

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส PM₁₀ PM_{2.5} และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย
ในโรงพิมพ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพิษวิทยาอุตสาหกรรมและการประเมินความเสี่ยง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Health Risk Assessment of PM₁₀ PM_{2.5} and Volatile organic compounds exposure in
Printing manufactures



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Industrial Toxicology and Risk Assessment

Department of Environmental Science

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับ สัมผัส PM ₁₀ PM _{2.5} และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายใน โรงพิมพ์
โดย	นายนพรัตน์ พงศ์บุญคุ้มลาภ
สาขาวิชา	พิษวิทยาอุตสาหกรรมและการประเมินความเสี่ยง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จินศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

----- คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

----- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัยนันท์ อริยกานนท์)

----- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จินศาสตร์)

----- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กนกกันตพงษ์)

----- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธมวดี สุวัฒน์ิกะ)

นพรัตน์ พงศ์บุญคุ้มลาภ : การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับ
 สัมผัส PM₁₀ PM_{2.5} และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในโรงพิมพ์. (Health Risk
 Assessment of PM₁₀ PM_{2.5} and Volatile organic compounds exposure in
 Printing manufactures) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.วนิดา จินศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการพิมพ์และการได้รับสัมผัสมลพิษอากาศของผู้ปฏิบัติงานได้มีการติดตามตรวจสอบในช่วงระยะเวลา 5 วันทำงานติดต่อกัน เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นในการได้รับสัมผัส TVOC และ PM_{2.5} ในกระบวนการพิมพ์จากโรงพิมพ์อาสาสมัครในประเทศไทยจำนวน 5 แห่ง ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบการพิมพ์ออฟเซตและระบบการพิมพ์ดิจิตอล พบว่าค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงของ PM_{2.5} ในจุดอ้างอิง, จุดออฟเซต A, จุดออฟเซต B, จุดออฟเซต C, จุดดิจิตอล D, และจุดออฟเซต E มีค่าเท่ากับ 7.46 ± 0.89 , 21.51 ± 1.74 , 44.26 ± 11.11 , 77.92 ± 11.85 , 42.08 ± 7.81 และ 28.21 ± 8.80 มคก/ลบม. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของ PM_{2.5} ในจุดออฟเซต C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.92 มคก/ลบม. เกิดจากมีปริมาณฝุ่นกระดาษเป็นจำนวนมากในบริเวณที่ตรวจวัด ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงของ TVOC ในจุดอ้างอิง, จุดออฟเซต A, จุดออฟเซต B, จุดออฟเซต C, จุดดิจิตอล D, และจุดออฟเซต E มีค่าเท่ากับ 0.12 ± 0.04 , 2.68 ± 0.89 , 5.02 ± 3.02 , 21.86 ± 6.82 , 0.68 ± 0.08 , และ 0.52 ± 0.19 ส่วนในล้านส่วน ค่าเฉลี่ยของ TVOC ในจุดออฟเซต C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.86 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากมีอัตราการผลิตสูงและใช้น้ำยาทำความสะอาดหัวแม่พิมพ์ในกระบวนการทำความสะอาดเครื่องพิมพ์ สรุปได้ว่า ปริมาณการได้รับสัมผัสกับ TVOC และ PM_{2.5} ของผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ระบบออฟเซตนั้นสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิตอล จากการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ พบว่า ผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ระบบออฟเซตมีความเสี่ยงจากการสัมผัส TVOC โดยที่ค่าสัดส่วนความเสี่ยงมากกว่า 1 โดยแนะนำให้มีการติดตั้งระบบบำบัดอากาศในการควบคุมฝุ่นและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายภายในอาคาร เพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสะสมในห้องที่มีกระบวนการพิมพ์

สาขาวิชา พิษวิทยาอุตสาหกรรมและการ ลายมือชื่อนิสิต

ประเมินความเสี่ยง

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6172163223 : MAJOR INDUSTRIAL TOXICOLOGY AND RISK ASSESSMENT

KEYWORD: printing, TVOC, PM_{2.5}, Occupational exposure, health risk assessment

Nopparat Pongboonkhumlarp : Health Risk Assessment of PM₁₀ PM_{2.5} and Volatile organic compounds exposure in Printing manufactures. Advisor: Prof. WANIDA JINSART, Ph.D.

The association between the printing activity and the pollutant exposure of the workers was investigated in five consecutive working days, during 8 hours work shift per day. Exposure concentrations of TVOC and PM_{2.5} were measured in the intense printing activities from the five voluntary printing factories in Thailand. In this study, two types of the printing process, offset and digital printing were compared. The 8 hours average of PM_{2.5} in the reference, offset printing A, offset printing B, offset printing C, digital printing D and digital printing E were observed to be 7.46 ± 0.89 , 21.51 ± 1.74 , 44.26 ± 11.11 , 77.92 ± 11.85 , 42.08 ± 7.81 and $28.21 \pm 8.80 \mu\text{g m}^{-3}$, respectively. The highest PM_{2.5} level in the offset printing C, $77.92 \mu\text{g m}^{-3}$ was due to the surrounded paper dust observed in the measured area. The 8 hours average TVOCs in the reference, offset printing A, offset printing B, offset printing C, digital printing D and digital printing E were observed to be 0.12 ± 0.04 , 2.68 ± 0.89 , 5.02 ± 3.02 , 21.86 ± 6.82 , 0.68 ± 0.08 and 0.52 ± 0.19 ppm, respectively. The highest TVOC was 21.86 ppm in the offset printing C because of the high production rate and the application of organic solvents in the cleanup process. In conclusion, worker's exposure to TVOC and PM_{2.5} in offset printings was higher than in digital laser printing. From the health risk evaluation, the workers in offset printings were at risk from TVOC exposure, where Hazard quotient >1. The installation of Dust and VOC indoor air control systems were recommended to rectify PM and VOCs buildup concentrations in the printing process rooms.

Field of Study: Industrial Toxicology and Risk Assessment Student's Signature

Academic Year: 2020 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. วนิดา จินตศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งจัดหาทุนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ มาโดยตลอด รวมถึงตักเตือน สอนสั่ง ให้โอกาสและให้กำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย รักษาการแทนกรรมการผู้จัดการสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุญาตให้เข้าไปในพื้นที่โรงพิมพ์ เพื่อดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูลทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการให้ความอนุเคราะห์ในการติดต่อสถานที่ทำวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุณี ภูสีม่วง อดีตผู้อำนวยการสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช อาจารย์ ปิยทัศน์ สังขมาลัย หัวหน้าฝ่ายจัดพิมพ์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช คุณสมศักดิ์ เกษมกรกิจ ผู้จัดการโรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คุณพิชญ์ นภาพร รองผู้จัดการโรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คุณสมชาย คำขำ กรรมการผู้จัดการ และคุณธีระชัย สอนสวัสดิ์ รองกรรมการผู้จัดการ บริษัท แรบพิท4พริ้นต์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และอนุญาตให้เข้าไปในพื้นที่โรงพิมพ์ เพื่อดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูลทำวิทยานิพนธ์ และสละเวลาอันมีค่าของทุกท่านในการให้ความรู้ ตลอดจนให้ข้อมูลต่าง ๆ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ เพื่อประกอบในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นัยนันทน์ อริยกานนท์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพจน์ กนกกันตพงษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธรรณวดี สุวฒิกะ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาอันมีค่าของท่านในการดำเนินการสอบวิทยานิพนธ์ และช่วยให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ศูนย์ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (SHECU) ที่ให้ความอนุเคราะห์และอนุมัติเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และ ดร.ภูชงค์ ศรีอ่วม ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงให้คำปรึกษา คำแนะนำในการเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณสุณี พรรคประพันธ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการเตรียมเครื่องมือและวิเคราะห์ผลในการวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณจุฑาภร อังสุภานิช หัวหน้าแผนกแม่พิมพ์และพิมพ์ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้ได้กรุณาให้ความรู้เกี่ยวกับระบบงานพิมพ์ กระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานพิมพ์ รวมถึงให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เจ้าหน้าที่และพนักงานที่ปฏิบัติงานในสำนักพิมพ์ทั้งหมด ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้ความช่วยเหลือและเป็นอาสาสมัครในการติดตั้งอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมถึงให้ข้อมูลและคำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำในการทำเอกสารราชการที่เกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ สำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนบุคคลท่านอื่น ๆ ที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต” บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้าพเจ้าขอขอบคุณอย่างยิ่งมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเพื่อตอบแทนคุณบิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุน เป็นแรงผลักดันให้แก่ผู้วิจัย และขอมอบแต่บูรพาคุณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นพรัตน์ พงศ์บุญคุ้มลาภ

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	15
1.2 วัตถุประสงค์.....	16
1.3 สมมติฐาน.....	16
1.4 กรอบแนวคิด.....	16
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 กระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์และปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากงานพิมพ์.....	17
2.1.1 กระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์.....	17
2.1.2 ปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากงานพิมพ์.....	21
2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality).....	21
2.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter).....	23

2.3.1	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา (PM ₁₀).....	23
2.3.2	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอนลงมา (PM _{2.5}).....	24
2.3.3	ผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละออง PM ₁₀ และ PM _{2.5}	25
2.4	สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs).....	27
2.4.1	เบนซีน (Benzene).....	29
2.4.2	โทลูอีน (Toluene).....	30
2.4.3	ไซลีน (Xylene).....	31
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย.....	36
3.1	การสำรวจสถานที่ทำการวิจัย.....	36
3.2	การติดตามตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร.....	38
3.2.1	ระยะเวลาในการตรวจวัด.....	38
3.2.2	การติดตามตรวจวัดหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5}	43
3.2.3	การติดตามตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs).....	45
3.3	วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5}	47
3.3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5}	47
3.3.2	ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5}	48
3.3.3	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด (PM _{2.5}) แบบต่อเนื่อง.....	50
3.3.4	ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด (PM _{2.5}) แบบต่อเนื่อง.....	50
3.4	วิธีการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ภายในพื้นที่อาคาร.....	51
3.4.1	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ภายในพื้นที่อาคาร.....	51
3.4.2	ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ภายใน พื้นที่อาคาร.....	51

3.5	วิธีการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดตัวบุคคล.....	52
3.5.1	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดตัวบุคคล.....	52
3.5.2	ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดตัวบุคคล.....	52
3.6	การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	54
3.6.1	วิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5}	54
3.6.2	วิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs).....	55
3.6.3	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารมลพิษแต่ละตัวและจุดติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในโรงพิมพ์.....	58
3.7	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	58
3.7.1	การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณมลพิษแต่ละตัวที่จุดเก็บตัวอย่าง.....	58
3.8	การประเมินการได้รับสัมผัสมลพิษอากาศ.....	59
บทที่ 4	ผลการดำเนินการวิจัย.....	62
4.1	การเปรียบเทียบค่ามาตรฐานที่กำหนดตามกฎหมายหรือข้อบังคับ.....	62
4.2	การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก.....	67
4.2.1	ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ย.....	67
4.2.2	ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5} บริเวณภายในอาคาร.....	68
4.2.3	ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด (PM _{2.5}) บริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงาน.....	71
4.2.4	ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส.....	73
4.3	การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs.....	78
4.3.1	ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) เฉลี่ยบริเวณภายในอาคาร.....	78
4.3.2	ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) เฉลี่ยบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงาน.....	80

4.3.3 ปริมาณความเข้มข้น VOCs เฉลี่ยบริเวณภายในอาคารที่บุคคลได้รับสัมผัส.....	84
4.4 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	87
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม	95
ประวัติผู้เขียน	102



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แหล่งที่มาของมลพิษอากาศภายในอาคาร.....	22
ตารางที่ 2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศและผลกระทบจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก.....	26
ตารางที่ 2.3 ประเภทสารเคมีที่ใช้กับแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในโรงพิมพ์.....	27
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของโรงพิมพ์และสำนักงานทั่วไปจำนวน 6 แห่ง.....	37
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดช่วงเวลาและจำนวนในการเก็บตัวอย่างอากาศในอาคาร	38
ตารางที่ 3.3 สภาวะการทดลองของ Gas Chromatograph (GC).....	56
ตารางที่ 3.4 ค่ามาตรฐานของสารมลพิษที่ตรวจวัดใน 8 ชั่วโมง	58
ตารางที่ 3.5 ค่า R _c และ Slope Factor ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม BTX.....	60
ตารางที่ 3.6 ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี (Exposure Limits)	61
ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในการทำงาน 8 ชั่วโมง.....	64
ตารางที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ยของแต่ละจุด.....	67
ตารางที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM ₁₀ ภายในอาคาร	69
ตารางที่ 4.4 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM _{2.5} ภายในอาคาร	69
ตารางที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM ₁₀ ที่ติดตัวบุคคล.....	74
ตารางที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM _{2.5} ที่ติดตัวบุคคล	76
ตารางที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมเฉลี่ยภายในอาคาร	79
ตารางที่ 4.8 ปริมาณการรับสัมผัสสาร VOCs กลุ่ม BTX โดยเฉลี่ยที่ติดตัวบุคคล.....	85
ตารางที่ 4.9 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs.....	87
ตารางที่ 4.10 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพของสาร TVOC และ PM _{2.5}	89
ตารางที่ 4.11 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพด้วยดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI)	91

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องพิมพ์ออฟเซต (Offset Printer)	19
รูปที่ 2.2 เครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printer).....	20
รูปที่ 2.3 เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท (Inkjet Printer)	20
รูปที่ 2.4 ขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) เมื่อเทียบกับเส้นผมของมนุษย์.....	24
รูปที่ 2.5 เส้นทางของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) เมื่อได้รับสัมผัส.....	25
รูปที่ 2.6 ผลกระทบระยะสั้นและระยะยาวของสาร VOCs เมื่อได้รับสัมผัส	28
รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างสารเบนซีน (Benzene).....	29
รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างสารโทลูอีน (Toluene)	30
รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างสารไซลีน (Xylene) ทั้ง 3 ไอโซเมอร์.....	32
รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์แทนอุปกรณ์ในแผนผังตรวจวัด	39
รูปที่ 3.2 แผนผังตรวจวัดในจุด Offset Printing A	40
รูปที่ 3.3 แผนผังตรวจวัดในจุด Offset Printing B	40
รูปที่ 3.4 แผนผังตรวจวัดในจุด Offset Printing C	41
รูปที่ 3.5 แผนผังตรวจวัดในจุด Digital Printing D	41
รูปที่ 3.6 แผนผังตรวจวัดในจุด Digital Printing E	42
รูปที่ 3.7 แผนผังตรวจวัดในจุด Reference.....	42
รูปที่ 3.8 ปืนเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal Pump).....	43
รูปที่ 3.9 หัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Personal Modular Impactor Cascade).....	44
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อ่านค่าโดยตรงทันทีแบบต่อเนื่อง.....	45
รูปที่ 3.11 เครื่องตรวจวัด TVOC แบบอ่านค่าโดยตรง (MiniRAE 3000).....	46
รูปที่ 3.12 หลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Sorbent Tube).....	46

รูปที่ 3.13 การเปรียบเทียบอัตราไหลของอากาศในการเก็บฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5}	48
รูปที่ 3.14 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5} บริเวณภายในอาคาร	49
รูปที่ 3.15 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM _{2.5} แบบต่อเนื่อง	51
รูปที่ 3.16 การเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) บริเวณภายในอาคาร..	52
รูปที่ 3.17 การเปรียบเทียบอัตราไหลของอากาศในการเก็บสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)...	53
รูปที่ 3.18 เครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง UMX2® (Mettler Toledo: Columbus, OH)	54
รูปที่ 3.19 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย.....	57
รูปที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM _{2.5} บริเวณภายในอาคาร ตามช่วงเวลาทำงาน ของจุด Offset Printing C	72
รูปที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM _{2.5} บริเวณภายในอาคาร ตามช่วงเวลาทำงาน ของจุด Digital Printing D.....	72
รูปที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตาม ช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing A.....	81
รูปที่ 4.4 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตาม ช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing B	81
รูปที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตาม ช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing C	81
รูปที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตาม ช่วงเวลาทำงานของจุด Digital Printing D.....	83
รูปที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตาม ช่วงเวลาทำงานของจุด Digital Printing E	83
รูปที่ 4.8 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตาม ช่วงเวลาทำงานของจุด Reference	84

คำย่อและสัญลักษณ์

EC	ค่าความเข้มข้นในการสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (Exposure Concentration)
HI	ดัชนีอันตราย (Hazard Index)
HQ	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient)
PID	การตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยหลักการใช้แสง (Photo Ionization Detector)
PM ₁₀	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา
PM _{2.5}	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอนลงมา
PMI	การคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยการกระแทก (Personal Modular Impactor)
R _f C	ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference Concentration)
CSF	ค่าความเป็นพิษในการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Slope Factor)
TVOC	สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (Total Volatile Organic Compounds)
VOCs	สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor air quality) หมายถึง คุณภาพอากาศภายในและรอบ ๆ อาคารและสิ่งปลูกสร้างที่มีความสัมพันธ์กับสุขภาพและความสะดวกสบายของผู้ที่อยู่อาศัยและทำงานภายในอาคาร โดยที่คุณภาพอากาศจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น ขึ้นอยู่กับหลายสาเหตุ เช่น การระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ ทำให้อากาศภายนอกไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาเจือจางอากาศภายในหรืออากาศภายในไม่สามารถระบายสู่ภายนอกได้อย่างอิสระ ประสิทธิภาพของระบบการฟอกกรองอากาศ ทำให้การควบคุมปริมาณอนุภาคหรือมลพิษบางชนิดจากภายนอกไหลเข้ามาสู่ภายในอาคาร มลพิษอากาศจากภายนอกที่มีปริมาณมลพิษสูงก็มีโอกาสที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารเกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้เช่นกัน มลพิษบางชนิดสามารถเพิ่มปริมาณความเข้มข้นได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารที่สูงขึ้น โดยเฉพาะการปลดปล่อยอนุภาคหรือไอสารเคมีจากอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ จำพวกเฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์สำนักงาน หรือกิจกรรมที่ดำเนินการภายในอาคารอย่างการปรับปรุงต่อเติมอาคารหรือการทำความสะอาด รวมถึงการดูแลรักษาอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะมลพิษอากาศภายในอาคาร (Indoor air pollution) (U.S.EPA, 2017b) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานเป็นจำนวนมาก เกิดการเจ็บป่วยโดยไม่ทราบสาเหตุ เนื่องจากพนักงานส่วนใหญ่ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ส่วนของในแต่ละวันอยู่ภายในอาคารสำนักงาน นอกจากนี้ยังรวมถึงในส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ ที่พนักงานจะต้องเข้าไปทำงานอยู่ในบริเวณนั้นด้วย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีการใช้วัตถุดิบที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบในเกือบทุกกระบวนการ ส่วนใหญ่จะพบสารเคมีจำพวกฝุ่นคาร์บอนในหมึกพิมพ์และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวทำละลายที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ นอกจากนี้ยังมีฝุ่นแป้งจากกระดาษที่ใช้พิมพ์โดยที่ทางโรงงานผลิตภัณฑ์จะโรยไว้เพื่อไม่ให้กระดาษแต่ละแผ่นติดกัน ซึ่งมีโอกาสเกิดการฟุ้งกระจายในอาคารที่อัตราค่อนข้างสูง ทำให้พนักงานได้รับสัมผัสและเกิดผลเสียต่อ

ระบบทางเดินหายใจ จากงานศึกษาในอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ในประเทศเซอร์เบีย (Kiurski et al., 2013) พบว่า มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในขั้นตอนกระบวนการพิมพ์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังมีงานศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพความปลอดภัยของข้อมูลสารเคมีในอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ในประเทศไต้หวัน (Tsai et al., 2016) พบว่า มีสารก่อมะเร็งจำพวกเบนซีนและเอทิลเบนซีนอยู่ในตัวทำละลายที่ใช้ล้างสี แต่ไม่ได้จัดทำเป็นเอกสารความปลอดภัยและสื่อสารให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับทราบ

1.2 วัตถุประสงค์

ประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากการรับสัมผัสมลพิษ PM₁₀ PM_{2.5} และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายของพื้นที่และพนักงานในโรงพิมพ์

1.3 สมมติฐาน

ผู้ทำงานในโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์แบบออฟเซตมีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัส PM₁₀ PM_{2.5} และ VOCs มากกว่าผู้ทำงานในโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์แบบดิจิทัล

1.4 กรอบแนวคิด



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำผลที่ได้มาประเมินผลกระทบต่อสุขภาพเพื่อลดความเสี่ยงจากการรับสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการคุณภาพอากาศ ภายในสถานประกอบการ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์และปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากงานพิมพ์

2.1.1 กระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์

ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีต่าง ๆ ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตของมนุษย์มากขึ้น รวมถึงพฤติกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนไป ทำให้สิ่งพิมพ์บางประเภทได้รับผลกระทบ ทำให้บริษัทผลิตสิ่งพิมพ์บางประเภทจำพวกนิตยสาร หนังสือการ์ตูนบางแห่งต้องปิดตัวลง บางแห่งมีการปรับตัวไปเป็นสื่อออนไลน์ (กรุงเทพฯธุรกิจ, 2563) แต่ยังมีสิ่งพิมพ์บางประเภทที่ยังจำเป็นต้องทำการผลิต ด้วยเหตุผลที่ว่า สิ่งพิมพ์บางชนิดยังมีความจำเป็นต่อการศึกษาและเสริมสร้างบุคลิกภาพ เช่น หนังสือแบบเรียนสำหรับนักเรียน หรือผู้คนที่ชอบอ่านสิ่งพิมพ์ที่เป็นเล่ม และไม่ต้องเสียเวลาหาอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้งาน เช่น หนังสือนวนิยาย ปกิณกะ หรือสิ่งพิมพ์บางชนิดไม่สามารถที่จะเข้าถึงด้วยระบบออนไลน์ได้ เช่น ฉลากผลิตภัณฑ์ กล่องบรรจุภัณฑ์ นามบัตร สติกเกอร์ เป็นต้น ทำให้โรงพิมพ์ยังมีความจำเป็นโดยผลิตให้ได้ตามรูปแบบและจำนวนที่ต้องการ กระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์เริ่มต้นจากการรับต้นฉบับที่เป็นอาร์ตเวิร์ค และสิ้นสุดเป็นชิ้นงานพร้อมส่งมอบให้ลูกค้า กระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์มีขั้นตอน ดังนี้

1. **กระบวนการก่อนการพิมพ์ (Prepress Process)** กระบวนการก่อนพิมพ์ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่มีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ในการออกแบบและควบคุมกระบวนการทำแม่พิมพ์ ในปัจจุบันต้นฉบับหรืออาร์ตเวิร์คที่ถูกส่งเข้ามามักเป็นรูปแบบของไฟล์ดิจิทัล กระบวนการก่อนการพิมพ์ ณ ขณะนี้ จะอิงระบบดิจิทัลในการทำงาน
2. **กระบวนการการพิมพ์ (Press/Printing Process)** เมื่อได้แม่พิมพ์ที่สมบูรณ์ก็เริ่มเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ กระบวนการพิมพ์มีความสำคัญมาก ชิ้นงานที่ออกมาดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับกรพิมพ์เป็นหลักใหญ่ และจะพบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดระหว่างลูกค้ากับโรงพิมพ์มักมาจากการพิมพ์เช่น สีไม่เหมือน พิมพ์เลื่อม ข้อความไม่ชัด ฯลฯ ดังนั้นการควบคุมการพิมพ์จึงเป็นเรื่องสำคัญ

3. **กระบวนการหลังการพิมพ์ (After Press Process)** งานพิมพ์ที่พิมพ์เสร็จสิ้นแล้ว โดยทั่วไปยังไม่สมบูรณ์เป็นชิ้นงานตามที่ต้องการ จึงต้องผ่านกระบวนการบางอย่างเสียก่อน (Supremeprint Co., 2010)

ในปัจจุบัน ระบบการพิมพ์แบ่งออกได้หลายประเภท แต่เครื่องพิมพ์ที่งานเอกสารต่าง ๆ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. เครื่องพิมพ์ออฟเซต (Offset Printing) หรือ ที่เรียกกันว่า ออฟเซตลิโธกราฟิค (Offset Lithographic) เป็นการพิมพ์กระดาษที่แพร่หลายมากสำหรับการพิมพ์จำนวนมาก โดยมีหลักการ คือ แยกส่วนบริเวณที่มีภาพ (Image) และ บริเวณไม่มีภาพหรือพื้น (Non-image) บนแม่พิมพ์พื้นราบ หรือ เพลท (Plate) ออกจากกันด้วยกระบวนการทางเคมี กล่าวคือ บริเวณที่เป็นพื้นจะรับน้ำ จะทำหน้าที่ในการรับน้ำหรือความชื้นและผลักหมึกออกนอกพื้นที่ และบริเวณที่มีภาพจะรับสารเคมีจำพวกเดียวกับหมึกพิมพ์ จะทำหน้าที่รับหมึกและผลักน้ำมันออกนอกพื้นที่ จากนั้นจะทำการถ่ายทอหมึกพิมพ์ผ่านตัวกลางหรือไม่ผ่านก็ได้ ลงกระดาษหรือวัสดุอื่นที่ต้องการพิมพ์ต่อไป โดยสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับหลักการนี้ คือ น้ำยาฟาว์นเทน ที่ทำหน้าที่แยกส่วนบริเวณพื้นและภาพเพื่อป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์เข้าไปจับบริเวณพื้น หรือที่เรียกว่า สกัม (Scumming) นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่ร่วมกับหมึกพิมพ์ ในระบบเพื่อช่วยลดความเหนียว ของหมึกพิมพ์ให้ง่ายต่อการแยกชั้นในการถ่ายโอนระหว่างลูกกลิ้งด้วยปริมาณที่ถูกต้อง ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานอย่างต่อเนื่องของเครื่องพิมพ์และส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการพิมพ์ เช่น ความเข้มสี ความสม่ำเสมอของหมึกพิมพ์ที่ลงบนกระดาษ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีน้ำยาทำความสะอาดหัวพิมพ์ (Head Cleaning Solvent) ไว้ใช้ในการล้างหมึกออกจากหัวพิมพ์หลังจากใช้งานเสร็จสิ้น เพื่อป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์ไปเกาะติดกับหัวพิมพ์จนทำให้คุณภาพของการพิมพ์ผิดเพี้ยนไป (OSH.UK, 2004)



รูปที่ 2.1 เครื่องพิมพ์ออฟเซต (Offset Printer)

(Sakurai USA, 2020)

2. เครื่องพิมพ์ดิจิทัล (Digital Printing) เป็นการพิมพ์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์หรือเพลท (Plate) เหมือนเครื่องพิมพ์ออฟเซต เนื่องจากตัวแบบพิมพ์สามารถสั่งงานได้โดยตรงผ่านคอมพิวเตอร์ที่ต่อพ่วงกับเครื่องพิมพ์ ด้วยเหตุที่พบเห็นได้ทั่วไปในร้านถ่ายเอกสาร หรือ เครื่องพิมพ์ประจำบ้านและสำนักงาน ทำให้คนส่วนใหญ่จะคุ้นเคยกับเครื่องพิมพ์ประเภทนี้มากกว่าเครื่องพิมพ์ออฟเซต โดยหลักการของเครื่องพิมพ์จะแตกต่างกันในแต่ละประเภทของเครื่องพิมพ์

