

การศึกษาความชื้นของดินโดยอาศัยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลและการตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเอง: กรณีศึกษาจังหวัดพัทลุง

The Study of Soil Moisture using Remote Sensing Data and Ground-Based Measurement: A Case Study in Phatthalung Province

สุเจนต์ พรหมเหมือน^{1*}, จอมภพ แวศักดิ์¹, สุกกร กตาทิการกุล² และสุทธิษา ก้อนเรือง³

Suchane Prommuean^{1*}, Jompob Waewsak¹, Supagone Katathikarnkul² and Sutthisa Konruang³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตรวจวัดค่าความชื้นของดินโดยอาศัยข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกลและการตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเองให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ศึกษา 11 อำเภอจังหวัดพัทลุง ประเทศไทย โดยการเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) ที่ได้จาก NASA และจากชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเอง นำข้อมูลที่ได้ทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบค่าความชื้นของดิน พร้อมกับเขียนแผนที่ความชื้นของดินในจังหวัดพัทลุง วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความชื้นรายเดือนและรายปีใน พ.ศ. 2559 ผลของการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีในพื้นที่จังหวัดพัทลุงอยู่ในช่วง 10 - 50 % โดยในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม มีช่วงความชื้นที่ 10 - 20 % ส่วนในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม และมิถุนายน-ธันวาคมมีความชื้นของดินเท่ากับ 20 - 50 % โดยผลที่ได้ทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ความชื้นของดิน แผนที่ความชื้นของดิน จังหวัดพัทลุง ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล การตรวจวัดภาคพื้นดิน

Abstract

Soil moisture content was investigated in this study by 2 methods, i. e. by remote sensing data prediction and ground based measurement by self - assembled instrument. The study area covered all 11 districts in Phatthalung province, Thailand. The soil moisture content data were collected from the satellite photograph (SMAP) recorded by NASA and measurement by self - assembled instrument. The monthly and annual average values of soil moisture content were reported. The annual average values of soil moisture content were in the range of 10 - 50 %. Their monthly average values in January to March and June to December were in the range of 20 - 50 %, no difference of these two methods was found from the result.

Keywords: Soil Moisture Content, Soil Moisture Mapping, Phatthalung Province, Remote Sensing Data, Ground-Based Measurement

¹ นักวิชาชีพ, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิชาชีพ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Scientist, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Assoc. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Scientist, Department of Basic Science and mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 93210

⁴ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

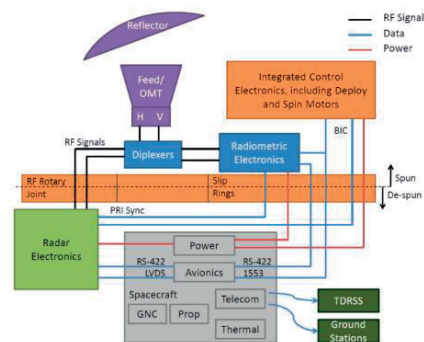
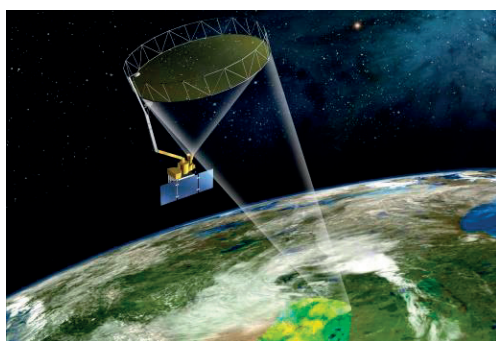
* Corresponding author: E-mail address: sujane214@hotmail.com

บทนำ

ชั้นบน (Topsoil) ของดินมีความสำคัญต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของมนุษย์ พืช และสัตว์ ความชื้นในดิน (Soil Moisture) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชพันธุ์ต่าง ๆ โดยโครงสร้างในดินที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลต่อปริมาณน้ำและไอน้ำที่สะสมอยู่ในดิน ความชื้นในดินมีความสำคัญและส่งผลต่อการระเหยของน้ำ การคายน้ำของพืช รวมทั้งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งความชื้นในดินยังส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างพื้นดินและบรรยากาศ การระเหยน้ำจากดินต้องใช้พลังงานมากและมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในพื้นที่นั้น ๆ

