

건축물내 일산화탄소 경보기 설치에 관한 연구

강승규*, 최경석*, 오정석*

한국가스안전공사 가스안전연구원*

A Study on Installation of Carbon Monoxide Detector in a Building

Kang Seung Kyu*, Choi Kyung Suhk*, Oh Jeong Seok*

*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation**

Abstract - In the last five years, 45 people died and 104 were wounded because of carbon monoxide poisoning accident. CO poisoning accident is higher than any other gas accident in the rate of deaths/incidents. Most of these CO poisoning accidents were caused by defective exhaust tube in the old gas boiler and multi-use facility. In this study, the spread of CO gas released from leakage hole of exhaust tube was analyzed by concentration measuring test. CO gas leaked from exhaust tube in a building was highest concentrated near the ceiling. Through these experiments, the reasonable installation location of CO alarm was made certain and suggested.

1. 서 론

가정용 가스보일러는 1980년대 초 국내에 소개된 이후 매우 빠른 속도로 보급이 확산되어 2007년 현재 약 1,000만대가 보급되어 있고, 연 100만대 수준의 수요를 보유하고 있어 우리나라가 단일 국가로서는 세계 최대의 시장을 형성하고 있다. 그러나 안전기준 및 기술은 미흡한 상황으로, 선진외국에 비해 보일러에 의한 CO중독사고가 빈번히 발생하여 상당한 인명피해가 발생하고 있다.^[1] 일본은 가스사업법과 LP가스법에서 특정시설에 대해 경보기 설치를 의무화 하고 있으며, 고압가스보안협회(KHK)와 가스기기협회(JIA)에서 경보기 성능검사를 수행하고 있다.^[2] 미국은 UL 2034^[3], 유럽은 EN 50291^[4] 및 BS 7860^[5]으로 CO경보기의 품질을 검사하고 있고, 설치에 관한 국가기준은 없지만 가스공급사의 내부규정에 따라 대부분 설치 및 보급되고 있는 실정이다. 국내는 소방방재청에서 CO경보기의 검정을 실시하고 있다.^[6] 고압가스안전관리기준에서는 가연성가스와 독성가스에 대해서만 설치기준을 정하고 있고^[7], 불완전연소가스에 대

한 규정은 없다. 이처럼 CO경보기의 설치에 관한 기준이 전혀 없는 상태여서 CO경보기의 보급이 활성화되고 있지 못하다. 매년 상당한 인명피해를 발생시키고 있는 CO가스에 대한 안전체계가 매우 미흡한 상황이라 하겠다.

본 연구는 심각한 인명피해를 초래하는 CO중독 사고의 예방을 위하여, 연소기 설치건물 내부에 CO경보기를 설치하도록 하는 불완전연소가스 경보기에 대한 설치기준을 마련하고자 한다. 가스누설 경보기는 누설가스의 특성에 따라서 적절한 설치위치를 결정해야 한다.^[8] 본 연구에서는 CO센서 및 경보기 설치실험을 통해서, 배기구에서 누출된 불완전연소가스(CO)의 누출확산 메커니즘을 해석하고 CO경보기의 적정설치 위치를 제안하고자 한다.

2. CO가스 중독

일산화탄소(CO)는 체내에 산소를 운반하는 역할을 하는 혈액중의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈(COHb)을 만들어 혈액의 산소운반 능력을 저하시켜

Table 1. Symptoms of poisoning with the CO concentration.

