

## ตัวคูณอัตราการระบายและอัตราการระบายฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน\* จากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน

### Emission factor and emission rate of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> from charcoal food grilling

อังกศิริ ทิพยารมณ (Aungsiri Tipayarom)<sup>\*\*</sup>

ปรมาภรณ์ ทองแก้ว (Paramaporn Thongkaew)<sup>\*\*\*</sup>

อุมารัจน์ สันติสุขเกษม (Umarat Santisukkasaem)<sup>\*\*\*\*</sup>

#### บทคัดย่อ

บทบาทของการปิ้งย่างอาหารที่มีต่อการระบายมลพิษออกสู่บรรยากาศนั้นสามารถบอกได้ด้วยค่าอัตราการระบายฝุ่น (Emission rate) การศึกษานี้ได้ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) จากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรด ด้วยเตาถ่านในตู้ดูดควันที่ปิดสนิทซึ่งทำหน้าที่เป็น Chamber ความเข้มข้นที่ได้นำไปหาค่าตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น (Emission factor) ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณหาอัตราการระบายฝุ่นต่อไป ความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ที่ได้ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) มีดังนี้ เนื้อหมู 0.77/0.80 เนื้อไก่ 1.13/1.19 เนื้อปลา 1.12/1.21 เนื้อปลาหมึก 1.29/1.31 มะเขือเทศ 1.43/1.52 สับปะรด 1.06/1.14 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งทุกค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร เมื่อพิจารณารูปแบบการระบายมลพิษ (Emission pattern) จากสัดส่วน PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.92 – 0.98 พบว่า ฝุ่นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นคือ PM<sub>2.5</sub> ค่าตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) จากการปิ้งย่างเนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรด มีค่าเท่ากับ 0.34/0.36 0.34/0.36 0.20/0.22 0.23/0.24 0.17/0.18 และ 0.13/0.14 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> รวมจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด ที่มีค่าเท่ากับ 176.31 และ

\* เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (To disseminate Department of Environment Science, Faculty of Science, Silpakorn University's research)

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อีเมล: aungsiri@gmail.com

(Assistant Professor Dr., Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University)

\*\*\* นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อีเมล: paramaporn.t@uaconsultant.co.th

(Student of Master of Science, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University)

\*\*\*\* อาจารย์ ดร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อีเมล: santisukkasaem\_u@su.ac.th

(Instructor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University)

184.59 ตันต่อปี ตามลำดับ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ร้านขายอาหารปิ้งย่างควรมีการติดตั้งเครื่องบำบัดอากาศก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ เพื่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ:** ตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น, อัตราการระบายฝุ่น, ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน, ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน, การปิ้งย่างด้วยเตาถ่าน

### Abstract

The role of charbroiling foods to air pollution emission can be described by emission rate. This study measured the concentration of particulate matter sizing smaller than 2.5 and 10 microns ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ) from charbroiling 6 kinds of food which are pork, chicken, fish, squid, tomatoes and pineapple. The food samples were grilled on charcoal stove in switched off fume hood that act as a closed chamber. The measured concentrations were used to identify emission factor which were later be used to calculate the emission rate. The concentrations of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in the unit of milligram per cubic meter are 0.77/0.80 pork; 1.13/1.19 chicken; 1.12/1.21 fish; 1.29/1.31 squid; 1.43/1.52 tomatoes; and 1.06/1.14 pineapple, where every value has exceeded the indoor air quality standard. Considering the emission pattern from  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  proportion that fall in the range of 0.92-0.98, it can be seen that the most particulate matter detected is  $PM_{2.5}$ . The emission factors of PM fraction ( $PM_{2.5}/PM_{10}$ ) from charbroiling pork, chicken, fish, squid, tomatoes and pineapple are equal to 0.34/0.36, 0.34/0.36, 0.20/0.22, 0.23/0.24, 0.17/0.18, and 0.13/0.14 gram per kilogram, respectively. The total emission rates of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  from all activities are equal to 176.31 and 184.59 tons per year, respectively. The results of the study indicated that the air cleaner should be installed at the charbroiling shop/restaurant before release to the atmosphere for human health and environmental safety.

