



ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน
Relationship between Soil Physical Properties and Water soil Ratio

ศุติรัตน์ กองทุ่งมกล

มหาวิทยาลัยบูรพา

2561

2915516401
BTU :Thesis 59910220 thesis / recv: 18072562 11:14:35 / seq: 62

59910220_2915516401

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

สุภารัตน์ กองทุ่งมกล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยบูรพา

RELATIONSHIP BETWEEN SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND WATER SOIL RATIO

SUDARAT KONGTHUNGMON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER OF SCIENCE
IN PHYSICS EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
BURAPHA UNIVERSITY

2018

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY


2915516401
BUU iThesis 59910220 thesis / recv: 18072562 11:14:35 / seq: 62

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ สุดาวัลย์ กองทุ่งมต ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะ
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ ตันติวารานุรักษ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธาน
(ดร. ศักดิ์สิทธิ์ สุขประสงค์)


..... กรรมการ
(ดร. นิตดา รัตนะ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ ตันติวารานุรักษ์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะ
หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 19 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

59910220: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)
 คำสำคัญ: สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน, สภาพการนำความร้อนของดิน, ความหนาแน่นของดิน, ปริมาณการดูดซับน้ำของดิน, ความชื้นของดิน, สัดส่วนน้ำในดิน
 สุชาติรัตน์ กองทุ่งมด : ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน. (Relationship between Soil Physical Properties and Water soil Ratio) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อุษาวดี ตันติวานุรักษ์, วท.ค. ปี พ.ศ. 2561.

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์สมบัติทางฟิสิกส์ของดินร่วนปนทราย (สภาพการนำความร้อน, ความหนาแน่น, ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน) และสัดส่วนน้ำในดิน พบว่าสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อน (k) ผลต่างของความหนาแน่น (Dr) ปริมาณการดูดซับน้ำ (P) และความชื้นของดิน(w) ที่สัดส่วนน้ำในดิน (0%2 = 0.9516), $Dr = 698.26x + 340.52$ ($R^2 = 0.9832$), $P = 70.995x + 14.515$ ($R^2 = 0.9036$) และ $w = 160.99x + 15.948$ ($R^2 = 0.9521$) ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์เฉลี่ยร้อยละ 8.12, 2.75, 13.38 และ 12.42 ตามลำดับ แสดงว่าสมการที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำไปใช้ทำนายสมบัติทางฟิสิกส์ของดินร่วนปนทรายจากสัดส่วนน้ำในดิน 0 - 54% ได้

59910220: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: Soil physical properties, Soil thermal conductivity, Soil density, Soil water adsorbtion, Soil moisture, Water soil ratio

SUDARAT KONGTHUNGMON : RELATIONSHIP BETWEEN SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND WATER SOIL RATIO. ADVISORY COMMITTEE: USAVADEE TUNTIWARANURUK, 2018.

The purpose of this research was to build a relationship between soil physical properties of sandy loam soil (thermal conductivity, density, water adsorption and moisture and water soil ratio) was developed. The empirical equation of thermal conductivity (k), density (r), water adsorption (P) and moisture (w) at $R^2 = 0.9516$, $D_r = 698.26x + 340.52$ ($R^2 = 0.9832$), $P = 70.995x + 14.515$ ($R^2 = 0.9036$) and $w = 160.99x + 15.948$ ($R^2 = 0.9521$) respectively. It was found that the values of thermal conductivity, density, water adsorption and moisture from the model and experiment were in good agreement, relative error (%) were 8.12, 2.75, 13.38 and 12.42 respectively

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ต้นติวรานุรักษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้องให้
ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึก
ทราบซึ่งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วาทัญญู รอดประพัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชา เทคโนโลยีอุณหภาพ
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก ดร.ธนัสดา รัตนะ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้
กรุณาเป็นกรรมในการสอบปากเปล่า และให้ความรู้ คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ผลงาน ทำให้
วิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ดร.ศกดิ์สิทธิ์ สุขประสงค์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานในการ
สอบวิทยานิพนธ์ และช่วยแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปได้ ผู้ทรงคุณวุฒิและคณาจารย์ใน
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ
รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ และสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย
ครั้งนี้ รวมถึงอำนวยความสะดวกสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมยศ กองทุ่งมด และครอบครัว รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ
น้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี
บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และ
ประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

สุदारัตน์ กองทุ่งมด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉุ
บทที่ 1	11
บทนำ.....	11
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	11
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	12
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
ขอบเขตของการวิจัย.....	12
บทที่ 2	14
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน	14
สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน	15
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3	32
การดำเนินการวิจัย	32
การออกแบบและขึ้นรูปดิน	32
สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน	34

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน.....	40
บทที่ 4	41
ผลการดำเนินการ	41
การออกแบบและขึ้นรูปดิน	41
สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและ สัดส่วนน้ำในดิน	42
บทที่ 5	48
อภิปรายและสรุปผล	48
อภิปรายผลการทดลอง	48
สรุปผลการทดลอง	51
ข้อเสนอแนะ.....	51
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก.....	56
สภาพการนำความร้อนของดินที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ.....	56
ภาคผนวก ข.....	63
สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน	63
บรรณานุกรม.....	68
ประวัติย่อของผู้วิจัย	69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สรุปสมบัติทางความร้อนของส่วนประกอบทั่วไปในดิน.....	26
2	ผลการขึ้นรูปดินที่สัดส่วนน้ำในดิน.....	42

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของดินโดยปริมาตร ที่เหมาะแก่การเพาะปลูก.....	15
2	สามเหลี่ยมแรงประเภทของเนื้อดิน ตามสัดส่วนโดยมวลของทราย..... ทรายแป้ง และดินเหนียว	16
3	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปดิน.....	33
4	การเตรียมและขึ้นรูปดิน.....	34
5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าการนำความร้อนของดิน.....	34
6	การวัดอุณหภูมิของผิวหน้าทั้งสองของชิ้นงาน และการให้พลังงานไฟฟ้า..... แก่กล่องวัดความร้อน ด้วยหม้อแปลงแรงดันต่ำ ขนาด 0-12 V	37
7	ชุดทดลองการนำความร้อน โดยวิธีการวัดแบบการไหลของความร้อน.....	37
8	ภาพตัดขวางแสดงการจัดอุปกรณ์ในการหาสภาพการนำความร้อน..... ตามมาตรฐาน DIN 52612	38
9	ตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม.....	39
10	การอบแห้งดิน.....	39
11	ตัวอย่างดินที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำในดินต่าง ๆ.....	43
12	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อนของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน.....	44
13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน.....	45
14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน.....	46
15	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน.....	47

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดินเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ทั่วไปบนผิวโลก ซึ่งมนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านเกษตรกรรม เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชต้องอาศัยดินในการยึดลำต้น และเป็นแหล่งสำคัญสำหรับการแลกเปลี่ยนธาตุอาหาร อากาศ และน้ำ และการเจริญเติบโตของพืชยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ซึ่งมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ช่องว่างระหว่างดิน ความหนาแน่น ความเป็นรูพรุน สภาพการนำความร้อน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ทำให้สามารถแก้ไขหรือรับมือกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบสภาพการนำความร้อนของดินที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะทำให้ทราบค่าพลังงานความร้อนจากผิวดินลงสู่ใต้ดิน และถ้าพลังงานความร้อนใต้ดินสูงเกินไป สามารถแก้ไขปัญหาโดยการปลูกพืชโดยใช้วัสดุคลุมดิน เพื่อรักษาอุณหภูมิตามความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด และสมบัติทางฟิสิกส์อีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ ความชื้นหรือความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างอื่นๆ เช่น ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดินจะแทรกซึมลงในช่องว่างระหว่างดิน หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดิน ถ้าหากมีน้ำในช่องว่างระหว่างดินเต็มทุกช่อง ทำให้การถ่ายเทอากาศเป็นไปได้ยากและรากไม่สามารถชอนไชได้ ทำให้พืชขาดแก๊สออกซิเจนที่เป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช

ผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น การวัดสภาพการนำความร้อนของดินทั้งหมด 19 ชนิด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ความหนาแน่น ปริมาณน้ำ ระดับความอิ่มตัว เนื้อดิน และแร่ธาตุที่มีผลต่อสภาพการนำความร้อนของดิน และนำเสนอความสัมพันธ์เชิงเอมไพริคัลระหว่างสภาพการนำความร้อนกับความชื้นและความหนาแน่นแห้ง (Kersten, 1949) การศึกษาเกี่ยวกับสภาพการนำความร้อนของดินจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนมาตรฐานกับระดับความอิ่มตัว และความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อนกับความชื้นรวมทั้งได้สร้างสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนแห้งกับความหนาแน่น (Côté and Konrad, 2005) การทดสอบดิน 12 ชนิด จากเครื่องวัดการสะท้อนแบบเวลา (Thermo-hydro-mechanical) และนำเสนอแบบจำลองสภาพการนำความร้อน ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อนมาตรฐานกับระดับความอิ่มตัว ในสภาวะความชื้นของดินที่ระดับต่างๆ (Lu, Ren et al., 2007) ซึ่ง

จากการศึกษาดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน โดยเฉพาะดินร่วนปนทรายที่เป็นดินที่ใช้ในการเพาะปลูก เพื่อให้ทราบว่าดินเพาะปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช มีสภาพการนำความร้อนในช่วง $0.152 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ (ขวัญยืน ฤทธิ์แดง, 2558) ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ระหว่าง $1,200 - 1,600 \text{ kg/m}^3$ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ปริมาณการดูดซับน้ำของดินร่วน อยู่ระหว่าง $5 - 10 \text{ mm/h}$ (บุญมา ป้านประดิษฐ์, 2546) และความชื้นของดินอยู่ระหว่าง $3.2 - 9.6\%$ (อุษาวดี ตันติวารานุกฤษ, 2559)

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน เพื่อทราบค่า ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ และเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน ที่สามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบค่าสภาพการนำความร้อนของดิน ความหนาแน่น ความเป็นรูพรุน ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ
2. ทราบสัดส่วนน้ำในดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืช
3. ทราบนำความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน เพื่อใช้ในการทำนายสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ดินที่ใช้ในการศึกษา เป็นดินร่วนปนทรายที่ใช้ในการเพาะปลูกในพื้นที่เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีปริมาณความชื้นเหมาะสมแก่การเพาะปลูก เป็นไปตามส่วนประกอบของดิน โดยปริมาตรที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก
2. สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ศึกษา ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้น

3. สภาพการนำความร้อนหาของดิน โดยวิธีแบบวัดการถ่ายเทความร้อนตามมาตรฐาน DIN 52612 ด้วยชุดการหาสภาพการความร้อน

4. ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน หาโดยการนำชิ้นงานนำไปอบ ด้วยตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน

ดิน หมายถึง วัตถุตามธรรมชาติที่รวมตัวกันเป็นชั้นจากส่วนผสมของแร่ธาตุต่างๆ ที่สลายตัวเป็นชั้นเล็กๆ ผสมกับอินทรีย์วัตถุที่ผุพัง ดินมีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพืช เพราะการปลูกพืชจะต้องใช้ดิน รวมทั้งคุณสมบัติของดินส่งผลต่อการให้ผลผลิตของพืช ดินที่มีแร่ธาตุอาหารที่พืชต้องการครบทุกธาตุ และมีปริมาณที่เหมาะสม จะถือว่าดินนั้นเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ ลักษณะของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จะมีลักษณะทั่วไปคือ มีโครงสร้างดินดี เนื้อดินไม่หยาบหรือละเอียดเกินไป หน้าดินลึก ร่วนซุย อุ้มน้ำ ถ่ายเทอากาศได้ดี เหมาะแก่การขนถ่ายของราก และส่วนประกอบของดินที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชจะแบ่งเป็น 4 ส่วนใหญ่ ได้แก่ อนินทรีย์วัตถุ อินทรีย์วัตถุ น้ำ และอากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

อนินทรีย์วัตถุ (Mineral matter) เป็นส่วนที่เกิดจากชั้นเล็กๆ ของแร่และหินต่างๆ สลายตัวทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางชีวเคมี

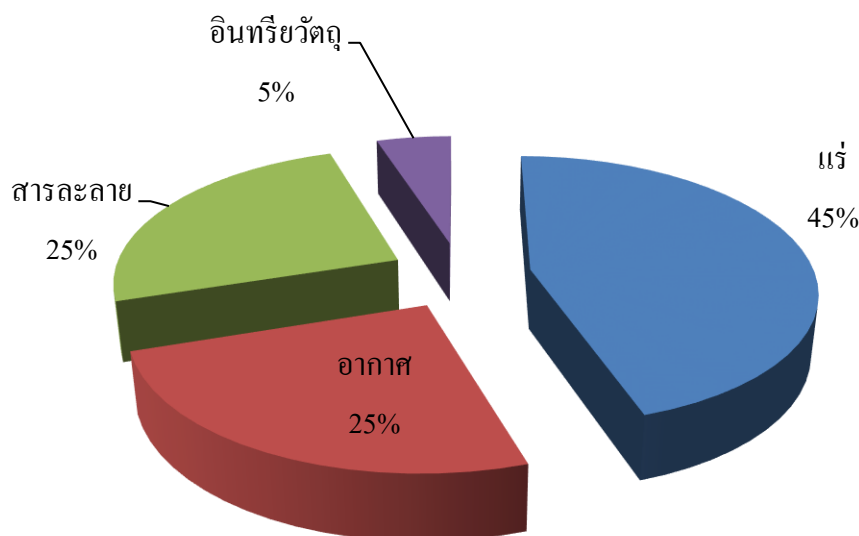
อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) เกิดจากการเน่าเปื่อย ผุพัง หรือการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน

น้ำอยู่ในดินนั้นจะพบอยู่ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Aggregate) หรืออนุภาคดิน (Particle) หรือส่วนของช่องว่าง (Pore space)

อากาศ ที่ว่างในดินระหว่างก้อนดินหรืออนุภาคดินนั้นมีอากาศอยู่ แก๊สทั่วไปที่พบในอากาศในดินนั้นได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณของแต่ละส่วนประกอบที่กล่าวมาของดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งประมาณ 50% โดยปริมาตร (อนินทรีย์วัตถุ ประมาณ 45% โดยปริมาตร และอินทรีย์วัตถุประมาณ 5% โดยปริมาตร) และส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างและน้ำ 50% โดยปริมาตร (ซึ่งมีอากาศ 25 % โดยปริมาตร และน้ำประมาณ 25 % โดยปริมาตร) ดังภาพที่ 1





ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของดินโดยปริมาตร ที่เหมาะแก่การเพาะปลูก ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548)

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน (Physical properties of soil) เป็นสมบัติที่มองเห็นได้ด้วยตา และสามารถสัมผัสได้ เช่น เนื้อดิน (Soil texture) สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) ความหนาแน่น (Density) ปริมาณการดูดซับน้ำ (Water adsorbtion content) และความชื้น (Soil moisture) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช (เกษมศรี ชับช้อน, 2541)

1. เนื้อดิน

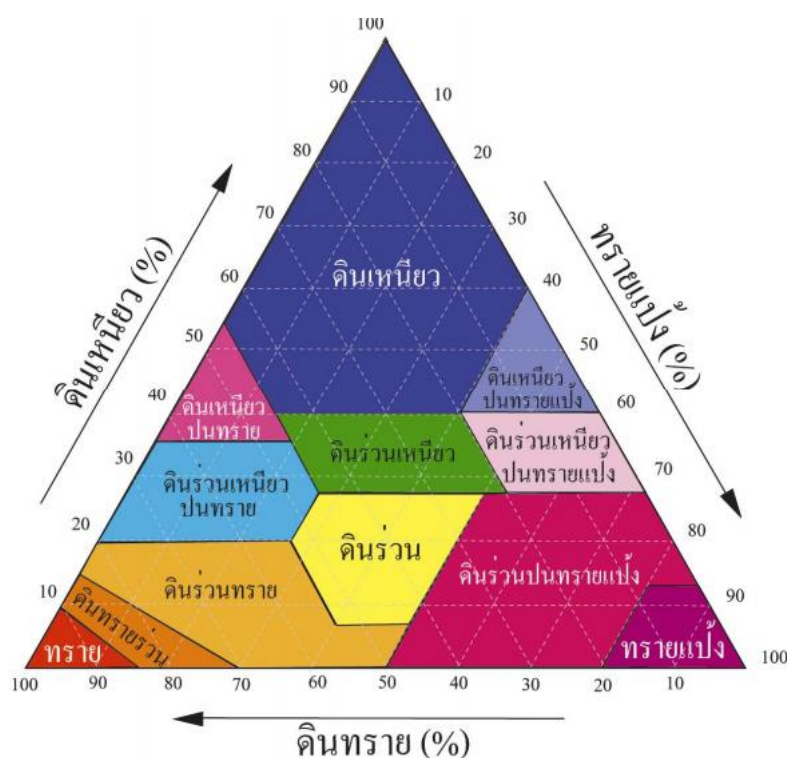
เนื้อดิน เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความหยาบหรือละเอียดของอนุภาคอนินทรีย์ที่มาเกาะยึดกันจนเป็นดิน เนื้อดินสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มขนาด คือ

- (1) อนุภาคดินทราย (Sand) จัดเป็นดินกลุ่มที่มีขนาดโตที่สุด
- (2) อนุภาคทรายตะกอนหรืออนุภาคทรายแป้ง (Silt) จัดเป็นดินกลุ่มที่มีขนาดปานกลาง
- (3) อนุภาคดินเหนียว (Clay) จัดเป็นดินกลุ่มที่มีขนาดเล็กที่สุด

ซึ่งแต่ละกลุ่มขนาด จะประกอบด้วยอนุภาคหลายขนาดจัดไว้เป็นช่วงซึ่งกำหนดโดยพิสัยของขนาด พิกัดบน (Upper limit) และพิกัดล่าง (Lower limit) อนุภาคหลายกลุ่มขนาดผสมกัน จะส่งผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น ความจุในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) คือ

ความสามารถที่ดินบรรจุน้ำไว้ได้มากหรือน้อย ความสามารถในการถ่ายเทอากาศ (Aeration) หมายถึงความสามารถของดินในการบรรจุอากาศ และแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างดินกับบรรยากาศ และความแข็งของดิน (Soil strength) คือความหนาแน่นของการรวมตัวกันของอนุภาคดินเป็นก้อนดิน หรือหน้าตัดดิน

การจำแนกประเภทเนื้อดินโดยทั่วไป สามารถจำแนกได้ 3 กลุ่มขนาด คือทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ และภูมิอากาศ นักวิทยาศาสตร์ทางดิน จึงได้จำแนกประเภทเนื้อดิน ได้ทั้งหมด 12 ประเภท ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สามเหลี่ยมแจกประเภทของเนื้อดิน (Soil textural triangle) ตามสัดส่วนโดยมวลของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548)

การจำแนกประเภทเนื้อดินสำหรับเพาะปลูก ไม่จำเป็นต้องทราบเนื้อดินที่แน่นอน เกษตรกรจำแนกประเภทเนื้อดินออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- (1) กลุ่มดินเนื้อละเอียด (Fine texture soils) ประกอบด้วย ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay) ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay) ดินร่วนเหนียว (Clay loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay loam)

(2) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (Medium texture soils) ประกอบด้วย ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) ดินร่วน (Loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam) ดินทรายแป้ง (Silt)

(3) กลุ่มดินเนื้อหยาบ (Coarse texture soils) ได้แก่ ดินทราย (Sand) ดินทรายร่วน (Loamy sand) ดินร่วนทราย (Sandy loam)

การประเมินผลของเนื้อดิน เนื้อดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่เนื้อดินก็มีความสำคัญมาก เนื่องจากดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่พืชใช้ในการยึดลำต้นและเป็นแหล่งสำคัญสำหรับการแลกเปลี่ยนธาตุอาหาร อากาศ และน้ำ ดังนั้นการวิเคราะห์เนื้อดินสามารถประเมินผลกระทบต่อพืชได้อย่างกว้างๆ ดังนี้

