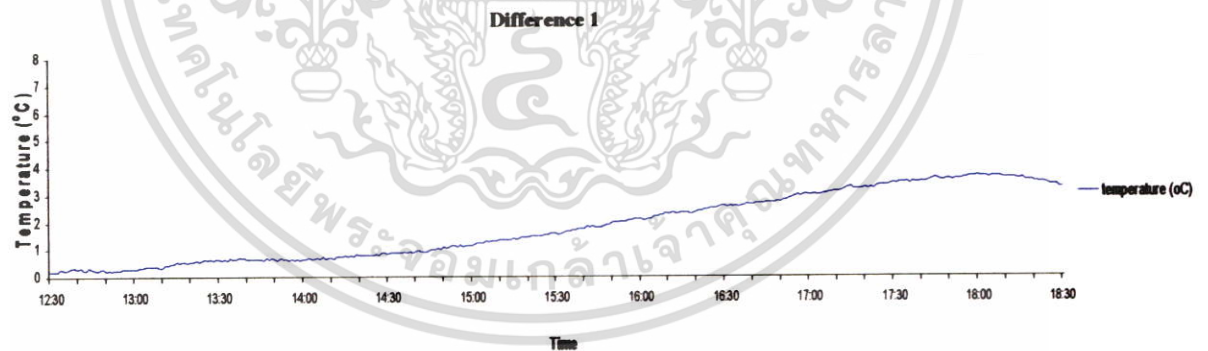
Test 4.5.3.1 1/3 (5/02/05)



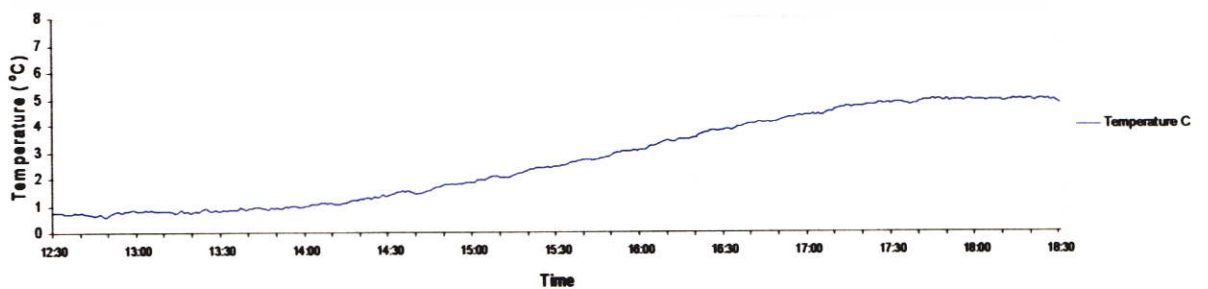
Test 4.5.3.1 2/3 (7/02/05)



ภาพที่ 4.45 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิของการทดลองที่ 4.5.3.1 ที่มีท่อและที่ไม่มีท่อ (5,7/2/05)



Difference 2



ภาพที่ 4.46 กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิของการทดลองที่ 4.5.6 ที่มีท่อและที่ไม่มีท่อ (7.1, 7.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ 4.5.6 กรณีเมื่อผนังมีขนาดใหญ่และปริมาณของท่อน้ำที่ใช้ฝังมีความยาวเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่สามารถลดได้ของผนังขนาดใหญ่ประมาณ 4-5 องศาเซลเซียส โดยที่มีแนวโน้มลดลงจากผนังเล็กที่ทำการทดสอบในการทดลองที่ 4 ประมาณ 2 - 2.4 องศาเซลเซียส หรือลดลง 32.2 % เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพของผนังขนาดเล็กที่สามารถลดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การประเมินและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผนังภายนอกอาคาร ด้วยวิธีการฝังท่อในผนัง สามารถอธิบายและพิสูจน์ข้อเท็จจริงได้จากการทดสอบ ซึ่งมีผลในการช่วยลดอุณหภูมิของผนังภายนอกอาคารทางด้านทิศตะวันตก จากการที่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาบ่าย โดยผลการทดสอบสามารถประเมินผลและวิเคราะห์ผลจากการทดสอบต่าง ๆ ตามสมมติฐานและวิธีการทดลองได้ดังนี้

5.1 ประเภทของผนังอาคารที่เหมาะสมกับเทคนิคและการวิจัย

จากการวิเคราะห์ รูปแบบของผนังควรเป็นผนังคอนกรีตหล่อ เนื่องมาจากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างท่อน้ำกับเนื้อผนังคอนกรีตหล่อ มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่าผนังชนิดอื่น อันจะทำให้ผนังมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนไปยังท่อน้ำที่ฝังไว้ได้ดีที่สุด

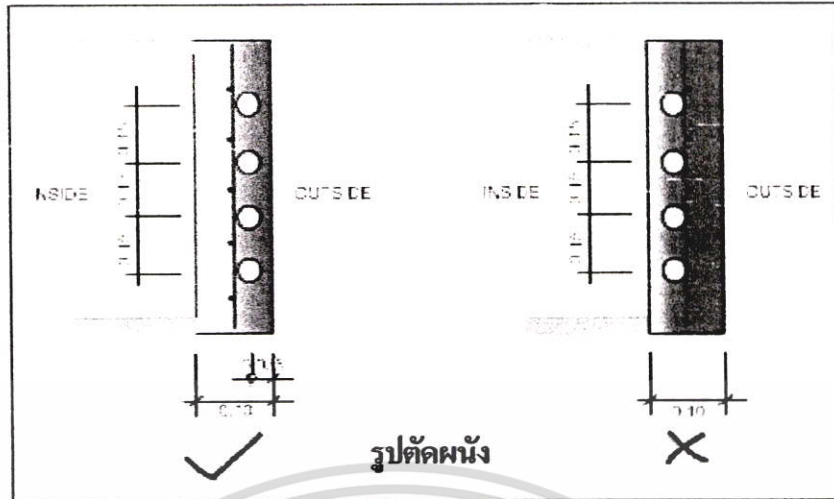
5.2 คุณสมบัติของท่อน้ำที่นำมาใช้

จากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า “ท่อเหล็กชุบสังกะสี” มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำมาใช้ในการช่วยลดการส่งผ่านความร้อนได้ดี โดยลักษณะของท่อที่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นท่อเนื้อบางที่มีความแข็งแรงสูง หาซื้อได้ตามร้านวัสดุก่อสร้างทั่วไป ราคาไม่แพง ส่วนวัสดุอีกสองประเภทที่นำมาวิเคราะห์คือ ท่อพลาสติกหรือท่อ PVC ที่มีราคาถูกและหาซื้อง่าย แต่คุณสมบัติในการนำความร้อนไม่ดีพอ และท่ออีกชนิดคือ ท่อทองแดง เป็นท่อที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดีที่สุดแต่มีราคาแพงและไม่แข็งแรงเท่ากับท่อเหล็ก

5.3 ระยะความห่างของท่อน้ำที่ใช้ฝังในผนัง

จากการทดสอบ 4.3 พบว่า ระยะห่างของท่อที่ใช้กับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้วและความหนาของผนังคอนกรีต 10 เซนติเมตรนั้นไม่ควรห่างกันเกิน 15 เซนติเมตร (วัดจากกึ่งกลางท่อ) ซึ่งจะทำให้การลดปริมาณความร้อนรอบๆ ท่อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และควรฝังท่อน้ำไว้บริเวณด้านที่ใกล้กับผิวนอกของผนังอาคารโดยวัดห่างจากผิวนอกกับกึ่งกลางท่อมีระยะโดยประมาณ 3.5 เซนติเมตรจากด้านที่แสงแดดตกกระทบ ซึ่งจะสามารถช่วยป้องกันไม่ให้ผนังมีการสะสมความร้อนของผนังคอนกรีตมาก ดังภาพ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

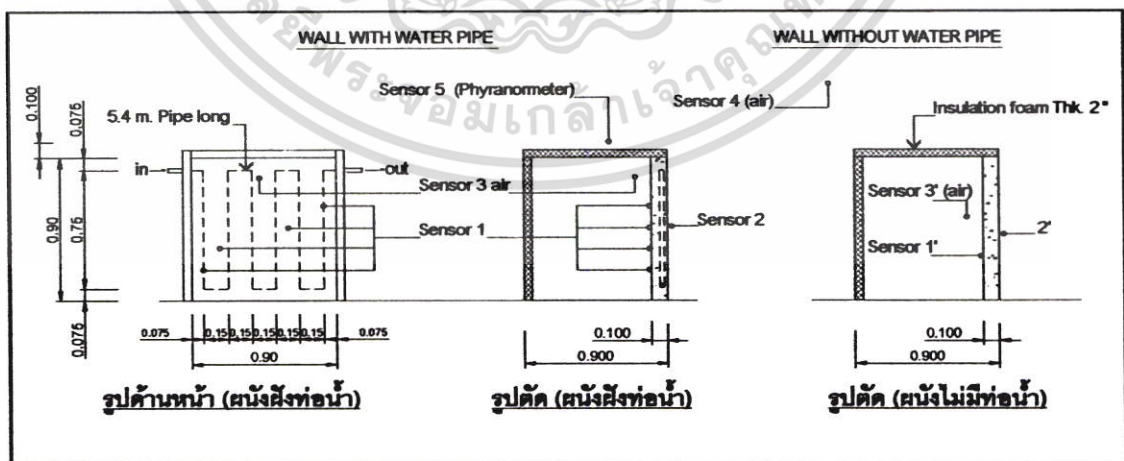


ภาพที่ 5.1 รูปแบบและระยะในการฝังท่อน้ำไว้ในผนัง

5.4 การออกแบบการจัดวางแนวท่อน้ำและรูปทรงของผนัง

จากการทดสอบหาระยะห่างของท่อน้ำ เราสามารถกำหนดรูปแบบการจัดวางระยะห่างของท่อน้ำได้ตามผลการทดสอบ โดยมีหลักในการออกแบบคือ ต้องเป็นผนังรูปแบบหล่อสำเร็จพร้อมที่จะนำไปประกอบใช้งานได้จริง (Modular system) ทำให้สามารถพิจารณาออกแบบรูปทรงของผนังได้คือ

