วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2561
The Journal of KMUTNB., Vol. 28, No. 4, Oct.–Dec. 2018

บทความวิจัย

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพการเกิดไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้แบบจำลองการถดถอย

ปัณณธร ธนดลเมธาพร*
ศูนย์ภูมิภาคเพื่อการศึกษาด้านภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ชาคริต โชติอมรศักดิ์
ภาควิชาภูมิศาสตร์ และศูนย์ภูมิภาคเพื่อการศึกษาด้านภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศุทธินี ดนตรี
ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08–0107–0806 อีเมล: punnathorn.pnt@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.09.004
รับเมื่อ 18 ธันวาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 19 มีนาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 11 กันยายน 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพในการเกิดไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่ ด้วยการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองการถดถอยทั้งแบบเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดสภาพภูมิอากาศและข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ทั้งจากภาพดาวเทียมและจุดความร้อนในช่วงฤดูไฟป่า (ธันวาคม–พฤษภาคม) ในส่วนการวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดพื้นที่ไฟป่าในอนาคตใช้ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 นำเข้าสมการถดถอยข้างต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่าแบบจำลองการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงเป็นวิธีที่ยืดหยุ่นและเหมาะสมกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยแบบเส้นตรง โดยปัจจัยที่สามารถนำเข้าสมการถดถอยมีเพียงความชื้นสัมพัทธ์เพียงปัจจัยเดียว ส่วนปัจจัยตัวแปรภูมิอากาศอื่นๆ ไม่สามารถนำเข้าได้เนื่องจากไม่สามารถยอมรับทางสถิติได้ เมื่อนำสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงที่ได้ทำการวิเคราะห์มาทดสอบกับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค WRF-ECHAM5 พบว่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงในอัตรา 1.3% และมีความแปรปรวนระหว่างปีของความชื้นสูง ซึ่งทำให้เมื่อนำความชื้นจากแบบจำลองเข้าสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงที่ได้ส่งผลทำให้ศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคตมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พบว่าความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศแบบสุดขีดในอนาคตมีแนวโน้มมากขึ้นโดยมีคาบในการเกิดทุก 5 ปี และส่งผลต่อความแปรปรวนละความรุนแรงของศักยภาพการเกิดไฟป่า นอกจากนี้ยังพบว่าศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคตมีช่วงเวลาการเกิดที่เร็วขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นผลมาจากความชื้นในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์มีแนวโน้มลดลงในขณะที่เดือนอื่นๆ มีแนวโน้มความชื้นเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ไฟป่า, ภาคเหนือประเทศไทย, แบบจำลองการถดถอย, การคาดการณ์, การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

การอ้างอิงบทความ: ปัณณธร ธนดลเมธาพร ชาคริต โชติอมรศักดิ์ และ ศุทธินี ดนตรี, "การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพการเกิดไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้แบบจำลองการถดถอย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 4, หน้า 849–858, ต.ค.–ธ.ค. 2561.

Research Article

Analysis of Impact of Climate Change on Forest Fire Potential in Chiang Mai by Using of Regression Model

Punnathorn Thanadolmethaphorn*

Regional Center for Climate and Environment Studies, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

Chakrit Chotamonsak

Department of Geography and Regional Center for Climate and Environment Studies, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

Suthinee Dontree

Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08–0107–0806, E–mail: punnathorn.pnt@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.09.004

Received 18 December 2017; Accepted 19 March 2018; Published online: 11 September 2018

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

Abstract

This study aims to analyze the impact of climate change on future forest fire potential in Chiang Mai Province, analyzed by regression analysis with the linear and non-linear approach. Following the approach used to observe weather data and burn scar area from both MODIS sensor and forest fire hotspot. In a part of burn area trend analysis in the future used absolute humidity data from WRF-ECHAM5 model, which used into following regression model. The result of the comparative analysis, nonlinear regression models are more flexible and appropriate than linear regression analysis. Climatic factors that can be applied to the regression equation are relative humidity only. While other climate variables could not be imported because the results were not statistically unacceptable. When applied the acceptable nonlinear regression model with the relative humidity data from the WRF-ECHAM5 regional climate model, it was found that relative humidity decreased by 1.3%, and there is high yearly variation in relative humidity, which leads to the decrease in the forest fires potential in the future when the modeled relative humidity is applied to the non-linear regression equation. However, the analysis found that the variability of extreme climate in the future is more likely to occur every 5 years, and is likely to affect the variability and severity of the potential forest fires. In addition, the potential for future forest fires is much faster than ever before. As a result of the humidity in January and February tend to decrease while other months tend to increase humidity.

