

## 삼겹살과 고등어 조리시 발생하는 나노입자의 시간과 거리에 따른 크기분포와 PAH 검출

한정석 · 우창규 · 노승렬 · 배용준 · 성향기 · 최만수\*  
서울대학교 기계항공공학부 WCU 멀티스케일 기계설계전공  
(2011년 7월 4일 투고, 2011년 9월 20일 수정, 2011년 9월 27일 게재확정)

## Measurement of Nanoaerosol Size Distributions and PAHs Detection After Cooking

Jung Suk Hahn · Chang Gyu Woo · Seung Ryul Noh · Yong Jun Bae  
Hyangki Sung · Man Soo Choi\*

*Division of WCU Multiscale Mechanical Design, School of Mechanical & Aerospace Engineering,  
Seoul National University*

(Received 4 July, 2011; Revised 20 September, 2011; Accepted 27 September 2011)

### Abstract

Pork belly meat and mackerel are popular meals in Korea. Although a lot of people enjoy cooking these food, there have been some reports that generated organic particles during cooking could be thereas on of lung cancer of nonsmoking housewives. In addition, some experiments show that carcinogens may be included in meat and fishes which we eat usually. For this reason, particle size and concentration in formation during cooking are necessary to figure out the relationship between particles and the diseases.

Thus, we identify number concentrations and size distributions of generated nano aerosol in cooking with respect to time, hood operation, and distance between cooking and measurement locations. The maximum concentrations of nano aerosol(diameter sizes are between 10 to 700nm)are decreased after the cooking from  $8 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$  to zeroth order in pork belly meat cooking, and from  $3.5 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$  to zeroth order in mackerel cooking respectively. When it comes to hood operation during cooking, the detected concentrations of generated aerosols are decreased as in taking flow rate of the hood increases. In cooking pork belly meat, the reduced amount of concentration is about  $3 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$  compared to no hood operation, when hood in taking flow rate is  $610 \text{ m}^3/\text{hr}$  In mackerel cooking, reduced concentration is  $6 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$  in the same condition. Also, Naphthalene and Fluorene, which are known as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), are detected in the generated aerosols during cooking.

**Keywords :** Generated aerosols, PAHs, Pork belly meat, Mackerel, Hood effects

---

\* Corresponding author.  
Tel : +82-2-880-7128, E-mail : mchoi@snu.ac.kr

## 1. 서 론

고기를 굽는 방식의 요리는 많은 사람들이 즐기며, 다양한 고기를 요리하는데 이용된다. 한국의 경우 삼겹살과 고등어가 각각 육고기와 생선의 대표적인 음식이라 할 수 있다.

그런데 이러한 요리방법이 암을 유발할 수 있을 수 있다는 연구가 있었고(Sun et al., 2007) 흡연을 하지 않은 주부가 고기요리를 이유로 선암에 걸린 경우가 있다고 보고되었다(Kim, 2009). 또한 고기를 굽는 과정에서 지방이 분해되면서 다환방향족탄화수소(PAHs: polycyclic aromatic hydrocarbons)가 발생한다는 보고가 있었다(Kim et al., 2004). PAH는 2개 이상의 벤젠고리로 이루어져 있는 유기화합물로서 화학연료나 유기물의 불완전 연소 시 부산물로 발생하는 물질이며 이중 일부는(Ralf et al., 2003). 유전독성과 발암성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 또한, 발생한 입자에 포함된 PAHs는 대부분이 10-100nm 크기의 입자에 존재하는 것으로 알려져 있다(Chandra et al, 1997).

최근 고기구이 요리 시 어떤 종류의 물질이 발생하는지 파악하는 연구는 수행되었지만(Buonanno et al., 2009) 요리 시 발생하는 나노입자의 크기 분포와 그 시간에 따른 변화에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다(Hildemann et al., 1991). 이 외에도, 요리 시 가동하는 주방후드의 세기와 발생하는 입자의 관계는 외국의 경우에는 연구한 결과가 있지만(Wallace, 2006) 국내 실정에 맞는 음식으로 이러한 실험한 경우는 없다.

