

마우스(mouse)를 이용한 건축물 마감재료 연소가스 SO₂의 독성생체지표 연구

이 동 호* · 조 남 옥** · 최 순 영*

*인천대학교 소방방재연구센터 · **한국건설기술연구원

A Study on Toxicity Bio-markers of a Mouse using Combustion Gas SO₂ generated from Fire

Dong-Ho Rie* · Nam-Wook Cho** · Soon-Young Choi*

*Fire Disaster Protection Research Center, University of Incheon

**korea Institute of Construction Technology(KICT)

Abstract

This study was carried out to observe the impacts of a mouse's inhalation of toxic gas SO₂ generated from combustion on its organs by different concentrations.

As for research methods: First, after concentrations of SO₂ generation from combustion had been set to three: low (10.4 ppm), middle (24.9 ppm) and high (122 ppm) through Gas Toxicity Testing Method (KS F 2271) and SO₂ combustion gas was exposed to eight mice in each concentration. Five mice that were able to move based on LD₅₀, a criterion, which sets the down time of a mouse's average behaviors to over 9 minutes, were randomly selected in each concentration, and they were set up as the subjects of the study on toxicity bio-markers. Second, tissues were taken from heart, liver, lungs, spleen and the thymus gland of the mice selected in each concentration and a pathological examination of them was carried out.

As a result, microvascular congestion appeared in the heart, and cell necrosis, cortex congestion and tubule medulla congestion, etc. in each concentration were observed in addition to vascular congestion in liver, lungs, spleen and the thymus gland. Also, it was found that the higher the concentrations of SO₂ exposure is, the greater, the changes in the organs get.

Through this study, SO₂ of various toxic gases generated from fire turned out to affect the tissues of each organ of a mouse, it is expected that the toxic gases may greatly affect human body in case of actual fire, and this study is evaluated as having a significance as a basic data on inhalation toxicity assessment of toxic substances generated in combustion.

Keywords: Fire, Combustion gas, Toxic gas, Toxicity bio-markers, SO₂, Mouse

† 본 연구는 2011년도 한국건설교통기술평가원 첨단도시개발사업 - 연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발(과제번호: 11첨단도시C03) 연구비 지원에 의하여 수행되었음

† 교신저자: 최순영, 인천광역시 연수구 송도동 12-1번지,

Tel: 032-860-8702, E-mail: welcom-news@hanmail.net

2012년 1월 20일 접수; 2012년 3월 10일 수정본 접수; 2012년 3월 16일 게재확정

1. 서 론

최근 화재 발생의 경향은 단순하게 주거를 비롯한 건물 화재에 국한된 것이 아니라 차량, 철도·선박·항공기 등 화재 장소가 광범위해지고 있으며, 화재발생건수도 매년 증가 추세를 보이고 있다. 특히, 1999년 인천광역시에서 발생한 호프집 화재 사건, 2003년 대구 지하철 화재 사건, 2007년 여수 화재 사건 등의 대형 화재 사건을 비롯하여 도심지역의 초고층 건물의 등장과 차량 등으로 인하여 화재 진압에 어려움을 겪으면서 소방 안전에 관한 인식은 더욱 높아지고 있다[1].

2011년 상반기 소방방재청의 발표 자료에 의하면 국내에서 발생하는 화재는 비주거를 제외하고 주거가 22.4%로 가장 높게 보고되고 있어 건축물을 통한 소방 안전에 대한 인적·물적 피해를 줄이기 위한 노력과 더불어 유독가스 등으로 인한 2차 피해를 줄이기 위한 방안 마련이 시급하다[2]. 현재 소방법에서는 5층 이상의 건축물의 경우 마감재의 70% 이상을 불연 재료로 교체해야 한다고 규정하고 있으며, 지하공간의 신축 시에는 불연재 사용을 의무화하고 있다. 이는 건축물 마감재가 고분자 화합물질 등을 재료로 하여 화재 발생 시 화염의 속도를 빠르게 하고 연소 시 유독가스가 발생하여 인체에 치명적인 영향을 주며, 화재 시 발생하는 열, 연기, 유해가스가 위험 요인으로 나타나고 있기 때문이다[3].

