

# 주요 건축 재료별 연소가스 유해성 평가<sup>1</sup>

김 종 북<sup>2</sup> · 이 시 영<sup>2,†</sup>

## The Combustion Gas Hazard Assessment of Main Building Materials<sup>1</sup>

Jong-Buk Kim<sup>2</sup> · Si-Young Lee<sup>2,†</sup>

### 요 약

건축 재료별 연소가스에 따른 인체 유해성 평가에 관한 본 연구는 SEM, FTIR와 콘칼로리미터를 이용하여 목재류인 MDF와 나왕방부목 2종과 화학물질인 난연 스티로폼, 스티로폼, 우레탄폼 및 석고보드 4종의 플라스틱류 각각의 재료별 연소가스 분석을 하였다. 분석결과, MDF는 연소된 부분의 나무구조와 접착제가 혼합되어 균일하게 연소되었고 나왕방부목은 난연 약제가 깊숙이 침투하여 높은 열에도 목재의 형태를 일정하게 유지하였다. 난연 스티로폼은 불이 붙지 않고 녹아내렸는데 무기계 난연제 때문으로 사료되고 석고보드는 형태는 유지했으나 열에 취약함을 확인하였다. MDF에서 암모니아(NH<sub>3</sub>)치사농도(750 ppm)대비 795 ppm, 나왕방부목은 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)가 256,965 ppm으로 치사농도(100,000 ppm)의 2.5배 초과하였고, 우레탄에서 염화수소(HCl)의 치사농도(500 ppm)를 초과하는 697 ppm, 또한 우레탄에서 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 치사농도(250 ppm)를 크게 초과하는 434 ppm과 난연 스티로폼 398 ppm이 방출되었다. 대부분의 재료에서 인체에 매우 유해한 가스가 방출됨을 확인하였고, 본 연구결과는 향후 건축 재료별 인체 유해성을 평가하는 기초데이터로 활용하고자 한다.

### ABSTRACT

This study building materials by relates to human hazard assessment in accordance with the combustion gas SEM, the flame-retardant foam FTIR and cone calorimeter to configure the Forest products of MDF and preservative treated Lauan two kinds of Retardant styrofoam, Styrofoam, Urethane foam and gypsum board four kinds of plastics material by the combustion gas were each analyzed. MDF was burned to the structure of the wood and the glue evenly mixed combustion area preservative treated Lauan, kept constant even in the form of high heat to penetrate deep into the wood flame retardant agents. Retardant styrofoam is due to feed my Dropped dissolved inorganic flame retardant without the fire-stick and confirmed that the weak form of gypsum board, but keep the column. In MDF ammonia (NH<sub>3</sub>), lethal concentration (750 ppm) compared to 795 ppm, preservative treated Lauan is carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) that was greater than 2.5 times the lethal concentration (100,000 ppm) to 256,965 ppm, the lethal concentration (500 ppm) of

<sup>1</sup> Date Received March 3, 2016, Date Accepted May 28, 2016

<sup>2</sup> 강원대학교 방재전문대학원. Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, Samcheok 25913, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 이시영(e-mail: lsy925@kangwon.ac.kr)

hydrogen chloride (HCl). The Urethane greater than 697 ppm, 434 ppm also greatly exceeding the nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) lethal concentration (250 ppm) in Retardant styrofoam and 398 ppm was released. It is confirmed that the human body is extremely harmful gas emitted from most of the materials to be utilized as basic data for evaluating the hazard-specific human future building material.

**Keywords :** fourier transform infrared, cone calorimeter, toxic gas, mediun-density fibrewood, retardant styrofoam, urethane

## 1. 서 론

근래 건물은 소비자 욕구에 따라 다양한 방법으로 발전되어 왔다. 가볍고 가격이 저렴하고 시공이 간편한 재료인 목재류와 화학물질인 플라스틱류 재료를 선호하는 추세이다. 간혹 조립식 주택이나 펜션, 창고 등이 화재에 노출되어 안타깝게 인간의 생명을 앗아가는 소식을 언론을 통해 접하기도 한다. 순수한 목재류보다 저렴하고 내구성이 뛰어난 MDF와 난연 방부목 등 건축재료의 수요가 늘어나고 있는 추세이다. 국민안전처 '15년 통계자료(1월~12월) 중 최초 착화물별 화재현황(화재건수)을 보면 목재 및 종이류를 자세히 살펴보면 기계적 요인 286건 2.5%, 화학적 요인 70건 0.6%, 부주의 9928건 85.5%, 방화 및 방화의심 363건 2.2%, 미상 406건 3.5%이며 합성수지(플라스틱)류는 전기적 요인 1207건 26%, 기계적 요인 1009건 21.7%, 화학적 요인 53건 1.1%, 부주의 1887건 40.7%, 방화의심 69건 1.5%, 및 미상 203건 4.4% (MPSS, 2015)로 보듯이 화재로 인한 재료에서 나오는 유독한 연소가스가 인체에 미치는 영향은 클 것으로 사료된다. 건축 내장재의 연소가스 유해성 평가에 대한 연구는 Seo *et al.* (2015)와 Lee *et al.* (2005)등 선행연구자들도 지적해 왔다. 현실적으로 법률적으로만 법 조항을 적용하기도 어려운 형편이다. 특히 국민안전처 통계자료 중 연소확대 사유 현황을 살펴보면 화재건수 중 여러 요인 중 인접 건물과의 이격거리 협소 미상 14 (43.8%), 부주의 12 (37.5%) 및 목조건물의 밀집 등 4 (8%) (MPSS, 2015)에서 보듯이 생활하는 공간이 협소함으로 인한 화재인 최근의 정부 원룸형 아파트, 씨랜드, 노래방 등 같은 화재는 앞으로도 늘어날 수밖에 없는 형편이다. 화재로

인해 목재류 및 플라스틱 자재 등에서 나오는 열로 인한 피해보다는 여러 유독가스에 노출되어 질식사하거나 생존하더라도 심각한 후유증에 시달리고 있다. 건축 재료의 연소 독성평가에 대한 유해성을 선행연구자(Kim *et al.*, 2011)들도 이미 밝힌 바 있다. 연소가스 시험법으로 우리나라 및 일본에서는 마우스를 이용한 가스유해성 시험방법(KSF 2271, 1998), 미국 국방성 MIL-DTL, 프랑스 철도시험 NF X70 100, 영국 NES 713 등이 사용되어 왔다. 금번 연구에서는 콘칼로리미터 및 FTIR (Fourier Transform Infrared) spectrometer을 연결하여 열방출과 연소가스를 분석해 정성, 정량적 데이터를 추출했다. FTIR을 이용한 데이터 값은 각각의 연소가스를 정성, 정량적으로 분석할 수 있는 이점을 지니고 있다. 현재까지 전국적으로 지어져 있는 조립식 건축물(가건물, 창고 등)들의 정확한 통계 숫자도 파악되지 않은 것도 문제이다. 이같이 많은 목재류 및 플라스틱류 건축물이 위험에 노출되어 있는 것 또한 우리의 현실이다. 대표적으로 많이 쓰이는 건축 재료를 살펴보면 MDF는 목질 섬유를 접착제와 같이 높은 온도 및 높은 압력에서 압착 성형한 재료로 건축재료로 많이 쓰이고 있다. 나왕방부목(preservative treated Lauan)은 목재의 내구성을 향상시키기 위해 방부약제를 침투시켜 뒤틀림에 강한 외장바닥재로 활용하고 있다. 난연스티로폼(Retardant styrofoam)은 발포 성형된 스티로폼 완성품에 무기재료인 난연재를 함침시키는 방법으로 생산하는 것을 말한다. 스티로폼(Styrofoam)은 발포 폴리스티렌이라는 플라스틱의 상표명이다. 체적의 98%가 공기이고 나머지 2%가 수지인 자원 절약형 소재이다. 그리고 작은 공기 방울이 다량 포함되어 있다. 물을 거의 흡수하지 않으며 세균이나

**Table 1.** Descriptions of Material for Cone Calorimeter

Materials	Thickness [mm]	Weight [g]
MDF	12	64.463
preservative treated Lauan	28	195.371
Styrofoam	50	63.863
Retardant styrofoam	50	63.970
Urethane	50	97.006
Gypsum board	10	55.044

