ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาไฟฟ้า

โดย
นายนวพล ใจเพ็ชร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EMISSION FACTORS AND EMISSION PATTERNS OF PARTICULATES FROM FOOD GRILLING BY ELECTRIC STOVE

By

Mr. Nawapol Jaipet

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Science Program in Environmental Science
Department of Environmental Science
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาไฟฟ้า” เสนอโดย นายนวพล ใจเพ็ชร เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแฉ่ง)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์)
...../...../.....

57311307: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คำสำคัญ: $PM_{2.5}$ / PM_{10} / การปิ้งย่างอาหาร / ค่าการปลดปล่อยฝุ่น / รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น

นวพล ใจเพ็ชร : ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาไฟฟ้า. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผศ.ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์. 67 หน้า.

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้น ค่าการปลดปล่อย และรูปแบบการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารจากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ได้แก่ เนื้อหมู (สันใน) เนื้อไก่ (อกไม่ติดหนัง) เนื้อปลา (ปลาแพนกาเซียสดอรี่ไม่ติดหนัง) เนื้อปลาหมึก (ปลาหมึกยักษ์ไม่รวมหนวด) มะเขือเทศ และสับปะรด ด้วยเตาไฟฟ้า เก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ภายในตู้ดูดควันซึ่งปิดสวิตซ์ (ไม่มีการดูดควัน) ในขณะปิ้งย่างอาหาร ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แสดงให้เห็นว่าว่า การปิ้งย่างสับปะรดก่อให้เกิดฝุ่นทั้ง 2 ขนาดมากที่สุด รองลงมาคือมะเขือเทศ เนื้อปลาหมึก เนื้อไก่ เนื้อหมู และเนื้อปลา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.74 และ 1.80, 0.43 และ 0.50, 0.35 และ 0.44, 0.26 และ 0.33, และ 0.21 และ 0.26 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าการปลดปล่อยฝุ่น พบว่า สับปะรดมีค่าการปลดปล่อยสูงสุด รองลงมาคือ มะเขือเทศ เนื้อหมู เนื้อไก่ ปลาหมึก และเนื้อปลา ตามลำดับ ส่วนรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นแสดงให้ทราบว่า ฝุ่นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารเป็น $PM_{2.5}$ ซึ่งเป็นฝุ่นละเอียดที่ส่งผลกระทบร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ การปิ้งย่างเนื้อสัตว์จะก่อให้เกิดฝุ่นขึ้นมากในระยะแรก และค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งอาหารสุก เนื่องจากน้ำในเนื้อสัตว์ลดลงเรื่อย ๆ และเกิดการติดกระทะ ในทางกลับกัน การปิ้งย่างผักผลไม้จะก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ต่ำในระยะแรกเนื่องจากน้ำในอาหารยังออกมาไม่มาก และมีน้ำออกมามากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสุก ทำให้เกิดฝุ่นมากในช่วงหลัง อย่างไรก็ตาม อนุภาคขนาดเล็กที่ตรวจวัดได้ส่วนใหญ่เป็นไอน้ำที่เกิดจากน้ำในอาหาร ซึ่งการศึกษาในปัจจุบันยังไม่ปรากฏว่าไอน้ำดังกล่าวเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า หากต้องการรับประทานอาหารประเภทปิ้งย่างแล้ว การเลือกรับประทานเนื้อปลาและผักผลไม้จะปลอดภัยต่อสุขภาพมากกว่าเนื้อแดง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2558
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

57311307: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD: $PM_{2.5}$ / PM_{10} / FOOD GRILLING / EMISSION FACTOR / EMISSION PATTERN
NAWAPOL JAIPHET: EMISSION FACTORS AND EMISSION PATTERNS OF PARTICULATES FROM FOOD GRILLING BY ELECTRIC STOVE. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. AUNGSIRI TIPAYAROM, Ph.D. 67 pp.

The objective of this study is to analyze the concentration, emission factor and emission patterns of $PM_{2.5}$ and PM_{10} from grilling 6 different kinds of foods which are pork (tenderloin), chicken (breast without skin), fish (Pangasius dory), giant squid, tomatoes and pineapples by electric stove. The samples were collected and analyzed by using DustTrak Aerosol Monitor 8530 in an inactive fume hood (no ventilation) while grilling. According to the measurements of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations, it is found that grilling pineapple produced the highest dust emissions of both particle sizes; following by tomatoes, squid, chicken, pork and fish with the orderly concentrations of 1.74 and 1.80, 0.43 and 0.50, 0.35 and 0.44, 0.26 and 0.33, and 0.21 and 0.26 mg/m^3, respectively. When the emission factors were considered, it was observed that pineapple also revealed the highest value following by tomato, pork, chicken, squid and fish. Emission pattern showed that $PM_{2.5}$ ultrafine particles, was predominant particulates which were able to cause adverse effects to human health. Additionally, the particle emissions from grilling meat were high at the beginning of the activity and were slightly decreasing until the meat is cooked owing to the decreasing of meat water content and sticking of burned meat to the stove. On the other hand, it is in the opposite direction as in the case of grilling fruits and vegetables. This is due to the fact that, the more fruit and vegetable were grilled, the more they released the water inside out, therefore there were more particle emissions at the end. However, most of measured fine particles were water vapor generated from water content of foods with no evident that it is harmful to human health. The results of this study suggested that eating grilled fish, vegetable and fruit were harmless than grilled meat.

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University
Student's signature ..... Academic Year 2015
Thesis Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่ พร้อมทั้งให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไป

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแฉ่ง และอาจารย์ ดร.สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และร่วมเป็นประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ศึกษาในสถาบันแห่งนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกท่านที่มีส่วนช่วยสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบเพื่อตอบแทนคุณบิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ ซึ่งเป็นแรงผลักดันที่สำคัญแก่ผู้วิจัย และขอมอบแด่บูรพาคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฏ
บทที่
1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
สมมติฐานของการวิจัย..... 2
ขอบเขตของการวิจัย..... 3
นิยามศัพท์เฉพาะ..... 3
ประโยชน์ที่ได้รับ..... 4
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 5
สารมลพิษอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหาร..... 5
ฝุ่นละออง (Particulate matter)..... 5
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน..... 6
(Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs)..... 7
ไดออกซิน (Dioxin)..... 8
เฮ็ทเทอโรไซคลิกเอมีน (Heterocyclic amines, HCAs)..... 9
ค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร 9
รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร..... 10
อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร..... 11
มาตรฐานคุณภาพอากาศของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10}..... 12
3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 13
กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 13
สถานที่เก็บตัวอย่าง..... 14
การเก็บตัวอย่าง..... 14
อาหารที่เป็นตัวแทนในการศึกษา..... 14
เนื้อหมู..... 15
เนื้อไก่..... 15

บทที่ หน้า
เนื้อปลา 16
เนื้อปลาหมึกยักษ์ 16
มะเขือเทศ 17
สับปะรด 17
มันหมู 18
เครื่องเก็บตัวอย่าง 18
การวิเคราะห์ข้อมูล 19
ความเข้มข้นของฝุ่น 19
การเทียบความเข้มข้นกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ 19
การวิเคราะห์ความเข้มข้นในช่วงเวลาต่าง ๆ 19
ค่าการปลดปล่อยฝุ่น 19
รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น 19
อัตราการปลดปล่อยฝุ่น 20
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 20
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 21
ความเข้มข้น 21
ความเข้มข้นในช่วงเวลาต่าง ๆ 23
ค่าการปลดปล่อยฝุ่น 24
รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น 25
อัตราการปลดปล่อยฝุ่น 25
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 27
สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 27
ความเข้มข้น 27
ความเข้มข้นในช่วงเวลาต่าง ๆ 28
ค่าการปลดปล่อยฝุ่น 28
รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น 29
อัตราการปลดปล่อยฝุ่น 29
การเลือกประเภทของอาหารที่ปลอดภัย 30
ข้อเสนอแนะ 30
ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต 30
ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 31
รายการอ้างอิง 32
ภาคผนวก 37

บทที่ หน้า
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง..... 37
จากการปิ้งย่างและค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10}
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ..... 52
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission..... 55
factor; EF) และการคำนวณรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern; EP)
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหาร..... 57
ต่างชนิดกันโดยใช้การทดสอบทางสถิติ
ภาคผนวก จ แบบสอบถามร้านอาหารปิ้งย่างในจังหวัดนครปฐม 66
ประวัติผู้วิจัย..... 67

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า k ที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราการปลดปล่อยฝุ่นในการศึกษานี้	12
2	ค่ามาตรฐานของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	12
3	ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด	15
4	ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างอาหารในกลุ่มเดียวกัน	22
5	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและอัตราการปลดปล่อยฝุ่น	26
6	ค่าการปลดปล่อยฝุ่นเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า, กรัมต่อกิโลกรัม	29
7	สรุปผลการศึกษา	30

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ตัวอย่างรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นในรูปโพรไฟล์	11
2	ขั้นตอนการศึกษา	13
3	การเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน	14
4	เนื้อหมูสันใน	15
5	เนื้ออกไก่ไม่ติดหนัง	16
6	ปลาแพนกาเซียสดอรี่	16
7	เนื้อปลาหมึกยักษ์	17
8	มะเขือเทศ	17
9	สับปะรด	18
10	มันหมู	18
11	เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530	19
12	ความเข้มข้นของฝุ่น	21
13	แนวโน้มการปลดปล่อยฝุ่นละอองในการปิ้งย่างระยะต่าง ๆ	24
14	ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	24
15	รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น	25

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีว่าการประกอบอาหารสามารถทำให้เกิดสารมลพิษอากาศภายในอาคารที่ความเข้มข้นสูง แต่ในปัจจุบันยังพบอีกว่าสารมลพิษจากการประกอบอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองกลายเป็นปัญหามลพิษภายนอกอาคารที่สำคัญอีกด้วย Schauer et al. (1996) ได้ศึกษาการปลดปล่อยฝุ่นละเอียดจากการปิ้งและทอดอาหารในเมืองลอสแองเจลิส ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามีสัดส่วนถึงร้อยละ 7 ของการปลดปล่อยฝุ่นจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ Lee et al. (2011) รายงานว่า การปลดปล่อย PM_{10} จากภัตตาคารปิ้งย่างอาหารในกรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้มีค่าสูงถึง 500 ตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 2.4 ของการปลดปล่อย PM_{10} ทั้งหมดที่ในบรรยากาศของกรุงโซล การประกอบอาหารสามารถก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) ภายในอาคารคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 61.9 เมื่อเทียบกับฝุ่นจากภายนอกอาคาร (Chao and Cheng, 2002) ฝุ่นละอองจากการประกอบอาหารสามารถดูดซับสารพิษ เช่น สารพีเอเอช โลหะหนัก สารกลุ่มอัลเคน สเตอรอล และไอออนต่าง ๆ ไว้ในอนุภาคได้ เมื่ออนุภาคเหล่านี้เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจึงก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงตามมา ทั้งนี้ การเกิดฝุ่นละอองจากการประกอบอาหารจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น วิธีการประกอบอาหาร เชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบอาหาร อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบอาหาร ปริมาณไขมันในอาหาร เป็นต้น (Zhang et al., 2010; Abdullahi et al., 2013) จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การปิ้งย่างอาหารเป็นวิธีการประกอบอาหารที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองและสารมลพิษมากที่สุด เมื่อเทียบกับการทอด ผัด ต้ม อบ และการนึ่งด้วยไอน้ำ

ในอดีตการรับประทานเนื้อสัตว์ปิ้งย่างบนกระทะของคนไทยยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก ส่วนใหญ่อาหารปิ้งย่างที่รับประทานมักอยู่รูปแบบเนื้อสัตว์หรือเครื่องในสัตว์เสียบไม้ย่างด้วยเตาถ่าน แต่ในปัจจุบันการรับประทานอาหารปิ้งย่างในรูปแบบหมูกระทะได้รับความนิยมมากขึ้น โดยวัตถุดิบที่ใช้ปิ้งย่างนั้นไม่จำกัดเฉพาะหมูเพียงอย่างเดียว แต่รวมถึงเนื้อวัว ไก่ ปลา กุ้ง หอย ปลาหมึก และผักต่าง ๆ อีกด้วย แต่สิ่งหนึ่งที่ตามมากับการรับประทานอาหารประเภทปิ้งย่างก็คือ การได้รับสัมผัสสารมลพิษจากการปิ้งย่างอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่นิยมรับประทานอาหารปิ้งย่างแบบไม่จำกัดจำนวน (Buffet) ในร้านหมูกระทะราคาประหยัดที่ไม่มีเครื่องควบคุมควันจากการปิ้งย่างซึ่งพบได้ทั่วไป ร้านเหล่านี้มักไม่จำกัดเวลาในการรับประทาน จึงทำให้ผู้บริโภคหรือผู้ให้บริการได้รับสารมลพิษอากาศเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก จนอาจส่งผลกระทบต่อร่างกายทั้งในระยะสั้นหรือระยะยาว

การศึกษาเกี่ยวกับฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างที่ผ่านมาทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ มักกระทำในสถานที่จริง กล่าวคือ ในร้านอาหาร หรือจากปล่องอุปกรณ์ควบคุมควันของเตาปิ้งย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างดังกล่าว ไม่สามารถบอกถึงค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองต่อน้ำหนักของอาหารที่ปิ้งย่างได้ เนื่องจาก (1) มีปัจจัยภายนอกรบกวน เช่น จากการจราจรสำหรับร้านที่ตั้งอยู่ริมถนนและการเจือจางของอากาศ เป็นต้น และ (2) ในการปิ้งย่างเพื่อรับประทานนั้น

ผู้บริโภคมักจะปิ้งย่างเนื้อสัตว์และผักหลายชนิดรวมกัน จึงไม่สามารถบอกได้ว่า เนื้อสัตว์หรือผักชนิดใดมีค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองมากน้อยกว่ากันฝุ่นละอองในควันจากการปิ้งย่างอาหารที่ลอยขึ้นไปในอากาศส่วนใหญ่เป็นฝุ่นขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) (อนุดิษฐ์, 2551; คมสันต์ และ กาญจนา, 2553; Lee et al., 2001) ซึ่งประกอบไปด้วยฝุ่นละเอียดและฝุ่นหยาบ ฝุ่นละอองขนาดต่างกันจะส่งผลกระทบต่อทางเดินหายใจของมนุษย์แตกต่างกัน เช่น ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน จะส่งผลกระทบต่อหลอดลมส่วนปลายขนาดเล็ก (Peripheral airway) และตกค้างอยู่ในถุงลม ทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่น ถุงลมโป่งพอง มะเร็งปอด เป็นต้น ในขณะที่ฝุ่นขนาด 2-5 ไมครอน จะตกค้างอยู่บริเวณหลอดลมขนาดใหญ่ส่วนกลาง (Central airway) ก่อให้เกิด เช่น หอบหืด ภูมิแพ้ เป็นต้น ส่วนฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะติดอยู่บริเวณจมูกเกือบทั้งหมด (วนิดา, 2551)

สำนักสิ่งแวดล้อม สำนักงานกรุงเทพมหานคร (2557) ตระหนักถึงอันตรายต่อสุขภาพของผู้ขาย และผู้บริโภคอาหารปิ้งย่าง จากการสำรวจของผู้ขาย และผู้บริโภค ในการเก็บตัวอย่างร้านปิ้งย่างไก่ที่ไม่มีเตาลดควันกับร้านปิ้งย่างที่มีเตาลดควัน พบว่าสารเบนซีนที่พบตัวอย่างในอากาศจากการปิ้งย่างทั้งสองเตา มีระดับความเข้มข้นเฉลี่ย <0.03 ส่วนในล้านส่วน นอกจากนี้ยังพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากเตาปิ้งย่างไม่ลดควัน 6.66 ส่วนในล้านส่วน และจากเตาปิ้งย่างที่ลดควัน 1.93 ส่วนในล้านส่วนในด้านอัตราการปล่อยสารมลพิษประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย พบว่าการปิ้งย่างไก่ที่ไม่มีเตาลดควัน มีอัตราการปลดปล่อย 23.9 กรัมต่อกิโลกรัม และปิ้งย่างไก่ที่มีเตาลดควันมีอัตราการปลดปล่อยเท่ากับ 5.2 กรัมต่อกิโลกรัม

