

## ประสิทธิผลในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่ออากาศฝังดิน

กรณีศึกษา : หอสมุดเฉลิมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์

The Efficiency in Reducing Heat Gain by using Earth Tube System.

Case Study : Chalermrajakumari Library Wat Chansen Nakornsawan Province.

ฉกาจ ดำรงค์เกียรติ

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร  
เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร 084-0018854 E-mail: Chgart@hotmail.com

Chagart Domrungleart\*

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Silpakorn University  
Phranakorn, Bangkok 10200 Thailand Tel: 084-0018854 E-mail: Chgart@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์จะศึกษาประสิทธิภาพการใช้ท่ออากาศฝังดินในสภาพการใช้งานจริงกับอาคารหอสมุดเฉลิมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์ โดยแบ่งการศึกษาเป็นสามช่วง ในช่วงแรกตามสภาพการใช้งานจริงพบว่าประสิทธิภาพการลดความร้อนต่ำ จากปัญหาน้ำท่วมขังและสิ่งอุดตันในระบบท่อ สภาพพื้นที่รวมถึงต้นไม้ปิดบังลมเข้าปากท่อ จึงแก้ไขปรับปรุงระบบท่อในช่วงที่สองและติดตั้งพัดลมดูดอากาศ พบว่ามีประสิทธิผลดีขึ้นจากอากาศที่ไหลผ่านในท่อที่มาก โดยอุณหภูมิลมออกแต่ละท่อจะต่ำลงกว่าลมเข้าเฉลี่ย 2.2-2.6 °ซ ในช่วงเวลา 7.30-22.00 น. และช่วง 22.00-7.30 น. อุณหภูมิลมออกจะสูงกว่าลมเข้าเฉลี่ย 1 °ซ ในช่วงที่สามหลังทิ้งระยะ6เดือนตามสภาพใช้งานจริงพบว่าประสิทธิภาพการลดความร้อนต่ำจากปัญหาน้ำท่วมขังอีกครั้ง เพราะการรั่วซึมของน้ำใต้ดินที่ทำให้อากาศไม่สามารถไหลผ่านในท่อ

จากการศึกษาสรุปว่าระบบท่ออากาศฝังดิน ต้องใช้พัดลมดูดอากาศช่วยให้อากาศไหลผ่านดีขึ้น จึงจะสามารถลดอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวันได้ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือ ปัญหาของน้ำและการอุดตันภายในระบบท่อ ดังนั้นต้องศึกษาหลักการออกแบบและสภาพพื้นที่ให้ดี มีการดูแลรักษาระบบท่ออย่างสม่ำเสมอ สามารถตรวจสอบและแก้ไขทำความสะอาดได้ง่าย ระบบท่ออากาศฝังดินจึงจะมีประสิทธิผลตามที่ผู้ออกแบบต้องการตลอดอายุการใช้งาน

คำสำคัญ: ระบบท่ออากาศฝังดิน, การลดความร้อน

### Abstract

This research is to study using earth tube system in Chalermrajakumari Library Wat Chansen. It is one of the project that has employed the earth tube system. The data collection consists of 3 periods. The first data were conducted under the

real working condition. It was found that low Efficiency. the earth tubes were filled with water and clogged in systems. The inlets were blocked with plant. In the second data, the earth tubes was fixed. And electric fans were installed at each outlet. It was found Efficiency is better. That the outside air temperature passing through the earth tubes would reduce about 2.2-2.6 °C by average during 7.30 a.m.-10 p.m. However, during10 p.m.-7.30 a.m. it would be higher 1 °C by average. In the third data, after six month later, it was found low Efficiency that inside the earth tubes were full with water again because of the tube leakage. Then, the outside air could not pass the earth tube systems.

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

**Key Words:** Earth Tube System, Reducing Heat Gain

### 1. บทนำ

สถานการณ์ทางสถาปัตยกรรมของประเทศไทยในปัจจุบัน ด้วยอิทธิพลของสถาปัตยกรรมในรูปแบบต่างๆ ที่มีเข้ามาอย่างหลากหลาย ทำให้แนวโน้มของสถาปัตยกรรมไทยหรือสถาปัตยกรรมท้องถิ่นที่ซึ่งตอบสนองวิถีสังคมและสิ่งแวดล้อมมาช้านานเริ่มถูกลดบทบาทลง การแสวงหาแนวทางในการพัฒนาเพื่อเพิ่มบทบาทของสถาปัตยกรรมไทยจึงเพิ่มมากขึ้น จากกระแสของสังคมและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันที่ให้

ความสำคัญต่อปัญหาสภาวะโลกร้อน การเพิ่มความสำคัญให้กับงานสถาปัตยกรรมไทยตามแนวคิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร จึงเป็นแนวทางการพัฒนาที่น่าสนใจซึ่งสามารถตอบสนองวิถีสังคมและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

แนวคิดหนึ่งของการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไทยคือการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรดิน ที่ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารได้หลายวิธี แต่มีแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจและได้มีการทดลองในประเทศไทย คือการใช้ประโยชน์จากความเย็นใต้ดินด้วยระบบท่ออากาศฝังดิน เพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารลดลง แต่ยังคงการประเมินการใช้สอยกับอาคารหลังจากผ่านการใช้งานอย่างต่อเนื่อง จากหลักการของดินที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยใต้ดินค่อนข้างต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในรอบวันน้อย การใช้ความเย็นดังกล่าวมาประยุกต์ใช้อาคารมีอุณหภูมิอากาศใกล้เคียงกับอุณหภูมิของดินนั้นจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ

สำหรับอาคารหอสมุดเฉลิมราชกุมารี ณ วัดจันเสน จ.นครสวรรค์ เป็นอาคารสถาปัตยกรรมไทยแบบประยุกต์ ได้นำแนวคิดนี้มาใช้โดยประยุกต์ระบบท่ออากาศฝังดินในการลดความร้อนให้กับอาคาร และมีการใช้งานระบบท่อมาจนกระทั่งปัจจุบัน ด้วยอาคารที่มีการสอยมาอย่างต่อเนื่องและใช้แนวคิดการอนุรักษ์พลังงานจากดิน จึงสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยที่มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงประสิทธิผลโดยการประเมินระบบท่ออากาศฝังดินกับอาคารทางสถาปัตยกรรมไทย ให้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบท่ออากาศฝังดินอย่างมีประสิทธิภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างสอดคล้อง อีกทั้งยังเป็นแนวทางส่งเสริมคุณค่างานสถาปัตยกรรมไทยกับการพัฒนาในรูปแบบอื่นๆต่อไป

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แนวทางการใช้ประโยชน์จากดินเพื่อปรุงแต่งภาวะน่าสบาย

ประเภทของดินที่แบ่งตามเนื้อดินจะประกอบด้วยอนุภาค เม็ดทราย เม็ดซิลท์ และเม็ดดินเหนียว ลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการระบายน้ำที่ต่างกันและส่งผลถึงระดับความชื้นในดินให้แตกต่างกัน เป็นที่ทราบกันว่าความชื้นในดินมีความสามารถในการนำความร้อนสูงกว่าดินที่ความชื้นต่ำ ดังนั้นจึงทำให้มีผลถึงแนวทางการใช้ประโยชน์จากดินที่ต่างกันด้วย

จากคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิดินสามารถแบ่งได้ 2 ระดับคือระดับผิวดินและใต้ผิวดิน ในระดับผิวดินที่มีมวลสารและความลึกไม่มาก อุณหภูมิของดินจะแปรผันตามอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศและผิวหน้าดินต่างๆ ส่วนในระดับความลึกหนึ่งใต้ผิวดินในพื้นที่ๆมีขนาดใหญ่ อุณหภูมิที่ความลึกนั้นจะค่อนข้างคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเทียบเท่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินตลอดปี โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีอยู่ระหว่าง 26-28 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในขอบเขตภาวะน่าสบาย สามารถนำมาใช้ปรับความเย็นอุณหภูมิอากาศในอาคารได้ การใช้ประโยชน์จากดินเพื่อปรับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารให้ใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบายสามารถทำได้มี 2 ลักษณะคือ

1 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิบริเวณบนผิวดิน (Surface cooling) โดยทั่วไปวัสดุปกคลุมดินไม่ว่าจะเป็นพืชคลุมดินหรือหญ้า จะช่วยให้อุณหภูมิอากาศเหนือดินเย็นกว่าบริเวณทั่วไปจากการระเหยของน้ำเมื่อกระแสลมพัดผ่านบริเวณนี้เข้าสู่อาคาร จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดอุณหภูมิก่อนเข้าในอาคาร

2 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิของมวลสารดินที่สัมผัสอาคาร (Direct cooling) มี 2 รูปแบบ

2.1 การให้ผิวภายนอกอาคารสัมผัสกับดิน (Earth Contact) เป็นวิธีการออกแบบเพื่อให้ผิวภายนอกอาคารสัมผัสกับดินโดยตรงที่ส่วนหลัก จากผนังหรือพื้นอาคารที่มีค่าการนำความร้อนสูง ทำให้ส่วนของอาคารที่สัมผัสดินเย็นและส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารลดลงด้วย จากงานวิจัย (3) พบว่าผนังด้านทิศใต้มีความต่างของช่วงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดมากกว่าที่อื่น สภาพของดินที่ปกคลุมด้วยพืชอุณหภูมิดินจะต่ำกว่าทั่วไปถึง 2 องศาเซลเซียส สรุปว่าสามารถขจัดอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่สัมผัสดินได้ถึง 1.5 - 2.0 องศาเซลเซียส

2.2 การใช้ระบบท่อฝังดิน (Earth Tube) จากสมมติฐานของระบบท่ออากาศฝังดิน ที่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนระหว่างดินกับอากาศภายในท่อ โดยดูดอากาศจากภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิสูงผ่านท่อใต้ดิน ความแตกต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายในท่อ เปลี่ยนสู่อุณหภูมิดินที่เย็นกว่าเป็นการช่วยลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่าน ดังนั้นอากาศที่เข้ามาในอาคารจึงมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิดินในระดับนั้นๆ สามารถแบ่งแนวทางการใช้งานได้สองระบบ

2.2.1 ระบบเปิด (Open loop) เป็นการนำอากาศจากภายนอกอาคารมาทำความเย็นก่อนเข้าสู่อาคาร ระบบนี้เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องการ Ventilation Rate สูงเช่น โรงเรียน ห้องสมุด อาคารสาธารณะ

2.2.2 ระบบปิด (Close loop) คือการนำอากาศภายในอาคารซึ่งมักมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอกมาผ่านระบบท่อ แล้วนำกลับเข้าสู่ภายในอาคารอีกครั้งหนึ่งเพื่อประหยัดพลังงานในการทำความเย็น ระบบนี้เหมาะกับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่สูง

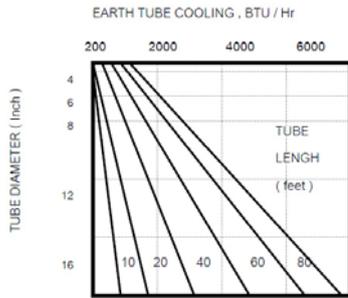
### 2.2 การพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่ออากาศฝังดินและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การเลือกใช้วัสดุทำท่อฝังดิน พิจารณาได้จากคุณสมบัติของไหลของอากาศ (มีแรงเสียดทานน้อย) แนวโน้มการเกิดออกซิเดชัน (การผุกร่อนน้อย) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมาก ป้องกันน้ำและความชื้นที่ตี สูดท้ายคือข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์ โดยทั่วไปจะใช้วัสดุเป็นท่อพลาสติกท่อนพีวีซีหรือท่อแอสแตนเลส เพราะมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย จากตัวอย่างงานวิจัยของสุพจน์ ดวงสินทวีกุล (2) ที่ใช้ท่อสแตนเลสขนาดต่างๆในการศึกษา

