

주방에서의 조리 시 발생하는 유해물질

○ 김상철 | 한국건설생활환경시험연구원,
보건환경연구소 소장
E-Mail : sangcheol@kcl.re.kr

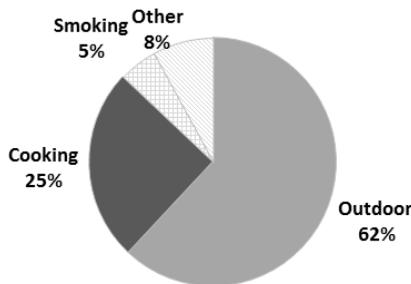
1. 서론

현대인들의 실내 활동 증가와 실내 건축자재의 화학물질 사용 확대에 의한 실내오염물질의 증가는 환기부족 등 관리상에 문제점과 더불어 실내공기오염에 의한 재실자 건강에 미치는 영향을 심화시키고 있다. 산업화 시대를 지나 정보화 시대를 거치면서 인간의 생활방식 및 주거환경 등에도 많은 변화를 가져 오게 됨에 따라 실내공기환경의 중요성은 계속적으로 증대되고 있다. 2012년 9월 22일 SBS 저녁뉴스에서 ‘위험한 주방공기’의 제목으로 조리 시 발생하는 유해물질의 위험성을 경고하면서, 주방공기의 유해성 대한 관심은 더욱 높아졌다.

국립암센터의 자료에 따르면 우리나라 국민의 암 사망률 1위는 폐암으로, 폐암의 가장 큰 원인은 흡연을 들 수 있으나, 우리나라 여성의 흡연율은 (2~5) % 임에도 불구하고 여성 폐암 환자의 79 %가 비흡연자이다. 일부 연구에서 간접흡연 및 조리 시 발생하는 연기가 비흡연 발암 인자로 암을 유발할 수 있다는 논문들이 발표되었다 (Gao et al., 1988; Williams et al., 1990; Dennekamp et al., 2001; Metayer et al., 2002).

특히, 전업주부는 하루에 주방에서 머무르는 시간이 (3.4~4) 시간으로 하루 일과의 1/4을 보내는 곳으로 주방공기 유해성에 대한 고찰은 매우 중요하다 (Zhao et al., 2014).

PM2.5



PM10

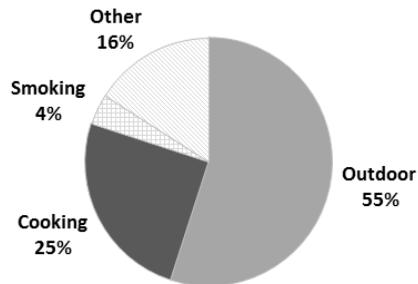


그림 1. 실내 PM2.5와 PM10 농도에 대한 각 발생원별 비율 (IRAC, 2010)

기존의 많은 연구에서는 주방에서 조리 시 발생하는 유해물질로 미세먼지 (particulate matter, PM), 다환방향족탄화수소 (PAH) 등을 주목하고 있으며 이에 대한 많은 연구가 진행되었다. <그림 1>에서는 실내 PM2.5, PM10에 대한 발생원별 비율을 제시하고 있으며 조리 시 발생하는 비율이 25 %로 외기 다음으로 높은 기여율을 보이는 것으로 나타났다. 기존 연구들에서는 조리에 사용되는 연료 뿐만 아니라 조리방법, 재료, 조리에 사용되는 오일 종류에 따른 유해물질 발생특성을 분석하고 있다. 2013년 국립환경과학원에서 「주거환경 중 발생하는 실내오염물질 관리방안 연구」를 수행하였으나 국내는 아직 주방공기의 유해성과 관련된 연구사례가 다양하지 않다. 그러므로 본 글에서는 기존 외국 연구사례들을 분석하여 조리 시 발생하는 유해물질에 대하여 소개하고자 한다.

