

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 15/2563

เรื่อง

การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในดิน

ระหว่างข้อมูลดาวเทียม SMAP และข้อมูลจากการตรวจวัดในพื้นที่นาข้าว

Comparison of Soil Moisture Content Between the SMAP Satellite Data
and the Data from the Measurements in the Paddy Field.

โดย

นายกฤตกานต์ เคลือบมณี

นายรณชัย กล่อมจิต

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2563

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เรื่อง การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในดินระหว่างข้อมูลดาวเทียม SMAP และข้อมูลจากการตรวจวัดในพื้นที่นาข้าว

Comparison of Soil Moisture Content Between the SMAP Satellite Data and the Data from the Measurements in the Paddy Field.

นามผู้ทำโครงการ นายกฤตกานต์ เคลือบมณี
 นายรณชัย กล่อมจิต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....
(รศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย)
...../...../.....

กรรมการ

.....
(อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค)
...../...../.....

กรรมการ

.....
(อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมพู่จันทร์)
...../...../.....

บทคัดย่อ

เรื่อง การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในดินระหว่างข้อมูลดาวเทียม SMAP และข้อมูลจากการตรวจวัดในพื้นที่นาข้าว

โดย นายกฤตกานต์ เคลือบมณี
นายรณชัย กล่อมจิต

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน

.....
(รศ.ดร.เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์)

...../...../.....

ความชื้นในดินเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การวัดความชื้นในดินโดยทั่วไปแบ่งได้ 2 วิธี คือ วัดโดยตรง และวัดโดยอ้อม ในปัจจุบันมีการนำดาวเทียมเข้ามาใช้ในการตรวจวัดความชื้นในดิน โครงการวิศวกรรมนี้มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม SMAP ในพื้นที่นาข้าว พื้นที่ศึกษาคือนาข้าวในอำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือ (1) เพื่อตรวจวัดและเก็บตัวอย่างข้อมูลปริมาณความชื้นในดินในพื้นที่นาข้าว โดยวิธี Water Content และเครื่องมือ TDR (2) เพื่อรวบรวมข้อมูลความชื้นในดินของดาวเทียม SMAP และ (3) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของข้อมูลดาวเทียม SMAP กับ วิธี Water Content และเครื่องมือ TDR การดำเนินงานได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากดาวเทียมกับข้อมูลที่ตรวจวัดโดยเครื่อง Time Domain Reflectometry (TDR) ที่ทำการวัดในพื้นที่ศึกษาจำนวน 20 จุด จุดละ 3 ครั้งในวันที่ 14 เมษายน 2564 วันที่เก็บข้อมูล พื้นที่ส่วนใหญ่มีน้ำท่วมขังเนื่องจากมีฝนตกในช่วงหัวค่ำก่อนวันที่ตรวจวัดข้อมูล ค่าความชื้นในดินที่ตรวจวัดมีค่าสูงสุดเท่ากับ $0.417 \text{ m}^3/\text{m}^3$ และต่ำสุดเท่ากับ $0.181 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ $0.304 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ค่าความชื้นจากข้อมูลดาวเทียมในวันเดียวกับที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.172 ถึง $0.258 \text{ m}^3/\text{m}^3$ และความชื้นที่เวลาเดียวกันกับการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ $0.210 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ความชื้นจากข้อมูลดาวเทียมมีค่าต่ำกว่าข้อมูลที่วัดโดย TDR ผลการเปรียบเทียบได้ค่า RMSE เท่ากับ $0.104 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าแม่นยำต่ำกว่าข้อกำหนดของเครื่องมือของดาวเทียม ($0.04 \text{ m}^3/\text{m}^3$)

Abstract

Title Comparison of Soil Moisture Content Between the SMAP Satellite Data and the Data from the Measurements in the Paddy Field.

By Mr. Kittakan Khlobmanee
Mr. Ronnchai Klomjit

Project Advisor

.....
(Assoc. Prof. Dr. Ekasit Kositsakulchai)

...../...../.....

Soil moisture has an important role in plant growth. Measurement of soil moisture can be conducted using direct or indirect methods. Nowadays satellite data of soil moisture are available. This Senior Project aimed to validate the soil moisture data from the SMAP satellite in paddy field. The study area was paddy field in Huai Krachao District, Kanchanaburi. The objectives were (1) to determine the soil moisture contents in the study area using direct sampling method and the time domain reflectometer (TDR), (2) to collect satellite soil moisture data of Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellites, and (3) to compare the moisture content between the SMAP data and the TDR data. The satellite soil moisture data were compared with those measured by the TDR. The TDR measurements in 20 locations with 3 repetitions were conducted on April 14, 2021. Water logging was found in some measured location due to rainfall during the early night before field visiting. The highest soil moisture of TDR was 0.417 m³/m³, the lowest was 0.181 m³/m³, and the average was 0.304 m³/m³. The SMAP soil moisture in the same day ranged from 0.172 m³/m³ to 0.258 m³/m³ and was 0.210 m³/m³ at the measured time. The SMAP data were lower than those of TDR measurements with the RMSE of 0.104 m³/m³. It was below the expected accuracy of the satellite requirements (0.04 m³/m³).

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ รศ.ดร.เอกสิทธิ์ โขสิตสกุลชัย ประธานกรรมการโครงการวิจัย อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค และ อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการดำเนินงาน และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินงานของโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้ามีความหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนา ทางด้านการชลประทานต่อไป

ผู้จัดทำ

นายกฤตกานต์ เคลือบมณี

นายรณชัย กล่อมจิต

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูปภาพ	vii
บทที่ 1	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับปริมาณน้ำในดิน	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดความชื้นของดินโดยใช้เครื่อง Time Domain Reflectometry	4
บทที่ 3	
3.1 อุปกรณ์การดำเนินงาน	7
3.2 วิธีการดำเนินงาน	9
บทที่ 4	
4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดความชื้น TDR	13
4.2 การวัดความชื้นของดินในสนามโดยเครื่อง TDR	14
4.3 ความชื้นของดินจากข้อมูลดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)	15
4.4 เปรียบเทียบข้อมูลความชื้นของดินระหว่างการตรวจวัดโดย TDR กับข้อมูลจากดาวเทียม SMAP	15

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	18
5.2 ข้อเสนอแนะ	18
เอกสารอ้างอิง	19
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	21
ภาคผนวก ข.	22
ภาคผนวก ค.	26
ภาคผนวก ง.	27
ภาคผนวก ฉ.	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลิตกัณฑ์ข้อมูล Soil Moisture Active Passive (SMAP)	6
ตารางที่ 2 แสดงความชื้นโดยปริมาตรของดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดิน และจากการวัดโดยเครื่อง TDR	13
ตารางที่ ก-1 ความชื้นโดยปริมาตร และข้อมูลของดินที่ทำการการเก็บตัวอย่างดิน และจากการวัดโดยเครื่อง TDR	21
ตารางที่ ข-1 ปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่อง TDR	22
ตารางที่ ข-2 ปริมาณความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP วันที่ 13-15 เมษายน 2564	25
ตารางที่ ค-1 ข้อมูลฝนสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรอุทุมทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2564	26

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย	2
ภาพที่ 2 Soil core sampler	7
ภาพที่ 3 ครอบป้องกันตัวอย่างดิน	7
ภาพที่ 4 ตู้อบดิน	7
ภาพที่ 5 เครื่องชั่งดิจิตอล	8
ภาพที่ 6 Time domain reflectometry (TDR)	8
ภาพที่ 7 อุปกรณ์สำหรับเจาะนำเครื่อง TDR	8
ภาพที่ 8 ตัวอย่าง	9
ภาพที่ 9 เว็บไซต์ EARTHDATA และเมนู Earthdata search	9
ภาพที่ 10 แถบค้นหาข้อมูลที่ต้องการดาวนิโหลด	10
ภาพที่ 11 เว็บไซต์ EARTHDATA เมื่อกำหนดข้อมูลที่ต้องการดาวนิโหลดเรียบร้อยแล้ว	10
ภาพที่ 12 การใช้เครื่อง TDR ตรวจวัดความชื้นในดิน	11
ภาพที่ 13 การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ Soil core sampler และเก็บตัวอย่างดิน	11
ภาพที่ 14 การอบตัวอย่างดินในเตาอบ	12
ภาพที่ 15 วิธีการดำเนินงาน	12
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตรที่ได้จากการเก็บตัวอย่างกับการวัดโดยเครื่อง TDR	14
ภาพที่ 17 ตำแหน่งของจุดที่ทำกรวัดความชื้นของดินโดยเครื่อง TDR	14
ภาพที่ 18 ความชื้นโดยปริมาตรของดินบริเวณพื้นที่ศึกษาในวันที่ 13 – 15 เมษายน 2564	15
ภาพที่ 19 ลักษณะพื้นที่ของจุดที่ 2 และจุดที่ 1	16
ภาพที่ 21 กราฟเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินโดยปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง TDR และจากดาวเทียม SMAP	17
ภาพที่ จ-1 การเก็บตัวอย่างที่ 1	27
ภาพที่ จ-2 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 1	27
ภาพที่ จ-3 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 1	27
ภาพที่ จ-4 การเก็บตัวอย่างที่ 2	28
ภาพที่ จ-5 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 2	28
ภาพที่ จ-6 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 2	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ จ-7 ดินตัวอย่างที่ 3	29
ภาพที่ จ-8 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 3	29
ภาพที่ จ-9 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 3	29
ภาพที่ จ-10 ดินตัวอย่างดินที่ 4	30
ภาพที่ จ-11 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 4	30
ภาพที่ จ-12 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 4	30
ภาพที่ จ-13 การเก็บตัวอย่างที่ 5	31
ภาพที่ จ-14 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 5	31
ภาพที่ จ-15 ดินตัวอย่างที่ 6	31
ภาพที่ จ-16 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 6	32
ภาพที่ จ-17 ดินตัวอย่างที่ 7	32
ภาพที่ จ-18 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 7	32
ภาพที่ จ-19 ดินตัวอย่างที่ 8	33
ภาพที่ จ-20 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 8	33
ภาพที่ จ-21 ดินตัวอย่างที่ 9	33
ภาพที่ จ-22 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 9	34
ภาพที่ จ-23 ดินตัวอย่างที่ 10	34
ภาพที่ จ-24 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 10	34
ภาพที่ จ-25 ดินตัวอย่างที่ 11	35
ภาพที่ จ-26 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 11	35
ภาพที่ ฉ-1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดที่ทำการวัดความชื้นแต่ละจุด	36
ภาพที่ ฉ-2 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 1	36
ภาพที่ ฉ-3 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 1	37
ภาพที่ ฉ-4 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 2	37
ภาพที่ ฉ-5 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 2	37
ภาพที่ ฉ-6 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 3	38
ภาพที่ ฉ-7 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 3	38
ภาพที่ ฉ-8 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 4	38
ภาพที่ ฉ-9 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 4	39
ภาพที่ ฉ-10 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 5	39

