

건축물 마감재료 연소가스에 의한 독성평가

조남욱* · 이동호** · 오은하†

*한국건설기술연구원, 화재안전연구소

**인천대학교, 소방방재연구소

†(재)네오딘의학연구소, 생명환경과학센터

(2012년 2월 29일 접수 ; 2012년 3월 19일 수정 ; 2012년 3월 21일 채택)

A Toxicity Evaluation for the Toxic Gases of Building Finish Materials

Nam-Wook Cho* · Dong-Ho Cho** · Eun-Ha Oh†

*Department of Fire research center, Korea Institute of Construction Technology

**Fire Disaster prevention research center, univiersity of Incheon, Incheon

†Center for Life & Environmental Science, NEODIN Medical Science Institute

(Received February 29, 2012 ; Revised March 19, 2012 ; Accepted March 21, 2012)

요약 : 우리나라에서 건축물 내장재의 화재안전성능은 국토해양부 고시 제2011-39호에 의한 평가방법에 의해 불연성시험(KS F ISO 1182), 열방출률시험(KS F ISO 5660) 및 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하여 그 결과로서 분류하도록 되어 있다. 그 중 연기 및 연소독성가스에 대한 시험인 가스 유해성 시험은, 건축재료 및 내장재의 연소시 발생하는 가스의 유해성을 마우스의 평균 행동정지시간으로 측정하는 방법으로 사용하여 왔다. 이 중 연소 독성가스 4종(HCl, HF, HCN, SO₂) 흡입 독성시험방법의 확립을 위하여 ICR계 mouse와 전신흡입노출장치를 이용하여, 독성가스 노출 및 병리검사를 수행하였다. 그 결과 호흡기관지와 가까운 폐포에서 대식세포(Macrophage)의 침윤을 유발하는 것으로 나타났고, 4종의 물질에 대한 조직의 병리검사로 전체적으로 충혈과 울혈은 확인되었다. 조직 중 폐와 신장에서 조직손상이 심하였고, 물질로는 HCN이 가장 많은 병리소견을 보였다.

Abstract : Smoke toxicity is the test for the toxicity evaluation of smoke and hazardous gas, caused by combustion of building materials and finishing materials. Smoke toxicity can be evaluated by the mean incapacitation time of mice. This test result can be influenced by the health status of mice and test condition. In acute inhalation toxicity test of hazardous gas, no typical clinical findings and histopathologic abnormalities were observed. Tracheitis and bronchitis as well as acute lung inflammation around terminal bronchiole in some mouse of the highest dose group. Through this study, we established the method for inhalation toxicity test of hazardous gas as well as the SOP of inhalation toxicity test. However, in the future studies, the

†주저자 (E-mail:waoeh@neodin.com)

concentration control methods for inhalation technologies on hazardous gas will be needed to improve continuously and also further studies on other gas inhalation toxicity will be needed to conduct.

Keywords : Sulfur Dioxide, histopathologic, average deep stopping time, Toxic gase.

1. 서 론

독성 연기 생성물에 대한 노출은 화재에 처한 사람이 직면하게 되는 위험 요소 중 하나라는 사실이 인식된 지는 오래 된 일이다. 영국에서 수행된 연구에서 1970년대 중반에 화재사고 희생자에 대해 수행된 여러 차례의 통계조사가 있었다[1]. 화재(특히 주택화재)사고 희생자들에 대한 통계조사를 통해 밝혀진 바에 따르면, 화재사고 희생자 중 상당 비율이 '열 및 화상'보다는 '연기 및 독성가스'로 인한 피해를 입었을 뿐 아니라, 1955년부터 1971년 사이에 '연기 및 독성가스' 피해는 4배로 증가했다. 이러한 증가 추세는 1980년대에도 계속 이어져 주택화재(대부분 가구 및 침구 화재로 인해 발생)의 경우, 모든 사망자 중 1/2 정도와 부상자 중 1/3 정도가 '연기 및 독성가스' 피해를 입은 것으로 보고된 바 있다[2-3].

