



ประสิทธิผลในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท้ออากาศฝังดิน
กรณีศึกษา: หอสมุดสยามบรมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์

โดย

นายฉกาจ ดำรงค์เกียรติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อน้ำอากาศฝังดิน
กรณีศึกษา: หอสมุดสยามบรมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์

โดย

นายฉกาจ ดำรงค์เกียรติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE EFFICIENCY IN REDUCING HEAT GAIN BY USING EARTH TUBE SYSTEM
CASE STUDY : SAYAMBOROMRAJAKUMARI LIBRARY WAT CHANSEN
NAKHON SAWAN PROVINCE

By
Chagart Domrungkeart

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ประสิทธิผลในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท้ออากาศฝั่งคืน กรณีศึกษา: หอสมุดสยามบรมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์” เสนอโดย นายฉกาจ คำรงค์เกียรติ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ มาลินี ศรีสุวรรณ)
...../...../.....

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
(ศาสตราจารย์ อรศิริ ปาณินท์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์)
...../...../.....

50054201 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คำสำคัญ : ระบบท่ออากาศฝังดิน, การลดความร้อน

ฉาก คำรงค์เกียรติ : ประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่ออากาศฝังดิน กรณีศึกษา : หอสมุดสยามบรมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.พันธุ์ดา พุฒิปาโรจน์ 139 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยการใช้ท่ออากาศฝังดินตามสภาพการใช้งานจริง เนื่องจากดินมีอุณหภูมิต่ำและเปลี่ยนแปลงตลอดปีน้อย ซึ่งอยู่ในช่วง 27-29 °C จึงมักพบทฤษฎีในการออกแบบโดยให้อากาศภายนอกไหลผ่านท่อฝังใต้ดิน เพื่อทำให้อากาศเย็นลงก่อนนำเข้าสู่อาคาร แนวคิดดังกล่าวนี้มีการนำมาใช้ในประเทศไทย แต่ยังคงขาดการประเมินผลกับอาคารที่ผ่านการใช้งานอย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลายาวนาน

สำหรับอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารีที่วัดจันเสน ได้ถูกออกแบบโดยใช้ระบบท่ออากาศฝังดินมาตั้งแต่พ.ศ.2541 มาจนกระทั่งปัจจุบัน ตัวอาคารมีขนาด 8.5x14 ม. มีท่ออากาศฝังดินทำด้วยซีเมนต์ขนาดหน้าตัด 80x80 ซม. ยาวท่อละ 8 ม. วางขนานทั้งหมด 5 ท่อ ลึกจากผิวดิน 1.8 ม. ต่อเข้ากับท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้วที่เป็นจุดลมเข้าและปล่อยลมออก โดยมีบ่อดักความชื้นขนาด 70x70 ซม. อยู่ในช่วงปลายท่อลมออกเพื่อกันความชื้นก่อนที่อากาศจะไหลเข้าสู่อาคาร

งานวิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็นสามช่วง ในช่วงแรกตามสภาพใช้งานจริงพบว่า ประสิทธิภาพการลดความร้อนต่ำ จากปัญหาน้ำท่วมขังและการอุดตันภายใน ระดับปากท่อลมเข้าต่ำ และมีต้นไม้ปิดบัง ทำให้อากาศในท่อไม่ไหลเวียนจึงไม่ส่งผลต่ออาคาร หลังปรับปรุงระบบท่อในการศึกษาช่วงที่สองพบว่า มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จากการนำน้ำและถ่านออก ปรับปรุงสภาพแวดล้อม และปากท่อลมเข้า ติดตั้งพัดลมดูดอากาศทุกท่อ ทำให้อากาศในท่อมีอัตราการไหลมากขึ้น เมื่ออากาศผ่านท่อในช่วง 7.30-21.30 น. อุณหภูมิของแต่ละท่อจะลดลงเฉลี่ย 2.2-2.6 °C ส่วนเวลา 21.30-7.30 น. อุณหภูมิอากาศที่ผ่านท่อจะสูงขึ้นเฉลี่ย 1 °C ในช่วงที่สามทิ้งระยะหลังปรับปรุง6เดือน พบปัญหาน้ำท่วมขังเช่นเดิม ประสิทธิภาพจึงกลับมาอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นเดียวกับการศึกษาช่วงแรก

จากการศึกษาสรุปว่าระบบท่อจำเป็นต้องใช้พัดลมดูดอากาศ จึงสามารถลดอุณหภูมิในช่วงกลางวันได้ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบคือการป้องกันปัญหาน้ำท่วมขังและการอุดตัน ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลรักษาระบบท่ออย่างสม่ำเสมอ สามารถตรวจสอบและแก้ไขทำความสะอาดได้ง่าย ระบบท่ออากาศฝังดินจึงจะมีประสิทธิภาพตามผู้ออกแบบต้องการและตลอดอายุใช้งาน

ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

50054201 : MAJOR : ARCHITECTURE

KEY WORD : EARTH TUBE SYSTEM, REDUCING HEAT GAIN.

CHAGART DOMRUNGKEART : THE EFFICIENCY IN REDUCING HEAT GAIN BY USING EARTH TUBE SYSTEM. CASE STUDY SAYAMBOROMRAJAKUMARI LIBRARY WAT CHANSEN NAKORNSAWAN PROVINCE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PANTUDA PUTHIPIROJ, Arch.D. 139 pp.

The purpose of this research is to study the efficiency in reducing heat gain by using earth tube system. The soil temperatures, at about 27–29 °C, are lower than that of the air temperatures and soil temperatures vary slightly year round. This leads to the design concept in reducing heat gain by allowing the outside air to pass through the underground duct to lessen its temperature before entering the indoor space. In Thailand such a concept was introduced in building design for a long time. However, it was not evaluated how well it can reduce the outside air temperatures passing through the earth tube system.

Sayamboromrajakumari Library in Wat Chansen is one of the project that has employed the earth tube system since 1998. The building size is of 8.5 x 14 m. The earth tube system consists of 5 concrete ducts of 80 x 80 cm. and each with 8 meters long, They were buried in parallel under the building 1.8 meters deep. At both end of each tube was connected with a PVC pipe of 6 inches diameter for inflow and outflow air. The dehumidifying chamber, 70 x 70 cm, was installed at the end of the outlet. The outflow air will pass through this chamber before entering the building.

This study was divided into 3 experiments. First assessment is to find problems of earth tubes, which were trapped water and clogged in the tube systems, low level of air inlet, plants blocking air inlet. It was found that there was no air flow in the tube and no effect to the building temperature. Above problem was fixed in second experiment by removing water inside the ducts and charcoal in earth tube system, removing plants around the air inlets, raising the level of air inlets, and installed ventilation fan. After this improvement outside air can flow through the duct and outflow temperatures changed in relation to the outside air temperatures. It was found that the outside air temperatures passing through the earth tubes would reduce about 2.2-2.6 °C by average during 7.30 a.m. to 9.30 p.m. However, during 9.30 p.m. to 7.30 a.m. it would be higher about 1 °C. In the third experiment, after six month later, it was found that inside the earth tubes were flooded with water again because of the tube leakage. The efficiency of earth tubes was low, which was similar to the first experiment.

This study showed that to reduce heat gain by using earth tubes effectively, it is necessary to use fan to increase the airflow speed inside the duct. The major considerations of this system are to prevent water leakage and require good maintenance regularly. The system must provide an access for checking and cleaning tubes easily in order that it can work properly as a designer expects.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำงานวิจัยขอใช้โอกาสนี้ขอบขอบคุณหลายๆบุคคลที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำวิจัย ดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์ ที่คอยถ่ายทอดความรู้ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางการศึกษาในฐานะที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ วนิตา พึ่งสุนทร ผู้ออกแบบอาคาร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ชุ่มเกษร ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษาและระบบท่ออากาศฝังดินในอาคารเป็นอย่างดีตลอดในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณรศ. สมสิทธิ์ นิตยะผู้ซึ่งริเริ่มนำแนวคิดระบบท่ออากาศฝังดินมาออกแบบกับอาคารกรณีศึกษานี้ ที่ทำให้เกิดการพัฒนาในแนวทางอนุรักษ์พลังงานจากระบบท่ออากาศฝังดิน

ขอขอบคุณทางวัดจันเสน เจ้าอาวาสพระครูนิววัชรธรรมจันทร์ ที่ให้ความกรุณาตลอดมาในการให้ที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณพระสงฆ์ทุกรูปที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บข้อมูลวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะพระใบฎีกา สมศักดิ์ สุรเตโช เลขาเจ้าคณะตำบลจันเสน, พระสุเทพ ฐิติปัญญา, พระจำลอง มนตาคโม ที่คอยแนะนำและดูแลในการเข้าไปเก็บข้อมูลทั้งสามครั้ง

ขอบคุณเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลืองานวิจัยให้สมบูรณ์ โดยเฉพาะนายชัยยะ แสงเย็นที่คอยเป็นธุระในการเก็บข้อมูลงานวิจัยทั้งสามครั้ง

ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล การดำเนินงาน เอกสารต่างๆของงานวิจัย เพื่อนำมาพัฒนางานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

สุดท้ายขอขอบพระคุณครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาว และญาติๆที่คอยให้ช่วยเหลือตลอดมา และให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาจนเป็นผลให้สำเร็จได้ด้วยดี

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
	สารบัญตาราง	ฉ
	สารบัญภาพ	ญ
	สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
	บทที่	
1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและประเด็นสำคัญของปัญหา.....	1
	ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	สมมติฐานของการศึกษา	2
	ขอบเขตของการศึกษา.....	3
	ขั้นตอนและวิธีการศึกษา.....	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2	การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	ทฤษฎีทั่วไปที่เกี่ยวกับอุณหภูมิดิน	5
	การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อปรุงแต่งสภาวะนำสบายในอาคาร	12
	ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับระบบท่ออากาศฝังดิน.....	14
	ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่ออากาศฝังดิน	15
	งานและบทวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
	การประเมินสมรรถนะเกี่ยวกับระบบท่ออากาศฝังดิน	27
3	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	28
	ข้อมูลทั่วไปของสถานที่.....	29
	ศึกษาข้อมูลการออกแบบอาคารและระบบท่ออากาศฝังดินของอาคาร	32
	สรุปตัวแปรทั้งหมดของระบบท่อฝังดินที่ใช้ในอาคาร.....	42
	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	43
	แผนการวิจัยและการวัดผลการทดลอง.....	45

	หน้า
4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง	50
ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	51
สภาพทั่วไปก่อนการศึกษา	51
การวิเคราะห์ผลการศึกษาครั้งที่ 1	53
สรุปผลการศึกษาครั้งที่ 1	73
ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	74
สภาพทั่วไปและการปรับปรุงระบบท่อฝังดิน	74
การวิเคราะห์ผลการศึกษาในครั้งที่ 2	89
สรุปผลการศึกษาครั้งที่ 2	103
ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 3	105
สภาพทั่วไปก่อนการศึกษา	105
วิเคราะห์ผลการศึกษาครั้งที่ 3	107
สรุปผลการศึกษาครั้งที่ 3	116
สรุปผลข้อมูลจากการศึกษาทั้ง 3 ช่วง	118
5 สรุปอภิปรายผลและเสนอแนะ	119
สรุปกระบวนการทดลอง	119
สรุปผลการวิจัย	120
การอภิปรายผล	123
ข้อเสนอแนะในการออกแบบระบบท่ออากาศฝังดิน	126
ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป	126
บรรณานุกรม	127
ภาคผนวก	129
ประวัติผู้วิจัย	139

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ได้สิ่งปกคลุมต่างกัน	7
2	แสดงค่า time lag ต่อความลึก 1 ฟุต ของดินชนิดต่างๆ ในภูมิภาคแบบต่างกัน	11
3	ความหนาแน่น การนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของดินแบบต่างๆ	11
4	ผลการศึกษาของท่อที่ 1 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	53
5	ผลการศึกษาของท่อที่ 2 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	56
6	ผลการศึกษาของท่อที่ 3 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	58
7	ผลการศึกษาของท่อที่ 4 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	61
8	ผลการศึกษาของท่อที่ 5 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	64
9	ผลการศึกษาเฉลี่ยทั้ง 5 ท่อ ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1	67
10	ผลการศึกษาของท่อที่ 1 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	79
11	ผลการศึกษาของท่อที่ 2 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	82
12	ผลการศึกษาของท่อที่ 3 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	85
13	ผลการศึกษาของท่อที่ 4 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	88
14	ผลการศึกษาของท่อที่ 5 ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	91
15	ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2	94
16	ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ ในระหว่างการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 3	107
17	เปรียบเทียบผลการศึกษาทั้งสามช่วง	118

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิดินที่สัมพันธ์กับระดับความลึก	8
2	แสดงการออกแบบอาคารที่สัมผัสดินโดยรอบ แต่ยังคงรับแสงธรรมชาติ	13
3	แสดงระบบท่อฝังใต้ดิน	13
4	แสดงระบบท่อฝังดินแบบระบบเปิด	14
5	แสดงระบบท่อฝังดินแบบระบบปิด	14
6	พฤติกรรมกรรมสารผสมและการระบายก๊าซ Radon.....	17
7	แสดงการใช้ประโยชน์จากการสะสมความเย็นใต้ดินแล้วนำมาใช้ในอาคาร	19
8	แนวความคิดบังคับทิศทางลมผ่านถ้ำ เพื่อลดอุณหภูมิที่ The Villa Acolia.....	20
9	แสดงผังพื้นและรูปตัดอาคารที่ผิวสัมผัสดิน	21
10	แสดงการติดตั้งท่อใต้ดินในการทดลองของสุพจน์ ดวงสินทวีกุล	22
11	แสดงผังการวางท่อฝังดินแบบระบบเปิดและปิด ของธนรัชต์ ลิมปคุปตถาวร	23
12	แสดงแนวการวางระบบท่อฝังดินในการทดลองของวีระวุฒิ อรุณวรรณณะ.....	24
13	ระบบท่ออากาศฝังดินและจุดวัดอุณหภูมิ ในงานวิจัยของ Rattan Jadhav	25
14	ผังระบบท่ออากาศฝังดินและจุดวัดอุณหภูมิในงานวิจัย M.R. Patel and S.K. Philip	26
15	ผังแสดงเส้นทางรอบวัดจันเสน	30
16	แสดงตำแหน่งอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารีภายในวัดจันเสน	32
17	ทัศนียภาพด้านหน้าอาคารหอสมุดฯ (มองจากบ่อน้ำ หน้าพระมหาเจดีย์ฯ)	33
18	ทัศนียภาพด้านหลังอาคารหอสมุดฯ (ฝั่งหมู่กุฏิสงฆ์).....	33
19	ทัศนียภาพด้านข้างอาคารหอสมุดฯ (ฝั่งหมู่กุฏิ บริเวณบ่อน้ำดื่ม).....	33
20	อาคารไม้ทรงไทยชั้นบน และศาลาไม้พักผ่อนด้านหน้าอาคาร	34
21	แสดงพื้นที่ภายในห้องสมุดชั้นล่าง	34
22	ผังพื้นที่ชั้นที่ 1	35
23	ผังพื้นที่ชั้นที่ 2	36
24	ทัศนียภาพบริเวณบ่อน้ำดื่มและท่อลมเข้า.....	36
25	รูปตัดตามขวาง.....	37
26	ขณะก่อสร้างท่ออากาศฝังดินและอาคารหอสมุดฯ	38

ภาพที่		หน้า
27	ผังและรูปตัดของระบบท่ออากาศฝังดิน	38
28	ผังแสดงการวางท่อฝังดินใต้อาคาร และแนวรับลมจ่ายลมของตัวอาคาร	39
29	แสดงการไหลของอากาศในระบบท่อ	40
30	ปลายท่อลมเข้านอกอาคารและท่อลมออกในอาคาร	40
31	แสดงอาคารและแนวท่อลมเข้าลมออก	41
32	ปลายท่อลมเข้านอกอาคารและท่อลมออกในอาคาร	41
33	แสดงระบบท่ออากาศฝังดินใต้อาคาร.....	41
34	Data Logger Testo 175 - T1	43
35	Data Logger Testo 177 – T4	43
36	Testo 425 v-1	44
37	พัดลมดูดอากาศ Martech ที่ใช้ในอาคาร.....	44
38	ท่อพีวีซีสำหรับสอดสายวัดอุณหภูมิลงไปภายในท่ออากาศฝังใต้ดิน.....	45
39	แนวการไหลเวียนของอากาศในท่อ และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	46
40	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิทั้งหมดในอาคาร	46
41	ขั้นตอนขณะวัดอุณหภูมิในท่ออากาศฝังดินภายในอาคาร	47
42	ขั้นตอนเตรียมสาย Thermocouple ในการทดลองวัดผลอุณหภูมิภายในท่อ.....	48
43	ขณะบันทึกข้อมูลอากาศอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร	48
44	ขณะบันทึกข้อมูลอุณหภูมิดิน โดยสาย Thermocouple.....	48
45	ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ค่าเก็บการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในท่อ	49
46	ขั้นตอนขณะเก็บข้อมูลอุณหภูมิลมออกปลายท่อ	49
47	สภาพแวดล้อมบริเวณปากท่อลมเข้า ที่มีไม้พุ่มเตี้ยปกคลุม	51
48	ปากท่อลมเข้าซึ่งมีระดับต่ำ และตะแกรงตาข่ายปากท่อที่ทรุดโทรม	52
49	บริเวณบ่อดักความชื้น และภายในบ่อที่มีถ่านและน้ำชุ่มขัง.....	52
50	กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (การศึกษาครั้งที่1).....	72
51	กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (การศึกษาครั้งที่1).....	72
52	การปรับปากท่อให้สูงขึ้น และสภาพหลังปรับพื้นที่บริเวณหน้าปากท่อรับลมเข้า	75
53	เปรียบเทียบสภาพพื้นที่บริเวณปากท่อรับลมก่อนและหลังปรับปรุง	75
54	แสดงการดูดน้ำออกจากระบบท่อด้วยเครื่องปั๊มแบบไดโว่.....	76
55	แสดงการปรับปรุงระดับปากบ่อดักความชื้น	77

ภาพที่		หน้า
56	สภาพขณะปรับปรุงป้องกันความชื้น.....	77
57	ก่อนและหลังปรับปรุงภายในบ่อตัดความชื้น	77
58	แสดงการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ.....	78
59	กราฟฟิควัสดุในอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (เปิดพัดลมดูดอากาศ).....	101
60	กราฟฟิควัสดุในอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (เปิดพัดลมดูดอากาศ).....	101
61	กราฟฟิควัสดุในอากาศที่ผ่านระบบท่อในช่วงกลางวัน (เปิดพัดลมดูดอากาศ)	102
62	กราฟฟิควัสดุในอากาศที่ผ่านระบบท่อในช่วงกลางคืน (เปิดพัดลมดูดอากาศ)	102
63	แสดงปัญหาน้ำที่ท่วมขังในระบบท่อฝังดินอีกครั้ง	105
64	สภาพพื้นที่บริเวณปากท่อรับลมเข้า.....	106
65	น้ำที่กลับมาท่วมขังภายในบ่อตัดความชื้น และสภาพบริเวณบ่อตัดความชื้น	106
66	กราฟฟิควัสดุในอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (การศึกษาครั้งที่ 3).....	115
67	กราฟฟิควัสดุในอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (การศึกษาครั้งที่ 3).....	115
68	แสดงโครงข่ายของระบบท่อ และเปรียบเทียบถ้าปรับเปลี่ยนเป็นระบบเดี่ยว....	123
69	การเปลี่ยนขนาดท่อ ของท่อวัสดุเดียวกับท่อที่เป็น2วัสดุในงานวิจัยนี้.....	124
70	แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 1 ของการศึกษาครั้งที่สาม.....	130
71	แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 2 ของการศึกษาครั้งที่สาม.....	130
72	แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 3 ของการศึกษาครั้งที่สาม.....	131
73	แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 4 ของการศึกษาครั้งที่สาม.....	131

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	เปรียบเทียบอุณหภูมิดินและอากาศในหนึ่งวัน (ก.พ. สถานีตากฟ้า นครสวรรค์)...	8
2	เปรียบเทียบอุณหภูมิดินระดับต่างๆรายเดือนปีค.ศ. 2008 (สถานีตากฟ้า นครสวรรค์)	9
3	เปรียบเทียบอุณหภูมิดินลึก 100 ซม. ในแต่ละภาคของประเทศไทย ปี2007.....	9
4	อุณหภูมิดินที่ระดับ 1.5 ม. (USA)	10
5	อุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ	10
6	แสดงความสัมพันธ์ของความยาว ขนาด และการทำความเย็น	16
7	ความสัมพันธ์ของความยาวต่อขนาด 6 นิ้ว กับดินแบบต่างๆ ในการทำความเย็น..	19
8	สถิติอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปี ของสถานีเกษตรตากฟ้า ตากฟ้า จ.นครสวรรค์	31
9	สถิติอุณหภูมิดินเฉลี่ยระดับ 100 ซม. รายปี สถานีเกษตรตากฟ้า ตากฟ้า	31
10	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 1	54
11	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 1	55
12	แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางต่อกับปลายท่อในท่อที่ 1	55
13	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 2	57
14	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 3	59
15	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 3	60
16	แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางต่อกับปลายท่อในท่อที่ 3	60
17	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 4	62
18	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 4	63
19	แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางต่อกับปลายท่อในท่อที่ 4	63
20	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 5	65
21	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 5	66
22	แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางต่อกับปลายท่อในท่อที่ 5	66
23	แสดงอุณหภูมิกอากาศกลางท่อทั้ง 5 ที่ได้จากการวัดผล.....	68
24	แสดงอุณหภูมิกอากาศปลายท่อทั้ง 5 ที่ได้จากการวัดผล	69
25	แสดงค่าความชื้นที่ได้จากการวัดผลครั้งที่ 1.....	70
26	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกอากาศกลางท่อทั้ง5 ในการศึกษาครั้งที่ 1.....	71

แผนภูมิที่	หน้า	
27	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 1.....	71
28	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 1	80
29	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 1 (ปิดพัดลม).....	81
30	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 1 (เปิดพัดลม)....	81
31	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 2	83
32	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 2 (ปิดพัดลม).....	84
33	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 2 (เปิดพัดลม)....	84
34	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 3	86
35	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 3 (ปิดพัดลม).....	87
36	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 3 (เปิดพัดลม)....	87
37	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 4	89
38	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 4 (ปิดพัดลม).....	90
39	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 4 (เปิดพัดลม)....	90
40	แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 5	92
41	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 5 (ปิดพัดลม).....	93
42	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 5 (เปิดพัดลม)....	93
43	แสดงอุณหภูมิอากาศกลางท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 2.....	95
44	แสดงอุณหภูมิอากาศปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 2	96
45	แสดงค่าความชื้นในการศึกษาครั้งที่ 2.....	97
46	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิมิกลางท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 2.....	98
47	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิปปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 2	98
48	แสดงผลของอุณหภูมิมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่1	99
49	แสดงผลของอุณหภูมิมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่2	99
50	แสดงผลของอุณหภูมิมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่3	100
51	แสดงผลของอุณหภูมิมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่4	100
52	แสดงผลของอุณหภูมิมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่5	101
53	แสดงอุณหภูมิรวมทั้ง 5 ท่อ ในการศึกษาครั้งที่ 3	108
54	แสดงอุณหภูมิอากาศกลางท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 3.....	109
55	แสดงอุณหภูมิอากาศปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 3	110

แผนภูมิที่		หน้า
56	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกลางท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 3	111
57	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 3	111
58	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆของทั้ง 5 ท่อ	112
59	แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อทั้ง 5 ท่อ	112
60	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคาร 2 ตำแหน่ง	113
61	แสดงค่าความชื้นในการศึกษาครั้งที่ 3	114

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและประเด็นสำคัญของปัญหา (Statements and Significance of the problems)

จากสถานการณ์ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมของประเทศไทยปัจจุบัน ด้วยการรับอิทธิพลทางสถาปัตยกรรมรูปแบบต่างๆที่มีเข้ามาอย่างหลากหลาย ทำให้แนวโน้มของสถาปัตยกรรมไทยหรือทางพื้นถิ่น ที่ซึ่งตอบสนองวิถีสังคมและสิ่งแวดล้อมมาช้านาน ได้ถูกลดบทบาทลง การตระหนักถึงคุณค่าและแสวงหาแนวทางในการพัฒนาเพื่อเพิ่มบทบาทของสถาปัตยกรรมในประเทศไทยจึงเกิดขึ้น

ในปัจจุบันการที่สังคมหันมาให้ความสำคัญต่อปัญหาสภาวะโลกร้อนที่ซึ่งส่งผลในทุกสาขาวิชาชีพ รวมถึงการออกแบบสถาปัตยกรรมในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานให้กับอาคาร ที่จะสามารถใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้เกิดประโยชน์กับอาคารอย่างคุ้มค่า ดังนั้นการเพิ่มความสำคัญให้กับงานสถาปัตยกรรมไทยตามกระแสการอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับสถาปัตยกรรมในประเทศไทย อีกทั้งยังพัฒนาการออกแบบโดยตอบสนองวิถีสังคมและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

จากแนวคิดของการอนุรักษ์พลังงานกับอาคารในหลายๆประเด็น มีแนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจแต่ยังมีการประยุกต์ใช้ที่ยังไม่แพร่หลาย คือการนำประโยชน์จากความเย็นใต้ดินมาใช้กับอาคารด้วยการใช้ท่ออากาศฝังดิน จากหลักการที่สภาพใต้ดินมีอุณหภูมิโดยรวมต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวันและปีก่อนข้างน้อย ซึ่งจะอยู่ในช่วง 27-29 องศาเซลเซียส การให้อากาศผ่านระดับความเย็นดังกล่าวด้วยการฝังท่ออากาศลงใต้ดิน แล้วให้อากาศไหลเวียนภายในท่อที่ทำให้อุณหภูมิลดลงแล้วจึงนำมาใช้ภายในอาคาร เพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำลงใกล้เคียงกับขอบเขตสภาวะน่าสบาย จากแนวคิดดังกล่าวนี้สำหรับในประเทศไทยได้มีการศึกษาและทำการทดลอง แต่ยังคงขาดการประเมินผลกับอาคารจริงที่ผ่านการใช้งานระบบท่ออากาศฝังดินอย่างต่อเนื่อง และเป็นระยะเวลายาวนาน

สำหรับอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารีที่เป็นอาคารทางสถาปัตยกรรมไทย ซึ่งตั้งอยู่ในวัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์ ได้นำแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากความเย็นใต้ดินนี้มาใช้ ด้วยการสร้างระบบท่ออากาศฝังดินกับอาคารและมีการใช้สอยอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปัจจุบัน จากการสร้างระบบท่ออากาศฝังดินกับอาคารและมีการใช้สอยอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปัจจุบัน จากการใช้แนวทางอนุรักษ์พลังงานกับรูปแบบอาคารสถาปัตยกรรมไทยดังกล่าวนี้ จึงสอดคล้องกับแผนงานวิจัยที่ต้องการศึกษาถึงประสิทธิผลของระบบท่ออากาศฝังดินที่เกิดขึ้น หากความเหมาะสมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลายาวนานจากการศึกษาและเก็บข้อมูลกับอาคารสถานที่จริง ที่จะสามารถเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงาน โดยการใช้ท่ออากาศฝังดินอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังส่งเสริมคุณค่าของสถาปัตยกรรมไทยให้มากขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้กับแนวทางการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ได้ต่อไปในอนาคต

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Goals and Objectives)

- 1 เพื่อศึกษาถึงประสิทธิผลและความเหมาะสม โดยการใช้ระบบท่ออากาศฝังดินกับอาคารที่ผ่านการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงมาอย่างยาวนาน
- 2 เพื่อทราบถึงปัญหาและแนวทางการปรับปรุงระบบท่ออากาศฝังดิน ให้สามารถนำมาใช้ในการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ
- 3 ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของระบบท่ออากาศฝังดิน
- 4 ศึกษาเปรียบเทียบความคงที่ของประสิทธิผลการใช้ท่ออากาศฝังดินในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของปี
- 5 ความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้แนวทางการอนุรักษ์พลังงานกับสถาปัตยกรรมไทย ด้วยการใช้ประโยชน์จากท่ออากาศฝังดิน

สมมติฐานของการศึกษา (Hypothesis to be tested)

- 1 ระบบท่ออากาศฝังดินสามารถปรับลดอุณหภูมิที่ผ่านท่อ ที่ทำให้อุณหภูมิลมออกปลายท่อและอุณหภูมิในอาคารลดต่ำลงซึ่งอยู่ในช่วงกลางวัน และสามารถเพิ่มอุณหภูมิลมออกในช่วงเวลากลางคืน
- 2 การลดความร้อนด้วยท่ออากาศฝังดิน จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อประสานระบบกับการใช้พัดลมดูดอากาศ

ขอบเขตของการศึกษา (Scope of Study)

- 1 ศึกษาประสิทธิผลของระบบท่ออากาศฝังดินภายในอาคารกรณีศึกษา โดยควบคุมตัวแปรอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงระบบท่อฝังดิน
- 2 ศึกษาประสิทธิผลของท่ออากาศฝังดินในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของปี
- 3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลของท่ออากาศฝังดินในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน
- 4 การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาระบบท่ออากาศฝังดินตามที่ถูกออกแบบได้กำหนดไว้ จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระบบท่อฝังดินนอกเหนือจากการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิผล

ขั้นตอนและวิธีการศึกษา (Process of the Study)

เป็นการวิจัยกับสถานที่จริง ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิ ตั้งสมมุติฐานและประเด็นในการศึกษา และได้วางแผนการศึกษาดังนี้

- 1 การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัย
 - 1.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี และบทความที่เกี่ยวข้องกับดินและระบบท่ออากาศฝังดิน (Earth tube cooling) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น
 - 1.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อฝังดิน ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
- 2 รวบรวมข้อมูล สำรองอาคารกรณีศึกษาและระบบท่ออากาศฝังดินของอาคาร
- 3 เตรียมแผนวิจัยและเข้าไปศึกษาทดลองกับอาคารสถานที่จริง แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้
 - 3.1 การศึกษาครั้งที่ 1
 - 3.1.1 ศึกษาแบบท่ออากาศฝังดินตามสภาพใช้งานจริง
 - 3.1.2 ทำการศึกษาโดยการวัดผลและบันทึกข้อมูลกับสถานที่จริง
 - 3.1.3 วิเคราะห์ข้อมูล กำหนดการปรับปรุงและแผนการทดลอง
 - 3.2 การศึกษาครั้งที่ 2
 - 3.2.1 ปรับปรุงระบบท่ออากาศฝังดินและสภาพแวดล้อมบริเวณรอบๆ
 - 3.2.2 ทำการทดลอง โดยการวัดผลและบันทึกข้อมูลกับสถานที่จริง
 - 3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลครั้งที่ 2
 - 3.3 การศึกษาครั้งที่ 3
 - 3.3.1 ทิ้งเวลาให้ท่อใช้งานช่วงระยะหนึ่ง และศึกษาในช่วงปลายปี

3.3.2 ทำการทดลองโดยการวัดผลและบันทึกข้อมูลกับสถานที่จริง

3.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลครั้งที่ 2

4 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์

5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

- ตัวแปรอิสระ - การใช้ระบบการท้ออากาศฝัดดินกับอาคาร
- ตัวแปรตาม - อุณหภูมิอากาศภายในท้อ (กลางท้อและปลายท้อ)
 - อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร
- ตัวแปรควบคุม - วัสดุผิวท้อภายใน
 - การระบายอากาศในอาคาร เช่นการเปิดปิดหน้าต่างต่าง
 - การใช้พัดลมดูดอากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 เพื่อทราบถึงประสิทธิผลของระบบท้ออากาศฝัดดินในการลดความร้อน กับอาคารที่ผ่านการใช้งานจริงมาเป็นระยะเวลายาวนาน (10ปี)
- 2 เพื่อทราบปัญหาและแนวทางการออกแบบปรับปรุงระบบท้ออากาศฝัดดิน
- 3 เป็นแนวทางการปรับใช้ระบบท้ออากาศฝัดดินกับอาคารอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด
- 4 เป็นการประยุกต์ใช้แนวทางการอนุรักษ์พลังงานกับงานสถาปัตยกรรมไทย เพื่อเพิ่มคุณค่าและเป็นแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

บทที่ 2

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากรายงานโครงการวิจัยนี้ต้องการจะศึกษาถึงแนวทางการใช้ประโยชน์จากการใช้ความเย็นใต้ผิวดิน (Earth cooling) ซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและค่อนข้างคงที่ ด้วยการใช้นิเวศบำบัดอากาศฝังดิน (Earth tube) กับงานสถาปัตยกรรม เพื่อให้เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงตัวแปรและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับดินและระบบท่ออากาศฝังดิน อีกทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะสามารถดำเนินการสร้างระเบียบวิจัยที่ถูกต้องสมบูรณ์และครบถ้วน โดยมีข้อมูลหลักๆดังต่อไปนี้

ทฤษฎีทั่วไปที่เกี่ยวกับอุณหภูมิดิน

จากคุณสมบัติทั่วไปของอุณหภูมิดิน สามารถแบ่งอุณหภูมิได้เป็นสองระดับคือผิวดินและใต้ผิวดิน โดยที่ระดับผิวดินในพื้นที่เล็กๆดินที่มีมวลสารและระดับความลึกไม่มาก อุณหภูมิของดินจะแปรผันตามอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศและผิวน้ำดินต่างๆเช่น สีของดิน ความสามารถในการดูดกลืนและการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ รวมถึงประเภทดินและปริมาณความชื้น ส่วนระดับใต้ผิวดินอุณหภูมิที่ดินมีระดับความลึกหนึ่งในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ อุณหภูมิที่ความลึกนั้นจะค่อนข้างคงที่ มีค่าเทียบเท่ากับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดิน โดยตลอดปี ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ สามารถแยกตัวแปรที่มีผลกับอุณหภูมิดิน ได้ดังนี้

1 ดินและองค์ประกอบของดิน

แบ่งประเภทของดินตามลักษณะเนื้อดิน พิจารณาจากปริมาณอนุภาคมวลสารแต่ละชนิด ซึ่งดินจะประกอบด้วยอนุภาค เม็ดทราย เม็ดซิลท์ และเม็ดดินเหนียว โดยทั่วไปดินที่อยู่ในสภาพพื้นที่ระดับต่ำจะประกอบด้วยเม็ดดินเหนียวมากกว่าดินในสภาพพื้นที่ระดับสูงกว่า อาจกล่าวได้ว่าเนื้อดินจะขยายขึ้นเมื่อระดับดินสูงขึ้น ลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกันนี้มีความสามารถในการระบายน้ำที่ต่างกัน ส่งผลถึงระดับความชื้นในดินที่แตกต่างกัน เป็นที่ทราบกันว่าความชื้นในดินมีผลให้อุณหภูมิดินใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก มีความสามารถในการนำความร้อนและค่าการกระจายความร้อนได้ดีกว่าดินที่มีระดับความชื้นต่ำหรือดินแห้ง ดังนั้นดินที่มีความชื้นสูงจะมีช่วง

ของอุณหภูมิที่ผิวดินระหว่างวันน้อยและส่งผ่านความร้อนได้เร็วกว่าดินแห้ง จึงทำให้มีผลถึงแนวทางการใช้ประโยชน์จากดินที่ต่างกันด้วย

2 สีของดิน

เป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิในดินมีความแตกต่างกัน หากปราศจากสิ่งปกคลุมดินแล้วดินที่สีเข้มจะมีความสามารถในการดูดซับรังสีได้ดี ส่วนดินสีอ่อนลงความสามารถในการดูดซับจะน้อยลงและจะมีค่าสะท้อนรังสีความร้อนมากขึ้นตามลำดับ ดินในประเทศไทยสีของดินชั้นบนส่วนใหญ่คล้ายคลึงกันคือมีสีน้ำตาลจนถึงเทา สำหรับดินชั้นล่างจะขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของดิน แต่โดยมากจะพบตั้งแต่สีเทาถึงน้ำตาลปนเทาในบริเวณที่ลุ่ม ส่วนที่ดอนดินระดับล่างมักเป็นสีน้ำตาลแกมแดงหรือสีแดง

3 สิ่งปกคลุมดิน

สิ่งปกคลุมดิน (พื้นผิวที่ต่างกัน) จากการรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ผิวดินที่มีสิ่งปกคลุมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม เนื่องจากดินที่มีสิ่งปกคลุมเป็นการลดการดูดซับรังสีความร้อนที่ผิว อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียน้ำในผิวดินด้วย ซึ่งสิ่งปกคลุมดินสามารถแบ่งได้สองแบบ คือ สิ่งมีชีวิตปกคลุมดินเช่นพืชพรรณต่างๆ มีแนวโน้มที่ช่วยลดความแปรปรวนของอุณหภูมิดินได้ โดยการลดปริมาณความร้อนที่กระทบผิวดินและลดปริมาณความร้อนที่สะท้อนจากผิวดิน ดังนั้นอุณหภูมิดินที่มีพืชพรรณปกคลุมจึงมีความแปรปรวนน้อยกว่าอุณหภูมิดินที่ว่างเปล่าหรือสิ่งปกคลุมดินที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต เช่น ยางมะตอย หรือวัสดุผิวแบบต่างๆ ความสามารถในการดูดซับสะท้อนแสงและนำความร้อนได้ดีจึงแตกต่างกันด้วย ฉะนั้นอุณหภูมิดินในขณะหนึ่งๆจะเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับชนิดสิ่งปกคลุมดิน ความสามารถในการดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสิ่งปกคลุมบางชนิดนั้นๆด้วยเช่นกัน

จากการทดลองของ KUSUDA (Givoni 1994 : 198) ที่เปรียบเทียบถึงอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ภายใต้สิ่งปกคลุมดินต่างกัน 5 ชนิดคือ ยางมะตอยสีดำหนา 12.5 เซนติเมตร ยางมะตอยสีขาว ดินไม่มีสิ่งปกคลุม หล้าเสมอกัน 10 เซนติเมตรและหล้ายาว พบว่าที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร สิ่งปกคลุมดินที่ต่างกันมีผลกระทบต่ออุณหภูมิดินคือยางมะตอยสีดำมีอุณหภูมิสูงถึง 91 องศาฟาเรนไฮน์ ในขณะที่หล้ายาวมีอุณหภูมิอยู่ที่ 70 องศาฟาเรนไฮน์ซึ่งต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ใต้สิ่งปกคลุมต่างๆ

Treatment		Depth Level (meters) of Soil				
		0	0.3	1.2	3.0	9.0
Black Asphalt	Max	91	87	79	68	56
	Min	29	33	37	48	52
	Mean	60	60	58	58	54
White Asphalt	Max	77	74	67	60	55
	Min	27	28	37	45	51
	Mean	52	51	52	52.5	53
Bare Soil	Max	77	74	72	63	56
	Min	28	32	34	43	51
	Mean	52.5	53	53	53	53
Short Grass	Max	75	69	64	61	56
	Min	31	35	39	47	52
	Mean	53	52	51.5	54	54
Long Grass	Max	70	65	62	61	54
	Min	28	34	38	46	51
	Mean	49	49.5	50	53.5	52.5

ที่มา : Givoni Baruch. Passive and low Energy Cooling of Buildings. (USA. : Van Nostrand Reinhold, 1994), 198.

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน พบว่า บริเวณใต้ต้นไม้ใหญ่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพแวดล้อมอื่นๆ เนื่องมาจากร่มเงาของพุ่มและใบที่ทำหน้าที่ยกความร้อน ดูดซับ และสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งความร้อนที่ดูดซับโดยผิวดินนี้จะไม่มากเท่ากับบริเวณสนามหญ้าหรือดิน โลง ส่วนสนามหญ้าสามารถป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีกว่าพื้นดิน โลงไม่มีสิ่งปกคลุม (ชนรัชต์ ธิมปคุปตถาวร 2545 : 23-24)

4 ความแปรผันอุณหภูมิดินรอบวันและรายเฉลี่ยตลอดปี

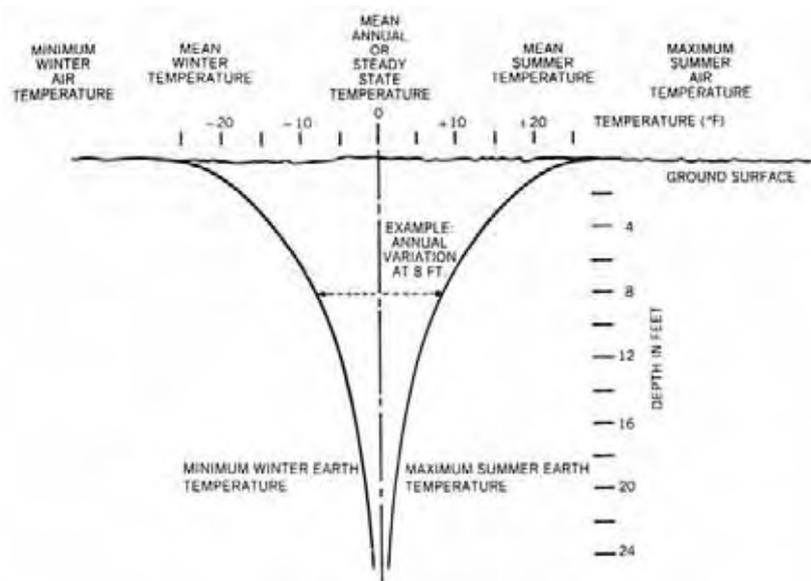
ในแต่ละวันอุณหภูมิอากาศจะมีค่าความแปรปรวนสูง ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศวันนั้นๆ แต่อุณหภูมิใต้ดินจะมีค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยความแปรปรวนของอุณหภูมิดินจะลดลงตามระดับความลึกของดิน ส่วนในรายปีหรือตามฤดูกาลอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกหนึ่งจะมีการผันแปรในทำนองเดียวกับอุณหภูมิในรอบวันแต่จะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยมากและมีการแกว่งตัวขึ้นลงโดยที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีที่เกือบเท่ากัน โดยที่ฤดูร้อนเปรียบเสมือนกลางวัน และฤดูหนาวเปรียบเสมือนกลางคืน

5 Amplitude ของอุณหภูมิดิน

คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยกับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดปี มีความสัมพันธ์กับระดับความลึกและค่า Thermal diffusivity ของดิน ทั้งนี้ Amplitude ของอุณหภูมิดินยิ่งใกล้ผิวดินยิ่งมีค่ามากและจะลดลงตามระดับความลึกที่มากขึ้น

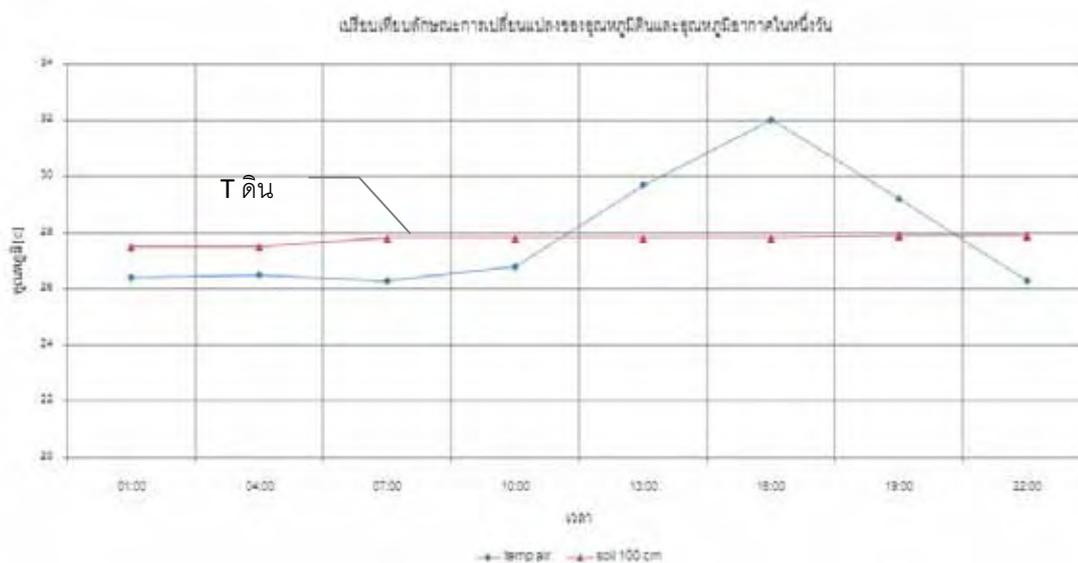
6 Steady state ของอุณหภูมิดิน

ค่าการคงที่ของอุณหภูมิดิน ได้ผิวดินที่ระดับความลึกหนึ่งที่ว่า Amplitude ไม่เกิน 5% ของค่าผิวดิน อุณหภูมิดินที่ระดับ Steady state จะมีค่าความสม่ำเสมอสูง โดยค่า Steady state ขึ้นอยู่กับชนิดดินและระดับน้ำในดินด้วย

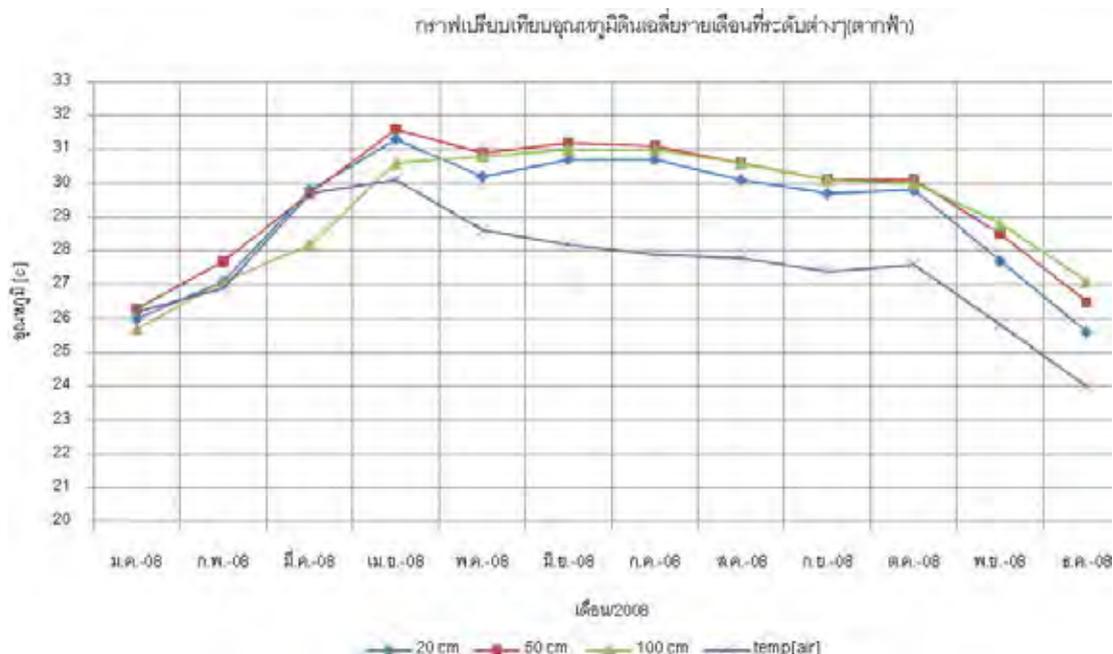


ภาพที่ 1 แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิดินที่สัมพันธ์กับระดับความลึก

ที่มา : Donald Watson, Fair and Kenneth Labs. Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book Company, 1983), 105.



แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินและอากาศในหนึ่งวัน (ก.พ. สถานีตากฟ้า นครสวรรค์)

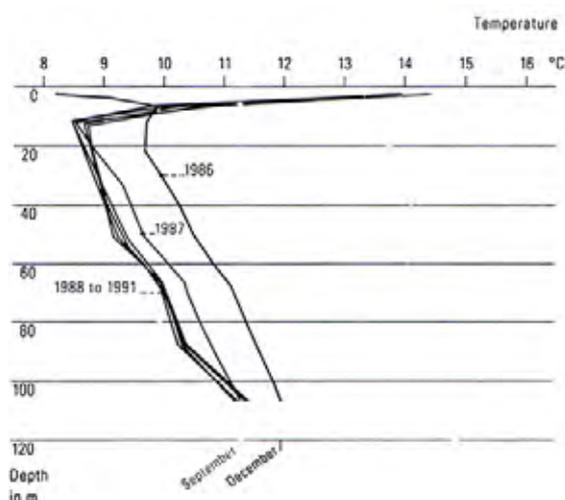
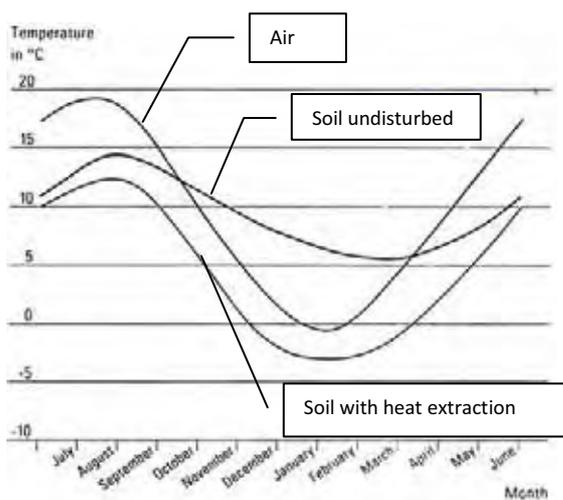


แผนภูมิที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินระดับต่างๆรายเดือนปี.ศ. 2008 (สถานีตากฟ้า นครสวรรค์)



แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินลึก 100 ซม. ในแต่ละภาคของประเทศไทย ปี.ศ. 2007

จากแผนภูมิ 3 สังเกตว่าในฤดูร้อนอุณหภูมิดินของภาคเหนือจะต่ำที่สุดตามมาด้วยภาคกลางและภาคใต้ ส่วนภาคอีสานจะร้อนที่สุด สำหรับช่วงฤดูหนาวอุณหภูมิดินจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน ยกเว้นภาคใต้จะสูงที่สุด จึงเป็นแนวทางในการศึกษาก่อนการใช้ประโยชน์จากความเย็นใต้ดิน



แผนภูมิที่ 4 อุณหภูมิดินที่ระดับ 1.5 ม. (USA)

แผนภูมิที่ 5 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ

ที่มา : Stein, Reynold and McGuinness. Mechanical and Electrical Equipment for Building. (New York : John Wiley & Sons, 1992), 223.

ที่มา : Stein, Reynold and McGuinness. Mechanical and Electrical Equipment for Building. (New York : John Wiley & Sons, 1992), 223.

7 Conductive capacity ของดิน

คือค่าความจุในการนำความร้อนของดิน วัสดุที่มีค่า Conductive capacity สูงจะมีศักยภาพในการสะสมความร้อนหรือเป็น Heat sink ที่ดี ผลอีกประการหนึ่งของการมีค่า Conductive capacity ที่สูงก็คือจะทำให้อุณหภูมิผิวสัมผัสอมมากขึ้น ฉะนั้นค่า Amplitude อุณหภูมิผิวดินจึงลดลง

8 Thermal diffusivity ของดิน

หรือค่าการกระจายความร้อนของดิน จะมีความแตกต่างกันออกไปตามความหนาแน่นของดินและปริมาณน้ำในดิน แต่เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีค่าไม่คงที่จึงทำให้ค่า Thermal diffusivity ของดินทั่วไปมีค่าประมาณ $0.6 \text{ ft}^2/\text{day}$

9 Time lag ของดิน

ค่าการหน่วงความร้อนของดิน เป็นระยะเวลาที่ดินในระดับชั้นหนึ่งๆเริ่มได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ชั้นผิวดินและสามารถเก็บความร้อนจนถึงระดับหนึ่งก่อนจะส่งความร้อนยังต่อยังส่วนต่อไป ดินที่มีมวลสารมากจะทำให้มี Time lag มากขึ้น และจะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกับระดับความลึกของดิน

ตารางที่ 2 แสดงค่า time lag ต่อความลึก 1 ฟุต ของดินชนิดต่างๆ ในภูมิอากาศแบบต่างกัน

CLIMATE	SOIL TYPE		
	LOAM/CLAY	MIXED	SANDY
Desert	24	25	26
Arid	22.5	23.5	24.5
Intermediate	21	22	23
Humid	19.5	20.5	21.5
Wet	18	19	20

ที่มา : Givoni Baruch. Passive and low Energy Cooling of Buildings. (USA. : Van Nostrand Reinhold, 1994), 198.

10 Heat conductivity

คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุหนึ่งๆเป็นสิ่งบ่งบอกถึงความสามารถของวัสดุนั้นในการให้ความร้อนเคลื่อนผ่าน ดังนั้นถ้าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินสูงหากเกิดความร้อนที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของหน้าตัดดิน ย่อมทำให้ความร้อนกระจายไปยังพื้นที่ต่างๆได้ดี ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากและดินที่โปร่งมักจะมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินมักจะสูงขึ้นเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 3 แสดงความหนาแน่น การนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของดินแบบต่างๆ

Material Description	Density (lb/ft ³)	Thermal Conductivity . K (BTU / h.ft.F)	Unit Resistance, R (1" thickness)
Dense Rock	200	2	0.5
Wet Soil	117	1.4	0.70
Average Rock	175		
Dense Concrete	150	1.0	1.0
Solid Masonry	143	0.75	1.33
Heavy Soil, Damp	131	0.50	2.0
Heavy Soil, Dry	125		
Light Soil, Damp	100		
Light Soil Dry	90	0.20	5.0

ที่มา : Walter F. Wagner Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine. Energy – Efficient Building. (New York : McGraw – Hill, 1980), 85.

11 ตำแหน่งและความลาดเอียงของพื้นผิวโลก

11.1 ระดับเส้นรุ้ง ปกติอุณหภูมิเฉลี่ยดินและอุณหภูมิอากาศมักจะสูงที่สุดบริเวณเส้น

ศูนย์สูตรและจะลดลงเมื่อมีระยะห่างเพิ่มขึ้น

11.2 ความสูงจากระดับน้ำทะเล โดยปกติอุณหภูมิเฉลี่ยของดินและอุณหภูมิอากาศที่ระดับเส้นรุ้งหนึ่งๆ มักลดลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น เพราะว่าอากาศในบรรยากาศที่เบาบางลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่ม ความร้อนที่สะท้อนจากผิวดินจึงขึ้นสู่อากาศได้ง่าย

11.3 ความลาดเทจากผิวดิน อุณหภูมิที่ผิวดินบริเวณหนึ่งๆ โดยปกติจะสูงที่สุดเมื่อผิวดินราบและจะลดลงเมื่อผิวดินลาดเทเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อผิวดินลาดเทเนื้อที่รับแสงจึงลดลงเป็นผลทำให้ความเข้มของแสงลดลง

11.4 ทิศทางลาดเทของผิวดิน สำหรับซีกโลกเหนือเช่นประเทศไทย ผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศใต้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ลาดเททางทิศเหนือ เพราะแกนที่เชื่อมขั้วโลกได้กับเหนือของโลกมิได้ตั้งตรง แต่จะเอียงทางซ้ายประมาณ 23.5° ดังนั้น มุมที่แสงตกกระทบผิวดินลาดเทไปทางทิศใต้จึงใกล้เคียงกับมุมฉากมากกว่าดินที่ลาดเอียงทางทิศเหนือ

การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายในอาคาร

จากพื้นดินซึ่งมีอุณหภูมิใต้ดินที่ต่ำ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเกือบตลอดปีอยู่ระหว่าง 26-27 องศาเซลเซียส (ชนิด จินดาวงศ์ 2536) ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิที่อยู่ใกล้ขอบเขตสภาวะน่าสบาย สามารถนำความเย็นดังกล่าวมาใช้กับตัวอาคารที่อยู่ในระดับนั้นๆ โดยอาศัยดินเป็นแหล่งสะสมความเย็นและนำมาช่วยในการลดความร้อนกับอาคาร นอกจากจะได้รับความเย็นจากดินแล้วยังจะได้ผลด้านการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตัวเรากับสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่าอีกด้วย การใช้ประโยชน์จากดินโดยทั่วไปจะมี 2 ลักษณะดังนี้

1 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิมวลสารผิวดิน (Surface cooling)

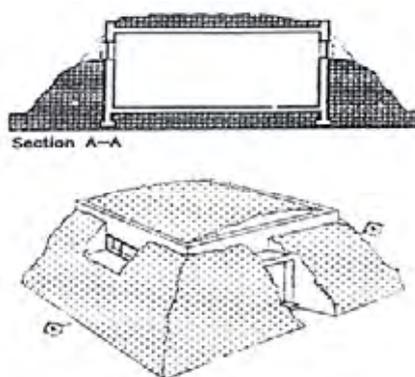
โดยทั่วไปวัสดุปกคลุมดินไม่ว่าจะเป็นพืชคลุมดินหรือหญ้า จะช่วยให้อุณหภูมิก่อนผิวดินเย็นกว่าบริเวณทั่วไปจากการระเหยของน้ำ เมื่อกระแสลมพัดผ่านบริเวณนี้เข้าสู่อาคาร จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดอุณหภูมิก่อนเข้าภายในอาคาร

2 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิมวลสารดิน (Direct cooling)

คือการใช้ประโยชน์โดยตรงจากอุณหภูมิมวลสารใต้ดิน ที่ระดับความลึกประมาณ 60 เซนติเมตรเป็นต้นไปดินจะมีอุณหภูมิก่อนข้างคงที่ (Givoni 1994) การแปรปรวนตามสภาพอากาศน้อยมากและอยู่ใกล้เคียงสภาวะน่าสบาย เทคนิคจากการใช้ประโยชน์จากมวลสารดินโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ

2.1 การใช้ผิวอาคารสัมผัสดิน (Earth contact)

เป็นวิธีการออกแบบเพื่อให้ผิวภายนอกอาคารสัมผัสกับดินโดยตรง โดยเลือกวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงเพื่อให้ส่วนที่สัมผัสดินมีอุณหภูมิที่ต่ำตามอุณหภูมิดินนั้น แล้วทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดต่ำลงเพื่อทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบายขึ้น จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถนำมาออกแบบกับอาคารได้ 3 ส่วนคือผนังพื้นและหลังคา โดยการออกแบบให้มีพื้นผิวสัมผัสดินให้มากที่สุด เพื่อให้ผิวสัมผัสมีอุณหภูมิต่ำใกล้เคียงกับอุณหภูมิดินมากที่สุด

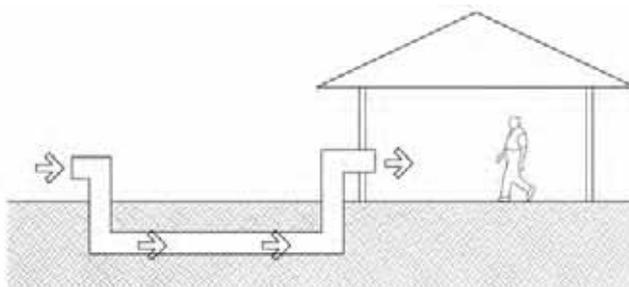


ภาพที่ 2 แสดงการออกแบบอาคารที่สัมผัสดินโดยรอบ แต่ยังคงรับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Givoni Baruch. Passive and low Energy Cooling of Buildings. (USA. : Van Nostrand Reinhold, 1994), 211.

