Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 32, No. 2, pp. 72-77, April 2017
Copyright@2017 by The Korean Society of Safety (pISSN 1738-3803, eISSN 2383-9953) *All right reserved.* *https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2017.32.2.72*

복층건물의 출입문 개방여부에 따른 화재온도분포 및 독성가스 농도 변화특성에 관한 연구

이정윤† · 김정훈 · 김응식 · 김홍

호서대학교 일반대학원 안전환경기술융합학과

(2017. 1. 26. 접수 / 2017. 3. 6. 수정 / 2017. 4. 11. 채택)

A Study on Characteristics of Fire Temperature and Concentration of Toxic Gases while the Door Opening or Closed on Multi-layered Construction

Jungyun Lee† · Jeonghun Kim · Eungsik Kim · Hong Kim

Department of Convergence Technology for Safety and Environment, Graduate School of Hoseo University

(Received January 26, 2017 / Revised March 6, 2017 / Accepted April 11, 2017)

Abstract : In S. Korea, recently, building fire accidents of residential accommodations or recreational facilities have taken place more frequently than before. Among various building constructions, Multi-layered structure, such as office-residential complex, are mostly made in S. korea. O_2, CO_2, CO, NO_X, SO_X, and HCl, these gases has toxic hazard and harmful for human body. And it is predicted that different concentration of released gases from diesel pool fire with upper and lower layer. Therefore, this study reports the fire characteristics of Multi-layered structure by analyzing the fire behavior and concentration of combustion gases of a experimental compartment via real scale fire experiment, in order to predict risks and secure safety for similar fire accidents.

Key Words : concentration of toxic gas, fire of multi-layered structure, difference of concentration in compartment

1. 서 론

건축물이 집적되어 있는 도심에서의 건물화재는 빈번히 발생된다[1]. 화재에 의해 발생된 사망자 중 80%이상이 다양한 독성가스의 흡입에 따른 것으로 보고되고 있다[2-3].이에 따라 화재유형 또는 가연물의 종류에 따라 발생되는 독성가스의 종류와 그 피해정도에 관한 연구가 다수 진행되고 있다[4]. Sandro Steiner는 경유 연소가스가 인체의 폐에 미치는 영향을 연구하여 그 위험성을 보고하였고[5], James Milner는 주거용 건물에서의 연소가스가 재실자의 건강에 미치는 연구를 수행하여 환기의 중요성을 강조하였다[6]. Juergen Pauluhn은 다양항 농도 및 시간의 CO, HCN에 노출된 실험용 쥐의 활동정도에 따른 흡입량에 관한 연구를 수행하여 이들 독성가스가 인체에 미치는 영향을 예측하였다[7].

최근 들어 특정 독성가스의 흡입에 따른 유전독성[8] 및 생체지표[9]에 관한 연구가 진행되고 있다. 화재에 의해 발생된 독성가스들은 고유의 밀도를 가지는데, 화재 발생위치와 건축물의 구조/환기여부에 따른 독성가스의 농도 변화가 측정 위치에 따라 달라질 수 있을 것으로 사료되는 바이다. 따라서 본 연구에서는 복층 구획의 실제 스케일 화재모형을 제작하여, 출입문 개방여부에 따른 1층, 2층의 독성가스 농도 변화를 분석하고자 한다.

2. 독성가스의 특성

구획실 내에서 화재가 발생하게 되면 공기 중 O_2의 농도가 감소하여 16~12%가 되면 인체의 맥박 및 호흡수 증가, 금력저하, 두통을 유발하고, 14%이하가 되면 판단력저하, 체온상승, 근육경련과 함께 의식불명 및 질식 가능성이 있다고 알려져 있다. 또한 CO_2의 농도

† Corresponding Author : Jungyun Lee, Tel : +82-41-533-9567, E-mail : jungyun@hoseo.edu
Department of Convergence Technology for Safety and Environment, Hoseo University, 20, Hoseo-ro79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Choongcheongnam-do 34199, Korea

