도시건축기획 B03

국토교통기술촉진연구사업

건기연 2014-046

연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발 최종보고서

2014. 12. 16.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
위탁연구기관 / 인천대학교

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발 최종보고서

2014·12

국토교통과학기술진흥원 국토교통부

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 " 연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발"과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 12 . 16

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 조남욱
연 구 원 : 이종천
" : 최재범
" : 이인구
" : 김도현
" : 심지훈

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11첨단도시C03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>3차년도</td><td>단 계 구 분</td><td>3/3 (년)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">조남욱</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 6 명
내부 : 2 명
외부 : 4 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 150,000 천원
기업 : 천원
계 : 150,000 천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 6 명
내부 : 2 명
외부 : 4 명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 350,000 천원
기업 : 100,000 천원
계 : 450,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
화재안전연구센터</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">한국내화건축자재협회</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 인천대학교 연구책임자 : 이동호</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>229</td></tr>
<tr><td colspan="6">화재 시 당면할 수 있는 위험성의 여러 인자 중의 연소독성 영향은 피난 및 최종 생존에 중요한 영향을 미치고 있으며 화염에 의한 직접적인 피해보다 광범위하고 치명적이다. 지금까지 화재 독성에 대한 대부분의 연구는 치사 측면에 국한되어 주로 화재로 인한 사망에 대한 병리학적 탐구를 통해 이루어졌다. 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 개개의 물질로부터 발생한 여러 열분해 생성물의 혼합물에 대해 LD_{50} 개념이 주로 활용되었다.
물질의 치사 독성 효능은 일산화탄소, 시안화수소, 그리고 산성가스 등과 같이 대량으로 발생하는 독성가스에 의해 지배되는 경향이 있다. 화재 중에 발생하는 2가지 주요 질식성 가스는 일산화탄소와 시안화수소이다. 화재의 단계나 관련 물질의 종류와 상관없이 일산화탄소는 정도의 차이는 있지만, 화재 중에 언제나 발생하므로, CO 노출로 인한 질식의 리스크가 거의 예외 없이 어느 정도 존재한다. 질소함유 물질이 화재에 개입될 경우, 시안화수소는 항상 어느 정도 존재한다. 이에 해당하는 물질로는 아크릴, 폴리우레탄 폼, 멜라민, 나일론, 그리고 모 등이 있으며. 이러한 물질은 대부분의 건축물 화재에서 어느 정도 관여되고 있다. 시안화수소는 대규모 플래시오버 후 단계의 화재에서 고농도로 발견될 가능성이 높다. 화재 희생자 혈액에서 예외 없이 측정되는 카르복시헤모글로빈과 달리 시안화 혈액은 측</td></tr>
</table>

정되지 않는 경우가 많다. 그러나 일부 화재 희생자의 혈액에서 시안화 혈액이 고농도로 감지된 적도 있다

그동안 국내에서 마감재료에 대한 연소독성평가는 설치류(마우스)를 이용한 가스유해성시험(KS F2271)을 통해 실험용 쥐의 평균행동정지시간으로 평가되어 왔다. 가스유해성시험은 대상 시험체의 연소로부터 발생되는 미지가스를 실험용 쥐에 노출시켜 마우스의 행동시간으로 피난시간을 예측하는 방법이다. 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 시행하고 있다. 첫째 무생물시스템의 이용 또는 세표 및 조직배양법을 이용한 동물실험을 대체방법을 적극 도입하여야 하고, 둘째 실험결과 얻을 수 있는 유용한 정보의 손실이 없이 이전에 사용되던 동물의 수를 줄이는 방안의 모색, 셋째 동물관리 취급 및 실험절차의 개선을 통한 동물의 고통 통증 및 스트레스 저감 방안 개선을 강력하게 유도하고 있다.

본 연구에서는 이러한 동물실험의 3원칙에 대응하기 위한 연구 및 국내 건축법에서 규정하는 동물실험의 대체시험을 마련하기 위한 기초연구로 진행되었으며 동물실험윤리위원회의 승인을 거쳐 진행하였다.

이에 본 연구에서는 대표적인 질식성 가스 및 화재 연소 시 발생하는 다양한 독성 가스(CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2, HCl, HCN, HF HBr)를 대상으로 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 통하여 실험동물(흰쥐)에 직접 독성가스(CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2, HCl, HCN, HF HBr)를 흡입시킨 후 평균행동정지시간을 측정하고, 이들 실험동물군의 내부 장기 변화, 혈액학분석 및 단세포전기영동분석을 통해 연소독성가스가 생체에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였으며, 기존 가스유해성시험에서 확인할 수 없었던 접근(병리검사, 혈액검사, 혈액생화학검사, 단세포전기영동분석)을 통해 연소독성학 분야의 다음과 같은 1차 결론을 도출하였다.

첫째, 화재가스에 노출된 마우스의 해부를 통한 장기적출 및 세포단위의 병리학적 검사결과 심장, 간, 폐, 비장, 신장, 흉선에서 울혈 및 괴사가 관찰되었으며, 특히 폐와 신장에서 조직 손상이 심하였다.

둘째, 13가지 종류의 혈액에 대한 생화학적 분석을 통해 통계적으로 매우 유의한 결과를 얻을 수 있었다. Glucose, BUN, GPT, LDH, Cholesterol, Phosphorus는 각각 유의성 있게 증가하여 적혈구 파괴, 간, 심장, 신장, 갑상선의 기능 및 기질적 변화가 고농도 폭로군에서 어느정도 진행되고 있는 것으로 추측할 수 있었다.

셋째, DNA의 손상을 정량적으로 판단할 수 있는 Comet Assay 분석결과, 대조군(정상)과 대비하여 중농도, 고농도 노출군에서 DNA 손상이 나타났고, 농도가 높아질수록 노출되는 동물의 DNA 손상에도 매우 큰 영향을 미치는 것으로 확인하였다.

또한, 현행 건축법에 적합한 가스 유해성 화재모델(KS F 2271)를 이용하여 실제

연소가스를 실험용 쥐에 노출시켜 평균행동정지시간을 측정하였다, 이와 동시에 다양한 화학종이 혼합된 연소가스의 종합독성을 비교하기위한 지수값으로, ISO 13344에서 제시된 FED (Fractional Effective Dose)와 BS 6853에서 제시된 R Value를 이용하여 연소가스의 정성 정량분석 결과에 기초하여 독성지수를 산출하여 평균행동정지시간과 비교 분석하여 다음의 결과를 도출하였다.

첫째, 분당 평균 발생량에 기초한 FED와 최고 농도에 기초한 R Value와 평균행동정지시간의 분석 결과, 연소독성이 높아 독성지수가 높게 나오는 연소가스는 평균행동정지시간이 짧게 나타나는 것으로 분석되었다.

둘째, 본 연구에서 최초로 시도된 총 발생량(누적값)에 기초하여 계산되는 FED_I(Fractional Effective Dose Integrated), R $Value_I$(R Value Integrated)를 계산한 결과 역시도 독성지수가 높은 연소가스는 평균행동정지시간이 짧게 나타나는 것으로 분석되었다.

셋째, 현행 건축법에서의 난연성능 판정기준인 평균행동정지시간이 9분일 때의 연소독성지수 비교 분석 결과, FED는 1.3016, FED_I는 5.5963, R Value는 0.8647, R $Value_I$는 49.3918로 도출되어 연소가스 분석기법을 이용한 독성지수의 산정으로 선진화된 난연성능 평가기법의 개발 가능성을 확인함과 동시에 기초 데이터를 확보하였다.

본 연구를 통하여 국내에서 연소가스의 유해성 평가방법으로 수행되고 있는 단순한 행동시간 분석방법뿐만아니라 실험동물해부를 통한 병리학적관찰, 혈액생화학적분석 및 DNA손상분석 등 다양한 분석을 시도하였으며 연소독성학분야의 유용한 기초연구자료로 활용될 것으로 기대한다.

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	연소독성평가, 화재위험도, 정량분석. 마감재료, 동물시험
	영 어	Fire Toxicity Test, Fire Risk, Quantitative Analysis, Finishing Materail, a Biological Test

요 약 문

Ⅰ. 제 목

연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발

Ⅱ. 연구개발과제의 개요

❑ 연구목표

최 종 연 구 목 표

국내실정에 맞는 화재모델 개발 및 현행 가스유해성시험의 평가기준(평균행동정지시간 9분)에 상응하는 연소가스농도기준 마련 및
국제 규격에 적합한 연소 유해가스 기준 제시(독성지수 기법 개발 및 기준마련)

❑ 연구 필요성

국가 경제 성장과 더불어 복합 건축물에 대한 수요의 확대가 증대대고 있는 가운데, 재해의 피해 역시 대규모로 확대되어 이에 따른 안전성 확보에 대한 요구가 증대되고 있다. 특히 화재사고에 대한 예방과 안전성 향상을 위하여 건축재료의 화재안전성능 평가가 법적으로 고시되고 있다. 우리나라에서 건축물 내장재의 화재안전성능(난연성능)은 국토해양부 고시 제2012-624호에 의하여 시행되고 있다.

위의 고시 기준에 의거, 불여재료, 준불연재료, 난연재료의 난연성능 평가기준에는 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하여 그 결과에 따라 분류하도록 되어있다. 본 시험방법은 시험용 흰쥐 8마리를 마감재료의 연소가스에 노출시키는 방법이며, 동물을 사용하는 시험방법은 동물보호 차원에서 국외적으로 지양되고 있는 현실이다.

따라서 본 연구는 동물보호법 및 실험동물에 관한 법률을 준수하며, 보다 체계적으로 마감재료의 연소가스의 정량 정성분석을 실시하여 연소가스 유해성을 종합적으로 평가 할 수 있는 시험방법을 개발하고자 한다.

❑ 연구 우수성 및 차별성

(1) 기술적

- 마감재료의 연소가스 분석을 통한 세분화된 고도의 Database 구축
- 다양한 마감재료의 연소가스 독성 및 유해가스 농도별 실험에 대한 실험동물의 DNA 실험 Databse 구축

(2) 사회·경제적

- 제조업체간 품질향상의 동기부여 제시
- 화재로 인한 정량적 위험성 평가 및 성능설계에 반영
- 연간 20,000마리 이상의 동물 시험대체로 인한 동물 보호, 환경오염 방지, 동물윤리 선도

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

본 연구『연소가스 정량분석을 통한 건축물 마감재료 연소유해가스 평가방법 및 기준개발』의 최종목표는 다양한 건축물 마감재료의 연소 유해성을 평가하기 위함으로, 국토해양부 고시 제2012-624호에서 규정하고 있는 동물시험(KS F 2271)을 대체하고 연소생성물의 정성·정량 분석을 통해 연소가스 유해성을 종합적으로 평가할 수 있는 시험방법을 개발하는 것이다. 이를 위하여, 화재시 발생되는 유해가스 대표 9종에 대하여 연소독성시험을 진행, 소재별 마감재료의 연소를 통해 FT-IR을 활용한 정량·정성 분석 및 연소독성시험 진행, 각 실험마다 실험용 쥐의 DNA 계통영향 분석을 실시하였다. 본 데이터를 종합하여 현행 건축법에서 규정하고 있는 평균행동정지시간 9분에 상응하는 ISO 13344에서 제시된 FED 와 BS 6853에서 제시된 R Value 을 산출하였다.

❑ 연수구행 과정

(1) 가스유해성 시험

가. 표준가스의 가스유해성 시험

화재시 발생되는 유해가스 CO, CO_2, NO, NO_2, HCl, HCN, HBr, HF, SO_2에 대한 연구로, Air밸런스 및 N_2 밸런스를 기본으로 각 밸런스에 대하여 9종류에 대한 표준가스를 사용하여 가스유해성 시험을 진행하였다.

- Air밸런스 : Air를 바탕으로 하는 표준가스
- N2 밸런스 : CO 가스 100ppm의 경우 0.01%의 CO 가스와 99.99%의 N2 가스로 이루어진 표준가스

나. 마감재료 연소를 통한 가스유해성 시험

마감재료의 연소는 가스유해성 시험장비를 화재모델로 하였다. KS F 2271에서 규정하는 표준온도 곡선을 구현하여 가열하였고, 마감재료의 연소에서 발생되는 가스에 대하여 가스유해성 시험을 진행하였다.

다. 우레탄 두께별 연소를 통한 가스유해성 시험

우레탄의 연소는 가스유해성 시험장비를 화재모델로 하였다. KS F 2271에서 규정하는 표준온도 곡선을 구현하여 가열하였고, 마감재료의 연소에서 발생되는 가스에 대하여 가스유해성 시험을 진행하였다.

라. 혼합가스의 가스유해성 시험

화재시 발생되는 유해가스 CO, CO_2, NO, NO_2, HCl, HCN, HBr, HF, SO_2에 대하여 유량조절밸브를 이용하여 화학종을 혼합노출로 가스유해성 시험을 진행하였다.

마. 연소유해가스에 노출된 rat의 가스유해성 시험

시험용 쥐를 KS F 2271에서 규정하고 있는 흰쥐가 아닌, rat을 활용하여 실험을 진행하였다.

(2) 동물조직의 유전, 병리학 독성

- 1차 : N2 밸런스 기준으로 312마리 (mouse)에 대하여 실험
- 2차 : 표준가스 8종 가스(CO, CO_2, NO, NO_2, HCN, HF, HBr, N_2)를 농도별로 344마리 (mouse)에 대하여 실험
- 3차 : 마감재료의 연소에 의한 152마리 (mouse)에 대하여 실험
- 4차 : 마감재료의 연소에 의한 65마리 (rat)에 대하여 실험

- 5차 : 표준가스 (CO, CO_2, HCN, HF, HBr, HCl)을 농도별로 80마리 (rat)에 대하여 실험

(3) 연소가스 정량분석

가. 표준가스의 Library 및 정량 Method 구축

나. 콘칼로리미터, SDC챔버를 화재모델로 하여 마감재료의 연소가스 분석 : OSB 합판, 우레탄, 고무바닥재, PVC타일, 난연 플라스틱

다. 가스유해성시험(KS F2271)을 화재모델로 하여 마감재료의 연소가스 분석 : PVC물받이, PVC 파이프, 회색장판, 엘로우 장판, 나무무늬 장판, 체크무늬 장판, 우레탄 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm

(4) 독성지수 산정

현행 건축법에서 규정하고 있는 평균행동정지시간 9분에 상응하는 ISO 13344에서 제시된 FED 와 BS 6853에서 제시된 R Value 을 산출

❑ 연구수행 결과

(1) 가스유해성 시험

가. 표준가스의 가스유해성 시험 :

- N2 밸런스 : HCN에서는 농도가 높아질수록 평균행동정지시간이 빨라지는 것을 확인하였다. HBr의 경우에도 616ppm에서 HBr의 독성효과가 나타남을 확인하였다.
- Air 밸런스 : HCN에서는 각 농도별로 평균행동정지시간이 변하는 것을 확인하였다. 저농도인 10.8ppm에서도 가스유해성 시험의 통과 기준인 9분 이하로 나타나 HCN의 위험함을 다시 확인할 수 있었다. 또한 SO_2와 HBr의 경우에는 쥐들이 매우 흥분함을 확인할 수 있었다.

나. 마감재료 연소를 통한 가스유해성 시험

- PVC물받이, PVC 파이프, 회색장판, 엘로우 장판, 나무무늬 장판, 체크무늬 장판에 대하여 2회차씩 실험을 진행하였으며 평균행동정지시간이 9분 이하로 측정된 시료는 체크무늬장판 2회차 실험으로, 8분 51초를 나타내었다.

다. 우레탄 두께별 연소를 통한 가스유해성 시험

- 두께별 우레탄 시료의 시험의 경우, 20mm 이상의 두께에서 3분 전후의 평균 행동 정지시간을 보였다.

라. 혼합가스의 가스유해성 시험

- 실험결과 HCN이 혼합된 가스에 노출된 실험동물은 무기력함을 보였으며, HCl, SO_2, HF, HBr이 혼합된 가스에 노출된 실험동물은 흥분상태를 보였다.

마. 연소유해가스에 노출된 rat의 가스유해성 시험

- 마감재료 및 실내장식물 (목재 12T, 우레탄 75T, EPS 75T, PVC 바닥재 6T, 일반커튼, 방염커튼)에 대하여 rat의 실험을 진행하였으며, 평균행동정지시간이 모두 9분 이상이었다.

(2) 동물조직의 유전, 병리학 독성

- 표준가스 혹은 마감재료의 연소에 의한 연소독성가스에 노출된 실험용 쥐의 경우, 병리조직검사, 혈액검사, 혈액생화학적 검사, Comet assay, Malondyaldehyde(MDA), 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine(8-OHdG) 등의 분석을 진행하였다. 결과로, 조직, 혈액 등에 피해에 대한 통계적 유의성을 보이는 결과들이 다수 나타났다.

(3) 연소가스 정량분석

가. 콘칼로리미터, SDC챔버를 화재모델로 하여 마감재료의 연소가스 분석 : OSB합판, 우레탄, 고무바닥재, PVC타일, 난연 플라스틱

- SDC챔버 : 4가지 시료를 SDC Chamber에서 연소실험하고 그 연소가스를 FT-IR로 분석하였다. CO, CO_2, HCN의 발생이 확인되었으며, CO는 우레탄에서 288.9ppm으로 가장 많이 발생했으며, CO_2는 난연 플라스틱에서 8135.7ppm으로 가장 많이 발생했다. HCN은 OSB합판에서는 발생하지 않았으며, 우레탄에서 67ppm으로 가장 많이 발생했다.

- 콘칼로리미터 : 각 화학종별로 가장 많은 발생량을 보인 시료는 SDC Chamber에서의 실험과 동일하였다. CO는 우레탄에서 4881ppm으로 가장 많이 발생하였으며, CO_2는 난연 플라스틱에서 1657ppm으로 가장 많이 발생하였다. HCN은

우레탄에서 5ppm으로 가장 많이 발생하였으며, SDC Chamber에서의 실험과 달리 PVC 타일의 연소가스에서 HCl 1.13ppm 발생이 확인되었다.

나. 가스유해성시험(KS F2271)을 화재모델로 하여 마감재료의 연소가스 분석 :

- PVC물받이, PVC 파이프, 회색장판, 엘로우 장판, 나무무늬 장판, 체크무늬 장판
  - CO, CO_2, HCl의 발생이 확인되었으며, CO, HCl은 회색 바닥재에서 가장 많이 발생하였다.

- 우레탄 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm
  - CO, CO_2, HCN의 발생이 확인되었으며, CO, HCN은 25mm에서 가장 많이 발생하였으나 10mm 이상에서 2000ppm전후와 CO발생 및 200ppm 전후의 HCN 발생을 확인하였다.

(4) 독성지수 산정

시험항목	시험방법	계산항목	합격기준
연소독성시험	ISO 13344	FED	1.3016
		FEDI	5.5963
	BS 6853 Annex B.2	R Value	0.8647
		R ValueI	49.3918

Ⅳ. 최종 연구 성과 및 적용실적

(1) 연소가스의 표적장기와 농도별 피해정도 위험도를 도출, DB화

- 병리학적 검사와, DNA 분석을 통하여 현재 제도와 비교 데이터 확보 및 기초자료로 활용
- 세포단위로 독성가스가 실험동물의 각 기관에 미치는 영향에 대하여 병리학적 접근을 시도하고 DNA 변형을 관찰함으로 연소독성가스가 미치는 각 기관(장기)의 손상정도를 추적하였다는 점에서 국내 및 세계적으로도 유래가 없는 흡입 연소독성의 기초연구임.

(2) 연소독성평가 방법 및 기준 개발

- 분석기기을 통하여 독성가스를 측정하고 연소독성을 평가하여 동물실험을 대체할 수 있을 것으로 기대됨.
- 연소가스 분석기법을 이용한 독성지수의 산정으로 선진화된 난연성능 평가기법의 개발 가능성을 확인함과 동시에 기초 데이터를 확보하였음.

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

(1) 연구개발 최종목표 달성도

- 연소가스의 표적장기와 농도별 피해정도 위험도를 도출, DB화
- 연소독성평가 방법 및 기준 개발

(2) 연구개발 성과의 기술적 효과분석

- 연소가스 특성 DB 구축을 통한 국내 내장재의 화재 위험도 평가자료 활용
- 건축물 내장재 가스유해성 기술 자료 및 데이터 공유를 통한 관련 연구 선도
- 공학적 화재위험도 평가 방법개발을 통한 신뢰성 확보
- 국내·외 내장재 연소가스 유해성 평가에 관한 기술선도
- 건축물 내장재 연소가스의 독성에 대한 평가 방법을 적용하여 체계적이고 기술적으로 타당한 생산 및 설계를 유도

(3) 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출, 고용창출 등)

- 본 연구는 제품이나 기술의 개발이 목적이 아니며 건축물 화재시 건축자재에서 발생하는 가스에 의한 질식사 방지를 위한 정량적 평가방법 개발을 위한 것으로 연구 성과물을 기초로 건축자재 생산시 건축자재에 의한 질식사를 방지할 수 있는 건축자재 생산을 위한 기초 자료로 활용.

(4) 연구개발 성과의 정책적 효과분석

- 국토부 건축기획과와 긴밀한 협조 및 정책 제개정 추진(동물대체시험 홍보 및 환경보호 캠페인개최)
- 건축공사표준시방서에 관련 자재 반입검사에 반영

- 국토부 건축기획과 정책반영을 위한 지원
- 동물대체시험 도입에 대한 당위성 홍보 및 동물보호법에 의한 동물시험 최소화 홍보
- 동물대체시험법 개발을 통한 선진국형 평가제도 도입으로 국가 이미지 제고

Ⅵ. 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

(1) 연구성과의 활용

- 향후 동물 대체 시험방법의 국가제도 적용
- 건축(화재), 환경, 의학, 보건학, 분석화학 등의 접목된 융합연구를 통한 시너지 창출
- 연소가스 특성 DB 구축을 통한 국내 내장재의 화재 위험도 평가자료 활용
- 국내·외 내장재 연소가스 유해성 평가에 관한 기술선도 및 기술표준제시

(2) 추가연구 필요성

- 추가 연구를 통하여 표적장기에 대한 연구와 항산화 지표 분석을 통하여 연소가스에 의한 장기간 영향에 관한 연구가 필요하다.

SUMMARY

List of Contents

Chapter 1 Summary of R&D project ····· 1

Section 1 Purpose and need of R&D ····· 1

Section 2 Characteristics of R&D ····· 2

1. Technical side ····· 2
2. Economic and industrial side ····· 2
3. Social and cultural side ····· 2

Section 3 Present status of domestic and overseas technical developments and relevant regulations ····· 3

1. Domestic technical and industrial trend ····· 3
2. Overseas technical and industrial trend ····· 6
3. Domestic and overseas toxic gas management laws and standards ····· 9
4. Overseas laws relating to the regulation of toxic gas from finishing material 22

Section 4 Excellence and distinction of R&D ····· 23

1. Technical excellence and distinction ····· 23
2. Social and economical excellence and distinction ····· 24

Chapter 2 Details and result of R&D execution ····· 25

Section 1 R&D execution methodology ····· 25

1. Literature search ····· 25
2. Daguchi method ····· 29
3. Combustion gas analysis method ····· 35
4. Research method according to relevant international standards including ISO, NFPA, ASTM, IMO KS ····· 39
5. Calculation of hazard index ····· 50
6. Genetic and pathologic toxicity study of animal tissues from harmful chemicals ····· 55

Section 2 Process and contents of research ····· 111

1. Gas toxicity test ····· 111
2. Genetic and pathologic toxicity study of harmful chemicals at animal tissues 118
3. Fire toxicity test ····· 120

Section 3 Research execution result ····· 136

1. Gas toxicity test result ····· 136
2. Result of genetic and pathologic toxicity study of animal tissues from harmful chemicals ····· 146
3. Quantitative analysis of combustion gas using a fire model ····· 295

Chapter 3 Final research result and application record 331

1. Deduction of risk level per target organ and damage per concentration of combustion gas and DB development ····· 331
2. Development of fire toxicity test method and standard ····· 331

Chapter 4 Achievement and effect of research objective 332

1. Final objective achievement table of R&D ····· 332
2. Technical effect analysis of R&D achievements ····· 332
3. Economic effect analysis of R&D achievements (creation of markets and employment, etc) ····· 332
4. Political effect analysis of R&D achievements ····· 333

Chapter 5 Utilization of study results and need of additional studies ····· 334

1. Utilization of study results ····· 334
2. Need of additional studies ····· 334

Reference ····· 335

List of figures

Figure 1 Gas toxicity test device ····· 4
Figure 2 ICR laboratory white rat ····· 4
Figure 3 Ratio of victims with blood containing various levels of carboxyhemoglobin and cyanide (%) ····· 27
Figure 4 Diagram of lethality index (LI) for this study explained in the defined area above and data of other authors. This study, Zamecnik and Tam. Repetto and Martinez, Ishii et al Lundquist et al ····· 29
Figure 5 Existing loss function ····· 30
Figure 6 Daguchi loss function ····· 30
Figure 7 Reciprocal action according to the combination of factors ····· 32
Figure 8 FT-IR ····· 36
Figure 9 Gas spectrum which generated fire (example) ····· 37
Figure 10 Smoke Density Chamber ····· 42
Figure 11 Cone calorimeter Model ····· 43
Figure 12 SDC chamber ····· 44
Figure 13 Preparation of experiment and specimen ····· 55
Figure 14 Anesthesia process of specimen ····· 56
Figure 15 Dissection process of a rat (1) ····· 56
Figure 16 Dissection process of a rat (2) ····· 57
Figure 17 Dissection process of a rat (3) ····· 57
Figure 18 Dissection process of a rat (4) ····· 58
Figure 19 Dissection process of a rat (5) ····· 58
Figure 20 Dissection process of a rat (6) ····· 59
Figure 21 Composition of the blood through centrifugation ····· 60
Figure 22 Clotting of blood ····· 62
Figure 23 Normal cell (before) and damaged cell (after) ····· 85
Figure 24 Tail moment calculation method ····· 87
Figure 25 Average value of 3 tail parameters of benzene exposure group and control group ····· 88
Figure 26 Comet assay procedure ····· 89
Figure 27 Sample preparation ····· 90
Figure 28 Separation of lymphocyte layer using Ficoll ····· 91
Figure 29 Cell pathological observation ····· 92

Figure 30 Separation of lymphocyte layer using 2 Ficoll ····· 93
Figure 31 Cell observation tool: Hemacytmeter ····· 93
Figure 32 Cell counting method ····· 94
Figure 33 Slide preparation procedure ····· 95
Figure 34 Slide preparation procedure ····· 95
Figure 35 Slide preparation procedure ····· 96
Figure 36 Slide preparation procedure ····· 96
Figure 37 Slide preparation procedure ····· 96
Figure 38 Slide preparation procedure ····· 97
Figure 39 Slide preparation procedure ····· 97
Figure 40 Slide preparation procedure ····· 98
Figure 41 Making Lysis buffer ····· 98
Figure 42 Making Lysis buffer ····· 99
Figure 43 Making Lysis buffer ····· 100
Figure 44 Making Lysis buffer ····· 100
Figure 45 Electrophoresis procedure ····· 101
Figure 46 Electrophoresis procedure ····· 101
Figure 47 Fixation and Air dry ····· 102
Figure 48 Scoring procedure ····· 102
Figure 49 Scoring procedure ····· 103
Figure 50 MDA measurement method ····· 108
Figure 51 cytokine procedure ····· 110
Figure 52 Experiment diagram ····· 112
Figure 53 Flowmeter ····· 113
Figure 54 CO spectrum ····· 121
Figure 55 CO_2 spectrum ····· 121
Figure 56 NO spectrum ····· 121
Figure 57 NO_2 spectrum ····· 122
Figure 58 SO_2 spectrum ····· 122
Figure 59 HF spectrum ····· 122
Figure 60 HCl spectrum ····· 123
Figure 61 HCN spectrum ····· 123
Figure 62 HBr spectrum ····· 123
Figure 63 Different Concentration spectrum ····· 124
Figure 64 Data base spectrum range ····· 125
Figure 65 Concentration Graph ····· 125
Figure 66 Quantitative Analysis Data ····· 126

