บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการระบายความร้อนทิ้งโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อน โดยได้ทำการฝังขดท่อลงในพื้นที่ขนาด 3 เมตร x 6 เมตร และทำการจ่ายน้ำร้อนผ่านขดท่อดังกล่าว ซึ่งในการศึกษาจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่จ่ายให้กับขดท่อใต้ดิน อัตราการไหลของน้ำร้อน ชนิดของดิน และความชื้นของดิน เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรเหล่านี้ที่มีต่อสมรรถนะในการระบายความร้อนทิ้งในดิน โดยทำการทดลองในเขตภาคกลาง ของประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

ค่าตัวแปรที่พิจารณาในการวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 แบบ คือ ตัวแปรกำหนด ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวแปรกำหนดที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่ ชนิดของขดท่อที่ใช้ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และระดับความลึกที่ทำการฝังขดท่อไว้ใต้ดิน โดยจะฝังไว้ที่ความลึก 0.7 เมตร จากระดับพื้นดินปกติ

2. ตัวแปรอิสระ เป็นตัวแปรที่จะแปรเปลี่ยนในแต่ละกรณีของการทดลอง ซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะในการระบายความร้อนทิ้งของขดท่อสู่ดิน ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่จ่ายให้กับขดท่อใต้ดิน อัตราการไหลของน้ำร้อนที่จ่ายให้กับขดท่อใต้ดิน ชนิดของดิน และความชื้นในดิน

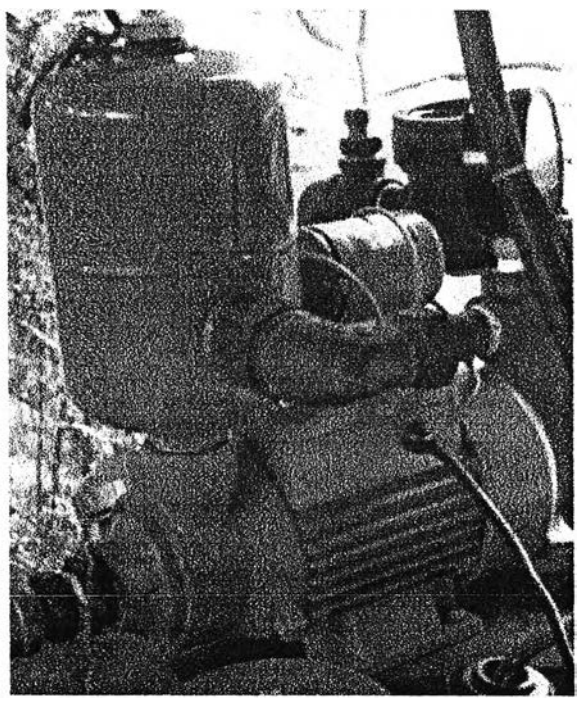
3. ตัวแปรตาม เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนไปเมื่อตัวแปรอิสระมีการเปลี่ยนแปลง ในการวิจัยนี้ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลกลับมาหลังจากผ่านขดท่อใต้ดิน และการระบายความร้อนทิ้งของขดท่อใต้ดิน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสูบน้ำ

- ยี่ห้อ LINE รุ่น Km 60-1 ขนาด 1/2 แรงม้า
- มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ กระแส 2.5 A กำลังไฟ 0.37 KW ความเร็วรอบ 2900 รอบต่อนาที
- หัวน้ำในการส่งสูงสุด 42 เมตร
- อัตราการไหลสูงสุด 40 ลิตรต่อนาที

ดังแสดงในรูปที่ 3.1

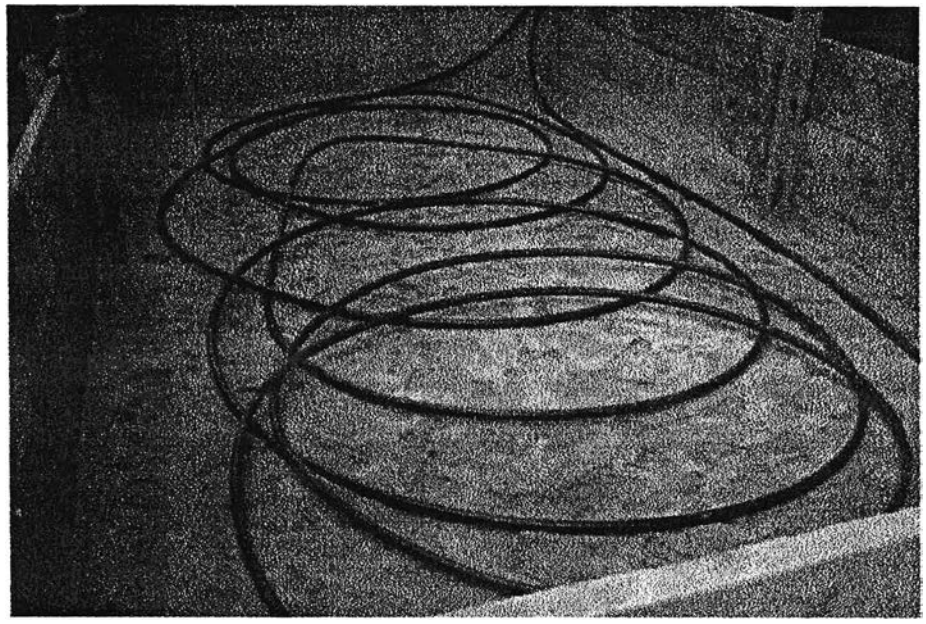


รูปที่ 3.1 เครื่องสูบน้ำ

I2122660X

2. ท่อน้ำและข้อต่อต่างๆ

ในการทดลองนี้จะใช้ท่อน้ำ และข้อต่อ PE ชนิด LDPE (Low Density Polyethylene) ขนาด1 นิ้ว มีค่าการนำความร้อนของท่อ K_p = 0.42 W /(m·K) โดยกำหนดท่อน้ำให้มีความยาว 50 เมตร ดังแสดงในรูป 3.2