2.2 การใช้ท่อฝังใต้ดิน (Earth tube)

คือการลดความร้อนโดยใช้ฝังท่ออากาศใต้ดิน วิธีการคือการฝังท่ออากาศลงใต้ดินแล้วทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในท่อ ใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในท่อแล้วจึงปล่อยเข้าไปภายในตัวอาคาร ทำให้อุณหภูมิในอาคารลดลงเข้าใกล้สภาวะน่าสบาย ซึ่งเป็นแนวคิดในการศึกษาประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้



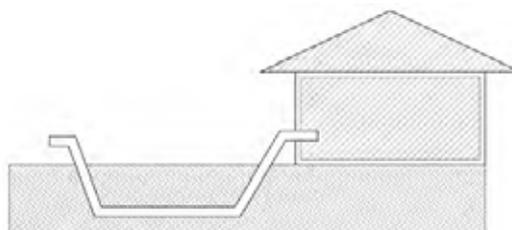
ภาพที่ 3 แสดงระบบท่อฝังใต้ดิน

ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับระบบท่ออากาศฝังดิน

คือการออกแบบอาคารผ่านการวางระบบท่ออากาศฝังใต้ดิน (Earth tube) โดยทั่วไปจะใช้วัสดุเป็นท่อพลาสติกหรือท่อ PVC โดยดูดอากาศจากภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิสูงผ่านท่อใต้ดิน ความแตกต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำความร้อนจากอากาศภายในท่อเปลี่ยนสู่อุณหภูมิดินที่เย็นกว่า เป็นการช่วยลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่าน ดังนั้นอากาศที่เข้ามาในอาคารจึงมีอุณหภูมิลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิดินในระดับนั้นๆ

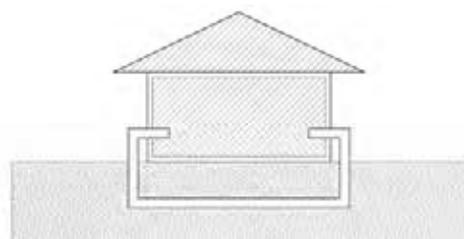
ระบบนี้จะใช้งานได้ดีในกรณีที่ดินมีอุณหภูมิต่ำประมาณ 21-27 องศาเซลเซียส สำหรับดินที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส นั้นไม่เหมาะที่จะเลือกใช้ทำความเย็นโดยตรง แต่อาจจะเหมาะสำหรับเพื่อลดอุณหภูมิก่อนที่จะนำไปสู่ระบบปรับอากาศหรือลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศลง (Givoni 1994) ซึ่งระบบท่ออากาศใต้ดินแบ่งแยกได้ 2 แบบดังนี้

1 Open loop คือการนำอากาศจากภายนอกอาคารมาทำความเย็นด้วยท่ออากาศฝังดินก่อนที่จะเข้าสู่อาคาร ระบบนี้เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องการ Ventilation rate ที่สูง เช่น โรงเรียน ห้องสมุด อาคารสาธารณะ



ภาพที่ 4 แสดงระบบท่อฝังดินแบบระบบเปิด

2 Close loop คือการนำอากาศภายในอาคารซึ่งมักมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอก มาผ่านระบบท่ออากาศฝังดิน แล้วนำกลับเข้าสู่ภายในอีกครั้งหนึ่งเพื่อประหยัดพลังงานในการทำความเย็น ระบบนี้เหมาะกับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่สูง



ภาพที่ 5 แสดงระบบท่อฝังดินแบบระบบปิด

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่ออากาศฝังดิน

1 การเลือกวัสดุทำท่ออากาศฝังดิน การพิจารณาเลือกใช้มีหลักดังนี้

1.1 สังกะตุคุณสมบัติของไหลของอากาศ ซึ่งในท่อกว่จะเป็นการไหลแบบที่มีอัตราเร็วคงที่ ปริมาณการไหลจะเท่ากันทุกๆจุดในระบบ ดังนั้นการพิจารณาจึงควรเลือกใช้ท่ออากาศฝังดินที่มีความเสียดทานที่ผิวน้อย

1.2 แนวโน้มการเกิดออกซิเดชันหรือการผุกร่อน คือการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนที่จะทำให้โลหะขึ้นสนิมและการผุกร่อน โลหะบางชนิดอาจทำให้เกิดก๊าซพิษ ดังนั้นวัสดุที่ใช้จึงต้องเป็นวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดสนิมและสิ่งแปลกปลอมภายในท่อ

1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน การพิจารณาเลือกใช้ท่อต้องมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูง จากแนวคิดในการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความร้อนของอากาศภายในท่อกับผิวสัมผัสดินที่อยู่โดยรอบ ซึ่งอากาศจะถ่ายเทความร้อนให้ดินได้ดีโดยผ่านท่อกที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูง ถ้าเลือกท่อกที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำหรือเป็นฉนวน อุณหภูมิอากาศที่ผ่านภายในท่อกจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

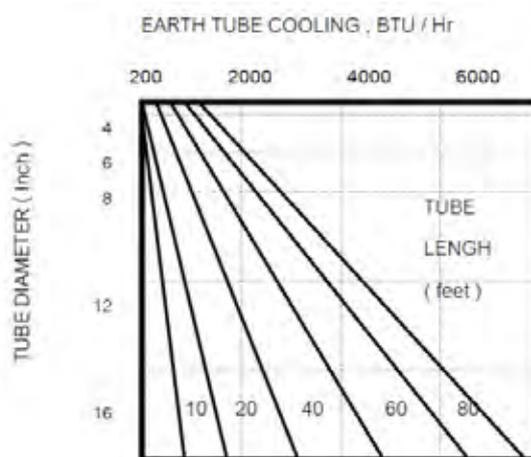
1.4 การป้องกันน้ำและความชื้น เพื่อไม่ให้เป็นการเพิ่มความชื้นกับระบบท่อใต้ดิน ซึ่งจะเป็นการสร้างปัญหาในการอยู่อาศัยและการทำความเย็น จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกวัสดุที่ไม่ยอมให้น้ำและความชื้นเข้าสู่ระบบได้ ส่วนประกอบใดที่ไม่สามารถป้องกันน้ำและความชื้นได้ จำเป็นต้องมีการเคลือบด้วยวัสดุป้องกันชื้นที่มีประสิทธิภาพ

1.5 ข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์ ในการเลือกใช้วัสดุของระบบท่ออากาศฝังดินควรจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น อาจจะไม่คุ้มค่าในการลงทุนเลือกใช้ระบบ จึงควรเปรียบเทียบค่าลงทุนของวัสดุที่เลือกใช้กับความสามารถในการลดอุณหภูมิของระบบท่อในการประหยัดพลังงาน

2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่ออากาศฝังดิน

ท่ออากาศฝังดินมักจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 4 นิ้วเป็นต้นไปจนถึง 20 นิ้ว (Stein&Reynolds 1992) จากงานวิจัยที่ผ่านมาสรุปลได้ว่าไม่ควรจะยาวเกิน 15 เมตรต่อหนึ่งท่อ เพราะอาจเกิดปัญหาการทรุดตัวและแตกร้าวได้ง่ายขึ้น (Givoni 1994) ดังนั้นเพื่อให้ได้ Flow rate ที่กำหนดจึงทำได้โดยเพิ่มจำนวนท่อให้มากและมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปลได้ว่ายิ่งท่อกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความยาวมากขึ้นเท่าไรจะยิ่งทำให้อากาศเย็นมากขึ้นแบบแปรผันตามกัน

มากขึ้นเท่านั้น ดังตัวอย่างการเปรียบเทียบคุณสมบัติของความสามารถในการทำความเย็นตามทฤษฎีของ Stein & Reynolds (ดูแผนภูมิ 6)



แผนภูมิที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความยาว ขนาด และการทำความเย็น

ที่มา : Stein, Reynold and Mc Guinness. Mechanical and Electrical Equipment for Building. (New York : John Wiley & Sons,1992), 223.

ทั้งนี้ในการเลือกใช้ขนาดและความยาวต้องดูความเหมาะสมกับราคาในการลงทุน เช่น ราคาตามท้องตลาดของท่อพีวีซี 12 นิ้ว มีราคาแพงกว่าท่อ 8 นิ้วถึง 2 เท่า และราคาท่อขนาด 8 นิ้วสูงกว่าท่อ 6 นิ้วถึง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบถึงความคุ้มค่าจึงควรเลือกท่อที่มีขนาด 6 นิ้ว ซึ่งมีความสามารถในการทำความเย็นต่ำแต่ต่ำลงมาจากท่อ 8 นิ้วไม่มาก (ธนรัชต์ ลิมปคุปตถาวร 2545)

3 ระดับความลึกในการติดตั้งท่ออากาศฝังดิน

พิจารณาจากหลักการที่อุณหภูมิใต้ดินควรจะต่ำประมาณ 21-27 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตรเป็นต้นไปดินจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่และอุณหภูมิจะลดต่ำลงตามระดับความลึกที่มากขึ้น (Givoni 1994) ดังนั้นท่อควรมีความลึกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้อุณหภูมิต่ำและมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปท่อจะมีความลึกอยู่ในระดับ 1-3 เมตร(ระดับฐานราก) เนื่องจากปัญหาความคุ้มทุนและข้อจำกัดในการก่อสร้าง ดังนั้นควรมีการพิจารณาถึงการจัดวางท่อให้เหมาะสมกับต้นทุนการก่อสร้างที่มีด้วย โดยงานวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทยส่วนใหญ่จะศึกษาอยู่ที่ระดับความลึก 1.1 เมตร (สุพจน์ ดวงสินทวีกุล 2537) (ธนรัชต์ ลิมป-คุปตถาวร 2545) (วีระวุฒิ อรุณวรรณระนะ 2549)

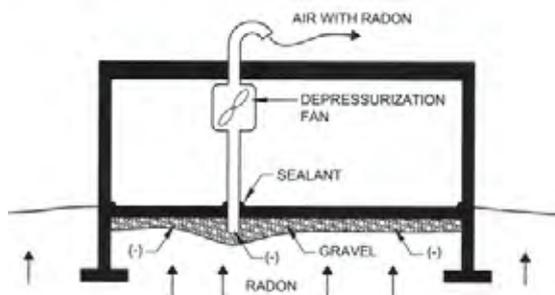
4 ความเร็วลมภายในท่อ การใช้งานควรมีเครื่องมือที่ช่วยทำให้อากาศในท่อมืดราการไหลมากขึ้นและคงที่ ความเร็วลมในท่อควรมีประมาณ 500 ฟุตต่อนาที (Stein&Reynolds 1992) ลักษณะในการติดตั้งท่ออากาศฝังดิน

จะเห็นว่าท่ออากาศฝังดินไม่ควรจะเป็นท่อเดียวที่มีความยาวมากๆ แต่ควรเป็นท่อที่ประกอบด้วยหลายๆท่อโดยมีระยะห่างแต่ละท่ออย่างน้อย 1.2 เมตร เพราะการใช้งานระบบท่ออากาศฝังดินอย่างต่อเนื่องและมีระยะห่างระหว่างท่อน้อยเกินไป จะมีผลทำให้อุณหภูมิดินบริเวณโดยรอบสูงขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นจึงควรมีการพิจารณาถึงระยะการใช้งานและการจัดวางท่อให้เหมาะสม ซึ่งการจัดวางท่อสามารถแบ่งเป็นสองลักษณะคือ Radius (รัศมี) และ Parallel (แบบขนาน) (Givoni 1994)

กรณีอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าผ่านเข้าในท่อ อาจทำให้เกิดการควบแน่นขึ้นภายในได้ ดังนั้นจึงควรมีการป้องกันโดยเลือกการวางท่อในบริเวณที่มีอุณหภูมิไม่สูงมาก (ในภูมิภาคอากาศแบบร้อนชื้นควรหลีกเลี่ยงการวางท่อไว้ใต้ถุนอาคารเพราะอากาศบริเวณนั้นจะมีความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่น) หรือมีการจัดการกับน้ำภายในท่อเพื่อคุณภาพอากาศที่ดีภายในอาคารด้วย

ข้อคำนึงในการติดตั้งท่ออากาศฝังดิน (การเกิดก๊าซพิษ Radon)

ไม่นานมานี้มีการค้นพบก๊าซพิษ Radon โดย U.S. Surgeon General ซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสีไม่มีกลิ่นไม่มีสี จากการสะสมอย่างช้าๆใต้ดิน พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของสาร Radon จะเคลื่อนจากที่ต่ำไปที่สูง ถ้ามีเชื้อราและสิ่งสกปรกในพื้นที่ที่มีน้ำขังหรือที่เปียกชื้นรุนแรง เช่นช่องว่างระหว่างพื้นอาคารกับหลุมใต้ดินหรือบริเวณรอยแตกร้าวใต้อาคาร ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะอากาศเป็นพิษ ผู้อาศัยในอาคารจะเกิดภูมิแพ้และสามารถทำให้เป็นเกิดโรคมะเร็งปอดได้



ภาพที่ 6 พฤติกรรมการสะสมและการระบายก๊าซ Radon

ที่มา : Norbert Lechner. Heating, Cooling, Lighting Sustainable design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 2008), 501.

งานและบทวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิดินของ ธนิต จินดาวงศ์ ที่ระดับความลึก 6 - 8 นิ้ว ตามสถานที่สามแห่งในกรุงเทพมหานคร

1.1 อาคารศูนย์วัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 บ้านพักอาศัยของศาสตราจารย์สุสดี ทิพทัส

1.3 บ้านพักอาศัยของคุณณลินี จินดาวงศ์

พบว่าดินที่มีความสามารถสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคารและที่อยู่อาศัย ได้ผลข้อมูลดังนี้

1.1 ในเดือนตุลาคม 2535 ที่อาคารศูนย์วัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีอุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 25.5 ถึง 26.5 องศาเซลเซียส มีความแปรเปลี่ยน 0.6 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกมีความแปรเปลี่ยนประมาณ 4.7 องศาเซลเซียส และช่วงร้อนจัดจะมีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่ 29.2 องศาเซลเซียส

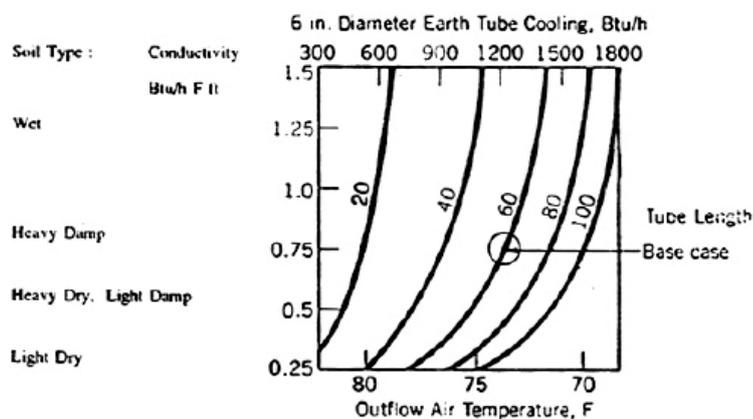
1.2 ในเดือนพฤษภาคม 2535 ที่บ้านพักอาศัยของศาสตราจารย์สุสดี ทิพทัส มีอุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 24.23 ถึง 24.66 องศาเซลเซียส มีความแปรเปลี่ยน 0.43 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกมีความแปรเปลี่ยนประมาณ 9.75 องศาเซลเซียส และช่วงร้อนจัดมีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่ 32.7 องศาเซลเซียส

1.3 ในเดือนมกราคม 2535 ที่บ้านพักอาศัยของคุณณลินี จินดาวงศ์ มีอุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 26.0 ถึง 26.6 องศาเซลเซียส มีความแปรเปลี่ยน 0.6 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกมีความแปรเปลี่ยนประมาณ 9.71 องศาเซลเซียส และช่วงร้อนจัดมีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่ 32.7 องศาเซลเซียส

จากกรณีดังกล่าวจะเห็นว่าอุณหภูมิดินค่อนข้างคงที่ และต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยเฉพาะในช่วงเวลาร้อนจัด

2 งานวิจัยของ Donald W. Adrams, 1986. (Stein&Reynold 1992)

ที่ว่าด้วยการประยุกต์ความยาวและขนาดของท่ออากาศฝังดิน โดยได้ทำการทดลองประเมินค่าความเย็นของระบบท่ออากาศฝังดิน พิจารณาท่อที่มีขนาดต่างๆกันในดินที่มีค่าการนำความร้อน 0.79 BTU/Hr และใช้ความเร็วลม 500 ฟุต/นาที ดึงอากาศจากภายนอกผ่านท่อ ได้ผลประเมินถึงความสัมพันธ์ของปริมาณความเย็นที่ได้กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่อตามตาราง กล่าวคือยิ่งค่าความยาวท่อหรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากยิ่งขึ้น ทำความเย็นได้มากขึ้นนั่นเอง



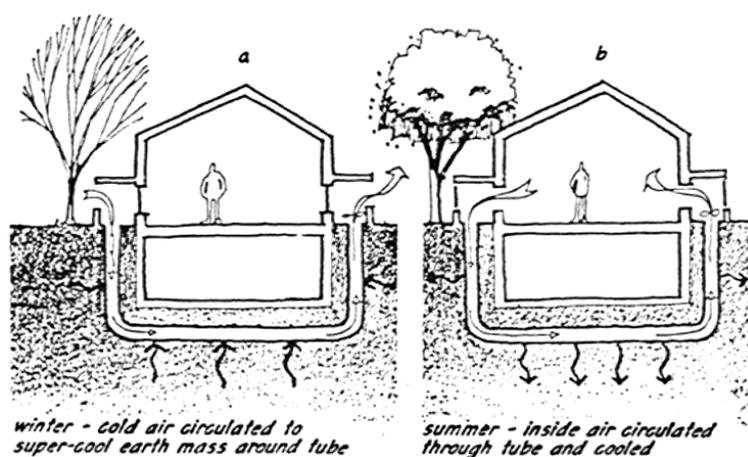
แผนภูมิที่ 7 ความสัมพันธ์ความยาวท่อ 6 นิ้วกับดินแบบต่างๆ ในการทำความเย็น

ที่มา : Stein, Reynold and McGuinness. Mechanical and Electrical Equipment for Building.

(New York : John Wiley & Sons,1992), 223.

3 Fuller Moore: US Department of Housing and Urban Development Cycle Demonstration Program Cincinnati.

งานวิจัยของ Fuller Moore ทดลองโดยใช้ท่อ PVC ขนาด 6 นิ้ว ยาว 70 ฟุต (21 เมตร) ฝังใต้ดินลึก 8 ฟุต (2.5เมตร) โดยใช้พัดลมขนาด 1/10 แรงม้าดูดอากาศเข้าท่อ ในช่วงฤดูหนาวจะดูดอากาศภายนอกผ่านท่อเพื่อไปทำให้ดินบริเวณที่ฝังท่อที่มีการสะสมความเย็นอยู่ร้อนขึ้น ในช่วงฤดูร้อนใช้พัดลมดูดอากาศจากภายในผ่านท่อเพื่อนำความเย็นที่สะสมอยู่ในดินมาช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร



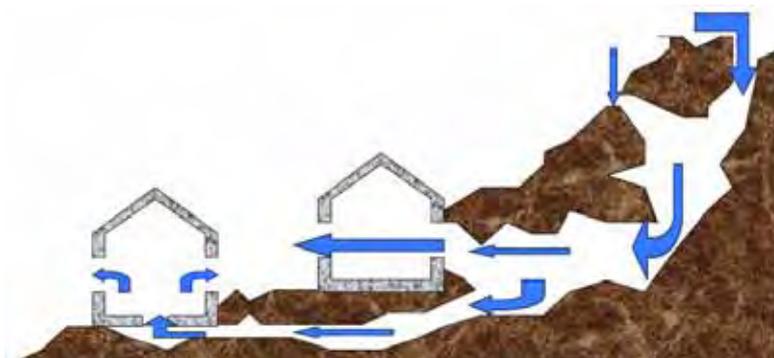
ภาพที่ 7 แสดงการใช้ประโยชน์จากการสะสมความเย็นใต้ดินแล้วนำมาใช้ในอาคาร

ที่มา : Stein, Reynold and McGuinness. Mechanical and Electrical Equipment for Building.

(New York : John Wiley & Sons,1992), 223.

4 กลยุทธ์การลดอุณหภูมิอากาศโดยอาศัยท่อใต้ดิน The Villa Acolia.

ออกแบบโดย Count Francesco ในปีค.ศ. 1550 หลักการคืออากาศจะถูกทำให้เย็นลง โดยให้อากาศผ่านเข้าถ้ำทางด้านข้างของภูเขาจุดที่เปิดอยู่เหนือถ้ำ และเชื่อมต่อท่อผ่านไปยังใต้ดิน ออกไปที่หมู่บ้าน การเคลื่อนตัวของอากาศผ่านถ้ำจะทำให้อากาศเย็นและมีการควบแน่นของอากาศมากกว่าภายนอก สามารถวัดอุณหภูมิภายในถ้ำ 52 องศาฟาเรนไฮต์ (11.5 องศาเซลเซียส) ตลอดปี ในขณะที่ฤดูร้อนอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงถึง 90 องศาฟาเรนไฮต์ (32 องศาเซลเซียส) แต่อุณหภูมิภายในท่อจะอยู่ที่ 55-57 องศาฟาเรนไฮต์ โดยที่อุณหภูมิลมออกโดยรวมจะอยู่ที่ 68-71 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ประมาณ 20 องศาฟาเรนไฮต์ (4.5 องศาเซลเซียส)

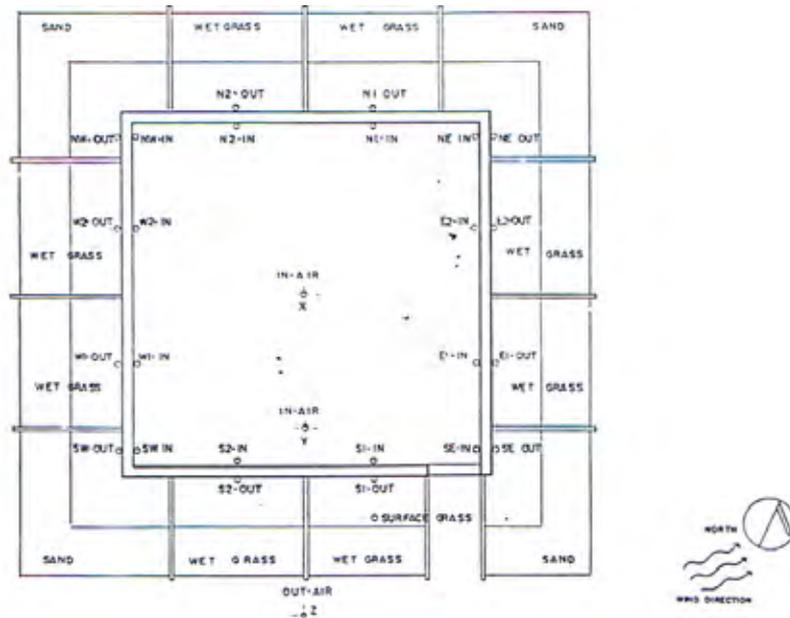


ภาพที่ 8 แสดงแนวคิดการบังคับทิศทางลมผ่านถ้ำ เพื่อลดอุณหภูมิที่ The Villa Acolia
ที่มา : Fuller Moore, Environmental Control System, (USA. : n.p., 1993), 215.

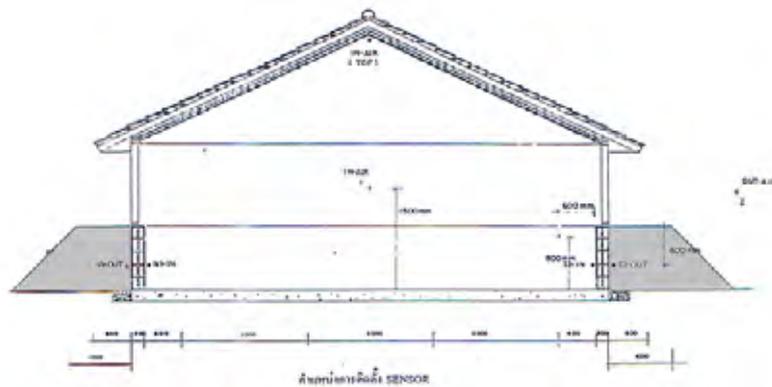
5 งานวิจัยของ เอนก ชีระวิวัฒน์ชัย, การทำความเย็นอาคาร โดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน, กรุงเทพฯ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากความเย็นดินที่มีผลต่ออาคารที่ถูกสัมผัส ที่มาจากความสัมพันธ์ของความลึกดิน ลักษณะดิน สภาพผิวดินและทิศที่แตกต่างกันของอาคาร ทำการทดลองด้วยอาคารขนาด 8x8 เมตร ถมดินทับผนังทั้งสี่ด้านสูง 1 เมตร ศึกษาโดยการบันทึกผลข้อมูลทุกๆ 1 ชม. โดยได้เลือกวันเก็บข้อมูล 2-3 วันติดต่อกันในช่วงเดือน ม.ค.-มี.ค.

ผังพื้น



รูปตัด



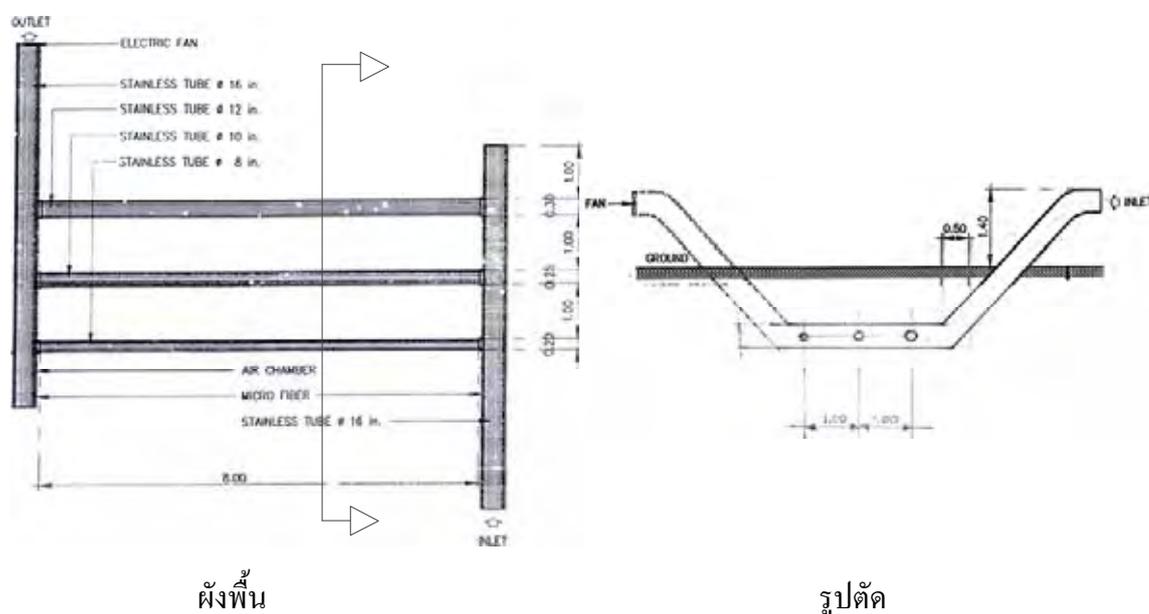
ภาพที่ 9 แสดงผังพื้นและรูปตัดอาคารที่ผิวสัมผัสดิน

ที่มา : เอนก ชีระวิวัฒน์ชัย, การทำความเย็นอาคารโดยใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน (กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), 19.

จากข้อมูลความลึกดินที่ระดับ 1 เมตรอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ทิศใต้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดมากกว่าทิศอื่น โดยมีทิศเหนือที่ต่ำสุด การเปรียบเทียบดินและทรายพบว่าดินจะมี Time lag ที่มากกว่าทราย สภาพของดินที่ปกคลุมด้วยพืชอุณหภูมิดินจะต่ำกว่าชนิดอื่น อุณหภูมิภายในอาคารที่ระดับ 1.5 เมตรค่อนข้างคงที่และมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทิศทางตรงข้ามกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ในการวิจัยนี้สรุปว่าช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในได้ถึง 1.5-2.0 องศาเซลเซียสจากผิวผนังทั่วไป พบอีกว่าในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดในช่วง 15.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในอาคารจะต่ำกว่า 8.5-10 องศาเซลเซียส

6 งานวิจัยของ สุพจน์ ดวงสินทวีกุล, การทำความเย็นให้กับอาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน, กรุงเทพฯ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ศึกษาถึงผลการทำความเย็นของระบบท่อใต้ดิน โดยการเปรียบเทียบท่อที่มีขนาดต่างกันด้วยท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12,10,8 นิ้ว ความยาว 8 เมตร ฝังในดินลึก 1.1 เมตร ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็ว 100 และ 150 ฟุตต่อนาที ติดเครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศในท่อๆละ 3 จุด ปากท่อกกลางท่อและปลายท่อ แบ่งการทดลองเป็นสองช่วง ช่วงแรก 2 ครั้งๆละ 48 ชม. ช่วงหลัง 2 ครั้งๆละ 26 ชม.



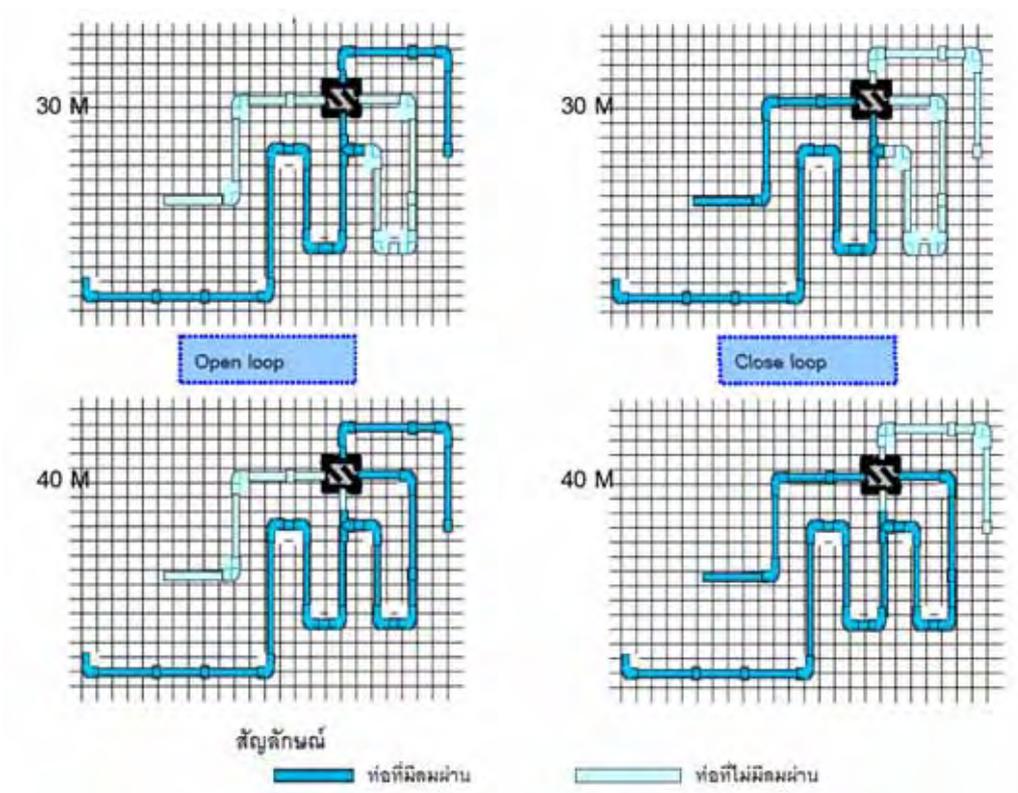
ภาพที่ 10 แสดงการติดตั้งท่อใต้ดินในการทดลองของสุพจน์ ดวงสินทวีกุล

ที่มา : สุพจน์ ดวงสินทวีกุล. เรื่องการทำความเย็นให้กับอาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน (กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), 19.

สรุปได้ว่าท่อขนาด 12 นิ้ว ลดอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันได้ผลดีที่สุด ส่วนกลางคืน อุณหภูมิอากาศจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิในท่อจึงไม่จำเป็นต้องใช้ระบบนี้ เวลาที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ คือ 8.00 - 19.00 น. อุณหภูมิดินที่ระดับ 1.10 เมตร อยู่ในช่วง 27-28 องศาเซลเซียสซึ่งค่อนข้างคงที่ และอุณหภูมิอากาศทั่วไปอยู่ในช่วง 22-39 องศาเซลเซียส

7 งานวิจัย ธีรรัตน์ ลิ้มปยุตถาวร, ประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยท่อใต้ดินในการ ออกแบบบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น: กรณีศึกษาบ้านพักอาศัยจ.ชัยภูมิ, กรุงเทพฯ คณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ศึกษาเปรียบเทียบความยาวท่อใต้ดินที่ต่างกันสองระบบคือระบบเปิดและระบบปิด โดยศึกษาระบบท่อใต้ดินกับอาคารบ้านพักอาศัยขนาด 28 ตรม. ด้วยท่อ PVC ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความลึก 1.1 เมตร ความยาว 30 และ 40 เมตร แบ่งการทดลอง 5 ช่วงคือ (1) ระบบเปิดกับท่อยาว 40 เมตร (2) ระบบปิดกับท่อยาว 40 เมตร (3) ระบบเปิดกับท่อยาว 30 เมตร (4) ระบบปิดกับท่อยาว 30 เมตร แล้วสรุปผลทดลองดีที่สุดนำมาทดลองครั้งที่ (5) โดยทำการปรับปรุง และเก็บผลข้อมูลอีกครั้ง

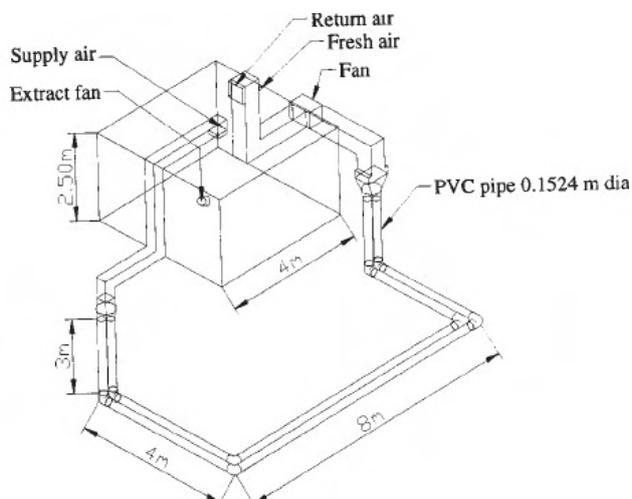


ภาพที่ 11 แสดงผังการวางท่อฝังดินแบบระบบเปิดและปิด ของธีรรัตน์ ลิ้มปยุตถาวร
ที่มา : ธีรรัตน์ ลิ้มปยุตถาวร, ประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยท่อใต้ดินในการออกแบบบ้านพัก
อาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น: กรณีศึกษาบ้านพักอาศัย จ.ชัยภูมิ (กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรม
ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545)

สรุปผลพบว่าระบบปิดที่ท่อ 40 เมตรสามารถทำความเย็นให้กับอาคารได้สูงสุด และลดอุณหภูมิลมออกในระบบท่อได้เฉลี่ย 3-3.5 องศาเซลเซียส เวลาใช้งานที่เหมาะสมคือ 8.00 - 12.00 น. ช่วงต่างอุณหภูมิสูงสุดของระบบเปิดและปิดในท่อความยาวเดียวกันคือ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในท่อระบบปิดจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าระบบเปิดอยู่ที่ 0.5-1 องศาเซลเซียส

8 งานวิจัยของ วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ, การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2548.

ได้ทำการออกแบบท่อใต้ดินเพื่อการปรับลดอุณหภูมิในอาคาร ประเมินความสามารถในการปรับอากาศ โดยตั้งสมมุติฐานในการทดลองเพื่อหาขนาดท่อความลึกและวัสดุท่อ ใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 16 เมตร ความลึก 3 เมตร ทำการทดลองในบ้านตัวอย่างขนาด 4 x 4 เมตร สูง 2.5 เมตร ใช้พัดลมดูดอากาศขนาด ¼ แรงม้า ทำการทดลองในช่วงฤดูร้อนเป็นเวลา 10 วัน บันทึกผลการทดลองทุกๆ 10 นาที

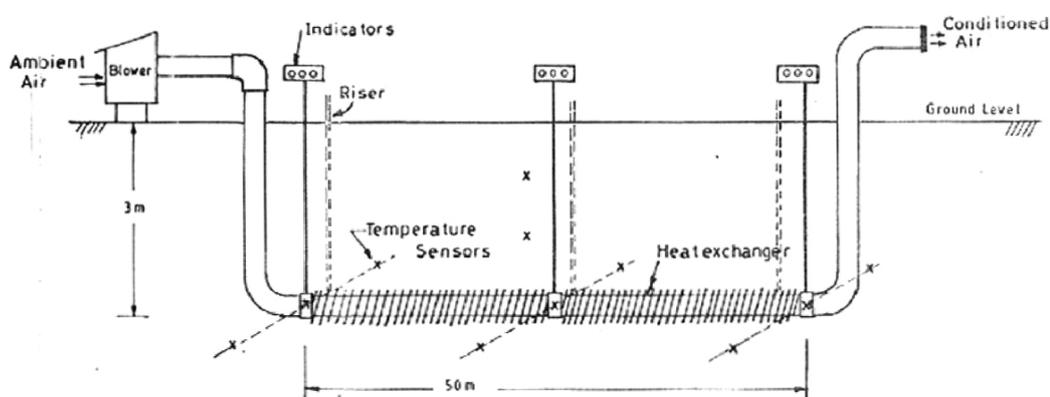


ภาพที่ 12 แสดงแนวการวางระบบท่อฝังดินในการทดลอง ของวีระวุฒิ อรุณวรรณนะ
 ที่มา : วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ, การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย, (มหาสารคาม : คณะวิทยาศาสตร์ ม.มหาสารคาม, 2548)

พบว่าสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ 1 - 8 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิภายนอก ประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ในช่วงกลางวัน ส่วนช่วงกลางคืนสามารถทำความร้อนให้กับอาคารได้แต่ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ระบบนี้ถ้านำมาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 73 %

9 งานวิจัยของ Rattan Jadhav, Performance of Single Pass Earth-Tube Heat Exchanger .An Experimental Study, Indian Institute of Management, Ahmedabad 2003.

เป็นการศึกษาคุณสมบัติทั่วไปและประสิทธิภาพของระบบท่อใต้ดิน ทำการทดลองด้วยท่อ PVC หนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 50 เมตร ฝังลึกในดิน 3 เมตร ติดพัดลมดูดอากาศ ทำการวัดผลอุณหภูมิกลางท่อและปลายท่อลมออก บันทึกการทดลองทุกเดือน เดือนละ 3 วัน เก็บข้อมูลวันละ 3 ชั่วโมง



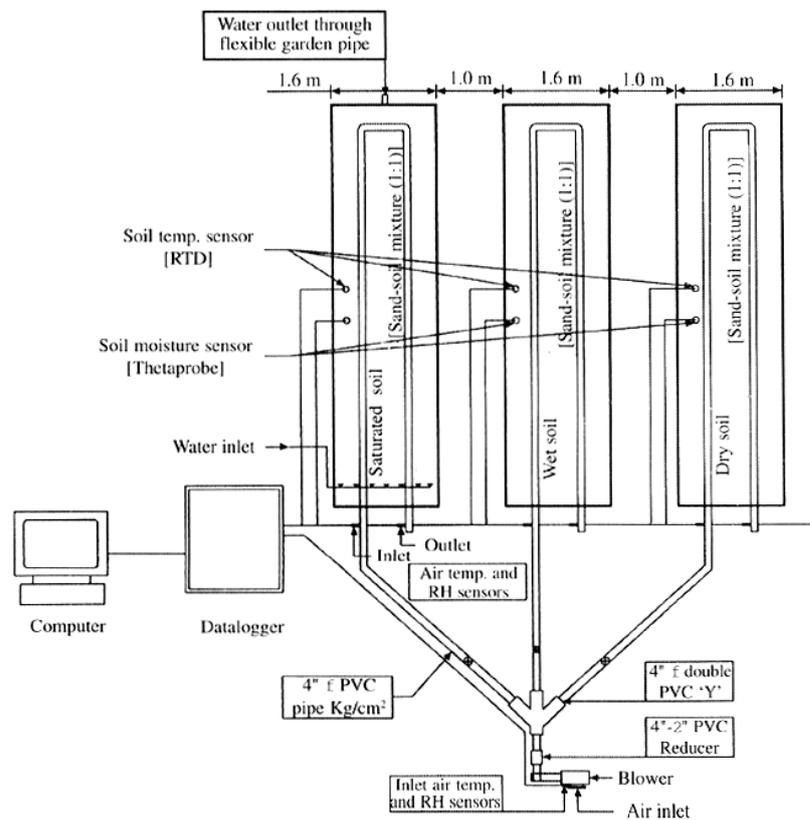
ภาพที่ 13 แสดงระบบท่ออากาศฝังดินและจุดวัดอุณหภูมิ ในงานวิจัยของ Rattan Jadhav ที่มา : Rattan Jadhav. Performance of Single Pass earth-Tube Heat Exchanger An Experimental Study (Ahmedabad : Indian Institute of Management), 2003.

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าช่วงเดือนพฤษภาคมจะให้ความเย็นกับอาคารในช่วงกลางวัน ซึ่งผลทดสอบสามารถลดอุณหภูมิลมออกได้สูงสุด 14 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิดินทั่วไปอยู่ที่ 26 องศาเซลเซียส ส่วนเดือนมกราคมระบบท่อใต้ดินช่วยให้ความร้อนแก่อาคารในช่วงกลางคืนและอุณหภูมิดินทั่วไปอยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส

10 งานวิจัยของ M.R. Patel and S.K. Philip. Effect of Soil Moisture on Performance of Earth Tube Heat Exchanges, India, 2004.

ได้ศึกษาอิทธิพลของดินหลายๆประเภทที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในท่อใต้ดิน โดยทำแบบจำลองสถานที่เพื่อทดสอบสามแบบ คือดินแห้งดินเปียกและดินชุ่มน้ำด้วยท่อ PVC หนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 12 เมตร ฝังลึกในดิน 32 เซนติเมตร ติดพัดลมดูด

อากาศและทำการวัดผลอุณหภูมิที่จุดลมเข้าและปลายลมออก บันทึกผล 4 เดือนในช่วงหน้าร้อน เดือนละสองวัน เก็บข้อมูลทุกชั่วโมงตั้งแต่เวลา 10.00 - 17.00 น.



ภาพที่ 14 ผังระบบท่ออากาศฝังดินและจุดวัดอุณหภูมิ ในงานวิจัยของ M.R. Patel and S.K. Philip
ที่มา : M.R. Patel and S.K. Philip. Effect of Soil Moisture on Performance of Earth Tube Heat Exchanges (Ahmedabad : Indian Institute of Management), 2004.

ผลสรุปได้ว่าช่วงหน้าร้อนสามารถลดอุณหภูมิลมออกจากอุโมงค์ภายนอกได้สูงสุดถึง 10 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิต่อของดินแบบเปียกน้ำ ส่วนดินแห้งลดอุณหภูมิต่ำสุด 5.6 องศาเซลเซียส และดินชุ่มน้ำสามารถลดอุณหภูมิต่ำที่ 7.5 องศาเซลเซียส

การประเมินสมรรถนะเกี่ยวกับระบบท่ออากาศฝังดิน

1 สถานภาพปริมาณความร้อนจากอากาศที่ผ่านระบบท่อใต้ดิน สำหรับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการระบายอากาศ หรืออากาศที่ผ่านเข้าอาคารจากท่อใต้ดินสามารถหาปริมาณความร้อนที่ผ่านหรือความสามารถในการลดความร้อนของระบบได้ดังนี้

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times (T_o - T_i)$$

Q = ปริมาณความร้อนที่ลดลงโดยผ่านระบบท่อใต้ดิน (Bth/hr)

CFM = อัตราการไหลของอากาศ (ft³/min)

T_o-T_i = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายใน (°F)

1.08 = ค่าคงที่ซึ่งได้จากผลคูณระหว่างความหนาแน่นของอากาศกับ Sensible heat ของอากาศ (BTUmin/ft³.FHr)

จะเห็นว่าปริมาณความร้อนที่เข้ามายังตัวอาคารจากการระบายอากาศ จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการระบายอากาศ ส่วนความแตกต่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในนั้น ถ้าสามารถทำให้อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง ปริมาณความร้อนที่เข้ามายังตัวอาคารก็จะต่ำลงตามสัดส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิที่ลดลง จึงมีผลทำให้ภาระการปรับอากาศที่ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน

2 การหาอุณหภูมิจากการทำนายด้วยขบวนการสหสัมพันธ์ regression (สุพจน์ ดวงสิน ทวีกุล 2537)

เป็นการหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการอุณหภูมิอากาศที่ลดลงภายในท่อย่อย หรือความแตกต่างของอุณหภูมิที่หัวท่อและปลายท่อ ด้วยขบวนการสหสัมพันธ์ regression เพื่อหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ เช่นอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเร็วลมภายในท่อ และขนาดของท่อ ได้สมการดังนี้

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \text{HE} \times 1.873$$

Q = ปริมาณความร้อน (BTU/Hr)

CFM = อัตราการไหลของอากาศในท่อ (CFM) (ความเร็วคูณพื้นที่หน้าตัดท่อ)

HE = ความแตกต่างอุณหภูมิหัวและท้ายท่อ หรืออุณหภูมิที่ลดลงจากการทำนาย (°F)

1.08 = ค่าคงที่ซึ่งได้จากผลคูณระหว่างความหนาแน่นของอากาศกับ Sensible heat ของอากาศ (BTUmin/ft³.FHr)

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินประสิทธิผลของระบบท่ออากาศฝังดินในการใช้งานกับอาคารกรณีศึกษา ซึ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของอาคารสถานที่ และทฤษฎีของระบบท่ออากาศฝังดินตามที่ถูกออกแบบได้ตั้งไว้กับอาคาร ทำการค้นคว้าแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อกำหนดแผนการทดลอง โดยสามารถแบ่งการศึกษาข้อมูลเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของสถานที่

เป็นการศึกษาถึงตำแหน่งที่ตั้งและประวัติทั่วไปของวัดจันทเสน ที่มาและเหตุผลในการก่อสร้างอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารี สถิติอุณหภูมิดินและอุณหภูมิอากาศ(ตากฟ้า)

2 ศึกษาข้อมูลการออกแบบอาคารและระบบท่ออากาศฝังดินในอาคาร

ศึกษาข้อมูลต่างๆของอาคารกรณีศึกษา สภาพแวดล้อมโดยรอบ วัสดุต่างๆและพื้นที่ในการใช้สอย ศึกษาระบบท่ออากาศฝังดินที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมด

3 เตรียมการวิจัยและการวัดผลการทดลอง

เป็นการวางแผนในการทำวิจัย โดยสำรวจเตรียมความพร้อมของอาคารและสถานที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด การวางตำแหน่งเครื่องมือในการวัดผลทดลอง แผนการเก็บข้อมูล และรายละเอียดต่างๆในการเก็บผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิผลของระบบท่ออากาศฝังดินตามทฤษฎีที่ถูกออกแบบตั้งไว้และได้มีการใช้งานระบบมาจนกระทั่งปัจจุบัน ดังนั้นจึงจะไม่มีเปลี่ยนแปลงระบบท่อฝังอากาศดินนอกเหนือไปจากนี้ แต่จะเป็นการสำรวจเพื่อประเมินหาประสิทธิผลการลดความร้อนและความเหมาะสมในการใช้งานตลอดแนวทางในการปรับปรุง เพื่อประสิทธิผลที่ดีที่สุด

1 ข้อมูลทั่วไปของสถานที่

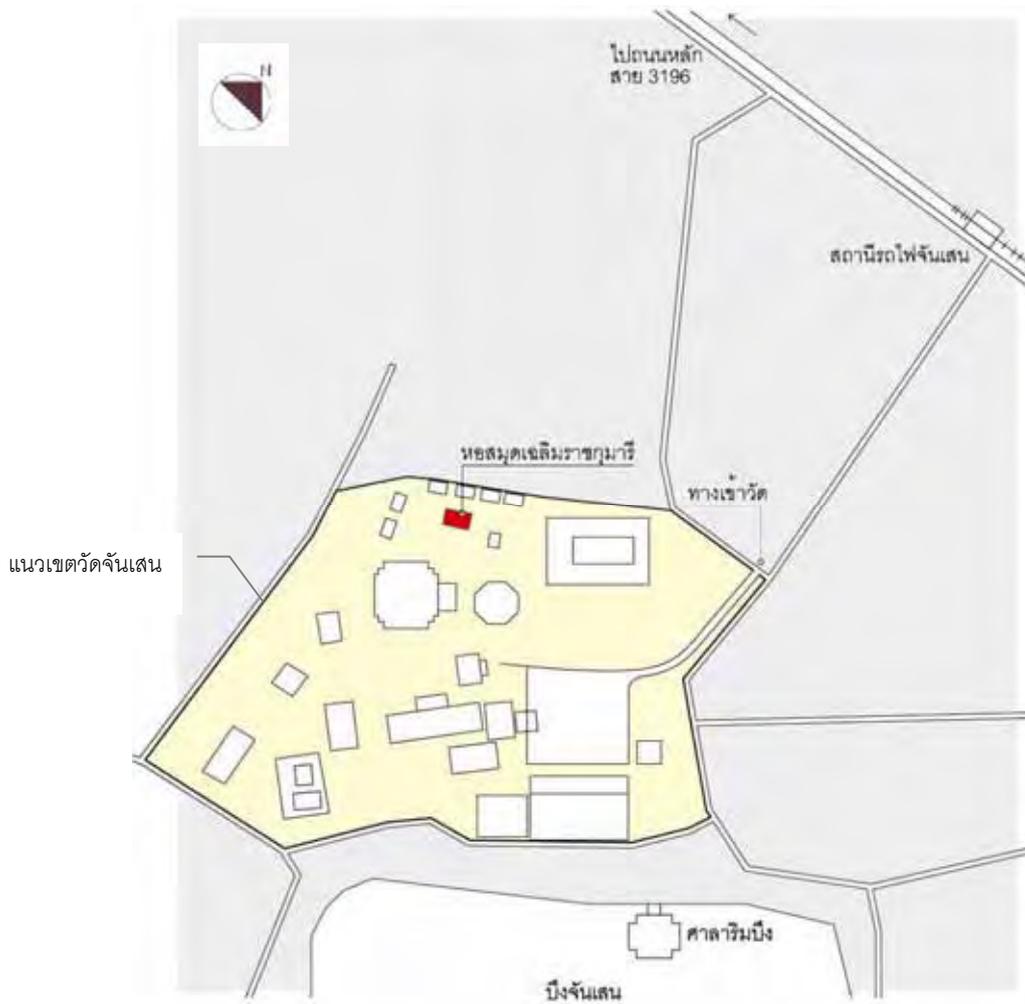
1.1 ประวัติทั่วไป (เมืองโบราณจันเสน)

จันเสนเป็นเมืองนครโบราณสมัยทวารวดีตอนต้น ที่เก่าแก่ที่สุดแห่งหนึ่งในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา พัฒนาขึ้นมาจากชุมชนสมัยโลหะตอนปลาย มีอายุไม่ต่ำกว่า 2,000 ปี ซึ่งนับว่าเป็นชุมชนแรกเริ่มในสุวรรณภูมิที่มีการติดต่อกับอินเดีย ร่วมสมัยกับเมืองอู่ทองลุ่มน้ำท่าจีนและเมืองพูนันใกล้ปากแม่น้ำโขง ตั้งอยู่ชายลำน้ำใหญ่ที่ไหลมาจากเมืองละโว้ และต่อเนื่องขึ้นไปจนถึงเมืองล่าง และเมืองบนในเขตชัยนาทและนครสวรรค์ ต่อมาทางน้ำได้ตื้นเขินทำให้เส้นทางคมนาคมเปลี่ยน เมืองจันเสนจึงร่วงโรยไปเช่นเดียวกับเมืองโบราณอีกหลายแห่ง ในลุ่มแม่น้ำแห่งนี้

1.2 ตำแหน่งสถานที่ตั้งอาคาร

อาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารี อยู่ในบริเวณวัดจันเสน หมู่ที่ 1 ตำบลจันเสน ซึ่งตั้งอยู่บริเวณเมืองโบราณจันเสน จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเป็นเมืองสมัยทวารวดี มีการขุดค้นพบโบราณวัตถุจำนวนมาก อาทิ พระพิมพ์ ตุ๊กตา ตะเกียงดินเผา ฐานบัว ธรรมจักร ซึ่งจัดแสดงไว้อย่างเป็นระเบียบพิพิธภัณฑสถาน บริเวณพระมหาธาตุเจดีย์ศรีจันเสน บริเวณวัดมีการรวมกลุ่มสตรีบ้านจันเสนทอผ้าด้วยกี่กระตุก มีทั้งผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้ามัดย้อม และตั้งเป็นศูนย์จำหน่ายผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ พื้นที่ด้านข้างวัดติดบึงโบราณขนาดใหญ่ที่เรียกว่าบึงจันเสน

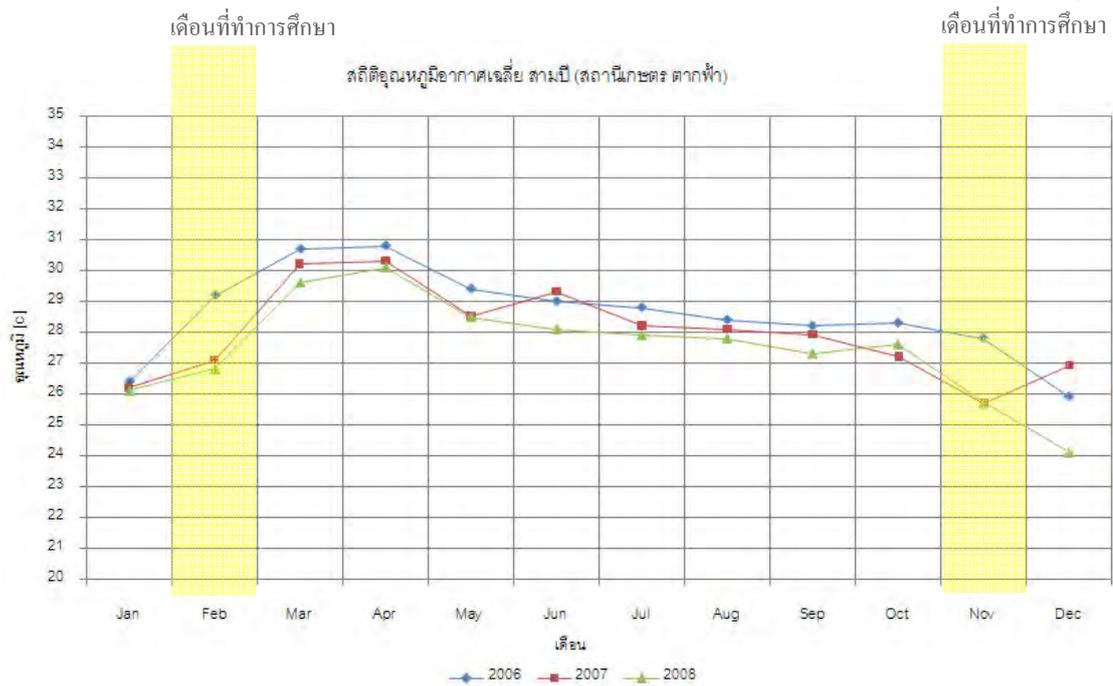
การเดินทางจากกรุงเทพฯ ใช้เส้นทางหมายเลข 32 เลี้ยวซ้ายเข้าอินทร์บุรี (ทางหลวงหมายเลข 11) แล้วใช้เส้นทางที่จะไปอำเภอตาคลี (ทางหลวงหมายเลข 3196) ข้ามทางรถไฟจะพบป้ายสู่วัดจันเสน หากเดินทางจากนครสวรรค์ ให้ใช้เส้นทางที่จะไปชัยนาท ทางหลวงหมายเลข 32 และแยกซ้ายทางไปอำเภอตาคลีอีก 7 กม. และเลี้ยวขวาเข้าทางหลวง 3196 อีก 28 กิโลเมตร จะเห็นป้ายเข้าวัดจันเสนก่อนข้ามทางรถไฟ และสามารถเดินทางมาวัดด้วยรถไฟได้อีกทางหนึ่งซึ่งสถานีอยู่ไม่ไกลจากวัด ลงรถไฟที่สถานีจันเสน แล้วเดินทางต่อมายังวัดด้วยรถรับส่งบริเวณใกล้สถานี



ภาพที่ 15 แสดงเส้นทางรอบวัดจันเสน

1.3 ประวัติการก่อสร้างหอสมุดสยามบรมราชกุมารี

สืบเนื่องมาจากศรัทธาของคุณ กุศะ ปัญญาารชุน ที่ได้มอบเรือนไทยเดิมของท่าน ถวายแด่วัดจันเสนเพื่อให้เป็นสาธารณะประโยชน์ ท่านเจ้าอาวาสพระครูนิวริฐธรรมจันทร์ (หลวงพ่อ เจริญ) จึงได้มีดำริร่วมกับอ.วนิดา พึ่งสุนทร รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ และผศ.บัญชา ชุ่มเกษรในการ จัดสร้างหอไตรและห้องสมุดประชาชน เพื่อเป็นอาคารศูนย์รวมความรู้ทั้งทาง โลกและทางธรรมขึ้น คือกำหนดให้เป็นอาคารสองชั้น โดยยกเรือนไทยขึ้นชั้นบน เป็นที่ประดิษฐานพระไตรปิฎก ชั้นล่าง ให้เป็นห้องสมุดชุมชน อาคารได้รับการปรับปรุงออกแบบลายเพิ่มเติมผูกเรื่องกับศิลปะ สถาปัตยกรรมให้เกี่ยวเนื่องกันทั้งหมด และก่อสร้างประสานกับเทคโนโลยีคอนกรีตในปัจจุบัน รวมถึงการใช้ระบบประหยัดพลังงานกับตัวอาคารในหลายๆส่วนเช่น การระบายอากาศจากท่อ อากาศฝังดิน การระบายอากาศภายในอาคาร และการออกแบบช่องแสงให้กับตัวอาคาร เป็นต้น



แผนภูมิที่ 8 สถิติอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปี ของสถานีเกษตรตากฟ้า ตากลิ จ.นครสวรรค์



แผนภูมิที่ 9 สถิติอุณหภูมิดินเฉลี่ยระดับ 100 cm รายปี สถานีเกษตรตากฟ้า ตากลิ จ.นครสวรรค์

พบว่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยในช่วงเดือนธ.ค.- ก.พ.ต่ำที่สุด และจะสูงที่สุดเดือนมิ.ย. ส่วนอุณหภูมิดินเฉลี่ยของแต่ละปีค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน ซึ่งต่างจากอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่สูงสุดในเดือนมี.ค.-เม.ย. แต่จะต่ำในช่วงเดือน ธ.ค.- ก.พ.

