



ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

จากวิธีดำเนินการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด 45 กรณีคือ ทำการทดลอง โดยจ่ายน้ำร้อนให้กับชุดท่อโพลียเอทที่ลิน ซึ่งมีความยาว 50 เมตร และฝังตัวอยู่ใต้ระดับผิวดินเป็น ระยะ 0.7 เมตร บริเวณภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยจะใช้ ดิน 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ ททราย, ททรายซี้เปิด และ ดินเหนียว ตามลำดับ โดยที่ดินแต่ละ ชนิดจะทำการปรับระดับความชื้นโดยมวล และปรับอัตราไหลของน้ำร้อนให้มีค่าต่างกัน โดยมี เงื่อนไขเปลี่ยนแปลงแต่ละชนิดดินดังต่อไปนี้

1. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ปล่อย เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.05 กิโลกรัม/วินาที
2. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ปล่อย เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.1 กิโลกรัม/วินาที
3. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ปล่อย เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.2 กิโลกรัม/วินาที
4. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ปล่อย เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.3 กิโลกรัม/วินาที
5. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ปล่อย เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.4 กิโลกรัม/วินาที
6. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.05 กิโลกรัม/วินาที
7. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.1 กิโลกรัม/วินาที
8. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.2 กิโลกรัม/วินาที
9. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.3 กิโลกรัม/วินาที
10. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่ เข้าสู่ชุดท่อมีอัตราการไหล 0.4 กิโลกรัม/วินาที

11. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อมี่อัตราการไหล 0.05 กิโลกรัม/วินาที
12. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อมี่อัตราการไหล 0.1 กิโลกรัม/วินาที
13. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อมี่อัตราการไหล 0.2 กิโลกรัม/วินาที
14. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อมี่อัตราการไหล 0.3 กิโลกรัม/วินาที
15. ทำการทดลองที่ระดับความชื้นดินโดยมวลมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อมี่อัตราการไหล 0.4 กิโลกรัม/วินาที

ซึ่งแต่ละกรณีการทดลอง 15 ข้อข้างต้น จะทำการทดลองจ่ายน้ำร้อนสู่ท่อโพสิทีฟที่สิ้นเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นจะค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนขึ้นทีละ 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์แยกตามหัวข้อดังนี้

1. พิจารณาลักษณะโดยทั่วไปของอุณหภูมิดิน
2. พิจารณา และเปรียบเทียบกรณีทดลองที่มีดินชนิดเดียวกัน แต่มีระดับความชื้นโดยมวลต่างกัน ที่แต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อน เพื่อศึกษาผลของระดับความชื้นโดยมวลที่มีต่อการระบายความร้อน
3. พิจารณา และเปรียบเทียบกรณีทดลองที่มีดินชนิดเดียวกัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ และที่แต่ละระดับความชื้นโดยมวล เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีต่อการระบายความร้อน
4. พิจารณา และเปรียบเทียบกรณีทดลองที่มีระดับความชื้นโดยมวลเท่ากัน แต่มีชนิดของดินแตกต่างกัน ที่แต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อน เพื่อศึกษาผลของชนิดดินที่มีผลต่อการระบายความร้อน

1. ลักษณะโดยทั่วไปของอุณหภูมิดิน

พิจารณาแนวโน้มของอุณหภูมิดินเฉลี่ยโดยใช้ทรายในการเก็บข้อมูล

รูปที่ ก.1 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิของดินที่ใช้ในการฝังขดท่อโพลีเอทิลีน โดยใช้ทราย (sand) ในการเก็บข้อมูล เก็บข้อมูลที่ความลึก 0.7 เมตร จากลักษณะของกราฟ จะพบว่าอุณหภูมิภายในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงเวลา 1 วัน ประมาณ 1 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิลดลงเล็กน้อย โดยอุณหภูมิดินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 27.5 องศาเซลเซียส จากการพิจารณากราฟจะพบว่ามีการแกว่งขึ้นลงของข้อมูล ซึ่งมีลักษณะเป็น sine curve ดังรูปที่ 2.4 และเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง จึงได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินชนิดอื่นๆ ที่ระดับความลึกอื่นๆ ทางผู้วิจัยจึงสมมติให้อุณหภูมิดินเฉลี่ยในการทดลองเท่ากับ 27.5 องศาเซลเซียส ทุกกรณี

2. พิจารณา และเปรียบเทียบกรณีทดลองที่มีดินชนิดเดียวกัน แต่มีระดับความชื้นโดยมวลต่างกัน ที่แต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อน เพื่อศึกษาผลของระดับความชื้นโดยมวลที่มีต่อการระบายความร้อน

พิจารณาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลออกจากขดท่อ

ตารางที่ ข.1 ถึง ข.3 เป็นตารางแสดงผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายเป็นตัวฝังกลบขดท่อ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง และความชื้นโดยมวลระดับสูง ตามลำดับ ในตารางที่ ข.4 ถึง ข.6 เป็นผลการทดลองเมื่อใช้ทรายที่เปียกเป็นตัวฝังกลบขดท่อ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่างๆ และ ตารางที่ ข.7 ถึง ข.9 เป็นผลการทดลองเมื่อใช้ดินเหนียวเป็นตัวฝังกลบขดท่อ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

