



ความสัมพันธ์ของจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบต่อค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$: กรณีศึกษาช่วงฤดูหมอกควัน พ.ศ. 2562

เกวลิน อินลวง และ ชาคริต โชติอมรศักดิ์*

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วนิสรา สุรพิพิธ และ Ronald Macatangay

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

* ผู้มีพันธบัตรประชาชน โทรศัพท 08 0985 6924 อีเมล: chakrit.c@cmu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.07.002

รับเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2564 แก้ไขเมื่อ 5 เมษายน 2564 ตอรับเมื่อ 21 พฤษภาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 5 กรกฎาคม 2565

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณจุดความร้อนต่อค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ช่วงวันที่ 1 มกราคม–31 พฤษภาคม พ.ศ. 2562 โดยวิเคราะห์ปริมาณและความหนาแน่นจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่โดยรอบ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามเวลาและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณจุดความร้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาจาก 9 สถานี ผลการวิจัยพบว่า จุดความร้อนในพื้นที่ศึกษามีปริมาณเพิ่มสูงในช่วงที่ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ อยู่ในเกณฑ์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยพบความหนาแน่นสูงบริเวณรอยต่อระหว่างจังหวัด พื้นที่ป่า และพื้นที่เกษตรใกล้เคียง ส่วนพื้นที่โดยรอบพบจุดความร้อนหนาแน่นสูงบริเวณใกล้กับพื้นที่ศึกษาในทางเหนือ ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ของสถานีส่วนใหญ่มีค่าสอดคล้องกับจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบมากกว่าจุดความร้อนของจังหวัด ซึ่งเห็นได้จากค่า r ที่สอดคล้องกันในเกณฑ์ปานกลาง–สูง ($r = 0.5-0.7$) ส่วนจุดความร้อนของจังหวัดสอดคล้องกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เช่นกัน ด้วยค่า r ที่น้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของแหล่งกำเนิดจากพื้นที่โดยรอบที่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นในพื้นที่จังหวัดนั้นๆ ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในสถานีส่วนใหญ่แปรผกผันกับปัจจัยปริมาณน้ำฝนและความเร็วลม

คำสำคัญ: จุดความร้อน หมอกควัน ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

การอ้างอิงบทความ: เกวลิน อินลวง, ชาคริต โชติอมรศักดิ์, วนิสรา สุรพิพิธ และ Ronald Macatangay, “ความสัมพันธ์ของจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบต่อค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$: กรณีศึกษาช่วงฤดูหมอกควัน พ.ศ. 2562,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 588–602, เม.ย.-มิ.ย. 2566.



Relationship of Fire Hotspot, PM_{2.5} Concentrations, and Surrounding Areas in Upper Northern Thailand: A Case Study of Haze Season in 2019

Kevalin Inlaung and Chakrit Chotamonsak*

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

Vanisa Surapipith and Ronald Macatangay

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization), Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 0985 6924, E-mail: chakrit.c@cmu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.07.002

Received 1 February 2021; Revised 5 April 2021; Accepted 21 May 2021; Published online: 5 July 2022

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objective of this research is to study the effects of thermal hotspots on PM_{2.5} concentrations in the upper northern of Thailand during 1 January–31 May 2019. The number and the density of fire hotspots of the examined and adjacent areas was investigated. The time-series relationships between PM_{2.5} concentrations, the number of satellite-based fire hotspots, and meteorological factors derived from 9 stations were analyzed. As results, the greater number of hotspots was correlated with increased levels of PM_{2.5} concentrations. Such conditions exhibit considerable impacts on health. High PM_{2.5} concentrations were specifically found around provincial boundaries, in forests, agricultural areas, as well as in Thailand's neighboring countries. As for the surrounding areas, the areas that have high density of fire hotspots were found near investigated areas in the north region. Provincial fire hotspots were correlated to high PM_{2.5} concentration, with a lower r-value. The thermal hotspot locations from the surrounding areas have effects on provincial PM_{2.5} concentrations. Finally, the effect of meteorological factors on PM_{2.5} concentrations was analyzed. As a result, precipitation and wind speed have inverse effects on PM_{2.5} concentrations.

Keywords: Hotspot, Haze, PM_{2.5}, Meteorological Factors, Upper Northern Thailand

Please cite this article as: K. Inlaung, C. Chotamonsak, V. Surapipith, and R. Macatangay, "Relationship of fire hotspot, PM_{2.5} concentrations, and surrounding areas in upper northern Thailand: A case study of haze season in 2019," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 588–602, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).



1. บทนำ

ปัญหาเรื่องมลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญ และสร้างผลกระทบต่อเป็นวงกว้าง เนื่องจากสามารถคงตัวอยู่ในอากาศได้นาน และอาจทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารพิษชนิดอื่นได้นอกจากนี้ ยังสามารถเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ที่ไกลออกไปด้วยปัจจัยหลายด้าน ทั้งด้านลักษณะกายภาพทางภูมิประเทศและทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนับได้ว่าเป็นภัยพิบัติรูปแบบหนึ่ง ที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ และคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ รวมไปถึงความเป็นอยู่ของพืชพันธุ์และสัตว์ ในส่วนประเทศไทยมีการประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อการแก้ไขปัญหาหมอกควัน โดยการควบคุมการเผาในพื้นที่โล่ง และยังมีเป้าหมายด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 [1] อย่างไรก็ตาม ยังคงมีข้อค้นพบว่า ประชากรไทยยังคงประสบกับปัญหาจากภัยดังกล่าวเกือบทุกปี ทั้งในระดับพื้นที่และเรื่อง มีรายงานว่าผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ทำให้จำนวนผู้เสียชีวิตเพิ่มสูงขึ้น [2] โดย 8 จังหวัดภาคเหนือ พบอัตราผู้ป่วยกลุ่มโรคทางเดินหายใจอยู่ที่ 6004.42 คนต่อแสนประชากร ในช่วง 4 เดือน [3] โดยการแก้ไขปัญหาในภาคปฏิบัติจากนโยบายและมาตรการของรัฐทั้งหมดถูกสั่งการแบบบนลงล่าง (Top-down Policies) [4] อีกทั้งด้านระบบเตือนภัย การพยากรณ์ล่วงหน้า การทบทวนหลังเกิดภัย และกลไกทางเลือกยังไม่มี การสนับสนุนที่ชัดเจน การแก้ไขปัญหาหมอกควันจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงก่อนเกิดภัยและช่วงประสบภัยมากกว่า [5] รวมถึงมีปัญหาด้านการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษ

ภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะในช่วงฤดูหมอกควัน (มกราคม-เมษายน) พบว่า มีค่าความเข้มข้นมลพิษทางอากาศที่เพิ่มมากขึ้นผิดปกติกว่าพื้นที่ภาคอื่นและช่วงเวลาอื่น โดยสาเหตุหลักของการเกิดหมอกควันประกอบไปด้วย 1) กิจกรรมในพื้นที่ การเผาเพื่อเพิ่มพื้นที่ทำกินจากการขยายตัวของประชากร 2) ปัจจัยทางกายภาพ คือ สภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงล้อมรอบอย่างสลับซับซ้อนเกิดเป็นแอ่งกระทะในหลายบริเวณทางภาคเหนือ ร่วมกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อต่อการเกิดอุณหภูมิผกผัน เกิดหมอกควันที่เกิดขึ้นพื้นที่

จึงสามารถระบายออกไปได้ยาก และ 3) ปัจจัยภายนอกหรือหมอกควันจากแหล่งกำเนิดนอกพื้นที่ [6]

ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาลักษณะของการเกิดหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ โดยพิจารณาจากจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับพื้นที่โดยรอบร่วมกับผลการพิจารณาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อหมอกควันอย่างมีนัยสำคัญ [7] เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาต่อการเกิดหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งสามารถนำไปสู่การพัฒนากระบวนการพยากรณ์ หรือการแจ้งเตือนล่วงหน้าได้ และสามารถนำไปสู่ความชัดเจนของสาเหตุปัญหาหมอกควันในภาคเหนือ ด้วยแหล่งข้อมูล และเทคนิคที่มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลตรวจวัดจากภาพถ่ายดาวเทียม จากเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละออง และการใช้เทคโนโลยีภูมิศาสตร์สารสนเทศ เพื่อการสนับสนุนข้อมูลเชิงวิชาการที่สำหรับการยืนยันข้อเท็จจริงเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ให้นำไปสู่การเตรียมความพร้อมรับมือและลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ตลอดจนการเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายด้านการบริหารจัดการและควบคุมมลพิษ

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ขอบเขตการวิจัย

2.1.1 ขอบเขตระยะเวลา

ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม-31 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

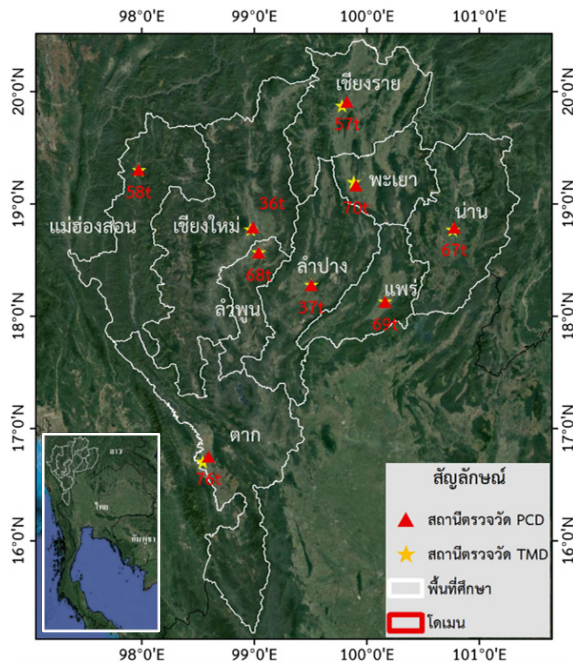
2.1.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่

พื้นที่ศึกษา คือ ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน และตาก ส่วนโดเมนศึกษา ได้ทำการเลือกพิจารณาจากขอบเขตที่พิกัดลองจิจูดที่ 91.47-113.45 องศาตะวันออก และละติจูดที่ 5.03-26.81 องศาเหนือ นอกจากนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลจากตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และสถานีตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ แสดงดังรูปที่ 1

2.2 ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

2.2.1 ข้อมูลจุดความร้อน

จากภาพถ่ายดาวเทียมเซนเซอร์ระบบ MODIS บน



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ภาคเหนือและตำแหน่งสถานีตรวจวัด

ดาวเทียมขององค์กร NASA [8] ซึ่งเป็นดาวเทียมที่โคจรผ่านขั้วโลก ชื่อว่า Terra (หรือ EOS AM-1) โดยจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณภาคเหนือโดยประมาณที่เวลา 11.00 น. และ 23.00 น. และ Aqua (หรือ EOS PM-1) ที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณภาคเหนือโดยประมาณที่เวลา 13.30 น. และ 01.30 น. รวมเป็นจำนวน 4 ครั้งต่อวัน [9] โดยเลือกจุดความร้อนที่อยู่ภายในขอบเขตโดเมนศึกษาทั้งหมด

2.2.2 ข้อมูลคุณภาพอากาศ

จากการตรวจวัดแบบรายชั่วโมงของกรมควบคุมมลพิษ เลือกข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) จากสถานีในพื้นที่ศึกษาจำนวน 9 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 1

2.2.3 ข้อมูลปัจจัยอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลตรวจวัดรายวันของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในหน่วยมิลลิเมตร (มม.) กับข้อมูลลมผิวพื้น ทั้งความเร็วลมในหน่วยนอต และทิศทางลมในหน่วยองศา โดยเลือกมาจากตำแหน่งของสถานีที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมากที่สุด จำนวน 9 สถานี

ตารางที่ 1 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ 9 สถานี ในภาคเหนือของประเทศไทย

รหัสสถานี	จังหวัดที่ตั้งสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
36t	เชียงใหม่	18°47'27.3"N	98°59'17.2"E
37t	ลำปาง	18°16'41.7"N	99°30'23.2"E
57t	เชียงใหม่	19°54'33.4"N	99°49'24.1"E
58t	แม่ฮ่องสอน	19°18'17.0"N	97°58'15.6"E
67t	น่าน	18°47'20.0"N	100°46'34.9"E
68t	ลำพูน	18°34'01.8"N	99°02'18.8"E
69t	แพร่	18°07'44.1"N	100°09'44.4"E
70t	พะเยา	19°09'49.9"N	99°54'09.8"E
76t	ตาก	16°45'00.4"N	98°35'28.7"E

จากการพิจารณาข้อมูลตรวจวัดในขอบเขตการวิจัย พบว่าปัจจัยปริมาณน้ำฝนและลมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ อย่างเห็นได้ชัดกว่าข้อมูลตรวจวัดอื่น จึงได้พิจารณาปัจจัยข้างต้นเป็นหลัก นอกจากนี้ จากการทบทวนวรรณกรรม แสดงให้เห็นถึงปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาอื่นที่มีอิทธิพลต่อค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ เช่น อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด ความกดอากาศที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ส่วนอุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นจำเพาะ ชั้นความสูงผสม ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ และความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงบวกและลบ [7], [10]–[12]

2.2.4 ข้อมูลมาตรการกำหนดช่วงเวลาห้ามเผาเด็ดขาดที่ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้มีการประกาศกำหนดช่วงเวลาห้ามเผาเด็ดขาดในพื้นที่ 9 จังหวัดพื้นที่ภาคเหนือใน พ.ศ. 2562 โดยให้งดเว้นการเผาป่า เผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เผาขยะ เผาวัชพืชริมทาง และเผาในพื้นที่โล่งแจ้งทุกกรณีโดยเด็ดขาด ผู้ที่ฝ่าฝืนมีโทษตามกฎหมาย โดยในจังหวัดตาก ลำปาง น่าน แพร่ พะเยา และเชียงใหม่ มีการกำหนดช่วงห้ามเผาประมาณเดือนกุมภาพันธ์–เมษายน และในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ และลำพูน มีการกำหนดช่วงห้ามเผาตั้งแต่เดือนมีนาคม–เมษายน [13]

เกวลิน อินลวง และคณะ, “ความสัมพันธ์ของจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบต่อค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$: กรณีศึกษาช่วงฤดูหมอกควัน พ.ศ. 2562.”



2.3 วิธีการวิจัย

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุดความร้อน

ทำการคัดกรองจุดความร้อนที่ใช้ในการศึกษา โดยเลือกจุดความร้อนที่มีค่าความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป เพื่อเป็นการคัดกรองข้อมูลอันไม่พึงประสงค์ เนื่องจากข้อมูลจุดความร้อนที่มีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในช่วงที่ต่ำ (ร้อยละ 0-30) [14] ซึ่งจะสามารถยืนยันได้ว่าข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นจุดความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ในที่ตั้ง จากนั้นทำการนับปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาตามรายจังหวัดและรายเดือน และพิจารณาพร้อมกับแผนที่การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2560-2561 [15] เนื่องจากไม่พบข้อมูลของ พ.ศ. 2562 และข้อมูลข้างต้นเป็นแหล่งข้อมูลเปิดที่สามารถเข้าถึงได้ เพื่อวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดหมอกควัน ลักษณะการเกิดจุดความร้อน การกระจายตัวเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

