



การคาดการณ์อุณหภูมิพื้นผิวดินระดับท้องถิ่นในจังหวัดเชียงใหม่ภายใต้ข้อมูลภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ณัชวิชญ์ ตีกุล*

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-5387-5354 อีเมล: nachawit@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.06.004

รับเมื่อ 25 กรกฎาคม 2560 ตอรับเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 5 มิถุนายน 2561

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

จากปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายประการรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีงานวิจัยมากมายที่พยายามคาดการณ์อุณหภูมิอากาศในอนาคต แต่ยังคงเป็นการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ระดับประเทศหรือระดับภูมิภาค ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิระดับท้องถิ่นอาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยระดับประเทศหรือระดับภูมิภาค จึงเกิดคำถามว่าหากต้องการทราบข้อมูลอุณหภูมิในอนาคตในพื้นที่ขนาดเล็กระดับท้องถิ่นจะสามารถทำได้อย่างไร งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยที่ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 ที่มีอยู่ร่วมกับวิธีการสำรวจระยะไกล เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิในอนาคตระดับท้องถิ่น โดยใช้พื้นที่ศึกษาจำนวน 3 อำเภอในจังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงใหม่ อำเภอสันทราย และอำเภอดอยสะเก็ด เป็นพื้นที่ศึกษานำร่องสำหรับงานวิจัยนี้ก่อน ผลจากการศึกษาทำให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในแต่ละปีระหว่างปี พ.ศ. 2560-2592 ที่มีขนาดขนาดจุดกริด 30×30 เมตร จำนวน 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดจากภาพถ่าย ECHAM4 A2, ECHAM4 B2 และ ECHAM5 A1B ซึ่งมีเงื่อนไขและที่มาในการสร้างภาพถ่ายที่แตกต่างกัน และพบว่าข้อมูลในระดับท้องถิ่นในแต่ละปีมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากเฉลี่ยประมาณ 20°C ทำให้เห็นได้ว่าการพิจารณาข้อมูลอากาศระดับท้องถิ่นมีความสำคัญต่อการวางแผนในด้านต่างๆ โดยเฉพาะเจาะจง เช่น การปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ ที่ไม่อาจใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งจังหวัดได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในอนาคตอุณหภูมิระดับท้องถิ่นของทั้ง 3 อำเภอ ในจังหวัดเชียงใหม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น และพบว่าแนวโน้มอุณหภูมิท้องถิ่นในอนาคตที่ได้จากภาพถ่าย ECHAM5 A1B มีแนวโน้มจะมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าชุดข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากภาพถ่าย ECHAM4 A2 และ ECHAM4 B2 ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการเลือกใช้ภาพถ่ายอนาคตที่มีเงื่อนไขที่สอดคล้องกับพื้นที่เพื่อให้สามารถหาแนวทางป้องกันที่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมากที่สุด

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ, ภาพถ่ายอนาคต, อุณหภูมิ, สภาพอากาศระดับท้องถิ่น, เชียงใหม่

การอ้างอิงบทความ: ณัชวิชญ์ ตีกุล, “การคาดการณ์อุณหภูมิพื้นผิวดินระดับท้องถิ่นในจังหวัดเชียงใหม่ภายใต้ข้อมูลภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3, หน้า 503-513, ก.ค.-ก.ย. 2561.

Prediction of Future Surface Temperature at Local Scale in Chiang Mai Province under Climate Change Scenarios

Nachawit Tikul*

Faculty of Architecture and Environmental Design, Maejo University, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-5387-5354, E-mail: nachawit@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.06.004

Received 25 July 2017; Accepted 8 November 2017; Published online: 5 June 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The climate change problem results in several changes including the temperature. There have been many studies on the future climate forecast but only providing the future surface temperature of countrywide area or at the regional scale. In fact, the surface temperature of a local area might be lower or higher than that. This raises the question on how the future surface temperature at local scale can be predicted. This study applies the available data on Thailand's existing climate change forecast using an existing world climate model ECHAM4 together with the remote sensing to predict the future surface temperature at the local scale. The 3 districts in Chiang Mai, i.e. Muang Chiang Mai, San Sai, and Doi Saket were used as a pilot study for this research. The results provided the annual maximum surface temperature during 2560BE and 2592BE of 30×30 meter grid spacing. The 3 sets of local temperature include ECHAM4 A2, ECHAM4 B2, and ECHAM5 A1B projects with different conditions and sources of projecting. In addition, there is a significant difference the temperature among each local data and in each year around 20 deg Celsius. Therefore, it can be seen that only the local temperature forecast is very important for planning on specific areas, e.g. annual cropping, cattle, etc. rather than using the average temperature of large provincial area. It was also found that the future climate change of the 3 districts tends to be higher. Moreover, the future local surface temperature from the ECHAM5 A1B project tends to be higher than those of ECHAM4 A2 and ECHAM4 B2. As a consequence, it is important to choose the suitable model of climate change scenarios in order to find the best guideline to solve the problem on the climate change in certain local area.

