วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 3, Jul.–Sep. 2017

บทความวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างสารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและ PM_{10} กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม: กรณีศึกษาในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในจังหวัดปทุมธานี

อารุญ เกตุสาคร*
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
นรุตตม์ สหนาวิน
ภาควิชาสุขศึกษา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0–2564–4440–79 ต่อ 7458 อีเมล: arroon599@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.06.008
รับเมื่อ 3 สิงหาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 20 กันยายน 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 27 มิถุนายน 2560
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (10 micron-Particulate Matter; PM_{10}) และความเข้มข้นของสารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ในอากาศภายในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา โดยเก็บตัวอย่างใกล้แหล่งกำเนิดหลัก (กระถางธูป) และจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดหลัก 4 เมตร ด้วยชุด Deployable Particulate Sampler โดยมีจำนวนตัวอย่าง 36 ตัวอย่าง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ กับความเข้มข้นของ PM_{10} และ PAHs ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{10} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 677.83–719.83 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.07–5.38 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่จุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดมีค่าเฉลี่ย PM_{10} และ PAHs ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ด้านคือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความเข้มข้นของ PM_{10} มีความสัมพันธ์ทางด้านลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์กับความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่มีความสัมพันธ์กัน และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสาร PAHs กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ด้าน พบว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ กับสาร PAHs มีความไม่สัมพันธ์กันทางสถิติ

คำสำคัญ: สารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก, สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

การอ้างอิงบทความ: อารุญ เกตุสาคร และ นรุตตม์ สหนาวิน, "ความสัมพันธ์ระหว่างสารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและ PM_{10} กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม: กรณีศึกษาในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในจังหวัดปทุมธานี," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 3, หน้า 493–500, ก.ค.–ก.ย. 2560

Research Article

Relationship between Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and PM_{10} with Environmental Factors: A Case Study on a Religion Place in Pathum Thani Province

Arroon Ketsakorn*
Faculty of Public Health, Thammasat University Rangsit Center, Bangkok, Thailand

Narut Sahanavin
Department of Health Education, Faculty of Physical Education, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0–2564–4440–79 Ext. 7458, E–mail: arroon599@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.06.008
Received 3 August 2016; Accepted 20 September 2016; Published online: 27 June 2017
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objectives of this study were to determine the 10-micron particulate matter (PM_{10}) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) levels in indoor air at a religious site in Thailand. The 36 samples were collected at different sampling points; near the pollutant source (incense burner) and four meters from the pollutant source using a Deployable Particulate Sampler. The relationships among the meteorological data, wind speed, temperature, relative humidity, and PM_{10} and PAHs levels were also determined. The results showed that the PM_{10} mean levels were 677.83–719.83 $\mu g/m^3$, the PAHs mean levels were 4.07–5.38 ng/m^3, and the PM_{10} and PAHs levels at different sampling points were not significantly different. The relationship results showed that temperature was negatively related with the PM_{10} at 95% confidence interval, but the wind speed and relative humidity were not shown to be significantly related with the PM_{10} and PAHs levels.

Keywords: PAHs, PM_{10}, Religion Place

Please cite this article in press as: A. Ketsakorn and N. Sahanavin, "Relationship between particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbon and PM_{10} with environmental factors: A case study on a religion place in Pathum Thani Province," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 27, no. 3, pp. 493–500, Jul.–Sep. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษอากาศถือว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสุขภาพอนามัย โดยเฉพาะปัญหามลพิษอากาศภายในอาคาร ซึ่งมลพิษที่ปนเปื้อนอากาศอยู่ภายในอาคารนั้นประกอบด้วย อนุภาคฝุ่นละออง (Particulates) ละอองชีวภาพ (Bioaerosol) กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds; VOCs) [1] และนอกจากองค์ประกอบทั้ง 3 กลุ่มใหญ่นั้น ยังมีมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ได้แก่ สารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความคงตัวและมีความเป็นพิษสูง เกิดจากกิจกรรมทั่วไปในอาคาร เช่น การใช้เชื้อเพลิงในการปรุงอาหาร การจุดยากันยุง เป็นต้น

ศาสนาสถานหรือสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา เป็นสถานที่สำคัญแห่งหนึ่งที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคาร โดยเฉพาะในวัดในศาสนาพุทธ ที่มีการใช้เครื่องจุดบูชาต่าง ๆ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดมลภาวะอากาศภายในอาคารได้ ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่าควันธูปที่ปล่อยออกมาเป็นตัวการที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง [2] เนื่องจากควันธูปประกอบไปด้วยสารก่อมะเร็ง 3 ชนิด ได้แก่ เบนซีน บิวทาไดอีน และเบนโซเอไพรีน ซึ่งอยู่ในกลุ่ม PAHs เป็นสารที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็ง [3] นอกจากสารดังกล่าวที่ก่อให้เกิดมะเร็งแล้ว ยังพบอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (10 micron-Particulate Matter; PM_{10}) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของธูป ซึ่งฝุ่นขนาดเล็กนี้มนุษย์สามารถหายใจเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจจนทำให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพเกิดขึ้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าสาร PAHs มักเกาะอยู่ในฝุ่นที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะฝุ่น PM_{10} ซึ่งสามารถถูกหายใจเข้าไปในระบบทางเดินหายใจได้ [4]

ด้วยเหตุดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาสาร PAHs โดยเฉพาะ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น (Particle-bound PAHs: pPAHs) และปริมาณฝุ่น PM_{10} ที่ลอยอยู่ในอากาศบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (ทางพุทธศาสนา) ที่จุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ได้แก่ จุดใกล้แหล่งกำเนิดหลัก (กระถางธูป) และจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดหลัก เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร pPAHs และ PM_{10} นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ pPAHs และ PM_{10} กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยผลการวิจัยสามารถนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร PAHs และแนวทางในการลดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในพื้นที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาได้ โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1) เพื่อหาปริมาณ pPAHs และ PM_{10} ในอากาศบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่จุดเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน

2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ pPAHs และ PM_{10} ในอากาศกับปัจจัยด้าน ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

2. วิธีการวิจัย

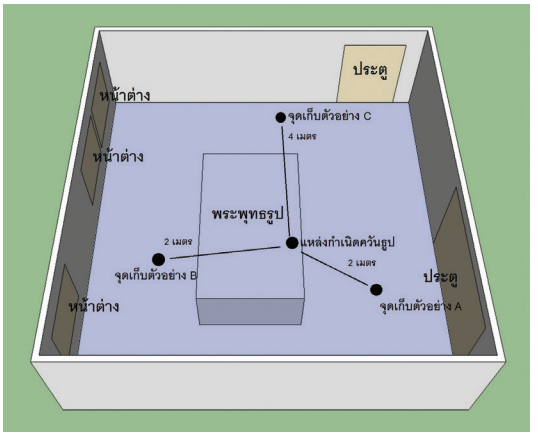
ทำการเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ณ วัดสระบัว อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี โดยเก็บตัวอย่าง PM_{10} และวิเคราะห์สาร PAHs ที่มีอยู่ใน PM_{10} โดยวิเคราะห์ทั้งหมดจำนวน 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthalene, Acenaphthene, Fluorene, Anthracene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Benzo(ghi)perylene และ Dibenzo(ah)anthracene ซึ่งในการวิเคราะห์ ได้คำนวณความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในรูปของความเข้มข้นทั้งหมด และเก็บตัวอย่างที่จุดใกล้แหล่งกำเนิดหลัก (กระถางธูป) และจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดหลัก

ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมระหว่าง

เก็บตัวอย่างอากาศ ด้วยเครื่อง Temperature and RH Data Logger ของ TENMARS รุ่น TM-305U และเครื่อง Anemometer ของ Testo รุ่น 410-2 ซึ่งการเก็บตัวอย่าง PM_{10} ในอากาศ ได้ใช้ตัวกรองแบบ PTFE ขนาดรูพรุน 2 µm เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร โดยใช้ Deployable Particulate Sampler, SKC ด้วยอัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (7.00 น.–11.00 น. และ 12.00 น.–16.00 น.) โดยตั้งอุปกรณ์สูงระดับการหายใจ (ประมาณ 1.5 เมตร) เก็บตัวอย่างเฉพาะวันเสาร์และอาทิตย์ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีผู้เข้ามาสักการะภายในวัดมากที่สุด ทำให้ผลการตรวจวัด pPAHs และ PM_{10} มีค่าสูงมากเพียงพอต่อการหาความสัมพันธ์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 36 ตัวอย่าง โดยจุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 1

และวิเคราะห์ PM_{10} ด้วยหลักการวิเคราะห์แบบ Gravimetric Method [5] ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม สำหรับการวิเคราะห์ pPAHs ได้ทำการสกัดสาร pPAHs จากอนุภาคฝุ่น PM_{10} ด้วยเครื่อง Ultrasonic Bath ตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH Method 5515 [6] และวิเคราะห์ pPAHs ทั้ง 16 ชนิด ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph – Flame Ionization Detector (GC/FID) ของ Shimadzu รุ่น GC2010plus โดยใช้สภาวะของเครื่อง GC/FID; Injection Temperature ที่ 200 องศาเซลเซียส; Detector Temperature ที่ 250 องศาเซลเซียส; Program Temperature เริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 50–100 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียส/นาที และ 100–290 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียส/นาที โดยใช้คอลัมน์ DB-5 ขนาด 30 เมตร × 0.32 มิลลิเมตร Fused Silica Capillary

การคำนวณความเข้มข้นของ pPAHs ใช้วิธีเทียบกับกราฟมาตรฐานของ PAHs ทั้ง 16 ตัว โดยใช้ PAHs Standard Mix ของ Supelco โดยกราฟที่ยอมรับได้ต้องมีค่า R2 สูงกว่า 0.9995 โดยคำนวณปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้กับปริมาตรอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ในหน่วย นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของ pPAHs แต่ละชนิด



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณใกล้แหล่งกำเนิด (หน้าและหลังกระถางธูป) และบริเวณห่างจากแหล่งกำเนิด (ประตูด้านข้าง)

จากนั้นรวมค่าความเข้มข้นของทุกชนิดเป็นค่า pPAHs ทั้งหมดดังในสมการที่ (1)

$$\text{Total pPAHs} = \sum [PAHs_i] \quad (1)$$

โดยที่ Total pPAHs คือ ค่าความเข้มข้นของ pPAHs ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

$[PAHs_i]$ คือ ปริมาณความเข้มข้นของ pPAHs แต่ละชนิด

การเก็บตัวอย่างทั้งหมดจะมีการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือโดยการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) ให้อยู่ในค่าที่กำหนดไว้ และมีการเก็บตัวอย่างแบบ Field Blank 2 ตัวอย่างทุก ๆ การเก็บตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์โดยใช้ Pearson Correlation และเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของ pPAHs และ PM_{10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างด้วย One-way ANOVA ด้วยระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

3. ผลการวิจัย

การเก็บตัวอย่างดำเนินการตั้งแต่วันที่ 1–14 เมษายน 2559 โดยลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่กึ่งเปิดโล่ง

โดยจุดเก็บตัวอย่างทั้งสามจุด ได้แก่ หน้ากระถางธูป (A) หลังกระถางธูป (B) และประตูด้านข้าง (C) ดังแสดงในรูปที่ 2–4

จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด คือ หน้ากระถางธูป (A) หลังกระถางธูป (B) และประตูด้านข้าง (C) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{10} ที่หน้ากระถางธูป (A) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 719.83±1.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังกระถางธูป (B) มีค่าเท่ากับ 687.75±1.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และประตูด้านข้าง (C) มีค่าเท่ากับ 677.83±0.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยหน้ากระถางธูป (A) มีความเข้มข้นของ PM_{10} มากที่สุด รองลงมาคือหลังกระถางธูป (B) และประตูด้านข้าง (C) ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ One-way ANOVA พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.996

จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสาร pPAHs ที่วิเคราะห์ได้ในบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 4 ชั่วโมงของ PAHs ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่หน้ากระถางธูป (A) มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.38±3.747 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บริเวณหลังกระถางธูป (B) มีค่าเท่ากับ 4.162 ±2.770 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และประตูด้านข้าง (C) มีค่าเท่ากับ 4.07±2.416 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ One-way ANOVA พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ในบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.503

ผลการตรวจวัดปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ด้าน คือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงที่มีการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 1

รูปที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างหน้ากระถางธูป (A)

รูปที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างหลังกระถางธูป (B)

รูปที่ 4 จุดเก็บตัวอย่างประตูด้านข้าง (C)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย (SD)	ค่าสูงสุด-ต่ำสุด
อุณหภูมิ (°C)	30.2 ± 0.98	28.08 – 32.22
ความเร็วลม (m/s)	0.10 ± 0.09	0.00 – 0.40
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	69.35 ± 5.48	58.14 – 78.56

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ด้าน คือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความเข้มข้นของ PM_{10} มีความสัมพันธ์ทางด้านลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความสัมพันธ์ของความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์กับความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่มีความสัมพันธ์กัน และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสาร pPAHs กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ด้าน พบว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ กับสาร pPAHs ไม่สัมพันธ์กันทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สถิติ Pearson Correlation

ความเข้มข้น	ค่าระดับความสัมพันธ์ (r) และค่า p-value		
	อุณหภูมิ	ความเร็วลม	ความชื้นสัมพัทธ์
PM10	–0.287 (0.045)*	0.026 (0.441)	0.007 (0.484)
PAHs	0.002 (0.495)	0.014 (0.468)	0.143 (0.203)

หมายเหตุ: * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{10} พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ย 677.83–719.83 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยงานวิจัยของ Nonthakanok [7] ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM_{10} ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{10} ในศาสนสถานมีค่าเฉลี่ย 675.09 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากผลความเข้มข้นของ pPAHs พบว่ามีค่าเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างอยู่ที่ 4.07 – 5.38 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมาค่าน้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าค่าความเข้มข้น pPAHs เฉลี่ยในสถานที่ประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในประเทศไต้หวัน มีความเข้มข้นเท่ากับ 1468 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [8] และในประเทศไทยพบว่าค่าความเข้มข้น pPAHs เฉลี่ยในสถานที่ประกอบพิธีกรรมทางศาสนา อยู่ที่ 0.55–3.02 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [7]

จากผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ PM_{10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากลักษณะของสถานที่ที่เป็นแบบกึ่งเปิดโล่ง และจุดเก็บตัวอย่างมีระห่างไม่ไกลมากนัก ทำให้ความเข้มข้นของมลพิษมีความใกล้เคียงกัน โดยลักษณะพื้นที่ที่อยู่ในอาคารหรือมีสิ่งปลูกสร้าง จะทำให้มลพิษกระจายไปได้ไม่ดีมากนัก [9] เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ pPAHs ซึ่งบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้งสามจุด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ด้าน คือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ กับความเข้มข้นของ PM_{10} และ pPAHs พบว่ามีเพียงอุณหภูมิเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ PM_{10} โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ ซึ่งตามปกติแล้วอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดฝุ่นขนาดเล็กได้มากขึ้น โดยเฉพาะฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน [10] แต่ในงานวิจัยวิจัยนี้ พบว่าอุณหภูมิกลับมีความสัมพันธ์ทางลบ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิอาจเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกับตัวแปรตัวอื่นๆ เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าอุณหภูมิมักมีอิทธิพลทางลบกับ PM_{10} โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ถูกปิดล้อม [11] สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อ PAHs นั้นจะไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยทางสถิติแต่พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก แม้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลทางลบต่อ PAHs โดยเฉพาะ pPAHs ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น PAHs จะระเหยอยู่ในรูปของ

