

คำนำ

โครงการการวิเคราะห์ระบบน้ำใต้ดินกรุงเทพและสระบุรี เพื่อดึงความเย็นจากใต้ดินในการถนอมอาหารในห้องเก็บรักษา เป็นโครงการการศึกษาวิจัยเพื่อการประยุกต์ระบบ Geothermal Heat Pump (GHP) มาใช้เพื่อประหยัดพลังงานในการถนอมอาหารโดยใช้ความเย็น

จากการวิจัยที่ผ่านมา โครงการได้จัดทำรายงานทั้งในส่วนขั้นตอนการติดตั้งระบบ GHP พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการจัดการ ในรูปรายงานการศึกษานับสมบูรณ์จำนวน 4 ชุด พร้อมกันนี้ได้จัดส่งเอกสารทั้งหมดในรูปแบบ CD – ROM จำนวน 2 แผ่น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านข้อมูลสารสนเทศต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ

หัวหน้าโครงการวิเคราะห์ระบบน้ำใต้ดินกรุงเทพฯ

เพื่อดึงความเย็นจากใต้ดินในการถนอมอาหารในห้องเก็บรักษา

17 พฤศจิกายน 2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ : RES560530661

โครงการ การวิเคราะห์ระบบน้ำใต้ดินกรุงเทพและสระบุรี เพื่อดึงความเย็นจากใต้ดินในการถนอมอาหารในห้องเก็บรักษา

สรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive summary)

โครงการการวิเคราะห์ระบบน้ำใต้ดินกรุงเทพและสระบุรี เพื่อดึงความเย็นจากใต้ดินในการถนอมอาหารในห้องเก็บรักษา นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการถนอมอาหารด้วยระบบ Geothermal Heat Pump (GHP) ซึ่งหลักการทำงานของระบบ GHP นี้อาศัยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิใต้ดินและผิวดิน ในการหมุนเวียนแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งในจากข้อมูลเบื้องต้นที่เคยมีการศึกษา พบว่าประเทศไทยในภาคกลางนั้น พบว่ามีอุณหภูมิใต้ดินต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผิวดิน อีกทั้งยังคงที่ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นข้อดีที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการการวิจัยครั้งนี้

ในการดำเนินงานที่ผ่านมาในระยะเวลาหนึ่งปีพบว่า ได้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งใจไว้ แต่การดำเนินงานนั้น มีปัญหาเล็กน้อย เช่น ปัญหาเรื่องการขุดเจาะบ่อบาดาล ที่อยู่ในช่วงเหตุการณ์ความไม่สงบทางการเมือง มีผลทำให้การดำเนินงานล่าช้า อีกทั้งปัญหาเรื่องติดตั้งระบบ GHP เป็นเทคโนโลยีที่ยังเป็นที่รู้จักในประเทศไทย จึงจำเป็นต้องใช้ความรู้ และประสบการณ์ในการติดตั้งจากผู้เชี่ยวชาญ โดยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก Professor Dr. Isao Takashima และ Dr. Youhei Uchida ที่ปรึกษาโครงการ จนสามารถติดตั้งระบบ GHP สำเร็จในที่สุด โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 10 เดือน ทำให้เหลือระยะเวลาในการทดลองจริงไม่มาก ผลการทดลองที่ได้จึงเป็นเพียงแนวทางในการวิจัยต่อไปเท่านั้น ซึ่งผลการวิจัยพบว่าเครื่อง GHP สามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี โดยสามารถไปได้เฉลี่ยถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศเดิม ดังนั้น หากเครื่อง GHP ช่วยลดปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าภายในห้องเก็บรักษาอุณหภูมิที่ใช้ในการถนอมอาหารได้ ก็จะช่วยลดปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าจากตู้ทำความเย็นของอาหารได้เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้แล้วผลการดำเนินงานที่เป็นรูปธรรมที่สำคัญตามข้อกำหนดของโครงการนี้คือ การได้เผยแพร่ผลงานวิจัย เป็นบทความวิจัยระดับชาติจำนวน 1 บทความ แต่เนื่องจากผลของงานวิจัยยังไม่เพียงพอให้ผลการดำเนินงานยังไม่สำเร็จคล่องตามข้อกำหนด แต่จะเร่งดำเนินการให้เสร็จตามข้อกำหนดทุกประการ จึงต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยต่อเนื่อง 7 คลัสเตอร์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนวิจัยสนับสนุนแก่คณะผู้วิจัยด้วยดีมาตลอด ที่สำคัญอย่างยิ่งคือ หัวหน้าโครงการคลัสเตอร์อาหารและน้ำ คือ ศ.ดร.สมศักดิ์ ปัญหา และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมทรัพยากรธรณีญี่ปุ่น (AIST หรือ The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) ที่มอบเครื่อง GHP มาใช้ในการวิจัยและให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบ Geothermal Heat Pump (GHP) และให้การช่วยเหลือในการติดตั้งระบบ GHP จนสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณ ดร.อรนุช หล่อเพ็ญศรี ผู้อำนวยการสำนักควบคุมกิจการน้ำบาดาล เรื่องการจัดการรุดเจาะน้ำบาดาล และสำนักทรัพยากรน้ำบาดาล เขต 8 (ราชบุรี) สำหรับการขุดเจาะบ่อบาดาล

