



ระดับผู้เฒ่าองและสารกลุ่ม BTEX จากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์กับความเสี่ยงต่อสุขภาพ



โดย  
นางสาวปฐวี ทองเกื้อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ระดับผู้ดูแลและสารกลุ่ม BTEX จากการบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสุขภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

LEVELS OF PARTICULATE MATTER AND BTEX FROM CHARCOAL MEAT  
GRILLING AND HEALTH RISK



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science (ENVIRONMENTAL SCIENCE)  
Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2017  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University



56311306 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>4</sub>, PM<sub>2.5</sub>, การป้บง้างเนื้อสัตว์, BTEX, ความเสี่ยงต่อสุขภาพ

นางสาว ปฐวี ทองเกื้อ: ระดับฝุ่นละอองและสารกลุ่ม BTEX จากการป้บง้างเนื้อสัตว์กับ  
ความเสี่ยงต่อสุขภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังกศิริ ทิพยารมณ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเข้มข้นของ TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> PM<sub>2.5</sub> และสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการป้บง้างเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ บั้นท้ายไก่ และเครื่องในไก่ย่างด้วยเตาถ่าน ณ ร้านรถเข็นหมูย่าง และนำความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสการหายใจของผู้ชายในกรณีที่มีโอกาสได้รับสัมผัสสารมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดโดยตรงอย่างต่อเนื่อง

ผลการวิจัยพบว่า การป้บง้างของร้านหมูย่างเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองทั้ง 4 ชนิด และสารกลุ่ม BTEX ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นชนิดที่ตรวจพบสูงสุดคือ TSP รองลงมาคือ PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> และ PM<sub>2.5</sub> โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.27±0.50 6.92±0.59 3.76±0.32 และ 1.38±0.24 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากการสัมภาษณ์ผู้ชายเนื้อสัตว์ป้บง้างร้านหมูย่างนักมวย พบว่า มีอาการระคายเคืองจมูก แสบจมูก ไอ จาม และมีเสมหะ ซึ่งเป็นอาการของกลไกการกำจัดฝุ่นละอองของร่างกาย และผลการตรวจวัดความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX พบความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เบนซีน > โทลูอีน > ออร์โท-ไซลีน > เอทิลเบนซีน โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.0323±0.0162 0.0180±0.0088 0.0041±0.0025 และ 0.0030±0.0020 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และตรวจไม่พบเมทา, พารา-ไซลีน ซึ่งแม้จะไม่เกินค่าขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานในของ OSHA ของ NIOSH และประกาศกระทรวงมหาดไทย แต่เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในกรณีผู้ชายมีโอกาสได้รับสัมผัสสารมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดโดยตรงอย่างต่อเนื่อง พบว่าผู้ชายมีความเสี่ยงแบบก่อมะเร็ง (Cancer risk) ที่ยอมรับไม่ได้ โดยมีค่าเท่ากับ  $1.10 \times 10^{-5}$  หรือ 11 คนต่อประชากร 1 ล้านคน แต่ไม่มีความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็ง ( $HI_{BTEX} = 0.152$ ) ดังนั้นผู้ชายควรมีการป้องกันเพื่อลดปริมาณการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX เช่น เลือกใช้เตาป้บง้างที่ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในอัตราที่ต่ำ อุปกรณ์ควบคุมควันที่เลือกใช้ควรเป็นครอบดูดควัน (Hood) หรือเป็นพัดลมดูดควันที่มีปล่องส่งให้ควันลอยตัวได้สูงเกินระดับการหายใจ สวมใส่หน้ากากที่สามารถดูดซับสารพิษ หรือมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ดี เป็นต้น



56311306 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

Keyword : TSP, PM10, PM4, PM2.5, MEAT GRILLING, BTEX, HEALTH RISK

MISS PATAWEE THONGKUA : LEVELS OF PARTICULATE MATTER AND BTEX FROM CHARCOAL MEAT GRILLING AND HEALTH RISK THESIS ADVISOR : AUNGSIRI THIPPAYAROM

This research aims to find the concentration of TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> PM<sub>2.5</sub> and BTEX from meat grilling as pork meat, chicken meat, chicken wings and chicken internal organ with charcoal oven at Moo Yang shop. The BTEX concentration was used to assess the health risk of seller who was inhalers' exposure in worse case.

The result found the meat grilling from Moo Yang shop released TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> PM<sub>2.5</sub> and BTEX at harmful levels to health. Grilling produced TSP at the highest average concentration follow by PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> and PM<sub>2.5</sub> with the orderly concentrations of  $10.27 \pm 0.50$   $6.92 \pm 0.59$   $3.76 \pm 0.32$  and  $1.38 \pm 0.24$  mg/m<sup>3</sup>, respectively. This was consistent with the result of seller's interview is indicating occurrences of Nasal irritation, nosebleed, cough, sneeze and sputum. These symptoms were the mechanism of dust removal from human's respiratory system. For analyzing the BTEX, it found the average concentrations as following order; Benzene > Toluene > o-Xylene > Ethylbenzene with the orderly concentrations of  $0.0323 \pm 0.0160$   $0.0180 \pm 0.0090$   $0.0030 \pm 0.0030$  and  $0.0013 \pm 0.0030$  mg/m<sup>3</sup>, respectively with and non detect for m,p-Xylene. The BTEX concentrations were not exceeding work safety limits of OSHA NIOSH and announcement of Ministry of Interior. However, when used BTEX concentration to assess the health risk in the worst case it found the seller had unacceptable risk of cancer with  $1.10 \times 10^{-5}$  or 11 persons per 1 million persons but did not have health risk of non-carcinogenic ( $HI_{BTEX} = 0.152$ ). Therefore, the seller should be self-protect to decrease BTEX inhalation exposure such as choose charcoal that produces incomplete combustion at low rates, use smoke control i.e. hood or fan with chimney to allow smoke lift above the breathing level, wearing a high efficiency mask that can absorb the toxics or filter small particulate as well.





## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณฺ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความคิดเห็น อันเป็นประโยชน์ เพื่อการแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ด้วยความเอาใจใส่ พร้อมทั้งตักเตือน สั่งสอน ให้โอกาส และกำลังใจด้วยดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันแย้ง และอาจารย์ ดร. ชัชวาล สิงห์กันต์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และร่วมเป็นประธานกรรมการ และกรรมการการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในสถาบันแห่งนี้ และขอขอบพระคุณบริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ช่วยดำเนินการเกี่ยวกับการเก็บตัวอย่างในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเพื่อตอบแทนคุณบิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุน เป็นแรงผลักดันให้แก่ผู้ทำวิจัย และขอมอบแด่บูรพาคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัย

ปฐวี ทองเกื้อ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฒ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ตัวแปรในการศึกษา.....	4
1.6 กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	5
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	6
บทที่ 2 .....	8
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ฝุ่น.....	9
2.1.1 กระบวนการเกิดฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์.....	9
2.1.2 กระบวนการเข้าสู่ร่างกายและกลไกการตกสะสมของฝุ่นละออง.....	12

2.1.3 กลไกการกำจัดฝุ่นออกจากร่างกาย.....	17
2.1.4 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพมนุษย์.....	18
2.1.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศ.....	21
2.2 สารกลุ่ม BTEX.....	22
2.2.1 เบนซีน.....	22
2.2.2 โทลูอีน.....	26
2.2.3 เอทิลเบนซีน.....	29
2.2.4 ไซลีน.....	31
2.2.5 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX.....	34
2.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ.....	36
2.3.1 การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification).....	37
2.3.2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ (Dose-response assessment)..	37
2.3.3 การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure assessment).....	40
2.3.4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization).....	41
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43
บทที่ 3.....	48
วิธีดำเนินการวิจัย.....	48
3.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	48
3.2 การเก็บตัวอย่าง.....	49
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง.....	49
3.2.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง.....	50
3.2.3 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง.....	51
3.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	55
3.3.1 การเก็บตัวอย่างฝุ่น.....	55

3.3.2 การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX.....	56
3.3.3 การเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์.....	56
3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่นละออง .....	57
3.4.1 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง.....	57
3.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX .....	58
3.5.1 การสกัดคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ .....	58
3.5.2 กราฟมาตรฐาน (Standard curve) .....	59
3.5.3 การสกัดตัวอย่าง BTEX และแปลงค่า.....	61
3.5.4 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control; QC).....	62
3.5.5 การคำนวณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX.....	63
3.6 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส.....	64
3.6.1 การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification) .....	64
3.6.2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ (Dose - Response Assessment) .....	65
3.6.3 การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment).....	66
3.6.4 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization).....	66
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	67
บทที่ 4 .....	68
ผลการศึกษาและการอภิปรายผล .....	68
4.1 ข้อมูลทั่วไปในการป้อนเนื้อสัตว์.....	68
4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง .....	69
4.3 ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX.....	72
4.4 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ .....	78
บทที่ 5 .....	82

สรุปและข้อเสนอแนะ .....	82
5.1 สรุปผลการศึกษา .....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	84
รายการอ้างอิง .....	87
ภาคผนวก.....	91
ภาคผนวก ก.....	92
ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ .....	92
ภาคผนวก ข.....	96
การคำนวณ .....	96
ภาคผนวก ค.....	103
รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการศึกษา.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	114



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM <sub>2.5</sub> ) ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านไม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือน .....	11
ตารางที่ 2 การตกสะสมของฝุ่นในทางเดินหายใจมนุษย์ .....	16
ตารางที่ 3 ค่ากำหนดการได้รับสัมผัสฝุ่น .....	21
ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปเกี่ยวกับฝุ่น .....	22
ตารางที่ 5 ลักษณะอาการตามปริมาณที่ได้รับสัมผัสเบนซิน.....	25
ตารางที่ 6 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ที่เกิดจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX.....	33
ตารางที่ 7 ค่าขีดจำกัดการได้รับสัมผัสของสารกลุ่ม BTEX (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) .....	35
ตารางที่ 8 ค่าขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานสำหรับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ส่วนในล้านส่วน).....	36
ตารางที่ 9 ค่าความเข้มข้นอ้างอิงทางการหายใจของสารกลุ่ม BTEX (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ...	39
ตารางที่ 10 ค่าความเป็นพิษทางการหายใจแบบก่อมะเร็งของสารกลุ่ม BTEX ที่เป็นสารก่อมะเร็ง, (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	40
ตารางที่ 12 ร้อยละของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร .....	44
ตารางที่ 13 อัตราการไหลของปมุดอากาศ.....	54
ตารางที่ 14 ปริมาตรการเตรียมสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX .....	59
ตารางที่ 15 สภาวะเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี ที่มีตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออไนเซชัน (GC-FID) สำหรับการวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX.....	60
ตารางที่ 16 ความสามารถในการก่อมะเร็งของสารกลุ่ม BTEX.....	64
ตารางที่ 17 ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration; R <sub>f</sub> C) และค่าความเป็นพิษในการก่อมะเร็ง (Slope factor; SF) ของสารกลุ่ม BTEX .....	65

ตารางที่ 18 ความหมาย และที่มาของตัวแปรในสมการการคำนวณปริมาณการได้รับเฉลี่ยต่อวัน (ADI)

..... 66

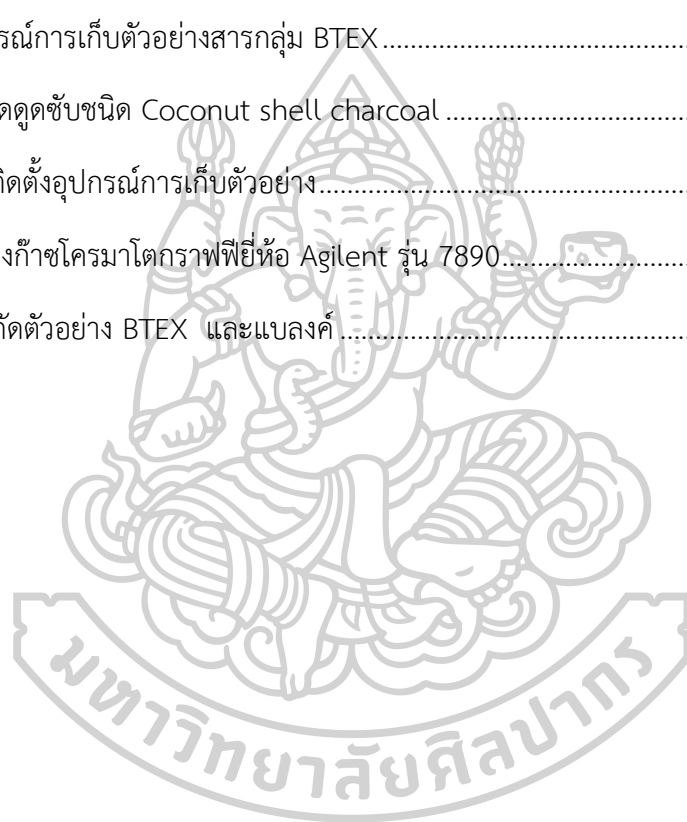


## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา .....	7
รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง .....	8
รูปที่ 3 การปลดปล่อย PM <sub>2.5</sub> จากอุปกรณ์การให้ความร้อนชนิดต่าง ๆ ในครัวเรือน .....	12
รูปที่ 4 ขนาดของฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ .....	13
รูปที่ 5 กลไกการแพร่ .....	14
รูปที่ 6 กลไกการตกลงตามแรงโน้มถ่วง .....	14
รูปที่ 7 กลไกการปะทะกับผนังทางเดินหายใจ .....	15
รูปที่ 8 กลไกการสัมผัสกับผิวเยื่อทางเดินหายใจ .....	15
รูปที่ 9 กลไกการตกตามแรงไฟฟ้าสถิต .....	16
รูปที่ 10 กลไกการกำจัดสิ่งแปลกปลอมในระบบทางเดินหายใจ .....	18
รูปที่ 11 โครงสร้างเบนซีน (Benzene) .....	23
รูปที่ 12 โครงสร้างโทลูอีน (Toluene) .....	27
รูปที่ 13 โครงสร้างเอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) .....	29
รูปที่ 14 โครงสร้างไซลีน (Xylene) .....	32
รูปที่ 15 ขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ .....	37
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณสารที่ได้รับกับการตอบสนองของสารไม่ก่อมะเร็ง .....	38
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณสารที่ได้รับกับการตอบสนองของสารก่อมะเร็ง .....	40
รูปที่ 18 วิธีการศึกษา .....	48
รูปที่ 19 แผนที่ตั้งร้านหมูย่างน้กมวย สถานที่เก็บตัวอย่าง .....	49
รูปที่ 20 ลักษณะร้านหมูย่างรถเข็น .....	50



รูปที่ 21 เครื่องชั่งดิจิตอลระดับไมโครกรัม ความละเอียด 6 ตำแหน่ง (Microbalance) รุ่น XP6 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO.....	51
รูปที่ 22 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น TSP .....	52
รูปที่ 23 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM <sub>10</sub> .....	52
รูปที่ 24 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM <sub>4</sub> .....	53
รูปที่ 25 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM <sub>2.5</sub> .....	53
รูปที่ 26 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX .....	54
รูปที่ 27 หลอดดูดซับชนิด Coconut shell charcoal .....	55
รูปที่ 28 การติดตั้งอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง.....	57
รูปที่ 29 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟิยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890.....	61
รูปที่ 30 วิธีสกัดตัวอย่าง BTEX และแบลงค์.....	62



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปิ้งย่างเป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการปรุงอาหารซึ่งมีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ถึงแม้ว่าปัจจุบันรูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการปิ้งย่างจะได้รับการพัฒนาไปตามยุคสมัย แต่รูปแบบที่ยังคงใช้ในการปิ้งย่างคือการให้ความร้อนแก่อาหารโดยตรงผ่านการเผาไหม้ถ่านไม้เชื้อเพลิง ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ และมีการใช้อย่างกว้างขวางในการปิ้งย่างอาหาร เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนที่ดี อีกทั้งยังมีราคาถูก จึงยังคงได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบัน แต่เนื่องจากถ่านไม้มีองค์ประกอบของแร่ธาตุคาร์บอน สารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ เมื่อเกิดการเผาไหม้จึงก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด ทั้งเขม่า คาร์บอน ฝุ่น และฝุ่นชนิดต่าง ๆ เช่น ฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) และฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) เป็นต้น

อนุภาคของฝุ่นละอองสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านกระบวนการหายใจ และเกิดการตกสะสมในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น คัดจมูก ไอ จาม หายใจติดขัด หอบหืด และอาจเกิดโรคปอดอักเสบหากได้รับสัมผัสต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน และนอกจากอันตรายที่เกิดจากฝุ่นละอองแล้ว ควันที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อหมู เนื้อไก่ หรือเนื้อวัว เป็นต้น ไขมันในเนื้อสัตว์จะละลายหยดลงบนถ่านไม้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดก๊าซ และอนุภาคสารมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้หลายชนิด เช่น สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โลหะปริมาณน้อย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ รวมทั้งยังก่อให้เกิดกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ประกอบด้วยเบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylenes) หรือที่เรียกว่าสารกลุ่ม BTEX โดยสารกลุ่มนี้นอกจากจะเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย เช่น ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ มีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้มีอาการวิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ เป็นต้น อีกทั้งหากได้รับสัมผัส และมีการสะสมเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดภาวะโลหิตจาง ก่อให้เกิดความผิดปกติของเม็ดเลือดขาว (Leukemia) ส่งผลกระทบต่อระบบ

ภูมิคุ้มกัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Genotoxicity) จนเป็นสาเหตุของการก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) ในมนุษย์อีกด้วย

International Agency for Research on Cancer หรือ IARC องค์การหน่วยย่อยของ World Health Organization (WHO) ซึ่งทำหน้าที่ศึกษาวิจัย ประเมิน และจัดกลุ่มสารก่อมะเร็ง จัดให้สารในกลุ่ม BTEX ได้แก่ เบนซีน (Benzene) และเอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) อยู่ในกลุ่มสารที่มีฤทธิ์ในการก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ และกลุ่มสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ตามลำดับ (International Agency for Research on Cancer, 2017)

อาหารปิ้งย่างเป็นหนึ่งในหลายทางเลือกในการบริโภคของคนไทย ด้วยปัจจัยด้านต่าง ๆ ทั้งรสชาติ ราคา ความสะดวกรวดเร็วในการรับประทานของผู้บริโภค และมีกรรมวิธีในการปรุงที่ง่าย จึงทำให้อาหารปิ้งย่าง เช่น หมูย่าง ไก่ย่างจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ก่อให้เกิดอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทั้งในรูปแบบที่เป็นร้านอาหาร รูปแบบที่เป็นรถเข็นหรือร้านแผงลอย โดยร้านแบบรถเข็นหรือแผงลอยที่ขายอาหารประเภทปิ้งย่างแบบเสียบไม้ย่าง สามารถพบได้ทั่วไปทั้งตามตลาด ตลาดนัด หรือโรงอาหาร ซึ่งร้านปิ้งย่างเหล่านี้บางร้านไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควันเพื่อป้องกันการได้รับสัมผัสสารมลพิษที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารของผู้ขาย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง ซึ่งเป็นผู้ที่มีโอกาสได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารโดยใช้ถ่านไม้เชื้อเพลิงโดยตรงอย่างต่อเนื่อง ทั้งฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended particulate; TSP) ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) และสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended particulate; TSP) ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) และฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์

1.2.2 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์

1.2.3 เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับสัมผัสสารพิษในกลุ่ม BTEX โดยตรงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการประกอบอาชีพ

### 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 การปิ้งย่างเนื้อสัตว์ก่อให้เกิดฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) และสารกลุ่ม BTEX เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

1.3.2 การได้รับสัมผัสฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) และสารกลุ่ม BTEX เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ก่อให้เกิดผลกระทบและ/หรือความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

#### 1.4.1 พื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้เลือกร้านหมูย่างน้กมวย ซึ่งเป็นร้านรถเข็นที่มีการติดตั้งพัดลมดูดควันเหนือเตาปิ้งย่าง โดยขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ บั้นท้ายไก่ และเครื่องในไก่ ย่าง ร้านหมูย่างน้กมวยตั้งอยู่บริเวณตลาดอินดี้เพลย์กราวด์ ซึ่งเป็นตลาดอาหารที่เปิดขายเฉพาะตอนเย็นถึงค่ำ ตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม โดยสาเหตุที่เลือกร้านนี้เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากบริเวณดังกล่าวไม่ใช่เส้นทางหลักในการสัญจรภายในมหาวิทยาลัย ทำให้โดยรอบของร้านหมูย่างน้กมวยมีปริมาณการจราจรของยานพาหนะค่อนข้างน้อย มีเพียงรถจักรยาน และจักรยานยนต์เท่านั้นที่ผ่าน อีกทั้งในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงไม่มีร้านปิ้งย่างอื่น ๆ ทำให้ลดผลกระทบจากมลพิษที่แหล่งกำเนิดข้างต้น

#### 1.4.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างสารมลพิษทุกชนิด โดยติดตั้งอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างบนขาตั้งเหนือเตาปิ้งย่าง และพัดลมดูดควัน ในระยะความสูงประมาณ 78 เซนติเมตร เพื่อศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง ในกรณีที่ผู้ขายมีโอกาสได้รับสัมผัสสารมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมด

#### 1.4.3 ระยะเวลาศึกษา

เก็บตัวอย่างฝุ่นชนิดต่าง ๆ และสารกลุ่ม BTEX ชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 50 ตัวอย่าง ระหว่างช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 โดยเก็บตัวอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการปิ้งย่างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 16:00 – 20:00 น. ตามช่วงเวลาการขายปกติ และเก็บตัวอย่างความเข้มข้นพื้นฐาน (Background Condition) ในวันที่ไม่มีการขาย ชนิดละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 15 ตัวอย่าง

#### 1.4.4 เทคนิคการเก็บและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.4.4.1 เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองตามวิธีการวิเมตริก (Gravimetric) ทั้งฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) และฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) วันละ 1 ตัวอย่าง เป็นเวลา 10 วัน รวมจำนวนทั้งหมด 40 ตัวอย่าง โดยใช้ชุดเก็บตัวอย่างปริมาตรต่ำแบบบุคคล (Personal air sampler) ซึ่งประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศแบบพกพา ยี่ห้อ Gillian รุ่น GilAir5 ตลับกระดาษกรอง และอุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นตามขนาดที่ต้องการเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric Method) โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลระดับไมโครกรัม ทศนิยม 6 ตำแหน่ง (Microbalance) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น XP6 ณ บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด

1.4.4.2 เก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 1501 โดยใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพา ยี่ห้อ Gillian รุ่น GilAir5 ต่อเข้ากับหลอดดูดซับชนิด Coconut Shell Charcoal ยี่ห้อ SKC รหัสสินค้า 226-01 วันละ 1 ตัวอย่าง เป็นเวลา 10 วัน รวมจำนวน 10 ตัวอย่าง วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออนเซชัน (Gas chromatography - flame ionization detector; GC-FID) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890B ณ บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด โดยผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX นำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสผ่านการหายใจของผู้ชายเนื้อสัตว์ปึงย่าง

1.4.4.3 เก็บข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์โดยใช้แบบสอบถาม เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลทั่วไป ข้อมูลด้านสุขภาพ และข้อมูลการประกอบอาชีพ โดยนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการประเมิน และวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ชายเนื้อสัตว์ปึงย่างจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ทางการหายใจ

#### 1.5 ตัวแปรในการศึกษา

1.5.1 ตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรที่เป็นสาเหตุหลักของการก่อให้เกิดผลกระทบ ใน การศึกษานี้ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ชนิด ความเข้มข้นของฝุ่น และสารกลุ่ม BTEX

1.5.2 ตัวแปรตาม หรือตัวแปรที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ ใน การศึกษานี้ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลกระทบ และความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ชายเนื้อสัตว์ปึงย่าง

1.5.3 ตัวแปรควบคุม หรือตัวแปรที่อาจส่งผลให้การศึกษาเกิดความคลาดเคลื่อน หากไม่มีการควบคุมให้เหมือนกัน ใน การศึกษานี้ตัวแปรควบคุม ได้แก่ แหล่งกำเนิดของสารมลพิษ นั่นคือ

ร้านหมูย่างน้กมวย และผู้ขายเนื้อสัตว์ป้ียง่าง ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

1.5.4 ตัวแปรสอดแทรก หรือตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการศึษา แต่ไม่สามารถควบคุมได้ ในการศึษานี้ตัวแปรสอดแทรก ได้แก่ สภาพอากาศ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ แรงแลม เป็นต้น

## 1.6 กรอบแนวคิดในการศึษา

กรอบแนวคิดในการศึษาแสดงดังรูปที่ 1

### 1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 ฝุ่น (Particulate matter; PM) หมายถึง อนุภาคที่มีทั้งอยู่ในรูปของของแข็ง และของเหลว แววนลอยอยู่ในอากาศ มีขนาดเล็กตั้งแต่ 0.002 ไมโครเมตร จนถึงอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2546)

1.7.2 ฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended particulate; TSP) หมายถึง อนุภาคที่ลอยตัวในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub>) และอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 ไมโครเมตร มีแหล่งกำเนิดทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การพังกระจายของดิน ละอองเสร การเผาไหม้เชื้อเพลิง หรืออินทรีย์วัตถุต่าง ๆ (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

1.7.3 ฝุ่นหยาบ (Coarse particle) หมายถึง อนุภาคของฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 2.5-10 ไมโครเมตร (PM<sub>10-2.5</sub>) ฝุ่นประเภทนี้จะปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่บรรยากาศโดยตรง และไม่เปลี่ยนรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ฝุ่นดินจากกิจกรรมก่อสร้าง หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งจากยานพาหนะ และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

1.7.4 ฝุ่นละเอียด (Fine particle) หมายถึง อนุภาคของฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM<sub>2.5</sub>) ซึ่งการมองเห็นฝุ่นชนิดนี้ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) เท่านั้น อนุภาคของฝุ่นประเภทนี้ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดเป็นสารมลพิษที่อยู่ในรูปก๊าซ แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และฟิสิกส์กับอนุภาคต่าง ๆ ในบรรยากาศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของอนุภาค (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

1.7.5 ฝุ่นที่เข้าระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) หมายถึงอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 4 ไมโครเมตร หรือเรียกว่า PM<sub>4</sub> (Goossens & Buck, 2012)



1.7.6 สารกลุ่ม BTEX หมายถึง กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds; VOCs) ชนิดอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon) 4 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) โดยไซลีนประกอบด้วยทั้ง 3 ไอโซเมอร์ ได้แก่ ออร์โธ-ไซลีน (*o*-Xylene) เมทา-ไซลีน (*m*-Xylene) และพารา-ไซลีน (*p*-Xylene) (Queensland Government, 2012)

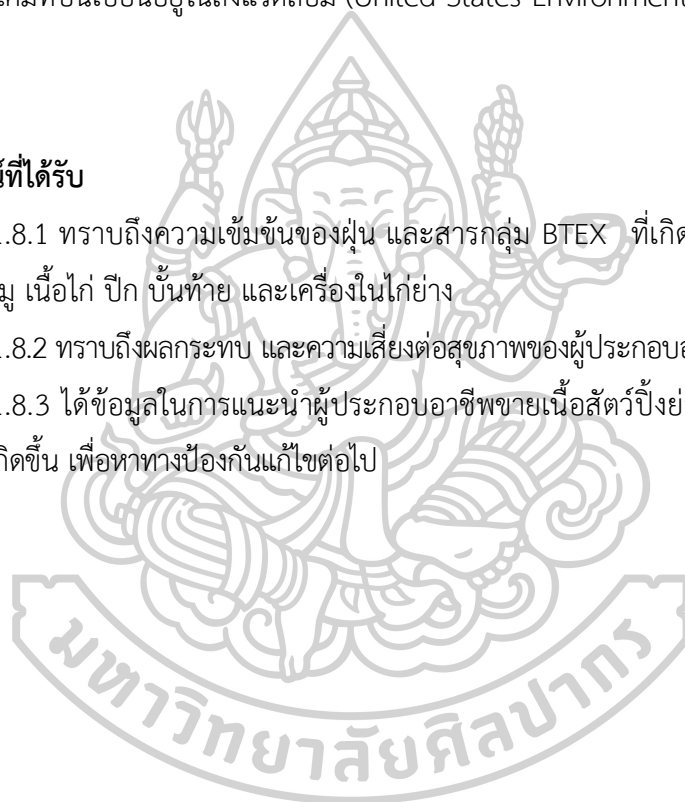
1.7.7 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Human Health Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการ การประมาณค่าความน่าจะเป็นของผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจเกิดจากการสัมผัสสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม (United States Environmental Protection Agency, 2016)

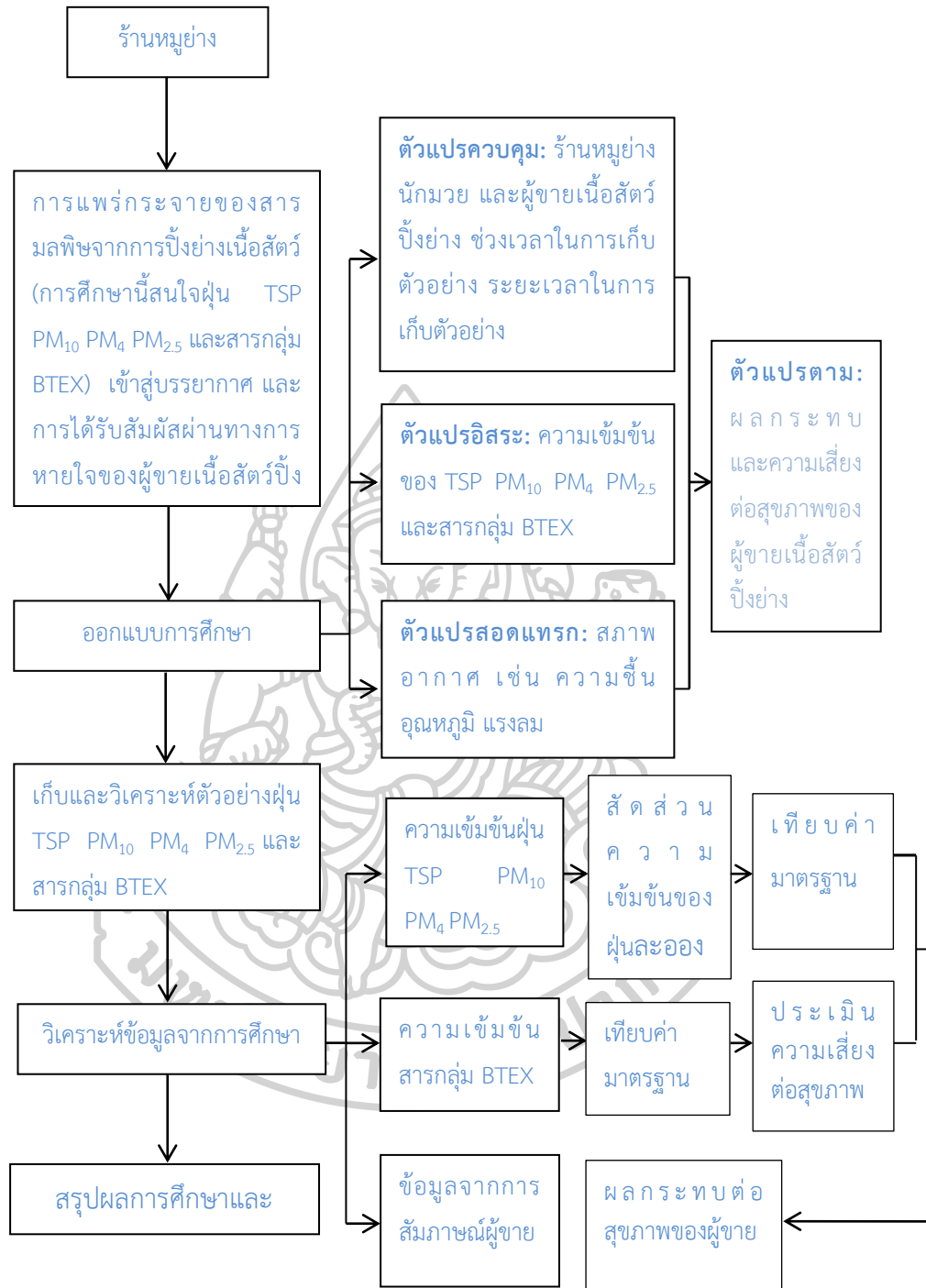
## 1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.8.1 ทราบถึงความเข้มข้นของฝุ่น และสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีก บั๊นท่าย และเครื่องในไก่ย่าง