가 5%를 초과된 공기에 인체가 장시간 노출되면 의식을 잃거나 사망에 이르게 할 수 있다[10]. CO는 무색, 무취의 기체로써 혈액 내 Hemoglobin과 결합력이 매우 높아 산소부족의 원인이 된다. TLV-TWA는 50 ppm, TLV-STEL은 400 ppm이며, 인체에 대한 최소 치사량은 2,000 ppm으로 알려져 있다. NO_X는 호흡기를 강하게 자극하는 기체이며 흡입 시 현기증, 두통을 유발시키며 500 ppm이상의 농도에 노출되면 급성폐수종을 유발시켜 48시간 내에 사망에 이르게 할 수 있는 위험한 물질이다. 또한, SO_X는 대기오염의 주된 원인이 되는 물질로써 8~12 ppm이상에서 호흡기 자극성이 매우 높다고 알려져 있다. HCl은 자극적인 향이 있는 무색 투명의 강산성 기체로써 부식성 및 인체 유해성이 높으며, TLV-STEL은 5 ppm, 인체에 대한 최소 치사량은 1,500~2,000 ppm으로 많은 양을 흡입하면 NO_X와 함께 폐수종을 일으킬 수 있는 물질이다[11-17].

본 연구에서 분석하고자하는 독성가스의 종류 및 밀도는 다음과 같다.

Table 1. Density of measured gases

	$Density(g/l)$ $(at\ 0℃,\ 1atm)$
O_2	1.429
CO_2	1.977
CO	1.25
SO_X	2.6288~
NO_X	1.88~
HCl	1.49
air	1.2754

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 복층구조 구획실에서의 화재 시 층별 온도 변화 및 독성가스 농도 변화 측정을 위하여 Fig. 1과 같이 5,528×4900×2,530 (WxHxD, unit;mm) 크기의 실험용 화재구획실을 제작하고 내부 1층 중앙에 직경 300 mm pool에 경유 3 ℓ의 열원을 설치하였다. 그 이유는 화재실험에 있어 실제 복층구조 건조물 내무에 적치된 물품의 종류와 양에 따라 연소생성물의 종류 및 농도에 큰 영향을 주기 때문에[18-19] 비교적 연소생성물에 관한 연구가 다수 진행된 경유를 선정하였다[20-22]. 화재 실험동안의 구획실 내부온도 변화를 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 가로 1,380 mm, 높이 980 mm간격으로 15개의 K-type 열전대를 설치하고, 15초 간격으로 그 측정치를 기록하였다. 또한 구획실의 1층과 2층 중앙에 내경 76 mm 배관을 설치하여 분당 30 ℓ/min의 속도로 흡기하여 가스분석장비로 송기하였다. 이 연소가스 중 O_2, CO_2, CO, NO_X, SO_X, 및 HCl을 측정하였으며, 사용된 분석장비는 Table 2에 나타내었다.

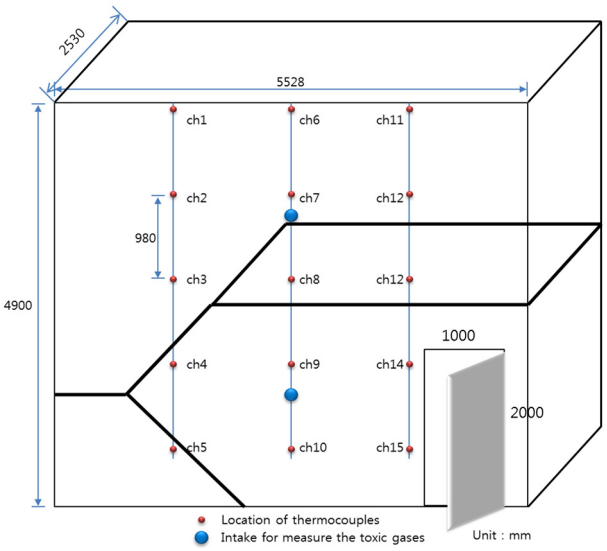


Fig. 1. Multi-layer compartment for experiment.