ขอบคุณคุณพจนะ แจ่มเงิน คุณสุรเชษฐ วชิร โภคเจริญ คุณสุริยะ โชคเหมาะ เจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีวิทยา และคุณณรงค์ สดสะอาด เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิคคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือในการติดตั้งระบบ GHP และเครื่องปรับอากาศเดิม

ขอบคุณคุณสัมฤทธิ์ เดชศรี เจ้าหน้าที่ดูแลเรือนกระจกตราชา และฝ่ายจัดการอาคารสถานที่ สำหรับความช่วยเหลือเรื่องการอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่

ขอบคุณคุณธีรรัตน์ ภัยหลบลี้ เจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีวิทยา สำหรับการติดต่อประสานงานกับทางศูนย์บริการวิชาการฯ และกับเจ้าหน้าที่โครงการทุนวิจัยต่อเนื่อง 7 คลัสเตอร์กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณนางสาวพัชรวี นวลขาว นิสิตปริญญาโท ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือด้านการใช้โปรแกรมที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอบคุณอาจารย์ นิสิตและบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความร่วมมือ ใจ ความเอื้ออารี และช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่คณะผู้วิจัยทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ

Abstract

Project Code : RES560530661

Project Title : Application of groundwater system in Bangkok and Saraburi for underground transmitting cooling system for food preservation

Investigator : Associate Professor Dr. Punya Charusiri, Dr. Santi Pailoplee, Miss Sasimook Chokchai, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University Professor Dr. Isao Takashima, Akita University and Dr. Youhei Uchida, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST

Project Period : 1 year (2013 – 2014)

At present, energy saving becomes the very important national issue, and does the food preservation. However, the food preservation requires a cooling system in the 24 - hour air-conditioning room. This eventually affects high cost of energy consumption. Our assumption is that if energy consumption can be reduced for operating the air conditioner, then electricity payment per month can be reduced as well.

This research is aimed at transferring the underground cooling water by circulating along the PE pipes through the Geo-heat Pump (“GHP”) cooling system. With the constant flow of cooler water by applying the GP system, the electricity consumption can be reduced.

The investigation commences with drilling of two bore holes to the depth of 50 meters using the well - equipped drilling truck. Then the 200 m - long LDPE pipes are carefully inserted into those two boreholes. Therefore each drill hole consists of 100 m-long LDPE pipes which are connected to the GHP system. Taping water with anti-corrosive solution is filled into the LDPE pipes without any leakage from the GHP system. Sensor system is attached to the controlling unit in order to collect all measurement data regarding temperatures inside and outside laboratory room ($2 \times 3 \times 4 \text{ m}^3$) as well as temperatures of flowing water in and out of the GHP system. All data which are stored in a PC computer are used for calculating the electricity reduction. The measurement data are Data from this study are then compared with those of the pre-existing similar – quality air conditioner in the laboratory room. Our preliminary result shows that with the application

of GHP system, electricity consumption can be reduced for more than 50 %. Additionally, it is figured out from this study that electricity consumption per month can be cut down to about 1,250 baht if the electricity is used all day long.

It is essential to mention that the result is successful, but the operating cost of drilling is quite high. This is mainly due to the fact that a cooling transfer system is from a vertical-loop arrangement of the pipes. It is therefore recommended that a horizontal arrangement of pipes needs to be performed in order to reduce operating cost. So it is quite challenged to set up the vertical loop arrangement and compared the future output with that of this study.