Keywords: Climate Change, Scenario, Temperature, Microclimate, Chiang Mai

Please cite this article as: N. Tikul, "Prediction of future surface temperature at local scale in Chiang Mai province under climate change scenarios," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 3, pp. 503–513, Jul.–Sep. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นความพยายามที่จะรักษาสมดุลของพลังงานในระบบภูมิอากาศ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนหนึ่งส่วนใดหรือหลายส่วนของระบบ ได้แก่ บรรยากาศ พื้นดิน หิน ธารน้ำแข็ง หิมะ มหาสมุทร แหล่งน้ำ และสิ่งมีชีวิต โดยมีพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นแรงขับเคลื่อน ผลจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝน สภาวะขจัดสุดของลมฟ้าอากาศ ระดับน้ำทะเล การเกิดพายุและคลื่นพายุซัดฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นการเข้าใจการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อที่สามารถรับมือได้กับสภาพภูมิอากาศในอนาคตนั้นจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณา แต่ทั้งนี้ไม่มีใครสามารถคาดการณ์ได้ 100% ว่าอุณหภูมิอากาศจะเป็นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรในอนาคต เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง [1]

กระบวนการที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนี้จำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐานด้านภูมิอากาศเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต เรียกว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models; GCMs) ในประเทศไทยมีการนำแบบจำลองต่างๆ มาใช้ในการสร้างภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศ เช่น การใช้แบบจำลอง ECHAM, HadCM3, MM5-RCM และ GFDL-R30 เพื่อสร้างภาพฉายอนาคตในที่ยังคงเป็นภาพขนาดใหญ่ในลักษณะภาพรวมของประเทศไทยที่มีประเด็นที่ใช้ในการพิจารณา 2 ประเด็น ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต พบว่าผลการศึกษาที่ได้มีความแตกต่างกัน เช่น การสร้างภาพฉายของประเทศไทยโดยการใช้แบบจำลอง ECHAM, HadCM3 [2] ได้ผลการศึกษาว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3-4°C ทั่วประเทศไทย ในขณะที่ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง GFDL-R30 [3] ได้ผลการศึกษาว่า ภาคเหนือ กลาง และใต้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 0.1-0.6°C

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่มีอยู่ยังคงเป็นการคาดการณ์

อุณหภูมิในพื้นที่ระดับประเทศหรือภูมิภาคที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิระดับท้องถิ่นอาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ระดับประเทศหรือระดับภูมิภาค ส่งผลต่อการวางแผนการใช้ที่ดินให้เหมาะสมสำหรับการอยู่อาศัย การเลี้ยงสัตว์ และการทำการเกษตร นำไปสู่ปริมาณการใช้พลังงานและผลกระทบทางอ้อมอื่นอีกในที่สุด จึงเกิดคำถามวิจัยว่าหากต้องการทราบข้อมูลอุณหภูมิในอนาคตในพื้นที่ขนาดเล็ก ระดับท้องถิ่น เพื่อให้สามารถเตรียมการรับมือได้อย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถทำได้อย่างไร ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการประยุกต์ใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้านอุณหภูมิที่มีอยู่ทั้งในประเทศและต่างประเทศร่วมกับการสำรวจระยะไกลผ่านโปรแกรม ERDAS, IMAGINE เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิที่คาดการณ์ในอนาคตระดับท้องถิ่น โดยใช้จังหวัดเชียงใหม่เป็นพื้นที่ศึกษานำร่องสำหรับโครงการนี้ก่อน เนื่องจากในช่วงหลายปีที่ผ่านมาจังหวัดเชียงใหม่มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วและถูกกำหนดให้เป็นศูนย์กลางการพัฒนาของภูมิภาคทางภาคเหนือ ทำให้จังหวัดเชียงใหม่ต้องกำหนดทิศทางการพัฒนาเพิ่มขึ้นหลายด้าน โดยมีแผนพัฒนาโครงการขนาดใหญ่ (Mega Projects) ทั้งระบบโครงสร้างพื้นฐาน ระบบคมนาคมทางบกและอากาศ รวมทั้งการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวและเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญของประเทศไทย แต่ทั้งนี้จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 20,107 ตารางกิโลเมตร ซึ่งใหญ่เป็นอันดับ 2 ของประเทศ ทำให้ไม่สามารถทำการศึกษาได้ครบทุกพื้นที่ในเวลาจำกัด จึงกำหนดพื้นที่ศึกษาสำหรับโครงการนี้จากพื้นที่ที่มีจำนวนอาคารที่อยู่อาศัยหนาแน่น และมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพื่อรองรับโครงการต่างๆ ของจังหวัด จากข้อมูลการศึกษาเบื้องต้นจึงสรุปเลือกพื้นที่ศึกษาจำนวน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงใหม่ สันทราย และดอยสะเก็ด ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 187 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 1)

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถวิเคราะห์อุณหภูมิได้ในพื้นที่



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขนาดใหญ่ และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิย้อนหลังอย่างต่อเนื่อง [4]–[6] โดยวิเคราะห์อุณหภูมิจากการสะท้อนและการแผ่รังสีของวัตถุที่มีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) ได้แก่ ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 Band 6 (ความยาวคลื่น 10.40–12.50 ไมโครเมตร), Landsat 7 Band 6 (ความยาวคลื่น 10.40–12.50 ไมโครเมตร) และ Landsat 8 Band 10 (ความยาวคลื่น 10.60–11.2 ไมโครเมตร) โดยเลือกข้อมูลดาวเทียมในวันที่ร้อนที่สุดของจังหวัดเชียงใหม่ตามข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาและเป็นวัน

ที่สามารถเห็นรายละเอียดภาพได้ชัดเจนโดยไม่มีเมฆปกคลุมเพื่อให้เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละพื้นที่มากที่สุด ทำให้ได้ข้อมูลรายละเอียดพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมในช่วงปี พ.ศ. 2541–2559 รวมทั้งสิ้น 17 ข้อมูล (ยกเว้นปี พ.ศ. 2553 และ 2555) ทั้งนี้ข้อมูลนำมาใช้จะเป็นข้อมูล Level 1 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผ่านกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางภูมิศาสตร์ (Geometric Correction) และการปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric Correction) เพื่อให้เกิดความถูกต้องเชิงตำแหน่งแล้วและอยู่ในลักษณะข้อมูล GeoTIFF Format

