

## 가정용 가스보일러 배기가스의 유해성 분석

정철균, 민배현, 감동재, 이재욱  
서울대학교

### Analysis of Noxious Emission Gas from Domestic Gas-boiler

Cheol-Kyun Jeong, Bae-Hyun Min, Dong-Jae Kam, Jae-Wook Lee  
Seoul National Univ.

#### 1. 서론

교토의정서가 발효된 이후 세계 각국은 온실가스의 배출량 감축을 위한 다양한 대응방안을 마련 중이며 가정용 가스보일러의 경우 독일, 영국, 프랑스, 네덜란드 등의 서유럽국가들은 고효율의 콘덴싱 보일러의 지속적인 보급 확대와 유럽시험(EN) 규격 등 가스보일러 규격강화를 통하여 연료절감과 배기가스 감축효과를 극대화하고 있다. 한국의 가정용 가스보일러 보급대수는 2005년 기준 약 900만대로 수요 면에서 세계 최대의 시장이나 가정용 가스보일러의 배기가스 허용량에 대한 명확한 기준이 없고 배기가스 배출량의 규모와 비중, 환경영향정도 등에 대한 정량적인 분석이 매우 취약한 실정이다. 따라서 앞으로 예상되는 온실가스의 저감을 위한 구체적이고 체계적인 대응방안을 마련하기 위해 자료 확보와 배기가스량 예측모델 개발이 요구된다.

이 연구에서는 Fig 1.1에 나타나듯이 가정용 가스보일러의 보급현황과 국내외 배기가스 규제현황을 분석하여 국내 보급된 가정용 가스보일러에서 발생한 배기가스의 환경 유해성을 조사하였다. 연구결과를 바탕으로 향후 개발할 가정용 보일러의 설계기준 및 온실가스 저감 대책의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

#### 2. 이론

##### 1) 가정용 보일러 보급현황

BSRIA의 World Market for Heating(2002)에 따르면 2004년 기준 세계 가정용 가스보일러 시장은 전체 1,000만대, 71억 달러로 추정되며 지속적으로 성장할 것으로 예상되고, 콘덴싱 보일러 시장은 향후 가장 빠르게 신장할 것으로 예측되었다. 서유럽은 전 세계 보일러 시장의 66%를 차지하고, 북미시장은 거대 시장으로 성장할 수 있는 가능성이 있다. 영국은 생산량으로 세계에서 가장 큰 시장이며 그 다음으로 한국과 이탈리아가 그 뒤를 쫓고 있고, 금액으로는 독일이 가장 큰 시장이다. 한국은 단일국으로 세계 최대 규모의 가정용 보일러 시장으로 국내 가정용 보일러 시장은 가스보일러 100만대, 기름보일러 50만대로 총 150만대 규모이다. 지속적인 유가상승은 기름보일러 시장 규모를 감소시킬 것이므로, 앞으로 에너지 소비 절감차원에서 가스보일러 보급이 확대될 것으로 예측된다. 향후 30년간 가정용 가스보일러 시장 수요는 꾸준히 성장할 것으로 예측되고, 선진국 중심으로 콘덴싱 보일러의 수요가 급격히 신장할 것으로 기대된다.

##### 2) 국내외 가정용 가스보일러 배기가스량 규제현황

한국은 생산량으로는 세계에서 가장 큰 단일 시장이지만 가정용 가스보일러에서 배출되는 배기가스에 관한 규제는 서유럽 등 선진국에 비교할 때 미흡한 실정이다. 유럽, 일본, 미국 등 선진국에서는 Table 2.1과 같이 보일러의 유해배기가스를 세분화하여 산업용 보일러에서 가정용 가스보일러에 이르기까지 유해배기가스에 대한 명확한 규제기준을 제시하고 있

다. Table 2.2의 <대기환경보전법 시행규칙 별표 8>에는 각종 시설물에서 발생하는 배기 가스의 국내 배출기준이 나와 있다. 한국은 온실가스 및 유해가스 저감을 위한 발전설비, 석유화학 산업시설 및 사업장내의 규제기준설정 및 강화조치, 관리시스템 등의 대응체제는 비교적 구체적으로 구축해 나가고 있으나 가정용 가스보일러 등과 같은 완제품의 사용과정에서 발생하는 유해가스에 대한 배출규제는 상대적으로 취약한 실정이며 특히 민간부문에서 발생하는 유해배기가스의 규제기준은 미비하다.