(1) ดินทราย จะประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นทรายประมาณ 70 % สภาพทางการเกษตรของดินลักษณะนี้คือ ไม่อุ้มน้ำ หน้าดินจะแห้งเร็ว ธาตุอาหารและน้ำจะได้รับการยึดไว้ที่ผิวดิน ทำให้สูญเสียธาตุอาหารออกจากดินได้ง่าย ช่องว่างในดินขนาดใหญ่จะมีมากกว่าช่องว่างขนาดเล็ก ทำให้การถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำดีมาก ดินจะไม่เกาะตัวเป็นก้อน และตอบสนองต่อปุ๋ยและปุ๋ยได้เร็ว พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที แต่พืชจะได้รับธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอ ดินต้องมีการปรับปรุง

(2) ดินร่วน จะประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นดินทราย ดินตะกอน และดินเหนียว อย่างละเท่าๆ กัน สภาพทางการเกษตรของดินลักษณะนี้คืออุ้มน้ำได้ดี ธาตุอาหารจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวดินบางส่วน ทำให้เกิดการสูญเสียได้ยาก พืชสามารถดูดธาตุอาหารและน้ำเข้าไปใช้ได้ง่าย ช่องว่างของดินขนาดใหญ่และขนาดเล็กมีจำนวนใกล้เคียงกัน ทำให้มีการถ่ายเทอากาศ เหมาะแก่การเพาะปลูก

(3) ดินเหนียว จะประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นดินเหนียวมากกว่า 40 % สภาพทางการเกษตรของดินลักษณะนี้คืออุ้มน้ำได้ดีมาก แต่น้ำจะถูกดูดไว้ที่ผิวดินด้วยแรงที่สูงมาก ทำให้พืชดูดธาตุอาหารและน้ำไปใช้ได้ยาก อีกปัจจัยหนึ่งคือสภาพดินเปียกหรือแห้ง ธาตุอาหารจะถูกดูดไปใช้ในสภาพดินเปียกได้มากกว่าดินแห้ง เนื่องจากดินแห้งจะมีช่องว่างน้อย ทำให้การถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำไม่ดี ดินต้องมีการปรับปรุง

ลักษณะเนื้อดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก เนื้อดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือเหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืชทั่วไป ได้แก่ ดินร่วนปนทราย เนื่องจากดินชนิดนี้มีลักษณะอยู่ระหว่างของดินเนื้อละเอียดกับดินเนื้อหยาบ จึงมีคุณสมบัติทางด้าน การถ่ายเทอากาศ การอุ้มน้ำ และการระบายน้ำได้ดี รวมทั้งการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่าดินทราย รากจึงสามารถชอนไชแพร่กระจายไปได้ดี และสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่า (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

2. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของดิน หมายถึง มวลของวัตถุต่อหน่วยปริมาตรของดิน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น หน่วยเป็น kg/m^3

m คือ มวลของวัตถุ หน่วยเป็น kg

V คือ ปริมาตรของวัตถุ หน่วยเป็น m^3

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของดินได้แก่ ปริมาตรช่องว่างในดิน ขนาดและสัดส่วนของช่องว่างในดิน และประเภทเนื้อดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

ปริมาณช่องว่างในดิน ดินที่มีปริมาณช่องว่างมากจะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินต่ำ ดินนี้อาจมีการถ่ายเทอากาศดี ร่วนซุยง่ายต่อการชอนไชและแพร่กระจายของราก ส่วนดินที่มีปริมาณช่องว่างน้อย จะมีค่าความหนาแน่นรวมสูงถึง 2.0 g/cm^3 ดินนี้จะแน่นทึบมาก รากไม่สามารถชอนไชเข้าไปได้ ดินโดยทั่วไปจะมีช่องว่างทั้งหมด 50 % โดยปริมาตรของดิน หรือมีค่าความหนาแน่นรวมของดินประมาณ 1.3 g/cm^3 ซึ่งจัดว่าเหมาะสมต่อการเพาะปลูก

ขนาดและสัดส่วนของช่องว่างในดิน ดินที่มีช่องว่างในดินขนาดใหญ่จำนวนไม่มากนักสามารถบอกได้ถึงการดูแลดินที่ผิดวิธี และแสดงให้เห็นว่าดินมีความอัดแน่น ส่งผลต่อการถ่ายเทอากาศในดิน ทำให้ขาดแก๊สออกซิเจนที่เป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชและการชอนไชของราก ค่าความหนาแน่นในดินจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณช่องว่างในดิน หากปริมาณช่องว่างในดินมีขนาดใหญ่กว่า 10 % โดยปริมาตรดิน จะไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช

ประเภทเนื้อดิน เนื้อดินจะมีความสัมพันธ์กับขนาดและสัดส่วนของช่องว่างภายในดิน ตัวอย่างเช่น ดินเนื้อละเอียด จะมีช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมาก และมีน้ำเต็มทุกช่อง ทำให้การถ่ายเทอากาศเป็นไปได้ยากหรือการถ่ายเทอากาศไม่ดี แม้ว่าความหนาแน่นรวมของดินนั้นจะค่อนข้างต่ำ ส่วนดินเนื้อหยาบจะมีช่องว่างที่ขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อย ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินค่อนข้างสูง ส่วนดินเหนียวจะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินประมาณ $1.0\text{-}1.3 \text{ g/cm}^3$ ดินที่มีเนื้อดินประเภทดินร่วนเหนียวและร่วน จะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินประมาณ $1.0\text{-}1.4 \text{ g/cm}^3$ ส่วนดินประเภทดินร่วนปนทรายและดินทราย จะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินประมาณ $1.2\text{-}1.6 \text{ g/cm}^3$ จะเห็นได้ว่าเนื้อดินที่แตกต่างกันจะมีความหนาแน่นที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความสามารถในการถ่ายเทอากาศ การอุ้มน้ำ และความร่วนซุยแตกต่างกัน

3. ปริมาณการดูดซับน้ำ

ปริมาณการดูดซับน้ำ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำในดินและน้ำหนักรวมของดิน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = \frac{w_w}{w_b} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ P คือ ปริมาณการดูดซับน้ำของดิน	หน่วยเป็น ร้อยละ
w_w คือ น้ำหนักของน้ำในดิน	หน่วยเป็น kg
w_b คือ น้ำหนักรวมของดิน	หน่วยเป็น kg

การดึงน้ำไว้ในดิน เนื่องจากดินสามารถกักเก็บน้ำได้ เพราะมีแรงดูดยึดกระทำต่อน้ำ แรงดูดยึดที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำในดิน คือ แรงดูดซับน้ำ (adsorptive) เป็นอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยแรงดึงดูดของโลก อนุภาคดินที่ดูดซับน้ำต้องมีสมบัติชอบน้ำ ตามปกติอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุจะมีผิวที่เปียกน้ำได้ ดังนั้นมวลดินจำนวนหนึ่งจะดูดซับน้ำได้มากหรือน้อยจึงขึ้นกับพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งหมายถึงเนื้อที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคต่อหน่วยมวลของดิน ซึ่งดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากจึงสามารถดูดซับน้ำไว้บนผิวได้มาก และการที่โมเลกุลของน้ำสามารถดูดซับกับอนุภาคดินได้นั้น เป็นเพราะคุณสมบัติของโมเลกุลน้ำร่วมกับสมบัติของผิวอนุภาค สมบัติของมะลิกุลน้ำที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

1) สมบัติไดโพลาร์หรือสองขั้ว (Dipolar property) คือ ไม่ว่าโมเลกุลของน้ำจะเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่ลักษณะการเกาะตัวของอะตอมไฮโดรเจน 2 ตัว บนอะตอมของออกซิเจน 1 ตัว ทำให้เกิดมุม HOH ประมาณ 105° แสดงว่า ไฮโดรเจนไม่ได้อยู่ตรงข้ามกันอย่างสมดุล ลักษณะการไม่สมดุลของพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) ทำให้อีกฝั่งหนึ่งของโมเลกุลน้ำที่มีไฮโดรเจน 2 อะตอมมีประจุเป็นบวก และอีกฝั่งหนึ่งของโมเลกุลน้ำที่เป็นอะตอมของออกซิเจน ซึ่งมีประจุเป็นลบ ทำให้โมเลกุลของน้ำมีสองขั้วหรือมีสมบัติไดโพลาร์ โมเลกุลเหล่านี้เมื่อมาเกาะตัวกันเป็นมวลน้ำ ส่งผลทางไฟฟ้า และสามารถรบกวนการเรียงตัวของโมเลกุลข้างเคียงให้หันขั้วบวกมาเกาะติดขั้วลบ คือ หันด้านไฮโดรเจนของโมเลกุลหนึ่งมาเกาะติดด้านออกซิเจนของอีกโมเลกุลหนึ่งได้

2) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) พันธะไฮโดรเจนจะเกิดขึ้นได้ถ้าอะตอมของไฮโดรเจน ปรากฏตัวอยู่ระหว่างไอออนที่เป็นลบ 2 ตัว ซึ่งไฮโดรเจนจะมีสมบัติคล้ายกาวเชื่อมระหว่างไอออนลบ เนื่องจากประจุลบของไอออนจะดึงดูดโปรตรอนของอะตอมไฮโดรเจน พันธะไฮโดรเจนจะมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับพันธะเคมี (Chemical bond) หรือพันธะโควาเลนต์

สมบัติไดโพลาร์ของโมเลกุลน้ำจะจัดเรียงกลุ่มของโมเลกุลน้ำ ทำให้ด้านที่เป็นไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำสามารถยึดกับด้านที่เป็นออกซิเจนของอีกโมเลกุลหนึ่งได้ ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลทั้งสอง และยังทำให้โมเลกุลของน้ำยึดเกาะกันเอง หรือมีความเชื่อมกันด้วยแรงที่สูง การเกาะยึดกันเองของโมเลกุลน้ำทำให้เกิด แรงตึงผิว (Surface tension) คือโมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงผิวจะได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลน้ำในอากาศน้อยกว่าแรงดึงดูดจากโมเลกุลน้ำภายในมวลน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลน้ำในอากาศ นั่นคือ ไอน้ำ จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าโมเลกุลในมวลน้ำมาก ส่งผลให้โมเลกุลที่ผิวสามารถยึดให้มวลน้ำมีพื้นที่น้อยที่สุด ซึ่งจะมีความสำคัญต่อการดูดซับน้ำไว้ในช่องเล็กๆ ของดิน

สมบัติของผิวอนุภาคซึ่งเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ดูดซับน้ำมีดังนี้

1) ความมีประจุของผิวอนุภาคดิน ซึ่งอนุภาคดินในกลุ่มขนาดดินเหนียวจะมีสมบัติไม่เป็นกลางแต่มีประจุที่ผิว ไม่ว่าผิวของอนุภาคของดิน จะมีประจุเป็นบวกหรือเป็นลบ จะสามารถดูดซับน้ำได้โดยการแผ่สนามไฟฟ้าครอบคลุมการเรียงตัวของโมเลกุลน้ำซึ่งมีสมบัติไดโพลาร์ให้หันด้านที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามมาเกาะติดกันได้

2) มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ อนุภาคดินเกือบทั้งหมดเป็นสารประกอบประเภทออกไซด์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น ซิลิเกต (Silicates) และอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicates) เป็นต้น ดังนั้น ไม่ว่าผิวของอนุภาคจะมีประจุไฟฟ้าหรือไม่ ผิวชั้นนอกสุดของอนุภาคจะมีอะตอมของออกซิเจนอยู่เป็นจำนวนมาก (Exposed oxygen atoms) ซึ่งออกซิเจนมีประจุล้ายไอออนลบ ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้ ดังนั้นอนุภาคดินจึงมีลักษณะผิวเปียกน้ำได้ (Wettable surface) โมเลกุลน้ำชอบที่จะดูดซับติดผิวอนุภาคดิน ถ้านำดินที่แห้งสนิทจากเตาอบมาวางทิ้งไว้ในอากาศชื้น อนุภาคดินจะดูดซับน้ำไว้โดยรอบเป็นฟิล์มน้ำ ความหนาของฟิล์มน้ำขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวจำเพาะของดิน และความชื้นของบรรยากาศ การเกาะยึดของโมเลกุลน้ำชั้นแรกกับผิวอนุภาคเรียกว่า การยึดติด (Adhesion) และโมเลกุลน้ำในชั้นต่อไป จะเกาะตัวกันด้วยแรงเชื่อมแน่น (Cohesion) ระหว่างกันและกัน ซึ่งทั้งสองกระบวนการมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมากกับสมบัติไดโพลาร์ และพันธะไฮโดรเจน ฟิล์มของน้ำที่เกาะตัวบนผิวอนุภาคจะถูกดูดยึดไว้ด้วยความตึง (Tension) ที่สูงมาก คืออยู่ในช่วง 31 ถึง 10,000 bars ปรากฏฟิล์มดังกล่าวอยู่ในดินเมื่อดินมีระดับความชื้นเท่ากับหรือใกล้เคียงกับดินที่เพิ่งจนแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4. ความชื้นของดิน

ความชื้นของดิน หมายถึง ความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดินจะแทรกซึมลงในช่องว่างระหว่างดิน หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดิน (Hygroscopic water) ถ้าภายในช่องว่างของดิน มีน้ำอยู่เพียงอย่างเดียว จะเรียกว่า ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil)

คือ ดินที่มีปริมาณน้ำอยู่ในช่องว่างของดินโดยไม่มีก๊าซอาศัยอยู่เลย ดินจะอยู่ในสภาวะน้ำแข็ง ทำให้ค่าความชื้นของดินเท่ากับ 100 % เช่น ดินนา แต่ถ้าภายในช่องว่างของดินนั้นมีทั้งน้ำและก๊าซอยู่ จะเรียกว่า ดินที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated soil) สภาพดินเช่นนี้พบบ่อยมากในดินที่ใช้สำหรับการเกษตร ทั่วไป

ความชื้นสมดุล คือ ปริมาณความชื้นของดินที่คงที่หลังจากอยู่ในสภาวะแวดล้อมนั้นเป็นเวลานาน เนื่องจากความดันไอภายในดินสมดุลกับความดัน ไอของสิ่งแวดล้อม ในการหาความชื้นสมดุลของดินโดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่ วิธีสถิต และวิธีจลน์

(1) วิธีสถิต (Static method) ใช้หลักการทำให้ความชื้นของดินเข้าสู่สมดุลกับอากาศรอบๆ ที่อยู่นิ่ง ซึ่งทำได้จาก 2 แบบ แบบแรกคือ การหาความชื้นสมดุลของดินที่อยู่ในภาชนะปิด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิให้คงที่ และแบบที่สองคือ การหาความชื้นสัมพัทธ์ของดินที่อยู่ในสมดุลกับสิ่งที่ทราบค่าความชื้นมาตรฐานภายในภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ สามารถวัดความชื้นได้โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ เมื่อวัดความชื้นสัมพัทธ์คงที่ แสดงว่าเข้าสู่สมดุล

(2) วิธีจลน์ (Dynamic method) ปรับปรุงมาจากแบบสถิต โดยจะให้อากาศรอบๆ ดินมีการเคลื่อนที่ ทำให้วิธีนี้ดินเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าแบบสถิต ใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน หรือน้อยกว่า โดยการเป่าอากาศหรืออัดอากาศด้วยความเร็วคงที่ ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมสแตด และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ด้วยอุปกรณ์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ

ระดับความชื้นของดิน (Soil water content) สามารถแสดงได้ 4 วิธี คือ ระดับความชื้นโดยมวล ระดับความชื้นโดยปริมาตร ระดับความชื้นเป็นความสูงของน้ำ และระดับความอิ่มตัวของน้ำ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช, 2555)

ระดับความชื้นโดยมวล (Mass water content) คือ สัดส่วนระหว่างมวลของน้ำ กับมวลของดินแห้งที่บรรจุอยู่ในดินที่แห้งสนิท หมายถึง ดินที่ผ่านการอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105-110 °C จนมีมวลที่คงที่ ดังสมการนี้

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่	w	คือ ระดับความชื้นโดยมวล	หน่วยเป็น ร้อยละ
	m_w	คือ มวลของน้ำในดิน	หน่วยเป็น kg
	m_s	คือ มวลของดินที่แห้งสนิท	หน่วยเป็น kg

ระดับความชื้นโดยปริมาตร (Volume water content) คือสัดส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำในดิน กับปริมาตรรวมของดิน ปริมาตรรวม หมายถึง ผลรวมของปริมาตรของของแข็งและปริมาตรช่องว่างภายในดิน ดังสมการนี้

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_b} \quad (5)$$

โดยที่ θ_v คือ ระดับความชื้นโดยปริมาตร หน่วยเป็น m^3/m^3

V_w คือ ปริมาตรของน้ำในดิน หน่วยเป็น m^3

V_b คือ ปริมาตรรวม หน่วยเป็น m^3

ระดับความชื้นเป็นความสูงของน้ำ (Height water content) คือ การแสดงปริมาตรของน้ำในดินต่อหน่วยพื้นที่ของดิน สมมติว่า พิจารณาหน้าตัดของดินที่มีพื้นที่เท่ากับ A มีความลึกเท่ากับ z และหน้าตัดดินมีระดับความชื้นเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ θ_v สามารถหาปริมาตรน้ำในดิน (V_w) จาก

$$V_w = \theta_v A z \quad (6)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ หน่วยเป็น m^2

z คือ ความลึก หน่วยเป็น m

ระดับความอิ่มตัวของน้ำ (Degree of saturation) คือ ระดับความอิ่มตัวของน้ำ (S_r) หมายถึง สัดส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำ กับปริมาตรของช่องว่างภายในดิน ดังสมการต่อไปนี้

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} \quad (7)$$

โดยที่ S_r คือระดับความอิ่มตัวของน้ำ หน่วยเป็น m^3/m^3

ถ้า E คือความพรุนรวมของดิน หมายถึง สัดส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างภายในดิน กับปริมาตรของดิน ดังนั้นจะได้ว่า

$$S_r = \frac{\theta_w}{E} \quad (8)$$

โดยที่ E คือ ความเป็นรูพรุน หน่วยเป็น ร้อยละ

สำหรับวิธีวัดระดับความชื้นของดิน แบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ การวัดระดับความชื้นโดยตรง การใช้เทนซิโอมิเตอร์ การใช้แท่งวัดความชื้น และเครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน

(1) การวัดระดับความชื้นโดยตรง ขั้นตอนแรกเตรียมภาชนะใส่ตัวอย่างดินที่สามารถปิดได้สนิท เช่น ครอบป้องกันความชื้น (Moisture can) หรือแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ขนาดพอเหมาะ ชั่งน้ำหนักของของภาชนะใส่ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างดินที่จะตรวจวัดความชื้นตรงจุดที่ต้องการมาใส่ภาชนะ ปิดฝาให้สนิท ชั่งน้ำหนักของดินขึ้นร่วมกับภาชนะ เปิดฝาภาชนะแล้วอบดินในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักดินแห้งรวมภาชนะ จากนั้นคำนวณความชื้นจากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำ ซึ่งหาได้จากผลต่างของน้ำหนักของดินขึ้นร่วมกับภาชนะ และน้ำหนักดินแห้งรวมภาชนะ และน้ำหนักดินแห้ง ซึ่งหาได้จากผลต่างของน้ำหนักของของภาชนะใส่ตัวอย่าง และน้ำหนักของดินขึ้นร่วมกับภาชนะ ดังจากสมการ (4)