5.3.1 รูปแบบผนังสำหรับใช้ทำการทดสอบ

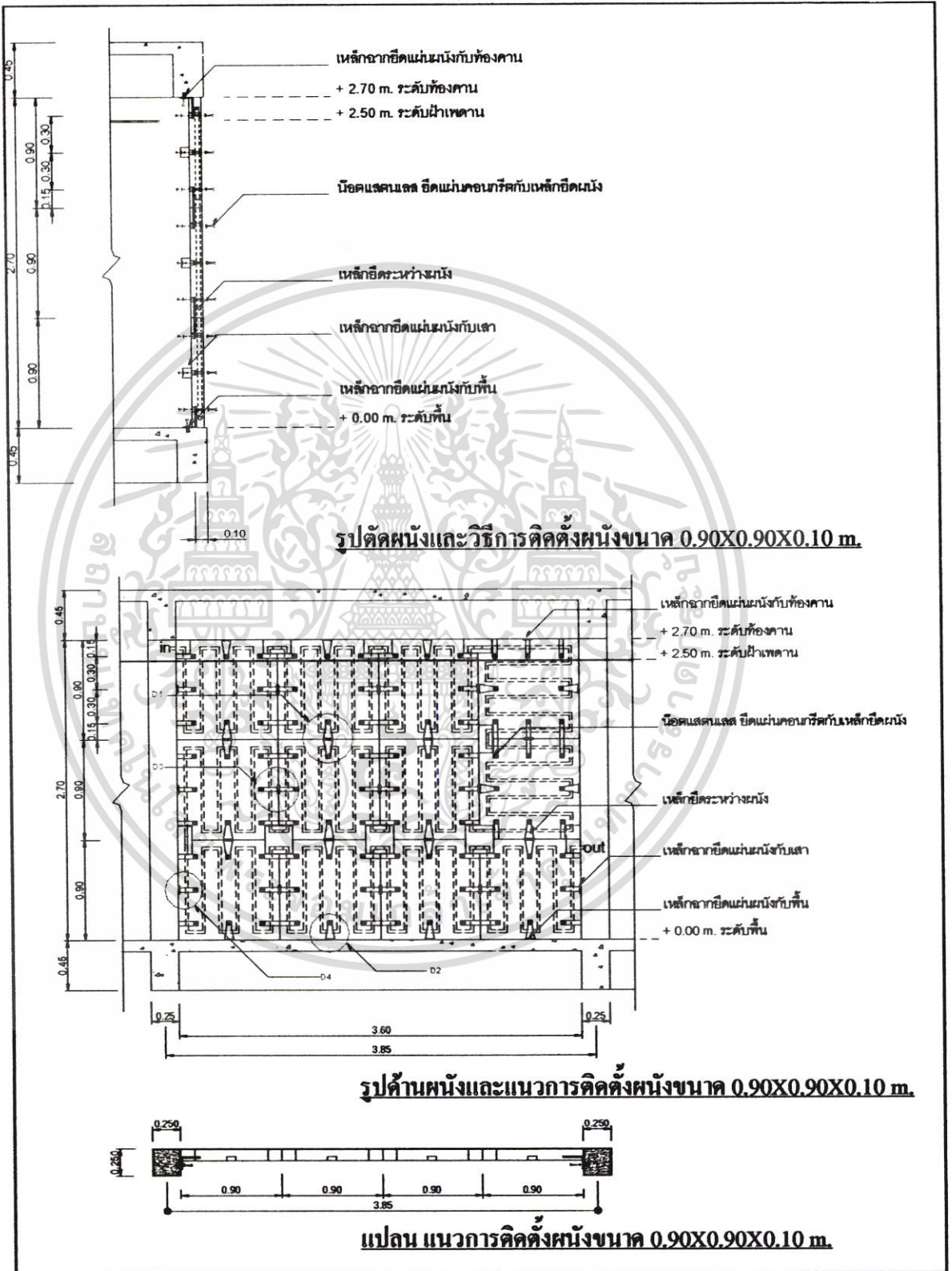


ภาพที่ 5.2 รูปแบบผนังสำหรับการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

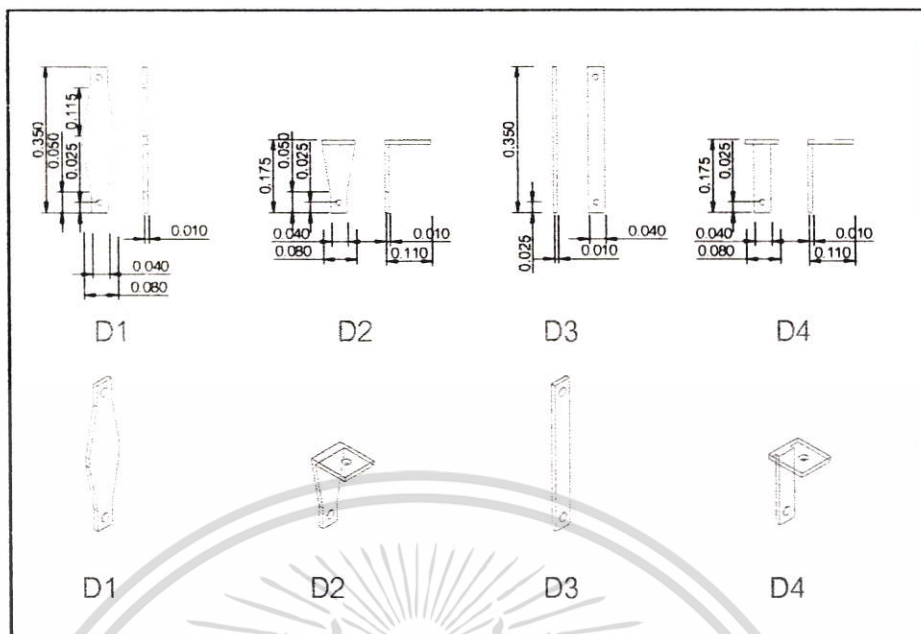
5.3.2 รูปแบบผนังที่นำมาประกอบติดตั้งเป็นผืนใหญ่

รูปแบบที่ 1 ผนัง ขนาด 0.90 x 0.90 หนา 0.10 เมตร จำนวน 12 ผืน มาเรียงต่อกันตามรูป

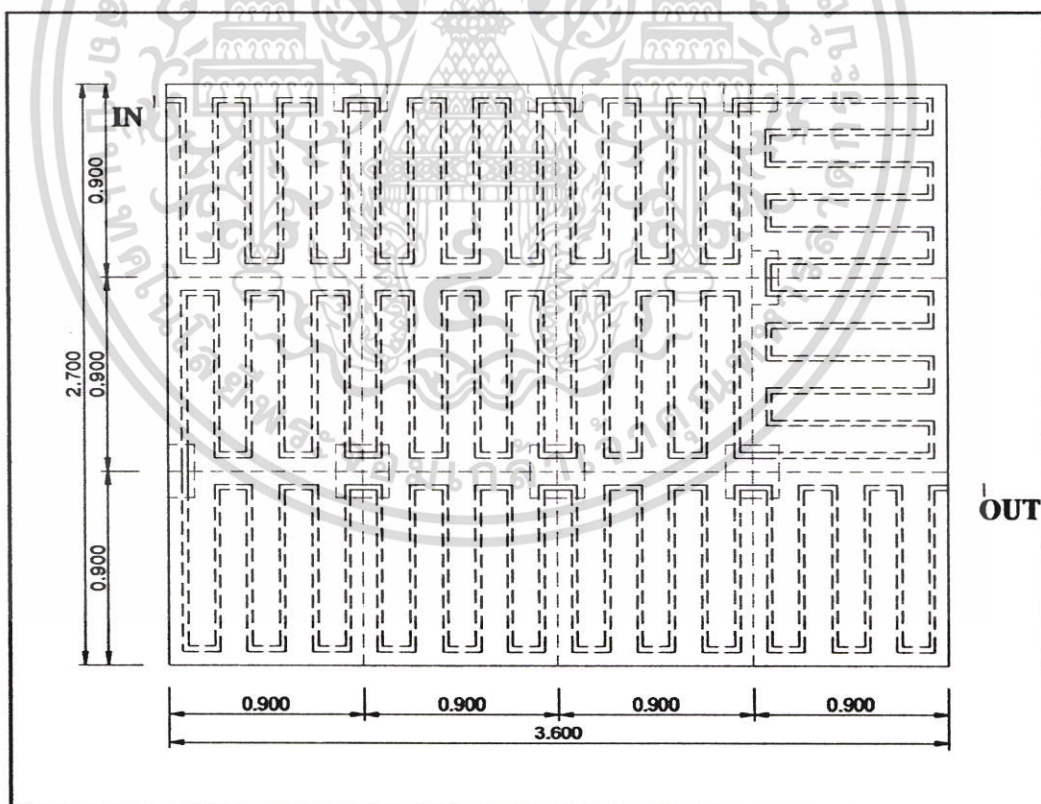


ภาพที่ 5.3 รูปแบบการติดตั้งผนังให้เป็นผนังขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