จากตารางผลการทดลองจะพบว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลออกจากขดท่อที่ฝังอยู่ใต้ดิน จะมีอุณหภูมิลดลงทุก ๆ กรณีของชนิดดินที่นำมาทำการทดลอง โดยมีจะอุณหภูมิลดลงมาก หรือน้อย จะขึ้นอยู่กับระดับความชื้นโดยมวลในดิน และ อัตราการไหลของน้ำร้อน กล่าวคือถ้าพิจารณาที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ จะพบว่าอุณหภูมิที่ไหลออกจากขดท่อลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง และความชื้นโดยมวลระดับสูง จะมีการลดลงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลออกจากขดท่อมากกว่า โดยอุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากขดท่อซึ่งฝังที่ดินมีความชื้นโดยมวล

ระดับสูง จะมีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากชุดท่อซึ่งฝังที่ดินซึ่งมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง และเมื่อพิจารณาอัตราการไหลของน้ำ ที่มีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดท่อ จะพบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากชุดท่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าสู่ชุดท่อค่าเดียวกัน

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ทรายในการฝังกลบชุดท่อ

รูปที่ ก.2 ถึง ก.6 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่าง ๆ โดยแยกตามอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ โดยทุกกรณีเป็นการเปรียบเทียบระดับความชื้นโดยมวลที่ทำการแปรเปลี่ยนในการทดลองกับความร้อนที่ถ่ายเทได้

จากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าสู่ชุดท่อ จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นตามลำดับ และ การถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ทรายในการฝังกลบชุดท่อที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ จะมีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยที่สุด และมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การถ่ายเทความร้อนที่ทรายมีความชื้นระดับปานกลางและระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของอนุภาคทราย เมื่อเกิดการเรียงตัวกันจะก่อให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ เมื่ออยู่ในสภาพที่ไม่มี ความชื้น หรือความชื้นต่ำๆ จะไม่มีการเกาะตัวกันของอนุภาค ก่อให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของตัวกลางในการนำความร้อน จึงทำให้ทรายที่มีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ มีพื้นที่สัมผัสกันของอนุภาคดินน้อย พื้นที่ในการนำความร้อนน้อย ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้น้อย

เมื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อทรายมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลางและระดับสูง จะพบว่า เมื่อทรายยังมีความชื้นมาก จะส่งผลให้เกิดการระบายความร้อนที่มากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออนุภาคของทรายมีความชื้นเกิดขึ้น ก็จะทำให้เกิดการเกาะติดกันของอนุภาคทราย ทำให้อนุภาคทรายมีจุดสัมผัสมากขึ้นและมีความต่อเนื่องของตัวกลางในการนำความร้อนมากขึ้น รวมไปถึงมีพื้นที่ในการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีสามารถระบายความร้อนได้ดี

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการฝังกลบขดท่อ

รูปที่ ก.7 ถึง ก.11 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่าง ๆ โดยแยกตามอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ โดยทุกกรณีเป็นการเปรียบเทียบระดับความชื้นโดยมวลที่ทำการแปรเปลี่ยนในการทดลองกับความร้อนที่ถ่ายเทได้

จากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ การถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการฝังกลบขดท่อที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ จะมีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นระดับปานกลางและระดับสูง และความร้อนที่ถ่ายเทได้จะมีค่ามากขึ้น เมื่อทรายซีเมนต์มีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง และระดับสูง ตามลำดับ

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบขดท่อ

รูปที่ ก.12 ถึง ก.16 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่าง ๆ โดยแยกตามอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ โดยทุกกรณีเป็นการเปรียบเทียบระดับความชื้นโดยมวลที่ทำการแปรเปลี่ยนในการทดลองกับความร้อนที่ถ่ายเทได้

จากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ การถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบขดท่อที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ จะมีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นระดับปานกลางและระดับสูง และความร้อนที่ถ่ายเทได้จะมีค่ามากขึ้น เมื่อดินเหนียวมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง และระดับสูง ตามลำดับ

3. พิจารณา และเปรียบเทียบกรณีทดลองที่มีดินชนิดเดียวกัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ และที่แต่ละระดับความชื้นโดยมวล เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีต่อการระบายความร้อน

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ทรายในการฝังกลบขดท่อ

รูปที่ ก.17 ถึง ก.19 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ ($< 4\%$) ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (4 ถึง 20 %) และ ความชื้นโดยมวลระดับสูง ($> 20\%$) ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ ก.17 ถึง ก.19 จะพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล จะมีการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันไม่มาก เนื่องจากผลของการเพิ่มอัตราการไหล จะส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างน้ำกับผิวท่อด้านในมีค่าลดลง แต่ไม่สามารถส่งผลต่อความต้านทานความร้อนของทรายซึ่งมีค่ามากกว่าได้ ทรายจึงมีการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก และจากกราฟจะพบว่าในช่วงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อโพลีเอทิลีน มีค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งแตกต่างไปจากกลุ่ม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ซึ่งถ้าทำการพิจารณากราฟรูปที่ ก.20 ถึง ก.22 ซึ่งเป็นกราฟรูปที่ ก.17 ถึง ก. 19 ที่ได้มาทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล จะมีผลไม่มากนักต่อการถ่ายเทความร้อนที่ได้

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการฝังกลบขดท่อ

รูปที่ ก.23 ถึง ก.25 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ ($< 4\%$) ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (4 ถึง 20 %) และ ความชื้นโดยมวลระดับสูง ($> 20\%$) ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ ก.23 ถึง ก.25 จะพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล จะมีการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันไม่มาก เนื่องจากผลของการเพิ่มอัตราการไหล จะส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างน้ำกับผิวท่อด้านในมีค่าลดลง แต่ไม่สามารถส่งผลต่อความต้านทานความร้อนของทรายซีเมนต์ซึ่งมีค่ามากกว่าได้ ทรายซีเมนต์จึงมีการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก และจากกราฟจะพบว่าในช่วง