Keywords: Forest Fires, Northern Thailand, Regression Model, Prediction, Climate Change

Please cite this article as: P. Thanadolmethaphorn, C. Chotamonsak, S. Dontree, "Analysis of impact of climate change on forest fire potential in Chiang Mai by using of regression model," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 4, pp. 849–858, Oct.–Dec. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

ปัญหาการเกิดไฟป่าเป็นปัญหาที่พบมากในภาคเหนือ โดยเฉพาะช่วงตั้งแต่ปลายเดือนมกราคมไปจนถึงเดือนเมษายน ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกจังหวัดเชียงใหม่เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากมีสถิติการเกิดไฟป่าเป็นอันดับต้นๆ ของภาคเหนือ จากข้อมูลปี ค.ศ. 2007 และ ค.ศ. 2010 พบว่ามีพื้นที่การเผาสะสมครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 19.5 และ 21.5 ของพื้นที่ตามลำดับ แต่ในปี ค.ศ. 2011 พบว่า มีความเสียหายลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5 เนื่องจากประสบกับภาวะลานีญา และเมื่อเข้าสู่ปี ค.ศ. 2012 สภาพภูมิอากาศเข้าสู่ภาวะปกติ และยังคงมีอากาศที่หนาวเย็นในต้นปี แต่พบว่าสถานการณ์ไฟป่ามีความรุนแรงขึ้นกว่าปีก่อนหน้านี้ [1] โดยการเผาในที่โล่งมีปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อความรุนแรงของไฟป่า เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ลม และอิทธิพลอื่นๆ ที่ส่งผลต่อลักษณะอากาศ เป็นต้น [2] อีกทั้งไฟป่ายังส่งผลกระทบต่อสุขภาพระบบทางเดินหายใจอันเนื่องมาจากมลภาวะทางอากาศที่มากับหมอกควัน จากการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลการรักษาในโรงพยาบาลอันเนื่องมาจากโรคระบบทางเดินหายใจพบว่ามีอัตราเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันไฟป่า [3], [4] ซึ่งถือได้ว่าภัยพิบัติจากไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของมลสารที่มากับหมอกควันพบว่ามีสารบางชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผลกระทบสุขภาพในระยะเรื้อรัง เช่น มะเร็งปอด เป็นต้น [5]–[8]

นอกจากนี้ รายงานการประชุมของ IPCC ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตว่า มนุษย์ยังคงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ จากภาวะโลกร้อน เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นโลก การเกิดปรากฏการณ์ ENSO ความถี่ในการเกิดฝนตกหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 2–4 เป็นต้น [9] ซึ่งจากปรากฏการณ์ต่างๆ เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถทำให้เปลี่ยนแปลงศักยภาพของการเกิดไฟป่าได้

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาโดยสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งมีการวิเคราะห์ทั้งแบบเป็นเส้นตรงและแบบไม่เป็นเส้นตรง เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองและการได้มาซึ่งแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยการวิเคราะห์ทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ซึ่งการวิเคราะห์แบบเส้นตรงเป็นการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย มีความซับซ้อนน้อย ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงมีความซับซ้อนมากกว่า แต่สามารถทำให้ได้สมการที่มีความยืดหยุ่นกว่าแบบเป็นเส้นตรง ซึ่งสมการถดถอยดังกล่าวสามารถนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาค WRF-ECHAM5 ที่ได้ได้ทำการศึกษาไว้โดย Chotamonsak [10] โดยมีข้อมูลปีฐานช่วงปี ค.ศ. 1990–2009 และข้อมูลปีอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2045–2064 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพในการเกิดไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่ในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิโดยเก็บและรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิดังต่อไปนี้

1) ค่าการตรวจวัดสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศเดือนที่อยู่ในช่วงฤดูไฟป่า (ธันวาคม–พฤษภาคม) เป็นข้อมูลเกี่ยวกับ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน อุณหภูมิสูงสุดรายวัน ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม ความเร็วลม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้นำมาใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศกับศักยภาพในการเกิดไฟป่า เป็นข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2011–2014

2) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต ในช่วงฤดูไฟป่า (ธันวาคม–พฤษภาคม) ซึ่งในการศึกษาเพื่อคาดการณ์ศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคต โดยข้อมูลจากแบบจำลองที่มีการฉายภาพสภาพอากาศในอนาคตนำมาจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น WRF-ECHAM5 [10]

3) ภาพดาวเทียม การศึกษาพื้นที่เผาไหม้ตามช่วง

เวลาในการเกิดไฟป่า ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมติดตามปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยพื้นที่เผาไหม้ได้จากข้อมูล MODIS ในช่วงเดือนธันวาคม-พฤษภาคม ระหว่างปี ค.ศ. 2011–2015 เพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง นอกจากนี้ได้นำข้อมูลพื้นที่เผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 ปี ค.ศ. 2015 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ซึ่งได้ทำการแปลโดยใช้ดัชนีการเผาไหม้ มาตรวจสอบความถูกต้องของพื้นที่เผาไหม้จากการวิเคราะห์ข้อมูล MODIS ปี ค.ศ. 2015

4) ข้อมูลจุดความร้อนในช่วงฤดูไฟป่า (ธันวาคม–พฤษภาคม) เพื่อนำมาศึกษาพื้นที่เกิดการเผาไหม้ร่วมกับข้อมูล MODIS โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011–2014 จากส่วนควบคุมไฟป่า สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพในการเกิดไฟป่าครั้งนี้ ศึกษาจากสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดไฟในพื้นที่โล่ง จากกระบวนการเกิดไฟป่าในประเทศไทยมีสาเหตุในการเกิดมาจากหลายสาเหตุทั้งที่เกิดจากธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยกิจกรรมของมนุษย์ไม่สามารถคาดการณ์ได้ แต่สภาพภูมิอากาศสามารถคาดการณ์ได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกศึกษาเฉพาะไฟป่าที่เกิดจากความสัมพันธ์ทางปัจจัยสภาพอากาศที่เป็นปัจจัยหนึ่งในทฤษฎีสามเหลี่ยมพฤติกรรมไฟ อันประกอบไปด้วย สภาพภูมิประเทศ เชื้อเพลิง และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่มีความไม่คงที่ที่เอื้อทำให้เกิดไฟป่าแตกต่างกันไป [11] ด้วยทำการทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยทั้งแบบเส้นตรงและแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง เพื่อคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมนำไปใช้ในสมการคาดการศักยภาพการเกิดไฟป่า หลังจากนั้นจึงนำความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้มาสร้างเป็นสมการทั้งแบบเป็นเส้นตรงและแบบไม่เป็นเส้นตรง แล้วนำสมการที่ได้เหล่านั้นมาทดสอบกับข้อมูลปัจจุบัน เพื่อทดสอบและเลือกสมการที่ดีที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการประเมินศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคตต่อไป