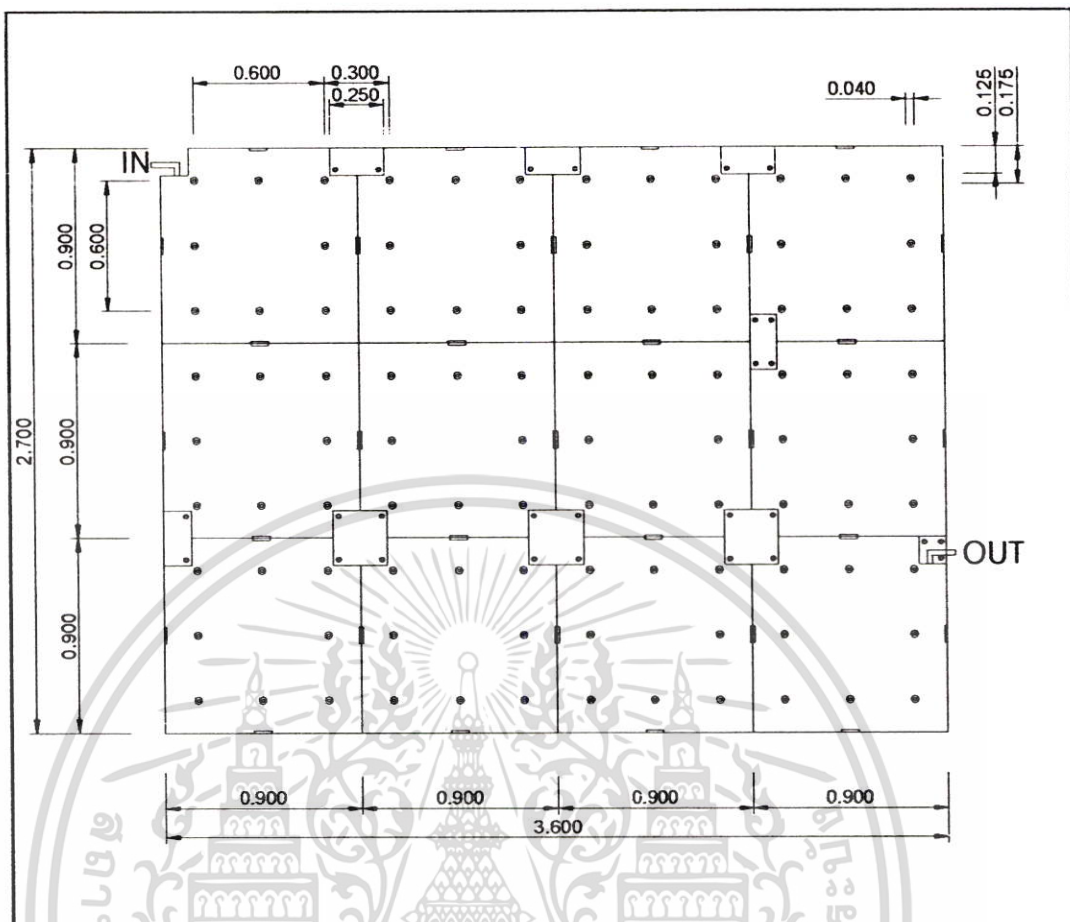


ภาพที่ 5.4 รูปแบบอุปกรณ์สำหรับประกอบและติดตั้งผนัง

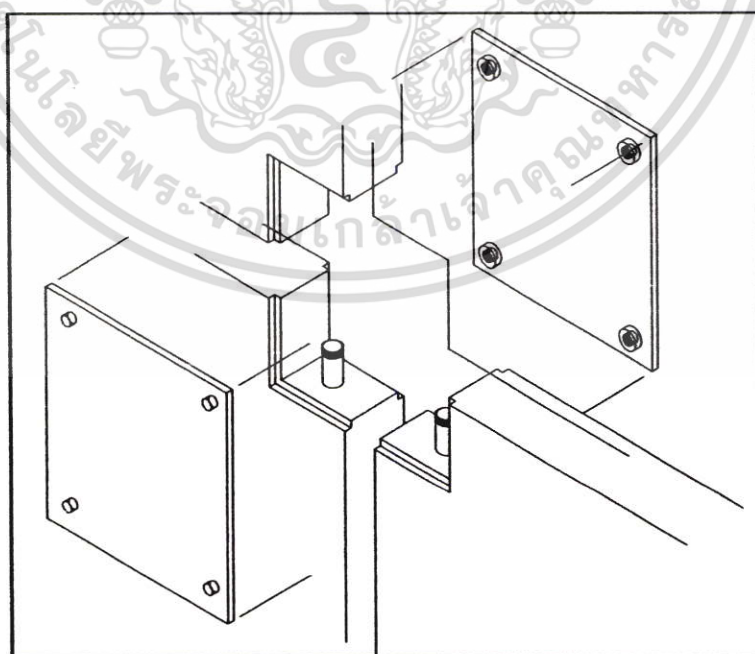


ภาพที่ 5.5 รูปแบบแนวท่อน้ำและการติดตั้งท่อน้ำในผนังที่เป็นผนังขนาดใหญ่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

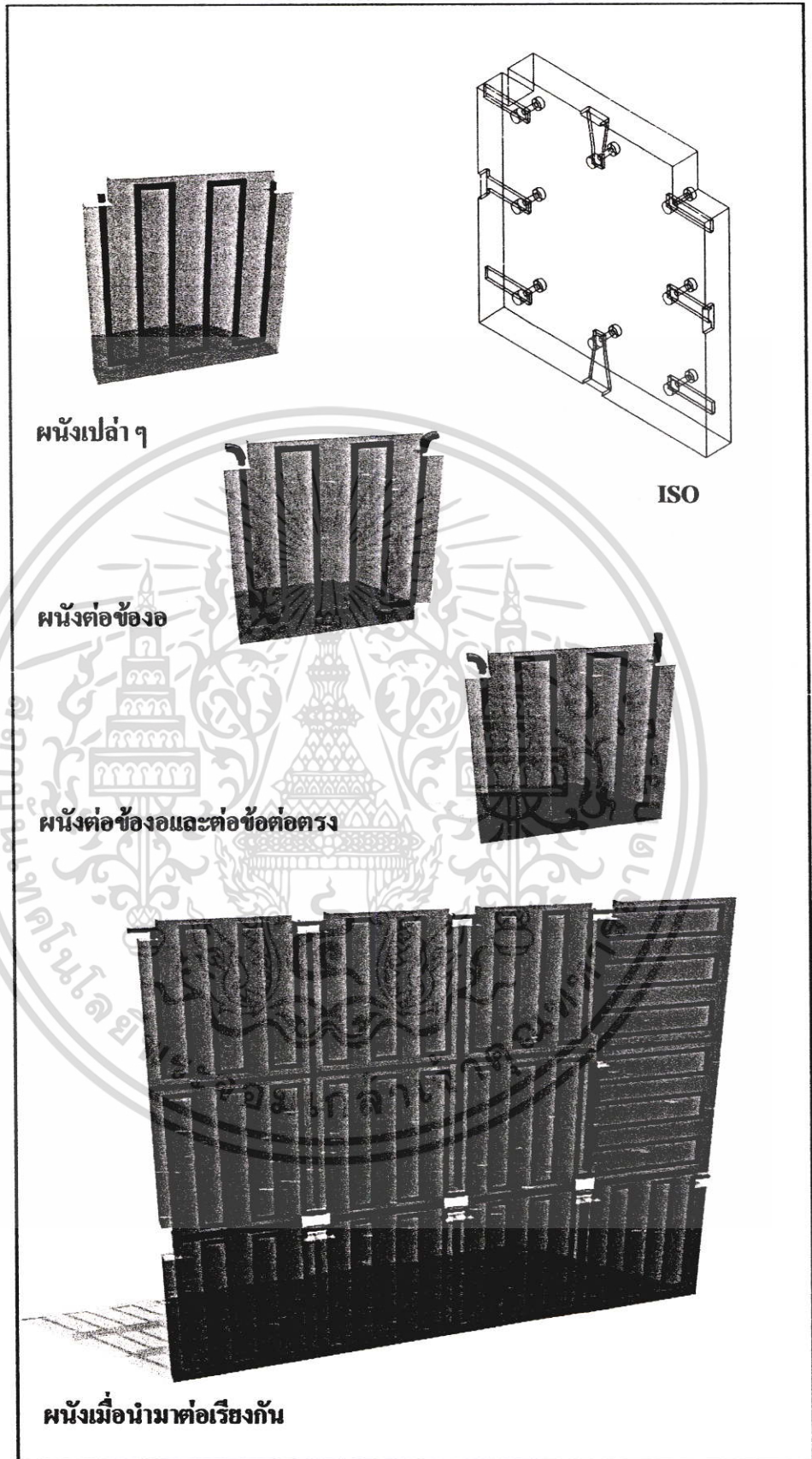


ภาพที่ 5.6 รูปด้านเมื่อเป็นผนังขนาดใหญ่



ภาพที่ 5.7 แผ่นยึดบอร์ด เจาะรูชนิดปิดรอยต่อท่อน้ำ

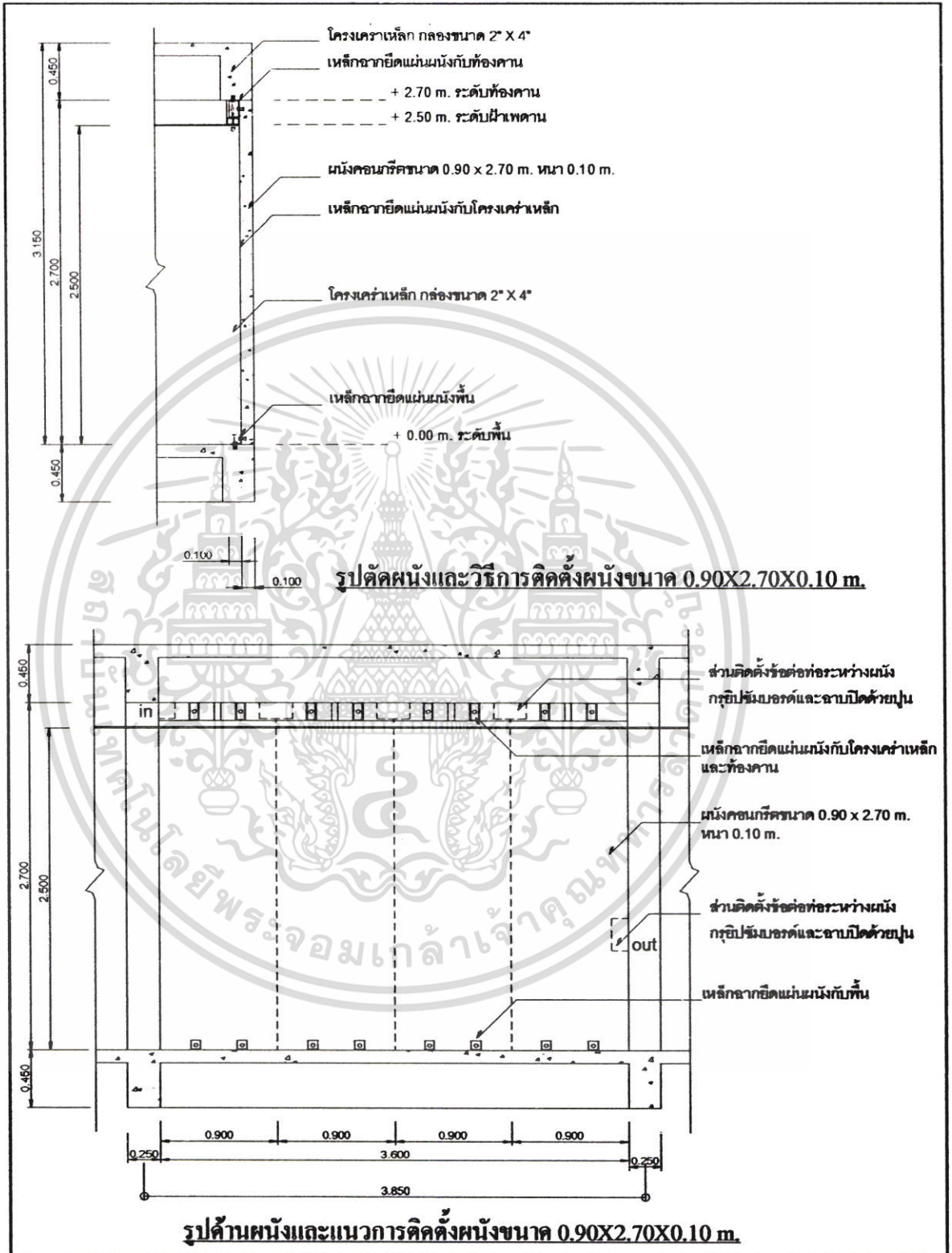
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.8 ทักษะภาพผนังและการติดตั้งผนังเป็นผนังขนาดใหญ่ รูปแบบที่ 1