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการหาค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองซึ่งในประเทศไทยยังมีผู้ศึกษาไม่มากนัก โดยตรวจวัดฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรด โดยปัจจัยที่ควบคุมให้เท่ากันคือความหนาของชิ้นอาหาร น้ำหนักของอาหาร การพลิกกลับชิ้นอาหาร และอุณหภูมิในการปิ้งย่าง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาค่าการปลดปล่อย (Emission factor) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด
2. เพื่อหารูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นในรูปร้อยละฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด (Emission pattern)
3. เพื่อหาอัตราการปลดปล่อย (Emission rate) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

สมมติฐานของการวิจัย

1. ค่าการปลดปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน จากการปิ้งย่างเนื้อแดง (หมู ไก่) มากกว่าอาหารทะเล (ปลา ปลาหมึก) มากกว่าการปิ้งย่างอาหารประเภทผักและผลไม้ (มะเขือเทศ สับปะรด) ตามลำดับ

2. ค่าการปลดปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน จากการปิ้งย่างเนื้อหมูมากกว่าเนื้อไก่ มากกว่าอาหารทะเล และมากกว่าผักผลไม้ ตามลำดับ

3. รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารส่วนใหญ่เป็นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

4. อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดจะมากน้อยตามปริมาณการบริโภค

ขอบเขตของการวิจัย

1. ปิ้งย่างเนื้อหมู ไก่ ปลา ปลาหมึก มะเขือเทศ และ สับปะรด โดยเลือกอาหารทั้ง 6 ชนิดนี้เนื่องจากเป็นอาหารที่ผู้บริโภคในร้านอาหารประเภทหมูกระทะนิยมรับประทาน (ข้อมูลจากการทำแบบสอบถามจำนวน 80 คน จากร้านหมูกระทะ 4 ร้าน เมื่อปี พ.ศ. 2556)

2. เนื้อหมูใช้หมูสันใน เนื้อไก่ใช้เนื้ออกไม่ติดหนัง เนื้อปลาใช้ปลาแพนกาเซียสดอรี่ (Pangasius dory) ปลาหมึกใช้ปลาหมึกยักษ์ (Giant squid) ไม่เอาหนวด

3. ปิ้งย่างโดยใช้เตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายในตู้ดูดควัน (Hood) ซึ่งไม่เปิดตัวดูดควัน เพื่อป้องกันการรบกวนและการปนเปื้อนฝุ่นละอองจากกระแสอากาศภายนอก (เลือกใช้เตาไฟฟ้าเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิได้การปิ้งย่างได้)

4. ปัจจัยควบคุม ได้แก่ น้ำหนักอาหาร ซึ่งกำหนดไว้เท่ากันคือ 100 กรัม ความหนาของชิ้นอาหารเท่ากับ 1 เซนติเมตร โดยพลิกกลับชิ้นอาหารทุก 1 นาที

5. ก่อนการปิ้งย่างใช้มันหมูทากระทะเพื่อไม่ให้อาหารติดกระทะ

6. ปิ้งย่างจนกว่าจะสุก (คำว่าสุก หมายถึง เนื้อสัตว์สุกทั้งข้างในและด้านนอก และเกิดเป็นสีน้ำตาลแต่ไม่ไหม้เกรียม ส่วนสับปะรดและมะเขือเทศ หมายถึง การมีลักษณะอ่อนนุ่มลงและเกิดสีน้ำตาลขึ้นเล็กน้อย) เวลาโดยประมาณที่ใช้ในการปิ้งย่างเนื้อสัตว์แต่ละชนิดมีดังนี้ เนื้อหมู 15 นาที เนื้อไก่ 10 นาที เนื้อปลาและเนื้อปลาหมึก 6 นาที มะเขือเทศและสับปะรด 4 นาที

7. เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบอัตโนมัติ (เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530)

8. จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 190 ตัวอย่าง ดังนี้

เนื้อหมู (สันใน)	30 ตัวอย่าง
เนื้อไก่ (อกไม่ติดหนัง)	30 ตัวอย่าง
เนื้อปลาแพนกาเซียสดอรี่	30 ตัวอย่าง
ปลาหมึกยักษ์ (ไม่เอาหนวด)	30 ตัวอย่าง
มะเขือเทศ	30 ตัวอย่าง
สับปะรด	30 ตัวอย่าง
ชุดควบคุม (กระทะเปล่าทามันหมู)	10 ตัวอย่าง

นิยามศัพท์เฉพาะ

ฝุ่นละออง (Particulate matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ (นพภาพร และคณะ, 2550) ฝุ่นละอองที่กระจายในบรรยากาศมีทั้งขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 500 ไมครอน) จนถึงขนาด

เล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.002 ไมครอน) สำหรับฝุ่นละอองที่สามารถแขวนลอยในบรรยากาศ (Total suspended particles; TSP) โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2555ก)

การศึกษานี้สนใจศึกษาเฉพาะฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เท่านั้น จึงขอกล่าวถึงนิยามของฝุ่นทั้งสองขนาดไว้ดังนี้ (นพภาพร และคณะ, 2550; US EPA, 2012)

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน หรือที่เรียกกันว่า $PM_{2.5}$ หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอน ลงมา เป็นอนุภาคของแข็งที่อยู่กึ่งของแข็งที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) เกิดขึ้นในอากาศเมื่อก๊าซต่าง ๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC_S) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดการเปลี่ยนรูปในอากาศ โดยทำปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซไปเป็นอนุภาค

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งเรียกกันว่า PM_{10} หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอน ลงมา ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีสภาพเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลวที่ความดันและอุณหภูมิปกติ ประกอบด้วยสสารที่แตกต่างกัน และสามารถอยู่ในสภาพแขวนลอยในบรรยากาศได้จากการกระทำของกระแสลม หรือการสั่นสะเทือน และสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน เนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็ก

ฝุ่นละเอียด (Fine fraction) ในการศึกษานี้หมายถึง $PM_{2.5}$

ฝุ่นหยาบ (Coarse fraction) ในการศึกษานี้หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีขนาดระหว่าง 10 – 2.5 ไมครอน หรือ $PM_{10-2.5}$

การปิ้งย่าง หมายถึง การทำให้อาหารสุกด้วยการวางไว้เหนือแหล่งความร้อน เป็นการให้ความร้อนผ่านเข้าสู่ชั้นในของอาหาร ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้อาหารสุก โดยใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซถ่าน ฟืนไม้ หรือใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน (คมสัน, 2554)

ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor) หมายถึง ปริมาณฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมาต่อน้ำหนักอาหาร ซึ่งมีหน่วยเป็นน้ำหนักฝุ่นต่อน้ำหนักอาหาร

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission pattern) ในการศึกษานี้หมายถึง ร้อยละของ $PM_{2.5}$ ใน PM_{10}

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงขนาดของฝุ่นส่วนใหญ่ที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ ซึ่งหากเป็นฝุ่นละเอียดมาก จะเป็นอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพมาก
2. ทราบว่าหากต้องการรับประทานอาหารปิ้งย่าง ควรเลือกเนื้อสัตว์ชนิดใดจึงจะปลอดภัยจากการได้รับสัมผัสฝุ่น
3. ผู้บริโภคจะได้ตระหนักถึงอันตรายของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มาจากการปิ้งย่าง

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สารมลพิษอากาศที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหาร

สารมลพิษที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารมีมากมายหลายชนิด โดยจะขอยกตัวอย่างสารมลพิษที่สำคัญดังต่อไปนี้

ฝุ่นละออง (Particulate matter)

ฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของของเชื้อเพลิงและอาหาร โดยฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะปะปนอยู่ในควันที่ลอยขึ้นไปในอากาศ ข้อมูลจากการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากการประกอบอาหารด้วยวิธีการปิ้งย่างอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ แฮมเบอร์เกอร์ สเต็ก และไก่ย่าง ของ McDonald et al. (2003) พบว่า ยิ่งอาหารมีไขมันสูงเท่าใด ก็จะก่อให้เกิดฝุ่นละอองมาขึ้นเท่านั้น และในการศึกษานี้คือแฮมเบอร์เกอร์

See and Balasubramanian (2008) ทำการตรวจวัดและเปรียบเทียบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นจากวิธีการทำอาหารที่แตกต่างกัน 5 วิธี ได้แก่ การอบด้วยไอน้ำ การต้ม การผัด การทอดโดยใช้น้ำมันเล็กน้อย และการทอดแบบน้ำมันลอย พบว่า การทอดด้วยน้ำมันลอยก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ มากที่สุดคือเท่ากับ 190 ± 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ การทอดโดยใช้น้ำมันเล็กน้อย การผัด การต้ม และการอบด้วยไอน้ำ โดยพบค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 130 ± 15 120 ± 13 81.4 ± 9.3 และ 65.7 ± 7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

Wan et al. (2011) ศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากการทำอาหารในฮ่องกง โดยตรวจวัดในบ้านที่ไม่มีการสูบบุหรี่ และมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในครัวมีค่าที่ตรวจวัดได้เท่ากับ 160 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนในห้องนั่งเล่นพบความเข้มข้นเท่ากับ 60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในห้องครัวยังคงมีระดับสูงกว่าปกติเป็นเวลา 90 นาที ส่วนในห้องนั่งเล่นมีระดับ $PM_{2.5}$ สูงอยู่เป็นระยะเวลา 60 นาที หลังเสร็จการประกอบอาหาร เมื่อนำความเข้มข้นในห้องนั่งเล่นไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นภายนอกอาคารพบว่า ภายในห้องนั่งเล่นมีระดับ $PM_{2.5}$ สูงกว่าถึง 2.7 เท่า ซึ่งแสดงให้ทราบว่า การประกอบอาหารก่อให้เกิดการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และควรปรับปรุงระบบระบายอากาศภายในบ้านเพื่อลดการได้รับสัมผัสของผู้อยู่อาศัย

การวิจัยของคมสันต์ และ กาญจนา (2555) แสดงให้เห็นว่า เกิดฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ จากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา และข้าวโพด ซึ่งจากการตรวจวัดฝุ่นละอองที่เกิดนั้นพบฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเหล่านี้สามารถดูดซับสารมลพิษอื่น ๆ ในสถานะก๊าซ เช่น สารพีเอ-เอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) สารเอชซีเอ (Heterocyclic amines, HCAs)

ไว้กับอนุภาคฝุ่นละอองได้อีกด้วย เมื่อนำค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้มาหารูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นในรูปร้อยละของ $PM_{2.5}$ ใน PM_{10} พบว่า มีสัดส่วนร้อยละ 37.45

Li et al. (2015) ตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ 2 ชนิด ได้แก่ เนื้อ (ไม่ระบุว่าเนื้อหมูหรือเนื้อวัว) และเนื้อปลา พบว่า การย่างเนื้อก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ สูงกว่าการย่างปลา 2.1 – 2.4 เท่า โดยการย่างเนื้อก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ เท่ากับ $1,107 \pm 340$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนการย่างปลาก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ เท่ากับ 493 ± 176 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในส่วนของผลกระทบที่เกิดจากฝุ่นละอองนั้น ในที่นี้จะขอกล่าวแยกระหว่างผลกระทบจาก PM_{10} และผลกระทบจาก $PM_{2.5}$ ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดที่พบมากจากกิจกรรมการปิ้งย่างดังต่อไปนี้

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ จะเกาะตัวหรือตกตัวได้ในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะนั้น ๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด ซึ่งหากร่างกายได้รับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในปริมาณมากหรือในช่วงเวลานาน จะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังผืดหรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ เกิดหอบหืด ถุงลมโป่งพอง และมีโอกาสเกิดโรคระบบทางเดินหายใจเนื่องจากติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้ (คมสัน และ กาญจนา, 2555)

ระดับของ $PM_{2.5}$ ในอากาศที่มากกว่า 3-5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ นักระบาดวิทยาสามารถแสดงหลักฐานผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อสัมผัสทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และสรุปว่าปริมาณของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพนั้นมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล เนื่องจากขนาดที่ละเอียดมากของ $PM_{2.5}$ จึงก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบหายใจ และเกิดการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอดได้ โดยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนนี้ มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ (คมสัน และ กาญจนา, 2555)

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)

สารในกลุ่มนี้เรียกโดยย่อว่าสาร PAHs เป็นสารพิษที่ค่อนข้างร้ายแรง ส่วนใหญ่เป็นสารเริ่มต้นของสารกลายพันธุ์ (Premutagen) และสารเริ่มต้นของสารก่อมะเร็ง (Precarcinogen) สาร PAHs เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น ไขมันที่อยู่ในเนื้อสัตว์ น้ำมัน และไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น ๆ ดังนั้นจึงพบสารชนิดนี้ในส่วนที่ไหม้เกรียมของอาหารปิ้งย่างอาหารทอดกรอบและอาหารรมควัน และบนอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ (วิสิฐศักดิ์, 2543)

การศึกษาการปลดล่อยสาร PAHs ซึ่งดูดซับอยู่บนอนุภาคฝุ่นจากการปิ้งย่างปลาแม็คเรอเรล โดย Konayo et al. (2001) ในประเทศญี่ปุ่น โดยทำการตรวจหาความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่นขนาดต่าง ๆ 3 ช่วงขนาด ได้แก่ PM_{10} $PM_{10\text{-}2.5}$ และ $PM_{2.5}$ พบว่า สาร PAHs สามารถดูดซับบนฝุ่นขนาดเล็กคือ $PM_{2.5}$ ได้มากที่สุด โดยสาร PAHs ที่พบมากคือ สารเบนโซ(เอ)ไพรีน (Benzo[a]Pyrene) และยังพบว่า ความเข้มข้นของสาร PAHs ไม่ได้ลดลงตามระยะห่างจากเตาปิ้งย่างเสมอไป

Tanaka et al. (2012) รายงานว่า ความเข้มข้นของสารPAHsไม่ได้แปรผันตามปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหาร แต่จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไขมันในอาหาร นอกจากนี้ยังได้รายงานว่า สาร PAHs ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไขมันในอาหาร

การศึกษาของ Saito et al. (2014) เกี่ยวกับความเข้มข้นของสาร PAHs จำแนกตามขนาดของฝุ่นที่เกิดจากการประกอบอาหารด้วยความร้อน พบว่า ตรวจพบสาร PAHs ในควันจากการประกอบอาหารที่มีไขมันสูง มากกว่าจากอาหารที่มีไขมันน้อย สาร PAHs ที่พบมากจากการปิ้งย่างอาหารเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ได้แก่ ฟีแนนธรีน (Phenanthrene) ฟลูออแรนธีน (Fluoranthene) และไพรีน (Pyrene) โดยพบว่า ร้อยละของสาร PAHs ที่มีจำนวนวงแหวน 5 – 7 วงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของฝุ่นลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สาร PAHs สามารถดูดซับอยู่บนอนุภาคฝุ่นได้ โดยเฉพาะฝุ่นที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง โดยพบความเข้มข้นของสาร PAHs สูงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.43 ไมครอน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า กว่าร้อยละ 90 ของสาร PAHs ที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารสามารถเข้าถึงถุงลมปอดได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง สาร PAHs นอกจากสามารถดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กแล้ว ยังพบอยู่ในละอองน้ำมันจากการประกอบอาหารอีกด้วย

สาร PAHs เป็นสารไม่มีขั้วจึงละลายได้ดีมากในไขมัน แต่ละลายได้น้อยในน้ำ ดังนั้นจึงสะสมในชั้นไขมันของร่างกายได้นาน โดยไม่ทำให้เกิดพิษกับร่างกายจนกว่าจะเข้าไปอยู่ในเซลล์ และสะสมได้ในชั้นเมมเบรนของเซลล์ซึ่งเป็นฟอสโฟไลปิดได้ (เนตรนภิส, 2547) สาร PAHs ชนิดหนึ่งคือ 7,12-ไดเมทธิลเบนโซ[แอลฟา]แอนทราซีน (7,12-dimethylbenzo[α]anthracene; DMBA) สามารถทำให้เกิดมะเร็งเต้านมในหนูได้ (Hakkak et al., 2005 อ้างถึงใน ปฐมวดี และ ศุภกิจ, 2555) แต่ผลของสาร PAHs ต่อการเกิดมะเร็งเต้านมในมนุษย์ยังหาข้อสรุปได้ไม่ชัดเจน สาร PAHs กลุ่มเบนโซไพรีน (Benzopyrene) พบว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง เมื่อบริโภคอาหารที่มีสารนี้ในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเร็งในกระเพาะอาหาร (Lee et al., 2005 อ้างถึงใน ปฐมวดี และ ศุภกิจ, 2555) ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงบริโภคอาหารประเภทปิ้งย่างจากไหม้เกรียม