ทั้งนี้ ได้ทำการหาความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่โดยรอบ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ของการเกิดจุดความร้อน โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcMap คำนวณด้วยวิธีการหาความหนาแน่นแบบ Kernel ที่จะคำนวณหาขนาดข้อมูลต่อหน่วยพื้นที่นั้นๆ ด้วยฟังก์ชัน Kernel เป็นการคำนวณผลลัพธ์ของ 1 หน่วยพิกเซล (กริด) ว่าจะมีจุดความร้อนหนาแน่น หรืออยู่ใกล้เคียงกับกริดดังกล่าวปริมาณเท่าใดในรัศมีการค้นหาที่กำหนด [16] ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขนาดพิกเซลของภาพอยู่ที่ 0.01 ตารางองศา หรือประมาณ 1.11 ตารางกิโลเมตร (ต่อไปในบทความจะประมาณเป็น 1 ตารางกิโลเมตร) รัศมีการค้นหาอยู่ที่ 0.1 องศา หรือประมาณ 11 กิโลเมตร เนื่องจากแสดงผลภาพออกมาได้ชัดเจน โดยผลลัพธ์ของรูปที่ได้จะมีค่าสูงกว่าปริมาณข้อมูลดิบ เนื่องด้วยหลักการคำนวณของฟังก์ชันที่ใน 1 กริด จะพิจารณาถึงจุดใกล้เคียงตามรัศมีการค้นหา หากมีจุดที่รัศมีการค้นหาซ้อนทับกัน ค่าบนกริดนั้นจะถูกคำนวณสะสมขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น ผลลัพธ์ที่คำนวณได้หมายถึง กริดนั้นๆ อยู่ในรัศมีการค้นหาของจุดข้อมูลจำนวนตามผลลัพธ์ข้างต้น โดยค่าที่คำนวณออกมาจะมีหน่วยเป็นขนาดต่อตารางหน่วยพื้นที่ หรือเป็นโอกาสที่จะพบจุดข้อมูลบนกริดนั้น ในบทความนี้จะใช้หน่วยเป็นจุดต่อตารางกิโลเมตร (จุด/ตร.กม.)

2.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตรวจวัดค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับจุดความร้อนและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ทำการพิจารณาความสัมพันธ์แบบรายวันของแต่ละตัวแปร เพื่อดูแนวโน้มตามระยะเวลา รูปแบบการแปรผันระหว่างตัวแปรค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณจุดความร้อน ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลม นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของผังลม เพื่อพิจารณาความถี่ของความเร็วและทิศทางลมที่พัดเข้ามายังสถานีตรวจวัด รวมถึงการพิจารณามาตรการที่ใช้ในการควบคุมจุดความร้อนของแต่ละจังหวัด จากนั้น ทำการหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่าง 2 ตัวแปร โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) ซึ่งจะทำการคำนวณระหว่างค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณจุดความร้อนทั้งในพื้นที่แต่ละจังหวัดกับจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบ และระหว่างค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลม

3. ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุดความร้อน

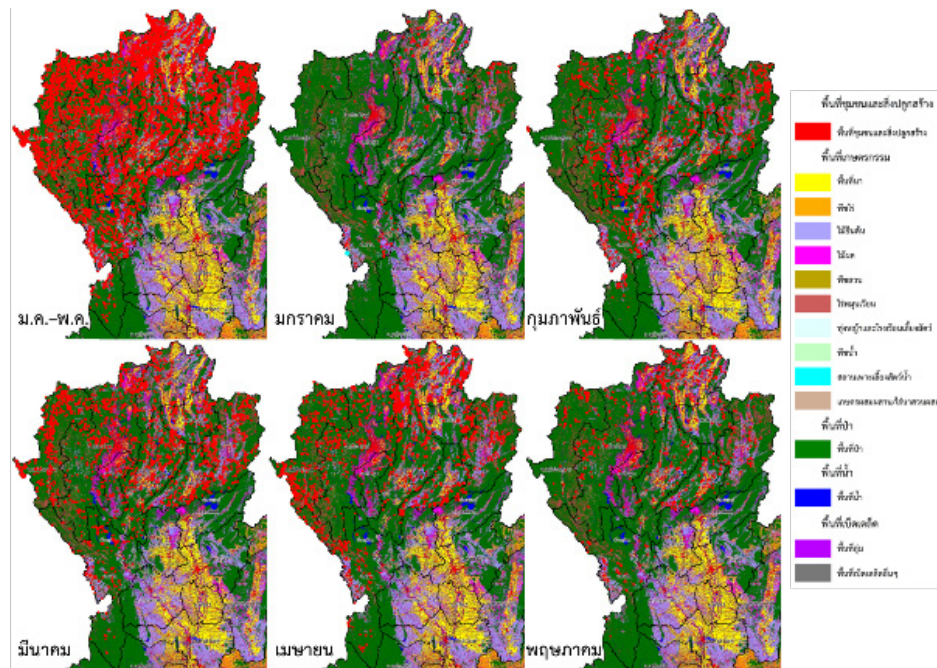
3.1.1 ปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือ

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณจุดความร้อนสะสมและร้อยละ ซึ่งคิดเทียบกับทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าจังหวัดเชียงรายพบปริมาณจุดความร้อนสะสมสูงมากที่สุด โดยคิดได้เป็นร้อยละ 19 ของพื้นที่ศึกษา และรองลงมาในจังหวัดเชียงใหม่ (ร้อยละ 17) แม่ฮ่องสอน (ร้อยละ 15) และน่าน (ร้อยละ 14) โดยในช่วง พ.ศ. 2562 พื้นที่ภาคเหนือพบปริมาณจุดความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าตัว เมื่อเทียบกับ พ.ศ. 2561 ในช่วงเวลาเดียวกัน [4]

เมื่อพิจารณาแบบรายเดือน พบว่า เดือนที่มีปริมาณจุดความร้อนสะสมเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ เดือนมีนาคม เมษายน กุมภาพันธ์ พฤษภาคม และมกราคม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 และจากข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินในรูปแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่าจุดความร้อนส่วนใหญ่มักจะถูกพบในพื้นที่สีเขียวหรือพื้นที่ป่ารวมไปถึงพื้นที่ทำการเกษตรที่อยู่ใกล้เคียงกับ

ตารางที่ 2 ปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือตามรายจังหวัดและรายเดือน

จังหวัด	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	รวมรายจังหวัด
เชียงใหม่	12	361	458	319	141	1,291 (17%)
ลำปาง	28	238	323	175	64	828 (11%)
เชียงราย	64	93	205	849	303	1,514 (19%)
แม่ฮ่องสอน	4	95	504	440	107	1,150 (15%)
น่าน	47	264	428	241	83	1,063 (14%)
ลำพูน	2	142	76	24	18	262 (3%)
แพร่	7	73	204	161	103	548 (7%)
พะเยา	12	32	194	148	28	414 (5%)
ตาก	33	240	149	187	58	997 (9%)
รวมรายเดือน	209 (3%)	1,538 (20%)	2,541 (33%)	2,544 (33%)	905 (11%)	



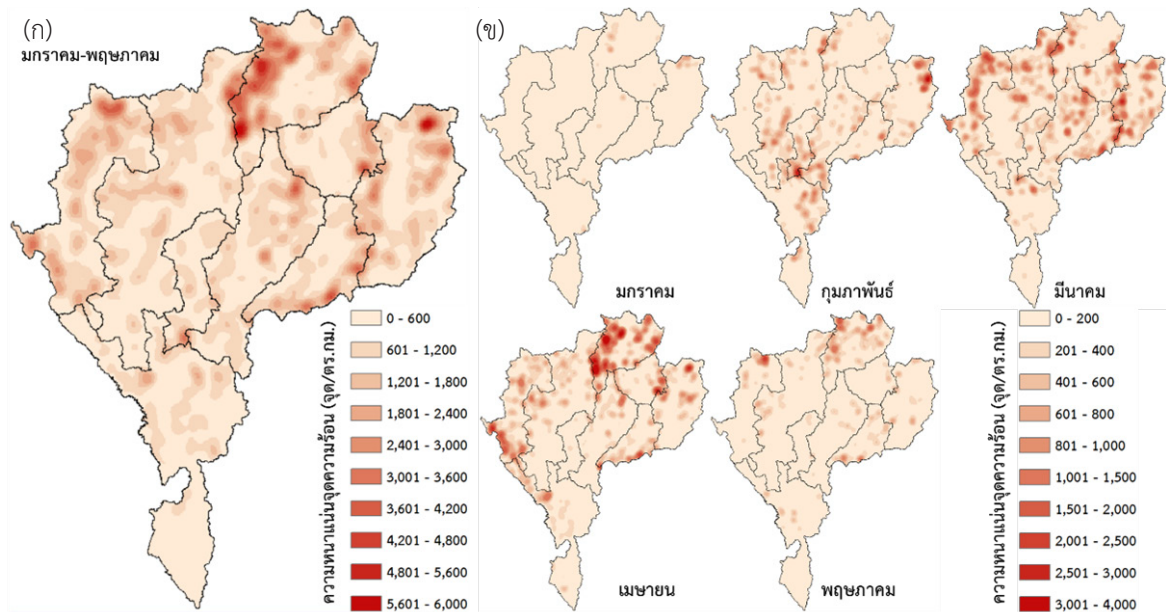
รูปที่ 2 จุดความร้อนบนแผนที่การใช้ที่ดินในภาคเหนือ พ.ศ. 2560-2561