Keywords: GHP, Underground temperature, Surface temperature, Food preservation, Electricity saving

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RES560530661

ชื่อโครงการวิจัย การวิเคราะห์ระบบน้ำใต้ดินกรุงเทพและสระบุรี เพื่อถึงความเย็นจากใต้ดินในการถนอมอาหาร
ในห้องเก็บรักษา

ชื่อนักวิจัย และสถาบัน รศ.ดร.ปัญญา จารุศิริ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ นางสาวศศิภักดิ์ โชคชัย, ภาควิชาธรณีวิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาธรณีวิทยา Professor Dr. Isao Takashima, Akita University
และ Dr. Youhei Uchida, Geological Survey of Japan, AIST

ระยะเวลาโครงการ 1 ปี (2556-2557)

ในปัจจุบันการประหยัดพลังงานเป็นเรื่องที่มีความสำคัญในระดับชาติมากพอกับการถนอมอาหาร ซึ่ง
การถนอมอาหารจำเป็นต้องอาศัยระบบทำความเย็นในห้องปรับอากาศ และต้องใช้ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้
ค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นแนวคิด คือทางเราหากสามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้ก็จะช่วยประหยัด
ค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้เช่นกัน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถึงความเย็นจากใต้ดินมาใช้ โดยจัดให้มีน้ำไหลเวียนผ่านระบบความ
เย็นที่เรียก GHP ซึ่งถ้าการไหลของน้ำที่เก็บเป็นไปอย่างสม่ำเสมอก็สามารถช่วยลดการใช้ไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงทำ
การขุดหลุมเจาะ เพื่อฝังท่อประปา (PE) อย่างดี จนถึงความลึกที่ 50 เมตรจำนวน 2 หลุม โดยใช้รัดเจาะมีความ
ยาวทั้งหมด 200 เมตร และจัดให้ท่อ PE มีการไหลเวียนของน้ำในท่อโดยปราศจากการรั่วซึม ระบบเซนเซอร์ได้
ถูกต่อเชื่อมกับชุดควบคุมการทำงานเพื่อข้อมูลการอัดอุณหภูมิทั้งภายใน-ภายนอกห้องทดลอง (2x3x4 เมตร)
ตลอดจน GHP ถูกจัดเก็บด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อมูลในคอมพิวเตอร์นี้ถูกนำมาใช้เพื่อการคำนวณหาการลดการใช้
ไฟฟ้า

ข้อมูลจากการศึกษานี้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ
อยู่แล้ว และผลการศึกษาเบื้องต้นที่ใส่สารจับการกร่อน พบว่าระบบ GHP สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้มา
กกว่า 50 % จากการศึกษาพบว่าระบบนี้ช่วยลดการจ่ายค่าไฟฟ้าได้ถึงเดือนละ 1,200 บาท เมื่อเปิดใช้งาน 24
ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้แม้จะได้ผล แต่ก็ยังมีขีดจำกัด คือ การขุดเจาะใช้เงินลงทุนสูง เนื่องจากการ
ฝังท่อในแนวดิ่ง ดังนั้นจึงเสนอแนะว่าจะใช้ระบบฝังท่อในแนวระดับ จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยลง และอาจ
ประหยัดไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกันหรือดีกว่าเดิม

คำสำคัญ : GHP, อุณหภูมิใต้ดิน, อุณหภูมิผิวดิน, การถนอมอาหาร, การประหยัดไฟฟ้า

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive summary)	ข
คำขอบคุณ	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
บทคัดย่อภาษาไทย	ฉ
สารบัญ	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความหมาย	1
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
1.2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ	4
1.2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องงานวิจัยในประเทศ	9
1.3 แนวคิด	10
1.4 วัตถุประสงค์	10
1.5 ขอบเขตการวิจัย	10
1.6 ประโยชน์งานวิจัย	10
บทที่ 2 อุปกรณ์และขั้นตอนการวิจัย	
2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	11