เมื่อได้สมการที่ได้จากการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ต่อศักยภาพในการเกิดไฟป่าข้างต้นแล้ว ในการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้นำสมการที่ได้ข้างต้นมาใช้ประเมินศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคต โดยใช้ข้อมูลตัวแปรสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 ที่ถูกเลือกในสมการถดถอย เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของศักยภาพการเกิดไฟป่าในอนาคต ทั้งพื้นที่เผาไหม้ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและเหตุการณ์สภาพภูมิอากาศแบบสุดขีดที่จะส่งผลต่อรูปแบบของการเกิดไฟป่าในปีอนาคตเมื่อเทียบกับปีฐาน

3. ผลการศึกษา

จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศและพื้นที่เผาไหม้ พบว่าความชื้นเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่เผาไหม้อย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 99 ทั้งสามตัวแปรได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ –0.743, –0.693 และ –0.657 ในทิศทางแปรผกผัน (ตารางที่ 1) ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ ไม่สามารถนำมาเข้าสมการถดถอยได้ เนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 แม้ว่าอุณหภูมิสูงสุดจะพบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แต่ในการเลือกตัวแปรเข้าสมการถดถอยต้องการความถูกต้องมากที่สุด ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จึงเลือกเฉพาะตัวแปรด้านความชื้นนำเข้าสมการถดถอย ซึ่งทั้งความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย รายเดือนมีทิศทางความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดจากการเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสมการถดถอย จะเห็นได้ว่าพื้นที่เผาไหม้ในจังหวัดเชียงใหม่มีความสัมพันธ์กับความชื้นมากและเป็นตัวแปรเดียวที่สามารถอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้ ทั้งนี้ความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อความสามารถในการลุกติดไฟของเชื้อเพลิง โดยการวัดสถิติในการหาสมการที่เหมาะสมกับการศึกษาครั้งนี้ พบว่า

- แบบจำลองแบบเส้นตรง มีค่า R Square เท่ากับ 0.743 สามารถบอกได้ว่าตัวแปรพยากรณ์ความชื้นเฉลี่ยสามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์พื้นที่เผาไหม้ได้ร้อยละ 74.3

และสามารถสร้างสมการแบบเส้นตรงได้ดังนี้

$$Y = 1{,}120.889 - 15.424X$$

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพภูมิอากาศและพื้นที่เผาไหม้

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับนัยสำคัญ (Sig.)
ความกดอากาศสูงสุด	–.078	.359
ความกดอากาศต่ำสุด	–.212	.160
ความกดอากาศเฉลี่ย	–.157	.232
อุณหภูมิสูงสุด	.486	.008
อุณหภูมิต่ำสุด	.011	.480
อุณหภูมิเฉลี่ย	.267	.103
ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด	–.657	.000
ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด	–.693	.000
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	–.743	.000
ทิศทางลม	-.378	.034
ความเร็วลม	–.020	.464
ปริมาณน้ำฝน	–.290	.085
จำนวนวันฝนตก	–.303	.075
วันฝนตกมากกว่า 25 mm	–.258	.112
วันฝนตกมากกว่า 5 mm	–.285	.089
วันฝนตกมากกว่า 10 mm	–.289	.085
วันฝนตกมากกว่า 20 mm	–.294	.082

- แบบจำลองแบบไม่เป็นเส้นตรง มีค่า R Square เท่ากับ 0.811 ซึ่งหมายความว่าตัวแปรพยากรณ์ความชื้นสามารถอธิบายพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์พื้นที่เผาไหม้ได้ถึงร้อยละ 81.11 โดยได้สมการแบบไม่เป็นเส้นตรงดังนี้

$$Y = 4658.778 - 128.419X + 0.885$$

โดย Y = พื้นที่เผาไหม้

X = ความชื้นเฉลี่ย

ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า R Square (ตารางที่ 2) จากสมการแบบเส้นตรงและสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงที่มีค่า Sig. F เท่ากับ .000 ของการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (b) สมการแบบไม่เป็นเส้นตรงสามารถอธิบายพื้นที่เผาไหม้จากตัวแปรความชื้นเฉลี่ยได้ดีกว่าสมการแบบเส้นตรง

