

การรับสัมปัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคผ่านการหายใจและการ  
ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาใน  
กรุงเทพมหานคร



นางสาวชิววรรณ นนทนก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
ปีการศึกษา 2556

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

INHALATION EXPOSURE TO PARTICLE-BOUND POLYCYCLIC AROMATIC  
HYDROCARBONS AND HEALTH RISK ASSESSMENT OF WORKERS AT RELIGION PLACE  
IN BANGKOK



Miss Vachirawon Nonthakanok

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่  
ดูดซับบนอนุภาคผ่านการหายใจและการประเมินความ  
เสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรม  
ทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร

โดย

นางสาววชิราวรรณ นนทนก

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร.ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.เดซี่ หมอกน้อย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร.ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.เดซี่ หมอกน้อย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์สิทธิ์ ศิริวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลองขวัญ ตั้งบรรลือกาล)

วชิรารวรรณ นนทกนก : การรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคผ่านการหายใจและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร. (INHALATION EXPOSURE TO PARTICLE-BOUND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND HEALTH RISK ASSESSMENT OF WORKERS AT RELIGION PLACE IN BANGKOK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ทรรศณีย์ พุกษาสลิตี, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.เดชี่ หมออ่อนย, 178 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ดูดซับบนอนุภาคผ่านการหายใจและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร 2 แห่ง คือ วัด A (แบบเปิดโล่ง) และวัด B (แบบกึ่งเปิดโล่ง) ทำการเก็บตัวอย่างในวันพุธ (วันธรรมดา) และวันอาทิตย์ (วันหยุด) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (07.00 – 15.00 น.) ในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในปี 2555 เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) และอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน แต่เล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>2.5-10</sub>) ด้วยเครื่อง Gilian air pump ที่ต่อกับ Personal Modular Impactors (PMI) 3 จุด ที่เป็นตัวแทนพื้นที่ปฏิบัติงานของพนักงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาแต่ละแห่ง ได้แก่ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) และเก็บตัวอย่าง PM<sub>2.5</sub> บริเวณที่เป็นตัวแทนบรรยากาศทั่วไป (A) ด้วยเครื่อง Minivol tactical air sampler (TAS) อีกหนึ่งจุด วิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่อง HPLC Fluorescence detector และ UV detector ผลการศึกษาที่วัด A พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>2.5</sub> ที่จุด J สูงที่สุด และมากกว่าที่จุด G V และ A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) คิดเป็น 5.6 7.1 และ 9.3 เท่า ตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้ง 3 ฤดูของ PM<sub>2.5</sub> ( $509.05 \pm 243.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และ PM<sub>10</sub> (PM<sub>2.5</sub> + PM<sub>2.5-10</sub>) ( $675.09 \pm 354.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ที่วัด A มีค่าสูงกว่าที่ตรวจพบในวัด B ( $47.33 \pm 19.58$  และ  $69.75 \pm 26.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณรูปที่ใช้ในการสักการะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยให้ค่า Pearson correlation(r) สำหรับ PM<sub>2.5</sub> ณ จุด A G J และ V เท่ากับ 0.735, 0.791, 0.835 และ 0.550 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้รูปเป็นแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นขนาดเล็ก ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงของสาร PAHs รวมใน PM<sub>2.5</sub> (t-PAHs<sub>2.5</sub>) และ PM<sub>2.5-10</sub> (t-PAHs<sub>2.5-10</sub>) ทั้ง 3 ฤดูที่วัด A เท่ากับ  $47.73 \pm 72.78$  และ  $1.01 \pm 0.98 \text{ ng}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ในขณะที่วัด B มีค่าเท่ากับ  $3.02 \pm 1.67$  และ  $0.55 \pm 0.40 \text{ ng}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ผลการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (cancer risk) ของกลุ่มพนักงานที่ปฏิบัติงานที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาโดยพิจารณาจากค่า Benzo(a)pyrene equivalent (BaP<sub>eq</sub>) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งกำหนดให้ประชากรล้านคนมีหนึ่งคนที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง หรือคิดเป็น  $1 \times 10^{-6}$  พบว่า ค่า 95% confidence interval ของความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร BaP<sub>eq</sub> ใน PM<sub>2.5</sub> (t-BaP<sub>eq2.5</sub>) และ PM<sub>2.5-10</sub> (t-BaP<sub>eq2.5-10</sub>) อยู่ในช่วง  $0.18 \times 10^{-6} - 175.97 \times 10^{-6}$  และ  $0.007 \times 10^{-6} - 6.25 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเสี่ยงจากการรับสัมผัส t-BaP<sub>eq2.5</sub> ของพนักงานที่ปฏิบัติงานในบริเวณที่ต่างกัน พบว่า ที่วัด A พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) มีโอกาสเสี่ยงสูงสุด ( $52.6 \times 10^{-6} - 122.0 \times 10^{-6}$ ) และสูงกว่าพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) ประมาณ 17.7 และ 16.4 เท่า ตามลำดับ สำหรับที่วัด B มีเพียงพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) ที่พบโอกาสเสี่ยงเกินระดับที่ยอมรับได้ โดยมีค่า  $1.32 \times 10^{-6}$  และ  $0.15 \times 10^{-6} - 1.91 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ กรณีการรับสัมผัสของ t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> พบว่า พนักงานที่ปฏิบัติงานในทุกตำแหน่งยังไม่พบโอกาสเสี่ยงที่เกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

# # 5387208320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: PM<sub>2.5</sub> / INCENSE BURNING / PAHS / RISK ASSESSMENT / RELIGION PLACE

VACHIRAWON NONTAKANOK: INHALATION EXPOSURE TO PARTICLE-BOUND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND HEALTH RISK ASSESSMENT OF WORKERS AT RELIGION PLACE IN BANGKOK. ADVISOR: TASSANEE PRUKSASIT, Ph.D., CO-ADVISOR: DAISY MORKNOY, Ph.D., 178 pp.

This research studied on health risk assessment of the workers exposed to particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) via inhalation at the worship places in Bangkok, Thailand, i.e. temple A (open area) and B (semi-open area). Particulate matters (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub>) were collected on Wednesday (workday) and Sunday (weekend) for 8 hours (07.00-15.00) in summer, rainy and winter seasons in 2012. PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> were collected at three sampling sites representing working area of guard (G), janitor (J) and vendor (V) by using a personal modular impact (PMI) connected to a personal air pump (Gilian air pump). PM<sub>2.5</sub> in ambient air (A) at each worship place was also collected by Minivol tactical air sampler (TAS). PAHs adsorbed on particles were analyzed by HPLC with fluorescence and UV detectors. The 8-hr average PM<sub>2.5</sub> concentrations of position J at temple A were found the highest and significant greater than those of position G, V and A about 5.6, 7.1 and 9.3 fold, respectively ( $p < 0.05$ ). The average concentrations measured in three seasons at temple A were  $509.05 \pm 243.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for PM<sub>2.5</sub> and  $675.09 \pm 354.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for PM<sub>10</sub> (PM<sub>2.5</sub> + PM<sub>2.5-10</sub>) which were significantly higher than those of PM<sub>2.5</sub> ( $47.33 \pm 19.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and PM<sub>10</sub> ( $69.75 \pm 26.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at temple B ( $p < 0.05$ ). The number of burnt incense was significantly correlation with PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at  $p < 0.01$ , which the *Pearson* correlations (or *r*) of PM<sub>2.5</sub> at position A, G, J and V were 0.735, 0.791, 0.835 and 0.550, respectively. These indicate that incense burning was the predominant source of fine particles. The 8-hr average concentrations of total PAHs adsorbed on PM<sub>2.5</sub> (t-PAHs<sub>2.5</sub>) and PM<sub>2.5-10</sub> (t-PAHs<sub>2.5-10</sub>) in three seasons at temple A were  $47.73 \pm 72.78$  and  $1.01 \pm 0.98 \text{ ng}/\text{m}^3$ , respectively, and those concentrations of  $3.02 \pm 1.67$  and  $0.55 \pm 0.40 \text{ ng}/\text{m}^3$ , respectively, were found at temple B. For lifetime cancer risk (LCR) assessment of the workers at the worship places, Benzo(a)pyrene equivalent (BaP<sub>eq</sub>) was applied for the calculation and the acceptable criteria defined as the probability of cancer at the ratio of one per millions people ( $1 \times 10^{-6}$ ). The 95% confidence intervals of LCR exposure to total BaP<sub>eq</sub> in PM<sub>2.5</sub> (t-BaP<sub>eq2.5</sub>) and PM<sub>2.5-10</sub> (t-BaP<sub>eq2.5-10</sub>) were in the ranges of  $0.18 \times 10^{-6} - 175.97 \times 10^{-6}$  and  $0.007 \times 10^{-6} - 6.25 \times 10^{-6}$ , respectively. When compared between different working areas, the LCR of janitor (J) at temple A showed the highest level ( $52.6 \times 10^{-6} - 122.0 \times 10^{-6}$ ) and higher than that of guard (G) and vendor (V) about 17.7 and 16.4 fold, respectively. At temple B, only guard (G) and janitor (J) were to be potentially at risk over acceptable criteria, having the values of  $1.32 \times 10^{-6}$  and  $0.15 \times 10^{-6} - 1.91 \times 10^{-6}$ , respectively. Whilst the LCR of the workers exposed to t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> at all positions were not over the acceptable level.

Field of Study: Environmental Science

Student's Signature .....

Academic Year: 2013

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พลุกษาสิริทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. เตชี่ หมอกน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านทั้งสองกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่างๆ ดูแลแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒน์ สิทธิศิริวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลองขวัญ ตั้งบรรลือกาล ที่ได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และให้ข้อแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณมูลนิธิทุนท่านท้าวมหาพรหม และวัดกัลยาณมิตรวรมหาวิหารที่อนุเคราะห์ให้ติดตั้งเครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการติดตั้งเครื่องและเก็บตัวอย่างเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างและห้องปฏิบัติการ และศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (ERTC) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ เจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือตลอดทำการวิจัย

ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญภาพ.....	3
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.3.1 พื้นที่ศึกษา.....	3
1.3.2 ระยะเวลาศึกษา.....	3
1.3.3 เทคนิคการเก็บและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM <sub>2.5</sub> ).....	5
2.1.1 นิยามของ PM <sub>2.5</sub> .....	5
2.1.2 แหล่งกำเนิดของ PM <sub>2.5</sub> .....	5
2.1.3 มาตรฐานของ PM <sub>2.5</sub> .....	5
2.1.4 ผลกระทบของ PM <sub>2.5</sub> .....	7
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารประกอบ PAHs.....	8
2.2.1 ลักษณะและสมบัติของสารประกอบ PAHs.....	8
2.2.2 แหล่งกำเนิดของสารประกอบ PAHs.....	9
2.2.3 กลไกการเข้าสู่ร่างกายของ PAHs.....	12
2.2.4 ผลกระทบของสาร PAHs ต่อสุขภาพ.....	14
2.2.5 การเกิดปฏิกิริยาของสาร PAHs ในบรรยากาศ.....	17
2.2.6 ปัจจัยทางด้านอนุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศ..	19

2.3 สารประกอบ PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้รูป .....	22
2.3.1 มลสารสำคัญในควันรูป.....	22
2.3.2 ความสัมพันธ์ของสาร PAHs กับฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในควันรูป .....	24
2.3.3 ชนิดของสาร PAHs ในรูป.....	26
2.4 ค่ามาตรฐานของสารประกอบ PAHs ที่อนุญาตให้มีในอากาศ.....	27
2.5 การประเมินความเสี่ยง .....	29
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	39
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี.....	39
3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ .....	39
3.1.2 สารเคมี.....	39
3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์.....	39
3.2 พื้นที่ทำการศึกษา.....	40
3.2.1 การกำหนดพื้นที่ทำการศึกษา.....	40
3.2.2 ลักษณะของพื้นที่ทำการศึกษา .....	40
3.2.3 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศ .....	40
3.3 การกำหนดช่วงเวลาทำการศึกษา.....	41
3.4 การเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง.....	41
3.4.1 การเตรียมกระดาศกรอง .....	41
3.4.2 การเตรียมเครื่องซั่งน้ำหนักกระดาศกรอง.....	42
3.4.3 การเตรียมปั้มเก็บตัวอย่างอากาศ.....	43
3.4.4 การเตรียมตู้ระบบกึ่งปิดสำหรับเก็บตัวอย่างควันรูป.....	43
3.4.5 การเตรียมตัวอย่างรูป.....	43
3.5 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา.....	44
3.5.1 การเก็บตัวอย่าง.....	44
3.5.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง.....	46
3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นในตัวอย่าง.....	46



3.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณ PAHs.....	47
3.6 การประเมินความเสี่ยง .....	51
3.6.1 Hazard Identification .....	51
3.6.2 Dose-Response Assessment .....	52
3.6.3 Exposure Assessment.....	53
3.6.4 Risk Characterization .....	55
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	56
3.8 จริยธรรมการวิจัย .....	56
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	57
4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น.....	57
4.1.1 การควบคุมคุณภาพการศึกษาวิจัย.....	57
4.2 ปริมาณความเข้มข้นของ PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> และ PAHs ที่วิเคราะห์จากตัวอย่างควันรูปที่เก็บในตู้ระบบกึ่งปิด (Chamber).....	63
4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด.....	64
4.2.2 อัตราการปลดปล่อยของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด.....	64
4.2.3 อัตราส่วนของ PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> .....	66
4.2.4 ชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด.....	67
4.2.5 อัตราการปลดปล่อยสารประกอบ PAHs ต่อรูป 1 กรัม .....	69
4.2.6 อัตราส่วนของ B(a)P/B(ghi)P .....	72
4.3 ปริมาณความเข้มข้นและอัตราการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาไหม้รูปในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา.....	73
4.3.1 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง.....	73
4.3.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด .....	76
4.3.3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างฤดู.....	78
4.3.4 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา.....	80

4.3.5 อัตราส่วนของ $PM_{2.5}/PM_{10}$ .....	81
4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก .....	82
4.4 ปริมาณความเข้มข้นและอัตราการปลดปล่อยสารประกอบ PAHs ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	84
4.4.1 ชนิดของสารประกอบ PAHs ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	84
4.4.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	89
4.4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างวันธรรมดา และวันหยุด .....	92
4.4.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างฤดูกาล .....	94
4.4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	96
4.4.6 อัตราส่วนของ B(a)P/B(ghi)P ในควันรูปที่ตรวจวัดในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	97
4.4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณสารประกอบ PAHs ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	98
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกับอัตราการปลดปล่อยสารประกอบ PAHs .....	100
4.6 เปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสปริมาณฝุ่นละออง และสารประกอบ PAHs ของผู้ปฏิบัติงานกับค่ามาตรฐาน .....	103
4.7 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบ PAHs ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	104
4.8 ข้อมูลสุขภาพ อาการผิดปกติ และการใช้อุปกรณ์ป้องกันของผู้ปฏิบัติงาน .....	108
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	113
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	113
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	116
รายการอ้างอิง .....	117
ภาคผนวก .....	121
ภาคผนวก ก. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง .....	122

ภาคผนวก ข. ใบรับรองจริยธรรมและแบบสอบถาม.....	128
ภาคผนวก ค. กราฟมาตรฐานของสารประกอบ PAHs .....	130
ภาคผนวก ง. ข้อมูลปริมาณรูปและจำนวนคนที่เข้ามาสักการะ .....	135
ภาคผนวก จ. ข้อมูลปริมาณ PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> และ PAHs.....	138
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลแบบสอบถาม.....	143
ภาคผนวก ช. ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ .....	146
ภาคผนวก ซ. ตัวอย่างผลการคำนวณทางสถิติ โดย SPSS For Windows 7.....	151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	178



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบค่ามาตรฐาน และ Guideline ของ PM <sub>2.5</sub> ของต่างประเทศและประเทศไทย .	6
ตารางที่ 2.2	การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research Cancer (IARC) .....	15
ตารางที่ 2.3	ค่ามาตรฐานของสารประกอบ PAHs ที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน.....	28
ตารางที่ 2.4	ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการประเมินการรับสัมผัส .....	31
ตารางที่ 3.1	ความยาวและน้ำหนักของรูปชนิดที่ใช้เป็นหลักในสถานประกอบพิธีกรรม.....	43
ตารางที่ 3.2	สถานะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.	48
ตารางที่ 3.3	การพิจารณาความเป็นพิษในการก่อเกิดมะเร็งของสารประกอบ PAHs โดย IARC .....	51
ตารางที่ 3.4	ค่า CSFi และ TEF ของสารประกอบ PAHs.....	53
ตารางที่ 3.5	ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการประเมินการรับสัมผัส .....	54
ตารางที่ 4.1	Quality Control ของเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	57
ตารางที่ 4.2	ค่า retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs.....	60
ตารางที่ 4.3	ค่า R <sup>2</sup> ของ PAHs 16 ชนิด จากการสร้าง Calibrate Curve .....	61
ตารางที่ 4.4	ค่า LOD LOQ และ %RSD ที่ใช้ควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์สารประกอบ PAHs.....	62
ตารางที่ 4.5	ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบ PAHs.....	63
ตารางที่ 4.6	ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองของรูปแต่ละชนิด.....	64
ตารางที่ 4.7	อัตราการปลดปล่อยของฝุ่นละอองของรูปแต่ละชนิด.....	65
ตารางที่ 4.8	ปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบของรูปแต่ละชนิด (ng/m <sup>3</sup> ).....	68
ตารางที่ 4.9	อัตราค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยปริมาณ PAHs ที่พบของรูปแต่ละชนิด (ng/ 1 กรัมรูป) ..	70
ตารางที่ 4.10	อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ของรูปแต่ละชนิด.....	72
ตารางที่ 4.11	ปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ที่สถานประกอบพิธีกรรมทั้งสองแห่ง.....	74
ตารางที่ 4.12	ความเข้มข้นของเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> ที่ตรวจพบในวันธรรมดาและวันหยุดที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา.....	76
ตารางที่ 4.13	ความเข้มข้นของเฉลี่ย PM <sub>10</sub> ของทั้งสองสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (µg/m <sup>3</sup> ).....	77
ตารางที่ 4.14	ชนิดของสารประกอบ PAHs <sub>2.5</sub> หลักที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง.....	85

ตารางที่ 4.15 ชนิดของสารประกอบ PAHs <sub>2.5-10</sub> หลักที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง .....	88
ตารางที่ 4.16 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ t-PAHs ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา.....	90
ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นของเฉลี่ย t-PAH <sub>2.5</sub> ของทั้งสองสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	92
ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นของเฉลี่ย t-PAHs <sub>2.5-10</sub> ของทั้งสองสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา.....	93
ตารางที่ 4.19 อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา.....	98
ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณ PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> และ PAHs ที่พนักงานได้รับสัมผัสกับค่ามาตรฐาน.....	103
ตารางที่ 4.21 ค่า CDI และค่า cancer risk ของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ของพนักงานในแต่ละตำแหน่ง....	105
ตารางที่ 4.22 ค่า CDI ค่า lifetime cancer risk และค่า 95% confidence interval ของ t-BaP <sub>eq2.5</sub> และ t-BaP <sub>eq2.5-10</sub> (n = 36).....	107
ตารางที่ 4.23 ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหรืออาการพนักงานในขณะที่ปฏิบัติงานที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (n = 36).....	109
ตารางที่ 4.24 ข้อมูลเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะที่ปฏิบัติงาน.....	110
ตารางที่ 4.25 ค่า lifetime cancer risk ที่ลดลงเมื่อลดระยะเวลาการสัมผัส ลดระยะเวลาการทำงาน และความถี่ในการรับสัมผัสของพนักงาน .....	111
ตารางที่ 4.26 ค่า lifetime cancer risk ที่ลดลงเมื่อพนักงานสวมหน้ากากที่มีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 95%.....	112

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2 1 โครงสร้างสาร พร้อมแสดงค่าโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล.....	11
ภาพที่ 2.3 สาร PAHs แต่ละชนิดที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยในรูปตัวอย่าง .....	26
ภาพที่ 2.4 ชนิดและปริมาณของ PAHs แต่ละชนิดจากอัตราการปลดปล่อยต่อ 1 กรัม ของรูป.....	27
ภาพที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา .....	41
ภาพที่ 3.2 จำนวนผู้เข้าไปสักการะและปริมาณรูปของวัด A.....	44
ภาพที่ 3.3 จำนวนผู้เข้าไปสักการะและปริมาณรูปของวัด B.....	45
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่าง.....	49
ภาพที่ 4.1 Control Chart ของคั่งน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม ในฤดูร้อน.....	58
ภาพที่ 4.2 Control Chart ของคั่งน้ำหนัก 200 มิลลิกรัม ในฤดูร้อน.....	59
ภาพที่ 4.3 Chromatogram Fluorescence detector ของสารละลายมาตรฐาน PAHs ที่ความเข้มข้น 0.05 ppm .....	60
ภาพที่ 4.4 อัตราส่วนของ $PM_{2.5}/PM_{10}$ ของรูปแต่ละชนิด .....	66
ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5}$ แต่ละชนิดในรูปแต่ละชนิด .....	69
ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5-10}$ แต่ละชนิดในรูปแต่ละชนิด .....	69
ภาพที่ 4.7 อัตราค่าเฉลี่ยการปลดปล่อย PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อ 1 กรัมรูปของรูปแต่ละชนิด .....	71
ภาพที่ 4.8 อัตราค่าเฉลี่ยการปลดปล่อย PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5-10}$ ต่อ 1 กรัมรูปของรูปแต่ละชนิด.....	72
ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A .....	75
ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B .....	75
ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองของวันธรรมดาและวันหยุด .....	78
ภาพที่ 4.12 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู .....	79
ภาพที่ 4.13 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{10}$ ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู.....	80
ภาพที่ 4.14 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{10}$ ที่วัด A และวัด B.....	81
ภาพที่ 4.15 อัตราส่วนของ $PM_{2.5}/PM_{10}$ ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม .....	82
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ $PM_{2.5}$ และ $PM_{10}$ ที่ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม .....	83

ภาพที่ 4.17 ปริมาณ PAHs <sub>2.5</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A.....	86
ภาพที่ 4.18 ปริมาณ PAHs <sub>2.5</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B.....	86
ภาพที่ 4.19 ปริมาณ PAHs <sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A.....	88
ภาพที่ 4.20 ปริมาณ PAHs <sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B.....	89
ภาพที่ 4.21 ปริมาณ PAHs ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A.....	91
ภาพที่ 4.22 ปริมาณ PAHs ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B.....	91
ภาพที่ 4.23 ปริมาณ PAHs ที่ตรวจพบในวันธรรมดา และวันหยุดที่สถานประกอบพิธีกรรม.....	94
ภาพที่ 4.24 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs <sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู.....	95
ภาพที่ 4.25 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs <sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู.....	96
ภาพที่ 4.26 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ PAHs <sub>2.5</sub> และ PAHs <sub>2.5-10</sub> ที่วัด A และวัด B ..	97
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ t-PAHs <sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม.....	99
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ t-PAHs <sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม.....	100
ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM <sub>2.5</sub> และปริมาณ t-PAHs <sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม.....	102
ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM <sub>2.5-10</sub> และปริมาณ t-PAHs <sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม.....	102

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธูปเป็นสิ่งจำเป็นต่อการประกอบพิธีกรรมทางศาสนาโดยนิยมใช้ในการกราบไหว้บูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ตามสถานที่สำคัญต่างๆ วัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับผลิตธูปที่สำคัญ ได้แก่ เปลือกไม้บง ชี้เลื่อยที่ร่อนแล้ว ผงขี้ดเฟอร์นิเจอร์ที่เรียกว่า จันทขาว ผงขี้ดเฟอร์นิเจอร์ผสมสีที่เรียกว่า จันทเหลือง จันทเขียวหรือจันทากลิ่นน้ำหอม สี ในปัจจุบันวัตถุดิบชี้เลื่อยได้มาจากเศษไม้ประเภทต่างๆ อาจนำมาจากไม้ที่มีคุณภาพดี เช่นเศษไม้สัก หรือคุณภาพไม่ดี เช่น เศษไม้ที่เหลือจากการทำเฟอร์นิเจอร์ แต่มีผู้ผลิตหลายรายได้พยายามเปลี่ยนส่วนประกอบจากเดิมที่ใช้ชี้เลื่อยเป็นเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติมากขึ้น เช่น ดอกไม้ธรรมชาติ เพื่อลดสารก่อมะเร็ง

ในการจุดธูปแต่ละครั้งก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดกลุ่มควันและอนุภาคต่างๆ ลอยอยู่บริเวณนั้นๆ นอกจากนี้ยังเกิดการดูดซับสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนอนุภาคเหล่านั้น และความแตกต่างของวัตถุดิบในการผลิตธูปส่งผลต่อปริมาณอนุภาคและสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (สารพีเอเอช, PAHs) อีกด้วย ดังเช่นผลการศึกษาปริมาณพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยในควันธูป พบว่า อัตราการปลดปล่อยของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนรวม (t-pPAHs) เฉลี่ยของธูปไม่มีกำนันมีควันสูงที่สุด รองลงมา คือ ธูปชนิดไม่มีกำนันไร้ควัน ชนิดมีกำนันมีควันและชนิดมีกำนันไร้ควัน ตามลำดับ (ธนพร ธนิงชูศิลป์ และ ภัทรพร เกียรติธรรม, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณคาร์บอนในธูปที่มีต่อการปลดปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) ซึ่งทำการศึกษาในตู้ระบบกึ่งปิด พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ pPAHs รวมที่ดูดซับบน PM<sub>10</sub> (t-pPAHs) ที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์ธูปชนิดมีกำนันมีควันสูงกว่าชนิดไร้ควัน และการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอน มีผลทำให้การปลดปล่อย PM<sub>10</sub> และ pPAHs เพิ่มขึ้น (เบญจวรรณ คำศรี และ วชิราวรรณ นนทกนก, 2552) จากการศึกษาดังกล่าว จะเห็นว่าในควันธูปประกอบไปด้วยสารอันตรายบางชนิดที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง โดยชนิดและปริมาณที่พบจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบในการผลิตธูปและชนิดของธูป ดังนั้น ในการผลิตธูปจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของธูปโดยเฉพาะการทดสอบว่ามีสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเจือปนอยู่หรือไม่ มีปริมาณเท่าไร ผู้ผลิตจึงต้องส่งผลิตภัณฑ์มายังห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการยืนยันถึงความปลอดภัย แต่ในปัจจุบันยังไม่มีกระบวนการระบุส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตธูปลงในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ผู้บริโภคไม่มีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์และไม่สามารถคาดการณ์ถึงแนวโน้มของผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นได้ และจากบทความวิชาการเรื่องสาร



ก่อนจะเริ่ม ภัยเงียบที่มาพร้อมกับควันธูป ที่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดย นพ. มนูญ ลีเชวงวงศ์ ได้เสนอไว้ว่าควันธูปที่ปล่อยออกมาเป็นตัวการสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดมะเร็ง เนื่องจากควันธูปประกอบไปด้วยสารก่อมะเร็ง เบนซิน 1,3-บิวทาไดอิน และเบนโซเอไพรีน อีกทั้งในสถานที่จุดธูป มีสารก่อมะเร็งสูงกว่าบริเวณที่ไม่จุดถึง 63 เท่าและสามารถเปรียบเทียบความรุนแรงของธูป 1 ดอกเท่ากับบุหรี่ 1 ม้วนและหากจุดในบ้าน 3 ดอก โดยไม่ระบายอากาศ สามารถก่อมลพิษเทียบเท่าสี่แยกที่มีการจราจรหนาแน่น (ศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย, 2551 : ออนไลน์)

จากการศึกษาการตรวจวัดสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนภายในร่างกาย (biomarker of exposure) โดยวิเคราะห์ในเลือดและการตรวจวัดสารเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ ผลการศึกษาพบว่า คนทำงานในวัดมีความเสี่ยงต่อภาวะ DNA ถูกทำลาย (DNA damage) รวมถึงประสิทธิภาพการฟื้นฟูตัวของ DNA (DNA repair capacity) ลดลงอีกด้วย (Navasumrit และคณะ, 2551) นอกจากนี้ นายแพทย์ ดร. Jeppe T. Friberg หัวหน้าคณะวิจัยในโคเปนเฮเกน เดนมาร์ก ได้กล่าวว่าการที่มีโอกาสสูดดมควันธูปเป็นประจำเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัจจัยเสี่ยงในการเป็นมะเร็งที่ปอด แม้บุคคลนั้นจะเป็นคนที่สูบหรือไม่สูบบุหรี่ก็ตาม เพราะควันที่เกิดจากการจุดธูปนั้นมีสารที่เป็นตัวเร่งให้เกิดมะเร็งปะปนอยู่ เช่น เบนซินและพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (ญาณเดช ศิริบุญกุลธร, 2553: ออนไลน์) และจากทำการศึกษาการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการรับสัมผัสอากาศภายในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่ประเทศไต้หวัน ที่มีปนเปื้อนสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนพบว่า การประเมินความเสี่ยงสำหรับกลุ่มที่มีการรับสัมผัสผ่านการหายใจจะมีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่สูงมาก คือ ในช่วง  $10^{-4}$  ถึง  $10^{-3}$  (Chiang และคณะ, 2008) จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ต้องตระหนักถึงภัยอันตรายที่เกิดจากควันธูป โดยเฉพาะกลุ่มที่มีโอกาสสัมผัสในปริมาณสูงและเป็นระยะเวลายาวนาน การศึกษาการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ของบุคคลที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับภัยอันตรายจากควันธูปเป็นประจำทุกวันนั้นยังมีการศึกษาไม่มากนัก

ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคผ่านการหายใจและการประเมินความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร ซึ่งถือเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดแนวทางการลดผลกระทบต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรม

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กในสถานประกอบพิธีกรรมในกรุงเทพมหานคร
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก และสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสถานประกอบพิธีกรรม
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กในสถานประกอบพิธีกรรมในกรุงเทพมหานคร

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

### 1.3.1 พื้นที่ศึกษา

สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่ประชาชนนิยมเข้าไปสักการะ และมีการใช้ธูปในปริมาณมาก ในเขตกรุงเทพมหานคร 2 แห่ง ได้แก่ วัด A (แบบเปิดโล่ง และอยู่บนสี่แยกที่มีการจราจรหนาแน่น) และวัด B (แบบกึ่งเปิดโล่ง และอยู่ห่างจากถนนหลักประมาณ 350 เมตร)

### 1.3.2 ระยะเวลาศึกษา

- เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูร้อน (กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม) ฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) และฤดูหนาว (กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) พ.ศ. 2555

### 1.3.3 เทคนิคการเก็บและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

- เก็บตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล (Personal Air Sampler) ด้วยเครื่อง Gilian air pump และเก็บตัวอย่างบรรยากาศในบริเวณผู้ปฏิบัติงาน (Ambient) ด้วยเครื่อง Minivol tactical air sampler (TAS)

- วิเคราะห์ปริมาณฝุ่น โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Microbalance) รุ่น METLER UMX 2 ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สกัดสาร PAHs ในตัวอย่าง และวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างโดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณ  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาค ที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานที่ประกอบพิธีกรรมในพื้นที่ที่ได้รับความนิยมและสภาพแวดล้อมโดยรอบแตกต่างกัน
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังภัยเจ็บจาก  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคในควันธูป
3. ทราบถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>)

##### 2.1.1 นิยามของ PM<sub>2.5</sub>

US.EPA. (United State Environmental Protection Agency) ได้ให้คำจำกัดความของ PM<sub>2.5</sub> ไว้ว่า PM<sub>2.5</sub> เป็นฝุ่นละออง (Fine Particles) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยทั่วไปฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซ SO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> และสาร VOCs จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละอองได้ (นพภาพร และคณะ, 2547)

##### 2.1.2 แหล่งกำเนิดของ PM<sub>2.5</sub>

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนพบได้ในหมอกควัน (Smoke) อนุภาคขนาดนี้อาจมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Primary Particles) เช่น จากการเผาไหม้ หรืออาจเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้าหรือจากไอเสียรถยนต์ แล้วเกิดปฏิกิริยากับอากาศจึงรวมตัวกันเป็นอนุภาค (Secondary Particles) โดยส่วนใหญ่แล้ว PM<sub>2.5</sub> ประเภทนี้จัดเป็น Secondary Particles

PM<sub>2.5</sub> เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถแขวนลอยในอากาศได้นานเป็นเวลาหลายวันจนถึงหลายสัปดาห์ องค์ประกอบหลักของฝุ่นขนาดเล็ก ได้แก่ ซัลเฟตไอออน ไนเตรตไอออน แอมโมเนียม ซาตคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์โลหะ และละอองน้ำที่จับตัวกับฝุ่น แหล่งที่มาสำคัญ คือ การเผาไหม้ ถ่านหิน น้ำมัน เศษไม้ การเปลี่ยนแปลงสภาพของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ในบรรยากาศ กระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เตาหลอม โรงบดเหล็ก เป็นต้น ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันตามพื้นที่ เช่น กรุงเทพมหานคร พื้นที่ริมถนน ส่วนใหญ่มาจากรถยนต์ และจังหวัดสมุทรปราการ ส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรม รองลงมาเป็นภาคการขนส่ง เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

##### 2.1.3 มาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub>

ปัจจุบันมีหลายประเทศได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศสำหรับ PM<sub>2.5</sub> เพื่อให้สามารถป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยที่เกิดจากได้รับ PM<sub>2.5</sub> ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา สหราชอาณาจักร (UK) กลุ่มประเทศยุโรป (EU) ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ นอกจากนี้ องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดค่า Air Quality Guideline (AQG)

สำหรับ PM<sub>2.5</sub> ทั้งในระยะสั้น (24 ชั่วโมง) และระยะยาว (1 ปี) และกำหนดค่า Interim Targets (IT) ไว้ 3 ระดับ เพื่อใช้ในกรณีที่ยังไม่สามารถที่จะทำให้บรรลุค่า Guideline ได้ โดยสามารถกำหนดระดับค่าเป้าหมายที่จะทำได้ตามลำดับขั้นได้ ซึ่งประเทศต่างๆ อาจนำค่า Interim Targets ไปใช้ในการวัดความก้าวหน้าของการดำเนินมาตรการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตาราง 2.1 ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่ามาตรฐาน และ Guideline ของ PM<sub>2.5</sub> ของต่างประเทศและประเทศไทย

ประเทศ	ค่ามาตรฐาน PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	ค่าเฉลี่ย 1 ปี
องค์การอนามัยโลก (WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005)		
▪ Interim Target (IT-1)	75	53
▪ Interim Target (IT-2)	50	25
▪ Interim Target (IT-3)	37.5	15
▪ Air Quality Guideline (AQG)	25	10
มาตรฐานของ US.EPA. (National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) ประกาศใช้ ธันวาคม ปี 2006 รัฐแคลิฟอร์เนีย (State Standard)	35	15
สหราชอาณาจักร	-	25
สก๊อตแลนด์	-	12
European Union (EU)	-	25
แคนาดา (Canada-wide standard; CWS)	30	-
นิวฟาวด์แลนด์ (Provincial standard)	25	-
Metro Vancouver	25	12
ออสเตรเลีย	25	8
นิวซีแลนด์	25	-
สหรัฐอเมริกา	65	15
ไทย	60	25

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2552 อ้างถึงใน เกศศุภา การวิวัฒน์ และชนัญญาพรณ ปานณรงค์, 2554)

กรมควบคุมมลพิษได้พิจารณากำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนของประเทศไทย เพื่อเป็นมาตรการหนึ่งในการป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกพิษทางอากาศ เป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเพื่อเพิ่มระดับการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยทั่วไปทั้งในระยะสั้นและระยะยาว จึงเสนอแนะค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เนื่องจากเป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพอนามัย โดยอาศัยหลักวิชาการและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ล่าสุดเป็นพื้นฐาน และได้พิจารณาความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติด้วยการเปรียบเทียบกับสถานการณ์คุณภาพอากาศที่ผ่านมาของประเทศไทย และการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้คุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดภายในระยะหนึ่งด้วย โดยอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

#### 2.1.4 ผลกระทบของ $\text{PM}_{2.5}$

จากการพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากอนุภาคฝุ่น สามารถแบ่งอนุภาคฝุ่นได้ตามความลึกของอนุภาคฝุ่นที่จะสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยการหายใจคือ

1) อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่างช่วง 2.5-10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) อนุภาคขนาดนี้สามารถเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจและปอดส่วนต้นเท่านั้น สามารถที่จะถูกเก็บสะสมไว้ภายในระบบหายใจได้ แหล่งกำเนิดของอนุภาคชนิดนี้ส่วนมากมาจากธรรมชาติ

2) อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) เป็นอนุภาคที่อันตรายกว่า  $\text{PM}_{10}$  เนื่องจากสามารถเข้าไปในปอดได้ลึกกว่า อาจเข้าถึงส่วนของถุงลมปอด แหล่งกำเนิดมักมาจากการเผาไหม้

3) อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1  $\mu\text{m}$  จะถูกเรียกว่าเป็น Ultrafine particles (UFP) เป็นอนุภาคที่อันตรายมากที่สุดเนื่องจากมีขนาดเล็กสามารถแทรกเข้าไปได้ถึงถุงลมปอด และมีพื้นที่ผิวมากเป็นผลให้มีองค์ประกอบที่เป็นพิษ เช่น Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) อยู่ในปริมาณสูงด้วย แหล่งกำเนิดมักมาจากการเผาไหม้เช่นเดียวกับ  $\text{PM}_{2.5}$  ปัจจุบันมีการศึกษาพบว่า UFP อาจผ่านเข้าไปในกระแสโลหิตได้โดยตรง

ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยจากการทบทวนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ พบว่า การศึกษาทางด้านระบาดวิทยาทั้งในประเทศและต่างประเทศ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $\text{PM}_{2.5}$ ) ในบรรยากาศกับผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ได้แก่ การตายก่อนเวลาอันควร การเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบ

ทางเดินหายใจ และอาการระบบทางเดินหายใจ โดยการได้รับ  $PM_{2.5}$  ในระยะยาวมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยรุนแรงกว่าการได้ในระยะสั้น ซึ่งการศึกษาทางระบาดวิทยาของประเทศไทยที่มีอยู่ในปัจจุบัน พบว่าผลกระทบของ  $PM_{2.5}$  ต่อสุขภาพอนามัยอยู่ในระดับใกล้เคียงกับที่พบในการศึกษาที่เมืองต่างๆ ในประเทศแถบตะวันตกที่มีการศึกษาวิจัยด้านนี้มาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

ในปี 2547 กรมควบคุมมลพิษได้มอบหมายให้มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ดำเนินโครงการจัดทำ (ร่าง) มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยมีการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลทางระบาดวิทยา 2 เรื่อง ได้แก่ การศึกษา Time series analyses ของการตายและการรับเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร และการศึกษา Panel study ผลกระทบแบบเฉียบพลันของ  $PM_{2.5}$  ต่อระบบทางเดินหายใจ โดยใช้ข้อมูลการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานครเมื่อปี 2541 ซึ่งผลการศึกษาทั้ง 2 เรื่อง สรุปได้ว่า เมื่อปริมาณการได้รับ  $PM_{2.5}$  เพิ่มขึ้นทุก  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในกรุงเทพมหานคร (สำหรับประชากร 10 ล้านคน) จะมีความเสี่ยงสำหรับผลกระทบระยะสั้น (Short term effects) ต่อการตายต่อวันจากทุกสาเหตุ การตายต่อวันเนื่องจากโรกระบบทางเดินหายใจและหลอดเลือด (Cardiovascular mortality) และการตายต่อเนื่องจากระบบทางเดินหายใจ (Respiratory mortality) เพิ่มขึ้น 1.3% 3.6% และ 1.7% ตามลำดับ และมีความเสี่ยงต่ออาการระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และอาการระบบทางเดินหายใจส่วนบนเพิ่มขึ้น 9% และ 11% ตามลำดับ นอกจากนี้ การศึกษาทางด้านระบาดวิทยาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า เมื่อปริมาณการได้รับ  $PM_{2.5}$  เพิ่มขึ้นทุก  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จะมีผลกระทบระยะยาว (Long term effects) ต่อการตายจากทุกสาเหตุ การตายด้วยโรคหัวใจและปอด และการตายด้วยมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นในช่วง 10% ถึง 39% 16% ถึง 54% และ 3% ถึง 61% ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

## 2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารประกอบ PAHs

### 2.2.1 ลักษณะและสมบัติของสารประกอบ PAHs

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ พีเอเอช (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป ลักษณะการจัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน โดยวงอะโรมาติก 2 วงที่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน และวงอะโรมาติกอาจจะมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ PAHs ประกอบด้วยสารที่มีสูตรโครงสร้างหลักแตกต่างกัน 35 ชนิด และแต่ละโครงสร้างนั้นประกอบด้วยอนุพันธ์ต่างๆ (derivative) PAHs ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ ค่าลอการิทึมของค่าคงที่การละลายในน้ำออกทานอลอยู่ระหว่าง 3 - 7 จุดเดือดระหว่าง 150 - 325 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวระหว่าง 101 - 438 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปสาร PAHs ที่อุณหภูมิปกติจะเป็น

ของแข็ง มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง ความดันไอต่ำ ละลายน้ำได้น้อยมาก โดยการละลายจะขึ้นอยู่กับมวล สาร PAHs เป็นสารที่เฉื่อยและสามารถสลายตัวในสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง (Photodecomposition) และปฏิกิริยาที่เกิดกับไนโตรเจนออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลฟิวริกแอซิด โอโซน และไฮดรอกซีเรดิคอล (เมทินี วรณวิจิตร, 2548)

สาร PAHs ในบรรยากาศโดยทั่วไป จะเกิดจากกระบวนการควบแน่นหรือดูดซับ ทำให้เกิดสาร PAHs ใน 2 สถานะ ได้แก่ สถานะก๊าซ (Gas phase) และสถานะที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Particle-bound PAHs, pPAHs) โดยสาร PAHs จะอยู่ในสถานะใดขึ้นกับความดันไอของสาร PAHs จำนวนอนุภาคหรือพื้นที่ผิวที่สาร PAHs ดูดติดผิว ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความคงตัวของสาร PAHs นั้น (Yamasaki et al., 1982 อ้างถึงใน ัญญภัสสรณ์ ทองเย็น, 2552)

สาร PAHs มีปรากฏอยู่ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน รวมทั้งปรากฏในปล่องควันภูเขาไฟ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดได้จากกิจกรรมของมนุษย์อีกด้วย ที่สำคัญคือการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงอาทิเช่นถ่านหิน น้ำมันดิบ ขยะมูลฝอย สารประกอบอินทรีย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าการเผาไหม้จากเครื่องยนต์ อากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสาร PAHs ยังจัดเป็นสารก่อมะเร็ง สารก่อการกลายพันธุ์ และเป็นสารพิษต่อสิ่งมีชีวิต จะอยู่ในรูปของเขม่าในอากาศของสารผสมโดยเขม่านี้มีองค์ประกอบสำคัญคือ ยางเหนียว ที่ประกอบด้วยสารในกลุ่ม PAHs ส่วนที่เป็นไอ (vapour phase) ซึ่งให้ลักษณะที่แตกต่างผลิตภัณฑ์กับส่วนที่เป็นอนุภาค (particle phase) ของของแข็งและของเหลว ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการ สาร PAHs มีการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่ายทั้งในน้ำ ดินและอากาศ นอกจากนี้องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (The United State Environmental Protection Agency, EPA) ได้จัดกลุ่ม PAHs ให้เป็นสารที่ควรให้ความสำคัญอันดับแรกไว้ 16 ชนิด ดังรูป 2.1

## 2.2.2 แหล่งกำเนิดของสารประกอบ PAHs

PAHs สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์รวมทั้งควันจากท่อไอเสียรถยนต์และควันบุหรี่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมันดิบ อุตสาหกรรมไม้ซึ่งใช้สารเคลือบทาเนื้อไม้เพื่อป้องกันแมลงที่มี PAHs เป็นองค์ประกอบ เช่น creosote และ anthracene oil โดย PAHs พบได้ทั้งในน้ำ ดิน ดินตะกอน อากาศ น้ำใต้ดิน และบริเวณริมถนน ความเข้มข้นของ PAHs ในสิ่งแวดล้อมขึ้นกับระยะห่างระหว่างบริเวณที่ปนเปื้อนกับแหล่งที่ผลิต PAHs ระดับของการพัฒนาอุตสาหกรรมและความสามารถในการเคลื่อนย้ายของ PAHs โดยสามารถแบ่งแหล่งกำเนิด PAHs ออกเป็น 2 ประเภทคือ



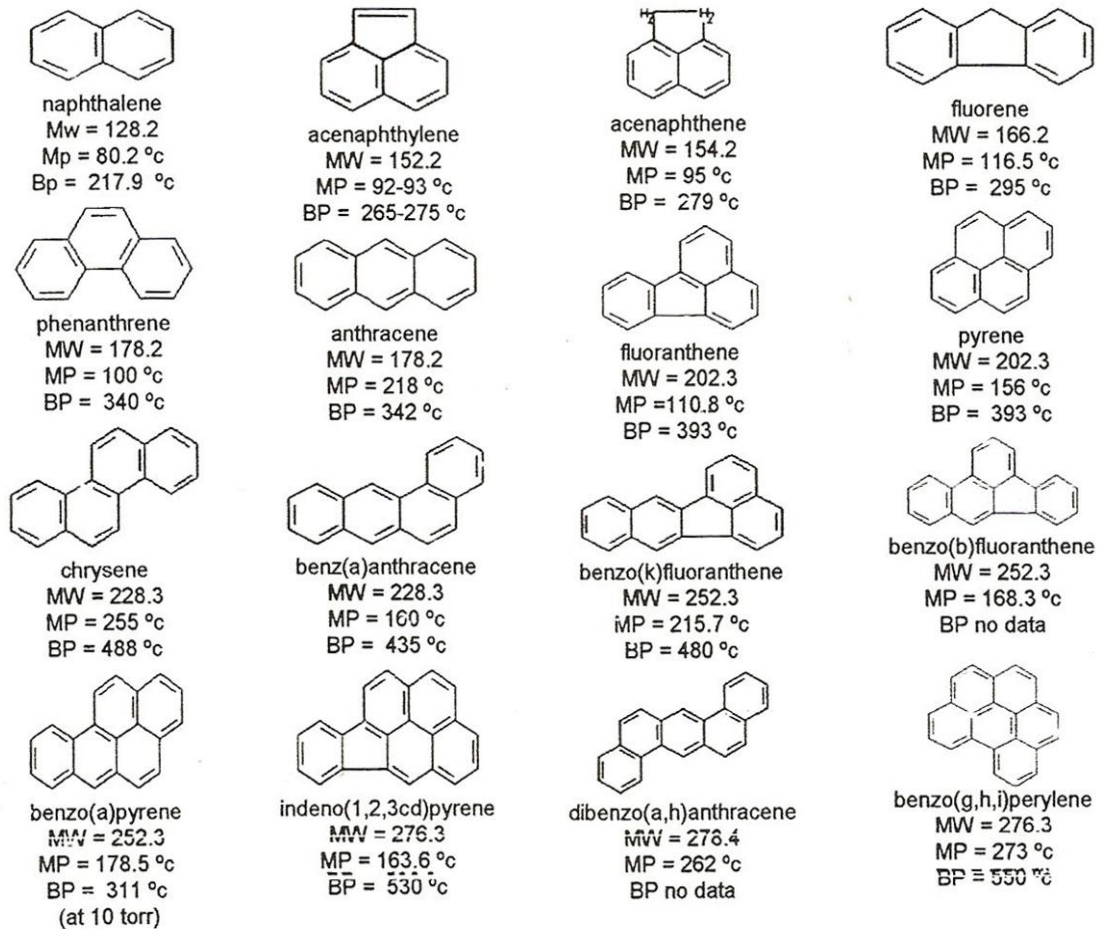
### 2.2.2.1 แหล่งกำเนิดที่เป็นกระบวนการตามธรรมชาติ

การเกิดไฟฟ้าและภูเขาไฟระเบิด เป็นแหล่งกำเนิดของ PAHs จากธรรมชาติ ในประเทศแคนาดามี PAHs ในอากาศประมาณ 2,000 ตันต่อปี ที่เกิดจากไฟไหม้ป่า (Environment Canada, 1994 อ้างถึงใน IPSC, 1998) และพบ Benz(a)pyrene จากภูเขาไฟระเบิด 1.2-1.4 ตันต่อปี

### 2.2.2.2 แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

#### 1) บ้านเรือนที่อยู่อาศัย

สาร PAHs ในอาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัย เกิดจากการให้ความร้อนภายในบ้านเรือน รวมทั้งการสูบบุหรี่ สาร PAHs ที่เกิดจากการให้ความร้อนภายในบ้านเรือนเกิดเนื่องจากในฤดูหนาวมีอุณหภูมิที่ต่ำจึงมีการให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย ไม่ว่าจะด้วยไม้ ถ่านหิน และถ่านโค้ก ซึ่งการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไม้ ถ่านหิน และถ่านโค้กนี้ ทำให้เกิดสาร PAHs ไม่ว่าจะเกิดจากเครื่องทำความร้อน และทำอาหาร เป็นต้น ในกัลกัตตา ประเทศอินเดีย ประชาชนใช้ไม้ และถ่านหินเป็นพลังงานหลักในการให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย ซึ่งพบว่า Benzo(a)pyrene มีความเข้มข้นสูงกว่า  $120 \text{ ng/m}^3$  และความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดมีค่าอยู่ในช่วง  $1.3\text{-}200 \text{ ng/m}^3$  โดยชนิดที่มีความเข้มข้นสูงคือ Benzo(a)pyrene Benzo(g,h,i)pyrene และ Benzo(b)fluoranthene (Chakraborti et al., 1988 อ้างถึงใน IPCS, 1998) ใน Christchurch ประเทศนิวซีแลนด์ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มาจากเครื่องทำความร้อนในที่อยู่อาศัยมีค่าตั้งแต่  $1\text{-}120 \text{ ng/m}^3$  โดยชนิดที่มีความเข้มข้นสูงคือ Benzo(g,h,i)pyrene และ Coronene ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า  $43 \text{ ng/m}^3$  (Cretney et al., 1985 อ้างถึงใน IPCS, 1998) ในเมือง Essen-Vogetheim ประเทศเยอรมัน พบสาร PAHs มีความเข้มข้นสูงในพื้นที่ที่อยู่อาศัย เนื่องมาจากการให้ความร้อนโดยใช้ถ่านหิน ซึ่งพบว่า Benzo(a)anthracene Benzo(b)fluoranthene และ Chrysene มีความเข้มข้นสูงกว่า  $260 \text{ ng/m}^3$  (Grimmer, 1980 อ้างถึงใน IPCS, 1998)



ภาพที่ 2 1 โครงสร้างสาร พร้อมแสดงค่าโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด และจุดหลอมเหลว โมเลกุลของสาร PAHs 16 ชนิด (กรมควบคุมมลพิษ, (2543) อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิ-รารวรรณ นนทกนก, 2552)

สาร PAHs ที่เกิดจากการสูบบุหรี่ เกิดได้จาก 2 ลักษณะ คือ มาจากควันบุหรี่โดยตรง (main stream) และมาจากควันรอบมวนบุหรี่ (Sidestream) พบว่าสาร PAHs ที่มาจากควันรอบมวนบุหรีมี Pyrene 39-101 ไมโครกรัมต่อบุหรี 100 มวน และ Fluoranthene 126 ไมโครกรัมต่อบุหรี 100 มวน ส่วนควันที่เกิดจากบุหรีโดยตรง พบ Pyrene มีปริมาณ 5-27 ไมโครกรัมต่อบุหรี 100 มวน และ Fluoranthene 1-27.2 ไมโครกรัมต่อบุหรี 100 มวน

## 2) อุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดสาร PAHs จากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ประกอบด้วย อุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตโดยใช้ถ่านหิน น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินและถ่านโค้ก การกลั่นปิโตรเลียม อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตถ่านคาร์บอน ยารักษาเนื้อไม้ น้ำมันดิบและบิทูเมน

กระบวนการผลิตอะลูมิเนียม เหล็ก เหล็กกล้าในโรงงาน อุตสาหกรรมและกระบวนการหล่อแบบขึ้นรูป โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนและเตาเผาขยะ เป็นต้น (Thrane, 1987 อ้างถึงใน IPCS, 1998) ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสาร PAHs บริเวณที่ใกล้กับโรงงานถลุงอะลูมิเนียม เมือง Hoyanger ประเทศนอร์เวย์ พบว่า Phenanthrene ในบรรยากาศที่ความเข้มข้นระดับสูง ซึ่งมาจากการปนเปื้อนในโรงงานอุตสาหกรรม (Davies et al., 1976 อ้างถึงใน IPCS, 1998) ศึกษา PAHs ที่เกิดจากเตาเผาในเมือง British ประเทศอังกฤษ โดยเก็บตัวอย่างจากปลายท่อเตาเผาขยะชุมชน พบ Pyrene 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Benzo(a)anthracene และ Chrysene 0.72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Fluorene 0.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Benzo(g,h,i)pyrene 0.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Perylene 0.18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Indeno(1,2,3-cd)pyrene และ Pyrene 0.18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

### 3) ยานพาหนะ

ยานพาหนะที่ใช้สัจจรบนท้องถนนเป็นแหล่งกำเนิดสาร PAHs ที่สำคัญ เนื่องจากในปัจจุบันมียานพาหนะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาร PAHs ปลดปล่อยออกมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน สาร PAHs ที่มาจากรถยนต์เบนซินส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงอยู่ในรูปก๊าซ ส่วนรถยนต์ประเภทดีเซล เมื่อสาร PAHs ที่อยู่ในน้ำมันถูกเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูง ออกมาภายนอกเครื่องยนต์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงเกิดการควบแน่นอยู่บนฝุ่นละออง จินตนา สายวรรณ (2541) ศึกษาสาร PAHs จากอนุภาคไอเสียรถยนต์ที่อยู่ในอากาศในกรุงเทพมหานคร ย่านริมถนน 3 บริเวณ คือ ย่านประตูน้ำ เขาวราช และบางยี่ขัน พบว่าสามารถหาปริมาณได้เพียง 3 ชนิด คือ Phenanthrene Fluorene และ Pyrene ปริมาณรวมของสาร PAHs อยู่ในช่วง 1.14 ถึง 91.78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และพบปริมาณเฉลี่ยของสาร PAHs และความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศทั้งหมดบริเวณถนนมีค่าสูงกว่าบริเวณห่างไกลจากถนน นอกจากนี้การกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปแบบของการปล่อยไอเสียรถยนต์ ซึ่งอาจชี้ให้เห็นว่ามลพิษของสาร PAHs ในบรรยากาศของกรุงเทพฯ มีแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียของรถยนต์

#### 2.2.3 กลไกการเข้าสู่ร่างกายของ PAHs

สาร PAHs ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ด้วยการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะก่อให้เกิดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอน จัดเป็นอนุภาคที่อันตรายมากที่สุดเนื่องจากมีขนาดเล็กสามารถแทรกเข้าไปได้ถึงถุงลมปอด และมีพื้นที่ผิวมากเป็นผลให้มีองค์ประกอบที่เป็นพิษ ปัจจุบันมีการศึกษาพบว่า อาจผ่านเข้าไปในกระแสโลหิตได้โดยตรง

### 2.2.3.1 เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของ PAHs

#### 1) ทางการหายใจ

ผ่านเข้าไปทางระบบทางเดินหายใจและปอดโดยการสูดดมก๊าซ หรืออนุภาคฝุ่นควัน ในอากาศผ่านทางหายใจ ซึ่งการหายใจเป็นเส้นทางการได้รับสัมผัส PAHs มากที่สุดโดยอาจปนเปื้อนมากับฝุ่นควัน หรืออนุภาคในอากาศ

#### 2) ทางการบริโภค

ผ่านเข้าทางด้านบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้ จากการรับประทานพืชผัก ผลผลิตอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนสาร PAHs โดยน้ำจากท่าที่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน มีระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในน้ำดื่มอยู่ในช่วง 4-24 ng/l (U.S.DHHS, 1995)

#### 3) ทางผิวหนัง

เกิดจากการสัมผัสดินหรือเขม่าควันที่มี PAHs ปนเปื้อน หรือจากน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เครื่องสำอางหรือยา (U.S.DHHS, 1995)

