

가정용 가스보일러 곡관 배기통의 길이 변화에 따른 CO농도 고찰

임사환^{1*}, 허용정², 마성준³

A Study on the Concentration of CO(Carbon Monoxide) by the Length of the Curved Exhaust Tube for Household Gas Boiler

Sa-Hwan Leem^{1*}, Yong-Jeong Huh² and Sung-Jun Ma³

요약 21C 산업의 발전과 더불어 급증하고 있는 가스산업은 사용의 편리성과 위험성을 공존하고 있다. 특히 근대 산업혁명 이후 에너지 및 환경에 대한 문제가 두각을 나타내게 되었다. 따라서 환경친화적인 에너지원으로서 가스의 수요가 날로 급증하고 있다. 가스의 수요와 더불어 가스보일러의 설치 및 사용이 늘어나면서 보일러 폐가스(CO)에 의한 인명피해가 해마다 증가하고 있다. 따라서 본 논문의 목적은 보일러 곡관 배기통의 길이에 따른 CO농도의 고찰을 통하여 인체에 대한 위해성을 파악코자 함이다. CO의 허용농도인 50ppm에 해당하는 길이는 3곡관 1m에서 3분이 경과할 경우이다. 또한, 5m에서는 5분 경과부터 CO농도가 허용농도를 초과하는 것으로 나타났다. 특이하게 2m부터 4m까지는 CO농도가 허용농도 이하였다.

Abstract As the industry of 21C has been developed, the gas industry has grown and it has not only the convenience but also the riskiness for using. Especially, the energy and environment problems have been getting serious after the modern industry revolution. Therefore, the demand of gas as an eco-friendly energy source is getting increased. With the demand of gas, the installation and use of gas boiler is also increased, so human life injury by the waste gas(CO) of boiler goes on increasing every year. Therefore, we want to find out the harm to human body through the study on the concentration of CO by the length of the curved exhaust tube of boiler. The allowable concentration of CO is 50ppm. The length of the one-meter-three-curved tube after three minutes is applicable to 50ppm of the threshold limit values of CO. Also, five meters exceed the threshold limit values of CO after five minutes. Strangely, the concentration of CO is under the threshold limit values from two to four meters.

Key words : CO gas, Toxic, Safety, Boiler

1. 서론

가스는 친환경적인 에너지원으로서 산업체와 일반 가정에서 사용이 급속도로 증가하여 국내 에너지 산업의 중추적인 역할로 대두되고 있다. 또한 산업사회가 발전하면서 난방기술도 빠르게 변천하고 있다. 인간의 삶에 대한 편리성을 위하여 에너지원도 가스로 변화하였으며, 그 수요현황은 [표 1]과 같다.[1] 또한 가스보일러의 설치현황도 가스의 소모량과 비례하여 수요가 날로 급증하고

있는 실정이다. 이와 더불어 가스보일러 사용에 의한 CO 중독사고로 인한 인명피해도 매우 심각한 수준에 이르렀다.

최근 5년간 가스보일러에 의한 시설미비사고는 급배기통 설치기준 미준수가 15건(55.6%)으로 가장 많고 다음으로 배기통 연결부 이탈 12건에 의한 사고로 나타났다. 이러한 CO 중독사고의 인명피해는 [표 2]에 나타난 것처럼 타 형태의 사고보다 무려 4.3배가 높게 나타났다. [2] 이를 예방하기 위한 방안으로 배기통의 이탈 등의 관련 사고를 획기적으로 사전 차단하는 기능의 새로운 “길이조절용배기통”이라는 신기술도 있지만 아직은 현장에 시공되지 못하고 있다.[3]

따라서 본 교육원에서는 가스보일러의 사용에 따른 위험성에 대한 안전성을 확보하기 위한 일환으로 가스보일

¹한국가스안전공사 가스안전교육원

²한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

³한국가스안전공사 부산지역본부

*교신저자: 임사환(gentle@kgs.or.kr)

러 폐가스 측정 실습 장비를 개발하게 되었으며, 본 장비를 이용하여 교육생에게 직접 보일러 배기통에 의한 폐가스의 농도를 확인할 수 있도록 구성하였기에 현장적용 및 안전관리에 기여할 것으로 판단한다.

