ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน

โดย
นางสาวปรมาภรณ์ ทองแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน

โดย
นางสาวปรมาภรณ์ ทองแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EMISSION FACTORS AND EMISSION PATTERNS OF PARTICULATES FROM FOOD GRILLING BY CHARCOAL COOK STOVE

By

MISS Paramaporn THONGKAEW

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

หัวข้อ	ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน
โดย	ปรมาภรณ์ ทองแก้ว
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังก์ศิริ ทิพยารมณ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังก์ศิริ ทิพยารมณ์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ดร. ดนุธวัช ทิพยารมณ์)

57311311 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : PM10 / PM2.5 /ค่าการปลดปล่อยฝุ่น/รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น/อัตราการปลดปล่อยฝุ่น/การปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน

นางสาว ปรมาภรณ์ ทองแก้ว: ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังก์ศิริ ทิพยารมณ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้น ค่าการปลดปล่อย รูปแบบการปลดปล่อย และอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อหมึกยักษ์ มะเขือเทศ และสับปะรด ด้วยเตาถ่าน ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ภายในตู้ดูดควันที่ปิดสวิตช์และปิดสนิทที่ทำหน้าที่เป็นห้องทดสอบ (Chamber) ในขณะปิ้งย่างอาหาร ผลการตรวจวัด พบว่า ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้มีดังนี้ เนื้อหมู 0.77±0.41/0.80±0.40 เนื้อไก่ 1.13±0.50/1.21±0.46 เนื้อปลา 1.12±0.71/1.19±0.71 เนื้อหมึกยักษ์ 1.29±0.56/1.31±0.58 มะเขือเทศ 1.43±0.57/1.52±0.69 และสับปะรด 1.06±0.46 /1.14±0.45 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าการปลดปล่อย (Emission factor) $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมูมีค่าเท่ากับ 0.34 ± 0.18/0.36 ± 0.18 เนื้อไก่ 0.34 ± 0.15/0.36 ± 0.14 เนื้อปลา 0.20 ± 0.13/0.22 ± 0.13 เนื้อหมึกยักษ์ 0.23 ± 0.10/0.24 ± 0.10 มะเขือเทศ 0.17 ± 0.07/0.18 ± 0.08 และสับปะรด 0.13 ± 0.05/0.14 ± 0.05 กรัมต่อกิโลกรัม โดยกลุ่มเนื้อแดงมีค่าการปลดปล่อยสูงที่สุด จากสัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.92 – 0.98 แสดงให้เห็นว่า ฝุ่นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นคือ $PM_{2.5}$ ซึ่งเป็นฝุ่นละเอียดที่ส่งผลกระทบร้ายแรงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ส่วนค่าอัตราการปลดปล่อยฝุ่นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดที่มีค่าเท่ากับ 24.04/24.97 (เนื้อหมู) 25.16/26.50 (เนื้อไก่) 59.98/64.80 (เนื้อปลา) 64.56/65.56 (เนื้อหมึกยักษ์) 0.51/0.54 (มะเขือเทศ) และ 2.06/2.21 (สับปะรด) ตันต่อปี โดยอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} รวมของอาหารทั้ง 6 ชนิดเท่ากับ 176.31 และ 184.59 ตันต่อปี ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การปิ้งย่างอาหารประเภทอาหารทะเลและผักผลไม้เป็นอันตรายต่อสุขภาพน้อยกว่าการปิ้งย่างอาหารอาหารประเภทเนื้อแดง และร้านขายอาหารประเภทปิ้งย่างควรมีการติดตั้งปล่องดูดควันและเครื่องบำบัดอากาศก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ เพื่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้น

57311311 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
Keyword : PM10/ PM2.5 /Emission Factor/Emission Pattern/Emission Rate/Food Grilling by Charcoal Stove

MISS PARAMAPORN THONGKAEW : EMISSION FACTORS AND EMISSION PATTERNS OF PARTICULATES FROM FOOD GRILLING BY CHARCOAL COOK STOVE
THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR AUNGSIRI THIPPAYAROM, Ph.D.

This study aims to investigate the concentration, emission factor and emission patterns of $PM_{2.5}$ and PM_{10} from grilling 6 different kinds of foods which were pork, chicken, fish, giant squid, tomatoes and pineapples by charcoal stove. The samples were collected and analyzed by using DustTrak Aerosol Monitor 8530 in a tightly enclosed fume hood without ventilation acting as test chamber while grilling. The results indicated that $PM_{2.5}$ and PM_{10} emitted from pork, chicken, fish, giant squid, tomatoes and pineapples grilling were 0.77±0.41/0.80±0.40, 1.13±0.50/1.21±0.46, 1.12±0.71/1.19±0.71,1.29±0.56/1.31±0.58,1.43±0.57/1.52±0.69and1.06±0.46/1.14±0.45 mg/m^3, respectively. The emission factors of $PM_{2.5}$ and PM_{10} obtained from pork, chicken, fish, giant squid, tomatoes and pineapples grilling were 0.34 ± 0.18/0.36 ± 0.18 , 0.34 ± 0.15/0.36 ± 0.14, 0.20 ± 0.13/0.22 ± 0.13, 0.23 ± 0.10/0.24 ± 0.10, 0.17 ± .07/0.18 ± 0.08 and 0.13 ± 0.05/0.14 ± 0.05 g/kg, respectively. The highest emission factors observed from read meat grilling. The ratio between $PM_{2.5}$ and PM_{10} ranged from 0.92 to 0.98 revealed that the predominant particle was $PM_{2.5}$ which is an ultrafine particles causing adverse effects on human health. The emission rates of $PM_{2.5}$ and PM_{10} acquired from pork, chicken, fish, giant squid, tomatoes and pineapples grilling were 24.04/24.97, 25.16/26.50, 59.98/64.80, 64.56/65.56, 0.51/0.54 and 2.06/2.21 tons/year, respectively. Total emission rate of $PM_{2.5}$ and PM_{10} from grilling six kinds of foods were 176.31 and 184.59 tons/year, respectively. The results of this study suggested that seafood, vegetable and fruit grilling were harmless than red meat grilling. Moreover, fume hood and particle remover should be installed in charcoal grill restaurant for better human and environmental health.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่ พร้อมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมถึงกำลังใจที่มีให้ตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช และ ดร. ดนุธวัช ทิพยารมณ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และร่วมเป็นประธาน การสอบและกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ศึกษาในสถาบันแห่งนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกท่านที่มีส่วนช่วยสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบเพื่อตอบแทนคุณบิดา มารดา และครอบครัว รวมถึงเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดเวลา ซึ่งเป็นแรงผลักดันที่สำคัญแก่ผู้วิจัย และขอมอบแด่บูรพาคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัย

ปรมาภรณ์ ทองแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

บทที่ 2 4

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความหมายของฝุ่นละออง 4

2.2 ประเภทของฝุ่นละออง 4

2.2.1 ฝุ่นละเอียด (Fine particle) 5

2.2.2 ฝุ่นหยาบ (Coarse particle) 5

2.3 องค์ประกอบของฝุ่นละออง 5

2.4 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัย 6

2.5 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับฝุ่นละออง 6
2.6 สารมลพิษอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหาร 7
2.6.1 ฝุ่นละออง (Particulate matter) 7
2.6.2 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) 9
2.6.3 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound; VOCs) 10
2.6.4 ไดออกซิน (Dioxins) 10
2.6.5 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) 11
2.7 ผลกระทบของฝุ่นขนาดต่าง ๆ ต่อร่างกาย 11
2.7.1 โรคหลอดลมปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD) 11
2.7.2 โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis) 11
2.7.3 โรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) 11
2.7.4 โรคปอดอักเสบ (Interstitial lung disease) 11
2.7.5 โรคหอบหืด (Asthma) 12
2.8 การตกค้างของอนุภาคในทางเดินหายใจของมนุษย์ 12
2.8.1 อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะหายใจเข้าไปได้ (Non-respirable particle) 12
2.8.2 อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน 12
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14
บทที่ 3 16
วิธีการดำเนินงานวิจัย 16
3.1 ขั้นตอนในการศึกษา 16
3.2 การเก็บตัวอย่าง 17
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง 17

3.2.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง 17
3.2.3 จำนวนตัวอย่างที่ศึกษา 20
3.2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 20
3.2.5 วิธีการปิ้งย่าง 21
3.2.6 วิธีการเก็บตัวอย่าง 22
3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 22
บทที่ 4 24
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผลการศึกษา 24
4.1 ความเข้มข้นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด 24
4.2 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด 27
4.3 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด 28
4.4 อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด 30
บทที่ 5 32
สรุปและข้อเสนอแนะ 32
5.1 สรุปผลการศึกษา 32
5.2 ข้อเสนอแนะ 33
รายการอ้างอิง 34
ภาคผนวก ก 38
ภาคผนวก ข 51
ภาคผนวก ค 54
ภาคผนวก ง 57
ประวัติผู้เขียน 66

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ 5

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 7

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด 22

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างอาหารในกลุ่มเดียวกัน 26

ตารางที่ 5 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 28

ตารางที่ 6 อัตราการระบาย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} 31

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ 6

รูปที่ 2 กลไกการตกค้างของอนุภาคในร่างกาย 13

รูปที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา 16

รูปที่ 4 ลักษณะการเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน 17

รูปที่ 5 เนื้อหมูสันใน 18

รูปที่ 6 เนื้อไก่ส่วนอกไม่ติดหนัง 18

รูปที่ 7 เนื้อปลาแพนกาเซียสดอรี่ 19

รูปที่ 8 เนื้อปลาหมึกยักษ์ 19

รูปที่ 9 มะเขือเทศ 20

รูปที่ 10 สับปะรด 20

รูปที่ 11 เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 21

รูปที่ 12 เตาถ่านที่ใช้ในการศึกษา 21

รูปที่ 13 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และPM_{10} 24

รูปที่ 14 ค่าการปลดปล่อยฝุ่น 27

รูปที่ 15 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น 29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วของประเทศไทย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำรงชีวิตของคน คนเมืองส่วนใหญ่นิยมรับประทานอาหารนอกบ้าน อาหารประเภทปิ้งย่างจึงเป็นทางเลือกอีกอย่างหนึ่งที่ได้รับความสนใจและมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากสามารถเลือกรับประทานอาหารได้หลากหลายชนิด นั่งทานได้นาน มีราคาไม่แพง และสามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย แต่กระบวนการประกอบอาหารประเภทปิ้งย่างนี้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

สารมลพิษอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างมีหลายชนิด ทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาค สารมลพิษในสถานะก๊าซที่เกิดขึ้นในปริมาณมากขณะปิ้งย่างอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NOx) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เฮทเทอโรซัยคลิกเอมีนส์ (HCAs) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ก๊าซเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากันจะเปลี่ยนสถานะจากก๊าซไปเป็นอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก หากได้รับสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้ฝุ่นขนาดเล็กยังเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการปิ้งย่าง และเกิดจากการปิ้งย่างอาหารจนไหม้อีกด้วย ฝุ่นขนาดเล็กเหล่านี้ สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นระยะเวลานาน และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เพราะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและปอดของมนุษย์ได้

เชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในร้านอาหารประเภทปิ้งย่างโดยทั่วไป ได้แก่ ก๊าซแอลพีจี และถ่านไม้ โดยมีการใช้เตาไฟฟ้าบ้างเป็นบางร้าน อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงร้านอาหารปิ้งย่างประเภทหมูกระทะทั่วไปในประเทศไทย และร้านอาหารปิ้งย่างสไตล์เกาหลีแล้ว จะพบว่า นิยมใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นเชื้อเพลิงที่คนเกาหลีใช้ในการปิ้งย่างอาหาร ดังนั้น เมื่อร้านปิ้งย่างสไตล์เกาหลีได้เข้ามาแพร่หลายในประเทศไทย ร้านเหล่านี้จึงนิยมใช้ถ่านเพื่อให้เหมือนกับประเทศต้นแบบ

ถึงแม้ว่าถ่านไม้จะเป็นเชื้อเพลิงประเภทหนึ่งที่นิยมใช้ในการปิ้งย่างอาหาร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ก๊าซแอลพีจีหรือการใช้ไฟฟ้า ถ่านจะก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศมากกว่าทั้งในด้านชนิดและปริมาณ (กรมควบคุมมลพิษ 2558) สารมลพิษอากาศชนิดหนึ่งที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่านคือฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย

การปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดก่อให้เกิดฝุ่นขนาดเล็ก (เล็กกว่า 10 ไมครอน) มากน้อยแตกต่างกัน โดยการปิ้งย่างอาหารประเภทเนื้อสัตว์จะก่อให้เกิดฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าการปิ้งย่างอาหารประเภทผักผลไม้ (คมสันต์ แรงจบ and กาญจนา นาถะพินธุ 2555) การศึกษาที่ผ่านมาในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ และรายงานผลในรูปความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ (น้ำหนักฝุ่นต่อปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง) แต่การศึกษาค่าการ

ปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) (น้ำหนักฝุ่นต่อน้ำหนักอาหาร) อัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate) (น้ำหนักฝุ่นต่อปี) และรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern) (ร้อยละของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})) ยังมีผู้ศึกษาไม่มากนัก

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาค่าการปลดปล่อยฝุ่น อัตราการปลดปล่อยฝุ่น และรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารต่างชนิดกัน ได้แก่ เนื้อแดง (โดยมีเนื้อหมูและเนื้อไก่เป็นตัวแทน) อาหารทะเล (โดยมีเนื้อปลาเนื้อหมึกเป็นตัวแทน) และอาหารประเภทผัก (โดยมีสับปะรดและมะเขือเทศเป็นตัวแทน) โดยมีปัจจัยที่ควบคุมให้เท่ากัน ได้แก่ ความหนาของชิ้นอาหาร น้ำหนักของอาหาร และระยะเวลาในการพลิกกลับชิ้นอาหาร โดยเก็บตัวอย่างฝุ่น 2 ขนาด ได้แก่ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})

ผลจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ในการจัดการมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น และเป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการประเภทร้านอาหารปิ้งย่าง ในการดำเนินการแก้ไขปัญหามลพิษจากฝุ่นละออง เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้บริการตลอดจนผู้ปฏิบัติงานในร้านอาหารประเภทดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาค่าการปลดปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดด้วยเตาถ่าน (Emission factor)

1.2.2 เพื่อหาอัตราการปลดปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดด้วยเตาถ่าน (Emission rate)

1.2.3 เพื่อหารูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นในรูปร้อยละฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดด้วยเตาถ่าน (Emission pattern)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน จากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่านประเภทเนื้อแดง (หมู ไก่) มากกว่าอาหารทะเล (ปลา หมึกยักษ์) มากกว่าอาหารประเภทผักและผลไม้ (มะเขือเทศ สับปะรด) ตามลำดับ

1.3.2 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารส่วนใหญ่ เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 อาหารที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา ได้แก่ เนื้อหมูสันใน อกไก่ไม่ติดหนัง ปลาแพนกาเซียสดอรี่ไม่ติดหนัง (Pangasius dory) หมึกยักษ์ (Giant squid) ไม่รวมหนวด มะเขือเทศ และสับปะรด

1.4.2 ปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความหนาของชิ้นอาหาร (1 เซนติเมตร) น้ำหนักของอาหารต่อตัวอย่าง (100 กรัม) และระยะเวลาในการพลิกชิ้นอาหาร (พลิกทุก 1 นาที)

1.4.3 ปิ้งย่างบนกระทะโดยใช้เตาถ่านภายในตู้ดูดควัน (ปิดสวิตช์และประตูตู้ดูดควันเพื่อป้องกันการรบกวนจากกระแสอากาศและฝุ่นละอองจากภายนอก)

