การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย

วีระวุฒิ อรุณวรรธนะ[1*], ประยูร สตารัตน์[1], พิษณุ พูลเจริญศิลป์[2] และ พรรณวดี ชูเรือง[2]

Weeravuth Arunwattana[1], Prayoon Starat[1], Pisanu Poolcharuansin[2] and Pannavadee Churueang (2005).* **Air-conditioning in residential building by the earth-to-air heat exchanger for summer of Thailand.** *Suranaree J. Sci. Technol.*

Received: Jun 29, 2005; Revised:Sept 26, 2005; Accepted: Nov 17, 2005

Abstract

This paper presents the designation of the earth-to-air heat exchanger system to decrease the temperature in the room of which the volume is 40 cubic maters during summer in 2005 of Thailand. In this paper, the operated ability is evaluated. As the results of the experiments, the designed system is able to dramatically decrease the temperature in the room about 1 - 8 Celsius only on daytime since comparing with the ambient temperature. Additionally, the designed system using the earth-to-air heat exchanger system affects to fan ventilation use improving the thermal comfort. It is the one of many techniques for energy saving that come out to be about 73% comparing with the vapor compression system.

Keywords : Earth-to-air heat exchanger, air conditioning, thermal comfort

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินเพื่อใช้ในการปรับอากาศให้มีอุณหภูมิลดลงภายในอาคารที่อยู่อาศัยขนาด 40 ลูกบาศก์เมตร และได้ทำการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการปรับอากาศในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย พบว่า การปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสามารถใช้ได้ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ซึ่งสามารถปรับลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมได้ประมาณ 1 - 8 องศาเซลเซียส ทำให้มีผลต่อการใช้พัดลมที่มาช่วยปรับ

[1] *กลุ่มวิจัยพลังงานและการประหยัดพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ (สาขาฟิสิกส์ประยุกต์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทรศัพท์ 0-4375-4247 E-mail: we_thermal@hotmail.com*

[2] *ภาควิชาฟิสิกส์ (สาขาฟิสิกส์ประยุกต์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

[*] *ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ*

ระดับสภาวะน่าสบายภายในอาคารที่ใช้ระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้ให้มีสภาวะน่าสบายที่สูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการตัดสินใจเลือกมาใช้ระบบนี้เพื่อการประหยัดพลังงาน พบว่า สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันพบว่า การใช้พลังงานของประเทศไทยนับว่าสูงขึ้นทุกปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2545) ประกอบกับเกิดวิกฤติน้ำมันแพงขึ้นหลายครั้ง ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายเร่งด่วนที่จะลดการใช้พลังงานของประเทศลง เพื่อชะลอการนำเชื้อเพลิงเข้าจากต่างประเทศ มาตรการหนึ่งที่ใช้ก็คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์และการนำเอาระบบที่มีการใช้พลังงานน้อยมาทดแทนระบบแบบเดิมที่ใช้พลังงานมาก ระบบปรับอากาศเป็นระบบหนึ่งที่มีการใช้พลังงานสูง โดยเฉพาะการใช้พลังงานภายในอาคารที่อยู่อาศัย ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงกว่าระบบอื่น คือ มีการใช้พลังงานประมาณ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในอาคาร (สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา, 2545) ดังนั้นหากสามารถนำเอาระบบปรับอากาศแบบอื่นหรือหาวิธีการที่ประหยัดพลังงานมาใช้ ก็นับว่าจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้มาก ซึ่งจะส่งผลต่อการมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานภายในอาคารที่อยู่อาศัย

