



# 화재로 인한 불화수소(HF)가스에 노출된 마우스의 혈액생화학분석 및 MDA분석을 통한 세포손상에 관한 연구

†조남욱 · 오은하\*

한국건설기술연구원 화재안전연구소, \*네오딘의학연구소  
(2013년 10월 13일 접수, 2013년 12월 23일 수정, 2013년 12월 23일 채택)

## A Study on MDA Analysis & blood chemical test for Mouse which were exposed HF Gases from Fire

†Nam-Wook Cho · Eun-Ha Oh\*

Fire Disaster prevention research center, Korea Institute of Construction Technology (KICT)  
\*NEODIN Medical Institute

(Received October 13, 2013; Revised December 23, 2013; Accepted December 23, 2013)

### 요약

화재시 당면할 수 있는 위험성의 여러 인자 가운데 연소독성 영향은 피난 및 최종 생존에 중요한 영향을 미치고 있다. 화재 독성에 지금까지 대한 대부분의 연구는 치사 측면에 국한되어 왔다. 이에 본 연구에서는 화재에서 발생될 수 있고, 산업용으로 사용되고 있는 불화수소(HF)가스를 대상으로 가스유해성시험방법(KS F2271)을 수행하여 평균행동정지시간을 측정하고, 이들 실험동물군의 내부 손상을 확인하기 위하여 혈액분석 및 혈액생화학 분석을 수행하였다. 또한 오염된 혈액속의 백혈구 내 임파구를 대상으로 독성물질에 의한 산화손상을 측정하기 위해 산화손상의 지표물질인 말론디알데하이드(MDA)를 분석하여 생체 손상을 정량적으로 분석하였다. 두 가지 지표분석은 화재로 인한 연소독성가스의 생물학적 손상의 기초자료로 폭넓게 활용될 것으로 기대한다.

**Abstract** - Among the risks which can be faced with fire, combustion toxicity is a significant influence on the survival. Fire toxicity researches have been limited generally on the lethal aspects. In this study, HF gas which can be generated from fire, and also found in general industrial site was used for analysis. Blood analysis and biochemistry analysis performed to find internal damage of experimental animals which were used for measuring average activity stopping time from Animal test(KS F2271: Gas hazard test). In addition, Using the malondialdehyde analysis, indicators of oxidative damage, we had quantitative analysis to target lymphocyte for measuring the oxidative damage caused by toxic substances.

**Key words** : blood chemical test, animal test, MDA, combustion toxicology

## I. 서 론

### 1.1. 연구배경 및 목적

화재시 발생하는 연소가스 중의 독성 영향은 재실자의 피난에 중요한 영향을 미치고 있으며 독성영향

에 따른 피해가 계속되고 있다. 지금까지 화재 독성에 대한 대부분의 연구는 치사 측면에 국한되어 왔다. 화재 중 사망의 궁극적 원인에 대한 연구는 영국에서 수행된 Strathclyde 연구에서와 같이 화재로 인한 사망에 대한 병리학적 탐구를 통해 이루어졌다[1]. 실험용 동물을 이용한 연소 독성 연구는 주로 치사수준을 측정하기 위해 활용되어 왔으며, 이 때 일산화탄소(CO)나 염화수소(HCl)와 같은 단일 연소 생성물 혹은 개개

†Corresponding author: nwcho@kict.re.kr,

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

의 물질로부터 발생한 여러 열분해 생성물의 혼합물에 대해 LD<sub>50</sub> 개념이 주로 활용되었다[2].

본 논문에서는 화재로부터 발생될 수 있으며 최근 구미에서 발생된 불화수소(HF)가스누출사고 등 산업 현장에서 노출될 수 있는 불화수소(HF)가스에 대하여 생체에 미치는 독성에 대하여 고찰하였다. 건축 재료 중 우레탄의 연소로부터 불화수소(HF)가스 검출이 측정되어 연구된 바 있다[3].

화재로부터 발생하는 다양한 독성 가스의 대한 규제는 선박용 물건에 대한 형식승인시험에서 규정하는 FTP(Fire Test Procedure)code에서 구체적인 화학종에 대한 검출기준을 600ppm으로 제시한다[4]. 또한 ISO 13344(Determination of the Lethal Toxic Potency of Fire Effluents)에서 규정하는 독성지수의 하나인 FED(Fractional Effective Dose)에서도 다양한 독성가스에 대한 위험도를 정량화하고 있으며 HF의 경우 LC<sub>50</sub> 값을 2900ppm으로 제시한다[5].