1.4.4 เก็บตัวอย่างเริ่มตั้งแต่เริ่มปิ้งย่าง (หลังกระทะร้อนได้ที่และทามันหมูแล้ว) จนอาหารสุกดี (คำว่าสุก หมายถึง เนื้อสัตว์สุกทั้งข้างในและด้านนอก และเกิดเป็นสีน้ำตาลแต่ไม่ไหม้เกรียม ส่วนมะเขือเทศและสับปะรด หมายถึง การมีลักษณะอ่อนนุ่มลงและเกิดสีน้ำตาลขึ้นเล็กน้อย)

1.4.5 ชุดควบคุมกระทะทามันหมูเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีอาหาร

1.4.6 เก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ด้วยเครื่องดัสแทร็กรุ่น 8530

1.4.7 เก็บตัวอย่างทั้งหมด 190 ตัวอย่าง ประกอบด้วย เนื้อหมู 30 ตัวอย่าง เนื้อไก่ 30 ตัวอย่าง เนื้อปลา 30 ตัวอย่าง หมึกยักษ์ 30 ตัวอย่าง สับปะรด 30 ตัวอย่าง มะเขือเทศ 30 ตัวอย่าง และชุดควบคุมเตาถ่าน 10 ตัวอย่าง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

1.5.2 ผู้บริโภคสามารถเลือกชนิดของอาหารที่นำมาปิ้งย่างแล้วก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพน้อยที่สุด

1.5.3 ผู้บริโภคสามารถเลือกร้านอาหารที่มีชุดอุปกรณ์ควบคุมควันจากการปิ้งย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็ง และหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยแพร่กระจายอยู่ในอากาศ อนุภาคเหล่านี้จะมีชนิดและขนาดที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของคน สัตว์ พืช สิ่งก่อสร้าง และการคมนาคมขนส่งอันเนื่องมาจากการบดบังทัศนวิสัย ประเทศต่าง ๆ จึงได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละออง ในบรรยากาศขึ้น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency; US EPA) กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended particle; TSP) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) แต่เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด เพราะมีขนาดเล็กสามารถผ่านเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจได้ ดังนั้น US EPA จึงได้ยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ขนาด ได้แก่ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ซึ่งในประเทศไทย โดยกรมควบคุมมลพิษได้มีการให้ความหมายของฝุ่นละออง 2 ชนิดนี้ไว้ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ 2558)

PM_{10} หมายถึง ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอน ลงมา

$PM_{2.5}$ หมายถึง ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอน ลงมา

ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับ PM_{10} ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหอบหืด และ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอดที่เข้ามารักษาตัวในห้องฉุกเฉิน เพิ่มอาการของโรคทางเดินหายใจ ลดประสิทธิภาพการทำงานของปอด และเกี่ยวโยงกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ ผู้ป่วยโรคหอบหืด และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนวัยอื่น (กรมควบคุมมลพิษ 2558)

ฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษอากาศที่สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2541 ธนาคารโลกได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา เรื่องผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน โดยระดับของฝุ่นละอองขนาดเล็กในเขตกรุงเทพมหานครมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชากร ในระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก (นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช et al. 2550)

2.2 ประเภทของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศอาจแยกได้เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และฝุ่นละอองซึ่งเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ ปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัวฝุ่นละออง เช่น ควัน (Smoke) ฟูม

(Fume) หมอก (Fog) น้ำค้าง (Mist) เป็นต้น ฝุ่นละอองอาจเกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดินทราย หรือเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์ การจราจร และการอุตสาหกรรม เป็นต้น US EPA แบ่งประเภทฝุ่นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละเอียด (Fine particle) และฝุ่นหยาบ (Coarse particle) (US EPA 2016)

2.2.1 ฝุ่นละเอียด (Fine particle)

ฝุ่นละเอียด เป็นฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากไอเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน เป็นต้น นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NOx) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศ ทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้ ฝุ่นชนิดนี้มีช่วงเวลาที่แขวนอยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนาน และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลประมาณ 100-1,000 กิโลเมตร จากแหล่งกำเนิด โดยมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอ

2.2.2 ฝุ่นหยาบ (Coarse particle)

ฝุ่นหยาบ เป็นฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานขึ้นหากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น

2.3 องค์ประกอบของฝุ่นละออง

องค์ประกอบของฝุ่นละอองจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่น (ตารางที่ 1) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองที่มาจากเศษหินทราย เศษซากพืชซากสัตว์ โดยการพัดพาของลม การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า รวมถึงแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เกิดจากการสลายตัว ฯลฯ ส่วนฝุ่นละอองที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ฝุ่นที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ฝุ่นที่มีองค์ประกอบของตะกั่วที่มาจากโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ฝุ่นละอองที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จะมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากฝุ่นส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น (สุชณะ บ่อคำ 2556)

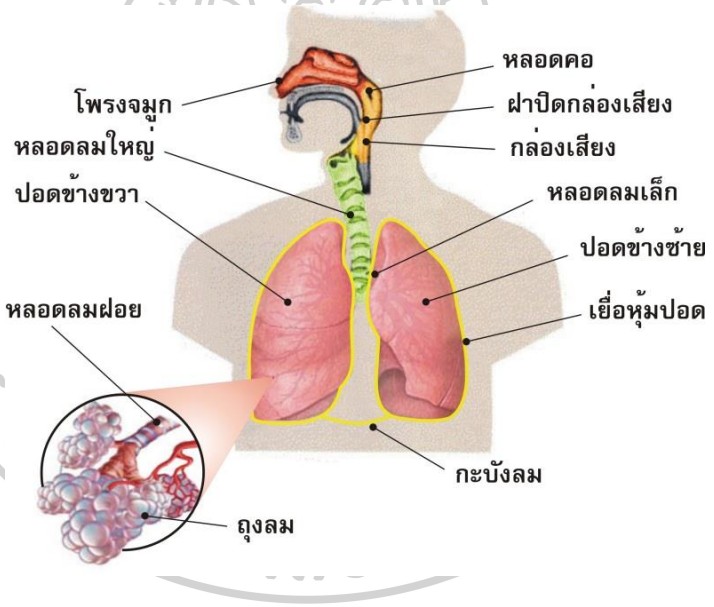
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ

องค์ประกอบ	แหล่งกำเนิด
สารประกอบคาร์บอน	กระบวนการเผาไหม้
สารประกอบอินทรีย์ เช่น ไดออกซิน ไดเบนโซแรนส์	กระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และเบนซิน
เกลือแอมโมเนีย	การทำให้เป็นกลางของกรดในอากาศ
เกลือโซเดียมและแมกนีเซียมคลอไรด์	ทะเล
แคลเซียมซัลเฟต	วัสดุก่อสร้าง เช่น หิน ดิน ทราย
ซัลเฟต	การเติมออกซิเจนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ไนเตรท	การเติมไนโตรเจนของไนโตรเจนไดออกไซด์
ตะกั่ว	น้ำมันที่มีสารตะกั่ว
แร่ธาตุต่าง ๆ	ดิน

ที่มา: (ศรีรัตน์ ล้อมพงษ์, เฉลิมชัย ชัยกิตติกรณ์ et al. 2554)

2.4 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัย

การหายใจเอาฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมครอน เข้าไปในระบบทางเดินหายใจ ร่างกายจะดักจับไว้ที่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นคือจมูกและลำคอ และจะขับออกมาพร้อมกับเสมหะ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายมากนัก โดยจะเกิดอาการไอ จาม เท่านั้น ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย เนื่องจากสามารถแทรกตัวเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และเข้าสู่เนื้อเยื่อปอดได้ อวัยวะในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างมีหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศก่อนเข้าสู่ปอด อากาศที่เข้าไปถึงหลอดลมฝอยจะสัมผัสกับถุงลมปอด ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้น จึงสามารถนำสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย โดยกลุ่มเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบ ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคปอด ไข้หวัดใหญ่ และโรคหอบหืด เป็นต้น ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ
ที่มา: (สุธิสา ล่ามช้าง 2556)

2.5 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับฝุ่นละออง

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในอากาศนำมาใช้เป็นเครื่องชี้วัดสภาพปัญหามลพิษในอากาศ เพื่อให้ประชาชนสามารถเข้าใจสถานการณ์ปัญหาด้านมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากน้อยเพียงใด รวมถึงระดับความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนมลพิษในรูปแบบต่าง ๆ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับฝุ่นละอองแบ่งออกตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละออง ได้แก่ TSP PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ และสามารถแบ่งตามค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตามเวลาออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ย 1 ปี โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตามเวลาใช้เพื่อ

ศึกษาผลกระทบที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองในระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นอาการเจ็บป่วยของคน (กรมควบคุมมลพิษ 2558) ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับฝุ่นละอองที่กำหนดโดนหน่วยงานต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หน่วยงาน	ประเภท	PM_{10}	$PM_{2.5}$
US EPA1	ในบรรยากาศ	0.15 (24 ชม.)	0.035 (24 ชม.)
			0.012 (1 ปี)
WHO2	ในบรรยากาศ	0.05 (24 ชม.)	0.025 (24 ชม.)
		0.02 (1 ปี)	0.010 (1 ปี)
กรมควบคุมมลพิษ3	ในบรรยากาศ	0.120 (24 ชม.)	0.050 (24 ชม.)
		0.050 (1 ปี)	0.025 (1 ปี)
กระทรวงมหาดไทย4	ในอาคาร	5	-
กรมอนามัย5	ในอาคาร	0.050 (8 ชม.)	0.035 (8 ชม.)

ที่มา: 1(US EPA 2011); 2(WHO 2006); 3(กรมควบคุมมลพิษ 2558); 4(กระทรวงมหาดไทย 2520); 5(กรมอนามัย 2559)

2.6 สารมลพิษอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหาร

การปิ้งย่างอาหารก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศมากมายหลายชนิด ทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและอนุภาค สารมลพิษเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถ้าได้รับสัมผัสเป็นเวลานาน จำเป็นต้องได้รับการควบคุมเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับร่างกาย ในบทนี้จะกล่าวถึงสารมลพิษอากาศชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารด้วยวิธีการปิ้งย่างที่ก่อให้เกิดมลพิษหลายชนิด

2.6.1 ฝุ่นละออง (Particulate matter)

ฝุ่นละออง (Particulate matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา และจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือนทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัยทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่งอีกด้วย (นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช et al. 2550) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้สนใจเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และ 10 ไมครอน เท่านั้น

2.6.1.1 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เป็นอนุภาคของแข็งที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย โดนส่วนใหญ่ฝุ่นละอองประเภทนี้จะมีส่วนประกอบของอนุภาคที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีทุติยภูมิที่อยู่ในบรรยากาศ เนื่องจากก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อออกสู่บรรยากาศจะ

เปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาทางเคมี และทางฟิสิกส์เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะก๊าซไปอยู่ในรูปของอนุภาค (Gas-to-particle conversion) (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ม.ป.ป.)

(Yun-Chun Li, Man Shu et al. 2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ จากกิจกรรมการปรุงอาหารบริเวณร้านอาหารข้างทางในมณฑลเสฉวน ประเทศจีน โดยวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาปริมาณ $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นจากการทำอาหารที่แตกต่างกัน ได้แก่ เนื้อย่าง และปลาย่าง ในร้านบาร์บีคิว และร้านปลาย่างว่านโจว ซึ่งทั้ง 2 ร้านนี้ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ทำการเก็บตัวอย่างจากปล่องท่อดูดควันที่ระยะห่าง 1 เมตร เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากร้านย่างเนื้อ และร้านย่างปลา มีค่าเท่ากับ 1,007±340 และ 493±176 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาเห็นได้ว่า การย่างเนื้อก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ มากกว่าการย่างปลา เพราะเนื้อมีปริมาณไขมันสูง เวลาย่างไขมันที่อยู่ในเนื้อจะละลายออกมา และหยดลงบนถ่านที่อยู่ด้านล่าง ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการปลดปล่อย $PM_{2.5}$

(See and Rajasekhar Balasubramanian 2008) ทำการศึกษา และเปรียบเทียบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นจากวิธีการทำอาหาร 5 วิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ การอบด้วยไอน้ำ การต้ม การผัด การทอดโดยใช้น้ำมันเล็กน้อย และการทอดแบบน้ำมันลอย พบว่า การทอดแบบน้ำมันลอย ก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ มากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 190±20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ การทอดโดยใช้น้ำมันเล็กน้อย การผัด การต้ม และการอบด้วยไอน้ำ โดยพบค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าเท่ากับ 130±15 120±13 81.4±9.3 และ 65.7±7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

2.6.1.2 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) ฟูม (Fume) เขม่า (Soot) อนุภาคเหล่านี้ประกอบด้วยสารมลพิษหลายชนิดผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะเกาะตัวหรือตกลงในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ และสามารถเดินทางเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ (วนิดา จีนศาสตร์ 2551)

(อินจิรา นิยมธูร, สุนันทา จิตประพันธ์ et al. 2546) ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เกิดจากการประกอบอาหารในร้านอาหารประเภทปิ้งย่างในห้างสรรพสินค้า และเสนอแนวทางการแก้ไข การจัดการลดมลพิษที่เกิดขึ้น คณะผู้วิจัยได้เลือกร้านอาหารประเภทปิ้งย่างที่ตั้งอยู่ในห้างสรรพสินค้าที่มีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 200 ตารางเมตร และมีการใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับพื้นที่ทั่วไป ซึ่งห้องครัวแยกออกจากพื้นที่ให้บริการลูกค้า โดยใช้เตาไฟฟ้าและเตาถ่านในการปิ้งย่างอาหารประเภทละ 1 อย่าง ทำการตรวจวัด PM_{10} ด้วยเครื่อง DataRam Portable Real-Time Aerosol Monitor โดยเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณกลางพื้นที่บริการทั้งหมด ช่วงเวลาที่เก็บคือ 10.00-22.00 น. โดยเก็บตัวอย่างทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน จากผลการตรวจวัด พบว่า ร้านที่ใช้เตาไฟฟ้ามีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} สูงสุดเท่ากับ 0.236 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดเท่ากับ 0.016 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และร้านที่ใช้เตาถ่าน มีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} สูงสุดเท่ากับ 0.467 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดเท่ากับ 0.020 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สรุปว่า เตาถ่านไม่เหมาะสมในการใช้ปิ้งย่างอาหารเพราะอาจจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ที่เป็น

อันตรายต่อสุขภาพ ควรหันไปใช้เตาไฟฟ้าในการปิ้งย่างแทน เนื่องจากเตาไฟฟ้าสามารถควบคุมอุณหภูมิความร้อนได้ ทำให้อาหารไม่สุกจนเกินไปหรือไม่ไหม้ แต่สำหรับเตาถ่านการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อาจเป็นไปได้ยาก จึงทำให้ค่าที่ได้แปรปรวนมาก คณะผู้จัดทำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ควรมีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่มีท่อดูด โดยติดตั้งบริเวณด้านข้างหรือด้านหน้าของเตา มีระบบเตือนก๊าซพิษเพื่อเฝ้าระวัง และมีมาตรการแก้ไขเกิดขึ้น เช่น การลดมลพิษจากแหล่งกำเนิดทันที ตรวจสอบอาหารที่อยู่บนเตาไม่ให้ทิ้งไว้จนไหม้ ถ่านที่เติมต้องไม่มีควัน มีการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงาน และมีการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารของร้านอาหารปิ้งย่าง เป็นต้น

2.6.2 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)

PAHs เป็นกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว หรือสีเหลืองอ่อนปนเขียว สาร PAHs เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมันและก๊าซ การเผาขยะ กระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม จากเครื่องยนต์ หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ สาร PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจะถูกสลายด้วยแสงแดด และบางชนิดจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยแบคทีเรียและเชื้อราได้ (เกศศินี อุนะพำนัก, เดซี่ หมอกน้อย et al. 2557)

