

การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

Application of Landsat Data for Detecting Land Surface Temperature in Mueang Maha Sarakham District, Maha Sarakham Province

อุเทน पीบขุนทด¹, ปรมะฐั จันทร์เพ็ง¹, ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ^{1,2*}

Uten Peebhunthod, Pormate Chunpang², Teerawong Laosuwan^{1,2*}

Received: 21 November 2016 ; Accepted: 17 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม วิธีการศึกษาได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนที่ความยาวคลื่น 10.60 - 11.19 ไมโครเมตร มาทำการปรับแก้ค่าการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของบรรยากาศชั้นบน ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูลบนดาวเทียม โดยผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมในปี พ.ศ. 2558 พบว่าอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคามมีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 27.155 องศาเซลเซียส ส่วนข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยามีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 28.033 องศาเซลเซียส จากนั้นได้นำเอาผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมที่หาความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2558 ได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.8591x + 4.8904$ และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.838$ โดยผลของความสัมพันธ์ได้แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันของข้อมูลในระดับสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมนั้นมีความน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ: อุณหภูมิพื้นผิว ดาวเทียมแลนด์แซท 8 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน

Abstract

The research aims to apply Landsat data to examine the land surface temperature in the area of Mueang Mahasakham district, Mahasarakham province. The research methodology employed satellite data acquired from Landsat 8 using the thermal infrared band, wave length between 10.60-11.19 micrometer, and the geometrical distortion was readjusted to correct for reflectance of electromagnetic radiation of the top of atmosphere for reduced the errors of the energy reflectance from the earth's ground surface to the data recorder embedded with the satellite. The data analysis was acquired from the satellite in 2015 and it was found that the average land surface temperature of Mueang Mahasakham district, Mahasarakham province was 27.155 Celsius while the data from Thai Meteorological Department indicated 28.133 Celsius. The study then compared the analysis of the satellite data with that from the Thai Meteorological Department during 2015 revealing a relationship based on the formula $y = 0.8591x + 4.8904$ and the coefficient of determination $R^2 = 0.838$. It can be concluded that there is a relationship of the data at the high level, and the study has reaffirmed that ground surface analysis using satellite data is reliable method.

Keywords: Land surface temperature, Landsat 8, Thermal infrared band

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

² Space Technology and Geoinformatics Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

* Corresponding author: Teerawong Laosuwan, Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150. E-mail: teerawong@msu.ac.th

บทนำ

จากรายงานประเมินสถานการณ์สภาพอากาศโลกฉบับที่ 4 โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)¹ ระบุว่าภาวะโลกร้อนได้ปรากฏเด่นชัดจนมากขึ้น ทั้งนี้จากการสังเกตอุณหภูมิอากาศและมหาสมุทรโดยเฉลี่ย รวมไปถึงการละลายของหิมะและน้ำแข็ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ ทะเลในช่วง 12 ปี ที่ผ่านมา ซึ่งระดับน้ำตั้งแต่ ค.ศ. 1990 อุณหภูมิพื้นผิวโลกเฉลี่ยของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส และจากปี ค.ศ. 1980-1999 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในระดับที่พุ่งขึ้นไปเรื่อยๆ นอกจากนี้ยังได้มีการคาดการณ์ว่าภายในปี ค.ศ.2100 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยพื้นผิวโลกจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-6.4 องศาเซลเซียส อีกด้วย²