이에 화재로 인한 건축물 등의 화재안전성능에 관한 관심이 높아지고 있으며, 현재 우리나라에서 건축물 내장재의 화재안전성능 평가는 국토해양부 고시 제 2009-866호에 의한 평가방법에 의해 불연성시험(KS F ISO 1182), 열방출률시험(KS F ISO 5660) 및 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하여 그 결과를 분류하고 있다. 이 중 화재 발생 시 유독가스 평가에 활용할 수 있는 가스유해성시험은 시험용 흰쥐 8마리가 연소가스에 노출 되었을 때 나타나는 평균행동정지시간(min)을 측정하여 일정 시간 이상이 되는 재료만을 허용하고 있으며, 이 시험방법은 국외의 경우 동물보호의 차원에서 꼭 필요한 경우를 제외하고는 지양되고 있고 일본과 한국에서만 건축법에 의해 실시되고 있다[4][5][6].

그러나 최근 국내에서도 동물보호법 및 실험동물에 관한 법률에 따라 동물실험을 제한하고 있고, 국내 흡입 가이드라인에 대한 정보는 매우 부족한 실정으로 국내에서 실시하고 있는 가스 유해성 평가방법은 단지 흰쥐의 행동정지시간이라는 결과만 도출될 뿐, 어떠한 독성가스가 얼마의 농도로 발생하여 흰쥐에 악영향을 미쳤는지 정량적으로 평가할 수 없다는 한계점을 가지고 있는 것이 현실이다.

화재 시 발생하는 건축 마감 재료의 연소 가스는 대부분 CO, CO₂, SO₂, HCHO, CH₂CHCN, NO_x 등이 검출 되는 것으로 알려져 있으나 이들 물질은 단일 물질로 검출되기보다는 복합유기화합물 형태로 발생하여 화학물질의 상승 및 상가 작용을 일으키고 있다[7][8][9].

이중 SO₂는 탄소 이황화합물(CARBON BISULFIDE)로 고산화성 액체 및 증기 고온에서 분해되어 독성가스를 생성하는 특징을 가지고 있어 화재 연소 시 발생하는 유해 가스 중 대표적인 물질이며, 화재 안전 관리에 필수적인 물질이라 할 수 있다. SO₂는 건축물 화재 시 내장재, 방염 카펫, 방염 처리 합판, 소파 등의 혼합고분자물질 연소 시 발생하고 화재 시 발생하는 증기는 공기와 폭발성 혼합물을 형성하여 증기가 점화원까지 이동하여 역화(flash back)할 수 있는 반응 특성을 가지고 있다[10].

연소독성에 관련된 연구는 대부분 건축마감재료를 연소시켜 발생하는 성분 분석에 관한 연구가 대부분으로 조남옥 등(2011)이 연소독성지수와 동물 실험을 통하여 연소 독성에 대한 상대적 비교를 발표한 바 있으나 아직까지 연소 독성 가스가 인체에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구는 시도된 바가 없다[4].

국외 연구의 경우 Yoshida 등(1991)은 주택 화재 희생자를 대상으로 연령, 일상화탄소와 수소시안화물에 다른 헤모글로빈 농도 및 신체의 용혈현상 등에 관하여 연구한 바 있으며, Leopoldo(2005)는 화재로 입원한 환자의 약 10%가 연기로 인한 호흡기 손상이 있으며, 약 20%가 사망률에 영향을 주는 것으로 예측할 수 있다고 밝힌 바 있다. 또한 영국의 Glasgow지역의 화재 사망에 대한 병리학적인 연구가 있으나 치사 측면에 국한되어 왔다[11][12][13].

이에 본 연구에서는 화재 연소 시 발생하는 독성 가스 중 SO₂를 대상으로 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 통하여 피실험동물(흰쥐)에 실험대상물질(SO₂)을 흡입시킨 후 이들 실험동물군의 내부 장기 변화를 확인하고자 하였으며, 본 연구를 통하여 연소시 발생하는 유해물질의 흡입독성평가방법의 확립과 표준작업에 대한 절차서(Standard Operation Procedure, SOP)확립을 위한 기초자료를 마련하고자 하였다.

