



불화수소(HF)의 독성에 관한 실험 결과와 기존 연구의 비교 분석

김성수 · 조남욱* · 오은하** · 최순영*** · 이동호†

인천대학교 대학원, 한국건설기술연구원, 네오딘 의학연구소 생명과학센터**

인하대학교 의학과***, 인천대학교 소방방재연구센터†

A Comparing Analysis for Toxicity of Hydrogen Fluoride(HF) Experiment Result and Previous researches

Sung-Soo Kim · Nam-Wook Cho* · Eun-Ha Oh**

Soon-Young Choi*** · Dong-ho Rie†

Graduate School of Incheon, Safety Engineering

Korea Institute of Construction Technology(KICT)*

NEODIN Medical Science Institute Center For Life & Environmental
Science**

Department of Social & Preventive Medicine, Inha University***

Fire Disaster Protection Research Center, University of Incheon†

요 약

현대의 건축 재료는 각종 고분자 화합물의 비중이 커지고 있어 건축 재료가 연소할 때 발생하는 가스의 성분비가 천연재료를 이용하던 과거의 건축물과 차이를 보인다. 실제로 근래의 건축재료 연소가스의 정성분석결과에서도 천연재료의 연소가스에서 발견되는 CO, CO₂ 외에도 HF, HCN, HBr, HCl, NO, NO₂, SO₂ 등의 화학종이 발견되고 있다. 이러한 화학종들은 고분자 화합물에서 발생하는 것으로 분석되며, 건축 재료에서 화합물의 비중이 높아지는 만큼 향후 이러한 화학종들이 건축물의 화재에서 대피의 주요 방해요인으로 작용할 수 있다. 이에 본 연구에서는 HF를 대상으로 동물 노출실험을 통하여 얻은 결과와 HF에 대한 기존연구를 비교·분석하여 HF의 독성에 대한 기초 연구를 수행하였다.

1. 서 론

화재시 대피자의 주요 대피방해요인은 화염에 의한 직접적인 피해가 아닌 연소가스라는 점은 기존의 연구를 통하여 밝혀져 있다. 연소가스가 대피의 방해요인으로 작용하는 이유는 연소가스에 포함된 각종 가스에 의한 질식효과와 연기에 의한 가시도의 하락으로 대피자의 이동속도가 저하되기 때문이다.¹⁾ 자극성 가스는 피부, 안구, 호흡기의 점막에 작용하

여 정상 기능을 방해하고 고통을 유발하는 화학종이다. 현대 건축 재료는 우레탄, PVC 등과 같은 고분자 건축자재는 경량이면서도 단열성, 내구성이 우수하고 성형이 쉬우며, 전기 절연성이 높다는 장점을 가지기 때문에 사용량이 점차 늘어나고 있다. 그러나 내열성이 약해 열에 의한 변형이 크고, 연소시 HF, HCN, HBr, HCl, NO, NO₂, SO₂ 등의 유독성 가스가 발생하는 단점이 있다.²⁾ 이에 본 연구에서는 화재시 발생할 수 있는 가스 중 HF 가스를 대상으로 HF 표준물질을 제조하여 실험동물에 노출시키는 실험을 통해 HF가 동물에 미치는 영향을 행동정지시간과 병리학적 관점을 수행하였다.

2. HF 독성의 기존 연구

불화수소(HF : Hydrogen Fluoride)는 무색의 자극적인 냄새를 가지는 화학종으로 호흡기 노출시 기도나 폐가 손상될 수 있고 폐부종, 기관지염, 폐장의 출혈·괴사, 갑상선 기능 이상이 발생할 수도 있다. 표적 장기는 간장, 위장이며 높은 농도에 노출된 경우, 호흡기를 통하지 않고 피부를 통하여 침투하여 통증을 유발할 수 있다.³⁾

