

휴대용 가스렌지 연소에 의한 공기오염물질의 발생량 및 실내환경의 필요 환기량

임성국 · 김영희 · 양원호[†]
대구가톨릭대학교 산업보건학과

Source Emission Rate on Air Pollutants from Portable Gas Range and Optimal Ventilation Rate in Indoor Environment

Sung-Kuk Yim · Young-Hee Kim · Won-Ho Yang[†]
Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu
(Received February 21, 2007/Accepted April 12, 2007)

ABSTRACT

A series of source tests were conducted to characterize emissions of nitrogen oxide(NO_x, NO, NO₂), carbon monoxide(CO), carbon dioxide(CO₂) and total VOCs from portable combustion devices in steady-state using well-mixed chamber. Since use of portable gas range is widespread in houses and restaurants in Korea, it is important to characterize the emission of air pollutants and suggest optimum ventilation rate. Ranges of emission rates of air pollutants from portable gas ranges were NO 0.551~0.939 mg/hr, NO₂ 0.354~1.080 mg/hr, NO_x 1.207~1.631 mg/hr, CO 1.389~4.21 mg/hr, CO₂ 2426.823~2973.495 mg/hr, and VOCs 0~0.119 mg/h. Mean of personal exposure and indoor environment level of NO₂ by combustion of portable gas range were 74.7 ppb and 65.4 ppb, respectively, suggesting persons using portable gas range in houses and restaurants might be highly exposed. Required ventilation rate to control the air pollutants emitted from portable gas range was maximumly 3.131 m³/hr on the basis of NO₂ indoor air quality standard.

Keywords: portable gas range, emission rate, air pollutants, ventilation

I. 서 론

인간은 일반적으로 대략 하루에 1.5 kg의 음식물을 섭취하고 2 kg 정도의 물을 마시며, 공기는 이보다 거의 10배에 달하는 약 13 kg 정도를 마셔야 살 수 있고 단 몇 분만 호흡을 멈추더라도 곧 사망하게 될 만큼 중요하다. 인간은 하루 24시간 중 90% 이상을 실내(주택, 일반사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등)에서 생활하는 것으로 조사되고 있다.¹⁾ 특히, 실내환경 중에서도 주택은 가장 많이 시간을 보내는 공간으로 대략 하루 중 50% 이상 체류한다.²⁾

실내공기오염의 주요 원인은 인구의 밀집화, 현대사

회의 실내 생활화, 실내공간의 밀폐화 등으로 도시의 집 중화가 증가될수록 심화되고 있다. 실내공기오염은 각종 실내공간에서 공기오염, 생활쓰레기, 소음, 악취 등의 각종 환경오염에 이르기까지 다양한 형태로 발생될 수 있으며, 건물병 증후군(Sick Building Syndrome, SBS), 복합화학물질 과민증(Multi-Chemical Sensitivity, MCS), 새집 증후군(Sick House Syndrome, SHS) 등을 유발시켜 인간에게 정신적 고통을 주거나 위해요소로 작용할 수 있다. 그 뿐만 아니라, 개인 및 국가에 의료비용 증가라는 경제적 부담을 안긴다는 점에서 그 심각성을 무시하기 어렵다.³⁾ 즉, 실내에서의 공기오염 물질 노출이 실외 대기노출 보다 실제적 영향 즉 건강장해를 야기할 수 있음을 알 수 있다. 더욱 중요한 것은 실내 공기오염물질의 농도가 낮더라도 노약자, 유아, 환자들은 실내환경에서 장기간 생활하기 때문에 매우 큰 건강영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁴⁾

실내공기질에 따른 건강위해성을 고려할 때, 실내환

[†]Corresponding author : Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu
Tel: 82-53-850-3739, Fax: 82-53-850-3739
E-mail: whyang@cu.ac.kr

