

ความแปรผันตามฤดูกาลของเทรสลิเมนต์ปนเปื้อนในอนุภาคฝุ่นในพื้นที่ป่าสงวน
ชีวมณฑลสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา

SEASONAL VARIATION OF TRACE ELEMENT IN SUSPENDED PARTICLE AT
SAKAERAT BIOSPHERE RESERVE FOREST, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE

บันทิตา สังขะไชย¹, วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์¹, ภุวษา ชานนท์เมือง², กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์¹, กฤตณะ พุกษากร³,
พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ^{1*}

**Bantita Sangkachai¹, Wittanan Tammadid¹, Phuvasa Chanonmuang², Kun Silprasit¹, Kritana Prueksakorn³,
Phongthep Hanpattanakit^{1*}**

¹สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹Department of Environment, Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University.

²สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

²Thailand Institute of Scientific and Technological Research.

³คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

³Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University.

*Corresponding author, e-mail: phongthep@g.swu.ac.th

Received: 20 December 2021; **Revised:** 25 October 2022; **Accepted:** 24 November 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปริมาณของเทรสลิเมนต์กลุ่มโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่นละอองที่แขวนลอยในอากาศในเขตห้วยป่าสงวน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาสุขภาพ ระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณฝุ่นละอองกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ความแปรผันในรอบปีของปริมาณฝุ่น PM2.5 และ PM10 และการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ซีลีเนียม (Se), สารหนู (As), เหล็ก (Fe), แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อนในฝุ่นละออง ในพื้นที่ศึกษาบริเวณป่าเต็งรัง สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชพื้นที่สงวนชีวมณฑลสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศด้วยอุปกรณ์ฟิวเตอร์แพคบนหอคอยที่ระดับความสูง 5 เมตรเหนือพื้นดิน เป็นเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ผลการวิจัยพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของฝุ่นละอองขนาด PM2.5 และ PM10 เท่ากับ 23.00 ± 17.11 และ 8.17 ± 5.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ พบความเข้มข้น PM2.5 สูงสุด ในเดือนมีนาคม 2562 เท่ากับ $59.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM10 เท่ากับ $17.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นละออง PM2.5 พบว่า ซีลีเนียม (Se) > สารหนู (As) > เหล็ก (Fe) > แคดเมียม (Cd) > ตะกั่ว (Pb) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.79 ± 0.39 , 0.48 ± 0.21 , 0.31 ± 0.18 , 0.23 ± 0.13 และ $0.14 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดสัดส่วนเป็นร้อยละ 41, 24, 16, 12 และ 7 ตามลำดับ ในเดือนพฤษภาคมพบซีลีเนียม สารหนู และตะกั่ว ปนเปื้อนในฝุ่นละอองขนาดเล็กมากที่สุด เท่ากับ 1.62, 0.96 และ $0.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน; ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน; เทอร์สลิเมนต์; โลหะหนัก; ป่าเต็งรัง

Abstract

This research focused on atmospheric trace elements contamination in particulate matter (PM) at rural area, which a major cause of health ecosystem and environmental impacts. The research aimed to study the relationship between dust particles and environmental factors, examine the annual variation in particulate matter as PM_{2.5} and PM₁₀ and investigate for heavy metals concentrations at dry dipterocarp forest, Sakaerat Environmental Research Station (SERS), Nakhon Ratchasima province, Thailand. The trace element for 5 heavy metals consist of selenium (Se), arsenic (As), iron (Fe), cadmium (Cd), and lead (Pb). The air sampling was collected by 2 stage filter pack at 5 meter above the ground for 5 days per month, from January to December 2019. The results demonstrated that the yearly average concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ were 23.00 ± 17.11 and $8.17 \pm 5.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The contamination of PM_{2.5} between wet and dry seasons were significant different (p -value < 0.05) and the maximum value of PM_{2.5} was $59.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in March. While, the heavy metals in fine particulate matters were not significant different with seasonal variation (p -value < 0.05). Thus, the average concentration of heavy metals was $\text{Se} > \text{As} > \text{Fe} > \text{Cd} > \text{Pb}$ as 0.79 ± 0.39 , 0.48 ± 0.21 , 0.31 ± 0.18 , 0.23 ± 0.13 , and $0.14 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – which account for 41%, 24%, 16%, 12%, and 7%, respectively. In this study, Se, As and Pb were maximum contaminated in fine particulate matter in May as 1.62, 0.96 and $0.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively.