연기 관련 부상자가 증가한 이유는 합성고분자재료의 양적증가와 생활양식의 변화에 따른 결과라는 해석이 있다. 즉, 가정 내에서 비품등의 사용량이 증가함에 따라 화재하중도 증가했다는 것이다. 미국의 화재 사망률은 20년 전에 영국, 서유럽 및 일본의 2배 정도였으나, 1990년대까지 꾸준히 개선되어 현재는 영국 및 유럽수준(백만 명당 14명 정도)에 가까워졌다[3,4]. 그러나 영국 및 미국에서는 여전히 독성 연기생성물이 주된 화재사망 원인으로 인식되고 있다[5-6]. 미국의 경우에는, 발화실 밖까지 확산된 화재(주로 플래시오버 후 화재)에 대해 사망자의 50% 이상이 발화실로부터 멀리 떨어진 장소에서 발생하는 것으로 보고되고 있다[7]. 확산형 화재가 일어난 경우, 발화실로부터 멀리 떨어진 지점에서 연소가스에 의해 사망자가 발생하는 것은 영국에서도 보편적인 경향으로 알려져 있다.

국내의 경우, 1999년, 인천시 인현동 호프집

화재사고에서 내부 장식재였던 우레탄폼이 타면서 57명이 유독가스로 사망했으며 2007년 2월 10명이 사망하고 17명이 부상을 입은 여수 화재 참사 역시 피해를 키운 원인으로 내부 마감재료 및 우레탄 단열재의 연소로 발생한 유독가스였다. 2008년 이천냉동창고화재에서도 40명이 유독가스에 의해 사망하는 사고가 발생했다. 이처럼 화재로 인한 연기독성의 피해는 화염에 의한 직접적인 피해보다 광범위하고 치명적이다[7].

현대 산업발달 및 도시화가 진행되면서 건물의 밀폐화와 각종 새로운 건축내장재의 종류가 다양화 되고 화재 하중이 증가함에 따라 위험한 요소로 대두되고 있다. 건축물 내장재 연소시 위험성을 결정하는데 고려해야 할 요소들은 재료의 착화성, 연소성, 재료가 타면서 발생하는 열, 열발생 속도, 연기 및 연소가스 발생이 있다. 건축물 재료의 위험성 요소를 종합적으로 평가하는 방법이 무엇보다도 중요하겠지만 인명피해의 주원인은 연소시 발생하는 연기나 연소가스에 의한 질식사 사망원인으로 판명됨에 따라 연기발생농도와 가스 유해성이야말로 가장 중요한 요소로서 부각되고 있다. 건축재료 및 일반 건축물 내에서 사용하고 있는 각종 재료의 연소 생성가스중에서 일산화탄소(CO) 및 이산화탄소(CO₂)이외의 유해성분으로서 Cyan계 물질, 염화수소계 물질 및 기타 합성수지류 등에서 발생하는 시안화수소(HCN), 염화수소(HCl) 및 포스겐(COCl₂) 등 여러 가지의 유독가스를 들 수 있으며, 이들은 그 독성이 상당히 강하여 극히 미량으로도 인체에 위험한 영향을 끼치는 것으로 밝혀졌다. 특히 일산화탄소, 이산화탄소, 황화수소, 아황산가스, 암모니아 의한 인명피해 비율이 높은 것으로 알려져 있다[8-11]. 현재 우리나라에서 건축물 내장재의 화재안전성능은 국토해양부 고시 제2011-39호에 의한 평가방법에 의해 불연성시험(KS F

ISO 1182), 열방출률시험(KS F ISO 5660) 및 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하여 그 결과로서 분류하도록 되어 있다. 이 중 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. 최근 국내에서도 동물보호법 및 실험동물에 관한 법률에 따라 동물실험을 제한하고 있고, 국내 흡입 가이드라인에 대한 정보는 매우 부족한 실정이다[15-16]. 이렇게 볼 때 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 있다.