### 2.2.3.2 การแพร่กระจายและการสะสมในร่างกาย

เนื่องจากสาร PAHs เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นปริมาณของ PAHs ที่ปรากฏในเนื้อเยื่อต่างๆ หลังจากทีร่างกายรับสัมผัสสาร PAHs ควรพิจารณาในทุกอวัยวะเป้าหมายโดยเฉพาะอวัยวะที่เนื้อเยื่อประกอบด้วยไขมันสูง ซึ่งสามารถเก็บกักและปลดปล่อยสารประกอบ PAHs ออกมาได้อย่างช้าๆ อีกทั้งควรพิจารณาบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้ ซึ่งจะมีระดับของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอัตราการเมตาบอลิซึมในระดับสูง โดยเมื่อ PAHs ถูกขนส่งผ่านเส้นทางการรับสัมผัสต่างๆ ก็จะถูกกำจัดโดยเมือกขน (Mucociliary) หรือทางน้ำดีการแพร่กระจายของ PAHs ในร่างกายของสัตว์ทดลองพบว่า เมื่อได้รับโดยการสูดดมและการกินจะแพร่ไปยังปอด ตับ ไต และทางเดินอาหาร หนูที่ได้รับเบนโซเอไพรีนโดยการหยอดเข้าหลอดคอ พบว่าเบนโซเอไพรีนจะกระจายไปยังปอด ตับ ทางเดินอาหารโดยเมตาบอลิซึมในลำไส้จะมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น แสดงว่ามีการขับออกทางน้ำดีและมีการหมุนเวียนระหว่างลำไส้และตับ และสามารถแพร่ไปยังลูกอ่อนในครรภ์ได้ แต่ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการแพร่กระจายหลังการสัมผัสทางผิวหนัง

## 2.2.4 ผลกระทบของสาร PAHs ต่อสุขภาพ

### 2.2.4.1 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

สาร PAHs จัดเป็นสารพวกไม่มีขั้ว (non-polar) ละลายได้ดีในไขมัน จึงสามารถซึมผ่านผิวหนัง ปอด และลำไส้ได้อย่างดี และแพร่กระจายไปสู่เนื้อเยื่อไขมันส่วนต่างๆ ของร่างกาย ร่างกายสามารถขับสาร PAHs ออกไปโดยผ่านขบวนการไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ซึ่งทำให้สาร PAHs แตกตัวละลายในน้ำ และถูกขับออกจากร่างกาย

สาร PAHs แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็งคือ กลุ่มที่ก่อมะเร็ง และกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง IARC (1999) ได้จัดแยกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งพบว่าไม่มี PAHs ชนิดใดที่ IARC จัดเป็นสารประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่ามีสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น ควีนบูทรี น้ำมันดิบ เขม่าไอเสียจากเตาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดที่มนุษย์ได้รับจากสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่นๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทกนก, 2552)

### 2.2.4.2 การเป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

สาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ด้วย PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาโบไลต์โดยเอนไซม์ชนิด Cytochrome P-450 ที่ทำงานแบบออกซิเดสซึ่งจะได้เมตาโบไลต์ต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของ PAHs เมตาโบไลต์บางชนิดเป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 3,4-diol-1,2,epoxide ซึ่งเป็นเมตาโบไลต์ของ Benzo(a)anthracene และ 7,8 alpha-dihydroxy-9 alpha,10 alpha-7,8,9,10-tetrahydrobenzo[a]pyrene (BPDE) ซึ่งเป็นเมตาโบไลต์ของ Benzo(a)pyrene เมตาโบไลต์ที่เป็นสารก่อมะเร็งเช่น BPDE เหล่านี้มี Epoxide อยู่ในส่วนที่เรียกว่า "Bay region" Epoxide ที่ตำแหน่งนี้ สามารถเปลี่ยนเป็น Carbonium ion มีประจุเป็นบวกและมีความไวสูงในการเข้าจับกับสารชีวโมเลกุลที่มีประจุเป็นลบได้ เมตาโบไลต์ดังกล่าวจะเข้าไปจับกับ DNA ที่ตำแหน่งต่างๆการเข้าจับกับดีเอ็นเอดังกล่าว เมื่อดีเอ็นเอเกิดการจำลองตัวเอง การเติมเบสมาเข้าคู่กับสารที่ถูกจับจะผิดไป ทำให้เกิดมิวเตชันที่ลำดับเบส อย่างไรก็ตามโอกาสของการเกิดมิวเตชันขึ้นขึ้นกับความสามารถของเซลล์ในการซ่อมแซมดีเอ็นเอที่ผิดปกติและระยะเวลาที่ได้รับสารก่อนการจำลองตัวเอง ถ้าเซลล์ซ่อมแซมได้ทันการเกิดมิวเตชันจะลดลง เช่นการได้รับ BPDE ในระยะ S จะเกิดมิวเตชันมากกว่าระยะ G1 สำหรับความเป็นพิษแบบอื่น เช่น รบกวนระบบต่อมไร้ท่อในปลาและมีผลกระทบต่อสเตอรอยด์ฮอร์โมนในกลุ่มอาร์โทรพอด และมีผลต่อการลอกคราบของปูคริสเตเซียนหลายชนิดที่สัมผัสกับน้ำมันดินมักมีการลอกคราบที่ผิดปกติ รบกวนการสื่อสารระหว่าง

เซลล์ แต่ถ้าการซ่อมแซมผิดไปจากเดิมหรือไม่มีการซ่อมแซมเกิดขึ้น DNA นั้นก็ยังคงเสียหายหรือมีลำดับเบสผิดไปจากเดิม เมื่อเซลล์ที่เกิดการกลายพันธุ์ขึ้น โดยการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นกับเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นั้น จะเกิดขึ้นได้กับทั้งเซลล์สืบพันธุ์และเซลล์ร่างกาย

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research Cancer (IARC)

Group	สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน ( Probably carcinogenic to human) มี 3 สาร		
2A	Benz(a)anthracene	Benzo(a)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene
	สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (Possibly carcinogenic to human) มี 11 สาร		
Group 2B	Benzo(b) fluoranthene	Benzo(k) fluoranthene	Benzo(j) fluoranthene
	Dibenzo(a,e)pyrene	Dibenzo(a,h)pyrene	Dibenzo(a,j)pyrene
	Dibenzo(a,l)pyrene	Dibenzo(a,h)acridine	Dibenzo(a,j)acridine
	Naphthalene	Indeno(1,2,3cd)pyrene	
	สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน (Unclassifiable as to carcinogenic to human) มี 23 สาร		
Group 3	Anthracene	Benzo(a)acridine	Benzo(c)acridine
	Benzo(ghi)fluoranthene	Benzo(a)fluorene	Benzo(b)fluorene
	Benzo(c)fluorene	Benzo(g,h,i)perylene	Benzo(c)phenanthrene
	Benzo(e)pyrene	Chrysene	Coronene
	Cyclopenta(c,d)pyrene	Dibenz(a,c)anthracene	Dibenzo(a,j)anthracene
	Dibenzo(a,e)fluoranthene	Dibenzo(a,j)pentaphene	Fluoranthene
	Fluorine	Perylene	Phenathrene
	Pyrene	Triphenylene	

ที่มา: International Agency for Research Cancer (IARC)

นอกจากนี้ ในการตรวจเลือดและปัสสาวะของคนที่ได้รับควันรูป พบกรดมิวโค นิก กรด Monohydroxy – butenylmercaptulic (MHBMA) และไฮดรอกซีไพรีน ซึ่งบ่งชี้ว่า ร่างกายได้รับสารก่อมะเร็งทั้ง 3 ชนิด และยังมี การตรวจวัดถึงความผิดปกติของสารพันธุกรรม ได้แก่ การแตกหักของ DNA (DNA strand breaks) ระดับ 8-hydroxydeoxyguanosine (8-OHdG) ซึ่งถ้า ไม่ได้รับการซ่อมแซม จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของรหัสพันธุกรรม มีผลต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ พบว่า ระดับการแตกตัวของ DNA และ 8 – OHdG ในเม็ดเลือดขาวของคนงานที่ได้รับควันรูปสูงกว่าคนงาน

ในหน่วยงานที่ไม่มีการจัดรูป ประมาณ 2 เท่า และคนงานที่ได้รับควันรูปก็ยังสามารถในการซ่อมแซมความผิดปกติของสารพันธุกรรมลดลง ซึ่งการแตกหักของสารพันธุกรรมและไม่สามารถซ่อมแซมได้ จะส่งผลให้สารพันธุกรรมกลายเป็นเซลล์ใหม่ที่แบ่งตัวถาวร และกลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ในที่สุด (มนูญ ลีเชวงวงศ์, 2551 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกนก, 2552)

#### 2.2.4.3 ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxicity)

ไม่พบรายงานความเป็นพิษต่อระบบประสาทจากการได้รับสาร PAHs ยกเว้น Naphthalene ที่มีรายงานว่าทำให้เกิดอาการทางประสาทในเด็กทารกได้ เช่น มีอาการเซื่องซึม การร้องไห้ลดลง มีติชานในสมอง (Kernicterus) อาการเหล่านี้เข้าใจว่าเกิดจากการขาดออกซิเจนในสมอง ซึ่งเป็นผลของภาวะโลหิตจางที่เกิดจากเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic anemia) (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกนก, 2552)

#### 2.2.4.4 การเสริมพิษ และการต้านพิษ (Potentiation and antagonism)

โดยทั่วไปสาร PAHs ที่เกิดจากแหล่งต่างๆ อยู่ในรูปของสารผสมมากกว่าในรูปของสารเดี่ยวและอาจมีสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ PAHs ปะปนอยู่ด้วย เช่น สาร Nicotin ที่ปะปนกับ PAHs ในควันบุหรี่ เส้นใยแอสเบสตอสที่ปะปนกับ PAHs ในผงเขม่าจากโรงงาน เป็นต้น

การเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่าง PAHs ด้วยกันเองและระหว่าง PAHs กับสารอื่นๆ จึงอาจเกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและหลังการได้รับเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจาก PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งและก่อการกลายพันธุ์จะต้องถูกเมตาโบไลต์เพื่อเปลี่ยนเป็นเมตาโบไลต์ที่มีความเป็นพิษและสามารถรวมตัวกับสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สำคัญของเซลล์ เช่น DNA RNA และโปรตีนได้ ฉะนั้นการยับยั้งหรือกระตุ้นเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมของ PAHs ด้วยกันเองหรือจากสารชนิดอื่นก็ย่อมมีผลในการเสริมหรือต่อต้านความเป็นพิษของ PAHs ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกนก, 2552)

#### 2.2.4.5 การระคายเคืองเบื้องต้น (Primary irritation)

สาร PAHs บางชนิดสามารถก่ออาการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อต่างๆ ได้ เช่น Anthracene ทำให้เกิดอาการแพ้แสง (Photosensitivity) ได้ทั้งคนและสัตว์ทดลอง มีรายงานว่า คนที่ได้รับสัมผัสกับ Anthracene เกิดอาการอักเสบอย่างฉับพลันของผิวหนัง คือ มีอาการบวมแดง แสบร้อน และคันในบริเวณที่ได้รับสัมผัสกับ Anthracene นอกจากนี้ Anthracene ยังทำให้เกิดการระคายเคืองของดวงตา เยื่อบุตาอักเสบ ตาแดงหนังตาบวม น้ำตาไหล แพ้แสง และมีอาการ

ระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจตอนต้นร่วมด้วย อาการเฉียบพลันเหล่านี้กลับหายปกติได้ในเวลาหลายวันหลังจากการได้รับ

Anthracene หากได้รับเป็นระยะเวลาอนานผิวหนังส่วนที่ได้รับสัมผัสจะมีสีเข้มขึ้น ส่วนบนของผิวหนังหน้าและด้าน และมีการพองตัวของเส้นโลหิตฝอยของผิวหนังบริเวณนั้น ในบางกรณีอาจมีการอักเสบของเยื่อทางเดินอาหารเกิดขึ้น แสงอัลตราไวโอเล็ตมีส่วนร่วมในการก่อความระคายเคืองของ Anthracene ด้วย กรมควบคุมมลพิษ (2543) รายงานว่า แสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร สามารถกระตุ้นให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่าง DNA และ Anthracene เพิ่มขึ้น

Pyrene ทำให้เกิดอาการแพ้แสงของผิวหนังได้อย่างรุนแรงในหนูตะเภา จากการศึกษาการแพ้แสงของสารประกอบ 8 ชนิดที่มีอยู่ในน้ำมันดิบที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 5 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 ไมโครโมลาร์ โดยการป้ายสารละลายเหล่านี้บนผิวหนังของหนูตะเภาแล้วฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตพบว่า Pyrene ทำให้เกิดอาการอักเสบบวมแดงของผิวหนังได้มากที่สุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทนก, 2552)

Benzo(a)pyrene ทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อทางเดินหายใจ มีรายงานว่าคนที่ได้รับ Benzo(a)pyrene หรือน้ำมันดิบซึ่งมี PAHs หลายชนิดเป็นส่วนประกอบโดยการสัมผัสทางผิวหนัง ทำให้เกิดความผิดปกติของผิวหนัง คือ เป็นหูด นอกจากนี้ยังมีอาการแสบร้อน ไวต่อแสง และมีตุ่มหนองเกิดขึ้น อาการเหล่านี้รุนแรงมากขึ้นเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทนก, 2552)

Benzo(a)anthracene ทำให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจในมนุษย์ สำหรับในสัตว์ทดลองพบว่า Benzo(a)anthracene ทำให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจ และการตรวจทางพยาธิของเยื่อหุ้มหัวใจ พบว่า มีการบวม น้ำ มีการแทรกตัว (Infiltration) ของเม็ดเลือดขาวชนิด Granulocyte และ Mononuclear cells เข้าไปในเยื่อทางเดินหายใจ และมีจำนวนเซลล์สร้างเส้นใย (Fibroblast) เพิ่มขึ้น ในระยะท้ายของการทดลองพบว่า มีภาวะการเกิดพังผืด (Fibrosis) ของเยื่อทางเดินหายใจด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงในเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทนก, 2552)

## 2.2.5 การเกิดปฏิกิริยาของสาร PAHs ในบรรยากาศ

ปริมาณและการกระจายตัวของสาร PAHs จะขึ้นกับความคงตัวของสาร PAHs นั้นๆ ในบรรยากาศด้วย เมื่อสาร PAHs ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดออกมาสู่บรรยากาศจะเข้าสู่กระบวนการหลายอย่าง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้



- กระบวนการทางกายภาพ จากการตกกลับโดยมวลของอนุภาคตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Dry deposition) หรือถูกชะล้างด้วยน้ำฝน และอนุภาคน้ำ (Wet deposition)
- การเคลื่อนย้าย และการเคลื่อนที่ด้วยการยกตัวของมวลอากาศ การปั่นป่วน (Turbulence) และการเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความร้อนในบรรยากาศ
- การย่อยสลาย (Degradation) และการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (Conversion) ด้วยกระบวนการทางเคมี หรือทำปฏิกิริยากับแสง
- การแลกเปลี่ยนสถานะระหว่างก๊าซ และที่ดูดซับอนุภาคเนื่องจากการเปลี่ยนสมดุลของสถานะ

#### 2.2.5.1 การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation)

กระบวนการย่อยสลายด้วยแสง เป็นกระบวนการสำคัญในการสลายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศ โดยเป็นผลมาจากการกระตุ้นของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีระหว่างเดือนที่มีอากาศร้อน เนื่องจากชั่วโมงที่มีแสงสว่างมากกว่าและมีความเข้มข้นของแสงมาก (Panther et al., 1999 อ้างถึงใน เมทินี วรรณวิจิตร, 2548)

#### 2.2.5.2 การกลายเป็นไอ (Evaporation)

สาร PAHs ในบรรยากาศโดยทั่วไปมักพบได้ใน 2 สถานะ คือ สถานะก๊าซและสถานะที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Particle-bound PAHs; pPAHs) จากการศึกษาพบว่า สาร PAHs จะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C และจะเกาะกับแก๊สที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้น (Chetwittayachan, 2002 อ้างถึงใน เมทินี วรรณวิจิตร, 2548) และเมื่อศึกษาโครงสร้างแบบชั้น (Shell structure) จะพบสาร PAHs เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และถูกปกคลุมด้วยสารในกลุ่ม High volatile ชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้การศึกษาของเมทินี วรรณวิจิตร (2548) ได้มีการอ้างอิงงานวิจัยของ Ventakaraman et al., (1999) ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ของสาร PAHs ที่พบในเขตเมือง ได้จำแนกลักษณะของอนุภาคเป็น 3 แบบ คือ

- 1) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.1  $\mu\text{m}$
- 2) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็กหรืออาจดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-2  $\mu\text{m}$  ที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่ม high volatility
- 3) สาร PAHs ที่เข้าไปติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 2-10  $\mu\text{m}$

## 2.2.6 ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศ

### 2.2.6.1 อุณหภูมิและฤดูกาล

อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสาร PAHs โดยพบสาร PAHs มีปริมาณสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากสาร PAHs จะเปลี่ยนสถานะจากที่เกาะบนอนุภาคฝุ่นละอองกลายเป็นก๊าซมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Smith and Herrison (1996) ที่ได้มีการอ้างอิงถึงในงานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร (2548) ได้ศึกษาสาร PAHs ในบรรยากาศ 18 ชนิด ในฤดูหนาวและร้อนจาก Birmingham University ซึ่งเป็นเขตเมืองและ Washhills House ซึ่งเป็นเขตชนบทของเมือง Birmingham ในประเทศอังกฤษ โดยเก็บฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particle; TSP) และตัวอย่างก๊าซ พบว่า pPAHs ในเขตเมืองมีความเข้มข้นมากกว่าเขตชนบทประมาณ 3.8 เท่า และ total PAHs (pPAHs และ PAHs) ในเขตเมืองมีค่ามากกว่าเขตชนบท 4.3 เท่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในฤดูร้อนและฤดูหนาว พบว่า pPAHs และ gas-PAHs ในเขตเมืองของฤดูหนาวมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าฤดูร้อน 4.9 เท่า และ 5.5 เท่า ตามลำดับ จากนั้นงานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร (2548) ได้มีการอ้างอิงถึงงานวิจัยของ Fanget *al.* (2003) ซึ่งได้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particle; TSP) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์หาสาร PAHs ในฝุ่นละอองทั้งหมด pPAHs และ gas-PAHs ในบริเวณ Taichung Industrial Park (TIP) ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และบริเวณ Tunghai University Campus (THUC) ซึ่งเป็นเขตชานเมือง (Suburban) ของประเทศไต้หวัน และวิเคราะห์ถึงปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสาร PAHs โดยใช้ Pearson Correlation matrix พบว่า ความเข้มข้นของสาร PAHs แปรผกผันกับอุณหภูมิ นอกจากนี้งานวิจัยของ Possanziniet *al.* (2004) ที่ได้มีการอ้างอิงถึงในงานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร (2548) ได้นำร้อยละของ gas-PAHs (ซึ่งพบมากกว่าร้อยละ 90 ของ total PAHs) ในแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน 3 ฤดูกาล (ฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว และฤดูใบไม้ผลิ) สำหรับในฤดูหนาวพบ Pyrene อยู่ในรูปก๊าซ (ร้อยละ 50) และพบร้อยละ 80 ในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้สาร PAHs เปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซได้มากขึ้น

### 2.2.6.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำที่มีอยู่จริงกับมวลไอน้ำอิ่มตัวในอากาศขณะนั้น ที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน โดยคิดเป็นหน่วยร้อยละ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ

ความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ทำให้ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเปลี่ยนแปลงไป แต่หากอุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไปด้วย โดยทั่วไปเมื่อมีแสงแดดในบรรยากาศมากขึ้น จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อแสงแดดมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหากอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำที่อนุภาคสาร PAHs เกาะอยู่มีขนาดโตขึ้น เนื่องจากในบรรยากาศมีปริมาณไอน้ำมาก ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์จึงเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง โดยเมื่อแสงแดดมีความเข้มข้นมากจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูง จึงทำให้อัตราการสลายตัวของสาร PAHs ขึ้นกับไอน้ำที่เกาะบนฝุ่นละออง ซึ่งจากการศึกษาของ McDowet *al.*(1994) ที่ได้มีการอ้างอิงถึงในงานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร (2548) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสลายตัวของสาร PAHs กับแสงแดดและความเข้มข้นของไอน้ำ (water vapor concentration) โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองชนิด Teflon coated glass fiber filter ที่อัตราการไหลของอากาศ 50 l/min ซึ่งศึกษาจากตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ ควันจากไม้ (wood smoke) และน้ำมันเบนซิน (gasoline power) จากระถยนต์ เป็นต้น พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับไอน้ำที่ถูกดูดซับบนฝุ่นละออง กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักตัวอย่างฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นด้วย ซึ่งตัวอย่างที่เก็บจากระถยนต์เบนซินและควันจากไม้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่เก็บจากระถยนต์ดีเซล 3-5 เท่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน และยังพบว่าค่าประมาณของควันจากไม้ที่มีน้ำอยู่ต่ำสุดร้อยละ 5-10 ในฝุ่นละอองชนิดนี้ จะมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 90 ซึ่งจากหลักการดังกล่าวนี้ จึงทำการทดลองการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงของสาร PAHs ในควันจากไม้ซึ่งมีส่วนผสมเป็นของเหลว (liquid mixtures) กับส่วนของน้ำที่มีเปลี่ยนแปลงในช่วงร้อยละ 0-15 พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงของ B(a)A และ B(k)F ในสารละลายผสม Methoxyphenol ที่มีน้ำร้อยละ 10 เกิดขึ้นมากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงในสารละลายผสม Methoxyphenol ที่ไม่มีส่วนของน้ำ ซึ่งผลทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงของสาร PAHs เพิ่มขึ้นเมื่อส่วนประกอบของน้ำมากขึ้นในชั้น particle organic layer ในฝุ่นละออง

### 2.2.6.3 ความเร็วและทิศทางลม

ความเร็วของลมมีผลต่อความเข้มข้นของสาร PAHs ซึ่งเมื่อมีความเร็วลมสูงจะทำให้สาร PAHs เกิดการกระจายได้ดี ทำให้มีความเข้มข้นต่ำลง และหากความเร็วลมต่ำจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษสูงขึ้น จากการศึกษาของ Chetwittayachan (2002) ที่ได้มีการอ้างอิงถึงในงานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร (2548) ซึ่งศึกษาความเข้มข้นของ pPAHs แล้วทำการประเมินค่าความเสี่ยงของ pPAHs ในอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และได้ศึกษาถึงความเข้มข้นของ pPAHs กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Multiple linear

regression พบว่า ความเร็วลมเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ pPAHs โดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน ( $r = -0.44$ ) งานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร(2548) ได้มีการอ้างอิงถึงงานวิจัยของ Fang *et al.* (2003) ซึ่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ pPAHs และ gas-PAHs จากฝุ่นละออง TSP ในประเทศไต้หวัน แล้วยังวิเคราะห์ถึงปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องโดยใช้ Pearson correlation matrix พบว่า ความเข้มข้นของสาร PAHs มีความสัมพันธ์ แบบแปรผกผันกับความเร็วม ซึ่งพบว่า gas-PAHs, total PAHs และ pPAHs มีค่าความสัมพันธ์ (Correlation coefficients; R) เท่ากับ  $-0.202$ ,  $-0.227$  และ  $-0.388$  ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยของ Chaloulakou *et al.*(2003) ที่ได้มีการอ้างอิงในงานวิจัยของเมทีนี วรณวิจิตร (2548) ได้ตรวจวัดความเข้มข้นของ  $PM_{10}$   $PM_{10-2.5}$  และ  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาจากกรุงเอเธนส์ ในประเทศกรีซ พบว่าฝุ่นละอองขนาด  $PM_{10}$   $PM_{10-2.5}$  และ  $PM_{2.5}$  มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเร็วมซึ่งมีค่า  $R = -0.43$ ,  $-0.54$  และ  $-0.19$  ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองขนาด  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  มีค่าสูงกว่า  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ เนื่องจากความเร็วมมีค่าต่ำกว่า  $2\text{m}/\text{s}$  ดังนั้นเมื่อความเร็วมต่ำ ปริมาณฝุ่นละอองมีค่าสูงก็จะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบ PAHs สูงตามไปด้วย

#### 2.2.6.4 แสงแดด

แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับสาร PAHs เนื่องจากสาร PAHs นั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายด้วยแสงได้ ซึ่งสามารถเกิดจาก 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการ Photolysis ทางตรงจากแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า  $290 \text{ nm}$  และกระบวนการ Photolysis ทางอ้อมเนื่องจากสาร oxidizing agent ในอากาศ เช่น  $\text{OH}$   $\text{O}_3$  และ  $\text{NO}_3$  โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการ Photolysis ทางอ้อมหรือ Photooxidation เป็นกระบวนการที่สำคัญกว่ากระบวนการ Photolysis ทางตรง โดยสาร PAHs แต่ละชนิดที่ดูดซับบนเขม่าที่เกิดปฏิกิริยากับ  $\text{NO}_x$  พบว่ามีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวตั้งแต่ 3.7-30 วัน และการสลายตัวของสาร PAHs จะช้าเมื่อมีแสงแดดร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าสาร PAHs ในควันจากไม้และจากเครื่องยนต์เบนซินไม่สลายตัว ในช่วงฤดูหนาวทางเหนือสุดและใต้สุดของเส้น latitudes  $60^\circ$  เนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำและมีความเกี่ยวข้องกับมุมของดวงอาทิตย์ด้วย โดยในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพียง  $20^\circ\text{C}$  และดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับพื้นที่ตั้งกล่าว จึงมีค่าครึ่งชีวิตของสาร PAHs แต่ละชนิดเพียง 30-60 นาทีเท่านั้น (IPCS,1998 อ้างถึงใน เมทีนี วรณวิจิตร, 2548)

### 2.2.6.5 ความกดอากาศ

จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความกดอากาศและสาร PAHs ดังเช่นการศึกษาของ Fang *et al.* (2003) ที่ได้อ้างอิงในงานวิจัยของเมทินี วรณวิจิตร (2548) ทำการวิเคราะห์หาสาร PAHs ในฝุ่น TSP พร้อมวิเคราะห์ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาโดยใช้ Pearson correlation matrix ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสาร PAHs และความกดอากาศ

## 2.3 สารประกอบ PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้รูป

### 2.3.1 มลสารสำคัญในควันรูป

เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตรูปคือ ชี้อ้อย กาว น้ำมันหอมสกัดจากพืช ไม้หอม ใบไม้ เปลือกไม้ รากไม้เมล็ดพืช เรซิน และสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอมซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้พอกอยู่บนก้านไม้ ดังนั้นเมื่อมีการเผาไหม้ของรูปซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ รูปจะปล่อยสารต่างๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ มีเทน และสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง เช่น สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย พวงเบนซีน (Benzene) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมะเร็งเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ยังพบว่า สาร 1,3-บิวทาไดอิน (1,3-Butadiene) มีความสัมพันธ์กับมะเร็งของระบบเลือด และ Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) จากที่กล่าวมาแล้ว PAHs เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป และประกอบด้วยธาตุคาร์บอน และธาตุไฮโดรเจนเป็นหลัก จากงานวิจัยของ Yang, Lin and Chang (2005) ทำการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากการเผาไหม้รูปในห้องเผาไหม้ระบบปิด (Chamber) จึงสามารถจำแนกชนิดของมลสารสำคัญที่ตรวจพบได้ดังนี้

#### 1) อนุภาคฝุ่น

ผลการศึกษาอนุภาคฝุ่นในควันรูปจากการศึกษาของ Jetter *et al.* (2002) พบว่า ค่าการปลดปล่อย (emission factor) ของอนุภาค  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ของรูปตัวอย่าง 23 ชนิด อยู่ระหว่าง 5.0 – 55.7 และ 4.9 – 59.4 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป ตามลำดับ และการศึกษาในประเทศฮ่องกงของ Lee and Wang (2004) พบว่า ในระหว่างการเผาไหม้ของรูปตัวอย่าง 10 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยรูป 3 ประเภท ได้แก่ Traditional incense, Aromatic incense และ Church incense สามารถตรวจวัดค่าการปลดปล่อยของอนุภาค  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  อยู่ในช่วง 7.7 – 205.4 และ 8.5 – 241.2 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป ตามลำดับ และคิดเป็นสัดส่วนเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  ต่อ  $PM_{10}$

ของรูปทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 88.6, 84.3 และ 85.7% ตามลำดับ สำหรับการศึกษาระดับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดต่ำกว่า 18 ไมครอนจากการเผาไหม้รูป 9 ชนิด ด้วยเครื่อง Micro-orifice uniform deposited impactor (MOUDI) พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่น (Mass Median Aerodynamic Diameter: MMAD) มีค่าเท่ากับ  $262 \pm 49$  นาโนเมตร และมีค่าการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 34.6 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป (Yang, Lin and Chang, 2007) นอกจากนี้ มีการศึกษาตัวอย่างรูปในประเทศไทย พบว่าค่าการปลดปล่อยอนุภาค PM<sub>10</sub> ของรูปตัวอย่าง 20 ชนิด ที่จัดกลุ่มเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รูปชนิดมีกำมะถัน มีกำมะถันไร้กำมะถัน ไม่มีกำมะถัน และไม่มีกำมะถันไร้กำมะถัน อยู่ในช่วง 8.7 – 28.9, 2.1 – 13.9, 15.3 – 28.3 และ 6.2 – 13.1 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป ตามลำดับ (ธนพร ธนังชูศิลป์ และภัทรพร เกียรติธรรม (2551); เบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทกนก (2552) อ้างถึงใน ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ, 2556)

## 2) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถตรวจพบในควันรูปมีหลายชนิด ได้แก่ methyl chloride, methylene chloride, cis-1,2-dichloroethene, chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, styrene และ o-xylene แต่ชนิดหลักที่พบและมีปริมาณค่อนข้างสูงคือ benzene, toluene และ methylene chloride จากการศึกษาของ Lee and Wang (2004) พบปริมาณการปลดปล่อย benzene, toluene และ methylene chloride จากการเผาไหม้รูปอยู่ในช่วง 175 – 1,252, 39 – 661 และ 30 – 567 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป สำหรับการศึกษารูปตัวอย่างในประเทศไทย 10 ชนิด โดยแบ่งเป็นประเภทรูปมีกำมะถัน และมีกำมะถันไร้กำมะถัน พบค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยสาร benzene พบในปริมาณที่มากที่สุด รองลงมา คือ toluene, ethylbenzene, m,p-xylene และ o-xylene ตามลำดับ โดยพบ benzene และ toluene เป็นหลักซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 86.34 และ 24.45 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูปสำหรับรูปมีกำมะถัน และมีค่า 73.24 และ 16.14 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูปสำหรับรูปมีกำมะถันไร้กำมะถัน (ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ, 2556)

## 3) ก๊าซชนิดต่างๆ

ก๊าซที่เป็นมลพิษสำคัญที่เกิดจากการเผาไหม้ของรูป ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และมีเทน (CH<sub>4</sub>) โดยก๊าซ CO<sub>2</sub> และ CO เป็นชนิดหลักที่พบและมีปริมาณการปลดปล่อยขณะเผาไหม้ค่อนข้างสูง โดยพบอยู่ในช่วง 1.4 – 1,070.9 และ 1.0 – 227.7 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป ตามลำดับ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (อาทิ NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) มีค่าการ

ปลดปล่อยระหว่าง 0.1 – 3.3 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป ส่วนก๊าซ  $\text{CH}_4$  มีค่าการปลดปล่อยอยู่ระหว่าง 0.4 – 9.6 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป (Lee and Wand, 2004 อ้างถึงในทรศนีย์ พุกขาสีทธิ, 2556)

#### 4) สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

จากการศึกษาของ Yang, Lin and Chang (2007) พบว่าลักษณะการกระจายตัวและความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ PAHs จากการเผาไหม้รูปที่ผลิตที่ประเทศจีนและจำหน่ายที่ประเทศไต้หวันในตู้เก็บระบบปิด (chamber) มีปริมาณการปลดปล่อยสาร PAHs ชนิดที่เป็นก๊าซ (G-PAHs) มีค่าเท่ากับ 17.6 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป และชนิดที่ดูดซับบนอนุภาค (S-PAHs) มีค่าเท่ากับ 6.0 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป สำหรับการวิเคราะห์ปริมาตร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่ดูดซับบนอนุภาคโดยน้ำหนักสาร Naphthalene พบในปริมาณที่น้อยมากคือ 1 – 3% ของปริมาณ PAHs ทั้งหมด สารประกอบ PAHs ที่มี 3 - 4 วง พบมากโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 50 – 56% ของปริมาณ PAHs ทั้งหมด ในขณะที่สารประกอบ PAHs ตั้งแต่ 5 วงขึ้นไปมีปริมาณสูงเป็นอันดับสอง โดยพบ 42 – 48% โดยสารประกอบ PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Chrysene (CHR) รองลงมาคือ Benzo[a]pyrene (BaP) และ Benz[a]anthracene (BaA) สำหรับรูปที่มีจำหน่ายในประเทศไทย จากผลการศึกษาของธนพร ธนังชูศิลป์ และภัทรพร เกียรติธรรม (2008) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $\text{PM}_{10}$ ) ในควันรูป โดยศึกษาการเผาไหม้ของรูป 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์รูปมีก้านชนิดมีควันและไร้ควัน ผลิตภัณฑ์รูปไม่มีก้านชนิดมีควันและไร้ควัน การปลดปล่อยของสารประกอบ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยรวมเฉลี่ยของรูปไม่มีก้านมีควันสูงที่สุดที่ระดับ 40.39 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป รองลงมาคือ รูปชนิดไม่มีก้านไร้ควัน ชนิดมีก้านมีควัน และชนิดมีก้านไร้ควัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.04, 15.67 และ 6.90 ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูปตามลำดับ โดยพบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์รูปชนิดไม่มีก้านทั้งที่มีควันและไร้ควันมีการปลดปล่อยที่สูงกว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์รูปที่มีก้านอย่างมีนัยสำคัญ ชนิดของสารประกอบ PAHs ที่พบหลักๆ ในทุกผลิตภัณฑ์รูป ได้แก่ Fluorene Benzo(g,h,i)pyrene Benzo(a)pyrene และ Dibenz(a,h)anthracene

#### 2.3.2 ความสัมพันธ์ของสาร PAHs กับฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในควันรูป

จากการศึกษาการเปรียบเทียบจำนวน พื้นที่ผิว และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 0.001-100 ไมครอน พบว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมีจำนวนมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ฝุ่นละอองที่มีขนาด 0.1-0.5 ไมครอนมีพื้นที่ผิวมาก และฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นสูงจะเป็นฝุ่นละอองขนาดประมาณ 0.5-10 ไมครอน เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กมีจำนวนและพื้นที่ผิวมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ สาร PAHs จึงมีโอกาสดูดซับอยู่บนอนุภาคขนาดเล็กได้มาก (Seinfeld, 1975 อ้างถึงใน

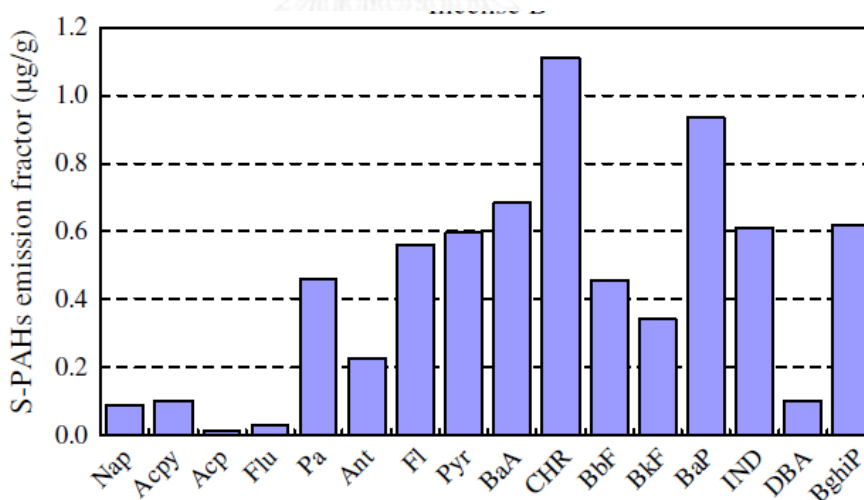
ธัญภัทสรณ์ ทองเย็น, 2552) และการวิจัยของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs จำนวน 6 ชนิด ที่มีอยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในอากาศของกรุงเทพมหานคร 3 บริเวณ คือ ย่านธุรกิจการค้าและที่อยู่อาศัย ย่านอุตสาหกรรม และริมเส้นทางจราจร พบว่า Benzo(g,h,i)perylene มีความเข้มข้นสูงสุด และมีข้อสังเกต คือ ส่วนใหญ่สาร PAHs ที่ปนเปื้อนในอากาศอยู่ในรูปที่ดูดซับอยู่บนฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมาก และสาร PAHs ระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงใน ธัญภัทสรณ์ ทองเย็น, 2552)

การศึกษาการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากการเผาไหม้รูปในห้องเผาไหม้ระบบปิด โดยทำการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของ (PAHs) ซึ่งพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่น (Mass Median Aerodynamic Diameter: MMAD) มีค่าเท่ากับ  $262 \pm 49$  nm สำหรับผลการศึกษาปริมาณอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.6 mg/g (ต่อกรัมรูป) ขนาดของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้รูปแต่ละชนิดมีปริมาณและขนาดที่แตกต่างกันโดยสามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามลักษณะของการกระจายตัวตามขนาดอนุภาค คือ (1) แบบ bimodal คือ มีการกระจายตัวของอนุภาคขนาด  $<0.18 \mu\text{m}$  และช่วง  $0.32 - 0.56 \mu\text{m}$  เป็นหลัก และ (2) แบบ unimodal คือ มีการกระจายตัวของขนาด  $0.32 - 0.56 \mu\text{m}$  เป็นหลัก นอกจากนี้การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณคาร์บอนในรูปกับปริมาณอนุภาคที่ได้จากการเผาไหม้ของรูป โดยทุกๆ 1% ของ carbon content ที่ลดลงมีผลทำให้ค่า emission factor ของอนุภาคลดลง 2.6 mg/g (กรัมรูป) และในทำนองเดียวกันปริมาณคาร์บอนในรูปมีผลโดยตรงต่อปริมาณ S-PAHs ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ โดยพบว่าเมื่อคาร์บอนในรูปลดลงประมาณ 40 – 45% จะทำให้ปริมาณ S-PAH ลดลง ในช่วง 8.7 – 26% (Yang, Lin and Chang, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของปริมาณคาร์บอนในรูปที่มีต่อการปลดปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) ของเบญจวรรณ คำศรี และ วชิราวรรณนทกนก (2009) ที่พบว่าปริมาณคาร์บอนในผลิตภัณฑ์รูปมีก้านมีควันที่ไม่มีการแต่งสีและกลิ่นที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1% จะมีผลทำให้ปริมาณ  $\text{PM}_{10}$  และ t-PAHs เพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.19 mg/g และ 40.25  $\mu\text{g/g}$  ตามลำดับ



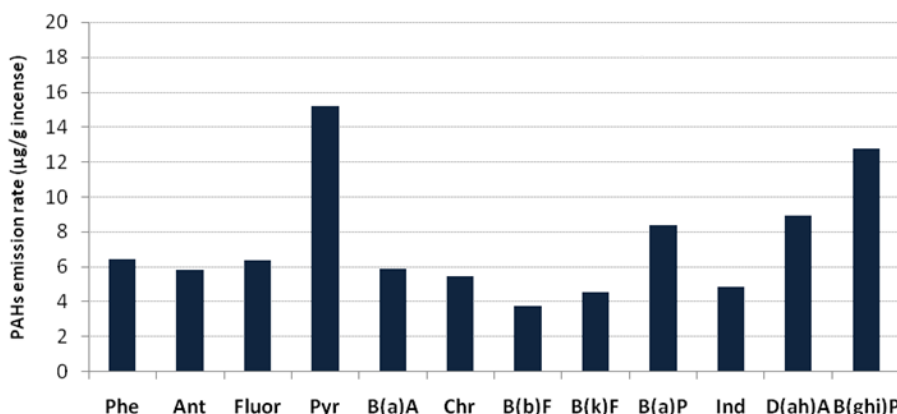
### 2.3.3 ชนิดของสาร PAHs ในรูป

จากการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs ทั้ง 16 ชนิดจากงานวิจัยของ Yang, Lin and Chang (2007) จากรูปที่มีจำหน่ายในประเทศได้หวั่น โดยทำการศึกษาในระบบปิด (chamber) พบว่าสารประกอบ PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Chrysene (CHR) รองลงมาคือ Benzo[a]pyrene (BaP) และ Benz[a]anthracene (BaA) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากปริมาณ PAHs ทั้งหมดเท่ากับ 15.7, 13.3 และ 9.4% ตามลำดับ ลำดับถัดมาคือ Indeno(1,2,3-cd)pyrene (IND), Benzo(ghi)perylene (BghiP), Fluoranthene (Fl) และ Pyrene (Pyr) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 รวมทั้งจากงานวิจัยของ Wu และคณะ (2009) ที่ทำการตรวจวัดปริมาณสารประกอบ PAHs ที่วัดในประเทศจีน พบว่าชนิดของสารประกอบ PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Benzo(ghi)perylene (BghiP), Indeno(1,2,3-cd)pyrene (IND) และ Benzo[a]pyrene (BaP) ตามลำดับ และสำหรับรูปในประเทศไทยจากการศึกษาการเผาไหม้รูปในห้องเผาไหม้ระบบปิดของเบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนท-กนก (2009) พบว่าชนิดของสารประกอบ PAHs ที่พบหลักๆ ในรูปตัวอย่างชนิดมีก้านมีควัน คือ Pyrene (Pyr), Benzo(ghi)perylene (BghiP), Dibenzo(a,h)anthracene D(ah)A และ Benzo[a]pyrene (BaP) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 จากงานวิจัยที่ยกตัวอย่างมานั้นจะพบว่าชนิดของสารประกอบ PAHs ที่พบหลักๆ ของแต่ละงานวิจัยนั้นมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณของ PAHs ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและส่วนประกอบที่มีความหลากหลายในการผลิตรูป เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 สาร PAHs แต่ละชนิดที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยในรูปตัวอย่าง

(ไมโครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป) (ที่มา: Yang, Lin and Chang, 2007)



ภาพที่ 2.3 ชนิดและปริมาณของ PAHs แต่ละชนิดจากอัตราการปลดปล่อยต่อ 1 กรัม ของรูปตัวอย่างชนิดมีก้านมีควัน (ไม่โครกรัมต่อหนึ่งกรัมรูป)  
(ที่มา: เภยจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทกนก, 2009)

## 2.4 ค่ามาตรฐานของสารประกอบ PAHs ที่อนุญาตให้มีในอากาศ

สารเคมีทุกชนิดจะมีความเป็นพิษต่อบุคคลที่ได้รับสัมผัสหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการรับสัมผัส ถ้าได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอก็อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ และสารเคมีแต่ละชนิดมีช่วงของความเข้มข้นหรือปริมาณที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายในระดับที่แตกต่างกันออกไป จึงได้มีการเสนอแนะค่ามาตรฐานของสารประกอบ PAHs ที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน ออกมาตามข้อกำหนดของหน่วยงานต่างๆ ซึ่งค่าที่กำหนดไว้มีการอธิบายถึงรายละเอียดของมาตรฐานไว้ดังนี้

1) Threshold Limit Value (TLV) ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่พนักงานเกือบทั้งหมดสัมผัสสารเคมีดังกล่าวซ้ำๆ วันแล้ววันเล่า โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย กำหนดขึ้นโดย The American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) เพื่อเป็นแนวทางหรือข้อแนะนำในการควบคุมสภาพแวดล้อมในการทำงาน แบ่งออกเป็น

1.1) Threshold Limit Value – Time Weighted Average (TLV-TWA) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานจะได้รับในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงทำงานติดต่อกันใน 1 วันเป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

1.2) Threshold Limit Value – Short Term Exposure Limit (TLV-STEL) หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานจะได้รับในระยะเวลา 15 นาที และได้รับซ้ำกันไม่เกิน 4 ครั้งใน 1 วัน แต่แต่ละครั้งต้องห่างกันอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าปริมาณที่ได้รับรวมทั้งหมดจะไม่เกินค่า TLV-TWA ก็ตาม

1.3) Threshold Limit Value – Ceiling Exposure Limit (TLV-C) หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ผู้ปฏิบัติงานจะได้รับขณะใดๆ ที่ปฏิบัติงาน ซึ่งจะสูงเกินกว่าค่าความเข้มข้นนี้ไม่ได้เลย

2) Permissible Exposure Limit (PEL) หมายถึง ปริมาณของสารเคมีที่ผู้ปฏิบัติงานจะสัมผัสกับสารเคมีได้อย่างปลอดภัยซึ่งมักมีค่าใกล้เคียงกับค่า TLV-TWA ตามกฎหมายความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Act: OSHA)

3) Recommended Exposure Limit (REL) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่ NIOSH กำหนดให้เป็นคำแนะนำให้ใช้เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงาน โดยในช่วงเวลาใดๆ ไม่ควรเกินค่านี้

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำหนดค่ามาตรฐานการรับสัมผัสสารในการทำงานประกอบด้วย

3.1) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

3.2) หน่วยงานตรวจแรงงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (Occupational Safety and Health Administration: OSHA)

3.3) หน่วยงานภาครัฐของอเมริกาที่กำกับดูแลความปลอดภัยในภาคอุตสาหกรรม (American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH))

3.4) สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมแรงงาน กระทรวงมหาดไทย

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานของสารประกอบ PAHs ที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน

สาร	หน่วยงานที่กำหนดมาตรฐาน	ปริมาณความเข้มข้น	อ้างอิง
PAHs	OSHA PEL-TWA	0.2 mg/m <sup>3</sup>	ATSDR (2009)
	ACGIH PEL-TLV	0.2 mg/m <sup>3</sup>	
	NIOSH REL	0.1 mg/m <sup>3</sup>	
Benzo(a)pyrene	OSHA PEL	0.2 mg/m <sup>3</sup>	Lin et al (2002)
	NIOSH REL	0.1 mg/m <sup>3</sup>	
	WHO*	0.1ng/m <sup>3</sup>	Bostrom et al (2002)
	German technical exposure limit (TRK value)	2 µg/m <sup>3</sup>	Lin et al (2002)

หมายเหตุ: \*ค่ามาตรฐานของสารประกอบ PAHs ที่อนุญาตให้มีในบรรยากาศ

## 2.5 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการแก้ไขและลดผลกระทบของปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์โอกาสเกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของสารเคมีจากแหล่งกำเนิดของสารมลพิษ สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบเพื่อกำหนดทางเลือกในการป้องกันผลกระทบ ซึ่งหน่วยงานด้านการประเมินความเสี่ยงได้แก่

1) U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) เป็นหน่วยงานหลักที่ศึกษาด้านการประเมินความเสี่ยง ในขั้นตอน Dose-response assessment นั้น U.S. EPA ได้รายงานค่าความปลอดภัยของสารไม่ก่อมะเร็งด้วยค่า Reference Dose (RfD) และ Reference Concentration (RfC) U.S. EPA ได้คำนวณค่า RfD/RfC ของสารเคมีมากกว่า 500 สาร พร้อมทั้งรายละเอียดการคำนวณสามารถสืบค้นได้จากเว็บไซต์ <http://www.epa.gov/iris/>

2) ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) เป็นหน่วยงานหนึ่งของกระทรวงสาธารณสุขประเทศสหรัฐอเมริกาที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสารไม่ก่อมะเร็งเท่านั้น สำหรับขั้นตอน Dose-response assessment นั้น ATSDR รายงานค่าความปลอดภัยด้วยค่า Minimal Risk Level (MRL) ซึ่งหลักการคำนวณเช่นเดียวกับค่า reference dose ของ U.S. EPA ข้อแตกต่างระหว่างฐานข้อมูลของ ATSDR และของ U.S. EPA คือ ATSDR จัดทำ MRL ของสารเคมีเป็น 3 ระดับ คือ ระดับเฉียบพลัน (Acute) ระดับปานกลาง (Intermediate) และระดับเรื้อรัง (Chronic) โดยค่า chronic MRL นั้นเทียบเท่ากับ RfD ของ U.S. EPA ในกรณีที่มีข้อมูลศึกษาด้านพิษวิทยาของสารเคมีที่มีระยะเวลาการศึกษาน้อยกว่าแบบ chronic ATSDR จึงจัดทำค่า MRL สำหรับ acute หรือ intermediate ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการศึกษา โดยทั่วไปถ้าการศึกษาระยะสั้นน้อยกว่า 2 เดือน จะกำหนดเป็นค่า acute MRL ถ้าระยะเวลาการศึกษา 2 เดือนถึง 1 ปี จะกำหนดเป็นค่า intermediate MRL ทำให้การนำค่า MRL ไปใช้ได้กว้างขวางกว่าค่า RfD ของ U.S. EPA ซึ่งใช้เฉพาะผลที่เกิดจากการได้รับสารเป็นเวลานาน (chronic effects) เท่านั้น

การประเมินความเสี่ยงตามวิธีของ U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

### 1) Hazard Identification

เป็นขั้นตอนเพื่อใช้ในการบ่งชี้ว่าสิ่งใด หรือสภาวะใดที่อาจก่อให้เกิดอันตรายและคุกคามทางสุขภาพของมนุษย์ ในขณะที่ปฏิบัติงาน และมีปัจจัยเสี่ยงในการก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมากน้อยเพียงใดและเกิดขึ้นในลักษณะใด โดยเกิดจากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

เพื่อสรุปว่าการได้รับสารเคมีที่กำลังสนใจมีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ เนื่องจากมีสารเคมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่มีข้อมูลความเป็นพิษในมนุษย์อย่างแน่ชัด ดังนั้นการระบุอันตรายของสารเคมีจึงรวมถึงผลการศึกษาในสัตว์ทดลองด้วย การประเมินความเสี่ยงจะหยุดเพียงแค่ขั้นตอนการระบุความเป็นอันตรายของสารเท่านั้น ถ้าไม่พบว่าการได้รับสารเคมีที่กำลังศึกษาอยู่นี้ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

## 2) Dose-Response Assessment

เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ได้รับและความรุนแรงของการเป็นพิษ ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง และอาจมีบางส่วนที่ได้จากการศึกษาในมนุษย์ การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสารเคมีจะทำได้นั้น ต้องทราบความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างความเป็นพิษและปริมาณสารเคมีที่ได้รับด้วย โดยการประเมินขนาดการสัมผัสและตอบสนองต่อสารมลพิษนั้น แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1) กลุ่มของสารที่ก่อเกิดมะเร็ง (carcinogenic) สำหรับสารก่อมะเร็งจะใช้แนวความคิดที่ว่าสารกลุ่มนี้ไม่มี threshold ซึ่งหมายความว่า ไม่ว่าจะได้รับสารก่อมะเร็งในปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดก็ตามแม้เพียง 1 โมเลกุลก็มีโอกาสที่จะเกิดมะเร็งได้ โดยใช้ค่า CSFi (Inhalation Cancer slope Factor) ในการประเมินความเสี่ยง

2.2) กลุ่มของสารที่ไม่ก่อเกิดมะเร็ง (non-carcinogenic) รวมถึงสารก่อมะเร็งที่ไม่มีผลต่อยีน (non-genetic carcinogen) และความเป็นพิษอย่างอื่นที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effects) จากสารก่อมะเร็ง แนวความคิดเกี่ยวกับสารไม่ก่อมะเร็งคือ สารเคมีกลุ่มนี้แสดง threshold ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด เมื่อได้รับเข้าไปทุกวันแล้วจะไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ โดยใช้ค่า RfC (Reference Concentrations) ในการประเมินความเสี่ยง

## 3) Exposure Assessment

เป็นการประเมินปริมาณสารเคมีที่มนุษย์หนึ่งคนหรือประชากรหนึ่งกลุ่มได้รับจากสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนั้นมีความสำคัญอย่างมากของการประเมินความเสี่ยง ทั้งนี้เพราะความเป็นพิษของสารเคมีจะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่ได้รับสารนั้น และความรุนแรงของความเป็นพิษขึ้นกับปริมาณของสารที่ได้รับ ดังนั้นถ้าการประเมินปริมาณสารที่ได้รับผิดพลาดจากความเป็นจริง การคำนวณความเสี่ยงก็จะมีค่าไม่แน่นอนสูง โดยสามารถคำนวณได้จากปริมาณการรับสัมผัสสาร PAHs ใช้ข้อมูลจากแบบสอบถามบางส่วน และอ้างอิงข้อมูลจาก U.S. EPA ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณปริมาณการรับสัมผัสใน 1 วัน ได้ดังนี้

1) สารก่อเกิดมะเร็ง เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสำหรับสารก่อเกิดมะเร็ง โดยสามารถคำนวณได้จากค่า CDI (Chronic Daily Intake) ดังสมการที่ 2.1

$$CDI = (CA \times IR \times EF \times ET \times ED) / (BW \times AT) \quad \dots(2.1)$$

2) สารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สำหรับชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดยสามารถคำนวณได้จากค่า ADD (Average Daily Dose) ดังสมการที่ 2.2

$$ADD = (CA \times IR \times EF \times ET \times ED) / (BW \times AT) \quad \dots(2.2)$$

คำอธิบายตัวแปรต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการประเมินการรับสัมผัส

ตัวแปร	ความหมาย	อ้างอิง
CDI	ปริมาณการรับสัมผัสสาร PAHs ใน 1 วัน (mg/kg BW-day)	-
ADD	ปริมาณการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (mg/kg BW-day)	-
CA	ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่บุคคลได้รับสัมผัสในอากาศ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-
IR	อัตราการหายใจ ( $0.875 \text{ m}^3/\text{hr.}$ )	US EPA 1991 RAGS Vol. 1
EF	ความถี่ของการรับสัมผัสสาร PAHs (250 days/year)	
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร PAHs (25 years)	
ET	เวลาในการรับสัมผัสสาร PAHs (9 hr./day)	แบบสอบถาม
BW	น้ำหนักตัว (kg)	
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร (70x365 years) สำหรับสารก่อมะเร็ง	US EPA 1991
	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร (EDx24x365 hr.) สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง	RAGS Vol. 1

#### 4) Risk Characterization

เป็นการรวบรวมข้อมูลและผลการวิเคราะห์ของทั้งสามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มาใช้คำนวณความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดผลเสียในมนุษย์จากการได้รับสารเคมีรวมถึงระดับความเชื่อมั่นของการประเมิน เพื่อบ่งบอกถึงระดับความรุนแรงของความเสี่ยงที่ทำการประเมิน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสกลุ่มของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Cancer Risk} = \text{CDI} \times \text{CSF}_i \quad \dots (2.3)$$

เมื่อ  $\text{CSF}_i = \text{Inhalation Cancer slope Factor (mg/kg-day)}$

โดยค่า Cancer Risk ที่สามารถยอมรับได้ของการสัมผัสสารกลุ่มของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งนี้ ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ จากนั้นคำนวณค่าผลรวมของความเสี่ยงที่พนักงานได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้จากสมการที่ 2.4

$$\text{Total Cancer Risk} = \sum \text{cancer risk} \quad (2.4)$$

เมื่อ Total cancer risk = ค่าผลรวมของค่า cancer risk ที่พนักงานแต่ละคนได้รับสัมผัส

ในกรณีที่ค่า Total cancer risk มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  สามารถยอมรับได้ คือเป็นค่าที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

2) การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสกลุ่มของสารที่ไม่ก่อเกิดมะเร็ง (Non-Cancer risk) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{HQ} = \text{ADD} / \text{RfC} \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ  $\text{RfC} = \text{Reference Concentrations (mg/m}^3\text{)}$

โดยค่า Hazard Quotients (HQ) ที่สามารถยอมรับได้ของการสัมผัสสารกลุ่มของสารที่ไม่ก่อเกิดมะเร็งนี้ คือ

$\text{HQ} \leq 1$  อาจจะก่อให้เกิดความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

$\text{HQ} > 1$  อาจจะก่อให้เกิดความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

จากนั้นคำนวณค่า Hazard Index (HI) จากผลรวมของค่า Hazard Quotients สำหรับสารที่ส่งผลกระทบต่ออวัยวะหรือระบบเป้าหมายที่คล้ายกันเนื่องจากสารมลพิษที่แตกต่างกัน อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่เหมือนกัน (U.S. EPA, 2005) ซึ่งเป็นค่าผลรวมจากการที่พนักงานได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อเกิดมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$\text{Hazard Index (HI)} = \sum \text{HQ} \quad \dots(2.6)$$

ในกรณีที่ค่า Hazard Index (HI) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อเกิดมะเร็ง

หลังจากประเมินความเสี่ยงแล้ว หากพบว่าระดับการได้รับสัมผัสสารของพนักงานอยู่ในระดับที่เป็นอันตราย จะเสนอแนะแนวทางการป้องกันให้แก่พนักงาน เช่น แนะนำชนิดและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่มีคุณภาพ เพื่อป้องกันอันตรายจากการได้รับสัมผัสสารมลพิษในระหว่างปฏิบัติงาน