경에서 공기오염물질의 발생량은 궁극적으로 실내환경의 공기질 농도를 결정할 수 있기 때문에 중요하다. 실내 발생원을 대략적으로 구분하면 실내 취사 및 난방에 의한 발생, 건축자재에 의한 발생, 생활용품에 의한 발생, 작업 실내환경 공정의 발생으로 구분할 수 있다. 그 동안 국내외에서 다양한 발생원의 규명 및 발생량을 위한 연구가 시도되고 있으며, 특히 취사 및 난방 부분에서 WHO는 에너지 사다다리(energy ladder)를 제시하면서 후진국에서 선진국까지 주택 취사 및 난방의 연료 단계로 음식쓰레기(crop waste), 나무(wood), 숯(charcoal), 등유(kerosene), 가스(gas)(또는 액체(liquid), 석유(petroleum)), 전기(electricity)를 제시하면서 연료에 따른 실내공기질 악화와 건강영향의 문제점을 제시하였다.^{5,6)}

한국의 경우 대부분의 주택에서 가스렌지를 사용하고 있으며 가스렌지 연소에 의한 발생 공기오염물질이 재실자에게 건강영향을 야기할 수 있다. Lipsett(1999)은 가스렌지 연소에 의해 질소산화물(NO_x), 미세먼지, 휘발성 유기화합물(VOCs), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2)의 발생을 지적하였고, Pershagen 등은 4개월에서 4세 사이 소녀들의 NO_2 노출은 기관지염과 연관되어 있었으며, 그 소녀들의 주택 실내에서 가스렌지를 사용하는 것이 주된 위해 요인이었다고 보고하였다.^{7,8)} 한편 Basu와 Samet은 가스렌지 이용에 의한 NO_2 의 노출 및 건강영향 관련 45개의 역학연구 결과를 분석하여, NO_2 노출에 따른 건강영향 결과가 일정하게 나타나지 않아 좀 더 광범위한 연구가 필요함을 지적하였다.⁹⁾ 그럼에도 가스렌지는 NO_x 뿐만 아니라 다양한 유해공기오염물질을 배출시키기 때문에 그 발생량을 추정하는 것은 중요하다고 할 수 있다.

한국에서는 주택에서 가스렌지의 사용뿐만 아니라 휴대용 가스렌지의 사용이 빈번하며, 특히 음식점에서 휴대용 가스렌지의 사용은 일반적이지만 휴대용 가스렌지에서 발생하는 공기오염물질 발생의 정량화 연구는 없는 실정이다. 본 연구는 휴대용 가스렌지에서 발생하는 공기오염물질의 발생량을 실험실의 대형 챔버(chamber)에서 정량화 하였으며, 실내공기질 기준을 근거로 휴대용 가스렌지 사용에 따른 실내환경의 필요환기량을 제시하였다. 이 결과는 국내에서 광범위하게 사용되는 휴대용 가스렌지 연소에 의한 유해 공기오염물질 배출량의 정량화, 노출에 따른 건강위해정도의 제시와 그 대안으로 필요 환기량을 연구한 것으로 특히 휴대용 가스렌지를 사용하는 음식점 등에서 실내환경의 환기량 설정시 기본 자료를 제공할 수 있다.

II. 연구내용 및 방법

1. 공기오염물질 발생량 정량화

본 실험에 사용된 휴대용 가스렌지는 연료소비량이 다른 각기 다른 회사의 3가지(A, B, C) 제품을 선택하였다. 휴대용 가스렌지의 연료(부탄가스)는 실험을 할 때마다 새 것을 사용하였으며 각 A, B, C마다 5회씩 발생량을 측정하였다. 대상 공기오염물질과 측정기기를 Table 1에 나타내었으며, 2006년 11월부터 12월에 걸쳐 실험이 실시되었다.