이에 본 연구에서는 건축물 내장재의 연소독성 평가를 위한 연구로 연간 20,000마리 이상의 동물시험을 대체하여 연소시 발생하는 유해물질의 흡입독성평가방법의 확립과 표준작업에 대한 절차서(Standard Operation Procedure, SOP) 마련을 위해 수행되었다. 또한 배출가스의 미세입자 및 가스상 물질에 의한 건강영향과 이에 미치는 독성을 과학하고 향후 연소독성 연구의 기초자료를 마련하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 시료의 준비

화재로부터 발생하는 가스는 매우 다양하며 가스의 종류에 따라 유독성도 다르다. 국제해사기구(International Maritime Organization)에서 규정하는 FTP Code(Fire test Procedure Code)에 따르면 화재로부터 발생하는 가스의 종류로서 7가지 가스에 대한 기준을 제시하고 있다. 즉 대상 시험체로부터 발생하는 가스를 측정하여 CO, HCN, HF, HCl, HBr, NOx, SO₂를 정량분석하고 각각의 기준값과 비교하여 합부를 판정한다[5].

화재로부터 발생하는 중요한 독성효능에서 20여 개의 자극성 화합물이 화재분위기의 전체적인 감각기관의 자극에 기여하는 것으로 간주

되고 있다. 현재 파악된 가장 중요한 자극성 물질은 산성가스(불화수소, 염화수소, 브롬화수소, 산화질소, 인산, 그리고 이산화황)와 유기 자극성 물질(예를 들면, 아크롤레인, 포름알데히드, 그리고 크로톤알데히드)이다[7]. 따라서 본 연구는 표1과 같이 여러 가지 가스들 중 4가지 종류(HCl, HF, HCN, SO₂)의 표준가스(표준과학연구원의 소급성을 갖는 표준물질)를 대상으로 하였으며 각 표준가스별 가스유해성시험기의 피검상자(chamber)에 흘려보내 실험용 mouse에 노출시켰다.

Table 1. Toxic and Permissible Gas Concentrations.

Gases	Gas Concentration, mg/m ³		
	Low	Medium	High
HCl	10	51.1	150
HF	21	58.3	229
HCN	10.4	52.1	140
SO ₂	10.4	24.9	122

2.2. 실험장치

난연성능 평가방법은 건축물의 피난·방화 등의 기준에 관한 규칙 제5조 내지 7조 규정에 따라 제정된 ‘건축물 마감 재료의 난연성능기준’(국토해양부 고시 제2011-39호)에서 정하고 있으며 국제규격으로서 채택된 콘칼로리미터방법(KS F ISO 5660-1)과 불연시험방법(KS F ISO 1182) 및 개정된 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 채택하여 그 성능기준정하고 있다. 본 연구에서는 건축물 마감재료의 난연성능 기준에서 설치류를 사용하여 시험하는 가스유해성시험을 화재모델로 하였다. 건축용 마감재료의 직접 연소에 의한 발생 가스를 mouse에 노출시켜 시험하지만 본 실험에서는 표준가스를 상정하여 mouse에 노출시킨 후 표적장기에 대한 적출실험을 수행하였다.

가스 유해성 시험은 가열을 시작해서 시험용 흰쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간(이하 행동정지시간) 측정은 자동 기록할 수 있는 장치를 사용하여야 하며, 가열은 시작 후 15분간 개개의 시험용 흰쥐마다 실시하여야 한다. 흰 쥐의 평균행동정지시간을 측정하여 9분이상을 적

합한 것으로 한 것으로 하며 본 연구에서는 평균행동정지시간의 측정 및 표적장기의 적출을 통한 병리학적 관찰을 수행하였다.



Fig. 1. Gas hazard experimental chamber.

2.3 가스노출 및 독성측정

Fig 2는 시험장치에 대한 도해이다. 표준가스는 실린더 형태로 저장되며 Regulator로 유량을 조절하여 mouse chamber(피검사자)로 공급하였다. 공급된 유량은 가스유해성시험(KS F 2271)에서 공급되는 유량과 동일하게 21.0 l/min이다.