1.8.2 ทราบถึงผลกระทบ และความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง

1.8.3 ได้ข้อมูลในการแนะนำผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น เพื่อหาทางป้องกันแก้ไขต่อไป





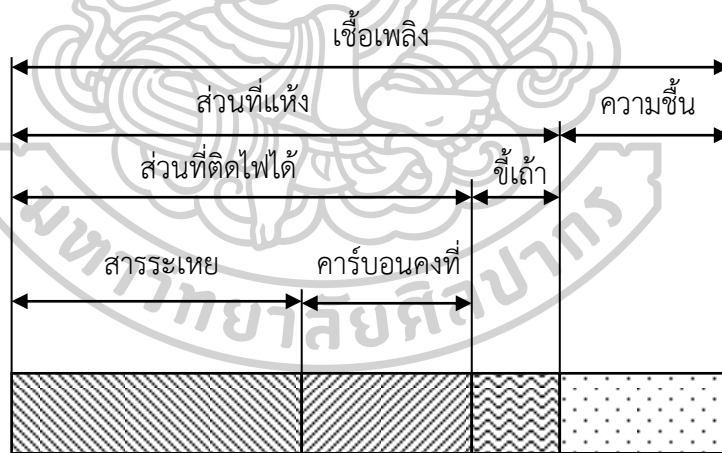
รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา



## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การปิ้งย่างเนื้อสัตว์โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงเป็นกิจกรรมที่ปลดปล่อยสารมลพิษหลายชนิดสู่บรรยากาศ เนื่องจากถ่านไม้เชื้อเพลิงมีองค์ประกอบทั้งที่เป็นคาร์บอน ชี้เถ้า สารระเหย สารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ (รูปที่ 2) เมื่อเกิดการเผาไหม้จึงก่อให้เกิดสารมลพิษปะปนอยู่ในควันจากการเผาไหม้ นอกจากนี้ในขณะที่ให้ความร้อนแก่เนื้อสัตว์ ไขมันในเนื้อสัตว์จะมีการละลายหยดลงบนถ่านไม้เชื้อเพลิง ประกอบกับปัจจัยต่าง ๆ ในการเผาไหม้ เช่น เชื้อเพลิง ความร้อน และปริมาณออกซิเจน เป็นต้น ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ปลดปล่อยสารมลพิษทางอากาศชนิดต่าง ๆ ออกมาเช่นกัน สารมลพิษที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds; VOCs) สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) โลหะปริมาณน้อย (Trace metals) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide; CO) และฝุ่นชนิดต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

ที่มา: สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะฝุ่น TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> PM<sub>2.5</sub> และสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ โดยมีรายละเอียดของสารมลพิษที่สนใจ ดังต่อไปนี้

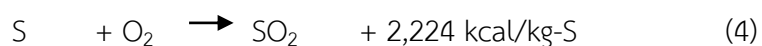
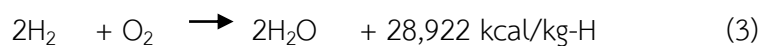
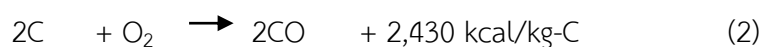
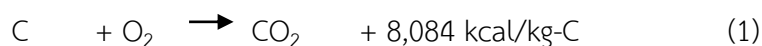
## 2.1 ฝุ่น

ฝุ่นในบรรยากาศสามารถจำแนกตามลักษณะที่มาของแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ตามธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด หรือจากการฟุ้งกระจายของดิน และหิน เป็นต้น และ (2) ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การคมนาคม การก่อสร้าง การทำเกษตรกรรม การทำเหมืองแร่ หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิง อินทรีย์วัตถุ วัสดุต่าง ๆ จากบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยกระบวนการ แหล่งกำเนิด และวัสดุต้นกำเนิดจะส่งผลให้ฝุ่นละอองมีลักษณะพื้นฐาน เช่น ขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ และคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปจึงใช้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aerodynamic diameter) ในหน่วยไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) หรือไมครอน เป็นหน่วยวัดขนาดของฝุ่น ซึ่งฝุ่นละอองที่พบในชั้นบรรยากาศส่วนใหญ่มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมโครเมตร จนถึงอนุภาคที่มีขนาดที่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร มีอยู่ทั้งในรูปของแข็ง และของเหลว ทั้งนี้ความสามารถในการแขวนลอยในอากาศของฝุ่นแต่ละชนิดนั้น นอกจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านน้ำหนักและขนาดของฝุ่นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ทางธรรมชาติ เช่น กระแสลม และการไหลเวียนของอากาศ ฯลฯ อีกด้วย โดยพบว่าฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะสามารถแขวนลอยในอากาศได้นานกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ จากนั้นจึงตกลงสู่พื้นดินด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

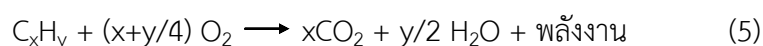
สำหรับฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารนั้น จากการศึกษาของคมสันต์ แรงจบ and กาญจนา นาละพินธุ (2555) เกี่ยวกับการกระจายตัวของฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ ไก่ย่าง หมูปิ้ง ปลาเผา และข้าวโพดปิ้ง พบว่า การปิ้งย่างอาหารทุกชนิดก่อให้เกิดฝุ่นขนาดเล็กซึ่งมีการกระจายตัวของ PM<sub>2.5</sub> มากกว่า PM<sub>5-10</sub> และ PM<sub>2.5-5</sub>

### 2.1.1 กระบวนการเกิดฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์

กรรมวิธีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองคือถ่านไม้เชื้อเพลิง เนื่องจากถ่านไม้มีองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ความชื้น (Moisture Content) คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) เถ้า (Ash) โดยเมื่อเกิดกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกี่ยวกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) อย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับถ่านไม้เชื้อเพลิง แล้วคายพลังงานออกมา โดยสมการเคมีที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงสุดแสดงดังสมการที่ (1) - (4) (สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)






ถ่านไม้เชื้อเพลิงซึ่งจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้น เมื่อเกิดการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนอย่างสมบูรณ์ จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และน้ำ (H<sub>2</sub>O) พร้อมปล่อยความร้อน (Heat) ออกมา ดังสมการที่ (5) สมการของการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดย x และ y คือตัวเลขการดุลสมการทางเคมีของสมการการเผาไหม้



แต่ในความเป็นจริงองค์ประกอบของถ่านไม้เชื้อเพลิงไม่ได้มีองค์ประกอบเพียงคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเท่านั้น แต่ยังประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบทั้งไนโตรเจน และธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ คลอรีน เป็นต้น และอีกทั้งในบรรยากาศเองก็ยังประกอบด้วยธาตุอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซึ่งอาจทำให้สัดส่วนของการเกิดการเผาไหม้ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion) ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดควัน ฝุ่น อนุภาคของฝุ่น หรือมลสารต่าง ๆ เข้าสู่บรรยากาศ

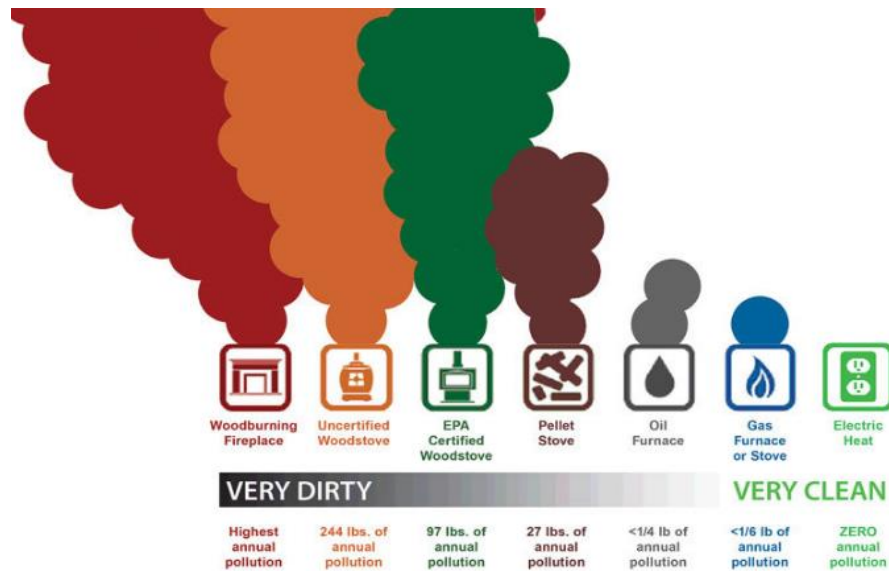
โดยลักษณะทางเคมี และทางกายภาพของอนุภาคฝุ่นที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ถ่านไม้นั้น ขึ้นอยู่กับสภาวะในการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน เช่น ตัวอย่างการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะการเกิดการเผาไหม้ และคุณลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านไม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือนของ Bølling et al. (2009) พบว่าลักษณะของฝุ่นขนาดเล็ก (Fine particles) หรือฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (PM<sub>2.5</sub>) จากการเผาไหม้ของถ่านไม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือนที่เกิดขึ้นนั้น อาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ Spherical organic carbon particles, aggregated soot particles และ inorganic ash particles โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM<sub>2.5</sub>) ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านไม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือน

	Spherical organic carbon particles	Soot (elemental carbon aggregated)	Inorganic ash particles
ลักษณะรูปร่าง			
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	50-600 นาโนเมตร	20-50 นาโนเมตร	50-125 นาโนเมตร
องค์ประกอบหลักทางเคมี	สารอินทรีย์คาร์บอนที่พบส่วนใหญ่ เช่น Metoxy-phenols และ Monosaccharide anhydrides	ธาตุคาร์บอน และสารอินทรีย์ โดยที่สารประกอบอินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่ เช่น ไฮโดรคาร์บอน และ PAHs	เกลืออัลคาไลน์ (ที่มีองค์ประกอบของ KCl และ K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> กับธาตุขนาดเล็ก เช่น Zn)
สถานะในการเผาไหม้	อุณหภูมิต่ำ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	อุณหภูมิสูง การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	อุณหภูมิสูง การเผาไหม้สมบูรณ์

ที่มา: Bølling et al. (2009)

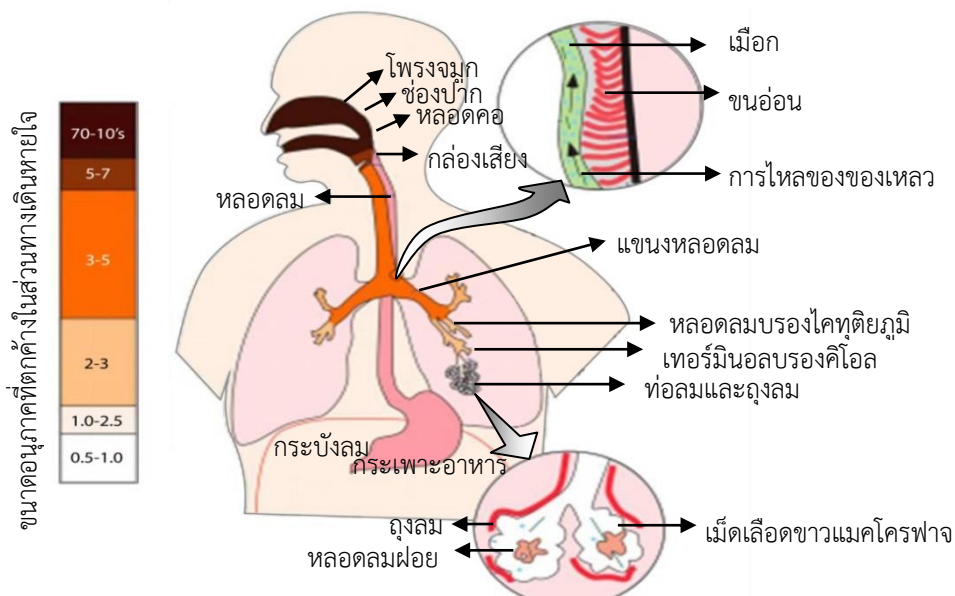
ไม่เพียงแต่การเผาไหม้เฉพาะของถ่านไม้เชื้อเพลิงที่อาจก่อให้เกิดอนุภาคของฝุ่น แต่การการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่เนื้อสัตว์โดยตรงระหว่างการเผาไหม้ซึ่งอาจเกิดการหยดของไขมัน เช่น การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดจากกิจกรรมปิ้งย่างหมู ไก่ ปลา และข้าวโพดของคมสันต์ แรจจบ (2554) พบว่าการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ และข้าวโพดโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ก่อให้เกิดฝุ่น PM<sub>10</sub> และ PM<sub>10-5</sub> ขึ้น และจากตัวอย่างการศึกษาของ The Oregon Department of Environmental Quality (2016) เกี่ยวกับคุณภาพอากาศที่ส่งผลจากควันที่มาจากจากการเผาไหม้โดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ พบว่า เตาถ่านก่อให้เกิด PM<sub>2.5</sub> ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์การเผาไหม้ชนิดอื่น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การปลดปล่อย PM<sub>2.5</sub> จากอุปกรณ์การให้ความร้อนชนิดต่าง ๆ ในครัวเรือน  
ที่มา: The Oregon Department of Environmental Quality (2016)

### 2.1.2 กระบวนการเข้าสู่ร่างกายและกลไกการตกสะสมของฝุ่นละออง

เมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านกระบวนการหายใจ ฝุ่นแต่ละขนาดจะมีความสามารถในการเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจแต่ละส่วนได้แตกต่างกันดังแสดงรูปที่ 4 โดยจะเห็นว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสามารถเข้าถึงเพียงระบบทางเดินหายใจส่วนบนเท่านั้น ส่วนฝุ่นที่มีขนาดในช่วง 2-5 ไมโครเมตร จะสามารถเข้าถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างบริเวณหลอดลม และแขนงซี่ปอด แต่หากฝุ่นมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร จะสามารถเข้าได้ลึกถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างบริเวณถุงลมปอด (Alveolus) (Plumlee & Ziegler, 2006)



รูปที่ 4 ขนาดของฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ

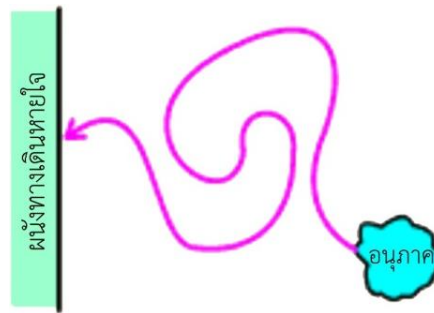
ที่มา: Plumlee and Ziegler (2006)

นอกจากปัจจัยในเรื่องของขนาดของฝุ่นที่ส่งผลต่อการตกสะสมในระบบทางเดินหายใจแล้ว กลไกภายในร่างกายยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการตกสะสมของฝุ่นอีกด้วย โดยกลไกการตกสะสมของฝุ่นในระบบทางเดินหายใจส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในปอด ซึ่งกลไกหลักที่เกิดขึ้นภายในปอด ได้แก่ กลไกการแพร่ (Diffusion) การตกลงตามแรงโน้มถ่วง (Sedimentation) การปะทะกับผนังทางเดินหายใจ (Impaction) การสัมผัสกับผิวเยื่อปอดทางเดินหายใจโดยตรง (Interception) และการตกตามแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation) โดยรายละเอียดของกลไกการตกสะสมที่เกิดขึ้นภายในปอดมีดังนี้ (Scott, 2009)

### 2.1.2.1 การแพร่ (Diffusion)

การแพร่เป็นกลไกที่อนุภาคขนาดเล็กมีการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบไร้ทิศทาง (Brownian movement) เนื่องจากถูกปะทะโดยโมเลกุลอากาศ ซึ่งมักเกิดขึ้นกับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร (<0.5 µm) ซึ่งมักจะเกิดในอวัยวะส่วนที่อากาศภายในมีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำมากหรือไม่มีการเคลื่อนที่เลย (ในหลอดลมฝอยและถุงลม) กลไกนี้เป็นกลไกที่ทำให้ฝุ่นสัมผัสกับผนังของระบบทางเดินหายใจรูปที่ 5 แสดงกลไกการแพร่ของฝุ่นในทางเดินหายใจ



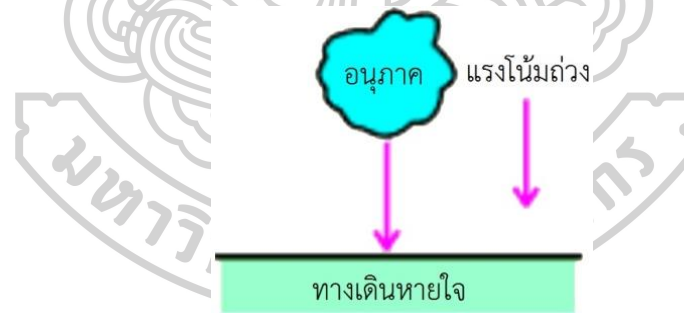


รูปที่ 5 กลไกการแพร่

ที่มา: Scott (2009)

### 2.1.2.2 การตกลงตามแรงโน้มถ่วง (Sedimentation)

การตกลงตามแรงโน้มถ่วงเป็นกลไกการตกสะสมที่สำคัญของฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมโครเมตร อากาศภายในหลอดลม และถุงลมปอดมีทิศทางการไหลแบบราบเรียบสม่ำเสมอ (Laminar flow) และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำมาก ทำให้ฝุ่นที่ผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างสามารถตกลงตามแรงโน้มถ่วงได้ โดยกลไกนี้จะเกิดขึ้นได้มากขึ้นเมื่อฝุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น กลไกการตกลงตามแรงโน้มถ่วงแสดงดังรูปที่ 6



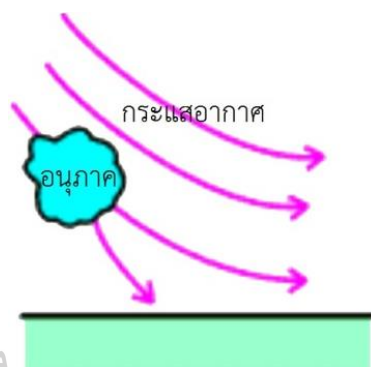
รูปที่ 6 กลไกการตกลงตามแรงโน้มถ่วง

ที่มา: Scott (2009)

### 2.1.2.3 การปะทะกับผนังทางเดินหายใจ (Impaction)

กลไกการตกสะสมของฝุ่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของลมหายใจ เกิดจากฝุ่นขนาดใหญ่ (5–30 ไมโครเมตร) ที่มีโมเมนตัมสูงที่เคลื่อนที่เข้าสู่หลอดลม พร้อมกับกระแสอากาศ แล้วเกิดการหักเหทิศทางของกระแสอากาศโดยกะทันหัน ฝุ่นเปลี่ยนทิศทางตามกระแสอากาศไม่ทัน จึงปะทะเข้ากับผนังหลอดลม การตกสะสมแบบนี้จะเพิ่มขึ้น

ตามความเร็วของกระแสอากาศ ขนาดฝุ่น และความหนาแน่นของฝุ่นที่เพิ่มขึ้น รูปที่ 7 แสดงกลไกการตกสะสมแบบการปะทะกับผนังทางเดินหายใจ



รูปที่ 7 กลไกการปะทะกับผนังทางเดินหายใจ

ที่มา: Scott (2009)

#### 2.1.2.4 การสัมผัสกับผิวเยื่อทางเดินหายใจโดยตรง (Interception)

กลไกนี้เกิดขึ้นเมื่อขอบของฝุ่นสัมผัสกับผนังทางเดินหายใจ โดยกลไกนี้จะมีบทบาทอย่างมากในการตกสะสมของฝุ่นที่มีรูปร่างยาว (เช่น ฝุ่นที่เป็นเส้นใย) การตกสะสมแบบนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อทางเดินหายใจมีเส้นผ่านศูนย์กลางแคบลง กลไกการสัมผัสกับผิวเยื่อทางเดินหายใจโดยตรงแสดงดังรูปที่ 8



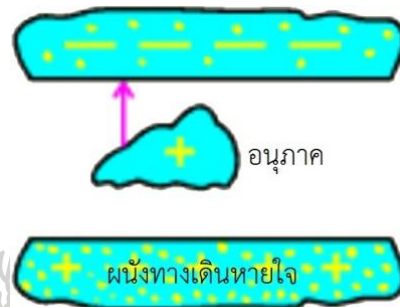
รูปที่ 8 กลไกการสัมผัสกับผิวเยื่อทางเดินหายใจ

ที่มา: Scott (2009)



### 2.1.2.5 การตกตามแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation)

กลไกนี้เกิดขึ้นเมื่อร่างกายหายใจรับเอาฝุ่นที่มีไฟฟ้าสถิตเข้าไป ในระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นที่มีไฟฟ้าสถิตเหล่านี้จะเกิดการตกสะสมได้ดีไม่ว่าฝุ่นนั้นจะมีขนาด รูปร่าง หรือความหนาแน่นเท่าใดก็ตาม รูปที่ 9 แสดงกลไกการตกตามแรงไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 9 กลไกการตกตามแรงไฟฟ้าสถิต

ที่มา: Scott (2009)

จากกลไกทั้งหมดที่กล่าวมา โดยสามารถสรุปกลไกการตกสะสมของฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในทางเดินหายใจได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การตกสะสมของฝุ่นในทางเดินหายใจมนุษย์

บริเวณที่ตกสะสม	กลไกการตกสะสม
ระบบทางเดินหายใจส่วนบน	การปะทะกับผนังทางเดินหายใจ การตกลงตามแรงโน้มถ่วง และการตกตามแรงไฟฟ้าสถิต
หลอดลม	การปะทะกับผนังทางเดินหายใจ การตกลงตามแรงโน้มถ่วง และการแพร่
ถุงลมปอด	การตกลงตามแรงโน้มถ่วง และการแพร่

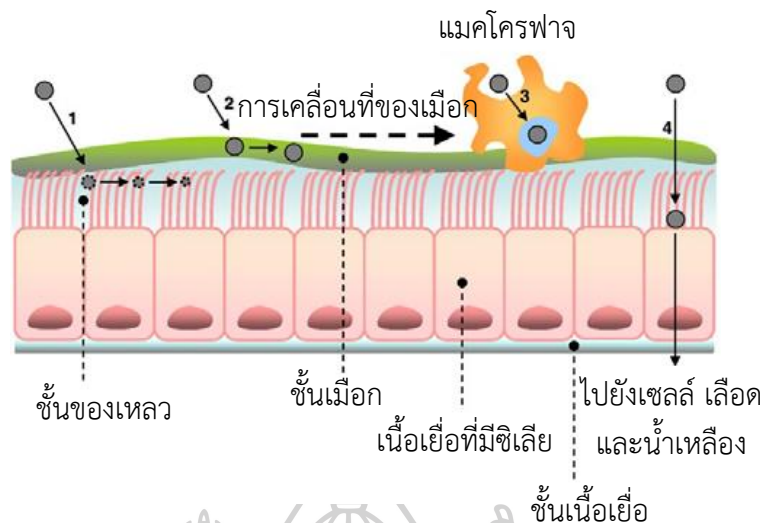
ที่มา: Hussain, Madl, and Alam (2011)

### 2.1.3 กลไกการกำจัดฝุ่นออกจากร่างกาย

การกำจัด (Clearance) ฝุ่นที่เข้าสู่ร่างกายนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งที่ฝุ่นตกสะสมอยู่ในระบบทางเดินหายใจ โดยพบว่าฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถเข้าสู่ร่างกายบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน จะถูกดักจับอยู่ในโพรงจมูกโดยขนอ่อนหรือที่เรียกว่าซิเลีย (Cilia) และมีการสร้างเมือกเพื่อกรองและดักจับสิ่งแปลกปลอมหรือฝุ่นขนาดใหญ่ เมื่อฝุ่นซึ่งเป็นสิ่งแปลกปลอมไปกระตุ้นตัวรับที่กล่องเสียง หลอดลม และจมูก ร่างกายจะขับเอาฝุ่นออกจากร่างกายด้วยการไอ จาม หรือขับออกในรูปของเสมหะ เรียกกลไกนี้ว่า กลไกการโบกพัดชั้นเยื่อเมือกของซิเลีย (Mucociliary escalator) ซึ่งถือเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่จากจมูก และทางเดินหายใจส่วนบน

ส่วนฝุ่นขนาดเล็กหรือฝุ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5–10 ไมโครเมตร สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างลงไปหลอดลม (Trachea) และหลอดลมปอด (Bronchi) ร่างกายมีกลไกการกำจัดโดยที่เซลล์เยื่อหุ้มหลอดลมจะทำหน้าที่สร้างเมือก (Mucus) เพื่อดักจับฝุ่น และขับออกจากทางเดินหายใจโดยการพัดโบกของซิเลีย เรียกกลไกนี้ว่า การกำจัดของขนกวัด (Mucociliary clearance) ซึ่งเป็นกลไกแรกในการกำจัดฝุ่นที่ไม่ละลายในหลอดลม (Tracheobronchial region; TB region)

นอกจากนี้ สำหรับฝุ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5–2.5 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่หลอดลมปอดส่วนปลาย และพื้นที่การแลกเปลี่ยนก๊าซภายในถุงลมปอด ร่างกายมีกลไกการกำจัดฝุ่นเหล่านี้ด้วยกลไกการกำจัดของถุงลมปอด (Alveolar clearance) โดยที่ฝุ่นจะถูกเม็ดเลือดขาวชนิดแมโครฟาจ (Alveolar macrophage) ทำลาย ส่วนการขนส่งฝุ่นที่สามารถดูดซับได้ออกจากทางเดินหายใจไปยังเนื้อเยื่ออื่น ๆ ในร่างกาย เรียกกระบวนการนี้ว่า การโยกย้าย (Translocation) โดยฝุ่นละเอียด (Ultrafine) หรือฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร และอนุภาคที่ไม่ละลาย สามารถโยกย้าย (Translocation) จากหลอดลม (Tracheobronchial region; TB region) หรือส่วนถุงลม (Alveolar region) ไปยังส่วนอื่น ๆ ของเซลล์ เนื้อเยื่อ ปอด หรือเลือด เป็นต้นโดยกลไกการกำจัดฝุ่นของร่างกายที่กล่าวมาแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กลไกการกำจัดสิ่งแปลกปลอมในระบบทางเดินหายใจ

ที่มา: Hussain et al. (2011)

#### 2.1.4 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพมนุษย์

ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพมนุษย์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการเข้าถึง และตกสะสมในระบบทางเดินหายใจที่ต่างกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น ช่วงเวลา ความถี่ในการได้รับสัมผัส และองค์ประกอบของฝุ่น ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่ต่างกัน ทั้งผลกระทบต่อสุขภาพเพียงเล็กน้อย เช่น ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ไปจนถึงผลกระทบต่อสุขภาพขั้นรุนแรง ตัวอย่างการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่นการศึกษาของพงค์เทพ วิวรรณเดชะ (2554) พบว่าหากฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่าค่ามาตรฐาน จะส่งผลให้การตายด้วยโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 7% - 20% การป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 5.5% การตายด้วยโรคระบบหัวใจ และหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 2% - 5% การป่วยด้วยโรคระบบหัวใจ และหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 5.3% ผู้สูงอายุป่วยด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่ม 17% ผู้สูงอายุป่วยด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่ม 7.6% และยังทำให้สภาพของปอดในเด็กแย่ลงอีกด้วย และพบว่า ทุก ๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ของฝุ่น  $\text{PM}_{10}$  ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการตายทุกสาเหตุ อัตราการตายด้วยโรคหัวใจ ระบบทางเดินหายใจ และอัตราการตายด้วยโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นร้อยละ 4, 6 และ 10 ตามลำดับ และผลจากการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพของประชาชนในกรุงเทพมหานครของนันทวรรณ วิจิตรวาทการ et al. (2547) พบว่า การสัมผัสฝุ่น  $\text{PM}_{10}$  ในระยะสั้นมีความสัมพันธ์กับการตายก่อน

วัยอันควรถึง 4,000 – 5,500 รายในแต่ละปี (ประมาณการว่ามีประชากร 10 ล้านคน) และในแต่ละวันที่ระดับฝุ่น PM<sub>10</sub> สูงขึ้น 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการตายจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 – 20 โดยมีการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วย ด้วยโรกระบบทางเดินหายใจ และโรกระบบหลอดเลือดหัวใจสูงขึ้นร้อยละ 5-17

ตัวอย่างกลุ่มอาการที่พบได้บ่อย หรือโรคที่อาจเกิดจากการได้รับสัมผัสฝุ่น (Hazards magazine, 2011) มีดังนี้

#### 2.1.4.1 โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD)

โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังเป็นกลุ่มโรคซึ่งหมายรวมถึง โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis) และโรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) โดยเกิดจากการอุดกั้นในระบบทางเดินหายใจอย่างถาวร อาจเนื่องมาจากการได้รับสารมลพิษทางอากาศ (Air pollution) เช่น ฝุ่นละออง ก๊าซ และสารพิษต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งสารมลพิษทางอากาศเหล่านี้ อาจมีองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ทำให้ระบบทางเดินหายใจอักเสบ รวมทั้งอาจสะสม และมีการตีบตันของหลอดลมร่วมกับเนื้อปอด ทำให้สูญเสียความยืดหยุ่น และเกิดการจำกัดของทางเดินหายใจ ส่งผลให้เกิดอาการไอ มีเสมหะ อันเนื่องมาจากภาวะตีบตันของทางเดินหายใจ ทำให้ปริมาณการไหลของอากาศออกจากปอดลดน้อยลง

#### 2.1.4.2 โรคหืดหอบ (Asthma)

โรคหืดหอบเป็นภาวะอาการหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic inflammatory) ทำให้เซลล์ต่าง ๆ เช่น แมคโครฟาจ และลิมโฟไซต์ เกิดการสะสมที่เยื่อหลอดลม ทำให้เยื่อผนังหลอดลมมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารก่อภูมิแพ้ กล้ามเนื้อบริเวณหลอดลมจึงมีการหดเกร็ง อักเสบ และหนาขึ้น ทำให้หลอดลมตีบตัน ลมจึงผ่านเข้าออกลำบาก ส่งผลให้เกิดอาการไอ แน่นหน้าอก มีเสมหะมาก หายใจมีเสียงวี๊ด และหอบเหนื่อย ซึ่งจะเกิดแบบเฉียบพลันเมื่อได้รับสัมผัสสารระคายเคืองหรือสารก่อภูมิแพ้ แต่สามารถกลับสู่สภาวะปกติได้ในระยะเวลาสั้น

#### 2.1.4.3 โรคถุงลมปอดอักเสบภูมิแพ้จากเหตุจากร่างกาย (Extrinsic allergic alveolitis; EAA)

โรคถุงลมปอดอักเสบภูมิแพ้จากเหตุจากร่างกาย หรือโรคปอดอักเสบจากภูมิไว (Hypersensitivity pneumonitis) เป็นสภาวะที่เกิดจากปฏิกิริยาทางระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายเมื่อได้รับสัมผัสสารก่อภูมิแพ้ เช่น ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนหรือมีองค์ประกอบของสารจำพวกจุลชีพ หรือสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อปอด หลอดลม มีอาการไอ แน่นหน้าอก หอบเหนื่อย หลังจากได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดโรคประมาณ 4-8 ชั่วโมง

