แนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ประเสริฐ ธรรมมนุญกุล

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

แนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงาน
สุทธิเป็นศูนย์

ประเสริฐ ธรรมมนุญกุล

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "แนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์"

ของ ประเสริฐ ธรรมมนุญกุล

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

-- ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ สอนสารี)

-- ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.วิสุทธิ์ แช่มสะอาด)

-- กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย)

อนุมัติ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	แนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
ผู้วิจัย	ประเสริฐ ธรรมมนุญกุล
ประธานที่ปรึกษา	ดร.วิสุทธิ์ แช่มสะอาด
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564
คำสำคัญ	เสาเข็มพลังงาน, อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาแนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยได้ทำการศึกษาอาคารสำนักงานแห่งหนึ่ง ตั้งอยู่ในอำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม โดยศึกษาความสามารถในการลดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงาน จากการศึกษาพบว่า เสาเข็มเหล็กพลังงานซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร ความยาว 12 เมตร จำนวน 42 ต้น ซึ่งมีความยาวของท่อ HDPE (High-Density Polyethylene) ที่ฝังในเสาเข็มเหล็กความยาวโดยรวม 504 เมตร นำไปจำลองการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศขนาด 9000, 12000, 18000, 21000 และ 24000 BTU/hr โดยการติดตั้งเข้ากับแผงคอยล์ร้อนในระบบปรับอากาศ พบว่า ระบบ Energy Pile ชุดนี้เหมาะสมนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr หรือ 12000 BTU/hr จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งเมื่อใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr ติดต่อกันเป็นเวลา 1 เดือนต่อเนื่องจะทำให้อุณหภูมิโดยรอบเสาเข็มเพิ่มขึ้น 4.55 องศา ทำให้อุณหภูมิของดินจากเดิมมีค่าเท่ากับ 30 องศา เพิ่มเป็น 34.55 องศา เมื่อพิจารณาให้ความร้อนของคอยล์ร้อนมีค่าเท่ากับ 40 องศา เสาเข็มเหล็กพลังงานยังคงสามารถลดอุณหภูมิของคอยล์ร้อนได้ 5.45 องศา ซึ่งการลดอุณหภูมิอากาศระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ 1 องศา จะช่วยลดพลังงานที่ใช้ได้ 1.43% การใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในโครงการอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์จึงสามารถลดพลังงานที่ใช้ไปได้ 7.79 เปอร์เซ็นต์ต่อเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง รวมจำนวน 2 เครื่องเป็น 15.58% แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/Hr และ 12000 BTU/Hr ไม่เหมาะสมกับขนาดห้องของอาคาร

สำนักงานนี้ ซึ่งจะทำให้ห้องไม่เย็น และเครื่องต้องทำงานตลอดเวลาทำให้อายุการใช้งานสั้น ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศมีการพัฒนาให้มีค่า SEER สูง ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เครื่องปรับอากาศของ DAIKIN ขนาด 24200 BTU/Hr จะมีค่า SEER อยู่ที่ 20.02 BTU/W-h และกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 2260 Watt ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศ 9000 BTU แบบเดิมที่มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2637 Watt ดังนั้นอาคารนี้จึงควรเลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 24200 BTU/Hr ที่มีค่า SEER สูง และใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 2637 วัตต์ และจากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ในที่นี้จะวิเคราะห์เพียงประสิทธิภาพของเสาเข็มเหล็กพลังงาน ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ 25 ปีตามสิ่งก่อสร้างทั่วไป จะได้ผลตอบแทนสุทธิที่ 59,571 บาท และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุน (B/C) จะมีค่าเท่ากับ 1.55 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 และอัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ (EIRR) มีค่าเท่ากับ 8% ซึ่งมีค่ามากกว่า 2% แสดงให้เห็นว่าโครงการเป็นที่ยอมรับและมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

Title ENERGY PILE APPLICATION FOR ZERO NET ENERGY SMART OFFICE BUILDING
Author PRASERT THAMMANONKUL
Advisor Dr. Wisut Chamsa-ard

Academic Paper M.S. Thesis in Smart Grid Technology, Naresuan University, 2021
Keywords Energy Pile, Zero Net Energy Building (ZNEB)

ABSTRACT

This research had the objective to study the concept of applying Energy Pile for smart office building that used zero net energy. The study was conducted with an office building located in Amphawa, Samut Songkhram Province. The study was conducted on the ability of reducing energy from using energy pile and analyzed the economic worthiness of application of energy pile. From the study, it was found that 42 energy piles with the diameter of 114 millimeters with the length of 12 meters with the length of HDPE (High-Density Polyethylene) embedded in the steel pile with total length of 504 meters. They were used to simulate application with air-conditioners with the size of 9000, 12000, 18000, 21000 and 24000 BTU/hr by installing into the condenser in the air-conditioning system, it was found that this set of Energy Pile was suitable for using with 2 air-conditioners of 9000 BTU/hr or 12000 BTU/hr. When using with an air-conditioner of 9000 BTU/hr for 1 month continuously, it would increase the temperature around the pile at 4.55 Celsius degrees making the earth temperature from the previous value of 30 degrees to 34.55 degrees. When considering the heat of the condenser which was 40 degrees, the energy pile could still reduce the temperature of the condenser at 5.45 degrees. Reducing of heat ventilating temperature of an air-conditioner for 1 degree could help reduce the energy used at 1.43%. Using of energy pile in the smart office building with zero net energy could reduce the energy used at

7.79% per 1 air-conditioner so 2 air-conditioners could reduce energy consumption at 15.58%. However, as an air-conditioner with the size of 9000 BTU/Hr and 12000 BTU/Hr were not suitable for this office building rooms so the room was not cooled down, and the air-conditioner must operate at all times so its lifespan was short. Nowadays, air-conditioners were developed to have high value of SEER which helped save energy more. For example, a DAIKIN air-conditioner with the size of 24200 BTU/Hr would have the SEER value at 20.02 BTU/W-h and electricity power at 2260 Watt which was lower than the old air-conditioner of 9000 BTU which had energy power of 2637 Watt. Therefore, this building should choose an air-conditioner with the size of 24200 BTU/Hr with high SEER value and used power energy not over 2637 Watt. From the analysis of economic result which in this case would be analyzed only the efficiency of energy pile that was more than 25 years in general constructions would have net return at 59,571 baht and when considering the benefit and cost ratio (B/C), it would be at 1.55 which was higher than 1 and the Economic Internal Rate of Return (EIRR) was at 8% which was more than 2%. It showed that the project was well received and economically suitable.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ดร. วิสุทธิ์ แช่มสะอาด ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุตส่าห์สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

รวมทั้งขอขอบคุณ คุณสุรัส วาฤทธิ์ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม คุณชลธิชา จันทร สถาปนิก และทีมงานทุกท่านที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยเหลือให้คำแนะนำ และสนับสนุนข้อมูลด้านต่าง ๆ ระหว่างการศึกษาวิจัยด้วยดีเสมอมา

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์และนำเสาเข็มเหล็กพลังงานไปใช้งานในอนาคต

ประเสริฐ ธรรมมนุญกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

ประกาศคุณูปการ .... ช

สารบัญ .... ซ

สารบัญตาราง .... ญ

สารบัญรูปภาพ .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาของปัญหา 1

จุดมุ่งหมายของการศึกษา 2

ขอบเขตของงานวิจัย 2

ประโยชน์ที่ได้รับ 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

เข็มเหล็กและเสาเข็มพลังงาน 4

หลักการทำงานของระบบเสาเข็มเหล็กพลังงาน 4

สภาพภูมิอากาศประเทศไทย 5

อุณหภูมิของชั้นดินในประเทศไทย 6

อัตราการถ่ายเทความร้อน 10

อัตราการไหลของน้ำในท่อ 11

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในดินและเสาเข็ม.....11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....12
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....21
3.1 การศึกษาอาคารที่มีการออกแบบบนแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์.....22
3.2 ระบบ Energy Pile และการจำลองการใช้ Energy Pile กับเครื่องปรับอากาศ.....30
3.3 การวิเคราะห์ทางด้านพลังงาน.....34
3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....36
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....38
4.1 ระบบกรอบอาคาร.....38
4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการลดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงาน40
4.3 ผลวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....51
บทที่ 5 บทสรุป.....55
การแปลผลการออกแบบเสาเข็มเหล็กพลังงาน.....55
ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....56
ข้อเสนอแนะ.....56
บรรณานุกรม.....57
ประวัติผู้วิจัย.....61

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและอุณหภูมิดินวัดในจังหวัดต่างๆ ระหว่างปี พ.ศ.2507-2508 7

ตาราง 2 รายละเอียดการใช้ไฟฟ้าภายในหนึ่งวันของอาคารสำนักงาน........................28

ตาราง 3 การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) 29

ตาราง 4 การถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)..29

ตาราง 5 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD) 30

ตาราง 6 สรุปรายละเอียดผลเจาะชั้นดิน 34

ตาราง 7 อัตราปกติ 35

ตาราง 8 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 36

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์อาคารที่มีการออกแบบบนแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 38

ตาราง 10 อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน 41

ตาราง 11 อุณหภูมิที่สะสมในชั้นดินจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงาน..........................42

ตาราง 12 ผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง Condenser และอุณหภูมิของดิน (หลังมีการถ่ายเทความร้อนจากเสาเข็มพลังงาน) 46

ตาราง 13 อัตราการไหลของน้ำ จำแนกตามขนาดเครื่องปรับอากาศ...........................46

ตาราง 14 อัตราการประหยัดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน 47

ตาราง 15 อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานทั่วไป 48

ตาราง 16 อัตราการประหยัดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน 49

ตาราง 17 อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน 50

ตาราง 18 การวิเคราะห์อัตราส่วนมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุนของการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานสำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 51

ตาราง 19 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์................................53

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพ 1 หลักการทำงานของเสาเข็มเหล็กพลังงาน 5

ภาพ 2 แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีของประเทศ 13

ภาพ 3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นรอบเสาเข็มภายใต้สภาวะการใช้งานต่างๆ 15

ภาพ 4 ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ได้รับจากการทดสอบท่อแต่ละรูปแบบ 16

ภาพ 5 พลังงานที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนในเสาเข็มกลุ่ม 17

ภาพ 6 รูปทรงของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 18

ภาพ 7 อุณหภูมิที่วัดได้จากขาเข้า และออก (a) แบบเกลียว (b) แบบ3U 19

ภาพ 8 เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนท่อแบบเกลียวโดยระยะห่างเกลียวที่ต่างกัน 20

ภาพ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 22

ภาพ 10 รูปแบบจำลองสามมิติอาคารสำนักงานอัจฉริยะ 23

ภาพ 11 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ 24

ภาพ 12 แบบแปลนพื้นที่ใช้สอย....................25

ภาพ 13 แปลนฐานรากเสาเข็ม 26

ภาพ 14 แบบแปลนไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศ 27

ภาพ 15 เสาเข็มเหล็กเกลียว รุ่น D114x12000xFs300 31

ภาพ 16 แสดงตำแหน่งและเส้นทางการเดินท่อ High-Density Polyethylene (HDPE) 32

ภาพ 17 แสดงลักษณะการติดตั้งท่อ High-Density Polyethylene (HDPE) ในเสาเข็มเสาเข็มเหล็กพลังงาน....................32

ภาพ 18 ผลเจาะสำรวจดิน ตำบลบางแค จังหวัดสมุทรสงคราม 33

ภาพ 19 แสดงปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) 39

ภาพ 20 แสดงปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) 40

ภาพ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเสาเข็มและอุณหภูมิที่ลดลงจากการถ่ายเทพลังงานความร้อน จำแนกตามขนาดเครื่องปรับอากาศ 45

ภาพ 22 ส่วนต่างราคาค่าไฟที่ลดลงหลังการติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงานต่อเดือน 50

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ด้วยสภาพแวดล้อมในปัจจุบันที่มีอุณหภูมิอากาศร้อนมากขึ้นทุกวัน แต่อาคารบ้านเรือนส่วนใหญ่ยังคงถูกสร้างโดยไม่ได้คำนึงถึงสภาพอากาศที่ร้อน การออกแบบบ้านและเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม ทำให้อากาศภายในบ้านไม่ถ่ายเท ตัวบ้านเกิดการสะสมความร้อน ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกร้อนอบอ้าว ดังนั้นผู้อยู่อาศัยจึงต่างหาวิธีที่จะทำให้บ้านเย็นขึ้นโดยส่วนใหญ่มักจะแก้ปัญหาโดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ซึ่งความร้อนจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศส่งผลให้อากาศโดยรอบบ้านร้อน ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายสูงขึ้น อีกทั้งทำให้โลกร้อนมากยิ่งขึ้นด้วย วิธีที่จะลดการใช้พลังงานในบ้าน คือ ปรับวิถีชีวิต พฤติกรรม ให้สามารถอยู่อาศัยได้โดยมีการใช้พลังงานน้อยที่สุดแต่ก่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพมากที่สุด

อาคาร หรือที่อยู่อาศัยในปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหลังเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งอำนวยความสะดวก จากเทคโนโลยีที่เข้ามาตอบสนองความสะดวกสบายต่อผู้ใช้สอย ซึ่งสวนทางกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่มีมูลค่าสูงขึ้น ในสถานการณ์โลกปัจจุบัน ประชาชนส่วนใหญ่ประสบปัญหาจากไวรัสโคโรนา หรือ COVID-19 ส่งผลกระทบในวงกว้าง และการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนเปลี่ยนไป ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ในปัจจุบันโดยเร็ว เช่น การเปลี่ยนรูปแบบการทำงาน โดยทำงานที่บ้านพัก หรือที่อยู่อาศัย (Work From Home) ทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะลดการใช้พลังงานในรูปแบบทั้งทางตรง และทางอ้อมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยเริ่มจากการวิเคราะห์การออกแบบอาคารด้านต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดการลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้มากที่สุด

ฐานรากเป็นส่วนสำคัญของงานก่อสร้างทุกประเภทโดยเฉพาะอาคาร เทคโนโลยีฐานรากปัจจุบันได้รับการพัฒนาไปมากจากเดิมที่เป็นรูปแบบเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก มาเป็นรูปแบบของเสาเข็มเหล็ก ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ที่เปลี่ยนรูปแบบระบบงานวางฐานรากเสาเข็มของประเทศไทยและภาคพื้นเอเชียให้ง่ายและสามารถควบคุมเรื่องของเวลา และค่าใช้จ่ายให้เป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ เพิ่มศักยภาพให้กับผู้รับเหมาก่อสร้างอาคารเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารการจัดการ เนื่องจากการเจาะเสาเข็มเหล็กลงไปในพื้นดินนั้นมีความลึกหลายเมตรขึ้นอยู่กับขนาดของเสาเข็มและน้ำหนักอาคารที่รองรับ และจากองค์ความรู้ที่ว่าอุณหภูมิใต้ผิวดิน

ที่ระดับความลึกมากกว่าหนึ่งเมตรจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และยังมีอุณหูมิค่อนข้างคงที่

หลักการสำคัญในการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์คือการทำให้อาคารมีการใช้พลังงานตลอดทั้งปีต่ำที่สุด แล้วจึงติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังหมุนเวียนเพื่อให้ครอบคลุมการใช้พลังงานดังกล่าวของอาคาร ดังนั้นหากเราสามารถใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิใต้ผิวดินมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานของอาคาร โดยการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานร่วมกับระบบปรับอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิของคอยล์ร้อน จะสามารถลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารได้ ทำให้แนวคิดในการออกแบบและสร้างอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดของการใช้ประโยชน์จากเสาเข็มเหล็กในรูปแบบของการช่วยลดการใช้พลังงานของอาคารซึ่งเรียกว่า เสาเข็มเหล็กพลังงาน

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการลดการใช้พลังงานจากการติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงานกับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
2. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานกับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตการวิจัย เรื่องแนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ สามารถแบ่งรายละเอียดออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ขอบเขตการศึกษาด้านการวิจัย และวรรณกรรม

1.1 ศึกษาการออกแบบอาคารที่มีแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Buildding, NZEB) จากงานที่ก่อสร้างจริง, งานวิจัย, หนังสือ, และบทความที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาเฉพาะปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารเท่านั้น