ตารางที่ 3 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

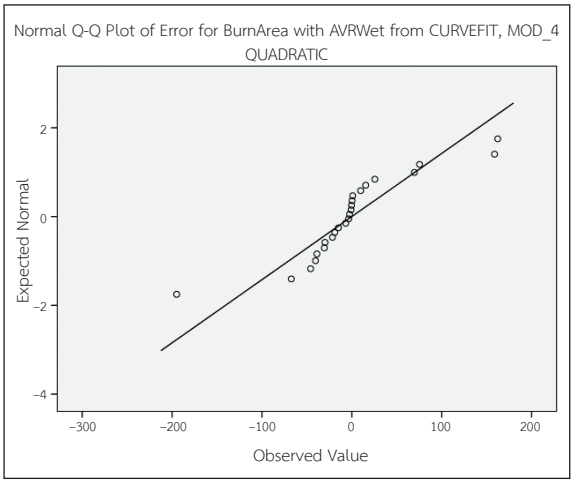
	Statistic	df	Sig.
Error for Burn Area with Average Wet from Non-Linear	.205	24	.010

โดยผลลัพธ์จากตารางที่ 3 ได้ค่าสถิติเท่ากับ 0.205 และค่า Sig. เท่ากับ 0.010 สรุปได้ว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อทำการสร้างแผนภาพกระจัดกระจายดังรูปที่ 1 ความคลาดเคลื่อนเข้าใกล้เส้นตรง แสดงว่าสามารถยืนยันการทดสอบการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นสมการถดถอยนี้สามารถนำมาใช้อธิบายการคาดการณ์พื้นที่เผาไหม้ในการศึกษาครั้งนี้ได้

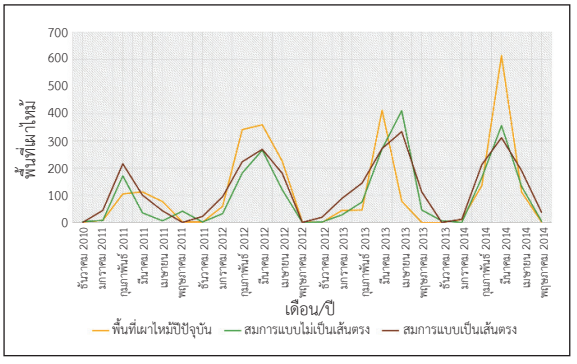
จากสมการที่ได้จากการศึกษาทั้งสมการถดถอยแบบเส้นตรงและสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงที่ได้จากการทดสอบและนำเข้าตัวแปรของสภาพภูมิอากาศ จะเห็นได้ว่าพื้นที่เผาไหม้ในจังหวัดเชียงใหม่มีความสัมพันธ์กับความชื้นมากและเป็นตัวแปรเดียวที่สามารถอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้ โดยในการเลือกใช้สมการที่จะใช้คาดการณ์

ตารางที่ 2 สรุปภาพรวมของสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์

Equation	ผลสรุปจากแบบจำลอง					สัมประสิทธิ์ประมาณค่า			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.743	27.104	1	22	.000	1120.889	–15.424		
Nonlinear	.811	44.923	2	21	.000	4658.778	–128.419	.885	



รูปที่ 1 การทดสอบความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 2 ผลการสอบเทียบแบบสมการกับพื้นที่เผาไหม้ปัจจุบัน

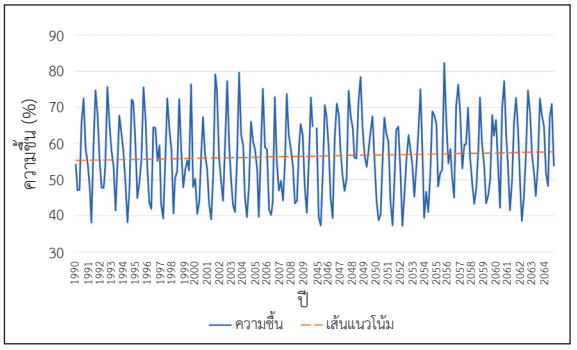
ในขั้นสุดท้าย จะต้องทำการสอบเทียบกับข้อมูลปัจจุบันด้วยการนำข้อมูลปัจจุบัน (ค.ศ. 2011–2014) มาใช้ในสมการที่ได้ ซึ่งพบว่าสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าสมการแบบเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบโดยสหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปัจจุบันและผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ พบว่า สมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมีความสัมพันธ์กับข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ในปีปัจจุบันมากกว่า โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.755 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ส่วนผลที่ได้จากสมการที่เป็นเส้นตรงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.742 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสมการที่มีความเหมาะสมต่อการศึกษาครั้งนี้คือสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง

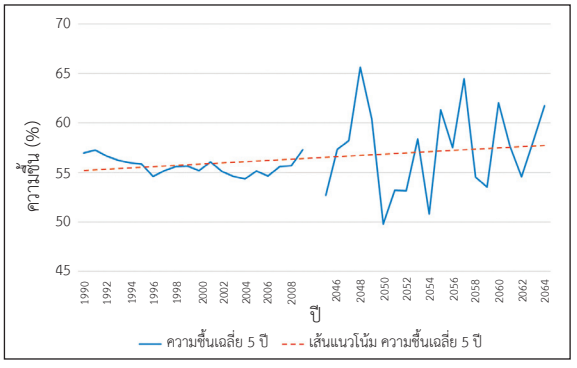
สมการถดถอยที่ได้จากการสร้างแบบไม่เป็นเส้นตรงมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าสมการที่ได้จากการสร้างแบบเป็นเส้นตรงเมื่อนำมาทดสอบกับข้อมูลปัจจุบัน ดังนั้นสมการที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ศึกษาศักยภาพในการเกิดไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่จึงได้เลือกสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงเป็นสมการหลักในการวิเคราะห์การคาดการณ์ศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคตต่อไป