Figure 67 CO method range ····· 127
Figure 68 CO_2 method range ····· 128
Figure 69 NO method range ····· 128
Figure 70 NO_2 method range ····· 128
Figure 71 SO_2 method range ····· 129
Figure 72 HCl method range ····· 129
Figure 73 HCN method range ····· 129
Figure 74 HBr method range ····· 130
Figure 75 R^2 value of CO ····· 130
Figure 76 R^2 value of NO ····· 131
Figure 77 R^2 value of SO_2 ····· 131
Figure 78 R^2 value of HCl ····· 131
Figure 79 R^2 value of HCN ····· 132
Figure 80 R^2 value of HBr ····· 132
Figure 81 SDC chamber ····· 133
Figure 82 Cone Calorimeter ····· 134
Figure 83 Experiment diagram ····· 135
Figure 84 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of CO gas ····· 147
Figure 85 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of high dose gases ····· 148
Figure 86 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of high dose gases ····· 149
Figure 87 Non-exposure (control) group's comet assay result ····· 169
Figure 88 N_2 exposure group's comet assay result ····· 170
Figure 89 CO exposure group's comet assay result ····· 170
Figure 90 CO_2 exposure group's comet assay result ····· 171
Figure 91 NO exposure group's comet assay result ····· 172
Figure 92 NO_2 exposure group's comet assay result ····· 172
Figure 93 HCN exposure group's comet assay result ····· 173
Figure 94 HBr exposure group's comet assay result ····· 174
Figure 95 HF exposure group's comet assay result ····· 174
Figure 96 comet assay result (1) ····· 176
Figure 97 comet assay result (2) ····· 177
Figure 98 MDA of laboratory animal group exposed to N_2 ····· 177
Figure 99 MDA of laboratory animal group exposed to CO ····· 178
Figure 100 MDA of laboratory animal group exposed to CO_2 ····· 178

Figure 101 MDA of laboratory animal group exposed to NO ····· 179
Figure 102 MDA of laboratory animal group exposed to NO_2 ····· 179
Figure 103 MDA of laboratory animal group exposed to HCN ····· 180
Figure 104 MDA of laboratory animal group exposed to HF ····· 180
Figure 105 MDA of laboratory animal group exposed to HBr ····· 181
Figure 106 WBC analysis result ····· 182
Figure 107 RBC analysis result ····· 182
Figure 108 Hemoglobin analysis result ····· 183
Figure 109 Hematocrit analysis result ····· 183
Figure 110 MCV analysis result ····· 184
Figure 111 MCH analysis result ····· 184
Figure 112 MCHC analysis result ····· 185
Figure 113 Platelet analysis result ····· 186
Figure 114 Segment analysis result ····· 186
Figure 115 Lymphocyte analysis result ····· 187
Figure 116 Monocyte analysis result ····· 187
Figure 117 Eosinophil analysis result ····· 188
Figure 118 Basophil analysis result ····· 188
Figure 119 Total Protein analysis result ····· 189
Figure 120 Albumin analysis result ····· 190
Figure 121 Bilirubin analysis result ····· 190
Figure 122 Glucose analysis result ····· 191
Figure 123 BUN analysis result ····· 191
Figure 124 Creatinnine analysis result ····· 192
Figure 125 GPT analysis result ····· 193
Figure 126 GOT analysis result ····· 193
Figure 127 ALP analysis result ····· 194
Figure 128 LDH analysis result ····· 195
Figure 129 Cholesterol analysis result ····· 195
Figure 130 riglyceride analysis result ····· 196
Figure 131 Phosphorus analysis result ····· 196
Figure 132 Cross analysis of CO_2 experiment result ····· 197
Figure 133 Cross analysis of NO_2 experiment result ····· 198
Figure 134 Cross analysis of SO_2 experiment result ····· 198
Figure 135 Cross analysis of HCl experiment result ····· 199
Figure 136 Cross analysis of HCN experiment result ····· 200
Figure 137 Cross analysis of HF experiment result ····· 200

Figure 138 Cross analysis of HBr experiment result ····· 201
Figure 139 WBC ····· 203
Figure 140 RBC ····· 204
Figure 141 Hemoglobin ····· 205
Figure 142 Hematocrit ····· 206
Figure 143 MCHC ····· 207
Figure 144 MCH ····· 208
Figure 145 MCHC ····· 209
Figure 146 Platelet ····· 210
Figure 147 Segment ····· 211
Figure 148 Lymphocyte ····· 212
Figure 149 Monocyte ····· 213
Figure 150 Eosinophil ····· 214
Figure 151 Basopihl ····· 215
Figure 152 Total Protein ····· 216
Figure 153 Albumin ····· 217
Figure 154 Bilirubin ····· 218
Figure 155 Glucose ····· 219
Figure 156 BUN ····· 220
Figure 157 Creatinine ····· 221
Figure 158 AST ····· 222
Figure 159 ALT ····· 223
Figure 160 ALP ····· 224
Figure 161 LDH ····· 225
Figure 162 Cholesterol ····· 226
Figure 163 Triglyceride ····· 227
Figure 164 Phosphorus ····· 228
Figure 165 1~4 Control group's comet assay analysis graph ····· 229
Figure 166 5,6 Control group's comet assay analysis graph ····· 230
Figure 167 7~9 Control group's comet assay analysis graph ····· 230
Figure 168 10, 11 Control group's comet assay analysis graph ····· 230
Figure 169 12~14 Control group's comet assay analysis graph ····· 231
Figure 170 15, 16 Control group's comet assay analysis graph ····· 231
Figure 171 17~19 Control group's comet assay analysis graph ····· 232
Figure 172 21~23 Control group's comet assay analysis graph ····· 232
Figure 173 24 Control group's comet assay analysis graph ····· 233
Figure 174 25~27 Control group's comet assay analysis graph ····· 233

Figure 175 28 Control group's comet assay analysis graph ····· 234
Figure 176 33~36 Control group's comet assay analysis graph ····· 234
Figure 177 37~40 Control group's comet assay analysis graph ····· 235
Figure 178 41,42 Control group's comet assay analysis graph ····· 235
Figure 179 MDA Lung ····· 239
Figure 180 MDA Liver ····· 240
Figure 181 MDA Spleen ····· 240
Figure 182 MDA Thymus ····· 241
Figure 183 MDA LN ····· 241
Figure 184 MDA Plasma ····· 242
Figure 185 MDA Spot per tissue ····· 242
Figure 186 Plasma MDA Spot ····· 243
Figure 187 1~10 MDA result ····· 244
Figure 188 11~20 MDA result ····· 245
Figure 189 21~30 MDA result ····· 246
Figure 190 31~42 MDA result ····· 247
Figure 191 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of gases. ····· 254
Figure 192 Tissue comet assay result per the classification of experiment group (1) ·· 261
Figure 193 Tissue comet assay result per the classification of experiment group (2) ·· 262
Figure 194 Commet assay analysis result of groups classified by tissue ····· 263
Figure 195 Tissue MDA result per the classification of experiment group (1) ····· 265
Figure 196 Tissue MDA result per the classification of experiment group (2) ····· 266
Figure 197 MDA analysis result of groups classified by tissue ····· 267
Figure 198 Tissue MDA result per the classification of laboratory rat group (1) ····· 273
Figure 199 Tissue MDA result per the classification of laboratory rat group (2) ····· 274
Figure 200 MDA analysis result of groups classified by rat tissue ····· 275
Figure 201 8-OHdG result of tissue per the classification of laboratory rat group (1) 277
Figure 202 8-OHdG result of tissue per the classification of laboratory rat group(2) ·· 278
Figure 203 8-OHdG analysis result of groups classified by rat tissue ····· 279
Figure 204 Histopathology of High dose(261ppm) HCN gas exposure in Rat lung tissue. ····· 281
Figure 205 Histopathological findings for the Liver inhalation of gases ····· 281
Figure 206 Slight microsteatosis ····· 281
Figure 207 cytokine analysis experiment ····· 292
Figure 208 Combustion gas spectrum of Urethane ····· 295
Figure 209 CO production ····· 296
Figure 210 CO_2 production ····· 296

Figure 211 HCN production ····· 296
Figure 212 Combustion gas spectrum of Nonflammable Plastic ····· 297
Figure 213 HCN production ····· 297
Figure 214 Combustion gas spectrum of PVC Tile ····· 298
Figure 215 CO production ····· 298
Figure 216 CO_2 production ····· 299
Figure 217 HCN production ····· 299
Figure 218 Combustion gas spectrum of Wood ····· 299
Figure 219 CO production ····· 300
Figure 220 CO_2 production ····· 300
Figure 221 Combustion gas spectrum of Urethane ····· 301
Figure 222 CO production ····· 301
Figure 223 CO_2 production ····· 301
Figure 224 Combustion gas spectrum of Nonflammable Plastic ····· 302
Figure 225 CO production ····· 302
Figure 226 CO_2 production ····· 302
Figure 227 Combustion gas spectrum of PVC Tile ····· 303
Figure 228 CO production ····· 303
Figure 229 CO_2 production ····· 303
Figure 230 Combustion gas spectrum of Wood ····· 304
Figure 231 CO production ····· 304
Figure 232 CO_2 production ····· 304
Figure 233 Combustion gas spectrum of PVC Water Cover ····· 306
Figure 234 CO production ····· 306
Figure 235 HCl production ····· 306
Figure 236 Combustion gas spectrum of PVC Pipe ····· 307
Figure 237 CO production ····· 307
Figure 238 HCl production ····· 307
Figure 239 Combustion gas spectrum of Gray covered floor ····· 308
Figure 240 CO production ····· 308
Figure 241 HCl production ····· 308
Figure 242 Combustion gas spectrum of Yellow covered floor ····· 309
Figure 243 CO production ····· 309
Figure 244 Combustion gas spectrum of Wood covered floor ····· 310
Figure 245 CO production ····· 310
Figure 246 HCl production ····· 310
Figure 247 Combustion gas spectrum of Check covered floor ····· 311

Figure 248 CO production ····· 311
Figure 249 HCl production ····· 311
Figure 250 Combustion gas spectrum of 5mm Urethane ····· 313
Figure 251 CO production ····· 313
Figure 252 HCN production ····· 313
Figure 253 Combustion gas spectrum of 10mm Urethane ····· 314
Figure 254 CO production ····· 314
Figure 255 HCN production ····· 314
Figure 256 Combustion gas spectrum of 15mm Urethane ····· 315
Figure 257 CO production ····· 315
Figure 258 HCN production ····· 315
Figure 259 Combustion gas spectrum of 20mm Urethane ····· 316
Figure 260 CO production ····· 316
Figure 261 HCN production ····· 316
Figure 262 Combustion gas spectrum of 25mm Urethane ····· 317
Figure 263 CO production ····· 317
Figure 264 HCN production ····· 317
Figure 265 CO concentration analysis result ····· 318
Figure 266 CO_2 concentration analysis result ····· 318
Figure 267 HCl concentration analysis result ····· 319
Figure 268 HCN concentration analysis result ····· 319
Figure 269 SO_2 concentration analysis result ····· 319
Figure 270 Comparison between the average movement stop time and FED ····· 328
Figure 271 Comparison between the average movement stop time and FED_I ····· 328
Figure 272 Comparison result between the average movement stop time and R Value 329
Figure 273 Comparison result between the average movement stop time and R $Value_I$ ····· 330

List of tables

Table 1 Performance standard per flame retardant level ····· 5
Table 2 Comparison of overseas combustion gas toxicity evaluation models ····· 7
Table 3 LC50 of target chemical species ····· 9
Table 4 OSHA handling restriction standard ····· 10
Table 5 ERPG standard per chemical species ····· 11
Table 6 Warning phrase per risk ····· 11
Table 7 Mixed warning phrases ····· 13
Table 8 ACGIH's TWA, STEL ····· 15
Table 9 TWA and STEL of Korea Occupational Safety and Health Agency ····· 16
Table 10 L4 orthogonal array table ····· 31
Table 11 Test plan without consideration of the reciprocal action in L8 orthogonal array table ····· 33
Table 12 Test plan with consideration of the reciprocal action in L8 orthogonal array table ····· 34
Table 13 Comparison of necessary number of experiments (*Table : Mixed orthogonal table) ····· 34
Table 14 Test condition for each fire model ····· 41
Table 15 Composition of Cone Calorimeter ····· 43
Table 16 Reference values for gases ····· 51
Table 17 TOXICITY CONCENTRATION ····· 52
Table 18 30 min LC50 value for rat ····· 55
Table 19 Blood components ····· 60
Table 20 Characteristics and function of blood corpuscle[····· 61
Table 21 pathological tissue extraction process ····· 84
Table 22 Clinical significance of each test item ····· 104
Table 23 Clinical significance of each test item ····· 105
Table 24 Comparison of analysis methods according to MDA form ····· 107
Table 25 Experiment process ····· 111
Table 26 Specimen name and picture ····· 113
Table 27 Experiment conditions ····· 114
Table 28 Specimen name and picture ····· 115
Table 29 Experiment conditions ····· 115
Table 30 Specimen name and picture ····· 116
Table 31 Experiment conditions ····· 117

Table 32 Test material and condition ····· 117
Table 33 Experiment group setting ····· 118
Table 34 Standard gas establishment list ····· 120
Table 35 Recommended spectrum Range ····· 127
Table 36 Component of SDC chamber ····· 133
Table 37 Component of Cone Calorimeter ····· 134
Table 38 Experiment process ····· 134
Table 39 Flooring material specimen name and picture ····· 135
Table 40 urethane Specimen name and picture ····· 136
Table 41 N_2 balance gas toxicity test result ····· 137
Table 42 Air balance gas toxicity test result ····· 137
Table 43 Flooring material specimen name and picture ····· 140
Table 44 Floor finishing material specimen name and picture ····· 140
Table 45 average movement stop time of finishing material ····· 141
Table 46 urethane Specimen name and picture ····· 142
Table 47 urethane Specimen name and picture ····· 142
Table 48 urethane average movement stop time ····· 143
Table 49 Test plan and average movement stop time of a rat exposed to the mixed gas ····· 144
Table 50 Average movement stop time for each specimen ····· 145
Table 51 Hematological values of female mice exposed to CO gas ····· 151
Table 52 Hematological values of female mice exposed to CO_2 gas ····· 152
Table 53 Hematological values of female mice exposed to NO gas ····· 153
Table 54 Hematological values of female mice exposed to NO_2 gas ····· 154
Table 55 Hematological values of female mice exposed to SO_2 gas ····· 155
Table 56 Hematological values of female mice exposed to HCl gas ····· 156
Table 57 Hematological values of female mice exposed to HF gas ····· 157
Table 58 Hematological values of female mice exposed to HCN gas ····· 158
Table 59 Hematological values of female mice exposed to HBr gas ····· 159
Table 60 Hematological values of female mice exposed to N_2 gas ····· 160
Table 61 Serum biochemistry in female mice exposed to fly NO_2 ····· 162
Table 62 Serum biochemistry in female mice exposed to fly SO_2 ····· 163
Table 63 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HCl ····· 164
Table 64 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HF ····· 165
Table 65 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HCN ····· 166
Table 66 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HBr ····· 167
Table 67 Serum biochemistry in female mice exposed to fly N_2 ····· 168

Table 68 DNA damage in mice blood after exposed of gases. ····· 175
Table 69 Animal test design with mixed gas ····· 202
Table 70 Non-exposure control group's comet assay result ····· 236
Table 71 1~4 Control group's comet assay result ····· 236
Table 72 5~8 Control group's comet assay result ····· 236
Table 73 9~12 Control group's comet assay result ····· 237
Table 74 13~16 Control group's comet assay result ····· 237
Table 75 17~19 Control group's comet assay result ····· 237
Table 76 21~24 Control group's comet assay result ····· 237
Table 77 25~28 Control group's comet assay result ····· 238
Table 78 33~36 Control group's comet assay result ····· 238
Table 79 37~40 Control group's comet assay result ····· 238
Table 80 41~42 Control group's comet assay result ····· 238
Table 81 MDA measurement result ····· 248
Table 82 Animal test design with finishing material ····· 253
Table 83 Histopathological findings in rat(Group summary) by inhalation ····· 255
Table 84 Histopathological findings in rat(Group summary) by inhalation ····· 256
Table 85 Hematological values of Female mice exposed to gases ····· 258
Table 86 Serum biochemistry in female mice exposed to gases ····· 259
Table 87 DNA damage in mice blood after exposed of gases. ····· 260
Table 88 Lipid peroxidation in mice blood after exposed of gases. ····· 260
Table 89 Animal test design with finishing material ····· 264
Table 90 Hematological values of Female rats exposed to gases ····· 270
Table 91 Serum biochemistry in Female rats exposed to gases ····· 271
Table 92 Lipid peroxidation in Female rats blood after exposed of gases. ····· 272
Table 93 DNA damage in Female rats tissue after exposed of gases. ····· 276
Table 94 Animal test design with standard gas ····· 280
Table 95 Hematological values of Female rats exposed to gases (1) ····· 282
Table 96 Hematological values of Female rats exposed to gases (2) ····· 283
Table 97 Hematological values of Female rats exposed to gases (3) ····· 284
Table 98 Hematological values of Female rats exposed to gases (4) ····· 285
Table 99 Hematological values of Female rats exposed to gases (5) ····· 286
Table 100 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (1) ····· 287
Table 101 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (2) ····· 288
Table 102 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (3) ····· 289
Table 103 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (4) ····· 290
Table 104 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (5) ····· 291

Table 105 cytokine analysis and experiment result ····· 294
Table 106 Quantitative analysis of combustion gas from finishing material ····· 295
Table 107 Combustion gas production(max value) ····· 295
Table 108 Combustion gas production(max value) ····· 297
Table 109 Combustion gas production(max value) ····· 298
Table 110 Combustion gas production(max value) ····· 300
Table 111 Quantitative analysis of combustion gas from finishing material ····· 300
Table 112 Combustion gas production(max value) ····· 301
Table 113 Combustion gas production(max value) ····· 302
Table 114 Combustion gas production(max value) ····· 303
Table 115 Combustion gas production(max value) ····· 304
Table 116 Finishing material specimen name and picture ····· 305
Table 117 Quantitative analysis of combustion gas from finishing material ····· 305
Table 118 Combustion gas production(max value) ····· 306
Table 119 Combustion gas production(max value) ····· 307
Table 120 Combustion gas production(max value) ····· 308
Table 121 Combustion gas production(max value) ····· 309
Table 122 Combustion gas production(max value) ····· 310
Table 123 Combustion gas production(max value) ····· 311
Table 124 Urethane specimen name and picture ····· 312
Table 125 Quantitative analysis of combustion gas for each urethane thickness ····· 312
Table 126 Combustion gas production(max value) ····· 313
Table 127 Combustion gas production(max value) ····· 314
Table 128 Combustion gas production(max value) ····· 315
Table 129 Combustion gas production(max value) ····· 316
Table 130 Combustion gas production(max value) ····· 317
Table 131 Test plan and average movement stop time of a rat exposed to the mixed gas ····· 320
Table 132 SDC Chamber experiment result (Highest concentration- R Value) ····· 321
Table 133 SDC Chamber experiment result (Accumulated generation amount per minute - FED) ····· 321
Table 134 SDC Chamber experiment result (Total generation amount – FED_I, R $Value_I$,) ····· 321
Table 135 Cone Calorimeter experiment result (Highest concentration – R Value) ····· 322
Table 136 Cone Calorimeter experiment result (Accumulated generation amount per minute - FED) ····· 322
Table 137 Cone Calorimeter experiment result (Total generation amount – FED_I, R

$Value_{I,}$) ····· 322
Table 138 Combustion gas generation amount analysis result from flooring material (Highest concentration – R Value) ····· 323
Table 139 Combustion gas generation amount analysis result from flooring material (Accumulated generation amount per minute - FED) ····· 323
Table 140 Combustion gas generation amount analysis result from flooring material (Total generation amount – FED_I, R $Value_{I,}$) ····· 323
Table 141 Combustion gas generation amount according to the thickness of urethane (Highest concentration – R Value) ····· 324
Table 142 Combustion gas generation amount according to the thickness of urethane (Accumulated generation amount per minute - FED) ····· 324
Table 143 Combustion gas generation amount according to the thickness of urethane (Total generation amount – FED_I, R $Value_{I,}$) ····· 324
Table 144 Experiment result of finishing material and indoor decorations (Highest concentration – R Value) ····· 325
Table 145 Experiment result of finishing material and indoor decorations (Accumulated generation amount per minute - FED) ····· 325
Table 146 Experiment result of finishing material and indoor decorations (Total generation amount – FED_I, R $Value_{I,}$) ····· 325
Table 147 Average movement stop time and fire toxicity index comparison result of flooring material ····· 326
Table 148 Average movement stop time and fire toxicity index comparison result according to the thickness of urethane ····· 326
Table 149 Average movement stop time and fire toxicity index comparison result of finishing material and indoor decorations ····· 327
Table 150 Judgment standard of current methods and comparative analysis of hazard index ····· 3

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

2절 연구개발의 특징 ····· 2

1. 기술적 측면 ····· 2
2. 경제 산업적 측면 ····· 2
3. 사회문화적 측면 ····· 2

3절 국내외 기술개발 및 관련규제 현황 ····· 3

1. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 3
2. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 6
3. 국내외 법령 및 독성가스 관리 기준 ····· 9
4. 국외 마감재료 유해가스 규제 관련 법규 ····· 22

4절 연구개발의 우수성 및 차별성 ····· 23

1. 기술적 우수성 및 차별성 ····· 23
2. 사회·경제적 우수성 및 차별성 ····· 24

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 25

1절 연구수행 방법론 ····· 25

1. 문헌조사 ····· 25
2. 다구치 방법 ····· 29
3. 연소가스 분석 방법 ····· 35
4. ISO, NFPA, ASTM, IMO KS등 관련 국제 기준에 따른 연구 방법 ····· 39
5. 독성지수산정 ····· 50
6. 유해화학물질에 대한 동물조직의 유전, 병리학 독성연구 ····· 55

2절 연구수행 과정 및 내용 ····· 111

1. 가스유해성 시험 ····· 111
2. 동물조직에서의 유해화학물질에 대한 유전, 병리 독성 연구 ····· 118
3. 연소독성 시험 ····· 120

3절 연구수행결과 ····· 136

1. 가스유해성 시험 결과 ····· 136
2. 유해화학물질에 대한 동물조직의 유전, 병리학 독성 결과 ····· 146
3. 화재모델을 적용한 연소가스 정량분석 ····· 295

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 331

1. 연소가스의 표적장기와 농도별 피해정도 위험도를 도출, DB화 ····· 331
2. 연소독성평가 방법 및 기준 개발 ····· 331

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 332

1. 연구개발 최종목표 달성도 ····· 332
2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 332
3. 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출, 고용창출 등) ····· 332
4. 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 333

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 334

1. 연구성과의 활용 ····· 334
2. 추가연구 필요성 ····· 334

참고문헌 ····· 335

그 림 목 차

그림 1 가스유해성시험장치 ····· 4
그림 2 실험용 ICR계 흰쥐 ····· 4
그림 3 혈액에서 여러 가지 수준의 카르복시헤모글로빈과 시안화물을 갖는 희생자의 비율(%) ····· 27
그림 4 앞에서 정의한 구역에서 설명한 이 연구 및 다른 저자들의 데이터에 대한 치사 지수(LI: lethality index)의 도표. 본 연구. Zamecnik와 Tam. Repetto와 Martinez, Ishii 등 Lundquist 등 ····· 29
그림 5 기존의 손실함수 ····· 30
그림 6 다구치 손실함수 ····· 30
그림 7 인자의 조합에 따른 교호작용 ····· 32
그림 8 FT-IR ····· 36
그림 9 화재발생가스 스펙트럼(예) ····· 37
그림 10 Smoke Density Chamber ····· 42
그림 11 Cone calorimeter Model ····· 43
그림 12 SDC 챔버 ····· 44
그림 13 실험 준비 및 실험체 ····· 55
그림 14 실험체 마취과정 ····· 56
그림 15 쥐 해부과정(1) ····· 56
그림 16 쥐 해부과정(2) ····· 57
그림 17 쥐 해부과정(3) ····· 57
그림 18 쥐 해부과정(4) ····· 58
그림 19 쥐 해부과정(5) ····· 58
그림 20 쥐 해부과정(6) ····· 59
그림 21 원심 분리를 통한 혈액의 구성 ····· 60
그림 22 혈액의 응고 ····· 62
그림 23 정상세포(전) 및 손상세포(후) ····· 85
그림 24 Tail moment 계산방법 ····· 87
그림 25 벤젠 노출군(exposure)과 대조군의 3가지 tail parameter의 평균값 ····· 88
그림 26 Comet assay procedure ····· 89
그림 27 Sample 준비 ····· 90
그림 28 Ficoll을 이용한 림프구 층 분리 ····· 91
그림 29 세포단위 병리관찰 ····· 92
그림 30 2개의 Ficoll을 이용한 림프구 층 분리 ····· 93
그림 31 세포 관찰 도구: Hemacytmeter ····· 93

그림 32 Cell counting 방법 ····· 94
그림 33 Slide preparation procedure ····· 95
그림 34 Slide preparation procedure ····· 95
그림 35 Slide preparation procedure ····· 96
그림 36 Slide preparation procedure ····· 96
그림 37 Slide preparation procedure ····· 96
그림 38 Slide preparation procedure ····· 97
그림 39 Slide preparation procedure ····· 97
그림 40 Slide preparation procedure ····· 98
그림 41 Making Lysis buffer ····· 98
그림 42 Making Lysis buffer ····· 99
그림 43 Making Lysis buffer ····· 100
그림 44 Making Lysis buffer ····· 100
그림 45 Electrophoresis procedure ····· 101
그림 46 Electrophoresis procedure ····· 101
그림 47 Fixation 과 Air dry ····· 102
그림 48 scoreing procedure ····· 102
그림 49 scoreing procedure ····· 103
그림 50 MDA 측정방법 ····· 108
그림 51 cytokine procedure ····· 110
그림 52 Experiment diagram ····· 112
그림 53 유량계 ····· 113
그림 54 CO 스펙트럼 ····· 121
그림 55 CO_2 스펙트럼 ····· 121
그림 56 NO 스펙트럼 ····· 121
그림 57 NO_2 스펙트럼 ····· 122
그림 58 SO_2 스펙트럼 ····· 122
그림 59 HF 스펙트럼 ····· 122
그림 60 HCl 스펙트럼 ····· 123
그림 61 HCN 스펙트럼 ····· 123
그림 62 HBr 스펙트럼 ····· 123
그림 63 Different Concentration Spectrum ····· 124
그림 64 Data base spectrum range ····· 125
그림 65 Concentration Graph ····· 125
그림 66 Quantitative Analysis Data ····· 126
그림 67 CO method 범위 ····· 127
그림 68 CO_2 method 범위 ····· 128