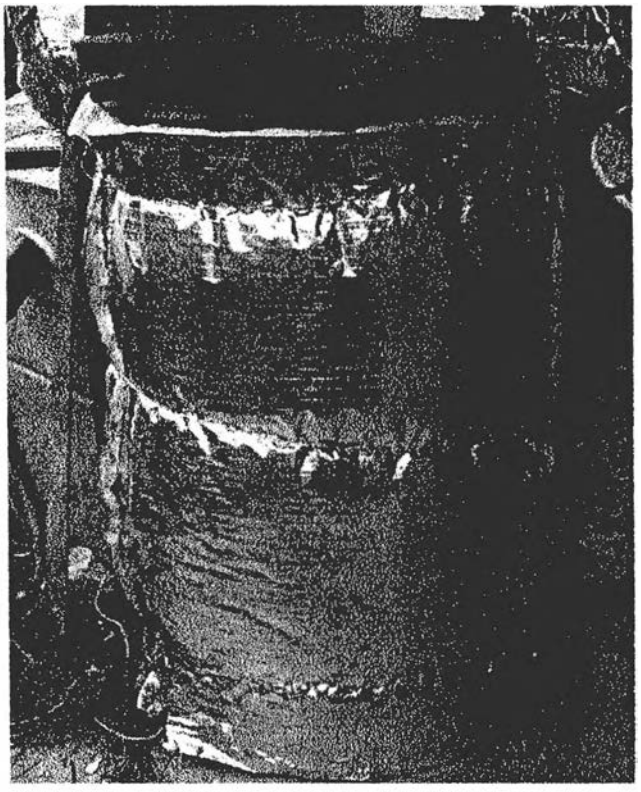
รูปที่ 3.2 ท่อโพลีเอ็ดทีลีน

3. วาล์วน้ำ

ในการทดลองนี้จะใช้วาล์วน้ำชนิด Ball valve ขนาด 1 นิ้ว ใช้ 2 ตัวในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ขดท่อใต้ดิน และ ควบคุมน้ำร้อน Bypass กลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำ

4. ถังเก็บน้ำร้อน

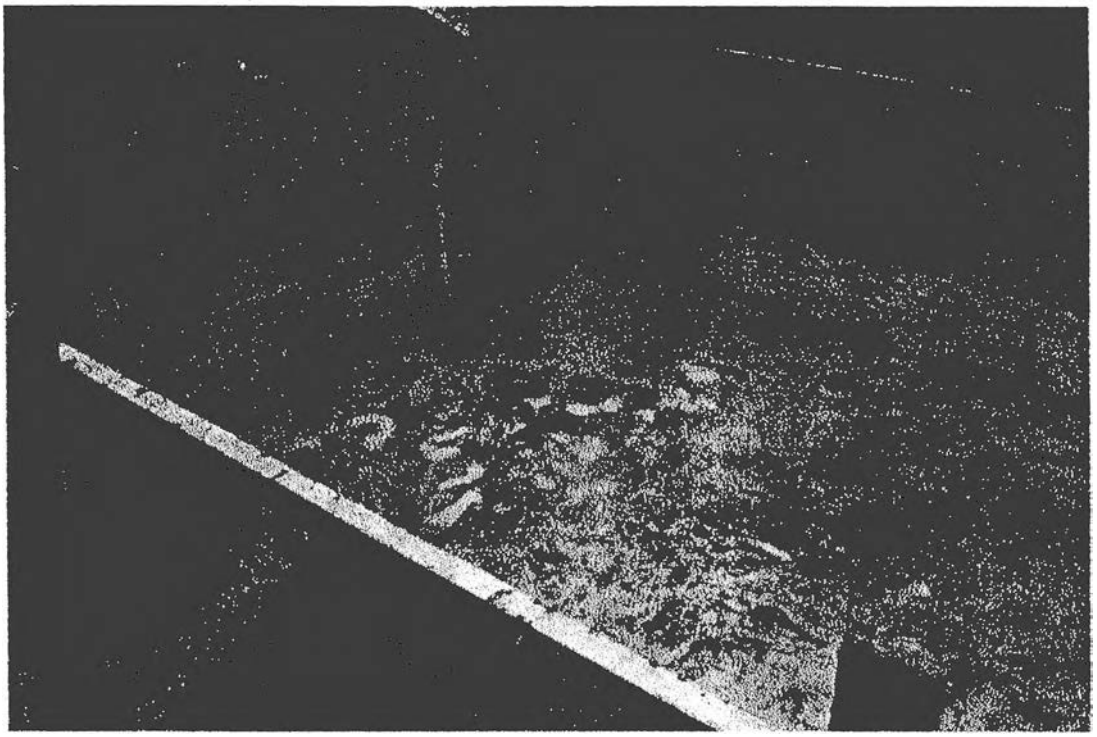
ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลองทำจากพลาสติค PVC รูปร่างทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.55 เมตร สูง 0.9 เมตร ปริมาตร 200 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ถังเก็บน้ำร้อน