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wu และคณะ (2009) ทำการศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่น สารประกอบกลุ่มอัลเคน และสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ภายในและภายนอกวัด ในเมืองเซี่ยเหมิน ประเทศจีน ในช่วงเวลาการทำงาน โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุด คือ ภายในวัด ภายในมหาวิทยาลัย และบริเวณสถานีรถประจำทาง พบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบอัลเคนที่วัดมีปริมาณมากกว่าบริเวณสถานีรถประจำทางและมหาวิทยาลัยซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับปริมาณฝุ่นรวม (TSP) ที่วัด ( $168-570 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) สูงกว่าบริเวณสถานีรถประจำทาง ( $57-189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และมหาวิทยาลัย ( $42-165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และพบว่าปริมาณฝุ่นรวมในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ (Weekend) มีค่ามากกว่าในช่วงวันทำงาน (Weekday) นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นของ B[a]P ที่วัด ( $7.1-26.3 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) มีปริมาณสูงกว่าบริเวณสถานีรถประจำทาง ( $5.1-6.9 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาสารก่อมะเร็ง B[a]P ภายในวัด พบว่า มีค่าเกินกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศจีนที่กำหนดไว้ที่  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$  ภายใน 24 ชั่วโมง อีกด้วย

เบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกนก (2009) ทำการศึกษาผลของปริมาณคาร์บอนในรูปที่มีต่อการปลดปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) จากการเผาไหม้รูป 2 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์รูปมีก้านมีควัน และมีก้านไร้ควันพบว่า ปริมาณคาร์บอนในผลิตภัณฑ์รูปชนิดมีก้านมีควัน มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 37.89 % และสูงกว่ารูปชนิดมีก้านไร้ควันที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.83 % เมื่อพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ย  $\text{PM}_{10}$  และสาร PAHs รวมที่ดูดซับบน  $\text{PM}_{10}$  (t-pPAHs) พบว่า ผลิตภัณฑ์รูปมีก้านมีควันมีอัตราการปลดปล่อย  $\text{PM}_{10}$  มากกว่า รูปมีก้านไร้ควัน โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อย  $\text{PM}_{10}$  เท่ากับ 145.68 และ  $64.74 \text{ mg}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และผลของความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-pPAHs ที่ได้ พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-pPAHs ของรูปชนิดมีก้านมีควันและมีก้านไร้ควันมีค่าเท่ากับ 88.19 และ  $76.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  นอกจากนี้ ได้วิเคราะห์หาอัตราการปลดปล่อย  $\text{PM}_{10}$  และ t-pPAHs ต่อน้ำหนักรูป 1 กรัม พบว่า รูปชนิดมีก้านมีควันมีอัตราการปลดปล่อย  $\text{PM}_{10}$  เฉลี่ย เท่ากับ  $20.69 \text{ mg}/\text{g}$  และสูงกว่ารูปชนิดมีก้านไร้ควันที่มีค่าเท่ากับ  $8.77 \text{ mg}/\text{g}$  ขณะที่อัตราการปลดปล่อยของ t-pPAHs เฉลี่ยของรูปมีก้านมีควัน และรูปมีก้านไร้ควัน มีค่าเท่ากับ 79.51 และ  $81.24 \mu\text{g}/\text{g}$  ปริมาณคาร์บอนในผลิตภัณฑ์รูปมีก้านมีควันที่ไม่มีการแต่งสีและกลิ่นที่



เพิ่มขึ้นทุกๆ 1% จะมีผลทำให้ปริมาณ  $PM_{10}$  และ t-PAHs เพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.19 mg/g และ 40.25  $\mu\text{g/g}$  ตามลำดับ

Chiang และคณะ (2008) ทำการศึกษาการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการรับสัมผัสอากาศภายในสถานประกอบพิธีกรรมที่ปนเปื้อนสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โดยรายงานเป็นข้อมูลปริมาณความเสี่ยงที่ได้รับผลกระทบต่อสุขภาพของบุคคลที่เข้าไปใช้บริการและบุคคลที่ทำงานในสถานประกอบพิธีกรรมของชาวไต้หวันการประเมินความเสี่ยง โดยรายงานเป็นค่า incremental lifetime cancer risk (ILCR) และเปรียบเทียบกับคือ  $10^{-6}$  สำหรับกลุ่มที่มีการรับสัมผัสผ่านการหายใจจะมีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่สูงมาก คือ ในช่วง  $9.87 \times 10^{-4}$  ถึง  $1.13 \times 10^{-3}$  และการรับสัมผัสผ่านผิวหนังในช่วง  $10^{-6}$  ถึง  $10^{-4}$  สำหรับบุคคลที่เข้าไปใช้บริการและบุคคลที่ทำงานในสถานประกอบพิธีกรรม มีความเสี่ยงอยู่ในช่วง  $6.44 \times 10^{-5}$  ถึง  $7.50 \times 10^{-5}$  และ  $5.75 \times 10^{-6}$  ถึง  $6.99 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ

Kuo และคณะ (2008) ทำการศึกษาปริมาณการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ของผู้ปฏิบัติงานในวัด 5 วัด ซึ่ง 2 วัด ตั้งอยู่ในเมืองไท่ชางซึ่งอยู่ในศูนย์กลางของไต้หวัน และอีก 3 วัด อยู่ในเมืองไท่หนานซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของไต้หวัน ทำการเก็บฝุ่นละอองที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคล (Personal collection samplers) ในวันสำคัญทางศาสนา (Pilgrim days) ได้แก่ ทุกๆวันขึ้น 1 ค่ำ และ 15 ค่ำ และแรม 1 ค่ำ และ 15 ค่ำ และในวันธรรมดา (All other days) ผลการศึกษา พบว่าปริมาณการรับสัมผัส  $PM_{10}$  ของผู้ปฏิบัติงานในวัดประมาณ  $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณรูปในแต่ละวัด มีผลทำให้ปริมาณ  $PM_{10}$  เพิ่มขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของ total polycyclic aromatic hydrocarbons (t-PAHs) และ carcinogenic PAHs (car-PAHs) ในวันสำคัญทางศาสนามีค่าสูงกว่าในวันธรรมดา และความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1 - hydroxypyrene (1-OHP) ในปีสภาวะของผู้ปฏิบัติงานในวัดก่อนทำงานและหลังทำงาน มีค่าเท่ากับ 1.20 และ 1.61  $\mu\text{g/g}$  ตามลำดับ โดยในวันสำคัญทางศาสนามีค่าสูงกว่าในวันธรรมดาเช่นเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 1-OHP และค่าความเข้มข้นของปริมาณ Pyrene, total PAHs และ  $BaP_{eq}$  พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลของสมการการถดถอยเชิงเส้นชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ pyrene  $1\text{ng}/\text{m}^3$  และ  $BaP_{eq} 1 \text{ng}/\text{m}^3$  ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของ 1 -OHP เพิ่มขึ้น 0.05  $\mu\text{g/g}$  และ 0.03  $\mu\text{g/g}$  ตามลำดับ

Navasumrit และคณะ (2008) ทำการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของคณงานในบริเวณวัดจากการรับสัมผัสสารก่อมะเร็งในควันธูปในปี 2007 โดยทำการศึกษาที่วัดที่ตั้งอยู่ในจังหวัดใกล้เคียงกับกรุงเทพมหานคร คือ พระนครศรีอยุธยา ฉะเชิงเทรา และสมุทรปราการ ผลการวัดคุณภาพอากาศพบว่า ควันธูปมีชนิดของสารก่อมะเร็งที่พบในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ เบนซิน, 1,3-บิวตะไดอิน และ สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (t-PAHs) ทั้ง 10 ชนิด การเปรียบเทียบผล

การรับสัมผัสของคนทำงานในบริเวณวัดกับพื้นที่ควบคุม พบว่า คนที่ทำงานในบริเวณวัดได้รับสัมผัสเบนซีน  $45.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,3-บิวตะไดอิน  $11.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ t-PAHs  $19.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ Chre B[ghi]P B[a]P B[a]P และ Flu ค่าของ B[a]P สูงกว่าในพื้นที่ควบคุมถึง 63 เท่า และการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเนื่องจากการรับสัมผัสสารก่อมะเร็งดังกล่าวภายในร่างกาย (biomarker of exposure) โดยวิเคราะห์ในเลือดและการตรวจวัดสารเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ ผลการศึกษาพบว่า คนทำงานบริเวณวัด มีสารดังกล่าวในปริมาณสูงมาก อีกทั้งยังมีการศึกษาถึงภาวะ DNA ถูกทำลาย (DNA damage) รวมถึงประสิทธิภาพการฟื้นฟูตัวของ DNA (DNA repair capacity) ทำให้พบว่า คนทำงานในวัดมีความเสี่ยงต่อภาวะ DNA ถูกทำลาย อย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าการรับสัมผัสสารก่อมะเร็งจากควันธูปมีผลต่อสุขภาพต่อบุคคลที่เกี่ยวข้องอย่างมีนัยสำคัญ

ธนพร ธนังชุศิลป์ และ ภัทธพร เกียรติธรรม (2008) ทำการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยในควันธูป โดยศึกษาชนิดและปริมาณสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า  $10 \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) จากการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ธูป 4 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ธูปมีก้านชนิดมีควันและไร้ควัน ผลิตภัณฑ์ธูปไม่มีก้านชนิดมีควันและไร้ควัน เก็บตัวอย่างอนุภาคในควันธูปภายในกล่องที่มีลักษณะปิด วิเคราะห์หา PAHs โดย GC/FID ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>10</sub> ที่เกิดจากการเผาไหม้ธูปชนิดไม่มีก้านมีควัน มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ  $142 \text{ mg}/\text{m}^3$  และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 กับธูปชนิดมีก้านมีควัน ที่มีค่าเท่ากับ  $141.16 \text{ mg}/\text{m}^3$  รองลงมา คือ ธูปไม่มีก้านชนิดไร้ควัน และธูปชนิดมีก้านไร้ควัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $53.32$  และ  $34.49 \text{ mg}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และผลของความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs รวมที่ดูดซับบน PM<sub>10</sub> (t-pPAHs) ที่ได้ คือธูปชนิดไม่มีก้านมีควันปลดปล่อย t-pPAHs ในปริมาณสูงที่สุด เท่ากับ  $267.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับธูปชนิดไม่มีก้านไร้ควันที่มีค่าเท่ากับ  $216.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  รองลงมาคือ ธูปมีก้านมีควัน ไม่มีก้านมีควันและมีก้านไร้ควัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $154.41$  และ  $59.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้คำนวณอัตราการปลดปล่อย PM<sub>10</sub> และ t-pPAHs ต่อน้ำหนักธูป 1 กรัม ผลการวิเคราะห์ พบว่า ธูปชนิดไม่มีก้านมีควันมีอัตราการปลดปล่อย PM<sub>10</sub> เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ  $21.39 \text{ mg}/\text{g}$  รองลงมา คือ ธูปชนิดมีก้านมีควัน ไม่มีก้านไร้ควันและมีก้านไร้ควัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $14.29$   $8.38$  และ  $4.61 \text{ mg}/\text{g}$  ตามลำดับ และอัตราการปลดปล่อยของ t-pPAHs เฉลี่ยของธูปไม่มีก้านมีควันสูงที่สุดที่ระดับ  $40.39 \mu\text{g}/\text{g}$  รองลงมา คือ ธูปชนิดไม่มีก้านไร้ควันชนิดมีก้านมีควันและชนิดมีก้านไร้ควัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $32.04$   $15.67$  และ  $6.90 \mu\text{g}/\text{g}$  ตามลำดับ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ธูปที่มีควันทั้งมีก้านและไม่มีก้าน มีการปลดปล่อย PM<sub>10</sub> สูงกว่าผลิตภัณฑ์ธูปชนิดไร้ควันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ t-pPAHs กลุ่มผลิตภัณฑ์ธูปชนิดไม่มีก้านทั้งที่มีควันและไร้ควันมีการปลดปล่อยที่สูงกว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ธูปชนิดที่มีก้านอย่างมีนัยสำคัญ

ชนิดของ PAHs ที่พบหลักในทุกผลิตภัณฑ์รูป ได้แก่ Flu B(g,h,i)P และ B(a)P เมื่อพิจารณาด้านเกรดราคาไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นและอัตราการปลดปล่อยของ PM<sub>10</sub> และ t-pPAHs ในทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์

Lin, Yang and Chang (2006) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบปัจจัยการปลดปล่อยของอนุภาคของรูป 9 ผลิตภัณฑ์ ที่นิยมในประเทศไต้หวัน จะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยของอนุภาคของรูปและเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้มีอิทธิพลต่อธาตุโลหะต่างๆ ที่เกิดขึ้น ดังนี้ ธาตุที่พบมากที่สุดในวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์รูปคือ Ca และ K มีค่าเท่ากับ 8.7 mg/g และ 2.5 mg/g ต่อมาคือธาตุ Al Mg Fe Ba และ Na ในช่วง 0.1-1.0 mg/g และธาตุที่พบอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 0.1-1.0 mg/g คือ Sr Mn Cu และ Zn จากงานวิจัยนี้พบว่าธาตุแคลเซียม (Ca) ที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์(CaCO<sub>3</sub>) และภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการเผาไหม้เดียวกัน ทำให้อัตราการปลดปล่อยอนุภาคของรูปมีค่าใกล้เคียงกัน คือ  $0.50 \pm 0.09$  mg/min รวมถึงระยะเวลาการเผาไหม้ที่สั้นทำให้การปลดปล่อยอนุภาคลดลง รวมถึงรูปมีน้ำหนักเท่ากันหลังจากที่ถูกเผาไหม้แล้วมีปริมาณการปลดปล่อยเถ้าที่สูงกว่าปริมาณการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่น โดยงานวิจัยนี้ได้มีการแนะนำผู้บริโภคเลือกรูปที่มีการผลิตเถ้ามากกว่าการปลดปล่อยของอนุภาคฝุ่น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพน้อยกว่า นอกจากนี้ถ้าเราลดปริมาณของธาตุโลหะทั้งหลายโดยเฉพาะ Ca ให้มีค่าน้อย 2 % และธาตุอื่นๆให้อยู่ในช่วง 0.5 – 2 % ของน้ำหนักรูป จะทำให้ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยของอนุภาคจากขณะการเผาไหม้ลดลงได้ประมาณ 40 %

Wang, Lee and Ho (2006) ทำการศึกษาวิจัยหาค่าประกอบทางเคมีของอนุภาคขนาดเล็กจากการเผาไหม้รูปในตู้ทดลองขนาดใหญ่ ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคขนาด PM<sub>2.5</sub> จากการเผาไหม้รูปในตู้ทดลองขนาดใหญ่ โดยเปรียบเทียบจากรูป 10 ชนิด แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ tradition incense, aromatic incense และ church incense ทำการวิเคราะห์ทางเคมี 3 ด้านคือ 1) หาชนิดสารคาร์บอนโดยใช้ IMPROVE thermal/optical reflectance 2) หาไอออนประเภทอนินทรีย์โดยใช้ Ion Chromatography 3) วิเคราะห์ธาตุต่างๆ โดยใช้ X-ray fluorescence ผลการศึกษาพบว่า ค่าการกระจายตัวของ organic carbon (OC) ใน PM<sub>2.5</sub>เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ church incense 73.3% tradition incense 62.5% aromatic incense 54.8% ส่วนค่า elemental carbon (EC) ใน PM<sub>2.5</sub> ของ aromatic incense, tradition incense และ church incense เท่ากับ 9.7%, 4.0% และ 1.1% ตามลำดับการเผาไหม้รูปจึงถือเป็นแหล่งกำเนิดของ OC และ EC ในฝุ่นขนาด PM<sub>2.5</sub> อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์หาไอออนประเภทอนินทรีย์ ไอออนชนิดหลักที่พบ คือ Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> และปริมาณของไอออนหลักทุกชนิดที่พบในรูปแต่ละชนิดเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ tradition incense > church incense > aromatic incense ชนิดของไอออนที่พบมากที่สุดคือ Cl<sup>-</sup> และ K<sup>+</sup> ผลการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ในควันรูป พบว่า ธาตุชนิดหลักที่พบ

ได้แก่ K, Cl และ Na ซึ่งสอดคล้องกับชนิดไอออนที่พบจากไอออนประเภทอนินทรีย์ นอกจากนี้รูปชนิด aromatic incense และ church incense มีธาตุ Mg, Si, S, Ca, Mn, Cu และ Zn เป็นองค์ประกอบสูงกว่ารูปชนิด tradition incense

Yang, Lin and Chang (2005) ทำการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของสารประกอบ พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากการเผาไหม้รูปในห้องเผาไหม้ระบบปิด โดยทำการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของ (PAHs) จากรูป 9 ชนิด ซึ่งพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่น (Mass Median Aerodynamic Diameter: MMAD) มีค่าเท่ากับ  $262 \pm 49$  nm สัดส่วนปริมาณของ C, H, O และ N ซึ่งเป็นองค์ประกอบของรูป มีปริมาณที่มีมากกว่า 80% ของน้ำหนักรูปทั้งหมด สำหรับผลการศึกษาปริมาณอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.6 mg/g (ต่อกรัมรูป) ขนาดของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้รูปแต่ละชนิดมีปริมาณและขนาดที่แตกต่างกันโดยสามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามลักษณะของการกระจายตัวตามขนาดอนุภาค คือ (1) แบบbimodal คือ มีการกระจายตัวของอนุภาคขนาด  $<0.18 \mu\text{m}$  และช่วง  $0.32 - 0.56 \mu\text{m}$  เป็นหลัก และ (2) แบบ unimodalคือ มีการกระจายตัวของขนาด  $0.32 - 0.56 \mu\text{m}$  เป็นหลัก และผลศึกษาปริมาณการปลดปล่อยPAHs ในสถานะก๊าซ (G-PAHs) และสถานะที่เป็นอนุภาค (S-PAHs) พบว่า G-PAHs มีค่า emission factor เท่ากับ  $17.6 \mu\text{g/g}$  และ S-PAHs มีค่า emission factor เท่ากับ  $6.0 \mu\text{g/g}$  นอกจากนี้การศึกษารังนี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณคาร์บอนในรูปกับปริมาณอนุภาคที่ได้จากการเผาไหม้ของรูป โดยทุกๆ 1% ของ carbon content ที่ลดลงมีผลทำให้ค่า emission factor ของอนุภาคลดลง  $2.6 \text{ mg/g}$  (กรัมรูป) และในทำนองเดียวกันปริมาณคาร์บอนในรูปมีผลโดยตรงต่อปริมาณ S-PAHs ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ โดยพบว่าเมื่อคาร์บอนในรูปลดลงประมาณ 40 – 45% จะทำให้ปริมาณ S-PAH ลดลง ในช่วง 8.7 – 26%

Ohura และคณะ (2004) ทำการศึกษาลักษณะของอนุภาคและความสัมพันธ์ของปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(PAHs) บริเวณพื้นที่ภายในและภายนอกอาคารในฤดูร้อนและฤดูหนาว ของเมืองอุตสาหกรรม 2 แห่ง ในจังหวัดชิซุโอกะ ประเทศญี่ปุ่น พบว่า อนุภาคขนาดเล็ก( $\text{PM}_{2.5}$ ) มีค่าเท่ากับ 44-56% จากอนุภาคทั้งหมด และปริมาณ PAHs มากกว่า 80% อยู่ใน  $\text{PM}_{2.5}$  ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดเล็ก (ไม่ใช่ฝุ่นรวม) มีปริมาณเพิ่มขึ้นในฤดูหนาว อัตราส่วนความเข้มข้นของ PAHs ภายในอาคารและภายนอกอาคาร ชี้ให้เห็นว่า PAHs ที่ปรากฏในอาคารโดยส่วนมากมาจากแหล่งกำเนิดกลางแจ้ง และเห็นความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจนในฤดูหนาว ปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ที่พบใน  $\text{PM}_{2.5}$  ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในภายในอาคารและภายนอกอาคารเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นของ PAH แต่ละชนิดกับความเข้มข้นของ Benzo[e]pyrene (BeP) พบว่า ในกลุ่ม PAHs ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก หรือมีวงเบนซิน 4 วง มีสัดส่วน

ความเข้มข้นในฤดูหนาวมากกว่าในฤดูร้อน แต่การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนดังกล่าวในกลุ่ม PAHs ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีเพียงเล็กน้อย ยกเว้นสาร Benzo[a]pyrene (BaP) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยา Photodegradation มีผลต่อการสลายตัวของ PAHs ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กมากกว่าโมเลกุลขนาดใหญ่ ความเสี่ยงในการก่อเกิดมะเร็งจากการหายใจสาร BaP ในบริเวณภายในอาคาร มีสัดส่วนคิดเป็น 51 – 64% ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งทั้งหมด

Lung และคณะ(2002) ศึกษาอัตราการปลดปล่อยและอัตราการเผาไหม้ของควันรูปและสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในควันรูปในปี 2001 โดยทำการศึกษาในห้องทดลองและเปรียบเทียบระหว่างรูป 2 ชนิด (ชนิด A และ B) ที่มาจากแหล่งผลิตเดียวกันคือ Chin-Chen ทำการเก็บตัวอย่างจากการเผาไหม้รูปภายในอุปกรณ์ elutriator ที่ต่อเชื่อมกับ personal environmental monitor (PEM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตัวเก็บอนุภาคฝุ่นขนาด  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ตัวอย่างฝุ่นทั้ง 2 ชนิดวิเคราะห์ PAHs โดยใช้เครื่อง gas chromatography/flame ionization detector (GC/FID) ผลการศึกษาพบว่า ค่าอัตราการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่น ของรูปชนิด A และ B มีค่าเท่ากับ 561  $\mu\text{g}/\text{min}$  และ 661  $\mu\text{g}/\text{min}$  ตามลำดับ สำหรับอัตราการปลดปล่อย PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นของรูปชนิด A และ B มีค่าเท่ากับ 0.56  $\mu\text{g}/\text{min}$  และ 0.46  $\mu\text{g}/\text{min}$  โดย 1 กรัมของรูปชนิด A จะมีการปลดปล่อยประมาณ 19.8 mg ของอนุภาคฝุ่น และ 17.1  $\mu\text{g}$  ของ PAHs ที่เกาะบนอนุภาคฝุ่น ในขณะที่ 1 กรัมของรูปชนิด B จะปลดปล่อยฝุ่นควันประมาณ 43.6 mg และปลดปล่อย PAHs ที่เกาะบนอนุภาคฝุ่นเท่ากับ 25.2  $\mu\text{g}$  แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้รูปทั้ง 2 ชนิด จะมีคุณภาพในระดับเดียวกัน แต่ปริมาณการปลดปล่อยมลสารจากรูป 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า รูปชนิด A มีความแปรผันในการปลดปล่อยที่สามารถพบได้ในส่วนของการผลิตที่ใช้แรงงานคน และการแปรผันจะเพิ่มมากขึ้นในบริเวณปลายบนของรูปทั้ง 2 ชนิด

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการศึกษา

#### 3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์

- 1) กระจาดกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm ขนาดรูพรุน 2  $\mu\text{m}$
- 2) กระจาดกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ขนาดรูพรุน 3  $\mu\text{m}$
- 3) กระจาดกรองชนิด Teflon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm ขนาดรูพรุน 2  $\mu\text{m}$
- 4) อุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด Personal Modular Impactors (PMI)
- 5) PTFE Syringe filter ขนาดรูพรุน 0.20  $\mu\text{m}$

##### 3.1.2 สารเคมี

- 1) สารละลาย Acetone
- 2) สารละลาย Dichloromethane-HPLC grade (DCM-HPLC grade)
- 3) สารละลาย Acetonitrile-HPLC grade (ACN-HPLC grade)
- 4) Water-HPLC grade (W-HPLC grade)
- 5) สารละลาย Dimethyl Sulfoxide (DMSO)
- 6) ก๊าซไนโตรเจน 99.99%
- 7) สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ PAHs Mix Standard ผลิตโดย บริษัท Supelco

##### 3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีค่าความละเอียดเป็นทศนิยม 7 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น METLER UMX 2
- 2) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Air Sampler) ยี่ห้อ Gilian pump
- 3) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (Ambient) Minivol tactical air sampler (TAS)
- 4) เครื่องปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่อง Gilian Gilibrator 2 Calibrator
- 5) เครื่อง Ultrasonic Bath
- 6) เครื่อง Nitrogen purge with heating box
- 7) เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น SPD 20A

## 3.2 พื้นที่ทำการศึกษาศึกษา

### 3.2.1 การกำหนดพื้นที่ทำการศึกษาศึกษา

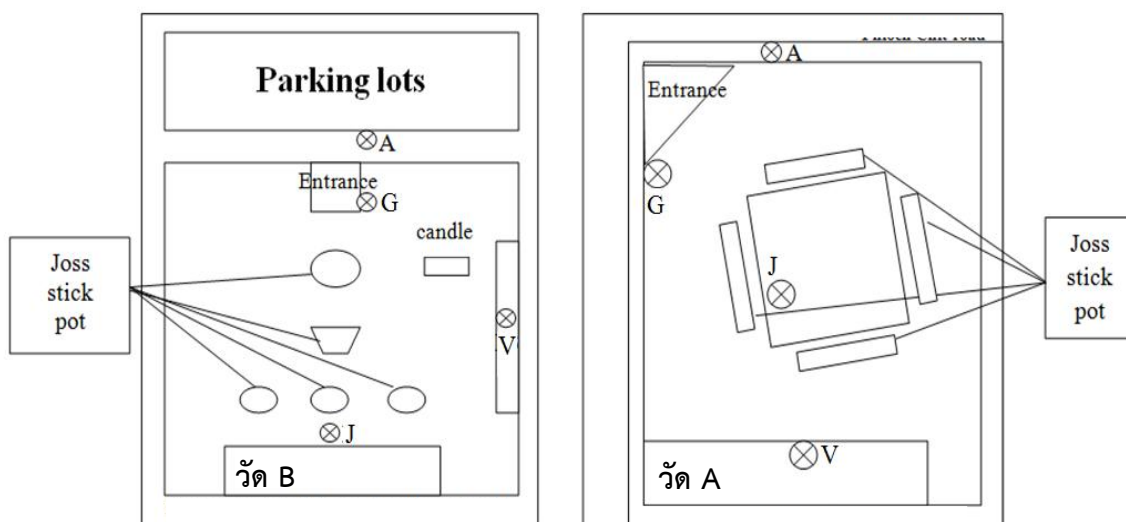
จากการติดต่อประสานงานกับสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในเขตกรุงเทพมหานครที่ได้รับความนิยม และมีการใช้จำนวนรูปในการสักการบูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ในปริมาณมากจำนวนมากหลายแห่ง มีสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาจำนวน 2 แห่ง (ซึ่งไม่ขอระบุชื่อสถานที่ในการศึกษาศึกษานี้) คือ วัด A (แบบเปิดโล่ง) และวัด B (แบบกึ่งเปิดโล่ง) ได้อนุญาตให้เข้าพื้นที่เพื่อทำการศึกษาศึกษาในครั้งนี้ จึงกำหนดให้สถานที่ทั้งสองแห่งเป็นพื้นที่ศึกษาศึกษานี้เพื่อเป็นตัวแทนการศึกษาศึกษาการรับสัมผัสสารประกอบ PAHs ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร

### 3.2.2 ลักษณะของพื้นที่ทำการศึกษาศึกษา

พื้นที่ทำการศึกษาศึกษาในครั้งนี้ คือ วัด A ตั้งอยู่บนสี่แยกที่มีการจราจรหนาแน่น มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ตั้งอยู่ใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นที่นิยมสักการบูชาของทั้งคนไทยและคนต่างประเทศ โดยมีผู้มาสักการบูชาโดยประมาณ 2,000 – 5,500 คนต่อวัน และวัด B ตั้งอยู่ริมแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งธนบุรี อยู่ห่างจากถนนหลักประมาณ 350 เมตร มีลักษณะพื้นที่เป็นแบบกึ่งเปิดกึ่งปิด ซึ่งเป็นที่นิยมสักการบูชาของคนไทย โดยมีผู้มาสักการบูชาน้อยกว่า 2,000 คนต่อวัน

### 3.2.3 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศ

ในแต่ละสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา จะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด โดยเลือกติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างตามหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา 3 จุด ได้แก่ (1) พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) มีหน้าที่คอยดูแลความปลอดภัยให้แก่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (2) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) มีหน้าที่เก็บรูป ทำความสะอาดบริเวณกระถางรูป และบริเวณโดยรอบ (3) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) มีหน้าที่ขายดอกไม้ รูป เทียนที่จัดจำหน่ายภายในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา โดยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างจะทำการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณใกล้เคียงกับที่พนักงานปฏิบัติงาน และอีกหนึ่งจุดคือการเก็บตัวอย่างบรรยากาศ (A) โดยจะเก็บภายนอกสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนานั้นๆ ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ศึกษาแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

(G = เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย J = เจ้าหน้าที่รักษาความสะอาด และ  
V = เจ้าหน้าที่ขายดอกไม้ รูปเทียน A = บรรยากาศ)

### 3.3 การกำหนดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่าง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน (กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม) ฤดูฝน (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) และฤดูหนาว (กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) ปี พ.ศ. 2555 โดยสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาแต่ละแห่งจะเก็บตัวอย่างฤดูละ 2 สัปดาห์ (2 ชั่วโมง ใน 1 ฤดู แต่ละชั่วโมงห่างกัน 2 สัปดาห์) และจะเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 วัน คือ ในวันที่คาดว่าจะมีผู้เข้ามาสักการะบูชาในแต่ละสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาอย่างน้อยที่สุด (วันพุธ) และมากที่สุด (วันอาทิตย์) และทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 07.00 – 15.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

### 3.4 การเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

#### 3.4.1 การเตรียมกระดาศกรอง

ทำการเตรียมกระดาศกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 2 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 3 ไมโครเมตร เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคล และเก็บตัวอย่างในตู้ระบบกึ่งปิด โดยนำไปใส่ในอุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด



Personal Modular Impactors (PMI) และเตรียมกระดาศกรองชนิด Teflon ขนาดรูพรุน 2 ไมโครเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างบรรยากาศในบริเวณ ผู้ปฏิบัติงาน ด้วยเครื่อง Minivol tactical air sampler (TAS) โดยนำกระดาศกรองทุกชนิดมาแช่ใน สารละลาย acetone 25 มิลลิตร ในบีกเกอร์ แล้วใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟรอยด์ปิดเพื่อป้องกันการ ระเหยของสารละลาย แช่กระดาศกรองไว้ 15 นาที ใช้คีมคีบปากแบน (Forceps) คีบกระดาศกรอง ออกมาผึ่งบนกระดาษฟิลา 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำเข้าตู้ดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีค่าความละเอียดเป็นทศนิยม 7 ตำแหน่ง รุ่น METLER UMX 2

### 3.4.2 การเตรียมเครื่องชั่งน้ำหนักกระดาศกรอง

การเตรียมเครื่องชั่งน้ำหนักกระดาศกรองทำได้โดยชั่งน้ำหนักกระดาศกรองตัวอย่างด้วย เครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Microbalance) รุ่น METLER UMX 2 ดังปรากฏในภาคผนวก ก โดย ทำ Internal calibration เครื่องก่อนประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 200 และ 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากนั้นจึงชั่งกระดาศกรองตัวอย่างโดยชั่ง 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย บันทิกค่าน้ำหนักกระดาศกรอง เมื่อชั่งกระดาศกรองเรียบร้อยแล้ว นำไปใส่ตลับพลาสติกเพื่อป้องกันการปนเปื้อน จากนั้น calibrate เครื่องชั่งน้ำหนักอีกครั้งด้วยลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม ตามลำดับ และเพื่อควบคุมคุณภาพ (Quality control) ของเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง ให้ทำแผนภูมิควบคุม (Quality control) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจและบ่งชี้ความเสี่ยงตรงของการชั่งและสถานะของเครื่องชั่ง โดยทำการชั่งน้ำหนักของลูกตุ้มมาตรฐานทั้งก่อนและหลังชั่งกระดาศ กรองตัวอย่างทุกครั้ง จากนั้นจึงนำค่าที่ได้สร้าง Shewhart control chart โดยกำหนดแกน x แสดง เวลาหรือวันที่ทำการชั่งน้ำหนักของกระดาศกรอง และแกน y แสดงค่าน้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่าง โดย ประกอบด้วยค่า  $\mu_k$ ,  $\mu_k \pm 2SD$ ,  $\mu_k \pm 3SD$  และลากเส้นขนานแกน x ทั้งหมด 5 เส้น คือ (1)  $y = \mu_k$  (Target Line) (2)  $y = \mu_k + 2SD$  (Upper Warning Line) (3)  $y = \mu_k - 2SD$  (Lower Warning Line) (4)  $y = \mu_k + 3SD$  (Upper Action Line) และ (5)  $y = \mu_k - 3SD$  (Lower Action Line) จากนั้นนำค่าน้ำหนักตุ้มมาตรฐาน 100 และ 200 กรัม ไปพล็อตจุดใน Control Chart ถ้าจุดที่พลอต ต่อยู่นอกช่วง Warning Line แสดงอยู่ในช่วงควบคุมได้ และเป็นที่ยอมรับได้ทางสถิติ ถ้าอยู่นอกช่วง Warning Line แต่ยังอยู่ในช่วง Action Line แสดงว่ามีความผิดปกติที่เกิดขึ้นในวันที่ทำการชั่งแต่ว่า ข้อมูลในวันนั้นยังอยู่ในช่วงที่ควบคุมและยอมรับได้ทางสถิติอยู่ แต่หากว่าอยู่นอกช่วง Action Line แสดงว่ามีความผิดปกติที่เกิดขึ้นในวันที่ทำการชั่ง เช่น Condition ของห้อง Control Room ไม่ เป็นไปตามมาตรฐาน

### 3.4.3 การเตรียมปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ

การเตรียมปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Air Sampler) ยี่ห้อ Gilian pump โดยชาร์ตแบตเตอรี่ให้เพียงพอสำหรับการเก็บตัวอย่าง และนำไปต่อกับอุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด Personal Modular Impactors (PMI) ที่บรรจุกระตาศกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 และ 25 มิลลิเมตร ดังปรากฏในภาคผนวก ก. แล้วจึงทำการปรับเทียบอัตราการไหล ให้มีอัตราการไหลประมาณ 3.0 l/min เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคล และในตู้ระบบกึ่งปิด และปรับเทียบอัตราการไหลของเครื่อง Minivol tactical air sampler (TAS) ให้มีอัตราการไหลประมาณ 5.0 l/min เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างบรรยากาศในบริเวณผู้ปฏิบัติงาน บันทึกค่าอัตราการไหลของปั๊มเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง เพื่อนำไปหาปริมาตรอากาศต่อไป

### 3.4.4 การเตรียมตู้ระบบกึ่งปิดสำหรับเก็บตัวอย่างควันรูป

ตู้ระบบกึ่งปิดสำหรับเก็บตัวอย่างมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม (Chamber) ขนาด 36x29x45 เซนติเมตร มีปริมาตร 46.98 ลูกบาศก์เมตร ฝาด้านบนเจาะรูขนาดพอเหมาะสำหรับอุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด Personal Modular Impactors (PMI) และด้านหน้าเป็นฝาเลื่อนเปิด-ปิดได้ ดังปรากฏในภาคผนวก ก.

### 3.4.5 การเตรียมตัวอย่างรูป

ทำการเตรียมตัวอย่างรูปทั้ง 4 ชนิด คือ ตัวอย่างรูปจากวัด A 1 ชนิด และจากวัด B 3 ชนิด โดยมีความยาวเนื้อรูปและน้ำหนักรูปแตกต่างกัน ดังปรากฏในตารางที่ 3.1 และภาคผนวก ก. โดยแบ่งเป็นรหัส คือ A หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปจากวัด A และ B หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปจากวัด B รวมจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 4 ผลิตภัณฑ์ ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ รวมตัวอย่างทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 ความยาวและน้ำหนักของรูปชนิดที่ใช้เป็นหลักในสถานประกอบพิธีกรรม

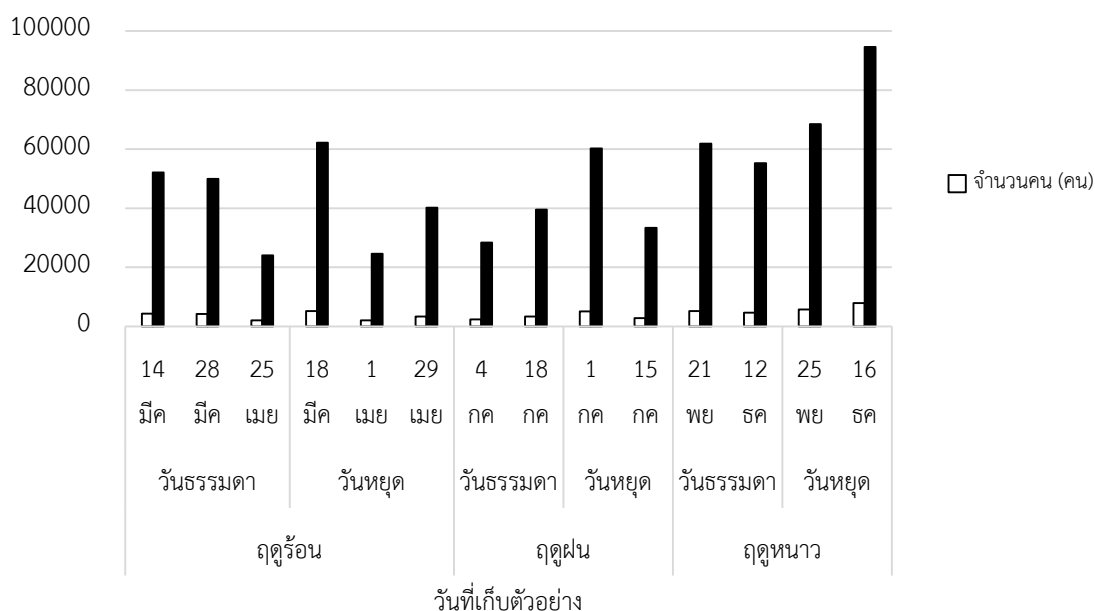
ชนิดของรูป	ความยาวเนื้อรูป (ซม.)	น้ำหนักรูป (กรัม)
วัด A    รูปขนาดเล็ก (A)	22.02	1.36
วัด B		
-    รูปขนาดเล็ก (B-S)	20.8	0.93
-    รูปขนาดกลาง (B-M)	45.68	25.33
-    รูปขนาดใหญ่ (B-L)	58.38	30.94

### 3.5 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา

#### 3.5.1 การเก็บตัวอย่าง

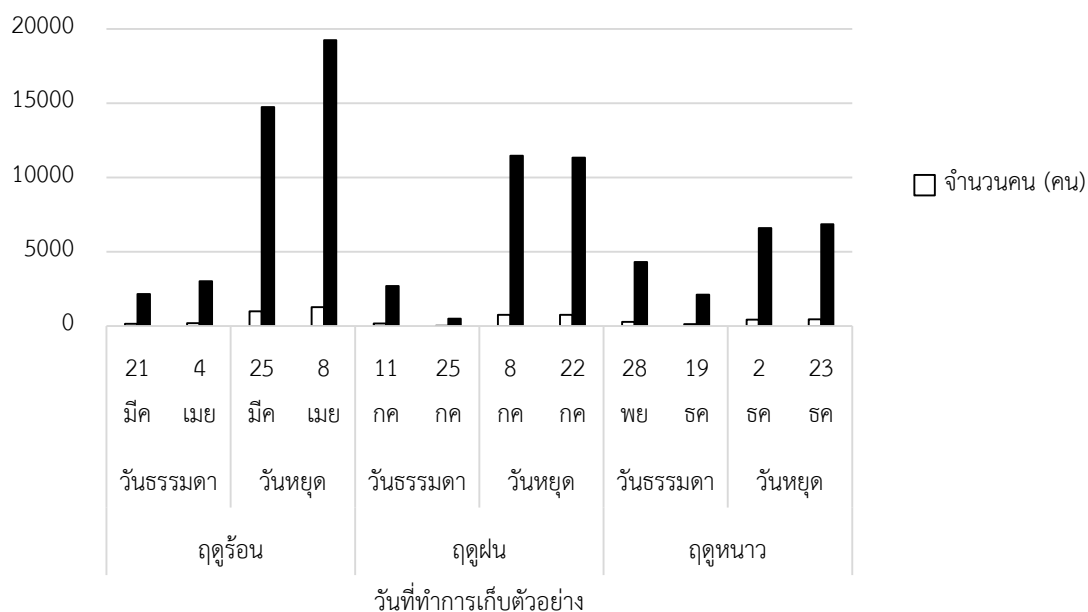
##### 3.5.1.1 การเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดเล็ก (particulate matter) ที่เกิดจากรูปที่มีการเผาไหม้โดยอนุภาคฝุ่นที่เก็บมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.5 ไมครอนแต่เล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{2.5-10}$ ) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) โดยทำการเก็บอนุภาคฝุ่นด้วยเครื่อง Gilian air pump ที่ต่อกับอุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด Personal Modular Impactors (PMI) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) ที่อยู่ในบรรยากาศรอบพื้นที่ศึกษา (A) ทำการเก็บด้วยเครื่อง Minivol tactical air sampler (TAS) โดยทำการเก็บตัวอย่างในวันที่มีแนวโน้มของผู้เข้าไปสักการะสูงสุดและต่ำสุด คือ วันพุธ (วันธรรมดา) และวันอาทิตย์ (วันหยุด) ตามลำดับ ในช่วงเวลา 07.00 – 15.00 น. วันที่เก็บตัวอย่างและข้อมูลจำนวนผู้เข้าไปสักการะของพระพรหมโรงแรมเอราวัณ และวัด B แสดงดังภาพที่ 3.2 และ 3.3 (ดังแสดงในภาคผนวก ง.)



ภาพที่ 3.2 จำนวนผู้เข้าไปสักการะและปริมาณธูปของวัด A

(ที่มา: สมุดบันทึกประจำเดือนของวัด A)



ภาพที่ 3.3 จำนวนผู้เข้าไปสักการะและปริมาณธูปของวัด B

(ที่มา: เก็บตัวอย่างธูปจริง ณ วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง)

#### 3.5.1.2 การเก็บตัวอย่างแบบสอบถาม

เก็บแบบสอบถามจากผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่เป็นพื้นที่ศึกษา คือ วัด A และวัด B แต่เนื่องจากจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่เป็นพื้นที่ศึกษานั้นมีจำนวนรวมกันไม่ถึง 30 คน จึงได้เก็บแบบสอบถามเพิ่มเติมจากผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาแห่งอื่นๆ รวมแล้วได้ทั้งหมด 36 ชุด โดยเลือกสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่ได้รับความนิยมในระดับสูงจากประชาชนที่เข้าไปสักการะ และปริมาณธูปที่ใช้ต่อคนในปริมาณมาก ในเขตกรุงเทพมหานคร การเก็บแบบสอบถามมีเกณฑ์การคัดเลือกของกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้ 1) เลือกตามหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ได้แก่ พนักงานรักษาความปลอดภัย พนักงานทำความสะอาด พนักงานขายดอกไม้ ธูป เทียน ทั้งเพศชาย และเพศหญิง 2) ไม่จำกัดอายุงาน 3) ไม่จำกัดโรคประจำตัว 4) สนใจในการตอบแบบสอบถาม และไม่มีเกณฑ์การคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามประกอบด้วย เพศ อายุ น้ำหนัก ระยะเวลาการทำงาน ลักษณะงาน ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกและอาการที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน โดยข้อมูลบางส่วน อาทิ ค่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ชั่วโมงการทำงาน ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานในอาชีพนี้ นำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสาร PAHs

### 3.5.1.3 การเก็บตัวอย่างอากาศในตู้ระบบกึ่งปิด

การเก็บตัวอย่างรูปในตู้ระบบกึ่งปิด โดยทำการเก็บตัวอย่างรูปที่มีการวางจำหน่ายในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนานั้นๆ โดยที่วัด A มีรูปที่วางจำหน่าย 1 ชนิด และวัด B มีรูปที่วางจำหน่ายทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ รูปขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดเล็ก (particulate matter) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของรูป โดยอนุภาคฝุ่นที่เก็บมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.5 ไมครอนแต่เล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{2.5-10}$ ) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) ทำการเก็บอนุภาคฝุ่นด้วยอุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด Personal Modular Impactors (PMI) ที่ต่อกับเครื่อง Gilian air pump นำชุดอุปกรณ์ไปปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่อง Gilian Gilibrator 2 Calibrator โดยมีอัตราการไหลประมาณ 3.0 l/min ก่อนนำไปเก็บตัวอย่างคว้นรูป ทำการจุดรูปตัวอย่างแล้วนำเข้ากล่องเก็บตัวอย่าง (Chamber) ปิดกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อไม่ให้อากาศไหลออก แล้วเริ่มจับเวลาในการเก็บตัวอย่างประมาณ 15 นาที

### 3.5.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง

เก็บรักษาตัวอย่างโดยนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างแล้วมาเก็บภายในตู้ดูดความชื้น (decicator) โดยเก็บไว้อย่างน้อย 3 วัน หรือจนน้ำหนักคงที่แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Microbalance) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่มีตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ยบันทึกค่าน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (post-weighting) หลังจากนั้นนำกระดาษกรองเก็บใส่ตลับพลาสติกทึบแสง และเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $0^{\circ}C$  เพื่อรอการนำไปสกัดหาสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ต่อไป

### 3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นในตัวอย่าง

นำค่าน้ำหนักกระดาษกรองที่ซึ่งมาหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  จากสูตรในสมการที่ 3.1 – 3.6

$$\text{Pre-weight} = (\text{ชั่งครั้งที่1} + \text{ชั่งครั้งที่2} + \text{ชั่งครั้งที่3}) / 3 \quad \dots(3.1)$$

$$\text{Post-weight} = (\text{ชั่งครั้งที่1} + \text{ชั่งครั้งที่2} + \text{ชั่งครั้งที่3}) / 3 \quad \dots(3.2)$$

$$\text{น้ำหนักฝุ่น } (\mu\text{g}) = \text{Post-weight} - \text{Pre-weight} \quad \dots(3.3)$$

$$\text{ปริมาตรอากาศ } (m^3) = \text{อัตราการไหลของอากาศ } (m^3/\text{min}) \times \text{เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง} (\text{min}) \quad \dots(3.4)$$

$$\text{ปริมาณฝุ่น } PM_{2.5}, PM_{10-2.5} (\mu\text{g}/m^3) = \frac{\text{น้ำหนักฝุ่น } (\mu\text{g})}{\text{ปริมาตรอากาศ } (m^3)} \quad \dots(3.5)$$

$$\text{ปริมาณฝุ่น } PM_{10} (\mu\text{g}/m^3) = \text{ปริมาณฝุ่น } PM_{2.5} + PM_{10-2.5} \quad \dots(3.6)$$

### 3.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณ PAHs

#### 3.5.4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ PAHs

การวิเคราะห์สาร PAHs โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น SPD 20A และ detector คือ Fluorescence detector และ UV detector สารที่ใช้เป็น mobile phase ประกอบด้วย Acetonitrile-HPLC grade (ACN-HPLC grade) และ Water-HPLC grade (W-HPLC grade) สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ PAHs Mix Standard ผลิตโดย บริษัท Supelco ประกอบด้วยสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene (Nap) Acenaphthylene (Acpy) Acenaphthene (Ace) Fluorene (Fl) Phenanthrene (Phe) Anthracene (Ant) Fluoranthene (Flu) Pyrene (Pyr) Benzo(a)anthracene (B(a)A) Chrysene (Chry) Benzo(b)fluoranthene (B(b)F) Benzo(k)fluoranthene (B(k)F) Benzo(a)prrene (B(a)P) Dibenzo(a,h)anthracene (D(ah)A) Benzo(ghi)perylene (B(ghi)P) และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene (Ind) สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Research and Training Centre : ERTC)

#### 3.5.4.2 ทำกราฟมาตรฐาน (Standard Curve)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน PAHs Mix Standard 16 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.001 0.005 0.01 0.05 0.1 0.5 และ 1.0 ppm เจือจางอยู่ในสารละลาย Acetonitrile (ACN) และนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ตามสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้น และนำผลของค่า Peak area ไปสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้

#### 3.5.4.3 Limits of detection (LOD) และ Limits of quantification (LOQ)

ค่า Limits of detection (LOD) และ Limits of quantification (LOQ) ของเครื่อง HPLC สามารถคำนวณได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยเตรียมความเข้มข้น 0.05 ppm จำนวน 10 ซ้ำ จากนั้นฉีดเข้าเครื่อง HPLC แล้วทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า LOD ค่า LOQ และ %RSD ได้จากสมการที่ 3.7 3.8 และ 3.9

$$\text{LOD} = 3\text{SD} \quad \dots(3.7)$$

$$\text{LOQ} = 10\text{SD} \quad \dots(3.8)$$

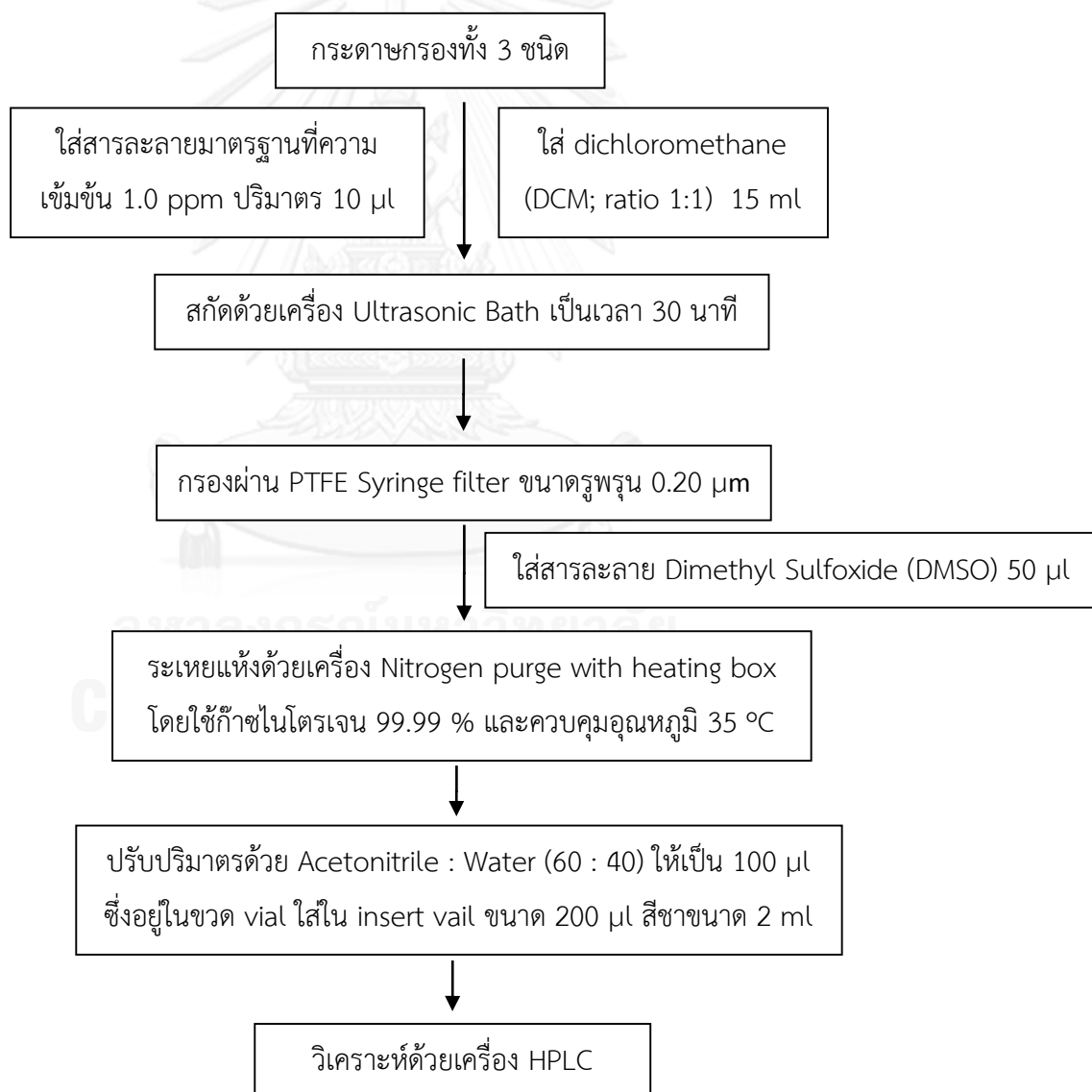
$$\% \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (\%RSD)} = (\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \times 100) / \text{ค่าเฉลี่ย} \quad \dots(3.9)$$

ตารางที่ 3 2 สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

Main Column	Supelcosil LC-PAH C16 25 cm × 4.6 mm ID, 5.0 μm particles			
Pre Column	Supelguard LC-18 Replacement Cartridges 4.5 cm × 4.0 mm ID, 5.0 μm			
Mobile Phase	A: Acetonitrile : Water (60 : 40) B: Acetonitrile : Water (88 : 12)			
Column Temperature	40 °C			
Flow rate	1.6 ml/min			
Detector	A : UV detector B : Fluorescence detector			
Wavelength	UV = 254 nm			
Injection volume	20 μl			
Gradient Program	Time (min)	Mobile Phase (A:B)	Excitation (nm)	Emission (nm)
	5.00	100:0	270	330
	8.40		250	370
	10.05		330	430
	13.00	20:80		
	14.00		270	390
	16.50		290	430
	22.00		370	460
	25.00	20:80		
	26.00	100:0		
	31.00 (stop)			

#### 3.5.4.4 การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของการสกัดตัวอย่าง (Recovery Test)

วิธีการสกัดสารประกอบ PAHs จากตัวอย่างได้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสกัดโดยการทำเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1 ppm โดยฉีดสารละลายมาตรฐานเข้าไปในกระดาศกรองทั้ง 3 ชนิด คือ กระดาศกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 2 ไมโครเมตร (PM10) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 3 ไมโครเมตร (PM2.5) กระดาศกรองชนิด Teflon ขนาดรูพรุน 2 ไมโครเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร (A) แล้วทำการสกัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.4 แล้วนำผลที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ซึ่งวิธีการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการตามวิธีดังกล่าวด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่าง



### 3.5.4.5 การสกัดสารตัวอย่างและแบลงค์

นำกระตาศกรองที่เก็บตัวอย่างมาสกัดหาสาร PAHs โดยนำกระตาศกรองแต่ละชนิดที่มีฝุ่นควันมาใส่ขวดสีชาขนาด 40 ml จากนั้นใส่ dichloromethane (DCM; ratio 1:1) 15 ml แล้วนำขวดตัวอย่างไปสกัดด้วยเครื่อง Ultrasonic Bath เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่สกัดแล้วแยกออกจากกระตาศกรอง โดยกรองผ่านด้วย Syringe filter ขนาดรูพรุน 0.20 ไมโครเมตร ใส่ในขวดสีชา แล้วใส่สารละลาย Dimethyl Sulfoxide (DMSO) 50  $\mu$ l และนำสารละลายไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง Nitrogen purge with heating box ยี่ห้อ Drythermo Unit รุ่น DTU-1B โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน 99.99 % และควบคุมอุณหภูมิ 35  $^{\circ}$ C ใส่ใน insert vial ขนาด 200  $\mu$ l ซึ่งอยู่ในขวด vial สีชาขนาด 2 ml แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำในตู้เย็นและก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC นำมาปรับปริมาตรด้วย Acetonitrile : Water (60 : 40) ให้เป็น 100  $\mu$ l (ดัดแปลงจาก Method5506 NIOSH Manual of Analytical(NMAM), (1998) และจากงานวิจัยของ Ohura และคณะ, (2004))

### 3.5.4.6 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณความเข้มข้นของ PAHs

วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร PAHs โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด และโดยการหา peak area ของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่าง แล้วนำมาลบด้วย peak area ของ PAHs แต่ละชนิดในแบลงค์ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เทียบจาก Standard curve จะได้ค่า PAHs ในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ดังปรากฏในสมการ 3.10 และ 3.11

$$\text{Peak area}_{\text{PAHs}} = \text{Peak area}_{\text{Sample}} - \text{Peak area}_{\text{Blank}} \quad \dots(3.10)$$

$$[\text{PAHi}] \text{ (mg/L)} = \text{Peak area}_{\text{PAHs}} / X_i \quad \dots(3.11)$$

โดย  $X_i$  = Standard curve slope

การคำนวณหาความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง HPLC ดังสมการที่ 3.12

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad \text{PAHs conc. (ng/m}^3\text{)} = \frac{(C_A - C_B) \times V_S}{V_{\text{air}}} \quad \dots(3.12)$$

โดย PAHs conc. = Concentration of PAHs (ng/m<sup>3</sup>)