그림 69 NO method 범위 ····· 128
그림 70 NO_2 method 범위 ····· 128
그림 71 SO_2 method 범위 ····· 129
그림 72 HCl method 범위 ····· 129
그림 73 HCN method 범위 ····· 129
그림 74 HBr method 범위 ····· 130
그림 75 CO의 R^2 값 ····· 130
그림 76 NO의 R^2 값 ····· 131
그림 77 SO_2의 R^2값 ····· 131
그림 78 HCl의 R^2 값 ····· 131
그림 79 HCN의 R^2 값 ····· 132
그림 80 HBr의 R^2 값 ····· 132
그림 81 SDC 챔버 ····· 133
그림 82 Cone Calorimeter ····· 134
그림 83 Experiment diagram ····· 135
그림 84 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of CO gas ····· 147
그림 85 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of high dose gases ····· 148
그림 86 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of high dose gases ····· 149
그림 87 비노출(대조)군의 Comet Assay 결과 ····· 169
그림 88 N_2 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 170
그림 89 CO 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 170
그림 90 CO_2 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 171
그림 91 NO 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 172
그림 92 NO_2 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 172
그림 93 HCN 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 173
그림 94 HBr 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 174
그림 95 HF 노출군의 Comet Assay 결과 ····· 174
그림 96 Comet assay result (1) ····· 176
그림 97 Comet assay result (2) ····· 177
그림 98 N_2에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 177
그림 99 CO에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 178
그림 100 CO_2에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 178
그림 101 NO에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 179
그림 102 NO_2에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 179

그림 103 HCN에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 180
그림 104 HF에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 180
그림 105 HBr에 노출된 실험동물군의 MDA ····· 181
그림 106 WBC 분석결과 ····· 182
그림 107 RBC 분석결과 ····· 182
그림 108 Hemoglobin 분석결과 ····· 183
그림 109 Hematocrit 분석결과 ····· 183
그림 110 MCV 분석결과 ····· 184
그림 111 MCH 분석결과 ····· 184
그림 112 MCHC 분석결과 ····· 185
그림 113 Platelet 분석결과 ····· 186
그림 114 Segment 분석결과 ····· 186
그림 115 Lymphocyte 분석결과 ····· 187
그림 116 Monocyte 분석결과 ····· 187
그림 117 Eosinophil 분석결과 ····· 188
그림 118 Basophil 분석결과 ····· 188
그림 119 Total Protein 분석결과 ····· 189
그림 120 Albumin 분석결과 ····· 190
그림 121 Bilirubin 분석결과 ····· 190
그림 122 Glucose 분석결과 ····· 191
그림 123 BUN 분석결과 ····· 191
그림 124 Creatinnine 분석결과 ····· 192
그림 125 GPT 분석결과 ····· 193
그림 126 GOT 분석결과 ····· 193
그림 127 ALP 분석결과 ····· 194
그림 128 LDH 분석결과 ····· 195
그림 129 Cholesterol 분석결과 ····· 195
그림 130 riglyceride 분석결과 ····· 196
그림 131 Phosphorus 분석결과 ····· 196
그림 132 CO_2의 실험결과 교차분석 ····· 197
그림 133 NO_2의 실험결과 교차분석 ····· 198
그림 134 SO_2의 실험결과 교차분석 ····· 198
그림 135 HCl의 실험결과 교차분석 ····· 199
그림 136 HCN의 실험결과 교차분석 ····· 200
그림 137 HF의 실험결과 교차분석 ····· 200
그림 138 HBr의 실험결과 교차분석 ····· 201
그림 139 WBC ····· 203

그림 140 RBC ····· 204
그림 141 Hemoglobin ····· 205
그림 142 Hematocrit ····· 206
그림 143 MCHC ····· 207
그림 144 MCH ····· 208
그림 145 MCHC ····· 209
그림 146 Platelet ····· 210
그림 147 Segment ····· 211
그림 148 Lymphocyte ····· 212
그림 149 Monocyte ····· 213
그림 150 Eosinophil ····· 214
그림 151 Basopihl ····· 215
그림 152 Total Protein ····· 216
그림 153 Albumin ····· 217
그림 154 Bilirubin ····· 218
그림 155 Glucose ····· 219
그림 156 BUN ····· 220
그림 157 Creatinine ····· 221
그림 158 AST ····· 222
그림 159 ALT ····· 223
그림 160 ALP ····· 224
그림 161 LDH ····· 225
그림 162 Cholesterol ····· 226
그림 163 Triglyceride ····· 227
그림 164 Phosphorus ····· 228
그림 165 1~4 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 229
그림 166 5,6 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 230
그림 167 7~9 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 230
그림 168 10, 11 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 230
그림 169 12~14 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 231
그림 170 15, 16 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 231
그림 171 17~19 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 232
그림 172 21~23 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 232
그림 173 24 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 233
그림 174 25~27 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 233
그림 175 28 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 234
그림 176 33~36 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 234

그림 177 37~40 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 235
그림 178 41,42 실험군의 Comet Assay 분석 그래프 ····· 235
그림 179 MDA Lung ····· 239
그림 180 MDA Liver ····· 240
그림 181 MDA Spleen ····· 240
그림 182 MDA Thymus ····· 241
그림 183 MDA LN ····· 241
그림 184 MDA Plasma ····· 242
그림 185 조직별 MDA Spot ····· 242
그림 186 Plasma MDA Spot ····· 243
그림 187 1~10 MDA 결과 ····· 244
그림 188 11~20 MDA 결과 ····· 245
그림 189 21~30 MDA 결과 ····· 246
그림 190 31~42 MDA 결과 ····· 247
그림 191 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of gases.254
그림 192 실험 군 분류별 조직 comet assay 결과 (1) ····· 261
그림 193 실험 군 분류별 조직 comet assay 결과 (2) ····· 262
그림 194 조직 분류별 군의 commet assay 분석 결과 ····· 263
그림 195 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (1) ····· 265
그림 196 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (2) ····· 266
그림 197 조직 분류별 군의 MDA 분석 결과 ····· 267
그림 198 Rat 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (1) ····· 273
그림 199 Rat 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (2) ····· 274
그림 200 Rat 조직 분류별 군의 MDA 분석 결과 ····· 275
그림 201 Rat 실험 군 분류별 조직 8-OHdG 결과 (1) ····· 277
그림 202 Rat 실험 군 분류별 조직 8-OHdG 결과 (2) ····· 278
그림 203 Rat 조직 분류별 군의 8-OHdG 분석 결과 ····· 279
그림 204 Histopathology of High dose(261ppm) HCN gas exposure in Rat lung tissue. ····· 281
그림 205 Histopathological findings for the Liver inhalation of gases ····· 281
그림 206 경도의 microsteatosis ····· 281
그림 207 cytokine 분석실험 ····· 292
그림 208 Combustion gas Spectrum of Urethane ····· 295
그림 209 CO production ····· 296
그림 210 CO_2 production ····· 296
그림 211 HCN production ····· 296
그림 212 Combustion gas Spectrum of Nonflammable Plastic ····· 297

그림 213 HCN production ····· 297
그림 214 Combustion gas Spectrum of PVC Tile ····· 298
그림 215 CO production ····· 298
그림 216 CO_2 production ····· 299
그림 217 HCN production ····· 299
그림 218 Combustion gas Spectrum of Wood ····· 299
그림 219 CO production ····· 300
그림 220 CO_2 production ····· 300
그림 221 Combustion gas Spectrum of Urethane ····· 301
그림 222 CO production ····· 301
그림 223 CO_2 production ····· 301
그림 224 Combustion gas Spectrum of Nonflammable Plastic ····· 302
그림 225 CO production ····· 302
그림 226 CO_2 production ····· 302
그림 227 Combustion gas Spectrum of PVC Tile ····· 303
그림 228 CO production ····· 303
그림 229 CO_2 production ····· 303
그림 230 Combustion gas Spectrum of Wood ····· 304
그림 231 CO production ····· 304
그림 232 CO_2 production ····· 304
그림 233 Combustion gas Spectrum of PVC Water Cover ····· 306
그림 234 CO production ····· 306
그림 235 HCl production ····· 306
그림 236 Combustion gas Spectrum of PVC Pipe ····· 307
그림 237 CO production ····· 307
그림 238 HCl production ····· 307
그림 239 Combustion gas Spectrum of Gray covered floor ····· 308
그림 240 CO production ····· 308
그림 241 HCl production ····· 308
그림 242 Combustion gas Spectrum of Yellow covered floor ····· 309
그림 243 CO production ····· 309
그림 244 Combustion gas Spectrum of Wood covered floor ····· 310
그림 245 CO production ····· 310
그림 246 HCl production ····· 310
그림 247 Combustion gas Spectrum of Check covered floor ····· 311
그림 248 CO production ····· 311
그림 249 HCl production ····· 311

그림 250 Combustion gas Spectrum of 5mm Urethane ····· 313
그림 251 CO production ····· 313
그림 252 HCN production ····· 313
그림 253 Combustion gas Spectrum of 10mm Urethane ····· 314
그림 254 CO production ····· 314
그림 255 HCN production ····· 314
그림 256 Combustion gas Spectrum of 15mm Urethane ····· 315
그림 257 CO production ····· 315
그림 258 HCN production ····· 315
그림 259 Combustion gas Spectrum of 20mm Urethane ····· 316
그림 260 CO production ····· 316
그림 261 HCN production ····· 316
그림 262 Combustion gas Spectrum of 25mm Urethane ····· 317
그림 263 CO production ····· 317
그림 264 HCN production ····· 317
그림 265 CO 농도 분석 결과 ····· 318
그림 266 CO_2 농도 분석 결과 ····· 318
그림 267 HCl 농도 분석 결과 ····· 319
그림 268 HCN 농도 분석 결과 ····· 319
그림 269 SO_2 농도 분석 결과 ····· 319
그림 270 평균행동정지시간과 FED 비교 ····· 328
그림 271 평균행동정지시간과 FED_I 비교 ····· 328
그림 272 평균행동정지시간과 R Value 비교 결과 ····· 329
그림 273 평균행동정지시간과 R $Value_I$의 비교 결과 ····· 330

표 목 차

표 1 난연 등급별 성능기준 ····· 5
표 2 국외의 연소가스 유독성 평가 모델 비교 ····· 7
표 3 대상 화학종의 LC50 ····· 9
표 4 OSHA의 취급 제한 기준 ····· 10
표 5 화학종별 ERPG 기준 ····· 11
표 6 위험별 위험문구 ····· 11
표 7 조합된 위험문구 ····· 13
표 8 ACGIH의 TWA, STEL ····· 15
표 9 한국산업안전공단의 TWA, STEL ····· 16
표 10 L4 직교배열표 ····· 31
표 11 L8 직교배열표에서 교호작용을 고려하지 않은 실험계획 ····· 33
표 12 L8 직교배열표에서 교호작용을 고려한 실험계획 ····· 34
표 13 필요 실험수의 비교 (*표 : 혼합계 직교표) ····· 34
표 14 화재 모델별 시험조건 ····· 41
표 15 Cone Calorimeter 의 구성 ····· 43
표 16 Reference values for gases ····· 51
표 17 TOXICITY CONCENTRATION ····· 52
표 18 쥐에 대한 30 min LC50 값 ····· 55
표 19 혈액 성분 ····· 60
표 20 혈구의 특징과 기능 ····· 61
표 21 병리조직 채취 과정 ····· 84
표 22 검사항목별 임상적 의의 ····· 104
표 23 검사항목별 임상적 의의 ····· 105
표 24 MDA 형태에 따른 분석방법 비교 ····· 107
표 25 Experiment process ····· 111
표 26 시료명 및 시료 사진 ····· 113
표 27 실험 조건 ····· 114
표 28 시료명 및 시료 사진 ····· 115
표 29 실험 조건 ····· 115
표 30 시료명 및 시료 사진 ····· 116
표 31 실험 조건 ····· 117
표 32 실험재료 및 조건 ····· 117
표 33 실험군 설정 ····· 118

표 34 표준가스 구축 리스트 ····· 120
표 35 Recommended Spectrum Range ····· 127
표 36 Component of SDC 챔버 ····· 133
표 37 Component of Cone Calorimeter ····· 134
표 38 Experiment process ····· 134
표 39 바닥재 시료명 및 시료 사진 ····· 135
표 40 우레탄 시료명 및 시료 사진 ····· 136
표 41 N_2 밸런스 가스유해성 시험 결과 ····· 137
표 42 Air밸런스 가스유해성 시험결과 ····· 137
표 43 바닥재 시료명 및 시료 사진 ····· 140
표 44 바닥재 마감재료 시료명 및 시료 사진 ····· 140
표 45 마감재료의 평균행동정지시간 ····· 141
표 46 우레탄 시료명 및 시료 사진 ····· 142
표 47 우레탄 시료명 및 시료 사진 ····· 142
표 48 우레탄 평균행동정지시간 ····· 143
표 49 실험계획 및 혼합가스에 노출된 마우스의 평균행동정지시간 ····· 144
표 50 다양한 시료별 평균행동정지시간 ····· 145
표 51 Hematological values of Female mice exposed to CO gas ····· 151
표 52 Hematological values of Female mice exposed to CO_2 gas ····· 152
표 53 Hematological values of Female mice exposed to NO gas ····· 153
표 54 Hematological values of Female mice exposed to NO_2 gas ····· 154
표 55 Hematological values of Female mice exposed to SO_2 gas ····· 155
표 56 Hematological values of Female mice exposed to HCl gas ····· 156
표 57 Hematological values of Female mice exposed to HF gas ····· 157
표 58 Hematological values of Female mice exposed to HCN gas ····· 158
표 59 Hematological values of Female mice exposed to HBr gas ····· 159
표 60 Hematological values of Female mice exposed to N_2 gas ····· 160
표 61 Serum biochemistry in female mice exposed to fly NO_2 ····· 162
표 62 Serum biochemistry in female mice exposed to fly SO_2 ····· 163
표 63 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HCl ····· 164
표 64 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HF ····· 165
표 65 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HCN ····· 166
표 66 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HBr ····· 167
표 67 Serum biochemistry in female mice exposed to fly N_2 ····· 168
표 68 DNA damage in mice blood after exposed of gases. ····· 175
표 69 혼합가스 동물실험 실험 디자인 ····· 202
표 70 비노출 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 236

표 71 1~4 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 236
표 72 5~8 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 236
표 73 9~12 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 237
표 74 13~16 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 237
표 75 17~19 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 237
표 76 21~24 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 237
표 77 25~28 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 238
표 78 33~36 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 238
표 79 37~40 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 238
표 80 41~42 실험군의 Comet Assay 결과 ····· 238
표 81 MDA 측정 결과 ····· 248
표 82 마감재료 동물실험 디자인 ····· 253
표 83 Histopathological findings in rat(Group summary) by inhalation ····· 255
표 84 Histopathological findings in rat(Group summary) by inhalation ····· 256
표 85 Hematological values of Female mice exposed to gases ····· 258
표 86 Serum biochemistry in female mice exposed to gases ····· 259
표 87 DNA damage in mice blood after exposed of gases. ····· 260
표 88 Lipid peroxidation in mice blood after exposed of gases. ····· 260
표 89 마감재료 동물실험 디자인 ····· 264
표 90 Hematological values of Female rats exposed to gases ····· 270
표 91 Serum biochemistry in Female rats exposed to gases ····· 271
표 92 Lipid peroxidation in Female rats blood after exposed of gases. ····· 272
표 93 DNA damage in Female rats tissue after exposed of gases. ····· 276
표 94 표준가스 동물실험 디자인 ····· 280
표 95 Hematological values of Female rats exposed to gases (1) ····· 282
표 96 Hematological values of Female rats exposed to gases (2) ····· 283
표 97 Hematological values of Female rats exposed to gases (3) ····· 284
표 98 Hematological values of Female rats exposed to gases (4) ····· 285
표 99 Hematological values of Female rats exposed to gases (5) ····· 286
표 100 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (1) ····· 287
표 101 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (2) ····· 288
표 102 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (3) ····· 289
표 103 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (4) ····· 290
표 104 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (5) ····· 291
표 105 cytokine 분석실험 결과 ····· 294
표 106 마감재료의 연소가스 정량분석 ····· 295
표 107 Combustion gas production(max value) ····· 295

표 108 Combustion gas production(max value)····297
표 109 Combustion gas production(max value)····298
표 110 Combustion gas production(max value)····300
표 111 마감재료의 연소가스 정량분석····300
표 112 Combustion gas production(max value)····301
표 113 Combustion gas production(max value)····302
표 114 Combustion gas production(max value)····303
표 115 Combustion gas production(max value)····304
표 116 마감재료 시료명 및 시료 사진····305
표 117 마감재료의 연소가스 정량분석····305
표 118 Combustion gas production(max value)····306
표 119 Combustion gas production(max value)····307
표 120 Combustion gas production(max value)····308
표 121 Combustion gas production(max value)····309
표 122 Combustion gas production(max value)····310
표 123 Combustion gas production(max value)····311
표 124 우레탄 시료명 및 시료 사진···· 312
표 125 우레탄 두께별 연소가스 정량분석···· 312
표 126 Combustion gas production(max value)····313
표 127 Combustion gasproduction(max value)···· 314
표 128 Combustion gas production(max value)····315
표 129 Combustion gas production(max value)····316
표 130 Combustion gas production(max value)····317
표 131 실험계획 및 혼합가스에 노출된 마우스의 평균행동정지시간···· 320
표 132 SDC Chamber 실험결과 (최고농도- R Value)···· 321
표 133 SDC Chamber 실험결과 (분당 누적 발생량 - FED)···· 321
표 134 SDC Chamber 실험결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)···· 321
표 135 Cone Calorimeter 실험결과 (최고 농도 - R Value)···· 322
표 136 Cone Calorimeter 실험결과 (분당 누적 발생량 - FED)···· 322
표 137 Cone Calorimeter 실험결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)···· 322
표 138 바닥재의 연소가스 발생량 분석 결과 (최고 농도 - R Value)···· 323
표 139 바닥재의 연소가스 발생량 분석 결과 (분당 누적 발생량 - FED)···· 323
표 140 바닥재의 연소가스 발생량 분석 결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)·····
····· 323
표 141 우레탄 두께에 따른 연소가스 발생량 (최고 농도 - R Value)···· 324
표 142 우레탄 두께에 따른 연소가스 발생량 (분당 누적 발생량 - FED)···· 324
표 143 우레탄 두께에 따른 연소가스 발생량 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)···· 324

표 144 마감재료 및 실내장식물 실험결과 (최고 농도 - R Value)····· 325
표 145 마감재료 및 실내장식물 실험결과 (분당 누적 발생량 - FED)····· 325
표 146 마감재료 및 실내장식물 실험결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)····· 325
표 147 바닥재의 평균행동정지시간과 연소독성지수 비교 결과····· 326
표 148 우레탄 두께에 따른 평균행동정지시간과 연소독성지수 비교 결과····· 326
표 149 마감재료와 실내장식물 의 평균행동정지시간과 연소독성지수 비교 결과· 327
표 150 현행기법의 판정기준 9분에서의 독성지수 도출값····· 330
표 151 건축 마감재료의 연소가스 최고농도 및 독성지수값····· 332

제1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

- 국가경제의 성장과 함께 인프라 증가로 인하여 대규모 복합 건축물에 대한 수요를 확대시켰으며, 이에 따라 재해시 대규모 복합 건축물에서 안전한 피난의 확보 및 화재 등의 사고에 대비한 안전성 확보에 대한 요구가 증대되고 있다.
- 화재사고로 인하여 국내뿐만 아니라 세계 각국은 대규모 복합 건축물의 화재사고의 예방과 안전성 향상을 위해서 건축 재료의 연소 독성평가 방법에 관한 연구가 활발히 진행하고 있다.
- 현재 우리나라에서 건축물 내장재의 화재안전성능은 **국토해양부 고시** 제2012-624호에 의한 평가방법에 의해 불연성시험(KS F ISO 1182), 콘 칼로리미터 시험(KS F ISO 5660-1) 및 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하여 그 결과로서 분류하도록 되어 있다. 이 중 가스유해성시험은 시험용 흰쥐 8마리가 연소가스에 노출되었을 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 실시되고 있다.
- 최근 국내에서도 **동물보호법**(농림수산검역검사본부) 및 **실험동물에 관한 법률**(식약청)에 따라 **동물실험을 제한하고 있어 제도운영에 문제점이 발생하여, 대체시험개발이 시급하다.**
- 화재 현장에서 **대부분의 사상자는 직접 화염에 의한 화상보다는 밀폐된 공간에서 각종 내장재의 연소 생성물 중의 각종 유독가스에 의해 유발**되며, 현대에 와서 내장재의 종류가 다양화되고 그만큼 화재 하중이 증가함에 따라 위험한 요소로 대두되고 있다. 일반적으로 화재 시 연소가스의 유해성 평가는 연소가스 중 인체에 유해한 독성가스(일산화탄소, 시안화수소 등)가 인체에 미치는 영향의 정도를 고려해야 한다는 관점이 관련 학계에 공유되고 있다.
- 이렇게 볼 때, **우리나라에서 실시하고 있는 가스유해성 평가방법은 단지 흰쥐의 행동정지시간이라는 결과만 도출될 뿐, 어떠한 독성 가스가 얼마의 농도로 발생하여 흰쥐에 악영향을 미쳤는지 정량적으로 평가할 수 없다는 한계점**을 가지고 있다.
- 본 연구에서는 건축물 내장재의 연소유해성을 평가하기 위한 시험으로서, **동물시험을 대체하고 연소생성물의 정성·정량 분석을 통해 연소가스 유해성을 종합적으로 평가할 수 있는 시험방법을 개발**하고 현행 건축법에서 채택하여 시행중인 **KS F2271(가스유해성시험-동물시험)의 판정기준에 상응한 유해가스**

정량분석기준을 마련하고자 한다.

- **화재로 인한 국민의 인명 및 재산피해를 최소화하는 녹색 안전 기술** 확보에 필수적인 연구이다.

2절 연구개발의 특징

1. 기술적 측면

- 최근의 건축물은 고층화, 복잡화 되는 추세이며, 화재에서 발생되는 유독가스에 의한 인명피해가 증가하고 있다. 따라서 현 건축법에서는 건축물 내부 마감 재료의 난연 성능 기준에서 가스유해성시험(동물실험)을 통해 유독가스를 평가하여 건축물에 화재 발생 시 인명을 보호하기 위한 제도적 장치를 운영하고 있다.
- 현 건축물 내부 마감 재료의 가스유해성시험은 실험용 흰쥐의 평균행동정지시간을 이용하여 화재시 발생되는 유독가스의 유해성을 간접적으로 평가하는 방법이다. 하지만, 이러한 방법은 연간 20,000마리 이상의 실험동물이 사용되며, 단순하게 마우스의 행동시간만을 측정하여 유독성을 판단하므로 시험체가 연소될 때 발생되는 유독가스의 종류 및 양을 측정하는데는 한계가 있고, 시험동물의 상태에 따라서 연소가스의 유독성 평가 결과에 대한 신뢰성 확보가 어려운 단점이 있다.
- 따라서 국내실정에 적합한 실험절차 및 기존의 가스유해성시험의 기준(평균행동정지시간 9분)과 상응하는 연소유독가스의 독성지수를 측정하여 기준을 마련하고 동물대체시험을 개발고자 하는 특징을 지닌다.

2. 경제 산업적 측면

- 제품별 화재로부터 발생되는 유해가스의 정량분석을 통해,
  - ✓ 제조업체간 품질향상의 동기부여 제시
  - ✓ 화재로 인한 정량적 위험성 평가 및 성능설계에 반영

3. 사회문화적 측면

- 동물실험은 인류의 복지의 증진과 동물 생명의 존엄성을 고려하여 실시하여야 하며 동물실험을 실시하고자 하는 때에는 이를 대체할 수 있는 방법을 우선적으로 고려하여야 한다. 국가에서는 동물실험의 3원칙으로 Replacement (실험동물 대체 사용법 강구), Reduction(실험에 사용되는 동물수의 축소), Refinement(동물고통의 최소화)의 3R을 제시하고 있다. 강화된

동물보호법은 궁극적으로 동물실험을 제한한다, 따라서 본 연구는 국제적인 추세로 동물실험을 대체할 수 있는 연소가스의 정량분석법 개발을 통해 연간 20,000마리 이상의 동물시험을 대체하여 동물보호, 동물시험으로 인한 환경오염방지 및 과학적인 시험절차 도입으로 동물 윤리를 선도하는 특징을 지닌다.

3절 국내외 기술개발 및 관련규제 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

- 건축물 내부에 의장 및 단열 등의 목적으로 사용되는 내장 재료는 화재시 연소를 지연시키는 등 화재의 확대를 방지하기 위한 성능확보가 필수적이다. 화재발생시 인명에 위험을 미치는 요인은 열, 연기, 유해가스의 3가지로 분류할 수 있으며 이 중에서 열은 화상을 야기하며, 연기는 가시거리 저하로 대피를 불가능하게 하고 유해가스 중 CO 및 HCN은 혼수상태 또는 사망에 이르게 하며 HCI 등은 눈과 같은 감각기관과 호흡기관을 자극하여 기침, 질식, 시력손상을 야기하거나 또는 폐 손상으로 사망에 이르게 한다. 따라서 화재위험을 종합적으로 평가하기 위해서는 열 발생율, 연기 및 유해가스와 같은 화재 특성(fire property)을 모두 고려하여 재료의 연소특성을 평가하여 난연 성능을 발휘하도록 할 필요가 있다. 이러한 건축 내장 재료에 대해서는 국내 건축법에서 일정용도 및 규모에 따라 건축물의 내부(벽, 천장) 마감 재료를 난연성능이 있는 재료로 시공하도록 하고 있으며, 「건축물 피난·방화구조 기준에 따른 규칙」에서 정하는 '**국토해양부장관이 정하는 것으로서 국토해양부장관이 고시하는 기준에 따라 그 성능이 확인된 것**'을 사용토록하고 있다.
- 화재의 독성위험을 평가하는 방식은 기본적으로 2가지이다.
  - ✓ 주요 독성가스의 농도/시간 변화곡선을 포함하는 대규모 화재시험 결과와 함께 해당 가스의 독성효과에 대한 기존 지식을 활용한다.
  - ✓ 여러 차례의 소규모 시험 및 수학적 모델, 혹은 대규모 시험 활용. 이때 기본 구성 요소는 동물 노출이나 분석적 방법을 이용해 소규모 시험으로부터 구한 물질의 독성 효능 데이터(치사 질량 손실 노출 복용량)와 화재에 대한 질량손실/농도 곡선이다. 이 중에서, 실물규모 시뮬레이션 및 대규모 시험은 가장 중요한 2가지 주요 변수(화재 성장률 및 생성물 발생 비율)를 직접 측정할 수 있다는 측면에서 가장 가치 있는 방식이다. 세 번째 변수인 독성의 경우 독성가스, 열, 사망 소요시간을 계산하기 위한 알고리즘이 개발되고 있다.

건축법 제43조, 동 시행령 제61조 및 '건축물의 피난·방화 등의 기준에 관한

규칙' 제24조에서 건축물의 내부 마감 재료에 대한 **용도 및 규모별 적용 대상**을 정하고 있다. 이러한 분류기준에 따라 **불연, 준불연 및 난연재료의 화재성능을 확보한 재료를 사용하도록 규정**하고 있다.