**Keywords:** Emission factor, emission rate,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , charcoal grilling

### บทนำ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วของประเทศไทย เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการดำรงชีวิตของคน กล่าวคือ ในปัจจุบันคนเมืองส่วนใหญ่นิยมรับประทานอาหารนอกบ้าน เนื่องจากความสะดวกและประหยัดเวลา อาหารประเภทปิ้งย่างเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากหารับประทานได้ง่าย มีหลายราคา อีกทั้งมีแบบรับประทานได้ไม่จำกัด (Buffet) และแบบตามสั่ง ถ่านไม้เป็น

เชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในร้านอาหารประเภทปิ้งย่างโดยทั่วไป เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก และทำให้อาหารที่ปิ้งย่างมีกลิ่นหอมกว่าการปิ้งย่างด้วยแก๊สหรือไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่านก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศมากมายหลากหลายชนิด เช่น ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) (Johnson et al., 2011: 3239; Alves et al., 2014: 411-419) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (McDonald, 2003: 188; Johnson et al., 2011: 3239) สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) (McDonald, 2003: 189; Motorykin et al., 2015: 700) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) (Huang et al., 2011: 347) และโลหะอันตราย เช่น อาร์เซนิก แคดเมียม โปรท แมงกานีส ตะกั่ว ฯลฯ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในฝุ่นละออง (Iqbal and Kim, 2016: 53) เป็นต้น การปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่านก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศทั้งจากการเผาไหม้ถ่านเชื้อเพลิง และจากการที่ไขมันในอาหารละลายหยดลงบนถ่านเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Lee et al., 2011: 1077) สารมลพิษอากาศเหล่านี้หากร่างกายของมนุษย์ได้รับในปริมาณมากจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งแบบก่อมะเร็งและไม่ก่อมะเร็ง นอกจากนี้ การปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่านยังก่อให้เกิดการระบายมลพิษอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมากจนก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศอีกด้วย ฝุ่นละอองเป็นสารมลพิษอากาศที่สำคัญชนิดหนึ่งที่เกิดจากการปิ้งย่างอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นขนาดเล็ก การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การได้รับสัมผัสกับฝุ่นละอองสามารถเพิ่มอัตราการตายจากโรกระบบทางเดินหายใจและโรคหัวใจ (Li et al., 2014: 802) การได้รับสัมผัส PM<sub>2.5</sub> ในปริมาณต่ำ จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดโรกระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด โรคหลอดเลือดหัวใจ หรือทำให้ผู้ที่เปราะบางหรือมีโรคประจำตัวกำเริบขึ้น อย่างไรก็ตาม หากได้รับสัมผัสในปริมาณสูงอย่างต่อเนื่อง จะทำให้เกิดอาการเจ็บปวดขณะหายใจ และอาจนำไปสู่การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (อังค์ศิริ และณัฐพล, 2559: 2)

ตัวคูณอัตราการระบายมลพิษ (Emission factor) หรืออาจเรียกว่าสัมประสิทธิ์การระบายมลพิษ เป็นค่าเฉลี่ยอัตราส่วนของปริมาณการปลดปล่อยมลพิษต่อกิจกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2559: 1) ซึ่งในปัจจุบัน กรมควบคุมมลพิษยังมิได้มีการกำหนดค่าตัวคูณอัตราการระบายมลพิษ (ฝุ่น) สำหรับกิจกรรมการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน Lee et al. (2011) ศึกษาตัวคูณอัตราการระบายฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อไก่ ไส้หมู และเนื้อหมู พบว่า อาหารที่มีตัวคูณอัตราการระบายฝุ่นในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัมอาหารสูงสุดคือเนื้อไก่ โดยมีตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP เท่ากับ 8.12 8.22 และ 8.99 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมาคือไส้หมู ซึ่งมีตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP เท่ากันหมดคือ 6.59 ตามด้วยเนื้อวัว มีตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP เท่ากับ 3.23 4.08 และ 4.80 ตามลำดับ และสุดท้ายคือเนื้อหมู มีตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP เท่ากับ 3.07 3.82 และ 3.87 ตามลำดับ

ส่วนอัตราการระบายมลพิษ (Emission rate) หมายถึง ปริมาณทั้งหมดของสารมลพิษอากาศที่ระบายออกสู่บรรยากาศต่อหน่วยเวลา (Illinois Environmental Protection Agency, 2015: 3) จากการศึกษาของ Lee et al. (2011) ได้อัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP จากการปิ้งย่างเนื้อวัวเท่ากับ 39 49 และ 58 ตามลำดับ อัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP จากการปิ้งย่างเนื้อหมูเท่ากับ 60 74 และ 75 ตามลำดับ และค่าอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> และ TSP จากการปิ้งย่างเนื้อไก่เท่ากับ 115 117 และ 127

ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า อัตราการระบายฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างเนื้อไก่สูงที่สุด รองลงมาคือเนื้อหมู และเนื้อวัวตามลำดับ