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs)

ระดับของ VOCs ที่ปลดปล่อยขณะปิ้งย่างอาหารนั้นขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานที่ใช้ในการประกอบอาหาร การปิ้งย่างอาหารด้วยก๊าซก่อให้เกิด VOCs มากกว่าการปิ้งย่างด้วยไฟฟ้าประมาณร้อยละ 5 (To and Yeung, 2011) Kabir and Kim (2011) ได้ศึกษาการปลดปล่อย VOCs จากการต้มและย่างหอยตลับเปรียบเทียบกัน โดยตรวจวัดความเข้มข้นของโทลูอีน สไตรีน พารา-ไซลีน เมทธิลเอทธิลคีโตน เมทธิลไอโซบิวทิลคีโตน บิวทิลอะซีเตต และไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ ผลการศึกษาพบว่า การย่างก่อให้เกิด VOCs มากกว่าการต้ม โดยสารที่พบความเข้มข้นสูงสุดคือโทลูอีน (51.1 พีพีบี จากการย่างและ 19.8 พีพีบี จากการต้ม) รองลงมาคือเมทธิลเอทธิลคีโตน (28.2 พีพีบี จากการย่างและ 5.45 พีพีบี จากการต้ม) และพารา-ไซลีน (1.99 พีพีบี จากการย่างและ 1.51 พีพีบี จากการต้ม) ตามลำดับ

เมื่อ VOCs เข้าสู่ร่างกายจะผ่านเข้าสู่ตับ ซึ่งจะมีเอนไซม์และการเมตาบอลิสม์หลากหลายแตกต่างกัน สารพิษจะเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิสม์ในตับในระยะแรก โดยอาศัยเอนไซม์

ชนิดของเอนไซม์ที่จะใช้แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของ VOCs ที่ได้รับ และในขั้นตอนสุดท้ายจะขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของกรด

ผลกระทบของ VOCs ต่อสุขภาพมีหลายด้านขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอาการกดประสาทหลายอย่าง ได้แก่ การง่วงนอน วิงเวียน ปวดศีรษะ ซึมเศร้า หรือหมดสติได้ เมื่อสูดหายใจเข้าไปจะมีผลต่อระบบทางเดินหายใจเกิดการอักเสบของเยื่อเมือก และทำให้เกิดการระคายเคืองที่ผิวหนังและตา ถ้าได้รับสารชนิดนี้ติดต่อเป็นระยะเวลานานจะเป็นอันตรายต่อตับและไต VOCs บางชนิดอาจมีผลต่อระบบพันธุกรรม ระบบฮอร์โมน ระบบสืบพันธุ์ และระบบประสาท และอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิดได้ (กรมควบคุมมลพิษ, ไม่ระบุปีที่พิมพ์)

ไดออกซิน (Dioxin)

ไดออกซินเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงซึ่งมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนและคลอรีน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาไหม้ที่ทำให้เกิดไดออกซินคือ 250 – 350 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การเผาไหม้ เช่น ไฟป่า การเผาขยะจากโรงพยาบาล บ้านเรือน ขยะอันตราย โรงไฟฟ้าถ่านหิน การหุงต้ม เป็นต้น ล้วนแล้วแต่สามารถทำให้เกิดไดออกซินปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งสิ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

ปัจจุบันไดออกซินจัดเป็นหนึ่งในสารพิษร้ายแรงที่สุด ซึ่งสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ US EPA (US Environmental Protection Agency) ระบุว่าไดออกซินเป็นสารพิษที่คุกคามสุขภาพของมนุษย์อย่างรุนแรง ไดออกซินเข้าสู่ร่างกายได้โดยถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังและทางการรับประทาน คนและสัตว์ได้รับไดออกซินจากสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน อากาศและน้ำ รวมทั้งจากอาหาร มีการประมาณว่าร้อยละ 90 ของไดออกซินที่คนได้รับมาจากการรับประทานอาหาร โดยเฉพาะเนื้อสัตว์ ปลา และผลิตภัณฑ์นม ร่างกายคนและสัตว์สามารถกำจัดไดออกซินออกได้บางส่วน แต่ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในตับและไขมัน ผู้บริโภคอาหารปิ้งย่างจะได้รับสัมผัสไดออกซินผ่านทางการหายใจ จากควันหรือก๊าซที่ระเหยสู่บรรยากาศในกระบวนการปิ้งย่างและทางการรับประทาน โดยรับประทานอาหารที่มีไดออกซินปนเปื้อนอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทเนื้อสัตว์

ถ้ามนุษย์ได้รับสารไดออกซินในปริมาณสูงในระยะแรก ๆ จะเกิดอันตรายต่อผิวหนัง เช่น เป็นผื่น และไหม้ดำ จากนั้นจะมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของตับในระยะยาว และมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ และระบบสืบพันธุ์ ถ้าได้รับสารไดออกซินเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้เกิดมะเร็งหลายชนิด ในปี ค.ศ. 1977 สถาบันวิจัยมะเร็งระหว่างชาติ (International Agency for Research on Cancer; IARC) ได้ประเมินโดยใช้ข้อมูลทางระบาดวิทยาของมนุษย์ สรุปว่าไดออกซินเป็นสารก่อมะเร็งหากได้รับในปริมาณที่มากพอ แต่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อพันธุกรรม และหากได้รับไดออกซินในปริมาณน้อยจะไม่มีผลต่อการก่อมะเร็ง นอกจากนี้ยังพบว่าทารกในครรภ์และทารกแรกเกิดจะไวต่อสารไดออก-ซินมากที่สุด

เฮ็ทเทอโรไซคลิกเอมีน (Heterocyclic amines, HCAs)

เฮ็ทเทอโรไซคลิกเอมีนเป็นสารประกอบที่มีวงเฮ็ทเทอโรไซคลิกอย่างน้อยหนึ่งวง HCAs เป็นสารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารที่เป็นเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิสูง เช่น การทอดหรือการปิ้งย่างเช่นเดียวกับ PAHs (วิเชียร, 2556) สาร HCAs การเกิดสาร HCAs มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้ (1) อุณหภูมิ ถ้าใช้อุณหภูมิสูง (ไฟแรง) ในการปิ้งย่างก็จะทำให้เกิดสารชนิดนี้ได้มากขึ้น (2) เวลา เมื่อใช้ไฟอ่อน ๆ หรือไฟกลาง ๆ แต่ใช้เวลาในการปิ้งย่างนานขึ้นก็ทำให้เกิดสาร HCAs ได้มากเช่นกัน (3) องค์ประกอบของอาหาร องค์ประกอบที่ส่งเสริมการเกิดสาร HCAs คือโปรตีน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเกิดสาร HCAs (4) ปริมาณน้ำในอาหาร ถ้ามีการปิ้งย่างจนปริมาณน้ำในอาหารลดลงมากเท่าใดการเกิดสาร HCAs ก็จะเกิดมากยิ่งขึ้น (การปิ้งย่างจนแห้ง) (5) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหาร คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอีกชนิดหนึ่งที่จะส่งเสริมให้เกิด HCAs มากขึ้น กล่าวคือ ยิ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหารมากก็จะยิ่งเกิดสาร HCAs มาก (6) ปริมาณครีอะตินีน เมื่อวางชิ้นของเนื้อสัตว์ไว้บนเขียงหรือในภาชนะระยะหนึ่งจะมีน้ำเนื้อซึมออกมาเป็นสีชมพูเรื่อ ๆ ซึ่งประกอบด้วยครีอะตินีนและครีเอตินเมื่อโดนความร้อนจะทำให้เกิดสาร HCAs (เนตรนภิส, 2547) และ (7) เนื้อสัตว์ที่ผ่านการแปรรูป เช่น เนื้อเค็ม เนื้อแห้ง หมูแห้ง ปลาเค็ม หมูเค็ม ควรจะเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อช่วยรักษาสภาพของเนื้อสัตว์และลดการเกิดสาร Secondary amine (กัลยาณี, 2543)

การปิ้งย่างเนื้อสัตว์ชนิดต่าง ๆ เช่น เนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ หรืออาหารทะเล จำพวก กุ้ง หอย ปู ปลา ทำให้เกิด HCAs ขึ้นได้ เนื่องจากการใช้ความร้อนจากขบวนการปิ้งย่างแบบดั้งเดิมร่วมกับโปรตีนจากกล้ามเนื้อที่อยู่ในเนื้อแดง เป็ด ไก่ หรืออาหารทะเล ทำให้เกิดสารชนิดนี้ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งสารดังกล่าวนี้สามารถทำลายสารพันธุกรรม (DNA) ที่อยู่ในเซลล์ของร่างกายอันเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดมะเร็ง การได้รับสาร HCAs มีความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่และกระเพาะอาหาร มีงานวิจัยพบว่าการรับประทานบาร์บีคิวเนื้อแดงทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดติ่งเนื้อที่บริเวณลำไส้ใหญ่ (Polysp) มากเป็นสองเท่าของผู้ที่ไม่ได้รับประทาน และเป็นที่ทราบกันดีว่าติ่งเนื้อที่ลำไส้ใหญ่มีความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้สาร HCAs ยังสามารถผ่านไปตามกระแสเลือด ไปสู่เนื้อเยื่ออื่น ๆ ได้ สามารถทำให้เกิดมะเร็งเต้านม และมะเร็งที่อวัยวะอื่น ๆ นอกเหนือจากลำไส้และกระเพาะอาหารได้ (วิเชียร, 2556)

ค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร

ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) เป็นค่าน้ำหนักฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมาในขณะปิ้งย่างอาหารต่อน้ำหนักของอาหารที่ปิ้งย่าง โดยค่าการปลดปล่อยฝุ่นสามารถหาได้จากสมการที่ 1 (Lee et al., 2011)

$$\text{Emission factor (g/kg food)} = \frac{C \times Q \times t \times 60}{Wt \times 10^{-3}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ C - ความเข้มข้นของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Q - อัตราการดูดอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
t - ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง, นาที
Wt - น้ำหนักของอาหาร, กิโลกรัม
60 - แฟคเตอร์เปลี่ยนหน่วยจากนาทีเป็นวินาที
10^{-3} - แฟคเตอร์เปลี่ยนหน่วยจากมิลลิกรัมเป็นกรัม

Lee et al. (2011) ศึกษาค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อไก่ ไส้หมู และเนื้อหมู พบว่า อาหารที่มีค่าการปลดปล่อยฝุ่นในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัมอาหารสูงสุดคือเนื้อไก่ โดยมีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP เท่ากับ 8.12 8.22 และ 8.99 ตามลำดับ รองลงมาคือไส้หมู ซึ่งมีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP เท่ากันหมดคือ 6.59 ตามด้วยเนื้อวัว มีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP เท่ากับ 3.23 4.08 และ 4.80 ตามลำดับ และสุดท้ายคือเนื้อหมู ซึ่งมีค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP เท่ากับ 3.07 3.82 และ 3.87 ตามลำดับ

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร

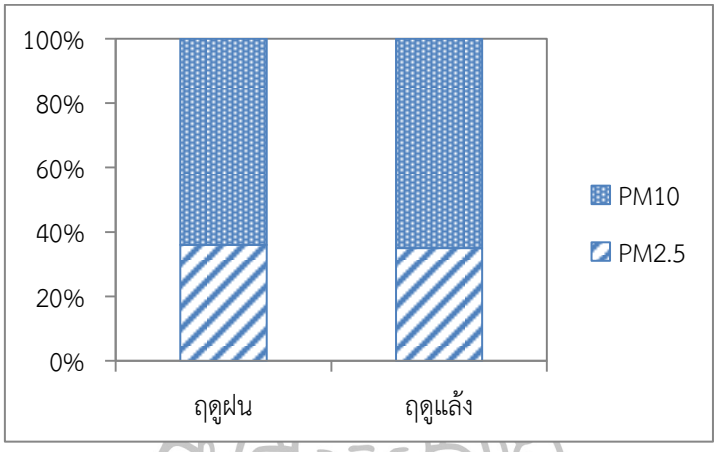
การหารูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern) ในการศึกษานี้ คือ การหาร้อยละของ $PM_{2.5}$ ในฝุ่น PM_{10} ดังแสดงในสมการที่ 2 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจะแสดงให้ทราบว่า ฝุ่นละอองที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วยฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นหยาบ ($PM_{10-2.5}$) มากน้อยเพียงใด

$$\text{Emission pattern (\%)} = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ $PM_{2.5}$ - ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
PM_{10} - ความเข้มข้นของ PM_{10}, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การศึกษาก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น ยกตัวอย่างเช่น Lee et al. (2011) ศึกษาการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อไก่ ไส้หมู และเนื้อหมู พบความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของ $PM_{2.5}$ PM_{10} และ TSP ดังนี้ เนื้อวัว 8.53 10.76 และ 12.67 เนื้อไก่ 15.51 15.70 และ 17.18 ไส้หมู 22.41 22.41 และ 22.41 เนื้อหมู 11.03 13.25 และ 13.49 ตามลำดับ เมื่อนำค่าดังกล่าวมาหารูปแบบการปลดปล่อยของฝุ่นตามวิธีของงานวิจัยนี้จะได้ร้อยละดังนี้ เนื้อวัว 79.28 เนื้อไก่ 98.79 ไส้หมู 100.0 และเนื้อหมู 83.25 ค่าเหล่านี้แสดงให้ทราบว่า ในการปิ้งย่างอาหารประเภทเนื้อสัตว์ มีการปลดปล่อยฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพออกมาในสัดส่วนมากกว่าฝุ่นหยาบ ($PM_{10-2.5}$)

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นสามารถแสดงได้ในรูปโพรไฟล์ของฝุ่น โดยแสดงเป็นกราฟร้อยละของ $PM_{2.5}$ ใน PM_{10} ดังตัวอย่างในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นในรูปโพรไฟล์

อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร

อัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแสดงในรูปปริมาณฝุ่นในหน่วนน้ำหนักที่ปลดปล่อยต่อปี ซึ่งส่วนใหญ่นิยมแสดงในหน่วยตันต่อปี โดยมีปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยฝุ่น ได้แก่ ปัจจัยด้านกิจกรรม (Activity factor) ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) อัตราการบริโภคอาหารแต่ละประเภทต่อปี (Consumption rate) และจำนวนประชากร อัตราการปลดปล่อยฝุ่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 (Lee et al., 2011)

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

โดยที่ k - ปัจจัยด้านกิจกรรม, ไม่มีหน่วย
EF - ค่าการปลดปล่อยฝุ่น, กรัมต่อกิโลกรัม
CR - อัตราการบริโภคอาหารประเภทต่าง ๆ, กิโลกรัมต่อคนต่อปี
P - จำนวนประชากร, คน
10^{-6} - แฟคเตอร์การเปลี่ยนหน่วยจากกรัมเป็นตัน

จากการศึกษาของ Lee et al. (2011) ค่าปัจจัยด้านกิจกรรม (k) แสดงถึงผลคูณระหว่างสัดส่วน (ร้อยละ) ของอาหารแต่ละชนิดที่บริโภคในร้านอาหารทั้งหมด และสัดส่วน (ร้อยละ) ของอาหารแต่ละชนิดที่ปรุงด้วยการปิ้งย่างต่อวิธีการปรุงอาหารทุกแบบ โดยในการศึกษาของ Lee et al.