- 난연 성능 평가방법은 건축물의 피난·방화 등의 기준에 관한 규칙 제5조 내지 7조 규정에 따라 제정된 '건축물 마감 재료의 난연 성능기준'(국토해양부 고시 제2011-39호)에서 정하고 있으며 국제규격으로서 채택된 콘 칼로리미터방법(KS F ISO 5660-1)과 불연시험방법(KS F ISO 1182) 및 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 채택하여 그 성능기준을 표1와 같이 정하고 있다. **연소 독성을 평가하기 위한 가스유해성시험 동물시험은 불연재료, 준불연재료 및 난연재료의 모든 등급시험에 필수 시험으로 적용되고 있다.**



그림 2 가스유해성시험장치



그림 3 실험용 ICR계 흰쥐

- 국내의 건축물 마감재 가스유해성시험은 건축물 마감 재료의 난연성능기준'(국토해양부 고시 제2012-624호)에서 정하고 있다. 그림 1의 가스유해성시험장치는 규정한 시험체를 사용하여 시험체의 표면에서 뒷면으로 관통하는 지름 25㎜인 구멍을 3개 뚫은 것으로 한다. 시험은 2회 실시하며 시험체 크기는 가로, 세로 각각 220㎜로 한다. 시험체의 가열은 부열원으로 3분간 가열한 후, 다시 주열원으로 3분간 가열하여야 한다. 공기는 가열 중에 한하여 공급하며, 그 공급량은 가열로의 1차 공급 장치에 의해 매분 3.0ℓ, 2차 공급 장치에 의해 매분 25.0ℓ로 하여야 한다. 피검 상자의 배출장치에 의한 기체는 가열 중에 한하여 배출하며, 그 배출량은 매분 10.0ℓ로 하여야 한다. 배기 온도측정은 규정하는 열전대 및 온도계로 측정한다. 가열 시험을 시작할 때 피검 상자 내의 온도는 30℃로 하고, 시험용 흰쥐(DD계 또는 ICR계, 암컷 5주령, 18~22g)를 1마리씩 넣은 회전 바구니8개를 피검 상자에 넣어 시험한다.
- 가스유해성시험은 가열을 시작해서 시험용 흰쥐(그림 2)가 행동을 정지할

때까지의 시간을 측정하며, 시작 후 15분간 개개의 시험용 흰쥐를 대상으로 한다. 흰 쥐의 평균행동정지시간을 측정하여 9분 이상을 적합한 것으로 한다.

- 그러나 **현행 가스유해성시험은 단지 동물의 행동정시시간만을 측정하므로, 대상 시험체로 발생된 연소가스의 종류 및 농도에 대한 정성·정량적인 측정은 하지 못하는 한계**를 가진다.

표 1 난연 등급별 성능기준

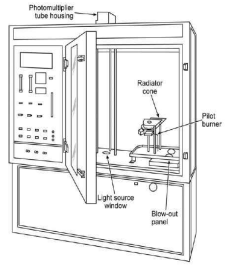
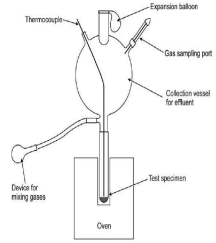
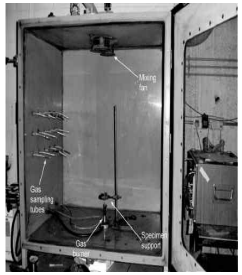
등급	규 격	성 능 기 준
불연재료	KS F ISO 1182 (건축 재료의 불연성시험방법)	◦ 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K이상 초과 상승하지 않을 것(단, 20분 동안 평형에 도달하지 않으면 최종 1분간 평균온도를 최종평형온도로 한다) ◦ 질량 감소율이 30%이하 일 것
	KS F 2271 (가스유해성시험)	**◦ 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9분 이상일 것**
준불연재료	KS F ISO 5660-1 (콘 칼로리미터법)	◦ 가열 개시 후 10분간 총방출열량 8MJ/m^2이하이며, 10분간 최대열방출율이 10초 이상 연속으로 200kW/m^2를 초과하지 않음. ◦ 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함)등이 없어야 함.
	KS F 2271 (가스유해성시험)	**◦ 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9분 이상일 것**
난연재료	KS F ISO 5660-1 (콘 칼로리미터법)	◦ 가열 개시 후 5분간 총방출열량 8MJ/m^2이하이며, 5분간 최대 열방출율이 10초 이상 연속으로 200kW/m^2를 초과하지 않음. ◦ 5분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함)등이 없어야 함.
	KS F 2271 (가스유해성시험)	**◦ 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9분 이상일 것**

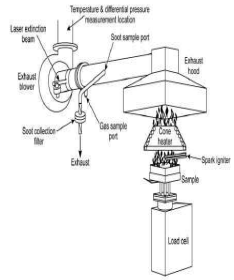
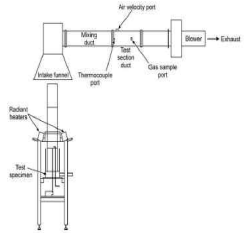
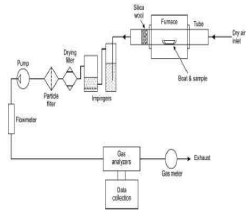
2. 국외 기술 및 산업 동향

가. 유해연소생성물 분석

- 현대의 건축물 추세는 내화구조물로서 다목적 기능의 복합대규모화 및 고층 거대화되어지고 있는 반면, 화재 하중에 연관되는 가연성의 합성유기고분자 재료를 다량적재하고 있는 것이 특색이다. 이러한 양상은 이전과는 비교할 수 없는 화재의 다양성을 나타내고 있다.
- 특히 합성유기고분자 재료의 발달에 의하여, 널리 사용되고 있는 건물 내·외장재료 및 건물 내의 치장재료, 가구, 의류 등의 재료가 연소 중에 방출하는 연소가스에 기인하여, 최근 건물의 화재 시 가스중독사 및 연사가 증가하고 있는 사례는 국내외에서 문제가 되고 있다.
- 연소 발생 가스에 노출된 대피자가 무력화되는 메커니즘을 밝히기 위하여 일련의 연구가 수행된 바는 여러 차례 있다. 이 연구들은 사망이 아닌 무력화를 연구 대상으로 사용하였는데 이는 잠재적 희생자의 탈출 여부를 결정하는 2가지 주요 인자, 즉 독성 생성물에 의해 무력화에 이르는 시점과 발화로부터 치사 조건 발달 시점까지의 탈출에 활용할 수 있는 시간 사이에 해당 생성물이 탈출능력에 영향을 미치기 때문이다.
- 상기의 관점으로부터 가연성의 유기고분자 재료가 가열되어졌을 경우, 어떤 화학종의 유해가스가 어느 정도의 농도(ppm)로 발생하는가의 여부를 생물을 이용한 연소생성물의 독성실험을 통하여 직접 재검토 되었으며, 최근 현대 건축물에 널리 사용되어지고 있는 합성유기고분자재료를 중심으로 특히 실제의 화재와 연관하여 재료공학적인 측면에서 가연성 재료가 연소시에 방출하는 각종 유해연소생성물 분석에 대하여 세계적으로 현재까지 제시된 화재모델 및 시험방법은 다음 표 2과 같다.

표 2 국외의 연소가스 유독성 평가 모델 비교

시험명	시험방법	시료크키	결과의 표현	시험기기 개념도	장 점	단 점	동물실험 유무
Closed Cabinet Toxicity Test	챔버안에 75 mm × 75 mm 의 시편을 넣은 다음 25, 50 kw/㎡의 복사열을 가해서 나오는 연기의 최대 광도 및 그 연기를 포집하여 어떤 종류의 가스가 나오는지 측정	75 mm × 75 mm	ds max, 가스농도		· 광범위하게 사용 · 시료가 대표성을 띔	· 연소조건 고정 · 가스가 혼합되어 대표적이지 않을 수 있음 · 시료두께에 따라 결과가 달라질수 있음.	동물 비사용
Closed Flask Test	3L 용량의 구형용기의 연결된 관 끝쪽에 시료를 넣어 250 ℃ 내지 500 ℃로 가열시켜 나오는 연기의 가스농도를 측정	용기 용적의 0.00003	CO, HCN, NOX, HCL,SO_2 포름알데히드		· 장비가격이 저렴 · 운용이 쉬움 · 작은 시료 사용	· 점화자체 콘트롤 되지 않으므로 각기 다른 재료에 결과값 비교불가 ·혼합이 잘되지 않음 · 용기용적이 정확히 정의되지 않음	동물 비사용
NAVAL ENG. STANDARD 713	닫힌 챔버안에 시료 1~2 g를 놓고 분제버너로 완전히 연소시킨다. 발생되는 연기는 내부 팬에 의해서 균일하게 혼합됨. 그런 다음 가스검지관으로 혼합된 연기를 추출하여 농도를 측정함	1 ~ 2 g	CO, CO_2, HCHO NOX HCN,SO_2, H_2S, NH_3 HF, HBR 등		· 사용간편 · 연소시간 짧음 · 시험체 대표성을 가짐	· 거의 모든 재료가 복합재료이므로 각기 다른 시간에 기화될 수 있음 · 실제화재시 결과를대표 할 수 없음	동물 비사용

콘칼로리미터	일정크기의 시료가 복사열에 노출될때 소모되는 산소소비량을 계산하여 열방출률을 측정하고 덕트를 흐르는 연기를 레이저로 측정함	100 × 100 × 50 mm	HRR, CO, CO_2, O_2 등 독성측정 방법은 규정되지 않음		· 시료의 대표성 및 노출성 정확 · 열방출속도와 독성 데이터를 연관지을수 있음	· 불꽃이 과도하게 환기되어 수율이실제와 거리가 있음 · 연소구역으로 들어가는 공기의 분율을 알수없음 · 독성가스의 양적평가가 어려움	동물 비사용
화염 전파 장치	102×102×25 mm의 시험체 혹은102×300×13 mm을 복사열에 노출시키고 파일롯 불꽃에 의해 점화함 시험체는 수직 석영튜브에 장착됨 증기는 덕트에 의해 수집되며 CO_2 생성량에 의해 열방출률 계산됨	102 × 102 × 25 mm 혹은 102 × 300 × 13 mm	HRR 유효연소열 연기밀도 등		· 중간 생성물의 표현과 노출이 정확 · 질량감소율 등 조건제어 가능	CO의 수율은 실제 규모와 관련이 있으나 화재생성물의 다른 구성요소에는 적용되지 않음	동물 비사용
TUBE FURNACE	1 g의 시료를 가열로의 온도를 350℃, 400℃, 600℃, 800℃에서 가열 한다	1 g	CO, CO_2, HCHO NOX HCN SO_2, H_2S NH_3, HF HBR 등의 수율		· 운영이 쉬움 · 온도, 공기량 등 조건을 수정하기 쉬움 · 직접적인 독성결과를 생성하지 않고 수율로 나타냄	.작은 시료가 균일재료의 시험에 제한재료의 잠재독성을 평가할 수 없음	동물 비사용

3. 국내외 법령 및 독성가스 관리 기준

가. LC_{50}

- LC50은 한 무리의 실험동물의 50%를 죽이게 하는 독성물질의 농도로 균일하다고 생각되는 모집단 동물의 반수를 사망하게 하는 공기 중의 가스농도 및 액체 중의 물질의 농도이다. 즉 50%의 치사농도로 반수치사농도라고도 하며, LD50(50% 치사량)과 같은 개념으로 쓰이기도 한다.
- 실험방법은 단계적 농도의 가스물질을 일정시간 동물에 흡입시키고, 사망수를 관찰한다. 이때 실험동물의 50%가 죽을 때의 가스 농도량을 관찰하여 LC50 값으로 한다. LC50의 값이 크면 클수록 그 독성은 낮고, 그 가스체의 포화농도(Csat)와 LC50의 비 Csat/LC50 값이 크면 클수록 흡입성 중독의 위험성이 크다.
- 한국의 유해화학물질관리법에서 유독물과 특정유독물의 분류기준으로 이용하고 있다. 예를 들어 어류의 경우는 48시간 기준으로 LC50이 2 이하이면 유독물, 0.1 이하이면 특정유독물로 지정한다.

표 3 대상 화학종의 LC_{50}

화학종	LC_{50}(ppm)
N	-
CO	1805
CO_2	30000~50000
NO	870 - 4HR
NO_2	88 - 4HR
SO_2	2520 - 1HR
HF	0.79 - 1HR
HBr	1430 - 4HR
HCl	4.2 - 1HR
HCN	142 - 0.5HR

나. 미국 직업안전 위생관리국(OSHA)

- 1970년에 미 연방 정부는 직업 안전 및 보건 법령(Occupational Safety and Health Act)을 제정함으로써 산업체들이 특정한 안전 기준을 부과하는 행동을 취하였다. 이 법령에 의해 정부 기관이 만들어졌는데, 이 기관은 미국 노동성 산하의 직업안전 위생국(Occupatinal Safety and Health Administration : OSHA)이다. OSHA는 안전 프로그램들의 실시, 위생 및 안전과 관련된 기준들에 대한 새로운 설정과 기존의 잘못된 기준들을 폐기, 기업체 감찰, 프로그램들에 대한 조사, 질병 및 상해의 발생 비율에 대한 계속적 감시, 소환장 발부, 벌과금(罰科金)의 산정, 안전 기준을 지키지 않는 고

용주에 대해 적합한 행동을 취하기 위한 법원에의 청원, 안전 훈련의 제공, 상해방지 컨설팅 제공, 위생 및 안전에 관한 통계 데이터베이스의 관리 등을 수행하고 있다(Goetsch, 1996). OSHA는 일반 산업체뿐만 아니라 건설, 농업, 해양 부분과 같은 특수한 산업체 대해서도 안전기준을 발간하고 있다 (Department of Labor, 1993).

표 4 OSHA의 취급 제한 기준

화학종	OSHA(kg)
N	-
CO	-
CO_2	-
NO	113.39975
NO_2	-
SO_2	453.599
HF	113.39975
HBr	2267.995
HCl	2267.995
HCN	453.599

다. 미국 산업위생협회(AIHA)의 비상상황 대응 계획 가이드라인(ERPG)

- ERPG(Emergency Response Planning Guidelines) : 비상상황 대응 계획 가이드라인은 독성 화학종에 대한 근로자의 노출 수준에 대한 가이드라인으로 미국 산업위생 협회(AIHA)에 의하여 제시된 값이다. “사람을 대상으로 화학종에 노출 시 예상되는 악영향”에 대한 농도 범위에 대한 예측을 제공한다.

(가) ERPG-3 : 거의 모든 근로자가 생명유지에 심각한 악영향 없이 1시간이내 …… 노출 가능한 최대 농도

(나) ERPG-2 : 거의 모든 근로자가 보호장비를 착용한 상태에서 건강에 악영향 없이 …… 1시간 이내 노출 가능한 최대 농도

(다) ERPG-1 : 거의 모든 근로자가 보호장비를 착용하지 않은 상태에서 건강의 …… 악영향, 불쾌한 느낌 없이 1시간 이내 노출 가능한 최대 농도

표 5 화학종별 ERPG 기준

화학종	ERPG-3(ppm)	ERPG-2(ppm)	ERPG-1(ppm)
N	-	-	-
CO	500	350	200
CO_2	-	-	-
NO	-	-	-
NO_2	30	15	1
SO_2	15	3	0.3
HF	50	20	5
HBr	-	-	-
HCl	150	20	3
HCN	25	10	-

라. 유럽연합 위험 규정

- 유럽 연합 위험 규정 (영어: R-phrases, Risk Phrases)은 유럽 연합 Directive 67/548/EEC의 부속서 제 3권에 정의되어 있다. 이 목록들은 Directive 2001/59/EC에 게시되어 있으며. 다른 유럽의 언어로도 번역되어 있으며 해당 위험 문구가 국제적으로 통용하기위하여 노력하고 있다.

표 6 위험별 위험문구

R1: 마를 경우 폭발성을 띰.
R2: 충격, 마찰, 화재 또는 기타 점화에 의해 폭발 위험이 있음.
R3: 충격, 마찰, 화재 또는 기타 점화에 의해 심한 폭발 위험이 있음.
R4: 매우 불안정한 폭발성을 띄는 금속 화합물을 생성.
R5: 열을 가할 경우 폭발 가능성이 있음.
R6: 공기와 접촉하거나 접촉하지 않을 때 폭발.
R7: 발연성임.
R8: 가연성 물질과 접촉 시 발연성임.
R9: 가연성 물질과 섞일 시 발연성임.
R10: 가연성임.
R11: 매우 가연성임.
R12: 극도로 가연성임.
R14: 물과 반응 시 위험함.
R15: 물과 반응 시 매우 유독한 기체를 발생시킴.
R16: 산화물과 접촉 시 폭발함.
R17: 공기중에서 자연히 가연성임.
R18: 사용, 가연성 또는 폭발성 증기와 공기 혼합물을 이룸.
R19: 과산화물과 접촉 시 폭발함.

R20: 흡입 시 위험함.
R21: 피부와 접촉 시 위험함.
R22: 삼켰을 경우 위험함.
R23: 흡입 시 유독함.
R24: 피부와 접촉 시 유독함.
R25: 삼켰을 경우 유독함.
R26: 흠입 시 매우 유독함.
R27: 피부와 접촉 시 매우 유독함.
R28: 삼켰을 경우 매우 유독함.
R29: 물과 접촉 시 유독한 기체를 발생시킴.
R30: 사용 시 매우 큰 가연성을 띰.
R31: 산과 접촉 시 유독한 기체를 발생시킴.
R32: 산과 접촉 시 매우 유독한 기체를 발생시킴.
R33: 누적 시 위험함.
R34: 화상의 원인이 됨.
R35: 매우 심각한 화상의 원인이 됨.
R36: 눈에 심각한 영향을 줌.
R37: 호흡기에 심각한 영향을 줌.
R38: 피부에 심각한 영향을 줌.
R39: 매우 심각한 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R40: 발암에 영향을 줌.
R41: 눈에 아주 심각한 영향을 줌.
R42: 호흡기에 민감한 영향을 줌.
R43: 피부 접촉 시 민감한 영향을 줌.
R44: 차단 후 가열 시 심각한 영향을 줌.
R45: 암을 유발할 수 있음.
R46: 유전자 손상을 유발할 수 있음.
R48: 장기 노출에 의해 건강에 심각한 영향을 줌.
R49: 호흡기에 암을 유발할 수 있음.
R50: 물과 관련된 생물에 매우 유독함.
R51: 물과 관련된 생물에 유독함.
R52: 물과 관련된 생물에 위험함.
R53: 수중 생태계에 장기적인 악효과를 줄 수 있음.
R54: 식물에게 유독함.
R55: 동물에게 유독함.
R56: 토양 생물에게 유독함.
R57: 벌에게 유독함.

R58: 자연 환경에 장기적인 악효과를 줄수 있음.
R59: 오존층 파괴를 유발할 수 있음.
R60: 다산에 영향을 줄 수 있음.
R61: 태아에게 위험할 수 있음.
R62: 장애인 임산부에게 출산에 관련된 영향을 줄 수 있음.
R63: 태아에게 영향을 줄 수 있음.
R64: 모유를 먹고 자란 아이에게 영향을 줄 수 있음.
R65: 삼켰을 경우 폐에 영향을 줄 수 있음.
R66: 지속적 노출로 인한 피부에 금이 가거나, 건조해 질 수 있음.
R67: 노출로 졸음과 현기증을 유발할 수 있음.
R68: 돌이킬 수 없는 결과를 유발할 수 있음.

- “가”의 위험문구는 발생 가능한 위험별 경고문구이나 실제 현장에서의 위험물에 의한 피해는 다양한 반응이 동시에 발생하는 경우가 대부분을 차지한다. 이 때문에 두 가지 이상의 위험문구를 조합하여, 기존의 위험문구를 유지하면서도 쉽게 알아볼 수 있도록 제작되었다.

표 7 조합된 위험문구

R14/15: 물에 격렬히 반응하며, 가연성의 기체를 방출.
R15/29: 물에 접촉시 독성과 가연성의 기체를 방출.
R20/21: 흡입/피부 접촉시 위험함.
R20/22: 흡입/삼켰을 시 위험함.
R20/21/22: 흡임/삼킴/피부 접촉시 위험함
R21/22: 삼킴/피부점촉시 유독함
R23/24: 흡입/피부 접촉시 유독함
R23/25: 흡입/삼켰을 시 유독함
R23/24/25: 흡임/삼킴/피부 접촉시 유독함.
R24/25: 삼킴/피부 접촉시 유독함.
R26/27: 흡입/피부 접촉시 매우 유독함.
R26/28: 흡입/삼켰을 시 매우 유독함.
R26/27/28: 흡임/삼킴/피부 접촉시 매우 유독함.
R27/28: 삼킴/피부 접촉시 매우 유독함.
R36/37: 눈과 호흡기에 심각한 영향을 줌.
R36/38: 눈과 피부에 심각한 영향을 줌.
R36/37/38: 눈, 호흡기 그리고 피부에 심각한 영향을 줌.
R37/38: 호흡기와 피부에 심각한 영향을 줌.

R39/23: 유독성: 호흡기를 통과할 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/24: 유독성: 피부에 접촉할 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/25: 유독성: 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/23/24: 유독성: 호흡기를 통과하거나 피부에 접촉된 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/23/25: 유독성: 호흡기를 통과하거나 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/24/25: 유독성: 피부에 접촉하거나 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/23/24/25: 유독성: 호흡기 통과, 피부 접촉또는 삼킬 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/26: 매우 유독성: 호흡기를 통과할 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/27: 매우 유독성: 피부에 접촉할 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/28: 매우 유독성: 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/26/27: 매우 유독성: 호흡기를 통과하거나 피부에 접촉된 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/26/28: 매우 유독성: 호흡기를 통과하거나 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/27/28: 매우 유독성: 피부에 접촉하거나 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R39/26/27/28: 매우 유독성: 호흡기 통과, 피부 접촉 또는 삼킬 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줌.
R42/43: 호흡기 통과나 피부 접촉시에 과민반응을 보임.
R48/20: 위험: 호흡기를 통과할 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/21: 위험: 피부에 접촉할 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/22: 위험: 삼켰을 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/20/21: 위험: 호흡기를 통과하거나 피부에 접촉된 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/20/22: 위험: 호흡기를 통과하거나 삼켰을 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/21/22: 위험: 피부에 접촉하거나 삼켰을 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/20/21/22: 위험: 호흡기 통과, 피부 접촉 또는 삼킬 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/23: 유독성: 호흡기를 통과할 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/24: 유독성: 피부에 접촉할 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/25: 유독성: 삼켰을 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/23/24: 유독성: 호흡기를 통과하거나 피부에 접촉된 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/23/25: 유독성: 호흡기를 통과하거나 삼켰을 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/24/25: 유독성: 피부에 접촉하거나 삼켰을 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R48/23/24/25: 유독성: 호흡기 통과, 피부 접촉 또는 삼킬 경우 건강에 심각한 영향을 줌.
R50/53: 물과 관련된 생물에게 매우 유독하고, 수중 생태계에 장기적인 악효과를 줄수 있음.
R51/53: 물과 관련된 생물에게 유독하고, 수중 생태계에 장기적인 악효과를 줄수 있음.
R52/53: 물과 관련된 생물에게 위험하고, 수중 생태계에 장기적인 악효과를 줄수 있음.
R68/20: 위험: 호흡기를 통과할 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄 수 있음.
R68/21: 위험: 피부에 접촉할 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄 수 있음.
R68/22: 위험: 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄 수 있음.
R68/20/21: 위험: 호흡기를 통과하거나 피부에 접촉된 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄수 있음.
R68/20/22: 위험: 호흡기를 통과하거나 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄수 있음.

R68/21/22: 위험: 피부에 접촉하거나 삼켰을 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄수 있음.
R68/20/21/22: 위험: 호흡기 통과, 피부 접촉또는 삼킬 경우 돌이킬 수 없는 영향을 줄수 있음.

마. 일본 후생노동성 기준

일본은 후생노동성의 기준인 안위법(安衛法)에 따라 화학물질의 위험성을 공표하고 있으며, 이는 TWA와 STEL을 통하여 노출량이 제한된다. 후생노동성은 일본의 행정기관으로 사회 복지, 사회 보장, 공중위생의 향상과 증진, 그리고 노동 조건과 환경의 정비 및 일자리의 확충 등을 전반적으로 다루며, 그 일부로써 근로자의 위험물질 노출기준을 제한한다.

바. TLV-TWA, STEL

TLV(Threshold Limit Value)는 근로자가 유해요인에 노출되는 경우, 노출기준이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준을 의미하며, TWA, STEL은 TLV의 하위 개념으로 포함된다. TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준)은 ACGIH가 정한 허용 농도(유해 물질의 공중 농도의 경우)의 일종으로 1일 8시간, 1주 40시간의 정규 노동 시간 중 시간 가중 평균 농도를 나타내고, 대다수의 노동자가 반복해서 노출되어도 건강 장애를 일으키지 않는 농도이다. STEL(Short Term Exposure Limit, 단시간 노출기준)은 근로자가 1회에 15분간 유해요인에 노출되는 경우의 기준으로 이 기준 이하에서는 1회 노출 간격이 1시간 이상인 겨우 1일 작업시간 동안 4회까지 노출이 허용될 수 있는 기준을 의미한다.

표 8 ACGIH의 TWA, STEL

화학종	TWA(ppm)	STEL(ppm)
N	-	-
CO	-	-
CO_2	5000	30000
NO	25	50
NO_2	3	5
SO_2	2	5
HF	-	-
HBr	-	-
HCl	-	-
HCN	-	-

표 9 한국산업안전공단의 TWA, STEL

화학종	TWA	STEL
N	-	-
CO	30	200
CO_2	5000	30000
NO	25	-
NO_2	3	5
SO_2	2	5
HF	0.5	3
HBr	2	-
HCl	1	2
HCN	4.7	-

사. 독성의 기존 연구 분석

(1) Nitrogen - 질소

(가) 독성요약

단순 질식제. 공기중 질소의 농도가 높아짐에 따라 산소의 양이 적어지는데서 발생하는 질식효과를 제외한, 화학종 자체의 독성은 발견된바 없다.

(나) 성질 및 독성

일반적으로 색깔, 냄새, 맛이 없는 기체 상태로 존재한다. 질소는 지구 대기의 78 퍼센트를 차지하며, 모든 생명 조직의 구성물이다. 또한 질소는 아미노산, 암모니아, 질산 그리고 시안화물과 같은 중요 화합물을 구성하는 물질이기도 하다.

(2) Carbon Monoxide - 일산화탄소

(가) 독성요약

- 생식세포변이원성 자료 없음.
- 생식독성 동물 실험 결과 태아에게 영향이 관찰되고 있으며 사람에게서도 모친의 흡연이 자손에 영향을 일으킴.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출)흡입 노출에 의해 혈액 중에 카르복시 헤모글로빈이 증가해 사람 및 동물의 신경계, 순환기계에 영향을 주어 지력, 운동 능력, 청력 등을 저하시킴.
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 동물의 반복 흡입 실험에서 심장, 혈액계에 영향을 일으킴 (폭로 농도 50~250 ppm)
- EU 분류정보(위험문구) R61, R12, R23, R48/23

(나) 성질 및 독성

일산화탄소는 무색, 무취의 기체로서 산소가 부족한 상태로 연료가 연소할 때 불완전연소로 발생한다. 사람의 폐로 들어가면 혈액 중의 헤모글로빈과 결합하여 산소보급을 가로막아 심한 경우 사망에까지 이르게 한다.