곰팡이에 손상되지 않아 포장에 많이 사용되며, 아이스박스, 장난감, 부표 등에도 사용되나 재활용이 되지 않아 환경문제로 대두되고 있다. 열차단성이 우수하여 단열제품에 많이 사용된다. Kim (2008) 등은 우레탄(Urethane)이 발포우레탄과 무발포 폴리우레탄이 있다고 한 바, 전자는 우레탄폼이라고도 하며 초연질, 연질, 반경질, 경질 등의 여러 가지 굳기를 가진다. 자동차 내장재에서 침구 매트리스에 이르기까지 다양한 용도로 쓰인다. 무발포 우레탄은 스판덱스, 합성피혁에서 코팅 및 실란트, 몰드성형 등으로 사용된다(Kim *et al.*, 2008). 단열재, 방음재로 많이 쓰이는 재료로 열전도율이 0.019 Kcal/mh<sup>2</sup>℃이다(Dongyang Panel, 2015). 석고보드(Gypsum board)는 소석고를 주원료로 하여 톱밥, 섬유, 펄라이트 등을 혼합하고 경우에 따라서는 발포제를 첨가하고 물로 반죽하여 두 장의 시트사이에 부어서 판상으로 굳힌 것을 가리킨다. 평 보드는 벽이나 천정에 사용되어 방화재의 역할을 하고, 라스보드는 벽의 속 재료로 사용한다. 또 흡음보드는 음향흡수성이 있으며, 표면에 인쇄나 플라스틱 도장을 한 화장석고보드는 내장벽용으로 사용 한다. 따라서 본 연구의 목적은 화재로 주택이나 펜션, 창고 등의 2차적인 연소가스에 의한 피해 즉, 건축 재료인 목재류 MDF 및 나왕방부목 2종과 플라스틱류 난연 스티로폼, 스티로폼, 우레탄폼 및 석고보드 4종의 각종 유해 연소가스를 분석하여 각 재료별 인체유해성(치사농도) 평가를 통하여 화재로부터 안전한 각종 친환경 복합재료를 개발하고 활용하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험대상 및 내용

본 연구에 쓰인 공시재료 목재류 및 플라스틱류는 최근까지 주민이 생활하던 건축물에서 수집한 재료로 현실성을 주고자 했으며 조습조건은 고려하지 않았다. 콘칼로리미터와 구성한 FTIR을 이용해 각각의 주택이나 창고 등 건축재료인 목재류 MDF, 나왕방부목 2종과 플라스틱류의 난연 스티로폼, 스티로폼, 우레탄폼 및 석고보드 4종을 연소가스 분석을 수행하였다. 상기 스티로폼류 3종은 시편 두께(단위면적당 밀도)를 동일하게 하여 실험을 하였다. 이유는 실제 재료 두께가 콘칼로리미터 실험조건 두께인 50 mm를 초과하였다. 단, MDF, 나왕방부목, 석고 보드만 비두께로 실험을 실시하였다.

### 2.2. 시편 제작 및 분석방법

목재류인 MDF, 나왕방부목 2종과 플라스틱류인 난연 스티로폼, 스티로폼, 우레탄폼 및 석고보드 4종 등은 실내 장식물 불연, 준불연 재료로 KFI 인정기준 및 국토해양부 고시 제2011-39호, “건축물 마감재료의 난연 성능기준”에 의한 열방출률 시험(KS F ISO 5660-1)기준에 의거하여 시험하였다. 이 기준에 따라 MDF, 나왕방부목, 석고보드는 비 동일한 두께로 위의 조건에 맞추어 시편을 제작하였고, 스티로폼(3종)은 두께를 50 mm로 동일하게 위의 조건에 맞추어 시편을 제작하였다. 각 재료별 두께와 무게는 Table 1에 나타내었다. 콘칼로리미터 규격은 Fire

**Table 2.** The Toxicity Concentration Fatal to Human with NES 713

GAS	Chemical formula	Cr (Critical limit, ppm)
Carbon dioxide	(CO <sub>2</sub> )	100,000
Carbon monoxide	(CO)	4,000
Hydrogen sulfide	(H <sub>2</sub> S)	750
Ammonia	(NH <sub>3</sub> )	750
Formaldehyde	(HCHO)	500
Hydrogen chloride	(HCl)	500
Acrylonitrile	(CH <sub>2</sub> CHCN)	400
Sulphur dioxide	(SO <sub>2</sub> )	400
Oxides of nitrogen	(NO <sub>x</sub> = NO + NO <sub>2</sub> )	250
Phenol	(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	250
Hydrogen cyanide	(HCN)	150
Hydrogen bromide	(HBr)	150
Hydrogen fluoride	(HF)	100

testing technology, GB/Dual Cone 2000이고 FTIR은 규격 Midac, US/14001으로 상기 두개의 장비를 연결해 각각 3반복 실험하여 각 재료별 연소가스 분석을 하였고, 주사전자현미경(SEM)은 HITACHI S-3500N Scanning Electron Microscope을 이용하였다.

### 2.3. 독성 평가

NES (Naval Engineering Standard) 713 규격으로 챔버 버너(부피: 0.6 m<sup>3</sup>)에 화염을 노출시켜 완전연소를 통해 챔버 내 독성지수(Toxicity Index)를 아래 공식(1)에 대입하여 ppm 단위로 나타낸다. 즉 100 g의 물질이 타고 그 연소 물질이 챔버 안의 공기 중에 희석됐을 때, 발생된 각각의 gas의 농도는 다음의 식을 이용하여 구하여진다. 여기서 C<sub>θ</sub>는 챔버 내에서 100 g의 물질이 완전 연소될 때 1 m<sup>3</sup>당 가스의 농도를 의미한다.

$$C_{\theta} = C \times 100 \times V/m \text{ (단위: ppm)} \dots\dots\dots (1)$$

- C = 시험 챔버 내 가스농도(ppm)
- m = 화재 시험 질량(g)
- V = 시험 챔버의 부피(m<sup>3</sup>)

(Lee, 2012)는 위의 C<sub>θ</sub>를 계산하여 식(2)에 의해 계산하였다(Lee, 2012). 여기서 C<sub>i</sub>은 각 가스별 30분간 사람이 노출되었을 때 죽음에 이르는 농도로서 규격에서 주어진 수치로 Table 2의 값에 따른다.

$$\text{Toxicity Index} = C_{\theta 1}/C_{f1} + C_{\theta 2}/C_{f2} + C_{\theta 3}/C_{f3} + \dots + C_{\theta n}/C_{fn} \dots\dots\dots (2)$$

C<sub>f</sub> = 인간이 30분간 가스 노출 시 사망 위험 농도 (ppm)

본 실험에서 얻어진 독성지수는 NES 713의 방법을 콘칼로리미터와 FTIR으로 측정한 값으로 응용하여 구한 값이다(Table 4).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 일반적인 특징 분석

콘칼로리미터의 가열강도 조건을 50 kW/m<sup>2</sup>로 하고 화염이 발생 후 완전히 연소시킨 약 180초 후에 관찰해 보니 실험에 쓰인 MDF는 두께가 얇고 인화성 접착제와 혼합되어 고온에 취약해 연소 시 접착제는 녹으며 여러 유해가스를 발생하고 셀룰로오스