$C_A$  = ความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่าง (mg/L)

$C_B$  = ความเข้มข้นของ PAHs ใน blank (mg/L)

$V_S$  = ปริมาตรสารในตัวอย่าง 100  $\mu$ l

$V_{\text{air}}$  = ปริมาตรอากาศ (m<sup>3</sup>)

### 3.6 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงเป็นกระบวนการศึกษาโอกาสหรือความน่าจะเป็นเพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมที่อาจได้รับสัมผัสจากกิจกรรมอันเนื่องจากการปฏิบัติงาน ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงตามวิธีของ U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.6.1 Hazard Identification

การพิจารณาความพิษของสารประกอบ PAHs ในลักษณะของการเป็นสารก่อมะเร็ง โดยหน่วยงานที่เป็นแหล่งอ้างอิงคือ International Agency for Research on Cancer (IARC) ซึ่งเป็นหน่วยงานในสังกัดขององค์การอนามัยโลก มีหน้าที่หลักในการพิจารณาว่าสารใดเป็นสารก่อมะเร็ง โดยอาศัยข้อมูลทางระบาดวิทยาและการทำวิจัยในห้องปฏิบัติการ ได้แบ่งความเป็นพิษของสารประกอบ PAHs ออกเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การพิจารณาความเป็นพิษในการก่อเกิดมะเร็งของสารประกอบ PAHs โดย IARC

กลุ่ม	ชนิดสารก่อมะเร็ง	ลักษณะการก่อมะเร็ง	สารประกอบ PAHs
1	ก่อมะเร็งในมนุษย์	มีการสัมผัสที่พบว่ามีหลักฐานเพียงพอที่จะก่อให้เกิดมะเร็ง	Benzo(a)pyrene
2A	เป็นไปได้ที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์	สารกลุ่มนี้เป็นสารที่มีหลักฐานน้อยที่บ่งชี้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง	Dibenz(a,h)anthracene Benz(a)anthracene Benzo(b)fluoranthene Benzo(k) fluoranthene Chrysene Naphthalene Indeno(1,2,3cd)pyrene
2B	อาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์	มีข้อมูลแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคน	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Donata Lerda, 2010

ตารางที่ 3.3 การพิจารณาความเป็นพิษในการก่อเกิดมะเร็งของสารประกอบ PAHs โดย IARC (ต่อ)

กลุ่ม	ชนิดสารก่อมะเร็ง	ลักษณะการก่อมะเร็ง	สารประกอบ PAHs
			Acenaphthene Anthracene
3	ยังจำแนกไม่ได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์	สาร สารประกอบ สัมผัส หรือส่วนผสมที่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าก่อมะเร็งในคน	สถานการณ์ที่มีการ Benzo(g,h,i)perylene Fluoranthene Fluorene Phenanthrene Pyrene
4	ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์	สาร สารประกอบ สัมผัส หรือส่วนผสมค่อนข้างแน่ชัดว่าไม่ใช่สารก่อมะเร็งในคน	สถานการณ์ที่มีการ -

ที่มา: ดัดแปลงจาก Donata Lerda, 2010

### 3.6.2 Dose-Response Assessment

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของประชากรที่ได้รับสัมผัสสารมลพิษและการตอบสนองต่อสารนั้นๆ ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยการประเมินขนาดการรับสัมผัสและตอบสนองต่อสาร PAHs ในกลุ่มสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ยังไม่พบข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยง สำหรับสารที่อยู่ในกลุ่มของสารที่ก่อเกิดมะเร็ง (carcinogenic) จะทำการประเมินโดยใช้ค่า CSFi (Inhalation Cancer slope Factor) ซึ่งค่า CSFi และ TEF ของ PAH แต่ละชนิดแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

เนื่องจากข้อมูลการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการรับสัมผัส (dose-response assessment) ของสารประกอบ PAHs ยังมีค่อนข้างจำกัด จึงต้องคำนวณค่าความเสี่ยงจากได้รับสัมผัสสารประกอบ PAHs โดยปรับเทียบค่าสารประกอบ PAHs แต่ละชนิดให้เป็นค่า benzo[a]pyrene equivalent concentration ( $BaP_{eq}$ ) ด้วยค่า toxic equivalent factor (TEF) แล้วนำค่า  $BaP_{eq}$  ของ PAH แต่ละชนิดมารวมกันเพื่อให้ได้ค่า Total- $BaP_{eq}$  (t- $BaP_{eq}$  หรือ TEQ) แล้วจึงนำค่า t- $BaP_{eq}$  มาใช้แทนความเข้มข้นของสาร PAHs ที่บุคคลได้รับสัมผัสในอากาศ (CA) เพื่อประเมินปริมาณการรับสัมผัส (exposure assessment) ดังสมการ 3.13 และ 3.14

$$\text{BaP}_{\text{eq}} = [\text{PAHs}_i] \times \text{TEF} \quad \dots(3.13)$$

$$\text{Total-BaP}_{\text{eq}} (\text{t-BaP}_{\text{eq}} \text{ หรือ TEQ}) = \sum \text{BaP}_{\text{eq}} \quad \dots(3.14)$$

โดย  $\text{BaP}_{\text{eq}}$  = ค่าความเข้มข้นของ PAH แต่ละชนิดที่ปรับเทียบด้วยค่า  
ศักยภาพการก่อเกิดมะเร็ง

Individual PAH ( $\text{PAHs}_i$ ) = ปริมาณความเข้มข้นของ PAH แต่ละชนิด

Toxic equivalent factor (TEF) = ค่าตัวคูณศักยภาพการก่อเกิดมะเร็งเทียบเท่ากับ BaP

### 3.6.3 Exposure Assessment

การหาปริมาณสาร PAHs ที่พนักงานได้รับสัมผัสจากการปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม สามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดสารที่บริเวณที่พนักงานปฏิบัติงาน ข้อมูลเกี่ยวกับพนักงานจากแบบสอบถาม ได้แก่ ความถี่ของการรับสัมผัสสาร PAHs (EF) เวลาในการรับสัมผัสสาร (ET) ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร (ED) น้ำหนักตัว (BW) และข้อมูลอ้างอิงจาก U.S. EPA นำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณปริมาณการรับสัมผัสใน 1 วัน ได้ดังนี้

สำหรับปริมาณการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารก่อเกิดมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากค่า CDI (Chronic Daily Intake) โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า  $\text{t-BaP}_{\text{eq}}$  ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3.6.2 มาแทนค่า ในการหาค่า CDI ดังสมการที่ 3.15

$$\text{CDI} = (\text{CA} \times \text{IR} \times \text{EF} \times \text{ET} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{AT}) \quad \dots(3.15)$$

คำอธิบายตัวแปรต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ค่า CSFi และ TEF ของสารประกอบ PAHs

สารประกอบ PAHs	CSFi ( $\text{mg/kg-day}^{-1}$ )	Toxic equivalency factors (TEF)
Napthalene	-	0.001
Acenaphthylene	-	0.001
Acenaphthene	-	0.001
Fluorene	-	0.001

ตารางที่ 3.4 ค่า CSFi และ TEF ของสารประกอบ PAHs (ต่อ)

สารประกอบ PAHs	CSFi (mg/kg-day) <sup>-1</sup>	Toxic equivalency factors (TEF)
Phenanthrene	-	0.001
Anthracene	-	0.01
Fluoranthene	-	0.001
Pyrene	-	0.001
Benzo[a]Anthracene	3.9E-1	0.1
Chrysene	3.9E-2	0.01
Benzo[b]Fluoranthene	3.9E-1	0.1
Benzo[k]Fluoranthene	3.9E-1	0.1
Benzo[a]Pyrene	3.9E+1	1.0
Dibenz[ah]Anthracene	4.1E+0	1.0
Benzo[ghi]Perylene	-	0.01
Indeno[123-cd]Pyrene	3.9E-1	0.1

ที่มา: CSFi = Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)

TEF = Chung-Min Liao and Kuo-Chih Chiang (2005)

ตารางที่ 3.5 ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการประเมินการรับสัมผัส

ตัวแปร	ความหมาย	อ้างอิง
CDI	ปริมาณการรับสัมผัสสาร PAHs ใน 1 วัน (mg/kg BW-day)	-
CA	ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่บุคคลได้รับสัมผัสในอากาศ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-
IR	อัตราการหายใจ ( $0.875 \text{ m}^3/\text{hr.}$ )	US EPA 1991 RAGS Vol. 1
EF	ความถี่ของการรับสัมผัสสาร PAHs (250 days/year)	แบบสอบถาม
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร PAHs (25 years)	

ตารางที่ 3.5 ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการประเมินการรับสัมผัส (ต่อ)

ตัวแปร	ความหมาย	อ้างอิง
ET	เวลาในการรับสัมผัสสาร PAHs (9 hr./day)	
BW	น้ำหนักตัว (kg)	
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร (70x365 days) สำหรับสารก่อมะเร็ง	US EPA 1991 RAGS Vol. 1

#### 3.6.4 Risk Characterization

เป็นการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จาก 3 ขั้นตอนข้างต้นมาใช้ในการประเมินความน่าจะเป็นที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสกลุ่มของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Lifetime Cancer risk) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Lifetime Cancer Risk} = \text{CDI} \times \text{CSF}_i \quad (3.16)$$

เมื่อ  $\text{CSF}_i$  = Inhalation Cancer slope Factor (mg/kg-day)

โดยค่า Lifetime Cancer Risk ที่สามารถยอมรับได้ของการสัมผัสสารกลุ่มของสารที่ก่อเกิดมะเร็งนี้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  ซึ่งหมายความถึงโอกาสการเกิดโรคมะเร็งของประชากรหนึ่งคนในจำนวนประชากรล้านคน

หลังจากประเมินความเสี่ยงแล้ว หากพบว่าระดับการได้รับสัมผัสสารของพนักงานอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายหรือเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จะเสนอแนะแนวทางการป้องกันให้แก่พนักงาน เช่น แนะนำชนิดและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่มีคุณภาพ เพื่อป้องกันอันตรายจากการได้รับสัมผัสสารมลพิษในระหว่างปฏิบัติงาน

### 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS statistic version 21.0 โดย

1. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และสาร PAHs ที่ตรวจวัดแต่ละบริเวณ ในระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด ในระหว่างฤดู ในระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Paired samples T-test กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) และใช้สถิติแบบ nonparametric Wilcoxon signed ranks test ในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ
2. วิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ PAHs ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี One Way ANOVA: post HOC Multiple Comparison – LSD
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  ปริมาณ PAHs และจำนวนคนที่มาสถานประกอบพิธีกรรม โดยวิธี Pearson's Correlation กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) และ Spearman's Correlation ในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ
4. วิเคราะห์หาช่วงของค่าความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งด้วย 95% confidence interval

### 3.8 จริยธรรมการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขรับรองที่ 104/2555 ดังแสดงในภาคผนวก ข.

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น

##### 4.1.1 การควบคุมคุณภาพการศึกษาวิจัย

##### 4.1.1.1 การควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักของฝู่นละองขนาดเล็กบนกระตาชกรอง

เมื่อเก็บตัวอย่างฝู่นจากควินรูปแล้วทำการหาปริมาณฝู่นละองขนาดเล็กโดยทำการชั่งน้ำหนักกระตาชกรองด้วยเครื่องชั่งชนิดทศนิยม 7 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น METLER UMX 2 Certificate No.63020 (Class: E2) โดยมีค่าการเบี่ยงเบนที่  $0.17 \mu\text{g}$  ซึ่งผ่านการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแล้ว โดยก่อนและหลังการชั่งน้ำหนักของกระตาชกรองทุกครั้งจะมีการชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 (Certificate No.158360) และ 200 (Certificate No.158370) มิลลิกรัม เพื่อนำมาทำ Quality Control ของเครื่องชั่งน้ำหนักจากข้อมูล ซึ่งผลค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทั้งสองแสดงในตารางที่ 4.1 โดยพบว่าจำนวนตุ้มน้ำหนักที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ของตุ้มน้ำหนัก 100 และ 200 มิลลิกรัมทั้งหมด ทั้ง 3 ฤดู อยู่ในช่วง 83.48 – 93.83% และ 80.91 – 94.24% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 Quality Control ของเครื่องชั่งน้ำหนัก

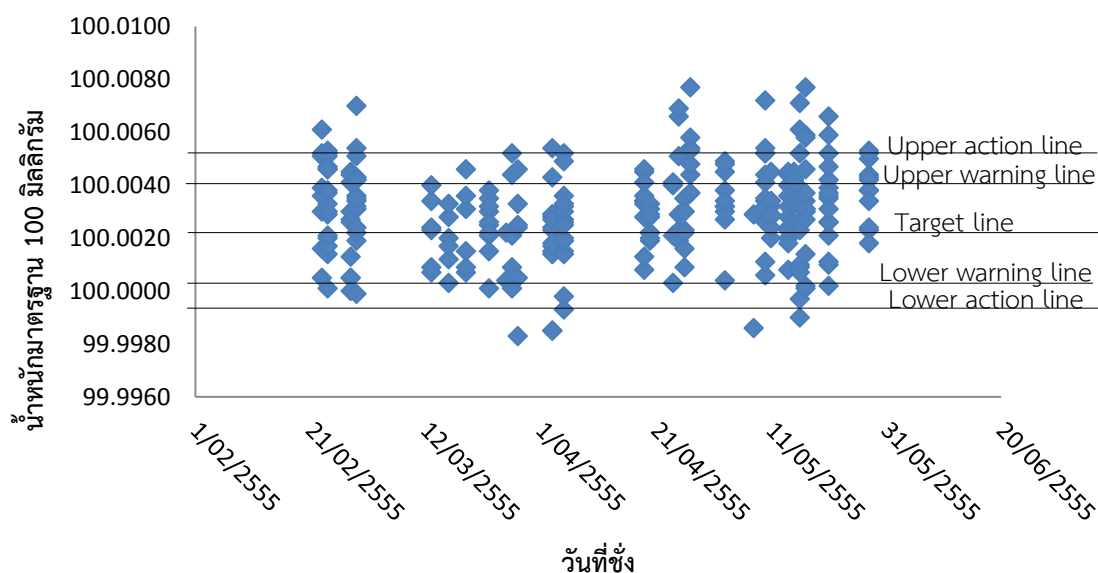
ฤดูที่เก็บตัวอย่าง	ตุ้มน้ำหนัก (mg)	ค่าเฉลี่ยตุ้มน้ำหนัก (mg)	จำนวนค่าตุ้มน้ำหนักที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (%)
ฤดูร้อน	100	100.0028	91.37
	200	200.0038	94.24
ฤดูฝน	100	100.0041	93.83
	200	200.0046	80.91
ฤดูหนาว	100	100.0037	83.48
	200	200.0035	89.29

ภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงตัวอย่างค่าที่ได้จากการชั่งตุ้มน้ำหนักในแต่ละวันของการเก็บตัวอย่างในฤดูร้อน (โดยค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม ทั้งหมดรวบรวมในภาคผนวก ข และนำมาพล็อตลงในกราฟ Scattering Diagram) จากผลการชั่งในช่วงฤดูร้อน พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักของตุ้มทั้งสองอยู่ที่ 100.0028 และ 200.0038 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากการชั่งตุ้ม

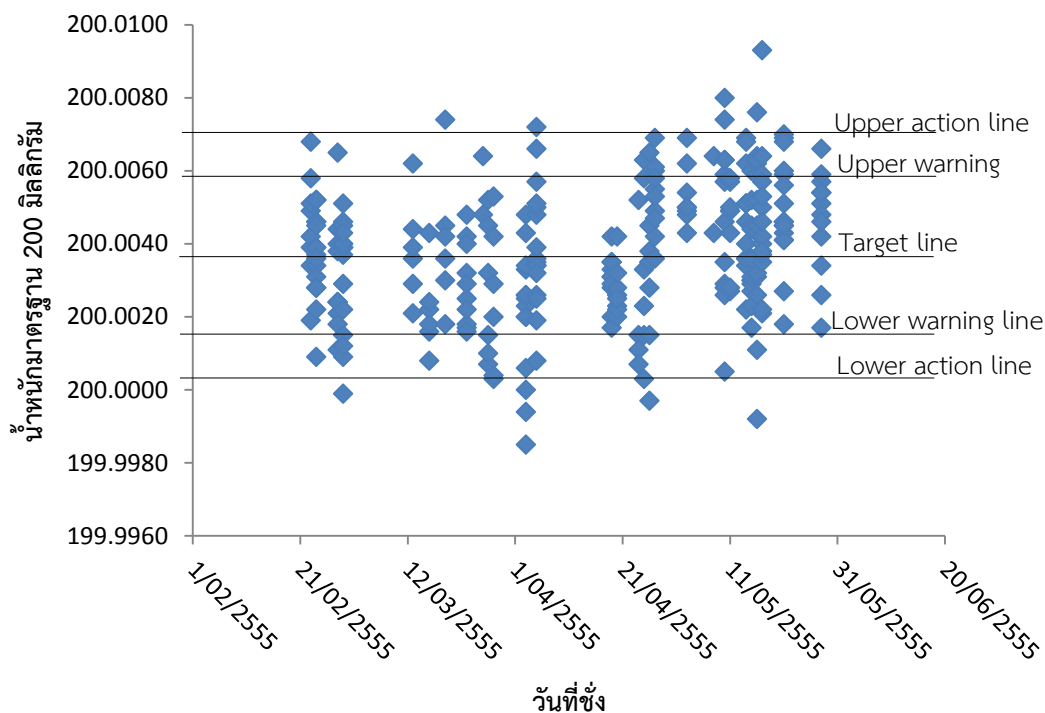


น้ำหนักมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม จำนวนทั้งหมด 278 จุด 254 จุด อยู่ช่วง Action Line ( $\mu \pm 3SD$ ) คิดเป็น 91.37 เปอร์เซ็นต์ โดยมีช่วงที่เกินระดับ Warning Line ( $\mu \pm 2SD$ ) แต่อยู่ใน Action Line คิดเป็นสัดส่วน 18.35 เปอร์เซ็นต์ และมีช่วงเกิน Action Line 8.63 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการชั่งน้ำหนักของตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม จำนวนทั้งหมด 278 จุด 262 จุด อยู่ในช่วง Action Line คิดเป็น 94.24 เปอร์เซ็นต์ โดยมีช่วงที่เกินระดับ Warning Line แต่อยู่ใน Action Line คิดเป็นสัดส่วน 16.91 เปอร์เซ็นต์ และมีช่วงเกิน Action Line 5.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือเป็นช่วงที่สามารถยอมรับได้ทางสถิติ การที่ค่าตุ้มน้ำหนักมีค่าเกินช่วง Action Line อาจเกิดจากสภาวะในห้องเครื่องซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิและความชื้น อย่างไรก็ตามยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ทางสถิติ

ผลการทดลองควบคุมคุณภาพการชั่งที่พิจารณาจากค่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทนก (2552) ในการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนัก (Quality Control) ซึ่งผลวิเคราะห์ พบว่า ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม มีจำนวนค่าตุ้มน้ำหนักที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ 85.48 และ 92.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทำ Quality Control ของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีจำนวนตุ้มน้ำหนักที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ 80.91 และ 94.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่า ผลการทำ Quality Control ของค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และถูกต้องเที่ยงตรงเช่นกัน



ภาพที่ 4.1 Control Chart ของตุ้มน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม ในฤดูร้อน



ภาพที่ 4.2 Control Chart ของต้มน้ำหนัก 200 มิลลิกรัม ในฤดูร้อน

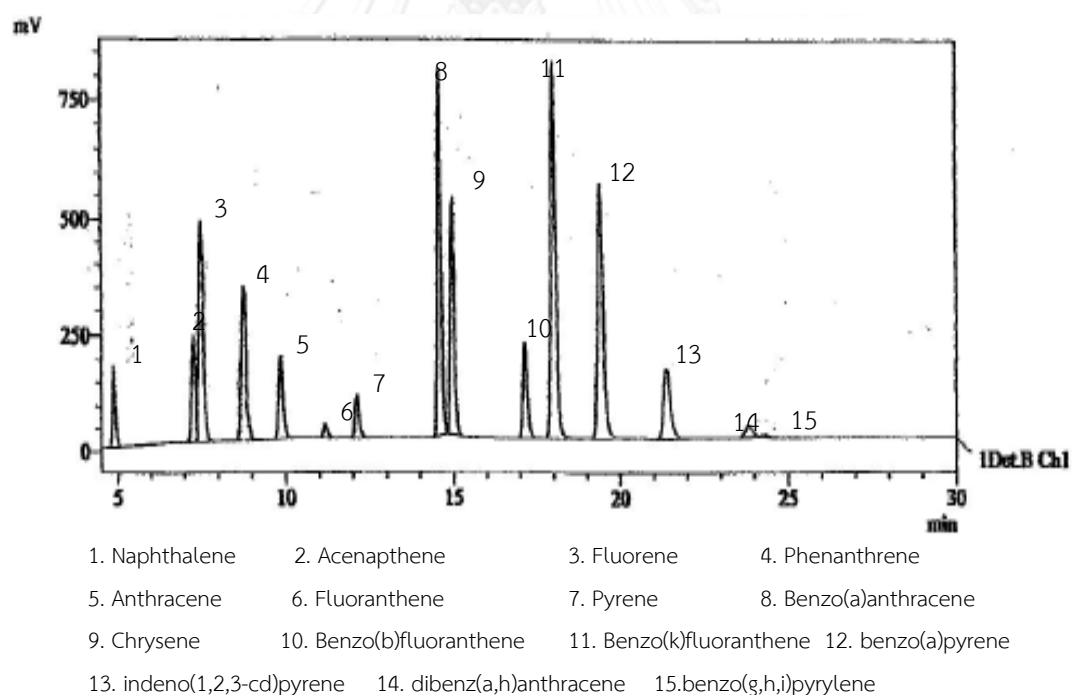
#### 4.1.1.2 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ตัวอย่าง

##### 1) ค่า Retention time ของสารประกอบ PAHs

ค่า Retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 แสดง Chromatogram ของสารที่ตรวจวิเคราะห์ด้วย Fluorescence detector ที่ประกอบด้วยพีคของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด ได้แก่ Naphthalene Acenaphthene Fluorene Phenanthrene Anthracene Fluoranthene Pyrene Benzo(a)anthracene Chrysene Benzo(b)fluoranthene Benzo(k)fluoranthene Benzo(a)prrene Dibenzo(a,h)anthracene Benzo(ghi)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene ในขณะที่สาร Acenaphthylene จะวิเคราะห์โดยใช้ UV detector

ตารางที่ 4.2 ค่า retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs

PAHs	retention time (min)	retention time (min)	
napthalene	4.898	benzo(a)anthracene	14.633
acenaphthylene	5.639	chrysene	14.971
acenaphthene	7.283	banzo(a)fluoranthene	17.147
fluorene	7.501	benzo(k)fluoranthene	18.050
phenanthrene	8.782	benzo(a)pyrene	19.425
anthracene	9.866	indeno(1,2,3-cd)pyrene	21.371
fluoranthene	11.189	dibenz(a,h)anthracene	23.796
pyrene	12.130	benzo(g,h,i)pyrylene	24.280



ภาพที่ 4.3 Chromatogram Fluorescence detector ของสารละลายมาตรฐาน PAHs ที่ความเข้มข้น 0.05 ppm

## 2) การสร้าง Calibration Curve

ทำการสร้าง Calibration Curve ของสารประกอบ PAHs โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐาน PAHs Mix Standard 16 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.001 0.005 0.01 0.05 0.1 0.5 และ 1.0 ppm ( $\mu\text{g/ml}$ ) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ตามสภาวะที่เหมาะสม สร้างกราฟมาตรฐานโดยพล็อตระหว่างขนาดพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียม ดังแสดงในภาคผนวก ค. กราฟที่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยแสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของกราฟมาตรฐานของสารแต่ละชนิด ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า  $R^2$  ของ PAHs 16 ชนิด จากการสร้าง Calibrate Curve

PAHs Mix Standard	ค่า $R^2$	PAHs Mix Standard	ค่า $R^2$
naphthalene	0.9998	benzo(a)anthracene	0.9901
acenaphthylene	0.9996	chrysene	0.9998
acenaphthene	0.9995	benzo(a)fluoranthene	0.9999
fluorene	0.9997	benzo(k)fluoranthene	0.9886
phenanthrene	0.9998	benzo(a)pyrene	0.9996
anthracene	0.9998	indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.9998
fluoranthene	0.9999	dibenz(a,h)anthracene	0.9959
Pyrene	0.9998	benzo(g,h,i)pyrylene	0.9303

## 3) ค่า Limit of detection (LOD) และ Limits of quantification (LOQ)

ค่า Limits of detection (LOD) และ Limits of quantification (LOQ) ของเครื่อง HPLC สามารถคำนวณได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 0.05 ppm จากนั้นฉีดเข้าเครื่อง HPLC จำนวน 10 ซ้ำ แล้วทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ %RSD การคำนวณหาค่า LOD และ LOQ ดังสมการที่ 3.7 และ 3.8 ได้ ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า LOD LOQ และ %RSD ที่ใช้ควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์สารประกอบ PAHs

สารประกอบ PAHs	LOD (mg/l)	LOQ (mg/l)	%RSD
Napthalene	0.0013	0.0042	0.0864
Acenapthylene	0.0055	0.0183	0.3709
Acenapthene	0.0019	0.0063	0.1285
Fluorene	0.0015	0.0052	0.1041
Phenanthrene	0.0013	0.0042	0.0847
Anthracene	0.0009	0.0032	0.0609
Fluoranthene	0.0009	0.0032	0.0609
Pyrene	0.0019	0.0063	0.1340
Benzo[a]Anthracene	0.0024	0.0082	0.1485
Chrysene	0.0024	0.0079	0.1650
Benzo[b]Fluoranthene	0.0014	0.0048	0.0992
Benzo[k]Fluoranthene	0.0022	0.0074	0.1315
Benzo[a]Pyrene	0.0021	0.0070	0.1439
Dibenz[ah]Anthracene	0.0017	0.0057	0.1180
Benzo[ghi]Perylene	0.0019	0.0063	0.1323
Indeno[123-cd]Pyrene	0.0025	0.0085	0.1588

#### 4) การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของการสกัดตัวอย่าง (Recovery Test)

ก่อนทำการสกัดสารประกอบ PAHs จากตัวอย่างได้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสกัดโดยการหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1 ppm พบว่าผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบ PAHs ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบ PAHs

สารประกอบ PAHs	เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%) (mean±SD)		
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	A
Napthalene	78±4.17	70±3.15	65±1.57
Acenaphthylene	88±7.14	105±23.57	89±1.56
Acenaphthene	83±3.90	92±1.03	81±2.38
Fluorene	92±2.95	94±0.59	85±3.28
Phenanthrene	105±4.12	100±0.59	93±4.12
Anthracene	93±1.98	88±0.00	85±3.30
Fluoranthene	91±3.12	102±0.00	99±5.03
Pyrene	74±9.35	130±21.43	109±6.63
Benzo[a]Anthracene	115±2.70	114±0.59	108±6.21
Chrysene	115±4.34	117±1.59	111±6.34
Benzo[b]Fluoranthene	90±3.58	113±0.00	108±6.21
Benzo[k]Fluoranthene	112±7.00	111±0.58	106±6.08
Benzo[a]Pyrene	111±6.12	111±0.00	107±6.21
Dibenz[ah]Anthracene	88±3.68	114±0.00	105±7.14
Benzo[ghi]Perylene	94±7.90	125±0.61	112±7.37
Indeno[123-cd]Pyrene	99±5.14	117±0.63	109±6.28

หมายเหตุ: PM<sub>2.5</sub> หมายถึง ภาชนะกรองชนิด PTFE สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>2.5</sub>

PM<sub>10</sub> หมายถึง ภาชนะกรองชนิด PTFE สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>10</sub>

A หมายถึง ภาชนะกรองชนิด Teflon สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>2.5</sub>

#### 4.2 ปริมาณความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ PAHs ที่วิเคราะห์จากตัวอย่างควันรูปที่เก็บในตู้ระบบกึ่งปิด (Chamber)

ทำการเก็บตัวอย่างควันรูปจากรูปที่วางจำหน่ายในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา โดยที่วัด A มีรูปที่วางจำหน่าย 1 ชนิด (A) และวัด B มีรูปวางจำหน่ายทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ รูปขนาดเล็ก (B-S) กลาง (B-M) และใหญ่ (B-L) เมื่อนำมาหาปริมาณความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> และ PAHs ที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด ผลการศึกษาเป็นดังนี้

#### 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ของรูปจากวัด A (A) และวัด B ทั้ง 3 ชนิด คือ รูปขนาดเล็ก (B-S) กลาง (B-M) และใหญ่ (B-L) อย่างละ 3 ซ้ำ แสดงในตารางที่ 4.6

จากการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ของรูปแต่ละชนิด สามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้  $B-M^a$  (186.99, 189.19  $mg/m^3$ ) >  $B-L^{ab}$  (132.30, 133.24  $mg/m^3$ ) >  $B-S^{ab}$  (79.97, 80.10  $mg/m^3$ ) >  $A^b$  (12.66, 12.69  $mg/m^3$ ) แต่เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติพบว่า ปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่ปลดปล่อยจากรูปที่จำหน่ายจากวัด B ทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่รูปชนิด B-M ของวัด B มีค่าสูงกว่ารูปชนิด A ของวัด A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่รูปชนิด B-L, B-S และ A ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4. 6 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองของรูปแต่ละชนิด

	ชนิดรูป	ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น ( $mg/m^3$ )	
		$PM_{2.5}$	$PM_{10}$
วัด A (n=3)	A	12.66±2.44	12.69±2.44
	B-S	79.97±9.65	80.10±9.58
วัด B (n=3)	B-M	186.99±99.84	189.19±101.21
	B-L	132.30±78.16	133.24±78.43

#### 4.4.2 อัตราการปลดปล่อยของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด

ผลการวิเคราะห์หาอัตราการปลดปล่อย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ต่อน้ำหนักรูป 1 กรัม ของรูปจากทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา แสดงในตารางที่ 4.7 โดยสามารถเรียงลำดับอัตราการปลดปล่อย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ต่อน้ำหนักรูป 1 กรัม จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้  $A^c$  (6.86, 6.88  $mg/g$ ) >  $B-S^b$  (5.21, 5.22  $mg/g$ ) >  $B-M^a$  (0.14, 0.14  $mg/g$ ) >  $B-L^a$  (0.11, 0.11  $mg/g$ ) จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ารูปชนิด A จากวัด A มีอัตราการปลดปล่อย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มากที่สุด และมีค่ามากกว่ารูปชนิด B-S, B-M และ B-L ของวัด B อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่รูปชนิด B-S มีค่ามากกว่า รูปชนิด B-M และ B-L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เช่นเดียวกัน แต่รูปชนิด B-M และ B-L ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 อัตราการปลดปล่อยของฝุ่นละอองของรูปแต่ละชนิด

ชนิดรูป	อัตราการปลดปล่อยของฝุ่น (mg/1 กรัมรูป)	
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
วัด A (n=3)	A 6.86±0.15	6.88±0.15
วัด B (n=3)	B-S 5.21±0.08	5.22±0.08
	B-M 0.14±0.01	0.14±0.01
	B-L 0.11±0.01	0.11±0.01

จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ปริมาณ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ของรูปชนิด A และ B-S มีอัตราการปลดปล่อยต่อน้ำหนักรูป 1 กรัม ที่ใกล้เคียงกัน และรูปชนิด B-M และ -L มีอัตราการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งลักษณะของรูปชนิด A และ B-S มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน เมื่อหักแล้วเป็นเนื้อรูปทั้งหมด แต่รูปชนิด B-M และ B-L เมื่อหักแล้วพบว่าแกนกลางของรูปเป็นไม้เนื้อแข็งที่ห่อหุ้มด้วยเนื้อรูป จึงทำให้อัตราที่ปลดปล่อยปริมาณ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ออกสู่บรรยากาศไม่สัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่คิดในหน่วย mg/m<sup>3</sup> สัดส่วนเนื้อไม้ที่ไม่ใช่เนื้อรูปจึงมีผลต่อการเกิดฝุ่นขนาดเล็กจากการเผาไหม้ รูปชนิด B-M และ B-L มีส่วนเนื้อไม้แข็งมากกว่ารูปชนิด A และ B-S เมื่อเกิดการเผาไหม้จึงให้อัตราการปลดปล่อยฝุ่นขนาดเล็กต่อน้ำหนักรูป 1 กรัม ต่างกัน

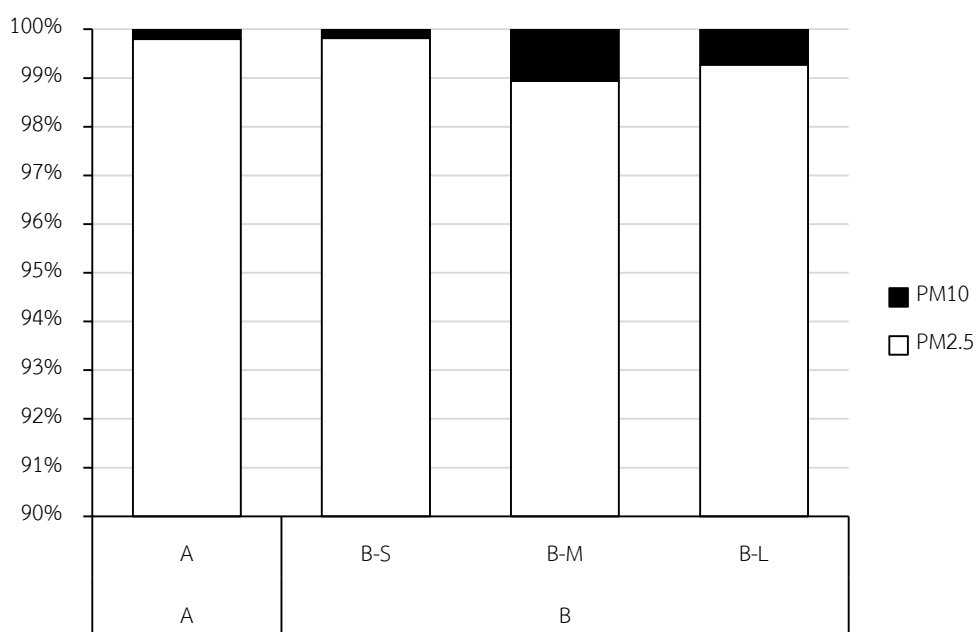
เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยของ เบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกน (2552) และงานวิจัยของธนพร ธนังชูศิลป์ และ ภัทรพร เกียรติธรรม (2551) ที่ทดลองหาอัตราการปลดปล่อยของรูปมีก้านมีควัน ในห้องทดลองระบบกึ่งปิด พบว่ารูปมีอัตราปลดปล่อยเท่ากับ 20.69 และ 14.29 mg/น้ำหนักรูป 1 กรัม ตามลำดับ และจากการศึกษาอัตราการปลดปล่อยของรูปมีก้าน 2 ชนิด (A และ B) ที่ผลิตจากโรงงานเดียวกันในไต้หวัน ของ Lang *et.al* (2002) พบว่า รูปชนิด A และ B มีอัตราการปลดปล่อยเท่ากับ 19.8 และ 43.6 mg/น้ำหนักรูป 1 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถึงแม้รูปผลิตมาจากโรงงานเดียวกัน แต่ปริมาณการปลดปล่อยมลสารจากรูป 2 ชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจากการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากการเผาไหม้รูปมีก้าน 9 ชนิด ใน Chamber ของ



Yang, Lin and Chang (2005) พบว่า มีอัตราการปลดปล่อยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 34.6 mg/น้ำหนักรูป 1 กรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้นี้กับผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่า รูปที่มีจำหน่ายในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาทั้ง 2 แห่งนี้มีอัตราการปลดปล่อย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ในปริมาณที่ต่ำกว่างานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น

#### 4.2.3 อัตราส่วนของ $PM_{2.5}/PM_{10}$

จากการวิเคราะห์อัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ที่มีในวันรูปจากรูปที่จำหน่ายที่วัด A (A) และวัด B ทั้ง 3 ชนิด คือ รูปขนาดเล็ก (B-S) กลาง (B-M) และใหญ่ (B-L) พบว่าปริมาณ  $PM_{2.5}$  ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา มีสัดส่วนอยู่ในช่วง 98.51 – 99.93% ของ  $PM_{10}$  และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 99.49% (หรือ  $0.99 \pm 0.0047$ ) ดังปรากฏในภาพที่ 4.4 และจากผลการวิเคราะห์อัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ในการศึกษาในครั้งนี้นี้ มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fang *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาในวัดของประเทศไทยได้หวั่น โดยค่าอัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $0.70 \pm 0.12$  จึงเป็นการยืนยันได้ว่า  $PM_{2.5}$  นั้น เป็นอนุภาคฝุ่นชนิดหลักที่พบจากการเผาไหม้ของรูป



ภาพที่ 4. 4 อัตราส่วนของ  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ของรูปแต่ละชนิด

#### 4.2.4 ชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์รูปแต่ละชนิด

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของสาร PAHs ที่อยู่ในควันรูปของรูปแต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.5 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย PAHs พบว่า ชนิดของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PAHs<sub>2.5</sub>) ของรูปจากวัด A (A) พบชนิดหลัก ได้แก่ B(b)F Chry B(a)A B(a)P และ B(ghi)P ตามลำดับ ในขณะที่รูปจากวัด B ทั้ง 3 ชนิด คือ ชนิดที่หนึ่งรูปขนาดเล็ก (B-S) พบชนิดหลัก ได้แก่ B(a)A Chry B(b)F B(a)P และ Flu ตามลำดับ ชนิดที่สองรูปขนาดกลาง (B-M) ได้แก่ Flu Ant Phe Chry และ B(a)A ตามลำดับ และชนิดที่สามรูปขนาดใหญ่ (B-L) ได้แก่ B(a)A Chry Pyr Ant และ B(a)P ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลชนิดและปริมาณของรูปแต่ละชนิดสามารถเรียงปริมาณการปลดปล่อย total-PAHs<sub>2.5</sub> (t-PAHs<sub>2.5</sub>) ในหน่วย ng/m<sup>3</sup> ได้ดังนี้ A (264.90)<sup>b</sup> > B-S<sup>b</sup> (254.18) > B-L<sup>ab</sup> (143.85) > B-M<sup>a</sup> (38.14) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า รูปชนิด A มีการปลดปล่อย t-PAHs<sub>2.5</sub> ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับรูปชนิด B-S แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับรูปชนิด B-L และ B-M และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะของรูปแล้ว พบว่า รูปชนิด A และ B-S มีการปลดปล่อยปริมาณ t-PAHs ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันคือ ไม่มีส่วนประกอบของไม้เนื้อแข็งเป็นแกนกลางเหมือนกับรูปชนิด B-M และ B-L

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.6 พบว่า ชนิดของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 2.5 – 10 ไมครอน (PAHs<sub>2.5-10</sub>) ชนิดหลักของรูปจากวัด A (A) ได้แก่ Phe Flu Ind B(ghi)P และ B(b)F ตามลำดับ ในขณะที่ชนิดของ PAHs ที่พบเป็นหลักของรูปจากวัด B ทั้ง 3 ชนิด คือ ชนิดที่หนึ่งรูปขนาดเล็ก (B-S) ได้แก่ Phe Flu Pyr Fl และ Ind ตามลำดับ ชนิดที่สองรูปขนาดกลาง (B-M) ได้แก่ Flu Phe Pyr Ind และ B(ghi)P ตามลำดับ และชนิดที่สามรูปขนาดใหญ่ (B-L) ได้แก่ Phe Flu Pyr Ind และ B(ghi)P ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลชนิดและปริมาณของรูปแต่ละชนิด สามารถเรียงปริมาณการปลดปล่อย t-PAHs<sub>2.5-10</sub> รวมในหน่วย ng/m<sup>3</sup> ได้ดังนี้ B-M<sup>a</sup> (0.73) > B-L<sup>a</sup> (0.65) > A<sup>a</sup> (0.57) > B-S<sup>a</sup> (0.51) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า รูปทั้ง 4 ชนิด มีการปลดปล่อย t-PAHs ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเปรียบเทียบกับ PAHs ที่พบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน พบว่า ชนิดหลักๆ ของ PAHs ที่พบบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 2.5 – 10 ไมครอน ไม่ใช่ชนิดเดียวกัน อาจเนื่องจากพฤติกรรมของสาร PAHs แต่ละชนิดที่ดูดซับบนอนุภาคมีความแตกต่างกันตามขนาดอนุภาค

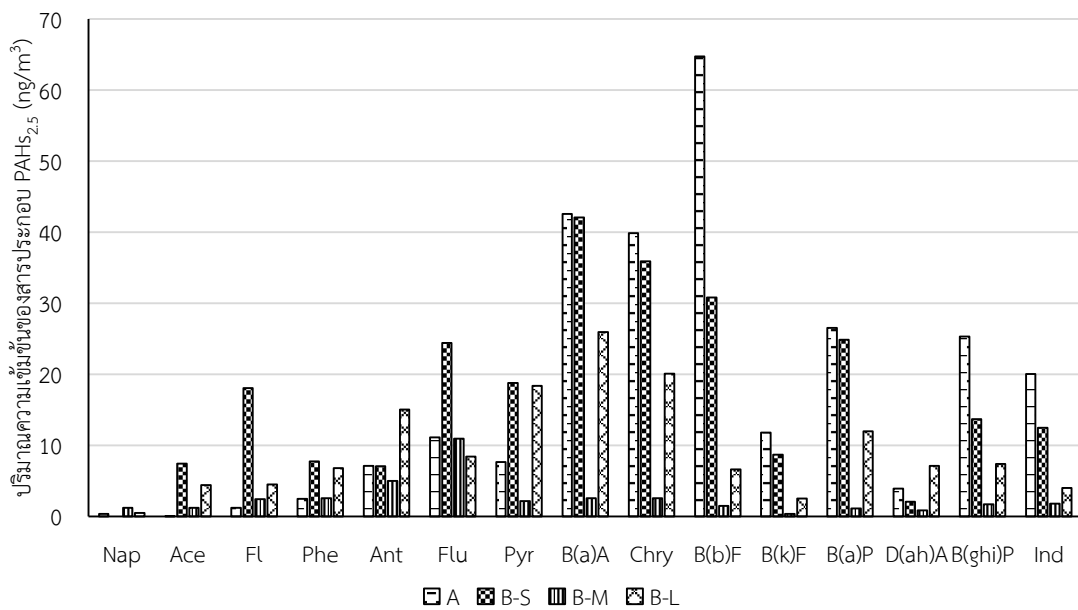
เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบกับการศึกษาปริมาณการปลดปล่อย t-PAHs ของเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทกนก (2552) ที่ทำการเก็บตัวอย่างรูปในระบบกึ่งปิด (Chamber) เช่นเดียวกัน พบว่าผลิตภัณฑ์รูปมีก้านมีควันทั้ง 5 ชนิด มีปริมาณการปลดปล่อย t-PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยที่มี

ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) อยู่ในช่วงค่าเฉลี่ย 60.56 – 127.83  $\mu g/m^3$  โดยพบชนิดของ PAHs ที่พบเป็นหลักของรูป คือ Pyr B(ghi)P Ind B(a)P และ Flu ตามลำดับ และจากงานวิจัยของ ธนพร ธนังชูศิลป์ และ ภัทรพร เกียรติธรรม (2551) ที่ทำการศึกษานิตและปริมาณสาร PAHs ที่ดูดซับอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) จากการเผาไหม้รูป ระบุว่าชนิดของ PAHs ที่พบมาก ได้แก่ Flu B(a)P และ B(ghi)P นอกจากนี้งานวิจัยของ Yang, Lin และ Chang (2005) พบชนิดของ PAHs ที่พบเป็นหลักของรูป คือ Chry B(a)P B(a)A Ind และ B(ghi)P ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Lang *et.al.*, (2002) ซึ่งพบชนิดของ PAHs ในควันรูป ได้แก่ Phe Ace Flu และ Pyr รวมแล้วมากกว่า 70% ของปริมาณ PAHs รวมทั้งหมดจากการศึกษาในครั้งนี้และงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงถึงชนิด PAHs ที่พบชนิดหลักในควันรูปนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิตรูป อาทิ ขี้เลื่อย กาว น้ำมันหอมสกัดจากพืช เป็นต้น

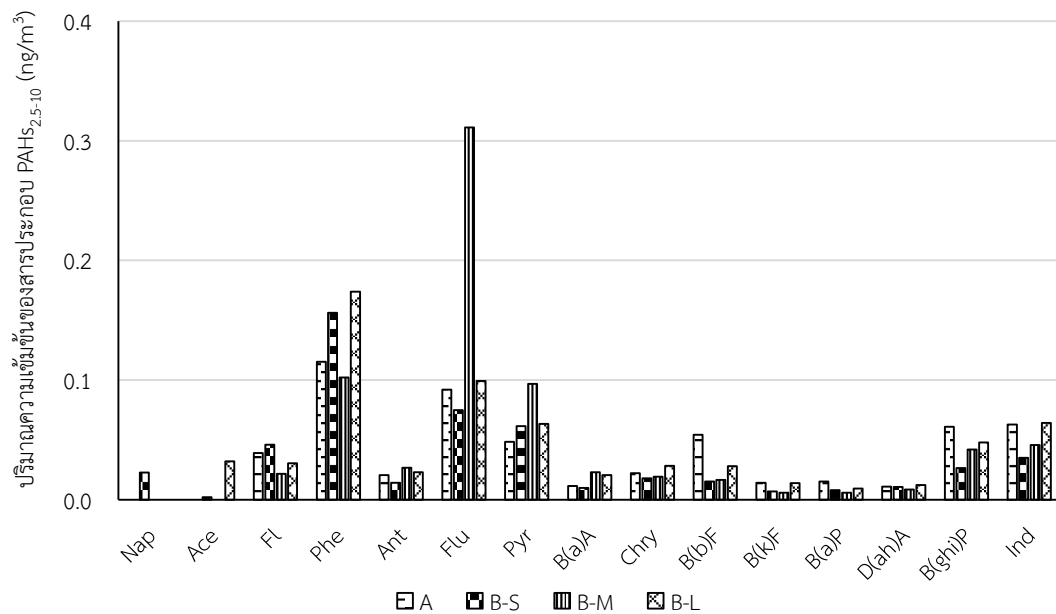
ตารางที่ 4. 8 ปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบของรูปแต่ละชนิด ( $ng/m^3$ )

PAHs ( $ng/m^3$ )	A n = 3		B-S n = 3		B-M n = 3		B-L n = 3	
	PAHs <sub>2.5</sub>	PAHs <sub>2.5-10</sub>	PAHs <sub>2.5</sub>	PAHs <sub>2.5-10</sub>	PAHs <sub>2.5</sub>	PAHs <sub>2.5-10</sub>	PAHs <sub>2.5</sub>	PAHs <sub>2.5-10</sub>
	Nap	0.36	ND	ND	0.02	1.22	ND	0.48
Ace	0.07	ND	7.42	ND	1.23	ND	4.41	0.03
Fl	1.23	0.04	18.08	0.05	2.423	0.02	4.50	0.03
Phe	2.50	0.12	7.75	0.16	2.59	0.10	6.81	0.17
Ant	7.11	0.02	7.06	0.01	4.99	0.03	15.03	0.02
Flu	11.11	0.09	24.41	0.07	10.95	0.31	8.45	0.10
Pyr	7.65	0.05	18.77	0.06	2.15	0.10	18.38	0.06
B(a)A	42.57	0.01	42.09	0.01	2.59	0.02	25.97	0.02
Chr	39.88	0.02	35.91	0.02	2.59	0.02	20.12	0.03
B(b)F	64.75	0.05	30.81	0.02	1.48	0.02	6.63	0.03
B(k)F	11.81	0.01	8.72	0.01	0.38	0.01	2.53	0.01
B(a)P	26.53	0.02	24.89	0.01	1.15	0.01	11.99	0.01
D(ah)A	3.91	0.01	2.06	0.01	0.88	0.01	7.11	0.01
B(ghi)P	25.33	0.06	13.72	0.03	1.71	0.04	7.41	0.05
Ind	20.06	0.06	12.50	0.04	1.82	0.05	4.04	0.06
t-PAHs	264.90	0.57	254.18	0.51	38.14	0.73	143.85	0.65

ND หมายถึง Not detectable



ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่น PM<sub>2.5</sub> แต่ละชนิดในรูปแต่ละชนิด



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่น PM<sub>2.5-10</sub> แต่ละชนิดในรูปแต่ละชนิด

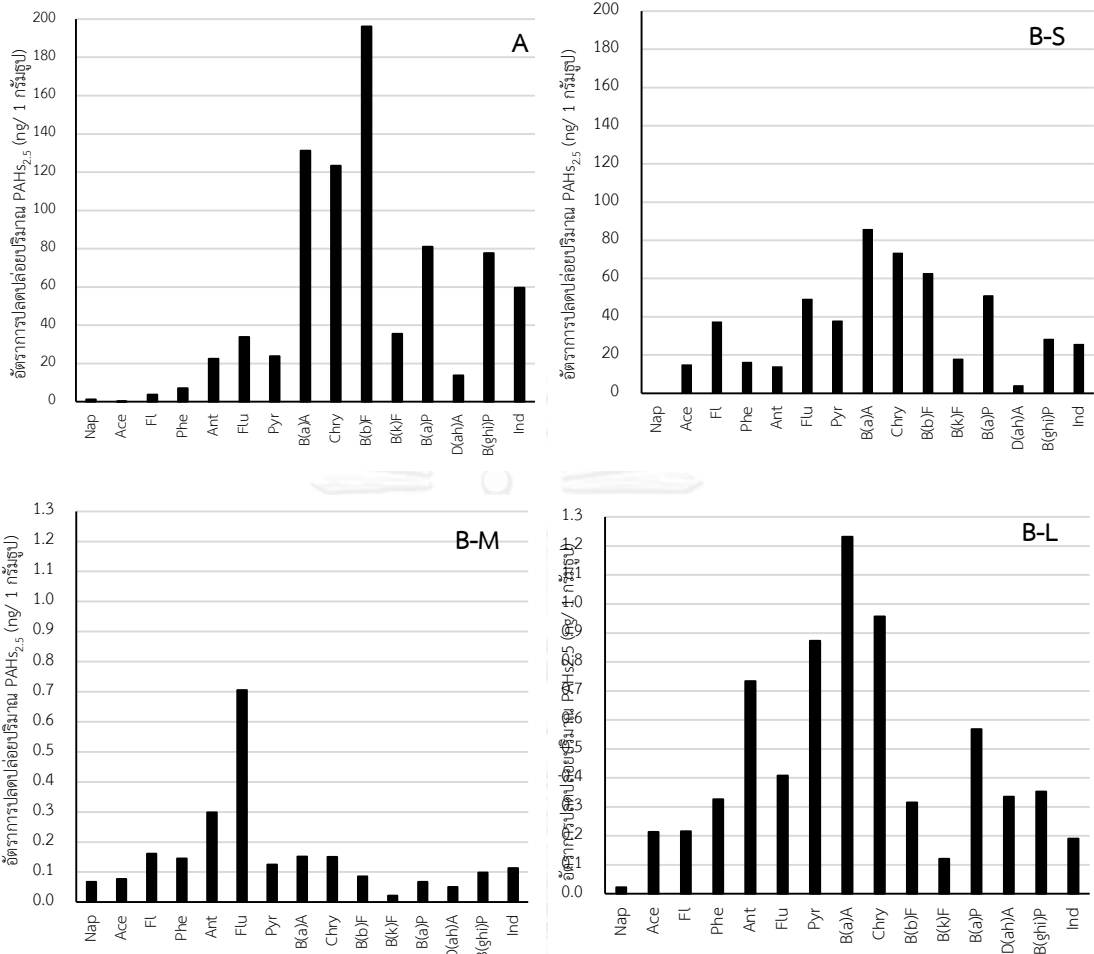
#### 4.2.5 อัตราการปลดปล่อยสารประกอบ PAHs ต่อรูป 1 กรัม

จากการศึกษาพบว่า อัตราการปลดปล่อยสาร PAHs ชนิด Pyr D(ah)A B(ghi)P และ B(a)P พบในปริมาณสูง ดังปรากฏในภาพที่ 4.7 และเมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยปริมาณสาร t-PAHs

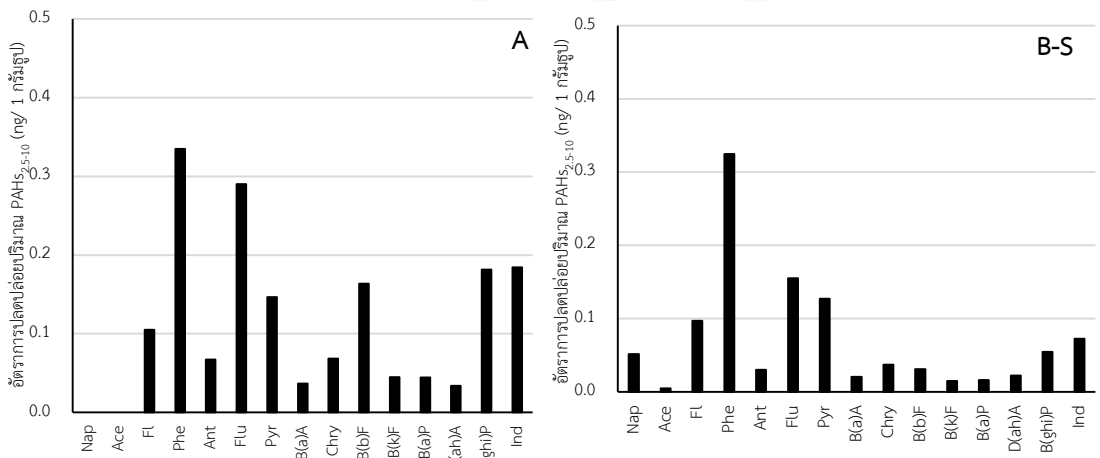
ในฝุ่น  $PM_{2.5}$  ( $t\text{-PAHs}_{2.5}$ ) ของรูปทั้ง 4 ชนิด ดังตารางที่ 4.9 สามารถเรียงอัตราการปลดปล่อยจากมากไปน้อยได้ดังนี้  $A^b$  ( $811.09 \pm 263.80$  ng/g) >  $B\text{-S}^b$  ( $517.19 \pm 247.21$  ng/g) >  $B\text{-L}^a$  ( $6.87 \pm 6.30$  ng/g) >  $B\text{-M}^a$  ( $2.32 \pm 1.56$  ng/g) เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่าอัตราการปลดปล่อยปริมาณสาร PAHs ของรูปชนิด A มีปริมาณมากที่สุดและไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับรูปชนิด B-S แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับรูปชนิด B-L และ B-M ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับอัตราการปลดปล่อยปริมาณสาร  $t\text{-PAHs}$  ในฝุ่น  $PM_{2.5-10}$  ( $t\text{-PAHs}_{2.5-10}$ ) ของรูปทั้ง 4 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 4.8 สามารถเรียงอัตราการปลดปล่อยจากมากไปน้อยได้ดังนี้  $A^b$  ( $1.70 \pm 1.40$  ng/g) >  $B\text{-S}^b$  ( $1.06 \pm 1.32$  ng/g) >  $B\text{-M}^a$  ( $0.04 \pm 0.02$  ng/g) >  $B\text{-L}^a$  ( $0.03 \pm 0.08$  ng/g) จากการศึกษาอัตราการปลดปล่อยสาร  $t\text{-PAHs}_{2.5}$  จากรูปทั้ง 4 ชนิด พบว่าชนิดของสาร PAHs หลักที่พบในปริมาณสูงจากรูปชนิด A และ B-S ได้แก่ B(a)A B(b)F Chry และ B(a)P สำหรับรูปชนิด B-M และ B-L ได้แก่ Ant Chry และ B(a)A ในขณะที่อัตราการปลดปล่อยสาร  $t\text{-PAHs}_{2.5-10}$  จากรูปทั้ง 4 ชนิด พบชนิดของสาร PAHs หลักในปริมาณสูงคือ Phe Flu และ B(ghi)P จากการศึกษาปริมาณการปลดปล่อย  $t\text{-PAHs}_{10}$  ของเบญจวรรณ คำศรี และวชิรวรรณ นนทนก (2552) ที่ทำการเก็บตัวอย่างรูปในระบบกึ่งปิด (Chamber) เช่นเดียวกัน พบว่า ชนิดของ PAHs ที่พบเป็นหลักของรูป คือ B(ghi)P Pyr D(ah)A B(a)P และ Flu ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ารูปที่ใช้วัตถุดิบในการผลิตรูปที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยปริมาณสาร PAHs