따라서, 한국의 음식인 삼겹살과 고등어 조리 시 발생하는 나노입자의 개수농도가 시간과 거리에 따른 변화는 이들 음식을 요리할 때 발생하는 입자가 한국인에게 어떠한 영향을 끼치는지에 대하여 알기 위해 필요한 정보라고 할 수 있다. 본 실험에서는 삼겹살과 고등어 구이요리를 했을 때 발생하는 입자 농도개수의 변화를 시간의 경과, 후드의 유량, 그리고 요리하는 지점과 입자의 측정위치 사이의 거리에 따라 파악하였다. 또한, 삼겹살과 고등어 구이 각각의 경우에 대하여, 발생한 입자에 발암물질 중 하나인 PAHs의 포함여부와 그 종류의 정성분석을 하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 주변환경을 통제하기 위해 일정한 챔버(3m×8m×2.5m)를 만들고 그내부에서 실험을 하였다. 챔버위 부분에 후드를 설치했고, 설치한 후드 아래에서 요리를 하였다. 챔버 내부에서 후드가 흡입하는 공기를 보충하기 위해 챔버 밖의 공기가 챔버내부로 들어갈 수 있도록 챔버 뒤쪽에 위치한 벽과 어느정도 간격을 두었다. 챔버내부로 들어가는 공기는 고기를 구웠을 때 발생한 입자가 포함되지 않은 공기이다. 입자의 수직 측정위치는 요리도구로부터 수직으로 50cm 위이고, 이는 바닥에서 수직으로 148cm 떨어진 지점에서 측정된 것이다. 수평거리에 따른 입자의 분포결과를 파악하기 위해 요리하는 지점으로부터 0 cm, 30cm, 그리고 60cm 떨어진 거리에서 측정을 하였다. Fig. 1에 본 실험의 개략도를 나타내었고, Fig.에서의 x가 의미하는 것은 수평으로 떨어진 거리를 의미한다. 수직으로의 개수농도 변화는 측정하지 않았는데, 이는 실제 조리를 하는 사람이 공기를 흡입하는 코의 높이는 변화가 없기 때문이다

구이요리의 방법은 다음과 같다. 가열하지 않은 프라이팬에 고기를 올려둔 후 가열을 하면서 실험을 수행하였고 가열시작 후 5분 동안 조리를 한 후 가열을 멈추고 챔버에서 고기를 빼내어 고기를 굽

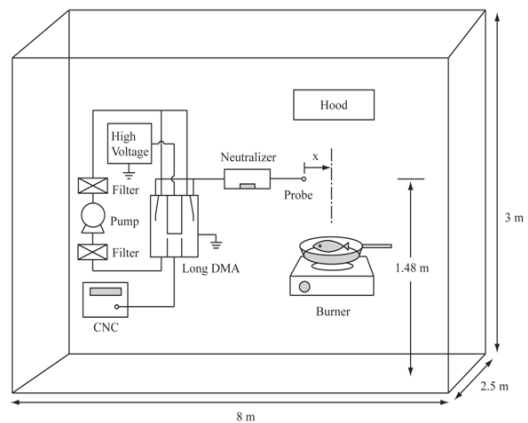


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set-up for measuring aerosol particles during meat cooking. X is 0, 30, and 60 cm for measuring the spatial distributions of generated aerosol.