대상 공기오염물질의 발생량 정량화 실험을 위하여 공기오염물질에 대해 비반응성인 유리강화플라스틱(FRP) 재질의 대형 챔버 및 실험 개요를 Fig. 1에 나타내었다. 대형 챔버의 크기는 5.59 m³(1575(H) mm × 1300(W) mm × 2730(L) mm)이었고, 챔버의 공기 침투는 없도록 최대한 '끼밀구조(ACH<0.1)로 제작하였다. 휴대용 가스렌지는 챔버 중앙 바닥에 위치하였고, 챔버내 완전혼합을 위하여 팬(fan) 3개를 설치하였다. 공기오염물질 측정기는 챔버 좌측에서 유출되도록 하였고, 측정기는 data-logger를 연결하여 5분 간격으로 측정 농도값이 저장되도록 조작하였다. 챔버 내에 필요한 일정량의 공기는 실험실의 대기로 충당하였고, 이때 HEPA(High Efficiency, Particulate Air) Filter를 이용

Table 1. Sampling and analysis instrument for target air pollutants in this study

Target pollutants	Instrument
NO , NO_2 , NO_x	Chemiluminescent nitrogen oxides analyzer S-5012(SIR), Spain
CO , CO_2	Indoor Air Quality Meters Model 8762.(TSI), USA
VOC_s	IAQ-RAE, PGM-5210 (RAE), USA

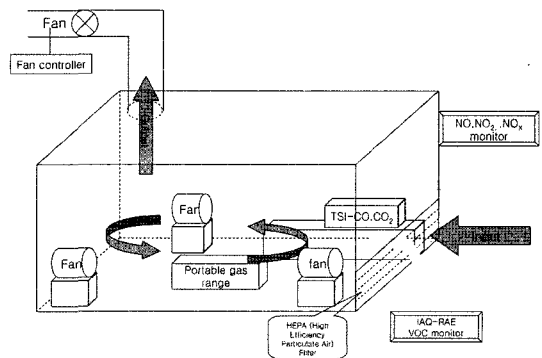


Fig. 1. Schematic for emission rate of air pollutants from portable gas range.

해 공기 중 오염물질을 제거하였다. 실험과정은 대형 챔버 실내의 공기오염물질의 배경농도를 고려하여 실험 전에 환기장치를 1시간 동안 작동시켰고, 그 다음 휴대용 가스렌지를 작동시켜 연속적으로 대상 공기오염물질의 농도를 측정하였다. 또한 측정 전기간 동안 챔버 내부의 온도 및 습도를 측정하였다.

2. 물질수지를 이용한 배출량 산정

휴대용 가스렌지의 공기오염물질 발생량(S)은 대형 챔버내 물질수지를 이용하였다. 챔버내 공기오염물질의 농도변화는 발생, 챔버내 공기 유·출입(Q) 및 반응에 의한 감소(R)로 나타낼 수 있다.

$$V \frac{dC_i}{dt} = Q C_o + S - Q C_i - R \quad (1)$$

여기서, C_i = indoor concentration(mg/m^3), C_o = outdoor concentration(mg/m^3), Q = flow rate(m^3/hr), S = indoor source generation rate(mg/hr), R = decay rate(mg/hr), V = volume(m^3)이다.

위의 식 (1)에서 일정량의 공기 유·출입과 휴대용 가스렌지의 발생량은 챔버의 공기오염물질이 시간변화에 따른 농도변화가 없는 정상상태(steady-state, $dC_i/dt = 0$)로 할 수 있다. 이 방법은 Leaderer와 Boone가 케로센(Kerosene) 히터의 공기오염물질 발생량을 연구한 것과 비슷하지만 연소 초기의 불규칙한 발생량을 고려할 때 보다 더 정확한 것이다.¹⁰⁾ 챔버내 표면반응에 의한 감소(R)는 없는 것으로 가정하면, 식 (1)을 발생량(S)에 관하여 정리할 수 있다.

$$S = Q(C_i - C_o) \quad (2)$$

휴대용 가스렌지의 공기오염물질 발생량에 따른 필요 환기량은 챔버 외기의 농도가 0 또는 실내환경내 유입되는 공기가 공기정화기를 통과하여 농도가 0으로 가정($C_o = 0$)하면 다음 식 (3)에 의하여 계산할 수 있다.¹¹⁾

$$Q = \frac{S}{C_i} \quad (3)$$

여기서, Q = optimum ventilation(m^3/hr), S = emission rate(mg/hr), C_i = indoor air quality standard(mg/m^3)이다.