2. 연구 대상 및 방법





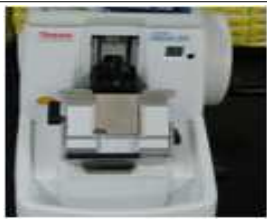




마우스(mouse)를 이용한 건축물 마감재료 연소가스 SO₂의 독성생체지표를 알아보기 위하여 첫째, 건축마감재 연소 시 생성되는 물질 SO₂의 농도별 노출군 구성 후 급성흡입독성실험을 실시하여 평균행동정지시간(min)을 측정하였다. 둘째, SO₂에 노출된 재료(mouse)를 대상으로 장기조직을 육안관찰 및 병리학적인 검사를 수행하였다.

2.1 실험동물 및 사육환경

국내(대한바이오링크(주))에서 공급되는 특정병원체 부재(Specific pathogen free; SPF)의 ICR계 mouse 암컷을 사용하였으며, 실험동물은 실험실에서 1주일 이상 순화 후 5연식 스테인리스 철망케이지에 수용되었다.

사육환경은 온도 22±3℃, 상대습도 50±20%, 환기회수 12~15회/시간, 조명 150~300Lux로 12시간, 사료는 DIET 5L79(PMI Nutrition LLC), 급수는 상수도수를 HEPA 여과필터로 정화된 음용수를 자유롭게 섭취토록 하였다. 단, 사료는 시험물질 노출시간에는 시험물질의 사료 내 흡수를 막기 위해 공급하지 않았다.

<표 1> 검체 제작 및 평가 방법

순서	검사단계		검사 내용
1	접수		표본제작용 검체 채취 및 고정
2	육안검사		운송 및 검체 접수
3	고정		고정불량 검체 재 고정
4	수세		흐르는 물로 고정액 제거
5	탈수		저농도 Alcohol에서 고농도 Alcohol을 거치면서 수분제거
6	투명		Xylene에서 탈Alcohol과정
7	침투		Paraffin을 조직내부에 침투시키는 과정
8	포매		paraffin block을 만듦
9	삭정		박절을 위해 paraffin block을 다듬는다
10	박절		박절기로 조직을 두께 2µ내외로 자른다
11	염색		일반 H&E 염색 및 특수염색
12	봉입		봉입제로 봉입하여 조직표본의 파손방지
13	검경		현미경으로 검경하여 슬라이드 Quality 점검
14	판독		현미경으로 판독하여 진단함
15	Slide & Block 정리		판독이 끝난 Slide와 paraffin block 정리

2.2 mouse를 이용한 건축물 마감재료 가스 유해성시험(SO2)

건축물 마감재료 연소가스 SO2의 유해성시험 기간은 2011년 12월 7일부터 15일까지 수행되었으며, 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 사용하였다<표 1>. 본 연구에서는 재료(mouse)를 대조군(오염되지 않은 mouse)와 저·중 고농도로 노출군을 분류한 후 각 군별로 8마리의 흰쥐를 전신흡입방법으로 챔버에 노출 시켰으며, 이 중 무작위로 각 농도별 5마리, 총 15마리를 대상으로 병리독성실험을 실시하였다[4][5][6].

2.3 mouse를 이용한 건축물 마감재료 가스 유해성시험(SO2)의 병리독성 실험

모든 동물을 부검하여 1차 육안 관찰을 하였으며, 폐, 신장, 간, 심장, 비장 등의 장기를 적출하여, 10% 중성 포르말린 용액에 고정 보관하고 장기조직 중 폐는 병리조직학적 검사를

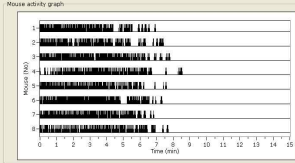
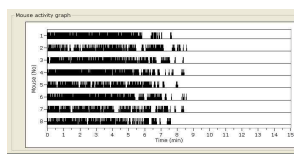
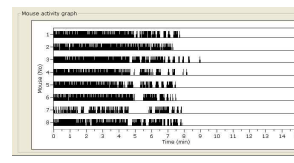
하였다. 검체 제작은 조직에 대하여 일정한 두께로 삭정한 다음, 일반적인 조직처리과정을 거쳐 파라인 포매하고 2~3μm 두께로 박절하여 조직절편을 제작한 후, H&E(Hematoxylin & Eosin) 염색을 실시하였다. 완성된 조직 검체는 광학현미경(Olympus BX50, Olympus Optical)으로 관찰하였으며, 관찰한 조직에 대하여는 광학현미경에 부착된 디지털 카메라(Olympus DP70, Olympus Optical)를 이용해 사진 촬영하였다<표 1>.