2.4. 실험동물 및 사육환경

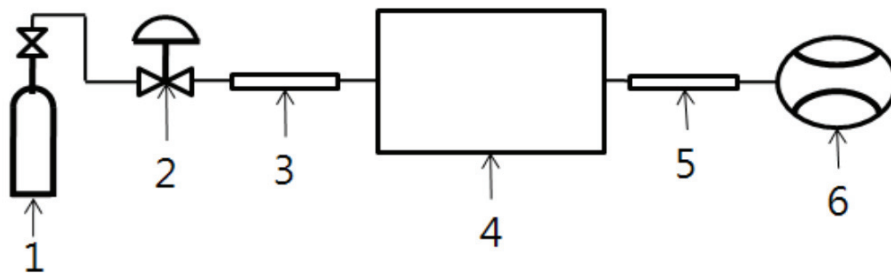
국내(오리엔트바이오㈜)에서 공급되는 특정병

원체 부재(Specific pathogen free; SPF)의 ICR 계 mouse 암컷(5주령)을 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)를, 급수는 상수도수를 HEPA 여과필터로 정화된 음용수를 자유롭게 섭취토록 하였다. 단, 사료는 시험물질 노출시간에는 시험물질의 사료 내 흡수를 막기 위해 공급하지 않았다.

2.5. 실험동물의 군 구성 및 노출농도

건축마감재 연소시 생성되는 물질 중 4종(HCl, HF, HCN, SO₂)에 대한 급성흡입독성시험은 대조군과 저농도, 중농도, 고농도의 3개 노출군으로 구성하여 각각 8마리를 전신흡입챔버에 노출시켰다.

HCl의 급성흡입독성시험은 대조군과 저농도(10ppm)·중농도(51.1ppm)·고농도(150ppm)의 3개 노출군으로 구성하였고, HF의 급성흡입독성시험은 저농도(21ppm)·중농도(58.3ppm)·고농도(229ppm), HCN의 급성흡입독성시험은 저농도(10.4ppm)·중농도(52.1ppm)·고농도(140ppm), SO₂의 급성흡입독성시험은 저농도(10.4ppm)·중농도(24.9ppm)·고농도(122ppm) 노출군으로 구성하여 군별 각각 8마리를 전신노



1. 표준가스 실린더
2. 압력조절기
3. 가스 이송라인
4. 가스유해성시험기 챔버
5. 가스 이송라인
6. 유량계

Fig 2. Schematic diagram of the experimental design.

출 흡입챔버로 노출시켰다.

2.6. 실험동물의 병리독성실험

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 파라핀 포매하고 2~3 μ m 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.

3. 결과 및 고찰

3.1 연소가스의 측정결과

4가지 화학종에 대한 가스유해성시험에 대한 평균행동정지시간 결과는 Table 2와 같다. 4가지 농도에 대하여 3가지 농도에 대한 차이를

두어 mouse에 노출시킨 행동정지시간 결과는 큰 편차를 보이지 않은 것으로 확인되었다. HCl, HF, SO₂의 경우 농도가 높아짐에 따라 행동정지시간의 상관성이 파악되지 않았다. 해당 가스의 농도가 이미 동물의 정시행동의 임계점을 초과한 것에 기인된 것으로 추측하였다. 질식성 가스인 HCN의 경우는 농도가 증가됨에 따라 행동시간이 감소하는 상관관계를 확인하였다.

