

천연가스 사용설비에서 배출되는 오염물질 특성에 관한 연구

이중성, 이현찬, 유현석, 한정옥
한국가스공사 연구개발원

A Study on Characteristics of Pollutants from LNG Facilities

J.S. Lee, H.C. Lee, H.S. You, J.O. Han
KOREA GAS CORPORATION R&D Center

1. 서론

우리나라의 경우를 살펴보면 천연가스로의 연료전환에 따른 온실가스 배출량 산출시 국내 대기오염물질 배출원에 대한 배출계수 개발연구가 매우 미진한 상태로서 미국 (EPA AP-42) 등 선진국의 계수를 그대로 사용하고 있기 때문에 국내 실정에 적합하지 않아 국가의 중장기 대기관리 정책수립, 방지기술의 개발, 지역적 대기오염물질 배출량 산정 등에 실질적으로 활용하기에 많은 어려움이 있어 왔다. 따라서, 점차 환경 친화적인 청정성 때문에 그 사용이 증가하고 있는 천연가스에 대하여 온실가스 저감 및 환경 개선에 대한 구체적인 모니터링과 평가방법을 개발하여 이에 대한 인증 및 지원방안 마련이 필요하며, 에너지원별 사용에 따라 국내 실정에 맞는 실질 배출계수를 도출하여 천연가스의 청정연료로서의 우위성을 확보하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 국내에서 사용되는 주요 천연가스 사용설비에서 배출되는 오염물질의 실태를 조사·분석함으로써 환경규제 대응방안으로서의 천연가스의 역할을 재정립하여 향후 천연가스 보급확대를 위한 기초자료를 구축하고자 하였으며, 이를 위해 산업, 건물, 가정 부문의 천연가스 사용설비와 한국가스공사 공급기지 내 대량 소비처에서 배출되는 CO, CO₂, NO_x 등의 배출계수를 공정 및 부하별로 현장 측정하여, 이를 토대로 천연가스 사용설비의 대기오염물질 배출량과 온실가스 배출량을 산출하여 다른 연료와 비교·분석함으로써 천연가스 연료의 청정성을 확보하고자 하였다.

2. 천연가스 사용설비 현황

1) 가스 열병합 발전설비

본 연구에서는 향후 천연가스 사용설비로서 그 보급이 기대되고 있는 소형 가스 열병합 발전설비(가스 엔진) 가운데 상시 가동하는 설비를 위주로 하여 6개 업체에 대하여 측정을 실시하였으며, 소형 가스 열병합 발전설비 이외에 천연가스를 사용하는 발전설비에 대해서는 4개소의 발전소를 대상으로 하여 배출오염물질 측정을 실시하였다.

2) 가스 보일러

본 연구에서는 보일러부문에 대한 배출계수 실측조사를 위하여 공단에서 보유하고 있는 검사대상 열사용기기 보유업체 명단을 활용하였으며, 이러한 검사대상기기 보유업체 가운데 검사대상기기 중 가스보일러를 보유하고 있는 업체를 대상으로 하였으며, 배출가스 현장 실태(실측)조사 업체의 표본추출을 위해 공단 각 시·도시사에서 검사대상기기의 성능검사 업무와 병행하여 가스보일러를 대상으로 연소성능 측정을 수행하였으며, 그 결과를 기준하여 조사 대상업체를 선정하였다.

3. 배출계수의 산출방법[1]

1) 오염물질 배출량 조사방법: 대기오염배출량을 계산하기 위한 기본적인 방법은 다음과 같다.

- 가. 연속 배출농도 측정 자료 이용(CEMs)
- 나. 배출 조사(Source Testing)
- 다. 물질수지방법(Material balance method)
- 라. 배출량 산출 모델(Emission estimation model)
- 마. 배출계수(emission factor)
- 바. 연료 분석 (Fuel analysis)