### 3) 유해가스 배출 현황 및 유해성 분석

대표적인 유해가스로는 일산화탄소( $CO$ ), 질소산화물( $NO_x$ ), 황산화물( $SO_x$ ), 이산화탄소( $CO_2$ )와 오존( $O_3$ ) 등이 있다. 질소산화물이 대기 오염에서 중요한 이유는 이산화질소의 경우 광화학 분해 작용에 의해 대기 중 오존의 양을 증가시키고 탄화수소와 함께 스모그를 생성시켜 인체 및 동식물에 피해를 입히기 때문이다. 인간 활동에 의한 대기 중의 이산화탄소 농도의 상승은 온실 효과를 유발하여 지구 온난화를 일으키고, 지구 온난화로 인해 발생하는 기후 변동 등은 생태계와 인류에게 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 일산화탄소는 연료 중 탄소가 산소보다 과잉 공급되어 불완전 연소하는 경우 발생하는 유해가스로서, 대부분 자동차, 보일러, 쓰레기 소각 등 인간 활동에서 기인한다. 대기에 존재하는 일산화탄소는 무색·무취한 유독성 기체로 토마토를 제외한 식물에는 피해를 주지 않으나 인간은 소량을 흡입하더라도 중독을 일으켜 목숨을 잃을 수 있다. 오존은 일반적으로 탈취효과, 살균효과, 공기정화, 유해물 박멸 등의 긍정적 효능이 있다고 알려져 있으나 고무제품과 같은 물질을 손상시키거나 인체에 유해한 영향을 주기도 한다.

### 3. 실험

가정용 보일러의 배기가스 성분을 분석하기 위해 경동나비엔의 협조를 받아 경인지역에서 20,000kcal/h 일반형 보일러 50대를 추출하여 연소폐가스측정기(PCO, Testo, 독일) 센서가 설치된 연통에 삽입하여 연소폐가스의 온도, 산소, 일산화탄소, 이산화탄소, 일산화질소, 질소산화물, 폐가스 효율을 동일 조건에서 3회 반복하여 측정하였다. Table 2.3에서 Table 2.5는 시험 결과의 일부 데이터를 나타내었다. 시험결과를 국외 배기가스 기준에서 제시된 것과 같이 산소 배출량을 0%로 보정한 자료를 통해 해외 가정용 가스보일러 배출기준과 비교하면 배출가스의 유해 성분이 기준치를 크게 초과하고 있는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

이 연구에서는 국내외 가정용 가스보일러의 보급현황과 국내외 배기가스 규제현황을 분석하여 국내 보급된 가정용 가스보일러에서 발생한 배기가스의 환경 유해성을 평가하였다. 보일러 구조, 제조사별 국내 가정용 가스보일러 보급현황을 파악한 후 국내외 가정용 가스보일러의 배기가스량 규제 현황 조사 및 비교 분석을 수행하였다. 규제 적용 대상 및 각 대상의 배기량 허용기준치를 비교 분석하고 기후변화협약과 관련된 국내외 배기가스 규제 현황을 파악하였다. 그리고 가정용 가스보일러에 대하여 각 배기가스의 성분별 유해성 조사를 수행하였다.

