การระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อน

นายวีรภัทร์ ตั้งพรพิพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3699-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19 ก.ค. 2549
I21226608

HEAT DISSIPATION BY USING EARTH AS A HEAT SINK

Mr. Weerapat Tangpornpipat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3699-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อน
โดย	นายวีรภัทร์ ตั้งพรพิพัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

วีรภัทร์ ตั้งพรพิพัฒน์ : การระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อน.
(HEAT DISSIPATION BY USING EARTH AS A HEAT SINK)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา, 187 หน้า. ISBN 974-17-3699-1.

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ทุกหนทุกแห่ง โดยปกติแล้วดินที่ความลึกตั้งแต่ 1 เมตร ลงไปจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ และมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำดินมาใช้เป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้ง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้ง วัสดุฝังกลบที่เลือกมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด ได้แก่ ทราย ทรายขี้เป็ด และดินเหนียว โดยในการทดลองจะพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการระบายความร้อน คือ ชนิดของดิน ระดับความชื้นโดยมวล และอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ

ผลจากการทดลอง พบว่า ดินทั้ง 3 ชนิดที่มีความชื้นโดยมวลระดับสูง สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าดินที่มีความชื้นโดยมวลระดับปานกลางและต่ำ และสามารถถ่ายเทความร้อนได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในกรณีที่ระดับความชื้นโดยมวลมีค่าต่ำ ดินเหนียวจะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าดินชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ขดท่อจะส่งผลต่อสมรรถนะการระบายความร้อนเพียงเล็กน้อย จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำดินมาใช้เป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้ง โดยในการทดลองนี้สามารถระบายความร้อนได้มากที่สุด 4,536 วัตต์ เมื่อใช้ทรายที่มีความชื้นโดยมวลระดับสูง ฝังกลบขดท่อโพลีเอ็ดทีลีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 50 เมตร อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ 50 องศาเซลเซียส

ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต	วีรภัทร์ ตั้งพรพิพัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	ตุลย์ มณีวัฒนา
ปีการศึกษา	2546		

4370505521 : MAJOR MACHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAT DISSIPATION / GROUND / SOILS / HEAT SINK

WEERAPAT TANGPORNPIPAT : HEAT DISSIPATION BY USING EARTH AS A HEAT SINK. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.TUL MANEEWATTANA, Ph.D., 187 pp. ISBN 974-17-3699-1.

Soil is the natural resource that can be found everywhere. Normally the temperature of soil about one meter beneath the ground is quite constant and also lower than the ambient temperature, therefore it is possible to use soil as heat sink.

This research studied the performance of heat dissipation from a buried coil of polyethylene (PE) pipe by using earth as heat sink. There are three kinds of soil using in the experiments namely; sand, silt and clay. The most crucial factors effecting heat dissipation such as soil type, soil moisture content and water flow rate were considered.

Experimental results show that three kinds of soil dissipate nearly the same amount of heat at high soil moisture content and the heat transfer rate is much higher than that of medium and low moisture content soils. At low soil moisture content, the clay is more efficient than the other two types of soil and the water flow rate has little effect on the performance of heat dissipation as it was expected. From these results, we can conclude that the use of soil as heat sink is quite promising. For example, a coil of one inch diameter PE pipe of 50 meter long with an inlet temperature of 50 degree C and a flow rate of 0.4 kg/s could dissipate about 4536 watt.

Department Mechanical Engineering Student's signature Weerapat T.

Field of study Mechanical Engineering Advisor's signature

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผลทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา มารดาบุญธรรม และน้องสาวของผู้วิจัย ซึ่งคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยทางเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะ นายศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา นายโอสุ อัมพวานนท์ และ นายพรชัย สุวัฒน์เมธินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านกำลังกาย คอยให้กำลังใจตลอดการทำวิจัย ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญให้สามารถทำวิทยานินธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ ..... ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา..... 4

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 34

3.1 แผนการวิจัย..... 34

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 35

3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวิจัย..... 45

3.4 ขั้นตอนในการทดลอง..... 49

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 53

4.1 ผลการวิเคราะห์..... 53

4.2 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลอง..... 62

4.3 การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองกับค่าจากการคำนวณและ
ค่าจากสมการทางคณิตศาสตร์..... 67

