

การรับรู้จากระยะไกลเพื่อการศึกษาเกี่ยวกับความชื้นของดิน: เทคนิคการตรวจวัดและแหล่งข้อมูลที่มีให้บริการ

Remote Sensing for Studying of Soil Moisture: Techniques and Available Data Sources

วิโรจน์ ละอองมณี¹ สวรินทร์ ฤกษ์อยู่สุข^{2,3*} และภาณุ อุทัยศรี⁴

¹ คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

57 หมู่ 1 ถนนชลประทาน ตำบลโขง อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี 22170

² หลักสูตรภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

³ หน่วยวิจัยเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่ (RUSID) คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Wirote Laongmanee¹, Sawarin Lerk-u-suke^{2,3*} and Phanu Uthaisri⁴

¹ Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi Campus

57 Moo.1 Chon Pratan Road, Kamong, Tha Mai, Chanthaburi, 22170

² Department of Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, 19 Moo 2 Maeka, Mueang, Phayao 56000

³ Research Unit of Spatial Innovation Development (RUSID), School of Information and Communication Technology, University of Phayao, 19 Moo 2 Maeka, Mueang, Phayao 56000

⁴ Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*ผู้รับผิดชอบบทความ: sawarin.le@up.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-0581-0185

Received: 5 May 2021, Revised: 12 December 2021, Accepted: 18 March 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาดังนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การค้นคว้าเพื่อหาแหล่งข้อมูลความชื้นของดินที่มีการสำรวจตรวจวัดจากเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลและการพัฒนาตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานข้อมูลเพื่อเป็นพื้นฐานให้นักวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสำหรับการต่อยอดองค์ความรู้และการประยุกต์ใช้งานในด้านที่เกี่ยวข้อง บทความนี้ได้กล่าวถึงองค์ความรู้พื้นฐานของการรับรู้จากระยะไกล กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจและการตรวจวัดความชื้นของดิน การตรวจวัดความชื้นของดินด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล รวมถึงการแสดงผลรายละเอียดโดยสรุปของแหล่งข้อมูลความชื้นของดินที่มีให้บริการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตพร้อมตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน การศึกษาดังนี้สามารถประยุกต์ใช้งานข้อมูลความชื้นของดินในการประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมและด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการพื้นที่เผาไหม้ ปัญหาหมอกควัน(PM10 และ PM2.5) และการเฝ้าระวังด้านภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ ความชื้นของดิน การรับรู้จากระยะไกล แหล่งข้อมูลความชื้นของดิน

Abstract

This study aims to explore soil moisture data sources and review various techniques for obtaining soil moisture data from remote sensing technology. Results reveal available data sources that allow users to access, download and manipulate the soil moisture data via the internet. Remote sensing techniques and their related methods for extracting the soil moisture data are also mentioned. According to the demonstrated result, the use of soil moisture data can be applied to the engineering and environmental application, burning area, and air pollution (PM10 and PM2.5) management and disaster monitoring efficiently.

Keywords: Soil Moisture, Remote Sensing, Soil Moisture Data Sources

1. บทนำ

แม้ว่าน้ำจะเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด แต่หากปริมาณของน้ำมีมากเกินไปจนเกิดน้ำท่วมหรือภัยแล้ง เป็นต้น น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและแทรกซึมอยู่ในหลายส่วนของสิ่งมีชีวิตทั้งในระบบนิเวศน์ อากาศ ดินไม้ สิ่งมีชีวิตหรือแม้กระทั่งดินที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งเพาะปลูกพืชพรรณที่เป็นแหล่งอาหารสำคัญของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก จนอาจกล่าวได้ว่าความชื้นของดิน (Soil Moisture) เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของทุกสรรพสิ่งที่เชื่อมโยงกับชีวิตบนพื้นผิวโลก (1)

ปริมาณความชื้นของดิน หมายถึง ปริมาตรของน้ำที่ผสมอยู่ในดินชั้นบนสุด (Topsoil) หรือชั้นดิน (Soil Surface) ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตและเจริญเติบโตของพืชพรรณ การเกิดน้ำท่วม การเกิดภัยแล้งรวมถึงภัยพิบัติอื่น ๆ (2)

โดยปกติแล้วการวัดความชื้นของดินสามารถทำได้โดยการสำรวจจากภาคสนามด้วยอุปกรณ์พิเศษเฉพาะทาง ปัญหาของการได้มาซึ่งข้อมูลความชื้นของดินที่พบอยู่เสมอ คือ กระบวนการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้ระยะเวลายาวนานในการสำรวจและหากต้องการทำการสำรวจในพื้นที่ขนาดใหญ่จะส่งผลให้ต้นทุนในการสำรวจข้อมูลสูงมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือ บุคลากร ระยะเวลา การเดินทางและการเข้าถึงพื้นที่ตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนดทำให้ในประเทศไทยและหลายพื้นที่ทั่วโลกมีข้อมูลความชื้นของดินค่อนข้างจำกัด อย่างไรก็ตาม หากต้องการสำรวจความชื้นของดินของพื้นที่บริเวณกว้างหรือมีงบประมาณที่จำกัด การเลือกใช้งานแหล่งข้อมูลอื่นที่สามารถทดแทนได้

อย่างสมเหตุสมผลอย่างการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สำรวจจากการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม นับว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างเสรี ต้นทุนต่ำหรือแทบไม่มีค่าใช้จ่าย รวมถึงความสามารถประมวลผลข้อมูลได้จากโปรแกรมแบบเปิดเผยแพร่ (Free/Open Source Software - FOSS) ไม่จำเป็นต้องจัดหาโปรแกรมหรือเครื่องมือเฉพาะทางในการประมวลผลข้อมูล