국내에서 마감재에 대한 연소독성평가는 설치류(마우스)를 이용한 가스유해성시험(KS F2271)을 통해 실험용 쥐의 평균행동정지시간으로 평가되어 왔다. 가스유해성시험은 대상 시험체의 연소로부터 발생하는 미지가스를 실험용 쥐에 노출시켜 마우스의 행동시간을 측정하는 시험방법이다. 그러나 최근 동물보호법(농림수산식품부) 및 실험동물에 관한 법률(보건복지부)의 개정에 따라 동물실험의 경우 제한적인 범위에서 수행하도록 규정하고 있으며 동물실험윤리위원회를 설치하여 해당 실험을 심의하도록 하고 있다. 또한 동물실험의 윤리적 관점의 3원칙(3R, Replacement, Reduction, Refinement)을 규정하여 동물실험을 대체방법 도입, 동물의 수를 줄이는 방안의 모색 및 실험동물의 통증, 스트레스 저감 방안 개선을 강력하게 유도하고 있다.

본 연구에서는 국내 건축법에서 규정하는 동물실험의 3R대응에 대한 연소독성 기초연구이며 동물실험윤리위원회의 승인을 거쳐 진행하였다.

이에 본 연구에서는 화재 연소 시 발생하는 독성 가스 중 불화수소(HF)가스를 대상으로 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 통하여 실험동물(마우스)에 실험대상물질(HF)을 흡입시킨 후 평균행동정지시간을 측정하고, 이들 실험동물군의 대동맥으로부터 혈액을 채취하여, 혈액화학분석, 혈액생화학분석 및 MDA분석을 통해 연소독성가스가 생체에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였으며, 기존 가스유해성시험에서 확인할 수 없었던 접근(혈액검사, 혈액생화학검사, MDA분석)을 통해 연소독성학 분야의 기초 연구자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. KS F 2271 (가스유해성시험)

건축법 제43조, 동 시행령 제61조 및 '건축물의 피난·방화등의 기준에 관한 규칙' 제24조에서 건축물의 내부마감재에 대한 용도 및 규모별 적용 대상을 정하고 있으며 이러한 분류기준에 따라 불연, 준불연 및 난연재료의 화재성능을 확보한 재료를 사용하도록 규정하고 있다. 난연성능 평가방법은 건축물의 피난·방화등의 기준에 관한 규칙 제5조 내지 7조 규정에 따라 제정된 '건축물 마감재료의 난연성능기준'(국토해양부 고시 제2011-39호)에서 정하고 있으며 국제규격으로서 채택된 콘칼로리미터방법(KS F ISO 5660-1)과 불연시험방법(KS F ISO 1182) 및 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 채택하여 성능기준을 정하고 있다.

연소독성을 평가하기 위한 가스유해성시험(동물시험)은 불연재료, 준불연재료 및 난연재료의 모든 등급시험에 필수 시험으로 적용되고 있다. 이번 실험에서는 건축마감재료의 직접 연소를 통한 배출가스의 mouse 노출방식이 아닌 표준가스를 사용하여 상부에 설치된 유량조절 장치를 통해 HF가스를 직접 주입하였다.

가스유해성 시험장치에서 시험체의 연소로 발생된 가스는 먼저 가열로 상부의 교반상자로 유입되며 이후 우측의 피검상자(8마리 mouse가 위치한 상자)로 이동된다. Fig 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 도해로써 실리더형태의 표준가스로부터 가스유해성시험 장치의 피검상자로 독성가스를 조절하여 유입하였다. 실제 가스유해성 시험에서 교반상자에서 피검상자로 유입되는 유량은 측정결과 분당 약 23리터이며, 표준

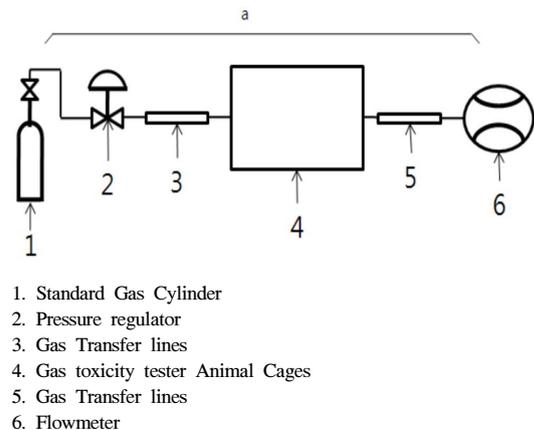


Fig. 1. Experiment Illustration

**Table 1.** HF Standard Gas Experimental Concentration

Gas	Concentration (ppm)
HF	19.3
	46.7
	193.0
	608.0

가스를 사용한 본 실험에서도 표준가스의 피검상자유입 유량을 동일하게 23리터로 조절하였다. Table 1은 이번 실험에 사용된 불화수소(HF) 표준가스 농도이다. 표준가스의 농도범위는 FTP Code(Fire Test Procedure, 선박용 화재안전 규격)에서 규정하는 불화수소(HF)가스에 대한 기준농도(600ppm) 및 실제 마감재의 연소에서 발생하여 측정된 농도값을 참고로 하여 설정하였다[3].