50개의 가정용 가스보일러에 대한 시험을 통해 가정용 가스보일러 일반형을 연소시켰을 때 나오는 배기가스 중 일산화탄소, 이산화탄소, 일산화질소, 질소산화물의 배출량을 조사한 결과 해외 가정용 가스보일러 배출기준과 비교하였을 때 일부 보일러의 배출가스의 유해 성분이 기준치를 크게 초과하고 있는 것을 확인하였다. 그러므로 현재 산업용 발전설비의 배기가스 배출에 초점을 맞추고 있는 규제기준을 세분화하여 가정용 가스보일러의 배기가스 성분 및 배출량을 규제하는 기준을 시급히 마련해야 한다. 그러나 배기가스 성분들 간의 복잡한 상호관계를 찾아내기 위해서는 다변량 회귀분석 또는 인공신경망(Artificial Neural Network) 등의 기법을 이용하여 다수의 변수 간 상관관계를 찾는 등 추가적인 연구가 필요

하다. 이러한 연구결과를 통하여 향후 국내 가정용 가스보일러 배출가스 특성에 따른 배기가스량 예측 모델 개발 및 환경영향평가의 중요한 기초 자료로 활용할 수 있다.

사사

이 연구는 에너지관리공단의 “가정용 가스보일러 배기가스의 유해성 분석 및 환경영향평가” 과제의 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 5. 참고문헌

1. 가스안전공사. 가스온수보일러 설치 기준, 한국가스안전공사, 2001
2. 광채식. 선진국의 가스안전관리체계, 한국가스안전공사 제30권 제6호, 2004
3. 김진균. 전국 도시가스보일러 설치현황 및 향후과제, 한국가스안전공사 제30권 제11호, 2004
4. 장석원; 임상규; 정훈; 이인철. 보일러 연소해석시와 측정시의 연소가스 중량 및 체적비교, 대한기계학회 2003년 추계학술대회 논문집, 2003
5. 장영기; 최상진; 김관; 송기봉; 김호정; 정봉진. 천연가스 사용 난방 및 산업보일러의 NOx와 CO 배출계수 산정 연구, 한국대기환경학회지 제20권 제5호, 2004
6. Mr Bob Joynt; Mr Stephen Wu. Nitrogen oxides emissions standards for domestic gas appliances, Environment Australia, 2000
7. Sarmiento, J. L.; P. Monfray; E. Maier-Reimer; O. Aumont; R. Murnane; J. C. Orr. Sea-air CO<sub>2</sub> fluxes and carbon transport: a comparison of three ocean general circulation models, Global Biogeochem. Cycles, 14, 4, 1267-1281, 2000

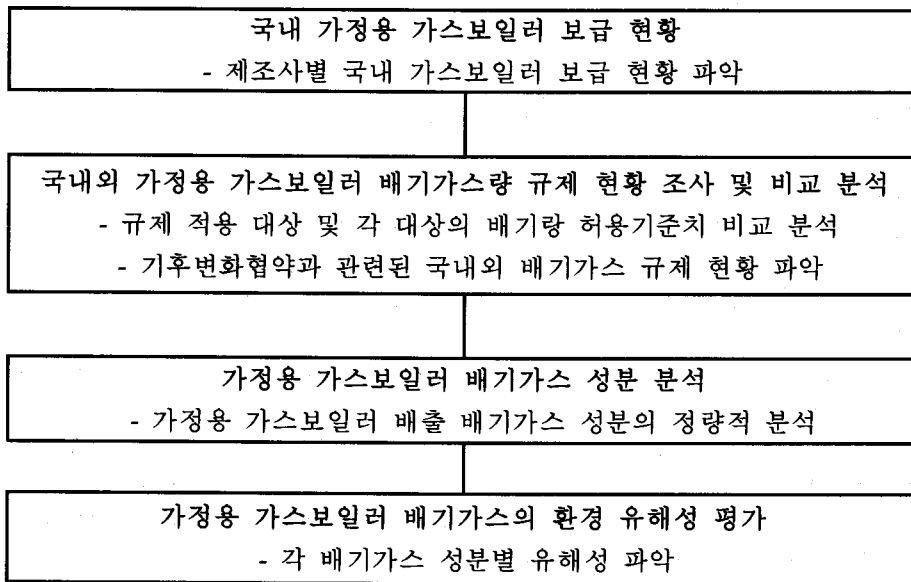


Figure 1.1 가정용 가스보일러 배기가스의 유해성 분석 및 환경영향평가 연구의 시스템 구성도와 구조

Table 2.1 Nitrous oxide emission standards in Germany (Yamada and Desprets, 1997)