3. 결 과

3.1 건축물 마감재료 가스유해성시험(SO2)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 실험농도를 설정하기 위하여 FTP(Fire Test Procedure: 국제해사기구에서 정하는 화재안전규격)의 기준농도와 유사한 범위를 <표 2>와 같이 저농도 10.4ppm, 중농도 24.9ppm, 고농도 122ppm로 노출군을 설정하여 실험용 쥐의 평균행동 정지시간을 측정하였다.

<표 2> 건축물 마감재료 가스 유해성시험을 통한 SO2의 평균행동정지시간 측정

실험 농도 수준	저농도	중농도	고농도																																																																								
건축물 마감재료 가스유해성시험 (SO2)																																																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mouse wheel</th> <th>Stop time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td>06분56초</td></tr> <tr><td>M2</td><td>07분24초</td></tr> <tr><td>M3</td><td>07분48초</td></tr> <tr><td>M4</td><td>08분31초</td></tr> <tr><td>M5</td><td>07분35초</td></tr> <tr><td>M6</td><td>07분19초</td></tr> <tr><td>M7</td><td>06분50초</td></tr> <tr><td>M8</td><td>07분41초</td></tr> <tr><td>평균값</td><td>07분31초</td></tr> <tr><td>표준편차</td><td>00분30초</td></tr> <tr><td>평균행동정지시간</td><td>07분01초</td></tr> </tbody> </table>	Mouse wheel	Stop time	M1	06분56초	M2	07분24초	M3	07분48초	M4	08분31초	M5	07분35초	M6	07분19초	M7	06분50초	M8	07분41초	평균값	07분31초	표준편차	00분30초	평균행동정지시간	07분01초	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mouse wheel</th> <th>Stop time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td>07분39초</td></tr> <tr><td>M2</td><td>08분35초</td></tr> <tr><td>M3</td><td>08분23초</td></tr> <tr><td>M4</td><td>08분25초</td></tr> <tr><td>M5</td><td>08분02초</td></tr> <tr><td>M6</td><td>08분34초</td></tr> <tr><td>M7</td><td>08분24초</td></tr> <tr><td>M8</td><td>07분36초</td></tr> <tr><td>평균값</td><td>08분12초</td></tr> <tr><td>표준편차</td><td>00분22초</td></tr> <tr><td>평균행동정지시간</td><td>07분50초</td></tr> </tbody> </table>	Mouse wheel	Stop time	M1	07분39초	M2	08분35초	M3	08분23초	M4	08분25초	M5	08분02초	M6	08분34초	M7	08분24초	M8	07분36초	평균값	08분12초	표준편차	00분22초	평균행동정지시간	07분50초	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mouse wheel</th> <th>Stop time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td>07분43초</td></tr> <tr><td>M2</td><td>07분18초</td></tr> <tr><td>M3</td><td>08분58초</td></tr> <tr><td>M4</td><td>08분09초</td></tr> <tr><td>M5</td><td>07분27초</td></tr> <tr><td>M6</td><td>07분29초</td></tr> <tr><td>M7</td><td>07분50초</td></tr> <tr><td>M8</td><td>07분51초</td></tr> <tr><td>평균값</td><td>07분51초</td></tr> <tr><td>표준편차</td><td>00분30초</td></tr> <tr><td>평균행동정지시간</td><td>07분21초</td></tr> </tbody> </table>	Mouse wheel	Stop time	M1	07분43초	M2	07분18초	M3	08분58초	M4	08분09초	M5	07분27초	M6	07분29초	M7	07분50초	M8	07분51초	평균값	07분51초	표준편차	00분30초	평균행동정지시간	07분21초
	Mouse wheel	Stop time																																																																									
	M1	06분56초																																																																									
	M2	07분24초																																																																									
	M3	07분48초																																																																									
	M4	08분31초																																																																									
	M5	07분35초																																																																									
	M6	07분19초																																																																									
	M7	06분50초																																																																									
M8	07분41초																																																																										
평균값	07분31초																																																																										
표준편차	00분30초																																																																										
평균행동정지시간	07분01초																																																																										
Mouse wheel	Stop time																																																																										
M1	07분39초																																																																										
M2	08분35초																																																																										
M3	08분23초																																																																										
M4	08분25초																																																																										
M5	08분02초																																																																										
M6	08분34초																																																																										
M7	08분24초																																																																										
M8	07분36초																																																																										
평균값	08분12초																																																																										
표준편차	00분22초																																																																										
평균행동정지시간	07분50초																																																																										
Mouse wheel	Stop time																																																																										
M1	07분43초																																																																										
M2	07분18초																																																																										
M3	08분58초																																																																										
M4	08분09초																																																																										
M5	07분27초																																																																										
M6	07분29초																																																																										
M7	07분50초																																																																										
M8	07분51초																																																																										
평균값	07분51초																																																																										
표준편차	00분30초																																																																										
평균행동정지시간	07분21초																																																																										
최종 SO2 실험 농도값 (ppm)	10.4ppm	24.9ppm	122ppm																																																																								