การศึกษาส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่ผ่านมาเป็นการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ (เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา) เท่านั้น (อนุติษฐ์ ศรีทองคำ, 2550: 41; คมสันต์ แรงจบ และกาญจนา นาคะพินธุ, 2555: 11-20) โดยการศึกษาเกี่ยวกับตัวคุณอัตราการระบายและอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากการปิ้งย่างอาหารยังไม่มีผู้ศึกษา และยังไม่มีการศึกษาในส่วนของการทอดและผัดผลไม้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาในเรื่องดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากการปิ้งย่างอาหารแต่ละประเภท และเพื่อหาตัวคุณอัตราการระบายและอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาถ่าน

## วิธีการศึกษา

### การเลือกชนิดของอาหาร

การศึกษานี้เลือกชนิดของอาหารที่นิยมมีไว้บริการในร้านอาหารปิ้งย่าง ประกอบด้วยอาหารทั้งหมด 6 ชนิด โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ (1) กลุ่มเนื้อแดง ประกอบด้วย เนื้อหมู (สันใน) และเนื้อไก่ (อกไม่ติดหนัง) (2) กลุ่มอาหารทะเล ประกอบด้วย เนื้อปลา (แพนกาเซียสดหรือไม่ติดหนัง) และปลาหมึก (ปลาหมึกยักษ์ไม่ติดหนัง) และ (3) กลุ่มผักผลไม้ ประกอบด้วย มะเขือเทศและสับปะรด อาหารแต่ละชนิดที่นำมาปิ้งย่างมีการควบคุมให้น้ำหนัก 100 กรัม เท่ากันทุกตัวอย่าง โดยชั่งด้วยเครื่องชั่งชนิดอ่านละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น XS204 นอกจากนี้ยังควบคุมความหนาของชิ้นอาหารเท่ากันคือ 1 เซนติเมตร ทุกตัวอย่าง ปิ้งย่างอาหารชนิดละ 30 ตัวอย่าง เพื่อให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือ การศึกษานี้มีสภาวะการเก็บตัวอย่างดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะในการเก็บตัวอย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด

| ชนิดอาหาร    | ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง * (นาท) | เก็บตัวอย่างทุก (วินาที) | อัตราการไหล (ลิตร/นาท) | น้ำหนักอาหาร (กรัม) | จำนวนตัวอย่าง |
|--------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| เนื้อหมู     | 15                           | 10                       | 3.0                    | 100.5               | 30            |
| เนื้อไก่     | 10                           | 6                        | 3.0                    | 100.5               | 30            |
| เนื้อปลา     | 6                            | 5                        | 3.0                    | 100.3               | 30            |
| เนื้อปลาหมึก | 6                            | 5                        | 3.0                    | 100.3               | 30            |
| มะเขือเทศ    | 4                            | 4                        | 3.0                    | 100.5               | 30            |
| สับปะรด      | 4                            | 4                        | 3.0                    | 100.4               | 30            |

\* ได้มาจากการทดลองเบื้องต้นว่าเป็นระยะเวลาที่ทำให้อาหารสุก คำว่าสุก ในการศึกษาครั้งนี้ หมายถึง เนื้อสัตว์สุกทั้งด้านในและด้านนอกและเกิดเป็นสีน้ำตาลแต่ไม่ไหม้เกรียม ส่วนมะเขือเทศและสับปะรมีลักษณะอ่อนนุ่มลงและเกิดสีน้ำตาลขึ้นเล็กน้อย

### เครื่องมือเก็บตัวอย่าง

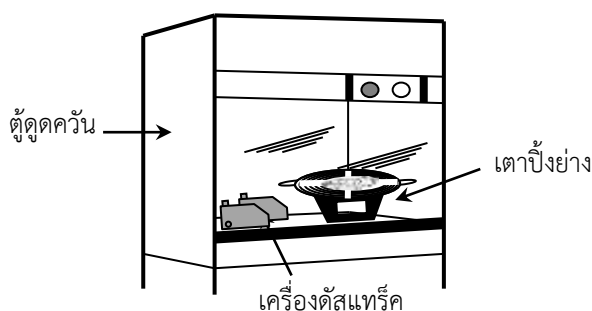
การศึกษานี้ใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำงานที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที ภายในเครื่องจะมีตัวดักลอกเกอร์ และสามารถถ่ายโอนข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ใช้หลักการกระเจิงแสงในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง โดยสามารถตรวจวัดฝุ่นได้ 4 ขนาด ได้แก่  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$   $PM_4$  และ  $PM_{10}$  โดยมีช่วงความเข้มข้นของฝุ่นที่สามารถตรวจวัดได้เท่ากับ 0.001 – 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (การศึกษานี้ศึกษาเฉพาะ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  เนื่องจากเป็น Criteria pollutant ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานด้านสุขภาพ) เป็นเครื่องตรวจวัดแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถโปรแกรมให้เครื่องตรวจวัดและบันทึกข้อมูลเป็นช่วง ๆ ตามที่ต้องการได้ เช่น ทุก 10 นาที ทุก 1 นาที เป็นต้น