จากผลที่เกิดจากภาวะโลกร้อนนี้อาจนำไปสู่ผล กระทบที่ร้ายแรงจนพื้นกลับคืนมาไม่ได้ ความเสี่ยงนี้เชื่อมโยงกับระดับและขนาดของความเปลี่ยนแปลงทางอากาศร้อยละ 20-30 ของชนิดพืชและสัตว์ที่เสี่ยงจะสูญพันธุ์ หากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น 1.5-2.5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อช่วงปี ค.ศ. 1980-1999 บริเวณแอฟริกาภายในปี ค.ศ. 2020 ประชากรกว่า 75-250 ล้านคนจะเผชิญวิกฤต ดึงเครียดเรื่องน้ำผลผลิตการเกษตรที่ต้องพึ่งพาน้ำฝนในหลายประเทศจะลดลงกว่าร้อยละ 50 พื้นที่ทะเลทรายจะขยายตัวจากร้อยละ 5-8 ภายในปี ค.ศ.2080 บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะลดลงภายในกลางศตวรรษนี้ พื้นที่ที่ติดชายฝั่งจะเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วม เนื่องจากระดับน้ำ ทะเลที่สูงขึ้น ยอดผู้เสียชีวิตที่เกี่ยวข้องจากภาวะน้ำท่วมและภัยแล้งจะเพิ่มขึ้นบริเวณอาร์กติก การละลายของน้ำแข็งในทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนขึ้นจะสูง ขึ้น มากกว่าสองเท่าจากระดับเฉลี่ยในอดีตและจะส่ง ผลต่อระบบนิเวศวิทยารวมถึงที่อยู่อาศัยของมนุษย์ เมื่อถึงปลายศตวรรษ น้ำแข็งในอาร์กติกอาจละลายไปเลยก็ได้ ในช่วงฤดูร้อนบริเวณยุโรปหนาวน้ำแข็งตามเทือกเขาจะลดลงส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวในฤดูหนาวและการสูญพันธุ์ของพืชและสัตว์ บางพื้นที่จะเสียหายถึงร้อยละ 60 ส่วนยุโรปใต้ต้องเผชิญกับคลื่นความร้อนที่ถี่ขึ้นและร้อนขึ้น ความเปลี่ยนแปลงทางอากาศจะนำไปสู่การแปรสภาพกรดในมหาสมุทรซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาที่ปะการังเป็นฐาน^{3,4} สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2558 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของสูงกว่าค่าปกติ 0.8 องศาเซลเซียสและสูงกว่าปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2557 สูงกว่าค่าปกติ 0.4 องศาเซลเซียส) หลายพื้นที่มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าสถิติเดิมที่เคยตรวจวัดได้ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าค่าปกติทุกเดือน เฉพาะเดือนธันวาคมและเดือนพฤศจิกายนสูงกว่าปกติ 2.1 และ 1.9 องศาเซลเซียส

ตามลำดับ⁵ ด้วยความสำคัญของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ตั้งกล่าวมา การศึกษาในครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นในการตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ปี พ.ศ. 2558

พื้นที่ศึกษา

อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม (Figure 1) มีเนื้อที่ประมาณ 556.70 ตารางกิโลเมตร โดยอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคามมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

- ทิศเหนือ: ติดต่อกับ อำเภอกันทรวิชัย
- ทิศใต้: ติดต่อกับ อำเภอวาปีปทุม
- ทิศตะวันออก: ติดต่อกับ อำเภอฆ้องชัย (จังหวัดกาฬสินธุ์) อำเภอจังหาร อำเภอเมืองร้อยเอ็ด อำเภอศรีสมเด็จ (จังหวัดร้อยเอ็ด) และอำเภอแกลง
- ทิศตะวันตก: ติดต่อกับ อำเภอบรบือและอำเภอโกสุมพิสัย



Figure 1 Mahasarakham Province

วิธีการดำเนินงาน

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซท 8 โดยดาวเทียมแลนด์แซท 8 สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ (Table 1)^{6,7} ได้แก่ ช่วงคลื่น Coastal aerosol (0.43-0.45 μm) ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (0.45-0.51 μm) ช่วงคลื่นสีเขียว (0.53-0.59 μm) ช่วงคลื่นสีแดง (0.64-0.67 μm) อินฟราเรดใกล้ (0.85-0.88 μm) จำนวน 1 ช่วงคลื่น และอินฟราเรดคลื่นสั้น (1.57-1.65 และ 2.11-2.29 μm) จำนวน 2 ช่วงคลื่น ความละเอียดของจุดภาพ (Pixel) 30 เมตร ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal IR) จำนวน 2 ช่วงคลื่น

ความละเอียด 100 เมตร และภาพขาวดำ (Panchromatic) ความละเอียด 15 เมตร

ทั้งนี้ดาวเทียมแลนดแซท 8 ยังมีระบบการเก็บข้อมูลขนาด 16 บิต โคจรกลับมาถ่ายภาพซ้ำตำแหน่งเดิมทุกๆ 16 วัน สำหรับการศึกษาค้างนี้จะใช้เฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน Band 10 ที่ความยาวคลื่น 10.60 - 11.19 ไมโครเมตร