3.2 마우스(mouse)를 이용한 건축물 마감재료 가스유해성시험(SO2)의 신체부위별 병리독성 결과

3.2.1 SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 심장(Heart)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 가스유해성시험 결과 재료(mouse)의 신체부위 중 심장은 <표 3>과 같이 저·중 고농도에서 모두 소혈관에서 혈액이 고이거나 암자색 또는 암청색으로 변하며, 주위가 부어 오르는 울혈 증상이 나타났다.

<표 3> SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 심장(Heart)

Organ/ Findings	Dose(ppm)	저농도	중농도	고농도	Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Heart	이상소견 없음(변화없음), 소혈관울혈(+)	5	5	5	15

3.2.2 SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 간(Liver)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 가스유해성시험 결과 재료(mouse)의 신체부위 중 간(Liver)은

<표 4>, [그림 2]와 같이 저·중 고농도에서 모두 central vein(중심정맥)의 울혈, portal vein(간문맥)의 울혈, cell necrosis(세포 괴사), sinusoid space(굴맥관 공간)의 울혈이 관찰되었다. 특히, 고농도 122ppm에서는 cell necrosis(세포 괴사)가 심한 증상을 보이는 것으로 나타났다.

<표 4> SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 간(Liver)

Organ/ Findings	Dose(ppm)	저농도	중농도	고농도	Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Liver	central vein, 울혈(+), portal vein 울혈(+), cell necrosis(+)	5	0	0	5
	central vein, 울혈(+), partial vein 울혈(+), cell necrosis(+), sinusoid space 출혈(+)	0	5	0	5
	central vein, 울혈(+), portal vein 울혈(+), cell necrosis(++), sinusoid space 출혈(+)	0	0	5	5

3.2.2 SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 폐(Lung)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 가스유해성시험 결과 재료(mouse)의 신체부위 중 폐(Lung)은 <표 5>, [그림 2]와 같다. 이 저농도(10.4ppm)에서는 작은혈관울혈, 허파파리울혈, alveolar septum(폐포의 격

막)이 나타났으며, 큰혈관울혈은 나타나는 재료(mouse)가 있는 경우와 없는 경우가 모두 관찰되었다. 중농도(24.9ppm)과 고농도(122ppm)에서는 작은혈관울혈, 큰혈관울혈, 세기관지 울혈, 허파파리울혈이 모두 관찰되어 SO2의 연소가스 노출 농도가 높아질수록 폐(Lung) 조직의 손상도가 높아지는 것을 관찰 할 수 있었다.