(2) การใช้เทนซิโอมิเตอร์ มีหลักการและส่วนประกอบของอุปกรณ์ดังนี้ ได้แก่ เทนซิโอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดึงของน้ำ (Tention) การวัดความดึงของน้ำอาจเปลี่ยนเป็นระดับความชื้นโดยใช้กราฟเทียบมาตรฐาน (Calibration curve) หรือกราฟลักษณะความชื้นดิน (Soil moistion calibration curve) เทนซิโอมิเตอร์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือกระเปาะพรุณ (Porous bulb) เครื่องชี้ความดึงน้ำ (Tension indicator) และท่อเชื่อมน้ำต่อระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง

(3) การใช้แท่งวัดความชื้น จะมีหลักการและส่วนประกอบของเครื่องมือ คือ น้ำในดินเป็นสารละลายสามารถนำไฟฟ้าได้ การนำไฟฟ้าของดินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย และระดับความชื้นของดิน กล่าวได้ว่า ถ้าวัดการนำไฟฟ้าได้ค่าสูง แสดงว่าดินนั้นมีระดับความชื้นสูง อุปกรณ์วัดความชื้นประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ แท่งวัสดุพรุณ ซึ่งทำด้วยยิปซัม เรียกว่า ยิปซัมบล็อก (Gypsum block) หรือบางชนิดทำด้วยไฟเบอร์กลาส ภายในฝังแท่งโลหะนำไฟฟ้าไว้ 2 แท่งขนานกันและมีระยะห่างกันที่แน่นอน และมีขั้วสายไฟ มาตรฐานวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) และสายไฟเชื่อมระหว่างแท่งโลหะนำไฟฟ้าทั้งสองขั้วกับอุปกรณ์วัดการนำไฟฟ้า วิธีการใช้ ฝังแท่งวัดความชื้นที่แห่งตรงจุดที่ต้องการวัดความชื้น ต่อสายไฟฟ้าไว้ยึดเหนี่ยวผิวดิน ปล่อยให้ความชื้นจากดินไหลเข้าสู่แท่งวัสดุจนสมดุล ส่วนวิธีการอ่านค่าและหาระดับความชื้น นำอุปกรณ์วัดการนำไฟฟ้ามาเชื่อมแล้วอ่านค่า และนำค่าที่อ่านได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อแปลงเป็นระดับความชื้นของดิน แท่งวัดความชื้นมีความเหมาะสมในการใช้กับดินที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ แต่ไม่ต่ำจนเกินไป เนื่องจากถ้าความชื้นต่ำเกินไป ความชื้นจะไม่พอที่จะทำให้เกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าภายในแท่งวัสดุพรุณ แต่ถ้าหากความชื้นสูงเกินไป ค่าการนำไฟฟ้าจะคงที่จึงไม่สามารถแสดงค่าความแตกต่างแม้ระดับความชื้นในดินจะแปรผันไป

(4) เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน มีหลักการและองค์ประกอบของเครื่องมือ คือมวลของอนุภาคนิวตรอนและมวลของไฮโดรเจนจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน หากนิวตรอนความเร็วสูงวิ่งชนอะตอมของไฮโดรเจน จะเกิดการถ่ายโอนโมเมนตัมจากนิวตรอนไปยังไฮโดรเจน ทำให้อนุภาค

นิวตรอนมีความเร็วลดลง จนกลายเป็นนิวตรอนที่มีความเร็วต่ำ เนื่องจากอะตอมไฮโดรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นหากมีการปล่อยรังสีนิวตรอนความเร็วสูงเข้าไปในดิน แล้วตรวจจับนิวตรอนความเร็วต่ำที่เกิดขึ้น จะพบว่าปริมาณของนิวตรอนความเร็วต่ำแปรผันตรงกับระดับความชื้น ส่วนประกอบของเครื่อง มี 3 ส่วน ได้แก่ หัวส่งและตรวจจับนิวตรอน (Neutron probe) เครื่องนับสัญญาณ (Scaler) ท่ออะลูมิเนียม วิธีใช้ ทำการท่ออะลูมิเนียมตรงจุดที่ต้องการวัดระดับความชื้น หย่อนหัวส่งและตรวจจับนิวตรอนไปตามท่อถึงระดับที่ต้องการ เมื่อเสร็จการวัดที่ระดับหนึ่งแล้ว สามารถปรับไปวัดที่ระดับอื่นได้อีก วิธีอ่านค่าและหาระดับความชื้น อนุภาคนิวตรอนความเร็วสูงที่ส่งออกไปจะผ่านผนังท่อไปสู่ดิน และชนกับอะตอมของไฮโดรเจนในน้ำ กลายเป็นนิวตรอนความเร็วต่ำ ซึ่งกระดอนผ่านผนังท่อกลับเข้า เครื่องตรวจจับนิวตรอนความเร็วต่ำก็จะส่งสัญญาณมายังเครื่องนับ แสดงผลจำนวนนับต่อนาที ต่อจากนั้นก็แปลงค่าต่อไป โดยนำจำนวนนับต่อนาทีของนิวตรอนความเร็วต่ำที่วัดได้ในถังมาหาร ผลหารเรียกว่าสัดส่วนการนับ (Count ration) จากนั้นนำค่าสัดส่วนการนับไปเทียบกับกราฟเทียบมาตรฐาน จะสามารถทราบระดับความชื้นได้

5. สภาพการนำความร้อนของดิน

คุณสมบัติภายในของก้อนดินตัวอย่างจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการนำความร้อน ซึ่งสภาพการนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุ 2 ชิ้นที่สัมผัสกันหรือระหว่าง 2 ส่วนในวัตถุชิ้นเดียวกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางปราศจากการเคลื่อนที่ ซึ่งกฎของฟูเรียร์กล่าวไว้ว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเกรเดียนของอุณหภูมิ สำหรับปัญหาการนำความร้อนในหนึ่งมิติ (ฐานิศจ์ เมธิยานนท์, 2550)

ประสิทธิภาพของสภาพการนำความร้อนจะดีหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่าการนำความร้อน ซึ่งสามารถบอกได้โดยวัดค่าอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน สภาพการนำความร้อนจะแปรผันตามอุณหภูมิซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุ บางชนิดแปรผันตามอุณหภูมิมาก แต่บางชนิดแปรผันตามอุณหภูมิน้อย จนบางครั้งสามารถตัดผลกระทบของอุณหภูมิออกไปได้

การวัดสภาพการนำความร้อนโดยอาศัยหลักการทางทฤษฎีแบ่งเป็น 2 แบบ (สมจิตร์, 2558) คือ การวัดสภาพการนำความร้อนแบบไม่คงตัวและคงตัว

(1) การวัดสภาพการนำความร้อนแบบสภาวะไม่คงตัว เป็นการวัดในขณะที่มีการให้ความร้อนเข้าไป เป็นการวัดแบบเป็นฟังก์ชันกับเวลา ซึ่งการวัดแบบนี้มีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำให้ใช้เวลาในการวัดที่รวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดอยู่บ้าง

คือการคำนวณจะยุ่งยาก ใช้สมการที่ซับซ้อน ตัวอย่างวิธีการวัดแบบสภาวะไม่คงที่ เช่น วิธีการใช้ขดลวดความร้อน (Hot wire probe) เป็นการวัดแบบใช้แหล่งความร้อนที่เป็นเส้นลวดที่ขียวมาก ๆ เป็นตัวให้ความร้อน โดยลวดนั้นต้องไม่มีการหดหรือขยายตัวที่อุณหภูมิใดๆขณะใช้งาน โดยทั่วไปจะนิยมใช้ลวดทองแดง การวัดการนำความร้อนวิธีนี้สามารถประยุกต์ได้หลากหลาย สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการวัดน้อย ไม่จำกัดขนาดชิ้นงานในการวัดและสามารถวัดตั้งแต่ประมาณ -120 ถึง 1500°C และวิธีการวัดแบบเลเซอร์ (Laser flash method) วิธีนี้จะวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของชิ้นงานแผ่นบาง เมื่อมีการให้พลังงานเลเซอร์เข้าไปแบบพัลส์ (Pulse) การวัดแบบนี้มีความรวดเร็ว เหมาะกับวัสดุหลายชนิด ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากช่วงอุณหภูมิของการวัดที่กว้าง ตั้งแต่ประมาณ -120 ถึง 2800°C วิธีการวัดแบบเลเซอร์นี้ นอกจากจะวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุแล้ว ยังสามารถวัดค่าการแพร่ความร้อนได้อีกด้วย

(2) การวัดสภาพการนำความร้อนแบบสภาวะคงตัว วิธีนี้จะวัดอุณหภูมิที่จุดหนึ่งในวัตถุ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สภาวะนี้จะเกิดขึ้นได้ถ้าวัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อนมาเป็นเวลานานจนกระทั่งอุณหภูมิภายในไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะให้ความร้อนแก่วัตถุนานเท่าใด ซึ่งในการวัดสภาพการนำความร้อนแบบนี้มี 2 วิธีหลัก คือ

(2.1) วิธีแบบการไหลของความร้อน (Heat Flow Meter: HFM) เป็นวิธีการวัดแบบการเปรียบเทียบโดยการวัดการไหลของความร้อน เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ชิ้นงานทดสอบแค่ชิ้นเดียว แต่วิธีวัดนี้ต้องมีการออกแบบเครื่องมือที่ดี เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียว ประกอบไปด้วยแผ่น 2 อัน ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน คือ แผ่นความร้อนและแผ่นความเย็น ตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกใส่ระหว่างแผ่น โดยความร้อนจะมีการถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ (แผ่นความร้อนไปยังแผ่นความเย็น) และในตัวเครื่องจะใช้เซนเซอร์ในการวัดการไหลของความร้อน ดังนั้นเมื่อเครื่องเข้าสู่สภาวะคงที่ จะมีความลาดชันของอุณหภูมิเป็นศูนย์ เครื่องคำนวณเป็นสภาพการนำความร้อน วิธีการวัดการถ่ายเทความร้อนนี้ จะเป็นการวัดตามมาตรฐาน ASTM C 518, ISO 8301, JIS A 1412, DIN 52612, DIN EN13163

(2.2) วิธีแบบแผ่นความร้อน (Guard Hot Plate: GHP) เป็นวิธีการวัดแบบสมบูรณ์ โดยใช้ในการวัดฟลักซ์ความร้อนโดยตรง ไม่ต้องมีการเปรียบเทียบ มีความแม่นยำสูง มีช่วงของอุณหภูมิการวัดคงที่กว้างตั้งแต่ -160 ถึง 650°C แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือการใช้เวลาในการวัดนาน โดยในการวัดต้องใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 2 ชิ้น เพื่อยืนยันว่ามีการถ่ายเทความร้อนอย่างสมมาตร วิธีแบบนี้เป็นการวัดตามมาตรฐาน ISO 8302 และ ASTM C 177 การหาสภาพการนำความร้อนด้วยวิธีแบบแผ่นความร้อน จะมีการไหลของความร้อนผ่านวัสดุตัวอย่างที่รู้ขนาดแน่นอนจะสามารถหาสภาพการนำความร้อนของดินนั้น ได้จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวของดิน ซึ่งปริมาณความร้อนที่

ไหลผ่านดินในช่วงเวลาหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างพื้นผิว และยังขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นวัสดุ รวมทั้งความหนาของวัสดุนั้นด้วย ค่าคงที่ความสัมพันธ์เหล่านี้เราจะเรียกว่า สภาพการนำความร้อน ซึ่งเป็นการยากที่จะหาสภาพการนำความร้อน จากการวัดค่าปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่ง ความแตกต่างอุณหภูมิ ขนาดความยาว และความหนาของดิน เพราะสำหรับเรื่องความร้อน ไม่มีฉนวนใดที่สามารถกั้นการไหลของความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าความแตกต่างอุณหภูมิที่ถูกต้องได้

สมบัติทางความร้อนของดิน มีผลจากสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ความชื้น ความหนาแน่น แร่ธาตุ ขนาดอนุภาค และระดับความอึดตัว กระบวนการถ่ายเทความร้อนในดินจะเกิดพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางธรณีวิทยา เช่น สภาพการนำความร้อนในดินทำให้เกิดการความชื้นเปลี่ยนแปลง การเพิ่มอุณหภูมิ และการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ในทางตรงกันข้ามการความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากการแบ่งระดับความร้อนส่งผลต่อการดูดความชื้นของดินสถานะที่ไม่อึดตัว และจะเปลี่ยนพฤติกรรมทางกลของดินด้วย สมบัติทางความร้อนของส่วนประกอบทั่วไปในดิน (Zhang and Wang, 2017) แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปสมบัติทางความร้อนของส่วนประกอบทั่วไปในดิน

ที่มา : Zhang and Wang (2017)

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความจุความร้อน (kJ/ kg K)	การนำความร้อน (W/m °C)	การแพร่ความร้อน (m ² /s)×10 ⁻⁷
อากาศ (10°C)	1.25	1.00	0.026	0.21
น้ำ (25°C)	999.87	4.20	0.59	1.43
ไอน้ำ (1 atm, 400 K)	-	1.9	0.016	233.8
น้ำแข็ง (0°C)	917	2.04	2.25	12
ควอตซ์	2660	0.73	8.4	43.08
แกรนิต	2750	0.89	1.70-4.00	~12
ยิปซัม	1000	1.09	0.51	4.7
หินปูน	2300	0.90	1.26-1.33	~5
หินอ่อน	2600	0.81	2.80	13
แร่ไมกา	2883	0.88	0.75	2.956
ดินเหนียว	1450	0.88	1.28	10
หินทราย	~2270	0.71	1.60-2.10	10-13

ดังนั้นการทำความเข้าใจความต้องการของการนำความร้อนของดิน ขึ้นอยู่กับสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น ความชื้น ความหนาแน่นของแห้ง องค์ประกอบแร่ธาตุ เป็นต้น และเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกแบบ โครงสร้างทางธรณีวิทยาพลังงาน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการนำความร้อน ได้แก่ ปัจจัยเชิงองค์ประกอบ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยอื่นๆ

ปัจจัยเชิงองค์ประกอบที่มีผลการนำความร้อนในดิน ได้แก่ แร่ธาตุ ขนาดอนุภาค รูปร่าง และการแบ่งชั้นของดิน ดินส่วนใหญ่ประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือของแข็ง ของเหลว และก๊าซ และอาจจะมีในรูปแบบของน้ำแข็งในบางพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็น ดินแต่ละรูปแบบอาจมีแร่ธาตุในดินที่แตกต่างกัน และล้อมรอบไปด้วยของเหลวที่มีรูพรุน เช่น น้ำและอากาศ เป็นต้น ขนาดและรูปร่างอนุภาคของดิน จะมีผลต่อการจัดเรียงอนุภาคมูลฐานและอนุภาคที่เป็นของแข็ง จึงเป็นตัวกำหนดโครงสร้างดิน หรือการรวมตัวของอนุภาคดิน นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลบางอย่างที่มีต่อการนำความร้อนในดิน เช่น เมื่อดินที่ละเอียดขึ้นในดินมักจะรวมกันเป็นก้อนดินขนาดใหญ่ที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน ถ้าการวางแนวของก้อนดินขนาดใหญ่ที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคดินหลักจะขนานไปกับทิศทางของการไหลของความร้อนหรืออุณหภูมิที่กำหนดไว้ การนำความร้อนของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนในดินส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในรูปแบบของของแข็ง อีกองค์ประกอบหนึ่งของการนำความร้อนในดิน คือ การสัมผัสทางกายภาพระหว่างอนุภาคของดิน ควรสังเกตว่าการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินอยู่ในสภาพแห้ง เนื่องจากการนำความร้อนของอากาศต่ำมาก เมื่อเทียบกับอนุภาคของแข็งในดิน จำนวนจุดสัมผัสเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลในสถานการณ์นี้ นอกจากนี้ถ้าเมล็ดธัญพืชถูกยึดด้วยดินโคลนหรือสารยึดเหนี่ยวอื่นๆ การนำความร้อนของดินมีการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต่างๆของดินอาจเกิดได้ตามธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น วัฏจักรแห้งและเปียก ทำให้เกิดการหดและขยายตัว จากนั้นโครงสร้างของดินจะเปลี่ยนไปโดยพื้นฐาน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของดิน กระบวนการการแข็งตัวและการละลาย ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและ โครงสร้างของดินที่ไม่พึงประสงค์และส่งผลต่อการนำความร้อนของดินด้วย

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม มีอิทธิพลต่อสภาพการนำความร้อนในดิน ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่น และอุณหภูมิ สภาพการนำความร้อนของดินในสภาพความชื้นหรือความอึดตัวสูงกว่าสภาพแห้งหรือเกือบแห้ง ดังนั้นผลกระทบของปริมาณน้ำต่อสภาพการนำความร้อนของดินมีความสำคัญ ตรงกันข้ามผลกระทบของความหนาแน่นที่มีต่อสภาพการนำความร้อนของดินมีขนาด

ค่อนข้างน้อย ความหนาแน่นสูงจะเพิ่มจุดสัมผัสทางกายภาพของอนุภาคในดิน แต่สภาพการนำความร้อนในดินไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของน้ำอาจเกิดขึ้นในดินตามธรรมชาติ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากการระบายน้ำ นอกจากนี้สภาพการนำความร้อนแล้ว การเคลื่อนที่ของน้ำยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพการนำความร้อนในดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณหรือสถานะของน้ำ อุณหภูมิในดินอาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของน้ำได้โดยตรง โดยค่าความสามารถในการดูดและความดันออสโมซิส ที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ (เช่น ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส) น้ำอาจแช่แข็งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเมทริกซ์ของดินและสภาพการนำความร้อนจะเปลี่ยนไปตามนั้น ที่อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงน้ำอาจกลายเป็นไอน้ำในดินส่งผลให้เกิดสภาพการนำความร้อนในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของน้ำหรือโมเลกุลของไอน้ำเพิ่มขึ้น

ปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อสภาพการนำความร้อนของดิน ประกอบด้วยคุณสมบัติของดิน องค์ประกอบในดิน ไอออน แกล็ด และวัตถุเจือปน พื้นผิวของอนุภาคที่เป็นของแข็ง คือ ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี-ฟิสิกส์ เช่น การดูดซับน้ำและโมเลกุลอื่น ๆ การยึดเกาะของสารยึดเกาะของสารยึดเกาะ การแลกเปลี่ยนไอออน และการเร่งปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นได้ พื้นผิวเฉพาะของอนุภาคดินส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับสัดส่วน ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวมักมีพื้นที่ผิวที่ใหญ่กว่าดินทราย นอกจากนี้พื้นที่ผิวดินที่มีมากขึ้น จะดูดซับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำลดลงและสภาพการนำความร้อนของดินลดลง แกล็ดและเกลือมีอิทธิพลมากในดินเนื้อละเอียด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่ค่อนข้างสูง ผลกระทบต่อการนำความร้อนของดิน มักเกิดขึ้นเฉพาะบางกรณี ซึ่งดินที่ผ่านการบำบัดด้วยปูนซีเมนต์ ปูนขาว หรือสารยึดเหนี่ยวอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ตัวอย่างเช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือยางมะตอยจะถูกเพิ่มลงในวัสดุเม็ดละเอียดหยาบทำให้เป็นคอนกรีตหรือคอนกรีตบิพูนินัสในถนนทางเท้า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนและความชื้นมีดังนี้

Côté and Konrad (2005) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อนมาตรฐานกับระดับความอิ่มตัวใหม่ ที่มีค่า k ในการอธิบาย โดย k คือ ตัวแปรที่สัมพันธ์กับผลกระทบของชนิดดินต่อความสัมพันธ์ของสภาพการนำความร้อนมาตรฐาน กับระดับความอิ่มตัว และค่าที่แนะนำ สำหรับกรวดและทรายหยาบ คือ 4.5 สำหรับค่ากลางและทรายละเอียด คือ 3.55 และสำหรับดินตะกอนและดินเหนียว คือ 1.69 และยังได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนและ

สภาพการนำความร้อนของดินแห้ง โดย α และ η เป็นค่าสัมประสิทธิ์การคำนวณชนิดดินและรูปร่างของเม็ดดินที่มีต่อสภาพการนำความร้อนของดินแห้ง

Lu, Ren (2007) ได้ใช้กระบวนการ TDR เพื่อวัดสภาพการนำความร้อนของดิน 12 ชนิดในห้องปฏิบัติการ ได้ว่าความสัมพันธ์ของสภาพการนำความร้อนมาตรฐานกับระดับความอิ่มตัว มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากชนิดดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่ละเอียด นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างสภาพการนำความร้อนของดินแห้งและความพรุน และนำเสนอสมการทำนายสภาพการนำความร้อน โดย a และ b เป็นสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนของดินแห้ง ค่าที่แนะนำ คือ 0.56 และ 0.51 ส่วนค่า α สำหรับผลกระทบของชนิดของดินต่อสภาพการนำความร้อนมาตรฐาน จะมีค่าเท่ากับ 0.96 และ 0.27 สำหรับดินหยาบและดินละเอียดตามลำดับ

Jannan (2016) การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติเชิงกลของฉนวนกันความร้อนมวลเบาจากวัสดุเหลือใช้ ได้แก่ ขี้เลื่อย โพลีเอทิลีน และเศษกระดาษ ซึ่งนำมาผสมยิปซัมในสัดส่วน 6%, 12% และ 24% ตามลำดับ พบว่า ขี้เลื่อย และเศษกระดาษที่ผสมกับยิปซัม มีสภาพการนำความร้อนลดลง ในขณะที่การดูดซึมน้ำมากขึ้น ดังนั้นขี้เลื่อย และเศษกระดาษจึงไม่เหมาะสำหรับที่จะนำมาเป็นฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น และความแข็งแรงทางแรงอัดที่สัดส่วน 24% เกิดการเปราะ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ สรุปว่า ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติเชิงกลของฉนวนกันความร้อนมวลเบาจากวัสดุที่เหลือใช้ พบว่า ยิปซัมที่ผสมกับโพลีเอทิลีน จะมีความเหมาะสมในการผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนเนื่องมาจากสภาพการนำความร้อนและการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำ

Zhang, Wang (2017) รวบรวมแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพการนำความร้อนของดินกับสมบัติต่างๆ ทั้งหมด 13 แบบจำลอง ในการศึกษาจะประเมินผลการทำนาย โดยคำนึงถึงข้อดี ข้อด้อย และเงื่อนไขการใช้งาน การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง มีการทำนายสภาพการนำความร้อนที่ได้จากแบบจำลอง และนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลอง การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของรากเฉลี่ยยกกำลังสอง (RMSE) สรุปได้ว่า Zhang และคณะ, Chen และ Haigh ได้ให้แนะนำเกี่ยวกับทำนายสภาพการนำความร้อนของทรายสำหรับการใช้งานใต้พื้นดิน

ยุทธศักดิ์ ศรีสมบูรณ์ (2543) ศึกษาผลของความชื้นในดินที่มีต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพเส้นใยของปอสา 9 สายพันธุ์ ที่ปลูกในสภาพความชื้นในดิน 4 ระดับ คือ 25, 50, 75 และ 100%FC ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ผลการทดลองพบว่า ความชื้นของดินมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของปอสาในสภาพแล้ง คือ ความชื้น 25%FC ผลผลิตและการเจริญเติบโตของปอสา

ลักษณะอื่นๆ จะต่ำกว่า ระดับความชื้นที่สูงกว่า ความชื้น 50%FC จะเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในการเจริญเติบโตและผลผลิตต้นสดของปอสา ความชื้นจะมีผลต่อน้ำหนักของเปลือกและแก่น ความชื้นที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนของเปลือกจะลดลง แต่น้ำหนักของแก่นจะเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตทั้งความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นของดินเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงในช่วงสัปดาห์แรกและจะลดลงในช่วงสัปดาห์ต่อไป

จันทร์สว่าง ศรีหาคา (2547) การศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นในดินและในกาบใบ ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของอ้อย 5 พันธุ์ที่ปลูกบนดินกำแพงแสน โดยใช้วิธีของ Clements (1980) ที่ใช้ดัชนีความชื้นในกาบใบที่กำหนด ซึ่งไวต่อการขาดน้ำมาก และความชื้นในกาบใบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความชื้นในดินด้วย ผลการทดลองทั้งสองแปลงโดยทั่วไปพบว่าคล้ายคลึงกัน คือ ความชื้นในดินผันแปรตามปริมาณน้ำในดินทั้งสองระดับความลึก และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความชื้นในกาบใบ ซึ่งความชื้นในกาบใบอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนหน่อต่อกอและในโตรเจนในใบ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับค่าปริมาตรของน้ำอ้อย ส่วนผลผลิตอ้อยต่อไร่ และน้ำตาลที่วัดเป็นต้นซีซีเอสต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แปลงทดลองในไร่เกษตรกรให้ผลผลิตอ้อยและน้ำตาลมากกว่าแปลงในวิทยาเขต

กฤษฐา เอียงทอง และภรณ์ญ มะลิพรม (2551) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินในพื้นที่ไร่นาในช่วงเวลาต่างๆ โดยเฉพาะช่วงก่อนและหลังการเผาไร่ ได้เลือกใช้ 2 วิธี คือวิธีการอบดิน และใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบนิวตรอน โดยแบ่งจุดเก็บตัวอย่างดินจำนวน 6 หลุม ที่ระดับความลึก 3 ระดับ คือ 20, 40 และ 60 cm ผลการทดลองพบว่า ภายหลังกการเผาไร่นา ที่ระยะความลึก 20 cm ไม่มีการสูญเสียค่าความชื้นของดินมากนัก เนื่องจากหน้าดินมีความแห้งอยู่แล้วจึงทำให้ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่ระยะความลึก 40 cm และ 60 cm พบว่า ค่าความชื้นของดินมีการสูญเสียอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้เมื่อมีฝนตกจะทำให้ค่าความชื้นในดินที่สูญเสียไปกลับเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง

โอภาส วงศ์ทางประเสริฐ (2558) ได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดิน ในจังหวัดชลบุรีกับจังหวัดฉะเชิงเทรา เพื่อศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเพื่อแนวทางในการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ พบว่า ดินในจังหวัดฉะเชิงเทราเป็นดินร่วนปนทราย และดินในจังหวัดชลบุรีเป็นดินร่วนปนเหนียว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติทางแร่ที่มีโครงสร้างของควอตซ์เป็นหลัก ส่วนสมบัติอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่นดินรวม ความหนาแน่น

อนุภาค ความพรุนรวม และความชื้น ซึ่งจะเห็นว่าดินในจังหวัดฉะเชิงเทรามีทรายเป็นองค์ประกอบมากกว่า 80 % จึงทำให้มีความหนาแน่นดินรวมสูง แต่มีความหนาแน่นอนุภาค ความพรุน และความชื้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับจังหวัด ชลบุรีสำหรับ ผลการทดลองด้านเคมี พบว่าดินในจังหวัด ชลบุรี และจังหวัด ฉะเชิงเทราไม่มีโลหะหนักในปริมาณที่เป็นอันตราย และดินในจังหวัดชลบุรีมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารมากกว่าจังหวัดฉะเชิงเทรา

พุดพิพัทธ์ ราชคำและ ธีรวัฒน์ ลินศิริ (2559) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบา ได้ทำการทดสอบกำลังอัด การดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก การหดตัวเชิงปริมาตรรวม การซึมผ่านน้ำและสภาพการนำความร้อน ในการทดสอบพบว่ากำลังอัดอยู่ในช่วง ระหว่าง $4.9-13.1 \text{ kg/cm}^2$ และ $10.4-25.9 \text{ kg/cm}^2$ ที่อายุ 28 และ 60 วัน ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำพบอยู่ในช่วง 19.9-29.1 ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้ง พบอยู่ในช่วง 4.53-24.9 ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งพบอยู่ในช่วง $1,110.4-1,385.2 \text{ kg/m}^3$ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำอยู่ในช่วง $(0.68 - 7.46) \times 10^{-8} \text{ m/s}$ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในช่วง $0.18 - 0.27 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ ที่อายุ 28 วัน ซึ่งจากผลการทดสอบยัง พบว่า อิฐดินเหนียวมวลเบาจากการวิจัย มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุก่อชนิดอื่นสามารถนำไปใช้งานได้จริง

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การออกแบบและขึ้นรูปดิน

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปดิน เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ แบ่งเป็น 2 ตอน ได้แก่ การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ การเตรียมและการขึ้นรูปดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์

(1) ตัดไม้้อัดให้มีขนาดกว้าง 40.0 cm ยาว 40.0 cm และหนา 1.0 cm จำนวน 6 แผ่น และยึดไม้้อัดที่ตัดไว้ติดกันเป็นชุด ชุดละ 2 แผ่น โดยให้ซ้อนทับกันพอดี จะได้ทั้งหมด 3 ชุด ดังภาพที่ 3 (ก)

(2) วาดแบบให้มีขนาดกว้าง 15.0 cm ยาว 15.0 cm และหนา 1.0 cm ลงบนไม้้อัด 1 ชุด จำนวน 4 ช่อง และเว้นขอบด้านละ 3 เซนติเมตรทุกด้าน จากนั้นใช้เลื่อยตัดตามแบบที่วาดไว้ ดังภาพที่ 3 (ข)

(3) ตัดไม้้อัดให้มีขนาดกว้าง 15.0 cm ยาว 15.0 cm และหนา 1.0 cm จำนวน 4 ชิ้น นำไปยึดกับไม้้อัด 1 ชุด ที่มีขนาดกว้าง 40.0 cm ยาว 40.0 cm และหนา 1.0 cm ดังภาพที่ 3 (ค)

(4) นำไม้้อัดทั้ง 3 ชุดมาวางซ้อนกันให้พอดี ใช้สว่านเจาะด้านข้างทุกด้านจำนวน 24 รู สำหรับใส่เนื้อดินเพื่อให้แรงอัดเท่ากันทุกด้าน ดังภาพที่ 3 (ง)

การเตรียมและขึ้นรูปดิน

การเตรียมและขึ้นรูปดิน จะใช้ดินร่วนปนทรายในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก ขนาดกว้าง 15.0 cm ยาว 15.0 cm และหนา 1.0 cm ซึ่งในการทดลองนี้ จะศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินแตกต่างกัน 5 ค่า ในงานวิจัยนี้พิจารณาจากปริมาณน้ำที่ผสมเข้ากับดิน เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป และทำการเพิ่มและลดปริมาณน้ำจากปริมาณที่เหมาะสม จะได้สัดส่วนน้ำในดินที่ต่างกัน 5 ค่า ทำการทดลองทั้งหมด 5 การทดลอง ซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

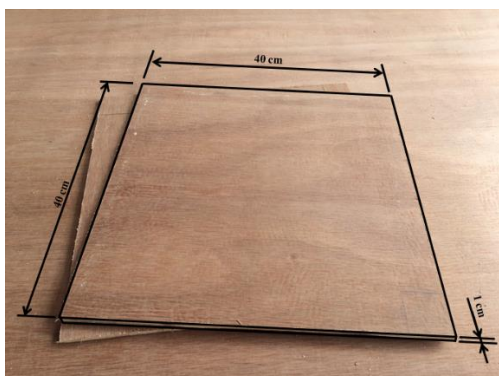
(1) นำดินทั้งหมดไปตากให้ก่อนแห้ง ด้วยการฟุ้งแดดเพื่อไล่ความชื้น เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำดินที่จับตัวกันเป็นก้อนมาทำให้ละเอียด และนำไปร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เพื่อแยกวัชพืชออกจากดิน ดังภาพที่ 4 (ก)

(2) นำดินที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงมาชั่งตามปริมาณที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป โดยพิจารณาจากขนาดของแม่พิมพ์

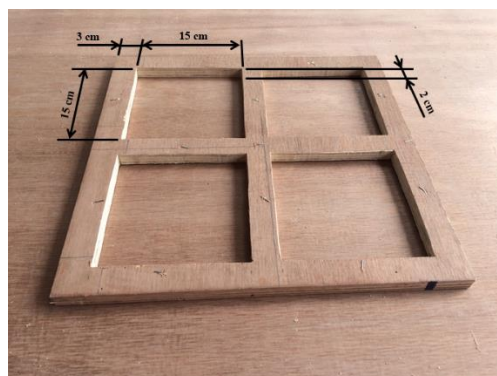
(3) ตวงน้ำใส่กระบอกลด 10.0 cm³ นี๊กลงในดินที่เตรียมไว้ให้ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นตวงน้ำให้มีปริมาณน้ำครั้งละเท่าๆกัน ลงไปเรื่อยๆ เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้ดินสามารถจับตัวขึ้นรูปได้ ดังภาพที่ 4 (ข)

(4) เมื่อได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม จากนั้นเพิ่มและลดปริมาณน้ำจากปริมาณที่เหมาะสม ให้ได้ความชื้นที่ต่างกัน 5 ค่า

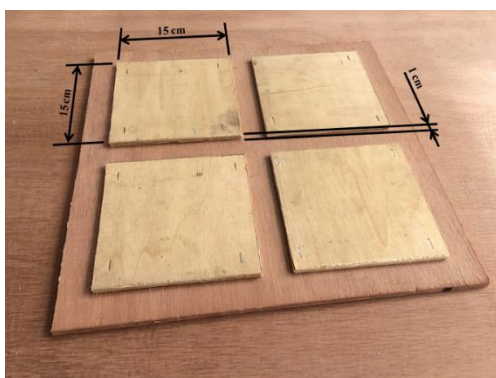
(5) เมื่อได้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมที่แตกต่างกัน 5 ค่าแล้ว ทำการขึ้นรูปขึ้นงานตามสัดส่วนน้ำและดิน สัดส่วนละ 3 ชิ้นงาน แล้วนำไปเทลงในแม่พิมพ์ อัดด้วยแผ่นไม้ที่เตรียมไว้ และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ดินจับตัวกันเป็นแผ่น ดังภาพที่ 4 (ค)



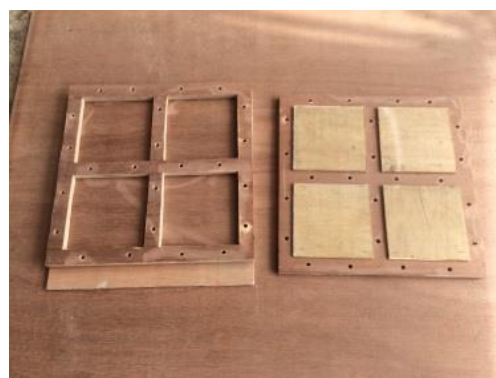
(ก)



(ข)

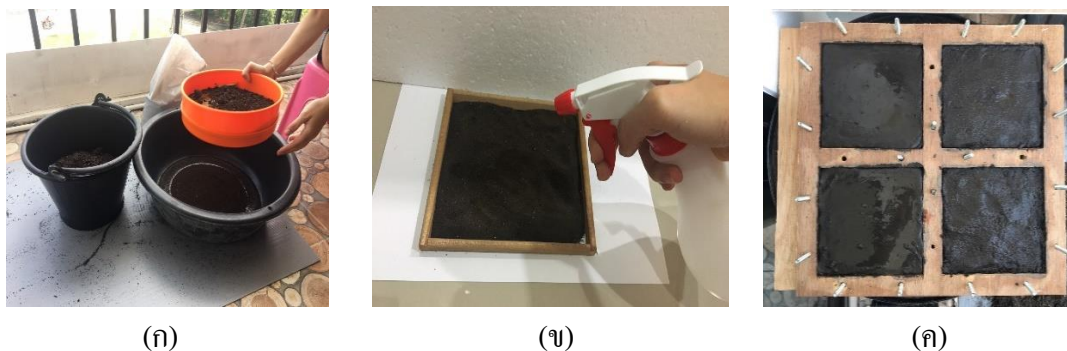


(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปดิน (ก) ไม้้อัดขนาดกว้าง 40.0 cm ยาว 40.0 cm และหนา 1.0 cm (ข) ไม้ขนาดกว้าง 15.0 cm ยาว 15.0 cm และหนา 1.0 cm (ค) นำไม้ขนาดกว้าง 15.0 cm ยาว 15.0 cm และหนา 1.0 cm ไปยึดกับไม้กระดานอัด (ง) เจาะรูสำหรับใส่นี๊ต เพื่อให้แรงอัดเท่ากันทุกด้าน



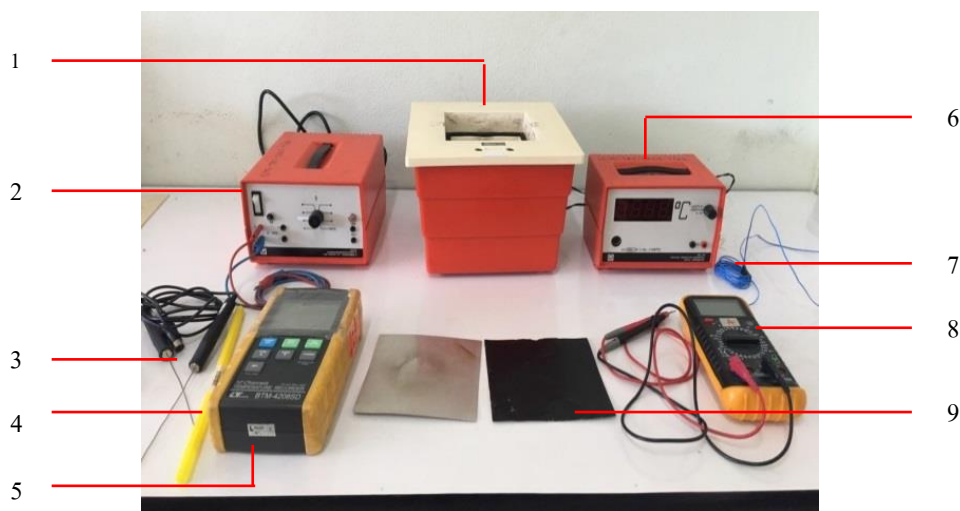
ภาพที่ 4 การเตรียมและขึ้นรูปดิน (ก) ร่วนดินเพื่อแยกวัชพืช (ข) ผสมน้ำกับดิน (ค) ไล่น้ำลงแม่พิมพ์

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์ของดินร่วนปนทรายที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ความเป็นรูพรุน และความชื้นของดิน มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

สภาพการนำความร้อนของดิน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาพการนำความร้อนของดินร่วนปนทราย ในเขตภาคตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้ชุดการหาสภาพการความร้อนของดิน ด้วยวิธีวัดแบบการถ่ายเทของความร้อน โดยมี ส่วนประกอบของชุดทดลอง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าการนำความร้อนของดิน

จากภาพที่ 5 หมายเลข 1 กล่องวัดความร้อน หมายเลข 2 หม้อแปลงแรงดันต่ำ ขนาด 0-12 V หมายเลข 3 หัววัดอุณหภูมิ นิกเกิล โครเนียม-นิกเกิล ชนิด K-Type หมายเลข 4 เทอร์โมมิเตอร์ หมายเลข 5 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ รุ่น BTM-4208SD มีช่องบันทึกข้อมูล 12 ช่อง หมายเลข 6 กล่องแปลงสัญญาณอุณหภูมิ หมายเลข 7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K-Type หมายเลข 8 มัลติมิเตอร์ หมายเลข 9 แผ่นอลูมิเนียม ขนาดความกว้าง 15 cm ความยาว 15 cm และความหนา 0.3 mm จำนวน 2 แผ่น