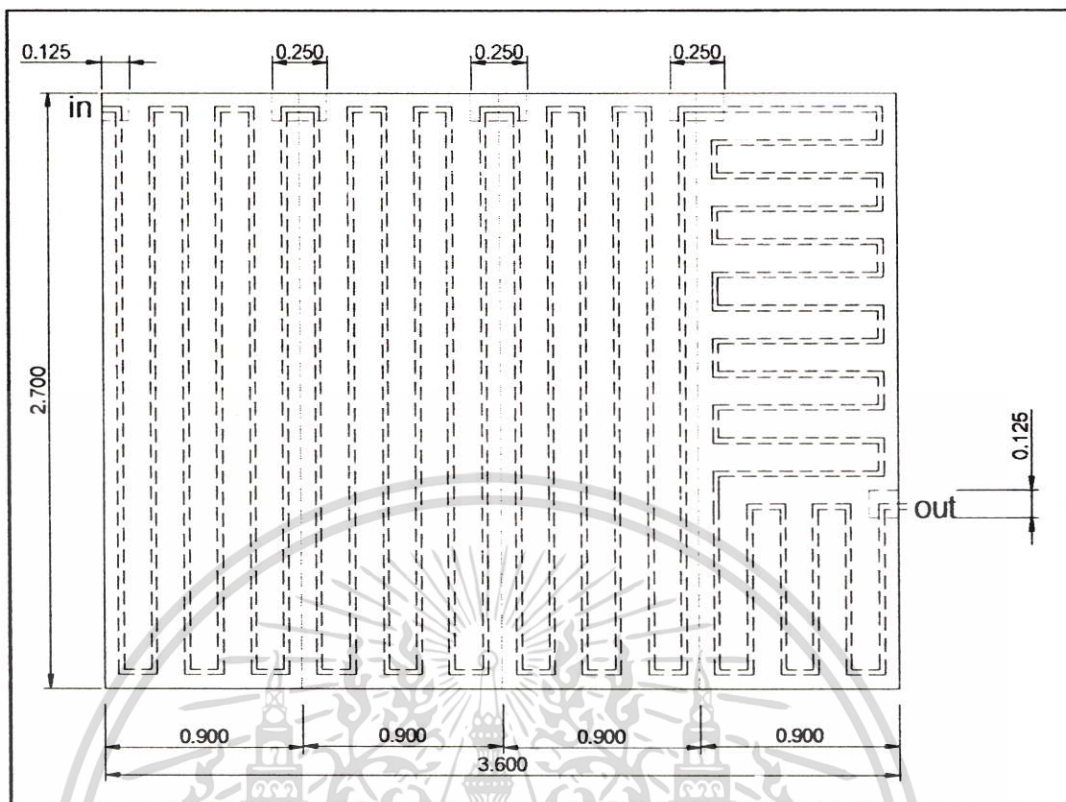
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 2 หน้า ขนาด 0.90 x 2.70 หน้า 0.10 เมตร จำนวน 3 หน้า มาเรียงต่อกันตามรูป

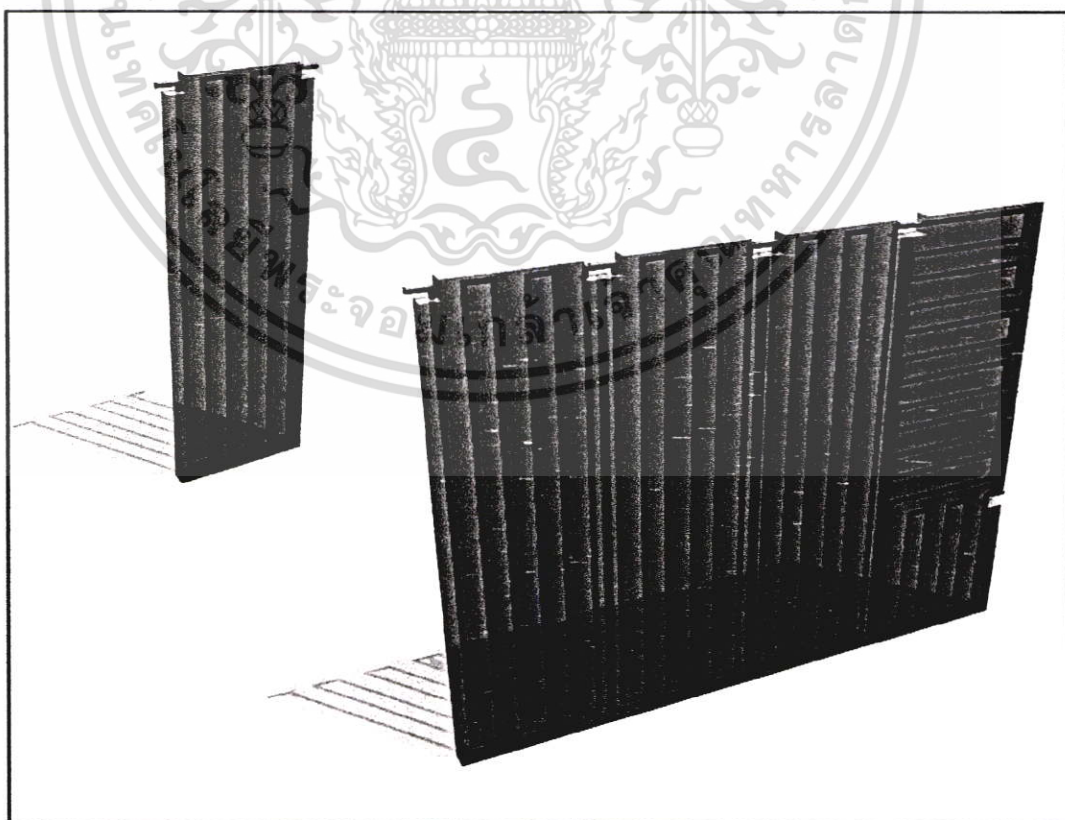


ภาพที่ 5.9 รูปแบบการติดตั้งหน้าให้เป็นหน้าขนาดใหญ่รูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.10 รูปแบบแนวท่อน้ำและการติดตั้งท่อน้ำในผนังที่เป็นผนังขนาดใหญ่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารภาพที่ 5.11 สักนียภาพผนังและการติดตั้งผนังเป็นผนังขนาดใหญ่ รูปแบบที่ 2 นี้ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ประสิทธิภาพในการลดการส่งผ่านความร้อน

จากการทดสอบพบว่า การชั่งน้ำไว้นาน 14 นาที 30 วินาที แล้วปล่อยน้ำ 30 วินาที มีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในของผนังทดสอบมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าผนังที่ไม่ได้ฝั่งท่อน้ำมากที่สุด 7.3°C ที่ช่วงเวลาประมาณ 18:00 น. เมื่อเทียบกับผนังที่ไม่ได้ฝั่งท่อน้ำและไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ ซึ่งมีการใช้น้ำในการลดอุณหภูมิในการทดสอบนี้เป็นจำนวน 51 ลิตร/ชั่วโมง โดยที่น้ำที่ได้จากการทดสอบมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่ 33.9°C จากอุณหภูมิน้ำที่ปล่อยเข้าไปที่ 27.5°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิน้ำที่สูงพอสมควรสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์กับเครื่องทำน้ำอุ่นสำหรับอาบ หรือเครื่องล้างจานต่อไป

หากต้องการให้อุณหภูมิที่ผิวผนังภายในลดลงต่ำกว่าผลการทดสอบที่ทดสอบได้ก่อนหน้านั้น เราสามารถทำได้โดยการ ใช้น้ำที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 27.5°C ตามการทดลองที่ 4.5.5 ซึ่งเป็นการนำน้ำที่มีการปรับอุณหภูมิให้เหลือเพียง 19.5°C แล้วปล่อยเข้าไปชั่งไว้ในท่อน้ำที่ฝังไว้ผนังนาน 14 นาที 30 วินาที แล้วปล่อย 30 วินาที เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.5.3.1 ซึ่งผลที่ได้ สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในได้มากที่สุดต่ำกว่าปกติ $9-10^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลา 18:00 น. เมื่อเทียบกับผนังที่ไม่ได้ฝั่งท่อน้ำและไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ แต่น้ำที่ได้จากการทดสอบนี้พบว่ามีอุณหภูมิที่ต่ำลงเช่นกัน คือ อุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่วัดได้หลังจากปล่อยออกมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.7°C ซึ่งเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิที่อุ่นกว่าน้ำปกติเพียงเล็กน้อย อันจะทำให้ต้องใช้พลังงานมากขึ้นสำหรับการทำน้ำอุ่นของเครื่องทำน้ำอุ่น และจากการทดสอบพบอีกด้วยว่า ที่ผิวนอกของผนังที่มีการฝังท่อน้ำและใช้เทคนิคนี้มีอุณหภูมิลดลงเช่นเดียวกันคล้ายกับด้านใน เพียงแต่ลดลงในปริมาณที่น้อยกว่า

ในการทดลองชุดที่ 4.5.6 เป็นการพิสูจน์ในกรณีที่พื้นที่ของผนังที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีระยะทางของท่อน้ำที่ฝังในผนังยาวมากกว่าการทดลองชุดที่ 4.5.3.1 จะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในเท่าใด ซึ่งจากการทดลองและพิสูจน์พบว่า หากพื้นที่ของผนังมีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิม 12 เท่า (เมื่อเทียบกับผนังที่ใช้ทำการทดสอบในชุดที่ 4.5.3) จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในลดลงได้น้อยลงกว่าผนังขนาดเล็กประมาณ $2 - 2.4^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นผลมาจาก พื้นที่ผิวของผนังที่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากขึ้น ปริมาณท่อน้ำที่ยาวขึ้นและทำให้ช่วงเวลาในการชั่งน้ำและปล่อยน้ำตามการทดลองชุดที่ 4.5.3.1 อาจน้อยเกินไป ทำให้เกิดการกักเก็บความร้อนผนังมากขึ้นและส่งผ่านความร้อนมายังผิวผนังด้านในได้มากขึ้น