2) 배출계수 산출절차

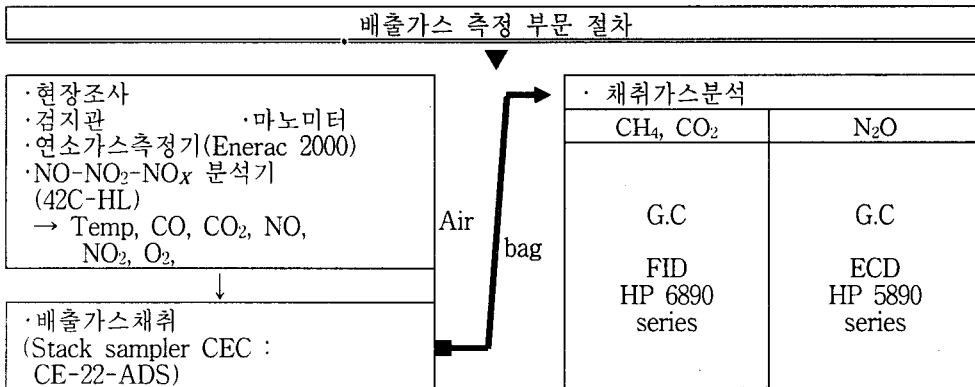
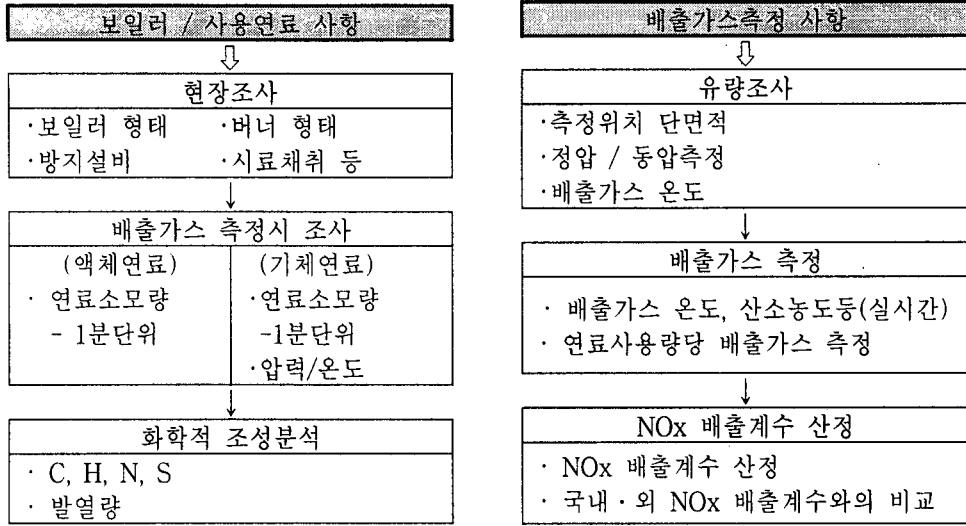
LNG 배출계수를 산출하기 위해 실측하는 과정을 도식화하면 [그림-1]과 같으며, 배출가스 유량의 측정은 현장에서 Pitot Tube를 이용한 실측과 LNG 연료 조성을 이용한 이론적인 배출가스량을 구하여 비교 분석하였다.

4. 배출오염물질의 측정

본 연구에서는 LNG 사용시설중 산업용 보일러, 난방용 보일러, 발전 시설, 요·로 시설, 가정용 가스보일러, 가스공사 공급기지의 대용량 설비를 대상으로 배출농도와 배출특성을 조사하여 대기오염물질 NOx, CO와 온실가스물질 CO₂, CH₄, N₂O의 배출계수를 산정하였으며, 실측 대상 업체수는 <표-1>과 같다.

LNG사용 산업용 보일러의 배출농도를 측정하기 위하여 현장 조사를 실시한 산업용 보일러는 총 18개 시설에 대하여 18회 측정을 하였다. 산업용 보일러의 배출가스의 측정은 30 ~ 60 분 가량 연속적으로 이루어 졌으며, 배출계수 산정시에는 측정 시간 중 안정한 상태에서의 평균 농도를 이용하였으며, 산업용 보일러 시설의 배출농도는 <표-2>와 같으며, 일부는 생략하였다.

NOx의 배출 형태는 99% 이상이 NO의 형태로 배출되는 것을 알 수 있으며, 농도는 13.60 ~ 125.43 ppm 범위에서 나타나는 것을 알 수 있다. 2번 보일러의 경우에는 불완전연소가 되어 CO 농도가 444 ppm 까지 높게 나타났으며, 상대적으로 NOx 는 13.6 ppm으로 낮게 배출되는 것으로 나타났음. N₂O의 경우에는 0.17 ~ 0.85 ppm으로 대부분의 시설이 비슷한 농도는 나타냄을 알 수 있다. 배출가스량과 실측 농도를 이용하여 산출한 배출계수는 <표-3>과 같다. 나머지 설비의 경우도 이와 같은 방법으로 농도를 측정해 배출계수를 산정했다.