ขั้นตอนการหาสภาพการนำความร้อนด้วยวิธีวัดแบบการถ่ายเทความร้อน ตามมาตรฐาน DIN 52612 มีขั้นตอนดังนี้

(1) นำแผงตัวต้านทานมาติดตั้งในกล่องวัดความร้อน ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด K-Type วัดอุณหภูมิความร้อนของแผงตัวต้านทาน จากนั้นนำแผ่นอลูมิเนียมขนาด 0.3 mm ที่ฉาบสีดำด้านหนึ่งมาวางเป็นชั้นแรกให้ด้านสีดำอยู่ด้านในกล่อง

(2) นำชิ้นงานที่ต้องการศึกษาไปส่งไปในกล่องวัดความร้อน

(3) นำหัววัดอุณหภูมิ นิกเกิล โครเนียม-นิกเกิล ชนิด K-Type เสียบเข้าไปส่วนบนและล่าง โดย T_1 เป็นตำแหน่งวัดอุณหภูมิบนแผ่นชิ้นงาน และ T_2 เป็นตำแหน่งวัดอุณหภูมิล่างแผ่นชิ้นงาน เพื่อวัดอุณหภูมิของผิวหน้าทั้งสองของชิ้นงาน โดยต่อหัววัดทั้งสองเข้ากับอุปกรณ์ตามภาพที่ 6 (ก) ปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 0.3 mm ด้านบนชิ้นงาน และให้พลังงานไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงแรงดันต่ำ ขนาด 0-12 V ที่ใช้เพื่อทำให้เกิดความร้อนในกล่องวัดความร้อน ดังภาพที่ 6 (ข)

(4) นำถุงพลาสติกบางที่สามารถกั้นน้ำได้ วางลงบนกล่องวัดความร้อน และนำน้ำแข็งที่เตรียมไว้ไปส่งไปในถุงพลาสติกนั้น โดยละลายมุมทั้งสี่ของน้ำแข็งลงเล็กน้อย เพื่อไม่ให้กริดถุงพลาสติกขาด และวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K-Type กำหนดให้เป็นอุณหภูมิของน้ำแข็ง (T_{ice}) และวัดอุณหภูมิห้อง (T_a) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ แสดงดังภาพที่ 7

(5) อ่านอุณหภูมิที่แผงตัวต้านทานในข้อ 1 ให้อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณไม่เกิน $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ เริ่มทำการวัดอุณหภูมิของชิ้นงานทั้งด้านบนและล่าง ทุกๆ 2 นาที จนกว่าอุณหภูมิจะคงที่ บันทึกข้อมูล T_1 และ T_2

(6) คำนวณหาสภาพการนำความร้อน (k) ซึ่งได้จากการถ่ายเทความร้อน (Q) ระหว่างวัตถุ 2 ชิ้นที่สัมผัสกันหรือระหว่าง 2 ส่วนในวัตถุชิ้นเดียวกันที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) ความหนา (x) ระหว่างกัน และมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิ (ΔT) โดยทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (T_1) ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (T_2) ดังนี้

$$Q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (9)$$

$$k = \frac{Q \Delta x}{A \Delta T} \quad (10)$$

โดยที่ k คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ หน่วยเป็น $W/m^{\circ}C$

Q คือ ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิววัสดุ หน่วยเป็น W

A คือ พื้นที่หน้าตัด หน่วยเป็น m^2

x คือ ความหนาของวัสดุ หน่วยเป็น m

ΔT คือ อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิวดินด้านอุณหภูมิสูงและต่ำ หน่วยเป็น $^{\circ}C$

(7) วัดปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านดินในช่วงเวลาหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างพื้นผิว พื้นที่หน้าตัด และความหนาของชั้นงาน ซึ่งเป็นการยากที่จะหาสภาพการนำความร้อน จากการวัดค่าปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่ง เพราะสำหรับความร้อน ไม่มีฉนวนใดที่สามารถกั้นการไหลของความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าความแตกต่างอุณหภูมิที่ถูกต้องได้ ภาพตัดขวางของการวัดแบบการไหลของความร้อน แสดงดังภาพที่ 8 โดยกำหนดสภาพการนำความร้อนของดินที่ไม่รู้ค่าเป็น k_x กับค่าการนำความร้อนของวัสดุตัวอย่างที่ใช้อ้างอิงเป็น k_0 และแผ่นทั้งสองจะถูกวางซ้อนทับกันอยู่ และให้ความร้อนปริมาณเท่าๆกัน ไหลผ่านแผ่นทั้งสอง จะได้ว่า

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{A_0 k_0}{x_0} \Delta T_0 = \frac{A_x k_x}{x_x} \Delta T_x \quad (11)$$

จากสมการ (11) จะสามารถหาปริมาณการไหลของความร้อน $\left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)$ ได้ เมื่อทราบค่าของวัสดุตัวอย่างที่ใช้อ้างอิง k_0, A_0, x_0 และ ΔT_0 จะเรียกวัดตัวอย่างนี้ว่าแผ่นการวัดการไหลของความร้อน ซึ่งแผ่นทำความร้อนยังทำหน้าที่ปรับอุณหภูมิภายในผนังของกล่องเท่ากับอุณหภูมิห้อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลของอุณหภูมิผ่านผนังกล่อง อัตราการไหลของความร้อน จึงสามารถแทนได้จากค่าพลังงานทางไฟฟ้า (ΔW) ที่ถูกใช้ไปโดยเครื่องทำความร้อนในช่วงเวลา Δt นั่นคือ ค่ากำลังไฟฟ้า (P) สามารถคำนวณได้จากสมการ (12) และสามารถคำนวณหาสภาพการนำความร้อนได้จากสมการ (13)

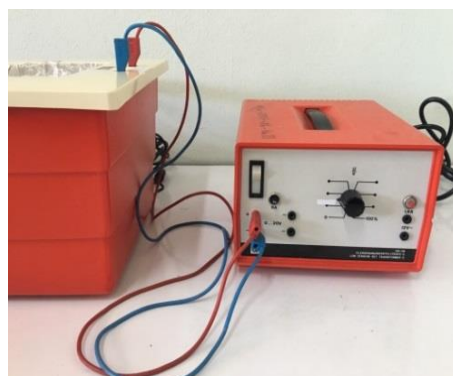
$$P = IV \tag{12}$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น W
 I คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น A
 V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า หน่วยเป็น V

$$k = P \cdot \frac{X}{A\Delta T} \tag{13}$$

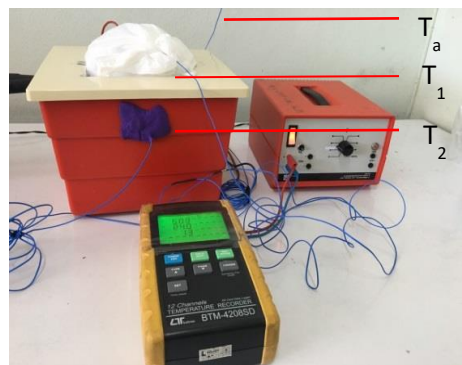
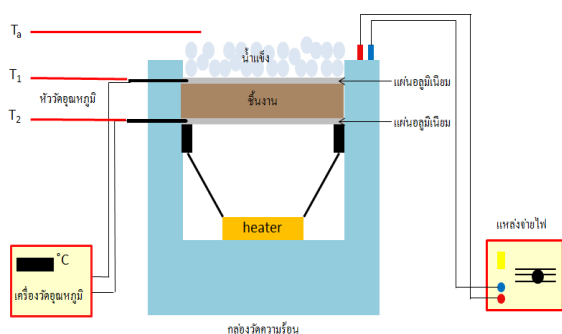


(ก)

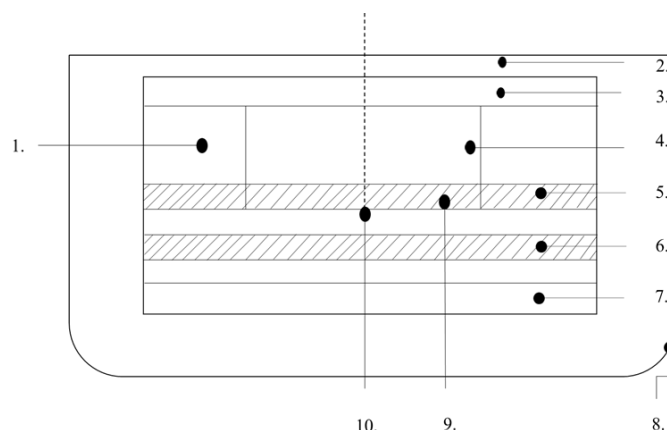


(ข)

ภาพที่ 6 การจัดอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ และจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยชุดทดลองการนำความร้อน โดยวิธีการวัดแบบการไหลของความร้อน (ก) การวัดอุณหภูมิของผิวหน้าทั้งสองของชิ้นงาน (ข) การให้พลังงานไฟฟ้าแก่กล่องวัดความร้อนด้วยหม้อแปลงแรงดันต่ำขนาด 0-12



ภาพที่ 7 ชุดทดลองการนำความร้อน โดยวิธีการวัดแบบการไหลของความร้อน



ภาพที่ 8 ภาพตัดขวางแสดงการจัดอุปกรณ์ในการหาสภาพการนำความร้อนตามมาตรฐาน DIN 52612

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. แหวนป้องกัน (protection ring) | 6. counter hot plate |
| 2. วัสดุให้ความร้อน (heating material) | 7. แผ่นเย็น (cooling plate) |
| 3. แผ่นเย็น (cooling plate) | 8. ถัง (Container) |
| 4. วัสดุตัวอย่าง (Sample) | 9. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate) |
| 5. แหวนให้ความร้อน (Heating ring) | 10. ตัวกลาง (Intermediate) |

ระหว่างทำการทดลอง ต้องให้แน่ใจว่าความร้อนไหลผ่านดินที่ต้องการศึกษาเพียงอย่างเดียว และไม่มีการสูญเสียความร้อนไปในทางอื่น สามารถตรวจสอบโดยจัดระบบแบบแผ่นความร้อนสองแผ่นดังภาพที่ 8 แผ่นความร้อน (หมายเลข 9) จะเป็นตัวที่ให้ความร้อนกับดินตัวอย่าง และแผ่นทำความร้อน (หมายเลข 6) จะถูกเตรียมให้มีอุณหภูมิเดียวกับแผ่นความร้อน (หมายเลข 9) เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนไหลย้อนกลับเป็นการกีดกันที่ความร้อนที่เกิดจากแผ่นทำความร้อน (หมายเลข 9) จะไหลผ่านดินตัวอย่างเท่านั้น

ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน

ในการศึกษาความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินต่าง จะต้องนำชิ้นงานที่ขึ้นรูป ด้วยสัดส่วนน้ำในดินแตกต่างกัน 5 ค่าไปอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม Oven รุ่น ED115 ดังภาพที่ 9 โดยการขึ้นรูปชิ้นงานจะกำหนดให้น้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมมีปริมาตรที่แตกต่างกัน เนื่องจากความชื้นเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการกักเก็บน้ำ ซึ่งมีขั้นตอนการอบแห้งดินดังนี้

1. นำชิ้นงานดินที่ขึ้นรูปที่สัดส่วนน้ำในดินแตกต่างกัน 5 ค่า ไปชั่งมวลและวัดปริมาตรรวมของดิน (ก่อนอบแห้ง) ดังภาพที่ 10 (ก) ของแต่ละแผ่น
2. นำดินไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C ประมาณ 24 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพที่ 10 (ข)
3. นำชิ้นงานแต่ละแผ่นที่ผ่านการอบแล้ว ไปชั่งมวลและวัดปริมาตรอนุภาคของดิน (หลังอบแห้งดังภาพที่ 10 (ค) ของแต่ละแผ่น
4. นำค่าที่ได้ไปหาความหนาแน่นของดินจากสมการ (1) ปริมาณการดูดซับน้ำของดินจากสมการ (3) และความชื้นโดยมวลของดินจากสมการ (4)



ภาพที่ 9 ตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 10 การอบแห้งดิน (ก) การชั่งมวลรวมของอนุภาคดิน (ก่อนอบแห้ง) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม (ข) การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ค) การชั่งมวลของอนุภาคดิน (หลังอบแห้ง) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินแตกต่างกัน 5 ค่า มีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อนของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน ความหนาแน่นของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน ปริมาณการดูดซับน้ำของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน และความชื้นของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยใช้สถิติการหาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่าสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน มีอิทธิพลต่อสัดส่วนน้ำในดินมากน้อยเพียงใด ดังสมการ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x-y)^2}{\sum_{i=1}^n (y-\bar{y})^2} \quad (14)$$

โดยที่ x คือ ค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

y คือ ค่าจากการทดลอง

\bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

i คือ จำนวนครั้งของข้อมูล จากข้อมูลทั้งหมด N ครั้ง

2. เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน จะได้สมการที่ได้จากแบบจำลอง ที่สามารถใช้ทำนายสภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน ที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ และนำสมการที่ได้จากแบบจำลองที่ได้จากความสัมพันธ์ ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำ โดยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error) เป็นการตรวจสอบปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง สามารถหาได้จากสมการ

$$\%E = \left| \frac{x-y}{y} \right| \times 100 \quad (15)$$

โดยที่ $\%E$ คือ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ หน่วยเป็น ร้อยละ

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

การออกแบบและขึ้นรูปดิน

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้ไม้กระดานอัดขนาดกว้าง $40.0 \times 40.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ ซึ่งในแต่ละครั้งสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ 4 ชิ้น ปริมาตร $15.0 \times 15.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ และการขึ้นรูปชิ้นงาน ใช้ดินปริมาตร 250.0 cm^3 โดยเติมน้ำครั้งละปริมาตร 10.0 cm^3 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน พบว่า การเติมน้ำปริมาตร 240.0 cm^3 ในดินปริมาตร 250.0 cm^3 คิดเป็นสัดส่วนน้ำในดิน 48% เมื่อนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ มีลักษณะจับตัวกันเป็นแผ่น ไม่แตกออกจากกัน และเมื่อนำไปหาสภาพการนำความร้อนด้วยชุดการหาสภาพการความร้อนของดินด้วยวิธีวัดแบบการถ่ายเทของความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีกล่องให้ความร้อน ส่วนตรงกลางของกล่องมีช่องสำหรับใส่ชิ้นงาน เมื่อใส่ชิ้นงานลงในกล่อง และนำออกชิ้นงานดินยังคงสภาพเดิม และเพื่อหาสัดส่วนน้ำในดินที่มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปดินมากที่สุด เช่น ดินไม่แห้งจนร่วนซุย ไม่จับตัวกัน หรือขึ้นจนเหลว ไม่สามารถจับตัวกันเป็นแผ่นได้ เป็นต้น

จากนั้นทำการเพิ่มและลดปริมาตรน้ำ โดยเติมน้ำปริมาตร 150.0, 180.0, 210.0 และ 270.0 cm^3 คิดเป็น 30% 36% 42% และ 54% ตามลำดับ ในแต่ละสัดส่วนขึ้นรูป 3 ชิ้นงาน เพื่อทำการทดลองซ้ำ ลักษณะชิ้นงานตามสัดส่วนน้ำในดินต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า สัดส่วนน้ำในดิน 30% ชิ้นงานมีลักษณะแห้งค่อนข้างสูง จับตัวกันแน่นเมื่ออยู่ในแม่พิมพ์ แต่เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ มีการแตกออกจากกัน และมีเป็นหลุมอากาศค่อนข้างมาก สัดส่วนน้ำในดิน 36% ชิ้นงานมีลักษณะแห้ง และมีการแตกออกจากกันเล็กน้อย สัดส่วนที่ 42% ชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างชื้น จับตัวกันเป็นแผ่น เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ จะแตกออกเป็นแผ่นเล็กน้อย สัดส่วนน้ำในดิน 48% ชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างชื้น เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์มีการจับตัวกันเป็นแผ่น สัดส่วนน้ำในดิน 54% ชิ้นงานมีลักษณะนุ่ม ไม่แข็งตัว มีความชื้นสูง จับตัวเป็นแผ่นเมื่ออยู่ในแม่พิมพ์ เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ แตกออกจากกัน สำหรับชิ้นงานที่ขึ้นรูปไม่ได้ที่เป็นดินแห้ง จะมีลักษณะแห้งสนิทและแตกออกจากกันเป็นแผ่น ๆ ไม่จับตัวกัน แสดงชิ้นงานที่สัดส่วนแตกต่างกัน 5 ค่า และชิ้นงานที่ไม่มีสัดส่วนน้ำในดิน (ดินแห้ง) ดังภาพที่ 11

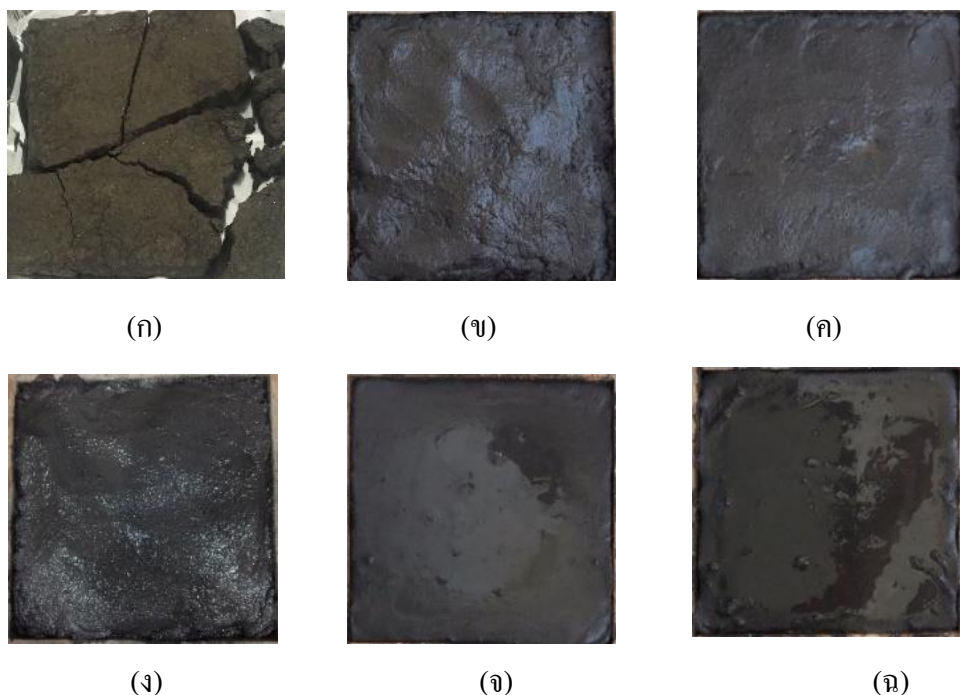


ตารางที่ 2 ลักษณะชิ้นงานที่สัดส่วนน้ำในต่าง ๆ

สัดส่วน น้ำในดิน (%)	ผลการทดลอง				ลักษณะชิ้นงาน
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตรรวม ของดิน V_b (cm ³)	
30	14.90	14.80	1.30	286.68	แห้งค่อนข้างสูง แยกออกจากกัน มี เป็นหลุมอากาศค่อนข้างมาก
	15.00	14.90	1.30	290.55	
	15.10	15.20	1.30	298.38	
36	15.00	14.90	1.20	268.20	แห้ง แยกออกจากกันเล็กน้อย
	15.10	15.10	1.20	273.61	
	14.80	14.70	1.20	261.07	
42	15.10	15.00	1.20	271.80	ค่อนข้างชื้น จะแยกออกจากกัน เล็กน้อย
	15.20	15.10	1.20	275.42	
	15.00	15.00	1.20	270.00	
48	14.90	14.90	1.20	266.41	ค่อนข้างชื้น จับตัวกันเป็นแผ่น
	14.90	15.10	1.20	269.99	
	15.00	15.00	1.20	270.00	
54	14.70	14.70	1.20	259.31	นึ่ม ไม่แข็งตัว มีความชื้นสูง ไม่จับ ตัวเป็นแผ่น แยกออกจากกันง่าย
	14.80	14.80	1.20	262.85	
	15.30	15.30	1.10	257.50	