สำหรับประเทศไทย มีจำนวนอาคารที่อยู่อาศัยไม่น้อยที่ใช้พัดลมมาช่วยในการปรับระดับสภาวะน่าสบาย ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะไม่เท่ากับระบบปรับอากาศแบบอัดไอแต่ถ้าเปรียบเทียบการใช้พลังงาน พบว่า พลังงานที่ใช้ในพัดลมน้อยมาก แต่สำหรับในฤดูร้อนการใช้พัดลมอาจจะไม่ทำให้รู้สึกว่าสบายขึ้น เนื่องจากว่าอากาศมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นถ้าหากลดอุณหภูมิอากาศลงได้ระดับหนึ่งก็สามารถนำพัดลมมาใช้ปรับระดับสภาวะน่าสบายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้มีความสนใจหันมาใช้พัดลมมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการชะลอและลดการใช้ระบบปรับอากาศแบบอัดไอลง ระบบหนึ่งที่ใช้ก็คือ ระบบปรับอากาศแบบระเหย แต่ก็มีปัญหาเรื่องความชื้นที่สูงขึ้นของอากาศที่ปรับได้ ทำให้มีผลต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยในประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศส่วนใหญ่เป็นแบบร้อนชื้น

ดินนับว่าสามารถใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนและแหล่งให้ความเย็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.15 เมตร จะมีอุณหภูมิคงที่ในรอบวันและในรอบปีที่อุณหภูมิของดินจะคงที่ที่ระดับความลึกประมาณ 4 เมตร (Bharadwaj and Bansal, 1981) ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาศักยภาพของดินมาใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนสำหรับประเทศภูมิอากาศหนาว จากรายงานของ Rybach and Sanner (2000) พบว่า ในแถบยุโรปได้มีการใช้ระบบปั๊มความร้อนโดยใช้ดินเป็นแหล่งให้ความร้อน ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ และมีการวิจัยพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง ส่วนการนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับอากาศภายในอาคารโดยตรง พบว่า ได้มีการนำมาใช้ในระบบปรับอากาศภายในอาคารเพื่อลดอุณหภูมิอากาศลงในฤดูร้อนและเพิ่มอุณหภูมิอากาศในฤดูหนาวในตัวอาคาร (Pfafferott, 2003) และนอกจากนี้ยังพบว่าได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับอากาศให้กับโรงเรือนพืชและโรงเรือนสัตว์ (Santamouris *et al.*, 1995; Sharan *et al.*, 2001)

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้นำเอาดินมาใช้เป็นแหล่งให้ความเย็นเพื่อใช้ในการปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยให้มีอุณหภูมิลดลงในฤดูร้อนโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินในแนวนอนที่ได้จากการออกแบบ เนื่องจากอากาศที่ปรับได้จะยังคงมีความชื้นเท่าเดิม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พัดลมในการปรับระดับสภาวะน่าสบายให้ดี

ขึ้นกว่าเดิม เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะตัดสินใจนำมาใช้ทดแทนระบบปรับอากาศแบบอัดไอเพื่อการประหยัดพลังงาน และนอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนในการปรับอากาศโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้ด้วย เพื่อจะใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบ กำหนดให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินฝังในแนวนอนขนานกับพื้นดิน พิจารณาส่วน dx เมตรของท่อที่มีรัศมี r เมตร และมีความยาว L เมตร ดังรูปที่ 1 มีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนจากอากาศที่ไหลภายในท่อไปยังดินที่สัมผัสกับผิวท่อด้านนอก โดยตั้งสมมติฐานให้อุณหภูมิผิวท่อด้านนอกเท่ากับอุณหภูมิดินที่สัมผัส เนื่องจากดินมีค่าความจุความร้อนสูง และถือว่าความหนาของท่อบางมาก ดังนั้นจึงไม่มีความต้านทานความร้อนเนื่องจากความหนาของท่อ เมื่อสมดุลพลังงานจะได้ อัตราการสูญเสียความร้อนของอากาศที่ไหลภายในท่อหรืออัตราการทำความเย็นของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินเท่ากับการพาความร้อนของอากาศไปยังดิน สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$c_a p_a \dot{V} \frac{dT(x)}{dx} dx = 2\pi r h_c \left(T_{soil} - T(x)\right) dx \quad (1)$$

เมื่อ $\dot{V}$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

c_a = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ, จูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส

p_a = ความหนาแน่นของอากาศ, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ, วัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเซลเซียส

T_{soil} = อุณหภูมิดินที่สัมผัสกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน, องศาเซลเซียส

$T_{(x)}$ = อุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่ง x ตามแนวความยาวท่อ, องศาเซลเซียส

จากสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง x = 0 จะได้ T(x=0) = T_{inlet} สามารถเขียนสมการคำตอบได้ดังนี้

$$T(x) = T_{soil}\left(1 - e^{-\frac{2\pi r h_c}{c_a \rho_a \dot{V}} x}\right) + T_{inlet} e^{-\frac{2\pi r h_c}{c_a \rho_a \dot{V}} x} \quad (2)$$

เมื่อ T_{inlet} = อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน, องศาเซลเซียส

และ ณ ตำแหน่ง x = L จะได้ T(x=L) = T_{outlet} และสามารถหาอัตราความร้อน (อัตราการทำความเย็นเครื่องหมายจะติดลบหรืออัตราการทำความร้อนเครื่องหมายจะเป็นบวก) ของอากาศที่ไหลภายในท่อ ($\dot{Q}$) หาได้จากสมการ ดังนี้

$$\dot{Q} = c_a \rho_a \dot{V} (T_{outlet} - T_{inlet}) \quad (3)$$

เมื่อ T_{outlet} = อุณหภูมิอากาศที่ออกจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, องศาเซลเซียส

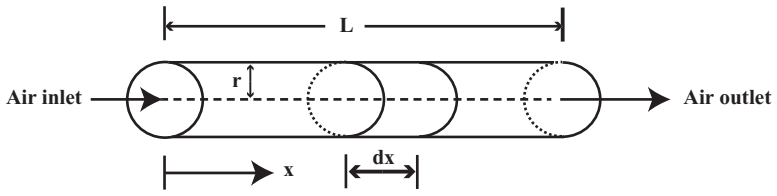

Figure 1. A horizontal pipe buried in underground

จากสมการที่ (2) และ (3) จะได้

$$\dot{Q} = c_a \rho_a \dot{V} \left(T_{soil} - T_{inlet}\right) \left[1 - e^{-\frac{2\pi r h_c}{c_a \rho_a \dot{V}} L}\right] \quad (4)$$

สมการที่ (4) นี้เป็นสมการที่ใช้สำหรับการออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน สำหรับในงานวิจัยนี้

ในการประเมินสมรรถนะการปรับอากาศของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินในงานวิจัยนี้ ได้หาค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะ (Coefficient of Performance; COP) ซึ่งเป็นดรรชนีหนึ่งที่ใช้ในการประเมินหาสมรรถนะการทำงานในระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$COP = \frac{\dot{Q}}{\Delta p \dot{V}} \quad (5)$$

เมื่อ Δp = ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในระบบ, นิวตันต่อตารางเมตร

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวิธีการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง และขั้นตอนการทดสอบเพื่อประเมินหาสมรรถนะการปรับอากาศของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ ความดัน และความเร็วลม มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ขั้นตอนการออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินและติดตั้ง

ในการออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดให้ท่อมีลักษณะฝังคู่ขนานในแนวนอนกับพื้น วัสดุท่อที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมกับงาน ราคาประหยัด และที่สำคัญหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และนอกจากนี้ควรออกแบบให้ความดันสูญเสียในระบบมีค่าน้อยซึ่งจะทำให้ประหยัดกำลังของพัดลม นั่นคือค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบก็จะน้อยตามไปด้วย ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นได้กำหนดให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้มีความสามารถในการทำความเย็น 6,000 บีทียูต่อชั่วโมง หรือ 1,758.5 วัตต์ เนื่องจากต้องการให้ได้ขนาดของท่อไม่ใหญ่มาก และที่สำคัญกำลังงานของพัดลมที่ใช้จะต้องน้อยกว่ากำลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศแบบอัดไอที่ความสามารถการทำความเย็นเดียวกันพอสมควร และจะต้องมีความสามารถในการทำความเย็นที่ไม่ต่ำเกินไป โดยมีสภาวะอากาศก่อนเข้าระบบ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นได้ทำการวัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในช่วงเดือนมีนาคม ณ พื้นที่บริเวณในมหาวิทยาลัยมหาสารคามโดยใช้สาย

