

[Research Paper]

화재 시 젖은 수건의 유독가스 필터 효과에 관한 연구

심재웅 · 조남욱^{*†}

한국건설기술연구원 연구원, *한국건설기술연구원 연구위원

Study on the Effect of Toxic Gas Filter Effect of Wet Towel during Fire

Jaeung Sim · Nam-Wook Cho^{*†}

Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received July 13, 2018; Revised August 31, 2018; Accepted September 4, 2018)

요 약

화재로 인한 피해는 열상에 의한 피해보다는 연소 독성에 의한 피해가 치명적이며, 인명피해를 줄이기 위해 화재 상황에서 젖은 수건을 사용하여 화재로부터 발생하는 독성가스를 방호하도록 권장하고 있다. 본 연구에서는 젖은 수건을 통해 실제 화재에서 발생하는 가스를 대상으로 필터링 효과를 정량화하였다. 화재가스 중 세 가지 가스(CO₂, HCl, HCN)를 대상으로 젖은 수건의 필터효과를 확인하기 위해 FT-IR을 이용하여 필터를 통과한 가스를 실시간 분석을 하였으며, 물에 잘 녹지 않는 CO₂에 비해 유독가스이며, 수용성 가스인 HCl, HCN은 젖은 수건에 의해 가스가 필터링 되면서 가스 검출 시점이 지연됨을 확인하였다. 따라서 실제 화재 시 독성가스 중 특히 수용성 가스의 경우 젖은 수건을 이용하게 되면 일정 시간 피난 시간을 확보할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

The damage caused by fires is fatal as opposed to the damage caused by heat, and toxic gas generated by fires can be protected against by using a wet towel. In this study, we quantified the filtration effect of gas generated by an actual fire using a wet towel. In order to confirm the filtration effect of the wet towel on three harmful gases (CO₂, HCl, HCN), gases passed through a filter using FT-IR were analyzed in realtime. HCl and HCN, which are gases, were filtered by a wet towel, and the detection time of each gas was delayed. Therefore, it was confirmed that evacuation time can be secured by using a wet towel in the case of toxic gas, especially water-soluble gases in an actual fire.

Keywords : Filter, FT-IR, Wet towel, Toxic gas, Gas generate

1. 서 론

현대 건축물의 고층화 및 대형화에 따라 재실자의 밀도 및 피난 경로의 증가로 인한 화재 사고의 위험성 및 인명 피해는 더욱 증가하고 있다⁽¹⁾. 또한 건축물을 보다 미려해 보이기 위해 사용되는 내·외부에 다양한 마감 재료는 화재 위험을 키울 수 있다. 건축법에 규정하는 난연재료 이상의 재료는 화재에 안전한 재질로 이루어져 있지만, 실내의 다양한 가연물의 연소 시 CO, CO₂ 이외에 HCl 등 독성가스

가 발생할 수 있다. 또한 열에 취약하며, 열분해로 인한 높은 발열량은 연소를 쉽게 확대 한다. 화재 발생 시 재실자는 대피 중에 다양한 연소 가스에 노출되고, 대피 시간을 증가시키게 되며, 결국 독성가스에 의한 신체적 피해에 노출된다⁽²⁾. 독성가스의 가장 위험한 점은 대부분 색깔과 냄새가 없어서 사람이 인식하지 못하는 가운데 영향을 받게 되므로 위험성이 더욱 크다. 이에 각 국가에서는 다양한 건축물 마감 재료에 대한 화재기준을 보유하고 있으며, 국내의 경우 각종 화재시험이 분야별로 규정되어 있으며, 유해

[†] Corresponding Author, E-Mail: nwcho@kict.re.kr, TEL: +82-31-369-0669, FAX: +82-31-369-0670

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

Table 1. Standard Gas Concentration and Information

	Information				
	Concentration (ppm)	Molecular Weight (g/mol)	Density (g/L)	Solubility (g/L)	Specific gravity (air = 1)
CO ₂	25,000	44.01	1.98	1.45 (25 °C)	1.53
HCl	10	36.46	1.49	720 (20 °C)	1.27
HCN	20	27.03	1.21	Miscible	0.9

가스에 대한 분석에 대한 관심도 높다⁽³⁾.

분석기술이 발달함에 따라 다양한 유독가스 분석방법이 이용되며, 특히 FT-IR, GC-MS 등의 분석기기를 이용하여 가스의 정량·정성 분석에 이용되고 있다. 이들 중에 ISO 19702에서 제시된 적외선분광분석(FT-IR) 방법은 각각의 화학종이 적외선에 노출되어 발생하는 고유의 진동을 이용하여 정성 및 정량분석 데이터를 얻는 방법이다^(4,6). 이 방법을 이용하여 많은 연구자가 연소 가스 분석 및 독성지수 등 다양한 정성 및 정량분석 연구를 수행한 바 있다⁽⁷⁻¹¹⁾.