표 1. 에너지 수요현황 (Units : 1000ton)

	2005	2004	2003	2002	2001
Energy Consumption	229,333	220,238	215,066	208,636	198,409
LNG	29,989	28,351	24,194	23,099	20,787
Oil (LPG)	101,553 (12,240)	100,638 (11,937)	102,380 (11,912)	102,414 (12,272)	100,385 (11,390)
Hydraulic	1,297	1,465	1,722	1,327	1,038
Nuclear	36,695	32,679	32,415	29,776	28,033
Coal	54,791	53,127	51,116	49,096	45,711
Other	5,007	3,977	3,241	2,925	2,456

표 2. 사고현황 (Units : EA)

구분	CO중독	파열, 폭발 등	대비 (CO중독/파열 등)
사망/부상	43/64	-/4	-/16배
인명피해계/ 사고건수	107/36	4/6	26.8배/6배
사고건당 피해율	3.0	0.7	4.3배

2. 장비현황 및 CO 특성

2.1 장비현황

보일러 폐가스 측정 실습장비의 구성모습은 [그림 1]과 같이 전면 하부에는 열교환기 부스로 상부는 가스보일러를 설치하여 배기통을 길이 및 굽곡 수를 변경하면서 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 열교환기는 보일러 폐가스 측정을 위하여 연속 동작이 가능하도록 방열기를 충분히 시공하였으며, 일반적인 가정용 보일러에 공급되는 저압(2.8kPa)으로 가스를 일정하게 공급하도록 구성하였다.

뒷면에는 가스용기를 설치하였으며 바퀴를 달아 장소에 구애를 받지 않고 자유로이 이동할 수 있도록 하였다. 따라서 실내에서 뿐만 아니라 야외에 설치된 가스보일러의 사용중 특성을 파악할 수 있는 장비이다.

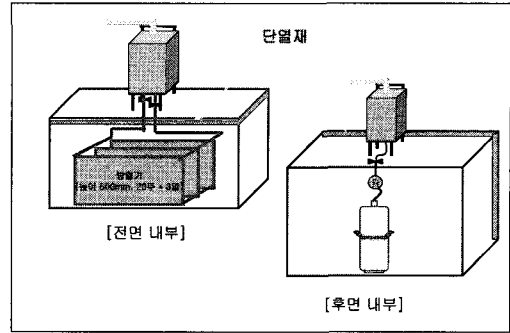
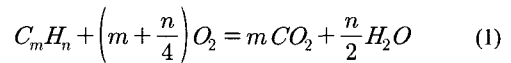


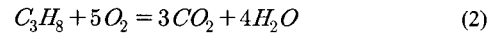
그림 1. 실험장비 구성현황

2.2 연소이론

연소라 하면 가연물이 산소와 화합하는 일종의 산화반응이지만, 불꽃(炎)과 열을 내는 화학반응을 말한다.[4] 탄화수소계 연소방정식은 다음과 같다.[5, 6]



표준상태의 가스 1m³를 완전히 연소시키기 위하여 필요한 최소량의 공기를 이론공기(理論空氣)라 하며, 식 (1)을 이용하여 프로판(C₃H₈)가스에 대입하여 계산하면 식 (2)와 같다.



LP가스의 이론 공기량의 계산은 [표 3]과 같다.

표 3. 이론 공기량

성분	A 1Nm³ 중의 함유량	B 산소당량	AB 산소필요량	이론공기량
C₂H₄	0.008	3	0.024	4.988/0.21 =23.75
C₃H₈	0.989	5	4.945	
C₄H₁₀	0.003	6.5	0.019	
Total	1.000		4.988	

각종 가스의 이론량을 산출해보면 발열량 1000kJ/m³ 당 약 0.9~1.0로 거의 일정한 것으로 알려지고 있다.

그러나 실제로는 이론공기량 만으로는 노즐로부터 분출하여 연소하기까지 공기와 가스가 완전히 혼합하지 않기 때문에 완전 연소시킬 수가 없으며, 연소하지 않는 가스성분이 남든가 불완전한 화학반응을 일으킨다. 따라서 20~50% 정도의 과잉 공기가 필요하게 된다.