가 대부분 존재하였다. Lee (2012)는 MDF가 목질재료를 주원료로 하여 화학약품 처리 후 고온에서 섬유질만을 추출해 낸 뒤 합성수지 접착제로 결합시켜 성형·열압하여 만든 밀도  $0.4\text{--}0.8\text{ g/cm}^3$ 의 목질판상 제품으로 집성판, 미승합판 및 코어합판보다 뚜렷한 형태를 유지한다고 보고하였다는 결과와 본 연구에서도 비슷한 형태를 보였다. 나왕방부목은 난연약제가 목질 내부에 골고루 깊숙이 침윤하여 고온에도 견디며 온전한 형태를 유지하였다. 난연 스티로폼은 불이 붙지 않고 검은색을 띠며 녹아내렸는데 무기계 규산나트륨이 혼합, 함침된 때문이고 이때 초산 냄새가 났는데 이는 난연 스티로폼 제조 시 폴리스티렌에 펜탄을 주입해 발포해 만드는데 이때 펜탄가스의 주성분인 석유에테르가 고온에 노출되어 간혀 있던 것이 산성을 띠며 공기 중으로 나오면서 나타난 결과로 사료된다(Kim, 2016). 이처럼 난연 스티로폼 제조 시 폴리스티렌과 난연제인 무기계 규산나트륨(= 규산소다)을 함침, 혼합하여 제조하는데 규산나트륨은 조성에 따라 메타규산나트륨( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 그 수화물인 오쏘규산나트륨( $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ), 이규산나트륨( $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) 등 여러 가지가 있고 수화물도 있으나 무수물은 석영과 탄산나트륨의 혼합물을  $1,000^\circ\text{C}$ 로 가열 용융하여 고체화 시켜서 만든다. 메타규산나트륨은 물에 잘 녹으며 수용액은 가수분해하여 알칼리성이 된다. 스티로폼은 가장자리에서 불이 먼저 붙었으며 빠른 시간 내에 잔 불꽃이 올라오고 내부는 갈색으로 녹아내렸다. 스티로폼은 폴리스티렌이 주재료로 강한 열을 받으면 구조가 무너져 녹아내리면서 고유의 폴리스티렌(polystrene)의 성분인 벤젠과 에틸렌으로부터 에틸벤젠( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )으로 합성되는데  $600^\circ\text{C}$ 를 전, 후로 하여 탈수소화하여 에틸기가 비닐기로 되어 최종 스티렌(= 스타이렌)으로 생성된다. 열, 과산화물, 과성촉매 등에 의해 쉽게 중합한 고분자 물질은 고온에 노출될 때 이들 성분이 갈색으로 되돌아가는 것으로 사료되며(Yoon, 2011), 이때 발포제로 쓰이는 펜탄(pentane)은 화학식  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , 알칸에 속하는 탄소 5개인 탄화수소의 총칭으로 3종의 이성질체가 알려져 있는데 보통 노르말 사슬 모양의 펜탄 즉 n-펜탄은 석유 에테르의 주성분이며 분자량 72.1

가연성의 액체로 폭발한계는 1.4-8.0% (공기 중)이며 자동 발화점은  $309^\circ\text{C}$ 이었다.

우레탄 폼은 가장자리에서 작은 불이 붙었으며 내부에는 거의 검은 잔재가 남지 않았고 일부 수분이 있음을 알 수 있었다. 우레탄은 주로 디이소시아네이트와 디올의 증부가로 만들어진다. 특히 디올로서 긴 사슬의 폴리에테르와 폴리에스테르를 사용한 것은 탄성체로 또 중합시의 물 첨가로 발포를 이용하면 거품 상 탄성체로 된다(John McMurry: Lee *et al.* 2007). 우레탄은 절연제로 쓰이는 발포제를 만드는데 사용되는데 발포거품은 중합반응 동안 소량의 물을 첨가하면 발포 현상이 발생한다고 하였는데 본 연구에서도 고온에 우레탄이 노출되며 일부의 첨가된 물이 잔류함을 확인할 수 있었다. 우레탄은 폴리오올과 폴리 이소시아네이트의 주성분으로 화재에 취약한 재료로 불에 잘 붙는 특징이 있다.

석고보드는 연소 후 탄 시료가 걸 종이로 표면은 잔주름이 많이 갔으며 인위적 힘을 가해 눌러보니 표면만 푸석푸석 하였다(Fig. 1). 석고보드는 난연(준불연) 2급으로 소석고를 주원료로 하고 이에 경량화, 탄성을 주기 위해 톱밥, 펄라이트 및 섬유 등을 혼합하여 이 혼합물을 물로 이겨 양면에 두꺼운 종이를 밀착 판상으로 성형한 것으로 두꺼운 종이를 접착제만 타고 불연재인 소석고와 기타 불연 재료는 고온에도 형태를 유지하는 관계로 내부까지 열이 침투하지 못해 소석고 내부 구조가 일부 무너지고 소량의 물만 고온에 증발하며 걸만 약간의 잔주름이 발생한 것으로 사료된다(Kim, 2001).

### 3.2. 각 재료별 주사전자현미경(SEM) 분석

SEM의 원리는 아주 작은 전자선으로 시료를 주사(Scan)하고 전자선을 쓴 좌표의 정보에서 쌍을 구성하며 표시하는데 관찰시료는 높은 진공상태( $10^{-8}$  이상)에서 그 표면의 전계 및 자계에서 섞인 전자선(집점직경 1-10 nm 정도)으로 주사한다. 주사는 직선적이지만 주사축을 순차적으로 틀어 가면서 시료표면 전체의 정보를 얻는 원리이다. 본 연구의 대표적 재료인 MDF, 나왕방부목, 난연 스티로폼, 스티로폼,

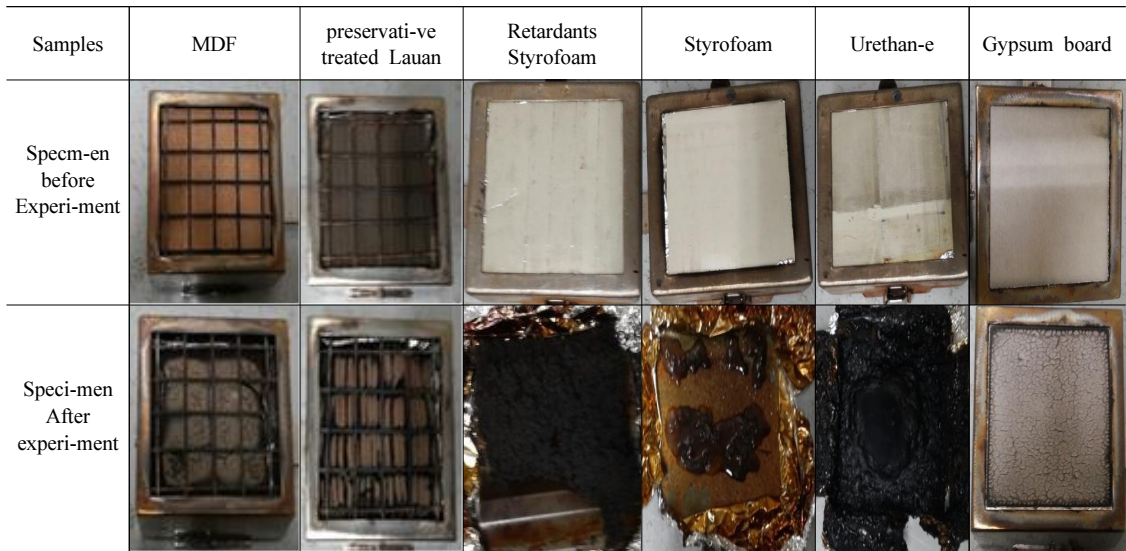


Fig. 1. Photograph of specimen.

우레탄 및 석고보드 등 내부 구조를 SEM을 이용해 방사단면 내부 구조를 살펴 본 결과 MDF의 섬유 내부 사이에 접착제 성분이 고열로 인해 기포가 발생하고 섬유 간 공극이 막히고 탄화로 char가 형성되었음을 확인하였다. 이(Lee *et al.*, 2009)는 탄화온도가 상승함에 따라 섬유의 형태가 뚜렷하게 관찰되고 섬유간의 접착층이 제거되어 세포벽 표면이 매끄러운 비결정형 물질로 관찰되었다고 보고하였는데 본 연구에서도 유사한 결과를 볼 수 있었다. 나왕방부목은 온전하게 형태를 유지하고 있었는데 높은 열에 견디는 난연약제가 내부에 골고루 침윤해 있어 대체적으로 고온에도 불구하고 형태가 뚜렷함을 나타내었다. 난연 스티로폼, 스티로폼 및 우레탄은 태우기 전, 후 사진을 보면 내부 다층 구조가 뚜렷했던 것이 높은 열에 의해 일정부분 공기층으로 비워져 있던 구조가 무너져서 물리·화학적으로 물성이 변해 탄화가 되었는데 특히 난연 스티로폼은 발포성 난연 약제(규산소다, 안티몬)가 고열을 어느 정도 구조가 무너지는 것을 막아주고, 우레탄은 아이소시아네이트(-N=C=O)가 쉽게 수산기(-OH)와 결합한다(우레탄 결합). 또한 폴리올로서 수산기를 셋 이상 가진 분자를 사용하여 만들어진 폴리우레탄은 3차원적으로 결합

합한 것이 된다고 하였다(Yoon, 2011). 이 발포성 화학물질이 고열에 가지고 있던 구조가 무너져 내렸음을 알 수 있었다. 석고는 열에 강한 광물질인 섬유, 펄라이트 및 일부 톱밥 등으로 제조되었기에 겉으로는 형태를 갖추고는 있으나 고열에 노출되어 소량의 수분이 증발(Kim, 2001)하고 일부 무기재료들이 물리적으로 변하여 대체적으로 온전한 형태를 어느 정도는 유지하고 있음이 관찰되었다(Fig. 2).