하지만 이런 기준 및 분석기술이 발달함에도 불구하고, 모든 가연물을 난연화 할 수 없으며, 마감 재료의 부정시공으로 인해 많은 건축물이 연소 독성 피해의 잠재적인 위험 요인에 노출되어 있다. 화재로 인한 여러 사고 중 연소 가스에 의해 인명피해가 발생한 사고사례로 2014년 고양 종합터미널 화재(8명 사망, 58명 부상), 2016년 김포 주상복합 공사현장 화재(4명 사망, 2명 부상), 2017년 제천 스포츠센터 화재(29명 사망, 37명 부상), 2018년 밀양 세종병원 화재(51명 사망, 141명 부상) 등이 있다.

화재가 발생하여 인명피해가 증가함에 따라 행정안전부 국민 재난 안전포털에서는 화재 시 행동요령(대피요령)에 대해 상세하게 설명 및 자료를 배포하여 인명피해를 최소화하고자 노력하고 있다. 화재 시 행동요령 중 가스가 많이 발생하면 젖은 천이나 수건으로 호흡기를 막고 낮은 자세로 대피하도록 권고하고 있다. 이러한 사항은 화재가 발생하면 화염의 열기 및 유독가스로 인한 호흡기 피해를 감소시키기 위한 것임을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 젖은 수건의 유독가스에 의한 호흡기 보호 효과를 확인하고자 한다. 수건을 호흡기에 막아서 안전하게 대피하는 점을 확인하기 위해 수건을 이용한 유독가스 필터 효과에 대해 정량적으로 확인하였다. 유독가스로 사용한 가스는 일반적으로 연소 시 발생하는 CO₂, HCl, HCN이며, 정량분석을 위해 FT-IR을 이용하여 수건필터를 통과한 가스에 대해 분석을 수행하였다.

2. 실험조건 및 방법

2.1 실험조건

수건에 대한 필터 효과를 분석하기 위해 적외선 분광 분석방법(FT-IR)을 이용하여 ISO 19702에 명시된 방법으로 가스를 측정하였다. 측정은 10 m 경로 가스 셀(Gas Cell)을

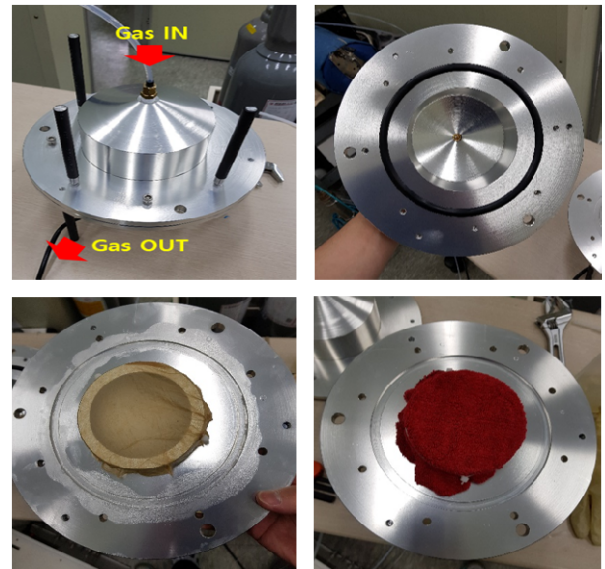


Figure 1. Out side/inside of gas chamber.

사용하였으며, 수건 필터를 통과하여 나온 가스의 경우 샘플링 라인과 가스 셀의 온도를 150 °C로 설정하여 화재상황 및 가스가 샘플링 라인이나 가스 셀에 흡착되는 것을 방지하였다.

실험에 사용한 표준가스의 농도는 연소 가스 정량분석 연구(연소 가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소 유해가스 평가방법 및 기준개발, 국토교통과학기술진흥원, 2011-2014) 내용을 바탕으로 산정된 표준가스 농도를 사용하였다(Table 1).

표준가스 유량은 유량계로 조절이 가능한 최소 유량인 1 L/min기준으로 진행하였으며, 수건 필터를 이용한 측정시간은 표준가스 농도에 도달할 때까지 측정하거나, 최대 20 min 기준으로 측정하였다.