2.2.2 อุณหภูมิใต้ดิน การใช้ระบบท่ออากาศฝังดินควรมีอุณหภูมิที่ประมาณ 21-27 องศาเซลเซียส (8) จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินของชนิด จินดาวนิต (1) ที่ระดับความลึก 6-8 นิ้ว ตามสถานที่สามแห่งต่างกันในประเทศไทย พบว่าดินมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26-27 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่พบว่าอุณหภูมิดินในประเทศไทยระดับลึก 1.1 เมตรจะอยู่ในช่วง 26-28 องศาเซลเซียส ในส่วนอุณหภูมิดินในต่างประเทศที่ประเทศอินเดีย ซึ่งมีภูมิอากาศใกล้เคียงประเทศไทย ที่ระดับความลึก 3 เมตรมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 24 องศาเซลเซียส (9)

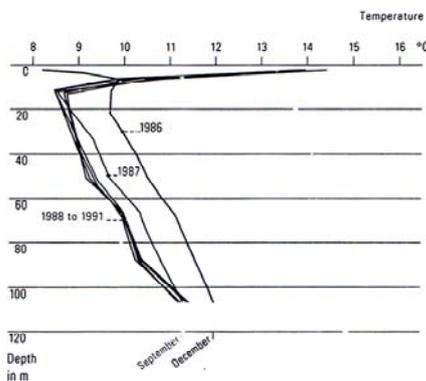
2.2.3 ขนาดและความยาวของท่อ ท่อไปมักมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 4 นิ้วจนถึง 20 นิ้ว โดยยิ่งท่อมีขนาดใหญ่หรือยาวมากขึ้นความสามารถในการทำความเย็นยิ่งเพิ่มขึ้นเป็นกระบวนการแบบผันตาม (6)(รูปที่ 1) เช่นเดียวกับงานวิจัยของสุพจน์ ดวงสินทวีกุล (2) ได้เปรียบเทียบขนาดของท่อที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ผ่าน สรุปว่าท่อที่

มีขนาดใหญ่ (21 นิ้ว) สามารถลดอุณหภูมิได้ดีกว่าท่อที่มีขนาดเล็กกว่า (8,10 นิ้ว) และงานวิจัยของธนรัชต์ ลิมปคุปตถาวร (4) ที่เปรียบเทียบความยาวของท่อที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน สรุปได้ว่าท่อที่มีความยาวมากกว่า (40 เมตร) สามารถทำความเย็นให้กับอาคารได้มากกว่าท่อขนาดสั้น (30 เมตร) โดยลดอุณหภูมิลมออกได้ 3-3.5 องศาเซลเซียสจากอากาศภายนอก



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวขนาดและการทำความเย็น

2.2.4 ระดับความลึกของท่อ การติดตั้งควรวัดลึกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้อุณหภูมิต่ำและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (รูปที่2) โดยทั่วไปจะมีความลึกอยู่ในระดับ 1-3 เมตร เนื่องจากปัญหาความคุ้มทุนและการก่อสร้าง ระยะห่างท่อแต่ละท่อควรมีอย่างน้อย 1.2 เมตร เพราะการใช้งานระบบท่ออย่างต่อเนื่องและมีระยะห่างระหว่างท่อน้อยเกินไปจะมีผลทำให้อุณหภูมิดินบริเวณรอบ ๆ สูงขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง (8) ดังนั้นจึงควรมีการพิจารณาถึงระยะการใช้งานและการจัดวางท่อให้เหมาะสม จากงานวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทยส่วนใหญ่จะทดลองที่ระดับความลึก 1.1 เมตร (2),(4),(5)



รูปที่ 2 แสดงอุณหภูมิดินระดับความลึกต่างๆ ในแต่ละปี

- ความสามารถในการปรับอุณหภูมิอากาศที่ผ่านท่อฝังดิน ได้มีการหาประสิทธิภาพของระบบท่อและความเหมาะสมของการใช้งาน (5) พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารลงได้ 1-8 องศาเซลเซียส ระบบนี้สามารถนำมาใช้ร่วมกับพัดลมดูดอากาศในการปรับสภาวะนำสบายให้สูงขึ้นถ้านำมาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 73 %

ทฤษฎีของระบบท่ออากาศฝังดินนั้นมีการประยุกต์ใช้มานาน จากตัวอย่างงาน The villa Acolia (7) ที่ซึ่งอากาศจะถูกทำให้เย็นลงโดยให้อากาศผ่านเข้าถ้ำทางด้านข้างของภูเขา และเชื่อมต่อกับท่อผ่านไปยังใต้ดินออกไปยังหมู่บ้าน การเคลื่อนตัวของอากาศทำให้อุณหภูมิลดลงและมี

การควบคุมอุณหภูมิอากาศมากกว่าภายนอก สามารถลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกได้ประมาณ 20 องศาฟาเรนไฮท์

- งานวิจัยในต่างประเทศ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณสมบัติของดินที่ส่งผลต่อระบบท่อฝังดินในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างในประเทศอินเดีย (ภูมิอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทย)

- Rattan Jadhav (9) ทดลองหาประสิทธิภาพของท่อฝังดินในทุกเดือน สรุปว่าช่วงเดือนพฤษภาคมระบบท่อจะให้ความเย็นกับอาคารในช่วงกลางวัน โดยสามารถลดอุณหภูมิลมออกได้สูงสุด 14 องศาเซลเซียสจากภายนอก ส่วนเดือนมกราคมช่วยให้ความร้อนแก่อาคารในช่วงกลางคืน

- M.R. Patel and S.K (10) เปรียบเทียบดินแบบต่างๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิในท่อฝังดิน ผลสรุปว่าสามารถลดอุณหภูมิลมออกจากภายนอกได้สูงสุดได้ถึง 10 องศาเซลเซียสในดินแบบเปียกน้ำ ส่วนดินแบบแห้งลดอุณหภูมิได้สูงสุด 5.6 องศาเซลเซียส และดินชุ่มน้ำสามารถอุณหภูมิได้ที่ 7.5 องศาเซลเซียส