(2011) ได้หาค่า k สำหรับอาหาร 3 ประเภท ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่ โดยค่า k จากการศึกษาเท่ากับ 0.158 0.100 และ 0.154 ตามลำดับ

ในการศึกษานี้ไม่สามารถหาข้อมูลสัดส่วน (ร้อยละ) ของอาหารแต่ละชนิดที่บริโภคในร้านอาหารทั้งหมด และสัดส่วน (ร้อยละ) ของอาหารแต่ละชนิดที่ปรุงด้วยการปิ้งย่างต่อวิธีการปรุงอาหารทุกแบบได้ จึงคำนวณอยู่บนพื้นฐานของการนำค่า k จากการศึกษาของ Lee et al. (2011) ที่ทำในร้านอาหารประเทศเกาหลี สำหรับเนื้อหมูและเนื้อไก่มาใช้ เนื่องจากในประเทศไทยนิยมรับประทานเนื้อหมู เนื้อไก่ และเนื้อวัว เช่นเดียวกับประเทศเกาหลี ส่วนอาหารประเภทอื่น ๆ ได้ใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณ ดังนั้น ค่า k ที่ใช้ในการศึกษานี้จึงเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า k ที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราการปลอปล่อยฝุ่นในการศึกษานี้

ประเภทอาหาร	ค่า k ที่ใช้
เนื้อหมู	0.100[1]
เนื้อไก่	0.154[1]
เนื้อปลา	0.137[2]
เนื้อปลาหมึก	0.137[2]
มะเขือเทศ	0.137[2]
สับปะรด	0.137[2]

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lee et al. (2011)

หมายเหตุ: [1]จากการศึกษาของ Lee et al. (2011)

[2]จากการศึกษาของ Lee et al. (2011) โดยเฉลี่ยค่า k จากอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่

มาตรฐานคุณภาพอากาศของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10}

ค่ามาตรฐานของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของหน่วยงานต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

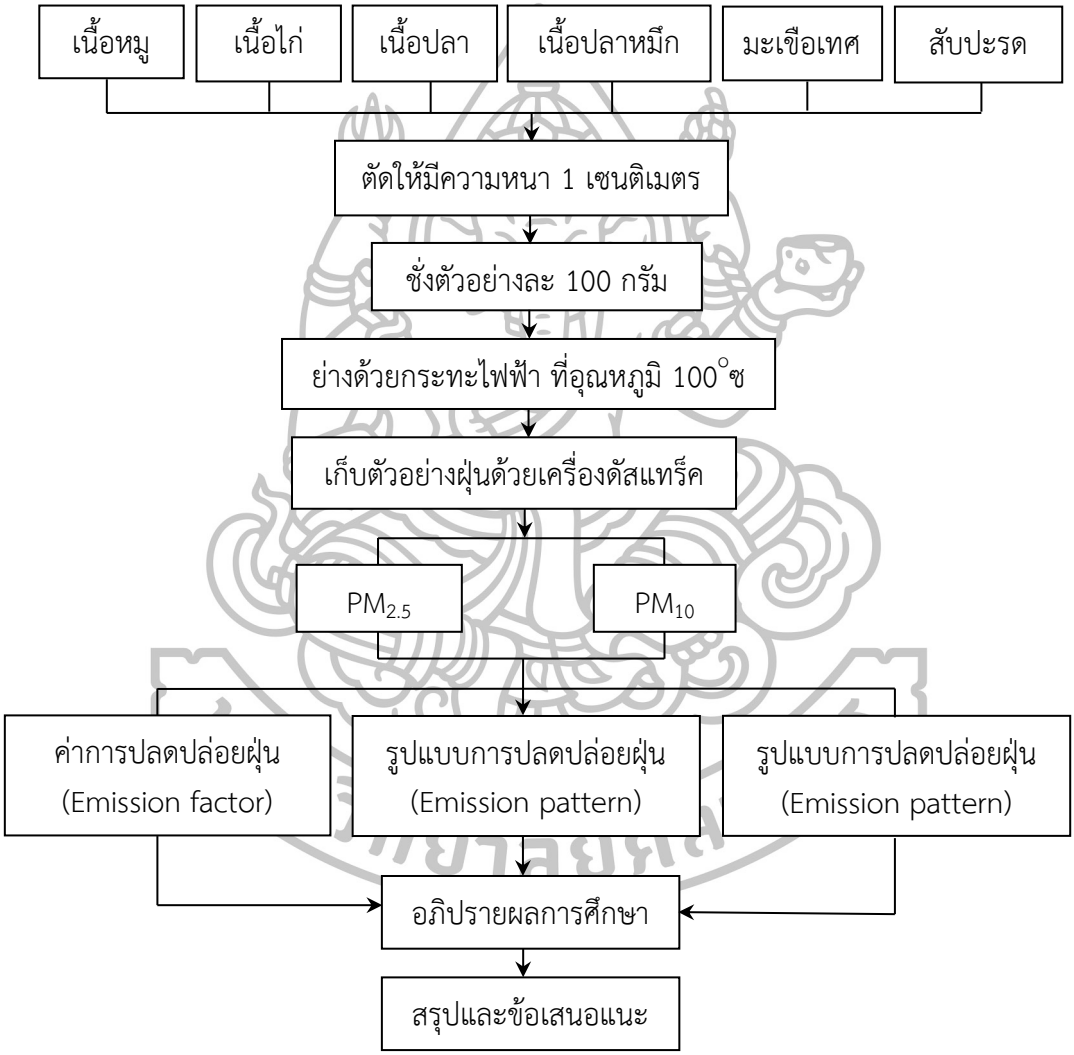
หน่วยงาน	ประเภท	$PM_{2.5}$	PM_{10}
US EPA[1]	ในบรรยากาศ	0.035 (24 ชั่วโมง) 0.012 (1 ปี)	0.15 (24 ชั่วโมง)
WHO[2]	ในบรรยากาศ	0.025 (24 ชั่วโมง) 0.010 (1 ปี)	0.05 (24 ชั่วโมง) 0.02 (1 ปี)
กรมควบคุมมลพิษ[3]	ในบรรยากาศ	0.050 (24 ชั่วโมง) 0.025 (1 ปี)	0.12 (24 ชั่วโมง) 0.05 (1 ปี)
กระทรวงมหาดไทย[4]	ในอาคาร	-	5 (8 ชั่วโมง)
กรมอนามัย[5]	ในอาคาร	0.035 (8 ชั่วโมง)	0.050 (8 ชั่วโมง)

ที่มา: [1]US EPA (2011); [2]WHO (2006); [3]กรมควบคุมมลพิษ (2550ข); [4]กระทรวงมหาดไทย (2520); [5]กรมอนามัย (2559)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

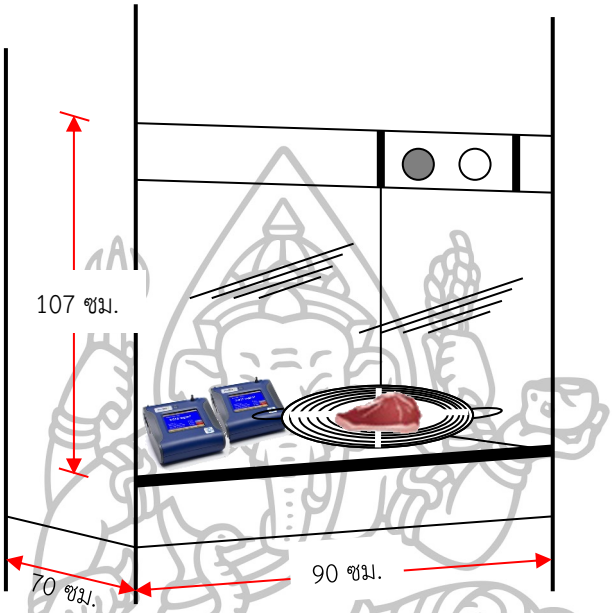
การศึกษานี้มีลำดับขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการศึกษา

สถานที่เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควันที่ปิดสวิตซ์ (ไม่มีการดูดอากาศ) ซึ่งทำหน้าที่เสมือน Chamber ขนาดของตู้ดูดควัน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 70 x 90 x 107 เซนติเมตร (รูปที่ 3) ขณะปิ้งย่างปิดประตูตู้ดูดควัน และเปิดเพียงเล็กน้อยเวลาพลิกกลับชิ้นอาหารเท่านั้น ปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า



รูปที่ 3 การเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน

การเก็บตัวอย่าง

ปิ้งย่างอาหารชนิดต่าง ๆ คราวละ 1 ชนิด ภายในตู้ดูดควันซึ่งปิดสวิตช์ (ไม่มีการดูดควัน) ติดตั้งเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 จำนวน 2 เครื่องเพื่อเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} พร้อมกัน เครื่องดัสแทร็กที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทำงานที่ 3 ลิตรต่อนาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างหลังกระทะร้อนได้ที่ ทาน้ำมันหมู แล้ววางอาหารลงบนกระทะ อุณหภูมิในการปิ้งย่างตั้งไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส พลิกกลับชิ้นอาหารทุก 1 นาที จนอาหารสุก บันทึกเวลาในการเก็บตัวอย่าง โดยอาหารแต่ละชนิดจะใช้เวลาในการย่างจนสุกไม่เท่ากัน จึงเก็บตัวอย่างด้วยเวลาที่ไม่เท่ากัน (ตารางที่ 3) ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างภายได้ดำเนินการในตู้ดูดควัน

อาหารที่เป็นตัวแทนในการศึกษา

อาหารทุกชนิดที่เลือกมาเป็นตัวแทนในการศึกษา จะมีการควบคุมให้มีความหนาเท่ากัน คือ 1 เซนติเมตร และควบคุมน้ำหนักให้เท่ากันคือ 100 กรัม โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งชนิดอ่านละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น XS204 บันทึกเป็นน้ำหนักอาหารไว้เพื่อการ

คำนวณ และทำการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาไฟฟ้า ยี่ห่อ ZUNISHU รุ่น ES-2020 เตาไฟฟ้าชนิดนี้สามารถปรับอุณหภูมิได้ 0-200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด

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

เนื้อหมู

เนื้อหมูเลือกใช้หมูสันใน (รูปที่ 4) เป็นตัวแทนของเนื้อแดง เหตุผลที่เลือกเนื้อหมูสันในเนื่องจากการศึกษาของ อนุดิษฐ์ (2551) ได้ทำการศึกษาโดยนำเนื้อหมู 3 ชนิด ได้แก่ หมูสันใน หมูสันนอก และหมูสามชั้น พบค่า PM_{10} จากการปิ้งย่างในเนื้อหมูสันในมากที่สุด การเตรียมเนื้อหมูขั้นแรกนำเนื้อหมูมาล้างให้สะอาด โดยกำจัดส่วนที่เป็นพังผืดและไขมันออก จากนั้นนำมาหั่นให้ได้ความหนาและน้ำหนักตามกำหนด โดยทั่วไปเนื้อหมูสดมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 53 – 60 (เจริญ, 2559)

รูปที่ 4 เนื้อหมูสันใน
ที่มา: Gourmetropolis (2014)

เนื้อไก่

เนื้อไก่เป็นตัวแทนของเนื้อแดงเช่นกัน โดยเลือกใช้เนื้อไก่ส่วนอกไม่ติดหนัง (รูปที่ 5) โดยขั้นแรกนำเนื้อไก่มาล้างให้สะอาด แล้วนำมาหั่นให้ได้ความหนาและน้ำหนักตามกำหนด โดยทั่วไปเนื้อไก่สดมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 70 – 74 (เจริญ, 2559)

รูปที่ 5 เนื้ออกไก่ไม่ติดหนัง
ที่มา: The Journal (2015)

เนื้อปลา

เนื้อปลาใช้ปลาแพนกาเซียสดอรี่ (Pangasius dori) ไม่ติดหนัง (รูปที่ 6) เป็นตัวแทนของอาหารทะเล เหตุที่เลือกเนื้อปลาชนิดนี้เนื่องจากเป็นปลาเนื้อหนา สามารถหั่นให้มีความหนา 1 เซนติเมตรได้ ลักษณะเนื้อมีสีขาว การเตรียมเนื้อปลาขั้นแรกนำเนื้อปลาแช่แข็งที่ซื้อมา นำมาแช่น้ำเพื่อให้เนื้อปลาอ่อนตัว จากนั้นใช้กระดาษอเนกประสงค์ซับน้ำออกจากเนื้อปลาเพื่อให้มีน้ำสะสมอยู่ในเนื้อปลาน้อยที่สุด แล้วนำมาหั่นให้ได้ความความหนาและน้ำหนักตามกำหนด โดยทั่วไปเนื้อปลาสดมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 65 – 81 (เจริญ, 2559)

รูปที่ 6 ปลาแพนกาเซียสดอรี่
ที่มา: West Coast Seafood (2016)

เนื้อปลาหมึกยักษ์

เนื้อปลาหมึกเป็นตัวแทนของอาหารทะเลอีกชนิดหนึ่ง โดนเลือกใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อเท่านั้น (รูปที่ 7) สาเหตุที่เลือกปลาหมึกยักษ์เนื่องจากมีเนื้อหนากว่าปลาหมึกชนิดอื่น สามารถนำมาให้ได้ความหนา 1 เซนติเมตร ได้ เตรียมโดยการนำมาล้าง แล้วความความหนาและน้ำหนักตามกำหนด โดยทั่วไปเนื้อปลาหมึกสดมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 80 (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

รูปที่ 7 เนื้อปลาหมึกยักษ์
ที่มา: Millenium Ocean Star (2011)

มะเขือเทศ

มะเขือเทศ (รูปที่ 8) เป็นตัวแทนของผักผลไม้เช่นเดียวกับสับปะรด โดยเลือกใช้มะเขือเทศสุก มีลักษณะเป็นสีแดง นำมาทำความสะอาดโดยล้างน้ำ แล้วนำมาหั่นให้ได้ความความหนาและน้ำหนักตามกำหนด (ใช้มะเขือเทศตัวอย่างละหลายชิ้น) โดยสาเหตุที่เลือกใช้มะเขือเทศเนื่องจากนิยมนำมาใช้เสียบไม้ย่างบาร์บีคิวพร้อมกับเนื้อสัตว์ โดยทั่วไปมะเขือเทศมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 94 (Bastin, 1994)

รูปที่ 8 มะเขือเทศ
ที่มา: Home Remedy Shop (2016)

สับปะรด

สับปะรด (รูปที่ 9) เป็นตัวแทนอาหารประเภทผักผลไม้ โดยเลือกใช้สับปะรดที่มีความสุก นำมาปอกเปลือกแล้วนำมาหั่นให้ได้ความความหนาและน้ำหนักตามกำหนดโดยสาเหตุที่เลือกใช้สับปะรด เนื่องจากนิยมนำมาใช้เสียบไม้ย่างบาร์บีคิวพร้อมกับเนื้อสัตว์เช่นเดียวกับมะเขือเทศ โดยทั่วไปสับปะรดมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 87 (Bastin, 1994)

รูปที่ 9 สับปะรด
ที่มา: Simmons (2016)

มันหมู

มันหมู (รูปที่ 10) ไม่ได้เป็นตัวแทนของอาหารที่ศึกษา แต่ใช้ในการทากระทะก่อนปิ้งย่าง เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างติดกระทะ

รูปที่ 10 มันหมู
ที่มา: Devon Rose Gourmet Meat (2016)

เครื่องเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Dusttrak II Aerosol Monitor 8530) ดังภาพที่ 3.5 ในการเก็บตัวอย่าง เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดนี้เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ สามารถให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ สามารถเก็บและบันทึกข้อมูลไว้ในดาต้าล็อกเกอร์ และสามารถถ่ายโอนข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องมือนี้ใช้หลักการกระเจิงแสง (Light scattering) โดยเครื่องออกแบบมาให้เก็บตัวอย่างที่อัตราการไหลเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที ในการตรวจวัด สามารถเปลี่ยนหัวคัดขนาดฝุ่นตามความต้องการได้ 4 ขนาด ได้แก่ PM_1 $PM_{2.5}$ PM_4 และ PM_{10} ช่วงความเข้มข้นของฝุ่นที่สามารถตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 0.001 – 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ตรวจวัดเฉพาะ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เนื่องจาก PM_1 และ PM_4 ยังไม่มีงานวิจัยก่อนหน้าที่เปรียบเทียบผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 กับวิธีอ้างอิง (Reference method)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการตรวจวัดวิเคราะห์ดังนี้

ความเข้มข้นของฝุ่น

ถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องดัสแทร็คลงเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม TrankproTM software version 4.6.1

รูปที่ 11 เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530
ที่มา: TSI (2015)

ใช้โปรแกรม Microsoft excel จัดเรียงข้อมูลดิบ และคิดค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดทุก 1 นาที ตามเวลาที่ใช้ในการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิด

หาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของอาหารแต่ละชิ้น

การเทียบความเข้มข้นกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

ข้อมูลความเข้มข้นที่ได้จากการปิ้งย่างอาหาร จะนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อให้ทราบว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่

การวิเคราะห์ความเข้มข้นในช่วงเวลาต่าง ๆ

ในการเก็บตัวอย่าง ตั้งเวลาเครื่องดัสแทร็คให้เก็บตัวอย่างทุก 5 วินาที จนครบเวลาลาปิ้งย่างที่กำหนด หาค่าเฉลี่ยทุก 1 นาที เพื่อให้ทราบความเข้มข้นของฝุ่นในแต่ละช่วงเวลาปิ้งย่าง