### วิธีการปิ้งย่าง

ติดเตาถ่านให้ร้อนแดง จากนั้นนำกระทะตั้งบนเตา (กระทะที่ใช้เป็นกระทะโลหะ ไม่มีรู ส่วนเตาถ่านเป็นเตาที่ใช้ทั่วไปตามร้านหมูกระทะ) ทาหมูเล็กน้อยพอไม่ให้ขึ้นอาหารไหม้ติดกระทะ จากนั้นวางชิ้นอาหารลงบนกระทะ ในขณะปิ้งย่างพลิกกลับชิ้นอาหารทุก 1 นาที จนอาหารสุก (การพลิกกลับทุก 1 นาที ได้มาจากการทดสอบเบื้องต้นที่ทำก่อนหน้าว่าไม่ทำให้อาหารไหม้ติดกระทะ) ขณะพลิกกลับชิ้นอาหารเปิดประตูดูดควันเพียงเล็กน้อยแค่พอสอดมือเข้าไปได้เท่านั้น เพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนอากาศในตู้ดูดควันกับอากาศภายนอก ปิ้งย่างอาหารครั้งละ 1 ชนิด จนครบ 30 ตัวอย่าง แล้วจึงปิ้งย่างอาหารชนิดต่อไป ระหว่างตัวอย่างล้างกระทะและทาหมูใหม่ทุกครั้ง

### วิธีการเก็บตัวอย่าง

ติดตั้งเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 จำนวน 2 เครื่อง เพื่อเก็บตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  พร้อมกัน (รูปที่ 1) เก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควันที่ปิดสนิท (ไม่มีการดูดอากาศ) และปิดประตู เพื่อทำหน้าที่คล้ายกับ Chamber ที่สามารถควบคุมไม่ให้เกิดการรบกวนจากกระแสอากาศภายนอกขณะเก็บตัวอย่างได้ โดยตู้ดูดควันที่ใช้ตั้งอยู่ในห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ตู้ดูดควันมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 70 x 90 x 107 เซนติเมตร (รูปที่ 1) เริ่มเก็บตัวอย่างหลังวางอาหารลงบนกระทะ และหยุดเก็บตัวอย่างเมื่ออาหารสุกตามเวลาที่กำหนด ถ่ายข้อมูลลงเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน

### การคำนวณหาตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น (Emission factor)

ตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น (Emission factor) เป็นการหาปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ขณะปิ้งย่าง  
ต่อน้ำหนักอาหาร ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 1 (ดัดแปลงจาก Lee et al., 2011)

$$\text{Emission factor (g/kg food)} = \frac{C \times Q \times t}{Wt} \quad \text{สมการที่ 1}$$

- โดยที่ C - ความเข้มข้นของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
Q - อัตราการไหลของอากาศ, ลูกบาศก์เมตรต่อนาที  
t - ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง, นาที  
Wt - น้ำหนักของอาหาร, กิโลกรัม

### การคำนวณหาอัตราการระบายฝุ่น (Emission rate)

อัตราการระบายฝุ่นจากการปิ้งย่างอาหารแสดงในรูปน้ำหนักฝุ่นที่ระบายออกสู่บรรยากาศต่อปี ซึ่งส่วน  
ใหญ่นิยมแสดงในหน่วยตันต่อปี โดยมีปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระบายฝุ่น ได้แก่ ปัจจัยด้านกิจกรรม (Activity  
factor; k) ค่าการปลดปล่อยฝุ่น (Emission factor) อัตราการบริโภคอาหารแต่ละประเภทต่อปี (Consumption  
rate) และจำนวนประชากร อัตราการปลดปล่อยฝุ่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2 (Lee et al., 2011)

$$\text{Emission rate (ton yr}^{-1}\text{)} = k \times EF \times CR \times P \times 10^{-6} \quad \text{สมการที่ 2}$$