Table 1 LANDSAT 8 OLI and TIRS

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
1	0.43 -0.45 (Coastal aerosol)	30 m
2	0.45 - 0.51 (Blue)	30 m
3	0.53 - 0.59 (Green)	30 m
4	0.64-0.67 (Red)	30 m
5	0.85 - 0.88 (Near IR)	30 m
6	1.57 - 1.65 (SWIR-1)	30 m
7	2.11 - 2.35 (SWIR-2)	30 m
8	0.50 - 0.68 (Panchromatic)	15 m
9	1.36 - 1.38 (Cirrus)	30 m
10	10.60 - 11.19 (Thermal IR 1)	100 m
11	11.50 - 12.51 (Thermal IR2)	100 m

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมแลนดแซท 8 ปี พ.ศ. 2558 มีขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

1) ดัดข้อมูลจากดาวเทียม (Sunset image) ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการปรับแก้ความผิด พลาดทางเรขาคณิต (Geometric correction)⁷ ของข้อมูลจากดาวเทียมดังกล่าว

2) การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้¹¹⁻¹⁵

$$L_{\lambda} = gain \times DN + bias \tag{1}$$

โดยที่

- L_{λ} ค่าการแผ่รังสี (Spectral radiance)
- $gain$ ค่า gain ดาวเทียมแลนดแซท 8
- DN ค่าการสะท้อนในแต่ละ Pixel (Digital number)
- $bias$ ค่า Offset ของ แบนด์ 10

3) การแปลงค่าเชิงตัวเลขของข้อมูลเป็นค่าการแผ่รังสี ณ อุปกรณ์บันทึก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังนี้¹¹⁻¹⁵

$$CV_{RI} = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN \tag{2}$$

โดยที่

- CV_{RI} ค่าการแผ่รังสี (Spectral radiance)
- $LMAX$ ค่ารังสีสูงสุดของแต่ละแบนด์
- $LMIN$ ค่ารังสีต่ำสุดของแต่ละแบนด์
- $QCALMAX$ ค่าเชิงตัวเลขต่ำสุดของข้อมูลจากดาวเทียม มีค่าเท่ากับ 0
- $QCALMIN$ ค่าเชิงตัวเลขต่ำสุดของข้อมูลจากดาวเทียม มีค่าเท่ากับ 255
- DN ค่าการสะท้อนในแต่ละ Pixel (Digital number)

4) การคำนวณอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังนี้^{13,14,15}

$$T = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1 \times \epsilon}{CV_{RI}} + 1 \right)} \tag{3}$$

โดยที่

- CV_{RI} ค่าการแผ่รังสี (Spectral radiance)
- T อุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น (K)
- K_1 ค่าคงที่ของดาวเทียม Landsat 8 TIR 1 แบนด์ 10 คือ 774.89 (K)
- K_2 ค่าคงที่ของดาวเทียม Landsat 8 TIR 1 แบนด์ 10 คือ 1321.08 (K)
- ϵ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของดาวเทียม Landsat 8 แบนด์ 10 คือ 0.987

5) การแปลงค่าอุณหภูมิเคลวินเป็นค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส สำหรับการแปลงค่าอุณหภูมิเคลวินเป็นค่า อุณหภูมิองศาเซลเซียส ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 ดังนี้^{13,14,15}

$$T (^{\circ}C) = T(k) - 273.15 \tag{4}$$

6) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่วิเคราะห์ได้จากดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อนของดาวเทียมแลนดแซท 8 กับข้อมูลอุณหภูมิจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ผลการดำเนินงาน

ผลการรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลดาวเทียม

ผลการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์นั้นจากการทำการปรับแก้ค่า ToA เพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูลจากสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลของข้อมูลดาวเทียมแลนดแซท 8 ก่อนและหลังนั้น สามารถแสดงได้ดัง Figure 2, 3