2. 조리와 조리기기

2.1 가스레인지 (gas range)

가스레인지는 가정의 대표적 조리기기로 가스연소기기 보급역사의 한 축을 담당할 만큼 폭넓게 보급 되어 국내 약 1,600만 가정에서 사용되고 있으며, 매년 약 200만대 규모로 생산 보급되고 있다. 가스를 연료로 사용하는 조리기기로 사용가스에 따라 LPG용·LNG용으로 구분되며, 대부분은 노즐, 혼합관, 공기조절기 (댐퍼), 버너 헤드,焰공, 점화장치로 구성된다.

2.2 전기레인지 (electric range)

유도가열 방식과 직접가열 방식으로 구분된다. 직접가열방식은 발열체 및 상판의 종류에 따라 구분이 된다. 핫플레이트는 열을 발생시키는 코일 주위에 주철 상판을 얹어 열전도 원리를 이용하는 방식이며, 하이라이트는 발열체로 니크롬선을 사용하

고 세라믹 상판을 얹어 열을 전달하는 방식이다. 유도가열 방식인 인덕션 (Induction)은 자력선으로 자기장을 발생시켜 용기를 가열한다. 최근에 전기레인지는 고효율성, 안전성뿐만 아니라 친환경성을 내세워 신축건물의 빌트인 용도로 판매가 증가하고 있는 추세이다.

3. 조리 시 발생하는 유해물질의 특성

주방에서 조리 시 발생하는 오염물질에 대한 연구는 크게 연료 종류, 불완전 연소 시 발생하는 오염물질 및 조리과정 중에 발생하는 유해물질에 관한 연구들이 수행되었다. 해당 연구내용을 살펴보면 음식을 조리하는 과정에서 나오는 오염물질이 실내공기질에 미치는 영향이 가장 크며 이는 조리기기의 종류와 관계없이 전기 및 가스 조리기기 등 모두에서 발생할 수 있다 (ASHRAE, 2012; Buonanno et al., 2009). 또한 가스를 연료로 이용하는 조리기기에서는 연소과정에서 추가적으로 오염물질이 발생할 수 있다(ASHRAE, 2012).

3.1 조리 시 사용연료 및 조리기기에 따른 유해물질 발생특성

연료의 종류 및 불완전 연소가 기인하는 유해물질에 관한 연구는 일반적으로 목재, 화석연료 등을 여전히 사용하고 있는 개발도상국을 중심으로 많이 이루어지고 있다. 전세계적으로 약 28억명 정도의 인구가 미처리 고체연료 (석탄 또는 바이오매스)를 사용하고 있으며 대부분이 개발도상국에서 사용되고 있다 (Bonjour et al., 2013). <표 1>에서는 4종의 연료를 대상으로 연료차이에 따른 유해물질 발생특성을 보여주고 있으며 석탄에서 발생하는 유해물질은 이산화황, 이산화질소, 일산화탄소 모두 가장 높은 수준으로 측정된 반면 LPG에서는 상대적으로 낮은 이산화황과 일산화탄소가 발생한 것으로 나타났다 (Liu 2011). WHO (2014)에서는

표 1. 연료 종류에 따른 조리 시 주방의 실내공기

연료	가구 수	이산화황* (SO ₂ , μg/m ³)	이산화질소* (NO ₂ , μg/m ³)	일산화탄소** (CO, mg/m ³)
바이오 가스 (Biogas)	5	76.39	5.20	44.73± 32.57
석탄 (Coal)	5	3,196.48	67.90	701.37±384.03
액화석유가스 (LPG)	5	31.12	17.95	16.13± 10.72
짚 (Straw)	5	51.89	25.40	83.67± 90.50

* 기하평균값 ** 최대값 (x±s)

출처 : Q. Liu, L. Liu, X.Y. Wang, G.L. Chen, B. Wang, X.C. Pan, J.L. Zhang, 2011, The effects of daily fuels combustion on indoor air quality in rural area of north Anhui Province, Journal of Environment and Health, 8, 702-705

LPG는 가솔린, 석탄 및 목재 등에 비해 청정한 연료이므로 향후 개발도상국에서는 LPG를 대체연료로 활용되어야 한다고 보고하고 있다.