บทความนี้เป็นการศึกษา ค้นคว้าและรวบรวมแหล่งข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth Observation Satellite) หลักการสำรวจและการตรวจวัดความชื้นของดินด้วยดาวเทียมเบื้องต้น พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการนำข้อมูลที่มีให้บริการไปประยุกต์ใช้งานเพื่อการศึกษาวิจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับต่อยอดงานประยุกต์ที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing)

การรับรู้จากระยะไกล หมายถึง กระบวนการได้มาของข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ พื้นผิวหรือปรากฏการณ์ (Phenomena) ที่สนใจที่ต้องอาศัยองค์ความรู้ในด้านการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) เพื่อนำมาสืบสวนหาข้อมูลหรือสารสนเทศของวัตถุหรือปรากฏการณ์เหล่านั้นโดยปราศจากการสัมผัสทางกายภาพ (Physical Contact) (3) พัฒนาการของการรับรู้จากระยะไกลเพิ่งเริ่มต้นในศตวรรษที่ 20 โดยในยุคก่อนหน้านี้จะอาศัยภาพถ่ายทางอากาศในการสังเกตและรังวัด

คุณลักษณะทางกายภาพหรือปรากฏการณ์ของวัตถุ (Physical Objects) ต่อมาได้มีเทคนิคการได้มาของข้อมูลเชิงภาพ (Imagery) จากอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพิเศษที่อาศัยการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) นอกเหนือจากคลื่นที่สายตามองเห็นได้ (Visual Range) ทำให้เกิดข้อมูลรูปแบบใหม่ (นอกเหนือจากภาพถ่าย) และเทคนิค วิธีการประมวลผล การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลตีความสำหรับข้อมูลรูปแบบใหม่นี้ จนทำให้เกิดศาสตร์ที่เรียกว่า การรับรู้จากระยะไกล ที่ช่วยให้การทำความเข้าใจ การสำรวจข้อมูลมีประสิทธิภาพและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น (4)

ข้อดีของการรับรู้จากระยะไกล คือ การไม่กีดขวาง (Unobstructive) เมื่อเครื่องตรวจวัด (Sensor) ที่ใช้งานนั้นได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจากวัตถุหรือปรากฏการณ์ที่สนใจอย่างต่อเนื่องยาวนานเพียงพอ (5) ทำให้สามารถตรวจวัด (Observation) วัตถุหรือปรากฏการณ์ได้โดยไม่ต้องเข้าถึงหรือสัมผัสกับวัตถุเหล่านั้นโดยตรง อย่างไรก็ตาม การรับรู้จากระยะไกลยังมีข้อจำกัดบางประการ คือ ความบกพร่องจากประสิทธิภาพของมนุษย์ขณะทำงาน ประมวลผลข้อมูล ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง (สำหรับบางงานประยุกต์) และความไม่พร้อมของอุปกรณ์ (หากไม่มีการสอบเทียบ) หรือการเลือกใช้งานข้อมูลและวิธีการทำงานที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการหรือลักษณะงาน

โดยทั่วไปแล้วข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกลสามารถจำแนกตามชนิดของเครื่องรับรู้ (Sensors) ที่ใช้ตรวจวัดข้อมูลออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) เครื่องรับรู้แบบแอ็กทีฟ (Active Sensor) หมายถึง อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่มีแหล่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถสร้างขึ้นเอง แล้วส่งพลังงานเหล่านั้นไปกระทบกับวัตถุเป้าหมายที่สนใจแล้วสะท้อนพลังงานกับมายังเครื่องรับรู้เพื่อทำการบันทึกและตรวจวัดคุณสมบัติของพลังงานเหล่านั้น (3) ตัวอย่างของเครื่องรับรู้ชนิดนี้ได้แก่ อุปกรณ์วัดความสูงด้วยแสงเลเซอร์ (Laser altimeter) ไลดาร์ (Light Detection And Ranging - LIDAR) เรดาร์ (RADAR) หรือ มาตรวัดการกระจัดกระจาย (Scatterometer) เป็นต้น

2) เครื่องรับรู้แบบพาสซีฟ (Passive Sensor) หมายถึง อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สามารถ

สร้างแหล่งพลังงานได้เอง จำเป็นต้องอาศัยแหล่งกำเนิดพลังงานอื่น (เช่น ดวงอาทิตย์) โดยจะทำการบันทึกพลังงานที่ตกกระทบพื้นผิวแล้วสะท้อนมายังเครื่องรับรู้เพื่อทำการบันทึกและตรวจวัดคุณสมบัติของพลังงาน (3)

ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่มีการติดตั้งเครื่องรับรู้แต่ละชนิดดังกล่าวมีการนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น ข้อมูลเครื่องรับรู้โมดิส (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS) บนดาวเทียมเทอร์ราและอควา (Terra & Aqua Satellite) สำหรับการติดตามตรวจสอบจุดความร้อน (Hotspot) เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามการเกิดไฟป่าและปัญหาหมอกควัน การติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Cover Type and Extent) การคำนวณหาปริมาณฝุ่นในชั้นบรรยากาศ (Particulate Matter - PM) การประเมินคุณภาพอากาศ (Air Quality) การตรวจสอบและติดตามสภาพความแห้งแล้ง (Drought Monitoring) การตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว (Surface Temperature) ทั้งบนบกและมหาสมุทร หรือข้อมูลจากดาวเทียมไทยโชต (Thaichote Satellite) ของประเทศไทยที่กำลังกักตุนโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency - GISTDA) หรือ สทอภ. ที่มีการประยุกต์ใช้งานด้านการประเมินผลผลิตทางการเกษตร การติดตามการเจริญเติบโตของเมือง (Urban Growth) การติดตามและบริหารจัดการพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม (Flood Risk Monitoring and Management) การติดตามพื้นที่ชายฝั่ง (Coastal Zone Monitoring) หรือการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model - DEM) เป็นต้น