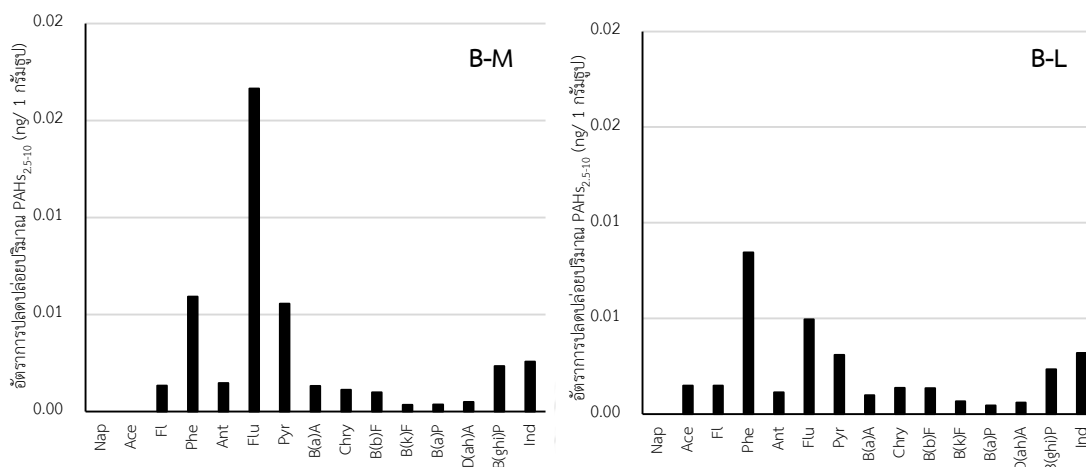
ตารางที่ 4.9 อัตราค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยปริมาณ PAHs ที่พบของรูปแต่ละชนิด (ng/ 1 กรัมรูป)

t-PAHs (ng/ 1 กรัมรูป)	อัตราการปลดปล่อยปริมาณ PAHs ของรูปแต่ละชนิด			
	A	B-S	B-M	B-L
$t\text{-PAHs}_{2.5}$	$811.09 \pm 263.80$	$517.19 \pm 247.21$	$2.32 \pm 1.56$	$6.87 \pm 6.30$
$t\text{-PAHs}_{2.5-10}$	$1.70 \pm 1.40$	$1.06 \pm 1.32$	$0.04 \pm 0.02$	$0.03 \pm 0.08$



ภาพที่ 4.7 อัตราค่าเฉลี่ยการปลดปล่อย PAHs ในฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ต่อ 1 กรัมรูปของรูปแต่ละชนิด





ภาพที่ 4. 8 อัตราค่าเฉลี่ยการปลดปล่อย PAHs ในฝุ่น PM<sub>2.5-10</sub> ต่อ 1 กรัมรูปของรูปแต่ละชนิด

#### 4.2.6 อัตราส่วนของ B(a)P/B(ghi)P

การวิเคราะห์อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P สามารถใช้เป็นการยืนยันว่า สารประกอบ PAHs ที่พบในการศึกษาครั้งนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของรูปจริง ซึ่งจากงานวิจัยของ Da Limu et al., (2013) ได้ให้ข้อสังเกตไว้ว่าถ้าอัตราส่วนของ B(a)P/B(ghi)P มีค่ามากกว่า 0.6 ถือว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของหญ้า ถ่านหิน และไม้ แต่ถ้าน้อยกว่า 0.6 ถือว่าแหล่งกำเนิดนั้นมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดอื่น จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนของรูปทั้ง 4 ชนิด มีค่ามากกว่า 0.6 ในขณะที่อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 2.5 - 10 ไมครอนของรูปทั้ง 4 ชนิดนั้น มีอัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P น้อยกว่า 0.6 ทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.10 จึงสรุปได้ว่าวัตถุดิบในการผลิตที่เป็นไม้ในรูป เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ตารางที่ 4.10 อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ของรูปแต่ละชนิด

	A	B-S	B-M	B-L	แหล่งอ้างอิง Da Limu et al., (2013)
B(a)P/B(ghi)P <sub>2.5</sub>	1.04	1.79	0.65	1.38	<0.6 = Fuel combustion
B(a)P/B(ghi)P <sub>2.5-10</sub>	0.20	0.30	0.11	0.14	>0.6 = Grass, Coal and Wood combustion

#### 4.3 ปริมาณความเข้มข้นและอัตราการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาไหม้รูปในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ( $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  (คิดจากผลรวมของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{2.5-10}$ )) ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาทั้ง 2 แห่ง คือ วัด A และวัด B ทั้ง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูฤดูฝน และฤดูหนาว ช่วงละ 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือ วันธรรมดา (วันพุธ) และวันหยุด (วันอาทิตย์) โดยการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 07.00 – 15.00 น. ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด โดยเลือกติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างตามหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ได้แก่ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) ซึ่งจะทำการติดตั้งเครื่องในบริเวณใกล้เคียงกับที่พนักงานปฏิบัติงาน และอีกหนึ่งจุดคือการเก็บตัวอย่างบรรยากาศบริเวณใกล้เคียง (A) ผลการศึกษาที่ได้ ดังนี้

##### 4.3.1 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง

จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 4 จุด คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) ซึ่งจะทำการติดตั้งเครื่องในบริเวณใกล้เคียงกับที่พนักงานปฏิบัติงาน และ อีกหนึ่งจุดคือการเก็บตัวอย่างบรรยากาศ (A) ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ในทั้ง 3 ฤดู ดังปรากฏในตารางที่ 4.11 พบว่า ที่วัด A พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ  $PM_{2.5}$  ที่จุด J สูงที่สุด เท่ากับ  $982.20 \pm 196.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีค่ามากกว่าที่จุด G V และ A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) คิดเป็น 5.6 7.1 และ 9.3 เท่า ตามลำดับ ปริมาณ  $PM_{10}$  มีแนวโน้มเดียวกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ  $PM_{2.5}$  โดยพบที่จุด J มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $1,017.99 \pm 199.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีค่ามากกว่าจุด G และ V อย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 5.0 และ 6.2 เท่า ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ  $PM_{2.5}$  ที่วัด B ดังปรากฏในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.10 พบว่า ที่จุด J มีค่าเท่ากับ  $54.64 \pm 6.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และมากกว่าจุด G และ V แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับจุด A พบว่า มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ  $PM_{10}$  ที่จุด J มีค่าสูงที่สุดเช่นกัน และมีค่ามากกว่าที่จุด G และ V แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา พบว่า บริเวณจุด J ของวัด A มีปริมาณความเข้มข้นที่สูงมากกว่าจุดอื่นๆ ในที่เดียวกันซึ่งอาจ



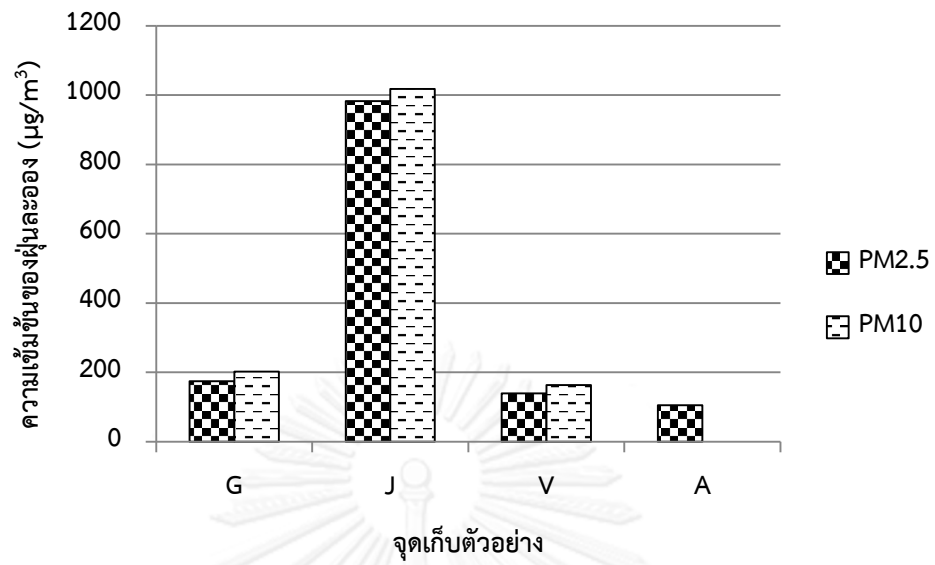
เป็นเพราะการติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างนั้น ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด (จากภาพที่ 3.2) และเมื่อเปรียบเทียบที่จุด J ของวัด A กับที่วัด B พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณที่สูงมากกว่าเช่นกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจาก ภาพที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งแสดงข้อมูลปริมาณการใช้ธูปของแต่ละสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา จะเห็นว่าปริมาณการใช้ธูปเฉลี่ยที่วัด A มีค่ามากกว่าวัด B ถึง 7 เท่า และเมื่อพิจารณาจากสีของกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างพบว่า บริเวณจุด J มีสีของกระดาษกรองเป็นสีเหลืองเข้มจนถึงน้ำตาล แต่ที่จุด G และ V จะมีสีเหลืองอ่อนๆ ในขณะที่จุด A สีของกระดาษกรองเป็นสีเทา ดังปรากฏในภาคผนวก ก. ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2009) ที่พบว่าสีของกระดาษกรองที่พบในวัดที่ประเทศไต้หวันนั้นจะมีสีเหลือง ในขณะที่กระดาษกรองที่เก็บจากสถานีรถประจำทาง และในมหาวิทยาลัยจะมีสีเทาและดำ ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของอนุภาคฝุ่นละอองนั่นเอง

ตารางที่ 4.11 ปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ที่สถานประกอบพิธีกรรมทั้งสองแห่ง

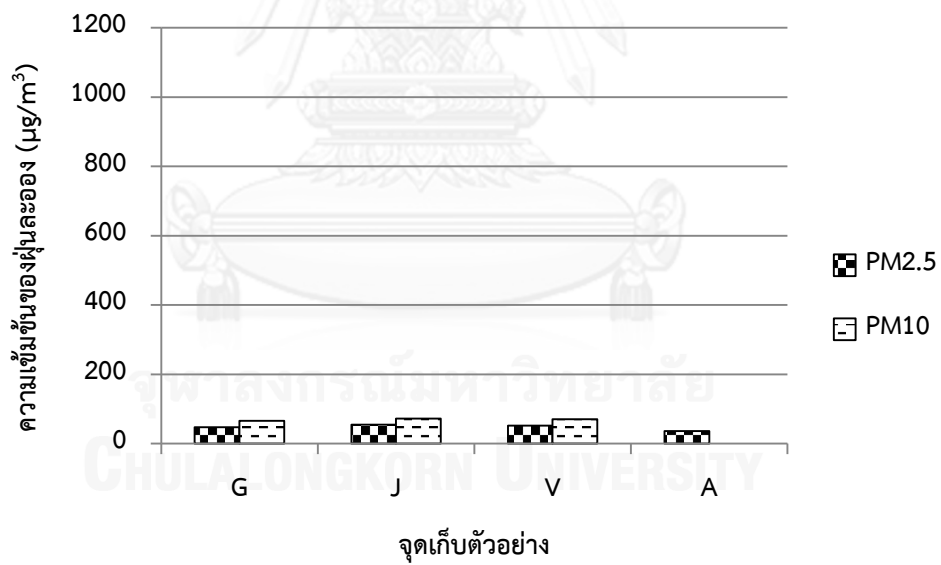
สถานที่	ชนิด	ปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (mean $\pm$ S.E.)			
		G	J	V	A
วัด A (n=14)	PM <sub>2.5</sub>	174.00 $\pm$ 39.15 <sup>a</sup>	982.20 $\pm$ 196.54 <sup>b</sup>	139.18 $\pm$ 23.82 <sup>*a</sup>	105.42 $\pm$ 15.44 <sup>*a</sup>
	PM <sub>10</sub>	202.22 $\pm$ 41.07 <sup>a</sup>	1017.99 $\pm$ 199.08 <sup>b</sup>	166.39 $\pm$ 27.42 <sup>*a</sup>	
วัด B (n=12)	PM <sub>2.5</sub>	47.00 $\pm$ 5.99 <sup>ab</sup>	54.64 $\pm$ 6.16 <sup>b</sup>	51.79 $\pm$ 6.82 <sup>ab</sup>	35.90 $\pm$ 5.10 <sup>a</sup>
	PM <sub>10</sub>	66.24 $\pm$ 7.76 <sup>a</sup>	72.42 $\pm$ 7.92 <sup>a</sup>	70.60 $\pm$ 8.55 <sup>a</sup>	

a, b, c = Statistical different between sampling positions analyzed by one way ANOVA at 95% confidence

หมายเหตุ: \* หมายถึง n = 13



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B

#### 4.3.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างวันธรรมดา (วันพุธ) และ วันหยุด (วันอาทิตย์) ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด ที่วัด A และวัด B แสดงในตารางที่ 4.12 - 4.13 และ ภาพที่ 4.11 ผลการศึกษา พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>2.5</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุดนั้น พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทั้ง 3 จุด มีค่าเท่ากับ 417.62±120.30 และ 590.67±163.87 µg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>10</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 552.68±151.30 และ 757.51±203.64 µg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเป็นไปในทางเดียวกัน กับวัด B ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ยทั้ง 3 จุดของ PM<sub>2.5</sub> ระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด โดยมีค่าเท่ากับ 42.39±3.87 และ 52.28±4.72 µg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>10</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 62.84±5.88 และ 76.67±6.73 µg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเป็นรายจุดแล้วพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> เฉลี่ยในวันธรรมดา และวันหยุดของวัด A ของทั้ง 3 จุดนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกับในฤดูร้อนและฤดูหนาวของวัด B ซึ่งพบว่าปริมาณความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> เฉลี่ยในวันธรรมดาและวันหยุด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ในฤดูฝนนั้นปริมาณความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> เฉลี่ยในวันหยุดจะมีค่ามากกว่าในวันธรรมดามากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> ที่ตรวจพบในวันธรรมดาและวันหยุดที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) (mean±S.E.)					
	วัด A			วัด B		
	วันธรรมดา (n=15)	วันหยุด (n=15)	ค่าเฉลี่ย (n=30)	วันธรรมดา (n=12)	วันหยุด (n=12)	ค่าเฉลี่ย (n=24)
ฤดูร้อน	285.95±95.83 <sup>a</sup>	413.59±154.62 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 408.23±105.26	56.99±7.72 <sup>a</sup>	62.09±7.26 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 63.60±6.02
ฤดูฝน	558.13±367.68 <sup>a</sup>	513.62±277.39 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 702.58±283.24	30.79±3.41 <sup>a</sup>	40.74±6.12 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 40.21±4.06
ฤดูหนาว	475.72±205.43 <sup>a</sup>	911.20±437.11 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 883.73±302.47	39.39±5.04 <sup>a</sup>	53.99±9.84 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 49.61±23.30
ค่าเฉลี่ย 3 จุด	417.62±120.30 <sup>a*</sup>	590.67±163.87 <sup>b*</sup>	513.34±243.38 <sub>a</sub>	42.39±3.87 <sup>a</sup>	52.28±4.72 <sup>a</sup>	47.55±2.93 <sub>b</sub>

a, b, c = Statistical different analyzed by paired samples T-test at 95% confidence

a\* และ b\* = Statistical different analyzed by Wilcoxon signed ranks test

หมายเหตุ: อักษรมุมขวาบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างวันธรรมดาและวันหยุดของแต่ละฤดู

อักษรมุมซ้ายบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวตั้งระหว่างฤดู

อักษรมุมขวาล่าง หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นของเฉลี่ย PM<sub>10</sub> ของทั้งสองสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (µg/m<sup>3</sup>)

	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) (mean±S.E.)					
	วัด A			วัด B		
	วันธรรมดา (n=15)	วันหยุด (n=15)	ค่าเฉลี่ย (n=30)	วันธรรมดา (n=12)	วันหยุด (n=12)	ค่าเฉลี่ย (n=24)
ฤดูร้อน	359.01±112.35 <sup>a</sup>	512.55±184.58 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 435.78±106.46	81.91±12.16 <sup>a</sup>	83.98±9.44 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 82.95±7.35
ฤดูฝน	799.14±681.74 <sup>a</sup>	681.75±362.57 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 735.11±287.21	45.74±3.88 <sup>a</sup>	64.16±7.42 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 54.81±5.33
ฤดูหนาว	637.80±259.00 <sup>a</sup>	1200.71±555.79 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 919.26±304.39	60.86±7.60 <sup>a</sup>	81.87±16.43 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 71.37±9.19
ค่าเฉลี่ย 3 ฤดู	552.68±151.30 <sup>a*</sup>	757.51±203.64 <sup>a*</sup>	675.09±354.59 <sub>a</sub>	62.84±5.88 <sup>a</sup>	76.67±6.73 <sup>a</sup>	69.73±4.31 <sub>b</sub>

a, b, c = Statistical different analyzed by paired samples T-test at 95% confidence

a\* = Statistical different analyzed by Wilcoxon signed ranks test

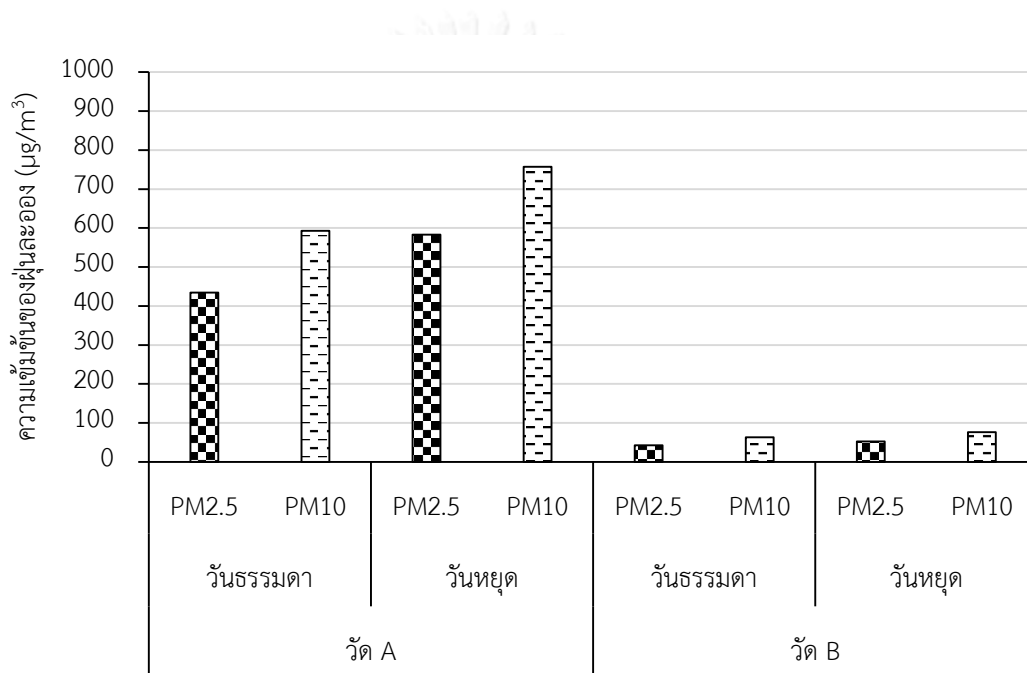
หมายเหตุ: อักษรมุมขวาบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างวันธรรมดาและวันหยุดของแต่ละฤดู

อักษรมุมซ้ายบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวตั้งระหว่างฤดู

อักษรมุมขวาล่าง หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

เมื่อนำข้อมูลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กในวันธรรมดาและวันหยุด มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณรูป พบว่า ปริมาณรูปโดยเฉลี่ยของวัด A ของทั้ง 3 ฤดูในวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 44,441 และ 54,814 ดอก โดยคิดเป็นจำนวนคนที่เข้าไปสักการะได้เท่ากับ 3,703 และ 4,568 คน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในวันหยุดจะมีคนเข้ามาสักการะมากกว่าในวันธรรมดาไม่มากนัก แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลปริมาณรูปจากวัด B พบว่า ปริมาณรูปโดยเฉลี่ยของทั้ง 3 ฤดูในวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 2,466 และ 11,710 ดอก โดยคิดเป็นจำนวนคนที่เข้าไปสักการะได้เท่ากับ 164 และ 781 คน จะเห็นได้ว่าจำนวนคนในวันหยุดมีมากกว่าวันธรรมดาถึง 4.75 เท่า และเมื่อพิจารณาจำนวนคนในช่วงฤดูฝนของวัด B แล้ว พบว่า จำนวนคนที่มาในวันหยุดนั้นมากกว่าจำนวนคนในวันธรรมดาส่งถึง 7.15 เท่า ดังนั้น ชี้ให้เห็นว่าจำนวนคนที่เข้ามาสักการะที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงส่งผลให้ในฤดูฝนนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> เฉลี่ยในวันหยุดมีค่ามากกว่าในวันธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาของ Fang *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาในวันหยุดซึ่งเป็นวันที่พระจันทร์เต็มดวง และวันธรรมดาในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่ประเทศไต้หวันพบว่า อัตราการปลดปล่อยอนุภาคของควันธูปมีความสัมพันธ์กับปริมาณของผู้ที่เข้าไปสักการบูชาหรือนักท่องเที่ยวในวันหยุดมากกว่าวันธรรมดา โดยมีปริมาณความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ในวันธรรมดาและวันหยุดเท่ากับ 59.5 และ 81.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และ ปริมาณความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  ในวันธรรมดาและวันหยุดเท่ากับ 85.5 และ 110.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

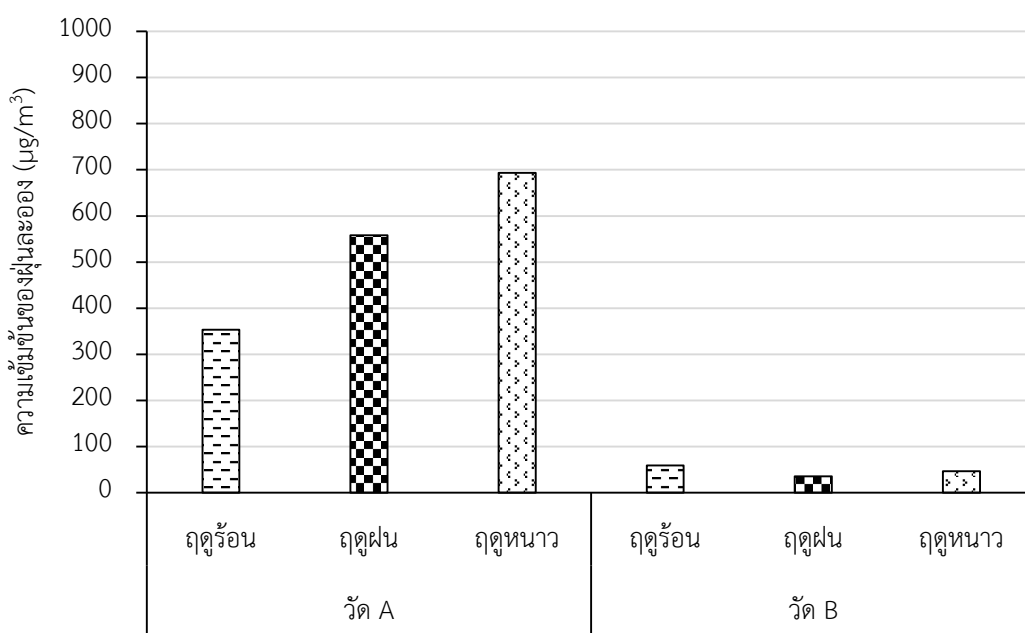


ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองของวันธรรมดาและวันหยุด

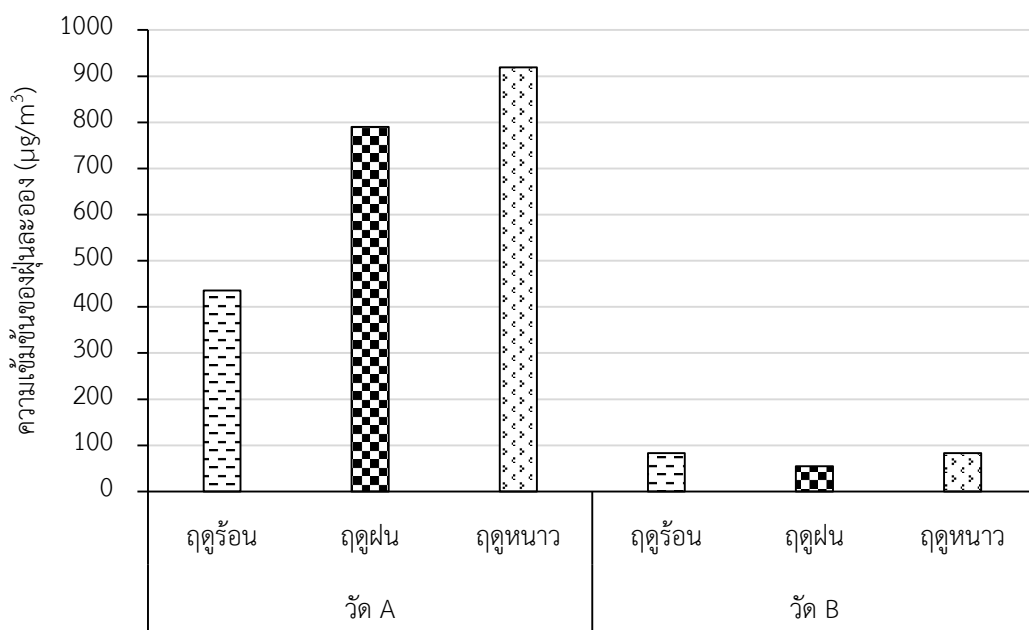
#### 4.3.3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างฤดู

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ในฤดูร้อน (มีนาคม - เมษายน 2555) ฤดูฝน (กรกฎาคม 2555) และฤดูหนาว (พฤศจิกายน - ธันวาคม 2555) ดังปรากฏในตารางที่ 4.12 - 4.13 และภาพที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าในฤดูหนาวปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่วัด A มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $883.73 \pm 302.47$  และ  $919.26 \pm 304.39$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยในฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่วัด B พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มากที่สุดในฤดูร้อน โดยมีค่าเท่ากับ  $63.60 \pm 6.02$  และ  $82.95 \pm 7.35$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ในแต่ละฤดู กับจำนวนผู้ที่เข้ามาสักการะในแต่ละฤดูนั้น พบว่าที่วัด A ในฤดูหนาวมีปริมาณผู้ที่เข้ามาสักการะเท่ากับ 5,839 คน ซึ่งมากกว่าในฤดูร้อน และฤดูฝน อยู่ที่ 1.66 และ 1.74 เท่า ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่วัด B ที่ปริมาณผู้เข้ามาสักการะในฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 9,790 คน ซึ่งมากกว่าในฤดูฝน และฤดูหนาว เท่ากับ 1.51 และ 1.97 เท่า ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้อยู่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fang *et al.* (2002) ที่พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ขึ้นกับจำนวนคนที่เข้ามาสักการะ และจากการศึกษาปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ทั้ง 3 ฤดู ในที่อยู่อาศัยบริเวณริมถนน เมือง Agra ประเทศอินเดียของ Massey *et al.* (2012) พบว่าปริมาณ  $PM_{2.5}$  ทั้งภายในอาคาร และภายนอกอาคาร ในฤดูหนาว ( $207 \pm 54$  และ  $212 \pm 47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) มีค่ามากกว่าในฤดูฝน ( $129 \pm 49$  และ  $125 \pm 42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และฤดูร้อน ( $119 \pm 34$  และ  $112 \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณ  $PM_{10}$  ภายในอาคารในฤดูหนาว ( $304 \pm 53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) มีค่ามากกว่าฤดูร้อน ( $218 \pm 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และฤดูฝน ( $184 \pm 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ตามลำดับ โดยที่ภายนอกอาคารนั้นฤดูหนาว ( $301 \pm 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) จะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือฤดูฝน ( $219 \pm 72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และฤดูร้อน ( $216 \pm 57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาสถานที่ตั้งของวัด A ที่เป็นพื้นที่เปิดโล่ง และอยู่บริเวณสี่แยกที่มีการจราจรหนาแน่น จะเห็นว่ามีผลไปในแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยดังกล่าว แต่เมื่อพิจารณาผลที่วัด B แล้วพบว่า ลักษณะพื้นที่ของวัด เป็นแบบกึ่งเปิดกึ่งปิดจึงอาจทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณของผู้ที่เข้าไปสักการะมากกว่า



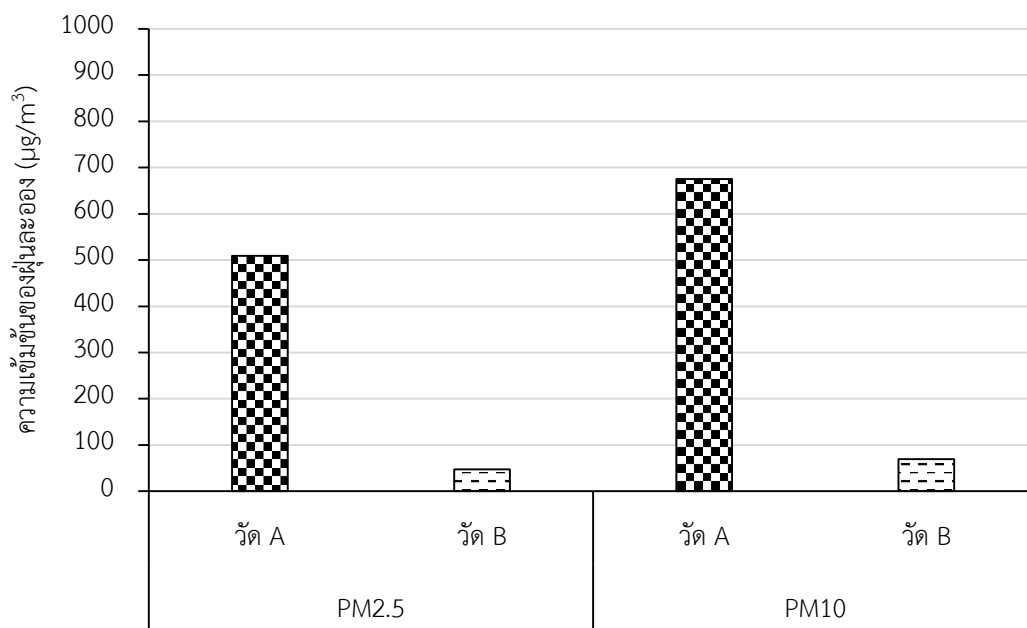
ภาพที่ 4.12 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู



ภาพที่ 4.13 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู

#### 4.3.4 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

ทำการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ทั้ง 3 ฤดูที่วัด A และวัด B ดังปรากฏในภาพที่ 4.14 พบว่า ปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มีค่าอยู่ในช่วง 45.31 – 2,640.59 และ 53.76 – 2,703.99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่วัด A เท่ากับ  $513.34 \pm 243.38$  และ  $675.09 \pm 354.59$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในขณะที่วัด B มีปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มีค่าอยู่ในช่วง 19.29 – 91.61  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และ 34.57 – 123.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  เท่ากับ  $47.55 \pm 2.93$  และ  $69.73 \pm 4.31$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่ได้ พบว่าปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่วัด A มีค่ามากกว่าวัด B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยประมาณ 10 เท่า ดังปรากฏในตารางที่ 4.12 และ 4.13 จากการวิเคราะห์ผลพบว่า ความแตกต่างของปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา อาจเป็นผลมาจากตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง และจำนวนคนที่เข้าไปสักการะในแต่ละสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนานั้นๆ



ภาพที่ 4. 14 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ที่วัด A และวัด B

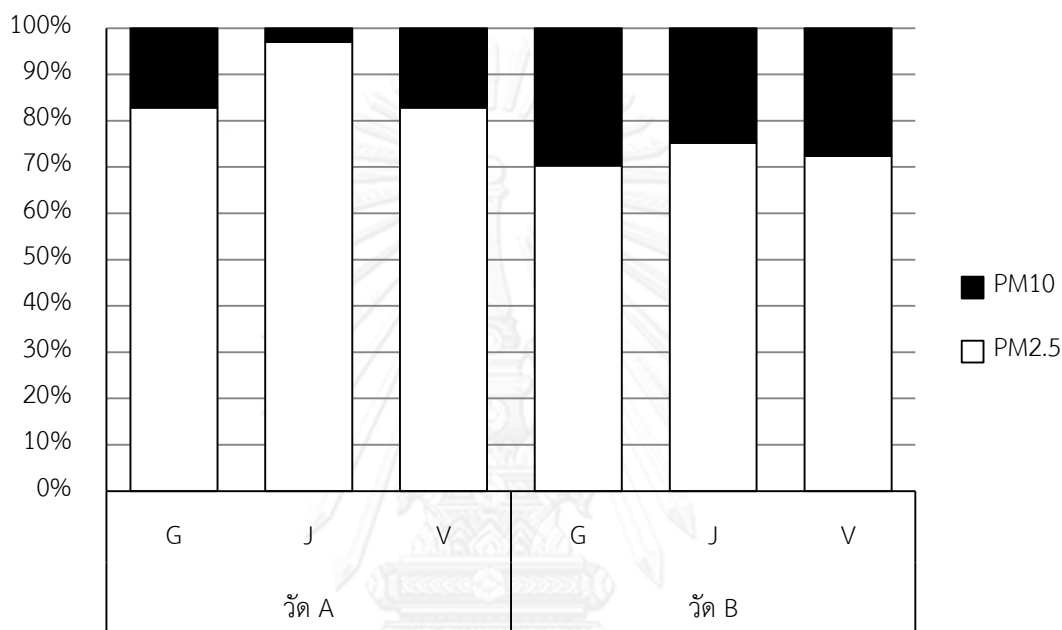
#### 4.3.5 อัตราส่วนของ PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>

จากการวิเคราะห์อัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> พบว่า ปริมาณ PM<sub>2.5</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา มีสัดส่วนอยู่ในช่วง 59 – 99% ของ PM<sub>10</sub> และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 80% (หรือ  $0.81 \pm 0.11$ ) โดยค่าอัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ที่จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) ของวัด A มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.97 รองลงมาคือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) มีค่าเท่ากับ 0.83 และ 0.83 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน ที่วัด B จุด J มีค่าอัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> สูงที่สุด (เท่ากับ 0.75) เช่นเดียวกัน รองลงมาคือ จุด V (0.72) และ G (0.70) ตามลำดับ ดังปรากฏในภาพที่ 4.15

จากผลการวิเคราะห์อัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ในการศึกษาในครั้งนี้ มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fang *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาในวัดของประเทศไต้หวัน โดยค่าอัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $0.70 \pm 0.12$  ในขณะที่ผลการศึกษาอัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ในเมือง Shizuoka ประเทศญี่ปุ่น ของ Ohura *et al.* (2004) โดยทำการศึกษาในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า มีค่าอัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> อยู่ในช่วง 44 – 56% (หรือ 0.45-0.56) จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถบ่งชี้ได้ว่า PM<sub>2.5</sub> เป็นอนุภาคฝุ่นหลักที่พบจากการเผาไหม้ของรูป และเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับอัตราส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ที่เก็บจากตู้ทดลองระบบกึ่งปิดแล้วพบว่า สัดส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> มีค่าอยู่ในช่วง 98.51 – 99.93% และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 99.49% (หรือ  $0.99 \pm 0.00$ ) จุดเก็บตัวอย่าง



J ของวัด A มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.97 รองลงมาคือ จุด G และจุด V มีค่าเท่ากับ 0.83 และ 0.83 ตามลำดับ ในขณะที่วัด B จุด J มีค่าอัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  สูงที่สุด (เท่ากับ 0.75) เช่นเดียวกัน รองลงมาคือ จุด V (0.72) และ G (0.70) ตามลำดับ จึงเป็นการยืนยันได้ว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  นั้น มาจากแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ของธูปจริง โดยเฉพาะ ในจุด J ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

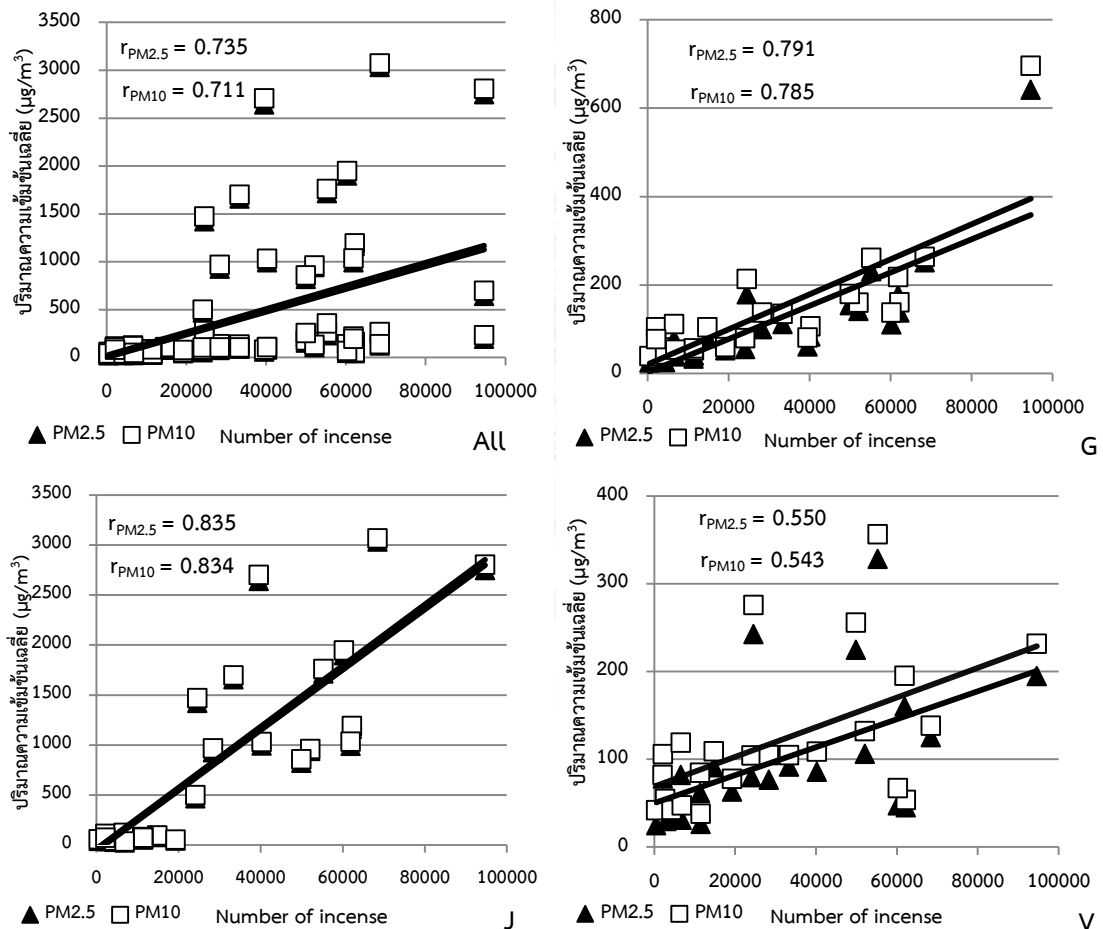


ภาพที่ 4.15 อัตราส่วนของ  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม

#### 4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธูปและปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธูปและปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัด บริเวณผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัสตลอดเวลา 8 ชั่วโมงทำงาน โดยพิจารณาจากจุดเก็บตัวอย่าง คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บธูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ ธูป เทียน (V) และจุดเก็บตัวอย่างบรรยากาศใกล้เคียง (A) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 4.16 เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธูปและปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณธูปที่ใช้ในการสักการะของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา และปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยมีค่า r (Pearson correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง G J V และ Spearman correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง All) ของ  $PM_{2.5}$  ในทุกจุด All จุด G J และ V

เท่ากับ 0.735, 0.791, 0.835 และ 0.550 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า  $r$  ของ  $PM_{10}$  ในจุด All G J และ V = 0.711, 0.785, 0.834 และ 0.543 ตามลำดับ ซึ่งพบความสัมพันธ์ในระดับสูง (0.70-0.90) จากความสัมพันธ์ของทุกจุดเก็บตัวอย่าง (All) จุดเก็บตัวอย่าง G และ J และความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง (0.50-0.70) ที่จุดเก็บตัวอย่าง V โดยจากการศึกษาความสัมพันธ์ในครั้งนี้พบว่า ที่จุด J จะมีปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  เพิ่มขึ้นทุกๆ 0.0291 และ 0.0298  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อมีรูปเพิ่มขึ้นในกระถางรูป 1 ดอก ซึ่งความสัมพันธ์ในครั้งนี้มีผลไปในแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Kuo *et al.* (2008) ที่ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณ  $PM_{10}$  กับจำนวนรูป และพบว่าผู้ที่ปฏิบัติงานที่วัด ในเมือง Tainan ประเทศไต้หวัน จะได้รับปริมาณ  $PM_{10}$  เพิ่มขึ้นทุกๆ 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ต่อเมื่อมีรูปเพิ่มขึ้นในกระถางรูป 1 ดอก



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม

#### 4.4 ปริมาณความเข้มข้นและอัตราการปลดปล่อยสารประกอบ PAHs ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

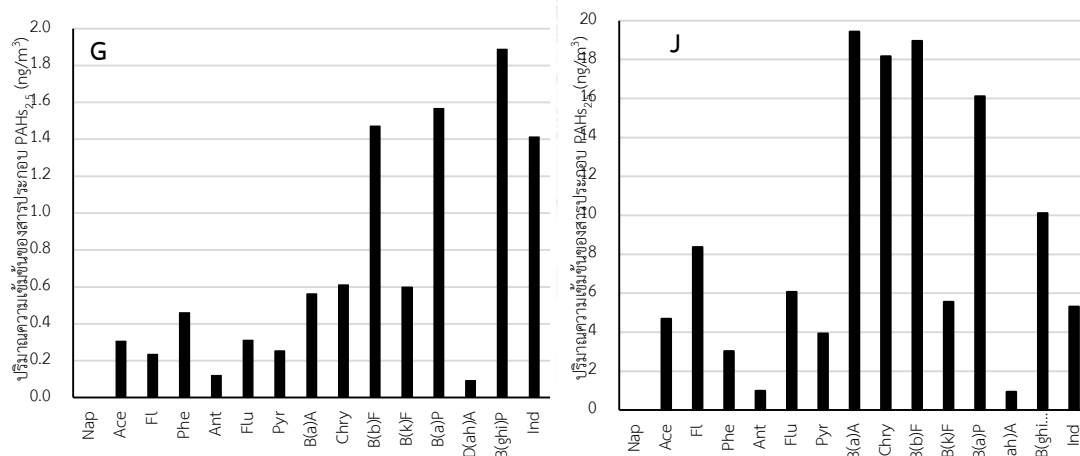
จากการศึกษาการรับสัมผัสสารประกอบ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PAHs<sub>2.5</sub>) และที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดระหว่าง 2.5 – 10 ไมครอน (PAHs<sub>2.5-10</sub>) ในวัด A และวัด B ที่ทำการตรวจวัดเปรียบเทียบระหว่าง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ช่วงละ 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือ วันธรรมดา (วันพุธ) และ วันหยุด (วันอาทิตย์) โดยการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 07.00 – 15.00 น. ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด โดยเลือกติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างตามหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ได้แก่ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ ฐูป เทียน (V) ซึ่งจะมีการติดตั้งเครื่องในบริเวณใกล้เคียงกับที่พนักงานปฏิบัติงาน และอีกหนึ่งจุดคือการเก็บตัวอย่างบรรยากาศบริเวณใกล้เคียง (A) ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

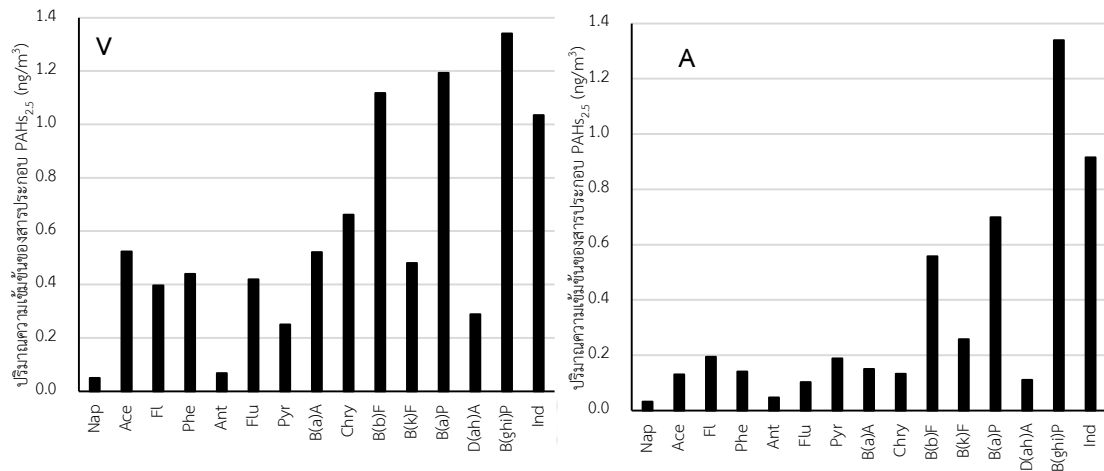
##### 4.4.1 ชนิดของสารประกอบ PAHs ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

จากการเก็บตัวอย่างสารประกอบ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PAHs<sub>2.5</sub>) และที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดระหว่าง 2.5 – 10 ไมครอน (PAHs<sub>2.5-10</sub>) ที่พนักงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ได้แก่ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ ฐูป เทียน (V) และตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศบริเวณใกล้เคียง (A) ของทั้ง 3 ฤดู พบสารประกอบ PAHs จำนวน 15 ชนิด พบว่าชนิดของสารประกอบ PAHs หลักที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PAHs<sub>2.5</sub>) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.17 และ 4.18 โดยแบ่งตามจุดเก็บตัวอย่างและสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา พบว่า PAHs<sub>2.5</sub> ชนิดหลักๆ ที่พบของวัด A นั้น มี PAHs อยู่ 3 ชนิด ที่พบในทุกจุดเก็บตัวอย่าง คือ B(ghi)P B(a)P และ B(b)F ในขณะที่วัด B มีอยู่ 4 ชนิด คือ Ind B(ghi)P B(b)F และ B(a)P และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชนิดของ PAHs<sub>2.5</sub> ที่พบในผลิตภัณฑ์รูป จากการเก็บตัวอย่างในตู้ทดลองระบบกึ่งปิด พบว่า PAHs<sub>2.5</sub> ชนิดหลักที่พบในทุกจุดเก็บของวัด A มีชนิดเดียวกัน 3 ชนิดหลัก คือ B(ghi)P B(a)P และ B(b)F แต่ในวัด B มี 2 ชนิดเดียว คือ B(a)P และ B(b)F

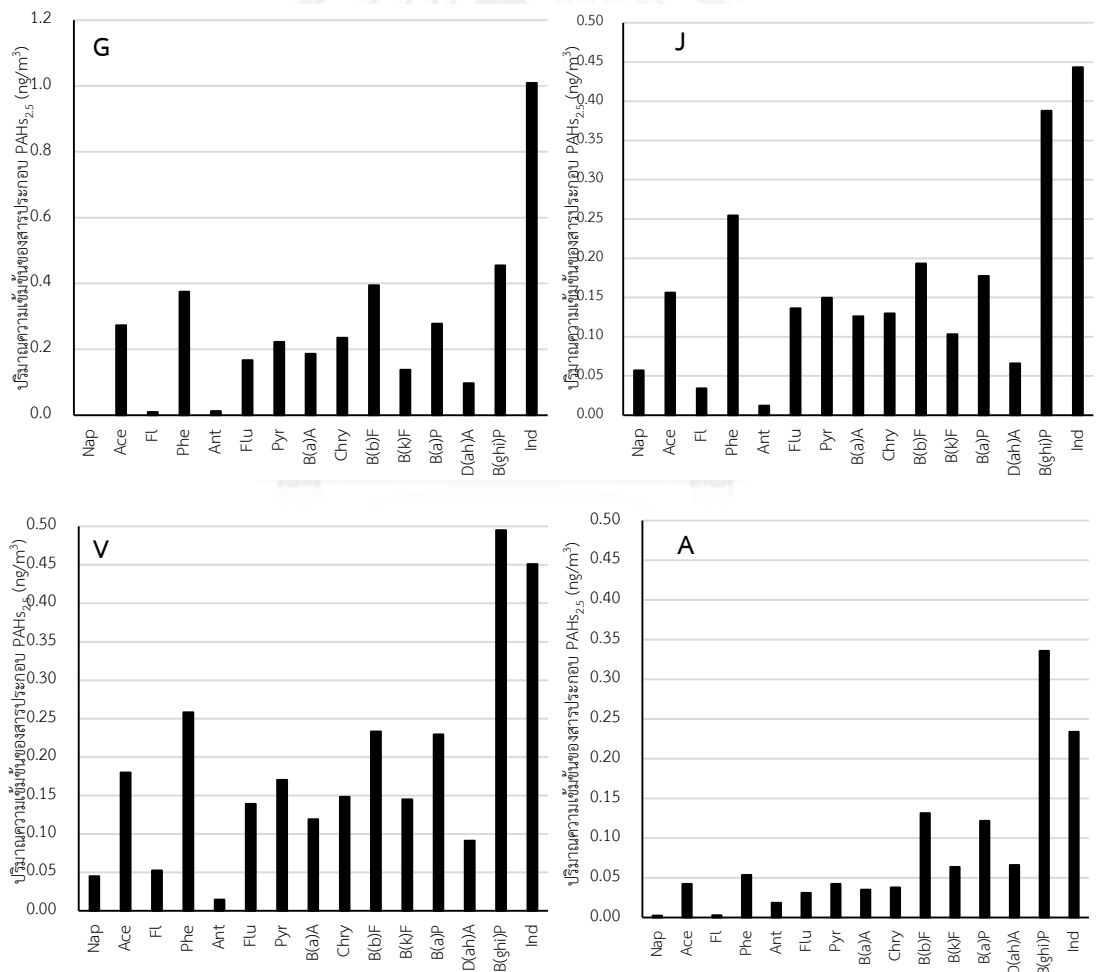
ตารางที่ 4.14 ชนิดของสารประกอบ PAHs<sub>2.5</sub> หลักที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง

สถานประกอบพิธีกรรมฯ	จุดเก็บตัวอย่าง	ลำดับชนิดของ PAHs <sub>2.5</sub> หลักที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
วัด A	G	B(ghi)P	B(a)P	B(b)F	Ind	Chry
	J	B(a)A	B(b)F	Chry	B(a)P	B(ghi)P
	V	B(ghi)P	B(a)P	B(b)F	Ind	Chry
	A	B(ghi)P	Ind	B(a)P	B(b)F	B(k)F
วัด B	G	Ind	B(ghi)P	B(b)F	Phe	B(a)P
	J	Ind	B(ghi)P	Phe	B(b)F	B(a)P
	V	B(ghi)P	Ind	Phe	B(b)F	B(a)P
	A	B(ghi)P	Ind	B(b)F	B(a)P	A(ah)A





ภาพที่ 4.17 ปริมาณ PAHs<sub>2.5</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A



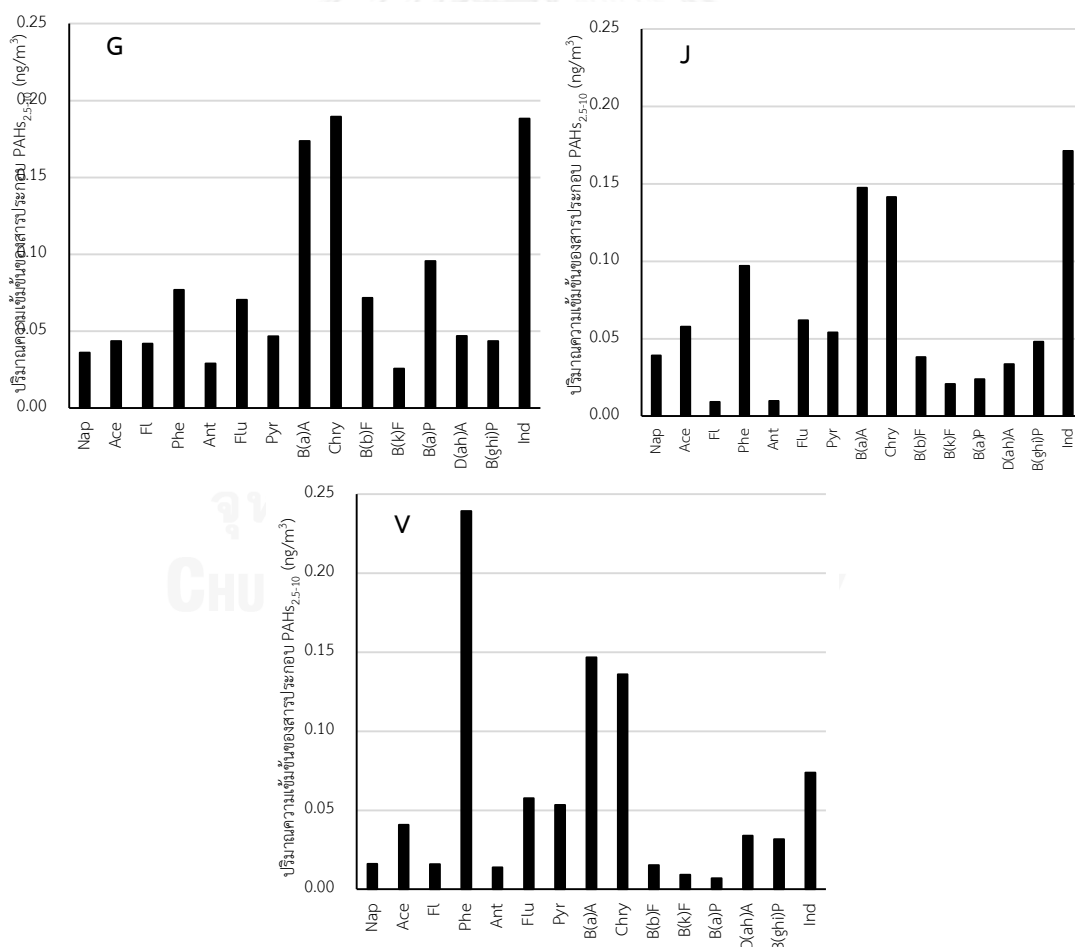
ภาพที่ 4.18 ปริมาณ PAHs<sub>2.5</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B

จากการเก็บตัวอย่างสารประกอบ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคระหว่าง 2.5 - 10 ไมครอน (PAHs<sub>2.5-10</sub>) พบว่าชนิดของสารประกอบ PAHs หลักๆ ที่ดูดซับบนอนุภาคระหว่าง 2.5 - 10 ไมครอน (PAHs<sub>2.5-10</sub>) ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.19 และ 4.20 โดยแบ่งตามจุดเก็บตัวอย่างและสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา พบว่า จาก PAHs<sub>2.5-10</sub> ชนิดหลักที่พบจากทุกจุดเก็บตัวอย่างของวัด A นั้นเป็นชนิดเดียวกัน 4 ชนิด คือ Phe Chry Ind และ B(a)A ในขณะที่วัด B พบ PAHs 5 ชนิดหลักเหมือนกันในทุกจุดเก็บตัวอย่าง คือ Phe Chry Ind Pyr และ B(a)A และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชนิดของ PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่พบในผลิตภัณฑ์รูป จากการเก็บตัวอย่างในตู้ทดลองระบบกึ่งปิด พบว่า PAHs<sub>2.5-10</sub> ชนิดหลักที่พบในทุกจุดเก็บของวัด A มีชนิดเดียวกัน 2 ชนิดหลัก คือ Phe และ Ind แต่ในวัด B มีอยู่ 2 ชนิด คือ Phe และ Pyr