ดาวเทียมตรวจวัดความชื้นของดิน (Soil Moisture Active Passive: SMAP) มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความเข้าใจของกระบวนการแลกเปลี่ยนวัฏจักรน้ำ พลังงาน และคาร์บอน เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการทำนายสภาพอากาศและภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดั้งเดิม ภาพที่ 1 ข้อมูลจาก SMAP สามารถใช้คำนวณปริมาณการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ความชื้นของดิน คาร์บอนที่ดินดูดซับและปล่อยออกมา ซึ่งดาวเทียม SMAP จะช่วยให้เข้าใจวัฏจักรคาร์บอนได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการทำนายและการตรวจสอบความแข็งแรงในอนาคต SMAP ทำการตรวจวัดความชื้นของดินทุก ๆ 2-3 วัน เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยจะทำการตรวจวัดปริมาณน้ำที่อยู่เหนือพื้นดิน และจำแนกว่าพื้นดินมีน้ำแข็งปกคลุมหรือน้ำแข็งละลาย ในกรณีที่พื้นดินไม่มีน้ำแข็งปกคลุม SMAP จะตรวจวัดปริมาณน้ำที่พบในแร่ธาตุ หิน และอินทรีย์สารในดินทั่วโลก รวมทั้งดาวเทียมสามารถตรวจวัดความชื้นในดินได้บริเวณกว้างและครอบคลุมระยะเวลาได้ยาวนาน

บทความนี้ผู้วิจัยเปรียบเทียบค่าความชื้นของดินจากการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับค่าความชื้นจากการตรวจวัดจากดาวเทียม (SMAP) โดยมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดความชื้นของดิน 11 สถานี ในแต่ละอำเภอในจังหวัดพัทลุงเพื่อเป็นพื้นที่กรณีศึกษา การสร้างชุดทดสอบตรวจวัดความชื้นในดินโดยใช้เทคนิคการตรวจวัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Techniques) ที่มีโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 1 Soil Moisture Active and Passive (SMAP)