CO (ppm)	Symptoms
50	작업장환경기준 허용농도
200	2-3시간 이내 두통, 어지러움
400	1시간 이내 두통, 어지러움, 구토, 3시간 내 사망
800	20분 이내 두통, 어지러움, 구토, 1시간 내 사망
1600	30분내 사망

그 농도에 따라 사망에 이를 수 있다. 체내 혈액 중 일산화탄소-헤모글로빈의 증가는 흡입공기량의 일산화탄소 농도에 비례한다. 개인의 건강상태에 따라 다를 수 있지만, CO농도에 따른 중독증상은 Table 1과 같다.^[9] 최근 5년(2002년~2006년)간 가스사고 중 전체 CO중독 사고는 45건이고, 이 중 보일러에 의한 CO중독사고가 34건으로 76%를 차지하여 CO중독 사고는 대부분 보일러에 의해 발생하고 있다.(Table 2 참조) 가스사고에 의한 최근 5년간 사망자 수는 89명인데, 그 중 36명이 보일러 CO중독에 의한 사망으로 전체 사망자의 40%를 차지한다. 가스보일러 사고를 원인별로 분석하여 보면, 배기통 설치기준 미준수에 의한 사고가 35%, 배기통 연결부 이탈에 의한 사고가 30%, 그 밖의 제품불량 및 기타가 35%를 차지하는 것으로 보고되고 있다.^[1] 결국 가스보일러 사고의 65%가 Fig.1과 같은 배기통 불량 설치 및 관리소홀로 인한 사고임을 확인할 수 있다. 이와 같은 배기통에 의한 가스누출로 인해 CO중독 사고가 발생하고 있으며, 건축물 내부에 CO경보기를 설치하여 가스누출을 경고하여 준다면 치명적인 인명피해를 사전에 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 실험 및 방법

건축물내의 가스 연소기 설치 공간에서

Table 2. Gas accident status for recently 5 years.

구 분	'02	'03	'04	'05	'06	계
전체 가스사고	119	119	110	109	112	569
사망률	0.20	0.13	0.22	0.15	0.09	0.16
전체 CO중독사고	11	5	8	12	9	45
사망률	1.20	0.80	1.75	0.75	0.56	1.01
보일러 CO중독사고	10	5	7	7	5	34
사망률	1.30	0.80	1.86	0.29	0.80	1.06

배기가스가 누출될 경우 실내 일산화탄소 분포 특성을 확인하기 위하여 Fig.2 및 Fig.3과 같은 실험 장치를 구성하였다. 3m×2.2m×2.0m의 내부 공간을 가지는 환경시험기 내부에 가스보일러 및 순간가스온수기를 설치하고, 24지점에 CO센서와 CO경보기를 설치하고 배기통의 누출구로부터 배기가스가 누설될 경우 CO농도 및 경보기 작동상



Fig. 1 Gas boiler accident by break away of exhaust pipe.

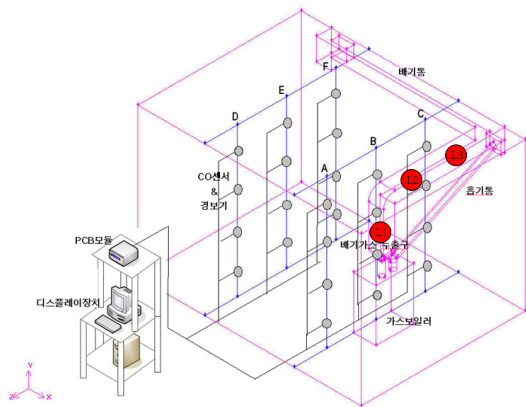


Fig. 2 Experimental setup for concentration measuring test.

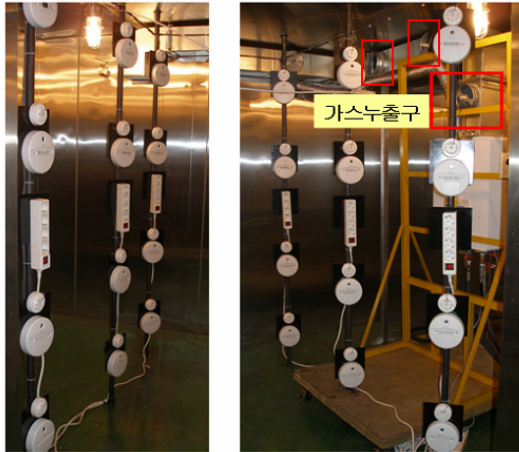


Fig. 3 The interior of chamber installed CO sensors and alarms.

황을 실험하였다. 연소기 설치위치로부터 1m 및 2m 지점에 CO센서 및 경보기 설치대를 구성하여, 6지점(A, B, C, D, E, F)에서 천정으로부터 30cm, 45cm, 그리고 바닥으로부터 30cm, 45cm 위치에 센서 및 경보기를 설치하였다. 센서 설치지점의 표시는 천정으로부터 하첨자 1, 2, 3, 4를 붙여 센서 위치를 구별한다. (예, A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4 등) 배기통에는 임의로 L1, L2, L3의 가스누출구를 만들어 누출구를 개방할 시 실내로 배기가스가 유입되도록 하

였다. 농도측정을 위한 CO센서는 일본 FIGARO사의 전기화학식 센서로 CO가스가 존재하지 않는 상태에서는 $1.0 \pm 0.05V$ 를 표시하고, CO가스가 존재하면 그 농도에 따라서 발생한 TGS5042 모듈의 출력전류를 출력전압(V_{out})으로 변환하여 내보내게 된다.

$$I_s = (V_{out} - 1.0) / 3.13 \quad (1)$$

여기서 I_s 는 센서 출력전류값(μA), 그리고 V_{out} 은 출력전압(V)을 나타낸다. CO가스농도와 출력전압변화의 관계는 Fig.4와 같이 직선적으로 변화하게 된다.

4. 센서 설치실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 연소기는 용량 9,000kcal/h의 가스순간온수기와 용량 13,000kcal/h 그리고 20,000kcal/h의 가정용 가스보일러이다. 정상적인 작동조건에서 연소 배기가스 중 일산화탄소의 농도는 50ppm 미만으로 아주 적은 양이 방출된다. 그러나 CO중독 사고현장의 사고조사 결과를 보면, 사고 연소기의 배기가스 중 CO농도는 1000~3000ppm의 높은 CO농도를 보이고 있다. 본 연구에서는 사고 상황과 유사한 환경을 만

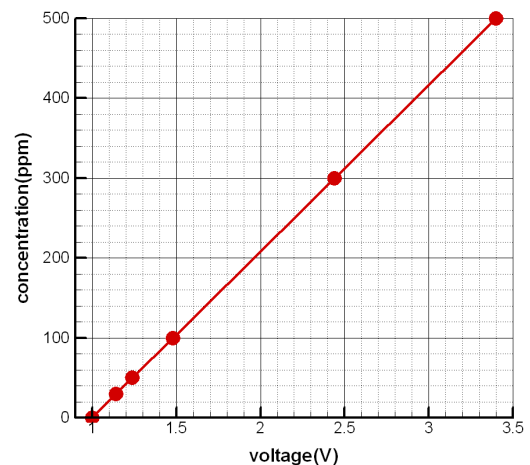
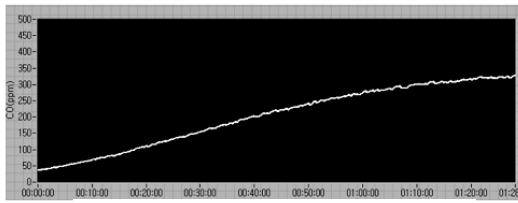
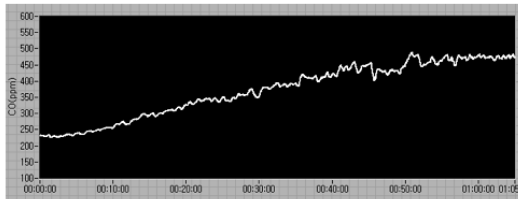


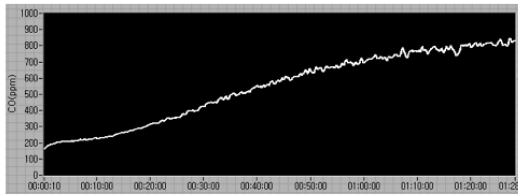
Fig. 4 The response characteristic of carbon monoxide sensor.



(a) Gas water heater(9,000kcal/h)



(b) Gas boiler(13,000kcal/h)



(c) Gas boiler(20,000kcal/h)

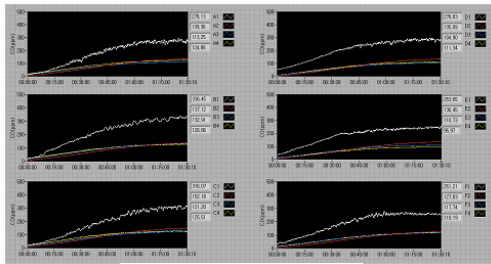
Fig. 5 Measured CO concentration at the exhaust ports of gas burners.

들기 위해, 연소기의 흡기구를 개방하여 실내로 누출된 배기가스가 다시 연소기의 흡기구로 유입되도록 하였다. 공기량의 부족으로 인한 불완전연소가 발생하도록 하여 배기가스 중 일산화탄소의 농도를 높이고자 한 것이다. Fig.5는 연소기 배기구에서 일산화탄소 농도측정 결과이다. 시간이 경과하면서 흡입되는 공기량의 부족으로 인하여 연소기에서 배출되는 불완전연소가스(CO)의 농도가 점점 상승하는 것을 볼 수 있다. 용량 9,000kcal/h의 가스순간온수기는 1시간 경과 후 CO농도가 약 300ppm에 도달하였다. 그리고 13,000kcal/h의 가정용 가스보일러는 1시간이 경과되는 지점에서 약 500ppm, 20,000kcal/h의 가스보일러는 700ppm의 CO가스를 방출하였다. 용량이 증가할수록 동일한 시간대에 일산화탄소의 농

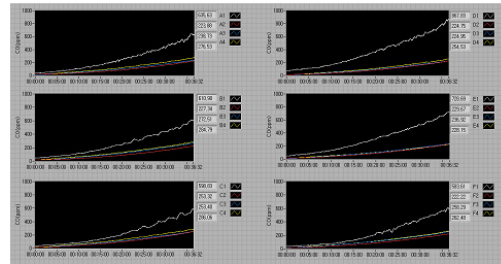
도가 높게 나타나는 것은 가스소비량 증가에 따라 연소되는 공기량이 증가하면서 제한된 실내의 공기량이 빠른 속도로 소모되기 때문이다.

Fig.6은 실내의 A, B, C, D, E, F 각 지점에서의 CO농도 측정값이다. (a)는 가스온수기를 작동하고, 누출구 L1을 개방하였을 때 시간 경과에 따른 24지점의 농도변화 그래프를 나타낸다. A, B, C, D, E, F 6지점의 천정부로부터 30cm 지점인 A1, B1, C1, D1, E1, F1에서 250~350ppm의 높은 농도분포를 보이고 있으며, 그 밖의 바닥 및 중간 지점에서는 100~150ppm 정도의 상대적으로 낮은 분포를 보이고 있다. 그리고 연소기 근처(약 50cm)인 B, C지점이 A, D, E, F지점보다 상대적으로 높은 농도분포를 보이고 있다. (b)는 13,000kcal/h 가정용 가스보일러를 사용하고, 누출구 L1을 개방하였을 때 실내의 CO가스 농도분포이다. 가스온수기의 경우와 마찬가지로 천정부근에서 270~360ppm의 높은 농도분포를 보이고 있으며, 바닥 및 중간 지점에서는 100~150ppm의 농도분포를 보이고 있다. 천정부근에서 상대적으로 다른 지점에 비해 높은 농도분포를 보이는 것을 확인 할 수 있다.

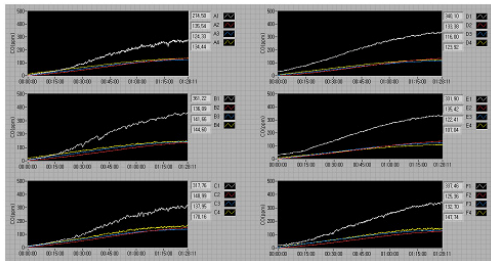
Fig.6의 (c), (d)는 배기통의 가스누출구 L1, L2, L3을 모두 개방하여 실내로 유입되는 배기가스의 양을 증가시켜 실험을 수행한 결과이다. (c)는 13,000kcal/h 용량의 가스보일러를 작동한 결과로서 35분 정도 경과한 후에 천정부근에서는 580~860ppm의 CO농도가 측정되었고, 그 밖의 지점에서는 220~280ppm의 CO가스가 측정되었다. 20,000kcal/h의 가스보일러를 작동한 (d)에서는 약 40분경과 후 천정부근에서 690~1100ppm의 일산화탄소가 측정되었고, 바닥 및 중간지점에서 220~300ppm의 농도가 계속되었다. 누출구 L1, L2, L3을 모두 개방하였을 때에 누출구 L1만을 개방하였을 때



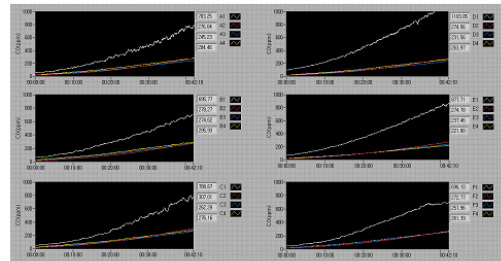
(a) experiment-1



(c) experiment-3



(b) experiment-2



(d) experiment-4

Fig. 6 Measured CO concentration in a chamber; (a),(b): L1 open, (c),(d): L1, L2, L3 open.

보다 매우 빠른 속도로 불완전연소가스가 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 L1만을 개방하였을 때에는 연소기 주변인 B, C지점에서 상대적으로 높은 농도분포를 보였으나 L1, L2, L3을 개방하였을 시에는 연소기 반대편인 D, E지점에서 높은 농도분포를 보인다. 이는 L1, L2, L3로부터 누설된 배기가스가 반대쪽 벽면과 부딪히면서 이지점에서 정체되는 현상에 의한 것으로 판단된다.

이상의 농도측정 실험 결과를 보게 되면, 연소기의 종류 및 누출구의 개방 여부에 따라 약간씩 농도분포의 특성이 다르게 나타나기도 하지만 천정부근에서의 농도분포가 그 밖의 바닥 및 중간지점에 비해 매우 높은 농도분포를 보이는 것은 공통적으로 나타나고 있다. 따라서 천정부근에 CO경보기를 설치하는 것이 매우 합리적이며, 일본의 천정부로부터 30cm 이내에 CO경보기를 설치하도록 하고 있는 기준^[2]을 국내에 적용하는 것을 적극 권장하는 바이다.

5. 경보기 설치실험 결과 및 고찰

CO가스 농도측정 실험 결과를 확인하는 차원에서 국내 3사 및 해외 3사의 CO경보기를 설치하여, 경보기 작동실험을 수행한 결과는 Fig.7과 같다. 제조사 마다 센서 타입이나 작동방법에 있어 차이가 있다. 성능면에서도 차이가 있을 수 있으나, 본 실험은 경보기의 작동성능을 평가하고자 한 것이 아니므로 이에 대한 평가는 하지 않았다. 다만 설치 위치에 따른 경보기의 작동 상황을 살펴보았다. 24지점에 설치된 CO경보기는 천정부로부터 30cm 지점에 설치된 A1, B1, C1, D1, E1, F1의 경보기가 가장 먼저 작동하고, 어느 정도 시간이 경과한 후(약 30~40분)에 바닥 및 중간지점의 경보기가 작동하였다. 이러한 결과는 이전의 농도측정 실험 결과와 부합하는 결과로서 CO경보기의 적정 설치 위치를 확인 시켜주는 것이다.

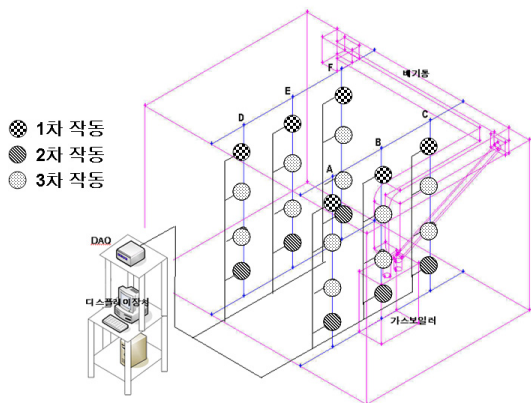


Fig. 7 Result of carbon monoxide alarms operation test.

6. 결 론

본 연구는 심각한 인명피해를 초래하는 CO중독 사고의 예방을 위하여, 연소기 설치건물 내부에 CO경보기를 설치하도록 하는 불완전연소가스(CO) 검지장치에 대한 설치기준을 제시하고자 하였다. 이를 위해 최근 발생한 CO중독사고의 유형을 분석하였고, 선진외국의 관련기준을 조사하였다. 그리고 본 연구에서는 CO센서 및 경보기 설치실험을 통해 배기구에서 누출된 불완전연소가스(CO)의 누출확산 메커니즘을 해석하고 CO경보기의 적정설치 위치를 제안하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 최근 5년간 발생한 보일러 CO중독사고의 65%가 배기통 설치기준 미준수 및 연결부이탈과 같은 배기통에 의한 배기가스 누출 사고임.
- 일본의 경우 가스사업법과 LP가스법에서 특정시설에 대해 CO경보기설치를 의무화 하고 있음.
- 국내는 고법 및 산업안전보건법에 가연성, 독성가스에 대한 설치기준이 있으나 불완전연소가스(CO)에 대한 규정 없음.
- 순간가스온수기 및 가정용 가스보일러를 작동하고, 누출구 L1만을 개방하였을 때와

누출구 L1, L2, L3을 개방하였을 때 농도측정 값을 확인한 결과 천정부근에서의 CO농도값이 바닥 및 그 밖의 지점에서 보다 2배 이상 높게 기록되었음.

- 국내 3개사, 일본 1개사, 미국 1개사, 유럽 1개사 제품을 24개씩 구입하여, CO경보기 작동시험을 수행한 결과, 천정부근(30cm 이내)의 경보기 6개가 작동하고 난후, 약 30~40분 후에 그 밖의 경보기가 작동함을 확인하였음.

참고문헌

- [1] 2006년 가스사고연감, 한국가스안전공사 (2007).
- [2] 가스경보기설치매뉴얼, 일본가스경보기공업회(2006).
- [3] UL 2034, Standard for Single and Multiple Station Carbon Monoxide Detectors, 2001.
- [4] EN 50291, Electrical Apparatus for the Detection of Carbon Monoxide in Domestic, 2001.
- [5] BS 7860, Specification for Carbon Monoxide Detectors for Domestic Use, 1996.
- [6] 산업안전보건법-가스누출감지경보기 설치에 관한 기술상의 지침, 노동부고시 제 2001-3호(2001).
- [7] 고압가스안전관리기준통합고시-가스누출경보장치의 설치기준, 한국가스안전공사 (2007), pp.29-32.
- [8] LP가스使用の安全性を高めLP가스販賣事業者の構造改善:一体型CO報知機の實現可能性調査報告書, 일본고압가스보안협회 (2007).
- [9] 임사환외 7인 공저, 가스보일러 직관배기통의 길이에 따른 폐가스 농도 고찰, 한국가스학회지 Vol. 11, No. 2, pp.7~11 (2007).