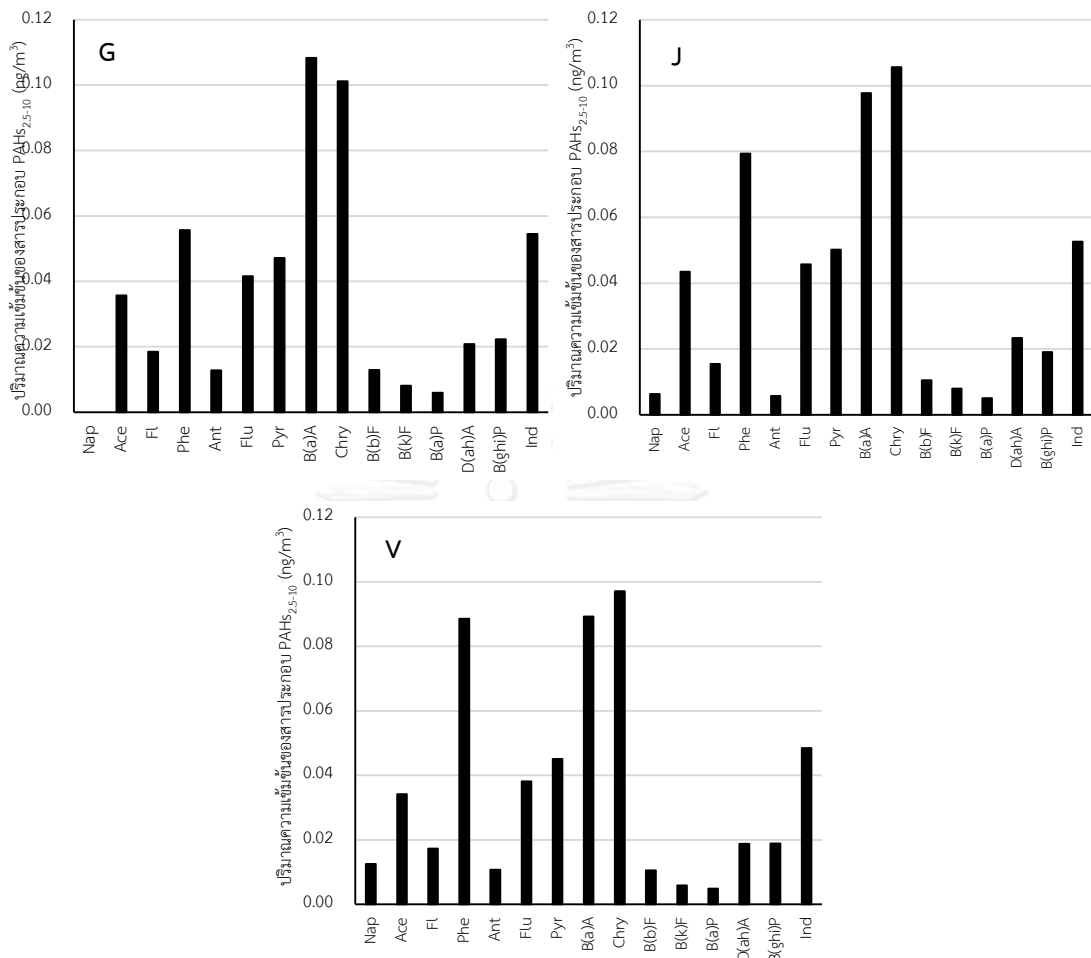
เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการศึกษาของเบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทกนก (2552) ที่ทำการศึกษาชนิดของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) จากผลิตภัณฑ์รูปมีก้านมีควัน 5 ชนิด โดย PAHs 5 ชนิดหลักที่พบ คือ Pyr B(ghi)P Ind B(a)P และ Flu และจากงานวิจัยของ Lin et al., (2002) ที่พบ PAHs ชนิดหลักที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นรวม (TSP) ในวัด ประเทศไต้หวัน คือ B(a)P B(ghi)P B(a)A B(b)F และ Chry รวมทั้งงานวิจัยของ Wu et al., (2009) ที่ทำการศึกษาชนิดของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นรวม (TSP) เช่นกัน ที่วัด ในเมือง Xiamen ประเทศจีน พบว่า B(ghi)P B(a)P Chry และ B(a)A เป็น PAHs ชนิดหลักที่พบ และเมื่อพิจารณาการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า มี PAHs ชนิดหลักที่พบใน PAHs<sub>2.5</sub> ชนิดเดียวเท่านั้น ที่พบตรงกับงานวิจัยดังกล่าว คือ B(a)P ความแตกต่างของชนิด PAHs ที่พบในควันรูปที่เกิดจากผลิตภัณฑ์รูป แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและกระบวนการผลิตที่ต่างกัน รวมถึงในกรณีเก็บตัวอย่างอากาศในสถานที่ต่างๆ ย่อมมีพื้นฐานของแหล่งกำเนิด PAHs จากกิจกรรมอื่นที่นอกเหนือจากการเผาไหม้ของธูปร่วมอยู่ด้วย

ตารางที่ 4.15 ชนิดของสารประกอบ PAHs<sub>2.5-10</sub> หลักที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง

สถานประกอบพิธีกรรมฯ	จุดเก็บตัวอย่าง	ลำดับชนิดของ PAHs <sub>2.5</sub> หลักที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง (มากไปน้อย)				
		1	2	3	4	5
วัด A	G	Chry	Ind	B(a)A	B(a)P	Phe
	J	Ind	B(a)A	Chry	Phe	Flu
	V	Phe	B(a)A	Chry	Ind	Flu
วัด B	G	B(a)A	Chry	Phe	Ind	Pyr
	J	Chry	B(a)A	Phe	Ind	Pyr
	V	Chry	B(a)A	Phe	Ind	Pyr



ภาพที่ 4.19 ปริมาณ PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A



ภาพที่ 4.20 ปริมาณ PAHs<sub>2,5-10</sub> ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B

#### 4.4.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ t-PAHs ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 4 จุด คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) ซึ่งจะทำให้การติดตั้งเครื่องในบริเวณใกล้เคียงกับที่พนักงานปฏิบัติงาน และ อีกหนึ่งจุดคือการเก็บตัวอย่างบรรยากาศ (A) ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ในทั้ง 3 จุด แสดงในตารางที่ 4.16 พบว่า ที่วัด A พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ t-PAHs<sub>2,5</sub> ที่จุด J มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $121.73 \pm 22.73 \text{ ng/m}^3$  และมีค่ามากกว่าที่จุด G V และ A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) คิดเป็น 12 14 และ 24 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณ t-PAHs<sub>2,5-10</sub> พบว่าที่จุด G มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $1.18 \pm 0.38 \text{ ng/m}^3$  และมีค่า



มากกว่าจุด J และ V แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.21

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> ที่วัด B ดังปรากฏในตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.22 พบว่า ที่ จุด G มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ  $3.85 \pm 0.71$  ng/m<sup>3</sup> และมากกว่าจุด V แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับจุด J และ A พบว่า จุด G มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่จุด J มีค่าสูงที่สุดที่  $0.57 \pm 0.13$  ng/m<sup>3</sup> และมีค่าสูงกว่าจุด G และ V อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

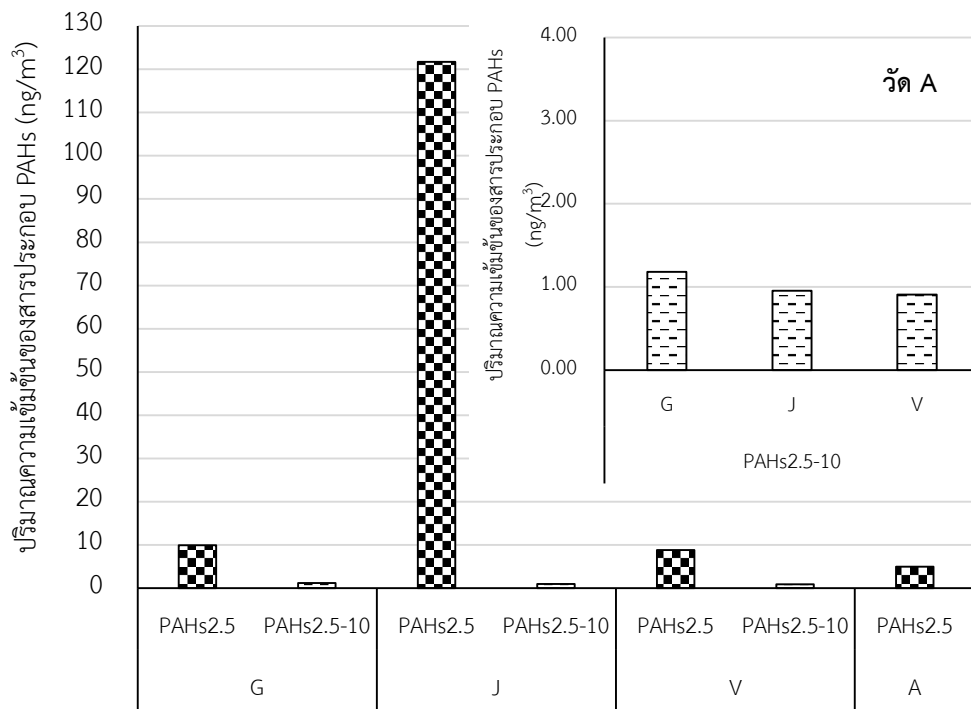
ตารางที่ 4.16 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ t-PAHs ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

สถานที่	ชนิด	ปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ t-PAHs (ng/m <sup>3</sup> )			
		G	J	V	A*
วัด A (n=14)	PAHs <sub>2.5</sub>	$9.89 \pm 2.47^a$	$121.73 \pm 22.73^b$	$8.79 \pm 1.40^{a*}$	$5.00 \pm 0.65^{a*}$
	PAHs <sub>2.5-10</sub>	$1.18 \pm 0.38^a$	$0.95 \pm 0.18^a$	$0.89 \pm 0.18^{a*}$	
วัด B (n=12)	PAHs <sub>2.5</sub>	$3.85 \pm 0.71^c$	$2.43 \pm 2.77^b$	$2.77 \pm 0.29^{bc}$	$1.22 \pm 0.11^a$
	PAHs <sub>2.5-10</sub>	$0.55 \pm 0.12^a$	$0.57 \pm 0.13^a$	$0.54 \pm 0.10^a$	

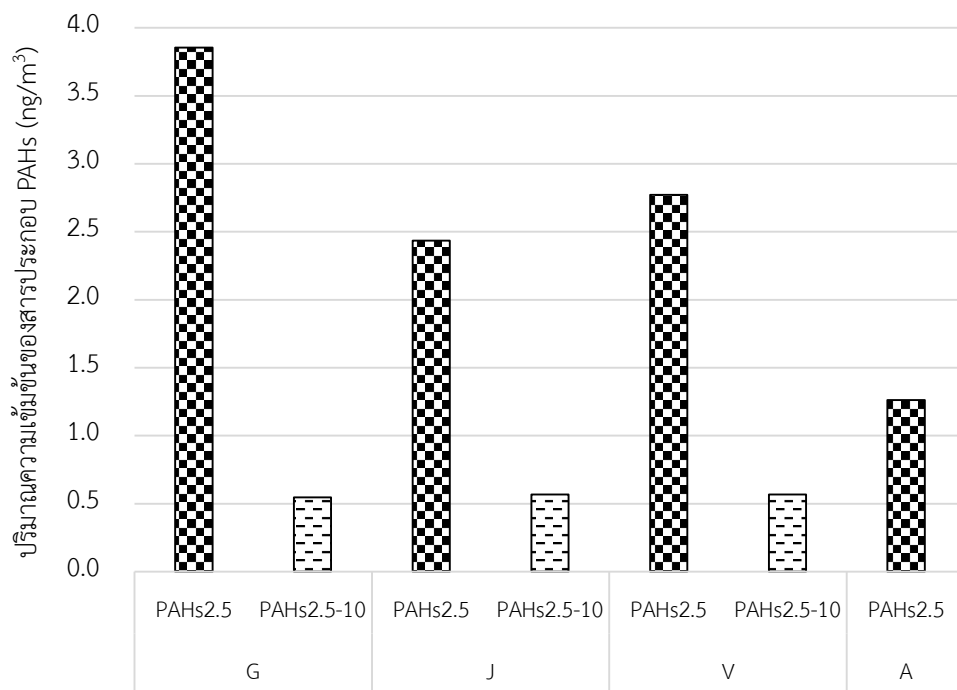
a, b, c = Statistical different between sampling positions analyzed by one way ANOVA at 95% confidence

หมายเหตุ: \* หมายถึง n = 13

จากปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา พบว่า บริเวณ จุด J ของวัด A มีปริมาณความเข้มข้นที่สูงมากกว่าจุดอื่นๆ เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด (จากภาพที่ 3.2) แต่มีลักษณะแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับจุด J ของวัด B ซึ่งพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> น้อยกว่าที่จุด G ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจาก (ที่ 3.2) พบว่าที่จุด G อยู่ใกล้กับกระถางรูปที่ใหญ่ที่สุดของวัด ซึ่งอาจเป็นผลที่ทำให้ปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> ของที่จุด G นั้น ได้รับอิทธิพลจากควันรูปบริเวณดังกล่าวค่อนข้างสูงกว่าจุด J ที่อยู่ด้านในของวัด



ภาพที่ 4.21 ปริมาณ PAHs ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด A



ภาพที่ 4.22 ปริมาณ PAHs ที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างในวัด B

#### 4.4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างวันธรรมดา และวันหยุด

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs ระหว่างวันธรรมดา (วันพุธ) และ วันหยุด (วันอาทิตย์) ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด ที่วัด A และวัด B แสดงในตารางที่ 4.17 - 4.18 และภาพที่ 4.23 ผลการศึกษาพบว่า ที่วัด A มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2,5</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุดของทั้ง 3 จุด มีค่าเท่ากับ 36.84±12.66 และ 58.10±18.67 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2,5-10</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 0.87±0.14 และ 1.14±0.26 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเป็นไปในทางเดียวกันกับวัด B ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย t-PAHs<sub>2,5</sub> ระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.14±0.51 และ 2.89±0.23 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2,5-10</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 0.57±0.11 และ 0.53±0.07 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเป็นรายจุดพบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2,5</sub> และ t-PAHs<sub>2,5-10</sub> เฉลี่ยในวันธรรมดา และวันหยุดของวัด A ของทั้ง 3 จุดนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกับปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2,5</sub> ของวัด B ทั้ง 3 จุด ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2,5-10</sub> ของวันธรรมดาและวันหยุดในฤดูร้อนนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นของเฉลี่ย t-PAH<sub>2,5</sub> ของทั้งสองสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

	t-PAH <sub>2,5</sub> (ng/m <sup>3</sup> )					
	วัด A		ค่าเฉลี่ย (n=30)	วัด B		ค่าเฉลี่ย (n=24)
	วันธรรมดา (n=15)	วันหยุด (n=15)		วันธรรมดา (n=12)	วันหยุด (n=12)	
ฤดูร้อน	16.54±7.42 <sup>a</sup>	34.28±15.69 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 25.41±8.69	2.87±0.68 <sup>a</sup>	2.65±0.36 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 2.76±0.37
ฤดูฝน	56.35±38.01 <sup>a</sup>	44.88±25.38 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 50.09±21.02	2.24±0.16 <sup>a</sup>	2.87±0.38 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 2.55±0.22
ฤดูหนาว	51.05±26.59 <sup>a</sup>	107.04±54.40 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 79.05±30.08	4.31±1.32 <sup>a</sup>	3.16±0.48 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.74±0.69
ค่าเฉลี่ย 3 จุด	36.84±12.66 <sup>ax</sup>	58.10±18.67 <sup>ax</sup>	47.73±11.37 <sup>a*</sup>	3.14±0.51 <sup>a</sup>	2.89±0.23 <sup>a</sup>	3.02±0.28 <sup>b*</sup>

a, b = Statistical different analyzed by paired samples T-test at 95% confidence

a\* = Statistical different analyzed by Wilcoxon signed ranks test

หมายเหตุ: อักษรมุมขวาบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างวันธรรมดาและวันหยุดของแต่ละฤดู

อักษรมุมซ้ายบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวตั้งระหว่างฤดู

อักษรมุมขวาล่าง หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นของเฉลี่ย t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของทั้งสองสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

	t-PAHs <sub>2.5-10</sub> (ng/m <sup>3</sup> )					
	วัด A			วัด B		
	วันธรรมดา (n=15)	วันหยุด (n=15)	ค่าเฉลี่ย (n=30)	วันธรรมดา (n=12)	วันหยุด (n=12)	ค่าเฉลี่ย (n=24)
ฤดูร้อน	1.49±0.12 <sup>a</sup>	1.30±0.08 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 1.40±0.07	1.19±0.08 <sup>a</sup>	0.92±0.04 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 1.06±0.06
ฤดูฝน	0.43±0.05 <sup>a</sup>	1.58±0.91 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 1.05±0.51	0.26±0.07 <sup>a</sup>	0.36±0.08 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 0.31±0.05
ฤดูหนาว	0.32±0.05 <sup>a</sup>	0.46±0.10 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 0.39±0.06	0.27±0.03 <sup>a</sup>	0.31±0.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 0.29±0.03
ค่าเฉลี่ย 3 ฤดู	0.87±0.14 <sup>a</sup>	1.14±0.26 <sup>a</sup>	1.01±0.15 <sup>a</sup>	0.57±0.11 <sup>a</sup>	0.53±0.07 <sup>a</sup>	0.55±0.07 <sup>b</sup>

a, b = Statistical different analyzed by paired samples T-test at 95% confidence

หมายเหตุ: อักษรมุมขวามุมบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างวันธรรมดาและวันหยุดของแต่ละฤดู

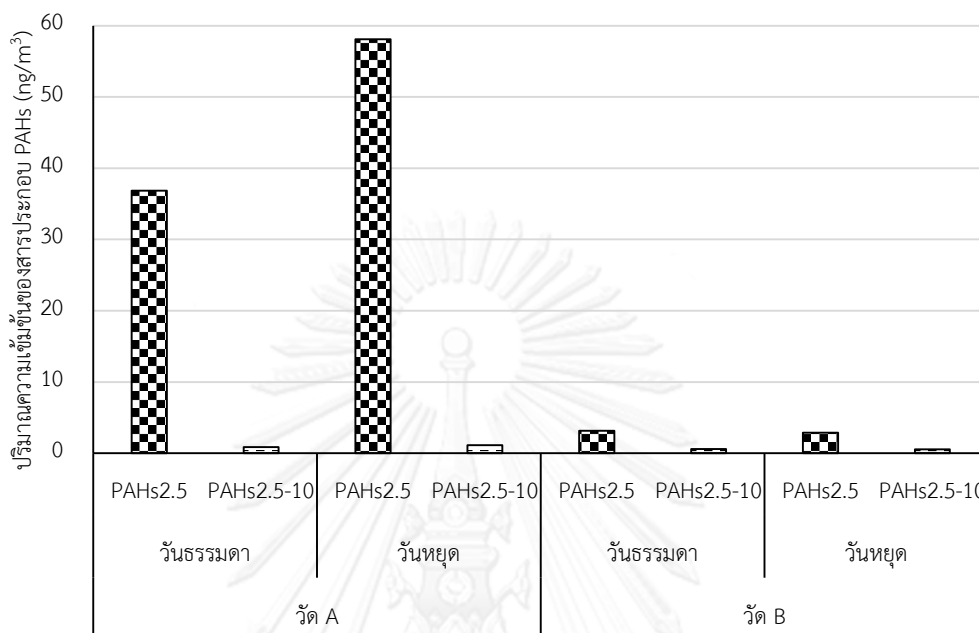
อักษรมุมซ้ายบน หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวตั้งระหว่างฤดู

อักษรมุมขวาล่าง หมายถึง การเปรียบเทียบในแนวนอนระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

เมื่อนำข้อมูลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ในวันธรรมดา และวันหยุดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ตารางที่ 4.17 และ 4.18) และปริมาณรูปหรือจำนวนคนที่เข้าไปสักการะ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นค่าเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> รวมทั้งปริมาณรูปของวัด A ของทั้ง 3 ฤดูในวันธรรมดา มีค่าน้อยกว่าในวันหยุด แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของทั้ง 3 ฤดูที่วัด B ในวันธรรมดามีปริมาณใกล้เคียงกับในวันหยุด ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวโน้มของปริมาณรูปหรือคนที่เข้าไปสักการะ ทั้งนี้อาจเกิดจากพฤติกรรมการเก็บรูปของพนักงานที่ปฏิบัติงาน เนื่องจากในวันธรรมดาที่มีคนเข้ามาสักการะน้อย พนักงานจะปล่อยให้รูปเผาไหม้จนหมดดอกแล้วจึงเก็บรูป ในขณะที่ในวันหยุดเมื่อมีคนเข้ามาสักการะจำนวนมากพนักงานต้องรีบเก็บรูปออกจากกระถางรูป ทำให้ควันรูปมีการสะสมในอากาศน้อยกว่า จึงอาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ของปริมาณ t-PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของรูป

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาของ Kuo *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษาในวันหยุดซึ่งเป็นวันที่พระจันทร์เต็มดวง และวันธรรมดา ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่ประเทศไต้หวัน พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย t-PAHs ในวันธรรมดา (n=4) และวันหยุด (n=1) มีค่าเท่ากับ 1,468±438 และ 1,625 ng/m<sup>3</sup> และมีอัตราการปลดปล่อยอนุภาค PM<sub>10</sub> ในวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าเท่ากับ 577±404 และ 973 µg/m<sup>3</sup> รวมทั้งปริมาณของผู้ที่เข้าไปสักการะบูชาหรือนักท่องเที่ยวในวันหยุดมากกว่าวันธรรมดา ซึ่งให้เห็นว่าจำนวนคนที่เข้ามาสักการะที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณ t-PAHs เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้น

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารในแต่ละสถานประกอบพิธีกรรมขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ที่มาสักการะ  
ตำแหน่งการวางกระถางธูป และการจัดการของพนักงานเก็บธูป



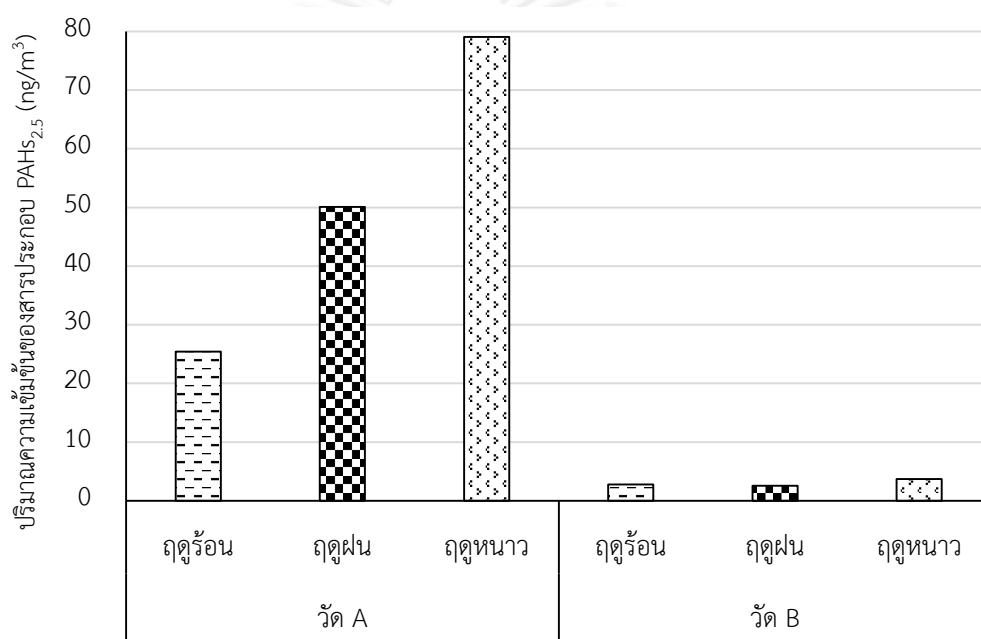
ภาพที่ 4.23 ปริมาณ PAHs ที่ตรวจพบในวันธรรมดา และวันหยุดที่สถานประกอบพิธีกรรม

#### 4.4.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างฤดูกาล

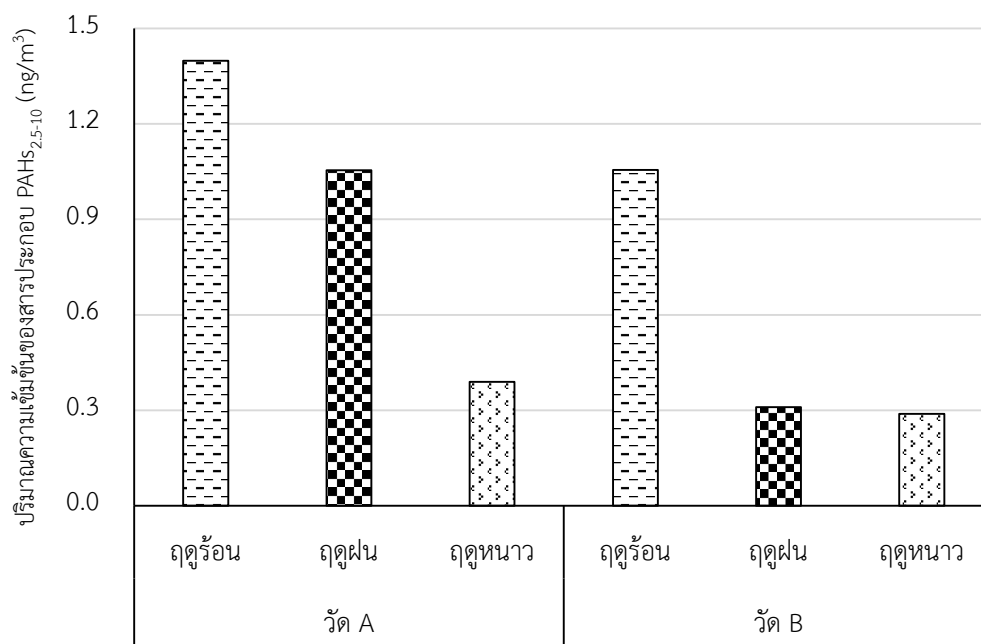
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ในฤดูร้อน (มีนาคม - เมษายน 2555) ฤดูฝน (กรกฎาคม 2555) และฤดูหนาว (พฤศจิกายน - ธันวาคม 2555) ดังปรากฏในตารางที่ 4.17 - 4.18 และภาพที่ 4.24 และ 4.25 พบว่า ในฤดูหนาวปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> ที่วัด A มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $79.05 \pm 30.08$  ng/m<sup>3</sup> ซึ่งมีค่ามากกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวัด B พบว่าในฤดูหนาวปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> มีค่าสูงที่สุดเช่นเดียวกันที่  $3.74 \pm 0.69$  ng/m<sup>3</sup> แต่มีค่ามากกว่าฤดูร้อนและฤดูฝนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ใน PM<sub>2.5</sub> เป็นไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM<sub>2.5</sub> ที่พบในแต่ละฤดูกาล แสดงให้เห็นถึง PM<sub>2.5</sub> เป็นตัวกลางหลักของการดูดซับสาร PAHs (ดังผลความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง t-PAHs<sub>2.5</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ที่กล่าวในหัวข้อ 4.5)

ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของวัด A ในฤดูร้อน มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $1.40 \pm 0.07$  ng/m<sup>3</sup> ซึ่งมีค่ามากกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกับวัด B ที่พบว่าในฤดูร้อนปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-

PAHs<sub>2.5-10</sub> มีค่าสูงที่สุดที่  $1.06 \pm 0.06 \text{ ng/m}^3$  และมีค่ามากกว่าในฤดูฝนและฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ใน PM<sub>2.5-10</sub> ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM<sub>2.5-10</sub> ที่พบในแต่ละฤดูกาล (ฤดูหนาว > ฤดูฝน > ฤดูร้อน สำหรับที่วัด A และมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ฤดู ที่ตรวจวัดที่วัด B) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า PM<sub>2.5-10</sub> ไม่ได้เป็นตัวกลางฝุ่นที่ดูดซับสาร PAHs เป็นหลัก ซึ่ง PM<sub>2.5-10</sub> หรือฝุ่นหยาบมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างจาก PM<sub>2.5</sub> ดังจะเห็นได้จากผลการวิเคราะห์ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสาร PAHs และ PM<sub>2.5-10</sub> ที่ปรากฏในหัวข้อ 4.5



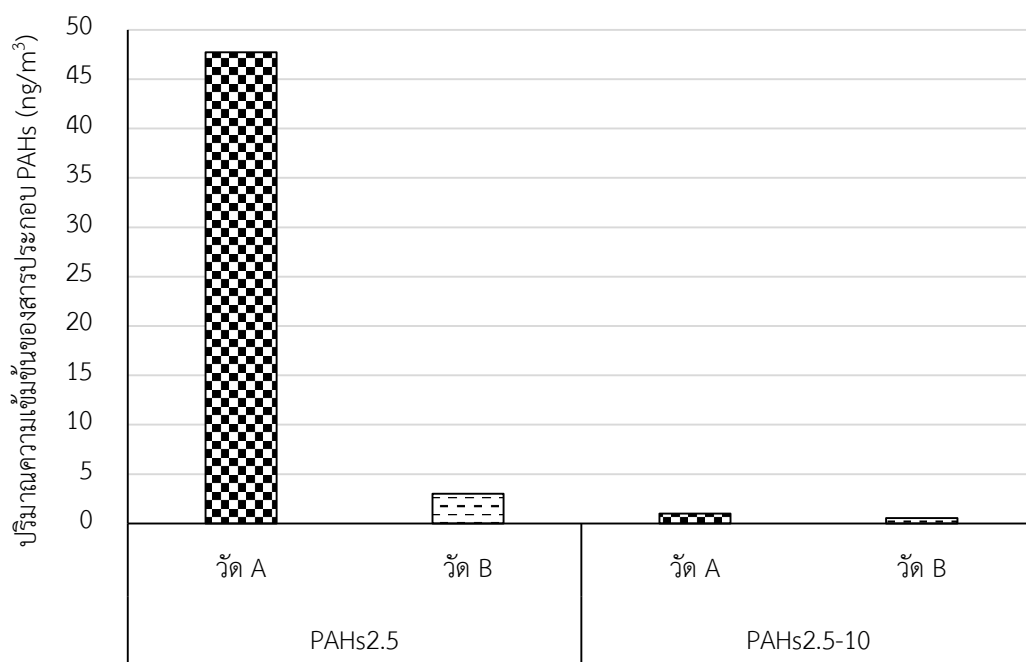
ภาพที่ 4.24 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs<sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู



ภาพที่ 4.25 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรมในแต่ละฤดู

#### 4.4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ระหว่างสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

ทำการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ทั้ง 3 ฤดูที่วัด A และวัด B ดังปรากฏในภาพที่ 4.26 พบว่า ปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของวัด A มีค่าอยู่ในช่วง 1.14 – 295.03 ng/m<sup>3</sup> และ 0.06 – 5.74 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> เท่ากับ 47.73±11.37 และ 1.01±0.15 ng/m<sup>3</sup> ในขณะที่วัด B มีปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> มีค่าอยู่ในช่วง 0.60 – 10.80 ng/m<sup>3</sup> และ 0.07 – 1.44 ng/m<sup>3</sup> โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> เท่ากับ 3.02±0.28 และ 0.55±0.07 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ได้พบว่าปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่วัด A มีค่ามากกว่าวัด B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยประมาณ 15 และ 2 เท่า ตามลำดับ ดังปรากฏในตารางที่ 4.17 และ 4.18 ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของปริมาณฝุ่นที่ได้กล่าวข้างต้น (หัวข้อ 4.3.4) ดังนั้นความแตกต่างของปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา อาจเป็นผลมาจากตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง และจำนวนคนที่เข้าไปสักการะในแต่ละสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนานั้นๆ เช่นกัน



ภาพที่ 4.26 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ PAHs<sub>2.5</sub> และ PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่วัด A และวัด B

#### 4.4.6 อัตราส่วนของ B(a)P/B(ghi)P ในควันรูปที่ตรวจวัดในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

จากการวิเคราะห์อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 3 จุด ดังแสดงในตารางที่ 4.19 คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) พบว่า อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ที่จุดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในทุกจุดเก็บตัวอย่างของวัด A มีค่ามากกว่า 0.6 ในขณะที่วัด B มีเพียงจุด G ที่มีค่าเกิน 0.6 และสำหรับอัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ที่จุดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 2.5 - 10 ไมครอน มีเพียงจุด G ของวัด A มีค่ามากกว่า 0.6 แสดงให้เห็นว่า สาร PAHs ที่ตรวจพบบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมมาจากการเผาไหม้รูปเป็นสำคัญ โดยเฉพาะตำแหน่งที่ใกล้กับกระถางรูปจะให้ค่าสัดส่วน B(a)P/B(ghi)P สูงกว่าบริเวณอื่น อีกทั้งค่าสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาในตู้ทดลองระบบกึ่งปิด ยืนยันได้ว่าวัตถุดิบในการผลิตที่เป็นไม้ในรูป เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด PAHs ที่จุดซับบนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน



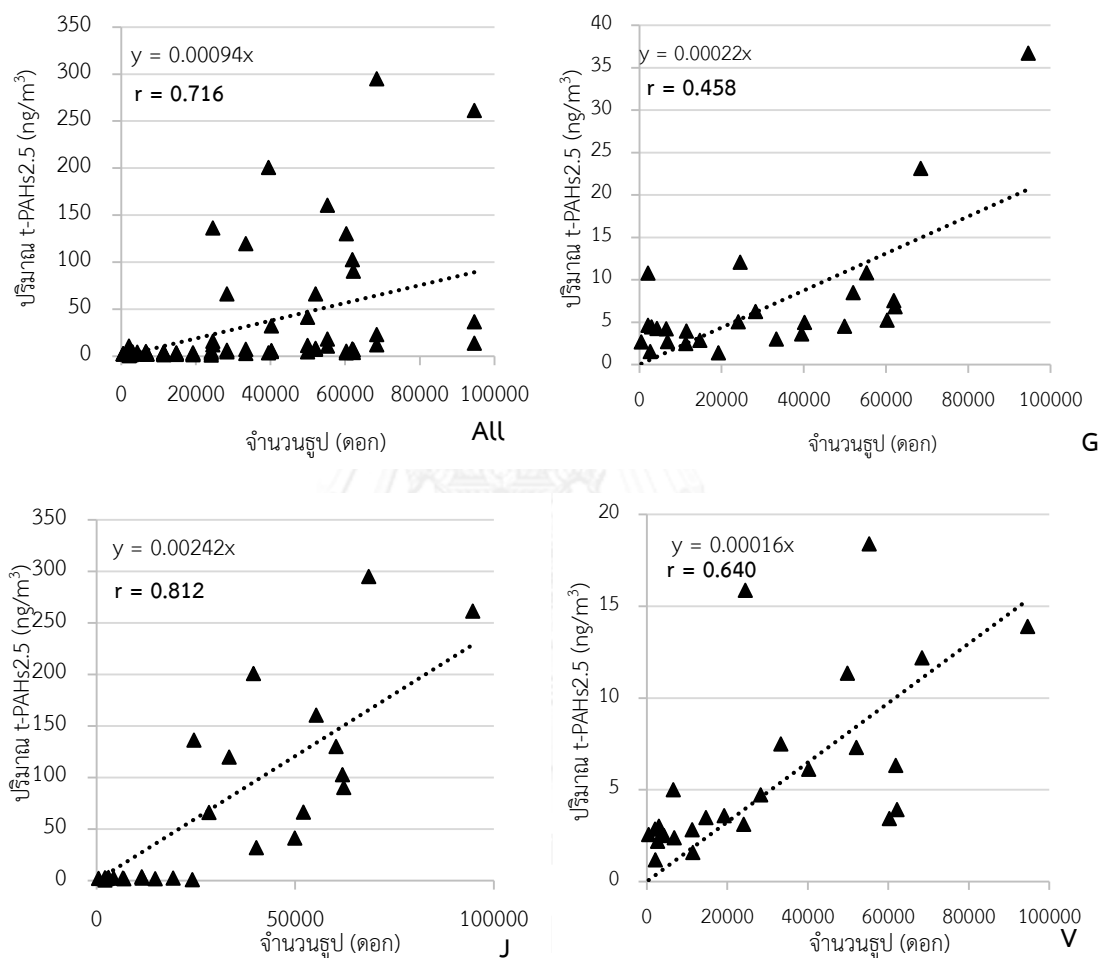
ตารางที่ 4.19 อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

	G		J		V		แหล่งอ้างอิง Da Limu et al., (2013)
	ES	KW	ES	KW	ES	KW	
B(a)P/B(ghi)P <sub>2.5</sub>	0.68	0.66	1.49	0.47	0.82	0.47	<0.6 Fuel combustion
B(a)P/B(ghi)P <sub>2.5-10</sub>	0.66	0.29	0.46	0.34	0.25	0.25	>0.6 Grass, Coal and Wood combustion

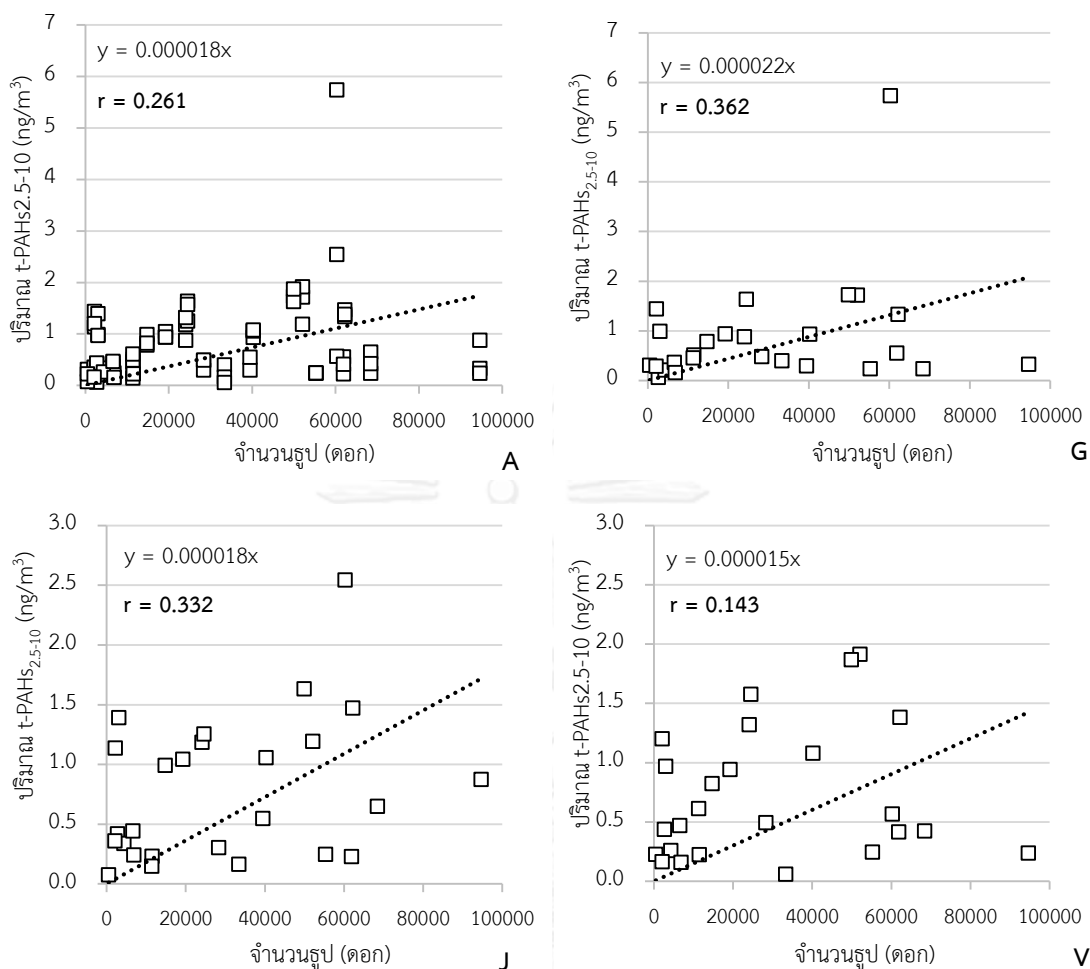
#### 4.4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณสารประกอบ PAHs ในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดบริเวณผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัสตลอดเวลา 8 ชั่วโมงทำงาน โดยพิจารณาจากจุดเก็บตัวอย่าง คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) และรวมทุกจุดเก็บตัวอย่าง (A) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 4.27 และ 4.28 เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> มาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณรูปที่ใช้ในการสักการะของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยมีค่า r (Pearson correlation) สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง J และ V และ Spearman correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง All และ G) ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> ในทุกจุด (All) จุด G J และ V = 0.716, 0.458, 0.812 และ 0.640 ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย ของ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในจุดเก็บตัวอย่าง All J และ V ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่าง G มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยมีค่า r (Pearson correlation) สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง G J V และ Spearman correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง All) ของ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ในจุด All G J และ V = 0.261, 0.362, 0.332 และ 0.143 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.28) แสดงให้เห็นว่า รูปไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในฝุ่น PM<sub>2.5-10</sub> แต่อาจมาจากกิจกรรมอื่นที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ได้

ของ PAHs ในฝุ่น  $PM_{2.5-10}$  นั้น มีระดับความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่ต่ำถึงต่ำมาก ในขณะที่ความสัมพันธ์ของ PAHs ในฝุ่น  $PM_{2.5}$  นั้นอยู่ในระดับปานกลางถึงระดับสูงในจุดเก็บตัวอย่าง J จากกราฟความสัมพันธ์ในครั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อรูปเพิ่มขึ้น 1 ดอก จะส่งผลให้ปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> เพิ่มขึ้นในจุด A G J และ V ประมาณ 0.00094, 0.00022, 0.00242 และ 0.00016  $ng/m^3$  ตามลำดับ



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม

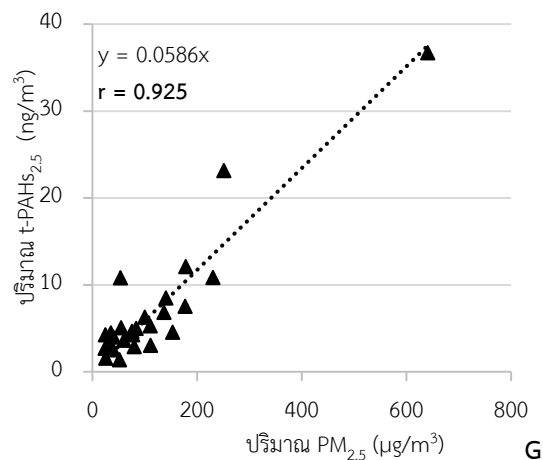
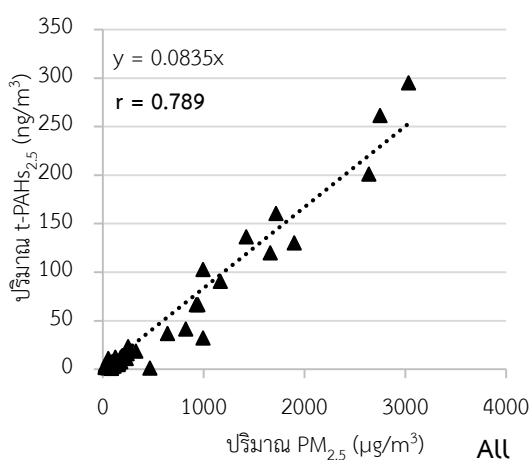


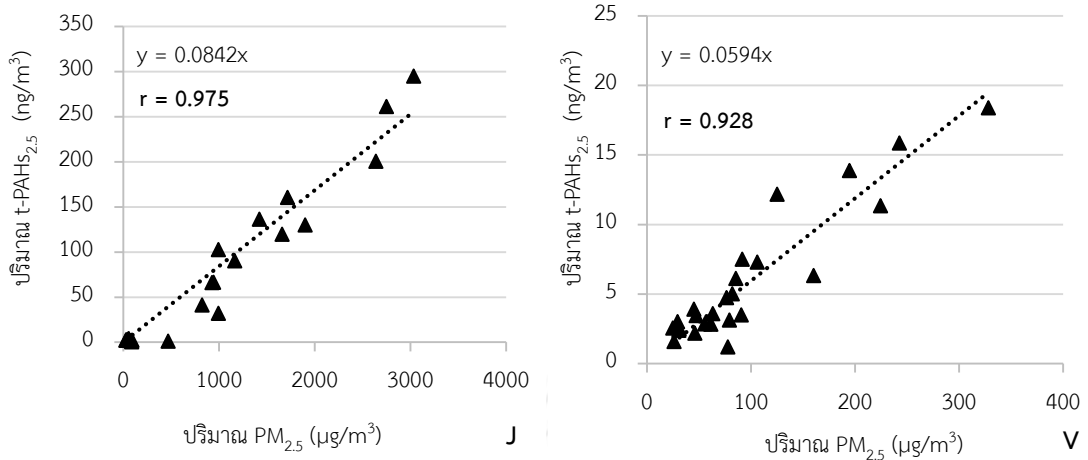
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรูปและปริมาณ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบพิธีกรรม

#### 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกับอัตราการปลดปล่อยสารประกอบ PAHs

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดบริเวณผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัสตลอดเวลา 8 ชั่วโมงทำงาน โดยพิจารณาจากจุดเก็บตัวอย่าง คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) และรวมทุกจุดเก็บตัวอย่าง (A) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 4.29 และ 4.30 พบว่า เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>2.5-10</sub> และปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> มาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติพบว่า ปริมาณ PM<sub>2.5</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย

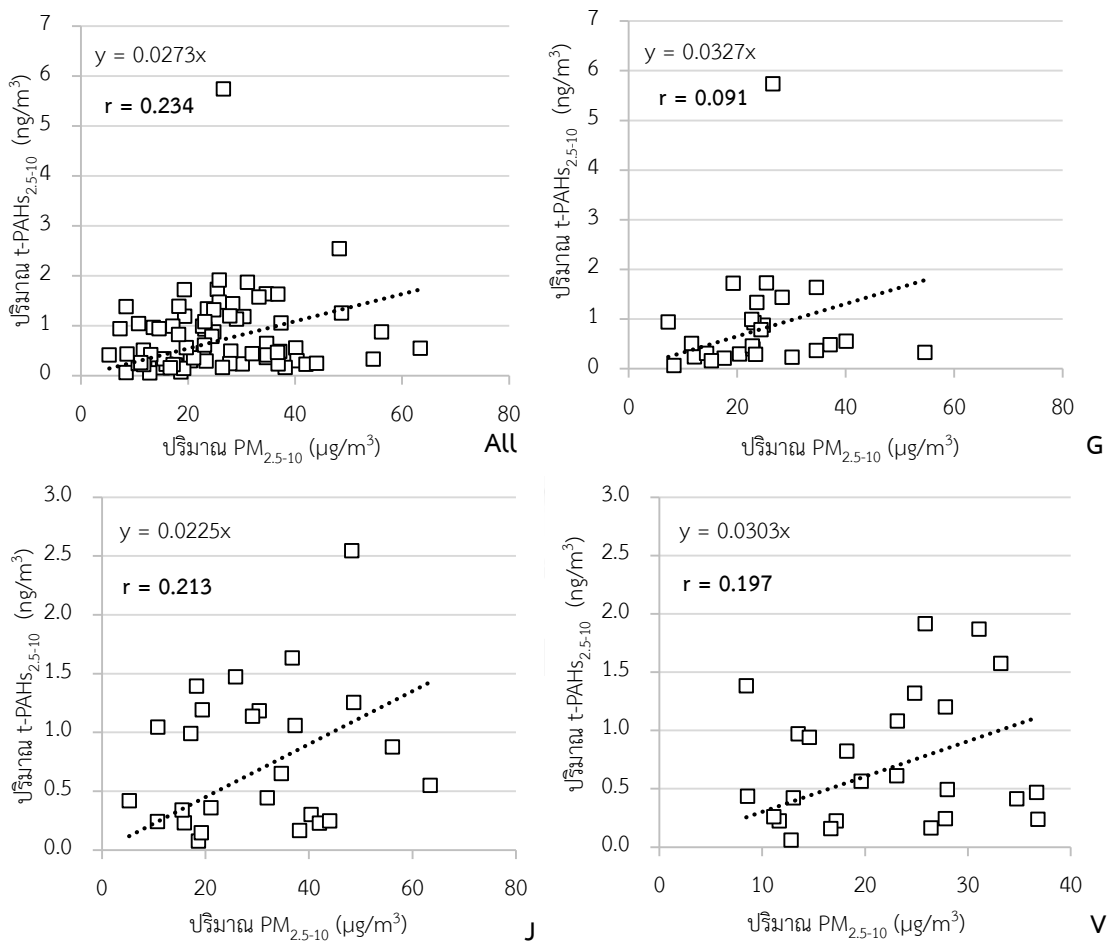
ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยมีค่า r (Pearson correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง G J V และ Spearman correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง All) ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> ในทุกจุด (All) จุด G J และ V = 0.789, 0.925, 0.975 และ 0.928 ตามลำดับ ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>2.5-10</sub> และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า r (Pearson correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง G J V และ Spearman correlation สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง All) ของ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ในจุด All G J และ V = 0.234, 0.091, 0.213 และ 0.197 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.29) แสดงให้เห็นว่า สาร PAHs ซึ่งปกติเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะสามารถดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กละเอียด (ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ที่มีแหล่งกำเนิดหลักจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เช่นกัน) ได้ดีกว่าฝุ่นหยาบ (ฝุ่นขนาด 2.5 – 10 ไมครอน) และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>2.5</sub> และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5</sub> ในครั้งนี้ อธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณ PM<sub>2.5</sub> เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 µg/m<sup>3</sup> จะส่งผลให้พบปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> ในจุด A G J และ V เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0835, 0.0586, 0.0842 และ 0.0594 ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ





ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>2.5</sub> และปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบ

พิธีกรรม



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>2.5-10</sub> และปริมาณ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ที่ตรวจวัดที่สถานประกอบ

พิธีกรรม

#### 4.6 เปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสปริมาณฝุ่นละออง และสารประกอบ PAHs ของผู้ปฏิบัติงานกับค่ามาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสของพนักงานกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ โดยเปรียบเทียบกับค่า Time Weighted Average (TWA) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของมลสารหรือสารเคมี ในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมง ทำงานติดต่อกันใน 1 วัน เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ซึ่งถือเป็นระดับที่พนักงานได้รับสัมผัสแล้วไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ผลการศึกษาพบว่า ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ PAHs ใน PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>2.5-10</sub> ยังไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 4.20 ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณ PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ PAHs ที่พนักงานได้รับสัมผัสกับค่ามาตรฐาน

สาร	ปริมาณสารที่พนักงานได้รับ			ค่ามาตรฐาน	หน่วยงาน	อ้างอิง
	สัมผัสตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมง					
	MAX	MIN	เฉลี่ย			
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	3,068.57	34.57	382.76	5,000	OSHA PEL-TWA	IVHHN (2013)
PAHs (ng/m <sup>3</sup> )	295.03	0.06	13.81	0.2	OSHA PEL-TWA	ATSDR (2009)
				mg/m <sup>3</sup>	ACGIH PEL-TLV	
				0.1	NIOSH REL	
				mg/m <sup>3</sup>		
Benzo(a) pyrene (ng/m <sup>3</sup> )	32.43	< ND	1.59	0.2	OSHA PEL	Lin et al (2002)
				mg/m <sup>3</sup>		
				0.1	NIOSH REL	
				mg/m <sup>3</sup>		
				2	German technical exposure limit (TRK value)	Lin et al (2002)
				µg/m <sup>3</sup>		

หมายเหตุ: ค่า ND = 0.4856 ng/m<sup>3</sup>

#### 4.7 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบ PAHs ของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

จากการเปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสสารประกอบ PAHs ที่พนักงานได้รับสัมผัสกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาโดยเปรียบเทียบกับค่า TWA ถึงแม้ว่าค่าปริมาณการรับสัมผัสสารประกอบ PAHs ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง จะไม่เกินค่ามาตรฐานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาที่หน่วยงานต่างๆได้เสนอแนะไว้ แต่ควรพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานจากการทำงานในระยะยาวและผลกระทบแบบเรื้อรังโดยใช้หลักการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงตามขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอนของสาร PAHs ได้อ้างอิงตามวิธีของ U.S. EPA แต่สาร PAHs เป็นกลุ่มสารที่ประกอบด้วยสารหลายชนิด การประเมินความเสี่ยงจึงควรแยกประเมินตามรายชนิด แต่ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการรับสัมผัส (dose-response assessment) ยังมีไม่ครบสมบูรณ์สำหรับสาร PAHs จึงต้องคำนวณค่าความเสี่ยงจากได้รับสัมผัสสารประกอบ PAHs โดยปรับเทียบค่าสารประกอบ PAHs แต่ละชนิดให้เป็นค่า benzo[a]pyrene equivalent concentration ( $BaP_{eq}$ ) ด้วยค่า toxic equivalent factor (TEF) แล้วนำค่า  $BaP_{eq}$  ของ PAH แต่ละชนิดมารวมกันเพื่อให้ได้ค่า Total- $BaP_{eq}$  (t- $BaP_{eq}$  หรือ TEQ) (ดังสมการ 3.12 -3.14) นำค่า t- $BaP_{eq}$  มาใช้แทนความเข้มข้นของสาร PAHs ที่บุคคลได้รับสัมผัสในอากาศ (CA) เพื่อประเมินปริมาณการรับสัมผัส (exposure assessment) (ในสมการ 3.15 และ 3.16)

จากการประเมินความเสี่ยงของ t- $BaP_{eq2.5}$  และ t- $BaP_{eq2.5-10}$  ของผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับสัมผัสตลอดเวลาทำงานในทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ซึ่งใช้ข้อมูลความถี่ของการรับสัมผัสสาร PAHs (EF) เวลาในการรับสัมผัสสาร (ET) ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร (ED) น้ำหนักตัว (BW) จริงตามแบบสอบถาม ดังแสดงในภาคผนวก ฉ. โดยพิจารณาจากจุดเก็บตัวอย่าง คือ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) ค่าความเสี่ยงแสดงในตารางที่ 4.21

ค่าปริมาณการรับสัมผัสของ t- $BaP_{eq2.5}$  ของพนักงานที่ปฏิบัติงานที่วัด A มีค่าอยู่ระหว่าง  $8.76 \times 10^{-8}$  ถึง  $3.14 \times 10^{-6}$  mg/kg BW-day สำหรับที่วัด B มีค่าอยู่ระหว่าง  $3.87 \times 10^{-9}$  -  $4.89 \times 10^{-8}$  mg/kg BW-day เมื่อคำนวณค่าความเสี่ยงพบว่า พนักงานที่ปฏิบัติงานที่วัด A มีความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (cancer risk) เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่  $1 \times 10^{-6}$  (ซึ่งหมายถึงประชากรหนึ่งคนจาก

ล้านคนที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง) โดยพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) มีโอกาสเสี่ยงสูงสุด ( $52.6 \times 10^{-6}$  –  $122.0 \times 10^{-6}$ ) และมีโอกาสเสี่ยงสูงกว่าพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานขายดอกไม้ ฐูป เทียน (V) ประมาณ 17.7 และ 16.4 เท่า ตามลำดับ สำหรับพนักงานที่วัด B มีเพียงพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) ที่พบโอกาสเสี่ยงที่เกินระดับที่ยอมรับได้ โดยมีค่า  $1.32 \times 10^{-6}$  และ  $0.15 \times 10^{-6}$  –  $1.91 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ แต่ตำแหน่ง V มีค่าอยู่ระหว่าง  $0.23 \times 10^{-6}$  –  $0.91 \times 10^{-6}$  ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

กรณีการประเมินค่าปริมาณการรับสัมผัสของ t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> พบว่า พนักงานที่ปฏิบัติงานในทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $0.23 \times 10^{-6}$  –  $0.59 \times 10^{-6}$  สำหรับที่วัด A และ  $0.02 \times 10^{-6}$  –  $0.27 \times 10^{-6}$  สำหรับที่วัด B

ตารางที่ 4.21 ค่า CDI และค่า cancer risk ของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ของพนักงานในแต่ละตำแหน่ง

สถานที่	ตำแหน่งการทำงาน	CDI (mg/kg BW-day)	Cancer risk ( $\times 10^{-6}$ )
วัด A	t-BaP <sub>eq2.5</sub>		
	G (n=4)	$8.76 \times 10^{-8}$ - $1.65 \times 10^{-7}$	3.42 - 6.43
	J (n=8)	$1.35 \times 10^{-6}$ - $3.14 \times 10^{-6}$	52.6 - 122.0
	V (n=2)	$2.37 \times 10^{-7}$ - $3.58 \times 10^{-7}$	9.25 - 13.9
	t-BaP <sub>eq2.5-10</sub>		
	G (n=4)	$8.02 \times 10^{-9}$ - $1.51 \times 10^{-8}$	0.31 - 0.59
	J (n=8)	$5.90 \times 10^{-9}$ - $1.37 \times 10^{-8}$	0.23 - 0.54
	V (n=2)	$8.82 \times 10^{-9}$ - $1.33 \times 10^{-8}$	0.34 - 0.52
	วัด B	t-BaP <sub>eq2.5</sub>	
G (n=1)		$3.39 \times 10^{-8}$	1.32
J (n=4)		$3.87 \times 10^{-9}$ - $4.89 \times 10^{-8}$	0.15 - 0.19
V (n=2)		$5.78 \times 10^{-9}$ - $2.32 \times 10^{-8}$	0.23 - 0.91
t-BaP <sub>eq2.5-10</sub>			
G (n=1)		$2.85 \times 10^{-9}$	0.11
J (n=4)		$5.39 \times 10^{-10}$ - $6.81 \times 10^{-9}$	0.021 - 0.27
V (n=2)	$5.55 \times 10^{-10}$ - $3.40 \times 10^{-9}$	0.022 - 0.13	