3.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์รายเดือน

จากการจำลองสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 จากการศึกษาของ Chotamonsak [10] ในการศึกษานี้ได้นำค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของจังหวัดเชียงใหม่เมื่อนำข้อมูลปีฐาน (ค.ศ. 1990–2009) และปีอนาคต (ค.ศ. 2045–2064) มาเปรียบเทียบกันพบว่าข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากแบบจำลองโดยทั่วไปแล้วมีแนวโน้มของความชื้นไปในทางบวก กล่าวคือความชื้นในปีอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยความชื้นสูงขึ้นในอัตรา 1.3% ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 3 ที่เห็นได้ว่าเส้นแนวโน้มของความชื้นที่ได้จากแบบจำลองเป็นเส้นชันขึ้นจากปีฐานไปยังปีอนาคต นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าสภาพภูมิอากาศที่คำนวณได้ในปีอนาคตมีความแปรปรวนของข้อมูลความชื้นมากกว่าในปีฐาน โดยมีทั้งความชื้นสูงและต่ำสลับกันไป ซึ่งลักษณะความแปรปรวนของข้อมูลนี้มีรอบประมาณ 5 ปี ในระยะ 5 ปีแรกความชื้นมีค่าความชื้นสูงมีปีที่มีค่าความชื้นโดยรวมสูงที่สุดที่ปี ค.ศ. 2048 (รูปที่ 4) พอเข้าระยะ 5 ปีถัดมาก็จะเป็นช่วงปีที่มีค่าความชื้นต่ำที่สุดในบรรดาปีอนาคตที่ทำการศึกษา โดยเฉพาะในช่วงปี ค.ศ. 2050–2052 เป็นปีที่มีการคำนวณความชื้นได้น้อยกว่า 40% ซึ่งทำให้คาดการณ์ได้ว่าช่วงปีนี้จะเป็นช่วงปีที่มีความแห้งแล้งมาก และอาจเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่ามาก ส่วนในช่วงปีถัดมาหลังจากปี ค.ศ. 2054 จะเริ่มมีความแปรปรวนของข้อมูลความชื้นจากแบบจำลองน้อยลง ดังนั้นข้อสรุปจากการนำข้อมูลความชื้นจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 มาวิเคราะห์เบื้องต้นในภาพรวมแนวโน้มจะมีศักยภาพในการเกิดไฟป่าน้อยลง แต่ความรุนแรงจะมีมากขึ้น เนื่องจากบางปีมีค่า



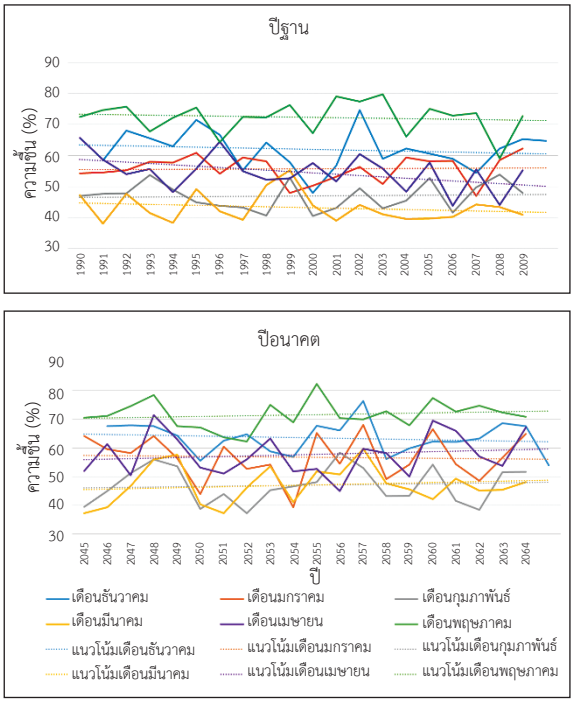
รูปที่ 3 ความชื้นและแนวโน้มของความชื้นที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ เปรียบเทียบระหว่างปีฐานและปีอนาคตในภาพรวมรายเดือน



รูปที่ 4 ความชื้นและแนวโน้มของความชื้นเฉลี่ยทุก 5 ปีที่ได้จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ เปรียบเทียบระหว่างปีฐานและปีอนาคตในภาพรวม

ความชื้นที่น้อยมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อปรากฏการณ์ต่างๆ ของอากาศ และมีอิทธิพลต่อความชื้นของเชื้อเพลิง [5] โดยทำให้เชื้อเพลิงมีความพร้อมต่อการลุกไหม้ได้

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมาลองเปรียบเทียบในแต่ละเดือนและแยกวิเคราะห์ระหว่างปีฐาน และปีอนาคต จะเห็นได้ว่าในปีฐานมีแนวโน้มความชื้นลดลงทุกเดือน ในขณะที่ปีอนาคตมีจุดที่น่าสนใจที่เดือนธันวาคม และเดือนมกราคม (รูปที่ 5) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าเดือนมกราคมเป็นเดือนที่เริ่มฤดูไฟป่า ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในอนาคตเดือนธันวาคม และเดือนมกราคมจะเป็นเดือนที่มีการเริ่มฤดูกาลไฟป่าที่เร็วกว่าปกติ โดยเฉพาะในปี ค.ศ. 2054 เป็นปีเดียว



รูปที่ 5 ความชื้นและแนวโน้มความชื้นที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ แยกรายเดือน ในปีฐานและปีอนาคต