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จัดเป็นสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่มีความเป็นพิษระดับต้น ๆ เนื่องจากสารชนิดนี้เป็นสารพิษที่มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูง จึงส่งผลให้สิ่งมีชีวิตได้รับสัมผัสและการสะสมในร่างกายทำให้เกิดเป็นอันตรายได้ เนื่องมาจากสาร PAHs เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการก่อการกลายพันธ์และก่อมะเร็ง สามารถแบ่งตามฤทธิ์ก่อมะเร็งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มก่อมะเร็ง และกลุ่มไม่ก่อมะเร็ง อันตรายที่ได้รับจะรุนแรงมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสด้วย นอกจากนี้แล้วสาร PAHs ยังสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางทั้งทางการรับประทาน หรือการหายใจ อาการจะไม่รุนแรงมากนักถ้าได้รับในปริมาณที่เล็กน้อย

(Farhadian Afsaneh, S. Jinap et al. 2010) ได้ศึกษา PAHs ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างหรือบาร์บีคิว โดยตรวจวัดสาร PAHs ในอากาศจากการปิ้งย่างเนื้อสะเต๊ะ และไก่ ในร้านอาหารที่ประเทศมาเลเซีย พบว่า การย่างเนื้อสะเต๊ะก่อให้เกิดความเข้มข้นของ PAHs เท่ากับ 132 นาโนกรัมต่อกรัม และการย่างไก่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของ PAHs เท่ากับ 3.15 นาโนกรัมต่อกรัม

(Michiko Koyano, Shigeru Mineki et al. 2001) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นจากการปิ้งย่างปลาแม็คเคอเรลในประเทศญี่ปุ่น โดยทำการตรวจสอบหาความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่นขนาดต่าง ๆ 3 ช่วงขนาด ได้แก่ PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ พบว่า สาร PAHs สามารถดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กได้มากที่สุดคือ PM2.5 และยังพบอีกว่า ความเข้มข้นของสาร PAHs ไม่ได้ลดลงตามระยะห่างจากเตาปิ้งย่าง

(Saito, Nobuyuki Tanaka et al. 2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของสาร PAHs โดยการจำแนกตามขนาดของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารด้วยความร้อน พบว่า สาร PAHs ที่ตรวจวัดได้อยู่ในควันจากการปิ้งย่างอาหาร ซึ่งจะมีมากในอาหารประเภทที่มีไขมันสูง สาร PAHs ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งอย่างอาหารเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ได้แก่ ฟีแนนธรีน

(Phenanthrene) ฟลูออแรนธีน (Fluoranthene) และไพรีน (Pyrene) สารเหล่านี้แต่ละตัวจะมีจำนวนวงแหวนไม่เท่ากัน ถ้าสารตัวใดมีจำนวนวงแหวน 5-7 วงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของฝุ่นละอองลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สาร PAHs สามารถดูดซับอยู่บนอนุภาคของฝุ่นละอองได้ โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.43 ไมครอน และนอกจากนี้ยังพบว่า กว่าร้อยละ 90 ของสาร PAHs ที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารสามารถเข้าไปถึงถุงลมปอดได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง

2.6.3 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound; VOCs)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย มักจะพบในควันจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ ซึ่งจะเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นถ่านหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

(Ehsanul Kabir and Ki-Hyun Kim 2011) ได้ศึกษาการเผาไหม้ถ่านจากการทำบาร์บีคิว ซึ่งเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยทำการศึกษาถ่านที่ผลิตจาก 4 ประเทศ ได้แก่ เกาหลีใต้ อินโดนีเซีย จีน และมาเลเซีย ผลการศึกษาพบว่า เบนซีนมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 98.7+183 พีพีบี โทลูอีนมีค่าความเข้มข้นที่ตรวจพบสูงที่สุดคือเท่ากับ 116+444 พีพีบี เอธิลเบนซีนพบเท่ากับ 22.7+49.4 พีพีบี และเมตา,พารา-ไซลีน พบเท่ากับ 20.7+13.9 พีพีบี ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นที่พบทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าความเข้มข้นแนะนำของสารที่ให้ใช้เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงานในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของ OSHA

(Célia A. Alves, Margarita Evtyugina et al. 2014) ศึกษาอัตราการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากปล่องระบายอากาศของร้านอาหารภายในโรงอาหารของมหาวิทยาลัยอาเวโร ประเทศโปรตุเกส โดยเก็บตัวอย่างจากร้านไก่ย่างและร้านหมูย่างในเวลาอาหารกลางวันและอาหารเย็น ซึ่งเป็นร้านอาหารที่ใช้เตาไฟฟ้าและเตาแก๊ส จากการศึกษาพบว่า เบนซีนที่ปลดปล่อยจากร้านไก่ย่างและร้านหมูย่าง มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 201 และ 178 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ ผลจากการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า เบนซีนที่ปลดปล่อยออกมาจากร้านไก่ย่างและร้านหมูย่างมีค่าสูงเมื่อเทียบกับปริมาณที่ปล่อยจากยานพาหนะหรือแหล่งมลพิษอื่น

(Hekap Kim and Se-bin Lee 2012) ได้ศึกษาและตรวจวัดเกี่ยวกับสารมลพิษทางอากาศภายนอกอาคารของร้านอาหารปิ้งย่างที่ปลดปล่อย VOCs เช่น สารกลุ่ม BTEX ได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอธิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylenes) โดยทำการสุ่มตรวจวัดในร้านอาหารที่ใช้เตาถ่านในการปิ้งย่างอาหารจำนวน 20 ร้านในประเทศเกาหลี พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ในร้านอาหารที่ใช้เตาถ่านในการปิ้งย่างมีค่าเท่ากับ 5.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และร้านอาหารที่ไม่ใช้เตาถ่านในการปิ้งย่างมีค่าเท่ากับ 10.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการศึกษา พบว่า ร้านอาหารที่ใช้เตาถ่านในการปิ้งย่างเป็นแหล่งมลพิษทางอากาศทั้งบริเวณภายในและภายนอกร้าน ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพสำหรับพนักงาน และลูกค้าที่มารับประทานได้ รวมไปถึงคนที่มาใช้บริการด้านนอกร้านอาหารด้วย

2.6.4 ไดออกซิน (Dioxins)

ไดออกซินเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเป็นสารประกอบในกลุ่มคลอริเนตเตทอะโรมาติก มีออกซิเจนและคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ไดออกซินมีชื่อเต็มคือ โพลีคลอริเนตเตทไดเบนโซ่-พารา-ไดออกซิน (Polychlorinated dibenzo-para-dioxins; PCDDs) และยังมีสารประกอบที่คล้ายคลึงกับกลุ่มไดออกซินอีกกลุ่มหนึ่งคือ ฟิวแรน (Furans) หรือมีชื่อเรียกเต็มว่าโพลี

คลอริเนตเตทไดเบนโซ่ฟิวแรน (polychlorinated dibenzo furans; PCDFs) แหล่งกำเนิดของไดออกซินและฟิวแรนนั้นเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ กระบวนการผลิตโลหะและหลอมโลหะ กระบวนการปิ้งย่าง และกระบวนการที่ใช้ความร้อน เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ 2558) ซึ่งไดออกซินและฟิวแรนเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

2.6.5 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

การปิ้งย่างอาหารจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เป็นมลพิษทางอากาศอีกชนิดหนึ่ง โดยสาเหตุสำคัญของการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีลักษณะเป็นก๊าซที่ไม่มีสี กลิ่น และรส ทำให้มีความเป็นอันตรายสูง เนื่องจากไม่สามารถรับรู้ได้ว่ามีก๊าซชนิดนี้อยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิด (ธนากร ผิวจี and ศุภโยธิน ณ สงขลา 2558)

2.7 ผลกระทบของฝุ่นขนาดต่าง ๆ ต่อร่างกาย

ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพของมนุษย์จะขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง ความสามารถในการเข้าสู่และตกค้างในระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น ความถี่ และช่วงเวลาในการสัมผัส โดยโรคที่เกิดจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง ได้แก่ (วนิดา จีนศาสตร์ 2551)

2.7.1 โรคหลอดลมปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD)

โรคหลอดลมปอดอุดกั้นเรื้อรัง หมายถึง กลุ่มของโรคปอดที่มีความผิดปกติโดยมีการอุดกั้นของหลอดลมเนื่องจากโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis) และโรคถุงลมโป่งพอง (Pulmonary emphysema) (สลิล ศิริอุดมภาส 2559) ทำให้ปอดของผู้ป่วยขับลมออกจากปอดได้ช้า หรือไม่สามารถขับลมออกจากปอดได้ทั้งหมดภายในเวลาที่กำหนด โดยอาการทั้งหมดนี้จะสามารถทราบได้จากการทดสอบสมรรถภาพของปอด

2.7.2 โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis)

โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังเป็นอาการอักเสบของหลอดลม ผู้ป่วยมักมีอาการไอและมีเสมหะเรื้อรังอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 3 เดือนต่อปี และผู้ป่วยจะมีอาการเป็น ๆ หาย ๆ ติดต่อกันประมาณ 2 ปี หรือมากกว่านั้น โดยไม่มีสาเหตุอื่น เช่น วัณโรค เป็นต้น สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการสูบบุหรี่หรือได้รับควันบุหรี่จากในห้องที่มีคนสูบบุหรี่ (NIH 2011) และยังเกิดจากการได้รับฝุ่นละอองก๊าซ และฟูมด้วย

2.7.3 โรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema)

โรคถุงลมโป่งพอง หมายถึง การที่เนื้อปอดและผนังถุงลมถูกทำลาย จึงส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซผิดปกติ (อุไรวรรณ ตระการกิจวิชิต 2545) ถุงลมจะมีการขยายใหญ่ขึ้นจนไปกดหลอดลมขนาดเล็ก ๆ ทำให้หลอดลมหนาและบวมผิดปกติ ทำให้อากาศเข้าได้น้อยเหมือนมีสิ่งอุดกั้นทางเดินหายใจ

2.7.4 โรคปอดอักเสบ (Interstitial lung disease)

ฝุ่นละอองและมลพิษในอากาศบริเวณสถานที่ทำงานจะส่งผลกระทบทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อปอดจนกลายเป็นพังผืด เกิดโรคปอดชนิดที่เกิดการจำกัดการขยายตัวของปอดแบบ

เรื้อรัง (Chronic restrictive lung disease) โรคในกลุ่มนี้ที่สำคัญ ได้แก่ โรคนิวโมโคนิโอซีส (Pneumoconiosis) ซึ่งเป็นโรคปอดที่เกิดการการได้รับฝุ่นแร่ (Fibrosis interstitial lung disease) ซึ่งสามารถเกิดได้กับคนงานที่ทำเหมืองแอสเบสตอสหรือผู้ที่ได้รับสัมผัสผงแอสเบสตอสที่หลุดออกมาจากฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานเป็นประจำ นอกจากนี้ยังมีโรคปอดที่เกิดจากการได้รับฝุ่นถ่านหิน (Coal worker's pneumoconiosis) อีกด้วย

2.7.5 โรคหอบหืด (Asthma)

โรคหอบหืดเป็นภาวะที่ร่างกายเกิดการอักเสบเรื้อรังของหลอดลมทำให้เยื่อบุผนังหลอมลมหนาตัว กล้ามเนื้อหลอดลมแคบเล็กลง มีการหดเกร็งตัว ทำให้หายใจไม่สะดวก เหนื่อย แน่นหน้าอก ลักษณะเด่นของโรคหอบหืดที่สำคัญคือหลอดลมจะไวต่อสิ่งกระตุ้นมากกว่าหลอดลมของคนปกติหลังได้รับสิ่งกระตุ้น อาการของแต่ละคนจะแตกต่างกันออกไปไม่เฉพาะเจาะจง

ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพของมนุษย์นั้น ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของฝุ่นละออง อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับลักษณะของการตกค้างในระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ระยะเวลาการได้รับสัมผัส อายุ และสุขภาพของมนุษย์ อีกด้วย

2.8 การตกค้างของอนุภาคในทางเดินหายใจของมนุษย์

ขนาดของอนุภาคแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

2.8.1 อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะหายใจเข้าไปได้ (Non-respirable particle)

อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะหายใจเข้าไปได้ คืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 10 – 15 ไมครอน ซึ่งอนุภาคขนาดนี้มักจะถูกกรองด้วยขนจมูกและมูกในจมูก ทำให้ไม่สามารถผ่านลงไปในหลอดลมได้

2.8.2 อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะสามารถผ่านลงไปในทางเดินหายใจส่วนปลายได้ ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน นี้ยังสามารถแบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Mass median aerodynamic diameter; MMAD) ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (วนิดา จีนศาสตร์ 2551)

กลุ่มที่ 1 อนุภาคขนาด 2.5-10 ไมครอน เรียกว่า Coarse mode fraction มักจะตกติดอยู่ที่ทางเดินหายใจส่วนต้นและส่วนกลาง

กลุ่มที่ 2 อนุภาคขนาด 0.5-2.5 ไมครอน เรียกว่า Fine mode fraction สามารถเคลื่อนที่ลงไปติดในหลอดลมปอดขนาดเล็กส่วนล่างและในถุงลมปอดได้

กลุ่มที่ 3 อนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน เรียกว่า Smallest particle สามารถลอยเข้าออกตามลมหายใจได้

การตกค้างของอนุภาคในร่างกายนั้นจะขึ้นอยู่กับกลไกในการตกค้างของอนุภาค โดยแบ่งออกเป็น 5 กลไก ดังนี้ (วนิดา จีนศาสตร์ 2551)

กลไกที่ 1 ความเฉื่อยเนื่องจากแรงปะทะ (Inertial impaction) กลไกประเภทนี้เกิดขึ้นโดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 5-10 ไมครอน) ที่เคลื่อนที่ได้ช้าลอยเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจตามกระแสอากาศจากจมูกไปยังโพรงหลังจมูก (Nasopharynx) แล้วเกิดการหักเหของกระแสอากาศประมาณ 90 องศา แต่อนุภาคขนาดใหญ่เหล่านี้ไม่สามารถหักเหตามกระแสอากาศได้ทัน จึง

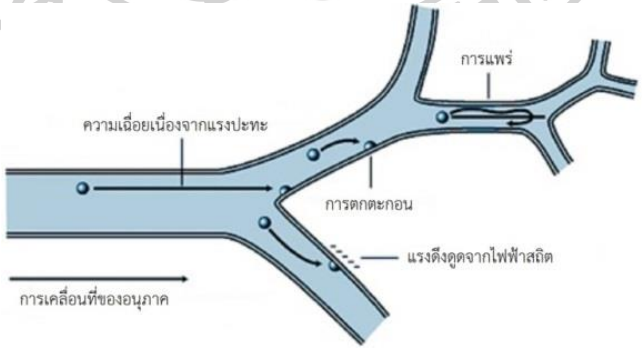
ลอยไปตามความเฉื่อยจนตกกระทบกับผนังคอหอยด้านหลัง (Posterior pharyngeal wall) ทำให้มากกว่าร้อยละ 90 ของอนุภาคขนาดดังกล่าวติดอยู่ในจมูกและโพรงหลังจมูก มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ลงไปถึงหลอดลมส่วนต้นได้ และเมื่ออนุภาคลอยลงไปในหลอดลมแล้วมักตกติดอยู่บริเวณทางแยก (Bifurcation) ของหลอดลมในระดับต้น ๆ

กลไกที่ 2 การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกลไกที่เกิดกับอนุภาคขนาดประมาณ 0.5–5 ไมครอน โดยอนุภาคขนาดนี้สามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปในหลอดลมปอดได้ และตกติดในหลอดลมที่ระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งอนุภาคขนาด 2-5 ไมครอน ส่วนใหญ่มักตกอยู่ในหลอดลมส่วนกลางหรือส่วนล่าง (Central หรือ proximal airway) ซึ่งเป็นหลอมลมขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร สำหรับอนุภาคขนาด 0.5-2 ไมครอน จะลงไปตกตะกอนในหลอดลมส่วนปลาย (Peripheral airway) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร กระแสอากาศจะมีการเรียงตัวเป็นระเบียบ (Laminar flow) ทำให้อนุภาคที่มีน้ำหนักสามารถตกตะกอนติดอยู่ที่เยื่อบุของผิวหลอดลมได้