일반적으로 연소반응에서는 탄화수소의 탄소와 수소로 분해된 후 산소와 다음의 연쇄반응(알짜반응) 식(3)과 (4)에 의하여 CO₂가 발생되는데, 산소가 부족한 경우 및

혼합이 정상적으로 이루어지지 않는 경우에는 연쇄반응식(3)으로 반응이 종결되어 CO가 발생한다.



2.3 CO 특성

가정용 가스보일러 가동으로 인하여 연소중에 불완전 연소 하였을 때는 CO(일산화탄소)가 함유되어 있어 이로 인한 인명피해가 날로 심해지고 있는 실정이다.

CO가 함유된 폐가스가 사람이 상주하는 곳에 누출되면 사람은 CO에 중독되고 CO는 인체의 혈액중에 있는 헤모글로빈(혈액소)과 급격히 반응하여 O₂의 순환을 방해하므로 질식 또는 생명을 잃을 수도 있다. 공기중의 CO 농도와 호흡시간에 따른 중독증상은 [표 4]와 같다.[7~10]

표 4. CO농도와 호흡시간에 따른 중독증상

공기중(%)	호흡시간 및 증상
0.02	2~3시간 내에 가벼운 두통이 일어난다
0.04	1~2시간에 앞두통, 2.5~3.5시간에 후두통
0.08	45분에서 두통, 메스껌, 구토, 2시간내 실신
0.16	20분에 두통, 메스껌, 2시간에서 사망
0.32	5~10분에서 두통, 메스껌, 30분에서 사망
0.64	1~2분에서 두통, 메스껌, 10~15분에서 사망
1.28	1~3분에서 사망

* 공기중의 0.02%는 200ppm(=1/100, ppm=1/1,000,000)

* CO의 허용농도는 50ppm

[표 5]는 일반적인 CO와 헤모글로빈의 중독증상을 나타내고 있다.[11~14]

표 5. CO농도와 헤모글로빈의 중독증상

혈액의 CO 헤모글로빈(%)	증상	
	정확하고 있을 때	일하고 있을 때
0~10	증상이 없다	증상이 없다
10~20	증상이 없다	가벼운 두통
20~30	두통이 일어난다	메스껌다
30~40	두통, 원뿔, 구토	경련
40~50	시력, 청력, 의식 등에 지장	근육감퇴, 경련
50~60	졸도	졸도
60~70	심장이 약해진다	때에 따라 사망
70~80	맥박이 약해진다	호흡곤란, 사망

2.4 측정기기

본 연구에서 불완전연소에 의한 폐가스(CO) 등은 연소가스 분석기(Sprint 2000)를 활용하였으며, 측정범위는 [표 6]과 같으며, 측정기기의 제원은 [표 7]과 같다.

표 6. 측정범위

Gases	range	resolution	accuracy
Oxygen	0-25%	0.1%	±0.3%
Carbon Monoxide	0-10,000ppm	±1ppm	<100ppm : ±5ppm >100ppm : ±5%
Carbon Dioxide	0-25%		
CO/CO ₂ ratio	0-0.9999		
Combustion efficiency	0-100%		

표 7. 측정기기의 제원

Manufacturing company	TELEGAN (ENGLAND)
Operating temperature range	-10℃ to 50℃
Battery	Rechargeable Ni-MH. Life>6 hours
Charger input voltage	115V or 230V, 50/60Hz AC
Fuels	Natural gas, LPG, Light oil, heavy oil
Header	Customer programmable
Data logging	50 sets of readings for flue gas analysis 25 sets of reading for CO room test
Time and date	24 hour real time clock
Certification	Designed to meet BS7927 British standard for portable flue gas analysers

3. 장비적용사례

보일러 폐가스 측정 장비를 이용하여 실제 현장에서 시공되고 있는 방법[15~17]에 입각하여 곡관과 직관을 시공하여 그 각각에 대한 폐가스 발생농도를 시간대비 변화를 고찰하여 최적의 폐가스 누출량 감소에 대하여 알아보려고 한다.

[그림 2]는 3곡관 배기통에 대한 시공형태를 나타내고 있으며, 배기통의 체결부 등으로의 누출을 차단하기 위하

여 액화석유가스안전관리기준 통합고시 제6-2-2조 16항에 의하여 기밀을 유지하였다.