실험용 흰 쥐의 평균 행동 정지 시간( $x$ )은 다음 식(1)~(3)에 따라 구한다[6].

$$x = \bar{X} - \sigma \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$\bar{X}$ : 8마리 실험용 흰 쥐의 행동 정지 시간

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8}{8} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

$\sigma$ : 8마리 실험용 흰 쥐의 행동 정지 시간의 표준 편차(단위: 분)

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_8 - \bar{X})^2}{8}} \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

$x_1, x_2, \dots, x_7, x_8$ : 실험용 흰 쥐 각각에 대한 행동 정지 시간

**2.2. 혈액분석**

채취된 실험동물의 혈액을 응고방지처리한 후, 자동혈구 계수기를 이용하여 백혈구 수 (white blood cell or leukocyte count, WBC), 적혈구 수 (red blood cell or erythrocyte count, RBC), 혈색소 농도 (hemoglobin concentration, HGB), 적혈구 용적 (hematocrit, Ht), 평균 적혈구 용적 (mean corpuscular volume, MCV), 평균 혈색소량 (mean corpuscular hemoglobin, MCH), 평균 혈색소농도 (mean corpuscular hemoglobin con-

centration; MCHC), 혈소판 수 (platelet or thrombocyte count), 적혈구 분포대 (RBC distribution width, RDW), 혈소판 분포대 (platelet distribution width, PDW), 평균 혈소판 용적 (mean platelet volume, MPV) 등의 항목을 측정하였다.

백혈구 수는 말초혈액 검사의 하나로 말초혈액에서 보는 혈액 단위 용적당 총수를 말한다. 백혈구계의 수량적, 형태학적, 기능적 이상을 초래하는 질환에 대하여 그 병태, 경과, 임상효과 등을 평가하기 위하여 측정한다.

적혈구 수는 혈액질환에 한하지 않고 모든 질병에 가장 기본적인 측정 항목의 하나이다. 측정 목적은 빈혈 또는 적혈구증다증의 유무와 그 정도를 파악하는 것이지만 적혈구수와 혈색소량이 반드시 비례하는 것은 아니므로 적혈구 수만을 지표로 이용해서는 안 된다.

혈색소 농도는 철과 porphyrin이 결합된 heme과 단백질(globin)의 복합체로 구성된 4배체로 heme단백의 일종이다. 주요기능은 폐에서 전신 조직으로의 산소 운반과 각 조직에서 폐로의 탄산가스 운반 기능이다.

혈색소 농도가 감소되면 조직으로 운반되는 산소량이 감소되므로 각 장기조직은 산소결핍에 의한 기능장애가 발생하게 된다.

적혈구 용적은 전혈중 적혈구가 차지하는 비율을 나타내는 값이다. 혈액을 원심분리하여 혈구 성분을 침전시키고 전혈에 대한 혈구의 비율을 산정한다. 철결핍성빈혈, 구상적혈구증 등 적혈구 형태에 이상이 있는 경우에는 적혈구 사이에 채워진 혈장량이 통상보다 증가하기 때문에 적혈구용적(Ht)가 평소보다 높게 측정된다. 이는 빈혈 여부를 평가함과 동시에 적혈구수에 비하여 적혈구용적(Ht)치가 큰 경우는 대구성빈혈, 상대적으로 낮은 경우에는 소구성 빈혈을 감별한다.

평균 적혈구 용적(mean corpuscular volume, MCV)은 적혈구 한 개의 평균용적. 낮은 수치인 경우 소구성, 높은 수치인 경우 대구성이라 명명하며 적혈구수, 적혈구 용적(Hematocrit)과 아래 식4와 같은 관계를 가진다.

$$MCV = \frac{\text{Hematocrit}(\%)}{\text{적혈구수}(\times 10^6/\mu L)} \times 10fL \dots\dots\dots (4)$$

평균 혈색소량 (mean corpuscular hemoglobin, MCH)은 적혈구 한 개에 포함된 Hemoglobin 양의 평균치를 나타낸다. 낮은 수치인 경우 저색소성으로 명명한다. 또한, 평균 혈색소농도 (mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC)는 적혈구내 혈색소의 평균 농도를 나타낸다.