5. พื้นที่ทำการทดลอง

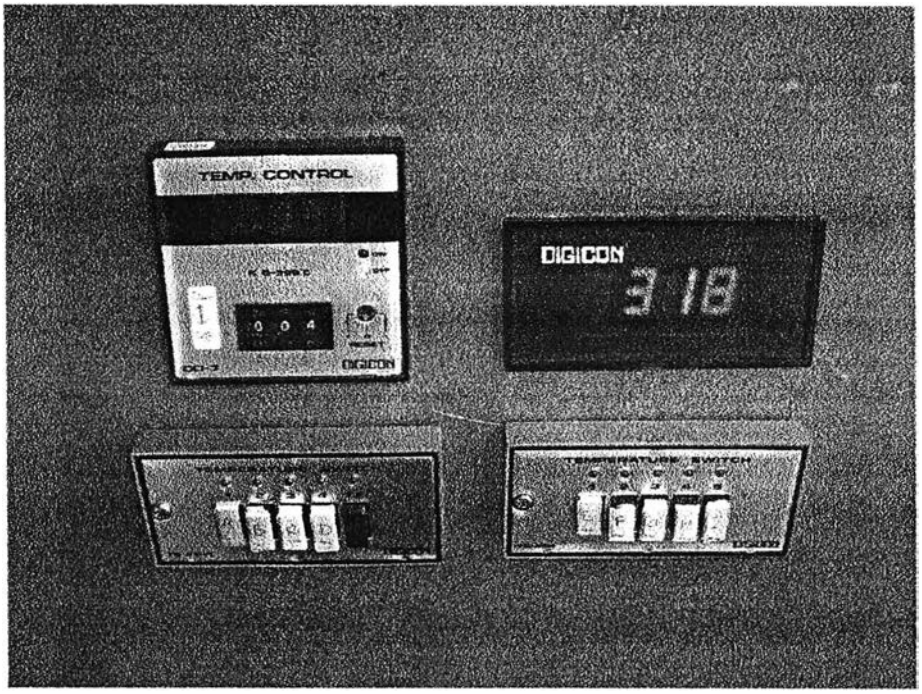
ในการทดลองนี้ จะต้องใช้พื้นที่เพื่อทำการทดลองการระบายความร้อนสู่ดิน จึงได้กั้นพื้นที่ด้วยแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ให้มีพื้นที่ขนาด 6 เมตร x 3 เมตร เพื่อไว้ทำการเปลี่ยนชนิดของดินและฝังกลบท่อโพลีเอ็ดทีลีน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 บริเวณพื้นที่ที่ทำการทดลอง

6. เครื่องควบคุม/วัดอุณหภูมิ

เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบดิจิตอล ใช้ระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ มีความละเอียด 1 ^{o}C สามารถใช้กับเทอร์โมคับเปิล ชนิด K, J, R หรือ RTD ได้ โดยต่อพ่วงร่วมกับมิเตอร์แสดงผล ความละเอียด 0.1 ^{o}C และต่อพ่วงกับตัวเลือกช่องสัญญาณ (selector) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อน

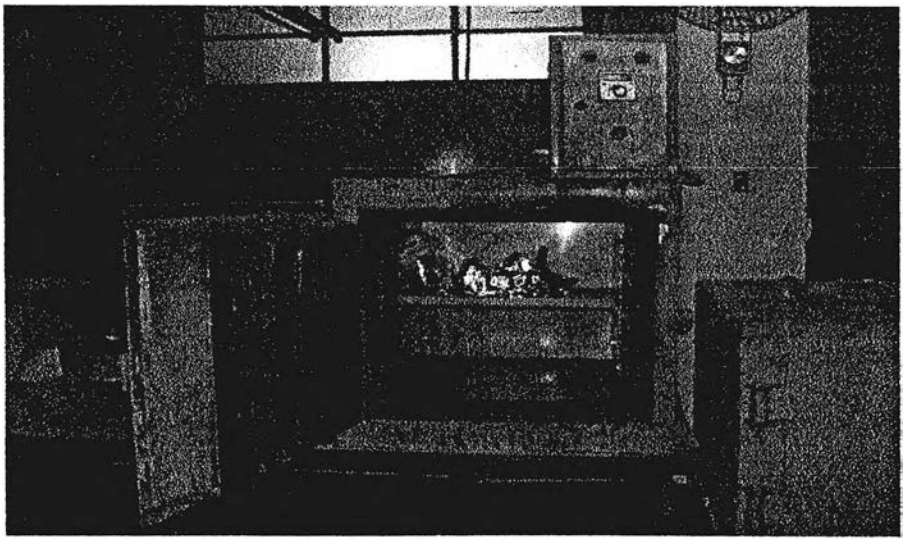
7. เครื่องเก็บข้อมูล

เครื่องเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง สามารถวัดอุณหภูมิได้ 1 ช่อง โดยสามารถโปรแกรมให้เก็บข้อมูลได้ตามระยะเวลาที่เราต้องการ ดังแสดงในรูป 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องเก็บข้อมูล

8. เตาอบ

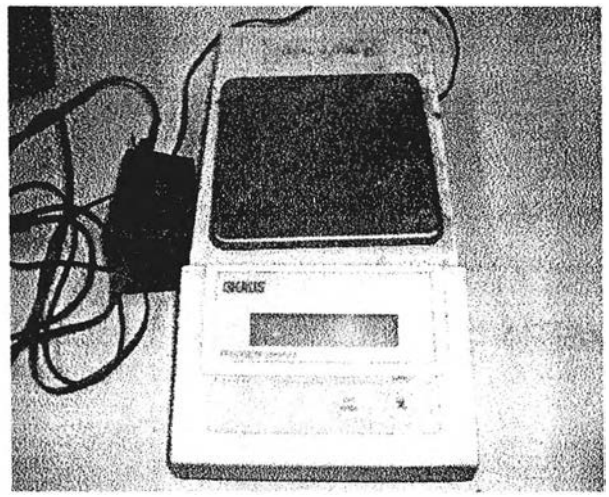
ในการทดลองนี้ ใช้เตาอบเพื่อทำการอบตัวอย่างดิน เพื่อนำไปหาค่าความชื้นในดินโดยมวล ดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7 เตาอบ

9. เครื่องชั่งน้ำหนัก

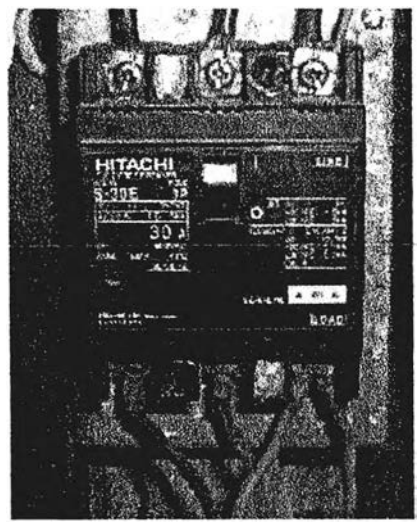
เครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการทดลอง ใช้ในการชั่งตัวอย่างดินก่อนอบและหลังอบ เพื่อทราบน้ำหนักของปริมาณน้ำในดินที่หายไป มีความละเอียด 0.01 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