ช่วงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อโพลีเอทิลีน มีค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งแตกต่างไปจากกลุ่ม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ซึ่งถ้าทำการพิจารณากราฟรูปที่ ก.26 ถึง ก.28 ซึ่งเป็นกราฟรูปที่ ก.23 ถึง ก. 25 ที่ได้มาทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล จะมีผลไม่มากนักต่อการถ่ายเทความร้อนที่ได้

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบขดท่อ

รูปที่ ก.29 ถึง ก.31 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ ($< 4\%$) ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (4 ถึง 20 %) และ ความชื้นโดยมวลระดับสูง ($> 20\%$) ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ ก.29 ถึง ก.31 จะพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล จะมีการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันไม่มาก เนื่องจากผลของการเพิ่มอัตราการไหล จะส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างน้ำกับผิวท่อด้านในมีค่าลดลง แต่ไม่สามารถส่งผลต่อความต้านทานความร้อนของดินเหนียวซึ่งมีค่ามากกว่าได้ ดินเหนียวจึงมีการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก และจากกราฟจะพบว่า มีบางช่วงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อโพลีเอทิลีน มีค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งแตกต่างไปจากกลุ่ม ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ซึ่งถ้าทำการพิจารณากราฟรูปที่ ก.32 ถึง ก.34 ซึ่งเป็นกราฟรูปที่ ก.29 ถึง ก. 31 ที่ได้มาทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล จะมีผลไม่มากนักต่อการถ่ายเทความร้อนที่ได้

4. พิจารณา และเปรียบเทียบกรณีทดลองที่มีระดับความชื้นโดยมวลเท่ากัน แต่มีชนิดของดินแตกต่างกัน ที่แต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อน เพื่อศึกษาผลของชนิดดินที่มีผลต่อการระบายความร้อน

พิจารณาที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (ระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 %)

รูปที่ ก.35 ถึง ก.39 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบชนิดของดินกับการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ

จากกราฟจะพบว่าในทุกกรณีของอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ทราบจะมีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของอนุภาคทราย เมื่อเกิดการเรียงตัวกันจะก่อให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ มีความไม่ต่อเนื่องของตัวกลางในการนำความร้อน เมื่ออยู่ในสภาพที่ไม่มี ความชื้น หรือความชื้นต่ำๆ จะไม่มีการเกาะตัวกันของอนุภาค จึงทำให้ทรายที่มีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ มีพื้นที่ในนำความร้อนน้อย ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้น้อย สำหรับทรายที่เปียก และดินเหนียวจะมีการถ่ายเทความร้อนในช่วงอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 ถึง 0.1 กิโลกรัมต่อวินาที ใกล้เคียงกัน และ ดินเหนียวจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าในช่วงที่มีอัตราการไหลตั้งแต่ 0.2 กิโลกรัมต่อวินาทีขึ้นไป

พิจารณาที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 %)

รูปที่ ก.40 ถึง ก.44 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบชนิดของดินกับการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าดินทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ทราย, ทรายที่เปียก และ ดินเหนียว จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ใกล้เคียงกันในแต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ

พิจารณาที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง (ระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20 %)

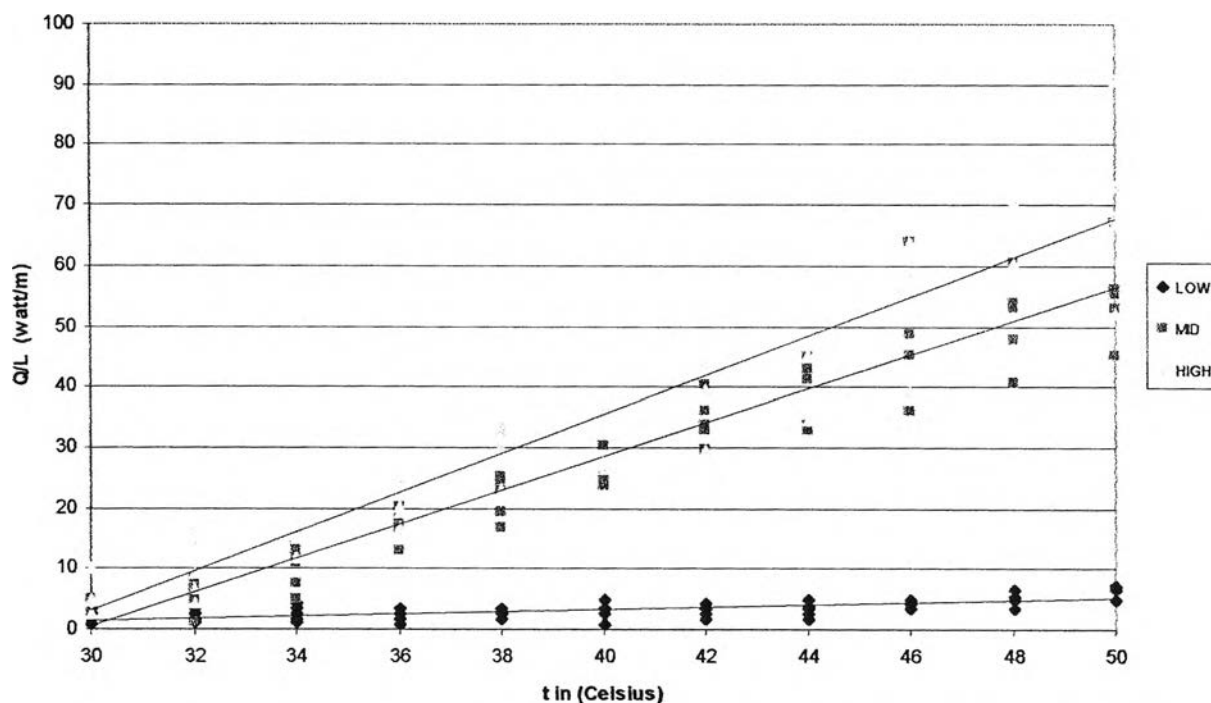
รูปที่ ก.45 ถึง ก.49 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบชนิดของดินกับการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าดินทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ทราย, ทรายซี้เปิด และ ดินเหนียว จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ใกล้เคียงกันในแต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ

4.2 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลอง

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนต่อความยาวกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาสร้างเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนต่อความยาวของชุดท่อ กับอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าสู่ชุดท่อ ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนต่อความยาวของชุดท่อ (Q/L), ความชื้นโดยมวลระดับต่าง ๆ และอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าสู่ชุดท่อ (t_{in}) ที่แต่ละชนิดดิน โดยใช้วิธีสมการถดถอย (Regression) จะได้กราฟและสมการดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อความยาวของชุดท่อกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายเป็นตัวฝังกลบ ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ จากผลการทดลอง

ทราย

ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

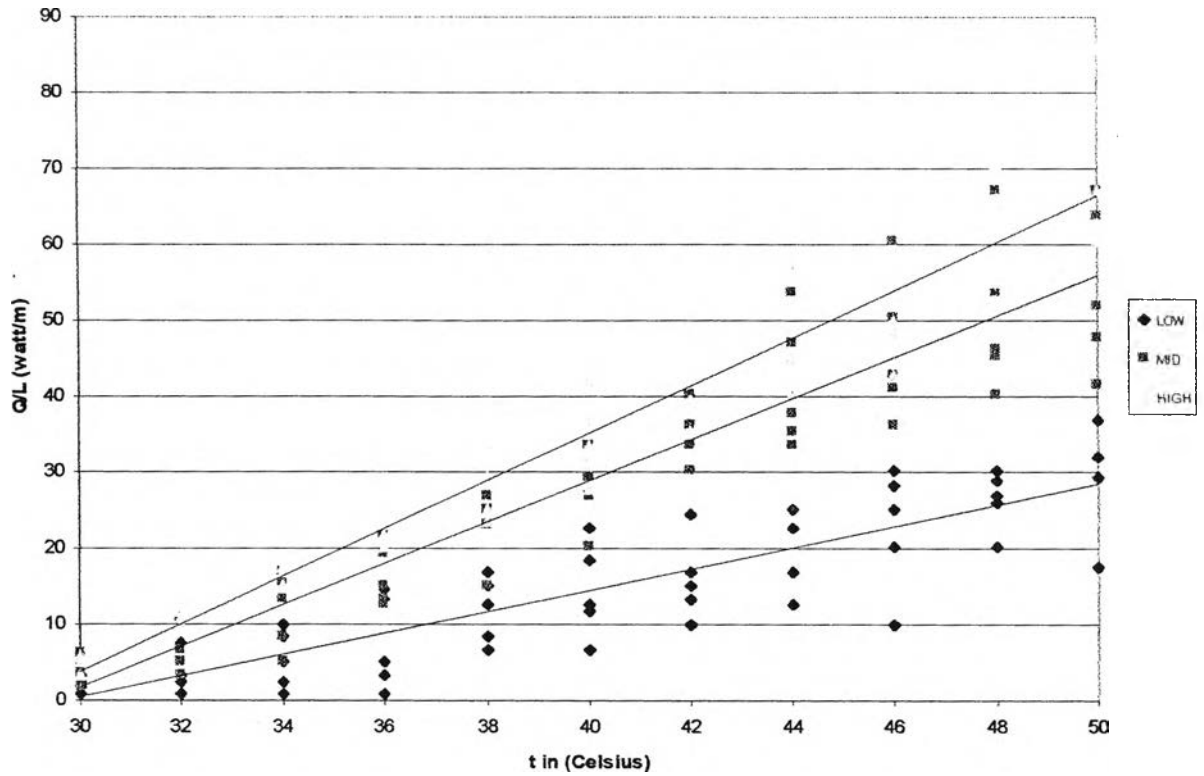
$$\frac{Q}{L} = 0.1844(t_{in}) - 4.0931 \quad (4.1)$$

ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

$$\frac{Q}{L} = 2.7873(t_{in}) - 82.954 \quad (4.2)$$

ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

$$\frac{Q}{L} = 3.2302(t_{in}) - 93.82 \quad (4.3)$$



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อความยาวของชุดท่อกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อก เมื่อใช้ทรายซีเมนต์เป็นตัวฝังกลบ ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ จากผลการทดลอง