2.2 การตรวจวัดความชื้นของดิน

โดยทั่วไปแล้ว การตรวจวัดค่าความชื้นของดินจะอาศัยการสำรวจจากภาคสนามที่มีการใช้แรงงานและอุปกรณ์อย่างเข้มข้น การทำงานดังกล่าวแม้จะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็ได้ค่าความชื้นของดินที่ถูกต้องแม่นยำ มีความน่าเชื่อถือสูง (เฉพาะพื้นที่ที่สนใจ ครอบคลุมพื้นที่ไม่มากนัก) แต่หากต้องการค่าความชื้นของดินสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ (ระดับอำเภอ จังหวัดหรือระดับลุ่มน้ำ) จำเป็นต้องอาศัยการประมาณค่าความชื้นของดิน (Soil Moisture Estimation) หรือวิธีการอื่น

ในปัจจุบัน การประมาณค่าความชื้นของดินสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 วิธีการหลัก ประกอบด้วย 1) การสำรวจจากภาคสนาม (In Situ Observation) 2) การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) และ 3) การใช้แบบจำลองข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลพื้นผิวดิน (Hydrological and Land Surface Modelling) (6) ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ค่าความละเอียดแม่นยำที่แตกต่างกัน เช่น การสำรวจจากภาคสนาม (In Situ Observation) ด้วยเทคนิคกราวิเมตริก ความตึงผิวและนิวเคลียร์ (Gravimetric, Tensiometric, and Nuclear Technique) หรือการวัดความชื้นของดินจากการวัดการสะท้อนโดเมนเวลา (Time Domain Reflectometry - TDR) และการวัดจากการสะท้อนโดเมนความถี่ (Frequency Domain Reflectometry - FDR) นั้นเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่า เป็นเทคนิคที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง มีความน่าเชื่อถือแต่เป็นตัวแทนของพื้นที่ได้ไม่กว้างขวางมากนัก (Low Spatial Representativeness) ในขณะที่การตรวจวัดค่าความชื้นของดินจากการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) นั้นมีจุดเด่นในเรื่องของการตรวจวัดที่ครอบคลุมมากกว่าทั้งในด้านขนาดพื้นที่และช่วงเวลา (Spatio-Temporal Coverage) นอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการสำรวจมากกว่าการสำรวจจากภาคสนามอย่างชัดเจน ในขณะที่การใช้แบบจำลองข้อมูลอุทกวิทยาและพื้นผิวดินนั้นมียกจำกัดที่พึงระวังที่สำคัญคือ ความน่าเชื่อถือจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ในรูปแบบจำลอง เนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้จะมีความแตกต่างกันตามมาตราส่วน (Scale) ของข้อมูล ดังนั้นต้องมีการใช้งานอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันสุดขีดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นที่ชลประทาน เชื่อนขนาดใหญ่ พื้นที่กักเก็บน้ำ ทะเลทราย ป่าฝนและพื้นที่ที่มีความสูง เป็นต้น (7)

2.3. การตรวจวัดความชื้นของดินจากการรับรู้จากระยะไกล

จากความต้องการใช้งานค่าความชื้นของดินที่เป็นตัวแปรสำคัญและจำเป็นสำหรับการศึกษาและการประยุกต์ใช้งานด้านอุทกวิทยาและภูมิอากาศ (Hydrological and Climatic Application)(6) ทำให้นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยด้านการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ได้พัฒนาและทดสอบวิธีการเพื่อตรวจวัดค่าความชื้นของดินที่

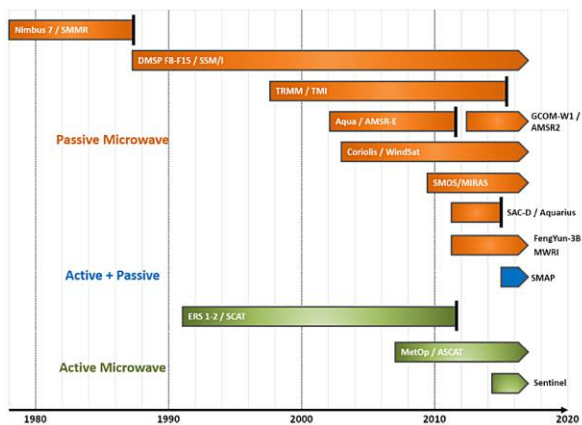
ถูกต้อง แม่นยำ โดยในระยะแรกได้มีการพิจารณาความชื้นบนพื้นผิวดิน (Surface Soil Moisture) อย่างง่ายโดยอาศัยเครื่องรับรู้แบบเชิงแสง (Optical Sensor) ในการบันทึกข้อมูลบนพื้นผิวโลกจากการตรวจวัดด้วยคลื่นสั้น (Short Wave Measurement) บนหลักการพื้นฐานที่ว่า ดินจะมีสีเข้มขึ้นก็ต่อเมื่อได้รับความชื้น รวมถึงการตรวจวัดความร้อนแฝง (Latent Heat) โดยอาศัยการพิจารณาความเฉื่อยของความร้อน (Thermal Inertia) หรือความสามารถในการนำและการกักเก็บความร้อนของดินซึ่งดินที่มีความชื้นสูง (Wet Soil) จะมีค่าความเฉื่อยของความร้อนสูงตามไปด้วย และจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (เย็นกว่า) ดินแห้ง (Dry Soil) วิธีการเหล่านี้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศขณะทำการบันทึกข้อมูล การปกคลุมของเมฆ การปกคลุมของพืชพรรณและรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินซึ่งเป็นข้อจำกัดในหลากหลายพื้นที่บนโลก ยังไม่รวมถึงข้อเท็จจริงที่ว่า ความชื้นของดินเปี่ยมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายจากกระแสลม อุณหภูมิและสภาวะในชั้นบรรยากาศของแต่ละพื้นที่ (8)