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและ สัดส่วนน้ำในดิน

เมื่อได้ชิ้นงานที่ขึ้นรูปตามมาตรฐาน DIN 52612 แล้วนำมาศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน
ร่วนปนทราย ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของ
ดินที่สัดส่วนน้ำในดินต่าง ๆ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วน
น้ำในดิน มีรายละเอียดดังนี้

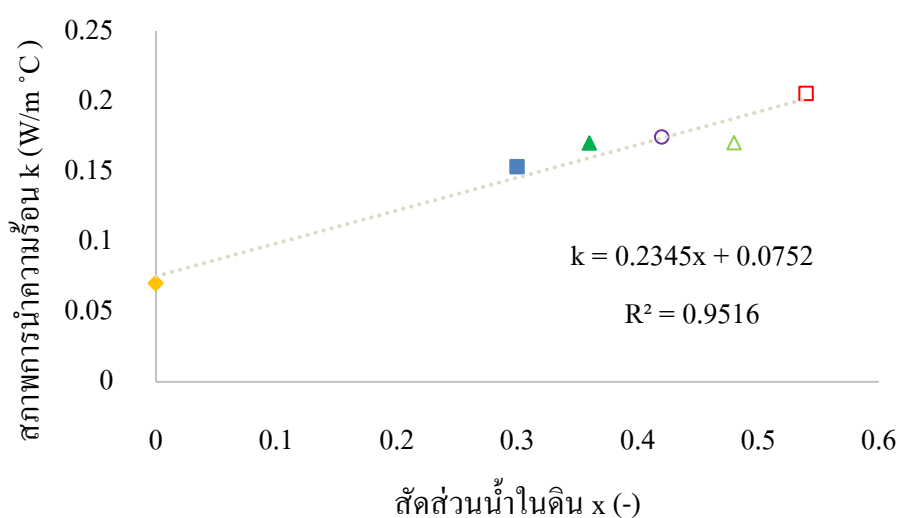


ภาพที่ 11 ดินที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำในดิน (ก) สัดส่วนน้ำในดิน 0% (ข) สัดส่วนน้ำในดิน 30% (ค) สัดส่วนน้ำในดิน 36% (ง) สัดส่วนน้ำในดิน 42% (จ) สัดส่วนน้ำในดิน 48% (ฉ) สัดส่วนน้ำในดิน 54%

สภาพการนำความร้อนของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

จากการนำชิ้นงานดินที่สัดส่วนน้ำในดินแตกต่างกัน 5 ค่า (30%, 36%, 42%, 48% และ 54%) และที่ดินแห้งหรือไม่มีน้ำในดิน (0%) ทั้งหมด มาหาสภาพการนำความร้อนของดินด้วยชุดการหาสภาพการนำความร้อนของดินด้วยวิธีวัดการถ่ายเทความร้อนตามมาตรฐาน DIN52612 โดยทำการเก็บอุณหภูมิด้านบน (T_1) และด้านล่างของชิ้นงาน (T_2) ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 3.80 V กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.52 A โดยในแต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% ตามลำดับ รวมทั้งหมด 6 การทดลอง แสดงผลการทดลองดังภาคผนวก ก จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณหาสภาพการนำความร้อนของดิน ด้วยสมการ (13) ผลและตัวอย่างการคำนวณสภาพการนำความร้อนของดินในสภาวะคงที่ แสดงในภาคผนวก ข และสภาพการนำความร้อนของดินที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% เท่ากับ 0.070, 0.153, 0.170, 0.174, 0.170 และ 0.205 $W/m \text{ } ^\circ C$ ตามลำดับ และเมื่อนำสภาพการนำความร้อนของดิน มาหาความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำในดิน แสดงดังภาพที่ 12

พบว่า สภาพการนำความร้อน (k) มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำในดิน (x) ได้แก่ $k = 0.2345x + 0.0752$, $R^2 = 0.9516$ ซึ่งมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าสภาพการนำความร้อนของดินและสัดส่วนน้ำในดินมีความสัมพันธ์กัน และสภาพการนำความร้อนแปรผันตามสัดส่วนน้ำในดิน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับผลการทดลองที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ร้อยละ 19.61, 4.98, 6.09, 1.03, 10.46 และ 6.52 ตามลำดับ

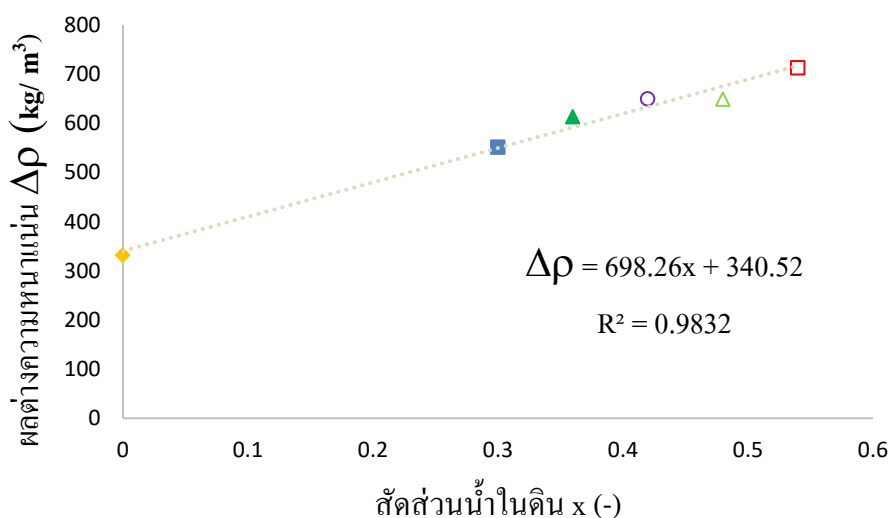


ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำความร้อนของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน

ความหนาแน่นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

เมื่อทราบสภาพการนำความร้อนของชิ้นงานแล้ว นำชิ้นงานทั้งหมดไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม ที่อุณหภูมิ 110°C ประมาณ 24 ชั่วโมง จะได้มวลและปริมาตรของอนุภาคดิน (หลังอบแห้ง) ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% นำมาหาความหนาแน่น โดยการแทนมวลและปริมาตรของดิน ในสมการ (1) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความหนาแน่นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% ผลและตัวอย่างวิธีการคำนวณความหนาแน่นแสดงดังภาคผนวก ข ผลต่างความหนาแน่นของดิน (ก่อนและหลังอบแห้ง) ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% พบว่า ผลต่างความหนาแน่น เท่ากับ 331.80, 551.74, 613.64, 650.05, 649.42 และ 712.80 kg/m^3 ตามลำดับ และเมื่อนำผลต่างความหนาแน่นของดิน มาหาความสัมพันธ์สัดส่วนน้ำในดิน พบว่า ผลต่างความ

หนาแน่นของดิน ($\Delta\rho$) มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำในดิน (x) ได้แก่ $\Delta\rho = 698.26x + 340.52$, $R^2 = 0.9832$ ซึ่งมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าผลต่างความหนาแน่นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน มีความสัมพันธ์กัน และผลต่างความหนาแน่นของดินแปรผันตามสัดส่วนน้ำในดิน เมื่อนำไปเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับผลการทดลองที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ร้อยละ 2.65, 1.70, 3.53, 2.49, 4.10 และ 2.00 ตามลำดับ

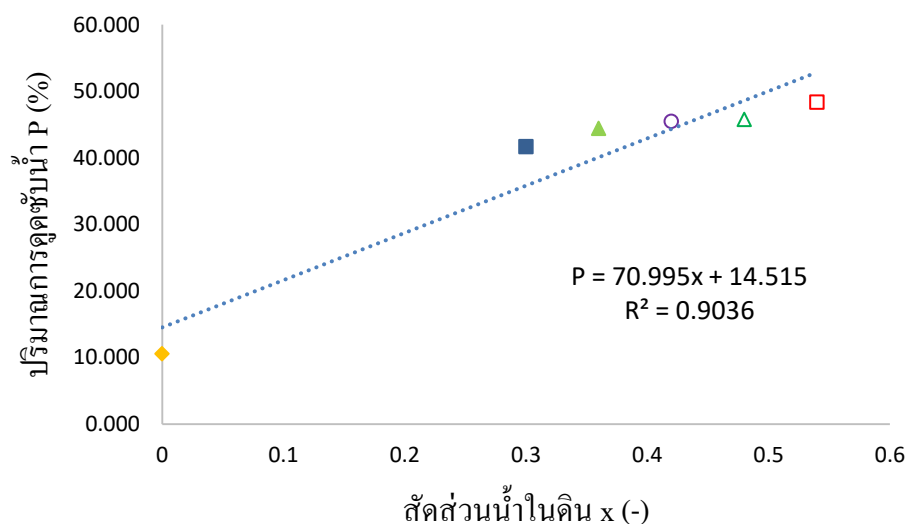


ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

ปริมาณการดูดซับน้ำของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

ปริมาณการดูดซับน้ำของดิน เป็นสมบัติทางฟิสิกส์อีกอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการเพาะปลูกพืช เนื่องจากสามารถบอกประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำของดินได้ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วน น้ำหนักของน้ำในดินและน้ำหนักรวมของดิน ดังสมการ (2) ผลและตัวอย่างการคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำของดินแสดงดังภาคผนวก ข ปริมาณการดูดซับน้ำของดินที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% เท่ากับ 10.533%, 41.672%, 44.389%, 45.477%, 45.760% และ 48.349% ตามลำดับ และเมื่อนำปริมาณการดูดซับน้ำของดินมาหาความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำในดิน พบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำของดิน (P) มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำในดิน (x) ได้แก่ $P = 70.995x + 14.515$, $R^2 = 0.9036$ ซึ่งมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าปริมาณการดูดซับน้ำของดินและ

สัดส่วนน้ำในดินมีความสัมพันธ์กัน และปริมาณการดูดซับน้ำของดินแปรผันตามสัดส่วนน้ำในดิน และนำไปเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับผลการทดลองที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ร้อยละ 38.48, 14.05, 9.72, 2.52, 6.22 และ 9.32 ตามลำดับ

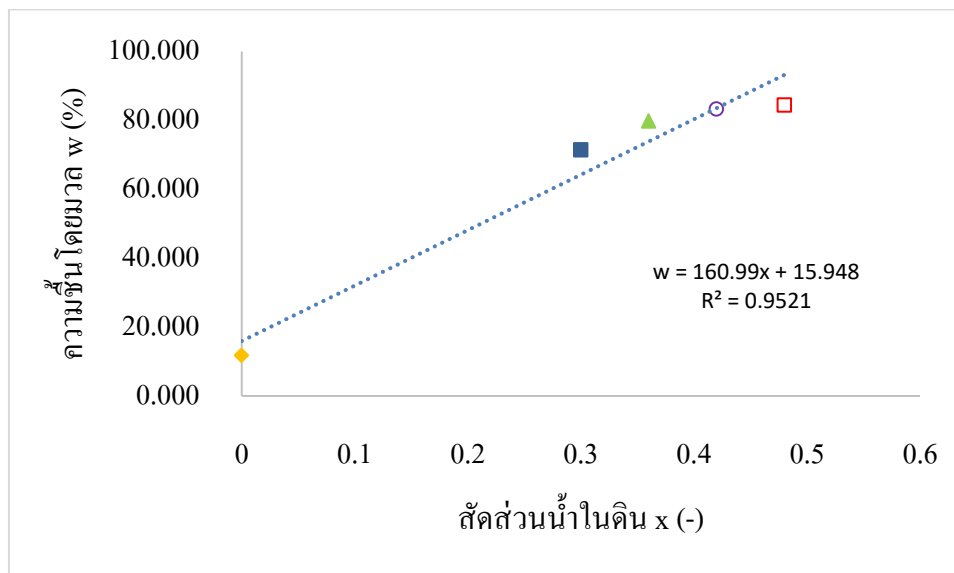


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน

ความชื้นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

การศึกษาความชื้นของดินโดยมวล โดยการนำชิ้นงานไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม จะได้มวลน้ำในดินซึ่งได้จากผลต่างระหว่างมวลของดินรวม (ก่อนอบแห้ง) และมวลของน้ำในดิน (ผลต่างระหว่างก่อนและหลังอบแห้ง) ดังสมการ (4) ผลและตัวอย่างการคำนวณความชื้นโดยมวลของดินแสดงดังภาคผนวก ข ความชื้นโดยมวลของดินที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีค่าร้อยละ 11.781, 71.457, 79.824, 83.409, 84.407 และ 93.619 ตามลำดับ และเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นโดยมวลของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน พบว่าความชื้นโดยมวลของดิน (w) มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำในดิน (x) ได้แก่ $w = 160.99x + 15.948$, $R^2 = 0.9521$ ซึ่งมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าความชื้นโดยมวลของดินและสัดส่วนน้ำในดิน มีความสัมพันธ์กัน และความชื้นโดยมวลของดินแปรผันตามสัดส่วนน้ำในดิน และนำไป

เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับผลการทดลองที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ร้อยละ 36.20, 10.05, 7.40, 0.37, 10.56 และ 9.92 ตามลำดับ



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดิน และสัดส่วนน้ำในดิน

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ สภาพการนำความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซับน้ำ และความชื้นของดิน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน โดยใช้ดินร่วนปนทรายที่นิยมใช้ในการเพาะปลูกในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งรายละเอียดการศึกษาดังนี้

การออกแบบแม่พิมพ์เพื่อใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ที่มีขนาด $15.0 \times 15.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ ตามมาตรฐาน DIN 52612 ในงานวิจัยนี้ได้สร้างแม่พิมพ์จากไม้กระดานอัดขนาด $40.0 \times 40.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ มีอุปกรณ์ในการล็อกเพื่อกำหนดแรงบีบอัดชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ให้มีขนาดเท่ากันทุกแผ่น สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ครั้งละ 4 ชิ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะต้องขึ้นรูปชิ้นงานทั้งหมด 15 ชิ้น โดยแต่ละแผ่นใช้ดินปริมาตร 250.0 cm^3 และเปลี่ยนสัดส่วนน้ำที่ใช้ในการผสม เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเพิ่มปริมาตรน้ำครั้งละ 10.0 cm^3 และวางชิ้นงานทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องพบว่า ที่ปริมาตรน้ำ 240.0 cm^3 คิดเป็นสัดส่วนน้ำในดิน 48% เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างชื้น เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์มีการจับตัวกันเป็นแผ่น และนำไปหาสภาพการนำความร้อนด้วยชุดการทดลอง ชิ้นงานยังคงสภาพเดิม และที่สัดส่วนน้ำในดินนี้เป็นไปตามส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งประมาณ 50% โดยปริมาตร (อนินทรีย์วัตถุ ประมาณ 45% โดยปริมาตร และอินทรีย์วัตถุประมาณ 5% โดยปริมาตร) และส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างและน้ำ 50% โดยปริมาตร (ซึ่งมีอากาศ 25 % โดยปริมาตร และน้ำประมาณ 25 % โดยปริมาตร) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2541) เมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมแล้ว ทำการเพิ่มและลดปริมาตรน้ำ เพื่อหาสัดส่วนน้ำในดินที่ต่ำและสูงที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้พบว่า ที่สัดส่วนน้ำในดิน 30% ชิ้นงานมีลักษณะแห้งค่อนข้างสูง จับตัวกันแน่นเมื่ออยู่ในแม่พิมพ์ แต่เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ มีการแตกออกจากกัน และมีเป็นหลุมอากาศค่อนข้างมาก หากลดปริมาตรน้ำต่ำกว่า 30% จะไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ จึงเป็นสัดส่วนน้ำในดินที่ต่ำสุดในการขึ้นรูป และสัดส่วนน้ำในดิน 54% ชิ้นงานมีลักษณะนิ่ม ไม่แข็งตัว มีความชื้นสูง จับตัวเป็นแผ่นเมื่ออยู่ในแม่พิมพ์ เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ แตกออกจากกัน ไม่สามารถจับตัวกันเป็นแผ่นได้ หากทำการเพิ่มปริมาตรน้ำชิ้นงานจะไม่แข็งตัว และไม่สามารถทำมาใช้งานได้ ที่สัดส่วน 54% จึงเป็นสัดส่วนที่น้ำในดินสูงที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ ดังนั้นในการขึ้นรูปชิ้นงาน จะใช้ดินปริมาตร 250.0 cm^3 และ

น้ำปริมาตร 150.0, 180.0, 210.0, 240.0 และ 270.0 cm³ ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีสัดส่วนน้ำในดิน 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% ตามลำดับ สัดส่วนละ 3 ชิ้นงาน รวมทั้งหมด 15 ชิ้นงาน และที่สัดส่วนน้ำในดิน 0% (ดินแห้ง) ได้มาจากชิ้นงานที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จำนวน 3 ชิ้นงาน

สภาพการนำความร้อนของดิน ศึกษาจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างสองส่วนของชิ้นงาน ที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.025 m² มีความหนาระหว่างกัน 0.1 m³ และวัดผลต่างระหว่างอุณหภูมิโดยมีทิศ การไหลของความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ชุดการหาสภาพ การความร้อนของดิน ด้วยวิธีวัดแบบการถ่ายเทของความร้อน จากชุดการทดลองบริเวณที่มี อุณหภูมิสูงคือด้านล่างของชิ้นงานจะมีการให้ความร้อนโดย heater และบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำคือ ด้านบนของชิ้นงานจะวางน้ำแข็งไว้ เพื่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ทำให้พลังงานความ ร้อนจาก heater สามารถเคลื่อนที่ผ่านด้านล่างของชิ้นงานไปยังบริเวณด้านบนของชิ้นงาน และวัด อุณหภูมิทั้งสองด้านของชิ้นงาน เพื่อหาผลต่างของอุณหภูมิ และสามารถนำไปคำนวณหาสภาพการ นำความร้อนของชิ้นงานได้ ดังสมการ (10) พบว่า สภาพการนำความร้อนของชิ้นงานที่สัดส่วนน้ำ ในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% เท่ากับ 0.070, 0.153, 0.170, 0.174, 0.170 และ 0.205 W/m °C ตามลำดับ และนำไปเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับแบบจำลอง มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ร้อยละ 19.61, 4.98, 6.09, 1.03, 10.46 และ 6.52 เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ พบว่าที่ สัดส่วนน้ำในดิน 0% เป็นสัดส่วนของดินแห้ง ไม่มีน้ำผสมอยู่ ได้มาจากการอบแห้ง จึงมีความ คลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากน้ำสภาพการนำความร้อนของน้ำสูงถึง 0.590 W/m °C ดังนั้นน้ำจึงมีผลต่อ สภาพการนำความร้อนของดิน และที่สัดส่วนน้ำในดิน 0% คือชิ้นงานที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ทำ ให้สภาพการนำความร้อนต่ำ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน และที่สัดส่วนน้ำในดิน 30 – 54% มี ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อย สามารถใช้ความสัมพันธ์ $k = 0.2345x + 0.0752$ ในการทำนายสภาพ การนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 30 - 54% ได้ และสภาพการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองมี ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ขวัญยืน ฤทธิ์แดง (2558) ที่ได้ทำการทดสอบสภาพการนำความร้อนที่ เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวอยู่ในช่วง 0.152 W/m °C