일산화탄소는 연탄의 연소가스나 자동차의 배기가스 중에 많이 포함되어 있으며, 큰 산불이 일어날 때도 주위에 산소가 부족하여 많은 양의 일산화탄소가 발생되기도 하고 담배를 피울 때 담배연기 속에 함유되어 배출되기도 한다.

일산화탄소의 인체에서 작용은 그 자체로 독성이 있는 것이 아니고, 폐에서 혈액중의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여, Hb본래의 기능인 체내로의 산소공급능력을 방해하여, 체내조직세포의 산소부족을 불러오는 결과로서 중독증상이 나타난다.

일산화탄소의 흡입이 계속되어 체내로의 산소공급이 부족해지면, 우선 산소결핍에 민감한 중추신경계(뇌, 척추)가 그 영향을 받아, 두통·현기증·이명·가슴두근거림·맥박증가·구토가 일어나고, 마침내 마취상태에 빠질 수 있다.

(3) Carbon Diooxide - 일산화탄소

(가) 독성 요약

- 생식독성 (mouse) : 흡입시 정자 형성에 영향.
- EU 분류정보(위험문구) 해당 없음

(나) 성질 및 독성

이산화탄소는 세포호흡의 부산물이기도 하다. 발생한 이산화탄소는 순환계를 통하여 폐로 이동하여 체외로 방출된다. 고농도의 이산화탄소는 신체에 치명적일 수 있다. 부피 백분율로 0.1~1%의 이산화탄소는 나른함과 두통을 일으킨다. 농도가 8~10%일 경우 질식에 의한 사망에까지 이를 수 있다.

흡입 이산화탄소는 가장 강력한 대뇌 혈관 확장제 중 하나이지 않다. 고농도의 이산화탄소를 흡입했을 때 순환계에 이상을 일으켜 혼수상태 또는 사망에 이르게 할 수 있다. 다량의 이산화탄소에 노출되었을 경우 질식이 일어날 수 있다. 낮은 농도의 이산화탄소는 호흡의 증가와 두통을 일으킬 수 있다. 산소부족으로 인한 숨 가쁨, 정신적 경계심의 감소, 근육 조정의 손상, 판단력 상실, 감각의 무뎌짐, 정신적 불안정, 피로를 일으킬 수 있다. 질식의 과정으로 구역질, 구토, 피로, 의식 상실 등이 일어날 수 있으며 심할 경우 발작, 혼수상태, 사망에까지 이를 수 있다. 임산부에게서의 산소 부족은 태아 발육에 지장을 줄 수 있다. 이산화탄소가 순환계를 통하여 세포로부터 폐로 이동하는 방법은 다음과 같이 세 가지 방법이 있다.

- 혈장에 녹아서 이동한다. 약 7%의 이산화탄소가 이 방법을 사용하여 이동된다.
- 적혈구의 헤모글로빈에 결합하여 이동한다. 약 23%의 이산화탄소가 이 방법을 통해 이동된다.

- 탄산수소 이온의 형태로 이동한다. 약 70%의 이산화탄소가 이 경로로 이동된다. 탄산수소 이온의 형태로 이동할 경우. 조직 근처의 혈관에서 이산화탄소 분자는 적혈구 내의 탄산탈수효소에 의해서 물 분자와 반응하여 탄산을 형성한다. 탄산은 곧 탄산수소 이온과 수소 이온으로 해리되어 수소 이온은 헤모글로빈에 결합하고 탄산수소 이온은 혈장으로 방출된다. 폐 주위의 혈관에서 탄산수소 이온은 반대 과정을 거쳐 이산화탄소가 되고, 이것은 폐를 통하여 체외로 방출된다.

적혈구의 헤모글로빈은 혈액의 pH가 떨어지면 산소와의 친화력 역시 감소하는데, 이를 보어 효과라 한다. 물질대사가 활발한 조직에서는 이산화탄소의 생성량이 증가하며, 그 결과 주위 혈액의 이산화탄소 분압은 증가한다. 이산화탄소는 물과 결합하여 탄산을 생성하므로, 이는 혈액의 pH를 떨어트린다. 따라서 헤모글로빈에서 산소가 방출되고, 방출된 산소는 세포호흡에 사용된다.

(4) Nitrogen Monoxide - 일산화질소

(가) 독성요약
- 피부 피부 조직을 심하게 자극.
- 눈을 심하게 자극.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 사람에서 급성 폐수종 및 메트헤모글로빈 생 성을 일으킴.
- EU 분류정보(위험문구) 해당 없음

(나) 성질 및 독성

일산화질소는 무색 기체로 녹는점 -163.7 ℃, 끓는점 -151.8 ℃이다. 쉽게 액화(液化)되지 않으며 공기보다 약간 무겁다. 공기와 접촉하면 곧 적갈색의 이산화질소가 된다. 물에는 약간 녹는다. 대기 중의 일산화질소는 공기 중의 질소가 고온에서 산화돼 발생하는 것으로 질소산화물의 일종으로 인체에 매우 유독한 가스성 물질로 알려져 있다.

증기는 기도를 강하게 자극한다. 눈과 목에 자극, 가슴의 긴장, 두통, 구역질, 점차적인 무력함이 일어날 수 있다. 심각한 증상은 몇 시간 후에도 일어날 수 있으며 청색증, 호흡 곤란, 불규칙한 호흡, 나른함이 있을 수 있다. 치료받지 않는 경우 폐수종으로 인하여 결과적으로 사망할 수 있다.

(5) Nitrogen Dioxide - 이산화질소

(가) 독성요약
- 피부부식성 또는 자극성 피부를 자극함.
- 심한 눈 손상 또는 자극성 눈을 자극함.

- 생식세포변이원성 마우스 정원세포 염색체이상시험 음성, 마우스 말초 임파구 염색체이상시험 음성, 마우스 적혈구 소핵시험 음성.
- 생식독성 흰쥐를 이용한 임신중 흡입 노출 시험에서 어미 동물에 일반 독성이 나타나는 용량에서 명확한 생식 독성(착상 후 사망의 증가)이 나타남.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 사람 노출에 의해 폐기능에 영향 및 폐수종이 나타남.
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 사람에서 장기 노출에 의해 폐질환을 일으킴, 사람에서 감염에 대한 저항력을 저하시킴반복 흡입 노출에 의해 실험동물에서 폐에 영향 및 면역력 저하를 일으킴.
- EU 분류정보(위험문구) R8, R26, R34

(나) 성질 및 독성

적갈색의 기체 상태로 존재한다. 고체 또는 액체 상태에서는 거의 대부분의 분자가 사산화이질소의 형태로 존재하고 있다. 녹는점은 -9.3 ℃, 끓는점은 21.3 ℃이다. 상자성을 띠는 분자이다. 질소 원자와 산소 원자의 결합 길이는 1.188Å, 결합각은 126°이다. 이황화탄소, 클로로폼 등에 녹는다. 액체 상태의 이산화질소는 염소, 브로민, 아이오딘 등을 녹일 수 있지만 무기염은 반응하지 않는 이상 잘 녹이지 못한다. 이산화질소는 극성 물질이기 때문에 물에 잘 녹는다.

흡입 증기는 기도를 강하게 자극한다. 눈과 목에 자극, 가슴의 긴장, 두통, 구역질, 점차적인 무력함이 일어날 수 있다. 심각한 증상은 5~7시간 후에도 일어날 수 있으며 청색증, 호흡 곤란, 불규칙한 호흡, 나른함이 있을 수 있다. 치료받지 않는 경우 폐수종으로 인하여 결과적으로 사망할 수 있다. 피부 액체상태의 이산화질소에 노출될 경우 심각한 부식이 발생할 수 있다. 눈 액체상태의 이산화질소에 노출될 경우 심각한 부식이 발생할 수 있다. 이산화질소에 노출될 위험에 있는 사람은 콘택트렌즈를 사용해서는 안 된다.

(6) Sulfur Dioxide - 이산화황

(가) 독성요약

- 심한 눈 손상 또는 자극성 사람에서 고농도 노출 결과 가역성의 결막염이나 각막 표면의 화상이 나타남.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 기니피그, 강아지, 토끼 또는 흰쥐에서 흡입 노출 시험 결과 기도점막 자극성, 기도저항 증가, 기도섬모 소실이 나타남. 사람에서 흡입 노출 시 기도 저항 증가 등의 호흡 기능 저하가 나타나며 고농도에서 폐수종을 일으킴.
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 흰쥐 및 기니피그에서 흡입노출 시험 결과 폐렴이나 기관지염이 나타남.
- EU 분류정보(위험문구) R23, R34

(나) 성질 및 독성

이산화황(二酸化黃, sulfur dioxide)은 화학식 SO2인 무기 화합물이다. 산소 원자 2개와 황 원자 1개가 결합되어 있다. 색깔이 없으며 자극적인 냄새가 나는 유독성 기체이다. 화산 활동이나 유기 물질이 분해될 때 자연적으로 생긴다. 공업적으로는 황을 태우거나 황을 포함한 금속 화합물을 가열하여 만든다. 공장이나 발전소에서는 이산화황이 대기 중으로 들어오는데, 이때 공기 중에 이산화황이 기준치보다 높으면 눈에 염증이 생기거나 호흡기 질환이 일어난다. 또한 알레르기를 일으킬 수 있으며, 심하면 사망에 이르기도 한다. 직물의 표백제나 식품 방부제 등으로 쓰인다.

(7) Hydrogen Fluoride - 플루오린화 수소

(가) 독성요약

- 피부부식성 또는 자극성 시험 동물 및 사람에서 피부 부식성이 보고됨.
- 심한 눈 손상 또는 자극성 동물을 이용한 안 자극성 시험 결과 부식성
- 피부과민성 사람에서 알레르기성 피부염이 나타남.
- 생식세포변이원성 염색체이상시험 결과 양성.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 사람에서 기도나 폐의 손상, 코 점막에 자극성, 눈결막이나 기도에 자극성이 나타남, 폐수종, 폐의 출혈성 수종, 기관지염, 췌장의 출혈 및 괴사가 보고됨, 실험동물에서 호흡기의 염증, 폐의 울혈, 허파꽈리의 수종, 비강 점막의 손상이 보고됨.
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 사람에서 뼈에 불소 침착증(뼈밀도의 증가,뼈의 형태적 변화), 기억 상실, 하수체로부터 갑상선 기능 이상이 보고됨, 실험동물에서 신장의 세뇨관 변성 및 괴사, 중추 신경계 기능 부전(조건 반사의 저하, 자극 후 운동신경 반사 지연), 신경세포 시냅스의 변화, 간장의 산재성 소장 괴사, 실질의 지방 변성, 문맥 주위의 섬유화, 음낭 표피의 염증, 음낭의 궤양, 정소의 퇴행성 변화.
- EU 분류정보(위험문구) R26/27/28, R35

(나) 성질 및 독성

플루오린화 수소는 플루오린과 수소의 화합물로, 화학식은 HF이다. 수소 결합을 한다. 물에 녹으면 플루오린화 수소산이 된다. 불화수소(弗化水素酸)라고도 한다. 화학식 HF. 발연성(發煙性)이 강한 무색 액체이며, 녹는점 −83.7℃, 끓는점 19.54℃, 비중 0.988(14℃)이다. 다른 할로겐화수소와 달리 분자가 중합하기 때문에 상온에서 액체이다. 기체, 고체가 모두 무색이다. 기체 속에 존재하는 분자는 증기밀도를 측정한 결과 90℃ 이상에서는 HF, 32℃ 부근에서는 H_2F_2와 H_3F_3의 중간이고, 고체에서는 정방정계(正方晶系)이며, 단위격자 속에 4(HF)4분자를 함유한다. 액체는 전도성이 없다. 용매로서는 대부분의 무기·유기화합물을 녹인다.

(8) Hydrogen Bromide - 브롬화수소

(가) 독성요약

- 피부부식성 또는 자극성 사람에서 부식성 및 피부 괴사가 보고됨.
- 심한 눈 손상 또는 자극성 사람에서 부식성 및 중증의 안 점막 자극이 보고됨.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 흰쥐의 흡입 시험에서 비갑개골의 괴사와 섬유괴사를 일으킴. 사람에서 중증의 코와 상기도 자극, 기관지 폐렴, 급성 폐부종 등을 일으킴.
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 사람에서 치아 탈회, 잇몸 변화, 기침, 헐떡임, 진행성 폐색성 세기관지염을 일으킴.
- EU 분류정보(위험문구) R35, R37

(나) 성질 및 독성

브로민화 수소는 상온 상태에서는 신랄한 냄새가 나는 비휘발성 기체로, 습도 높은 공기와 접촉하면 수소산을 형성하기 시작한다. 물에 잘 녹으며, 298K에서 물에 용해하면 물 중량의 68.85%가 수소산화한 후 포화 상태가 된다. 전체 무게의 47.38%가 용해된 브롬화수소로 구성된 물은 126 ℃에서 끓는 공비 혼합물(azeotropte)이 되는데, 용해된 브로민화 수소의 비율이 더 낮을 경우 H_2O는 브로민화수소의 함유량이 47.38%에 이를 때까지 100℃에서 계속 증발한다.

(9) Hydrogen Chloride - 염화수소

(가) 독성요약

- 피부부식성 또는 자극성 토끼를 이용한 피부 자극성 시험 결과 부식성, 사람에서 중정도의 자극성, 궤양, 화상이 보고됨.
- 심한 눈 손상 또는 자극성 토끼를 포함한 동물 시험 결과 눈에 대한 심한 자극성 및 부식성을 나타내며, 사람에 대해서도 영구적인 손상이나 실명이 우려됨.
- 호흡기과민성 사람에서 기관지 경련을 일으켜 천식성 증상을 나타냈다고 보고됨.
- 피부과민성 기니피그를 이용한 시험 결과 음성, 마우스 시험 결과 음성, 사람에서도 음성 반응을 나타냄.
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 사람에서 흡입 노출에 의해 호흡 곤란, 후두염, 기관지염, 기관지 수축, 폐렴 등의 증상, 상기도의 부종, 염증, 괴사, 폐수종이 나타남. 실험동물에서 점막 괴사를 수반하는 기관지염, 폐의 부종, 출혈, 혈전, 폐나 기관지에 형태적 상해를 수반하는 독성이 나타남.
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 사람에서 반복 노출로 침식에 의한 치아의 손상이 보고됨. 만성 기관지염의 발생 빈도가 증가됨.
- EU 분류정보(위험문구) R23, R35

(나) 성질 및 독성

염화수소는 염소 원자와 수소 원자가 공유 결합한 화합물이다. 염소 원자의 전기음성도는 수소보다 훨씬 커서 염화수소 분자는 강한 극성을 띤다. 이로 인해 염화수소는 물에 잘 용해되는데, 그 수용액이 염산이다. 염산은 가장 널리 이용되는 강한 산 중의 하나이다.

한편 염화수소는 메탄올, 벤젠, 에테르와 같은 다른 용매에도 잘 용해되며, 이 용액들도 여러 화학 반응에 대해 산-촉매 역할을 수행한다. 이렇듯 염화수소는 산의 특성을 강하게 지니므로, 인체에 매우 유해하며 습한 환경에서는 습기에 염화수소가 녹아 염산이 생성될 수 있어, 기체 상태로 폐에 유입 시 주의해야 한다.

(10) Hydrogen Cyanide - 시안화수소

(가) 독성요약

- 심한 눈 손상 또는 자극성 사람에서 안 자극성이 있다고 보고됨
- 특정 표적장기 독성 (1회 노출) 사람에서 혼수상태. 현기증, 호흡 감소, 불안정감, 두통. 실험동물에서 중추 신경계에 영향, 호흡 곤란, 서맥, 부정맥, 심실 확장기의 T 파 이상. 의식 혼탁과 호흡의 중단, 뇌파의 변화, 호흡 곤란, 혼수, 쇠약, 보행 곤란, 경련을 일으킴
- 특정 표적장기 독성 (반복 노출) 사람에서 지체 기억, 시각능력, 시각 판단능력, 정신 운동성, 두통, 허약감, 미각 및 후각 이상을 일으킴
- EU 분류정보(위험문구) R12, R26, R50/53

나) 성질 및 독성

사이안화수소(hydrogen cyanide) 혹은 청화수소(靑化水素), 청산(靑酸)은 화학식이 HCN인 화합물이다. 물, 에테르, 에탄올 등에 무제한적으로 녹으며 특히 물의 수용액은 사이안화 수소산 또는 청산이라고 한다. 무색이며 매우 유독하고 휘발성이 있다. 치사량은 2g이다. 실온보다 약간 높은 26°C에서 끓는다. 쓴맛이며 아몬드향이 나지만 유전적 소인으로 냄새를 맡지 못하는 사람도 있다. 사이안화 수소는 약산이며 수용액에서 사이안화 음이온(CN－)을 내놓으며 부분적으로 이온화된다.

4. 국외 마감재료 유해가스 규제 관련 법규

가. 미국

일반적인 내장 재료는 ASTM E84의 시험을 실시하여 화염전파와 연기발생의 정도에 따라 CLASS A, B, C 급으로 구분하고 있다. 화염전파지수와 연기발생지수의 기준은 Red oak를 100으로 기준한 것으로 분류기준은 화염전파지수는 CLASS A는 0~5, B는 25~75, C 75~200 이며 연기발생지수는 A, B, C 모두

0~450 이다. 패널의 경우 우레탄 이상의 제품은 대부분 CLASS B 이상의 등급을 기대할 수 있다.

나. 유럽

유럽은 EN13823의 규격에 의하여 SBI(single burning test)시험을 실시하여 내장재의 화재성장지수 FIGRA (fire growth rate)와 연기발생지수 SMGRA (smoke growth rate), 10분간의 총방출열량 THR(total heat release), 화염의 전파거리 LFS(lateral fire spread) 등으로 A~E등급으로 구분하고 있다. 이 시험에 의하면 우레탄 패널 이상의 경우 B등급 정도를 기대할 수 있다.

다. 일본

일본은 표면시험과 부가 시험등을 실시하는 한국의 KSF 2271과 동일한 시험을 실시하다가 한국보다 약 3년 정도 앞서 현재의 한국 시험법과 동일한 ISO 5660-1에 의한 시험을 실시하고 있다. 이는 열방출율과 가스유해성여부를 가지고 불연, 준불연, 난연재료를 구분하는 데 한국은 불연 재료의 경우 별도의 KS F ISO 1182 시험을 실시하는데 비하여 일본은 불연 재료도 동일한 ISO 5660-1 시험법을 사용하고 있다. 이 시험에 의하면 한국의 PIR 패널이상의 경우 준불연 또는 불연재료 등급을 기대할 수 있다.

라. 기타

패널의 경우 샌드위치 구조의 복합자재 형상이고, 재료 이외의 시공방법과 관리가 화재의 착화와 확산방지에 훨씬 더 중요하다는 사실은 많은 연구 결과를 통해 증명되어 왔다. 따라서 소형 시험체를 가지고 시험하기보다는 중 대형 시험체를 통한 연구가 활발하다. ISO 13784-1, ISO 13784-2는 각각 W2.4x L3.64x H2.4m, W4.8x L4.8x H4.0m 규모로 시험하는 실대형 시험방법으로 호주를 중심으로 골조형과 비골조형으로 시험이 진행되었다. 우리나라도 몇 차례 시험이 실시되었으나 한국 실정에 맞는 등급분류의 근거확보나 지나친 시험비용의 경제적 부담 등으로 아직 채택되지 못하고 있으나 현재도 이를 보완하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.

4절 연구개발의 우수성 및 차별성

본 연구 개발에 따른 기술적 기대 우수성 및 사회·경제적 우수성 및 차별성은 다음과 같다.

1. 기술적 우수성 및 차별성

- 건축물 내장재 가스유해성 기술 자료 및 데이터 공유를 통한 관련 연구 선도

- 공학적 화재위험도 평가 방법개발을 통한 신뢰성 확보
- 향후 동물 대체 시험방법의 국가제도 적용
- 연소가스 특성 DB 구축을 통한 국내 내장재의 화재 위험도 평가자료 활용
- 국내·외 내장재 연소가스 유해성 평가에 관한 기술선도

2. 사회·경제적 우수성 및 차별성

- 새로운 연소가스분석 방법도입으로 환경보호 및 국제화 동참
- 정성·정량적 평가방법 도입으로 건축물 내장재의 화재안전성 확보로 인명, 재산피해 감소에 기여
- 공학적 화재위험평가 지표를 적용하여 국내업계의 대외 수출경쟁력 강화에 기여
- 화재에 안전한 건축재료 개발 및 관련 산업 육성에 기여
- 동물대체시험법 개발을 통한 선진국형 평가제도 도입으로 국가 이미지 제고
- 내장재 연소가스의 독성에 대한 평가 방법을 적용하여 체계적이고 기술적으로 타당한 생산 및 설계를 유도
- 저독성 제품개발 동기부여 및 관련 제조업 활성화
- 선박, 항공, 고속철 등의 타산업에 확대적용 가능

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 연구수행 방법론

1. 문헌조사

화재 위해성 평가를 위한 동물실험과 독성에 관련된 문헌을 조사하였고, 이를 참조하여 연구를 위한 실험 계획 및 결론을 노출하였다. 본 연구에 참조된 문헌은 다음과 같다.

가. 화재 연기의 독성 : 산화질소의 영향

(1) 논문 개요

화재 안전 공학과 화재 위해성 평가를 위해서는 화재 유출물의 중독 효능을 측정해야 한다. 중독 효능값은 화학 분석 데이터 및/또는 동물 프로토콜을 사용하여 만들 수 있다. 화학 분석 데이터로부터 중독 효능값을 계산하는 현대의 ISO 방법에서는 흡입된 화재 유출물에 존재하는 질소 산화물이 자극성이 높은 산성 가스인 이산화질소라고 가정한다. 여러 가지 화재 단계를 시뮬레이션하는 벤치 규모 시험과 실제 규모 화재 시험에서 나온 관찰 사항을 보면 상황에 따라(특히 화재가 발생한 곳 근처에서) 질소 산화물은 대체로 산화질소일 것이지만 유출물이 화재로부터 먼 곳으로 이동함에 따라 점차 이산화질소로 변할 수 있다는 것을 알 수 있다. 산화질소는 이산화질소와 비교할 때 중독 효능과 영향이 매우 다르다. 이 문서에서는 화재 유출물에서의 산화질소와 이산화질소의 형성, 이들의 잠재적인 독성 영향, 그리고 결과적으로 중독 효능값을 계산하는 방법을 재검토할 필요성을 고려한다.

(2) 결론

화재로부터 가까울수록 산화질소의 상대적 비율 증가하는 경향을 보이며 화재로부터 멀수록 이산화질소의 상대적 비율 증가하는 경향을 보여준다.또한 이러한 경향은 산화질소와 이산화질소의 농도에 영향을 주어 화재 연기 중독 효능값 (FEC, FED, LD50) 의 계산값에 영향을 미친다. 이에 현재의 중독 효능 계산 방법의 재검토가 필요하다. 28)

나. 인간의 폐 세포를 이용하는 화재 연기 독성 평가를 위한 대체 방법

(1) 논문 개요

인간의 폐 세포를 이용하는 화재 연기 독성 시험을 위한 대체 방법이 조사되었다. 연소 생성물의 생성에 실험실 규모의 수직 관상로(tube furnace)가

사용되었다. 실험은 등온 산화 무염(non flaming) 조건에서 수행되었다. 폴리에틸렌(PE: polyethylene), 폴리프로필렌(PP: polypropylene), 폴리카보네이트(PC: polycarbonate), 폴리염화비닐(PVC: polyvinyl chloride), 유리 섬유 강화 폴리머(FRP: fiberglass reinforced polymer) 및 멜라민 페이스드 합판(MFP: melamine faced plywood)을 포함하는 일련의 건물 및 열차 인테리어가 연구되었다. Harvard Navicyte Chamber를 사용하여 공기와 액체의 인터페이스에서 인간 폐 세포(A549)에 연소 독성 물질을 노출시켰다. MTS 분석(Promega)을 사용하여 세포 생존력을 기준으로 인간 세포에 대한 세포 독성 효과가 평가되었다. 세포 독성 결과는 비관찰 유해 효과 농도(NOAEC: No Observable Adverse Effect Concentration), IC10(10% 억제 농도), IC50(50% 억제 농도) 및 총 치사 농도(TLC: total lethal concentration) 값(mg/L)으로 표현되었다. 이러한 세포 독성 결과는 간행된 연소 독성 데이터와 비교되었다. 질량 손실 데이터와 독성 생성물 수율도 결정되었다. PVC>PE>PP>FRP 10>PC>FRP 16>MFP의 순서로 독성 순위가 관찰되었다. 여기에서 설명하는 방법은 현행 화재 독성 표준 시험 방법에 대한 대안이 될 가능성이 있다.

(2) 결론

(가) In vitro 세포 독성 평가의 장점

- 실험동물이나 인간에 노출시키지 않아 동물윤리를 지키면서도 생물에 노출되었을 때의 피해를 본질적으로 분석할 수 있는 기술
- 연소생성물이 호흡기관을 통하여 폐에 도달하였을 때의 반응을 예측할 수 있는 우수한 기법
- 본 프로젝트의 분석기법보다 절차가 간단
- 연소가스와 연소생성물 또는 기타 물질의 독성을 정량적으로 분석

(나) In vitro 세포 독성 평가의 단점

- 각 장기의 특성이 반영되지 않아 표적장기의 분석이 불가능
- 도출되는 결과가 “폐세포 손상률” 1종으로 단순

다. 연소 독물학

(1) 논문 개요

연소 독물학에는 화재에서 발생하는 독성 종에 대한 노출 시에 생기는 부정적인 영향의 성격, 심각도 및 시간 경과가 포함된다. 이러한 종은 감각/상기도 자극과 심지어는 폐의 자극을 일으킬 수 있는 것과 함께 마취성 독물 또는 질식제로 구성된다. 이들은 모두 일제히 작용하여 노출된 사람의 바이털

시스템을 손상시키고 대개 다양한 저산소증을 일으키는 메커니즘을 통하여 무능화와 사망에 이르게 한다. 구성 물질에 따라 달라지는 화재 가스 독성 물질도 있고, 대체로 화재의 연소 조건에 따라 달라지는 독성 물질도 있으며, 이 두 가지 모두에 따라 달라지는 독성 물질도 있을 수 있다. 화재에서 방출되는 에너지가 화재 독성 물질의 생성 비율에 힘을 실어주기 때문에 중독 위해성의 전개 역시 화재 자체에 따라 달라진다.

라. 화재 연기의 독성 : 산화질소의 영향

(1) 논문 개요

주사기를 사용하여 희생자로부터 대퇴부 정맥 혈액을 산-은-황산염 용액에 수집하였다. 시안화물은 Gettler와 Goldbaum이 제안한 방법과 Guatelli와 Ballantyne이 개정한 마이크로 확산 기법에 따라 분석을 사용하였고, %COHb의 경우에는 마이크로 확산 방법을 사용하여 분석하였다. 또한 독성과 관련이 있는 그 밖의 성분은 GC-헤드스페이스 방법으로 조사하였고, 남용성 약물과 기타 산성, 중성 및 염기성 약물 박막 크로마토그래피로 조사하였다. 혈액 중의 %COHb와 HCN 함량 사이의 통계적 관계를 결정하기 위하여 Pearson x 2 시험이 수행되었다.