3. 휴대용 가스렌지

본 연구에서 휴대용 가스렌지는 국내에 판매되는 3개 회사(A, B, C)로 연료 소모량이 상대적으로 소형인 A

Table 2. Fuel consumption and input rate of portable gas range used in this study

	Fuel consumption (g/hr)		Fuel input rate (KJ/hr)	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
A	150	15	421.4	42.14
B	165	16.5	463.57	46.36
C	220	22	618.1	61.81

제품, 대형인 C 제품 그리고 중간 정도의 B 제품이었다. 각 회사에서 제공하는 연료 소모량과 발열량(부탄 가스=11.8 kcal/g)을 Table 2에 나타내었다. 여기서 시간당 연료 유입률은 연료소비량(g/hr)×부탄가스 발열량(11.8 kcal/g)×(1 KJ/4.2 kcal)로 계산하였다.

4. NO₂ 개인노출

가스렌지를 이용하여 1시간 동안 최고 발열량으로 10.2 m³의 실내환경에서 4개의 창문 중 1곳의 창문을 개방한 후 직접 음식(육류)을 구워 먹으면서 수동식 시료채취기(Toyo Roshi, Japan)로 개인노출 및 실내·외의 NO₂ 농도를 3회 측정하였다. NO₂ 농도 분석방법은 sulfanilic acid 5 g, phosphoric acid(85%) 50 ml와 NEDA(N(1 Naphtyl) ethylene diamine dihydrochloride, 98%) 0.05 g을 이용하여 color reagent(azodye forming) 1 l를 제조하고, 실리카겔과 활성탄, Purafil filter(과망간 산 칼륨, 활성 알루미늄과 활성탄으로 합성된 물질)를 연속으로 연결하여 공기오염물질이 없는 상태 즉, NO₂ 가 없는 상태의 클린룸(clean room) 챔버 안에서 수동식 시료채취기를 분해하였다. 농도는 Spectrophotometer (Shimadzu, UV-1650PC)로 545 nm에서 분석하였고, 다음 아래 식을 이용하여 NO₂ 농도 계산을 해주었다.¹²⁾

$$C = 6.762 \frac{M}{T} \quad (4)$$

여기서, C = NO₂ 농도(ppb), 21°C, M = 총 포집된 NO₂ 양(nmol), T = 총 포집시간(hour)이다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 공기오염물질 측정농도

대형 챔버내에서 가스렌지를 작동 후 공기오염물질의 측정은 Table 3과 같이 일정량의 공기유출·입의 환기를 하였으며, 1시간 동안 측정된 농도변화는 Fig. 2와 같이 대략 30분 후부터 시간에 따른 농도변화가 일정

Table 3. Flow rate and air exchange per hour for steady-state condition in chamber

	Flow rate (m ³ /hr)		ACH (1/hr)	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
A	1.271	0.039	0.227	0.007
B	1.255	0.015	0.225	0.003
C	1.368	0.017	0.245	0.003

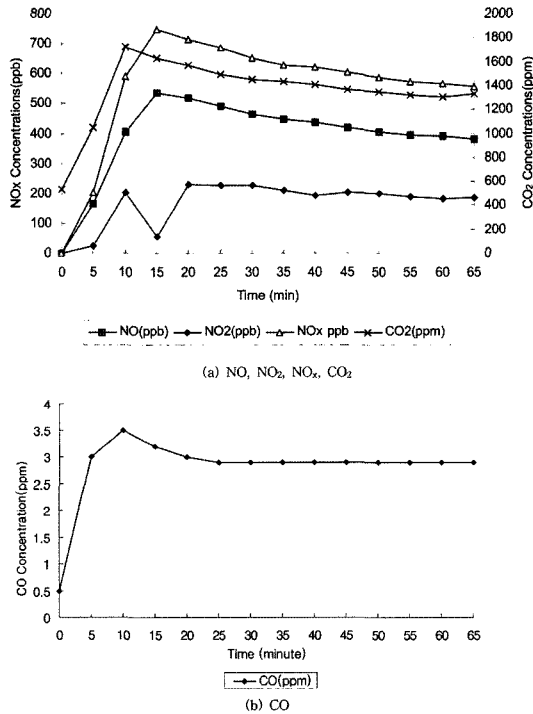


Fig. 2. Trend of concentrations of air pollutants by combustion of portable gas range.