#### 2.1.4.4 โรคปอดอักเสบเรื้อรังที่มีพังผืดในปอด (Pulmonary fibrosis)

โรคปอดอักเสบเรื้อรังที่มีพังผืดในปอด มีสาเหตุมาจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองอันเนื่องมาจากการประกอบอาชีพ เช่น การทำงานเกี่ยวกับโลหะหนัก เป็นต้น

#### 2.1.4.5 โรคปอดที่มาจากการประกอบอาชีพ (Pneumoconiosis)

โรคปอดที่มาจากการประกอบอาชีพเป็นกลุ่มโรคที่เกี่ยวข้องกับปอด ซึ่งเกิดจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองอันเนื่องมาจากการประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นหิน ใยหิน หรือการหายใจเอาฝุ่นละอองที่มีสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบเข้าไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาของร่างกายต่ออนุภาคที่เข้าสู่ร่างกายที่ถุงลมปอด ทำให้เกิดพังผืดภายในปอด

#### 2.1.4.6 โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis)

โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังมีสาเหตุอันเนื่องมาจากการสูดดมหรือได้รับสารบางชนิด เช่น ฝุ่นละออง ควีนบรูห์ ไซมาควิน สารเคมีระเหย เป็นต้น ทำให้มีอาการระคายเคืองเป็นระยะเวลานาน เกิดอาการไอ มีเสมหะ และเกิดการอักเสบของเยื่อหลอดลม เมื่อสะสมเป็นระยะเวลานาน ๆ อาจทำให้เป็นเหตุของโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD)

#### 2.1.4.7 โรคหลอดลมโป่งพอง (Bronchiectasis)

โรคหลอดลมโป่งพองเกิดจากการติดเชื้อที่ปอด อันเนื่องมาจากการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ ทำให้มีการทำลายเนื้อปอด เกิดภาวะหลอดลมอุดตัน และทำให้หลอดลมภายในปอดมีการขยายตัวถาวร

#### 2.1.4.8 โรคหัวใจ (Heart disease)

โรคหัวใจเกิดจากฝุ่นที่ส่งผลกระทบต่อปอด และนำไปสู่การเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการได้รับสัมผัสฝุ่นในปริมาณมาก อีกทั้งฝุ่นอาจมีองค์ประกอบของสารที่เป็นอันตราย เช่น ฝุ่นจากแร่โลหะหนัก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น เกิดอาการกล้ามเนื้อหัวใจอ่อนแรง การอักเสบของกล้ามเนื้อหัวใจ หรือมีความเสี่ยงสูงต่อภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน เป็นต้น

#### 2.1.4.9 มะเร็ง (Cancer)

มะเร็งเป็นผลมาจากการได้รับสัมผัส และเกิดการสะสมของฝุ่นละอองที่อาจมีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย เช่น ใยหิน ซิลิกา แร่โลหะหนัก หรือสารพิษต่าง ๆ ในระยะเวลานาน มีผลกระทบต่ออย่างยิ่งโดยเฉพาะต่อจมูก และปอด ซึ่งเป็นอวัยวะที่ได้รับสัมผัสโดยตรง โดยมะเร็งที่พบได้บ่อยจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง ได้แก่ มะเร็งปอด ซึ่งอาจมีอาการระคายเคือง



บริเวณเยื่อหุ้มปอด หลอดลม ถุงลมปอด ทำให้มีอาการหอบ ไอเป็นเลือด อีกทั้งยังสามารถแพร่ไปสู่  
อวัยวะอื่น ๆ อีกด้วย

### 2.1.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศ

ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการได้รับสัมผัสฝุ่นทำให้องค์กรต่าง ๆ ที่มีส่วน  
เกี่ยวข้องในด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน ตระหนักถึงความเข้มข้นที่ก่อให้เกิด  
ผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการได้รับสัมผัสฝุ่นจึงกำหนดค่าขีดจำกัดของการได้รับ  
สัมผัส (Exposure Limits) หรือปริมาณฝุ่นในบรรยากาศการทำงานสำหรับฝุ่นทุกขนาด (Total  
dust) และฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ขึ้น โดยที่ OSHA  
(Occupational Safety and Health Administration) กำหนดเป็นค่าขีดจำกัดการได้รับสัมผัสฝุ่น  
ในสิ่งแวดล้อมการทำงาน (Permissible exposure limit; PEL) และสำหรับประเทศไทยได้มีการ  
กำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม ตามประกาศ  
กระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2515) โดยกำหนดให้มีปริมาณฝุ่นในบรรยากาศการทำงาน  
ตลอดระยะเวลาการทำงานปกติโดยเฉลี่ยไม่เกินที่กำหนดไว้ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่ากำหนดการได้รับสัมผัสฝุ่น

องค์กร	ค่ากำหนดการได้รับสัมผัสฝุ่น		ชนิดฝุ่น
	สัมผัสฝุ่นละออง (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)	ฝุ่นทุกขนาด (Total dust)	
OSHA	ขีดจำกัดการได้รับสัมผัส	15 TWA	ฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถ เข้าสู่ระบบทางเดิน หายใจได้ (Respirable dust)
กระทรวงมหาดไทย	ฝุ่นในบรรยากาศการ ทำงานตลอดการทำงาน ปกติ	15	5

หมายเหตุ: TWA (Time-weighted average) คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศตลอดการ  
ทำงาน 8 ชั่วโมง

ที่มา: <sup>1</sup>The National Institute for Occupational Safety and Health (2011)

<sup>2</sup>"ราชกิจจานุเบกษา" 2520, 12 กรกฎาคม

นอกจากค่ามาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศการทำงาน ประเทศไทยยังมีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปเกี่ยวกับฝุ่นชนิดต่าง ๆ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปเกี่ยวกับฝุ่น

ชนิดของฝุ่น	มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ	
	ค่าเฉลี่ยในเวลา	ค่ามาตรฐาน
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร <sup>1</sup>
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	1 ปี	ไม่เกิน 0.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร <sup>1</sup>
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร <sup>1</sup>
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	1 ปี	ไม่เกิน 0.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร <sup>1</sup>
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร <sup>2</sup>
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	1 ปี	ไม่เกิน 0.025 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร <sup>2</sup>

ที่มา: <sup>1</sup>"ราชกิจจานุเบกษา" 2547, 22 กันยายน)

<sup>2</sup>"ราชกิจจานุเบกษา" 2553, 28 มกราคม)

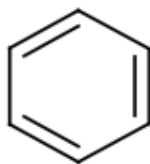
## 2.2 สารกลุ่ม BTEX

สมบัติของสารกลุ่ม BTEX รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพมีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1 เบนซีน

#### 2.2.1.1 สมบัติทางเคมี และกายภาพ

เบนซีน (Benzene) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เบนซอล (Benzol) เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่จัดอยู่ในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โครงสร้างมีลักษณะเป็นวงแหวนหกเหลี่ยมที่มีอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว ดังรูปที่ 11 มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_6H_6$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 78.11 กรัมต่อโมล



รูปที่ 11 โครงสร้างเบนซีน

ที่มา: United States Environmental Protection Agency (2012)

เบนซีนมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวแบบอะโรมาติก โดยส่วนใหญ่มนุษย์จะเริ่มได้กลิ่นเบนซีนในอากาศที่ความเข้มข้นประมาณ 60 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ และสามารถจดจำได้ว่าเป็นกลิ่นของเบนซีนที่ความเข้มข้นประมาณ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ องค์กร ATSDR หรือ Agency for Toxic Substances and Disease Registry กำหนดระดับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถรับรู้กลิ่นเบนซีนได้ (Odor threshold) อยู่ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ หรือ 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เบนซีนมีจุดเดือด 80 องศาเซลเซียสและมีจุดหลอมเหลว 5.5 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเป็นสารไม่มีขั้ว (Nonpolar) จึงละลายน้ำได้น้อย แต่สามารถละลายได้ดีใน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซีโตน น้ำมัน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ เบนซีนมีค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนของสารในชั้นออกทานอลกับน้ำ (Octanol/water partition coefficient;  $\log K_{ow}$ ) เท่ากับ 2.13 มีค่าความดันไอ (Vapor pressure) เท่ากับ 95.2 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จึงระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ การสลายตัวของเบนซีนในธรรมชาติก่อให้เกิดสารอันตราย (Hazardous decomposition product) ชนิดต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ อัลดีไฮด์ และคีโตน เป็นต้น

แหล่งกำเนิดของเบนซีนมีทั้งแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม จากธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ โดยในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้เบนซีนเป็นสารตั้งต้น ส่วนผสม และเป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์ และผลิตสารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสไตรีน (Styrene) คูมิน (Cumene) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) และไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene) เป็นต้น นอกจากนั้นยังนำเบนซีนไปใช้ในกระบวนการผลิต และเป็นสารเติมแต่งของอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง ผงซักฟอก น้ำมันหล่อลื่น สี ย้อม ยา และยาฆ่าแมลง ฯลฯ อีกด้วย สำหรับแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาตินั้นส่วน



ใหญ่เกิดจากภูเขาไฟระเบิด และไฟไหม้ป่า นอกจากนั้นการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ คาร์บอนบูทรี ไอระเหยของน้ำมัน ก๊าซโซลีน รวมทั้งการเผาไหม้ถ่านไม้เชื้อเพลิงและการปิ้งย่างหรือการประกอบอาหารยังเป็นแหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายเบนซินสู่บรรยากาศอีกด้วย (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007a)

### 2.2.1.2 ข้อมูลด้านพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetic)

จากสมบัติของเบนซินซึ่งสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ อีกทั้งแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ที่อาจส่งผลให้สามารถแพร่เข้าสู่บรรยากาศได้ง่ายนั้นทำให้การได้รับสัมผัสเบนซินทางการหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory uptake) จึงเป็นเส้นทางสำคัญในการได้รับสัมผัสเบนซินเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ ซึ่งพบว่ามนุษย์มีการได้รับสัมผัสเบนซินทางการหายใจประมาณร้อยละ 50 ของการได้รับสัมผัสเบนซินทั้งหมด โดยเมื่อเบนซินเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจจะดูดซึมเข้าปอด แล้วกระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว โดยการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และเนื่องจากเบนซินมีสมบัติเป็นไลโปฟิลิก (Lipophilic) คือมีคุณสมบัติเป็นสารไม่มีขั้ว และละลายได้ดีในไขมัน จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อไขมันหรืออวัยวะต่าง ๆ ที่มีเลือด และไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก เช่น ตับ ไต สมอง ไชกระดูก หัวใจ และกล้ามเนื้อ เป็นต้น (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007a)

ความเป็นพิษของเบนซินมีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย โดยขั้นตอนแรกของกระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดขึ้นที่ตับ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเบนซิน โดยเอนไซม์ไซโตโครมชนิด P450 หรือมีชื่อย่อว่า CYP2E1 ซึ่งจะเปลี่ยนเบนซินให้อยู่ในรูปของเบนซิน ออกไซด์ (Benzene oxide) หรือในรูปของโอเซปิน (Oxepin) โดยเบนซินออกไซด์ส่วนใหญ่จะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของฟีนอล (Phenol; PH) แล้วจึงเกิดเมตาบอลิซึมต่อเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไฮโดรควิโนน (Hydroquinone; HQ) และอยู่ในรูป 1,4-เบนโซควิโนน (1,4-Benzoquinone) ส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นแคทีคอล (Catechol; CA) และ 1,2-เบนโซควิโนน (1,2-Benzoquinone) หรือทำปฏิกิริยากับกลูตาไธโอน (Glutathione) แล้วเปลี่ยนเป็นกรดฟีนิลเมอร์แคปตริก (s-phenylmercapturic acid; SPMA) และสำหรับเบนซินส่วนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วเกิดเป็นโอเซปินนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผ่านการเปิดวงแหวนอะโรมาติก โดยสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ มิวโคนัลดีไฮด์ (*E,E*-Muconaldehyde) และกรดมิวโคนิก (*E,E*-Muconic acid; MA) (Rappaport et al., 2010)

เบนซินมีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) ประมาณ 1-2 วัน และเมื่อมนุษย์หายใจเอาเบนซินที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1-10 ส่วนในล้านส่วน เข้าสู่ร่างกายร่างกายจะมีกลไกการกำจัดเบนซินภายใน 48 ชั่วโมงหลังการได้รับสัมผัส ซึ่งส่วน

ใหญ่จะขับออกมาพร้อมกับลมหายใจผ่านทางปอด และขับออกในรูปของยูเรีย โดยอยู่ในรูปของฟิโนลประมาณร้อยละ 70-85 ในรูปไฮโดรควิโนโนน แคทีคอล และกรดมิวโคนิกประมาณร้อยละ 5-10 และในรูปของกรดฟีนิลเมอร์แคปทริกน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งสารเหล่านี้เป็นเมตาโบไลต์ในปัสสาวะที่สามารถตรวจเพื่อบ่งชี้การได้รับสัมผัสเบนซินได้ ทั้งนี้การลดระดับของเบนซินในเนื้อเยื่อจะลดลงเมื่อหยุดการได้รับสัมผัส

### 2.2.1.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

ผลกระทบจากการได้รับสัมผัสเบนซินเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจนั้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในระดับที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5 ทั้งนี้ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นระยะเวลาในการได้รับสัมผัส และลักษณะสุขภาพของแต่ละบุคคล เช่น เพศ อายุ เป็นต้น อีกด้วย

ตารางที่ 5 ลักษณะอาการตามปริมาณที่ได้รับสัมผัสเบนซิน

ปริมาณความเข้มข้นของเบนซิน (ส่วนในล้านส่วน)	อาการ
25	คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ
50-150	ระคายเคืองจมูก ลำคอ เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ
20,000	กระทบต่อระบบเลือด ระบบภูมิคุ้มกัน และเสียชีวิต (จากการทดลองในสัตว์) แต่ยังไม่มีความหลักฐานว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ในช่วงระยะเวลานั้น

ที่มา: สำนักความปลอดภัยแรงงาน (ม.ป.ป.)

เมื่อร่างกายได้รับสัมผัสเบนซินทางการหายใจ จะก่อให้เกิดผลกระทบทั้งแบบเฉียบพลัน (Acute effect) และแบบเรื้อรัง (Chronic effect) โดยผลกระทบแบบเฉียบพลัน ได้แก่ อาจเกิดอาการเชื่องซึม เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ ไม่ได้สติ และชักกระตุกหากได้รับในปริมาณมากเนื่องจากเบนซินมีฤทธิ์ในการกดระบบประสาทส่วนกลาง โดยหากได้รับสัมผัสเบนซินพร้อม ๆ กับเอธานอลจะส่งผลให้เบนซินออกฤทธิ์รุนแรงมากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ การได้รับสัมผัสเบนซินในรูปของของเหลวหรือไอระเหย อาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองผิวหนัง ตา และระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ โดยเบนซินมีค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration; R<sub>f</sub>C) เท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อ้างอิงจากผลกระทบต่อระบบโลหิตในมนุษย์ ซึ่งได้จากการ

ประเมินกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัสเบนซินทางการหายใจอย่างต่อเนื่องที่มีแนวโน้มว่าไม่มีความเสี่ยงจากการประเมินอันตรายจากผลกระทบที่ไม่ก่อมะเร็งตลอดช่วงชีวิต แต่หากร่างกายได้รับสัมผัสเบนซินทางการหายใจอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนานจะส่งผลกระทบต่อระบบเรื้อรัง (Chronic effect) ทั้งในรูปความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็งและก่อมะเร็ง โดยเมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับสัมผัสเบนซินอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับหนึ่ง เบนซินซึ่งมีลักษณะเป็นสารไม่มีขั้วละลายได้ดีในชั้นไขมันจะสะสมในเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย ส่งผลกระทบต่อระบบเนื้อเยื่อฮีมาโทพอยติก (Hematopoietic tissue system) ก่อให้เกิดการทำลายชั้นไขมัน เกิดความผิดปกติในเลือด และส่งผลกระทบต่อไขกระดูก ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือด เกิดภาวะจำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือดต่ำ (Thrombocytopenia) นำไปสู่การเกิดโรคโลหิตจางจากไขกระดูกฝ่อ (Aplastic anemia) ซึ่งอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดเฉียบพลัน (Acute non-lymphocytic leukemia; ANLL) อีกทั้งยังทำลายระบบภูมิคุ้มกันซึ่งเป็นต้นเหตุของการเปลี่ยนแปลงระดับแอนติบอดีในเลือด และการสูญเสียเซลล์เม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ การได้รับสัมผัสเบนซินอย่างต่อเนื่องยังอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Genotoxicity) และเกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) ได้อีกด้วย เนื่องจากเมื่อเบนซินเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเมตาโบไลต์อย่างรวดเร็วกลายเป็นสารตัวกลางชนิดต่าง ๆ โดยสารเมตาโบไลต์ที่เกิดขึ้นที่ตับจะเกิดการรวมตัวกับอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีนในร่างกายซึ่งจะถ่ายทอดไปยังไขกระดูก และอวัยวะอื่น ๆ สารตัวกลางบางชนิดทำให้เกิดความสูญเสียสมรรถภาพในการทำงานของไขกระดูก และสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารก่อมะเร็งได้ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007a)

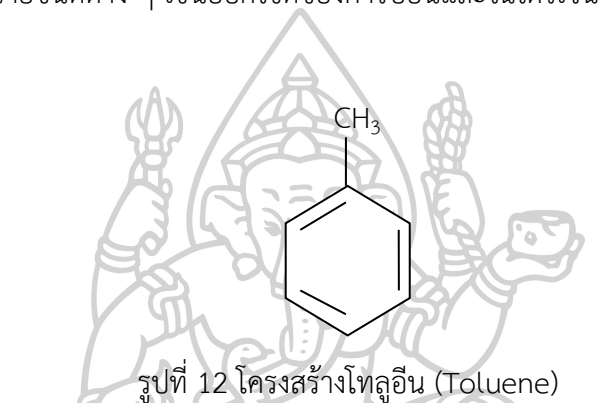
จากผลกระทบต่อสุขภาพดังที่กล่าวมาข้างต้น IARC (International Agency for Research on Cancer) ซึ่งเป็นองค์กรที่ประเมินและจัดกลุ่มสารก่อมะเร็ง จึงจัดให้เบนซินอยู่ในกลุ่มที่ 1 หรือหมายถึงเป็นสารเคมีที่ก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic to humans) (Integrated Risk Information System, 2017a) ขณะเดียวกัน US EPA ได้ทำการประมาณการว่าหากมีการได้รับสัมผัสเบนซินทางการหายใจอย่างต่อเนื่องที่ระดับ 0.13– 0.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตลอดช่วงชีวิต พบว่า ค่าไม่เกินเกณฑ์ยอมรับหรือหนึ่งในล้าน ( $10^{-6}$ ) ที่เบนซินจะเพิ่มโอกาสการก่อมะเร็งในมนุษย์

## 2.2.2 โทลูอิน

### 2.2.2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพ

โทลูอิน (Toluene) หรือเมทิลเบนซิน (Methyl benzene) เป็นอนุพันธ์ของเบนซินที่มีหมู่เมทิลเป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซิน ดังรูปที่ 12 มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_7H_8$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 92.15 กรัมต่อโมล มีจุดเดือดที่ 110.6 องศาเซลเซียส และจุด

หลอมเหลวที่ -93 องศาเซลเซียส โทลูอีนมีลักษณะเป็นของเหลว ไม่มีสี ติดไฟง่าย และสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดยมีค่าความดันไอเท่ากับ 28.4 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีกลิ่นหอมหวานและฉุนเฉพาะตัว มนุษย์สามารถได้กลิ่นโทลูอีนในอากาศที่ระดับความเข้มข้น 8 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ องค์การ ATSDR ได้กำหนดระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่มนุษย์สามารถรับรู้กลิ่นโทลูอีนได้ (Odor threshold) อยู่ที่ระดับ 2.9 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ โทลูอีนสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ มีค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนของสารในชั้นออกตากับน้ำ ( $\log K_{ow}$ ) เท่ากับ 2.13 โดยการสลายตัวของโทลูอีนในธรรมชาติก่อให้เกิดสารอันตรายชนิดต่าง ๆ เช่นออกไซด์ของคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นต้น



ที่มา: Integrated Risk Information System (2017c)

โทลูอีนมีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม และจากการกระทำหรือกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น ในกระบวนการของอุตสาหกรรมน้ำมันนิยมใช้โทลูอีนเป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซิน (Gasoline) เพื่อปรับค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน นอกจากนี้ยังนิยมใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย หรือใช้เป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสี ทินเนอร์ น้ำยาล้างเล็บ สีทาเล็บ กาว แล็คเกอร์ ยาง การฟอกหนัง การผลิตผลิตภัณฑ์โพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ จำพวกโฟลน โพลียูรีเทน เป็นต้น โทลูอีนสามารถเกิดจากกิจกรรมหรือการกระทำต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ควันจากการบุหรี หรือการใช้ผลิตภัณฑ์ในที่มีส่วนผสมของโทลูอีน เป็นต้น กิจกรรมต่างเหล่านี้ถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักของการแพร่กระจายโทลูอีนเข้าสู่บรรยากาศ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2017 )

#### 2.2.2.2 ข้อมูลด้านพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetic)

จากสมบัติทางเคมีของโทลูอีนซึ่งเป็นสารระเหยง่าย และจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ที่สามารถแพร่เข้าสู่บรรยากาศได้ ทำให้การได้รับสัมผัสโทลูอีนทางการหายใจเป็น

เส้นทางที่โกลูอินสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้อย่างรวดเร็ว แล้วแพร่กระจายไปสะสมในบริเวณสมอง ตับ ปอด ระบบไหลเวียนเลือด และอวัยวะต่าง ๆ ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง

เมื่อมนุษย์ได้รับสัมผัสโกลูอินเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมเพื่อเปลี่ยนโกลูอินให้อยู่ในรูปของสารอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลง จากนั้นร่างกายจึงมีกลไกการขับสารออกจากร่างกาย ซึ่งโกลูอินที่ได้รับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายมากกว่าร้อยละ 75 ของปริมาณทั้งหมดจะขับออกจากร่างกายอย่างรวดเร็วภายใน 12 ชั่วโมง ซึ่งอาจขับออกในรูปของสารอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลงในรูปของยูเรีย และบางส่วนที่ไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารอื่นจะขับออกมาพร้อมกับลมหายใจ โดยสารเมตาบอไลต์หลักที่อยู่ในรูปของยูเรียซึ่งได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของโกลูอินในร่างกายมนุษย์ ได้แก่ กรดธิปฟูริก รองลงมาคือกลูคูโรนิล (Glucronyl) ซัลเฟตกลูคูโรไนด์ (Sulfate glucuronide) กรดเบนซิลเมอร์แคปตริก (*s*-Benzylmercapturic acid) และกรดโทลูอิลเมอร์แคปตริก (*s-p*-Toluymercapturic acid) โดยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Biomarker) ของการได้รับสัมผัสโกลูอินที่นิยมตรวจวัด ได้แก่ กรดธิปฟูริกและครีซอล (*o*-Cresol) ในปัสสาวะ (U. S. Environmental Protection Agency, 2005)

### 2.2.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

การได้รับสัมผัสโกลูอินมีอาการแสดงของร่างกายทั้งผลกระทบแบบเฉียบพลันและผลกระทบแบบเรื้อรัง โดยเมื่อได้รับสัมผัสทางการหายใจ อาจส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system; CNS) เกิดความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้วังงซึม อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ อาเจียน หัวใจเต้นผิดปกติ หงุดหงิด หรือหมดสติ เมื่อได้รับสัมผัสโกลูอินในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ถึงระดับความเข้มข้นในระดับปานกลางทางการหายใจ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าองค์กร IARC จะประเมินและจัดให้โกลูอินอยู่ในกลุ่มที่ 3 หรือเป็นสารเคมีที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่ (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans) (IARC, 2018) แต่หากได้รับสัมผัสโกลูอินในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการกดระบบประสาทส่วนกลาง การบีบรัดหรือทำให้เนื้อบริเวณเส้นเลือดที่เลี้ยงหัวใจตาย ทำให้เกิดความผิดปกติต่อการทำงานของปอด ตับ และไต เป็นสาเหตุให้เสียชีวิตในมนุษย์ได้นอกจากนี้หากร่างกายได้รับสัมผัสโกลูอินทางการหายใจอย่างต่อเนื่องจะส่งผลกระทบแบบเรื้อรังในรูปแบบความเสี่ยงที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-cancer risk) โดยพบว่าลักษณะอาการคล้ายคลึงกับผลกระทบแบบเฉียบพลัน นั่นคือเกิดการกดระบบประสาทส่วนกลาง ส่งผลต่อการตอบสนองของระบบประสาท ทำให้มีอาการวังงซึม เสียการทรงตัว เกิดความผิดปกติของการเคลื่อนไหว การพูด การได้ยิน และการมองเห็น สมองฝ่อ ส่งผลกระทบต่อการทำงานของตับ ไต และปอด อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าหากมีการได้รับสัมผัสโกลูอินร่วมกับการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของตับและ

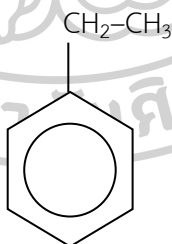


ร่างกายมากกว่าการได้รับสัมผัสโพลูอินเพียงอย่างเดียว โดยอาการหรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสุขภาพนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณระยะเวลาการได้รับสัมผัส รวมทั้งภาวะทางสุขภาพของแต่ละบุคคล จากการประเมินกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัสโพลูอินทางการหายใจอย่างต่อเนื่องที่มีแนวโน้มว่าไม่มีความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็งตลอดช่วงชีวิตนั้นพบว่าโพลูอินมีค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration; R<sub>f</sub>C) เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Integrated Risk Information System, 2017c)

## 2.2.3 เอทิลเบนซีน

### 2.2.3.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพ

เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) เป็นสารในกลุ่มอนุพันธ์ของเบนซีนที่มีหมู่ เอทิล (-CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) เป็นหมู่แทนที่อยู่บนวงแหวนเบนซีน ดังรูปที่ 13 มีสูตรโมเลกุลคือ C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 106.16 กรัมต่อโมล มีจุดเดือด 136 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ -95 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นของเหลว ไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดยมีค่าความดันไอเท่ากับ 9.53 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เอทิลเบนซีนละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอธานอล อีเธอร์ เป็นต้น มีค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนของสารในชั้นออกทานอลกับน้ำ (log K<sub>ow</sub>) เท่ากับ 3.13 มีกลิ่นคล้ายแก๊สโซลีน มนุษย์สามารถได้กลิ่นเอทิลเบนซีนในอากาศที่ระดับความเข้มข้น 2 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2011)



รูปที่ 13 โครงสร้างเอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)

ที่มา: International Agency for Research on Cancer (IARC) (2000)

องค์กร ATSDR ได้กำหนดระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถรับรู้กลิ่นเอทิลเบนซีนได้ (Odor threshold) อยู่ที่ระดับ 2.3 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ โดย

การสลายตัวของเอทิลเบนซีนในธรรมชาติก่อให้เกิดสารอันตรายชนิดต่าง ๆ เช่น ไอพิชของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น

เอทิลเบนซีนมีแหล่งกำเนิดหลักจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงธรรมชาติ การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ และจากกระบวนการในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสี หมึกพิมพ์ กาว ยาฆ่าแมลง การผลิตตัวทำละลาย น้ำมันหล่อลื่น และการผลิตสไตรีน เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของเอทิลเบนซีนเข้าสู่บรรยากาศ

### 2.2.3.2 ข้อมูลด้านพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetic)

การแพร่กระจายของเอทิลเบนซีนจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เข้าสู่บรรยากาศ ทำให้มนุษย์สามารถได้รับสัมผัสเอทิลเบนซีนเข้าสู่ร่างกายผ่านกระบวนการหายใจ และแพร่กระจายอย่างรวดเร็วเข้าสู่เนื้อเยื่อไขมัน แล้วไปสะสมในตับ ไต และไขมันในร่างกาย โดยเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ของหมู่แทนที่หรือการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) เข้าไปในโมเลกุล โดยเอนไซม์ไซโตโครมชนิด P450 ซึ่งเปลี่ยนเอทิลเบนซีนให้อยู่ในรูปของฟีนิลเอทานอล (1-Phenylethanol) ซึ่งจากกระบวนการเมตาบอลิซึมก่อให้เกิดสารเมตาโบไลต์สะสมในยูเรีย โดยสารเมตาโบไลต์ที่พบมากที่สุดคือกรดแมนเดิลิก (Mandelic acid) ซึ่งพบประมาณร้อยละ 64-71 และฟีนิลไกลออกซีลิก (Phenylglyoxylic acid) ประมาณร้อยละ 19-25 และสารเมตาโบไลต์กลุ่มย่อยที่สามารถพบในยูเรียจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของมนุษย์ ได้แก่ อนุพันธ์ของสารกลุ่มไฮดรอกซีเลต (Hydroxylated derivatives) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกับกลูคูโรไนด์ (Glucuronide) หรือเกิดจากการรวมตัวกับซัลเฟต

ร่างกายมนุษย์มีกลไกการขับเอทิลเบนซีนออกจากร่างกายในรูปของยูเรีย โดยกลไกการกำจัดเอทิลเบนซีนออกจากร่างกายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3.1 ชั่วโมง และช่วงที่เกิดขึ้นช้ามีค่าครึ่งชีวิต 25 ชั่วโมง โดยสารเมตาโบไลต์ในยูเรียที่เกิดขึ้นจากการได้รับสัมผัสผ่านกระบวนการหายใจจะเกิดขึ้นในเวลา 6-10 ชั่วโมงหลังจากการเริ่มรับสัมผัส โดยมีส่วนน้อยที่ร่างกายจะขับเอทิลเบนซีนออกมาทางตับและอุจจาระ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2010)

### 2.2.3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

การได้รับสัมผัสเอทิลเบนซีนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์แบบเฉียบพลันกล่าวคือ ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ ระคายเคืองบริเวณลำคอ แน่นหน้าอก ระคายเคืองตา และส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ทำให้มีอาการวิงเวียนศีรษะ นอกจากนี้จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่า เมื่อสัตว์ทดลองได้รับสัมผัสเอทิลเบนซีนทางการหายใจจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง และส่งผลกระทบต่อการทำงานของปอด



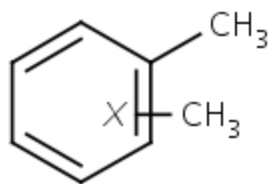
ตับ และไต อีกด้วย และเมื่อได้รับสัมผัสต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลกระทบต่อระบบเรื้อรังในรูปแบบความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็ง (Non-cancer risk) ได้แก่ อาจเกิดความผิดปกติภายในหู และความผิดปกติของการทำงานของไตในมนุษย์ สำหรับกรณีของสัตว์ทดลอง มีรายงานว่า การได้รับสัมผัสเอธิลเบนซีนต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานทางการหายใจ จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบเลือดตับ และไต และอัตราการเกิดเนื้องอกในไต ปอด และตับในหนูทดลองเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และจากข้อมูลการศึกษาในสัตว์ทดลอง องค์การ IARC จัดให้เอธิลเบนซีนอยู่ในกลุ่ม 2B หรือสารเคมีที่อาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หากได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน (Possibly carcinogenic to humans) โดยเอธิลเบนซีนมีค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration; R<sub>f</sub>C) เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Integrated Risk Information System, 2017b)