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ฉ-11 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 5	39
ภาพที่ ฉ-12 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 6	40
ภาพที่ ฉ-13 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 6	40
ภาพที่ ฉ-14 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 7	40
ภาพที่ ฉ-15 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 7	41
ภาพที่ ฉ-16 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 8	41
ภาพที่ ฉ-17 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 8	41
ภาพที่ ฉ-18 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 9	42
ภาพที่ ฉ-19 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 9	42
ภาพที่ ฉ-20 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 10	42
ภาพที่ ฉ-21 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 10	43
ภาพที่ ฉ-22 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 11	43
ภาพที่ ฉ-23 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 11	43
ภาพที่ ฉ-24 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 12	44
ภาพที่ ฉ-25 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 12	44
ภาพที่ ฉ-26 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 13	44
ภาพที่ ฉ-27 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 13	44
ภาพที่ ฉ-28 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 14	45
ภาพที่ ฉ-29 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 14	45
ภาพที่ ฉ-30 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 15	45
ภาพที่ ฉ-31 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 15	46
ภาพที่ ฉ-32 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 16	46
ภาพที่ ฉ-33 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 16	46
ภาพที่ ฉ-34 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 17	47
ภาพที่ ฉ-35 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 17	47
ภาพที่ ฉ-36 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 18	47
ภาพที่ ฉ-37 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 18	48
ภาพที่ ฉ-38 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 19	48

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ฉ-41 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 20	48
ภาพที่ ฉ-39 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 19	49
ภาพที่ ฉ-40 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 20	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ความชื้นของดินตามความหมายของพจนานุกรมปฐพีวิทยา คือ น้ำซึ่งดูดซับบนผิวอนุภาคดินหรือขังอยู่ชั่วคราวหรืออยู่ในสถานะไอน้ำในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน ซึ่งน้ำเหล่านี้สามารถทำให้หมดได้ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 25 ชั่วโมง (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา, 2541) สำอาจ (2513) กล่าวว่าระดับความชื้นของดิน หมายถึงจำนวนความชื้นทั้งหมดที่อยู่ในดินหนึ่งหน่วยหรือร้อยหน่วย ซึ่งคำว่า “จำนวน” นี้หมายถึงมวล แต่ในบางกรณีก็หมายถึงปริมาตร ระดับความชื้นของดินนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Percentage by weight)

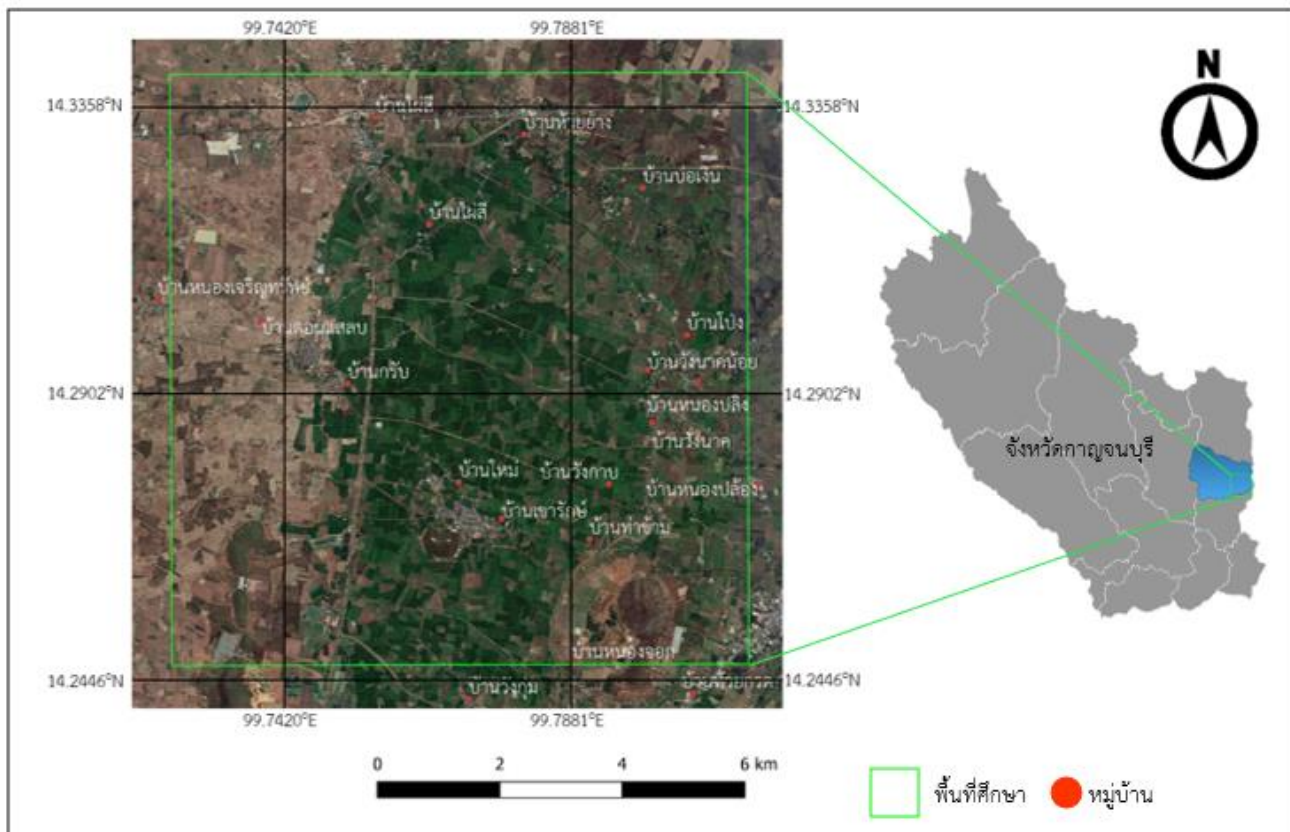
การวัดความชื้นของดิน (Measuring water content) โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 วิธี คือ วัดโดยตรง และวัดโดยอ้อม การวัดความชื้นโดยตรงมักใช้วิธีวัดโดยน้ำหนัก ส่วนวิธีวัดโดยอ้อมนั้นอาศัยการวัดค่าที่อ่านได้จากหลายเครื่องมือ ซึ่งมีความสัมพันธ์แน่นอนกับความชื้นของดิน ซึ่งมักจะให้ผลการวัดรวดเร็วกว่าการวัดโดยตรง และในปัจจุบันมีการใช้ดาวเทียมเข้ามาใช้ในการวัดความชื้นในดิน เช่น การใช้ดาวเทียม Soil Moisture Active Passive หรือ SMAP ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NASA) ซึ่งทางผู้วิจัยได้เห็นถึงการนำข้อมูลจากดาวเทียม SMAP มาใช้ให้เกิดประโยชน์เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสะดวกต่อการใช้งาน จึงได้ทำการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นในดินระหว่างข้อมูลของดาวเทียม SMAP กับค่าความชื้นที่ได้มาจากการตรวจวัดโดยเครื่อง Time Domain Reflectometry (TDR) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมและเพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้นี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ตรวจวัดและเก็บตัวอย่างข้อมูลปริมาณความชื้นในดินในพื้นที่นาข้าว โดยวิธี Water Content และเครื่องมือ TDR
2. รวบรวมข้อมูลความชื้นดินของดาวเทียม SMAP
3. เปรียบเทียบปริมาณความชื้นของข้อมูลดาวเทียม SMAP กับ วิธี Water Content และเครื่องมือ TDR

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่อำเภอห้วยกระเจา บริเวณตำบลดอนแสลบ และตำบลสระลงเรือ และบางส่วนของอำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี
2. การวัดความชื้นในดินโดยปริมาตรจะวัดโดยเครื่อง TDR และโดยวิธี Water Content



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับปริมาณน้ำในดิน

ปริมาณน้ำในดินอาจนิยามได้หลายลักษณะ (เอกสิทธิ์, 2559) ดังนี้ ปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (volumetric soil water content), ปริมาณน้ำในดินโดยการชั่ง (gravimetric water content), ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (degree of saturation), ความลึกของน้ำเทียบเท่า (equivalent depth of water)

ปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (volumetric soil water content, θ_v) คำนวณจากปริมาตรของน้ำ (V_W) ต่อปริมาตรรวมของดิน (V_t) (สมการที่ 1)

$$\theta_v = \frac{V_W}{V_t} \quad \text{สมการ (1)}$$

ปริมาณน้ำในดินโดยการชั่ง (gravimetric water content, θ_m) เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของน้ำ (m_W) ต่อมวลของอนุภาคดินแห้ง (m_S) (สมการที่ 2) คำว่า ดินแห้ง หมายถึง ดินที่ได้ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105–110°C ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา, 2551) เดิมเรียกปริมาณน้ำในดินโดยน้ำหนัก หรืออาจเรียกปริมาณน้ำในดินโดยมวล (เพื่อให้สอดคล้องกับนิยามทางฟิสิกส์)

$$\theta_m = \frac{m_W}{m_S} \quad \text{สมการ (2)}$$

ในกรณีที่ทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (A_S) แล้ว การหาปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตรจะง่ายขึ้นโดยทำการหาปริมาณน้ำในดินโดยการชั่งซึ่งสะดวกกว่าเสียก่อน (วิบูลย์, 2526) แล้วแปลงเป็นปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตรด้วยการคูณด้วยความถ่วงจำเพาะปรากฏ (สมการที่ 3)

$$\theta_v = A_S \theta_m \quad \text{สมการ (3)}$$

ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (degree of saturation, S_e) เป็นค่าซึ่งแสดงปริมาณน้ำ (V_W) ต่อ ปริมาตรของช่องว่างในดิน ($V_v = V_a + V_W$) (สมการที่ 4) S_e มีค่าอยู่ระหว่าง 0–100%

$$S_e = \frac{V_W}{V_v} = \frac{V_W}{V_a + V_W} \quad \text{สมการ(4)}$$

ความลึกของน้ำเทียบเท่า (equivalent depth of water) เป็นความลึกของน้ำ (d) เทียบกับความลึก ของดิน (D) (สมการที่ 5) ค่าความลึกของน้ำเทียบเท่านี้ใช้บอกปริมาณน้ำในดินในหน่วยของความลึกน้ำ เช่น มิลลิเมตร ได้สะดวกขึ้น

$$d = \theta_v D \quad \text{สมการ (5)}$$

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดความชื้นของดินโดยใช้เครื่อง Time Domain Reflectometry

Time Domain reflectometry (TDR) เป็นการวัดปริมาณน้ำในดินทางอ้อมโดยพิจารณาจากเวลา เดินทางของพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงผ่านดิน โดยใช้เวลานี้จะใช้ในการคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) ของดินที่จะทำการวัดความชื้น (Soil lab modules, 2016)

Topp และคณะ (1980) แสดงความสัมพันธ์ของค่า dielectric constant (ϵ) ของดินและความชื้น ในดินโดยปริมาตร (θ_v) โดยใช้แท่งโลหะของเครื่อง TDR วัดความชื้นดินในภาคสนาม ค่าของ ϵ คำนวณจาก การวัดค่า Transit time (t) คือเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปตามความยาว (l) ของ rods ดังสมการที่ 6

$$\epsilon = \left(\frac{ct}{2l}\right)^2 \quad \text{สมการ (6)}$$

เมื่อ c คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่า 3×10^8 m/s ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ และ ความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยวิธีชั่งน้ำหนัก (gravimetric method) จากงานทดลองของ Topp และ คณะ (1980) ได้แสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$\theta_v = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \epsilon - 5.5 \times 10^{-4} \epsilon^2 + 4.3 \times 10^{-6} \epsilon^3 \quad \text{สมการ (7)}$$

สมการที่ (7) มีค่าประสิทธิสหสัมพันธ์ (correlation, r^2) = 0.999 (Topp et al., 1980) นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นรวมของดิน อุณหภูมิในดิน แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณเกลือในดินจะส่งผลกระทบต่อสัญญาณของ TDR จากดินตัวกลาง

2.3 ดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)

ดาวเทียม Soil Moisture Active Passive หรือ SMAP เป็นดาวเทียมที่ถูกปล่อยโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NASA) เมื่อวันที่ 31 มกราคม ปีพ.ศ.2558 สำหรับใช้เก็บข้อมูลและสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินบนพื้นผิวโลกโดยอาศัยวิธีการ 2 แบบ คือ 1. การเก็บข้อมูลคลื่นไมโครเวฟที่สะท้อนมาจากผิวโลก และ 2. ใช้การปล่อยคลื่นไมโครเวฟจากตัวดาวเทียมและทำการรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา โดยใช้เวลาประมาณ 2-3 วันในการโคจรรอบโลกเพื่อเก็บข้อมูล

อุมพร (2557) กล่าวว่า การส่งดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP) นั้น มีจุดประสงค์ในการเพิ่มความเข้าใจของกระบวนการแลกเปลี่ยนวัฏจักรน้ำ พลังงาน และคาร์บอน และเพิ่มความถูกต้องของการทำนายสภาพของอากาศ และภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ข้อมูลจาก SMAP ยังสามารถใช้ในการคำนวณปริมาณแลกเปลี่ยนคาร์บอนในภูมิอากาศแบบ ป่าสนแถบเหนือประเทศแคนาดา หรือรัสเซีย ความชื้นของดิน ปริมาณคาร์บอนที่ดินดูดซับและปล่อยออกมีความสำคัญต่อโลก SMAP จึงช่วยให้เราเข้าใจวัฏจักรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมได้เพิ่มขึ้น และยังสามารถใช้ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำนาย และตรวจสอบความแห้งแล้งที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

ระดับข้อมูลของดาวเทียม SMAP แบ่งออกเป็น 4 ระดับตั้งแต่ระดับที่ 1 ถึง 4 โดยข้อมูลระดับที่ 1 คือข้อมูลที่ได้รับจากการวัดของอุปกรณ์บนดาวเทียม ระดับที่ 2 คือการดึงความชื้นในดินทางธรณีฟิสิกส์บนกริดโลกคงที่โดยอิงจากผลิตภัณฑ์ระดับที่ 1 และข้อมูลเสริม ระดับที่ 3 คือการรวมข้อมูลความชื้นรายวันในระดับที่ 2 และข้อมูลการแข่งตัวกับละลาย และระดับที่ 4 คือข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองความชื้นของดินที่พื้นผิว (Surface) และบริเวณเขตราก (Root Zone) และการแลกเปลี่ยนระบบนิเวศคาร์บอน ซึ่งข้อมูลดาวเทียม SMAP ทั้งที่ 4 ระดับแสดงดังแสดงในตารางที่ 1 (Jet propulsion laboratory, 2015)

สำหรับโครงการนี้เลือกในข้อมูล L4_SM ซึ่งเป็นข้อมูลระดับที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลความชื้นในดินที่พื้นผิวดินด้านบน 5 เซนติเมตร (surface soil moisture) และความชื้นในดินในเขตรากที่ลึกประมาณ 100 เซนติเมตรจากผิวดิน (root zone soil moisture) มีความละเอียดของข้อมูลประมาณ 9 กิโลเมตร

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์ข้อมูล Soil Moisture Active Passive (SMAP) ของ NASA ระดับที่ 1 (L1) ถึง ระดับที่ 4 (L4) ความละเอียดของจุดภาพ (resolution) และระยะเวลาที่ต้องประมวลผล (latency)

Product	Description	Gridding (Resolution)	Latency**	
L1A_Radiometer	Radiometer Data in Time-Order	—	12 Hrs	Instrument Data
L1A_Radar	Radar Data in Time-Order	—	12 Hrs	
L1B_TB	Radiometer T_B in Time-Order	(36x47 km)	12 Hrs	
L1B_S0_LoRes	Low-Resolution Radar σ_0 in Time-Order	(5x30 km)	12 Hrs	
L1C_S0_HiRes	High-Resolution Radar σ_0 in Half-Orbits	1 km (1–3 km)#	12 Hrs	
L1C_TB	Radiometer T_B in Half-Orbits	36 km	12 Hrs	
L2_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	24 Hrs	Science Data (Half-Orbit)
L2_SM_P*	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	24 Hrs	
L2_SM_AP*	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	24 Hrs	
L3_FT_A*	Freeze/Thaw State (Radar)	3 km	50 Hrs	Science Data (Daily Composite)
L3_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	50 Hrs	
L3_SM_P*	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	50 Hrs	
L3_SM_AP*	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	50 Hrs	
L4_SM	Soil Moisture (Surface and Roof Zone)	9 km	7 days	Science Value Added
L4_C	Carbon Net Ecosystem Exchange (NEE)	9 km	14 days	

Over outer 70% of swath.

** The SMAP Project will make a best effort to reduce the data latencies beyond those shown in this table.

* Product directly addresses the mission L1 science requirements.