ที่มา: <http://smap.jpl.nasa.gov/>

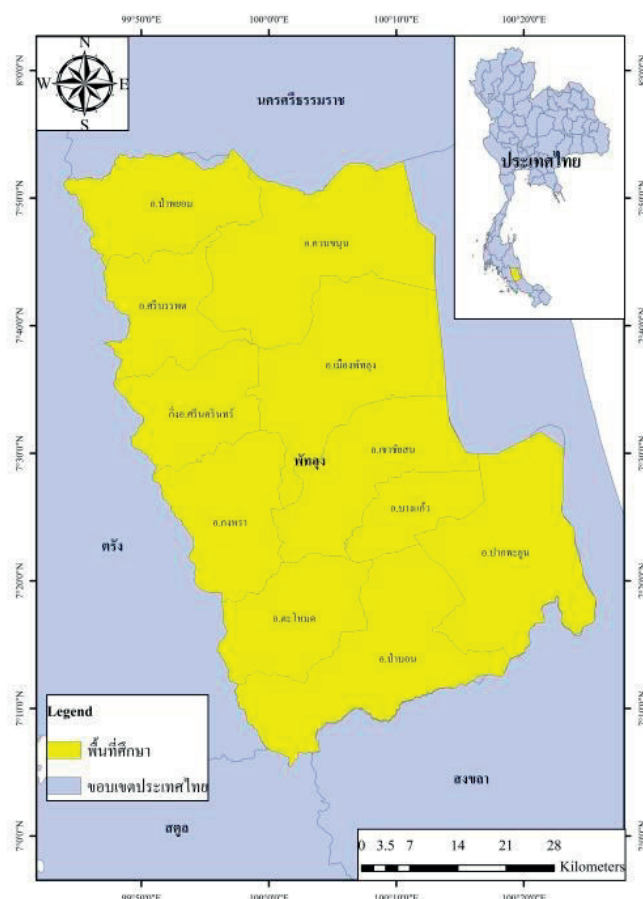
วิธีการดำเนินวิจัย

1. พื้นที่กรณีศึกษา

จังหวัดพัทลุงตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกของแหลมมลายูหรือแหลมทอง ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทยหรือฝั่งตะวันตกของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยตั้งอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ 7 องศา 5 ลิปดา ถึง 7 องศา 55 ลิปดา เหนือ และเส้นแวงที่ 99 องศา 44 ลิปดา ถึง 100 องศา 25 ลิปดา ตะวันออก มีเนื้อที่ 3,424.473 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,140,295.60 ไร่ นับเป็นจังหวัดที่มีเนื้อที่ มากเป็นอันดับที่ 58 ของประเทศไทย มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง แสดงในภาพที่ 2

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดสงขลา
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดตรัง

พื้นที่กรณีศึกษาครอบคลุม 11 สถานีในแต่ละอำเภอในจังหวัดพัทลุง



ภาพที่ 2 ภาพแผนที่ของจังหวัดพัทลุงเขตพื้นที่: กรณีศึกษา

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

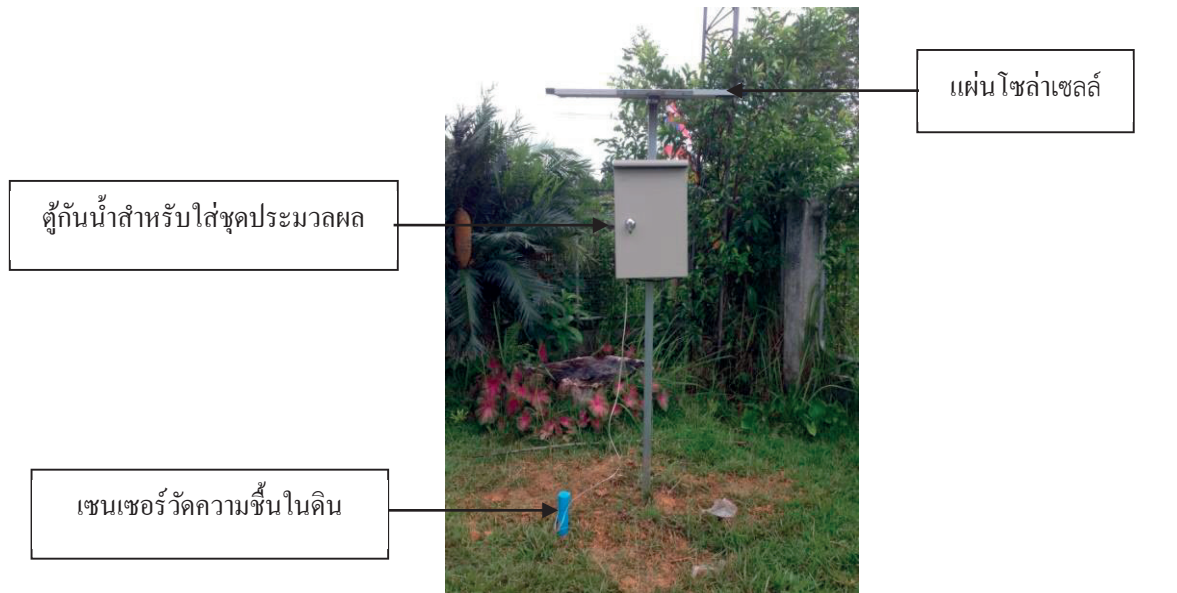
การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ดำเนินการทั้ง 11 อำเภอในจังหวัดพัทลุง ด้วย 2 วิธี ได้แก่ ข้อมูลความชื้นของดินที่เก็บรวบรวมจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) จากฐานข้อมูล NASA และข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้น แล้วนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) จากฐานข้อมูล NASA