ก. เครื่องพิมพ์เลเซอร์ ยิ่งเลเซอร์ไปสร้างภาพบนกระดาษในการสร้างรูปภาพ หรือตัวอักษร ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาจะมีคุณภาพสูงมาก และราคาเครื่องพิมพ์ก็มีราคาสูงมากด้วยเช่นกัน ซึ่งเครื่องพิมพ์เลเซอร์จะทำงานได้เร็วกว่าเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก และคุณภาพของผลลัพธ์ทั้งด้านความคมชัดและรายละเอียดทำออกมาได้ดีกว่าแบบพ่นหมึกมาก



รูปที่ 2.2 เครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printer)
(Xerox, 2020)

- ข. เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท ทำงานโดยการพ่นหมึกออกมาเป็นหยดเล็กๆ ลงบนกระดาษ เมื่อต้องการพิมพ์รูปทรงหรือรูปภาพใดๆ เครื่องพิมพ์จะทำการพ่นหมึกออกตามแต่ละจุดในตำแหน่งที่เครื่องประมวลผลไว้อย่างแม่นยำตามความต้องการของเรา



รูปที่ 2.3 เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท (Inkjet Printer)
(HP Development, 2020)

2.1.2 ปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากงานพิมพ์

เนื่องจากพนักงานที่ทำในโรงงานประเภทนี้ จะต้องมีการสัมผัสกระดาษตลอดเวลา อาจจะมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นแป้งจากกระดาษที่โรงงานผลิตกระดาษโรยไว้เพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษแต่ละแผ่นติดกัน นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องกลิ่นที่เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายในหมึก หรือ ตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดหรือเวลาที่ล้างหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ออฟเซต ส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายที่มีส่วนผสมของ Alcohol, Formaldehyde โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เป็นตัวทำละลายที่มีกลิ่น ซึ่งเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน โดยปัญหาเกิดในกระบวนการพิมพ์ เช่น การใช้สีและหมึกในปริมาณมากบนแผ่นโลหะ กระจก และฝาจับ รวมถึงการใช้ตัวทำละลายในการทำความสะอาดหรือล้างหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ สำหรับการป้องกันและแก้ไขเบื้องต้นนั้น จะเริ่มจากพิจารณาเลือกใช้หมึกที่ใช้น้ำหรือมีสารระเหยน้อยเป็นส่วนผสม หรือเปลี่ยนตัวทำละลายหรือเลือกใช้สารทดแทนที่มี VOCs ต่ำ ในปัจจุบันก็ปรับเปลี่ยนไปใช้หมึกถั่วเหลือง (Soy Ink) ที่มีน้ำเป็นส่วนผสมหลักทำให้มีปริมาณ VOCs ลดลง นอกจากนี้ก็ควรทำการควบคุมการเก็บหมึกพิมพ์ในภาชนะบรรจุให้มิดชิดและทำห้องเก็บสารทำละลายแยกจากกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันการระเหยของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นแล้ว ถ้าหากสามารถรวบรวมอากาศที่มีกลิ่นมาบำบัดโดยเลือกใช้วิธีบำบัดตามความเหมาะสม ได้แก่ ระบบการเผาไหม้โดยตรง และระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ก็จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสารระเหยลดลงไปด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) หมายถึง สภาวะการที่อากาศภายในอาคารที่อาจไม่มีสิ่งเจือปนหรือมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณที่อาจจะทำหรือไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ต่อทรัพย์สินของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบ ๆ อาคารนั้น ๆ หากปริมาณสิ่งปนเปื้อนต่ำกว่าระดับที่จะก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว ก็จะได้ว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในระดับดี เหมาะสำหรับการอยู่อาศัย แต่ถ้าปริมาณสิ่งปนเปื้อนเท่ากับหรือสูงกว่าระดับที่จะก่อให้เกิดปัญหา ก็จะได้ว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารนั้นไม่ดี ไม่เหมาะสำหรับการอยู่อาศัย (U.S.EPA, 2017b; จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2551)

มลพิษอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Pollutant) หมายถึง สภาวะที่อากาศในอาคารมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณและระยะเวลาที่นานพอที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ หรือ สิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ มีที่มาตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แหล่งที่มาของมลพิษอากาศภายในอาคาร

สำนักงาน	ที่อยู่อาศัย
วัสดุในการตกแต่ง	เหมือนกับสำนักงาน
พรม, ม่าน (CO ₂)	สัตว์เลี้ยง
เครื่องถ่ายเอกสาร (VOCs, CO ₂)	ความชื้น เชื้อรา
คน (กลิ่น, CO ₂)	เตาผิง
ต้นไม้ประดับ	
น้ำยาทำความสะอาด	
บุหรี (Smoke)	
ยาฆ่าแมลง	
ฝุ่นละออง	

อ้างอิงจาก (ทวี เวชพฤติ, 2551)

มลพิษอากาศภายในอาคาร เกี่ยวข้องกับอาการต่าง ๆ เช่น ปวดศีรษะ วิงเวียน ผื่นคัน ปวดกล้ามเนื้อ อ่อนล้า อิดโรย ขาดสมาธิในการทำงาน ระบายเคืองระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น ซึ่งอาการเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะอยู่ในอาคารและจะหายไปไม่ช้าเมื่อออกจากอาคาร หรือเมื่ออยู่ห่างจากอาคารระยะเวลาหนึ่ง (เช่น ในวันสุดสัปดาห์ ช่วงลาพักผ่อน เป็นต้น) รวมทั้งการป่วยด้วย

โรคที่มีความเชื่อมโยงกับสารมลพิษในอากาศหรือสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ได้แก่ โรคหอบหืด โรคปอดอักเสบภูมิไวเกิน (hypersensitivity pneumonitis) ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพนั้น อาจทำให้เกิดความเจ็บป่วยในทันทีที่สัมผัสกับสารมลพิษในอากาศภายในอาคารหรืออาจจะส่งผลในเวลาหลายปีต่อมา ซึ่งผลกระทบในระยะยาวอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศภายในอาคาร ได้แก่ โรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและโรคมะเร็ง ซึ่งทำให้ร่างกายทรุดโทรมหรือถึงแก่ชีวิตได้

อาการของโรคที่เกิดจากคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่ดีนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสารมลพิษที่ได้รับสัมผัส ความเข้มข้นที่ได้รับ ความถี่และช่วงเวลาของการสัมผัส ซึ่งบ่งบอกความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพ อายุและโรคประจำตัว เช่น หอบหืดและภูมิแพ้อาจมีผลต่อความรุนแรงของผลกระทบด้วย นอกจากนี้ ความชื้นยังมีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ ความชื้นที่เหมาะสม ทำให้เชื้อราและแบคทีเรียในอาคารเจริญได้ดี และก่อให้เกิดมลพิษอากาศภายในอาคาร ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน เช่น อาการหอบหืด หายใจลำบาก หายใจขัด คัดจมูก แน่นจมูก ไอจาม และไซนัสอักเสบ เป็นต้น นอกจากนี้ ความชื้นยังทำให้โรคหอบหืดที่เป็นอยู่มีอาการทรุดลงได้อีก (กัญญา ม่วงแก้ว, 2559)

2.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter)

ฝุ่นละออง (Particulate Matter) เป็นส่วนประกอบเชิงซ้อนของอนุภาคอากาศและหยดน้ำที่ถูกประกอบด้วยกรด, แอมโมเนีย, น้ำ, สารเคมี, โลหะและเม็ดดิน

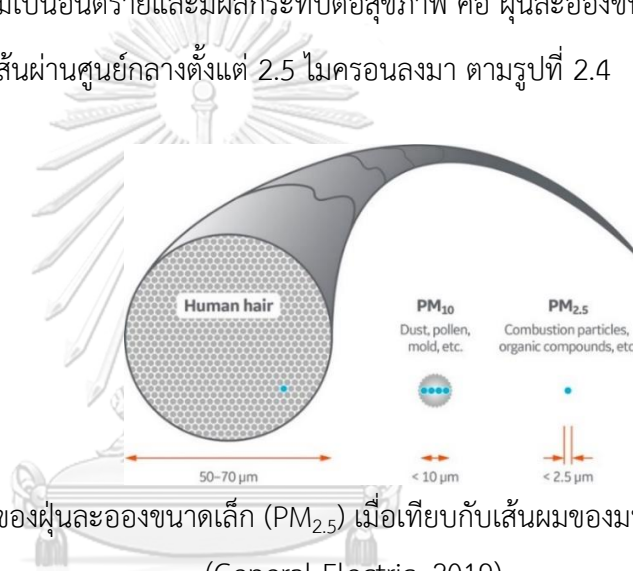
2.3.1 ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา (PM₁₀)

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า PM₁₀ เป็นฝุ่นหรืออนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอนลงไป หมายถึงถึงฝุ่นหรืออนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอนด้วยตามความหมายในประเทศไทย (นพภาพร พานิชและคณะ, 2550) แต่ตามคำจำกัดความของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Coarse Particles) กล่าวคือ เป็นฝุ่นหรืออนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.5 - 10 ไมครอน ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็กได้แก่ ฝุ่น(Dust) ครัน (smoke) พุ่ม (fume) เขม่า (soot) ประกอบด้วยมลสารที่แตกต่างกันเป็นอนุภาคที่ถูกปล่อยในรูปของการควบแน่น หรือการทำให้เป็นผงละอองขนาดเล็ก (atomization) และสามารถอยู่ในสภาพแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ จากการกระทำของกระแสลมหรือการสั่นสะเทือน และสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานเนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ เพราะขนาดอนุภาคซึ่งมีขนาดเล็ก ฝุ่นละออง PM₁₀ มี

บทบาทที่สำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ (Respirable Particulate) (U.S.EPA, 2012)

2.3.2 ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอนลงมา ($PM_{2.5}$)

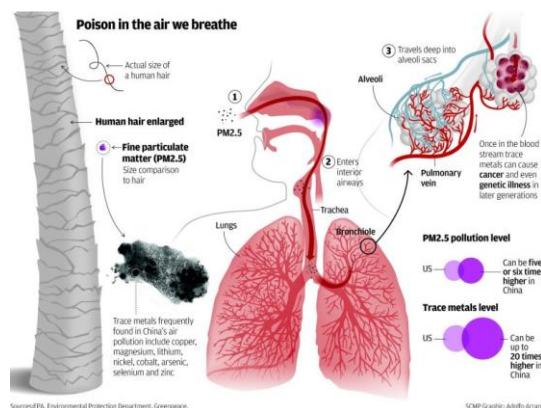
ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) จะพบในควันและหมอกควันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากควันรถยนต์และรถบรรทุก ฝุ่นจากการก่อสร้าง การทำอาหารในครัวเรือน การเผาพืชเผาป่า กระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น (U.S.EPA, 2018b) เราสามารถแบ่งประเภทของฝุ่นละอองได้ออกเป็นหลายขนาด แต่ประเภทที่เริ่มเป็นอันตรายและมีผลกระทบต่อสุขภาพ คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอนลงมา ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) เมื่อเทียบกับเส้นผมของมนุษย์

(General Electric, 2019)

ในการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) จะถูกสัมผัสเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถเข้าสู่ภายในปอดจนถึงระดับถุงลมปอดได้ แต่อาจจะมีบางส่วนที่อาจเล็ดรอดจากถุงลมปอดเข้าสู่กระแสเลือดผ่านทางเส้นเลือดฝอย และสามารถกระจายตัวได้ทั่วร่างกาย ตามรูปที่ 2.5 นอกจากนี้ยังสามารถผ่านเข้าทางเส้นประสาทรับกลิ่นบริเวณโพรงจมูก จากนั้นก็เข้าสู่ระบบสมอง สามารถทำให้มีอาการสมองอักเสบได้



รูปที่ 2.5 เส้นทางของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{2.5}) เมื่อได้รับสัมผัส
(AQI India, 2017)

2.3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละออง PM₁₀ และ PM_{2.5}

ผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อได้รับสัมผัสฝุ่นละออง ถ้าได้รับในปริมาณมาก จะเกิดการแสบจุก แ่นจุก หอบหืดเฉียบพลัน แต่เมื่อได้รับเป็นระยะเวลานาน จะทำให้มีผลเสียต่อการทำงานของปอด หัวใจและหลอดเลือด เป็นไปตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 รวมถึงเซลล์ภูมิคุ้มกัน ช่วยเพิ่มโอกาสการเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบสมอง โดยเฉพาะในเด็กจะทำให้เกิดพัฒนาการทางสมองได้ช้า สำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคมะเร็งและโรคระบบทางเดินหายใจ และกลุ่มเสี่ยงจะรุนแรงมากขึ้นกว่ากลุ่มปกติ แต่ถ้าหากฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่าค่ามาตรฐาน จะส่งผลให้การตายด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 7% – 20% การป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 5.5% การตายและป่วยด้วยโรคหัวใจเพิ่มขึ้น 2% – 5% การตายและป่วยด้วยโรคหัวใจหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 5.3% ผู้สูงอายุป่วยด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่ม 17% ผู้สูงอายุป่วยด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือด เพิ่ม 7.6% และยังทำให้สภาพปอดในเด็กแยลง (พงศเทพ วิวรรณระเดชและคณะ, 2554; สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2561)

ตารางที่ 2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศและผลกระทบจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก

AQI Index	ความหมาย	ปริมาณ PM 24 ชม. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ผลกระทบต่อสุขภาพ
<50	ดี	0 - 12.0	ไม่มี
51 - 100	ปานกลาง	12.1 - 35.4	มีโอกาที่จะแสดงอาการเกี่ยวกับทางเดินหายใจในกลุ่มเสี่ยง, มีผลกระทบต่อหัวใจหรือปอดกับอย่างรุนแรงคนที่เป็โรคปอดและหัวใจและผู้สูงอายุ
101 - 150	มีผลกระทบต่อสุขภาพในกลุ่มเสี่ยง	35.5 - 55.4	มีโอกาที่จะแสดงอาการเกี่ยวกับทางเดินหายใจในกลุ่มเสี่ยงมากขึ้น, มีผลกระทบต่อหัวใจหรือปอดอย่างรุนแรงกับคนที่เป็โรคปอดและหัวใจและผู้สูงอายุ, คนยากจน
151 - 200	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	55.5 - 150.4	เริ่มมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจกับกลุ่มประชากรปกติเพิ่มขึ้น, มีผลกระทบต่อหัวใจหรือปอดอย่างรุนแรงและอาจจะทำให้เสียชีวิตก่อนกำหนดกับคนที่เป็โรคปอดและหัวใจและผู้สูงอายุ, คนยากจน
201 - 300	มีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมาก	150.5 - 250.4	เริ่มมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจกับกลุ่มประชากรปกติเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ, มีผลกระทบต่อหัวใจหรือปอดอย่างรุนแรงและอาจจะทำให้เสียชีวิตก่อนกำหนดกับคนที่เป็โรคปอดและหัวใจและผู้สูงอายุ, คนยากจนอย่างมีนัยสำคัญ
301 - 500	เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	250.5 - 500.4	มีความเสี่ยงกับระบบทางเดินหายใจกับกลุ่มประชากรปกติในขั้นวิกฤติ, มีผลกระทบต่อหัวใจหรือปอดและอาจจะทำให้เสียชีวิตก่อนกำหนดกับคนที่เป็โรคปอดและหัวใจและผู้สูงอายุ, คนยากจนในขั้นวิกฤติ

อ้างอิงจาก (Luo et al., 2019)

2.4 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นสารประกอบชนิดหนึ่งที่ถูกปลดปล่อยออกจากของเหลวหรือของแข็งในรูปแบบของก๊าซ เนื่องจากเป็นสารประกอบที่สามารถระเหยได้ง่าย ทำให้ปนเปื้อนในอากาศได้อย่างรวดเร็ว ถ้าหากในกรณีที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จะทำให้มีความเข้มข้นของ VOCs สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและอาจจะสูงกว่าการเกิดขึ้นภายนอกอาคารถึง 10 เท่า ส่วนใหญ่มักจะพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในวัสดุก่อสร้าง จำพวกไม้อัด กาว สีทาอาคาร ฉนวนโฟมบางประเภท การเผาไหม้เชื้อเพลิง ผลิตภัณฑ์ยาสูบ รวมถึงยังพบในผลิตภัณฑ์ดูแลความงาม เช่น น้ำหอม สเปรย์ฉีดผม ยาทาเล็บ สำหรับในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็ยังพบในประเภทน้ำยาเคลือบเงา งานพิมพ์ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์เอกสาร เป็นต้น (U.S.EPA, 2018a)

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในอุตสาหกรรมการพิมพ์ ส่วนใหญ่จะมาจากกระบวนการพิมพ์ โดยมีแหล่งกำเนิดของประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ที่หมึกพิมพ์ ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี และตัวทำละลายเจือจางสี ในสารประกอบแต่ละชนิดจะมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างชนิดกันดังที่แสดงในตารางที่ 2.2

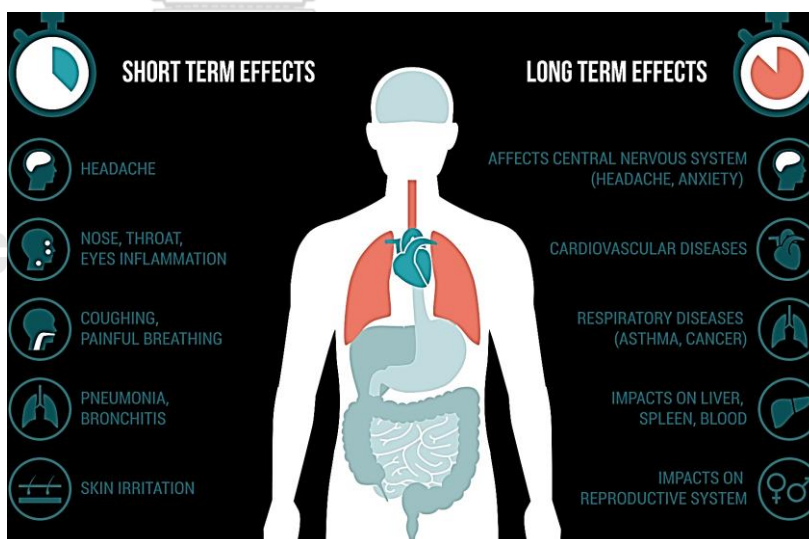
ตารางที่ 2.3 ประเภทสารเคมีที่ใช้กับแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในโรงพิมพ์

สารเคมีที่ใช้	สูตรเคมี	แหล่งกำเนิด
เบนซีน	C_6H_6	ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี
โทลูอิน	$C_6H_5CH_3$	ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี
เอธิลเบนซีน	$C_6H_5CH_2CH_3$	ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี
ไซลีน	$C_6H_4(CH_3)_2$	ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี
2-บิวทาโนน	C_4H_8O	หมึกพิมพ์ ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี และตัวทำละลายเจือจางสี
เมทานอล	CH_3OH	หมึกพิมพ์ ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี และตัวทำละลายเจือจางสี
ไอโซโพรพานอล	C_3H_8O	หมึกพิมพ์ ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี และตัวทำละลายเจือจางสี
n-บิวทานอล	$C_4H_{10}O$	หมึกพิมพ์ ตัวทำละลายที่ใช้ผสมและล้างสี และตัวทำละลายเจือจางสี

อ้างอิงจาก (Tsai et al., 2016)

ผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อได้รับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย แบ่งได้ตามระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส โดยอ้างอิงจากรูปที่ 2.6 ดังนี้

1. ผลกระทบระยะสั้น (Short term effect) อาจจะเป็นรับสัมผัสในปริมาณมากแต่ไม่ได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน หรือที่เรียกว่า อาการเฉียบพลัน จะมีอาการปวดหัว มึนงง เกิดการอักเสบของเยื่อโพรงจมูก และตา มีอาการไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองบนผิวหนัง แต่ถ้าเกิดในกลุ่มเสี่ยง เช่น คนแก่ เด็ก อาจเกิดผลกระทบรุนแรงกว่าปกติ อาจจะทำให้เสียชีวิตได้
2. ผลกระทบระยะยาว (Long term effect) เป็นการรับสัมผัสในปริมาณที่น้อยแต่รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน หรือที่เรียกว่า อาการเรื้อรัง จะมีอาการผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลาง ระบบปอดและหัวใจ ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง ลดจำนวนการตกไข่และอสุจิในระบบสืบพันธุ์ กรวยไตอักเสบและไตวายได้ นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิดเป็นโรคมะเร็งได้ (Airthings, 2018)

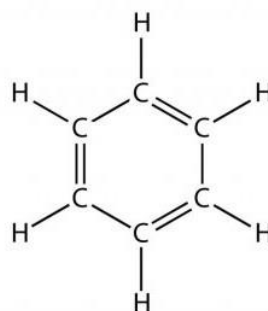


รูปที่ 2.6 ผลกระทบระยะสั้นและระยะยาวของสาร VOCs เมื่อได้รับสัมผัส
(Airthings, 2018)

ในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด มีสารที่เกี่ยวข้องที่รู้จักกันโดยทั่วไปในกลุ่ม BTX ประกอบไปด้วย

2.4.1 เบนซีน (Benzene)

สารเบนซีน (Benzene) เป็นสารในกลุ่ม Aromatics และเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมของปิโตรเคมีขั้นต่อไป ได้แก่ เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไโซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) คิวมีน (Cumene) ฟีนอล (Phenol) เป็นต้น และถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตผลซีกฟอกและผลิตภัณฑ์ซีกล้าง อุตสาหกรรมผลิตตัวทำละลาย เป็นต้น เบนซีนมีสูตรทางเคมีว่า C_6H_6 ซึ่งแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.7 น้ำหนักโมเลกุล 78.11 g/mol จุดเดือดอยู่ที่ $80.1^{\circ}C$ จุดหลอมเหลวอยู่ที่ $5.5^{\circ}C$ ความหนาแน่น 0.879 g/ml เป็นสารระเหยและติดไฟได้ง่ายที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิปกติและสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิ $562^{\circ}C$ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)



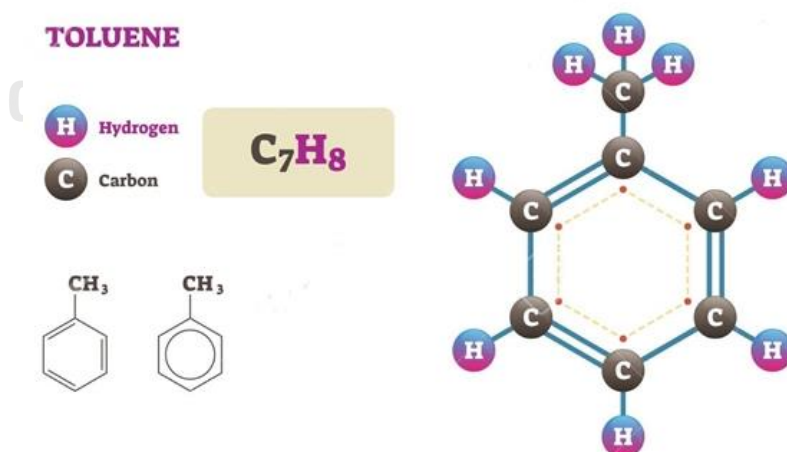
รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างสารเบนซีน (Benzene)
(ERCH2014, 2557)

การเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีการหายใจ เบนซีนเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเผาผลาญเป็น phenol และขับออกมาทางปัสสาวะในรูปของซัลเฟต หรือ glucuronide conjugate เบนซีนมีฤทธิ์กดการทำงานของไขกระดูกทำให้ไขกระดูกเสื่อมสภาพ อาการแบบเฉียบพลัน การหายใจสูดดมเบนซีนในขนาดสูงมาก ๆ จะทำให้เกิดอันตรายได้แก่ ปวดศีรษะ ง่วงงุน ระคายเคืองต่อจมูกและคอ จิตใจสับสน เกิดอาการระคายเคืองผิวหนัง เกิดเป็นผื่นแดง ผื่นหนังอักเสบ หากของเหลวเข้าสู่ปอดทำให้เกิดการบาดเจ็บที่ปอดอย่างรุนแรง

อาการแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษต่อระบบเลือดจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับเบนซีนเป็นระยะเวลานาน เริ่มต้นจะมีอาการภาวะเลือดจาง เม็ดเลือดขาวน้อย และภาวะเกร็ดเลือดน้อย อาการต่าง ๆ ดังกล่าวจะพบพร้อมกัน ภาวะกตการทำงานของไขกระดูก การได้รับอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดภาวะพร่องเม็ดเลือดทุกชนิด (กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2557c)

2.4.2 โทลูอิน (Toluene)

สารโทลูอิน (Toluene) ถือเป็นสารเคมีที่เป็นพิษและจาก พรบ.วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ระบุว่าสารโทลูอินเป็นสารอันตรายชนิดที่ 3 ควบคุมโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม (Chemtrack, 2008) ต้องมีการขึ้นทะเบียนและขออนุญาตนำเข้า โดยส่วนมากจะนำสารโทลูอินมาใช้เป็นตัวทำละลาย ลักษณะภายนอกของสารจะมองเห็นเป็นของเหลวใส มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ มีกลิ่นคล้ายสีทาบ้าน หรือทินเนอร์ สำหรับคุณสมบัติทางเคมี โทลูอินมีสูตรทางเคมีว่า $C_6H_5CH_3$ ซึ่งแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.8 น้ำหนักโมเลกุล 92.14 g/mol จุดเดือดอยู่ที่ $110.6^{\circ}C$ จุดหลอมเหลวอยู่ที่ $-95^{\circ}C$ ความหนาแน่น 0.86 g/ml เป็นสารระเหยและติดไฟได้ง่ายที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิปกติและสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิ $480^{\circ}C$ (NIDA-DPM, 2012)



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างสารโทลูอิน (Toluene)

(Siamroommate, 2563)

สารโทลูอินเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ การดูดซึมผ่านผิวหนัง และการดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหาร การดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหารเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโทลูอินเป็นสารที่ละลายในไขมันและในน้ำ และไปสะสมอยู่ในอวัยวะที่มีไขมันและเลือดไปเลี้ยงมาก โทลูอินจะเป็นสารทำละลายที่เสพติด หากสูดดมในปริมาณสูงทำให้เกิดอาการสั่น เดินไม่ตรง (ataxia) มีความผิดปกติในความจำ และจะสะสมอยู่ในสมองส่วนกลางอย่างรวดเร็ว และต่อมาแพร่กระจายไปสะสมในอวัยวะส่วนอื่น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของไขมัน สารนี้จะถูกเปลี่ยนสภาพในร่างกาย แต่บางส่วนจะถูกขับออกมาที่ลมหายใจโดยไม่เปลี่ยนสภาพ

อาการแบบเฉียบพลัน การได้รับสารโทลูอินที่มีความเข้มข้นสูงอย่างเฉียบพลัน ก่อเกิดอันตรายต่อระบบสมองและประสาทส่วนกลาง อาการพิษจะเริ่มตั้งแต่เวียนศีรษะ คลื่นไส้ งุนงง ซึม สับสน จนกระทั่งหมดสติ อาการพิษเฉพาะที่ จะแสบร้อนในคอ เสียงแหบ ระคายเคืองผิวหนัง