### 3.3. 각 재료별 가스량 및 가스종류 분석

FTIR 내부의 오염물질 제거를 위하여 질소가스(N<sub>2</sub>: dry nitrogen gas)로 세척하고 1기압(1013 kPa) 조건하에 초기화 시켰다. FTIR와 연결된 컴퓨터에서 표준흡수 파장대의 상태를 확인하고 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 및 수분이 깨끗이 제거된 상태에서 실험을 실시 후 분석하였다. 또한, 각 건축 재료인 MDF, 나왕방부목, 난연 스티로폼, 스티로폼, 우레탄 및 석고 등의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 브롬화수소(HBr), 염화수소(HCl) 및 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 시간대별 농도를 분석하였다(Figs. 3~9).

주요 건축 재료별 연소가스 유해성 평가

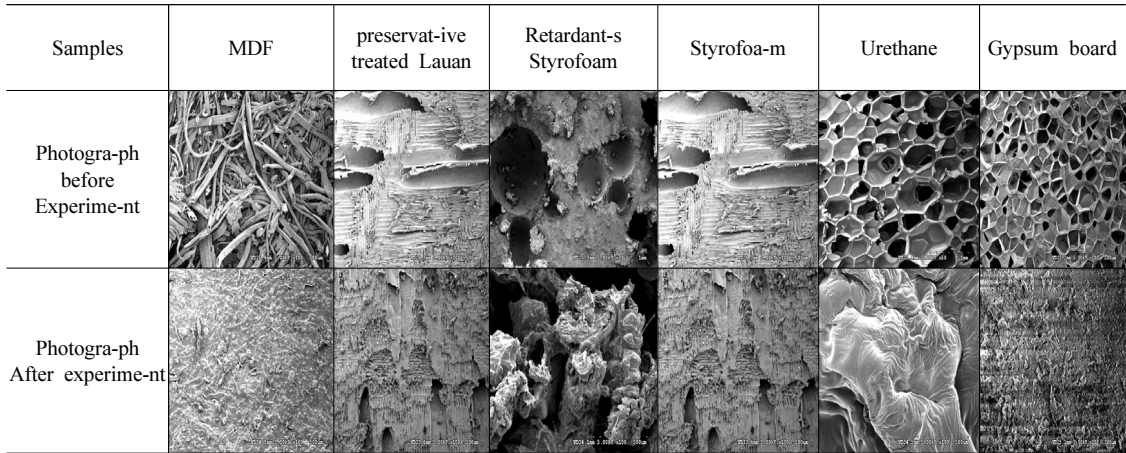


Fig. 2. SEM photograph of specimen.

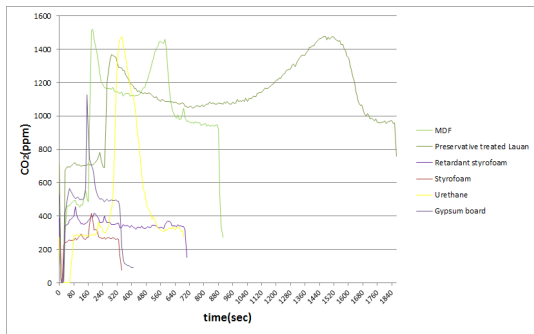


Fig. 3. Star concentration time curve of CO<sub>2</sub> of each material.

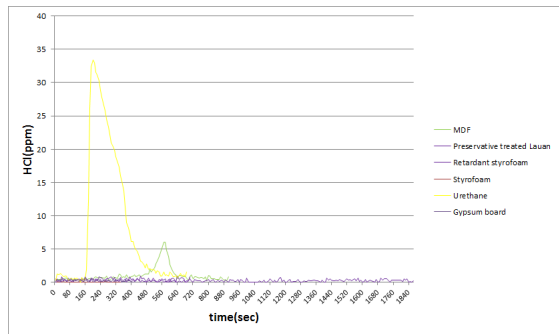


Fig. 5. Star concentration time curve of HCl of each material.

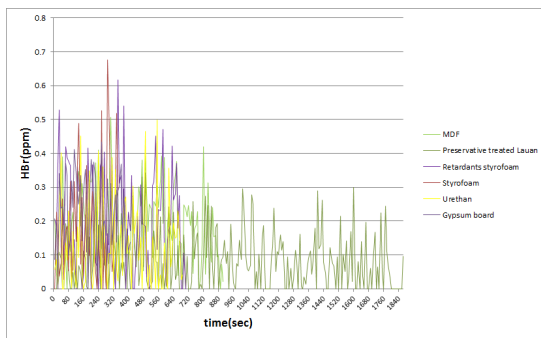


Fig. 4. Star concentration time curve of HBr of each material.

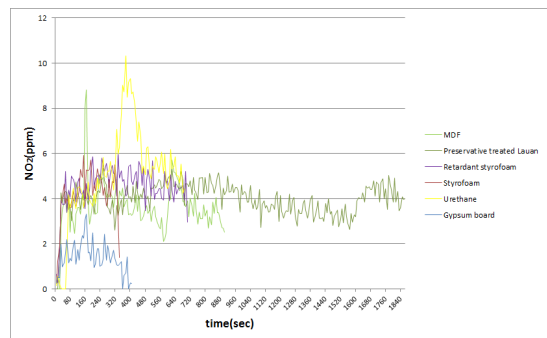


Fig. 6. Star concentration time curve of NO<sub>2</sub> of each material.

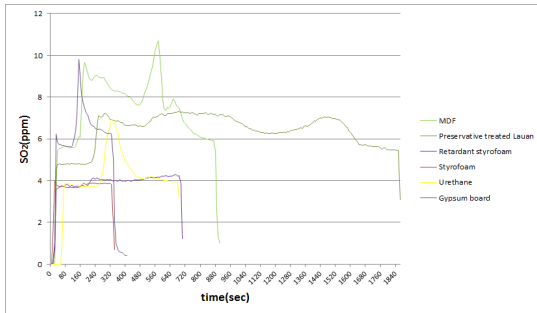


Fig. 7. Star concentration time curve of SO<sub>2</sub> of each material.

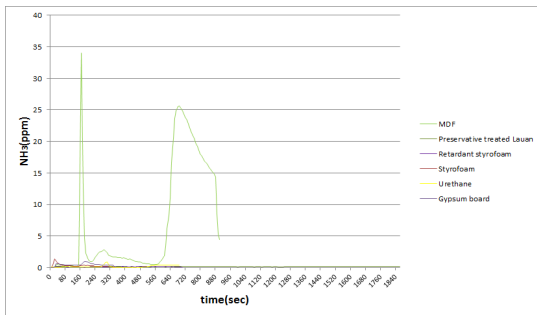


Fig. 8. Star concentration time curve of NH<sub>3</sub> of each material.

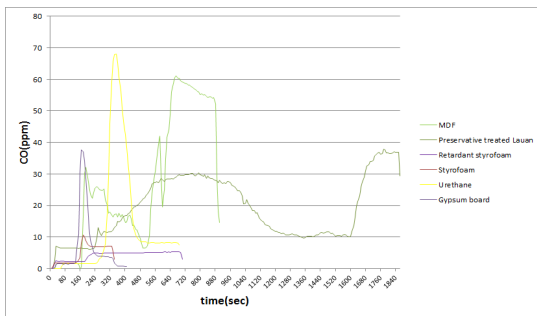


Fig. 9. Star concentration time curve of CO of each material.