혈소판 수는 손상된 혈관벽 내피세포하 조직과 반응

**Table 2.** Clinical sense of blood chemical test

	Items	Clinical significance
간기능검사	ALP	간질환, 담도계 질환 및 골질환의 진단 주로 골격(뼈), 간, 신장, 태반 등에 존재하며 담도가 질환으로 인해 막히면 ALP가 장으로 흐르지 못해 다시 간세포를 거쳐 혈액 중에 축적됨 ▲증가: 담석증, 폐쇄성황달, 약물성 간장애, 급성간염, 만성신부전, ▼감소: 임상학적 의의 없음
	AST (GOT)	간질환 및 심장질환의 진단 및 경과 관찰지표 간세포 내에 다량으로 포함된 효소로서 간세포가 파손되면 그 파괴정도에 비례하여 혈액 내로 유출되어 증가하게 됨 ▲증가: 심근경색, 급성간염, 간암, 간경화, Alcohol성 간염, 폐쇄성 황달 ▼감소: 임상학적 의의 없음
	ALT (GPT)	간질환의 진단 및 경과 관찰지표 주로 간세포 내에 다량 존재, 심장, 골격근에도 소량존재하며 간세포 손상이 심한 경우 혈청으로 다량 유입됨 ▲증가: 급/만성간염, 전염성 단핵구증, 간경화증, 지방간, 약제성 간장애 ▼감소: 임상학적 의의 없음
	γ-GTP	활동성 만성간염, 간경화증, 간암일 때 현저히 증가하므로 주로 음주성 간질환 진단에 사용됨 간, 신장, 췌장에 분포하는 효소로 간장애 장애가 있을 때 민감하게 반응하며 혈액 내에 증가 ▲증가: 폐쇄성황달, Alcohol성 간장애, 지방간, 담석증, 간암, 만성간질환 ▼감소: 임상학적 의의 없음
	Albumin	전반적인 영양상태 및 간 기능과 일반적인 병태의 스크리닝 검사 거의 전량이 간에서 합성되며, 영양과 혈액의 삼투압 조절, 이온물질의 운반 기능을 함 ▲증가: Dehydration(탈수), 간염회복기 ▼감소: 영양결핍, 소화기질환의 흡수장애, 신증후군, 급만성 염증, 간질환, 부종(Edema)
	Total protein	영양상태 평가, 단백백 이상의 스크리닝, 연관질환 파악의 기본검사 혈청 내의 모든 단백질의 총합을 말함 ▲증가: Macroglobulin혈증, 만성간염, 다발성 골수종, 자가면역질환 ▼감소: 만성간염, 간경변, 악성종양, 당뇨, 기아, 임신, 신증후군
	Bilirubin total	용혈성 빈혈 또는 간세포손상 지표 간세포에서 생성되어 담즙이 되어 담도를 따라 소화관으로 들어감 ▲증가: 간질환, 폐쇄성황달, 간세포성황달, 용혈성황달, 간암, 담도이상 ▼감소: 임상학적 의의 없음
신장기능 검사	BUN	단백질의 최종대사산물로 간에서 합성되어 신장을 통해 체외로 배설되므로 일반적으로 신장기능 지표로 사용됨 ▲증가: 신부전증, 신장염, 요로폐쇄, 만성통풍, 악성종양, 조직붕괴 ▼감소: 간기능부전, 임신, 요붕증, 신진대사 저조
	Creatinine	대부분 근육 내에 존재하며 신장을 통해서 배설되므로 사구체 여과기능을 살펴보는 지표로 사용됨 ▲증가: 신부전증, 만성사구체 신염, 원발성 근육질환, 용혈성 빈혈 ▼감소: 간기능장애, 요붕증
심장/간기능 검사	LDH	에너지생산에 중요한 역할을 하는 효소로서 심근, 간, 심장, 신장, 적혈구 내에 많이 분포되어 있음 ▲증가: 심근경색, 심부전, 급/만성간염, 악성빈혈, 악성종양, 임신, 뇌혈관 장애, 급성간염, 지방간, 월발성 간암 ▼감소: 임상학적 의의 없음

Table 2. continue

	Items	Clinical significance
당대사검사	Glucose	혈당으로 탄수화물 대사의 중심적 화합물로 일반적으로 식후에 증가했다가 2시간 정도 지나면 정상으로 돌아오는데 당뇨병의 경우 식후 2시간 후에도 높은 수치를 보임 ▲증가: 당뇨, 심근경색, 갑상선 기능항진증, 위절제, 임신요독증, 췌장질환 ▼감소: 인슐린 과잉분비, 뇌하수체전엽 기능저하증, 당뇨치료제 과잉투여
지질, 영양 관련검사	Cholesterol	지방성분으로 식생활과 관련이 깊고 고혈압, 동맥경화를 일으킬 확률이 높음, 유전적 지질 대상 이상으로도 혈중 cholesterol수치가 높을 수 있음 ▲증가: 고혈압, 동맥경화, 당뇨, 폐쇄성 황달, 담즙성 간경변, 신중후군 ▼감소: 영양부족, 만성간질환, 갑상선 기능항진증, 교원병 등
	Triglyceride	신체 내 각종 지방조직 주성분으로 체내의 에너지원으로 중요하고 식생활과 관련이 깊고 동맥경화의 원인이 됨 ▲증가: 동맥경화증, Alcohol성 지방간, 당뇨, 신장질환, 췌장염 ▼감소: 간경변증, 담도질환, β-리포단백결핍증
전해질검사	Inorganic phosphate	혈액 내 무기인은 장관으로부터 흡수, 골로부터 방출, 신장으로부터의 배설에 의해 조절됨, 에너지의 축적, 전달 기능을 하며, 수소이온의 농도유지, 칼슘 대사와 밀접작용을 함 ▲증가: 소아, 급/만성신부전, 부갑상선 기능저하, Vitamin D중독증 ▼감소: 원발성 부갑상선기능항진증, 구루병, 골연화증, Vitamin D결핍