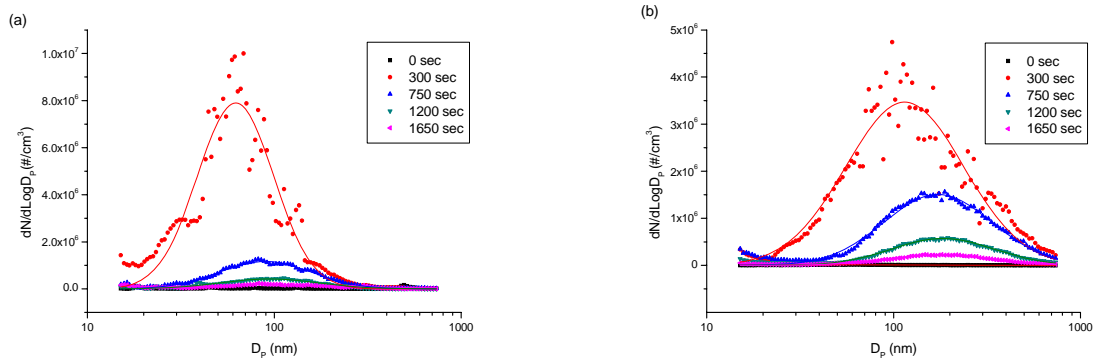


Fig. 2. The change of size distributions of cooking nanoaerosol of (a) pork belly meat and (b) mackerel with respect to time.

는 동안 발생한 입자 분포를 파악하였다. 사용된 고기의 양은 삼겹살의 경우 약 250g, 고등어의 경우 150g 인데, 이는 삼겹살의 경우 약 2인분, 고등어의 경우 1마리 양에 해당한다.

발생되는 입자의 크기 측정은 home-made SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)를 사용하였고, PAHs 분석 샘플을 확보하기 위해 SKC사의 Legend Legacy Sample Pump를 이용하여 발생하는 입자를 15 l/min의 유량으로 오염되지 않은 깨끗한 puff에 포집하여 이것을 외부분석기관(Lap Frontier)에 의뢰하였는데 본 실험에서 수행한 PAHs의 분석은 대기 중의 PAHs 분석방법과 동일한 방법으로 수행되었다 (Seo et al., 2009). 후드의 영향을 파악하기 위해 후드가 흡입하는 공기의 유량을 달리하면서 구이요리를 수행하였다. 유량의 경우 0 m³/hr, 430 m³/hr, 그리고 610 m³/hr로 달리하여 실험하였는데 이 유량은 후드의 사양이라 그대로 사용하였다. 실험에서 사용한 후드는 Haatz사의 큐브후드 CUH-60S 이다. 측정에서 사용된 장비들은 모두 챔버내부에 위치하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시간의 경과에 따른 입자의 분포변화

삼겹살과 고등어를 각각 5분 동안 요리한 후 시간의 경과에 따라 입자의 개수농도가 어떻게 변하는지 측정하였다. Fig. 2의 두 그래프는 요리 시작해서 30분 동안 삼겹살과 고등어 조리 시 발생한 입자의

크기 및 농도개수 분포 그래프이다. 두 경우 모두 요리를 종료하기 직전에 가장 많은 개수의 입자가 발생하였고 종료 후 시간이 지날수록 관측되는 입자의 수는 적어졌다. 가장 많은 개수가 발생한 입자의 크기는 삼겹살의 경우 약 60nm이고 고등어의 경우 약 100nm이다. 최대 개수농도는 삼겹살의 경우  $8 \times 10^6 \text{ #/cm}^3$  고등어의 경우  $3.5 \times 10^6 \text{ #/cm}^3$ 로 파악되었다. 요리 종료 후 시간이 경과될수록 큰 입자가 많이 관측된다. 이는 시간이 지남에 따라 작은 입자들의 응집에 의하여 큰 입자로 성장하는 것이라 할 수 있다(Lee, 1982). 개수농도를 비교하여 보면 삼겹살의 경우가 고등어의 경우에 비해 약 2배 가량 되는 것으로 측정되었는데 이는 실험에 이용된 재료의 질량차이에서 비롯되었다고 생각할 수 있다.