Figure 1과 같이 수건을 필터 형태로 고정하면서 통과된 표준가스 농도를 확인하기 위해 챔버 형태의 지그를 제작하였으며, 지그 상·하판을 결합하고 지그 사이에 수건이나 휴지 등의 필터를 고정할 수 있도록 제작하였다. 실험에 사용한 수건의 경우 원형으로 재단하였으며 크기는 지름 13 cm, 두께는 0.1 cm, 사용된 물의 양은 실제 화재 발생 시(긴급한 상황에서) 수건에 최소한 적실 수 있는 물의 양(약 15 g)을 이용하여 실험하였다. (이하 수분 67% (w/w) 수건) 또한 수건보다 얇은 휴지를 이용하여 필터 효과를 확인해 보고

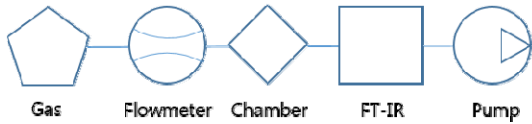


Figure 2. Schematic of experiment.

Table 2. Result of Measured of Gas Concentration

Sample Gas	Concentration (ppm)				
	None	Dry Tissue	Wet Tissue	Dry Towel	Wet Towel
CO ₂	25,000	-	-	25,000	25,000
HCl	10	1.7	0	0	0
HCN	20	20	0	20	0

자 하였다. 휴지의 크기는 수건의 크기와 동일크기로 재단 하였으며 수분의 양도 15 g으로 동일하게 하였다(이하 수 분 97% (w/w) 휴지).

2.2 실험방법

Figure 2는 표준가스를 일정한 유량으로 흘려보내 필터 를 통과시킨 후 FT-IR을 이용하여 가스 농도측정을 하는 순서이다.

3. 실험결과

Table 2는 전체 필터실험에 대한 측정결과를 나타낸다. 각 실험은 가스별 필터가 없는 상태와 수건 및 휴지의 건조/젖은 상태에 따른 필터링 효과에 대한 농도측정 값이다. 이산화탄소는 수분 67% (w/w) 수건의 효과가 없었으므로 휴지에 대한 실험은 수행하지 않았다.

3.1 CO₂ 필터

Figure 3에서 확인할 수 있듯 CO₂의 경우 수건 필터에 물을 적신 유·무에 따라 영향을 받지 않는 것을 data로 확인할 수 있다. 이 결과는 Table 1에서 CO₂의 수분에 대한 용해도가 1.45 g/L로 낮으므로 수분이 대부분 필터를 통과하여 검출된 것으로 해석된다.

3.2 HCl 필터

HCl 가스의 경우 수분에 대한 용해도가 720 g/L로 매우 큰 편이며, 이를 통해 수분에 대한 필터 효과가 클 것이라 예상할 수 있었다. 수건 필터 측정 후 얻은 결과 Figure 4와 같이 수건 필터의 유·무에 대해 필터링 효과의 큰 차이를 보여주고 있다. 수분 67% (w/w) 수건, 수분 97% (w/w) 휴지 및 건조된 수건을 필터로 실험한 경우 FT-IR의 3100~2650 cm⁻¹ 범위에 HCl의 고유 파형이 흡수되지만, 필터링 효과로 검출되지 않았다(Figure 5). 건조된 수건도 필터링

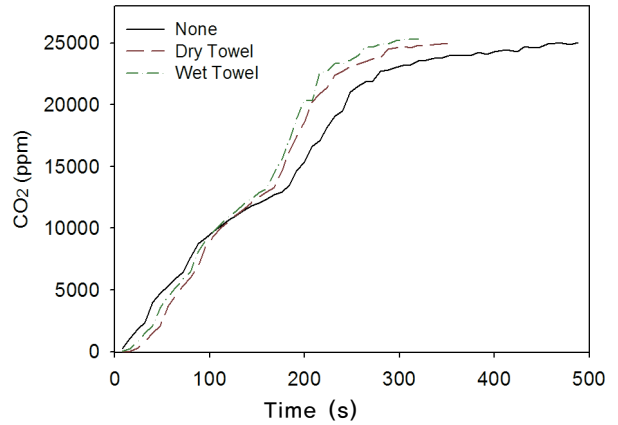


Figure 3. FT-IR data of CO₂ 25,000 ppm standard gas.

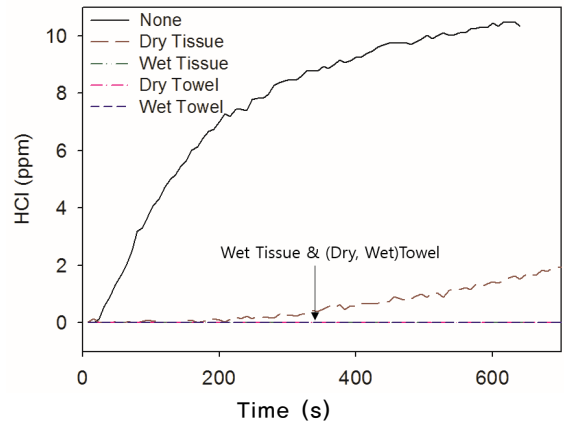


Figure 4. FT-IR data of HCl 10 ppm standard gas.