ก๊าซได้ง่ายกว่าในรูปของ pPAHs [12] แต่เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิในงานวิจัยนี้ พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ ($r = 0.002$) จึงเป็นไปได้ที่พบค่าสัมประสิทธิเป็นบวก เช่นเดียวกับในงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าอุณหภูมิมักส่งผลทางบวกกับ pPAHs ในพื้นที่ที่โดนปิดล้อมไว้ [13] เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ PAHs ระเหยอยู่ในรูปก๊าซได้ง่าย (Gas-phase PAHs) และไม่ถูกดูดซับกับอนุภาค

ปัจจัยด้านความเร็วลม พบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยทางสถิติกับ PM_{10} และ pPAHs เช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยความเร็วลมมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของมลพิษน้อยมากในพื้นที่ที่เป็นลักษณะภายในอาคาร แต่มักจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายนอกอาคารมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากผลของของการระบายอากาศ ซึ่งความเร็วลมภายนอกอาคารจะทำให้ค่า Air Exchange Rate มีค่าสูงขึ้น ทำให้มลพิษภายในอาคารมีความเข้มข้นลดน้อยลง [14] สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ โดยปกติจะมีอิทธิพลทางลบกับ PM_{10} และ pPAHs เนื่องจากความชื้นในอากาศสามารถจับกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศ ทำให้อนุภาคมีน้ำหนักสูงขึ้นและตกลงสู่พื้นได้ง่ายกว่า [15] อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษในอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ในอาคารหรือพื้นที่ปิดล้อม [16]

ในประเทศไทย ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศ แต่หากพิจารณาจากมาตรฐานของ Agency for Toxic Substance and Disease Registry (ATSDR) ซึ่งรวบรวมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ PAHs ในสถานประกอบการ พบว่ามีค่ามาตรฐานในการทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง ควรมีค่าไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [17] ซึ่งเมื่อพิจารณาเทียบกับผลการตรวจวัดในงานวิจัยนี้ที่พบค่าเฉลี่ยสูงสุดของ pPAHs อยู่ที่ 5.38±3.747 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แม้ว่าจะทำการตรวจวัดเพียง 4 ชั่วโมง ซึ่งไม่สามารถเทียบกับมาตรฐานได้ ถือว่ายังมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานอยู่มาก แต่อย่างไรก็ตาม มาตรฐานที่ NIOSH กำหนดนั้นเป็นความเข้มข้นรวมของ PAHs ทุกชนิด และเป็นการกำหนดจากกรณี PAHs ที่เป็นการระเหยจาก Coal Tar ดังนั้นในการศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพ จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อไป

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. พื้นที่ศึกษามีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ค่อนข้างสูง แม้ว่าจะสัมผัสในช่วงระยะเวลาสั้นๆ แต่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการอยู่ในบริเวณที่มีควันธูปเป็นเวลานาน และหากจำเป็นควรมีการใช้หน้ากากสวมเพื่อป้องกันการสัมผัส PM_{10}

2. PAHs ถูกจัดอยู่ในสารที่อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ดังนั้นจึงควรมีการประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการสัมผัสสาร PAHs ในพื้นที่บริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา โดยเน้นการรับสัมผัสของผู้ที่ทำงานภายในสถานที่และผู้ที่เข้าไปสักการะหรือประกอบพิธีกรรม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นางสาวกฤตยาณี ธงชัยภูมิ นางสาวนราพร สุมิตร นางสาวปัญชลี ประสงค์ผล นางสาวศิริลักษ์ กลิ่นมาลี และขอขอบคุณ วัดสระบัว อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อและให้พื้นที่ในการเก็บตัวอย่างในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] *Development of WHO guidelines for indoor air quality*, Copenhagen. WHO Regional Office for Europe, 2006.