กลไกที่ 3 การแพร่ (Diffusion) สำหรับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน จะเปรียบเสมือนเป็นก๊าซจึงสามารถผ่านลงไปในส่วนถุงลม (Alveolar unit) ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะมีการเคลื่อนไหวแบบไร้ทิศทาง (Brownian movement) หากมีขนาดเล็กมากจะเคลื่อนที่ออกมากับลมหายใจออก มีส่วนน้อยเท่านั้นที่คงค้างอยู่ในถุงลม

กลไกที่ 4 การตกด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational settling) เป็นกลไกของอนุภาคที่ตกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นกลไกสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน

กลไกที่ 5 แรงดึงดูดจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) เป็นกลไกแรงดึงดูดจากไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นเฉพาะกับอนุภาคที่มีประจุ โดยจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางเดินหายใจที่มีประจุตรงกันข้าม เกิดเป็นแรงดึงดูดระหว่างประจุ และถูกจับไว้ที่บริเวณทางเดินหายใจ กลไกการตกค้างของอนุภาคในร่างกายแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กลไกการตกค้างของอนุภาคในร่างกาย
ที่มา: ดัดแปลงจาก (Lippmann Mortan)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(คมสันต์ แรงจบ 2554) ได้ศึกษาการจำแนกขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ หมู ไก่ ปลาและข้าวโพด โดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ประเภท และเก็บตัวอย่างจากการย่างหมูที่มีอุปกรณ์ควบคุมควันต่างประเภทกัน ได้แก่ พัดลมดูดควัน และครอบดูดควัน โดยเก็บตัวอย่างรวม 12 ร้าน ร้านละ 3 ตัวอย่าง รวม 36 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องแอนเดอร์เซนอิมแพคเตอร์แบบหมุนไม่ได้ 8 ชั้นเป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่าง ขนาดอนุภาคที่เก็บตัวอย่างจะอยู่ในช่วง 0.4 - 10 ไมครอน เก็บตัวอย่างขณะที่มีการปิ้งย่างห่างจากจุดปิ้งย่าง 2 เมตร ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า PM_{10} ที่เกิดจากการย่างหมูและการย่างไก่ มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าการปิ้งย่างอาหารประเภทอื่น โดย PM_{10} ที่เกิดจากการย่างหมูร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 205.62±15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 206.13±20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การย่างไก่ร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 210.70±13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 175.35±14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนการย่างหมูที่ใช้พัดลมดูดควันร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 179.29±34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 185.38±7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และการย่างหมูที่ใช้ครอบดูดควัน (Hood) ร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 114.52±26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 110.85±21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ปริมาณของฝุ่นที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศจากการย่างหมูที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมควัน มีค่าสูงกว่าการย่างหมูที่มีอุปกรณ์ควบคุมควัน

(Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยฝุ่นละออง 3 ขนาด ได้แก่ TSP PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จากกระบวนการปรุงอาหาร โดยตรวจวัดฝุ่นละอองจากร้านอาหารประเภทปิ้งย่างจำนวน 5 แห่ง ตัวอย่างที่ใช้ศึกษามี 4 ประเภท ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อไก่ เครื่องใน และเนื้อหมู โดยแบ่งเป็น เนื้อวัว เนื้อไก่ และเครื่องใน อย่างละ 1 ร้าน และเนื้อหมู 2 ร้าน การศึกษาครั้งนี้เพื่อหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมปิ้งย่างเนื้อสัตว์ที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง การเก็บตัวอย่างที่ท่อดูดควันที่อยู่เหนือเตาปิ้งย่าง พบว่า การปิ้งย่างเนื้อไก่มีค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองมากกว่าเนื้อหมู โดยมีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP เท่ากับ 8.12 8.22 และ 8.99 กรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่เนื้อหมูมีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP เท่ากับ 3.07 3.82 และ 3.87 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

(อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ 2550) ศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมู 3 ประเภท ได้แก่ เนื้อหมูสันใน เนื้อหมูสันนอก และเนื้อหมูสามชั้นด้วยเตาไฟฟ้า ทำการเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควันของห้องปฏิบัติการที่เป็นระบบปิด โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ น้ำหนัก ชนิด พื้นที่หน้าตัดของอาหาร และจำนวนครั้งที่พลิกตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง คือ Personal air sampler ที่อัตราการไหล 1.7 ลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 100 นาที จำนวน 15 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า เนื้อหมูสันในมีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} มากที่สุดคือ 1.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ เนื้อหมูสามชั้น มีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} เท่ากับ 1.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเนื้อหมูสันนอก มีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} เท่ากับ 1.61 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งนอกจากปัจจัยด้านประเภทของอาหารแล้ว ปัจจัยที่ทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

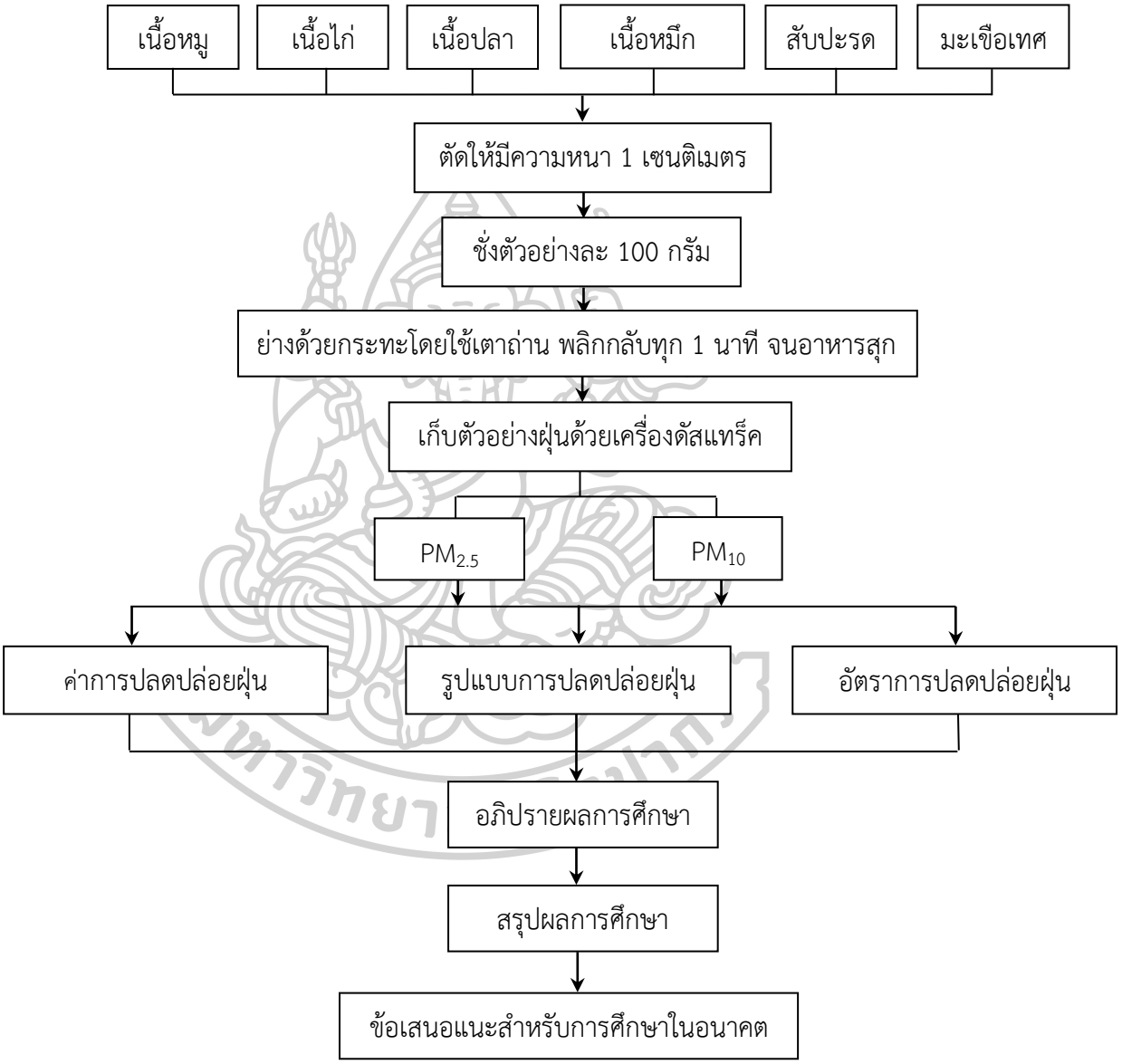
สูงขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิที่ปิ้งย่าง การพลิกกลับชิ้นอาหาร และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นอาหาร โดยการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในการปิ้งหมูทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงขึ้น และการปิ้งย่างหมูหากมีการพลิกกลับชิ้นอาหารไม่บ่อยก็จะทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การปิ้งย่างอาหารทุกชนิดจะมีการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ เกิดขึ้นมากที่สุด ($PM_{2.5}$) รองลงมาคือฝุ่นขนาด 5-10 ไมครอน ($PM_{5\text{-}10}$) และฝุ่นขนาด 2.5-5 ไมครอน ($PM_{5\text{-}10}$) ตามลำดับ

(คมสันต์ แรงจบ and กาญจนา นาถะพินธุ 2555) ได้ศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของ PM_{10} ที่เกิดจากการปิ้งย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่าง ในบรรยากาศทั่วไปจากร้านค้าที่มีการปิ้งย่างอาหารทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ หมูปิ้ง ไก่ย่าง ปลาเผา และข้าวโพดปิ้ง โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 ลักษณะ ได้แก่ มีการติดตั้งพัดลมดูดควัน มีการติดตั้งครอบดูดควัน และไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมควัน โดยเตาปิ้งย่างในการศึกษาทำจากถังน้ำมัน 200 ลิตรฝาครึ่ง แบบไม่มีฝา โดยเตาจะตั้งอยู่ด้านนอกร้านทุกร้าน และทุกร้านที่เก็บตัวอย่างใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงในการปิ้งย่าง ผลการศึกษาพบว่า PM_{10} ที่เกิดจากการย่างหมูที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมควันร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 205.62±15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 206.13±20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การย่างไก่ร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 210.70±13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 175.35±14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปลาเผาร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 195.2±13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ และ 188.1±30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ ข้าวโพดปิ้งร้านที่ 1 และ ร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 115.9±9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ และ 104.7±12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ ตามลำดับ ส่วนการย่างหมูที่ใช้พัดลมดูดควันร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 179.29±34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 185.38±7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และการย่างหมูที่ใช้ครอบดูดควัน (Hood) ร้านที่ 1 และร้านที่ 2 มีค่าความเข้มข้น 114.52±26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 110.85±21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ปริมาณของฝุ่นที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศจากการย่างหมูที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมควัน มีค่าสูงกว่าการย่างหมูที่มีอุปกรณ์ควบคุมควัน การปิ้งย่างอาหารประเภทเนื้อสัตว์มีค่ามากกว่าอาหารประเภทผักผลไม้ เนื่องจากเนื้อสัตว์มีปริมาณไขมันสูงเมื่อหยดลงในเตา ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และเกิดการฟุ้งกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองมากกว่าข้าวโพด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนในการศึกษา

การศึกษานี้ มีกรอบแนวคิดขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูลดังรูปที่ 3

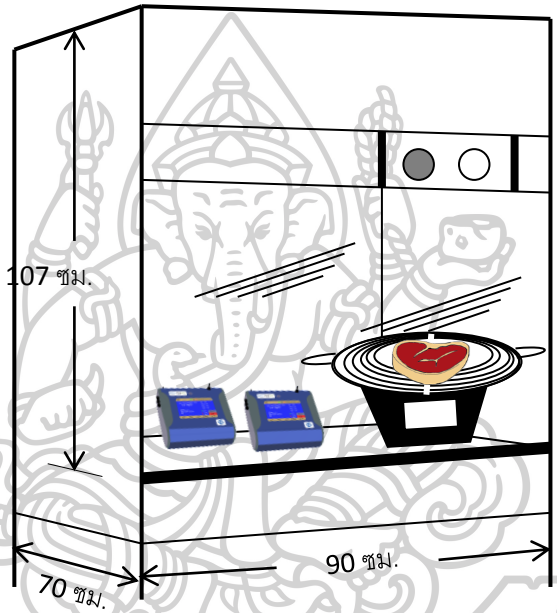


รูปที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา

3.2 การเก็บตัวอย่าง

3.2.1 **สถานที่เก็บตัวอย่าง**

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควันที่ปิดสวิตช์ (ไม่มีการดูดอากาศออกไปภายนอก) ซึ่งทำหน้าที่เสมือน Chamber โดยตู้ดูดควันที่ใช้ตั้งอยู่ในห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ตู้ดูดควันมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 70 x 90 x 107 เซนติเมตร (รูปที่ 4) ขณะทำการปิ้งย่างจะปิดประตูดูดควัน และเปิดอีกครั้งเวลาพลิกกลับชิ้นอาหารเท่านั้น การปิ้งย่างครั้งนี้ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4 ลักษณะการเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน

3.2.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

3.2.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 3 กลุ่ม 6 ประเภท ได้แก่ กลุ่มเนื้อแดง ประกอบด้วยเนื้อหมูและเนื้อไก่ กลุ่มอาหารทะเล ประกอบด้วยเนื้อปลาและเนื้อหมึก และกลุ่มผักผลไม้ ประกอบด้วยมะเขือเทศและสับปะรด โดยอาหารแต่ละประเภทมีการควบคุมความหนาของชิ้นอาหารให้เท่ากันคือ 1 เซนติเมตร และน้ำหนักของชิ้นอาหารเท่ากันคือ 100 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น XS204 อาหารแต่ละประเภทก่อนนำมาปิ้งย่างได้ผ่านการล้างทำความสะอาด จากนั้นนำมาหั่นให้ได้ความหนาและน้ำหนักตามที่กำหนด ประเภทของอาหารที่เป็นตัวแทนในการศึกษานี้มีดังนี้

1. เนื้อหมู

เนื้อหมูที่เลือกใช้คือหมูสันใน (รูปที่ 5) เป็นตัวแทนของเนื้อแดง เหตุผลที่เลือกเนื้อหมูสันในเนื่องจากจากการทบทวนเอกสารการศึกษาของ (อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ 2550) ที่ศึกษาเนื้อหมู 3 ชนิด ได้แก่ หมูสันใน หมูสันนอก และหมูสามชั้น พบว่า ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมูสันในมีค่าสูงที่สุดจึงเลือกมาเป็นตัวแทนในการศึกษานี้ เนื้อหมูที่ใช้ในการศึกษาได้กำจัดพังผืดและส่วนที่เป็นไขมันออกให้เหลือเพียงเนื้อแดงเท่านั้น

รูปที่ 5 เนื้อหมูสันใน
ที่มา: (Gourmetropolis 2016)

2. เนื้อไก่

เนื้อไก่เลือกใช้ส่วนที่เป็นอกและไม่ติดหนัง (รูปที่ 6) ซึ่งเป็นตัวแทนของเนื้อแดงเช่นกัน

รูปที่ 6 เนื้อไก่ส่วนอกไม่ติดหนัง
ที่มา: (The Journal 2015)

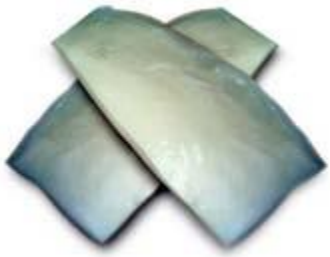
3. เนื้อปลา

เนื้อปลาที่ใช้คือปลาแพนการเซียสดอรี่ (Pangasius dori) ไม่ติดหนัง (รูปที่ 7) เป็นตัวแทนของอาหารทะเล เหตุผลที่เลือกใช้ปลาชนิดนี้เพราะเป็นปลาที่มีเนื้อหนา สามารถหั่นให้มีความหนาตามที่กำหนดได้ เนื้อปลาจะมีลักษณะสีขาว ขั้นตอนแรกในการเตรียมเนื้อปลาคือนำเนื้อปลาที่แช่แข็งไปแช่น้ำเพื่อให้เกิดการอ่อนตัว จากนั้นซับน้ำออกจากเนื้อปลา น้ำที่อยู่ในเนื้อปลาต้องเหลือน้อยที่สุด