จากผลการทดสอบสามารถพิสูจน์การลดลงของอุณหภูมิในส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้อีก ซึ่งประกอบไปด้วย

1. การลดลงของอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในระหว่างผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ
2. การลดลงของอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอกระหว่างผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ
3. การลดลงของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอกของผนังที่มีท่อและไม่มีท่อ

5.6 ปริมาณพลังงานที่ใช้กับระบบ

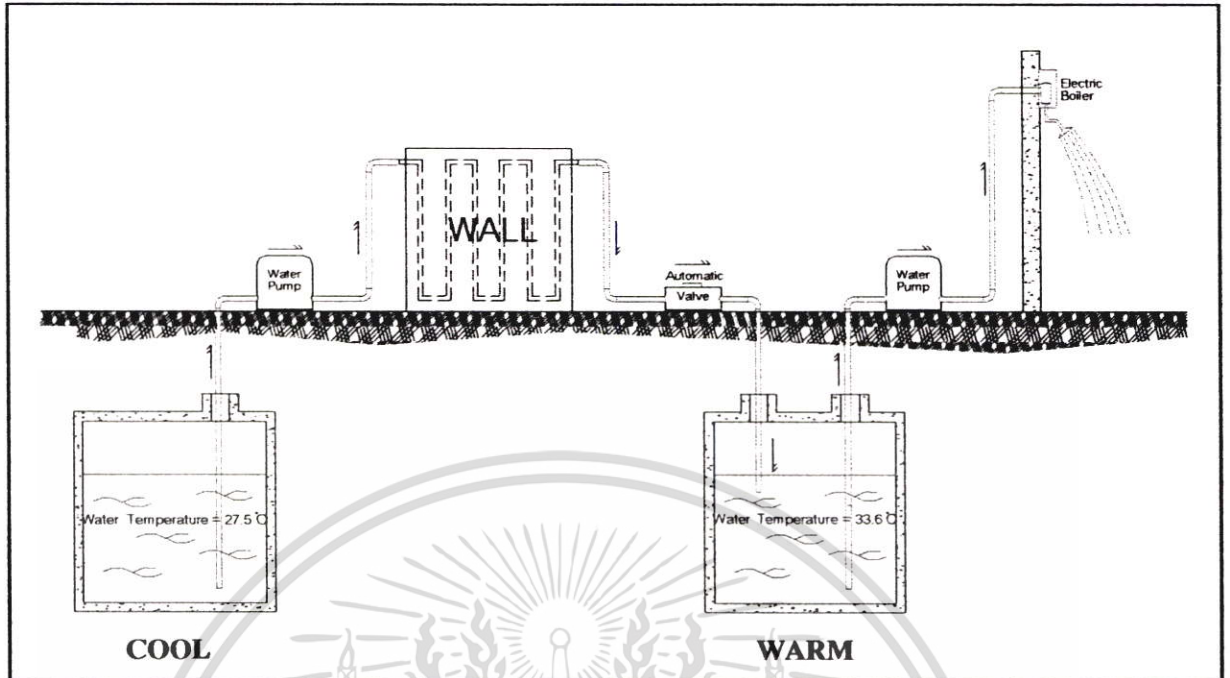
จากผลการทดสอบที่ได้ การลดความร้อนที่ผิวผนังภายในจากการส่งผ่านความร้อนเข้ามาของรังสีดวงอาทิตย์ ที่ผนังทางด้านทิศตะวันตก ด้วยวิธีการตามการทดลองชุดที่ 4.5.3.1 คือ การขังน้ำไว้ในท่อนาน 14 นาที 30 วินาที และปล่อยน้ำ 30 วินาที จะมีการสิ้นเปลืองพลังงานจากปั้มน้ำที่ต้องใช้ในการส่งน้ำ เพียงแค่ 4 ครั้งต่อชั่วโมงสำหรับการทำงานของปั้ม รวมเป็น 2 นาทีต่อชั่วโมงสำหรับการใช้เทคนิคนี้ และหากใช้เทคนิคนี้ในช่วงเวลาบ่ายทั้งหมดตามการทดลองก็จะเป็นเวลาทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง คิดเป็นการใช้พลังงานจากปั้มน้ำที่จะต้องทำงานเพียง 12 นาที (เฉพาะกับขนาดผนังขนาดเล็กที่ใช้สำหรับทดสอบเท่านั้น)

5.7 รูปแบบการวางระบบท่อน้ำเพื่อการนำกลับไปใช้ให้ก่อประโยชน์สูงสุด

จากศึกษาและทดลองพบว่าน้ำที่ใช้สำหรับการลดอุณหภูมิของผนังผิวนอกของอาคารนั้น มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์จำพวกเครื่องทำน้ำอุ่นสำหรับอาบ หรือเครื่องล้างจาน และเครื่องซักผ้าต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้และจะทำให้ใช้พลังงานน้อยลงสำหรับการที่จะทำน้ำที่เย็นให้เข็มน้ำร้อน ก็เป็นเพียงการทำน้ำที่อุ่นให้เข็มน้ำร้อน

ในเทคนิคนี้จำเป็นต้องมีการจัดการกับระบบท่อน้ำที่ดี ไม่ให้น้ำที่ผ่านกระบวนการขังที่ผนังกลับไปยังถังเก็บน้ำเริ่มแรก เนื่องจากจะทำให้ น้ำที่ใช้สำหรับนำมลดความร้อนของผนังมีค่าเปลี่ยนไป ทำให้ลดอุณหภูมิได้น้อยลง สำหรับการจัดการกับถังเก็บน้ำเริ่มแรกก่อนที่จะส่งเข้าระบบควรเป็นถังเก็บน้ำที่ฝังอยู่ในพื้นดินเพื่อให้เกิดการรักษาอุณหภูมิของน้ำในถังที่ตลอด และต้องมีการจัดทำแท่งค้ำน้ำสำหรับการเก็บน้ำที่ได้จากน้ำที่ขังและไหลผ่านผนังที่ได้รับความร้อนมาเก็บไว้ เพื่อการนำกลับมาใช้กับเครื่องทำน้ำอุ่น ได้อีกครั้ง

เทคนิคและวิธีสำหรับการขังน้ำและปล่อยน้ำให้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนดคือ การใช้ระบบวาวน้ำอัตโนมัติที่สามารถตั้งเวลาในการทำงานที่จะเปิดน้ำให้ไหลผ่าน และปิดขังน้ำให้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนด



ภาพที่ 5.15 รูปแบบการวางระบบของท่อน้ำเพื่อนำกลับ ไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา การออกแบบและทดสอบเทคนิคการลดอุณหภูมิของผนังผิวนอกของอาคาร ด้วยวิธีการฝังท่อน้ำไว้ในผนัง เพื่อลดการส่งผ่านความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในโดยผ่านทางผนังผิวนอกของอาคารที่ได้รับผลกระทบจากรังสีของดวงอาทิตย์ โดยอาศัยน้ำที่ขังไว้ในท่อเป็นตัวกลางในการพาความร้อนออกไปหลังจากที่ผนังได้ส่งผ่านความร้อนมายังท่อน้ำและส่งไปยังน้ำที่ขังไว้ใน

ผลที่ได้จากการทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริงกับผนังทดสอบที่หันไปด้านทิศตะวันตก ทำให้ทราบผลการทดสอบว่าเทคนิคนี้สามารถลดความร้อนของผนังได้จริง ตามวัตถุประสงค์และสมมติฐานที่ตั้งไว้ของการวิจัย ซึ่งสามารถจำแนกผลการทดลองได้เป็น 2 จำพวกใหญ่ ๆ ได้แก่

ก. ผลการทดสอบเพื่อหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้กับเทคนิคและการวิจัยนี้

ผลการทดสอบ สรุปได้ดังนี้

1. ประเภทของผนังที่เหมาะสม

ผลการทดสอบที่ได้ควรเป็นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปหรือผนังที่หล่อในที่โดยมีความหนาของผนัง ที่ไม่เกิน 10 เซนติเมตร

2. วัสดุของท่อน้ำที่ใช้ฝังในผนัง

ผลการทดสอบที่ได้ ท่อน้ำเหล็กชุบสังกะสี ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1 นิ้ว เป็นวัสดุที่พิจารณาว่าเหมาะสมกับการใช้งานและสะดวกในการซื้อ

3. ปริมาณของท่อน้ำที่ใช้ฝังในผนัง

ผลการทดสอบการหาระยะห่างในการฝังท่อน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการส่งผ่านความร้อนของผนัง คือต้องมีการฝังท่อน้ำทุก ๆ ระยะไม่เกิน 15 ซม. และต้องฝังท่อน้ำในบริเวณที่ใกล้กับผิวผนังด้านนอกของผนังที่กระทบกับรังสีของดวงอาทิตย์ โดยมีระยะห่างจากผิวผนังถึงศูนย์กลางท่อ โดยประมาณ 3.5 เซนติเมตร

4. ลักษณะของผนังที่เหมาะสม

จากผลการออกแบบ ผนังที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ที่มุ่งเน้นให้ผนังที่ใช้งานมีลักษณะเป็นผนังรูปแบบผนังสำเร็จรูป (PRECAST CONCRETE WALL) ทำให้ได้ลักษณะของผนังตามการออกแบบและวิเคราะห์ตามบทที่ 5 หัวข้อ 5.1

ข. ผลการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการลดความร้อน

ผลการทดสอบ สรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มีท่อน้ำฝังไว้หรือไม่ดีกว่ากัน

จากการทดสอบพบว่า ผงที่มีการฝังท่อน้ำและขังน้ำไว้สามารถลดอุณหภูมิของผิวผงได้ดีกว่าไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ 0.5°C และจากการทดสอบพบว่า วิธีการขังน้ำไว้ในผงให้เกิดประสิทธิภาพที่ดี ควรใช้กับผงที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมวลของน้ำที่ขังจะมากขึ้น เกิดการสะสมความร้อนข้าง ลดการแผ่รังสีของตัวน้ำที่ร้อนเอง

2. การเลือกระหว่างการปล่อยน้ำเป็นเวลาหรือการขังน้ำ

จากการทดสอบพบว่า การปล่อยน้ำเป็นเวลาดีกว่าการขังน้ำไว้จริงๆ เพราะจะเกิดการพาความร้อนของน้ำที่ร้อนออกจากท่อและนำเอาน้ำเย็นเข้ามาแทนที่ เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