35명의 화재 희생자의 COHb 및 HCN 농도 구간에 대한 빈도 분포가 그림 3 에나타난다. 분석 결과 남용성 약물과 같이 독물학과 관련이 있는 다른 성분은 35명의 희생자의 샘플에 존재하지 않았다.

	%COHb			
	0–5	5–10	10–15	15–20
HCN (mg/l)				
0–2	5.5	0	2.9	0
2–4	14.3	34.2	8.6	2.9
4–6	8.6	8.6	8.6	0
6–8	2.9	2.9	0	0

그림 3 혈액에서 여러 가지 수준의
카르복시헤모글로빈과 시안화물을 갖는 희생자의
비율(%)

연구 결과 치사 수준의 시안화물과 함께 낮은 수준의 COHb가 포함되어 있었으며 대부분의 경우에 HCN의 수준은 치명적이거나 유독성이며, 화재가스에서의 HCN이 매우 위험함을 시사한다. COHb 평형 수준은 HCN이 존재할 때 감소되는 것으로 나타났으며 HCN이 존재하는 화재에서 사망하는 사람들의 COHb 수준은 낮은(<50%)것으로 나타났다.

COHb/HCN의 평균은 2.72±1.26로 나타나고 있다. 하지만 다른 논문의 경우 다른 해석 결과를 도출하고 있다. First pass phenomenon of inhaled gas in the fire victims에서는 HCN 수준과 COHb 수준 사이에 긍정적인 상관관계있는 것으로 보았으나 Carbon monoxide and cyanide inhalation와 Cyanide in blood by gas chromato-graphy with NP detector and acetonitrile as internal standard. Application on air accident fire victims에서는 HCN 수준과 COHb 수준의 상관관계를 발견하지 못한 것으로 판단하였다. 이 연구에서는 이러한 결정값 중 어느 것도 생략해서는 안 된다는 것을 제안하였다.

각 변수(혈액의 %COHb와 HCN)의 기여도를 평가하고 사망 원인을 밝히기 위해서 다음과 같이 두 가지 치사성 지수(LI: lethality index)가 정의되었으며 다음 식 1과 같다.

$$\text{식 1. } \cdots\cdots \quad LI_{CO} = \frac{COHb - x}{x}$$

COHb : 희생자의 혈액에 있는 카르복시헤모글로빈의 백분율

x : 50%

식 1을 분석하면 LICO가 0이라면 샘플의 COHb는 50%이고, LICO가 0보다 크다면 COHb는 50%보다 높으며, LICO가 0보다 작으면 COHb는 50% 미만이 된다. 또한 50-60%를 넘는 포화 수준은 치명적인 경우가 많기 때문에 식 1에서의 LICO 정의에는 50%의 COHb 수준이 선택되었다.

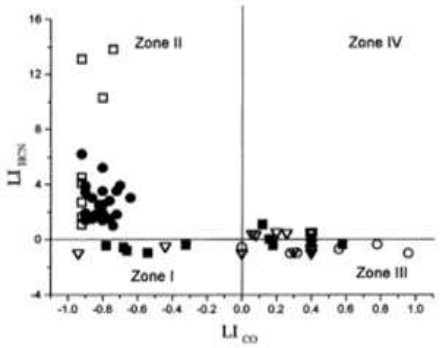
각 변수(혈액의 %COHb와 HCN)의 기여도를 평가하고 사망 원인을 밝히기 위해서 다음과 같이 두 가지 치사성 지수(LI: lethality index)가 정의되었으며 이를 식 2에 나타내었다.

$$\text{식 2. } \cdots\cdots \quad LI_{CNH} = \frac{HCN - y}{y}$$

HCN : 혈액에 있는 시안화물의 수준

y : 1 mg/l

식 2에 따르면 LIHCN = 0이라면 샘플의 HCN은 1 mg/l이다. 0을 넘는 LIHCN은 HCN > 1 mg/l에 해당한다. 1 mg/l보다 높은 혈중 시안화물 수준은 치명적인 사례와 관련이 있다.



구역 I	혈액의 COHb와 HCN이 치명 수준 이하인 개인들.
구역 II	주로 HCN 때문에 사망한 개인들.
구역 III	주로 CO 때문에 사망한 개인들.
구역 IV	두 가스가 모두 사망 원인에 관련될 수 있음.

그림 4 앞에서 정의한 구역에서 설명한 이 연구 및 다른 저자들의 데이터에 대한 치사 지수(LI: lethality index)의 도표. 본 연구. Zamecnik와 Tam. Repetto와 Martinez, Ishii 등 Lundquist 등

그림 4에서 이 연구에서의 결과(검은 점 기호)는 주로 구역 II에 있었으며, 이는 HCN이 주요 사망 원인이라는 것을 나타내며 화재 발생과 사망 사이의 짧은 경과 시간(3-5 min)과 함께 이러한 발견 사항은 해당 구역을 탈출하는 데 걸린 혹시 있을 수도 있는 불필요한 지연을 사망의 원인으로 돌릴 수 없다는 것을 나타낸다.

(2) 결론

도표에 있는 다양한 특성을 이용하여 LI의 측면에서 새로운 데이터를 분석하고 가장 가능성이 높은 사망 원인을 추론할 수 있다. 또한 LI = 0을 정의하기 위하여 50%의 COHb와 1 mg/ml의 HCN을 치사값으로 제안하지만 이러한 값은 데이터를 추가로 이용할 수 있는 한 변경될 수 있다.

화재 희생자의 경우에 이 종류의 도표를 이용하여 화재 대기의 구성을 거슬러 올라가 추론할 수 있을 뿐만 아니라 치사 지수의 계산을 통하여 방법론적 기준을 만들 수도 있을 것으로 판단되었다.

2. 다구치 방법

- **본 연구를 위한 실험계획 및 실험분석을 위해 다구치 방법을 활용**하고자 한다.
- 다구치 방법은 고품질의 제품을 낮은 Cost와 빠른 납기를 이루기 위한 R&D단계에서의 생산성 향상을 위한 Engineering Method이다. 여기서 발전된 강건설계(Robust Design)은 다구치 방법의 발전된 형태로서 고객의 다양한 사용조건하에서도 제품의 수명기간동안 제 기능을 발휘할 수 있도록 설계하는 것이다. 제품을 하나의 엔지니어링 시스템으로 간주하여 각각의 기본기능을 가진 하부시스템으로 나누고 이 기본기능에 적합한 이상기능(Ideal Function)을 찾아서 문제를 근본적으로 해결하려는 접근방법을 채택하고 있

어 제품개발에서 뿐만 아니라 제품개발에 필요한 신기술 개발에 효과적이며, 또한 제품의 생산공정의 설계나 개선에 활용하여도 효과적이다. **다구치 방법을 적용하여 효과적인 실험계획 및 분석에 적용**한다.

- 다구치 방법에서 품질이란 '제품이 출하된 때부터 사회에 끼치는 손실'이라고 정의한다. 소비자의 사용상 요구가 만족되지 못하거나 제품이 이상적인 성능을 발휘하기 못하는 것이 손실의 예로 이 손실의 원인으로는 성능특성이 목표치 또는 이상치(理想値)로부터 산포하기 때문이다. 그래서 종래의 개념으로는 그림 5의 기존의 손실함수와 같이 어떤 품질특성이 규격 또는 허용차 한계 내에만 있으면 양품으로 간주되었고 어떤 손실도 발생부터 못할 것으로 생각했으며, 규격의 상한선 또는 하한선을 넘을 때 비로소 손실이 발생되는 것으로 여겨져 왔다. 그러나 다구치 방법에서는 그림 6과 같이 비록 품질특성치가 소비자 규격 내에 부합된다고 하더라도 목표치에서 벗어남에 따라 어느 정도의 손실이 발생한다고 본다.

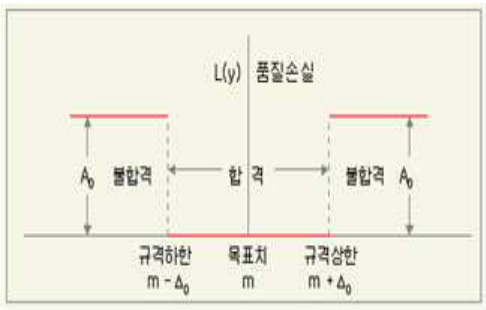


그림 5 기존의 손실함수

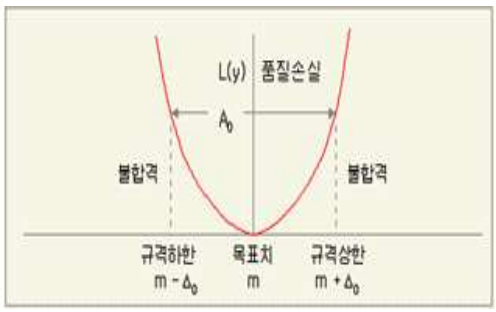


그림 6 다구치 손실함수

- 그래서 품질관리는 제품(또는 공정)의 모든 파라미터 값이 이상적인 값을 가질 때 제품의 성능이 가장 좋게 된다. 다구치는 제품(또는 공정)의 파라미터에 목표값과 허용차를 정하는 3단계 절차를 제시하였는데 이것은 시스템 설계(System Design), 파라미터 설계(Parameter Design) 그리고 허용차 설계(Tolerance Design)의 3단계이다.

- 파라미터설계에서는 각 설계요인들의 최적수준조합을 찾기 위해서는 체계적인 실험이 수행되어야 한다. 이를 위하여 **일반적인 실험계획법을 사용할 수 있으나 인자 수와 수준 수의 증가에 따라 필요한 실험수가 지나치게 많아질 수 있으므로 다구치는 적은 실험 수로 주요한 결과를 얻을 수 있는 직교배열표(orthogonal array)에 의한 실험을 제안**하고 있다. 제품의 품질이나 생산성을 향상시키거나 불량률을 감소시키고자 하는 실험에서 일반적으로 고려해야 할 인자수는 매우 많다. 인자 수가 많은 경우에 주효과와 기술적으로 보아 있을 것 같은 2 인자 교호작용을 우선적으로 검출하고, 과

거의 경험 등으로 미루어 보아 없으리라 예상되는 2 인자 교호작용 및 3차 이상 고차의 교호작용을 배제하여 실험횟수를 줄여 실험계획을 수립할 수 있도록 만들어 놓은 표가 직교배열표이다. 직교배열표는 각 인자의 수준이 2개인 경우와 수준이 3개인 경우가 가장 많이 사용되고 있다. 수준이 2개인 직교배열표는 일반적으로 $L2^m\,(m=2,3,...)$으로 나타내는데 여기서 2^m은 행의 수이자 실험 수를 나타내며, 배치가능한 최대 인자 수, 즉 직교배열표상에서의 열의 수는 2^m-1개가 된다. 예를 들어 표 3의 L4는 4가지의 실험을 하며 3개의 열을 갖고 있는 직교배열표를 의미한다. 한편 수준이 3개인 직교배열표는 일반적으로 $L3^m\,(m=2,3,...)$으로 나타내는데 이 경우 실험수가 3^m가지이며 열의 수는 $(3^m-1)/2$개이다. 예를 들어 L9는 실험수가 9가지이며 열의 수는 4개인 직교배열표를 의미한다.

표 10 L4 직교배열표

실험번호	열번호		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0
기본표시	a	b	ab

직교배열표를 사용할 때 얻을 수 있는 이점으로는 많은 요인을 취급하므로 선택될 수 있는 인자가 많아서 보다 바람직한 최적해를 발견할 수 있다는 것이 가장 중요하다. 또한 많은 인자를 동시에 취급하여 여러 조건하에서 실험함으로써 다른 인자 조건의 여하에도 불구하고, 일관된 효과를 가지고 있는 것만이 분산분석에서 유의한 것으로 검정되어 신뢰성이 높다. 또한 많은 인자를 간단히 배치하고 실험횟수를 줄일 수 있다.

- 교호작용이란, 어떤 인자의 수준(설정치)에 따라 다른 인자의 효과가 달라짐을 말한다.

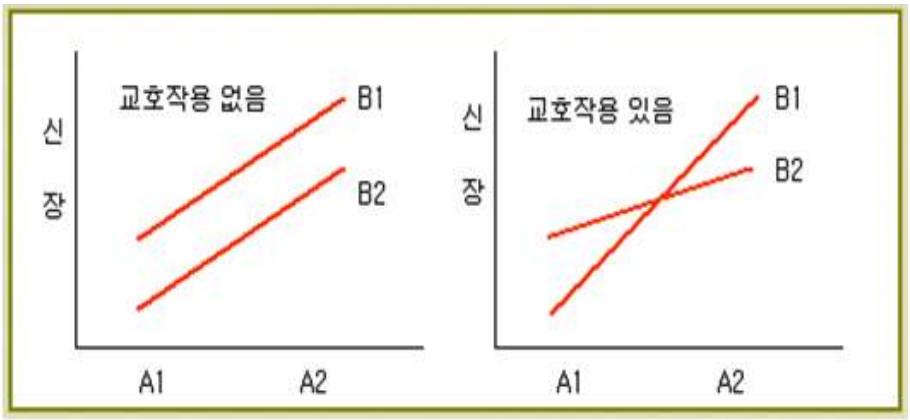


그림 7 인자의 조합에 따른 교호작용

플라스틱 온도에 의한 신장(伸張)을 최소로 하기 위해 첨가제 B1, B2의 효과를 확인하려는 경우, 첨가제 B1, B2에서의 신장을 온도 A1, A2에서 측정한다. 그림 7의 오른쪽 그림과 같이 온도 A1에서는 첨가제 B1이 신장이 작은데도, 온도 A2가 되면 첨가제 B2가 작아지는 경우 교호작용이 있다고 말한다(온도에 따라 첨가제의 효과가 달라짐). 왼쪽과 같이 평행이 되지 않는다면 교호작용이 있다는 것이고, 그 형태가 중요하다. 엄밀하게는 모든 측정값에서 완전한 평행선을 기대할 수는 없기 때문이다(기울기가 약간 다른 것은 교호작용이 없다고 보는 것이 실제적일 수 있다. 그런점에서 완전한 X표 형태는 교호작용이 매우 크다는 것을 의미한다). 교호작용이 있다는 것은, 평가한 조건에서는 최적해라도 다른 조건에서는 최적해가 되지 않는다. 교호작용이 있을 경우는 인자의 모든 조합을 실험하여 옳은 최적해가 구해진다. 그런데 인자의 수가 많아질 때는 조합의 수는 기하급수적으로 늘어난다. 이런 문제가 실험을 곤란케 하는 시발점이라고 할 수 있다.

- 교호작용이 없다고 판단되는 경우는 인자의 주효과만을 분석하려는 것으로 이때는 각 인자를 임의의 열에 배치할 수 있다. 한 예로 2수준 인자의 수가 7개 이하의 경우에 인자간의 교호작용이 존재하지 않는다고 판단되면 표 11와 같은 L8 표를 이용할 수 있다. 그러나 모든 열에 인자를 배치한다면 오차를 검출할 수 없으므로 통상 인자의 수가 6개 이하인 경우에 L8 표를 이용할 수 있다.

표 11 L8 직교배열표에서 교호작용을 고려하지 않은 실험계획

실험번호	열 번호							실험조건
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0	0	0	0	0	0	$A_0B_0C_0D_0F_0$
2	0	0	0	1	1	1	1	$A_0B_0C_0D_1F_1$
3	0	1	1	0	0	1	1	$A_0B_1C_1D_0F_0$
4	0	1	1	1	1	0	0	$A_0B_1C_1D_1F_1$
5	1	0	1	0	1	0	1	$A_1B_0C_1D_0F_1$
6	1	0	1	1	0	1	0	$A_1B_0C_1D_1F_0$
7	1	1	0	0	1	1	0	$A_1B_1C_0D_0F_1$
8	1	1	0	1	0	0	1	$A_1B_1C_0D_1F_0$
기본표시	**a**	**b**	**ab**	**c**	**ac**	**bc**	**abc**	
배치	A	B	C	D	F			

- 인자들의 교호작용을 고려하여야 하는 경우에는 인자수와 고려하는 교호작용을 더한 요인수를 바탕으로 직교배열표를 선정하여야 한다. 예를 들어 2수준 인자인 A, B, C, D를 고려할 때 교호작용이 없다고 판단되는 경우는 L8 직교배열표를 사용할 수 있다. 그러나 교호작용 A×B, A×C, A×D, B×C를 고려하여야 한다면 요인수가 8개가 되어 L8 직교배열표를 사용할 수 없다. 적절한 직교배열표가 선정된 후에는 직교배열표에 수록된 기본배치를 활용하여 각 요인을 열에 배치할 수 있다. 예를 들어 2수준 4인자(A, B, C, D)에 대하여 8회 실험만으로 다음의 요인을 검출하려 한다고 하자.

주효과 : A, B, C, D **교호작용 : A×B, A×C**

찾고자 하는 요인수가 6가지으므로 L8 표를 사용할 수 있다. 이 경우 인자 A, B가 각각 기본표시 a, b에 배치되면 교호작용 A×B는 반드시 기본표시 ab가 있는 열3에 배치하여야 하며, A, C가 각각 기본표시 a, c에 배치되면 교호작용 A×C는 반드시 ac가 있는 열5에 배치하여야 한다. 만약 어떤 이유로 1열에 A, 2열에 C를 배치한다면, 열3에는 A×C 요인을 배치하여야 할 것이다. 교호작용의 배치는 실험조건에 영향을 주지 않으며 결과 분석시 해당 교호작용의 영향을 추정하는데 사용된다. 표 12은 인자배치에 따른 실험조건을 보여주고 있다.

표 12 L8 직교배열표에서 교호작용을 고려한 실험계획

실험번호	열 번호							실험조건
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0	0	0	0	0	0	$A_0B_0C_0D_0$
2	0	0	0	1	1	1	1	$A_0B_0C_1D_1$
3	0	1	1	0	0	1	1	$A_0B_1C_0D_1$
4	0	1	1	1	1	0	0	$A_0B_1C_1D_0$
5	1	0	1	0	1	0	1	$A_1B_0C_0D_0$
6	1	0	1	1	0	1	0	$A_1B_0C_1D_1$
7	1	1	0	0	1	1	0	$A_1B_1C_0D_1$
8	1	1	0	1	0	0	1	$A_1B_1C_1D_0$
기본표시	**a**	**b**	**ab**	**c**	**ac**	**bc**	**abc**	
배치	A	B	A×B	C	A×C	D	E	

- 직교배열표 사용의 특징
  - 결과의 재현성이 높다 - 요인을 독립적으로 실험하는 것보다 조합하여 실험하는 편이 유리하다. 많은 인자를 동시에 취급하여 여러 조건하에서 실험하면 다른 인자조건의 여하에도 불구하고, 일관된 효과를 가지고 있는 것만이 분산분석에서 유의한 것으로 검정되어 신뢰성이 높다.

  - 많은 인자를 간단하게 배치하고 실험횟수가 적어도 된다.

표 13 필요 실험수의 비교 (*표 : 혼합계 직교표)

직교표	실험회수	처리인자수		조합실험에서 필요한 실험회수	
		2수준	3수준		
L_4	4	3		8	$=2^3$
L_8	8	7		128	$=2^7$
L_9	9		4	81	$=3^4$
L_{12*}	12	11		2,048	$=2^{11}$
L_{16}	16	15		32,768	$=2^{15}$
L_{18*}	18	1	7	4,374	$=2^1*3^7$
L_{27}	27		13	1,594,000	$=3^{13}$
L_{32}	32	31		2,147,000,000	$=2^{31}$
L_{36*}	36	11	12	1,088,000,000	$=2^{11}*3^{12}$
L_{54}	54	1	25	$1.69*10^{12}$	$=2^1*3^{25}$

조합실험(Full factorial)이란 모든 경우의 조합으로 실험하는 것이다. 품질공학에서 사용을 권장하는 L_{13} 직교표의 경우, 필요한 조합 실험 4,374회를 놀랍게도 18회로 대체할 수 있으며, 여기에서 구한 최적조건은 조합실험 4,374회의 최적조건에 해당한다. 표13 참조.

- 보다 **바람직한 최적조건의 결정**의 직교표 실험에서는 많은 요인을 취급하므로 선택될 수 있는 인자도 많아서 보다 바람직한 최적해를 발견할 가능성이 크다. 요인을 하나씩 연구하는 경우는 상당한 진척이 있으면 더 이상의 연구를 중단해 버리는 경우가 많다. 직교표 실험에서는 최후까지 모든 데이터를 취하지 않으면 최적해를 구할 수 없으므로 실험을 서둘러 종합적 판단을 내리게 된다.

- 여러 가지 인자의 조합조건으로 실험하므로 일반적으로 오차는 크다. 그러나 실험의 결론에는 문제가 없다. 오차가 크더라도 그를 상쇄하는 통계적 해석을 하게 되기 때문이다.

- 직교배열표에 의한 실험의 주의사항
  - 교호작용의 존재여부에 대한 주의(교락할 수 있는 가능성)
  - 실험이 복잡하므로 착오 유의
  - 결과가 기술적 해석과 상이할 경우에는 실험법, 해석법 및 고려하지 못한 교호작용과 그 교락에 주의

3. 연소가스 분석 방법

- 연소가스 등의 성분 및 농도 분석을 위해 국제적으로 널리 사용되고 있는 기술은 FT-IR방식이다. 일반적으로 가스수집 설비(배출덕트)로부터 채취한 연소가스를 가열된 샘플라인을 통하여 FT-IR 분광계의 가열된 적외선 흡수셀로 연속적으로 빨아들인다. 간섭된 적외선 빔이 가스흡수셀을 통해 유도되고 선택된 간격의 간섭계가 얻어지며 시험 후에 흡수 스펙트럼으로 변환된다. 가스들의 농도는 흡수 스펙트럼의 분석에 의해 계산된다. 연속적인 스펙트럼으로부터 가스의 농도-시간 관계를 평가할 수 있다. FT-IR은 적외선 흡수를 기초로 한다. FT-IR은 한 적외선 근원으로부터의 정상적인 방사를 간섭된 방사로 전환하여 간섭계를 파장범위의 전통적인 파장 스펙트럼으로 전환시킨다. 이 방법에서 스펙트럼은 파장수로 나타내는 방사의 함수로서 흡광도로 표현된다.

- 여기서 이용되는 분석 장비인 FT-IR은 적외선 분광법으로 정성 및 정량분석에 널리 응용되는 분석 장비로 그림 8와 같다. 이 장비는 적외선 분석법을 이용하는데 이 방법은 적외선을 흡수한 분자가 회전 운동의 결과로 쌍극자 모멘트의 알짜 변화를 일으켜서 진폭 변화를 유도하고 이를 측정하는 분석

법으로써 특정 분자가 특정 파장에서 흡수되고 이를 스펙트럼으로 나타낸다는 성질을 이용하는 것이 원리이다. 특정 파장의 스펙트럼은 Beer-Lambert law의 법칙에 의해서 흡수 스펙트럼을 나타내며, 흡수 스펙트럼(Absorption spectrum)의 계산식은 아래와 같이 계산된다.

$$A = \log_{10} \frac{I}{I_o} \qquad \cdots\cdots(1)$$

위의 식(1)과 같이 기준 스펙트럼(Io)과 흡수 되는 분자 스펙트럼(I)의 로그 계산 값은 흡수 스펙트럼 또는 AU라고 표기한다. 본 연구에 이용되는 적외선 분광법 중에서 퓨리에 변환 적외선 분광기 (FT-IR)는 정밀도와 정확도가 높은 인터페로그램인 퓨리에 변환 장치를 사용하는 기기로 구성되어있다. 이 적외선 분광기의 전체 주파수 대역은 7,000부터 400 cm^{-1}에서 측정할 수 있으며 이를 기초자료로 이용하여 연소가스의 정성·정량 분석을 실시한다.



그림 8 FT-IR
(Fourier transform infrared spectroscopy)

- 가스 분석 시 교정 스펙트럼 또한 결과의 신뢰성을 위해 매우 중요한 요소이다. 이를 위해 농도를 알고 있는 가스 혼합물을 교정에서 기준 가스로 이용하며, 정확성이 필요하다. 혼합 가스는 질소에 하나 또는 두 개의 가스를 혼합하여 구성된 것을 사용하지만, 매우 잘 규정된 화재 시나리오에 포함된 화재 가스의 교정 스펙트럼을 얻어서 사용할 수도 있다.

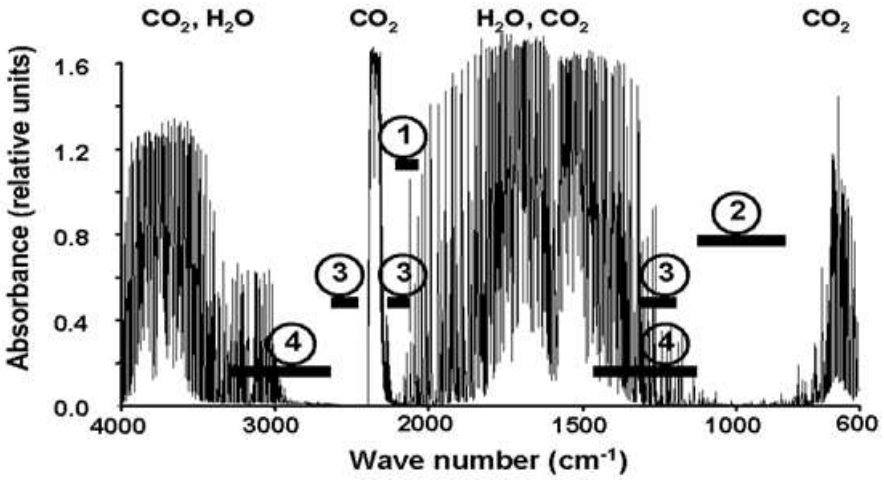


그림 9 화재발생가스 스펙트럼(예)

- 분석과 교정 모델에서 발달된 방법에서 정의할 수 있는 단일 변량(피크 높이, 피크 면적) 또는 다변량(1. 다중선형회귀(multiple linear regression), 최소제곱(Classical Least Squares), 능형회귀(Ridged Regression) 등. 이런 방법은 기준 농도의 함수에 대한 교정점의 몇몇 파장의 동시 이용을 포함한다. 2. 부분최소제곱회귀(Partial least Squares regression) 3. 함축적인 비선형잠재회귀(Non-Linear Latent Regression) 4. 목표인자분석(Target factor analysis))으로 나눌 수 있다. 선박, 고속철 및 항공분야에서는 화재시 발생하는 유독가스에 대하여 동물시험을 하지 않고, 기기분석을 통하여 가스유해성시험을 시행하고 있으나 건축재료에 대한 연소유해성평가에는 적용되고 있지 않다.(그림 9 참조)
- 특정 물질에서 나오는 연소생성물의 독성 효능은 실험을 통해 질량손실 항으로 표현할 경우, 해당 데이터는 배출되는 총 연소생성물의 혼합물 독성효과와 함수관계를 가진다. 화재에서 특정 물질의 독성 효능을 추정하는 데 있어서 가장 어려운 점은 독성생성물의 발생비율이 분해 조건에 따라 큰 차이를 보이기 때문이다. 이 분해조건은 화재의 유형 및 단계에 따라 크게 달라지는데 소규모 화재에서 배출되는 생성물의 독성효능에 대한 추정 값으로 실물규모 화재의 시험데이터를 유추할 경우, 시험의 분해조건이 모델링 대상 실물규모 화재실험과 동일한 유형을 가진다는 것을 입증하는 것이 중요하다.
- 이를 극복하기 위하여 여러 가지 독성지수가 개발되었고 이를 이용하면 소규모 화재 실험 데이터를 이용하여 실규모 화재 실험의 데이터를 유추할 수 있는 것이 가능하다. 독성지수를 이용할 때의 장점은 다음과 같다.