ที่เดือนมกราคมมีค่าคาดการณ์ความชื้นที่ต่ำกว่าเดือนที่เกิดไฟป่ามากอย่างเดือนกุมภาพันธ์ เดือนมีนาคม และเดือนเมษายน ซึ่งปี ค.ศ. 2054 อาจอนุมานได้ว่าเป็นปีที่มีศักยภาพในการเกิดไฟป่าเร็วกว่าปกติและเหตุการณ์ไฟป่าจะยาวนานกว่าปกติ

นอกจากนี้ในปีอนาคตเมื่อสังเกตจากเดือนปกติที่มีการเกิดไฟป่าในฤดูปกติแล้วพบว่า เดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมมีค่าความชื้นที่คำนวณจากแบบจำลองส่วนใหญ่ต่ำกว่า 50% แต่จะมีสองช่วงที่มีค่าความชื้นมาก ที่ส่งผลทำให้ศักยภาพในการเผาไหม้มีน้อยได้แก่ช่วงปี ค.ศ. 2047–2049 และช่วงปี ค.ศ. 2057 ที่มีความชื้นมากในช่วงเดือนฤดูไฟป่าปกติ เมื่อการคำนวณผลค่าความชื้นได้เช่นนี้แล้วทำให้สถานการณ์ไฟป่าน่าจะเป็นปี ค.ศ. 2011 ในปีปัจจุบันที่ได้รับผลกระทบจากภาวะความชื้นมากสุด ที่ทำให้พื้นที่ที่เกิดการเผาไหม้มีน้อยกว่าในปีปกติที่เกิดไฟป่า

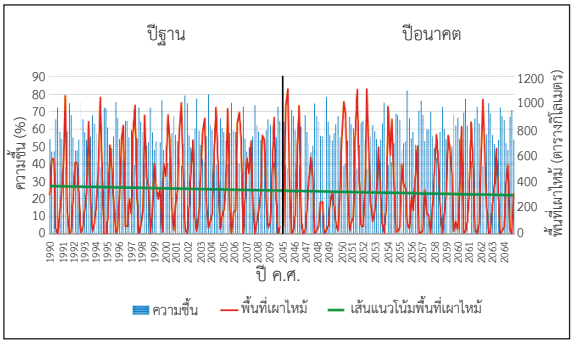
จากผลการวิเคราะห์ภาพรวมและแยกรายเดือน สามารถสรุปได้ว่า ศักยภาพในการเกิดไฟป่าในอนาคตมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อมองในภาพรวม แต่เหตุการณ์ไฟป่าที่จะเกิดขึ้นในแต่ละปีของปีอนาคตนั้นในปีที่มีความรุนแรงจะมีความรุนแรงมากกว่าปกติและปีที่มีความรุนแรงน้อยก็จะน้อยกว่าปกติมากเช่นกัน เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีความแตกต่างกันในแต่ละปีค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นผลจากสภาวะสภาพภูมิอากาศแบบสุดขีดที่มีการคาดการณ์จากแบบจำลองที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง โดยมีคาบในการเกิดสภาวะสภาพภูมิอากาศแบบสุดขีดอยู่ที่ประมาณ 5 ปีสลับกันไป

3.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เผาไหม้

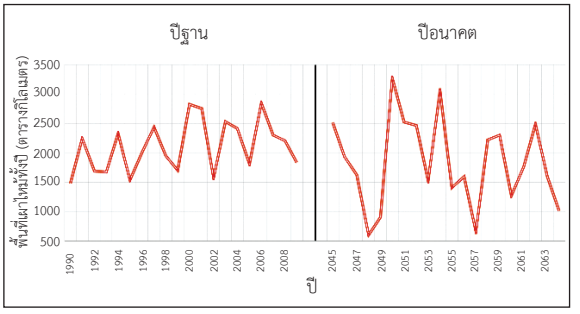
ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำสมการที่ได้จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการทดสอบความถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงมาเป็นแบบจำลองในการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลความชื้นในปีฐานและปีอนาคต เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงศักยภาพในการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในอนาคต โดยข้อมูลความชื้นจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทั้งรูปแบบรายเดือนและรายปี โดยการวิเคราะห์แบบรายปีได้นำข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ในรายเดือนมารวมเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นที่การเผารายปี และเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในแต่ละช่วงปี

เมื่อนำข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศรายเดือนนำมาเข้าแบบจำลองสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงแล้วพบว่าแนวโน้มพื้นที่เผาไหม้ที่ได้จากสมการถดถอยมีแนวโน้มน้อยลง โดยมีการแปรผกผันกันกับความชื้นสัมพัทธ์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งในปีฐานมีจำนวนพื้นที่เผาไหม้ส่วนใหญ่คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เผาไหม้มาก ในขณะที่พื้นที่เผาไหม้ในปีอนาคตมีความแปรปรวนมากกว่าในปีฐาน โดยในปีอนาคตมีลักษณะพื้นที่เผาไหม้เป็นคาบหลายปีที่เหมือนกัน จะสังเกตได้จากรูปที่ 6 ที่ช่วงปีไหนที่มีจำนวนพื้นที่เผาไหม้น้อยก็จะน้อยติดกันหลายปี ส่วนปีไหนที่มีพื้นที่เผาไหม้มากก็จะมากหลายปีติดต่อกัน