1.2 ศึกษาการออกแบบฐานรากเสาเข็มเหล็กพลังงาน (Energy Pile) จากงานวิจัย หนังสือ และบทความที่เกี่ยวข้อง

2. ขอบเขตการวิเคราะห์การใช้พลังงานและความคุ้มค่าทางด้านเศรษศาสตร์

การวิเคราะห์ปริมาณของการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่ออกแบบ ซึ่งใช้เกณฑในการตัดสินทั้งสิ้น 2 เกณฑ์ ได้แก่ 2.1 ปริมาณการลดการใช้พลังงานของอาคารเสาเข็มที่ออกแบบ

2.1 ปริมาณการลดการใช้พลังงานของอาคารจากเสาเข็มเหล็กพลังงานที่ออกแบบ

2.2 ความคุ้มค่า โดย เปรียบเทียบจากมูลค่าการลงทุนติดตั้งระบบ Energy Pile (ไม่รวมเสาเข็มเหล็ก) กับผลประโยชน์ที่เกิดจากการลดการใช้พลังงานจากการติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงาน

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้ทราบความสามารถในการลดการใช้พลังงานจากการติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงานกับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
2. ทำให้ทราบความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานกับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

นิยามศัพท์เฉพาะ

เข็มเหล็ก (Kemrex): เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว ผลิตและจำหน่ายโดยบริษัทเข็มเหล็ก จำกัด (ออนไลน์ www.wazzadu.com) [1]

เสาเข็มเหล็กพลังงาน (Energy Pile): ส่งถ่ายความร้อน หรือความเย็น จากระบบปรับอากาศสู่ดิน (อภินิติ โชติสังกาศ และคณะ, 2563) [2]

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ เรื่องแนวคิดการประยุกต์ใช้ Energy Pile สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากรอบแนวคิด และใช้เป็นข้อมูลประกอบการอ้างอิงเพื่อส่งเสริมให้งานวิทยานิพนธ์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

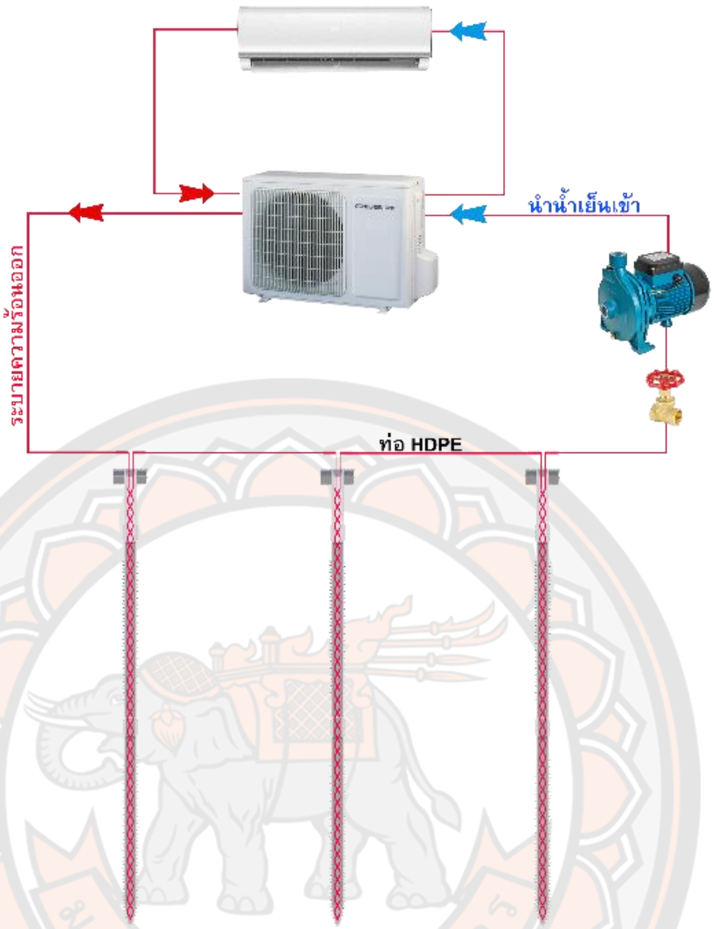
เข็มเหล็กและเสาเข็มพลังงาน

เข็มเหล็ก คือ ระบบฐานรากสำเร็จรูป ที่ผลิตมาจากเหล็กกล้า โดยผ่านกระบวนการป้องกันสนิม (Hot Dip Galvanized) มีลักษณะเป็นแท่ง และมีอัตลักษณ์พิเศษด้วยใบเกลียวรูปทรงกรวย ซึ่งจะช่วยยึดเกาะพื้นดิน

เสาเข็มพลังงาน คือ เสาเข็มที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้าง และส่งถ่ายความร้อนจากบนดินสู่ใต้ดิน เนื่องจากดินมีความสามารถถ่ายเทความร้อนดีกว่าอากาศ

หลักการทำงานของระบบเสาเข็มเหล็กพลังงาน

หลักการทำงานของระบบเสาเข็มเหล็กพลังงาน จะใช้หลักการการถ่ายความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า และนำอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากลับมาใช้ ในที่นี้จะเป็นการนำอุณหภูมิจากคอยร้อนผ่านน้ำซึ่งเป็นตัวกลางส่งต่อไปยังใต้ดินที่อุณหภูมิต่ำกว่า และนำความเย็นจากใต้ดินส่งต่อเข้าไปยังคอยล์ร้อน เพื่อลดอุณหภูมิของคอยร้อน ดังภาพ 1 ผลที่ตามมาคือการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศจะดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ภาระค่าไฟฟ้าลดลง



ภาพ 1 หลักการทำงานของเสาเข็มเหล็กพลังงาน

สภาพภูมิอากาศประเทศไทย

ช่วงพ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 28.0 องศาเซลเซียส สูงกว่าค่าปกติ 0.9 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 ของประเทศไทยในรอบ 70 ปี (พ.ศ. 2494-2563) รองจากปี พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นปีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดของประเทศไทย คือ 28.1 องศาเซลเซียส (สูงกว่าค่าปกติ 1.0 องศาเซลเซียส) โดยเฉพาะเดือนมกราคม และเดือนพฤษภาคมมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติ 1.9 และ 1.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2021) [3]

อุณหภูมิของชั้นดินในประเทศไทย

กรมพัฒนาที่ดินได้อธิบายถึงปัจจัยที่ควบคุมอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินดังนี้

1. ลักษณะบรรยากาศ ยิ่งในบรรยากาศมีไอน้ำละฝุ่นละอองมากจะดูดความร้อนไว้ได้มาก พลังงานจากแรงดวงอาทิตย์ที่ลงมาที่ผิวโลกจะน้อยลง เนื่องจากถูกดูดเอาไว้ทำให้อุณหภูมิในดินต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

2. เส้นรุ้งและความลาดเทของพื้นที่ ถ้าแสงตกลงมาไม่ตั้งฉากกับผิวโลกจะมีพลังงานความร้อนน้อยกว่าบริเวณที่แสงตกลงมาตั้งฉาก แสงที่ส่องลงมาจากดวงอาทิตย์ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะตั้งฉากกับผิวโลกทำให้ผิวโลกได้แสงอาทิตย์มากจึงทำให้อุณหภูมิดินสูงกว่าขั้วโลก ความลาดเทของพื้นที่ก็เช่นกัน อุณหภูมิดินในพื้นที่มีความลาดเทลงทางทิศใต้จะมีอุณหภูมิสูงกว่าดินที่เกิดในพื้นที่ ๆ มีความลาดเอียงทางด้านเหนือ

3. สัดส่วนของพื้นที่ดินและน้ำ บริเวณที่น้ำล้อมรอบจะมีอุณหภูมิในดินคงที่เนื่องจากน้ำเป็นตัวดูดความร้อนและบริเวณที่มีน้ำล้อมรอบจะมีไอน้ำมากกว่าบริเวณที่ไม่มีน้ำล้อมรอบ การมีไอน้ำมากทำให้ความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นดินมีปริมาณน้อย

4. พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุม ดินที่ไม่มีอะไรปกคลุมจะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงซึ่งทำให้ดินมีอุณหภูมิสูง ถ้าดินมีพืชขึ้นปกคลุมจะช่วยป้องกันไม่ให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ลงสู่ผิวดินมากจึงทำให้อุณหภูมิในดินไม่เปลี่ยนแปลง

5. คุณสมบัติของดิน สีของดิน, การนำความร้อนของดิน, อินทรีย์วัตถุในดิน, ความชื้นในดิน, เนื้อดิน, และโครงสร้างของดินมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของดิน และการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก

6. ระดับน้ำใต้ดิน ดินที่มีระดับน้ำใต้ดินต่ำอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงมากกว่าดินที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้น

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทางทหารของสหรัฐ (U.S. Advanced Research Project Agency) ได้ศึกษาอุณหภูมิดินในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา, ลพบุรี, นครสวรรค์, เชียงใหม่, ขอนแก่น, จันทบุรี ฯลฯ ทั้งหมด 17 แห่ง ได้ทำการวัดอุณหภูมิประจำวันเป็น 2 ระยะ คือ เดือนมิถุนายน, กรกฎาคมและสิงหาคม ตัวเลขที่ได้ใช้แทนฤดูร้อน และเดือนธันวาคม และกุมภาพันธ์ ตัวเลขที่ได้ใช้แทนฤดูหนาว ดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและอุณหภูมิดินวัดในจังหวัดต่างๆ ระหว่างปี พ.ศ.2507-2508

จังหวัด/ช่วงเดือนที่วัด อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ อากาศ เฉลี่ย (°C)	ความลึกของดินที่วัดอุณหภูมิ (นิ้ว)					
		1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5
กรุงเทพฯ							
มิถุนายน-สิงหาคม	29.3	28.8	28.9	30.1	30.5	30.4	29.4
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	26	22.5	22.4	23.7	24.5	24.8	23.8
เฉลี่ยตลอดปี	28.2	26.9	26.9	28	28.7	28.7	27.6
ลพบุรี (จุดที่1)							
มิถุนายน-สิงหาคม	29.4	27.6	14.8	29.7	28.7	28	27.2
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	27.3	23.6	26.2	27.2	26.6	26.3	25.6
เฉลี่ยตลอดปี	29.3	26.6	28.6	29	28.3	27.7	27
ลพบรี (จุดที่2)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.9	28.9	29.9	29.9	28.2	29.1	28.2
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	27.3	24.2	25.2	25.6	23.9	25.2	24.4
เฉลี่ยตลอดปี	29.7	27	28	28.1	26.5	27.5	26.7
ลพบุรี (จุดที่3)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.2	27.1	27.4	27.5	30	30.7	23.8
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	26.5	24.3	26.9	25.5	27	27.3	23.8
เฉลี่ยตลอดปี	29	26.2	27.6	26.8	28.7	29.2	25.4
ลพบุรี (จุดที่4)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.6	26.3	27.1	27.1	27.5	28.1	26.4
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	26	23.4	23.7	23.9	24.6	24.9	23.5
เฉลี่ยตลอดปี	29	25.8	26	26.3	26.8	27.3	25.5
ลพบุรี (จุดที่5)							
มิถุนายน-สิงหาคม	31.3	23.8	26.7	27.1	26.7	27.3	27.8
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	26.2	21.8	24.4	24.9	24.8	25.3	25.8
เฉลี่ยตลอดปี	29.4	23.8	26.3	26.7	26.3	26.9	27.3
นครสวรรค์							
มิถุนายน-สิงหาคม	29.4	27.5	28.5	29	29.5	29.7	30.3
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	23.8	22.7	24.5	25.6	26.4	26.4	26.9
เฉลี่ยตลอดปี	27.9	26.1	27.5	28.2	28.8	28.8	29.4

ตาราง 1 (ต่อ)

จังหวัด/ช่วงเดือนที่วัดอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)	ความลึกของดินที่วัดอุณหภูมิ (นิ้ว)					
		1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5
เชียงใหม่ (จุดที่1)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.3	25.8	26.9	27.5	27.2	27.8	27.7
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	24.6	17.7	19.5	20.2	19.9	21.2	20.8
เฉลี่ยตลอดปี	28.6	22.4	23.8	24.5	24.7	24.9	24.9
เชียงใหม่ (จุดที่2)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.5	26.5	26.5	27.5	28.1	29	28.7
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	23.9	20.4	20.8	22.4	23.6	24.2	24.3
เฉลี่ยตลอดปี	28.4	24.6	25.3	27.3	27.3	28.1	28
เชียงใหม่ (จุดที่3)							
มิถุนายน-สิงหาคม	31	24.6	26.7	27.7	27.2	27.2	27.2
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	23.3	14.5	18.5	19.9	19.4	19.7	19.6
เฉลี่ยตลอดปี	27.8	19.8	23.8	24.9	24.3	24.5	24.4
ขอนแก่น (จุดที่1)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.2	27.1	27.9	27.7	28.8	28.2	29.6
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	24	21.4	23.1	23.5	24.9	24.3	26.1
เฉลี่ยตลอดปี	28.1	24.9	25.9	26	27	26.6	28.1
ขอนแก่น (จุดที่2)							
มิถุนายน-สิงหาคม	29	27.4	27.3	28.2	28.3	27.9	27.3
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	24.3	20	20.3	20.7	21.6	27.2	20.6
เฉลี่ยตลอดปี	28.2	24.6	24.6	25.4	25.5	25.2	24.5
ขอนแก่น (จุดที่3)							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.2	25.9	26.7	28.5	28.7	28.8	28.6
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	24	18.9	19.7	21.4	21.9	22.2	22.5
เฉลี่ยตลอดปี	27.8	23.7	23.9	25.8	25.9	26.2	26.2
ปราณบุรี ประจวบคีรีขันธ์							
มิถุนายน-สิงหาคม	30.2	27.7	29	28.7	30.5	31.4	30.5
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	26.3	23.9	26	28.9	27.5	28.2	27.5
เฉลี่ยตลอดปี	28.6	26.4	27.9	27.8	29.6	30.5	29.6

ตาราง 1 (ต่อ)

จังหวัด/ช่วงเดือนที่วัด อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)	ความลึกของดินที่วัดอุณหภูมิ (นิ้ว) 1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5
จันทบุรี (จุดที่1)							
มิถุนายน-สิงหาคม	29	25.5	27.5	28.1	28.7	27.5	26.9
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	31.1	20.2	22.7	23.4	24.1	22.8	22.4
เฉลี่ยตลอดปี	30.2	23.7	25.7	26.4	27	25.6	25.3
จันทบุรี (จุดที่2)							
มิถุนายน-สิงหาคม	28.2	27.9	28.3	27.8	28.9	28.3	29
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	27.1	23.8	24.9	25.2	26	25.5	26.3
เฉลี่ยตลอดปี	28.5	25.9	27.1	27	27.8	27.3	28.1
หาดใหญ่ สงขลา							
มิถุนายน-สิงหาคม	27.3	25.8	26.7	26.5	27	26.8	27.1
ธันวาคม-กุมภาพันธ์	26.1	24.5	25.3	25.2	25.8	25.8	26.2
เฉลี่ยตลอดปี	27.0	25.5	26.4	26.3	26.7	26.5	26.8

ที่มา: U.S. Advanced Research Project Agency (1996)

สำหรับประเทศไทย คำรณ ไทรฟัก และคณะ, (2541) [4] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภูมิอากาศดินกับอุณหภูมิอากาศ และสรุปไว้ดังนี้

อุณหภูมิดิน (C°) = 2.17+0.9396X อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประจำวัน (C°) (2.1)

จากสมการที่กล่าวข้างต้นสามารถใช้คาดคะอุณหภูมิดินที่ความลึก 50 ซม. ได้

อัตราการถ่ายเทความร้อน

$$\text{อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็ม } Qr = \frac{(COP+1)Qs}{COP} \tag{2.2}$$

ที่มา Hundy, G. F. (2016) [5]

โดยที่ Qs คือ ความต้องการของระบบทำความเย็น

COP คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

Takashima, (2020) [6] ทดลองระบบ Ground Source Heat Pump ทดลองได้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน COP ประมาณ 3-4)

Brandl, (2006) [7] ได้ทดสอบหาความต่างของค่า COP ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยในช่วงฤดูหนาว COP จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 และในช่วงฤดูร้อน COP จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 3.5