อาการแบบเรื้อรัง การได้รับพิษโทลูอินติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ความจำเสื่อม อารมณ์เปลี่ยนแปลงง่าย ควบคุมอารมณ์ตนเองไม่ได้ สติปัญญาทึบ สับสน กระวนกระวาย การตัดสินใจไม่ได้ นอนไม่หลับ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะเรื้อรัง กล้ามเนื้ออ่อนแรง และสมองถูกทำลาย (กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2557b)

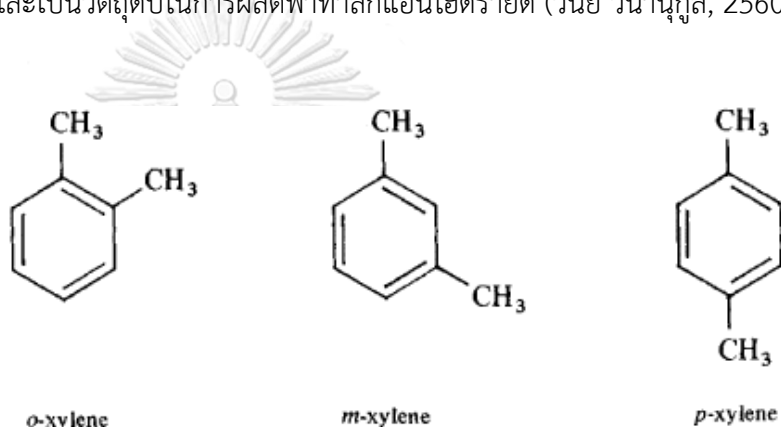
2.4.3 ไซลีน (Xylene)

สารไซลีน (Xylene) หรือชื่อทางเคมี ไดเมทิลเบนซีน (Dimethyl-Benzene) เป็นของเหลวที่ไม่มีสี สามารถละลายได้ด้วย Ether, Ethanol, Acetone ไซลีนเป็นส่วนผสมของเรซิน แลคเกอร์ น้ำยาเคลือบเงา ยางมะตอย สี ย้อม ยาฆ่าแมลง น้ำมันเครื่องบิน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ รวมไปถึงเป็นวัตถุดิบของสารชั้นกลางในอุตสาหกรรมยา มีสูตรทางเคมี $C_6H_4(CH_3)_2$ น้ำหนักโมเลกุล 106.2 g/mol จุดเดือดอยู่ที่ $140.5^{\circ}C$ จุดหลอมเหลวอยู่ที่ $25^{\circ}C$ ความหนาแน่น 0.862 g/ml เป็นสารระเหยและติดไฟได้ง่ายที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิปกติและสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิ $535^{\circ}C$ โดยมีโครงสร้าง 3 ไอโซเมอร์ ซึ่งแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.9 คือ

ก. พาราไซลีน (p-Xylene) หรือ 1,4-Dimethylbenzene ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate - PET) และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ (Polyester)

ข. เมตาไซลีน (m-Xylene) หรือ 1,3-Dimethylbenzene ใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นวัตถุดิบในการผลิตไอโซฟาทาลิกแอซิด

ค. ออร์โธไซลีน (o-Xylene) หรือ 1,2-Dimethylbenzene ใช้ผลิตสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งเสริมสร้างความยืดหยุ่นของโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และเป็นวัตถุดิบในการผลิตฟาทาลิกแอนไฮดริด (วินัย วนานุกูล, 2560)



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างสารไซลีน (Xylene) ทั้ง 3 ไอโซเมอร์

(Siamchemi, 2557)

สามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดม ไอ การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางปาก อาการเฉียบพลัน การสัมผัสสารไซลีนที่มีความเข้มข้นมากกว่า 200 ppm ทำให้เกิดอาการมึนงง ปวดเวียนศีรษะ คลื่นเหียน อาเจียน ไอและน้ำมูกไหล และปวดท้อง เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและผิวหนัง ทำให้ผิวหนังไหม้ และทำลายไขมันใต้ผิวหนัง

อาการเรื้อรัง การได้รับสารไซลีนเข้าไปเป็นระยะเวลานานต่อเนื่องกันทำให้เยื่อตาอักเสบ จมูก คอ และผิวหนังแห้ง การสูดดมหายใจเอาไซลีนเข้าไปบ่อย ๆ ทำให้ระบบประสาทส่วนกลางทำงานผิดปกติ อ่อนเพลีย โลหิตจาง เลือดออกตามเยื่อぶตบและไต (กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2557a)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Al-Awadi, Al-Rashidi, Pereira, Pillai, & Khan, 2018) ได้ทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในประเทศคูเวต โดยมุ่งเน้นไปที่งานพิมพ์และตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศและระบายความร้อน (HVAC), คาร์บอนไดออกไซด์, โอโซน, VOCs และฝุ่นละออง พบว่า ในระบบการพิมพ์ออฟเซตมีค่า VOCs มาก เนื่องจากใช้สารอินทรีย์ทำละลายมากเกินไป แต่ค่าสูงสุดเกิดจากระบบปรับอากาศและระบายความร้อน (HVAC) ที่มีสาร HCFC และ CFC รั่วไหลออกมา ส่วนค่าของโอโซนเกิดจากการถ่ายเอกสาร ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มข้นที่สูงแต่ก็ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้ยังพบค่าของฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก ควรแก้ไขด้วยการติดตั้งตัวกรองดักฝุ่น

(Kagi et al., 2007) ได้ทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในประเทศญี่ปุ่น โดยตรวจวัด VOCs โอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กในห้องที่มีเครื่องพิมพ์เลเซอร์และอิงค์เจ็ทเป็นจำนวน 3 เครื่อง พบว่า มีสารสไตรีนและโอโซนจากเครื่องพิมพ์เลเซอร์และแอลกอฮอล์จากเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท แหล่งที่มาของสไตรีนจากเครื่องพิมพ์เลเซอร์คือผงหมึกและเพนทานอลจากเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทคือหมึก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเครื่องพิมพ์ในสำนักงานหรือที่พักอาศัย อาจอาจปลดปล่อยสารออกมาปนเปื้อนกับอากาศภายในอาคาร ถึงแม้ว่า ค่าความเข้มข้นของโอโซนจะไม่เพิ่มขึ้นจากการพิมพ์หรือเครื่องถ่ายเอกสารก็ตาม แต่โอโซนจากอุปกรณ์เหล่านี้ อาจเกิดการออกซิไดซ์ VOC เป็นสารปนเปื้อนอื่น ๆ ได้ เช่น อนุภาคอัลดีไฮด์ กรดต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเปรียบเทียบกับห้องอื่น ๆ ด้วย

(Kiurski et al., 2013) ได้ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศในโรงพิมพ์ในประเทศเซอร์เบียบริเวณจุดที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานจำนวน 5 จุด ทำการวัดทุก ๆ 40 นาทีในช่วง 4 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ และแก๊สโครมาโทกราฟีแบบเคลื่อนที่ ซึ่งเก็บตัวอย่างด้วยการสุ่มตามลักษณะทางเทคนิคของแผนกการพิมพ์สกรีน พบว่า ระดับของสารที่ตรวจวัดเกินค่ามาตรฐาน OSHA และ NIOSH ที่กำหนดไว้ โดยเฉพาะความเข้มข้นของอะซิโตนไอโซโพรพานอลและเมทิลเอทิลคีโตนเพิ่มขึ้นจาก 0.120 เป็น 0.214 ppm ในช่วง 80 นาทีของกระบวนการพิมพ์ในโรงงานที่ถูกตรวจสอบมากที่สุด ความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 0.650 ถึง 3.997 ppm และแตกต่างกันระหว่างโรงงานเกือบ 1.5 ถึง 6 เท่าขึ้นอยู่กับ

ความเข้มข้นของการระบายอากาศกระบวนการแพร่หรือการมีปฏิสัมพันธ์กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยอื่น ๆ ของอากาศในอาคาร

(Leung, Liu, & Chan, 2005) ได้ทำการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารของโรงพิมพ์ทั้ง 7 แห่งในฮ่องกง เพื่อหาผลกระทบของการปลดปล่อย VOCs ในโรงพิมพ์ พบว่าการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายของผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง มีค่าค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกันในแต่ละแห่ง แต่ค่ารับสัมผัสระยะสั้น 1 ชั่วโมง มีค่าที่ค่อนข้างสูงและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากกระบวนการทำความสะอาดหัวแม่พิมพ์ จึงควรมีการปรับปรุงระบบการไหลเวียนอากาศภายในอาคารให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งนำไปใช้กับอุตสาหกรรมอื่นได้ เช่น งานบัดกรี งานเชื่อม งานเจียร เป็นต้น

(Noguchi, Mizukoshi, Yanagisawa, & Yamasaki, 2016) ได้ทำการศึกษาวัดการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวของความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยรวม (TVOCs) ในศูนย์รับเลี้ยงเด็กที่สร้างขึ้นใหม่ในประเทศญี่ปุ่น โดยทดสอบด้วยวิธี Photoionization Detector (PID) และเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารและวิเคราะห์โดยใช้ Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC / MS) และโครมาโทกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) และได้เก็บตัวอย่างในช่วงที่อาคารเพิ่งสร้างเสร็จเปรียบเทียบกับหลังจากที่สร้างเสร็จไปแล้ว 3 เดือนพบว่า ความเข้มข้นของ TVOC มีค่าเกิน $1,000 \mu\text{g m}^{-3}$ ในช่วงที่อาคารเพิ่งสร้างเสร็จ และหลังจากนั้น 3 เดือนมีค่าลดลงไปต่ำกว่าค่าแนะนำของ TVOC ในญี่ปุ่นที่กำหนด ($400 \mu\text{g m}^{-3}$) แสดงได้ว่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ลดระดับความเข้มข้น TVOC ในห้องได้สำเร็จ

(Sharma & Balasubramanian, 2019) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารหอพักในประเทศสิงคโปร์ เมื่อมีระบบระบายอากาศแบบปกติ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กระหว่างภายในและภายนอกอาคาร พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กภายนอกอาคารมีปริมาณสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน ($12 \mu\text{g/m}^3$) สำหรับการตรวจวัดภายในอาคารแบ่งเป็น 3 กรณี พบว่ากรณีที่ห้องพักปิดหน้าต่างและมีการเครื่องใช้ฟอกอากาศจะช่วยทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 74% และทำให้เห็นได้ว่า การใช้

เครื่องฟอกอากาศในอาคารสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพในการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารได้

(Tsay et al., 2016) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพความปลอดภัยของข้อมูลสารเคมีในอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ในประเทศไต้หวัน พบว่า เบนซีนและเอทิลเบนซีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็งอาจตรวจพบในตัวทำละลายทำความสะอาดและอัตราการตรวจพบเป็น 54.5% (ความเข้มข้น: <0.011–0.035 wt%) และ 63.6% (ความเข้มข้น: <0.011–6.22 wt%) ตามลำดับ แต่ไม่มีการเปิดเผยสารประกอบในเอกสารความปลอดภัยสำหรับตัวทำละลาย รวมถึงเมทานอลไอโซโพรพานอลและเอีน - บิวทานอลก็ถูกระบุในหมึกพิมพ์และตัวทำละลายเจือจาง และตั้งข้อสังเกตว่า มีบริษัทที่สื่อสารความเป็นอันตรายให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน 57.2% จัดเก็บเอกสารความปลอดภัยไว้ในแฟ้ม 61.8% และให้การฝึกอบรมด้านความปลอดภัยและสุขภาพแก่ผู้ปฏิบัติงาน 59.9% นอกจากนี้ยังพบว่า ในจำนวนเกือบครึ่งหนึ่งของอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ที่สำรวจจำนวน 152 แห่งไม่ได้มีการสื่อสารความเป็นอันตรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 การสำรวจสถานที่ทำการวิจัย

ในการวิจัยนี้ จะทำการติดตามตรวจวัดคุณภาพอากาศในโรงพิมพ์ที่มีการใช้ระบบการพิมพ์ต่าง ๆ มาทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยรายละเอียดโรงพิมพ์ที่เป็นสถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ จำนวน 5 แห่ง ได้แก่

1. Offset Printing A เป็นหน่วยงานในกำกับของมหาวิทยาลัยรัฐ ให้บริการผลิตเอกสารสีพิมพ์ มีทั้งระบบการพิมพ์ออฟเซตและดิจิทัล แต่เนื่องจากเน้นการผลิตตำราและหนังสือทางวิชาการจำนวนมาก ทำให้มีพื้นที่ในการตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตมากกว่าเครื่องพิมพ์ดิจิทัล
2. Offset Printing B เป็นหน่วยงานในสังกัดของมหาวิทยาลัยมหาวิทาลัยรัฐ ให้บริการจัดพิมพ์เอกสารการสอนและสื่อสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ มีทั้งระบบการพิมพ์ออฟเซตและดิจิทัล แต่เนื่องจากเน้นการผลิตตำราเรียนของมหาวิทยาลัย ทำให้มีพื้นที่ในการตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตมากกว่าเครื่องพิมพ์ดิจิทัล
3. Offset Printing C เป็นหน่วยงานราชการในสังกัดมหาวิทยาลัยรัฐ ให้บริการด้านงานพิมพ์ต่าง ๆ อาทิเช่น หนังสือ โปสเตอร์ มีทั้งระบบการพิมพ์ออฟเซตและดิจิทัล แต่เนื่องจากเน้นการผลิตตำราเรียนของมหาวิทยาลัย รวมถึงการผลิตวารสารและจดหมายข่าว ทำให้มีพื้นที่ในการตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตมากกว่าเครื่องพิมพ์ดิจิทัล
4. Digital Printing D เป็นองค์กรเอกชนแห่งหนึ่งให้บริการงานพิมพ์ต่าง ๆ อาทิเช่น หนังสือ แผ่นพับ นามบัตร บรรจุภัณฑ์ มีเฉพาะระบบการพิมพ์ดิจิทัลเท่านั้น
5. Digital Printing E เป็นองค์กรเอกชนแห่งหนึ่งให้บริการงานพิมพ์ต่าง ๆ อาทิเช่น งานพิมพ์เอกสาร ถ่ายเอกสาร มีเฉพาะระบบการพิมพ์ดิจิทัลเท่านั้น

นอกจากนี้ ยังมีการเก็บตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบการได้รับสัมผัสมลพิษอากาศภายในอาคารระหว่างผู้ที่ปฏิบัติในโรงพิมพ์กับผู้ปฏิบัติงานในสำนักงานทั่วไป โดยทำการเก็บตัวอย่าง

อากาศที่สำนักงานภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นห้องสำนักงานที่มีการทำงานปกติ มีงานพิมพ์เอกสารน้อย และมีเครื่องพิมพ์สำนักงานตั้งอยู่ที่ส่วนใหญ่ใช้ระบบการพิมพ์ดิจิทัล

ในการวิจัยนี้ ได้ทำการติดตามตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารตามประเภทระบบการพิมพ์หลักของแต่ละโรงพิมพ์ รวมถึงจุดเปรียบเทียบโดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของโรงพิมพ์และสำนักงานทั่วไปจำนวน 6 แห่ง

Site	Type of Printing	Type of Ink	Paper	Ventilation	Sampling
			Consumption (sheet per month)		Area (m ²)
Offset Printing A	Offset	Soy Ink	4,312,000	Non-air conditioning	1,500
Offset Printing B	Offset	Soy Ink	4,795,000	Non-air conditioning Air conditioning	5,000
Offset Printing C	Offset	Soy Ink	5,000,000	Non-air conditioning Air conditioning	1,000
Digital Printing D	Digital	Laser toner	1,900,000	Air conditioning	1,250
Digital Printing E	Digital	Laser toner	270,000	Air conditioning	100
Reference	Office	Laser toner	2,000	Air conditioning	50

*เป็นผลรวมอัตราการผลิตของเครื่องพิมพ์ทั้งหมดในโรงพิมพ์ ขึ้นอยู่งานพิมพ์ที่ได้รับ

**เป็นตัวเลขโดยประมาณได้จากการสอบถาม

3.2 การติดตามตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร

3.2.1 ระยะเวลาในการตรวจวัด

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ทั้งในบริเวณภายในอาคารและติดตัวบุคคลทั้ง 6 แห่ง เป็นระยะเวลา 5 วันทำการต่อเนื่องกัน ตามช่วงเวลาทำงานของแต่ละแห่ง ดังที่แสดงตามตารางที่ 3.2

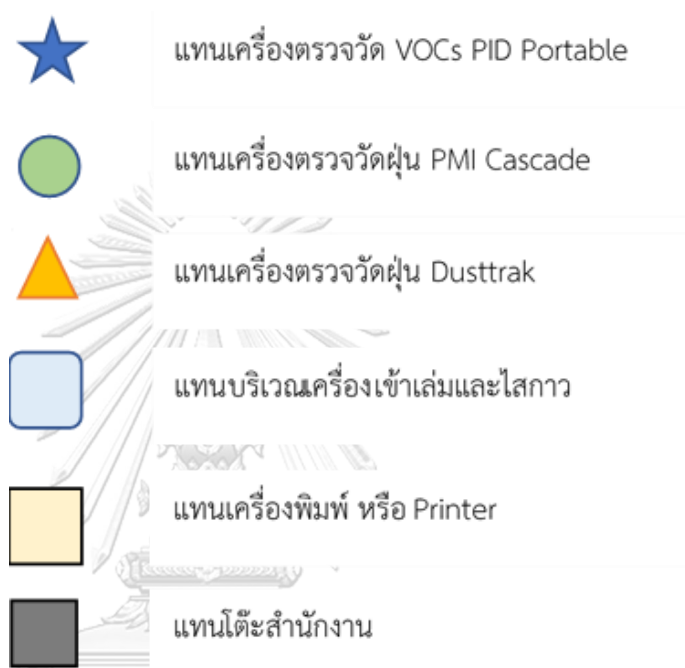
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดช่วงเวลาและจำนวนในการเก็บตัวอย่างอากาศในอาคาร

Site	Date of Sampling	Time of Sampling	Parameter	Quantity	Workplace Sampling	Personal Sampling
Offset Printing A	28 th Oct - 1 st Nov 2019	8 AM –	$PM_{10}, PM_{2.5}$	3	1	2
		5 PM	TVOC	1	1	
			VOCs (BTX)	2		2
Offset Printing B	25 th – 29 th Nov 2019	8 AM –	$PM_{10}, PM_{2.5}$	4	1	3
		5 PM	TVOC	1	1	
			VOCs (BTX)	3		3
Offset Printing C	13 th – 17 th Jan 2020	8 AM –	$PM_{10}, PM_{2.5}$	3	1	2
		5 PM	TVOC	1	1	
			VOCs (BTX)	2		2
Digital Printing D*	9 th - 13 th Dec 2019	8.30 AM	$PM_{10}, PM_{2.5}$	4	1	3
		– 5.30 PM	TVOC	1	1	
			VOCs (BTX)	3		3
Digital Printing E*	18 th – 22 nd Nov 2019	8.30 AM	$PM_{10}, PM_{2.5}$	2	1	1
		– 5.30 PM	TVOC	1	1	
			VOCs (BTX)	1		1
Reference	4 th - 8 th Nov 2019	8 AM –	$PM_{10}, PM_{2.5}$	2	1	1
		5 PM	TVOC	1	1	
			VOCs (BTX)	1		1

*เนื่องจากเป็นองค์กรเอกชน ทำให้เวลาเริ่มงานช้ากว่าหน่วยงานราชการ

โดยที่

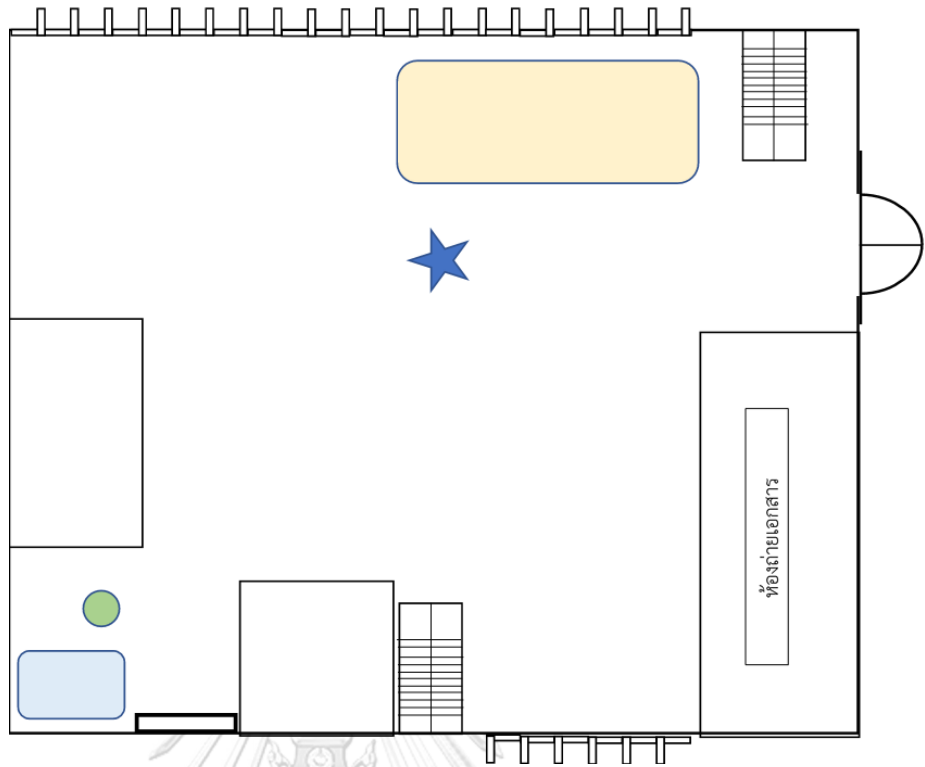
1. การเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร จะติดตั้งอุปกรณ์ใกล้บริเวณที่คาดว่าผู้ปฏิบัติงานเดินผ่านประจำ เช่น บริเวณแท่นพิมพ์ บริเวณเข้าเล่ม โดยแผนผังในการตั้งเครื่องตรวจวัดเป็นไปตามที่แสดงในแผนผังในรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.7 โดยที่กำหนดสัญลักษณ์ตามรูปที่ 3.1



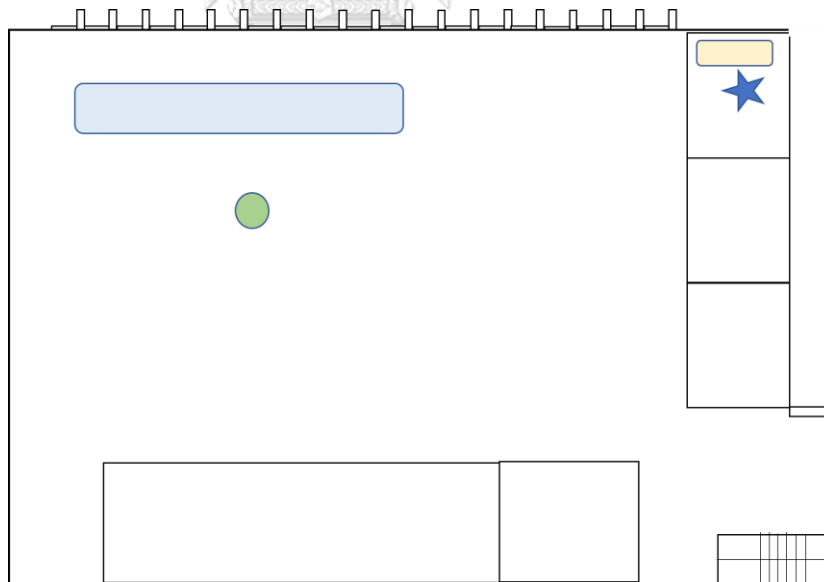
รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์แทนอุปกรณ์ในแผนผังตรวจวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

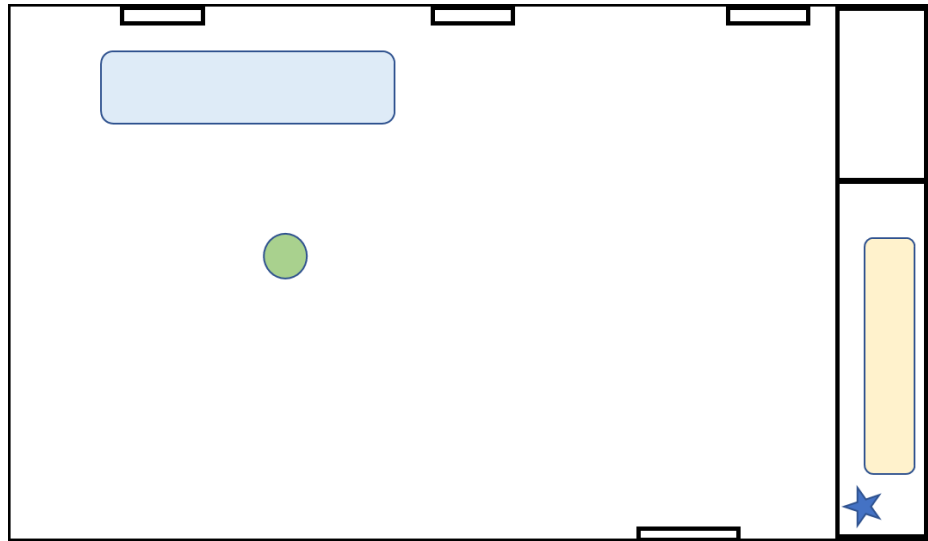
2. การเก็บตัวอย่างที่ติดตัวบุคคล จะติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง โดยเลือกจากบุคคลที่คาดว่าจะมีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสฝุ่นและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งบุคคลที่ปฏิบัติงานประจำอยู่หน้าแท่นพิมพ์และเครื่องตัดกระดาษจะได้รับสัมผัสสารกลุ่มดังกล่าวมากกว่าแผนกอื่น จึงมีความเสี่ยงสูง



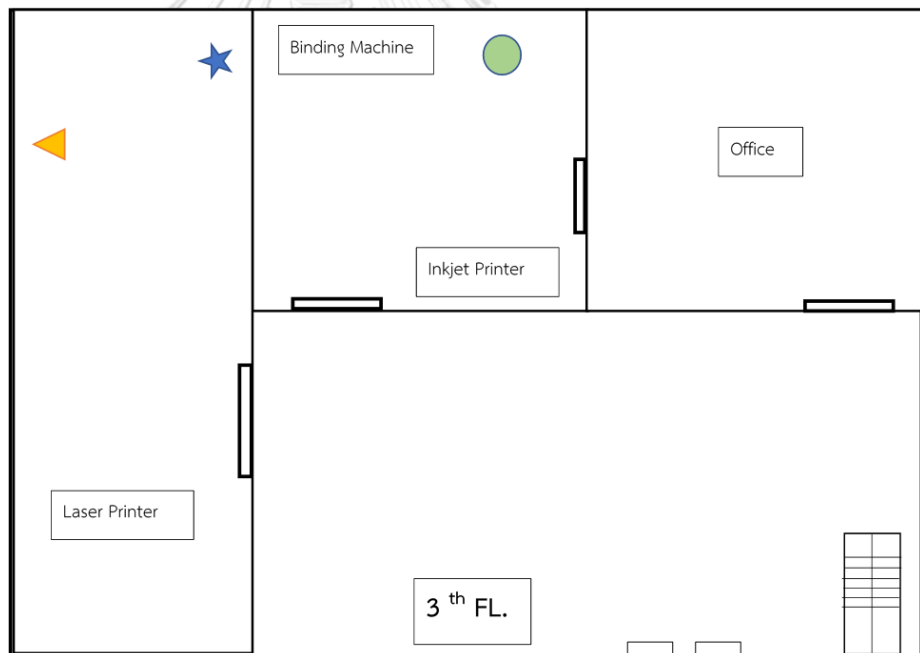
รูปที่ 3.2 แผนผังตรวจวัดในจุด Offset Printing A