### 3 การเตรียมการทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย

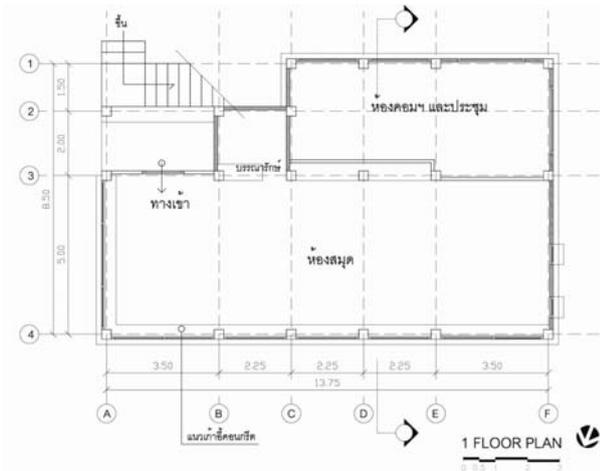
อาคารหอสมุดเฉลิมราชกุมารีตั้งอยู่ที่วัดจันเสน ต.จันเสน อ.ตาดลี จ.นครสวรรค์ ลักษณะเป็นอาคารทรงไทยประยุกต์โครงสร้างคอนกรีตก่ออิฐผสมเรือนไทยไม้ ชั้นล่างใช้พื้นที่เป็นห้องสมุดและห้องคอมพิวเตอร์สำหรับประชาชน พื้นคสล.ปูกระเบื้องผนังก่ออิฐทาสีขาวมีหน้าต่างกระจกสูง ชั้นล่างมีขนาดพื้นที่ 8.5x14 เมตร ส่วนชั้นบนเป็นห้องสมุดสงฆ์เรือนไม้ทรงไทย (เรือนเกา) เป็นที่ประดิษฐานพระไตรปิฎกขนาดพื้นที่ 6.75x5 เมตร รอบๆ เป็นชานพักพื้นกระเบื้องดินเผา ผู้ออกแบบอาคารได้ผูกศิลปะสถาปัตยกรรมให้เกี่ยวเนื่องกันภายในวัดและก่อสร้างประสานไปกับเทคโนโลยีคอนกรีต รวมถึงยังใช้แนวคิดการประหยัดพลังงานด้วยระบบท่ออากาศฝังดินในการให้ความเย็นกับอาคาร



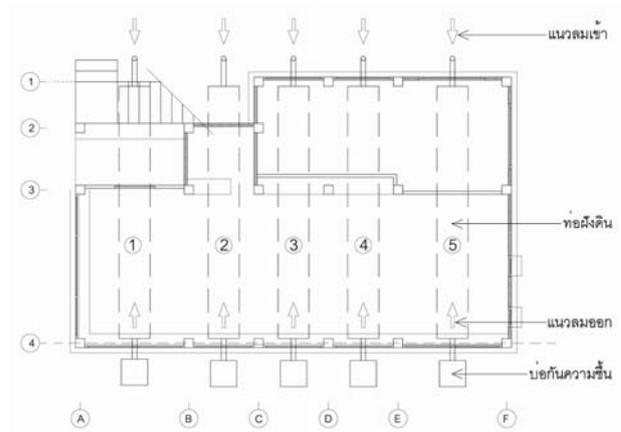
รูปที่ 3 ขณะทำการก่อสร้างท่ออากาศฝังดิน



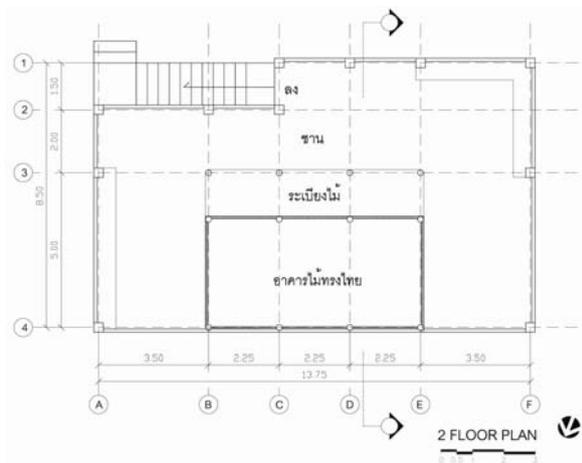
รูปที่ 4 ทศนียภาพอาคาร บริเวณด้านหน้าแนวลมเข้าและด้านข้างแนวบ่อดักความชื้น