ที่มา: National Aeronautics and Space Administration (2014)

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์การดำเนินงาน

ในการวัดปริมาณความชื้นมีอุปกรณ์ดังนี้

1. Soil core sampler และวงแหวนสำหรับเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 2 Soil core sampler

2. ครอบป้องกันตัวอย่างดิน



ภาพที่ 3 ครอบป้องกันตัวอย่างดิน

3. ตู้อบสำหรับอบตัวอย่างดิน



ภาพที่ 4 ตู้อบดิน

4. เครื่องชั่งดิจิตอล



ภาพที่ 5 เครื่องชั่งดิจิตอล

5. Time domain reflectometry (TDR) ยี่ห้อ IMKO รุ่น HD2 & Soil moisture probe รุ่น TRIME-PICO 64



ภาพที่ 6 Time domain reflectometry (TDR) ยี่ห้อ IMKO รุ่น HD2 และ Soil moisture probe รุ่น TRIME-PICO 64

6. อุปกรณ์สำหรับเจาะนำเครื่อง TDR



ภาพที่ 7 อุปกรณ์สำหรับเจาะนำเครื่อง TDR

7. ค้อนยาง



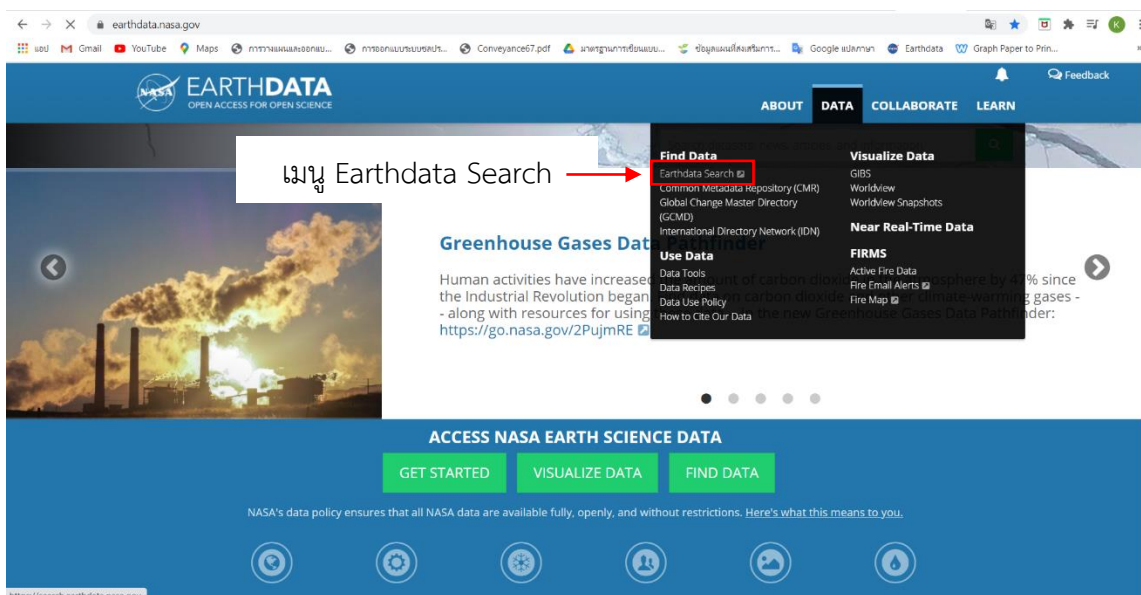
ภาพที่ 8 ค้อนยาง

3.2 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

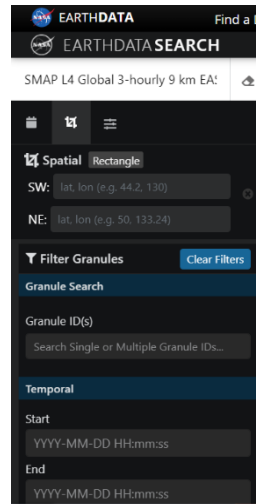
1. รวบรวมข้อมูลดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)

- 1.1 เข้าสู่เว็บไซต์ <https://earthdata.nasa.gov/> เลือกเมนู DATA และเลือกแถบเมนู Earthdata Search



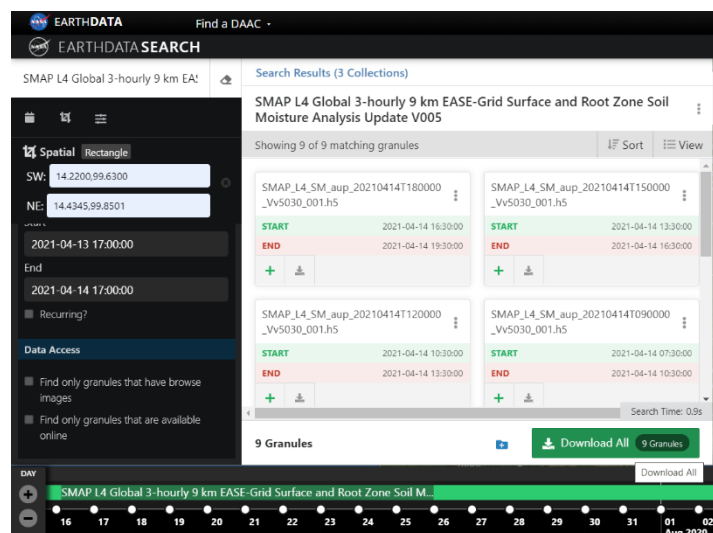
ภาพที่ 9 เว็บไซต์ EARTHDATA และเมนู Earthdata Search

1.2 ค้นหาข้อมูลดาวเทียมโดยเลือกค้นหาข้อมูลดาวเทียม SMAP L4 Global 3-hourly 9 km EASE-Grid Surface and Root Zone Soil Moisture Analysis Update V005 แล้วกำหนดข้อมูลที่ต้องการลงในแถบค้นหา โดยจะกำหนดพิกัดเป็นแบบ Rectangular ดังภาพที่ 10 แล้วจึงกำหนดพิกัด SW และ NE เป็นพิกัดของพื้นที่ศึกษา และวันที่ของข้อมูลที่ดาวนโหลด จะกำหนดเป็นวันที่ที่ดำเนินการขั้นตอนที่ 2



ภาพที่ 10 แถบค้นหาข้อมูลที่ต้องการดาวนโหลด

1.3 เมื่อกำหนดข้อมูลพิกัดของพื้นที่ศึกษา และเวลาที่ต้องการดาวนโหลด เว็บไซต์จะแสดงข้อมูล ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เว็บไซต์ EARTHDATA เมื่อกำหนดข้อมูลที่ต้องการดาวนโหลดเรียบร้อยแล้ว

1.4 ดาวนโหลดข้อมูลดาวเทียม SMAP ที่ทำการค้นหาไว้ในขั้นตอนที่ 1.3

2. การวัดความชื้นในดินในสนาม

2.1 ใช้เครื่อง TDR ตรวจวัดความชื้นในดินในพื้นที่นาข้าวที่จะทำการเก็บข้อมูลความชื้นแล้ว
บันทึกข้อมูลที่เครื่องอ่านค่าได้



ภาพที่ 12 การใช้เครื่อง TDR ตรวจวัดความชื้นในดิน

2.2 เก็บตัวอย่างดินบริเวณเดียวกับที่ทำในข้อ 1 โดยใช้ Soil core sampler และเก็บตัวอย่างดิน
บรรจุลงในกระป๋องใส่ตัวอย่างดินที่ได้ซึ่งน้ำหนักไว้ก่อนแล้ว



ภาพที่ 13 การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ Soil core sampler
และดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดิน

2.3 นำตัวอย่างดินที่เก็บมาไปทำการชั่งน้ำหนักทันทีแล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง

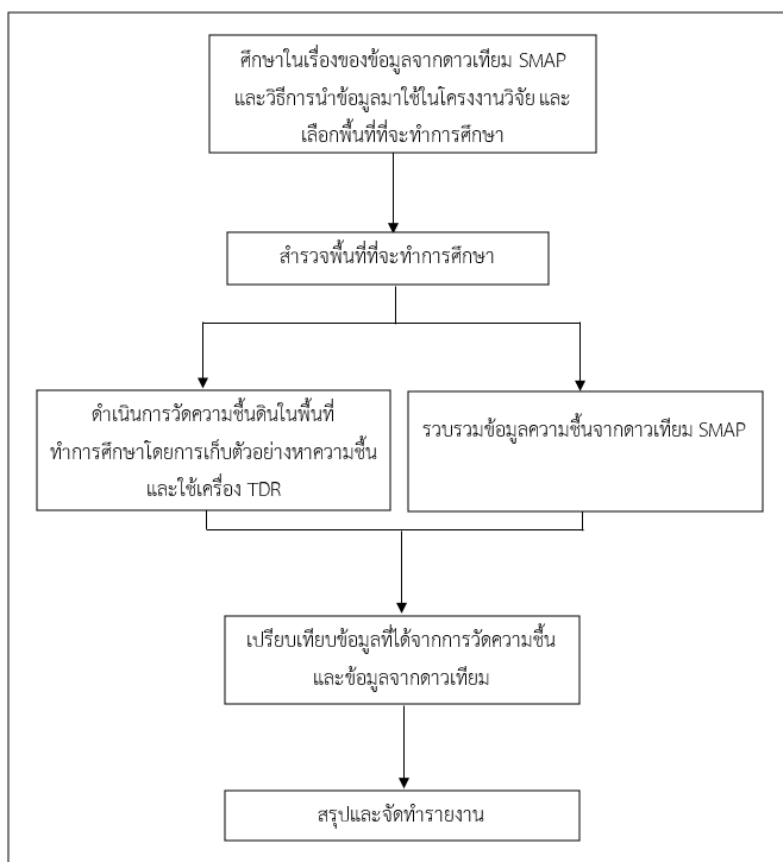
2.4 นำตัวอย่างดินที่บรรจุลงในกระป๋องใส่ตัวอย่างดินแล้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 14 การอบตัวอย่างดินในเตาอบ

2.5 นำตัวอย่างดินที่ผ่านการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3. เปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลดาวเทียม และจากการวัดความชื้นในภาคสนามที่ได้จากขั้นตอนที่ 2