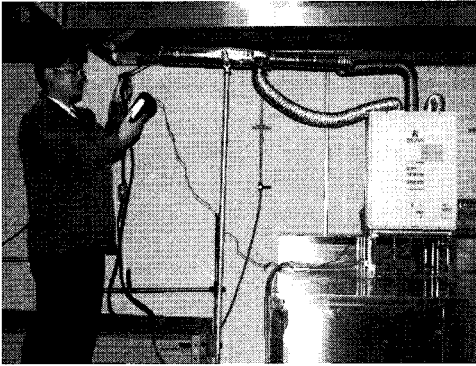


그림 2. 폐가스 측정

본 연구에 사용된 장비는 가스안전교육원에서 가스보일러 시공자 및 온수보일러 시공자 등에게 폐가스의 위험을 교육하기 위하여 제작한 장비를 이용하여 실제 현장에서 보일러 가동이 가장 많은 겨울철 심야를 기준으로 11월~12월 야간{20시~22시(14~16℃)}에 실험을 실시하였다.

실험은 보일러 가동으로 인하여 필수적으로 발생할 수밖에 없는 CO가스에 의한 인체에 미치는 피해를 파악하기 위하여 3곡관에 대하여 1m부터 최대 5m까지 길이를 변화시키면서 농도를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

보일러 폐가스 측정장비를 이용하여 실제 현장에서 시공되고 있는 방법에 입각하여 곡관과 직관을 시공하여 그 각각에 대한 폐가스 발생농도를 시간대비 변화를 고찰하여 최적의 폐가스 누출량 감소에 대하여 알아보고자 한다.

곡관 3개를 이용하여 배기통을 시공하였을 경우 각각의 길이에 따른 시간의 변화를 1분에서 5분까지 변화과정을 살펴보았다.

[그림 3]은 배기통 곡관 3개를 시공하여, 길이를 1m부터 5m까지 변화시키면서 길이에 따른 일산화탄소(CO)농도 변화 추이를 나타낸 것이다. 이를 보면 시간의 변화에 따라 CO농도가 변화함을 알 수 있다.

[그림 4]는 배기통 곡관 3개를 시공하여, 길이를 1m부터 5m까지 변화시키면서 길이에 따른 이산화탄소(CO₂)농도 변화 추이를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 이산화탄소 농도 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다. 또한, 시간의 변화에 따른 CO₂농도 변화도 크게 변하지 않음을 알 수 있다.

[그림 5]는 배기통 곡관 3개를 시공하여, 길이를 1m부터 5m까지 변화시키면서 길이에 따른 산소(O₂)농도 변화 추이를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 길이가 길어지는 것과 비례하여 산소농도가 하락하는 것으로 나타났다. 또한, 시간의 변화에 따라 O₂농도가 2m이상에서는 큰 변화가 없음을 확인할 수 있다.