## 2.2.4 ไซลีน

### 2.2.4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ไซลีน (Xylene) ประกอบด้วย 3 ไอโซเมอร์ ได้แก่ ไซลีนที่โครงสร้างมีเมธิล 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อยู่บนวงแหวนเบนซีนในตำแหน่งออร์โธ (*o*-Xylene) เมตา (*m*-Xylene) และพารา (*p*-Xylene) ดังรูปที่ 14 ซึ่งไซลีนผสมทั่วไปจะประกอบด้วยสัดส่วนของเมตา-ไซลีน (*m*-Xylene) ประมาณร้อยละ 40-65 ออร์โธ-ไซลีน (*o*-Xylene) พารา-ไซลีน (*p*-Xylene) และเอธิลเบนซีน (Ethylbenzene) เป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 20 สูตรโมเลกุลของไซลีนคือ C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 106.17 กรัมต่อโมล มีจุดเดือดที่ 138.8 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ 30 องศาเซลเซียส ไซลีนมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไซลีนผสมมีค่าความดันไอเท่ากับ 6.72 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนของสารในชั้นออกคานอลกับน้ำ (log K<sub>ow</sub>) เท่ากับ 3.12 ละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์หรือตัวทำละลายอินทรีย์ ไซลีนมีกลิ่นหอมหวาน ซึ่งส่วนใหญ่มนุษย์สามารถเริ่มได้กลิ่นของไซลีนในอากาศที่ระดับความเข้มข้น 0.08– 3.7 ส่วนในล้านส่วนอากาศ



รูปที่ 14 โครงสร้างไซลีน (Xylene)

ที่มา: Integrated Risk Information System (2017d)

การสลายตัวของไซลีนในธรรมชาติก่อให้เกิดสารชนิดต่าง ๆ ได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ควีน และไอระเหย เป็นต้น โดยไซลีนที่แพร่กระจายเข้าสู่บรรยากาศส่วนใหญ่เกิดได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ป่า การกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์รวมทั้งอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากท่อไอเสียของยานพาหนะ อุตสาหกรรมการพอกหนัง สี ทินเนอร์ ยาง โพลีเอสเตอร์ไฟเบอร์ พลาสติก เป็นต้น

#### 2.2.4.2 ข้อมูลด้านพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetic)

เมื่อมนุษย์ได้รับสัมผัสไซลีนเข้าสู่ร่างกายไซลีนจะแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อที่มีปริมาณไขมันสะสมอยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อเยื่อไขมันและสมอง แต่หากร่างกายได้รับสัมผัสไซลีนในปริมาณมากไซลีนจะสามารถเข้าไปสะสมในอวัยวะที่มีปริมาณเลือดไปเลี้ยงสูง เช่น ไต และตับ เป็นต้น

กระบวนการเมตาบอลิซึมของไซลีนเริ่มต้นจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่เมทิลซึ่งเป็นหมู่แทนที่ โดยเอนไซม์ไซโตโครมชนิด P450 เปลี่ยนไซลีนให้อยู่ในรูปกรดเมทิลเบนโซอิก (Methylbenzoic acids) (*o*-, *m*-, หรือ *p*-toluic acids) แล้วรวมตัวกับไกลซีนเพื่อเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรดเมทิลฮิปปูริก (Methylhippuric acids) เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมทิลไฮดรอกซิเลชัน (Methylhydroxylation) ประกอบด้วยเอนไซม์ชนิด CYP2E1 และ CYP2B1 โดยกระบวนการเมตาบอลิซึมที่ทำให้เกิดกรดเมทิลฮิปปูริกนั้น เกิดขึ้นมากกว่าร้อยละ 90 และส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 ได้แก่ ไซลีนที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เมทิลเบนซิล แอลกอฮอล์ กรดโทลูอิก กลูคูโรไซด์ กรดไซลีนเมอร์แคปทูริก และไซลีนอล ซึ่งร่างกายจะขับสารเมตาโบไลต์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของไซลีนออกจากร่างกายผ่านทางยูเรีย หลังจากการหายใจเอาอากาศที่ปนเปื้อนไซลีนเข้าสู่ร่างกายประมาณ 2 ชั่วโมง และจะขับออกจากร่างกายภายใน

18 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดการได้รับสัมผัส และมีประมาณร้อยละ 4-10 ของโซลินที่เก็บในไขมันซึ่งอาจต้องใช้เวลาในการขับออกจากร่างกาย (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007b)

### 2.2.4.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

แม้ว่าองค์กร IARC จะจัดให้โซลินอยู่ในกลุ่ม 3 หรือสารเคมีที่ไม่ก่อมะเร็งในมนุษย์ (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans) (International Agency for Research on Cancer, 2017) เนื่องจากยังไม่พบหลักฐานหรือข้อมูลว่าการได้รับสัมผัสโซลินจะก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ แต่การแพร่กระจายของโซลินจากแหล่งกำเนิด ประกอบกับสมบัติที่สามารถระเหยได้ง่าย ส่งผลให้โซลินสามารถแพร่เข้าสู่บรรยากาศได้และทำให้ง่ายต่อการได้รับการได้รับสัมผัสโซลินทางการหายใจ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ โดยผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันเมื่อได้รับโซลินเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ อาจก่อให้เกิดอาการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ หายใจติดขัด วิงเวียนศีรษะ ง่วงซึม คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ แต่หากได้รับสัมผัสโซลินสะสมเป็นระยะเวลานานจะเกิดผลกระทบแบบเรื้อรัง โดยอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ไต ตับ และระบบประสาทถูกทำลาย

จากรายละเอียดของสารกลุ่ม BTEX ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ที่เกิดจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX	อวัยวะที่ถูกทำลาย	อาการแสดง	การขับออกจากร่างกาย
เบนซีน	ระบบประสาทส่วนกลาง ระบบเนื้อเยื่อฮีมาโทโปอิก เม็ดเลือดแดง	<b>เฉียบพลัน :</b> ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ กดระบบประสาทส่วนกลางทำให้มีอาการเซื่องซึม วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ ไม่ได้สติ และชักกระตุก <b>เรื้อรัง :</b> เกิดความผิดปกติในเลือด และไขกระดูก เกิดภาวะโลหิตจาง ไชกระดูกฝ่อ ทำลายระบบภูมิคุ้มกัน เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม และอาจเกิดมะเร็ง	ยูเรีย ลมหายใจผ่านทางปอด

สารกลุ่ม BTEX	อวัยวะที่ถูกทำลาย	อาการแสดง	การขับออกจากร่างกาย
โทลูอิน	ระบบประสาทส่วนกลางและไต	<b>ฉับพลัน :</b> ง่วงซึม อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ อาเจียน หัวใจเต้นผิดจังหวะ หรือหมดสติ <b>เรื้อรัง :</b> กดระบบประสาทส่วนกลาง ง่วงซึม เสียการทรงตัว การเคลื่อนไหว การพูด การได้ยิน และการมองเห็นผิดปกติ สมอ่งฝ่อ กระทบต่อการทำงานตับ ไต และปอด	ขับออกพร้อมกับลมหายใจ ยูเรีย
เอธิลเบนซีน	ระบบประสาทส่วนกลางทางเดินหายใจ	<b>ฉับพลัน :</b> เกิดอาการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ ตา และกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้มีอาการวิงเวียนศีรษะ ง่วงซึม <b>เรื้อรัง :</b> ความผิดปกติภายในหู และความผิดปกติของการทำงานของไต	ยูเรีย ตับ และอุจจาระ
ไซลีน	ระบบประสาทส่วนกลางตับ ไต	<b>ฉับพลัน :</b> ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ หายใจติดขัด วิงเวียนศีรษะ ง่วงซึม คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ <b>เรื้อรัง :</b> ตับ ไต และระบบประสาทถูกทำลาย	ยูเรีย

### 2.2.5 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX เป็นสารมลพิษที่ก่อให้เกิดทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ดังนั้นองค์กรต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดูแลด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน เช่น NIOSH (The National Institute for occupational Safety and Health) OSHA (Occupational Safety and Health Administration) และ ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) จึงมีการกำหนดขีดจำกัดความเข้มข้นในการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ดังแสดงในตารางที่ 7 เพื่อความปลอดภัยของผู้ที่มีโอกาสได้รับสัมผัสสารกลุ่มนี้

ตารางที่ 7 ค่าขีดจำกัดการได้รับสัมผัสของสารกลุ่ม BTEX (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สารกลุ่ม BTEX	NIOSH		OSHA		ACGIH	
	STEL	REL	PEL	STEL	TLV	STEL
เบนซีน	3.2	0.32	3.2	16.3	1.6	8
โทลูอีน	560	375	754	-	75	-
เอทิลเบนซีน	545	435	435	-	435	545
ไซลีน	655	435	435	-	435	655

หมายเหตุ: - STEL (Short term exposure limit) คือ ระดับความเข้มข้นของสารในอากาศที่ยอมให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ไม่นานกว่า 15 นาที

- REL (Recommend exposure limit) คือ ขีดจำกัดการได้รับสัมผัสสารในระยะเวลา 8 หรือ 10 ชั่วโมง

- PEL (Permissible exposure limit) คือ ปริมาณของสารที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัสอย่างปลอดภัยในระยะเวลา 8 ชั่วโมง

- TLV (Threshold limit value) คือ ค่าขีดจำกัดการได้รับสัมผัสสารเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่คนงานได้รับสัมผัสแล้วไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

ที่มา: NIOSH (2003)

สำหรับประเทศไทย กระทรวงมหาดไทยได้กำหนดค่าขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานสำหรับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ฉบับที่ 103 โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 8 นอกจากนี้ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ. 2550 ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี และตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ ได้กำหนดค่าเฝ้าระวังสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสำหรับสารกลุ่ม BTEX นั้น มีการกำหนดค่ามาตรฐาน และค่าเฝ้าระวังเฉพาะเบนซีนเท่านั้น โดยค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี และค่าเฝ้าระวังสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ของเบนซีนต้องไม่เกิน 1.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และไม่เกิน 7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 8 ค่าขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานสำหรับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ส่วนในล้านส่วน)

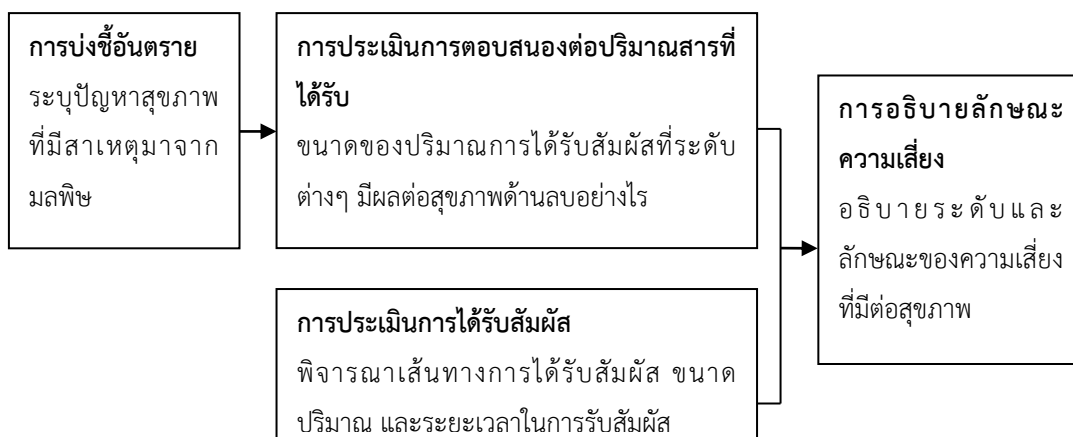
สารกลุ่ม	ความเข้มข้นเฉลี่ย ตลอดระยะเวลา ทำงานปกติ	ความเข้มข้นสูงสุด ในช่วงเวลาที่จำกัด		ความเข้มข้นที่ อาจยอมให้มีได้
		ความเข้มข้น	ระยะเวลาที่กำหนด ให้ทำงานได้	
BTEX				
เบนซีน	10	50	10 นาที	25
โทลูอิน	200	500	10 นาที	300
เอทิลเบนซีน	-	-	-	-
ไซลีน	100	-	-	-

ที่มา: "ราชกิจจานุเบกษา" 2520, 12 กรกฎาคม

### 2.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Human Health Risk Assessment) ตามวิธีของ US EPA คือ กระบวนการประเมินความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการได้รับสารเคมีในสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันหรือในอนาคต ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification) การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ (Dose-response assessment) การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure assessment) และการอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization) ดังรูปที่ 15 แสดงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (United States Environmental Protection Agency, 2016) โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้





รูปที่ 15 ขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ที่มา: United States Environmental Protection Agency (2016)

### 2.3.1 การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification)

การบ่งชี้อันตรายเป็นกระบวนการหรือขั้นตอนการรวบรวม และศึกษาข้อมูล เพื่อใช้ในการระบุความเป็นอันตรายของสารเคมีที่สนใจนั้นมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ซึ่งการบ่งชี้อันตรายนั้นจึงรวมถึงทั้งผลการศึกษาในสัตว์ทดลองด้วย เนื่องจากมีสารเคมีจำนวนมากที่มีข้อมูลที่สามารถบ่งชี้ความเป็นพิษในมนุษย์ได้อย่างชัดเจน

### 2.3.2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ (Dose-response assessment)

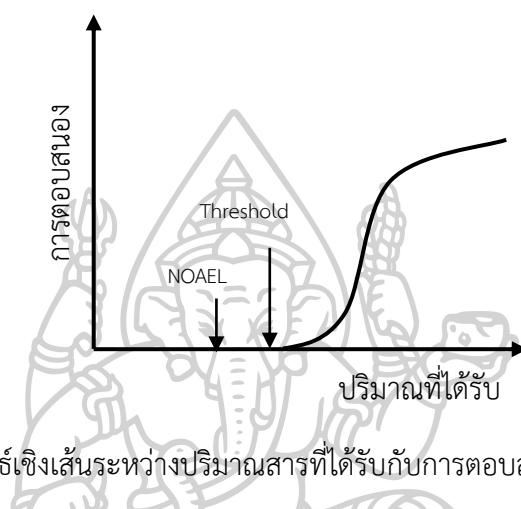
การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับเป็นขั้นตอนการประเมินความสัมพันธ์จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลระหว่างปริมาณของสารที่ได้รับสัมผัสต่อผลกระทบหรือการตอบสนองด้านลบของสุขภาพ โดยในการประเมินการตอบสนองสามารถแบ่งชนิดของสารที่ได้รับสัมผัสออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogenic agent) และสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic agent) โดยมีกระบวนการประเมินดังนี้

#### 2.3.2.1 สารไม่ก่อมะเร็ง

การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เป็นการประเมินการได้รับสัมผัสที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงเพียงเล็กน้อย หรือส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบไม่ก่อมะเร็ง เช่น หอบหืด ความผิดปกติของระบบประสาท ความบกพร่อง และปัญหาการพัฒนาการเจริญเติบโตในทารก เป็นต้น มักพบว่าความรุนแรงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับ



สัมผัสสารเคมีนั้น ๆ เพิ่มมากขึ้นโดยการได้รับสัมผัสสารในปริมาณต่าง ๆ และที่ความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถรับได้แล้วไม่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จัดให้สารเหล่านี้เป็นสารไม่ก่อมะเร็ง โดยเรียกปริมาณสูงสุดที่สัตว์ทดลองได้รับแล้วไม่เกิดการตอบสนองใด ๆ ทั้งด้านบวกและด้านลบว่า Threshold dose โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ได้รับต่อการตอบสนองในรูปของกราฟเชิงเส้นแบบ Non-linear ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณสารที่ได้รับกับการตอบสนองของสารไม่ก่อมะเร็ง

ที่มา: มลิวรรณ บุญเสนอ (2555)

จากกราฟ จะเรียกปริมาณการได้รับสัมผัสสารที่มากที่สุดโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพว่า No observed adverse effect level (NOAEL) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณค่าความเป็นพิษของสารไม่ก่อมะเร็ง หรือความเข้มข้นที่มนุษย์ได้รับแล้วไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพดังสมการที่ (1) ในรูปของความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration;  $R_fC$ )

$$\text{Reference concentration } (R_fC) = \frac{\text{NOAEL}}{\text{UF} \times \text{MF}} \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ  $R_fC$  คือ ความเข้มข้นอ้างอิงของสารในอากาศ

NOAEL คือ ปริมาณของสารเคมีที่มากที่สุดที่ได้รับสัมผัสแล้วไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือผลกระทบด้านลบใด ๆ

- UF คือ ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty factor) ของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง ซึ่งแตกต่างจากการนำไปประเมินในมนุษย์
- MF คือ ปัจจัยความน่าเชื่อถือ (Modifying factors) ของข้อมูลที่น่าไปใช้ในการประเมินความเสี่ยง

เมื่อได้รับสัมผัสสารทางการหายใจ โดยที่ค่าความเข้มข้นอ้างอิงเป็นค่าเฉพาะของสารนั้น ๆ สำหรับสารกลุ่ม BTEX ค่าความเข้มข้นอ้างอิงแสดงดังตารางที่ 9 ทั้งนี้เบนซีน และ เอทิลเบนซีนมีค่าความเข้มข้นอ้างอิงด้วย เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดนี้ส่งผลกระทบทั้งแบบไม่ก่อกมะเร็ง และก่อกมะเร็ง

ตารางที่ 9 ค่าความเข้มข้นอ้างอิงทางการหายใจของสารกลุ่ม BTEX (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สารกลุ่ม BTEX	ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration; R <sub>f</sub> C)
เบนซีน <sup>1</sup>	0.03
โทลูอีน <sup>2</sup>	5
เอทิลเบนซีน <sup>3</sup>	1
ไซลีน <sup>4</sup>	0.1

ที่มา: <sup>1</sup>Integrated Risk Information System (2017a)

<sup>2</sup>Integrated Risk Information System (2017c)

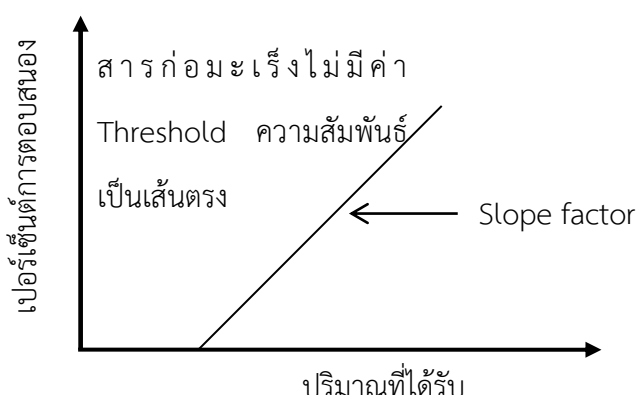
<sup>3</sup>Integrated Risk Information System (2017b)

<sup>4</sup>Integrated Risk Information System (2017d)

### 2.3.2.2 สารก่อกมะเร็ง

สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นสารก่อกมะเร็งนั้น หากมีการได้รับสัมผัสเพียงเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบหรืออันตรายต่อสุขภาพ จึงไม่มีค่า Threshold dose คือปริมาณสารสูงสุดที่ไม่เกิดอาการเจ็บป่วยในสัตว์ทดลองเหมือนกับสารไม่ก่อกมะเร็ง การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับจึงใช้ค่าความชันของกราฟ (Cancer slope factor) ซึ่งได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ได้รับตลอดชีวิตกับโอกาสที่จะเกิดโรคมะเร็งของการ

ทดลองที่มีระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นลากเส้นความสัมพันธ์บนกราฟระหว่างปริมาณสารที่ได้รับตลอดชีวิตกับการเกิดมะเร็ง โดยเป็นการลากเส้นตรงลงบนแกน x หรือแกนปริมาณของสาร ความชันจากการลากเส้นตรงจะเป็นความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง หรือเรียกว่า “Slope factor” ดังรูปที่ 17 ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความเป็นพิษของสารก่อมะเร็งชนิดนั้น ๆ โดยค่าความเป็นพิษหรือค่าความอันตรายในการก่อมะเร็งของสารกลุ่ม BTEX ที่เป็นสารก่อมะเร็ง แสดงดังตารางที่ 10



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณสารที่ได้รับกับการตอบสนองของสารก่อมะเร็ง  
ที่มา: มลิวรรณ บุญเสนอ (2555)

ตารางที่ 10 ค่าความเป็นพิษทางการหายใจแบบก่อมะเร็งของสารกลุ่ม BTEX ที่เป็นสารก่อมะเร็ง, (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สารกลุ่ม BTEX ชนิดก่อมะเร็ง	ค่าความเป็นพิษแบบก่อมะเร็ง
เบนซีน <sup>1</sup>	0.029
เอทิลเบนซีน <sup>2</sup>	$3.85 \times 10^{-3}$

ที่มา: <sup>1</sup>The Risk Assessment Information System (1998a)

<sup>2</sup>The Risk Assessment Information System (1998b)

### 2.3.3 การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure assessment)

การประเมินการได้รับสัมผัสเป็นกระบวนการวัดหรือการประมาณปริมาณปัจจัยต่าง ๆ ในการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

ได้แก่ การกำหนดลักษณะของการได้รับสัมผัส การวิเคราะห์เส้นทางการได้รับสัมผัส และการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัส โดยที่การคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสนั้นอาศัยข้อมูลต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ความถี่ของการได้รับสัมผัส ระยะเวลาในการได้รับสัมผัส ในการคำนวณซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (Average daily intake; ADI) ได้จากสมการที่ (2) ค่า ADI ที่ได้จะนำไปอธิบายลักษณะของความเสี่ยงทั้งแบบไม่ก่อมะเร็งและแบบก่อมะเร็งในขั้นตอนต่อไป

$$ADI = \frac{C \times ET \times EF \times ED}{AT} \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ ADI คือ ปริมาณการได้รับสัมผัสสารเฉลี่ยต่อวัน (มก./ลบ.ม.)

C คือ ความเข้มข้นของสารที่ปนเปื้อนในอากาศ (มก./ลบ.ม.)

ET คือ เวลาในการได้รับสัมผัสอากาศที่ปนเปื้อน (ชั่วโมงต่อวัน)

EF คือ ความถี่ของการได้รับสัมผัส (วันต่อปี)

ED คือ ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ปี)

AT คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัส (ปี) โดย

AT = 70 ปี สำหรับสารก่อมะเร็ง

AT = ED สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง

### 2.3.4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization)

การอธิบายลักษณะความเสี่ยงคือขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เป็นการรวบรวมข้อมูลและผลการวิเคราะห์จากทั้งสามขั้นตอนข้างต้นมาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร โดยการอธิบายลักษณะความเสี่ยงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

#### 2.3.4.1 การอธิบายลักษณะความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็ง (Non-cancer risk)

การอธิบายลักษณะความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็ง เป็นการคำนวณเชิงปริมาณซึ่งแสดงในรูปของค่า Hazard quotient (HQ) ของสารแต่ละชนิดดังสมการที่ (3)

$$HQ_i = \frac{ADI_i}{R_f C_i} \quad \text{----- (3)}$$

เมื่อ  $ADI_i$  คือปริมาณการได้รับสัมผัสสาร  $i$  เฉลี่ยต่อวันทางการหายใจ (มก./ลบ.ม.)

$R_f C_i$  คือ ความเข้มข้นอ้างอิงของสาร  $i$  ในอากาศ (มก./ลบ.ม.)

นอกจากนี้ หากมีการได้รับสัมผัสสารที่เสริมฤทธิ์กัน (Additive effect) กันมากกว่า 1 ชนิดพร้อมกัน สามารถประเมินความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็งรวมได้ โดยแสดงอยู่ในรูปค่าดัชนีความอันตราย (Hazard index; HI) ของสารทั้งกลุ่ม ในการศึกษา สารกลุ่ม BTEX ออกฤทธิ์เสริมกัน จึงสามารถคำนวณความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็งได้ดังสมการที่ (4)

$$HI_{BTEX} = \sum_{i=1}^n HQ_i \quad \text{----- (4)}$$

โดยหากค่า Hazard quotient และ/หรือ Hazard index มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าปริมาณการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็ง แต่หากค่าทั้งสองมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณการได้รับสัมผัสสารโดยก่อให้เกิดความเสี่ยงแบบไม่ก่อมะเร็ง

#### 2.3.4.2 การอธิบายลักษณะความเสี่ยงของสารก่อมะเร็ง (Cancer risk)

การอธิบายลักษณะความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งเป็นการอธิบายความน่าจะเป็นในการได้รับสัมผัสสารแล้วเกิดมะเร็ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากปริมาณการรับสารเข้าสู่ร่างกายตลอดอายุขัยคูณด้วยค่าความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง ดังสมการที่ (5)

$$\text{Cancer Risk} = ADI_i \times CSF_i \quad \text{----- (5)}$$

เมื่อ Cancer Risk คือ ค่าความเสี่ยงแบบก่อมะเร็งจากการได้รับสัมผัสสาร  $i$

CSF <sub>i</sub>	คือ ค่า Cancer slope factor ของสาร I (มก./ลบ.ม.)
ADI <sub>i</sub>	คือ ปริมาณการได้รับสัมผัสสาร I เฉลี่ยตลอดอายุขัย (มก./ลบ.ม.)

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา (United States environmental protection agency; US EPA) ได้กำหนดเกณฑ์การยอมรับของการประมาณค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพควรมีค่าไม่เกิน 1 คนต่อประชากรหนึ่งล้านคน ( $10^{-6}$ ) นั่นคือ หากค่าความเสี่ยงแบบก่อนมะเร็งมีค่าน้อยกว่า 1 คนต่อประชากรหนึ่งล้านคน แสดงว่าปริมาณสารก่อมะเร็งที่ได้รับสัมผัสไม่ก่อมะเร็งเมื่อได้รับสัมผัสอย่างต่อเนื่องตลอดอายุขัย แต่หากค่าความเสี่ยงแบบก่อนมะเร็งมีค่ามากกว่า 1 คนต่อประชากรหนึ่งล้านคน แสดงว่าปริมาณสารก่อมะเร็งที่ได้รับสัมผัสก่อให้เกิดมะเร็งได้ หากได้รับสัมผัสอย่างต่อเนื่องตลอดอายุขัยนั่นเอง

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คมสันต์ แรงจบ (2554) ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดจากกิจกรรมปิ้งย่างอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ หมู ไก่ ปลา และข้าวโพด โดยใช้เครื่อง แอนเดอร์เซนอิมแพคเตอร์แบบหมุนไม่ได้ 8 ชั้น ในการเก็บตัวอย่างฝุ่น พบว่าความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> ที่เกิดจากการปิ้งย่างหมูและไก่ มีค่าสูงกว่าการปิ้งย่างปลาและข้าวโพด โดยความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> ที่เกิดจากการปิ้งย่างหมูและไก่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 205.88 และ 193.03 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนปลาและข้าวโพดมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 191.65 และ 110.30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของฝุ่นละเอียด (<5 ไมโครเมตร ซึ่งในที่นี้ขอเรียกว่า PM<sub>5</sub>) กับฝุ่นขนาดเล็ก (5-10 ไมโครเมตรซึ่งในที่นี้ขอเรียกว่า PM<sub>10-5</sub>) ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM<sub>10</sub>) ระหว่างร้านหมูย่างที่ไม่มี และมีอุปกรณ์ควบคุมควัน พบว่าค่าสัดส่วนของฝุ่นละเอียดต่อฝุ่นทั้งหมดของร้านที่ใช้พัดลมดูดควัน คิดเป็นร้อยละ 66.4 และร้านที่ใช้ตู้ดูดควันคิดเป็นร้อยละ 57.5 แสดงให้เห็นว่าการมีอุปกรณ์ควบคุมควันสามารถลดโอกาสที่จะได้รับฝุ่นขนาดเล็กได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละของฝุ่นละเอียด (PM<sub>5</sub>) และฝุ่นขนาดเล็ก (PM<sub>10-5</sub>) ใน PM<sub>10</sub> พบว่าการปิ้งย่างอาหารทุกชนิดมีร้อยละของ PM<sub>5</sub>/PM<sub>10</sub> และ PM<sub>10-5</sub>/PM<sub>10</sub> แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ร้อยละของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร

	หมู	ไก่	ปลา	ข้าวโพด
PM <sub>5</sub> /PM <sub>10</sub>	77.3	77.5	72.8	71.4
PM <sub>10-5</sub> /PM <sub>10</sub>	21.0	22.4	26.8	33.5

ที่มา: คมสันต์ แรจจบ (2554)

ผลการศึกษาในตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าการปิ้งย่างเนื้อสัตว์โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงก่อให้เกิดอนุภาคของฝุ่นขนาดเล็ก แต่หากมีการควบคุมการแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่น เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควันนั้นพบว่าสามารถลดการปลดปล่อยอนุภาคของฝุ่นได้

นอกจากนี้ จากการตอบแบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นเกี่ยวกับฝุ่นและปัญหาสุขภาพในการประกอบอาชีพค้าขายอาหารประเภทปิ้งย่าง พบข้อมูลเกี่ยวกับอาการโรคระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ อาการแน่นหน้าอกร้อยละ 16.8 มีเสมหะเป็นประจำร้อยละ 11.0 อาการไอบ่อยครั้งร้อยละ 4.2 และอาการหายใจมีเสียงดังวี๊ดร้อยละ 1.6

คมสันต์ แรจจบ and กาญจนา นาถะพินธุ (2555) ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ หมู ไก่ ปลา และข้าวโพด และเก็บตัวอย่างจากการปิ้งหมูที่มีอุปกรณ์ควบคุมควัน ได้แก่ พัดลมดูดควัน และครอบดูดควัน (Hood) โดยใช้เครื่องแอนเนลอร์เซนซิทีฟแบบหมุนไม่ได้ 8 ชั้น พบว่า ความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> ที่เกิดจากการปิ้งย่างหมู ไก่ และปลา มีค่ามากกว่าข้าวโพด โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ  $208.9 \pm 18$   $193 \pm 14$   $191.7 \pm 22$  และ  $110.3 \pm 11$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบว่า ความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> จากการย่างหมูโดยมีการติดตั้งพัดลมดูดควันมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $185.3 \pm 21$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าการย่างหมูโดยมีการใช้ครอบดูดควัน (Hood) ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $112.7 \pm 24$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารพบว่าก่อให้เกิดฝุ่นขนาดเล็กซึ่งมีการกระจายตัวของอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM<sub>2.5</sub>) มากกว่าอนุภาคขนาด 5-10 ไมโครเมตร (PM<sub>10-5</sub>) มากกว่าขนาด 2.5-5 ไมโครเมตร (PM<sub>5-2.5</sub>)

Alves, Duarte, Nunes, Moreira, and Rocha (2014) ศึกษาความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปลดปล่อยออกจากปล่องของร้านอาหารภายในโรงอาหารของมหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบด้วยร้านไก่ย่างและร้านหมูย่างที่ใช้ถ่านไม้ เก็บตัวอย่างโดยใช้หลอดดูดซับชนิด Carbopack



B และ C จากนั้นวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี ตัวตรวจวัดชนิดเฟรมโอออลโนเซนชัน (GC-FID) พบว่า กิจกรรมบ่งชี้การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิด ได้แก่ สารอะลิฟาติก (Aliphatic) สารอะโรมาติก (Aromatic) และสารอัลดีไฮด์ (Aldehyde) โดยชนิดที่พบมากที่สุดคือสารอะโรมาติก ซึ่งได้แก่สารกลุ่ม BTEX โดยพบเบนซีนในปริมาณสูงที่สุดจากการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน จากการคำนวณพบว่า ร้านไก่ย่างและหมูย่างที่เป็นตัวอย่างปลดปล่อยสารกลุ่ม BTEX ออกมาประมาณ 201 และ 178 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ

Kabir, Kim, Ahn, Hong, and Sohn (2010) ศึกษาเกี่ยวกับการเผาไหม้ถ่านไม้สำหรับปิ้งย่างจาก 4 ประเทศ ได้แก่ เกาหลี อินโดนีเซีย จีน และมาเลเซีย ซึ่งมีประสิทธิภาพในการก่อให้เกิดสารกลุ่ม BTEX และสไตรีนโดยทำการเผาไหม้ถ่านไม้แต่ละชนิดจำนวน 540 กรัม โดยใช้เตาเผาแบบเก่าของเกาหลี เก็บตัวอย่างด้วยถุงเก็บตัวอย่างชนิดเตดลาร์ขนาด 10 ลิตร และวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี ตัวตรวจวัดชนิดเฟรมโอออลโนเซนชัน (GC-FID) พบว่า ถ่านไม้จากประเทศเกาหลีและจีนก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากที่สุด โดยเฉพาะโทลูอินและเบนซีน ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 116 และ 98.7 ส่วนในพันล้านส่วน (Parts per billion; ppb) ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นที่พบนั้นไม่เกินค่าความเข้มข้นของสารที่ได้รับในช่วงระยะเวลาสั้น (Short term exposure limit; STEL) ซึ่งกำหนดค่าของเบนซีนและโทลูอินที่ความเข้มข้น 1,000 และ 200,000 ส่วนในพันล้านส่วน (Parts per billion; ppb) ตามลำดับ