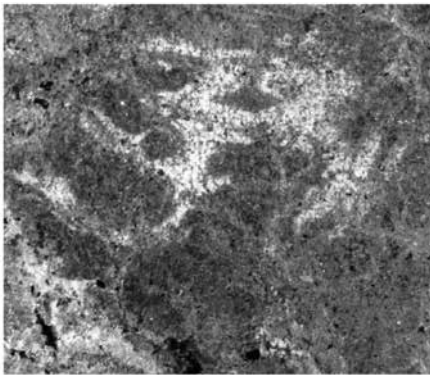


Figure 2 Before TOA

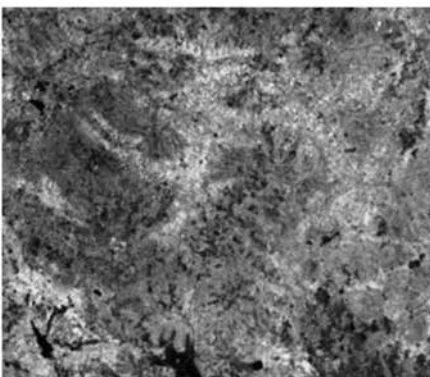


Figure 3 After TOA

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมแลนดแซท 8 โดยผ่านกระบวนการแปลงค่าเชิงตัวเลขของข้อมูลเป็นค่าการแผ่รังสี ณ อุปกรณ์บันทึก และการวิเคราะห์อุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่นในปี พ.ศ. 2558 ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวของอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ได้ดังใน Table 1 ซึ่งแสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือนในปี พ.ศ. 2558

Table 1 Mean temperature from analysis of Landsat 8

Year	Month	Mean temperature (°C)
2015	JAN	22.56
	FRB	25.15
	MAR	30.21
	APR	30.60
	MAY	30.53
	JUN	28.42
	JUL	28.01
	AUG	26.06
	SEP	25.26
	OCT	27.11
	NOV	26.21
	DEC	24.55
Average temperature		27.155

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวเชิงพื้นที่รายปี

สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวเชิงพื้นที่รายปีนั้นจะทำให้เห็นภาพข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ได้ชัดเจนมากกว่าในรายเดือน ใน Figure 4 ได้แสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมแลนดแซท 8 ในปี พ.ศ. 2558 โดยจำแนกอุณหภูมิพื้นผิวออกเป็น 6 กลุ่มคือ 0-7, 8-14, 15-21, 22-28, 29-35 และ 36-42 องศาเซลเซียส

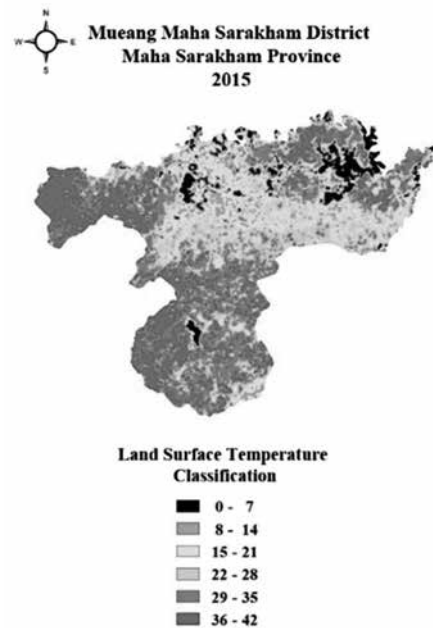


Figure 4 Land surface temperatures in 2015

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ในการศึกษาได้นำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้จากดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อนของดาวเทียมแลนด์แซท 8 กับข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยาโดยข้อมูลอุณหภูมิที่อยู่ระยะเวลาเดียวกันคืออยู่ในช่วงเดือนเดียวกันและปีเดียวกันมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทั้งนี้กรมอุตุนิยมวิทยาทุกสถานีตรวจวัดจะทำการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตามเวลาที่กำหนดไว้พร้อมกันทั่วโลก โดยการตรวจวัดข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาจะถูกกำหนดโดย WMO การตรวจวัดอากาศตามมาตรฐานที่หน่วยงานอุตุนิยมวิทยาทำการตรวจสอบคือการตรวจวัดอากาศในระดับพื้นผิวดิน ณ สถานีตรวจอากาศ สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีตรวจวัดจังหวัดมหาสารคามโดยผลของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในปี พ.ศ. 2558 สามารถแสดงได้ดัง Figure 5 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้จากดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อนกับข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2=0.838$ แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