ภาพที่ 15 วิธีการดำเนินงาน

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

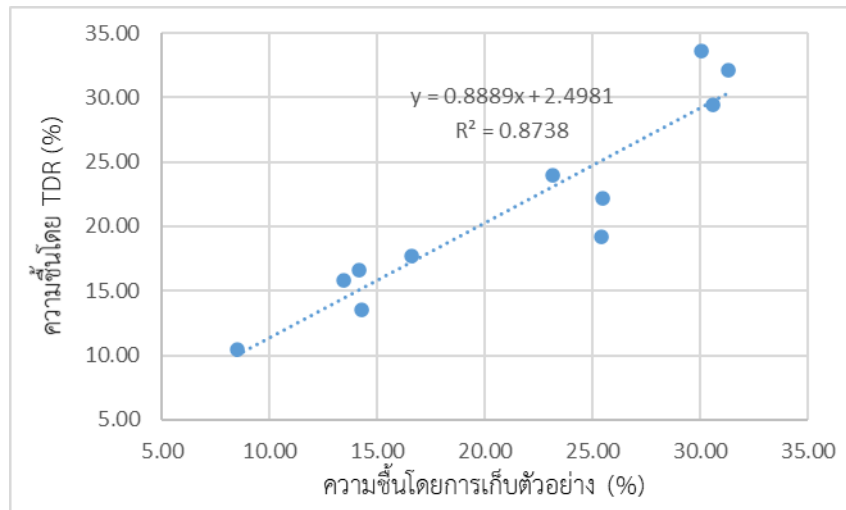
4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดความชื้น TDR

การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดความชื้นทำโดยการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกลบดิน แล้วจึงใช้เครื่อง TDR วัดความชื้นในบริเวณเดียวกันกับจุดที่เก็บตัวอย่าง โดยความชื้นจากการเก็บตัวอย่างดิน และค่าความชื้นจากการวัดโดยเครื่อง TDR แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความชื้นโดยปริมาตรของดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดิน และจากการวัดโดยเครื่อง TDR

No.	D (cm.)	H (cm.)	V (cm ³)	Weight (g.)			Water content	
				Can+ring	Can+Soil ก่อนอบ	Can+Soil หลังอบ	เก็บตัวอย่าง	TDR
1	5.38	3.01	68.502	80.64	212.03	190.56	31.34	32.07
2	5.38	3.01	68.502	72.65	216.57	195.98	30.06	33.57
3	5.38	3.01	68.502	70.03	181.24	163.77	25.50	22.13
4	5.38	3.01	68.502	73.52	197.90	186.54	16.58	17.71
5	5.38	3.00	68.199	74.76	218.34	201.02	25.40	19.20
6	5.38	3.00	68.199	74.24	206.23	185.35	30.62	29.46
7	5.38	3.00	68.199	71.24	199.19	189.53	14.16	16.66
8	5.38	3.00	68.199	68.81	187.83	178.68	13.42	15.87
9	5.38	3.00	68.199	72.79	167.99	162.2	8.49	10.43
10	5.38	3.00	68.199	72.86	208.80	193.03	23.12	23.97
11	5.38	3.00	68.199	73.68	190.47	180.74	14.27	13.49

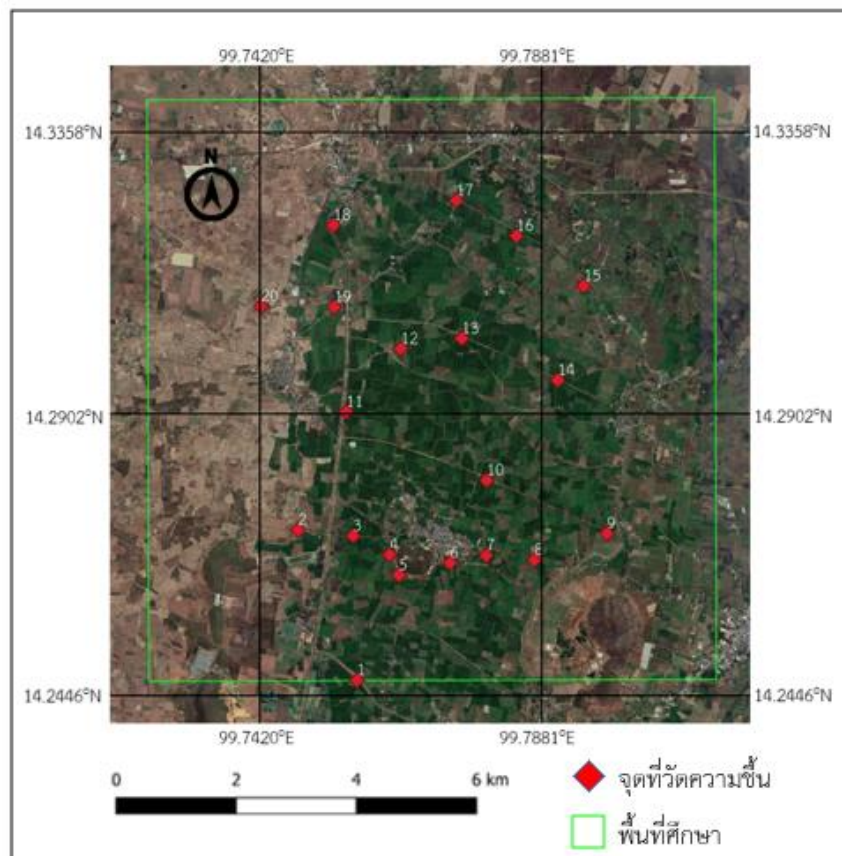
เมื่อได้ค่าความชื้นแล้วจึงสามารถวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตรที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง กับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง TDR โดยพบว่ามีค่า Coefficient of Determination (r^2) เท่ากับ 0.874 ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตรที่ได้จากการเก็บตัวอย่างกับการวัดโดยเครื่อง TDR

4.2 การวัดความชื้นของดินในสนามโดยเครื่อง TDR

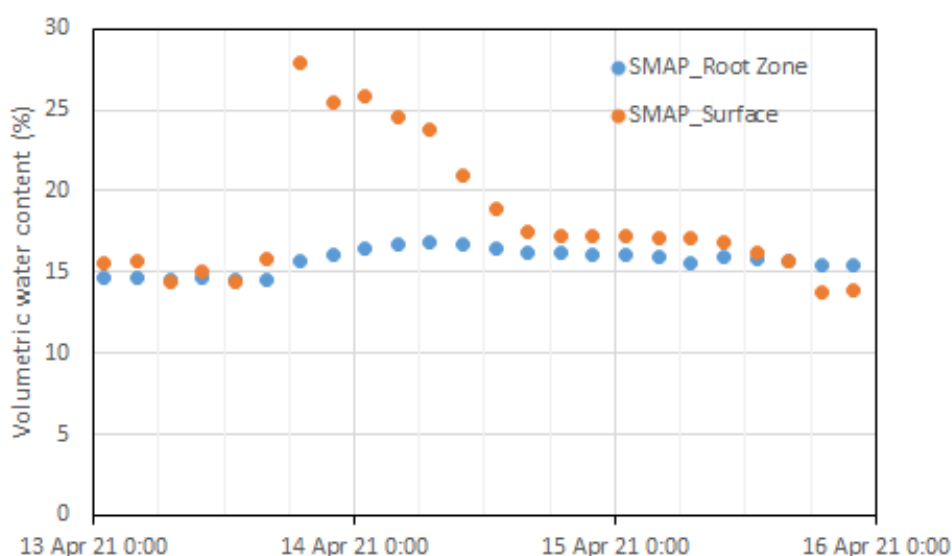
การวัดความชื้นในดินได้ดำเนินการในวันที่ 14 เมษายน 2564 โดยทำการวัดความชื้นรวม 20 จุด กระจายทั่วพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งค่าความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 41.72% บริเวณจุดที่ 1 พิกัดที่ 14.248°N, 99.758°E และต่ำสุดเท่ากับ 18.1% บริเวณจุดที่ 2 พิกัดที่ 14.272°N, 99.748°E ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ทำการวัดในวันที่ 14 เมษายน 2564 เท่ากับ 30.06%



ภาพที่ 17 ตำแหน่งของจุดที่ทำการวัดความชื้นของดินโดยเครื่อง TDR

4.3 ความชื้นของดินจากข้อมูลดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)

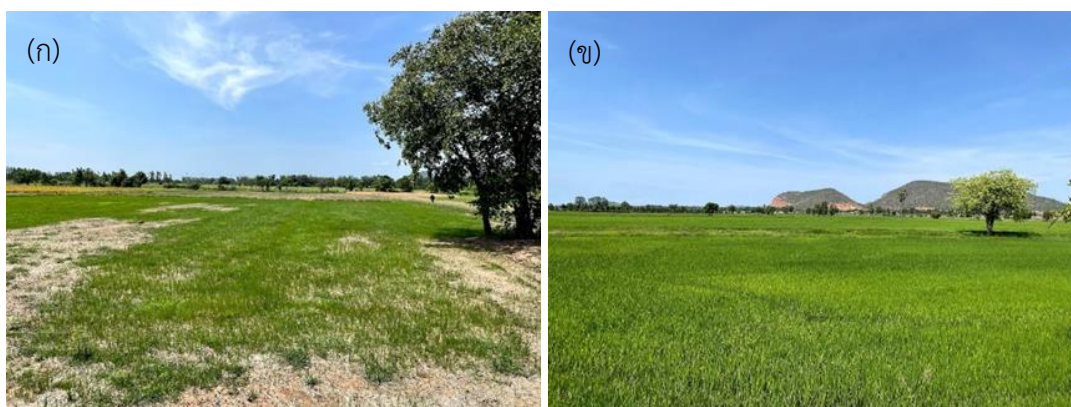
จากข้อมูลของดาวเทียม SMAP วันที่ 14 เมษายน 2564 ซึ่งเป็นวันเดียวกับการดำเนินงานในข้อที่ 4.2 ค่าความชื้นของดินมีค่าสูงสุดเท่ากับ 25.82% ที่เวลา 01:00 – 04:00 น. และต่ำสุดเท่ากับ 17.22% ที่เวลา 22:00 01:00 น. ความชื้นของดินที่ได้จากดาวเทียม SMAP ในช่วงที่ตรงกับการดำเนินงานในหัวข้อที่ 4.2 อยู่ในช่วงเวลา 10:00 – 13:00 น. ซึ่งค่าความชื้นของดินในช่วงเวลานี้มีค่าเท่ากับ 20.99% ความชื้นของดินบริเวณพื้นที่ศึกษาจะมีค่าความชื้นสูงที่สุดในเวลากลางคืน ช่วงเวลาระหว่าง 01:00 ถึง 04:00 น. และจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงเวลากลางวันเนื่องมาจากการที่ความชื้นบริเวณผิวดินจะระเหยออกไปในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งทำให้ความชื้นของดินชั้น Surface จะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันมากกว่าดินชั้น Root zone และในช่วงที่มีฝนตกลงมา ความชื้นของดินในชั้น Surface จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับชั้น Root zone โดยเมื่อดูจากภาพที่ 18 จะเห็นว่าในช่วงวันที่ 13 เมษายน เวลาประมาณ 18:00 ถึง 24:00 น. เป็นช่วงที่มีฝนตกลงมา ประมาณ 2.8 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจากข้อมูลฝนของสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรอุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งแสดงในตารางภาคผนวก ค-1



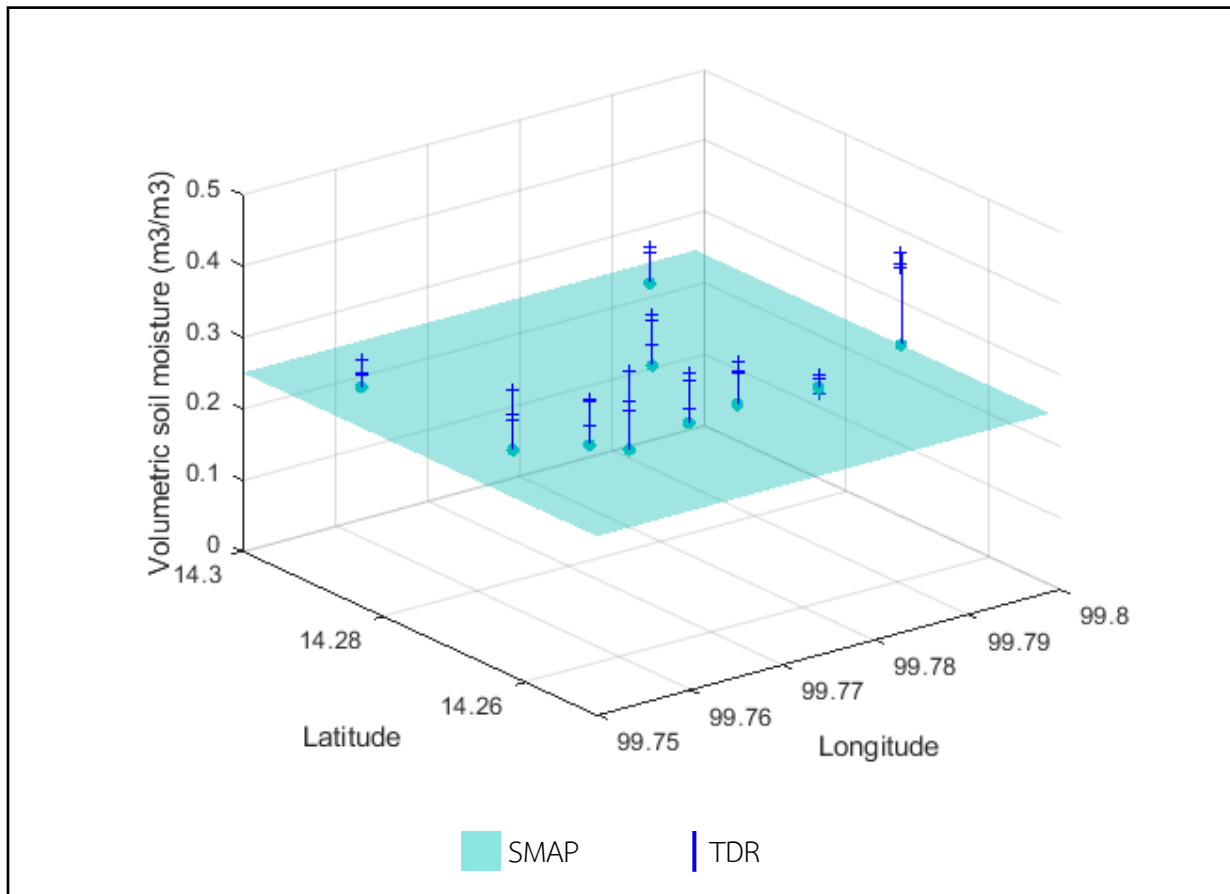
ภาพที่ 18 ความชื้นโดยปริมาตรของดินบริเวณพื้นที่ศึกษาในวันที่ 13 – 15 เมษายน 2564เปรียบเทียบข้อมูลความชื้นของดินระหว่างการตรวจวัดโดย TDR กับข้อมูลจากดาวเทียม SMAP

จากการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินโดยปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง TDR และจากดาวเทียม SMAP พบว่ามีความชื้นของดินบริเวณจุดที่ 2 เพียงจุดเดียวที่ค่าความชื้นจากดาวเทียม SMAP มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยเครื่อง TDR ซึ่งค่าความชื้นโดยปริมาตรจากดาวเทียม SMAP ในชั้น Surface ของพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 20.99% ค่าความชื้นโดยปริมาตรที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยเครื่อง TDR บริเวณจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 18.60% ค่า RMSE มีค่าอยู่ที่ 0.024 ลักษณะสภาพพื้นที่ของจุดที่ 2 แสดงในภาพที่ 19(ก) โดยมีสภาพเป็นนาข้าวหลังการเก็บเกี่ยวแต่ยังไม่มีการเพาะปลูกสำหรับฤดูกาลต่อไป ไม่มีน้ำท่วมขังในพื้นที่เหมือนจุดอื่น ๆ แต่ยังมีความชื้นของดินอยู่โดยสังเกตได้จากยังมีความเขียวของหญ้าในบริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ของจุดที่ 2 และส่วนจุดที่ค่าความชื้นจากดาวเทียม SMAP มีค่าแตกต่างกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยเครื่อง TDR มากที่สุดคือจุดที่ 1 โดยค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินบริเวณจุดที่ 1 ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าเท่ากับ 38.53% ค่า RMSE มีค่าอยู่ที่ 0.177 ลักษณะสภาพพื้นที่ของจุดที่ 1 แสดงในภาพที่ 19(ข) โดยมีสภาพเป็นนาข้าวที่มีปลูกข้าวแล้ว มีน้ำในพื้นที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับจุดอื่น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความชื้นจริงรวม 20 จุดทั่วพื้นที่ศึกษา ค่า RMSE ของงานวิจัยนี้อยู่ที่ 0.104

จากงานวิจัยของ Mustafa Berk Duygu and Zuhail Akyürek (2019) รายงานว่าค่าความชื้นในดินของข้อมูล SMAP จะมีความสัมพันธ์กับการวัดโดย Cosmic-Ray Neutron Probes เมื่อทำการวัดในพื้นที่ที่มีสภาพกึ่งแห้งแล้งมากกว่าพื้นที่ที่เป็นพื้นที่เพาะปลูก งานวิจัยนี้พบว่าค่า RMSE ที่ได้จาก COSMOS Database Results เท่ากับ 0.094 สำหรับข้อมูล SMAP-Rootzone และ 0.091 สำหรับข้อมูล SMAP-Surface งานวิจัยของ Ameneh et al. (2019) ได้วัดความชื้นในดินในสหรัฐอเมริกาโดยใช้เซนเซอร์ของสถานีตรวจวัด 362 สถานีพบว่าค่า RMSE ที่ได้จากสถานีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพเป็นพื้นที่เพาะปลูกมีค่า 0.07 – 0.13 สำหรับข้อมูลรายวัน และ 0.08 – 0.10 สำหรับข้อมูลรายเดือน ส่วนงานวิจัยของ Haiyun Bi et al. (2016) รายงานว่าข้อมูลดาวเทียม SMAP Level 4 สามารถวิเคราะห์ความชื้นในดินได้พอสมควรโดยพบว่าค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.032 สำหรับข้อมูล SMAP-Rootzone และ 0.027 สำหรับ SMAP-Surface



ภาพที่ 19 สภาพพื้นที่ (ก) จุดที่ 2 และ (ข) จุดที่ 1



ภาพที่ 21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินโดยปริมาตรที่ได้จากการวัด
โดยเครื่อง TDR และจากดาวเทียม SMAP