ทรายซีเมนต์

ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

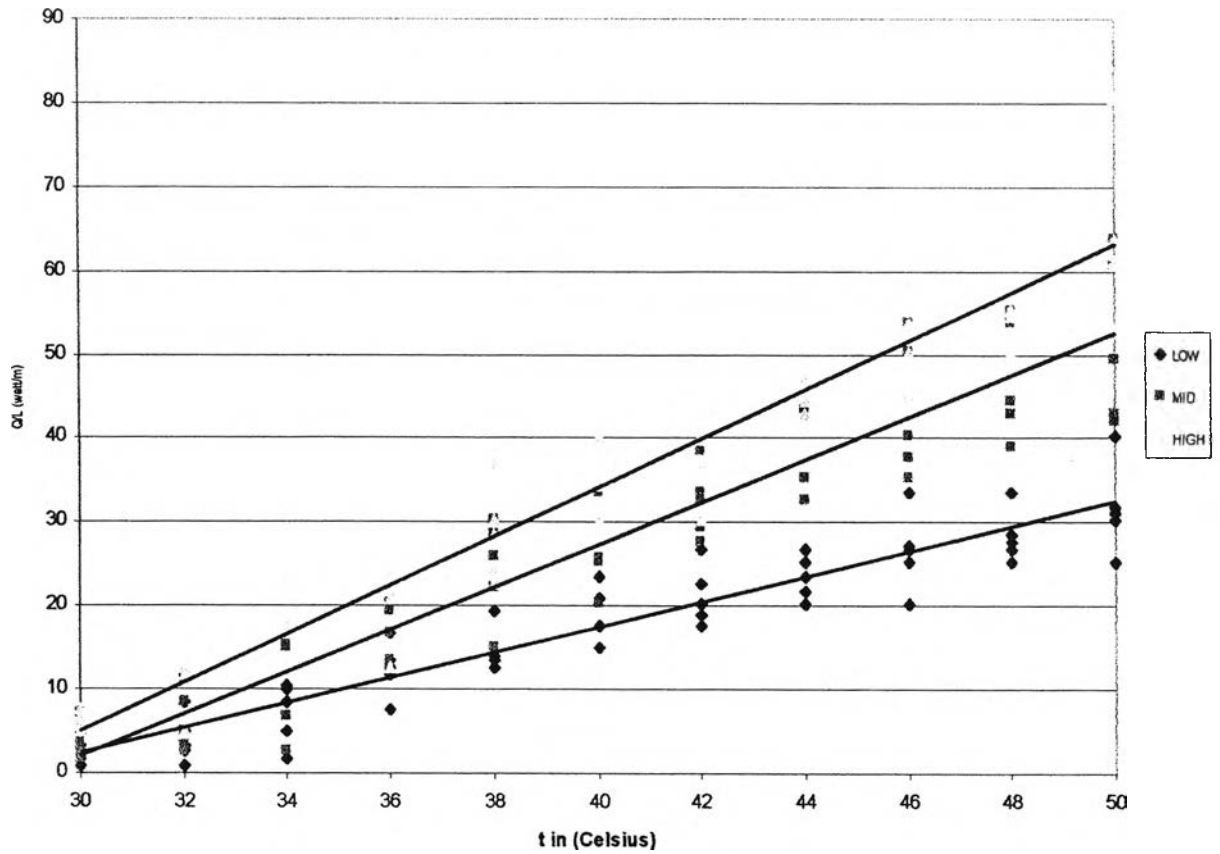
$$\frac{Q}{L} = 1.4047(t_{in}) - 41.748 \quad (4.4)$$

ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

$$\frac{Q}{L} = 2.7094(t_{in}) - 79.548 \quad (4.5)$$

ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

$$\frac{Q}{L} = 3.129(t_{in}) - 90.094 \quad (4.6)$$



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อความยาวของชุดท่อกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวเป็นตัวฝังกลบ ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ จากผลการทดลอง

ดินเหนียว

ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

$$\frac{Q}{L} = 1.5025(t_{in}) - 42.756 \quad (4.7)$$

ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

$$\frac{Q}{L} = 2.5303(t_{in}) - 73.92 \quad (4.8)$$

ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

$$\frac{Q}{L} = 2.9129(t_{in}) - 82.373 \quad (4.9)$$

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าสู่ชุดท่อ (t_{in}) กับอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดท่อ (t_{out})

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาสร้างเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อกับอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดท่อ ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ (t_{in}), อุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดท่อ (t_{out}) และอัตราการไหล (\dot{m}) ที่แต่ละชนิดดิน และความชื้นโดยมวลระดับต่างๆ โดยใช้วิธีสมการถดถอย (Regression) จะได้สมการดังนี้

ทรายที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

$$t_{out} = (-48.181 \dot{m}^4 + 48.131 \dot{m}^3 - 17.063 \dot{m}^2 + 2.5815 \dot{m} + 0.8465) t_{in} + 1338.6 \dot{m}^4 - 1323.5 \dot{m}^3 + 463.06 \dot{m}^2 - 69.172 \dot{m} + 4.058 \quad (4.10)$$

ทรายที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

$$t_{out} = (20.758 \dot{m}^3 - 20.045 \dot{m}^2 + 6.5081 \dot{m} + 0.1786) t_{in} + 5431.4 \dot{m}^4 - 5445.1 \dot{m}^3 + 2030.5 \dot{m}^2 - 355.84 \dot{m} + 29.953 \quad (4.11)$$

ทรายที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

$$t_{out} = (-5.0247 \dot{m}^2 + 3.4214 \dot{m} + 0.3103) t_{in} + -6505.1 \dot{m}^4 + 5759.7 \dot{m}^3 - 1558.2 \dot{m}^2 + 93.131 \dot{m} + 13.396 \quad (4.12)$$

ทรายซีเมนต์ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

$$t_{out} = (-3.7197 \dot{m}^2 + 2.4543 \dot{m} + 0.568) t_{in} + 96.799 \dot{m}^2 - 65.866 \dot{m} + 12.112 \quad (4.13)$$

ทรายซีเมนต์ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

$$t_{out} = (-3.6994 \dot{m}^2 + 2.5434 \dot{m} + 0.4664) t_{in} + 80.775 \dot{m}^2 - 58.608 \dot{m} + 13.692 \quad (4.14)$$