10. Breaker

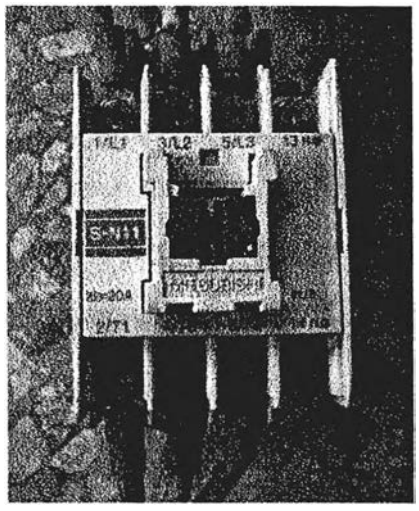
เป็น Breaker ที่ใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส สามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ 32 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 Breaker

11. Magnetic Contactor

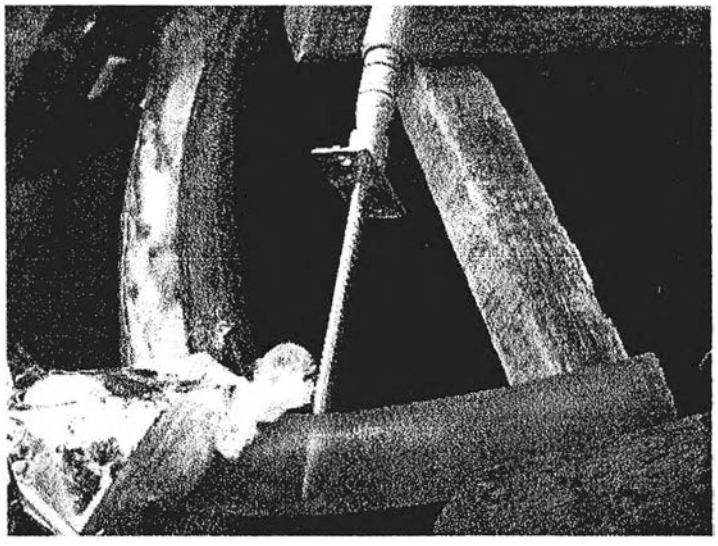
เป็น Magnetic Contactor ที่ใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส สามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ 20 แอมแปร์ และขดลวดใช้กับไฟฟ้า 220 โวลท์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Magnetic Contractor

12. เทอร์โมคัปเปิล

ในการทดลองนี้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังแสดงในรูป 3.11



รูปที่ 3.11 เทอร์โมคับเปิลชนิด K

13. ดินที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้ดิน 3 ชนิดในการทดลอง ได้แก่ ทราย, ทรายขี้เป็ด และ ดินเหนียว ดังแสดงในรูป 3.12

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง

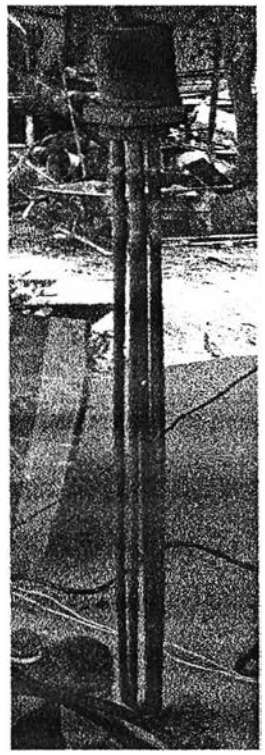
14. มาตรวัดน้ำ

ใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำร้อน ที่มีความละเอียด 0.001 m^3 ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 มาตรวัดน้ำ

15. เครื่องทำน้ำร้อน

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องทำความร้อนที่ใช้กับของเหลว ชนิดจุ่ม ขนาด 9 kW ซึ่งใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องทำน้ำร้อน

16. ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนของท่อน้ำ เป็นฉนวน Aeroflex หนา 2 เซนติเมตร ความหนาแน่น 48 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยจะทำการหุ้มฉนวนท่อโพลีเอ็ดทีลีนบริเวณที่อยู่เหนือจากพื้นดินทั้งหมด

3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการจัดสร้างชุดทดลองขึ้นเพื่อทำการทดลอง โดยชุดทดลองที่ใช้ในการวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. อุปกรณ์ในระบบทางเดินของน้ำ ได้แก่

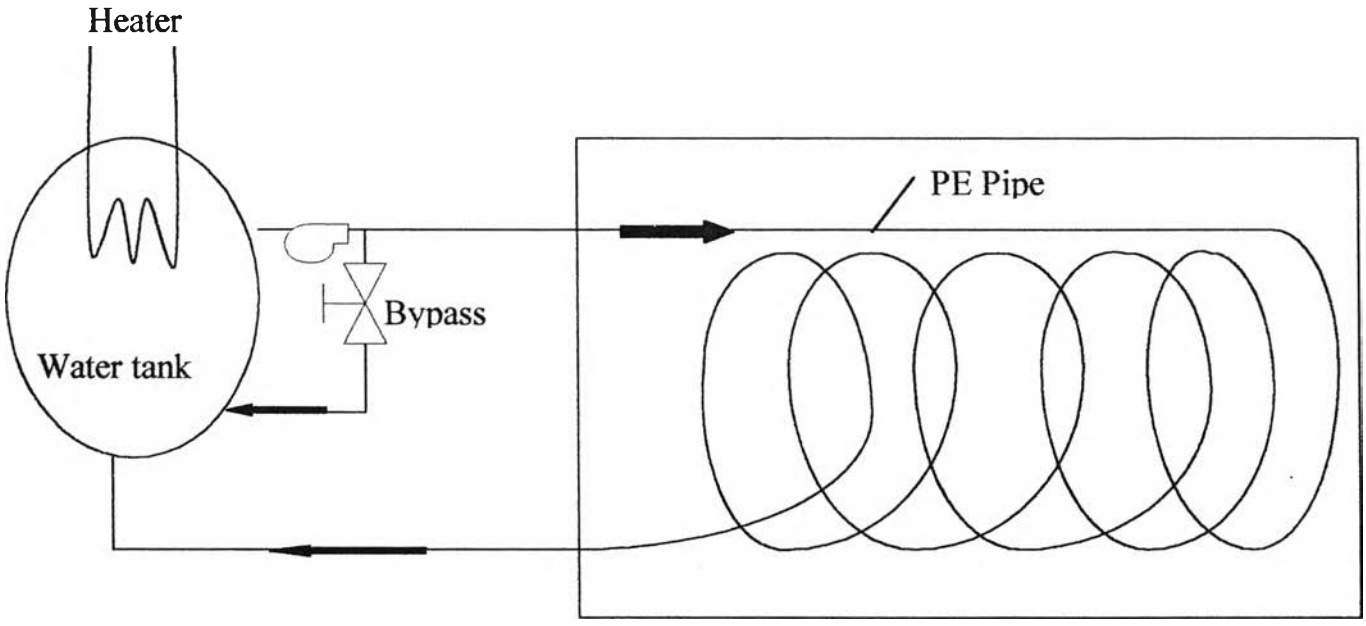
    1.1 เครื่องสูบน้ำ
    1.2 ท่อน้ำ และข้อต่อต่างๆ
    1.3 วาล์วน้ำ
    1.4 ถังเก็บน้ำร้อน
    1.5 ฉนวนกันความร้อน