Fig. 3은 각 재료별 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 발생량을 측정 한 결과이다. 결과에서 보는 바와 같이 공히 매우 많은 가스가 방출되었는데 나왕방부목, MDF, 우레탄, 난연 스티로폼 다음으로 석고보드로 관찰되었고 스티로폼도 상당량의 가스가 방출되었다. Fig. 4는 브

롬화수소(HBr) 방출량 측정결과이며, MDF, 나왕방부목, 난연 스티로폼 순으로 다른 재료에서 보다 많은 양이 검출되었다. Fig. 5는 각 재료별 염화수소(HCl)의 농도를 비교한 것으로 단열, 방음재로 쓰이는 우레탄에서 월등히 높은 농도로 관찰되었는데, 이는 PVC를 제조할 때 에틴(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = 아세틸렌)과 염화수소를 혼합해 만들듯이 우레탄의 원료인 폴리에틸렌글리콜과 다이아미소사이안산이 열에 의해 분해되어 여러 성분 중 염소이온과 수소이온이 결합하여 고농도의 염화수소가 방출되는 것으로 판단된다(Yoon, 2011; Kim *et al.*, 2015). 다음으로 MDF, 나왕방부목 순으로 나타났다. Fig. 6은 재료별 이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 농도를 비교한 것으로 나왕방부목, 우레탄, MDF, 난연 스티로폼에서 월등하게 많이 방출되었고 스티로폼이 뒤를 이어 방출되었는데 이 재료들은 제조 과정상 화학물질과 접착제 및 방부약제가 함침 되어 있어 높은 열로 인해 탄화되며 방출되는 것으로 특히 나왕방부목에서 이산화질소가 월등히 많이 방출된 이유는 암모늄화합물의 질소원자 4개인 치환기가 결합된 화합물이기 때문으로 판단된다(Gang, 2014). Fig. 7에서 이산화황(SO<sub>2</sub>)은 나왕방부목에서 월등한 값을 나타내었고 MDF 및 우레탄, 난연 스티로폼, 석고 보드, 스티로폼 순으로 관찰되었다. 다른 재료들보다 월등한 값을 보인 나왕방부목 속에 여러 성분들 중 알킬암모늄 화합물이 다수 침윤해 있다 고열에 방출됨의 결과로 알 수 있었다. Fig. 8에서 각 재료별 암모니아(NH<sub>3</sub>)가스양을 비교해 보니 목재류인 MDF에서 매우 큰 값을 나타내었고 적은 농도이기는 하나 나왕방부목, 석고보드 다음으로 우레탄, 스티로폼 순으로 방출되었다. Fig. 9에서 일산화탄소(CO) 가스량을 비교하여 보니 나왕방부목이 MDF, 우레탄 등 다른 재료들보다 월등한 가스가 관찰되었고 다음으로 난연 스티로폼, 석고 보드 순으로 나타났다. 이처럼 일산화탄소(CO)가 월등히 많이 관찰된 이유는 열에 강한 방부약제가 열과 충돌하여 불완전 연소로 이끌었기 때문으로 사료된다(Lee, 2012).

각각의 개별 건축 재료별 대표적 가스 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HCl, HBr, CO<sub>2</sub>, CO의 스펙트럼 그래프 Figs. 10 ~ 15에 정성, 정량분석 결과를 나타내었다. FTIR



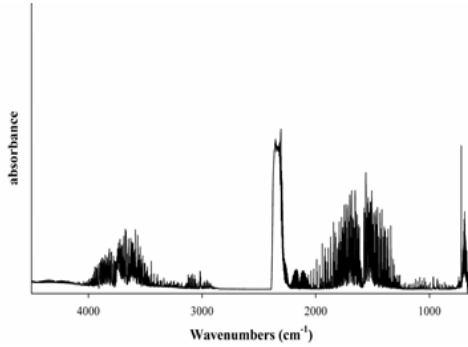


Fig. 10. MDF gases spectrum.

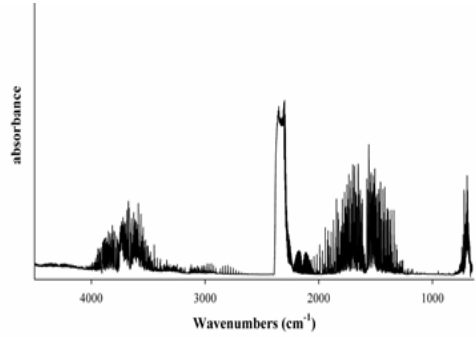


Fig. 13. Retardants Styrofoam gases spectrum.

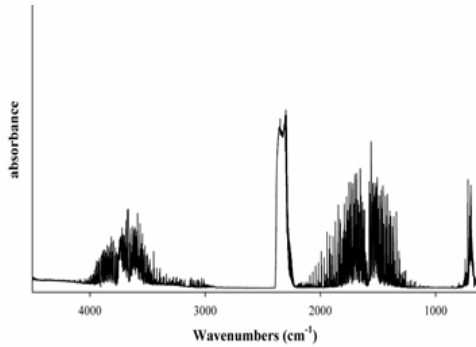


Fig. 11. preservative treated Luan gases spectrum.

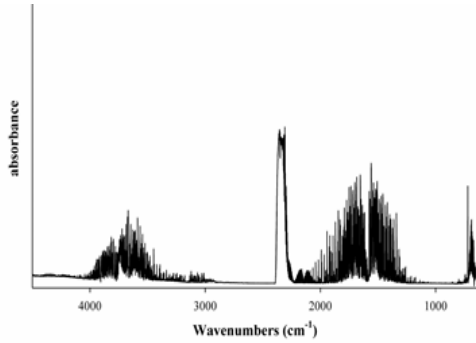


Fig. 14. Urethane gases spectrum.

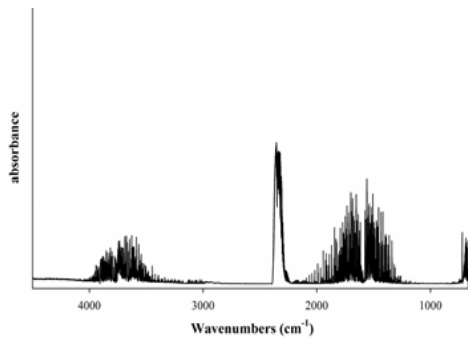


Fig. 12. Styrofoam gases spectrum.

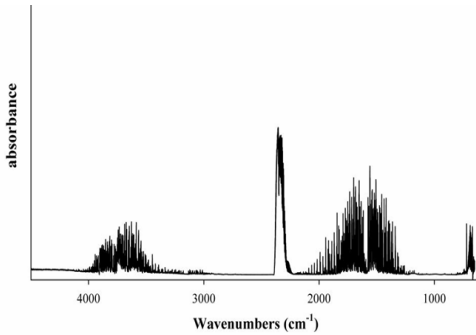


Fig. 15. Gypsum board gases spectrum.

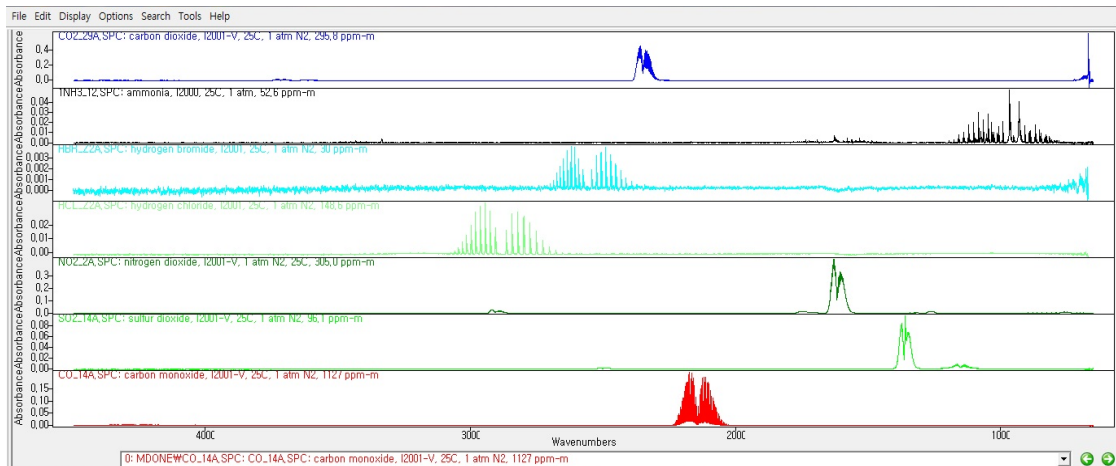
가스별 고유 파장 즉, 스펙트럼을 가지고 있다는 것을 근거로 실험 데이터 그래프가 동일위치에 피크가 나타나는지 비교하여 정성분석을 하였다. X축은 흡수(Wavenumbers (cm $\mu^{-1}$ ))파장범위, Y축은 흡광도

(absorbance)를 나타낸 것이다.