ความหนาแน่นของดิน หากจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความหนาแน่น รวม (ก่อนอบแห้ง) และความหนาแน่นของอนุภาคดิน (หลังอบแห้ง) ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีค่าเท่ากับ 331.795, 551.742, 613.643, 650.052, 649.423 และ 712.802 kg/m³ ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมการที่ได้จากแบบจำลอง มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ร้อยละ 2.65, 1.70, 3.53, 2.49, 4.10 และ 2.00 จะเห็นได้ว่าผลต่างความหนาแน่นของชิ้นงานมีคลาด คลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อย นั่นหมายความว่า สามารถใช้ความสัมพันธ์ $\Delta\rho = 698.26x + 340.52$ ใน

การทำนายผลต่างความหนาแน่นที่สัดส่วนน้ำในดินระหว่าง 0 - 54% ได้ และความหนาแน่นรวมของดินจากการทดลอง เท่ากับ 1111.111, 1329.495, 1388.709, 1434.114, 1419.969 และ 1477.534 kg/m³ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชของมุกดา สุขสวัสดิ์ (2544) ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ระหว่าง 1,200 -1,600 kg/m³ มีความใกล้เคียงกัน

ปริมาณการดูดซับน้ำของดิน เป็นสมบัติทางฟิสิกส์อีกอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการเพาะปลูกพืช เนื่องจากสามารถบอกประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำของดินได้ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในดินและน้ำหนักรวมของดิน ดังสมการ (2) พบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำของดินที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% มีค่าร้อยละ 10.533, 41.672, 44.389, 45.477, 45.760 และ 48.349 ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับสมการที่ได้จากแบบจำลอง มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ร้อยละ 38.48, 14.05, 9.72, 2.52, 6.22 และ 9.32 ตามลำดับ ที่สัดส่วนน้ำในดิน 30 – 54% มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อย แสดงว่าสามารถใช้ความสัมพันธ์ $P = 70.995x + 14.515$ ในการทำนายปริมาณการดูดซับน้ำของดินที่สัดส่วนน้ำในดิน 30 – 54% ได้ และ 0% เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากในการพิจารณามวลและปริมาตรรวมของดิน จะใช้สัดส่วนน้ำในดินของการขึ้นรูปคือ มวล 250.0 cm³ ปริมาตร เท่ากับ 225.0 cm³ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง ที่สัดส่วนน้ำในดิน และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเนื้อดินละเอียดของคณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ดินเนื้อละเอียดจะมีช่องว่างที่สามารถบรรจุน้ำและอากาศขนาดเล็กอยู่ภายในร้อยละ 40 – 60

ความชื้นของดิน เป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการกักเก็บน้ำ ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% พบว่า ความชื้นโดยมวลของดิน มีค่าร้อยละ 11.781, 71.46, 79.82, 83.41, 84.41, 93.62 ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความชื้นของดินจากสมการที่ได้จากแบบจำลอง มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ร้อยละ 36.20, 10.05, 7.40, 0.37, 10.56 และ 9.92 ตามลำดับ ที่สัดส่วนน้ำในดิน 30 – 54% มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อย นั่นคือสามารถใช้ความสัมพันธ์ $w = 160.99x + 15.948$ ในการทำนายช่วงสัดส่วนน้ำในดิน 30 -54% ได้ แต่ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0% เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากในการพิจารณามวลและปริมาตรรวมของดิน จะใช้สัดส่วนน้ำในดินของการขึ้นรูปคือ มวล 250.0 cm³ ปริมาตร เท่ากับ 225.0 cm³ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน 4 ค่า ได้แก่ สภาพการนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) ปริมาณการดูดซับน้ำ (P) และความชื้นของดิน (w) ที่สัดส่วนน้ำในดิน (x) 0%, 30%, 36%, 42%, 48% และ 54% พบว่า $x = 0$, $k = 0.070 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $\Delta\rho = 331.795 \text{ kg/m}^3$, $P = 10.533\%$ และ 11.781% , $x = 30$, $k = 0.153 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $\Delta\rho = 551.742 \text{ kg/m}^3$, $P = 41.672\%$ และ $w = 71.46\%$, $x = 36$, $k = 0.170 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $\Delta\rho = 613.643 \text{ kg/m}^3$, $P = 44.389\%$ และ $w = 79.82\%$, $x = 42$, $k = 0.174 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $\Delta\rho = 650.052 \text{ kg/m}^3$, $P = 45.477\%$ และ $w = 83.41\%$, $x = 48$, $k = 0.170 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $\Delta\rho = 649.423 \text{ kg/m}^3$, $P = 45.760\%$ และ $w = 84.41\%$, $x = 54$, $k = 0.205 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $\Delta\rho = 712.802 \text{ kg/m}^3$, $P = 48.349\%$ และ $w = 93.62\%$ และเมื่อนำมาสร้าง ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินกับสัดส่วนน้ำในดิน จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินทั้ง 4 สมการได้แก่ ได้แก่ $k = 0.2345x + 0.0752$ ($R^2 = 0.9516$), $\Delta\rho = 698.26x + 340.52$ ($R^2 = 0.9832$), $P = 70.995x + 14.515$ ($R^2 = 0.9036$) และ $w = 160.99x + 15.948$ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินค่าสมบัติทางฟิสิกส์ของดินในช่วง สัดส่วนน้ำในดิน อยู่ระหว่าง 0 - 54%

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์ของดินและสัดส่วนน้ำในดิน มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. การหาสมบัติทางฟิสิกส์ของดินแบบสถานะไม่คงที่ เช่น วิธีการใช้ขดลวดความร้อน วิธีแบบเลเซอร์ เป็นต้น เพื่อหาค่าการนำความร้อนได้ถูกต้องและแม่นยำขึ้น
2. การหาสภาพการนำความร้อนของวัสดุควรเปลี่ยนอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองและขนาดของความหนาของวัสดุ แตกต่างกันหลาย ๆ ค่า เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นและสภาพการนำความร้อน
3. การขึ้นรูปชิ้นงาน ที่สัดส่วนน้ำในดิน 0% ควรใช้การอัดด้วยแรงอัดสูง เช่น ไฮดรอลิก นิวเมติกส์ เป็นต้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อน

4. ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปดิน ควรใช้วัสดุที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ เช่น พลาสติก หรืออลูมิเนียม ทำให้สัดส่วนน้ำที่อยู่ในดินลงที่และเท่ากันทุกชิ้นงานดินที่ขึ้นรูป

บรรณานุกรม

- กฤษฎา เอียงทอง. (2551). การศึกษาความชื้นของดินในพื้นที่การเผาไร่เนา. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษมศรีชัยช้อน. (2541). *ปฐพีวิทยา*. กรุงเทพฯ, นานาส์พิมพ์.
- ขวัญยืน ฤทธิ์แดง. (2558). การศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จันทร์สว่าง ศรีหาคา. (2547). การศึกษาเบื้องต้นถึงอิทธิพลของความชื้นในดินและในกาบใบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของอ้อย 5 พันธุ์ที่ปลูกบนดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- บุญมา ป่านประดิษฐ์. (2546). หลักการชลประทาน. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- พุดพิพัทธ์ ราชคำ. (2559). การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบาผสมถั่วลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 9(ฉบับที่ 1), 70.-82.
- ไพศาล นาผล. (2558). *การถ่ายเทความร้อนและการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์*. กรุงเทพฯ, บริษัท ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2555). *เอกสารการสอนชุดวิชาดิน น้ำ และปุ๋ย*. นนทบุรี, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. (2544). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. กรุงเทพฯ, โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- ยุทธศักดิ์ ศรีสมบูรณ์. (2543). ผลของความชื้นในดินต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพเส้นใยของสายพันธุ์ปอสา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อุษาวดี ตันติวารานุกัณฑ์. (2559). การวัดและทำนายอุณหภูมิและความชื้นของดินสำหรับปลูกพืชในวงบ่อซีเมนต์บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

โอภาส วงศ์ทางประเสริฐ. (2558). การศึกษามบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน: กรณีศึกษาพื้นที่
เพาะปลูกข้าว ในจังหวัดฉะเชิงเทรา และชลบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Côté, J. and J.-M. Konrad (2005). A generalized thermal conductivity model for soils and
construction materials. *Canadian Geotechnical Journal* 42(2), 443-458.

Janan. (2016). Assessing of Thermal Conductivity, Physical and Mechanical Properties of Building
Insulation Materials Prepared From Waste Materials and Gypsum. *International Journal of
Engineering & Technology* 16(4), 37-42.

Kersten, M. S. (1949). LABORATORY RESEARCH FOR THE DETERMINATION OF THE
THERMAL PROPERTIES OF SOILS, Minnesota univ Minneapolis engineering
experiment station.

Lu, S., et al. (2007). An improved model for predicting soil thermal conductivity from water content
at room temperature. *Soil Science Society of America Journal*, 71(1), 8-14.

Zhang, N. and Z. Wang (2017). Review of soil thermal conductivity and predictive models.
International Journal of Thermal Sciences, 117, 172-183.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สภาพการนำความร้อนของดินที่สัดส่วนน้ำในดินต่างๆ

ตาราง ก-1 ผลการทดลองการหาสภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 0%

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1*				ครั้งที่ 2**				ครั้งที่ 3***			
	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)
0	7.9	21.2	13.3	7.9	5	17.6	12.6	0.056821	7.3	24.8	17.5	0.047443
1	7.6	20.8	13.2	7.6	4.9	17.4	12.5	0.057275	7.2	24.5	17.3	0.047991
2	7.5	20.5	13	7.5	4.8	17.2	12.4	0.057737	7.1	24.3	17.2	0.04827
3	7.3	20.3	13	7.3	4.7	17	12.3	0.058207	7.1	24.1	17	0.048838
4	7.1	19.9	12.8	7.1	4.6	16.8	12.2	0.058684	6.9	23.8	16.9	0.049127
5	7	19.6	12.6	7	4.4	16.6	12.2	0.058684	6.8	23.6	16.8	0.04942
6	6.9	19.4	12.5	6.9	4.2	16.4	12.2	0.058684	6.7	23.5	16.8	0.04942
7	6.7	19.2	12.5	6.7	4.2	16.2	12	0.059662	6.6	23.3	16.7	0.049716
8	6.6	19	12.4	6.6	4.1	16.1	12	0.059662	6.5	23	16.5	0.050318
9	6.4	13.9	7.5	6.4	4	16	12	0.059662	6.3	22.8	16.5	0.050318
10	6.4	13.8	7.4	6.4	4	15.8	11.8	0.060673	6.3	22.7	16.4	0.050625
11	6.3	13.3	7	6.3	4	15.7	11.7	0.061192	6.3	22.6	16.3	0.050936
12	5.7	13.6	7.9	5.7	3.9	15.6	11.7	0.061192	6.2	22.5	16.3	0.050936
13	5.5	14	8.5	5.5	3.9	15.5	11.6	0.061719	6.2	22.3	16.1	0.051568
14	5.1	14.2	9.1	5.1	3.9	15.3	11.4	0.062802	6.1	22.1	16	0.051891
15	5	14.5	9.5	5	3.9	15.2	11.3	0.063358	6.1	21.9	15.8	0.052548
16	4.8	14.5	9.7	4.8	3.8	15	11.2	0.063923	6	21.8	15.8	0.052548
17	4.7	14.5	9.8	4.7	3.7	14.9	11.2	0.063923	5.9	21.6	15.7	0.052882
18	4.7	14.6	9.9	4.7	3.7	14.8	11.1	0.064499	5.9	21.5	15.6	0.053221
19	4.8	14.6	9.8	4.8	3.8	14.7	10.9	0.065683	5.6	21.4	15.8	0.052548
20	4.8	14.5	9.7	4.8	3.7	14.5	10.8	0.066291	5.6	21.3	15.7	0.052882
21	4.8	14.4	9.6	4.8	3.6	14.5	10.9	0.065683	5.7	21.2	15.5	0.053565
22	4.8	14.4	9.6	4.8	3.6	14.4	10.8	0.066291	5.8	21.1	15.3	0.054265
23	4.8	14.4	9.6	4.8	3.6	14.3	10.7	0.06691	5.7	20.8	15.1	0.054984
24	4.9	14.3	9.4	4.9	3.5	14.2	10.7	0.06691	5.6	20.8	15.2	0.054622
25	4.8	14.1	9.3	4.8	3.4	14.1	10.7	0.06691	5.7	20.6	14.9	0.055722
26	4.8	14.1	9.3	4.8	3.4	14	10.6	0.067542	5.7	20.6	14.9	0.055722
27	4.8	14.1	9.3	4.8	3.4	13.9	10.5	0.068185	5.7	20.5	14.8	0.056098
28	4.8	14.1	9.3	4.8	3.4	13.8	10.4	0.068841	5.6	20.3	14.7	0.05648
29	4.7	14.2	9.5	4.7	3.4	13.6	10.2	0.07019	5.5	20.2	14.7	0.05648
30	4.8	14.1	9.3	4.8	3.4	13.2	9.8	0.073055	5.4	20.1	14.7	0.05648

* กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0245 cm³

** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0276 cm³

*** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0238 cm³

ตาราง ก-2 ผลการทดลองการหาสภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 30%

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1*				ครั้งที่ 2**				ครั้งที่ 3***			
	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)
0	15.4	21.5	6.1	0.143970856	15.6	21.8	6.2	0.141648746	15.6	21.8	6.2	0.141648746
1	15.1	21.2	6.1	0.143970856	15.4	21.6	6.2	0.141648746	15.5	21.6	6.1	0.143970856
2	14.9	21	6.1	0.143970856	15.3	21.3	6	0.14637037	15.4	21.4	6	0.14637037
3	14.8	20.8	6	0.14637037	15.2	21.1	5.9	0.148851224	15.3	21.3	6	0.14637037
4	14.6	20.6	6	0.14637037	15	21	6	0.14637037	15.2	21.1	5.9	0.148851224
5	14.2	20.2	6	0.14637037	14.8	20.7	5.9	0.148851224	15.1	20.9	5.8	0.151417625
6	14	20	6	0.14637037	14.7	20.5	5.8	0.151417625	15	20.8	5.8	0.151417625
7	13.9	19.8	5.9	0.148851224	14.5	20.4	5.9	0.148851224	14.9	20.7	5.8	0.151417625
8	13.8	19.6	5.8	0.151417625	14.3	20.2	5.9	0.148851224	14.8	20.5	5.7	0.154074074
9	13.6	19.4	5.8	0.151417625	14.1	20	5.9	0.148851224	14.7	20.4	5.7	0.154074074
10	13.5	19.3	5.8	0.151417625	14	19.9	5.9	0.148851224	14.5	20.2	5.7	0.154074074
11	13.3	19.1	5.8	0.151417625	13.9	19.7	5.8	0.151417625	14.4	20.1	5.7	0.154074074
12	13.1	18.9	5.8	0.151417625	13.8	19.6	5.8	0.151417625	14.3	20	5.7	0.154074074
13	13	18.7	5.7	0.154074074	13.7	19.4	5.7	0.154074074	14.3	19.9	5.6	0.156825397
14	12.8	18.5	5.7	0.154074074	13.6	19.3	5.7	0.154074074	14.2	19.8	5.6	0.156825397
15	12.7	18.3	5.6	0.156825397	13.5	19.2	5.7	0.154074074	14.1	19.7	5.6	0.156825397
16	12.7	18.2	5.5	0.159676768	13.3	19.1	5.8	0.151417625	14	19.6	5.6	0.156825397
17	12.5	18.1	5.6	0.156825397	13.2	18.9	5.7	0.154074074	13.9	19.5	5.6	0.156825397
18	12.4	17.8	5.4	0.162633745	13.2	18.8	5.6	0.156825397	13.8	19.3	5.5	0.159676768
19	12.3	17.7	5.4	0.162633745	13.1	18.7	5.6	0.156825397	13.7	19.1	5.4	0.162633745
20	12.1	17.4	5.3	0.165702306	12.9	18.6	5.7	0.154074074	13.6	19	5.4	0.162633745
21	12.1	17.4	5.3	0.165702306	12.8	18.5	5.7	0.154074074	13.6	18.9	5.3	0.165702306
22	11.9	17.2	5.3	0.165702306	12.7	18.4	5.7	0.154074074	13.5	18.7	5.2	0.168888889
23	11.9	17.1	5.2	0.168888889	12.6	18.3	5.7	0.154074074	13.5	18.6	5.1	0.172200436
24	11.8	16.9	5.1	0.172200436	12.5	18.2	5.7	0.154074074	13.4	18.5	5.1	0.172200436
25	11.7	16.8	5.1	0.172200436	12.4	18.1	5.7	0.154074074	13.3	18.4	5.1	0.172200436
26	11.6	16.7	5.1	0.172200436	12.3	18.1	5.8	0.151417625	13.2	18.3	5.1	0.172200436
27	11.6	16.6	5	0.175644444	12.2	17.9	5.7	0.154074074	13.1	18.2	5.1	0.172200436
28	11.6	16.6	5	0.175644444	12.1	17.8	5.7	0.154074074	13	18.1	5.1	0.172200436
29	11.5	16.5	5	0.175644444	11.9	17.8	5.9	0.148851224	12.9	18	5.1	0.172200436
30	11.5	16.5	5	0.175644444	11.8	17.8	6	0.14637037	12.8	17.9	5.1	0.172200436

* กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0286 cm³

** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0290 cm³

*** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0298 cm³

ตาราง ก-3 ผลการทดลองการหาสภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 36%

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1*				ครั้งที่ 2**				ครั้งที่ 3***			
	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)
0	16.7	22	5.3	0.165702306	16.6	22	5.4	0.162633745	16.9	22.2	5.3	0.165702306
1	16.6	21.9	5.3	0.165702306	16.5	21.8	5.3	0.165702306	16.8	22.1	5.3	0.165702306
2	16.5	21.7	5.2	0.168888889	16.3	21.7	5.4	0.162633745	16.7	22	5.3	0.165702306
3	16.4	21.6	5.2	0.168888889	16.2	21.5	5.3	0.165702306	16.6	21.9	5.3	0.165702306
4	16.3	21.5	5.2	0.168888889	16	21.4	5.4	0.162633745	16.5	21.8	5.3	0.165702306
5	16.2	21.4	5.2	0.168888889	16	21.3	5.3	0.165702306	16.4	21.7	5.3	0.165702306
6	16.1	21.3	5.2	0.168888889	15.8	21.1	5.3	0.165702306	16.3	21.6	5.3	0.165702306
7	16	21.2	5.2	0.168888889	15.8	21	5.2	0.168888889	16.3	21.5	5.2	0.168888889
8	15.9	21.1	5.2	0.168888889	15.6	20.9	5.3	0.165702306	16.2	21.4	5.2	0.168888889
9	15.8	21	5.2	0.168888889	15.5	20.7	5.2	0.168888889	16.1	21.3	5.2	0.168888889
10	15.7	21	5.3	0.165702306	15.5	20.6	5.1	0.172200436	16	21.2	5.2	0.168888889
11	15.6	20.9	5.3	0.165702306	15.4	20.5	5.1	0.172200436	15.9	21.1	5.2	0.168888889
12	15.5	20.8	5.3	0.165702306	15.4	20.4	5	0.175644444	15.8	21	5.2	0.168888889
13	15.4	20.7	5.3	0.165702306	15.2	20.2	5	0.175644444	15.7	20.9	5.2	0.168888889
14	15.3	20.6	5.3	0.165702306	15.2	20.2	5	0.175644444	15.6	20.8	5.2	0.168888889
15	15.3	20.5	5.2	0.168888889	15.1	20	4.9	0.179229025	15.5	20.7	5.2	0.168888889
16	15.2	20.4	5.2	0.168888889	15.1	20	4.9	0.179229025	15.4	20.6	5.2	0.168888889
17	15.2	20.3	5.1	0.172200436	15	19.9	4.9	0.179229025	15.4	20.5	5.1	0.172200436
18	15.1	20.2	5.1	0.172200436	14.9	19.8	4.9	0.179229025	15.3	20.4	5.1	0.172200436
19	15	20.2	5.2	0.168888889	14.8	19.8	5	0.175644444	15.2	20.3	5.1	0.172200436
20	14.9	20.1	5.2	0.168888889	14.7	19.7	5	0.175644444	15.1	20.2	5.1	0.172200436
21	14.8	20	5.2	0.168888889	14.6	19.6	5	0.175644444	15.1	20.1	5	0.175644444
22	14.7	19.9	5.2	0.168888889	14.5	19.5	5	0.175644444	15	20	5	0.175644444
23	14.7	19.8	5.1	0.172200436	14.4	19.4	5	0.175644444	14.9	19.9	5	0.175644444
24	14.6	19.7	5.1	0.172200436	14.4	19.4	5	0.175644444	14.8	19.8	5	0.175644444
25	14.5	19.6	5.1	0.172200436	14.2	19.2	5	0.175644444	14.8	19.7	4.9	0.179229025
26	14.4	19.5	5.1	0.172200436	14.2	19.2	5	0.175644444	14.7	19.6	4.9	0.179229025
27	14.3	19.4	5.1	0.172200436	14	19.1	5.1	0.172200436	14.6	19.5	4.9	0.179229025
28	14.2	19.2	5	0.175644444	14	19	5	0.175644444	14.5	19.4	4.9	0.179229025
29	14.1	19.1	5	0.175644444	14	19	5	0.175644444	14.4	19.3	4.9	0.179229025
30	14	19	5	0.175644444	14	19	5	0.175644444	14.3	19.2	4.9	0.179229025

* กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0268 cm³

** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0273 cm³

*** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0261 cm³

ตาราง ก-4 ผลการทดลองการหาสภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 42%

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1 [*]				ครั้งที่ 2 ^{**}				ครั้งที่ 3 ^{***}			
	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)
0	17.7	23	5.3	0.165702306	14.4	19.5	5.1	0.1722	17.8	23.1	5.3	0.165702306
1	17.5	22.8	5.3	0.165702306	14	19.1	5.1	0.1722	17.6	22.9	5.3	0.165702306
2	17.3	22.6	5.3	0.165702306	13.7	18.7	5	0.175644	17.4	22.7	5.3	0.165702306
3	16.9	22.4	5.5	0.159676768	13.2	18.2	5	0.175644	17	22.3	5.3	0.165702306
4	16.8	22.3	5.5	0.159676768	12.9	17.9	5	0.175644	16.9	22.2	5.3	0.165702306
5	16.7	22.1	5.4	0.162633745	12.6	17.6	5	0.175644	16.7	22.1	5.4	0.162633745
6	16.6	22	5.4	0.162633745	12.1	17.1	5	0.175644	16.6	22	5.4	0.162633745
7	16.5	21.9	5.4	0.162633745	11.8	16.8	5	0.175644	16.5	21.9	5.4	0.162633745
8	16.4	21.7	5.3	0.165702306	11.6	16.6	5	0.175644	16.4	21.8	5.4	0.162633745
9	16.3	21.6	5.3	0.165702306	11.3	16.3	5	0.175644	16.3	21.6	5.3	0.165702306
10	16.3	21.5	5.2	0.168888889	11	16	5	0.175644	16.3	21.5	5.2	0.168888889
11	16.1	21.3	5.2	0.168888889	10.8	15.8	5	0.175644	16.1	21.4	5.3	0.165702306
12	16	21.1	5.1	0.172200436	10.5	15.5	5	0.175644	16	21.3	5.3	0.165702306
13	15.9	21	5.1	0.172200436	10.2	15.2	5	0.175644	15.9	21.2	5.3	0.165702306
14	15.8	20.9	5.1	0.172200436	10	15	5	0.175644	15.8	21.1	5.3	0.165702306
15	15.8	20.8	5.1	0.172200436	9.8	14.7	4.9	0.179229	15.7	20.9	5.2	0.168888889
16	15.6	20.7	5.1	0.172200436	9.6	14.5	4.9	0.179229	15.6	20.8	5.2	0.168888889
17	15.6	20.6	5	0.175644444	9.4	14.3	4.9	0.179229	15.5	20.7	5.2	0.168888889
18	15.5	20.6	5.1	0.172200436	9.2	14.1	4.9	0.179229	15.5	20.6	5.1	0.172200436
19	15.4	20.4	5	0.175644444	9	13.9	4.9	0.179229	15.4	20.5	5.1	0.172200436
20	15.4	20.4	5	0.175644444	8.8	13.6	4.8	0.182963	15.4	20.4	5	0.175644444
21	15.3	20.3	5	0.175644444	8.6	13.4	4.8	0.182963	15.3	20.3	5	0.175644444
22	15.1	20.1	5	0.175644444	8.5	13.3	4.8	0.182963	15.2	20.2	5	0.175644444
23	15.1	20	4.9	0.179229025	8.4	13.1	4.7	0.186856	15.1	20.1	5	0.175644444
24	15	19.9	4.9	0.179229025	8.3	13	4.7	0.186856	15	20	5	0.175644444
25	15	19.9	4.9	0.179229025	8.1	12.8	4.7	0.186856	14.9	19.9	5	0.175644444
26	14.9	19.8	4.9	0.179229025	8	12.7	4.7	0.186856	14.8	19.8	5	0.175644444
27	14.9	19.8	4.9	0.179229025	7.9	12.6	4.7	0.186856	14.7	19.7	5	0.175644444
28	14.8	19.6	4.8	0.182962963	7.8	12.5	4.7	0.186856	14.6	19.6	5	0.175644444
29	14.8	19.6	4.8	0.182962963	7.8	12.4	4.6	0.190918	14.5	19.7	5.2	0.168888889
30	14.8	19.6	4.8	0.182962963	7.7	12.3	4.6	0.190918	14.5	19.6	5.1	0.172200436

* กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0271 cm³

** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0275 cm³

*** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0270 cm³

ตาราง ก-5 ผลการทดลองการหาสภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 48%

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1*				ครั้งที่ 2**				ครั้งที่ 3***			
	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)
0	17.8	23.6	5.8	0.151417625	17.6	23	5.4	0.162633745	17.5	22.9	5.4	0.162633745
1	17.6	23.4	5.8	0.151417625	17.3	22.7	5.4	0.162633745	17.2	22.6	5.4	0.162633745
2	17.4	23.2	5.8	0.151417625	17.1	22.5	5.4	0.162633745	17	22.4	5.4	0.162633745
3	17.3	23.1	5.8	0.151417625	16.9	22.3	5.4	0.162633745	16.9	22.3	5.4	0.162633745
4	17.2	23	5.8	0.151417625	16.7	22	5.3	0.165702306	16.7	22	5.3	0.162633745
5	17.1	22.9	5.8	0.151417625	16.5	21.8	5.3	0.165702306	16.5	21.8	5.3	0.162633745
6	17	22.8	5.8	0.151417625	16.3	21.6	5.3	0.165702306	16.3	21.6	5.5	0.162633745
7	16.9	22.7	5.8	0.151417625	16.1	21.2	5.1	0.172200436	16.1	21.2	5.2	0.162633745
8	16.8	22.6	5.8	0.151417625	16	21.2	5.2	0.168888889	16	21.2	5.3	0.162633745
9	16.7	22.5	5.8	0.151417625	15.8	21.1	5.3	0.165702306	15.8	21.1	5.3	0.162633745
10	16.6	22.4	5.8	0.151417625	15.7	20.9	5.2	0.168888889	15.7	20.9	5.2	0.162633745
11	16.5	22.3	5.8	0.151417625	15.5	20.7	5.2	0.168888889	15.5	20.7	5.2	0.162633745
12	16.4	22.2	5.8	0.151417625	15.4	20.5	5.1	0.172200436	15.4	20.5	5.1	0.162633745
13	16.4	22.1	5.7	0.154074074	15.2	20.3	5.1	0.172200436	15.2	20.3	5.1	0.162633745
14	16.3	22	5.7	0.154074074	15	20.2	5.2	0.168888889	15	20.2	5.2	0.162633745
15	16.2	21.9	5.7	0.154074074	14.9	20	5.1	0.172200436	14.9	20	5.1	0.162633745
16	16.1	21.8	5.7	0.154074074	14.7	19.8	5.1	0.172200436	14.7	19.8	5.1	0.162633745
17	16	21.7	5.7	0.154074074	14.6	19.7	5.1	0.172200436	14.6	19.7	5.1	0.162633745
18	15.9	21.6	5.7	0.154074074	14.4	19.5	5.1	0.172200436	14.4	19.5	5.1	0.162633745
19	15.9	21.5	5.6	0.156825397	14.3	19.4	5.1	0.172200436	14.3	19.4	5.1	0.162633745
20	15.8	21.4	5.6	0.156825397	14.2	19.3	5.1	0.172200436	14.2	19.2	5	0.162633745
21	15.7	21.3	5.6	0.156825397	14.1	19.2	5.1	0.172200436	14.1	19.1	5	0.162633745
22	15.6	21.2	5.6	0.156825397	14	19.1	5.1	0.172200436	14	19	5	0.162633745
23	15.5	21.1	5.6	0.156825397	13.9	19	5.1	0.172200436	13.9	18.9	5	0.162633745
24	15.5	21	5.5	0.159676768	13.7	18.9	5.2	0.168888889	13.7	18.7	5	0.162633745
25	15.4	20.9	5.5	0.159676768	13.7	18.8	5.1	0.172200436	13.7	18.7	5	0.162633745
26	15.3	20.8	5.5	0.159676768	13.7	18.7	5	0.175644444	13.7	18.7	5	0.162633745
27	15.2	20.7	5.5	0.159676768	13.5	18.5	5	0.175644444	13.5	18.5	5	0.162633745
28	15.1	20.6	5.5	0.159676768	13.4	18.4	5	0.175644444	13.4	18.4	5	0.162633745
29	15	20.5	5.5	0.159676768	13.3	18.3	5	0.175644444	13.3	18.3	5	0.162633745
30	14.9	20.4	5.5	0.159676768	13	18	5	0.175644444	13	18	5	0.162633745

* กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0266 cm³

** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0269 cm³

*** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0270 cm³

ตาราง ก-6 ผลการทดลองการหาสภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน 54%

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1'				ครั้งที่ 2''				ครั้งที่ 3'''			
	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	k (W/m°C)
0	10.8	15.7	4.9	0.179229025	10.7	15.3	4.6	0.190917874	10.6	15.3	4.7	0.186855792
1	10.5	15.4	4.9	0.179229025	10.7	15.2	4.5	0.195160494	10.5	15.1	4.6	0.190917874
2	10.3	15.2	4.9	0.179229025	10.6	15.1	4.5	0.195160494	10.4	15	4.6	0.190917874
3	10.1	15	4.9	0.179229025	10.6	15	4.4	0.19959596	10.3	14.8	4.5	0.195160494
4	9.9	14.8	4.9	0.179229025	10.6	14.9	4.3	0.204237726	10.2	14.7	4.5	0.195160494
5	9.7	14.5	4.8	0.182962963	10.5	14.7	4.2	0.209100529	10.1	14.5	4.4	0.19959596
6	9.5	14.3	4.8	0.182962963	10.5	14.6	4.1	0.214200542	10	14.3	4.3	0.204237726
7	9.4	14.1	4.7	0.186855792	10.4	14.5	4.1	0.214200542	9.9	14.2	4.3	0.204237726
8	9.3	14	4.7	0.186855792	10.4	14.4	4	0.219555556	9.8	14	4.2	0.209100529
9	9.1	13.8	4.7	0.186855792	10.4	14.3	3.9	0.225185185	9.7	13.9	4.2	0.209100529
10	8.9	13.6	4.7	0.186855792	10.4	14.3	3.9	0.225185185	9.6	13.8	4.2	0.209100529
11	8.8	13.5	4.7	0.186855792	10.3	14.2	3.9	0.225185185	9.5	13.6	4.1	0.214200542
12	8.6	13.3	4.7	0.186855792	10.2	14.1	3.9	0.225185185	9.4	13.4	4	0.219555556
13	8.6	13.2	4.6	0.190917874	10.1	14	3.9	0.225185185	9.3	13.3	4	0.219555556
14	8.4	13	4.6	0.190917874	10.1	13.9	3.8	0.231111111	9.2	13.1	3.9	0.225185185
15	8.4	12.8	4.4	0.19959596	10.1	13.8	3.7	0.237357357	9.2	13	3.8	0.231111111
16	8.3	12.7	4.4	0.19959596	10.1	13.8	3.7	0.237357357	9.1	12.9	3.8	0.231111111
17	8.1	12.5	4.4	0.19959596	10	13.7	3.7	0.237357357	9	12.7	3.7	0.237357357
18	8.1	12.4	4.3	0.204237726	10	13.6	3.6	0.243950617	8.9	12.6	3.7	0.237357357
19	8.1	12.4	4.3	0.204237726	9.9	13.4	3.5	0.250920635	8.8	12.5	3.7	0.237357357
20	8	12.3	4.3	0.204237726	9.9	13.2	3.3	0.266127946	8.7	12.4	3.7	0.237357357
21	8	12.2	4.2	0.209100529	9.9	13.1	3.2	0.274444444	8.6	12.2	3.6	0.243950617
22	7.9	12.1	4.2	0.209100529	9.8	13	3.2	0.274444444	8.6	12.1	3.5	0.250920635
23	7.8	12	4.2	0.209100529	9.7	12.9	3.2	0.274444444	8.6	12	3.4	0.258300654
24	7.8	11.9	4.1	0.214200542	9.7	12.8	3.1	0.283297491	8.5	11.8	3.3	0.266127946
25	7.8	11.8	4	0.219555556	9.7	12.8	3.1	0.283297491	8.4	11.7	3.3	0.266127946
26	7.7	11.7	4	0.219555556	9.6	12.7	3.1	0.283297491	8.3	11.6	3.3	0.266127946
27	7.7	11.6	3.9	0.225185185	9.6	12.7	3.1	0.283297491	8.2	11.5	3.3	0.266127946
28	7.7	11.5	3.8	0.231111111	9.6	12.6	3	0.292740741	8.1	11.4	3.3	0.266127946
29	7.6	11.4	3.8	0.231111111	9.6	12.5	2.9	0.302835249	8	11.3	3.3	0.266127946
30	7.6	11.3	3.7	0.237357357	9.6	12.4	2.8	0.313650794	7.9	11.2	3.3	0.266127946

* กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0259 cm³

** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0262 cm³

*** กำลังไฟฟ้า (P) = 1.976 W, ความหนา (x) = 0.01 m, พื้นที่หน้าตัด (A) = 0.0259 cm³

ภาคผนวก ข
สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

ตาราง ข-1 สภาพการนำความร้อนที่สัดส่วนน้ำในดิน

สัดส่วน น้ำในดิน (%)	ผลการทดลอง			
	ครั้งที่	$\Delta T (^{\circ}C)$	$k (W/m^{\circ}C)$	$k_{เฉลี่ย} (W/m^{\circ}C)$
0	1	9.3	0.087	0.070
	2	10.7	0.067	
	3	14.7	0.057	
30	1	5.8	0.151	0.153
	2	5.7	0.154	
	3	5.7	0.154	
36	1	5.3	0.166	0.170
	2	5.0	0.176	
	3	5.2	0.169	
42	1	5.1	0.172	0.174
	2	5.0	0.176	
	3	5.0	0.176	
48	1	5.5	0.159	0.170
	2	5.0	0.176	
	3	5.0	0.176	
56	1	4.7	0.187	0.205
	2	3.9	0.225	
	3	4.3	0.204	

ตัวอย่างการหาสภาพการนำความร้อนของดิน

$$k = P \cdot \frac{x}{A \Delta T}$$

$$k = (1.976) \cdot \frac{0.01}{(0.0273)(5)}$$

$$k = 0.166 \text{ W/m}^{\circ}C$$

ตาราง ข-2 ความหนาแน่นของดินและสัดส่วนน้ำในดิน

สัดส่วน น้ำในดิน (%)	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่	ความหนาแน่น รวม ρ_b (kg/ m ³)	ความหนาแน่น อนุภาคดิน ρ_s (kg/ m ³)	ผลต่าง ความหนาแน่น $\Delta\rho$ (kg/ m ³)	ผลต่าง ความหนาแน่นเฉลี่ย $\Delta\rho_{เฉลี่ย}$ (kg/ m ³)
0	1	1111.111	781.250	329.861	331.795
	2	1111.111	772.727	338.384	
	3	1111.111	783.972	327.139	
30	1	1332.515	772.727	559.787	551.742
	2	1338.840	782.007	556.833	
	3	1317.130	778.523	538.607	
36	1	1379.567	771.536	608.032	613.643
	2	1396.138	772.894	623.244	
	3	1390.421	780.769	609.652	
42	1	1416.483	774.908	641.575	650.052
	2	1441.414	785.455	655.959	
	3	1444.444	791.822	652.623	
48	1	1437.623	785.714	651.909	649.423
	2	1422.285	755.556	666.730	
	3	1400.000	770.370	629.630	
54	1	1500.147	768.340	731.807	712.802
	2	1476.138	770.992	705.146	
	3	1456.316	754.864	701.453	

ตัวอย่างการหาความหนาแน่นของดิน

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0.211 \times 10^{-3}}{0.273}$$

$$\rho = 773.663 \text{ kg/ m}^3$$

ตาราง ข-3 ปริมาณการดูดซับน้ำของดินและสัดส่วนของน้ำในดิน

สัดส่วน น้ำในดิน (%)	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่	น้ำหนักของ น้ำในดิน W_w (kg)	น้ำหนักรวม ของดิน W_b (kg)	ปริมาณ การดูดซับน้ำ P (ร้อยละ)	ปริมาณการดูดซับน้ำเฉลี่ย P (ร้อยละ)
0	1	0.025	0.250	10.000	10.533
	2	0.029	0.250	11.600	
	3	0.025	0.250	10.000	
30	1	0.161	0.382	42.147	41.672
	2	0.163	0.389	41.902	
	3	0.161	0.393	40.967	
36	1	0.164	0.370	44.324	44.389
	2	0.171	0.382	44.764	
	3	0.160	0.363	44.077	
42	1	0.175	0.385	45.455	45.477
	2	0.181	0.397	45.592	
	3	0.177	0.390	45.385	
48	1	0.174	0.383	45.431	45.760
	2	0.180	0.384	46.875	
	3	0.170	0.378	44.974	
54	1	0.190	0.389	48.843	48.349
	2	0.186	0.388	47.938	
	3	0.181	0.375	48.267	

ตัวอย่างการหาปริมาณการดูดซับน้ำของดิน

$$P = \frac{W_w}{W_b} \times 100$$

$$P = \frac{0.163}{0.389} \times 100$$

$$P = 41.902 \%$$

ตาราง ข-4 ความชื้นของดินที่สกัดส่วนน้ำในดินต่างๆ

สัดส่วน น้ำในดิน (%)	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่	มวลของน้ำในดิน m_w (kg)	มวลของดินแห้ง m_s (kg)	ความชื้นโดยมวล w (ร้อยละ)	ความชื้นโดยมวลเฉลี่ย $w_{เฉลี่ย}$ (ร้อยละ)
0	1	0.025	0.225	11.111	11.781
	2	0.029	0.221	13.122	
	3	0.025	0.225	11.111	
30	1	0.161	0.221	72.851	71.457
	2	0.163	0.226	72.124	
	3	0.161	0.232	69.397	
36	1	0.164	0.206	79.612	79.824
	2	0.171	0.211	81.043	
	3	0.16	0.203	78.818	
42	1	0.175	0.21	83.333	83.409
	2	0.181	0.216	83.796	
	3	0.177	0.213	83.099	
48	1	0.174	0.209	83.254	84.407
	2	0.18	0.204	88.235	
	3	0.17	0.208	81.731	
54	1	0.19	0.199	95.477	93.619
	2	0.186	0.202	92.079	
	3	0.181	0.194	93.299	

ตัวอย่างการหาความชื้นของดิน

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100$$

$$w = \frac{0.171}{0.211} \times 100$$

$$w = 81.043 \%$$