<표 5> SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 폐(Lung)

Organ/ Finding	Dose(ppm)	저농도	중농도	고농도	Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Lung	작은혈관울혈(+), 큰혈관울혈(+/-), 세기관지 울혈(-), 허파파리울혈(+)-alveolar septum	5	0	0	5
	작은혈관울혈(+), 큰혈관울혈(+), 세기관지 울혈(-), 허파파리울혈(+)	0	5	5	10

3.2.3 SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 비장(Spleen)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 가스유해성시험 결과 재료(mouse)의 신체부위 중 비장(Spleen)은 <표 6>, [그림 2]와 같이 저농도(10.4ppm)에서는 작

은혈관울혈, cortex(피질)울혈과 Giant cell(거대세포) 증식 및 medulla(수질부) 조직 변성이 발견되었으며, 중농도(24.9ppm)에서는 작은혈관울혈, 큰혈관울혈, Giant cell(거대세포) 증식, medulla(수질부) 조직 변성과 함께

cortex(피질)울혈 현상이 높게 나타나 저농도 노출과 차이를 보였다. 고농도(122ppm)에서는 저농도·중농도와는 달리 작은혈관울혈과 큰혈관울혈만 관찰되었다.

<표 6> SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 비장(Spleen)

Organ/ Findings	Dose(ppm)	저농도	중농도	고농도	Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Spleen	작은혈관울혈(+), Giant cell(+), cortex 울혈(+), medulla(+)	5	0	0	5
	작은혈관울혈(+), 큰혈관 울혈(+), Giant cell(+), cortex 울혈(++), medulla(+)	0	5	0	5
	작은혈관울혈(+), 큰혈관 울혈(+)	0	0	5	5

3.2.4 SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 신장(Kidney)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 가스유해성시험 결과 재료(mouse)의 신체부위 중 신장

(Kidney)은<표 7> [그림 2]와 같다. 그 결과 각 농도별 1마리의 재료(mouse)에서 연소 농도 노출에 관계없이 사구체울혈과 세포괴사가 관찰되었으며, cortex(피질)울혈과 신장 Tubule medulla(세관 수질부)울혈의 손상이 높은 것으로 나타났다.

<표 7> SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 신장(Kidney)

Organ/ Findings	Dose(ppm)	저농도	중농도	고농도	Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Kidney	사구체울혈(+), cortex울혈(++), Tubule medulla 울혈(++), 세포괴사(+)	1	1	1	3

3.2.5 SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 흉선(가슴샘, Thymus)

건축물 마감재료의 연소 시 발생하는 SO2의 가스유해성시험 결과 재료(mouse)의 신체부위 중 흉선(Thymus)은<표 8>, [그림 2]와 같다. 그 결과 고농도

(122ppm)에서는 작은 혈과과 큰혈관의 울혈리 모두 관찰되었으며, 저농도(10.4ppm)와 중농도(24.9ppm)에서는 작은혈관울혈, 큰혈관울혈, cortex(피질) 울혈(+), medulla(세관 수질부)울혈이 관찰되어 농도에 따라 흉선의 조직 변화의 차이를 보였다.

<표 8> SO2의 실험농도별 신체부위 병리독성 결과 - 흉선(가슴샘, Thymus)

Organ/ Findings	Dose(ppm)	저농도	중농도	고농도	Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Thymus	작은혈관울혈(+), 큰혈관울혈(+)	0	0	5	5
	작은혈관울혈(+), 큰혈관울혈(+), cortex 울혈(+),medulla울혈(+)	5	5	0	10

장기(ppm)	Control	저농도(10,4)	중농도(24,9)	고농도(122)
Liver				
Lung				
Spleen				
Thymus				
Kidney				

[그림 2] 건축물 연소 시 발생하는 독성가스 SO₂의 농도별 마우스 흡입 시 장기 조직의 병리적 변화

4. 결론 및 제언

최근 초고층 건물을 포함한 대형 화재로 인하여 인명피해가 증가하고 외상 후 스트레스 및 폐, 식도 등의 신체장애 등으로 인한 2차 피해가 커짐에 따라 화재 안전에 관한 관심이 매우 높아지고 있다. 특히, 화재로 인하여 발생하는 독성가스는 재실자의 피난 및 화재 진압 과정에 어려움을 주는 주요 원인으로 건축물의 마감 재료에 따라 그 성분에 대한 차이는 매우 크며, CO, CO₂, SO₂, HCHO, CH₂CHCN, NO_x 등의 연소가스가 단일물질 또는 복합적으로 발생하는 것으로 보고되고 있다[7][8][9].