ใช้โปรแกรม ERDAS Imagine ช่วยคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land Surface Temperature) โดยเปลี่ยนค่า Digital Number (DN) ของข้อมูลจากดาวเทียม Landsat เป็นค่า Spectral Radiance ดังสมการที่ (1) [7] และเปลี่ยนค่า Spectral Radiance ไปเป็นค่า Brightness Temperature, TB (หรือ Black Body Temperature) ตามความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (2) จากนั้นจึงนำไปคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่แท้จริงหรืออุณหภูมิที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นผิว (Emissivity Corrected Land Surface Temperature; St) ดังสมการที่ (3)–(4) [8] ตามค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีจากสิ่งปกคลุมพื้นผิวแต่ละชนิด (Spectral Emissivity According to the Natural of Land Cover) ดังตารางที่ 3 ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวแต่ละจุดกริดในหน่วยองศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำมาคำนวณ

ตารางที่ 1 รายละเอียดดาวเทียม Landsat

ปี	Sat_path_row_yyyymmdd_hhmmss	ปี	Sat_path_row_yyyymmdd_hhmmss
2541	ls5_131047_19980409_032550	2550	ls5_131047_20070402_034348
2542	ls5_131047_19990311_032759	2551	ls5_131047_20080404_033830
2543	ls5_131047_20000313_032234	2552	ls5_131047_20090306_033515
2544	ls5_131047_20010417_032854	2554	ls5_131047_20110312_033850
2545	ls7_131047_20020428_033745	2556	ls8_131047_20130418_035044
2546	ls7_131047_20030412_033741	2557	ls8_131047_20140320_034921
2547	ls5_131047_20040425_032854	2558	ls8_131047_20150307_034838
2548	ls5_131047_20050428_033606	2559	ls8_131047_20160307_034584
2549	ls5_131047_20060314_034002		



เพื่อหาค่าอุณหภูมิในหน่วยเซลเซียส จากความสัมพันธ์
Centigrade Temperature (°C) = Absolute Temperature
(°K) - 273.15

$$L_{\lambda} = 0.00033422 \times DN + 0.1 \quad (1)$$

เมื่อ L_{λ} คือ ค่า Spectral Radiance มีหน่วยเป็น W/
(m²sterμm)

DN คือ ค่า Digital Number ของข้อมูล Band 10
หน่วยเป็น W/(m²sterμm)

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

เมื่อ T_B คือค่า Effective at-Satellite Temperature
หน่วย Kelvin, K

L_{λ} คือค่า Spectral Radiance มีหน่วยเป็น W/
(m²sterμm)

K_2, K_1 คือค่า Pre-launch Calibration Constant
ตั้งข้อมูลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดข้อมูลสำหรับ TIRS Thermal Band
Calibration Constants [9]

Constant (Unit)	Landsat 5 Band 6	Landsat 7 Band 6	Landsat 8 Band 10
K_1 (watts/(meter squared * ster * μm))	607.76	666.09	774.89
K_2 (Kelvin)	1260.56	1282.71	1321.08

$$S_i = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \times \frac{T_B}{\rho}\right) \ln \varepsilon} \quad (3)$$

เมื่อ S_i คือค่าอุณหภูมิพื้นผิว หน่วย Kelvin, K

T_B คือค่า Effective at-Satellite Temperature
หน่วย Kelvin, K

λ คือความยาวคลื่นของ Emitted Radiance ซึ่งเลือก
ใช้ค่ากลางที่ $\lambda = 10.6\mu\text{m}$

ε คือค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยเชิงคลื่น (Spectral
Emissivity) จากพื้นผิวแบบต่างๆ (ตารางที่ 3) ซึ่งค่าที่ใช้ใน
การคำนวณนี้จะใช้ 0.969 (Arid Bare Soil/Urban)

ρ คือ 1.438×10^{-2} mK เป็นค่าที่ได้มาจากความ
สัมพันธ์ดังสมการที่ (4)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาลของการแผ่รังสีจากสิ่งปกคลุมพื้นผิวแต่ละชนิด [10]

ชนิดของสิ่งปกคลุม (Emissivity Classes)	สภาพแปร่งรังสี (Mean Emissivity: ε)					
	ฤดูฝน (Green Season)			ฤดูแล้ง (Senescent Season)		
	10.8–11.3 μm	11.8–12.3μm	Average	10.8–11.3 μm	11.8–12.3μm	Average
ป่าสน (Needle Forest)	0.989	0.991	0.990	0.986	0.988	0.987
ป่าไม้ใบใหญ่ (Broadleaf Forest)	0.987	0.990	0.989	0.968	0.971	0.970
ไม้ในทุ่งสะวันนา (Woody Savanna)	0.988	0.991	0.990	0.975	0.978	0.977
ทุ่งหญ้าสะวันนา (Grass Savanna)	0.987	0.991	0.989	0.973	0.975	0.974
ไม้พุ่ม (Sparse Shrubs)	0.972	0.975	0.974	0.970	0.976	0.973
พื้นน้ำหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (Water/Wetland)	0.991	0.986	0.989	0.991	0.986	0.989
พื้นผิวดิน (Organic Bare Soil)	0.977	0.982	0.980	0.977	0.982	0.980
พื้นที่เมือง (Arid Bare Soil/Urban)	0.966	0.972	0.969	0.966	0.972	0.969

$$\rho = h \times c / \sigma \quad (4)$$

เมื่อ h คือค่าคงที่ของ Plank (6.626×10^{-34} J-s)

c คือความเร็วของแสง (Velocity of Light) (2.998×10^8 m/s)