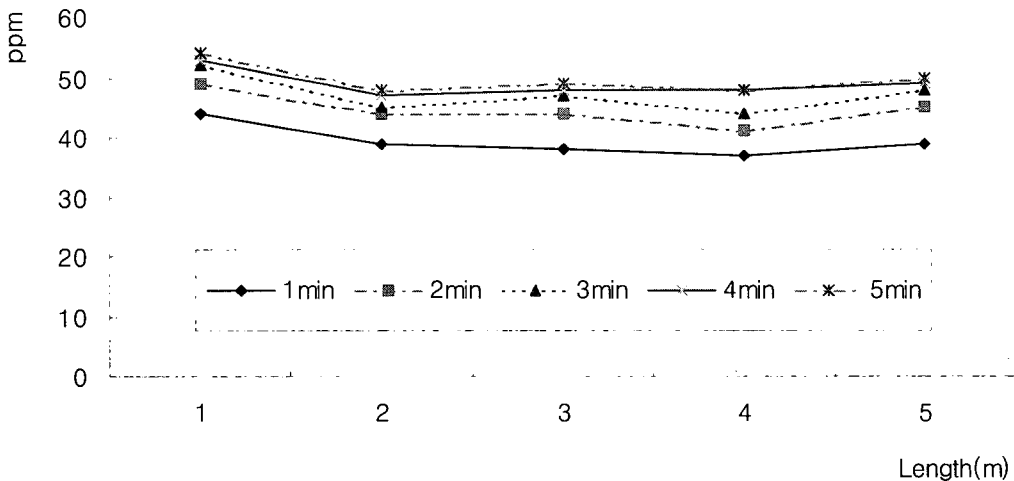


그림 3. 길이에 따른 CO농도

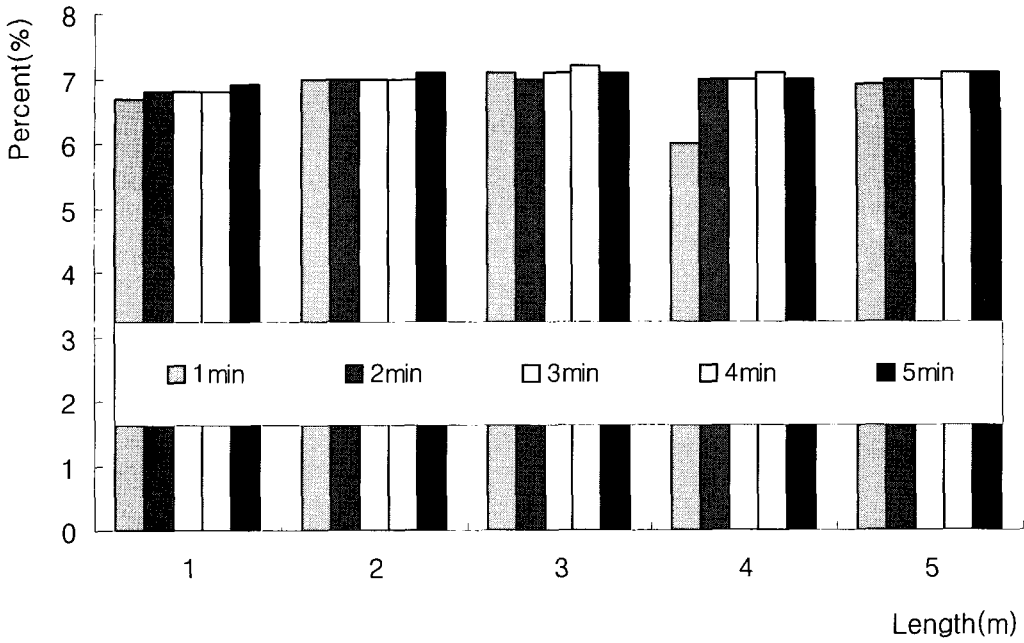


그림 4. 길이에 따른 CO₂농도

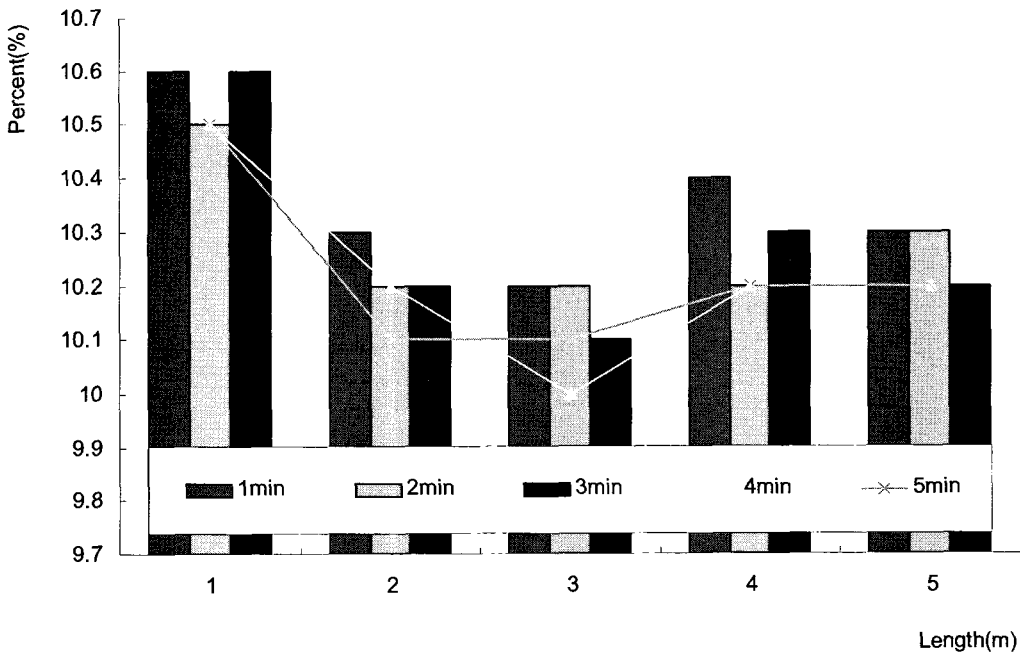


그림 5. 길이에 따른 O₂ 농도

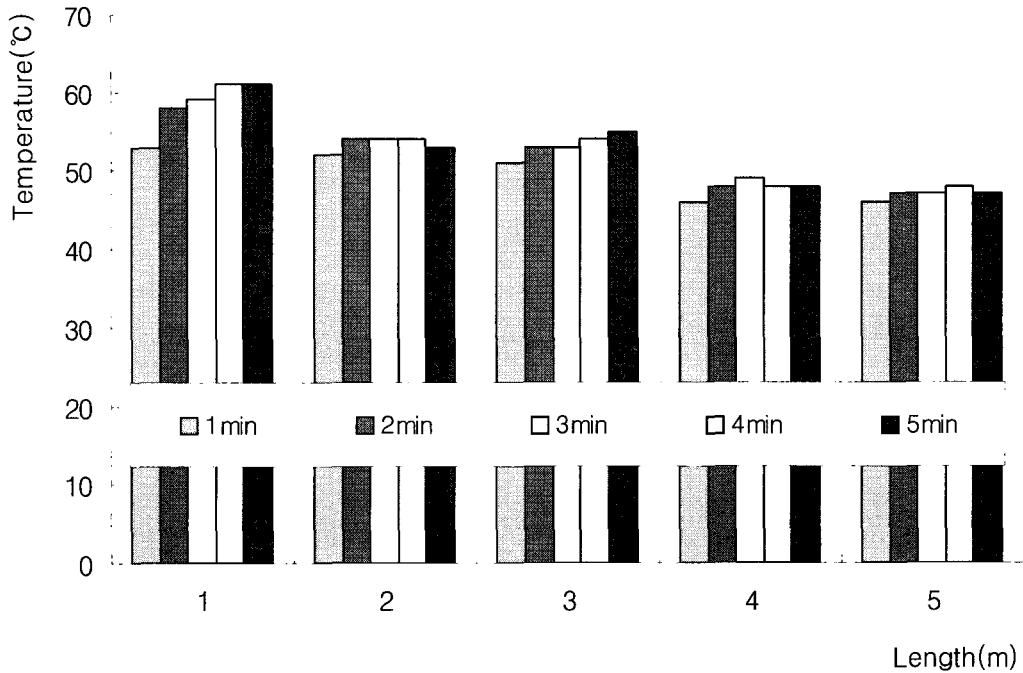


그림 6. 길이에 따른 온도변화

[그림 6]은 배기통 곡관 3개를 시공하여, 길이를 1m부터 5m까지 변화시키면서 길이에 따른 배기통 내부 온도 변화 추이를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 길이의 변화에 따른 온도변화는 크게 상관없이 나타났고, 또한, 시간의 변화에 따라 배기통 내부 온도 역시 크게 변화하지 않음을 알 수 있다.

5. 결론

가스보일러 곡관배기통에 대한 시간경과 및 길이의 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. CO의 허용농도인 50ppm에 해당하는 길이는 3곡관 1m에서는 3분이 경과할 경우이며, 5m에서는 5분 경과부터 CO농도가 허용농도를 초과하고 있다. 따라서 가스보일러 배기통 시공시에는 길이를 최소화하여 배기통에 CO가 체류하여 배기통의 분리 등에 의한 누출사고가 발생하지 않도록 조치해야 한다.
2. 산소(O₂)농도는 3곡관에서 길이의 변화와 시간의 변화에 상관없이 대체적으로 일정하게 나타났다.

3. 배기통 내부의 온도는 41~61℃로 시간의 증가에 따라 상승하며 길이의 증가에 따라 감소함을 알 수 있었고, 응축수가 다량 발생했다. 따라서 배기통의 길이를 최소화하여 응축수가 발생하지 않도록 하여야 한다.