Kim and Lee (2012) ทำการตรวจสอบความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์บริเวณภายนอกร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีเปรียบเทียบกับร้านอาหารที่ไม่มีการปิ้งย่าง โดยเก็บตัวอย่างในระยะ 30 เมตร จากร้าน ด้วยหลอดดูดซับตัวอย่างชนิด Tenax-TA เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX ในเชิงปริมาณด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) พบว่า ในบรรยากาศภายนอกร้านอาหารที่มีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์มีความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 2.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โทลูอินเท่ากับ 4.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เอธิลเบนซีนเท่ากับ 1.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมตา,พารา-ไซลีนเท่ากับ 1.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และออร์โธ-ไซลีนเท่ากับ 0.783 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมากกว่าบรรยากาศภายนอกร้านอาหารที่ไม่มีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ที่มีความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 1.82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โทลูอินเท่ากับ 2.61 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เอธิลเบนซีนเท่ากับ 0.464 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมตา,พารา-ไซลีนเท่ากับ 0.791 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และออร์โธ-ไซลีนเท่ากับ 360 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศภายนอกร้านอาหารที่มีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์มากกว่าบรรยากาศภายนอก

ร้านอาหารที่ไม่มีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์คิดเป็นร้อยละ 1 นั้นหมายถึงการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับสัมผัส

Sinha et al. (2005) ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน (Benzene) ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำอาหารภายในครัว และครัวแบบเปิดโดยใช้แก๊สชีวภาพ และถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ป้อมแบบบุคคลต่อกับหลอดดูดซับแบบ activated charcoal เก็บตัวอย่างเบนซีน โดยเก็บตัวอย่างในห้องครัวระหว่างการทำอาหาร ( 45 – 60 นาที) และเก็บตัวอย่างเบนซีนในบริเวณพื้นที่การหายใจ ซึ่งห่างจากจุด และห่างจากการทำอาหารประมาณ 30 เซนติเมตรที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนภายในครัว กับครัวแบบเปิดโดยใช้แก๊สชีวภาพเท่ากับ 114.1 และ 6.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ขณะที่หากใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนที่เกิดขึ้นภายในครัวเท่ากับ 36.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซีนจากการใช้แก๊สชีวภาพกับการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงภายในครัวพบว่า ความเข้มข้นของเบนซีนที่เกิดจากถ่านไม้เชื้อเพลิงน้อยกว่าเมื่อใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

Van et al. (2013) ทำการตรวจสอบกิจกรรมการทำอาหาร และการได้รับสัมผัสอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) และผงฝุ่นเขม่าดำ (Black carbon) ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ในบริเวณพื้นที่การหายใจ และบริเวณครัวในการทำอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ในกานา พบว่า กิจกรรมการทำอาหารส่วนใหญ่เป็นการทำอาหารแบบกลางแจ้ง ซึ่งส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 99 เลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ได้แก่ ไม้ หรือถ่านไม้เชื้อเพลิง และพบว่าความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) ที่เก็บจากบริเวณครัวสูงกว่าที่เก็บจากพื้นที่การหายใจ ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 446.8 และ 128.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งเช่นเดียวกับความเข้มข้นของผงฝุ่นเขม่าดำ (Black carbon) คือ บริเวณครัวมีความเข้มข้นของผงฝุ่นเขม่าดำ (Black carbon) สูงพื้นที่การหายใจ ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 14.5 และ 8.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

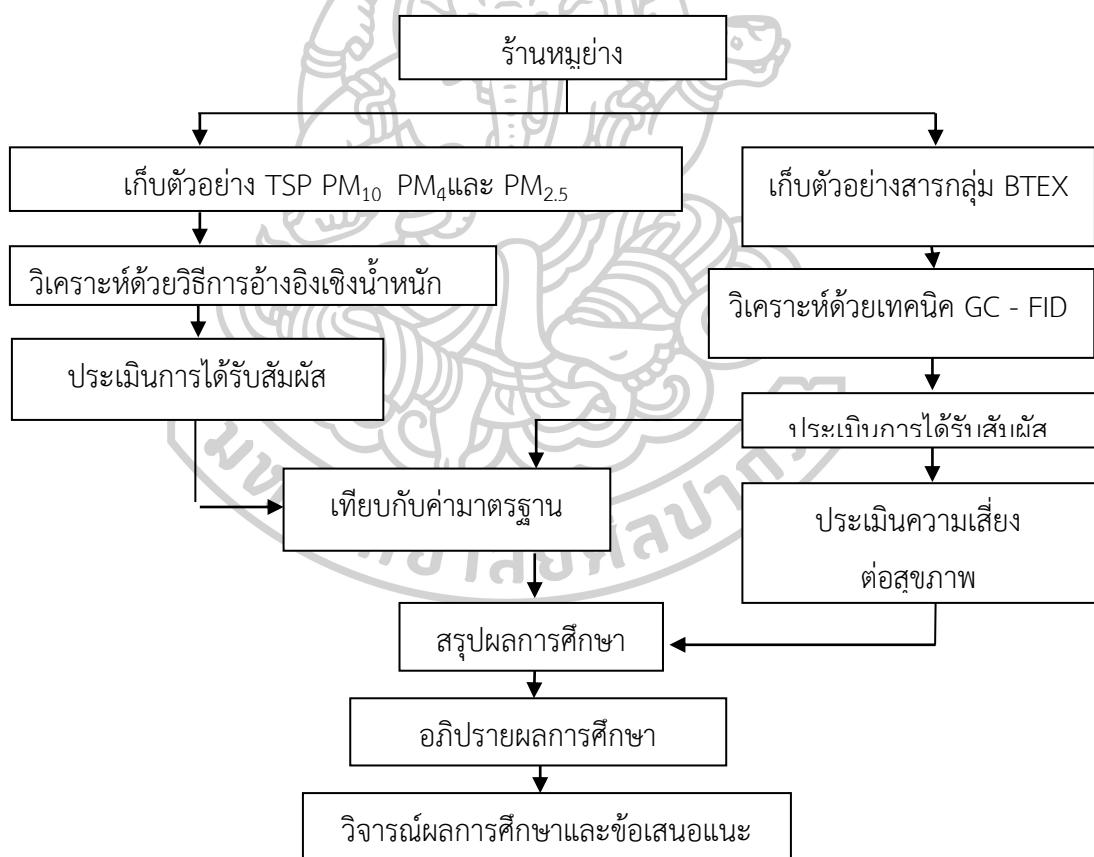


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> PM<sub>2.5</sub> และสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ประเภท เนื้อหมู เนื้อไก่ ปีก บั๊นท้าย และเครื่องในไก่ของร้านหมูย่างรถเข็น โดยการติดตั้งอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างสารมลพิษทุกชนิดเหนือพัดลมดูดควัน และนำผลจากการศึกษาความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ซึ่งมีวิธีการศึกษา (รูปที่ 18) และรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 18 วิธีการศึกษา

## 3.2 การเก็บตัวอย่าง

### 3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

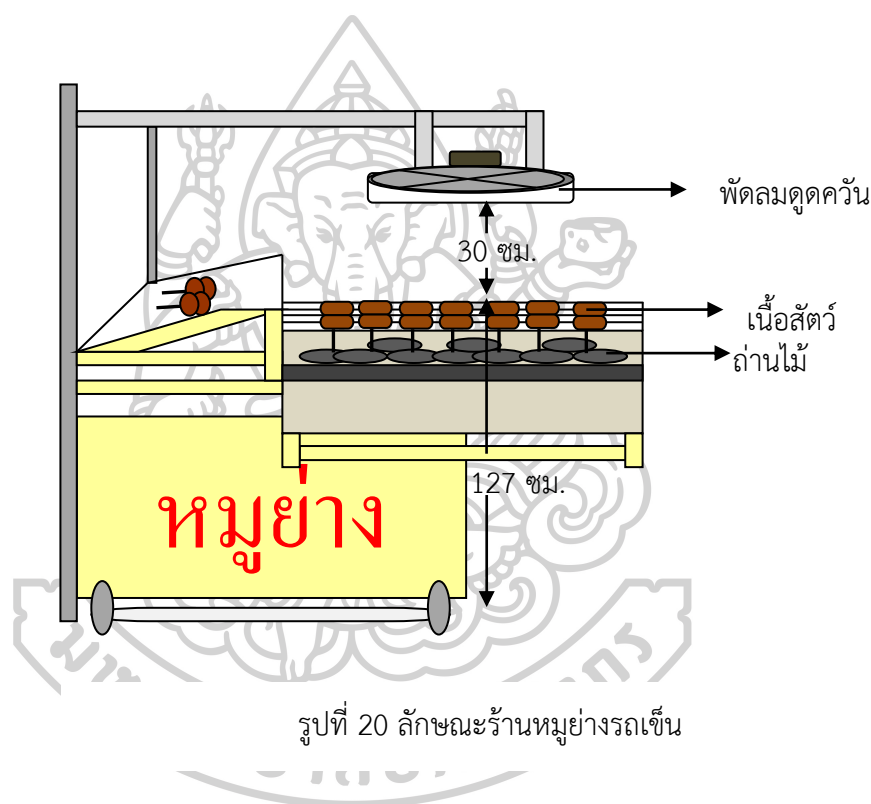
สถานที่เก็บตัวอย่างทุกชนิดของการศึกษาในครั้งนี้คือ ร้านหม냥นักรมวย ตั้งอยู่บริเวณตลาดอินดีเพลย์กราวด์ ภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม รูปที่ 19 แสดงสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานที่เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 19 แผนที่ตั้งร้านหม냥นักรมวย สถานที่เก็บตัวอย่าง



ร้านหมูย่างนักรมยมีลักษณะเป็นร้านค้าแผงลอย โดยมีเตาปิ้งย่างอยู่ที่ระดับความสูงเหนือพื้นดินประมาณ 127 เซนติเมตร และมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควันอย่างง่ายคือ พัดลมดูดควัน ซึ่งติดตั้งอยู่เหนือเตาปิ้งย่างประมาณ 30 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 20 สภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบร้านหมูย่างนักรมย มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่ง ปริมาณการสัญจรของยานพาหนะไม่มากนัก เนื่องจากไม่ใช่เส้นทางหลักในการสัญจรภายในมหาวิทยาลัย โดยยานพาหนะส่วนใหญ่ ได้แก่ จักรยาน และจักรยานยนต์ อีกทั้งบริเวณโดยรอบร้านไม่มีร้านอาหารปิ้งย่างอื่น ๆ อีกด้วย



รูปที่ 20 ลักษณะร้านหมูย่างรถเข็น

การเก็บตัวอย่างแบบพื้นที่ โดยเก็บตัวอย่างทุกชนิดพร้อมกัน ได้แก่ ฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) และสารกลุ่ม BTEX อย่างละ 10 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยเก็บต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการขาย ตั้งแต่เวลา 16.00-20.00 น. เป็นเวลาจำนวน 4 ชั่วโมง ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 และเก็บค่าความเข้มข้นพื้นฐาน คือการเก็บตัวอย่าง ณ จุดที่ตั้งขายของร้านหมูย่างนักรมยในวันที่ไม่มีการขาย จำนวน 3 วัน รวมทั้งหมด 15 ตัวอย่าง

### 3.2.3 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง

#### 3.2.3.1 การเตรียมกระดาษกรอง

การเตรียมกระดาษกรองชนิดใยแก้ว (Glass fiber filter) ยี่ห้อ ADVANTEC รุ่น GC-50 เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 0.5 ไมโครเมตร ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละชนิด ทำโดยนำกระดาษกรองชนิดใยแก้วเก็บภายในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นของกระดาษกรองคงที่ ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลระดับไมโครกรัม ความละเอียด 6 ตำแหน่ง (Microbalance) รุ่น XP6 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO (รูปที่ 21) โดยก่อนชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ต้องทำการตรวจสอบสถานะแวดล้อมของห้องเครื่องชั่งให้อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเครื่องชั่งให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน คือ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง  $23 \pm 4$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 และทำการตรวจสอบเครื่องชั่งให้พองอากาศอยู่ในตำแหน่งตรงกลางระดับน้ำ จากนั้นจึงทำการตรวจสอบเครื่องชั่งประจำวัน (Daily check) แล้วจึงทำการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยก่อนเก็บตัวอย่าง (Pre-weight) โดยใช้ปากคีบ (Forceps) คีบในการชั่ง ความคลาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองแต่ละครั้งไม่ควรต่างกันมากกว่า 15 ไมโครกรัม หากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งพองอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ แล้วทำการชั่งตัวอย่างใหม่ เมื่อชั่งน้ำหนักกระดาษกรองเรียบร้อยแล้ว นำไปใส่ตลับพลาสติกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนก่อนนำไปเก็บตัวอย่างต่อไป โดยในขั้นตอนการเตรียมกระดาษกรองใช้เครื่องมือของบริษัทยูไนเต็ท แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด



รูปที่ 21 เครื่องชั่งดิจิตอลระดับไมโครกรัม ความละเอียด 6 ตำแหน่ง (Microbalance)

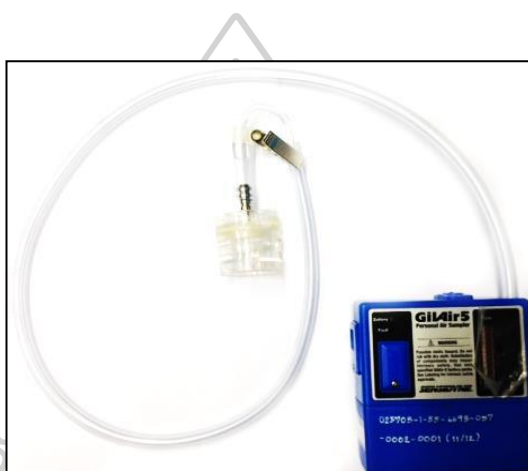
รุ่น XP6 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO



### 3.2.3.2 การเตรียมปั๊ม อุปกรณ์ และเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น

การเตรียมปั๊มดูดอากาศแบบพกพาทำโดยการชาร์ตแบตเตอรี่ให้เพียงพอสำหรับการเก็บตัวอย่าง และนำไปต่อกับอุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.3.2.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น TSP ประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศแบบพกพา ต่อเข้ากับตลับกระดาศกรอง (Filter cassette) ซึ่งภายในบรรจุกระดาศกรองที่เตรียมไว้ ผ่านท่อสายยาง ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น TSP

3.2.3.2.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>10</sub> ประกอบด้วยอุปกรณ์คัดขนาดชนิดไซโคลอนที่คัดเอาเฉพาะฝุ่น PM<sub>10</sub> โดยไซโคลอนจะต่อเข้ากับตลับกระดาศกรองและปั๊มดูดอากาศแบบพกพาผ่านสายยาง ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>10</sub>

3.2.3.2.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{4}$  ประกอบด้วยไซโคลอนที่คัดแยกเอาเฉพาะฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมโครเมตร ต่อไซโคลอนเข้ากับตลับกระดาศกรองและปั๊มดูดอากาศแบบพกพาด้วยท่อสายยาง ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{4}$

3.2.3.2.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{2.5}$  ประกอบด้วยเครื่องคัดขนาดชื่อ Personal Environmental Monitor (PEM) ภายในมีแผ่นพุงกระดาศกรองทำด้วยโลหะซึ่งต่อกับปั๊มดูดอากาศแบบพกพา ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{2.5}$

เมื่อต่ออุปกรณ์เก็บตัวอย่างข้างต้น แล้วจึงทำการสอบเทียบ  
อัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ โดยอัตราการปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊มแต่ละชนิดแสดงดัง  
ตารางที่ 12

ตารางที่ 12 อัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ

ชนิดตัวอย่าง	อัตราการไหลของปั๊ม (ลิตรต่อนาที)	อ้างอิง
TSP	2.0	OSHA (1989)
PM <sub>10</sub>	1.7	NIOSH (2003)
PM <sub>4</sub>	1.7	NIOSH (1998)
PM <sub>2.5</sub>	2.0	SKC Inc (2014)

### 3.2.3.3 การเตรียมปั๊ม อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศ  
แบบพกพา ยี่ห้อ Gillian รุ่น GilAir5 เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างฝุ่น โดยการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม  
BTEX จะทำการต่อปั๊มดูดอากาศแบบพกพาเข้ากับหลอดดูดซับชนิด Coconut shell charcoal ยี่ห้อ  
SKC รหัสสินค้า No. 226-01 อ้างอิงตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH 1501 ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

โดยหลอดดูดซับชนิด Coconut shell charcoal ยี่ห้อ SKC รหัสสินค้า 226-01 มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 70 มิลลิเมตร ภายในบรรจุ ถ่าน (Charcoal) เป็นตัวดูดซับ ซึ่งหลอดดูดซับชนิดนี้เหมาะสำหรับเก็บสารอินทรีย์ โดยเฉพาะสาร จำพวกอะลิฟาติก (Aliphatic), อะโรมาติก (Aromatic) และฮาโลจีเนตเต็ดไฮโดรคาร์บอน (Halogenated hydrocarbon) ภายในหลอดดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนหน้า (Front) ซึ่ง บรรจุตัวดูดซับซึ่งมีขนาด 20 mesh ปริมาณ 50 มิลลิกรัม และฉนวนใยแก้ว (Glass wool) ที่มีความ บริสุทธิ์สูง โดยชั้นการดูดซับส่วนหน้า (Front sorbent) จะทำหน้าที่ดูดซับสารตัวอย่าง สำหรับส่วน หลัง (Back) บรรจุตัวดูดซับขนาด 40 mesh ปริมาณ 100 มิลลิกรัม และยูรีเทนโฟม (Urethane foam) โดยชั้นการดูดซับส่วนหลัง (Back sorbent) ทำหน้าที่ในการตรวจสอบการดูดซับตัวอย่าง โดย จะเกิดการทะลุผ่าน (Breakthrough) ของกลุ่ม BTEX จากส่วนหน้าไปยังส่วนหลัง เมื่อส่วนดูดซับ ส่วนหน้าเกิดการอิ่มตัว โดยชั้นการดูดซับทั้ง 2 ส่วนจะคั่นด้วยยูรีเทนโฟม (Urethane foam) โดย องค์ประกอบของหลอดดูดซับแสดงดังรูปที่ 27



เมื่อต่ออุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดังข้างต้น แล้วจึงทำการ สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ โดยอัตราการปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ สำหรับเก็บตัวอย่าง BTEX เท่ากับ 0.2 ลิตรต่อนาที (NIOSH, 2003)

### 3.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

#### 3.3.1 การเก็บตัวอย่างฝุ่น

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแต่ละชนิด ใช้วิธีการวัดตามวิธีการวิถมาตริก (Gravimetric) โดยนำกระดาษกรองชนิดใยแก้ว (Glass fiber filter) ใส่ในตลับกระดาษกรอง

(Cassette filter) ที่ติดตั้งไว้กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.3.2 ทำการติดตั้งอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างบนขาตั้งเก็บตัวอย่างเหนือเตาปิ้งย่างที่ระดับความสูงประมาณ 78 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของอัตราการไหลของปั๊มดูดตัวอย่าง ดังรูปที่ 28 เปิดปั๊มดูดอากาศชนิดพกพา ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 4 ชั่วโมงซึ่งเป็นระยะเวลาการปิ้งย่างจริง เมื่อครบตามระยะเวลาทำการปิดปั๊มดูดอากาศ ถอดตั้บออกจากปั๊มดูดอากาศ และปิดรูทางเข้าออกของอากาศทันที นำกระดาษกรองออกจากตั้บกระดาษกรอง เก็บใส่ตั้บพลาสติกปิดให้มิดชิด จากนั้นนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างไว้ในตู้ควบคุมความชื้นอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ให้ความชื้นคงที่ เพื่อรอวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นละออง ณ บริษัท ยูโนเด็ท แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ต่อไป

### 3.3.2 การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

อากาศชนิดพกพา รุ่น GilAir5 ยี่ห้อ Gillian ที่ผ่านการปรับเทียบอัตราการไหลเท่ากับ 0.2 ลิตรต่อนาที และทำการติดตั้งอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX บนขาตั้งเหนือเตาปิ้งย่างที่ระดับความสูงประมาณ 78 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของปั๊ม จากนั้นเปิดปั๊มเพื่อทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบตามระยะเวลาทำการปิดปั๊มดูดอากาศ และปิดปลายหลอดดูดซับตัวอย่างทั้ง 2 ด้าน ด้วยฝาปิดผนึก (Sealing caps) พันด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารตัวอย่าง และห่อด้วยกระดาษฟอยล์แล้วใส่ในถุงซิปล็อกปิดให้สนิท เพื่อป้องกันการปนเปื้อน เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็น ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ตัวอย่างสามารถคงสภาพได้นาน 30 วัน ก่อนทำการวิเคราะห์ จัดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ หมายเลขตัวอย่าง วันเดือนปีที่เก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และลักษณะอากาศ เพื่อใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูล

### 3.3.3 การเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์

การเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เป็นการสัมภาษณ์ผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างน้กมวย โดยใช้แบบสอบถามตามภาคผนวก ข ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลทั่วไปของผู้ชายเนื้อสัตว์ ปิ้งย่าง ข้อมูลเกี่ยวกับการประกอบอาชีพ ระยะเวลาการได้รับสัมผัส ความถี่ในการได้รับสัมผัส และการปฏิบัติตนในการประกอบอาชีพ และข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลจากการสัมภาษณ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ



รูปที่ 28 การติดตั้งอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

### 3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่นละออง

วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทุกชนิดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method) ทำโดยการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่ใช้เก็บตัวอย่างหลังจากเข้าสู่ควบคุมความชื้นแล้วอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลระดับไมโครกรัมความละเอียด 6 ตำแหน่ง (Microbalance) รุ่น XP6 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO เช่นเดียวกับการชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่าง (Pre-weight) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (Post-weight)

#### 3.4.1 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละออง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$C = \frac{W_{\text{post}} - W_{\text{pre}}}{V_{\text{STP}}} \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$W_{\text{post}}$  คือ น้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง, ไมโครกรัม

$W_{\text{pre}}$  คือ น้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง, ไมโครกรัม



$V_{STP}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร) คำนวณได้จากสมการที่ (2) ซึ่งข้อมูลการคำนวณได้จาก ข้อมูลการเก็บตัวอย่างดังนี้

$$V_{STP} = \frac{P_A V_A T_{STP}}{T_A P_{STP}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

โดยที่  $P_A$  คือ ความดันบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง (มิลลิเมตรปรอท)

$V_A$  คือ ปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง (ลูกบาศก์เมตร) คำนวณจากอัตราการไหลของอากาศคูณด้วยจำนวนเวลาในการเก็บตัวอย่าง

$T_{STP}$  คือ อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน มีค่า 298.15 เคลวิน

$T_A$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขณะเก็บตัวอย่าง (เคลวิน)

$P_{STP}$  คือ ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน มีค่า 760 มิลลิเมตรปรอท

### 3.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX

#### 3.5.1 การสกัดคาร์บอนไดซัลไฟด์บริสุทธิ์

การสกัดคาร์บอนไดซัลไฟด์บริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นตัวทำละลายในการชะสาร ตัวอย่างออกจากตัวดูดซับ เป็นขั้นตอนการนำคาร์บอนไดซัลไฟด์ ( $CS_2$ ) 99.5% มาผ่านกระบวนการ ทำให้มีความบริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้สกัดสารกลุ่ม BTEX จากตัวอย่าง โดยวิธีการสกัดคาร์บอนไดซัลไฟด์ บริสุทธิ์ทำโดยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.  $H_2SO_4$ ) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น (conc.  $HNO_3$ ) จำนวน 3 หยด ลงในคาร์บอนไดซัลไฟด์ ( $CS_2$ ) 99.5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่า ต่อเนื่องด้วยเครื่องสกัด (Separatory funnel shaker) ยี่ห้อ JISICO เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นเติมน้ำกลั่น Type I (น้ำที่ปราศจากสารอินทรีย์หรือน้ำบริสุทธิ์สูง) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

เขย่าประมาณ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น และกรองคาร์บอนไดออกไซด์ฟอสฟอรัสที่ได้ออกโดยโซเดียมซัลเฟต ( $\text{anh.Na}_2\text{SO}_4$ ) เก็บไว้ในขวดแก้ว

### 3.5.2 กราฟมาตรฐาน (Standard curve)

การเตรียมกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ใช้สารมาตรฐาน BTEX Standard เข้มข้น 2,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ผลิตโดยบริษัท RESTEX ซึ่งประกอบด้วย เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) ทั้ง 3 ไอโซเมอร์ ได้แก่ ออร์โทไซลีน (o-Xylene) เมทาไซลีน (m-Xylene) และพาราไซลีน (p-Xylene) โดยเตรียมกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) 5 ระดับความเข้มข้น ที่ความเข้มข้นระดับ 0.5 1 2.5 5 และ 10 ส่วนในล้านส่วน (Part per million; ppm) ดังตารางที่ 13 โดยเตรียมจากสารละลาย Working standard ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน (สารละลายมาตรฐาน BTEX Standard เข้มข้น 2,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ในเมทธานอล เกรด HPLC ปริมาตร 900 ไมโครลิตร) ทำโดยตัดปลายทั้งสองด้านของหลอดดูดซับชนิด Coconut shell charcoal จากนั้น spike สารละลาย Working standard ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตรตามแต่ละความเข้มข้นทางส่วนหน้า (Front) ของหลอดดูดซับ ปิดปลายทั้ง 2 ด้านของหลอดดูดซับด้วยฝาปิดผนึก พันพาราฟิล์ม ท่อพอยล์ และเก็บในถุงซิปล็อก ทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ฟอสฟอรัส ( $\text{CS}_2$ ) โดยนำตัวดูดซับส่วนหน้า (Front) และตัวดูดซับส่วนหลัง (Back) พร้อมใยแก้ว (Glass wool) ใส่ในขวดแก้วสีชาขนาด 2 มิลลิลิตร ปิดคาร์บอนไดออกไซด์ฟอสฟอรัส ( $\text{CS}_2$ ) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปิดฝา ทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที และเขย่าเป็นระยะ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ที่มีตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออนเซชัน (GC-FID) (รูปที่ 29)

ตารางที่ 13 ปริมาตรการเตรียมสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX

ความเข้มข้นที่	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	ปริมาตรสุดท้าย (ไมโครลิตร)	ปริมาตร Working standard ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ที่ใช้ (ไมโครลิตร)
1	0.5	1,000	2.5
2	1	1,000	5
3	2.5	1,000	12.5
4	5	1,000	25
5	10	1,000	50

โดยสภาวะเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ที่มีตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออนเซชัน (GC-FID)ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สภาวะเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ที่มีตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออนเซชัน (GC-FID) สำหรับการวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX

รายการ (Parameter)	การตั้งค่า (Setting)
คอลัมน์	Capillary column Rtx-502.2 ยาว 105 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร พิล์มเคลือบคอลัมน์หนา 1.8 ไมโครเมตร
ก๊าซ	ก๊าซฮีเลียม (He) 99.999% ทำหน้าที่เป็นก๊าซตัวพา ก๊าซไฮโดรเจน (H <sub>2</sub> ) 99.999% ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิง ก๊าซไนโตรเจน (N <sub>2</sub> ) 99.999% ทำหน้าที่เป็น make up gas
ระบบฉีดตัวอย่าง	Spiltless mode
ปริมาตรฉีดตัวอย่าง	1 ไมโครลิตร
อุณหภูมิหัวฉีด	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิตัวตรวจวัด	260 องศาเซลเซียส
รายการอุณหภูมิ	เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่ออนาที และคงที่ 4 นาที
ชนิดตัวตรวจวัด	เฟรมไอออนเซชัน (FID)

สารที่ฉีดเข้าในส่วนของหัวฉีด (Injector) จะกลายเป็นไอ และแตกตัวเป็นไอออน จากนั้นก๊าซฮีเลียมจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ โดยสารตัวอย่างจะแยกองค์ประกอบโดยอาศัยความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารแต่ละชนิดบนสารเคลือบคอลัมน์ ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด โครงสร้างสาร หรือคุณสมบัติความเป็นขั้วของสาร จากนั้นสารที่แยกได้จะผ่านเข้าสู่ตัวตรวจวัด (Detector) และแปรผลที่ได้ออกมาในรูปของโครมาโตแกรม (Chromatogram) ซึ่งเป็นสัญญาณที่แสดงค่าการตอบสนองของสารแต่ละชนิดในระยะเวลา (Retention time; RT) ที่อยู่ในคอลัมน์ที่แตกต่างกัน

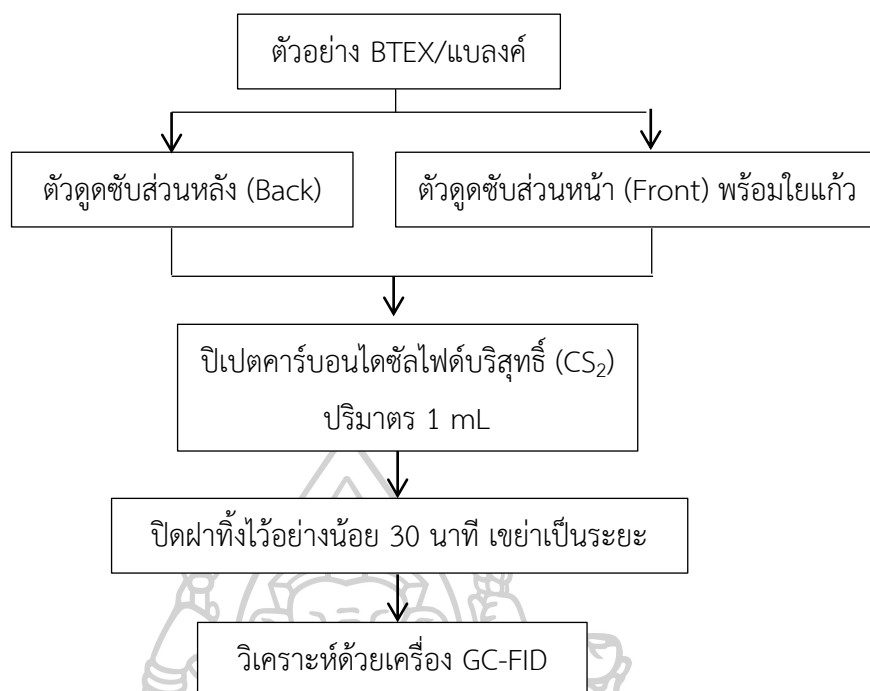
สร้างกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น ทำการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient;  $r^2$ ) ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 0.995



รูปที่ 29 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟิ้อ Agilent รุ่น 7890

### 3.5.3 การสกัดตัวอย่าง BTEX และแบลงค์

การสกัดสารกลุ่ม BTEX และแบลงค์ อ้างอิงตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH 1501 โดยการนำตัวดูดซับภายในหลอดดูดซับ ใส่ขวดแก้วขนาด 2 มิลลิลิตร แยกเป็นส่วนหน้า (Front) และส่วนหลัง (Back) โดยที่ฉนวนใยแก้ว (Glass wool) สกัดร่วมกับตัวดูดซับส่วนหน้า จากนั้นปิเปตคาร์บอนไดซัลไฟด์บริสุทธิ์ ( $CS_2$ ) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นสารชะตัวอย่างออกจากตัวดูดซับใส่ในขวดแก้วที่มีตัวดูดซับส่วนหน้าและส่วนหลังอยู่ ปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เขย่าเป็นระยะ ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานมาตรฐาน โดยขั้นตอนการสกัดสารกลุ่ม BTEX สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 วิธีสกัดตัวอย่าง BTEX และแบลงค์

### 3.5.4 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control; QC)

#### 3.5.4.1 ตรวจสอบประสิทธิภาพของหลอดดูดซับ (Desorption efficiency; DE)

ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของหลอดดูดซับ โดยทำการตรวจสอบอย่างน้อย 1 ครั้ง ในแต่ละชุดของหลอดดูดซับ ทำโดยเตรียมหลอดดูดซับสำหรับสารมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 3 หลอด และสำหรับแบลงค์ 3 หลอด ฉีดสารละลายมาตรฐานเข้าทางส่วนหน้าของแต่ละหลอดดูดซับ ปิดฝาและพันพาราฟิล์มตรงส่วนปลายของหลอดทั้งสองด้าน และส่วนหลัง ทิ้งไว้ทั้งคืน จากนั้นนำไปสกัดด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์บริสุทธิ์ ( $CS_2$ ) และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง โดยพิจารณาและการรายงานค่าจากปริมาณมวลสารที่พบในตัวดูดซับส่วนหน้า ( $W_f$ ) และตัวดูดซับส่วนหลัง ( $W_b$ ) โดยหากปริมาณมวลสารที่พบในตัวดูดซับส่วนหลังมากกว่าปริมาณมวลสารที่พบในตัวดูดซับส่วนหน้าเกินร้อยละ 10 ให้รายงานว่าเกิดการทะลุผ่าน (Breakthrough) ของสารจากส่วนหน้าไปยังส่วนหลัง (NIOSH, 2003)

### 3.5.4.2 การวิเคราะห์ซ้ำ (Duplication)

ทำการวิเคราะห์ซ้ำทุกๆ 10 ตัวอย่าง โดยที่ความแตกต่างสัมพัทธ์ (%Relative percent difference; %RPD) ควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 20 หากไม่อยู่ในเกณฑ์ให้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างนั้นซ้ำอีกครั้ง

### 3.5.4.3 วิเคราะห์สารมาตรฐานที่ความเข้มข้นกึ่งกลางของกราฟมาตรฐาน (Continuing Calibration Standard; CCS)

ทำการวิเคราะห์สารมาตรฐานที่ความเข้มข้นกึ่งกลางของกราฟมาตรฐานโดยมีเกณฑ์การยอมรับที่ร้อยละ 20 ของค่าจริง หากไม่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับต้องสร้างกราฟมาตรฐาน และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างชุดนั้นใหม่

### 3.5.5 การคำนวณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX

ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$C = \frac{\text{ความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง (มก./ล.)} \times 10^{-3} \times \text{ปริมาตรสารเซตัวอย่าง (มล.)}}{V_{STP} \text{ (ลบ.ม./ล.)}} \quad \text{---- (3)}$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX (มก./ลบ.ม.)