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

## ผลการศึกษา

### ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ตารางที่ 2 แสดงผลการตรวจวัด  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำผลการตรวจวัดไปเปรียบเทียบกับ (ร่าง) ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัยซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยในระยะเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับ  $PM_{2.5}$  ไว้เท่ากับ 0.035 และ  $PM_{10}$  ไว้เท่ากับ 0.050 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมอนามัย, 2559: ไม่ปรากฏหน้า) จะเห็นว่า ความเข้มข้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด มีค่าเกินค่ามาตรฐานทั้งสิ้น ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ที่รายงานเป็นผลรวมระหว่างการปิ้งย่างอาหารและการเผาไหม้ของถ่าน การที่ผู้วิจัยไม่หักลบความเข้มข้นจากการเผาไหม้ของถ่านออกจากการปิ้งย่างอาหาร เนื่องจาก US EPA ได้ระบุว่า การปลดปล่อยฝุ่นจากการเผาไหม้ของถ่านมีค่าน้อยมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา (US EPA, 1999: 30) นอกจากนี้ ตารางที่ 2 ยังแสดงให้เห็นค่าสัดส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ที่ได้จากการปิ้งย่างอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 0.92 – 0.98 ซึ่งหากเทียบกับสัดส่วนในบรรยากาศทั่วไปในกรุงเทพมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2558 โดยคำนวณจากค่าความเข้มข้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.54 (กรมควบคุมมลพิษ, 2558: 14) แสดงให้เห็นว่า ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด มี  $PM_{2.5}$  เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ในการศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาของ Lee et al. (2011) ที่ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่ จากปล่องระบายอากาศร้านอาหารปิ้งย่าง พบว่ามีสัดส่วนอยู่ในช่วง 0.73 – 1.00 นอกจากนี้การศึกษาของ Lee et al. (2001) ที่เก็บตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีก็พบสัดส่วนใกล้เคียงกันคือ 0.71 การศึกษาของ US EPA (1999: 39) รายงานว่า กว่าร้อยละ 80 ของฝุ่นจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์เป็น  $PM_{2.5}$  และอีกร้อยละ 20 เป็น  $PM_{10-2.5}$  จะเห็นว่า ผลการศึกษานี้กับการศึกษาก่อนหน้าสอดคล้องกัน

ตารางที่ 2 ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  และสัดส่วน  $PM_{2.5}/PM_{10}$  จากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด

| ความเข้มข้นและ<br>สัดส่วน | เนื้อหมู  | เนื้อไก่  | เนื้อปลา  | เนื้อ<br>ปลาหมึก | มะเขือเทศ | สับปะรด   |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| $PM_{2.5}$                | 0.77±0.41 | 1.13±0.50 | 1.12±0.71 | 1.29±0.56        | 1.43±0.57 | 1.06±0.46 |
| $PM_{10}$                 | 0.80±0.40 | 1.19±0.46 | 1.21±0.71 | 1.31±0.58        | 1.52±0.69 | 1.14±0.45 |
| $PM_{2.5}/PM_{10}$        | 0.96      | 0.95      | 0.92      | 0.98             | 0.94      | 0.93      |

### ตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น (Emission factor)

ตัวคูณอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากสภาวะการเก็บตัวอย่างดังตารางที่ 1 ให้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3

ค่าตัวคูณอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ในการศึกษาเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Lee et al. พบว่า ค่าตัวคูณอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากการปิ้งย่างเนื้อไก่สูงกว่าเนื้อหมู

เช่นเดียวกัน (Lee et al., 2011: 1082) แต่ค่าที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากการศึกษาของ Lee et al. เป็นการเก็บตัวอย่างโดยตรงจากปล่องระบายอากาศของเครื่องดูดควัน จึงตรวจวัดความเข้มข้นได้มากกว่า ทำให้ค่าตัวคูณอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  มีค่าสูงกว่า (Lee et al., 2011: 1078-1079) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pechan ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างโดยตรงจากปล่องระบายอากาศเช่นกัน (Pechan, 2003: 15) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของอนุดิษฐ์ พบว่า ค่าตัวคูณอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากการศึกษาของอนุดิษฐ์ เป็นการเก็บตัวอย่างภายในอาคาร ซึ่งถึงแม้จะเป็นห้องปิด (อนุดิษฐ์, 2550: 30) แต่ก็มีภาวะเจือจางด้วยอากาศมากกว่าการศึกษานี้ซึ่งเก็บตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน นอกจากนี้ ความแตกต่างระหว่างการศึกษแต่ละงานยังมีสาเหตุมาจากการใช้วิธีการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาที่ใช้เครื่องดัดสแตร็คที่ใช้หลักการกระเจิงแสงในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่น ส่วนการศึกษาของอนุดิษฐ์ ใช้ชุดเก็บตัวอย่างแบบบุคคลและใช้วิธีเชิงน้ำหนักในการวิเคราะห์ตัวอย่าง (อนุดิษฐ์, 2550: 30) Pechan เป็นการคำนวณจากข้อมูลทุติยภูมิ (Pechan, 2003: 1-30) และ Lee et al. เก็บตัวอย่างด้วยไซโคลนและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักตามวิธี 201A ของ US EPA (Lee et al., 2011: 1078-1079)