추후 보다 많은 자료를 축적하여 배기통 굴곡 및 길이의 설치상태(상향과 하향)에 따른 폐가스 분출영향 및 배기능력 등에 대하여 연구를 진행코자 한다.

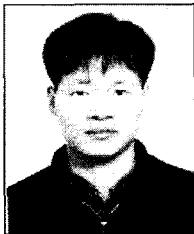
참고문헌

- [1] Korea Statistical Information System Consumption data of Energy source, <http://kosis.nso.go.kr>
- [2] Korea Gas Safety Corporation, "2005 Gas Accident Yearbook", OhSung Printing, 2006.
- [3] 임사환, 길이조절용 가스보일러 배기통 소개, 가스안전, 제33권 제4호 통권 제190호 (2007년 4월), 한국가스안전공사 홍보실, pp.40-44, 2007.
- [4] Tatyana A. Davletshina Nicholas P. Cheremisinoff, Ph.D, Fire and Explosion Hazards Handbook of Industrial Chemicals, Noyes Publications, 1998.

- [5] 한국가스석유기기협회, 가스연소기기 편람, 서라벌 인 쇄(주), 1994.
- [6] 류석기, LPG 및 도시가스 실무핸드북, 구인사, 1992.
- [7] 조진성, 직업성두통, 한국산업간호학회지 제4권 제3호, pp.69~71, 1997.
- [8] American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH), "Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indies", Cincinnati, OH, 1996.
- [9] Carl L. Yaws, "Matheson Gas Data Book I: Seventh Edition", Matheson Tri-Gas, 2001.
- [10] Carl L. Yaws, "Matheson Gas Data Book II: Seventh Edition", Matheson Tri-Gas, 2001.
- [11] <http://www.mathesontrigas.com/MSDS>
- [12] 권부현, 밀폐공간작업에서의 질식재해예방, 한국산업 안전공단 안전보건 제18권 제5호 통권 제201호, pp.11 ~19, 2006.
- [13] <http://www.safety.or.kr/안전자료실/안전용어사전>
- [14] http://www.kgs.or.kr/gas_life/gas_life7_2.asp
- [15] 日本ガス機器検査協會, ガス機器の設置基準及び實務 指針(前篇)-「總則法令」集, 有限會社サムネク, 2005.
- [16] 日本ガス機器検査協會, ガス機器の設置基準及び實務 指針(後篇)-「實務指針」集, 有限會社サムネク, 2005.
- [17] 최진구, 천직 II-가스보일러의 모든 것, 도서출판푸른 숲, 1992.

임 사 환(Sa-Hwan Leem)

[정회원]



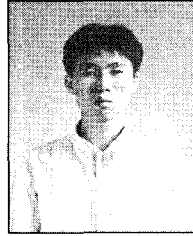
- 1999년 8월 : 부경대학교 기계 설계학과(공학사)
- 2004년 2월 : 부경대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과 박사과정 수료
- 2005년 7월 : 기술지도사 21기 동기회 교육이사
- 2007년 8월 : 2007년 직업능력개발 훈련기관 평가사업 (집체부문) 평가위원(팀장)
- 2003년 ~ 현재 : 한국가스안전공사 가스안전교육원 교수

<관심분야>

압력용기의 CAD/CAE, 안전관리 및 평가, 지능형 설계, 최적화설계

마 성 준(Sung-Jun Ma)

[정회원]



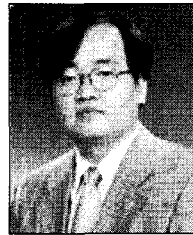
- 1998년 2월 : 부경대학교 화학 공학과(공학사)
- 2000년 8월 : 부경대학교 안전 공학과(공학석사)
- 1995년 10월 ~ 현재 : 한국가스 안전공사 부산지역본부

<관심분야>

안전성평가, 화공안전, 진단기술, 산업안전(작업환경)

허 용 정(Yong-Jeong Hu)

[중신회원]



- 1980년 2월 : 부산대학교 기계 설계학과(공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 기계설계학과(공학석사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술 교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

<관심분야>

지능형 설계, 사출성형의 CAD/CAE, 기계설계, 반도체 패키징