ส่วนการใช้การตรวจวัดด้วยระบบไมโครเวฟ (Microwave System) นั้นจะเป็นการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ในดินซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำในดิน (Water Content) การตรวจวัดในลักษณะนี้มีการใช้งานเรดาร์ (RADAR) เครื่องวัดการกระเจิงของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Scatterometer) และเครื่องวัดพลังงานรังสี (Radiometer) แนวทางนี้มีข้อได้เปรียบ คือสามารถทำการตรวจวัดได้ในทุกสภาพอากาศ ผลกระทบของชั้นบรรยากาศและเมฆค่อนข้างน้อย สามารถตรวจวัดได้ในเวลากลางคืน (9)

การตรวจวัดความชื้นของดินจากข้อมูลดาวเทียมหรือการรับรู้จากระยะไกลนั้นมีการประยุกต์ใช้งานคลื่นไมโครเวฟอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น ดาวเทียมซีแซต (SEASAT) ดาวเทียมอีอาร์เอส (European Remote Sensing Satellite - ERS) หรือดาวเทียมเซนติเนล 1 (Sentinel-1) เป็นต้น เทคนิคการประมวลผลเบื้องหลังการตรวจวัดความชื้นของดินจากระบบไมโครเวฟเหล่านี้ คือ การตรวจวัดการกระเจิงของแสง (Scattering) โดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่า ดินแห้งนั้นจะมีการกระเจิงเชิงปริมาตร (Volume

Scattering) ในขณะที่ดินเปียกหรือดินที่มีความชื้นจะมีการกระเจิงพื้นผิว (Surface Scattering) จากหลักการของเทคนิคนี้แม้ว่าข้อมูลที่ได้จะมีความละเอียดเชิงตำแหน่งที่ต่ำกว่า (Lower Spatial Resolution) เทคนิคการตรวจวัดแบบอื่น แต่จุดเด่นหลายประการก็สามารถทดแทนและเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน (1)

สำหรับการตรวจวัดความชื้นของดินจากการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียมนั้นสามารถสรุปอุปกรณ์หรือเครื่องรับรู้ที่ใช้การตรวจวัดที่เคยมีการใช้งานด้วยเส้นเวลา (Timeline) เพื่อแสดงช่วงเวลาการตรวจวัดและตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินที่มีการใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความชื้นของดินจากข้อมูลดาวเทียม แสดงได้ดังรูปที่ 1 และ 2 ดังนี้



รูปที่ 1 อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นของดินจากการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม (2)



รูปที่ 2 สถานีภาคพื้นดินที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (10)

2.4. แหล่งข้อมูลความชื้นของดินที่มีให้บริการ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความชื้นของดินที่มีให้บริการ (Available Soil Moisture Data Sources) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1) ข้อมูลความชื้นของดิน (Soil Moisture Data)

เป็นข้อมูลที่แสดงปริมาณความชื้นของดินเชิงปริมาณโดยตรง โดยข้อมูลที่มีให้บริการที่สำคัญ คือ ข้อมูลแอคทีฟ แพลสซีฟความชื้นของดิน (Soil Moisture Active Passive - SMAP) ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administration - NASA) ชุดข้อมูลนี้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบเรดาร์ (RADAR) และเครื่องวัดพลังงานรังสี (Radiometer)

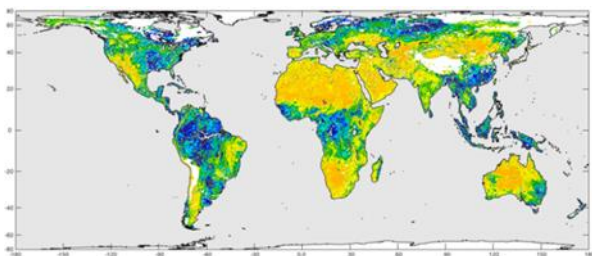
(11) ชุดข้อมูลนี้มีให้บริการทั้งสิ้น 4 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 (Level 1) เป็นข้อมูลที่ได้หลักจากตรวจวัดภายใน 12 ชั่วโมง
- ระดับที่ 2 (Level 2) เป็นข้อมูลที่ได้หลักจากตรวจวัดภายใน 24 ชั่วโมง
- ระดับที่ 3 (Level 3) เป็นข้อมูลที่ได้หลักจากตรวจวัดภายใน 50 ชั่วโมง
- ระดับที่ 4 (Level 4) เป็นข้อมูลที่ได้หลักจากตรวจวัดภายใน 7 และ 14 วันสำหรับข้อมูลการแลกเปลี่ยนระบบนิเวศคาร์บอนสุทธิ (Carbon net ecosystem exchange)