รูปที่ 5 ผังพื้นชั้นล่าง



รูปที่ 8 ผังแสดงแนวท่อใต้ดิน

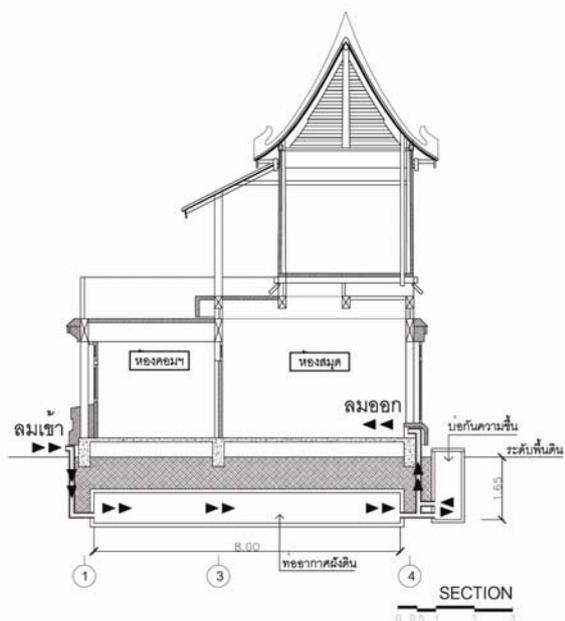


รูปที่ 6 ผังพื้นชั้นบน

ระบบท่ออากาศฝังดินของอาคารประกอบด้วยท่อซีเมนต์สี่เหลี่ยม ขนาดหน้าตัด 80x80 เซนติเมตร ยาว 8 เมตร ลึกลงใต้ดิน 1.50 เมตร ทั้งหมด 5 ท่อ วางท่อห่างกัน 2.3 เมตรตามช่วงเสาอาคาร ภายในมี วัสดุปูพื้นท่อต่างกัน 5 แบบ โดยท่อที่ 1 ท่อซีเมนต์เปลือย 2 ฉีลาแลง 3 หินเชื่อน 4 ทวาย 5 ถ่าน ประกอบกับส่วนที่เป็นท่อพีวีซีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว เป็นส่วนรับลมจากภายนอกและส่วนจ่าย ลมเข้าภายในอาคาร ปลายท่อลมเข้าและออกติดตาข่ายกันแมลงอย่างมี ซิด มีบ่อนักความชื้นติดตั้งอยู่ด้านนอกอาคารขนาด 70x70 เซนติเมตร ลึก 1.50 เมตร มีฝาซีเมนต์ปิดท่อน้อย่างมิดชิดกันน้ำเข้าภายใน



รูปที่ 9 ผังและรูปตัดขยายท่ออากาศฝังดิน



รูปที่ 7 รูปตัดแสดงแนวการไหลอากาศในท่อ

#### 4 ขั้นตอนการบันทึกผลการทดลอง

- บันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในท่อทั้ง 5 ตำแหน่งกลางท่อ และปลายท่อลมออก รวมทั้งหมด 10 จุด และอุณหภูมิดินระดับความ ลึก 80 เซนติเมตร 1 จุด โดยใช้ Data Logger Testo 177-T4 ที่ติดตั้ง สาย Thermocouple

- บันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นภายในกับภายนอก อาคารอย่างละจุดด้วย Data Logger Testo 175-T1

รวบรวมข้อมูลโดยการบันทึกผลทุก 15 นาที แบ่งการทดลองเป็น สามช่วงๆ 48 ชั่วโมง ในช่วงแรกตามสภาพใช้งานจริง ในวันที่ 1-3 ก.พ. 2552 ช่วงที่สองหลังวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมและปรับปรุงระบบท่อฝังดิน

ในวันที่ 26-28 ก.พ. 2552 ซึ่งช่วงที่สองนี้ได้แยกเป็นสองแบบเพื่อเปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้พัดลมดูดอากาศ และในช่วงที่สามตามสภาพใช้งานหลังทั้งระยะ 6 เดือน เก็บข้อมูลในวันที่ 18-20 พ.ย. (ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาว)

ทั้งสามช่วงวัดค่าความเร็วลมด้วยเครื่องมือ Testo รุ่น 405 v-1 เปรียบเทียบระหว่างลมธรรมชาติกับการใช้พัดลมดูดอากาศที่ปลายท่อลมออกทั้ง 5

### 5. ผลวิจัย

- จากการเก็บข้อมูลครั้งที่หนึ่ง ตามสภาพการใช้งานจริงพบปัญหาสำคัญคือ มีน้ำขังในท่อปริมาณมากที่ทำให้เกิดความชื้น สภาพพื้นที่และต้นไม้ที่บังปากท่อลมเข้า ท่อลมเข้าอยู่ในระดับต่ำ และบดักความชื้นที่ขาดการดูแลทำให้เกิดการอุดตัน (รูปที่ 10, 11) จากข้อมูลไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในท่อจากอิทธิพลอุณหภูมิภายนอกอาคาร อุณหภูมิอากาศภายในท่อจึงค่อนข้างคงที่และต่ำเทียบเท่ากับอุณหภูมิดินที่ประมาณ 27 องศาเซลเซียส และอากาศไม่สามารถไหลผ่านเข้าสู่ตัวอาคารได้

จากผลข้อมูลพบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารจะอยู่ในช่วง 33.5-25.8 °ซ และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารอยู่ในช่วง 31-28 °ซ ซึ่งอุณหภูมิอากาศในระบบท่อฝังดินจะอยู่ที่ 27-27.5 °ซ มีส่วนต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิอากาศปลายท่อสูงที่สุด 6.3 °ซ มีผลต่างเฉลี่ยที่ 2.6 °ซ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ตั้งแต่ 09.30-23.30 น. และช่วงอุณหภูมิภายนอกอาคารต่ำสุด จะมีผลต่างโดยเฉลี่ยที่อุณหภูมิปลายท่อสูงกว่าภายนอกอาคาร 0.8 °ซ เมื่อเทียบอุณหภูมิอากาศกลางท่อและปลายท่อจะมีความแตกต่างที่ 0.2-0.5 °ซ

จากที่กล่าวมาเป็นส่วนต่างของอุณหภูมิที่จุดนั้นๆซึ่งไม่ใช่การลดอุณหภูมิที่เป็นผลมาจากการไหลเวียนของอากาศภายในท่อ

- การทดลองครั้งที่สอง หลังจากสรุปผลและปรับปรุงระบบท่อฝังดิน แก้ปัญหาที่ขังน้ำภายในท่อ ปรับปรุงสภาพพื้นที่และต้นไม้ที่บังลมบริเวณปากท่อ (รูปที่ 10) ปรับปากท่อรับลมให้สูงขึ้น ทำความสะอาด บดักความชื้นและติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ปลายท่อลมออกทุกท่อ

จากผลข้อมูลพบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 34-26 °ซ และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารอยู่ในช่วง 33-30 °ซ แบ่งการเปรียบเทียบก่อนและหลังเปิดพัดลมดูดอากาศ โดยก่อนเปิดพัดลมดูดอากาศอุณหภูมิอากาศปลายท่อลมออกจะค่อนข้างสูง และมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในอาคาร แสดงได้ว่าอากาศใน