4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเมื่อประยุกต์ใช้การระบายความร้อนทิ้งโดย
ใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type..... 73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 77
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 77
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 78

รายการอ้างอิง 80

ภาคผนวก 82
ภาคผนวก ก. กราฟแสดงผลการทดลอง..... 83
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงผลการทดลอง.....178
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ..... 184

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 187

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงท่อเดี่ยวที่ฝังใต้ดิน ไม่มีการหุ้มฉนวน	7
รูปที่ 2.2	แสดงการนำความร้อนผ่านผนังท่อทรงกระบอก	8
รูปที่ 2.3	แสดงไดอะแกรมสามเหลี่ยมแจงประเภทของเนื้อดิน	14
รูปที่ 2.4	แสดงการแปรผันของอุณหภูมิดินตามสมการ 2.10	17
รูปที่ 2.5	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินรายชั่วโมง ที่ความลึกต่างๆกัน	22
รูปที่ 2.6	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน	23
รูปที่ 2.7	แสดงความร้อนที่ได้รับ การสูญเสีย และการเคลื่อนที่ของความร้อนสู่ดิน	24
รูปที่ 2.8	แสดงปั๊มความร้อน เมื่อใช้งานในการทำความเย็น	26
รูปที่ 2.9	แสดงปั๊มความร้อน เมื่อใช้งานในการทำความร้อน	26
รูปที่ 2.10	แสดงขดท่อแบบวงจรเปิด เมื่อใช้บ่อน้ำ 1 บ่อ	27
รูปที่ 2.11	แสดงขดท่อแบบวงจรเปิด เมื่อใช้บ่อน้ำ 2 บ่อ	27
รูปที่ 2.12	แสดงขดท่อแบบวงจรเปิด เมื่อใช้น้ำจากผิวน้ำ	28
รูปที่ 2.13	แสดงระบบท่อวงจรปิดแบบ Horizontal Loops	29
รูปที่ 2.14	แสดงระยะห่างที่แนะนำ สำหรับการฝังท่อแบบ Horizontal Loops	29
รูปที่ 2.15	แสดงระยะห่างที่แนะนำ สำหรับการฝังท่อแบบ Horizontal Loops	30
รูปที่ 2.16	แสดงระบบท่อวงจรปิดแบบ Vertical Loops	31
รูปที่ 2.17	แสดงลักษณะโครงสร้างทั่ว ๆ ไปของขดท่อแบบ Vertical Loops	31
รูปที่ 2.18	แสดงระบบท่อวงจรปิดแบบ Slinky Loops	32
รูปที่ 2.19	แสดงระบบท่อวงจรปิดแบบ Pond Loops	33
รูปที่ 3.1	เครื่องสูบน้ำ	35
รูปที่ 3.2	ท่อโพลีเอ็ดทีลีน	36
รูปที่ 3.3	ถังเก็บน้ำร้อน	37
รูปที่ 3.4	บริเวณพื้นที่ที่ทำการทดลอง	38
รูปที่ 3.5	เครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อน	39
รูปที่ 3.6	เครื่องเก็บข้อมูล	40
รูปที่ 3.7	เตาอบ	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก..... 41
รูปที่ 3.9 Breaker..... 41
รูปที่ 3.10 Magnetic Contractor..... 42
รูปที่ 3.11 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K..... 42
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง..... 43
รูปที่ 3.13 มาตรวัดน้ำ..... 43
รูปที่ 3.14 เครื่องทำน้ำร้อน..... 44
รูปที่ 3.15 ระบบทางเดินของน้ำ..... 46
รูปที่ 3.16 ระบบไฟฟ้าและควบคุม..... 47
รูปที่ 3.17 แผนภาพกรณีการทดลอง..... 51
รูปที่ 3.18 ขดท่อโพลีเอ็ดทีลีนที่เตรียมทำการฝังกลบ..... 52
รูปที่ 3.19 แสดงการให้น้ำแก่ทราย เพื่อเพิ่มปริมาณความชื้น..... 52