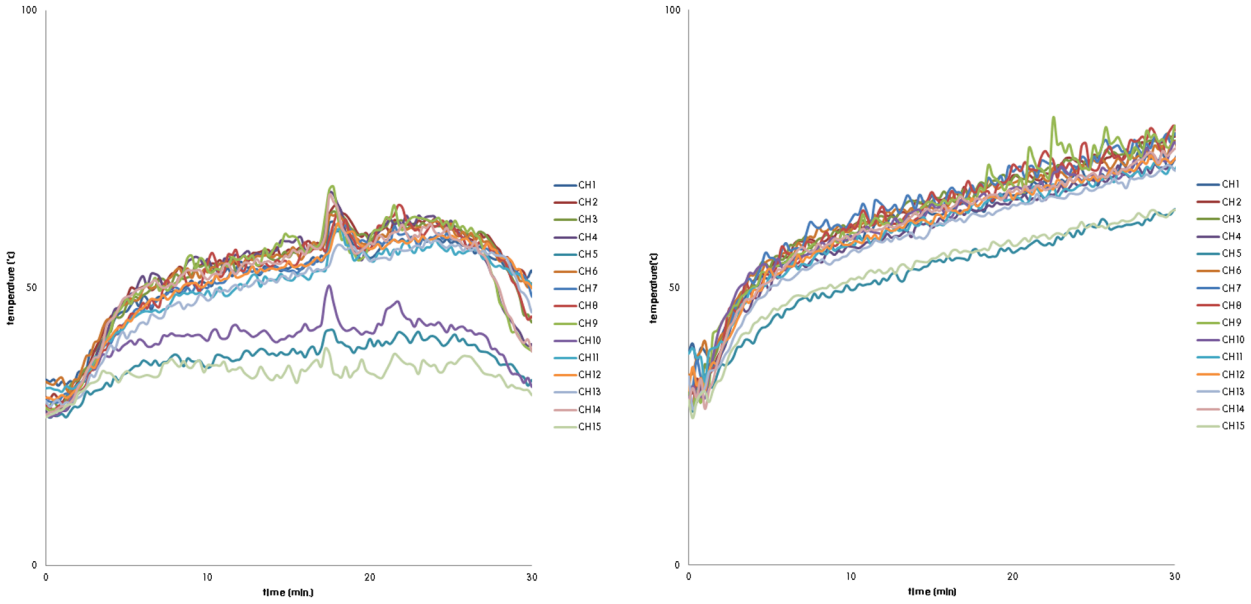
Table 2. Measurement equipments for combustion gases

Measured gases	1F	2F
O_2 CO_2 CO NO_X SO_X	Enerac 2000	Madur GA-21PLUS
HCl	GrayWolf DirectSense™ TOX PPC Kit TG-501	

4. 결과 및 분석

Fig. 2는 점화 후 시간 경과에 따른 복층구조 화재구획실 내부의 연도 변화를 나타낸 것으로, 출입문이 개방되어 있는 경우의 온도 변화(see Fig. 2-a)는 점화 1분 30초 후부터 상승하여 약 6분후에는 50℃를 넘기 시작하였다. 17분 45초에 최대치인 68.1℃를 기록하였으며, 구획실의 출입문보다 높은 곳의 평균온도는 50~60℃를 기록한 27분 이후 서서히 감소하는 양상을 보였다. 또한, 구획실 하부인 ch 5, 10, 15의 위치에서의 온도는 평균 4~15℃증가하는 것으로 나타났다.

그에 반해, 구획실 출입문이 폐쇄되어 있는 경우의 온도 변화(see Fig. 2-b)는 점화 45초 이후부터 꾸준히



a) door opening　　b) door closed

Fig. 2. The inside temperature of fire compartment depending on the door opening or closed.