  ✓ 소규모 시험에서 화학적 분위기 분석과 동물 노출을 모두 활용해 특정

물질을 시험할 경우에는 연소생성물의 독성이 일반 독성가스로 설명될 수 있는 정도 혹은 추가 독성물질의 존재여부를 판별할 수 있다.

- ✓ 일반 독성가스로 독성효과를 거의 완전히 설명할 수 있을 경우 동물 노출 실험을 수행하지 않고, 해당 가스를 측정해 실물규모 화재 시험의 독성효과를 확실하게 예측할 수 있다.
- ✓ 분석적 데이터를 바탕으로 소규모 시험에서 독성지수를 추정할 경우나 동물을 이용해 해당 수치를 측정할 경우 화재 중의 질량손실률 및 생성물의 분산만으로 실물규모 화재의 독성효능을 추정할 수 있다.
- ✓ 실물규모 시험으로부터 분석적 데이터를 활용할 수 있을 경우 해당 데이터를 통해 관련 물질의 독성효능을 추정할 수 있다.
- ✓ 소규모 시험을 실시함으로써 실험을 위한 시간, 경제적 비용을 절감할 수 있다.
- ✓ 전체 연기의 독성을 측정할 수 있기 때문에 연소가스의 독성데이터 신뢰도를 확보할 수 있다.

- 다음과 같은 실제 사례가 영국의 FRS에서 제시된 바 있다.

  NABS 컵 가열로 내의 화염조건 하에서 미송 표본이 분해시킨 경우, 쥐의 30분 노출에 대한 시간가중 사망 농도는 $1194g \cdot m^{-3} \cdot \min$이었다. 해당시험에서 농도는 3,400ppm이었고, CO_2농도는 3.71%였으며, CO_2/CO 비는11/1이었다. 이를 독성지수로 환산하면 사망에 이르는 농도로 유추된다. 이 시험에서는 CO 및 CO_2를 통해 독성 효능을 완전히 설명할 수 있으며 자극성 물질 및 기타 독성 생성물은 사망에 거의 기여하지 않았다.

  이를 기초로 동일한 유형의 실물규모 시험을 실시하였다. 26㎥의 방 안에서 5kg의 미송을 연소시켰고 결과를 비교한 결과 발생량은 다르게 측정되었으나 독성지수로 환산하면 유사한 값을 보였다.

- 선진국, 특히 미국을 중심으로 다양한 독성물질 정보 DB들이 운영되고 있다. 많은 양의 정보가 포함되어 있으며 대개 전문가 그룹의 감수를 통해 자료를 제공하고 있다.
- 화재로부터 거주자들의 피난과 관련된 시나리오에 대해 생존 여부는 화재로부터 발생하는 위험 발달과정과 거주자의 탈출과정이 동시에 진행됨에 따라 결정된다. 이러한 평가 기법은 가용한 데이터에 따라 계산한다. 그 식은 아래의 식2, 3, 4와 같다.

$$F_{IN} = [(F_{ICO} + F_{ICN} + FLD_{irr}) \times VCO_2 + FED_{IO}] \text{ or } F_{ICO_2} \quad \cdots\cdots (2)$$

식2. 질식성 가스의 무력화 복용분량 예측 모델

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2}\left(\frac{1}{t_{Irad}} + \frac{1}{t_{ICONV}}\right)\triangle t \qquad \cdots\cdots (3)$$

식3. 열 노출에 의한 무력화 소요시간 예측 모델

$$N_{Gas} = \frac{m[CO]}{[CO_2]-b} + \frac{20.9-[O_2]}{20.9-LC_{50}(O_2)} + \left(\frac{[HCN]}{LC_{50}(HCN)} \times \frac{9.4[NO_2]}{LC_{50}(NO_2)}\right) \cdots\cdots (4)$$
$$+ 0.4\left(\frac{[NO_2]}{LC_{50}(NO_2)} + \frac{[HCl]}{LC_{50}(HCl)} + \frac{[HBr]}{LC_{50}(HBr)}\right.$$

식4. 혼합가스 노출의 위험도 예측 모델

4. ISO, NFPA, ASTM, IMO KS등 관련 국제 기준에 따른 연구 방법

연소생성물을 발생시키고 그 독성을 평가하기위한 화재모델로서 KS F ISO/TR 9122-4에 제시된 다음과 같은 화재모델을 조사한다.

가. 화재 모델

(1)피츠버그대학교 시험방식

이 방식에서도 정적인 방식으로 원통형 가열로에서 표본을 가열한다(초기 형태의 경우에는 관형가열로 사용). 그러나 이 경우에는 표본 상의 공기의 흐름을 유지한 뒤, 동물(생쥐) 노출용 체임버를 통과하기 전에 희석공기와 혼합한다. 이러한 방식으로 동적 기류조건 하에서 30분의 노출기간 동안 형성되는 신선한 생성물이 동물에게 지속적으로 전달된다. 이 방식의 독특한 특성으로, 표본의 온도가 일정하게 유지되지 않고 경사형 온도변화곡선에 의해 가열되면서 20℃/min의 속도로 온도가 상승하게 된다. 동물 노출이 시작되면서 표본의 분해가 시작되고 부하 전지에 표시되는 바와 같이 중량 손실이 진행된다. NBS 방식의 경우와 마찬가지로 생쥐를 두부만 노출시킨다. 피츠버그대학 시험방식의 경우에는 30분의 동물 노출기간 내내 분위기 조성이 지속적으로 변화하며, 특정 단계에서 비화염에서 화염 상태로 변화하는 것이 보통이다. 분해생성물의 농도변화는 가열로 내부에 놓인 물질의 온도를 변화시킴으로써 이루어진다(단, 희석공기의 흐름을 바꿈으로 변화시킬 수도 있을 것으로 판단됨). 시험 진행기간 내내 동물이 노출되는 생성물 변화곡선을 측정하고, (주로 호흡 양상의 기록을 통해) 질식이나 자극 반응과 같은 독성효과를 감시할 수도 있다.

(2)NBS(미국표준국) 시험방식

가장 간단한 형태로 밀폐상태의 직사각형 PMMA 체임버(체적 200L)와 한

쪽 끝에 설치된 컵 가열로(Cup Furnace)로 구성된다. 시험용 동물은 코만 노출시킨 상태에서 구속용 관에 배치해 시험용 체임버의 한 쪽 면에 끼워 넣는다. 노출은 실험은 해당 표본의 발화온도보다 25℃ 낮은 비화염조건 및 발화온도 보다 25℃ 높은 화염조건 하에서 수행했다. 이미 정 위치에 동물을 배치해 놓은 상태에서 예열 상태의 컵 안에 표본을 넣고, 이들을 체임버 내부 분위기에 30분간 노출시킨다. 이 시험의 경우에는 초기에 표본이 분해함에 따라 상자 내의 분해의 경우에 표가 증가하는 기간이 존재하며, 나머지 노출기간 동안 분위기 조성이 비교적 일정하게 유지되는 기간이 형성된다. 표본 상부에 강제기류가 존재하지 않고 체임버에 환기가 일어나지 않는다는 측면에서 이 유형의 방식을 Static방식이라고 한다.

(3)독일식 DIN 53436 시험방식

이 방식은 미국 및 유럽에서 널리 사용되고 있다. 이 방식은 완전 동적인 설비를 적용하고 있다. 즉, 시험기간 내내 신선한 물질을 일정한 속도로 분해시키며 동물에게 지속적으로 신선한 분위기를 공급한다. 이 방식은 쥐, 생쥐, 그리고 영장류 등에 사용된다(주로 사용되는 시험용 동물은 쥐). 이 방식에서는 스트립 형태의 시험물질을 공기(열분해 연구의 경우 질소)가 흐르는 실리카 관 안에 배치한 뒤, 관 외부를 따라 일정한 속도로 이동형 환상 가열로를 움직임으로써 지속적으로 표본을 분해시킨다. 실리카 관으로부터 생성물이 밀려 나가고 곧 이어 희석공기와 혼합된 뒤 30분 간 동물 노출용 체임버를 통과하게 된다. 시험용 쥐는 다른 방식의 경우와 마찬가지로 머리만을 노출시킨다. 표본의 중량 및 체적, 표본에 대한 1차 급기, 희석공기, 분해속도, 그리고 노출용 체임버 내의 생성물 농도를 측정한다.

많은 화재모델이 유용한 것으로 여겨지지만, 이 중 몇 가지, 예를 들면 화학적 분석을 통한 열방출률을 측정하는 OSU 장치는 대부분의 관련 기준을 만족시키지만 동물 시험에는 적합하지 않다. 또한 NES 713 화재모델은 대부분의 관련 기준을 만족시키지 않아서 영국 국가 표준 기구에 의해서 사용을 권장하지 않는다. 모든 기준을 만족시키는 모델은 없다. 그러나 적어도 부분적으로는 대부분의 요건을 만족시키는 화재모델의 형태를 아래에서 기술한다.

나. 화재 모델의 선택

정의에 의하면 모델은 대용적이다. 어떤 모델의 정확성은 시뮬레이션 되었을 때 얼마나 그것이 실제 상황에 근접하는가 하는 것이다. 모델의 정확한 사용은 사용자가 얼마나 모델을 잘 이해하는가와 정확도 한계에 좌우된다. 따라서 유용한 모델의 선택은 올바른 사용과 정확성에 대한 모델의 한계점을 평가하는데 훈

련이 된다. 화재 모델에 대한 적합성과 유효성에 대한 논쟁은 계속되어왔다. 그 논쟁에 참여한 사람들은 모델이 실제 규모의 화재의 사실성에서 동떨어진 모델에 대한 정도나 모델의 잘못된 사용으로 실제 화재에 관련되었을 때의 제품의 위험에 관해 부적절한 결정을 이끌어 낼 수 있는 모델은 없다. 더욱이 실제 화재를 대표할 수 있는 현재 우월하게 유용한 모델에 대한 의견의 일치도 없다. 그래서 적절한 화재 모델을 선택하는 방법은 화재 단계와 관심 있는 조건을 나타내는 데 알려진 한계의 범위를 비교하면서 찾아야 한다. 어떠한 화재 생성물 분위기의 독성 효과는 화재 모델의 조건에 관련된다. 따라서 화재의 어떠한 단계의 화재가 관련되었는지를 명확하게 해야 한다. 화재모델에 따른 국제 규격과 그에 맞는 시료 조건 및 시험 특성은 다음과 같다.

표 14 화재 모델별 시험조건

명칭	시료 조건	가열 조건	산소 유량	가열시간
ISO 5659 Smoke Density Chamber	75mm × 75mm × 25mm(최대)	40MJ/㎥(115 0℃±50℃)	STATIC	30분
ISO 5660 Cone Calorimeter	100x100mm	10~70kW/㎡	DYNAMIC	15~30분
BS 6853 Smoke Density Chamber	75mm × 75mm × 25mm(최대)	40MJ/㎥(115 0℃±50℃)	STATIC	30분
NES 713 Smoke Density Chamber	100g	40MJ/㎥(115 0℃±50℃)	STATIC	30분
NES711 Smoke Density Chamber	75mm × 75mm × 25mm(최대)	40MJ/㎥(115 0℃±50℃)	STATIC	20분
NFPA269	76mm × 127mm이하, 두께 50mm	50kW/㎡	STATIC	15분

(1) ISO 5659-2, Plastics - Smoke Generation - Part 2 :Determination of Optical Density by a Single Chamber Test, ISO (2002).

Conical Heater의 복사열에 의한 시험시편의 형상 등을 측정 및 관찰가능한 장비로서 착화시간, 질량 감소율 등을 측정 가능한 장비이다. 지면으로부터 수평인 시험편이 사용자의 결정(10 ~ 70 kW/㎡) 에 의한 복사열을 받아 생성된 정적인 연기(Static Smoke)를 일정한 부피(914㎜×610㎜×914㎜)의 chamber내에서 시험시편의 착화시간(Ignition Time), 질량감소율(Mass Loss

Rate), 복사열에 따른 시험시편의 형상 등을 측정 및 관찰 할 수 있는 장비이다. 현재 이 시험방법은 국내의 철도차량 내장재, 저전력 난연 케이블, 인테리어 필름 등에 사용되고 있다.

시험 장치는 공기의 누설이 없는 챔버에 시험편 지지대, 콘 방열기, 광투과율 측정기, 작동조건 보조 장치 및 데이터수집 및 분석 시스템들로 구성되어 있다. 연소 챔버의 구조는 그림 10과 같다.

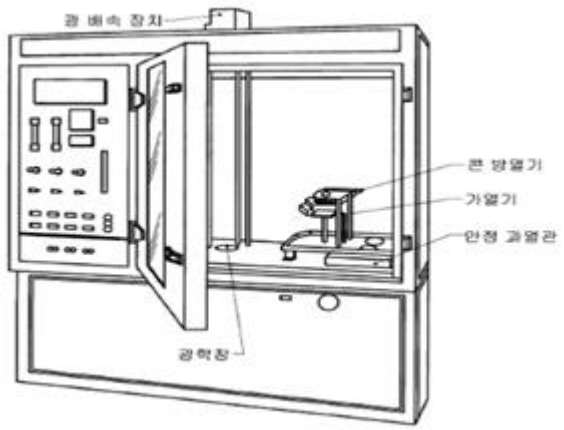


그림 10 Smoke Density Chamber

ISO 5659는 두께가 25 mm 이하인 평평한 재료나 복합 재료, 조립재 등의 시험편을 수평으로 놓고 밀폐된 공간에서 점화불꽃을 사용하거나 사용하지 않은 상태로 규정된 방사열에 노출하였을 때 시험편의 노출면으로부터 발생하는 연기를 측정하는 시험 방법이다.

(2) ISO 5660 "Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)", ISO (2002)

KS F ISO/TR 9122-4 “화재 생성물의 독성시험 - 화재모델”에서 화재생성물의 독성연구에 사용되는 여러 가지의 화재 모델(시험실 연소 장치)을 제시하고 있는데 이 중에서 콘 칼로리미터 모델은 그림 11, 표 15와 같은 구조를 가진다.

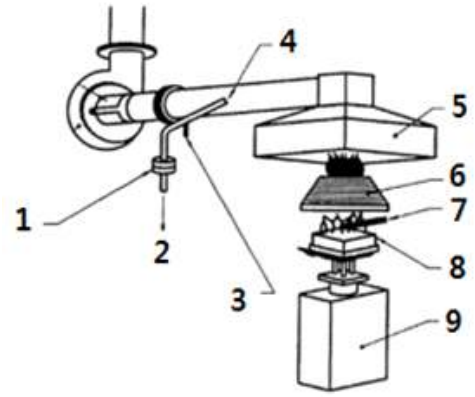


그림 11 Cone calorimeter Model

표 15 Cone Calorimeter 의 구성

기호	명칭
1	매연 수집 필터
2	조절된 유량
3	가스 샘플
4	매연 샘플 튜브 위치
5	배출 후드
6	콘 히터
7	불꽃 발화 장치
8	시료
9	로드셀

Conical Heater로 시료를 가열한 후 전기스파크에 의하여 점화시키는 화재모델로 본 연구에서는 연소하는 시료가 공기에 노출되어있어 공기유량이 높다는 특징을 가지고 있는 콘 칼로리미터 모델을 채택하여 실험하였다.

콘칼로리미터 화재모델은 공기 중에서 연소하는 시료의 연소가스를 실시간으로 분석하기 때문에 연소의 단계별 농도변화를 살펴볼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 SDC 챔버 화재모델은 밀폐된 공간에서 시료의 연소가 종료한 이후에 배출되는 연소가스를 분석하기 때문에 화재의 단계별 연소가스를 분석할 수 없다는 특징을 가지고 있다.

(3) BS 6853 Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains(1999)

BS 6853은 British Standard 영국표준규격으로 특히 화재 발생 시 연기독성에 관한 영국규격이다. 철도차량의 객차 등의 차체구조 및 외장재, 실내설비 등의 화재성능기준은 '철도차량안전 기준에 관한 지침'에서 정의되고 별도의 세부기준으로 화재성능을 확보하도록 하고 있으며, 특히 연소 독성을 평가하기 위하여 독성지수의 기준을 두고 있다. 독성지수(R)는 시료의 연소 시 발생된 주요 가스(CO_2, CO, HF, HCl, HBr, HCN, NO_2, SO_2)의 농도를 기준 값과 비교한 지수를 말하며 시험방법은 BS 6853 Annex B.1 또는 BS 6853 Annex B.2 방법에 의한다.

(4) NES 713, Determination of the toxicity index of the products of combustion from small speciments of materials. issue 03, (1985)

NES 713은 Naval Engineering Standard 713으로 영국해군 기준이다. 버너에 의해 완전연소가 일어났을 때 Chamber 내 독성지수(Toxicity Index)를 ppm 단위로 측정하는 방법이다. 독성평가 방법으로는 측정된 가스의 농도를 기준에서 제시하는 식에 넣어 CΘ를 계산한다. 이 CΘ를 NES 713에서 정하는

Toxicity Concentrations에 적용하여 계산하여 Cf를 구하여 인체에 독성평가를 진행한다. 버너에 의해 완전연소가 일어났을 때 Chamber 내 독성지수(Toxicity Index)를 ppm 단위로 측정하는 시험규격(100g/㎥ 기준)으로 아래와 같은 시험기준에 따른다.

(가) 시험 환경

온도 : 23℃±3℃, 습도 : 50%±5%

가열시간 : 30분

가열강도 : 40MJ/㎥(1150℃±50℃)

시험체 : 100g

측정가스 : CO, CO_2, O_2, NOx, SO_2, HCN, HCl, NH3, HF, HBr, HCHO, CH2CHCN



가) 그림 12 SDC 챔버

(5) NES 711 (Naval Engineering Standard)

(가) 시험 환경

온도 : 23℃±2℃, 습도 : 50%±5%

가열시간 : 20분

가열강도 : 40MJ/㎥(1150℃±50℃)

시험체 : 75mm × 75mm × 25mm(최대)
0.04두께의 알루미늄 호일로 오버 래핑함.

(나) Smoke index의 계산
- 특정 밀도

$$(DS) = 132(\log\frac{100}{t}) \quad \cdots\cdots (5)$$

Tmin-최소 투과율(시험 기간 동안 획득된)
t = % 투과율

(다) Smoke index
① 최소투과율이 70%이상 일 때

$$\text{Smoke Index} = \frac{Ds^{at}Tmin}{t_{\min}} \quad \cdots\cdots (6)$$

② 최초투과율이 70%보다 낮을 때

$$\text{Smoke Index} = \frac{D_s{}^{at}T_{70}}{t_{70}} + \frac{D_s{}^{at}T_{40}}{t_{40}} + \frac{D_s{}^{at}T_{10}}{t_{10}} \quad \cdots\cdots (7)$$

Ds at T70 = 투과율이 70%일 때 Ds
Ds at T40 = 투과율이 40%일 때 Ds
t70 = 시작시간으로부터 투과율이 70%일 때의 시간
t40 = 시작시간으로부터 투과율이 74%일 때의 시간

(7) NFPA 269, Standard Test Method for Developing Toxic Potency Data for Use in Fire Hazard Modeling(1996)

(가) 요약
독성위험 모델링을 위한 데이터의 개발에 대한 표준시험방법

(나) 시험 환경
온도 : 23℃±3℃, 습도 : 50%±10%
가열시간 : 15분
가열강도 : 50kW/㎡

시험체 : 76mm × 127mm이하, 두께 50mm
연기수집 : 30분(200L 체임버) → Ct 생성량-30분 측정
시험동물 : 225~350 g의 3~4개월의 숫쥐

다. 국내·외 연소가스 측정 방법 기준

(1) ISO 9122-3 “Toxicity testing of fire effluents - Part 3: Methods for the analysis of gases and vapours in fire effluents”

(가) 가스 크로마토그래피

가스 크로마토그래피는 연소 가스 중의 일산화탄소를 분석하는 이상적인 회분식 방법이다. 500ppm~10%의 농도에서는 열전도도 검출법을 이용한 직접적인 크로마토그래피가 사용된다. 50~500ppm 농도에서는 불꽃 이온화 검출법을 위해 일산화탄소를 메탄으로 감소시킨다. 분석은 실험에 적합한 조작의 교정 범위 이내에서 수행하여야 한다. 이 교정범위는 “미지 시료”가스 농도를 내삽할 수 있도록 하기 위해서 농도를 알고 있는 순수한 가스에 대해 최소 3범위 이상을 포함하도록 설정한다. 만일 선형 내삽이 어려울 경우에는 최소 5지점 이상의 개별적인 교정점에 의하여 교정곡선을 그릴 수 있다. 빈번한 주기로 전체 교정 범위를 설정할 필요는 없지만 규정된 범위에서 분석 장치가 작동하는 것을 확인하기 위한 정기적인 점검은 필요하다.

(나) 비분산형 적외선(NDIR)

비분산형 적외선을 바탕으로 한 측정은 두 가지 이상의 각기 다른 원자들로 구성된 기체, 증기 분자들은 적외선 영역에서 복사선을 흡수하고 독특한 흡수 스펙트럼을 갖는다는 점을 이용한다. 이용 가능한 대부분의 측정은 측정 범위의 제한이 있지만 0~100ppm에서부터 100%의 범위까지 포함되도록 여러 개의 단위를 결합하는 것이 가능하다. 연속 분석이 가능하고 측정 방법이 비파괴 적이므로 샘플 가스를 시험환경 조건으로 환원시킬 수도 있다.

다. 이온 선택성 전극(Ion Selective Electrode)

보고된 바에 따르면 시안화이온 전극은 0.03~260mg/L 영역의 시안화이온에 대해 민감도를 보인다. 그 측정 반복성은 전극보다 출력계에 더 좌우되는 것으로 보인다. 전극이 오염되었을 경우에는 반응이 느려지거나 잘못된 결과를 나타낼 수 있다. 전극의 반응시간은 또한 농도에 좌우된다. 낮은 농도는 평형에 이르는 데 더 오래 걸린다.

(다) 전자파분석

γ선과 같이 극히 짧은 파장이 전자파로부터 원적외선부에 이르는 모든 파장의 전자파의 발생 또는 흡수를 자동적으로 측정하여 화학분석을 하는 방법

으로서, 방사화 분석 · X선 분석 · 분광분석 · 불꽃분석 · 빛흡수분석 · 형광분석 · 라만분석 · 고주파분석 등이 이에 속한다.

위의 방법들을 이용하여 고체, 액체, 기체의 분석을 실시할 수 있으나 연소가스의 분석을 위해서는 기체분석기법이 필요하며 기체분석이 상용화된 기기로는 가스분석기가 있다. 가스 분석기에는 적외선 가스분석계, 가스검지관, 가스크로마토그래피 분석계, 광전광도계, 광전분광광도계, 일산화탄소 분석계, 이산화탄소 분석계, 저농도용 탄화수소 분석계 등이 있다.

(라) 가스검지관(gas detector tube)

가는 유리관 속에 가스 검지제를 붙인 것으로, 관의 한 끝에서 관 속에 가스를 흡인하면 가스의 성분이 검지제와 반응하여 변색하게 되는데 이를 이용하여 가스의 유해 성분을 검지하는 것을 말한다. 유해 성분의 농도는 변색한 길이로 아는 경우와 변색의 정도로부터 아는 경우가 있다. 정량 정도가 정확하지는 않지만 간편하므로 현장에서 많이 검지고 있다. 일산화탄소, 암모니아, 염소, 시안화수소 검지관등의 종류가 있다.

(마) 전기화학식 가스센서

산화반응이 일어나는 검지전극, 이것과 동시에 환원반응이 일어나는 대향전극 그리고 산화환원 반응과 함께 변화하는 전위를 감시하고 전위를 일정하게 유지하기 위한 참조전극으로 구성되어 있다.

전기화학식 센서의 핵심적 특징은 검지 대상 가스의 흐름을 검지전극으로 제한하는 확산장벽에 있다. 이 방법에 의해 모든 가스가 전극에서 산화 혹은 환원 반응을 일으킬 수 있다. 이 산화환원 반응에 의하여 발생하는 전류는 검지 전극 측의 가스농도에 대응하기 때문에 이 전류를 측정함으로 해서 가스를 검지할 수가 있다. 이 전류 신호와 독성 가스의 농도 사이에는 직선비례 관계가 성립한다.

이와 같이 전기화학식 가스센서는 산화환원 반응에 의하여 발생하는 에너지를 전기적인 에너지로 변환시키는 원리에 의하여 가스를 검지한다.

(2) ISO 19702 “Toxicity Testing of Fire Effluents - Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis”

이 방법은 비교적 근대에 이르러 완성된 방법이다. 푸리에 변환 적외선 분광분석기기(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR)는 간섭계를 사용하여 위상 변조한 적외선 영역의 백색광을 사용하는 적외선 분광기기의 한 종류로서, 시료에 적외선을 비추어서 쌍극자 모멘트가 변화하는 분자 골격의 진동과 회전에 대응하는 에너지의 흡수를 측정하는 분석법을 말한다. FT-IR

은 적외선 분광법으로 정성 및 정량분석에 널리 응용되는 분석 장비이다. FT-IR은 몇 가지 종류를 제외한 대부분의 가스를 정성, 정량 분석할 수 있으며, 이 분석이 실시간으로 가능하다는 장점을 가지고 있다. 측정 시간이 신속하여 짧은 시간 내에 여러 번 측정 반복 가능하여 반응 속도 측정에 유리하고, 측정 파수의 정밀도가 우수하다. 거울의 속도를 일정하게 유지시키면 분해능을 일정하게 유지 가능하며, 컴퓨터에 디지털 형식으로 기억하기 때문에 아날로그 오차가 발생하지 않는다. 또한 시간함수로 표현되는 결과를 가지기 때문에 다양한 종류의 화재 생성물을 연속적으로 모니터링 할 수 있고 분석을 실시한 이후에도 저장된 스펙트럼데이터로부터 새로운 정량 Method를 설정함으로써 재분석이 가능하여 데이터의 취급이 비교적 편리한 분석 장비이다.