2 ศึกษาข้อมูลการออกแบบและระบบท่ออากาศฝังดินของอาคาร

2.1 สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

จากลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม สภาพพื้นที่วัดโดยรวมค่อนข้างโล่ง อาคารหอสมุดฯอยู่ทางด้านทิศเหนือของวัด ตั้งอยู่ระหว่างพื้นที่พระมหาธาตุเจดีย์ศรีจันเสน (พิพิธภัณฑฯ) กับหมู่กุฏิสงฆ์ ที่ตั้งคูขนานอยู่ด้านข้างอาคาร ทางเดินมายังหอสมุดฯปูพื้นด้วยหินศิลาแลง(เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายที่อ.ตาคลิ)ในบริเวณบ่อน้ำแปดเหลี่ยมที่อยู่หน้าพระมหาเจดีย์ มีศาลาไม้ทรงไทยสำหรับพักผ่อนอยู่ด้านหน้าอาคารไว้สำหรับนั่งพักผ่อน โดยมีพระอุโบสถอยู่ถัดออกมาตามลำดับ ส่วนด้านข้างของอาคารในฝั่งที่ติดพระมหาเจดีย์ฯ ได้จัดพื้นที่ให้เป็นสวนและปลูกไม้พุ่มเตี้ยไว้ตลอดแนว



ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารีภายในวัดจันเสน

อาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารีเป็นอาคาร 2 ชั้น ชั้นล่างมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตก่อผนังอิฐทาสีขาว พื้นปูด้วยกระเบื้อง พื้นภายในอาคารค่อนข้างโล่งเพราะมีเพดานสูง และมีหน้าต่างกระจกขนาดใหญ่ตลอดแนวตามที่นั่งอ่านหนังสือคอนกรีตซึ่งสูง 40 เซนติเมตร (โดยบริเวณใต้ที่นั่งจะเป็นส่วนปลายท่อลมออกของระบบท่ออากาศฝังดิน) ส่วนชั้นบนเป็นอาคารไม้ทรงไทยสีเข้ม (ของเก่า) มีระเบียงคอนกรีตปูกระเบื้องและที่นั่งไม้สำหรับพักผ่อนโดยรอบ



ภาพที่ 17 ทศนียภาพด้านหน้าหอสมุดสยามบรมราชกุมารี (มองจากบ่อน้ำ หน้าพระมหาเจดีย์ฯ)



ภาพที่ 18 ทศนียภาพด้านหลังอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารี (ฝั่งหมู่กุฏิสงฆ์)



ภาพที่ 19 ทศนียภาพด้านข้างอาคารหอสมุดสยามบรมราชกุมารี (ฝั่งหมู่กุฏิ บริเวณบ่อดักความชื้น)

ศาลาไม้ด้านหน้าอาคาร



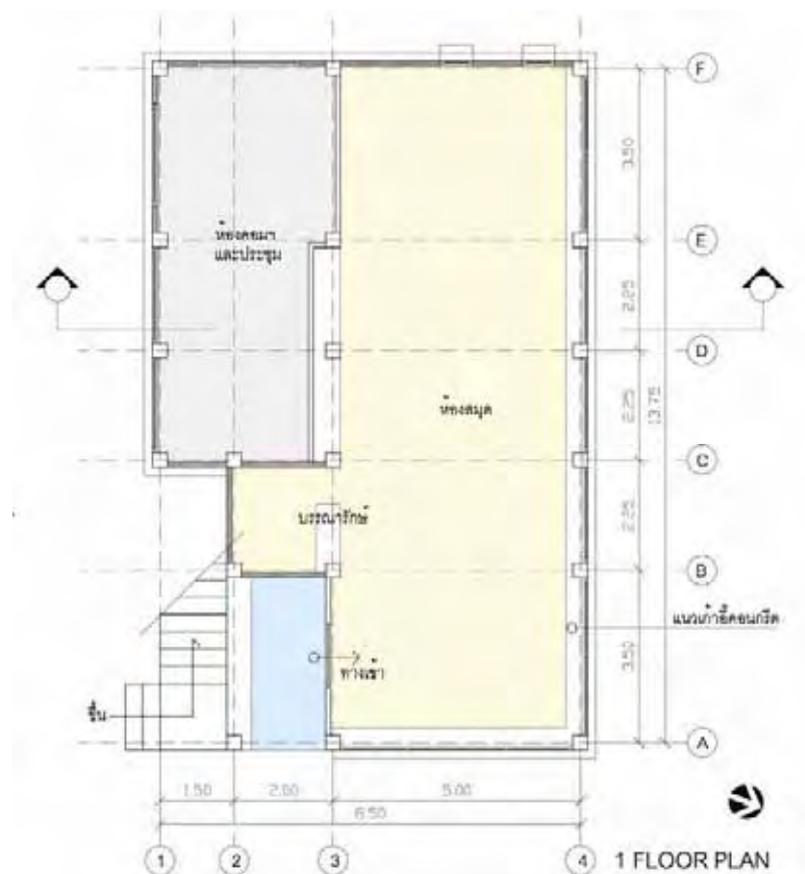
ภาพที่ 20 อาคารไม้ทรงไทยชั้นบน และศาลาไม้พักผ่อนด้านหน้าอาคาร



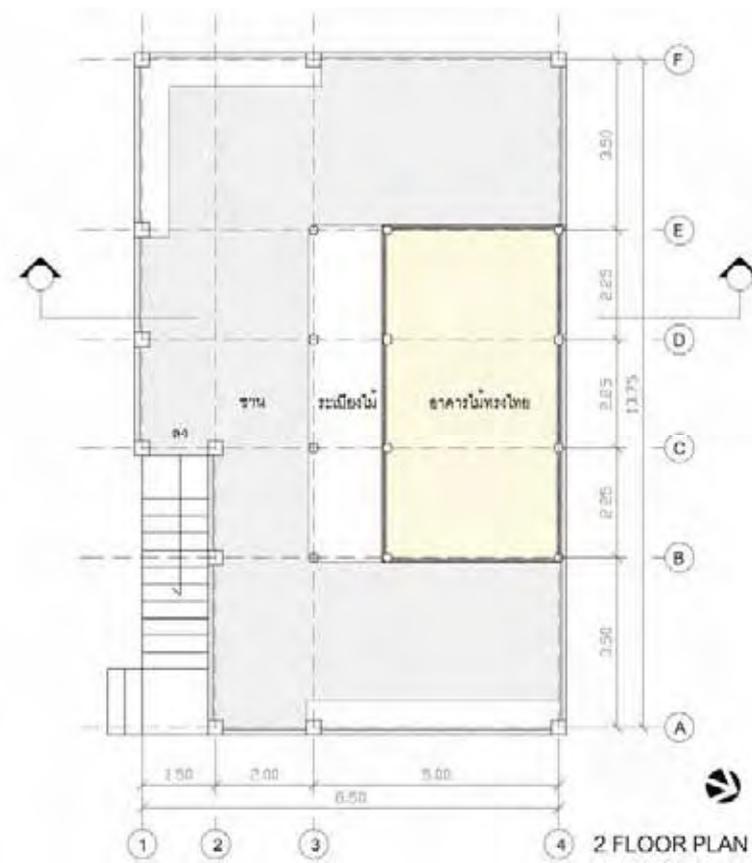
ภาพที่ 21 แสดงพื้นที่ภายในห้องสมุดชั้นล่าง

2.2 พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

จากจุดประสงค์การสร้างหอสมุดสยามบรมราชกุมารีที่เป็นแหล่งความรู้ของสงฆ์ และต้องการให้เป็นห้องสมุดความรู้ของประชาชน ดังนั้นอาคารจึงถูกแบ่งเป็นห้องสมุดทั้งสองชั้น ชั้นบนเป็นห้องสมุดของสงฆ์ที่ได้เรียนไทยเป็นที่ประดิษฐานพระไตรปิฎก มีระเบียบสำหรับพักผ่อนและที่นั่งไม้โดยรอบ ส่วนชั้นล่างจัดให้เป็นห้องสมุดสำหรับประชาชน มีชานพักด้านหน้าก่อนเข้าอาคารและสำหรับวางรองเท้า ภายในแบ่งเป็นห้องสมุดขนาดใหญ่และห้องใช้คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต ห้องสมุดมีช่องเปิดที่เป็นกระจกขนาดใหญ่ที่ด้านหน้าและด้านข้าง โดยชั้นล่างจะมีพื้นที่ขนาด 8.5x14 เมตร รวมเป็น 120 ตารางเมตร ในส่วนเรือนไม้ชั้นบนมีขนาด 6.75x5 เมตร (ไม่รวมระเบียบ) ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารหอสมุดฯที่อยู่บริเวณด้านข้างของพระมหาเจดีย์ศรีจันเสน เพื่อสะดวกต่อการดูแลและความต่อเนื่องในการใช้งานภายในวัด ใช้แนวคิดในการออกแบบ ลวดลายให้เกี่ยวเนื่องกับสถาปัตยกรรมไทยภายในวัด คำนึงถึงการก่อสร้างที่ประสานกับเทคโนโลยีคอนกรีตปัจจุบัน และแนวคิดในการประหยัดพลังงาน โดยการใช้ท่ออากาศใต้ดิน



ภาพที่ 22 ผังพื้นที่ชั้นที่ 1



ภาพที่ 23 ผังพื้นที่ชั้นที่ 2

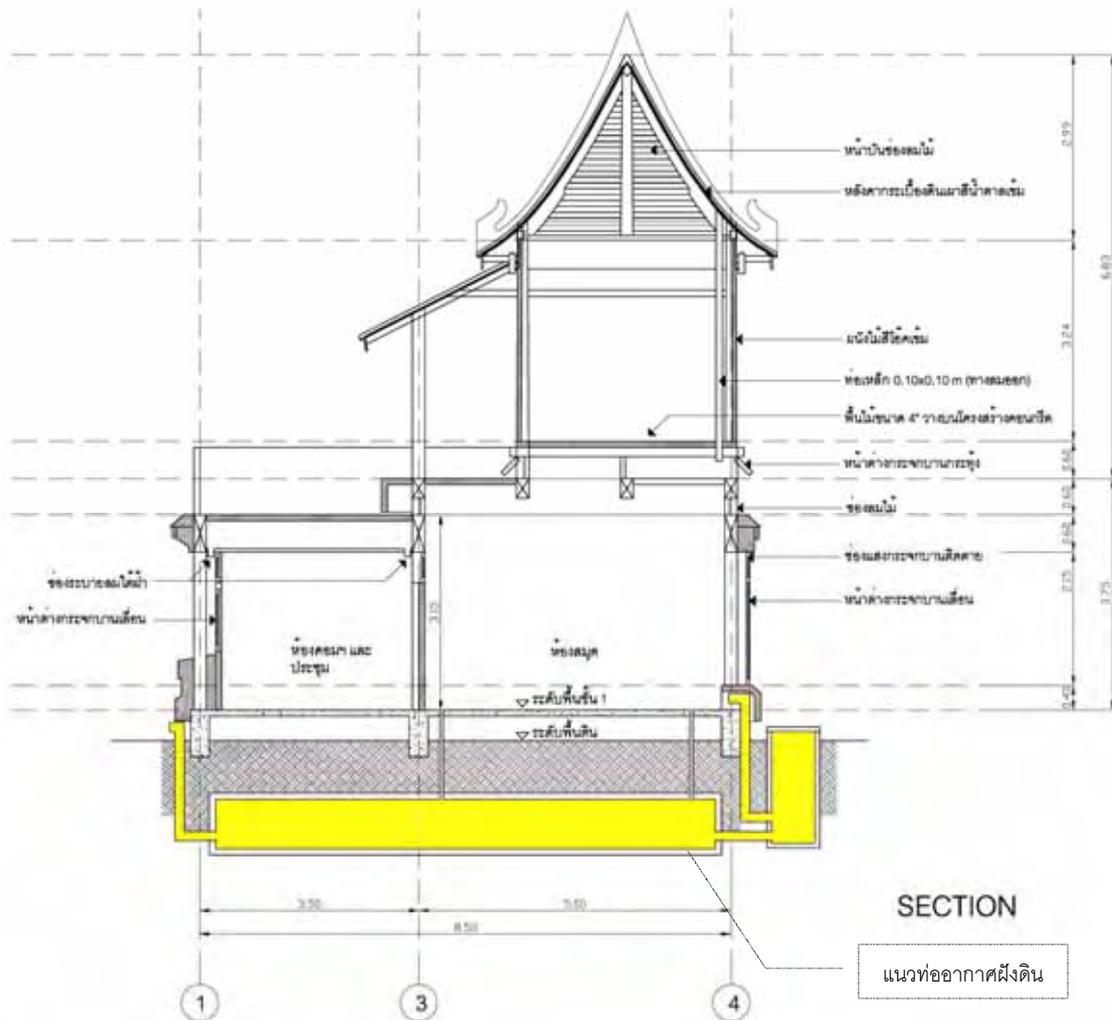


แนวบ่อัดักความชื้น



แนวปากทอลมเข้า(หลังปรับปรุง)

ภาพที่ 24 ทำศนียภาพบริเวณบ่อัดักความชื้นและทอลมเข้า



ภาพที่ 25 รูปตัดตามขวาง

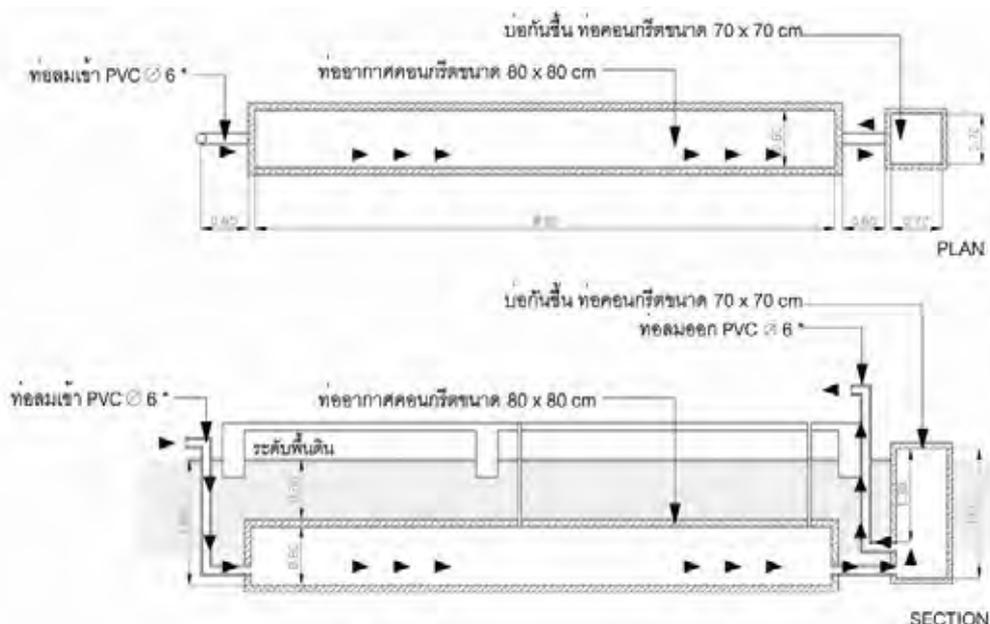
2.3 ระบบท่ออากาศฝังดินของอาคารกรณีศึกษา

ผู้ออกแบบได้วางระบบท่ออากาศฝังดินจากประเภทการใช้งานคือเป็นระบบเปิด ซึ่งเป็นการนำอากาศจากภายนอกอาคารมาลดความร้อนก่อนปล่อยเข้าในอาคาร โดยได้วางท่ออากาศฝังไว้ใต้อาคารตามช่วงเสาทั้งหมด 5 ท่อ แต่ละท่อจะมีจุดรับลมและปล่อยลมออกเป็นของตัวเอง และได้ทำการวางวัสดุไว้ในท่อแตกต่างกันเพื่อที่จะเปรียบเทียบผลจากผิวของวัสดุที่ช่วยลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านในท่อฝังดิน

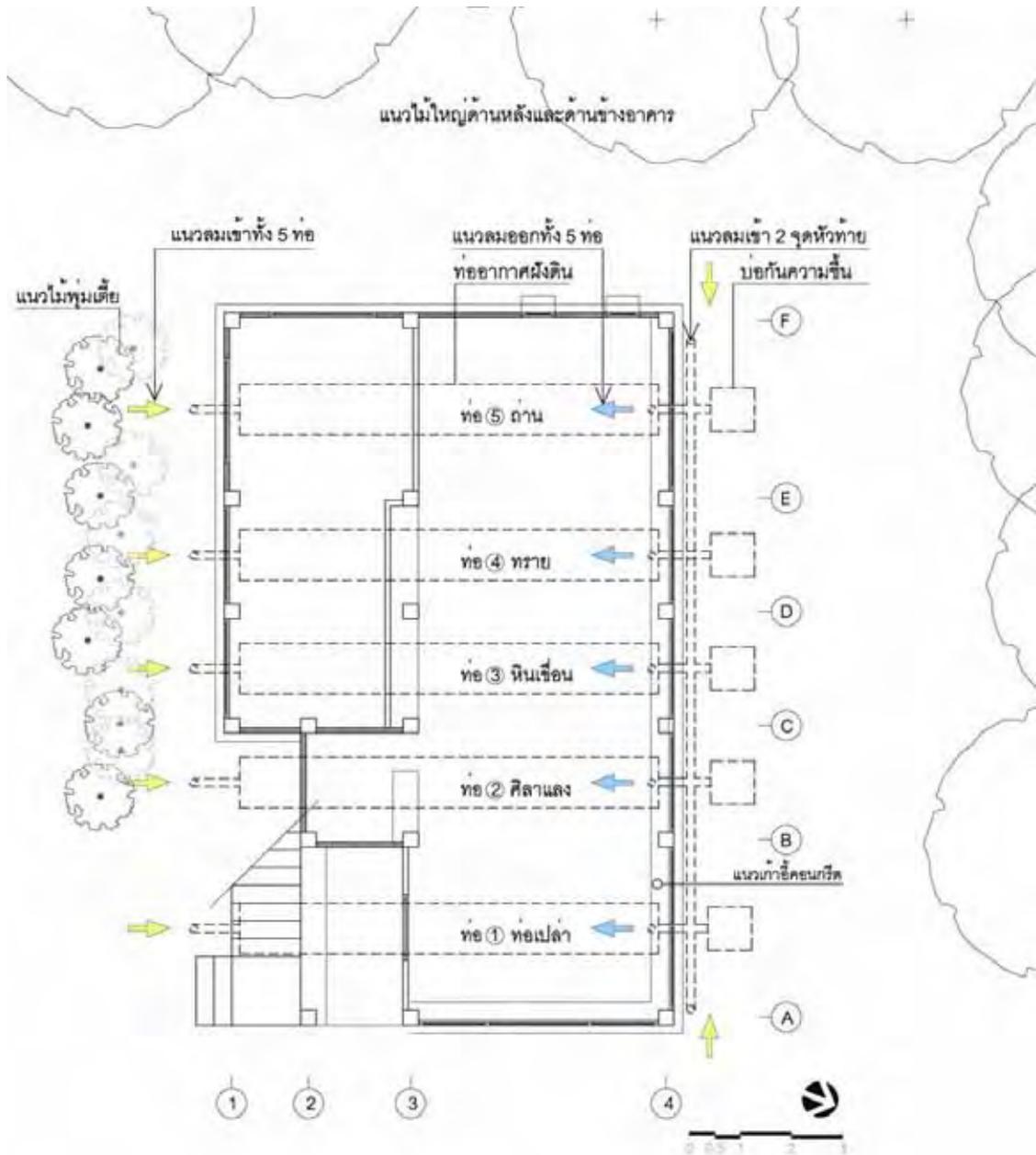


ภาพที่ 26 ขณะก่อสร้างท่ออากาศฝังดินและอาคารหอสมุดฯ

จากอาคารกรณีศึกษาได้แบ่งระบบท่ออากาศฝังดินเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นท่อซีเมนต์(คอนกรีต) ขนาดหน้าตัด 80 x 80 เซนติเมตร ยาว 8 เมตร ลึก 1.80 เมตร จำนวน 5 ท่อ วางแบบขนานห่างกัน 2.3 เมตรตามช่วงเสาของอาคาร ภายในได้วางวัสดุไว้ต่างกันคือท่อที่1 เป็นท่อซีเมนต์เปล่า ท่อที่2 สีลาแลง ท่อที่3 หินเจือปน ท่อที่4 ทราย และท่อที่5 เป็นถ่านกันความชื้น ประกอบกับส่วนที่เป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ที่เป็นส่วนรับลมจากภายนอกอาคาร สูงจากพื้นดิน 5 เซนติเมตร และส่วนจ่ายลมเข้าที่อยู่ไว้ใต้ที่นั่งภายในอาคาร โดยสูงจากพื้นอาคาร 30 เซนติเมตร ปลายท่อลมเข้าและท่อลมออกติดตั้งตาข่ายป้องกันแมลงอย่างมิดชิด ในช่วงปลายของระบบท่อนที่อากาศจะไหลเข้าในอาคารจะผ่านบ่อดักความชื้นที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างอาคาร ที่มีขนาดหน้าตัด 70 x 70 เซนติเมตร ลึก 1.80 เมตร ทั้งหมด 5 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีฝาปิดอย่างมิดชิด

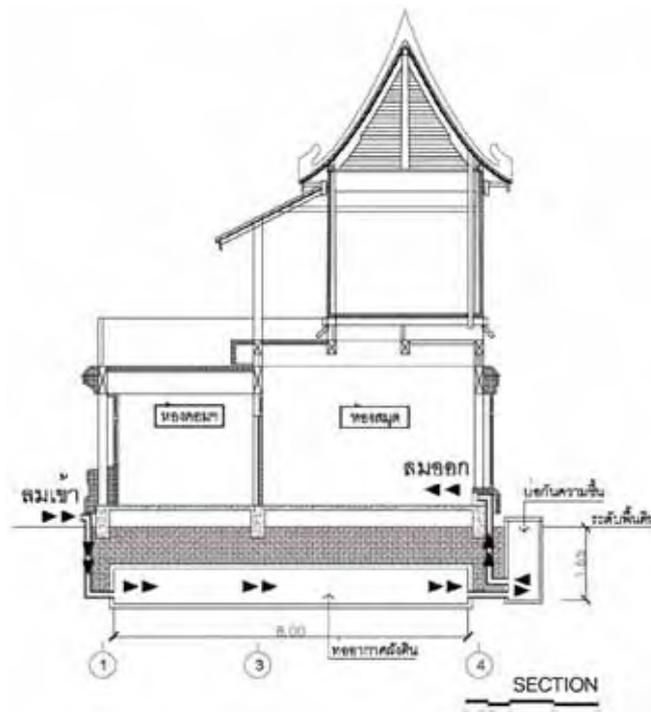


ภาพที่ 27 ผังและรูปตัดของระบบท่ออากาศฝังดิน



ภาพที่ 28 ฟังแสดงการวางท่อฝังดินใต้อาคาร และแนวรับลมจ่ายลมของตัวอาคาร

แนวการไหลเวียนของอากาศภายในระบบท่อ เริ่มที่ปากท่อรับลมเข้าที่เป็นท่อพีวีซี ด้านข้างอาคาร ส่งผ่านมายังท่อซีเมนต์ใต้ดินเพื่อลดความร้อน จากนั้นอากาศจะถูกส่งต่อมายังท่อพีวีซีอีกครั้งและกรองความชื้นด้วยบ่อตัดความชื้น ก่อนที่จะถูกปล่อยเข้าตัวอาคารบริเวณใต้ที่นั่งภายในห้องสมุด



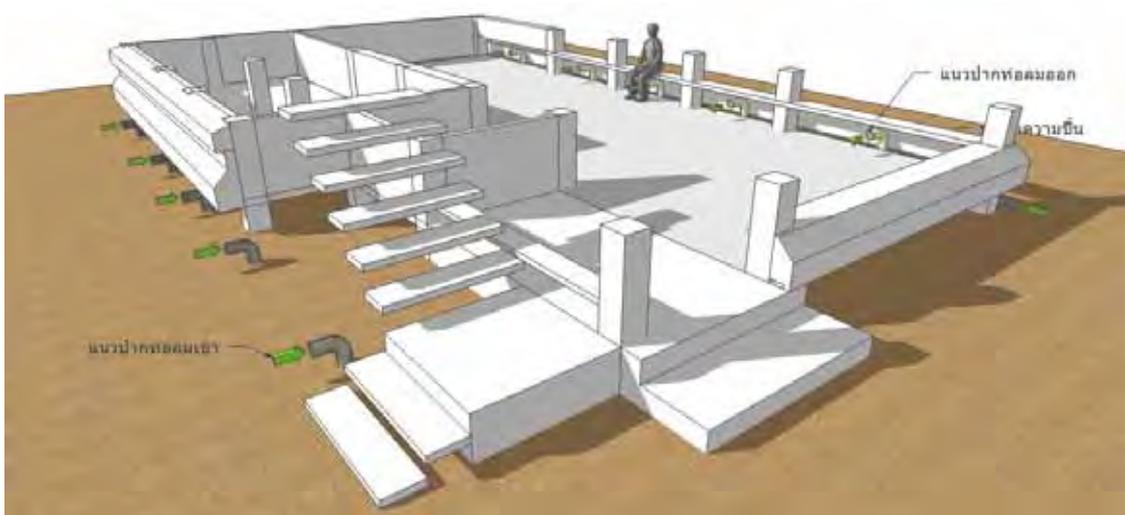
ภาพที่ 29 แสดงการไหลของอากาศในระบบท่อ

แนวท่อรับลมเข้าต้องอยู่ในส่วนที่ลมพัดผ่านได้ดี คือด้านที่ติดกับบริเวณมหาเจดีย์ซึ่งมีพื้นที่โล่ง เป็นทิศที่มีลมโดนบีบให้พัดผ่านมาจากด้านหน้าวัด โดยปากท่อรับลมจะเรียงตามช่วงเสาของอาคาร ซ่อนใต้ฐานอาคารเพื่อทัศนียภาพของอาคารที่สวยงาม สูงจากพื้น 5 เซนติเมตร

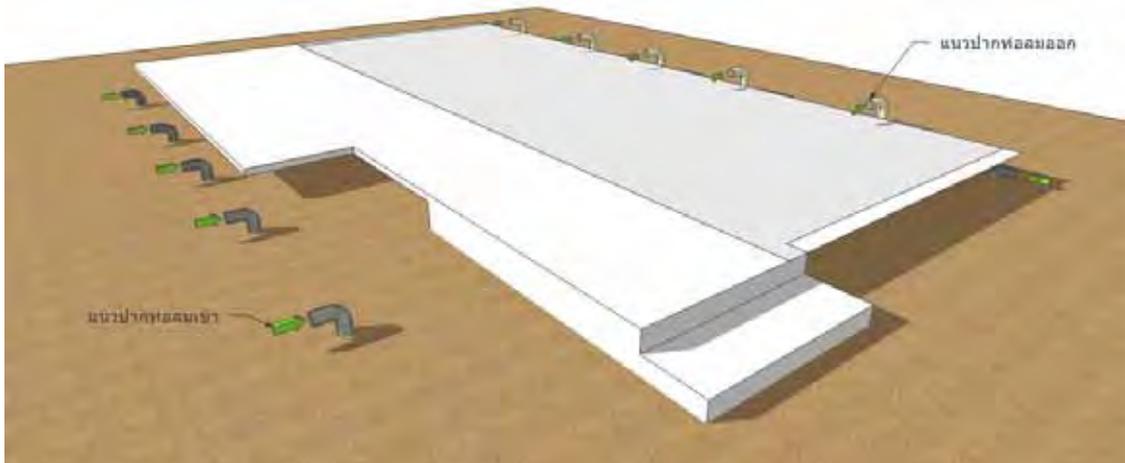
แนวท่อลมออกคือส่วนที่จ่ายลมเข้าสู่ตัวอาคาร ตำแหน่งลมออกจะต้องอยู่ในที่ลับตา กระจายลมได้ดีและควรใกล้ตำแหน่งการใช้สอยหลักๆ ในอาคาร โดยอาคารหอสมุดฯ ได้วางตำแหน่งท่อลมออกไว้ได้ที่นั่งอ่านหนังสือคอนกรีตภายในอาคาร สูงจากพื้นอาคาร 30 เซนติเมตร



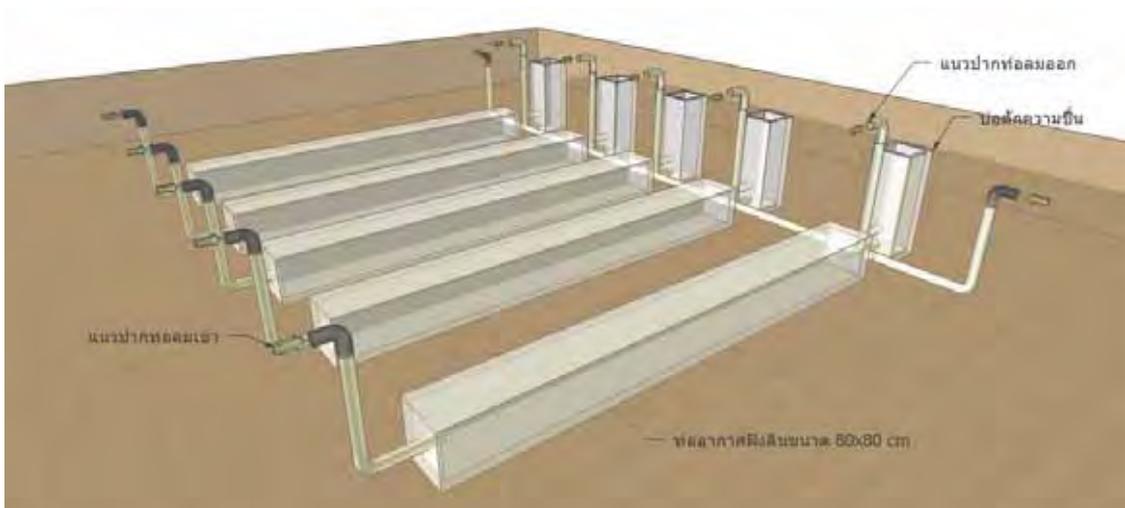
ภาพที่ 30 ปลายท่อลมเข้านอกอาคารและท่อลมออกในอาคาร



ภาพที่ 31 แสดงอาคารและแนวท่อลมเข้าลมออก



ภาพที่ 32 ปลายท่อลมเข้านอกอาคารและท่อลมออกในอาคาร



ภาพที่ 33 แสดงระบบท่ออากาศฝังกิ่งในอาคาร

สรุปตัวแปรทั้งหมดของระบบท่ออากาศฝังดินที่ใช้ในอาคาร

ระบบทั่วไป	ข้อมูลที่น่ามาใช้ในโครงการ
1 ความลึก (จากผิวดิน)	1.8 เมตร
2 ความยาวท่อ	8 เมตร (ท่อซีเมนต์) + 1.5 เมตร (ท่อพีวีซี)
3 ขนาดท่อ (เส้นผ่าศูนย์กลาง)	ท่อ PVC 6 นิ้ว + ท่อซีเมนต์ 80 x 80 เซนติเมตร
4 วัสดุท่อ (ภายในท่อ)	ท่อที่1 ท่อซีเมนต์เปล่า /ท่อที่2 สีลาแสง /ท่อที่3 หินเขียน /ท่อที่4 ทราย /และท่อที่5 ถ่านกันชื้น
5 กันความชื้น	(ถ่านกันความชื้น)
6 ความเร็วลม	คิดพัฒนาอากาศที่ความเร็ว 150 ฟุตต่อนาที
7 อุณหภูมิดิน	วัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 80 เซนติเมตร
8 อุณหภูมิอากาศ	วัดอุณหภูมิอากาศทั้งภายในและภายนอก
+	
9 สภาพแวดล้อม	ต้นไม้ใหญ่ และ ไม้พุ่มเล็ก ดินร่วนปนทรายกับอิฐแตก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นแบ่งเป็นสองส่วนคือ

วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกอาคารด้วย Data Logger Testo รุ่น 175 - T1 ซึ่งเป็นเครื่องเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติหนึ่งช่องสัญญาณ หน่วยที่วัดสามารถประมวลผลเป็นองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮต์ ต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งค่าในการเก็บข้อมูล บันทึกข้อมูลของเครื่องได้ 7,800 ข้อมูล กำหนดช่วงเวลาบันทึกได้ในช่วง 10 วินาที ถึง 24 ชั่วโมง หลังจากเก็บข้อมูลแล้วจึงนำกลับมาต่อเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลข้อมูล สามารถแปลงเป็นกราฟและนำเข้าโปรแกรม Excel ในการทดลองครั้งนี้ตั้งบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาทีเป็นเวลา 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 34 Data Logger Testo 175 - T1

ส่วนที่สองคือวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในท่อฝังดินด้วย Data Logger Testo รุ่น 177 - T4 เป็นเครื่องเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติสี่ช่องสัญญาณ สามารถวัดได้สี่จุดพร้อมกัน พร้อมติดตั้งสาย Thermocouple ชนิด T ที่ประกอบด้วยสาย copper และ constantan เชื่อมกันที่ปลายสาย ต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิด้านหนึ่ง โดยนำปลายสายอีกทางหนึ่งไปสัมผัสส่วนที่ต้องการวัด การขยายตัวที่ไม่เท่ากันของวัสดุจะทำให้เกิดความต่างศักย์ทำให้สามารถวัดอุณหภูมิได้ สามารถบันทึกข้อมูลลงเครื่องได้ 48,000 ข้อมูล กำหนดช่วงเวลาในการบันทึกได้ในช่วง 3 วินาทีถึง 24 ชั่วโมง ในการทดลองตั้งเก็บข้อมูลไว้ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 35 Data Logger Testo 177 - T4

- เครื่องมือวัดค่าความเร็วลม

ใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมและปริมาตรลม Testo รุ่น 405 v-1 ขนาดเล็ก สามารถปรับมุมจอภาพได้ 180 องศา ทำให้สามารถอ่านค่าได้ง่ายและคำนวณหาค่าปริมาตรได้ทันที ช่วงการวัดความเร็วลม 0 ถึง 10 m/s หรือ 0 – 2000 ฟุตต่อนาที มีค่าความละเอียดที่ 0.01 เมตรต่อวินาที และ 0.1 degree C สามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่อยู่ในช่วง -20 – 50 องศาเซลเซียส สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วัดความเร็วลมปลายท่อลมออกในอาคารทุกๆท่อ



ภาพที่ 36 Testo 405 v-1

- พัดลมดูดอากาศ

ความเร็วลมในท่อมมีส่วนสำคัญที่ช่วยดึงคุณสมบัติการลดความร้อนที่ได้ผลมากขึ้น ดังนั้นพัดลมดูดอากาศเป็นตัวเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้อากาศไหลเวียนได้ดีขึ้นและมีความคงที่ จึงเตรียมพัดลมดูดอากาศยี่ห้อ Martech และอุปกรณ์พ่วงสายไฟ ทำการติดตั้งเพื่อเปรียบเทียบปริมาตรลมและอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยน โดยพัดลมดูดอากาศจะถูกติดตั้งที่ปลายท่อลมออกภายในอาคารทั้ง 5 ท่อ ใช้ความเร็วลมที่เท่ากันทั้ง 5 ท่อ ที่ระดับ 150 ฟุตต่อนาที หรือ 0.75 - 1 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 37 พัดลมดูดอากาศ Martech ที่ใช้ในอาคาร

3 แผนการวิจัยและการวัดผลในการศึกษา

เป็นการเก็บข้อมูลเชิงสถิติด้วยเรื่องอุณหภูมิอากาศภายในห้องฟุ้งดิน อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกอาคาร ความชื้นภายในและภายนอกอาคาร โดยขั้นตอนการวัดผลจะแบ่งเป็นสามช่วงหลักๆดังนี้

1 ในช่วงแรกเป็นการรวบรวมข้อมูลตามสภาพใช้งานปัจจุบันของอาคารและระบบท่ออากาศฟุ้งดิน โดยตัดตัวแปรเรื่องการระบายอากาศอื่นๆภายในอาคารทั้งหมด ทำการศึกษาในช่วงวันหยุดเสาร์อาทิตย์และจันทร์ ทั้งสิ้น 66 ชั่วโมง ทำการบันทึกผลข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 เวลา 00.00 น. จนถึง 18.00 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552

2 หลังจากได้ผลข้อมูลในช่วงแรก นำกลับมาสรุปวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาช่วงที่สอง เพิ่มการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยการใช้พัดลมดูดอากาศ เก็บข้อมูลลักษณะเดียวกับการศึกษาช่วงแรก เป็นเวลาทั้งสิ้น 48 ชั่วโมง บันทึกผลข้อมูลทุกๆ 15 นาที ในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 เวลา 12.00 น. จนถึง 12.00 น. ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2552

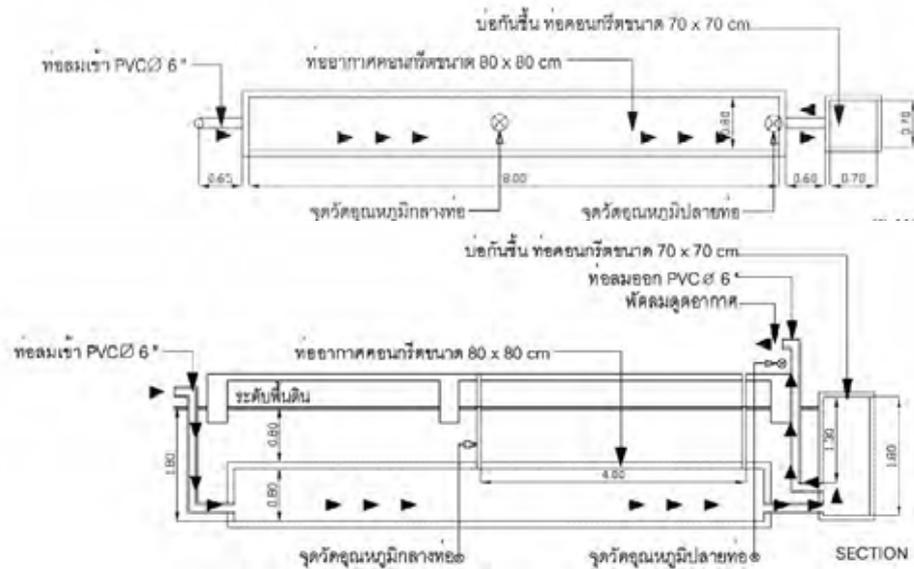
3 เป็นการศึกษาหลังผ่านการปรับปรุงระบบท่ออากาศฟุ้งดินในช่วงที่สองมาแล้ว 6 เดือนในช่วงฤดูหนาว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นหลังผ่านการปรับปรุงแล้วทั้งระยะการใช้งานช่วงหนึ่งตามสภาพใช้งานจริง ประกอบกับการใช้พัดลมดูดอากาศในการทดลอง เป็นเวลาทั้งสิ้น 48 ชั่วโมง บันทึกผลข้อมูลทุกๆ 15 นาที เก็บข้อมูลในวันที่ 18 พฤศจิกายน 2552 ตั้งแต่เวลา 18.00 น.จนถึง 18.00 น. ของวันที่ 20 พฤศจิกายน 2552

ตำแหน่งการวัดผลการทดลอง

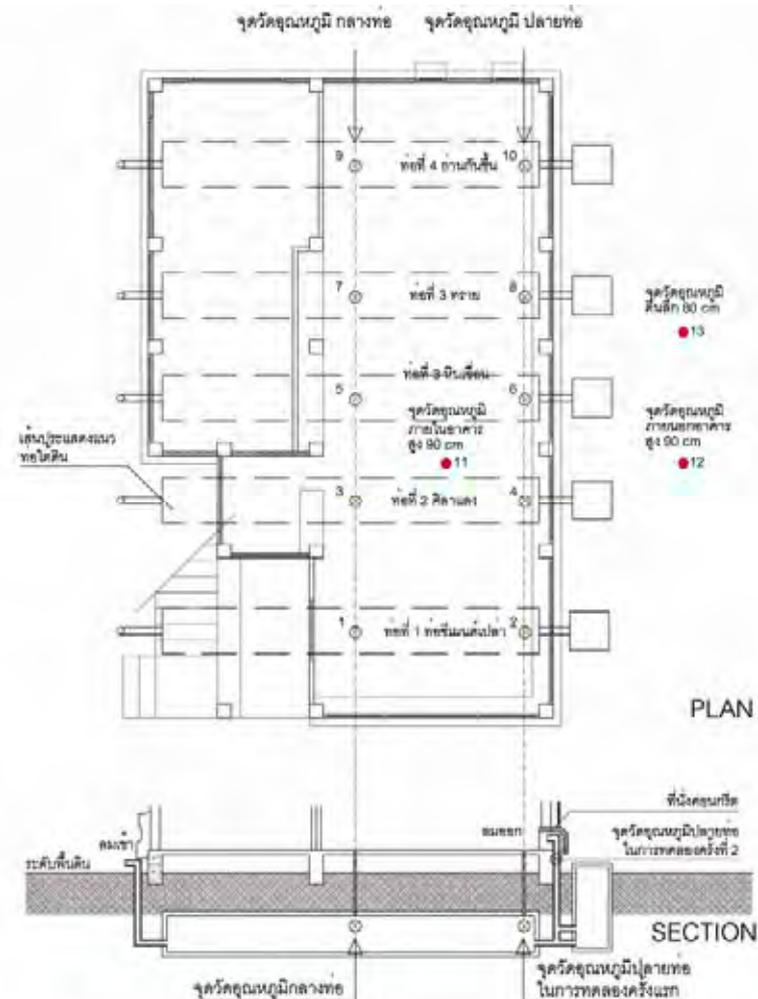
1 การวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้องฟุ้งดิน มีตำแหน่งที่สามารถนำสายวัดอุณหภูมิลงไปในห้องฟุ้งดินซึ่งอยู่ภายในอาคาร เป็นท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ท่อละสองจุดคือกลางท่อและปลายท่อทุกๆท่อ มีฝาท่อทำด้วยสแตนเลส โดยสามารถหย่อนสายวัดอุณหภูมิลงไปจนถึงภายในห้องฟุ้งดิน



ภาพที่ 38 ท่อพีวีซีสำหรับสอดสายวัดอุณหภูมิลงไปภายในห้องอากาศฟุ้งได้ดิน



ภาพที่ 39 แนวการไหลเวียนของอากาศในท่อ และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 40 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิทั้งหมดในอาคาร

2 การวัดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารจะวัดกลางห้องสมุดบริเวณโต๊ะอ่านหนังสือ ส่วนอุณหภูมิภายนอกอาคารจะวัดบริเวณใต้ต้นไม้ด้านข้างอาคารห่างประมาณ 2 เมตร โดยทั้งสองจุดจะวัดที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร

3 เพื่อเปรียบเทียบถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่มีผลมาจากดินบริเวณรอบๆ จึงทำการวัดอุณหภูมิดินที่ระดับใกล้เคียงคือความลึก 80 เซนติเมตร (เนื่องจากข้อจำกัดในการขุด เพราะดินมีเศษอิฐกับหินผสมจึงทำให้ขุดลึกได้ยาก) นอกเหนือจากการใช้ข้อมูลอุณหภูมิดินของสถานีเกษตรใกล้เคียงคือสถานีเกษตรของตากฟ้าตาคลี (นครสวรรค์)

สรุปการวัดอุณหภูมิที่ต้องการมีดังนี้

1 วัดอุณหภูมิอากาศภายในห้องฝั่งคืน โดยสาย Thermocouple (Testo Datalogger 177-T4) ตำแหน่งกลางห้องและปลายห้องลมออก ทุกห้องต่อละ 2 จุด ทั้ง 5 ห้อง รวมทั้งหมด 10 จุด (ตามตำแหน่งที่แสดงในภาพ 3-21)

2 วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารที่ระดับ 90 เซนติเมตร บริเวณใต้ร่มไม้ด้านข้างอาคาร โดยใช้ (Testo Datalogger 175-T1)

3 วัดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารระดับ 90 เซนติเมตร (Testo Datalogger 175-T1)

4 วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตร (Testo Datalogger 177-T4)

รวมตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 13 ตำแหน่ง



ภาพที่ 41 ชั้นตอนขณะเก็บข้อมูลอุณหภูมิในห้องอากาศฝั่งคืนภายในอาคาร



ภาพที่ 42 ขั้นตอนเตรียมสาย Thermocouple ในการทดลองวัดผลอุณหภูมิภายในท่อ

บันทึกอุณหภูมิภายนอกอาคาร



บันทึกอุณหภูมิในอาคาร



ภาพที่ 43 ขณะบันทึกข้อมูลอากาศอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร



ภาพที่ 44 ขณะบันทึกข้อมูลอุณหภูมิดิน โดยสาย Thermocouple

W175	Date	Time	ΓCI ₁	ΓCI ₂	ΓCI ₃	ΓCI ₄
	01.02.2009	21:22:34	30.30	30.60	31.50	31.50
	01.02.2009	21:22:37	30.40	31.00	32.40	31.70
	01.02.2009	21:22:40	28.20	28.10	28.20	28.40
	01.02.2009	21:22:43	27.00	27.90	27.90	28.10
	01.02.2009	21:22:46	27.90	27.80	27.80	28.00
	01.02.2009	21:22:49	27.80	27.80	27.90	27.90
	01.02.2009	21:22:52	27.90	27.80	27.90	28.00
	01.02.2009	21:22:55	28.10	27.80	28.00	28.00
	01.02.2009	21:22:58	27.80	27.80	27.90	27.90
	01.02.2009	21:23:01	27.90	27.70	27.80	27.90
	01.02.2009	21:23:04	27.70	27.70	27.80	27.90
	01.02.2009	21:23:07	27.80	27.60	27.80	27.80
	01.02.2009	21:23:10	27.30	27.20	27.40	27.40
	01.02.2009	21:23:13	26.90	26.60	27.00	27.20
	01.02.2009	21:23:16	27.60	27.60	27.80	27.80
	01.02.2009	21:23:19	27.70	27.70	27.70	27.80
	01.02.2009	21:23:22	27.90	27.70	27.80	27.90
	01.02.2009	21:23:25	27.80	27.70	27.70	27.80

ภาพที่ 45 ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ขณะตั้งค่าบันทึกข้อมูลอุณหภูมิในท่อ



ภาพที่ 46 ขั้นตอนขณะรวบรวมความเร็วลมออกปลายท่อ

การวัดความชื้น ได้ใช้อุปกรณ์เดียวกับการเก็บข้อมูลอุณหภูมิคือ Testo Datalogger 175-T1 ซึ่งสามารถบันทึกได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น เพื่อเปรียบเทียบความชื้นภายในอาคารก่อนและหลังปรับปรุงระบบท่อฝังดิน

การวัดความเร็วลม ใช้อุปกรณ์ Testo รุ่น 405 v-1 วัดความเร็วลมที่ออกจากท่ออากาศฝังดิน ที่ตำแหน่งปลายท่อลมออกทุกๆท่อ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลและประสิทธิภาพของการลดความร้อนทั้งก่อนและหลังการเปิดใช้พัดลมดูดอากาศ

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

จากงานวิจัยที่ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง โดยแต่ละช่วงจะทำการเก็บข้อมูลและบันทึกผล เพื่อนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

รวบรวมข้อมูลตามสภาพการใช้งานเดิมของระบบท่ออากาศฝังดินในปัจจุบัน โดยที่ยังไม่ได้รับการซ่อมแซมหรือปรับปรุงระบบ ดำเนินการในช่วงต้นฤดูร้อน วันที่ 1 - 3 กุมภาพันธ์ 2552 บันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที เป็นเวลาติดต่อกันทั้งสิ้น 66 ชั่วโมง

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ระบบท่ออากาศฝังดินจากการศึกษาครั้งที่ 1 แล้วนำมาปรับปรุงระบบท่ออากาศฝังดินในครั้งนี้ ดำเนินการศึกษาในวันที่ 26 - 28 กุมภาพันธ์ 2552 บันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ทดลองเป็นเวลาติดต่อกันทั้งสิ้น 48 ชั่วโมง

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 3

เป็นการศึกษาผลการทดลองหลังผ่านการปรับปรุงระบบท่ออากาศฝังดินในครั้งที่ 2 แล้วทิ้งระยะเวลาการใช้งาน 6 เดือนเพื่อสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น เป็นการศึกษาข้อมูลในฤดูหนาว วันที่ 18 - 20 พฤศจิกายน 2552 เก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที เป็นเวลาติดต่อกันทั้งสิ้น 48 ชั่วโมง

สรุปข้อมูลที่ต้องการในการศึกษามีดังนี้

- 1 อุณหภูมิอากาศภายในท่อ (กลางท่อและปลายท่อลมออก 5 ท่อ) ทั้งหมด 10 จุด
- 2 อุณหภูมิอากาศและความชื้นภายในอาคาร ระดับ 90 เซนติเมตร ตำแหน่งละ 1 จุด
- 3 อุณหภูมิอากาศและความชื้นภายนอกอาคาร ระดับ 90 เซนติเมตร ตำแหน่งละ 1 จุด
- 4 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 80 เซนติเมตร 1 จุด
- 5 ความเร็วลมปลายท่อลมออก (วัดผลในทุกๆท่อ)

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

สภาพทั่วไปก่อนการศึกษา

สภาพอากาศทั่วไปทั้งสามวัน ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใสมีเมฆบางส่วน อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 25.8-33.7 °C ซึ่งค่อนข้างร้อน อาคารอยู่ในสภาพสมบูรณ์ไม่ทรุดโทรม จากการสำรวจและประเมินสภาพโดยรวมพบปัจจัยที่ทำให้การใช้งานระบบท่อฝังดินมีปัญหาหลักๆ 2 ส่วนดังนี้

1 สภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ค่อนข้างเป็นอุปสรรคต่อระบบท่อฝังดิน ในส่วนบริเวณปากท่อลมเข้าจากที่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นที่บริเวณรอบๆหลายครั้ง ทำให้ดินถูกถมสูงขึ้นจนเกือบเสมopakท่อลมเข้า มีการปลูกไม้พุ่มเตี้ยตลอดแนวปากท่อที่เป็นการบดบังทิศทางการลดปริมาณและความเร็วลมก่อนจะเข้าภายในระบบท่อฝังดิน

2 ระบบท่อฝังอากาศดินค่อนข้างมีปัญหา พบว่าภายในระบบท่อน้ำข้างที่อยู่ในปริมาณมากทุกท่อ ส่วนของบ่อดักความชื้นหลังจากไม่ได้มีการดูแล ทำให้ถ่านที่อยู่ภายในถูกน้ำและดินทับถมผ่านเวลาจนอัดแน่นและเข้าไปอุดตันในท่อ อากาศจึงไม่สามารถผ่านบ่อดักความชื้นในส่วนนี้ได้

- ปากท่อรับลมเข้า(พีวีซี)มีระดับต่ำเกือบเสมอดิน ที่ทำให้น้ำและแมลงเข้าไปในท่อได้ง่าย
- ตะแกรงตาข่ายกันแมลงที่ปลายปากท่ออยู่ในสภาพทรุดโทรมมีฝุ่นเกาะ ทำให้อากาศผ่านเข้าภายในได้ยากขึ้น

- ระดับบ่อดักความชื้นที่ต่ำและฝาบ่อก่อนข้างทรุดโทรม



ภาพที่ 47 สภาพแวดล้อมบริเวณปากท่อลมเข้า ที่มีไม้พุ่มเตี้ยปกคลุม



ภาพที่ 48 ปากท่อลมเข้าซึ่งมีระดับต่ำ และตะแกรงตาข่ายปากท่อที่ทรุดโทรม



ภาพที่ 49 บริเวณบ่อดักความชื้น และภายในบ่อที่มีถ่านและน้ำซุ่มซัง

การวิเคราะห์ข้อมูลในการรวบรวมข้อมูลแต่ละครั้ง จะแบ่งเป็นสองกรณีคือ

กรณีที่ 1 แยกการวิเคราะห์ผลการศึกษาในแต่ละท่อเพื่อดูประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น

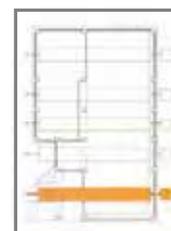
กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ

วิเคราะห์ผลการศึกษครั้งที่ 1

กรณีที่ 1 แยกการวิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อดูประสิทธิผลในแต่ละท่อ

ผลการศึกษาท่อที่ 1

ตำแหน่งที่จะอยู่หน้าสุดของตัวอาคาร ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเสาแรก ด้านนี้ได้รับแดดและลมดีที่สุดเพราะมีสิ่งกีดขวางบังแดดและลมน้อย วัสดุท่อเป็นซีเมนต์เปล้า (มีน้ำขังจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับวัสดุภายในกับท่ออื่นๆ)



keyplan

จากผลอุณหภูมิอากาศในท่อ พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยกลางท่ออยู่ที่ 28 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเฉลี่ยปลายท่อ 27.5 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิช่วงปลายท่อ 0.2-0.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมีค่าสูงสุดที่ 33.7 องศาเซลเซียสในเวลา 14.30 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกขณะนั้นอยู่ที่ 27.6 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างอุณหภูมิต่ำกว่าสูงสุด 6.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดคือ 25.8 องศาเซลเซียสในเวลา 06.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกนั้นอยู่ที่ 27.1 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าได้สูงสุดที่ 1.3 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4)

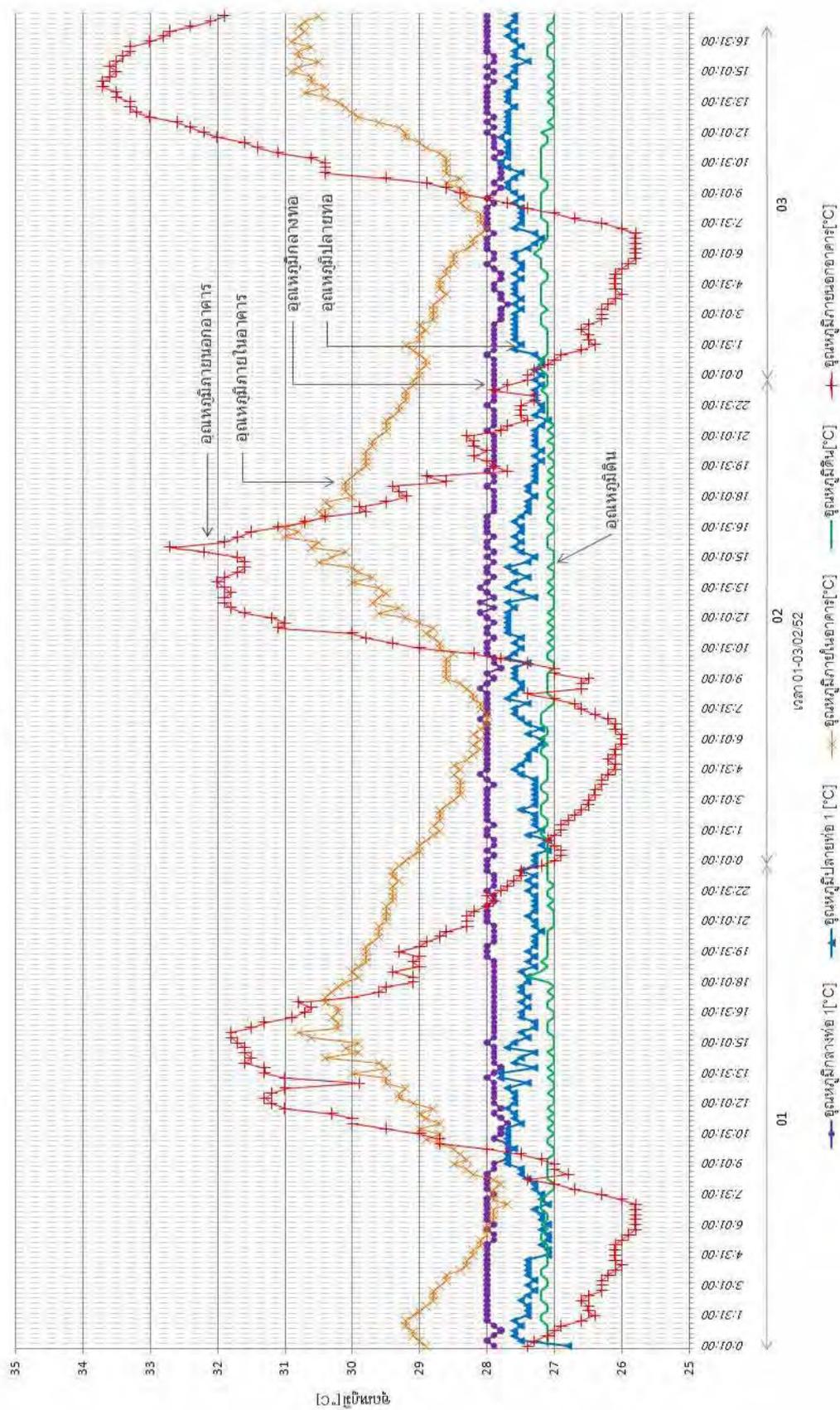
อุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมธรรมชาติซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่คงที่

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาของท่อที่ 1 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

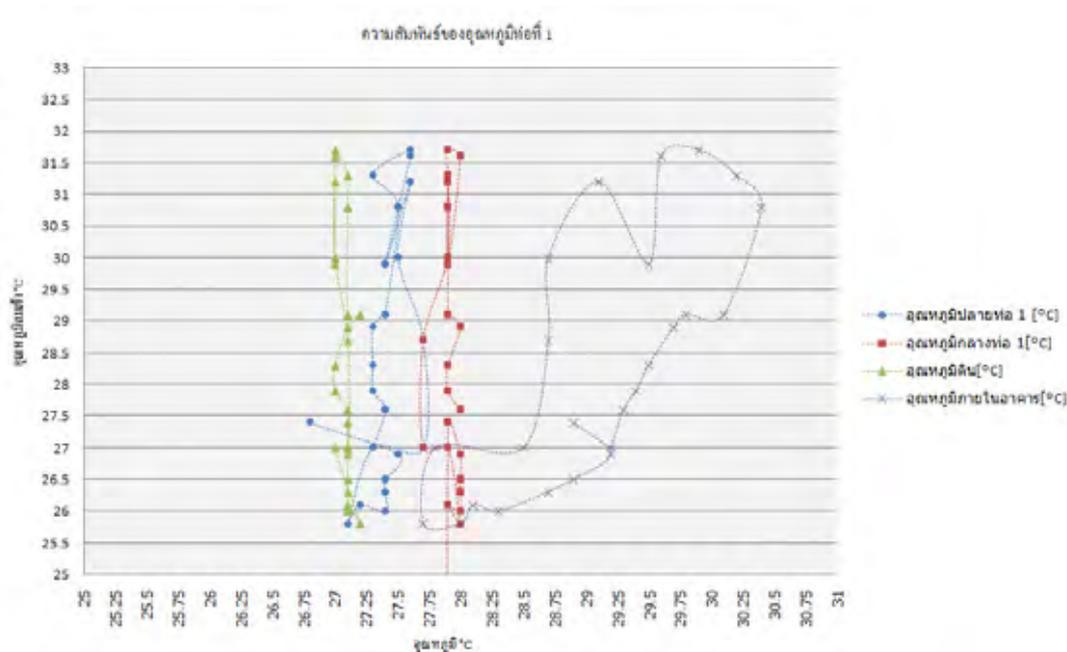
	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิต่อลมออก	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิต่อลมออก
อุณหภูมิ	33.7 °C	27.6 °C	25.8 °C	27.1 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมกกลางท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	6.1 °C	2.6 °C	1.3 °C	0.6 °C	28 °C	27.6 °C