한 정상상태를 보였다. 챔버에서 1시간 동안 측정된 공기오염물질의 평균 농도를 Table 4에 나타내었다. NO_x의 경우 연료 소모량이 높은 C가 가장 높을 것으로 예

Table 4. Mean concentrations (ppm) of measured air pollutants by combustion of portable gas range

	A		B		C	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
NO	0.511	0.106	0.356	0.178	0.556	0.060
NO ₂	0.161	0.014	0.463	0.070	0.195	0.035
NO _x	0.695	0.120	0.791	0.132	0.714	0.086
CO	1.59	0.26	3.35	0.93	1.35	0.08
CO ₂	1610.81	88.35	1685.01	181.47	1687.86	27.69
VOCs	0	0	0.06	0.09	0	0

상하였으나 B가 높았으며, CO도 B가 높은 값을 나타내었다. 완전연소의 지표인 CO₂는 C가 평균 1687.86 ppm으로 가장 높았으며, VOCs는 B만 검출되었다. 이 결과는 제조회사들이 제시한 연료소비량의 불정확성을 생각할 수 있으며, 또한 가스렌지의 작동방식에 따라 발생량이 변할 수 있다는 Relwani 등의 결과로 해석할 수 있다.¹³⁾ 또한 실험동안 동시에 측정된 온도는 모든 실험에서 30°C 이내였으며, 상대습도는 20~50%이었다.

2. 공기오염물질 발생량

결과 2에서 가스렌지 작동 30분 후부터 정상상태를 고려하여 식 (2)를 이용한 휴대용 가스렌지의 대상 공기오염물질 발생량을 시간당 공기오염물질 질량(mg/hr)과 연료소비량(KJ/hr)을 고려한 발열량당 공기오염물질 질량(ug/KJ)로 Table 5에 나타내었다. A, B, C의 연료소비량과 발열량의 차이가 있지만, NO 0.551~0.939 mg/hr, NO₂ 0.354~1.080 mg/hr, NO_x 1.207~1.631 mg/hr, CO 1.389~4.21 mg/hr, CO₂ 2426.823~2973.495 mg/hr, VOCs 0~0.119 mg/hr의 범위를 나타내었다.

이 결과는 Moschandreas 등이 환기되지 않는 고정형 가스렌지에서 NO(17.2 ug/KJ), NO₂(9.0 ug/KJ), NO_x (35.3 ug/KJ), CO(40.4 ug/KJ)의 발생량보다 적은 값이었고, Fan과 Zhang의 휴대용 가스렌지에서 CO(33.6 mg/hr), CO₂(135,000 mg/hr)의 발생량 보다 적었다.^{14,15)} 이것은 고정형 가스렌지의 경우 휴대용과 비교하여 상대적으로 높은 연료소비량과 발열량 때문이며, Fan과 Zhang의 휴대용 가스렌지도 높은 연료소비량과 발열량 때문이다. 그리고 Yang 등이 다중측정에 의해 추정된 한국 주택의 고정형 가스렌지 NO₂ 발생량 3.885~6.510 ug/hr 보다 3배에서 6배 정도 낮은 값이었다.¹⁶⁾

3. 개인노출평가

본 연구진은 휴대용 가스렌지를 이용하여 1시간 동안 최고 발열량으로 10.2 m³의 실내환경에서 4개의 창문 중 1곳의 창문을 개방한 후 직접 음식을 먹으면서