증가하는 양상을 보였으며, 3분 45초에 50℃, 22분 30초에 70℃를 초과하였다. 출입문과 가까운 ch5, 10위치의 온도 변화 또한 같은 양상으로 상승하는 것으로 나타나 출입문 개방 시의 온도변화와는 대조적이었다.

Fig. 3-a-1과 Fig. 3-a-2는 출입문 개방여부에 따른 1, 2층의 O_2농도 변화를 나타낸 것으로써, 출입문 개방 시에는 1층의 농도가 점화 후 3분까지 급격히 감소하여 6분 30초 후에는 1, 2층 모두 16%이하의 농도로 기록되었다. 출입문이 폐쇄되어 있는 경우의 실험에서는 1, 2층 모두 서서히 감소하여 28분에 1층에서의 O_2농도가 16%이하에 도달하였다. 즉, 출입문이 개방되어 있는 경우가 폐쇄된 경우 보다 더 빠른 O_2농도 감소를 일으켰고 이는 화재가 더욱 빠르게 성장함에 따른 것이며, 재실자가 있던 경우라면 더 빠른 시간 내에 대피해야 한다는 것을 의미한다.

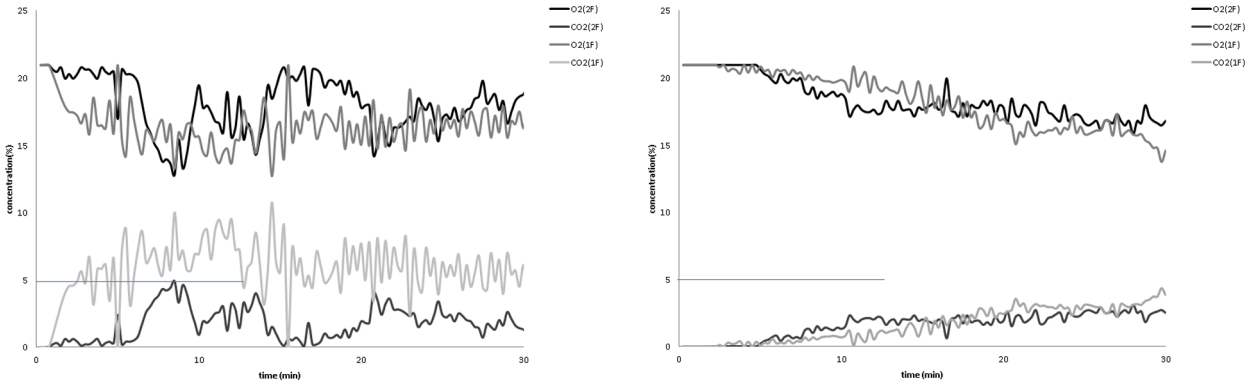
출입문 개방 시의 CO_2농도의 변화는 1층에서 점화 2분 30초 후에, 장시간 노출되면 의식을 잃게 할 수 있는 수준인 5 ppm을 초과하여 이후 평균 6.2 ppm을 유지하였고, 2층에서는 8분 30초에 4.9 ppm의 최고치를 기록한 후 평균 1.8 ppm의 기록치를 나타내었다. 2층의 O_2농도변화는 1층의 농도변화와 비슷한 양상을 보인 반면, CO_2의 농도 변화는 2층에서 그 기록치가 1층보다 약 1/2 수준인 것으로 나타났는데, 그 이유는 CO_2의 밀도가 공기보다 약 57.58% 높기 때문에 1층으로 가라앉아 출입문을 통해 배출된 것으로 사료된다.

Fig. 3-b-1의 출입문이 폐쇄되어 있는 경우에서의 농도 변화는 1층과 2층에 모두 비슷한 양상으로 나타났다. O_2의 농도가 지속적으로 감소하여 16%이하의 농도로 기록되는데 소요된 시간은 1층에서 20분 45초, 2층에서 27분 45초였으며, CO_2는 서서히 증가하는 것으로 기록되었으나 최대 측정시간이었던 30분 동안 5%를 초과하지 못하였다.