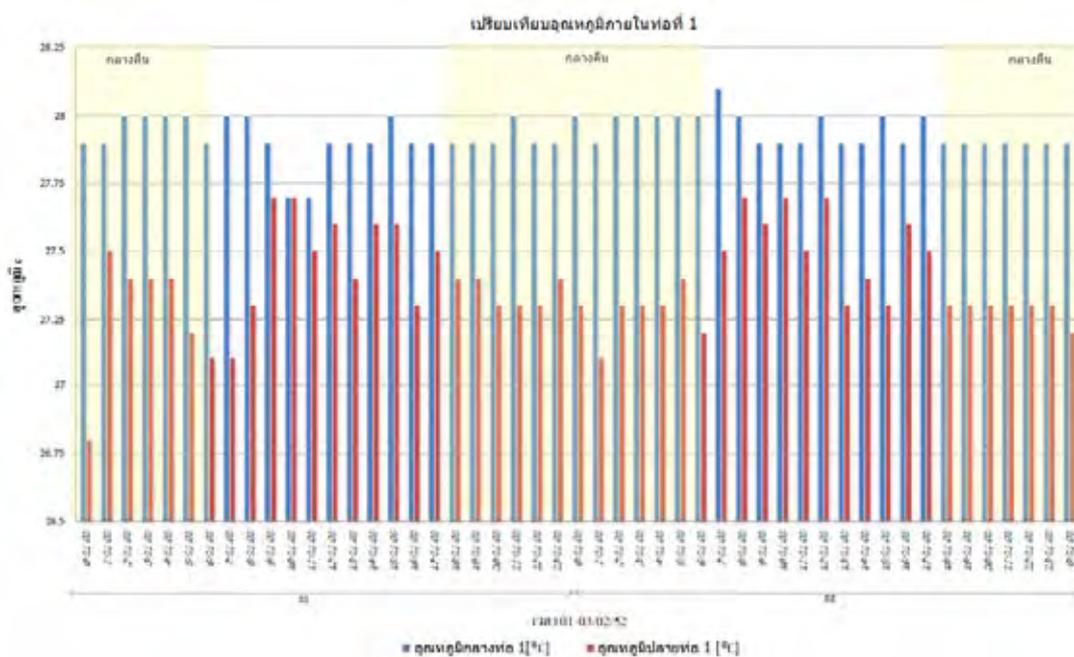
อุณหภูมิอากาศในท่อที่ 1



แผนภูมิที่ 10 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 1

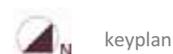


แผนภูมิที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 1



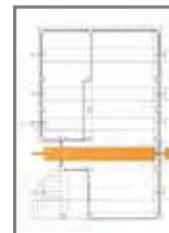
แผนภูมิที่ 12 แสดงผลของอุณหภูมิกาศกลางท่อกับปลายท่อในท่อที่ 1

แผนภูมิ 11 การไหลเวียนอากาศในระบบท่อน้อย โดยอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิในห้องเปลี่ยนแปลงไม่สัมพันธ์กัน กราฟเป็นเส้นตรงแนวตั้งซึ่งหมายถึงอุณหภูมิลมเข้าที่เปลี่ยนแปลงมาก แต่อุณหภูมิกาศในท่อก่อนข้างคงที่ แผนภูมิ 12 แสดงถึงอุณหภูมิกาศกลางท่อกึ่งที่และสูงกว่าปลายท่อประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากช่วงปลายท่อที่แกว่งตัวขึ้นลงที่มากกว่า



ผลการศึกษาท่อที่ 2

จากตำแหน่งที่อยู่ถัดมาจากท่อ 1 ในช่วงเสาที่สอง ด้านนี้ได้รับแดดและลมน้อยลงมาจากท่อแรก วัสดุท่อเป็นซีเมนต์วางศิลาแลงไว้ข้างใน (มีน้ำขังจึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบผลอุณหภูมิจากวัสดุในแต่ละท่อเช่นกัน)



จากการบันทึกผลอุณหภูมิอากาศในท่อ วัดอุณหภูมิเฉลี่ยกลางท่อได้ที่ 27.5 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิปลายท่อพบข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลทำให้ไม่สามารถบันทึกผลได้ แนวโน้มของอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิภายนอก ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกวัดได้สูงสุด 33.7 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 14.30 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552 และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้จากการทดลองคือ 25.8 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 (ตารางที่ 5)

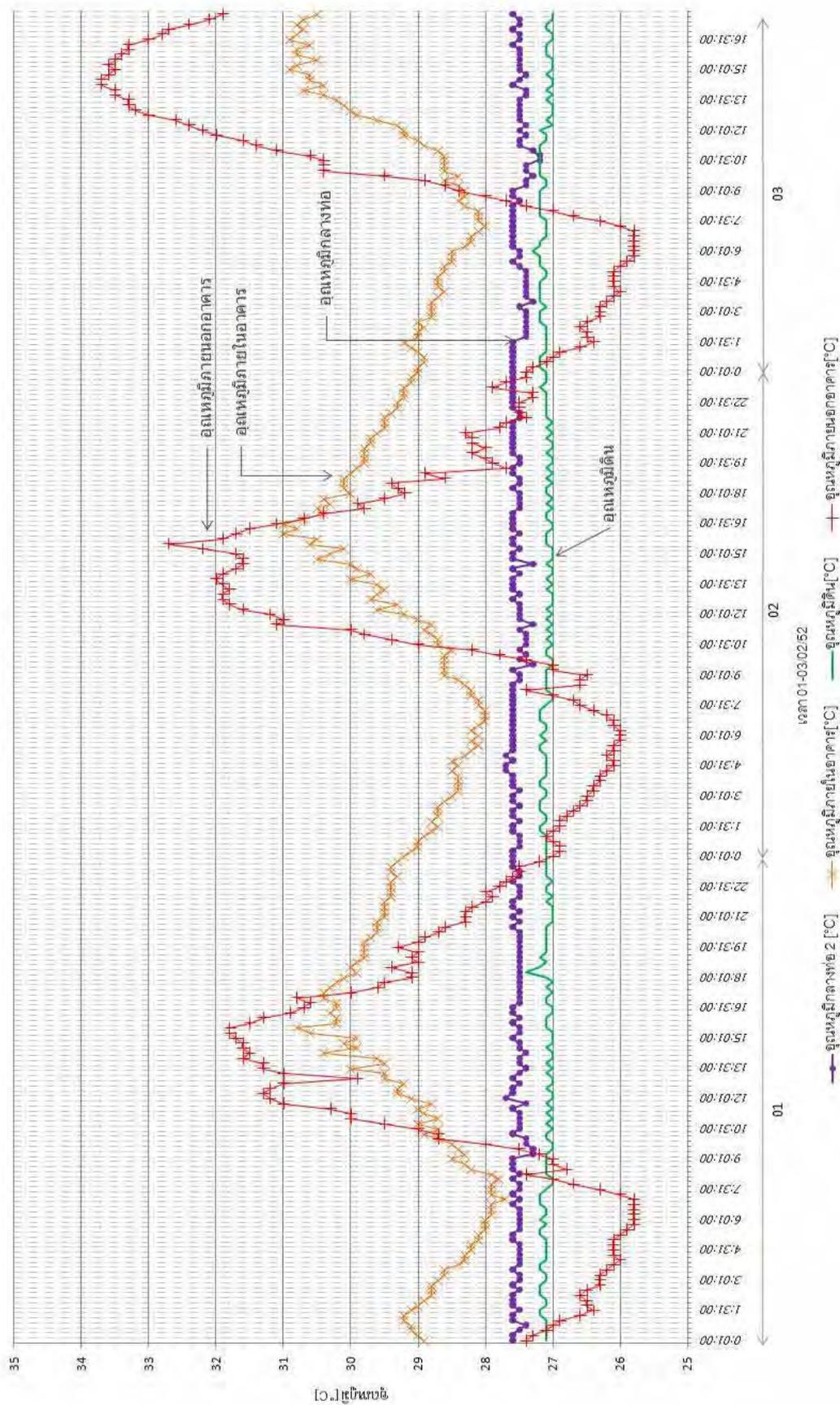
วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมธรรมชาติซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่คงที่

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาของท่อที่ 2 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.7 °C	-	25.8 °C	-
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิกกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	-	-	-	-	27.5 °C	-

อุณหภูมิอากาศในท่อที่ 2



แผนภูมิที่ 13 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 2



ผลการศึกษาท่อที่ 3

ตำแหน่งของท่อที่ 3 อยู่ตรงกลางอาคาร โดยมีวัสดุท่อเป็นซีเมนต์และวางหินซ้อนไว้ภายในท่อ (มีน้ำขังจึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบผลอุณหภูมิจากวัสดุในแต่ละท่อเช่นกัน)

จากการบันทึกผลอุณหภูมิอากาศในท่อ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางท่ออยู่ที่ 27.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยปลายท่ออยู่ที่ 26.7 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิปลายท่ออยู่ในช่วง 0.2-0.3 องศาเซลเซียสซึ่งน้อยมาก อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารวัดได้สูงสุด 33.7 องศาเซลเซียส ในเวลา 14.30 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อขณะนั้นอยู่ที่ 26.8 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสูงสุด 6.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดคือ 25.8 องศาเซลเซียส ในเวลา 06.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่ออยู่ที่ 26.9 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิที่สูงกว่าได้มากที่สุด 1 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 6)

วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมธรรมชาติซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่คงที่

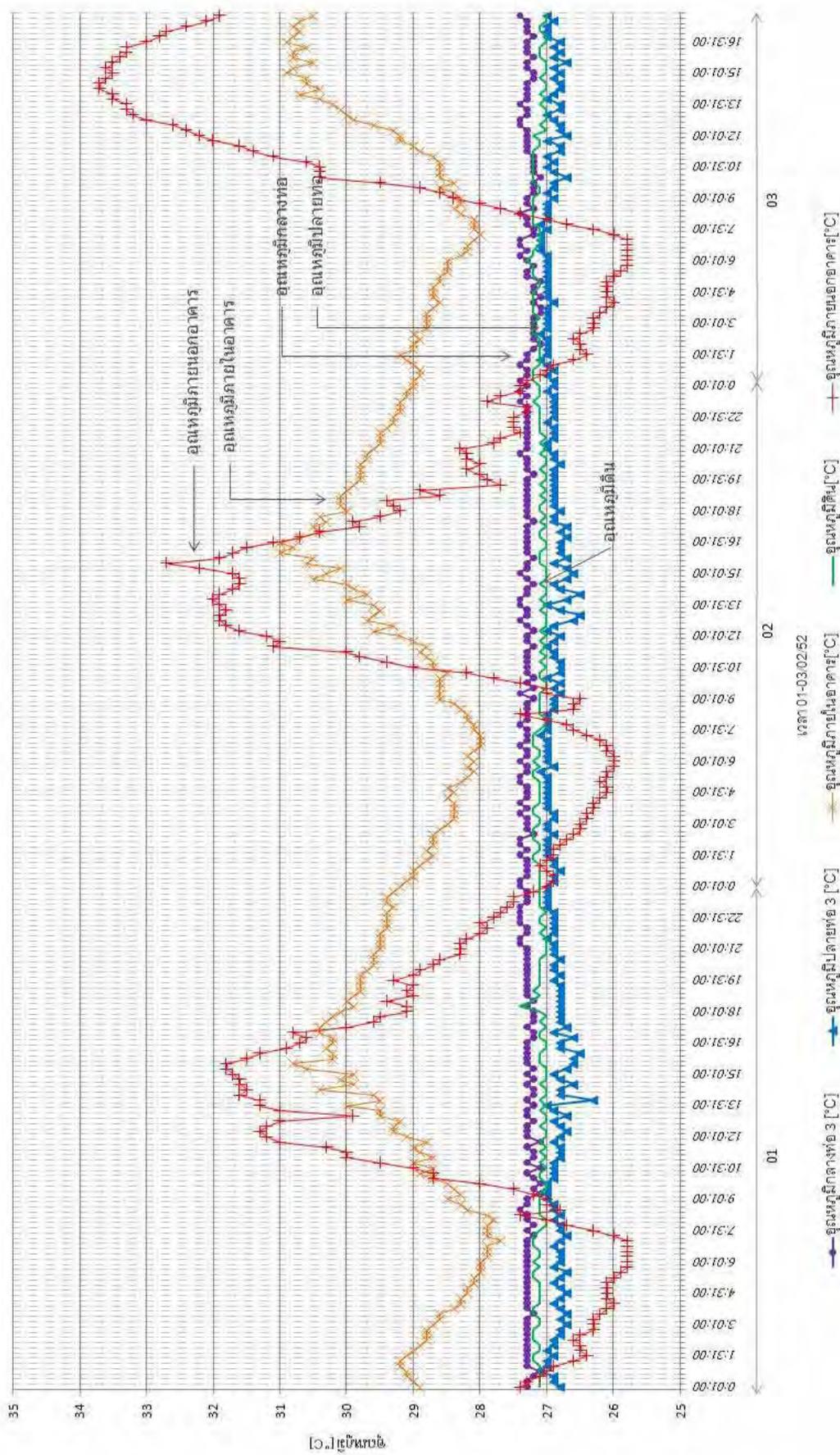
จุดสังเกตของท่อที่สามคือ ข้อมูลอุณหภูมิปลายท่อบางจุดต่ำกว่าอุณหภูมิดิน สาเหตุอาจมาจากน้ำและความชื้นที่มีมาก รวมถึงการไหลเวียนของอากาศในท่อที่ค่อนข้างน้อย

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาของท่อที่ 3 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

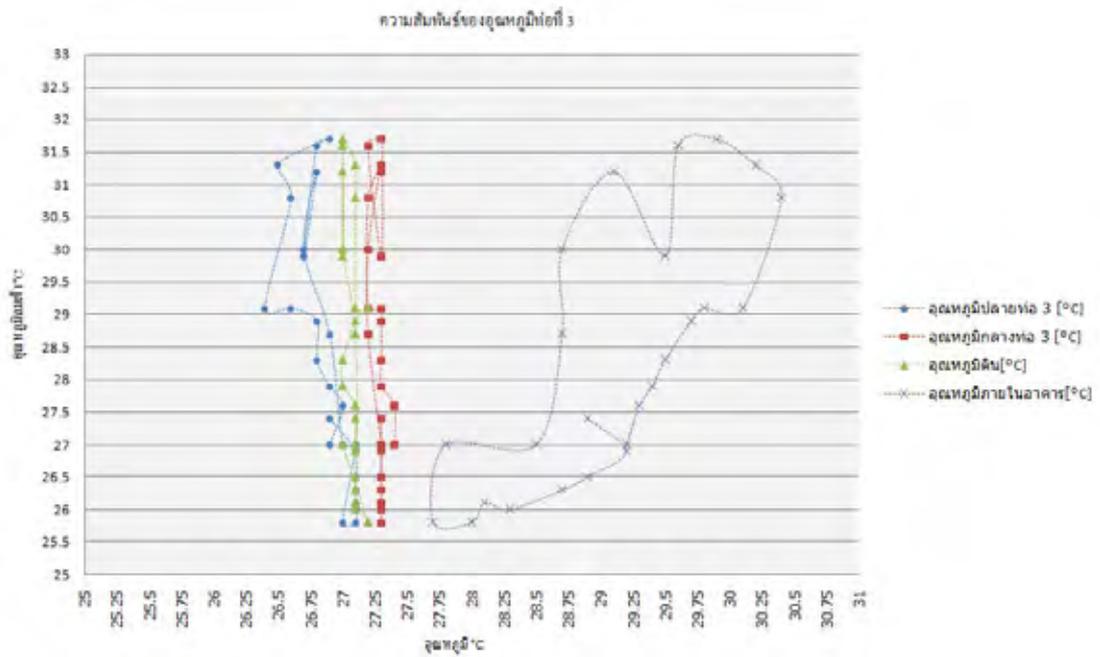
	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.7 °C	26.8 °C	25.8 °C	26.9 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	6.9 °C	2.6 °C	1 °C	0.7 °C	27.2 °C	26.7 °C

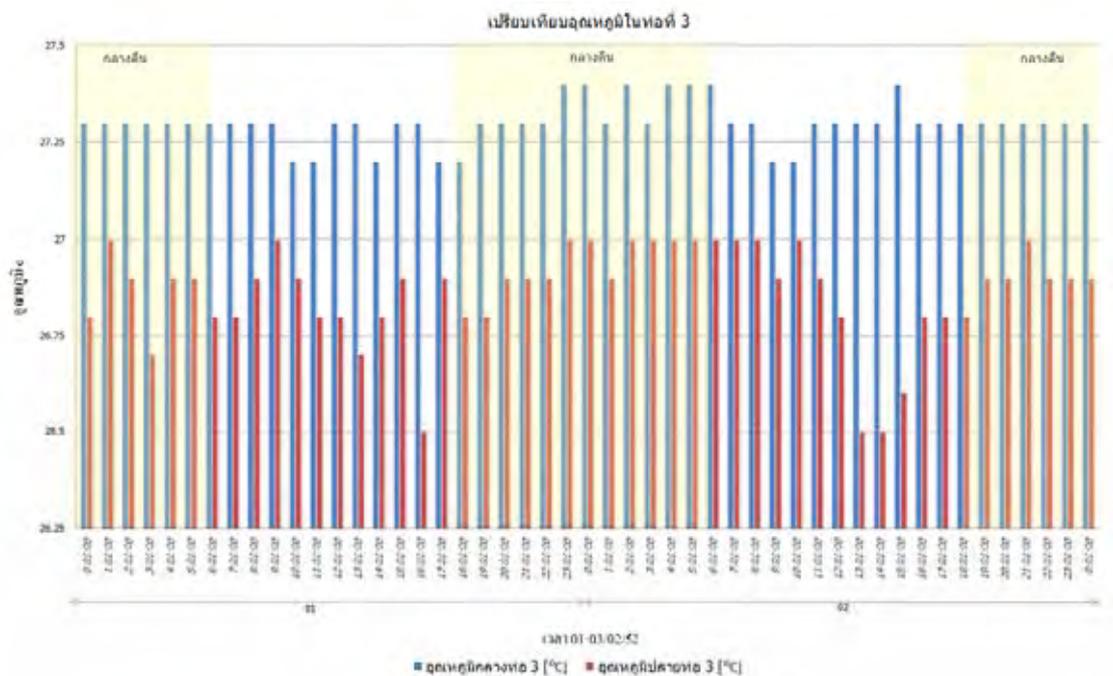
อุณหภูมิอากาศในพาร์ท 3



แผนภูมิที่ 14 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในพาร์ท 3



แผนภูมิที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในห้องที่ 3



แผนภูมิที่ 16 แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางท่อเทียบกับปลายท่อในห้องที่ 3

แผนภูมิ 15 แสดงการไหลเวียนอากาศในระบบท่อที่น้อย โดยอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิในห้องมีการเปลี่ยนแปลงไม่สัมพันธ์กัน อุณหภูมิช่วงปลายท่อมีการแกว่งตัวขึ้นลงน้อยและมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิดิน แผนภูมิ 16 แสดงอุณหภูมิอากาศกลางท่อที่คงที่และสูงกว่าปลายท่อประมาณ 0.25-0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากช่วงปลายท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงมากกว่า

ผลการศึกษาท่อที่ 4

จากตำแหน่งที่อยู่ช่วงท้ายของอาคาร ได้รับผลกระทบของแดดและลม น้อย เพราะบริเวณรอบๆมีไม้ใหญ่ปกคลุมตลอดวัน วัสดุท่อเป็นซีเมนต์ปูทรา ยหายาบภายใน(มีน้ำขังจึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบผลอุณหภูมิจากวัสดุในแต่ละท่อ)



จากการบันทึกผลอุณหภูมิอากาศในท่อ วัดอุณหภูมิอากาศกลางท่อเฉลี่ย 27.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิปलयท่อเฉลี่ยที่ 26.7 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิ ช่วงปลายท่อที่ 0.2-0.3 องศาเซลเซียส(คล้ายกับท่อที่3) ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะสวนทางอุณหภูมิกายนอก วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารสูงสุดได้ 33.7 องศาเซลเซียส ในเวลา 14.30 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่ออยู่ที่ 26.7 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าสูงสุด 7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกายนอกอาคารต่ำสุดคือ 25.8 องศาเซลเซียส ในเวลา 06.00 น.ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อนั้นอยู่ที่ 27.1 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำกว่ามากที่สุด 1.3 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 7)

วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมธรรมชาติซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่คงที่

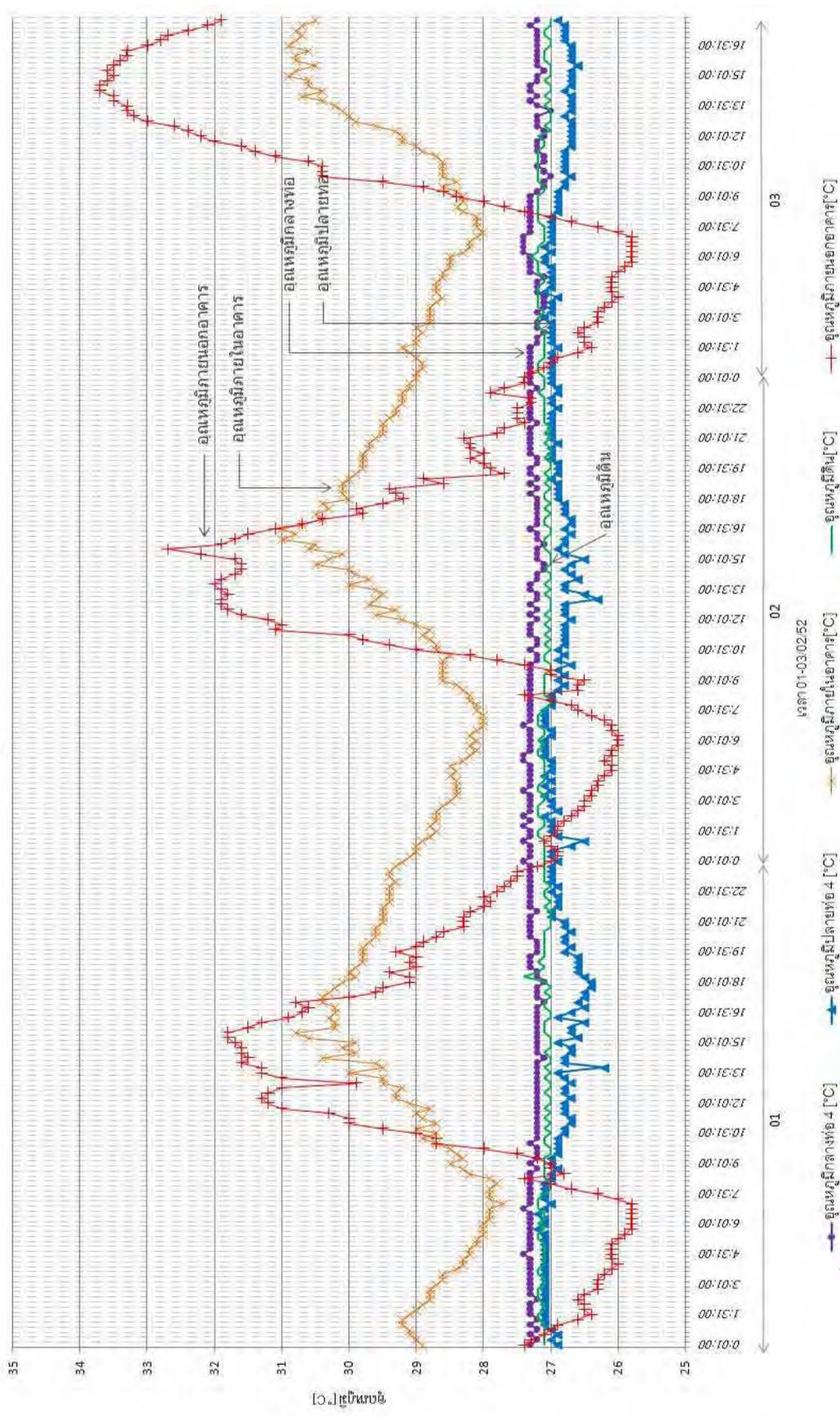
จุดสังเกตของท่อที่ 4 เหมือนท่อที่ 3 คือ อุณหภูมิกายนอกมีบางข้อมูลที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิดิน เนื่องจากน้ำและความชื้นที่มากและการไหลเวียนอากาศในท่อที่ค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาของท่อที่ 4 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

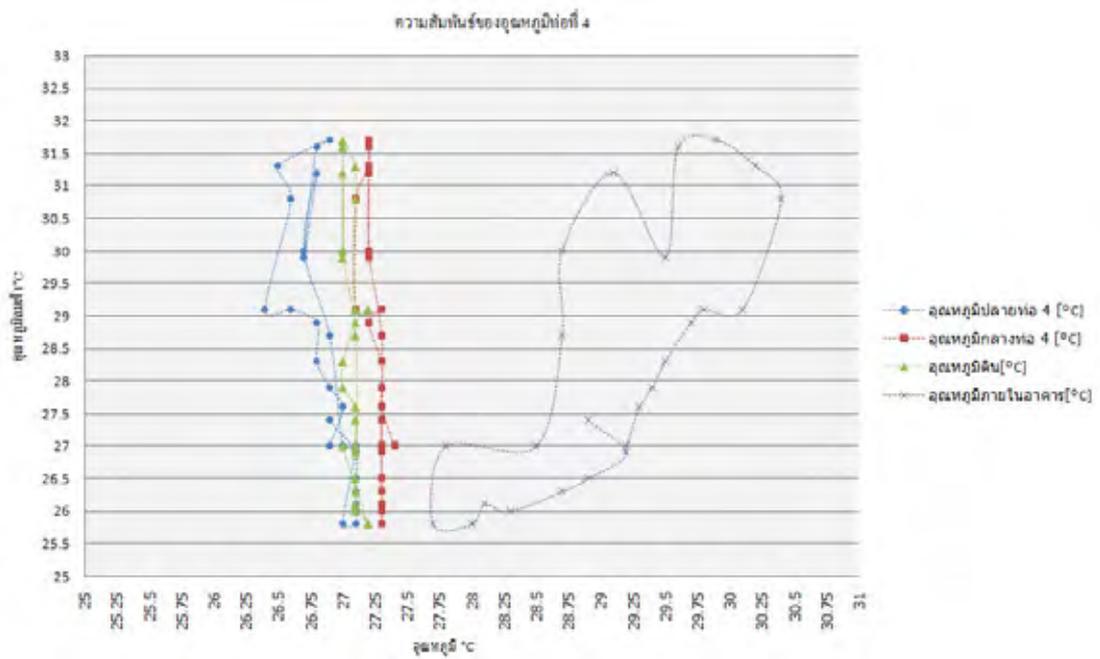
	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิกายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิกายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปलयท่อ	อุณหภูมิกายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปलयท่อ
อุณหภูมิ	33.7 °C	26.7 °C	25.8 °C	27.1 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิกกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิป ลายนท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	7 °C	2.6 °C	1.3 °C	0.7 °C	27.2 °C	26.7 °C

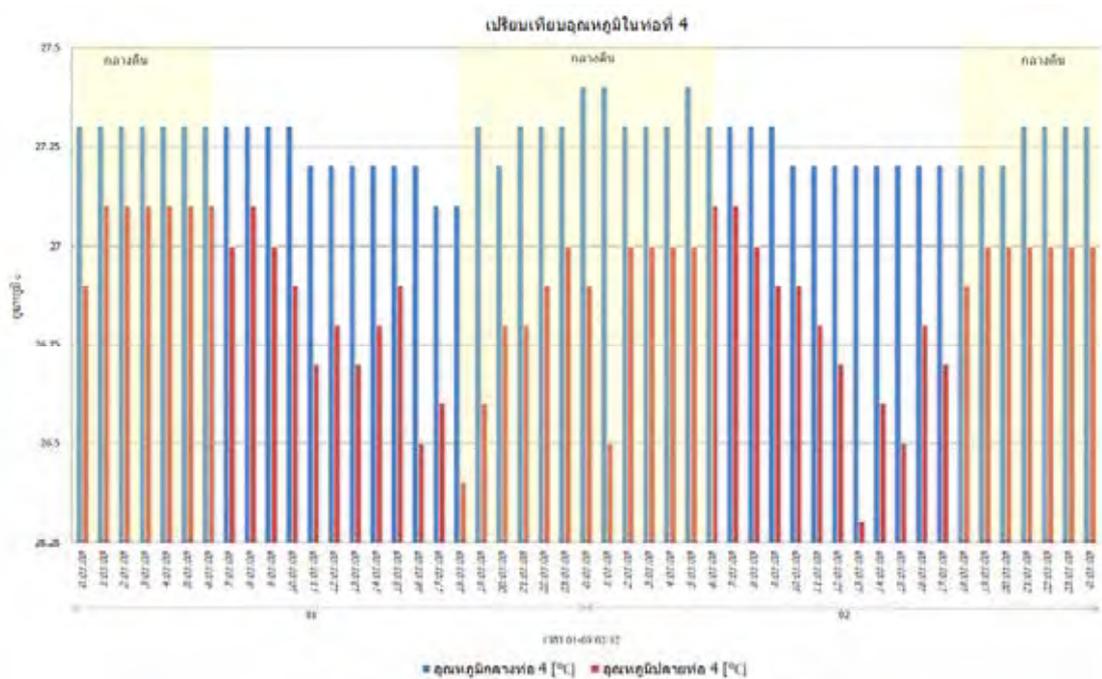
อุณหภูมิอากาศในท่อที่ 4



แผนภูมิที่ 17 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 4



แผนภูมิที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในห้องที่ 4



แผนภูมิที่ 19 แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางท่อกับปลายท่อในห้องที่ 4

แผนภูมิ 18 แสดงการไหลเวียนอากาศในระบบท่อที่น้อย โดยอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิในห้องมีการเปลี่ยนแปลงไม่สัมพันธ์กัน อุณหภูมิช่วงปลายท่อมีการแกว่งตัวขึ้นลงน้อยและมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิดิน แผนภูมิ 19 แสดงอุณหภูมิกอากาศกลางท่อคงที่และสูงกว่าปลายท่อประมาณ 0.25-0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากช่วงปลายท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงมากกว่า

ผลการศึกษาท่อที่ 5

ตำแหน่งของท่ออยู่ที่ท้ายสุดของตัวอาคาร ตำแหน่งนี้รับแสงแดดน้อย เพราะมีต้นไม้ปกคลุมตลอดวัน แต่สามารถรับลมจากด้านหลังอาคารได้ดีขึ้น บางส่วนจากทิศทางของลมหลังอาคาร วางถ่านกันความชื้นไว้ภายในท่อ (มีน้ำขัง จึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบผลอุณหภูมิจากวัสดุในแต่ละท่อ)



จากการบันทึกผลอุณหภูมิอากาศในท่อ วัดอุณหภูมิอากาศกลางท่อเฉลี่ยได้ที่ 27.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิปลายท่อเฉลี่ยที่ 26.9 องศาเซลเซียส แนวโน้มอุณหภูมิค่อนข้างเรียบไม่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารวัดได้สูงสุดอยู่ที่ 33.7 องศาเซลเซียส เวลา 14.30 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552 ขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อจะอยู่ที่ 26.8 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าสูงสุด 6.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดคือ 25.8 องศาเซลเซียส ในเวลา 06.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกของท่อฝั่งดินนั้นจะอยู่ที่ 26.9 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิสูงกว่ามากที่สุดที่ 1.1 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 8)

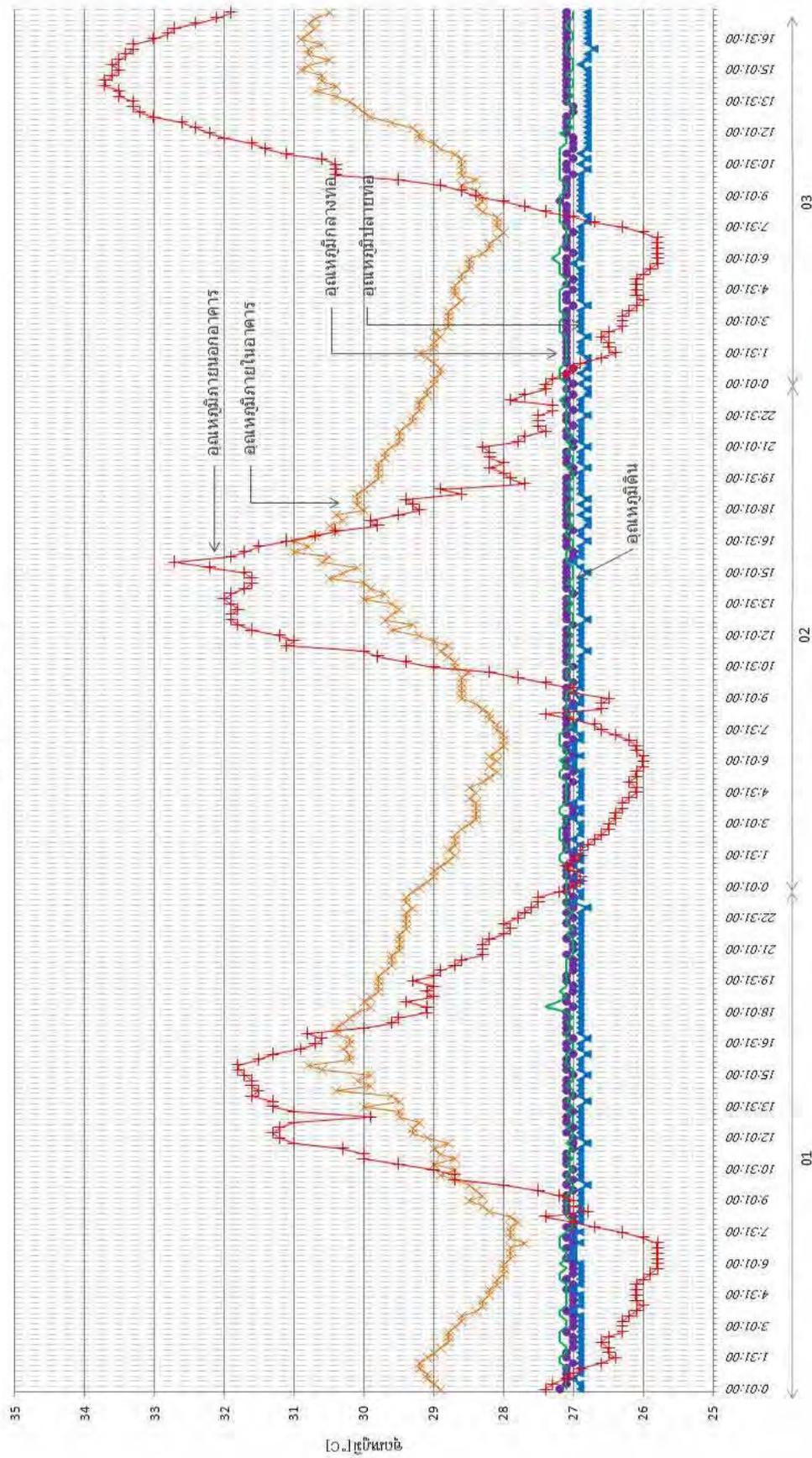
วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมธรรมชาติซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่คงที่

ตารางที่ 8 ผลการศึกษาของท่อที่ 5 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.7 °C	26.8 °C	25.8 °C	26.9 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

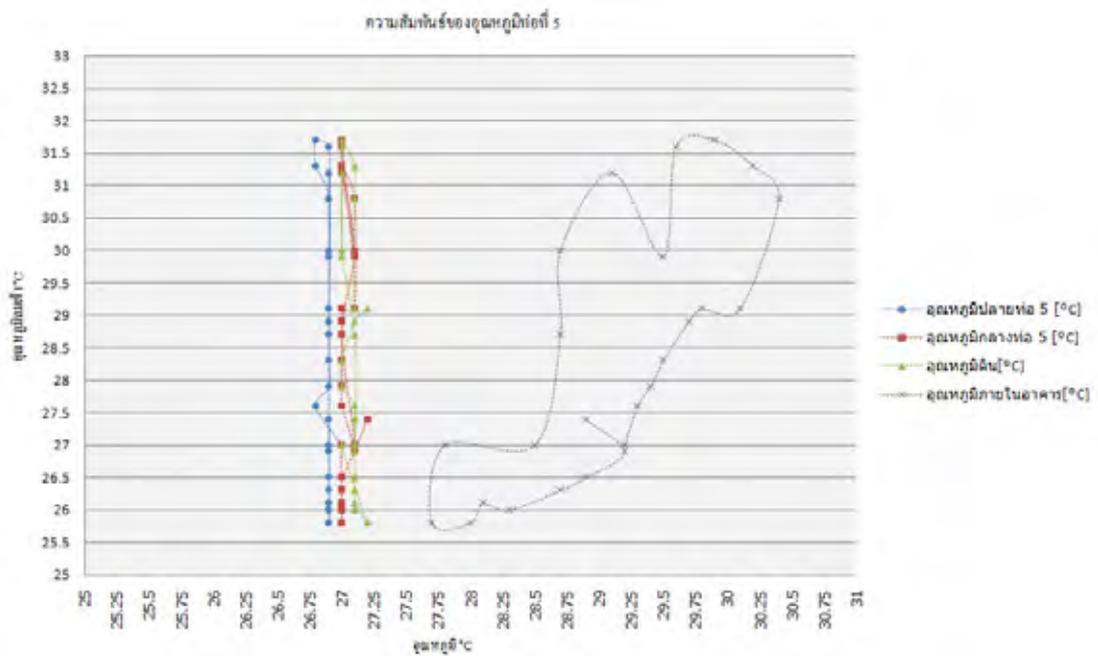
	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมกลางท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	6.9 °C	2.6 °C	1.1 °C	0.7 °C	27.1 °C	26.9 °C

อุณหภูมิอากาศในท่อนที่ 5

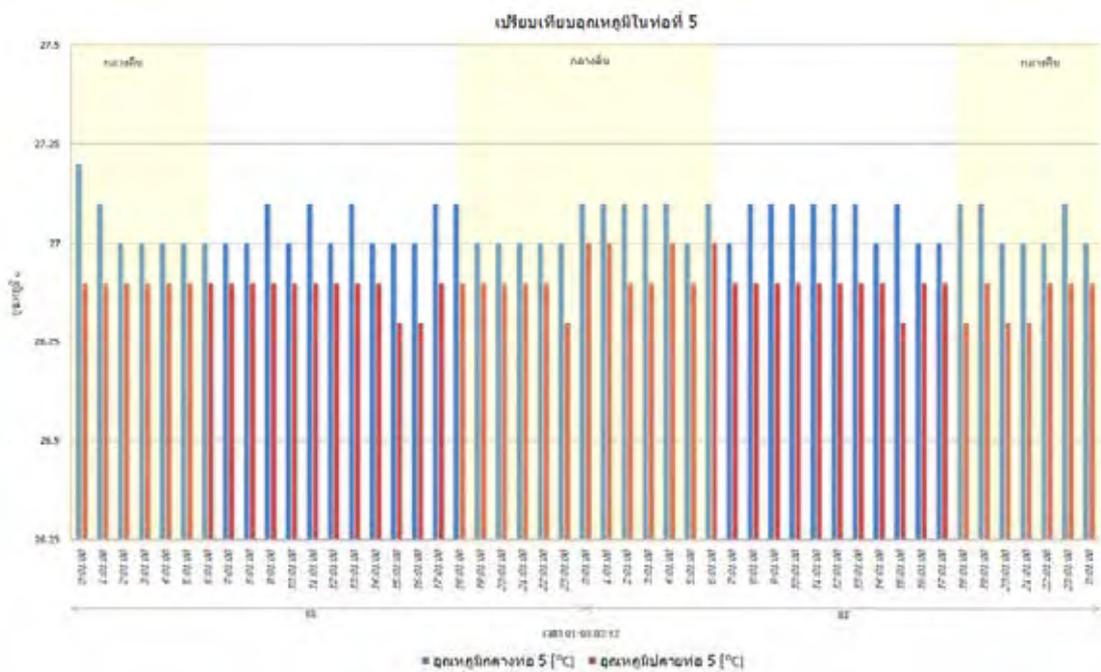


เลขที่ 01-03.02.52

แผนภูมิที่ 20 แสดงอุณหภูมิที่ได้อาคาร วัดผลในท่อนที่ 5



แผนภูมิที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆ ในท่อที่ 5



แผนภูมิที่ 22 แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางต่อกับปลายท่อในท่อที่ 5

แผนภูมิ 21 แสดงการไหลเวียนอากาศในระบบท่อที่น้อย โดยอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่อที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สัมพันธ์กัน อุณหภูมิช่วงปลายท่อมีการแกว่งตัวขึ้นลงน้อยและมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิดิน แผนภูมิ 22 แสดงอุณหภูมิกอากาศกลางที่และสูงกว่าปลายท่อประมาณ 0.2 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าคงที่เช่นกัน

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ

จากการวัดอุณหภูมิอากาศในท่อ พบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิในแต่ละท่อค่อนข้างใกล้เคียงกัน ยกเว้นท่อที่หนึ่งซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าในท่ออื่นๆ และเปลี่ยนแปลงขึ้นลงคล้ายกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

จากผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ในส่วนภายนอกอาคารจะมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 33.7 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 14.30 น. ของวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิอากาศตำแหน่งปลายท่อ (เฉลี่ย 5 ท่อ) อยู่ที่ 27.4 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 75 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนต่างที่ต่ำกว่าสูงสุด 5.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้จากการทดลองคือ 25.8 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อ (เฉลี่ยทั้ง 5 ท่อ) อยู่ที่ 27.4 องศาเซลเซียส มีความชื้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ เกิดส่วนต่างที่สูงกว่าเฉลี่ยที่ 1.1 องศาเซลเซียส (ตาราง 9)

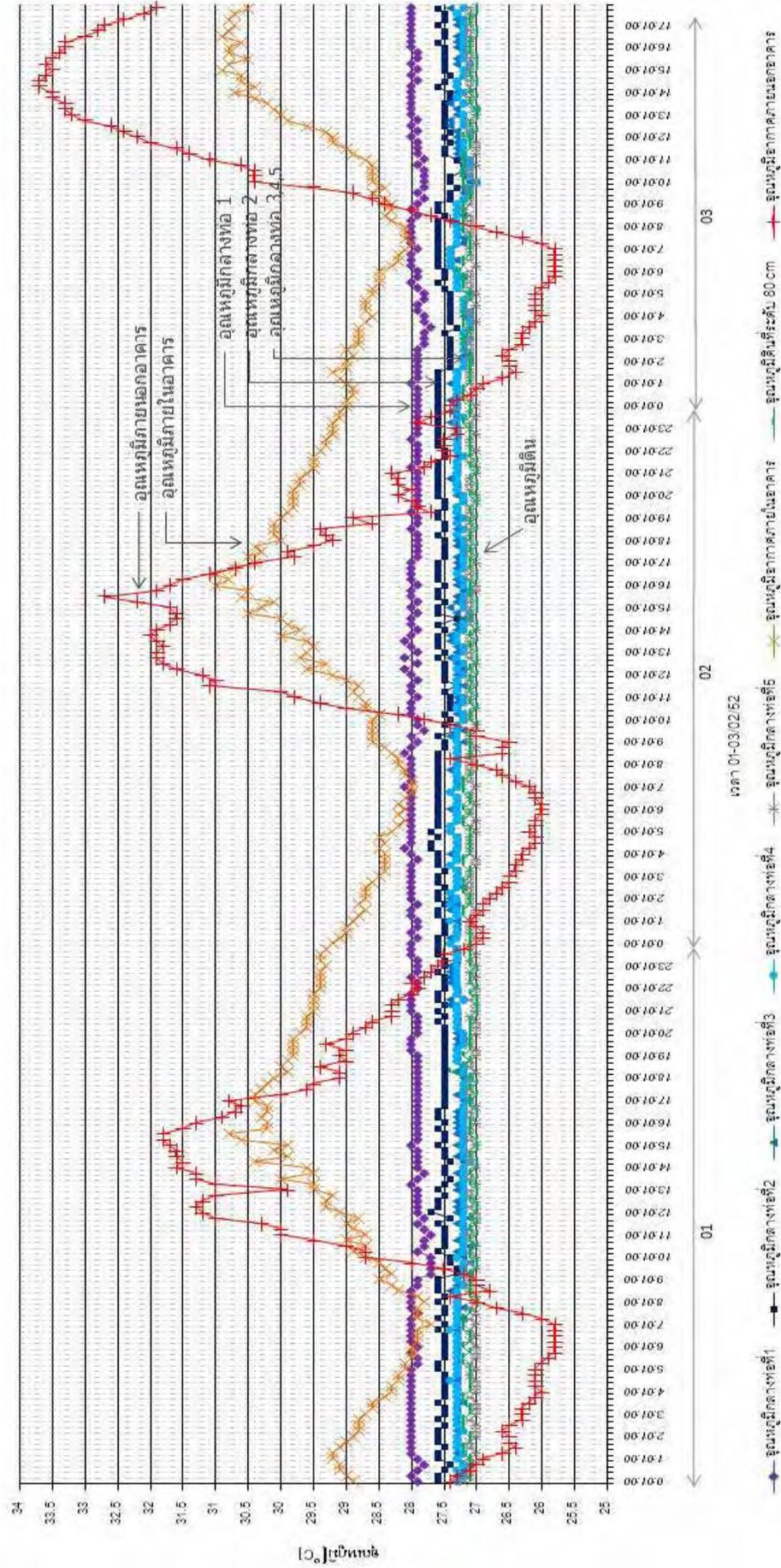
วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วลมธรรมชาติซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่คงที่

ตารางที่ 9 ผลการศึกษาเฉลี่ยทั้ง 5 ท่อ ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.7 °C	27.4 °C	25.8 °C	26.9 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

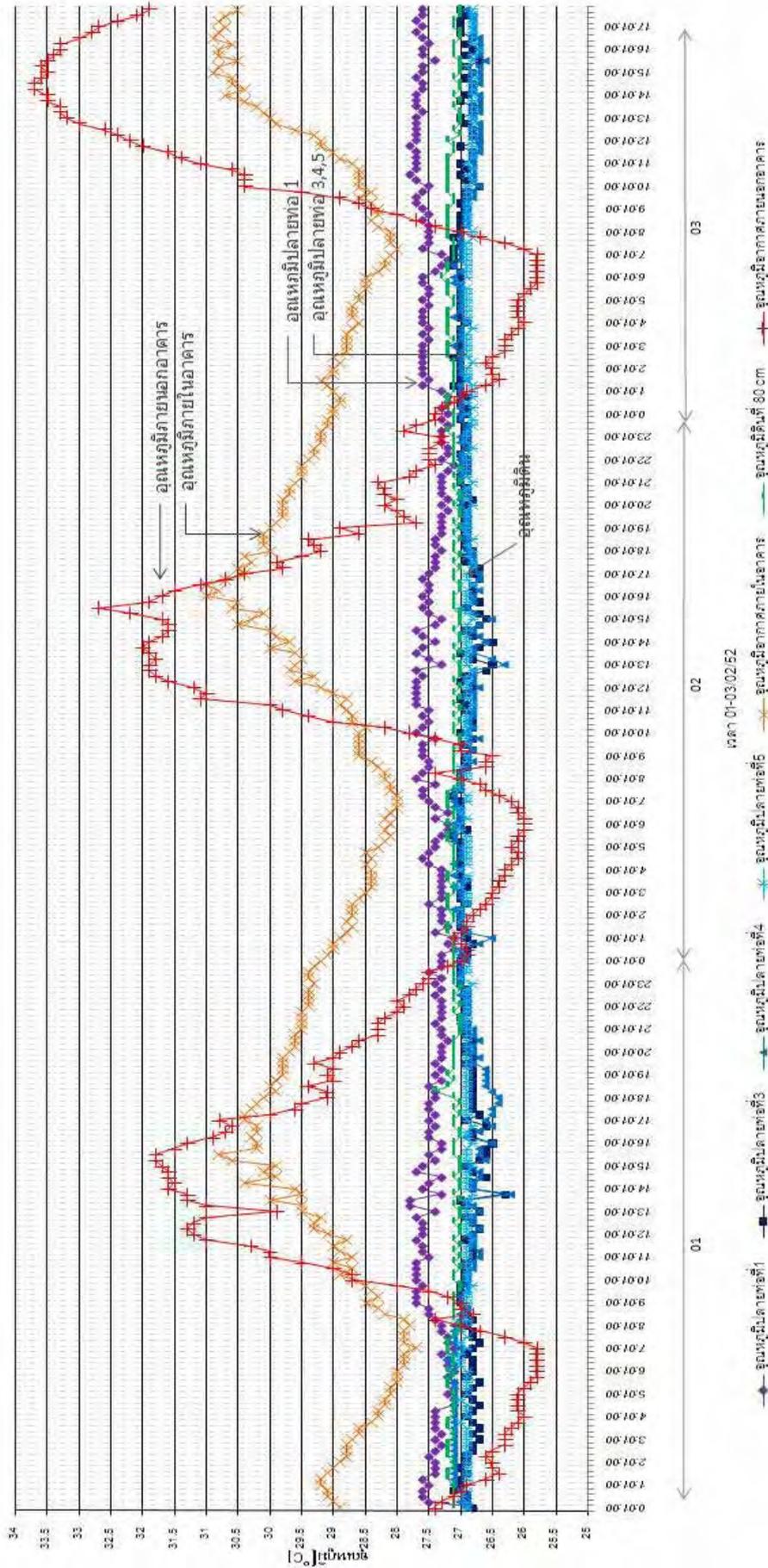
	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมิกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	5.3 °C	2.6 °C	1.1 °C	0.7 °C	27.2 °C	26.9 °C

อุณหภูมิอากาศกลางท่อ



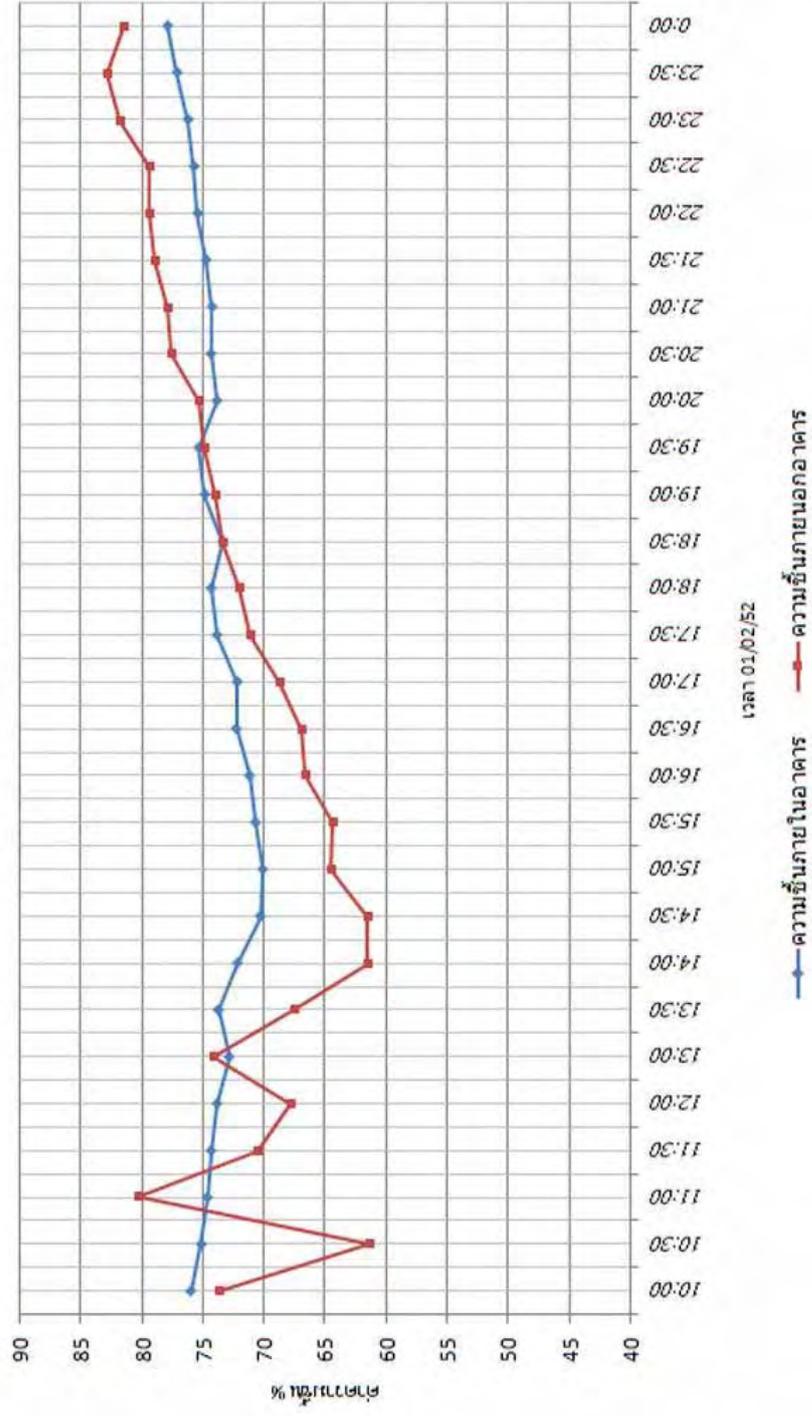
แผนภูมิที่ 23 แสดงอุณหภูมิอากาศกลางท่อทั้ง 5 ที่ได้จากการวัดผล

อุณหภูมิอากาศปลายท่อ

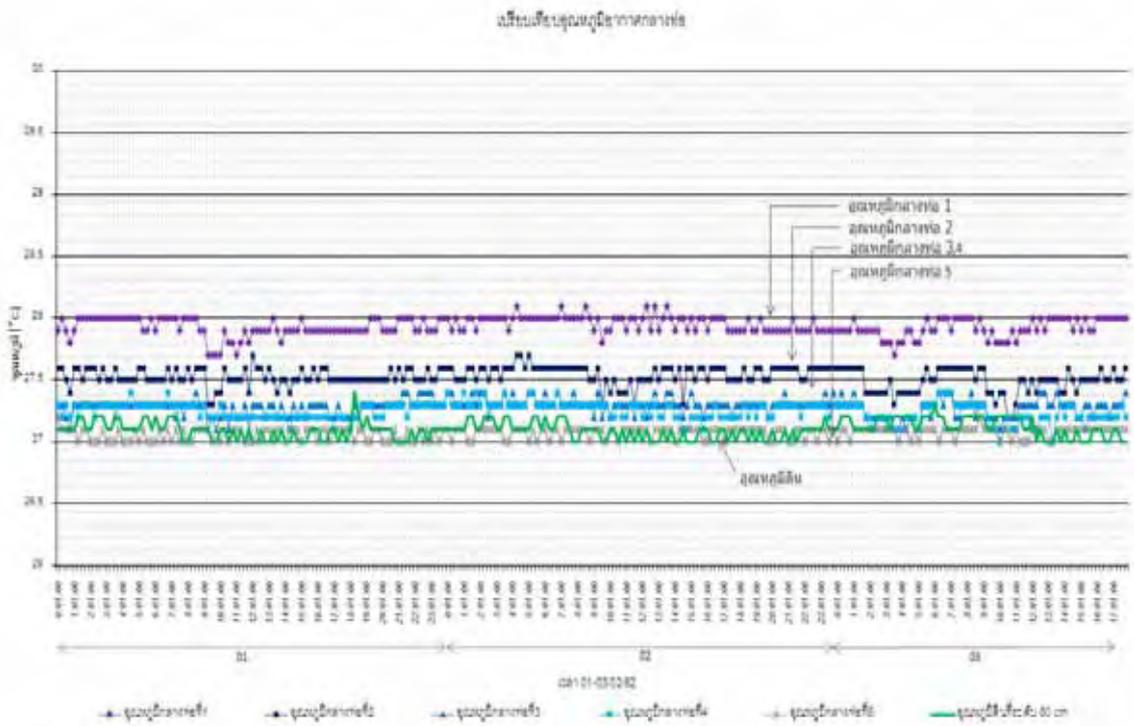


แผนภูมิที่ 24 แสดงอุณหภูมิอากาศปลายท่อทั้ง 5 ที่ได้จากการวัดผล

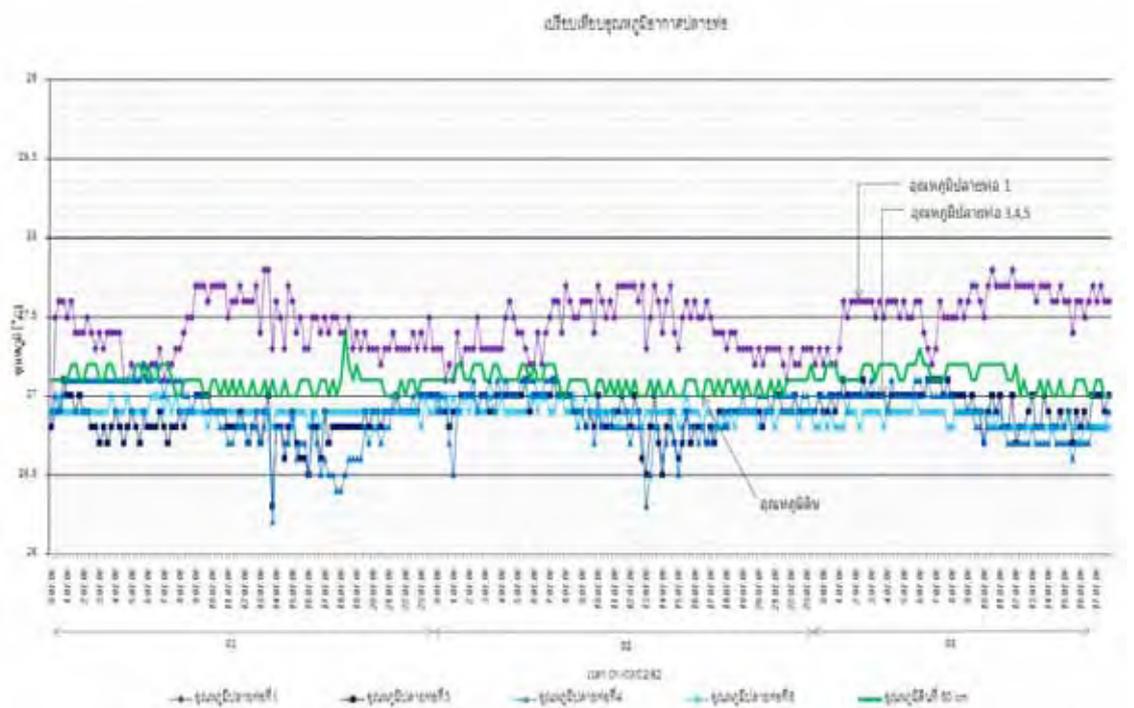
ตารางเปรียบเทียบความชื้น



แผนภูมิที่ 25 แสดงค่าความชื้นที่ได้จากการวัดผลครั้งที่ 1



แผนภูมิที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกลางต่อทั้ง 5 ในการศึกษาคั้งที่ 1



แผนภูมิที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศปลายต่อทั้ง 5 ในการศึกษาคั้งที่ 1



ภาพที่ 50 กราฟไฟคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (การศึกษาครั้งที่ 1)



ภาพที่ 51 กราฟไฟคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (การศึกษาครั้งที่ 1)

สรุปผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 1

1 การไหลเวียนของอากาศภายในท่อน้อย เพราะความเสียดทานของระบบท่อจากปัญหาน้ำที่ขังและการอุดตันภายใน สภาพแวดล้อมที่ไม่อำนวยและปากท่อรับลมต่ำ ที่ทำให้ลมผ่านเข้าและออกระบบท่อฝัดดินน้อย ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายนอกอาคารและอุณหภูมิอากาศในท่อไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการลดความร้อนต่ำไม่สามารถส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคาร

2 อุณหภูมิที่ลดได้ ในช่วงที่อากาศที่ร้อนที่สุด 33.7 องศาเซลเซียสในเวลา 14.00 น. อุณหภูมิอากาศปลายท่อขณะนั้นอยู่ที่ 27.4 องศาเซลเซียส ส่วนต่างของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสูงสุด 6.3 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.6 องศาเซลเซียส และในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุด 25.8 องศาเซลเซียสในเวลา 6.00 น. อุณหภูมิอากาศในช่วงปลายท่อจะอยู่ที่ 26.9 องศาเซลเซียส มีส่วนต่างที่สูงกว่ามากที่สุด 1.1 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.7 องศาเซลเซียส

* ผลสรุปอุณหภูมิที่ได้นี้เป็นส่วนต่างระหว่างอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิปลายท่อ ไม่ใช่การลดอุณหภูมิจากอากาศที่ไหลผ่านระบบท่ออากาศฝัดดิน