[그림-1] 배출계수 측정 절차

<표-1> 실측 조사 대상 시설수

구 분	시 설 수(개소)
산업용 보일러	15
난방용 보일러	15
발전 시설	10
요 · 로 시설	5
가정용 가스보일러	5
계	잘못된 계산식

<표-2> 산업용 보일러의 배출가스 농도(단위 : ppm)

보일러 시설 업체	NO	NO ₂	NO _x	CO	CH ₄	N ₂ O
A-1	-	-	42.08	23.18	N.D	0.67
A-2	89.00	0.00	89.00	444.00	10.48	0.60
A-15	76.50	0.01	76.51	7.68	N.D	0.45

* N.D : 측정한계 1ppm 이하

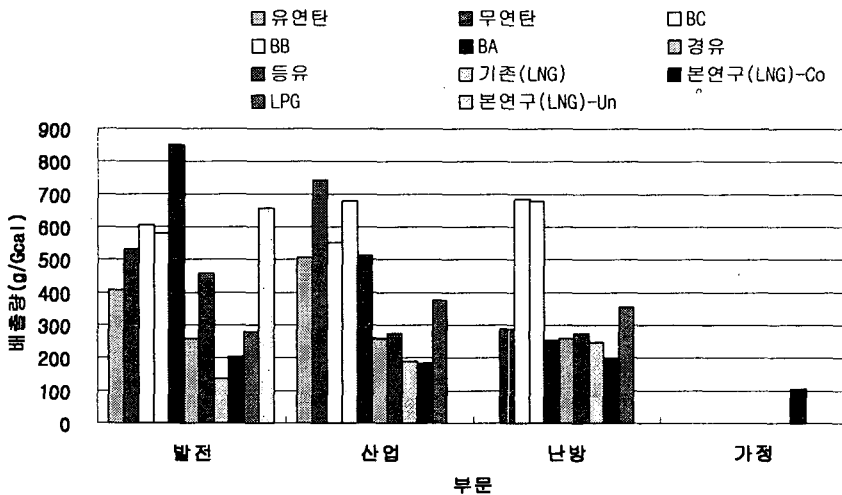
<표-3> 산업용 보일러의 배출계수

구분		용량	NO _x kg/10 ³ m ³	CO kg/10 ³ m ³	CH ₄ kg/10 ³ m ³	N ₂ O kg/10 ³ m ³
A-1	관류	100 만kcal	1.30	0.44	-	0.020
A-3	노통	3	1.45	0.10	0.074	0.061
A-6	노통	4	1.92	0.02	-	0.010
A-7	노통	5	1.89	0.21	-	0.012
A-8	노통	6	1.71	0.03	0.016	0.018
A-11	수관	10	1.35	0.07	-	0.005
A-12	수관	15	1.84	0.09	-	0.006
A-14	수관	20	2.23	0.17	0.024	0.006
A-15	수관	40	1.95	0.12	-	0.011

5. 천연가스의 환경분석

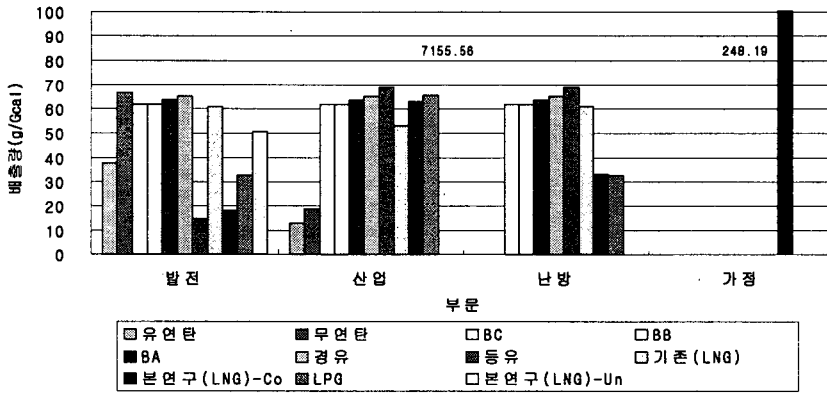
○ 천연가스와 타연료의 배출계수 비교[2]

다른 연료와 열량대비 NO_x 배출계수를 비교하여 보면 발전부문(외연발전)의 경우 NO_x 저감장치가 있는 LNG 사용 시설의 배출계수는 다른 연료의 배출계수보다 모두 작았고, 특히 석탄과 중유발전 배출계수보다는 크게 작았다.