1982년 John B. Morris는 HF를 실험용 쥐에 노출시켜 사망 시간을 측정함으로써 독성을 분석하였다.⁴⁾ 또한, 우레탄의 연소가스를 FT-IR로 정성, 정량 분석한 결과, 분당 평균 발생량 117ppm의 HF가 검출된 연구결과가 있었다.⁵⁾ 미국 산업위생협회(AIHA)가 제시한 비상상태 대응계획수립지침(ERPG)에 따르면 사망을 방지하기 위한 최대 노출 한계(ERPG-3)는 50ppm, 1시간 노출시 대피능력 저하를 유발하는 노출한계(ERPG-2)는 20ppm으로 제시되어 있다.³⁾ 또

Table 1. TWA and Ceiling of OSHA about HF

기관명	규제 기준	규제 수치 (ppm)
OSHA	TWA	3
	Ceiling	6

한, 미국 직업안전 위생관리국(OSHA)은 HF에 대한 노출 가능 기준을 Table 1과 같이 제시하였다.⁶⁾

3. 실험기기 및 방법

3.1 노출실험

본 연구에서의 유독가스 노출 실험은 국내에서 건축물의 마감재료 난연 성능 시험에서 규정하는 KS F 2271의 가스 유해성 시험을 적용하였다. 가스 유해성 시험 방법은 본래 건축 재료가 연소할 때 발생하는 가스를 피검 상자에 위치한 실험용 흰 쥐에게 노출시켜 독성을 평가하는 시험이다.⁷⁾ 본 연구에서

Table 2. HF Standard Gas

NO	농도(ppm)
1	21.0
2	58.3
3	229.0
4	608.0

는 피검 상자만을 대상으로 Table 2의 4가지 농도의 HF 표준 독성 물질을 23ℓ/min의 유량으로 주입하여 평균 행동정지 시간을 측정하였다. 이때, 23ℓ/min의 유량은 KS F 2271의 가스 유해성 시험에서 시료의 연소가스가 피검 상자로 유입되는 유량에 기초하여 설정하였다.

3.2 병리학적 분석 실험

병리학(病理學, Pathology)은 질병의 발생 원인을 해명하고, 그로 인하여 일어나는 생체 조직의 형태학적 변화 및 기능적 장애를 조사하여 병적 과정의 본질을 규명하는 의학의 분야이다.⁸⁾ 본 연구에서는 3.1의 가스유해성시험 기준에 따라 HF에 노출된 실험동물의 장기 손상 여부 및 정도를 파악하기 위하여 병리학적 분석 기법을 이용하였다.

4. 결과 분석

4.1 가스유해성 시험 결과

가스유해성 시험 방법에 따라 HF에 노출된 실험동물의 행동정지시간을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 실험에 사용된 HF의 최저농도는 21ppm, 최고농도는 608ppm으로 약 30배의 차이를 보이나, 평균행동정지시간은 20초 내외의 작은 차이를 보였다. 평균행동정지시간의 측정을 통하여 HF의 농도에 따른 독성 평가 실험 결과, 변별력을 가지지 못하여 병리학적 분석을 통하여 평가하였다.

Table 3. Result of the average deed stopping time

농도 (ppm)	평균행동정지시간(min : sec)
21.0	7 : 21
58.3	7 : 01
229.0	7 : 20
608.0	7 : 21

4.2 병리학적 분석 결과

4가지 농도의 HF가스에 실험동물을 노출시키고, 평균행동정지시간과 해부를 통한 임상 병리학적 데이터를 출력, 분석하였다. 해부결과, 각 장기에서 조직 세포의 충혈, 출혈, 궤사, 혈전, 거대세포로의 전이가 발견되었으며 그 결과는 Table 4와 같다.