Li (2016)의 연구에 따르면, 가정에서 사용되는 연료는 실내공기 오염물질인 PM_{2.5} 농도에 있어서 중요한 발생원으로 나타났다. 조사대상가구의 조리 시 이용 연료를 분석해보면 75 %는 LPG와 LNG를 사용하고, 13 %는 전기, 나머지는 석탄을 사용하였다. 비난방 시 석탄을 사용하는 주방의 PM_{2.5} 농도는 (213 ± 89) μg/m³으로 가스 (65 ± 42) μg/m³ 및 전기 (55 ± 35) μg/m³를 사용하는 경우보다 크게 높은 것으로 나타났다. 또한 난방 시에도 고체연료 사용하는 경우 가스와 전기 보다 높은 미세먼지가 생성되는 것으로 나타났다 [그림 2].

Singer (2010)은 조리 중 오염물질 발생 시 천연 가스의 영향을 평가하기 위하여 실험실 및 현장시험을 통하여 조리기에 따른 유해물질 발생특성을 평가하였다. 연구결과에 따르면 쿡탑 버너

(cooktop burner)는 오븐과 브로일러 (broiler) 보다 높은 NO₂ 배출량을 보였고 쿡탑 버너와 오븐의 CO 배출량은 낮게 나타났으며 브로일러는 더욱 적은 양의 CO를 배출하는 것으로 평가하였다. 폼알데하이드 농도는 오븐에서 가장 높게 나타났으며, 미세먼지는 브로일러와 쿡탑 버너에서 오븐보다 높게 배출되는 것으로 나타났다.

3.2 조리 시 요리 연기 (cooking fume)에 의한 유해물질

튀기기 (Frying) 등과 같은 조리방법은 극초미세 입자 (UFP, ultrafine particles), 초미세먼지 (PM_{2.5})를 포함하는 공기 중 먼지 (PM, particulate matter)의 많은 부분을 차지하는 오염원이다 (Bunanno et al., 2009, 2014). 이러한 조리 과정에서 생성되는 입자는 표면에 다환방향족탄화수소 (PAHs)와 헤테로사이클릭아민류 (Heterocyclic amines)와 같은 유기

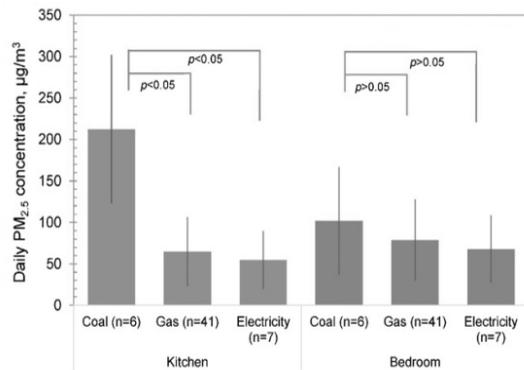


그림 2. 조리 시 사용한 연료에 따른 주방의 PM_{2.5} 농도 비교 (비난방 계절)

출처: Tianxin Li, Suzhen Ao, Delong Fan, yaqun Zhang, Beibei Wang, Xiuge Zhao, Brian P. Leaderer, Guofeng Shen Yawei Zhang, Xiaoli Duan, 2016, Household concentrations and personal exposure of PM_{2.5} among urban residents using different cooking fuels, Science of the total environment 548-549, 6-12

물질이 흡착될 수 있다. 또한, 폼알데하이드 (formaldehyde), 아세트알데하이드 (acetaldehyde) 및 아세틸아마이드 (acetylamide)가 요리 중에 생성될 수 있다 (IARC, 2010).