เมื่อนำข้อมูลมารวมกันทั้งปีเฉพาะในช่วงฤดูไฟป่า (เดือนธันวาคม–เดือนพฤษภาคม) ของแต่ละปีแล้ว (รูปที่ 7)



รูปที่ 6 พื้นที่เผาไหม้รายเดือนที่คำนวณได้จากข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับความชื้นรายเดือน



รูปที่ 7 พื้นที่เผาไหม้รวมทั้งปีที่ได้จากการคำนวณได้จากข้อมูลจากแบบจำลอง

พบว่าในปีฐานมีค่าคำนวณพื้นที่เผาไหม้ที่ค่อนข้างมีรูปแบบ กล่าวคือ มีความสม่ำเสมอของการเกิดพื้นที่เผาไหม้ สังเกตได้ว่ามีคาบในการเกิดสภาวะภูมิอากาศแบบสุดขีดทั้งแบบความชื้นน้อยสุดและความชื้นมากสุดจะวนมาอีกครั้งในทุกๆ 5 ปี ซึ่งแตกต่างกับปีอนาคตที่เมื่อนำข้อมูลมาเข้าสมการถดถอยพบว่ามีความแปรปรวนระหว่างปีสูง ซึ่งเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่ามีความแปรปรวนของข้อมูลความชื้นในปีอนาคต ค่าพื้นที่เผาไหม้ที่คำนวณได้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างปีความชื้นน้อยสุด และปีความชื้นมากสุดมากกว่าปีฐาน นอกจากนี้ในปีอนาคตยังมีพบว่าพื้นที่เผาไหม้จะมีความรุนแรงและเบาบางกินคาบยาวนานกว่าปีฐาน ถึงแม้ว่าในภาพรวมมีแนวโน้มจะเกิดพื้นที่เผาไหม้น้อยลงเมื่อเทียบกับปีฐาน แต่ในปีอนาคตเมื่อเกิดพื้นที่เผาไหม้แล้วจะมีความรุนแรงมากกว่าปีฐานและกินคาบยาวนานกว่า

ในอีกด้านหนึ่งเมื่อเกิดพื้นที่เผาไหม้น้อยความรุนแรงก็จะลดลงและกินคาบยาวนานเช่นกัน

4. อภิปรายผลและสรุป

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพการเกิดไฟป่า ซึ่งจากผลการศึกษานี้พบความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ระหว่างจุดความร้อนและพื้นที่เผาไหม้กับปัจจัยสภาพอากาศและสภาพภูมิอากาศ พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับการเกิดไฟป่ามากที่สุด และเป็นปัจจัยเดียวที่สามารถนำมาสร้างสมการถดถอยได้ ซึ่งผลการศึกษามีความแตกต่างจากการศึกษา Hessl [12] ที่พบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ หยาดน้ำฟ้า และความเร็วลม มีอิทธิพลต่อการเกิดไฟป่า เนื่องจากพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ความเร็วลมไม่มีผลต่อกระบวนการเกิดพื้นที่เผาไหม้ แต่หยาดน้ำฟ้าหรือปริมาณน้ำฝนที่มีผลทางสถิติว่าไม่มีความสัมพันธ์เพราะช่วงเวลาการเกิดไฟป่าเป็นช่วงเวลาที่มีเหตุการณ์ฝนตกน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตข้อมูลย้อนหลังพบว่าช่วงเวลาการทิ้งช่วงของฝนมีผลต่อความแห้งของเชื้อเพลิง

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Matthews *et al*. [13] ที่มีผลการศึกษาเหมือนกันเพียงปัจจัยด้านความชื้น ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่ป่าของพื้นที่ศึกษาที่มีความแตกต่างกัน โดยป่าไม้ในประเทศไทยมีลักษณะเป็นป่าที่มีความชื้นมาก อันเป็นผลมากจากลักษณะสภาพภูมิอากาศอยู่ในเขตร้อนชื้น นอกจากนี้การเกิดไฟป่าในประเทศไทยยังมีพฤติกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ประกอบกับจังหวัดเชียงใหม่มีการจัดการปัญหาไฟป่าและหมอกควันที่มีทั้งแบบเชิงรับและเชิงรุกที่มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในแต่ละปี [1] จึงทำให้ผลการศึกษาที่ได้มีความแตกต่างจากการศึกษาการเกิดไฟป่าในพื้นที่อื่น มากไปกว่านั้นไฟป่าในพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มักจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่ต่างจากการเกิดไฟป่าในประเทศไทยที่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากฝีมือมนุษย์

การศึกษานี้ได้ผลการศึกษาเหมือนกับผลการศึกษาของ Luo *et al*. [14] ที่ศึกษาเรื่องความชื้นโดยใช้ดัชนีความชื้นที่ส่งผลต่อการเกิดไฟป่า โดยการเปลี่ยนแปลงของความชื้นส่งผลต่อความแห้งแล้งและความรุนแรงของการเกิดไฟป่า โดยความชื้นในอากาศทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลต่อการเกิดไฟป่าอีกด้วย ซึ่งการเผาในจังหวัดเชียงใหม่แม้ว่าจะเกิดจากฝีมือมนุษย์ เมื่อมนุษย์จะประกอบกิจกรรมที่เกี่ยวกับการเผา มนุษย์จะสังเกตจากลมฟ้าอากาศ ณ วันเวลานั้นในการตัดสินใจเผา โดยความชื้นของเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจ มากไปกว่านั้นยังทำให้เกิดการลุกลามได้ง่ายเมื่อมีความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงและส่งผลต่อความรุนแรงที่ตามมา