본 연구의 가스별 흡수 파장범위와 미국 환경보호청(EPA)이 제시한 독성가스 파장대역 분류법(Bands Classification)인 고유 피크(EPA FTIR Spectra re-

**Table 3.** 1-Summary of spectral regions where absorption peaks are observed

Reference gas	Concentration μl/l	Spectral region		Maximum absorbance
		start cm <sup>-1</sup>	end cm <sup>-1</sup>	
CO <sub>2</sub>	15100	3764	3480	0,63
		2400	2200	> 6,0
		800	520	2,46
CO	3005	2264	1975	0,17
NO <sub>2</sub>	470	2939	2815	0,08
		1667	1518	1,16
SO <sub>2</sub>	960	2525	2442	0,04
		1410	1290	1,5
		1253	1029	0,13
		640	437	0,14
HCl	5420	3150	2500	0,28
HBr	1000	2744	2290	0,04



**Fig. 16.** FTIR calibration spectra of fire gases.

gions data)와 일치하는지 비교하였으며, 그 결과는 Fig. 16의 FTIR Spectra regions 자료에 나타내었다.

### 3.4. 각 재료별 독성평가 분석

각 재료별 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 브롬화수소(HBr), 염화수소(HCl), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 및 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 암모니아(NH<sub>3</sub>)가스들을 분석 관찰하여 Table 4에 각각의 재료별 독성지수를 기술하였다.

Fig. 16은 각 가스별 고유 피크대(EPA FTIR Spectra regions data)와 Table 3 (ISO DIS 19702)을 기초로 Fig. 17의 각 재료별 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 총량을 비교 분석한 결과 나왕방부목은 256,965 ppm으로 치사농도(Cf) 100,000 ppm의 무려 2.5배, MDF에서는 치사농도(Cf) 값을 상회하는 111,450 ppm 값을 보였다. 우레탄의 치사농도(Cf) 값이 42538.362 ppm으로서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 치사농도(Cf) 100,000 ppm 절반에 못 미치고 뒤이어 난연 스티로폼이

**Table 4.** Each concentrations(ppm)of gases and toxicity index

Division	MDF	preservative treated Lauan	Retardant-s Styrofoam	Styrofoam	Urethane	Gypsum board	Lethal concentration.Cf (ppm)
Toxicity Index	5.85	8.78	3.02	1.33	4.79	1.37	-
CO <sub>2</sub> (ppm)	111,450	256,965	30026.522	11068.412	42538.362	22564.584	100,000
HBr (ppm)	20.9	18.6	17.668	8.402	11.125	11.925	150
HCl (ppm)	117.7	47	32.562	0.79	697.657	13.468	500
NO <sub>2</sub> (ppm)	408.7	927	398.416	179.123	434.309	70.465	250
SO <sub>2</sub> (ppm)	807.3	1,475	337.519	151.871	342.344	260.606	400
NH <sub>3</sub> (ppm)	795	37.6	10.899	13.024	14.718	20.763	750
CO (ppm)	3,062	4,441	365.625	199.629	1141.219	320.698	4,000

30026.522 ppm으로 그 뒤를 이었고 석고보드가 22564.584 ppm으로 1/5 수준이었다. Fig. 18에서는 각 재료별 브롬화수소(HBr) 농도를 비교한 것으로 MDF에서 20.9 ppm, 나왕방부목 18.6 ppm, 난연스티로폼 17.7 ppm 등 공히, 각 재료별 공통적으로 치사농도 150 ppm에 훨씬 못 미치는 8.4 ppm~20.9 ppm으로 관찰되었는데 이는 브롬화수소가 맹독성 가스로 법적(환경부 현행법령 화학물질 관리법)으로 관리되는 화학 물질의 일부로서 관리 받은 결과로 사료된다. Fig. 19의 염화수소(HCl) 총량을 각 재료별로 관찰한 결과 유독 우레탄만 697 ppm을 초과하는 결과가 나타났다(Kim *et al.*, 2015). 염화수소(HCl) 치사농도 기준 값은 500 ppm인데 그 이유는 우레탄 제조 시 폴리에틸렌글리콜과 다이아이소사이안산과 폴리올(polyol), 정포제, 촉매제(CFC, HFC 또는 HCFC), 보조제 등이 쓰이는데 이때 촉매제의 성분이 PVC처럼 높은 열로 인해 분해되며 여러 성분 중 염소이온과 수소이온이 결합 고농도로 관찰된 것으로 사료되고 MDF는 117.7 ppm, 나왕방부목은 47 ppm 나머지 재료들은 0.79 ppm~32.5 ppm 값으로 나타내었다. Fig. 20의 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 각 재료별 치사농도 값에서는 목재류인 나왕방부목에서 927 ppm, 우레탄이 434 ppm, MDF에서 408.7 ppm으로 치사농도 기준 값 250 ppm보다 무려 2~4배 가까이 검출되었는데 이는 우레탄의 주원료인 폴리올(polyol)과 이소시아네이트(Isocyanate)가 높은 열에

노출 시 폴리올은 다가 알코올 즉 2개 이상의 수산기(-OH)를 가진 지방족 화합물로 이소시아난 HNCO에 상당한 에스테르 R-N=C=O는 이소시아네이트라 한다. 이소시아난 메틸(CH<sub>3</sub>NCO)끓는점 44℃, 이소시아난 에틸(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NCO)끓는점 60℃ 등은 자극적인 냄새가 있는 액체로서 방치하면 급속히 중합하여 이소시아누르산의 에스테르로 된다. 알코올, 페놀과 반응하여 우레탄을 생성한다. 따라서 고열에 노출되면 이산화 질소가 많이 방출되기 때문에 사료된다(Kim *et al.*, 2015; Kim, 2001). 난연 스티로폼은 398 ppm으로 치사농도 250 ppm을 초과하였는데 반해 스티로폼(P.S)과 불연재인 석고보드만 기준 값 이하로 관찰되었는데 이는 스티로폼의 주원료인 에틸렌과 벤젠을 반응시켜 얻은 액체 스티렌 단위체의 중합체인 폴리스티렌(P.S)과 석고보드 원료인 소석고와 광물질인 펄라이트 및 섬유 등이 다른 재료들의 방부약제나 화학약품과 함침된 것들에 비해 비교적 화학적으로 안정한 결과로 사료된다(Kim, 2001; Yoon, 2011). Fig. 21의 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 각 재료별 치사농도 값을 비교해 보면 목재류인 나왕방부목에서 1,475 ppm, MDF에서 807.3 ppm으로 치사농도(Cf) 값인 400 ppm의 거의 2~4배 값과 우레탄이 342.3 ppm, 다음으로 난연 스티로폼이 337.5 ppm, 석고보드 260.6 ppm, 스티로폼 151.8 ppm 순으로 나타났는데 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 치사농도인 400 ppm에는 못 미쳤다. Fig. 22에서는 각 재료별 암모니아(NH<sub>3</sub>)로 총량을

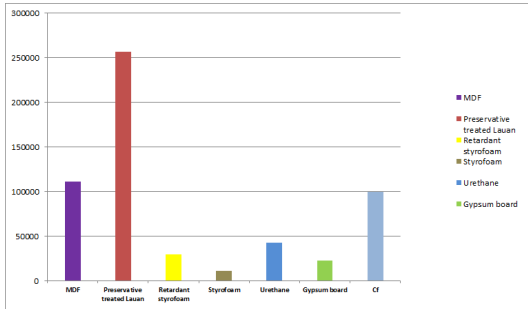


Fig. 17. Material by CO<sub>2</sub> Total amount (ppm).

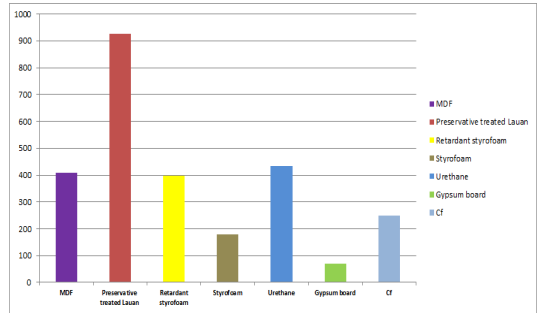


Fig. 20. Material by NO<sub>2</sub> Total amount (ppm).