환기설비가 미비하여 충분한 환기가 이루어지지 않을 경우 주방공기는 유해정도는 더욱 심각해질 수 있다. 특히, 중국에서는 고온에서 볶거나 튀기는 조리가 많아 오래전부터 음식 조리 과정에서 발생하는 유해물질에 관한 다양한 연구들이 진행되었다 (Zhu et al. 2003; Wu et al. 1998; Zhao et al. 2014; Chiang et al. 1999). 아래에 대표적인 주방공기 오염물질의 연구사례를 정리하였다.

(1) 미세먼지

국립환경과학원은 2015년 12월 생선 굽기처럼 연기가 발생하는 조리 과정에서는 초미세먼지 (PM2.5) 농도가 3 480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 육류 삶는 과정에서는 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 주택의 평상 시 미세먼지 농도의 (2~70) 배 이상 발생한다고 발표하였다 (국립환경과학원, 2015).

Long (2000)에 따르면, 미국 보스턴의 9가구를 대상으로 조리 시 거실 PM2.5 농도를 측정 한 결과 가스 오븐 구이 (gas-fired oven baking) 시 (101±185) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기름에 볶는 조리 (sauteing) 시 (66±95) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 튀기기 (frying) (41±43) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다 <표 2>.

표 2. 조리방법에 따른 거실의 PM2.5 농도

Cooking	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cooking	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Baking (Gas)	101.2±184.9	Sauteing	65.6±95.4
Toasting	54.9±119.7	Frying	40.5±43.2
Broiling	29.3±43.4	Barbecuing	14.8±5.2

* 조리시간 중 고농도 5종의 평균값

출처 : Christopher M. Long, H.H. Suh, P. Koutrakis, 2000, Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors, J. Air Wastet Manag. Assoc. 50, 1236-1250

Wallace (2004)는 44번의 조리를 진행하면서, 조리할 때와 동일 시간 조리하지 않을 때의 PM2.5 농도를 비교하였다. 배경농도와 비교할 때 저녁식사 조리 시 11.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 비조리 시 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조리 시 3.7배 더 높아지고, 아침식사 조리 시 7.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 비조리 시 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조리 시 3.1배 높아지는 것으로 나타났다.

캐나다 Evans는 실시간 측정을 통하여, 캐나다의 대표적인 아침식사 음식을 중심으로 UFP와 PM2.5의 생성속도 (production rate)와 농도를 측정하고, 이를 적용하여 time-integrated exposure을 평가하였다 (Evans et al., 2008), <표 3>.

(2) 유기화합물 (organic compounds)

조리 시 발생하는 연기에서 큰 부분을 차지하는 것이 음식 또는 조리시 사용하는 물로 인해 발생하는 증기이다. 일반적으로 튀기기로 조리하는 경우, 음식에 사용되는 기름이나 지방을 구성하는 지방

표 3. 음식종류에 따른 PM2.5 농도

Food	Food temp.($^{\circ}\text{C}$)	UFP(particles / cm^3)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bacon	314	2.2×10 ⁴	38
Pancakes	297	2.5×10 ⁴	55
Pepper and onions	336	2.0×10 ⁴	60
Vegetable mix	280	2.0×10 ⁴	not detected
Fried egg	249	2.5×10 ⁴	not detected
Fried rice	271	1.0×10 ⁴	not detected
Breaded eggplant	274	8.0×10 ⁴	1000

출처 : G. J. Evans, A. Peers. K., Sabaliauskas, 2008, Particle dose estimation from frying in residential settings, Indoor air, 18, 499-510

산에스테르로 인하여 VOC 뿐만 아니라 SVOC가 발생 할 수 있다 (IARC, 2010). Felton (1995)은 튀기는 조리 중 발생할 수 있는 주요 휘발성화합물로 알데하이드류, 알코올류, 케톤류, 알칸류, 페놀류 등을 언급하였다.