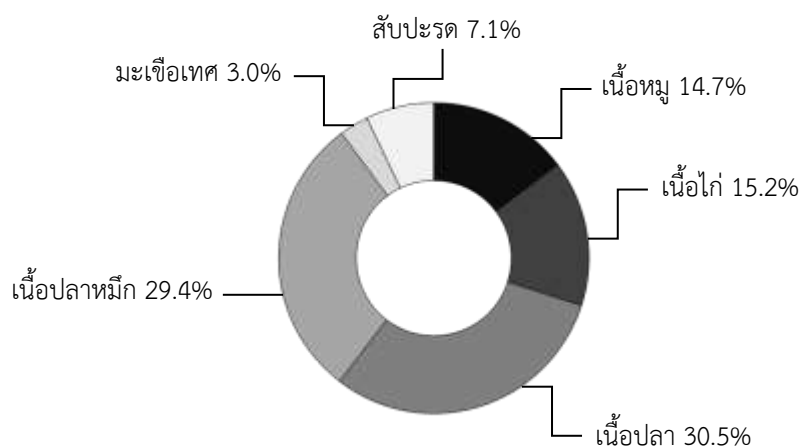
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบตัวคูณอัตราการระบายฝุ่นกับการศึกษาอื่น

| ชนิดอาหาร    |            | การศึกษานี้ | อนุดิษฐ์ (2550) | Pechan (2003) | Lee et al. (2011) |
|--------------|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------------|
| เนื้อหมู     | $PM_{2.5}$ | 0.34        | -               | -             | 3.07              |
|              | $PM_{10}$  | 0.36        | 0.003           | -             | 3.82              |
| เนื้อไก่     | $PM_{2.5}$ | 0.34        | -               | 9.1           | 8.12              |
|              | $PM_{10}$  | 0.36        | -               | 9.4           | 8.22              |
| เนื้อปลา     | $PM_{2.5}$ | 0.20        | -               | -             | -                 |
|              | $PM_{10}$  | 0.22        | -               | -             | -                 |
| เนื้อปลาหมึก | $PM_{2.5}$ | 0.23        | -               | -             | -                 |
|              | $PM_{10}$  | 0.24        | -               | -             | -                 |
| มะเขือเทศ    | $PM_{2.5}$ | 0.17        | -               | -             | -                 |
|              | $PM_{10}$  | 0.18        | -               | -             | -                 |
| สับปะรด      | $PM_{2.5}$ | 0.13        | -               | -             | -                 |
|              | $PM_{10}$  | 0.14        | -               | -             | -                 |

#### อัตราการระบายฝุ่น (Emission rate)

ในการหาอัตราการระบายฝุ่นนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปัจจัยด้านกิจกรรม หรือค่า k ในสมการที่ 2 โดยค่า k เป็นผลคูณระหว่างสัดส่วนของอาหารแต่ละประเภทที่นำมาทำอาหารด้วยวิธีการประกอบอาหารทุกวิธีกับ

สัดส่วนของอาหารที่นำมาประกอบอาหารด้วยการปิ้งย่าง (Lee et al., 2011: 1083) ในการศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลสัดส่วนของอาหารที่นำมาทำอาหารจากเว็บไซต์ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (<http://consumption.acfs.go.th>) ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์แล้วได้สัดส่วนแสดงดังรูปที่ 2 ส่วนสัดส่วนของอาหารที่นำมาปิ้งย่างนั้นผู้วิจัยใช้ค่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นค่าเพดานสูงสุด ซึ่งหมายความว่า อาหารแต่ละประเภททั้งหมดที่นำมาประกอบเป็นอาหารนั้น นำมาปิ้งย่างไม่เกินร้อยละ 50 อย่างแน่นอน ผลการคำนวณค่า k ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 จากผลการศึกษา (ตารางที่ 5)สามารถกล่าวได้ว่า การปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิดนี้ จะมีอัตราการระบาย  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  รวมเท่ากับ 176.31 และ 184.59 ตันต่อปี ตามลำดับ



รูปที่ 2 สัดส่วนของอาหาร 6 ประเภทในการศึกษาที่นำมาประกอบอาหารทุกวิธี  
ที่มา: ดัดแปลงจาก สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2559)