2.2 ขั้นตอนการวิจัย	17
---------------------	----

บทที่ 3 ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาระณีวิทยาใต้ผิวดิน	
3.1.1 ที่หลุมเจาะที่ 1	38
3.1.2 ที่หลุมเจาะที่ 2	39
3.2 ผลการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง GHP และเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	
3.2.1 อุณหภูมิภายในห้องวิจัยฯ จากเครื่อง GHP	48
3.2.2 อุณหภูมิภายนอกห้องวิจัยฯ จากเครื่อง GHP	50
3.2.3 อุณหภูมิภายในท่อ PE ที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำเข้า-ออกจากห้องวิจัยฯ	53
3.2.4 อุณหภูมิภายในท่อ PE ที่ระดับความลึกต่างๆ	56
3.2.5 อุณหภูมิภายในห้องวิจัยฯจากเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	57
3.2.6 อุณหภูมิภายนอกห้องวิจัยฯจากเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	60
3.3 ผลการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าจากเครื่อง GHP และเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	
3.3.1 ปริมาณกระแสไฟฟ้าจากเครื่อง GHP	62
3.3.2 ปริมาณกระแสไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	63
3.4 การคำนวณค่าไฟฟ้าจากเครื่อง GHP และเครื่อง AC	
3.4.1 การคำนวณค่าไฟฟ้าจากการใช้งานของเครื่อง GHP	65
3.4.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าจากการใช้งานของเครื่อง AC	67

บทที่ 4 อภิปรายผล

4.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่อง GHP กับเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	
4.1.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิปกติภายในห้องก่อนการวิจัย	69

4.1.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องขณะทำการวิจัย	72
4.1.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องวิจัยก่อนและขณะทำการวิจัยระหว่าง เครื่องGHP และเครื่อง AC	74
4.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าระหว่างเครื่อง GHP กับ เครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	76
4.3 การประหยัดพลังงานไฟฟ้า	78
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รายละเอียดเกี่ยวกับการแก้ปัญหาหลุมเจาะที่เกิดขึ้นจากการจมน้ำของท่อ PE หลุมเจาะที่ 1 และหลุมเจาะที่ 2	84
ภาคผนวก ข แบบจำลองการติดตั้งระบบ GHP ระบบใหม่	87
ภาคผนวก ค รายละเอียดคุณสมบัติเฉพาะ (Specification) ระหว่างเครื่อง GHP และ เครื่อง AC	89
ภาคผนวก ง รายละเอียดลักษณะเฉพาะของตัวอย่างเศษหินเจาะ (Cutting) จากหลุมเจาะที่ 1 และหลุมเจาะที่ 2	92

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบ GHP ประเภท Closed-Loop Systems แบบ Horizontal	1
รูปที่ 1.2 ระบบ GHP ประเภท Closed-Loop Systems แบบ Vertical	2
รูปที่ 1.3 ระบบ GHP ประเภท Closed-Loop Systems แบบ Pond/Lake	2
รูปที่ 1.4 ระบบ GHP ประเภท Open-Loop System	3
รูปที่ 1.5 ประเทศในแถบที่มีการใช้ระบบ GSHP	4
รูปที่ 1.6 การติดตั้งเครื่อง GHP แบบ BHE (Borehole Heat Exchange) ในยุโรปกลาง	5
รูปที่ 1.7 การติดตั้งระบบ GHP สำหรับทำความร้อนและความเย็น	6
รูปที่ 1.8 แบบจำลองการผสมผสานระหว่างระบบแสงอาทิตย์และระบบจีโอฮีทปั๊ม	8
รูปที่ 1.9 การผสมผสานระหว่างระบบแสงอาทิตย์และระบบจีโอฮีทปั๊ม	8
รูปที่ 2.1 รถขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลพร้อมอุปกรณ์ในการขุดเจาะจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล	13
รูปที่ 2.2 ท่อโพลีเอทิลีน (HDPE) หรือที่เรียกทั่วไปว่า ท่อ PE ที่เชื่อมเป็นรูปตัวยู ความยาวรวม 100 เมตร ที่ใสน้ำเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ	13
รูปที่ 2.3 เครื่องปั๊มน้ำแบบจุ่ม (Submersible Pump) ยี่ห้อมาร์โก้ ขนาด 1" x 100 W ระยะส่งสูงสุด 7 เมตร ปริมาณน้ำสูงสุด 80 ลิตรต่อนาที	14
รูปที่ 2.4 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ที่ความลึก 10, 25, 40 และ 50 เมตร	14
รูปที่ 2.5 เครื่อง Geothermal Heat Pump (GHP) ยี่ห้อ CORONA รุ่น CSH-C4000G ขนาด 13652 BTU ที่ประกอบด้วย GHP Inner Unit และ GHP Cooling Fan ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก GSJ (Geological Survey of Japan, AIST)	15