하여 지혈혈전을 형성하는 것이 주기능이므로 피부 · 점막 출혈 등 출혈경향이 나타나는 예에서는 출혈 원인을 감별하는데 혈소판 수의 산정은 필수적이다. 혈소판의 작용은 이물면에 접촉하면 그것과 붙는 접착능과 혈소판끼리 서로 붙는 응집능으로 나눌 수 있으나 혈소판에 질적 · 양적 이상이 있으면 임상적으로는 출혈경향이 나타나는 경우가 많다[7].

**2.3. 혈액생화학 분석**

혈액생화학 검사는 혈액 중의 화학성분과 기능을 측정하여, 질환의 진단, 치료, 예방을 위한 객관적인 정보를 제공하며, 병태나 병의 원인 해명을 목적으로 하는 검사이다. 본 연구에서 검사한 항목은 TP (total protein), Albumin, TBIL (total bilirubin), GLU (glucose), BUN (blood urea nitrogen), CRTN (creatinine), GOT (glutamic oxalacetic trans- aminase), GPT (glutamic pyruvic trans- aminase), ALP (alkaline phosphatase), LDH (lactate dehydrogenase), TCHO (total cholesterol), Phosphorus등 이며 항목에 따른 임상학적 의미는 Table 2와 같다[6].

**2.4. MDA분석**

주변 환경에서 접할 수 있는 독성물질은 노화 및 세포파괴에 영향을 준다고 알려져 있다. 대사 과정중에서 부수적으로 발생되기 마련인 여러가지 활성산소들은 생체물질의 산화적 손상을 일으키며, 그 산물로서 지방 갈색소, 지질과산화물(lipid hydroperoxyde), 말론

디알데히드(malondialdehyde, MDA), 카르보닐(carbonyl)기 및 히드록시데옥시구아노신(8-hydroxy-2'-deoxyguanosine) 등이 실험동물의 노화 및 세포파괴에 따라 조직에서 증가한다는 것도 간접적인 증거로 알려져 있다[7]. 본 연구에서는 산화손상의 지표물질 가운데 하나인 MDA를 측정하기 위해 마우스의 혈액(혈장)을 취해 실험에 사용하였다. 전처리된 시료는 액체크로마토그래프/형광검출기에 주입하여 분석하는 방법으로 혈액속의 MDA 대사정도를 측정하였다.

**III. 시험결과 및 고찰**

**3.1. 가스유해성 시험결과**

4가지 농도의 불화수소(HF) 표준 가스, 19.3ppm, 46.7ppm, 193ppm, 608ppm에 노출된 실험동물의 평균행동정지시간을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 보통의 경우 건축재료의 직접 연소에 의한 연기를 mouse에 노출하지만 이번 연구에서는 실제 화재에서 발생될 수 있는 불화수소(HF)가스 4종을 대상으로 피검자에게 직접 주입하여 측정하였다. 4가지 농도에서 모두 약 15분의 평균행동정지시간이 측정되어 종료된 이후에도 8마리의 mouse의 생존을 관찰할 수 있었다. 즉 건축법에 의한 가스유해성시험의 경우, 19.3ppm에서 608ppm에 이르는 HF농도 범위에서 모두 적합한 결과를 보이고 있다. 가령 특정한 시료의 연소로부터 600ppm의 불화수소(HF)가스가 발생되더라도 설치류(마우스)의 행동에는 특별한 지장을 초래하지 않는다.

화재로 인한 불화수소(HF)가스에 노출된 마우스의 혈액생화학분석 및 MDA분석을 통한 세포손상에 관한 연구

그러나 국제해사기구등의 국제 기준에서 제시하는 기준농도와 국내 가스유해성시험 기준과는 독성평가의

일관성에 대한 문제가 생길 수 있으며 이러한 농도가 실제 생체 내에서 일어나는 손상에도 관련성에 관한 정보를 파악할 수 없는 한계를 가진다. 그러나 본 연구를 통해 실험동물을 해부했을 때 모든 실험동물에서 Lymph node의 팽창이 확인되었다. Lymph node는 외부항원을 인식하면 증식하여 항체를 생성하기 기관으로, HF gas를 외부 항원으로 인식하였기 때문에 증식, 팽창한 것으로 분석된다.