3.2. 조직병리학적 검사 결과

Table 3~6의 결과를 보면, HCl, HF, HCN, SO₂의 노출 후 모든 동물에 대해 부검하고 육안 관찰 결과 대조군과 비교하여 노출군의 피부, 출혈 등의 증상이나 특이한 병변은 관찰되지 않았으며, 대조군은 정상의 소견을 보여 동물의 상태나 사육환경은 양호한 것으로 판단된다. 그러나 각각 노출군의 경우 흡입과 관련하여 농도상관성으로 나타난 병변은 중농도 이상에서 종말 및 호흡기관지와 이에 인접한 폐포내에서 나타난 대식세포(Macrophage)의 침착이다. 이것이 흡입물질과 관련이 있다고 판단하는 이유는, 각각의 흡입물질에 노출시킨 동물 모두에서 일관성 있게 농도상관성으로 나타나고 있으며, 그 위치도

Table 2. Stop Motion Result of in Mice by Toxicity Gas

Gas	Concentration (mg/m ³)	Average deep stopping time (min.sec)
Hydrogen chloride(HCl)	10	7.26
	51.1	7.22
	150	7.25
Hydrogen fluoride(HF)	21	7.21
	58.3	7.01
	229	7.20
Hydrigen cyanide(HCN)	10.4	7.22
	52.1	6.12
	140	5.18
Sulfur dioxide(SO ₂)	10.4	7.01
	24.9	7.50
	122	7.21

Table 3. Histopathological Findings in Mouse(Group summary) by HCl Inhalation

Organ/ Findings	Dose(ppm)	HCl			Total
		10	51.1	150	
Number of animal		5	5	5	15
Heart	unremarkable	5	5	5	15
Liver	Necrosis(+), central vein and portal space(+), Diffuse	5	0	0	5
	central vein and portal space(+), ulcer(-), blood clot(+), Giant cell(+)	0	1	0	1
	central vein and portal space(+), ulcer(+), blood clot(+), Giant cell(+)	0	4	0	4
	central vein and portal space(+), ulcer(-), blood clot(+), Giant cell(+), fatty change(+)	0	0	5	5
Lung	alveolar wall diffuse congestion(+), bronchiole (+)	5	0	0	5
	alveolar wall central vein(+), vein thrombosis(+)	0	1	0	1
	alveolar Hemorrhage wall(+), ulcer(-), Thrombosis(+)	0	0	5	5
	alveolar wall central vein and portal space(+), ulcer(+), vein blood clot(+++), Giant cell(+++), alveolar wall damage(+)	0	4	0	4
Spleen	unremarkable	5	0	0	5
	central vein and portal space(+), Giant cell(+) ==> red pulp	0	5	0	5
	red pulp central vein and portal space(+)	0	0	5	5
Kidney	unremarkable	5	5	5	15
Thymus	unremarkable	5	0	0	5
	central vein and portal space(+)	0	5	0	5
	medulla central vein(+), portal space(+)	0	0	5	5

Table 4. Histopathological Findings in Mouse(Group summary) by HF Inhalation

Organ/ Findings	Dose(ppm)	HF			Total
		21	58.3	229	
	Number of animal	5	5	5	15
Heart	unremarkable	5	5	5	15
Liver	central vein and portal space(+), fatty change(+)	5	0	0	5
	sinusoid central vein and portal space(+), ulcer(+), blood clot(+), Giant cell(+)	0	5	0	5
	sinusoid portal space(++), central vein blood clot(++), fatty change(++)	0	0	5	5
Lung	alveolar wall central vein(+), portal space(+), vein thrombosis(+)	5	0	0	5
	alveolar wall central vein and portal space(+++), artery, fibrinoid ulcer(+), vein blood clot(+)	0	5	0	5
	alveolar wall central vein and portal space(+++), alveolar wall damage(+), artery fibrinoid ulcer(+)	0	0	5	5
Spleen	red pulp area central vein and portal space(+), Giant cell(+)	5	0	0	5
	vein central vein and portal space(+), Giant cell(+)	0	5	0	5
	red pulp area central vein and portal space(++), Giant cell(++)	0	0	5	5
Kidney	Tubule central vein and portal space(+)	5	5	5	15
Thymus	central vein and portal space(+)	5	0	0	5
	central vein and portal space(+), agonal thrombosis(+)	0	5	0	5
	central vein and portal space(++), agonal thrombosis(++)	0	0	5	5