รูปที่ 7 เนื้อปลาแพนกาเซียสดอรี่
ที่มา: (West Coast Seafood 2016)

4. เนื้อปลาหมึกยักษ์

เนื้อปลาหมึกยักษ์เป็นตัวแทนของอาหารทะเลอีกชนิดหนึ่ง โดยจะเลือกใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อเท่านั้น (รูปที่ 8) เหตุผลที่เลือกปลาหมึกชนิดนี้เพราะมีเนื้อหนากว่าปลาหมึกชนิดอื่น ขั้นตอนแรกในการเตรียมเนื้อปลาหมึกยักษ์คือนำเนื้อปลาหมึกยักษ์ไปล้างให้สะอาด จากนั้นนำมาหั่นให้ได้ความหนาและชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่กำหนด



รูปที่ 8 เนื้อปลาหมึกยักษ์
ที่มา: (Millenium Ocean Star 2011)

5. มะเขือเทศ

มะเขือเทศ (รูปที่ 9) เป็นตัวแทนของผักผลไม้ โดยจะเลือกใช้มะเขือเทศที่สุก มีลักษณะสีแดง นำมาหั่นให้ได้ความหนาและชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่กำหนด โดยในการปิ้งย่างแต่ละครั้งต้องใช้มะเขือเทศตัวอย่างละหลายชิ้นเพื่อให้ได้น้ำหนัก 100 กรัม สาเหตุที่เลือกมะเขือเทศมาเป็นตัวแทนเนื่องจากเป็นผักที่นิยมนำมาใช้เสียบไม้ย่างบาร์บีคิวพร้อมกับเนื้อสัตว์

รูปที่ 9 มะเขือเทศ
ที่มา: (Home Remedy Shop 2026)

6. สับปะรด

สับปะรด (รูปที่ 10) เป็นตัวแทนของผักผลไม้เช่นเดียวกับมะเขือเทศ โดยจะเลือกใช้สับปะรดที่สุกแล้วแต่ไม่งอม สาเหตุที่เลือกใช้สับปะรดเพราะนิยมนำมาใช้เสียบไม้ย่างบาร์บีคิวพร้อมกับเนื้อสัตว์เช่นเดียวกับมะเขือเทศ

รูปที่ 10 สับปะรด
ที่มา: (Simmons John 2016)

3.2.3 **จำนวนตัวอย่างที่ศึกษา**

การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างทั้งหมด 190 ตัวอย่าง ประกอบด้วย เนื้อหมู 30 ตัวอย่าง เนื้อไก่ 30 ตัวอย่าง เนื้อปลา 30 ตัวอย่าง หมึกยักษ์ 30 ตัวอย่าง สับปะรด 30 ตัวอย่าง มะเขือเทศ 30 ตัวอย่าง และชุดควบคุม (ติดเตาถ่านแต่ไม่มีการปิ้งย่างอาหาร) 10 ตัวอย่าง

3.2.4 **เครื่องมือและอุปกรณ์**

การศึกษาในครั้งนี้ใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Dusttrak II Aerosol Monitor 8530) (รูปที่ 11) ในการเก็บตัวอย่างฝุ่น เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดนี้เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถโปรแกรมให้เครื่องทำการตรวจวัดเป็นช่วง ๆ ตามที่ต้องการได้ เช่น ทุก 10 นาที ทุก 1 นาที เป็นต้น เครื่องนี้สามารถให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถเก็บและบันทึกข้อมูลไว้ในดาต้าล็อกเกอร์ และสามารถถ่ายโอนข้อมูลสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านซอฟท์แวร์ที่มากับเครื่องได้ เครื่องมือนี้ใช้หลักการ

กระเจิงแสง (Light scattering) ในการตรวจวัด โดยเครื่องออกแบบมาให้เก็บตัวอย่างที่อัตราการดูดอากาศเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที โดยมีช่วงความเข้มข้นของฝุ่นที่สามารถตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 0.001 – 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 11 เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530
ที่มา : (TSI 2015)

3.2.5 วิธีการปิ้งย่าง

ติดเตาถ่านให้ร้อนแดง จากนั้นนำกระทะตั้งบนเตา (กระทะที่ใช้เป็นกระทะโลหะ ไม่มีรู ส่วนเตาถ่านเป็นเตาที่ใช้ทั่วไปตามร้านหมูกระทะ ดังรูปที่ 12) ทามันหมูเล็กน้อยพอไม่ให้ชิ้นอาหารไหม้ติดกระทะ จากนั้นวางชิ้นอาหารลงบนกระทะ ในขณะปิ้งย่างพลิกกลับชิ้นอาหารทุก 1 นาที จนอาหารสุก (การพลิกกลับทุก 1 นาที ได้มาจากการทดสอบเบื้องต้นที่ทำก่อนหน้าว่าไม่ทำให้อาหารไหม้ติดกระทะ) ขณะพลิกกลับชิ้นอาหารเปิดประตูตู้ดูดควันเพียงเล็กน้อยแค่พอสอดมือเข้าไปได้เท่านั้น เพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนอากาศในตู้ดูดควันกับอากาศภายนอก ปิ้งย่างอาหารครั้งละ 1 ชนิด จนครบ 30 ตัวอย่าง แล้วจึงปิ้งย่างอาหารชนิดต่อไป ระหว่างตัวอย่างล้างกระทะและทามันหมูใหม่ทุกครั้ง และเปิดสวิตช์ตู้ดูดควันเพื่อดูดอากาศจากการปิ้งย่างครั้งก่อนให้หมดไป โดยอาหารแต่ละประเภทจะใช้ระยะเวลาในการปิ้งย่างจนสุกไม่เท่ากัน จึงทำให้การเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละประเภทใช้เวลาไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 3

รูปที่ 12 เตาถ่านที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด

ชนิดอาหาร	ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง(นาที)	เก็บตัวอย่างทุก(วินาที)
เนื้อหมู	15	10
เนื้อไก่	10	6
เนื้อปลา	6	5
เนื้อปลาหมึก	6	5
มะเขือเทศ	4	4
สับปะรด	4	4

3.2.6 **วิธีการเก็บตัวอย่าง**

ทำการติดตั้งเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 จำนวน 2 เครื่อง เพื่อเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} พร้อมกัน เก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควันที่ปิดสวิตซ์ (ไม่มีการดูดอากาศ) และปิดประตูตู้ เพื่อทำหน้าที่คล้ายกับ Chamber ที่สามารถควบคุมไม่ให้เกิดการรบกวนจากกระแสอากาศภายนอก ขณะเก็บตัวอย่างได้

3.2.7 **การวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดจะวิเคราะห์ 5 ลักษณะ ดังนี้

3.2.7.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

1. ถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องดัสแทร็คลงเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม TrankproTM software version 4.6.1

2. ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการจัดเรียงข้อมูลดิบ และคิดค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดทุก 1 นาที ตามเวลาที่ใช้ในการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

3. หาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด

3.2.7.2 ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor)

ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง(Emission factor; EF) หมายถึง ปริมาณฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมาต่อน้ำหนักอาหาร ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (1) (ดัดแปลงจาก (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a)

$$\text{Emission factor} = (C \times Q \times t \times 60)/(Wt \times 10\text{-}3) \quad (1)$$

โดยที่ C - ความเข้มข้นของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Q - อัตราการไหลของอากาศ, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

t - ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง, นาที

60 - เปลี่ยนหน่วยจากนาทีเป็นวินาที

Wt - น้ำหนักของอาหาร, กิโลกรัม

3.2.7.3 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern)

การหารูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น คือการหาร้อยละของ $PM_{2.5}$ ในฝุ่น PM_{10} ดังแสดงในสมการที่ (2) รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจะแสดงให้ทราบว่า ฝุ่นละอองที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วยฝุ่นละเอียด (PM2.5) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นหยาบ (PM10-2.5) มากน้อยเพียงใด

$$\text{Emission pattern} = (PM_{2.5}/PM_{10}) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ $PM_{2.5}$ - ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

PM_{10} - ความเข้มข้นของ PM_{10}, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.7.4 อัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate)

อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแสดงในรูปน้ำหนักฝุ่นที่ระบายออกสู่บรรยากาศต่อปี ซึ่งส่วนใหญ่นิยมแสดงในหน่วยตันต่อปี โดยมีปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระบายฝุ่น ได้แก่ ปัจจัยด้านกิจกรรม (Activity factor; k) ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) อัตราการบริโภคอาหารแต่ละประเภทต่อปี (Consumption rate) และจำนวนประชากร อัตราการปลดปล่อยฝุ่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3) (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a)

$$\text{Emission rate (ton yr}^{-1}) = k \times EF \times CR \times P \times 10^{-6} \quad (3)$$

โดยที่ k - ปัจจัยด้านกิจกรรม, ไม่มีหน่วย

EF - ค่าการปลดปล่อยฝุ่น, กรัมต่อกิโลกรัม

CR - อัตราการบริโภคอาหารประเภทต่าง ๆ, กิโลกรัมต่อคนต่อปี

P - จำนวนประชากร, คน

10^{-6} - แฟคเตอร์การเปลี่ยนหน่วยจากกรัมเป็นตัน

3.7.4.5 การเทียบความเข้มข้นกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

ข้อมูลความเข้มข้นที่ได้จากการปิ้งย่างอาหาร จะนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อให้ทราบว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่

3.2.8 กาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลความเข้มข้นและค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด มาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

3.2.8.1 ใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ประเภท

3.2.8.2 ใช้สถิติ Independent-sample T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างภายในแต่ละกลุ่ม (หมูเทียบกับไก่ ปลาเทียบกับปลาหมึก มะเขือเทศเทียบกับสับปะรด)

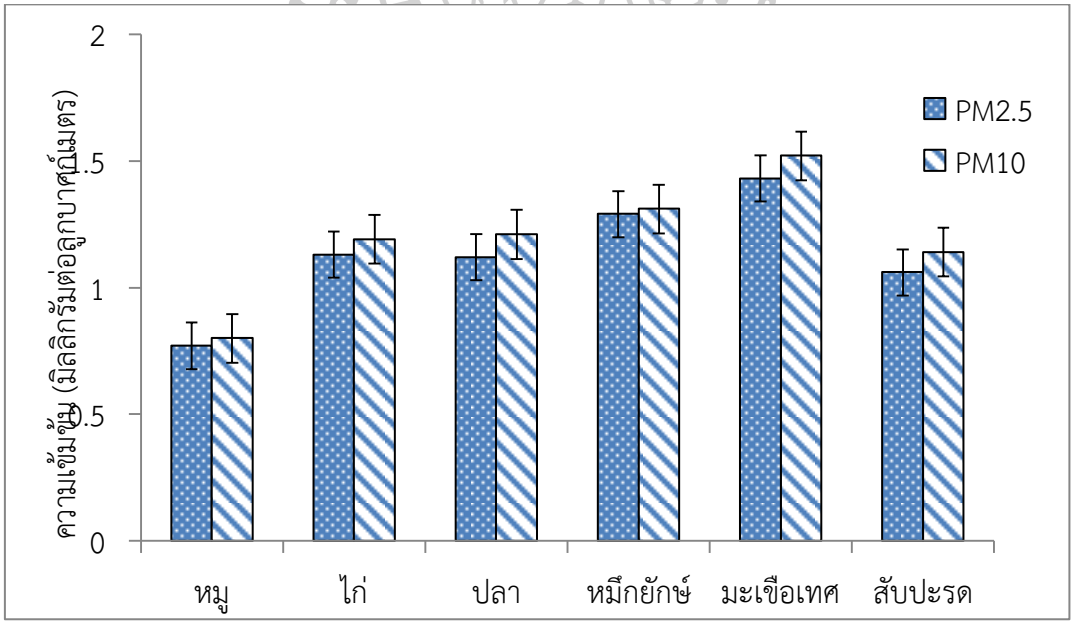
3.2.8.3 ใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบความแตกต่างของระหว่างกลุ่ม (เนื้อแดง อาหารทะเล ผักผลไม้)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผลการศึกษา

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และ 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารทั้งหมด 6 ประเภท ประกอบด้วย เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อหมึกยักษ์ มะเขือเทศ และสับปะรด ด้วยเตาถ่าน และนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาศึกษาหาค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern) และอัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate) ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 ความเข้มข้นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย เนื้อหมู 30 ตัวอย่าง เนื้อไก่ 30 ตัวอย่าง เนื้อปลา 30 ตัวอย่าง เนื้อหมึกยักษ์ 30 ตัวอย่าง มะเขือเทศ 30 ตัวอย่าง และสับปะรด 30 ตัวอย่าง ได้ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และPM_{10}

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปิ้งย่างมะเขือเทศก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มากที่สุด กล่าวคือ 1.43 และ 1.52 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ เนื้อหมึกยักษ์ เนื้อไก่ เนื้อปลา สับปะรด และค่าน้อยที่สุด คือเนื้อหมู โดยค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าเท่ากับ 1.29 1.13 1.12 1.06 และ 0.77 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าเท่ากับ 1.31 1.21 1.19 1.14 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากการสังเกตจะเห็นว่ามะเขือเทศมีค่าความเข้มข้นมากกว่าสับปะรดทั้งที่อยู่ในกลุ่มอาหารประเภทผักและผลไม้เหมือนกัน

เนื่องจากมะเขือเทศที่ใช้มีความสุกและฉ่ำมากทำให้ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงกว่าสับปะรด เพราะสับปะรดที่ใช้ยังสุกไม่เต็มที่ทำให้ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยกว่ามะเขือเทศ

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ พบว่า ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการตรวจวัดอาหารทั้ง 6 ชนิด มีค่าเกินค่ามาตรฐานของ US EPA (ในบรรยากาศทั้ง 24 ชั่วโมง และ 1 ปี) WHO (ในบรรยากาศทั้ง 24 ชั่วโมง และ 1 ปี) กรมควบคุมมลพิษ (ในบรรยากาศทั้ง 24 ชั่วโมง และ 1 ปี) และกรมอนามัย (ในอาคาร 8 ชั่วโมง) แต่ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} จากการตรวจวัดมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของกระทรวงมหาดไทย (ในอาคาร 8 ชั่วโมง) สาเหตุที่ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าเกินค่ามาตรฐานเนื่องจากตรวจวัดในตู้ดูดควันที่ปิดสนิทไม่มีการระบายอากาศ

ฝุ่นละอองที่มีค่าเกินมาตรฐาน จะส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองจากการปิ้งย่าง เช่น คนขาย ลูกค้า เป็นต้น ฝุ่นขนาดเล็กเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยอย่างมาก เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงสามารถผ่านเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจได้ เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และเข้าสู่เนื้อเยื่อปอดได้ อวัยวะในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างมีหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศก่อนเข้าสู่ปอด อากาศที่เข้าไปถึงหลอดลมฝอยจะสัมผัสกับถุงลมปอด ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้น จึงสามารถนำสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย และยังลดประสิทธิภาพการทำงานของปอดอีกด้วย โดยกลุ่มเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบ ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคปอด ไข้หวัดใหญ่ และโรคหอบหืด เป็นต้น

เมื่อนำความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) โดยตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

H_0: ความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิดไม่แตกต่างกัน

H_1: มีความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารอย่างน้อย 1 ชนิดแตกต่างกัน