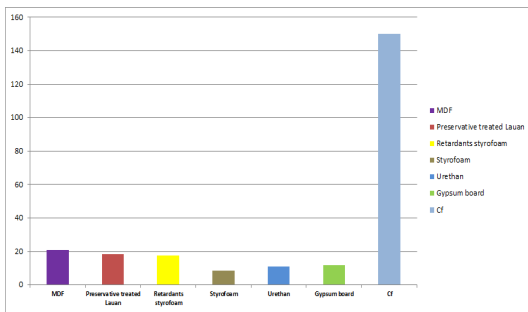


Fig. 18. Material by HBr Total amount (ppm).

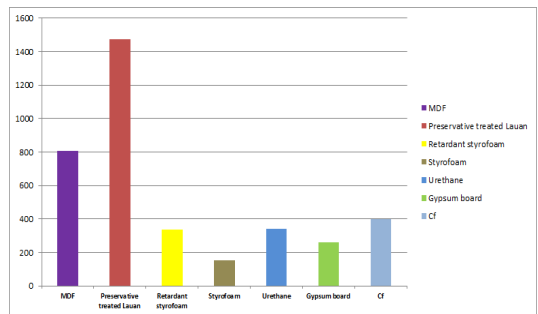


Fig. 21. Material by SO<sub>2</sub> Total amount (ppm).

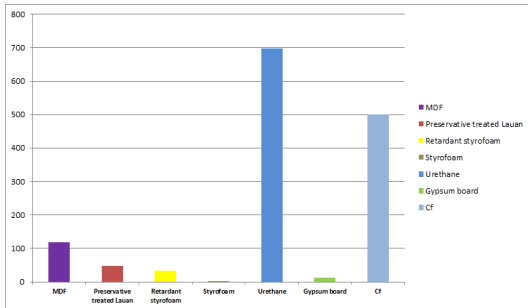


Fig. 19. Material by HCl Total amount (ppm).

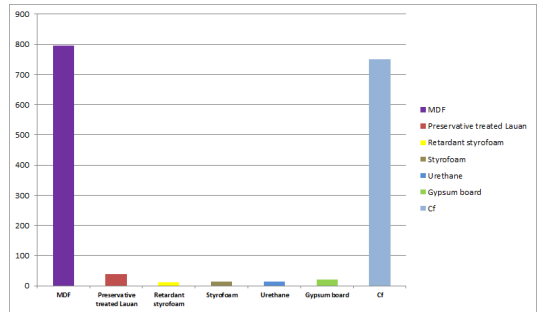


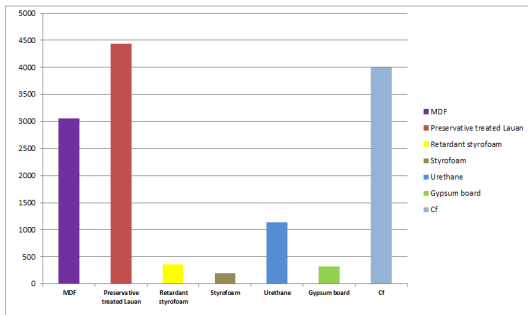
Fig. 22. Material by NH<sub>3</sub> Total amount (ppm).

비교해보니 치사농도 기준 값인 750 ppm을 상회하는 MDF만이 795 ppm을 나타내었고 나왕방부목을 비롯한 재료들은 치사농도(Cf)에 크게 못 미치는 10.9~37.6 ppm 값으로 미미하게 관찰되었다. Fig. 23에서 일산화탄소(CO) 재료별 발생 치사농도 값은 목재류인 나왕방부목 4,441 ppm, MDF에서 3,062

ppm으로 일산화탄소(CO)치사농도인 4,000 ppm을 상회하거나 조금 못 미치는 값과 화학물질인 우레탄만이 1,141 ppm을 넘었으며 난연 스티로폼, 석고, 스티로폼은 199.6~365.6 ppm을 나타냈다. 일산화탄소(CO) 치사농도인 4,000 ppm에는 못 미치는 수준이었다.

**Table 5.** Exposure standards of chemical and physical factors

Name of Hazardous Substances	Formula	Occupational exposure limits				Remark (CAS number, etc.)
		TWA		STEL		
		ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	5,000	9,000	30,000	54,000	[124-38-9]
Hydrogen bromide	HBr	C2	C 6.62	-	-	[10035-10-6]
Hydrogen chloride	HCl	1	1.5	2	3	[7647-01-0]
Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3	6	5	10	[10102-44-0]
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	2	5	5	10	[7446-09-5]
Ammonia	NH <sub>3</sub>	25	18	35	27	[7664-41-7]
Carbon monoxide	CO	30	34	200	229	[630-08-0]Reproductive toxicity 1A



**Fig. 23.** Material by CO Total amount (ppm).

Table 2에서 보듯이 많은 건축자재들이 사람의 생명을 저해하는 치사농도(Cf)로 나타났는데 급번에 목재류와 플라스틱류를 가지고 유해성 평가를 분석한 결과, 선행연구자들(Lee *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2011; Seo *et al.*, 2015)의 결과들처럼 인체에 해로운 경향을 보였다.

또한 위의 관찰된 7가지 가스 종들에 대한 건강위험성 평가는 물질안전보건자료(MSDS)에 기초한 노출기준 및 건강위험성을 Table 5에 제시하였다(KOSHA, 2015). Fig. 17에서와 같이 목재류의 재료인 나왕방부목과 MDF에서 상대적으로 플라스틱류보다 월등히 높은 치사농도 값이 검출되었는데, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)에 노출되었을 때 불규칙 심장박동, 혈압변화, 구역, 두통, 졸음 등 흡입미스트 LC50 50,000 ppm~30,000 ppm Rat.이며, Fig. 19의 우레

탄에서 염화수소(HCl)가 치사농도를 크게 웃도는 수치가 나타났는데, 염화수소(HCl)는 급성 독성의 물질로 경구 LD50 238 mg/kg Rat, 경피 LD50 > 5010 mg/kg Rabbit, 흡입 가스 LC50 4.2 mg/l 1 hr Rat (4시간 ppm. 환산 값 1,411 ppm) 피부 부식성 또는 자극성으로 사람에게 중 정도의 자극성, 궤양, 화상이 보고되었고, 심한 눈 손상이나 실명이 우려되고 특정 표적 장기 독성(1회 노출)시 사람에서 흡입 노출에 의해 호흡곤란, 후두염, 기관지염, 기관지 수축, 폐렴 등의 증상, 상기도의 부종, 염증, 괴사, 폐수종이 나타나고 반복 노출 시 침식에 의한 치아의 손상이 보고되고 만성 기관지염의 발생빈도가 보고되었다(KOSHA, 2015). 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 Fig. 20에서 나왕방부목에서 927 ppm, MDF 408.7 ppm, 우레탄, 난연 스티로폼에서 치사농도(250 ppm)를 크게 웃도는 434.3 ppm, 398.4 ppm이 방출되었는데 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 흡입 시 화상, 구역, 위통, 호흡곤란, 불규칙 심장 박동, 두통, 현기증, 청색증, 폐 이상, 사망을 일으킬 수 있고 흡입 LC50 88 ppm 4 hr Rat UN 부식성 물질, 사람 노출에 의해 폐 기능에 영향 및 폐수종이 나타난다 하였다(KOSHA, 2015). 이산화황(SO<sub>2</sub>)은 Fig. 21에서 목재류인 나왕방부목과 MDF에서 각각 1,475 ppm, 807.3 ppm의 높은 값과 우레탄, 난연 스티로폼 및 석고보드에서는 끝고루 치사농도에 근접하게 방출되었는데, 이산화황(SO<sub>2</sub>) 흡입 시 알레르기 반응, 화상을 일으킬 수 있고, 고농도 노출 결과

가역성의 결막염이나 각막 표면의 화상이 나타났다. 또한, 특정 표적 장기 독성(1회 노출) 사람에서 흡입 노출 시 기도저항 증가 등의 호흡기 저하가 나타나며 고농도에서 폐수종을 일으킨다고 하였다(KOSHA, 2015). 기타, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 인체에 두통, 불규칙 심장 박동, 의식 불명 근육 경련 및 의식불명을 일으키고 브롬화수소(HBr)는 사람이 1,430 ppm을 4 hr Rat. 흡입하여 치사농도인 LC50에 이르면 부식성 및 피부괴사, 중증의 안 점막 자극이 보고되고 상기도 자극 및 반복 노출 시 치아 탈회, 잇몸 변화, 기침, 진행성 폐색성 세기관지염을 일으킨다. Fig. 22에서와 같이 암모니아(NH<sub>3</sub>)가스는 사람이 2,000 ppm을 4 hr Rat. 흡입하여 치사농도인 LC50 이상에 이르면 나타나는 현상으로 심각한 눈 장애, 천식성 증상, 폐수종 및 기관지 폐렴 등이 보고되고 Fig. 23의 나왕방부목에서 치사농도를 상회하는 것으로 나타났는데 일산화탄소(CO) 흡입 시 혈액 중에 카르복시 헤모글로빈이 증가해 사람 및 동물의 신경계, 순환기계에 영향을 주어 지력, 운동 능력 청력 등을 저하 시키고 많은 양을 마시면 사망에 이르게 하는 가스(KOSHA, 2015)로서 다수 포함되어 있는 것으로 관찰되었다.