3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกลางท่อและปลายท่อ พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิกกลางท่อจะต่ำกว่าอุณหภูมิปลายท่อประมาณ 0.2 - 0.3 องศาเซลเซียส และไม่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (ยกเว้นที่ 1) โดยอุณหภูมิปลายท่ออยู่ในช่วง 27 - 27.5 องศาเซลเซียสซึ่งใกล้เคียงอุณหภูมิดิน

4 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศปลายท่อต่ำกว่าลมเข้า ตั้งแต่เวลา 9.30 - 23.00 น. เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นอุณหภูมิอากาศปลายท่อจะมีค่าสูงกว่าลมเข้า ซึ่งอยู่ในช่วง 23.00 - 9.30 น. เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นอุณหภูมิอากาศปลายท่อจึงจะต่ำกว่าลมเข้าอีกครั้ง

5 ความชื้นของระบบท่อฝัดดินค่อนข้างสูง เนื่องมาจากน้ำที่ขังอยู่ภายในท่อ โดยวัดค่าความชื้นในอาคารช่วง 10.00 - 0.00 น. ได้ที่ 70-78 % ส่วนความชื้นภายนอกอาคารจะอยู่ที่ 62-82 %

6 ตำแหน่งที่ตั้งของท่อที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ เนื่องมาจากภายในท่อน้ำขังซึ่งทำให้ปัจจัยเรื่องผิววัสดุนั้นถูกแปรเปลี่ยน จึงทำให้ไม่สามารถตัดสินความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดจากผิววัสดุได้ จึงวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของท่อพบว่า ท่อที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกมากที่สุดคือท่อ 1 เนื่องด้วยตำแหน่งท่ออยู่ในทิศที่โดนแดดและรับลมดี ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงตาม

อุณหภูมิภายนอกที่สูงกว่าทุกท่อ ส่วนท่อที่เหลือค่อนข้างคล้ายคลึงกันคือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในท่อน้อยและค่อนข้างคงที่ ท่อที่4และ5อยู่ในช่วงทำยาอากาศที่ค่อนข้างจะร่มตลอดทั้งวัน เพราะมีต้นไม้ใหญ่ปกคลุม จึงมีอุณหภูมิเทียบเท่ากับอุณหภูมิดินและมีบางช่วงต่ำกว่าอุณหภูมิดินอีกด้วย

7 อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งจะสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน โดยอุณหภูมิภายในอาคารจะต่ำกว่าภายนอกอาคารในเวลา 9.30 - 19.30 น.ประมาณ 11 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 1.7 - 2 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุด 5.2 องศาเซลเซียส จากนั้นจะสูงกว่าภายนอกอาคารตั้งแต่ 19.30 - 9.30 น.อีก 13 ชั่วโมง ที่ค่าเฉลี่ย 0.5 - 0.8 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสูงสุด 0.7 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

สภาพทั่วไปและการปรับปรุงระบบท่อฝังดิน

สภาพอากาศทั่วไปทั้งสามวัน ท้องฟ้าแจ่มใสมีเมฆบ้างบางส่วน อากาศโดยรวมค่อนข้างร้อนมีอุณหภูมิอยู่ที่ 26-34 °C จากข้อมูลในการศึกษาครั้งแรกได้ทำการวิเคราะห์และวางแผนการปรับปรุงโดยจะแยกเป็นสองส่วนคือ ปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบข้างและปรับปรุงระบบท่อฝังดิน

1 การปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบข้าง หลังจากสำรวจพบว่าพื้นที่บริเวณปากท่อรับลมเข้า ได้ผ่านการปรับหน้าดินและต้นไม้บริเวณรอบๆหลายครั้ง ทำให้พื้นดินสูงจนเกือบเท่าระดับปากท่อและปลูกไม้พุ่มเตี้ยตลอดแนวที่ไปปิดบังลมเข้าท่อ จึงทำการวางแผนการปรับปรุงดังนี้

- ปรับพื้นที่หน้าดินและตัดต้นไม้ที่บังลมออก เพื่อให้เป็นที่ว่างโล่งลมพัดผ่านดีขึ้น
- ปลูกหญ้าเพื่อลดอุณหภูมิลมก่อนเข้าท่อ นำกระถางมาบังปากท่อเพื่อทัศนียภาพที่ดี
- ต่อส่วนปากท่อลมเข้าให้สูงขึ้นจากระดับพื้นดิน เพื่อป้องกันน้ำและสิ่งแปลกปลอมที่

อาจเข้าไปในท่อ แก้ไขให้สามารถปรับหันไปในทิศทางที่ลมส่วนใหญ่เคลื่อนผ่านอาคารในเวลาต่างๆโดยผู้ควบคุมดูแลได้

- เปลี่ยนตะแกรงตาข่ายปากท่อลมเข้าจากของเดิมที่ค่อนข้างจะทึบโตรวม ที่ทำให้ลมเข้าท่อได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 52 การปรับปากท่อให้สูงขึ้น และสภาพหลังปรับพื้นที่บริเวณหน้าปากท่อรับลมเข้า



ก่อนปรับพื้นที่หน้าปากท่อลมเข้า



หลังปรับพื้นที่หน้าปากท่อลมเข้า

ภาพที่ 53 เปรียบเทียบสภาพพื้นที่บริเวณปากท่อรับลมก่อนและหลังปรับปรุง

2 การปรับปรุงระบบท่อฝังดิน

จากการสำรวจพบว่าภายในระบบท่อมีปัญหาซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญของการลดความร้อนให้กับอาคารจึงทำการแก้ไขดังนี้

- คูคน้ำภายในท่อออกด้วยเครื่องคูคน้ำแบบปั๊มไคโว แต่ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่และการเข้าถึงภายใน ทำให้ไม่สามารถคูคน้ำออกได้ทั้งหมดจึงคงเหลือน้ำอยู่ภายในบางส่วน
- นำถ่านและดินที่อัดในบ่อดักความชื้นออกทุกท่อ และคูคน้ำที่ยังชุ่มชื้นออกด้วย
- เพิ่มระดับปากบ่อดักความชื้นให้สูงขึ้นเพื่อกันน้ำที่อาจท่วมขังและแมลง
- ติดตั้งพัดลมคูอากาศที่ปลายท่อลมออกทุกท่อ เพื่อเพิ่มความเร็วลมภายในท่อ

ตำแหน่งที่นำสายลงคูคน้ำในท่อ



แสดงปริมาณน้ำในท่อที่ถูกคูออก

เครื่องคูน้ำแบบปั๊มไคโว

ภาพที่ 54 แสดงการคูน้ำออกจากระบบท่อด้วยเครื่องปั๊มแบบไคโว



ภาพที่ 55 แสดงการปรับปรุงระดับปากบ่อดักความชื้น



ภาพที่ 56 สภาพขณะปรับปรุงบ่อกันความชื้น



ภาพที่ 57 ก่อนและหลังปรับปรุงภายในบ่อดักความชื้น



ภาพที่ 58 แสดงการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ

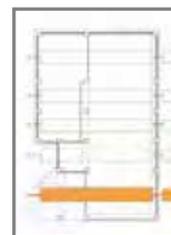
จากนั้นจึงทำการวัดผลเช่นเดียวกับการศึกษาข้อมูลในครั้งที่หนึ่ง แต่ได้เปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิปลายท่อมาใกล้ปากท่อลมออกมากขึ้น เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงอากาศที่ออกจากปากท่อมากที่สุด และในการศึกษารั้งนี้ได้แบ่งออกเป็นสองระยะคือช่วงหลังปรับปรุงระบบท่อที่ยังไม่เปิดใช้พัดลมดูดอากาศและช่วงเปิดใช้พัดลมดูดอากาศในอีกระยะหนึ่ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลที่จะเกิดขึ้น

การวิเคราะห์ผลการศึกษาในครั้งที่ 2

กรณีที่ 1 แยกการวิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อดูประสิทธิผลในแต่ละท่อ

ผลการศึกษาท่อที่ 1

ตำแหน่งท่ออยู่หน้าสุดของตัวอาคาร ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ วัสดุท่อที่เป็นท่อซีเมนต์เปล้า (ยังหลงเหลือน้ำขังภายในเนื่องมาจากข้อจำกัดในการนำน้ำออก จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เกิดจากวัสดุในแต่ละท่อ)



วัดอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกลางท่อได้ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยปลายท่อที่ 28 องศาเซลเซียส พบช่วงการเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุดของอุณหภูมิปลายท่ออยู่ที่ 1 องศาเซลเซียสตามอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารวัดได้สูงสุดที่ 33.8 องศาเซลเซียสในเวลา 13.00 น.ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกอยู่ที่ 28.1 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิที่ต่ำลงสูงสุด 5.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้คือ 26 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 05.30 น.ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกนั้นอยู่ที่ 27.6 องศาเซลเซียส มีส่วนต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้สูงสุด 1.6 องศาเซลเซียส (ตาราง10)

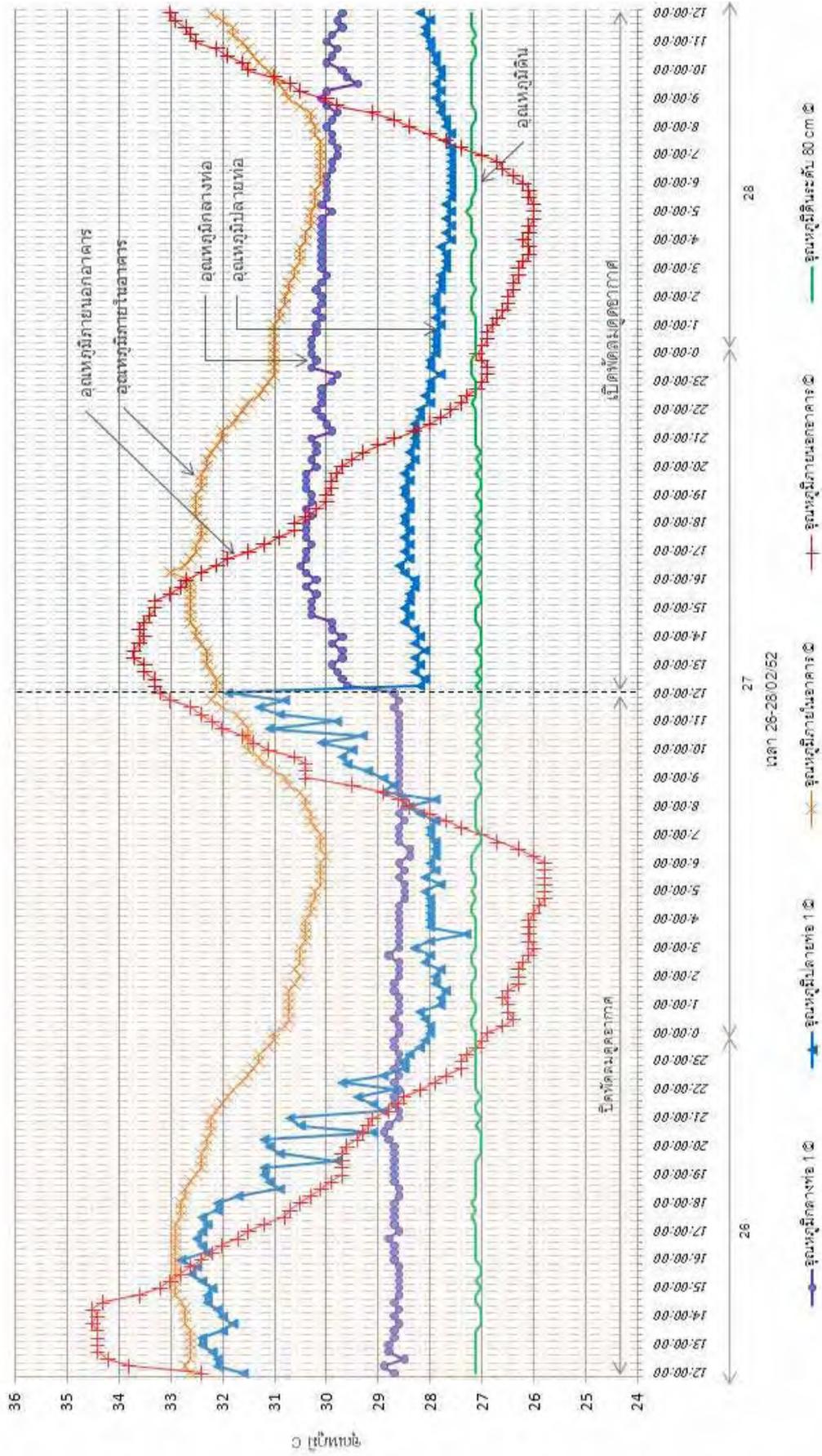
อุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

ตารางที่ 10 ผลการศึกษาของท่อที่ 1 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

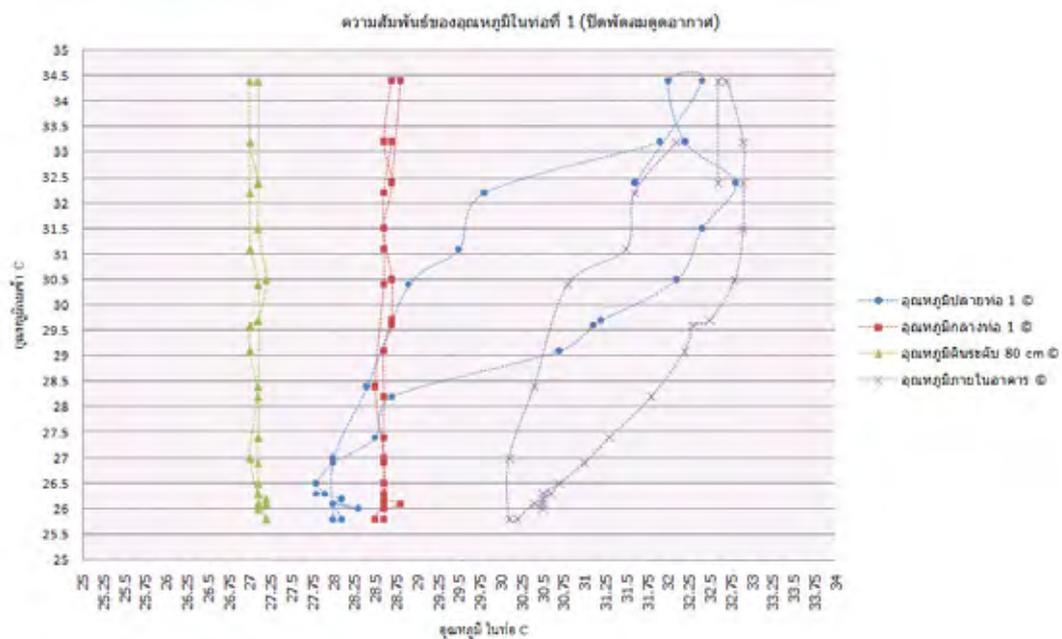
	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.8 °C	28.1 °C	26 °C	27.6 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิกกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	5.7 °C	2.1 °C	1.6 °C	1 °C	30 °C	28 °C

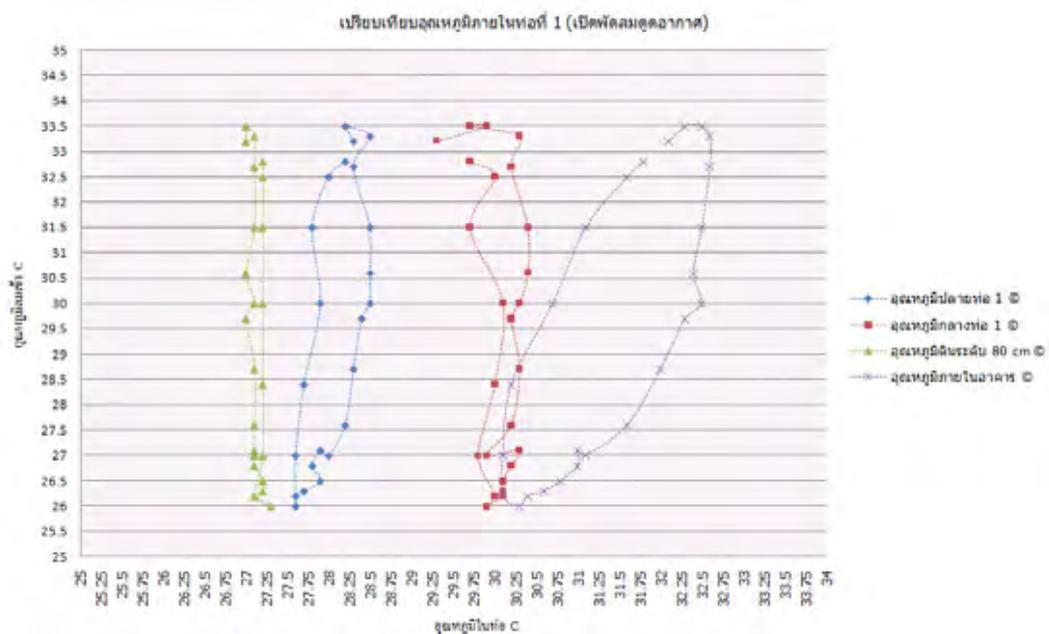
อุณหภูมิอากาศในท่อที่ 1



แผนภูมิที่ 28 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผล ในท่อที่ 1



แผนภูมิที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมลเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 1 (เปิดพัดลม)

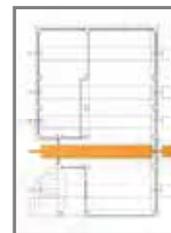


แผนภูมิที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมลเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 1 (เปิดพัดลม)

แผนภูมิ 29 แสดงอัตราการไหลอากาศในท่อที่ยังน้อย จากลมเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิสูง ไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิมลเข้าที่ค่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายท่อกลับเปลี่ยนแปลงมาก เทียบเคียงภายนอกอาคาร หลังเปิดพัดลมดูดอากาศแผนภูมิที่ 30 แสดงอัตราการไหลอากาศในท่อที่ ไปในทางเดียวกัน อุณหภูมิมลเข้าและปลายท่อเริ่มกลับมาสัมพันธ์กับลมเข้า และอุณหภูมิมลเข้า ท่อที่ลดต่ำลงจากช่วงก่อนใช้พัดลมดูดอากาศอย่างเห็นได้ชัด

ผลการศึกษาท่อที่ 2

ตำแหน่งของท่ออยู่ระหว่างช่วงเสาถัดจากท่อแรก วัสดุเป็นท่อซีเมนต์วางศิลาแลงไว้ภายใน (ยังหลงเหลือน้ำขังภายในเนื่องมาจากข้อจำกัดในการนำน้ำออก ไม่สามารถเปรียบเทียบผลที่เกิดจากวัสดุในแต่ละท่อ)



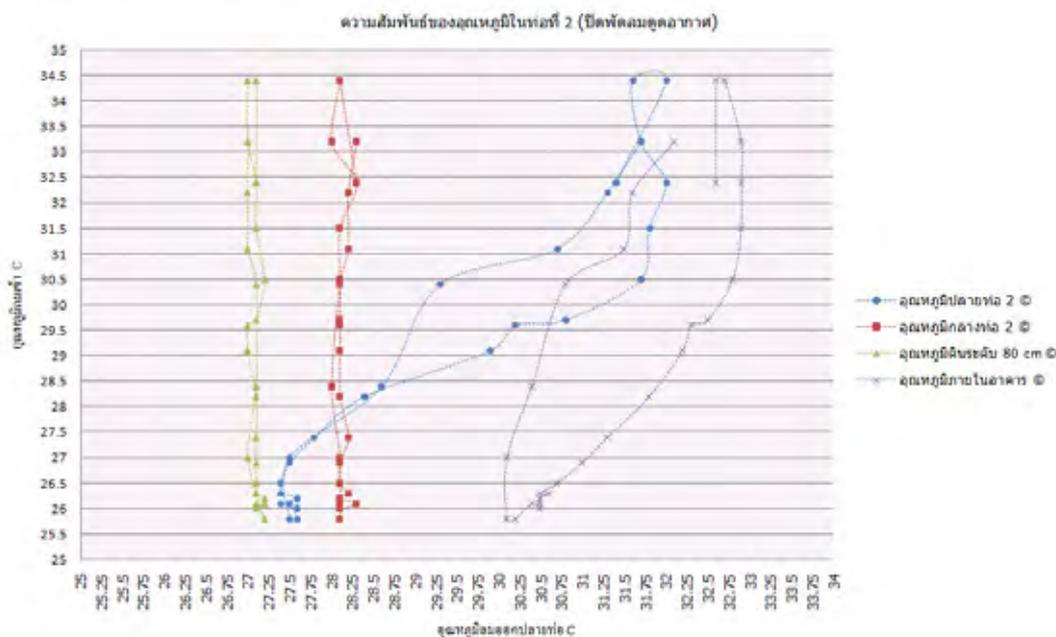
วัดอุณหภูมิอากาศกลางท่อได้เฉลี่ย 28.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิปลายท่อเฉลี่ยที่ 27.7 องศาเซลเซียส พบช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดช่วงปลายท่อที่ 0.8 องศาเซลเซียส ตามอิทธิพลภายนอกอาคาร วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกได้สูงสุด 33.8 องศาเซลเซียส ในเวลา 13.00 น.ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกอยู่ที่ 27.9 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำสุดสูงสุด 5.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้คือ 26 องศาเซลเซียส ในเวลา 05.30 น.ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2552 ขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกนั้นอยู่ที่ 27.4 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำสุดสูงขึ้นมากที่สุด 1.4 องศาเซลเซียส (ตาราง 11)

อุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

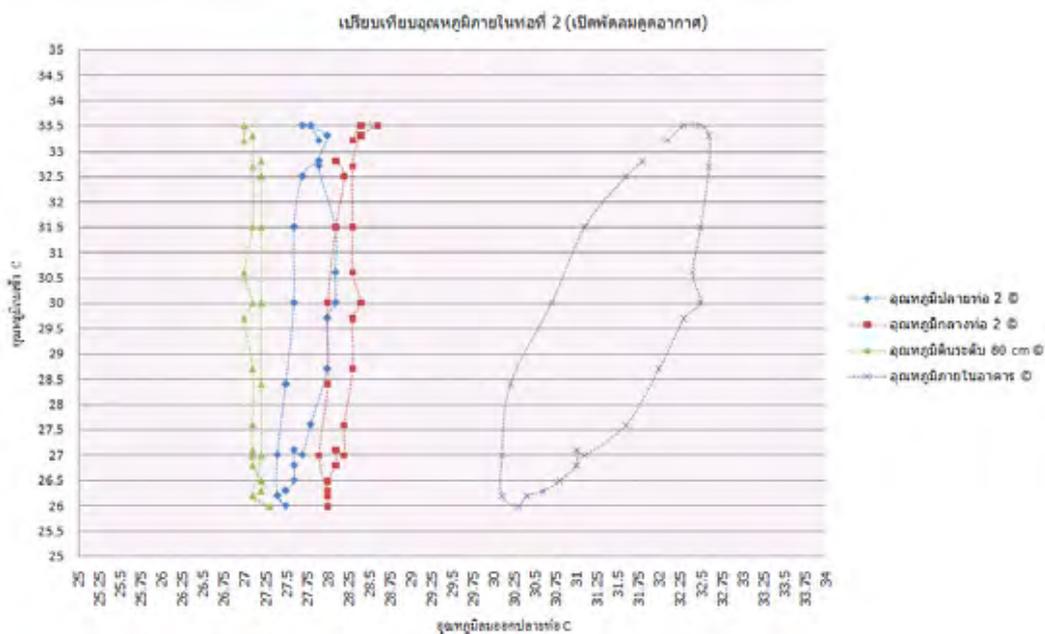
ตารางที่ 11 ผลการศึกษาของท่อที่ 2 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.8 °C	27.9 °C	26 °C	27.4 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิกกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิตำ แหน่งปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	5.9 °C	2.2 °C	1.4 °C	0.8 °C	28.2 °C	27.7 °C



แผนภูมิที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมกเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 2 (เปิดพัดลม)



แผนภูมิที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมกเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 2 (เปิดพัดลม)

แผนภูมิ 32 แสดงอัตราการไหลอากาศในท่อที่ยังน้อย จากลมเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิมาก ไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิมกกลางท่อที่ค่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายท่อกลับเปลี่ยนแปลงมาก เทียบเคียงภายนอกอาคาร หลังเปิดพัดลมดูดอากาศแผนภูมิที่ 33 แสดงถึงอัตราการไหลที่ไปในทาง เดียวกัน จากอุณหภูมิมกอากาศกลางท่อและปลายท่อเริ่มกลับมาสัมพันธ์กับลมเข้า และช่วงอุณหภูมิมก ปลายท่อลดต่ำลงจากก่อนเปิดพัดลมดูดอากาศอย่างเห็นได้ชัด



ผลการศึกษาท่อที่ 3

ตำแหน่งท่ออยู่ในช่วงกลางอาคาร ภายในท่อเป็นซีเมนต์และทำการวางหินฉนวนไว้ภายในท่อ (ยังหลงเหลือน้ำขังภายในเนื่องมาจากข้อจำกัดในการนำน้ำออก จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เกิดจากวัสดุในแต่ละท่อ)



วัดอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศกลางท่อได้ที่ 28 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยปลายท่อประมาณ 27.5 องศาเซลเซียส พบช่วงการเปลี่ยนแปลงต่ำสุดสูงสุดของอุณหภูมิปลายท่ออยู่ที่ 0.8 องศาเซลเซียสตามอุณหภูมิกายนอก ในขณะที่อุณหภูมิกายนอกอาคารสูงสุด 33.8 องศาเซลเซียส ในเวลา 13.00 น.ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกจะอยู่ที่ 27.8 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำลงสูงสุด 6 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้คือ 26 องศาเซลเซียส ในเวลา 05.30 น.ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2552 อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกขณะนั้นจะอยู่ที่ 27.3 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำลงเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.3 องศาเซลเซียส (ตาราง 12)

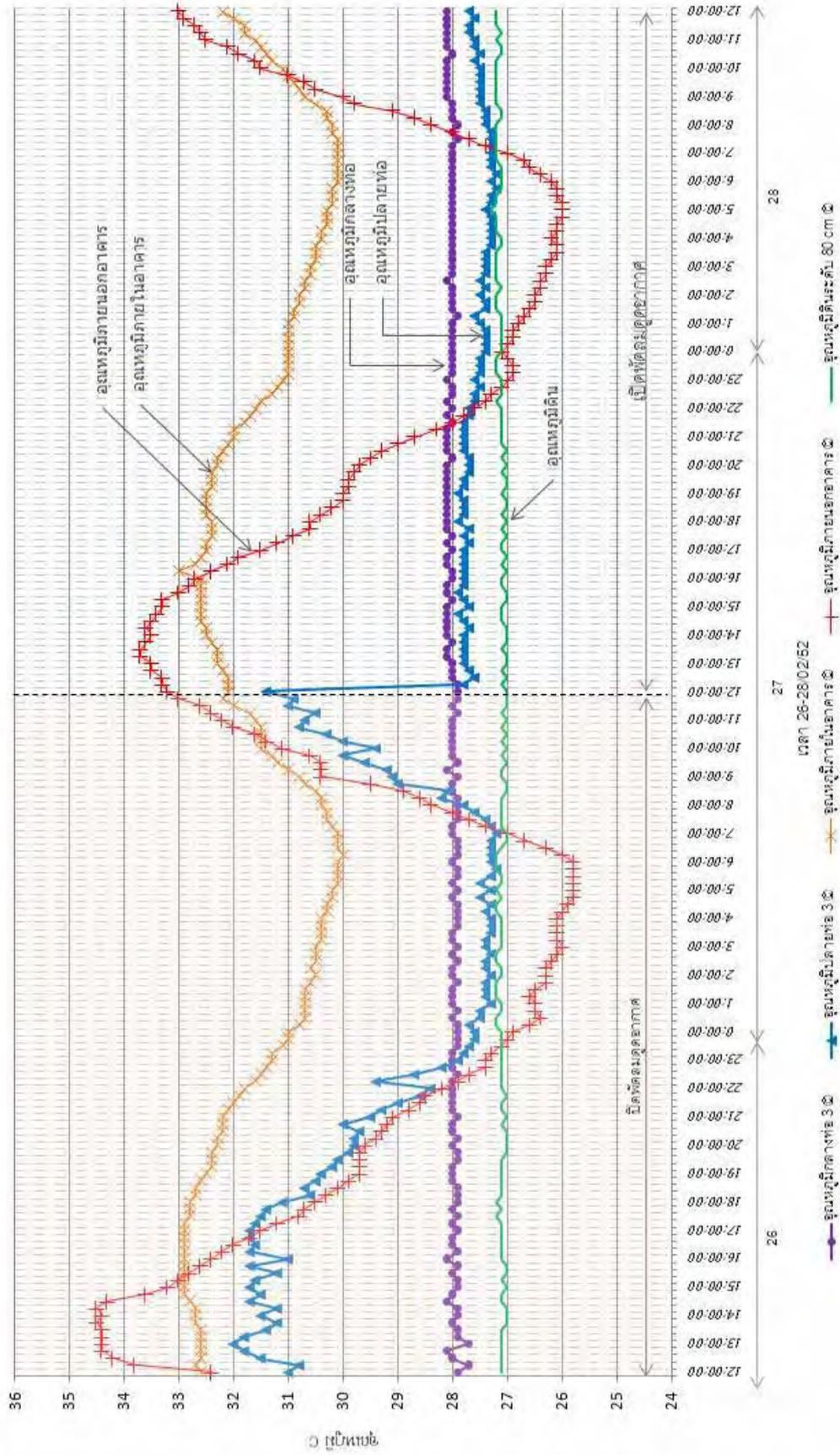
อุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

ตารางที่ 12 ผลการศึกษาของท่อที่ 3 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

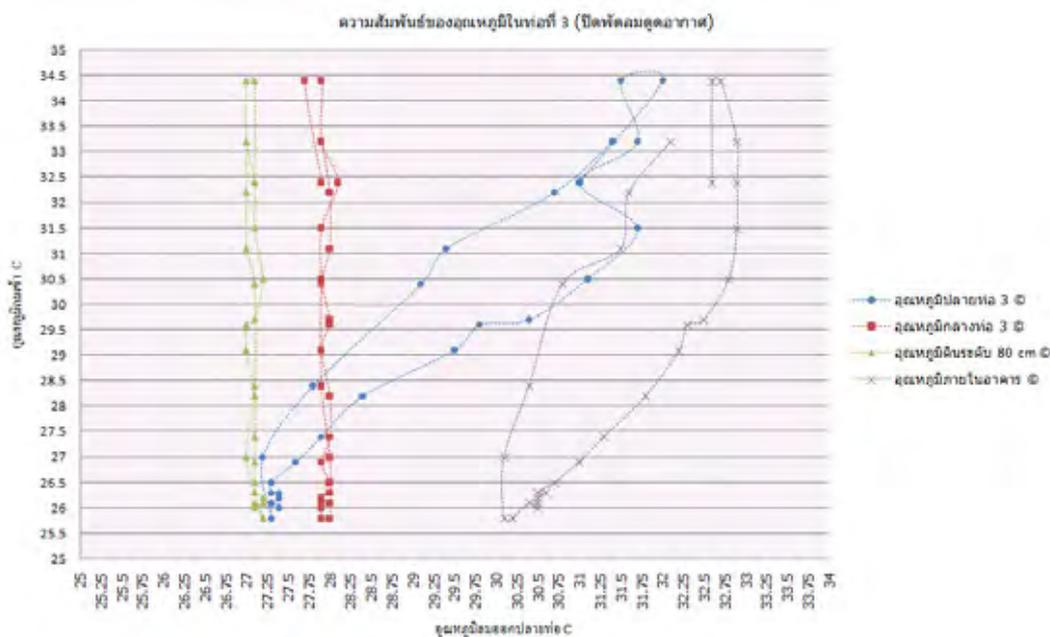
	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิกายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิกายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.8 °C	27.8 °C	26 °C	27.3 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิกกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	6 °C	2.2 °C	1.3 °C	0.8 °C	28 °C	27.5 °C

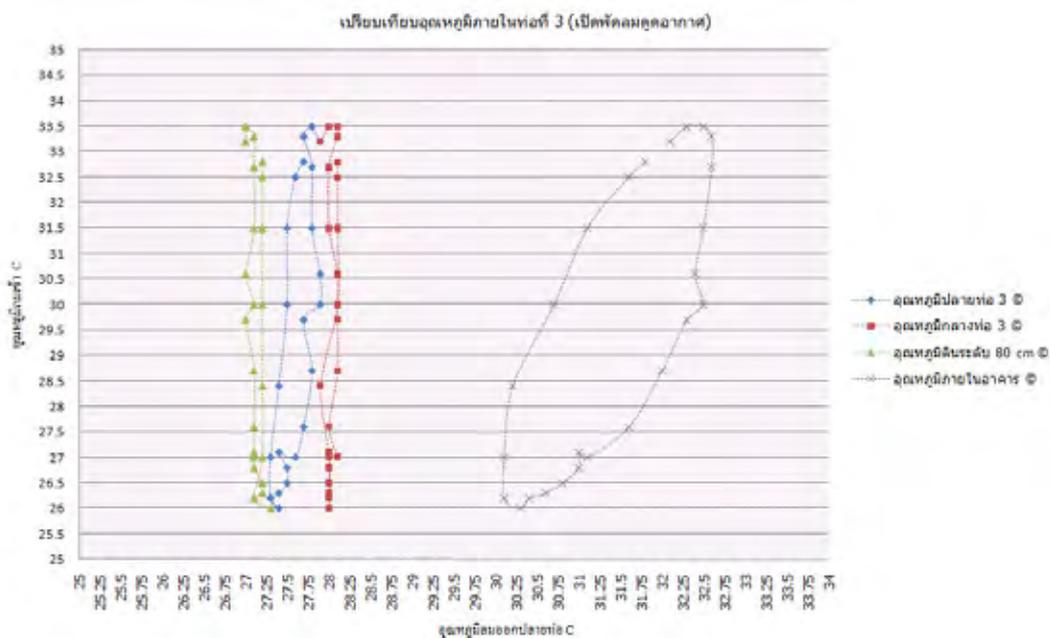
อุณหภูมิอากาศในท่อที่ 3



แผนภูมิที่ 34 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผลในท่อที่ 3



แผนภูมิที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อนที่ 3 (เปิดพัดลม)



แผนภูมิที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อนที่ 3 (เปิดพัดลม)

แผนภูมิ 35 แสดงอัตราการไหลอากาศในท่อนที่ยังน้อย จากลมเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิมากไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิกกลางท่อนที่ค่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายท่อกลับเปลี่ยนแปลงมาก เทียบเคียงภายนอกอาคาร หลังเปิดพัดลมดูดอากาศแผนภูมิที่ 36 แสดงถึงอัตราการไหลที่เป็นไปในทางเดียวกัน จากอุณหภูมิกกลางท่อนและปลายท่อเริ่มกลับมาสัมพันธ์กับลมเข้า และช่วงอุณหภูมิลมปลายท่อลดต่ำลงจากก่อนเปิดพัดลมดูดอากาศอย่างเห็นได้ชัด

ผลการศึกษาที่ 4

ตำแหน่งที่จะอยู่ช่วงท้ายของตัวอาคาร วัสดุทอเป็นซีเมนต์ปูทราย หยาบภายใน (ยังหลงเหลือน้ำขังภายในเนื่องมาจากข้อจำกัดในการนำน้ำออก จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เกิดจากวัสดุในแต่ละทอ)



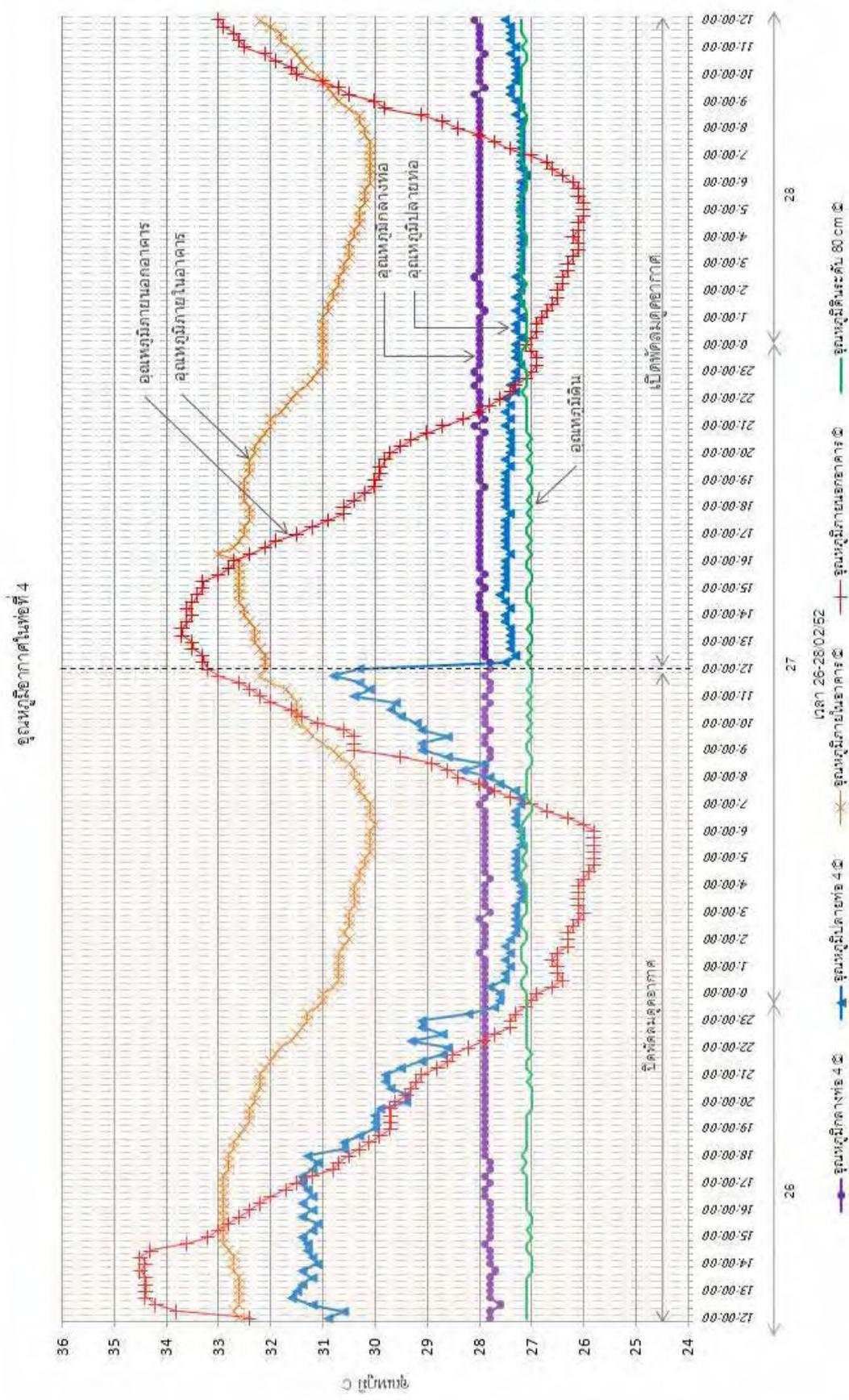
วัดอุณหภูมิอากาศกลางทอมีค่าเฉลี่ยที่ 28 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศปลายทอมีค่า 27.4 องศาเซลเซียส พบช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดสูงสุดที่ปลายทอ 0.6 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารสูงสุด 33.8 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 13.00 น. ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 อุณหภูมิตำแหน่งปลายทอลมออกขณะนั้นจะอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำสุดสูงสุด 6.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดอยู่ที่ 26 องศาเซลเซียส ในเวลา 05.30 น. ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2552 อุณหภูมิตำแหน่งปลายทอลมออกจะอยู่ที่ 27.1 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.1 องศาเซลเซียส (ตาราง 13)

วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

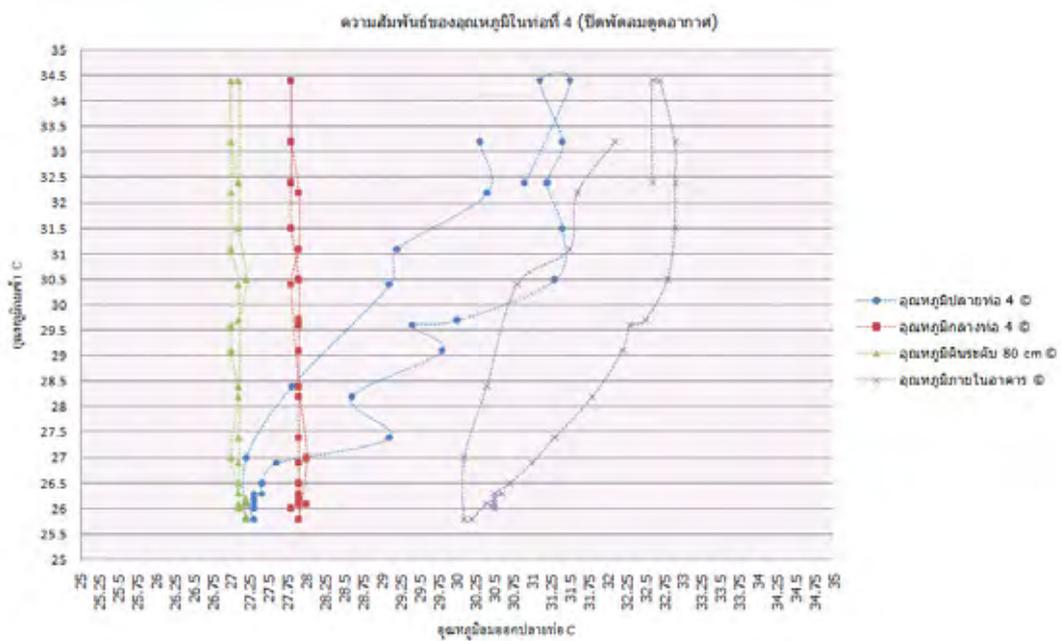
ตารางที่ 13 ผลการศึกษาของทอที่ 4 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิต่อลมออก	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิต่อลมออก
อุณหภูมิ	33.8 °C	27.5 °C	26 °C	27.1 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

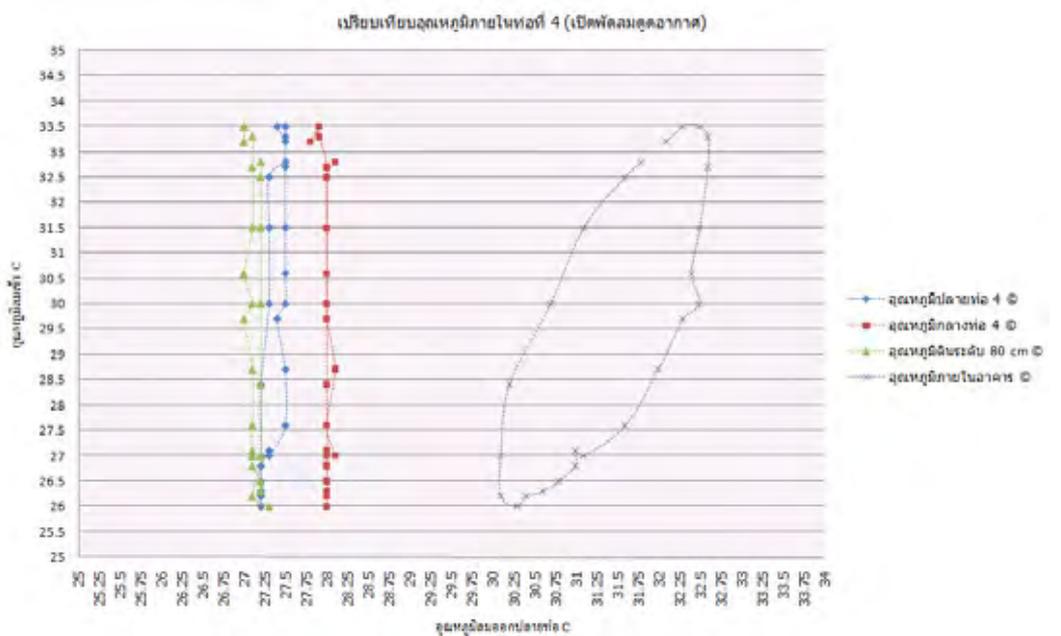
	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมิกลางทอเฉลี่ย	อุณหภูมิต่อลมออกเฉลี่ย
อุณหภูมิ	6.3 °C	2.4 °C	1.1 °C	0.7 °C	28 °C	27.4 °C



แผนภูมิที่ 37 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการวัดผล ในท่อที่ 4



แผนภูมิที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมลเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 4 (เปิดพัดลม)



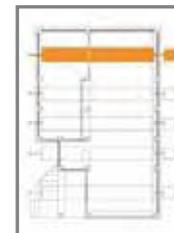
แผนภูมิที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมลเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 4 (เปิดพัดลม)

แผนภูมิ 38 แสดงอัตราการไหลอากาศในท่อที่ยังน้อย จากลมเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิมาก ไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิมกกลางท่อที่ค่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายท่อกลับเปลี่ยนแปลงมาก เทียบเคียงภายนอกอาคาร หลังเปิดพัดลมดูดอากาศแผนภูมิที่ 39 อัตราการไหลกลับไม่เป็นไปในทางเดียวกัน จากอุณหภูมิมลเข้ามีการเปลี่ยนแปลงมากแต่ช่วงกลางท่อกลับคงที่และไม่สัมพันธ์กับปลายท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมกอีกครั้ง



ผลการศึกษาท่อที่ 5

ตำแหน่งของท่ออยู่ที่ท้ายสุดของตัวอาคาร วัสดุท่อเป็นซีเมนต์วางถ่านกันชื้นไว้ภายในท่อ (หลงเหลือน้ำขังภายในเนื่องมาจากข้อจำกัดในการนำน้ำออก จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เกิดจากวัสดุในแต่ละท่อ)



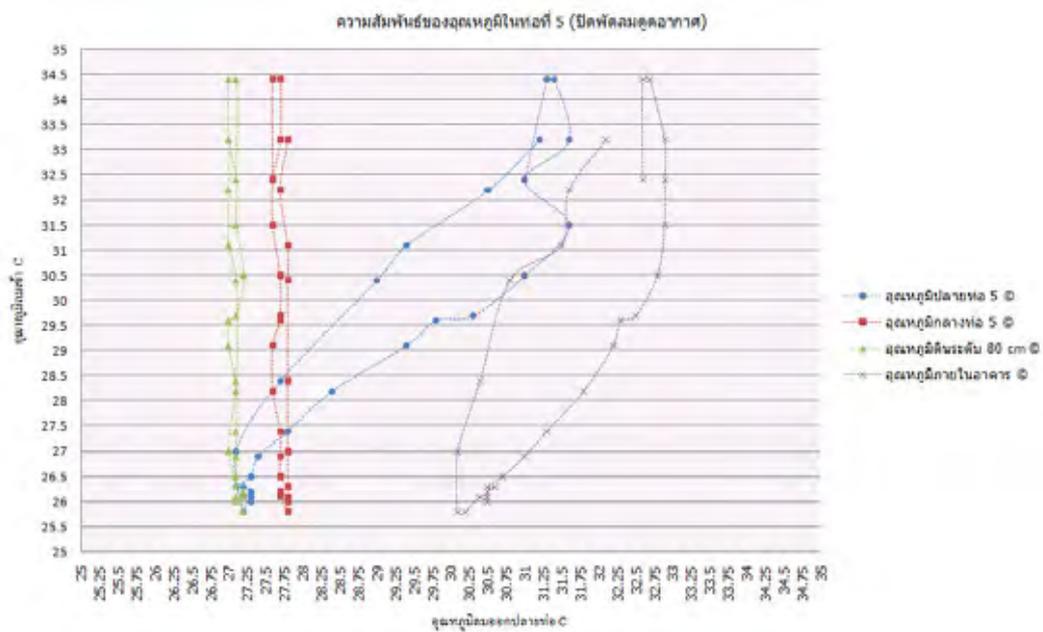
วัดอุณหภูมิอากาศกลางท่อเฉลี่ยได้ 27.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยปลายท่ออยู่ที่ 27.4 องศาเซลเซียส พบการเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุดของอุณหภูมิช่วงปลายท่อ 0.6 องศาเซลเซียส ตามอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอก ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารสูงสุด 33.8 องศาเซลเซียส ในเวลา 13.00 น. ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกขณะนั้นจะอยู่ที่ 27.6 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิที่ต่ำลงสูงสุด 6.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้ 26 องศาเซลเซียส ในเวลา 05.30 น. วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2552 อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออกขณะนั้นจะอยู่ที่ 27.3 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.3 องศาเซลเซียส (ตาราง 14)

วัดอุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

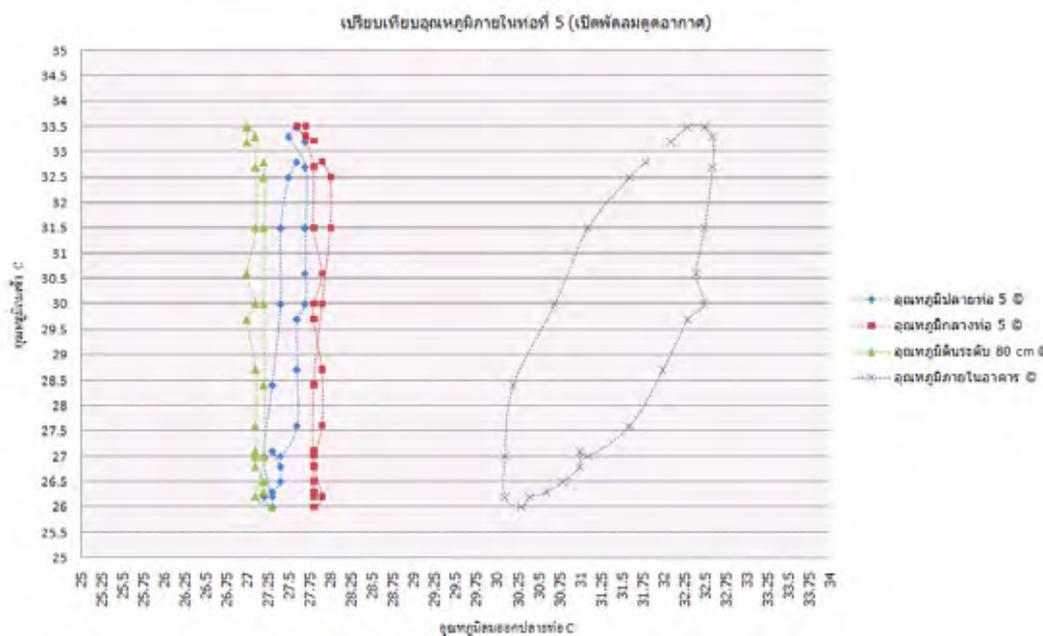
ตารางที่ 14 ผลการศึกษาของท่อที่ 5 ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	33.8 °C	27.6 °C	26 °C	27.3 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	6.2 °C	2.3 °C	1.3 °C	0.8 °C	27.9 °C	27.4 °C



แผนภูมิที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมกเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 5 (เปิดพัดลม)



แผนภูมิที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิมกเข้ากับอุณหภูมิต่างๆในท่อที่ 5 (เปิดพัดลม)

แผนภูมิ 41 แสดงอัตราการไหลอากาศในท่อที่ยังน้อย จากลมเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมก ไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิมกกลางท่อที่ค่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายท่อกลับเปลี่ยนแปลงมาก เทียบเคียงภายนอกอาคาร หลังเปิดพัดลมดูดอากาศแผนภูมิที่ 42 อัตราการไหลกลับไม่เป็นไปในทางเดียวกันจากอุณหภูมิมกเข้ามีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่ช่วงกลางท่อกลับคงที่และไม่สัมพันธ์กับปลายท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมกอีกครั้ง

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ

จากการวัดอุณหภูมิอากาศในท่อ สังเกตว่าแนวโน้มของอุณหภูมิอากาศในแต่ละท่อมีทิศทางเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกอาคารมากขึ้น ที่มากกว่าการศึกษาข้อมูลในครั้งแรก โดยแต่ละท่อจะมีทิศทางเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันยกเว้นท่อที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศมากกว่าท่อที่อื่นๆอีกเช่นกัน

จากผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมีค่าสูงสุดที่ 33.8 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 62.9 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 13.00 น. ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิอากาศตำแหน่งปลายท่อลมออก (เฉลี่ย 5 ท่อ) จะอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 68.7 เปอร์เซ็นต์ เกิดส่วนต่างในการลดต่ำของอุณหภูมิสูงสุด 6.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดที่วัดได้จากการทดลองคือ 26 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 92.1 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 05.30 น. ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2552 ในขณะที่อุณหภูมิตำแหน่งปลายท่อลมออก (เฉลี่ยทั้ง 5 ท่อ) อยู่ที่ 27.8 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 74.9 เปอร์เซ็นต์ เกิดส่วนต่างในการเพิ่มอุณหภูมิสูงสุด 1.3 องศาเซลเซียส (ตาราง 15)

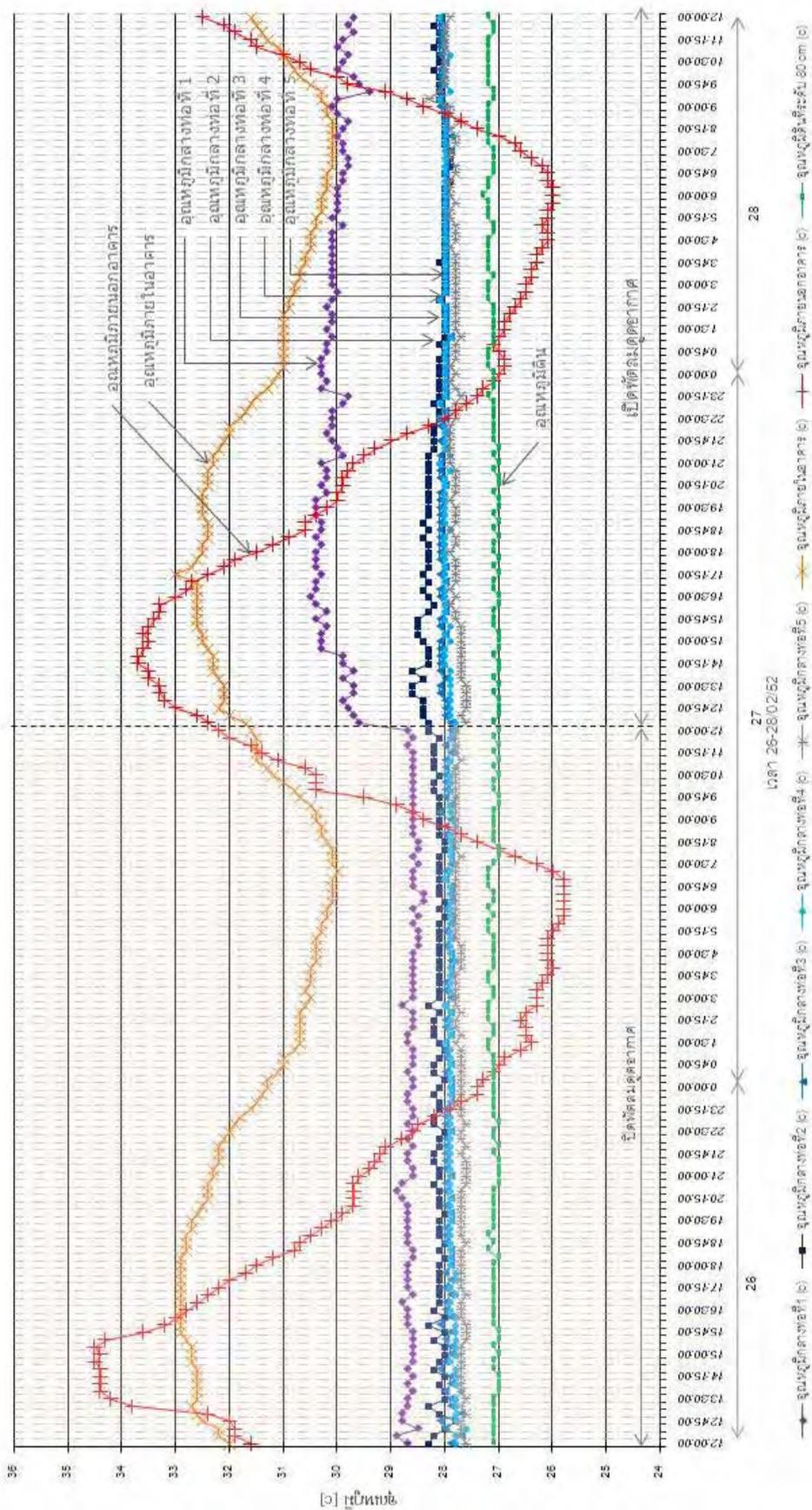
อุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

ตารางที่ 15 ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิต่อลมออก	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิต่อลมออก
อุณหภูมิ	33.8 °C	28 °C	26 °C	27.8 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

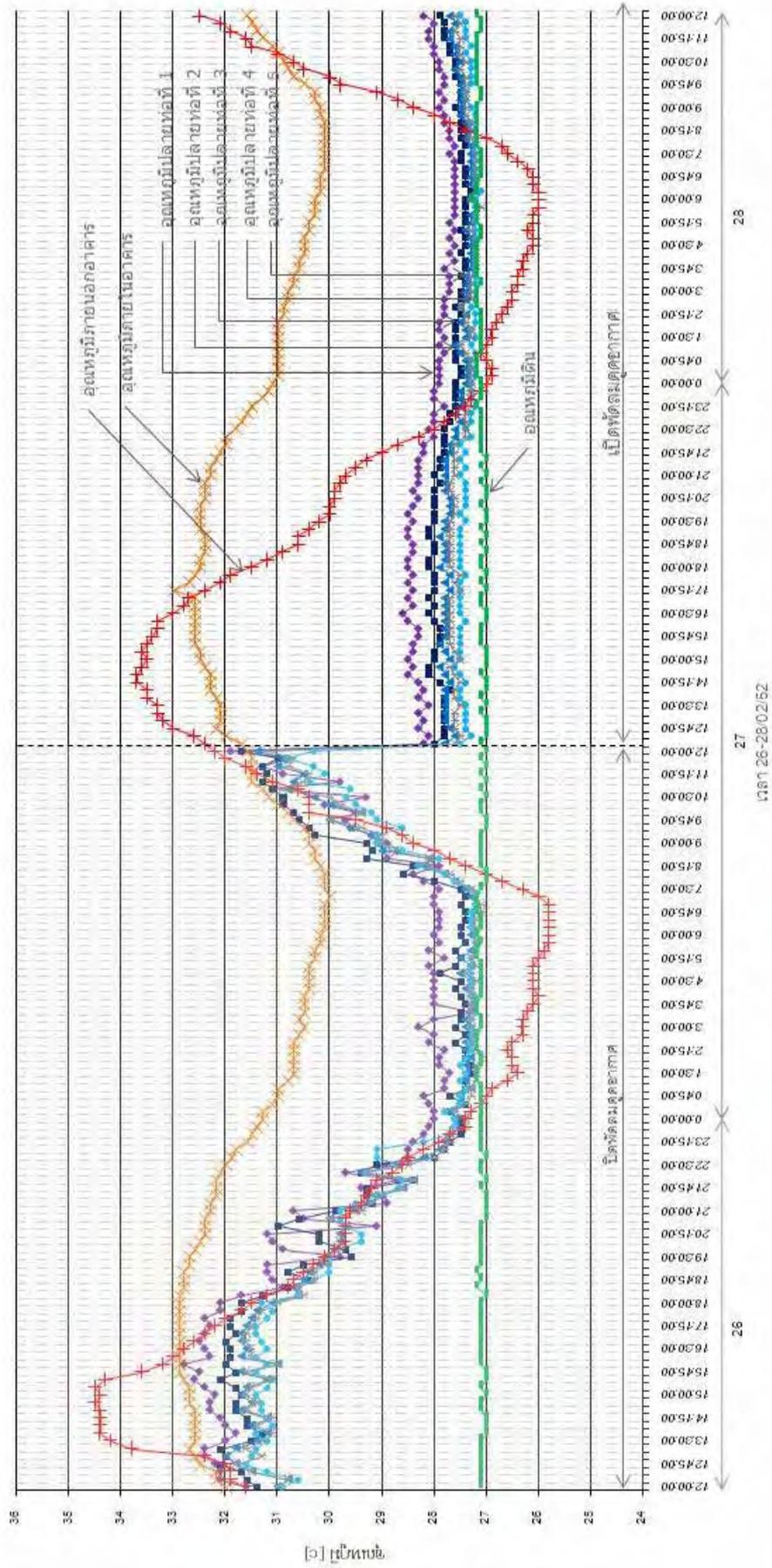
	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมกกลางท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	5.9 °C	2.1-2.4 °C	1.2 °C	1 °C	28.2 °C	28 °C