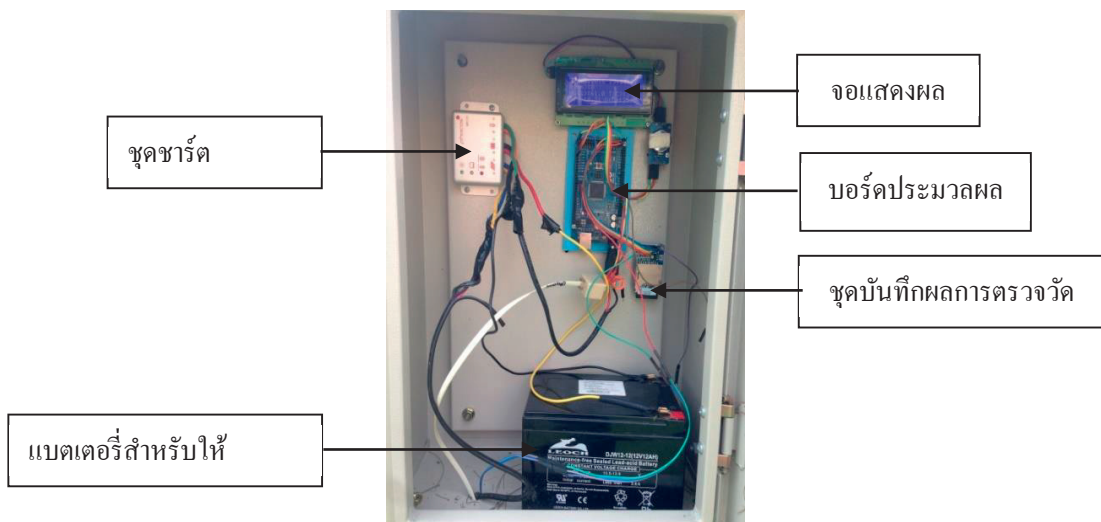
ทำการเก็บรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) จากฐานข้อมูล NASA ที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดพัทลุงในปี พ.ศ.2559 เป็นระยะเวลา 1 ปี หาค่าความชื้นของดินแต่ละตำแหน่งที่ตรงกับตำแหน่งในข้อ 2.3 ทุก ๆ 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเฉลี่ยรายเดือนและรายปี เพื่อศึกษาการค่าความชื้นของดินซึ่งได้จากภาพถ่ายดาวเทียม นำข้อมูล SMAP ที่ได้จากฐานข้อมูลจาก NASA ไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นของดิน แล้วใช้โปรแกรม Arc GIS 10.2 สร้างแผนที่ค่าความชื้นของดินของจังหวัดพัทลุง โดยแยกออกมาเป็นความชื้นของดินเฉลี่ยรายเดือน และค่าความชื้นของดินเฉลี่ยรายปี

2.2 การพัฒนาชุดตรวจวัดความชื้นของดิน

สำหรับการพัฒนาชุดตรวจวัดความชื้นของดิน โดยอาศัยเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล และเก็บข้อมูลอัตโนมัติ การเก็บข้อมูลความชื้นของดินนั้น ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจวัดความชื้นของดิน ให้สามารถเก็บข้อมูลความชื้นแบบอัตโนมัติโดยใช้เซลล์อาทิตย์เป็นตัวจ่ายพลังงานให้กับชุดตรวจวัดความชื้นของดิน โดยมีส่วนประกอบภายนอกแสดงดังภาพที่ 3 และอุปกรณ์ภายในชุดตรวจวัดความชื้นของดินแสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วยจอแสดงผล LCD ขนาด 20X4 ชุดชาร์ตแบตเตอรี่ บอร์ดประมวลผล ชุดบันทึกผลการตรวจวัด และแบตเตอรี่สำหรับให้พลังงาน



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบภายนอกของชุดทดสอบความชื้นของดิน



ภาพที่ 4 อุปกรณ์ภายในชุดตรวจวัดความชื้นของดิน

2.3 การติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นในดิน

ผู้วิจัยได้ระบุตำแหน่งของการติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินให้ครอบคลุมของเขตพื้นที่ใน
จังหวัดพัทลุง ทั้ง 11 อำเภอ ดังนี้