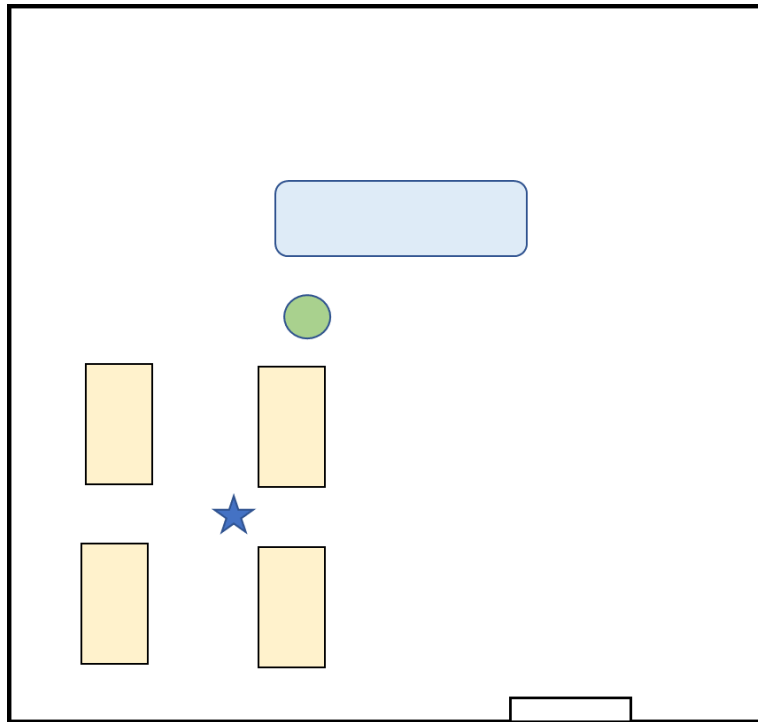
รูปที่ 3.3 แผนผังตรวจวัดในจุด Offset Printing B



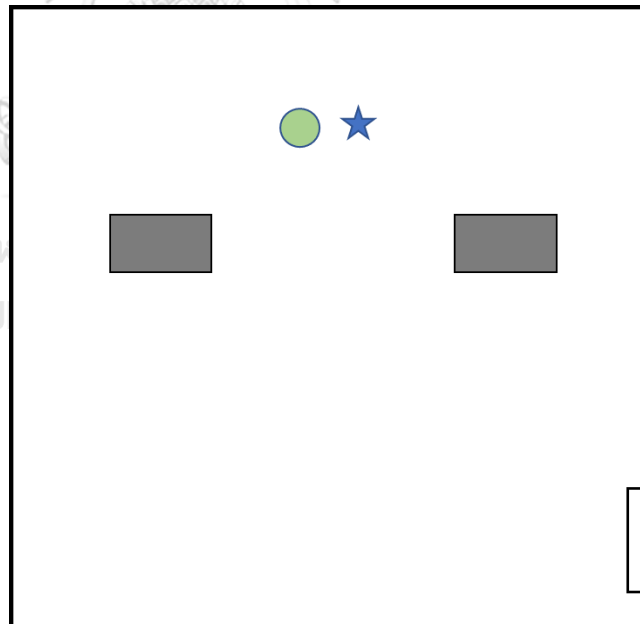
รูปที่ 3.4 แผนผังตรวจวัดในจุด Offset Printing C



รูปที่ 3.5 แผนผังตรวจวัดในจุด Digital Printing D



รูปที่ 3.6 แผนผังตรวจวัดในจุด Digital Printing E

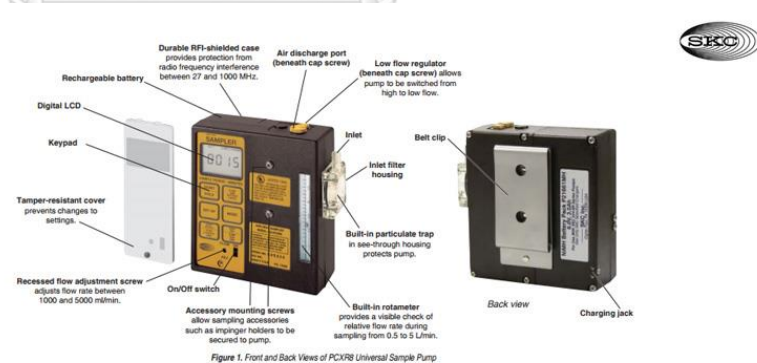


รูปที่ 3.7 แผนผังตรวจวัดในจุด Reference

3.2.2 การติดตามตรวจวัดหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5}

ในการติดตามตรวจวัดหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารและติดตัวบุคคล จะทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลต่อกับหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} (Personal Modular Impactor Cascade) ซึ่งกำหนดอัตราการไหลที่ 3.0 ลิตร/นาทีในการดูดอากาศ เพื่อให้เกิดการคัดขนาดฝุ่นภายในหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็กสู่กระดาดกรองที่บรรจุอยู่ภายในเช่นกัน กระดาดกรองที่ใช้เก็บเป็นชนิดเยื่อกรอง Polyvinyl chloride (PVC) สำหรับดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และชนิดเยื่อกรอง Polytetrafluoroethylene (PTFE) สำหรับดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร โดยอาศัยความเฉื่อยของอนุภาค

ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal Pump) เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ โดยใช้หลักการ Active sampler กล่าวคือ ใช้แรงในดูดอากาศเพื่อดักฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยตัวกรองผ่านช่องโดยช่องเปิดให้อากาศไหลเข้า (Air inlet) ในอัตราไหลผ่านด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอ (สัวร์ซ์ บิวแย้ม, 2551) ซึ่งมีลักษณะรายละเอียดของปั๊มตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal Pump)

(SKC Ltd, 2012b)

สำหรับหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Personal Modular Impactor Cascade) เป็นตัวกรองที่ใช้เก็บอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดเล็ก มีลักษณะตามรูปที่ 3.9 ซึ่งการกระแทกของอากาศที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่บนผิวของของแข็ง เรียกว่า

Impaction โดยมีหลักการจากการที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูง เมื่ออากาศชนกับสิ่งกีดขวาง จะทำให้อากาศเกิดการเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ แต่อนุภาคที่มีความเฉื่อยอยู่ก็ยังคงพุ่งชนสิ่งกีดขวางนั้น ทำให้สะสมบนผิวของของแข็งนั้น (สราวุธ สุธรรมมาสา, 2551)



รูปที่ 3.9 หัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Personal Modular Impactor Cascade)
(SKC Ltd, 2015)

นอกจากนี้ยังมีการติดตามตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารด้วยเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อ่านค่าโดยตรงทันทีแบบต่อเนื่อง (Aerosol Monitor : Dusttrak II 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA) ตามรูปที่ 3.10 ในการวิจัยด้วยอุปกรณ์นี้จะเลือกขนาดฝุ่น $PM_{2.5}$ มาใช้ในวิเคราะห์ตัวอย่างภายในอาคาร และทำการเก็บตัวอย่างที่บริษัท แรบพิท4พรีนซ์ จำกัด ซึ่งใช้ระบบการพิมพ์ดิจิทัลเป็นหลัก และโรงพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ใช้ระบบการพิมพ์ออฟเซตเป็นหลัก เพื่อดูแนวโน้มในการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กตามช่วงเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานอยู่

เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อ่านค่าโดยตรงทันทีแบบต่อเนื่อง จะใช้หลักการ Gravimetric ในการเก็บตัวอย่างจากด้านนอกเข้าสู่ตัวเครื่องและใช้หลักการกระเจิงของแสง (Light Scattering) ผ่าน Laser Photometer ที่อยู่ภายในเครื่องมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง แสดงออกมาทางหน้าจอเป็นค่าต่อเนื่อง



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อ่านค่าโดยตรงทันทีแบบต่อเนื่อง
(TSI Inc.)

3.2.3 การติดตามตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

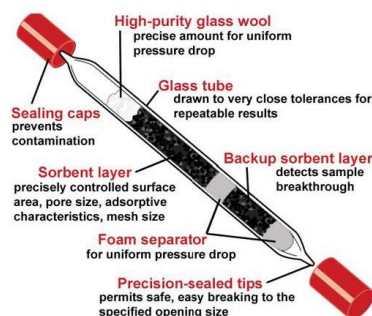
ในการติดตามตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในอาคาร จะทำการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องตรวจวัด TVOC แบบพกพาและอ่านค่าจากเครื่องโดยตรง (Handheld Volatile Organic Compounds monitor : MiniRAE 3000+, RAE Systems, Honeywell Inc., Sunnyvale, CA, USA) ตามรูปที่ 3.11 ต่อกับสายชักตัวอย่างที่มีฟิลเตอร์ ป้องกันฝุ่นในการดูดอากาศเข้ามาภายในเครื่อง เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยใช้หลักการ Photoionization Detector (PID) ในการตรวจวัด

หลักการ Photoionization Detector (PID) เป็นหลักการหนึ่งในการตรวจหาปริมาณความเข้มข้นโดยใช้พลังงานจากหลอดอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในการแตกตัวไอออนของสาร เพื่อวัดหาความเข้มข้นของ VOCs ที่กระจายตัวอยู่ในอากาศ (RAE, 2016)



รูปที่ 3.11 เครื่องตรวจวัด TVOC แบบอ่านค่าโดยตรง (MiniRAE 3000)
(Honeywell Inc, 2016)

ส่วนการติดตามตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ตัวบุคคล จะทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal Pump : The Universal PCXR8 personal, SKC Inc., PA, USA) ต่อกับหลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Sorbent Tubes) ตามรูปที่ 3.12 โดยกำหนดอัตราการไหลที่ 0.2 ลิตร/นาที มีช่วงการตรวจวัดอยู่ที่ 0 – 15,000 ppm ความละเอียดในการตรวจวัดถึงระดับ 0.1 ppm ในการดูอากาศเพื่อให้เกิดการไหลผ่าน Charcoal ภายใน Sorbent Tube ด้วยวิธีการดูดซับ (Adsorption) ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ตามหลักการ NIOSH Method 2549 (NIOSH, 1996)



รูปที่ 3.12 หลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Sorbent Tube)
(SKC Ltd, 2012a)

3.3 วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5}

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5}

- หัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} (PMI Cascade : PM Coarse 50% Cut-point of 10 µm and 2.5 µm at the flow rate 3.0 l/min Cat 225-351, SKC Inc., PA, USA)
- หัวต่อสำหรับปรับเทียบในการตรวจวัดอากาศ (PMI Calibration Adaptor Cat 225-358, SKC Inc., PA, USA)
- บั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal Pump : The Universal PCXR8 personal Cat. No. 224-PCXR8, SKC Inc., PA, USA)
- เครื่องปรับอัตราการไหลของปริมาตรอากาศ (Volumetric Air Flow Calibrators : Defender 520, Mesa Laboratories Inc., NJ, USA)
- กระดาษกรองชนิดชนิดเยื่อกรอง Polyvinyl chloride (PVC) สำหรับดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร รูปทรงขนาด 5 ไมโครเมตร (MCE4537100, Sterlitech, Corporation, USA)
- กระดาษกรองเยื่อกรอง Polytetrafluoroethylene (PTFE) สำหรับดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร รูปทรงขนาด 1.0 ไมโครเมตร (R2PJ037, PALL, Pall Corporation Filtration & Separations (Thailand) Ltd)
- แผ่นดักฝุ่นเคลือบน้ำมันดักจับฝุ่นละอองหยาบที่มีขนาดมากกว่า 10 ไมโครเมตร (Substrate Pad)
- สายซิลิโคนสำหรับซักตัวอย่างอากาศ
- ขาตั้งกล้อง

3.3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5}

ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} จะเริ่มจากการนำกระดาษกรองชนิด PVC และ PTFE วางบนถาดกระดาษฟอยล์ จำนวน 1 ชั้น/ถาด เข้าสู่ตู้ดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมงให้นำกระดาษกรองออกจากตู้ดูดความชื้น เพื่อนำมาชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 7 ตำแหน่งพร้อมกับบันทึกค่า และนำกระดาษกรองบรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์ และกลับเก็บตัวอย่าง ก่อนจะนำไปเก็บตัวอย่างต่อไป

หลังจากนั้น ทำการต่อปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล เครื่องปรับอัตราการไหลของปริมาตรอากาศ หัวต่อสำหรับปรับเทียบในการตรวจวัดอากาศ หัวคัตแยกฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} มาต่อเข้ากันตามรูปที่ 3.13 เพื่อทำการปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊มให้อยู่ที่ 3.0 ลิตร/นาที



รูปที่ 3.13 การปรับเทียบอัตราไหลของอากาศในการเก็บฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5}

เมื่อทำการปรับเทียบอัตราการไหลแล้ว จากนั้นจะทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดยแยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.3.2.1. การเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ในบริเวณพื้นที่กระบวนการผลิต โดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลประกอบด้วยสายชักตัวอย่างอากาศและหัวคัตขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นที่มีกระดาษกรอง PTFE

และ PVC บรรจุอยู่ โดยเลือกใกล้จุดที่คาดว่าพนักงานจะเดินสัญจรประจำ และให้หัวคัต ขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นอยู่ที่ระดับการหายใจ ซึ่งมีความสูง 100-120 เซนติเมตรจากพื้นโดยประมาณด้วยการแขวนไว้ข้างตั่งกลิ้ง ตามรูปที่ 3.14

3.3.2.2. การเก็บตัวอย่างที่ติดตัวบุคคล จะทำการประกอบปั๊มเก็บตัวอย่าง อากาศส่วนบุคคลกับสายชักตัวอย่างอากาศและหัวคัตขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นที่มี กระจกครอบบรรจุอยู่เข้าด้วยกัน จากนั้นจะนำปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลไป แขวนไว้ที่บริเวณเอวของผู้ปฏิบัติงาน โดยที่สายชักตัวอย่างจะพาดอ้อมให้อยู่ด้านหลัง ของผู้ปฏิบัติงานและติดเทปกาวไว้ติดกับเสื้อผ้า เพื่อความสะดวกในการทำงาน ส่วนหัว คัตขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชั้นจะนำไปติดที่บริเวณปกเสื้อของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอยู่ใน บริเวณระดับการหายใจ

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ทำการเปิดปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลเพื่อเดินเครื่อง บันทึกวัน เวลา สถานที่เก็บตัวอย่าง โดยให้ทั้งในส่วนของ กระบวนการผลิตและส่วนของผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ทำงานตามปกติ เมื่อเก็บตัวอย่างครบ 8 ชั่วโมงแล้วบันทึกวัน เวลา สถานที่เก็บตัวอย่างให้ตรงกับจุดเก็บ ตัวอย่างและทำการปิดปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล



รูปที่ 3.14 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} และ $PM_{2.5}$ บริเวณภายในอาคาร

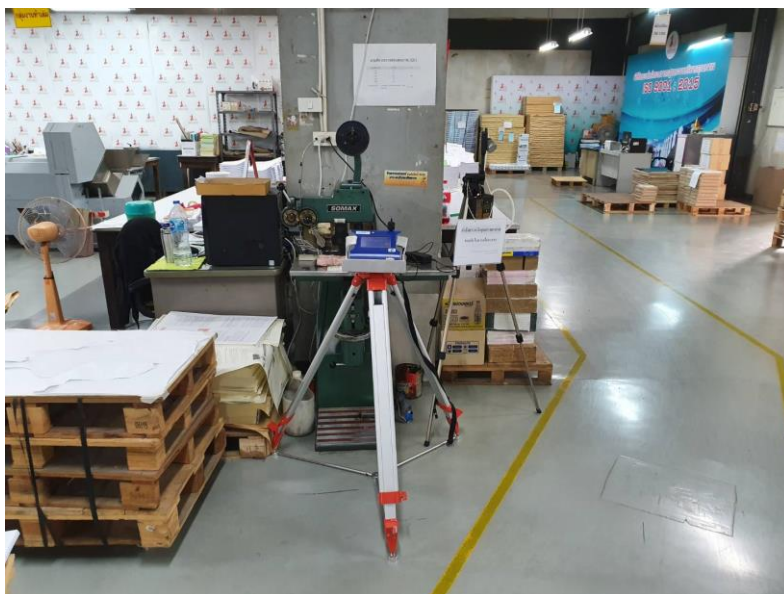
3.3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด ($PM_{2.5}$)

แบบต่อเนื่อง

- เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อ่านค่าโดยตรงทันทีแบบต่อเนื่อง (Aerosol Monitor : Dusttrak II 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA)
- ตัวปรับเทียบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (Zero Filter TSI Inc., Shoreview, MN, USA)
- ชุดหัวเก็บและหัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Impactor Kit for Dusttrak II 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA)
- น้ำมันดักจับฝุ่นละอองสำหรับเคลือบแผ่นดักจับในหัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Impactor Oil, TSI Inc., Shoreview, MN, USA)
- ขาดังเครื่อง
- ที่ชาร์จแบตเตอรี่และสายไฟ

3.3.4 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด ($PM_{2.5}$) แบบต่อเนื่อง

ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ แบบต่อเนื่อง จะเริ่มจากนำน้ำมันดักจับฝุ่นละอองมาหยดลงในแผ่นดักจับ (Impactor pad) ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วในชุด Impactor Kit โดยเลือกหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาด $PM_{2.5}$ มาใช้ในการเก็บตัวอย่าง จากนั้นทำการเปิดเครื่องและปรับเทียบค่าก่อนเก็บให้เป็น 0 (Zero Calibration) ด้วยการนำ Zero filter มาต่อกับหัวคัดฝุ่นละอองขนาด $PM_{2.5}$ ซึ่งเป็นช่องอากาศไหลเข้าแล้วเลือกคำสั่งจากหน้าจอไปที่ Set up จากนั้นเลือกที่ Zero Cal เลือกที่ OK รอประมาณ 60 วินาทีจนกว่าหน้าจอจะขึ้นว่า Complete จากนั้นถอด Zero filter ก่อนที่จะนำไปตั้งเวลาในการตรวจและทำการตรวจวัดภายในอาคารด้วยการตั้งไว้กับขาดังเครื่องที่ประกอบไว้แล้วตามรูปที่ 3.15 โดยเลือกใกล้จุดที่คาดว่าพนักงานจะเดินสัญจรประจำ จากนั้นทำการเสียบปลั๊กตัวเครื่องไว้เพื่อให้เครื่องสามารถทำการตรวจวัดได้ตลอดเวลา เมื่อครบเวลา 8 ชั่วโมงก็ทำปิดเครื่อง



รูปที่ 3.15 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} แบบต่อเนื่อง

3.4 วิธีการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ภายในพื้นที่อาคาร

3.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ภายในพื้นที่อาคาร

- เครื่องตรวจวัด TVOC แบบพกพาและอ่านค่าจากเครื่องโดยตรง (Model: MiniRAE 3000+, RAE Systems, Honeywell Inc., Sunnyvale, CA, USA)
- ขาดังกล่า

3.4.2 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ภายในพื้นที่อาคาร

การเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ในบริเวณพื้นที่กระบวนการผลิต โดยใช้เครื่องตรวจวัด TVOCs แบบพกพาประกอบด้วยสายชักตัวอย่างอากาศและตัวกรองดักฝุ่น โดยเลือกใกล้จุดที่คาดว่าพนักงานจะเดินสัญจรประจำ และติดตั้งเครื่องที่ระดับการหายใจ ซึ่งมีความสูง 100-120 เซนติเมตรจากพื้นโดยประมาณ ด้วยการติดตั้งไว้ขาดังกล่า ตามรูปที่ 3.16 จากนั้นทำการเปิดเครื่องเพื่อเริ่มการตรวจวัดโดยตั้งค่าให้รายงานค่าทุก ๆ 30 นาที โดยให้ในส่วนของกระบวนการผลิตทำงานตามปกติ เมื่อครบ 8 ชั่วโมงก็ให้ทำการปิดเครื่องตรวจวัด TVOC แบบพกพา



รูปที่ 3.16 การเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) บริเวณภายในอาคาร

3.5 วิธีการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดตัวบุคคล

3.5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดตัวบุคคล

- ปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal Pump : The Universal PCXR8 personal Cat. No. 224-PCXR8, SKC Inc., PA, USA)
- เครื่องปรับอัตราการไหลของอากาศ (Volumetric Air Flow Calibrators : Defender 520, Mesa Laboratories Inc., NJ, USA)
- หลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Sorbent Tubes : Anasorb CSC, Coconut Charcoal 8 x 110 mm Cat. No. 226-09, SKC Inc., PA, USA))
- สายซิลิโคนสำหรับซักตัวอย่างอากาศ
- ขาดังกล่อก

3.5.2 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดตัวบุคคล

การเก็บตัวอย่างที่ติดตัวบุคคล เริ่มจากการนำหลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์มาหักปลายหลอดทั้งสองด้าน จากนั้นทำการต่อเข้ากับปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

เครื่องปรับอัตราการไหลของอากาศ ตามรูปที่ 3.17 เพื่อทำการปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊มให้อยู่ที่ 0.2 ลิตร/นาทึ



รูปที่ 3.17 การปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศในการเก็บสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

เมื่อทำการปรับเทียบอัตราการไหลแล้ว จากนั้นจะทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ด้วยการประกอบปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลกับสายชักตัวอย่างอากาศและหลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์ มาหักปลายหลอดทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน จากนั้นจะนำปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลไปแขวนไว้ที่บริเวณเอวของผู้ปฏิบัติงาน โดยที่สายชักตัวอย่างจะพาดอ้อมให้อยู่ด้านหลังของผู้ปฏิบัติงานและติดเทปกาวไว้ติดกับเสื้อผ้า เพื่อความสะดวกในการทำงาน ส่วนหลอดดูดซับผงถ่านกัมมันต์จะนำไปติดที่บริเวณปกเสื้อของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอยู่ในบริเวณระดับการหายใจ

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ทำการเปิดปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลเพื่อเดินเครื่อง บันทึกวัน เวลา สถานที่เก็บตัวอย่าง โดยให้ในส่วนของผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ทำงานตามปกติ เมื่อเก็บตัวอย่างครบ 8 ชั่วโมงแล้วบันทึกวัน เวลา สถานที่เก็บตัวอย่างให้ตรงกับจุดเก็บตัวอย่างและทำการปิดปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.6.1 วิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5}

นำกระดาศกรองที่เก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว วางบนถาดกระดาศฟอยล์ จำนวน 1 ชั้น/ถาด เข้าตู้ดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมงให้นำกระดาศกรองออกจากตู้ดูดความชื้น เพื่อนำมาชั่งหาน้ำหนักกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง UMX2® (Mettler Toledo: Columbus, OH) ตามรูปที่ 3.18 พร้อมกับบันทึกค่าและนำกระดาศกรองบรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์และตลับเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.18 เครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง UMX2® (Mettler Toledo: Columbus, OH)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิจัยและพัฒนาคุณภาพอากาศ

จากนั้น นำมาหาความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} ภายในอาคารได้จาก สมการที่ 3.1 และ 3.2

$$C = \frac{W_f - W_i}{V} \times 10^3 \quad \text{-----(3.1)}$$

เมื่อ

C = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

W_f = น้ำหนักกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง (mg)

W_i = น้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (mg)

V = ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง (m^3)

$$V = \frac{Q}{T} \times 10^3 \quad \text{-----}(3.2)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (L/min)

T = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (min)

โดยที่ความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก ที่ได้จะแยกตามชนิดของกระตาศกรอง กล่าวคือ ความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่คำนวณได้จากกระตาศกรองชนิด PVC จะเป็นความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ และความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่คำนวณได้จากกระตาศกรองชนิด PTFE จะเป็นความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} จะได้ตามสมการ 3.3

$$W_{PM_{10}} = W_{PM_{10-2.5}} + W_{PM_{2.5}} \quad \text{-----}(3.3)$$

เมื่อ

$W_{PM_{10}}$ = ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ($\mu g/m^3$)

$W_{PM_{10-2.5}}$ = ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ ($\mu g/m^3$)

$W_{PM_{2.5}}$ = ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)

3.6.2 วิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

ในการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร หลังจากthatปิดเครื่องเรียบร้อยแล้ว ทำการดึงข้อมูลออกมาผ่านโปรแกรม RAE Suite โดยใช้สาย Datalogger

ในการเก็บตัวอย่างที่ติดตัวบุคคล จะนำตัวอย่าง Activated Charcoal Sorbent Tubes ที่เก็บเรียบร้อยแล้ว มาหักออกเพื่อเอาผงถ่านภายในโดยแยกเป็นส่วนหน้า (Front) และส่วนหลัง (Back) ออกมาใส่ในหลอดแก้วที่มีฝาปิด (Vial) จากนั้นใส่สารละลาย Acetone 2 mL แล้วเขย่าใน Ultrasonic Bath เป็นระยะเวลา

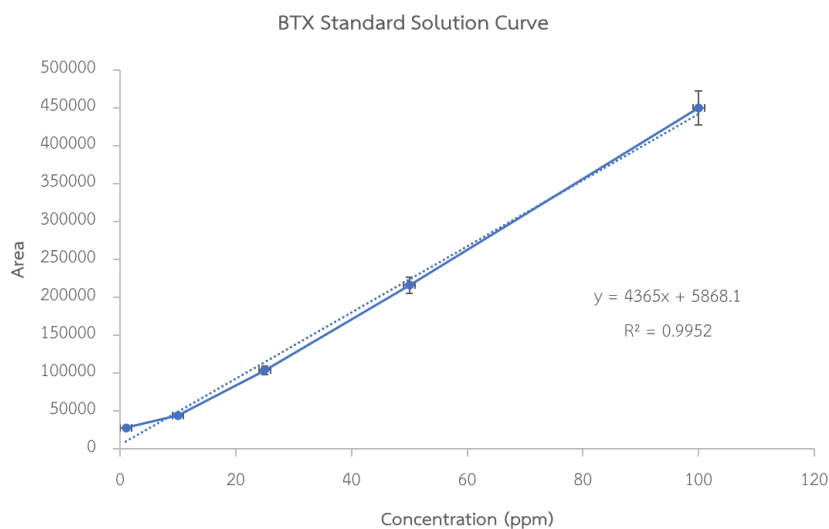
30 นาที จากนั้นทำการกรองสารละลายออกมาด้วย syringe filter แล้วนำวิเคราะห์ด้วย Gas Chromatograph (GC) มีสภาวะการทดลอง ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทดลองของ Gas Chromatograph (GC)

Parameters	Condition
Gas Chromatograph	GC-2010 (SHIMADZU Japan)
Carrier gas	Helium, flow rate 1.76 mL/min
	Make up Flow Helium (He) 30 mL/min
	Make up Flow Hydrogen (H ₂) 40 mL/min
	Make up Flow Air, Oxygen (O ₂) 400 mL/min
Column	DB-1 Serial # US5286674H Thickness: 0.25 µm Length: 30.0 m, Diameter: 0.25 mm, Max Usable 325 °C (Agilent J&W GC column USA)
Initial column temperature	40 °C
Temperature Program	Oven temperature 40 °C (initial temperature), Holding at 40 °C for 2 min, then increased from 40 °C to 100 °C at 10 °C / min
Injector temperature	225 °C
Injection mode	Split
Injection volume	1 µL
Purge flow	3.0 mL/min
Detector	Flame ionization detector (FID)
Detector temperature	250 °C

นอกจากการเตรียมตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายแล้ว จำเป็นจะต้องเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม (Mixed Standard Solution) ใน Acetone (CH₃COCH₃) ที่ประกอบด้วย Benzene (C₆H₆), Toluene (C₆H₅CH₃) และ Xylene ((CH₃)₂C₆H₄) สำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1, 10, 25, 50 และ 100 ppm โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีการและสภาวะการทดลองเดียวกับการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 3.19

เพื่อหาความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่างและนำค่าที่ได้ไป
คำนวณหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้



รูปที่ 3.19 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

เมื่อนำตัวอย่างที่กรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph จะได้ค่า Area ออกมาเพื่อไปคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานผสม จะได้ค่าความเข้มข้นในหน่วย ppm จากนั้นจะทำการคำนวณหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จากสมการที่ 3.4

$$C_{GC}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \left(\frac{C_{GC}(\text{ppm}) \times MW}{24.45} \right) \times \left(\frac{Q}{T} \right) \quad \text{-----}(3.4)$$

เมื่อ

$C_{GC}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ = ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$C_{GC}(\text{ppm})$ = ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหย (ppm)

MW = มวลโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ที่ต้องการหา

Q = อัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (L/min)

T = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (min)

3.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารมลพิษแต่ละตัวและจุดติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในโรงพิมพ์

วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic 22 for Windows และมีกราฟแจกแจงข้อมูลแบบ Non-Parametric เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบอิสระของครัสคัลและวอลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance By Rank Test) โดยใช้สมการที่ 3.3 และ 3.4

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad \text{-----(3.3)}$$

$$H = 12 \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad \text{-----(3.4)}$$

เมื่อ

$k \approx$ จำนวนประชากรที่เป็นอิสระต่อกัน

$n_j =$ จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างที่ n

$R_j =$ ผลรวมของลำดับในตัวอย่างที่ n

$N =$ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณมลพิษแต่ละตัวที่จุดเก็บตัวอย่าง

วิเคราะห์โดยนำค่าความเข้มข้นของมลพิษแต่ละตัวมาเปรียบเทียบกัน พล็อตลงกราฟ เพื่อประเมินผลการได้รับสัมผัสมลพิษที่ได้รับตามวันที่ทำการเก็บและประเภทของโรงพิมพ์ รายงานค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ของแต่ละโรงพิมพ์ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของประเทศไทย ซึ่งกำหนดโดย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (กรมอนามัย, 2559) โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่ามาตรฐานของสารมลพิษที่ตรวจวัดใน 8 ชั่วโมง

สารที่ได้รับ	ค่ามาตรฐาน (mg/m ³)	ระยะเวลาที่รับสัมผัส
PM _{2.5}	50 µg /m ³	8 ชั่วโมง
PM ₁₀	35 µg /m ³	8 ชั่วโมง
TVOC	3 ppm	8 ชั่วโมง

3.8 การประเมินการได้รับสัมผัสมลพิษอากาศ

ค่าความเข้มข้นในการรับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (Exposure Concentration or EC) เป็นการคำนวณหาปริมาณและความเสี่ยงของมลพิษที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัส เพื่อประเมินหาอัตราความเป็นอันตรายของสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ตามสมการที่ 3.5 (U.S.EPA, 2011)

$$EC = \frac{C \times ET \times EF \times ED}{AT} \text{-----(3.5)}$$

เมื่อ

C = ความเข้มข้นมลพิษอากาศภายในอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ET = ระยะเวลาการรับสัมผัส (hrs/day)

EF = ความถี่ในการรับสัมผัส (day/year)

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (year)

AT = ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการรับสัมผัส (day)

โดยที่กำหนดให้ระยะเวลาการรับสัมผัส (ET) เท่ากับ 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งได้จากการตรวจวัด, ความถี่ในการรับสัมผัส (EF) เท่ากับ 250 วันต่อปีในกรณีที่มาจากการประกอบอาชีพ, ระยะเวลาในการรับสัมผัส (ED) เท่ากับ 25 ปีในกรณีที่มาจากการประกอบอาชีพ, ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการรับสัมผัส (AT) ในกรณีที่เป็นสารไม่ก่อมะเร็งเท่ากับ ระยะเวลาในการรับสัมผัส (ED) \times 365 วัน \times 24 ชั่วโมงต่อวัน (U.S.EPA, 2013)

ถ้ากรณีที่เป็นสารก่อมะเร็ง ระยะเวลาในการรับสัมผัส (EF) เท่ากับ 25 ปี, ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการรับสัมผัส (AT) เท่ากับ 70 ปี \times 365 วัน \times 24 ชั่วโมงต่อวัน (Zhang et al., 2016)

จากนั้นทำการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยใช้การคำนวณค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย (Hazard Quotient) เป็นค่าสัดส่วนเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารเคมีที่สัมผัสกับปริมาณของสารเคมีซึ่งคาดว่าจะทำให้ผู้ที่ได้รับสารนั้น ๆ เพียงครั้งเดียวตายเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น (LD_{50}) ตามสมการที่ 3.6 (U.S.EPA, 2008b; Zhou et al., 2019)

$$\text{Hazard Quotient} = \frac{EC}{RfC} \text{-----}(3.6)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \text{Hazard Quotient} &= \text{ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย} \\ RfC &= \text{ค่าค่าความเข้มข้นอ้างอิง (mg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

ในกรณีที่ cancer risk ใช้สมการที่ 3.7

$$\text{Cancer risk} = EC \times CSF \text{-----}(3.7)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \text{Cancer risk} &= \text{ความเสี่ยงแบบก่อดมะเร็งจากการได้รับสัมผัสสาร} \\ CSF &= \text{ค่าความเป็นพิษในการก่อให้เกิดมะเร็งของสาร (mg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

ในกรณีที่ cancer risk มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1×10^{-6} หมายความว่า อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ คือ ไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร โดยใช้ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference Concentration : RfC) และค่าความเป็นพิษในการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Slope Factor : CSF) ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่า RfC และ Slope Factor ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม BTX

Chemical	Inhalation Reference Concentration (RfC) (mg/m ³)	CSF (mg/m ³)
Benzene	0.03 ⁽¹⁾	0.029 ⁽²⁾
Toluene ⁽³⁾	5	-
Xylene ⁽⁴⁾	0.1	-

⁽¹⁾ Chemical Assessment Summary : Benzene (U.S.EPA, 2017a)

⁽²⁾ Toxicity Summary for Benzene (RAIS, 1998)

⁽³⁾ Chemical Assessment Summary : Toluene (U.S.EPA, 2017c)

⁽⁴⁾ Chemical Assessment Summary : Xylene (U.S.EPA, 2017d)

และค่าดัชนีความเสี่ยงอันตราย (Hazard Index) เป็นค่าบ่งชี้ถึงอันตรายของสาร
นั้น ๆ ตามสมการที่ 3.8 (U.S.EPA, 2014a)

$$Hazard\ Index = \sum HQ \quad \text{-----}(3.8)$$

ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี (Exposure Limits) เป็นค่าความเข้มข้นสารเคมี
สูงสุดในบรรยากาศที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อประชาชนหรือพนักงานใน
สถานประกอบการ เพื่อปกป้องคุ้มครองพนักงานในสถานประกอบการ (Occupational) ซึ่ง
เป็นกลุ่มประชากรที่มีอายุอยู่ในช่วง 20 - 65 ปีที่มีสุขภาพแข็งแรงเพียงพอต่อการทำงาน
ตลอดวัน โดยการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในกลุ่มนี้จะกำหนดเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ย
 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์หรือค่าความเข้มข้นเพดานสูงสุด ณ เวลาใด ๆ
(Ceiling) หรือค่าความเข้มข้นสารเคมีสูง ๆ ในระยะเวลาสั้นๆ ภายในระยะเวลาทำงาน
(Stamatelopoulou, Asimakopoulos, & Maggos, 2019)

ตารางที่ 3.6 ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี (Exposure Limits)

สารมลพิษ	ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี	ระยะเวลาในการรับสัมผัส	อ้างอิง
PM _{2.5} (µg/m ³)	25	ต่อวัน	ASHRAE ⁽¹⁾
PM ₁₀ (µg/m ³)	50	ต่อวัน	ASHRAE ⁽¹⁾
TVOCs (µg/m ³)	500	ต่อวัน	LEED, USGBC ⁽²⁾

ที่มา :

(1) American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE, 2013)

(2) Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) credit by the U.S. Green Building Council (LEED USGBC, 2009)

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 การเปรียบเทียบค่ามาตรฐานที่กำหนดตามกฎหมายหรือข้อบังคับ

ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยทั่วไปแล้วจะนำค่าที่ทำการตรวจวัดได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ตามแต่ละพื้นที่ หรือ ประเทศนั้น ๆ บางครั้งอาจจะนำเปรียบเทียบกับมาตรฐานของหน่วยงานสากลที่อาจจะถือได้ว่า เป็นค่ามาตรฐานกลางที่ใช้กันแพร่หลายอย่างมาก ซึ่งประเทศไทยก็ได้อ้างอิงการกำหนดค่ามาตรฐานมาจากหน่วยงานสากลเช่นกัน ในการเลือกค่ามาตรฐานมาใช้เปรียบเทียบจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากว่า ค่ามาตรฐานแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกัน รวมถึงประเภทของสถานที่ อย่างเช่น ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air quality standard) ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจากปล่อยระบายในโรงงานอุตสาหกรรม (Stack emission standard) รวมถึงค่ามาตรฐานที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor air quality standard) หน่วยงานสากลที่นิยมนำค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารมาใช้ คือ องค์การอนามัยโลก (World Organization Health : WHO) ที่เป็นหน่วยงานขององค์การสหประชาชาติ (United Nations : UN) ซึ่งมีค่ามาตรฐานสารมลพิษต่าง ๆ ครอบคลุมเกือบทั้งหมดที่พบเห็นโดยทั่วไป แต่ค่ามาตรฐานสารมลพิษบางตัวที่ไม่ได้กำหนดในองค์การอนามัยโลกก็ทำการใช้ค่ามาตรฐานองค์กรอื่นเทียบกัน เช่น สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (United States Environmental Protection Agency : EPA หรือ US EPA) สมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers : ASHRAE) หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับสถานประกอบการและผู้ปฏิบัติงานโดยตรงอย่าง สถาบันความปลอดภัยและอนามัยในการทำงานแห่งชาติ (The National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH) สำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (The Occupational Safety and Health Administration : OSHA) องค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งอเมริกา (American Conference of Governmental Industrial Hygienists : ACGIH) ซึ่งทั้งหมดเป็นหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ยังนำค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของประเทศต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงประเทศสหรัฐอเมริกามาเปรียบเทียบกับ คือ กรมสุขภาพแคนาดา (Health Canada :

HC) ของประเทศแคนาดา ที่มีค่ามาตรฐานของ $PM_{2.5}$ ค่อนข้างต่ำกว่าค่ามาตรฐานสากล และมีค่ามาตรฐานของ Total Volatile Organic Compounds หรือ TVOC ที่หน่วยงานสากลไม่ได้กำหนดไว้สำหรับในประเทศแถบเอเชียที่ใกล้ประเทศไทยที่กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร อาทิเช่น กรมป้องกันสิ่งแวดล้อมฮ่องกง (Hong Kong Environmental Protection Department : HKEPD) ของเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน รวมถึงกรมความปลอดภัยและอาชีวอนามัยมาเลเซีย (Department of Occupational Safety and Health Malaysia : DOSH) ของประเทศมาเลเซีย ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เกือบทุกตัว นอกจากนี้ยังมี กระทรวงสิ่งแวดล้อม (Ministry of the Environment, Singapore : ENVSG) ของประเทศสิงคโปร์ ที่กำหนดค่ามาตรฐานใกล้เคียงกับของประเทศมาเลเซีย ส่วนมาตรฐานภายในประเทศไทย มีหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องและสามารถนำค่ามาตรฐานมาใช้เป็นเกณฑ์ได้ คือ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (Department of Health , Ministry of Public Health : DOH, MOPH) และ กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (Department of Labour Protection and Welfare, DLPW) ที่สังกัดอยู่ในกระทรวงแรงงาน (Ministry of Labour : MOL)

โดยหน่วยงานในประเทศแถบเอเชียที่เกี่ยวข้องกับสถานประกอบการและผู้ปฏิบัติงานโดยตรง คือ กรมความปลอดภัยและอาชีวอนามัยมาเลเซีย (Department of Occupational Safety and Health Malaysia : DOSH) ของประเทศมาเลเซียและกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (Department of Labour Protection and Welfare, DLPW) ในงานวิจัยนี้ จะนำค่ามาตรฐานในการรับสัมผัสขณะอยู่ในอาคารหรือสถานประกอบการ คือ ค่าเฉลี่ยต่อ 8 ชั่วโมง (8-hours average) ของ PM_{10} $PM_{2.5}$ TVOC และ VOCs เฉพาะตัวของ เบนซีน (Benzene), โทลูอีน (Toluene) และ ไซลีน (Xylene) ของทุกหน่วยงานที่กล่าวไว้ข้างต้น มาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่ามาตรฐานที่เหมาะสมในการใช้เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดที่ได้ และนำไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ โดยมีรายละเอียดทั้งหมดตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในการทำงาน 8 ชั่วโมง

Country	Organization	Acceptable Exposure standard in working hours (8 hrs.)							
		PM ₁₀	PM _{2.5}	TVOC	Benzene	Toluene	Xylene		
Worldwide	WHO ⁽¹⁾	-	-	-	-	376 mg/m ³	-	-	
USA	US EPA	-	-	-	29 mg/m ³ ⁽²⁾	250 mg/m ³ ⁽³⁾	560 mg/m ³ ⁽⁴⁾		
	ACGIH ⁽⁵⁾	10 mg/m ³	3 mg/m ³	-	1.6 mg/m ³	75 mg/m ³	434 mg/m ³		
	OSHA	-	5 mg/m ³ ⁽⁶⁾	-	3.2 mg/m ³ ⁽⁷⁾	754 mg/m ³ ⁽⁸⁾	434 mg/m ³ ⁽⁹⁾		
	NIOSH ⁽¹⁰⁾	-	-	-	0.32 mg/m ³	377 mg/m ³	434 mg/m ³		
	ASHRAE ⁽¹¹⁾	50 µg/m ³	25 µg/m ³	-	-	-	-		
Canada	HC	-	40 µg/m ³ ⁽¹²⁾	200 µg/m ³ ⁽¹³⁾	-	15 mg/m ³ ⁽¹⁴⁾	-		
Hong Kong	HKEPD ⁽¹⁵⁾	180 µg/m ³	-	600 µg/m ³	16.1 µg/m ³	1,092 µg/m ³	1,447 µg/m ³		
Malaysia	DOSH	150 µg/m ³ ⁽¹⁶⁾	-	3 ppm ⁽¹⁶⁾	1.6 mg/m ³ ⁽¹⁷⁾	188 mg/m ³ ⁽¹⁷⁾	434 mg/m ³ ⁽¹⁷⁾		
Singapore	ENVSG ⁽¹⁸⁾	150 µg/m ³	-	3 ppm	-	-	-		
Thailand	MOPH ⁽¹⁹⁾	50 µg/m ³	35 µg/m ³	3 ppm	-	-	-		
	DLPW ⁽²⁰⁾	5 mg/m ³	-	-	1 ppm	200 ppm	100 ppm		

อ้างอิงจาก

- (1) World Health Organization (WHO) : WHO air quality guidelines for Europe (WHO, 2000)
- (2) United State Environmental Protection Agency (US EPA) : Benzene Interim Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) (U.S.EPA, 2008a)
- (3) United State Environmental Protection Agency (US EPA) : Toluene Acute Exposure Guideline Levels for selected Airborne Chemical (U.S.EPA, 2014b)
- (4) United State Environmental Protection Agency (US EPA) : Xylene Acute Exposure Guideline Levels for selected Airborne Chemical (U.S.EPA, 2010)
- (5) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : 2015 TLVs and BEIs Guideline (ACGIH, 2015)
- (6) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) : Permissible Exposure Limits – Annotated Tables (OSHA, 2017)
- (7) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) : Benzene : Index of Sampling and Analytical Method (OSHA, 2020)
- (8) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) : Toluene : Index of Sampling and Analytical Methods (OSHA, 1998)
- (9) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) : Xylene : Index of Sampling and Analytical Methods (OSHA, 1999)
- (10) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : Hydrocarbons, Aromatic: Method 1501 (NIOSH, 2003)
- (11) The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) : Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ASHRAE, 2013)
- (12) Health Canada (HC) : Standards and guidelines for particulate matter less than 2.5 micrometers in size (PM_{2.5}) (Abdul-Wahab, Chin Fah En, Elkamel, Ahmadi, & Yetilmezsoy, 2015)
- (13) Air Duct Cleaner (ADC): Fact Sheet: Indoor Air Quality Standards (ADC, 2013)
- (14) Health Canada (HC) : Residential Indoor Air Quality Guideline Toluene (Health.Canada, 2011; PHE, 2019)
- (15) Hong Kong Environmental Protection Department (HKEPD) : Hong Kong Air Quality Objectives (HKEPD, 1999)
- (16) Department of Occupational Safety and Health Malaysia (DOSH) : Industry Code of Practice on Indoor Air Quality 2010 (DOSH, 2010)

(17) Department of Occupational Safety and Health Malaysia (DOSH) : Occupational Safety and Health ACT 1994 (DOSH, 2000)

(18) Ministry of the Environment, Singapore (ENVSG) : Guidelines for Good Indoor Air Quality in office premises (ENVSG, 1996)

(19) กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, ประเทศไทย: คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร (กรมอนามัย, 2559)

(20) กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน, ประเทศไทย: ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง บัญชีรายชื่อสารเคมีอันตราย ลงวันที่ 20 ธันวาคม 2556 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2556)

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ค่ามาตรฐานทั้งหมดที่นำมาเปรียบเทียบ มีทั้งค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจากแหล่งที่อยู่อาศัย ได้แก่ เช่น สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (United States Environmental Protection Agency : EPA หรือ US EPA) สมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers : ASHRAE) กรมป้องกันสิ่งแวดล้อมฮ่องกง (Hong Kong Environmental Protection Department : HKEPD) ของเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน กระทรวงสิ่งแวดล้อม (Ministry of the Environment, Singapore : ENVSG) ของประเทศสิงคโปร์และกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (Department of Health , Ministry of Public Health : DOH, MOPH) ของประเทศไทย นอกจากนี้เป็นค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการ จึงเลือกใช้กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานมาเปรียบเทียบ และเมื่อเทียบค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการ ทั้งหมดแล้ว พบว่า ค่ามาตรฐานขององค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งอเมริกา (American Conference of Governmental Industrial Hygienists : ACGIH) มีค่ามาตรฐานที่ต่ำที่สุดและเหมาะสมที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ ยกเว้นค่ามาตรฐานของ TVOC ที่จะใช้ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข นอกจากนี้จะนำค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของสมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) และกรมป้องกันสิ่งแวดล้อมฮ่องกง (HKEPD) มาใช้เปรียบเทียบกับองค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งอเมริกา (ACGIH) ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก

4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ย

ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก จากการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคารและการเก็บตัวอย่างที่ติดตัวบุคคลในโรงพิมพ์จำนวน 5 แห่งและสำนักงานจำนวน 1 แห่ง ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ย 8 ชั่วโมงตลอดระยะเวลาการทำงานได้ผลตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ยของแต่ละจุด

Station	Site	Average ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		PM ₁₀	PM _{10-2.5}	PM _{2.5}
Offset Printing A	Workplace	49.16±3.70	27.65±1.98	21.51±1.74
	Offset Printing	51.94±3.99	28.84±1.98	23.09±2.03
	Binding Machine	50.98±4.59	27.49±2.23	23.48±2.38
Offset Printing B	Workplace	74.36±15.55	30.10±5.76	44.26±11.11
	Laser Printing	47.55±7.21	18.56±3.04	28.99±7.81
	Binding Machine	67.24±9.20	32.30±3.94	34.93±8.59
	Folding Machine	55.46±3.29	26.94±4.48	28.52±6.72
Offset Printing C	Workplace	100.61±11.14	22.69±5.91	77.92±11.85
	Folding Machine	71.76±21.46	17.76±4.41	53.99±21.94
	Binding Machine	58.76±15.05	19.64±4.20	39.12±14.30
Digital Printing D	Workplace	52.08±6.59	10.00±6.20	42.08±7.81
	Office	33.94±9.20	7.77±3.49	26.17±10.60
	Laser Printing	46.98±16.41	11.33±3.19	35.66±16.96
	Binding Machine	125.03±30.43	46.66±13.28	78.37±22.51
Digital Printing E	Workplace	42.52±15.09	14.31±6.63	28.21±8.80
	Laser Printing	35.07±3.96	14.28±4.37	20.79±3.90
Reference	Workplace	18.06±1.50	10.61±0.63	7.46±0.89
	Office	13.05±1.83	7.38±0.87	5.67±0.97

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ในแต่ละจุดตรวจวัด นอกจากฝุ่นละอองภายในอาคาร แล้วจะประกอบด้วยข้อมูลฝุ่นละอองที่เก็บที่ติดตัวบุคคล อย่างน้อย 2 จุดที่คล้ายกัน คือ เครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) เนื่องจากที่จุดปฏิบัติงานบริเวณนี้มีการตกแต่งรูปเล่มให้มีขนาดเท่ากันด้วยการใช้เครื่องตัดกระดาษ จึงมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากกระดาษที่ถูกตัดออกมา และบริเวณหน้าเครื่องพิมพ์ทั้ง Offset printing และ Inkjet printing ที่ต้องนำกระดาษใส่เข้าไปในเครื่องเพื่อทำการพิมพ์ ด้วยกระดาษที่ใส่เป็นกระดาษใหม่ที่นำออกจากห่อ ทำให้มีฝุ่นแป้งที่โรงงานกระดาษโรยไว้เพื่อไม่ให้กระดาษแต่ละแผ่นติดกันฟุ้งออกมาขณะปฏิบัติงาน นอกจากนี้มีจุดปฏิบัติงานหนึ่งที่ร่วมกันเฉพาะโรงพิมพ์ออฟเซตเท่านั้น คือ จุดเครื่องพับกระดาษ ด้วยเหตุที่การพิมพ์ออฟเซตจะพิมพ์ด้วยกระดาษที่ขนาดใหญ่กว่า A4 เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการพิมพ์หนังสือเป็นจำนวนมาก โดยขนาดที่ใช้คือ A1 ซึ่งสามารถพับได้เป็นกระดาษ A4 จำนวน 8 แผ่น เมื่อออกจากกระบวนการพิมพ์แล้ว จะยังมีฝุ่นกระดาษหลงเหลืออยู่และฟุ้งกระจายขณะทำการพับ เป็นเหตุให้ฝุ่นเข้าสู่ผู้ปฏิบัติงานเวลาทำงานได้ และเมื่อดูจากค่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กแล้วจะพบว่า อัตราความเข้มข้นโดยเฉลี่ยในโรงพิมพ์ทั้งหมด มีปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อยู่ 62% และมีปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{10-2.5}$ อยู่ 38% ซึ่งต่างจากอัตราความเข้มข้นโดยเฉลี่ยในสำนักงานที่มีปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อยู่ 42% และมีปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{10-2.5}$ อยู่ 58% แสดงให้เห็นว่า พบปริมาณความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ อยู่ในโรงพิมพ์มากกว่า ซึ่งขนาดของฝุ่นมีผลต่อร่างกาย เนื่องจากเข้าไปถึงระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจชั้นใน ทำให้การสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กของผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์มีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่าผู้ที่ปฏิบัติงานในสำนักงาน

4.2.2 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} และ $PM_{2.5}$ บริเวณภายในอาคาร

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยเฉลี่ย ด้วยวิธีซึ่งนำหนักก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง เพื่อหาความแตกต่างและนำมาคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นในแต่ละจุดแล้ว นอกจากจะได้ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ แล้วยังสามารถนำผลปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดมารวมได้เป็นปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ซึ่งแสดงเป็นค่าเฉลี่ยเป็นรายวันทำงาน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในแต่ละจุดทั้งในโรงพิมพ์ระบบออฟเซต โรงพิมพ์ระบบดิจิตอลและสำนักงาน โดยใช้ค่าจากการการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร (Workplace) เป็นหลัก เนื่องจากการตรวจวัดแบบติดตัว

บุคคล จะมีกิจกรรมอื่นของผู้ปฏิบัติงานนอกเหนือจากภาระงานที่ทำอยู่ที่แตกต่างกัน อาจจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ผล ซึ่งปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} ในการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร แสดงตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM₁₀ ภายในอาคาร

PM ₁₀ Conc. (µg/m ³)	Offset Printing A	Offset Printing B	Offset Printing C	Digital Printing D	Digital Printing E	Reference
Monday	46.32	82.42	107.59	45.41	52.29	16.37
Tuesday	49.46	80.03	117.22	60.93	48.27	16.20
Wednesday	45.03	85.44	98.40	45.40	59.96	19.02
Thursday	49.26	43.50	84.33	49.86	17.03	19.93
Friday	55.73	80.41	95.53	58.78	35.05	18.79
Avg	49.16	74.36	100.61	52.08	42.52	18.06
SD	3.70	15.55	11.14	6.59	15.09	1.50

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM_{2.5} ภายในอาคาร

PM _{2.5} Conc. (µg/m ³)	Offset Printing A	Offset Printing B	Offset Printing C	Digital Printing D	Digital Printing E	Reference
Monday	20.35	49.98	82.21	30.85	32.79	6.31
Tuesday	21.86	53.11	94.10	41.01	30.90	6.54
Wednesday	19.26	47.15	84.84	39.15	38.23	7.93
Thursday	21.61	22.39	64.37	44.53	12.18	8.64
Friday	24.44	48.66	64.10	54.85	26.97	7.86
Avg	21.51	44.26	77.92	42.08	28.21	7.46
SD	1.74	11.11	11.85	7.81	8.80	0.89

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM₁₀ ของโรงพิมพ์ระบบออฟเซตส่วนใหญ่จะมีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล โดยเฉพาะจุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C อาจเกิดจากอัตราการผลิตมี

จำนวนสูงกว่า รวมถึงทั้ง 2 แห่งมีโครงสร้างรอบอาคารเป็นผนังปิดทึบและมีช่องหน้าต่างเพียง 1 ด้าน นอกจากนี้ การตั้งอุปกรณ์และเครื่องจักรห่างจากหน้าต่าง ทำให้อัตราการระบายอากาศออกสู่ภายนอกค่อนข้างต่ำ จึงเกิดปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองในอาคารค่อนข้างมาก ซึ่งต่างจากจุด Offset Printing A ที่มีอัตราการผลิตสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล แต่ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM_{10} ใกล้เคียงกับโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล อาจเกิดจากโครงสร้างรอบอาคารมีช่องหน้าต่างเปิดทุกด้าน รวมถึงการการตั้งอุปกรณ์และเครื่องจักรใกล้หน้าต่าง อัตราการระบายอากาศออกสู่ภายนอกค่อนข้างสูง จึงเกิดปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองในอาคารค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ในโรงพิมพ์ระบบดิจิทัลมีโครงสร้างอาคารเป็นผนังปิดทึบรอบด้านและมีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร อาจทำให้การระบายอากาศออกสู่ภายนอกไม่มากเท่าที่ควร