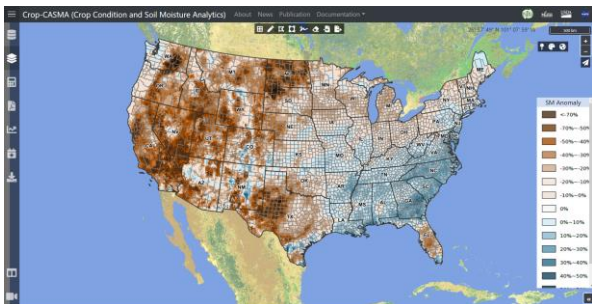
การตรวจสอบชุดข้อมูล (Validation Collection) นั้นจะอาศัยชุดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม อากาศยาน (Airborne) และอวกาศยาน (Spaceborne) ที่ได้จากโครงการความเค็มของมหาสมุทรและความชื้นของดินของสหภาพยุโรป (European Soil Moisture Ocean Salinity – SMOS) ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาและเข้าถึงชุดข้อมูลนี้ได้ที่ <https://smap.jpl.nasa.gov/data/> ตัวอย่างชุดข้อมูลแอคทีฟ แพลสซีฟความชื้นของดิน (SMAP) (12) แสดงได้ดังรูปที่ 3 ดังนี้

นอกจากนี้กระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture - USDA) ร่วมกับมหาวิทยาลัยจอร์จเมสัน (George Mason University) และองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NASA) ยังได้นำข้อมูลแอคทีฟ แพลสซีฟความชื้นของดิน (SMAP) ระดับ 3 มาทำการประมวลผลร่วมกับแบบจำลองพัลเมอร์ (Palmer Model) เพื่อปรับปรุงให้มีความถูกต้องแม่นยำและความละเอียดทางตำแหน่งในระดับ 10 กิโลเมตรครอบคลุมทั่วทั้งโลก ชุดข้อมูลนี้ ประกอบด้วย 1) ข้อมูลความ

ชั้นของดินและ 2) ข้อมูลความชื้นของชั้นดินย่อย (Surface and Subsurface Soil Moisture) โปรไฟล์ความชื้นของดิน (Soil Moisture Profile) และ 3) ความผิดปกติของความชื้นของดิน และของชั้นดินย่อย (Surface and Subsurface Soil Moisture Anomalies) โดยข้อมูลชุดนี้จะเรียกว่า ชุดข้อมูลการปรับปรุง โดยนาซา ยูเอสดีเอสำหรับแอคทิฟ - แพลสซิฟความชื้นของดิน (NASA-USDA Enhanced SMAP) ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงได้ที่ <https://cloud.csiss.gmu.edu/Crop-CASMA/> หรือเข้าถึงผ่านทางแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine - GEE) ตัวอย่างชุดข้อมูลนี้แสดงดังภาพที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 3 ตัวอย่างชุดข้อมูลแอคทิฟ แพลสซิฟความชื้นของดิน (SMAP) (12)

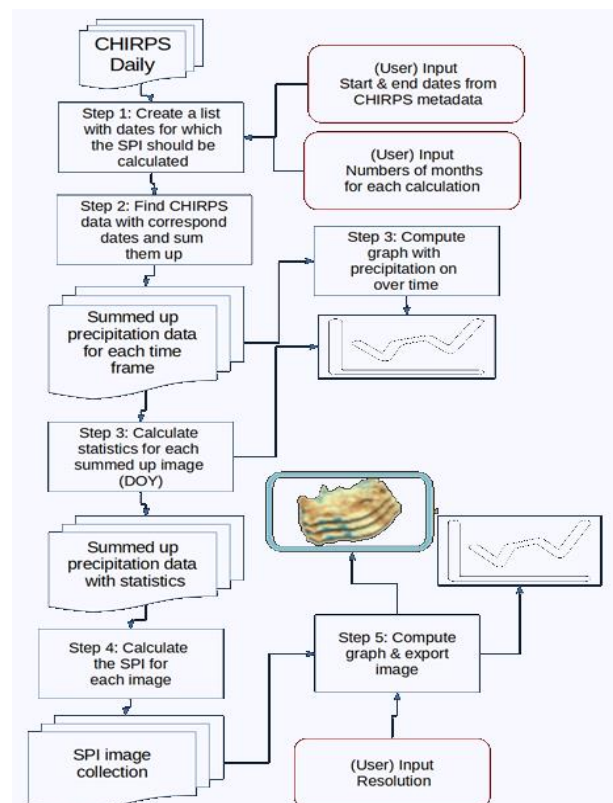


รูปที่ 4 ตัวอย่างข้อมูล การปรับปรุงโดยนาซา ยูเอสดีเอสำหรับแอคทิฟ - แพลสซิฟความชื้นของดิน (NASA-USDA Enhanced SMAP)

2) ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับความชื้นของดิน (Related Soil Moisture Data)

ข้อมูลลักษณะนี้มีอยู่หลากหลายประเภทโดยสามารถใช้เป็นตัวแทน (Representation) เพื่อแสดงให้เห็นถึงค่าความชื้นของดินหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการวัดความชื้นของดินแบบทางอ้อม (Indirect Measurement) ข้อมูลที่สำคัญและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิผิวดิน (Surface Temperature - SFT) ค่าความแตกต่างดัชนีพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI)

และค่าดัชนีน้ำฟ้ามาตรฐาน (Standardized Precipitation Index - SPI) จากเครื่องรับรู้โมดิส (MODIS) ค่าดัชนีน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) นิยมใช้เป็นเครื่องชี้วัดความแห้งแล้งจากฝนที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (ในกรณีที่ต้องการตรวจวัดความแห้งแล้ง) โดยจะสะท้อนข้อมูลความแห้งแล้งจากการขาดแคลนปริมาณฝน ที่เป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดความแห้งแล้งในแต่ละช่วงเวลาที่มีความแตกต่างไปจากปกติ (ค่าเฉลี่ย) ซึ่งปกติแล้วจะคำนวณมาจาก ค่าความชื้นของดิน ค่าปริมาณน้ำในดิน ค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ และค่าน้ำที่ไหลในลำน้ำ รวมถึงการใช้ข้อมูลพื้นฐานประกอบไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลปริมาณฝน ณ ตำแหน่งสถานีวัด และข้อมูลตามช่วงเวลาโดยการแปลงค่าอนุกรมเวลาของฝน ให้อยู่ในรูปของการแจกแจงแบบปกติ เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีน้ำฟ้ามาตรฐาน สำหรับสถานที่และช่วงเวลาที่สนใจ จากการทำให้เป็นมาตรฐานของค่าดัชนีนี้ ทำให้สามารถบ่งบอกสภาพความแห้งแล้งโดยพิจารณาจากค่าดัชนีที่เป็นลบ ส่วนค่าดัชนีที่บวกจะแสดงถึงความชุ่มชื้นของพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำมากกว่าปกติ (12-13) วิธีการคำนวณค่าดัชนีน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) ด้วยข้อมูลจากเครื่องรับรู้โมดิส (MODIS) (14)แสดงได้ดังรูปที่ 5 ดังนี้