**Table 3.** Gas Toxicity Experiment Result

Gas	Flow rate (L/min)	Concentration (ppm)	Average deed stopping time (min.sec)
HF	23	19.3	15.00
		47.6	14.58
		193	15.00
		608	15.00

### 3.2. 혈액분석 결과

WBC, RBC, Hemoglobin등의 항목을 대상으로 혈액분석을 실시한 결과는 Table 4와 같다. 기존의 연구를 통하여 정상범주로 인정되는 Reference Range와 각 농도별 HF gas에 노출된 실험동물에서 측정된 값

**Table 4.** Hematological values of Female mice exposed to HF gas

Parameters	Reference range	HF concentration (ppm)			
		19.3	46.7	193	608
WBC (x10 <sup>9</sup> /L)	1.8~10.7	1.45±2.42	1.00±1.52	2.2±2.36	1.07±2.47
RBC (x10 <sup>12</sup> /L)	6.36~9.42	8.63±0.35	8.47±0.57	8.86±0.95	8.25±0.85
Hemoglobin (g/dl)	11.0~15.1	13.4±0.84	12.9±0.74	13.5±0.64	12.4±0.33
Hematocrit (%)	35.1~45.4	50.9±2.42	50.5±2.55	51.2±2.36	48.6±1.85
MCV (fl)	45.4~60.3	59.9±2.48	59.6±2.65	57.8±2.85	58.9±2.45
MCH (pg)	14.1~19.3	15.5±0.62	15.2±0.74	15.2±0.77	15.0±0.85
MCHC (g/dl)	30.2~34.2	26.3±1.52	25.6±1.33	26.3±2.42	25.5±2.75
Platelet (x10 <sup>9</sup> /L)	592~2972	1531±65.85	1438±66.25	1713±112	1422±95.3
Segment (%)	6.6~38.9	5.4±2.52	3.2±2.48	3.7±2.33	5.6±2.48
Lymphocyte (%)	55.8~91.6	83.5±1.4	84.8±1.48	86.7±3.14	87.4±2.42
Monocyte (%)	0.0~7.5	4.0±0.92	3.6±0.97	3.4±0.58	2.6±0.42
Eosinophil (%)	0.0~3.9	6.8±1.25	7.9±	6.0±	3.6±0.88
Basophil (%)	0.0~2.0	0.3±0.01	0.5±0.03	0.2±0.02	0.8±0.02

**Table 5.** Serum biochemistry in female mice exposed to HF gases

Parameters	Reference range	HF Concentration (ppm)			
		19.3	46.7	193	608
Total protein (g/dL)	5.4~7.1	5±0.84	5.1±0.47	5.3±0.56	5.2±0.84
Albumin (g/dL)	2.6~3.3	3.1±0.22	3.1±0.37	3.2±0.3	3.2±0.22
Bilirubin (mg/dL)	0.4~0.5	0.1±0	0.1±0	0.1±0	0.1±0
Glucose (mg/dL)	31.4~200	156±12.55	193±14.74	181±14.14	199±12.55
BUN (mg/dL)	10~28	31.29±1.71	31.6±4.97	22.94±1.57	24.59±1.71
Creatinine (mg/L)	0.5~1.4	0.2±0.05	0.3±0.08	0.3±0	0.2±0.05
GPT (U/L)	23~66	212.38±12.55	240.26±24.51	152.11±11.52	118.51±185
GOT (U/L)	21~102	107.16±7.54	101.34±7.25	54.58±3.36	52.8±4.32
ALP (U/L)	20~156	6.3±0.82	7.2±0.59	6.6±0.54	7.3±1.82
LDH (U/L)	45~233	637±44.52	858±54.22	554±254.53	521±0.01
Cholesterol (mg/dL)	28.6~11.04	133.64±13.16	138.91±8.69	131.51±2.94	137.68±13.16
Triglyceride (mg/dL)	135.4	94.85±7.85	98.53±8.24	115.28±11.23	106.66±13.85
Phosphorus (mg/dL)	2.6~6.2	9.4±2.09	11.5±1.81	10.5±0.71	10.5±2.09

Note : All values are expressed as means±SD.

으로 각 항목은 불화수소(HF)가스의 노출됨에 따라 Reference Range보다 높거나 낮아지는 등의 변화를 보였다. 특히, WBC, Segment는 정상범주 이하의 수치를 보였고, Hematocrit, Eosinophil은 정상범주 이상의 수치를 보였다.