심장에서는 HF의 노출에 의한 이상이 발견되지 않았다. 그러나 비장, 신장, 흉선 등의 장기에서는 충혈, 출혈이 발견되었으며 특히, 폐와 간에서는 광범위한 출혈과 궤사 등이 추가로 발견되었다. 신장을 제외한 다른 장기에서는 노출된 농도가 같은 실험동물에게서 동일한 증상이 관찰되어 실험동물군내에서의 차이는 발견되지 않았다. 또한, 동일 장기에서는 노출 농도가 높아짐에 따라 피해의 정도가 심해지는 경향을 보였다.

5. 결론

KS F ISO/TR 2271에 따른 건축 마감 재료의 난연 성능 시험방법을 이용하여 HF의 표준물질을 실험동물에게 노출시켜 도출된 평균행동정지시간 측정결과와 병리학적 분석의 결과를 비교하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 평균행동정지시간을 분석한 결과, 4가지 농도에서 큰 차이를 보이지 않아 HF 가스가 행동정지시간에 미치는 영향을 확인하지 못하였다.
2. 실험동물의 병리학적 분석결과, 농도가 높아짐에 따라 조직세포의 손상이 심해지는 경향을 보였다.
3. HF의 표적 장기는 간, 폐, 비장, 흉선으로 출혈, 혈전 등을 유발하여 기능 저하를 일으키며, 특히 폐와 간에서의 광범위한 출혈과 궤사가 발생하였다.
4. 평균행동정지시간에서는 가스 농도별 손상정도의 차이가 크지 않으나, 병리학적 분석으

로는 차이가 발견되었다. 이에 추가적인 연구를 통하여 화재시 발생할 수 있는 다른 독성가스에 대한 추가 연구가 필요하다.

Table 4. Pathology Result of laboratory animals Exposed at HF

Organ	Chemical Species	HF (ppm)				
	Dose(ppm)	21	58.3	229	608	Total
	Number of animal	5	5	5	5	20
Liver(간)	충혈 &출혈(+), fatty change(+), sinnsoid 충혈 &출혈(+), 췌사(+), 혈전(+), 거대세포 증가(+)	5	0	0	0	5
	sinnsoid 충혈(++), central vein혈전(++), fatty change(++)	0	0	5	0	5
	alveolar wall 충혈(+)&출혈(+),혈관 thrombosis(+)	5	0	0	0	5
Lung(폐)	alveolar wall 충혈 &출혈(+++), 동맥fibrinoid췌사(+),정맥 혈전(+)	0	5	0	0	5
	alveolar wall 충혈 &출혈(+++), alveolar wall 파괴(+), 동맥fibrinoid췌사(+)	0	0	5	0	5
	red pulp area 충혈 &출혈(+), 거대세포 증가(+)	5	0	0	0	5
Spleen(비장)	red pulp area 충혈 &출혈(++), 거대세포 증가(++)	0	0	5	5	10
	Tubule 혈관의 충혈 &출혈(+)	1	1	1	1	4
Thymus(흉선)	혈관충혈 &출혈(+), 혈전증(+)	0	5	0	0	5
	혈관충혈 &출혈(++), 혈전증(++)	0	0	5	0	5

감사의 글

본 연구는 2011년도 한국건설교통기술평가원 첨단도시개발사업 “연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발”에 대한연구비 지원에 의한 결과의 일부이며 본 연구를 가능케 한 한국건설교통기술평가원에 감사드립니다.

참고문헌

1. United Kingdom Fire Statistics 1983, Home Office, london (1983).
2. 한구대, “건축시공”, 한솔아카데미, pp. 439-440 (2008)
3. SFPE, “The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, “Section Three. HAZARD CALCULATIONS”, pp3-23 - 3-24(3rd edition).
4. John B. Morris, Frank A. Smith, “Regional deposition and absorption of inhaled hydrogen fluoride in the rat” Toxicology and applied pharmacology, Vol.62, pp. 81-89 (1982)
5. 조남욱, 전준표, 김홍열, 민병렬, “샌드위치패널의 난연성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회 2006년도 학술발표대회 논문집, Vol 26 (2006)