เมื่อสังเกตความชื้นสัมพัทธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศ WRF-ECHAM5 ระหว่างปีฐานกับปีอนาคตมีแนวโน้มโดยรวมลดลง เมื่อนำค่าความชื้นดังกล่าวมาคำนวณโดยใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงเพื่อคำนวณศักยภาพการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในอนาคต พบว่ามีแนวโน้มน้อยลง แต่เหตุการณ์ไฟป่าที่เกิดในช่วงสถานการณ์สภาพภูมิอากาศแบบสุดขีดมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น โดยผลการวิเคราะห์ที่มีความแตกต่างจาก Flannigan *et al*. [15] ที่ศึกษาไฟป่าบริเวณป่าบอเรียลที่พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการศึกษามีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน รวมไปถึงสาเหตุในการเกิดไฟป่าที่แตกต่างกันทำให้แนวโน้มในการเกิดไฟป่าไม่เหมือนกัน

การนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้ สามารถนำไปใช้ร่วมวางแผนการจัดการไฟป่าและหมอกควันในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งการจัดการที่ผ่านมายังเน้นการจัดการแบบเชิงรับ ที่มีแก้ไขปัญหาแบบเฉพาะหน้า อีกทั้งยังมีการเตรียมตัวในการรับภัยน้อย แบบจำลองนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถช่วยการประเมินภัยในอนาคตเบื้องต้น เพื่อเตรียมรับมือได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีข้อมูลการพยากรณ์นี้ รวมไปถึงการพยากรณ์แบบอื่นๆ เข้ามาร่วมพิจารณา เพื่อนำไปสู่การวางแผนและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนในการชิงเผา การกำหนดช่วงเวลาในการห้ามเผา การจัดการการเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหา และกิจกรรมส่งเสริมความตระหนักในปัญหาที่เกิดจากการเผาในที่โล่ง เป็นต้น ซึ่งสามารถเป็นไปอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพทั้งในเชิงรับและเชิงรุกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Dontree, A. Sorrawisut, P. Phichitpunja, P. Pinkhanthayong, and S. Noisuya, "Spatial clustering of burned areas for open field burning surveillance and prevention: Case studies of Chiang Mai, Lamphun and Mae Hong Son Provinces," Chiang Mai, 2014.

[2] S. Akkaak, *Forest Fire Control in Thailand*. Bangkok: Wildfire Control Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, 2000.

[3] P. Vivantanadej, M. Trakultivakorn, C. Liwsrisakun, G. Suwarat, and I. Nimit, "A comprehensive report: Project of daily dust level and health effects in asthma patients in Chiang Mai and Lamphun," Chiang Mai, 2007.

[4] S. Pongpiachan and T. Paowa, "Hospital out-and-in-patients as functions of trace gaseous species and other meteorological parameters in Chiang Mai, Thailand," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 15, no. 2, pp. 479–493, 2015.

[5] P. Rayanakorn, M. Chantara, S. Wangkarn, S. Tengcharoenkul, U. Kitsawatpaibul, W. Chanta, P. Chaisri, I. Sangbun, and D. Sangchan, *Analysis for Air Pollutants in Airbone Particulates in Chiang Mai and Lamphun Province*. Bangkok: The Thailand Research Fund, 2007.

[6] U. VhinitKhetKamnuan, T. Cheewonarin, and N. Chunram, "Destruction of dendritic cells from respiratory lung cells with PM 2.5 and PM10 small dust extracts in Chiang Mai and Lamphun provinces.," Chiang Mai: The Thailand Research Fund, 2007.

[7] S. Pongpiachan, "FTIR spectra of organic functional group compositions in $PM_{2.5}$ collected at Chiang-Mai City," *Journal of Applied Sciences*, vol. 14, no. 22, pp. 2967–2977, 2014.

[8] S. Pongpiachan, "Incremental lifetime cancer risk of PM2.5 bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) before and after the wildland fire episode," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 16, no. 11, pp. 2907–2919, 2016.

[9] A. Sributta and P. Sangjun, "Global climate change and future trend," *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 12, no. 1, pp. 59–64, 2002.

[10] C. Chotamonsak, "Climate change simulations for Thailand using regional climate model," Doctor of Philosophy thesis, Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, 2011 (in Thai).

[11] S. Ketpraneet, *Wildfire and Control*. Bangkok: Department of Silvery, Faculty of Forestry, Kasetsart University, 1983.

[12] A. E. Hessl, "Pathways for climate change effects on fire: Models, data, and uncertainties," *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, vol. 35, no. 3, pp. 393–407, 2011.

[13] S. Matthews, A. L. Sullivan, P. Watson, and R. J. Williams, "Climate change, fuel and fire behaviour in a eucalypt forest," *Global Change Biology*, vol. 18, no. 10, pp. 3212–3223, 2012.

[14] L. Luo, Y. Tang, S. Zhong, X. Bian, and W. E. Heilman, "Will future climate favor more erratic wildfires in the Western United States?," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 52, pp. 2410–2417, 2013.

[15] M. Flannigan, B. Stocks, M. Turetsky, and M. Wotton, "Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest," *Global Change Biology*, vol. 15, no. 3, pp. 549–560, 2009.