อย่างไรก็ตาม หากคิดค่าความเสี่ยง โดยรวมจากการรับสัมผัส BaP<sub>eq</sub> ในฝุ่นทั้งสองขนาด พนักงานที่ปฏิบัติงานที่วัด A มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (cancer risk) จากการสัมผัสทางการหายใจ ส่วนที่วัด B มีเพียงพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) เท่านั้นที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง จากการศึกษาศึกษาพิษวิทยาในสัตว์ทดลองโดยการรับสัมผัสสาร B[a]P ในหนูทดลองพบว่า อวัยวะเป้าหมายเมื่อได้รับสัมผัสสาร BaP โดยการหายใจ คือ ผิวหนัง ปอด ตับ ไต และ ลำไส้ใหญ่ (เบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกนก, 2552)

จากข้อมูลการประเมินความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงานทั้งสองแห่งดังกล่าวข้างต้นเป็นเพียงตัวแทนของพนักงานกลุ่มหนึ่ง (n=21) การศึกษาดังนี้จึงได้ทำแบบสอบถามจากพนักงานที่ปฏิบัติงานในลักษณะเดียวกันในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาอื่นๆ เพิ่มเติม โดยให้จำนวนรวมของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเป็น 36 คน จากนั้นนำข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (ค่าน้ำหนักตัว จำนวนชั่วโมงการทำงาน จำนวนวันทำงาน จำนวนปีที่ทำงาน) ไปประเมินความเสี่ยง โดยประเมินค่าปริมาณการรับสัมผัสสาร t-BaP<sub>eq</sub> ค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) และค่า 95% confidence interval ของความเสี่ยง ในการประเมินการรับสัมผัสได้พิจารณาความเข้มข้นของสาร t-BaP<sub>eq2.5</sub> และ t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> ที่มีค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยจากการศึกษาในครั้งนี้ให้เป็นตัวแทนของปริมาณ t-BaP<sub>eq2.5</sub> และ t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> ที่พนักงานที่ปฏิบัติงานทั้งหมดจะมีโอกาสที่จะได้รับสัมผัส

ผลการประเมินการรับสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.22 พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสสาร t-BaP<sub>eq2.5</sub> และ t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> มีค่าอยู่ในช่วง  $5.69 \times 10^{-8}$  –  $1.05 \times 10^{-6}$  และ  $9.76 \times 10^{-10}$  –  $1.80 \times 10^{-8}$  mg/kg BW-day ตามลำดับ จากการพิจารณาค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (cancer risk) กรณีที่พนักงานได้รับสัมผัสสารปริมาณสูง (ประเมินโดยใช้ t-BaP<sub>eq2.5</sub> ค่าสูงสุด) และระดับค่าเฉลี่ย (ประเมินโดยใช้ t-BaP<sub>eq2.5</sub> ค่าเฉลี่ย) มีค่าความเสี่ยงอยู่ในช่วง  $20.79 \times 10^{-6}$  –  $382.43 \times 10^{-6}$  และ  $2.22 \times 10^{-6}$  –  $40.82 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ และค่า 95% confidence interval ของค่า cancer risk ของการรับสัมผัส t-BaP<sub>eq2.5</sub> ที่มีค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย อยู่ในช่วง  $124.15 \times 10^{-6}$  –  $175.97 \times 10^{-6}$  และ  $13.25 \times 10^{-6}$  –  $18.78 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ( $1 \times 10^{-6}$ ) ในขณะที่พิจารณาให้พนักงานรับสัมผัสสารระดับต่ำ (ประเมินโดยใช้ t-BaP<sub>eq2.5</sub> ที่มีค่าต่ำสุด) พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสอยู่ในช่วง  $7.71 \times 10^{-10}$  –  $1.42 \times 10^{-8}$  mg/kg BW-day ค่า cancer risk และค่า 95% confidence interval อยู่ระหว่าง  $0.03 \times 10^{-6}$  –  $0.55 \times 10^{-6}$  และ  $0.18 \times 10^{-6}$  –  $0.25 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สำหรับการประเมินการรับสัมผัสสาร t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> ในระดับสูง (ประเมินโดยใช้ t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> ค่าสูงสุด) พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสอยู่ในช่วง  $1.89 \times 10^{-8}$  –  $3.48 \times 10^{-7}$  mg/kg BW-day และมีค่า

95% confidence interval ของค่า cancer risk อยู่ระหว่าง  $4.41 \times 10^{-6}$  –  $6.25 \times 10^{-6}$  ซึ่งเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในขณะที่ค่า 95% confidence interval ของค่า cancer risk ที่ประเมินการรับสัมผัสระดับค่าเฉลี่ยและระดับต่ำสุดของ t-BaPeq<sub>2.5-10</sub> อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือน้อยกว่า  $1 \times 10^{-6}$  (ดังตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.22 ค่า CDI ค่า lifetime cancer risk และค่า 95% confidence interval ของ t-BaPeq<sub>2.5</sub> และ t-BaPeq<sub>2.5-10</sub> (n = 36)

	CDI (mg/kg BW-day)	Cancer risk ( $\times 10^{-6}$ )	95% confidence interval ของค่า cancer risk ( $\times 10^{-6}$ )
t-BaPeq <sub>2.5</sub>			
ค่าสูงสุด	$5.33 \times 10^{-7}$ – $9.81 \times 10^{-6}$	20.79 – 382.43	124.15 – 175.97
ค่าต่ำสุด	$7.71 \times 10^{-10}$ – $1.42 \times 10^{-8}$	0.03 – 0.55	0.18 – 0.25
เฉลี่ย	$5.69 \times 10^{-8}$ – $1.05 \times 10^{-6}$	2.22 – 40.82	13.25 – 18.78
t-BaPeq <sub>2.5-10</sub>			
ค่าสูงสุด	$1.89 \times 10^{-8}$ – $3.48 \times 10^{-7}$	0.74 – 13.57	4.41 – 6.25
ค่าต่ำสุด	$2.92 \times 10^{-11}$ – $5.37 \times 10^{-10}$	0.001 – 0.02	0.007 – 0.010
เฉลี่ย	$9.76 \times 10^{-10}$ – $1.80 \times 10^{-8}$	0.04 – 0.70	0.23 – 0.32

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับการศึกษา ณ ประเทศไต้หวัน ผลการศึกษาของ Liao และ Chiang (2005) ที่ได้ประเมินความเสี่ยงของบุคคลที่ได้รับสัมผัสสารประกอบ PAHs ในวัด ผ่านทางการหายใจ พบว่า 90% ของกลุ่มตัวอย่างมีค่า lifetime cancer risk อยู่ในช่วง  $10^{-7}$  –  $10^{-6}$  และจากการศึกษาของ Chiang et al. (2008) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงในลักษณะเดียวกัน พบค่า inhalation lifetime cancer risk อยู่ในช่วง  $10^{-7}$  –  $10^{-5}$  ซึ่งสอดคล้องกับโอกาสการเกิดความเสี่ยงที่พบในการศึกษานี้

นอกจากการศึกษการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ดูดซับบนฝุ่นขนาดเล็กของพนักงานในสถานประกอบพิธีกรรมทั้งสองแห่งนี้แล้ว ยังมีผลการศึกษาของ Vee Maspat (2012) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสาร BTEX (ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และไซลีน) ของพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาแห่งเดียวกัน ผลการประเมินพบค่า lifetime cancer risk จากการรับสัมผัสสารเบนซีนที่วัด A ณ ตำแหน่งของพนักงานเก็บรูปและทำ

ความสะอาด (J) มีค่าสูงที่สุดอยู่ในช่วง  $3.07 \times 10^{-6} - 103 \times 10^{-6}$  ซึ่งมีค่ามากกว่าพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) ถึง 4.41 และ 1.7 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่วัด B พบว่า พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) มีค่า lifetime cancer risk จากการรับสัมผัสสารเบนซินสูงที่สุด  $0.85 \times 10^{-6} - 5.71 \times 10^{-6}$  ซึ่งมีค่าสูงกว่าพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) และพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) ถึง 4.32 และ 1.65 เท่า ตามลำดับ ค่าความน่าจะเป็นของผู้ปฏิบัติงานที่มีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสัมผัสสารเบนซินและเอซิลเบนซิน ที่วัด A อยู่ในช่วง  $3.79 \times 10^{-6} - 3.45 \times 10^{-4}$  และที่วัด B มีค่าอยู่ในช่วง  $2.91 \times 10^{-7} - 1.87 \times 10^{-5}$  ซึ่งส่วนใหญ่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่  $1 \times 10^{-6}$  ดังนั้น พนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนานอกจากจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสารประกอบ PAHs แล้ว ยังมีโอกาสเกิดความเสี่ยงเนื่องจากการรับสัมผัสสารเบนซินและเอซิลเบนซินร่วมด้วย

#### 4.8 ข้อมูลสุขภาพ อาการผิดปกติ และการใช้อุปกรณ์ป้องกันของผู้ปฏิบัติงาน

การรับสัมผัสสารประกอบ PAHs สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ได้รับสัมผัส โดยเฉพาะสาร Anthracene ที่มีฤทธิ์ทำให้เกิดการระคายเคืองของดวงตา เยื่อบุตาอักเสบ ตาแดงหนังตาบวม น้ำตาไหล แพ้แสง และมีอาการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจตอนต้น และหากได้รับเป็นระยะเวลานานผิวหนังส่วนที่ได้รับสัมผัสจะมีสีเข้มขึ้น ส่วนบนของผิวหนังหนาและดำ และมีการฟองตัวของเส้นโลหิตฝอยของผิวหนังบริเวณนั้น Pyrene ทำให้เกิดอาการอักเสบบวมแดงของผิวหนังได้มากที่สุด Benzo(a)pyrene ทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อทางเดินหายใจ รวมทั้งอาการแสบร้อน ไวต่อแสง และมีตุ่ม หนองเกิดขึ้น Benzo(a)anthracene ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงใน เบญจวรรณ คำศรี และวชิรารวรรณ นนทกนก, 2552) จากการเก็บแบบสอบถามของพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา จำนวน 36 คน ได้มาจากพนักงานที่ปฏิบัติงานในวัด A จำนวน 14 คน วัด B 7 คน และสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาอื่นๆ 15 คน โดยเป็นการสอบถามเกี่ยวกับลักษณะอาการที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติงาน ซึ่งอาการเหล่านี้เป็นลักษณะอาการเบื้องต้นจากการรับสัมผัสสารกลุ่มนี้

ผลการศึกษาพบว่า พนักงานมีอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ที่พบมากที่สุด คือ แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล (ร้อยละ 27.78) รองลงมา คือ ปวดศีรษะ/วิงเวียน/หน้ามืด/มึนงง (ร้อยละ 19.44) หายใจมีเสียง/ไอ/แน่นหน้าอก (ร้อยละ 11.11) เยื่อบุตาอักเสบ/ตาแดง/หนังตาบวม/แพ้แสง (ร้อยละ 8.33) ผิวหนังมีสีเข้มขึ้น/ผิวหนังหนาและดำ/เส้นโลหิตฝอยของผิวหนังฟองตัว /ผิวหนังอักเสบบวมแดง (ร้อยละ 2.78) และผิวหนังมีอาการแสบร้อน ไวต่อแสง/มีตุ่ม/หนองเกิดขึ้น (ร้อยละ 2.78) ส่วน

อาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับพนักงานนานๆครั้ง ที่พบมากที่สุด คือ แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล (ร้อยละ 58.33) รองลงมา คือ หายใจมีเสียง/ไอ/แน่นหน้าอก หายใจลำบาก (ร้อยละ 52.78) ปวดศีรษะ/วิงเวียน/หน้ามืด/มึนงง (ร้อยละ 36.11) เยื่อบุตาอักเสบ/ตาแดง/หนังตาบวม/แพ้แสง (ร้อยละ 33.33) ผิวหนังมีอาการแสบร้อน/ไวต่อแสง/และมีตุ่ม/หนองเกิดขึ้น (ร้อยละ 22.22) ผิวหนังมีสีเข้มขึ้น/ผิวหนังหนาและด้าน/เส้นโลหิตฝอยของผิวหนังพองตัว/ ผิวหนังอักเสบบวมแดง (ร้อยละ 16.67) และเป็นลม/หมดสติ (ร้อยละ 2.78) ดังผลที่รวบรวมในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหรืออาการพนักงานในขณะปฏิบัติงานที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (n = 36)

ความรู้สึกหรืออาการ	ไม่เคย		นานๆครั้ง		บ่อยๆ	
	n	ร้อยละ	n	ร้อยละ	n	ร้อยละ
อาการที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงาน						
แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล	5	13.89	21	58.33	10	27.78
เยื่อบุตาอักเสบ/ตาแดง/หนังตาบวม/แพ้แสง	21	58.33	12	33.33	3	8.33
ปวดศีรษะ/วิงเวียน/หน้ามืด/มึนงง	16	44.44	13	36.11	7	19.44
ผิวหนังมีสีเข้มขึ้น/ผิวหนังหนาและด้าน/ เส้นโลหิตฝอยของผิวหนังพองตัว/ผิวหนังอักเสบ บวมแดง	29	80.56	6	16.67	1	2.78
ผิวหนังมีอาการแสบร้อน/ไวต่อแสง/และมีตุ่ม/ หนองเกิดขึ้น	27	75.00	8	22.22	1	2.78
หายใจมีเสียง/ไอ/แน่นหน้าอก หายใจลำบาก	13	36.11	19	52.78	4	11.11
เป็นลม/หมดสติ	35	97.22	1	2.78	0	0.00

จากการสอบถามเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงานของพนักงาน ที่มีอัตราส่วนของพนักงานผู้ชายต่อผู้หญิง 4 ต่อ 1 คน พบว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ร้อยละ 38.89 สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเป็นบางครั้งที่ปฏิบัติงาน และมีพนักงานที่ไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงาน คิดเป็นร้อยละ 61.11 โดยหน้ากากที่พนักงานสวมขณะปฏิบัติงานส่วนใหญ่เป็นหน้ากากชนิดผ้าธรรมดา ดังผลการให้ข้อมูลในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ข้อมูลเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงาน

การสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ขณะปฏิบัติงาน	พนักงานในสถานที่ประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (n=36)	
	จำนวนพนักงาน	ร้อยละ
สวมทุกครั้ง	0	0.00
สวมเป็นบางครั้ง	14	38.89
ไม่สวม	22	61.11

เมื่อพิจารณาผลการประเมินความเสี่ยงของพนักงานตามที่แสดงข้างต้น เป็นการประเมินจากเหตุการณ์ที่ได้รับสัมผัสสารประกอบ PAHs เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 5 - 51 ปี (เฉลี่ยประมาณ 26 ปี) จะเห็นว่าพนักงานมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง ดังนั้น การหาแนวทางในการลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารดังกล่าวจึงควรพิจารณาจากปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความเสี่ยงซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความเป็นอันตรายจากสารเคมี (hazard) ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยาก และ 2) การรับสัมผัส (exposure) ซึ่งเป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาเพื่อลดความเสี่ยงได้ เมื่อพิจารณาสูตรพื้นฐานการคำนวณความเสี่ยงและปริมาณการรับสัมผัส หรือ CDI ดังแสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \quad \dots(4.1)$$

$$\text{CDI} = (\text{CA} \times \text{IR} \times \text{EF} \times \text{ET} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{AT}) \quad \dots(4.2)$$

จากสมการข้างต้นตัวแปรหลักที่ทำให้ลดความเสี่ยงได้คือ การลดระยะเวลาการสัมผัส หรือลดระยะเวลาการทำงานของพนักงาน และการหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารปริมาณสูง จากการเก็บข้อมูลแบบสอบถามพบว่า ค่าชั่วโมงการทำงานที่ทำให้รับสัมผัสสาร (ET) มีค่าอยู่ในช่วง 9 – 13 ชั่วโมงต่อวัน ระยะเวลาในการรับสัมผัสสาร (ED) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26 ปี และค่าความถี่ของการรับสัมผัสสาร (EF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 352 วันต่อปี เมื่อวิเคราะห์ผลความเสี่ยงในกรณีที่ลดระยะเวลาการทำงาน คือ ค่าเวลาในการรับสัมผัสสาร (ET) มีค่าเท่ากับ 8 ชั่วโมงต่อวัน ค่าเวลาในการรับสัมผัสสาร (ED) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 ปี และค่าความถี่ของการรับสัมผัสสาร (EF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 250 วันต่อปี ผลการประเมินแสดงดังตัวอย่างในตารางที่ 4.25 พบว่า ถึงแม้จะลดระยะเวลาในการรับสัมผัสสาร และค่าความถี่ในการรับสัมผัสสารแล้ว ค่า cancer risk มีค่าลดลงไปเพียงประมาณ 10 เท่า และค่าระดับความเสี่ยงยังคงเกินค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.25 ค่า lifetime cancer risk ที่ลดลงเมื่อลดระยะเวลาการสัมผัส ลดระยะเวลาการทำงาน และความถี่ในการรับสัมผัสของพนักงาน

ตัวแปร	ความหมาย	ค่า lifetime cancer risk ( $\times 10^{-6}$ )	ค่า lifetime cancer risk ที่ลดลง ( $\times 10^{-6}$ )
ET	เวลาในการรับสัมผัสสาร (8 hr/day)		
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร (5 years)		
EF	ค่าความถี่ของการรับสัมผัสสาร (250 days/year)	2.22 – 40.82	0.91 – 2.45

หมายเหตุ: ยกตัวอย่างโดยคำนวณจากค่า t-BaP<sub>eq2.5</sub> เฉลี่ย

เมื่อพิจารณาตัวแปรอื่นนอกเหนือจากระยะเวลาการสัมผัส ระยะเวลาการทำงาน และความถี่ในการรับสัมผัสของพนักงาน สิ่งที่เป็นไปได้ในการลดความเสี่ยงได้คือ การหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารปริมาณสูง จึงพิจารณาตัวแปรที่เป็นความเข้มข้นของสารที่พนักงานรับสัมผัส (ค่า CA) โดยกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่มีประสิทธิภาพในระหว่างปฏิบัติงาน หากเลือกสวมหน้ากากชนิดที่เหมาะสมกับการทำงานและตรงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากมีไส้กรองเป็นแบบ R-series ที่สามารถป้องกันอนุภาคและไอระเหยทั้งที่เป็นน้ำมันและไม่ใช่น้ำมันได้ และมีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 95% ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์มีส่วนช่วยลดระดับสารที่พนักงานได้รับสัมผัสได้ และมีผลต่อการลดโอกาสการเกิดความเสี่ยงได้เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกันกับข้อเสนอแนะของ ศศิธร เรืองตระกูล (2555) ผลการประเมินความเสี่ยงมีแนวโน้มลดลง ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4.26 ค่า lifetime cancer risk ลดลงจากช่วง  $2.22 \times 10^{-6} - 40.82 \times 10^{-6}$  (ซึ่งหมายถึงประชากร 2 – 41 คนจากล้านคนที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง) เป็นอยู่ในช่วง  $0.11 \times 10^{-6} - 2.04 \times 10^{-6}$  (ซึ่งหมายถึงประชากร 0.11 – 2.04 คนจากล้านคนที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง) ซึ่งพบว่า จาก 100% ของพนักงานที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะลดลงเหลือเพียง 30% ของกลุ่มพนักงานทั้งหมด

ตารางที่ 4.26 ค่า lifetime cancer risk ที่ลดลงเมื่อพนักงานสวมหน้ากากที่มีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 95%

ตัวแปร	ความหมาย	ปริมาณการรับสัมผัสที่ลดลง	ค่า lifetime cancer risk เดิม ( $\times 10^{-6}$ )	ค่า lifetime cancer risk ที่ลดลง ( $\times 10^{-6}$ )
CA	ความเข้มข้นของสารที่พนักงานได้รับสัมผัส ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	95% ของสารที่ได้รับสัมผัส	2.22 – 40.82	0.11 – 2.04

หมายเหตุ: ยกตัวอย่างโดยคำนวณจากค่า t-BaP<sub>eq2.5</sub> เฉลี่ย

ดังนั้น จากผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการสร้างความตระหนักให้กับพนักงาน โดยหน่วยงานควรแนะนำให้พนักงานสวมอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ปฏิบัติงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการรับสัมผัสสารประกอบ PAHs และสารอันตรายอื่นๆ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานจากการปฏิบัติหน้าที่ในระยะยาวได้ นอกจากนี้ การตรวจสุขภาพเป็นประจำจะช่วยให้พนักงานทราบถึงปัญหาสุขภาพ อันจะนำไปสู่การรักษาโรคที่มีประสิทธิภาพต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการศึกษาการรับสัมผัสสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ดูดซับบนอนุภาคผ่านการหายใจและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในกรุงเทพมหานคร 2 แห่ง คือ วัด A (แบบเปิดโล่ง) และวัด B (แบบกึ่งเปิดโล่ง) ทั้ง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ช่วงละ 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือ วันธรรมดา (วันพุธ) และ วันหยุด (วันอาทิตย์) โดยการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 07.00 – 15.00 น. ทำการเก็บตัวอย่าง 3 จุด ที่เป็นตัวแทนพื้นที่ปฏิบัติงานของพนักงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ได้แก่ พนักงานรักษาความปลอดภัย (G) พนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) พนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V) และอีกหนึ่งจุดคือการเก็บตัวอย่างบรรยากาศบริเวณใกล้เคียง (A) ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ ดังนี้

- 1) ปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ( $PM_{2.5} + PM_{2.5-10}$ ) ที่วัด A และวัด B พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของจุด J ( $982.20 \pm 196.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) มีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด
- 2) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  ( $417.62 \pm 120.30$  และ  $590.67 \pm 163.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และ  $PM_{10}$  ( $552.68 \pm 151.30$  และ  $757.51 \pm 203.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในวันธรรมดาและวันหยุดของทั้ง 3 ฤดู มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา
- 3) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ในฤดูหนาวที่ วัด A มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ  $883.73 \pm 302.47$  และ  $919.26 \pm 304.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในขณะที่วัด B พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มากที่สุดอยู่ในฤดูร้อน โดยมีค่าเท่ากับ  $63.60 \pm 6.02$  และ  $82.95 \pm 7.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 4) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ทั้ง 3 ฤดูที่วัด A ( $513.34 \pm 243.38$  และ  $675.09 \pm 354.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) มีค่ามากกว่าวัด B ( $47.55 \pm 2.93$  และ  $69.73 \pm 4.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากจำนวนคนที่เข้ามาสักการะหรือปริมาณรูปที่ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นนั้นส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เพิ่มมากขึ้น



5) อัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  พบว่าปริมาณ  $PM_{2.5}$  ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา มีค่าเฉลี่ยประมาณ 80% (หรือ  $0.81 \pm 0.11$ ) โดยค่าอัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ที่จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพนักงานเก็บรูปและทำความสะอาด (J) ของวัด A (0.97) และวัด B (0.75) มีค่าสูงที่สุด เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับอัตราส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ที่เก็บจากตู้ทดลองระบบกึ่งปิดแล้วพบว่า สัดส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  มีค่าเฉลี่ยประมาณ 99.49% จึงเป็นการยืนยันได้ว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  นั้น มาจากแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ของรูปจริง โดยเฉพาะในจุด J ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

6) ปริมาณรูปที่ใช้ในการสักการะของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา และปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง เมื่อพิจารณาที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง J หากจุดรูปเพิ่มขึ้น 1 ดอก จะทำให้มีปริมาณ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  เพิ่มขึ้น  $0.0291$  และ  $0.0298 \mu\text{g}/\text{m}^3$

7) สาร PAHs ที่ดูดซับบน  $PM_{2.5}$  ( $PAHs_{2.5}$ ) ชนิดหลักๆ ที่พบจากทุกจุดเก็บตัวอย่างของวัด A มีอยู่ 3 ชนิด คือ B(ghi)P B(a)P และ B(b)F ในขณะที่วัด B มีอยู่ 4 ชนิด คือ Ind B(ghi)P B(b)F และ B(a)P สำหรับสาร PAHs ที่ดูดซับบน  $PM_{2.5-10}$  ( $PAHs_{2.5-10}$ ) ชนิดหลักที่พบจากทุกจุดเก็บตัวอย่างของวัด A 4 ชนิด คือ Phe Chry Ind และ B(a)A ในขณะที่วัด B พบ 5 ชนิดหลักที่เหมือนกันในทุกจุดเก็บตัวอย่าง คือ Phe Chry Ind Pyr และ B(a)A

8) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของปริมาณ PAHs ( $t\text{-}PAHs_{2.5}$ ) ที่วัด A ในจุด J ( $121.73 \pm 22.73 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) มีค่าสูงที่สุด และมีค่ามากกว่าที่จุด G V และ A ในขณะที่วัด B พบว่า ที่จุด G ( $1.18 \pm 0.38 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) มีค่าสูงที่สุด และมากกว่าจุด V แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

9) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $t\text{-}PAHs$  ระหว่างวันธรรมดา (วันพุธ) และ วันหยุด (วันอาทิตย์) ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด ที่วัด A ( $36.84 \pm 12.66$  และ  $58.10 \pm 18.67 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) และวัด B ( $3.14 \pm 0.51$  และ  $2.89 \pm 0.23 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) นั้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

10) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $t\text{-}PAHs_{2.5}$  และ  $t\text{-}PAHs_{2.5-10}$  ระหว่างฤดูพบว่า ในฤดูหนาวปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $t\text{-}PAHs_{2.5}$  ที่วัด A ( $79.05 \pm 30.08 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) และวัด B

( $3.74 \pm 0.69 \text{ ng/m}^3$ ) มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของวัด A ( $1.40 \pm 0.07 \text{ ng/m}^3$ ) และวัด B ( $1.06 \pm 0.06 \text{ ng/m}^3$ ) ในฤดูร้อน มีค่าสูงที่สุด

11) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ทั้ง 3 ฤดูที่วัด A ( $47.73 \pm 11.37$  และ  $1.01 \pm 0.15 \text{ ng/m}^3$ ) มีค่ามากกว่าวัด B ( $3.02 \pm 0.28$  และ  $0.55 \pm 0.07 \text{ ng/m}^3$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมากกว่าประมาณ 15 และ 2 เท่า ตามลำดับ

12) อัตราส่วน B(a)P/B(ghi)P ที่ดูดซับบนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในทุกจุดเก็บตัวอย่างของวัด A มีค่ามากกว่า 0.6 ในขณะที่วัด B มีเพียงจุด G ที่มีค่าเกิน 0.6 แสดงให้เห็นว่า สาร PAHs ที่ตรวจพบบริเวณสถานประกอบพิธีกรรมมาจากการเผาไหม้ธูปเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะตำแหน่งที่ใกล้กับกระถางธูปจะให้ค่าสัดส่วน B(a)P/B(ghi)P สูงกว่าบริเวณอื่น

13) ปริมาณธูปที่ใช้ในการสักการะของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา และปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย ของ t-PAHs<sub>2.5</sub> มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง จากความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณ PM<sub>2.5</sub> เพิ่มขึ้นทุกๆ  $1 \mu\text{g/m}^3$  จะส่งผลให้พบปริมาณ t-PAHs<sub>2.5</sub> ในจุด A G J และ V เพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.0835, 0.0586, 0.0842 และ  $0.0594 \text{ ng/m}^3$  ตามลำดับ

14) การประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (cancer risk) ของกลุ่มพนักงานที่ปฏิบัติงานที่สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาโดยพิจารณาจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่คิดเทียบเป็น Benzo(a)pyrene equivalent (BaP<sub>eq</sub>) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งกำหนดให้ประชากรล้านคนมีหนึ่งคนที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง หรือคิดเป็น  $1 \times 10^{-6}$  พบว่า ที่วัด A พนักงานเก็บธูปและทำความสะอาด (J) มีโอกาสเสี่ยงสูงที่สุด อยู่ในช่วง  $52.6 \times 10^{-6} - 122.0 \times 10^{-6}$  และมีโอกาสเสี่ยงสูงกว่าพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานขายดอกไม้ ธูป เทียน (V) ประมาณ 17.7 และ 16.4 เท่า ตามลำดับ สำหรับพนักงานที่วัด B มีเพียงพนักงานรักษาความปลอดภัย (G) และพนักงานเก็บธูปและทำความสะอาด (J) ที่พบโอกาสเสี่ยงที่เกินระดับที่ยอมรับได้ โดยมีค่า  $1.32 \times 10^{-6}$  และ  $0.15 \times 10^{-6} - 1.91 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ

15) การสำรวจลักษณะอาการผิดปกติเบื้องต้นของพนักงานที่เกิดขึ้นบ่อยๆ สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ (1) แสบตา เคืองตา น้ำตาไหล (2) ปวดศีรษะ วิงเวียน หน้ามืด มึนงง (3) หายใจมีเสียง ไอ แน่นหน้าอก (4) เยื่อบุตาอักเสบ ตาแดง หนังตาบวม แพ้แสง (5) ผิวหนังมีสีเข้มขึ้น ผิวหนังหนาและดำน เส้นโลหิตฝอยของผิวหนังพองตัว ผิวหนังอักเสบบวมแดง และ (6) ผิวหนังมีอาการแสบ

ร้อน ไรต์ต่อแสง มีตุ่ม หนองเกิดขึ้น สำหรับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะที่ปฏิบัติงานของพนักงาน พบว่า พนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ร้อยละ 38.89 สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเป็นบางครั้งขณะปฏิบัติงาน โดยหน้าที่พนักงานสวมเป็นหน้ากากชนิดผ้าธรรมดา

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาประกอบการวิเคราะห์อิทธิพลที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก และปริมาณสารประกอบ PAHs
- 2) พนักงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาควรสวมใส่อุปกรณ์อันตรายส่วนบุคคล อาทิ หน้ากากชนิดผ้าธรรมดา หน้ากากที่มีประสิทธิภาพป้องกันอนุภาคและไอระเหย ในขณะที่ปฏิบัติงาน เพื่อลดโอกาสในการรับสัมผัสสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ
- 3) ควรมีการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์รูปที่ปลดปล่อยสารมลพิษที่ลดน้อยลง เช่น รูปไร้ควัน ซึ่งมีศึกษาพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยอนุภาค  $PM_{10}$  และ PAHs น้อยกว่ารูปที่มีควันมาก
- 4) สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนาควรพิจารณาการจัดวางกระถางรูปที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณมลสารที่สะสมในอากาศบริเวณนั้นๆ เช่น การวางไว้นอกตัวอาคารที่มีการถ่ายเทอากาศสะดวก หรือติดตั้งเครื่องช่วยระบายอากาศหากจำเป็นต้องติดตั้งภายในอาคาร

## รายการอ้างอิง

- Bourottea, C., Fortic, M.-C., Taniguchid, S., Bi'cegog, M. C., & Lotufoa, P. A. (2005). A wintertime study of PAHs in fine and coarse aerosols in Sa'õ Paulo city, Brazil. *Atmospheric Environment*(39), 3799–3811.
- Chen, Y., Bi, X., Mai, B., Sheng, G., & Fu, J. (2004). Emission characterization of particulate/gaseous phases and size association for polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustion. *Fuel*(83), 781–790.
- Chiang, K.-C., Chio, C.-P., Chiang, Y.-H., & Liao, C.-M. (2009). Assessing hazardous risks of human exposure to temple airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*(166), 676–685.
- Chiang, K.-C., & Liao, C.-M. (2006). Heavy incense burning in temples promotes exposure risk from airborne PMs and carcinogenic PAHs. *Science of the Total Environment*(372), 64–75.
- EPA, U. S. (1990). DETERMINATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN DRINKING WATER BY LIQUID-SOLID EXTRACTION AND HPLC WITH COUPLED ULTRAVIOLET AND FLUORESCENCE DETECTION *METHOD 550.1*.
- Fang, G.-C., Chang, C.-N., Chu, C.-C., Wu, Y.-S., Fu, P. P.-C., Chang, S.-C., & Yang, I.-L. (2003). Fine (PM<sub>2.5</sub>), coarse (PM<sub>2.5-10</sub>), and metallic elements of suspended particulates for incense burning at Tzu Yun Yen temple in central Taiwan. *Chemosphere*, 51(9), 983-991.
- Fanga, G.-C., Changb, C.-N., Wua, Y.-S., Yangc, C.-J., Changb, S.-C., & Yangb, I.-L. (2002). Suspended particulate variations and mass size distributions of incense burning at Tzu Yun Yen temple in Taiwan, Taichung. *The Science of the Total Environment*(299), 79–87.
- Ho, C.-K., Tseng, W.-R., & Yang, C.-Y. (2005). Adverse respiratory and irritant health effects in temple workers in Taiwan. *Toxicol Environ Health Part A*(68), 1465–1470.
- IVHHN. (2013). Occupational guidelines for particulate matter/aerosol. Retrieved 17 March 2013 [http://ivhnh.org/index.php?option=com\\_content&siew=article&id=87](http://ivhnh.org/index.php?option=com_content&siew=article&id=87)
- Jetter, J. J., Guo, Z., McBrian, J. A., & Flynn, M. R. (2002). Characterization of emissions from burning incense. *The Science of the Total Environment*(295), 51–67.
- Kitwattanavong, M. (2012). *Inhalation exposure to carbonyl compound and BTEX and health risk assessment of gas station workers in Bangkok metropolitan*. (Master's thesis), Program in Environment, Graduate School, Chulalongkorn University.

- Kuffour, P. A. (2011). *EXPOSURE TO DIESEL PARTICULATE MATTER AT THE LOADING BAY OF THE PHYSICAL PLANT BUILDING AT THE UNIVERSITY OF CENTRAL MISSOURI*. (Master of Science), Department of Safety Sciences, University of Central Missouri.
- Kuo, C.-Y., Yang, Y.-H., Chao, M.-R., & Hu, C.-W. (2008). The exposure of temple workers to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Science of the Total Environment*(401), 44-50.
- Liao, C.-M., & Chiang, K.-C. (2006). Probabilistic risk assessment for personal exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiwanese temples. *Chemosphere*(63), 1610–1619.
- Limu, Y. L. M. A. B. D., LiFu, D. L. N. T., Miti, A. B. L. Y., Wang, X., & Ding, X. (2013). Autumn and Wintertime Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> from Urumqi, China. *Aerosol and Air Quality Research*(13), 407–414.
- Lin, T.-C., Chang, F.-H., Hsieh, J.-H., Chao, H.-R., & Chao, M.-R. (2002). Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons and total suspended particulate in indoor and outdoor atmosphere of a Taiwanese temple. *Journal of Hazardous Materials*(A95), 1-12.
- Lin, T.-C., Yang, C.-R., & Chang, F.-H. (2007). Burning characteristics and emission products related to metallic content in incense. *Journal of Hazardous Materials*(140), 165–172.
- Lung, S.-C. C., & Hu, S.-C. (2002). Generation rates and emission factors of particulate matter and particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons of incense sticks. *Chemosphere*(50), 673-679.
- Masiha, J., Masiha, A., Kulshrestha, A., Singhvi, R., & Tanej, A. (2010). Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor atmosphere in the North central part of India. *Journal of Hazardous Materials*(177), 190–198.
- Maspat, V. (2012). *Health risk assessment of workers exposure to BTEX from incense smoke at worship places in Bangkok*. (Master's thesis), Program in Environment, Graduate School, Chulalongkorn University.
- Massey, D., Kulshrestha, A., Masih, J., & Taneja, A. (2012). Seasonal trends of PM<sub>10</sub>, PM<sub>5.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> & PM<sub>1.0</sub> in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. *Building and Environment*(47), 223-231.
- Naspinski, C., Lingenfelter, R., Cizmas, L., Naufal, Z., He, L. Y., Islamzade, A., . . . Donnelly, K. C. (2008). A comparison of concentrations of polycyclic aromatic compounds detected in dust samples from various regions of the world. *Environment International*(34), 988–993.

- Navasumrit, P., Arayasiri, M., Hiang, O. M. T., Leechawengwongs, M., Promvijit, J., Choonvisase, S., . . . Ruchirawat, M. (2008). Potential health effects of exposure to carcinogenic compounds in incense smoke in temple workers. *Chemico-Biological Interactions*(173), 19–31.
- NIOSH. (1998). POLYNUCLEAR AROMATIC HYDROCARBONS by HPLC *METHOD 5506*.
- NMAM. (1998). Polynuclear aromatic hydrocarbons by HPLC: Method 5506. Retrieved 23 January 2013 <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/5506.pdf>
- Ohuraa, T., Amagai, T., Sugiyama, T., Fusaya, M., & Matsushita, H. (2004). Characteristics of particle matter and associated polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor air in two cities in Shizuoka, Japan. *Atmospheric Environment*(38), 2045–2054.
- ommea, H. F., T.Lahrz, M.Piloty, dt, H. G., A.Oddoy, & H.Ru“den. (2004). Polycyclic aromatic hydrocarbons inside and outside of apartments in an urban area. *Science of the Total Environment*(326), 143-149.
- Ott, W. R., & Siegmann, H. C. (2006). Using multiple continuous fine particle monitors to characterize tobacco, incense, candle, cooking, wood burning, and vehicular sources in indoor, outdoor, and in-transit settings. *Atmospheric Environment*(40), 821–843.
- See, S. W., & Balasubramanian, R. (2011). Characterization of fine particle emissions from incense burning. *Building and Environment*(46), 1074-1080.
- Shun-Cheng, L., & Bei, W. (2004). Characteristics of emissions of air pollutants from burning of incense in a large environmental chamber. *Atmospheric Environment*(38), 941–951.
- Wang, B., Lee, S. C., & Ho, K. F. (2006). Chemical composition of fine particles from incense burning in a large environmental chamber. *B. Wang, S.C. Lee, K.F. Ho*(40), 7858–7868.
- Wu, S.-P., Wang, X.-H., Hong, H.-S., & Yan, J.-M. (2009). Measurement of Particulate n-alkanes and PAHs Inside and Outside a Temple in Xiamen, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 9(1), 120-138.
- Yang, C.-R., Lin, T.-C., & Chang, F.-H. (2007). Particle size distribution and PAH concentrations of incense smoke in a combustion chamber. *Environmental Pollution*(145), 606-615.
- Yang, T.-T., Lin, S.-T., Lin, T.-S., & Hong, W.-L. (2012a). Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon emissions in the particulate phase from burning incenses with various atomic hydrogen/carbon ratios. *Science of the Total Environment*(414), 335-342.

Yang, T.-T., Lin, S.-T., Lin, T.-S., & Hong, W.-L. (2012b). Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon emissions in the particulate phase from burning incenses with various atomic hydrogen/carbon ratios. *Science of the Total Environment*(414), 335–342.

เกศศุภา การวิวัฒน์ & ชนัญฐาพรรณ ปานณรงค์. (2554). ปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษรับสัมผัสน. (ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต), สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนพร ธนังชูศิลป์ & ภัทรพร เกียรติธรรม. (2551). ปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยในควันธูป. (ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต), สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เบญจวรรณ คำศรี & วชิรารวรรณ นนทกนก. (2552). ผลของปริมาณคาร์บอนในรูปที่มีต่อการปลดปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (*pPAHs*). (ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต), สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศศิธร เรืองตระกูล. (2555). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ. (วิทยานิพนธ์ปริญยามหาบัณฑิต), สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เมทินี วรรณวิจิตร. (2548). การกระจายตัวตามแนวนอนของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (*pPAHs*) บริเวณพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญยามหาบัณฑิต), สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ญาณเดช ศิริบุญกุลขร. (2012). ระวังควันธูปก่อมะเร็ง. Retrieved 25 January 2012 [http://nasa-air.blogspot.com/2010\\_01\\_01\\_Archive.html](http://nasa-air.blogspot.com/2010_01_01_Archive.html)

ศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย. (2551). วิจัยพบควันธูป 1 ดอก มีสารก่อมะเร็งเท่าบุหรี่ 1 มวน. Retrieved 25 January 2012 <http://www.nstda.or.th/sci2pub/thaismc/factsheet/hotnews/FS-008.pdf>



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





ภาคผนวก ก.

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

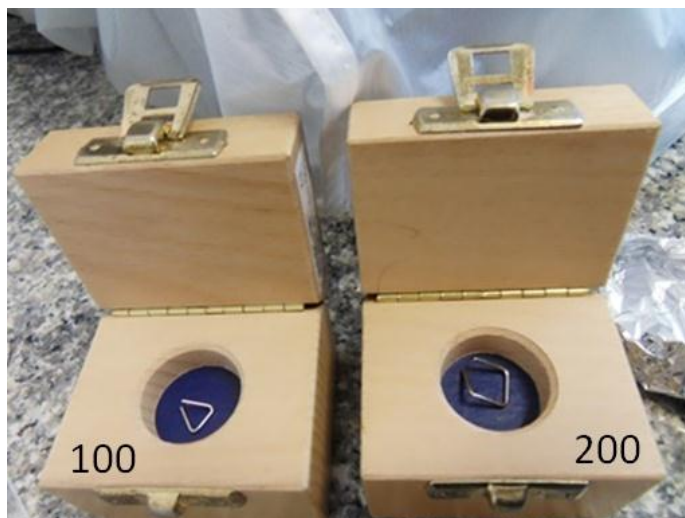
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



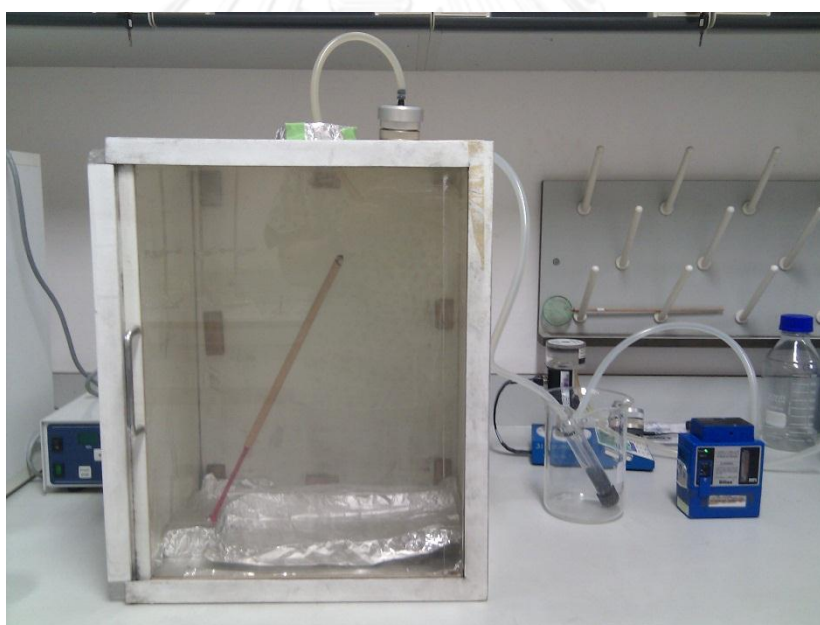
ภาพที่ ก.1 รูปชนิด KW-L KW-M KW-S และ ES (เรียงจากซ้ายไปขวา)



ภาพที่ ก.2 เครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Microbalance) รุ่น METLER UMX 2



ภาพที่ ก.3 ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 และ 200 กรัม



ภาพที่ ก.4 ลักษณะตู้ทดลองระบบกึ่งปิด



ภาพที่ ก.5 การสกัดด้วยเครื่อง Ultrasonic Bath

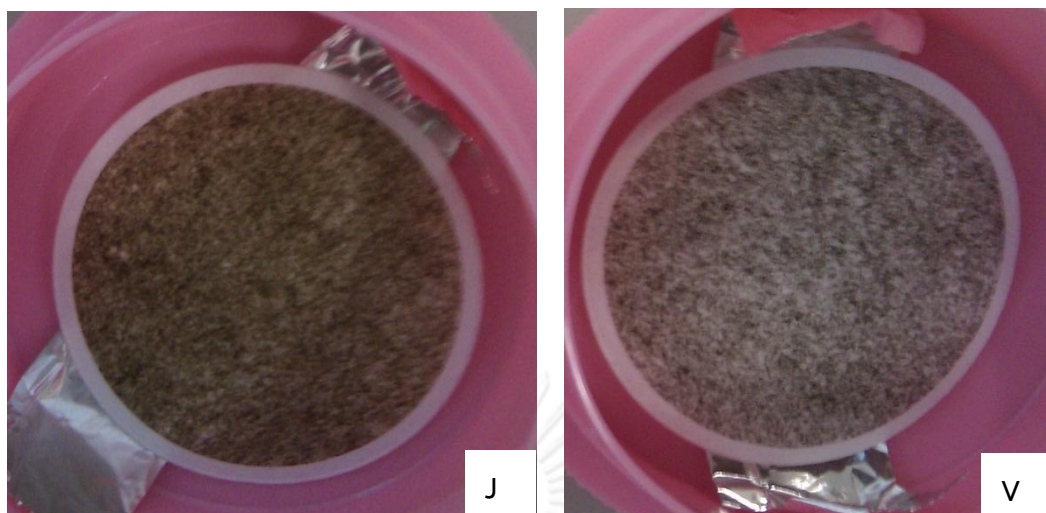


ภาพที่ ก.6 การระเหยแห้งโดยใช้เครื่อง Nitrogen purge with heating box



ภาพที่ ก.7 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)  
detector คือ Fluorescence detector และ UV detector





ภาพที่ ก.8 ตัวอย่างกระดาษกรองที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{2.5}$



ภาพที่ ก.9 ตัวอย่างกระดาษกรองที่ใช้เก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$



ภาคผนวก ข.

ใบรับรองจริยธรรมและแบบสอบถาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**แบบสอบถามข้อมูลพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา**

สถานประกอบพิธีกรรม..... วันที่ทำการเก็บข้อมูล...../...../.....

**1. ข้อมูลทั่วไป**

เพศ  ชาย  หญิง

อายุ.....ปี

น้ำหนัก.....กิโลกรัม

**2. ข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน**

- ท่านปฏิบัติงานในตำแหน่ง หน้าที่ หรือส่วนงานใด.....

- ท่านปฏิบัติงานในตำแหน่งนี้มาเป็นระยะเวลา.....ปี.....เดือน

- จำนวนวันที่ปฏิบัติงานในวันต่อสัปดาห์.....วัน/สัปดาห์

- ระยะเวลาปฏิบัติงานที่ชั่วโมงต่อวัน.....ชั่วโมง

- ท่านเริ่มปฏิบัติงานเวลา.....น. ถึง.....น.

- ช่วงพักเวลา.....ช่วง คือ 1. ....น.ถึง.....น. กิจกรรมระหว่างพัก.....

2. ....น.ถึง.....น. กิจกรรมระหว่างพัก.....

**3. ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ**

- ท่านเคยตรวจสอบสุขภาพประจำปีหรือไม่  ไม่เคย  เคย

- ท่านตรวจสุขภาพครั้งล่าสุด  ต่ำกว่า 3 เดือน  3 เดือน - 6 เดือน

7 เดือน-1ปี  มากกว่า 1 ปี

- ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่  ไม่มี  มี โปรดระบุ.....

- ท่านสูบบุหรี่หรือไม่  ไม่สูบ  สูบ

**4. ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหรืออาการในขณะปฏิบัติงาน**

ความรู้สึกหรืออาการ	ไม่เคย	นานๆครั้ง	บ่อยๆ
ในขณะปฏิบัติงานท่านเคยมีอาการต่อไปนี้บ้างหรือไม่			
1. แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล			
2. เยื่อตาอักเสบ/ตาแดง/หนังตาบวม/แพ้แสง			
3. ปวดศีรษะ/วิงเวียนศีรษะ/หน้ามืด/มึนงง			
4. ผิวหนังมีสีเข้มขึ้น/ผิวหนังหนาและคัน/เส้นโลหิตฝอยของผิวหนังพองตัว/ ผิวหนังอักเสบ/บวมแดง			
5. ผิวหนังมีอาการแสบร้อน/ไวต่อแสงและมีตุ่มหนองเกิดขึ้น			
6. หายใจมีเสียง/ไอ/แน่นหน้าอก หายใจลำบาก			
7. เป็นลม/หมดสติ			

5. ท่านคาดว่าจะปฏิบัติงานในตำแหน่งนี้อีกกี่ปี.....ปี

**6. ข้อมูลเกี่ยวกับอุปสรรคป้องกัน**

- ท่านสวมหน้ากากป้องกันสารมลพิษในขณะปฏิบัติงานหรือไม่  ไม่สวม  สวมแต่เป็นบางครั้ง  สวมทุกครั้ง

- ชนิดหน้ากากที่ท่านใช้สวมป้องกันสารมลพิษในขณะปฏิบัติงาน.....

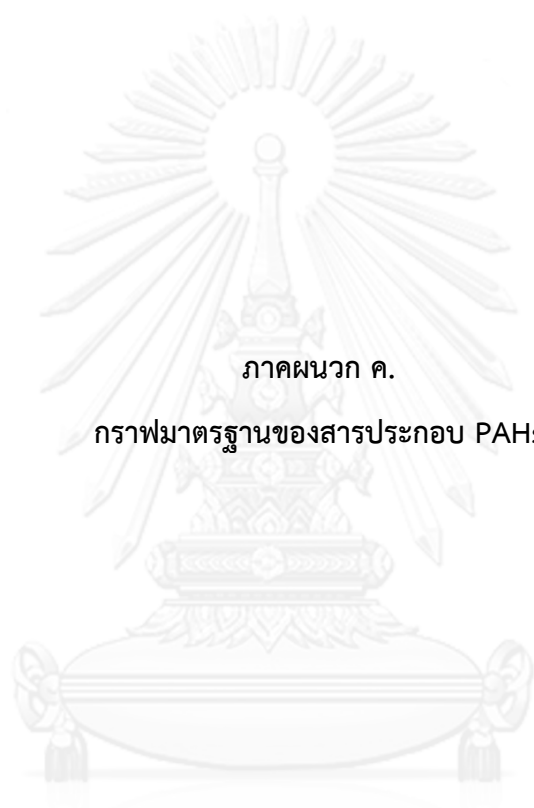


เลขที่ใบตรวจราชการ..... ๐๘๘ ๒ / ๕๕

- 3 พ.ร.บ. 2555

- 2 พ.ร.บ. 2556

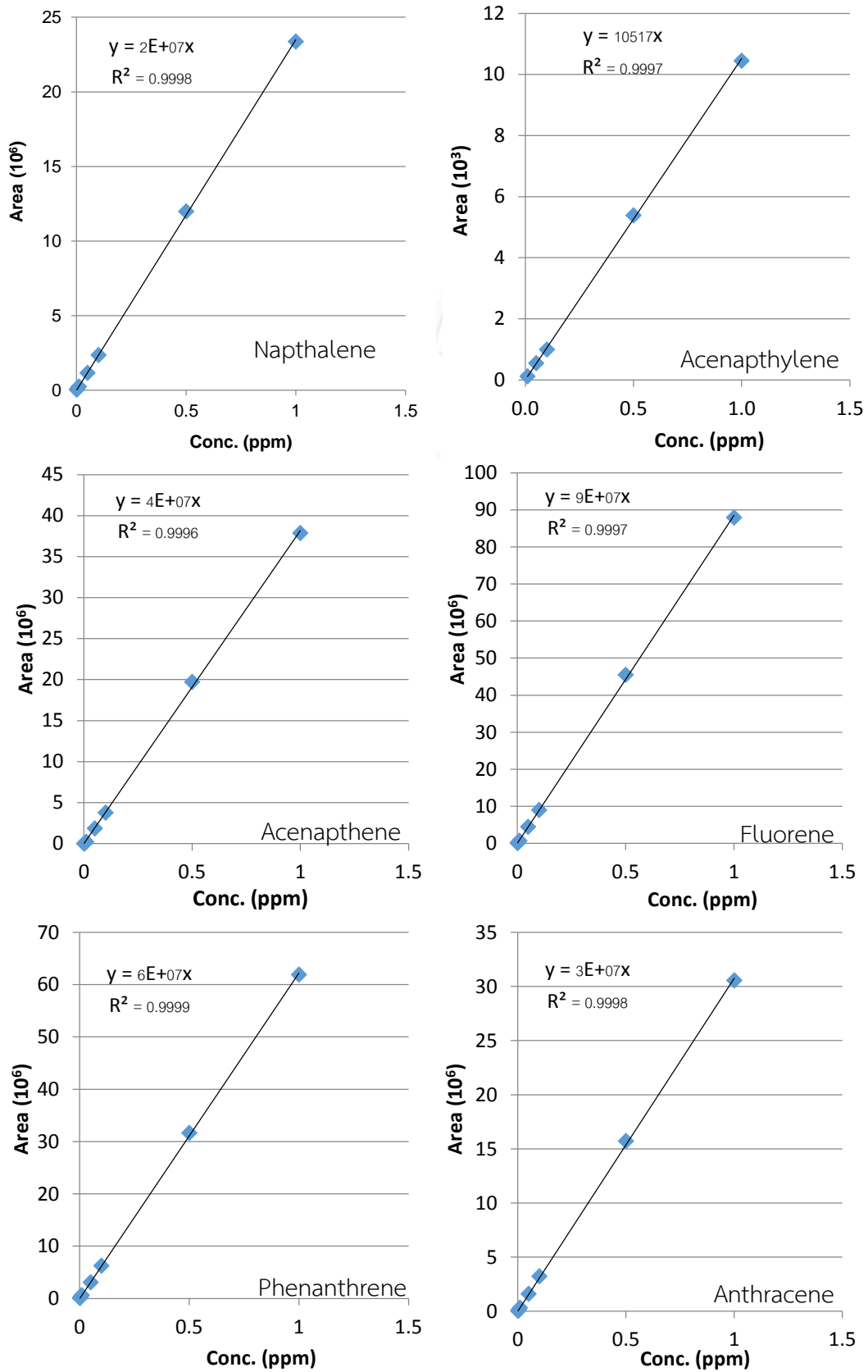




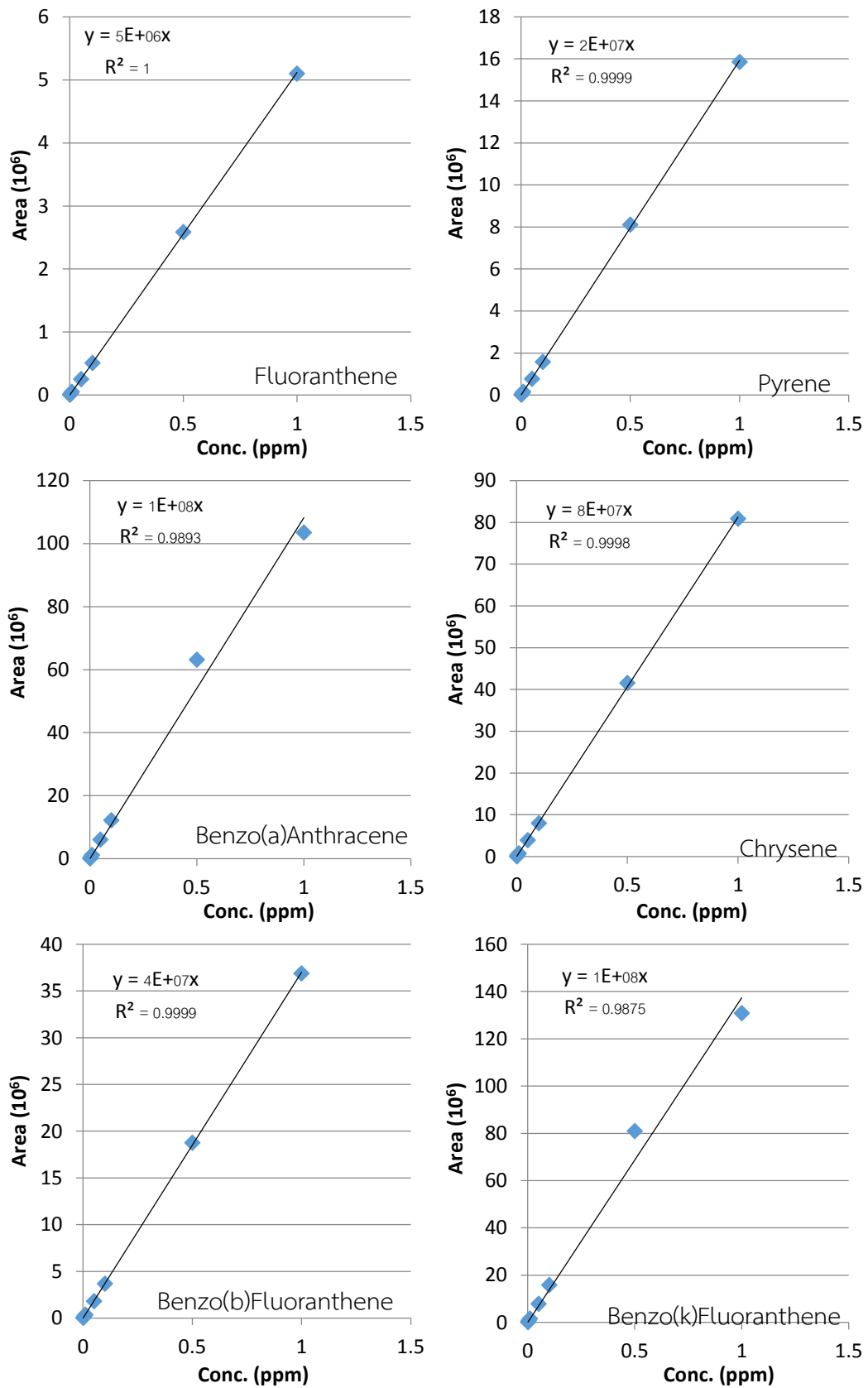
ภาคผนวก ค.