ทรายซีเมนต์ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

$$t_{out} = (-502.57 \dot{m}^4 + 473.47 \dot{m}^3 - 156.62 \dot{m}^2 + 22.368 \dot{m} - 0.4297) t_{in} + 15024 \dot{m}^4 - 13967 \dot{m}^3 + 4528.9 \dot{m}^2 - 630.01 \dot{m} + 39.685 \quad (4.15)$$

ดินเหนียวที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

$$t_{out} = (-3.6429 \dot{m}^2 + 2.3232 \dot{m} + 0.5929) t_{in} + 91.141 \dot{m}^2 - 59.42 \dot{m} + 10.851 \quad (4.16)$$

ดินเหนียวที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

$$t_{out} = (-3.5094 \dot{m}^2 + 2.4454 \dot{m} + 0.4867) t_{in} + 75.039 \dot{m}^2 - 55.522 \dot{m} + 13.031 \quad (4.17)$$

ดินเหนียวที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

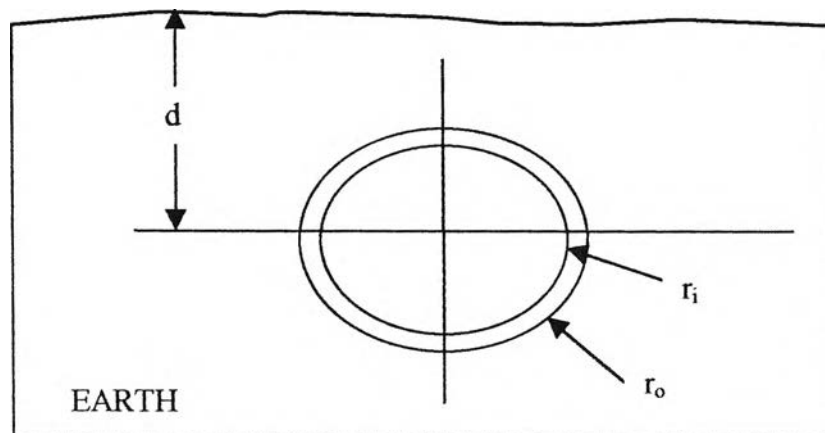
$$t_{out} = (-438.29 \dot{m}^4 + 423.59 \dot{m}^3 - 144.79 \dot{m}^2 + 21.509 \dot{m} - 0.4123) t_{in} + 12348 \dot{m}^4 - 11869 \dot{m}^3 + 4018.6 \dot{m}^2 - 589.87 \dot{m} + 38.753 \quad (4.18)$$

4.3 การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองเทียบกับค่าจากการคำนวณและ ค่าจากสมการทางคณิตศาสตร์

ค่าจากการคำนวณ

METHOD OF HEAT TRANSFER

(Single Uninsulated Buried Pipe)



รูปที่ 4.4 แสดงท่อเดี่ยวที่ฝังใต้ดิน ไม่มีการหุ้มฉนวน

จากรูปเมื่อพิจารณาท่อที่ฝังใต้ดินเป็นท่อเดี่ยว และไม่มีการหุ้มฉนวน (Single Uninsulated Buried Pipe) ค่าความต้านทานความร้อนของดินพิจารณาจาก

$$R_s = \frac{\ln\left\{\frac{d}{r_o} + \left[\left(\frac{d}{r_o}\right)^2 - 1\right]^{1/2}\right\}}{2\pi K_s}$$

สำหรับ $d/r_o > 1$

$$R_s = \frac{\ln(2d/r_o)}{2\pi K_s}$$

สำหรับ $d/r_o > 4$

โดยที่

R_s = ความต้านทานความร้อนของดิน, $m \cdot K / W$

K_s = ค่าการนำความร้อนของดิน, $W / m \cdot K$

d = ความลึกในการฝังท่อ วัดจากผิวดินมาถึงกึ่งกลางท่อ, m

r_o = รัศมีภายนอกของท่อ, m

สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของท่อ พิจารณาจากสมการ

$$R_p = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi K_p}$$

โดยที่

R_p = ความต้านทานความร้อนของท่อ, m·K / W

K_p = ค่าการนำความร้อนของท่อ, W / m·K

r_i = รัศมีภายในของท่อ, m

การคำนวณความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน พิจารณาจากสมการ

$$Q = \left(\frac{t_f - t_s}{R_t} \right) L$$

(4.19)

โดยที่

R_t = ความต้านทานความร้อนรวม ($R_s + R_p$), m·K / W

t_f = อุณหภูมิของของไหล, °C

t_s = อุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปี, °C

Q = ความร้อนที่สูญเสียหรือได้รับ ต่อหน่วยความยาวของระบบ, Watt

L = ความยาวของท่อ, m

เนื่องจาก

$$\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$$

$$Q_{heater} = \dot{m}(h_o - h_i)$$

ดังนั้นจะได้สมการการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$Q_{heater} = \dot{m}C_p(t_{o,tank} - t_{i,tank}) \quad (4.20)$$

โดยที่

$t_{o,tank}$ คืออุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากถังเก็บน้ำร้อนหรืออุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าสู่ชุดท่อ

$t_{i,tank}$ คืออุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อนหรืออุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลออกจากชุดท่อ

ถ้าเราพิจารณาความร้อนจาก Heater ที่ให้แก่ระบบ และนำความร้อนดังกล่าวไปถ่ายเทลงสู่ดิน จากสมการที่ (4.19) และ (4.20) จะได้ว่า

$$Q_{heater} (Watt) = \dot{m}C_p(t_{o,tank} - t_{i,tank}) \times 1000 = \left(\frac{t_{o,tank} - t_s}{R_t} \right) L \quad (4.21)$$