รูปที่ 5 วิธีการคำนวณค่าดัชนีน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) ด้วยข้อมูลจากเครื่องรับรู้โมดิส (MODIS) (14)

จากการศึกษาและรวบรวมแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นของดิน สามารถสรุปรายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องและมีให้บริการแก่ผู้สนใจ ดังตารางที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 รายการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจหาความชื้นของดิน (2)

การรับรู้	ดาวเทียม/ เครื่องรับรู้	ช่วงเวลาที่ให้บริการและ ความถี่ของการบันทึกซ้ำที่เดิม (วัน)	ความละเอียดเชิงตำแหน่ง (หน่วยเป็นกิโลเมตร)และพื้นที่ครอบคลุม
แพสซีฟ	TRMM/TMI	ธ.ค. 2540 – เม.ย. 2558 (1)	59x36 (ทั่วโลก)
	GCOM-W1/AMSR2	ก.ค. 2555 – ปัจจุบัน (1)	62x35/42x24 (ทั่วโลก)
	SMOS/MIRAS	ม.ค. 2553 – ปัจจุบัน (1-3)	23-350 (ทั่วโลก)
	FengYun-3B/MWRI	ส.ค. 2553 – ปัจจุบัน (1-2)	51x85 (ทั่วโลก)
แอคทีฟ	MetOp(A/B/C)/ASCAT	ม.ค. 2550 – ปัจจุบัน (1-2)	25x25 (ทั่วโลก)
	Sentinel-1SAR(C band)	เม.ย. 2557 – ปัจจุบัน (6-12)	ขึ้นอยู่กับโหมดการบันทึก (ทั่วโลก)
แบบผสม	SMAP/L band	ม.ค. 2558 – ปัจจุบัน (1-3)	47x39 (~85 N - ~85 S)

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการการศึกษาและตรวจวัดความชื้นของดิน

ชุดข้อมูล	ดาวเทียม/ เครื่องรับรู้/วิธีคำนวณ	ช่วงเวลาที่ให้บริการและ ความถี่ของการบันทึกซ้ำที่เดิม (วัน)	ความละเอียดเชิงตำแหน่ง (กิโลเมตร)และพื้นที่ครอบคลุม
SMAP	ข้อมูลจากดาวเทียม	เม.ษ. 2558-ปัจจุบัน (3)	ประมาณ 36 (ขึ้นอยู่กับระดับของข้อมูล)/ (ทั่วโลก)
NASA-USDA Enhanced SMAP)	แบบจำลองและข้อมูลจากดาวเทียม	เม.ษ. 2558-ปัจจุบัน (3)	10 (ทั่วโลก)

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการการศึกษาและตรวจวัดความชื้นของดิน (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ดาวเทียม/ เครื่องรับรู้/วิธีคำนวณ	ช่วงเวลาที่ให้บริการและ ความถี่ของการบันทึกซ้ำที่เดิม (วัน)	ความละเอียดเชิงตำแหน่ง (กิโลเมตร)และพื้นที่ครอบคลุม
อุณหภูมิพื้นผิว (SFT)	Terra/MODIS/ MOD11A2.00	มี.ค. 2543 - ปัจจุบัน (8)	1 (ทั่วโลก)
ดัชนีน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI)	แบบจำลอง (สถานีตรวจวัด TRMM)/ CHIRPS)	ม.ค. 2524 - ปัจจุบัน (1)	5 (ทั่วโลก)
ดัชนีพืชพรรณ (MODIS NDVI)	Terra/MODIS/ MOD13Q1.00	ก.พ. 2543 - ปัจจุบัน (16)	0.25 (ทั่วโลก)

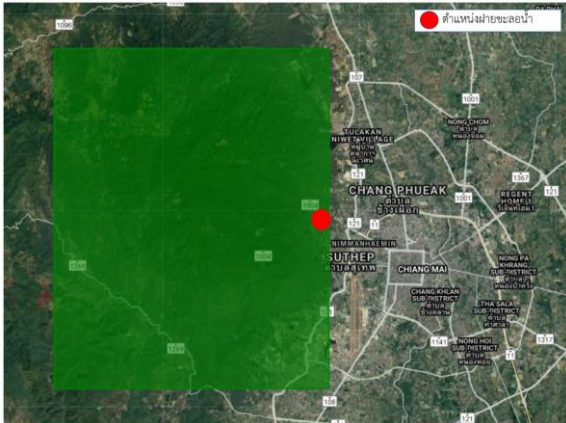
ในประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลความชื้นของดินโดยอาศัยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลน้อยมาก จากการสืบค้นของคณะผู้วิจัยบนระบบการจัดการวารสารออนไลน์ (ThaiJO) ค้นพบเพียงผลงานเดียว เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบค่าความชื้นของดินที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่จัดทำขึ้นเองกับข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายดาวเทียมเอสเอ็มเอพี (SMAP) ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนมีความแตกต่างกันเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2.5 (15)