#### 3.2 후드의 영향

후드를 가동하였을 때와 그렇지 않았을 때, 그리고 후드의 유량을 달리하여 실험하였다. Fig. 3에서의 Hood step 1과hood step 3은 각각 410m³/hr와 610 m³/hr의 유량으로 후드가 챔버 내부의 공기를 흡입하고, no hood operation은 후드를 가동하지 않았을 경우에 해당한다. 모두 입자 발생이 가장 많은 조리 시작 후 5분후에 측정하였다. 5분 동안만 요리를 한 이유는 그 이상으로 식재료에 열을 가하면 고기표면이 타버려서 먹을 수 없게 되기 때문이다. Fig. 3의 두 그래프는 각각 삼겹살과 고등어를 요리 시후드를 작동하지 않았을 때와 후드를 가동하면서 유량을 다르게 한 경우에 발생한 입자의 분포를 나

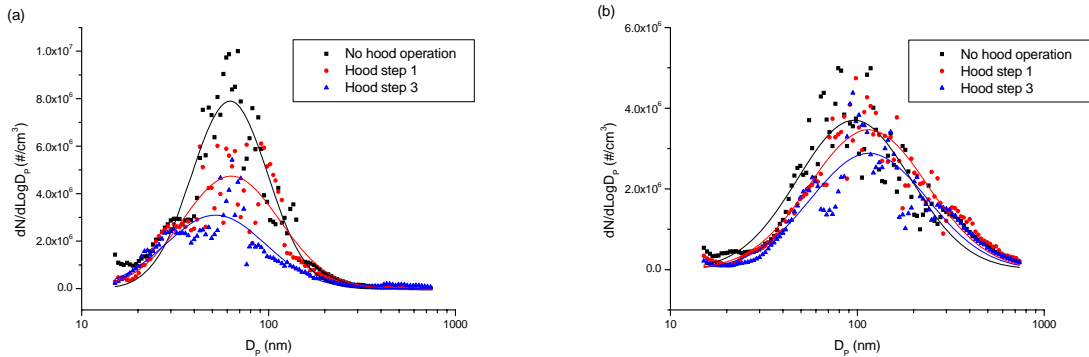


Fig. 3 The size distribution of cooking nanoaerosol of (a) pork belly meat and (b) mackerel with the operation of hood.

타낸다. 후드를 가동하지 않았을 때 보다 가동했을 때가, 유량이 적을 때 보다 많을 때가 더 작은 개수의 입자가 관측된다. 삼겹살의 경우 고등어의 경우보다 측정되는 개수농도가 더 많은데, 후드에 의해 제거되는 입자의 양 또한 많은 것으로 나타났다. 후드를 가동하지 않았을 경우와 최대로 가동한 경우를 비교한다면, 삼겹살 조리 시 발생된 60nm 크기의 입자는 약  $6 \times 10^6 \text{ #/cm}^3$  정도가 줄어들었고 고등어 조리 시 발생된 100nm 크기의 입자는 약  $1.5 \times 10^6 \text{ #/cm}^3$  정도가 줄어들었다. 후드가 흡입하는 공기를 고려하여 실외공기가 챔버로 들어올 수 있게끔 설계하였는데 이렇게 외부에서 흡입되는 공기에는 조리시 발생하는 입자는 존재하지 않는다.

### 3.3 거리에 따른 영향

입자의 측정 위치를 요리하는 지점으로부터 수평으로 옮겨가면서, 입자 발생이 가장 많은, 요리 시작 후 5분에 개수농도를 측정하였다. 고기를 구운 지점 ( $x=0 \text{ cm}$ )과 수평으로 30cm 떨어진 지점, 그리고 60cm 떨어진 지점에서 각각 측정하였고, 입자 발생 농도가 공간적으로 어떻게 분포하고 있는지를 파악하였다. 삼겹살의 경우 요리가 종료되고 초반에는 입자 크기가 증가하다가 시간이 지나면서 전체적인 개수농도가 감소하면서 입자가 확산되어 거리에 따른 분포 차이가 작아지는 것을 알 수 있다(Fig. 4). Fig. 5는 고등어 조리시 거리에 따른 영향을 나타낸 것이다. 삼겹살의 경우와 유사하게 요리 진행 중에는 입자 크기가 증가하다가 요리가 종료(5분 이후)되면

감소하는 경향을 보인다.