Table 5. Histopathological Findings in Mouse(Group summary) by HCN Inhalation

Organ/ Findings	Dose(ppm)	HCN			
		10.4	52.1	140	Total
		Number of animal			
Heart	unremarkable, small vein congestion(+/-)	5	5	5	15
Liver	central vein, congestion(+), partial vein congestion(+), cell necrosis(+/-)	2	0	0	2
	central vein, congestion(+), portal vein congestion(+), cell necrosis(+)	3	5	5	13
Lung	small vein congestion(+), large vein congestion(+), bronchiole(+/-), aveoli pulmonis(+), septum	5	0	0	5
	small vein congestion(+), large vein congestion(+), bronchiole(+/-), alveoli pulmonis congestion(+)	0	5	0	5
	small vein congestion(+), large vein congestion(+), bronchiole(+/+),	0	0	5	5
Spleen	small vein congestion(+), Giant cell(+), cortex congestion(++), medulla congestion(+)	5	5	5	15
Kidney	glomerulus congestion(+), cortex congestion(+), Tubule medulla congestion(++), necrosis(+)	1	0	0	1
	glomerule congestion(+), cortex congestion(++), Tubule medulla congestion(++), necrosis	0	1	1	2
Thymus	small vein congestion(+), large vein congestion(+), cortex congestion(+), medulla congestion(+)	5	5	5	15

Table 6. Histopathological Findings in Mouse(Group summary) by SO₂ Inhalation

Organ/ Findings	Dose(ppm)	SO ₂			Total
		10.4	24.9	122	
	Number of animal	5	5	5	15
Heart	unremarkable, small vein congestion(+)	5	5	5	15
Liver	central vein, congestion(+), portal vein congestion(+), cell necrosis(+)	5	0	0	5
	central vein, congestion(+), partial vein congestion(+), cell necrosis(+), sinusoid space congestion(+)	0	5	0	5
	central vein, congestion(+), portal vein congestion(+), cell necrosis(++), sinusoid space (+)	0	0	5	5
Lung	small vein congestion(+), large vein congestion(+), bronchiole(+/-), aveoli pulmonis(+),-alveolar septum	5	0	0	5
	small vein congestion(+), large vein congestion(+), bronchiole(+), aveoli pulmonis(+),	0	5	5	10
Spleen	small vein congestion(+), Giant cell(+), cortex congestion(+), medulla(+)	5	0	0	5
	small vein congestion(+), large vein congestion(+), Giant cell(+), cortex congestion(++), medulla(+)	0	0	5	5
	small vein congestion(+), large vein congestion(+), Giant cell(+), cortex congestion(++), medulla(+)	0	5	0	5
Kidney	aveoli pulmonis congestion (+), cortex congestion(++), Tubule medulla congestion(++), necrosis(+)	1	1	1	3
Thymus	small vein congestion(+), large vein congestion(+)	0	0	5	5
	small vein congestion(+), large vein congestion(+), cortex congestion(+), medulla congestion(+)	5	5	0	10

흡입물질이 폐장에 도달하는 경로인 종말 및 호흡기관지와 그 인근 폐포강에서 관찰되고 있기 때문이다. 관찰된 간질성폐포염, 기관지상피세포의 미약한 정도의 증식과 비대, 소동맥 중막의 비후는 모두 연계성이 있는 병변들로 흡입물질에 의한 것보다는 개체차에 의한 비특이성 반응(Non-specific inflammatory lung lesion)으로 판단한다.

결론적으로 중농도 이상에서 종말 및 호흡기관지와 이와 가까운 폐포에서 대식세포의 침윤을 유발하는 것으로 나타났다(Fig 3).