จากสมการที่ (4.21) จัดสมการอยู่ในของค่า $t_{i,tank}$ จะได้

$$t_{i,tank} = t_{o,tank} - \frac{Lx(t_{o,tank} - t_s)}{\dot{m}C_p R_t \times 1000} \quad (4.22)$$

เนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนรวม ($R_t = R_s + R_p$) มีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$R_t = f(d, r_i, r_o, k_s, k_p)$$

ดังนั้นสมการที่ 4.22 จึงมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$t_i = f(d, r_i, r_o, k_s, k_p, L, t_o, t_s, \dot{m})$$

ในการทดลองเรากำหนดให้ค่าต่อไปนี้มีค่าคงที่

$$d, r_i, r_o, k_p, L, t_s$$

ดังนั้น

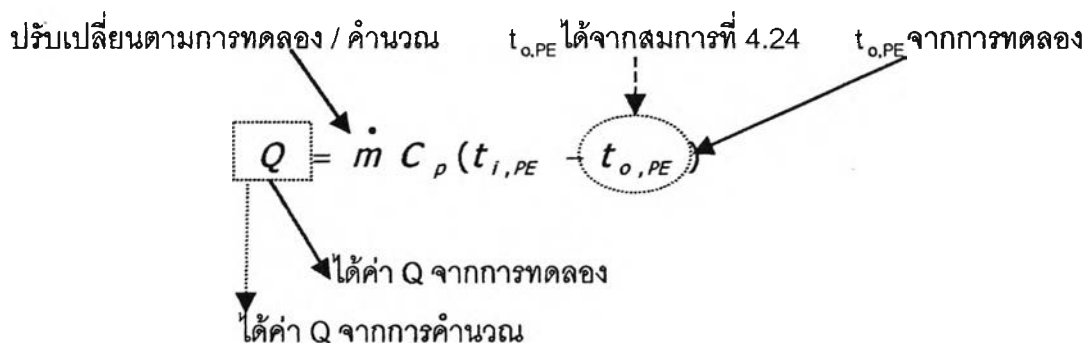
$$t_i = f(k_s, t_o, \dot{m}) \tag{4.23}$$

จากสมการ 4.23 จะพบว่าอุณหภูมิน้ำที่ไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน หรืออุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดท่อโพลีเอททีลีนจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ ค่าการนำความร้อนของดิน(k_s) , อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อนหรืออุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อโพลีเอททีลีน($t_{o, tank} = t_{PE}$) และ อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}) ดังนั้นเขียนความสัมพันธ์จากสมการ 4.22 และ 4.23 เมื่อมองระบบเป็นชุดท่อโพลีเอททีลีนจะได้

$$t_{o, PE} = t_{i, PE} - \frac{Lx(t_{i, PE} - t_s)}{\dot{m} C_p R_i \times 1000} \tag{4.24}$$

$$t_{o, PE} = f(k_s, t_{i, PE}, \dot{m}) \tag{4.25}$$

ในการทดลอง จะทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรทั้งสามตัวนี้ตามสมการ 4.25 ได้แก่ ค่าการนำความร้อนของดิน โดยปรับจากระดับความชื้นโดยมวล, อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ และ อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ เพื่อให้ได้ค่า $t_{o, PE}$ จากนั้นจะนำค่า $t_{o, PE}$ ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่า $t_{o, PE}$ ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.24 แล้วเปรียบเทียบค่า Q จากสมการที่ (4.20)



นำค่า Q ที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ในหัวข้อ 4.2

ในการคำนวณ ใช้ค่าการนำความร้อนของดิน (K_s) จากตารางต่อไปนี้

Soil Conductivities

Soil moisture content (% by mass)	Soil Thermal Conductivity, K_s (W /m·K)		
	sand	silt	clay
low , < 4%	0.29	0.14	0.14
medium , 4% to 20 %	1.87	1.30	1.00
high , > 20 %	2.16	2.16	2.16

ข้อมูลจาก ASHRAE Systems and Equipment Handbook(SI) 1996 ,Chapter 11

ค่าคงที่อื่น ๆ ที่ใช้ในการคำนวณให้ใช้ดังต่อไปนี้

$$r_i = 14.5 \text{ mm}$$

$$r_o = 16.5 \text{ mm}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$d = 0.7 \text{ m}$$

$$k_p = 0.42 \text{ W / m·K}$$

$$C_p = 4.2 \text{ KJ / (Kg·°C)}$$

$$t_s = 27.5 \text{ °C}$$

เมื่อได้ค่าจากการคำนวณตามสมการที่ 4.24 ได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง และ ค่าที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อ 4.2 โดยแสดงไว้ในภาคผนวก ก ในรูปที่ ก.50 ถึง ก.94 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าโดยส่วนใหญ่ค่าที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกัน จะมีบางกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณด้วยสมการ 4.24 ได้แสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค.