ค่าการปลดปล่อยฝุ่น

ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF) หมายถึง ปริมาณฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมาต่อน้ำหนักอาหาร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ในบทที่ 2

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น

การหารูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern) คือ การหาร้อยละของ $PM_{2.5}$ ในฝุ่น PM_{10} ดังแสดงในสมการที่ (2) ในบทที่ 2 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจะแสดงให้ทราบว่าฝุ่นละอองที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารประเภทต่างๆ ประกอบด้วยฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นหยาบ ($PM_{10-2.5}$) มากน้อยเพียงใด

อัตราการปลดปล่อยฝุ่น

การหาอัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate) คือการหาปริมาณ (ตัน) ของฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมการปิ้งย่างอาหารต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ในบทที่ 2

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลความเข้มข้นและค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองที่ได้ นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

ความแตกต่างระหว่างชนิดอาหาร

ทดสอบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นและค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างระหว่างอาหารทั้ง 6 ชนิด โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

ความแตกต่างภายในกลุ่ม

ทดสอบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นและค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารภายในแต่ละกลุ่มเป็นคู่ ๆ ได้แก่ กลุ่มเนื้อแดง (ระหว่างหมูและไก่) กลุ่มอาหารทะเล (ระหว่างปลาและปลาหมึก) และกลุ่มผักผลไม้ (ระหว่างมะเขือเทศและสับปะรด) โดยใช้สถิติ Independent sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

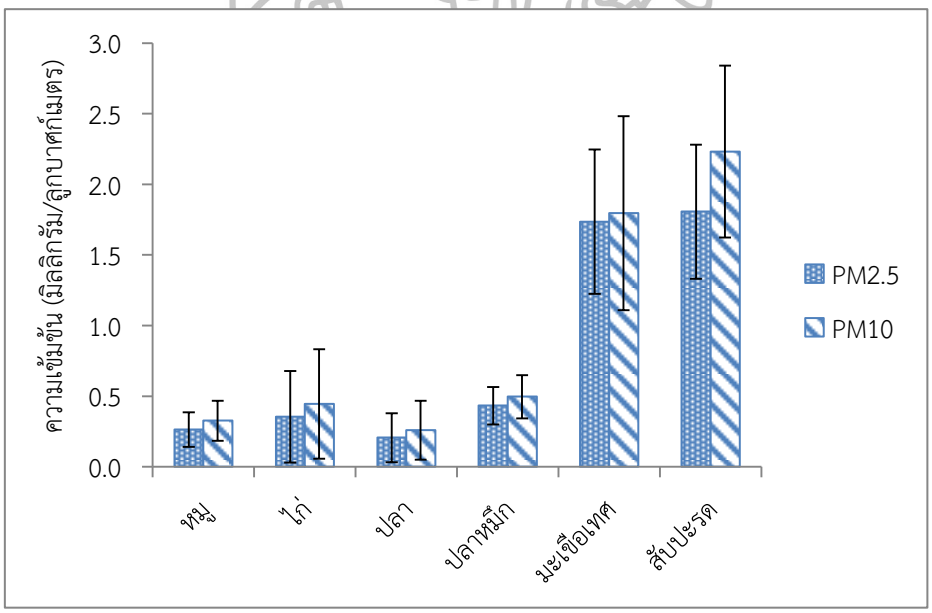
มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหาร 6 ประเภท ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรด ด้วยเตาไฟฟ้า เพื่อนำมาศึกษาค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) และรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern) ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ความเข้มข้น

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เนื้อหมู 30 ตัวอย่าง เนื้อไก่ 30 ตัวอย่าง เนื้อปลา 30 ตัวอย่าง เนื้อปลาหมึก 30 ตัวอย่าง มะเขือเทศ 30 ตัวอย่าง และสับปะรด 30 ตัวอย่าง ได้ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ความเข้มข้นของฝุ่น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นจากการปิ้งย่างอาหารประเภทต่าง ๆ พบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ สับปะรด>มะเขือเทศ>ปลาหมึก>ไก่>หมู>ปลา โดยมีค่าเท่ากับ 1.81 ± 0.48 1.74 ± 0.51 0.43 ± 0.13 0.35 ± 0.32 0.26 ± 0.12 และ 0.21 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} มีลำดับจากมากไปน้อยเช่นเดียว

กันกับ $PM_{2.5}$ โดยมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 2.23$\pm$0.61 1.80$\pm$0.69 0.50$\pm$0.15 0.44$\pm$0.39 0.33$\pm$0.14 และ 0.26$\pm$0.21 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

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

H_0: อาหารทั้ง 6 ชนิดไม่แตกต่างกัน

H_1: มีอาหารอย่างน้อย 1 ชนิดแตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ (Sig=0.000<0.05) และ PM_{10} (Sig=0.000<0.05) ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากจะใช้สถิติ One-way ANOVA ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิดแล้ว ผู้วิจัยยังได้นำความเข้มข้นที่ได้มาเปรียบเทียบกันเป็นคู่ในระหว่างกลุ่มเนื้อแดง (ระหว่างหมู-ไก่) กลุ่มอาหารทะเล (ระหว่างปลา-ปลาหมึก) และกลุ่มผักผลไม้ (ระหว่างมะเขือเทศ-สับปะรด) โดยใช้สถิติ Independent-sample T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้

H_0: อาหารในกลุ่มเดียวกันไม่แตกต่างกัน

H_1: อาหารในกลุ่มเดียวกันแตกต่างกัน

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างอาหารในกลุ่มเดียวกัน

กลุ่ม	คู่ที่ทดสอบ	ค่า Sig.		แตกต่าง (/) ไม่แตกต่าง (X)
เนื้อแดง	หมู – ไก่	$PM_{2.5}$	= 0.162	X
		PM_{10}	= 0.118	X
อาหารทะเล	ปลา – ปลาหมึก	$PM_{2.5}$	= 0.000	/
		PM_{10}	= 0.000	/
ผักผลไม้	สับปะรด – มะเขือเทศ	$PM_{2.5}$	= 0.580	X
		PM_{10}	= 0.012	/

โดยทั่วไป มะเขือเทศและสับปะรดมีปริมาณเส้นใยต่อ 1 หน่วยบริโภคไม่แตกต่างกันนัก กล่าวคือ ใน 1 ถ้วยมะเขือเทศจะมีปริมาณเส้นใย 1.2 กรัม ส่วนสับปะรดจะมีปริมาณเส้นใย 1.1 กรัม ดังนั้นปริมาณเส้นใยจึงไม่น่าจะมีผลต่อปริมาณ PM_{10} ที่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำในอาหาร ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ มะเขือเทศมีปริมาณน้ำร้อยละ 94 ส่วนสับปะรดมีปริมาณน้ำร้อยละ 87 จึงจึงไม่น่าจะมีผลต่อปริมาณ PM_{10} ที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน สิ่งที่แตกต่างกันอย่าง

เห็นได้ชัดในอาหารทั้ง 2 ชนิดนี้คือปริมาณคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมะเขือเทศ 100 กรัมปริมาณคาร์โบไฮเดรต 4 กรัม และสับปะรดมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 13 กรัม (USDA, 2016) จึงอาจเป็นไปได้ว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มากกว่าในสับปะรด ก่อให้เกิด PM_{10} ขึ้นมากกว่ามะเขือเทศในขณะปิ้งย่าง

นอกจากนี้ เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่มอีกครั้งด้วยสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α =0.05) โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้

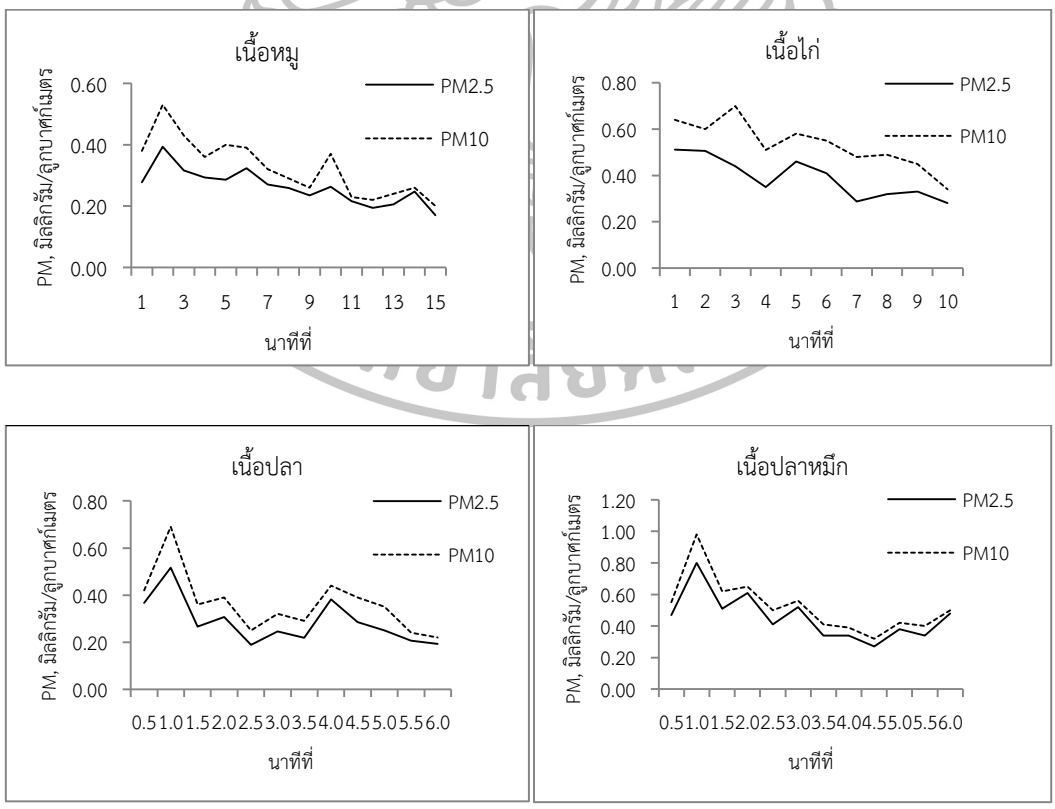
H_0: อาหารทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

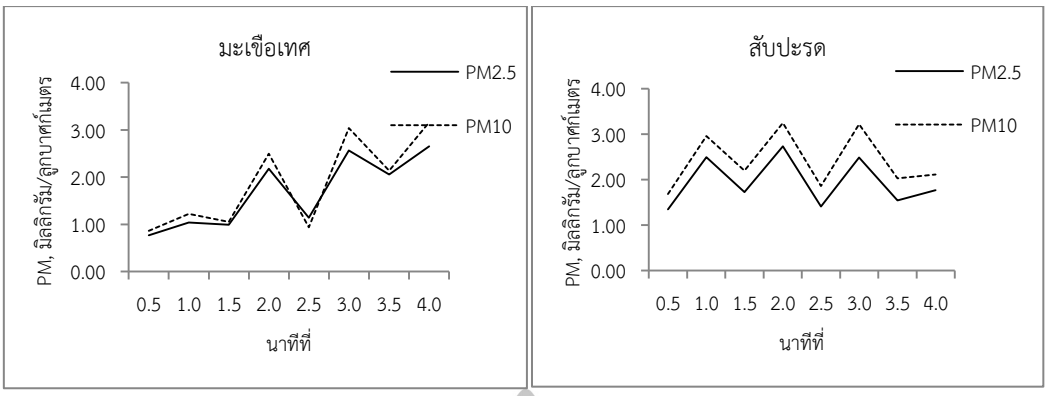
H_1: อาหารทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกัน

ผลการทดสอบทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ (Sig=0.000<0.05) และ PM_{10} (Sig=0.000<0.05) ที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 3 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นในช่วงเวลาต่าง ๆ

จากการตรวจวัดตัวอย่างอากาศขณะปิ้งย่างอาหาร โดยตั้งให้เครื่องมือตรวจวัดเก็บตัวอย่างเป็นระยะ มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการปลดปล่อยฝุ่นละอองในระยะต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มปิ้งย่างไปจนอาหารสุกพร้อมรับประทานได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 13

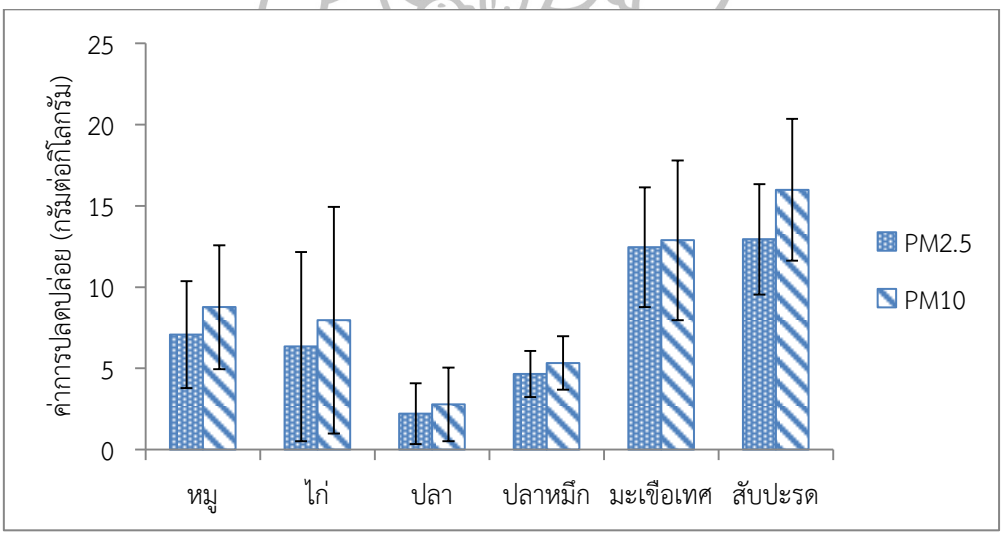




รูปที่ 13 แนวโน้มการปลดปล่อยฝุ่นละอองในการปิ้งย่างระยะต่าง ๆ

ค่าการปลดปล่อยฝุ่น

ค่าการปลดปล่อยฝุ่นในหน่วยมิลลิกรัมของฝุ่นต่อกิโลกรัมของอาหารที่ได้จากการวิจัย แสดงดังรูปที่ 14



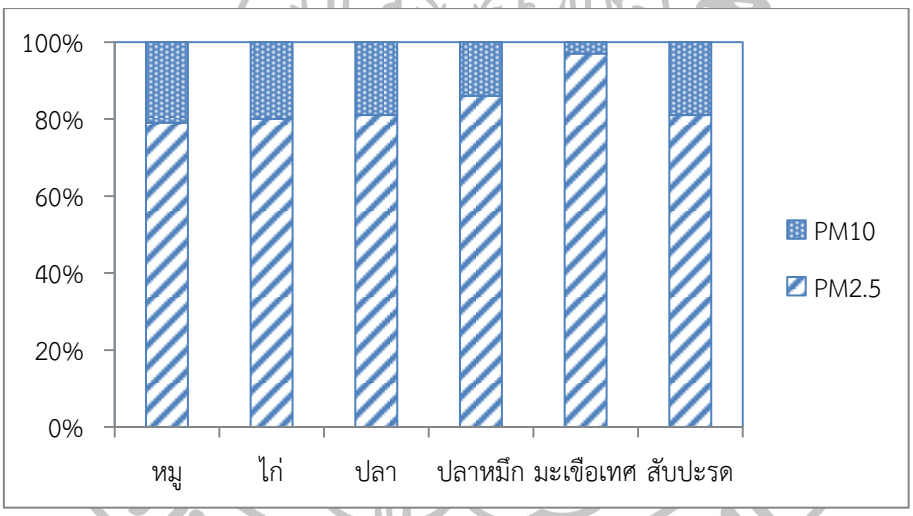
รูปที่ 14 ค่าการปลดปล่อยฝุ่น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ จากการปิ้งย่างอาหารประเภทต่าง ๆ เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ สับปะรด>มะเขือเทศ>หมู>ไก่>ปลาหมึก>ปลา โดยมีค่าเท่ากับ 1.81 ± 0.48 1.74 ± 0.51 0.43 ± 0.13 0.35 ± 0.32 0.26 ± 0.12 และ 0.21 ± 0.17 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนค่าการปลดปล่อย PM_{10} มีลำดับจากมากไปน้อยเช่นเดียวกันกับ $PM_{2.5}$ โดยมีค่า