Table 1. Characteristics of the instrumentation

Measurement Variable	Instrument	Range	Uncertainty
Temperature	Type K Thermocouple	-50-100^{O}C	± 0.4%
Pressure	Type 4 Manometer No. 103483	0-2.5 kPa	± 2%
Velocity	DIGICON Anemometer Model DA-43	0.4-30 m/s	± 2%

เทอร์มอคัปเปิ้ลชนิด K และทำการบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Δp รุ่น DL2e No. 414-1 เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการติดตั้งระดับความลึกของท่อ ซึ่งอุณหภูมิดิน ณ ระดับเดียวกับท่อที่ติดตั้งจะต้องมีอุณหภูมิต่ำและมีการเปลี่ยนแปลง น้อยในแต่ละรอบวัน จากรูปที่ 2 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิผิวดิน และอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึก 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 เมตร ซึ่งได้ทำการวัดในช่วงระหว่างวันที่ 22 - 29 มีนาคม 2548 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้อุณหภูมิดินและตำแหน่งติดตั้งในการออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน พบว่า อุณหภูมิผิวดิน และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากในแต่ละชั่วโมง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากรังสีอาทิตย์ และสภาวะแวดล้อมของอากาศในแต่ละรอบวัน ในขณะที่อุณหภูมิดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.5 - 3.0 เมตร อุณหภูมิค่อนข้างจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย และพบว่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 3 เมตร มีอุณหภูมิต่ำที่สุดและมีค่าค่อนข้างจะคงที่ ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 28.62 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 3 เมตร ในการออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน โดยให้มีค่าในการออกแบบเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส

จากสมการที่ (4) กรณีที่ท่อมีความยาวไม่จำกัด อุณหภูมิอากาศที่ออกจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินจะเท่ากับอุณหภูมิดิน ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศถูกกำหนดโดยอุณหภูมิของดิน และอุณหภูมิอากาศเข้า โดยอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\dot{V} = \frac{-1,758.5}{\rho_a c_a \left(T_{outlet} - 35\right)} \quad \text{เมื่อ} \quad 30 < T_{outlet} < 35 \qquad (6)$$

เนื่องจากว่าความดันสูญเสียในระบบ ขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และความยาวท่อ ในกรณีไม่คิดผลเนื่องจากข้อต่อต่าง ๆ และท่อที่มาต่อเข้าระบบ สามารถหาความดันสูญเสียในระบบได้ดังสมการที่ (7)

$$\Delta p = f_D \left(L / D\right) p_v$$

เมื่อ f_D = เฟคเตอร์ความเสียดทาน, ไร้หน่วย

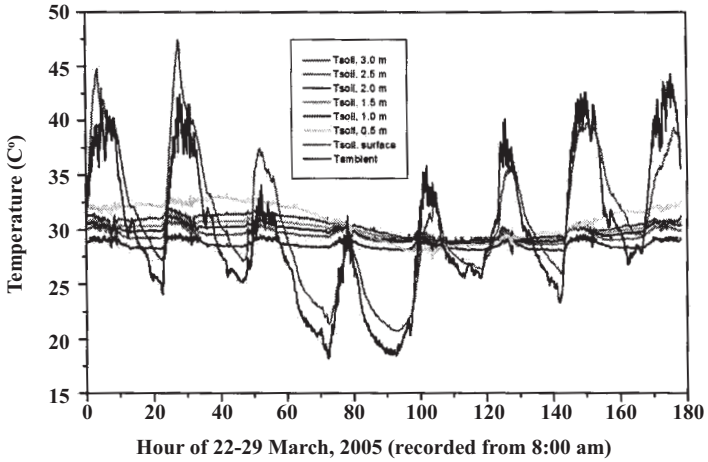

Figure 2. Ambient and ground temperature profile, hourly data

p_v = ความดันความเร็ว, นิวตันต่อตารางเมตร

และจากสมการที่ (14) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$h_c = 0.023 \times (\frac{u_m d}{\upsilon})^{0.8} \times P_r^{1/3} \times \frac{1}{d} \qquad (8)$$