국내에 화학물질 SO₂(이황화탄소) 알려진 것은 원진레이온 공장에서 근무하였던 근로자의 SO₂ 중독에 의하여 직업병 판정을 받은 후로 과거 SO₂(이황화탄소)는 여러 산업장에서 유기용제로 사용되어 왔다. SO₂(이황화탄소)는 주로 호흡기와 피부를 통하여 인체에 흡수되고 일차적으로 신경독으로 작용하는 기전을 가지고 있

으며, 화재와 같이 급성으로 SO₂(이황화탄소)에 노출 시에는 다행증, 환각, 심한 과민성 반응, 망상과 경련, 정신신경학적 증상 등의 장애를 일으키게 된다[14][15].

SO₂(이황화탄소)를 흰쥐에 경구 투여하여 혈중 SO₂(이황화탄소)에 대해 연구결과를 발표한 김치년 등(1992)은 결합형 SO₂(이황화탄소)가 투여기간과 용량에 따라 증가하며, 오래 잔류한다고 보고한 바 있지만 아직까지 흡입독성을 통한 SO₂(이황화탄소)의 장기 조직에 대한 변화 관찰에 대한 연구는 발표된 바가 없다[16].

본 연구 결과 화재 시 건축 마감재 연소에 의하여 발생하는 연소 독성가스 SO₂(이황화탄소)의 흡입독성 시험방법의 확립을 위하여 ICR계 mouse와 전신흡입노출장치를 이용하여, 독성가스 노출 및 병리검사를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 심장에서는 농도에 관계없이 혈관의 울혈이 나타났다.

둘째, 간에서 국소적으로 관찰된 충혈과 울혈(central vein and portal space)은 저농도, 중농도, 고농도 모두

나타났으며, 간세포 파괴가 고농도에서 높게 나타났다.

셋째, 중농도 이상 노출군의 종말 및 호흡기관지와 가까운 폐포에서 대식세포(Macrophage)의 침윤을 유발하는 것으로 나타났다.

넷째, 비장(spleen)과 흉선(Thymus)의 흡입독성시험에서는 최고농도에서 소혈 및 충혈과 울혈이 전반적으로 확인되었다. 신장에 대한 검사 결과 신사구체, proximal(몸쪽) & distal tubule(원심세뇨관)울혈이 저농도, 중농도, 고농도에서 관찰되었다.

마지막으로 SO₂(이황화탄소)의 흡입독성시험방법에 대한 조직의 병리검사로 전체적으로 충혈과 울혈은 확인되었고, 조직 중 폐와 신장에서 조직손상이 심한 것으로 나타났다.

본 연구는 화재 연소 시 발생하는 독성가스의 인체 영향을 마우스를 이용한 동물실험의 병리학적 검사를 통하여 간접적으로 확인하였는데 그 의의가 있다.

아직까지 일반 국민 및 산업 현장에서도 화재에 관한 교육은 대부분 발생을 줄이기 위한 부분에 초점이 맞추어져 있어 실제 화재 발생 시 인명 피해 및 화재 후 신체적 심리적 손상에 대한 피해가 크다. 이에 다양한 화학물질을 사용하는 산업현장의 경우 화재 발생을 줄이기 위한 교육과 더불어 화재 발생 시 독성 물질의 가스 노출을 최소화 할 수 있는 수시 교육이 요구되며, 본 연구를 통하여 화재 연기로 인한 신체 손상에 대한 교육 자료 및 예방 대책 자료의 활용되기를 기대한다.