(a) 다환방향족탄화수소 (PAHs)

PAHs는 벤젠고리 두 개 이상의 탄화수소로 탄소와 수소를 포함한 유기물질이 고온에서 열분해되거나 불완전 연소에 의해 발생되며, 쉽게 환경매체에 축적되고 일부물질은 발암성, 변이원성을 일으키는 것으로 알려져 있다. 조리 시 발생하는 PAHs에 대한 연구는 오일 종류 및 온도에 따른 발생 특성과 조리 과정에서 발생할 수 있는 PAHs 농도변화에 관한 내용으로 주로 수행되었다. 조리할 때 기름의 증기 (cooking oil fume)는 크게 2가지로 구분하며 실내공기 중 PAHs 농도에 기여한다. ① 가열된 PAHs는 오염된 기름에서 증발하거나 ② 고

온에서 유기 물질이 열분해 (pyrolysis), 열합성 (pyrosynthesis)에 의하여 PAHs를 생성한다 (Zhu et al., 2003).

Chiang (1999)와 Wu (1998)에 따르면, 다양한 기름을 250 °C에서 30분 가열할 때 발생하는 PAHs를 조사하였는데 라드유 (lard)를 제외하고, 모든 기름에서 발암물질인 Benzo(a)pyrene이 발생하는 것으로 보고하였다. 이러한 결과에 따르면 조리 시 발생하는 기름 증기는 PAHs에의 노출을 증가시키고 나아가 여러 위험성에 노출될 가능성이 높다는 부분을 시사하고 있다 <표 4>.

(b) POM (particulate organic matter)

Zhao (2007)는 웨스턴 스타일의 패스트푸드와 중국 요리 스타일을 대상으로 조리에서 방출되는 PM2.5의 입자상 유기물질 (particulate organic matter, POM)의 화학적 조성을 분석하였다. 이 연구에서 중국 요리의 경우, PM2.5 중 total POM의 (5~10) % 정도 정량하였다. 주요 물질군은 지방산 (fatty acid)으로 정량물질의 (73~85) %에 해당된다. 전체적인 VOC 정량값은 패스트푸드 (웨스턴 스타일)가 중국음식보다는 높지만, 발암성이 있는 PAHs는 중국 요리방법이 더 높은 기여도를 보이는 것으로 나타났다.

표 4. 조리용 오일 가열 시 발생하는 PAHs 농도 [(250±10) °C, 30분]

Oil	PAHs [µg/m3]		
	Benzo(a)-pyrene	Benz(a)-anthracene	Dibenz(a)-anthracene
Lard*	not detected	2.3±0.2	2.0±0.3
Soybean*	21.1±0.8	2.1±0.2	1.4±0.3
Peanut*	19.6±0.5	1.5±0.2	1.9±0.1
Safflower**	22.7±1.5	2.5±0.1	2.8±0.2
Vegetable**	21.6±1.3	2.1±0.4	3.2±0.1
Corn**	18.7±0.9	1.9±0.1	2.4±0.2

* 출처 : Pei-Fen Wu, Tai-An Chiang, Li-Fang Wang, Chia-Shiung Chang, 1998, Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon contents of fumes from heated cooking oils and prevention of mutagenicity by catechin, Mutation Research, 403, 29-34

** 출처 : Tai-An Chiang, Pei-Fen Wu Ying-Chin Ko, 1999, Identification of carcinogens in cooking oil fumes, Environmental Research Section A, 81, 18-22]

표 5. 중국 요리 (chinese cooking)와 패스트 푸드 (western-style) 요리 과정에서 발생하는 유기 물질 농도 (ng/mg, POM)

organic compound	fast food cooking	chinese cooking
n-Alkanes	3,863	1,883
Polycyclic aromatic hydrocarbons	40	2,855
n-Alkanals	29,172	3,444
n-Alkanones	22,702	2,443
Lactones	13,323	2,142
Amides	4,692	531

organic compound	fast food cooking	chinese cooking
Saturated fatty acids	374,699	26,804
Unsaturated fatty acids	93,299	29,028
Dicarboxylic acids	57,877	2,051
Monosaccharide anhydrides	97	314
Sterols	487	1,684
Other compounds	63	208