นอกจากนี้สามารถพบได้ในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัย ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ที่ดินของแต่ละพื้นที่ เมื่อพิจารณาแบบรายเดือนจะเห็นได้เช่นเดียวกันว่าในหลายจังหวัดพบจุดความร้อนในพื้นที่ป่าเป็นส่วนมากกว่าพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทอื่น โดยในจังหวัดที่เห็นได้ชัดว่าเกิดจุดความร้อนในพื้นที่ป่า ได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่

น่าน และลำพูน ส่วนจังหวัดเชียงรายซึ่งมีปริมาณจุดความร้อนสูงที่สุด โดยจุดความร้อนส่วนใหญ่ถูกพบในพื้นที่เกษตรมากกว่าพื้นที่ป่า

3.1.2 ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือ

เมื่อพิจารณาภาพรวม 5 เดือน ตามแสดงในรูปที่ 3 (ก)



รูปที่ 3 ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาตามช่วงเวลา

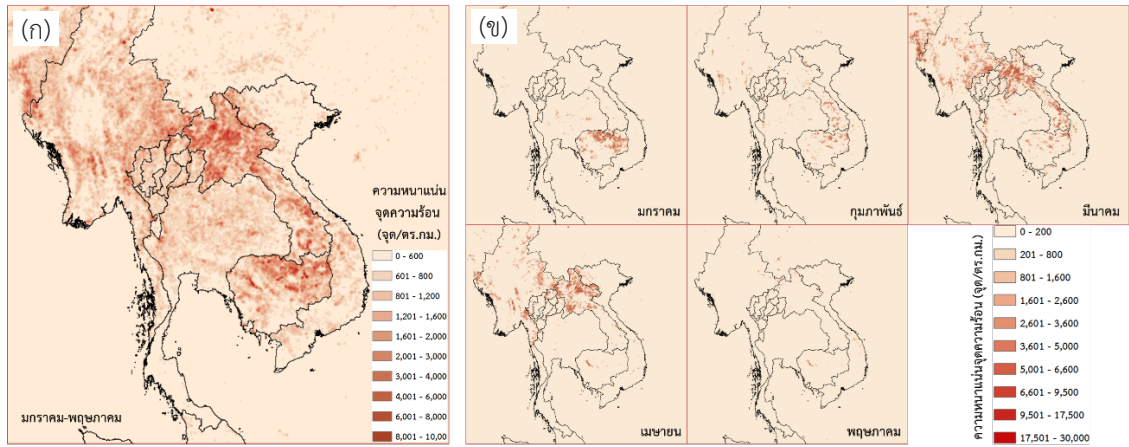
พบว่า แนวโน้มลักษณะการกระจายตัว และค่าความหนาแน่น สอดคล้องกับรูปที่ 2 โดยในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีจุด ความร้อนหนาแน่นสูงอย่างเห็นได้ชัด และเป็นบริเวณ กว้างกว่าจังหวัดอื่น จังหวัดพะเยา แพร่ และน่าน พบจุด ความร้อนหนาแน่นสูง โดยเฉพาะช่วงรอยต่อระหว่างจังหวัด รูปแบบเชิงพื้นที่ของบริเวณความหนาแน่นสูงอยู่ในบริเวณ ทางเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา โดย สามารถพบจุดความร้อนใกล้เคียงรัศมี 10 กิโลเมตร ในบริเวณ ที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดถึง 6,000 จุด/ตร.กม.

เมื่อพิจารณาแบบรายเดือนตามแสดงในรูปที่ 3 (ข) พบว่า จุดความร้อนเริ่มหนาแน่นสูงขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นต้นไป โดยในเดือนนี้พบได้ในพื้นที่จังหวัดลำพูน น่าน และเชียงราย ในเดือนมีนาคมพื้นที่จุดความร้อนหนาแน่นสูง กระจายตัวอยู่หลายที่ในพื้นที่ศึกษาและมีลักษณะเป็นบริเวณ กว้างขึ้น ต่อมาในเดือนเมษายน เป็นช่วงที่มีจุดความร้อน หนาแน่นสูงที่สุด โดยสามารถพบจุดความร้อนใกล้เคียงรัศมี 10 กิโลเมตร ในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดถึง 4,000 จุด/ตร.กม. พื้นที่จุดความร้อนหนาแน่นสูงกระจุกตัวกันมากขึ้น เป็นบริเวณเล็กกลางแต่มีความหนาแน่นสูงขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่

จังหวัดเชียงราย และในเดือนพฤษภาคม จุดความร้อนมีความ หนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยพื้นที่จังหวัดเชียงรายยัง คงมีความหนาแน่นสูงกว่าบริเวณอื่นคล้ายเดิม และในพื้นที่ จังหวัดแม่ฮ่องสอนด้วยเช่นกัน

3.1.3 ความหนาแน่นของจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบ จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกระจายตัวและ ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบ ใน ภาพรวม 5 เดือน พบบริเวณจุดความร้อนหนาแน่นสูงทางทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือติดกับพื้นที่ศึกษา และทางทิศตะวันออก เฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาในระยะที่ไกลออกไป โดยสามารถพบ จุดความร้อนใกล้เคียงรัศมี 10 กิโลเมตร ในบริเวณที่มีความ หนาแน่นสูงที่สุดถึง 10,000 จุด/ตร.กม.

เมื่อพิจารณาแบบรายเดือนพบว่า ในเดือนมกราคม พบบริเวณจุดความร้อนหนาแน่นสูงกระจุกตัวอยู่ทางทิศ ตะวันออกเฉียงใต้ห่างจากพื้นที่ศึกษาหรือในบริเวณประเทศ กัมพูชา ในเดือนกุมภาพันธ์จุดความร้อนมีความหนาแน่น ลดลง แต่มีการกระจายตัวมากขึ้นในพื้นที่ประเทศพม่า ลาว และกัมพูชา ซึ่งอยู่ใกล้เคียงพื้นที่ศึกษามากขึ้น ต่อมาใน เดือนมีนาคมเป็นช่วงที่จุดความร้อนหนาแน่นสูงที่สุด โดย



รูปที่ 4 ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนภายในโตเมนศึกษาตามช่วงเวลา

	(ก)						(ข)					
	ม.ค. - พ.ค.	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	ม.ค. - พ.ค.	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
เชียงใหม่ (36t)	0.47	0.07	0.25	0.40	0.46	0.46	0.73	0.24	0.14	0.68	0.46	0.55
ลำปาง (37t)	0.36	0.48	0.07	0.17	0.19	0.20	0.68	0.39	0.34	0.39	0.67	0.54
เชียงราย (57t)	0.42	0.35	-0.37	0.49	0.19	0.62	0.55	0.19	0.32	0.39	0.35	0.53
แม่ฮ่องสอน (58t)	0.66	0.07	0.66	0.35	0.83	0.37	0.69	0.12	0.23	0.43	0.32	0.44
น่าน (67t)	0.53	0.60	0.39	0.31	0.17	0.55	0.68	0.37	0.30	0.33	0.68	0.61
ลำพูน (68t)	0.15	0.42	0.13	-0.13	0.12	0.40	0.69	0.34	0.16	0.57	0.48	0.57
แพร่ (69t)	0.39	0.23	0.18	0.23	0.12	0.39	0.53	0.32	0.23	0.37	0.38	0.46
พะเยา (70t)	0.52	0.15	0.36	0.34	0.32	0.52	0.64	0.27	0.22	0.41	0.66	0.54
ตาก (76t)	0.13	0.60	-0.32	-0.01	0.23	-0.12	0.52	0.23	0.02	0.43	0.25	0.27