간(Liver)에서 국소적으로 관찰된 충혈과 울혈(central vein and portal space)은 저농도, 중농도, 고농도 모두 나타나고, 간세포 파괴는 고농도에서 특이적으로 발생한 경우였다. 또 낮은 농

도군에서 관찰된 소혈관 충혈도 그 정도가 심하지 않고 정상동물에서도 나타날 수 있는 소견으로 이보다 높은 고농도군에서도 관찰되어 역시 의미는 없는 것으로 판단하였다. 비장(spleen)과 흉선(Thymus)의 흡입독성시험에서는 최고농도에서 소혈과 충혈과 울혈이 전반적으로 확인되었다. 신장에 대한 검사 결과 신사구체, proximal(몸쪽) & distal tubule(원심세뇨관)울혈이 저농도에서 고농도까지 발견되었고, 전체적으로 폐와 신장에서 조직에 대한 손상이 심하게 나타났다으며, 물질로는 HCN에서 가장 심한 조직손상이 나타났다.

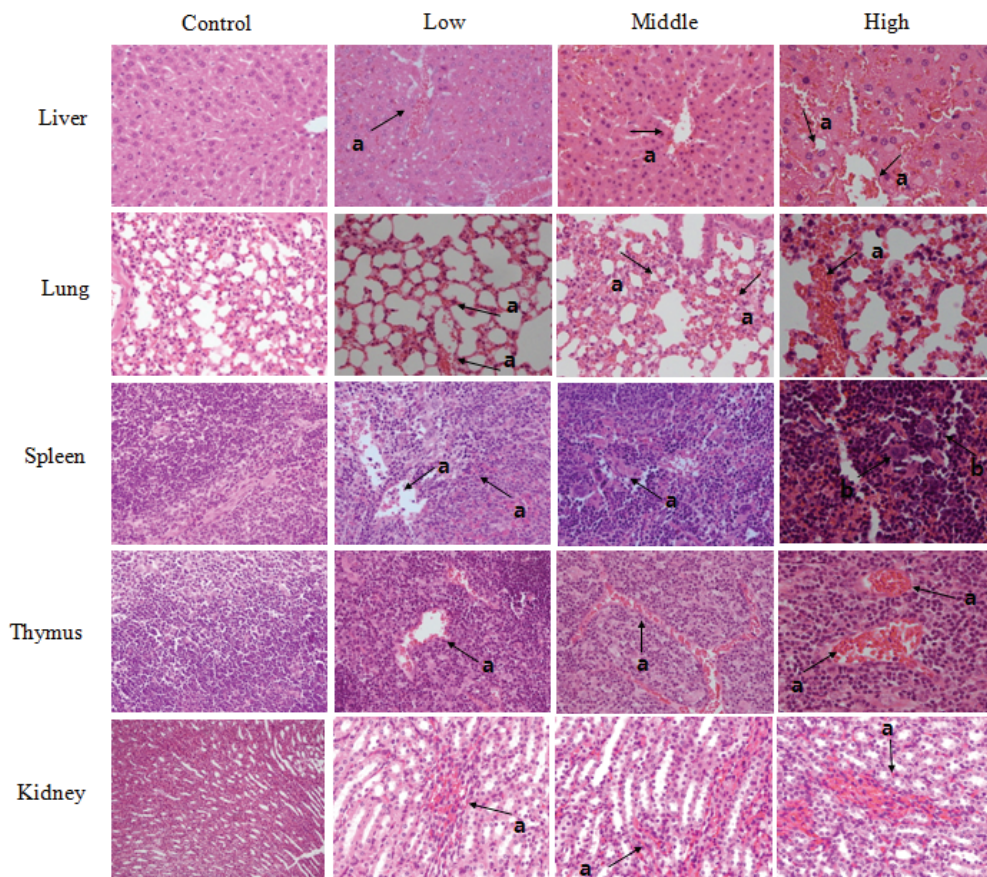


Fig 3. Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of HCN gases central vein & portal space (a). macrophages(b). H&E, Mag.=X400.