σ คือค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

ข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จะสามารถแสดงค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่มีขนาดจุดภาพ (กริด) 30×30 เมตร ทั้งทั้งพื้นที่ศึกษา และเนื่องจากคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมอาจถูกรบกวนด้วยกลุ่มเมฆหรือสภาพบรรยากาศขณะถ่ายภาพ ประกอบการความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณผ่านสมการที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงนำข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 17 ภาพ มาทวนสอบค่าความถูกต้องกับค่าอุณหภูมิจาก

สถานีตรวจวัด 3 สถานี ณ ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาได้แก่ สถานีวัดอากาศศุขนิยมวิทยาเชียงใหม่ (Lat: N 18°46'16.72", Lon : 98°58'21.12") สถานีตรวจวัดสำนักกฤษฏีกาวิทยาที่ 1 (Lat : N 18°79', Lon : 99°01') และสถานีตรวจวัดอากาศสภากาชาดไทย บ้านแม่หวาน (Lat : N 18°96', Lon : 99°22') ที่ วัน เดือน ปี และเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด และจากข้อมูลในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ณ วันที่ 12 มีนาคม 2554 มีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 3 สถานี มากที่สุด จึงนำข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับคาดการณ์อุณหภูมิในอนาคตในขั้นตอนต่อไป

จัดทำข้อมูลอุณหภูมิต่างจากภาพถ่ายการ

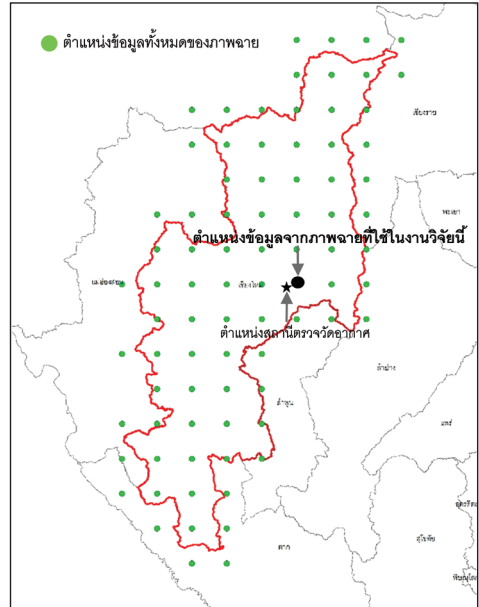
ตารางที่ 4 ค่าความต่างของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ศึกษา 3 สถานี

วันที่	Lat : N 18°46', Lon : 98°58' (10.00–11.00) (°C)			Lat : N 18°79', Lon : 99°01' (10.00–11.00) (°C)			Lat : N 18°96', Lon : 99°22' (10.00–11.00) (°C)		
	Landsat	ศุขนิยม เชียงใหม่	ความต่าง	Landsat	สำนัก กฤษฏีกาวิทยาที่ 1	ความต่าง	Landsat	สภากาชาด บ้านแม่หวาน	ความต่าง
9/4/1998	32.3	29.9	2.4	32.1	31.6	0.5	31.5	N/A	N/A
11/3/1999	32.3	26.1	6.2	33.2	29.2	4.0	28.9	N/A	N/A
13/3/2000	30.6	26.0	4.6	31.9	28.2	3.7	28.0	N/A	N/A
17/4/2001	34.8	32.2	2.6	35.7	33.8	1.9	30.2	N/A	N/A
28/4/2002	33.6	30.0	3.6	33.2	32.6	0.6	30.2	N/A	N/A
12/4/2003	30.6	29.4	1.2	29.3	29.9	-0.6	26.2	N/A	N/A
25/4/2004	34.4	32.6	1.8	35.3	32.9	2.4	31.0	N/A	N/A
28/4/2005	34.4	32.5	1.9	34.8	34.6	0.2	30.2	N/A	N/A
14/3/2006	31.9	30.7	1.2	31.9	31.0	0.9	27.5	N/A	N/A
2/4/2007	39.0	31.7	7.3	39.8	32.8	7.0	34.8	N/A	N/A
4/4/2008	34.4	32.0	2.4	34.8	29.3	5.5	29.7	30.3	-0.6
6/3/2009	30.6	25.5	5.1	30.6	30.3	0.3	28.0	27.3	0.7
12/3/2011	26.7	27.6	-0.9	27.0	27.8	-0.8	25.8	25.9	-0.1
18/4/2013	35.5	32.1	3.4	35.8	32.7	3.1	29.6	33.1	-3.5
20/3/2014	36.0	28.5	7.5	35.9	29.0	6.9	32.1	27.8	4.3
7/3/2015	34.1	28.0	6.1	34.4	29.5	4.9	30.4	27.9	2.5
26/4/2016	37.4	34.5	2.9	38.2	33.3	4.9	33.7	33.8	-0.1