ความเข้มข้นเท่ากับ 2.23±0.61 1.80±0.69 0.50±0.15 0.44±0.39 0.33±0.14 และ 0.26±0.21 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงสัดส่วนของฝุ่นละเอียดมาก (Ultrafine particle) ซึ่งก็คือ $PM_{2.5}$ ในฝุ่นละเอียด (Fine particle) PM_{10} ซึ่งหากสัดส่วนนี้มีค่าสูง แสดงว่า ฝุ่นส่วนใหญ่จากการปิ้งย่างเป็นฝุ่นละเอียดมาก ซึ่งสามารถเข้าสู่ถุงลมปอด และก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงต่อผู้ที่ได้รับสัมผัส รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นในการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 15 โดยอาหารที่มีสัดส่วนของ $PM_{2.5}/PM_{10}$ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ มะเขือเทศ (ร้อยละ 97) ปลาหมึก (ร้อยละ 86) สับปะรด = ปลา (ร้อยละ 81) ไก่ (ร้อยละ 80) หมู (ร้อยละ 79) ซึ่ง ปลา มะเขือเทศ และสับปะรด มีปริมาณน้ำสูง ฝุ่นที่ตรวจวัดได้บางส่วนจึงเป็นไอน้ำ ซึ่งการศึกษาในปัจจุบันยังไม่ปรากฏว่าไอน้ำดังกล่าวเป็นอันตรายต่อสุขภาพ



รูปที่ 15 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น

อัตราการปลดปล่อยฝุ่น

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาอัตราการปลดปล่อยฝุ่นและอัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและอัตราการปลดปล่อยฝุ่น

	k	EF, กรัม/กก.		CR, กก./คน/ปี	P, ล้านคน		ER, ตัน/ปี
เนื้อหมู	0.100[1]	$PM_{2.5}$	0.43	14.48[1]	65.32[5]	$PM_{2.5}$	41
		PM_{10}	0.50			PM_{10}	47
เนื้อไก่	0.154[1]	$PM_{2.5}$	0.35	15.0[2]		$PM_{2.5}$	53
		PM_{10}	0.44			PM_{10}	66
เนื้อปลา	0.137[2]	$PM_{2.5}$	0.21	30.0[2]		$PM_{2.5}$	56
		PM_{10}	0.26			PM_{10}	70
เนื้อปลาหมึก	0.137[2]	$PM_{2.5}$	0.26	29.0[3]		$PM_{2.5}$	67
		PM_{10}	0.33			PM_{10}	86
มะเขือเทศ	0.137[2]	$PM_{2.5}$	1.74	49.6[4]		$PM_{2.5}$	772
		PM_{10}	1.80			PM_{10}	799
สับปะรด	0.137[2]	$PM_{2.5}$	1.81	49.6[4]		$PM_{2.5}$	803
		PM_{10}	2.23			PM_{10}	990

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

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ความเข้มข้น

ค่าที่ตรวจวัดได้จากการปิ้งย่างอาหารทุกชนิด พบว่า ทั้ง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ทุกค่ามีค่าเกินค่ามาตรฐานของ US EPA (ทั้ง 24 ชั่วโมง และ 1 ปี ในบรรยากาศ) WHO (ทั้ง 24 ชั่วโมง และ 1 ปี ในบรรยากาศ) กรมควบคุมมลพิษ (ทั้ง 24 ชั่วโมง และ 1 ปี ในบรรยากาศ) และกรมอนามัย (8 ชั่วโมง ในอาคาร) แต่ความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่เกินค่ามาตรฐานของกระทรวงมหาดไทย (8 ชั่วโมง ในอาคาร) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปิ้งย่างในห้องปิดที่มีการระบายอากาศไม่เพียงพอ หรือไม่มีอุปกรณ์ควบคุมควันที่เหมาะสมและเพียงพอ

ความแตกต่างข้างต้นมีสาเหตุมาจากการที่เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรด มีองค์ประกอบ รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการปิ้งย่างที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้ของคมสันต์ และ กาญจนา (2555) พบว่า การปิ้งย่างเนื้อหมูก่อให้เกิดฝุ่นมากกว่าเนื้อไก่ มากกว่าเนื้อปลา และมากกว่าผักผลไม้ (ข้าวโพด) แต่ในการศึกษานี้ให้ผลตรงกันข้าม โดยมะเขือเทศและสับปะรดก่อให้เกิดฝุ่นจากการปิ้งย่างมากกว่าเนื้อสัตว์ ทั้งนี้เนื่องมากจากมะเขือเทศและสับปะรดมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เมื่อทำการปิ้งย่างก่อให้เกิดไอน้ำขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งไอน้ำปริมาณมากนี้ เครื่องดัสแทร็คตรวจวัดว่าเป็นฝุ่นขนาดเล็กด้วย จึงซึ่งส่งผลให้พบความเข้มข้นของฝุ่นสูง นอกจากนี้ในขณะทำการปิ้งย่างสับปะรดมีน้ำเหนียว ๆ ลักษณะคล้ายน้ำเชื่อมออกมาจากเนื้อสับปะรด และเกิดการไหม้เป็นสีน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดฝุ่นขึ้นมาก

ผลการศึกษานี้แตกต่างกับการศึกษาของอนุดิษฐ์ (2551) ซึ่งศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อสันในด้วยเตาไฟฟ้าเช่นเดียวกันแต่ใช้อุณหภูมิในการปิ้งย่างเท่ากับ 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อหมูสันในก่อให้เกิด PM_{10} เท่ากับ 1.89 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมากกว่าการศึกษานี้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการปิ้งย่างแตกต่างจากการศึกษาของผู้วิจัยที่ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยหากยิ่งใช้อุณหภูมิสูง ยิ่งก่อให้เกิดฝุ่นละอองมากขึ้น และเมื่อนำผลการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกันการศึกษาของคมสันต์ และ กาญจนา (2555) ซึ่งตรวจวัด PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา และข้าวโพด พบว่า เกิด PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมูสูงที่สุดเท่ากับ 47.1 รองลงมาคือเนื้อไก่ เนื้อปลา และข้าวโพด ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 46.4 44.5 และ 30.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นจากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ และเนื้อปลาจากการศึกษาของคมสันต์และกาญจนามีความเข้มข้นมากกว่าการศึกษานี้ เนื่องจากการศึกษาของคมสันต์และกาญจนาใช้เตาถ่านในการปิ้งย่างอาหาร และใช้กระทะปิ้งย่างแบบมีรู ทำให้ไขมันในเนื้อสัตว์

(โดยเฉพาะเนื้อหมู) ละลายหยดลงบนถ่าน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ แต่ในการศึกษานี้ใช้เตาไฟฟ้าและใช้กระทะย่างแบบไม่มีรู จึงไม่พบการหยดของไขมันลงบนเชื้อเพลิงนอกจากนี้ การที่เกิดฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อไก่มากกว่าเนื้อหมูในการศึกษานี้ ซึ่งในความเป็นจริงควรจะน้อยกว่า (เนื่องจากเนื้อหมูมีไขมันมากกว่า) มีสาเหตุมาจากตอนที่ทำการปิ้งย่างเนื้อไก่เริ่มมีอาการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ ทำให้ตอนปิ้งย่างมีน้ำออกมาจากเนื้อไก่เป็นปริมาณมาก และกลายเป็นไอน้ำซึ่งมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับอนุภาคฝุ่น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการตรวจวัดฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อไก่มีค่าสูงกว่าเนื้อหมู

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในกลุ่มเนื้อแดง (ระหว่างหมู-ไก่) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเนื้อหมูใช้เวลาในการปิ้งย่างนานกว่าแต่เนื้อไก่ในการทดลองนี้เมื่อนำมาปิ้งย่างพบว่ามีน้ำเยิ้ม ๆ ออกมาก เนื้อไก่เริ่มจะเสื่อมสภาพ จึงอาจเป็นเหตุให้มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกัน

กลุ่มอาหารทะเล (ระหว่างปลา–ปลาหมึก) พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากลักษณะของเนื้อปลาและปลาหมึกมีความแตกต่างกัน เมื่อโดนความร้อนจากการปิ้งย่างจึงปลดปล่อยฝุ่นมากน้อยแตกต่างกัน โดยเนื้อปลาก่อให้เกิดฝุ่นน้อยกว่า

ส่วนกลุ่มผักผลไม้ (ระหว่างสับปะรด–มะเขือเทศ) พบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความเข้มข้นของ PM_{10} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเนื่องจาก ผักและผลไม้ที่นำมาปิ้งย่างในการทดลองนี้มีความฉ่ำน้ำและพบว่าสับประรดในการทดลองนี้มีความฉ่ำน้ำมากกว่ามะเขือเขือเทศจึงทำให้เกิดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สูงกว่า

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารจำพวกผักผลไม้มีค่าสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มเนื้อแดง และสุดท้ายคือกลุ่มอาหารทะเล

ความเข้มข้นในช่วงเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 13 แสดงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในระยะตั้งแต่เริ่มแรกจนอาหารสุก จะสังเกตเห็นได้ว่า การปิ้งย่างเนื้อสัตว์จะก่อให้เกิดฝุ่นละอองขึ้นมากในระยะเริ่มปิ้งย่างและค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งสุก เนื่องจากน้ำในอาหารลดลงเรื่อย ๆ อีกทั้งพอเนื้อสัตว์เริ่มสุก จะเกิดการติดกระทะ ทำให้เกิดฝุ่นเพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกัน การปิ้งย่างอาหารจำพวกผักผลไม้จะก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ต่ำในระยะแรกเนื่องจากน้ำในอาหารยังออกมาไม่มาก และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสุก เนื่องจากยิ่งปิ้งย่างนาน น้ำในผักผลไม้ยิ่งออกมาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบอีกว่า ระดับของฝุ่นทั้งสองชนิด จะเพิ่มระดับขึ้นทุก ๆ 1 นาที ที่มีการพลิกกลับชิ้นอาหาร

ค่าการปลดปล่อยฝุ่น

จากการคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารชนิดต่าง ๆ พบว่า การปิ้งย่างอาหารกลุ่มผักผลไม้มีค่าการปลดปล่อยฝุ่นสูงกว่าอาหารประเภทอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นจากการปิ้งย่างที่ตรวจวัดได้สูงที่สุดแม้จะใช้เวลาในการปิ้งย่างน้อยที่สุด (ตารางที่ 2) ก็ตาม โดยสับปะรดมีค่าการปลดปล่อยสูงรองลงมาคือมะเขือเทศ ส่วนอาหารจำพวกเนื้อแดงมีค่าปลดปล่อยต่ำรองลงมา โดยการปิ้งย่างเนื้อหมูมีค่าการปลดปล่อยสูงกว่าเนื้อไก่ทั้ง ๆ ที่มีความเข้มข้นจากการปิ้งย่างน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากเนื้อหมูใช้เวลาในการปิ้งย่างจนสุกนานกว่าเนื้อไก่ (ตารางที่ 2) ส่วนกลุ่มอาหารทะเลมีค่าการปลดปล่อยต่ำที่สุดเนื่องจากการปิ้งย่างอาหารกลุ่มนี้

ก่อให้เกิดฝุ่นความเข้มข้นต่ำสุด โดยการปิ้งย่างปลาหมึกมีค่าการปลดปล่อยฝุ่นสูงกว่าเนื้อปลา เนื่องจากการปิ้งย่างเนื้อปลาหมึกก่อให้เกิดฝุ่นความเข้มข้นสูงกว่าเนื้อปลานั่นเอง

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ค่าการปลดปล่อยฝุ่นมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ สับปะรด> มะเขือเทศ>เนื้อหมู>เนื้อไก่>เนื้อปลาหมึก>เนื้อปลา

งานวิจัยของ McDonal et al. (2003) งานวิจัยของคมสันต์ (2554) และงานวิจัยของ Lee et al. (2011) ซึ่งศึกษาค่าการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างอาหารหลายชนิด รวมถึงเนื้อหมูและเนื้อไก่เช่นเดียวกับการศึกษานี้ พบว่า การปิ้งย่างเนื้อหมูมีค่าการปลดปล่อยฝุ่นในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัมดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า, กรัมต่อกิโลกรัม

	McDonal et al. (2003)			คมสันต์ (2554)			Lee et al. (2011)			การศึกษานี้		
	เนื้อหมู	เนื้อไก่	เตา	เนื้อหมู	เนื้อไก่	เตา	เนื้อหมู	เนื้อไก่	เตา	เนื้อหมู	เนื้อไก่	เตา
$PM_{2.5}$	-	7.2	ถ่าน	7.8	21.5	ถ่าน	3.07	8.12	ไฟฟ้า	7.08	6.43	ไฟฟ้า
PM_{10}	-	-	ถ่าน	1.8	31.4	ถ่าน	3.82	8.22	ไฟฟ้า	8.77	7.97	ไฟฟ้า

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับพบว่างานวิจัยทั้ง 3 พบว่า ผลการศึกษานี้มีค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อหมูใกล้เคียงกับการศึกษาของคมสันต์ (2554) และมีค่าการปลดปล่อยฝุ่นจากการปิ้งย่างไก่หมูใกล้เคียงกับการศึกษาของ McDonal et al. (2003) และ Lee et al. (2011) ซึ่งจะเห็นว่า แม้ใช้เตาต่างชนิดกัน แต่ค่าการปลดปล่อยฝุ่นไม่แตกต่างกัน US EPA (1999) ได้กล่าวไว้ว่า การเผาไหม้ของถ่าน ไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นมากนัก นอกจากนี้ การศึกษาของ Lee et al. (2009) ยังแสดงให้เห็นว่า ค่าการปลดปล่อยฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านเพียงอย่างเดียวมีค่าแค่ 0.01 – 0.02 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ $PM_{2.5}$ และ 0.02 – 0.05 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ PM_{10} เท่านั้น

รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น

จากรูปที่ 15 เมื่อพิจารณารูปแบบการปลดล่อย $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรดด้วยเตาไฟฟ้า พบว่า มีสัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$ สูงมาก ซึ่งหมายความว่า ในกระบวนการปิ้งย่างอาหารก่อให้เกิดฝุ่นละเอียดมากขึ้นในปริมาณสูงมาก แม้จะใช้เตาไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดฝุ่นน้อยมากก็ตาม ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า การประกอบอาหารด้วยวิธีการปิ้งย่าง ก่อให้เกิดฝุ่นที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงควรหลีกเลี่ยงวิธีการประกอบอาหารแบบนี้ แล้วหันไปใช้วิธีการต้มนึ่งแทน

เมื่อนำผลจากการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lee et al. (2011) ซึ่งเก็บตัวอย่างอากาศภายในร้านอาหารประเภทปิ้งย่าง พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ มีร้อยละของ $PM_{2.5}/PM_{10}$ สูงมากเช่นกัน โดยมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 80-100

อัตราการปลดปล่อยฝุ่น

จากตารางที่ 5 เมื่อนำผลการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกับอัตราการปลดปล่อยฝุ่นจากการศึกษาของ Lee et al. (2011) พบว่า ค่าที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ Lee

et al. (2011) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ การศึกษาของ Lee et al. (2011) ทำการตรวจวัดจากปล่องระบายอากาศของร้านขายอาหารปิ้งย่างโดยตรง แต่การศึกษานี้กระทำให้ห้องปฏิบัติการ ซึ่งการเก็บตัวอย่างโดยตรงจากปล่องระบายอากาศจะได้ความเข้มข้นของฝุ่นมากกว่าการเก็บตัวอย่างในการศึกษานี้

การเลือกประเภทของอาหารที่ปลอดภัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเลือกรับประทานอาหารปิ้งย่างที่ปลอดภัย ว่าควรเลือกอาหารประเภทใด โดยพิจารณาจากทั้งความเข้มข้น ค่าการปลดปล่อย และรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นจากที่ศึกษามา โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปผลการศึกษา

	ความเข้มข้น, มก./ลบ.ม.		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น, มก./กก.		รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น, ร้อยละ	อัตราการปลดปล่อยฝุ่น, ตัน/ปี	
	$PM_{2.5}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	PM_{10}		$PM_{2.5}$	PM_{10}
หมู	0.26	0.33	7.08	8.77	79	41	47
ไก่	0.35	0.44	6.34	7.97	80	53	66
ปลา	0.21	0.17	2.22	2.78	81	56	70
ปลาหมึก	0.43	0.50	4.65	5.33	86	67	86
มะเขือเทศ	1.74	1.80	12.45	12.88	97	772	799
สับปะรด	1.81	2.23	12.94	15.98	81	803	990