4. 결 론

건축 마감재 연소시 발생하는 연소 독성가스 9종(CO, CO₂, NO, NO₂, HCl, HCN, HBr, HF, SO₂) 중 4종(HCl, HF, HCN, SO₂) 흡입독성시험 방법의 확립을 위하여 ICR계 mouse와 전신흡입 노출장치를 이용하여, 독성가스 노출 및 병리검사를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 4종의 연소 독성 시험에서는 중농도이상 노출군의 종말 및 호흡기관지와 가까운 폐포에서 대식세포(Macrophage)의 침윤을 유발하는 것으로 나타났다.
2. 간에서 국소적으로 관찰된 충혈과 울혈(central vein and portal space)은 저농도, 중농도, 고농도 모두 나타나고, 간세포 파괴는 고농도에서 특이적으로 발생한 경우였다.
3. 비장(spleen)과 흉선(Thymus)의 흡입독성 시험에서는 최고농도에서 소혈 및 충혈과 울혈이 전반적으로 확인되었다. 신장에 대한 검사 결과 신사구체, proximal(몸쪽) & distal tubule(원심세뇨관)울혈이 저농도, 중농도, 고농도에서 관찰되었다.
4. 4종의 물질에 대한 조직의 병리검사로 전체적으로 충혈과 울혈은 확인되었고, 조직 중 폐와 신장에서 조직손상이 심하였고, 물질로는 HCN이 가장 많은 병리소견을 보였다.

이상의 결과들로부터 각각의 연소가스의 흡입 독성시험을 통해 서로 다른 생성생성가스가 쥐의 행동과 조직에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 다만, 향후 혈확학적인 소견 및 유전독성에 미치는 영향 등 흡입독성에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2011 한국건설교통기술평가원 첨단도시개발사업(연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준 개발-과제번호 : 11첨단도시 C03)지원에 의하여 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. United Kingdom Fire Statistics, Home Office, London(1983).
2. Marcelo M. H., Fire retardance, smoke toxicity and fire hazard. *Proc, Flame Retardants '94, British Plastics Federation Interscience Communications, London, UK, Jan. 26* (1994).
3. B.F. Clarke, in *Fire Deaths, Causes and Strategies for Control*, Technomic, Lancaster, PA (1984).
4. J.R. Hall and A.E. Cote, in *Fire Protection Handbook*, 18th ed. (A.E. Cote, editor-in-chief), NFPA, Quincy, MA, Ch. 1(1997).
5. V. Berl and B. Halpin, NBS Grant Contract Report NBS-GCR 168, National Bureau of Standards, Washington, DC(1979).
6. The SFPE handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, NFPA(2002).
7. Nam-Wook Cho, Jong-Cheon Lee, Bong-Jae Lee, Jae-Bum Choi, Dong-Ho Rie. A comparative study on toxic gas index by BS6853 and gas hazardous test. *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng*, Vol. **25**, No. **4**, (2011).
8. FTP code(International Code for Application of Fire Test Procedure), (2002).
9. Hartzell G. E., Overview of combustion toxicology. *Toxicology Vol. 115*, 7 (1996).
10. OECD. Guideline for the Testing of Chemicals No. 403. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France. (2009).
11. KS F 2271, Built in Flame retardant Building Materials, Test Methods and Structures, Korea Standards Association. (1998).
12. Soo-Young Park, Woo-Seok Lee, Han-Seung Yeo, Hong-Soon Im. The experimental study for the smoke optical density and toxic gases of sandwich panel insulations. *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng*. Vol. **20**, No. **4**, (2006).

13. Babrauskas, V., Smoke and gas-evolution rate measurements on fire-retarded plastics with the cone calorimeter. *Fire Saf. J.*, Vol. 14, No. **3**, 135 (1989).
14. Yamamoto, I. and Watanabe, K., Toxic components of smoke in fire accidents. *Jpn. J. Toxicology.*, Vol. 11, No. **4**, 329 (1998).
15. Kaplan, H. L., Grand, A. F. and Hartzell, G. E., *Combution Toxicology : principles and test methods.* Lancaster, PA, Technomic Publ. (1983).
16. Hirschler, M. M., Fire hazard and toxic potency of the smoke from burning materials. *J. Fire Sci.*, Vol. **5**, 289 (1987).