Lu.Q, (2019) [8] ได้กล่าวถึงค่า COP ของระบบ GSHP ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหล, อุณหภูมิในดิน, สภาพอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้วมีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5

Sabi, (2019) [9] ได้อธิบายถึงค่า COP ในช่วงหน้าร้อน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 ถึง 4 และได้กล่าวถึงค่า COP ที่ดีของระบบควรมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 6 สำหรับระบบทำความเย็นและความร้อน

De Carli, (2010) [10] ได้ทดสอบหาค่า COP ในระหว่างช่วงกลางวันและกลางคืนของหน้าร้อน โดยในช่วงกลางวันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 ถึง 5.5 และในช่วงกลางคืนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4.4 ถึง 6.9

อัตราการไหลของน้ำในท่อ

$$\text{อัตราการไหลของน้ำในท่อ } m = \frac{Qr}{C_P \Delta \mathrm{T}} \quad (2.3)$$

ที่มา Karlekar, B. V., & Desmond, R. M. (1982) [11]

โดยที่ Qr คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็ม

C คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ = 4.1175 kJ/kg.Kelvin

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่เสาเข็มและหลังออกจากเสาเข็ม

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในดินและเสาเข็ม

$$T - T0 = \frac{q'\pi\lambda}{4} ln\left(\frac{4\alpha_d \mathrm{t}}{R^2}\right) - \gamma_E \quad (2.4)$$

ที่มา Carslaw, H. S., & Jaeger, J. C. (1959) [12]

โดยที่ T – T0 คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในดินและเสาเข็ม (C)

q’ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งความยาว (w/m)

λ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน (W/mC) ดูจากตารางข้อมูลดินเป็นดินเหนียวอุ้มน้ำ ใช้ 1.6

α_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน $0.5E^{-6}$ m^2/s

t คือ เวลาที่วิเคราะห์ใช้ 1 เดือน (S)

R คือ ระยะห่างที่วิเคราะห์จาก Center เสาเข็ม (m)

γ_E คือ ค่าคงที่ของ Euler มีค่าเท่ากับ 0.5772

Mattsson, (2007) [13] ได้ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ เช่น ดินเหนียว, ทราย, คอนกรีต, น้ำ ซึ่งผลปรากฏว่า ดินเหนียวในสภาวะชุ่มน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 2.3 W/(mC)

Dafalla, (2016) [14] ได้ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในดินชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศา ซึ่งผลปรากฏว่า ดินเหนียวในสภาวะชุ่มน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 2.5 W/(mC)

อภิรัฐ, (2560) [15] ได้เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นแห้ง ของดินไว้ดังนี้

$$\lambda = 0.283\,\gamma d - 2.96 \tag{2.5}$$

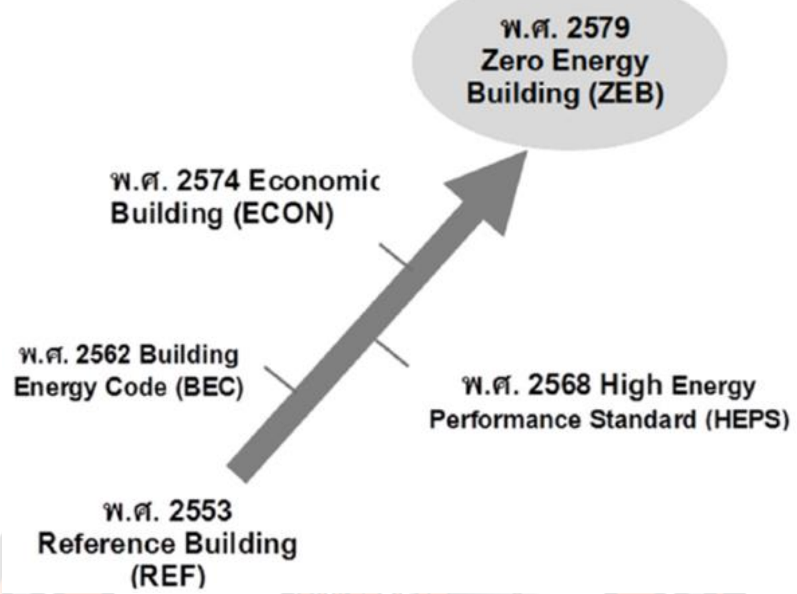
Andersland, (2003) [16] ได้อธิบายถึงการหาค่าการนำความร้อนของดิน โดยสัมพันธ์กับชนิดของเนื้อดินและแร่ธาตุ ซึ่งสามารถประเมินได้จากค่าความหนาแน่นของดิน และความชื้นภายในดินนั้น ๆ ดังสมการดังนี้

$$\lambda = 0.1142\left[(0.9_{logW} - 0.2) * 10^{0.6243*\frac{pd}{1000}}\frac{pd}{1000}\right] \tag{2.6}$$

Hillel.D, (2013) [17] ได้เสนอค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนในดินชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้ระบุค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ ซึ่งในดินเหนียวชุ่มน้ำค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.26 ถึง 0.68 e^{-6} m^2/s และค่าที่แนะนำ 0.5e^{-6} m^2/s

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร (2559) [18] ได้ให้คำนิยามอาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building: ZEB) ว่าคือ อาคารที่ออกแบบให้ใช้ประโยชน์จากธรรมชาติเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร มีการประหยัดพลังงานในระบบต่าง ๆ และมีการผลิตพลังงานเองได้เท่ากับหรือมากกว่าพลังงานที่ใช้ในอาคาร แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีของประเทศ (National Energy Efficiency Plan: EEP) ซึ่งเป็นแผนแม่บทในการอนุรักษ์พลังงานมีเป้าหมายในการลดความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2579 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2553 ได้ตั้งเป้าหมายในส่วนอาคารอนุรักษ์พลังงานให้มุ่งสู่อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ ภายใน ปี พ.ศ. 2579 ดังภาพ 2



ภาพ 2 แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีของประเทศ

ที่มา: (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2559) [18]

ปัจจุบันได้มีการให้ความหมายหรือคำจำกัดความของอาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ไว้หลากหลาย การใช้พลังงานสุทธิที่อาคารเป็นศูนย์ (Net Zero Site Energy – Site ZEB) คือ การที่อาคารใช้พลังงานหมุนเวียนในโครงการเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานที่อาคารใช้ในรอบปี โดยทั่วไปเมื่อพูดถึง “อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์” มักจะใช้ในความหมายว่า เป็นการใช้พลังงานสุทธิที่โครงการเป็นศูนย์ (Site ZEB) เนื่องจากเข้าใจได้ง่ายและยังคำนวณได้ง่าย การใช้พลังงานสุทธิ ณ สถานที่ผลิตพลังงานเป็นศูนย์ (Net Zero Source Energy – Source ZEB) คือ การที่อาคารใช้พลังงานหมุนเวียนเท่ากับหรือมากกว่า พลังงานที่อาคารใช้ในรอบ 1 ปี เมื่อคำนวณที่แหล่งที่ผลิตพลังงาน ดังนั้นสำหรับพลังงานไฟฟ้าที่มาจากระบบสายส่งนั้นจะต้องรวมประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทเชื้อเพลิงและวิธีการที่ใช้ผลิตไฟฟ้า และพลังงานที่สูญเสียไประหว่างการขนส่งด้วย พลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้ามีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่โครงการไม่ต่ำกว่า 3 เท่าตามทฤษฎีอาคารที่วัดความสำเร็จด้วย Source ZEB จึงต้องมีการประหยัดพลังงานและผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มากกว่าอาคารที่วัดความสำเร็จด้วย Site ZEB และต้องมีการหาอัตราส่วนที่จะนำมาใช้ แปลงค่า Site ZEB ให้เป็น Source ZEB ที่ถูกต้องเหมาะสม

การมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Costs – Cost ZEB) คือ การที่อาคารสามารถขายพลังงานที่ผลิตได้ คือ มีรายรับเท่ากับค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้ไปในรอบ 1 ปี การปล่อยมลพิษจากการผลิตพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Emissions – Emission ZEB) คือ การที่อาคารสามารถผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิง หมุนเวียนที่ไม่มีมลพิษ โดยสามารถลดมลพิษได้เท่ากับมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลพิษที่โครงการทั่วไปใช้ สำหรับการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้า สำหรับโครงการทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.5897 tCO_2/MWh สำหรับอาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ สามารถออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่

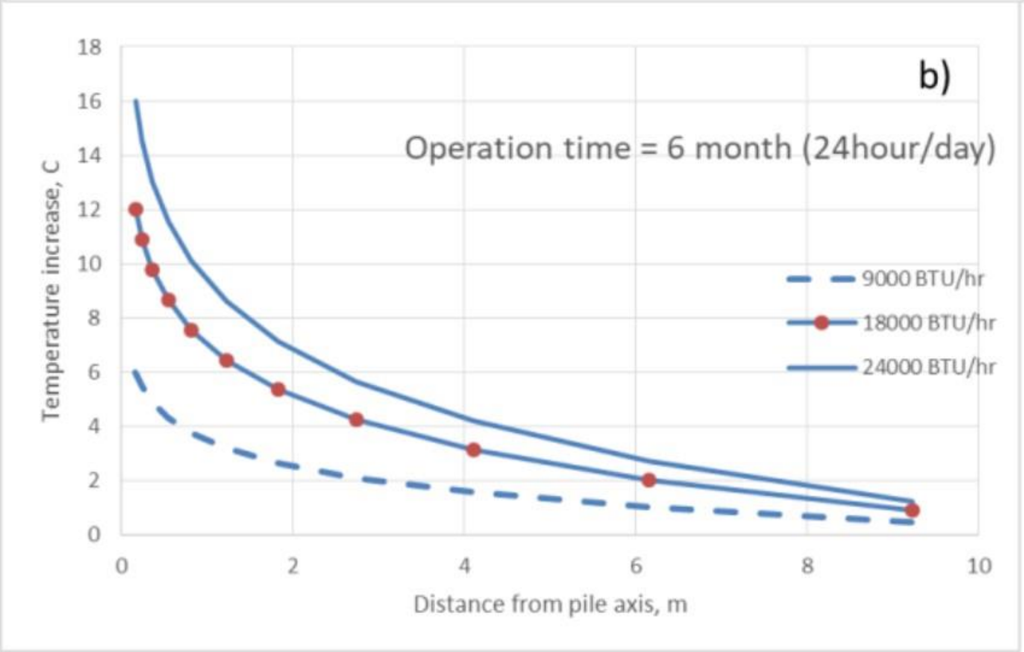
ระดับ A อาคารที่มีระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนบนอาคาร

ระดับ B อาคารที่มีระบบผลิตพลังงานหมุนเวียน ในพื้นที่โครงการ

ระดับ C อาคารที่มีการซื้อเชื้อเพลิงหมุนเวียน เช่น ชีวมวล จากภายนอกโครงการเพื่อมาผลิตพลังงาน

ระดับ D อาคารที่มีการซื้อพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตภายนอกโครงการมาใช้

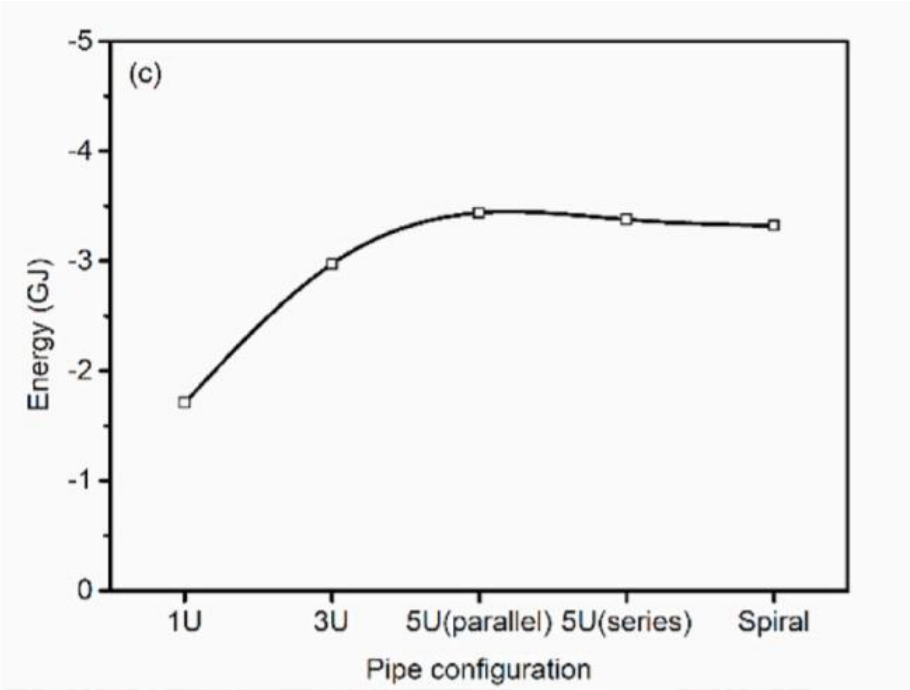
อภินิติ โชติสังกาศ, และคณะ (2563) [2] ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์เสาเข็มท่อเหล็กไมโครไพล์เป็นเสาเข็มพลังงานเพื่อถ่ายเทความร้อนจากระบบปรับอากาศในอาคารบ้านพักอาศัย ในการทดสอบได้เลือกใช้เสาเข็มท่อเหล็กไมโครไพล์ขนาด 6 นิ้ว เป็นเสาเข็มพลังงานเพื่อถ่ายเทความร้อนจากระบบปรับอากาศจากอาคารบ้านพักอาศัย โดยอธิบายการติดตั้งเสาเข็มพลังงานจำนวน 13 ต้น ที่ความลึก 17-18 เมตร ปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย จากผลการทดสอบการตอบสนองทางอุณหภูมิของเสาเข็มพบว่า ชั้นดินมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 1.49 - 2 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส การวิเคราะห์ในเบื้องต้นคาดว่าเสาเข็มพลังงานนี้ สามารถใช้งานกับระบบปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr. โดยไม่ทำให้อุณหภูมิโดยรอบเสาเข็มสูงเกิน 6 องศา หากใช้งานตลอด 24 ชม. ติดต่อกัน 6 เดือน ดังภาพ 3



ภาพ 3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นรอบเสาเข็มภายใต้สภาวะการใช้งานต่าง ๆ

ที่มา: อภินิติ โชติสังกาศ และคณะ, 2563 [2]

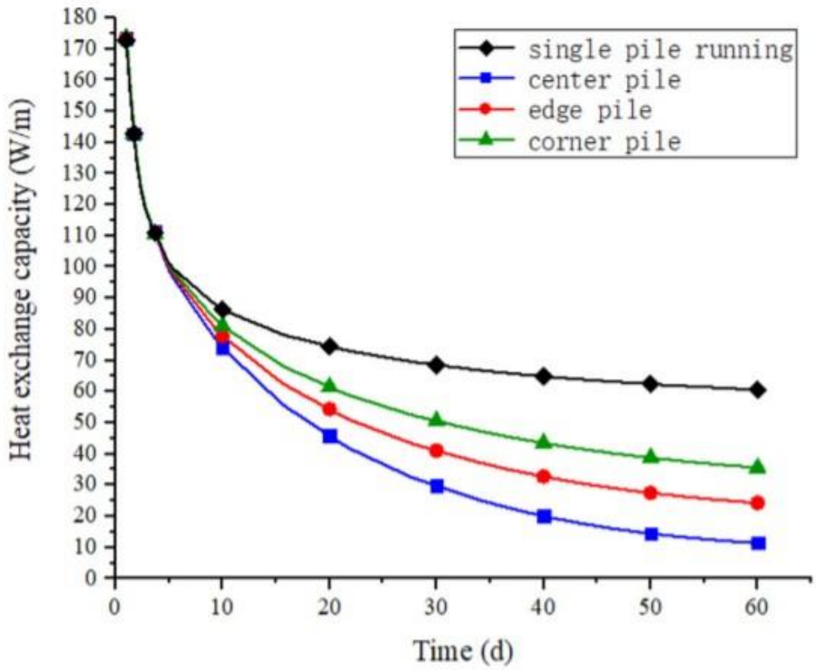
Wu, D et.al, (2021) [19] ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานที่ได้รับจากเสาเข็มพลังงานโดยได้ทำการทดลองกับงานฐานรากสะพาน ผลการทดสอบพบว่าเสาเข็ม 1 ต้น กักเก็บพลังงานได้ 3.2 Gj ภายในเวลา 1 เดือน และพลังงานที่กักเก็บได้มีค่าเท่ากับ 129 W/m และได้ข้อสรุปอีกข้อ คือ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บพลังงานคือความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและรูปทรงของท่อ ดังภาพ 4



ภาพ 4 ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ได้รับจากการทดสอบท่อแต่ละรูปแบบ

ที่มา: Wu, D et al, 2021 [19]

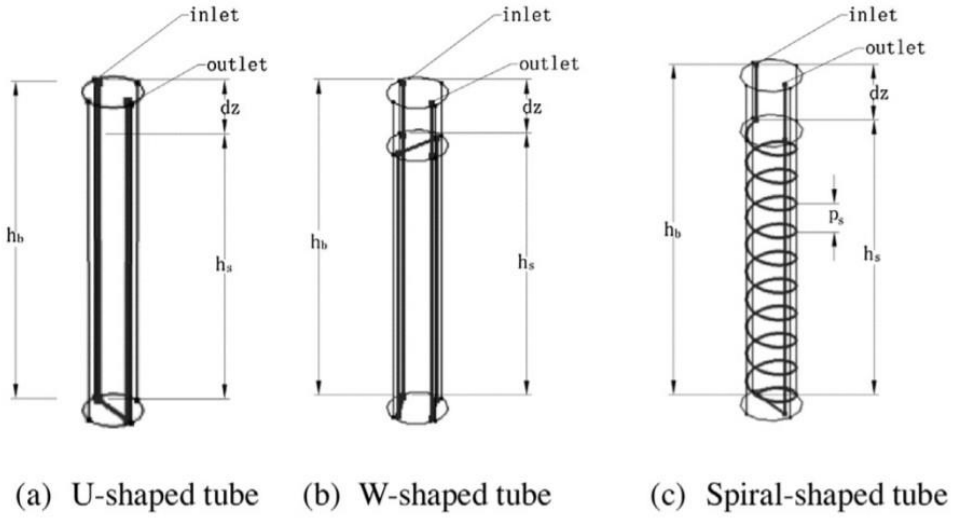
Kong, L. P et. al, (2019) [20] ทำวิจัยด้านพฤติกรรมของเสาเข็มพลังงานในเสาเข็มกลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า เสาเข็มต้นมุมมีประสิทธิภาพสูงสุด ตามด้วยต้นริม และน้อยสุดคือต้นตรงกลาง โดยที่พลังงานที่ได้รับจะมีค่าสูงสุดตามระยะห่างของเสาเข็ม (งานวิจัย A Study on Heat Transfer Characteristics and Pile Group Influence of Enhanced Heat Transfer Energy Piles) ดังภาพ 5



ภาพ 5 พลังงานที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนในเสาเข็มกลุ่ม

ที่มา: Wu, D et al, 2021 [19]

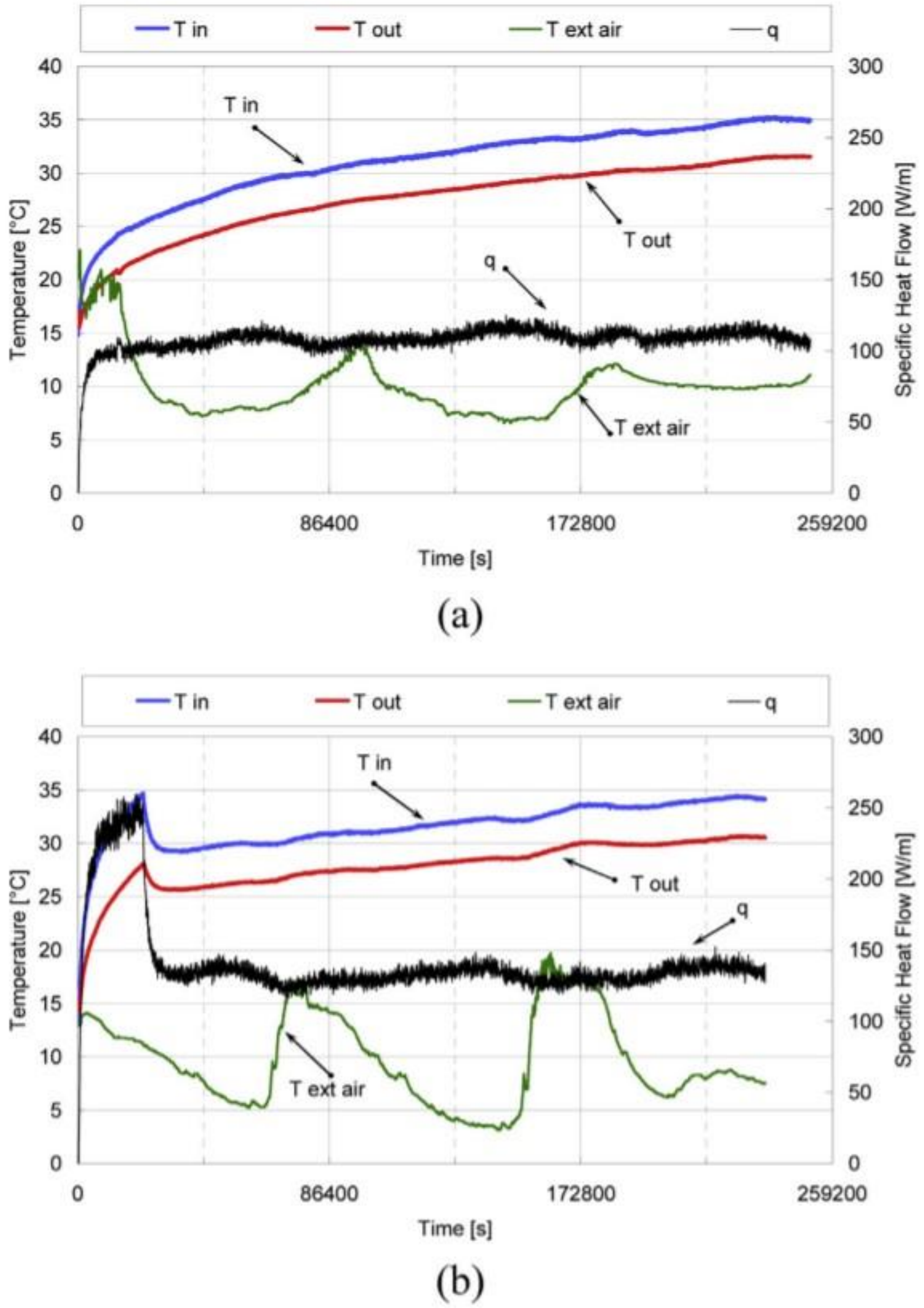
Zhao, Q et.al, (2016) [21] ศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเสาเข็ม โดยได้เลือกใช้ทั้งหมด 3 รูปทรง ได้แก่ U-Shaper Tube, W-Shaper Tube, และแบบเกลียว Spiral-Shaped Tube ดังภาพ 6 ผลทดสอบปรากฏว่า รูปแบบเกลียว Spiral-Shaped Tube มีประสิทธิภาพด้านการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า U-Shaper Tube และ W-Shaper Tube ทั้งในระยะยาวและระยะสั้น



ภาพ 6 รูปทรงของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

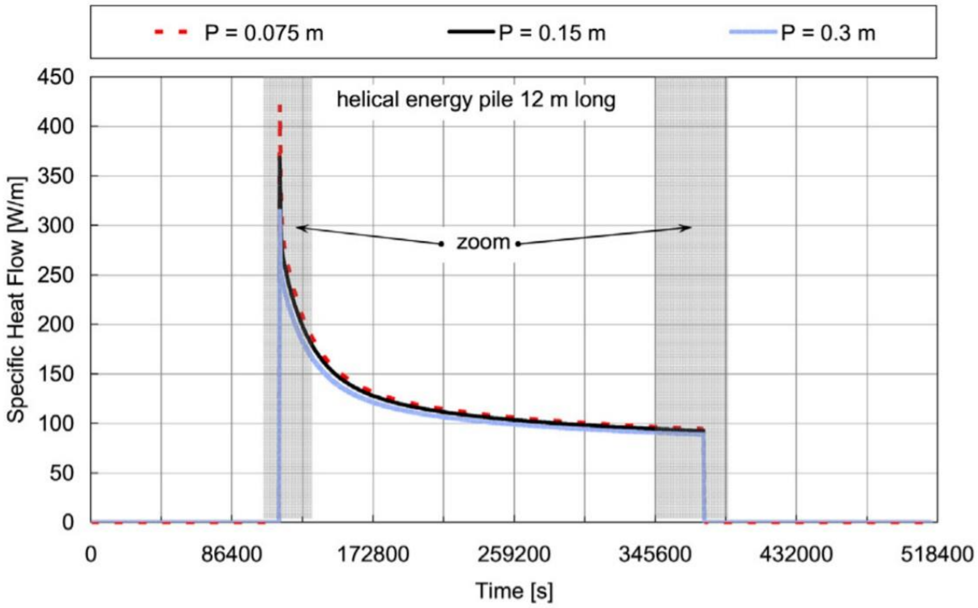
ที่มา: Zhao, Q et.al, 2016 [21]

Angelo Zarrella, (2013) [22] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแบบเกลียว Spiral-Shaped Tube กับแบบตัว U-Shaper Tube ผลการทดสอบทำให้ทราบว่า รูปแบบเกลียว Spiral-Shaped Tube ให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบ U-Shaper Tube 23% อีกทั้งผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับระยะห่างเกลียว โดยได้ทำการเพิ่มความห่างเกลียวจาก 0.15 เมตร เป็น 0.3 เมตร ผลปรากฏว่า ประสิทธิภาพลดลง 14% และทำการลดความห่างเกลียวจาก 0.15 เมตร เป็น 0.075 เมตร ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 14% ดังภาพ 7 และภาพ 8



ภาพ 7 อุณหภูมิที่วัดได้จากขาเข้า และออก (a) แบบเกลียว (b) แบบ3U

ที่มา: Zarrella, A et.al, 2013 [22]



ภาพ 8 เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนท่อแบบเกลียวโดยระยะห่างเกลียวที่ต่างกัน

ที่มา: Zarrella, A et.al, 2013 [22]

โสพิศ ชัยชนะ, (2016) [23] หาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุข จังหวัดเชียงราย เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและให้กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยก่อนปรับปรุงอาคาร อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เท่ากับ 68.69 W/m^2 และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 27.64 W/m^2 ซึ่งหลังจากปรับปรุงวิธีแรกค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เหลือเท่ากับ 48.05 W/m^2 ลดปริมาณไฟฟ้าได้ 8.16 % และวิธีที่สอง ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เหลือเท่ากับ 41.11 ลดปริมาณไฟฟ้าได้ 10.87% และวิธีที่สามค่าค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เหลือเท่ากับ 5.18 ลดปริมาณไฟฟ้าได้ 6.26%

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเสาเข็มพลังงานได้แก่ ความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและรูปทรงของท่อ โดยรูปแบบเกลียวมีประสิทธิภาพด้านการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแบบ U-Shaper Tube และ W-Shaper Tube ทั้งในระยะยาวและระยะสั้น อีกทั้งระยะห่างเกลียวยิ่งถี่ ยิ่งมีประสิทธิภาพสูง และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของเสาเข็มพลังงานแบบกลุ่ม เสาเข็มต้นมุมจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ตามด้วยต้นริม และน้อยสุดคือต้นตรงกลาง โดยที่พลังงานที่ได้รับจะมีค่าสูงสุดตามระยะห่างของเสาเข็ม

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของโครงการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานสำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ผู้วิจัยได้ออกแบบระเบียบวิธีการวิจัยของวิทยานิพนธ์ออกเป็น 6 ส่วน ดังภาพ 9

ส่วนที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

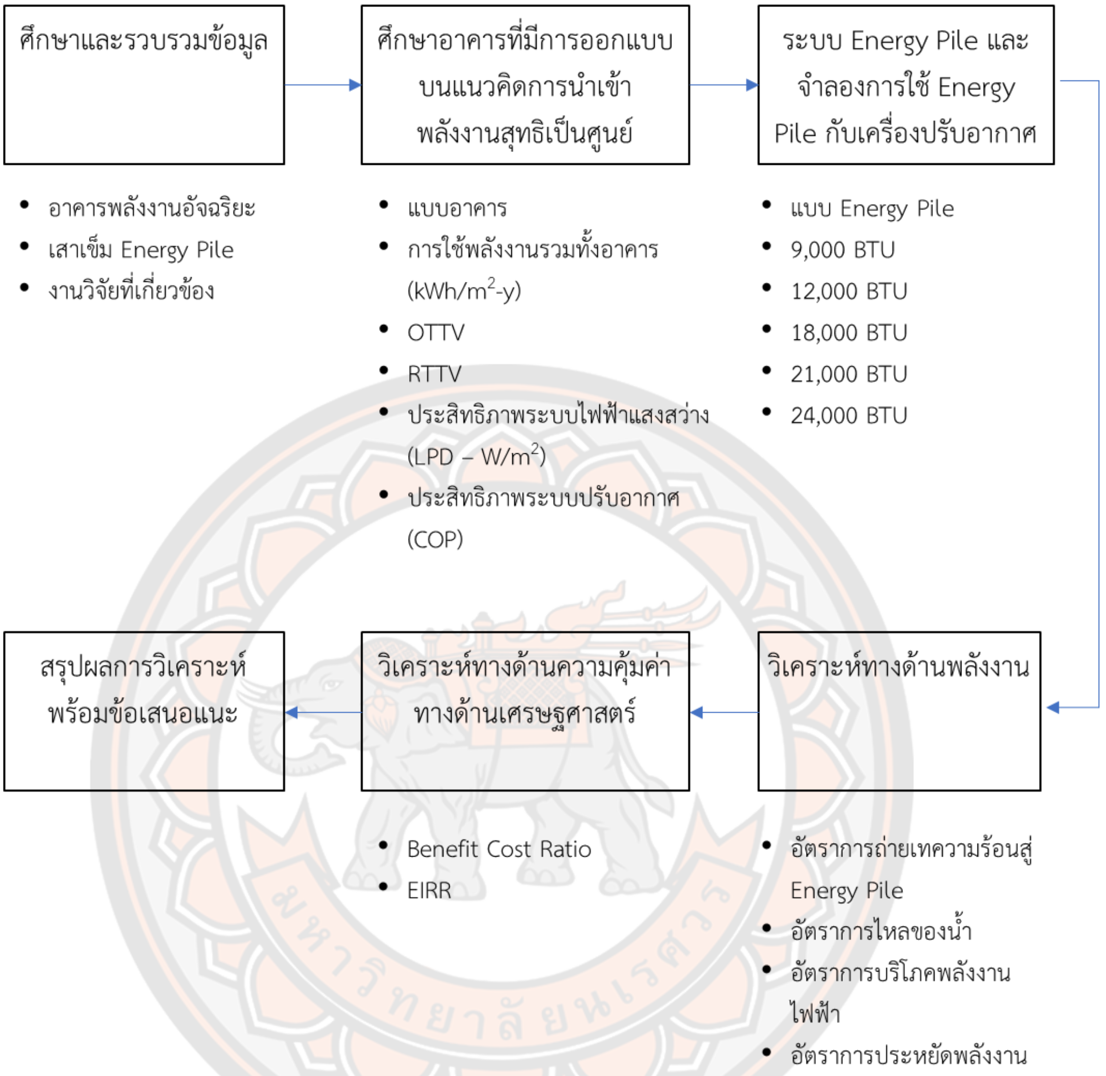
ส่วนที่ 2 ศึกษาอาคารที่มีการออกแบบบนแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ส่วนที่ 3 ระบบ Energy Pile และการจำลองการใช้ Energy Pile กับเครื่องปรับอากาศ

ส่วนที่ 4 วิเคราะห์ทางด้านพลังงาน ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็ม อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้า และอัตราการประหยัดพลังงาน

ส่วนที่ 5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ส่วนที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์พร้อมข้อเสนอแนะ



ภาพ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาอาคารที่มีการออกแบบบนแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