[2] P. Kieattham, “Particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in incense smoke,” M.S. thesis, Faculty of Sciences, Chulalongkorn University, 2008.

[3] *Environmental Health Criteria 202: Selected non-*

heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons, IPCS, 1998.

[4] M. S. Hassanvand, K. Naddafi, S. Faridi, R. Nabizadeh, M. H. Sowlat, F. Momeniha, A. Gholampour, M. Arhami, H. Kashani, A. Zare, S. Niazi, N. Rastkari, S. Nazmara, M. Ghani, and M. Yunesian, "Characterization of PAHs and metals in indoor/outdoor PM_{10}/$PM_{2.5}$/PM_1 in a retirement home and a school dormitory," *Science of the Total Environment*, vol. 527–528, pp. 100–110, 2015.

[5] J. D. Bowman, D. L. Bartley, G. M. Breuer, L. J. Doemeny, and D. J. Murdock, *Accuracy criteria recommended for the certification of gravimetric coal mine dust personal samplers*, NIOSH , NTIS Pub. No. PB 85-222446, 1984.

[6] P. M. Eller and M. E. Cassinelli, *NIOSH Manual of Analytical Methods (method 5515)*, 4th ed. Ohio, 1994.

[7] V. Nonthakanok, "Inhalation exposure to particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and health risk assessment of workers at religion place in Bangkok," M.S. thesis, Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University, 2013.

[8] C.-Y. Kuo,Y.-H. Yang,M.-R. Chao, and C.-W. Hu, "The exposure of temple workers to polycyclic aromatic hydrocarbons," *Science of the Total Environment*, vol. 401, pp. 44–50,2008.

[9] A. R. Jason and R. W. Bruce, "Estimating fugitive dust emission rate using an environment boundary layer wind tunnel," *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 7668–7685, 2006.

[10] C. Vasilakos, S. Pateraki, D. Veros, T. Maggos, J. Michopoulos, D. Saraga, and C. G. Helmis, "Temporal determination of heavy metals in $PM_{2.5}$ aerosols in a suburban site of Athens, Greece," *Journal of Atmospheric Chemistry*, vol. 57, pp. 1–17, 2007.

[11] N. Sahanavin, K. Tantrakarnapa, and T. Prueksasit, "Ambient PM10 and PM2.5 concentrations at different high traffic-related street configurations in Bangkok, Thailand," *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, vol. 47, no. 3, pp. 528–535, 2016.

[12] J. Schnelle, T. Jiinsch, K. Wolf, I. Gebeffigi, and A. Kettrup, "Particle size dependent concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the outdoor air," *Chemosphere*, vol. 31, pp. 3119–3127, 1995.

[13] C. Venkataraman, S. Thomas, and P. Kulkarni, "Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons gas-particle partitioning to urban aerosol," *Journal of Aerosol Science*, vol. 30, pp. 759–770,1999.

[14] L. Zhao, C. Chen, P. Wang, Z. Chen, S. Cao, Q. Wang, G. Xie, Y. Wan, Y. Wang, and B. Lu, "Influence of atmospheric fine particulate matter ($PM_{2.5}$) pollution on indoor environment during winter in Beijing," *Building and Environment*, vol. 87, pp. 283–291,2015.

[15] M. Akyuz and H. Cabuk,"Meteorological variations of $PM_{2.5}$/PM_{10} concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey," *Journal of Hazardous Material*, vol. 170, pp. 13–21,2009.

[16] K. Vellingiri,K.-H. Kim,C.-J. Ma, C.-H. Kang, J.-H. Lee, I.-S. Kim, and R.J.C. Brown "Ambient particulate matter in a central urban area of Seoul, Korea," *Chemosphere*, vol. 119, pp. 812–819, 2014.

[17] *Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*, ATSDR, Atlanta, August 1995.