| Flued Appliances                                   | mg( $NO_x$ )/kWh              |
|--|-------------------------------|
|  | (ppm @ 0% O <sub>2</sub> dry) |
| Natural gas central heating boiler < 2 MW input    | 200 (113)                     |
| Natural gas room heater < 13.5 kW input            | 200 (113)                     |
| Fan assisted natural gas burner <1.2 MW input      | 150 (85)                      |
| Wall mounted natural gas boiler < 35 kW input      | 200 (113)                     |
| LPG central heating boiler < 2 MW input            | 300 (169)                     |
| LPG room heater < 13.5 kW input                    | 240 (135)                     |
| Fan assisted LPG burner <1.2 MW input              | 300 (169)                     |
| Wall mounted LPG boiler < 35 kW input              | 240 (135)                     |
| Unflued Appliances                                 | mg( $NO_x$ )/kWh              |
|  | (ppm @ 0% O <sub>2</sub> )    |
| Natural gas central furnace without heat exchanger | 1.8 @ high excess air         |
| Natural gas radiant heater < 120 kW input          | 60 (34)                       |
| LPG central furnace without heat exchanger         | 3 @ high excess air           |
| LPG radiant heater < 120 kW input                  | 90 (51)                       |

Table 2.2 배출허용기준 - 가스상 물질 (2009.12.31까지 적용)

| 오염물질                                  | 배출시설  | 배출허용기준   |  |                                   |
|---------------------------------------|---|--|--|-----------------------------------|
| 일산화탄소<br>(ppm)                        | (1) 소각시설 또는 소각보일러<br>(가) 소각용량 2톤(감염성폐기물 처리시설은 200kg)/시간 이상인 시설  | 50(12) 이하  |  |                                   |
|                                       | (나) 소각용량 200kg/시간 이상 2톤/시간 미만인 시설   | 200(12)이하  |  |                                   |
|                                       | (다) 소각용량 200kg/시간 미만인 시설  | 300(12)이하  |  |                                   |
|                                       |   |  |  |                                   |
| 황산화물<br>(SO <sub>2</sub> 로서)<br>(ppm) | (1) 일반보일러<br>(가) 액체연료 사용시설<br>1) 배출가스량 50,000m <sup>3</sup> /시간 이상인 시설<br>가) 저황유 사용지역<br>① 1.0% 이하<br>② 0.5% 이하<br>③ 0.3% 이하<br>나) 그 밖의 지역              | 270(4) 이하<br>270(4) 이하<br>180(4) 이하<br>270(4) 이하   |  |                                   |
|                                       | 2) 배출가스량 50,000m <sup>3</sup> /시간 미만인 시설<br>가) 저황유 사용지역<br>① 1.0% 이하<br>② 0.5% 이하<br>③ 0.3% 이하<br>나) 그 밖의 지역  | 540(4) 이하<br>270(4) 이하<br>180(4) 이하<br>540(4) 이하   |  |                                   |
|                                       | (나) 고체연료 사용시설(액체연료 혼합시설 포함한다)<br>1) 고체연료사용 규제지역<br>2) 그 밖의 지역<br>가) 국내에서 생산되는 무연탄을 사용하는 시설<br>① 기존시설<br>② 신규시설<br>나) 그 밖의 고체연료 사용시설<br>① 기존시설<br>② 신규시설 | 250(6) 이하<br><br><br>500(6) 이하<br>150(6) 이하<br><br>250(6) 이하<br>150(6) 이하  |  |                                   |
|                                       | 질소산화물<br>(NO <sub>2</sub> 로서)<br>(ppm)  | (1) 일반보일러<br>(가) 액체연료 사용시설<br>1) 배출가스량 100,000m <sup>3</sup> /시간 이상인 시설<br>가) 기존시설<br>나) 신규시설<br>2) 배출가스량 10,000m <sup>3</sup> /시간 이상 100,000m <sup>3</sup> /시간 미만인 시설<br>가) 기존시설<br>나) 신규시설<br>3) 배출가스량 10,000m <sup>3</sup> /시간 미만인 시설<br>(나) 고체연료 사용시설<br>1) 기존시설<br>2) 신규시설<br>(다) 국내에서 생산되는 석유코크스 사용시설<br>(라) 그 밖의 배출시설 | 250(4) 이하<br>70(4) 이하<br><br>250(4) 이하<br>200(4) 이하<br>250(4) 이하<br><br>250(6) 이하<br>150(6) 이하<br>200(6) 이하<br>250 이하        |                                   |
|                                       |   | 황화수소<br>(ppm)  | (1) 소각시설 또는 소각보일러<br>(가) 소각용량 2톤(감염성폐기물 처리시설은 200kg)/시간 이상<br>(나) 소각용량 200kg/시간 이상 2톤/시간 미만인 시설<br>(다) 소각용량이 200kg/시간 미만인 시설 | 2(12) 이하<br>2(12) 이하<br>10(12) 이하 |