Keywords: Particle Matter 2.5; Particle Matter 10; Trace Element; Heavy Metal; Dry Dipterocarp Forest

บทนำ

สถานการณ์ปริมาณฝุ่นละอองและหมอกควันในอากาศกำลังเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญในหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองหลวง เมืองเศรษฐกิจ เมืองแหล่งท่องเที่ยวหรือเมืองที่มีความแออัดของการจราจร การเผาไหม้จากเศษซากชีวมวลทั้งจากชุมชน วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและป่าไม้ [1] ทั้งนี้ ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ PM_{2.5} ปกคลุมในเมืองขนาดใหญ่แทบทุกปี ในฤดูแล้ง (Dry season) ต่อเนื่องถึงช่วงเชื่อมต่อการเปลี่ยนฤดู (Transitional season) เช่น กรุงเทพฯและปริมณฑล ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นมลพิษที่อันตรายและเกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถแขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศได้เป็นระยะเวลานาน จึงมีโอกาสรวมตัวกับมลพิษหรือโลหะหนักที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ หากมีการหายใจเอาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีโลหะหนักและมลพิษต่าง ๆ ปนเปื้อนเข้าไปจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต เช่น ตะกั่ว เมื่อสูดดม จะสะสมอยู่ในร่างกายทั้งปอดและกระแสโลหิต รวมทั้งโลหะแคดเมียม ที่ลอยอยู่ในอากาศจะอยู่ในรูปฝุ่นหรือไอที่เกิดจากกระบวนการทำโลหะประเภท สังกะสี ทองแดง ให้บริสุทธิ์ ทำให้แคดเมียมที่ปนอยู่กับโลหะหลุดออกมาปะปนอยู่ในอากาศ เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมอยู่ในไต ทำลายเซลล์ของหลอดเลือด และทำให้กระดูกพรุน หักง่ายและเกิดอาการปวดอย่างรุนแรง [2] ทั้งนี้ กรมควบคุมมลพิษ ได้รายงานการพบธาตุทางเคมีที่เป็นโลหะหนักที่เป็นธาตุก่อมะเร็งปะปนอยู่ในอากาศของประเทศไทย ในระดับต้องเฝ้าระวังอยู่ถึง 3 ชนิด คือ สารหนู ซีลีเนียม แคดเมียม และยังพบสารประกอบซัลเฟอร์ในอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กอีกด้วย โดยกลุ่มธาตุเหล่านี้เกิดจากการเผาไหม้ของอุตสาหกรรมและยานพาหนะ มีผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม [3] สอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศ จากการศึกษาลักษณะและแหล่งที่มาของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างการเกิดปัญหาหมอก

คว้นในเขตชนบทและเขตเมืองไต้หวัน ประเทศจีน ในช่วงที่พบปัญหาการปนเปื้อนของหมอกควันในบรรยากาศระดับสูง พบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในเขตชนบทและเขตเมืองมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานถึง 5.9 และ 5.5 เท่าตามลำดับ โดยความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในชนบทและเมืองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ $Zn > Pb > Mn > Cr > Cu > Ni > Cd > As$ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความเร็วและทิศทางลมของการเปลี่ยนแปลง PM_{2.5} ทั้งสองพื้นที่มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยแหล่งที่มาของมลพิษที่อยู่รอบพื้นที่ไต้หวัน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อประเมินความเป็นไปได้ถึงแหล่งปล่อยหลักของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่ชนบทมาจากการเผาไหม้ของถ่านหินเพื่อให้ความอบอุ่นเนื่องจากสภาพอากาศที่หนาวจัด การประกอบอาหารและฝุ่นจากดินบนท้องถนน ขณะที่ฝุ่นในพื้นที่เมือง เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินเพื่ออุตสาหกรรม จากยานเศรษฐกิจมลพิษจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในยานพาหนะ [4] สำหรับประเทศไทยมีการศึกษาปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองรวมบริเวณริมทางหลวง (ถนนบางนา-ตราด) กิโลเมตรที่ 18 โดยทำการเก็บตัวอย่างนาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ระหว่างเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 พบปริมาณฝุ่นละอองรวมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.0763 mg/m^3 ในส่วนของปริมาณโลหะหนักพบปริมาณสังกะสีมากที่สุด มีความเข้มข้นเฉลี่ย เท่ากับ 0.18063 mg/m^3 และตะกั่วน้อยที่สุด เท่ากับ 0.00164 mg/m^3 [5] สอดคล้องกับการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในฝุ่นละออง PM₁₀ บริเวณสถานีขนส่งผู้โดยสาร จังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ.2558 พบโลหะหนักปนเปื้อนในฝุ่น PM₁₀ ตามลำดับมากไปน้อย ดังนี้ $Fe > Pb > Zn > Cu > Cd$ [6] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า พบการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่เขตเมืองของประเทศไทย มีสาเหตุหลักมาจากปัญหาจราจรแออัดเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนของเทรซอิลิเมนต์ประเภทโลหะหนักในฝุ่นละอองที่กระจายตัวและความแปรผันตามฤดูกาลในรอบปีในพื้นที่ห่างไกลเมือง (Rural area) ในประเทศไทยยังมีค่อนข้างจำกัด ซึ่งน่าสนใจที่จะทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อประเมินแหล่งกำเนิด จากแหล่งต่าง ๆ เช่น การจราจร การก่อสร้าง การเผาไหม้ในที่โล่ง การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรและขยะชุมชนในที่โล่ง และโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งโดยรอบเขตเมืองนครราชสีมา นั้น มี 2 เขตอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมนวนคร นครราชสีมา และเขตอุตสาหกรรมสุรนารี นอกจากนี้ ยังมีโรงงานอุตสาหกรรม กระจายอยู่รอบพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งอาจจะเป็นกำเนิดมลพิษที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศป่าไม้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความแปรผันของปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ ที่ระดับ 5 เมตรเหนือพื้นดิน บริเวณป่าเต็งรัง ชั่วมณฑลสะแกกราช จังหวัดนครราชสีมา
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณฝุ่นละอองกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละฤดูกาลของระบบนิเวศป่าไม้
3. เพื่อศึกษานิตและปริมาณเทรซอิลิเมนต์ประเภทโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่นละอองขนาดเล็ก