### 3.4 PAH 측정

조리시 발생하는 에어로졸 입자를 air sampler로 포집하여 이를 Lap Frontier에 PAH분석을 의뢰하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 삼겹살보다 고등어 요리시 발생된 입자에서 많은 종류의 PAH가 검출되었고, Naphthalene, Fluorene은 삼겹살과 고등어 요리시 모두 발견되었다. Naphthalene은 2000년도 전까지는 발암물질로 규정되지 않았으나 그 이후의 연구결과에 의해 다양한 암을 유발하는 발암물질로 알려졌다(Ralf Preuss and Jurgen Angerer et al., 2003). Acenaphthylene과 Acenaphthene는 모두 폐암과 간암을 유발하는(J. M. Campbell and A. J. Lindsey, 1992) 물질로 분류된다. 국제 암 연구기관(International Agency for Research on Cancer)에 따르면 Benzo(a)anthracene은 유력한 인체 발암물질(probably carcinogenic to humans)로, benzo(k)fluoranthene가 가능한 인체 발암물질(possibly carcinogenic to humans)로, Fluorene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene은 인체 발암물질로 분류할 수 없는 물질(not classifiable as to its human)로 규정하고 있다(Kim et al, 2001).

## 4. 결론

본 연구에서는 삼겹살과 고등어를 요리할 때 발생하는 입자의 크기분포와 농도개수변화를 시간의

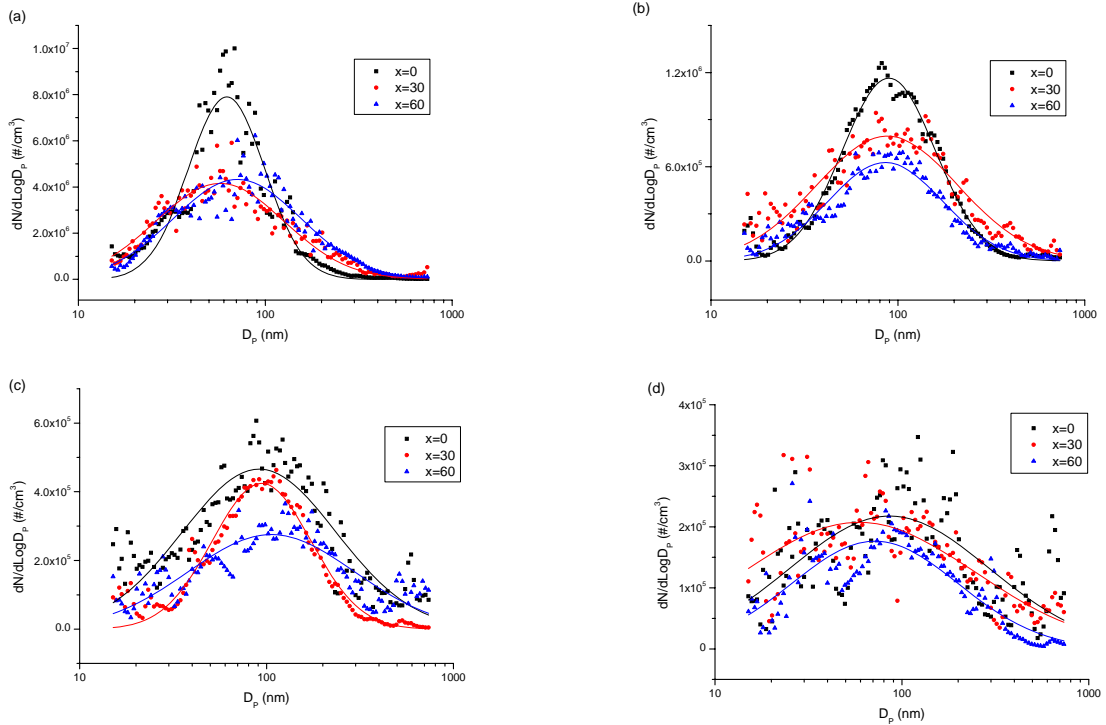


Fig. 4. The horizontal-spatial size distribution of pork belly meat nanoaerosol with respect to time. The measurements were taken after (a) 300 seconds, (b) 750 seconds, (c) 1200 seconds and (d) 1650 seconds subsequent to cooking.