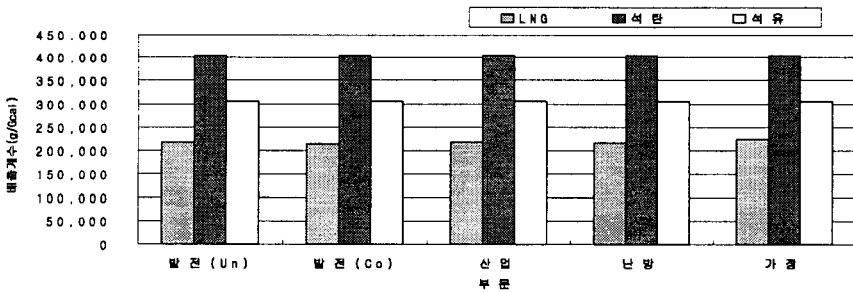


[그림-2] 연료별 NO_x 배출계수 비교

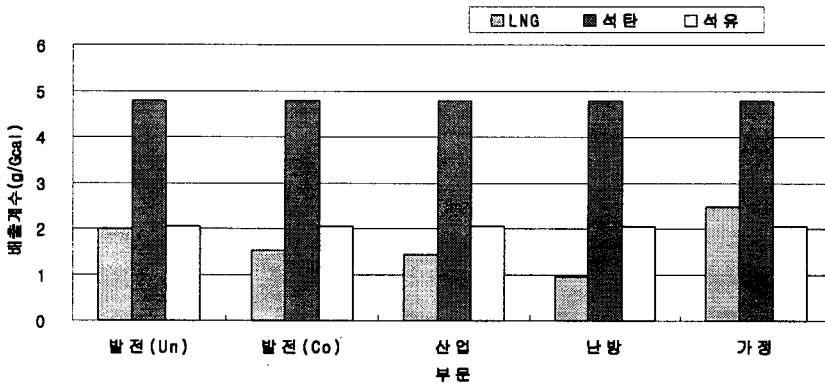
산업용과 난방용 보일러의 NOx 배출계수는 LNG가 다른 연료보다 모두 작게 나타났다. 가정용 가스보일러의 NOx 배출계수는 다른 연료의 기존 난방용 배출계수보다 모두 더 작게 나타났다



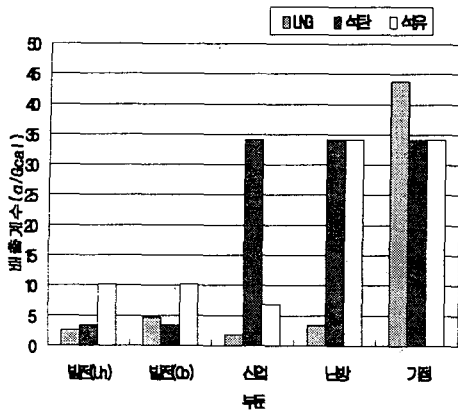
[그림-3] 연료별 CO 배출계수 비교



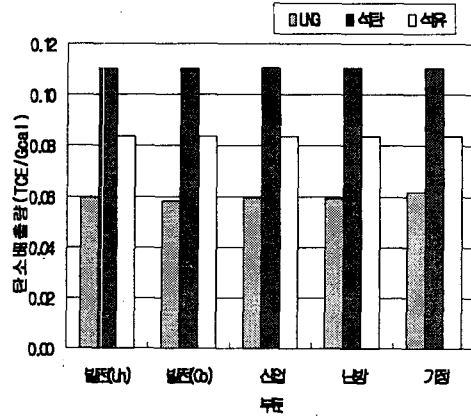
[그림-4] 부문별 CO₂ 배출계수 비교



[그림-5] 부문별 N₂O 배출계수 비교



[그림-6] 부문별 CH₄ 배출계수 비교



[그림-7] 부문별 TCE 배출계수 비교

6. 결론

1) 다른 연료와 열량대비 NO_x 배출계수를 비교하여 보면 발전부문(외연발전)의 경우 NO_x 저감장치가 있는 LNG 사용 시설의 배출계수는 다른 연료의 배출계수보다 모두 작았고, 특히 석탄과 중유발전 배출계수보다는 크게 작았음. 산업용과 난방용의 NO_x 배출계수도 LNG가 다른 연료보다 모두 작게 나타났으며, 가정용 가스보일러의 NO_x 배출계수도 다른 연료의 기존 난방용 배출계수보다 모두 작게 나타났음.

2) LNG의 단위 열량당 CO₂, CH₄, N₂O 배출계수를 다른 연료와 비교하여 보면 LNG의 CO₂ 배출계수는 석탄, 석유보다 크게 작았음. N₂O 배출계수는 석탄보다 크게 작았고 가정용을 제외하면 석유보다도 작았음. CH₄ 배출계수는 대부분 용도에서 다른 연료보다 크게 작았으나 가정용의 경우는 석탄, 석유보다 크게 나타났음. 연료별 단위 열량당 온실가스물질의 배출량을 탄소환산 배출량으로 환산하여 비교하면 LNG는 석탄보다는 절반 수준, 석유보다는 약 2/3 수준으로 온실효과에 기여하는 정도가 훨씬 작았음.

3) 천연가스는 타연료에 비하여 SO_x, TSP가 거의 배출되지 않고, NO_x는 산업, 난방 부문에서 다른 연료에 비하여 적게 배출되며, 발전부문에서도 저감장치가 있는 경우에는 다른 연료에 비하여 적게 배출되었음. 뿐만아니라 천연가스는 온실가스물질의 단위 열량당 배출량도 다른 연료에 비하여 크게 작아 상대적인 환경성이 높게 평가되었음.

7. 참고문헌

- 1) EPA. AP-42 5th,1995
- 2) 환경부, 국립환경연구원, 대기오염물질 배출량, 2001