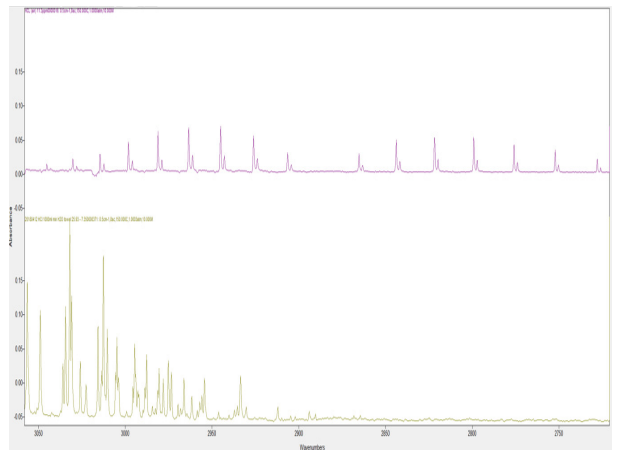


Figure 5. FT-IR analysis data of HCl gas (Pink : HCl 11 ppm data, Brown : wet towel data).

후 HCl이 검출되지 않았다. 건조된 수건을 확인해 봤을 때, 상대습도 50%에서 평균 0.43 g의 수분이 포함되어 있음을 확인하였다. 이를 통해 미량의 수분 때문에 HCl이 용해되어 필터링 된 것으로 해석된다.

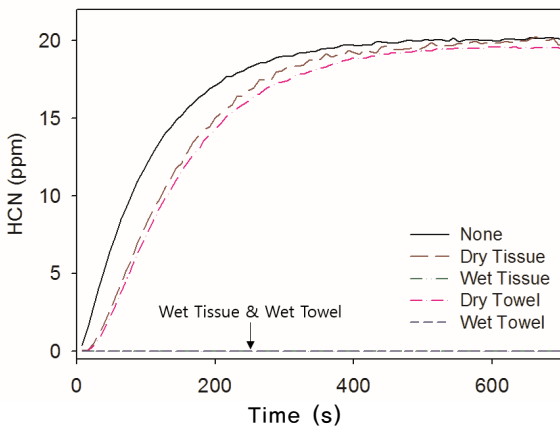


Figure 6. FT-IR data of HCN 20 ppm standard gas.

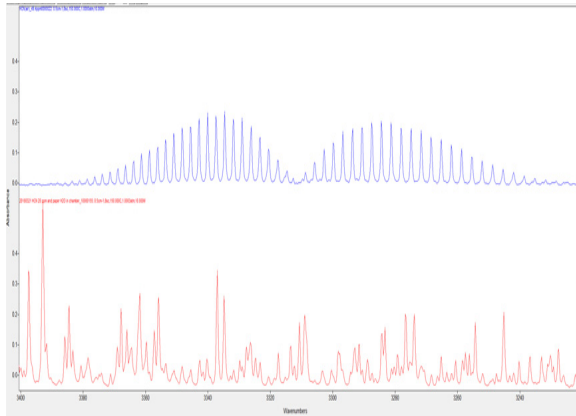
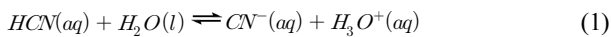


Figure 7. FT-IR analysis data of HCN gas (Blue : HCN 50 ppm data, Red : wet tissue data).

수분 67% (w/w) 수건의 경우 수분 때문에 20 min 이상 HCl이 필터링 되어 FT-IR로 검출되지 않음을 확인하였다. 따라서 화재로부터 발생되는 HCl 가스는 수건으로 일정 시간 필터링이 가능한 것으로 확인되었다.

3.3 HCN 필터

HCN 가스의 경우 수분과 혼합성이 높은 성질을 가지며, 다음 화학식처럼 수분과 반응을 한다(1).



HCN의 경우 FT-IR에서 고유파형이 흡수되는 범위는 3380~3230 cm⁻¹이며 필터링 이후의 가스분석에서 HCN 고유파형이 확인되지 않았으므로 필터링 효과를 확인하였다 (Figure 7).