ในต่างประเทศได้มีการประยุกต์ใช้งานข้อมูลความชื้นของดินสำหรับงานวิศวกรรมที่หลากหลาย เช่น การปรับปรุงความแม่นยำของการพยากรณ์การเกิดดินถล่มแบบตื้น (Shallow Landslide Forecasting) ด้วยวิธีค่าขีดแบ่งของอุทุนิยมวิทยาอุทก (Hydrometeorological Threshold) (16,17)การประเมินภัยพิบัติดินถล่ม (Landslide Hazard Assessment) โดยอาศัยข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากการสำรวจจากระยะไกล (18)

2.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ข้อมูลความชื้นของดินที่มีให้บริการผ่านแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (GEE) ในการประเมินหาข้อมูลค่าความชื้นของดินรายวันใน

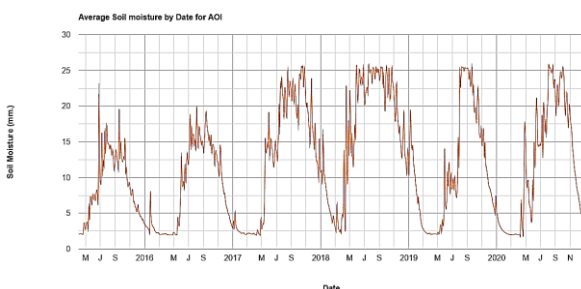
พื้นที่โครงการก่อสร้างฝายชะลอน้ำหรือฝายแม้วเพื่อลดปัญหาหมอกควันบริเวณอุทยานแห่งชาติสุเทพ-ปุย ตามมาตรการสร้างความยั่งยืนในการแก้ไขปัญหาหมอกควัน ไฟป่า และทำให้ป่าไม้มีความชุ่มชื้น อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (บริเวณเชิงดอยสุเทพ) ที่ทำการก่อสร้างแล้วเสร็จในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 บน 73 เส้นลำน้ำ ก่อสร้างฝายจำนวน 956 ฝาย ดังรูปที่ 6 ดังนี้



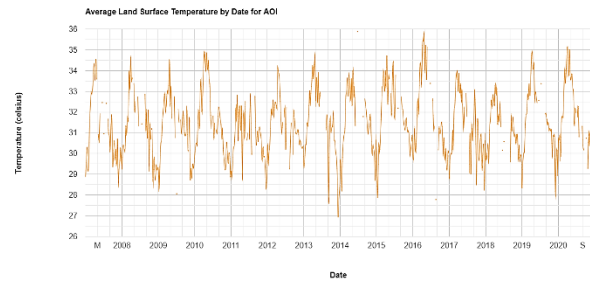
รูปที่ 6 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งฝายชะลอน้ำ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

หลังจากทำการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาและเลือกใช้งานข้อมูลความชื้นของดินที่จากการรับรู้จากระยะไกลแล้วจึงทำการพล็อตแสดงค่าความชื้นของดินรายวันระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2564 (ก่อนและหลังการก่อสร้างฝายชะลอน้ำ) ในรูปของกราฟเชิงเส้น เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของความชื้นของดินทั้งในช่วงก่อนและหลังการก่อสร้างฝายชะลอน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ศึกษาโดยค่าความชื้นของดินจะผันแปรในช่วงประมาณ 2 – 27 มิลลิเมตร (รูปที่ 7) และอุณหภูมิผิวดิน (SFT) จะผันแปรในช่วงประมาณ 26 - 36 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 8 ดังนี้



รูปที่ 7 ค่าความชื้นของดิน (มิลลิเมตร) รายวันบริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 8 ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (องศาเซลเซียส) บริเวณพื้นที่ศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลความชื้นของดินและข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับความชื้นของดินเบื้องต้น พบว่าแนวโน้มความชื้นของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น (รูปที่ 7) จากปีพ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) ก่อนมีการสร้างฝายชะลอน้ำต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน พ.ศ. 2564 (ค.ศ. 2021)

อย่างไรก็ดีหากต้องการหลักฐานทางวิทยาศาสตร์มายืนยันเพื่อเพิ่มความมั่นใจว่า การสร้างฝายชะลอน้ำส่งผลให้ความชื้นของดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อาจพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลอื่นที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่ามาทำการทดลองและวิเคราะห์ร่วมกันเพิ่มเติมอีกครั้ง เนื่องจากข้อมูลความชื้นของดินที่ตรวจวัดและประมาณค่าจากการรับรู้จากระยะไกลนั้นยังมีข้อจำกัดต่อการนำไปใช้งาน ทั้งจากแบบจำลองการส่งผ่านคลื่นรังสี (Radiative Transfer Model - RTM) และอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณค่าความชื้นของดินโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความหลากหลายของภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศที่สัมพันธ์กับน้ำและความชื้น (Hydroclimate) ที่ซับซ้อน ค่าความชื้นของดินยังอ่อนไหวต่อการประมาณน้ำในพืช (Vegetation Water Content - VWC) ที่ปกคลุมดิน ทำให้ต้องระมัดระวังและพิจารณาถึงข้อจำกัดอย่างละเอียดรอบคอบในการประยุกต์ใช้งานข้อมูลดังกล่าว การสำรวจจากภาคสนามเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับความชื้นของดินในแต่ละฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศอย่างลึกซึ้งยังคงมีความจำเป็นเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความละเอียด ถูกต้อง น่าเชื่อถือและมีความแม่นยำสูง (10)