특히, 목재류인 나왕방부목과 MDF에서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 이산화황(SO<sub>2</sub>), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 일산화탄소(CO) 등의 치사농도 값이 상대적으로 플라스틱류보다 높은 값을 보임을 알 수 있었다. 플라스틱류인 재료들 중에서 염화수소(HCl), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 이산화황(SO<sub>2</sub>)은 우레탄에서 난연 스티로폼은 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 이산화황(SO<sub>2</sub>) 등에서 대체적으로 가스 방출량이 많았다. 우레탄에서는 염화수소(HCl)가 다른 재료들보다 월등히 많은 가스 양이 나타났는데 이는 폴리비닐카보네이트(PVC)처럼 연질과 경질을 만들며 염화수소(HCl)가 많이 함침되어 제조되기 때문으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 화재로 인한 주요 건축 재료의 목재류인 MDF, 나왕방부목 2종과 플라스틱류 난연 스티로폼, 스티로폼, 우레탄폼, 석고보드 4종의 구조와

연소가스 분석을 통해, 건축 재료별 인체 유해성을 평가하는 기초데이터를 제안하였다.

1. 목재류는 탄소화합물에 화학약제가 함침 열분해되며 물리·화학적 변화에 따라 탄소로 변하는 것을 확인하였고 난연 스티로폼은 불이 붙지 않고 검은 색을 띠며 녹아 내렸는데 난연제인 무기계 규산나트륨을 혼합, 함침시켜 제조된 것으로 사료되며, 스티로폼은 빠른 시간 내에 불꽃에 의해 갈색으로 녹아내렸다. 우레탄도 작은 불꽃으로 열에 취약했으며 잔재가 많이 남지 않았고 일부 수분이 존재하였다. 석고는 형태는 유지했으나 한번 강한 열에 노출된 석고는 쓸 수 없음을 확인하였다.
2. SEM의 태우기 전, 후를 비교해 보니 MDF는 다층 공기층이 무너지며 접착제의 기포로 인해 공극이 막히고 Char가 형성되고, 나왕방부목은 내부 깊숙이 난연 약제가 함침되어 비교적 온전한 형태를 유지하였고 난연 스티로폼, 스티로폼 및 우레탄은 다층구조가 뚜렷했던 것이 고열에 의해 무너져 내려 탄화가 되었고, 석고는 대부분 광물질로서 상당한 형태는 유지하고 있었다.
3. 각 재료별 염화수소(HCl)의 독성결과는 우레탄만이 치사농도(500 ppm)를 초과하는 697 ppm이 관찰되었다.
4. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 치사농도 값인 250 ppm을 크게 웃도는 나왕방부목 927 ppm이 MDF 408.7 ppm, 우레탄 434 ppm, 난연 스티로폼에서 398 ppm이 치사농도에는 못 미치나 스티로폼에서 179 ppm이 확인되었다.
5. 목재류인 나왕방부목이 1,475 ppm, MDF가 807.3 ppm으로 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 치사농도의 2~4배가 우레탄에서 342 ppm, 난연 스티로폼 337 ppm, 석고보드에서 260 ppm로 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 치사농도(400 ppm)에 못 미치는 것이 관찰되었다.
6. 전체적으로 연소가스를 분석한 결과 상기 목재류인 나왕방부목과 MDF의 대다수 크게 유해한

성분의 가스가 방출되었고 플라스틱류 중 우레탄과 난연 스티로폼이 상대적으로 여러 가지 인체에 해로운 유해가스가 더 많이 배출되었다.

7. 상기 여러 건축 재료별 가스에 노출되었을 경우 치사농도(Cf)나 물질안전보건자료(MSDS)에 있는 피부 부식성, 화상, 폐수중, 호흡 곤란, 청색증, 심한 눈 손상, 사망 등을 일으키는 다량의 유해가스가 발생됨을 확인하였다.

## REFERENCES

- EPA FTIRS pectra regions data.
- Gang, Y.H. 2014 Life Science Dictionary, Quaternary ammonium compound, Book Publishing, Yeochon.
- ISO DIS 19702, p. 45.
- John E. McMurry Organic Chemistry. 7th Edition, Materials Chemistry Research Group Moved, Science plus (CENGAGE Learning) pp. 1156~1157.
- KATS, Chemical Dictionary, Construction and Safety Standards 2005, Class 2 flame retardant foam manufacturing method disclosed.
- Kim, C.H. 2001 Gypsum board, Chemical Dictionary. Sehwa editorial.
- Kim, C.H. 2001 Isocyanuric acid ethyl ester, Chemical Dictionary. Sehwa editorial.
- Kim, I.T., Yun, G.H., Kim, B.S., Seol, J.H., Yang, S.H. 2008. Korea Man hwa Contents Agency, Cartoon Animation advance.
- Kim, S.H. 2016, Pentane. Scienceall, Korea Foundation for The advancement of science & creativity (KOFAC).
- Kim, S.S., Cho, N.W., Rie, D.H. 2015 A Research of Risk Assessment for Urethane Fire Based on Fire Toxicity. Fire Science and Engineering 29(2): 73-78.
- Kim, S.S., Cho, N.W., Rie, D.H. 2011. A Research for Assessment Fire Toxic Gas of Construction Material Using FT-IR and FED. Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering 25(6): 27-31.
- KOREA Fire Institute, KS F ISO 5660-1, 2011-39. KFI Accreditation and Ministry of Land Infrastructure and Transport notice.
- KOREA Occupational Safety & Health Agency (KOSHA), Ministry of Employment and Labor Reserved Notice No.2013-38, 'Exposure standards of chemical and physical factors.
- KOREA Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) 2015. MSDS CAS No.
- KS F ISO 5660-1.2003. Heat dissipation. KSF, 1998, 2271.
- Lee, D.H., 2012. Cooperation Director 'Waste wood recycling scheme established advanced research institutions' Ministry of Environment / report. Seoul National University of Science and Technology, pp. 160, 208.
- Lee, D.H., Kong, Y.K. 2005. A study on combustion gas toxicity of polymeric materials using FTIR gas analysis. Korean Society of Hazard Mitigation 5(4): 79-84.
- Lee, I.G. 2012. A Study on the Evaluation of Toxicity Gas of Building Closing Material During Combustion by chamber Model. Incheon National Univ, Graduate School Department of Safety Engineering Major disaster management, p. 5.
- Lee, S.H., Park, S.D., Kwon, S.M., Park, J.Y., Kim, N.H. 2009. 'Characterization of Carbonized MDF by Scanning Electron Microscopy and X-ray diffraction' Mokchae Konghak Vol.37 No.3, p. 212.
- Ministry of public safety and security (MPSS), National Fire Information Center Fire Statistics Status, 2015. (Ignition Factor Stars: first fire ignited on the first ignition number of factors ignition.

- Ministry of public safety and security (MPSS), National Fire Information Center Fire Statistics Status, 2015. (Ignition Factor Stars: Zoom into the combustion reason.
- Seo, H.J., Son, D.W. 2015. Hazard Assessment of Combustion Gases from Interior Materials. Fire Science and Engineering 29(4): 49-56.
- Yoon, C.J., 2011 Chemical Glossary, Ethylbenzene. Iljinsa.
- Yoon, C.J., 2011 Chemical Glossary, Polyurethane. Iljinsa.