$V_{STP}$  คือ ปริมาตรอากาศมาตรฐาน คำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$\frac{P_{real} V_{real}}{P_{real}} = \frac{P_{STP} V_{STP}}{T_{STP}} \quad \text{----- (4)}$$

โดยที่  $P_{real}$  คือ ความดันบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง (มิลลิเมตรปรอท)

$V_{real}$  คือ ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (ลิตร) ซึ่งได้จากการคูณอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ (ลิตรต่อนาที) กับระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (นาที)

$T_{real}$  คือ อุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่าง (เคลวิน)



P <sub>STP</sub>	คือ ความดันมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท
V <sub>STP</sub>	คือ ปริมาตรอากาศมาตรฐาน (ลิตร)
T <sub>STP</sub>	คือ อุณหภูมิมาตรฐาน (298 เคลวิน)

### 3.6 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส

ในขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เป็นกระบวนการในการประเมินค่าความน่าจะเป็นในเชิงปริมาณของผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ โดยในการศึกษานี้หมายถึง การประเมินความน่าจะเป็นของผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่าง นกมวย ในกรณีที่เลวร้ายที่สุด (Worse case) จากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจ โดยมีวิธีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ตามวิธีของ US EPA (United States Environmental Protection Agency) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

#### 3.6.1 การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification)

การบ่งชี้อันตรายเป็นกระบวนการประเมินในเชิงคุณภาพ เพื่อบ่งชี้ชนิดหรือลักษณะในการออกฤทธิ์อื่นจะก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อสุขภาพ โดยในการศึกษานี้เก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ โดยเมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพในแง่ความสามารถในการก่อมะเร็งของสารกลุ่ม BTEX นั้น องค์กร IARC หรือ International Agency for Research on Cancer ซึ่งเป็นองค์กรที่ทำหน้าที่วิจัย ประเมิน และจัดกลุ่มสารก่อมะเร็ง สามารถแบ่งสารกลุ่ม BTEX ตามความสามารถในการเป็นพิษ ไว้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ความสามารถในการก่อมะเร็งของสารกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX	การจัดกลุ่มโดย IARC	ลักษณะการก่อมะเร็ง
เบนซีน	1	ก่อมะเร็งในมนุษย์
โทลูอีน	3	ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่
เอทิลเบนซีน	2B	อาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
ไซลีน	3	ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่

ดังนั้นในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างในการศึกษานี้ สามารถแบ่งการประเมินความเสี่ยงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) สารไม่ก่อมะเร็ง (non carcinogenic) ประกอบด้วย โทลูอิน และไซลีน 2) สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ประกอบด้วย เบนซีน และเอทิลเบนซีน โดยเบนซีน และเอทิลเบนซีนนั้น จะทำการประเมินทั้งแบบไม่ก่อมะเร็ง และก่อมะเร็ง เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ทั้งแบบไม่ก่อมะเร็ง และแบบก่อมะเร็ง

### 3.6.2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ (Does - Response Assessment)

การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่ม BTEX จากการเก็บตัวอย่างที่เกิดขึ้นในขณะที่ยูขายทำการปิ้งย่างเนื้อสัตว์กับการตอบสนองต่อสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดขึ้นกับสุขภาพ ซึ่งเนื่องจากสารกลุ่ม BTEX นั้นเป็นทั้งสารที่มีฤทธิ์ในการไม่ก่อมะเร็ง และก่อมะเร็ง จึงจะพิจารณาทั้งแบบไม่ก่อมะเร็ง และก่อมะเร็ง โดยการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับสำหรับสารกลุ่มไม่ก่อมะเร็ง จะใช้ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration;  $R_fC$ ) และสำหรับสารกลุ่มก่อมะเร็ง จะใช้ค่าความเป็นพิษในการก่อมะเร็ง (Slope factor; SF) ในการประเมิน โดยได้รวบรวมค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration;  $R_fC$ ) และค่าความเป็นพิษในการก่อมะเร็ง (Slope factor; SF) ของสารกลุ่ม BTEX ไว้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration;  $R_fC$ ) และค่าความเป็นพิษในการก่อมะเร็ง (Slope factor; SF) ของสารกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX	ค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference concentration; $R_fC$ ) มก./ลบ.ม.	ค่าความเป็นพิษในการก่อมะเร็ง (Slope factor; SF) (มก./ลบ.ม.)
เบนซีน	0.03	0.029
โทลูอิน	5	-
เอทิลเบนซีน	1	$3.85 \times 10^{-3}$
ไซลีน	0.1	-

### 3.6.3 การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)

การประเมินการได้รับสัมผัส คำนวณได้จากปริมาณที่ผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่าง นักมวยได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจโดยเฉลี่ยต่อวัน หรือค่า ADI (Average daily intake;  $ADI = (C \times ET \times EF \times ED)/AT$ ) โดยรวบรวมความหมาย และที่มาของตัวแปรไว้ในตารางที่ 17 เพื่อนำค่าที่ได้จากการประเมินการได้รับสัมผัสไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจต่อไป

ตารางที่ 17 ความหมาย และที่มาของตัวแปรในสมการการคำนวณปริมาณการได้รับเฉลี่ยต่อวัน (ADI)

ตัวแปร	ความหมาย	แหล่งที่มาของข้อมูล
C	ความเข้มข้นของสารที่ปนเปื้อนในอากาศ (มก./ลบ.ม.)	ผลจากการศึกษาที่ได้จากการศึกษา
ET	เวลาในการได้รับสัมผัสอากาศที่ปนเปื้อน (ชั่วโมงต่อวัน)	การสัมภาษณ์ผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างนักมวย
EF	ความถี่ของการได้รับสัมผัส (วันต่อปี)	การสัมภาษณ์ผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างนักมวย
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ปี)	การสัมภาษณ์ผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างนักมวย
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัส (วัน) มี 2 กรณี 1)ระยะเวลาเฉลี่ยตลอดอายุขัยสำหรับสารก่อมะเร็ง (AT = 70 ปี x 365 วัน) 2)ระยะเวลาเฉลี่ยตามที่ได้รับสัมผัสสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง (AT = ED x 365 วัน)	การสัมภาษณ์ผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างนักมวย

### 3.6.4 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงเป็นขั้นตอนการนำข้อมูล และผลการวิเคราะห์จากทั้ง 3 ขั้นตอนแรก มาใช้ในการอธิบายลักษณะความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ทั้งสารกลุ่ม BTEX ในกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-cancer risk) และกลุ่มสารก่อมะเร็ง (cancer risk) โดยการอธิบายลักษณะความเสี่ยงของสารกลุ่มไม่ก่อมะเร็ง ได้จากการคำนวณค่าดัชนีความอันตราย (Hazard quotient; HQ) ของสารในกลุ่มแต่ละชนิด รวมทั้งหาค่าความเสี่ยงรวม (Hazard

index; HI) ของการรับสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็งจากผลรวมค่าดัชนีอันตราย และสำหรับการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงของสารในกลุ่มก่อมะเร็งนั้นใช้ผลจากการคำนวณค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารก่อมะเร็ง (Cancer risk) ในการอธิบาย

### 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลของฝุ่นละอองและสารกลุ่ม BTEX ในสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> PM<sub>2.5</sub> และสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ บั้นท้ายไก่ และเครื่องในไก่ย่างด้วยเตาถ่านไม้เชื้อเพลิงของร้านหมูย่าง และนำความเข้มข้นที่ได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการประกอบอาชีพของผู้ขายจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจ ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 4.1 ข้อมูลทั่วไปในการปิ้งย่างเนื้อสัตว์

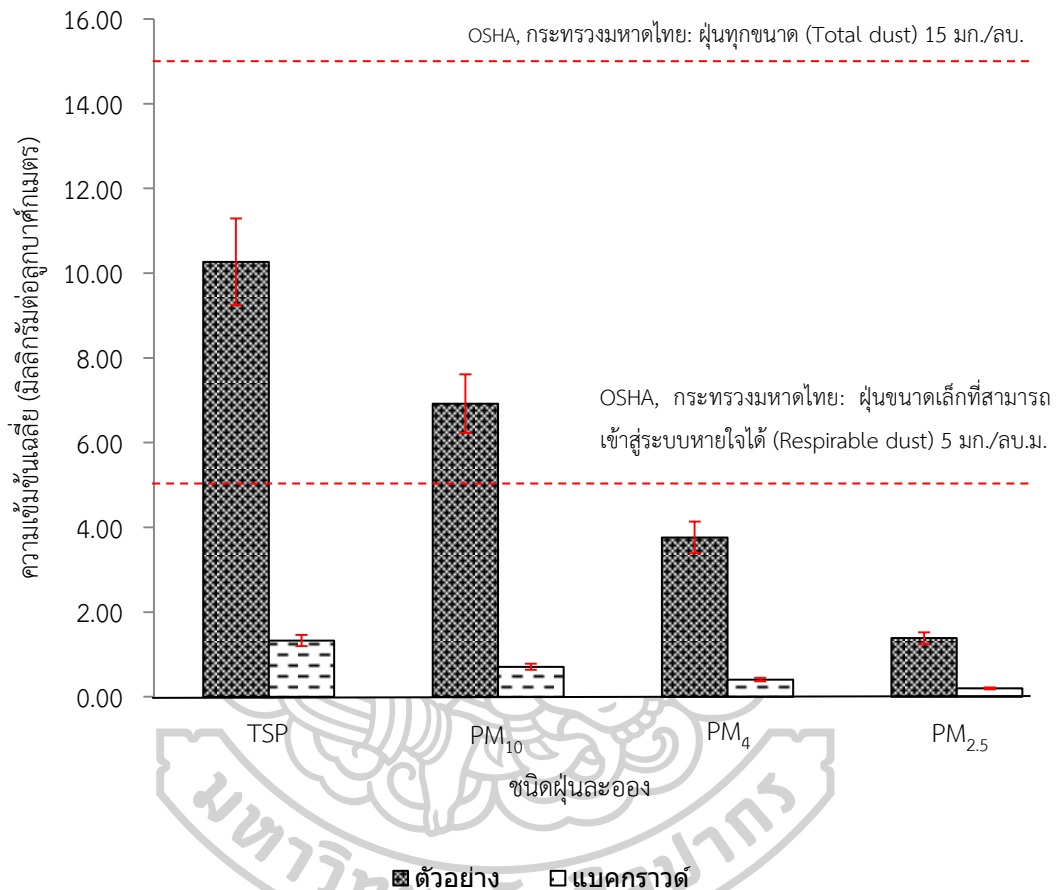
ร้านปิ้งย่างขายเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ บั้นท้ายไก่ และเครื่องในไก่ย่าง โดยจำนวนและลักษณะของเนื้อสัตว์ในการปิ้งย่างในแต่ละวันแสดงดังตารางที่ 18 ซึ่งในแต่ละครั้งใช้ถ่านไม้เชื้อเพลิงประมาณวันละ 3 กิโลกรัม และใช้เวลาในการปิ้งย่างวันละ 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 18 จำนวนและลักษณะของเนื้อสัตว์ในการปิ้งย่าง

ชนิดเนื้อสัตว์	จำนวน (ไม้/วัน)		จำนวนชิ้นต่อหนึ่งไม้ (ชิ้น)	ขนาดเนื้อสัตว์ต่อชิ้น (เซนติเมตร)		
	วันธรรมดา (จันทร์ - ศุกร์)	วันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์)		กว้าง	ยาว	หนา
เนื้อหมู	900	450	4	2	1	0.5
เนื้อไก่	300	150	4	3	2	0.5
ปีกไก่	300	150	1	4	14.2	1.2
ตับไก่	300	150	2	2.5	3.5	1
ก้นไก่	300	150	4	2.5	1.5	1.5
บั้นท้ายไก่	300	150	3	3	1.5	1.5
หัวใจไก่	300	150	5	3	1.5	0.5

## 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ความเข้มข้นเฉลี่ยของ TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ระหว่างการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ บั้นท้ายไก่ และเครื่องในไก่ ได้ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับค่ากำหนดการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปิ้งย่างเนื้อสัตว์ของร้านหมูย่างเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองทั้ง 4 ชนิด สืบเกิดได้จากความเข้มข้นของฝุ่นแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นขณะปิ้งย่างมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นพื้นฐาน (Background Condition) ที่ไม่มีการปิ้งย่าง

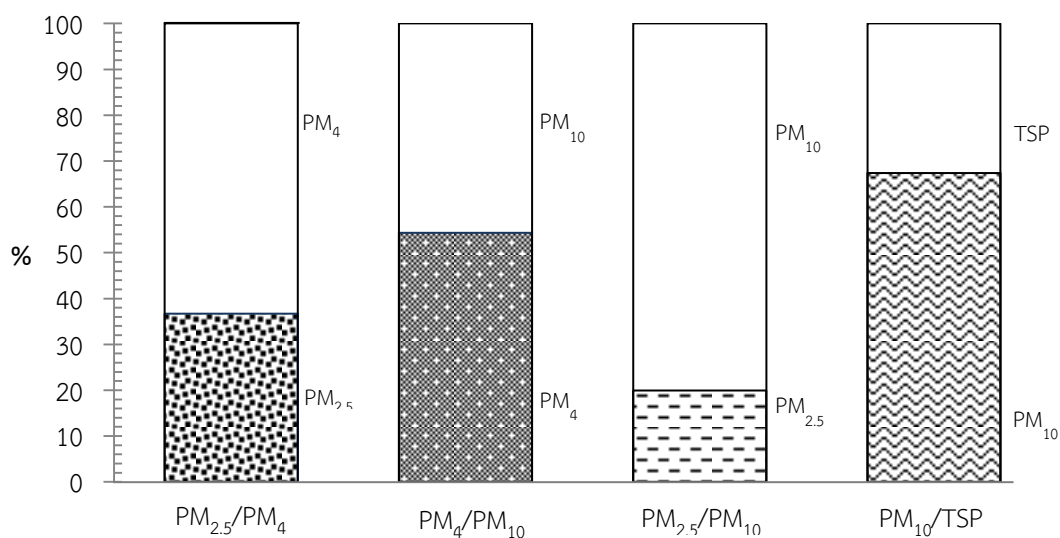
เมื่อนำผลจากการตรวจวัดความเข้มข้นของ TSP PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นทุกชนิดที่เกิดจากกิจกรรมปิ้งย่างเนื้อสัตว์ร้านหมูย่างนั้นกมยมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ตามประกาศคณะกรรมการ



สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ แต่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TSP จากการศึกษาในครั้งนี้กับค่าขีดจำกัดการได้รับสัมผัสฝุ่นทุกขนาด (Total dust) ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2515 และของ OSHA (2012) ซึ่งกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม พบว่ามีค่าไม่เกินขีดจำกัดการได้รับสัมผัส (รูปที่ 31) และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> จากการศึกษาครั้งนี้กับขีดจำกัดการได้รับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2515 และของ OSHA (2012) ซึ่งหมายถึงอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร แขนงลอยในอากาศที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และสามารถเข้าถึงและสะสมในบริเวณพื้นที่แลกเปลี่ยนอากาศของปอด พบว่ามีค่าเกินค่ามาตรฐานขีดจำกัดการได้รับสัมผัส ซึ่งอาจก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะทางเดินหายใจตอนบน

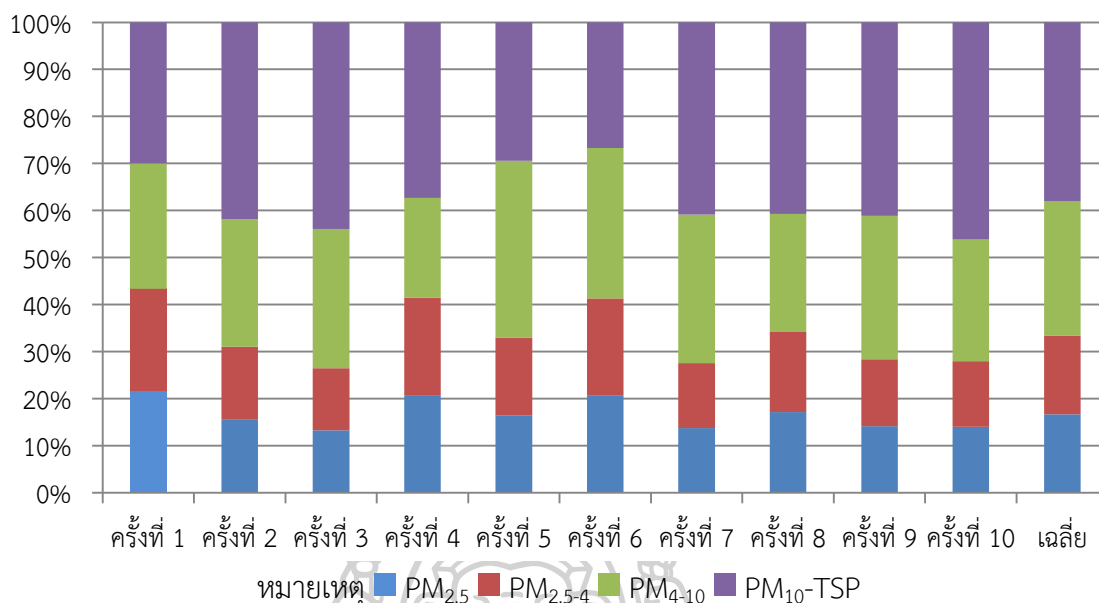
เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับการศึกษาของคมสันต์ แรงจบ (2554) พบว่าความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> ในการศึกษาครั้งนี้สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของฝุ่นขึ้นอยู่กับระยะห่างและความสูงของเครื่องมือเก็บตัวอย่างจากแหล่งกำเนิด ซึ่งการศึกษาของคมสันต์เก็บตัวอย่างที่ระยะห่างจากจุดบึงย่าง 2 เมตร ระดับความสูง 1.5 เมตร เป็นการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่เก็บตัวอย่าง ณ แหล่งกำเนิด ที่ความสูงเหนือเตาบึงย่าง 78 เซนติเมตร จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้พบความเข้มข้นสูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับผลศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ของบุษกร เลิศภาณุมาศ, อังกศิริ ทิพยารมณ, ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช, ดนุ ธวัช ทิพยารมณ, and อุมารัจน์ สันติสุขเกษม (2559) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างร้านหมูนกมวยเช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ แต่แตกต่างกันในลักษณะการเก็บตัวอย่างซึ่งเก็บแบบบุคคล พบว่าในการศึกษาครั้งนี้มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> สูงกว่า เนื่องมาจากลักษณะการเก็บตัวอย่างของการศึกษานี้เป็นการเก็บตัวอย่างบริเวณเหนือพัดลมดูดควันในระยะ 78 เซนติเมตร ซึ่งใกล้แหล่งกำเนิดส่งผลให้ตรวจพบระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> สูงกว่าในลักษณะการเก็บตัวอย่างซึ่งเก็บแบบบุคคล นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ณ แหล่งกำเนิด อาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิง ชนิดและลักษณะของเนื้อสัตว์ รูปแบบของเตาบึงย่าง ระยะเวลาที่ใช้ในการบึงย่าง ซึ่งส่งผลต่อระดับความเข้มข้นของฝุ่นที่เกิดขึ้นเช่นกัน

การวิเคราะห์สัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>4</sub> PM<sub>4</sub>/PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> และ PM<sub>10</sub>/TSP เพื่อศึกษาขนาดฝุ่นส่วนใหญ่ที่เกิดจากการบึงย่างด้วยเตาถ่าน โดยผลจากการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กแสดงดังรูปที่ 32 และรูปที่ 33 แสดงสัดส่วนของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการบึงย่างเนื้อสัตว์ในแต่ละครั้ง



รูปที่ 32 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์

จากรูปที่ 32 ค่าสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}/PM_4$   $PM_4/PM_{10}$   $PM_{2.5}/PM_{10}$  และ  $PM_{10}/TSP$  เท่ากับร้อยละ 36.70 54.34 19.94 และ 67.38 ตามลำดับ จะเห็นว่าในฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) นั้น ส่วนใหญ่เป็น  $PM_{10}$  (เฉลี่ยร้อยละ 67.38) โดยใน  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัดในการศึกษานี้ประกอบด้วยฝุ่นขนาด 2.5-4 ไมครอน 4-10 ไมครอน และขนาด <2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) โดยฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอน (รวมร้อยละ 74.28 ของ  $PM_{10}$ ) สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างลงไปหลอดลม (Trachea) และหลอดลมปอด (Bronchi) แต่ร่างกายมีกลไกการกำจัดโดยที่เซลล์เยื่อหุ้มหลอดลมจะสร้างเมือก (Mucus) เพื่อดักจับ และขับออกจากทางเดินหายใจโดยการพัดโบกของซิเลีย ซึ่งเป็นกลไกแรกในการกำจัดฝุ่นที่ไม่ละลายในหลอดลม ส่วนฝุ่นขนาด  $PM_{2.5}$  มีขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่หลอดลมปอดส่วนปลาย และพื้นที่การแลกเปลี่ยนก๊าซภายในถุงลมปอด (ร้อยละ 19.94 ของ  $PM_{10}$ ) ร่างกายสามารถกำจัดด้วยกลไกการกำจัดของถุงลมปอด (Alveolar clearance) ในขณะที่ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกดักจับอยู่ในโพรงจมูกโดยซิเลีย (Cilia) จะสร้างเมือกเพื่อกรองและดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ แล้วขับออกด้วยการไอ จาม หรือขับออกในรูปของเสมหะ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการสัมภาษณ์ผู้ขายเกี่ยวกับอาการตอบสนองอย่างเฉียบพลันต่อการได้รับสัมผัสฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ ซึ่งพบว่ามีเพียงอาการไอ จาม หรือมีเสมหะ ซึ่งเป็นอาการแสดงที่เกิดกลไกการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองออกจากร่างกาย



รูปที่ 33 สัดส่วนของฝุ่นละอองที่เกิดจากการบึงยางเนื้อสัตว์ในแต่ละครั้ง

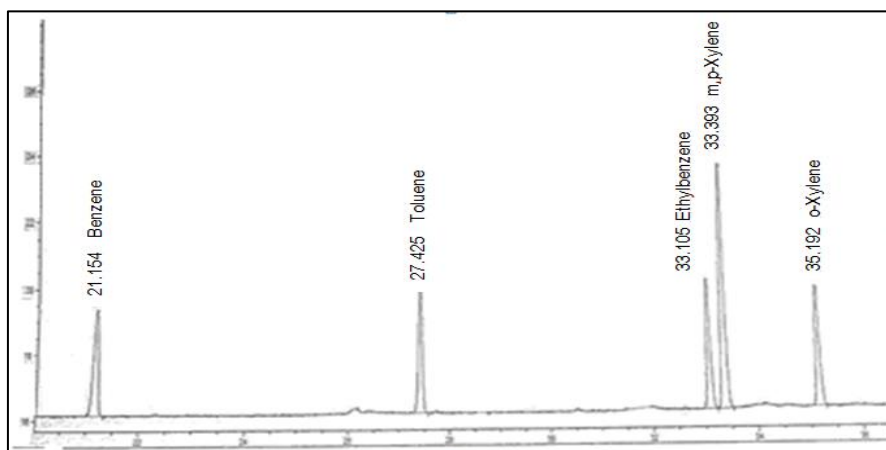
อย่างไรก็ตาม เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นขนาดต่าง ๆ เกินกว่าที่กลไกจะกำจัดได้หมด อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายขึ้น โดยจากการศึกษานี้พบว่า เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> จากการศึกษาที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานขีดจำกัดการได้รับสัมผัสตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2515 และของ OSHA (2012) (เฉลี่ยร้อยละ 67.38 ของ TSP) ซึ่งอาจก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง บริเวณหลอดลม (Trachea) และหลอดลมปอด (Bronchi)

โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของคมสันต์ แรงจบ (2554) ซึ่งพบสัดส่วนของฝุ่นละออง (<5 ไมครอน) ต่อฝุ่นขนาดเล็ก (5-10 ไมครอน) มากกว่าร้อยละ 50 โดยคิดเป็นร้อยละ  $77.55 \pm 9$  สำหรับการย่างไก่ คิดเป็นร้อยละ  $74.4 \pm 5$  สำหรับการย่างปลา และคิดเป็นร้อยละ  $72.2 \pm 6$  สำหรับปิ้งหมู ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ ซึ่งพบสัดส่วนของของฝุ่นละออง (<4 ไมครอน) ต่อฝุ่นขนาดเล็ก (4-10 ไมครอน) มากกว่าร้อยละ 50 เช่นกัน โดยในการศึกษานี้คิดเป็นร้อยละ  $54.4 \pm 6.6$

#### 4.3 ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX

จากการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกลุ่ม BTEX ซึ่งประกอบด้วยเบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) เมทา,พารา-ไซลีน (m,p-Xylene) และออร์โธ-ไซลีน

(o-Xylene) ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี ตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออนเซชัน (Gas Chromatography Flame Ionization Detector; GC-FID) ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 ส่วนในล้านส่วน แสดงดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 โครมาโตแกรมสารละลายมาตรฐานกลุ่ม BTEX ความเข้มข้น 2.5 ส่วนในล้านส่วน

เมื่อนำค่าการตอบสนอง (Response) ของสารกลุ่ม BTEX เทียบกับระดับความเข้มข้นที่ 0.5, 1, 2.5, 5 และ 10 ส่วนในล้านส่วน ในกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารละลายมาตรฐานกลุ่ม BTEX ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient;  $r^2$ ) ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ระดับ 0.995 โดยค่ารีเทนชันไทม์ (Retention time; RT) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient;  $r^2$ ) กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานกลุ่ม BTEX แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 รีเทนชันไทม์ (Retention time; RT) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient;  $r^2$ ) ของสารละลายมาตรฐานกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX	รีเทนชันไทม์ (นาที)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r^2$ )
เบนซีน	21.154	0.99938
โทลูอีน	27.425	0.99836
เอทิลเบนซีน	33.105	0.99795
เมทา, พารา ไซลีน	33.393	0.99761
ออร์โธไซลีน	35.192	0.99799

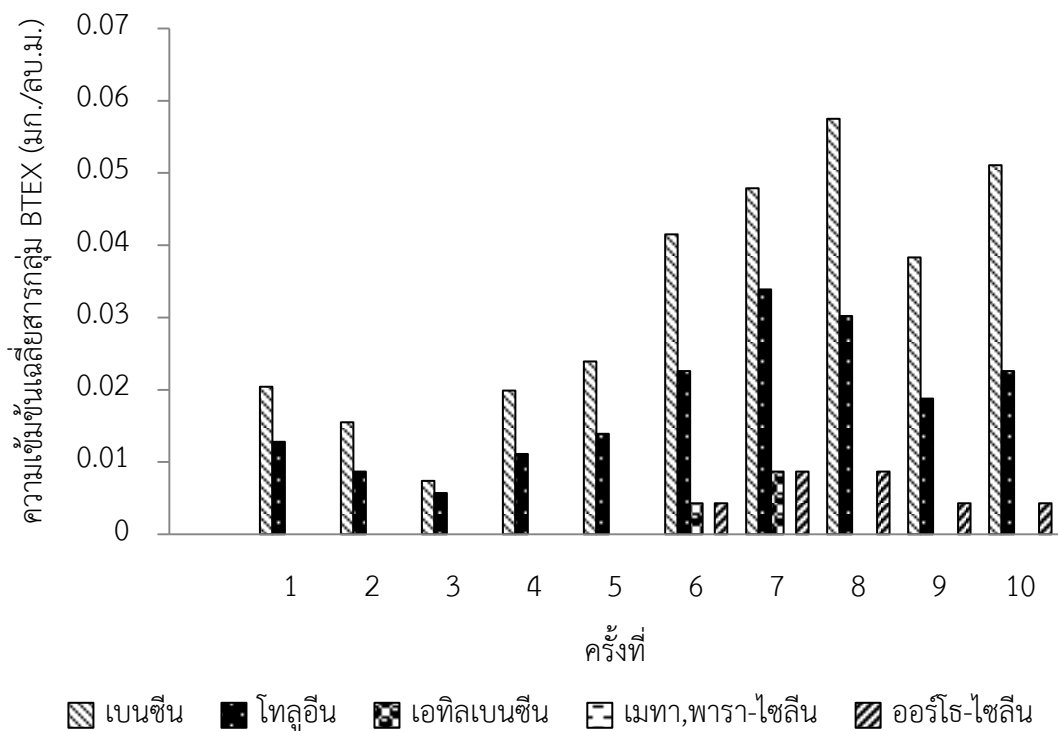
จากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จำนวน 10 ตัวอย่าง ขณะปิ้งย่างเนื้อสัตว์ประเภท เนื้อหมู เนื้อไก่ ปีก เครื่องใน และบันท้ายไก่อย่างจากร้านหมูย่างนั้กมวย พบค่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดขึ้นระหว่างการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ของร้านหมูย่างนั้กมวย แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	เมทา,พารา-ไซลีน	ออร์โธ-ไซลีน
1	0.0204	0.0128	N.D	N.D	N.D
2	0.0155	0.0087	N.D	N.D	N.D
3	0.0074	0.0057	N.D	N.D	N.D
4	0.0199	0.0111	N.D	N.D	N.D
5	0.0239	0.0139	N.D	N.D	N.D
6	0.0415	0.0226	0.0043	N.D	0.0043
7	0.0479	0.0339	0.0087	N.D	0.0087
8	0.0575	0.0302	N.D	N.D	0.0087
9	0.0383	0.0188	N.D	N.D	0.0043
10	0.0511	0.0226	N.D	N.D	0.0043
ค่าเฉลี่ย	0.0323	0.0180	0.0030	0.0022	0.0041
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0162	0.0088	0.002	0.0000	0.0025
ค่าต่ำสุด (Min)	0.0047	0.0057	<0.0043	<0.0043	<0.0043
ค่าสูงสุด (Max)	0.0576	0.0339	0.0087	<0.0043	0.0087
ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้	0.0032	0.0038	0.0043	0.0043	0.0043
<b>ขณะที่ไม่มีการปิ้งย่าง (ค่าความเข้มข้นพื้นฐาน)</b>					
1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
2	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