3. ระยะเวลาในการขังน้ำและปล่อยน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความร้อนของผง

จากการทดสอบพบว่า การปล่อยขังน้ำนาน 14 นาที 30 วินาที แล้วปล่อยน้ำ 30 วินาที เป็นระยะเวลาที่สามารถลดอุณหภูมิของผิวผงด้านในได้มากที่สุดถึง 7.3°C เมื่อเทียบกับผงที่ไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ โดยการทดสอบกับผงขนาด 0.90×0.90 เมตร หนา 0.10 เมตร และทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นน้ำอุ่น มีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.9°C สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ต่อไปได้

4. การเปรียบเทียบระหว่างการขังน้ำและปล่อยน้ำเป็นเวลากับน้ำไหลตลอดเวลา

จากการทดสอบพบว่า การเปิดน้ำไหลตลอดเวลาสามารถลดอุณหภูมิได้ในระดับต่ำกว่าการขังน้ำและปล่อยน้ำเป็นเวลา หากแต่น้ำที่ผ่านกระบวนการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้แต่ไม่คุ้มค่าเท่ากับการขังน้ำและปล่อยน้ำเป็นเวลา

5. เมื่อน้ำที่ปล่อยเข้ามีอุณหภูมิที่เย็นกว่าน้ำธรรมดา

จากการทดสอบโดยปล่อยน้ำที่มีอุณหภูมิ (19.5°C) เข้าไปแทนน้ำที่อุณหภูมิปกติ (27.5°C) ทำให้ผงมีการลดความร้อนที่เร็วขึ้น สามารถลดอุณหภูมิผิวผงได้ถึง 10°C หากแต่น้ำที่ผ่านกระบวนการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้แต่ไม่คุ้มค่าเนื่องจากน้ำยังมีอุณหภูมิที่ต่ำอยู่โดยประมาณ 31.7°C

6. เปรียบเทียบการลดอุณหภูมิเมื่อผงมีขนาดใหญ่ขึ้น

จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิเมื่อเป็นผงที่มีขนาดใหญ่กว่าการทดสอบในข้อ 3 เป็น 12 เท่า จะทำให้ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิที่ผิวผงภายในลดลง $2-2.4^{\circ}\text{C}$ หากยังใช้ระยะเวลาในการขังน้ำและปล่อยน้ำเท่าเดิม เนื่องมาจากพื้นที่ของผงที่ถูกรังสีดวงอาทิตย์มีมากขึ้น ปริมาณท่อน้ำที่ขาวขึ้น ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่มากขึ้น และช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีระยะห่างมากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการลดความร้อนลดลง

7. การเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก

จากผลการทดสอบพบว่า นอกจากการลดอุณหภูมิที่ผิวหนังภายในได้มากแล้ว ยังสามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในลงได้ แตกต่างกับผนังที่ไม่ได้ฝังท่อน้ำและใช้เทคนิคนี้ $3-4^{\circ}\text{C}$ จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในที่วัดได้จากการทดสอบ มีความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเพียง 2°C

8. การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวหนังภายนอก

จากการทดสอบพบว่า ผนังที่มีการขังน้ำและปล่อยน้ำเป็นเวลา จะทำให้ผิวหนังภายนอกลดอุณหภูมิตามลงด้วย ซึ่งผลที่วัดได้มีค่าลดลงแตกต่างจากผนังที่ไม่ได้ใช้เทคนิคนี้ $3-4^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะส่งผลให้ผนังภายนอกลดการแผ่รังสีความร้อนให้แก่บริเวณโดยรอบอีกด้วย

6.1 ประโยชน์และการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

การศึกษาการลดการส่งผ่านความร้อนของผนังผิวนอกอาคาร ด้วยการฝังท่อน้ำไว้ในผนัง เพื่อลดการส่งผ่านความร้อนที่จะเข้าสู่ภายใน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับกาออกแบบ เพื่อแก้ปัญหาหากต้องใช้พื้นที่ติดกับผนังด้านทิศตะวันตก โดยสามารถนำไปใช้ได้กับอาคารที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เช่น บ้านพักอาศัย คลินิก ร้านอาหาร หรือสถานที่ราชการขนาดเล็กเช่นสถานีนอนามัย โดยที่วิธีการนี้สามารถนำไปใช้กับส่วนอื่น ๆ ของอาคารได้เช่น แผลงกันแดด ทั้งทางด้านทิศใต้และทิศตะวันตก ซึ่งผลที่ได้ไม่เพียงช่วยลดอุณหภูมิของผิวหนังหรือบริเวณอื่นๆ ที่ทำการติดตั้ง โดยที่น้ำที่ได้จากการลดความร้อนของผนัง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ได้อีกสำหรับเครื่องทำน้ำอุ่นหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต้องปรับสภาพน้ำเพื่อนำไปใช้ ทำให้พลังงานในส่วนนี้ลดลงไปด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ มี ข้อจำกัดทางการศึกษา เกี่ยวกับ ระยะเวลาการทำวิจัย , ทุนในการทำวิจัย , เครื่องมือในการเก็บข้อมูล และอื่นๆ อีกมากมาย จึงทำให้เกิดขอบเขตในการศึกษา ดังนั้นจึงขอเสนอคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยและการศึกษาการลดอุณหภูมิของผิวหนังภายนอกอาคารไว้ดังนี้

1. ควรมีการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ เพิ่มเติม ทั้งในส่วนของความชื้นภายในห้องที่ทำการทดสอบ กระแสลมที่พัดผ่าน
2. การเก็บข้อมูลจากการแผ่รังสีความร้อนจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบ
3. การทดสอบควรมีการจัดทำผนังสำหรับการทดสอบอย่างน้อย 3 ผนัง เพื่อทดสอบในบางกรณีที่ต้องศึกษาเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร
4. การทดสอบเกี่ยวกับค่าการสะท้อนของสีที่ผิวหนังที่มีผลต่อการดูดซับความร้อนในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดสอบกับวัสดุของท่อน้ำชนิดอื่น ๆ ด้วยการหล่อและทดสอบจริง

6. การใช้เทคนิคนี้น่าจะสามารถใช้กับผนังหรือส่วนต่างๆ ของอาคารได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้กับรูปแบบผนังที่เป็นผนังสำเร็จรูป หากแต่ใช้ระยะห่างของท่อน้ำที่ฝังเป็นเกณฑ์ในการนำไปใช้งานกับส่วนอื่น ๆ ของอาคารได้เช่นกัน

ข้อเสนอในการทำวิจัยครั้งต่อไปที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการวิจัยนี้ ควรมีการพิจารณาและพิสูจน์ผลการทดลองตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ผลของการทดลองได้มากกว่านี้และสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ครึ่งใจ บุรณสมภพ , ศ.ดร. , 2539, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน :
กรุงเทพฯ
- ปรัชญา รังสิริรักษ์, ผศ., 2545, การคำนวณภาระค่าการทำความเย็นของอาคาร, เอกสารการสอนวิชา
ภูมิอากาศชั้นสูง : กรุงเทพฯ ๑, ภาควิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พีระพงษ์ โมลิกา, 2546, “การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคารหอสมุดใน
สถาบันการศึกษา เพื่อการลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ, กรณีศึกษา อาคาร
สำนักหอสมุดศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต.” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหา
บัณฑิต สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมสิทธิ์ นิตยะ, รศ., 2545, การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น : กรุงเทพฯ ๑, โรง
พิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Andras Zold, Steven V. Szokolay, 1997, Thermal Insulation, Queensland : The University of
Queensland.
- Fuller Moore, 1993, Environment control system heating cooling lighting. USA : Mc Graw-Hill.
- Jan F. Kreider, Frank Kreith, 1977 , Solar Heating and Cooling, New York : Mc Graw-Hill.
- Kenneth E Miller, 1993, Building control systems. 2 nd ed. New York : John Wiley & Sons.
- Kevin Ireton, 1999, The best of Home building Energy-Efficient Building, USA : The Taunton
Press.
- Klaus Daniels, 1997, The Technology of Ecological Building, USA : Birkhauser Verlag.
- Lechner N. , 1991. Heating cooling lighting design methods for architect. Canada : A wile
interscience publication.
- Michael Docherty, Steven V. Szokolay, 1999, Clinate Analysis, Queensland : The University of
Queensland.
- Nick Baker, Koen Steemers, 2000, Energy and Environment in architecture A Technical Design
Guide, New York : E & FN SPON.
- Steven V. Szokolay, 1996, Solar Geometry, Queensland : The University of Queensland.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vincent Jones, 1982, Neufert Architects's data, New york : 2 nd ed. John Wiley & Sons.

<http://eetd.lbl.gov>

http://eetd.lbl.gov/newsletter/cbs_nl/nl4/RadiantCooling.html#chart

<http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/burema/gesein/abhose/ce04.cfm>

<http://www.taunton.com/store/pages/070466.asp>

<http://www.greenbuilder.com/sourcebook>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