Table 2.3 배기온도에 따른 배기가스 성분 시험 결과 1

| 시행<br>횟수 | 배기온도<br>(°C) | 측정 배기가스 성분            |             |                        |             |                          | 효율<br>(%) |
|----------|--------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-----------|
|          |              | O <sub>2</sub><br>(%) | CO<br>(ppm) | CO <sub>2</sub><br>(%) | NO<br>(ppm) | NO <sub>x</sub><br>(ppm) |           |
| 1        | 138.3        | 9.7                   | 75(139)     | 6.46(12)               | 33(62)      | 35(65)                   | 81.9      |
| 2        | 135.8        | 10.5                  | 81(161)     | 6.01(12)               | 31(62)      | 33(66)                   | 82.3      |
| 3        | 136.2        | 10.0                  | 81(154)     | 6.41(62)               | 33(63)      | 35(67)                   | 83.1      |

Table 2.4 배기온도에 따른 배기가스 성분 시험 결과 2

| 시행<br>횟수 | 배기온도<br>(°C) | 측정 배기가스 성분            |             |                        |             |                          | 효율<br>(%) |
|----------|--------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-----------|
|          |              | O <sub>2</sub><br>(%) | CO<br>(ppm) | CO <sub>2</sub><br>(%) | NO<br>(ppm) | NO <sub>x</sub><br>(ppm) |           |
| 1        | 139.4        | 9.8                   | 79(148)     | 6.56(12)               | 31(57)      | 33(61)                   | 82.0      |
| 2        | 132.0        | 9.7                   | 75(139)     | 6.50(12)               | 31(58)      | 33(62)                   | 82.1      |
| 3        | 143.4        | 9.0                   | 80(140)     | 6.64(12)               | 29(51)      | 31(55)                   | 82.3      |

Table 2.5 배기온도에 따른 배기가스 성분 시험 결과 3

| 시행<br>횟수 | 배기온도<br>(°C) | 측정 배기가스 성분            |             |                        |             |                          | 효율<br>(%) |
|----------|--------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-----------|
|          |              | O <sub>2</sub><br>(%) | CO<br>(ppm) | CO <sub>2</sub><br>(%) | NO<br>(ppm) | NO <sub>x</sub><br>(ppm) |           |
| 1        | 125.7        | 8.4                   | 98(162)     | 7.13(12)               | 32(53)      | 34(57)                   | 81.8      |
| 2        | 134.3        | 8.5                   | 90(151)     | 6.85(12)               | 35(58)      | 37(62)                   | 82.3      |
| 3        | 133.3        | 8.7                   | 98(168)     | 6.69(11)               | 33(57)      | 35(60)                   | 82.7      |