Fig. 3-a-2의 CO농도에서 출입문이 개방되었을 경우 1층의 농도는 최고 29 ppm을 나타낸데 반해 2층에서는 3분 45초에 50 ppm을 초과하여 11분 15초까지 증가한 후 서서히 감소함을 알 수 있다. Fig. 3-b-2의 출입문 폐쇄 시의 농도는 2층에서 5분 15초, 1층에서 7분에 50 ppm을 초과하여 지속적으로 상승하는 양상을 보였다. 출입문 개방 시에 2층으로의 CO가스 이동량이 더 많다는 것을 의미하는데, 이는 2층 재실자가 더 많은 CO흡입을 할 수 있다는 것으로 해석된다.

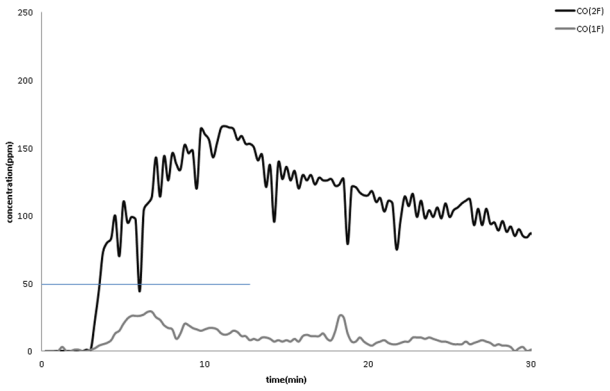
출입문 개방 시의 SO_X농도변화(see Fig. 3-a-3)는 측정하는 동안 1, 2층 모두 호흡기를 자극할 수준인 8 ppm을 초과하지 못하였으나, 출입문 폐쇄 시(see Fig. 3-b-3)에는 1층에서 7분 30초에 8 ppm을 초과하여 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다. 그에 반해 2층에서는 27분이 돼서야 8 ppm에 도달하였다. 이러한 양상 또한 공기보다 2.06배 무거운 SO_X의 밀도에 따른 것으로 해석되며 대형 건출물 특히 지하실이 있는 건축물의 경우 SO_X가 아래층 또는 지하층으로의 유입이 더 증가할 수 있다는 것으로 해석된다.