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อความยาว ของขดท่อกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายเป็นตัวฝังกลบ ที่ระดับความชื้นต่างๆ จากผลการทดลอง..... 62
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อความยาว ของขดท่อกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายชี้เป็ดเป็นตัวฝังกลบ ที่ระดับความชื้นต่างๆ จากผลการทดลอง..... 63
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อความยาว ของขดท่อกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวเป็นตัวฝังกลบ ที่ระดับความชื้นต่างๆ จากผลการทดลอง..... 64
รูปที่ 4.4 แสดงท่อเดี่ยวที่ฝังใต้ดิน ไม่มีการหุ้มฉนวน..... 67

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.1 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิดิน โดยเลือกใช้ทราย ในการเก็บข้อมูล ที่ความลึก 0.7 เมตร จากผิวดิน..... 84

รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s..... 85

รูปที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s..... 86

รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s..... 87

รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s..... 88

รูปที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s..... 89

รูปที่ ก.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s..... 90

รูปที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s..... 91

รูปที่ ก.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s..... 92

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s..... 93

รูปที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s..... 94

รูปที่ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s..... 95

รูปที่ ก.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s..... 96

รูปที่ ก.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s..... 97

รูปที่ ก.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s..... 98

รูปที่ ก.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง
ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s..... 99

รูปที่ ก.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับต่ำ
(น้อยกว่า 4 %).....100

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง
(ระหว่าง 4 ถึง 20 %)..... 101

รูปที่ ก.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับสูง
(มากกว่า 20 %)..... 102

รูปที่ ก.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ
(น้อยกว่า 4 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม.....103

รูปที่ ก.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง
(ระหว่าง 4 ถึง 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 104

รูปที่ ก.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับสูง
(มากกว่า 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 105

รูปที่ ก.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิ
น้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการฝังกลบท่อ
ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ
(น้อยกว่า 4 %)..... 106

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %)..... 107

รูปที่ ก.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %)..... 108

รูปที่ ก.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 109

รูปที่ ก.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 110

รูปที่ ก.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 111

รูปที่ ก.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4 %)..... 112

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ ก.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %)..... 113

รูปที่ ก.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %)..... 114

รูปที่ ก.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 115

รูปที่ ก.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 116

รูปที่ ก.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม..... 117

รูปที่ ก.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s.....118

รูปที่ ก.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s..... 119

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s..... 120

รูปที่ ก.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s..... 121

รูปที่ ก.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 %และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s..... 122

รูปที่ ก.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s..... 123

รูปที่ ก.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s..... 124

รูปที่ ก.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s..... 125

รูปที่ ก.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s..... 126

รูปที่ ก.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s..... 127

รูปที่ ก.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s..... 128

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s.....129

รูปที่ ก.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s..... 130

รูปที่ ก.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s..... 131

รูปที่ ก.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดินและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s..... 132

รูปที่ ก.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 133

รูปที่ ก.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 134

รูปที่ ก.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 135

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 136

รูปที่ ก.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 137

รูปที่ ก.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 138

รูปที่ ก.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 139

รูปที่ ก.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 140

รูปที่ ก.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 141

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 142

รูปที่ ก.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 143

รูปที่ ก.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 144

รูปที่ ก.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 145

รูปที่ ก.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 146

รูปที่ ก.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 147

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 148

รูปที่ ก.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 149

รูปที่ ก.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 150

รูปที่ ก.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 151

รูปที่ ก.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 152

รูปที่ ก.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 153

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 154

รูปที่ ก.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 155

รูปที่ ก.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 156

รูปที่ ก.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 157

รูปที่ ก.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 158

รูปที่ ก.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 159

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 160

รูปที่ ก.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 161

รูปที่ ก.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 162

รูปที่ ก.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 163

รูปที่ ก.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 164

รูปที่ ก.82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 165

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 166

รูปที่ ก.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 167

รูปที่ ก.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 168

รูปที่ ก.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 169

รูปที่ ก.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 170

รูปที่ ก.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 171

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 172

รูปที่ ก.90 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s..... 173

รูปที่ ก.91 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s..... 174

รูปที่ ก.92 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s..... 175

รูปที่ ก.93 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s..... 176

รูปที่ ก.94 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และสมการ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s..... 177