ผลการทดสอบ ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 กล่าวคือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด มีอย่างน้อย 1 ชนิด ที่แตกต่างจากชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาก่อนหน้านี้ของ(คมสันต์ แรงจบ and กาญจนา นาถะพินธุ 2555) เกี่ยวกับความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา และข้าวโพดด้วยเตาถ่าน พบว่า การปิ้งย่างเนื้อหมูก่อให้เกิด PM_{10} มากที่สุด และข้าวโพดก่อให้เกิด PM_{10} น้อยที่สุด เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับการศึกษานี้จะเห็นได้ว่า ไม่สอดคล้องกับการศึกษานี้ เนื่องจากเนื้อหมูที่ใช้มีความแตกต่างกัน กล่าวคือเนื้อหมูที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเนื้อหมูที่ไม่ติดมัน อีกทั้งกระทะที่ใช้ในการปิ้งย่างใช้แบบไม่มีรู จึงไม่เกิดการเผาไหม้ของไขมันที่หยดลงบนถ่านได้ ดังนั้นการปิ้งย่างเนื้อหมูของการศึกษานี้จึงก่อให้เกิด PM_{10} น้อยกว่า ส่วนมะเขือเทศและสับปะรดมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่าข้าวโพด ในการปิ้งย่างจึงก่อให้เกิด PM_{10} มากกว่าจากการไหม้ของน้ำที่ไหลออกมาจากมะเขือเทศและสับปะรดในขณะปิ้งย่าง การศึกษาของ(นวพล ใจเพ็ชร 2558) ในการปิ้งยิ่งเนื้อสัตว์ชนิดเดียวกับการศึกษานี้ด้วยเตาไฟฟ้า และตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เช่นเดียวกัน พบว่า การปิ้งย่างสับปะรดก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มากที่สุด และเนื้อปลาก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} น้อย

ที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ แต่ความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าเนื่องจากเตาไฟฟ้าไม่มีฝุ่นจากการเผาไหม้ของถ่าน

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำความเข้มข้นที่ได้มาเปรียบเทียบกันเป็นคู่ในระหว่างกลุ่มเนื้อแดง (เนื้อหมู-เนื้อไก่) กลุ่มอาหารทะเล (เนื้อปลา-เนื้อหมึกยักษ์) และกลุ่มผักผลไม้ (มะเขือเทศ-สับปะรด) โดยใช้สถิติ Independent sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) โดยตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

H_0: ความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารในกลุ่มเดียวกันไม่แตกต่างกัน

H_1: ความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารในกลุ่มเดียวกันแตกต่างกัน

ได้ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างอาหารในกลุ่มเดียวกัน

กลุ่ม	คู่ที่ทดสอบ	ค่า Sig.		แตกต่าง (/) ไม่แตกต่าง (X)
เนื้อแดง	หมู – ไก่	$PM_{2.5}$	= 0.003	/
		PM_{10}	= 0.001	/
อาหารทะเล	ปลา – หมึก	$PM_{2.5}$	= 0.306	X
		PM_{10}	= 0.584	X
ผักผลไม้	สับปะรด – มะเขือเทศ	$PM_{2.5}$	= 0.007	/
		PM_{10}	= 0.013	/

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แต่ละคู่ในกลุ่มเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นกลุ่มอาหารทะเลที่ เนื่องจากเนื้อปลาและเนื้อหมึกยักษ์สุกง่ายพอ ๆ กัน สังเกตได้จากการใช้เวลาในการปิ้งย่างจนสุกเท่ากัน

นอกจากนี้ เมื่อทดสอบความความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่ม (เนื้อแดง อาหารทะเล ผักผลไม้) โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) โดยตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

H_0: ความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1: ความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกัน

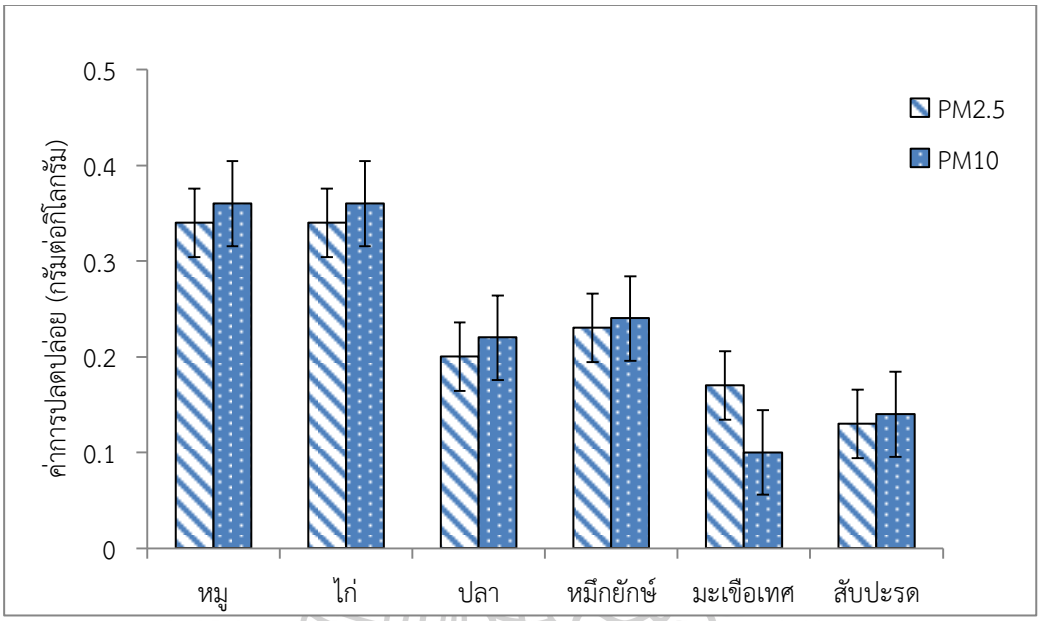
ผลการทดสอบ ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 กล่าวคือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่ก่อให้เกิดฝุ่นจากการปิ้งย่างสูงที่สุดคือกลุ่มผักผลไม้ รองลงมาคือกลุ่มอาหารทะเล และกลุ่มเนื้อแดง ตามลำดับ

ความแตกต่างที่เกิดขึ้นของความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่มนี้อาจมีสาเหตุมาจากหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ลักษณะของอาหารที่ใช้ในการศึกษา อุณหภูมิขณะปิ้งย่าง ระยะเวลาในการปิ้งย่าง จำนวนการพลิกกลับชิ้นอาหาร เป็นต้น การศึกษาก่อนหน้านี้ของ (คมสันต์ แรงจบ and กาญจนา นาถะพินธุ 2555) พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นการปิ้งย่าง

อาหารในกลุ่มเนื้อแดง (เนื้อหมูและเนื้อไก่) มากกว่ากลุ่มอาหารทะเล (เนื้อปลา) และมากกว่ากลุ่มผักผลไม้ ซึ่งตรงข้ามกับการศึกษานี้ แต่การศึกษาของ (นวพล ใจเพ็ชร 2558) มีผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้

4.2 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) จากการปิ้งย่างอาหารในหน่วยกรัมของฝุ่นต่อกิโลกรัมของอาหารที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ค่าการปลดปล่อยฝุ่น

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ถึงแม้กลุ่มเนื้อแดงจะก่อให้เกิดฝุ่นน้อยที่สุดในแง่ของความเข้มข้น แต่เมื่อพิจารณาในแง่ค่าการปลดปล่อยฝุ่นพบว่ามีค่าสูงที่สุด ส่วนกลุ่มผักผลไม้ที่ก่อให้เกิดฝุ่นความเข้มข้นสูงสุด แต่กลับมีค่าการปลดปล่อยฝุ่นต่ำที่สุด ซึ่งทั้ง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน การศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) และการศึกษาของ (Pechan 2003) ซึ่งศึกษาค่าการปลดปล่อยฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารหลายชนิด รวมถึงเนื้อหมู และเนื้อไก่ด้วยเช่นเดียวกับการศึกษานี้ พบว่า การปิ้งย่างอาหารกลุ่มเนื้อแดงมีค่าการปลดปล่อยมากกว่ากลุ่มอาหารประเภทอื่นในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

	Lee et al (2011)			Pechan (2003)		การศึกษานี้		
	หมู	ไก่	เตา	หมู	เตา	หมู	ไก่	เตา
$PM_{2.5}$	3.07	8.12	ไฟฟ้า	9.1	ถ่าน	0.34	0.34	ถ่าน
PM_{10}	3.82	8.22	ไฟฟ้า	9.4	ถ่าน	0.36	0.34	ถ่าน

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาค่าการปลดปล่อยฝุ่นเป็นรายกลุ่ม พบว่า เนื้อไก่มีค่าการปลดปล่อยฝุ่นสูงกว่าเนื้อหมู ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) และ (Pechan 2003) ซึ่งการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) ได้ค่าการปลดปล่อยฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมูเท่ากับ 3.07 และ 3.82 และเนื้อไก่เท่ากับ 8.12 และ 8.22 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วน (Pechan 2003) ได้ค่าการปลดปล่อยฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมูและเนื้อไก่เท่ากับ 9.1 และ 9.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) และ (Pechan 2003) เป็นการเก็บตัวอย่างโดยตรงจากปล่องระบายอากาศ ทำให้ค่าความเข้มข้น และค่าการปลดปล่อยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าสูงกว่าการศึกษานี้ ดังตารางที่ 5 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ (อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ 2550) พบว่า ค่าการปลดปล่อยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่า เนื่องจากการศึกษาของ(อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ 2550) เป็นการเก็บตัวอย่างภายในอาคาร ซึ่งถึงแม้จะเป็นห้องปิด แต่ก็มีการเจือจางด้วยอากาศมากกว่าการศึกษานี้ซึ่งเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควันที่ปิดสนิท นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างการศึกษาแต่ละงานยังมีสาเหตุมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันอีกด้วย โดยการศึกษานี้ใช้เครื่องดัสแทร็คที่ใช้หลักการกระเจิงแสงในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่น ส่วนการศึกษาของอนุดิษฐ์ ใช้ชุดเก็บตัวอย่างแบบบุคคลและใช้วิธีเชิงน้ำหนักในการวิเคราะห์ตัวอย่าง (Pechan 2003) เป็นการคำนวณจากข้อมูลทุติยภูมิ และ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) เก็บตัวอย่างด้วยไซโคลนและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักตามวิธี 201A ของ US EPA

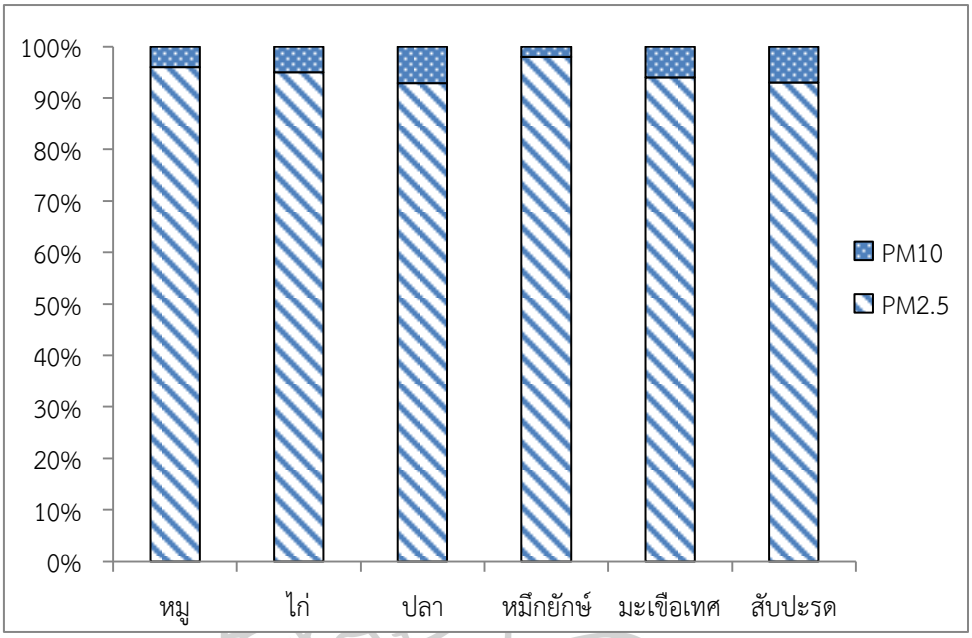
ส่วนกลุ่มอาหารทะเล พบว่า เนื้อหมึกยักษ์มีค่าการปลดปล่อยสูงกว่าเนื้อปลา และกลุ่มผักผลไม้ พบว่า มะเขือเทศมีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ สูงกว่าสับปะรด แต่มีค่าการปลดปล่อย PM_{10} ต่ำกว่าสับปะรด

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า กลุ่มอาหารที่มีค่าการปลดปล่อยของฝุ่นจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ กลุ่มเนื้อแดง (หมู ไก่) มากกว่ากลุ่มอาหารทะเล (ปลา หมึกยักษ์) มากกว่ากลุ่มประเภทผักและผลไม้ (มะเขือเทศ สับปะรด) ตามลำดับ

4.3 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นคือร้อยละของ $PM_{2.5}$ ใน PM_{10} ค่าที่ได้จะแสดงให้ทราบว่า ฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วยฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากหรือน้อยกว่าฝุ่นหยาบ ($PM_{10-2.5}$) จากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างส่วนใหญ่

เป็นฝุ่นละเอียด ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่รับสัมผัสอย่างร้ายแรง เนื่องจากสามารถเข้าไปถึงถุงลมปอดได้ รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละประเภทจากการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทุกประเภท มีสัดส่วนของ $PM_{2.5}$ มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งหมายความว่า ฝุ่นจากการปิ้งย่างส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละเอียดซึ่งสามารถส่งผลกระทบร้ายแรงต่อร่างกาย เมื่อเปรียบเทียบการศึกษานี้กับการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) ที่มีการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างทั้ง 3 ชนิด คือ เนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่ จากปล่องระบายในร้านอาหารประเภทปิ้งย่าง พบว่า มีสัดส่วนอยู่ในช่วง 0.73 – 1.00 นอกจากนี้การศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) ที่มีการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีก็พบสัดส่วนใกล้เคียงกันคือ 0.71 นอกจากนี้การศึกษาของ (US EPA 1999) พบว่า กว่าร้อยละ 80 ของฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์เป็น $PM_{2.5}$ และอีกร้อยละ 20 เป็น PM_{10} และการศึกษาของ(นวพล ใจเพ็ชร 2558) ที่ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อหมึกยักษ์ มะเขือเทศ และสับปะรด ด้วยเตาไฟฟ้า พบว่า สัดส่วนที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 0.79 – 0.97 ซึ่งจะเห็นว่าผลของการศึกษานี้กับการศึกษาก่อนหน้านี้มีความสอดคล้องกัน

4.4 อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

อัตราการปลดปล่อยฝุ่นเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมาจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด ที่เป็นตัวแทนในการศึกษานี้ มีหน่วยเป็นตันต่อปี โดยค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่าอัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 5

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า อาหารที่มีอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มากที่สุด คือ เนื้อหมึกยักษ์ รองลงมาคือ เนื้อปลา เนื้อไก่ เนื้อหมู สับปะรด และมะเขือเทศ ตามลำดับ โดยผลรวมของการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิดนี้ มีอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} รวมเท่ากับ 176.31 และ 184.59 ตันต่อปี ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอาหารประเภทเนื้อสัตว์มีอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มากกว่าอาหารประเภทผักและผลไม้ เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่นิยมบริโภคอาหารประเภทเนื้อสัตว์มากกว่าผักและผลไม้

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า พบว่า อัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อไก่ในการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) มีค่าเท่ากับ 115 และ 117 ตันต่อปี ตามลำดับ และอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมูมีค่าเท่ากับ 60 และ 74 ตันต่อปี ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการศึกษานี้ เนื่องจากการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) ทำการเก็บตัวอย่างในร้านอาหารประเทศเกาหลีที่มีลักษณะแบบเปิด ไม่มีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา ระบบอากาศภายในร้านอาหารมีการหมุนเวียนถ่ายเท ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองเป็นบริเวณกว้าง เมื่อนำจำนวนประชากรมาเปรียบเทียบกับอัตราการบริโภคแล้ว ทำให้ทราบว่าอัตราการบริโภคในการศึกษานี้น้อยกว่าของการศึกษาของ (Jun-Bok Lee, Ki-Hyun Kim et al. 2011a) เนื่องจากประชากรในประเทศเกาหลีนิยมบริโภคอาหารประเภทปิ้งย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 6 อัตราการระบาย $PM_{2.5}$ และ PM_{10}