โดย N.D หมายถึง Not detectable หรือความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าที่สามารถตรวจวัดได้ โดยในการคำนวณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX จะใช้ค่า DL/2 มาใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าที่สามารถตรวจวัดได้ (Not detectable ;N.D)

ผลความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX จากการตรวจวัด เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ เบนซีน>โทลูอิน>ออร์โธ-ไซลีน>เอทิลเบนซีน และเมทา,พารา-ไซลีน ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $0.0323 \pm 0.0162$   $0.0180 \pm 0.0088$   $0.0041 \pm 0.0025$   $0.0030 \pm 0.0002$  และ  $0.0022 \pm 0.0000$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 35 และจากการตรวจวัดความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในขณะที่ไม่มีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ (ค่าความเข้มข้นพื้นฐาน) พบว่า ตรวจไม่พบสารกลุ่ม BTEX ในบริเวณดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ เครื่องในไก่ และชั้นไขมันของร้านหมูย่างเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดกลุ่ม BTEX ปล่อย่อยออกสู่บรรยากาศ

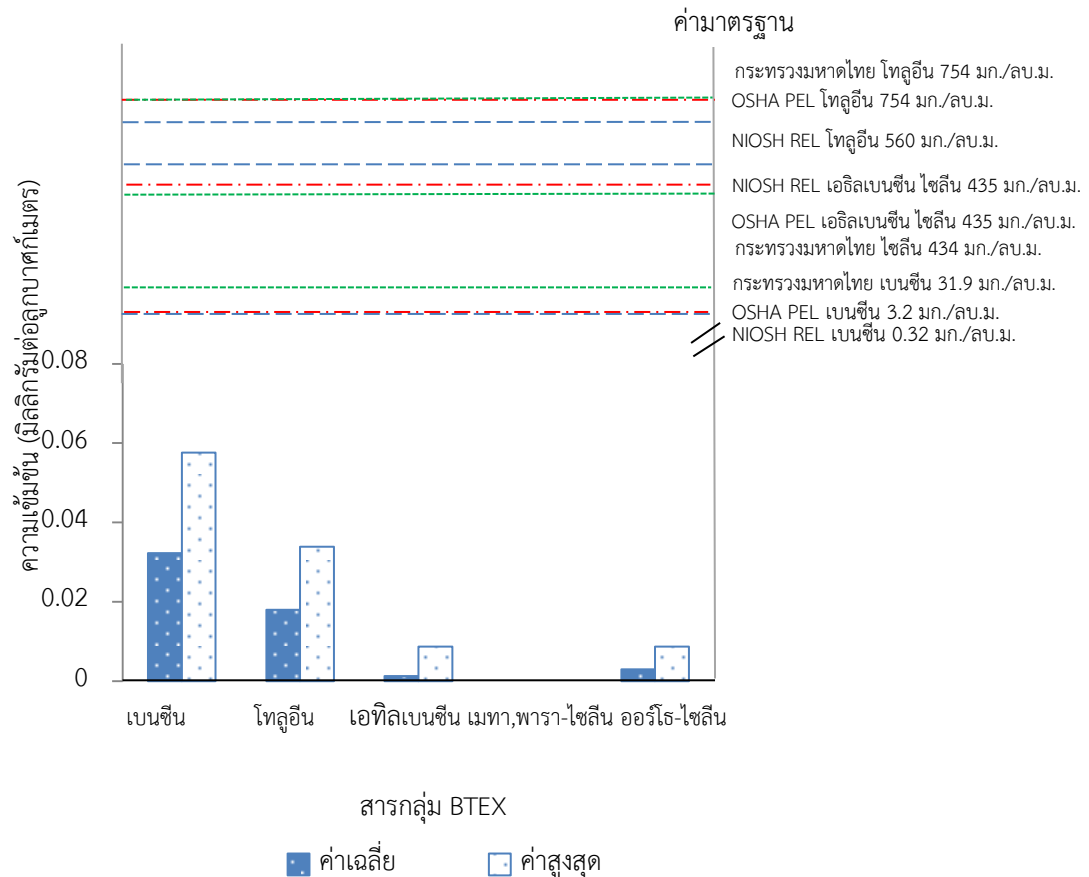


รูปที่ 35 ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ของร้านหมูย่าง



ผลการศึกษาปริมาณสารกลุ่ม BTEX จากกิจกรรมปิ้งย่างสอดคล้องกับหลาย การศึกษาที่แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการปิ้งย่างเป็นแหล่งกำเนิดของสารมลพิษกลุ่ม BTEX เข้าสู่ บรรยากาศ เช่น การศึกษาของ Kim and Lee (2012) ซึ่งเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ภายนอกร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีกับร้านอาหารที่ไม่มี การปิ้งย่าง โดยเก็บตัวอย่างในระยะห่างจากร้าน 30 เมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศภายนอกร้านอาหารที่มีการปิ้งย่างเนื้อสัตว์สูงกว่าบรรยากาศภายนอกร้านอาหารที่ไม่มี การปิ้งย่างเนื้อสัตว์ แต่ความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบจากความเข้มข้นสูงไปต่ำดังนี้ โทลูอิน>เบนซีน>เอทิลเบนซีน>เมทา,พารา-ไซลีน>ออร์โธ-ไซลีน ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0042 0.0030 0.0016 และ 0.0008 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษานี้ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Alves et al. (2014) ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นของ สารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดสารอะโรมาติก (Aromatic) ที่ปลดปล่อยออกจากปล่องของร้านไก่ย่าง และร้านหมูย่างที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง พบสารอะโรมาติกที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ สารกลุ่ม BTEX โดยเบนซีนมีปริมาณสูงที่สุดซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่ตรวจพบเบนซีนในปริมาณสูงสุดจาก กิจกรรมปิ้งย่างของร้านหมูย่างในการศึกษานี้

เมื่อนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดของสารกลุ่ม BTEX ที่ได้จากการปิ้ง ย่างตลอดระยะเวลาการทำงานของผู้ขายร้านหมูย่าง ซึ่งมีระยะเวลาการทำงานวันละ 4 ชั่วโมงต่อวัน เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ใช้เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานใน ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (Recommended exposure limit; REL) ของ OSHA ค่าความเข้มข้นสูงสุด ของสารกลุ่ม BTEX ที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (Permissible exposure limit; PEL) ของ NIOSH และขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานสำหรับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ตลอดระยะเวลาการ ทำงานปกติ ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะ แวดล้อม (สารเคมี) ฉบับที่ 103 ได้ผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 ความเข้มข้นเฉลี่ย และค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารกลุ่ม BTEX จากกิจกรรมปิ้งย่างเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจากองค์กรต่าง ๆ

จากรูปที่ 36 จะเห็นว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดของสารแต่ละชนิดในกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากการปิ้งย่างไม่เกินค่าขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง (Recommended exposure limit; REL) ของ OSHA ค่าความเข้มข้นสูงสุดของกลุ่ม BTEX ที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (Permissible exposure limit; PEL) ของ NIOSH และไม่เกินขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานสำหรับการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ฉบับที่ 103 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดจากกิจกรรมปิ้งย่างเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมู เนื้อไก่ ปีกไก่ เครื่องในไก่ และบั้นท้ายไก่ของร้านหมูย่างไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

#### 4.4 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจตลอดระยะเวลาที่มีการปิ้งย่าง โดยประเมินความเสี่ยงในกรณีที่ผู้ขายจะได้รับสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยตรงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการประกอบอาชีพ ผ่านการหายใจ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพตามวิธีของ US EPA โดยแบ่งการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) สารไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogenic agent) ประกอบด้วย เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน (2) สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic agent) ประกอบด้วย เบนซีน และเอทิลเบนซีน โดยเบนซีนและเอทิลเบนซีน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ทั้งแบบก่อและไม่ก่อมะเร็ง

โดยประเมินความเข้มข้นเฉลี่ยจากการรับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจต่อวัน (Average daily intake; ADI) ซึ่งได้ข้อมูลส่วนหนึ่งจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างนักรมย ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นที่ผู้ขายได้รับสัมผัสต่อวันแสดงดังตารางที่ 21 และเมื่อนำค่าจากตารางที่ 21 มาคำนวณหาค่า ADI ได้ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 21 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่า ADI

ตัวแปร	ค่าที่ใช้	หน่วย
C	เบนซีน = 0.0323 โทลูอิน = 0.0180 เอทิลเบนซีน = 0.0013 ไซลีน = 0.0063	มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ET	4	ชั่วโมง/วัน
EF	300	วัน/ปี
ED	6	ปี
AT	สารก่อมะเร็ง = 70 สารไม่ก่อมะเร็ง = 6	ปี

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 21 มาคำนวณหาค่า ADI ได้ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่า ADI ของผู้ประกอบการอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างน้กมวอย (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สารกลุ่ม BTEX	ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสต่อวัน (ADI)	
	แบบก่อมะเร็ง	แบบไม่ก่อมะเร็ง
เบนซีน	$3.80 \times 10^{-4}$	$4.43 \times 10^{-3}$
โทลูอิน	-	$2.47 \times 10^{-3}$
เอทิลเบนซีน	$1.53 \times 10^{-5}$	$1.80 \times 10^{-4}$
ไซลีน	-	$4.10 \times 10^{-4}$

จากนั้นนำค่า ADI ของสารกลุ่ม BTEX แต่ละชนิดที่ผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างได้รับสัมผัสทางการหายใจ มาอธิบายลักษณะความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของสารกลุ่มก่อมะเร็งด้วยค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) และสารกลุ่มไม่ก่อมะเร็งด้วยค่าความเป็นอันตราย (Hazard quotient; HQ) ของสารแต่ละชนิด และค่าดัชนีความเป็นอันตรายของสารกลุ่ม BTEX (Hazard Index; HI<sub>BTEX</sub>) ซึ่งผลจากการประเมินแสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการประเมินลักษณะความเสี่ยงต่อสุขภาพ

สารกลุ่ม BTEX	Cancer risk	ค่าที่ยอมรับได้	Non-cancer risk (HQ)	ค่าที่ยอมรับได้
เบนซีน	$1.10 \times 10^{-5}$	$<10^{-6}$	0.148	1
โทลูอิน	-	-	$4.94 \times 10^{-4}$	1
เอทิลเบนซีน	$1.36 \times 10^{-7}$	$<10^{-6}$	$4.14 \times 10^{-4}$	1
ไซลีน	-	-	$8.75 \times 10^{-3}$	1
			HI <sub>BTEX</sub> = 0.157	1

ความเสี่ยงแบบก่อมะเร็ง (Cancer risk) ของเบนซีนที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ  $1.10 \times 10^{-5}$  หรือ 11 คนต่อประชากร 1 ล้านคน ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีนที่ตรวจพบไม่เกินค่ามาตรฐานการได้รับสัมผัส แต่หากได้รับสัมผัสเบนซีนตลอดอายุขัย หรือได้รับสะสมในระยะเวลาอันยาวนานอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ หรือมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ส่วนความเสี่ยงแบบก่อมะเร็งของเอทิลเบนซีนที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ

$1.36 \times 10^{-7}$  หรือ 1 คนต่อประชากร 10 ล้านคน เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้น ผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างจึงไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการได้รับสัมผัสเอทิลเบนซีน อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการปิ้งย่างเนื้อสัตว์จะก่อให้เกิดสารกลุ่ม BTEX ทั้ง 4 ชนิด ออกมาพร้อมกัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างมีความเสี่ยงแบบก่่อมะเร็ง เนื่องจากเมื่อเบนซีนเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเมตาโบไลต์กลายเป็นสารตัวกลางชนิดต่าง ๆ โดยสารเมตาโบไลต์ที่เกิดขึ้นที่ตับจะเกิดการรวมตัวกับอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) และโปรตีนในร่างกายซึ่งจะถ่ายทอดไปยังไขกระดูก และอวัยวะ อื่น ๆ สารตัวกลางบางชนิดทำให้เกิดความสูญเสียสมรรถภาพในการทำงานของไขกระดูก และสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารก่่อมะเร็งได้ ส่วนเอทิลเบนซีน ซึ่งอยู่ในกลุ่ม 2B หรือสารเคมีที่อาจเป็นสารก่่อมะเร็งในมนุษย์หากได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน แต่จากการประเมินความเสี่ยงแบบก่่อมะเร็งพบว่าค่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นั่นคือไม่มีความเสี่ยงในการก่่อมะเร็งถึงแม้ได้รับสะสมตลอดอายุขัย เนื่องจากความเข้มข้นที่ผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างรับสัมผัสมีระดับต่ำพอที่ร่างกายสามารถขับออกจากร่างกายได้หมดในรูปของยูเรีย โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3.1 ชั่วโมง และช่วงที่เกิดขึ้นช้ามีค่าครึ่งชีวิต 25 ชั่วโมง โดยสารเมตาโบไลต์ในยูเรียที่เกิดขึ้นจากการได้รับสัมผัสผ่านกระบวนการหายใจจะเกิดขึ้นในเวลา 6-10 ชั่วโมง หลังจากการเริ่มรับสัมผัส

โดยผลการศึกษาที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้นเป็นผลจากการศึกษาในกรณีที่ผู้ชายจะได้รับสารกลุ่ม BTEX ที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยตรงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการประกอบอาชีพ ผ่านการหายใจ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า หากผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX โดยไม่มีการป้องกันจะเสี่ยงที่จะเกิดก่่อมะเร็งได้ ถึงแม้ร้านจะตั้งอยู่ในพื้นที่โล่งและมีปริมาณการสัญจรของยานพาหนะไม่มากนักก็ตาม ข้อมูลจากสังเกตและการสัมภาษณ์ผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง พบว่า ถึงแม้ผู้ชายมีการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลคือผ้าปิดจมูกเป็นบางครั้งในขณะปิ้งย่างเนื้อสัตว์ เพื่อลดโอกาสในการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในขณะปิ้งย่างเนื้อสัตว์ตามความเข้าใจของผู้ชายแล้วนั้น แต่เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ใช้เป็นเพียงผ้าปิดจมูกธรรมดา ซึ่งไม่สามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX หรือกรองอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นได้เลย และแม้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควันแบบพัดลมดูดควัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดโอกาสการได้รับสัมผัสในระดับหนึ่ง แต่รูปแบบลักษณะการดูดของพัดลมดูดควันจะเป็นการดูดเฉพาะหน้าเตา ซึ่งฝุ่นละอองสามารถกระจายไปบริเวณรอบ ๆ ได้ จึงทำให้ผู้ชายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างจึงยังมีโอกาสได้รับสารกลุ่ม BTEX จึงพบว่าผู้ชายมีอาการระคายเคืองจมูก แสบตา แสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะ ซึ่งเป็นอาการที่บ่งบอกถึงการตอบสนองอย่างเฉียบพลันต่อฝุ่นละอองหรือควันจากการปิ้งย่างที่ผู้ชายได้รับสัมผัส

แนวทางในการป้องกัน หรือการลดปริมาณการได้รับสัมผัสสารมลพิษผ่านทางหายใจ ที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานที่ผู้ขายสามารถปฏิบัติได้ไม่ยาก ดังนี้

- (1) เลือกใช้อุปกรณ์ และวัสดุต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานเนื้อสัตว์ เช่น อุปกรณ์ควบคุมควัน ที่เลือกใช้ควรเป็นครอบดูดควัน (Hood) หรือมีลักษณะเป็นพัดลมดูดควันที่มีปล่อง ส่งให้ควันลอยตัวได้สูงเกินระดับการหายใจ
- (2) เลือกใช้เตาปิ้งย่างที่ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในอัตราที่ต่ำ
- (3) เลือกใช้ถ่านไม้ที่มีคุณสมบัติในการก่อให้เกิดควัน สารอินทรีย์ระเหย หรือสารมลพิษ อื่น ๆ ในปริมาณน้อย
- (4) เปลี่ยนจากการใช้เตาถ่านเป็นเตาไฟฟ้า
- (5) สวมใส่หน้ากากหรืออุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลชนิดที่สามารถดูดซับสารพิษ หรือมี ประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ดี เช่น หน้ากากแบบคาร์บอนที่มี ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นส่วนประกอบ ซึ่ง มีคุณสมบัติในการดูดซับ สารอินทรีย์ และสามารถกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้อีกด้วย

วิธีการที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นแนวทางในการป้องกัน และลดความเสี่ยงในการได้รับ สัมผัสสารมลพิษที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานเนื้อสัตว์ทางการหายใจซึ่งผู้ขายสามารถปฏิบัติได้โดยไม่ต้อง ลงทุนมากนัก แต่จะก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพของผู้ขายได้อย่างคุ้มค่า

เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ทางหายใจของผู้ขาย เนื้อสัตว์กับอาชีพอื่น ๆ เช่น พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในเขตกรุงเทพมหานครจากการศึกษาของ ศศิธร เรืองตระกูล, ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์, and เดซี่ หมออ่อน (2556) โดยพื้นที่ศึกษาคือด่านบาง นานาและอโศก ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างการทำงาน 8 ชั่วโมง ช่วงเวลา 6.00 น. ถึง 14.00 น. ในวัน ศุกร์ และวันอาทิตย์ในฤดูฝน และฤดูแล้งในปี พ.ศ. 2554 – 2555 ผลการประเมินความเสี่ยง พบว่า มีความเสี่ยงแบบก่อกัมมันต์ ของสารเบนซีนและเอทิลเบนซีนเท่ากับ  $6.93 \times 10^{-5}$  -  $1.41 \times 10^{-4}$  และ  $2.15 \times 10^{-6}$  -  $4.52 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ สำหรับความเสี่ยงแบบไม่ก่อกัมมันต์ มีค่า HQ ของสารแต่ละตัว < 1 แสดงว่า การสัมผัสสารกลุ่มนี้ของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ยังไม่ ก่อให้เกิดโรคร้ายอื่น ๆ ซึ่งผลจากการประเมินความเสี่ยงจากทั้งสองกิจกรรมเป็นไปในทิศทาง เดียวกัน แสดงให้เห็นว่าผู้ที่ประกอบอาชีพที่ต้องได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ควรจะมีแนวทางในการ ป้องกันกระทบต่อสุขภาพ



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

อาหารปิ้งย่างเป็นหนึ่งในหลายทางเลือกในการบริโภคอาหารที่คนไทยนิยมรับประทานเป็นอย่างมาก ด้วยปัจจัยทั้งด้านรสชาติ ราคา ความสะดวกรวดเร็วในการรับประทานของผู้บริโภค และกรรมวิธีการปรุงที่ไม่ยุ่งยากสำหรับผู้ขาย จึงก่อให้เกิดอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะร้านแบบรถเข็นหรือแผงลอยที่ขายอาหารประเภทปิ้งย่างแบบเสียบไม้ย่าง ซึ่งพบได้ทั่วไปตามตลาด ตลาดนัด หรือร้านอาหาร เป็นต้น ร้านปิ้งย่างเหล่านี้ส่วนใหญ่ที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควัน และมักใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นผู้ที่มีอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างจึงเป็นผู้ที่ได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างโดยตรงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากถ่านไม้เชื้อเพลิงมีองค์ประกอบของแร่ธาตุคาร์บอน สารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ เมื่อเกิดการเผาไหม้จึงก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด ทั้งเขม่า ควัน ไซ้ถ่าน และฝุ่นชนิดต่าง ๆ เช่น TSP PM<sub>10</sub> PM<sub>4</sub> และ PM<sub>2.5</sub> นอกจากนี้ในขณะที่ให้ความร้อนแก่เนื้อสัตว์ ไขมันในเนื้อสัตว์จะละลายหยดลงบนถ่านไม้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดก๊าซ และอนุภาคสารมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้หลายชนิด รวมทั้งก่อให้เกิดกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ประกอบด้วยเบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylenes) หรือที่เรียกว่าสารกลุ่ม BTEX โดยสารกลุ่มนี้นอกจากจะเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งในระยะสั้น และระยะยาว เช่น ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ มีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้มีอาการวิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ เป็นต้น อีกทั้งหากได้รับสัมผัส และมีการสะสมเป็นระยะเวลาานอาจก่อให้เกิดภาวะโลหิตจาง ทำให้เกิดความผิดปกติของเม็ดเลือดขาว (Leukemia) ส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Genotoxicity) จนเป็นสาเหตุของการก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) ในมนุษย์อีกด้วย แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ระยะเวลา อายุ และสุขภาพของผู้ได้รับสัมผัส

ผลจากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า การปิ้งย่างเนื้อสัตว์เป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองทั้ง 4 ชนิด โดยที่ความเข้มข้นของฝุ่นแต่ละชนิดที่ขณะปิ้งย่างมีสูงกว่าขณะที่ไม่มีการปิ้งย่าง (ค่าความเข้มข้นพื้นฐาน) และเมื่อนำผลจากการตรวจวัดความ

เข้มข้นของ TSP  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นทุกชนิดที่เกิดจากกิจกรรมปิ้งย่างเนื้อสัตว์มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 24 และ 28 แต่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TSP จากการศึกษาในครั้งนี้กับค่าขีดจำกัดการได้รับสัมผัสฝุ่นทุกขนาด (Total dust) ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2515 และของ OSHA (2012) ซึ่งกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม พบว่ามีค่าไม่เกินขีดจำกัดการได้รับสัมผัส แต่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จากการศึกษาครั้งนี้กับขีดจำกัดการได้รับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2515 และของ OSHA (2012) ซึ่งหมายถึงอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร แขนงลอยในอากาศที่อาจสูดเข้าระบบทางเดินหายใจ และสามารถเข้าถึงและสะสมในบริเวณพื้นที่แลกเปลี่ยนอากาศของปอด พบว่ามีค่าเกินค่ามาตรฐานขีดจำกัดการได้รับสัมผัส จึงแสดงให้เห็นว่าการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองในขณะประกอบอาชีพนั้นอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะทางเดินหายใจตอนบน

โดยเมื่อวิเคราะห์สัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ค่าสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}/PM_{4}$   $PM_{4}/PM_{10}$   $PM_{2.5}/PM_{10}$  และ  $PM_{10}/TSP$  เท่ากับร้อยละ 36.70 54.34 19.94 และ 67.38 ตามลำดับ จะเห็นว่าในฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) นั้น ส่วนใหญ่เป็น  $PM_{10}$  (เฉลี่ยร้อยละ 67.38) โดยใน  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัดในการศึกษานี้ประกอบด้วยฝุ่นขนาด 2.5-4 ไมครอน 4-10 ไมครอน และขนาด <2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) โดยฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอน (รวมร้อยละ 74.28 ของ  $PM_{10}$ ) สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างลงไปหลอดลม (Trachea) และหลอดลมปอด (Bronchi) แต่ร่างกายมีกลไกการกำจัดโดยที่เซลล์เยื่อหุ้มหลอดลมจะสร้างเมือก (Mucus) เพื่อดักจับ และขับออกจากทางเดินหายใจโดยการพัดโบกของซิเลีย ซึ่งเป็นกลไกแรกในการกำจัดฝุ่นที่ไม่ละลายในหลอดลม ส่วนฝุ่นขนาด  $PM_{2.5}$  มีขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่หลอดลมปอดส่วนปลาย และพื้นที่การแลกเปลี่ยนก๊าซภายในถุงลมปอด (ร้อยละ 19.94 ของ  $PM_{10}$ ) ร่างกายสามารถกำจัดด้วยกลไกการกำจัดของถุงลมปอด (Alveolar clearance) ในขณะที่ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกดักจับอยู่ในโพรงจมูกโดยซิเลีย (Cilia) จะสร้างเมือกเพื่อรองและดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ แล้วขับออกด้วยการไอ จาม หรือขับออกในรูปของเสมหะ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการสัมภาษณ์ผู้ขายเกี่ยวกับอาการตอบสนองอย่างเฉียบพลันต่อการได้รับสัมผัสฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ ซึ่งพบว่ามีเพียงอาการไอ จาม หรือมีเสมหะ ซึ่งเป็นอาการแสดงที่เกิดกลไกการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองออกจากร่างกาย

นอกจากนี้ กิจกรรมปิ้งย่างร้านหมูย่างก่อให้เกิดกลุ่ม BTEX ปล่อย่อยออกสู่บรรยากาศ โดยชนิดที่ตรวจพบสูงสุด ได้แก่ เบนซีน โดยเมื่อนำความเข้มข้นไปเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่า ไม่เกิน

มาตรฐาน และเมื่อนำความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างร้านหมูย่างนักมวยจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจตลอดระยะเวลาที่มีการปิ้งย่าง โดยประเมินความเสี่ยงในกรณีเลวร้ายที่สุด (Worse case) คือกรณีที่ผู้ประกอบอาชีพจะได้รับสารกลุ่ม BTEX ความเข้มข้นสูงสุดที่เกิดจากการปิ้งย่างในระหว่างการประกอบอาชีพ พบว่ามีความเสี่ยงแบบก่อมะเร็ง (Cancer risk) ของเบนซิน เท่ากับ  $1.10 \times 10^{-5}$  หรือ 11 คนต่อประชากร 1 ล้านคน ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างจึงมีความเสี่ยงแบบก่อมะเร็ง เนื่องจากเมื่อเบนซินเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเมตาโบไลต์กลายเป็นสารตัวกลางชนิดต่าง ๆ โดยสารเมตาโบไลต์ที่เกิดขึ้นที่ตับจะเกิดการรวมตัวกับอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) และโปรตีนในร่างกายซึ่งจะถ่ายทอดไปยังไขกระดูก และอวัยวะอื่น ๆ สารตัวกลางบางชนิดทำให้เกิดความสูญเสียสมรรถภาพในการทำงานของไขกระดูก และสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารก่อมะเร็งได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า หากผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างจากร้านหมูย่างนักมวยได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX โดยไม่มีการป้องกันจะเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดมะเร็งได้ ถึงแม้ร้านจะตั้งอยู่ในพื้นที่โล่งและมีปริมาณการสัญจรของยานพาหนะไม่มากนักก็ตาม ประกอบกับผลการสัมภาษณ์ผู้ขาย พบว่า ถึงแม้ผู้ขายมีการสวมใส่ผ้าปิดจมูกเป็นบางครั้งในขณะปิ้งย่างเนื้อสัตว์ เพื่อลดโอกาสในการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในขณะปิ้งย่างเนื้อสัตว์ แต่เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ใช้เป็นเพียงผ้าปิดจมูกธรรมดา ซึ่งไม่สามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX หรือกรองอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นได้เลย และแม้ร้านหมูย่างนักมวยจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควันแบบพัดลมดูดควัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดโอกาสการได้รับสัมผัสในระดับหนึ่ง แต่รูปแบบลักษณะการดูดของพัดลมดูดควันจะเป็นการดูดเฉพาะหน้าเตา ซึ่งฝุ่นละอองสามารถกระจายไปบริเวณรอบ ๆ ได้ จึงทำให้ผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างจึงยังมีโอกาสได้รับสารกลุ่ม BTEX ซึ่งอาการเบื้องต้นพบว่า ผู้ขายมีอาการระคายเคืองจมูก แสบตา แสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะ ซึ่งเป็นอาการที่บ่งบอกถึงการตอบสนองอย่างเฉียบพลันต่อฝุ่นละอองหรือควันจากการปิ้งย่างที่ผู้ขายได้รับสัมผัส

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 แนวทางในการป้องกันที่ผู้ขายควรปฏิบัติเพื่อลดปริมาณการได้รับสัมผัสสารมลพิษผ่านทางหายใจที่เกิดขึ้นในขณะการปิ้งย่าง ได้แก่ เลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมควันแบบครอบดูดควัน (Hood) หรือมีลักษณะเป็นพัดลมดูดควันที่มีปล่องส่งให้ควันลอยตัวได้สูงเกินระดับการหายใจ หรือเลือกใช้เตาปิ้งย่างที่ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในอัตราที่ต่ำ เพื่อลดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และลดการเกิดควัน และควรมีการสวมใส่หน้ากากหรืออุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลชนิดที่สามารถดูด

ซับสารพิษ หรือมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ดี หรือหน้ากากคาร์บอนที่มีถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ และสามารถกรองป้องกันฝุ่นละอองขนาดเล็กได้อีกด้วย เพื่อเป็นการป้องกัน และลดความเสี่ยงในการได้รับสัมผัสสารมลพิษที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานเนื้อสัตว์ทางการหายใจซึ่งผู้ขายสามารถปฏิบัติได้โดยไม่ต้องลงทุนมากนัก แต่จะก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพของผู้ขายได้อย่างคุ้มค่า

5.2.2 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีการเก็บตัวอย่างแบบติดตัวบุคคล เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพ

5.2.3 ควรมีการศึกษารายละเอียดของปัจจัยซึ่งมีผลต่อปริมาณการเกิดฝุ่นละอองและสารกลุ่ม BTEX เช่น ชนิดของถ่านไม้ เตาปิ้งย่าง หรือเชื้อเพลิงที่ใช้ เป็นต้น ซึ่งอาจมีผลต่อค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นกับผู้ได้รับสัมผัส

5.2.4 ควรมีการศึกษองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง เช่น สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ซึ่งมักเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและไขมันที่หยดลงบนถ่านร้อน เพื่อเป็นประโยชน์ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เนื่องจากสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) นั้น บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น สารเบนโซเอไพรีน (B[a]P) เป็นต้น

5.2.5 ควรมีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง และสารกลุ่ม BTEX จากร้านขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างหลายๆ แห่ง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลของข้อมูล





## รายการอ้างอิง

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007a). *Benzene*. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007b). TOXICOLOGICAL PROFILE FOR XYLENE Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp71.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2010). Toxicological Profile for Ethylbenzene. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=383&tid=66>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2011). ToxGuide™ for Ethylbenzene C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-110.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2017). TOXICOLOGICAL PROFILE FOR TOLUENE  
Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp56.pdf>
- Alves, C. A., Duarte, M., Nunes, T., Moreira, R., & Rocha, S. (2014). Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *BioMed Central*, 6(29), 1-20.
- BØlling, A. K., Pagels, J., Yttri, K. E., Barregard, L., Sallsten, G., Schwarze, P. E., & Boman, C. (2009). Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *BioMed Central*, 6(29), 1-20.
- Goossens, D., & Buck, B. J. (2012). Can BSNE (Big Spring Number Eight) samplers be used to measure PM<sub>10</sub>, respirable dust, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1.0</sub>?. *Aeolian Research*, 5, 43-49.
- Hazards magazine. (2011). Dust up! Retrieved from <http://www.hazards.org/dust/dust.htm>
- Hussain, M., Madl, P., & Alam, K. (2011). Lung deposition predictions of airborne particles and the emergence of contemporary diseases Part-I. *the Health*, 2(2), 51-59.
- IARC. (2018). Agents Classified by the IARC Monographs. Retrieved from



- <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/ClassificationsAlphaOrder.pdf>
- Integrated Risk Information System. (2017a). Benzene.
- Integrated Risk Information System. (2017b). Ethylbenzene. Retrieved from [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance\\_nmbr=51](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=51)
- Integrated Risk Information System. (2017c). Toluene.
- Integrated Risk Information System. (2017d). Xylene.
- International Agency for Research on Cancer. (2017). LIST OF CLASSIFICATIONS, VOLUMES 1-122. Retrieved from <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes/>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2000). IARC MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS. Retrieved from <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono77-10.pdf>
- Kabir, E., Kim, K. H., Ahn, J. W., Hong, O. F., & Sohn, J. R. (2010). Barbecue charcoal combustion as a potential source of aromatic volatile organic compounds and carbonyls. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 492-499.
- Kim, H., & Lee, S. b. (2012). Charcoal grill restaurants deteriorate outdoor air quality by emitting volatile organic compounds. *Environ stud*, 21, 1667-1673.
- NIOSH. (1998). PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED: METHOD 0600. In (pp. 1-6).
- NIOSH. (2003). HYDROCARBONS, AROMATIC: METHOD 1501. In (pp. 1-7).
- Plumlee, G. S., & Ziegler, T. L. (2006). The medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. *Treatise on geochemistry*, 9, 1-61.
- Queensland Government. (2012). BTEX chemicals. Retrieved from <https://www.ehp.qld.gov.au/management/non-mining/btex-chemicals.html>
- Rappaport, S., Kim, S., Lan, Q., Li, G., Vermeulen, R., Waidyanatha, S., . . . Rothman, N. (2010). Human benzene metabolism following occupational and environmental exposures. *Chemico-Biological Interactions*, 184, 185-189.
- How Particles Deposit in the Respiratory Tract, (2009).
- Sinha, S. N., Kulkarni, P. K., Desai, N. M., Shah, S. H., Patel, G. M., Mansuri, M. M., . . .