รูปที่ 2.6 เครื่องปรับอากาศเดิม (AC) ยี่ห้อ YORK รุ่น Ycu-13 ขนาด 12301 บีทียู ที่ประกอบด้วย คอยล์เย็น (ก) หรือ Indoor unit และคอยล์ร้อน (ข) หรือ Outdoor unit ซึ่งได้รับการสนับสนุน จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	15
รูปที่ 2.7 เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ (Data Logging) ยี่ห้อ Graphtec รุ่น midi Logger GL220 ในหน่วย โวลต์	16
รูปที่ 2.8 มิเตอร์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้ายี่ห้อ Sankomec จากประเทศอินโดนีเซีย ในหน่วยกิโลวัตต์ ต่อชม. โดย ช่าย สำหรับวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าจากเครื่อง GHP และขา สสสำหรับวัดปริมาณ กระแสไฟฟ้าจาก เครื่อง AC	16
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในการวิจัยของการการศึกษานี้	17
รูปที่ 2.10 ตำแหน่งที่ตั้งของเรือนกระจกตราชาพร้อมทั้งตำแหน่งหลุมเจาะ ซึ่งตั้งอยู่ภายใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทางทิศใต้ของหอพักนิสิต ห่างจากถนนพญาไท (ถนนใหญ่) เป็นระยะทาง 20 เมตร	19
รูปที่ 2.11 เรือนกระจกตราชา (ก) ทางด้านหน้าของตัวอาคาร และ (ข) ด้านหลังของตัวอาคาร และห้องเลขาเก่าสำหรับใช้เป็นห้องวิจัยฯ ที่อยู่ชั้นสอง ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศใต้ของหอพักนิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห่างจากถนนพญาไท (ถนนใหญ่) เป็นระยะทาง 20 เมตร	19
รูปที่ 2.12 ตำแหน่งหลุมเจาะที่ 1 อยู่บริเวณทางด้านหลังของเรือนกระจกตราชา ห่างจากตัว อาคาร 4 เมตร	20
รูปที่ 2.13 ตำแหน่งหลุมเจาะที่ 2 บริเวณด้านหลังของเรือนกระจกตราชา ห่างจากหลุมเจาะที่ 1 ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 6 เมตร	21

รูปที่ 2.14 ห้องวิจัยภายในเรือนกระจกตราชา (ก) ประตูทางเข้า (ข) หน้าต่างฝั่งที่ตรงกับตำแหน่ง หลุมเจาะ ด้านล่าง โดยมีขนาดห้องกว้าง 2.84 เมตรยาว 4.74 เมตรสูง 3.50 เมตร (นางสาวศศิภุคค์ โชคชัย นักวิจัย, สูง 160 ซม.)	21
รูปที่ 2.15 เครื่องชุดที่ติดกับรถชุดเจาะกำลังขุดหลุมเจาะในแนวตั้งลึก 50 เมตร ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ณ ตำแหน่งหลุมที่ 1	22
รูปที่ 2.16 เครื่องชุดที่ติดกับรถชุดเจาะกำลังขุดหลุมเจาะ ณ ตำแหน่งหลุมที่ 2 ลึก 50 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ห่างจากหลุมเจาะที่ 1 ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 6 เมตร	23
รูปที่ 2.17 ท่อ PE รูปตัวยูความยาวรวม 100 เมตร ที่ไต่ลงไปในหลุมชุดเจาะที่ 2 เรียบร้อยแล้ว	23
รูปที่ 2.18 แบบจำลองท่อ PE ที่ไต่ลงไปในหลุมเจาะที่ 1 และหลุมเจาะที่ 2 ลึก 50 เมตรเรียบร้อยแล้ว	24
รูปที่ 2.18 ลักษณะตัวอย่างของเศษตะกอนและเศษหินที่เก็บได้จากหลุมเจาะ ทุกๆ 1 เมตร ทั้งหมด 50 เมตร เพื่อศึกษารายละเอียดทางวิทยาศาสตร์	24
รูปที่ 2.19 การเชื่อมต่อ PE ชนิดเดียวกับในหลุมจากปลายข้างหนึ่งของท่อ PE ในหลุมที่ 2 ยาว 6 เมตร ก่อนจะวางลงไปตามแนวร่องขุดลึก 6 เมตร เพื่อนำไปต่อกับปลายท่ออีกข้างหนึ่งของ หลุมที่ 1 (คุณสรุเชฐ วชิร โภคเจริญ ความสูง 169 เซนติเมตร)	25
รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่อ PE จากหลุมที่ 1 และหลุมที่ 2 เข้าด้วยกัน เพียงข้างเดียว ส่วนปลายอีก ข้างที่เหลือจากหลุม 1 และหลุม 2 จึงนำไปต่อเข้ากับ เครื่อง GHP Cooling Fan ที่อยู่ ด้านล่างของห้องวิจัย	26
รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่อ PE จากหลุมที่ 1 และหลุมที่ 2 ไปยังตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่อง GHP Cooling Fan ทางด้านล่างของห้องวิจัย	27
รูปที่ 2.22 แบบจำลองการเชื่อมต่อ PE ระหว่างหลุมที่ 1 กับหลุมที่ 2 ไปยังเครื่อง GHP Cooling Fan	27