ชนิดอาหาร	ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (กรัม/กิโลกรัม)		ปัจจัยด้านกิจกรรม (k)	อัตราการบริโภค (กก./คน-ปี)	จำนวนประชากร[5] (ล้านคน)	อัตราการระบาย (ตัน/ปี)	
	$PM_{2.5}$	PM_{10}				$PM_{2.5}$	PM_{10}
เนื้อหมู	0.34	0.36	0.074	14.5[1]	65.32	24.04	24.97
เนื้อไก่	0.34	0.36	0.076	15.0[2]		25.16	26.50
เนื้อปลา	0.20	0.22	0.152	30.0[2]		59.98	64.80
เนื้อหมึก	0.23	0.24	0.147	29.0[3]		64.56	65.56
มะเขือเทศ	0.17	0.18	0.015	3.0[4]		0.51	0.54
สับปะรด	0.13	0.14	0.036	7.0[4]		2.06	2.21
					รวม	**176.31**	**184.59**

ที่มา: [1](ส่วนวิจัยเศรษฐกิจปศุสัตว์และประมง 2558); [2](อดิศร์ กฤษณวงศ์ 2557); [3](ประพันธ์ โนระดี 2559); [4](สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ 2559); [5] (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล 2559)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้ตรวจวัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิดด้วยเตาถ่าน ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อหมึกยักษ์ มะเขือเทศ และสับปะรด และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern) และอัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด ส่วนใหญ่เป็น $PM_{2.5}$ โดยมีสัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$ เท่ากับ 0.92 – 0.98 จึงเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคปอด โรคหลอดเลือดหัวใจ จนกระทั่งโรคมะเร็ง ดังนั้น ร้านอาหารปิ้งย่างจึงควรมีอุปกรณ์ควบคุมและ/หรือกำจัดฝุ่น เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับลูกค้าและพนักงานภายในร้าน เนื่องจากความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จากความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ตรวจวัดได้ เมื่อนำมาหาค่าการปลดปล่อยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อหมึกยักษ์ มะเขือเทศ และสับปะรด ซึ่งจะเห็นว่าค่าการปลดปล่อยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างกลุ่มเนื้อแดง (เนื้อหมูและเนื้อไก่) สูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มอาหารทะเล (เนื้อปลาและเนื้อหมึกยักษ์) โดยกลุ่มผักผลไม้ (มะเขือเทศและสับปะรด) มีการปลดปล่อยฝุ่นน้อยที่สุด

เมื่อนำค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้ มาหาค่าอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ทั้ง 4 ชนิด รวมถึงมะเขือเทศและสับปะรด พบว่า กลุ่มอาหารทะเลมีค่าการปลดปล่อยสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มเนื้อแดง และสุดท้ายคือกลุ่มผักผลไม้ ทั้งนี้เนื่องมากจากอัตราการบริโภคอาหารทะเลของประชากรชาวไทยมีอัตราสูงกว่ากลุ่มเนื้อแดงและกลุ่มผักผลไม้ ตามลำดับ โดยผลรวมจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด จะมีค่าอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 176.31 และ 184.59 ตันต่อปี ตามลำดับ

การศึกษานี้สามารถอธิบายลักษณะของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ที่เป็นตัวแทนในการศึกษา ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้นำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (Emission factor) รูปแบบการปลดปล่อยมลพิษ (Emission pattern) และอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (Emission rate) ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการจัดการคุณภาพอากาศสำหรับร้านขายอาหารปิ้งย่าง ตลอดจนใช้เป็นฐานข้อมูลการระบายมลพิษเพื่อการกำหนดนโยบายในการควบคุมคุณภาพอากาศได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเพิ่มชนิดอาหารที่จะนำมาทดสอบ เช่น อาหารทะเลชนิดอื่น เนื้อวัว เนื้อปลาชนิดอื่น ผักและผลไม้ชนิดอื่น

5.2.2 ควรมีการนำฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อผู้ที่ได้รับสัมผัส

5.2.3 ควรมีการทดสอบปัจจัยด้านการเตรียมอาหารต่อการปลดปล่อยฝุ่นละออง เช่น การหมัก การห่อด้วยใบตอง การห่อด้วยแผ่นฟอยล์ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

Célia A. Alves, et al. (2014). "**Volatile organic compounds emitted by the stacks of restaurants**." Air Quality, Atmosphere & Health 8(4): 401-412.

Ehsanul Kabir and Ki-Hyun Kim (2011). "**An investigation on hazardous and odorous pollutant emission during cooking activities**." Journal of Hazardous Materials 188(1-3): 443-454.

Farhadian Afsaneh, et al. (2010). "Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat." Food Control 21(5): 606-610.

Gourmetropolis (2016). "**Pork**." Retrieved 7.

Hekap Kim and Se-bin Lee (2012). "**Charcoal Grill Restaurants Deteriorate Outdoor Air Quality by Emitting Volatile Organic Compounds**." Journal of Environmental Studies 21(6): 1667-1673.

Home Remedy Shop (2026). "**Home remedies for scars**." Retrieved 1.

Jun-Bok Lee, et al. (2011a). "**Emission Rate of Particulate Matter and Its Removal Efficiency by Precipitators in Under-Fired Charbroiling Restaurants**." TheScientific WorldJOURNAL 11: 1077-1088.

Lippmann Mortan. "**Chapter 10-respiratory system**." Retrieved 27, from http://ilocis.org/documents/chpt10e.htm.

Michiko Koyano, et al. (2001). "“Effects of fish (mackerel pike) broiling on polycyclic aromatic hydrocarbon contamination of suspended particulate matter in indoor air." Journal of Health Science 47(5): 452-459.

Millenium Ocean Star (2011). "**Giant squid fillet**." Retrieved 7, from http://www.millennium-oceanstar.com/product_import/squid_import.

NIH (2011). "What is bronchitis?". Retrieved 27.

Pechan (2003). "**Method for developing a national emission inventory for commercial cooling process**." Technical memorandum: 1-31.

Saito, E., et al. (2014). "**Concentration and particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons formed by thermal cooking**." Food Chemistry 153: 285-291.

See, S. W. and Rajasekhar Balasubramanian (2008). "**Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods**." Atmospheric Environment 42(39): 8825-8862.

Simmons John (2016). "26**Fruits**." Retrieved 7, from http://www.26 fruits.co.uk/ pineapple.php.

The Journal (2015). "**Know what campylobacter is?. It makes us sick more often than Salmonella does**." Retrieved 16, from http://www.thejournal.ie/campylobacter-ireland-salmonella-1908068-Jan2015/.

TSI (2015). "**DustTrak II Aerosol Monitor**." Retrieved 25.

US EPA (1999). **Emissions from street vender cooking devices (charcoal grilling).** New York.

US EPA (2011). "**Policy Assessment for the Review of the Particulate Matter National Air Quality Standards**." Retrieved 12, from http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/20110419pmpafinal.pdf.

US EPA (2016). "National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)." Retrieved 6, from http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/criteria.html.

West Coast Seafood (2016). "Fish fillets." Retrieved 2, from http://www.westcoastseafood.com.au/shop/listings/fish-fillets/.

WHO (2006). "**Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**." WHO Air quality guidelines: 1-20.

Yun-Chun Li, et al. (2015). "**Characteristics PM2.5 emitted from different cooking activities in China**." Atmospheric Research 166: 83-91.

กรมควบคุมมลพิษ (2558). "มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง." Retrieved 29, from http://www. pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html#s1.html, .

กรมอนามัย (2559). "(ร่าง) ประกาศกรมอนามัย เรื่อง มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร."

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (ม.ป.ป.). " มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ." Retrieved 30, from http://kcenter.anamai.moph.go.th/download.php?infoid=2090&download_file=pdf /90e54325fb744f9b5d5399bddcf49f5.pdf.

กระทรวงมหาดไทย (2520). "ประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2515) เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)." Retrieved 30, from http://203.157.80.2/replyImages/20131218133746181.pdf.

เกศศินี อุนะพำนัก, et al. (2557). " โครงการศึกษาสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(**PAHs)** ในบรรยากาศอันเนื่องมาจากปัญหาหมอกควันและผลต่อสุขภาพของประชาชน." กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม(1): 1-47.

คมสันต์ แรงจบ (2554). การจำแนกขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากกิจกรรมประเภทปิ้งย่าง, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ปริญญาโท.

คมสันต์ แรงจบ and กาญจนา นาถะพินธุ (2555). "การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่เกิดจากกิจกรรมประเภทปิ้งย่าง." วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ 5(2): 11-20.

ธนากร ผิวจี and ศุภโยธิน ณ สงขลา (2558). การพัฒนาเครื่องเตือนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในบริเวณตรวจสภาพรถสำ นักงานขนส่ง กรุงเทพมหานคร พื้นที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวน

สุนันทา. ปริญญาโท.

นพภาพร พานิช, et al. (2550). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ, สำนักพิมพ์ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวพล ใจเพ็ชร (2558). ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาไฟฟ้า, ศิลปากร. ปริญญาโท.

ประพันธ์ โนระดี (2559). "การบริโภคสัตว์น้ำของไทย." Retrieved 3 from http://www.fisheries.go.th/foreign/images/ pdf/a0654.pdf.

วนิดา จีนศาสตร์ (2551). มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรีรัตน์ ล้อมพงษ์, et al. (2554). ผลกระทบของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่มีผลต่อสุขภาพนักเรียนในโรงเรียนที่อยู่ใกล้โรงงานโม่หินในเขตภาคตะวันออก, มหาวิทยาลัยบูรพา. ปริญญาโท.

สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล (2559). "ประชากรของประเทศไทย พ.ศ. 2559." Retrieved 25, from http://www.ipsr.mahidol.ac.th/ipsrbeta/th/Gazette. aspx.

สลิล ศิริอุดมภาส (2559). "โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคซีโอพีดี." Retrieved 2, from http://www.haamor.com/th/โรคซีโอพีดี.

ส่วนวิจัยเศรษฐกิจปศุสัตว์และประมง (2558). "สุกร." Retrieved 6, from http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2559.pdf.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2559). "**Ingredient query**." Retrieved 24, fromhttp://consumption.acfs.go.th/index.php?content=query&topic=ingredien.

สุชณะ บ่อคำ (2556). การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากกิจกรรมของอุตสาหกรรมบ่อดิน-บ่อทรายที่มีต่อสุขภาพของเด็กนักเรียน กรณีศึกษาโรงเรียนในตำบลบ้านยาง อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม, มหาวิทยาลัยศิลปากร. ปริญญาโท.

สุธิสา ล่ามช้าง (2556). "โครงสร้างของระบบทางเดินหายใจ." Retrieved 5, from http://lms.thaicyberu.go.th/officialtcu/main/advcourse/presentstu/course/bk521/006suthisa/_3.html.

อดิศร์ กฤษณวงศ์ (2557). "การเลี้ยงสัตว์น้ำจะยั่งยืนทำอย่างไร." สมาคมผู้เพาะเลี้ยงปลาไทย.

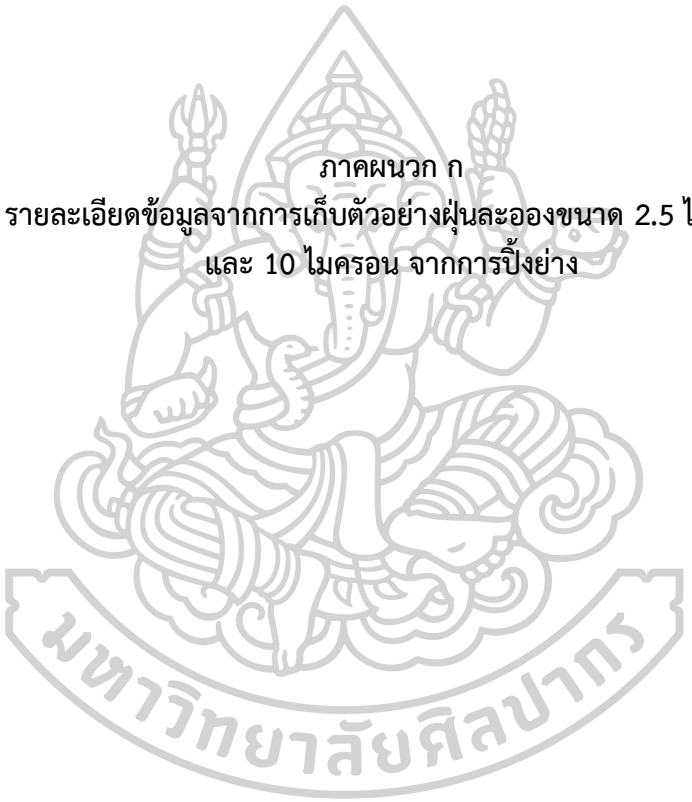
อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ (2550). สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM_{10} จากการปิ้งหมู, มหาวิทยาลัยนเรศวร. ปริญญามหาบัณฑิต.

อินจิรา นิยมธุร, et al. (2546). "คุณภาพอากาศในร้านอาหารที่มีการประกอบปรุงโต๊ะ และการ จัดการ กรณีศึกษา:ร้านอาหารประเภทปิ้งย่างในห้างสรรพสินค้า." health 26(4).