ในส่วนของระบบทางเดินของน้ำดังรูปที่ 3.15 น้ำจะถูกสูบจากถังเก็บน้ำร้อน โดยเครื่องสูบน้ำ ซึ่งน้ำส่วนที่เกินความต้องการจะถูก bypass กลับลงไปในถังเก็บน้ำร้อน น้ำส่วนที่ต้องการจะลำเลียงผ่านท่อโพลีเอ็ดทีลีนขนาด 1 นิ้ว ซึ่งมีความยาว 50 เมตร โดยท่อจะเรียงตัวอยู่ภายใต้ผิวดินลึกเป็นระยะ 0.7 เมตรจากผิวดิน ในถังเก็บน้ำร้อนนี้จะมีเครื่องทำน้ำร้อนคอยให้ความร้อนแก่น้ำจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ แล้วจึงปล่อยน้ำร้อนที่ได้ทำอุณหภูมิตามที่ต้องการผ่านมาตรวัดน้ำเพื่อตรวจสอบอัตราการไหล จากนั้นน้ำร้อนจึงจะเข้าสู่ขดท่อโพลีเอ็ดทีลีน นอกจากนี้ในถังเก็บน้ำร้อนยังมีปั๊มตู้ปลาขนาดเล็กคอยทำการหมุนวนน้ำ เพื่อให้น้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งถัง

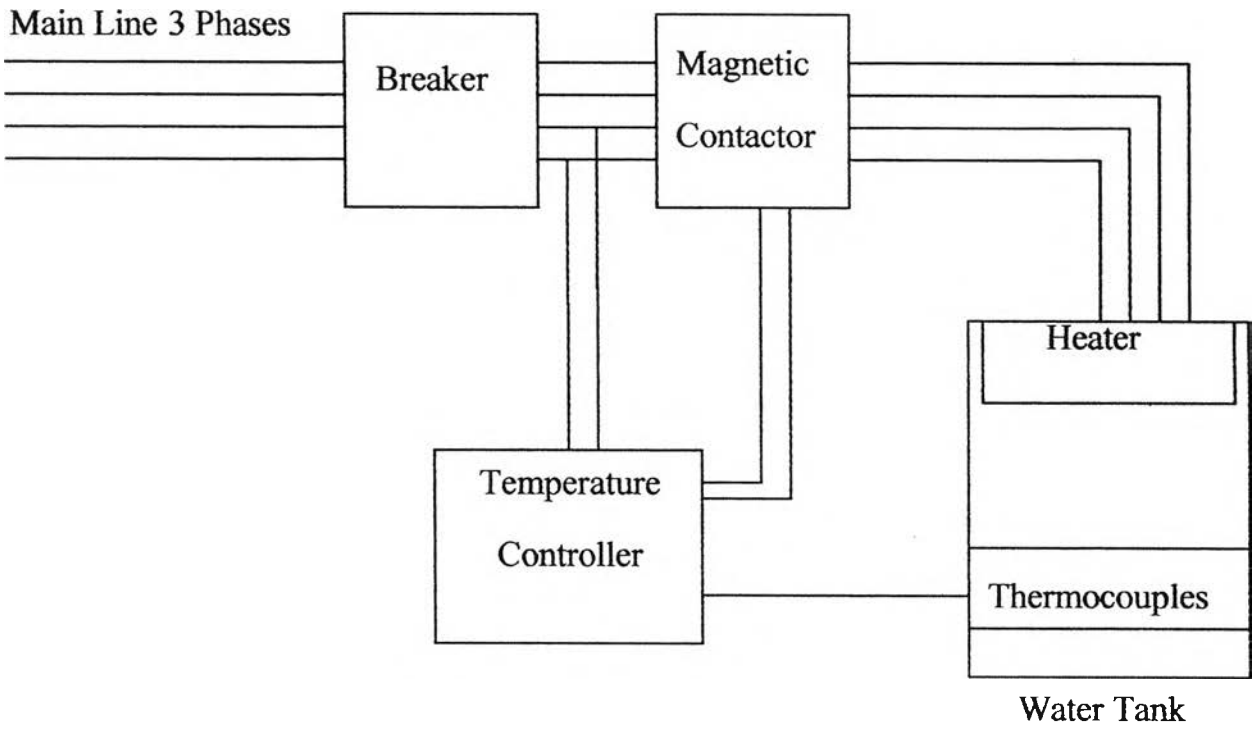
2. อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า และควบคุม ได้แก่