จากผลการศึกษานี้เห็นว่า การประกอบอาหารด้วยวิธีการปิ้งย่างก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับสัมผัสสารมลพิษในอากาศจากการปิ้งย่าง อันพิจารณาได้จากการที่ความเข้มข้นที่ตรวจพบล้วนเกินค่ามาตรฐานของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งในบรรยากาศและภายในอาคาร อย่างไรก็ตาม หากต้องการรับประทานอาหารประเภทปิ้งย่าง ควรเลือกรับประทานอาหารปิ้งย่างประเภทเนื้อปลาจึงจะปลอดภัยต่อสุขภาพภาพมากที่สุด เนื่องจากมีไขมันน้อย จึงก่อให้เกิดฝุ่นน้อย นอกจากนี้ยังสามารถเลือกรับประทานอาหารประเภทผักผลไม้ได้อีกด้วย เนื่องจากฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารกลุ่มนี้ประกอบด้วยไอน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการศึกษาในปัจจุบันยังไม่ปรากฏว่าไอน้ำดังกล่าวเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

1. ควรมีการนำฝุ่นไปวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นอันตราย เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างผักผลไม้ อาจไม่มีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย หรืออันตรายน้อยกว่าฝุ่นที่เกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ก็เป็นได้

2. ควรเพิ่มชนิดของอาหารที่นำมาทดสอบ เช่น เนื้อวัว เนื้อปลาชนิดอื่น ผัก และผลไม้ชนิดอื่น ๆ

3. ควรทดสอบผลของการหมักเนื้อสัตว์ต่อการปลดปล่อยฝุ่นละออง ว่ามากหรือน้อยกว่าเนื้อสัตว์ที่ไม่ได้มีการหมัก

4. ควรศึกษาองค์ประกอบในไอน้ำซึ่งอาจมีสารพิษเจือปนอยู่

5. ควรศึกษาผักที่มีน้ำน้อยและเป็นที่นิยมรับประทาน เช่น เห็ด แครอท เป็นต้น

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ร้านขายอาหารประเภทปิ้งย่างควรมีลักษณะดังต่อไปนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ประกอบกิจการ พนักงาน และผู้ใช้บริการ

1. ควรมีอุปกรณ์ดูดควันติดตั้งบริเวณตะแกรงย่าง เพื่อดูดควันที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างออกทันที ไม่ให้ควันผ่านตัวผู้ที่ปิ้งย่าง

2. การระบายอากาศในร้านควรมีทั้งระบบนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกมาเจือจางและระบายอากาศภายในออกโดยติดตั้งอุปกรณ์ดักจับฝุ่นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

3. ชนิดเตาที่ใช้ ควรเลือกใช้เตาที่ก่อให้เกิดมลพิษน้อย เช่น เตาไฟฟ้า เตาแก๊ส

4. หากต้องการใช้เตาถ่านเพื่อความหอมของอาหาร ควรมีช่องแยกไขมันที่ละลายออกจากเนื้อสัตว์ไม่ให้หยดลงบนถ่านโดยตรง

5. ควรใช้ถ่านที่มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง ซึ่งจะก่อให้เกิดสารมลพิษน้อยกว่า

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

“(ร่าง) ประกาศกรมอนามัย เรื่อง มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร.” (2559). 26 กุมภาพันธ์ 2559.

“ประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2515) เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี).” (2520). **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 94, ตอนที่ 64 (12 กรกฎาคม): 8.

กรมควบคุมมลพิษ. (2550). **เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง**. เข้าถึงเมื่อ 13 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/ air_dust.htm

กรมควบคุมมลพิษ. (2550). **มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป**. เข้าถึงเมื่อ 16 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/infoserv/reg_std_airsnd01.html#s1

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). **มหันตภัยไดอ๊อกซิน (Dioxin)**. เข้าถึงเมื่อ เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_dioxin.html

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). **สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย.** เข้าถึงเมื่อ 13 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.oshthai.org/upload/file_linkitem/20100126090841_2.pdf

กัลยาณี ญาณวุฒิ. (2543). **สารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้อาหารไม่สมบูรณ์ (PAHs) อาหาร ปิ้งย่าง.** เข้าถึงเมื่อ 18 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.learners.in.th/blogs/posts/455245

คมสันต์ แรงจบ และ กาญจนา นาถะพินธุ. (2555). “การกระจายตัวของอนุภาคที่เกิดจากกิจกรรมประเภทปิ้งย่าง.” **วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น** 5, 2 (มิถุนายน): 11-20.

เจริญ เจริญชัย. (2559). บทที่ 1 น้ำ *ใน* **เอกสารประกอบการสอนรายวิชา Food Microbiology**. คณะเทคโนโลยีการเกษตร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีรมงคลธัญบุรี.

นพภาพร พานิช. (2550). **ตำราบำบัดมลพิษอากาศ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล. (2547). **บริโภคเนื้อสัตว์อย่างไรให้ปลอดภัย (ตอน 2).** เข้าถึงเมื่อ 18 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.doctor.or.th/article/detail/1873

ปฐมวดี ญาณทัศนีย์จิต และศุภกิจ โชวุฒิธรรม. (2555). **มะเร็ง: ความลับที่อยู่ในรหัสพันธุกรรม.** เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก www.tci-thaijo.org/index.php/gst/article/download/2983/3344

ประพันธ์ โนระดี. (2559). **การบริโภคสัตว์น้ำของไทย**. กรุงเทพฯ: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2559). **Aquatic animal / สัตว์น้ำ**. เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2845aquatic-animal-สัตว์น้ำ

วนิดา จีนศาสตร์. (2551). **มลพิษทางอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิเชียร มงคลศรีตระกูล. (2556). **ย่างหรือไม่ย่าง สำคัญไฉน.** เข้าถึงเมื่อ 11 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.your healthyguide.com/article/ac-grill-or-not-grill.html

วิสิฐศักดิ์ วุฒิอดิเรก. (2543). **สารก่อมะเร็งจากอาหารปิ้ง ย่าง ทอด**. เข้าถึงเมื่อ 4 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=77

สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2559). **ประชากรของประเทศไทย พ.ศ. 2559**. เข้าถึงเมื่อ 25 กรกฎาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.ipsr.mahidol.ac.th/ipsrbeta/th/Gazette.aspx

ส่วนวิจัยเศรษฐกิจปศุสัตว์และประมง. (2558). **สุกร**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

สำนักสิ่งแวดล้อม สำนักงานกรุงเทพมหานคร. (2557). **การควบคุมมลพิษจากการปิ้งย่าง**. เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก http://203.155.220.174/modules.php?name=News&file=print&sid=177

สำนักอนามัยและสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย. (2556). **คู่มือมาตรฐานอนามัยสิ่งแวดล้อม (ด้านอากาศ น้ำ ดิน เสียง ความสั่นสะเทือน ความร้อน และความเข้มแสงสว่าง)**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

สุจิตต์ สาลีพันธ์. (2557). “การบริโภคผักผลไม้เพื่อความมั่นคงทางโภชนาการ สถานการณ์การบริโภคผักและผลไม้ของคนไทย.” เอกสารในการประชุมวิชาการเรื่อง The 1st National Conference on Food and Nutrition for Health: Fruits and Vegetables for Nutrition Security เสนอที่โรงแรมเอส 31, 16 มกราคม.

อดิศร์ กฤษณวงศ์.(2557) . **การเลี้ยงสัตว์น้ำจะยั่งยืนทำอย่างไร???**. กรุงเทพฯ: สมาคมผู้เพาะเลี้ยงปลาไทย.

อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ. (2551). “สารประกอบพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM_{10} จากการปิ้งหมู.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Abdullahi, Karimatu L., Juana Maria Delgado-Saborit, and Roy M. Harrison. (2013). “Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review.” **Atmospheric Environment** 71 (June): 260-294.

Bastin, S. and Henken, K. (1994). **Water content of fruits and vegetables**. Cooperative Extension Service: University of Kentucky.

Chao, Christopher Y.H., and Eddie C. Cheng. (2002). “Source apportionment of indoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Homes.” **Indoor and Built Environment** 11, 1 (January): 27-37.

Devon Rose Gourmet Meat. (2016). **Pork back fat**. Accessed May 7. Available from http://www.devonrose.com/shop/pork/offal-fats/pork-back-fat.html

Gourmetropolis. (2014). **Pork.** Accessed May 7. Available from http://www.gourmetropolis.com/pork.Php ?cat=meat&type=&language=TH

Hakkak, Reza, Holley, Andy W. Holley, Stewart L. Macleod, and Soheila Korourian. (2005). "Obesity promotes 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-induced mammary tumor development in female zucker rats." **Breast Cancer Research** 7 5 (June): R627-R633.

Home Remedy Shop. (2016). **Home remedies for scars**. Accessed July 1. Available from http://blogs.humnetwork.com/home-remedies-for-scars

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

Koyano, Michiko, Shigeru Mineki, Yurie Tsunoda, and Tadahiro Ishii. (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 (July): 452-459.

Lee, Shun C., Wai-Ming Li, and Lo Y. Chan. (2001). "Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong." **Science of the Total Environment** 279, 1-3 (November): 181-193.

Lee, Byung-Mu, Seung-Jun Kwack, and Hyung-Sik Kim. (2005). "Age-related changes in oxidative DNA damage and benzo(a)pyrene diolepoxide-I (BPDE-I)-DNA adduct levels in human stomach." **Journal of Toxicology and Environmental Health** 68 (October): 1599–1610.

Lee, Jun-Bok, Heung-Joo Kim, Kweon Jung and Shin-Do Kim. (2009). "Emission characteristics of particulate matters from under-fired charbroiling cooking process using the hood method." **Journal of Korean Environmental Health Science** 35, 4 (August): 315–321.

Lee, Jun-Bok, Ki-Hyun Kim, Heung-Joo Kim, Seog-Ju Cho, Kweon Jung and Shin-Do Kim (2011a). "Emission rate of particulate matter and its removal efficiency by precipitators in under-fired charbroiling restaurants." **Scientific World Journal** 11 (May): 1077-1088.

Li, Yun-Chun, Man Shu, Steven S.H. Ho, Chuan Wang, Jun-Ji Cao, Ge-Hui Wang, Xian-Xiang Wang, Kun Wang and Xiao-Qing Zhao. (2015). "Characteristics of PM2.5 emitted from different cooking activities in China." **Atmospheric Research** 166 (December): 83-91.

McDonald, Jacob D., Barbara Zielinska, Eric M. Fujita, John C. Sagebiel, Judith C. Chow, and John G. Watson. (2003). "Emissions from charbroiling and grilling of

chicken and beef." **Journal of Air Waste Management Association** 53, 2 (February): 185-194.

Millenium Ocean Star. (2011). **Giant squid fillet**. Accessed July 7. Available from http://www.millennium-oceanstar.com/product_import/squid_import

Saito, Etsuko, Nobuyuki Tanaka, Akane Miyazaki and Masaharu Tsuzaki. (2014). "Concentration and particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons formed by thermal cooking." **Food Chemistry** 153 (June): 285-291.

Schauer, James J., Wolfgang F. Rogge, Lynn M. Hildemann, Monica A. Mazurek, Glen R. Cass, and Bernd R.T. Simoneit. (1996). "Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers." **Atmospheric Environment** 30, 22 (November): 3837-3855.

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

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

Tanaka, Nobuyuki, Kayako Ohtake, Masaharu Tsuzaki, and Akane Miyazaki. (2012). "Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in oil-mist emitted from food grilling." **Bundeki Kagaku** 61, 2 (March): 77-86.

The Journal. (2015). **Know what campylobacter is?. It makes us sick more often than Salmonella does**. Accessed July 16. Available from http://www.the journal.ie/campylobacter-ireland-salmonella-1908068-Jan2015/

To, Wai M., and Li Yeung. (2011). "Effect of fuels on cooking fume emissions." **Indoor and Built Environment** 20, 55 (October): 555-563.

TSI. (2015). **DustTrak II Aerosol Monitor**. Accessed May 25. Available from http:// www.tsi.com/dusttrak-ii-aerosol-monitor-8530/

USDA. (2016). USDA Food Composition Database. Accessed July 25. Available from https://ndb.nal.usda.gov/

US EPA. (2009). **Emissions from street vendor cooking devices (Charcoal grilling)**. Washington DC: US EPA.

US EPA. (2011). **National ambient air quality standards (NAAQS)**. Accessed May 27. Available from http://www.epa.gov/air/criteria.html

US EPA. (2012). **Implementation of the new source review (NSR) program for particulate matter less than 2.5 micrometers (PM2.5): Amendment to the definition of "Regulated NSR Pollutant" concerning condensable particulate**

matter. Accessed May 3. Available from http://www.epa.gov/nsr/documents/20121012fr.pdf

Wan, Man-Pun, Chi-Li Wu, Gin-Nam S. To, Tsz-Chun Chan and Christopher Y.H. Chao. (2011). "Ultrafine particles and $PM_{2.5}$ generated from cooking in homes." **Atmospheric Environment** 45, 34 (November): 6141-6148.

West Coast Seafood. (2016). **Fish fillets**. Accessed May 2. Available from http://www.westcoastseafood.com.au/shop/listings/fish-fillets/

WHO. (2006). **WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Geneva: WHO Press.

Zhang, Qunfang, Roja H. Gangupomu, David Ramirez, and Yifang Zhu. (2010). "Measurement of ultrafine particles and other air pollutants emitted by cooking activities." **International Journal of Environmental Research and Public Health** 7, 4 (April): 1744–1759.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ก
รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่าง และค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10}

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
เนื้อหมู (14/08/58)	1	100.0	15	100	3	0.18	0.25	4.81	6.83
	2	100.3				0.16	0.20	4.37	5.47
	3	100.6				0.09	0.11	2.46	3.03
	4	100.3				0.17	0.23	4.60	6.30
	5	100.6				0.27	0.34	7.27	9.23
	6	100.1				0.19	0.22	5.23	5.90
	7	100.0				0.16	0.18	4.33	4.99
	8	100.7				0.65	0.71	17.40	18.95
	9	100.0				0.20	0.24	5.42	6.35
	10	100.4				0.23	0.26	6.06	6.93
	11	100.5				0.31	0.35	8.27	9.49
	12	100.0				0.35	0.40	9.54	10.93
	13	100.3				0.28	0.31	7.48	8.41

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	14	100.0	15	100	3	0.28	0.34	7.68	9.28
	15	100.0				0.48	0.66	12.83	17.94
	16	100.2				0.20	0.33	5.32	8.77
	17	100.7				0.17	0.23	4.50	6.25
	18	100.5				0.13	0.21	3.50	5.76
	19	100.0				0.19	0.28	5.23	7.69
	20	100.7				0.29	0.38	7.84	10.15
	21	100.8				0.21	0.26	5.75	7.04
	22	100.5				0.18	0.24	4.86	6.56
	23	100.0				0.35	0.40	9.54	10.86
	24	100.7				0.23	0.26	6.08	7.00
	25	100.1				0.32	0.37	8.68	10.03
	26	100.7				0.19	0.24	4.97	6.41
	27	100.3				0.27	0.32	7.22	8.72
	28	100.0				0.30	0.36	8.08	9.80

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	29	100.7	15	100	3	0.56	0.70	14.92	18.79
	30	100.4				0.30	0.34	8.20	9.17
เนื้อไก่ (22/08/58)	1	100.2	10	100	3	0.11	0.31	2.06	5.62
	2	100.4				0.17	0.23	3.13	4.05
	3	100.2				0.17	0.23	3.01	4.05
	4	100.6				0.20	0.26	3.66	4.71
	5	100.1				0.25	0.30	4.41	5.39
	6	100.5				0.22	0.27	3.87	4.84
	7	100.1				0.18	0.28	3.17	4.96
	8	100.3				0.21	0.30	3.77	5.47
	9	100.6				0.21	0.32	3.80	5.79
	10	100.0				0.19	0.24	3.50	4.37
	11	100.6				0.16	0.23	2.88	4.20
	12	100.5				0.23	0.32	4.19	5.81
	13	100.1				0.28	0.38	5.03	6.84
	14	100.8				0.32	0.43	5.69	7.67