4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเมื่อประยุกต์ใช้การระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดิน เป็นแหล่งระบายความร้อน ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบ Split type

แนวคิด

ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในแต่ละระบบโดยประมาณ ภายในระยะเวลา 1 ปี โดยแบ่งเป็นระบบที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบ Split type และ ระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อน (Ground Heat Sink)

การคำนวณค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type

พิจารณาข้อมูลของเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type ยี่ห้อ DAIKIN Model FHC35KVE + R35GV1 ซึ่งมีขนาดทำความเย็น 3.54 KW (12,079 Btu/hr) ที่สภาวะ Indoor Temp = 27 °C db ,19.5 °C wb (80°F db / 67 °F wb) และ Outdoor Temp = 35° C (95 °F) ใช้กำลังไฟฟ้า (Compressor + indoor + outdoor fan motor) = 1,200 Watt การคำนวณค่าไฟฟ้าคำนวณได้จาก

$$\text{ค่าไฟฟ้า(บาท / ปี)} = \text{KW} \times \text{Hr} \times \text{Days} \times \text{Rate} \quad (4.26)$$

กำหนดให้

เครื่องปรับอากาศทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

อัตราค่าไฟฟ้า 2.6 บาทต่อหน่วย

Days = 365

เมื่อแทนค่าในสมการที่ (4.26) จะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type} &= 1.2 \times 8 \times 365 \times 2.6 \\ &= 9,110 \text{ บาท / ปี} \end{aligned} \quad (4.27)$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าของระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อน (Ground Heat Sink)

เนื่องจากระบบ Ground Heat Sink ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยขดท่อโพลีเอทิลีนที่เส้นขนาด 1 นิ้ว ยาว 50 เมตร และปั๊มน้ำ ติดตั้งเพิ่มขึ้นจากระบบเดิม ซึ่งปั๊มน้ำจะถูกใช้แทนพัดลมที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทำหน้าที่นำน้ำที่ได้รับการคายความร้อนจากคอยล์ร้อน ไประบายความร้อนทิ้งที่ดินโดยขดท่อที่ฝังเอาไว้ ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้โดยปั๊มจะหาได้จากขนาดของมอเตอร์จุดปั๊มดังสมการต่อไปนี้

$$KW_m = \frac{(GPM)(H)}{5308(\eta_p)} \quad (4.28)$$

โดย

- KW_m คือ ขนาดกิโลวัตต์ของมอเตอร์
 H คือ เฮดของปั๊ม (ฟุตน้ำ)
 η_p คือ ประสิทธิภาพของปั๊ม (โดยทั่วไปจะมีค่า 55 – 80%)

จากค่าที่วัดได้ $H = 2.5 - 0.625 = 1.875 \text{ psi}$
 $= 1.875 \times 6894.76 \text{ Pa}$
 $= (1.875 \times 6894.76) / 2988.98 \text{ ft H}_2\text{O}$
 $= 4.325 \text{ ft H}_2\text{O}$

$$GPM = 3$$

$$\eta_p = 0.6$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ (4.28) จะได้

$$KW_m = (3)(4.325) / (5,308)(0.6) = 4.074 \times 10^{-3}$$

กำหนดให้

ระบบ Ground Heat Sink ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

อัตราค่าไฟฟ้า 2.6 บาทต่อหน่วย

Days = 365

โดยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของระบบ Ground Heat Sink คิดจากเครื่องปรับอากาศ แบบ Split Type ยี่ห้อ DAIKIN Model FHC35KVE + R35GV1 ซึ่งมีขนาดทำความเย็น 3.78 KW (12,898 Btu/hr) คิดที่สภาวะ Indoor Temp = 27 °C db ,19.5 °C wb (80°F db / 67 °F wb) และ Outdoor Temp = 27°C (80.6 °F) ใช้กำลังไฟฟ้า (Compressor + indoor + outdoor fan motor) = 1,060 Watt

ค่าไฟฟ้าของระบบ Ground Heat Sink จะคิดจากค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ แบบ Split Type ที่ลด Condensing Temp ลงมา ลดด้วย ค่าไฟของมอเตอร์พัดลมที่คอยล์ร้อน และ บวกแทนด้วย ค่าไฟฟ้าของปั้มน้ำที่ใช้จ่ายน้ำให้แก่ชุดท่อโพลีเอทิลีนของระบบ Ground Heat Sink

เมื่อกำหนดค่าไฟฟ้าโดยแทนค่าในสมการที่ (4.26) จะได้

ค่าไฟฟ้าของระบบ Ground Heat Sink

$$\begin{aligned} &= (1.06 - 0.053 + 4.074 \times 10^{-3}) \times 8 \times 365 \times 2.6 \\ &= 7,676 \text{ บาท/ปี} \end{aligned} \quad (4.29)$$

พิจารณาสมการต่อไปนี

$$\frac{\text{เงินลงทุนในการปรับปรุงระบบ}}{(\text{ค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบSplitType} - \text{ค่าไฟฟ้าของระบบGroundHeatSink})} = \text{ระยะเวลาคืนทุน} \quad (4.30)$$

โดย

เงินลงทุนในการปรับปรุงระบบ คือ ค่าลงทุนในการสร้างระบบ Ground Heat Sink , บาท
 ค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type , บาท / ปี
 ค่าไฟฟ้าของระบบ Ground Heat Sink . บาท / ปี
 ระยะเวลาคืนทุน , ปี

ถ้าต้องการให้ระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนทั้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนมีระยะเวลาในการคืนทุน 3 ปี

นำค่าจากสมการที่ (4.27) และ (4.29) ไปแทนค่าในสมการที่ (4.30) จะได้

$$\begin{aligned} \text{เงินลงทุนในการปรับปรุงระบบ} &= 3 \times (9,110 - 7,676) \\ &= 3 \times 1,434 \\ &= 4,302 \text{ บาท} \end{aligned}$$

เพื่อที่จะให้ระบบ Ground Heat Sink คืนทุนในระยะเวลา 3 ปี จะต้องใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงระบบเบื้องต้น 4,302 บาท