NO_X의 농도변화(see Fig. 4-a-4 and 4-b-4)는 1, 2층

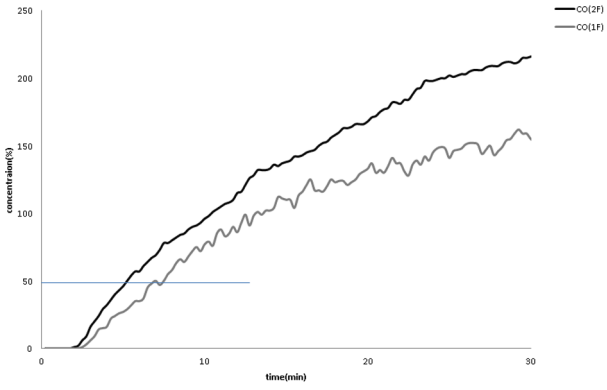


a-1) O_2 and CO_2, door opening

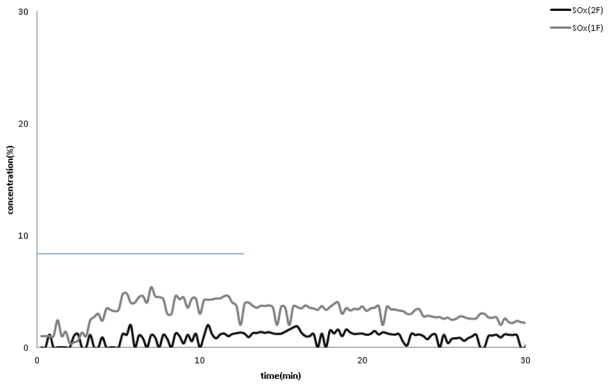
b-1) O_2 and CO_2, door closed



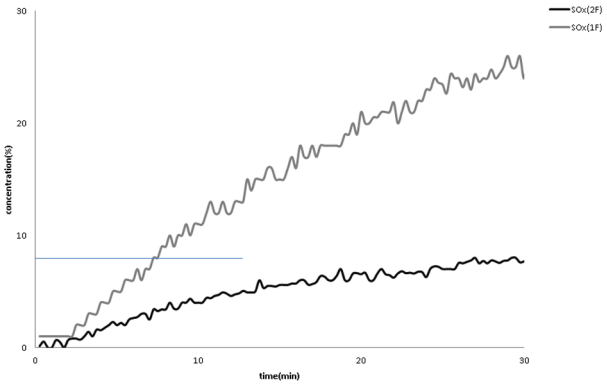
a-2) CO, door opening



b-2) CO, door closed



a-3) SO_X, door opening

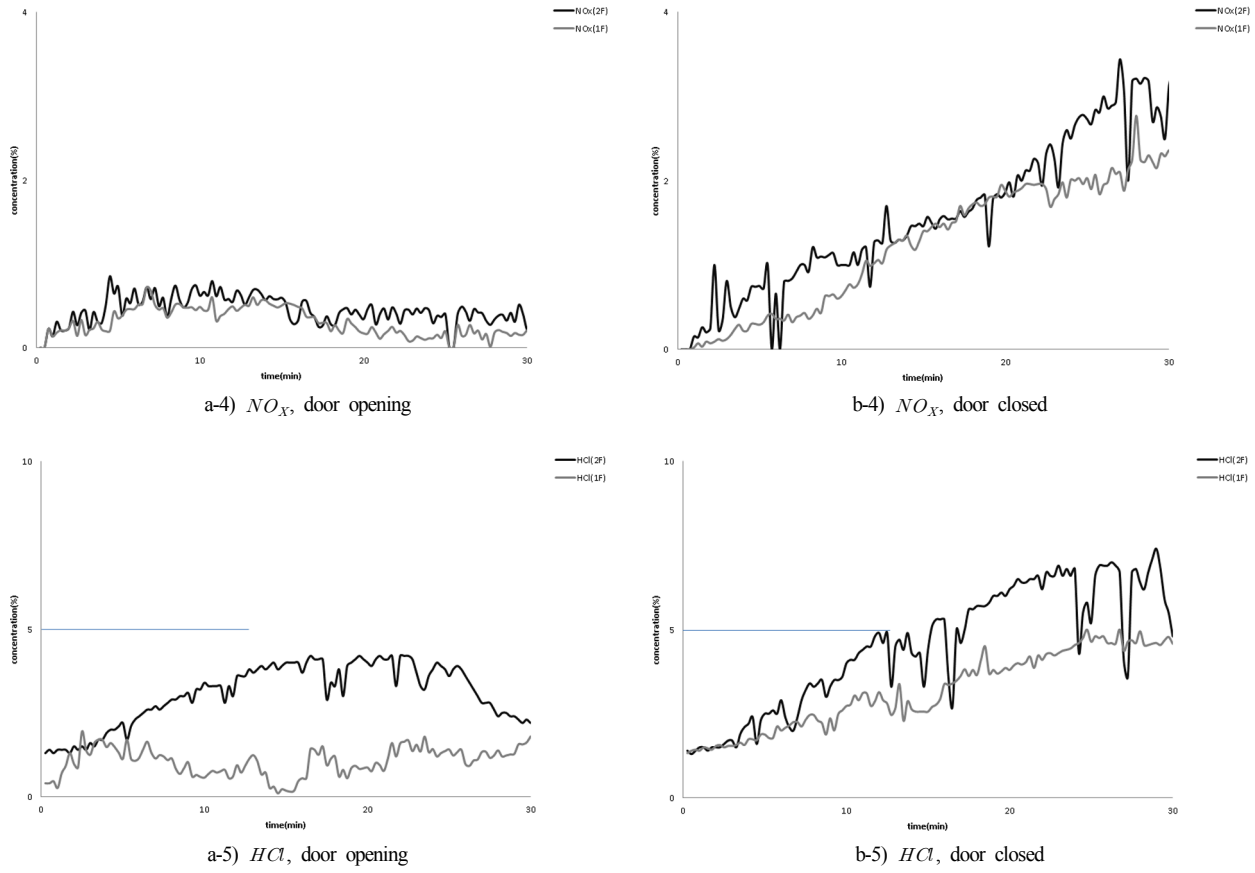


b-3) SO_X, door closed

Fig. 3. Concentration of O_2, CO_2, CO and SO_X from 300 mm diesel pool in fire compartment depending on the door opening or closed.

모두 출입문 개방시 1 ppm 미만, 출입문 폐쇄 시에는 측정최대 시간인 30분까지 꾸준히 증가하는 양상을 보였으나 흡입 시 현기증 또는 두통을 유발할 수 있는 50 ppm에 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 4-a-5에 나타난 출입문 개방 시 HCl의 농도 변화는 1층에서 평균 1.4 ppm으로 기록되었으며, 2층에서는 약 20분까지 증가하여 3.3 ppm의 최고치를 기록한 후 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 출입문 폐쇄 시(see Fig. 4-b-5)에는 2층에서 12.5분에 TLV-STEL인 5 ppm을 초과하여 측정되는 동안 지속적으로 증가하여 29분에 7.4 ppm의 최고치가 기록되었다. 1층에서는 2층보다 늦은 24분 45초에 5 ppm에 도달 후 유지되는 양상을 나타내어, 출입문 개방 여부에 관계없이 인체 치사량인 1,500~2,000 ppm에 도달되지 못하였다.