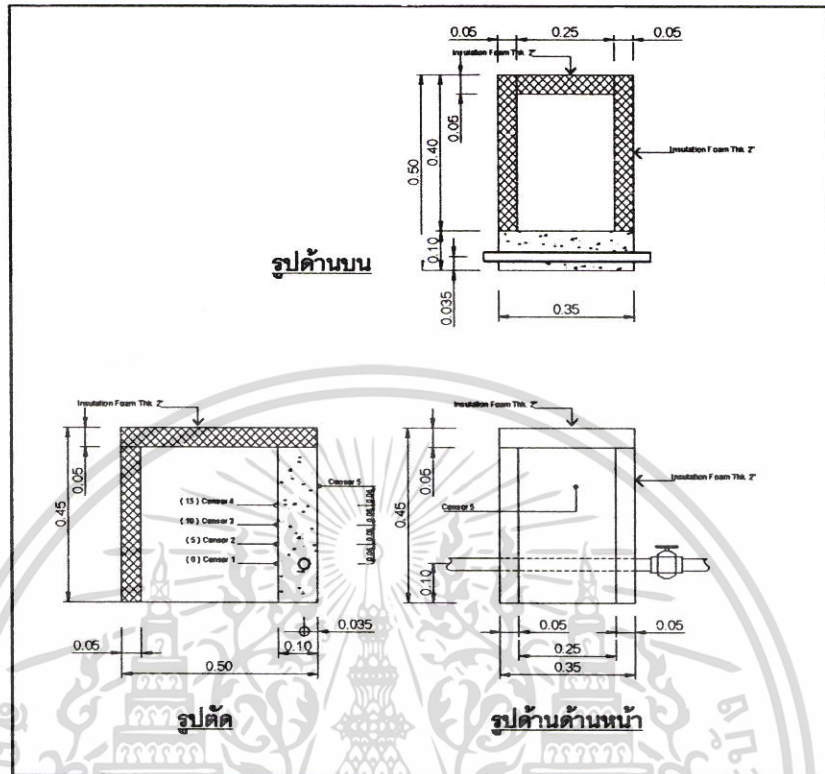


ภาคผนวก

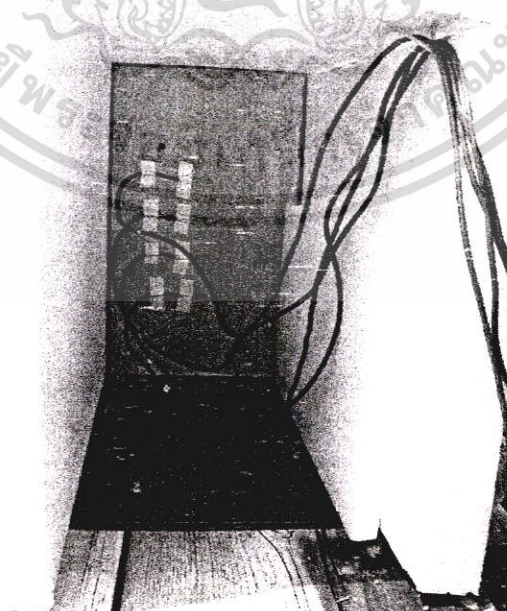
แสดงรูปแบบและภาพหุ่นจำลองสำหรับการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบผนังที่ใช้สำหรับการทดสอบชุด 4.3 ก, ข, 4.5.1

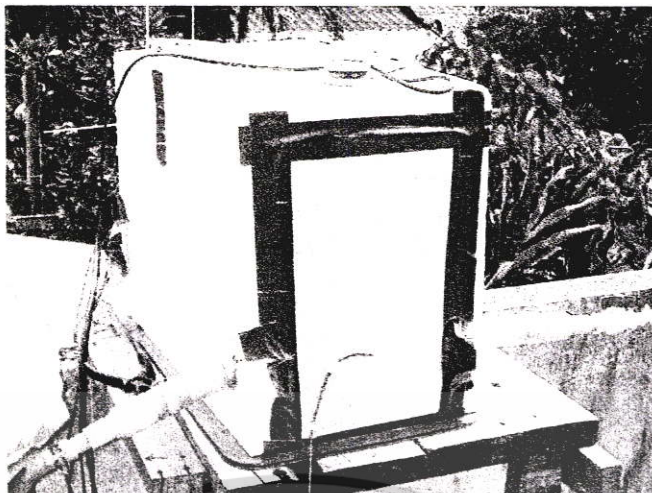


ภาพแสดง ภายในของหุ่นจำลอง และตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์วัด



ภาพแสดง ภายในของหุ่นจำลอง และตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ผิวหนัง

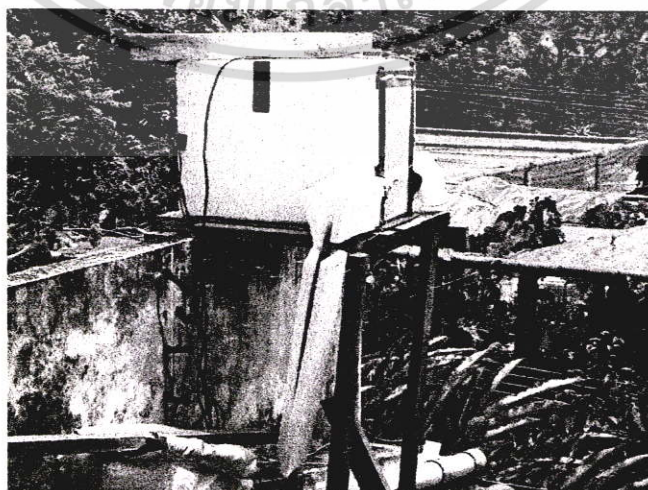
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดง ภายนอกด้านหน้าของหุ่นจำลอง และตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ผิวภายนอก



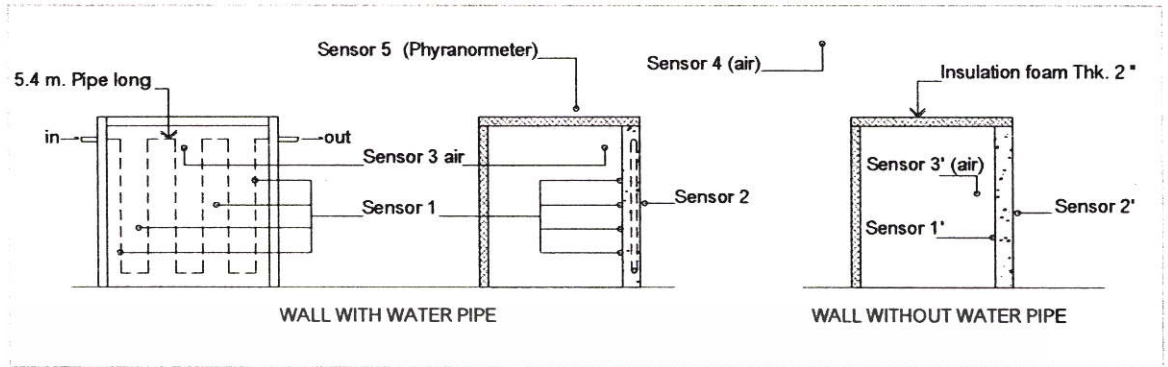
ภาพแสดง ภายนอกด้านหลัง ของหุ่นจำลอง



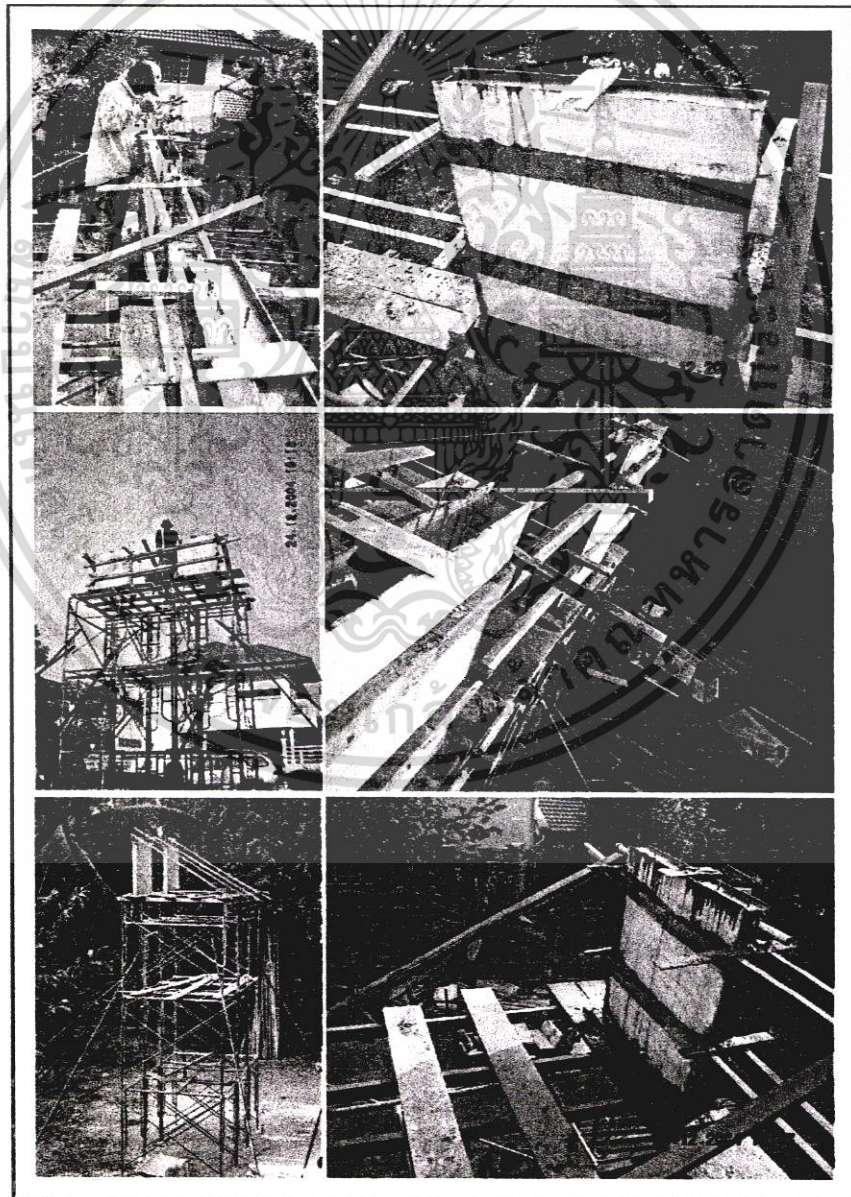
ภาพแสดง ภายนอกข้างของหุ่นจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบผนังที่ใช้สำหรับการทดสอบชุด 4.5.2-4.5.6