อุไรวรรณ ตระการกิจวิชิต (2545). ผลของการให้คำปรึกษาด้านยาแก่ผู้ป่วยในต่อความร่วมมือในการใช้ยาตามสั่งของผู้ป่วยโรคหอบหืดหรือหลอดลมอุดกั้นเรื้อรัง ณ โรงพยาบาลสมุทรปราการ, มหาวิทยาลัยศิลปากร. ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ก
รายละเอียดข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน และ 10 ไมครอน จากการปิ้งย่าง



ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
เนื้อหมู (16/10/2558)	1	100.8	15	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.26	0.29
	2	100.8				0.46	0.49
	3	100.5				0.98	1.01
	4	100.8				0.54	0.57
	5	100.1				0.47	0.51
	6	100.9				0.68	0.70
	7	100.4				1.06	1.12
	8	100.7				0.47	0.49
	9	100.1				0.56	0.60
	10	100.5				0.62	0.63
	11	100.8				0.58	0.65
	12	100.1				1.44	1.52
	13	100.3				0.92	0.98
	14	100.6				0.22	0.23
	15	100.2				0.33	0.36
	16	100.1				0.74	0.81
	17	100.6				0.74	0.81

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
เนื้อหมู (16/10/2558)	18	100.3	15	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.48	0.54
	19	100.6				0.45	0.48
	20	100.5				0.25	0.27
	21	100.3				1.06	1.08
	22	100.7				0.84	0.93
	23	100.6				0.26	0.28
	24	100.8				1.29	1.26
	25	100.2				1.66	1.66
	26	100.2				1.36	1.34
	27	100.0				0.77	0.81
	28	100.2				0.98	1.00
	29	100.0				1.64	1.63
	30	100.0				0.87	0.88
มะเขือเทศ (17/10/2558)	1	100.2	4	ไม่สามารถควบคุมได้	3	1.63	1.44
	2	100.5				1.73	1.74
	3	100.8				1.30	1.20
	4	100.2				1.06	1.02

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
มะเขือเทศ (17/10/2558)	5	100.3	4	ไม่สามารถควบคุมได้	3	1.35	1.28
	6	100.7				1.26	1.27
	7	100.2				0.63	3.41
	8	100.0				1.61	1.52
	9	100.0				1.44	1.41
	10	100.8				1.33	1.32
	11	100.0				1.17	1.15
	12	100.9				1.42	1.31
	13	100.2				1.76	1.59
	14	100.8				0.62	2.89
	15	100.4				2.04	1.93
	16	100.7				1.95	1.92
	17	100.8				2.29	2.27
	18	100.2				2.09	2.05
	19	100.9				2.80	2.76
	20	100.3				2.51	2.35
	21	100.8				1.69	1.65

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
มะเขือเทศ (17/10/2558)	22	100.4	4	ไม่สามารถควบคุมได้	3	1.76	1.51
	23	100.9				1.59	1.25
	24	100.8				1.20	0.99
	25	100.9				0.76	0.64
	26	100.5				0.82	0.80
	27	100.2				0.93	0.89
	28	100.8				0.73	0.68
	29	100.6				0.71	0.70
	30	100.3				0.80	0.68
สับปะรด (17/10/2558)	1	100.4	4	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.78	0.74
	2	100.7				0.90	0.89
	3	100.9				0.67	0.66
	4	100.9				0.53	0.51
	5	100.0				1.46	1.40
	6	100.3				1.28	1.25
	7	100.4				0.78	0.76
	8	100.1				1.29	1.34

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
สับปะรด (17/10/2558)	9	100.7	4	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.69	0.71
	10	100.0				1.19	1.11
	11	100.5				0.81	0.78
	12	100.3				0.63	0.65
	13	100.0				0.56	0.55
	14	100.0				1.57	1.56
	15	100.0				1.30	1.29
	16	100.0				1.44	1.35
	17	100.4				1.21	1.35
	18	100.8				0.77	0.72
	19	100.7				2.04	1.91
	20	100.0				2.00	1.89
	21	100.6				0.35	1.90
	22	100.0				1.98	1.85
	23	100.6				0.35	2.00
	24	100.5				1.05	1.05
	25	100.0				1.36	1.37

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
สับปะรด (17/10/2558)	26	100.5	4	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.88	0.81
	27	100.0				1.12	0.94
	28	100.0				0.76	0.73
	29	100.4				1.14	1.07
	30	100.5				0.96	0.96
เนื้อไก่ (20/10/2558)	1	100.7	10	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.10	2.02
	2	100.0				0.15	0.15
	3	100.5				0.09	1.34
	4	100.3				0.13	0.13
	5	100.8				0.79	0.65
	6	100.4				0.62	0.57
	7	100.6				1.15	1.05
	8	100.0				1.05	0.97
	9	100.4				1.01	0.98
	10	100.8				1.75	1.60
	11	100.0				1.61	1.56
	12	100.9				1.21	1.28

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						PM2.5 (มก./ลบ.ม.)	PM10 (มก./ลบ.ม.)
เนื้อไก่ (20/10/2558)	13	100.5	10	ไม่สามารถควบคุมได้	3	1.54	1.58
	14	100.8				0.97	0.96
	15	100.5				1.32	1.36
	16	100.0				1.00	0.98
	17	100.6				1.17	1.14
	18	100.1				1.38	1.25
	19	100.1				1.49	1.50
	20	100.7				1.72	1.70
	21	100.9				1.46	1.65
	22	100.8				0.93	0.89
	23	100.5				0.93	0.64
	24	100.9				1.05	1.03
	25	100.0				1.23	1.17
	26	100.0				1.57	1.51
	27	100.5				1.57	1.50
	28	100.2				1.34	1.34
	29	100.0				1.84	1.82
	30	100.4				1.65	1.54

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
เนื้อปลา (30/10/2558)	1	100.6	6	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.37	0.33
	2	100.4				0.23	2.03
	3	100.5				0.22	2.34
	4	100.7				0.22	0.82
	5	100.1				0.87	0.40
	6	100.5				0.43	0.40
	7	100.1				1.30	1.20
	8	100.0				0.56	0.53
	9	100.0				0.65	0.56
	10	100.0				1.02	0.91
	11	100.0				1.16	1.10
	12	100.7				1.00	0.91
	13	100.0				2.13	2.24
	14	100.0				1.44	1.29
	15	100.5				0.87	0.75
	16	100.8				1.77	1.78
	17	100.6				0.39	0.38

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
เนื้อปลา (30/10/2558)	18	100.0	6	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.57	0.61
	19	100.0				0.99	0.92
	20	100.0				0.49	0.42
	21	100.3				0.41	0.38
	22	100.3				0.68	0.60
	23	100.6				2.12	2.02
	24	100.3				2.41	2.08
	25	100.1				1.84	2.08
	26	100.0				1.29	1.26
	27	100.4				2.34	2.13
	28	100.5				2.38	2.35
	29	100.0				1.90	1.92
	30	100.8				1.63	1.62
หมึกยักษ์ (11/11/2558)	1	100.0	6	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.41	0.34
	2	100.2				0.40	2.81
	3	100.2				0.63	0.54
	4	100.5				0.59	0.51

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
หมึกยักษ์ (11/11/2558)	5	100.8	6	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.59	0.53
	6	100.3				0.53	0.56
	7	100.4				1.74	1.23
	8	100.8				1.49	1.36
	9	100.0				1.49	1.33
	10	100.0				1.05	0.92
	11	100.0				1.58	1.16
	12	100.1				1.28	1.00
	13	100.1				1.12	0.98
	14	100.4				1.47	1.28
	15	100.2				1.00	0.95
	16	100.7				1.84	1.39
	17	100.6				1.52	1.38
	18	100.3				1.49	1.28
	19	100.5				1.25	1.21
	20	100.0				1.18	1.07
	21	100.5				0.85	0.81

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)
หมึกยักษ์ (11/11/2558)	21	100.5	6	ไม่สามารถควบคุมได้	3	0.85	0.81
	22	100.6				1.96	1.79
	23	100.0				1.83	1.77
	24	100.0				1.81	1.77
	25	100.1				2.26	2.16
	26	100.5				0.28	2.31
	27	100.0				1.93	1.95
	28	100.0				1.58	1.42
	29	100.0				2.24	1.91
	30	100.8				1.43	1.43

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก2 ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
ชนิดอาหาร	$PM_{2.5}$	PM_{10}
เนื้อหมู	0.77 ± 0.41	0.80 ± 0.40
เนื้อไก่	1.13 ± 0.50	1.21 ± 0.46
เนื้อปลา	1.12 ± 0.71	1.19 ± 0.71
หมึกยักษ์	1.29 ± 0.56	1.31 ± 0.58
มะเขือเทศ	1.43 ± 0.57	1.52 ± 0.69
สับปะรด	1.06 ± 0.46	1.14 ± 0.45

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF)

สำหรับการคำนวณหาค่าการปลดปล่อยของฝุ่น ในที่นี้ขอยกเว้นข้อมูลของการเก็บตัวอย่างจากการปิ้งย่างไก่ด้วยเตาถ่าน จากการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ (ตัวอย่างชิ้นที่ 1) มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ โดยน้ำหนักของเนื้อไก่เท่ากับ 100.0 กรัม ความเข้มข้นของฝุ่นเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เก็บตัวอย่าง 10 นาที อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเท่ากับ 3.0 ลิตรต่อนาที สามารถคำนวณค่าการปลดปล่อยของฝุ่นละอองได้ดังนี้

$$\text{Emission factor (กรัม/กิโลกรัม ชิ้น)} = \frac{C \times Q \times t \times 60}{Wt \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{0.10 \ \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลบ.ม}} \times 30 \ \frac{\text{ลิตร}}{\text{นาที}} \times 10 \text{ นาที} \times 60 \ \frac{\text{วินาที}}{\text{นาที}} \times \frac{\text{ลบ.ม}}{1000 \text{ ลิตร}}}{100.7 \text{ กรัม} \times \frac{10^{-3} \text{ มิลลิกรัม}}{\text{กรัม}} \times \frac{10^{-3} \text{ กิโลกรัม}}{\text{กรัม}}}$$

$$= 1.88 \text{ กรัม/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองเท่ากับ 1.88 กรัม/กิโลกรัม

2. การคำนวณรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern; EP)

สำหรับการคำนวณหาค่ารูปแบบการปลดปล่อยของฝุ่น ในที่นี้ขอยกข้อมูลการเก็บตัวอย่างจากการปิ้งย่างไก่ด้วยเตาถ่าน จากการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 1.13 และ 1.19 สามารถคำนวณหาค่าได้ในรูปแบบร้อยละของ $PM_{2.5}$ ในฝุ่น PM_{10} ได้ดังนี้

$$\text{Emission pattern} = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}} \times 100$$

$$= \frac{1.13}{1.19} \times 100$$

$$= 95$$

3. การคำนวณอัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate; ER)

สำหรับการคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยของฝุ่น ในที่นี้ขอยกเว้นข้อมูลของการเก็บตัวอย่างจากการปิ้งย่างไก่ด้วยเตาถ่าน จากการเก็บตัวอย่างค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นตัวอย่างในการคำนวณ โดยค่าการปลดปล่อยของฝุ่น $PM_{2.5}$ เท่ากับ 0.34 กรัมต่อกิโลกรัม ค่าปัจจัยด้านกิจกรรมเท่ากับ 0.076 ค่าอัตราการบริโภคเท่ากับ 15.0 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และจำนวนประชากรเท่ากับ 65.32 ล้านคน สามารถคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยของฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้ดังนี้

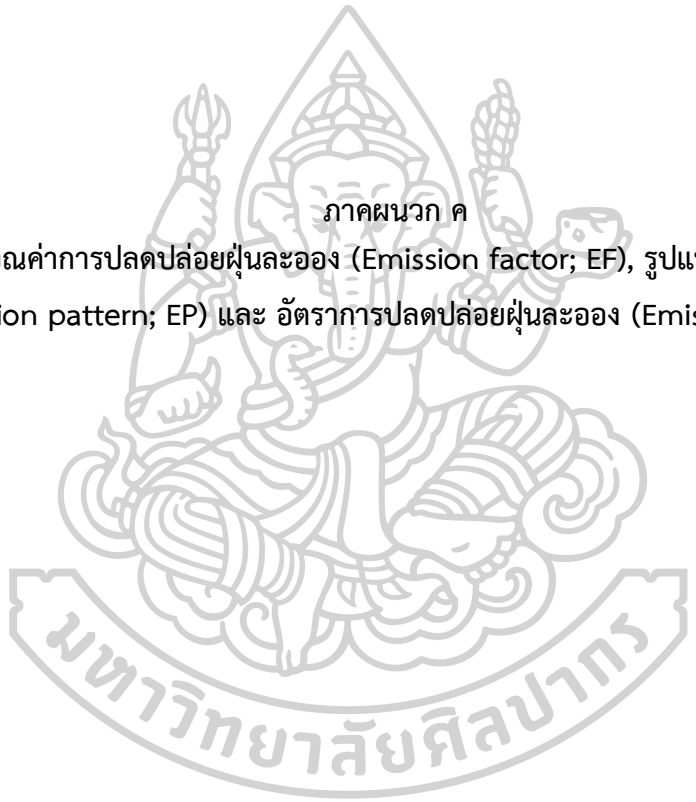
Emission rate (ton yr^{-1}) = k x EF x CR x P x 10^{-6}

= 0.076 x 0.34 กรัม/กก. x 15.0 กก./คน/ปี x 65.32 x 10^{6} ล้านคน x 10^{-6} ตัน/กรัม

= 25.16 ตัน/ปี

ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF), รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern; EP) และ อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission rate; ER)



ตารางที่ ค1 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF)

ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (กรัมต่อกิโลกรัม)		
ชนิดอาหาร	$PM_{2.5}$	PM_{10}
เนื้อหมู	0.34 ± 0.18	0.36 ± 0.18
เนื้อไก่	0.34 ± 0.15	0.36 ± 0.14
เนื้อปลา	0.20 ± 0.13	0.22 ± 0.13
หมึกยักษ์	0.23 ± 0.10	0.24 ± 0.10
มะเขือเทศ	0.17 ± 0.07	0.18 ± 0.08
สับปะรด	0.13 ± 0.05	0.14 ± 0.05

ตารางที่ ค2 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission pattern; EP)

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละออง (ร้อยละ)	
ชนิดอาหาร	($PM_{2.5}$ / PM_{10})x 100
เนื้อหมู	96
เนื้อไก่	95
เนื้อปลา	93
หมึกยักษ์	98
มะเขือเทศ	94
สับปะรด	93

ตารางที่ ค3 อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission rate; ER)

อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง (ตันต่อปี)		
ชนิดอาหาร	$PM_{2.5}$	PM_{10}
เนื้อหมู	24.04	24.97
เนื้อไก่	25.16	26.50
เนื้อปลา	59.98	64.80
หมึกยักษ์	64.56	65.56
มะเขือเทศ	0.51	0.54
สับปะรด	2.06	2.21

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารต่างชนิดกัน โดยใช้การทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ ง1 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิดด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ANOVA

$PM_{2.5}$

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4203.386	5	840.677	15.520	.000
Within Groups	9424.967	174	54.166		
Total	13628.353	179			

ตารางที่ ง2 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิดด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ANOVA

PM_{10}

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4525.109	5	905.022	17.131	.000
Within Groups	9192..40	174	52.830		
Total	13717.450	179			

ตารางที่ ง3 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่างเนื้อหมู-เนื้อไก่ด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
PigChicken	Equal variances assumed	.751	.390	-3.058	58	.003	-.36133	.11815	-.59784	-.12483
	Equal variances not assumed			-3.058	55.650	.003	-.36133	.11815	-.59805	-.12462

ตารางที่ ง4 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่างเนื้อปลา-หมึกยักษ์ด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
fishoctopuss	Equal variances assumed	2.815	.099	-1.033	58	.306	-.17133	.16587	-.50335	.16069
	Equal variances not assumed			-1.033	54.891	.306	-.17133	.16587	-.50335	.16069

ตารางที่ ง5 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่าง
มะเขือเทศ-สับปะรดด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Tomatopineapple	Equal variances assumed	1.298	.260	2.784	58	.007	.37100	.13328	.10421	.63779
	Equal variances not assumed			2.784	55.324	.007	.37100	.13328	.10394	.63806

ตารางที่ ง6 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างเนื้อหมู-เนื้อไก่ด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
PigChicken	Equal variances assumed	.321	.573	-3.581	58	.001	-.39767	.11105	-.61996	-.17537
	Equal variances not assumed			-3.581	57.127	.001	-.39767	.11105	-.62003	-.17530

ตารางที่ ง7 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างเนื้อปลา-หมึกยักษ์ด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
fishoctopuss Equal variances assumed	4.695	.034	-.550	58	.584	-.09200	.16719	-.42666	.24266
Equal variances not assumed			-.550	55.568	.584	-.09200	-.16719	-.42698	.24298

ตารางที่ ง8 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างมะเขือเทศ-สับปะรดด้วยเตาถ่าน โดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Tomatopineapple	Equal variances assumed	2.501	.119	2.556	58	.013	.38400	.15021	.08333	.68467
	Equal variances not assumed			2.556	49	.014	.38400	.15021	.08229	.68571

ตารางที่ ง9 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ระหว่างกลุ่มของเนื้อแดง อาหารทะเล ผักผลไม้ เตาถ่าน โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ANOVA

$PM_{2.5}$

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4047.112	2	2023.556	37.382	.000
Within Groups	9851.241	177	54.131		
Total	13628.353	179			

ตารางที่ ง10 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ระหว่างกลุ่มของเนื้อแดง อาหารทะเล ผักผลไม้ เตาถ่าน โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ANOVA

PM_{10}

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4426.856	2	2213.428	41.683	.000
Within Groups	9398.958	177	53.101		
Total	13825.814	179			

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวปรมาภรณ์ ทองแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	17 สิงหาคม 2525
สถานที่เกิด	ชุมพร
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	77/3 ม.4 ต.ตากแดด อ.เมือง จ.ชุมพร 86000
ผลงานตีพิมพ์	ตัวคูณอัตราการระบายและอัตราการระบายฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน จากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน

มหาวิทยาลัยศิลปากร