혈액세포중 가장 큰 비중을 차지하며 산소공급 및 이산화탄소를 제거하는 적혈구의 수치인 RBC, 폐에서 조직으로 산소운반과 조직에서 폐로의 탄산가스 운반을 담당하는 Hemoglobin, 적혈구 개체의 평균 용적을 의미하는 MCV, 적혈구 1개에 포함된 Hemoglobin의 평균치인 MCH, 부착과 응집 과정을 통하여 1차 지혈 기전을 담당하는 혈소판 Platelet, 면역 반응에 관여하는 백혈구 Lymphocyte, 세균 감염과 이물질에 대항하는 제

2차 방어선인 단핵구 Monocyte, 염기성 백혈구 Basophil은 정상범주내의 수치를 보였다.

WBC는 패혈증, 폐렴, 결핵에 의하여 증가하며, 간염, 세균성 간염에 의하여 감소하게 되는데 HF에 노출된 실험동물은 대부분 정상범주보다 낮은 WBC 수치를 보였다. 또한, MCHC(평균 적혈구 혈색소 농도), Segment도 정상범주 이하의 수치를 보였다. 전혈중 적혈구의 비율로 빈혈 여부 평가에 이용되는 Hematocrit, 산성백혈구인 Eosinophil은 정상범주 이상의 수치를 보였는데, 특히 Eosinophil 수치의 상승은 약물·음식물 알러지, 기생충 감염, 피부질환의 지표로 이용된다는 점은 주목할 필요가 있다.

### 3.3. 혈액 생화학분석 검사

복대동맥으로부터 채혈된 혈액을 3,000 rpm으로 10분간 원심분리하여 얻은 혈청을 혈액생화학분석기(TBA20-FR)를 이용 TP (total protein), Albumin, TBIL (total bilirubin), GLU (glucose), BUN (blood urea nitrogen), CRTN (creatinine), GOT (glutamic oxalacetic trans-aminase), GPT (glutamic pyruvic trans-aminase), ALP (alkaline phosphatase), LDH (lactate dehydrogenase), TCHO (total cholesterol), Phosphorus 등의 항목을 측정하였다.

혈액생화학 분석을 통하면 단순히 혈액내의 구성 성분 뿐만 아니라 화학물질과 다른 장기의 파괴에 의하여 혈액내로 유입된 물질을 분석할 수 있기 때문에 이를 통하여 각 장기의 손상정도를 예측할 수 있다. 4 가지 농도의 불화수소(HF)가스에 노출된 실험동물의 혈액을 대상으로 혈액생화학 분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다. Total Protein, Bilirubin, ALP는 정상범주 이하의 수치를 보였고, BUN, GPT, LDH, Cholesterol, Phosphorus는 정상범주 이상의 수치를 보였다.

혈청 내에 존재하는 단백질의 일종인 Albumin, 에너지원인 포도당 Glucose, 간세포 내에 함유된 효소로서 간의 파괴정도를 분석하는 기준인 GOT는 정상범주 이내의 수치를 보였다.

영향상태를 평가하는 항목으로 혈청내의 모든 단백질의 총합을 의미하는 Total Protein, 적혈구가 파괴될시 수치가 높아지는 Bilirubin, 아미노산의 일종으로 근육 수축의 에너지로 사용되는 Creatinine, 체내 장기에 존재하는 효소로 장기 파괴의 평가 기준인 ALP는 정상범주 이하의 수치를 보였다.

혈중에 존재하는 질소로 조직붕괴정도, 생체수분량 등을 분석하는 기준인 BUN은 불화수소 19.3ppm과 46.7ppm에서 정상보다 높게 측정되었다, 간세포가 손상되었을 때 혈청으로 유입되어 간손상 정도를 유추하는 지표로 사용되는 GPT는 정상범주보다 2배~4배 이상 높은 것으로 측정되었다. 또한 에너지 생산 효소인 LDH는 정상범주의 3배~4배 높은 것으로 측정되었다. 혈액내의 지방성분인 Cholesterol, 에너지 대사 와 조직으로의 산소공급을 담당하는 Phosphorus의 수치는 정상범주 이상이였다. GPT와 LDH는 간손상 정도와 비례하는 수치로, 높은 수치인 경우 심근경색, 악성빈혈, 악성종양, 급성간염 등의 병변을 예상할 수 있다. 또한, Cholesterol 수치가 높게 측정된 것은 고혈압, 동맥경화, 당뇨, 간경변 등의 질환을 예상할 수 있다.