출처: Yuniang Zhao, Min Hu, Sjaak Slanina, Yuanhang Zhang, 2007, The molecular distribution of fine particulate organic matter emitted from Western-style fast food cooking, Atmospheric Environment, 41, 8163-8171]

4. 결론

본 고에서는 실내공기오염의 또 다른 발생원으로 주목받고 있는 조리 (cooking)로 인한 유해물질에 관하여 소개하였다. 다수의 연구에서 조리 행위로 인하여 실내 오염물질 [미세먼지, PAHs 등]이 발생하며, 특히 호흡기 건강에 많은 영향을 미칠 수 있다고 시사하였다. 조사 결과에 따르면, 조리로 인한 유해물질은 크게 사용연료의 연소로 인하여 발생하는 사례와 조리방법에 따라 상이한 유해물질 발생특성으로 구분하여 접근할 수 있다. 하지만 이러한 연구들은 조리과정에서 생성된 오염물질들이 조리 자체로 인한 것인지 연료의 연소로 인하여 생성된 것인지 명확하게 구별하지 못하는 한계점이 있었다.

또한, 다양한 연구사례에서 조리 시에 국한되어 작업자의 위치 (주방)에서 유해물질을 측정하거나, 조리 시 거실에서 측정을 하거나, 또는 일상생활과 동일하게 조리 과정을 하루 세 번 수행하면서 24시간 거실의 평균농도를 측정하는 등 연구목적에 따라 상이한 측정방법으로 조리에 의한 실내공기오염의 영향을 다양하게 평가한 것으로 나타났다. 이로 인하여 조리 시 발생하는 유해물질을 비교하는데 어

려움이 있으며 이를 감안할 때, 조리 시 발생하는 유해물질을 정량적으로 평가하기 위하여 표준화 된 시험방법에 대한 제시가 필요할 것으로 사료된다.

국내에서는 많은 연구가 수행되지는 않았지만, 국립환경과학원이 2013년 「주거환경 중 주방에서 발생하는 실내오염물질 관리방안 연구」를 진행하였고, 2015년 조리 시 실내 오염물질 저감 안내서를 제작·배포함으로써 주방 관리요령 등 실내 오염물질을 줄일 수 있는 다양한 정보를 제공하는 등 많은 노력을 기울이고 있다.

이러한 현상 규명 이외에도 조리 시 발생할 수 있는 거주자에의 유해성에 대한 본질적인 원인을 파악하고 해결을 위한 후속 연구들이 진행되어 할 것으로 생각된다. 전술한 조리 행위가 주방이라는 한정된 공간의 문제가 아니라 실내의 전반적인 오염원이 될 수 있다는 내용을 감안할 때 환기, 레인지 후드 등 현장에서 활용할 수 있는 자료의 확보와 실행방안의 제시가 요구된다. 청정하고 안전한 실내공기질 확보를 위한 다양한 연구와 이를 위한 제반시설 및 제도의 보급이 이루어지기를 기대한다.

- 참고문헌 -

1. 국립환경과학원 보도자료 (2015. 12. 22), 조리할 때 실내 오염물질 배출 주의 30분 이상 환기 필수
2. ASHRAE, 2012, "ASHRAE Position document on unvented combustion devices and indoor air quality"
3. A.H. Wu-Williams, X.D. Dai, W. Blot, Z. Xu, X.W. Sun, 1990, "Lung cancer among women in north-east China" Br. J. Cancer 62 982-987
4. Catherine Metayer, Zuoyuan Wang, Ruth A. Kleinerman, Longde Wang, Alina V. Brenner, Hongxing Cui, Jisheng Cao, Jay H. Lubin, 2002, "Cooking oil fumes and risk of lung cancer in women in rural Gansu, China" Lung Cancer 35 111-117
5. Christopher M. Long, H.H. Suh, P. Koutrakis, 2000, "Characterization of indoor particle sources