(ก)

(ข)

รูปที่ 5 Heatmap แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุดความร้อนของแต่ละจังหวัด (ก) และปริมาณจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบ (ข) กับค่าตรวจวัดค่าความเข้มข้น PM_{2.5} ของจังหวัดนั้นๆ

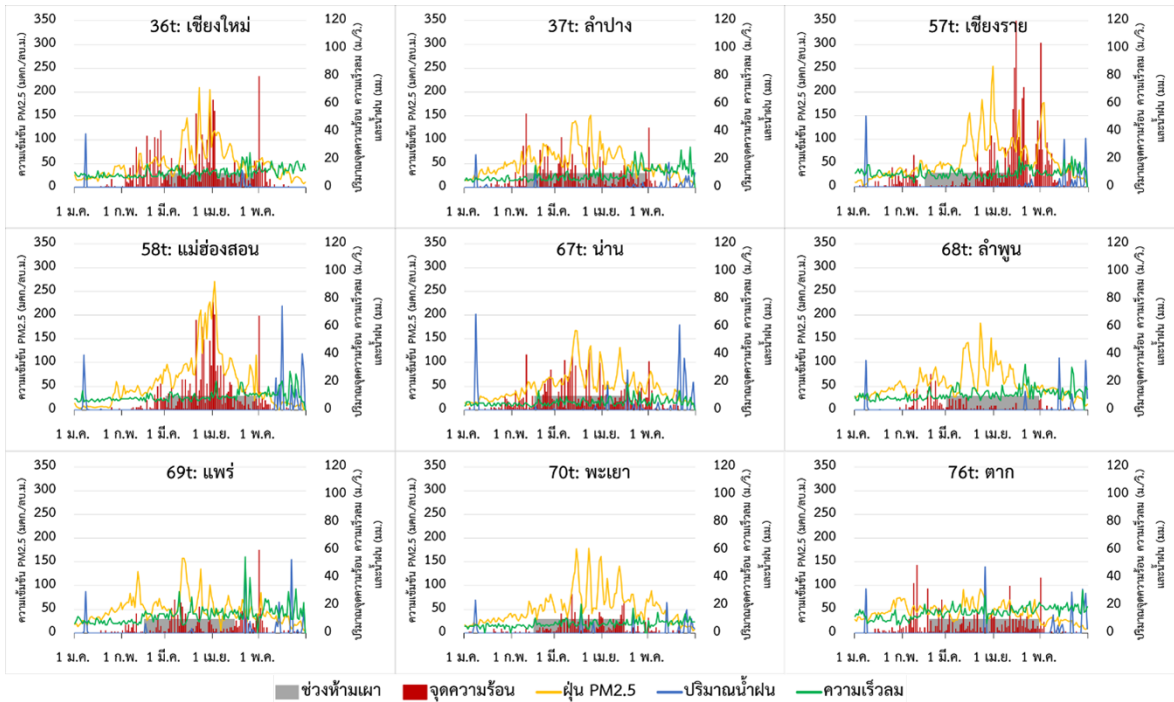
สามารถพบจุดความร้อนใกล้เคียงรัศมี 10 กิโลเมตร ในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดถึง 30,000 จุด/ตร.กม. บริเวณจุดความร้อนหนาแน่นสูงมีลักษณะกระจายตัวโดยทั่วไปและอยู่ติดกับพื้นที่ที่ศึกษามากขึ้น โดยเฉพาะทางทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา ในเดือนเมษายนจุดความร้อนมีความหนาแน่นและการกระจายตัวลดลง และพบได้ใกล้เคียงบริเวณเดิมคือ ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา และพบเพิ่มเติมในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา และในเดือนพฤษภาคมความหนาแน่นของจุดความร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว บริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาพบจุดความร้อนหนาแน่นกว่าพื้นที่อื่น

3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น PM_{2.5} กับจุดความร้อนและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

3.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รายวันระหว่างปริมาณจุดความร้อนกับค่าความเข้มข้น PM_{2.5}

จากการคำนวณหาค่า r ดังแสดงในรูปที่ 5 ในภาพรวม 5 เดือน เห็นได้ชัดว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น PM_{2.5} กับปริมาณจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบ [รูปที่ 5 (ข)] มีค่าเป็นบวกที่อยู่เกณฑ์ปานกลางถึงสูง [17] ในทุกสถานีเมื่อเทียบกับรูปที่ 5 (ก) ซึ่งค่า r น้อยกว่า และมีสถานีจังหวัดลำพูนและตากที่อยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก แต่ส่วนใหญ่ยังคงพบอยู่ในเกณฑ์ปานกลางไปถึงสูง แสดงถึงอิทธิพลของปริมาณ

เกวลิน อินลวง และคณะ, “ความสัมพันธ์ของจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบต่อค่าความเข้มข้น PM_{2.5}: กรณีศึกษาช่วงฤดูหมอกควัน พ.ศ. 2562.”



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ตามเวลาระหว่างค่าตรวจวัดค่าความเข้มข้น PM_{2.5} กับปริมาณจุดความร้อน ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม และช่วงห้ามเผาในแต่ละจังหวัด

จุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบที่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้น PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้เป็นส่วนมากกว่าอิทธิพลของปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่จังหวัดนั้นๆ กล่าวได้ว่า ปริมาณจุดความร้อนในกรณีที่เกิดค่า r ที่มากกว่า เป็นกลุ่มจุดความร้อนที่มีอิทธิพลต่อค่าความเข้มข้น PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้มากกว่าเมื่อเทียบกับในสองกรณีข้างต้น

จังหวัดลำพูนเป็นสถานีที่อิทธิพลจากหมอกควันข้ามแดนมากกว่าหมอกควันจากในจังหวัดอย่างเห็นได้ชัด จากค่า r ที่ต่างกันมาก ส่วนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จะเห็นได้ว่าค่า r ในสองกรณีต่างก็น้อยมากอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าในสถานีดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากทั้งหมอกควันข้ามแดน และหมอกควันจากในจังหวัดในแนวโน้มใกล้เคียงกัน

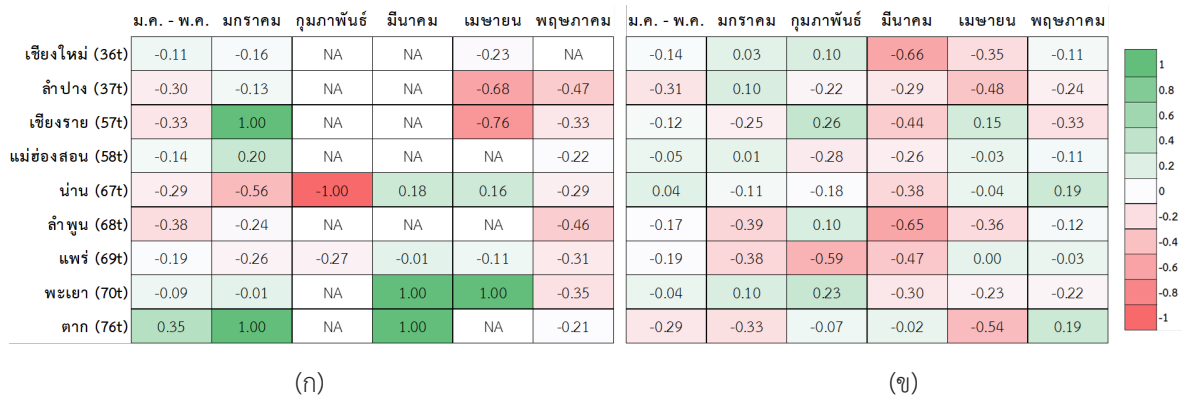
เมื่อพิจารณาแบบรายเดือนสถานีส่วนใหญ่ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ค่า r ในรูปที่ 5 (ก) สูงกว่ารูปที่ 5 (ข) แสดงว่าสถานีเหล่านี้ได้รับอิทธิพลหมอกควันจากภายในจังหวัดมากกว่าหมอกควันข้ามแดน โดยเฉพาะในแม่ฮ่องสอน