อำเภอเมืองพัทลุง ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.637 ลองจิจูด 100.018
อำเภอเขาชัยสน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.488 ลองจิจูด 100.04
อำเภอควนขนุน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.756 ลองจิจูด 99.979
อำเภอป่าพะยอม ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.808 ลองจิจูด 99.939
อำเภอศรีบรรพต ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.654 ลองจิจูด 99.877
อำเภอศรีนครินทร์ ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.554 ลองจิจูด 99.932
อำเภอกงหรา ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.462 ลองจิจูด 99.956
อำเภอตะโหมด ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.287 ลองจิจูด 100.064
อำเภอป่าบอน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.3155 ลองจิจูด 100.230
อำเภอปากพะยูน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.348 ลองจิจูด 100.322
อำเภอบางแก้ว ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.398 ลองจิจูด 100.147

2.4 การเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้น

การเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้น แต่ละ
ตำแหน่ง ทุก ๆ 2 ชั่วโมงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายเดือนและรายปี

3. การเปรียบเทียบความชื้นของดินจากการตรวจวัด ทั้ง 2 วิธี

แต่ละตำแหน่งที่เก็บข้อมูลจากการตรวจวัดทั้งจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP จากฐานข้อมูล
NASA และจากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้นเอง ทั้งรายเดือนและรายปีนำมาทดสอบความ
แตกต่างด้วยวิธีซันทักซ์ของแผนที่ความชื้นของดิน ทั้ง 2 วิธี

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากการเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายทางดาวเทียม (SMAP) และชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่
พัฒนาขึ้น ใน 11 อำเภอของจังหวัดพัทลุงนั้น นำมาวิเคราะห์ค่าความชื้นของดินแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนและ
ค่าเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ นำค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีไปทำแผนที่
ความชื้นของดินในเขตพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดพัทลุงโดยใช้โปรแกรม Arc GIS 10.2 แสดงดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6

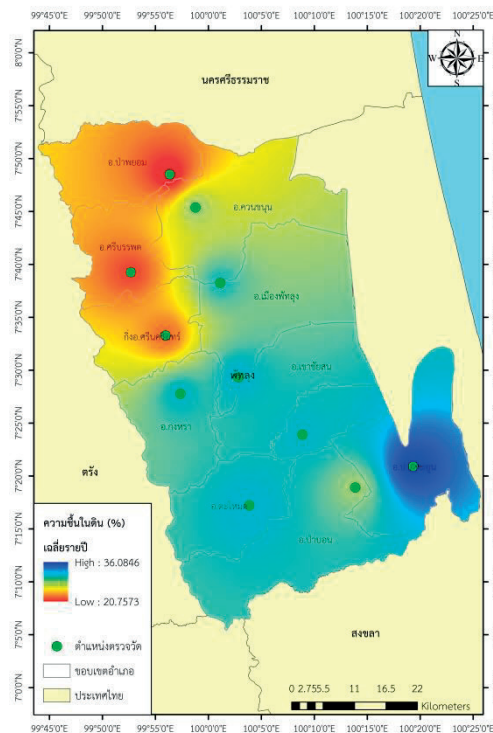
การเปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 เป็นการนำแผนที่เฉลี่ยความชื้นของ
ดินมาทำการซ้อนทับกันแล้วมองถึงการเปลี่ยนแปลงของสีบนแผนที่ความชื้นทั้ง 6 วิธี

สรุปผลการวิจัย

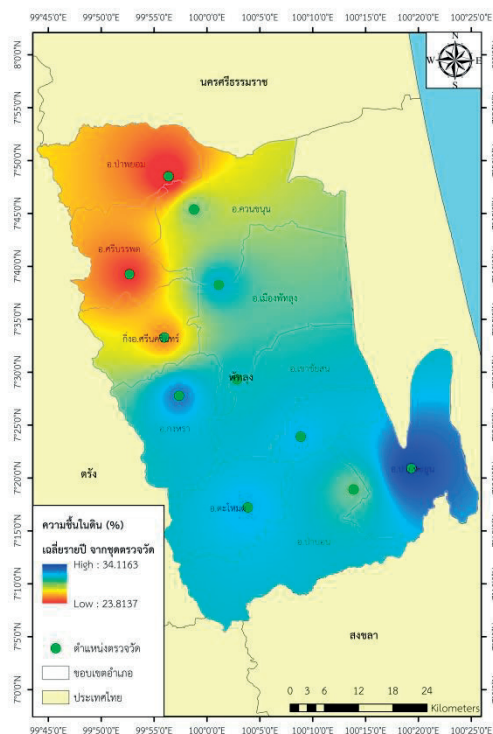
ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ค่าความชื้นของดิน ใน 11 อำเภอของจังหวัดพัทลุง พบว่าค่าความชื้นของดินที่
ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมและค่าที่ได้จากชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้นจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่าความชื้น
ของดินในจังหวัดพัทลุง ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม มีค่าความชื้นเท่ากับ 10 – 20 % ส่วนค่าความชื้นของดินเดือน
มกราคม-มีนาคมและมิถุนายน-ธันวาคม มีค่าเท่ากับ 20 - 50 % และมีค่าความชื้นเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 20 - 40 % แสดงว่า
พื้นที่ที่ทดสอบจังหวัดพัทลุงมีความชื้นในดินค่อนข้างสูงเนื่องจากมีฝนตกชุกตลอดทั้งปี