Table 5. Emission rate of air pollutants by combustion of portable gas range

		A		B		C	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
NO	mg/hr	0.853	0.168	0.551	0.282	0.939	0.105
	ug/KJ	2.025	0.399	1.188	0.609	1.519	0.170
NO ₂	mg/h	0.354	0.043	1.080	0.172	0.469	0.089
	ug/KJ	0.840	0.101	2.330	0.372	0.758	0.144
NO _x	mg/hr	1.207	0.205	1.631	0.211	1.408	0.026
	ug/KJ	2.865	0.488	3.519	0.455	2.278	0.043
CO	mg/hr	1.614	0.401	4.21	1.508	1.389	0.146
	ug/KJ	3.914	1.071	9.081	3.254	2.248	0.236
CO ₂	mg/hr	2426.823	119.818	2516.992	377.128	2973.495	117.812
	ug/KJ	5758.545	284.313	5429.584	813.529	4810.702	19.0604
VOCs	mg/hr	0	0	0.119	0.226	0	0
	ug/KJ	0	0	0.256	0.488	0	0

Table 6. Personal exposure, indoor and outdoor levels of NO₂ (ppb) by combustion of portable gas range

	Personal exposure	Indoor	Outdoor
NO ₂	74.7 ± 31.5	65.4 ± 25.4	15.4 ± 10.6

NO₂ 수동식 시료채취기로 개인노출 및 실내환경 농도를 3회 측정하였다. 그 결과를 살펴보면 NO₂ 개인노출은 1시간 평균 74.7 ppb, 실내환경 65.4 ppb, 실외환경 15.4 ppb로 실외환경의 농도를 고려해도 쉽게 연평균 대기환경기준을 초과하였다. 이것은 비록 창문 1곳의 개방으로 환기량이 낮은 상태에서 최고 발열량으로 휴대용 가스렌지를 작동하였지만, 음식점 등에서 이용되는 휴대용 가스렌지가 직접 음식류를 끓이거나 구워서 먹는 한국의 문화를 고려할 때 충분히 발생하는 공기오염물질에 고노출 가능성을 나타내고 있다.

4. 필요환기량

결과 1~4에서 휴대용 가스렌지의 발생량에 의한 개인노출을 감소하기 위한 방법으로 환기를 생각할 수 있

으며, 식 (3)을 이용하여 휴대용 가스렌지의 발생량에 따른 필요 환기량을 계산하였다(Table 7). 일반 실내환경의 공기질 지표를 CO₂로 대부분 이용하지만, 휴대용 가스렌지의 경우 가장 높은 필요 환기량을 나타낸 것은 NO₂(최대 3.131 m³/hr)이었다. 이 결과는 음식점 등과 같이 휴대용 가스렌지를 이용하여 육류 및 찌개 등을 끓여서 먹는 곳의 필요 환기량은 NO₂를 기준으로 설정하는 것이 더 유리하는 것을 의미한다. 또한 이 결과는 음식점의 환기장치 설치시 필요 환기량을 제시한 중요한 결과라고 볼 수 있다.

IV. 결 론

한국 가정의 주요 취사도구로 가스렌지의 사용뿐만 아니라 휴대용 가스렌지의 이용이 빈번하다. 특히 음식점에서 휴대용 가스렌지의 사용은 일반적이지만 휴대용 가스렌지에서 발생하는 공기오염물질 발생의 정량화 연구는 없는 실정이다. 본 연구에서 연료소비량 및 발열량이 다른 휴대용 가스렌지 A, B, C를 이용

Table 7. Optimum ventilation (m³/hr) by use of portable gas range in indoor environment

	A		B		C	
	Mean	Maximum	Mean	Maximum	Mean	Maximum
NO ₂	0.885	0.992	2.700	3.131	1.172	1.395
CO	0.054	0.067	0.141	0.191	0.046	0.051
CO ₂	1.445	1.516	1.498	1.723	1.770	1.840
VOCs	0	0	0.44	1.098	0	0

*Indoor air quality standard: NO₂ 0.21 ppm (0.4 mg/m³) WHO, CO 25 ppm (29.95 mg/m³) WHO, CO₂ 920 ppm (1679.92 mg/m³) WHO, VOCs 0.4 mg/m³ Korea.