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในดินระหว่างข้อมูลดาวเทียม SMAP และข้อมูลจากการตรวจวัดในพื้นที่นาข้าว มีวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดความชื้นโดยปริมาตรในดิน และรวบรวมข้อมูลความชื้นของดาวเทียม SMAP เพื่อทำการเปรียบเทียบความชื้นโดยปริมาตรของดาวเทียม SMAP กับการตรวจวัดโดยเครื่อง TDR ซึ่งจากผลการดำเนินงานทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าความโดยปริมาตรที่ได้จากดาวเทียม SMAP ยังมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยเครื่อง TDR มาก เนื่องจากค่า RMSE ของงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ $0.104 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นโดยปริมาตรที่ได้จากดาวเทียม SMAP ยังค่อนข้างที่จะมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มจำนวนจุดที่จะทำการตรวจวัดโดยเครื่อง TDR เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียด และมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
2. ควรเพิ่มจำนวนกริดที่จะทำการเปรียบเทียบค่าระหว่าง TDR กับดาวเทียม SMAP เพื่อจะได้มีกริดสำหรับนำมาเปรียบเทียบกัน และเพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
3. Soil core sampler ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินควรใช้เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากดินในบางพื้นที่ค่อนข้างที่จะแข็ง ซึ่งการใช้อุปกรณ์ขนาดเล็กอาจไม่สามารถทำการเก็บตัวอย่างดินได้
4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเจาะนำเครื่อง TDR ที่ได้มีการประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการทำโครงการนี้มีความยาว 16 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานในพื้นที่ที่ดินด้านบนมีลักษณะร่วน อาจมีเศษดินบางส่วนร่วงหล่นลงไปในหลุมที่ได้เจาะไว้ในขณะที่ทำการดึงออก ทำให้หลุมที่เจาะตื้นกว่าที่ได้ออกแบบไว้ และทำให้ไม่สามารถเสียบเครื่อง TDR ลงในดินได้จนสุด จึงควรที่จะปรับปรุงให้อุปกรณ์ที่ใช้เจาะนำเครื่อง TDR มีความยาวเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก
5. อาจมีการใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดินที่เป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อจะได้สามารถวัดความชื้นได้หลาย ๆ จุดในช่วงเวลาเดียวกัน และเพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบ และตรวจสอบ

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา นาคะภากร และ ทศนีย์ ครุฑพิชัย. (2554). การประยุกต์ใช้แบบจำลองการประเมินความชื้นดินด้วยภาพจากดาวเทียม (SMMRS Model) ในการประเมินความชื้นดินในอำเภอโกรกพระ จังหวัดนครสวรรค์. **การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2554**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา. (2551). **พจนานุกรมปฐพีวิทยา**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิทยา ตรีโลเทศ และ ปานชีวัน ปอนพังกา. (2546). การใช้ Time Domain Reflectometry (TDR) ในการวัดปริมาณความชื้นในดิน. **วารสารวิชาการเกษตร**, 21(3): 270-281.
- วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2526). **หลักการชลประทาน**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- สำออง ศรีนิลทา. (2513). **ปฐพีกลศาสตร์เบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุมาพร จารุสมบัติ. (2557). ดาวเทียมดวงใหม่ตรวจวัดความชื้นของดิน. **นิตยสารสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 42 (190): 16-21.
- เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์กุลชัย. (2559). **การเคลื่อนที่ของน้ำในดินและการประยุกต์สำหรับการระบายน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- Ameneh Tavakola, Vahid Rahmania, Steven M. Quiringb and Sujay V. Kumarc. (2019). Evaluation analysis of NASA SMAP L3 and L4 and SPoRT-LIS soil moisture data in the United States. **Remote Sensing of Environment**, 229: 234-246.
- Haiyun Bi, Jiangyuan Zeng, Wenjun Zheng and Xiwei Fan. (2016, November). Validation of SMAP Soil Moisture analysis product using in-situ measurements over the Little Washita Watershed. **IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing**, :3086-3089. doi:10.1109/igarss.2016.7729798
- Jet propulsion laboratory. (2015). **Data product**. Available Source: <https://smap.jpl.nasa.gov/data/>, May 20, 2021.
- Ledieu, J., de Ridder, P., de Clerck, P. and Dautrebande, P., (1986). A Method of Measuring Soil Moisture by Time Domain Reflectometry. **Journal of Hydrology**, 88: 319-328
- Mustafa Berk Duygu and Zuhail Akyürek. (2019). Using Cosmic-Ray Neutron Probes in Validating Satellite Soil Moisture Products and Land Surface Models. **Water**, 11(7): 1362.

- Noborio, K. (2001). Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry. **Computers and Electronics in Agriculture**, 31: 213–237
- National Aeronautics and Space Administration. (2014). **SMAP Handbook**. Jet Propulsion Laboratory, California.
- Soil lab modules. (2016). **Time Domain Reflectometry**. Available Source: <https://labmodules.soilweb.ca/time-domain-reflectometry/>, May 21, 2021.
- Topp, G. C., Davis, J. L., and Annan, A. P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, 16(3): 574–582.

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงความชื้นโดยปริมาตร และข้อมูลของดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดิน และจากการวัดโดยเครื่อง TDR

ตารางที่ ก-1 ความชื้นโดยปริมาตร และข้อมูลของดินที่ทำการการเก็บตัวอย่างดิน และจากการวัดโดยเครื่อง TDR

No.	D (cm.)	H (cm.)	V (cm ³)	Weight (g.)			Water content		สถานที่	วันที่	เวลา
				Can+ring	Can+Soil ก่อนอบ	Can+Soil หลังอบ	เก็บ ตัวอย่าง	TDR			
1	5.38	3.01	68.502	80.64	212.03	190.56	31.34	32.07	อ.ห้วยกระเจา	21/02/64	11:08
2	5.38	3.01	68.502	72.65	216.57	195.98	30.06	33.57	อ.ห้วยกระเจา	21/02/64	11:40
3	5.38	3.01	68.502	70.03	181.24	163.77	25.50	22.13	อ.ห้วยกระเจา	21/02/64	12:30
4	5.38	3.01	68.502	73.52	197.90	186.54	16.58	17.71	อ.ห้วยกระเจา	21/02/64	12:56
5	5.38	3.00	68.199	74.76	218.34	201.02	25.40	19.20	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	9:57
6	5.38	3.00	68.199	74.24	206.23	185.35	30.62	29.46	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	10:06
7	5.38	3.00	68.199	71.24	199.19	189.53	14.16	16.66	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	10:27
8	5.38	3.00	68.199	68.81	187.83	178.68	13.42	15.87	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	10:47
9	5.38	3.00	68.199	72.79	167.99	162.2	8.49	10.43	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	11:05
10	5.38	3.00	68.199	72.86	208.80	193.03	23.12	23.97	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	11:16
11	5.38	3.00	68.199	73.68	190.47	180.74	14.27	13.49	ม.เกษตรศาสตร์	21/05/64	11:29

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่อง TDR และ SMAP

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่อง TDR

วันที่	จุดที่	ครั้งที่	เวลา	ความชื้นโดย ปริมาตร (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นโดย ปริมาตรเฉลี่ย (%)	พิกัด
14/4/2564	1	1	10:28	41.72	29.5	38.53	14.248, 99.758
		2	10:28	36.8	29.5		
		3	10:29	37.07	29.6		
	2	1	10:43	18.1	31.7	18.60	14.272, 99.748
		2	10:44	18.91	32.2		
		3	10:45	18.78	32.8		
	3	1	10:49	33.32	33.4	30.86	14.271, 99.757
		2	10:49	29.31	33.5		
		3	10:49	29.95	33.5		
	4	1	10:55	31	35.4	29.95	14.268, 99.763
		2	10:55	27.57	35.5		
		3	10:56	31.29	35.5		
	5	1	10:59	31.87	35.9	32.79	14.265, 99.765
		2	10:59	30.47	35.9		
		3	11:00	36.03	35.9		
	6	1	11:04	30.95	35.9	29.97	14.267, 99.773
		2	11:04	31.88	35.8		
		3	11:04	27.09	35.8		
	7	1	11:13	29.39	36.5	29.98	14.268, 99.779
		2	11:13	29.64	36.7		
		3	11:13	30.9	36.7		

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

วันที่	จุดที่	ครั้งที่	เวลา	ความชื้นโดย ปริมาตร (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นโดย ปริมาตรเฉลี่ย (%)	พิกัด
14/4/2564	8	1	11:19	24.21	38.1	25.77	14.267, 99.787
		2	11:19	26.76	28.1		
		3	11:19	26.35	38.2		
	9	1	11:26	38.02	37.9	36.69	14.271, 99.799
		2	11:27	36.35	37.9		
		3	11:28	35.7	38		
	10	1	11:37	27.9	37.2	30.48	14.280, 99.779
		2	11:37	31.35	37.1		
		3	11:37	32.18	37.2		
	11	1	11:48	26.75	36.8	27.55	14.291, 99.756
		2	11:49	27.1	36.8		
		3	11:49	28.8	36.8		
	12	1	11:54	30.45	36.7	31.54	14.301, 99.765
		2	11:54	30.2	36.7		
		3	11:54	33.97	36.7		
	13	1	12:00	33.8	35.8	35.56	14.303, 99.775
		2	12:00	37.52	35.8		
		3	12:00	35.37	35.8		
	14	1	12:08	30.1	36	29.79	14.296, 99.791
		2	12:08	29.21	36		
		3	12:08	30.07	36		
	15	1	12:20	28.69	35.4	26.15	14.311, 99.795
		2	12:21	27.42	35.5		
		3	12:21	22.35	35.5		