경과, 후드의 유량, 그리고 요리지점으로부터의 거리차이 따라서 어떻게 변하는지 측정하였고 발생한 입자에 PAHs 포함여부를 조사하였다. 요리를 종료하기 직전에 가장 많은 입자가 발생되었고 종료 후 시간이 지나면서 측정되는 입자의 개수농도는 줄어들었다. 후드의 유량이 클수록 배출되는 입자의 수도 많아 더 적은 개수의 입자가 관측되었다. 요리하는 지점에서 멀수록 입자의 수는 적게 관찰되었고, 삼겹살과 고등어 조리시 발생하는 입자 모두에 PAHs 물질이 발견되었는데, 그 종류는 고등어의 경우가 많았고 발견된 PAHs 중 일부는 인체에 암을

유발할 수 있는 것이었다.

요리시 발생하는 입자에 의한 암의 발생을 피하기 위해서는 환기가 가능한 곳에서 요리를 하고, 후드를 작동시켜 발생하는 입자를 외부로 유출시켜야 한다. 가급적이면 조리를 하면서 조리위치에서 멀리 떨어져 있는 것이 입자를 적게 흡입하는 데 도움이 될 것이다. 그러나 요리와 관련된 질병을 방지할 수 있도록 발생한 입자를 효율적으로 제거할 수 있는 주방 설계, 후드의 디자인과 성능, 입자가 적게 발생되면서 요리가 가능한 주방용품, 그리고 식재료에 포함된 발암물질의 정량적인 연구가 추가적으로 필요하다.

Table 1. Detected PAHs during cooking of pork belly meat and mackerel

Cooking Ingredient	Detected PAHs
Pork belly meat	Naphthalene, Fluorene, Acenaphthylene
Mackerel	Naphthalene, Fluorene, Acenaphthene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Benzo(k)fluoranthene