3.1.1 แบบอาคาร

อาคารสำนักงานอัจฉริยะถูกออกแบบและก่อสร้างจริงโดยบริษัทเข็มเหล็ก จำกัด ซึ่งเลือกใช้วัสดุประหยัดงานและประหยัดเวลาก่อสร้าง โครงสร้างหลักของอาคารทั้งหมดเป็นโครงสร้างเหล็กกัลวาไนซ์ (Galvanizing) ไม่เป็นสนิม โดยผ่านกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanizing) โดยรูปทรงอาคารได้ผ่านการออกแบบเพื่อให้ประหยัดพลังงาน อีกทั้งสามารถเข้ากับบริบทโดยรอบ ดังภาพ 10 โดยเลือกใช้ผนังและหลังคาสำเร็จรูปแซนวิสพาแนล (Sandwich Panel) และมีการนำโซล่าเซลล์ มาใช้กับพื้นที่บางส่วนของหลังคา ในส่วนของผนัง

โปร่งแสงและช่องเปิดต่าง ๆ ได้เลือกใช้กระจกเคลือบผิวโลหะ LOW-E (Low Emissivity) ซึ่งมีคุณสมบัติแผ่รังสีความร้อนต่ำกว่ากระจกธรรมดา และการเลือกใช้นวัตกรรมฐานรากเข็มเหล็ก ซึ่งผลิตและจำหน่ายโดยบริษัท เข็มเหล็ก จำกัด เป็นเสาเข็มที่ใช้รับน้ำหนักโครงสร้างทั้งหมดของอาคารสำนักงาน ดังภาพ 11

ภาพ 10 รูปแบบจำลองสามมิติอาคารสำนักงานอัจฉริยะ

ที่มา: บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด [24]

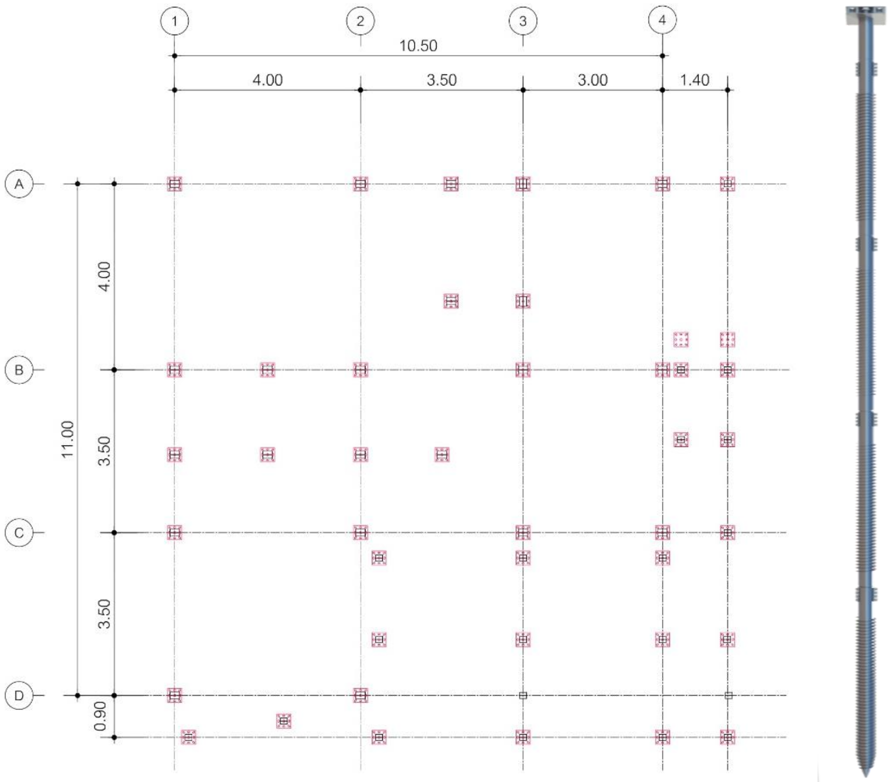
ภาพ 11 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ

1) แบบแปลนอาคารสำนักงาน ลักษณะพื้นที่ใช้สอย ประกอบด้วย โถงต้อนรับ, พื้นที่ทำงาน, ห้องประชุม, พื้นที่เตรียมอาหาร, เทอเรสต์สำหรับพักผ่อนของพนักงาน, และห้องน้ำ รวมพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 150 ตารางเมตร ดังภาพ 12

ภาพ 12 แบบแปลนพื้นที่ใช้สอย

ที่มา: บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด [24]

2) แปลนฐานรากเสาเข็มทั้งหมด 42 ต้น ใช้เสาเข็มเหล็กรุ่น D114x12000xFs300 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 114 มิลลิเมตร ความยาว 12000 มิลลิเมตร และหน้าแปลนหัวเสาเข็มเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัส 2 ชั้น ด้านกว้างและด้านยาวอยู่ที่ 300 มิลลิเมตรน้ำหนักความปลอดภัยต้นละ 10 ตัน ดังภาพ 13



ภาพ 13 แปลนฐานรากเสาเข็ม

ที่มา: บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด [24]

3) แบบแปลนไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศ โครงการสำนักงานอัจฉริยะ ใช้เครื่องปรับอากาศ จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 9,000 BTU ดังภาพ 14 และมีรายละเอียดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน ดังตาราง 3

ภาพ 14 แบบแปลนไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศ

ที่มา: บริษัทเข็มเหล็ก จำกัด [24]

3.1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ภายในหนึ่งวันมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสามารถสรุปได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 รายละเอียดการใช้ไฟฟ้าภายในหนึ่งวันของอาคารสำนักงาน

รายการเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาที่เปิดใช้ (ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าต่อวัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
พลังงานในส่วนของอาคารตามเกณฑ์					
ดาวไลน์ LED	23	299	8	2.39	624.31
เครื่องปรับอากาศ	3	1134	8	9.07	2367.36
พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมการใช้อาคาร					
คอมพิวเตอร์ PC	4	480	8	3.84	1002.24
ปริ๊นเตอร์	2	60	6	0.36	93.96
เครื่องถ่ายเอกสาร	1	150	6	0.9	234.9
โทรทัศน์	1	58	3	0.17	44.37
โทรศัพท์	2	19	8	0.15	39.15
ไมโครเวฟ	1	800	1	0.08	20.88
ตู้เย็น	1	71	24	1.70	443.7
รวม				**18.66**	**4870.26**

3.1.3 การถ่ายผ่านค วามร้อนรวมของผนัง (OTTV) และการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาเพื่อให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ และเป็นไปตามที่ ZEB กำหนดให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) มีค่าไม่เกิน 20 W/m^2 และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) มีค่าไม่เกิน 12 W/m^2 สำหรับอาคารสำนักงาน โดยสามารถสรุปได้ว่า ยิ่งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ต่ำ ภาระของเครื่องปรับอากาศก็จะต่ำลง โดยผลการประเมินแบบอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยใช้โปรแกรม BEC Web-based สามารถสรุปได้ว่าค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของผนัง (OTTV) มีค่าเท่ากับ 11.95 W/m^2 ดังตาราง 3 และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) มีค่าเท่ากับ 2.82 W/m^2 ดังตาราง 4 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่กฎกระทรวงกำหนด

ตาราง 3 การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV)

บริเวณ	**ทิศทางผนัง**	OTTV (W/m^2)	**พื้นที่** (m^2)	WWR
ทางเข้า ระเบียง ทางเดิน	ผนังด้านทิศใต้	6.987	50.018	0.10
ห้องทำงาน	ผนังด้านทิศเหนือ	10.230	50.000	0.14
ห้องประชุม	ผนังด้านทิศตะวันออก	13.273	35.009	0.23
ห้องโถงต้อนรับ	ผนังด้านทิศตะวันตก	20.194	34.988	0.40

ตาราง 4 การถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

บริเวณ	**ทิศทางผนัง**	RTTV (W/m^2)	**พื้นที่** (m^2)	WWR
ห้องทำงาน	หลังคา 35 องศา – ทิศใต้	2.894	35.000	0.00
ห้องทำงาน	หลังคา 35 องศา –ทิศเหนือ	2.565	35.000	0.00
ห้องประชุม	หลังคา 35 องศา –ทิศตะวันออก	2.827	12.500	0.00
ห้องประชุม	หลังคา 35 องศา –ทิศตะวันตก	2.812	12.500	0.00
ห้องโถงต้อนรับ	หลังคา 15 องศา	2.885	90.000	0.00

3.1.4 **กำลังไฟส่องสว่างสูงสุด** (LPD)

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD) สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ถูกกำหนดโดยกฎกระทรวงให้มีค่าไม่เกิน 10.00 W/m^2 ซึ่งจากผลการประเมินพบว่าใช้โคมไฟดาวน์ไลท์ LED 12 W. จำนวน 23 หลอด มีกำลังไฟฟ้าติดตั้งรวม 0.3 kW และมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 2 W/m^2 ดังตาราง 5 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงกำหนด

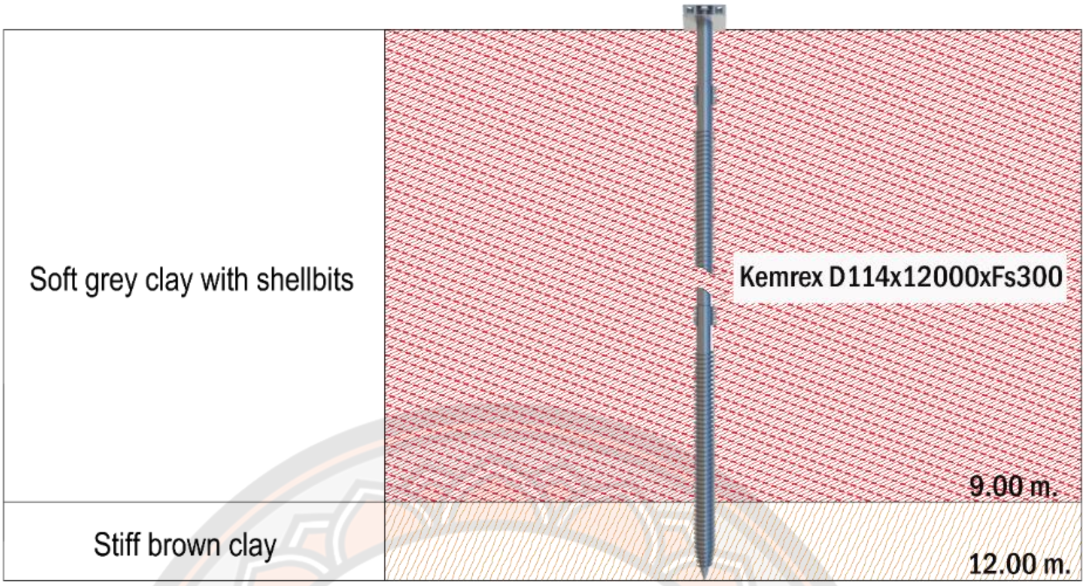
ตาราง 5 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)

บริเวณ	พื้นที่ (m^2)	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W/Unit)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (W/m^2)
ทางเข้า ระเบียงทางเดิน	54.000	4	12.000	48.000	0.889
ส่วนเตรียมอาหาร	10.000	1	12.000	12.000	1.200
ห้องทำงาน	32.000	8	12.000	96.000	3.000
ห้องน้ำ	6.000	2	12.000	24.000	4.000
ห้องประชุม	24.000	6	12.000	72.000	3.000
ห้องโถงต้อนรับ	24.000	4	12.000	48.000	2.000

3.2 ระบบ Energy Pile และการจำลองการใช้ Energy Pile กับเครื่องปรับอากาศ

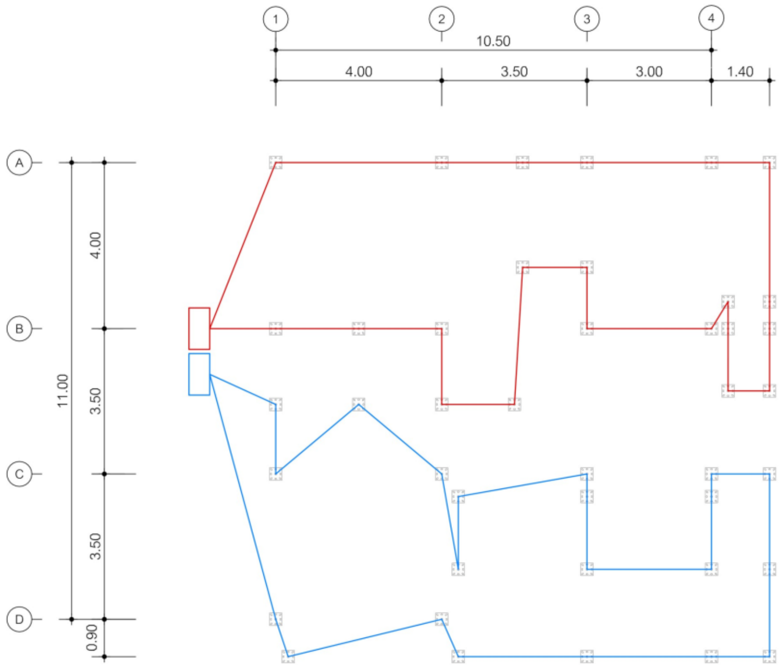
3.2.1 ระบบ Energy Pile

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารสำนักงาน น้ำหนักที่ลงสู่ฐานรากมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 10 ตัน ทางวิศวกรจึงเลือกเข็มเหล็ก รุ่น D114x12000xFs300 ซึ่งสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยได้ 12 ตันต่อต้น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร ความยาว 12 เมตร และมีหน้าแปลนรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสสองชั้น ขนาด 300 มิลลิเมตร ดังภาพ 15

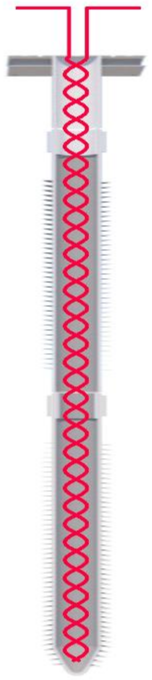


ภาพ 15 เสาเข็มเหล็กเกลียว รุ่น D114x12000xFs300

เสาเข็มที่ใช้ในโครงการนี้มีทั้งหมด 42 ต้น ยาวต้นละ 12 เมตร ดังนั้นความยาวของเสาเข็มในโครงการที่มีการฝังท่อ HDPE (High Density Polyethylene) มีความยาวทั้งหมด 504 เมตร ซึ่งนำไปใช้กับแอร์ทั้งหมด 2 ตัว โดยที่แบบตำแหน่งและเส้นทางการเดินท่อ HDPE เชื่อมโยงกับตำแหน่งเสาเข็มตามแบบแปลนอาคาร ดังภาพ 16 มีลักษณะการติดตั้งท่อ HDPE ในเสาเข็ม ดังภาพ 17 ตามลำดับ และผลเจาะสำรวจดินภายในโครงการ ดังภาพ 18 ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลของชั้นดินได้ดังตาราง 6