เมื่อ u_m = อัตราความเร็วเฉลี่ยของอากาศ, เมตรต่อวินาที

d = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, เมตร

υ = ความหนืดคิเนแมติคส์ของอากาศ, ตารางเมตร ต่อวินาที

P_r = แพรนด์เติลนัมเบอร์ของอากาศ, ไร้หน่วย

จากสมการที่ (4), (6), (7) และ (8) ได้ท่อคู่ขนานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละท่อ 0.1524 เมตร (6 นิ้ว) อัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าระบบ (ก่อนเข้าท่อคู่ขนาน) 0.405 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (900 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) และความยาวที่ใช้ในแต่ละท่อ 16 เมตร เมื่อคำนึงถึงราคาวัสดุและความเหมาะสมจึงเลือกใช้ท่อพีวีซีชั้น 5 เนื่องจากราคาไม่แพง หาซื้อง่ายตามท้องตลาด มีความคงทน ไม่เกิดการกัดกร่อน และไม่ขึ้นสนิมเมื่อฝังอยู่ใต้ดิน เมื่อได้ขนาดและชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อ จากนั้นได้ทำการติดตั้งระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้เข้ากับห้องขนาดความกว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.5 เมตร ผนังห้องทำมาจากอิฐมอญฉาบปูนเรียบทาสีพลาสติกทั้งสองหน้า พื้นปูด้วยกระเบื้องเซรามิกเกรดเอ ฝ้าเพดานเป็นแผ่นยิบซั่มหนา 9 มิลลิเมตร หลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่ หน้าต่างเป็นกระจกสีชาหนา 4 มิลลิเมตร กว้าง 0.6 เมตร สูง 2 เมตร มีสองบาน ติดตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกและทิศใต้ ส่วนประตูทำมาจากไม้เนื้อแข็ง กว้าง 0.8 เมตร สูง 2 เมตร ติดตั้งอยู่ทางทิศเหนือ โดยต่อเชื่อมเข้ากับท่อลมที่ทำมาจากเหล็กอาบสังกะสี ในส่วนของท่อลมที่อยู่เหนือพื้นดินได้ทำการหุ้มฉนวนโพลีเอทิลีนอย่างดี และได้ออกแบบให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าผสมกับอากาศที่มาจากภายในห้องก่อนที่จะไหลเวียนผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน และเลือกใช้พัดลมแบบหอยโข่งขนาด ¼ แรงม้า ในการ

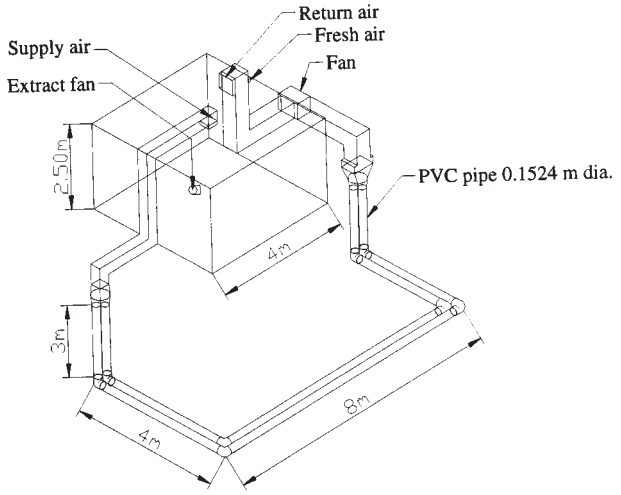

Figure 3. Schematic of earth-to-air heat exchanger

ช่วยให้อากาศไหลเวียนผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน และนอกจากนี้ยังได้ทำการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ ซึ่งระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้มีรูปแบบการติดตั้งดังรูปที่ 3 (ในการติดตั้งท่อพีวีซีจำเป็นต้องใช้รถแมคโครขุดและใช้รถไถในการกลบดิน)