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายเดือนและเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP)														
สถานที่ติดตั้งสถานีตรวจวัด	ตำแหน่งที่ตรวจวัด			ค่าเฉลี่ยรายเดือน (%)										ค่าเฉลี่ยรายปี 2559 (%)
	ละติจูด	ลองจิจูด	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อำเภอป่าพะยอม	7.808	99.939	24.56	22.53	17.80	13.51	14.85	18.31	18.44	20.79	21.74	21.26	24.14	31.14
อำเภอศรีบรรพต	7.654	99.877	26.03	23.89	19.62	14.96	16.03	19.18	19.42	21.76	22.59	22.19	25.20	32.28
อำเภอศรีนครินทร์	7.554	99.932	27.43	25.21	21.07	16.36	17.05	20.08	20.27	22.44	23.41	23.10	26.38	33.34
อำเภอกวนขนุน	7.756	99.979	33.92	26.37	19.70	16.17	19.10	25.99	27.28	31.29	31.50	28.70	38.51	43.47
อำเภอเมืองพัทลุง	7.637	100.018	36.64	29.94	21.13	17.01	19.78	27.65	29.13	35.11	34.62	32.10	39.98	43.95
อำเภอเขาชัยสน	7.488	100.047	37.48	31.60	21.85	17.32	20.23	28.63	30.04	34.00	35.94	33.98	40.64	44.14
อำเภอกงหรา	7.462	99.956	37.59	35.53	21.85	9.31	20.23	28.63	30.04	34.00	35.96	33.98	40.64	44.14
อำเภอบางแก้ว	7.398	100.147	36.47	29.67	21.03	17.29	20.66	28.69	29.95	35.07	36.04	33.22	40.41	43.80
อำเภอตะโหมด	7.287	100.064	36.35	29.55	20.88	17.22	20.72	29.22	30.50	36.08	37.13	34.73	40.68	43.72
อำเภอป่าบอน	7.315	100.231	31.63	25.56	19.97	17.74	20.98	26.86	27.73	30.43	31.09	27.78	38.33	42.67
อำเภอปากพะยูน	7.348	100.322	41.98	34.93	28.42	24.74	27.06	31.91	32.92	36.76	38.03	35.21	47.59	53.47