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 4.2 แล้ว สามารถแบ่งกลุ่มเป็นโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตและโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัลด้วยปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ พบว่า จุด Offset Printing A, จุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C มีปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ เฉลี่ยตลอดการตรวจวัดอยู่ที่ 27.65, 30.10 และ 22.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ส่วนจุด Digital Printing D และจุด Digital Printing E มีปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ เฉลี่ยตลอดการตรวจวัดอยู่ที่ 10.00 และ 14.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ ของสำนักงานภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Reference) ที่มีปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{10-2.5}$ เฉลี่ยตลอดการตรวจวัดอยู่ที่ 10.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

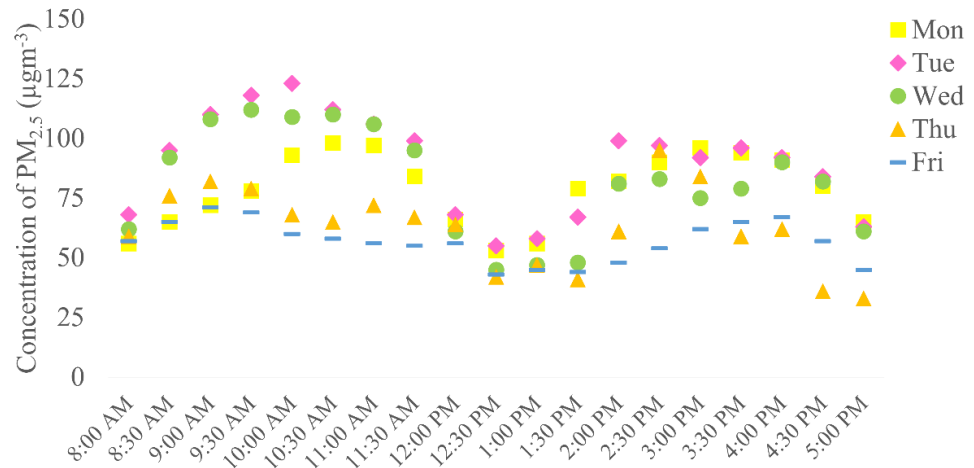
จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด $PM_{2.5}$ ของโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตมีค่าสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัลอยู่จำนวน 2 แห่ง จากทั้งหมด 3 แห่ง นอกจากอัตราการผลิตและการระบายอากาศแล้ว อาจเกิดจากกระบวนการพิมพ์ของระบบออฟเซต เนื่องจากเครื่องพิมพ์ออฟเซตจะต้องทำการใส่กระดาษเข้าเครื่องพิมพ์โดยการวางบนแท่นพิมพ์แล้วให้เครื่องดึงกระดาษเข้าไป รวมถึงการตัดกระดาษ อาจเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นกระดาษ ในรูปแบบฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด $PM_{2.5}$ ซึ่งแตกต่างจากระบบดิจิทัลที่นำกระดาษใส่ถาดรับกระดาษเข้าไปในเครื่องและปิดถาด

จากนั้นจึงทำการพิมพ์ ทำให้ฝุ่นกระดาษถูกกั้นไม่ให้ออกมาสู่บรรยากาศ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างจุด Digital Printing D และจุด Digital Printing E แล้ว พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด $PM_{2.5}$ มีค่าแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากจุด Digital Printing D เป็นบริษัทที่ระบบการพิมพ์ดิจิทัลทั้งประเภทเลเซอร์ (Laser) และอิงค์เจ็ท (Inkjet Printing) โดยประเภทเลเซอร์ (Laser Printing) เป็นเครื่องพิมพ์ที่ใช้โทนเนอร์ (Toner Cartridge) ซึ่งมีผงหมึกอยู่ในส่วนผสมแต่โอกาสฟุ้งกระจายในโรงพิมพ์หรืออาคารค่อนข้างต่ำ เพราะอุปกรณ์อยู่ในเครื่องพิมพ์ที่เป็นระบบปิด แต่ประเภทอิงค์เจ็ท (Inkjet Printing) ที่ใช้นั้นเป็นเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทขนาดใหญ่ที่ทำปายไวนิล ซึ่งจะแตกต่างกับเครื่องพิมพ์สำนักงานทั่วไป หลักการคือ จะทำการพิมพ์งานโดยการพ่นหมึกใส่กระดาษที่วางบนแท่นพิมพ์ คล้ายกับเครื่องพิมพ์ออฟเซต รวมถึงการพิมพ์ระบบนี้จะต้องทำในระบบปรับอากาศภายในอาคาร ทำให้โอกาสที่ฝุ่นหมึกที่แห้งแล้ว และฝุ่นกระดาษจะฟุ้งกระจายในโรงพิมพ์ค่อนข้างสูง ต่างจากจุด Digital Printing E ที่มีระบบการพิมพ์ดิจิทัลประเภทเลเซอร์ (Laser Printing) เพียงอย่างเดียว ถึงแม้จะทำในระบบปรับอากาศภายในอาคารเช่นเดียวกันก็ตาม เมื่อนำค่าฝุ่นละอองโดยเฉลี่ยทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และ ASHRAE ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM_{10} ไว้ที่ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ พบว่า จุด Offset Printing A, จุด Digital Printing E และจุด Reference มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด $PM_{2.5}$ ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขไว้ที่ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ พบว่า จุด Offset Printing A, จุด Digital Printing E และจุด Reference มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด $PM_{2.5}$ ของ ASHRAE อยู่ที่ $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ พบว่า จุด Offset Printing A, และจุด Reference มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้

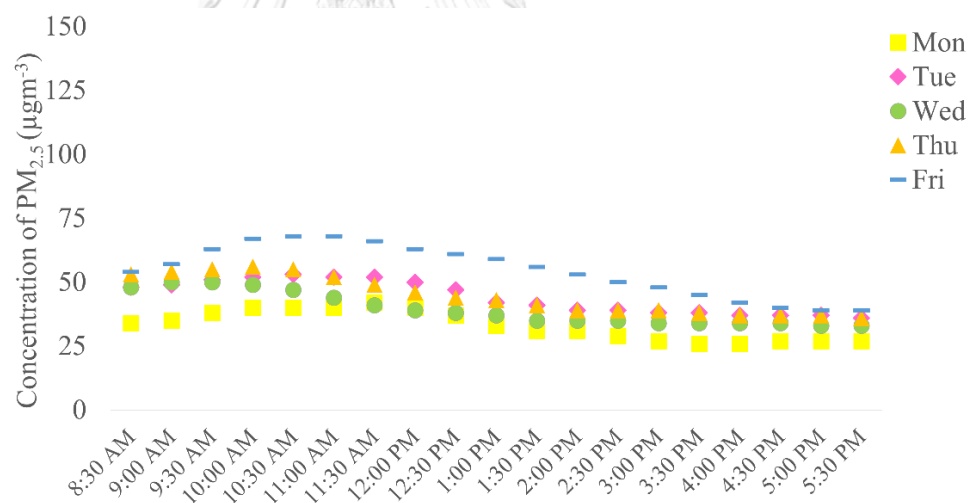
4.2.3 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด ($PM_{2.5}$) บริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงาน

การเก็บตัวอย่างปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ บริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานด้วยเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อ่านค่าโดยตรงทันทีแบบต่อเนื่องที่จุด Offset Printing C และจุด Digital Printing D โดยเก็บเพิ่มจากการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคารด้วยการใช้ปั๊มเก็บตัวอย่าง เพื่อดูแนวโน้มการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$

ในขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในโรงพิมพ์เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟเส้นเวลาตามรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} บริเวณภายในอาคาร ตามช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing C



รูปที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} บริเวณภายในอาคาร ตามช่วงเวลาทำงานของจุด Digital Printing D

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ที่เก็บจากบริเวณภายในอาคารของจุด Offset Printing C ของแต่ละวันจะมีปริมาณความเข้มข้นฝุ่นในช่วงเวลาเริ่มต้นทำงาน (08.00 น.) อยู่ในช่วง 56 - 68 µg/m³ จากนั้นปริมาณความเข้มข้นฝุ่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ทำงาน จนกระทั่งถึงเวลาพักกลางวัน (12.00 น.) พนักงานก็จะหยุด

ปฏิบัติงานและหยุดเครื่องจักร ทำให้ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นลดลงอยู่ในช่วง 53 - 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อหมดเวลาพักกลางวัน (13.00 น.) พนักงานก็จะกลับมาปฏิบัติงานและเดินเครื่องจักรทำงานต่อ ทำให้ช่วงเวลาหลังจากนั้นมีปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $\text{PM}_{2.5}$ สูงขึ้นตามระยะเวลา จนกระทั่งในช่วงเวลาใกล้เลิกงาน (16.30 น.) ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นจะค่อย ๆ ลดลงอยู่ในช่วง 36 - 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และปริมาณความเข้มข้นฝุ่นจะลดต่ำลงช่วงเวลาเลิกงาน (17.30 น.) ไปในที่สุด นอกจากนี้ มีปัจจัยเพิ่มเติมมาสนับสนุน อาทิ ลักษณะการพิมพ์ที่แทนวางกระดาษก่อนพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ค่อนข้างที่จะโล่ง ทำให้ฝุ่นแบ่งที่โรยไว้ระหว่างแผ่นกระดาษลอยออกมา อีกทั้งกระบวนการตัดกระดาษและเข้าเล่มที่ก่อให้เกิดฝุ่นละเอียดออกมา รวมถึงกำลังการผลิตในแต่ละวัน โดยเฉพาะวันจันทร์ วันอังคาร และวันพุธที่โรงพิมพ์มีการเร่งพิมพ์งานเพื่อให้เสร็จทันตามเวลาที่กำหนด จึงทำให้มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าวันหยุดสัปดาห์และวันศุกร์ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็ก $\text{PM}_{2.5}$ สอดคล้องกับการเก็บตัวอย่างด้วยปั๊มส่วนบุคคล และเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.2 แล้วปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก $\text{PM}_{2.5}$ ที่เก็บจากจุด Digital Printing D ที่มีค่าตามเวลาค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกช่วงเวลา อันเนื่องมาจากการพิมพ์เลเซอร์จะใช้กระดาษขนาดมาตรฐานอย่าง A4 ที่ไม่จำเป็นต้องตัดในการเข้าเล่ม นอกจากนี้เป็นขนาดอื่นตามที่ลูกค้าแจ้งไว้ รวมถึงระบบการพิมพ์เป็นระบบที่มีช่องปิดค่อนข้างเยอะ ทั้งในถาดรับกระดาษก่อนพิมพ์ หรือถาดใส่หมึกพิมพ์ก็ตามจะอยู่ในเครื่องพิมพ์ทั้งหมด ทำให้ฝุ่นไม่กระจายออกมา แต่สามารถเกิดฝุ่นจากผงหมึกรวมถึงฝุ่นกระดาษได้เช่นกัน นอกจากนี้ด้วยตัวอาคารที่เป็นผนังปิดที่รอบด้านและมีระบบระบายอากาศ ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นยังลอยตัวอยู่ภายในห้องและไม่สามารถที่จะออกไปสู่ไปยังบรรยากาศภายนอกได้ ถึงแม้ว่าในช่วงเวลาพักเที่ยง จะทำการหยุดเครื่องจักรแล้วก็ตาม

4.2.4 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส

นอกจากการเก็บตัวอย่างภายในอาคารแล้ว ยังมีการเก็บตัวอย่างบุคคลที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ที่คาดว่าจะได้รับสัมผัสปริมาณฝุ่นละออง เช่น จุดเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) รวมถึงจุดเครื่องพิมพ์ออฟเซต และเครื่องพิมพ์ดิจิตอลทั้งเลเซอร์และอิงค์เจ็ท นอกจากนี้ยังมีจุดพับกระดาษ (Folding Machine) เพื่อดูการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก $\text{PM}_{2.5}$ ของพนักงานในขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในโรงพิมพ์เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบตาราง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหายใจ PM₁₀ ที่ติดตั้งบุคคล

PM ₁₀ Conc. ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Offset Printing A			Offset Printing B			Offset Printing C			Digital Printing D			Digital Printing E		Refere rence
	Offset Printing	Binding Machine	Laser Printing	Binding Machine	Folding Machine	Folding Machine	Folding Machine	Binding Machine	Office Printing	Laser Printing	Binding Machine	Binding Machine	Laser Printing	Laser Printing	
Monday	49.41	47.55	54.32	71.30	53.48	111.36	60.83	28.01	39.04	74.73	36.11	11.45			
Tuesday	51.33	57.14	33.97	66.05	51.50	70.15	85.32	46.16	57.84	109.00	33.24	10.31			
Wednesday	50.87	45.23	46.73	76.64	55.59	67.83	41.67	44.02	73.58	162.98	37.93	14.16			
Thursday	48.44	55.50	51.78	72.09	55.40	46.49	58.70	27.07	28.87	138.68	28.39	14.88			
Friday	59.64	49.46	50.94	50.10	61.34	62.95	47.29	24.45	35.58	139.77	39.67	14.46			
Avg	51.94	50.98	47.55	67.24	55.46	71.76	58.76	33.94	46.98	125.03	35.07	13.05			
SD	3.99	4.59	7.21	9.20	3.29	21.46	15.05	9.20	16.41	30.43	3.96	1.83			

ในตารางที่ 4.5 เป็นตารางแสดงค่าปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM₁₀ ในจุด Offset Printing A จะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันและมีปริมาณที่น้อยกว่า โดยพบที่บริเวณ Offset Printing มีปริมาณเฉลี่ย 51.94 µg/m³ และ บริเวณเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) มีปริมาณเฉลี่ย 50.98 µg/m³ เมื่อเทียบกับโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตอื่น ซึ่งจุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C จะมีค่าสูงในบริเวณเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 67.24 µg/m³ และ 58.76 µg/m³ ตามลำดับและบริเวณเครื่องพับกระดาษ (Folding Machine) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55.46 µg/m³ และ 71.46 µg/m³ ตามลำดับ

ในส่วนของจุด Digital Printing D ได้ทำการเก็บที่ธุรการ (Office) เครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printing) และจุดเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองแบบหยาบ PM₁₀ อยู่ที่ 33.94 µg/m³, 46.98 µg/m³ และ 125.03 µg/m³ ตามลำดับ จุด Digital Printing E ได้ทำการเก็บที่เครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printing) พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองแบบหยาบ PM₁₀ อยู่ที่ 35.07 µg/m³ และจุด Reference ได้ทำการเก็บที่ธุรการ (Office) พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองแบบหยาบ PM₁₀ อยู่ที่ 13.05 µg/m³ จึงเทียบกับค่ามาตรฐานของ ACGIH ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไว้ไม่เกิน 10 mg/m³ และค่ามาตรฐานของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไว้ไม่เกิน 5 mg/m³ ถือว่ายังไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่เมื่อนำค่าฝุ่นละอองโดยเฉลี่ยทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และ ASHRAE ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM₁₀ ไว้ที่ 50 µg/m³ พบว่า จุดที่ไม่เกินค่ามาตรฐานนั้น ได้แก่ บริเวณ Laser Printing ของจุด Offset Printing B, บริเวณ Office ของจุด Digital Printing D, บริเวณ Laser Printing ของจุด Digital Printing D, บริเวณ Laser Printing ของจุด Digital Printing E และจุด Reference

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM_{2.5} ที่ติดตั้งบุคคล

PM _{2.5} Conc. ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Offset Printing A		Offset Printing B			Offset Printing C			Digital Printing D			Digital Printing E		Reference
	Offset Printing	Binding Machine	Laser Printing	Binding Machine	Folding Machine	Folding Machine	Binding Machine	Office	Laser Printing	Binding Machine	Laser Printing	Binding Machine	Printing	
Monday	21.66	21.98	36.66	38.38	26.98	94.15	44.17	25.18	29.93	43.17	18.72	4.88		
Tuesday	22.95	26.65	16.83	34.93	24.76	50.02	63.61	40.39	48.84	73.03	18.52	4.21		
Wednesday	22.83	20.47	24.21	37.40	29.55	56.40	28.54	35.87	61.60	108.77	17.76	6.19		
Thursday	21.12	25.91	37.67	44.88	20.69	30.99	36.90	13.71	19.64	95.47	20.59	6.78		
Friday	26.90	22.41	29.56	19.07	40.64	38.40	22.37	15.70	18.28	71.41	28.37	6.29		
Avg	23.09	23.48	28.99	34.93	28.52	53.99	39.12	26.17	35.66	78.37	20.79	5.67		
SD	2.03	2.38	7.81	8.59	6.72	21.94	14.30	10.60	16.96	22.51	3.90	0.97		

ในตารางที่ 4.6 เป็นตารางแสดงค่าปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM_{2.5} ในจุด Offset Printing A จะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันและมีปริมาณที่น้อยกว่าโดยพบที่บริเวณ Offset Printing มีปริมาณเฉลี่ย 23.09 µg/m³ และ บริเวณเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) มีปริมาณเฉลี่ย 23.48 µg/m³ เมื่อเทียบกับโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตอื่น ซึ่งจุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C จะมีค่าสูงในบริเวณเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 34.93 µg/m³ และ 39.12 µg/m³ ตามลำดับและบริเวณเครื่องพับกระดาษ (Folding Machine) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.52 µg/m³ และ 53.99 µg/m³ ตามลำดับในส่วนของจุด Digital Printing D ได้ทำการเก็บที่ธุรการ (Office) เครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printing) และจุดเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองแบบละเอียด PM_{2.5} อยู่ที่ 26.17 µg/m³, 35.66 µg/m³ และ 78.37 µg/m³ ตามลำดับ จุด Digital Printing E ได้ทำการเก็บที่เครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printing) พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองแบบละเอียด PM_{2.5} อยู่ที่ 20.79 µg/m³ และจุด Reference ได้ทำการเก็บที่ธุรการ (Office) พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองแบบหยาบ PM₁₀ อยู่ที่ 5.67 µg/m³ สำหรับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองแบบละเอียด PM_{2.5} ในสถานประกอบการยังไม่ได้มีการบังคับใช้ส่วนมาตรฐานของกรมอนามัยเทียบกับอาคารอยู่อาศัยมากกว่าโรงงานอุตสาหกรรม จึงเทียบกับค่ามาตรฐานของ ACGIH ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไม่เกิน 3 mg/m³ ถือว่ายังไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่เมื่อนำค่าฝุ่นละอองโดยเฉลี่ยทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM_{2.5} ไว้ที่ 35 µg/m³ พบว่า จุดที่เกินค่ามาตรฐานนั้น ได้แก่ บริเวณ Folding Machine ของจุด Offset Printing C, บริเวณ Laser Printing ของจุด Digital Printing D, และบริเวณ Binding Machine ของจุด Digital Printing D นอกจากนี้ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด PM_{2.5} ของ ASHRAE ที่ 25 µg/m³ ซึ่งถือว่ามีความมาตรฐานที่สูงกว่า พบว่า จุดที่เกินค่ามาตรฐานนั้น ได้แก่ บริเวณ Laser Printing, Binding Machine, Folding Machine ของจุด Offset Printing B, บริเวณ Binding Machine, Folding Machine ของจุด Offset Printing C และบริเวณ Office, Laser Printing, Binding Machine, ของจุด Digital Printing D

ทั้งนี้ ในส่วนของฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบหยาบ PM_{10} และฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด $PM_{2.5}$ ในบริเวณปฏิบัติงานต่าง ๆ ของแต่ละจุดตรวจวัด มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะการวางเครื่องจักร ลักษณะอาคารที่ตั้ง ประเภทงานของเครื่องจักร รวมถึงระบบระบายอากาศที่ทำให้ปริมาณความเข้มข้นนั้นเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในบริเวณเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) ของจุด Digital Printing D ที่มีค่าสูงกว่าจุดอื่น ถึงแม้ว่า ในบริเวณนั้นเป็นพื้นที่เปิดโล่งและไม่มีระบบปรับอากาศติดตั้งอยู่ ทำให้อากาศภายในอาคารมีอัตราการไหลของอากาศออกสู่บรรยากาศมากขึ้นก็ตาม เนื่องจากบริเวณนั้นมีการติดตั้งพัดลมไอน้ำบริเวณหน้าต่าง ซึ่งใกล้เคียงกับเครื่องเข้าเล่มและไสกาว นอกจากนี้ ตัวพัดลมไอน้ำก็ยังหันหน้าเข้าหาผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้นโดยตรง อาจเป็นไปได้ว่า ละอองน้ำที่มาจากพัดลมไอน้ำมีขนาดเล็กมาก เนื่องจากในบริเวณนั้นมีงานพิมพ์และกระดาษเป็นจำนวนมาก แต่ไม่มีความชื้นบนกระดาษไปสัมผัสและรวมตัวกับฝุ่นกระดาษที่ออกมาจากเครื่องเข้าเล่มและไสกาว รวมถึงที่เป็นฝุ่นแบ่งจากกระดาษที่มีน้ำหนักเบาลอยสูงขึ้น ทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กตกลงมาและแพร่กระจายไปยังด้านล่างที่เป็นพื้นที่ปฏิบัติงาน อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้นได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าปกติ

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs

4.3.1 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) เฉลี่ยบริเวณภายในอาคาร

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) โดยเฉลี่ย ด้วยวิธีนำค่าความเข้มข้นตลอดระยะเวลาการทำงานมาหาค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงตลอดระยะเวลาการทำงาน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในแต่ละจุด โดยใช้ค่าจากการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคาร (Workplace) เป็นหลัก เนื่องจากการตรวจวัดแบบติดตัวบุคคลจะมีกิจกรรมอื่นของผู้ปฏิบัติงานนอกเหนือจากภาระงานที่ทำอยู่ที่แตกต่างกัน อาจจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ผล ซึ่งปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมเฉลี่ย (TVOC) ในการเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคารในโรงพิมพ์จำนวน 5 แห่งและสำนักงานจำนวน 1 แห่ง แสดงตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมเฉลี่ยภายในอาคาร

TVOC Conc. (ppm)	Offset Printing A	Offset Printing B	Offset Printing C	Digital Printing D	Digital Printing E	Reference
Monday	4.0	1.5	8.5	0.6	0.4	0.1
Tuesday	2.7	8.5	27.7	0.8	0.4	0.2
Wednesday	2.8	7.7	25.2	0.7	0.5	0.1
Thursday	2.7	1.4	24.1	0.6	0.4	0.1
Friday	1.2	6.0	23.8	0.7	0.9	0.1
Avg	2.68	5.02	21.86	0.68	0.52	0.12
SD	0.89	3.02	6.82	0.08	0.19	0.04

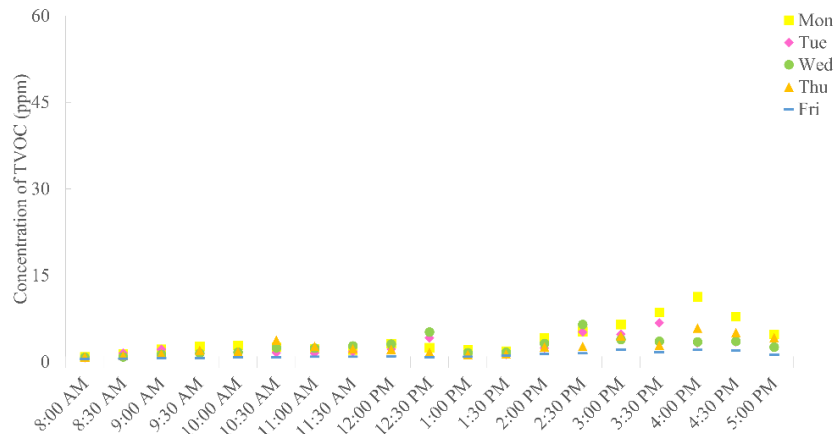
จากตารางที่ 4.7 สามารถแบ่งกลุ่มได้จากปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดการตรวจวัดได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดการตรวจวัดมากกว่า 1 ppm ได้แก่ จุด Offset Printing C ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด อยู่ที่ 21.86 ppm รองลงมาคือจุด Offset Printing C และจุด Offset Printing A ที่มีค่าเฉลี่ย 5.02 ppm และ 2.68 ppm ตามลำดับ ส่วนอีกกลุ่มเป็นกลุ่มที่มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดการตรวจวัดน้อยกว่า 1 ppm ได้แก่ จุด Digital Printing D จุด Digital Printing E และ จุด Reference ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.68 ppm, 0.52 ppm และ 0.12 ppm ตามลำดับ ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ทำให้ปริมาณความเข้มข้นมีความแตกต่าง คือ ชนิดของหมึกพิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ โดยที่โรงพิมพ์ระบบออฟเซต จะใช้หมึกที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนโรงพิมพ์ระบบดิจิตอลจะใช้หมึกที่มีผงคาร์บอนผสมกับพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้หมึกในโรงพิมพ์ระบบออฟเซตนั้นมีโอกาสระเหยสู่บรรยากาศได้มากกว่า นอกจากนี้ ส่วนสำคัญที่ทำให้พบปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมในโรงพิมพ์ออฟเซตมากกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิตอล คือ น้ำยาทำความสะอาดหัวพิมพ์ (Solvent) ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ออฟเซตซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นส่วนผสม และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างโรงพิมพ์ระบบออฟเซตทั้ง 3 แห่งแล้ว พบว่า จุด Offset Printing A ที่มีปริมาณความเข้มข้นต่ำสุด เนื่องจากเป็นโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซต

เพียงแห่งเดียวที่ตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตไว้ภายในอาคารโดยไม่มีห้องกันและไม่มีระบบปรับอากาศ ทำให้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมระบายออกสู่บรรยากาศด้านนอก ขณะที่จุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C เครื่องพิมพ์ออฟเซตถูกตั้งไว้ในห้องปิดและมีระบบปรับอากาศภายในห้อง ทำให้มีปริมาณความเข้มข้นที่สูง แต่ภายในห้องเครื่องพิมพ์ออฟเซตของจุด Offset Printing B ยังมีห้องเก็บอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องพิมพ์อย่างหมึกพิมพ์และน้ำยาทำความสะอาดหัวพิมพ์ที่แยกออกจากห้องเครื่องพิมพ์ ทำให้อัตราการแพร่กระจายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในห้องเครื่องพิมพ์ลดลงเป็นอย่างมาก นอกจากนี้เครื่องพิมพ์ของโรงพิมพ์ไม่ได้เปิดทำการพิมพ์ทุกวัน ซึ่งต่างจากจุด Offset Printing C ที่มีขนาดห้องน้อยกว่าจุด Offset Printing B ถึง 3 เท่า นอกจากนี้ยังมีหมึกพิมพ์และน้ำยาทำความสะอาดหัวพิมพ์ที่อยู่ในบริเวณเดียวกันกับเครื่องพิมพ์ จึงมีโอกาสและความเสี่ยงที่ผู้ปฏิบัติงานประจำเครื่องพิมพ์จะได้รับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมในปริมาณที่ค่อนข้างสูง