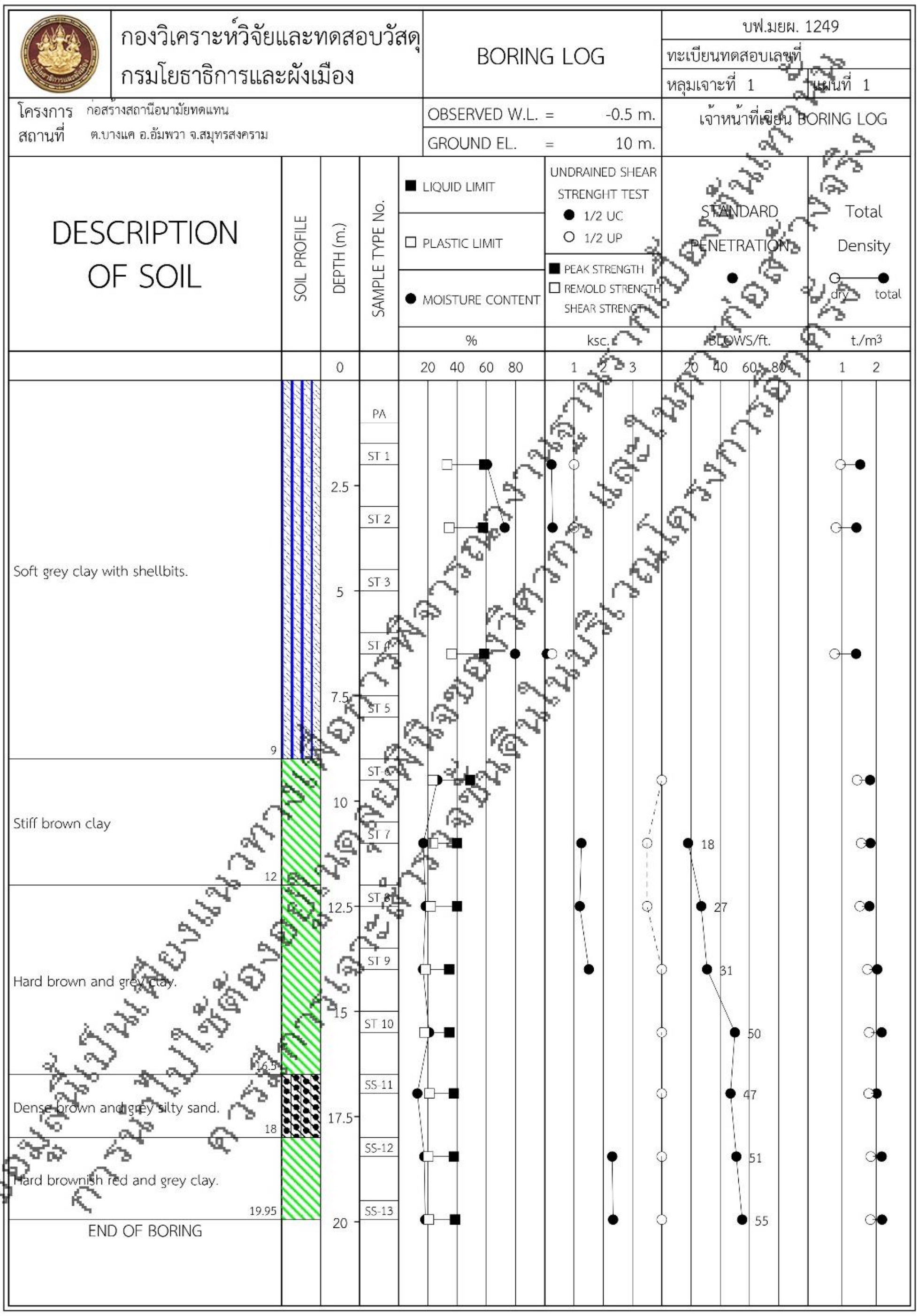


ภาพ 16 แสดงตำแหน่งและเส้นทางการเดินท่อ High-Density Polyethylene (HDPE)



ภาพ 17 แสดงลักษณะการติดตั้งท่อ High-Density Polyethylene (HDPE) **ในเสาเข็มเสาเข็มเหล็กพลังงาน**

3.2.2 ผลการเจาะสำรวจดินภายในโครงการ



ภาพ 18 ผลเจาะสำรวจดิน ตำบลบางแค จังหวัดสมุทรสงคราม

ที่มา: สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดสมุทรสงคราม [25]

ตาราง 6 สรุปรายละเอียดผลเจาะชั้นดิน

ระดับ (ม.)		ชนิดดิน	SPT	ค่าความชื้น
จาก	ถึง		(blow/ft)	%
0	9	ดินเหนียวอ่อน	-	70
9	12	ดินเหนียวแข็ง	20	20
12	16.5	ดินเหนียวแข็งมาก	40	20
16.5	18	ทรายหนาแน่น	50	15
18	20	ดินเหนียวแข็งมาก	50	20

3.2.2 การจำลองการใช้ Energy Pile กับเครื่องปรับอากาศ

ในการวิเคราะห์ทางด้านพลังงาน ได้ทำการจำลองเลือกใช้เครื่องปรับอากาศแต่ละขนาดกับระบบ Energy Pile โดยเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการจำลองได้แก่ เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/Hr, 12000 BTU/Hr, 18000 BTU/Hr, 21000 BTU/Hr และ 24000 BTU/Hr โดยค่า COP ที่นำมาใช้คือ 3.5 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากงานวิจัยระบบ Ground Source Heat Pump จากบทที่ 2 โดยการจำลองเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาดจะทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

- อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่ Energy Pile
- อัตราการไหลของน้ำ
- อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้า
- อัตราการประหยัดพลังงาน

3.3 การวิเคราะห์ทางด้านพลังงาน

3.3.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่ Energy Pile

ความร้อนที่ถ่ายจากคอยร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงานจะส่งผ่านตัวกลางซึ่งในที่นี้จะใช้น้ำ และแลกเปลี่ยนความร้อนกับดิน ซึ่งจะมีผลให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในดินตามระยะเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจำลองการใช้งานเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 เดือนแบบไม่ปิด ซึ่งเป็นการจำลองในกรณีที่แย่ที่สุด โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในดิน มีผลต่อประสิทธิภาพเสาเข็มพลังงาน เนื่องจากถ้าอุณหภูมิในดินสูงกว่าอุณหภูมิของคอยล์ร้อน การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิจะไม่มีผล โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4 และสรุปเป็นรูปแบบความสัมพันธ์

ระหว่างระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเสาเข็มและผลต่างอุณหภูมิก่อนและหลัง โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ซึ่งผลการเจาะสำรวจดินแสดงในภาพ 19 และสรุปได้ดังตาราง 6 โดยดินส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียวชุ่มน้ำ ซึ่งจากงานวิจัยในบทที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินมีค่าเท่ากับ 1.6 W/mC และค่าสัมประสิทธิการแพร่ความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.5E^{-6} m^2/s

3.3.2 อัตราการไหลของน้ำในท่อ

อัตราการไหลของน้ำจำเป็นต้องถูกควบคุม เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมีผลต่ออุณหภูมิที่เกิดการแลกเปลี่ยนจากระบบเสาเข็มเหล็กพลังงาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

3.3.3 อัตราการบริโภคพลังงาน

อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศหรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว โดยอัตราค่าไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังตาราง 7 และ 8

ตาราง 7 อัตราปกติ

แรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์	3.9086	312.24
แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์		46.16
150 หน่วยแรก	3.2484	
250 หน่วยต่อไป	4.2218	
เกินกว่า 400 หน่วย	4.4217	

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [26]

ตาราง 8 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้

แรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ
	Peak	Off Peak	(บาท/เดือน)
22 - 33 กิโลโวลต์	5.1135	2.6037	312.24
ต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	5.7982	2.6369	46.16

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [26]

3.3.4 อัตราการประหยัดพลังงาน

อุณหภูมิในดินมีผลต่ออัตราการประหยัดพลังงาน ยิ่งอุณหภูมิในดินต่ำ พลังงานที่ถูกใช้จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศก็จะน้อยลง กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ระบุว่า การลดอุณหภูมิอากาศระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ 1 องศา จะช่วยลดพลังงานที่ใช้ได้ 1.43% กระทรวงพลังงาน. (2018) [27] โดยอุณหภูมิที่ลดลงจะมีค่าเท่ากับผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและออกหลังจากวิเคราะห์อุณหภูมิที่สะสมในดินแล้ว

3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาจาก 2 ตัวชี้วัด ดังนี้

3.4.1 อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C)

ตัวชี้วัด B/C เป็นค่าแสดงถึงประสิทธิภาพการใช้ทุนของโครงการ ณ อัตราคิดลด ที่กำหนด ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$B/C = \Sigma\ Bt\,(1+R)^{t}\ /\ \Sigma\ Ct\,(1+R)^{t}$$

เมื่อ	Bt	คือ	ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี t
	Ct	คือ	ต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี t
	R	คือ	อัตราคิดลดคำนวนจากอัตราเงินเฟ้อทั่วไป ณ เดือนธันวาคม 2564 ที่ 1.2 %
	t	คือ	ปีที่คำนวน (มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง n)
	n	คือ	อายุโครงการ

มีหลักเกณฑ์การพิจารณาตัดสินใจ ดังนี้

B/C > 1 แสดงว่า โครงการเป็นที่ยอมรับ มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

B/C < 1 แสดงว่า โครงการไม่เป็นที่ยอมรับ ไม่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

B/C = แสดงว่า ไม่ว่าจะยอมรับหรือไม่ยอมรับก็ไม่มีผลกระทบ

3.4.2 **อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์** (Economic Internal Rate of Return: EIRR)

ตัวชี้วัด IRR เป็นค่าแสดงถึงอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการซึ่งคำนวณ ได้จากสูตร

In case; Σ (Bt-Ct) / $(1+R^*)^t$ = 0

R^* คือ อัตราคิดลดที่ทาให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

IRR คือ R^*

ซึ่งถ้าหาก EIRR > ร้อยละ 2 แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

บทนี้นำเสนอผลการวิจัยซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์อาคารที่มีการออกแบบบนแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ผลการศึกษาความสามารถในการลดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงาน และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

4.1 ระบบกรอบอาคาร

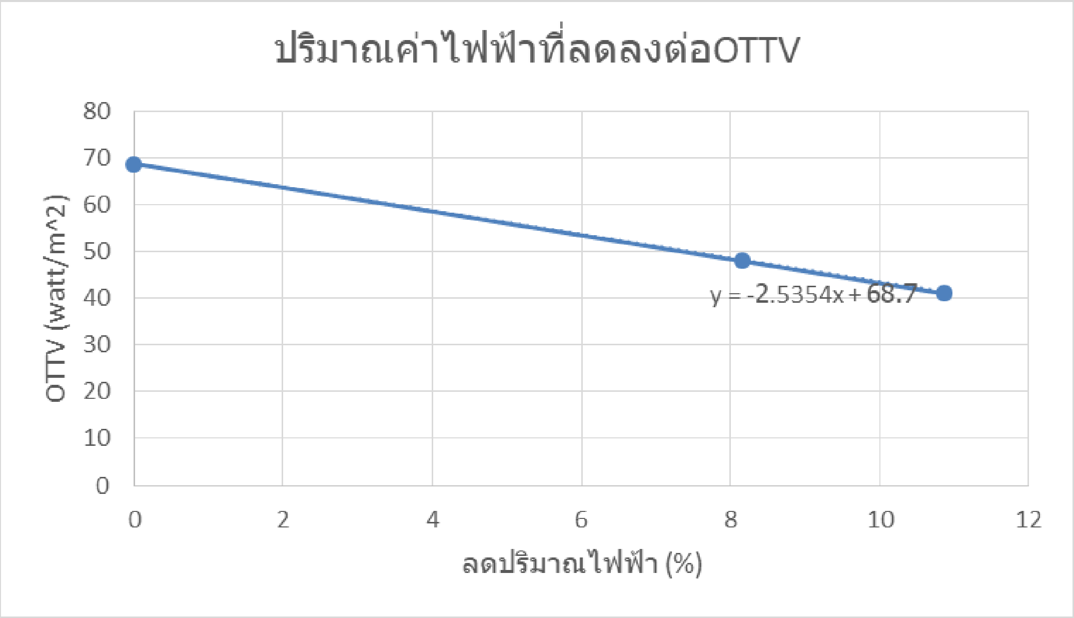
ผลจากการตรวจประเมินแบบอาคารพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ (OTTV) เท่ากับ 11.95 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่ ZEB กำหนด และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ (RTTV) เท่ากับ 2.82 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่ ZEB กำหนด และในส่วนระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลจากการตรวจประเมินแบบอาคารพบว่าใช้โคมไฟดาวน์ไลท์ LED 12 วัตต์ มีกำลังไฟฟ้าติดตั้งรวม 0.3 กิโลวัตต์ และมีค่ากำลังไฟส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 2.00 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่ ZEB กำหนด และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารพบว่ามีค่า 20.86 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตร.ม./ปี ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ ZEB อยู่ค่อนข้างมาก แต่มีเพียงค่า COP เท่านั้นที่อยู่ในเกณฑ์ HEPS (High Performance Standard) คือเกณฑ์อาคารที่ประหยัดพลังงานมากกว่าที่กฎหมายกำหนด ด้วยการใช้เทคโนโลยีทั่วไปในปัจจุบัน ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์อาคารที่มีการออกแบบบนแนวคิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

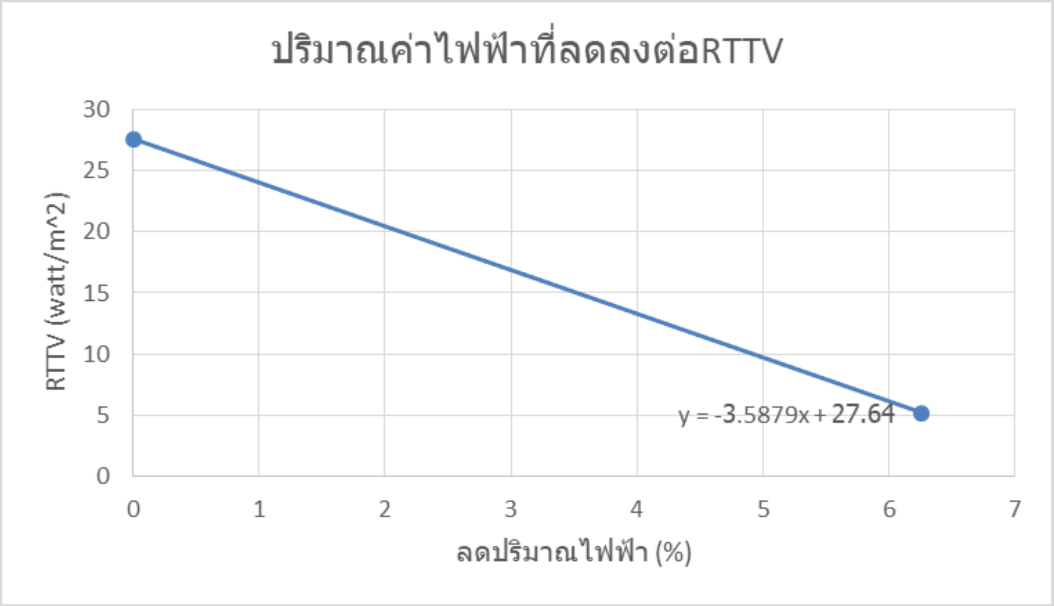
รายละเอียด	เกณฑ์ ZEB	อาคารตามที่ออกแบบ	ผลประเมิน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV, วัตต์/ตร.ม.)	$\leq$ 20.00	11.95	ผ่าน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV, วัตต์/ตร.ม.)	$\leq$ 12.00	2.82	ผ่าน
ค่ากำลังไฟส่องสว่างสูงสุด LPD (วัตต์/ตร.ม.)	$\leq$ 2.00	2.00	ผ่าน
ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง (COP)	$\geq$ 5.45	3.95	ไม่ผ่าน
การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตร.ม./ปี)	$\leq$ 57	20.86	ผ่าน

อัตราการลดปริมาณไฟฟ้าของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

จากงานวิจัยของโสพิศ ชัยชนะ, (2016) [23] สามารถสรุปปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 11.95 W/m^2 ซึ่งสามารถลดปริมาณค่าไฟฟ้าได้ 22.38% ได้ดังสมการจากภาพ 19 จากอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เกิน 50 W/m^2 และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 2.82 W/m^2 ซึ่งสามารถลดปริมาณค่าไฟฟ้าได้ 6.92% ได้ดังสมการจากภาพ 20 จากอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เกิน 10 W/m^2



ภาพ 19 แสดงปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV)



ภาพ 20 แสดงปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการลดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงาน

ได้คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงาน อุณหภูมิที่สะสมในชั้นดิน อัตราการไหลของน้ำ อัตราการประหยัดพลังงาน และอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการจำลองการใช้เสาเข็ม Energy Pile ร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาดต่าง ๆ สามารถสรุปผลดังกล่าวได้ดังนี้

4.2.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงาน

ตาราง 10 อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน

Qs		COP	Qr	Thermo	q'
BTU/hr	Watt		Watt	Length	W/m
9000	2637.6	3.5	3391.20	252	13.46
12000	3516.85	3.5	4521.66	252	17.94
18000	5275.3	3.5	6782.53	252	26.91
21000	6154.49	3.5	7912.92	252	31.40
24000	7033.7	3.5	9043.33	252	35.89