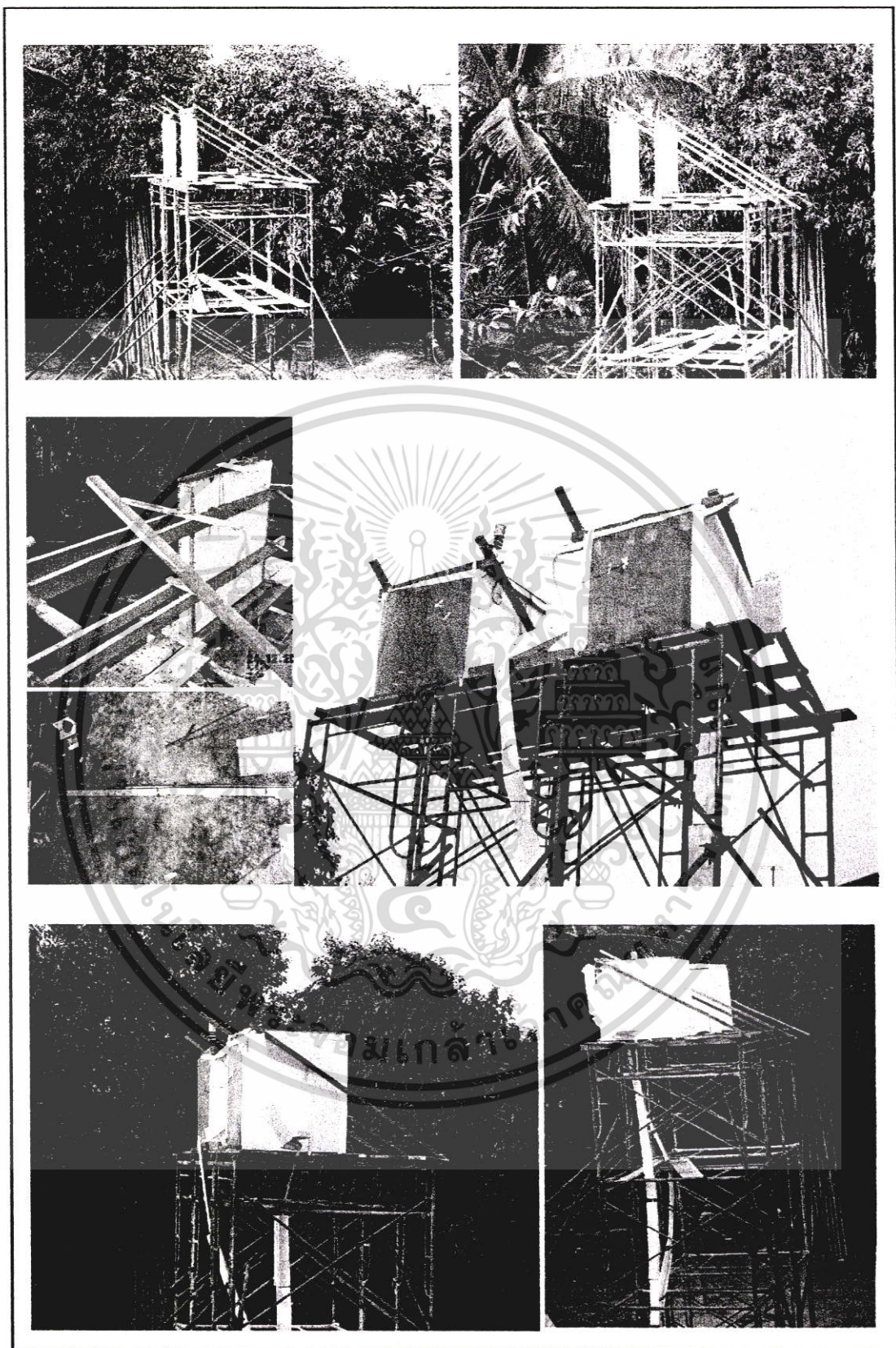


ภาพแสดง รูปแบบผนังสำหรับการทดสอบชุด 4.5.2 - 4.5.6



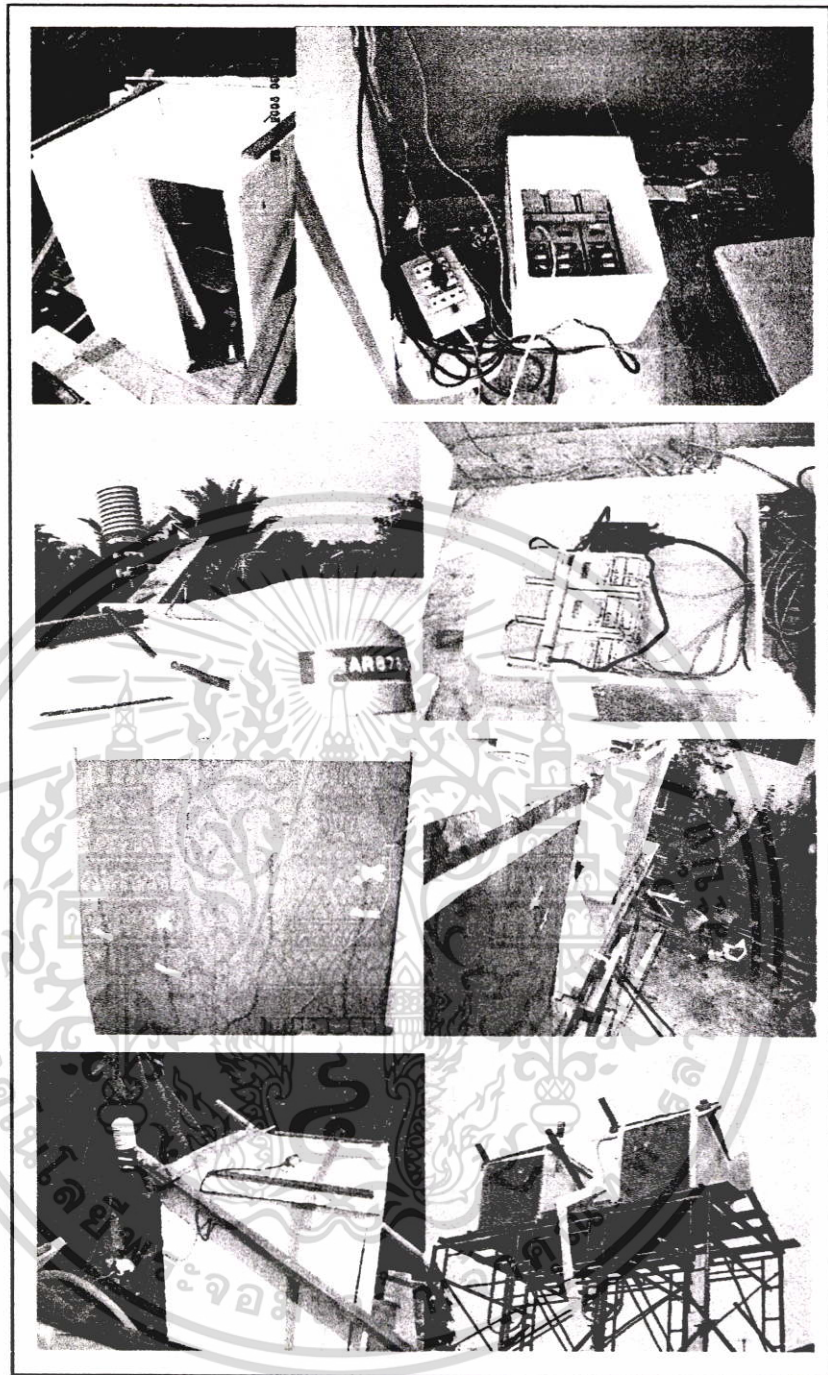
ภาพแสดง การจัดสร้างผนังสำหรับการทดสอบชุด 4.5.2 - 4.5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นใบแจ้งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

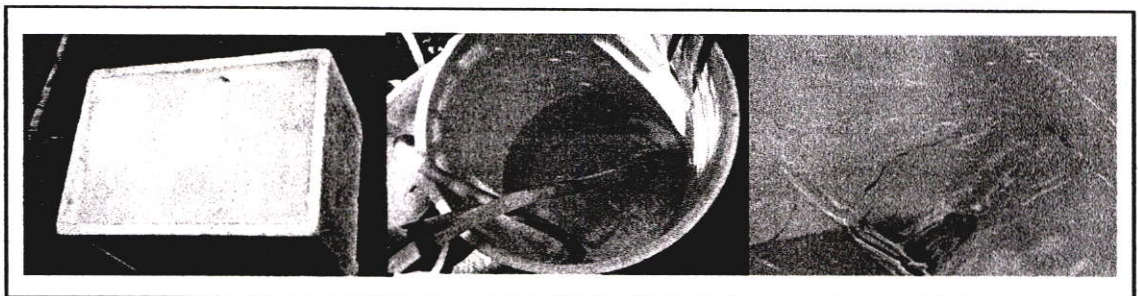


ภาพแสดง การจัดสร้างผนังสำหรับการทดสอบชุด 4.5.2 - 4.5.6 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

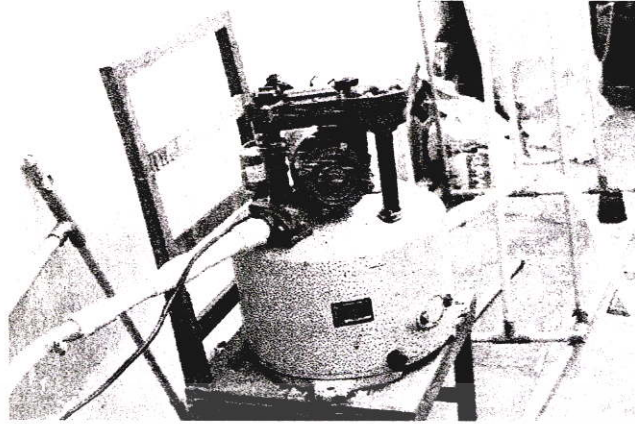


ภาพแสดง การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ บนผนังทดสอบของจริงของการทดสอบชุด 4.5.2 - 4.5.6



ภาพแสดง การใช้น้ำแข็งในการปรับลดอุณหภูมิของน้ำสำหรับการทดสอบชุดที่ 4.5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดง ปั้มน้ำที่ใช้สำหรับการทดลอง

คุณสมบัติของปั้มน้ำที่ใช้

ขนาดกำลัง	250 W.
Pressure	ON. 1.6 kg/cm ² .
Pressure	OFF. 2.6 kg/cm ² .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายพรอรรถ สิงหเสนี
 วัน เดือน ปีเกิด 30 มีนาคม 2519
 ที่อยู่ 54/78 ม. 10 ซ. จรัญสนิทวงศ์ 35 ต.บางพรหม อ.ตลิ่งชัน กรุงเทพฯ ฯ

ประวัติการศึกษา

- 2525-2530 ศึกษาระดับประถมศึกษาและประถมปลาย โรงเรียนราชบพิธ
 2531-2536 ศึกษาระดับมัธยมศึกษาและมัธยมปลาย โรงเรียนวัดบวรนิเวศ
 2537-2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยี
 ราชมนคล วิทยาเขตอุเทนถวาย
 2540-2542 ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
 2545 เข้าศึกษาในสาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้า
 คุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

- 2542 ทำงานบริษัทสถาปนิก ภูมิชาวยิวเชียร์สิงห์แอนด์เอสโซซิเอตส์จำกัด
 2543 ทำงานบริษัท STMS Co., Ltd.
 2544 ทำงานบริษัท Orbit Design Co., Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้