a-4) NO_X, door opening

b-4) NO_X, door closed

a-5) HCl, door opening

b-5) HCl, door closed

Fig. 4. Concentration of NO_X and HCl from 300 mm diesel pool in fire compartment depending on the door opening or closed.

5. 결론 및 고찰

300 mm 경유 pool화염을 이용한 복층건물의 화재온도분포 및 독성가스 분석 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다. 구획실에서 화재가 발생된 경우에 출입문의 개방 시에 폐쇄 시 보다 화재의 성장이 빨라질 수 있으며 이에 따라 O_2의 감소와 CO_2의 증가가 더 커질 수 있고, 출입문이 폐쇄된 경우에 측정된 가스들은 그 증가속도가 출입문 개방의 경우보다 더 느리게 나타났다.

출입문 개방 여부에 관계없이 1층 또는 2층 어느 한 곳에서 더 높은 농도로 기록된 가스는 CO, SO_X과 HCl이었다. CO와 HCl의 경우 부력을 받은 연기와 함께 화재가 발생한 장소보다 높은 곳으로 이동하는 특성을 가지고 있으며, 특히 고층건물의 경우 상층부 재실자에게 더 많은 독성가스 흡입을 초래할 수 있다. 공기보다 높은 밀도를 가진 SO_X는 화재가 발생한 장소인 1층에서 더 높은 농도로 기록되었는데, 이러한 특성은 고층건물에서는 아래층으로, 더 나아가 지하실로 유동되어 하층부 재실자의 위험을 초래할 수 있을 것으로 추정된다.

따라서 화재시 발생 독성가스를 흡입 상해가 발생한 경우 화재 위치와 재실자의 수직 위치에 따라 상해의 종류가 달라지며 치료방법 또한 달라져야 한다고 사료된다.

References

1) K. J. Drobatz, “Smoke Inhalation, in King LG(ed)” Respiratory Diseases in Dogs and Cats, Philadelphia PA, WB Saunders, pp. 480-484, 2004.
2) K. T. Fitzgerald, “Smoke Inhalation”, Clinical Techniques in Small Animal Practice, Vol. 21, No. 4, pp. 205-214, 2006.
3) Gad SC, “Combustion Toxicology”, Boca Raton FL, CRC Press, 1990.
4) C. Bourdeaux and A. Manara, “Burns and Smoke Inhalation”, Review Article, Anaesthesia & Intensive Care Medicine, Vol. 9, No. 9, pp. 404-408, 2008.
5) S. Steiner et al, “Comparison of the Toxicity of Diesel Exhaust Produced by Bio and Fossil Diesel Combustion in Human Lung Dell in Vitro”, Atmospheric Environment,

Vol. 81, pp. 380-388, 2013.
6) J. Milner et al., “Modelling Inhalation Exposure to Combustion-related air Pollutants in Residential Buildings: Application to Health Impact Assessment”, Environment International, Vol. 37, pp. 268-279, 2011.
7) J. Pauluhn, “Acute Inhalation Toxicity of Carbon Monoxide and Hydrogen Cyanide Revisited: Comparison of Models to Disentangle the Concentration × Time Conundrum of Lethality and Incapacitation”, Regulatory Toxicology and Pharmacology, Vol. 80, pp. 173-182, 2016.
8) M. Han et al., “Nitrogen Dioxide Inhalation Induces Genotoxicity in Rats”, Chemosphere, Vol. 90, pp. 2737-2742, 2013.
9) J. Park, “Toxicity Biomarker Research through Organizational Analysis and Peoteomisc Analysis of Mice Exposed to HCN Gases From Fire”, Fall Conference of the KOSOS 2016, Vol. 60, pp. 78, 2016.
10) J. G. Quintiere, “ Principles of Fire Behavior”, pp. 162.
11) G. E. Hartzell, “Overview of Combustion Toxicology”, Toxicology, Vol. 115 No. 1, pp. 7-23, 1996.
12) D. A. Purser, “The Evolution of Toxic Effluents in Fires and the Assessment of Toxic Hazard”, Toxicology letters, Vol. 64, pp. 247-255, 1992.
13) S. A. Purser, “Toxic Product Yields and Hazard Assessment for Fully Enclosed Design Fires”, Polymer International, Vol. 49, No. 10, pp. 1232-1255, 2000.
14) S. C. Packham and M. B. Crawford, “An Evaluation of Smoke Toxicity and Toxic Hazard of Electrical Nonmetallic Tubing Combustion Products”, Journal of Fire Sciences, Vol. 2, No. 1, pp. 37-59, 1984.
15) M. M. Hirschler, “Fire Hazard and Toxic Potency of the Smoke from Burning Materials”, Journal of fire sciences, Vol. 5, No. 5, pp. 289-307, 1987.
16) E. Braun et al., “Combustion Product Toxic Potency Measurements: Comparison of a Small Scale Test and “Real-World” Fires.” Journal of Fire Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 63-79, 1990.
17) J. Lee, “A Study on Toxicity Evaluation of Combustion Gases Released from the Residental Container Fire - Efficiency Test for the Fire Gas Mask Filters”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 19, No. 4, pp. 48-54, 2004.
18) J. Y. Lee et al., “A Study on Toxicity Evaluation of Combustion Gases during the Period of Fire Accident in a Residental Container Building”, Journal of the J. Korean Soc. Saf., Vol. 23, No. 1, pp. 24-27, 2008.
19) A. I. Moreno, “Characterization of Gaseous Emission and Ashes from the Combustion of Furniture Waste”, Waste Management, Vol. 58, pp. 299-308, 2016.
20) J. Rainer et al., “ Development of a Low-NOx Truck Hydrogen Engine with High Specific Power Output”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 22, No. 4, pp. 423-427, 1997.
21) Z. Ming et al., “Dider Engine Exhoust Gas Recirculation-a Review on Advanced and Novel Concepts”, Energy Conversion and Management, Vol. 45, pp. 883-900, 2004.
22) R. G. Papagiannakis et al., “Combustion and Exhoust Emission Characteristics of a Dual Fuel Compression Ignition Engine Operated with Pilot Diuedel Fuel and Natural Gas”, Energy Conversion and Management, Vol. 45, pp. 2971-2987, 2004.