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

ภายในบริเวณสถานีประกอบไปด้วยป่าไม้ที่สำคัญ 2 ประเภท คือ ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) จำพวกป่าดิบแล้ง ประกอบไปด้วยตะเคียนหิน ตะเคียนทอง กระบากหลัก เป็นต้น ซึ่งป่าชนิดนี้จะไม่มีการผลัดใบมีความชุ่มชื้นภายในบริเวณพื้นที่ป่าตลอดทั้งปี งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ (Primary forest) ตั้งอยู่ที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช ตำบลอุดมทรัพย์ อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา (ละติจูด: $14^\circ 30' 29.80'' \text{ N}$, ลองจิจูด: $101^\circ 56' 58.50'' \text{ E}$) มีความสูง 390 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีพื้นที่ทั้งหมด 1,180 เฮกตาร์ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,260 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 20.44°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 30.39°C และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 21.18°C ป่าเต็งรัง (Dry Deciduous Forest) ป่าไม้ชนิดนี้จะไม่มีความชุ่มชื้นตลอดทั้งปี มีการผลัดใบ

ในช่วงฤดูแล้ง ทำให้สภาพพื้นที่ป่าดูโปร่งขึ้น มักก่อให้เกิดไฟป่าได้ง่าย การใช้ประโยชน์ที่ดินรอบ ๆ พื้นที่ศึกษา (สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช) มีทั้งพื้นที่ซึ่งมีชุมชนอาศัยอยู่และพื้นที่ป่าไม้ซึ่งมีทั้งป่าธรรมชาติและป่าปลูก ส่วนใหญ่อยู่บริเวณภูเขาทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ของสถานีวิจัย ส่วนทางด้านทิศใต้อยู่ในแอ่งวังน้ำเขียวเป็นพื้นที่การเกษตรกรรมหลากหลายชนิด ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ฝรั่ง ลำไย และลิ้นจี่ [7]

การเตรียมอุปกรณ์และเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง โดยใช้อุปกรณ์ฟิวเตอร์แพคทั้ง 2 ชั้น (2 stage) ที่คัตขนาด (size cutting): อนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยติดตั้งเพื่อเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับ 5 เมตร เหนือระดับพื้นดิน ฟิวเตอร์แพคบรรจุกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร ชนิดควอตซ์ รุ่น QM-A (2500QAT-UP, Pallflex Products Corp., USA) โดยชั้นที่หนึ่งใช้กระดาษกรองเพื่อเก็บอนุภาคฝุ่น PM10 ชั้นที่สองเก็บอนุภาคฝุ่น PM2.5 เก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องดูดอากาศและเครื่องควบคุมอัตราการไหลอากาศคงที่ 20 ลิตรต่อนาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 5 วันต่อเดือน ระหว่างเดือนมกราคม – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 แล้วนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นได้ เก็บในตู้เย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ 0-4 องศา จนกว่าจะถูกนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ บัณฑิตทางสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัดอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาเก็บตัวอย่างฝุ่น ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นใช้ Weather transmitter รุ่น WXT530 (Vaisala., Finland) ปริมาณน้ำฝนแบบอัตโนมัติ (Rain gauge) รุ่น RG3-M (Onset.,USA) และความเร็วลม ใช้ อัลตราโซนิก แอนาโมมิเตอร์ (Ultrasonic anemometers) (Gill Instruments.,UK)

วิธีการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม

การหาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การคำนวณปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง (Vstd) คำนวณจากค่าอัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ดังสมการ 1 และคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม โดยคำนวณจากน้ำหนักกระดาษกรองก่อน - หลัง เก็บตัวอย่าง และค่าปริมาตรอากาศมาตรฐาน ดังสมการ 2 ทั้งนี้ แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในสมการการหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } Vstd &= \text{ปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง (m}^3\text{)} \\ Qstd &= \text{อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน (m}^3\text{/min)} \\ T &= \text{เวลา (min)} \end{aligned} \quad \begin{aligned} Vstd \text{ (m}^3\text{)} &= Qstd \text{ (m}^3\text{/min)} * t \text{ (min)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } Wf &= \text{น้ำหนักกระดาษกรองหลัง (g)} \\ Wi &= \text{น้ำหนักกระดาษกรองก่อน (g)} \\ Vstd &= \text{ปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง (m}^3\text{)} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \text{ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม (g/m}^3\text{)} &= ([Wf \text{ (g)} - Wi \text{ (g)}] * 10^3) / (Vstd \text{ (m}^3\text{)}) \end{aligned} \quad (2)$$

การวิเคราะห์ปริมาณเทรซอิลิเมนต์ประเภทโลหะหนัก

ในการศึกษาได้วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่นละอองทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ ซีลีเนียม สารหนู เหล็ก แคดเมียม และตะกั่ว ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrometry: AAs) model Agilent 200 Series AA, Agilent Technologies, California, United States โดยนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นมา เติมกรดไนตริกเข้มข้น (HNO₃, 65 %) และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (HClO₄, 70 %) อัตราส่วน 3:1 จากนั้นทำการย่อยบนเตาไฟฟ้า จากนั้นจึงนำสารละลายตัวอย่างไปกรองตัวอย่างด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 42 แล้วเจือจางสารละลายเป็น 10 เท่า ก่อนวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม [8]

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM₁₀ และ PM_{2.5} รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีและโลหะหนักในฝุ่นกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Correlation และความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝนของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและความเข้มข้นโลหะหนัก วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ แบบ one-way ANOVA ด้วยวิธี Turkey's alternate test จากการใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics for window, version 20 (IBM Corp., Armonk, N.Y. USA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำการวัดและรวบรวมเพื่อศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม และทิศทางลม ดังแสดงผลในตาราง 1 จากข้อมูลพบว่า อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 28.37 องศาเซลเซียส และต่ำสุดในเดือนธันวาคม เท่ากับ 20.16 องศาเซลเซียส โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกันยายน และต่ำสุดในเดือนมกราคม เท่ากับ 84.17 และ 62.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนพบว่าในเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ต่ำกว่า 35 มิลลิเมตร ขณะที่เดือนมิถุนายนถึงตุลาคมมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย สูงกว่า 50 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) สำหรับความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 5.68 เมตรต่อวินาที และต่ำสุดอยู่ที่เดือนตุลาคมเท่ากับ 2.12 เมตรต่อวินาที โดยมีทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งบริเวณนั้นเป็นพื้นที่ชุมชน ทั้งนี้ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นิยามช่วงฤดูแล้งจากค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่มีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรต่อเดือน ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน - พฤษภาคม และค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่มีค่ามากกว่า 50 มิลลิเมตรต่อเดือน ขณะที่ฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน - ตุลาคม ผลการศึกษาความแตกต่างปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูแล้งกับฤดูฝนในระยะเวลา 1 ปี พบว่า การเปรียบเทียบระหว่างฤดูกาลของความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝนและความเร็วลมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขณะที่อุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม บริเวณพื้นที่ป่าสงวนชีวมณฑลสะแกราช นครราชสีมา