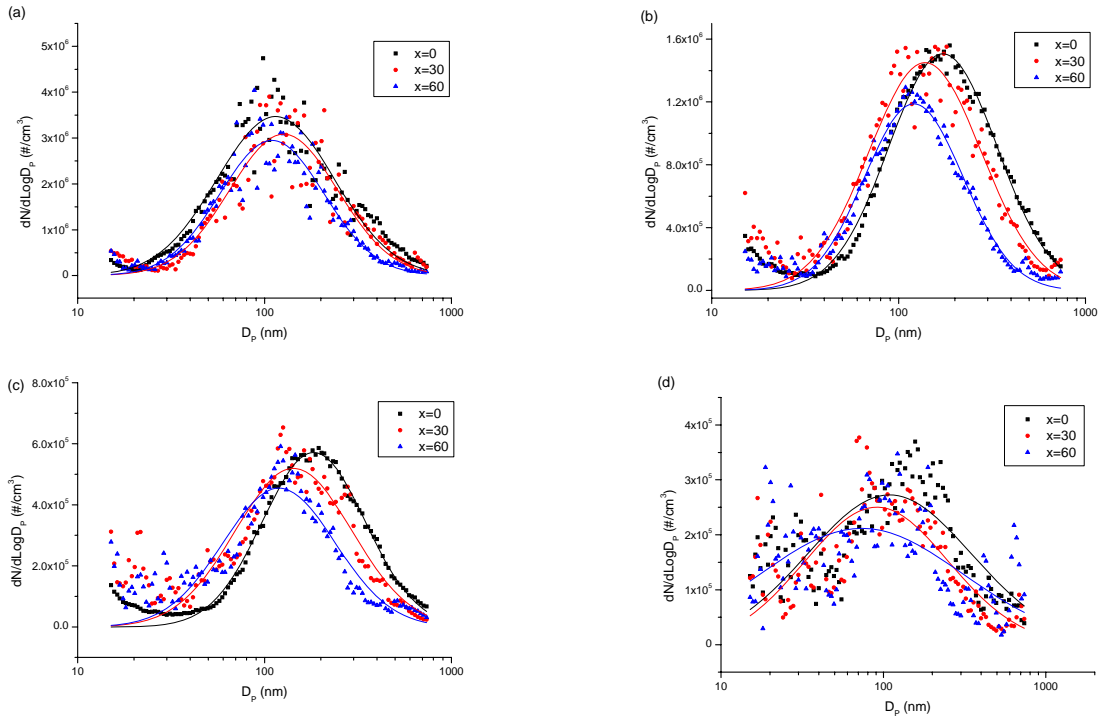


Fig. 5. The horizontal-spatial size distribution of mackerel with respect to time. The measurements were taken after (a) 300 seconds, (b) 750 seconds, (c) 1200 seconds and (d) 1650 seconds subsequent to cooking.

## 사사

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU)로부터 지원받아 수행되었습니다(R31-2008-000-10083-0)

## 참고 문헌

Annis, J. C., and Annis, P. J. (1989), Size Distributions and Mass Concentrations of Naturally Generated Cooking Aerosols, *ASHRAE Transactions*, CH-89-8-1, 735-743

Buonanno, G., Morawska, L. and Stabile, L. (2009), Particle emission factors during cooking activities, *Atmospheric Environment*, 43, pp.

3235-3242

Campbell, J. M., Lindsy, A. J. (1957). Polycyclic hydrocarbons in cigar smoke, *Brit J. Cancer*. 00384-0112.

Chandra, V., and Raymond, J. (1997), Estimating the lung deposition of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons associated with multimodal urban aerosols, *Inhalation Toxicology*, 10, 183-204

Li, C. S., Lin, W. H., and Jeng F. T. (1993). Size distributions of submicrometer aerosols from cooking, *Environment International*, 19, pp. 147-154

Hildemann, L. M., Markowski, G. R., Jones, M. C., and Cass, G. R. (1991). Submicrometer Aerosol Mass Distributions of Emissions from Boilers, Fireplaces, Automobiles, Diesel Trucks, and Meat-Cooking Operations, *Aerosol Science and*

- Technology*, 14, 138 - 152.
- Kim, D. H. (2009), "Risk Factors of Colorectal Cancer", *Journal of Korean Society of Coloproctology*, Vol.25, No.5, pp. 256-62
- Kim, T. S., and Shin, S. K. (2001), "Analytical Methods and Release of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environments", *Analytical Science & Technology*, Vol.14, No.4, pp. 47-74.
- Kim, Y. H., Yoon E. K., Lee, H. M., Park, K. A., Jun, E. A., Lee, C. H., Choi, S. Y., Lim, S. T., Ze, K. R., and Choi, K. S. (2004), Exposure Assessment for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Model Menu System of Korean, *The Korean Society of Food Hygiene and Safety*, Vol.19, No.4, pp. 176 - 184
- Lee, K. W. (1982), Change of Particle Size Distribution during Brownian Coagulation, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.92, No.2, pp. 315-325.
- Preuss, R., Angerer, J., and Drexler, H. (2003), Naphthalene - an environmental and occupational toxicant, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 76, 556-576.
- Seo, Y. K., Park, D. K., and Baek, S. O. (2009), Evaluation of a Method for the Measurement of PAHs in the Ambient Atmosphere -Focusing on High Volume Sampling and GC/MS Analysis, *J. Env. Hlth. Sci.*, Vol. 35, No. 4, pp 322~333.
- Seo, Y. H., Ko, K. Y., and Jang, Y. K. (2010), Determination of Cholesterol, Fatty Acids and Polyaromatic Hydrocarbons in PM10 Particles Collected from Meat Charbroiling, *Journal of Korean Society of Environmental Engineering*, Vol.32, No.2, pp. 155-164
- Sun, S., Schiller, J. H., and Gazdar, A. F. (2007) Lung cancer in never smokers - a different disease, *Nature Review Cancer*, 7, pp. 778 - 790.
- Wallace, L. (2006), Indoor Source of Ultra fine and Accumulation Mode Particles: Size Distributions, Size-Resolved Concentrations, and Source Strengths, *Aerosol Science and Technology*, 40, 348-360.