อุณหภูมิอากาศกลางท่อ



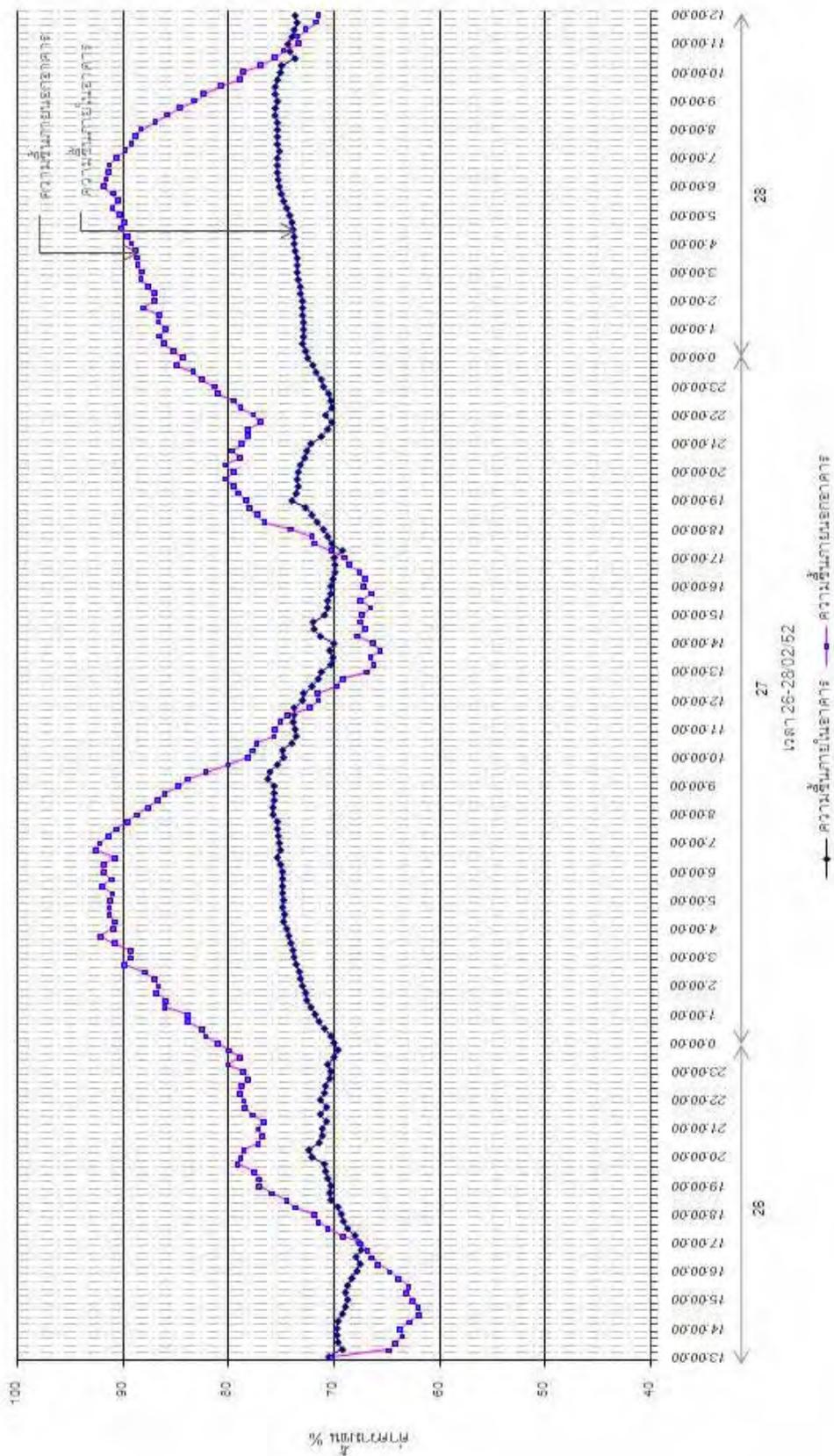
แผนภูมิที่ 43 แสดงอุณหภูมิอากาศกลางท่อทั้ง 5 ในการศึกษารั้งที่ 2

อุณหภูมิอากาศตามสายท่อ

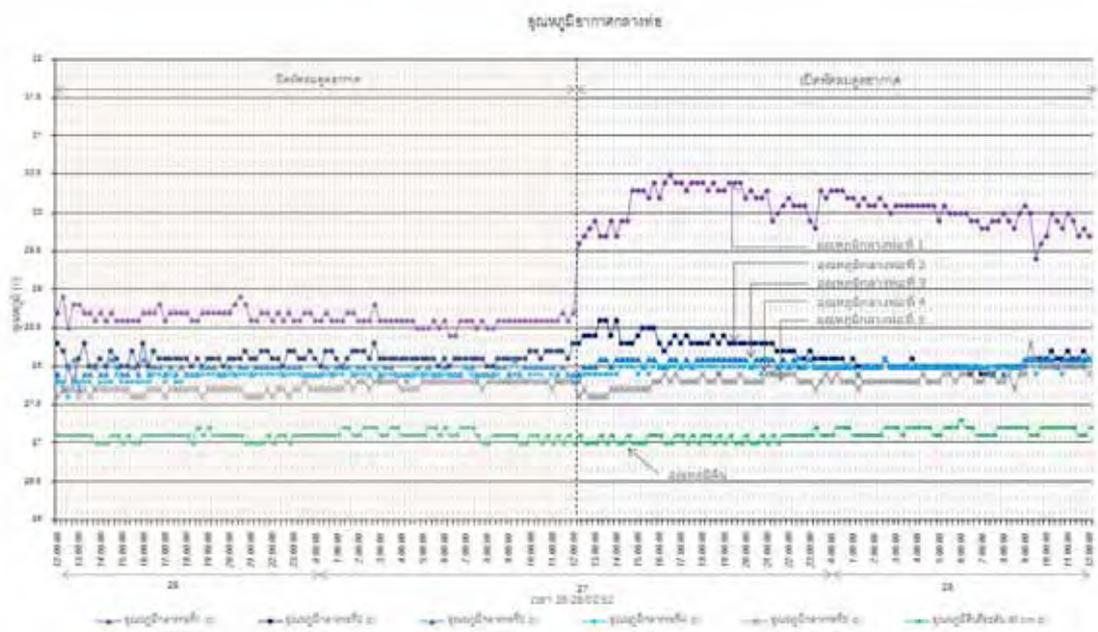


แผนภูมิที่ 44 แสดงอุณหภูมิอากาศตามสายท่อทั้ง 5 ในการศึกษารั้งที่ 2

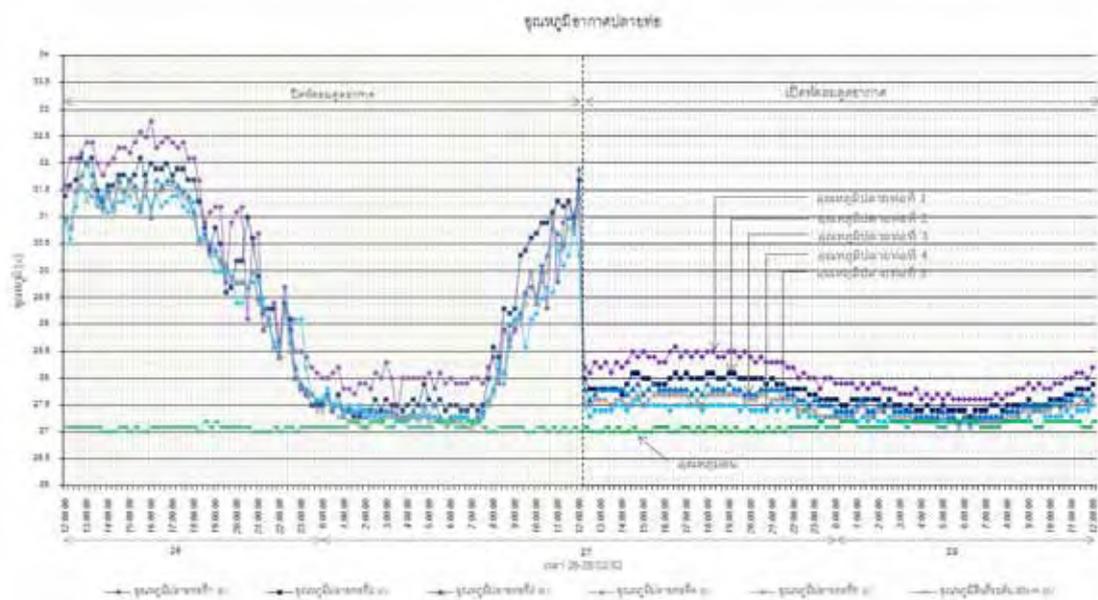
ค่าความชื้น



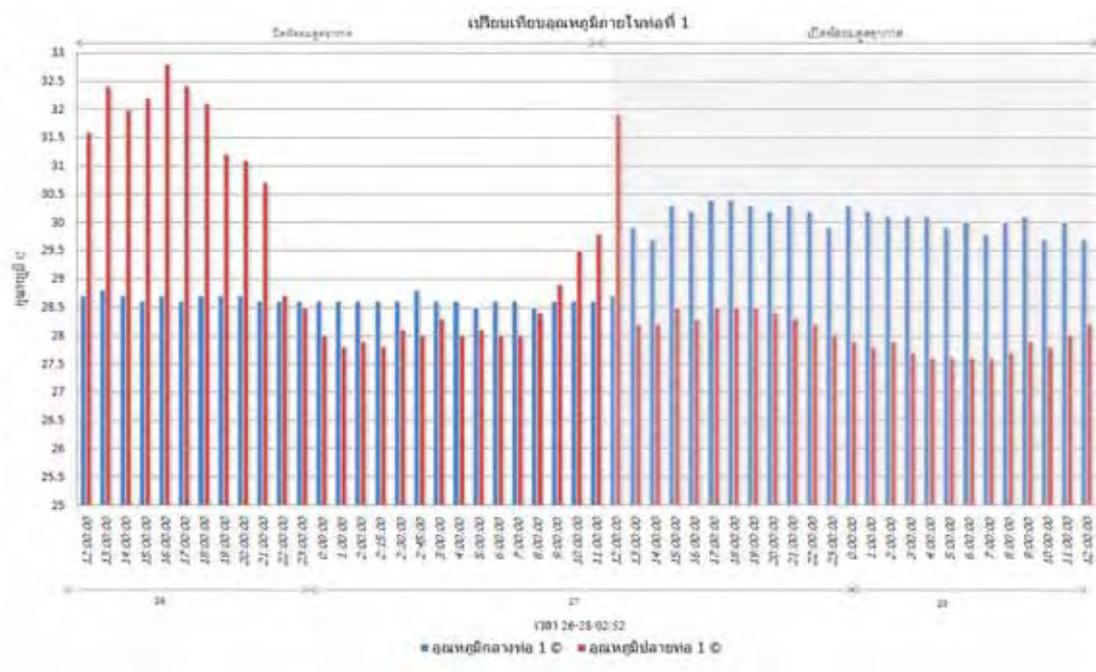
แผนภูมิที่ 45 แสดงค่าความชื้นในการศึกษาครั้งที่ 2



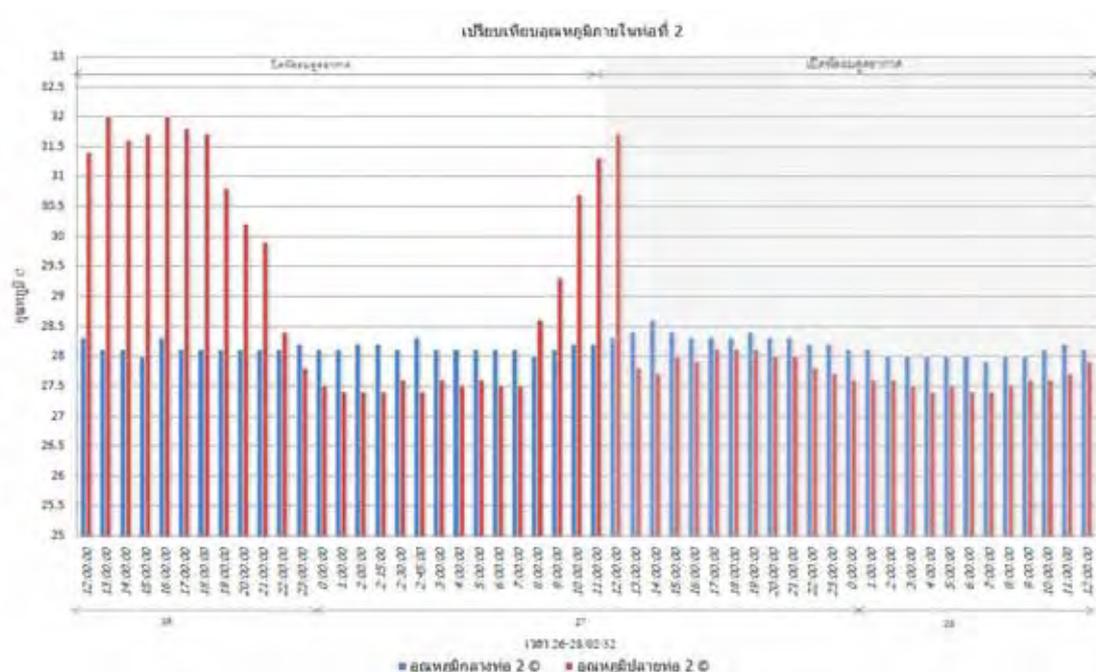
แผนภูมิที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบจุดศูนย์กลางท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 2



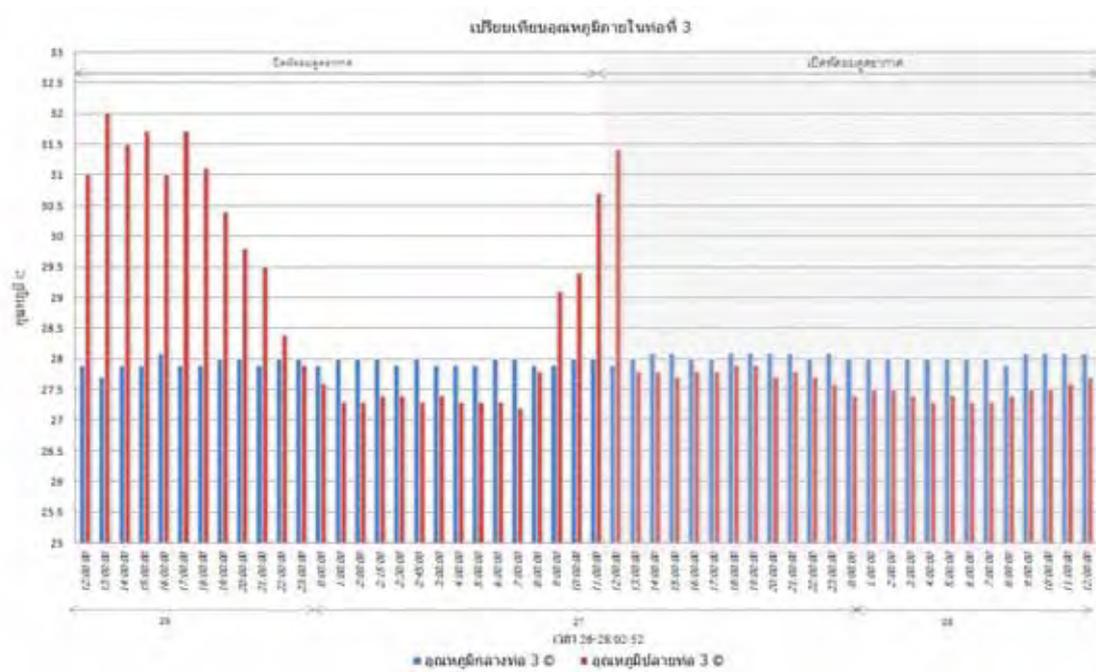
แผนภูมิที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบจุดศูนย์กลางปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 2



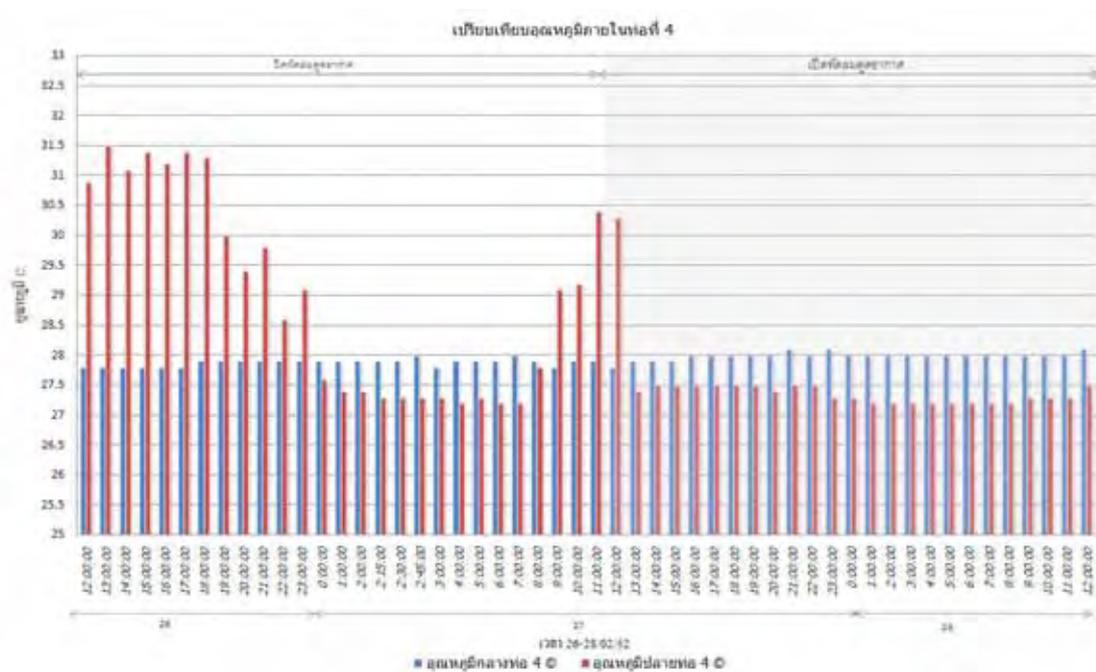
แผนภูมิที่ 48 แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่1



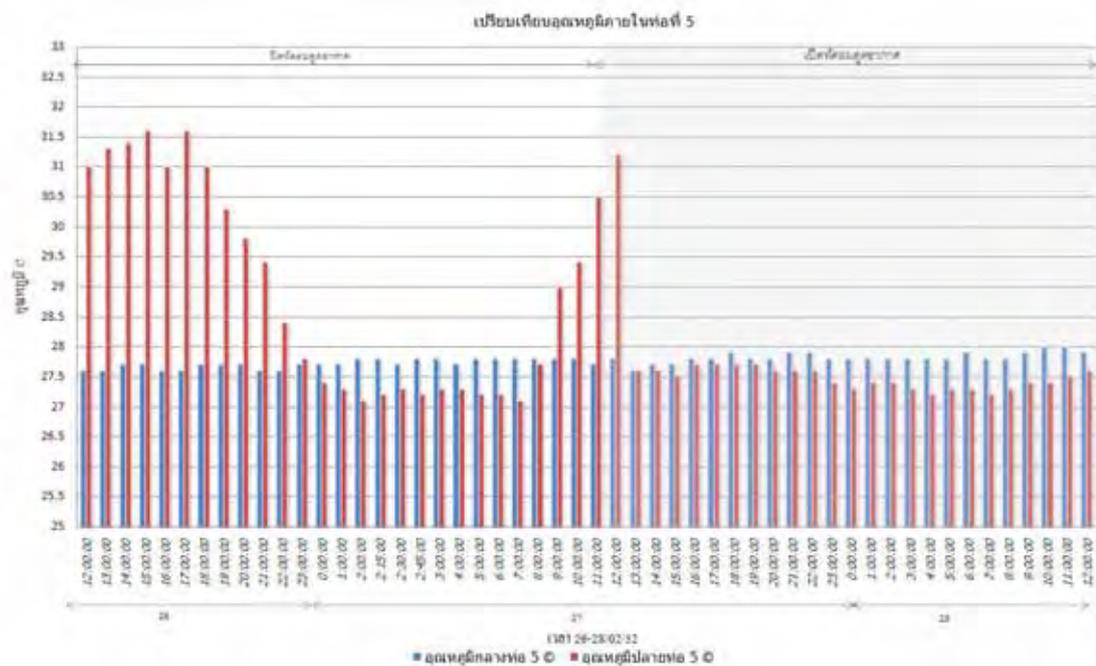
แผนภูมิที่ 49 แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อ ในท่อที่2



แผนภูมิที่ 50 แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางห้องกับปลายห้อง ในห้องที่ 3



แผนภูมิที่ 51 แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางห้องกับปลายห้อง ในห้องที่ 4



แผนภูมิที่ 52 แสดงผลของอุณหภูมิอากาศกลางห้องกับปลายท่อ ในห้องที่ 5



ภาพที่ 59 กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (ปิดพัดลมดูดอากาศ)



ภาพที่ 60 กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (ปิดพัดลมดูดอากาศ)



ภาพที่ 61 กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (เปิดพัดลมดูดอากาศ)



ภาพที่ 62 กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (เปิดพัดลมดูดอากาศ)

สรุปผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 2

1 อัตราการไหลเวียนของอากาศภายในห้องมากขึ้นหลังปรับปรุงระบบท่อฝังดิน จึงทำให้มีประสิทธิภาพลดความร้อนที่ดีขึ้น ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศในท่อฝังดินเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ทั้งนี้ไม่สามารถทำให้อากาศไหลเวียนดีขึ้นทั้งหมด เนื่องจากปริมาณของท่อฝังดินที่มากไม่สัมพันธ์กับท่อพีวีซีที่เป็นจุดรับลมเข้าและปล่อยลมออกที่มีขนาดเล็ก และมีข้อต่อในการหักเลี้ยวหลายจุดจึงทำให้สูญเสียแรงดัน อากาศจึงไม่สามารถไหลผ่านระบบท่อได้เต็มที่

2 อุณหภูมิอากาศปลายท่อลมออกในช่วงก่อนการใช้พัดลมดูดอากาศหลังปรับปรุงระบบ พบว่าจะแปรปรวนและมีอัตราการไหลที่ไม่แน่นอน โดยอุณหภูมิลมออกมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงค่อนข้างใกล้เคียงและแปรผันตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร หลังใช้พัดลมดูดอากาศทิศทางอากาศไหลจึงเปลี่ยนไป โดยเป็นการดึงอากาศภายในท่อฝังดินเข้าสู่ตัวอาคาร อุณหภูมิจึงต่ำและความแปรปรวนน้อยลงตามทิศทางของอุณหภูมิอากาศในท่อฝังดินนั้นๆ

3 อุณหภูมิที่ลดได้ สามารถทำให้อุณหภูมิก่อนของอากาศที่ร้อนที่สุดจาก 33.8 องศาเซลเซียสลดลงมาเป็น 28 องศาเซลเซียส ในเวลา 13.00 น. เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิที่ต่ำลงสูงสุด 5.8 องศาเซลเซียส ลดอุณหภูมิเฉลี่ยได้ 2.2 - 2.6 องศาเซลเซียส และสามารถปรับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ต่ำสุด 26 องศาเซลเซียส ขึ้นมาเป็น 27.8 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างที่เพิ่มขึ้นได้สูงสุด 1.2 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเฉลี่ย 1 องศาเซลเซียส

4 อุณหภูมิอากาศกลางท่อจะต่ำกว่าปลายท่อที่เฉลี่ย 0.5 - 0.7 องศาเซลเซียส และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิภายนอก โดยค่อนข้างจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 27.5 - 28.2 องศาเซลเซียส

5 ช่วงเวลาที่ในการลดอุณหภูมิจากลมเข้า ตั้งแต่เวลา 07.30 - 21.30 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 15 ชั่วโมง จากนั้นจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิจากลมเข้าเวลา 21.30 - 07.30 น. หลังจากนั้นจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้ง

6 ความชื้นของระบบท่อฝังดินยังมีค่ามากและส่งผลกระทบต่อตัวอาคาร เนื่องจากภายในห้องยังมีน้ำที่หลงเหลืออยู่เนื่องจากข้อจำกัดในการนำน้ำออก แต่ค่าความชื้นภายในอาคารลดลงจากการศึกษาครั้งแรกโดยมีค่าอยู่ในช่วง 70 - 74 %

7 ตำแหน่งที่ตั้งของท่อที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ผ่าน เนื่องจากปัญหาเรื่องน้ำที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในท่อบางส่วน ปัจจัยเรื่องวัสดุจึงถูกแปรเปลี่ยนทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของผิววัสดุได้ จึงวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละท่อเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาเป็นแนวทางเดียวกับการศึกษาครั้งแรกคือ อุณหภูมิในท่อที่มีแนวโน้มใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอกมากที่สุดคือท่อที่ 1 เนื่องด้วยด้านนี้รับลมและแดดดี การไหลเวียนของอากาศในท่อจึงมากที่สุด ขณะที่ดินมีการเพิ่มลดของอุณหภูมิมากส่งผลให้ท่อมีการเปลี่ยนแปลงจากอิทธิพลอุณหภูมิดินมากขึ้น ส่วนท่อที่เหลืออุณหภูมิจะค่อนข้างคล้ายคลึงกัน แต่ในท่อที่ 4 กับ 5 อุณหภูมิจะค่อนข้างต่ำและมีการไหลเวียนของอากาศภายในท่อน้อย จากตำแหน่งในช่วงด้านหลังของอาคารที่ค่อนข้างร่มตลอดทั้งวันจากต้นไม้ใหญ่ที่แผ่ปกคลุม

8 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารและภายนอกอาคาร ที่จะสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน โดยที่อุณหภูมิภายในอาคารจะต่ำกว่าภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย 1 องศาเซลเซียส มีส่วนต่างที่ลดต่ำได้สูงสุด 2 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 9.30 น. ไปจนถึงเวลา 16.30 น. เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จากนั้นอุณหภูมิในอาคารจะสูงกว่าภายนอกอาคาร โดยเฉลี่ย 0.7 องศาเซลเซียส และมีส่วนต่างที่เพิ่มขึ้นสูงสุด 4.2 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 16.30 น.จนถึง 9.30 น. อีกเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

9 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศอยู่ที่ 2.4 วัตต์ต่อ1ตัว ใช้5ตัวรวมทั้งสิ้นเป็น 12 วัตต์ ช่วงเวลาทำความเย็นให้อาคารประมาณ 14 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.30- 21.30 น. ดังนั้นค่าไฟในการทำความเย็นจะอยู่ที่เดือนละประมาณ 5.04 หน่วย พบว่าสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ประมาณ 70 % เมื่อเทียบกับการเปิดพัดลมตั้งโต๊ะภายในอาคารหนึ่งตัว ขนาดตัวละ 45 วัตต์ ที่ใช้ค่าไฟเดือนละ 18.9 หน่วย

ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 3

สภาพทั่วไปก่อนการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อที่จะศึกษาประสิทธิภาพหลังผ่านการปรับปรุงระบบท่ออากาศฝัดดินมา 6 เดือน และต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างของการลดความชื้นในเดือนพ.ย. ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาว ที่ต่างจากการศึกษาสองครั้งแรกที่อยู่ในเดือนก.พ. ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้เปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบท่อฝัดดินเพิ่มเติม เพราะต้องการประเมินหลังผ่านการปรับปรุงและผ่านการใช้ระบบท่อฝัดดินมาช่วงหนึ่งตามสภาพใช้งานจริง

สภาพอากาศทั่วไปทั้งสามวัน ท้องฟ้าแจ่มใสมีเมฆบางส่วน อากาศโดยรวมค่อนข้างเย็น โดยอยู่ในช่วง 22.4-31.3 องศาเซลเซียส พบปัญหาสำคัญภายในระบบท่อฝัดดินอีกครั้งคือมีน้ำขังภายในท่อฝัดดิน หลังการปรับปรุงระบบท่อฝัดดินในครั้งที่สอง โดยได้ดูดน้ำในท่อออกจนเกือบหมดและป้องกันการรั่วซึมจากภายนอกอย่างมิดชิด ปัญหาของน้ำที่เพิ่มขึ้นภายในท่อจึงน่าจะมาจากการรั่วซึมของน้ำในท่อที่ได้ดินซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้ ในส่วนสภาพแวดล้อมบริเวณปากท่อรับลมเข้าที่มีการปรับปรุงเล็กน้อย แต่โดยรวมอากาศยังสามารถเคลื่อนผ่านบริเวณปากท่อรับลมได้ดี ครั้งนี้ใช้พัดลมดูดอากาศที่ท่อลมออกเพื่อช่วยให้อากาศไหลเวียนดีขึ้นเช่นเดียวกับการศึกษาครั้งที่สอง



ภาพที่ 63 แสดงปัญหาน้ำที่ท่วมขังในระบบท่อฝัดดินอีกครั้ง



ภาพที่ 64 สภาพพื้นที่บริเวณปากท่อรับลมเข้า



น้ำที่ซังภายในบ่อกันชื้น



บริเวณปากบ่อความชื้น

ภาพที่ 65 น้ำที่กลับมาท่วมซังภายในบ่อดักความชื้น และสภาพบริเวณบ่อดักความชื้น

จากอุณหภูมิที่ได้ในแต่ละท่อนั้นค่อนข้างจะคล้ายกัน โดยมีท่อที่ 1 ที่มีผลของอุณหภูมิ กลางท่อและปลายท่อต่างออกมาแต่ก็ไม่มาก การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้จึงจะเป็นการสรุปผลข้อมูลรวมของทุกๆท่อ ไม่ได้แยกเป็นสองกรณีเหมือนในการศึกษาสองครั้งแรก

วิเคราะห์ผลการศึกษารั้งที่ 3 (ข้อมูลรวมทั้ง 5 ท่อ)

พบว่าทุกท่อมีแนวโน้มของอุณหภูมิอากาศกลางท่อก่อนข้างคงที่ ส่วนอุณหภูมิปลายท่อจะมีทิศทางขึ้นลงตามอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกอาคารสูง สาเหตุมาจากน้ำที่ไปปิดทางอากาศทำให้ไม่สามารถไหลผ่านภายในระบบท่อฝังดินนี้ได้ อุณหภูมิกลางท่อกับปลายท่อจึงไม่สัมพันธ์กัน โดยอุณหภูมิปลายท่อ ที่อาจมาจากบริเวณใดๆในระบบหรือจากจุดรับลมช่วงปลายท่อ ทำให้อากาศภายนอกอาคารเข้ามาแทนอากาศจากท่อฝังดินซึ่งไม่สามารถไหลผ่านในระบบท่อฝังดินได้

จากการวัดอุณหภูมิและความชื้น วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารได้สูงสุด 31.3 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 62.9 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 14.00 น. ของวันที่ 20 พฤศจิกายน 2552 ในขณะที่อุณหภูมิต่ำแหน่งปลายท่อลมออก (เฉลี่ย 5 ท่อ) จะอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส ความชื้น 68.7 เปอร์เซ็นต์ เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าสูงสุด 4.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารต่ำสุดคือ 22.4 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 92.1 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 06.30 น. ของวันที่ 20 พฤศจิกายน 2552 ในขณะที่อุณหภูมิต่ำแหน่งปลายท่อลมออก (เฉลี่ย 5 ท่อ) อยู่ที่ 22.9 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 74.9 เปอร์เซ็นต์ เกิดส่วนต่างของอุณหภูมิต่ำกว่ามากที่สุด 0.5 องศาเซลเซียส (ตาราง 16)

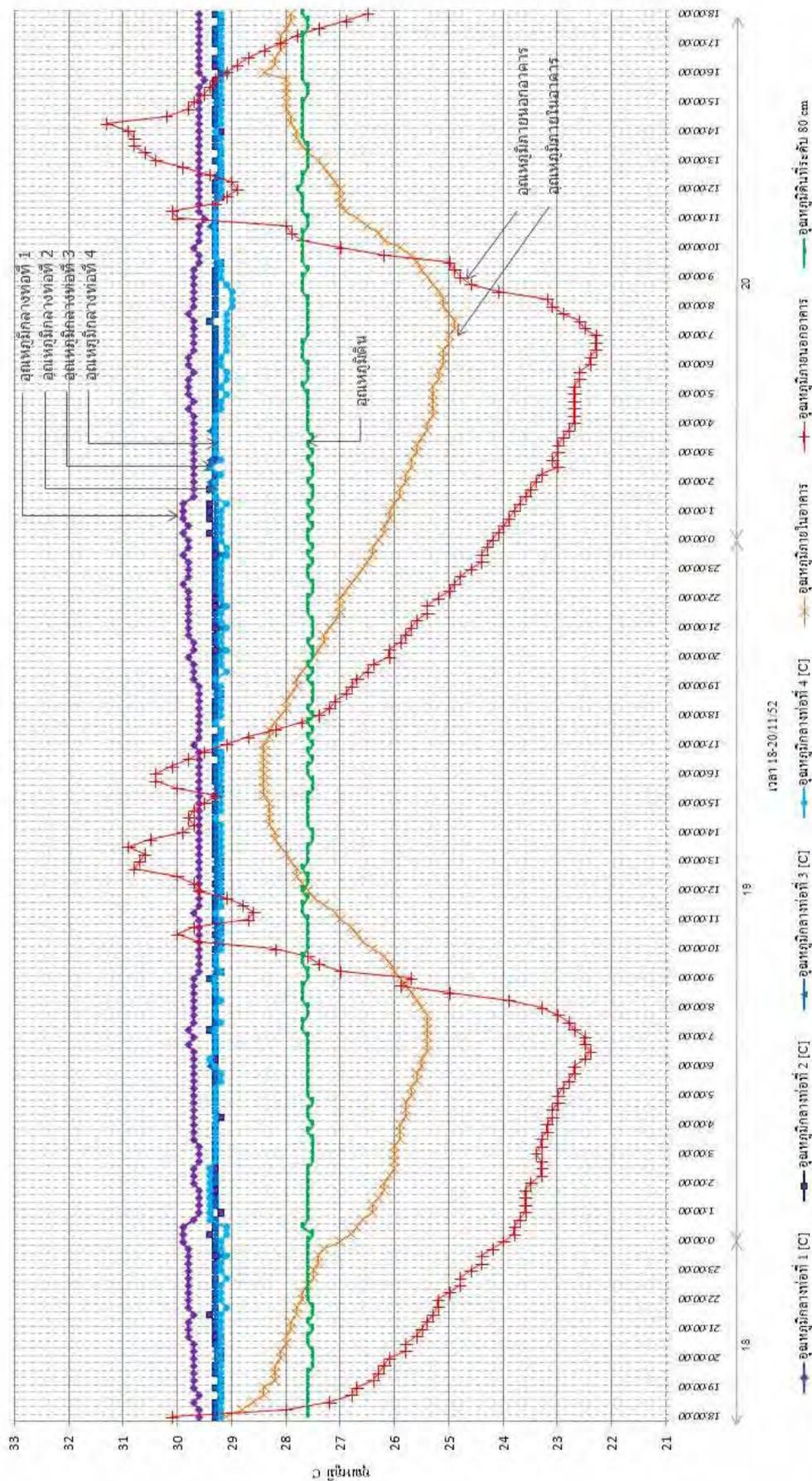
อุณหภูมิดินระดับความลึก 80 เซนติเมตรอยู่ในช่วง 27-27.3 องศาเซลเซียส ค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 0.3 องศาเซลเซียส ใช้พัดลมดูดอากาศความเร็วลม 150 ฟุต/นาที

ตารางที่ 16 ผลการศึกษารวมทั้ง 5 ท่อ ในช่วงการรวบรวมข้อมูลครั้งทั้ง 3

	อุณหภูมิภายนอกสูงสุด		อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	
	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ	อุณหภูมิภายนอก (ลมเข้า)	อุณหภูมิปลายท่อ
อุณหภูมิ	31.3 °C	27 °C	22.4 °C	22.9 °C
ความชื้น	65 %	75 %	90 %	90 %

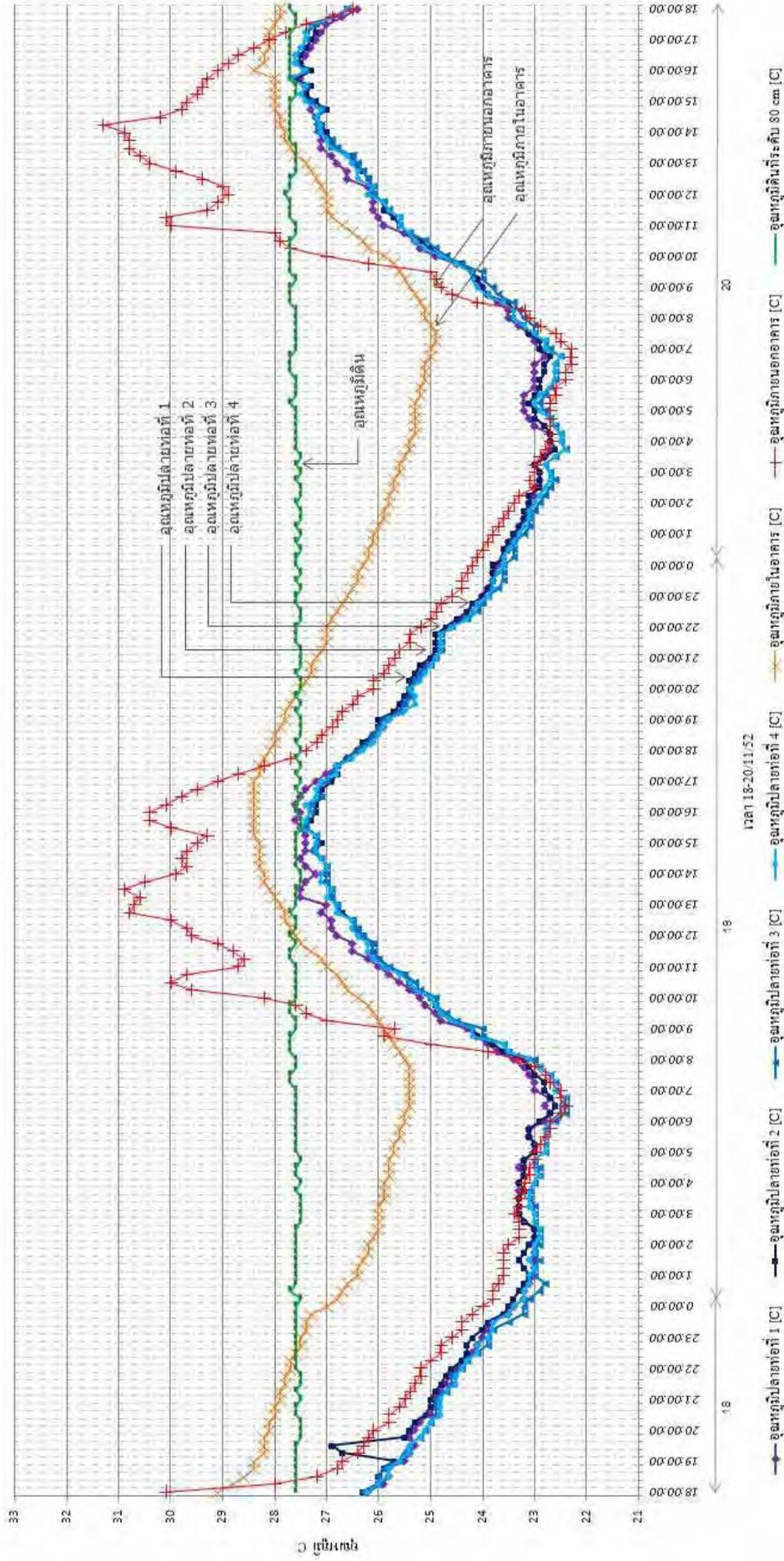
	ส่วนต่าง สูงสุด (ลด T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (ลด T °C)	ส่วนต่าง สูงสุด (เพิ่ม T °C)	ส่วนต่าง เฉลี่ย (เพิ่ม T °C)	อุณหภูมิมกลาง ท่อเฉลี่ย	อุณหภูมิ ปลายท่อเฉลี่ย
อุณหภูมิ	4.3 °C	1.8 °C	0.5 °C	0.2 °C	29.3 °C	25 °C

กราฟอุณหภูมิอากาศกลางห้อง

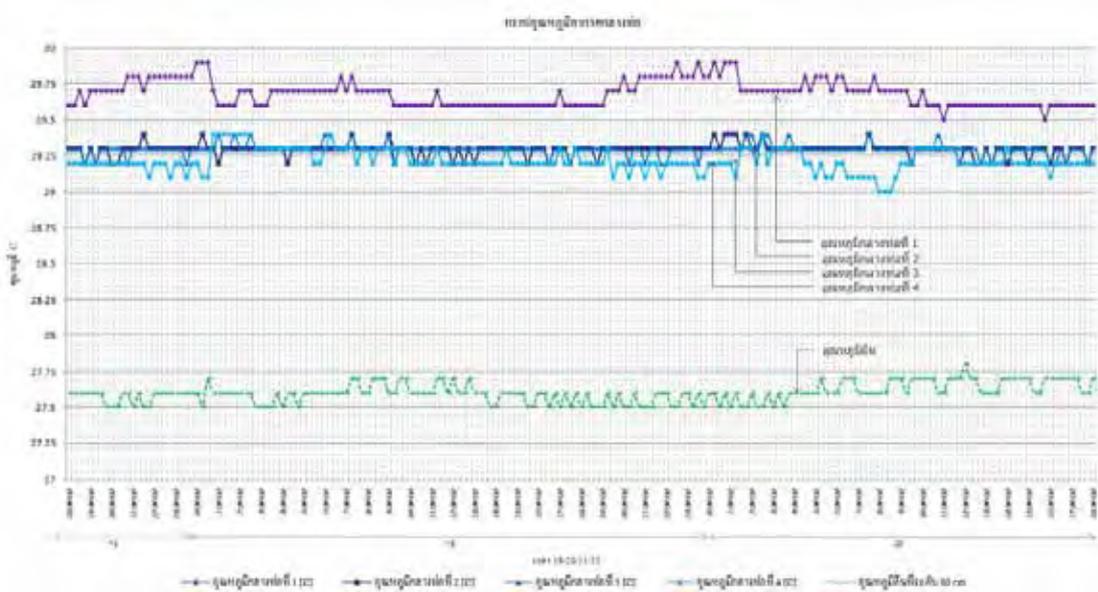


แผนภูมิที่ 54 แสดงอุณหภูมิอากาศกลางห้องทั้ง 5 ในการศึกษารั้วที่ 3

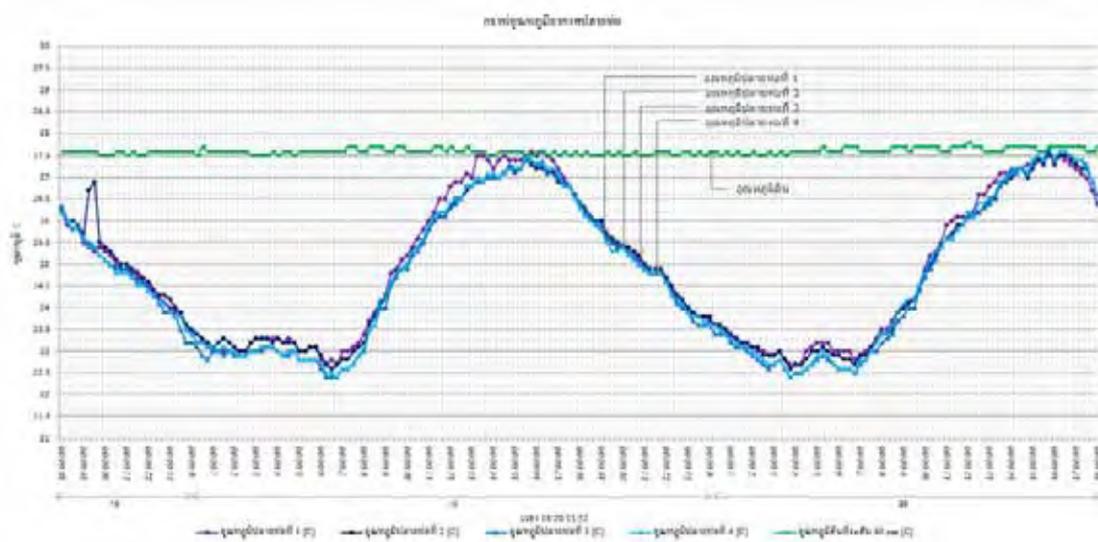
กราฟอุณหภูมิอากาศปลายท่อ



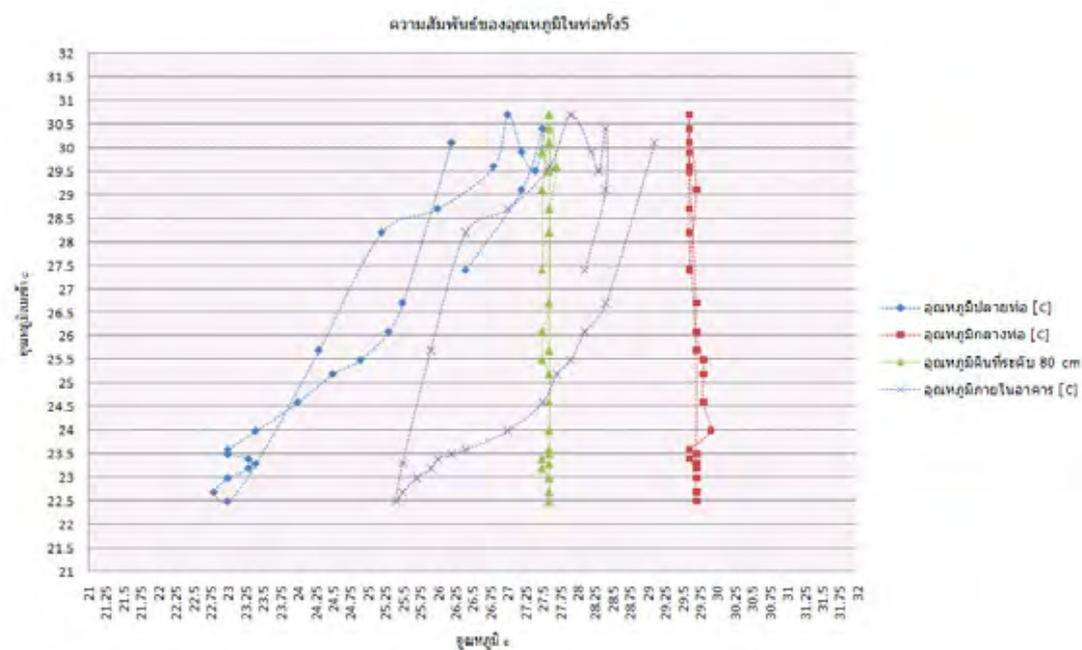
แผนภูมิที่ 55 แสดงอุณหภูมิอากาศปลายท่อทั้ง 5 ในการศึกษาคั้งที่ 3



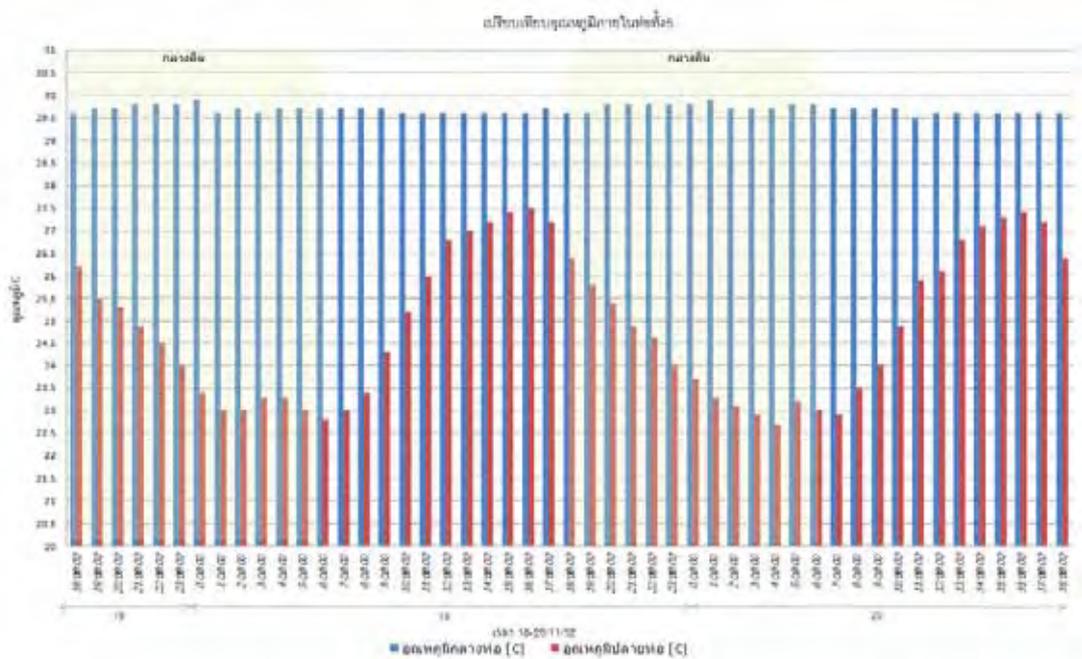
แผนภูมิที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกลางต่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 3



แผนภูมิที่ 57 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศปลายต่อทั้ง 5 ในการศึกษาครั้งที่ 3



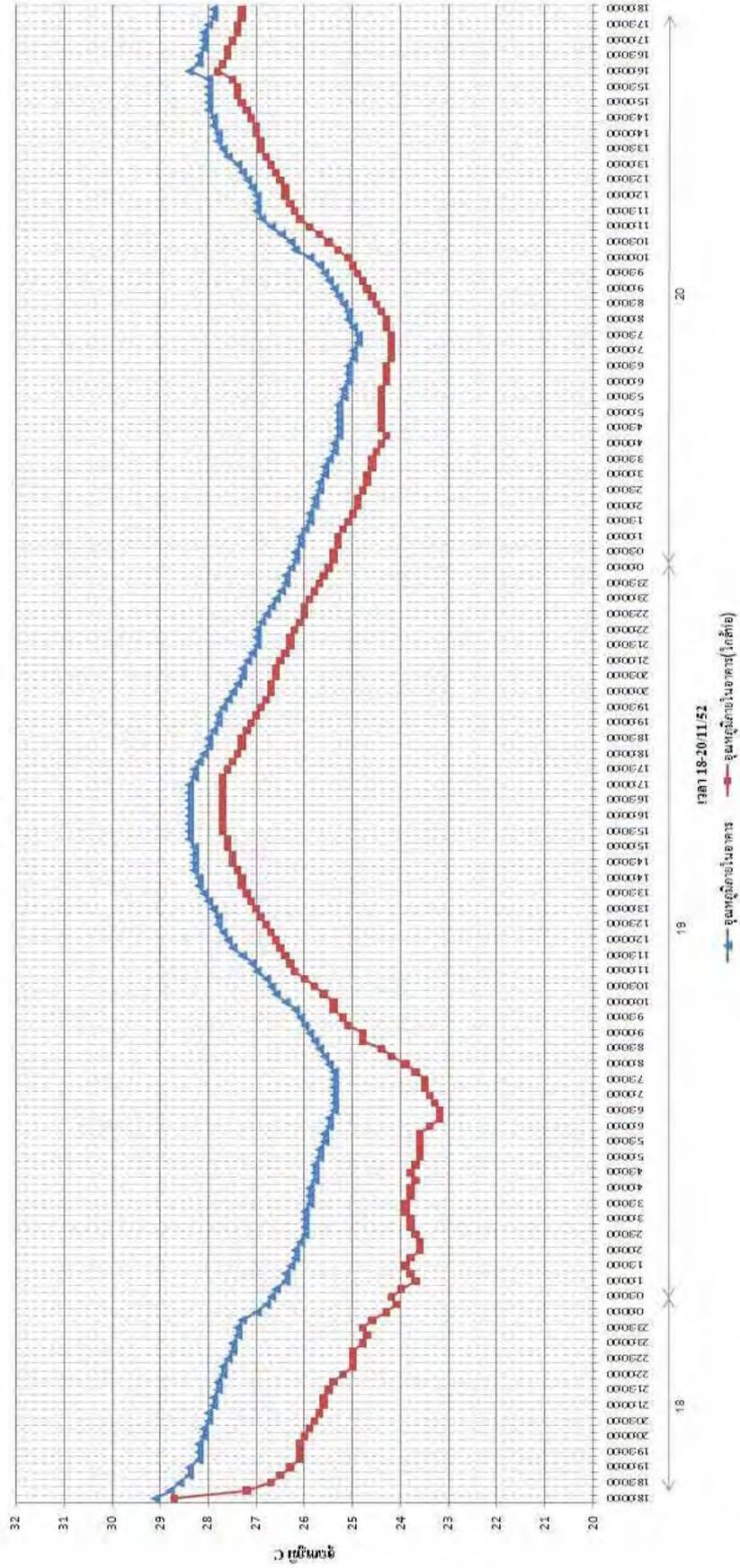
แผนภูมิที่ 58 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิต่างๆของทั้ง 5 ท่อ



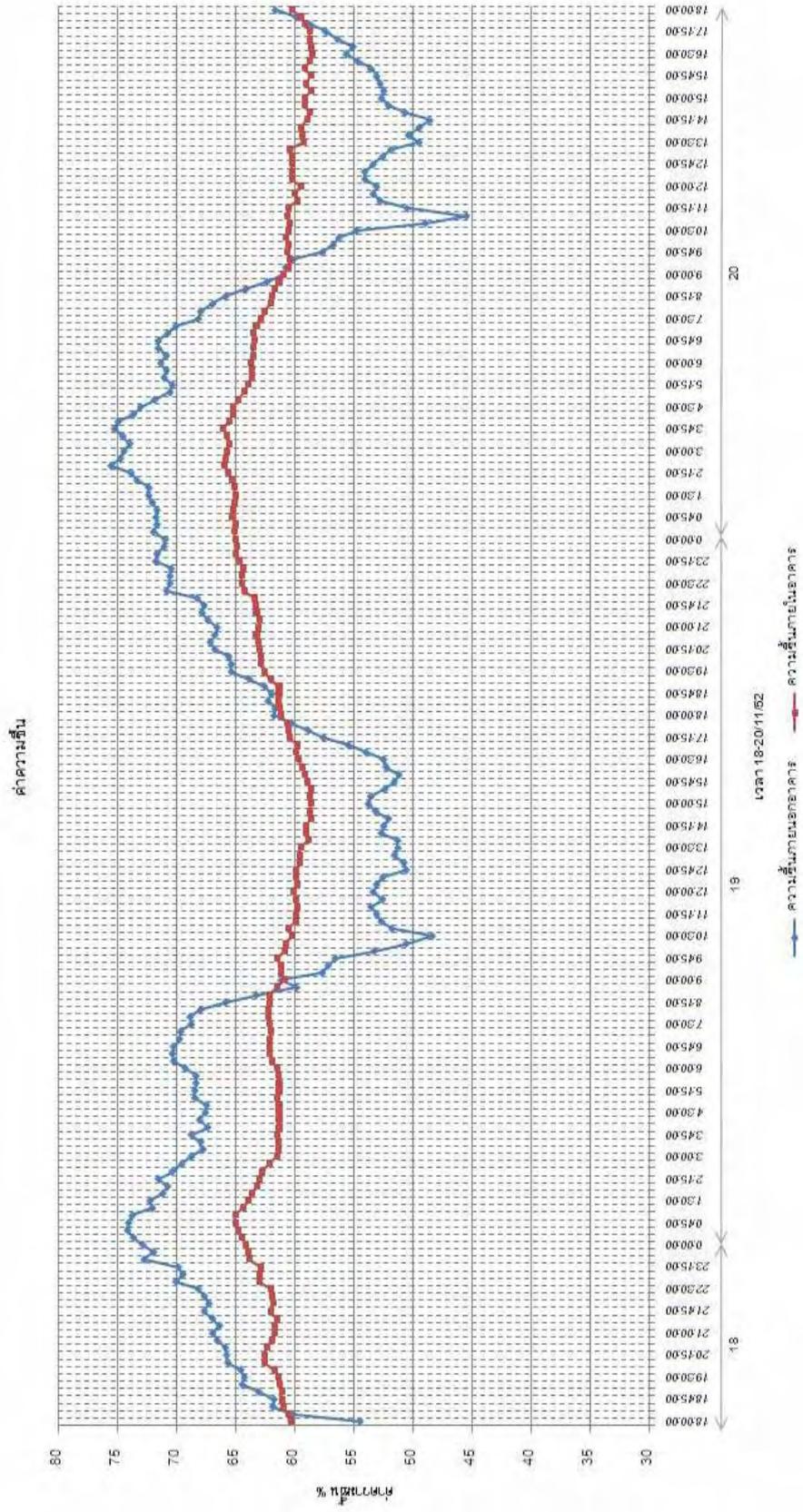
แผนภูมิที่ 59 แสดงผลของอุณหภูมิกอากาศกลางท่อกับปลายท่อทั้ง 5 ท่อ

แผนภูมิ 58 แสดงการไหลเวียนอากาศในระบบท่อน้อย อุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิในท่อเปลี่ยนแปลงไม่สัมพันธ์กัน โดยอุณหภูมิช่วงกลางท่อมีค่าคงที่แต่ช่วงปลายท่อกลับมีการแกว่งตัวขึ้นลงมาก และต่ำกว่าอุณหภูมิดิน แผนภูมิ 59 แสดงอุณหภูมิกอากาศกลางท่อคงที่และสูงกว่าปลายท่อประมาณ 2 - 6 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากช่วงปลายท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงสูง

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคาร



แผนภูมิที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคาร 2 ตำแหน่ง



แผนภูมิที่ 61 แสดงค่าความชื้นในการศึกษาครั้งที่ 3



ภาพที่ 66 กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางวัน (การศึกษาครั้งที่ 3)



ภาพที่ 67 กราฟฟิคแสดงอุณหภูมิอากาศในระบบท่อช่วงกลางคืน (การศึกษาครั้งที่ 3)

สรุปผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลครั้งที่ 3

1 การไหลเวียนของอากาศภายในห้องที่น้อย จึงทำให้มีประสิทธิผลในการลดความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากจากปัญหาน้ำที่ขังในระบบท่อไปปิดทางอากาศจึงไม่สามารถทำให้อากาศในห้องไหลได้ดีขึ้น ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศกลางห้องกับปลายท่อจึงไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยอุณหภูมิอากาศกลางห้องค่อนข้างเรียบและคงที่ ส่วนอุณหภูมิอากาศปลายท่อจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเช่นเดียวกับอุณหภูมิภายในอาคาร แสดงถึงอากาศที่ออกปลายท่อไม่ได้มาจากภายในห้องฝังดินโดยตรง แต่มาจากอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกอาคาร จากการรั่วซึมของอากาศภายในท่อหรืออากาศที่มาจากท่อรับลมทางด้านหลังอาคาร

2 อุณหภูมิที่ลดได้ วัดอุณหภูมิของอากาศที่ร้อนที่สุดในเวลา 11.00 น. ได้ 31.2 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิปลายท่อขณะนั้นจะอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส มีส่วนต่างของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสูงสุด 4.2 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ย 2.2 องศาเซลเซียส และวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดในเวลา 6.30 น. ได้ 22.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออกขณะนั้นจะอยู่ที่ 22.9 องศาเซลเซียส เกิดส่วนต่างที่สูงกว่ามากที่สุด 0.5 องศาเซลเซียส ที่ค่าเฉลี่ย 0.3 องศาเซลเซียส

* ผลสรุปอุณหภูมิที่ได้นี้เป็นส่วนต่างระหว่างอุณหภูมิลมเข้ากับอุณหภูมิปลายท่อ ไม่ใช่ผลจากการลดอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านระบบท่ออากาศฝังดิน

3 อุณหภูมิอากาศกลางท่อในครั้งนี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศปลายท่อลมออกประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส พบการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิปลายท่อซึ่งไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศกลางท่อ โดยค่อนข้างใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกอาคารที่อยู่ในช่วง 23 - 27.5 องศาเซลเซียส

4 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศปลายท่อต่ำกว่าลมเข้า ตั้งแต่เวลา 07.30 - 02.00 น. ทั้งสิ้น 18 ชั่วโมง จากนั้นอุณหภูมิภายนอกอาคารจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในห้อง จึงทำให้อุณหภูมิลมออกของท่อฝังดินสูงกว่าภายนอกอาคารในช่วง 02.00 - 07.30 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิปลายท่อลมออกจึงจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอีกครั้ง

5 ความชื้นของระบบท่อฝังดินยังส่งผลมากต่ออาคาร เพราะภายในห้องมีน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความชื้นภายในอาคารลดลงจากการศึกษาครั้งที่ 1 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 70 - 74 %

6 อุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอกอาคารจะสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน โดยที่อุณหภูมิภายในอาคารจะต่ำกว่าภายนอกที่เฉลี่ย 1 องศาเซลเซียส และต่ำลงสูงสุด 3.2 องศาเซลเซียส

ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ไปจนถึงเวลา 17.00 น. ประมาณ 8 ชั่วโมง จากนั้นอุณหภูมิภายในอาคารจะสูงกว่าภายนอกอาคารเฉลี่ย 2 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 2.6 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 17.00 น. ไปจนถึง 9.00 น. อีก 16 ชั่วโมง

7 การทดลองครั้งนี้ได้แบ่งพื้นที่วัดอุณหภูมิภายในอาคารเป็นสองส่วน คือบริเวณกลางอาคารและปากท่อปล่องลมออกกรังมี 1.5 เมตร เพื่อหาความแตกต่างของอุณหภูมิในการวางตำแหน่งปากท่อลมออกให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้สอย สรุปได้ว่าอุณหภูมिवิเวณใกล้ปากท่อลมออกจะต่ำกว่าบริเวณตำแหน่งกลางอาคารอยู่ประมาณ 1 องศาเซลเซียส

8 เปรียบเทียบพฤติกรรมของอุณหภูมิดินในช่วงเดือนพฤศจิกายน(ฤดูหนาว)และเดือนกุมภาพันธ์(ฤดูร้อน) ที่ระดับความลึก 1 เมตร พบว่าอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาวจะสูงกว่าฤดูร้อนประมาณ 0.5 - 1 องศาเซลเซียส (ข้อมูลจากสถานีเกษตรตากฟ้าตาคลี) ซึ่งสอดคล้องกับการวัดอุณหภูมิดินของอาคารกรณีศึกษาที่ระดับความลึก 80 เซนติเมตร แต่ช่วงฤดูร้อนจะสูงขึ้นกว่าฤดูหนาวไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้อุณหภูมิอากาศกลางท่อในการศึกษาข้อมูลครั้งที่สามสูงขึ้นกว่าในการศึกษาสองครั้งแรก

สรุปผลข้อมูลจากการศึกษาทั้ง 3 ช่วง

ประสิทธิผลต่ำ

ประสิทธิผลเพิ่มขึ้น

ประสิทธิผลต่ำ

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบผลการศึกษาระยะสามช่วง

	ผลศึกษาช่วงที่ 1 (สภาพใช้งานจริง)	ผลศึกษาช่วงที่ 2 (ปรับปรุงระบบ)	ผลศึกษาช่วงที่ 3 (ระยะหลัง 6 เดือน)
อุณหภูมิอากาศกลางท่อ °C	27.3	27.7 - 28	29.3
อุณหภูมิอากาศปลายท่อ °C	26.8 - 27.3	27.5 - 28.5	22.8 - 27.2
ผลต่างอุณหภูมิกลาง-ปลายท่อ(เฉลี่ย) °C	0.5	1	3 - 4
ผลต่างที่ต่ำกว่าสูงสุดของอุณหภูมิมลออก	6.3	5.8	3.2
ผลต่างเฉลี่ยอุณหภูมิมลเข้า>มลออก°C	2.6	2.2 - 2.6	1.8
ผลต่างเฉลี่ยอุณหภูมิมลเข้า<มลออก°C	0.8	1	0.3
ช่วงเวลาในการลดความร้อน °C	9.30 - 23.00 น. (14 ชั่วโมง)	7.30 - 21.00 น. (14 ชั่วโมง)	7.30 - 02.00 น. (18 ชั่วโมง)
ปัญหา/การแก้ไข	น้ำแข็ง ทางลมเข้า โดนบัง ท่ออุดตัน (บ่อกันขึ้น)	เอาน้ำออก ปรับ ปากท่อ แก่ท่อ อุดตัน	น้ำแข็งภายในท่อ หลังจากปรับปรุง ระบบท่อ

อุณหภูมิมลออกในการศึกษาช่วงแรกอยู่ที่ 26.8 - 27.3 °C หลังปรับปรุงระบบท่อในช่วงที่สองอยู่ที่ 27.5 - 28.5 °C มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุด 1 °C ในช่วงที่สามอยู่ที่ 22.8 - 27.2 °C มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่ำสุดที่ 4.4 °C ซึ่งในช่วงที่สามนี้อุณหภูมิมลออกกับปลายท่อจะแตกต่างกันมากและไม่สัมพันธ์กัน

ส่วนต่างสูงสุดของอุณหภูมิมลออกปลายท่อกับอุณหภูมิมลเข้าในการศึกษาช่วงที่หนึ่งเท่ากับ 6.3 °C มีค่าเฉลี่ย 2.6 °C ในช่วงที่สองมีค่าสูงสุด 5.8 °C ค่าเฉลี่ย 2.2-2.6 °C ส่วนในช่วงที่สามมีค่าสูงสุด 3.2 °C มีค่าเฉลี่ยที่ 1.8 °C (จากการสังเกตอุณหภูมิมลออกกับปลายท่อไม่แกว่งตัวตามอุณหภูมิมลออกมากเท่าไรอุณหภูมิมลออกโดยเฉลี่ยก็จะลดต่ำลงมากขึ้นเท่านั้น)

เวลาที่ต่ำกว่าของอุณหภูมิมลออกปลายท่อกับอุณหภูมิมลเข้าในช่วงที่ 1 และ 2 เท่ากันคือ 14 ชั่วโมง แต่ในช่วงที่ 2 เวลาจะเร็วขึ้นจาก 9.30 น. เป็น 7.30-21.30 น. เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมลออกที่ส่งผลต่อระบบท่อได้เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิมลออกภายในท่อเพิ่มและลดเร็ว ส่วนในช่วงที่ 3 จากอุณหภูมิมลออกที่ได้รับอิทธิพลจากภายนอกอาคารมาก(การรั่วซึมที่ปลายระบบท่อ) ทำให้ช่วงเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 18 ชั่วโมง ตั้งแต่ 07.30-02.00 น.