หมายเหตุ: พ.ศ. 2553 และ 2555 ไม่มีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยเลือกข้อมูลภาพถ่ายที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ มีข้อมูลย้อนหลังไปมากกว่า 10 ปี และมีข้อมูลอนาคตมากกว่า 30 ปี ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature; TX) จากการสร้างภาพถ่ายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยที่ได้จากการ Downscale แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Model; GCMs) แบบ ECHAM4 จำนวน 3 ชุดข้อมูล [2] ตามเงื่อนไขการจำลองสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกที่แตกต่างกัน ได้แก่ ECHAM4 A2, ECHAM4 B2 และ ECHAM5 A1B (A1B: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงแต่มีการผสมผสานการใช้พลังงานระหว่างพลังงานฟอสซิลและพลังงานหมุนเวียน A2: มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง-ปานกลาง และ B2: ในอนาคตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ) ณ ตำแหน่งกริดข้อมูลที่มี Lat : N 18°46'16.72" , Lon : 98°58'21.12" (อำเภอเมืองเชียงใหม่) เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดอากาศอุตุฯ นิมิตวิทยาเชียงใหม่มากที่สุด (ดังรูปที่ 2) โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลในอดีต (พ.ศ. 2541-2559) เพื่อใช้ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศ และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลอนาคต (พ.ศ. 2560-2589) เพื่อใช้แทนค่าในสมการความสัมพันธ์และนำไปสู่การสร้างข้อมูลอุณหภูมิอนาคตระดับท้องถิ่น

นำข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2541-2559 จากสถานีตรวจวัดอุตุฯ นิมิตวิทยาเชียงใหม่มาสร้างความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายอนาคต 3 ภาพฉายชุดที่ 1 (พ.ศ. 2541-2559) ดังข้อมูลในตารางที่ 5 และนำสมการทำนายอุณหภูมิพื้นผิวอนาคตที่สร้างขึ้น (ตารางที่ 6) มาสร้างข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวอนาคตทำนายของทั้งพื้นที่ศึกษา โดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร โดยตัวแปรอิสระคือค่าเชิงตัวเลขของข้อมูลจากภาพถ่ายอนาคตและตัวแปรตามคือค่าอุณหภูมิทำนายในพื้นที่ศึกษา ณ ตำแหน่ง (ละติจูดและลองจิจูด) เดียวกัน โดยเลือกรูปแบบสมการการวิเคราะห์การถดถอยที่เหมาะสมที่สุดคือ สมการแบบเส้นตรง (Linear Model)



รูปที่ 2 ตำแหน่งกริดจากภาพถ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์

เนื่องจากไม่มีความซับซ้อนในการคำนวณและมีค่าประสิทธิภาพในการทำนาย (Coefficient of Determination; r^2) เฉลี่ยประมาณ 0.9 ทำให้ข้อมูลพื้นผิวทำนาย (Y) สามารถถูกอธิบายได้ด้วยอุณหภูมิพื้นผิวทำนายอนาคต (X) ดังข้อมูลในตารางที่ 3 สมการที่ได้จึงถูกใช้ในการทำนายอุณหภูมิพื้นผิวเพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิวทำนายอนาคตของจุดภาพอื่น ๆ ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยแทนค่าตัวแปร X ด้วยค่าเชิงตัวเลขของข้อมูลภาพถ่ายอนาคตจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าตัวแปร Y คือค่าอุณหภูมิพื้นผิวทำนายอนาคตของจุดภาพดังกล่าว

เมื่อแทนค่าสมการด้วยค่าอุณหภูมิสูงสุดจากภาพถ่ายอนาคต 3 ภาพฉาย ในปี พ.ศ. 2560-2589 ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิทำนายอนาคตจาก 3 ภาพฉาย (Y_{1-3}) ณ ตำแหน่ง Lat : N 18°46'16.72", Lon : 98°58'21.12" ในอีก 30 ปีข้างหน้าใกล้เคียงกับอุณหภูมิพื้นผิว จากนั้นจึงนำมาหาค่าความต่างของอุณหภูมิทำนายกับอุณหภูมิของภาพถ่ายดาวเทียมที่เลือกใช้ในวันที่ 12 มีนาคม 2554 (26.7°C) เพื่อใช้เป็นค่าในการปรับอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ใช้ในการทำนาย ทำให้ได้ภาพอุณหภูมิระดับท้องถิ่นขนาดกริด 30×30 เมตร ในอนาคตทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 5 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดระหว่างปี พ.ศ. 2541–2559 จากภาพถ่ายและสถานีตรวจอากาศอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่

พ.ศ.	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				พ.ศ.	อุณหภูมิสูงสุด (°C)			
	ข้อมูลสถานี	ECHAM4 A2	ECHAM4 B2	ECHAM5 A1B		ข้อมูลสถานี	ECHAM4 A2	ECHAM4 B2	ECHAM5 A1B
2541	39.7	40.831	40.92	38.42	2551	40.1	42.138	42.429	41.99
2542	37.9	40.835	41.524	38.6	2552	39.3	42.225	42.439	42.19
2543	37.2	41.192	41.588	39.57	2553	41	42.296	42.688	42.23
2544	39.3	41.314	41.776	40.34	2554	37.1	42.462	42.741	42.42
2545	39	41.648	41.855	40.49	2555	39.5	42.901	42.826	42.44
2546	37.7	41.727	41.892	40.79	2556	39.7	42.98	42.954	42.57
2547	39.1	41.751	42.061	40.85	2557	39	43.433	43.015	42.66
2548	39.9	41.932	42.142	41.24	2558	39.1	43.471	43.566	43.52
2549	39.7	42.011	42.154	41.55	2559	41.5	43.595	43.595	45.54
2550	39.8	40.831	40.92	38.42					