ขั้นตอนการทดลอง

ได้ทำการวัดข้อมูลเพื่อประเมินความสามารถในการทำความเย็น โดยทำการติดตั้งสายเทอร์มอคัปเปิ้ลชนิด K วัดอุณหภูมิ 5 จุดด้วยกัน คือ วัดอุณหภูมิก่อนเข้าท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน อุณหภูมิออกจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน (ตำแหน่งจ่ายอากาศเย็น) อุณหภูมิภายในห้องทดลอง (วัด 4 จุดเพื่อหาค่าเฉลี่ย) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ ΔT รุ่น DL2e No. 414-1 ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที โดยได้ทำการทดลองในวันที่ 11 - 21 เดือนเมษายน 2548 ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่ร้อนที่สุดสำหรับประเทศไทยและนอกจากนี้ได้ทำการวัดความเร็วลมโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-43 วัดความดันก่อนเข้าและออกจากระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินโดยใช้มาโนมิเตอร์เอียงยี่ห้อ Airflow Development Type 4 No. 103483 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้

ผลการวิจัย

ข้อมูลการทำงานของระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินได้แก่ อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายและกลับ ความเร็วลมที่จ่ายและกลับ อัตราการไหลของอากาศดี อัตราการไหลของอากาศที่ถูกดูดออกจากห้อง และความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบที่ได้จากการวัดและคำนวณ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า อัตราการไหลมีค่าต่ำกว่าค่าจากการออกแบบ ทั้งนี้ในการออกแบบความดันสูญเสียของระบบมีค่าเท่ากับ 432 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งไม่ได้คิดผลเนื่องจากข้อต่อต่าง ๆ และท่อที่มาต่อเข้าระบบ แต่ถ้าคิดผลดังกล่าวแล้วคำนวณหาความดันสูญเสียในระบบได้เท่ากับ 783 พาสคาล ดังนั้นอัตราการไหลที่พัดลมทำได้จึงมีค่าต่ำกว่าค่าในการออกแบบ ทำให้ความดันสูญเสียที่วัดได้ในระบบมีค่าสูงกว่าค่าจากการออกแบบ ดังนั้นในการออกแบบควรคำนึงถึงผลของข้อต่อต่าง ๆ และท่อที่มาต่อเข้าระบบด้วย

Figure 4. Installation of earth-to-air heat exchanger

จากรูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิห้องเฉลี่ยที่ปรับได้โดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน พบว่า ช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิห้องเฉลี่ย ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนส่วนใหญ่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเฉลี่ย และมีบางช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องเฉลี่ย และพบว่าตลอดช่วงเวลาทำงาน อุณหภูมิห้องเฉลี่ยที่ปรับได้และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง 26.8 - 37.8 องศาเซลเซียส และ 25.4 - 44.6 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นในช่วงการทำงานของการปรับอากาศโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้ มีลักษณะการทำงานทั้งให้ความร้อน ($T_{inlet}>T_{outlet}$) ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในช่วงเวลากลางคืน และการทำความเย็น ($T_{inlet}<T_{outlet}$) ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในช่วงเวลากลางวัน (ดังรูปที่ 6) แต่พบว่า ความสามารถในการปรับอากาศของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้ในช่วงของการทดสอบคือ ในช่วงฤดูร้อน ความสามารถในการทำความเย็นมีประสิทธิภาพ ดีกว่าการทำความร้อน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ พบว่า อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินมีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 37.6 และ 26.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิอากาศออกมีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 35.2 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากข้อมูลในตารางที่ 2 และจากรูปที่ 6 สามารถที่จะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะการทำงานของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