    2.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
    2.2 เครื่องทำน้ำร้อน
    2.3 Magnetic Contactor
    2.4 Breaker
    2.5 สายไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าและควบคุมดังรูปที่ 3.16 นี้เป็นระบบทำความร้อนให้กับน้ำร้อน โดยเดินระบบไฟฟ้า 3 เฟสผ่าน Breaker และ Magnetic Contactor แล้วผ่านไปยังเครื่องทำน้ำร้อนขนาด 9 KW ที่จุ่มอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน ซึ่ง Magnetic Contactor จะทำหน้าที่ตัด-ต่อไฟที่จะผ่านไปยังเครื่องทำน้ำร้อน โดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะทำหน้าที่ควบคุมการตัด-ต่อไฟของ Magnetic Contactor อีกที ซึ่งเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะอ่านค่าอุณหภูมิจาก Thermocouples ที่จุ่มอยู่ในถังน้ำร้อน เมื่อเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่านค่าอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในถังเก็บน้ำร้อนยังไม่ถึงค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะจ่ายไฟฟ้าไปยังขดลวดของ Magnetic Contactor ทำให้ไฟฟ้าที่มาจาก Breaker จะสามารถไหลผ่าน Magnetic Contactor ไปยังเครื่องทำน้ำร้อน เพิ่มความร้อนแก่น้ำที่อยู่ในถัง และเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในถังเก็บน้ำร้อนถึงค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะตัดไฟฟ้าที่ต่อไปยังขดลวดใน Magnetic Contactor ทำให้ไฟฟ้าที่มาจาก Breaker จะไม่สามารถไหลผ่าน Magnetic Contactor ไปได้ เครื่องทำความร้อนจะหยุดทำงาน



รูปที่ 3.15 ระบบทางเดินของน้ำ



รูปที่ 3.16 ระบบไฟฟ้าและควบคุม

3. อุปกรณ์วัดต่างๆ ได้แก่

3.1 เทอร์โมคัปเปิล
3.2 เครื่องเก็บข้อมูล
3.3 มาตรวัดน้ำ
3.4 ถังตวงน้ำ
3.5 นาฬิกาจับเวลา
3.6 ตาชั่งดิจิตอล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าของการทดลอง จะใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ, อุณหภูมิดิน ณ ความลึกที่ทำการฝังท่อไว้, อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, อุณหภูมิน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากถังเก็บน้ำร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน

ในการวัดอัตราการไหลของน้ำจะใช้มาตรวัดน้ำที่มีความละเอียด 0.001 m^3 และวัดอัตราการไหลของน้ำซ้ำอีกที โดยการตวงน้ำแล้วจับเวลา

ในการวัดอุณหภูมิดิน จะใช้เครื่องเก็บข้อมูลฝังไว้ ณ ความลึกที่ทำการฝังท่อ แล้วโปรแกรมให้บันทึกอุณหภูมิตามช่วงเวลาที่ต้องการ

ในการวัดอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อน, อุณหภูมิน้ำร้อนที่ปล่อยเข้าสู่ขอท่อโพลีเอ็ดทีลีน (t_{in}) และอุณหภูมิน้ำที่ไหลกลับจากขดท่อโพลีเอ็ดทีลีน (t_{out}) จะใช้โพรบวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมคับเปิล) วัดอุณหภูมิของน้ำ แล้วส่งข้อมูลไปอ่านค่าอุณหภูมิที่มิเตอร์แสดงผล

สำหรับตาชั่งดิจิตอลใช้ในการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดินชนิดต่างๆ ก่อนที่จะนำไปเข้าเตาอบ และภายหลังจากเข้าเตาอบแล้ว ซึ่งจะนำค่าไปใช้คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นโดยมวลของตัวอย่างดินชนิดต่างๆ

4. วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในการฝังกลบท่อ ได้แก่

4.1 ทราย เป็นตัวแทนของดินในกลุ่มอนุภาค sand
4.2 ทรายขี้เป็ด เป็นตัวแทนของดินในกลุ่มอนุภาค silt
4.3 ดินเหนียว เป็นตัวแทนของดินในกลุ่มอนุภาค clay

ในการทดลองนี้ได้เลือกตัวอย่างดินข้างต้นมาเป็นตัวแทนกลุ่มอนุภาคต่างๆ ซึ่งได้แก่ ทราย (sand), ทรายแป้ง (silt) และ ดินเหนียว (clay) ดังแสดงในรูปที่ 3.12

3.4 ขั้นตอนในการทดลอง

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลองในหัวข้อที่ 3.3 แล้ว ในแต่ละกรณีการทดลองจะมีขั้นตอนในการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ทำการเลือกชนิดของดินที่จะนำมาทำการฝังกลบท่อโพลีเอ็ดทีลีน
2. ในแต่ละชนิดของดินที่เลือกใช้ในการทดลองจะทำการปรับและควบคุมระดับความชื้นในดิน
3. ในแต่ละระดับความชื้นโดยมวลของดินที่ทำการทดลอง จะทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ ที่อัตราการไหลต่างๆ และให้น้ำไหลออกจากถังเก็บน้ำร้อนเข้าสู่ขดท่อโพลีเอ็ดทีลีนที่ฝังอยู่ใต้ดิน
4. ในแต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อน จะทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนที่อยู่ในถังเก็บน้ำร้อนให้มีค่าคงที่ และ ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากนั้นทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่ไหลกลับจากขดท่อโพลีเอ็ดทีลีน

การทดลองจะแบ่งเป็นกรณีดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังแสดงในรูป 3.17

เริ่มแรกในการทดลองจะทำการเลือกชนิดของดินที่จะใช้ในการทดลอง ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ ทราย, ทรายขี้เป็ด และ ดินเหนียว ตามลำดับจากนั้นนำดินดังกล่าวไปถมรองพื้นในพื้นที่ที่ทำการทดลองขนาด 3 เมตร x 6 เมตร แล้วจึงนำขดท่อโพลีเอ็ดทีลีน ความยาว 50 เมตร ไปวางไว้เพื่อเตรียมทำการฝัง โดยอาจจะทำการกลบหน้าดินทีละน้อยเป็นชั้นบางๆ แล้วปล่อยให้ตากแดดเพื่อปรับสภาพดินให้มีสพาพแห้งที่สุดในกรณีที่ดินที่นำมามีความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.18