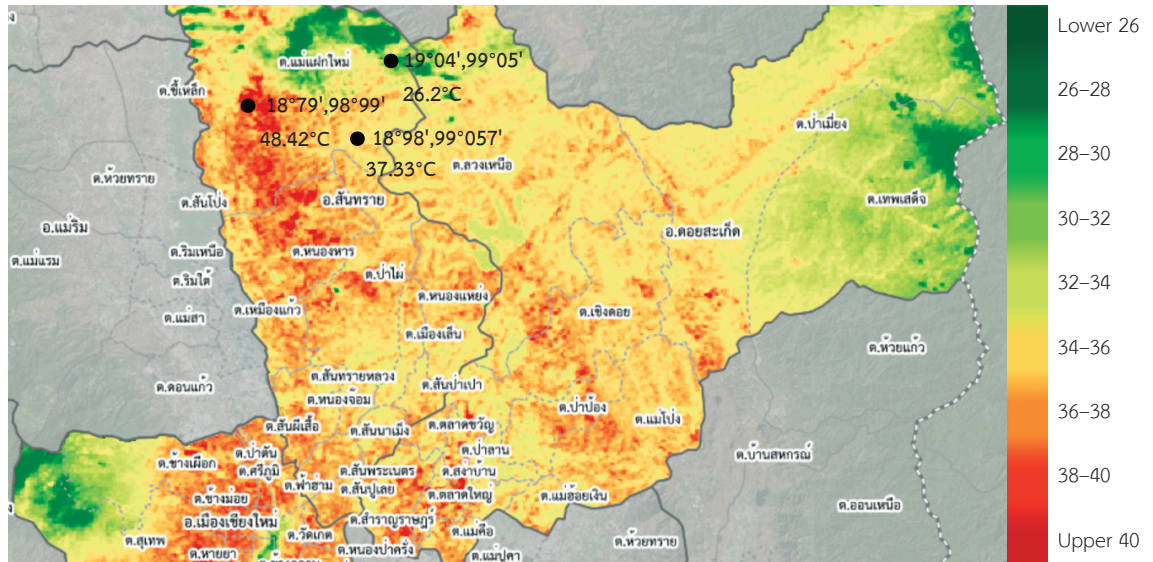
ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายอนาคตและอุณหภูมิพื้นผิว

ข้อมูลจากภาพถ่าย (X)	สมการความสัมพันธ์	r ²
ECHAM4 A2	$Y_1 = 0.8292(X_1) + 9.7416$	0.8869
ECHAM4 B2	$Y_2 = 0.6614(X_2) + 16.481$	0.8908
ECHAM5 A1B	$Y_3 = 1.6634(X_3) - 23.523$	0.9455

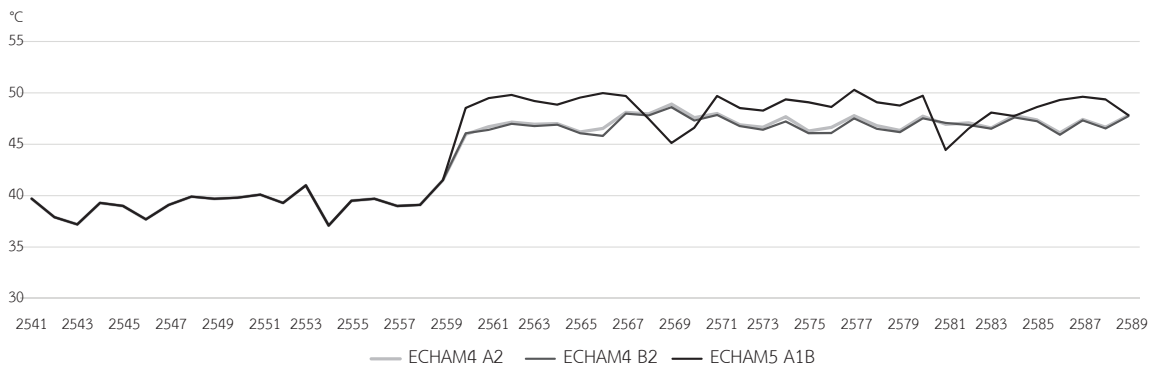
3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาการคาดการณ์อุณหภูมิพื้นผิวทำนายด้วยอุณหภูมิจากภาพถ่ายอนาคต 3 ภาพฉาย (ECHAM4 A2, ECHAM4 B2 และ ECHAM5 A1B) ในช่วงปี พ.ศ. 2560–2589 ทำให้ได้ชุดข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดในอนาคตในแต่ละปีในระดับท้องถิ่นที่มีขนาดจุดภาพของกริด 30×30 เมตร จำนวนประมาณ 207,780 จุดทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ภาพฉายละ 30 ปี หรือ 30 ชุดข้อมูล รวมทั้งสิ้น 90 ชุดข้อมูล ดังตัวอย่างการแสดงรายละเอียดข้อมูลในปี พ.ศ. 2589 โดยเลือกข้อมูลจากภาพถ่าย ECHAM4 A2 จำนวน 3 จุดภาพ ได้แก่ ตำแหน่ง Lat : N 18°79', Lon : 98°99' Lat : N 19°04', Lon : 99°05' และ Lat : N 18°98', Lon : 99°057' ในพื้นที่อำเภอสันทราย ซึ่งมีอุณหภูมิ 48.42°C 26.21°C และ 37.33°C ตามลำดับ (รูปที่ 3)