แต่ในสถานีจังหวัดเชียงรายเห็นได้ว่าได้รับอิทธิพลจากหมอกควันข้ามแดนอย่างชัดเจน ส่วนในอีก 3 เดือน สถานีส่วนใหญ่มีค่า r ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง แสดงถึงการได้รับอิทธิพลจากหมอกควันข้ามแดนโดยเฉพาะในสถานีจังหวัดลำพูน แต่ในสถานีแม่ฮ่องสอน โดยเฉพาะในเดือนเมษายน จะเห็นได้ว่าสถานีนี้ได้รับอิทธิพลจากหมอกควันในจังหวัดมากกว่าหมอกควันข้ามแดน จากรูปที่ 6 กราฟแท่งสีแดงแสดงค่าตรวจวัดปริมาณจุดความร้อน (สเกลฝั่งขวา) เทียบกับกราฟเส้นสีเหลืองแสดงค่าความเข้มข้น PM_{2.5} (สเกลฝั่งซ้าย) พบว่า มีแนวโน้มที่แปรผันตามกันในจังหวัดส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษา แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงถึงอิทธิพลของการเผาไหม้ชีวมวลในพื้นที่โล่งของจังหวัดนั้นๆ มีผลต่อค่าความเข้มข้น PM_{2.5} เป็นส่วนมาก

3.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รายวันระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับค่าความเข้มข้น PM_{2.5}

จากรูปที่ 6 กราฟเส้นสีฟ้าแสดงถึงปริมาณน้ำฝน

เกวลิน อินลวง และคณะ, “ความสัมพันธ์ของจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบต่อค่าความเข้มข้น PM_{2.5}: กรณีศึกษาช่วงฤดูหมอกควัน พ.ศ. 2562.”



รูปที่ 7 Heatmap แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (ก) และความเร็วลม (ข) กับค่าตรวจวัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$

และกราฟเส้นสีเขียวแสดงถึงความเร็วลม (สเกลฝั่งขวา) เปรียบเทียบกราฟเส้นสีเหลืองแสดงค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ (สเกลฝั่งซ้าย) เห็นได้ชัดในทุกสถานีว่าแนวโน้มของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาทั้ง 2 แปรผกผันกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$

ในส่วนของปริมาณน้ำฝนจะเห็นได้ว่าช่วงที่มีการตรวจพบฝนจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลง และมีการตรวจพบฝนในลักษณะดังกล่าวอีกครั้งในหลายช่วงของเดือนพฤษภาคม ระหว่างนั้นมีการตรวจพบปริมาณน้ำฝนได้บ้างช่วงในหลายสถานี แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการตรวจพบปริมาณน้ำฝนจะส่งผลให้ปริมาณจุดความร้อนลดลง เมื่อแหล่งกำเนิดหมอกควันน้อยลงจึงส่งผลให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงตามไปด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงสถิติจากรูปที่ 7 (ก) แสดงค่า r ระหว่างค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณน้ำฝนในภาพรวม 5 เดือน พบค่า r ติดลบเกือบทุกสถานี ยกเว้นสถานีจังหวัดตาก เป็นการยืนยันทิศทางความสัมพันธ์ที่แปรผกผันระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง

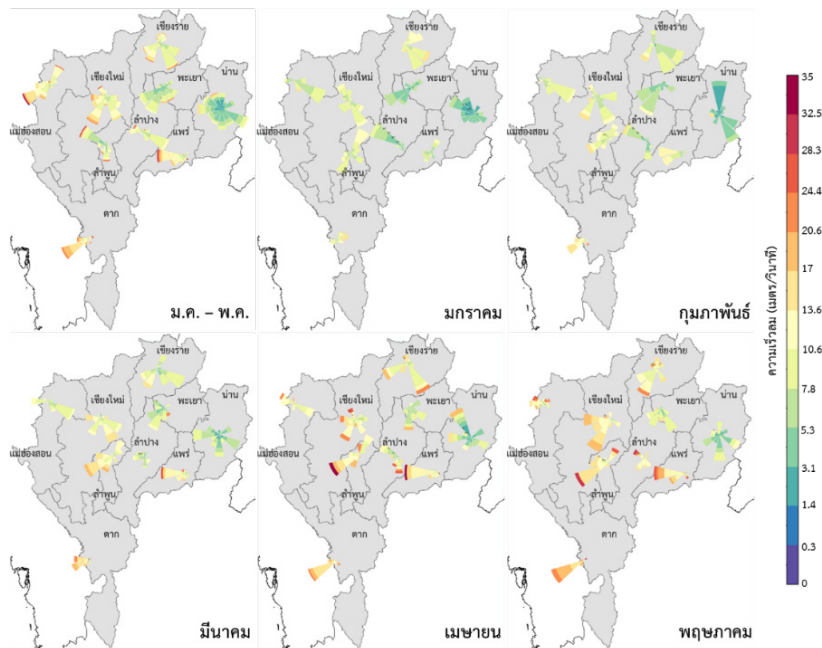
เมื่อพิจารณาแบบรายเดือนจะพบว่า ในบางสถานีไม่สามารถหาค่าได้ เนื่องจากไม่มีฝนตก (T หรือ 0 มม.) ตลอดทั้งเดือนหรือไม่มีข้อมูล (NA) ตรวจวัดตลอดทั้งเดือน ส่วนในจังหวัดตากที่ให้ค่า r เป็นบวกที่ 0.35 เนื่องจากเป็นผลของข้อมูลตรวจวัดที่ไม่เพียงพอ แต่เมื่อพิจารณาจากกราฟ

เส้น ยังคงเห็นได้ถึงแนวโน้มที่แปรผกผันกันในส่วนของการปัจจัยความเร็วลมกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในรูปที่ 6

จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ในช่วงที่ความเร็วลมเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ลดลงอย่างรวดเร็ว ยกตัวอย่างในช่วงเดือนมีนาคม จะเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนในทุกสถานีถึงการแปรผกผันกัน ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ความเร็วลมลดลง แต่ในบางช่วงจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่แปรผันตามกัน เช่น ในวันที่ 1 พฤษภาคม ของสถานีจังหวัดเชียงใหม่ แต่จะเห็นได้ว่าเป็นวันที่จุดความร้อนภายในจังหวัดเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน จึงส่งผลให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นด้วยหรือช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ของสถานีจังหวัดเชียงราย แต่ด้วยปริมาณจุดความร้อนในจังหวัดที่น้อยจึงพิจารณาทิศทางลมในช่วงดังกล่าว พบว่า บริเวณทางใต้ของจังหวัดซึ่งมีปริมาณจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบมากกว่าในจังหวัดจึงส่งผลให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงสถิติจากรูปที่ 7 (ข) แสดงค่า r ระหว่างค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับความเร็วลม จะเห็นว่าในภาพรวม 5 เดือน ค่า r ในเกือบทุกสถานีติดลบในช่วงไม่เกิน -0.3 ซึ่งเป็นการยืนยันถึงความสัมพันธ์ที่แปรผกผันในระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนในสถานีที่มีค่าเป็นบวกในจังหวัดน่าน มีค่า 0.04 ซึ่งแสดงถึงลักษณะการแปรผันตามกันในระดับต่ำมาก

เมื่อพิจารณาในส่วนของฝั่งลม จากรูปที่ 8 จะเห็น



รูปที่ 8 แผนที่ผังลมจากข้อมูลตรวจวัดลมผิวพื้นจำนวน 9 สถานี ในพื้นที่ภาคเหนือ ตามช่วงเวลา