ท่อยังไม่สามารถถ่ายเทออกปลายท่อและให้ประโยชน์กับอาคารได้จากนั้นจึงเปิดพัดลมดูดอากาศ พบว่าอุณหภูมิมีการปรับลดลงอย่างชัดเจน เป็นผลจากการดึงอากาศออกจากท่อฝังดินเข้ามามายังอาคาร อุณหภูมิอากาศกลางท่อและปลายท่อจึงมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันตามอิทธิพลของอากาศภายนอก โดยสามารถลดอุณหภูมิลมออกจากภายนอกที่ร้อนที่สุด 34.3 °ซ มาเป็น 28.5 °ซ มีส่วนต่างสูงสุด 5.8 °ซ ลดอุณหภูมิลมออกจากภายนอกอาคารได้เฉลี่ย 2.3-2.6 °ซ ตั้งแต่เวลา 07.30-22.00 น. และขณะที่อุณหภูมิภายนอกอาคารต่ำสุด 25.8 °ซ อุณหภูมิลมออกเป็น 27.5 °ซ เกิดส่วนต่างที่เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.7 °ซ มีค่าเฉลี่ย 0.8 °ซ มีผลต่างอุณหภูมิอากาศกลางท่อและปลายท่อที่ 0.5-1 °ซ ความชื้นภายในท่อหลังการปรับปรุงระบบท่อลดลง แต่ไม่สามารถทำให้ท่อแห้งสนิทความชื้นที่สะสมอยู่ในท่อจึงยังมีค่อนข้างมาก ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ในระยะเวลา 10.00 - 24.00 น. อยู่ในช่วง 70-74 %

- การทดลองครั้งที่สาม เป็นการเก็บข้อมูลหลังจากผ่านการปรับปรุง 6 เดือนในช่วงฤดูหนาว ซึ่งต่างจากสองครั้งแรกที่อยู่ในช่วงฤดูร้อน ในครั้งนี้ไม่ได้เปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบท่อฝังดินเพิ่มเติม เพราะต้องการประเมินผลหลังผ่านการปรับปรุงตามสภาพใช้งานจริง พบปัญหาสำคัญคือมีน้ำขังภายในท่อฝังดินเพิ่มขึ้น หลังจากการทดลองในครั้งที่สองที่ดูดีในท่อออกจนเกือบหมดและป้องกันการรั่วซึมของน้ำจากภายนอกอย่างมิดชิด ปัญหาของน้ำจึงน่าจะมาจากการรั่วซึมของท่อใต้ดินซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้ในครั้งนี้

จากผลข้อมูล สังเกตว่าทุกท่อมี่แนวโน้มของอุณหภูมิกกลางท่อค่อนข้างเรียบและคงที่ ส่วนอุณหภูมิลมออกจะมีทิศทางขึ้นลงตามอิทธิพลของอุณหภูมิภายในอาคาร ซึ่งไม่ได้สัมพันธ์ตามการไหลเวียนของอากาศภายในท่อ สาเหตุมาจากน้ำไปปิดทางอากาศที่จะไหลผ่านภายในท่อ วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารได้สูงสุดที่ 31.3 °ซ ในขณะที่อุณหภูมิต่ำแหน่งปลายท่อลมออกอยู่ที่ 27 °ซ เกิดส่วนต่างต่ำลงสูงสุด 4.3 °ซ มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิต่ำกว่าของอุณหภูมิลมออกกับภายนอกอาคารที่ 2.2 °ซ และวัดอากาศภายนอกอาคารได้ต่ำสุด 22.4 °ซ อุณหภูมิท่อลมออกนั้นอยู่ที่ 22.9 °ซ เกิดส่วนต่างเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 0.5 °ซ ในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าเฉลี่ยที่ 0.3 °ซ

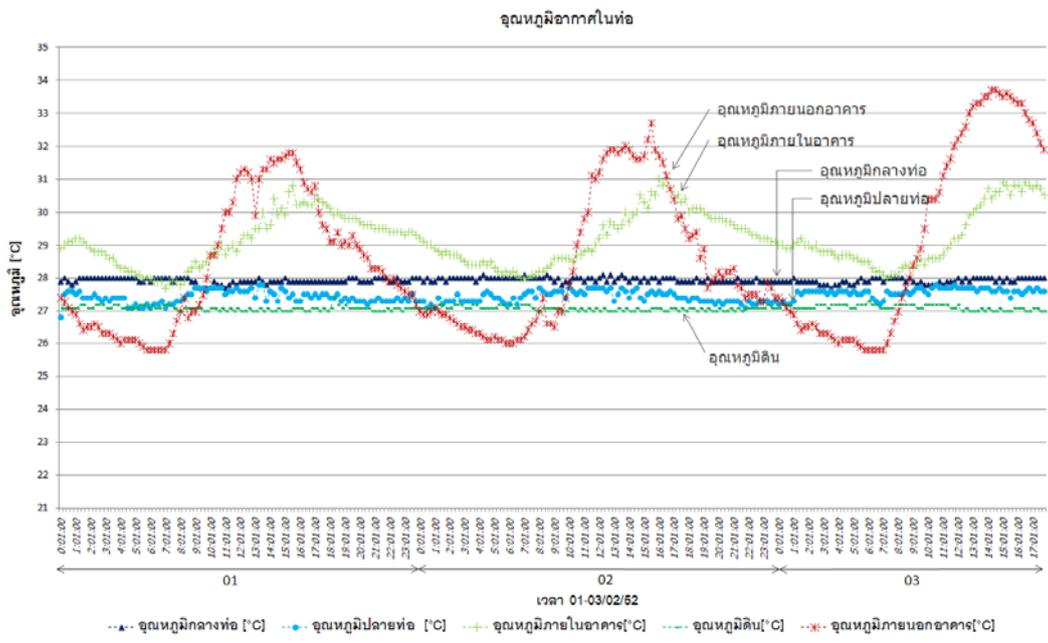
เช่นเดียวกับข้อมูลในการทดลองครั้งแรก จากข้อมูลที่กล่าวมาเป็นส่วนต่างของอุณหภูมิที่จุดนั้นๆซึ่งไม่ใช่การลดอุณหภูมิที่เป็นผลมาจากการไหลเวียนของอากาศภายในท่อ