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและเสนอแนะ

สรุปกระบวนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาประสิทธิผลของการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้วยระบบท่ออากาศฝังดินกับอาคารที่ผ่านการใช้งานจริง โดยให้อากาศเคลื่อนผ่านท่ออากาศฝังใต้ดินที่ระดับความลึก 1.8 เมตร ซึ่งประกอบด้วยท่อซีเมนต์ขนาดหน้าตัด 80 x 80 เซนติเมตร และท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ที่เป็นส่วนรับลมภายนอกอาคารและส่วนจ่ายลมเข้าภายในอาคาร ความยาวท่อรวมทั้งสิ้น 10 เมตร ทั้งหมด 5 ท่อ โดยแต่ละท่อจะวางแบบขนานห่างกัน 2.3 เมตร ผู้ออกแบบได้วางวัสดุไว้ภายในท่อใต้ดินแตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติผิววัสดุในการลดความร้อนของอากาศที่ผ่านดังนี้ ท่อที่ 1 ซีเมนต์เปล้า 2 สีลาแลง 3 หินเขื่อน 4 ทราย และท่อที่ 5 ถ่าน ช่วงปลายท่อลมออกแต่ละท่อจะมีบ่อซีเมนต์ดักความชื้นขนาดหน้าตัด 70 x 70 เซนติเมตร (วางถ่านดักความชื้นไว้ภายในเพื่อลดความชื้นอากาศก่อนเข้าภายในอาคาร)

การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นการรวบรวมข้อมูลตามสภาพการใช้งานจริงเป็นเวลา 66 ชั่วโมง ช่วงที่ 2 จะรวบรวมข้อมูลหลังจากวิเคราะห์และปรับปรุงระบบท่อฝังดินเป็นเวลา 44 ชั่วโมง และช่วงที่ 3 รวบรวมข้อมูลหลังจากผ่านการปรับปรุงระบบท่อมาแล้ว 6 เดือนตามสภาพใช้งานจริง และอยู่ในช่วงฤดูหนาวเป็นเวลา 48 ชั่วโมง บันทึกผลทุกๆ 15 นาที โดยวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ คือ อุณหภูมิภายนอกอาคาร อุณหภูมิอากาศกลางท่อและปลายท่อลมออก อุณหภูมิภายในอาคาร และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 80 เซนติเมตร รวมถึงวัดความชื้นทั้งภายในและภายนอกอาคาร ส่วนในการศึกษาช่วงที่ 2 และ 3 ได้เพิ่มการใช้พัดลมดูดอากาศ เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้พัดลมดูดอากาศในการศึกษาช่วงที่ 1

สรุปผลการวิจัย

จากหลักการของระบบท่ออากาศฝั่งดินที่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนระหว่างดินกับอากาศภายในท่อ ที่ทำให้อากาศที่ผ่านมีอุณหภูมิลดลง ที่มาจากความสัมพันธ์ของตัวแปรและปัจจัยต่างๆคือ อุณหภูมิดิน ความยาวท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความเร็วลมภายในท่อ และการออกแบบติดตั้งต่างๆเช่น การสูญเสียความดันจากการหักเลี้ยว ข้อต่อและปริมาตรของท่อเหล่านี้ ระบบท่ออากาศฝั่งดินของอาคารกรณีศึกษาได้ผ่านหลักการออกแบบเหล่านี้ไว้ทั้งหมด ยกเว้นการควบคุมความเร็วลมในท่อ จึงทำการศึกษาและปรับปรุงเพื่อหาประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นพบว่า

จากการศึกษาในช่วงที่ 1 ตามสภาพใช้งานจริง พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของระบบท่ออากาศฝั่งดินมาเป็นระยะเวลายาวนานและไม่มีการดูแลรักษา ที่ทำให้มีประสิทธิผลการลดความร้อนต่ำ อันเนื่องมาจากน้ำที่ท่วมขังภายในท่อ ระบบท่ออุดตัน สภาพแวดล้อมภายนอกไม่อำนวย ต้นไม้ปิดบังลมเข้าท่อ ระดับปากท่อลมเข้าต่ำ ที่ทำให้อากาศไม่สามารถไหลผ่านระบบท่อได้ อุณหภูมิอากาศในท่อจึงค่อนข้างต่ำและคงที่ ทั้งยังไม่ส่งผลต่อตัวอาคาร

หลังทำการปรับปรุงระบบท่อในการศึกษาช่วงที่ 2 ทำให้อากาศมีประสิทธิผลการลดความร้อนดีขึ้น โดยการแก้ปัญหาหน้าและถ่านที่อุดตันภายในท่อและบ่อดักความชื้น เพิ่มระดับปากท่อลมเข้าให้สูงขึ้น ปรับปรุงสภาพแวดล้อมและต้นไม้ที่บังช่องลมเข้า พบว่าอากาศในท่อมีการไหลเวียนที่ดีขึ้นแต่ลมออกปลายท่อยังน้อยไม่สามารถให้ประโยชน์กับอาคารได้ จึงเปิดใช้พัดลมดูดอากาศที่ทำให้อุณหภูมิอากาศในท่อได้รับอิทธิพลและมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิภายนอกอาคารมากขึ้น อุณหภูมิอากาศกลางท่อและปลายท่อมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กัน ลมออกปลายท่อที่เพิ่มมากขึ้นสามารถให้ประโยชน์กับอาคารได้ พบว่าในช่วงกลางวันระบบท่อจะช่วยลดอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิลมออกจะต่ำกว่าลมเข้าเฉลี่ย 2.2 - 2.6 องศาเซลเซียส มีส่วนต่างสูงสุดที่ 5.8 องศาเซลเซียส สามารถใช้ประโยชน์ในเวลา 7.30 - 22.00 น. เป็นระยะ 14 - 15 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนช่วงกลางคืนระบบท่อจะช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้กับลมออก โดยมีค่าเฉลี่ย 1 องศาเซลเซียส ในเวลา 22.00 - 7.30 น.

ในการศึกษาช่วงที่ 3 ที่ระยะหลังปรับปรุงระบบท่อ 6 เดือน พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากการไม่ดูแลระบบท่อแล้วกลับมาปรับปรุงแก้ไขอีกครั้ง ที่ไม่สามารถทำให้ระบบกลับมาดีขึ้นได้ทั้งหมด และคงที่เป็นเวลายาวนาน ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าระบบท่อกลับมีปัญหาน้ำขังเช่นเดิม ทำให้

ประสิทธิภาพการลดความร้อนกลับมามีอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำในท่อใต้ดิน ที่ทำให้อากาศในท่อไม่ไหลเวียน อุณหภูมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สัมพันธ์กัน โดยอุณหภูมิอากาศกลางท่อก่อนข้างคงที่ ส่วนปลายท่อจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงที่สูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกอาคาร ซึ่งอุณหภูมิปลายท่อนี้ไม่ได้ไหลผ่านมาจากอากาศในระบบท่อฝังดินโดยตรง ดังนั้นการวางแผนและดูแลรักษาระบบท่ออากาศฝังดินตั้งแต่ช่วงแรกของการก่อสร้างเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้น จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ง่ายและมีผลดีที่สุด

ผลสรุปจากการศึกษา แบ่งเป็นหัวข้อหลักๆ ได้ดังนี้

1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดิน พบว่าอุณหภูมิดินมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากตลอดปี อยู่ในช่วงประมาณ 1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิดินในช่วงฤดูหนาวจะมีค่าสูงกว่าฤดูร้อน โดยช่วงต้นปี(เริ่มฤดูร้อน,เดือนกุมภาพันธ์)อุณหภูมิดินอยู่ที่ 27-27.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 26 - 34.5 องศาเซลเซียส ส่วนปลายปี(ฤดูหนาว,ช่วงเดือนพฤศจิกายน)อุณหภูมิดินจะสูงขึ้นอยู่ที่ 27.5-27.8 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิอากาศจะค่อนข้างต่ำที่ 22.6 - 32.3 องศาเซลเซียส

พฤติกรรมของอุณหภูมิดินในหนึ่งวัน ในช่วงเริ่มฤดูร้อน(ก.พ.)พบว่าส่วนใหญ่อุณหภูมิดินจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารเกือบทั้งวัน แต่ช่วงฤดูหนาว(พ.ย.)เวลากลางวันอุณหภูมิดินจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ส่วนกลางคืนอุณหภูมิดินจะสูงกว่าภายในอาคาร

* ทั้งนี้การศึกษาที่ผ่านมาจะอยู่ในช่วงฤดูที่ยังไม่ใช่วันที่มีอุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุดของช่วงฤดูนั้นๆ

2 การใช้พัดลมดูดอากาศเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบท่อฝังดิน พบว่าระบบท่อจำเป็นต้องเพิ่มความสามารถในการลดความร้อนด้วยพัดลมดูดอากาศ ที่จะทำความเร็วลมที่ผ่านออกจากท่อเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความคงที่ สามารถให้ประโยชน์กับอาคารได้อย่างเต็มที่ ซึ่งด้วยแรงลมปกติและแรงดันภายในท่อ ไม่สามารถทำให้อากาศไหลผ่านได้สม่ำเสมอและมากตามที่ต้องการ

3 ความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านท่อ ซึ่งถ้าระบบท่อไม่มีน้ำและการอุดตันรวมถึงใช้พัดลมดูดอากาศช่วยเพิ่มความเร็วลม พบว่าสามารถลดอุณหภูมิลมออกแต่ละท่อได้เฉลี่ย 2.2-2.6 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิอากาศกลางท่อกับปลายท่อแตกต่างกันประมาณ 0.5-1 องศาเซลเซียส

4 ช่วงเวลาที่สามารถใช้ประโยชน์ของอากาศที่ผ่านระบบท่อ พบว่าในหนึ่งวันสามารถแบ่งการใช้งานได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงการลดความร้อนของอากาศที่ผ่านระบบท่อ(หลังผ่านการปรับปรุง)สามารถใช้งานได้ในช่วง 7.30-21.00 น. เป็นเวลาดังกล่าว 14 ชั่วโมง ส่วนช่วงที่เหลือเป็นการเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ผ่านระบบท่อในเวลา 21.00-7.30 น. แต่ไม่สามารถนำมาช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในอาคารได้ เพราะอุณหภูมิมอบออกจาท่อยังคงมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายในอาคาร

5 ปัญหาของระบบท่อฝังดิน

5.1 การทรุดตัวของท่อที่ไม่เท่ากันจนทำให้ท่อเกิดการแตกร้าว จากท่อที่อยู่ใต้ดินและวางอยู่ใต้ตัวอาคารอีกครั้ง รวมถึงการใช้วัสดุท่อที่ต่างกัน ทำให้เกิดการรับแรงกดทับที่ไม่เท่ากันและเกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันในที่สุด

5.2 เกิดการรั่วซึมของน้ำ ที่ทำให้น้ำเข้าท่อ ทำให้อากาศไม่สามารถผ่านระบบท่อได้

5.3 การอุดตันภายในระบบท่อ ที่เกิดจากการทรุดตัวและเศษสิ่งสกปรกเข้าไปภายใน

5.4 ปริมาตรท่อที่ไม่เท่าหรือไม่สัมพันธ์กัน ที่ทำให้อากาศไหลได้ยากขึ้นประสิทธิภาพ

จึงลดลง

ดังนั้นการดูแลรักษาระบบจึงเป็นส่วนสำคัญยิ่งต่อประสิทธิภาพในของการลดความร้อน (จากการศึกษาหลังการปรับปรุงระบบท่อ พบว่าอากาศภายในท่อมมีการไหลเวียนที่ดีขึ้น และอุณหภูมิมียุทธศาสตร์ตามอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกอาคาร)

6 แนวทางในการลดอุณหภูมิของระบบท่อฝังดิน สามารถแบ่งได้เป็นสองแนวทาง คือการใช้ประโยชน์โดยอ้อม คือการช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศในอาคารคงที่ หรือลดภาระการทำความเย็นภายในอาคารประกอบกับการทำความเย็นแบบอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงหรือกระจายในทุกๆส่วนของอาคาร ส่วนอีกแนวทางคือการใช้ประโยชน์โดยตรงกับผู้ใช้สอยในอาคาร เพื่อให้ได้รับความเย็นนี้จากท่อโดยตรง ซึ่งสามารถใช้งานได้ในระยะรัศมีประมาณ 2 เมตรจากปากท่อบนผิว โดยวางตำแหน่งท่อบนผิวไว้เฉพาะพื้นที่ๆจำเป็น หรือบริเวณใกล้กับผู้ใช้สอยภายในอาคาร

7 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการศึกษา โดยคิดค่าไฟฟ้าจากการใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 2.4 วัตต์ 5 ตัว เมื่อเทียบกับการใช้พัดลมตั้งโต๊ะที่ใช้ภายในอาคารที่มีขนาด 45 วัตต์ 1 ตัว ซึ่งสามารถประหยัดไฟได้มากถึง 60 %

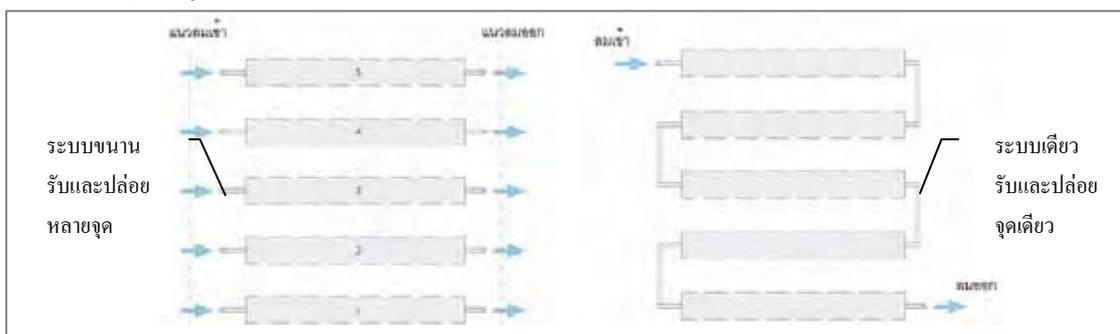
การอภิปรายผล

เปรียบเทียบข้อสรุปของระบบท่อฝังดินจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ได้ผลดังนี้

1 ประสิทธิภาพของระบบท่อเก็บระยะเวลาการใช้งาน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมด(สุพจน์ ดวงสินทวีกุล 2537) (ชนรัชต์ ลิ้มปคุปตถาวร 2545) (วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ 2549) (Rattan Jadhav 2003) (M.R. Patel and S.K. Philip 2004) จะเป็นการเก็บข้อมูลหลังก่อสร้างระบบท่อเสร็จใหม่ๆ ยังไม่มีการประเมินผลและเก็บข้อมูลหลังผ่านการใช้งานระบบท่อมาระยะหนึ่ง เพื่อดูประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นเหมือนจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้

2 การลดอุณหภูมิลมออก งานวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่(สุพจน์ ดวงสินทวีกุล 2537) (ชนรัชต์ ลิ้มปคุปตถาวร 2545) (วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ 2549)สามารถลดอุณหภูมิลมที่ผ่านท่อเฉลี่ย 3-3.5 องศาเซลเซียส มีส่วนต่างที่ลดลงสูงสุด 6 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่างานวิจัยนี้ที่สามารถลดอุณหภูมิได้ 2.2-2.6 องศาเซลเซียส ที่ส่วนต่างสูงสุดประมาณ 5.8 องศาเซลเซียส จากผลอุณหภูมิ दिन ในช่วง 27-29 องศาเซลเซียส แต่ถ้าพิจารณาจากงานวิจัยต่างประเทศของอินเดีย (Rattan Jadhav 2003) สรุปได้ว่าสามารถลดอุณหภูมิที่ผ่านท่อสูงสุด 14 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิ दिन อยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส

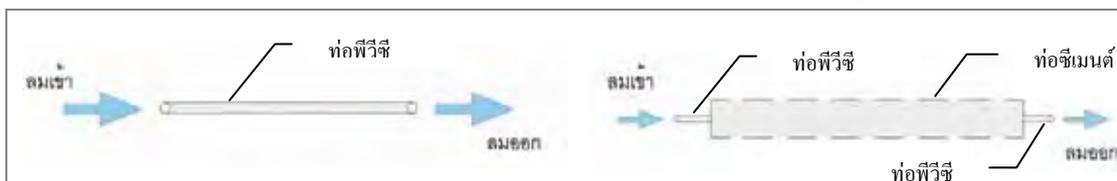
3 การออกแบบวางโครงข่ายระบบท่อใต้ดิน โดยงานวิจัยที่ศึกษามาทั้งหมดจะเป็นการวางท่อแบบระบบเดียวคือมีจุดรับลมเข้าและลมออกแบบจุดเดียว ตามความยาวต่างๆตั้งแต่ 8 เมตร จนถึง 50 เมตร ที่เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองที่ยังไม่คำนึงถึงการให้ประโยชน์ภายในอาคารเท่าไรนัก ซึ่งต่างจากงานวิจัยนี้ที่วางระบบท่อแบบขนานกันทั้ง 5 ท่อ ท่อละประมาณ 10 เมตร มีจุดลมเข้าและออกเป็นของตัวเอง วางทุกช่วงเสาของอาคารเพื่อกระจายความเย็นทุกๆส่วนของอาคาร แต่ถ้าเปลี่ยนระบบท่อเป็นแบบมีจุดลมเข้าและออกเดียว ก็จะมี ความยาวประมาณ 50 เมตร ถ้าวิเคราะห์ก็ควรจะได้อุณหภูมิที่ลดมากขึ้น แต่ทั้งนี้การใช้ประโยชน์กับตัวอาคารก็จะลดลง



ภาพที่ 68 แสดงโครงข่ายของระบบท่อในอาคาร และเปรียบเทียบถ้าปรับเปลี่ยนเป็นระบบเดี่ยว

4 วัสดุทำท่ออากาศฝังดิน จากงานวิจัยที่ศึกษาผ่านมาจะเป็นวัสดุเดียว คือเป็นท่อพีวีซี ตั้งแต่ตำแหน่งลมเข้าจนถึงลมออก ต่างจากงานวิจัยนี้ได้แบ่งวัสดุออกเป็นสองแบบ คือเป็นท่อพีวีซี ที่จุดลมเข้าและลมออกต่อกับส่วนท่อซีเมนต์ การออกแบบนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะพิสูจน์ถึงผิววัสดุที่วางไว้ในท่อซีเมนต์ต่างกัน ที่ส่งผลถึงการลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านภายในท่อ แต่จากการวิจัยนี้ที่เกิดปัญหาน้ำท่วมขังภายในท่อ จึงไม่สามารถศึกษาผลจากแนวคิดนี้ได้

5 การเปลี่ยนขนาดของท่อ โดยงานวิจัยที่ศึกษามาจะเป็นวัสดุเดียวไม่มีการเปลี่ยนขนาด คือเป็นท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6 นิ้วขึ้นไปขนาดใดขนาดหนึ่ง ต่างกับงานวิจัยนี้ที่แบ่งเป็นสองขนาด คือท่อพีวีซี 6 นิ้วต่อกับท่อซีเมนต์ขนาด 80 x 80 เซนติเมตร ซึ่งจากแนวคิดนี้ที่ทำให้เกิดการหลุดตัวไม่เท่ากันของสองวัสดุ จึงเกิดการแตกร้าวได้ง่ายและกลายเป็นปัญหาในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 69 เปรียบเทียบการเปลี่ยนขนาดท่อ ของท่อวัสดุเดียวกับท่อที่เป็น 2 วัสดุของงานวิจัยนี้

6 ความลึกจากระดับผิวดิน งานวิจัยนี้มีระดับความลึกประมาณ 1.8 เมตร จากการศึกษาปัญหาของน้ำส่วนหนึ่งอาจมาจากระดับความลึกที่มาก เพราะถ้ายังมีระดับความลึกมากขึ้นระดับน้ำใต้ดินก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมาจะศึกษาที่ความลึก 1.1 เมตร ซึ่งได้ความชื้นในระดับที่น่าพอใจและมีค่าใกล้เคียงกัน ฉะนั้นการพิจารณาความลึกในการติดตั้งควรจะศึกษาความคุ้มทุนในการก่อสร้าง อุณหภูมิในระดับความลึกที่มากขึ้นและระดับน้ำใต้ดินด้วย

7 ความสูงปากท่อลมเข้าและลมออก ส่วนใหญ่จะสูงมากกว่า 40 เซนติเมตร เพื่อป้องกันน้ำท่วมถึงปากท่อ และการรับลมที่มากขึ้นในระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่ควรจะสูงมากเกินไปเพราะทำให้ระยะทางของท่อเพิ่มขึ้น จะสูญเสียแรงลมในท่อก่อนปล่อยเข้าสู่อาคาร ในงานวิจัยนี้ช่วงแรกของการสร้างท่อฝังดินปากท่อมีระดับ 20-30 เซนติเมตร แต่จากการศึกษาครั้งที่ 1 พบว่าปากท่อมีระดับต่ำที่เกิดจากการปรับสภาพหน้าดินหลายครั้ง ที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมและแมลงเข้าท่อได้ง่าย จึงปรับปากท่อลมเข้าให้สูงขึ้นที่ระดับ 40 เซนติเมตร เพื่อการรับลมที่ดีขึ้นและกันปัญหาน้ำท่วมถึง

8 ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล งานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นสองช่วงคือฤดูร้อนและหนาว เพื่อศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของระบบท่อใต้ดิน ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาภายในประเทศที่จะเป็นการศึกษาในช่วงฤดูร้อนอย่างเดียว

สรุปการเปรียบเทียบงานวิจัยระบบท่ออากาศฝังดิน

งานวิจัยที่ผ่านมา	งานวิจัยกรณีศึกษา
<p>ในประเทศ</p> <ul style="list-style-type: none"> - เก็บข้อมูลหลังระบบท่อสร้างเสร็จใหม่ - เก็บข้อมูลในช่วงฤดูร้อน - ลดอุณหภูมิได้เฉลี่ย 3-3.5 °C - ท่อเป็นระบบเดี่ยว รับลมเข้าแล้วปล่อยออกจุดเดียว - วัสดุท่อเป็นแบบเดี่ยวคือพีวีซี - ความยาวท่อมากกว่า 8 m ขึ้นไป - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อมากกว่า 6” - ความสูงปากท่อรับลม 40 cm/140 cm - ความลึกจากผิวดิน 1.1-3 m <p>อุปกรณ์ประกอบของระบบท่ออากาศฝังดิน</p> <ul style="list-style-type: none"> - พัดลมดูดอากาศ 	<ul style="list-style-type: none"> - เก็บข้อมูลหลังการใช้งานมายาวนาน - เก็บข้อมูลช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว - ลดอุณหภูมิเฉลี่ย(ปรับปรุง) 2.2-2.6 °C - หลายท่อขนานกัน มีท่อวิ่งตัดปลายระบบ รับลมปล่อยลมออกหลายจุด - วัสดุท่อเป็นสองแบบ พีวีซี + ซีเมนต์ - ความยาวประมาณ 10 m ทั้ง 5 ท่อ - เส้นผ่าศูนย์กลาง 6” + ท่อ 80x80 cm - ความสูงท่อรับลม 5 cm ปรับ 40 cm - ความลึกจากผิวดิน 1.8 m <ul style="list-style-type: none"> - พัดลมดูดอากาศ / บอร์ดักความชื้น
<p>ต่างประเทศ</p> <ul style="list-style-type: none"> - เก็บข้อมูลหลังระบบท่อสร้างเสร็จใหม่ - เก็บข้อมูลทั้งฤดูหนาวและร้อน โดยฤดูร้อนช่วยลดอุณหภูมิอาคารส่วนฤดูหนาวช่วยเพิ่มอุณหภูมิอาคาร - เปรียบเทียบดินต่างๆที่มีผลต่ออุณหภูมิในท่อ 	

สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อฝังดิน

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ความยาวท่อ ความลึกใต้ผิวดิน ความเร็วลมภายในท่อ การสูญเสียแรงดันจากการหักเลี้ยว ข้อต่อของท่อที่มาก ปริมาตรของท่อที่ต่างกัน(มีการเปลี่ยนขนาดเล็กใหญ่ไม่สัมพันธ์กัน) การอุดตันภายในท่อจากปัญหาของน้ำ และการที่อากาศไหลเวียนในท่อไม่เป็นระบบ เช่นเกิดจากการรั่วซึมที่ทำให้สูญเสียแรงดันก่อนที่จะปล่อยออกจากท่อ

ข้อเสนอแนะในการออกแบบระบบท่ออากาศฝังดิน

ระบบท่ออากาศฝังดินเป็นการเพิ่มทางเลือกในการประหยัดพลังงานให้กับอาคาร โดยใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่จำกัดอย่างคุ้มค่า ให้ความเย็นในระดับที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ ข้อควรคำนึงนอกจากการดูแลรักษาที่ค่อนข้างยาก หากไม่มีการวางแผนและเตรียมพื้นที่ในการตรวจสอบระบบท่อเป็นอย่างดี โดยมีหัวข้อหลักๆ ดังนี้

- 1 ต้องคำนึงถึงการป้องกันน้ำและความชื้นที่เป็นสำคัญ
- 2 วัสดุที่ใช้ทำท่อใต้ดินต้องแข็งแรง ท่อควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกันที่มีข้อต่อและการหักเลี้ยวน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการแตกร้าวและทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน ที่จะทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำใต้ดิน
- 3 สถานที่ในการติดตั้งระบบท่อฝังดินควรเป็นพื้นที่แห้ง ไม่ควรมีแหล่งน้ำอยู่ใกล้ เพราะจะทำให้ดินบริเวณนั้นชุ่มน้ำมีให้อากาศรั่วซึมได้ง่ายขึ้น

ดังนั้นถ้าต้องการประยุกต์ใช้ระบบท่ออากาศฝังดิน จำเป็นที่จะต้องศึกษาหลักการออกแบบและสภาพพื้นที่ให้ดี มีการวางแผนการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ที่สำคัญต้องมีการดูแลรักษาที่ง่ายและมีการตรวจสอบการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ระบบท่ออากาศฝังดินนี้จึงจะให้ประโยชน์ในการลดความร้อนกับอาคารอย่างมีประสิทธิภาพตามที่ผู้ออกแบบต้องการ

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1 การวิจัยครั้งนี้ที่ซึ่งศึกษาในช่วงฤดูร้อนและหนาวนั้น ยังไม่ใช่วันที่ร้อนและหนาวที่สุดของช่วงฤดูนั้นๆ และจากปัญหาของระบบท่อฝังดินที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถพิสูจน์ถึงประสิทธิภาพการใช้งานในฤดูหนาวได้ทั้งหมด (ซึ่งสันนิษฐานว่าจะมีช่วงที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับอาคารช่วงเวลากลางคืน ส่วนกลางวันการลดอุณหภูมิอาจไม่จำเป็นเพราะมีอุณหภูมิที่ต่ำอยู่แล้ว) ในครั้งต่อไปจึงควรที่จะศึกษาช่วงฤดูหนาวเช่นนี้ รวมถึงช่วงฤดูฝนเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ตลอดทั้งปี และควรที่จะศึกษาในช่วงวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของฤดูกาลนั้นๆ ด้วย

2 ในการศึกษาต่อไปควรวางแผนการดูแลรักษาระบบท่อฝังดินเพิ่มเติม ทำการทดลองในช่วงหลังติดตั้ง รวมถึงทิ้งระยะเวลาเพื่อศึกษาผลที่ผ่านการใช้งานระบบท่อฝังดินมาแล้วช่วงหนึ่ง

3 ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถพิสูจน์ความสามารถในการลดความชื้นของระบบท่อฝังดินเนื่องจากปัญหาต่างๆที่พบ สำหรับการศึกษารายต่อไปจึงควรมุ่งศึกษาการลดความชื้นให้อากาศที่ผ่านระบบท่อฝังดิน เพื่อการใช้งานระบบท่อฝังดินที่เกิดประโยชน์สูงสุด

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ตรึงใจ บุรณะสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ :

บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด มหาชน, 2539.

_____. การออกแบบสถาปัตยกรรมเขตร้อน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2539.

ชนิด จินดาวณิก. “การแสวงหาประโยชน์จากสภาพแวดล้อมเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายและประหยัด พลังงาน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ธนรัชต์ ลิ้มปุกุตถาวร. “ประสิทธิผลการทำความเย็นด้วยท่อใต้ดินในการออกแบบบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น : กรณีศึกษาบ้านพักอาศัย จ.ชัยภูมิ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ไพบุลย์ วัชรุ่งเรืองกิจ. “การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน”

วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.

วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ. “การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย”. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 12, 4 (ตุลาคม-ธันวาคม 2548) : 332-342.

สุพจน์ ดวงสินทวีกุล. “การทำความเย็นให้กับอาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

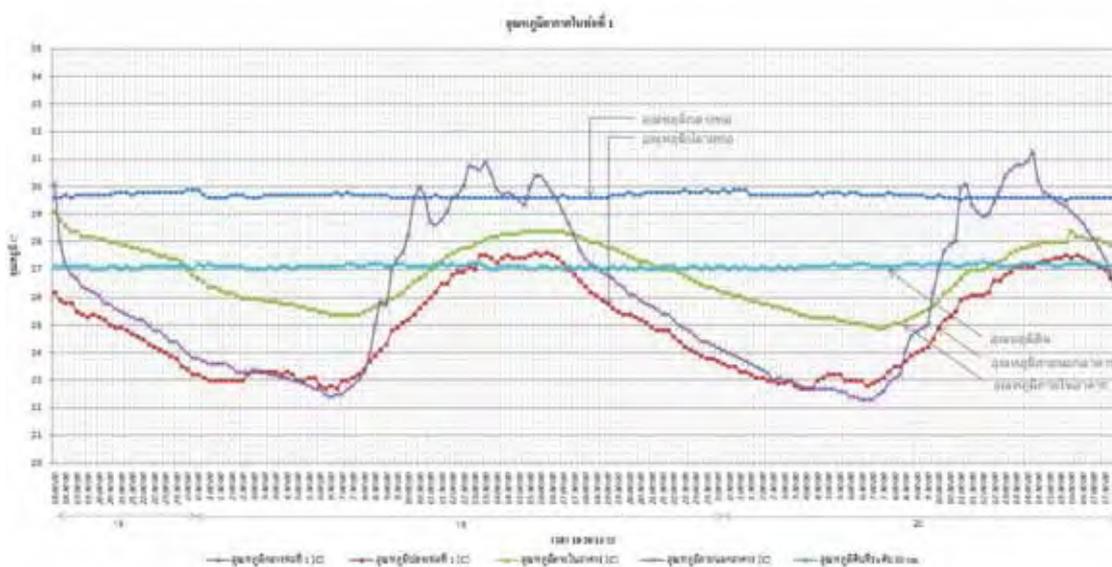
เอนก ชีระวิวัฒน์ชัย. “การทำความเย็นอาคาร โดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาต่างประเทศ

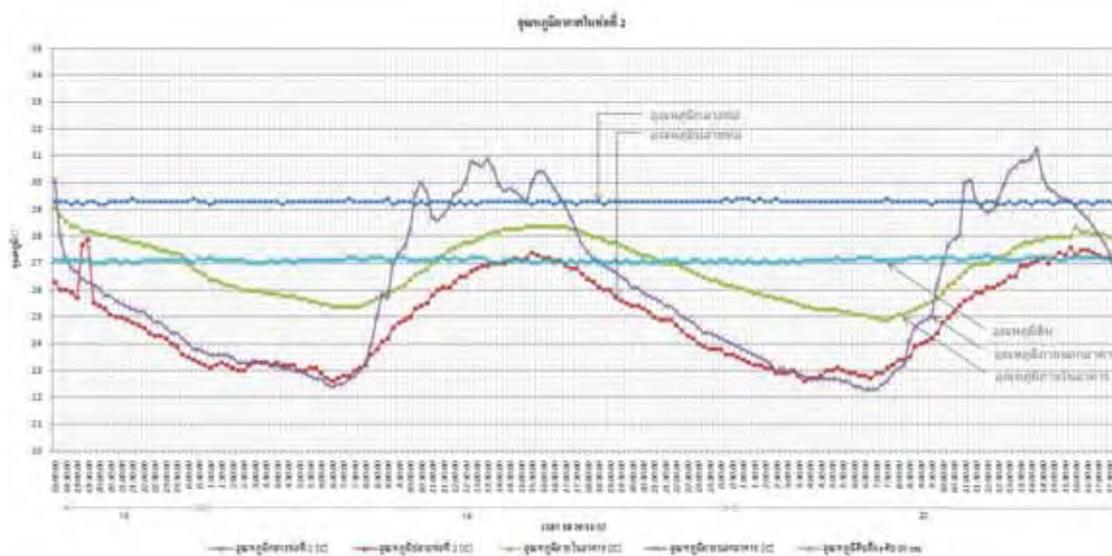
- American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
Fundamentals. n.p, 1985.
- Donald Watson, FAIA, and Kenneth labs. Climate design. USA : McGraw - hill, 1983.
- Givoni, Baruch. Passive and Low Energy Cooling of Building. New York : Van Nostand
Rienhold, 1994.
- Moore, Fuller. Environmental control systems : heating cooling lighting. New York :
McGraw – Hill, 1993.
- M.R. Patel and S.K. Philip. “Effect of Soil Moisture on Performance of Earth Tube
Heat Exchanges”, SESI Journal 14, 2 (December 2004) : 19-26.
- Lechner Norbert. Heating,Cooling,Lighting Sustainable design Methods for Architects. New
York : John Wiley & Sons, 2008.
- Jadhav Rattan. “Performance of Single Pass earth-Tube Heat Exchanger. An Experimental
Study.” Dissertation, Indian Institute of Management, Ahmedabad, 2003.
- Stein, reynold and meguinness. Mechanical and electrical equipment for building 8th edition.
New York : john wiley & sons, 1992.
- Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy –
Efficient Building. New York : Mcgraw – Hill Book Company, 1980.

ภาคผนวก

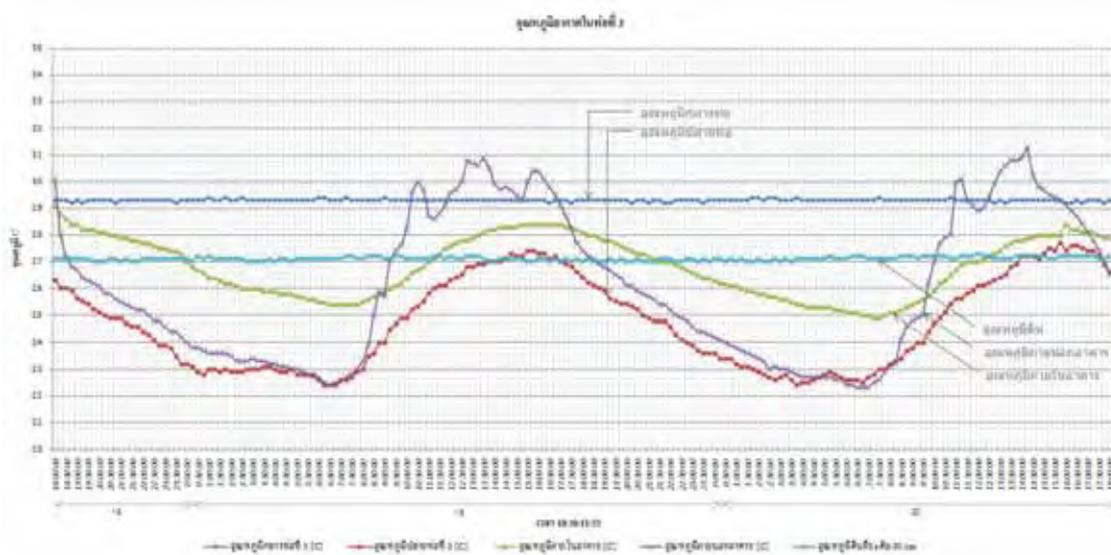
- แผนภูมิอุนหนีในการศึกษาครั้งที่ 3 ของแต่ละท่อ
 - ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการบันทึกผล



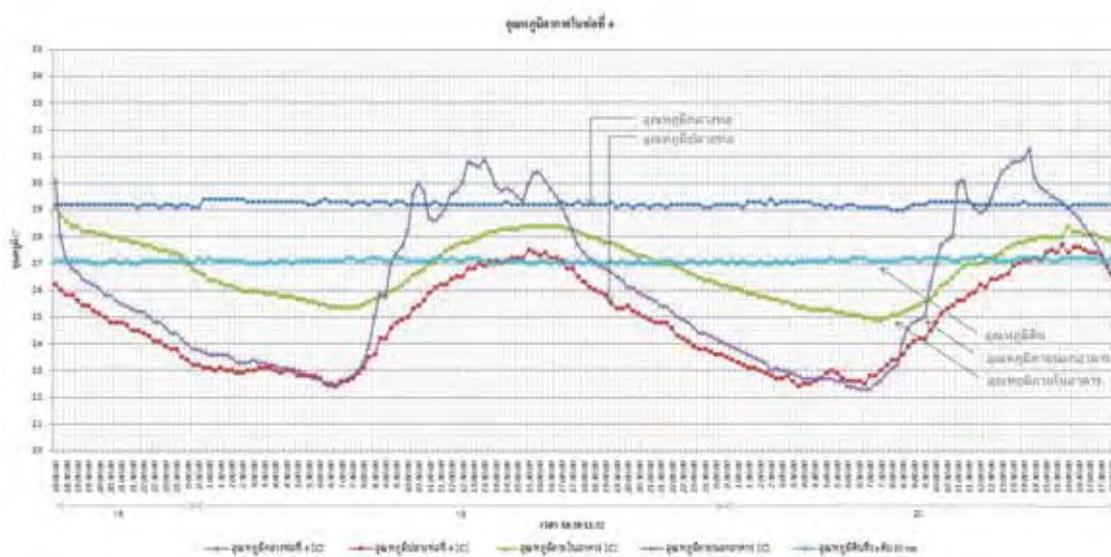
ภาพที่ 70 แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 1 ของการศึกษาครั้งที่สาม



ภาพที่ 71 แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 2 ของการศึกษาครั้งที่สาม



ภาพที่ 72 แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 3 ของการศึกษาครั้งที่สาม



ภาพที่ 73 แสดงอุณหภูมิในท่อที่ 4 ของการศึกษาครั้งที่สาม

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิอากาศในท่อครั้งที่หนึ่ง

BOX1	Date	Time	อุณหภูมิ กลาง ท่อ 1 [°C]	อุณหภูมิ กลาง ท่อ 2 [°C]	อุณหภูมิ กลาง ท่อ 3 [°C]	อุณหภูมิ กลาง ท่อ 4 [°C]	อุณหภูมิ กลาง ท่อ 5 [°C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อ 1 [°C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อ 2 [°C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อ 3 [°C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อ 4 [°C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อ 5 [°C]	อุณหภูมิ ภายใน อาคาร [°C]	อุณหภูมิ สัม[C]	อุณหภูมิ ภายนอก อาคาร [°C]
1	2/2/2009	0:01:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27.2	26.8	-----	26.8	26.9	26.9	28.9	27.1	27.4
2	2/2/2009	0:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.9	27	26.9	29	27.1	27.3
3	2/2/2009	0:31:00	27.9	27.5	27.2	27.3	27.1	27.6	-----	26.9	26.9	27	29.1	27.1	27.1
4	2/2/2009	0:46:00	27.8	27.4	27.1	27.2	27.1	27.6	-----	27.1	27	26.9	29.1	27.1	27
5	2/2/2009	1:01:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27	27.1	26.9	29.2	27.1	26.9
6	2/2/2009	1:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27	27.6	-----	27	27.1	26.9	29.2	27.2	26.6
7	2/2/2009	1:31:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.4	-----	26.9	27.1	26.9	29.1	27.2	26.4
8	2/2/2009	1:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.4	-----	27	27.1	26.9	29	27.1	26.5
9	2/2/2009	2:01:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.5	-----	26.9	27.1	26.9	28.9	27.1	26.5
10	2/2/2009	2:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27	27.5	-----	26.9	27.1	26.9	28.8	27.2	26.6
11	2/2/2009	2:31:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.8	27.1	26.9	28.8	27.2	26.5
12	2/2/2009	2:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	26.8	27.1	26.9	28.8	27.2	26.3
13	2/2/2009	3:01:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.7	27.1	26.9	28.7	27.1	26.3
14	2/2/2009	3:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.3	-----	26.8	27.1	26.9	28.6	27.1	26.3
15	2/2/2009	3:31:00	28	27.6	27.2	27.3	27	27.4	-----	26.7	27.1	26.9	28.6	27.2	26.2
16	2/2/2009	3:46:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.4	-----	26.8	27.1	27	28.4	27.2	26.1
17	2/2/2009	4:01:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.9	27.1	26.9	28.3	27.1	26
18	2/2/2009	4:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.8	27.1	26.9	28.3	27.1	26.1
19	2/2/2009	4:31:00	28	27.5	27.3	27.4	27	27.1	-----	26.7	27.1	26.9	28.2	27.1	26.1
20	2/2/2009	4:46:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.1	-----	26.8	27.1	27	28.2	27.1	26.1
21	2/2/2009	5:01:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.2	-----	26.9	27.1	26.9	28.1	27.1	26.1
22	2/2/2009	5:16:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27.1	27.1	-----	26.8	27.1	26.9	28.1	27.2	26
23	2/2/2009	5:31:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27	27.1	-----	26.7	27.1	26.9	28	27.2	25.9
24	2/2/2009	5:46:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.2	-----	26.9	27.2	26.9	28	27.1	25.8
25	2/2/2009	6:01:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27	27.1	-----	26.8	27.1	26.9	28	27.2	25.8
26	2/2/2009	6:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.2	-----	26.8	27.1	27	27.9	27.1	25.8
27	2/2/2009	6:31:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.2	-----	26.8	27.2	27	27.9	27.1	25.8
28	2/2/2009	6:46:00	28	27.6	27.3	27.4	27	27.3	-----	26.9	27.1	27	27.9	27.2	25.8
29	2/2/2009	7:01:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.1	-----	26.8	27	26.9	27.7	27.2	25.8
30	2/2/2009	7:16:00	28	27.6	27.2	27.3	27.1	27.2	-----	26.7	27.1	27	27.9	27.2	26
31	2/2/2009	7:31:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27	27.2	-----	26.8	27.1	26.9	27.9	27.1	26.3
32	2/2/2009	7:46:00	28	27.5	27.2	27.3	27.1	27.3	-----	26.8	27.1	27	27.9	27	26.7
33	2/2/2009	8:01:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.9	27.1	26.9	27.8	27	27
34	2/2/2009	8:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.8	27	26.9	27.9	27.1	27.4
35	2/2/2009	8:31:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.5	-----	26.9	27	26.9	28.2	27.1	26.8
36	2/2/2009	8:46:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.9	26.9	26.9	28.3	27.1	27
37	2/2/2009	9:01:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27.1	27.7	-----	27	27	26.9	28.5	27.1	27
38	2/2/2009	9:16:00	27.7	27.3	27.1	27.2	27.1	27.7	-----	27	27	26.9	28.3	27.1	27.2
39	2/2/2009	9:31:00	27.7	27.3	27.2	27.2	27	27.7	-----	27	26.9	26.9	28.4	27	27.5
40	2/2/2009	9:46:00	27.7	27.4	27.1	27.2	27.1	27.6	-----	27	26.9	26.8	28.5	27	28
41	2/2/2009	10:01:00	27.7	27.4	27.2	27.3	27	27.7	-----	26.9	26.9	26.9	28.7	27.1	28.7
42	2/2/2009	10:16:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.7	-----	26.9	26.9	26.9	28.9	27.1	28.7
43	2/2/2009	10:31:00	27.8	27.5	27.1	27.2	27	27.7	-----	26.9	26.8	26.9	28.7	27	29
44	2/2/2009	10:46:00	27.8	27.5	27.3	27.2	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.9	29	27.1	29.5
45	2/2/2009	11:01:00	27.7	27.5	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	26.8	26.7	26.9	28.7	27	30
46	2/2/2009	11:16:00	27.8	27.5	27.2	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.7	26.9	28.9	27.1	30
47	2/2/2009	11:31:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27	27.7	-----	26.8	26.8	26.9	29	27	30.3
48	2/2/2009	11:46:00	27.8	27.4	27.1	27.2	27	27.7	-----	26.9	26.8	26.8	28.8	27.1	31
49	2/2/2009	12:01:00	27.9	27.7	27.3	27.2	27	27.6	-----	26.8	26.8	26.9	29.1	27	31.2
50	2/2/2009	12:16:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.7	26.7	26.9	29.3	27	31.3
51	2/2/2009	12:31:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27	27.6	-----	26.8	26.8	26.9	29.3	27.1	31.2
52	2/2/2009	12:46:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.9	29.2	27	31
53	2/2/2009	13:01:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.7	26.7	26.9	29.5	27	29.9
54	2/2/2009	13:16:00	28	27.5	27.3	27.2	27	27.8	-----	26.9	26.8	26.9	29.5	27.1	31
55	2/2/2009	13:31:00	27.9	27.4	27.2	27.2	27.1	27.8	-----	27	26.9	26.9	30	27	31.3
56	2/2/2009	13:46:00	27.8	27.5	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.3	26.2	26.8	29.5	27.1	31.3
57	2/2/2009	14:01:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27	27.6	-----	26.8	26.8	26.9	29.6	27	31.6
58	2/2/2009	14:16:00	27.9	27.4	27.2	27.1	27.1	27.5	-----	26.8	26.8	26.9	30.4	27	31.5
59	2/2/2009	14:31:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.6	26.7	26.9	29.9	27.1	31.6
60	2/2/2009	14:46:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	26.8	26.7	26.9	30.1	27	31.6
61	2/2/2009	15:01:00	28	27.6	27.3	27.2	27	27.6	-----	26.9	26.9	26.8	29.9	27	31.7
62	2/2/2009	15:16:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.4	-----	26.7	26.6	26.9	30.6	27	31.8
63	2/2/2009	15:31:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.6	26.7	26.9	30.8	27.1	31.8
64	2/2/2009	15:46:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.6	26.7	26.9	30.2	27.1	31.5
65	2/2/2009	16:01:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.3	-----	26.5	26.5	26.8	30.2	27.1	31.3
66	2/2/2009	16:16:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.8	26.9	26.9	30.3	27	30.9
67	2/2/2009	16:31:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.8	26.7	26.9	30.2	27	30.7
68	2/2/2009	16:46:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27	27.4	-----	26.6	26.5	26.8	30.2	27.1	30.6
69	2/2/2009	17:01:00	27.9	27.5	27.2	27.1	27.1	27.5	-----	26.9	26.6	26.9	30.4	27.1	30.8
70	2/2/2009	17:16:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.7	26.5	26.9	30.4	27	30
71	2/2/2009	17:31:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.5	-----	26.8	26.5	26.9	30.3	27.1	29.6
72	2/2/2009	17:46:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.5	-----	26.8	26.4	26.9	30.2	27	29.5
73	2/2/2009	18:01:00	27.9	27.5	27.2	27.1	27.1	27.4	-----	26.8	26.4	26.9	30.1	27.1	29.1
74	2/2/2009	18:16:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.4	-----	26.8	26.5	26.9	29.9	27.4	29.1
75	2/2/2009	18:31:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.4	-----	26.8	26.6	26.9	30	27.2	29.4
76	2/2/2009	18:46:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	26.8	26.6	26.9	29.9	27.1	29
77	2/2/2009	19:01:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.8	26.6	26.9	29.8	27.2	29.1
78	2/2/2009	19:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.3	-----	26.8	26.6	26.9	29.8	27.1	29
79	2/2/2009	19:31:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.9	26.8	26.9	29.8	27.1	29.3
80	2/2/2009	19:46:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.8	26.7	26.9	29.8	27.1	29
81	2/2/2009	20:01:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.3	-----	26.9	26.8	26.9	29.7	27.1	28.9