เดือน	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเร็วลม (m/s)	ทิศทางลม
มกราคม	24.28	62.45	0	2.32	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
กุมภาพันธ์	26.57	64.10	0	5.68	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
มีนาคม	28.37	62.93	0	4.17	ทิศตะวันออก
เมษายน	27.92	70.76	30.5	3.47	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
พฤษภาคม	27.63	77.17	32.3	3.17	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
มิถุนายน	27.28	79.22	105.8	3.04	ทิศตะวันออก
กรกฎาคม	27.20	74.72	77.20	3.46	ทิศตะวันออก
สิงหาคม	26.31	80.09	120.90	3.26	ทิศตะวันออก
กันยายน	25.34	84.17	211.00	2.27	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
ตุลาคม	25.54	81.74	53.10	2.12	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
พฤศจิกายน	24.17	73.72	15.20	2.25	ทิศตะวันออก
ธันวาคม	20.16	62.95	0.00	2.93	ทิศตะวันออกเฉียงใต้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เดือน	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเร็วลม (m/s)	ทิศทางลม
ค่าเฉลี่ย	25.90±2.27	72.84±8.03	53.83±65.04	3.18±1.00	
เฉลี่ยฤดูแล้ง	25.59±2.93	67.73±6.21 ^A	11.14±14.92 ^A	3.43±1.19 ^A	
เฉลี่ยฤดูฝน	26.33±0.90	79.99±3.50 ^B	113.60±60.39 ^B	2.83±0.60 ^B	

หมายเหตุ: A และ B เป็นการเปรียบเทียบฤดูกาลระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ p -value < 0.05

อนุภาคฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ ในพื้นที่ป่าเต็งรัง

ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง ในป่าเต็งรัง ณ ป่าสงวนชีวมณฑลสะแกราช ตรวจวัดระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2562 ที่ระดับความสูง 5 เมตรเหนือพื้นดิน มีค่าเฉลี่ย PM2.5 และ PM10 รายปีเท่ากับ 23.00 ± 17.11 และ $8.17 \pm 5.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ พบความเข้มข้นของ PM2.5 มากที่สุดในฤดูแล้งในเดือนมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $59.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนฝุ่น PM10 พบมากที่สุดในฤดูฝนเดือนตุลาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $17.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 ในช่วงฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 32.47 ± 17.08 และ $7.42 \pm 4.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และในช่วงฤดูฝนปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด PM2.5 และ PM10 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.54 ± 11.73 และ $8.91 \pm 6.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดยในช่วงฤดูแล้งปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน โดยพบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 2

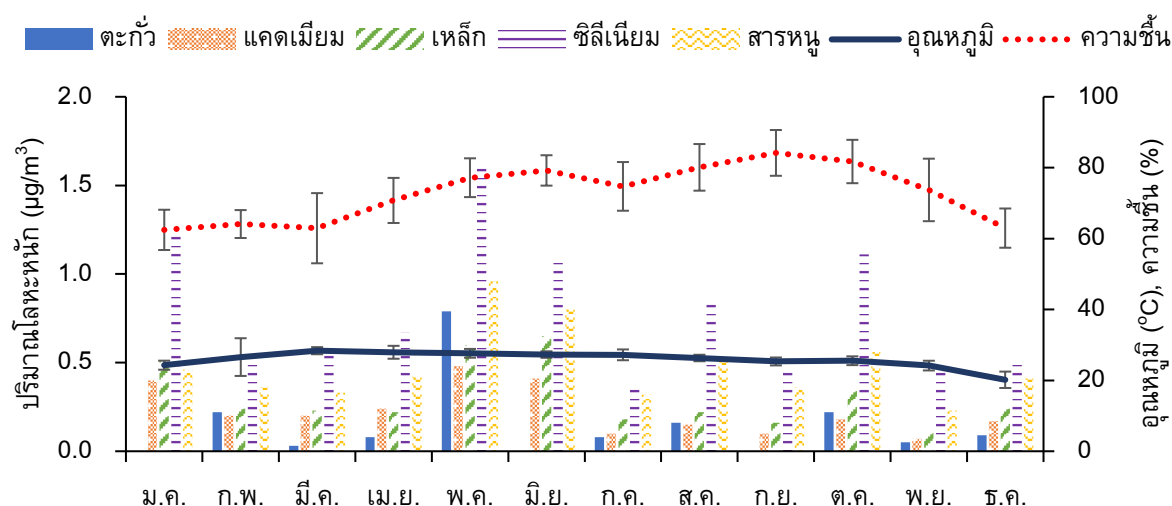
ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศป่าเต็งรัง ณ ป่าสงวนชีวมณฑลสะแกราช ในช่วงปี 2562

เดือน	ความเข้มข้นฝุ่นละอองในอากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	PM2.5	PM10
มกราคม	28.13	9.37
กุมภาพันธ์	36.81	5.47
มีนาคม	59.72	6.08
เมษายน	13.89	4.86
พฤษภาคม	11.46	9.72
มิถุนายน	15.97	15.97
กรกฎาคม	6.94	3.47
สิงหาคม	ND	6.94
กันยายน	12.15	ND
ตุลาคม	34.72	17.36
พฤศจิกายน	15.97	3.47
ธันวาคม	40.28	15.28
ค่าเฉลี่ย	23.00±17.11	8.17±5.52
ฤดูแล้ง	32.47±17.08 ^A	7.42±4.32
ฤดูฝน	13.54±11.73 ^B	8.91±6.85