- Saiyed, H. N. (2005). Gaschromatographic-mass spectroscopic determination of benzene in indoor air during the use of biomass fuels in cooking time. *Journal of Chromatography A*, 1065, 315-319.
- SKC Inc. (2014). Sorbent Tubes Coconut Charcoal. Retrieved from [https://www.skcinc.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=567](https://www.skcinc.com/catalog/product_info.php?products_id=567)
- The National Institute for Occupational Safety and Health. (2011). PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, TOTAL. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/dusts.html>
- The Oregon Department of Environmental Quality. (2016). Health Effects of Wood Smoke. Retrieved from <https://www.oregon.gov/deq/Residential/Pages/Woodstoves-Health.aspx>
- The Risk Assessment Information System. (1998a). Condensed Toxicity Summary for BENZENE. Retrieved from [https://rais.ornl.gov/tox/profiles/benzen\\_c.html](https://rais.ornl.gov/tox/profiles/benzen_c.html)
- The Risk Assessment Information System. (1998b). Formal Toxicity Summary for ETHYLBENZENE. Retrieved from [https://rais.ornl.gov/tox/profiles/ethylbenzene\\_f\\_V1.html](https://rais.ornl.gov/tox/profiles/ethylbenzene_f_V1.html)
- U. S. Environmental Protection Agency. (2005). TOXICOLOGICAL REVIEW OF TOLUENE (CAS No. 108-88-3) Retrieved from [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris\\_documents/documents/toxreviews/0118tr.pdf](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0118tr.pdf)
- United States Environmental Protection Agency. (2012). Benzene. Retrieved from [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance\\_nmbr=276](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=276)
- United States Environmental Protection Agency. (2016). Human Health Risk Assessment. Retrieved from <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment>
- Van, V. E., Asante, K., Jack, D., Kinney, P., Whyatt, R., Chillrud, S., . . . Owusu-Agyei, S. (2013). Personal exposures to fine particulate matter and black carbon in households cooking with biomass fuels in rural Ghana. *Environmental Research*(127), 40-48.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2546). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ (1 ed.).

- คมสันต์ แรจจบ. (2554). การจำแนกขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากกิจกรรมประเภทปิ้งย่าง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท), มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
- คมสันต์ แรจจบ, & กาญจนา นาละพินธุ. (2555). การกระจายตัวของอนุภาคที่เกิดจากกิจกรรมประเภทปิ้งย่าง. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์, 5(2), 11-20.
- นันทวรรณ วิจิตรวาทการ, วิชัย เอกพลากร, นิตยา วัจนะภูมิ, สมเกียรติ วงษ์ทิม, ไพพรรณ พิทยานนท์, สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา, . . . อัมพร อึ้งปกรณ์แก้ว. (2547). การประเมินอัตราการตาย อัตราการป่วย และผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากมลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร. Retrieved from
- บุษกร เลิศภาณุมาศ, อังค์ศิริ ทิพยารมณ, ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช, ดนุรัช ทิพยารมณ, & อุมารัจน์ สันติสุขเกษม. (2559). เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองและสารกลุ่ม BTEX จากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน. Paper presented at the การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 กรุงเทพฯ.
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. (2554). คู่มือการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ: กรมอนามัย.กระทรวงสาธารณสุข.
- มลิวรรณ บุญเสนอ. (2555). นิเวศพิษวิทยา (2 ed.). นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 94 C.F.R. § ตอนที่ 64 (2520, 12 กรกฎาคม).
- ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 121 C.F.R. § ตอนพิเศษ 104 ง (2547, 22 กันยายน).
- ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 127 C.F.R. § ตอนพิเศษ 37 ง (2553, 28 มกราคม).
- วนิดา จินศาสตร์. (2551). มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ (1 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิธร เรื่องตระกูล, ทรรศนีย์ พฤษชาติสิทธิ์, & เดซี่ หมอกน้อย. (2556). การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารปีเทคผ่านการหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 9(1).
- สำนักความปลอดภัยแรงงาน. (ม.ป.ป.). สารอินทรีย์ระเหยง่าย. Retrieved from [www.osthai.org/osh/upload/file\\_linkitem/20900126090841\\_2.pdf](http://www.osthai.org/osh/upload/file_linkitem/20900126090841_2.pdf)
- สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน.



ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

แบบสัมภาษณ์ผู้ประกอบการอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง  
งานวิจัยระดับผู้่นละเองและสารกลุ่ม BTEX จากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์กับความเสี่ยงต่อสุขภาพ  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

คำชี้แจง : โปรดทำเครื่องหมาย  หน้าข้อความ และกรอกข้อมูลในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ  ชาย  หญิง
2. อายุ .....45.....ปี น้ำหนัก.....78.....กิโลกรัม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการประกอบอาชีพ

1. ระยะเวลาในการประกอบอาชีพจนถึงปัจจุบัน.....ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึงปัจจุบัน.....
2. จำนวนวันที่ขายต่อสัปดาห์
 

<input type="checkbox"/> น้อยกว่า 3 วัน/สัปดาห์	<input type="checkbox"/> 3-5 วัน/สัปดาห์
<input checked="" type="checkbox"/> 5-7 วัน/สัปดาห์	<input type="checkbox"/> ตลอดทั้งสัปดาห์

 หมายเหตุ: ขายสัปดาห์ละ 6 วัน
3. จำนวนชั่วโมงที่ขายต่อวัน.....5 ชั่วโมงต่อวัน.....
4. จำนวนเวลาที่ทำกรปิ้งย่าง.....4 ชั่วโมงต่อวัน.....
5. ประเภทของเนื้อสัตว์ที่ใช้ในการปิ้งย่างขาย
 

<input checked="" type="checkbox"/> เนื้อไก่	<input checked="" type="checkbox"/> เนื้อหมู	<input type="checkbox"/> เนื้อวัว
<input type="checkbox"/> ปลา	<input checked="" type="checkbox"/> อื่นๆ ระบุ.....ปีก บั๊นท้าย และเครื่องในไก่.....	
6. ลักษณะร้าน
 

<input type="checkbox"/> รถมอเตอร์ไซด์ที่ดัดแปลงให้มีเตาปิ้งย่าง
<input type="checkbox"/> มีการติดตั้งพัดลมดูดควัน
<input type="checkbox"/> ไม่มีการติดตั้งพัดลมดูดควัน
<input checked="" type="checkbox"/> ร้านแผงลอย
<input checked="" type="checkbox"/> มีการติดตั้งพัดลมดูดควัน
<input type="checkbox"/> ไม่มีการติดตั้งพัดลมดูดควัน
<input type="checkbox"/> อื่นๆ ระบุ.....



## 7. สภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ร้านปิ้งย่าง

- ติดถนน
- การจราจรหนาแน่น
- การจราจรไม่หนาแน่น
- ตลาด
- พื้นที่โล่ง เหตุ: การสัญจรของยานพาหนะไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็น  
จักรยาน และจักรยานยนต์
- บริเวณชุมชนที่มีเส้นทางการจราจร
- หนาแน่น
- ไม่หนาแน่น
- อื่นๆ ระบุ.....

## 8. ปริมาณถ่านที่ใช้: ประมาณวันละ 3 กิโลกรัม

## ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติตนในการประกอบอาชีพ

1. ลักษณะวิธีในการปิ้งย่างเนื้อสัตว์
- ปิ้งทั้งหมดภายในครั้งเดียว  ทอยยั้งตลอดการขาย
2. ชนิดของอุปกรณ์ส่วนบุคคลสำหรับการป้องกันฝุ่นละอองที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์
- หน้ากากอนามัย  หน้ากากแบบมีคาร์บอน
- ผ้าปิดจมูก  ไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกัน
- อื่นๆ ระบุ.....
3. ความถี่ในการใช้อุปกรณ์ส่วนบุคคลสำหรับการป้องกันฝุ่นละอองหรือควัน
- ทุกครั้ง  บางครั้ง
- นานๆครั้ง
- อื่นๆ ระบุ .....

## ส่วนที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง

1. เคยมีประวัติการรักษาหรือเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับโรกระบบทางเดินหายใจหรือไม่ (หากมีให้  
ระบุโรค)
- มี  ไม่มี
- โรคเกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจในประวัติ.....

2. เคยมีอาการตอบสนองอย่างเฉียบพลันต่อฝุ่นละอองหรือควันจากการปิ้งย่าง เช่น ระคายเคือง จมูก แสบตา แสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะ หรืออาการที่บ่งบอกถึงตอบสนองอย่างเฉียบพลันต่อ ฝุ่นละอองหรือควันจากการปิ้งย่าง หรือไม่

ไม่เคย

เคย และความถี่ของการเกิด

เกิดขึ้นบ่อยครั้ง

เกิดขึ้นนานๆครั้ง

เกิดขึ้นบางครั้ง

อื่นๆ ระบุ.....

3. เคยมีอาการแน่นหน้าอก หายใจติดขัด หรือหายใจหอบหืดหรือไม่

ไม่เคย

เคย และความถี่ของการเกิด

เกิดขึ้นบ่อยครั้ง

เกิดขึ้นนานๆครั้ง

เกิดขึ้นบางครั้ง

อื่นๆ ระบุ.....

4. เคยมีอาการวิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย ง่วงซึมขณะปิ้งย่างเนื้อสัตว์หรือไม่

ไม่เคย

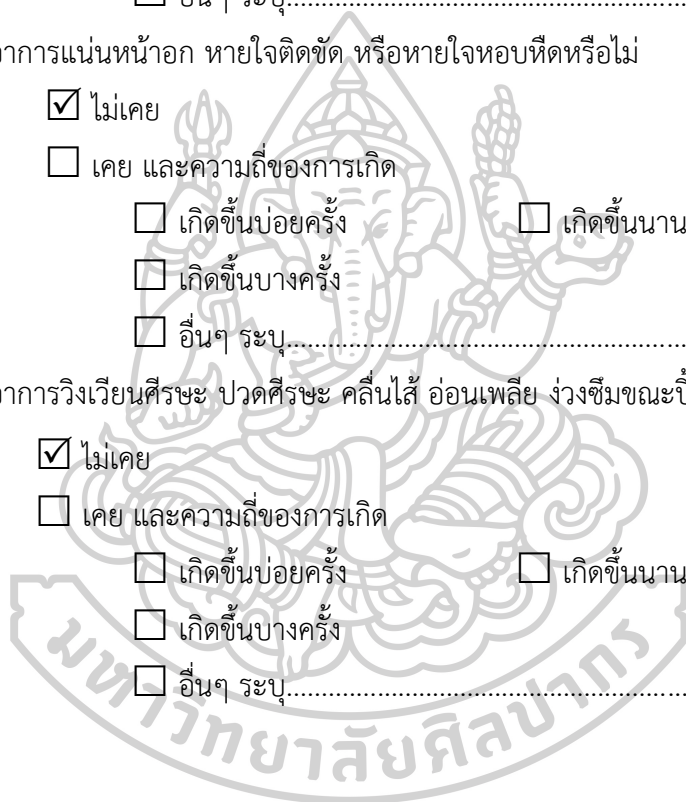
เคย และความถี่ของการเกิด

เกิดขึ้นบ่อยครั้ง

เกิดขึ้นนานๆครั้ง

เกิดขึ้นบางครั้ง

อื่นๆ ระบุ.....





ภาคผนวก ข

การคำนวณ

## ภาคผนวก ข

### 1. การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง

การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) มีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกัน โดยวิธีการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง ตัวอย่างเช่น การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP) จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP)} = \frac{\text{น้ำหนักฝุ่นละออง}}{V_{STP}} \quad (1)$$

เมื่อ น้ำหนักฝุ่นละออง คือ น้ำหนักกระดาษกรองเฉลี่ยหลังเก็บตัวอย่างหักลบด้วยน้ำหนักกระดาษกรองเฉลี่ยก่อนเก็บตัวอย่าง (มิลลิกรัม) ซึ่งน้ำหนัก TSP การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.72 มิลลิกรัม

$V_{STP}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร) คำนวณได้จากสมการที่ (2) ซึ่งข้อมูลการคำนวณได้จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างดังนี้

$$\begin{aligned} V_{STP} &= \frac{P_A V_A T_{STD}}{T_A P_{STD}} \quad (2) \\ &= \frac{753 \text{ ม.ม.ปรอท} \times 0.48 \text{ ลบ.ม.} \times 298.15 \text{ เคลวิน}}{307.65 \text{ เคลวิน} \times 760 \text{ มิลลิเมตรปรอท}} \\ V_{STP} &= 0.395 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$P_A$  คือ ความดันบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง มีค่า 753 มิลลิเมตรปรอท

$V_A$  คือ ปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง มีค่า 0.395 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคำนวณได้จากอัตราการไหลของอากาศคูณด้วยจำนวนเวลาในการเก็บตัวอย่าง นั่นคือ  $2.0 \text{ ลิตร/นาที} \times 240 \text{ นาที} \times 10^{-3} \text{ ลบ.ม.}$

$T_{STD}$  คือ อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน มีค่า 298.15 เคลวิน

$T_A$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขณะเก็บตัวอย่าง มีค่า  $33.5+273.15=306.65$  เคลวิน

$P_{STD}$  คือ ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน มีค่า 760 มิลลิเมตรปรอท

แทนค่าต่างๆ ในสมการ (1) จะได้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (TSP)} &= \frac{4.29 \text{ มิลลิกรัม}}{0.395 \text{ ลูกบาศก์เมตร}} \\ \text{ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP)} &= 10.85 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10.85 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมโครเมตร ( $PM_4$ ) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่อัตราการไหลของปั๊มแตกต่างกันตามชนิดของฝุ่นละอองที่ทำการเก็บ

## 2. การคำนวณความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX

การคำนวณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ตัวอย่างเช่น การคำนวณความเข้มข้นของเบนซีนจากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ดังต่อไปนี้

$$C_{\text{BENZENE}} = \frac{(\text{ความเข้มข้นที่ได้จาก GC} \times \text{ปริมาตร } CS_2) \times CF_1}{V_{\text{STD}} \times CF_2} \quad (3)$$

เมื่อ  $C_{\text{BENZENE}}$  คือ ความเข้มข้นของเบนซีน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)  
ความเข้มข้นที่ได้จาก GC คือ ความเข้มข้นของเบนซีนซึ่งได้จากการอินทิเกรตเทียบกับ Standard Curve ในหน่วยส่วนในล้านส่วน สำหรับความเข้มข้นของเบนซีนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่หนึ่ง มีค่าเท่ากับ 1.17212 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาตร  $CS_2$  คือ ปริมาตร  $CS_2$  ที่ใช้ในการชะตัวอย่าง ซึ่งปริมาตร  $CS_2$  ที่ใช้เท่ากับ 1 มิลลิลิตร

$CF_1$  คือ การเทียบเปลี่ยนหน่วยจากลิตรเป็นมิลลิลิตร ซึ่ง 1 ลิตรเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร ( $10^{-3}$ )

$V_{STP}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งวิธีคำนวณสามารถคำนวณโดยใช้สูตรจากสมการที่ (2) แต่ใช้ข้อมูลต่างๆ จากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ซึ่งจากการคำนวณ  $V_{STP}$  มีค่าเท่ากับ 46.2396 ลูกบาศก์เมตร

$CF_2$  คือ การเทียบเปลี่ยนหน่วยจากลูกบาศก์เมตรเป็นลิตร ซึ่ง 1 ลิตร เท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร ( $10^{-3}$ )

แทนค่าต่างๆ ในสมการ (3) จะได้

$$C_{BENZENE} = \frac{(1.17212 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 1 \text{ มิลลิลิตร}) \times 10^{-3}}{46.2396 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 10^{-3}}$$

$$C_{BENZENE} = 0.0204$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของเบนซีนจากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.0254 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของสารอื่นๆ ในกลุ่ม BTEX สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณข้างต้น

### 3. การคำนวณการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารกลุ่ม BTEX นั้น ทำโดยการการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (Average daily intake; ADI) ของสารกลุ่ม BTEX แต่ละชนิด ซึ่งการคำนวณแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กลุ่มสารก่อมะเร็ง และกลุ่มสารไม่ก่อมะเร็ง ตามลักษณะเป็นพิษของสารกลุ่ม BTEX จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าดัชนีความอันตราย (Hazard quotient; HQ) ของสารแต่ละชนิด และคำนวณผลรวมของดัชนีความอันตราย (Hazard index; HI) ของสารกลุ่ม BTEX สำหรับสารกลุ่ม BTEX ที่เป็นสารไม่ก่อมะเร็ง และคำนวณค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็ง (Cancer risk) สำหรับกลุ่มสารก่อมะเร็ง เพื่ออธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization) ที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ของผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง โดยตัวอย่างการคำนวณเป็นตัวอย่างของเบนซีน ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้



### 3.1 การคำนวณการประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure assessment)

การคำนวณการประเมินการได้รับสัมผัสเพื่อนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ผ่านการหายใจในขณะที่ทำการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ สำหรับในการศึกษานี้ คือ การคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (Average daily intake) หรือค่า ADI ตัวอย่างการคำนวณ เป็นการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสเบนซินเฉลี่ยต่อวัน (Average daily intake) จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณส่วนหนึ่งมาจากการข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง

$$ADI = \left( \frac{C \times ET \times EF \times ED}{AT} \right) / CF_3 \quad (4)$$

เมื่อ ADI คือ ปริมาณการได้รับสัมผัสสารเฉลี่ยต่อวัน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

C คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งความเข้มข้นของเบนซินที่ใช้ในการคำนวณ หมายถึงความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซินจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 10 ครั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0270 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ET คือ จำนวนเวลาในการได้รับสาร (ชั่วโมงต่อวัน) จากการศึกษานี้ผู้ขายได้รับเบนซินเป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน

EF คือ ความถี่ของการได้รับสัมผัส (วันต่อปี) จากการศึกษานี้ผู้ขายได้รับเบนซินคิดเป็นเวลา 300 วันต่อปี ซึ่งได้จากจำนวนวันใน 1 ปีลบด้วยจำนวนวันที่หยุดขายใน 1 ปี และจำนวนวันหยุดนักขัตฤกษ์

ED คือ ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ปี) จากการศึกษานี้ผู้ขายเริ่มประกอบอาชีพขายเนื้อสัตว์ปิ้งย่างตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 จนถึงปัจจุบัน คิดเป็นระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสเบนซินเป็นเวลา 6 ปี

AT คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัส (วัน) ซึ่งการคำนวณแบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1) สารก่อมะเร็ง คำนวณจากระยะเวลาเฉลี่ยตลอดอายุขัย 70 ปี (70 ปี x 365 วัน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25550 วัน 2) สารไม่ก่อมะเร็ง คำนวณจากระยะเวลาเฉลี่ยตามที่ได้รับสัมผัส ซึ่งผู้ขายได้รับเป็นเวลา 6 ปี (6 ปี x 365 วัน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2190 วัน

CF<sub>3</sub> คือ การเทียบเปลี่ยนหน่วย โดยที่ 1 วันมีค่าเท่ากับ 24 ชั่วโมง

แทนค่าต่างๆ ในสมการ (4) จะได้

### 1) กรณีเป็นสารก่อมะเร็ง

$$ADI = (0.0323 \times 4 \times 300 \times 6 \times 25550)/24$$

$$ADI = 3.80 \times 10^{-4} \text{ มล.ก./ลบ.ม.}$$

ดังนั้น ปริมาณการได้รับสัมผัสเบนซินเฉลี่ยต่อวัน ในกรณีเป็นสารก่อมะเร็ง มีค่าเท่ากับ  $3.17 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

### 2) กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง

$$ADI = (0.0323 \times 4 \times 300 \times 6 \times 2190)/24$$

$$ADI = 4.43 \times 10^{-3} \text{ มล.ก./ลบ.ม.}$$

ดังนั้น ปริมาณการได้รับสัมผัสเบนซินเฉลี่ยต่อวัน ในกรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง มีค่าเท่ากับ  $3.17 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับการคำนวณการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน (Average daily intake) หรือค่า ADI ของสารอื่นๆ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณข้างต้น

## 3.2 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง

### 1) กรณีสารก่อมะเร็ง

การอธิบายลักษณะความเสี่ยงของเบนซินในกรณีไม่ก่อมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\text{ความเสี่ยงการก่อมะเร็ง (Cancer risk)} = ADI \times CSF \quad (5)$$

เมื่อ ADI คือ ปริมาณการได้รับสัมผัสเบนซินเฉลี่ยต่อวัน ในกรณีเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $3.17 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

CSF คือ ค่าความเป็นพิษ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับเบนซินมีค่าเท่ากับ 0.029 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แทนค่าต่างๆ ในสมการ (5) จะได้

$$\text{Cancer risk} = 4.43 \times 10^{-3} \times 0.029$$

$$\text{Cancer risk} = 1.10 \times 10^{-5}$$

ดังนั้น ความเสี่ยงของการก่อมะเร็งของเบนซินมีค่าเท่ากับ  $1.10 \times 10^{-5}$  หรือ 11 คนต่อประชากรหนึ่งล้านคน

สำหรับการคำนวณค่าความเสี่ยงของการก่อมะเร็งสำหรับเอทิลเบนซีน สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณข้างต้น โดยใช้ค่าความเป็นพิษ หรือ Cancer slope factor (CSF) ของเอทิลเบนซีนในการคำนวณ

## 2) กรณีสารไม่ก่อมะเร็ง

การอธิบายลักษณะความเสี่ยงของเบนซีนในกรณีไม่ก่อมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$\text{Hazard quotient (HQ)} = \text{ADI/R}_f\text{C} \quad (6)$$

เมื่อ ADI คือ ปริมาณการได้รับสัมผัสเบนซีนเฉลี่ยต่อวัน ในกรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $3.70 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$R_f\text{C}$  คือ ความเข้มข้นอ้างอิง (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับเบนซีน มีค่าเท่ากับ  $3.0 \times 10^{-2}$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
แทนค่าต่างๆ ในสมการ (6) จะได้

$$\begin{aligned} \text{Hazard quotient (HQ)} &= 4.43 \times 10^{-3} / 3.0 \times 10^{-2} \\ \text{HQ} &= 0.148 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าดัชนีความอันตรายของเบนซีน มีค่าเท่ากับ 0.148

สำหรับการคำนวณค่าดัชนีความอันตรายของโทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ซึ่งเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณข้างต้น โดยโดยใช้ค่าความเข้มข้นอ้างอิงของสารแต่ละชนิดในการคำนวณ จากนั้นจึงสามารถนำไปคำนวณค่าความเสี่ยงรวม (Hazard index; HI) ของสารกลุ่ม BTEX ซึ่งได้รับสัมผัสพร้อมๆ กัน ได้จากผลรวมของค่าดัชนีความอันตรายของสารแต่ละชนิด ดังสมการที่ (7)

$$\text{Hazard index (HI)} = \sum_{i=1}^n \text{HQ}_i \quad (7)$$

$$\text{HI} = 0.157$$

ดังนั้น ค่าความเสี่ยงรวม (Hazard index; HI) ของสารกลุ่ม BTEX มีค่าเท่ากับ 0.157



ภาคผนวก ค  
รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค. 1 รายละเอียดข้อมูลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

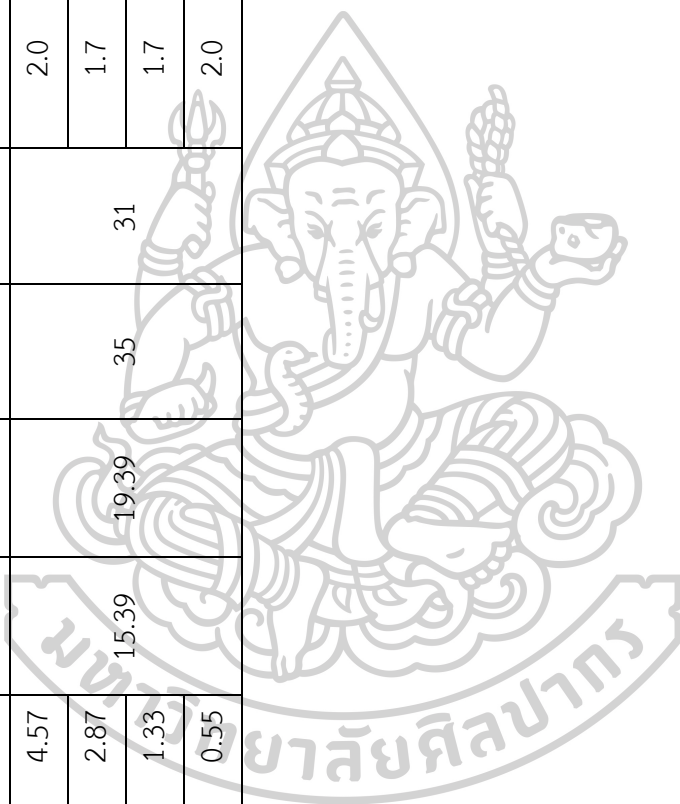
การเก็บตัวอย่าง	ชนิดฝุ่นละออง	น้ำหนักฝุ่นละออง (มก.)	เวลาเก็บตัวอย่าง		อุณหภูมิ (°C)		อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)
			เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด			
ครั้งที่ 1 (31/03/15)	TSP	4.29					2.0	753	10.85
	PM <sub>10</sub>	2.97	16.01	20.01	37	30	1.7		6.40
	PM <sub>4</sub>	1.84					1.7		3.95
	PM <sub>2.5</sub>	0.70					2.0		1.77
ครั้งที่ 2 (2/04/15)	TSP	4.04					2.0	755	10.26
	PM <sub>10</sub>	3.13	16.31	20.31	34.5	29	1.7		6.76
	PM <sub>4</sub>	1.58					1.7		3.41
	PM <sub>2.5</sub>	0.49					2.0		1.24
ครั้งที่ 3 (3/04/15)	TSP	4.21					2.0	753	10.67
	PM <sub>10</sub>	3.56	15.45	19.45	34	30	1.7		7.66
	PM <sub>4</sub>	1.76					1.7		3.78
	PM <sub>2.5</sub>	0.46					2.0		1.17

การเก็บตัวอย่าง	ชนิดฝุ่นละออง	น้ำหนักฝุ่นละออง (มิลลิกรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง		อุณหภูมิ (°C)		อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)
			เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด			
ครั้งที่ 4 (7/04/15)	TSP	4.30					2.0	755	10.87
	PM <sub>10</sub>	2.92	15.45	19.45	36	33	1.7		6.27
	PM <sub>4</sub>	1.54					1.7		3.32
	PM <sub>2.5</sub>	0.65					2.0		1.64
ครั้งที่ 5 (9/04/15)	TSP	3.93					2.0	756	9.91
	PM <sub>10</sub>	2.87	15.57	19.57	40	31	1.7		6.13
	PM <sub>4</sub>	1.85					1.7		3.97
	PM <sub>2.5</sub>	0.48					2.0		1.21
ครั้งที่ 6 (21/04/15)	TSP	4.05	16.17	20.17	39	31	2.0	755	10.35
	PM <sub>10</sub>	2.95					1.7		6.42
	PM <sub>4</sub>	1.96					1.7		4.26
	PM <sub>2.5</sub>	0.65					2.0		1.67



การเก็บตัวอย่าง	ชนิดฝุ่นละออง	น้ำหนักฝุ่นละออง (มิลลิกรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง		อุณหภูมิ (°C)		อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)
			เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด			
ครั้งที่ 7 (23/04/15)	TSP	3.71					2.0	759	9.33
	PM <sub>10</sub>	3.58	15.42	19.42	36	30	1.7		7.64
	PM <sub>4</sub>	1.60					1.7		4.02
	PM <sub>2.5</sub>	0.57					2.0		1.22
ครั้งที่ 8 (10/06/15)	TSP	4.79					2.0	753	10.19
	PM <sub>10</sub>	2.93	15.44	19.44	42	34	1.7		7.34
	PM <sub>4</sub>	1.49					1.7		3.73
	PM <sub>2.5</sub>	0.71					2.0		1.52
ครั้งที่ 9 (12/06/15)	TSP	4.91	16.06	20.06	38	34	2.0	753	10.50
	PM <sub>10</sub>	2.94					1.7		7.38
	PM <sub>4</sub>	1.53					1.7		3.84
	PM <sub>2.5</sub>	0.57					2.0		1.22

การเก็บ ตัวอย่าง	ชนิดฝุ่น ละออง	น้ำหนักฝุ่น ละออง (มิลลิกรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง		อุณหภูมิ (°C)		อัตราการ ไหล (ลิตร/นาที)	ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้น ฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)
			เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด			
ครั้งที่ 10 (16/06/15)	TSP	4.57					2.0	754	9.75
	PM <sub>10</sub>	2.87					1.7		7.19
	PM <sub>4</sub>	1.33	15.39	19.39	35	31	1.7		3.33
	PM <sub>2.5</sub>	0.55					2.0		1.17



ตารางที่ ค. 2 รายละเอียดข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

การเก็บตัวอย่าง	สารกลุ่ม BTEX	ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX จาก GC (ส่วนในล้านส่วน)	เวลาเก็บตัวอย่าง		อุณหภูมิ (°C)		อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX (มก./ลบ.ม.)
			เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด			
ครั้งที่ 1 (31/03/15)	เบนซีน	1.17212							0.0204
	โทลูอีน	0.641031							0.0128
	เอทิลเบนซีน	N.D.	16.01	20.01	37	30	0.2	753	0
	เมทา, พาราไซลีน	N.D.							0
	ออร์โทไซลีน	N.D.							0
ครั้งที่ 2 (2/04/15)	เบนซีน	1.41788							0.0155
	โทลูอีน	0.640169							0.0087
	เอทิลเบนซีน	N.D.	16.01	20.01	34.5	29	0.2	755	0
	เมทา, พาราไซลีน	N.D.							0
	ออร์โทไซลีน	N.D.							0
ครั้งที่ 3 (3/04/15)	เบนซีน	0.218644							0.0074
	โทลูอีน	0.0266737							0.0057
	เอทิลเบนซีน	N.D.	15.45	19.45	34	30	0.2	753	0
	เมทา, พาราไซลีน	N.D.							0
	ออร์โทไซลีน	N.D.							0





การเก็บตัวอย่าง	สารกลุ่ม BTEX	ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX จาก GC (ส่วนในล้านส่วน)	เวลาเก็บตัวอย่าง		อุณหภูมิ (°C)		อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX (มก./ลบ.ม.)
			เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด			
ครั้งที่ 10 (16/06/15)	เบนซีน	2.35648							0.0511
	โทลูอีน	1.08110							0.0226
	เอทิลเบนซีน	N.D.	15.39	19.39	35	31	0.2	754	0
	เมททา, พาราไซลีน	N.D.							0
	ออร์โธไซลีน	0.295474							0.0041







## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปฐวี ทองเกื้อ
วัน เดือน ปี เกิด	24 กรกฎาคม 2530
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ที่อยู่ปัจจุบัน	55/106 หมู่บ้านจาวาเบย์ ถนนกิ่งแก้ว ซอย 19 ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540