95	2/2/2009	23:31:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.5	-----	27	27	26.9	29.4	27.1	27.5
96	2/2/2009	23:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	27	27	26.9	29.3	27.1	27.2
97	3/2/2009	0:01:00	28	27.6	27.4	27.4	27.1	27.3	-----	27	26.9	27	29.2	27.1	27
98	3/2/2009	0:16:00	27.9	27.6	27.4	27.3	27	27.3	-----	26.9	27	26.9	29.1	27.1	26.9
99	3/2/2009	0:31:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.1	-----	26.9	27	27	29	27.1	26.9
100	3/2/2009	0:46:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.2	-----	26.8	26.7	26.9	29	27.1	27
101	3/2/2009	1:01:00	27.9	27.5	27.3	27.4	27.1	27.1	-----	26.9	26.5	27	28.9	27.1	27.1
102	3/2/2009	1:16:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.9	26.9	26.9	28.8	27.2	27
103	3/2/2009	1:31:00	28	27.6	27.4	27.3	27	27.2	-----	27	27	26.9	28.7	27.2	26.9
104	3/2/2009	1:46:00	27.9	27.5	27.3	27.4	27.1	27.3	-----	27	27	27	28.8	27.1	26.9
105	3/2/2009	2:01:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.3	-----	27	27	26.9	28.7	27.1	26.8
106	3/2/2009	2:16:00	28	27.6	27.4	27.4	27.1	27.3	-----	27	27.1	27	28.7	27.2	26.7
107	3/2/2009	2:31:00	28	27.5	27.2	27.3	27.1	27.5	-----	26.9	26.9	26.9	28.7	27.2	26.6
108	3/2/2009	2:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	27	27	26.9	28.6	27.2	26.5
109	3/2/2009	3:01:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	27	27	26.9	28.5	27.1	26.5
110	3/2/2009	3:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	26.9	27.1	27	28.4	27.1	26.4
111	3/2/2009	3:31:00	28	27.6	27.4	27.4	27	27.3	-----	26.9	27	26.9	28.4	27.2	26.4
112	3/2/2009	3:46:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27	27.3	-----	27	27.1	26.9	28.4	27.2	26.3
113	3/2/2009	4:01:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.3	-----	27	27	27	28.4	27.1	26.3
114	3/2/2009	4:16:00	28.1	27.7	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27	27.1	26.9	28.5	27.1	26.2
115	3/2/2009	4:31:00	28	27.7	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	27	27	26.9	28.4	27.1	26.1
116	3/2/2009	4:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27	27	26.9	28.5	27.1	26.1
117	3/2/2009	5:01:00	28	27.7	27.4	27.4	27	27.4	-----	27	27	26.9	28.3	27.1	26.2
118	3/2/2009	5:16:00	28	27.6	27.4	27.4	27.1	27.4	-----	27	27.1	26.9	28.2	27.2	26.1
119	3/2/2009	5:31:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.3	-----	27.1	27.1	26.9	28.1	27.2	26.1
120	3/2/2009	5:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.2	-----	26.9	27.1	27	28.2	27.1	26
121	3/2/2009	6:01:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.2	-----	27	27.1	27	28.1	27.2	26
122	3/2/2009	6:16:00	28	27.6	27.3	27.3	27	27.4	-----	27	27	26.9	28.2	27.1	26
123	3/2/2009	6:31:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.2	-----	27	27	27	28.1	27.1	26.1
124	3/2/2009	6:46:00	28	27.6	27.4	27.4	27.1	27.2	-----	27	27.1	27	28	27.2	26.1
125	3/2/2009	7:01:00	28.1	27.6	27.3	27.3	27	27.5	-----	27	27.1	26.9	28	27.2	26.2
126	3/2/2009	7:16:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	27.1	27.1	26.9	28	27.2	26.4
127	3/2/2009	7:31:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	27	27.1	27	28.1	27.1	26.6
128	3/2/2009	7:46:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.4	-----	27	27	27	28.1	27	26.7
129	3/2/2009	8:01:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.7	-----	27	27	26.9	28.2	27	27
130	3/2/2009	8:16:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	27	27	26.9	28.2	27.1	27.4
131	3/2/2009	8:31:00	28.1	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	26.9	26.9	27	28.3	27.1	26.6
132	3/2/2009	8:46:00	28	27.5	27.3	27.3	27	27.5	-----	26.9	26.8	26.9	28.4	27.1	26.6
133	3/2/2009	9:01:00	27.9	27.5	27.2	27.3	27.1	27.6	-----	26.9	26.9	26.9	28.6	27.1	26.5
134	3/2/2009	9:16:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.6	-----	26.8	26.8	27	28.6	27.1	27
135	3/2/2009	9:31:00	27.8	27.3	27.2	27.3	27.1	27.6	-----	26.9	26.9	26.9	28.6	27	27
136	3/2/2009	9:46:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27	27.4	-----	26.8	26.7	26.9	28.6	27	27.4
137	3/2/2009	10:01:00	27.9	27.4	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	27	26.9	26.9	28.6	27.1	27.8
138	3/2/2009	10:16:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.8	26.9	28.5	27.1	28.2
139	3/2/2009	10:31:00	28	27.4	27.3	27.3	27	27.5	-----	26.8	26.9	26.9	28.7	27	29
140	3/2/2009	10:46:00	28	27.4	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.8	26.9	28.7	27.1	29.4
141	3/2/2009	11:01:00	27.9	27.4	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.9	26.8	26.9	28.8	27	29.8
142	3/2/2009	11:16:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.8	28.9	27.1	30
143	3/2/2009	11:31:00	28	27.3	27.2	27.3	27.1	27.7	-----	27	26.8	26.9	28.8	27	31.1
144	3/2/2009	11:46:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.9	29	27.1	31
145	3/2/2009	12:01:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.7	-----	26.8	26.7	26.9	29.2	27	31.2
146	3/2/2009	12:16:00	28.1	27.5	27.2	27.3	27.1	27.7	-----	27	26.8	26.9	29.6	27.1	31.6
147	3/2/2009	12:31:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.6	-----	26.9	26.8	26.9	29.3	27	31.8
148	3/2/2009	12:46:00	28.1	27.6	27.4	27.3	27.1	27.7	-----	26.6	26.8	26.8	29.7	27	31.9
149	3/2/2009	13:01:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.5	26.3	26.9	29.6	27	31.9
150	3/2/2009	13:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.8	26.5	26.9	29.5	27.1	31.8
151	3/2/2009	13:31:00	28.1	27.6	27.4	27.3	27.1	27.7	-----	27	26.8	26.9	29.6	27	31.9
152	3/2/2009	13:46:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.6	-----	26.7	26.8	26.9	30	27.1	32
153	3/2/2009	14:01:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.4	-----	26.5	26.6	26.9	29.7	27	31.9
154	3/2/2009	14:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.7	26.9	29.9	27	31.7
155	3/2/2009	14:31:00	28	27.3	27.2	27.1	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.9	30	27.1	31.6
156	3/2/2009	14:46:00	27.9	27.6	27.3	27.1	27.1	27.7	-----	26.7	26.7	26.9	30.5	27	31.6
157	3/2/2009	15:01:00	28	27.6	27.4	27.2	27.1	27.3	-----	26.6	26.5	26.8	30.3	27	31.7
158	3/2/2009	15:16:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.7	26.8	26.9	30.1	27	32.2
159	3/2/2009	15:31:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.9	26.9	27	30.6	27.1	32.7
160	3/2/2009	15:46:00	28	27.6	27.2	27.1	27	27.5	-----	26.7	26.8	26.9	30.5	27.1	31.9
161	3/2/2009	16:01:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.6	-----	26.8	26.8	26.9	31	27.1	31.7
162	3/2/2009	16:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.8	26.7	26.9	30.8	27	31.5
163	3/2/2009	16:31:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	26.8	26.8	26.8	31	27	31.1
164	3/2/2009	16:46:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.7	26.7	26.9	30.7	27.1	30.7
165	3/2/2009	17:01:00	28	27.6	27.3	27.2	27	27.5	-----	26.8	26.7	26.9	30.4	27.1	30.4
166	3/2/2009	17:16:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.7	26.8	26.8	30.5	27	29.8
167	3/2/2009	17:31:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.4	-----	26.9	26.8	26.8	30.3	27.1	29.9
168	3/2/2009	17:46:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.9	26.8	26.9	30.4	27	29.5
169	3/2/2009	18:01:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.8	26.9	26.8	30	27.1	29.2
170	3/2/2009	18:16:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27.1	27.4	-----	26.9	26.9	26.9	30.1	27.1	29.3
171	3/2/2009	18:31:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.9	26.9	26.8	30.1	27	29.4
172	3/2/2009	18:46:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.4	-----	26.9	26.9	26.9	30.1	27.1	28.6
173	3/2/2009	19:01:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.3	-----	26.9	27	26.9	30	27	28.9
174	3/2/2009	19:16:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	26.9	26.9	26.9	29.9	27.1	27.7
175	3/2/2009	19:31:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.3	-----	26.9	26.9	26.9	29.8	27	27.9
176	3/2/2009	19:46:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27	27.2	-----	26.9	26.9	26.9	29.8	27	28
177	3/2/2009	20:01:00	27.9	27.6	27.3	27.2	27	27.3	-----	26.9	27	26.8	29.8	27.1	28.2
178	3/2/2009	20:16													

205	4/2/2009	3:01:00	27.8	27.4	27.2	27.1	27.1	27.6	-----	27	27.1	26.9	28.8	27.2	26.3
206	4/2/2009	3:16:00	27.8	27.5	27.2	27.2	27.1	27.5	-----	27	27	26.9	28.8	27.1	26.3
207	4/2/2009	3:31:00	27.7	27.3	27.1	27.1	27.1	27.6	-----	27	27	26.9	28.8	27.2	26.2
208	4/2/2009	3:46:00	27.8	27.4	27.1	27.1	27	27.5	-----	27	27	26.8	28.7	27.2	26.1
209	4/2/2009	4:01:00	27.8	27.4	27.2	27.1	27.1	27.6	-----	26.9	26.9	26.9	28.6	27.2	26
210	4/2/2009	4:16:00	27.9	27.4	27.1	27.2	27.1	27.6	-----	27	27.1	26.9	28.7	27.2	26.1
211	4/2/2009	4:31:00	27.9	27.4	27.2	27.2	27	27.6	-----	27	27	26.9	28.7	27.2	26.1
212	4/2/2009	4:46:00	27.8	27.4	27.2	27.2	27.1	27.5	-----	27	27	26.9	28.7	27.1	26.1
213	4/2/2009	5:01:00	27.8	27.4	27.1	27.1	27	27.6	-----	27	27	26.9	28.6	27.1	26.1
214	4/2/2009	5:16:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27	27	26.9	28.6	27.2	26
215	4/2/2009	5:31:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27	27	26.9	28.5	27.2	25.9
216	4/2/2009	5:46:00	27.9	27.5	27.2	27.3	27.1	27.6	-----	27	27.1	27	28.5	27.2	25.8
217	4/2/2009	6:01:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	27	27.1	26.9	28.5	27.3	25.8
218	4/2/2009	6:16:00	28	27.6	27.4	27.4	27	27.4	-----	27	27.1	26.9	28.3	27.2	25.8
219	4/2/2009	6:31:00	28	27.6	27.3	27.4	27.1	27.3	-----	27.1	27.1	26.9	28.2	27.2	25.8
220	4/2/2009	6:46:00	28	27.6	27.4	27.4	27.1	27.2	-----	27.1	27	26.9	28.2	27.1	25.8
221	4/2/2009	7:01:00	27.9	27.6	27.4	27.4	27.1	27.3	-----	27.1	27	26.9	28.1	27.1	25.8
222	4/2/2009	7:16:00	28	27.6	27.2	27.3	27	27.6	-----	27.1	27	26.9	28	27.1	26
223	4/2/2009	7:31:00	28	27.6	27.2	27.3	27.1	27.5	-----	27	27	26.9	28.1	27.1	26.3
224	4/2/2009	7:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27.1	27	26.8	28.1	27.2	26.7
225	4/2/2009	8:01:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.5	-----	27	27	26.8	28.1	27.2	27
226	4/2/2009	8:16:00	28	27.6	27.4	27.3	27.1	27.5	-----	27	26.9	26.9	28.3	27.2	27.4
227	4/2/2009	8:31:00	27.9	27.5	27.2	27.3	27.1	27.6	-----	27	26.9	26.9	28.4	27.2	27.7
228	4/2/2009	8:46:00	28	27.6	27.3	27.3	27.2	27.5	-----	27	26.9	26.9	28.3	27.2	28
229	4/2/2009	9:01:00	27.9	27.6	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	26.9	26.9	26.9	28.3	27.2	28.4
230	4/2/2009	9:16:00	27.8	27.4	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	27	26.9	26.9	28.4	27.1	28.6
231	4/2/2009	9:31:00	27.9	27.4	27.2	27.1	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.9	28.6	27.1	28.9
232	4/2/2009	9:46:00	27.8	27.3	27.2	27.1	27.1	27.6	-----	26.9	26.8	26.9	28.4	27.2	29.5
233	4/2/2009	10:01:00	27.8	27.4	27.1	27	27	27.5	-----	26.7	26.7	26.9	28.6	27.2	30.4
234	4/2/2009	10:16:00	27.8	27.4	27.2	27.1	27.1	27.7	-----	26.9	26.8	26.8	28.6	27.2	30.4
235	4/2/2009	10:31:00	27.8	27.2	27.2	27.2	27.1	27.8	-----	27	26.8	26.9	28.6	27.2	30.4
236	4/2/2009	10:46:00	27.9	27.2	27.2	27.1	27	27.7	-----	26.9	26.8	26.8	28.6	27.2	30.6
237	4/2/2009	11:01:00	27.8	27.3	27.2	27.1	27.1	27.7	-----	27	26.8	26.9	28.7	27.2	31.1
238	4/2/2009	11:16:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.7	-----	26.8	26.8	26.8	28.9	27.2	31.4
239	4/2/2009	11:31:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27	27.7	-----	26.8	26.7	26.8	29	27.1	31.6
240	4/2/2009	11:46:00	27.9	27.4	27.3	27.2	27	27.8	-----	27	26.7	26.8	29.2	27.1	32
241	4/2/2009	12:01:00	28	27.5	27.3	27.1	27.1	27.7	-----	26.7	26.7	26.8	29.2	27.2	32.2
242	4/2/2009	12:16:00	27.9	27.4	27.3	27.1	27.1	27.7	-----	26.8	26.7	26.8	29.3	27	32.4
243	4/2/2009	12:31:00	28	27.5	27.4	27.2	27.1	27.7	-----	26.8	26.7	26.8	29.6	27.1	32.6
244	4/2/2009	12:46:00	27.9	27.5	27.4	27.2	27.1	27.7	-----	26.9	26.7	26.8	29.9	27	33
245	4/2/2009	13:01:00	28	27.5	27.3	27.2	27	27.7	-----	27	26.8	26.8	30	27	33.2
246	4/2/2009	13:16:00	28	27.5	27.3	27	27	27.6	-----	26.8	26.7	26.8	30.1	27	33.3
247	4/2/2009	13:31:00	28	27.5	27.4	27.2	27.1	27.7	-----	26.8	26.7	26.8	30.2	27.1	33.3
248	4/2/2009	13:46:00	28	27.4	27.3	27.3	27.1	27.7	-----	27	26.7	26.8	30.4	27	33.5
249	4/2/2009	14:01:00	28	27.4	27.3	27.2	27.1	27.7	-----	26.9	26.7	26.8	30.7	27.1	33.5
250	4/2/2009	14:16:00	28	27.6	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	26.8	26.8	26.8	30.4	27	33.7
251	4/2/2009	14:31:00	27.9	27.5	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	26.8	26.7	26.8	30.6	27	33.7
252	4/2/2009	14:46:00	28	27.4	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	26.9	26.7	26.8	30.6	27.1	33.6
253	4/2/2009	15:01:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.7	26.8	30.9	27	33.5
254	4/2/2009	15:16:00	28	27.5	27.3	27.1	27.1	27.6	-----	26.9	26.7	26.9	30.8	27	33.6
255	4/2/2009	15:31:00	27.9	27.5	27.3	27.2	27.1	27.4	-----	26.7	26.6	26.8	30.5	27	33.5
256	4/2/2009	15:46:00	27.9	27.5	27.2	27.2	27.1	27.6	-----	26.9	26.7	26.8	30.8	27.1	33.4
257	4/2/2009	16:01:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.7	26.7	30.8	27.1	33.3
258	4/2/2009	16:16:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.5	-----	26.9	26.7	26.8	30.6	27.1	33.3
259	4/2/2009	16:31:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	26.8	26.7	26.8	30.9	27	33
260	4/2/2009	16:46:00	28	27.5	27.2	27.2	27.1	27.7	-----	27	26.8	26.8	30.8	27	32.8
261	4/2/2009	17:01:00	28	27.6	27.3	27.2	27.1	27.6	-----	27	26.8	26.8	30.7	27.1	32.7
262	4/2/2009	17:16:00	28	27.5	27.3	27.2	27.1	27.7	-----	27	26.8	26.8	30.8	27.1	32.4
263	4/2/2009	17:31:00	28	27.5	27.3	27.3	27.1	27.6	-----	26.9	26.8	26.8	30.7	27	32.1
264	4/2/2009	17:46:00	28	27.6	27.4	27.2	27.1	27.6	-----	27	26.9	26.8	30.5	27	31.9

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิอากาศในท่อน้ำที่ส่ง

BOX1	Date	Time	อุณหภูมิ กลาง ท่ 1 °C	อุณหภูมิ กลาง ท่ 2 °C	อุณหภูมิ กลาง ท่ 3 °C	อุณหภูมิ กลาง ท่ 4 °C	อุณหภูมิ กลาง ท่ 5 °C	อุณหภูมิ ปลาย ท่ 1 °C	อุณหภูมิ ปลาย ท่ 2 °C	อุณหภูมิ ปลาย ท่ 3 °C	อุณหภูมิ ปลาย ท่ 4 °C	อุณหภูมิ ปลาย ท่ 5 °C	อุณหภูมิ ภายใน อาคาร °C	อุณหภูมิ ภายนอก อาคาร °C	อุณหภูมิ ดิน ระดับ 80 cm °C
1	26/2/2009	12:00:00	28.7	28.3	27.9	27.8	27.6	31.6	31.4	31	30.9	31	32.6	32.4	27.1
2	26/2/2009	12:15:00	28.9	28.2	27.7	27.8	27.7	32.1	31.6	30.8	30.6	30.8	32.7	33.8	27.1
3	26/2/2009	12:30:00	28.5	28	28	27.6	27.7	32.1	31.7	31.5	31.2	31.5	32.6	34.2	27.1
4	26/2/2009	12:45:00	28.8	27.8	28.1	27.8	27.7	32.2	32.1	31.8	31.6	31.8	32.6	34.4	27.1
5	26/2/2009	13:00:00	28.8	28.1	27.7	27.8	27.6	32.4	32	32	31.5	31.3	32.6	34.4	27.1
6	26/2/2009	13:15:00	28.7	28.3	27.9	27.8	27.7	32.4	32.1	31.8	31.4	31.6	32.6	34.4	27.1
7	26/2/2009	13:30:00	28.7	28	27.9	27.8	27.6	32	31.5	31.4	31.2	31.3	32.6	34.4	27.1
8	26/2/2009	13:45:00	28.6	28	28	27.7	27.7	31.8	31.3	31.2	31.4	31.1	32.7	34.5	27
9	26/2/2009	14:00:00	28.7	28.1	27.9	27.8	27.7	32	31.6	31.5	31.1	31.4	32.7	34.4	27
10	26/2/2009	14:15:00	28.6	28	27.9	27.8	27.7	32.1	31.6	31.2	31.2	31.1	32.7	34.5	27
11	26/2/2009	14:30:00	28.7	28.2	28.1	27.8	27.7	32.3	31.8	31.7	31.3	31.6	32.8	34.3	27.1
12	26/2/2009	14:45:00	28.6	28.1	28	27.9	27.7	32.3	31.8	31.5	31.3	31.4	32.9	33.6	27.1
13	26/2/2009	15:00:00	28.6	28	27.9	27.8	27.7	32.2	31.7	31.7	31.4	31.6	32.9	33.2	27
14	26/2/2009	15:15:00	28.6	28	27.9	27.8	27.7	32.4	31.8	31.6	31.2	31.5	32.9	33	27
15	26/2/2009	15:30:00	28.6	28.2	28	27.8	27.6	32.5	32.1	31.2	31.1	31.1	32.9	32.8	27.1
16	26/2/2009	15:45:00	28.6	28	27.9	27.8	27.6	32.5	31.8	31.7	31.4	31.6	32.9	32.6	27
17	26/2/2009	16:00:00	28.7	28.3	28.1	27.8	27.6	32.8	32	31	31.2	31	32.9	32.4	27.1
18	26/2/2009	16:15:00	28.7	28	27.9	27.8	27.7	32.3	31.9	31.7	31.4	31.5	32.9	32.2	27.1
19	26/2/2009	16:30:00	28.7	28.2	28	27.9	27.7	32.4	31.9	31.6	31.2	31.5	32.9	32	27.1
20	26/2/2009	16:45:00	28.8	28.1	28	27.9	27.7	32.5	32	31.7	31.3	31.6	32.9	31.7	27.1
21	26/2/2009	17:00:00	28.6	28.1	27.9	27.8	27.6	32.4	31.8	31.7	31.4	31.6	32.9	31.5	27.1
22	26/2/2009	17:15:00	28.7	28.1	28	27.9	27.7	32.3	31.9	31.6	31.4	31.5	32.9	31.2	27.1
23	26/2/2009	17:30:00	28.7	28.1	27.9	27.8	27.7	32.4	31.9	31.5	31.2	31.4	32.8	30.8	27.2
24	26/2/2009	17:45:00	28.7	28.1	28	27.8	27.7	32.1	31.7	31.4	31.1	31.3	32.8	30.7	27.1
25	26/2/2009	18:00:00	28.7	28.1	27.9	27.9	27.7	32.1	31.7	31.1	31.3	31	32.8	30.5	27.2
26	26/2/2009	18:15:00	28.6	28	27.9	27.9	27.7	31.7	31.3	30.6	30.6	30.5	32.7	30.3	27.1
27	26/2/2009	18:30:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.7	30.9	30.8	30.7	30.6	30.6	32.7	30.1	27.1
28	26/2/2009	18:45:00	28.7	28	28	27.9	27.6	31.1	30.4	30.5	30.3	30.3	32.6	29.9	27.1
29	26/2/2009	19:00:00	28.7	28.1	28	27.9	27.7	31.2	30.8	30.4	30	30.3	32.5	29.7	27.1
30	26/2/2009	19:15:00	28.7	28.1	28	27.9	27.7	31.2	30.5	30.2	30	30.1	32.4	29.7	27.1
31	26/2/2009	19:30:00	28.7	28.1	27.9	27.9	27.7	29.8	29.6	30.1	30	30.1	32.4	29.7	27.1
32	26/2/2009	19:45:00	28.7	28	27.9	27.9	27.7	30.9	29.7	29.9	29.9	29.8	32.4	29.7	27
33	26/2/2009	20:00:00	28.7	28.1	28	27.9	27.7	31.1	30.2	29.8	29.4	29.8	32.3	29.6	27
34	26/2/2009	20:15:00	28.8	28.1	27.9	27.9	27.7	31.2	30.2	29.8	29.4	29.8	32.3	29.4	27
35	26/2/2009	20:30:00	28.9	28.1	28	27.9	27.7	31.1	31	29.7	29.7	29.7	32.2	29.3	27
36	26/2/2009	20:45:00	28.8	28.2	28	27.9	27.6	30.5	30.6	30	29.8	30	32.2	29.2	27.1
37	26/2/2009	21:00:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.6	30.7	29.9	29.5	29.8	29.4	32.2	29.1	27
38	26/2/2009	21:15:00	28.6	28.1	28	27.9	27.6	28.9	29.2	29.3	29.5	29.2	32.1	28.8	27.1
39	26/2/2009	21:30:00	28.7	28.2	28	27.9	27.6	29.1	29.3	29	29.1	29	32	28.6	27.1
40	26/2/2009	21:45:00	28.7	28.2	28	27.9	27.7	29.4	29.3	28.6	28.7	28.6	31.9	28.5	27
41	26/2/2009	22:00:00	28.6	28.1	28	27.9	27.6	28.7	28.4	28.4	28.6	28.4	31.8	28.2	27.1
42	26/2/2009	22:15:00	28.7	28.1	28	27.9	27.7	29.7	29.4	29.4	29.3	29.3	31.6	27.9	27.1
43	26/2/2009	22:30:00	28.6	28	27.9	27.9	27.7	28.9	29.1	28.7	28.7	28.5	31.5	27.7	27.1
44	26/2/2009	22:45:00	28.7	28.2	28	27.9	27.6	28.5	28	28.2	29.1	28	31.4	27.4	27.1
45	26/2/2009	23:00:00	28.6	28.2	28	27.9	27.7	28.5	27.8	27.9	29.1	27.8	31.3	27.4	27.1
46	26/2/2009	23:15:00	28.6	28.1	28	27.9	27.7	28.4	27.7	27.8	28.2	27.7	31.3	27.3	27.1
47	26/2/2009	23:30:00	28.7	28.1	27.9	27.9	27.8	28.2	27.5	27.7	27.7	27.7	31.1	27.1	27.1
48	26/2/2009	23:45:00	28.7	28.2	27.9	27.9	27.7	28.1	27.5	27.6	27.6	27.4	31	27	27.1
49	27/2/2009	0:00:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.7	28	27.5	27.6	27.6	27.4	31	26.9	27.1
50	27/2/2009	0:15:00	28.6	28	27.9	27.9	27.7	28	27.7	27.7	27.8	27.6	30.8	26.6	27.2
51	27/2/2009	0:30:00	28.7	28.2	28	27.9	27.7	28.1	27.4	27.5	27.5	27.4	30.7	26.4	27.2
52	27/2/2009	0:45:00	28.6	28.2	27.9	27.9	27.7	28.2	27.7	27.5	27.5	27.3	30.7	26.5	27.1
53	27/2/2009	1:00:00	28.6	28.1	28	27.9	27.7	27.8	27.4	27.3	27.4	27.3	30.7	26.5	27.1
54	27/2/2009	1:15:00	28.6	28	28	27.9	27.7	27.8	27.4	27.4	27.5	27.2	30.7	26.6	27.2
55	27/2/2009	1:30:00	28.7	28.1	28	28	27.8	27.7	27.3	27.4	27.4	27.4	30.7	26.5	27.2
56	27/2/2009	1:45:00	28.7	28.2	27.9	27.9	27.7	27.9	27.3	27.4	27.5	27.2	30.6	26.3	27.2
57	27/2/2009	2:00:00	28.6	28.2	28	27.9	27.8	27.9	27.4	27.3	27.4	27.1	30.5	26.3	27.1
58	27/2/2009	2:15:00	28.6	28.2	28	27.9	27.8	27.8	27.4	27.4	27.3	27.2	30.6	26.3	27.1
59	27/2/2009	2:30:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.7	28.1	27.6	27.4	27.3	27.3	30.5	26.2	27.2
60	27/2/2009	2:45:00	28.8	28.3	28	28	27.8	28	27.4	27.3	27.3	27.2	30.5	26.1	27.2
61	27/2/2009	3:00:00	28.6	28.1	27.9	27.8	27.8	28.3	27.6	27.4	27.3	27.3	30.5	26	27.1
62	27/2/2009	3:15:00	28.6	28.1	28	27.9	27.8	28	27.5	27.4	27.3	27.3	30.4	26.1	27.1
63	27/2/2009	3:30:00	28.6	28.1	28	27.9	27.8	27.3	27.5	27.3	27.2	27.3	30.4	26.1	27.1
64	27/2/2009	3:45:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.8	28	27.4	27.3	27.2	27.3	30.4	26.1	27.1
65	27/2/2009	4:00:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.7	28	27.5	27.3	27.2	27.3	30.4	26.1	27.1
66	27/2/2009	4:15:00	28.6	28.1	27.9	27.8	27.7	28	27.6	27.4	27.3	27.3	30.3	26	27.2
67	27/2/2009	4:30:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.7	28	27.5	27.3	27.3	27.2	30.3	25.9	27.2
68	27/2/2009	4:45:00	28.5	28.1	28	27.9	27.7	28	27.9	27.5	27.3	27.4	30.2	25.8	27.1
69	27/2/2009	5:00:00	28.5	28.1	27.9	27.9	27.8	28.1	27.6	27.3	27.3	27.2	30.2	25.8	27.2
70	27/2/2009	5:15:00	28.5	28.1	28	27.9	27.8	27.8	27.5	27.5	27.3	27.3	30.1	25.8	27.1
71	27/2/2009	5:30:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.8	28.1	27.6	27.3	27.2	27.2	30.1	25.8	27.1
72	27/2/2009	5:45:00	28.5	28	27.9	27.9	27.8	27.9	27.4	27.2	27.2	27.2	30.1	25.8	27.2
73	27/2/2009	6:00:00	28.6	28.1	28	27.9	27.8	28	27.5	27.3	27.2	27.2	30.1	25.8	27.2
74	27/2/2009	6:15:00	28.4	28	27.9	27.9	27.8	27.9	27.5	27.3	27.3	27.2	30	26	27.2
75	27/2/2009	6:30:00	28.4	28.1	27.9	27.9	27.8	27.9	27.4	27.3	27.3	27.2	30.1	26.3	27.1
76	27/2/2009	6:45:00	28.6	28.1	27.9	27.9	27.8	27.9	27.4	27.3	27.3	27.1	30.1	26.7	27
77	27/2/2009	7:00:00	28.6	28.1	28	28	27.8	28	27.5	27.2	27.2	27.1	30.1	27	27
78	27/2/2009	7:15:00	28.6	28.1	28	27.9	27.8	28	27.4	27.3	27.2	27.2	30.2	27.4	27.1
79	27/2/2009	7:30:00	28.5	28.1	27.9	27.8									

100	27/2/2009	12:45:00	29.8	28.4	28	27.9	27.6	28.3	27.8	27.7	27.4	27.6	32.2	33.5	27.1
101	27/2/2009	13:00:00	29.9	28.4	28	27.9	27.6	28.2	27.8	27.8	27.4	27.6	32.3	33.5	27
102	27/2/2009	13:15:00	29.7	28.6	28.1	27.9	27.6	28.3	27.8	27.8	27.4	27.6	32.3	33.7	27
103	27/2/2009	13:30:00	29.7	28.6	28.1	27.9	27.6	28.1	27.8	27.8	27.4	27.5	32.3	33.7	27.1
104	27/2/2009	13:45:00	29.9	28.4	28	27.9	27.7	28.3	27.8	27.8	27.5	27.6	32.4	33.6	27
105	27/2/2009	14:00:00	29.7	28.6	28.1	27.9	27.7	28.2	27.7	27.8	27.5	27.6	32.5	33.5	27
106	27/2/2009	14:15:00	29.9	28.3	28.1	28	27.7	28.3	27.9	27.7	27.4	27.5	32.5	33.6	27
107	27/2/2009	14:30:00	29.9	28.3	28.1	28	27.7	28.5	28.1	27.8	27.5	27.6	32.6	33.5	27.1
108	27/2/2009	14:45:00	30.3	28.3	28.1	28	27.7	28.4	28.1	27.9	27.6	27.7	32.6	33.4	27.1
109	27/2/2009	15:00:00	30.3	28.4	28.1	27.9	27.7	28.5	28	27.7	27.5	27.5	32.6	33.3	27.1
110	27/2/2009	15:15:00	30.3	28.5	28	28	27.7	28.4	28	27.8	27.5	27.6	32.6	33.3	27
111	27/2/2009	15:30:00	30.2	28.5	28.1	27.9	27.7	28.4	27.9	27.9	27.5	27.7	32.6	33	27
112	27/2/2009	15:45:00	30.4	28.5	28.1	28	27.8	28.3	27.9	27.8	27.5	27.7	32.6	32.8	27.1
113	27/2/2009	16:00:00	30.2	28.3	28	28	27.8	28.3	27.9	27.8	27.5	27.7	32.6	32.7	27.1
114	27/2/2009	16:15:00	30.4	28.2	28	28	27.9	28.5	28	27.8	27.4	27.7	33	32.4	27
115	27/2/2009	16:30:00	30.5	28.3	28.1	28	27.8	28.6	28.1	27.8	27.5	27.7	32.7	32.1	27.1
116	27/2/2009	16:45:00	30.4	28.4	28.1	28	27.9	28.4	28	27.8	27.5	27.7	32.6	31.9	27
117	27/2/2009	17:00:00	30.4	28.3	28	28	27.8	28.5	28.1	27.8	27.5	27.7	32.5	31.5	27.1
118	27/2/2009	17:15:00	30.3	28.4	28.1	28	27.8	28.4	28	27.7	27.5	27.5	32.5	31.2	27.1
119	27/2/2009	17:30:00	30.4	28.3	28	28	27.8	28.5	28	27.8	27.5	27.6	32.4	30.9	27
120	27/2/2009	17:45:00	30.4	28.3	28.1	28	27.8	28.4	28	27.7	27.4	27.5	32.4	30.6	27.1
121	27/2/2009	18:00:00	30.4	28.3	28.1	28	27.9	28.5	28.1	27.9	27.5	27.7	32.4	30.6	27
122	27/2/2009	18:15:00	30.3	28.3	28.1	28	27.8	28.5	28.1	27.8	27.5	27.7	32.5	30.4	27.1
123	27/2/2009	18:30:00	30.4	28.4	28.1	28	27.8	28.4	28	27.8	27.5	27.7	32.5	30.2	27
124	27/2/2009	18:45:00	30.3	28.3	28.1	27.9	27.9	28.4	28	27.8	27.5	27.7	32.5	30	27
125	27/2/2009	19:00:00	30.3	28.4	28.1	28	27.8	28.5	28.1	27.9	27.5	27.7	32.5	30	27.1
126	27/2/2009	19:15:00	30.4	28.3	28.1	28	27.8	28.5	28.1	27.8	27.5	27.7	32.4	29.9	27
127	27/2/2009	19:30:00	30.4	28.3	28.1	28	27.8	28.4	28	27.8	27.4	27.7	32.4	29.9	27
128	27/2/2009	19:45:00	30.4	28.3	28.1	28	27.9	28.5	28	27.7	27.5	27.6	32.4	29.8	27.1
129	27/2/2009	20:00:00	30.2	28.3	28.1	28	27.8	28.4	28	27.7	27.4	27.6	32.3	29.7	27
130	27/2/2009	20:15:00	30.3	28.3	28	28	27.8	28.3	28	27.7	27.4	27.6	32.3	29.5	27.1
131	27/2/2009	20:30:00	30.2	28.3	28.1	28	27.8	28.4	28	27.8	27.4	27.7	32.2	29.3	27
132	27/2/2009	20:45:00	30.2	28.3	28.1	27.9	27.8	28.3	27.9	27.8	27.4	27.7	32.1	29	27.1
133	27/2/2009	21:00:00	30.3	28.3	28.1	28.1	27.9	28.3	28	27.8	27.5	27.6	32	28.7	27.1
134	27/2/2009	21:15:00	29.9	28.3	28.1	27.9	27.9	28.3	27.9	27.8	27.4	27.6	32	28.3	27.1
135	27/2/2009	21:30:00	30	28.2	28	28	27.9	28.3	27.9	27.8	27.5	27.6	31.8	28	27.1
136	27/2/2009	21:45:00	30.1	28.2	28.1	28	27.9	28.2	27.8	27.7	27.4	27.6	31.7	27.8	27.1
137	27/2/2009	22:00:00	30.2	28.2	28	28	27.9	28.2	27.8	27.7	27.5	27.6	31.6	27.6	27.1
138	27/2/2009	22:15:00	30.1	28.2	28.1	28	27.9	28	27.8	27.6	27.3	27.4	31.5	27.4	27.2
139	27/2/2009	22:30:00	30.1	28.1	28	28.1	27.8	28.1	27.8	27.6	27.4	27.4	31.3	27.3	27.1
140	27/2/2009	22:45:00	30.1	28.1	28	28	27.8	28	27.7	27.5	27.3	27.4	31.2	27.1	27.1
141	27/2/2009	23:00:00	29.9	28.2	28.1	28.1	27.8	28	27.7	27.6	27.3	27.4	31.1	27	27.1
142	27/2/2009	23:15:00	29.8	28.1	28	28	27.7	27.8	27.6	27.5	27.2	27.3	31	26.9	27.2
143	27/2/2009	23:30:00	30.3	28.1	28	28	27.8	28	27.6	27.5	27.3	27.3	31	26.9	27.2
144	27/2/2009	23:45:00	30.2	28.1	28	28	27.9	28	27.6	27.5	27.3	27.3	31	27	27.2
145	28/2/2009	0:00:00	30.3	28.1	28	28	27.8	27.9	27.6	27.4	27.3	27.3	31	27.1	27.1
146	28/2/2009	0:15:00	30.3	28.1	28	28	27.9	27.9	27.5	27.4	27.2	27.3	31	27	27.1
147	28/2/2009	0:30:00	30.3	28.1	28	28	27.8	27.9	27.5	27.4	27.3	27.3	31	26.9	27.1
148	28/2/2009	0:45:00	30.2	28	28	28	27.8	27.9	27.6	27.4	27.3	27.3	31	26.9	27.1
149	28/2/2009	1:00:00	30.2	28.1	28	28	27.8	27.8	27.6	27.5	27.2	27.4	31	26.8	27.1
150	28/2/2009	1:15:00	30.1	28	27.9	27.9	27.7	27.9	27.6	27.6	27.3	27.5	30.9	26.7	27.1
151	28/2/2009	1:30:00	30.2	28	28	28	27.8	27.8	27.6	27.4	27.2	27.3	30.9	26.6	27.2
152	28/2/2009	1:45:00	30.1	28	28	28	27.8	27.9	27.6	27.4	27.3	27.3	30.8	26.5	27.2
153	28/2/2009	2:00:00	30.1	28	28	28	27.8	27.9	27.6	27.5	27.2	27.4	30.8	26.5	27.2
154	28/2/2009	2:15:00	30.2	28	28	28	27.8	27.8	27.5	27.4	27.2	27.4	30.7	26.4	27.1
155	28/2/2009	2:30:00	30.1	28.1	28.1	28.1	27.8	27.8	27.6	27.5	27.3	27.5	30.7	26.4	27.2
156	28/2/2009	2:45:00	30	28	28	28	27.8	27.8	27.5	27.4	27.2	27.3	30.6	26.3	27.2
157	28/2/2009	3:00:00	30.1	28	28	28	27.8	27.7	27.5	27.4	27.2	27.3	30.6	26.3	27.2
158	28/2/2009	3:15:00	30.1	28	28	28	27.8	27.7	27.4	27.4	27.2	27.3	30.5	26.2	27.2
159	28/2/2009	3:30:00	30.1	28	28	28	27.8	27.7	27.5	27.4	27.2	27.3	30.5	26.1	27.2
160	28/2/2009	3:45:00	30.1	28.1	28	28	27.8	27.8	27.4	27.3	27.2	27.2	30.5	26.1	27.1
161	28/2/2009	4:00:00	30.1	28	28	28	27.8	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.4	26.2	27.1
162	28/2/2009	4:15:00	30.1	28	28	28	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.2	30.4	26.1	27.2
163	28/2/2009	4:30:00	30.1	28	28	28	27.8	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.3	26.1	27.2
164	28/2/2009	4:45:00	30.1	28	28	28	27.8	27.7	27.4	27.3	27.2	27.2	30.3	26	27.2
165	28/2/2009	5:00:00	29.9	28	28	28	27.8	27.6	27.5	27.4	27.2	27.3	30.3	26	27.3
166	28/2/2009	5:15:00	30.1	28	28	28	27.9	27.7	27.4	27.3	27.2	27.2	30.2	26	27.2
167	28/2/2009	5:30:00	30	28	28	28	27.9	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.2	26.1	27.2
168	28/2/2009	5:45:00	30	28	28	28	27.8	27.6	27.4	27.2	27.2	27.1	30.2	26.1	27.1
169	28/2/2009	6:00:00	30	28	28	28	27.9	27.6	27.4	27.3	27.2	27.3	30.1	26.2	27.1
170	28/2/2009	6:15:00	30	28	28	28	27.9	27.6	27.3	27.2	27.1	27.2	30.1	26.4	27.1
171	28/2/2009	6:30:00	29.9	27.9	28	28	27.9	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.1	26.6	27.1
172	28/2/2009	6:45:00	29.9	28	28	28	27.8	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.1	26.7	27.2
173	28/2/2009	7:00:00	29.8	27.9	28	28	27.8	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.1	27	27.2
174	28/2/2009	7:15:00	29.8	27.9	28	28	27.9	27.6	27.5	27.3	27.2	27.2	30.1	27.4	27.2
175	28/2/2009	7:30:00	29.9	27.9	27.9	28	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.2	30.1	27.2	27.2
176	28/2/2009	7:45:00	29.9	28	28	28	27.8	27.6	27.4	27.3	27.2	27.2	30.2	28	27.2
177	28/2/2009	8:00:00	30	28	27.9	28	27.8	27.7	27.5	27.4	27.2	27.3	30.2	28.4	27.2
178	28/2/2009	8:15:00	29.9	28	28	28	27.9	27.7	27.5	27.4	27.2	27.3	30.3	28.7	27.1
179	28/2/2009	8:30:00	29.8	28	28	28	27.7	27.8	27.5	27.4	27.3	27.3	30.3	29.1	27.1
180	28/2/2009	8:45:00	30	28	28	28	27.9	27.8	27.5	27.5	27.2	27.4	30.5	29.8	27.2
181	28/2/2009	9:00:00	30.1												

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิอากาศในท่อครั้งที่สาม

BOX2	Date	Time	อุณหภูมิ กลางท่อ ที่ 1 [C]	อุณหภูมิ กลางท่อ ที่ 2 [C]	อุณหภูมิ กลางท่อ ที่ 3 [C]	อุณหภูมิ กลางท่อ ที่ 4 [C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อที่ 1 [C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อที่ 2 [C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อที่ 3 [C]	อุณหภูมิ ปลาย ท่อที่ 4 [C]	อุณหภูมิ ภายใน อาคาร [C]	อุณหภูมิ ภายนอก อาคาร [C]	อุณหภูมิ ดินที่ ระดับ 80 cm
1	18/11/2009	18:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.2	26.3	26.3	26.2	29.1	30.1	27.1
2	18/11/2009	18:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	25.9	26	26	26	28.8	28	27.1
3	18/11/2009	18:30:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25.8	26	26	25.8	28.6	27.2	27.1
4	18/11/2009	18:45:00	29.6	29.2	29.2	29.2	25.8	25.9	25.9	25.8	28.4	26.8	27.1
5	18/11/2009	19:00:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25.5	25.7	25.6	25.6	28.4	26.7	27.1
6	18/11/2009	19:15:00	29.7	29.2	29.2	29.2	25.4	27.7	25.5	25.4	28.2	26.4	27.1
7	18/11/2009	19:30:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25.3	27.9	25.4	25.4	28.2	26.3	27.1
8	18/11/2009	19:45:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25.4	25.5	25.2	25.2	28.2	26.2	27
9	18/11/2009	20:00:00	29.7	29.2	29.3	29.2	25.3	25.4	25.1	25.1	28.1	26.1	27
10	18/11/2009	20:15:00	29.7	29.2	29.3	29.2	25.2	25.3	25	25	28.1	25.8	27
11	18/11/2009	20:30:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25	25.1	24.9	24.8	28	25.8	27.1
12	18/11/2009	20:45:00	29.8	29.3	29.2	29.2	24.9	25	24.9	24.8	28	25.6	27.1
13	18/11/2009	21:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.9	25	24.9	24.8	27.9	25.5	27
14	18/11/2009	21:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.8	24.9	24.7	24.7	27.9	25.4	27.1
15	18/11/2009	21:30:00	29.7	29.4	29.3	29.2	24.7	24.8	24.6	24.5	27.8	25.3	27
16	18/11/2009	21:45:00	29.8	29.3	29.3	29.1	24.6	24.7	24.6	24.5	27.8	25.2	27
17	18/11/2009	22:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.5	24.6	24.4	24.4	27.7	25.2	27.1
18	18/11/2009	22:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.3	24.4	24.3	24.3	27.7	25	27.1
19	18/11/2009	22:30:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.2	24.3	24.1	24.1	27.6	24.8	27.1
20	18/11/2009	22:45:00	29.8	29.3	29.3	29.1	24.1	24.3	23.9	24.1	27.5	24.8	27.1
21	18/11/2009	23:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24	24.2	23.9	23.9	27.5	24.6	27.1
22	18/11/2009	23:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23.9	24	23.8	23.8	27.4	24.4	27.1
23	18/11/2009	23:30:00	29.8	29.3	29.2	29.1	23.8	23.9	23.5	23.8	27.4	24.4	27.1
24	18/11/2009	23:45:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23.5	23.6	23.2	23.5	27.3	24.2	27.1
25	19/11/2009	0:00:00	29.9	29.3	29.3	29.2	23.4	23.5	23.2	23.4	27	24	27.1
26	19/11/2009	0:15:00	29.9	29.4	29.3	29.1	23.2	23.4	23.1	23.2	26.8	23.8	27
27	19/11/2009	0:30:00	29.9	29.3	29.3	29.1	23.2	23.3	22.9	23.2	26.7	23.8	27.1
28	19/11/2009	0:45:00	29.7	29.3	29.3	29.4	23.1	23.2	22.8	23.1	26.6	23.7	27.2
29	19/11/2009	1:00:00	29.6	29.2	29.4	29.4	23	23.1	23	23.1	26.4	23.6	27.2
30	19/11/2009	1:15:00	29.6	29.3	29.3	29.4	23	23.2	23	23	26.4	23.6	27.1
31	19/11/2009	1:30:00	29.6	29.3	29.3	29.4	23	23.3	22.9	23.1	26.3	23.6	27.1
32	19/11/2009	1:45:00	29.6	29.3	29.4	29.4	23	23.2	23	23	26.2	23.6	27.1
33	19/11/2009	2:00:00	29.7	29.3	29.3	29.4	23	23.1	22.9	23	26.2	23.5	27.1
34	19/11/2009	2:15:00	29.7	29.3	29.3	29.4	23	23	22.9	22.9	26.1	23.3	27.1
35	19/11/2009	2:30:00	29.7	29.3	29.4	29.4	23	23	22.9	22.9	26	23.3	27.1
36	19/11/2009	2:45:00	29.6	29.3	29.3	29.3	23.2	23.2	23	23	26	23.3	27
37	19/11/2009	3:00:00	29.6	29.3	29.3	29.3	23.3	23.3	23	23	26	23.4	27
38	19/11/2009	3:15:00	29.6	29.3	29.3	29.3	23.3	23.3	23	23.1	26	23.3	27
39	19/11/2009	3:30:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.3	23.3	23.1	23.1	25.9	23.3	27
40	19/11/2009	3:45:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.3	23.2	23.1	23.1	25.9	23.2	27.1
41	19/11/2009	4:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.3	23.3	23	23	25.9	23.2	27
42	19/11/2009	4:15:00	29.7	29.2	29.3	29.3	23.2	23.2	22.9	22.9	25.8	23.1	27.1
43	19/11/2009	4:30:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.3	23.2	22.9	23	25.8	23.1	27.1
44	19/11/2009	4:45:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.2	23.2	23	23	25.8	23	27
45	19/11/2009	5:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23	23	22.8	22.8	25.7	23	27.1
46	19/11/2009	5:15:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23	23	22.8	22.8	25.7	22.9	27.1
47	19/11/2009	5:30:00	29.7	29.3	29.3	29.2	23.1	23.1	22.8	22.8	25.6	22.8	27.1
48	19/11/2009	5:45:00	29.7	29.3	29.3	29.2	23.1	23.1	22.8	22.8	25.6	22.7	27.1
49	19/11/2009	6:00:00	29.7	29.3	29.4	29.3	22.8	22.9	22.6	22.7	25.5	22.7	27.1
50	19/11/2009	6:15:00	29.7	29.3	29.4	29.4	22.7	22.7	22.4	22.5	25.5	22.5	27.1
51	19/11/2009	6:30:00	29.7	29.3	29.3	29.3	22.8	22.6	22.4	22.5	25.4	22.4	27.1
52	19/11/2009	6:45:00	29.8	29.3	29.3	29.3	22.7	22.7	22.4	22.4	25.4	22.5	27.1
53	19/11/2009	7:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23	22.8	22.6	22.6	25.4	22.5	27.1
54	19/11/2009	7:15:00	29.8	29.4	29.4	29.3	23	22.8	22.6	22.6	25.4	22.7	27.2
55	19/11/2009	7:30:00	29.7	29.3	29.3	29.2	23.1	23	22.7	22.7	25.4	22.8	27.2
56	19/11/2009	7:45:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.2	23.1	22.9	22.9	25.4	23	27.1
57	19/11/2009	8:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.4	23.2	23	23.1	25.5	23.3	27.1
58	19/11/2009	8:15:00	29.7	29.3	29.3	29.2	23.7	23.6	23.5	23.5	25.6	23.9	27.2
59	19/11/2009	8:30:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.9	23.8	23.6	23.6	25.7	25	27.2
60	19/11/2009	8:45:00	29.7	29.3	29.3	29.3	24.1	24.1	24	24.2	25.8	25.9	27.2
61	19/11/2009	9:00:00	29.7	29.4	29.4	29.3	24.3	24.2	24	24.2	25.9	25.7	27.1
62	19/11/2009	9:15:00	29.6	29.2	29.3	29.2	24.8	24.6	24.5	24.6	26	27	27.1
63	19/11/2009	9:30:00	29.6	29.3	29.3	29.3	24.9	24.8	24.7	24.8	26.1	27.4	27.2
64	19/11/2009	9:45:00	29.6	29.3	29.3	29.3	25.1	24.9	24.9	24.9	26.2	27.6	27.2
65	19/11/2009	10:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	25.2	25	24.9	25	26.4	28.2	27.1
66	19/11/2009	10:15:00	29.6	29.2	29.3	29.2	25.4	25.3	25.2	25.3	26.6	29.6	27.1
67	19/11/2009	10:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	25.6	25.4	25.3	25.4	26.7	30	27.1
68	19/11/2009	10:45:00	29.6	29.2	29.3	29.2	25.8	25.5	25.5	25.6	26.8	29.7	27.1
69	19/11/2009	11:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26	25.8	25.8	25.9	27	28.7	27.2
70	19/11/2009	11:15:00	29.7	29.3	29.3	29.3	26.2	26	26	26.1	27.1	28.6	27.1
71	19/11/2009	11:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.5	26.1	26.1	26.2	27.3	28.8	27.2
72	19/11/2009	11:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.5	26.1	26.1	26.2	27.5	29.1	27.1
73	19/11/2009	12:00:00	29.6	29.2	29.3	29.2	26.8	26.3	26.3	26.4	27.6	29.6	27.2
74	19/11/2009	12:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.9	26.5	26.4	26.5	27.7	29.7	27.1
75	19/11/2009	12:30:00	29.6	29.2	29.3	29.2	26.9	26.5	26.5	26.5	27.8	30	27.1
76	19/11/2009	12:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.1	26.7	26.8	26.8	27.8	30.8	27.2
77	19/11/2009	13:00:00	29.6	29.2	29.3	29.2	27	26.8	26.8	26.8	27.9	30.7	27.2
78	19/11/2009	13:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.5	26.9	26.9	27	28	30.6	27.2
79	19/11/2009	13:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.5	26.9	26.9	26.9	28.1	30.9	27.1
80	19/11/2009	13:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27	27	27.1	28.2	30.5	27.2
81	19/11/2009	14:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.2	27	27	27.1	28.2	29.9	27
82	19/11/2009	14:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27	27	27	28.3	29.7	27.1
83	19/11/2009	14:30:00	29.6	29.3	29.3	29.3	27.5	27.1	27.1	27.1	28.3	29.8	27.1
84	19/11/2009	14:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27.2	27.3	27.2	28.3	29.7	27.1
85	19/11/2009	15:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27.1	27.2	27.2	28.3	29.5	27.1
86	19/11/2009	15:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27.2	27.2	27.2	28.4	29.3	27.1
87	19/11/2009	15:30:00	29.6	29.2	29.3	29.2	27.5	27.4	27.4	27.5	28.4	30	27
88	19/11/2009	15:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.6	27.3	27.4	27.4	28.4	30.4	27
89	19/11/2009	16:00:00	29										

100	19/11/2009	18:45:00	29.6	29.2	29.3	29.2	25.9	26	25.9	27.9	26.9	27
101	19/11/2009	19:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	25.8	26	25.9	27.8	26.8	27
102	19/11/2009	19:15:00	29.7	29.3	29.3	29.3	25.6	25.7	25.6	25.5	27.8	27.1
103	19/11/2009	19:30:00	29.7	29.3	29.3	29.1	25.5	25.6	25.5	25.3	27.7	27
104	19/11/2009	19:45:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25.4	25.5	25.4	25.3	27.6	27.1
105	19/11/2009	20:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	25.4	25.4	25.4	25.4	27.5	27
106	19/11/2009	20:15:00	29.7	29.3	29.2	29.1	25.3	25.4	25.3	25.2	27.4	27.1
107	19/11/2009	20:30:00	29.7	29.3	29.3	29.2	25.2	25.3	25.2	25.1	27.3	27
108	19/11/2009	20:45:00	29.8	29.3	29.3	29.2	25.1	25.2	25	25	27.3	27
109	19/11/2009	21:00:00	29.8	29.3	29.2	29.1	24.9	25	24.9	24.9	27.2	27
110	19/11/2009	21:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.8	24.9	24.8	24.8	27.1	27.1
111	19/11/2009	21:30:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.8	24.9	24.8	24.8	27	27
112	19/11/2009	21:45:00	29.8	29.3	29.2	29.1	24.8	24.9	24.8	24.8	27	27.1
113	19/11/2009	22:00:00	29.8	29.3	29.2	29.2	24.6	24.7	24.6	24.6	27	27.1
114	19/11/2009	22:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.4	24.5	24.3	24.3	26.9	27
115	19/11/2009	22:30:00	29.9	29.3	29.3	29.2	24.2	24.3	24.1	24.2	26.8	27
116	19/11/2009	22:45:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24.1	24.2	24	24.1	26.7	27.1
117	19/11/2009	23:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	24	24	23.9	23.9	26.6	27
118	19/11/2009	23:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23.9	23.9	23.7	23.8	26.5	27
119	19/11/2009	23:30:00	29.9	29.3	29.2	29.1	23.8	23.8	23.6	23.8	26.4	27.1
120	19/11/2009	23:45:00	29.8	29.3	29.3	29.1	23.8	23.8	23.6	23.7	26.4	27
121	20/11/2009	0:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23.7	23.8	23.6	23.6	26.3	27.1
122	20/11/2009	0:15:00	29.9	29.4	29.3	29.2	23.6	23.6	23.4	23.6	26.2	27
123	20/11/2009	0:30:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23.5	23.6	23.4	23.5	26.2	27.1
124	20/11/2009	0:45:00	29.9	29.4	29.3	29.2	23.5	23.5	23.4	23.4	26.1	27
125	20/11/2009	1:00:00	29.9	29.4	29.3	29.2	23.3	23.4	23.2	23.3	26.1	27.1
126	20/11/2009	1:15:00	29.9	29.4	29.3	29.1	23.3	23.3	23.1	23.2	26	27
127	20/11/2009	1:30:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23.2	23.2	23.1	23.1	25.9	27.1
128	20/11/2009	1:45:00	29.7	29.4	29.4	29.3	23.1	23.2	23	23.1	25.9	27
129	20/11/2009	2:00:00	29.7	29.3	29.4	29.3	23.1	23.1	22.9	23	25.8	27.1
130	20/11/2009	2:15:00	29.7	29.3	29.3	29.2	23	23.1	22.8	22.9	25.8	27
131	20/11/2009	2:30:00	29.7	29.4	29.4	29.4	23	22.9	22.7	22.8	25.7	27
132	20/11/2009	2:45:00	29.7	29.3	29.4	29.2	22.9	22.9	22.6	22.7	25.7	27.1
133	20/11/2009	3:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	22.9	22.9	22.7	22.7	25.6	27
134	20/11/2009	3:15:00	29.7	29.3	29.3	29.3	23	23	22.8	22.8	25.6	27.1
135	20/11/2009	3:30:00	29.7	29.3	29.3	29.3	22.8	22.8	22.6	22.6	25.5	27
136	20/11/2009	3:45:00	29.7	29.3	29.4	29.3	22.7	22.6	22.4	22.4	25.4	27.1
137	20/11/2009	4:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	22.7	22.7	22.5	22.5	25.4	27.1
138	20/11/2009	4:15:00	29.7	29.3	29.3	29.3	22.7	22.7	22.5	22.5	25.3	27.1
139	20/11/2009	4:30:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23	22.8	22.6	22.6	25.3	27
140	20/11/2009	4:45:00	29.7	29.3	29.3	29.2	23.1	23	22.7	22.7	25.3	27.1
141	20/11/2009	5:00:00	29.8	29.3	29.3	29.1	23.2	23	22.8	22.9	25.3	27
142	20/11/2009	5:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23.2	23.1	22.9	23	25.3	27.1
143	20/11/2009	5:30:00	29.8	29.3	29.3	29.1	23.2	23	22.8	22.9	25.2	27
144	20/11/2009	5:45:00	29.7	29.3	29.3	29.1	23	22.9	22.7	22.7	25.2	27.1
145	20/11/2009	6:00:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23	22.9	22.6	22.6	25.1	27
146	20/11/2009	6:15:00	29.8	29.3	29.3	29.2	23	22.8	22.6	22.6	25.1	27.1
147	20/11/2009	6:30:00	29.7	29.3	29.3	29.1	23	22.8	22.6	22.6	25.1	27.2
148	20/11/2009	6:45:00	29.7	29.3	29.3	29.1	22.8	22.7	22.5	22.5	25	27.2
149	20/11/2009	7:00:00	29.7	29.3	29.3	29.1	22.9	22.9	22.7	22.8	25	27.1
150	20/11/2009	7:15:00	29.7	29.3	29.3	29.1	23	22.9	22.8	22.8	24.9	27.1
151	20/11/2009	7:30:00	29.7	29.4	29.4	29.1	23.1	23	23	23	24.9	27
152	20/11/2009	7:45:00	29.8	29.3	29.3	29.1	23.3	23.2	23	23.2	25	27.1
153	20/11/2009	8:00:00	29.7	29.3	29.3	29.1	23.5	23.4	23.2	23.4	25.1	27.1
154	20/11/2009	8:15:00	29.7	29.3	29.3	29	23.5	23.4	23.3	23.4	25.1	27.1
155	20/11/2009	8:30:00	29.7	29.3	29.3	29	23.7	23.5	23.4	23.6	25.2	27.1
156	20/11/2009	8:45:00	29.7	29.3	29.3	29.1	23.9	23.9	23.7	23.9	25.3	27.2
157	20/11/2009	9:00:00	29.7	29.3	29.3	29.2	24	24	23.8	24.1	25.4	27.2
158	20/11/2009	9:15:00	29.7	29.3	29.3	29.2	24.1	24.1	24	24.2	25.5	27.1
159	20/11/2009	9:30:00	29.6	29.2	29.3	29.2	24.2	24.2	24	24.2	25.6	27.2
160	20/11/2009	9:45:00	29.6	29.3	29.3	29.3	24.5	24.4	24.4	24.5	25.7	27.2
161	20/11/2009	10:00:00	29.7	29.3	29.3	29.3	24.9	24.8	24.7	24.8	25.9	27
162	20/11/2009	10:15:00	29.6	29.3	29.3	29.3	25.2	25	24.9	25.1	26.2	27.2
163	20/11/2009	10:30:00	29.6	29.3	29.3	29.3	25.3	25.2	25.1	25.3	26.3	27.2
164	20/11/2009	10:45:00	29.6	29.3	29.4	29.3	25.5	25.4	25.4	25.4	26.5	27.1
165	20/11/2009	11:00:00	29.5	29.3	29.3	29.3	25.9	25.6	25.6	25.6	26.7	27.1
166	20/11/2009	11:15:00	29.6	29.3	29.3	29.3	26	25.7	25.6	25.6	26.9	27.2
167	20/11/2009	11:30:00	29.6	29.3	29.3	29.3	26.1	25.9	25.8	25.8	27	27.2
168	20/11/2009	11:45:00	29.6	29.2	29.3	29.2	26.1	25.9	25.9	25.9	27	27.1
169	20/11/2009	12:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.1	26.1	26.1	26.2	27	27.2
170	20/11/2009	12:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.2	26.1	26.1	26.1	27.1	27.2
171	20/11/2009	12:30:00	29.6	29.2	29.3	29.2	26.6	26.2	26.2	26.4	27.2	27.2
172	20/11/2009	12:45:00	29.6	29.2	29.2	29.2	26.6	26.3	26.3	26.4	27.3	27.1
173	20/11/2009	13:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.8	26.5	26.4	26.5	27.4	27.1
174	20/11/2009	13:15:00	29.6	29.2	29.2	29.2	26.9	26.5	26.5	26.6	27.6	27.1
175	20/11/2009	13:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.1	26.9	26.8	26.9	27.7	27.1
176	20/11/2009	13:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.1	26.9	26.9	27	27.8	27.2
177	20/11/2009	14:00:00	29.6	29.2	29.3	29.3	27.1	27	27.2	27.1	27.8	27.2
178	20/11/2009	14:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.1	27.1	27.2	27.1	27.9	27.2
179	20/11/2009	14:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.9	27.2
180	20/11/2009	14:45:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.3	27	27.1	27.1	28	27.2
181	20/11/2009	15:00:00	29.6	29.2	29.3	29.2	27.3	27.2	27.3	27.4	28	27.2
182	20/11/2009	15:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27.4	27.5	27.5	28	27.1
183	20/11/2009	15:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27.4	27.4	27.4	28	27.1
184	20/11/2009	15:45:00	29.5	29.3	29.3	29.2	27.5	27.6	27.7	27.7	28	27.2
185	20/11/2009	16:00:00	29.6	29.2	29.2	29.1	27.4	27.3	27.4	27.4	28.4	27.2
186	20/11/2009	16:15:00	29.6	29.3	29.2	29.2	27.5	27.5	27.6	27.6	28.2	27.2
187	20/11/2009	16:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.4	27.5	27.6	27.6	28.2	27.2
188	20/11/2009	16:45:00	29.6	29.2	29.2	29.2	27.3	27.4	27.5	27.5	28.1	27.2
189	20/11/2009	17:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.2	27.3	27.4	27.4	28.1	27.2
190	20/11/2009	17:15:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27.1	27.2	27.4	27.4	28.1	27.2
191	20/11/2009	17:30:00	29.6	29.3	29.3	29.2	27	27.2	27.2	27.3	28	27.1
192	20/11/2009	17:45:00	29.6	29.2	29.2	29.2	26.7	26.9	26.9	26.9	27.9	27.1
193	20/11/2009	18:00:00	29.6	29.3	29.3	29.2	26.4	26.6	26.6	26.6	27.9	27.2

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายฉกาจ ดำรงค์เกียรติ
วัน เดือน ปี เกิด	24 พฤษภาคม พ.ศ.2524
ที่อยู่	117/74 หมู่ 9 ต. บางรักพัฒนา อ. บางบัวทอง จ.นนทบุรี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2547	สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมไทย มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2550	ศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิชาอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
การทำงาน	สถาปนิก พ.ศ. 2547 - ปัจจุบัน