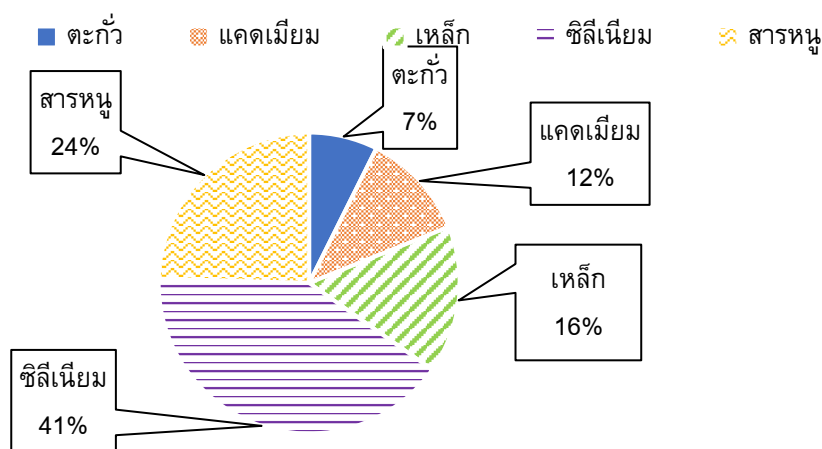
หมายเหตุ: A และ B เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ p -value < 0.05, ND: Non detectable ไม่สามารถตรวจพบได้

ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่น PM_{2.5} เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ.2563 โดยวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมด 5 ได้แก่ ซีลีเนียม (Se), สารหนู (As), เหล็ก (Fe), แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb) พบว่ามีความเข้มข้นดังนี้ ซีลีเนียม (Se) > สารหนู (As) > เหล็ก (Fe) > แคดเมียม (Cd) > ตะกั่ว (Pb) เท่ากับ 0.79 ± 0.39 , 0.48 ± 0.21 , 0.31 ± 0.18 , 0.23 ± 0.13 และ 0.14 ± 0.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดยพบปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย เรียงลำดับ ดังนี้ Pb, Cd, Fe, Se และ As เท่ากับ 0.79, 0.48, 0.60, 1.62 และ 0.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1) และต่ำสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 0.08, 0.10, 0.18, 0.36 และ 0.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โลหะหนักที่พบมากที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ คือ ซีลีเนียม มีความเข้มข้นเฉลี่ยเกิน $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 1.62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ในเดือนมกราคม ตุลาคม และมิถุนายน (ภาพที่ 1) ซึ่งยังไม่สามารถระบุถึงแหล่งปล่อย (Emission source) ที่แน่ชัดได้ จึงควรต้องทำการศึกษาต่อไป ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด และสัดส่วนของปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ได้แก่ ซีลีเนียม สารหนู เหล็ก แคดเมียม และตะกั่ว คิดเป็น ร้อยละ 41, 24, 16, 12 และ 7 ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของโลหะหนักและปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2562



ภาพที่ 2 สัดส่วนโลหะหนักในฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศในพื้นที่ศึกษา

สรุปและอภิปรายผล

ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กของ PM2.5 และ PM10 ที่ระดับความสูง 5 เมตร เหนือจากระดับพื้นดิน พบว่าในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน - พฤษภาคม) มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าฤดูฝน (มิถุนายน - ตุลาคม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างฤดูกาล โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและปริมาณน้ำฝนมีค่าน้อยแต่ความเร็วลมมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลให้เกิดการลอยตัวและกระจายตัวของฝุ่นละอองในบรรยากาศสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของปภัสรา ขวัญมา [9] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและฝุ่นละออง PM10 ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีความกดอากาศสูงขึ้น ขณะที่ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงของฤดูแล้งที่มีสภาพอากาศเย็นและแห้ง ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีค่าสูงเป็นประจำในทุกปี และขจรศักดิ์ โสภณจารย์ [10] ศึกษาความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองในอากาศของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน พบว่าในฤดูแล้งมีฝุ่น PM10 รายวันสูงกว่าฤดูอื่น ซึ่งการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กล่าวคือเมื่อความเร็วของลมสูง จะส่งผลต่อการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ในอากาศ นอกจากนี้ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 บริเวณป่าเต็งรัง ชั่วมณฑลสะแกกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 23.00 ± 17.11 และ $8.17 \pm 5.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ย PM2.5 มีค่ามากกว่า PM10 ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งฝุ่นละอองส่วนใหญ่ในพื้นที่วิจัยเกิดจากการเผาไหม้เศษซากชีวมวลทั้งในพื้นที่เกษตรและป่าไม้ สอดคล้องกับงานวิจัยของศิริพงศ์ สุขทวี และคณะ [11] พบว่า การเผาเศษฟางจะเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเพิ่มขึ้นมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอนแต่ไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งความแตกต่างของปริมาณการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่าง PM2.5 และ PM10 จะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของการเกิดฝุ่น และปัจจัยของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ โดยปริมาณความเข้มข้นของค่ามาตรฐานความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศ ประกอบด้วยมาตรฐานระยะสั้น (24 ชั่วโมง) และระยะยาว (1 ปี) โดยองค์การอนามัยโลกตั้งมาตรฐานฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ย 1 ปี ไว้ที่ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไว้ที่ $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [12] ขณะที่กรมควบคุมมลพิษของประเทศไทย กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองเฉลี่ย 1 ปี ที่ $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [13] โดยพบปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในอากาศมากที่สุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ $59.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM10 ในเดือนตุลาคม เท่ากับ $17.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$

เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงฤดูกาลของปริมาณความเข้มข้นเทรซอิลเมนต์ประเภทโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช พบว่าปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศช่วงฤดูแล้งมีค่ามากกว่าช่วงฤดูฝน แต่เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็ก พบปริมาณซิลิเนียมมากที่สุด สอดคล้องกับการรายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2562 ที่เริ่มมีการค้นพบค่าซิลิเนียมในอากาศเพิ่มมากขึ้น ค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักเฉลี่ยในฝุ่นละอองขนาดเล็ก มีค่าปนเปื้อนไม่เกินเกณฑ์เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ตรวจวัดในสถานประกอบการขององค์การความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสหรัฐอเมริกา (USEPA) [14] แต่อย่างไรก็ตาม พบค่าโลหะหนักแคดเมียมในเดือนพฤษภาคม สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งยังไม่สามารถระบุแน่ชัดว่ามีแหล่งกำเนิดและถูกพัดพาจากที่ไหน จากการศึกษาที่ผ่านมาแคดเมียมมักมีแหล่งกำเนิดโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบของรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์เครื่องมือครัว รถยนต์และใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม [15] จากการวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่น PM10 ในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีปริมาณเหล็กสูง เนื่องจากเหล็กเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกที่มีอยู่ในหินและดิน โดยในบรรยากาศของพื้นที่เมืองและชนบทจะมาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นบนพื้นผิวถนน อีกประการหนึ่งอาจมาจากโครงสร้างอาคาร หรืออนุภาคฝุ่นละอองที่ฟุ้งมาจากดิน หิน หินทราย ที่มีส่วนประกอบของแร่เหล็กที่มีการปนเปื้อนในธรรมชาติ [16]

จากรายงานวิจัยของภักดีวัฒน์ ทองแสงและคณะ [17] จำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองจากการเผาในที่โล่ง ร้อยละ 31 ของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เกิดจากการเผาเศษวัชพืชในชุมชน การเผาวัชพืช เศษชีวมวล หลังจากการเก็บเกี่ยวเพื่อเตรียมพื้นที่ปลูก รอบต่อไป เป็นต้น สอดคล้องกับสถิติการรายงานสถานการณ์เกิดไฟป่าและหมอกควันด้วยภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงต้นปี ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม-31 พฤษภาคม พ.ศ.2562 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ [18] พบว่าภาพรวมของจุดความร้อน (Hotspot) ในประเทศไทยอยู่ที่ 29,251 จุด ซึ่งมีค่าสูงในเดือนมีนาคม และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม โดยภายในพื้นที่บริเวณจังหวัดนครราชสีมาพบจุดความร้อนมาจากพื้นที่การเกษตรเป็นส่วนใหญ่และยังพบในประเทศเพื่อนบ้าน โดยพบจุดความร้อนมากที่สุดในเมียนมาร์ จำนวน 57,533 จุด รองลงมาคือลาว ไทย กัมพูชา และเวียดนาม ตามลำดับ จะเห็นว่ามลพิษที่พบในพื้นที่ใด ๆ มีความเป็นไปได้ที่จะมีแหล่งปล่อยในพื้นที่นั้น หรือจะถูกพัดพามาจากพื้นที่อื่นทั้งในประเทศเองและจากสาเหตุมลพิษทางอากาศข้ามแดน (Long-Range Transboundary Air Pollutions: LTP) ดังที่หลายประเทศได้รับผลกระทบจากสถานการณ์นี้ รวมทั้งประเทศไทยด้วย [18-19]