- using continuous mass and size monitors” J. Air Wastet Manag. Assoc. 50 1236-1250
6. Felton J, 1995, “Food mutagens : the cooking makes a difference” Sci, Technol Rev 3 18-25
 7. G Buonanno, L. Morawska, L. Stabile, 2009, “Particle emission factors during cooking activities” Atmospheric Environment 43 3235-3242
 8. G Buonanno, L. Stabile, L. Morawska, 2014, “Personal exposure to ultrafine particles : The influence of time-activity patterns” Science of the total environment 468-469 903-907
 9. G. J. Evans, A. Peers. K., Sabaliauskas, 2008, “Particle dose estimation from frying in residential settings” Indoor air 18 499-510
 10. IRAC Monographs, 2010, “Household use of solid fuels and High temperature frying”
 11. Lance A. wallace, Steven J. Emmerich, Cynthia Howard-Reed, 2004, “Source strenths of ultrafine and fine particles due to cooking with a gas stove” Environ. Sci. Technol., 38 2304-2311
 12. Lizhong Zhu, Jing Wan, 2003, “Source and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in kitchen air, China” Chemosphere 50 611-618
 13. M Dennekamp, S Howarth, C A J Dick, J W Cherrie, K Donaldson, A Seaton, 2001, “Ultrafine particle and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking” Occup Environ Med. 58 511-516
 14. Pei-Fen Wu, Tai-An Chiang, Li-Fang Wang, Chia-Shiung Chang, 1998, “Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon contents of fumes from heated cooking oils and prevention of mutagenicity by catechin” Mutation Research 403 29-34
 15. Q. Liu, L. Liu, X.Y. Wang, G.L. Chen, B. Wang, X.C. Pan, J.L. Zhang, 2011, “The effects of daily fuels combustion on indoor air quality in rural area of north Anhui Province” Journal of Environment and Health 8 702-705
 16. Singer, B.C. 2010, “Natural Gas Variability in California: Environmental Impacts and Device Performance: Experimental Evaluation of Pollutant Emissions From Residential Appliances” Report CEC-500-2009-099-APG, California Energy Commission, Public Interest Energy Research Program.
 17. Sophie Bonjour, Heather Adair-Rohani, Jenifer Wolf, Nigel G. Bruce, Sumi Mehta, Annette Pruss-Ustun, Maureen Lahiff, Eva A. Rehfuess, Vinod Mishra, and Kirk R. Smith, 2013, “solid fuel use for household cooking: country and regional estimates for 1920-2010” Environmental health perspectives 7 784-790
 18. Tai-An Chiang, Pei-Fen Wu Ying-Chin Ko, 1999, “Identification of carcinogens in cooking oil fumes” Environmental Research Section A 81 18-22
 19. Tianxin Li, Suzhen Ao, Delong Fan, yaqun Zhang, Beibei Wang, Xiuge Zhao, Brian P. Leaderer, Guofeng Shen Yawei Zhang, Xiaoli Duan, 2016, “Household concentrations and personal expooure of PM2.5 among urban residents using different cooking fuels” Science of the total environment 548-549 6-12
 20. Y.T. Gao, W.J. Blot, W. Zheng, 1988, “Lung cancer and smoking in Shanghai” Int. J. Epidemiol. 17 277-280
 21. Yujiao Zhao, Angui Li, Ran Gao, Pengfei Tao, Jian Shen, 2014, “Measurement of temperature, relative humidity and concentrations of CO, CO2 and TVOC during cooking typical Chinese dishes” Energy and Building 69 544-561
 22. Yuniang Zhao, Min Hu, Sjaak Slanina, Yuanhang Zhang, 2007, “The molecualr distriution of fine particulate organic matter emitted from Western-style fast food cooking” Atmosphric Environment 41 8163-8171
 23. WHO, 2014, “WHO guidelines for indoor air quality household fuel combustion”