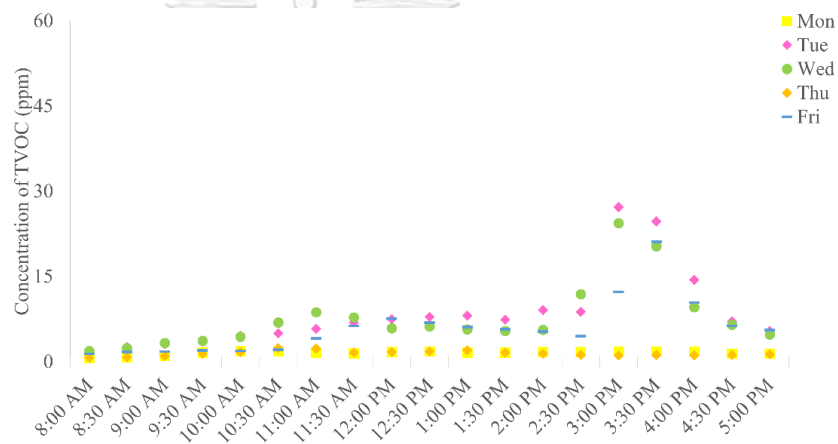
นอกจากนี้ เมื่อนำค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมเฉลี่ย (TVOC) ทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมเฉลี่ย (TVOC) ไว้ที่ 3 ppm พบว่า จุดที่เกินค่ามาตรฐานนั้น คือ จุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C

4.3.2 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) เฉลี่ยบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงาน

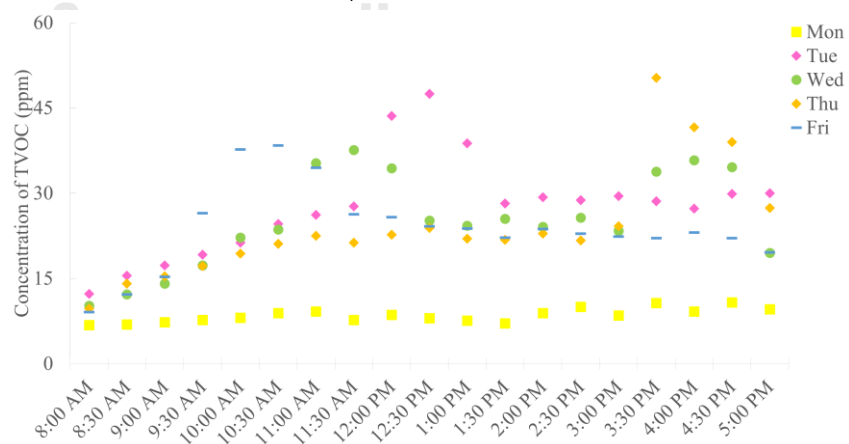
นอกจากปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานแล้ว สามารถแสดงค่าเป็นแต่ละช่วงเวลา เพื่อดูแนวโน้มการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในโรงพิมพ์เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟเส้นเวลาตามรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing A



รูปที่ 4.4 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing B



รูปที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานของจุด Offset Printing C

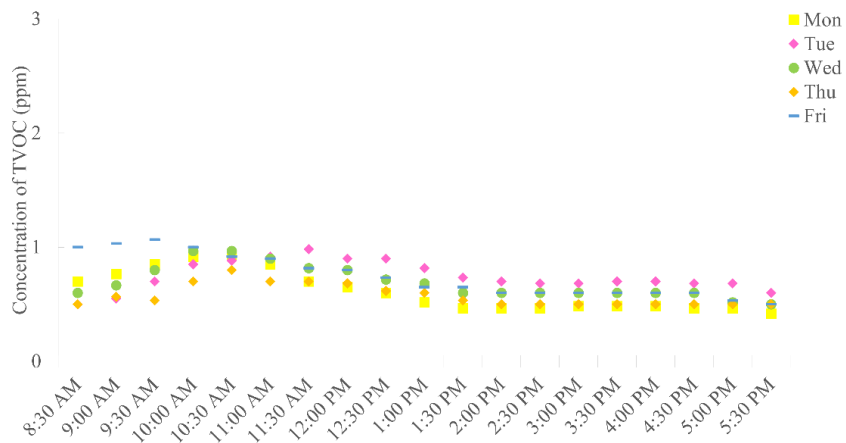
จากรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาของจุด Offset Printing A ค่าความเข้มข้นที่ผู้ปฏิบัติงานจะได้รับสัมผัสในวันที่มีการเดินเครื่องพิมพ์ในการทำงาน ได้แก่ วันจันทร์ (จุดสีเหลือง)วันอังคาร (จุดสีชมพู) วันพุธ (จุดสีเขียว) และวันพฤหัสบดี (จุดสีส้ม) วันศุกร์ (จุดสีฟ้า) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.9 - 4.2 ppm จะมีค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นมาในระยะเวลาหนึ่ง คือ ในช่วงเวลา 15.00 - 16.30 น. ที่มีค่าความเข้มข้น 6.5 -11.3 ppm ส่วนในวันที่ไม่ได้มีการเดินเครื่องพิมพ์ในการทำงาน ได้แก่ วันจันทร์ (จุดสีเหลือง) ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 - 2.2 ppm

จากรูปที่ 4.4 แสดงปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาของจุด Offset Printing B ค่าความเข้มข้นที่ผู้ปฏิบัติงานจะได้รับสัมผัสในวันที่มีการเดินเครื่องพิมพ์ในการทำงาน ได้แก่ วันอังคาร (จุดสีชมพู) วันพุธ (จุดสีเขียว) และวันศุกร์ (จุดสีฟ้า) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.4 - 8.7 ppm จะมีค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นมาในระยะเวลาหนึ่ง คือ ในช่วงเวลา 15.00 - 16.00 น. ที่มีค่าความเข้มข้น 12.3 - 27.2 ppm ส่วนในวันที่ไม่ได้มีการเดินเครื่องพิมพ์ในการทำงาน ได้แก่ วันจันทร์ (จุดสีเหลือง) และวันพฤหัสบดี (จุดสีส้ม) ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 - 2.0 ppm

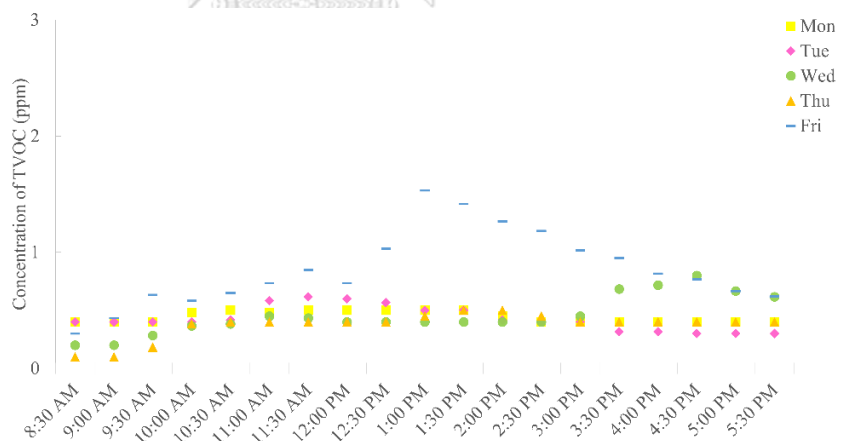
จากรูปที่ 4.5 แสดงปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาของจุด Offset Printing C ค่าความเข้มข้นในวันที่ไม่ได้มีการเดินเครื่องพิมพ์ คือ วันจันทร์ (จุดสีเหลือง) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 6.8 - 10.8 ppm ส่วนในวันที่มีการเดินเครื่องทำงาน ค่าความเข้มข้นที่ผู้ปฏิบัติงานจะได้รับสัมผัสจะอยู่ในช่วงระหว่าง 9.1 - 30.0 ppm นอกจากนี้ยังมีช่วงที่มีค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นมาในระยะเวลาหนึ่ง ได้แก่ วันอังคาร (จุดสีชมพู) ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. มีค่าความเข้มข้น 38.8 - 47.5 ppm วันพุธ (จุดสีเขียว) ในช่วงเวลา 11.00 - 12.00 น. มีค่าความเข้มข้น 34.4 - 37.6 ppm และช่วงเวลา 15.30 - 16.30 น. มีค่าความเข้มข้น 33.8 - 34.6 ppm วันพฤหัสบดี (จุดสีส้ม) ในช่วงเวลา 15.30 - 16.30 น. มีค่าความเข้มข้น 39.0 - 50.3 ppm และวันศุกร์ (จุดสีฟ้า) ในช่วงเวลา 10.00 - 11.00 น. มีค่าความเข้มข้น 34.5 - 38.4 ppm

ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมในช่วงเวลาหนึ่งที่มีค่าสูงของแต่ละโรงพิมพ์ที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ทำความสะอาดหัวเครื่องพิมพ์ก่อนที่จะเลิกงาน ซึ่งใช้น้ำยาทำความสะอาดหัวพิมพ์ (Solvent) ที่มีส่วนผสมของสารประกอบ

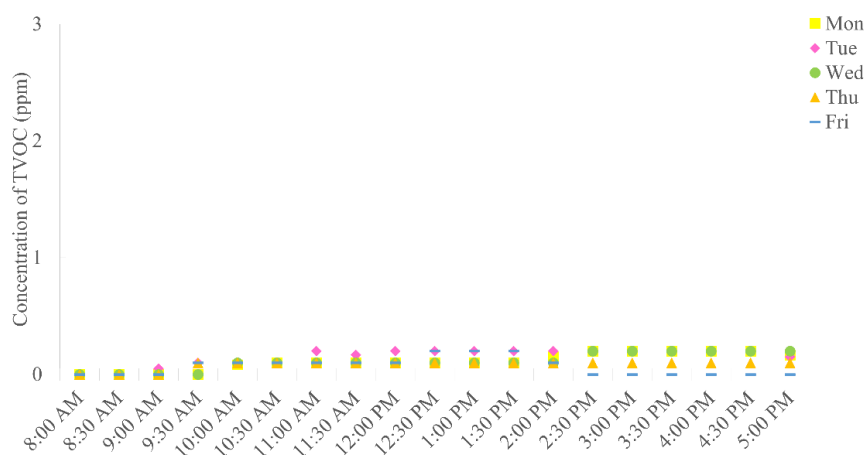
อินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมอยู่ สังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มข้นขึ้นสูงจะเกิดขึ้นใกล้เคียงกัน แต่จะมีบางช่วงเวลาที่เกิดขึ้นในเวลาอื่น เช่น ช่วงกลางวัน อาจเกิดจากปัญหาของหัวพิมพ์ที่พิมพ์งานออกมาแล้วเกิดสีเพี้ยนหรือขาดเป็นช่วง ทำให้ต้องมีการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการหยุดงานและล้างหัวพิมพ์ในช่วงเวลานั้น



รูปที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานของจุด Digital Printing D



รูปที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานของจุด Digital Printing E



รูปที่ 4.8 ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาทำงานของจุด Reference

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมบริเวณภายในอาคารตามช่วงเวลาของโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัลคือ จุด Digital Printing D และจุด Digital Printing E พบว่า ปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมของโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัลทั้ง 2 แห่งส่วนใหญ่มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ คือ มีค่าน้อยกว่า 1 ppm ยกเว้นในวันศุกร์ที่มีค่าอยู่ช่วง 1.2 -1.5 ppm เนื่องจากว่า เครื่องพิมพ์ระบบดิจิทัลที่ใช้ในโรงพิมพ์ระบบดิจิทัลทั้ง 2 แห่งเป็นประเภทเลเซอร์ มีส่วนผสมของผงหมึกคาร์บอนเป็นหลัก ทำให้พบปริมาณความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ และเมื่อเทียบกับจุด Reference จากรูปที่ 4.8 พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำมาก ถึงแม้ว่า ในสำนักงานจะมีเครื่องพิมพ์แบบดิจิทัลก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นในแต่ละจุดตรวจวัดแล้ว พบว่า ผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตมีโอกาสรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่าโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัลและสำนักงานทั่วไป

4.3.3 ปริมาณความเข้มข้น VOCs เฉลี่ยบริเวณภายในอาคารที่บุคคลได้รับสัมผัส

จากการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในสารละลาย Acetone จากการเก็บตัวอย่างจากผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ ด้วย Gas Chromatograph (GC) โดยเลือกวิเคราะห์สารที่คาดว่า ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสได้รับสัมผัสและมีผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ สารเบนซีน (Benzene), สารโทลูอีน (Toluene) และสารไซลีน (Xylene) หรือเรียกโดยรวมว่า กลุ่ม BTX ในการเก็บตัวอย่างจากผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์จะทำการเลือกจากจุดที่คาดว่า ผู้ปฏิบัติงาน

จะได้รับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) มากกว่าจุดอื่น หรือ บริเวณใกล้เคียงที่คาดว่า จะมีการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) อย่างบริเวณหน้าแท่นเครื่องพิมพ์ หลังจากวิเคราะห์แล้วคำนวณออกมาแล้ว ซึ่งแสดงผลออกมาตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการรับสัมผัสสาร VOCs กลุ่ม BTX โดยเฉลี่ยที่ติดตัวบุคคล

Station	Site	Average ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)		
		Benzene	Toluene	Mix Xylene
Offset Printing A	Offset Printing	2.05±0.35	3.72±0.55	8.18±0.55
	Binding Machine	2.16±0.31	2.10±0.87	7.73±2.43
Offset Printing B	Laser Printing	3.79±1.12	0.83±0.07	4.70±1.51
	Offset Printing	8.15±3.65	1.46±0.04	7.45±1.37
	Folding Machine	6.66±1.99	1.12±0.16	5.19±0.38
Offset Printing C	Offset Printing 1	6.07±3.03	3.80±1.06	6.11±3.00
	Offset Printing 2	10.97±5.11	6.04±0.38	9.97±1.48
Digital Printing D	Inkjet Printing	1.03±0.08	1.47±0.44	1.33±0.55
	Laser Printing	0.96±0.08	1.00±0.10	1.17±0.25
Digital Printing E	Laser Printing	1.49±0.40	1.87±0.96	1.52±0.02
Reference	Office	ND*	ND*	ND*

*ND หมายถึง Not detectable หรือมีค่าต่ำกว่าที่สามารถตรวจวัดได้

จากตารางที่ 4.8 พบว่า จุด Offset Printing A ในส่วนของเครื่องพิมพ์ออฟเซต (Offset Printing) และเครื่องเข้าเล่มและไสกาว (Binding Machine) มีปริมาณสารเบนซีน โทลูอินและไซลีนที่แทบไม่แตกต่างกัน อาจเกิดจากการปิดกั้นช่องของหัวพิมพ์ของ เครื่องพิมพ์ออฟเซตขณะที่ทำงาน รวมถึงการตั้งอุปกรณ์ใกล้หน้าต่างทำให้ระบายอากาศสู่ ภายนอกได้ดี ส่วนจุด Offset Printing B พบว่า บริเวณเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printing) จะมีปริมาณสาร BTX น้อยกว่าบริเวณเครื่องพิมพ์ออฟเซต (Offset Printing) และเครื่องพับ กระดาษ (Binding Machine) โดยที่เครื่องพิมพ์ออฟเซตนั้นถูกตั้งห่างจากหน้าต่าง ทำให้การ ระบายอากาศสู่ภายนอกอาจจะไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนจุดเครื่องพับกระดาษ จะสังเกตได้ว่า เป็น จุดที่รับงานพิมพ์แล้วจากเครื่องพิมพ์ออฟเซตเท่านั้น ส่วนงานที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ดิจิตอล จะถูกส่งไปอีกห้อง เพื่อจัดการเข้าเล่มทันที อาจจะมีการระเหยของหมึกพิมพ์บนกระดาษ

ขณะที่ปฏิบัติงานได้ นอกจากนี้ บริเวณเครื่องพับกระดาษ (Binding Machine) เป็นอีกส่วนหนึ่งในจุด Offset Printing B ที่มีระบบปรับอากาศและมีผนังรอบส่วน มีโอกาสที่ฝุ่นละอองและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายลอยอยู่ภายในห้องไม่ออกสู่บรรยากาศภายนอก ในจุด Offset Printing C จะทำการติดตามเครื่องพิมพ์ออฟเซต 2 เครื่องที่ทำงานใกล้กัน พบว่าปริมาณการรับสัมผัสของทั้ง 2 เครื่องใกล้เคียงกัน และมีอัตราการผลิตใกล้เคียงกัน แต่ที่พบบริเวณเครื่องพิมพ์ออฟเซต 2 (Offset Printing 2) มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าบริเวณเครื่องพิมพ์ออฟเซต 1 (Offset Printing 1) อาจมีความเป็นไปได้ว่า บริเวณพื้นที่ของเครื่องพิมพ์ออฟเซต 1 (Offset Printing 1) เปิดโล่งกว่าด้วยการที่ตั้งใกล้ประตู ส่วนบริเวณพื้นที่ของเครื่องพิมพ์ออฟเซต 2 (Offset Printing 2) ตั้งอยู่ใกล้ผนังและห่างจากประตู และในจุด Digital Printing D และ Digital Printing E พบว่า มีปริมาณสาร BTX น้อยมาก ด้วยปัจจัยของหมึกพิมพ์ที่เป็นผงคาร์บอนและมีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายน้อย เมื่อพิจารณาจุดตรวจวัดทั้งหมดแล้ว พบว่า โรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตปลดปล่อยสาร BTX มากกว่าโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัล เนื่องจากมีการใช้น้ำยาทำความสะอาดหัวเครื่องพิมพ์ที่มีส่วนผสมของสาร VOCs ที่เป็นไปได้ว่าจะมีสาร BTX อยู่ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์นั้นแข็งตัวและอุดตันเครื่องพิมพ์ รวมถึงเป็นการควบคุมคุณภาพของงานพิมพ์อย่างหนึ่งอีกด้วย

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ยังพบงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายกัน อาทิ เช่น งานวิจัยของ (Leung et al., 2005) ที่ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงพิมพ์ที่ฮ่องกงหาผลกระทบของการปลดปล่อย VOCs ในโรงพิมพ์ พบว่า การรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ของผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง มีค่าค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกันในแต่ละแห่ง แต่ค่ารับสัมผัสระยะสั้น 1 ชั่วโมง มีค่าที่ค่อนข้างสูงขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากน้ำยาทำความสะอาดจากกระบวนการทำความสะอาดหัวแม่พิมพ์ เช่นเดียวกับงานวิจัย (Al-Awadi et al., 2018) ได้ทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในประเทศคูเวตที่มุ่งเน้นไปที่งานพิมพ์ พบว่า ในระบบการพิมพ์ออฟเซต มีค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในระดับที่สูง เนื่องจากใช้สารอินทรีย์ทำละลายจากน้ำยาทำความสะอาดจากกระบวนการทำความสะอาดหัวแม่พิมพ์มากเกินไป ซึ่งมีความเห็นไปในทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดฝุ่นละออง PM_{2.5} พบว่า ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} ตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงนั้นเกินค่า

มาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) ซึ่งผลการตรวจวัดจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมานี้ สอดคล้องและเป็นในทิศทางเดียวกัน

4.4 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสมลพิษทั้งหมดในโรงพิมพ์ ตลอดระยะเวลาตรวจวัดในโรงพิมพ์และสำนักงาน โดยการประเมินผ่านทางหายใจ และแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenic agent) ได้แก่ สารเบนซีน (Benzene) และกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non - carcinogenic agent) ได้แก่ สารโทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene) ฝุ่น PM_{2.5} และสารเบนซีน (Benzene) ที่ส่งผลกระทบต่อทั้งแบบก่อและไม่ก่อมะเร็ง ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs

Station	Site	Carcinogen	Non - carcinogen			
		CR _B	HQ _B	HQ _T	HQ _X	HI _{BTX}
Offset Printing A	Workplace	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Offset Printing	5.57×10^{-3}	1.36×10^{-2}	1.70×10^{-4}	1.87×10^{-2}	1.93×10^{-2}
	Binding Machine	5.88×10^{-3}	1.43×10^{-2}	9.59×10^{-5}	1.77×10^{-2}	2.03×10^{-2}
Offset Printing B	Workplace	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Laser Printing	1.03×10^{-2}	2.51×10^{-2}	3.78×10^{-5}	1.07×10^{-2}	3.54×10^{-2}
	Offset Printing	2.22×10^{-2}	5.40×10^{-2}	6.68×10^{-5}	1.70×10^{-2}	7.62×10^{-2}
	Folding Machine	1.81×10^{-2}	4.41×10^{-2}	5.12×10^{-5}	1.19×10^{-2}	6.22×10^{-2}
Offset Printing C	Workplace	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Offset Printing 1	1.65×10^{-2}	4.02×10^{-2}	1.74×10^{-4}	1.39×10^{-2}	5.69×10^{-2}
	Offset Printing 2	2.98×10^{-2}	7.27×10^{-2}	2.76×10^{-4}	2.28×10^{-2}	1.03×10^{-1}
Digital Printing D	Workplace	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inkjet Printing	2.79×10^{-3}	6.80×10^{-3}	6.73×10^{-5}	3.03×10^{-3}	9.66×10^{-3}
	Laser Printing	2.61×10^{-3}	6.35×10^{-3}	4.55×10^{-5}	2.68×10^{-3}	9.00×10^{-3}
Digital Printing E	Workplace	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Laser Printing	4.06×10^{-3}	9.89×10^{-3}	8.53×10^{-5}	3.47×10^{-3}	1.40×10^{-2}
Reference	Workplace	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Office	ND	ND	ND	ND	ND

*N/A หมายถึง Not Applicable (ไม่เกี่ยวข้อง)

ND หมายถึง Not detectable หรือมีค่าต่ำกว่าที่สามารถตรวจวัดได้

จากตารางที่ 4.9 เป็นการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs ของบุคคลที่ปฏิบัติงานบริเวณเครื่องจักร เมื่อเทียบค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient : HQ) และดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs ในกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non - carcinogenic agent) พบว่า ในแต่ละจุดตรวจวัดมีค่าสัดส่วนความเสี่ยงของสารเบนซีน (HQ_B) สูงที่สุด รองลงมา คือ สารไซลีน (HQ_X) และสารโทลูอีน (HQ_T) ตามลำดับ เมื่อรวมค่า HQ ของสารทุกตัวแล้ว จะเห็นว่า ดัชนีอันตรายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs (HI_{BTX}) ของจุดที่พนักงานปฏิบัติงานอยู่หน้าเครื่องพิมพ์มีค่า HI_{BTX} สูงกว่าจุดปฏิบัติงานอื่น เนื่องจากในหมึกพิมพ์มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายผสมอยู่ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโรงพิมพ์ระบบออฟเซตกับโรงพิมพ์ระบบดิจิทัลแล้ว พบว่า ค่า HI_{BTX} ของโรงพิมพ์ระบบออฟเซตสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิทัลอยู่มาก อาจเกิดจากช่วงการล้างหัวเครื่องพิมพ์ ซึ่งสรุปได้ว่า ผู้ที่ปฏิบัติงานบริเวณหน้าเครื่องพิมพ์มีความเสี่ยงในการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสูงกว่าผู้ที่ปฏิบัติงานในส่วนงานอื่น โดยเฉพาะโรงพิมพ์ระบบออฟเซต เมื่อนำค่า HQ ของแต่ละจุดที่ได้จากการคำนวณของสารแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้ว พบว่ามีค่า HQ < 1 แสดงให้เห็นว่า ในแต่ละโรงพิมพ์มีค่าความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบต่อไปด้วยการรวมค่า HQ ทั้งหมดในแต่ละจุด ออกมาเป็นผลรวม คือค่า HI พบว่ามีค่า HI < 1 แสดงให้เห็นว่า ทุกโรงพิมพ์มีค่าความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs เช่นกัน แต่ในส่วนของกลุ่มที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenic agent) อย่างสารเบนซีน เมื่อคำนวณค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk : CR) ทุกจุดตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ คือ น้อยกว่า 1×10^{-6} หรือความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งน้อยกว่า 1 คนต่อประชากร 1 ล้านคน แล้วพบว่า ทุกจุดตรวจวัดมีค่า Cancer risk (CR) > 1×10^{-6} หรือเมื่อเทียบเป็นช่วงความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งโดยเฉลี่ย 261- 2,982 คนต่อประชากร 1 ล้านคน ถึงแม้ว่าจะเทียบกับค่ามาตรฐานของ ACGIH ที่ระบุว่าให้รับสัมผัสได้ไม่เกิน 1.6 mg/m^3 หรือค่ามาตรฐานของ NIOSH ที่ระบุว่าให้รับสัมผัสได้ไม่เกิน 0.32 mg/m^3 ซึ่งผลที่ได้ออกมามีค่าไม่เกินก็ตาม แต่ถ้าหากได้รับสัมผัสติดต่อกันเป็นระยะเวลาานอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ หรือมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดมะเร็งได้

นอกจาก การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs แล้ว มีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non - carcinogenic agent) ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) ที่ทำการตรวจวัดบริเวณพื้นที่และบริเวณที่บุคคลปฏิบัติงาน โดยใช้ค่าความเข้มข้นสารที่มนุษย์หายใจไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (Inhalation Reference Concentration : RfC) ของหน่วยงานที่เลือกมาจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ ASHRAE, USA (0.025 mg/m^3) กรมอนามัย, ไทย (MOPH : 0.035 mg/m^3) และ ACGIH, USA ($3,000 \text{ mg/m}^3$) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ที่ทำการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพของสาร TVOC และ $PM_{2.5}$

Station	Site	HQ_{TVOC}	$HQ_{PM_{2.5}}$			$HI_{TVOC+PM_{2.5}}$		
			ASHRAE	MOPH	ACGIH	ASHRAE	MOPH	ACGIH
Offset Printing A	Workplace	2.04×10^{-1}	1.96×10^{-1}	1.40×10^{-1}	1.64×10^{-3}	4.00×10^{-1}	3.44×10^{-1}	2.06×10^{-1}
	Offset Printing	N/A	2.11×10^{-1}	1.51×10^{-1}	1.76×10^{-3}	2.11×10^{-1}	1.51×10^{-1}	1.76×10^{-3}
	Binding Machine	N/A	2.14×10^{-1}	1.53×10^{-1}	1.79×10^{-3}	2.14×10^{-1}	1.53×10^{-1}	1.79×10^{-3}
Offset Printing B	Workplace	3.84×10^{-1}	4.04×10^{-1}	2.89×10^{-1}	3.37×10^{-3}	7.88×10^{-1}	6.73×10^{-1}	3.87×10^{-1}
	Laser Printing	N/A	2.65×10^{-1}	1.89×10^{-1}	2.21×10^{-3}	2.65×10^{-1}	1.89×10^{-1}	2.21×10^{-3}
	Offset Printing	N/A	3.19×10^{-1}	2.28×10^{-1}	2.66×10^{-3}	3.19×10^{-1}	2.28×10^{-1}	2.66×10^{-3}
	Folding Machine	N/A	2.60×10^{-1}	1.86×10^{-1}	2.17×10^{-3}	2.60×10^{-1}	1.86×10^{-1}	2.17×10^{-3}
Offset Printing C	Workplace	1.66	7.12×10^{-1}	5.08×10^{-1}	5.93×10^{-3}	2.38	2.17	1.67
	Offset Printing 1	N/A	4.93×10^{-1}	3.52×10^{-1}	4.11×10^{-3}	4.93×10^{-1}	3.52×10^{-1}	4.11×10^{-3}
	Offset Printing 2	N/A	3.57×10^{-1}	2.55×10^{-1}	2.98×10^{-3}	3.57×10^{-1}	2.55×10^{-1}	2.98×10^{-3}
Digital Printing D	Workplace	5.20×10^{-2}	3.84×10^{-1}	2.74×10^{-1}	3.20×10^{-3}	4.36×10^{-1}	3.26×10^{-1}	5.52×10^{-2}
	Inkjet Printing	N/A	2.39×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.99×10^{-3}	2.39×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.99×10^{-3}
	Laser Printing	N/A	3.26×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.71×10^{-3}	3.26×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.71×10^{-3}
Digital Printing E	Workplace	4.00×10^{-2}	2.58×10^{-1}	1.84×10^{-1}	2.15×10^{-3}	2.98×10^{-1}	2.24×10^{-1}	4.21×10^{-2}
	Laser Printing	N/A	1.90×10^{-1}	1.36×10^{-1}	1.58×10^{-3}	1.90×10^{-1}	1.36×10^{-1}	1.58×10^{-3}
Reference	Workplace	1.20×10^{-2}	6.81×10^{-2}	4.86×10^{-2}	5.67×10^{-4}	8.01×10^{-2}	6.06×10^{-2}	1.26×10^{-2}
	Office	N/A	5.18×10^{-2}	3.70×10^{-2}	4.31×10^{-4}	5.18×10^{-2}	3.70×10^{-2}	4.31×10^{-4}

*N/A หมายถึง Not Applicable (ไม่เกี่ยวข้อง)

ND หมายถึง Not detectable หรือมีค่าต่ำกว่าที่สามารถตรวจวัดได้

จากตารางที่ 4.10 เป็นการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) ในบริเวณพื้นที่และบุคคลที่ปฏิบัติงานบริเวณเครื่องจักร เมื่อเทียบค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient : HQ) และดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) พบว่า ค่าสัดส่วนความเสี่ยงของ $PM_{2.5}$ ($HQ_{PM_{2.5}}$) จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้ค่า R_fC ของ ASHRAE, USA (0.025 mg/m^3) รองลงมา คือ กรมอนามัย, ไทย (MOPH : 0.035 mg/m^3) และ ACGIH, USA ($3,000 \text{ mg/m}^3$) ตามลำดับ ทำให้เห็นว่า เมื่อใช้ค่า R_fC ของคุณภาพอากาศภายในอาคารมาพิจารณาร่วม สามารถเพิ่มแนวทางในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานได้ เนื่องจากค่า R_fC ของคุณภาพอากาศในสถานประกอบการมีการกำหนดค่าไว้ค่อนข้างที่จะสูงมาก นอกจากนี้ เมื่อนำค่า $HQ_{PM_{2.5}}$ ของแต่ละจุดที่ได้จากการคำนวณของสารแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้ว พบว่ามีค่า $HQ_{PM_{2.5}} < 1$ แสดงให้เห็นว่า ในแต่ละโรงพิมพ์มีความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$)

ในการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ในพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยใช้ค่า R_fC ที่เปรียบเทียบแล้วมีค่าต่ำที่สุด คือ ค่า R_fC ของกรมอนามัย, ไทย (MOPH : 3 ppm) พบว่า โรงพิมพ์ระบบออฟเซตมีค่า R_fC สูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล อาจเกิดมาจากการใช้น้ำยาล้างหัวแม่พิมพ์ในการทำทำความสะอาดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งสรุปได้ว่า ผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ระบบออฟเซตจะมีความเสี่ยงในการรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมสูงกว่าผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล เมื่อนำค่า HQ ที่ได้จากการคำนวณของสารแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้ว พบว่า มีจุด Offset Printing C เพียงจุดเดียวที่มีค่า $HQ_{TVOC} > 1$ แสดงให้เห็นว่า ในจุด Offset Printing C เกิดภาวะเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งต่อสุขภาพในการสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) แต่ในจุดอื่น ๆ มีค่า $HQ_{TVOC} < 1$ แสดงให้เห็นว่า ในจุดอื่น ๆ นั้นมีความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบต่อไปด้วยการรวมค่า HQ ของสารมลพิษทั้งหมดในแต่ละจุด ออกมาเป็นผลรวม คือค่า $HI_{TVOC+PM_{2.5}}$ ทำให้เห็นว่า สารที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในโรงพิมพ์ระบบออฟเซตมากที่สุด คือ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวม (TVOC) ส่วนโรงพิมพ์ระบบดิจิทัลและ Reference พบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมากที่สุด

ตารางที่ 4.11 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพด้วยดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI)

Station	Site	HI _{BTX}	HI _{TVOC+PM2.5}			HI _{All}		
			ASHRAE	MOPH	ACGIH	ASHRAE	MOPH	ACGIH
Offset Printing A	Workplace	N/A	4.00×10^{-1}	3.44×10^{-1}	2.06×10^{-1}	4.00×10^{-1}	3.44×10^{-1}	2.06×10^{-1}
	Offset Printing	1.93×10^{-2}	2.11×10^{-1}	1.51×10^{-1}	1.76×10^{-3}	2.30×10^{-1}	1.70×10^{-1}	2.11×10^{-2}
	Binding Machine	2.03×10^{-2}	2.14×10^{-1}	1.53×10^{-1}	1.79×10^{-3}	2.35×10^{-1}	1.73×10^{-1}	2.21E-02
Offset Printing B	Workplace	N/A	7.88×10^{-1}	6.73×10^{-1}	3.87×10^{-1}	7.88×10^{-1}	6.73×10^{-1}	3.87×10^{-1}
	Laser Printing	3.54×10^{-2}	2.65×10^{-1}	1.89×10^{-1}	2.21×10^{-3}	3.00×10^{-1}	2.24×10^{-1}	3.76×10^{-2}
	Offset Printing	7.62×10^{-2}	3.19×10^{-1}	2.28×10^{-1}	2.66×10^{-3}	3.95×10^{-1}	3.04×10^{-1}	7.89×10^{-2}
	Folding Machine	6.22×10^{-2}	2.60×10^{-1}	1.86×10^{-1}	2.17×10^{-3}	3.23×10^{-1}	2.48×10^{-1}	6.44×10^{-2}
Offset Printing C	Workplace	N/A	2.38	2.17	1.67	2.38	2.17	1.67
	Offset Printing 1	5.69×10^{-2}	4.93×10^{-1}	3.52×10^{-1}	4.11×10^{-3}	5.50×10^{-1}	4.09×10^{-1}	6.10×10^{-2}
	Offset Printing 2	1.03×10^{-1}	3.57×10^{-1}	2.55×10^{-1}	2.98×10^{-3}	4.60×10^{-1}	3.58×10^{-1}	1.06×10^{-1}
Digital Printing D	Workplace	N/A	4.36×10^{-1}	3.26×10^{-1}	5.52×10^{-2}	4.36×10^{-1}	3.26×10^{-1}	5.52×10^{-2}
	Inkjet Printing	9.66×10^{-3}	2.39×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.99×10^{-3}	2.49×10^{-1}	1.80×10^{-1}	1.17×10^{-2}
	Laser Printing	9.00×10^{-3}	3.26×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.71×10^{-3}	3.35×10^{-1}	2.42×10^{-1}	1.17×10^{-2}
Digital Printing E	Workplace	N/A	2.98×10^{-1}	2.24×10^{-1}	4.21×10^{-2}	2.98×10^{-1}	2.24×10^{-1}	4.21×10^{-2}
	Laser Printing	1.40×10^{-2}	1.90×10^{-1}	1.36×10^{-1}	1.58×10^{-3}	2.04×10^{-1}	1.50×10^{-1}	1.56×10^{-2}
Reference	Workplace	N/A	8.01×10^{-2}	6.06×10^{-2}	1.26×10^{-2}	8.01×10^{-2}	6.06×10^{-2}	1.26×10^{-2}
	Office	ND	5.18×10^{-2}	3.70×10^{-2}	4.31×10^{-4}	5.18×10^{-2}	3.70×10^{-2}	4.31×10^{-4}

เมื่อนำค่า HI ที่คำนวณได้ทั้งหมดมารวมเพื่อเปรียบเทียบกัน ตามที่แสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า จุด Workplace ของ Offset Printing C เพียงจุดเดียวเท่านั้นที่มีค่า HI_{All} > 1 สามารถแปลผลได้ว่า เกิดภาวะเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งต่อสุขภาพในการสัมผัสเพียงจุดเดียว ส่วนจุดอื่น ๆ มีค่า HI_{All} < 1 สามารถแปลผลได้ว่า ทุกโรงพิมพ์มีค่าความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสสาร และเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมในค่า R_{fC} ที่ใช้แต่ละตัว พบว่า ค่า R_{fC} ของ ASHRAE และกรมอนามัย (MOPH) ที่เป็นค่ามาตรฐานภายในอาคาร สามารถนำมาเปรียบเทียบได้และสามารถช่วยเพิ่มแนวทางในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ได้มากขึ้น และสามารถนำมาประกอบในการพิจารณาหาแนวทางในการลดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ ในการรับสัมผัสสารมลพิษภายในสถานประกอบการได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่า HI_{All} ระหว่างโรงพิมพ์ระบบออฟเซตและโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล พบว่า โรงพิมพ์ระบบออฟเซตจะมีความเสี่ยงในการรับสัมผัสสารทั้งหมดสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิทัล โดยเฉพาะจุด Offset Printing C ที่มีค่า $HI > 1$ ทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่าจุดอื่น



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัด PM₁₀ PM_{2.5} และ VOCs ทั้งบริเวณภายในอาคาร และที่ติดตัวบุคคล เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของมลพิษแต่ละตัวที่ผู้ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์จะได้รับ และวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดจากมลพิษภายในอาคารต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และนำมาใช้จัดการแก้ไขหรือปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารในสถานประกอบการ เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จสิ้นแล้ว พบว่า ผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์มีความเสี่ยงในการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กแบบละเอียด และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่าผู้ที่ทำงานในอาคาร เมื่อเปรียบเทียบค่ามลพิษแต่ละตัวเทียบกันระหว่างโรงพิมพ์ที่มีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุด พบว่าค่าเฉลี่ย PM_{2.5} ของ Offset Printing A อยู่ที่ 21.51 ppm ขณะที่สำนักงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.46 ppm ซึ่งมีค่ามากกว่าประมาณ 3 เท่า ส่วนค่าเฉลี่ยของ VOCs ของ Digital Printing E อยู่ที่ 0.52 ppm ขณะที่สำนักงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.12 ppm ซึ่งมีค่ามากกว่าประมาณ 5 เท่า เมื่อเทียบระหว่างโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ออฟเซตและโรงพิมพ์ระบบการพิมพ์ดิจิทัลที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด พบว่า ค่าเฉลี่ย PM_{2.5} ของ Offset Printing C อยู่ที่ 77.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ Digital Printing D มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 42.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่ามากกว่าประมาณ 1.85 เท่า ส่วนค่าเฉลี่ยของ VOCs ของ Offset Printing C อยู่ที่ 21.86 ppm ขณะที่ Digital Printing D มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.68 ppm ซึ่งมีค่ามากกว่าประมาณ 32 เท่า แสดงให้เห็นว่า ผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงพิมพ์ระบบออฟเซตมีโอกาสได้รับความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงกว่าโรงพิมพ์ระบบดิจิทัลเช่นกัน

โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่า มีจุด Offset Printing B และ Offset Printing C ที่มีค่าเฉลี่ย 5.02 และ 21.86 ppm ตามลำดับที่เกินค่ามาตรฐานรับสัมผัส 8 ชั่วโมงที่กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข กำหนดไว้ที่ 3 ppm ส่วนค่าฝุ่นละออง PM₁₀ ที่เก็บบริเวณพื้นที่ภายในอาคาร พบว่า มีจุด Offset Printing B, Offset Printing C และ Digital Printing D มีค่าเฉลี่ย 74.36 ,100.61 และ 52.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่เกินค่ามาตรฐานรับสัมผัส 8 ชั่วโมงที่กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

กำหนดไว้ที่ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ นอกจากนี้ยังมี ค่าฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ ในจุดเดียวกับที่กล่าวไว้ข้างต้นมีค่าเฉลี่ย 44.26, 77.92 และ $42.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่เกินค่ามาตรฐานรับสัมผัส 8 ชั่วโมงที่กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข กำหนดไว้ที่ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ย (VOCs) ที่เก็บได้จากผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACGIH ที่ค่ามาตรฐานรับสัมผัส 8 ชั่วโมงของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยรวมเฉลี่ย (TVOC) ไว้ที่ 3 ppm พบว่า จุดที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานนั้น คือ จุด Offset Printing B และจุด Offset Printing C

นอกจากนี้ในการตรวจวัด $\text{PM}_{2.5}$ และ BTX ทุกจุดตรวจวัดมีค่า $\text{HQ} < 1$ และ $\text{HI} < 1$ แสดงให้เห็นว่า ทุกโรงพิมพ์มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ในส่วนของกลุ่มที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenic agent) อย่างสารเบนซินที่พบว่าเกินค่าที่ยอมรับได้ คือ Cancer risk (CR) $> 10^{-6}$ ถึงแม้ว่าจะเทียบกับค่ามาตรฐานของ ACGIH ที่ระบุว่าให้รับสัมผัสได้ไม่เกิน $1.6 \text{mg}/\text{m}^3$ ซึ่งผลที่ได้ออกมาไม่เกินมาตรฐานก็ตาม แต่ถ้าหากได้รับสัมผัสติดต่อกันเป็นเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ หรือมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดมะเร็งได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ในการป้องกันและลดความเสี่ยงต่อสุขภาพในการรับสัมผัสมลพิษอากาศภายในอาคารได้แก่ ทำการกั้นฉากที่อุปกรณ์เพื่อลดอัตราการแพร่กระจายของฝุ่นหรือการระเหยของสาร VOCs ปรับเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์ให้อยู่ใกล้บริเวณที่อากาศถ่ายเทสะดวก หรือ ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของพนักงานที่คาดว่าจะมีความเสี่ยงต่อสุขภาพให้ทำในที่ที่เหมาะสม จัดเก็บวัสดุอุปกรณ์แยกจากที่ปฏิบัติงานเพื่อป้องกันการระเหยหรือแพร่กระจายของมลพิษ

5.2.2. ควรมีการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเพื่อควบคุมปริมาณฝุ่นละอองและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อลดปริมาณมลพิษภายในอาคาร หรือ อาจติดตั้งแผ่นกรองดักฝุ่นในระบบ เพื่อช่วยลดอันตรายก่อนที่จะออกสู่ภายนอกอาคาร

5.2.3. ควรมีการตรวจวัดมลพิษอากาศตัวอื่นเพิ่มเติม เช่น โอโซน เสียง เพื่อนำไปใช้ในการจัดการคุณภาพอากาศภายในสถานประกอบการ

5.2.4. ควรมีการตรวจวัดโรงพิมพ์สื่อประเภทอื่น เช่น 3D Printing เพื่อเป็นการเปรียบเทียบและหาความแตกต่างของความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพ

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

Chemtrack. (2008). พิษภัยใกล้ตัว - โทลูอิน. Retrieved from

<http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=1&ID=48>

ERCH2014. (2557). เบนซีนคืออะไร. In.

NIDA-DPM. (2012). โทลูอิน สารเคมีอันตรายที่ควรรู้จัก. Retrieved from

<http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/55-%E0%B9%82%E0%B8%97%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%99-%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%AD%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%81>

Siamchemi. (2557). ไชลิ้น. In.

Siamroommate. (2563). โทลูอิน (Toluene) การผลิต การใช้ประโยชน์และพิษโทลูอิน. In.

กรมควบคุมมลพิษ. (2543). โรงพิมพ์. Retrieved from

http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmel/l2print.htm

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2552). คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูง เบนซีน (Benzene)(pp. 61).

Retrieved from <http://reg3.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/benzene.pdf>

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2556). บัญชีรายชื่อสารเคมีอันตราย. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. Retrieved from

<http://www3.mol.go.th/sites/default/files/laws/th/41.pdf>

กรมอนามัย. (2559). คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร(pp. 95).

Retrieved from http://env.anamai.moph.go.th/ewt_dl_link.php?nid=824

กรุงเทพธุรกิจ. (2563, 30 กันยายน 2563). อวสานสิ่งพิมพ์ ? Retrieved from

<https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/900122>

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2557a). โรคจากไชลิ้น. Retrieved from

<http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/60>

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2557b). โรคจากโทลูอีน. Retrieved from

<http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/58>

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2557c). โรคจากเบนซีน. Retrieved from

<http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/57>

กัญญา ม่วงแก้ว. (2559). คุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงาน Retrieved from

http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/phy_5_2559_indoor_air_quality.pdf

จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. (2551). คุณภาพอากาศภายในอาคาร.

ทวี เวชพฤติ. (2551, 13 พฤศจิกายน 2563). ภัยร้ายใกล้ตัวจากสภาวะอากาศในอาคาร. Retrieved

from http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-13/13%20-%2004.pdf

นพภาพร พานิชและคณะ. (2550). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

พงศ์เทพ วิวรรณเดชะและคณะ. (2554). ปัญหาวิกฤติหมอกควัน. Retrieved from

http://www3.med.cmu.ac.th/etc/smog/modules/article/upload/attach_file/10-12-09-fde92.pdf

วินัย วนานุกูล. (2560). การรักษาภาวะพิษสารเคมี. Retrieved from

https://med.mahidol.ac.th/poisoncenter/sites/default/files/public/pdf/books/Toxic-Substance1-16_Toluene_Xylene.pdf

สรารุช สุธรรมมาสา. (2551). การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสารเคมี (Vol. 6-10). นนทบุรี:

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2561). คู่มือการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจาก

ปัญหาหมอกควันสำหรับบุคลากรสาธารณสุข(Vol. 1, pp. 68). Retrieved from

http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/media/manual/final_ble_0001.pdf

สุวัชร บัวแย้ม. (2551). การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์มลพิษอากาศที่เป็นอนุภาค (4 ed. Vol. 6-

10). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

ภาษาอังกฤษ

Abdul-Wahab, S. A., Chin Fah En, S., Elkamel, A., Ahmadi, L., & Yetilmmezsoy, K. (2015). A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 751-767. doi:10.5094/apr.2015.084

- ACGIH. (2015). *TLVs and BEIs Guideline*(pp. 276).
- ADC. (2013). Indoor Air Quality Standards. *Fact Sheet: Indoor Air Quality Standards*. Retrieved from <http://www.airductcleanersusa.com/indoor-air-quality-standards/>
- Airthings. (2018). What are TVOCs? Retrieved from <https://www.airthings.com/en-us/what-is-tvoc>
- Al-Awadi, L., Al-Rashidi, M., Pereira, B., Pillai, A., & Khan, A. (2018). Indoor air quality in printing press in Kuwait. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(6), 2643-2656. doi:10.1007/s13762-018-1800-1
- AQI India. (2017). Particulate Matter 2.5,. In What sources cause PM 2.5 in your area? (Ed.).
- ASHRAE. (2013). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. In (pp. 30). Atlanta,GA: ANS/ASHRAE.
- DOSH. (2000). Occupational Safety and Health ACT 1994. In. Malaysia: DOSH.
- DOSH. (2010). Industry Code of Practice on Indoor Air Quality 2010. In (pp. 50). Malaysia: DOSH.
- ENVSG. (1996). *Guidelines for Good Indoor Air Quality in office premises*. Retrieved from https://www.bca.gov.sg/greenmark/others/NEA_Office_IAO_Guidelines.pdf
- General Electric. (2019). The impact of PM2.5 beyond respiratory health. In Properties of PM2.5 and PM10 particles (Ed.).
- Health.Canada. (2011). Residential Indoor Air Quality Guideline Toluene. In (pp. 4). Canada: Health Canada.
- HKEPD. (1999). Hong Kong Air Quality Objectives *IAQ objectives for offices & public places*. Retrieved from <https://www.iaq.gov.hk/tables.html>
- Honeywell Inc. (2016). MiniRAE 3000. In.
- Honeywell Inc. (2020). MiniRAE 3000+ Datasheet. Retrieved from <https://sps.honeywell.com/us/en/products/safety/gas-and-flame-detection/portables/minirae-3000>
- HP Development, C. (2020). HP DesignJet T630 Large Format Wireless Plotter Printer. In. United States: Hewlett-Packard.
- Kagi, N., Fujii, S., Horiba, Y., Namiki, N., Ohtani, Y., Emi, H., . . . Kim, Y. S. (2007). Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers. *Building*

- and Environment*, 42(5), 1949-1954. doi:10.1016/j.buildenv.2006.04.008
- Kiurski, J. S., Marić, B. B., Aksentijević, S. M., Oros, I. B., Kecić, V. S., & Kovac̄ević, I. M. (2013). Indoor air quality investigation from screen printing industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 224-231.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.039>
- LEED USGBC. (2009). Green Building Design and Construction. In (pp. 81). Washinton,DC: LEED,USGBC.
- Leung, M. K., Liu, C. H., & Chan, A. H. (2005). Occupational exposure to volatile organic compounds and mitigation by push-pull local exhaust ventilation in printing plants. *J Occup Health*, 47(6), 540-547. doi:10.1539/joh.47.540
- Luo, N., Weng, W., Xu, X., Hong, T., Fu, M., & Sun, K. (2019). Assessment of occupant-behavior-based indoor air quality and its impacts on human exposure risk: A case study based on the wildfires in Northern California. *Sci Total Environ*, 686, 1251-1261. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.467
- NIOSH. (1996). Method 2549 Volatile Organic Compound (Screening). In (pp. 1-8): NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM),.
- NIOSH. (2003). Hydrocarbons, Aromatic: Method 1501,. In (pp. 7). Washington, DC: Centers for Disease Control and Prevention.
- Noguchi, M., Mizukoshi, A., Yanagisawa, Y., & Yamasaki, A. (2016). Measurements of Volatile Organic Compounds in a Newly Built Daycare Center. *Int J Environ Res Public Health*, 13(5). doi:10.3390/ijerph13070736
- OSH.UK. (2004). *Chemical Safety in the Workplace Guidance Notes on Chemical Safety in Printing Industry* (pp. 58).
- OSHA. (1998). Toluene : Index of Sampling and Analytical Methods In (pp. 1). Sandy, Utah: OSHA.
- OSHA. (1999). Xylene : Index of Sampling and Analytical Methods Retrieved from <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/mdt/mdt1002/1002.html>
- OSHA. (2017, January 9th, 2017). Permissible Exposure Limits – Annotated Tables. Retrieved from <https://www.osha.gov/annotated-pels/note>
- OSHA. (2020). Benzene : Index of Sampling and Analytical Methods In OSHA (Ed.). Sandy, Utah: OSHA.

- PHE. (2019). *Indoor Air Quality Guidelines for selected Volatile Organic Compounds (VOCs) in the UK*. In P. H. England (Ed.), (pp. 9).
- RAE. (2016). MiniRAE 3000+User's Guide. Retrieved from https://www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/Manual_MINI_RAE3000_USERGUIDE.pdf
- RAIS. (1998). Toxicity Summary for Benzene. Retrieved from https://rais.ornl.gov/tox/profiles/benzen_c.html
- Sakurai USA, I. (2020). Offset Press Oliver 66SD/SDP Series. In (Vol. Sakurai). United States.
- Sharma, R., & Balasubramanian, R. (2019). Assessment and mitigation of indoor human exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) of outdoor origin in naturally ventilated residential apartments: A case study. *Atmospheric Environment*, 212, 163-171. doi:10.1016/j.atmosenv.2019.05.040
- SKC Ltd. (2012a). Charcoal Sorbent Tubes. In.
- SKC Ltd. (2012b). Universal PCXR8 : Air Sampling Pump. In.
- SKC Ltd. (2015). Personal Modular Impactor (PMI). In.
- Stamatelopoulou, A., Asimakopoulos, D. N., & Maggos, T. (2019). Effects of PM, TVOCs and comfort parameters on indoor air quality of residences with young children. *Building and Environment*, 150, 233-244. doi:10.1016/j.buildenv.2018.12.065
- Supremeprint Co., L. (2010). Printing Process. Retrieved from <http://www.supremeprint.net/index.php?lay=show&ac=article&id=538819934>
- Tsai, C. J., Mao, I. F., Ting, J. Y., Young, C. H., Lin, J. S., & Li, W. L. (2016). Quality of Chemical Safety Information in Printing Industry. *Ann Occup Hyg*, 60(3), 361-370. doi:10.1093/annhyg/mev079
- U.S.EPA. (2008a). Benzene Interim Acute Exposure Guideline Levels (AEGs). In U.S.EPA (Ed.), *Acute Exposure Guideline Levels* (Vol. 6).
- U.S.EPA. (2008b). Human Health Risk Assessment Protocol In *Chapter 7: Characterizing Risk and Hazard* (pp. 7-6). North Carolina: Office of Solid Waste.
- U.S.EPA. (2010). *Xylene Acute Exposure Guideline Levels for selected Airborne Chemical*. In U.S.EPA (Ed.), (Vol. 9).
- U.S.EPA. (2011). Exposure Assessment Tools by Routes - Inhalation,. Retrieved from

- <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>
- U.S.EPA. (2012). Overview of Particle Air Pollution (PM2.5 and PM10). In. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/huff-particle.pdf>
- U.S.EPA. (2013). *User's guide/technical background document for US EPA Region 9's RSL*. Retrieved from <https://semspub.epa.gov/work/02/103453.pdf>
- U.S.EPA. (2014a). Technical Support Document EPA's 2014 National Air Toxics Assessment,. In *Multiple-pollutant Hazard* , (pp. 134). North Carolina: Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park,.
- U.S.EPA. (2014b). *Toluene Acute Exposure Guideline Levels for selected Airborne Chemical*. In U.S.EPA (Ed.), (Vol. 17).
- U.S.EPA. (2017a). Benzene; CASRN 71-43-2. In *Chemical Assessment Summary*. Washington, DC: U.S.EPA.
- U.S.EPA. (2017b). Indoor Air Quality (IAQ). Retrieved from <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>
- U.S.EPA. (2017c). Toluene; CASRN 108-88-3. In *Chemical Assessment Summary*. Washington, DC: U.S.EPA.
- U.S.EPA. (2017d). Xylenes; CASRN 1330-20-7. In *Chemical Assessment Summary*. Washington, DC: U.S.EPA.
- U.S.EPA. (2018a). Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. Retrieved from <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>
- U.S.EPA. (2018b). What is PM? Retrieved from <https://www3.epa.gov/region1/airquality/pm-what-is.html>
- WHO. (2000). *Chapter 5.14 Toluene*. In WHO (Ed.), *WHO air quality guidelines for Europe (CD ROM version)* (pp. 4).
- Xerox, C. (2020). Xerox Multifunction / All-in-One Laser Printers. In. United States: Xerox Corporation.
- Zhang, Y., Cao, S., Xu, X., Qiu, J., Chen, M., Wang, D., . . . Zhang, Y. (2016). Metals compositions of indoor PM2.5, health risk assessment, and birth outcomes in Lanzhou, China. *Environ Monit Assess*, 188(6), 325. doi:10.1007/s10661-016-5319-y

Zhou, L., Liu, G., Shen, M., Hu, R., Sun, M., & Liu, Y. (2019). Characteristics and health risk assessment of heavy metals in indoor dust from different functional areas in Hefei, China. *Environ Pollut*, 251, 839-849. doi:10.1016/j.envpol.2019.05.058



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายนพรัตน์ พงศ์บุญคุ้มลาภ
วัน เดือน ปี เกิด	26 เมษายน 2531
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549-2552 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2553-2557 สาธิตานุศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561-2563 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พิษวิทยาอุตสาหกรรมและการประเมิน ความเสี่ยง)
ที่อยู่ปัจจุบัน	79/40 ซ.สามวา 29 แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510