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	15	100.5	10	100	3	0.41	0.49	7.26	8.82
	16	100.7				0.23	0.36	4.07	6.40
	17	100.4				0.26	0.45	4.67	8.01
	18	100.2				1.79	2.28	32.15	40.99
	19	100.4				0.85	0.90	15.19	16.18
	20	100.7				0.61	0.63	10.91	11.29
	21	100.7				0.54	0.58	9.68	10.37
	22	100.3				0.18	0.21	3.20	3.78
	23	100.6				0.07	0.08	1.18	1.50
	24	100.0				0.18	0.23	3.24	4.12
	25	100.2				0.34	0.39	6.11	7.09
	26	100.7				0.50	0.58	8.98	10.37
	27	100.8				0.33	0.39	5.93	7.04
	28	100.1				0.25	0.32	4.56	5.76
	29	100.6				0.57	0.67	10.20	12.06
	30	100.5				0.59	0.65	10.64	11.58

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
เนื้อปลา (27/08/58)	1	100.1	6	100	3	0.14	0.21	1.52	2.27
	2	100.8				0.38	0.49	4.11	5.24
	3	100.7				0.17	0.18	1.81	1.96
	4	100.5				0.12	0.11	1.30	1.23
	5	100.7				0.10	0.10	1.11	1.08
	6	100.8				0.10	0.12	1.12	1.27
	7	100.8				0.11	0.11	1.15	1.17
	8	100.6				0.06	0.05	0.63	0.56
	9	100.4				0.11	0.10	1.16	1.03
	10	100.8				0.06	0.08	0.69	0.84
	11	100.5				0.25	0.26	2.65	2.81
	12	100.4				0.13	0.18	1.43	1.95
	13	100.5				0.08	0.09	0.81	0.91
	14	100.3				0.18	0.23	1.96	2.52

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	15	100.6	6	100	3	0.14	0.19	1.51	2.00
	16	100.8				0.24	0.29	2.62	3.09
	17	100.8				0.10	0.15	1.12	1.63
	18	100.5				0.11	0.14	1.20	1.54
	19	100.8				0.06	0.07	0.61	0.76
	20	100.6				0.17	0.26	1.87	2.78
	21	100.8				0.07	0.09	0.70	0.93
	22	100.1				0.12	0.16	1.30	1.72
	23	100.1				0.18	0.27	1.89	2.95
	24	100.1				0.30	0.50	3.28	5.38
	25	100.2				0.20	0.25	2.11	2.70
	26	100.0				0.30	0.46	3.24	4.99
	27	100.1				0.42	0.49	4.55	5.30
	28	100.0				0.30	0.43	3.20	4.62

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	29	100.0	6	100	3	0.71	0.79	7.69	8.58
	30	100.0				0.76	0.90	8.25	9.68
เนื้อปลาหมึก (4/09/58)	1	100.2	6	100	3	0.63	0.74	6.80	7.96
	2	100.9				0.60	0.78	6.44	8.37
	3	100.7				0.42	0.51	4.56	5.50
	4	100.4				0.43	0.49	4.58	5.30
	5	100.8				0.57	0.66	6.15	7.05
	6	100.1				0.40	0.41	4.30	4.43
	7	100.3				0.83	0.92	8.95	9.95
	8	100.7				0.39	0.43	4.22	4.60
	9	100.1				0.41	0.42	4.45	4.51
	10	100.7				0.36	0.38	3.83	4.07
	11	100.8				0.71	0.80	7.63	8.57
	12	100.4				0.48	0.50	5.18	5.38

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	13	100.4	6	100	3	0.37	0.42	3.95	4.51
	14	100.7				0.33	0.37	3.51	4.02
	15	100.3				0.46	0.52	4.93	5.59
	16	100.4				0.48	0.51	5.14	5.52
	17	100.1				0.25	0.27	2.73	2.91
	18	100.7				0.34	0.38	3.63	4.08
	19	100.2				0.40	0.46	4.36	4.95
	20	100.5				0.46	0.54	4.97	5.82
	21	100.5				0.54	0.62	5.85	6.69
	22	100.4				0.25	0.31	2.68	3.32
	23	100.6				0.31	0.33	3.29	3.49
	24	100.2				0.33	0.42	3.55	4.48
	25	100.8				0.32	0.41	3.44	4.39
	26	100.3				0.37	0.49	3.97	5.27

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	27	100.3	6	100	3	0.29	0.39	3.17	4.15
	28	100.0				0.37	0.40	4.02	4.34
	29	100.0				0.42	0.52	4.53	5.66
	30	100.0				0.44	0.47	4.71	5.11
มะเขือเทศ (8/10/58)	1	100.8	4	100	3	2.38	3.74	17.07	26.74
	2	100.1				2.77	2.48	19.82	17.83
	3	100.3				2.34	2.34	16.78	16.82
	4	100.8				2.42	2.86	17.44	20.39
	5	100.4				1.69	2.02	12.18	14.46
	6	100.0				1.76	1.73	12.65	12.45
	7	100.0				1.64	1.51	11.72	10.88
	8	100.0				1.05	1.43	7.52	10.33
	9	100.7				2.11	1.23	15.21	8.82
	10	100.3				1.49	1.03	10.69	7.41

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	11	100.0	4	100	3	1.40	1.99	10.01	14.32
	12	100.5				1.62	1.22	11.55	8.76
	13	100.9				2.26	1.11	16.17	7.90
	14	100.8				1.38	1.30	9.92	9.27
	15	100.7				1.22	2.19	8.74	15.64
	16	100.3				1.86	1.29	13.30	9.23
	17	100.4				1.01	1.16	7.25	8.33
	18	100.7				1.88	1.37	13.47	9.83
	19	100.4				0.87	1.94	6.24	13.93
	20	100.0				2.41	1.88	17.33	13.52
	21	100.1				1.38	1.20	9.92	8.61
	22	100.2				0.97	1.61	6.90	11.57
	23	100.3				2.12	1.14	15.23	8.16
	24	100.4				1.13	1.83	8.08	13.10

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	25	100.3	4	100	3	1.60	2.07	11.46	14.85
	26	100.4				1.90	1.07	13.67	7.66
	27	100.4				1.23	1.65	8.84	11.80
	28	100.6				2.41	3.58	17.27	25.63
	29	100.2				1.90	1.87	13.62	13.40
	30	100.4				1.87	2.04	13.39	14.65
สับปะรด (18/09/58)	1	100.7				1.24	1.74	8.87	12.42
	2	100.7				1.76	2.21	12.57	15.80
	3	100.8				1.87	2.43	13.38	17.34
	4	100.8				2.53	3.05	18.04	21.81
	5	100.4				2.23	3.01	16.01	21.58
	6	100.6				0.79	1.05	5.66	7.49
	7	100.4				1.40	1.89	10.04	13.57
	8	100.7				2.60	3.17	18.61	22.64

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	9	100.5	4	100	3	1.97	2.38	14.10	17.04
	10	100.3				1.54	1.87	11.07	13.44
	11	100.2				2.15	2.50	15.42	17.97
	12	100.3				2.51	3.50	18.05	25.12
	13	100.8				2.05	2.73	14.63	19.49
	14	100.4				2.09	2.61	14.98	18.68
	15	100.0				1.60	1.96	11.54	14.10
	16	100.4				2.04	2.87	14.65	20.55
	17	100.6				1.36	1.60	9.75	11.46
	18	100.8				1.94	2.25	13.83	16.05
	19	100.7				1.38	1.65	9.89	11.79
	20	100.6				1.16	1.32	8.27	9.44
	21	100.8				2.27	2.71	16.20	19.33
	22	100.7				2.07	2.30	14.83	16.44

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้า (ต่อ)

ประเภทอาหาร	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	พารามิเตอร์ (x)		ค่าการปลดปล่อยฝุ่น	
						$PM_{2.5}$ (มก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มก./ลบ.ม.)	$PM_{2.5}$ (กรัม/กก.)	PM_{10} (กรัม/กก.)
	23	100.5	4	100	3	1.52	1.97	10.90	14.15
	24	100.7				1.66	2.10	11.89	14.99
	25	100.8				1.30	1.57	9.27	11.24
	26	100.2				1.58	1.92	11.36	13.79
	27	100.6				1.72	1.91	12.32	13.65
	28	100.5				2.78	3.21	19.91	23.01
	29	100.8				1.28	1.48	9.13	10.55
	30	100.1				1.81	2.01	12.99	14.49

มหาวิทยาลัยศิลปากร

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

	ค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	$PM_{2.5}$	PM_{10}
เนื้อหมู	0.26±0.12	0.33±0.14
เนื้อไก่	0.35±032	0.44±0.39
เนื้อปลา	0.21±0.17	0.26±0.21
ปลาหมึก	0.43±0.13	0.50±0.15
มะเขือเทศ	1.74±0.51	1.80±0.69
สับปะรด	1.81±0.48	2.23±0.61

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF)

สำหรับการคำนวณหาค่าการปลดปล่อยของฝุ่นละออง ในที่นี้ขอยกข้อมูลของการเก็บตัวอย่างจากการปิ้งย่างหมูด้วยเตาไฟฟ้า จากการเก็บตัวอย่างของความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ (ตัวอย่างชิ้นที่ 1) มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ โดยน้ำหนักของเนื้อหมู เท่ากับ 100.0 กรัม ความเข้มข้นของฝุ่นเท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อลบ.ม. เก็บตัวอย่างนาน 15 นาที อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง เท่ากับ 3.0 ลิตร/นาที สามารถคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองได้ดังนี้

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

$$= \frac{0.18 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลบ.ม.}} \times 3.0 \frac{\text{ลิตร}}{\text{นาที}} \times 15 \text{ นาที} \times 60 \frac{\text{วินาที}}{\text{นาที}} \times \frac{\text{ลบ.ม.}}{1000 \text{ ลิตร}}}{100.0 \text{ กรัม} \times \frac{10^{-3} \text{มิลลิกรัม}}{\text{กรัม}} \times \frac{10^{3} \text{กิโลกรัม}}{\text{กรัม}}}$$

$$= 4.81 \text{ กรัม/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง เท่ากับ 4.81 กรัม/กิโลกรัม

หมายเหตุ: สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$, PM_{10} จากการปิ้งย่างด้วยเตาไฟฟ้าจะใช้อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ 3.0 ลิตร/วินาที

2. การคำนวณรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern; EP)

สำหรับการคำนวณหาค่ารูปแบบการปลดปล่อยของฝุ่น ในที่นี้ขอยกข้อมูลของการเก็บตัวอย่างจากการปิ้งย่างหมูด้วยเตาไฟฟ้า จากการเก็บตัวอย่างของความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ และ ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เป็นตัวอย่างในการคำนวณ ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ และ ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เท่ากับ 0.26 และ 0.33 สามารถคำนวณค่าการหาร้อยละของ $PM_{2.5}$ ในฝุ่น PM_{10} ได้ดังนี้

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

$$= \frac{0.26}{0.33} \times 100$$

$$= 79$$

3. การคำนวณอัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate; ER)

สำหรับการคำนวณอัตราการปลดปล่อยของฝุ่น ในที่นี้ขอยกข้อมูลของการเก็บตัวอย่างจากการปิ้งย่างหมูด้วยเตาไฟฟ้า จากการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ เป็นตัวอย่างในการคำนวณ โดยค่า EF ของ $PM_{2.5}$ มีค่าเท่ากับ 0.43 กรัมต่อกิโลกรัม ค่า k เท่ากับ 0.100 ค่า CR เท่ากับ 14.48 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และค่า P เท่ากับ 65.32 ล้านคน สามารถคำนวณอัตราการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ ได้ดังนี้

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

= 0.100 x 0.43 กรัม/กก. x 14.48 กก./คน/ปี x 65.32 x 10^{6} ล้านคน x 10^{-6} ตัน/กรัม

= 41 ตัน/ปี

ภาคผนวก ค
ผลการคำนวณค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF) และ การคำนวณรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern; EP)

ตารางที่ ค1 ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (Emission factor; EF)

	ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละออง (กรัมต่อกิโลกรัม)	
	PM_{25}	PM_{10}
เนื้อหมู	7.08±3.29	8.77±3.81
เนื้อไก่	6.34±5.82	7.97±6.97
เนื้อปลา	2.22±1.87	2.78±2.26
ปลาหมึก	4.65±1.42	5.33±1.64
มะเขือเทศ	12.45±3.68	12.88±4.91
สับปะรด	12.94±3.40	15.98±4.36

ตารางที่ ค2 รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (Emission pattern; EP)

	รูปแบบการปลดปล่อยฝุ่น (ร้อยละ)
	($PM_{2.5}$/ PM_{10}x100)
เนื้อหมู	79
เนื้อไก่	80
เนื้อปลา	81
ปลาหมึก	86
มะเขือเทศ	97
สับปะรด	81

ตารางที่ ค3 อัตราการปลดปล่อยฝุ่น (Emission rate; ER)

	อัตราการปลดปล่อยฝุ่น, ตัน/ปี	
	$PM_{2.5}$	PM_{10}
เนื้อหมู	41	47
เนื้อไก่	53	66
เนื้อปลา	56	70
ปลาหมึก	67	86
มะเขือเทศ	772	799
สับปะรด	803	990

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารต่างชนิดกัน โดยใช้การทดสอบทางสถิติ

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

ANOVA

PM2.5

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	85.962	5	17.192	157.504	.000
Within Groups	18.993	174	.109		
Total	104.954	179			

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

ANOVA

PM10

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	110.682	5	22.136	123.018	.000
Within Groups	31.310	174	.180		
Total	141.993	179			

ตารางที่ ง3 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่างเนื้อหมู-เนื้อไก่ด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้สถิติ 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	5.548	.022	-1.427	58	.159	-.09033	.06332	-.21709	.03642
	Equal variances not assumed			-1.427	37.172	.162	-.09033	.06332	-.21862	.03795

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ง4 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่างเนื้อปลา-ปลาหมึกด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้สถิติ 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	.777	.382	-5.716	58	.000	-.22633	.03960	-.30559	-.14707
	Equal variances not assumed			-5.716	54.319	.000	-.22633	.03960	-.30571	-.14696

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ง5 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ $PM_{2.5}$ ในการปิ้งย่างมะเขือเทศ-สับปะรดด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้สถิติ 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	.270	.605	-.557	58	.580	-.07100	.12749	-.32619	.18419
	Equal variances not assumed			-.557	57.689	.580	-.07100	.12749	-.32622	.18422

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ง6 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างเนื้อหมู-เนื้อไก่ด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้สถิติ 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
PigCkicken	Equal variances assumed	3.695	.059	-1.585	58	.118	-.11967	.07550	-.27080	.03146
	Equal variances not assumed			-1.585	36.654	.122	-.11967	.07550	-.27269	.03336

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ง7 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างเนื้อปลา-ปลาหมึกด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้สถิติ 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	1.756	.190	-5.025	58	.000	-.23733	.04723	-.33188	-.14279
	Equal variances not assumed			-5.025	53.025	.000	-.23733	.04723	-.33207	-.14260

ตารางที่ ง8 การทดสอบค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองของ PM_{10} ในการปิ้งย่างมะเขือเทศ-สับปะรดด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้สถิติ Independent Samples Test ที่ระดับความ เชื่อมั่น 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	.020	.887	-2.605	58	.012	-.43633	.16751	-.77163	-.10104
	Equal variances not assumed			-2.605	57.192	.012	-.43633	.16751	-.77173	-.10093

มหาวิทยาลัยศิลปากร

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

ANOVA

PM2.5

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84.995	2	42.498	376.870	.000
Within Groups	19.959	177	.113		
Total	104.954	179			

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

ANOVA

PM10

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	106.767	2	53.383	268.236	.000
Within Groups	35.226	177	.199		
Total	141.993	179			

ภาคผนวก จ
แบบสอบถามร้านอาหารปิ้งย่างในจังหวัดนครปฐม

ร้าน		เนื้อหมู	เนื้อไก่	เนื้อปลา	ปลาหมึก	ผัก	ผลไม้
โคขุน(ถ่าน)	ผู้ใช้บริการ (20)	8	4	4	2	1	1
หญิง (ถ่าน)	ผู้ใช้บริการ (20)	7	6	3	0	3	1
บาร์บีคิวพลาซ่า (LPG)	ผู้ใช้บริการ (20)	10	4	3	1	2	0
มาตา (LPG)	ผู้ใช้บริการ (20)	10	5	3	0	1	1

*() จำนวนผู้ใช้บริการที่ทำการเก็บแบบสอบถามร้านละ 20 คน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายนวพล ใจเพ็ชร
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 127 หมู่ 2 ต.หนองโพ อ.โพธาราม จ.ราชบุรี 70120
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2556	สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
พ.ศ. 2557	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม