

가스보일러 CO중독 위험성 예측 및 근원적 예방기술 개발

박찬일 · †류기윤*

서울과학기술대학교 융합과학대학원 에너지환경융합학과 박사과정

*서울과학기술대학교 화공생명공학과 교수

(2021년 6월 1일 접수, 2021년 6월 22일 수정, 2021년 6월 23일 채택)

The Risk Assessment of Carbon Monoxide Poisoning by Gas Boiler Exhaust System and Development of Fundamental Preventive Technology

Chan Il Park · †Kee-Youn Yoo*

Department of Energy, Environment and Convergence, Graduate School of Convergence Science, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, 01811, Korea

**Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, 01811, Korea*

(Received June 1, 2021; Revised June 22, 2021; Accepted June 23, 2021)

요약

본 연구에서는 가스보일러 가동 중 배기통이 이탈하는 상황이 발생했을 때, 시스템적으로 인지하고 자동으로 보일러 가동을 중지하여 일산화탄소를 포함한 유해 배기가스가 실내로 유입되는 상황을 근원적으로 차단하는 방안을 제시하였다: (1) 연소에 필요한 공기량을 제어하기 위해 설치된 풍압센서(APS : Air Pressure Sensor)의 출력전압을 측정하여 배기통의 정상상태와 이탈상태를 감시하는 기능을 추가한다. (2) 배기통이 이탈하면 APS의 출력전압이 상시 운전범위에서 일시적으로 상승하게 된다. 보일러 제어부인 PCB가 이 상태를 배기통 이탈로 간주하여 보일러 가동을 멈추면서 배기통 이탈 상태를 실내온도 조절기에 표시하도록 한다. 또한 국토교통부령으로 정한 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에서 명시한 공동주택 및 다중이용시설의 환기시설 기준에 따라, 실내공기 교환횟수에 맞는 풍량을 적용하여 실내공기를 환기하는 실험을 실시하였다. 이 실험 결과 실제 일산화탄소가 실내에 누출된 최악의 상태에서, 중독사고 예방이 가능하다는 것을 확인하였다. 다만, 동 규칙에서 정의한 시간당 실내공기 교환횟수를 기존 0.7회에서 0.5회로 2013년부터 완화하여 운영하고 있는데, 실험결과 8시간 가중평균 노출기준인 TWA 30 ppm을 초과하는 농도가 측정되어 기준을 강화할 필요성이 있다. 본 연구 결과에 기초하여 가스보일러 배기압력의 기계적 인지를 통해 배기통 이탈을 감지하는 기술과 일산화탄소 경보기와 연동된 실내공기 환기시스템 기술을 도입한다면 일산화탄소 중독사고가 크게 감소될 것으로 판단된다. 제조 및 검사단계의 문제점을 보완하고, 올바른 설치 및 수리, 사용자의 배기통 이탈에 대한 관심이 더해졌을 때, 일산화탄소 중독으로 인한 인명사고를 예방하는데 효과적인 대책이 될 것으로 사료된다.

Abstract - We devised the system to automatically shutdown the boiler and to fundamentally block the harmful gases, including carbon monoxide, into the indoor when the exhaust system swerves: (1) The discharge pressure of the exhaust gas decreases when the exhaust pipe is disconnected. The monitoring system of the exhaust pipe is implemented by measuring the output voltage of APS(Air Pressure Sensor) installed to control the amount of combustion air. (2) The operating software was modified so that when the system recognizes the fault condition of a flue pipe, the boiler control unit displays the fault status on the indoor regulator while shutting down the boiler. In accordance with the ventilation facility standards in the “Rules for Building Equip-

†Corresponding author: kyyoo@seoultech.ac.kr

ment Standards” by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, experiments were conducted to ventilate indoor air. When carbon monoxide leaked in worst-case scenario, it was possible to prevent poisoning accidents. However, since 2013, the number of indoor air exchange times has been mitigated from 0.7 to 0.5 times per hour. We observed the concentration exceeding TWA 30 ppm occasionally and thus recommend to reinforce this criterion. In conclusion, if the flue pipe fault detection and the indoor air ventilation system are introduced, carbon monoxide poisoning accidents are expected to decrease significantly. Also when the manufacturing and inspection steps, the correct installation and repair are supplemented with the user’s attention in missing flue, it will be served to prevent human casualties from carbon monoxide poisoning.

Key words : gas boiler carbon monoxide poisoning, air pressure sensor, indoor air ventilation system, exhaust pressure sensing, carbon monoxide alarm

I. 서 론

1984년 국내 최초로 가스보일러가 개발된 이후 현재 국내의 가정용 가스보일러 시장은 연간 100만대 이상 판매되는 시대를 꾸준히 이어가고 있다. 청정 연료로서의 장점과 필요한 시간에 필요한 만큼만 난방을 할 수 있다는 장점이 있는 반면 열 생성과 함께 필연적으로 따르는 연소 후 배기가스 배출과 관련된 부분은 가스보일러 사용자에게는 생명과 직접 연결되는 중요한 문제이다. 가스보일러가 처음 대량생산되어 난방기구로 보급되기 시작한 이후 가스보일러로 인한 일산화탄소(Carbon Monoxide) 중독 사고는 지속적으로 발생하고 있고 그로 인한 사망 및 부상과 같은 인명 피해도 계속되고 있다.[1]

일산화탄소는 무색, 무미, 무취의 가스로 공기보다 다소 가벼우며(비중 0.967) 주로 탄소나 탄소화합물의 불완전한 연소로 발생한다. 과거 우리나라에서 많이 발생했던 연탄가스 중독이 이와 유사하다.[2] 근래에는 연탄 대신 석유나 가스(Methane, Propane)를 사용한 난방이 주를 이루면서 가스보일러로 인한 일산화탄소 중독사고가 지속적으로 발생하고 있다.

2018년 강원도 강릉의 한 펜션에서 가스보일러 배기통 이탈로 인해 발생한 일산화탄소중독 사고로 고교생 10명의 사상자가 발생하였다. 사고가 발생한 펜션은 가스보일러 전용보일러실이 없어 준 주거공간인 베란다에 가스보일러가 설치되었고, 원인이상으로 이탈된 보일러 배기통 연결구로 일산화탄소 성분이 포함된 배기가스가 배출되었고 베란다와 연결된 방과 거실의 틈새를 통해 확산되어 투숙객에게 영향을 준 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 지난 20년간 발생한 다양한 가스보일러와 가스온수기 관련 일산화탄소 중독과 관련된 사고를 분석하여 사고발생의 근본 원인과 그 대책이 무엇인지에 대한 해답을 찾고자 하였다.

II. 이론적 고찰

1. 보일러 작동 개요

가스보일러는 급배기 방식에 따라 개방식, 반밀폐식, 밀폐식 등으로 나누는데 가스보일러의 배기통은 일산화탄소 중독사고와 직접 관련되는 부속품이며 본 연구에 있어 중요한 의미를 갖는다.

개방식 보일러는 근래에 거의 찾아볼 수 없고 대부분 반밀폐식이나 밀폐식 가스보일러를 사용하고 있다. 반밀폐식은 연소에 필요한 공기를 실내에서 취하고

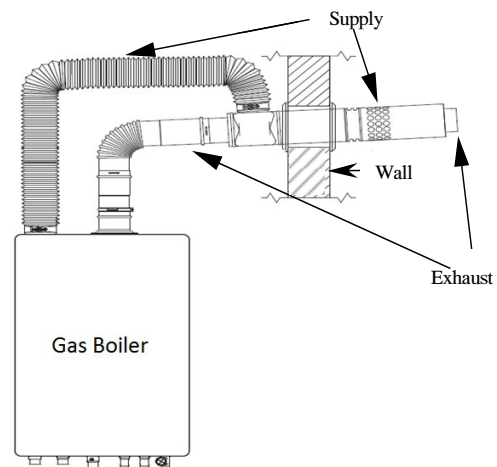


Fig. 1. Example of FF type boiler flue.

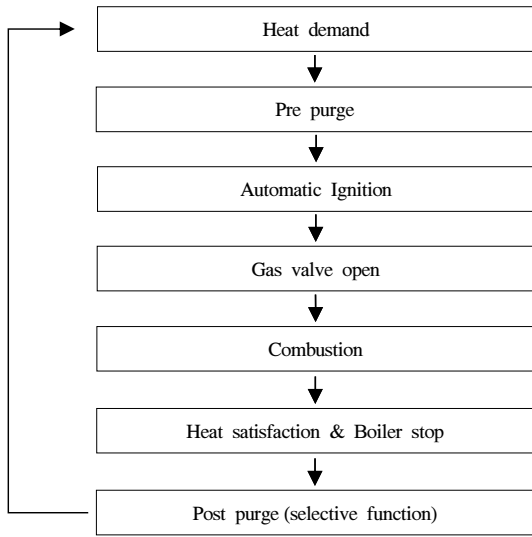


Fig. 2. General operating cycle of gas boiler.

연소후 배기가스를 실외로 배출하는 형태이며, 밀폐식은 연소에 필요한 공기를 실외에서 취하고 연소 후 배기가스도 실외로 배출하는 형태의 보일러이다. 근래 가정용 가스보일러는 Fig. 1과 같은 FF형태의 밀폐식 보일러를 가장 많이 사용하고 있다. 가스보일러 내부의 연소실에 점화 및 연소가 시작된 후에는 입력한 열수요(Heat demand) 수준에 이를 때까지 연소가 지속된다.

열수요를 충족한 경우 가스 제어 밸브를 차단하여 더 이상 연소가 발생하지 않도록 제어한다. 열수요를 충족한 후에도 작동이 멈추지 않고 연소가 지속된다면 열매체인 물이 과열되어 보일러 내부의 수관에 부착된 과열방지장치[17]가 작동하여 보일러를 멈추도록 설계되어 있는 것이 일반적이다. 열수요 단계부터 보일러 가동 정지 상태가 되는 사이클은 Fig. 2.와 같다.

2. CO 중독사고 통계

과거 20년간의 사고건수 중 CO 중독사고가 차지하는 비중을 분석해 보면 Table 1과 같다.

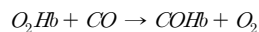
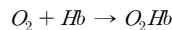
Table 1을 분석해보면 20년간 전체 사고건수의 3.3%가 CO 중독사고 이지만, 사상자 측면에서 볼 때 전체 사망자의 약 24.7%, 전체 부상자의 6.6%를 차지하는 것으로 분석된다.

3. CO 중독의 위험성

혈액 내의 헤모글로빈과 일산화탄소의 반응은 아래와 같이 진행된다.

Table 1. No. of CO poisoning compared to total accident for 20 years
[No. of Total / No. of CO poisoning]

Year	No. of Accidents	No. of the Death	No. of Injured
1999	224 (7)	27 (6)	349 (16)
2000	200 (14)	28 (13)	289 (16)
2001	206 (9)	27 (13)	305 (19)
2002	220 (11)	34 (13)	249 (25)
2003	237 (5)	36 (4)	276 (6)
2004	227 (8)	42 (14)	210 (2)
2005	221 (7)	33 (2)	284 (20)
2006	252 (5)	23 (4)	292 (26)
2007	264 (2)	28 (3)	280 (0)
2008	209 (2)	28 (1)	248 (1)
2009	145 (3)	20 (0)	207 (20)
2010	134 (5)	10 (3)	196 (15)
2011	126 (7)	10 (4)	223 (43)
2012	125 (8)	20 (8)	159 (31)
2013	121 (3)	17 (2)	144 (12)
2014	120 (1)	13 (2)	137 (4)
2015	118 (4)	18 (3)	115 (3)
2016	122 (4)	12 (3)	106 (10)
2017	121 (5)	9 (4)	105 (5)
2018	143 (6)	14 (9)	98 (10)
Sum	3,535 (116)	449 (111)	4,272 (284)
Average	176.8 (5.8)	22.5(5.55)	213.6(14.2)
% of CO Poisoning	3.3	24.7	6.6



이 반응에서, 일산화탄소의 혈액 속 헤모글로빈에 대한 친화도는 산소의 약 250배에 달한다고 알려져 있다.[19] 즉, 낮은 일산화탄소 농도에서도 산소보다 더 결합이 잘 진행된다. 정상적인 사람의 혈구 내에 있는 카르복시헤모글로빈(COHb)은 전체 헤모글로빈의

Table 2. Health effects of COHb blood levels on healthy adults

(%) COHb	Effects
0.3-0.7	Normal range in non-smokers due to endogenous CO production
0.7-2.9	No proven physiological changes
2.9-4.5	Cardio-vascular changes in cardiac patients
4-6	Usual values observed in smokers, impairment in psychomotor tests
7-10	Cardio-vascular changes in non-cardiac patients (increased cardiac output and coronary blood flow)
10-20	Slight headache, weakness, potential burden on foetus
20-30	Severe headache, nausea, impairment in limb movements
30-40	Severe headache, irritability, confusion, impairment in visual acuity, nausea, muscular weakness, dizziness
40-50	Convulsions and unconsciousness
60-70	Coma, collapse, death

Source : U.S. Environmental Protection Agency 1984

약 0.5% 수준이며 일산화탄소의 8시간 가중평균노출 기준(TWA) 30ppm[20]은 인체 내의 카르복시헤모글로빈(COHb)[21] 수준을 3.5% 미만으로 유지하기 위한 농도이다. 신경행동학적 변화를 최소화하고 심장혈관을 정상적으로 유지하는데 필요한 농도로써 임신부 등과 같이 특수한 환경에 놓인 개인에게도 상해가 가해지지 않을 정도의 안전한계를 충분히 고려한 농도이다. 유럽의 일산화탄소 경보기 설치검사기준인 EN 50291은 Table 2와 같다.

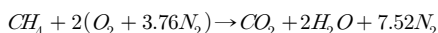
미국 보건 교육 복지부(US department of Health, Education and Welfare)문서‘Air quality for CO’에는 3% COHb에서 예민한 손상이 있는 것으로 언급되어 있다. 공기 중의 일산화탄소 농도에 따라 그 환경에 노출되어 호흡할 경우의 증상은 아래 Table 3.과 같이 연구자료[22]에 보고되어 있다.

Table 3. The dangers of Carbon Monoxide

Volume In the air (%)	Symptoms of exposure time
0.02	Slight headache in 2-3 hours.
0.04	Front headache in 1-2 hours, back headache in 2.5-3.5 hours.
0.08	Headache, feel sick, vomiting in 45 minutes. Swoon in 2 hours
0.16	Headache, feel sick in 20 minutes. Death in 2 hours.
0.32	Headache, feel sick in 5-10 minutes. Death in 30 minutes.
0.64	Headache, feel sick in 1-2 minutes. Death in 10-15 minutes.
1.28	Death in 1-3 minutes.

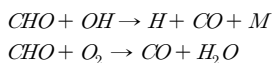
4. CO 발생 및 중독 메커니즘

가스보일러에서 가스를 연소시키면서 필연적으로 발생하는 연소생성물은 물(H₂O)과 이산화탄소(CO₂)이다. 100% 완전연소 할 경우에는 그러하지만 실제 연소는 완전연소에 이르지 못한다. 도시가스 연료의 주성분인 메탄(CH₄)을 연료로 연소할 경우를 예로 연소반응식을 보면 다음과 같다.



연료에 포함된 탄소, 수소 및 기타 성분 모두를 완전연소 시키기 위하여 공급하여야 하는 최소 필요공기량을 이론공기량이라 하며, 이때의 반응식을 이론 반응식(Stoichiometry)이라 한다. 이 연소 반응식은 연소에 의한 성분들은 변하여도 반응에 참여하는 반응물과 생성물의 전체 질량은 보존된다는 원칙을 적용한 것이다.[4] 연소식에 따른 양론비대로 연소가 일어나지 못하기 때문에 CO₂ 뿐만 아니라 CO도 생성된다.

고온의 하이드로카본(C_mH_n)은 포름알데히드(HCOH)와 포밀라디칼(Formyl Radical, HCO)을 형성하게 되고, 포밀라디칼의 해리가 일산화탄소 형성의 원인이 된다.[3]





5. CO 발생 방지를 위한 공기감시 장치

가스보일러 제조와 관련된 국내 검사기준인 KGS AB131(강제배기식 및 강제급배기식 가스온수보일러 제조의 시설·기술·검사 기준)을 비롯하여, KS B 8109[28], 8127[29] 및 유럽 인증기준인 EN 15502-2[35] 등에도 가스보일러의 ‘공기감시장치’에 대한 내용을 포함하고 있다.

흔히, 보일러 연소실 내에서 연소에 투입되는 가스량과 공기량의 비율이 맞지 않을 때에는 불완전연소 및 일산화탄소 배출의 가장 큰 원인이 될 수 있다. 이를 방지하기 위해 설치되는 보일러 내부의 부품을 공기감시장치라 한다. 이 부품은 가스보일러의 연소에 있어 중요한 부분을 차지한다.

공기감시장치는 KS B 8109, 8127에 명시된 것과 같이 가스가 보일러 내에서 연소 시 일산화탄소 발생을 억제하는 도구로 사용되는데, 통상 풍압스위치와 풍압센서가 그 주류를 이룬다. 공기식 가스밸브(Pneumatic Gas Valve)를 사용하는 경우는 공기량에 따라 가스밸브 제어가 이루어지므로 풍압스위치나 풍압센서 같은 공기감시장치를 별도로 장착하지 않아도 공기량과 가스량 조절이 가능하다. 풍압스위치와 풍압센서의 차이점을 비교해 보면 Table 4와 같다.

Table 4. Comparison of Wind Pressure switch and Air Pressure sensor

Sort.	Wind Pressure Switch	Air Pressure Sensor
Photo		
Pressure Sensing	Diaphragm + micro switch	Diaphragm + Magnetic sensor
Principle of operation	Recognize differential pressure and check injection	Recognize magnetic position installed in the diaphragm by differential pressure
Advantage	Low cost than Air Pressure Sensor	Stepwise airflow detection
Weakness	On/Off operation only	High cost than WPS

III. 위험성 평가(HAZOP)

1. 평가 Node 구분

가스보일러 제조로부터 내구 연한이 다하여 폐기되기까지의 과정을 통틀어 10개로 나누고, 배기통은 별도의 Node로 두고 Table 5와 같이 총 11개 Node로 평가를 실시하기로 한다.

또한, 각 Node별 CO 중독사고 발생의 위험요소를 분석해본 결과 아래와 같이 구성된다.

2. 위험성평가 결과

보일러의 Life cycle 전체와 배기통을 노드로 설정하고 위험성평가를 실시하면서 도출된 총 45개의 이 탈과 그에 따른 검토를 실시하였다.

Table 6에는 위험성 평가에서 일산화탄소 중독과 관련해서 위험인자로 간주된 모든 위험요소를 종합하였다.

위험도가 높은 순위에 있는 위험요소는 대부분 배기통과 직접 관련이 있는 사항이며, 그 외에도 전용보일러실 설치여부, 배기통 외부충격이나, 폭발점화 등도 위험도가 매우 높은 것으로 나타났다. 위험도가 높은 요인들에 대해 우선순위를 가지고 제거해 가면 일산화탄소 중독사고 예방에 효과가 있을 것이다.

Table 5. HAZOP analysis node

Node No.	Node List
1	Design
2	Design step inspection
3	Manufacturing & Flue certification
4	Production step inspection
5	Marketing
6	Boiler installation
7	Facility inspection
8	Consumer usage step
9	Break down & repair
10	Boiler exchange
11	Flue pipe

Table 6. Total No. of Risk assessment

Hazard Level	No. of level	Improvement
1	11	Development of fault recognition system of flue line, Air proving device performance enhancement, Introduction of new regulation(CO alarm), Review of internet sales of gas appliance, R&D investment expansion
2	5	Review of internet sales of gas appliance, Reinforcement of penalty, Development of flue escaping recognition technology
3	10	Investment expansion, Introduction of new standard, New technology education, Reinforcement of penalty for non qualifying construction,
4	8	New tech. education, Introduction of new standard, Reinforcement of penalty, Air proving device performance enhancement
5	11	New tech. education, Introduction of new standard, Reinforcement of penalty
SUM	45	-

배기통 이탈과 직접 관련된 사항들이 상대적으로 위험도가 높게 나타나는데, 이를 해소하기 위해서는 배기통 이탈을 기계적으로 직접 감지해 낼 수 있는 기술을 개발한다면 관련 사고를 대폭 감소시킬 수 있을 것이다.

IV. 실증실험

1. 장치

배기통이 정상적으로 연결되었을 경우와 이탈되었을 경우를 기계적으로 인지하기 위하여, 보일러 내부의 송풍기 출구압력을 감시하는 풍압센서(Air Pressure Sensor)의 출력 전압을 측정하는 실험(실험 1)을 실시하였다. 배기통이 이탈한 경우 보일러 가동이 멈추는 시스템을 구현할 목적을 가지고 진행하였다. 풍압센서 출력전압을 바탕으로 실험한 결과 값은 근거로 실제 생산제품에서 적용이 가능한지를 배기통 이탈실험(실험 2)을 통해 향후 기술적용 가능성을 검토하였다.

또한 국토교통부령 제467호(2017.12.4.) 「건축물의

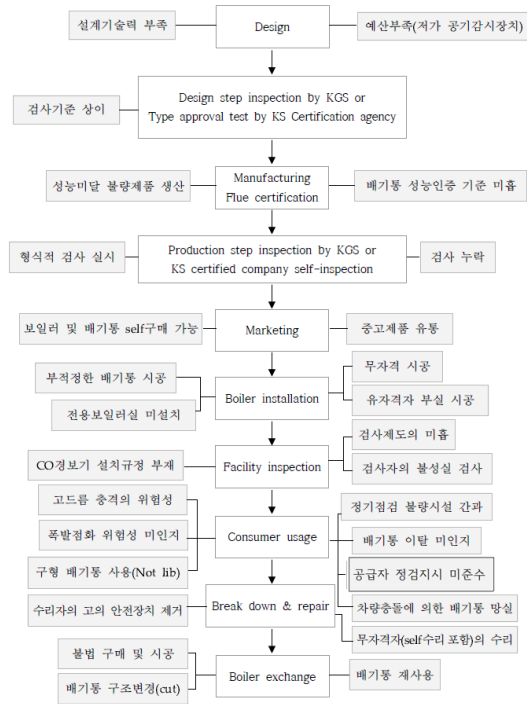


Fig. 3. Risk of CO poisoning through the boiler life cycle.

설비기준 등에 관한 규칙」[53]에서 정하고 있는 실내 공기 환기(실험 3)를 통해 얼마나 빠른 시간 안에 일산화탄소를 배출하고 실내 환경을 안정화 할 수 있는지를 실험하였다.

1.1 APS 출력전압 측정실험

송풍기(Fan)의 풍량을 감지하여 배기통 이탈을 인지하는 것이 가능한가를 알아보기 위해 풍압센서(Air Pressure Sensor)의 출력전압을 아래와 같이 다양한 조건으로 측정하는 실험을 하였다.

1.2 배기통 이탈시험

실험 1.1에서 측정한 풍압센서(APS)의 출력전압을 활용한 배기통 이탈시 보일러 가동중지 실험을 Fig. 4.와 같은 실험 모형으로 실시하였다. 배기통에 가스 배출 압력측정을 원활하게하기 위해 오리피스를 사용하여 인위적으로 배기구 면적의 25 %, 33 %, 50 %의 배기구 차단이 가능한 제품을 Photo 1.과 같이 제작하여 배기통 내부에 삽입하고 실험하였다.

1.3 실내 환기를 통한 CO 제거 효과 실험

가스보일러 배기통 이탈 등의 이유로 인해 실내로

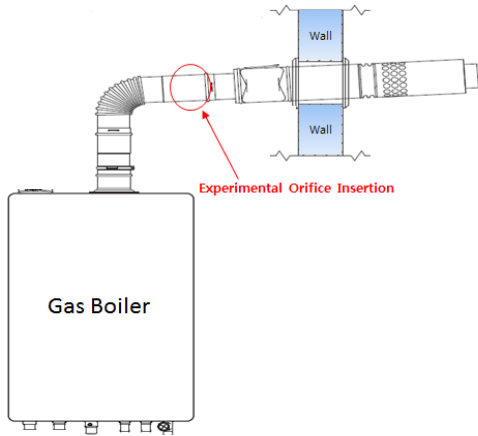


Fig. 4. Flue escape experimental set.

유입될 수 있는 일산화탄소를 실내 공기 환기를 통해 정상상태로 전환할 수 있는지를 확인하는 실험이며, 실험에 투입된 장비는 Table 8.과 같다.

2. 실험방법

2.1 APS 출력전압 측정 실험

보일러에 내장된 송풍기의 풍량을 감지하는 기능을 하는 풍압센서(Air Pressure Sensor)는 제조자가 설정한 출력전압(V)을 목표로 하여 작동한다. 배기저항이 변동되면 그 목표 값에서 상하로 유동적인 출력 전압을 갖게 된다. 이런 원리를 이용해 송풍기 사양 및 배기통 연결 길이 별로 구분하여 출력 목표 전압에서 얼마나 벗어나는지를 실험하였다. A/C Fan을 사용하는 전자식 가스밸브, D/C Fan을 사용하는 공기식 가스밸브, D/C Fan을 사용하는 전자식 가스밸브의 경우 등 3가지 경우에 대해 배기통 이탈 시 APS 출력전압을 측정하는 실험을 실시하였다.

2.2 배기통 이탈실험

실험에서 측정된 방식에서와 같이 풍압센서 출력 전압의 변동을 제어장치인 PCB가 인식하게 하고 보일러 가동 정지에 대한 가능성을 실험하였다. 해당 제조사에서 생산되는 제품 중 DC 송풍기와 전자식 가스밸브를 사용하는 콘덴싱 보일러를 선정하여 실험하였고, 1차적으로 이탈 시 상황을 인지하는 것이 가능한가에 대한 검토실험부터 실시한 후, Photo 1.의 실험 장치에서 소개된 바와 같이 0~50 % 배기폐쇄율에 대해 그 가능성을 검토하였고 그 중 가장 적은 배기폐쇄율을 갖는 25 % 배기폐쇄 상태로 이탈상황을 가정하

Table 7. Measuring equipment for APS output value [Voltage]

Equip.	Specification	Etc.
Gas Boiler	Heat input 23.3 kW, FF exhaust system, Fan(AC)	Electronic Gas Valve
	Heat input 23.3 kW(Heat), 44.0 kW(Hot water), FF exhaust system, Fan(DC)	Pneumatic Gas Valve
	Heat input 25.6 kW, FE exhaust system, Fan(DC)	Electronic Gas Valve
Fan/ Valve/F lue Type	AC Fan / Electronic Gas Valve / Long flue	2 times bended, 3m
	AC Fan / Electronic Gas Valve / Short flue	1 time bended, 1m
	DC Fan / Pneumatic Gas Valve / Long flue	2 times bended, 3m
	DC Fan / Pneumatic Gas Valve / Short flue	1 time bended, 1m
	DC Fan / Electronic Gas Valve / Short flue	1 time bended, 1m

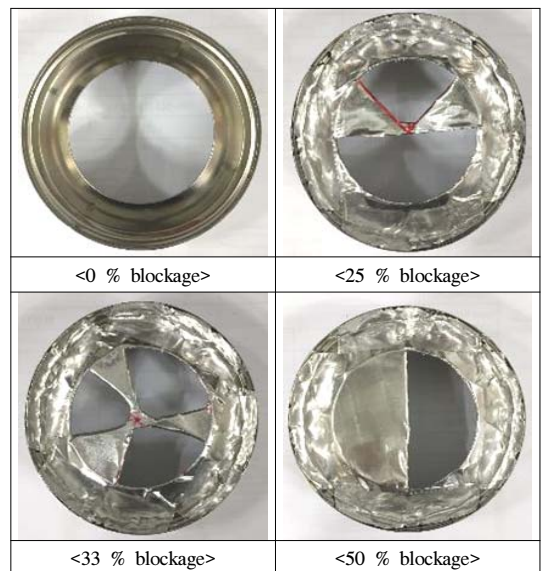


Photo 1. Photograph of experimental orifice.

Table 8. Indoor air ventilation performance test equipment

Equipment	Specification
Ventilation system TAC510-20S	<ul style="list-style-type: none"> • Filter - Polarized prefilter / Electron Hephafilter(ifD)/ Deodorant filter/ Hephafilter(H13) - Collection efficiency : 99.9% or more (0.3µm Particle Criteria), (HEPA : 325*255*40T) • Ventilation wind volume : 100CMH (0.5 times/hr), 150CMH (0.7 times/hr)
CO GAS DETECTOR	<ul style="list-style-type: none"> • Model : H47 • Sensing Gas : Carbon Monoxide • Suction type : Diffusion type • Measurement range : 0 ~ 300 ppm, 0 ~ 1,000 ppm • Output : 4 ~ 20 mA. DC / F.S • Input signal : 18 ~ 31V. DC • Temperature / humidity : -20 to 50°C / 5 to 95 % RH • Safety certification : Explosion Proof
CO Detector Controller	<ul style="list-style-type: none"> • Model : H97 Series (3 channel) • Display Range : 0 ~ 1.00, 3.0, 5.0, 75, 100, 150, 300, 999 • Unit : % LEL , % VOL , ppm • Input signal : DC 4 ~ 20 mA • Operating temperature : 0 ~ 50 °C • Operating Humidity : 10 ~ 90 % R.H • Alarm Settings : Two-step alarm • Input Power : AC 100 V, 220 V 60 Hz
Gas Boiler	<ul style="list-style-type: none"> • Boiler capacity calculation - Experimental site interior area : 54.7m² - Required heat per 3.3m² : 500kcal/h • Boiler capacity : 15.1kW(13,000kcal/h) • CO components in exhaust gases : 217ppm • Emission rate : 24m³/h

여 적용실험을 하였다.

2.3 실내환기 시스템을 통한 CO제거효과 실험

Table 8의 가스보일러를 이용하여 54.7m² 실내모형에 일산화탄소 분위기를 인위적으로 만들고 국토교통부령 제467호(2017.12.4.) 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에 명시된 바와 같은 실내공기 교환횟수를 적용하여 시험하였다. 실내공기 교환횟수는 위 기준에 명시된 내용을 근거로 아래와 같이 산출하여 적용하였다.

시간당 실내공기 교환 횟수 =

$$\frac{\text{공기흡입구에서 실내로 공급되는 시간당 풍량의 총부피 (m³/h)}}{\text{실내총부피 (m³)}}$$

2013년 9월 개정 적용된 실내공기 교환횟수는 0.5 회로 그 이전 기준인 0.7회 보다 완화된 기준을 적용하

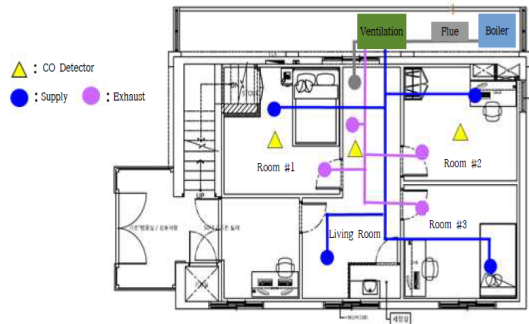


Fig. 5. Schematic diagram of carbon monoxide emission test model.

Table 9. Ventilation System Wind Flow Rate

Wind Strength		Strong Wind		Light Wind	
Number of Ventilation		0.7 times/h		0.5 times/h	
Fan Voltage [V]		2.8	2.4	1.6	1.2
No.	Location	Supply Air [m ³ /h]	Room Air [m ³ /h]	Supply Air [m ³ /h]	Room Air [m ³ /h]
1	Room 1	41.2	40.7	24.7	16.8
2	Room 2	37.6	27.5	22.7	12.1
3	Room 3	37.5	36.5	23.5	15
4	Living room	37.8	47.3	23	19.7
Total Wind Vol. [m ³ /h]		154.1	152	93.9	63.6

고 있다. 동 실험에서는 시간당 실내공기 교환횟수를 0.7회 및 0.5회 2가지 방법으로 환기량을 적용하여 Table 9에 따른 풍량과 Fig. 5와 같은 세트로 실험하였다.

V. 결과 및 고찰

1. 실험결과

1.1 APS 출력전압 실험결과

보일러 제어부인 PCB가 배기통 이탈상태 인지가능 여부를 확인하기 위한 실험결과는 배기계통에 삽입한 오리피스 차단율을 0%와 25%를 각각 적용하였

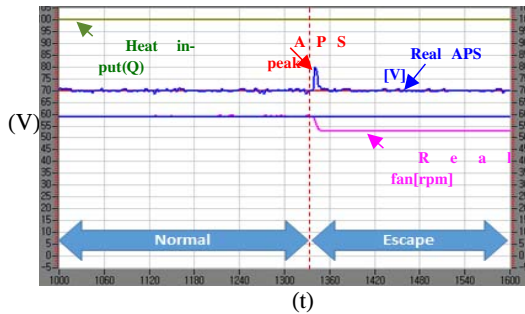


Fig. 6. Temporary peak voltage display at the flue escaping.

다. 차단율 0%에서는 배기통이 이탈하더라도 배기압력 변화가 감지되지 않는 수준으로 기계적인 인지가 어려웠다. 차단율 25%에서는 배기통 이탈 시 일시적인 APS의 출력전압 Peak가 발생하는데, 이 경우 PCB에 보일러 가동정지 명령을 입력하지 않고 가동할 경우 배기통이 이탈한다 해도 지속적으로 가동되어 실제 사고현장도 동일한 상태일 것으로 추정된다.

1.2 배기통 이탈실험

PCB에 배기통 이탈 상태를 인식시키기 위한 방법으로 25% 배기폐쇄 상태에서 배기통이 정상적으로 체결된 경우와 이탈된 경우를 가정한 APS 출력값 변

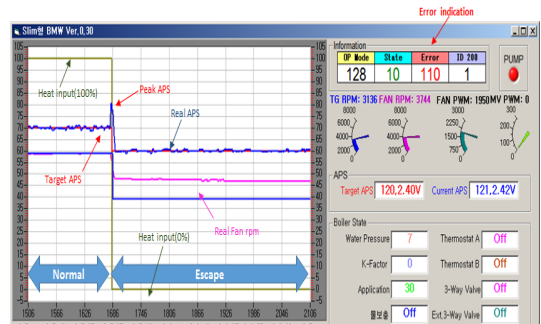


Fig. 7. Software change & Boiler stop after sensing the flue escape.

Table 10. Summary of Ventilation System Experimental Results

Ventilation Test Conditions			CO concentration in experimental conditions			Boiler operation status	CO concentration change in room number 1 (Experimental Time, Min)				
Test No.	Case No.	Wind Volume	Room1	Room2	Living Room						
1	Case 1	Strong Wind	1,000	1,000	1,000	Off	1,000→200	200 → 60 (71)	60 → 30 (36)	30 → 10 (57)	10 → 0 (36)
2			200	200	200		-	200 → 60 (78)	60 → 30 (48)	30 → 10 (74)	10 → 0 (106)
3		Light Wind	1,000	1,000	1,000		1,000→200	200 → 60 (162)	60 → 30 (79)	30 → 10 (117)	10 → 0 (75)
4			200	200	200		-	200 → 60 (189)	60 → 30 (110)	30 → 10 (157)	10 → 0 (95)
5	Case 2	Strong Wind	Supply CO concentration 217 ppm by boiler while operating the ventilation system			On	-	-	-	-	0 → 23 (115)
6		Light Wind					-	-	-	-	0 → 36 (233)

화에 대한 명령을 입력한 다음 보일러를 가동한 상태에서 강제로 배기통을 이탈시키는 방법으로 시험을 실시하였다.

PCB가 출력전압 Peak 발생을 배기통 이탈상태로 인지하고 Error 메시지 표시 및 보일러 가동정지가 가능하도록 소프트웨어 변경 작업을 완료하고 배기통 이탈 시험을 실시하였다. Error 발생 조건은 배기통 이탈이 발생할 경우 APS 출력값[V]이 Target APS값 보다 +0.2만큼 크며, 그 상태가 1초(sec) 이상 유지될 경우 가스밸브를 닫고 보일러를 가동정지 할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 프로그램 수정 후 보일러 가동 및 배기통 이탈을 가정하여 실험한 결과 Fig. 7과 같이 보일러 가동이 정지되는 것을 확인하였다. Fig. 6과 비교해보면 배기통 이탈과 함께 상단의 입열량(Heat input)이 0으로 떨어지며 보일러가 정지됨을 확인할 수 있다.

1.3 환기시스템을 이용한 CO 제거효과 실험

실제 사용 상태에서 보일러 배기통이 이탈한 경우 환기시스템이 작동하더라도 보일러는 계속 가동될 것이므로, Table 10의 Case 2와 같이 일산화탄소의 농도는 점차적으로 증가하게 될 것이다. 물론 환기시스템 작동 하에서의 일산화탄소 농도의 증가가 사망사고가 발생할 정도의 농도는 아니라 하더라도 앞서 Table 2에서 언급한 TWA 30 ppm 이하로 유지하고 인체에 유해하지 않도록 하기 위해서는 ‘시간당 실내 공기 교환횟수’가 현행 0.5회로는 부족하다는 결과를 얻었다.

VI. 결 론

본 연구에서는 가스보일러 배기통 이탈로 인해 지속적으로 발생하였던 일산화탄소 중독사고를 예방하기 위한 근원적인 기술을 개발하고자 하였다. 또한, 국토교통부령으로 정한 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에서 명시한 공동주택 및 다중이용시설의 환기 시설 기준에 명시된 ‘시간당 실내공기 교환횟수’에 따른 풍량을 적용하여 일산화탄소로 오염된 실내공기를 환기시킬 때 중독사고 예방에 효과가 있는지를 실험을 통해 확인하였다.

첫째, 가스보일러 배기통이 이탈된 상태에서는 현행 규정이 정하는 범위(안정화 상태에서 일산화탄소 농도 1,000 ppm이하) 내에서 정상적인 연소가 진행된다고 하더라도 부득이하게 일산화탄소 발생장치 역할을 할 수 밖에 없다. 준주거 공간이나 주거공간에 설치된 보일러의 배기통이 이탈한 경우를 전제로, 배기통

이탈시 급격히 변하는 풍압센서(Air Pressure Sensor)의 출력전압(Voltage)을 기계적으로 인식시켜 보일러 가동을 정지하도록 한 실험에서는 아래와 같은 결론을 얻었다.

연소에 필요한 공기량 확인을 위한 풍압센서(APS)는 고유의 출력목표 전압(V)을 갖는다. 이를 활용하여 목표 전압에서 일정 수준의 출력전압이 형성될 경우, 배기통 이탈로 설정하여 보일러 가동정지가 가능하다는 결론을 얻었다. 실제 제품에 적용해본 결과 배기통 이탈상태에서 풍압센서(Air Pressure Sensor)의 출력값이 +0.2 V 만큼 높고 그 상태가 1초(sec) 이상 유지되는 경우를 배기통이탈로 제어부에 입력하고 가동 중 배기통 이탈을 시킨 결과 보일러 가동이 정지되었다.

둘째, 가스보일러 검사기준에 적합한 일산화탄소 발생 최대 농도인 1,000 ppm 만큼 실내를 일산화탄소로 오염시키고 가스보일러를 더 이상 가동하지 않은 상태에서 국토교통부령인 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에서 정한 실내공기 환기 기준을 적용하여 실내공기 환기를 시도한 결과, 약 6~7시간 후 일산화탄소 농도가 거의 0으로 수렴하는 것을 확인하였다.

그러나, 2013. 9.월 이전 규정인 0.7회 만큼의 풍량으로 환기시킬 경우 약 3 h 이후부터 최대 약 26 ppm 정도의 농도에 수렴하였다. 현행 기준인 0.5회 풍량으로 환기시스템을 가동한 경우는 TWA 허용농도 기준인 30 ppm을 초과하는 약 43 ppm에서 농도가 수렴하는 형태로 나타났다. 비록 초과되는 수치는 낮다 하더라도 임산부나 노약자 등이 장시간 노출될 경우 이는 인체에 악영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

또한, 미국, 유럽 등의 규정과 같이 건축물에 일산화탄소 감지 및 경보장치를 의무적으로 설치하도록 하고 현행 국내의 건축물 규정에 따른 실내공기 환기 시스템과 연동한다면 일산화탄소 중독사고 예방에 큰 효과가 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] “가스보일러의 역사와 현황 그리고 전망”, *가스 산업신문*, (2003)
- [2] 박재상, “일산화탄소 중독에 의한 사망사고 분석 및 예방 고찰”, *경북대학교 수사과학대학원*, (2018)
- [3] 구형준, “플라즈마를 이용한 LPG연료의 CO 저감 기술에 대한 연구”, *인하대학교 대학원 기계공학*

- 과, (2007)
- [4] 전성희, “분젠버너 가스보일러의 공연비에 따른 연소특성 연구”, *연세대학교 공과대학원*, (2002)
 - [5] 곽찬호, “주택용 가스보일러 CO 중독사고 재발 방지 및 제품안전성 강화 연구”, *서울과학기술대학교*, (2019)
 - [6] 서병근, “일산화탄소 감지기의 적응성에 관한 연구”, *서울시립대학교 도시과학대학원*, (2010)
 - [7] 최경석, “가스보일러의 고부하 세라믹 버너와 열교환기 특성에 관한 실험적 연구”, *명지대학교 대학원*, (2001)
 - [8] 이원준, “Bio-char를 활용한 NO 및 CO 동시반응 특성 연구”, *서울시립대학교 대학원*, (2017)
 - [9] Song, J. C., Kwon, H. E., Lee, Y. H., Moon. I., “A Study on Prevention of Accidents of Carbon Monoxide Leak from Gas Boilers”, *Korea Chem. Eng. Res.*, **50**(2), 277-281, (2012)
 - [10] 김은아 외 1인, “아파트 난방용 보일러 및 발전기 운전업무 중 발생한 일산화탄소 중독”, *산업보건 저널 No.220*, 4-8, (2006)
 - [11] 장병화, “열매체보일러용 저공해 연소기에 관한 실험적 연구”, *한양대학교 대학원*, (2017)
 - [12] 신진호, “공동주택의 주방환기 성능평가 및 개선에 관한 연구”, *한양대학교 공학대학원*, (2011)
 - [13] 김성하, “콘덴싱 가스 보일러시스템의 효율적인 운전을 위한 제어 알고리즘에 관한 연구”, *국민대학교 대학원*, (2008)
 - [14] Kang, S. K., Choi, K. S., Yoon, J.Y., “Analysis of Mechanism for Diffusion of Incomplete Combustion Gas Released from Domestic Gas Boiler”, *대한기계학회 춘추학술대회*, 2868-2873, (2008)
 - [15] 권기준, 이정호, 조완수, “가스보일러 폐가스누출로 인한 CO중독 사망사고의 CO누출확산에 관한 CFD연구”, *한국화재소방학회 2014년도 추계학술대회 논문집*, 95-96, (2014)
 - [16] KGS AB131, “강제배기식 및 강제급배기식 가스온수보일러 제조의 시설·기술·검사 기준”, *한국가스안전공사*, (2017)
 - [17] 이시휘, “주위환경 변화에 따른 바이메탈의 동적 특성 연구”, *충주대학교 산업대학원*, (2008)
 - [18] KGS ERP 시스템 (가스피아), “가스사고 통계”, *한국가스안전공사*
 - [19] Coskun, Abuzer, “A new method in foreseeing late-period neuropsychosis in carbon monoxide poisoning : COHb/Troponin, COHb /Neutrophil, and COHb/lymphocyte”, *Cumhuritet Medical Journal*, **41**(1), 163-164, (2019)
 - [20] 화학물질정보(MSDS), <http://msds.kosha.or.kr>, *산업안전보건공단*, (2006)
 - [21] BS EN 50291: “Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises - Test methods and performance requirements”, *British Standard Institution*, (2001)
 - [22] Leem, S.H., “A study on the concentration of CO by the length and the variation of the bent tube of the exhaust pipe for a household gas boiler”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, **22**, 1,554-1,560, (2008)
 - [23] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_monoxide, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*
 - [24] Wohlfarth, R., “The Boiler Room Carbon Monoxide Dangers”, *Plumbing and Mechanical*, 74-78, (2015)
 - [25] UL 2034: “Standard for Single and Multiple Station Carbon Monoxide Alarms”, (2018)
 - [26] KGS GC208, “주택용 가스보일러의 설치·검사 기준”, *한국가스안전공사*, (2019)
 - [27] 박찬일, 김래현, “가정용가스보일러 에너지소비 효율 시험방법에 관한 연구”, *서울과학기술대학교 에너지환경대학원*, 58-73, (2012)
 - [28] KS B 8109 : “가스 온수 보일러”, *산업표준 심의회*, (2018)
 - [29] KS B 8127 : “콘덴싱 가스 온수 보일러”, *산업표준 심의회*, (2018)
 - [30] Park, B.I., Lee, P.H., Cho, S. H., Jung, E.C., Hwang,S.S., “Combustion Characteristics of Cylindrical Flat Premixed Burner for Condensing Boiler”, *KOSCO SYMPOSIUM 논문집*, 287-291, (2010)
 - [31] Park, I.S., Kim, H.K., “The Characteristic of Combustion on Flat Plate Type Premixing Surface Combustion Gas Burner and Applied Cases”, *KOSCO SYMPOSIUM 논문집*, 284-289, (2008)
 - [32] KS B 8101 : “가스연소기기의 시험방법”, *산업표준 심의회*, (2018)
 - [33] BS EN 483:1999+A4: “Gas-fired central heating boilers. Type C boilers of nominal heat input not exceeding 70 kW”, *British Standard Institution*, (2007)
 - [34] BS EN 15502-1:2012+A1: “Gas-fired heating boilers. General requirements and tests”, *British Standard Institution*, (2015)

- [35] BS EN 15502-2-1:2012+A1: “Gas-fired central heating boilers. Specific standard for type C appliances and type B2, B3 and B5 appliances of a nominal heat input not exceeding 1 000 kW”, *British Standard Institution*, (2016)
- [36] BS EN 15502-2-2: “Gas-fired central heating boilers. Specific standard for type B1 appliances”, *British Standard Institution*, (2014)
- [37] ANSI Z21.13-2017 · CSA 4.9-2017, “Gas-fired low pressure steam and hot water boilers”, *CSA group*, (2017)
- [38] “운수보일러 시공자” 양성교육 교재, *한국가스안전공사*, 10, (2014)
- [39] Kang, S.K., Choi, K.S., “A Study on the Standard for Installation of Carbon Monoxide Detector in a Building”, *Journal of the Korean institute of gas*, **12**(4), 1-7, (2008)
- [40] 조영도 외 2인. “가스보일러 연통 고정기준 개발”, *한국가스안전공사*, 41, (2018)
- [41] KGS GC209, “상업 · 산업용 가스보일러의 설치 · 검사기준”, *한국가스안전공사*, (2019)
- [42] KGS AB131 PC52, “가스연소기용 급배기통 성능인증 기준”, *한국가스안전공사*, (2017)
- [43] “가스사고연감 2004~2017”, *한국가스안전공사*
- [44] EN 50292, “Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises-Guide on the selection, installation, use and maintenance”, (2002)
- [45] CAA ISSUE Insights, “California Carbon Monoxide Poisoning Prevention Act of 2010”, *California Apartment Association*, (2010)
- [46] NFPA 720-2015, “Standard for the Installation of Carbon Monoxide(CO) Detection and Warning Equipment. 8.3.1”, *National Fire Protection Association*, (2015)
- [47] “일산화탄소 경보기, 제작 · 설치 · 유지관리 기준 마련된다”, *가스신문*, (2019)
- [48] 최경석, “중대형 보일러 CO경보기 설치 의무화 방안 연구”, *한국가스안전공사*, 1~10, (2013)
- [49] 이준석, “HAZOP을 활용한 가스공급관리소 안전성 향상 방안에 관한 연구”, *연세대학교 공과대학원*, (2009)
- [50] 권대연, “HAZOP 및 ETA 기법을 이용한 불산 Mixing공정의 위험성 저감을 위한 공정개선에 관한 연구”, *인하대학교 대학원*, (2016)
- [51] 정상교, “인적요인을 중심으로 한 위험요인 도출 방법론에 관한 연구”, *부경대학교 대학원*, (2014)
- [52] “액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙”, 산업통상자원부령 제317호, *법제처*, (2018)
- [53] “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”, *국토교통부령 제467호*, (2017)