ทำการฝังท่อโพลีเอ็ดทีลีนไว้ที่ระดับความลึก 0.7 เมตรจากระดับพื้นดิน แล้วทิ้งพื้นที่ดังกล่าวเอาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ดินที่ฝังลงไปปรับสภาพให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อม

ทำการปรับเปลี่ยนความชื้นในดิน โดยการให้น้ำแก่พื้นที่ที่ทดลองแล้วทำการเก็บตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองที่ระดับความลึกที่ทำการฝังท่อ ซึ่งการเก็บตัวอย่างดินจะทำโดยการแบ่งพื้นที่ที่ทำการทดลองเป็นส่วนเท่าๆกัน และจึงทำการขุดหลุมเพื่อเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่ใกล้เคียงกับท่อโพลีเอ็ดทีลีน ไปทำการอบด้วยเตาอบ และชั่งน้ำหนัก จากนั้น คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยมวลของตัวอย่างดิน ตามสมการ 2.12 ซึ่งในการทดลองนี้ได้ควบคุมระดับความชื้นโดยมวลของดิน

เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (Low , < 4%), ระดับความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (Medium , 4 to 20%) และ ระดับความชื้นโดยมวลระดับสูง (High , > 20%) ดังแสดงในรูปที่ 3.19

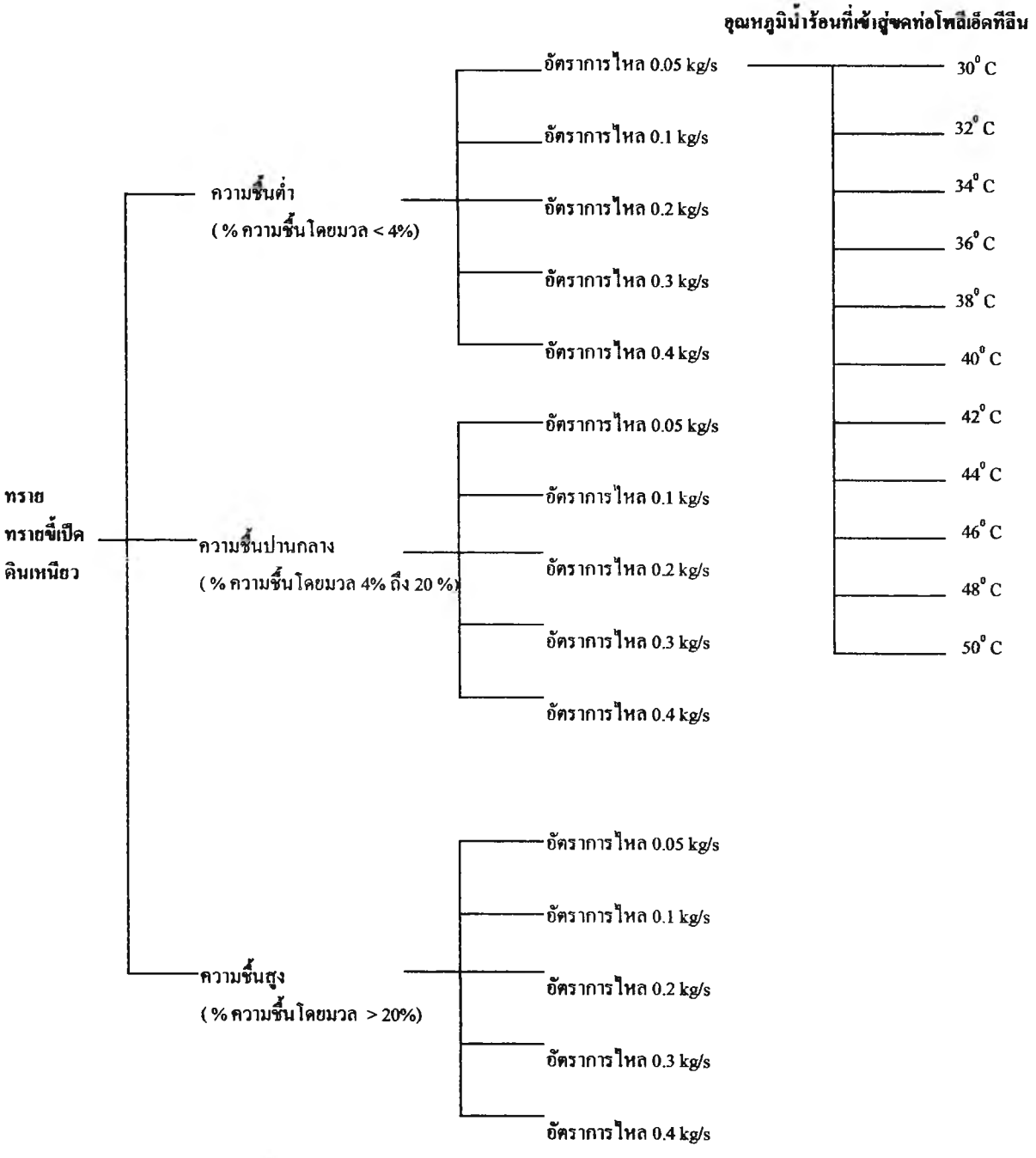
เมื่อได้ระดับความชื้นดินโดยมวลตามที่ต้องการแล้วจึงทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ โดยเริ่มต้นให้มีอัตราการไหล 0.05 กิโลกรัมต่อวินาที ก่อนทำการทดลองจะทำการตรวจสอบอัตราการไหลซ้ำโดยการตวงน้ำและจับเวลา จากนั้นทำการปรับอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 30 องศาเซลเซียส ระหว่างที่อุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังมีค่าคงที่ระยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 10 ถึง 15 นาที) จึงได้ทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่ขดท่อ (t_{in}) และ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากขดท่อ(t_{out})