จากตาราง 10 พบว่า ยิ่งเครื่องปรับอากาศมีขนาด BTU ที่ใหญ่ขึ้น จะส่งผ่านพลังงานความร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงานงานมากขึ้น ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิในดินมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้เครื่องปรับอากาศติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน

4.2.2 อุณหภูมิที่สะสมในชั้นดิน

ตาราง 11 อุณหภูมิที่สะสมในชั้นดินจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงาน

Qs	q'	λ	$1/4\pi\lambda$	αd	t (month)	t (s)	R	R^2	$4\alpha dt/R^2$	$\ln(4\alpha dt/R^2)$	γE	$\ln(4\alpha dt/R^2)-\gamma E$	T-T0
9000	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.06	0.00	1595.57	7.37	0.58	6.80	4.55
	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.10	0.01	518.40	6.25	0.58	5.67	3.80
	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.20	0.04	129.60	4.86	0.58	4.29	2.87
	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.40	0.16	32.40	3.48	0.58	2.90	1.94
	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.70	0.49	10.58	2.36	0.58	1.78	1.19
	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.10	1.21	4.28	1.45	0.58	0.88	0.59
	13.46	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.60	2.56	2.03	0.71	0.58	0.13	0.09
12000	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.06	0.00	1595.57	7.37	0.58	6.80	6.07
	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.10	0.01	518.40	6.25	0.58	5.67	5.06
	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.20	0.04	129.60	4.86	0.58	4.29	3.83
	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.40	0.16	32.40	3.48	0.58	2.90	2.59
	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.70	0.49	10.58	2.36	0.58	1.78	1.59
	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.10	1.21	4.28	1.45	0.58	0.88	0.78
	17.94	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.60	2.56	2.03	0.71	0.58	0.13	0.11

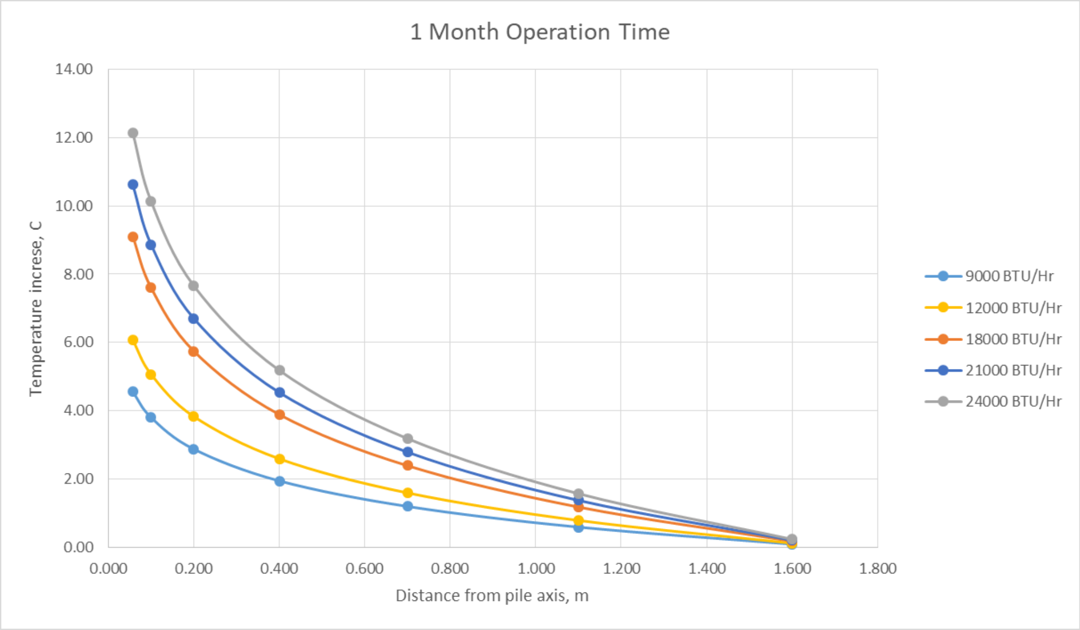
ตาราง 11 (ต่อ)

Qs	q'	λ	$1/4\pi\lambda$	αd	t (month)	t (s)	R	R^2	$4\alpha dt/R^2$	$\ln(4\alpha dt/R^2)$	γE	$\ln(4\alpha dt/R^2)-\gamma E$	T-T0
18000	26.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.06	0.00	1595.57	7.37	0.58	6.80	910
	26.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.10	0.01	518.40	6.25	0.58	5.87	7.60
	26.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.20	0.04	129.60	4.86	0.58	4.29	5.74
	26.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.40	0.16	32.40	3.48	0.58	2.90	3.89
	26.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.70	0.49	10.58	2.36	0.58	1.78	2.39
	29.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.10	1.21	4.28	1.45	0.58	0.88	1.18
	26.91	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.60	2.56	2.03	0.71	0.58	0.13	0.17
21000	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.06	0.00	1595.57	7.37	0.58	6.80	10.62
	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.10	0.01	518.40	6.25	0.58	5.67	8.86
	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.20	0.04	129.60	4.86	0.58	4.29	6.70
	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.40	0.16	32.40	3.48	0.58	2.90	4.53
	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.70	0.49	10.58	2.36	0.58	1.78	2.78
	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.10	1.21	4.28	1.45	0.58	0.88	1.37
	31.40	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.60	2.56	2.03	0.71	0.58	0.13	0.20

ตาราง 11 (ต่อ)

Qs	q'	λ	$1/4\pi\lambda$	α_d	t (month)	t (s)	R	R^2	$4\alpha dt/R^2$	$ln(4\alpha dt/R^2)$	γE	$ln(4\alpha dt/R^2)-\gamma E$	T-T0
24000	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.06	0.00	1595.57	7.37	0.58	6.80	12.14
	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.10	0.01	518.40	6.25	0.58	5.67	10.13
	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.20	0.04	129.60	4.86	0.58	4.29	7.66
	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.40	0.16	32.40	3.48	0.58	2.90	5.18
	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	0.70	0.49	10.58	2.36	0.58	1.78	3.18
	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.10	1.21	4.28	1.45	0.58	0.88	1.57
	35.89	1.6	0.05	5E-07	1	2592000	1.60	2.56	2.03	0.71	0.58	0.13	0.23

จากภาพ 21 จะเห็นว่าอุณหุมิสูงที่สุดรอบ ๆ เสาเข็ม และอุณหภูมิจะลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าเท่ากับ 0 ที่ระยะ 1.60 เมตร จากจุดศูนย์กลางเสาเข็มเหล็กพลังงาน และอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดเครื่องปรับอากาศที่เลือกใช้



ภาพ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเสาเข็มและอุณหภูมิที่ลดลงจากการถ่ายเทพลังงานความร้อน จำแนกตามขนาดเครื่องปรับอากาศ

ซึ่งจากการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนสู่เสาเข็มเหล็กพลังงาน และอุณหภูมิที่สะสมในชั้นดิน ทำให้สามารถทราบถึงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง Condensor และอุณหภูมิของดิน (หลังมีการถ่ายเทความร้อนจากเสาเข็มพลังงาน) ได้ ดังแสดงในตาราง 12 โดยกำหนดให้อุณหภูมิของ Condenser และอุณหภูมิของดินก่อนมีการถ่ายเทความร้อนจากเสาเข็มพลังงานเท่ากับ 40 $^{\circ}$C และ 30 $^{\circ}$C ตามลำดับ

ตาราง 12 ผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง Condenser และอุณหภูมิของดิน (หลังมีการถ่ายเทความร้อนจากเสาเข็มพลังงาน)

Qs BTU/hr	Qs Watt	COP	Qr Watt	Qr kJ/s	C KJ/kg.C	ΔT C	m (kg/s)	m (litre/min)
9000	2637.6	3.5	3391.20	3.39	4.12	5.45	0.15	9.07
12000	3516.85	3.5	4521.66	4.52	4.12	3.93	0.28	16.77
18000	5275.3	3.5	6782.53	6.78	4.12	0.9	1.83	109.82
21000	6154.49	3.5	7912.92	7.91	4.12	-	-	-
24000	7033.7	3.5	9043.33	9.04	4.12	-	-	-

จากตาราง 12 พบว่า เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง Condenser และอุณหภูมิของดิน (หลังมีการถ่ายเทความร้อนจากเสาเข็มพลังงาน) มากที่สุด คือ 5.45 ^{o}C และยังพบว่าเครื่องปรับอากาศขนาดมากกว่า 18000 BTU/hr นั้น Energy Pile ไม่สามารถช่วยถ่ายเทความร้อนจาก Condenser สู่ดินได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่สะสมในดินมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของ Condenser

4.2.3 อัตราการไหลของน้ำ

ตาราง 13 อัตราการไหลของน้ำ จำแนกตามขนาดเครื่องปรับอากาศ

Qs BTU/hr	Qs Watt	COP	Qr Watt	Qr kJ/s	C KJ/kg.C	ΔT C	m (kg/s)	m (litre/min)
9000	2637.6	3.5	3391.20	3.39	4.187	5.45	0.148	8.88
12000	3516.85	3.5	4521.66	4.52	4.187	3.93	0.274	16.44
18000	5275.3	3.5	6782.53	6.78	4.187	0.9	1.79	107.40
21000	6154.49	3.5	7912.92	7.91	4.187	-	-	-
24000	7033.7	3.5	9043.33	9.04	4.187	-	-	-

จากตาราง 13 อัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสม จะทำให้ระบบเสาเข็มเหล็กพลังงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr มีค่าอัตราการไหลของ

น้ำที่เหมาะสมเท่ากับ 8.88 litre/min ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ค่อนข้างต่ำ สามารถใช้ปั๊มขนาดเล็กในการหมุนเวียนน้ำได้ ช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในระบบได้ ในกรณีที่ใช้อัตราการไหลของน้ำสูงกว่าในตาราง จะมีผลให้การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ มีความคลาดเคลื่อน และได้ผลต่างของอุณหภูมิปลายทางที่น้อยลง แต่จะไม่มีผลต่อระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนในกรณีที่อัตราการไหลของน้ำต่ำกว่าในตาราง เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนสมบูรณ์แล้ว

4.2.4 อัตราการประหยัดพลังงาน

ตาราง 14 อัตราการประหยัดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน

Qs	T-T0	$T_{SOIL\ (BEFORE)}$	$T_{SOIL\ (AFTER)}$	$T_{CONDENSING}$	$T_{DIFFERENT}$	Energy Saving
BTU/Hr	C	C	C	C	C	%
9000	4.55	30	34.55	40	5.45	7.790513935
12000	6.07	30	36.07	40	3.93	5.622067304
18000	9.10	30	39.10	40	0.90	1.280781075
21000	10.62	30	40.62	40	-	-
24000	12.14	30	42.14	40	-	-

จากตาราง 14 ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิที่ลดลงของ Condenser เท่ากับผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง Condenser กับดิน (หลังมีการถ่ายเทความร้อนจากเสาเข็มพลังงาน) เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr 1 เครื่อง สามารถประหยัดพลังงานได้ เท่ากับ 7.79% (5.45 x 1.43) โดยอัตราการประหยัดพลังงานที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับความต่างของอุณหภูมิ ซึ่งจากตารางจะเห็นว่า ยิ่ง BTU ของเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น ความต่างของอุณหภูมิจะมีค่าน้อยลง ซึ่งทำให้อัตราการประหยัดพลังงานมีค่าน้อยลง จากตารางข้างต้นจะเห็นว่าเครื่องปรับอากาศ ที่มีขนาดมากกว่า 18000 BTU จะไม่มีผลของความต่างอุณหภูมิ จึงทำให้ไม่สามารถประเมินหาอัตราการประหยัดพลังงานได้

4.2.5 อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้า

ตาราง 15 อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานทั่วไป

Qs BTU/hr	Watt	จำนวน เครื่อง	จำนวน ชม./1วัน ชม.	หน่วย/ วัน	หน่วย/ เดือน	ราคา150 หน่วย แรก บาท	ราคา250 หน่วยแรก บาท	หน่วย ที่401เป็น ต้นไป บาท	รวม บาท
9000	2638	2	12	63	1899	487	1055	6624	8167
12000	3517	2	12	84	2532	487	1055	9423	10966
18000	5275	2	12	127	3798	487	1055	15021	16564
21000	6154	2	12	148	4431	487	1055	17820	19363
24000	7034	2	12	169	5064	487	1055	20620	22162

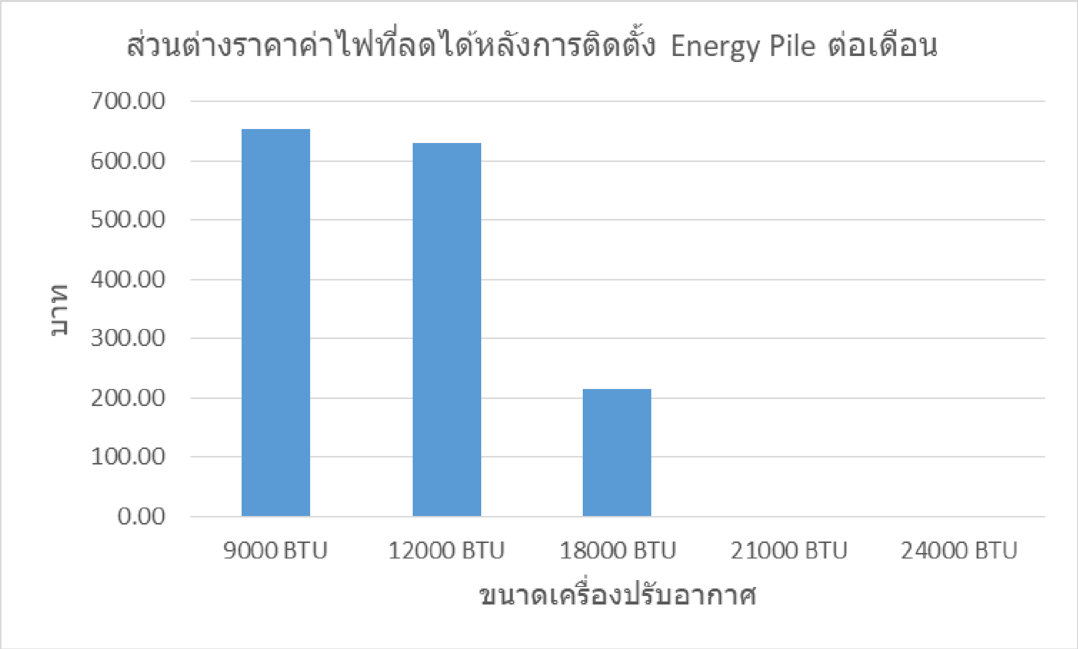
ตาราง 16 อัตราการประหยัดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน

Qs BTU/hr	Watt	จำนวน เครื่อง	จำนวน ชม./1 วัน ชม.	หน่วย/วัน	หน่วย/เดือน	ราคา150หน่วยแรก บาท	ราคา250หน่วยแรก บาท	หน่วยที่401เป็นต้นไป บาท	รวม บาท
9000	2638	2	12	58.371143	1751.13429	487.26	1055.45	5969.888795	7512.599
12000	3517	2	12	79.652432	2389.57297	487.26	1055.45	8792.873094	10335.58
18000	5275	2	12	124.98663	3749.59884	487.26	1055.45	14806.49947	16349.21
21000	6154	2	12	147.70776	4431.2328	487.26	1055.45	17820.48037	19363.19
24000	7034	2	12	168.8088	5064.264	487.26	1055.45	20619.55443	22162.26

จากตารางที่ 15 และ 16 แสดงอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานทั่วไปและอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงานตามลำดับ โดยแบ่งตามขนาด BTU ของเครื่องปรับอากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนต่างในตารางถัดไป

ตาราง 17 อัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน

Qs		ราคาก่อนติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงาน	ราคาหลังติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงาน	ส่วนต่าง
BTU/hr	Watt	บาท	บาท	บาท
9000	2637.6	8166.73	7512.60	654.14
12000	3516.85	10965.94	10335.58	630.35
18000	5275.3	16564.18	16349.21	214.97
21000	6154.49	19363.19	19363.19	0.00
24000	7033.7	22162.26	22162.26	0.00