ได้ว่าในแต่ละสถานีมีรูปแบบความถี่ของความเร็ว และทิศทางลมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพของตำแหน่งที่ตั้งสถานี ในภาพรวม 5 เดือน พบว่า สถานีจังหวัดตาก แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ และพะเยาได้รับลมมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ ในสถานีจังหวัดเชียงราย ลำปาง และน่าน ได้รับลมมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนสถานีจังหวัดแพร่และลำพูน ได้รับลมส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงเหนือ ตามลำดับ

ในทุกจังหวัดจะมีช่วงวิกฤตอยู่ในเดือนมีนาคมและเมษายน เป็นช่วงที่ $PM_{2.5}$ มีค่าความเข้มข้นสูงในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (> 55.5 มคก./ลบ.ม.) [18] อย่างต่อเนื่อง มีการเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันในช่วง แม้จะพบความเร็วลมที่สูงขึ้น แต่ทิศทางลมที่พัดเข้ามาจากบริเวณโดยรอบที่มีปริมาณจุดความร้อนสูง จึงส่งผลให้พื้นที่ที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากหมอกควันข้ามแดนเข้ามาเสริมให้ $PM_{2.5}$ มีค่าความเข้มข้นสูงมากยิ่งขึ้น โดยในช่วงเวลาดังกล่าวทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากบริเวณทางใต้ และบางจังหวัดลมส่วนใหญ่มาจากบริเวณทิศตะวันตก

3.2.3 ปริมาณจุดความร้อนและมาตรการห้ามเผาเด็ดขาดจากมาตรการควบคุมปริมาณจุดความร้อนของภาครัฐและหน่วยงานในพื้นที่ พบว่า สามารถบังคับใช้ได้บ้าง จังหวัดเท่านั้นคือ จังหวัดลำพูน ที่ในช่วงห้ามเผาพบว่าปริมาณจุดความร้อนลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในจังหวัดแพร่และเชียงรายพบว่า ในช่วงห้ามเผาจะพบปริมาณจุดความร้อนลดลงในบางระยะเวลา แต่ไม่สามารถควบคุมได้ตลอดทั้งช่วงมาตรการ ส่วนในจังหวัดอื่นยังคงพบปริมาณจุดความร้อนได้ตลอดช่วงห้ามเผาในปริมาณค่อนข้างสูง

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการวิจัยครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปริมาณจุดความร้อนและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ภาคเหนือ

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณและความหนาแน่นของจุดความร้อน

ในพื้นที่โดยรอบสามารถพบจุดความร้อนได้โดย

ทั่วไป ทั้งประเทศที่อยู่ติดกับพื้นที่ศึกษาอย่างพม่า ลาว และกัมพูชา รวมถึงในประเทศไทยด้วยเช่นกัน แต่บริเวณที่มีความหนาแน่นสูงในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน คือ บริเวณทางเหนือของพื้นที่ศึกษาในประเทศพม่าและลาว ซึ่งเป็นกรณีที่จุดความร้อนหนาแน่นสูงกว่าพื้นที่และช่วงเวลาอื่น โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่รัฐฉานของพม่า และมีปริมาณจุดความร้อนมากกว่าประเทศไทยถึง 2 เท่า [4]

ในพื้นที่ศึกษา จุดความร้อนส่วนใหญ่มีความหนาแน่นสูงในพื้นที่รอยต่อระหว่างจังหวัด และบริเวณจังหวัดที่ติดกับประเทศเพื่อนบ้านมักจะพบจุดความร้อนหนาแน่นสูงกว่าจังหวัดอื่น โดยจุดความร้อนมักถูกพบในพื้นที่ป่ามากกว่าพื้นที่ทำการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งที่มีเชื้อเพลิงชีวมวลหนาแน่น และจากข้อมูลพื้นที่เผาไหม้จากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณภาคเหนือ พบร่องรอยการเผาไหม้ในพื้นที่ป่าผลัดใบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 68 [4] บางส่วนถูกพบในพื้นที่อยู่อาศัยหรือชุมชน โดยพื้นที่เกษตรในภาคเหนือถูกใช้ในการทำนาข้าว พืชไร่ ไร่หมุนเวียน ไม้ผล และไม้ยืนต้น ตามลำดับ [15] ในบริเวณพื้นที่ป่าซึ่งห่างไกลการทำกิจกรรมของมนุษย์ พบจุดความร้อนได้เล็กน้อยในบางพื้นที่

ในจังหวัดเชียงรายและน่าน พบจุดความร้อนส่วนใหญ่ในพื้นที่ป่าซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ทำการเกษตร จังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง แพร่ และพะเยา พบจุดความร้อนส่วนมากในพื้นที่ป่า ส่วนจังหวัดลำพูนและตาก มีการพบจุดความร้อนในพื้นที่ป่าและพื้นที่ทำการเกษตรในปริมาณใกล้เคียงกัน ในมีบางจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อยู่อาศัยเป็นการเผาในพื้นที่ทำนาบริเวณในชุมชน

ปริมาณจุดความร้อนจะเริ่มสูงตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์แล้วมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม และรองลงมาในเดือนเมษายน โดยช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพอากาศแห้งแล้งสูงจากสภาวะเอลนีโญ [19] เมื่อเกิดความร้อนหรือการจุดติดของไฟ จะทำให้ความสามารถในการลุกลามเป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่วนในพื้นที่ป่าซึ่งห่างไกลการทำกิจกรรมของมนุษย์ สามารถเกิดจุดความร้อนได้จากทั้งสาเหตุของกระบวนการทางธรรมชาติและมนุษย์

จากมาตรการห้ามเผาเด็ดขาด จะเห็นได้ว่า

ประสิทธิภาพในการควบคุมไม่ให้ปริมาณจุดความร้อนเพิ่มขึ้นค่อนข้างจะไม่เกิดผลลัพธ์อย่างที่ควรจะเป็น ในบางพื้นที่ยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องเผาในช่วงดังกล่าว ด้วยบริบทที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น ลักษณะการทำการเกษตรที่แตกต่างไปตามลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ วิถีชีวิต และปฏิทินการทำการเกษตรของผู้คนในพื้นที่ ในด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรในที่ราบและที่สูง ที่มีแรงกดดันให้เกิดการขยายที่เพาะปลูกเข้าไปในเขตป่า [4] โดยการทำเกษตรในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนส่วนใหญ่เป็นการทำการเกษตรบนพื้นที่ลาดชัน การเผาจึงสะดวกและประหยัดกว่าวิธีการอื่น การเกษตรที่อาศัยน้ำตามฤดูกาล จึงจะต้องมีการเพาะปลูกพืชส่วนใหญ่เมื่อเริ่มเข้าฤดูฝนในเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป ในช่วงเดือนก่อนหน้านี้นี้จึงเป็นช่วงของการกำจัดเศษวัสดุทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวและเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกในฤดูถัดไป

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับจุดความร้อนและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

จากความสัมพันธ์เชิงสถิติของค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณจุดความร้อน ซึ่งเปรียบเทียบกับทั้งจุดความร้อนของจังหวัดในภาคเหนือ และจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบ เห็นได้ว่าค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์กับปริมาณจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบสูงกว่าปริมาณจุดความร้อนของจังหวัดในทุกสถานี เห็นได้ชัดในสถานีจังหวัดลำพูน ตาก และเชียงรายในเดือนมีนาคม อีกทั้งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าในสถานีข้างต้นพบช่วงที่แนวโน้มของค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณจุดความร้อนของจังหวัดที่ไม่สอดคล้องกันด้วยเช่นกัน สามารถกล่าวในภาพรวมได้ว่าค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในทุกสถานีได้รับอิทธิพลจากปริมาณจุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบมากกว่าของจังหวัดนั้นๆ แต่ในบางกรณีของสถานีส่วนใหญ่ในเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์และเมษายนของสถานีจังหวัดแม่ฮ่องสอนจะเห็นได้ชัดว่าค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่สูงกับปริมาณจุดความร้อนของจังหวัดสูงกว่าของพื้นที่โดยรอบ