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายเดือนและเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากชุดตรวจวัดความชื้น ในดินที่พัฒนาขึ้น																
สถานที่ติดตั้งสถานีตรวจวัด	ตำแหน่งที่ตรวจวัด		ค่าเฉลี่ยรายเดือน (%)												ค่าเฉลี่ยรายปี 2559 (%)	
	ละติจูด	ลองจิจูด	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
อำเภอป่าพะยอม	7.808	99.939	22.45	20.13	14.32	15.50	12.56	17.89	15.36	18.29	19.56	19.56	21.56	28.45	23.81	
	7.654	99.877	24.55	20.45	17.20	16.20	15.60	17.45	17.25	17.56	20.13	20.36	22.89	28.63	24.70	
	7.554	99.932	25.10	22.56	18.65	14.52	16.89	18.96	25.35	20.22	21.56	21.24	24.96	30.21	26.26	
	7.756	99.979	28.89	24.78	17.24	14.65	17.56	22.35	25.23	28.63	28.56	25.32	34.62	38.20	29.55	
อำเภอเมืองพัทลุง	7.637	100.018	32.15	27.41	18.21	15.23	17.45	25.63	27.63	32.14	32.41	28.79	32.35	38.60	31.12	
	7.488	100.047	25.10	28.62	19.56	15.32	18.23	17.24	28.04	32.41	32.65	30.78	35.62	39.45	30.75	
อำเภอกงหรา	7.462	99.956	35.42	32.21	20.14	17.62	19.54	26.32	28.45	31.56	33.10	30.56	35.87	38.56	32.63	
	7.398	100.147	32.68	26.87	17.56	14.23	18.56	27.10	26.56	34.89	33.20	30.22	36.25	39.42	31.79	
อำเภอตะโหมด	7.287	100.064	32.56	26.35	19.56	15.34	18.23	25.86	28.30	34.25	34.04	30.74	35.64	39.56	31.98	
	7.315	100.231	28.35	25.56	17.78	14.78	18.56	24.52	24.56	28.35	29.23	25.36	34.21	38.44	29.80	
อำเภอปากพะยูน	7.348	100.322	38.54	30.45	26.23	20.13	18.20	28.56	30.04	24.61	34.45	31.56	41.31	45.88	34.12	



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากชุดตรวจวัดความชื้นในดินที่ได้พัฒนาขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cho, E., Choi, M. and Wagner, W. (2015). “An Assessment of Remotely Sensed Surface and Root Zone Soil Moisture through Active and Passive Sensors in Northeast Asia”, **Remote Sensing of Environment**. 160, 166-179.
- [2] Chan, S., Njoku, E. and Dunbar, S. (2010). “Forward Simulations of Passive Microwave Observations for the Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission”, **IEEE, IGARSS 2010**. 4839-4842
- [3] Mastropietro, A. J., Kwack, E., Mikhaylov, R., Spencer, M., Hoffman, P. and Dawson D. (2014). “Preliminary Evaluation of Passive Thermal Control for the Soil Moisture Active and Passive (SMAP) Radiometer”, **American Institute of Aeronautics and Astronautics**. 1-16.
- [4] O’Neill, P. E., Podest, E. and Njoku, E.G. (2011). “Utilization of Ancillary Data Sets for SMAP Algorithm Development and Product Generation”, **IEEE, IGARSS 2011**. 2436-2439
- [5] Chen, F., Crow, W. T., Starks, P. J. and Moriasi, D.N. (2011). “Improving Hydrologic Predictions of a Catchment Model via Assimilation of Surface Soil Moisture”, **Advances in Water Resources**. 34, 526-536.
- [6] Miralles, D. G., Crow, W. T. and Cosh, M.H. (2010). “Estimating Spatial Sampling Errors in Coarse-Scale Soil Moisture Estimates Derived from Point-Scale Observations”, **Journal of Hydrometeorology**. 11, 1423-1429.
- [7] Crow, W. T., Wagner, W. and Naeimi, V. (2010). “The Impact of Radar Incidence Angle on Soil-Moisture-Retrieval Skill”, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letter**. 7, 501-505.
- [8] Das, N. N., Entekhabi, D. and Njoku, E. G. (2011). “An Algorithm for Merging SMAP Radiometer and Radar Data for High Resolution Soil Moisture Retrieval”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 49, 1504-1512.
- [9] Huang, S., Tsang, L., Njoku, E. G. and Chan, K. S. (2010). “Backscattering Coefficients, Coherent Reflectivities, and Emissivities of Randomly Rough Soil Surfaces at L-Band for SMAP Applications Based on Numerical Solutions of Maxwell Equations in Three-Dimensional Simulations”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 48, 2557-2568.
- [10] Colliander, A., McDonald, K., Zimmermann, R., Linke, T., Schroeder, R., Kimball J. and Njoku, E. (2010). “Quikscat Backscattering Sensitivity to Landscape Freeze/Thaw State over Alectra Sites in Alaska from 2000-2007: Application to SMAP Validation Planning”, **IEEE, IGARSS 2010**. 1269-1272.