한 공기오염물질 발생량은 NO 0.551~0.939 mg/hr, NO₂ 0.354~1.080 mg/hr, NO_x 1.207~1.631 mg/hr, CO 1.389~4.21 mg/hr, CO₂ 2426.823~2973.495 mg/hr, VOCs 0~0.119 mg/hr의 범위로 조사되었다. 휴대용 가스렌지 사용에 따른 NO₂ 개인노출에서는 직접 음식을 끓이거나 구워서 먹는 한국의 문화를 고려할 때 충분히 발생하는 공기오염물질에 고노출 가능성을 나타내었다. 휴대용 가스렌지를 대상으로 한 본 연구에서 최대 필요 환기량을 나타낸 공기오염물질은 NO₂(최대 3.131 m³/hr)로 휴대용 가스렌지를 이용하여 육류 및 찌개 등을 끓여서 먹는 곳의 필요 환기량 기준은 NO₂로 설정하는 것이 타당하다.

참고문헌

- Hoddinott, K. B. and Lee, A. P. : The use of environmental risk assessment methodologies for an indoor air quality investigation. *Chemosphere*, **41**, 77-84, 2000.
- 양원호, 배현주, 정문호 : 거주지역 실내공기 특성 및 이산화질소 노출에 관한 연구. *한국환경보건학회지*, **28**(2), 183-192, 2002.
- Jones, A. P. : Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, **33**, 4536-4564, 1999.
- Naugle, E. F. and Plerson, T. K. : A framework for risk characterization of environmental pollutants. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **41**(10), 1298-1307, 1991.
- WHO : The World Health Report 2002 - Reducing Risks, Promoting Healthy Life. *World Health Organization*, 2002.
- 김영희, 양원호, 손부순 : 신축주택의 톨루엔 발생량 모델을 이용한 건강위해성 평가. *한국환경보건학회지*, **32**(5), 398-403, 2006.
- Lipsett, M. : Cooking with gas? (don't) hold your breath!. *Journal of Environmental Medicine*, **1**, 171-172, 1999.
- Pershagen, G. E., Rylander, S., Norberg, M., Eriksson, and Nordvall, S. L. : Air pollution involving nitrogen dioxide exposure and wheezing bronchitis in children. *International Journal of Epidemiology*, **24**(6), 1147-1153, 1995.
- Basu, R. and Samet, J. M. : A review of the epidemiological evidence on health effects of nitrogen dioxide exposure from gas stoves. *Journal of Environmental Medicine*, **1**, 173-187, 1999.
- Leaderer, B. P. and Boone, P. M. : Total particle, sulfate, and acidic aerosol emissions from kerosene space heater. *Environmental Science & Technology*, **24**(6), 906-911, 1990.
- Parent, D., Stricker, S. and Fugler, D. : Optimum ventilation and air flow control in buildings. *Energy and Building*, **27**, 239-245, 1998.
- 양원호, 손종렬, 손부순 : 구획모델을 이용한 주택에서 이산화질소의 발생강도 및 감소상수 동시 측정. *한국환경보건학회지*, **31**(4), 260-265, 2005.
- Relwani, S. M., Moschandreas, D. J. and Billick, I. H. : Effects of operational factors on pollutant emission rates from residential gas appliance. *Journal of the Air pollution Control Association*, **36**, 1233-237, 1986.
- Moschandreas, D., Relwani, S., Johnson, D., and Billick, I. : Emission rates from unvented gas appliances. *Environment International*, **12**, 247-253, 1986.
- Fan, C. and Zhang, J. : Characterization of emissions from portable household combustion devices: particle size distributions, emission rates and factors, and potential exposures. *Atmospheric Environment*, **35**, 1281-1290, 2001.
- Yang, W., Lee, K. and Chung, M. : Characterization of indoor air quality using multiple measurements of nitrogen dioxide. *Indoor Air*, **14**, 105-111, 2004.