HCN의 고유파형은 아니지만, 추가 분석을 해본 결과 Figure 8처럼 수분의 보조 파형 중 하나임을 확인되었고, 수분 67% (w/w) 수건, 수분 97% (w/w) 휴지의 경우 필터에서 빠져나온 수분 입자가 측정되고 HCN은 검출되지 않았

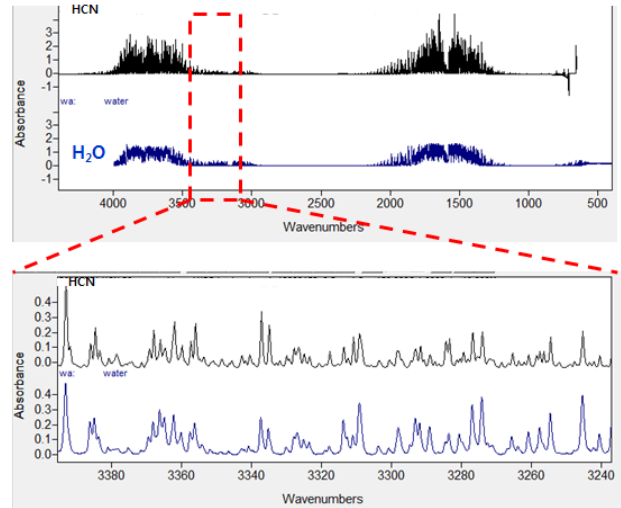


Figure 8. FT-IR data analysis of HCN filter data (3400~3200 cm⁻¹).

다. HCN 또한 젖은 휴지 또는 수분 67% (w/w) 수건에 의해 20 min 가량 HCN이 필터링되는 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 화재 발생 시 유독가스에 의한 인명피해를 최소화하는 방법으로 젖은 수건으로 코와 입을 막은 후 대피하는 방법에 대한 실제 성능을 정량화하였다. 필터(수건, 휴지)가 없는 조건을 기본으로 휴지와 수건의 수분 함유 여부에 따라 실험을 진행하였다. 물에 잘 녹지 않는 CO₂의 경우 수건의 유·무 및 수분 67% (w/w) 수건에 대한 효과는 없었다. 하지만 유독가스인 HCl, HCN 같은 수용성 가스의 경우 수분 67% (w/w) 수건이나 수분 97% (w/w) 휴지 만으로도 유독가스의 흡입을 일정 시간 지연할 수 있음을 실험적으로 확인하였다. 특히 HCl의 경우 수분 67% (w/w) 수건으로 40 min 이상 유독가스 흡입을 지연시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 이 결과를 토대로 향후 여러 조건을 변경(수분의 양, 수건의 양, 천의 종류 등) 및 추가적인 가스에 대한 실험을 통해 화재 시 효과적인 필터링 효과를 정량화하고자 한다.

후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원(“건축물 마감재료의 연소가스 유해성 평가방법·기준 및 독성DB구축” 과제번호 18AUDP-B100356-04)에 따라 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. United Kingdom Fire Statistics 1983, Home Office, London,

- (1983).
2. NES 713, "Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials Issue 3" (1985).
 3. K. S. Yoon and K. Y. Choi, "Fire Regulation for Building Material of Organic Matter", Proceedings of 2010 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 303-319 (2007).
 4. ISO 19702, "Guidance for Sampling and Analysis of Toxic Gases and Vapours in Fire Effluents using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy" (2015).
 5. D. A. Purser, "Bioassay Model for Testing the Incapacitating Effects of Exposure to Combustion Product Atmospheres Using Cynomolgus Monkeys", Journal of Fire Sciences, Vol. 2, No. 1, pp. 20-36 (1984).
 6. U. C. Luft, Handbook of Physiology, American Physiology Society, Washington, DC (1965).
 7. N. W. Cho, J. C. Lee and D. H. Rie, "A Comparative Study on Toxic Gas Index and Stop Time of Mouse Activity", Journal of Korean Institute Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 35-41 (2011).
 8. S. S. Kim, N. W. Cho and D. H. Rie, "A Research for Assessment Fire Toxic Gas of Construction Material Using FT-IR and FED", Journal of Korean Institute Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 27-31 (2011).
 9. Kim, S. S., Cho, N. W., & Rie, D. H., "A Research of Risk Assessment for Urethane Fire Based on Fire Toxicity", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 2, pp. 73-78 (2015).
 10. N. K. Kim, N. W. Cho and D. H. Rie, "A Study on the Risk of Particulate Materials Included in the Combustion Products of Building Materials", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 43-48 (2016).
 11. N. K. Kim, J. H. Park and N. W. Cho "Toxicity Factor Analysis through the Exposure Experiment of the Combustion Products on Wood-Based Materials", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 6, pp. 57-63 (2016).