ด้านความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปัจจัย



ทางอุตุนิยมวิทยา ในส่วนของปัจจัยปริมาณน้ำฝน ให้ความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำฝน ส่งผลต่อการลดลงของค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เนื่องจากฝนจะส่งผลให้จุดความร้อนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ลดลง แต่ในสถานีจังหวัดตากซึ่งมีความสัมพันธ์แปรตามกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6 พบแนวโน้มของค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ลดลงในช่วงเวลาถัดไป แต่ด้วยข้อมูลตรวจวัดที่ไม่เพียงพอ จึงส่งผลต่อค่าทางสถิติได้

ในส่วนของปัจจัยลมจะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในหลายสถานี แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ลดลง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศและการสะสมตัวของ $PM_{2.5}$ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาร่วมกับทิศทางลมและความหนาแน่นของจุดความร้อน จะพบว่าในบางช่วงเวลาที่ปัจจัยความเร็วลมแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตามกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในกรณีสถานีจังหวัดเชียงรายและพะเยา ในเดือนกุมภาพันธ์มีลมส่วนใหญ่พัดเข้ามาจากทางใต้ กรณีสถานีจังหวัดเชียงรายในเดือนเมษายนมีลมส่วนใหญ่พัดเข้ามาจากทางใต้ และกรณีสถานีจังหวัดน่านและตากในเดือนพฤษภาคมมีลมส่วนใหญ่พัดเข้ามาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับซึ่งทิศทางข้างต้นมาจากบริเวณที่พบจุดความร้อนสูงหนาแน่นสูง จึงส่งผลให้ลมที่พัดเข้ามาแม้จะมีความเร็วลมสูงขึ้น แต่ด้วยการพัดผ่านบริเวณที่มีแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ หนาแน่น จึงก่อให้เกิดค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่สูงขึ้นตามไปด้วย

ปัจจัยปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ แบบแปรผกผัน เช่นเดียวกับกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งแสดงผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการวิจัยครั้งนี้ [7], [18] ส่วนปัจจัยลม เมื่อพิจารณาความเร็วลมในส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ซึ่งผลลัพธ์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงมีทั้งที่สอดคล้อง [7], [12], [20], [21] และขัดแย้ง [10] กับการวิจัยนี้ นอกจากนี้สามารถพบลักษณะการแปรผันตามกันบางช่วงเวลา เมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับทิศทางลมจึงพบว่า เป็นผลมาจากทิศทางลมที่พัดมาผ่านบริเวณจุดความร้อนหนาแน่นสูง และความสัมพันธ์ของ

ค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ กับปริมาณจุดความร้อนจากการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากปริมาณจุดความร้อนทั้งภายในและพื้นที่โดยรอบ และโดยส่วนใหญ่จุดความร้อนของพื้นที่โดยรอบมีอิทธิพลมากกว่า เป็นการยืนยันถึงผลกระทบของจุดความร้อนของพื้นที่ภายนอกภาคเหนือตอนบน ที่ก่อให้เกิดหมอกควันข้ามแดนเข้ามาส่งผลกระทบต่อค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ให้เพิ่มสูงขึ้นจากเดิมส่งผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ศึกษามากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในการสนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ของ National Aeronautics and Space Agency (NASA) ขอขอบคุณความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลตรวจวัดจากกรมควบคุมมลพิษประเทศไทย ข้อมูลปัจจัยอุตุนิยมวิทยาจากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Department (2018). *Air pollution from smog*. [Online] (in Thai). Available: http://pcd.go.th/Info_serv/air_thaihaze.html
- [2] State of Global Air (2019). *Explore the Data*. [Online]. Available: <https://www.stateofglobalair.org/data/#/health/plot>
- [3] Epidemiology & Intelligence Section. (2017, Apr.). Report on the situation and operations to resolve the smog problem in medicine and public health. Department of Disease Control. Lampang, Thailand. [Online] (in Thai). Available: http://odpc1.ddc.moph.go.th/epidpc10/list_report.php?item_id=3
- [4] S. Dontree. (2019). *Thailand Free of Smog: Look at Policy and Solutions*. [Online] (in Thai). Available: <http://doh.hpc.go.th/data/PM25/>

- thailandNoSmog.pdf
- [5] L. Pardthaisong, P. Sin-ampol, C. Suwanpravit, and A. Charoenpanyanet. Haze pollution in Chiang Mai , Thailand: A road to resilience. 7th International Conference on Building Resilience; Using scientific knowledge to inform policy and practice in disaster risk reduction. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705818300213?via%3Dihub>
- [6] Pollution Control Department. (2017). Northern Haze Prevention and Solution Action Plan. Ministry of Natural Resources and Environment. [Online] (in Thai). Available: http://infofile.pcd.go.th/air/northair_actionpln20170207.pdf?CFID=2437604&CFTOKEN=22218289
- [7] C. Chotamonsak and D. Lapyai. (2018, October). Meteorological factors related to air pollution in Chiang Mai province. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*. [Online] (in Thai). 9(2), pp. 237–249. Available: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/JSTEL/article/view/11067>
- [8] NASA Official. (2019). *Active Fire Data*. [Online]. Available: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/active-fire-data>.
- [9] B. Maccherone. *MODIS*. [Online]. Available: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- [10] P. Nokkasem, “Factors affect to concentrations of TSP and PM-10 created from paddy drying field,” M.S. thesis, Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology Thammasat University, 2007 (in Thai).
- [11] P. Punsompong and S. Chantara. (2018, April). Identification of potential sources of PM10 pollution from biomass burning in northern Thailand using statistical analysis of trajectories. *Atmospheric Pollution Research*. [Online]. 9(6), pp. 1038–1051. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S130910421730630X?via%3Dihub>
- [12] Y. Xiang, T. Zhang, J. Liu, L. Lv, Y. Dong, and Z. Chen. (2018, September). Atmosphere boundary layer height and its effect on air pollutants in Beijing during winter heavy pollution. *Atmospheric Research*. [Online]. 215, pp. 305–316. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809518307130?via%3Dihub>
- [13] Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. (2019, August). *Summary of forest fires and smog With satellite images of the year 2019*. [Online] (in Thai). Available: http://fire.gistda.or.th/fire_report/Fire_2562.pdf
- [14] L. Giglio, W. Schroeder, J. V. Hall, and C. O. Justice. (2018, December). *MODIS Collection 6 Active Fire Product User’s Guide Revision B*. (2nd ed.) [Online]. 1. Available: https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_B.pdf
- [15] Land Development Department. (2019). *Land use in Thailand year 2017–2018*. [Online] (in Thai). Available: http://www1.ldd.go.th/web_OLP/result/luse_result60-61.htm
- [16] ESRI. (2020). *How Kernel Density works*. [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>
- [17] Stephanie Glen. (2021). *Correlation Coefficient: Simple Definition, Formula, Easy Steps*. [Online]



- (in Thai). Available: <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/correlation-coefficient-formula/#Excel>
- [18] United States Environmental Protection Agency. (2012). *The National Ambient Air Quality Standards for Particle Matter: Revised Air Quality Standards for Particle Pollution and Updates to the Air Quality Index (AQI)*. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/2012_aqi_factsheet.pdf
- [19] NOAA PSL. (2021). *Multivariate ENSO Index Version 2*. [Online]. Available: <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- [20] C. Chotamonsak and D. Lapyai. (2018, September). The Effects of biomass burning aerosols on solar radiation and climate over Northern Thailand: A case study of the 2013 Smoke-Haze Season. *Burapha Science Journal*. [Online] (in Thai). 23(3), pp. 1268–1283. Available: <http://ojslib3.buu.in.th/index.php/science/article/view/5804>
- [21] M. Zeeshaan, I. Shahid, F. Chishtie, and M. Imran. (2018, December). Analysis of a dense haze event over North-eastern Pakistan using WRF-Chem model and remote sensing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. [Online]. 182, pp. 229–241. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364682618303559?via%3Dihub>