ตารางที่ 4 ข้อมูลการคำนวณค่าปัจจัยด้านกิจกรรม

| ชนิดอาหาร     | สัดส่วนที่นำมาทำอาหาร * | สัดส่วนที่นำมาปิ้งย่าง ** | ค่าปัจจัยด้านกิจกรรม (k) *** |
|---------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|
| เนื้อหมู      | 0.147                   | 0.5                       | 0.074                        |
| เนื้อไก่      | 0.152                   | 0.5                       | 0.076                        |
| เนื้อปลา      | 0.305                   | 0.5                       | 0.152                        |
| เนื้อปลาทูน่า | 0.294                   | 0.5                       | 0.147                        |
| มะเขือเทศ     | 0.030                   | 0.5                       | 0.015                        |
| สับปะรด       | 0.071                   | 0.5                       | 0.036                        |

\* สัดส่วนที่นำมาทำอาหารทุกวิธีการ

\*\* สัดส่วนที่นำมาปิ้งย่าง คิดที่ร้อยละมากที่สุดคือร้อยละ 50

\*\*\*  $k =$  สัดส่วนที่นำมาทำอาหารทุกวิธีการ  $\times$  สัดส่วนที่นำมาปิ้งย่าง

ตารางที่ 5 ข้อมูลการคำนวณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub>

| ชนิดอาหาร    | ปัจจัยด้านกิจกรรม<br>(k) | อัตราการบริโภค<br>(กก./คน-ปี) | จำนวนประชากร <sup>++</sup><br>(ล้านคน) | อัตราการระบาย (ตัน/ปี) |                  |
|--------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------|------------------|
|              |                          |                               |                                        | PM <sub>2.5</sub>      | PM <sub>10</sub> |
| เนื้อหมู     | 0.074                    | 14.5 <sup>*</sup>             | 65.32                                  | 24.04                  | 24.97            |
| เนื้อไก่     | 0.076                    | 15.0 <sup>**</sup>            |                                        | 25.16                  | 26.50            |
| เนื้อปลา     | 0.152                    | 30.0 <sup>**</sup>            |                                        | 59.98                  | 64.80            |
| เนื้อปลาหมึก | 0.147                    | 29.0 <sup>***</sup>           |                                        | 64.56                  | 65.56            |
| มะเขือเทศ    | 0.015                    | 3.0 <sup>†</sup>              |                                        | 0.51                   | 0.54             |
| สับปะรด      | 0.036                    | 7.0 <sup>†</sup>              |                                        | 2.06                   | 2.21             |
| รวม          |                          |                               |                                        | 176.31                 | 184.59           |

\* ส่วนวิจัยเศรษฐกิจปศุสัตว์และประมง (2558)

\*\* อติษฐ์ (2557)

\*\*\* ประพันธ์ (2559)

† สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2559)

++ สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล (2559)

## สรุปผล

การศึกษานี้ได้ตรวจวัด PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> จากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิดด้วยเตาถ่าน ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เนื้อปลาหมึก มะเขือเทศ และสับปะรด โดยค่าความเข้มข้นที่ได้มีดังนี้ เนื้อหมู 0.77/0.80 เนื้อไก่ 1.13/1.19 เนื้อปลา 1.12/1.21 เนื้อปลาหมึก 1.29/1.31 มะเขือเทศ 1.43/1.52 สับปะรด 1.06/1.14 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังพบว่า ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด ส่วนใหญ่เป็น PM<sub>2.5</sub> โดยมีสัดส่วน PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> เท่ากับ 0.92 – 0.98 ซึ่ง PM<sub>2.5</sub> เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้น ร้านอาหารปิ้งย่างจึงควรมีอุปกรณ์ควบคุมและ/หรือกำจัดฝุ่น เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับลูกค้าและพนักงานภายในร้าน เนื่องจากความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัย

จากความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ที่ตรวจวัดได้ เมื่อนำมาหาค่าตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> จากการปิ้งย่างเนื้อหมู/เนื้อไก่/เนื้อปลา/เนื้อปลาหมึก/มะเขือเทศ/สับปะรด ได้เท่ากับ 0.34/0.36 0.34/0.36 0.20/0.22 0.23/0.24 0.17/0.18 0.13/0.14 กรัมฝุ่นต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> จากการปิ้งย่างกลุ่มเนื้อแดง (เนื้อหมูและเนื้อไก่) สูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มอาหารทะเล (เนื้อปลาและเนื้อปลาหมึก) โดยกลุ่มผักผลไม้ (มะเขือเทศและสับปะรด) มีการปลดปล่อยฝุ่นน้อยที่สุด จากค่าตัวคูณอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> ที่ได้ เมื่อนำมาหาค่าอัตราการระบาย PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> รวมจากการปิ้งย่างอาหารทั้ง 6 ชนิด จะได้อัตราการระบายเท่ากับ 176.31 และ 184.59 ตันต่อปี ตามลำดับ