Table 2. Operation of earth-to-air heat exchanger

Operation of the system	
Supply air flow rate (m^3/s)	0.342
Return air flow rate (m^3/s)	0.32
Supply air velocity (m/s)	3.8
Return air velocity (m/s)	2.0
Fresh air flow rate (m^3/s)	0.029
Extract air flow rate (m^3/s)	0.14
Pressure loss (Pa)	600

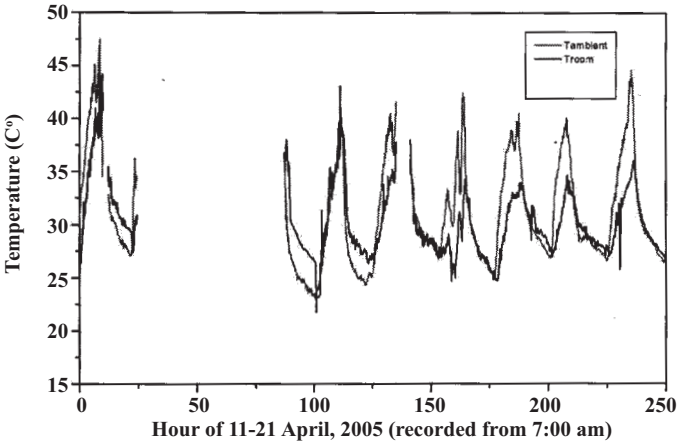

Figure 5. Ambient and conditioned room temperature profile, hourly data

ใต้ดินนี้ ในช่วงเวลาการทดสอบ โดยใช้สมการที่ (5) ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 7 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะมีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 12 - 0 ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะจะขึ้นอยู่กับอากาศก่อนเข้าท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน ในกรณีการทำความเย็นค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะยิ่งมีค่าสูงตามอุณหภูมิอากาศที่เข้า ส่วนกรณีการทำความร้อนค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะจะมีค่ายิ่งสูงถ้าอากาศที่เข้ายิ่งมีค่าต่ำ แต่ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวันโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงหรือในช่วงเวลาที่มีภาระความร้อนเข้าสู่ห้องปรับอากาศมาก

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่า การที่จะนำเอาระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินมาใช้ลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารช่วงฤดูร้อนในประเทศไทย เพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับสภาวะน่าสบายของพัดลมตั้งโต๊ะหรือพัดลมเพดานให้สูงขึ้นกว่าเดิม นั้น สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ได้ประมาณ 1 - 8 องศาเซลเซียส (ในช่วงเวลา

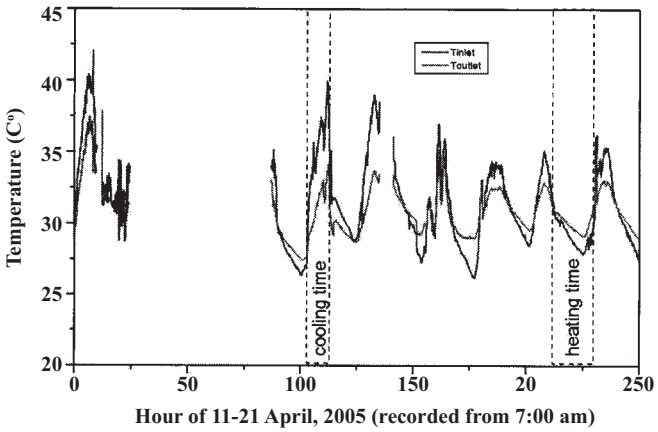

Figure 6. Inlet and outlet temperature profile of earth-to-air heat exchanger, hourly data