### 3.4. HCN에 노출된 mouse의 MDA 분석결과

혈액중의 MDA 분석결과는 Fig 2와 같다. control은 대조군, 즉 독성가스에 노출되지 않은 마우스에 대한

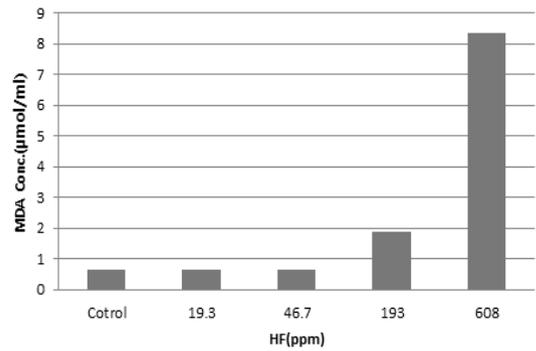


Fig. 2. MDA test Graph

결과이며, MDA 수치는 각각 대조군의 경우 0.657  $\mu\text{mol/mol}$ , 19.3ppm이 0.66  $\mu\text{mol/mol}$ , 47.6ppm에서 0.66  $\mu\text{mol/mol}$ , 193ppm노출에서 1.87  $\mu\text{mol/mol}$ , 608ppm에서 8.34  $\mu\text{mol/mol}$ 이 측정되었다. 산화손상은 노화 및 세포파괴의 지표로 활용된다는 점에서 고농도에서 매우 큰 MDA수치가 측정되었다. KS F2271의 가스유해성시험의 경우 평균행동정지시간은 네가지 농도에서 차이를 보이지 않아 세포손상 측정과 매우 다른 수치를 보인다. 가스유해성시험의 15분 동안 생존하였으나 세포손상의 측정에서는 농도가 증가함에 따라 MDA 수치도 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

## IV. 결론

화재로 인한 피해는 지속적으로 발생되고 있으며, 직접 화염에 의한 피해보다 독성 연소가스에 의한 피해 역시 증가하고 있다. 그러나 연소가스의 복합적인 독성위험은 물론이고 개별적인 화학종에 대한 인체 위험성은 매우 제한적인 범위(희생자의 병리학적 관찰 등)에서 연구되어 왔다.

본 연구에서는 국내에서 수행되고 있는 가스유해성시험과 화재로부터 발생되는 가스 중 불화수소(HF)에 대해 행동정지시간뿐만 아니라 혈액생화학분석 및 MDA분석 등 보다 정량적인 독성분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 불화수소(HF)가스에 노출된 마우스의 혈액 검사결과 Hematocrit, Eosinophil은 정상범주이상의 수치를 보였다. 백혈구는 패혈증, 폐렴, 결핵에 의하여 증가하며, 간염, 세균성 간염에 의하여 감소하게 되는 데 정상범주보다 낮은 WBC(백혈구) 수치를 보였으며 MCHC(평균 적혈구 혈색소 농도), Segment도 정상보

다 낮게 측정되었다.

둘째, 생화학적 분석 GPT와 LDH는 간손상 정도와 비례하는 수치로, 불화수소(HF)가스에 노출된 마우스는 모두 정상범위보다 높게 측정되어 심근경색, 악성빈혈, 악성종양, 급성간염 등의 병변이 의심되었다.

셋째, 가스유해성시험결과와는 매우 다르게 특히 고농도(608ppm)에서  $8.34 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 의 매우 높은 MDA수치가 측정되어 불화수소(HF)가스에 의해 세포파괴 및 급속한 세포노화가 진행되었음을 유추할 수 있다.

이번 연구에서 실험동물해부를 통한 혈액분석, 혈액생화학분석 및 산화손상분석 등 다양한 분석을 시도되었으며 향후 진행될 다양한 연소독성가스의 추가분석은 연소독성학분야의 유용한 기초연구자료로 활용될 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 2013년도 한국건설교통기술평가원 첨단 도시개발사업-연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감 재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발(과제번호: 11첨단도시C03)-연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] R.A. Anderson, A.A. Watson, and W.A. Harland, *Med. Sci.Law*, 21, p. 175 (1981).
- [2] H.L. Kaplan, A.F. Grand, and G.E. Hartzell, *Combustion Toxicology : Principles and Test Methods*, Technomic, Lancaster, PA (1983).
- [3] N. W. Cho, Study of Combustibility Test of Sandwich Panel, Architectural Institute of Korea, *Journal of Scholar Conference*, Article 26, NO.1 (2006).
- [4] FTP Code, International Code for Application of Fire Test Procedures(2002)
- [5] ISO 13344, "Determination of the Lethal Toxic Potency of Fire Effluents," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, (2004)
- [6] KS F 2271 : 2006 "Test Method of Built-in materials and Structure of flame-retardant Of buildings"
- [7] K. N. Yi, *A Clinicopathologic File Part 3*, (2003).