จากนั้นค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อนขึ้นทีละ 2 องศาเซลเซียส เป็น 32 , 34, 36, เรื่อยๆ จนไปถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำการทิ้งช่วงเวลาให้อุณหภูมิที่เพิ่มนี้มีค่าคงที่ดังที่กล่าวมาข้างต้น ทุก ๆ การทดลอง จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ

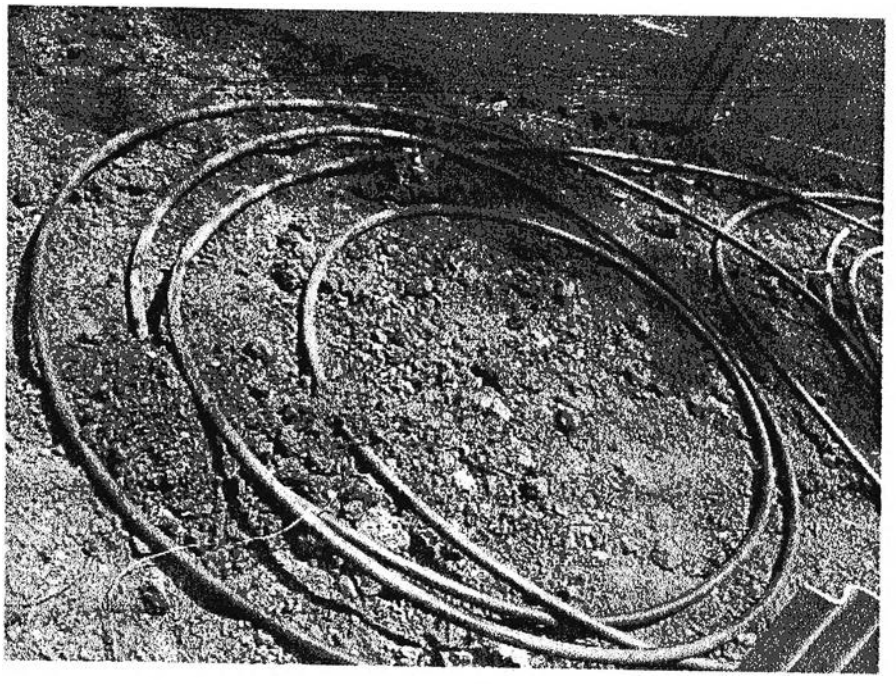
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนจนถึง 50 องศาเซลเซียส ก็จะหยุดทำการทดลองเป็นระยะเวลาข้ามคืน เพื่อให้ดินปรับสภาพเข้าสู่สภาพแวดล้อม จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองตามวิธีข้างต้น แต่เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเป็น 0.1 กิโลกรัมต่อวินาที, 0.2 กิโลกรัมต่อวินาที,0.3กิโลกรัมต่อวินาที และ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ซึ่งระหว่างนี้จะต้องทำการตรวจสอบและควบคุมระดับความชื้นโดยมวลให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เราควบคุมตลอดเวลา โดยทำการสุ่มตัวอย่างดินมาอบ และคำนวณหาปริมาณความชื้นโดยมวลของตัวอย่างดิน

เมื่อทำการทดลองจนครบที่อัตราการไหล 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ก็จะเริ่มทำการปรับความชื้นโดยมวลของดินที่ทดลองอยู่อีกครั้งดังวิธีที่กล่าวมาข้างต้น เป็นเช่นนี้จนครบระดับความชื้นในดินโดยมวล และ ครบชนิดของดินที่จะทำการทดลอง

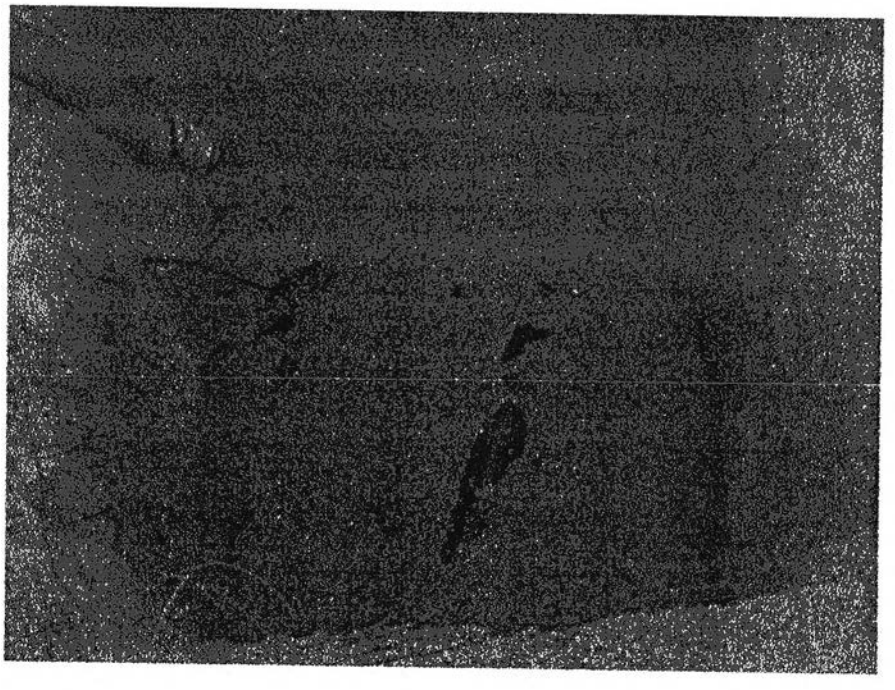
เมื่อทำการทดลองครบทุกรณีแล้ว ก็จะนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายเทสู่ดินได้ โดยเปรียบเทียบผลของชนิดดิน , ระดับความชื้นโดยมวลของดิน, อัตราการไหลของน้ำร้อน และ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อโพลีเอ็ดทีลีน (t_{in})



รูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพกรณีการทดลอง



รูปที่ 3.18 ขดท่อโพลีเอ็ดทีลีนที่เตรียมทำการฝังกลบ



รูปที่ 3.19 แสดงการให้น้ำแก่ทราย เพื่อเพิ่มปริมาณความชื้น