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

วันที่	จุดที่	ครั้งที่	เวลา	ความชื้นโดย ปริมาตร (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นโดย ปริมาตรเฉลี่ย (%)	พิกัด
14/4/2564	16	1	12:27	28.78	36.7	29.88	14.319, 99.784
		2	12:27	29.61	36.7		
		3	12:28	31.24	36.7		
	17	1	12:34	32.08	36.3	32.72	14.325, 99.774
		2	12:34	34.28	36.4		
		3	12:36	31.79	36.5		
	18	1	12:45	29.36	37.3	32.10	14.321, 99.754
		2	12:45	32.46	37.4		
		3	12:45	34.49	37.3		
	19	1	12:51	31.18	36.2	32.59	14.308, 99.754
		2	12:51	33.88	36.3		
		3	12:51	32.7	36.3		
	20	1	13:00	25.74	35.8	25.59	14.308, 99.742
		2	13:00	24.78	35.9		
		3	13:00	26.26	35.8		

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP วันที่ 13-15 เมษายน 2564

Day	Time	Soil moisture (%)	
		Root zone	Surface
13-04-2564	01:00-04:00	14.634	15.512
	04:00-07:00	14.639	15.679
	07:00-10:00	14.585	14.345
	10:00-13:00	14.599	15.100
	13:00-16:00	14.498	14.398
	16:00-19:00	14.510	15.862
	19:00-22:00	15.712	27.890
	22:00-01:00	16.089	25.481
14-04-2564	01:00-04:00	16.500	25.816
	04:00-07:00	16.675	24.603
	07:00-10:00	16.827	23.763
	10:00-13:00	16.693	20.990
	13:00-16:00	16.454	18.906
	16:00-19:00	16.234	17.440
	19:00-22:00	16.140	17.228
	22:00-01:00	16.089	17.215
15-04-2564	01:00-04:00	16.042	17.182
	04:00-07:00	15.998	17.143
	07:00-10:00	15.600	17.056
	10:00-13:00	15.893	16.777
	13:00-16:00	15.784	16.161
	16:00-19:00	15.672	15.633
	19:00-22:00	15.420	13.773
	22:00-01:00	15.396	13.821

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลฝนสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรอุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2564

Date	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
01D	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
02D	-	0.0	0.2	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
03D	0.0	0.0	2.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
04D	0.0	0.0	0.0	9.8	-	-	-	-	-	-	-	-
05D	0.0	0.0	0.0	18.2	-	-	-	-	-	-	-	-
06D	0.0	0.0	0.0	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-
07D	0.0	0.0	0.0	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-
08D	0.0	1.2	0.0	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
09D	0.0	0.0	0.0	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-
10D	0.0	0.0	0.0	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-
11D	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
12D	0.0	0.0	0.6	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-
13D	0.0	0.0	0.0	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-
14D	0.0	0.0	0.0	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-
15D	0.0	3.2	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
16D	0.0	0.2	0.0	16.2	-	-	-	-	-	-	-	-
17D	0.0	4.6	0.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
18D	0.0	34.2	0.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
19D	0.0	0.0	0.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20D	0.0	0.0	0.0	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-
21D	0.0	0.0	0.0	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
22D	0.0	2.0	0.0	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
23D	0.0	0.0	0.4	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
24D	0.0	0.0	0.0	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-
25D	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
26D	1.0	0.0	0.0	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-
27D	1.0	0.0	0.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
28D	0.6	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
29D	10.6		2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30D	0.0		0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31D	0.0		5.8		-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	13.2	45.4	11.8	92.2	-	-	-	-	-	-	-	-

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564

ภาคผนวก ง.

การตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดความชื้น TDR



ภาพที่ จ-1 การเก็บตัวอย่างที่ 1



ภาพที่ จ-2 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 1



ภาพที่ จ-3 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 1



ภาพที่ จ-4 การเก็บตัวอย่างที่ 2



ภาพที่ จ-5 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 2



ภาพที่ จ-6 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 2



ภาพที่ จ-7 ดินตัวอย่าง 3



ภาพที่ จ-8 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 3



ภาพที่ จ-9 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 3



ภาพที่ จ-10 ดินตัวอย่างที่ 4



ภาพที่ จ-11 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 4



ภาพที่ จ-12 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 4



ภาพที่ จ-13 การเก็บตัวอย่างที่ 5



ภาพที่ จ-14 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 5



ภาพที่ จ-15 ดินตัวอย่างที่ 6



ภาพที่ จ-16 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 6



ภาพที่ จ-17 ดินตัวอย่างที่ 7



ภาพที่ จ-18 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 7



ภาพที่ จ-19 ดินตัวอย่างที่ 8



ภาพที่ จ-20 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 8



ภาพที่ จ-21 ดินตัวอย่างที่ 9



ภาพที่ จ-22 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 9



ภาพที่ จ-23 ดินตัวอย่างที่ 10



ภาพที่ จ-24 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 10

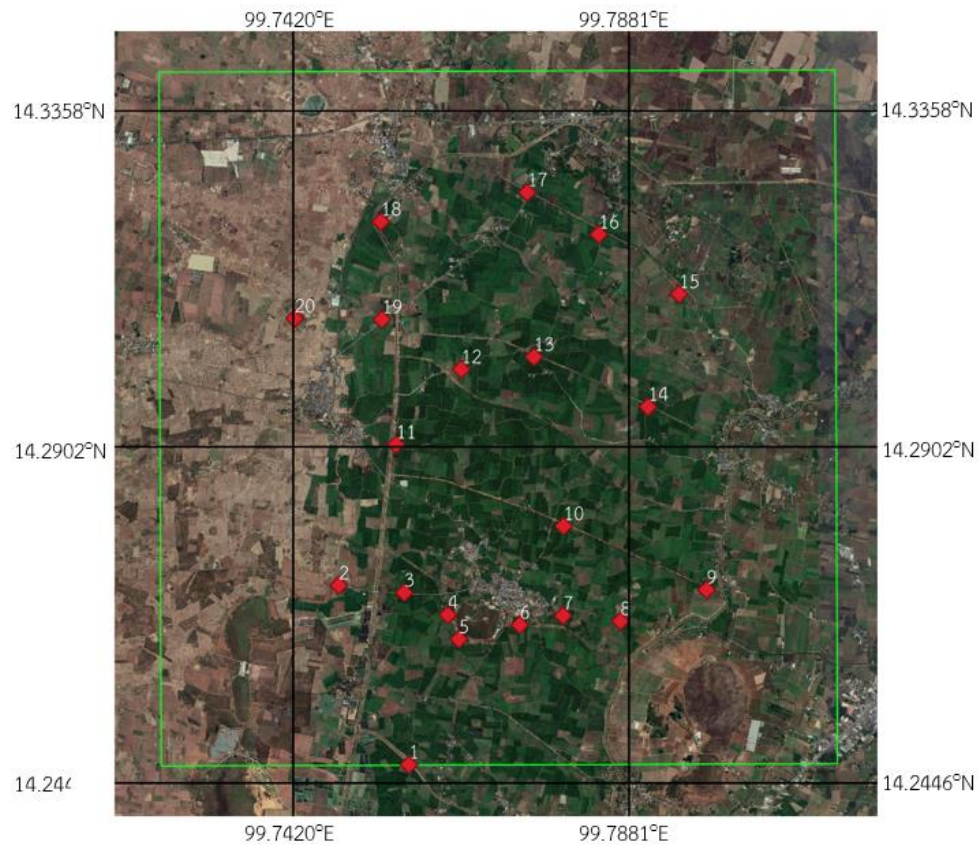


ภาพที่ จ-25 ดินตัวอย่างที่ 11



ภาพที่ จ-26 การวัดความชื้นโดยเครื่อง TDR จุดที่ 11

ภาคผนวก ฉ.
การวัดความชื้นของดินในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ ฉ-1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดที่ทำการวัดความชื้นแต่ละจุด



ภาพที่ ฉ-2 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 1



ภาพที่ ฉ-3 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 1



ภาพที่ ฉ-4 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 2



ภาพที่ ฉ-5 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 2



ภาพที่ ฉ-6 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 3



ภาพที่ ฉ-7 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 3



ภาพที่ ฉ-8 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 4



ภาพที่ ฉ-9 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 4



ภาพที่ ฉ-10 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 5



ภาพที่ ฉ-11 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 5



ภาพที่ ฉ-12 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 6



ภาพที่ ฉ-13 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 6



ภาพที่ ฉ-14 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 7



ภาพที่ ฉ-15 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 7



ภาพที่ ฉ-16 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 8



ภาพที่ ฉ-17 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 8



ภาพที่ ฉ-18 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 9



ภาพที่ ฉ-19 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 9



ภาพที่ ฉ-20 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 10



ภาพที่ ฉ-21 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 10



ภาพที่ ฉ-22 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 11



ภาพที่ ฉ-23 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 11



ภาพที่ ฉ-24 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 12



ภาพที่ ฉ-25 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 12



ภาพที่ ฉ-26 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 13



ภาพที่ ฉ-27 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 13



ภาพที่ ฉ-28 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 14



ภาพที่ ฉ-29 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 14



ภาพที่ ฉ-30 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 15



ภาพที่ ฉ-31 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 15



ภาพที่ ฉ-32 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 16



ภาพที่ ฉ-33 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 16



ภาพที่ ฉ-34 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 17



ภาพที่ ฉ-35 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่



ภาพที่ ฉ-36 การวัดความความชื้นของดินจุดที่ 18



ภาพที่ ฉ-37 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 18



ภาพที่ ฉ-38 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 19



ภาพที่ ฉ-39 ลักษณะพื้นที่บริเวณจุดที่ 19



ภาพที่ ฉ-40 การวัดความชื้นของดินจุดที่ 20



ภาพที่ ฉ-41 ลักษณะพื้นที่จุดบริเวณที่ 20