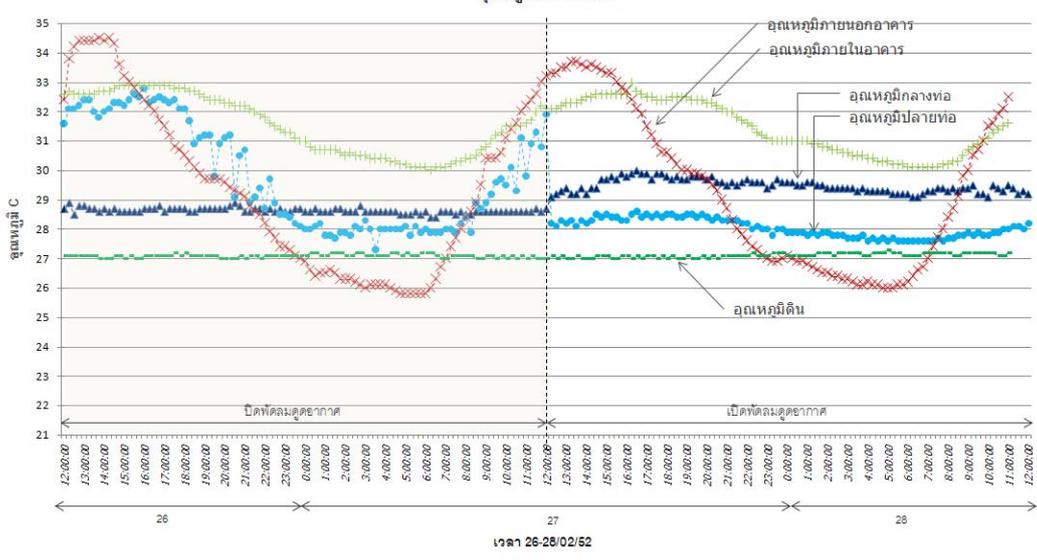
รูปที่ 10 เปรียบเทียบสภาพบริเวณปากท่อก่อนและหลังปรับปรุง



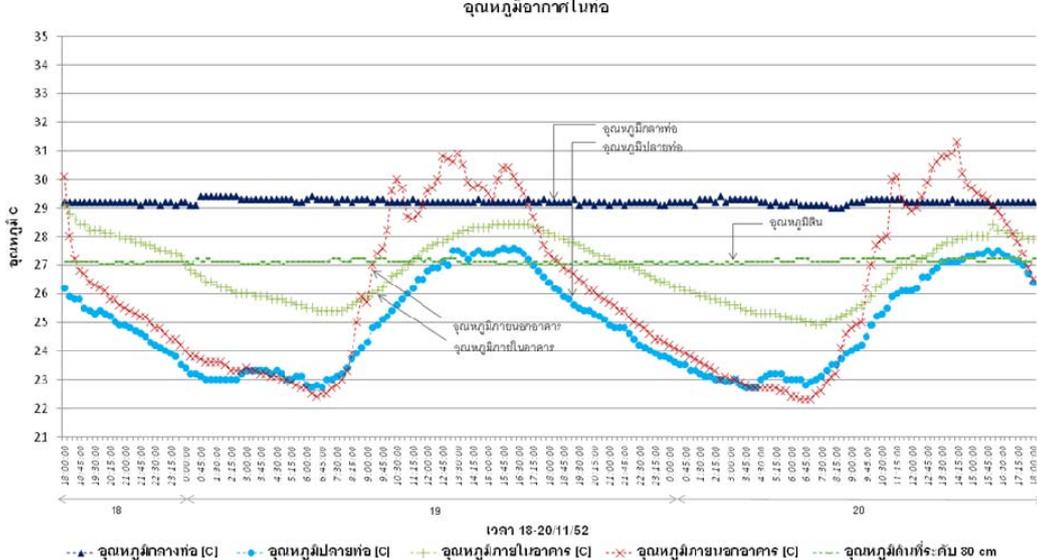
รูปที่ 11 บดักความชื้นที่อุดตันและน้ำที่ขังภายในระบบท่อ



รูปที่ 12 แสดงอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 1  
อุณหภูมิอากาศในห้อง



รูปที่ 13 แสดงอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 2  
อุณหภูมิอากาศในห้อง



รูปที่ 14 แสดงอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 3

#### 4. สรุปและอภิปรายผล

จากหลักการของระบบท่ออากาศฝังดินที่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนระหว่างดินกับอากาศภายในท่อ ทำให้อากาศที่ผ่านมีอุณหภูมิลดลงที่มาจากสัมพันธของอุณหภูมิดิน ความยาวท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความเร็วลมภายในท่อเหล่านี้ ระบบท่อฝังดินของอาคารได้ผ่านหลักการออกแบบไว้ทั้งหมดยกเว้นการควบคุมความเร็วลม ประสิทธิภาพจึงควรเกิดขึ้นตามความคาดหวัง

จากการศึกษาที่แบ่งเป็นสามช่วงพบว่า ในช่วงแรกการทำงานของระบบท่อฝังดินตามสภาพการใช้งานจริง พบปัญหาที่เกิดจากการใช้งานของระบบท่อเป็นระยะเวลายาวนานและไม่มีการดูแลรักษา ที่ทำให้มีประสิทธิผลการลดความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากปัญหาหลาย ๆ อย่างเช่น น้ำขัง ท่ออุดตัน สภาพแวดล้อมโดยรอบที่ไม่อำนวย ทำให้อากาศจากภายนอกอาคารไม่สามารถไหลผ่านระบบท่อ อุณหภูมิอากาศในท่อจึงค่อนข้างต่ำและคงที่ ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคาร

จึงทำการปรับปรุงระบบท่อในช่วงการศึกษาที่ 2 ที่ทำให้ระบบท่อมี่ประสิทธิผลการลดความร้อนดีขึ้น อากาศในท่อมี่มีการไหลเวียนที่ดีแต่ยังไม่สามารถให้ประโยชน์กับอาคารได้ จึงใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อเพิ่มอัตราการไหลเวียนที่ทำให้อุณหภูมิอากาศมีทิศทางเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิภายนอก เมื่อเทียบอุณหภูมิอากาศปลายท่อก่อนและหลังปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นลงอย่างละ 1 องศาเซลเซียส สามารถลดอุณหภูมิลมออกปลายท่อจากอุณหภูมิภายนอกได้เฉลี่ย 2.2-2.6 องศาเซลเซียส ซึ่งมีส่วนต่างสูงสุด 5.8 องศาเซลเซียส ใช้ประโยชน์ได้ในช่วงเวลา 7.30-22.00 น. เป็นระยะ 14-15 ชั่วโมงต่อวัน และช่วงเวลา 22.00-7.30 น. อุณหภูมิอากาศที่ปลายท่อจะสูงกว่าภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย 1 องศาเซลเซียส

หลังจากที่ระยะปรับปรุงระบบท่อ 6 เดือนจึงเข้าไปศึกษาตามสภาพใช้งานจริงอีกครั้ง ซึ่งพบว่าปัญหาจากการไม่ดูแลรักษาระบบท่อแล้วกลับมาปรับปรุงแก้ไขอีกครั้ง ไม่สามารถทำให้ระบบกลับมาดีขึ้นได้ทั้งหมด จากการพบปัญหาน้ำขังในท่อเช่นเดิม ที่ทำให้ประสิทธิผลการกลับมาอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ เนื่องมาจากการรั่วซึมของน้ำในท่อใต้ดิน ทำให้อากาศในท่อมี่ที่ไหลเวียน อุณหภูมิกลางท่อกับปลายท่อมี่มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยช่วงปลายท่อจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในอาคาร ซึ่งไม่ใช่อากาศที่ไหลมาจากท่อโดยตรง ดังนั้นการวางแผนออกแบบและการดูแลรักษาระบบท่ออากาศฝังดินตั้งแต่ช่วงแรกเพื่อกันปัญหาที่เกิดขึ้น จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แก้ไขปัญหาได้ง่ายและได้ผลดีที่สุด

ระบบท่ออากาศฝังดินเป็นการเพิ่มทางเลือกในการประหยัดพลังงาน โดยใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่จำกัดอย่างคุ้มค่า ให้ความเย็นในระดับที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับการสิ้นเปลืองพลังงาน (เปรียบเทียบค่าไฟของการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 5 ตัวสามารถประหยัดไฟได้ถึง 60 % ของการใช้พัดลมตั้งโต๊ะ 1 ตัว) สรุปข้อควรคำนึงในการใช้งานคือ

- การดูแลรักษาที่ค่อนข้างยาก หากไม่มีการออกแบบวางแผนและเตรียมพื้นที่ในการตรวจสอบภายใน

- น้ำและการอุดตันเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องป้องกัน

- ระบบท่อควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกันมีข้อต่อและการหักเลี้ยวที่น้อยที่สุด

- สถานที่ในการติดตั้งควรเป็นพื้นที่แห้งไม่ควรมีแหล่งน้ำอยู่ใกล้ๆ ซึ่งจะทำให้ดินบริเวณนั้นชุ่มน้ำมีโอกาสรั่วซึมได้ง่ายขึ้น

ดังนั้นถ้าต้องการประยุกต์ใช้ระบบท่ออากาศฝังดินกับอาคารจำเป็นต้องศึกษาหลักการออกแบบและสภาพพื้นที่ให้ถี่ถ้วนแผนการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด สำคัญที่สุดคือต้องดูแลรักษาง่ายและมีการตรวจสอบการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ระบบท่ออากาศฝังดินนี้จึงจะให้ประโยชน์กับอาคารอย่างมีประสิทธิภาพตามผู้ออกแบบต้องการ

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์ ที่ถ่ายทอดความรู้และแนะนำในฐานะที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ.วนิดา พึ่งสุนทร และ ผศ.บัญชา ชุ่มเกษร ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารและระบบท่ออากาศฝังดิน ขอขอบคุณทางวัดจันเสน เจ้าอาวาสพระครูนิวาสธรรมขันธ์ และพระสงฆ์ทุกรูปที่ให้ความรู้และความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บข้อมูลวิทยานิพนธ์ รวมถึงเพื่อนๆและครอบครัวที่คอยช่วยเหลือตลอดมา

#### เอกสารอ้างอิง

1. ธนิต จินดาวนิก. "การแสวงหาประโยชน์จากสภาพแวดล้อมเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายและประหยัดพลังงาน." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
2. สุพจน์ ดวงสินทวีกุล. "การทำความเย็นให้กับอาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
3. เอนก วีระวิวัฒน์ชัย. "การทำความเย็นอาคารโดยการใช้อุณหภูมิพื้นดิน." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
4. ธนรัชต์ ลิ้มคุปตถาวร. "ประสิทธิผลการทำความเย็นด้วยท่อใต้ดินในการออกแบบบ้านพักอาศัยใน ภูมิภาคอากาศแบบร้อนชื้น : กรณีศึกษาบ้านพักอาศัย จ.ชัยภูมิ." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
5. วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ. "การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย". วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 12, 4(ต.ค.-ธ.ค. 2548) : 332-342
6. Stein, Reynold and Meguinness. Mechanical and electrical equipment for building 8<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley & Sons, 1992.
7. Moore, Fuller. Environmental control systems : heating cooling lighting. New York : McGraw – Hill, 1993.
8. Givoni, Baruch. Passive and Low Energy Cooling of Building. New York : Van Nostrand Reinhold, 1994.
9. Rattan Jadhav. "Performance of Single Pass earth-Tube Heat Exchanger. An Experimental Study." Dissertation, Indian Institute of Management, Ahmedabad 2003.
10. 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.