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายอุณหภูมิอนาคตในปี พ.ศ. 2589 โดยใช้สัญลักษณ์สีเขียวเข้มแสดงอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 26°C) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นช่วงละ 3°C จนกระทั่งเป็นสีแดงเข้ม (สูงกว่า 40°C) เช่น ในพื้นที่อำเภอสันทราย ณ จุดกริดที่ Lat : N 18°78', Lon: 98°99' ปรากฏเป็นสีแดงเข้มซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 48.42°C ณ จุดกริดที่ Lat : N 18°98', Lon: 99°057' ปรากฏเป็นสีส้มซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 37.33°C และ ณ จุดกริดที่ Lat : N 19°04', Lon: 99°05' ปรากฏเป็นสีเขียวซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 26.21°C แต่หากนำข้อมูลที่ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากภาพถ่ายอีก 2 ภาพฉาย (ECHAM4 B2 และ ECHAM5 A1B) ในปีเดียวกัน จะพบว่ามีข้อมูลที่แตกต่างกัน เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขในการสร้างภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิรายปี ณ จุดกริดที่ Lat : N 18°79', Lon : 98°99' ในพื้นที่อำเภอเมือง ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทั้ง 3 ภาพฉาย ในช่วงเวลา 30 ปี แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 3 ภาพฉายส่งผลให้อุณหภูมิระดับท้องถิ่นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิในอดีตที่ผ่านมา และพบว่าแนวโน้มอุณหภูมิในอนาคตที่ได้จากภาพถ่าย ECHAM5 A1B มีแนวโน้มจะมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าชุดข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากภาพถ่าย ECHAM4 A2 และ ECHAM4 B2



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพฉายอุณหภูมิอนาคตรระดับท้องถิ่นในปี พ.ศ. 2589 จากข้อมูลภาพฉาย ECHAM4 A2



รูปที่ 4 ข้อมูลอุณหภูมิ ณ จุดกริดที่ Lat : N 18°79', Lon : 98°99' ช่วงปี พ.ศ. 2541-2589

4. อภิปรายผลและสรุป

จากการจัดทำข้อมูลการคาดการณ์อุณหภูมิในระดับท้องถิ่นนี้ ทำให้พบว่าข้อมูลอุณหภูมิในระดับท้องถิ่นมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก สูงสุดประมาณ 20°C ในหนึ่งภาพ แม้ว่าจะเป็นวัน เวลาและปี พ.ศ. เดียวกันก็ตาม และพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณอำเภอออยสะเก็ดจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่อำเภอสันทรายและอำเภอเมืองเชียงใหม่ ลักษณะเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ระดับความสูงของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่อขนาดและชนิดของสิ่งปกคลุมผิวดิน ซึ่งจากข้อมูลของ [11] พบว่าโดยทั่วไป

อุณหภูมิในเมืองจะสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณชานเมืองหรือชนบท เนื่องจากปริมาณพื้นที่สีเขียวและความหนาแน่นของอาคารและสิ่งปลูกสร้าง และยังพบว่าแม้จะเป็นสิ่งก่อสร้างชนิดเดียวกันแต่หากใช้ชนิดของวัสดุพื้นผิวที่ต่างกันก็จะทำให้อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวต่างกัน เช่น บริเวณพื้นผิวคอนกรีตในช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณพื้นที่หญ้าที่เปียกและมีร่มเงาถึง 8°C [12] นอกจากนี้ยังพบว่า ณ ตำแหน่งเดียวกันหากเลือกข้อมูลจากภาพฉายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตต่างก็ก็จะทำให้อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งนั้นต่างกันด้วย เช่น ในงานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิในอนาคต

ระดับท้องถิ่นที่ได้จากข้อมูลสภาพฉาย ECHAM4 A1B จะเป็นการคาดการณ์ภายใต้เงื่อนไขที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่มีข้อสังเกตว่าในปี พ.ศ. 2569 และปี พ.ศ. 2581 อุณหภูมิจากภาพฉาย ECHAM4 A1B กลับลดต่ำลงและต่ำกว่าอุณหภูมิของ 2 ภาพฉาย (ECHAM4 A2 และ ECHAM4 B2) ในปีเดียวกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลตั้งต้นจากภาพฉายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก [13] หรือปริมาณฝนในปีนั้นๆ อาจมีมากจนทำให้มีความชื้นในอากาศสูง [2] ซึ่งควรต้องวิเคราะห์ที่ไปพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในอนาคต ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการเลือกใช้ข้อมูลจากภาพฉายอนาคตเพื่อคาดการณ์อุณหภูมิในพื้นที่ แต่ทั้งนี้ไม่มีใครคาดการณ์ได้ 100% ว่าอนาคตภูมิอากาศหรืออุณหภูมิในพื้นที่จะเปลี่ยนไปอย่างไร [13] ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ข้อมูลภาพฉายที่มีเงื่อนไขที่สอดคล้องกับลักษณะของพื้นที่นั้นๆ หรือสอดคล้องกับเป้าหมายที่ต้องการใช้ประโยชน์ [1] เพื่อให้สามารถหาแนวทางป้องกันที่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตมากที่สุด

ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในอนาคตระดับท้องถิ่นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งด้านการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคส่วนต่างๆ และการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต เช่น การวางแผนการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรสำหรับการกำหนดโซนการปลูกพืชหรือเลี้ยงสัตว์ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิในอนาคตในระดับท้องถิ่นที่อาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนสายพันธุ์หรือชนิดของพืชและสัตว์ ดังนั้นการระบุ “ขา” เหมาะสมกับการปลูกในพื้นที่อำเภอต๋อยสะเกิดอาจเปลี่ยนไปเพราะบางพื้นที่ในอำเภอต๋อยสะเกิดในอนาคตอาจไม่เหมาะสมกับการปลูกชาหรือไม่สามารถปลูกชาได้แล้ว จากความแตกต่างของอุณหภูมิระดับท้องถิ่นดังกล่าวทำให้การใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยระดับภูมิภาคหรือระดับจังหวัดหรือแม้แต่อุณหภูมิเฉลี่ยระดับอำเภอเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อกำหนดและส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกพืชชนิดเดียวกันในภาพรวมของพื้นที่ระดับอำเภอหรือจังหวัดนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่เกษตรกรได้ จึงเห็นได้ว่าการพิจารณาข้อมูลเชิง