รูปที่ 2.23 การฝังกลบท่อ PE ที่เชื่อมต่อกันหมดแล้ว ลงดินที่ขุดไว้ทั้งหมดเพื่อไม่เป็นที่กีดขวาง ทางเดินและเพื่อความปลอดภัย	28
รูปที่ 2.24 การฝังกลบท่อ PE ทั้งหมดลงดินเรียบร้อยแล้ว โดยยกเว้นหลุมที่ 1 ที่นำกระสอบทรายมา ปิดทับไว้ชั่วคราวเท่านั้น	28
รูปที่ 2.25 สายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ต่อมาจากท่อ PE ได้ดินจากหลุมที่ 1 และหลุมที่ 2 ใส่เข้าไป ในผนังห้องวิจัยที่ทำเป็นช่องเตรียมไว้แล้ว	29
รูปที่ 2.26 การติดตั้งเครื่อง GHP Inner Unit ภายในห้องวิจัยฯ	30
รูปที่ 2.27 การเชื่อมต่อเครื่อง GHP Cooling Fan เข้ากับ ท่อ PE จากหลุมที่ 1 และ หลุมที่ 2 เพื่อแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำ	30
รูปที่ 2.28 การเติมสาร Anti Corrosion และ Anti frozen ที่ใช้ในระบบหมุนเวียนน้ำ ลงในเครื่อง GHP Cooling	31
รูปที่ 2.29 ท่อ PE ที่ต่อเข้ากับเครื่อง GHP Cooling Fan โดยท่อ PE จากหลุมที่ 1 ทำหน้าที่ นำน้ำเข้าสู่เครื่อง GHP และท่อ PE จากหลุมที่ 2 ทำหน้าที่นำน้ำออกจากเครื่อง GHP	32
รูปที่ 2.30 การปรับปรุงสวนบริเวณที่ทำการขุดเจาะให้กลับมาสวยงามตามเดิม	32
รูปที่ 2.31 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากเครื่องเก็บข้อมูล (Data Logging) ที่ติดตั้งไว้ในห้องวิจัย	34
รูปที่ 2.32 มิเตอร์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าระหว่างเครื่อง GHP และ เครื่องปรับอากาศเดิม (AC) ที่ติดตั้งภายในห้องวิจัยมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ (KW)	36
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของลักษณะตะกอนใต้ดินที่ได้จากหลุมที่ 1 และหลุมที่ 2	40
รูปที่ 3.2 ชั้นตะกอนโดยรวมที่ได้จากรวมชั้นตะกอนจากหลุมที่ 1 และหลุมที่ 2 (Composite Stratigraphy)	42

รูปที่ 3.3	ชั้นน้ำบาดาลในเขตที่ราบลุ่มภาคกลางและกรุงเทพมหานครที่ความลึกตั้งแต่ 0 ถึง 600 เมตร (กรมทรัพยากรธรณีปี 2554)	43
รูปที่ 3.4	ลักษณะชั้นตะกอนใต้ดินในกรุงเทพมหานครที่ความลึกตั้งแต่ 0 ถึง มากกว่า 50 เมตร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2557)	44
รูปที่ 3.5	ลักษณะของชั้นตะกอนอย่างง่ายของกรุงเทพฯ ที่ความลึกตั้งแต่ 0 ถึง 50 เมตร (โดยดัดแปลงจากรูปที่ 3.4)	45
รูปที่ 3.6	ลำดับชั้นตะกอนโดยรวม (composite stratigraphy) (คอลัมน์ทางด้านซ้าย) โดยเปรียบเทียบกับลำดับชั้นตะกอนอย่างง่ายของกรุงเทพฯ (คอลัมน์ทางด้านขวา) ของการวิจัยนี้	47
รูปที่ 3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องวิจัยฯ ก่อนการทำงานของเครื่อง GHP และขณะทำงานของเครื่อง GHP ที่อุณหภูมิ 26°C. เป็นระยะเวลา 6 ชม. ในช่วงเดือน สิงหาคม ถึง เดือนกันยายน 2557	49
รูปที่ 3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกห้องวิจัยฯ ก่อนการทำงานของเครื่อง GHP และขณะทำงานของเครื่อง GHP ที่อุณหภูมิ 26°C. เป็นระยะเวลา 6 ชม. ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนกันยายน 2557	52
รูปที่ 3.9	ตัวอย่างผลการวัดอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ PE ในหน่วยลิตรต่อนาที ขณะทำงาน ของเครื่อง GHP ที่เวลา 16.00 น. ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนกันยายน 2557	55
รูป 3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องวิจัยก่อนการทำงานของเครื่อง AC และขณะทำงาน ของเครื่อง AC ที่อุณหภูมิ 24-25°C เป็นระยะเวลา 6 ชม. ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือน กันยายน 2557	59

- รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกห้องวิจัยก่อนการทำงานของเครื่อง AC 61
และขณะทำงานของเครื่อง AC ที่อุณหภูมิ 24-25°ซ. เป็นระยะเวลา 6 ชม. ในช่วงเดือน
สิงหาคม ถึง เดือนกันยายน 2557
- รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิปกติภายในห้องวิจัยก่อนการทำงานของเครื่อง GHP และ 71
เครื่อง AC ที่เวลา 10.00 น. ในแต่ละวัน มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือประมาณ 28.0° ซ. ดังที่แสดง
ในรูปที่ 4.1
- รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องวิจัยขณะการทำงานของเครื่อง GHP และเครื่อง 73
AC ที่เวลา 16.00 น. ในแต่ละวัน มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือประมาณ 25.0-26.0° ซ.
- รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องวิจัยและภายนอกห้องวิจัยก่อนและขณะทำงาน 75
ของเครื่อง GHP และเครื่อง AC
- รูป 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าของเครื่อง GHP และเครื่อง AC 77
ในระยะเวลา 6 ชม. ในแต่ละวัน พบว่าเครื่อง GHP มีปริมาณการใช้กระแไฟฟ้าน้อยกว่า
เครื่องปรับอากาศเดิม (AC) เฉลี่ยประมาณ 2 เท่า
- รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่อง 79
GHP กับเครื่องปรับอากาศเดิม (AC) ซึ่งพบว่า เครื่อง GHP สามารถประหยัด
พลังงานมากกว่า

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องวิจัยฯ ก่อนการทำงานของเครื่อง GHP และขณะทำงานของเครื่อง GHP ที่อุณหภูมิ 26 °ซ.เป็นระยะเวลา 6 ชม.	48
ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกห้องวิจัยฯ ที่เวลา 10.00 น. และ 16.00 น. โดยประมาณ	50
ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในท่อ PE ที่เข้าและออกจากห้องวิจัยฯก่อนและขณะทำงานของเครื่อง GHP และอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ	53
ตารางที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำภายในท่อ PE ที่ ที่ระดับความลึกต่างๆ	56
ตาราง 3.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องวิจัยฯก่อนการทำงานของเครื่อง AC และขณะทำงานของเครื่อง AC ที่ระดับความเย็น 24-25 °C เป็นระยะเวลา 6 ชม.	57
ตาราง 3.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกห้องวิจัยฯ ก่อนการทำงานของเครื่อง AC และขณะการทำงานของเครื่อง AC เป็นระยะเวลา 6 ชม.	60
ตารางที่ 3.7 การใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 26.1°ซ. ในระยะเวลา 6 ชม. ของเครื่อง GHP	62
ตารางที่ 3.8 การใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 25.6°C ในระยะเวลา 6 ชม. ของเครื่องปรับอากาศเดิม (AC)	63
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องปกติก่อนเปิดเครื่อง GHP และเครื่องปรับอากาศเดิม (AC) ที่เวลา 10.00 น.ในแต่ละวัน	69
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องขณะเปิดเครื่อง GHP และเครื่องปรับอากาศเดิม (AC) ที่เวลา 16.00 น.ในแต่ละวัน	72
ตาราง 4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าระหว่างเครื่อง GHP กับเครื่องปรับอากาศเดิม (AC) ในระยะเวลา 6 ชม.	76