ภาพ 22 ส่วนต่างราคาค่าไฟที่ลดลงหลังการติดตั้งเสาเข็มเหล็กพลังงานต่อเดือน

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในตาราง 17 และภาพ 22 ทำให้ทราบว่าการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานในอาคารสำนักงาน จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดในเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU และรองลงมาเป็นเครื่องปรับอากาศขนาด 12000 BTU ในเรื่องของการลดการบริโภคไฟฟ้า ซึ่งในหัวข้อต่อไปจะเลือกใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เสาเข็มเหล็กพลังงานที่นำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU

4.3 ผลวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาจาก 2 ตัวชี้วัด ดังนี้

4.3.1 อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C)

ตัวชี้วัด B/C เป็นค่าแสดงถึงประสิทธิภาพการใช้ทุนของโครงการ ณ อัตราคิดลด ที่กำหนด ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$B/C = \Sigma\ Bt\,(1+R)^{t}\ /\ \Sigma\ Ct\,(1+R)^{t}$$

เมื่อ	Bt	คือ	ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี t
	Ct	คือ	ต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี t
	R	คือ	อัตราคิดลดคำนวนจากอัตราเงินเฟ้อทั่วไป ณ เดือนธันวาคม 2564 ที่ 1.2 %
	t	คือ	ปีที่คำนวน (มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง n)
	n	คือ	อายุโครงการ

มีหลักเกณฑ์การพิจารณาตัดสินใจ ดังนี้

B/C > 1 แสดงว่า โครงการเป็นที่ยอมรับ มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

B/C < 1 แสดงว่า โครงการไม่เป็นที่ยอมรับ ไม่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

B/C = แสดงว่า ไม่ว่าจะยอมรับหรือไม่ยอมรับก็ไม่มีผลกระทบ

ตาราง 18 การวิเคราะห์อัตราส่วนมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุนของการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานสำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทนสุทธิ
1	7,849.56	75,039	-67,189
2	7,849.56	1,705	6,145
3	7,849.56	1,705	6,145
4	7,849.56	1,705	6,145
5	7,849.56	1,705	6,145

ตาราง 18 (ต่อ)

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทนสุทธิ
6	7,849.56	1,705	6,145
7	7,849.56	1,705	6,145
8	7,849.56	1,705	6,145
9	7,849.56	1,705	6,145
10	7,849.56	1,705	6,145
11	7,849.56	1,705	6,145
12	7,849.56	1,705	6,145
13	7,849.56	1,705	6,145
14	7,849.56	1,705	6,145
15	7,849.56	1,705	6,145
16	7,849.56	1,705	6,145
17	7,849.56	1,705	6,145
18	7,849.56	1,705	6,145
19	7,849.56	1,705	6,145
20	7,849.56	1,705	6,145
21	7,849.56	1,705	6,145
22	7,849.56	1,705	6,145
23	7,849.56	1,705	6,145
24	7,849.56	1,705	6,145
25	7,849.56	1,705	6,145
NPV	168,672	109,102	59,571
B/C			1.55

จากตาราง 18 พบว่า B/C > 1 แสดงว่า โครงการเป็นที่ยอมรับและมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

4.3.2 **อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์** (Economic Internal Rate of Return: EIRR)

ตัวชี้วัด IRR เป็นค่าแสดงถึงอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการซึ่งคำนวณ ได้จากสูตร In case; Σ (Bt-Ct) / $(1+R^*)^t$ = 0

R* คือ อัตราคิดลดที่ทาให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

IRR คือ R*

ซึ่งถ้าหาก EIRR > ร้อยละ 2 แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

ตาราง 19 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของการประยุกต์ใช้ Energy Pile **สำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์**

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทนสุทธิ
1	7,849.56	75,039	-67,189
2	7,849.56	1,705	6,145
3	7,849.56	1,705	6,145
4	7,849.56	1,705	6,145
5	7,849.56	1,705	6,145
6	7,849.56	1,705	6,145
7	7,849.56	1,705	6,145
8	7,849.56	1,705	6,145
9	7,849.56	1,705	6,145
10	7,849.56	1,705	6,145
11	7,849.56	1,705	6,145
12	7,849.56	1,705	6,145
13	7,849.56	1,705	6,145
14	7,849.56	1,705	6,145
15	7,849.56	1,705	6,145
16	7,849.56	1,705	6,145

ตาราง 19 (ต่อ)

ปีที่	**รายรับ**	**รายจ่าย**	**ผลตอบแทนสุทธิ**
17	7,849.56	1,705	6,145
18	7,849.56	1,705	6,145
19	7,849.56	1,705	6,145
20	7,849.56	1,705	6,145
21	7,849.56	1,705	6,145
22	7,849.56	1,705	6,145
23	7,849.56	1,705	6,145
24	7,849.56	1,705	6,145
25	7,849.56	1,705	6,145
IRR			8%

จากตาราง 19 พบว่า EIRR > 2% แสดงว่า โครงการมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 5
บทสรุป

การแปลผลการออกแบบเสาเข็มเหล็กพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์เสาเข็มเหล็กพลังงานซึ่งนำเสาเข็มเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร ความยาว 12 เมตร จำนวน 42 ต้น โดยมีความยาวของท่อ High-Density Polyethylene (HDPE) ที่ฝังในเสาเข็มเหล็กความยาวโดยรวม 504 เมตร นำไปจำลองการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศขนาด 9000, 12000, 18000, 21000 และ 24000 BTU/hr พบว่า ระบบ Energy Pile ชุดนี้เหมาะสมนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr หรือ 12000 BTU/hr จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งเมื่อใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/hr ติดต่อกันเป็นเวลา 1 เดือนต่อเนื่องจะทำให้อุณหภูมิโดยรอบเสาเข็มเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 4.55 องศา จึงทำให้อุณหภูมิของดินจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 30 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 34.55 องศา เมื่อพิจารณาให้ความร้อนของคอยล์ร้อนมีค่าเท่ากับ 40 องศา เสาเข็มเหล็กพลังงานยังคงสามารถลดอุณหภูมิของคอยล์ร้อนได้ 5.45 องศา การลดอุณหภูมิอากาศระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ 1 องศา จะช่วยลดพลังงานที่ใช้ได้ 1.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้เสาเข็มเหล็กพลังงานที่ใช้ในโครงการอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการออกแบบด้วยแนวคิดการนำเข้าพลังงานสุทธิเป็นศูนย์สามารถลดพลังงานที่ใช้ไปได้ 7.79 เปอร์เซ็นต์ต่อเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง รวมจำนวน 2เครื่องเป็น 15.58 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 BTU/Hr และ 12000 BTU/Hr ไม่เหมาะสมกับขนาดห้องของอาคารสำนักงานนี้ ซึ่งจะทำให้ห้องไม่เย็น และเครื่องต้องทำงานตลอดเวลาทำให้อายุการใช้งานสั้น แต่ในปัจจุบันเครื่องปรับอากาศมีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น และมีค่า SEER สูง ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น โดยมีระบบเซนเซอร์ (Sensor) ตรวจจับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิถึงระดับที่กำหนดไว้ คอมเพรสเซอร์จะลดรอบลงเพื่อควบคุมระดับความเย็นเอาไว้ แต่คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ไม่หยุดทำงาน เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่มากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบเดิม ยกตัวอย่างเช่น เครื่องปรับอากาศของ DAIKIN ขนาด 24200 BTU/Hr จะมีค่า SEER อยู่ที่ 20.02 BTU/W-h และกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 2260 วัตต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศ 9000 BTU แบบเดิมที่มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2637 วัตต์ ดังนั้นอาคารนี้จึงควรเลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 24200 BTU/Hr ที่มีค่า SEER สูง และใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 2637 วัตต์

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ในที่นี้จะวิเคราะห์แค่ประสิทธิภาพของเสาเข็มเหล็กพลังงาน ไม่ได้รวมถึงการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายผ่านความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ 25 ปีตามสิ่งก่อสร้างทั่วไป จะได้ผลตอบแทนสุทธิที่ 59,571 บาท และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุน (B/C) จะมีค่าเท่ากับ 1.55 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 และอัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ (EIRR) มีค่าเท่ากับ 8% ซึ่งมีค่ามากกว่า 2% ซึ่งหมายความว่าโครงการเป็นที่ยอมรับและมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการประยุกต์ใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานสำหรับอาคารสำนักงานอัจฉริยะที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ตามจุดมุ่งหมายของการศึกษา โดยศึกษาความสามารถในการลดพลังงานจากการใช้เสาเข็มเหล็กพลังงานและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นฐานข้อมูล (Database) ในการวิเคราะห์ผล

ทั้งนี้ผลของการศึกษาดังกล่าวที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างในดินกับคอยล์ร้อน ซึ่งอาจจะไม่เต็ม 100 % จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม อีกทั้งขั้นตอนและวิธีการนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศยังจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางในการติดตั้ง เนื่องจากปัจจัยด้านความซับซ้อนของระบบเครื่องปรับอากาศ กล่าวคือการวิจัยครั้งนี้อาจใช้เป็นพื้นฐานเพื่อนำไปพัฒนาและวิจัยต่อไปให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดการใช้พลังงานของอาคารจากเสาเข็มรุ่น D114x12000xFs300 ซึ่งสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยได้ 12 ตันต่อต้น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร ความยาว 12 เมตร และมีหน้าแปลนรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสสองชั้นขนาด 300 มิลลิเมตร ซึ่งทางบริษัทเข็มเหล็กยังมีเสาเข็มเหล็กอีกหลายรุ่น ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่แตกต่างกัน ซึ่งถ้าได้มีการศึกษากับเสาเข็มขนาดต่าง ๆ จะทำให้สามารถทราบได้ว่าเสาเข็มรุ่นใด เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาดเท่าใด ซึ่งจะสามารถขยายผลสู่เชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

บรรณานุกรม

[1] Wazzadu. (2019). **เข็มเหล็กระบบฐานรากที่สามารถต่อเติมขึ้นโครงสร้างได้ทุกรูปแบบ**. สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2565; จาก: https://www.wazzadu.com/article/3458#:~:text=%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B9%87%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%81,%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%94.

[2] อภินิติ โชติสังกาศ, ธิติชาญ ชญานนท์, อรรถพร วิเศษสินธุ์, สกาวรัตน์ สัตยานันท์, และ สินีนาฏ อ่อนคำ. (2563). **การประยุกต์เสาเข็มท่อเหล็กไมโครไพล์เป็นเสาเข็มพลังงานเพื่อถ่ายเทความ ร้อนจากระบบปรับอากาศในอาคารบ้านพักอาศัย**. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้ง ที่ 25, GTE09-GTE09.

[3] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2565). **สรุปสภาวะอากาศทั่วไปในรอบปี**. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2565; จาก: https://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=.

[4] คำรณ ไทรฟัก, มานุช โตรักษาและดวงชีพ รัตนานุพงศ์. (2541). **ภูมิอากาศดินจังหวัดประจวบคีรีขันธ์**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 61. กรุงเทพฯ: กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[5] Hundy, G.F. (2016). **Refrigeration, air conditioning and heat pumps**. Butterworth-Heinemann.

[6] Takashima, I., K. Yasukawa, Y. Uchida, M.K. Yoshioka, and K. Won-in. (2011, November). **A GEOTHERMAL HEAT PUMP SYSTEM IN BANGKOK, THAILAND**. in Proceedings of the 9th Asian Geothermal Symposium

[7] Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. **Géotechnique**. 56(2): p. 81-122.

[8] Narsilio, G.A. (2019). Cost Effectiveness of Energy Piles in Residential Dwellings in

Australia. **Current Trends in Civil & Structural Engineering**. 3(3).

[9] Sabi, E. (2019). **Behavior of Geothermal Energy Piles Embedded in Rock**.

[10] De Carli, M., M. Tonon, A. Zarrella, and R. Zecchin. (2010). A computational capacity resistance model (CaRM) for vertical ground-coupled heat exchangers. **Renewable Energy**. 35(7): p. 1537-1550.

[11] Karlekar, B.V. and R.M. Desmond. (1982). **Heat transfer**. West Publishing Company.

[12] Carslaw, H.S. and J.C. Jaeger. (1959). **Conduction of heat in solids (No. 536.23)**. Clarendon press.

[13] Mattsson, N., G. Steinmann, and L. Laloui. (2008). Advanced compact device for the in situ determination of geothermal characteristics of soils. **Energy and Buildings**. 40(7): p. 1344-1352.

[14] Dafalla, M.A. and A. Samman. (2016). Soil and backfill material of environmental friendly thermal properties. **International Journal of Geomate**. 10(22): p. 2083-2087.

[15] อภิรัฐ ปัญญาแก้ว. (2560). **การวิเคราะห์และประเมินการนำความร้อนของดิน**. วิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูป, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

[16] Orlando B Andersland and Branko Ladanyi. (2003). **Frozen Ground Engineering**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

[17] Hillel, D. (2013). **Introduction to soil physics**. Academic press.

[18] ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2015). Thailand Building Energy Simulation Models Development Guidelines. **ACADEMIC JOURNAL OF ARCHITECTURE**. 64: p. 47-62.

[19] Wu, D., G. Kong, L. Hanlong, J.N. Qiang, Q. Yang, and L. Kong. (2021). Performance of a full-scale energy pile for underground solar energy storage. **Case Studies in Thermal Engineering**. 27: p. 101313.

[20] Kong, L.-p., L. Qiao, Y.-y. Xiao, and Q.-w. Li. (2019). A study on heat transfer characteristics and pile group influence of enhanced heat transfer energy piles. **Journal of Building Engineering**. 24: p. 100768.

[21] Zhao, Q., B. Chen, and F. Liu. (2016). Study on the thermal performance of several types of energy pile ground heat exchangers: U-shaped, W-shaped and spiral-

shaped. **Energy and Buildings**. 133: p. 335-344.

[22] Zarrella, A., M. De Carli, and A. Galgaro. (2013). Thermal performance of two types of energy foundation pile: Helical pipe and triple U-tube. **Applied Thermal Engineering**. 61(2): p. 301-310.

[23] โสพิศ ชัยชนะ. (2016). แนวทางการปรับปรุง อาคาร สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน. **Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)**. 9(1): p. 1703-1716.

[24] บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด. (2564). **รายงานการออกแบบอาคารสำนักงานอัมพวา**.

[25] กรมโยธาธิการและผังเมือง Soil GIS DPT. (2564). **ข้อมูลแนะนำระดับความลึกชั้นดินจังหวัดสมุทรสงคราม**. สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2564; จาก: http://soilgis.dpt.go.th/.

[26] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2564). **ประเภทอัตราค่าไฟฟ้า**. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2564; จาก: :www.pea.co.th.

[27] กระทรวงพลังงาน. (2018). **การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ**. กรุงเทพมหานคร. 26.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล ประเสริฐ ธรรมมนุญกุล

วัน เดือน ปี เกิด 24 สิงหาคม 2510

ที่อยู่ปัจจุบัน บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด เลขที่ 27/5 ชั้น 3 หมู่ 7 ถ. กิ่งแก้วเทพารักษ์ ต. บางพลีใหญ่ อ. บางพลี จ. สมุทรปราการ 10540

ที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด เลขที่ 27/5 หมู่ 7 ถ. กิ่งแก้วเทพารักษ์ ต.บางพลีใหญ่ อ. บางพลี จ. สมุทรปราการ 10540

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร(CEO) บจก.เข็มเหล็ก

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2554	ประธานสมาพันธ์ สมาพันธ์สมาคมอุตสาหกกรรมสนับสนุน (ASIA)
พ.ศ. 2556	นายกสมาคม สมาคมส่งเสริมการรับช่วงการผลิตไทย
พ.ศ. 2558	- ประธานบริษัท (Chairman) บจก.สุธี ดิชเฮด แอนด์ เมทเทิลฟอร์ม - ประธานบริษัท (Chairman) บจก.สุธี แท็งเกอร์ แอนด์ สเปเชียลทรัค - ประธานบริษัท (Chairman) บจก.มากิ-สุธี เอ็นจิเนียริ่ง(ประเทศไทย) - ประธานบริษัท (Chairman) บจก.โลจิสติกส์ มาร์ท

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2532	ปริญญาตรี บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการตลาด มหาวิทยาลัยกรุงเทพ