พื้นที่ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนในด้านต่างๆ ที่เฉพาะเจาะจง [14]

นอกจากนี้ข้อมูลอุณหภูมิระดับท้องถิ่นในอนาคตยังสามารถถูกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการเตรียมการปรับปรุงสภาพแวดล้อมเพื่อรองรับอุณหภูมิที่สูงขึ้นในพื้นที่ได้ เช่น การวางแผนเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวในตำแหน่งที่อาจจะเป็นวิกฤต และยังมีประโยชน์ต่อภาคการออกแบบและก่อสร้างอาคาร เนื่องจากบริเวณพื้นที่ก่อสร้างอาคารอาจมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่โดยรอบแม้จะอยู่ในอำเภอเดียวกัน ดังนั้นหากเจ้าของอาคารพิจารณาข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยหรืออุณหภูมิในภาพรวมของพื้นที่อาจทำให้การออกแบบอาคารนั้นไม่สามารถรับมือกับความร้อนในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น จากข้อมูลอุตุนิยมิวิทยารายงานว่าพื้นที่อำเภอเมืองเชียงใหม่มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่ 42°C แต่เมื่อพิจารณาที่ตั้งอาคารบริเวณถนนนิมมานเหมินท์หรือซอย 5 พบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดถึง 45°C และในอนาคตอาจสูงได้ถึง 47°C ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเตรียมการออกแบบเพื่อการกันความร้อนของอาคารมากขึ้นกว่าปกติถึง 30% [15] เพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับสร้างสภาวะน่าสบายให้กับอาคารในอนาคต เป็นต้น ดังนั้นหากเจ้าของอาคารหรือผู้ออกแบบสามารถทราบข้อมูลแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในระดับท้องถิ่นภายใต้ข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบบนพื้นฐานรูปแบบการคาดการณ์ภูมิอากาศที่มีความน่าเชื่อถือจะช่วยลดความเสียหาย และเกิดความมั่นคงต่อทุกภาคส่วนมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม ผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะถูกนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการพัฒนาเครื่องมือสำหรับคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระดับท้องถิ่นในอนาคตเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการออกแบบและก่อสร้างและประยุกต์ใช้สำหรับภาคส่วนต่างๆ ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องมือสำหรับคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการออกแบบและ



ก่อสร้าง (สพท.-วช.42/2559) ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] IPCC. (2015, March). Fifth assessment report: Climate change 2013: Synthesis report. Contact information for the IPCC Secretariat, Geneva 2, Switzerland [Online]. Available: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- [2] S. Shinawanno, "Projection of future climate change, the effects of regional climate models –PRECIS," Center of Excellence for Climate Change Knowledge Management: CCKM, Bangkok, 2010 (in Thai).
- [3] K. Boonsom, "Modeling of climate change in thailand by briefing on global climate modeling," Research Fund, 2010 (in Thai).
- [4] E. Green, P. Mumby, A. Edwards, and C. Clark, "Review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources," *Coastal Management*, vol. 24, pp. 1–40, 1996.
- [5] GISDA, "Remote Sensing," Institute for Aerospace Knowledge, Bangkok, 2006 (in Thai).
- [6] J. Jensen, "Digital change detection. Introductory digital image processing, a remote sensing perspective," New York: Pearson Prentice Hall, 2005, pp. 467–494.
- [7] U.S. Geological Survey. (2016, July). Using the USGS Landsat 8 product. U.S. Department of the Interior, USA [Online]. Available: <http://www.usgs.gov>.
- [8] D. Artis and W. Carnahan, "Survey of emissivity variability in thermography of urban areas," *Remote Sensing Environ*, vol. 13, pp. 313–329, 1982.
- [9] B. Snyder, J. Stribling, and M. Barbour, "Codorus creek biological assessment in the vicinity of the P.H. Glatfelter company spring grove," P.H. Glatfelter Company, Pennsylvania, 1998.
- [10] A. Dimoudi and M. Nikolopoulou, "Vegetation in the urban environment: Microclimate analysis and benefits," *Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 69–76, 2003.
- [11] I. Saito, O. Ishihara, and T. Katayama, "Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area," *Energy and Buildings*, vol. 15, pp. 493–498, 1991.
- [12] P. Xu, Y. Huang, N. Miller, N. Schlegel, and P. Shen, "Impacts of climate change on building heating and cooling energy patterns in California," *Energy*, vol. 44, pp. 792–804, 2012.
- [13] M. Tewari, H. Kusaka, F. Chen, W. Coirier, S. Kim, and A. Wyszogrodzki, "Impact of coupling a microscale computational fluid dynamics model with a mesoscale model on urban scale contaminant transport and dispersion," *Atmos Res*, vol. 96, pp. 656–664, 2010.
- [14] N. Geetha and R. Velraj, "Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage-A review," *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, vol. 24, pp. 913–946, 2012.
- [15] Intergraph Corporation, *ERDAS Field Guide*, Atlanta, GA, 2013.