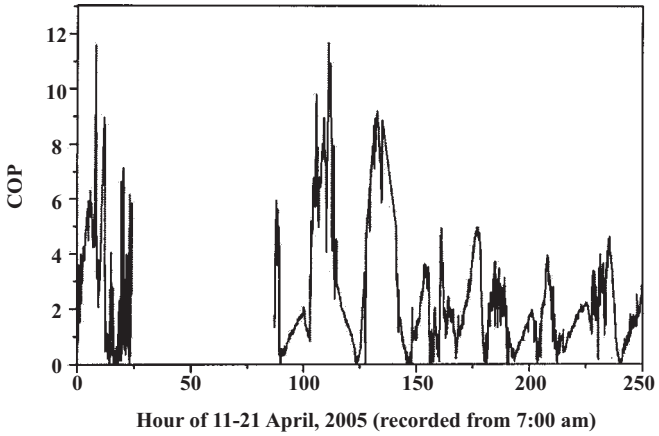

Figure 7. Coefficient of performance of earth-to-air heat exchanger, hourly data

08.00 - 17.00 น.) แต่ถ้าอาคารที่มีระบบของผนังกันความร้อนดีก็สามารถลดอุณหภูมิลงได้มากกว่านี้ และถ้าสามารถลดความดันสูญเสียในระบบลงได้ โดยเฉพาะลดข้อต่อต่างๆ ลงก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการปรับอากาศให้สูงขึ้นได้

กำหนดให้ระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินนี้ทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 - 17.00 น. โดยให้ทำงานร่วมกับพัดลมเพดานขนาด 45 วัตต์ แล้วทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอขนาด 1 ตันความเย็น พบว่า ระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินที่ทำงานร่วมกับพัดลมเพดานสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 7.3 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ถ้าในหนึ่งปีระบบนี้ทำงานเฉพาะในช่วงฤดูร้อน (92 วัน) ดังนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้ 671.6 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

และนอกจากนี้ ยังสามารถนำเอาระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่พัดลมทั้งในระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินและพัดลมเพดาน ซึ่งสามารถช่วยทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านการใช้พลังงาน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาระบบนี้ต่อไป

บทสรุป

จากการทำงานของระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินในงานวิจัยนี้ จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาการทำความเย็น ส่วนช่วงเวลากลางคืนเป็นช่วงการทำความร้อนซึ่งจะมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นสามารถที่จะนำเอาระบบนี้มาใช้ร่วมกับพัดลมในการปรับสภาวะน่าสบายให้สูงขึ้นกว่าเดิมได้ ในช่วงเวลากลางวันของฤดูร้อนเท่านั้น ซึ่งพบว่าถ้าหากนำระบบนี้มาใช้สามารถประหยัดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอได้ประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหากระบบอาคารมีระบบป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารที่ดี และเลือกตำแหน่งการติดตั้งระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินที่เหมาะสม (ตำแหน่ง ณ ระดับความลึกของดินที่มีอุณหภูมิต่ำที่พอเหมาะ) ระบบนี้น่าจะเป็นทางเลือกใหม่ ในการที่จะช่วยลดการใช้พลังงานในระบบอาคารลงได้อย่างมาก ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานรวมของประเทศลงอย่างรวดเร็ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้สนับสนุนทุนโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2545). เอกสารประกอบการสัมมนาแผนหลักอนุรักษ์พลังงาน 5 ปี (พ.ศ. 2545-2549); 28 มีนาคม 2545; กระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, หน้า 2-5.

สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา. (2545). อนุรักษ์พลังงาน: วิถีธรรมชาติเทคโนโลยี และความสมดุล. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 10(1):8.

Bharadwaj, S.S., and Bansal, N.K. (1981). Temperature distribution inside ground for various surface condition. Building and Environment, 16:183-192.

Pfafferott, J. (2003). Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardized method to calculate energy efficiency. Energy and Buildings, 35:971-983.

Rybach, L., and Sanner, B. (2000). Ground-Source Heat Pump System the European Experience. GHE BULLETIN, March:16-26.

Santamouris, M., Mihalakaha, G., Balaras, C.A., Argirioua, A.D., and Vallinaras, M. (1995). Use of Buried pipes for energy conservation in cooling of agricultural greenhouse. Solar Energy, 35:111-124.

Sharan, G., Sahu, R.K., and Jadhav, R. (2001). Earth-tube heat exchanger based air-conditioning for tiger dwellings. Zoos Print, May:RNI2-8.