จากข้อมูลการศึกษานี้ พบปริมาณเทรซซิลิเมนต์ (Trace element) หรือการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อสุขภาพ สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนมีนาคม ซึ่งควรมีการศึกษาและตรวจติดตามอย่างต่อเนื่องเพื่อวิเคราะห์ถึงแหล่งปล่อย เพราะมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทย จากข้อมูลการศึกษานี้ สามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการจัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ การศึกษาสืบค้นแหล่งปล่อย เผาไร่ วัชพืช ป้องกัน รับมือและสร้างความตระหนัก ให้แก่สถานประกอบการ ประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สำหรับประกอบการวางแผนระยะสั้นและระยะยาวเพื่อป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศในอนาคตของประเทศต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เงินกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2564 (020/2564) และทุนสนับสนุนการศึกษาจากคณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศและบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Environmental Quality Promotion. (2021). *Air pollution*. Retrieved from <https://datacenter.deqp.go.th/knowledge/>
- [2] Liu, K., Shang, Q., Wan, C., Song, P., Ma, C., and Cao, L. (2017). Characteristics and sources of heavy metals in PM_{2.5} during a typical haze episode in rural and urban areas in Taiyuan, China. *Atmosphere*, 9(1), Article 2. <https://doi.org/10.3390/atmos9010002>
- [3] Pollution Control Department. (2021). *CDC clarifies heavy metals in PM 2.5 particulate matter, their content and composition are different*. Retrieved from <https://www.pcd.go.th/>
- [4] The Department of Environmental Quality Promotion. (2019). *Corporate communication*. Ministry of Natural Resources and Environment. pp. 1-2.
- [5] Maneerat, T., Visetmanee Lee, V., Pupha, T., Kusakunrat, Y., and Phetthai, T. (2017). Heavy metal concentration in total suspended particulate matter along highway (Bangna-Trad) kilometers 18. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, 3(1), 61-68.
- [6] National Statistical Office of Thailand. (2021). *Demographic, Population and Housing Statistics*. Retrieved from <http://www.nso.go.th/sites/2014>

- [7] Sakaerat Environmental Research Station. (2018). *General condition of Sakaerat Environmental Research Station*. Retrieved from <https://www.tistr.or.th/sakaerat/>
- [8] Srithawirat, T., and Latif, M. T. (2015). Concentration of selected heavy metals in the surface dust of residential buildings in Phitsanulok, Thailand. *Environmental and Earth Science*, 74, 2701-2706. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4291-0>
- [9] Kwanma, P., Pukngam, S., and Arunpraparu, W. (2019). Meteorological factors affecting concentration of pm10 at na phra lan sub-district, chaloem phra kiart district, saraburi province. *PSRU Journal of Science and Technology*, 4(2), 85-94.
- [10] Sophacharee, K., and Pengchai, P. (2007). *Investigation of Particulate Matters in Chiang Mai and Lamphun Ambient Air*. The Thailand Research Fund.
- [11] Suktawee, S., Detpadpai, A., Bunyapitak, S., Piamyai, N., Kariwet, H., and Chanamoon, A. (2020). Study on Dust Reduction Efficiency by Forest Ecosystem. *environmental journal*, 24(3), 1-9.
- [12] World Health Organization. (2021). *Ambient (Outdoor) Air Pollution*. Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [13] Pollution Control Department. (2021). *Air Quality standard*. Retrieved from https://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html
- [14] OSHA. (2021). *Occupational Safety and Health Administration*. Retrieved from <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/>
- [15] Phadungthot, C. (2006). *Agrochemical poisoning*. Retrieved from <https://www.doctor.or.th/clinic/detail/8252>
- [16] Latif, M. T., Baharudin, N. H., Nor, Z. M., and Mokhtar, M. B. (2011). Lead in PM10 and in indoor dust around schools and preschools in Selangor, Malaysia. *Indoor and Built Environment*, 20(3), 346-353. <https://doi.org/10.1177/1420326X11402433>
- [17] Thongsaeng, P. (2017). *Source apportionment of particulate matters size less than 2.5 micron in Nakhon Ratchasima city area by PMF model* [Unpublished master's thesis]. Suranaree University.
- [18] Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. (2020). *The situation of forest fires and smog with satellite images of the year 2019*. Retrieved from <https://www.gistda.or.th>
- [19] Hussein, M. A., Obuid-Allah, A. H., Mohammad, A. H., Scott-Fordsmand, J. J., and Abd El-Wakeil, K. F. (2006). Seasonal variation in heavy metal accumulation in subtropical population of the terrestrial isopod, *Porcellio laevis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63(1), 168-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.01.005>