กราฟมาตรฐานของสารประกอบ PAHs

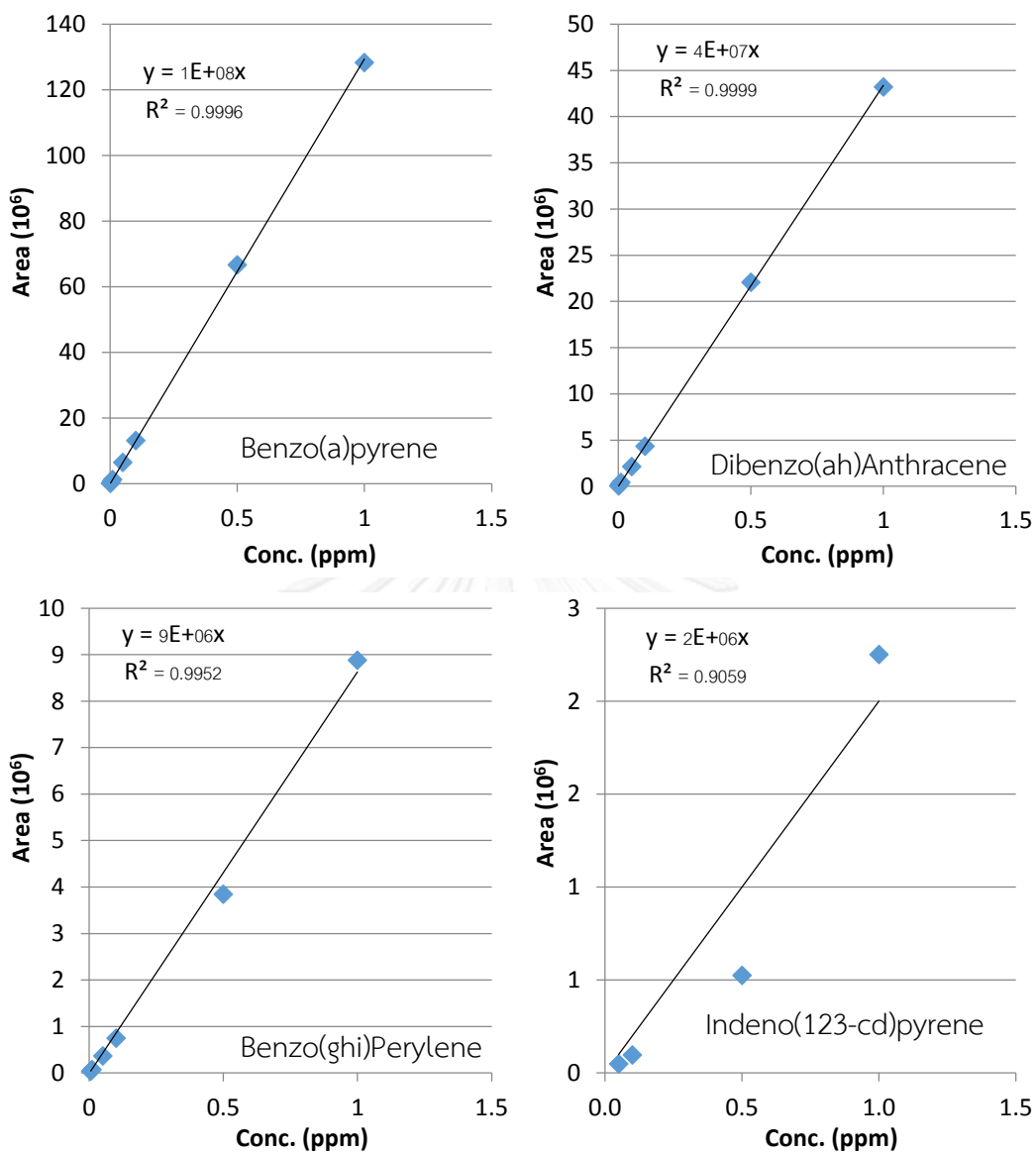
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ ค.1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด



ภาพที่ ค.1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด (ต่อ)



ภาพที่ ค.1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด (ต่อ)

ตารางที่ ค.1 ค่า Recovery test ของกระตาศกรองแต่ละชนิด

PAHs	Recovery A (mg/L)			Recovery PM 2.5 (mg/L)			Recovery PM 10 (mg/L)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Nap	63.92	67.01	64.95	73.20	78.35	81.44	67.01	71.13	73.20
Acpy	88.78	87.76	90.82	79.59	90.82	92.86	91.84	132.65	91.84
Ace	78.35	82.47	82.47	78.35	84.54	85.57	90.72	91.75	92.78
Fl	81.63	87.76	86.73	88.78	93.88	93.88	94.90	93.88	93.88
Phe	87.76	94.90	94.90	101.02	106.12	109.18	100.00	100.00	98.98
Ant	80.95	86.67	86.67	90.48	93.33	94.29	87.62	87.62	87.62
Flu	92.86	101.02	102.04	87.76	91.84	93.88	102.04	102.04	102.04
Pyr	101.03	111.34	113.40	63.92	75.26	82.47	117.53	117.53	154.64
B(a)A	101.02	111.22	112.24	117.35	112.24	116.33	113.27	113.27	114.29
Chry	99.00	109.00	110.00	109.00	107.00	120.00	110.00	111.00	111.00
B(b)F	100.00	110.20	111.22	111.22	117.35	105.10	111.22	111.22	111.22
B(k)F	96.94	108.16	110.20	83.67	88.78	90.82	114.29	114.29	114.29
B(a)P	103.16	114.74	116.84	93.68	102.11	86.32	124.21	124.21	125.26
D(ah)A	102.17	113.04	113.04	104.35	96.74	94.57	116.30	117.39	117.39





ภาคผนวก ง.

ข้อมูลปริมาณรูปและจำนวนคนที่เข้ามาสักการะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

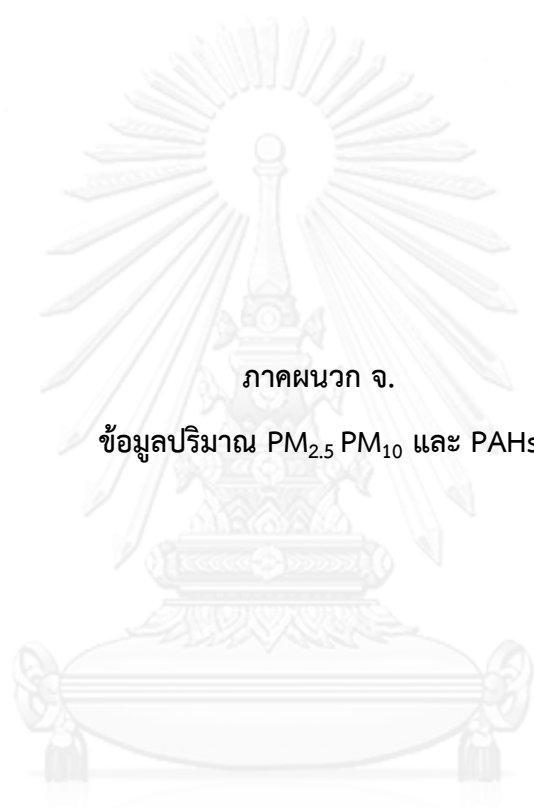
ตารางที่ ง-1 จำนวนผู้เข้าไปสักการะและปริมาณรูปของพระพรหมโรงแรมเอราวัณ

ฤดูเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง (พ.ศ. 2555)	จำนวนคน (คน)	จำนวนรูป (ดอก)	
ฤดูร้อน	14 มีค	4340	52080	
	วันธรรมดา	28 มีค	4160	49920
		25 เมย	2007	24084
	วันหยุด	18 มีค	5185	62220
		1 เมย	2045	24540
		29 เมย	3353	40236
ฤดูฝน	วันธรรมดา	4 กค	2361	28332
		18 กค	3291	39492
	วันหยุด	1 กค	5022	60264
		15 กค	2780	33360
ฤดูหนาว	วันธรรมดา	21 พย	5158	61896
		12 ธค	4607	55284
	วันหยุด	25 พย	5704	68448
		16 ธค	7886	94632

ตารางที่ ง-2 จำนวนผู้เข้าไปสักการะและปริมาณรูปของวัด B

ฤดูเก็บ ตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง (พ.ศ. 2555)	จำนวนคน (คน)			จำนวนรูป (ดอก)			
		S	M	L	S	M	L	
ฤดูร้อน	วันธรรมดา	21 มีค	143	21	5	2149	64	14
		4 เมย	201	39	4	3019	116	12
	วันหยุด	25 มีค	983	93	40	14752	280	120
		8 เมย	1283	107	27	19238	320	80
ฤดูฝน	วันธรรมดา	11 กค	179	23	7	2692	69	21
		25 กค	33	10	4	500	30	12
	วันหยุด	8 กค	764	65	11	11466	196	33
		22 กค	757	136	39	11348	409	118
ฤดูหนาว	วันธรรมดา	28 พย	288	44	15	4320	132	45
		19 ธค	141	15	8	2117	46	24
	วันหยุด	2 ธค	440	61	23	6599	182	69
		23 ธค	457	83	20	6859	250	61





ภาคผนวก จ.

ข้อมูลปริมาณ  $PM_{2.5}$   $PM_{10}$  และ PAHs

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ จ.1 ปริมาณ PM<sub>2.5</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

สถานประกอบ พิธีกรรมทาง ศาสนา	ฤดู	วัน	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				
			G	J	V	A	เฉลี่ย
วัด A	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	141.0335	942.3624	106.3564	-	396.5841
			154.0400	821.7472	224.6621	95.5281	323.99
		วันหยุด	55.1875	468.3582	79.4686	56.7918	164.95
			137.5297	1164.1479	45.3082	92.6282	359.90
		วันหยุด	179.0702	1421.8478	242.7784	102.0147	486.43
			83.7613	994.6656	85.8098	-	388.08
	ฤดูฝน	วันธรรมดา	100.3217	927.9788	76.6347	53.7580	289.67
			60.7755	2640.5863	-	46.8293	916.06
		วันหยุด	110.7577	1900.0824	47.5202	88.2763	536.66
			111.7855	1660.1053	91.8642	98.5348	490.57
		วันธรรมดา	177.8257	993.4751	160.3447	126.8155	364.62
			231.0576	1716.6911	328.5432	71.0458	586.83
วันหยุด	251.3893	3033.9094	125.3164	104.6016	878.80		
	641.4232	2750.0174	194.7513	188.2205	943.60		
วัด B	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	76.1292	84.9773	78.0488	66.3462	76.3754
			35.8546	47.1581	29.5959	37.8358	37.6111
		วันหยุด	80.1016	80.1960	90.7868	55.4029	76.6218
			52.0135	44.9508	63.3738	29.9298	47.5670
		วันธรรมดา	26.1768	39.2747	46.2910	22.2953	33.5095
			24.5365	40.6351	25.0063	22.0696	28.0619
	ฤดูฝน	วันหยุด	40.5520	63.2775	26.2387	19.2885	37.3391
			33.5722	55.2236	61.7658	26.0112	44.1432
		วันธรรมดา	25.5156	31.4088	31.2390	19.0515	26.8037
			54.2002	51.8155	55.8536	46.0183	51.9719
		วันหยุด	77.0058	91.6072	82.3158	63.7237	78.6631
			38.2836	25.1454	30.9812	22.8767	29.3217

ตารางที่ จ.2 ปริมาณ PM<sub>10</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

สถานประกอบพิธีกรรม ทางศาสนา	ฤดู	วัน	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
			G	J	V	เฉลี่ย
วัด A	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	160.3328	961.7546	132.2064	418.0979
			179.4873	858.5175	255.7429	431.2492
		วันหยุด	79.9882	498.7663	104.2996	227.6847
			161.1655	1189.9669	53.7551	468.2958
			213.6876	1470.4982	275.9920	653.3926
			106.8909	1032.0066	108.9487	415.9487
	ฤดูฝน	วันธรรมดา	137.4737	968.3601	104.6358	403.4899
		81.2424	2703.9905	-	1392.6165	
	วันหยุด	137.3573	1948.3130	67.1621	717.6108	
		134.7099	1698.2574	104.6986	645.8886	
	ฤดูหนาว	วันธรรมดา	217.9576	1035.4999	195.0973	482.8516
			261.1823	1760.6974	356.3709	792.7502
		วันหยุด	263.5622	3068.5740	138.3615	1156.8326
			696.0407	2806.1561	231.5742	1244.5903
			104.4488	114.0605	105.8731	108.1275
			58.5603	65.4284	43.1156	55.7014
	ฤดูร้อน	วันหยุด	104.5445	97.3265	109.0360	103.6357
		59.3073	55.7117	77.9580	64.3257	
วัด B	ฤดูฝน	วันธรรมดา	34.5697	44.5250	54.8769	44.6572
			38.9526	59.2903	42.2253	46.8227
		วันหยุด	52.1807	79.1755	37.9181	56.4248
			56.4040	74.4219	84.8671	71.8976
			43.1749	46.8887	42.3799	44.1478
			77.5990	72.8445	82.2640	77.5692
	ฤดูหนาว	วันธรรมดา	111.6287	123.5648	119.0165	118.0700
		วันหยุด	53.5327	35.8432	47.6491	45.6750

ตารางที่ จ.3 ปริมาณ t-PAHs<sub>2,5</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

สถานประกอบ พิธีกรรมทางศาสนา	ฤดู	วัน	t-PAHs <sub>2,5</sub> (ng/m <sup>3</sup> )					
			G	J	V	A	เฉลี่ย	
วัด A	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	8.4982	66.4035	7.3055	9.9562	23.0408	
			4.5501	41.4006	11.3532	5.0624	15.5916	
		วันหยุด	5.0758	1.1397	3.1289	-	3.1148	
			6.8288	90.2856	3.9201	4.0136	26.2620	
			12.0856	136.3367	15.8624	4.5242	42.2022	
			4.9879	32.0588	6.1302	4.1402	11.8293	
	ฤดูฝน	วันธรรมดา	6.2941	66.2817	4.7384	4.2390	20.3883	
			3.6365	200.7789	-	2.4572	68.9575	
		วันหยุด	5.2763	130.1547	3.4440	6.0869	36.2405	
			3.0331	119.8733	7.5023	4.7599	33.7922	
			วันธรรมดา	7.5456	102.7304	6.3422	3.8327	30.1127
				10.8597	160.4201	18.4035	1.5117	47.7988
วันหยุด	23.1339	295.0301	12.1823	5.2434	83.8974			
	36.7125	261.2925	13.8939	9.2178	80.2792			
วัด B	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	4.6661	0.6009	1.1927	1.3536	1.9533	
			4.4682	3.2958	3.0234	1.3279	3.0288	
		วันหยุด	2.9005	1.8070	3.4972	0.9875	2.2980	
			1.3952	2.7076	3.6005	0.6129	2.0790	
			วันธรรมดา	1.5770	2.2341	2.1970	1.2561	1.8161
				2.6987	2.1514	2.5618	1.1474	2.1398
	ฤดูฝน	วันหยุด	3.9754	2.4450	1.5846	1.1312	2.2840	
			2.5048	3.8934	2.8324	0.7795	2.5025	
		วันธรรมดา	4.2645	2.5072	2.5090	1.6779	2.7396	
			10.7972	2.9471	2.8639	1.3482	4.4891	
			วันหยุด	4.2565	2.4340	5.0152	2.0644	3.4425
				2.7444	2.0985	2.3971	0.9354	2.0438

ตารางที่ จ.2 ปริมาณ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ของทั้ง 2 สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา

สถานประกอบพิธีกรรม ทางศาสนา	ฤดู	วัน	t-PAHs <sub>2.5-10</sub> (ng/m <sup>3</sup> )			
			G	J	V	เฉลี่ย
ศาลท้าวมหาพรหม โรงแรมเอราวัณ	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	1.7200	1.1919	1.9148	1.6089
			1.7283	1.6326	1.8696	1.7435
		วันหยุด	0.8793	1.1843	1.3196	1.1277
			1.3361	1.4710	1.3820	1.3964
		วันหยุด	1.6382	1.2539	1.5760	1.4894
			0.9327	1.0574	1.0793	1.0231
	ฤดูฝน	วันธรรมดา	0.4853	0.3023	0.4943	0.4273
			0.2979	0.5479		0.4229
		วันหยุด	5.7390	2.5448	0.5658	2.9499
			0.4007	0.1645	0.0584	0.2079
		วันธรรมดา	0.5563	0.2285	0.4148	0.3999
			0.2351	0.2465	0.2447	0.2421
วันหยุด	0.2386	0.6489	0.4226	0.4367		
	0.3307	0.8752	0.2365	0.4808		
วัดกัลยาณมิตร รวมหาวิหาร	ฤดูร้อน	วันธรรมดา	1.4406	1.1365	1.2005	1.2592
			0.9920	1.3922	0.9699	1.1180
		วันหยุด	0.7878	0.9911	0.8236	0.8675
			0.9403	1.0442	0.9416	0.9754
		วันธรรมดา	0.0653	0.4177	0.4358	0.3062
			0.3110	0.0752	0.2251	0.2038
	วันหยุด	0.5129	0.2301	0.2238	0.3222	
		0.4602	0.1471	0.6117	0.4063	
	ฤดูหนาว	วันธรรมดา	0.2139	0.3384	0.2600	0.2707
			0.2926	0.3583	0.1638	0.2716
		วันหยุด	0.3667	0.4439	0.4691	0.4266
			0.1610	0.2424	0.1591	0.1875



ภาคผนวก ฉ.

ข้อมูลแบบสอบถาม

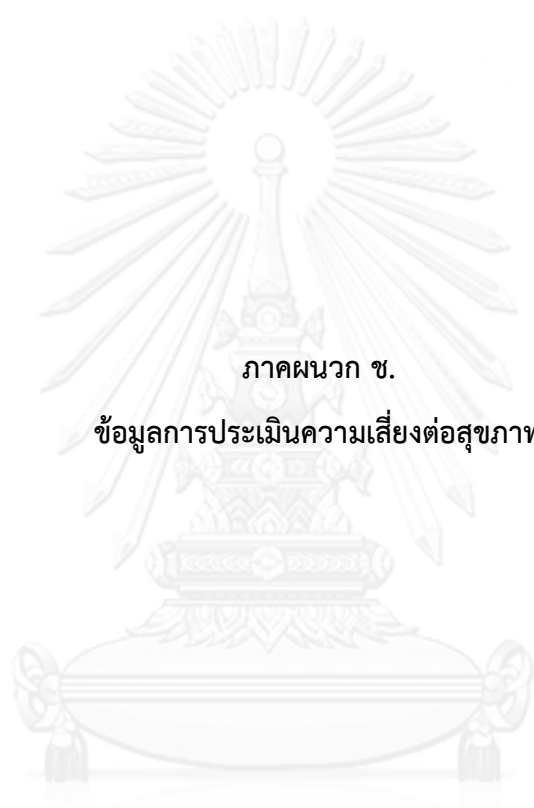
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลเพศ อายุ น้ำหนัก ระยะเวลาการทำงาน จากแบบสอบถาม

สถานประกอบพิธีกรรมทางศาสนา	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ตำแหน่งงาน	ทำงานเป็นเวลา (ปี)	ปฏิบัติงานที่วัน/สัปดาห์ (วัน)	ปฏิบัติงานที่ชั่วโมง/วัน (ชั่วโมง)
วัด A	ชาย	46	62	G	10 ปี 3 เดือน	7	12
	ชาย	44	71	G	8 เดือน	7	12
	ชาย	44	60	G	1 ปี 6 เดือน	7	12
	ชาย	50	74	G	4 ปี	7	12
	หญิง	39	125	V	22 ปี 11 เดือน	7	10
	หญิง	30	48	V	20 ปี 11 เดือน	7	10
	ชาย	40	48	J	5 ปี 2 เดือน	6	9
	ชาย	27	55	J	6 ปี 6 เดือน	6	9
	ชาย	59	67	J	37 ปี	6	9
	ชาย	30	83	J	8 ปี	6	9
	ชาย	30	55	J	5 ปี 6 เดือน	6	9
	ชาย	38	60	J	2 ปี 4 เดือน	6	9
	ชาย	45	71	J	15 ปี	6	9
ชาย	38	58	J	10 ปี	6	9	
วัด B	ชาย	47	48	G	10 ปี	7	10
	หญิง	73	65	V	7 ปี	7	10
	หญิง	42	60	V	6 เดือน	7	10
	ชาย	30	80	J	5 ปี	7	10
	หญิง	47	85	J	18 ปี	7	10
	หญิง	56	58	J	1 ปี 2 เดือน	7	10
	ชาย	46	55	J	12 ปี	7	10
วัดมังกรกมลาวาส	ชาย	40	60	G	5 ปี	7	12
	ชาย	51	65	G	18 ปี	7	12
	ชาย	38	56	G	6 ปี	7	12
	ชาย	45	80	J	3 ปี	7	12
	ชาย	41	80	J	11 ปี	7	12

	ชาย	50	50	J	5 ปี	7	12
	ชาย	54	60	J	4 ปี	7	12
	ชาย	54	91	J	15 ปี	7	12
วัดพระศรี มหาอุมา เทวี	ชาย	38	55	V	15 ปี	7	13
	ชาย	45	95	V	3 ปี	7	13
	ชาย	52	60	J	15 ปี	7	13
	หญิง	50	85	J	15 ปี	7	13
	ชาย	34	82	J	2 เดือน	7	13
	ชาย	35	76	J	9 เดือน	7	13
	ชาย	49	72	J	5 ปี	7	13





ภาคผนวก ช.

ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช-1 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสาร t-BaP<sub>eq</sub> ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

สถานประกอบ พิธีกรรมทางศาสนา	ตำแหน่งงาน	CDI (x10 <sup>-6</sup> ) (mg/kg BW-day)		Cancer risk (x10 <sup>-6</sup> )	
		t-BaP <sub>eq2.5</sub>	t-BaP <sub>eq2.5-10</sub>	t-BaP <sub>eq2.5</sub>	t-BaP <sub>eq2.5-10</sub>
วัด A	G	0.16	0.02	6.43	0.59
		0.12	0.01	4.62	0.42
		0.12	0.01	4.85	0.44
		0.09	0.01	3.42	0.31
	V	0.24	0.01	9.25	0.34
		0.36	0.01	13.94	0.52
	J	1.35	0.01	52.62	0.23
		3.14	0.01	122.36	0.53
		1.38	0.01	53.87	0.24
		2.72	0.01	105.94	0.46
		2.54	0.01	98.97	0.43
		1.37	0.01	53.56	0.23
		1.43	0.01	55.76	0.24
1.81	0.01	70.43	0.31		
วัด B	G	0.03	0.00	1.32	0.11
	V	0.01	0.00	0.23	0.02
		0.02	0.00	0.91	0.13
	J	0.05	0.01	1.91	0.27
		0.03	0.00	1.08	0.15
		0.00	0.00	0.15	0.02
		0.02	0.00	0.92	0.13

ตารางที่ ช-2 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสาร t-BaP<sub>eq2.5</sub> ของค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย

คนที่	CDI ( $\times 10^{-6}$ ) (mg/kg BW-day)			Cancer risk ( $\times 10^{-6}$ )		
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
1	142.54	0.21	15.22	142.54	0.21	15.22
2	102.42	0.15	10.93	102.42	0.15	10.93
3	107.54	0.16	11.48	107.54	0.16	11.48
4	75.71	0.11	8.08	75.71	0.11	8.08
5	253.73	0.37	27.08	253.73	0.37	27.08
6	382.43	0.55	40.82	382.43	0.55	40.82
7	109.36	0.16	11.67	109.36	0.16	11.67
8	254.30	0.37	27.14	254.30	0.37	27.14
9	111.95	0.16	11.95	111.95	0.16	11.95
10	220.18	0.32	23.50	220.18	0.32	23.50
11	205.69	0.30	21.96	205.69	0.30	21.96
12	111.31	0.16	11.88	111.31	0.16	11.88
13	115.88	0.17	12.37	115.88	0.17	12.37
14	146.38	0.21	15.62	146.38	0.21	15.62
15	110.27	0.16	11.77	110.27	0.16	11.77
16	24.69	0.04	2.64	24.69	0.04	2.64
17	99.25	0.14	10.59	99.25	0.14	10.59
18	262.88	0.38	28.06	262.88	0.38	28.06
19	148.62	0.21	15.86	148.62	0.21	15.86
20	20.79	0.03	2.22	20.79	0.03	2.22
21	127.36	0.18	13.59	127.36	0.18	13.59
22	169.00	0.24	18.04	169.00	0.24	18.04
23	143.15	0.21	15.28	143.15	0.21	15.28
24	199.24	0.29	21.27	199.24	0.29	21.27
25	108.16	0.16	11.55	108.16	0.16	11.55
26	197.85	0.29	21.12	197.85	0.29	21.12

27	81.12	0.12	8.66	81.12	0.12	8.66
28	50.07	0.07	5.34	50.07	0.07	5.34
29	105.15	0.15	11.22	105.15	0.15	11.22
30	285.22	0.41	30.44	285.22	0.41	30.44
31	117.17	0.17	12.51	117.17	0.17	12.51
32	129.56	0.19	13.83	129.56	0.19	13.83
33	146.46	0.21	15.63	146.46	0.21	15.63
34	225.44	0.33	24.06	225.44	0.33	24.06
35	215.51	0.31	23.00	215.51	0.31	23.00
36	95.65	0.14	10.21	95.65	0.14	10.21

ตารางที่ ข-3 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสาร t-BaP<sub>eq2.5-10</sub> ของค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย

คนที่	CDI ( $\times 10^{-6}$ ) (mg/kg BW-day)			Cancer risk ( $\times 10^{-6}$ )		
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
1	5.06	0.01	0.26	5.06	0.01	0.26
2	3.64	0.01	0.19	3.64	0.01	0.19
3	3.82	0.01	0.20	3.82	0.01	0.20
4	2.69	0.00	0.14	2.69	0.00	0.14
5	9.01	0.01	0.46	9.01	0.01	0.46
6	13.57	0.02	0.70	13.57	0.02	0.70
7	3.88	0.01	0.20	3.88	0.01	0.20
8	9.03	0.01	0.47	9.03	0.01	0.47
9	3.97	0.01	0.20	3.97	0.01	0.20
10	7.82	0.01	0.40	7.82	0.01	0.40
11	7.30	0.01	0.38	7.30	0.01	0.38
12	3.95	0.01	0.20	3.95	0.01	0.20
13	4.11	0.01	0.21	4.11	0.01	0.21
14	5.20	0.01	0.27	5.20	0.01	0.27

15	3.91	0.01	0.20	3.91	0.01	0.20
16	0.88	0.00	0.05	0.88	0.00	0.05
17	3.52	0.01	0.18	3.52	0.01	0.18
18	9.33	0.01	0.48	9.33	0.01	0.48
19	5.28	0.01	0.27	5.28	0.01	0.27
20	0.74	0.00	0.04	0.74	0.00	0.04
21	4.52	0.01	0.23	4.52	0.01	0.23
22	6.00	0.01	0.31	6.00	0.01	0.31
23	5.08	0.01	0.26	5.08	0.01	0.26
24	7.07	0.01	0.36	7.07	0.01	0.36
25	3.84	0.01	0.20	3.84	0.01	0.20
26	7.02	0.01	0.36	7.02	0.01	0.36
27	2.88	0.00	0.15	2.88	0.00	0.15
28	1.78	0.00	0.09	1.78	0.00	0.09
29	3.73	0.01	0.19	3.73	0.01	0.19
30	10.12	0.02	0.52	10.12	0.02	0.52
31	4.16	0.01	0.21	4.16	0.01	0.21
32	4.60	0.01	0.24	4.60	0.01	0.24
33	5.20	0.01	0.27	5.20	0.01	0.27
34	8.00	0.01	0.41	8.00	0.01	0.41
35	7.65	0.01	0.39	7.65	0.01	0.39
36	3.40	0.01	0.18	3.40	0.01	0.18

ภาคผนวก ซ.

ตัวอย่างผลการคำนวณทางสถิติ โดย SPSS For Windows 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ซ.1 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway ANOVA ของการรับสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของวัด A

#### Descriptive Statistics

	N	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
G-PM2.5-วัดA	14	173.9970	39.15050	146.48777
J	14	982.2027	196.53878	735.38076
V	13	139.1814	23.81579	85.86904
A	13	105.4204	15.43747	55.66058
Valid N (listwise)	13			

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		J	V	A	G-PM2.5-วัดA
N		14	13	13	14
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	982.2027	139.1814	105.4204	173.9970
	Std. Deviation	735.38076	85.86904	55.66058	146.48777
	Absolute	.136	.187	.275	.272
Most Extreme Differences	Positive	.136	.187	.275	.272
	Negative	-.122	-.137	-.146	-.209
Kolmogorov-Smirnov Z		.509	.675	.992	1.017
Asymp. Sig. (2-tailed)		.958	.752	.279	.252

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5-วัดA

LSD

(I) 1=G, 2=J, 3=V, 4=A	(J) 1=G, 2=J, 3=V, 4=A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	2.00	-808.20565*	145.74758	.000	-1100.9483	-515.4630
1.00	3.00	34.81563	148.52397	.816	-263.5036	333.1348
	4.00	68.57658	148.52397	.646	-229.7426	366.8958
	1.00	808.20565*	145.74758	.000	515.4630	1100.9483
2.00	3.00	843.02128*	148.52397	.000	544.7021	1141.3405
	4.00	876.78223*	148.52397	.000	578.4631	1175.1014
	1.00	-34.81563	148.52397	.816	-333.1348	263.5036
3.00	2.00	-843.02128*	148.52397	.000	-1141.3405	-544.7021
	4.00	33.76095	151.24941	.824	-270.0324	337.5543
	1.00	-68.57658	148.52397	.646	-366.8958	229.7426
4.00	2.00	-876.78223*	148.52397	.000	-1175.1014	-578.4631
	3.00	-33.76095	151.24941	.824	-337.5543	270.0324

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.





ตารางที่ ซ.2 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway ANOVA ของการรับสัมผัส PM<sub>10</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของวัด A

	N	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
G PM10 วัดA	14	202.2199	41.07451	153.68673
J	14	1017.9882	199.07944	744.88704
V	12	166.3866	27.42136	94.99038
Valid N (listwise)	12			

		G PM10 วัดA	J	V
N		14	14	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	202.2199	1017.9882	166.3866
	Std. Deviation	153.68673	744.88704	94.99038
	Absolute	.273	.135	.227
Most Extreme Differences	Positive	.273	.135	.227
	Negative	-.213	-.119	-.118
Kolmogorov-Smirnov Z		1.023	.506	.787
Asymp. Sig. (2-tailed)		.246	.960	.565

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM10

LSD

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	-815.76833*	169.25895	.000	-1158.4152	-473.1215
	3.00	38.46257	172.48322	.825	-310.7115	387.6366
2.00	1.00	815.76833*	169.25895	.000	473.1215	1158.4152
	3.00	854.23090*	172.48322	.000	505.0569	1203.4049
3.00	1.00	-38.46257	172.48322	.825	-387.6366	310.7115
	2.00	-854.23090*	172.48322	.000	-1203.4049	-505.0569

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ซ.3 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway ANOVA ของการรับสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของวัด B

	N	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
G-PM2.5 วัดB	12	46.9951	5.99458	20.76585
J	12	54.6392	6.16360	21.35132
V	12	51.7914	6.82060	23.62725
A	12	35.9041	5.09518	17.65024
Valid N (listwise)	12			

		G-PM2.5 วัดB	J	V	A
N		12	12	12	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	46.9951	54.6392	51.7914	35.9041
	Std. Deviation	20.76585	21.35132	23.62725	17.65024
Most Extreme Differences	Absolute	.205	.156	.224	.216
	Positive	.205	.156	.224	.216
	Negative	-.170	-.134	-.128	-.170
Kolmogorov-Smirnov Z		.711	.540	.778	.748
Asymp. Sig. (2-tailed)		.693	.933	.581	.631

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5

LSD

(I)	(J)	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	-7.64403	8.55589	.376	-24.8873	9.5992
	3.00	-4.79626	8.55589	.578	-22.0395	12.4470
	4.00	11.09101	8.55589	.202	-6.1522	28.3343
2.00	1.00	7.64403	8.55589	.376	-9.5992	24.8873
	3.00	2.84778	8.55589	.741	-14.3955	20.0910
	4.00	18.73504*	8.55589	.034	1.4918	35.9783
3.00	1.00	4.79626	8.55589	.578	-12.4470	22.0395
	2.00	-2.84778	8.55589	.741	-20.0910	14.3955
	4.00	15.88727	8.55589	.070	-1.3560	33.1305
4.00	1.00	-11.09101	8.55589	.202	-28.3343	6.1522
	2.00	-18.73504*	8.55589	.034	-35.9783	-1.4918
	3.00	-15.88727	8.55589	.070	-33.1305	1.3560

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



ตารางที่ ข.4 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway ANOVA ของการรับสัมผัส PM<sub>10</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของวัด B

#### Descriptive Statistics

	N	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
G-PM10 วัด B	12	66.2419	7.76494	26.89854
J	12	72.4234	7.92396	27.44939
V	12	70.5983	8.55392	29.63163
Valid N (listwise)	12			

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		G-PM10 วัด B	J	V
N		12	12	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	66.2419	72.4234	70.5983
	Std. Deviation	26.89854	27.44939	29.63163
	Absolute	.268	.153	.202
Most Extreme Differences	Positive	.268	.153	.202
	Negative	-.172	-.102	-.135
Kolmogorov-Smirnov Z		.930	.529	.700
Asymp. Sig. (2-tailed)		.353	.942	.711

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM10

LSD

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	-6.18148	11.43832	.593	-29.4529	17.0900
	3.00	-4.35637	11.43832	.706	-27.6278	18.9151
2.00	1.00	6.18148	11.43832	.593	-17.0900	29.4529
	3.00	1.82512	11.43832	.874	-21.4463	25.0966
3.00	1.00	4.35637	11.43832	.706	-18.9151	27.6278
	2.00	-1.82512	11.43832	.874	-25.0966	21.4463

ตารางที่ ซ.5 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ระหว่างฤดูที่  
วัด A

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
summer A2.5	18	45.31	1421.85	408.2297	105.25906	446.57635
rainy A2.5	11	47.52	2640.59	702.5829	283.24972	939.43303
cold A2.5	12	125.32	3033.91	883.7287	302.46987	1047.78638
Valid N (listwise)	11					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		summer A2.5	rainy A2.5	cold A2.5
N		18	11	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	408.2297	702.5829	883.7287
	Std. Deviation	446.57635	939.43303	1047.78638
	Absolute	.311	.372	.285
Most Extreme Differences	Positive	.311	.372	.285
	Negative	-.208	-.243	-.235
Kolmogorov-Smirnov Z		1.320	1.233	.988
Asymp. Sig. (2-tailed)		.061	.096	.283

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1	summer A2.5 - rainy A2.5	215.65369	586.04097	176.69800	-609.36137	178.05399	1.220	10	.250
Pair 2	summer A2.5 - cold A2.5	418.65505	619.14521	178.73183	-812.04115	-25.26895	2.342	11	.039
Pair 3	rainy A2.5 - cold A2.5	231.61717	556.79207	167.87913	-605.67517	142.44083	1.380	10	.198

ตารางที่ ข.6 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัส PM<sub>10</sub> ระหว่างฤดูที่ วัด A

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
summer A10	18	53.76	1470.50	435.7782	106.45880	451.66645
rainy A10	11	67.16	2703.99	735.1092	287.21202	952.57449
cold A10	12	138.36	3068.57	919.2562	304.38816	1054.43151
Valid N (listwise)	11					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		summer A10	rainy A10	cold A10
N		18	11	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	435.7782	735.1092	919.2562
	Std. Deviation	451.66645	952.57449	1054.43151
Most Extreme Differences	Absolute	.305	.371	.287
	Positive	.305	.371	.287
	Negative	-.199	-.242	-.229
Kolmogorov-Smirnov Z		1.294	1.231	.993
Asymp. Sig. (2-tailed)		.070	.097	.278

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 summer A10 - rainy A10	-220.80335	595.29339	179.48771	-620.72689	179.12018	-1.230	10	.247
Pair 2 summer A10 - cold A10	-426.49728	619.82925	178.92929	-820.31799	-32.67656	-2.384	11	.036
Pair 3 rainy A10 - cold A10	-235.31840	562.74663	169.67449	-613.37673	142.73993	-1.387	10	.196

ตารางที่ ซ.7 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ระหว่างฤดูที่  
วัด B

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
summer B2.5	12	29.60	90.79	63.5989	6.02275	20.86341
rainy B2.5	12	24.54	63.28	40.2125	4.05765	14.05612
cold B2.5	12	25.15	91.61	49.6143	6.72627	23.30048
Valid N (listwise)	12					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		summer B2.5	rainy B2.5	cold B2.5
N		12	12	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	63.5989	40.2125	49.6143
	Std. Deviation	20.86341	14.05612	23.30048
Most Extreme Differences	Absolute	.226	.173	.199
	Positive	.127	.173	.199
	Negative	-.226	-.132	-.147
Kolmogorov-Smirnov Z		.783	.600	.691
Asymp. Sig. (2-tailed)		.573	.864	.727

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 summer B2.5 - rainy B2.5	23.38635	22.73613	6.56335	8.94050	37.83220	3.563	11	.004
Pair 2 summer B2.5 - cold B2.5	13.98456	27.24466	7.86486	-3.32587	31.29499	1.778	11	.103
Pair 3 rainy B2.5 - cold B2.5	-9.40179	27.52737	7.94647	-26.89185	8.08827	-1.183	11	.262

ตารางที่ ข.8 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัส PM<sub>10</sub> ระหว่างฤดูที่  
วัด B

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
summer B10	12	43.12	114.06	82.9476	7.34614	25.44777
rainy B10	11	34.57	84.87	54.8185	5.32519	17.66166
cold B10	12	35.84	123.56	71.3655	9.19182	31.84141
Valid N (listwise)	11					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		summer B10	rainy B10	cold B10
N		12	11	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	82.9476	54.8185	71.3655
	Std. Deviation	25.44777	17.66166	31.84141
Most Extreme Differences	Absolute	.218	.175	.212
	Positive	.171	.175	.212
	Negative	-.218	-.139	-.147
Kolmogorov-Smirnov Z		.754	.579	.735
Asymp. Sig. (2-tailed)		.621	.891	.652

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 summer B10 - rainy B10	31.75018	35.35262	10.65922	7.99997	55.50040	2.979	10	.014
Pair 2 summer B10 - cold B10	11.58206	36.70923	10.59704	-11.74187	34.90599	1.093	11	.298
Pair 3 rainy B10 - cold B10	-15.55626	37.20664	11.21822	-40.55202	9.43950	-1.387	10	.196



ตารางที่ ซ.9 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway ANOVA ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของวัด A

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
G	14	3.03	36.71	9.8942	2.47346	9.25483
J	14	1.14	295.03	121.7276	22.73414	85.06336
V	13	3.13	18.40	8.7851	1.39655	5.03531
A	13	1.51	9.96	5.0035	.65128	2.34823
Valid N (listwise)	13					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		G	J	V	A
N		14	14	13	13
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	9.8942	121.7276	8.7851	5.0035
	Std. Deviation	9.25483	85.06336	5.03531	2.34823
	Absolute	.274	.146	.216	.229
Most Extreme Differences	Positive	.274	.146	.216	.229
	Negative	-.229	-.092	-.131	-.155
Kolmogorov-Smirnov Z		1.026	.547	.779	.824
Asymp. Sig. (2-tailed)		.243	.926	.579	.506

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: t-PAH2.5 วัฏ A

LSD

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	-111.83346*	16.52262	.000	-145.0201	-78.6468
	3.00	1.10900	16.83737	.948	-32.7098	34.9279
	4.00	4.89067	16.83737	.773	-28.9282	38.7095
2.00	1.00	111.83346*	16.52262	.000	78.6468	145.0201
	3.00	112.94247*	16.83737	.000	79.1236	146.7613
	4.00	116.72414*	16.83737	.000	82.9053	150.5430
3.00	1.00	-1.10900	16.83737	.948	-34.9279	32.7098
	2.00	-112.94247*	16.83737	.000	-146.7613	-79.1236
	4.00	3.78167	17.14634	.826	-30.6578	38.2211
4.00	1.00	-4.89067	16.83737	.773	-38.7095	28.9282
	2.00	-116.72414*	16.83737	.000	-150.5430	-82.9053
	3.00	-3.78167	17.14634	.826	-38.2211	30.6578

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



ตารางที่ ซ.10 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway ANOVA ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของวัด B

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
G	12	1.40	10.80	3.8540	.70773	2.45164
J	12	.60	3.89	2.4268	.23357	.80911
V	12	1.19	5.02	2.7729	.28615	.99124
A	12	.61	2.06	1.2185	.11284	.39089
Valid N (listwise)	12					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		G	J	V	A
N		12	12	12	12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	3.8540	2.4268	2.7729	1.2185
	Std. Deviation	2.45164	.80911	.99124	.39089
	Absolute	.287	.176	.150	.198
Most Extreme Differences	Positive	.287	.127	.150	.198
	Negative	-.158	-.176	-.114	-.078
Kolmogorov-Smirnov Z		.994	.609	.520	.686
Asymp. Sig. (2-tailed)		.277	.852	.949	.734

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: t-PAHs2.5 ไร่ B

LSD

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	1.42721*	.57011	.016	.2782	2.5762
	3.00	1.08114	.57011	.064	-.0678	2.2301
	4.00	2.63554*	.57011	.000	1.4866	3.7845
2.00	1.00	-1.42721*	.57011	.016	-2.5762	-.2782
	3.00	-.34607	.57011	.547	-1.4950	.8029
	4.00	1.20833*	.57011	.040	.0594	2.3573
3.00	1.00	-1.08114	.57011	.064	-2.2301	.0678
	2.00	.34607	.57011	.547	-.8029	1.4950
	4.00	1.55440*	.57011	.009	.4054	2.7034
4.00	1.00	-2.63554*	.57011	.000	-3.7845	-1.4866
	2.00	-1.20833*	.57011	.040	-2.3573	-.0594
	3.00	-1.55440*	.57011	.009	-2.7034	-.4054

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



ตารางที่ ซ.11 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ระหว่างวันธรรมดา และวันหยุด ที่วัด A

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
A WD t-PAHs2.5	20	1.14	200.78	36.8443	12.66034	56.61877
A WE t-PAHs2.5	21	3.03	295.03	58.0961	18.66792	85.54717
A WD t-PAHs2.5-10	20	.23	1.91	.8747	.14028	.62735
A WE t-PAHs2.5-10	21	.06	5.74	1.1406	.26701	1.22358
Valid N (listwise)	20					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		A WD t- PAHs2.5	A WE t- PAHs2.5	A WD t- PAHs2.5-10	A WE t- PAHs2.5-10
N		20	21	20	21
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	36.8443	58.0961	.8747	1.1406
	Std. Deviation	56.61877	85.54717	.62735	1.22358
Most Extreme Differences	Absolute	.328	.313	.244	.247
	Positive	.328	.313	.244	.247
	Negative	-.264	-.260	-.151	-.188
Kolmogorov-Smirnov Z		1.465	1.434	1.092	1.131
Asymp. Sig. (2-tailed)		.027	.033	.184	.155

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2- tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 A WD t-PAHs2.5- 10 - A WE t- PAHs2.5-10	-.31111	1.30473	.29175	-.92174	.29952	-1.066	19	.300
Pair 2 A WD t-PAHs2.5 - A WE t- PAHs2.5	-23.46190	71.79150	16.05307	-57.06136	10.13755	-1.462	19	.160

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
A WE t-PAHs2.5 - A WD t-PAHs2.5	Negative Ranks	10 <sup>a</sup>	7.20	72.00
	Positive Ranks	10 <sup>b</sup>	13.80	138.00
	Ties	0 <sup>c</sup>		
	Total	20		
A WE t-PAHs2.5-10 - A WD t-PAHs2.5-10	Negative Ranks	9 <sup>d</sup>	11.67	105.00
	Positive Ranks	11 <sup>e</sup>	9.55	105.00
	Ties	0 <sup>f</sup>		
	Total	20		

- a. A WE t-PAHs2.5 < A WD t-PAHs2.5  
 b. A WE t-PAHs2.5 > A WD t-PAHs2.5  
 c. A WE t-PAHs2.5 = A WD t-PAHs2.5  
 d. A WE t-PAHs2.5-10 < A WD t-PAHs2.5-10  
 e. A WE t-PAHs2.5-10 > A WD t-PAHs2.5-10  
 f. A WE t-PAHs2.5-10 = A WD t-PAHs2.5-10

Test Statistics <sup>a</sup>		
	A WE t- PAHs2.5 - A WD t-PAHs2.5	A WE t- PAHs2.5-10 - A WD t-PAHs2.5- 10
Z	-1.232 <sup>b</sup>	.000 <sup>c</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)	.218	1.000

- a. Wilcoxon Signed Ranks Test  
 b. Based on negative ranks.  
 c. The sum of negative ranks equals the sum of positive ranks.

ตารางที่ ข.12 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> ระหว่างวันธรรมดา และวันหยุด ที่วัด B

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
B WD t-PAHs2.5	18	.60	10.80	3.1422	.51412	2.18123
B WE t-PAHs2.5	18	1.40	5.02	2.8940	.22899	.97151
B WD t-PAHs2.5-10	18	.07	1.44	.5716	.11115	.47158
B WE t-PAHs2.5-10	18	.15	1.04	.5309	.07462	.31660
Valid N (listwise)	18					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		B WD t- PAHs2.5	B WE t- PAHs2.5	B WD t- PAHs2.5-10	B WE t- PAHs2.5-10
N		18	18	18	18
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	3.1422	2.8940	.5716	.5309
	Std. Deviation	2.18123	.97151	.47158	.31660
Most Extreme Differences	Absolute	.250	.164	.280	.152
	Positive	.250	.164	.280	.152
	Negative	-.158	-.082	-.141	-.125
Kolmogorov-Smirnov Z		1.059	.696	1.188	.646
Asymp. Sig. (2-tailed)		.212	.718	.119	.798

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2- tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 B WD t-PAHs2.5 - B WE t-PAHs2.5	.24812	2.42939	.57261	-.95999	1.45622	.433	17	.670
Pair 2 B WD t-PAHs2.5-10 - B WE t-PAHs2.5-10	.04067	.27122	.06393	-.09420	.17555	.636	17	.533

ตารางที่ ซ.13 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> กับจำนวนรูป ในทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
t-PAHs <sub>2.5</sub>	77	.60	295.03	26.8254	6.54026	57.39053
t-PAHs <sub>2.5-10</sub>	77	.06	5.74	.7960	.09028	.79218
Valid N (listwise)	77					

		t-PAHs <sub>2.5</sub>	t-PAHs <sub>2.5-10</sub>
N		77	77
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	26.8254	.7960
	Std. Deviation	57.39053	.79218
	Absolute	.368	.176
Most Extreme Differences	Positive	.368	.160
	Negative	-.324	-.176
Kolmogorov-Smirnov Z		3.232	1.544
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000	.017

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

		t-PAHs <sub>2.5</sub>	t-PAHs <sub>2.5-10</sub>	no. of incense
t-PAHs <sub>2.5</sub>	Correlation Coefficient	1.000	.200	.716**
	Sig. (2-tailed)	.	.081	.000
	N	77	77	77
Spearman's rho t-PAHs <sub>2.5-10</sub>	Correlation Coefficient	.200	1.000	.261*
	Sig. (2-tailed)	.081	.	.022
	N	77	77	77
no. of incense	Correlation Coefficient	.716**	.261*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.022	.
	N	77	77	77

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



ตารางที่ ข.14 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> กับจำนวนรูป ในจุดเก็บตัวอย่างพนักงานรักษาความปลอดภัย (G)

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
t-PAHs2.5 - G	30	1.40	36.71	6.8943	1.29669	7.10227
t-PAHs2.5-10 - G	30	.07	5.74	.8032	.19291	1.05663
Valid N (listwise)	30					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		t-PAHs2.5 - G	t-PAHs2.5-10 - G
N		30	30
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	6.8943	.8032
	Std. Deviation	7.10227	1.05663
	Absolute	.257	.242
Most Extreme Differences	Positive	.257	.229
	Negative	-.219	-.242
Kolmogorov-Smirnov Z		1.406	1.328
Asymp. Sig. (2-tailed)		.038	.059

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Correlations

		t-PAHs2.5 - G	t-PAHs2.5-10 - G	no. of incense
t-PAHs2.5 - G	Pearson Correlation	1	-.067	.643**
	Sig. (2-tailed)		.726	.000
	N	30	30	30
t-PAHs2.5-10 - G	Pearson Correlation	-.067	1	.320
	Sig. (2-tailed)	.726		.085
	N	30	30	30
no. of incense	Pearson Correlation	.643**	.320	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.085	
	N	30	30	30

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## Correlations

			t-PAHs2.5 - G	t-PAHs2.5-10 - G	no. of incense
Spearman's rho	t-PAHs2.5 - G	Correlation Coefficient	1.000	.218	.458*
		Sig. (2-tailed)	.	.246	.011
		N	30	30	30
	t-PAHs2.5-10 - G	Correlation Coefficient	.218	1.000	.362*
		Sig. (2-tailed)	.246	.	.049
		N	30	30	30
	no. of incense	Correlation Coefficient	.458*	.362*	1.000
		Sig. (2-tailed)	.011	.049	.
		N	30	30	30

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ ข.15 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> กับจำนวนรูป ในจุดเก็บตัวอย่างพนักงานเก็บรูป และทำความสะอาด (J)

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
t-PAHs <sub>2.5</sub> - J	26	.60	295.03	66.6657	16.91778	86.26408
t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - J	26	.08	2.54	.7756	.11735	.59836
Valid N (listwise)	26					

		t-PAHs <sub>2.5</sub> - J	t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - J
N		26	26
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	66.6657	.7756
	Std. Deviation	86.26408	.59836
	Absolute	.267	.172
Most Extreme Differences	Positive	.267	.172
	Negative	-.222	-.121
Kolmogorov-Smirnov Z		1.359	.876
Asymp. Sig. (2-tailed)		.050	.426

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

		t-PAHs <sub>2.5</sub> - J	t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - J	no. of incense
t-PAHs <sub>2.5</sub> - J	Pearson Correlation	1	.094	.812**
	Sig. (2-tailed)		.649	.000
	N	26	26	26
t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - J	Pearson Correlation	.094	1	.332
	Sig. (2-tailed)	.649		.098
	N	26	26	26
no. of incense	Pearson Correlation	.812**	.332	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.098	
	N	26	26	26

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ข.16 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> และ t-PAHs<sub>2.5-10</sub> กับจำนวนรูป ในจุดเก็บตัวอย่างพนักงานขายดอกไม้ รูป เทียน (V)

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
t-PAHs <sub>2.5</sub> - V	25	1.19	18.40	5.8993	.94923	4.74614
t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - V	25	.06	1.91	.7225	.11104	.55519
Valid N (listwise)	25					

		t-PAHs <sub>2.5</sub> - V	t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - V
N		25	25
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	5.8993	.7225
	Std. Deviation	4.74614	.55519
	Absolute	.222	.179
Most Extreme Differences	Positive	.222	.179
	Negative	-.161	-.116
Kolmogorov-Smirnov Z		1.108	.897
Asymp. Sig. (2-tailed)		.171	.396

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

		t-PAHs <sub>2.5</sub> - V	t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - V	no. of incense
t-PAHs <sub>2.5</sub> - V	Pearson Correlation	1	.130	.640**
	Sig. (2-tailed)		.535	.001
	N	25	25	25
t-PAHs <sub>2.5-10</sub> - V	Pearson Correlation	.130	1	.143
	Sig. (2-tailed)	.535		.495
	N	25	25	25
no. of incense	Pearson Correlation	.640**	.143	1
	Sig. (2-tailed)	.001	.495	
	N	25	25	25

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ซ.17 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> กับ PM<sub>2.5</sub> ในทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
tPAHs2.5 - All	77	.60	295.03	26.8254	6.54026	57.39053
PM2.5 - All	77	24.54	3033.91	357.4338	74.36948	652.58953
Valid N (listwise)	77					

		tPAHs2.5 - All	PM2.5 - All
N		77	77
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	26.8254	357.4338
	Std. Deviation	57.39053	652.58953
Most Extreme Differences	Absolute	.368	.357
	Positive	.368	.357
	Negative	-.324	-.305
Kolmogorov-Smirnov Z		3.232	3.130
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000	.000

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

		tPAHs2.5 - All	PM2.5 - All
Spearman's rho	Correlation Coefficient	1.000	.789**
	tPAHs2.5 - All Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	77	77
PM2.5 - All	Correlation Coefficient	.789**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	77	77

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ซ.18 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> กับ PM<sub>2.5</sub> ในจุดเก็บตัวอย่างพนักงานรักษาความปลอดภัย (G)

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
tPAHs2.5 - G	26	1.40	36.71	7.1064	1.47561	7.52417
PM2.5 - G	26	24.54	641.42	115.3808	24.42972	124.56762
Valid N (listwise)	26					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		tPAHs2.5 - G	PM2.5 - G
N		26	26
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	7.1064	115.3808
	Std. Deviation	7.52417	124.56762
	Absolute	.250	.233
Most Extreme Differences	Positive	.250	.204
	Negative	-.224	-.233
Kolmogorov-Smirnov Z		1.274	1.188
Asymp. Sig. (2-tailed)		.078	.119

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Correlations

		tPAHs2.5 - G	PM2.5 - G
tPAHs2.5 - G	Pearson Correlation	1	.925**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	26	26
PM2.5 - G	Pearson Correlation	.925**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	26	26

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ซ.19 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5</sub> กับ PM<sub>2.5</sub> ในจุดเก็บตัวอย่างพนักงานเก็บรูป และทำความสะอาด (J)

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
tPAHs2.5 - J	26	.60	295.03	66.6657	16.91778	86.26408
PM2.5 - J	26	25.15	3033.91	849.6786	185.30762	944.88715
Valid N (listwise)	26					

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		tPAHs2.5 - J	PM2.5 - J
N		26	26
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	66.6657	849.6786
	Std. Deviation	86.26408	944.88715
	Absolute	.267	.250
Most Extreme Differences	Positive	.267	.250
	Negative	-.222	-.191
Kolmogorov-Smirnov Z		1.359	1.277
Asymp. Sig. (2-tailed)		.050	.077

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### Correlations

		tPAHs2.5 - J	PM2.5 - J
tPAHs2.5 - J	Pearson Correlation	1	.975**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	26	26
PM2.5 - J	Pearson Correlation	.975**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	26	26

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ซ.20 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัส t-PAHs<sub>2.5-10</sub> กับ PM<sub>2.5</sub> ในจุดเก็บตัวอย่างพนักงานขายดอกไม้ ฐานเทียน (V)

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
tPAHs2.5 - V	25	1.19	18.40	5.8993	.94923	4.74614
PM2.5 - V	25	25.01	328.54	97.2342	15.39900	76.99502
Valid N (listwise)	25					

		tPAHs2.5 - V	PM2.5 - V
N		25	25
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	5.8993	97.2342
	Std. Deviation	4.74614	76.99502
	Absolute	.222	.248
Most Extreme Differences	Positive	.222	.248
	Negative	-.161	-.174
Kolmogorov-Smirnov Z		1.108	1.239
Asymp. Sig. (2-tailed)		.171	.093

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

		tPAHs2.5 - V	PM2.5 - V
tPAHs2.5 - V	Pearson Correlation	1	.928**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	25	25
PM2.5 - V	Pearson Correlation	.928**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	25	25

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

### ประวัติการศึกษา

นางสาว วชิราวรรณ นนทกนก สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2552 และเข้า ศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

### การเผยแพร่ผลงาน

Vachirawon Nonthakanok, Tassanee Prueksasit\* and Daisy Morknoy. Concentrations of PM2.5 and PM10 from incense burning at the worship places in Bangkok, Thailand. Poster presentation at the Second International Conference on Environmental Pollution, Restoration and Management. 4-8 March 2013, Hanoi, Vietnam

Vachirawon Nonthakanok, Tassanee Prueksasit\* and Daisy Morknoy. Relationship between PM2.5 and PM10 from Incense Burning at the Worship Places in Bangkok, Thailand. Proceeding of the Second EnvironmentAsia International Conference on “Human Vulnerability and Global Environmental Change. (2013): 229 – 237.

### รางวัลที่ได้รับ

- The Best Poster Award on "Relationship between PM2.5 and PM10 from Incense Burning at the Worship Places in Bangkok, Thailand" at The Second EnvironmentAsia International Conference on “Human Vulnerability and Global Environmental Change” 15-17 May 2013, Chonburi, Thailand.