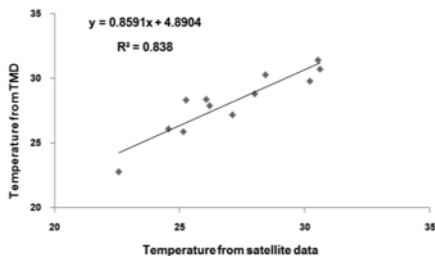


Figure 5 Relationship of the statistical data in 2015

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม โดยสามารถสรุปได้ว่าในปี พ.ศ. 2558 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 พบว่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 27.155 องศาเซลเซียส และข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยามีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 28.133 องศาเซลเซียส เมื่อนำข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติจึงได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.8591x + 4.8904$ มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.838$ ซึ่งแสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ทั้งนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิพื้นผิวมีค่าแตกต่างจากค่าข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในบางข้อมูลนั้น เนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียมมีปริมาณ

เมฆปกคลุมสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้อมูลจากดาวเทียมมีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลการศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่า วิธีการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมนั้นมีความน่าเชื่อถือ คณะผู้วิจัยจะได้นำวิธีในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวด้วยข้อมูลจากดาวเทียมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปรากฏการเกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island) ในจังหวัดมหาสารคาม ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง รวมถึงครูบาอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทุก ๆ ท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. IPCC, Assessment Report, Online Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/> (วันที่ค้นข้อมูล 31 มกราคม 2559).
2. Glantz M.H. Currents of change: impacts of El Nino and La Nina on climate and society. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
3. ณรงค์นาค อยู่ประสิทธิ์วงศ์ และชลาลัย แจ่มผล. การผันแปรของปริมาณและอุณหภูมิในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กลุ่มภูมิอากาศ, สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2544.
4. สาวิตรี จันทรานุกฤษ. ฤกษ์จะเป็นจุดจบของโลก. <http://pirun.ku.ac.th/~fagisvtc/buddhism/activity/activity/theEnd.htm> (วันที่ค้นข้อมูล: 31 มกราคม 2559).
5. กรมอุตุนิยมวิทยา. สรุปสภาวะอากาศทั่วไปในรอบปี พ.ศ. 2558. ออนไลน์ <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=5> (วันที่ค้นข้อมูล: 28 มกราคม 2559).
6. U.S. Geological Survey. Landsat 8. ออนไลน์ <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. 2016. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 มกราคม 2559).
7. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ. เทคโนโลยีอวกาศประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาสารคาม : ดักศิลาการพิมพ์. 2557.
8. Yale University. Converting Digital Numbers to Top of Atmosphere (ToA) Reflectance. ออนไลน์ http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Reflectance.pdf. (วันที่ค้น ข้อมูล: 11 กุมภาพันธ์ 2559).
9. Claudio Parente. TOA reflectance and NDVI calcula-

- tion for Landsat 7 ETM+ images of Sicily. The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference. 2015.
10. Teerawong Laosuwan & Pornchai Uttaruk. Estimating Tree Biomass via Remote Sensing, MSAVI 2, and Fractional Cover Model. IETE Technical Review. 31(5): 362-368; 2014.
 11. Teerawong Laosuwan and Yannawut Uttaruk. Estimating Above Ground Carbon Capture Using Remote Sensing Technology in Small Scale Agro Forestry Areas. Agriculture & Forestry, 62 (2): 253-262; 2016.
 12. Yale University. Center for Earth Observation.ออนไลน์ <http://yceo.yale./how-convert-land-sat-dns-top-atmosphere-toa-reflectance> (วันที่ค้นข้อมูล 11 กุมภาพันธ์ 2559).
 13. Skokovic.D, Sobrino.J.A, Jimenez-Munoz.J.C, Soria.G, Julien.Y, Mattar.C and Jordi Cristobal. Calibration and Validation of Land Surface Temperature for Landsat 8 – TIRS Sensor, Land product Validation and Evolution. ESA/ESRIN Frascati (Italy), pp 6-9. 2014.
 14. Jimenez-Munoz, J.C.; Sobrino, J.A.; Skokovic, D.; Mattar, C.; Cristobal, J. Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. Geosci. Remote Sens. Lett. IEEE, 11, 1840–1843; 2014.
 15. Li B, Ti C, Zhao Y, Yan X. Estimating Soil Moisture with Landsat Data and Its Application in Extracting the Spatial Distribution of Winter Flooded Paddies. Remote Sensing. 8(1):38; 2016.