4. บทสรุป

จากการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นถึงแหล่งข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกล พร้อมแสดงรายละเอียดของข้อมูลความชื้นของดินทั้งด้านพื้นที่ครอบคลุม (Coverage) และรอบเวลาในการสำรวจบันทึกข้อมูล (Temporal Resolution) หลักการเบื้องต้นของการสำรวจและตรวจวัดความชื้นของดินจากการรับรู้จากระยะไกล การประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมในต่างประเทศและตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานจริงที่คณะผู้วิจัยได้นำเสนอประยุกต์ใช้งานข้อมูลที่มีให้บริการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (GEE) สำหรับการประมวลผลข้อมูล ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเฉพาะทางด้านการรับรู้จากระยะไกลหรือโปรแกรมด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System - GIS) เพิ่มเติมและยังไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดข้อมูลข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากการสำรวจจากระยะไกลมาเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลก่อน เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ผู้ใช้งานสามารถทำการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์และประมวลผลที่มีให้บริการบนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (GEE) ด้วยคลาวด์เทคโนโลยี (Cloud Technology) โดยอาศัยการสั่งการประมวลผลผ่านการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ความถูกต้อง แม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูลความชื้นของดินนั้นจะขึ้นอยู่กับแบบจำลองและอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณค่าความชื้นของดินในแต่ละชุดข้อมูล คณะผู้วิจัยคาดหวังว่า ผลการศึกษา ค้นคว้าในครั้งนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) สำหรับผู้ที่ศึกษาและสนใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์โลก (Earth Science) การประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหรือการทำงานในด้านที่เกี่ยวข้องอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

ตารางที่ 3 ค่าย่อและคำเต็มของศัพท์ที่ใช้ในบทความ

อักษรย่อ	คำเต็ม
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer 2
ASCAT	Advanced Scatterometer
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
GCOM-W1	Global Change Observation Mission-Water 1
MetOp	Meteorological Operational satellite
MIRAS	Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis
MWRI	Microwave Radiation Imager
TMI	TRMM Microwave Imager
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
SFT	Surface Temperature
SMAP	Soil moisture active passive
SMOS	Soil moisture and ocean salinity
SPI	Standardized Precipitation Index

5. เอกสารอ้างอิง

1. Kerr YH, Wigneron J-P, Al Bitar A, Mialon A, Srivastava PK. Soil Moisture from Space. In: Satellite Soil Moisture Retrieval. J Techniques and Applications. Elsevier; 2016. p. 3–27.
2. Kim S, Zhang R, Pham H, Sharma A. A Review of Satellite-Derived Soil Moisture and Its Usage for Flood Estimation. Remote Sens Earth Syst Sci. 2019 Dec 1;2(4):225–46.
3. Lillesand T, Kiefer RW. Remote Sensing and Image Interpretation 4th Edition. 2000
4. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Manual of Photogrammetry. 5th ed. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS); 2004.
5. Jensen JR. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2nd ed. Pearson; 2007.

6. Brocca L, Ciabatta L, Massari C, Camici S, Tarpanelli A. Soil Moisture for Hydrological Applications: Open Questions and New Opportunities. *Water*. 2017 Feb;9(2):140.
7. Juglea S, Kerr Y, Mialon A, Lopez-Baeza E, Braithwaite D, Hsu K. Soil moisture modelling of a SMOS pixel: interest of using the PERSIANN database over the Valencia Anchor Station. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2010 Aug 10;14(8):1509–25.
8. Kerr YH. Soil moisture from space: Where are we? *Hydrogeol J*. 2007 Jan 25;15(1):117–20.
9. Pellarin T, Louvet S, Gruhier C, Quantin G, Legout C. A simple and effective method for correcting soil moisture and precipitation estimates using AMSR-E measurements. *Remote Sens Environ*. 2013 Sep;136:28–36.
10. Mohanty BP, Cosh MH, Lakshmi V, Montzka C. Soil Moisture Remote Sensing: State-of-the-Science. *Vadose Zone J*. 2017;16(1):1-9.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Overview. California Institute of Technology. Available from: <https://smap.jpl.nasa.gov/observatory/overview/> [Accessed 31th March 2021].
12. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Data Products. California Institute of Technology Available from: <https://smap.jpl.nasa.gov/data/> [Accessed 31th March 2021].
13. Geo - Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) (GISTDA). Available from: <http://droughtv2.gistda.or.th> [Accessed 31th March 2021]
14. UN-SPIDER. In Detail: Recommended Practice: Drought monitoring using the Standardized Precipitation Index (SPI). Available from: <https://un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-drought-monitoring-spi/in-detail/> [Accessed 31th March 2021].
15. Prommuean S, Waewsak J, Katathikarnkul S, Konruang S. The Study of Soil Moisture using Remote Sensing Data and Ground-Based Measurement: A Case Study in Phatthalung Province. *ASEAN J Sci Technol Rep*. 2018 Oct 25;21(3):224–32.
16. Marino P, Peres DJ, Cancelliere A, Greco R, Bogaard TA. Soil moisture information can improve shallow landslide forecasting using the hydrometeorological threshold approach. *Landslides*. 2020 Sep 1;17(9):2041–54.
17. Brocca L, Ponziani F, Moramarco T, Melone F, Berni N, Wagner W. Improving Landslide Forecasting Using ASCAT-Derived Soil Moisture Data: A Case Study of the Torgiovannetto Landslide in Central Italy. *Remote Sens*. 2012 May 4;4(5):1232–44.
18. Zhuo L, Dai Q, Han D, Chen N, Zhao B, Berti M. Evaluation of Remotely Sensed Soil Moisture for Landslide Hazard Assessment. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*. 2019 Jan;12(1):162–73.