การศึกษานี้สามารถอธิบายลักษณะของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่างอาหาร 6 ชนิด ที่เป็นตัวแทนในการศึกษา ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้นำไปใช้ในการคำนวณหาตัวคูณอัตราการระบายฝุ่น (Emission factor) และอัตราการระบายฝุ่น (Emission rate) ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการจัดการคุณภาพอากาศร้านอาหารปิ้งย่าง ตลอดจนใช้เป็นฐานข้อมูลการระบายมลพิษเพื่อกำหนดนโยบายในการควบคุมคุณภาพอากาศได้อีกด้วย สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต หากมีการเพิ่มชนิดของอาหาร หรือปรับเปลี่ยนสภาวะในการปิ้งย่าง จะได้ข้อมูลที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2558. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ. เข้าถึงเมื่อ 2 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก [http://prtr.pcd.go.th/inner\\_4.html](http://prtr.pcd.go.th/inner_4.html)
- กรมอนามัย. (2559). (ร่าง) ประกาศกรมอนามัย เรื่อง มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร. ไม่ปรากฏวันที่.
- คมสันต์ แรงจบ และกาญจนา นาละพินธุ. (2555). “การกระจายตัวของอนุภาคที่เกิดจากกิจกรรมประเภทปิ้งย่าง.” *มหาวิทยาลัยขอนแก่น* 5, 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม): 11-20.
- ประพันธ์ โนระดี. (2559). *การบริโภคสัตว์น้ำของไทย*. กรุงเทพฯ: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- 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.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2559). *Ingredient query*. เข้าถึงเมื่อ 2 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก <http://consumption.acfs.go.th/index.php?content=query&topic=ingredient>
- อดิษฐ์ ฤทธวงษ์. (2557). *การเลี้ยงสัตว์น้ำจะยั่งยืนได้อย่างไร???*. กรุงเทพฯ: สมาคมผู้เพาะเลี้ยงปลาไทย.
- อนุดิษฐ์ ศรีทองคำ. (2550). “สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM<sub>10</sub> จากการปิ้งหมู.” *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท* สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อังค์ศิริ ทิปยารมณ และณัฐพล วริกุล. (2559). “การสอบเทียบผลการตรวจวัด PM2.5 จากเครื่องตรวจวัดแบบเรียลไทม์และวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก.” *Veridian E-Journal* 3, 4 (July – August): 1-11.

### ภาษาต่างประเทศ

- Alves, Célia A., et al. (2014). “Carbonaceous particles emitted from cooking activities in Portugal.” *Global NEST Journal* 16, 2 (April): 411-419.

- Huang, Yu, et al. (2011). “Characteristics and health impacts of VOCs and carbonyls associated with residential cooking activities in Hong Kong.” **Journal of Hazardous Materials** 186, 1 (November): 344-351.
- Illinois Environmental Protection Agency. (2015). **Definitions**. Accessed August 2. Available from <http://www.epa.illinois.gov/topics/air-quality/planning-reporting/annual-emission-reports/tables/definitions/index>
- Iqbal, Mohammad A., and , Ki-Hyun Kim. (2016). “Sampling, pretreatment, and analysis of particulate matter and trace metals emitted through charcoal combustion in cooking activities.” **Trends in Analytical Chemistry** 76, (February): 52-59.
- Johnson, Michael, et al. (2011). “Modeling indoor air pollution from cookstove emissions in developing countries using a Monte Carlo single-box model.” **Atmospheric Environment** 45, 19 (March): 3237-3243.
- Lee, Jun-Bok, et al. (2011). “Emission rate of particulate matter and its removal efficiency by precipitators in under-fired charbroiling restaurants.” **Scientific World Journal** 11, (May): 1077-1088.
- Lee, Shun C., et al. (2001). Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong. **Science of The Total Environment** 279, 1-3 (November): 191 – 193.
- Li, Ning et al. (2014). “Emissions from commercial-grade charbroiling meat operations induce oxidative stress and inflammatory responses in human bronchial epithelial cells.” **Toxicology Reports**, 1 (October): 802-811.
- McDonald, Jacob D., et al. (2003). “Emission from charbroiling and grilling of chicken and beef.” **Journal of the Air and Waste Management Association** 53, 2 (February): 185-194.
- Mtotrykin, Oleksii, et al. (2015). “Determination of parent and hydroxy PAHs in personal PM<sub>2.5</sub> and urine samples collected during Native American fish smoking activities.” **Science of the Total Environment** 505, (October): 694-703.
- Pechan. (2003). Method for developing a national emission inventory for commercial cooling process: Technical memorandum. Technical Report, E.H. Pechan & Associates, Inc.
- US EPA. (1999). **Emissions from street vender cooking devices (charcoal grilling)**. New York: ARCADIS Geraghty & Miller.