산업 현장에서는 사용되는 물질의 화재 연소 시 발생 가능 가스 물질에 대한 예방 대책 매뉴얼 확립이 필요하며, 화재 연기가 단일 물질이 아닌 복합물질 형태로 발생하는 것을 예측하여 사업장 건물 신축 및 인테리어 시 마감재를 불연성 물질로 대체하는 것이 필요하다. 또한 석유 화학 산업과 같은 화학물질을 많이 사용하는 사업장의 경우 불연성 물질의 대체와 독성 마스크와 같은 보호 장비의 구축이 필수적이라 할 수 있다. 본 연구는 SO₂를 이용한 단일 물질의 연소 독성 가스의 인체 영향을 마우스를 이용하여 간접적으로 확인하여 추후 다양한 독성가스 물질과 비교 연구가 필요하며, 화재 시 발생하는 독성가스 노출에 대한 혈액학적 소견 및 유전독성에 미치는 영향 등 흡입독성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 김만철, 김병석, “초고층 건축물 소방안전관리의 기본방향에 관한 연구”, 대한안전경영과학회지, 13(2), (2011): 67-75.
- [2] 소방방재청, “2011 상반기 화재발생현황 분석”, 소방방재청, (2011): 1-4.
- [3]곽성근, “기능·난연성 무기재료 개발 및 이를 이용한 건축 재료에 관한 연구”, 경일대학교 석사학위논문, (2009): 1-2.
- [4] 이인구, 조남옥, 이봉재, 이동호, “Smoke density chamber를 적용한 건축물 마감재의 연소가스 독성 평가”, 한국화재소방학회 학술대회 논문집, (4), (2011): 248-251.
- [5] 조남옥, 이종천, 이동호, “연소독성지수와 마우스 행동정시시간 비교 연구” 한국화재소방학회논문지, 25(4), (2011): 35-41
- [6] KS F 2271, 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법, 한국표준협회, (1998).
- [7] 이장원, 이봉우, 권성필, 이병호, 김희수, 김현중, “콘 칼로리미터를 이용한 건축 바닥재의 연소거동과 가스 유해성 평가”, Mokchae Konghak, 36(1), (2008): 45-53.
- [8] 신동일, 원동빈, “방염물질의 화재시 가스유해성 예측 및 평가 Tool”, Theories and Applications of Chem. Eng, 13(1), (2007): 1209
- [9] 박영주, 이해평, 김해림, 이원석, 양영숙, 이미리, “건축용 외장재의 연소가스 독성평가”, 한국화재소방학회 학술대회 논문집, (4), (2011): 441-446
- [10] 한국산업안전보건공단(www.kosha.or.kr), MSDS (물질안전보건자료).
- [11] M. Yoshida, J. Adachi, T. Watabiki, Y. Tatsuno, N. Ishida, “A study on house fire victims: age, carboxyhemoglobin, hydrogen cyanide and hemolysis”, Forensic Science International, 52(1), (1991): 13-20.
- [12] Leopoldo C Cancio, “Current concepts in the pathophysiology and treatment of inhalation injury”, Trauma, (7), (2005): 19-35.
- [13] Anderson RA, Watson AA, Harland WA, “Fire deaths in the Glasgow area: I General considerations and pathology” Med Sci Law, 21(3), (1981): 175-83.
- [14] WHO, “Environmental Health Criteria 10”, Carbon disulphide, Geneva, (1979).
- [15] Wood R, “Neurobehavior toxicity of carbon disulfide”, Neurobehav Toxicol Teratol, 3, (1981): 397-405.
- [16] 김치년, 조영봉, 문영한, 노재훈, “이황화탄소의 요증대사물질에 관한 연구. 대한산업의학회지, 4(2), (1992): 133-143.

저 자 소 개

이 동 호



인하대학교 기계공학 석사졸업, 일본 동경농공대학 기계시스템 공학박사. 현재는 인천대학교 안전공학과 교수. 소방방재연구센터장 관심분야 기계시스템 및 소방분야

주소: 경기도 고양시 일산동구 마두2동 강촌 한신 205-1602

최 순 영



고려대학교 대학원 보건학 석사, 인하대학교 산업공학과 박사 취득. 현재 인하대학교 의학과 박사과정, 관심분야: 산업보건, 인간공학

주소: 인천광역시 남구 용현동 4동 인하대학교 2북 668A

조 남 옥



인하대학교 대학원 환경공학과에서 석사학위를 취득하였으며, 인천대학교 대학원 안전공학과에서 공학박사. 현재 한국건설기술연구원 화재안전연구센터에서 수석연구원으로 재직. 관심분야 : 화재안전, 연소독성, 기기분석

주소: 경기도 화성시 송산면 삼촌리 182 전원빌라 B동 202호