이 장비는 적외선 분석법을 이용하는데 이러한 방법은 적외선을 흡수한 분자가 회전 운동의 결과로 쌍극자 모멘트의 알짜 변화를 일으켜서 진폭 변화를 유도하고 이를 측정하는 분석법으로써 특정 분자가 특정 파장에서 흡수되고 이를 스펙트럼으로 나타낸다는 성질을 이용하는 것이 원리이다. 특정 파장의 스펙트럼은 Beer - Lambert law에 법칙에 의해서 흡수 스펙트럼을 나타내는데, 복사선의 광자와 흡수 입자 사이의 상호 작용 결과 복사선의 세기는 I0에서 I로 감소하며, 흡수 스펙트럼(Absorption spectrum)의 계산식은 식(8)과 같이 계산된다.

$$A = \log_{10} \frac{I}{I_o} \qquad \cdots\cdots (8)$$

위의 식(18)과 같이 기준 스펙트럼(Io)과 흡수 되는 분자 스펙트럼(I)의 로그 계산 값은 흡수 스펙트럼 또는 AU라고 표기한다. 본 연구에서는 적외선 분광법 중에서 퓨리에 변환 적외선 분광기 (FT-IR)를 사용하며 이 퓨리에 변환 적외선 분광기는 정밀도와 정확도가 높은 인터페로그램인 퓨리에 변환장치를 사용하는 기기로 구성되어있다. IR Source로부터 발생한 적외선이 Beam Splitter에 의하여 50:50으로 나뉘어 한쪽은 이동 거울(Moving Mirror)로 이동한다. 빛이 각각의 거울에 반사될 때 이동거울에 의하여 한쪽의 빛이 다른 빛에 대하여 약간 어긋나게 되고 조합된 빛은 간섭형태로 시료를 통과하기 전에 나타난다. 시료에는 모든 파장의 빛이 동시에 조사되고 거울의 이동에 따른 시간별 간섭형태가 직선적으로 변화하는 속도에 따라 스캔된다. 시료에 의한 빛의 흡수는 인터페로그램(Interferogram)이라는 시간영역단위의 스펙트럼으로 나타나는데 이 스펙트럼의 전체 주파수 대역은 7,000부터 400 cm-1에서 측정할 수 있으며 이를 기초자료로 이용하여 연소가스의 정성·정량 분석을 실시한다.

광원에서 나온 복사선을 빛살 분할기에 쪼이면 빛의 절반은 반사해서 고정

거울로 가고 절반은 이동거울로 투과된다. 복사선은 거울에서 다시 반사되어 빛살 분할기쪽으로 모이고 경로차에 의해서 간섭하여 인터페로그램을 형성한다.

표준 가스의 스펙트럼을 수집할 때 FT-IR의 설정은 실험동안 설정된 값과 동일하게 한다. 일반적으로, 표준 가스 농도의 개수를 얻기 위해서는 서로 다른 농도의 표준 가스 2가지가 필요하다. 표준 가스에서 가장 중요한 것은 가능한 특별히 명시되지 않은 오염물은 없어야 하며 표준 가스의 농도가 정확해야 소급성을 확보함으로써 분석의 신뢰도를 높일 수 있다. 이 표준가스의 스펙트럼을 기초로 실험을 통하여 분석된 가스의 성분을 분석한다. 일반적으로 표준가스는 오염물이 없는 상태를 유지하기 위하여 대상 가스외의 나머지는 질소로 채워둔다.

실제 스펙트럼 데이터를 보면 모든 부분이 스펙트럼을 나타내는 것과 같이 보인다. 이는 전기적 노이즈에서 발생하는 것으로 기준점이 정확히 영점에 머물지 못하기 때문이다. 이러한 노이즈는 종종 농도가 낮기 때문에 작게 나타나는 스펙트럼과 혼동될 가능성을 가지고 있다. 이에 현재 분석화학학계에서는 노이즈와 스펙트럼을 다음과 같은 기준으로 나누고 있다.

- 주변의 노이즈와 비교하여 높이가 2배 이상일 것.
- 연속, 반복된 분석에서 동일한 위치에 스펙트럼이 반복적으로 존재할 것.

과거 노이즈와의 높이를 비교할 때의 기준은 3배 이상일 것이었다. 그러나 근래에 이르러 과학기술의 발전과 함께 분석기기의 전기적 안정도가 높아져 노이즈에 의한 방해를 많이 저감시킬 수 있게 되었으므로 기준이 현재와 같이 변경되었다.

본 연구에서는 분석기기의 측정 최소 단위인 분해능과 분석 가능한 가스의 종류를 감안하여 정확성, 신뢰성을 확보할 수 있는 FT-IR을 분석기기로 선택하였으나 앞서 설명한 전기화학식 센서의 연소가스 분석기나 검지관을 이용한 연소가스 분석도 가능하다.

FT-IR을 사용한 연소가스 분석의 장점은 다양한 가스를 분석할 수 있으며 실시간 정량분석이 가능한 것이다. 그리고 시간함수로 표현되는 결과를 가지기 때문에 다양한 종류의 화재 생성물을 연속적으로 모니터링 할 수 있고 분석을 실시한 이후에도 저장된 스펙트럼데이터로부터 새로운 정량 Method를 설정함으로써 재분석이 가능하다.

본 실험에서의 실험장비는 ISO 19702에 따라 샘플링 라인과 가스셀의 온도를 150℃로 설정하여 산성가스 및 기타 물질이 샘플링 시스템이나 가스셀에 흡착되는 것을 방지하였다. 가스셀은 필터로 보호하였는데 그을음과 산성기체를 걸러내는 것을 목적으로 5㎛ 필터를 사용하였다. 샘플링 라인의 길이는 3m, 흡입펌프유량은 3.5ℓ/min로 하였다.

5. 독성지수산정

가. ISO 9122-4 “Toxicity Testing of Fire Effluents - Part 4: The fire model (furnaces and combustion apparatus used in small-scale testing)

화재에서의 독성 위험을 평가하기 위한 시험방법을 개발하는데 있어 필요한 검토 자료를 제공하는 KS F ISO/TR9122은 연소 또는 열분해로 발생된 모든 가스상의 입자 또는 에어로졸 상태 생성물을 의미하는 화재생성물(Fire Effluent)을 대상으로 한다. 해당 기준에서 제시하고 있는 화재모형은 실제 화제와의 관련성, 산소농도, CO/CO_2의 비율, 가열조건과 열류속등을 기준으로 DIN 53436(Deutsche Institute Fur Normung, German, F, R), NBS(US-National Bureau of Standards), US-Rad(Radiant Furnace Test), U-PITT(US-University of Pittsburgh), JGBR(Japanese Government Building Regulation Toxicity Test)등의 화재 생성물 독성시험 모델과 제반 사항들을 제시하고 있다.

나. BS 6853 Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains(1999)

(1) BS6853 의 독성평가

BS 6853 Annex에 의한 독성지수 계산은 식(9)과 같다.

$$r_x = c_x / f_x \qquad \cdots\cdots (9)$$

c_x = the emission of the xth species, in the appropriate units

f_x = the reference value for the xth species, as given in Table

r_x = the individual index for the xth species

(9)식에서는 대상 시험체의 연소로부터 발생된 각 화학종의 농도이며 표 8에 제시된 각 화학종에 대한 기준 값이다.

$$R = \sum r \qquad \cdots\cdots (10)$$

식(10)의 연소 독성지수 “R″은 분모에 표 16의 기준 값을 취하고 분자에 측정값을 대입하여 산출한다.

표 16 Reference values for gases

Gas	Reference value (mg/g or g/m^2)
Carbon dioxide(CO_2)	14,000
Carbon monoxide(CO)	280
Hydrogen chloride(HCl)	15
Sulphur dioxide(SO_2)	53
Nitrogen dioxide(NO_2)	7.5
Hydrogen cyanide(HCN)	11
Hydrogen bromide(HBr)	20
Hydrogen fluoride(HF)	4.9

다. NES 713, Determination of the toxicity index of the products of combustion from small speciments of maerials. issue 03, (1985)

(1) 독성수치의 계산

100g의 물질이 타고 그 연소 물질이 chamber 안의 공기 중에 희석 됐을 때, 발생된 각각의 Gas의 농도는 다음의 식을 이용하여 구하여진다. 여기서 CΘ는 챔버 내에서 100g의 물질이 완전 연소될 때 1㎥당 독성 가스의 농도를 의미 한다.

$$C_8 = \frac{C \times 100 \times V}{m} ppm \qquad \cdots\cdots (11)$$

C = 가스체임버 내의 가스농도
m = 시료의 질량
V = 체임버의 용적(㎥)
단위 : ppm

(2) 독성지수

$$\text{독성지수} = \sum \frac{C_8 1}{Cf_1} + \frac{C_8 2}{Cf_2} + \frac{C_8 3}{Cf_3} + \cdots\cdots\cdots\cdots \frac{C_8 n}{Cf_n} \qquad \cdots\cdots (12)$$

표 17 TOXICITY CONCENTRATION

TOXIC Gas	Cf CONCENTRATION (ppm)
Carbon Dioxide(CO_2)	100,000
Carbon Monoxide(CO)	4,000
Hydrogen Sulphide(H_2S)	750
Ammonia(NH_3)	750
Formadehyde(HCHO)	500
Hydrogen Chloride(HCl)	500
Acrylonitrile(CH_2CHCN)	400
Sulphur Dioxide(SO_2)	400
Oxides of Nitrogen(NOx=NO+NO_2)	250
Phenol(C_6H_5OH)	250
Hydrogen Cyanide(HCN)	150
Hydrogen Bromide(HBr)	150
Hydrogen Fluoride(HF)	100

라. NFPA 269, Standard Test Method for Developing Toxic Potency Data for Use in Fire Hazard Modeling(1996)

(1)독성수치의 계산

(가) FED

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2]-b} + \frac{21-[O_2]}{21-LC_{50}O_2} + \frac{[HCN]}{LC_{50}HCN} + \frac{HCl}{LC_{50}HCl} + \frac{HBr}{LC_{50}HBr}$$

$$= \frac{m[CO]}{[CO_2]-b} + \frac{21-[O_2]}{21-5.4\%} + \frac{[HCN]}{150ppm} + \frac{[HCl]}{3700ppm} + \frac{[HBr]}{3000ppm} \quad \cdots\cdots (13)$$

단위 : ppm(O_2 제외)

$$\text{가스의 농도} : \frac{\sum_{t=1}^{30} Ct}{30} \quad \cdots\cdots (14)$$

If, $CO_2 < 5\%$, m = -18, b = 122,000
If, $CO_2 > 5\%$, m = 23, b = -38,600

(나) LC50

$$LC_{50} = \frac{\text{견본 대규모 손실}}{FED \times \text{채임버 용량}} \quad \cdots\cdots (15)$$

(다) 플레쉬 오버 후의 LC50

$$LC_{50} = \frac{1}{LC_{50}\,44 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-5}\frac{[CO]}{m}} \quad \cdots\cdots (16)$$

- m은 FED = 1.1에서 시험동안 견본의 질량 손실임.
- [CO]는 FED = 1.1로 시험한 CO의 농도임.

LC50의 유효성 검증 : LC50의 70%±10%에 상당하는 질량 농도에 30분 노출시간 동안 또는 노출 후 14일 안에 한 마리만 죽고, LC50의 130%에 상당하는 질량 농도에 30분 노출시간 동안 또는 노출 후 14일 내에 최소 5마리가 죽었을 경우 유효

마. ISO 13344, Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents (2004)

(1) 시험환경
- 가스 분석기의 측정 요구 범위는 다음과 같다.
  Carbon Monoxide : 0~10,000ppm
  Carbon Dioxide : 0~10%
  Oxygen : 0~21%
- 시험 환경의 온도, 습도조건은 NFPA 269와 동일

(2) 독성수치의 계산

$$FED = \sum_{i=1}^{n} \int_{t_0}^{t} \frac{C_i}{(C \bullet t)i} dt \qquad \cdots\cdots (17)$$

Ci = 독성 구성요소(i)의 농도로서 리터 당 마이크로리터로 표시
(C·t)i = 독성학적 효과를 형성하기 위해 필요한 특정 노출양에 대한 농도-시간 값으로서 분 x 리터 당 마이크로리터로 표시

(3) 독성계산2
- NFPA 269의 독성수치 계산 1과 동일

(4) 독성계산3

$$FED = [\frac{[CO]}{LC_{50,CO}}] + \frac{HCN}{LC_{50,HCN}} + \frac{[AGI]}{LC_{50,X}} + \frac{[OI]}{LC_{50,Y}} \times V_{CO2} + Z_A + \frac{21 - [O_2]}{21 - 5.4} \qquad \cdots\cdots (18)$$

여기에서

[CN] = HCN 농도로서 리터 당 마이크로리터로 표시되며 다른 니트릴의 존재와 NO_2의 보호 효과에 대해 교정된 것이다. 또한 이것의 값은 [HCN] + [총 유기 니트릴] - [NO_2]이다.

[X] = 각 산성 가스의 농도로서 리터 당 마이크로리터로 표시

[Y] = 각 유기 자극제의 농도로서 리터 당 마이크로리터로 표시

$LC_{50,X}$ = 각 산성 가스 자극제의 LC_{50}으로서 리터 당 마이크로리터로 표시

$LC_{50,Y}$ = 각 유기 자극제의 LC_{50}으로서 리터 당 마이크로리터로 표시

[CO_2] = CO_2 농도로서 체적별 퍼센트로 표시

V_{CO_2} = CO_2-유도식 과다호흡에 대한 증배율로서 이것의 값은
1 + e[(0.14 · CO_2) - 1]/2이다

Z_A = 산성혈증 계수로서 이것의 값은 [CO_2] x 0.05

방정식(18)에서 사용된 30 min LC50 값(ISO/TR 9122-5에 있음)은 표 18에 나와있다.

표 18 쥐에 대한 30 min LC_{50} 값

화재 유해 방출물 가스	30-min LC_{50} $\mu l/l$
CO	5 700
HCN	165
HCl	3 800
HBr	3 800
HF	2 900
SO_2	1 400
NO_2	170
아크롤레인	150
포름알데히드	750

6. 유해화학물질에 대한 동물조직의 유전, 병리학 독성연구

가스유해성 시험을 진행한 실험용 흰쥐의 간조직, 폐조직, 신장조직, 심장조직, 휴선조직 및 비장조직을 대상으로 유해화학물질에 대한 유전 병리 독성 연구를 수행한다.

가. 동물 해부

실험이 진행된 흰쥐를 대상으로 마취 후 해부를 진행한다.

(1) 해부 준비

- Mouse, 수술용 가위, forceps(핀셋), 메스, 휴지, 비닐장갑, 70% ethanol, 고무판, 나무판, 호일, 고정용 침핀,압핀, 마스크, 라텍스 장갑, 솜, ethyl ether, 데시케이터 혹은 유리병(마취용으로 사용함)

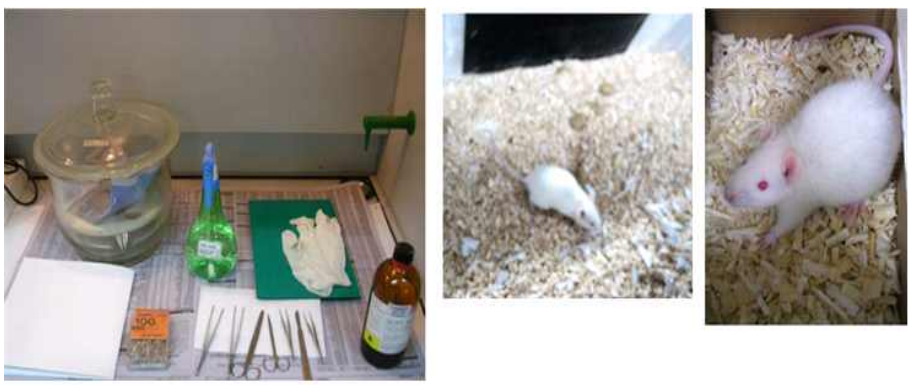


그림 13 실험 준비 및 실험체

(2) 쥐 마취

- 데시케이터 혹은 유리병에 솜을 넣고, Isoflorane(or ethyl ether)을 충분히 넣는다.
- 쥐를 넣고 뚜껑을 닫은 후, 쥐의 움직임이 정지될 때까지 충분히 마취한다.



그림 14 실험체 마취과정

(3) 쥐 해부

(가) 경추 탈골

한 손으로 귀 뒤의 목부분을 정확히 잡고 다른 손으로 꼬리를 잡은 뒤, 목부분을 잡은 손을 앞쪽으로 밀어준다. 목뼈가 빠진 느낌이 들어야 완전히 탈골 된 것이다.

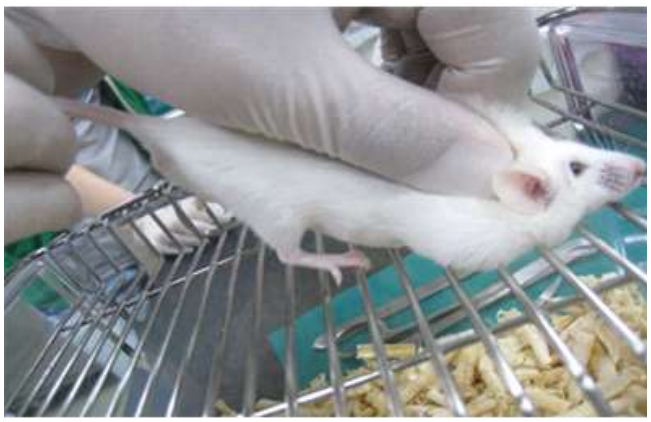


그림 15 쥐 해부과정(1)

*주의사항 : 꼬리를 잡은 손을 너무 세게 뒤로 당기면 꼬리가 빠질 우려가 있다.

(나) 핀을 이용하여 고정

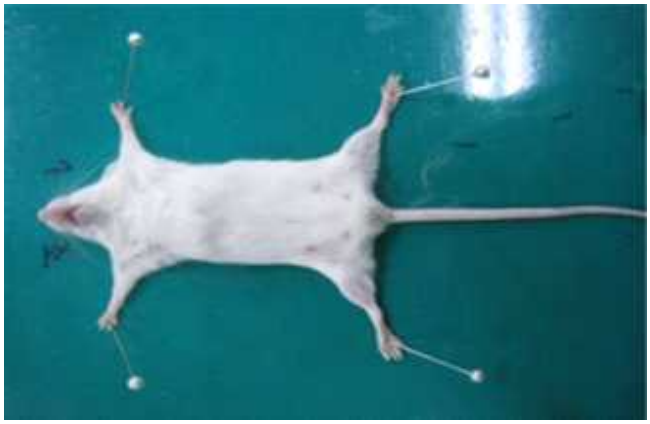


그림 16 쥐 해부과정(2)

(다) 아래에서 위로 가위로 피부절개



그림 17 쥐 해부과정(3)

(라) 개복 후 장기 관찰

- 피부와 복막을 잘라서 핀으로 고정한다.
- 갈비뼈는 잘라낸다.

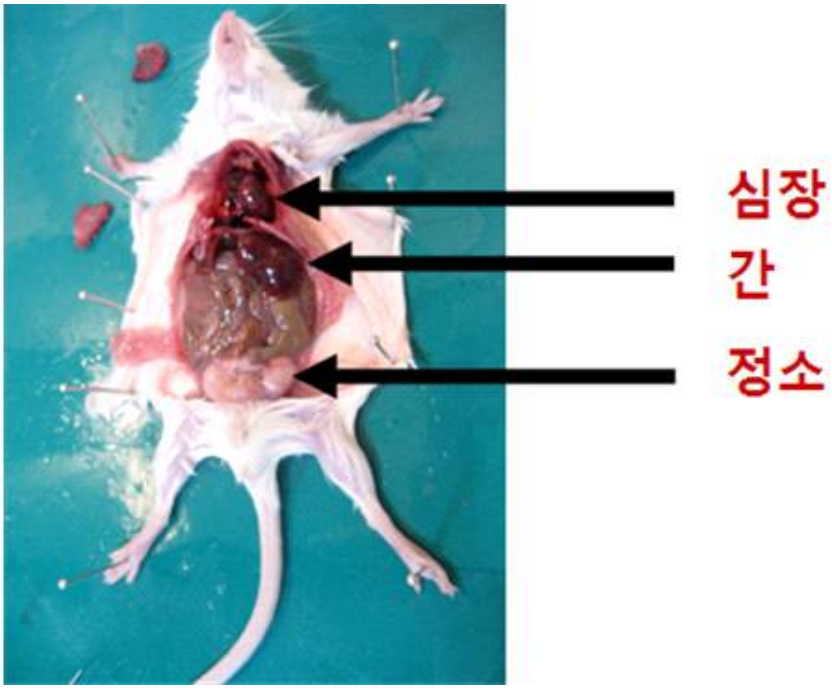


그림 18 쥐 해부과정(4)

(마) 각 부위별 관찰

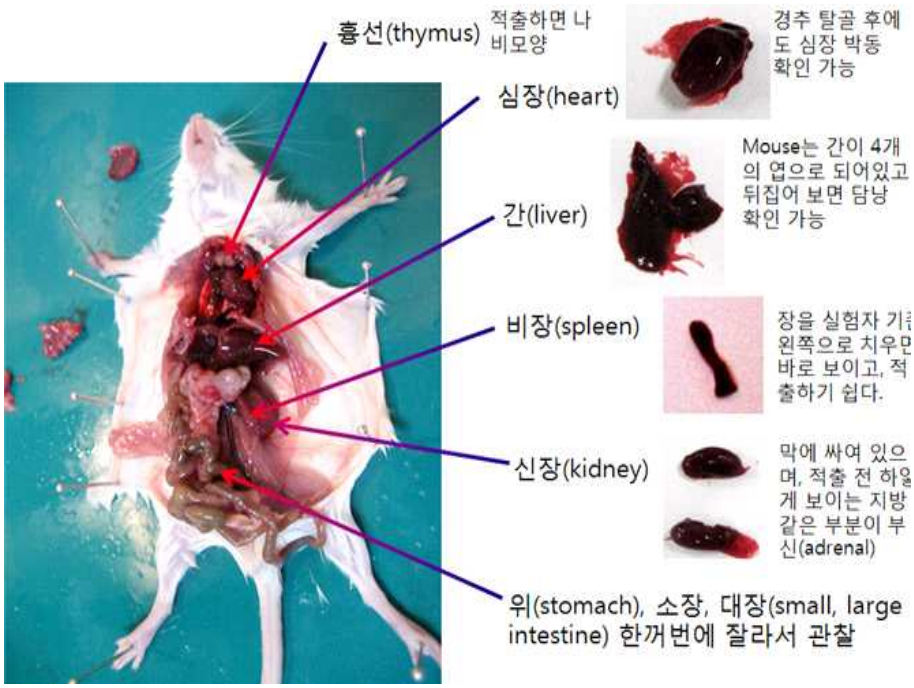


그림 19 쥐 해부과정(5)

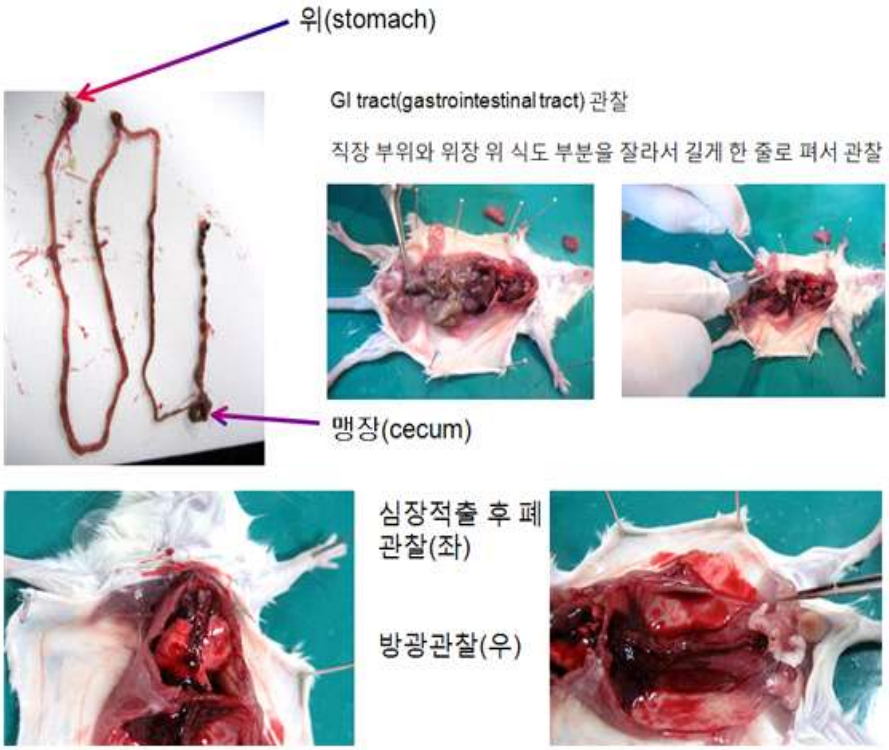


그림 20 쥐 해부과정(6)

나. 혈액 검사

실험동물에 대해 시험물질 노출 종료 하루 전 절삭 시켰으며, 부검 전 실험동물을 CO2 질식시켜 개복하고 복대동맥으로부터 채혈하였다. 혈액검체는 혈액 응고방지제로 EDTA-2K가 들어있는 CBC 채혈병에 채집하였으며, 자동혈구 계수기(Sysmex F-820)를 이용 백혈구수 (white blood cell or leukocyte count, WBC), 적혈구수 (red blood cell or erythrocyte count, RBC), 혈색소 농도 (hemoglobin concentration, HGB), 적혈구용적 (hematocrit, HCT), 평균 적혈구용적 (mean corpuscular volume, MCV), 평균 혈색소량 (mean corpuscular hemoglobin, MCH), 평균 혈색소농도 (mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC), 혈소판수 (platelet or thrombocyte count), 적혈구 분포대 (RBC distribution width, RDW), 혈소판 분포대 (platelet distribution width, PDW), 평균 혈소판 용적 (mean platelet volume, MPV) 등의 항목에 관하여 측정하였다.

(1) 혈액의 성분과 기능

(가) 원심 분리를 통한 혈액의 구성



그림 21 원심 분리를 통한 혈액의 구성

표 19 혈액 성분

맨 위	혈장
가운데	백혈구 (leukocyte)와 혈소판(platelet)
바닥	적혈구 (erythrocyte)

(나) 혈장과 혈구

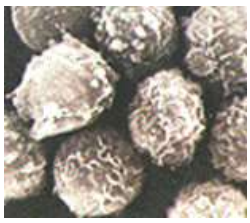
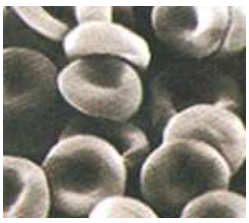
① 혈장(액체성분) : 혈중 약 55%

- 구성 : 물(90%), 혈장단백질(9%), 무기염류(0.85%), 포도당(0.1%)
- PH : 7.3 ~ 7.4
- 혈장 단백질 : 알부민-점성 유지, 삼투압 조절
  피브리노오겐-혈액 응고에 관여
  감마글로블린-항체의 주성분

② 혈구(세포성분) : 혈중 약 45%

③ 혈구의 특징과 기능

표 20 혈구의 특징과 기능

혈구	적혈구	백혈구	혈소판
종류	원반형, 무핵	부정형, 유핵	부정형, 무핵
모양			
크기	지름7~8㎛	지름6~20㎛	지름2~3㎛
수(/㎣)	450만~500만개	6000~8000개	20만~40만
생성소	골수	골수, 지라, 림프샘	골수
수명	약120일	수일~수년	7~10일
기능	산소운반	식균작용	혈액응고

(다) 적혈구

지름이 7~8㎛정도로 가운데가 움풀하게 들어간 원반형입니다. 골수에서 생성되며 수명은 30~120일 정도인데 간이나 지라에서 파괴됩니다. 혈액 1㎣당 남자는 약 500만 개, 여자는 약 450만 개 정도입니다. 헤모글로빈이라는 붉은 색소가 들어 있어서 붉게 보이며, 산소를 운반한다.

① 적혈구의 종류

· 중성백혈구(neutrophils) - 대부분의 백혈구 차지, 식세포 작용에 중요한 역할 (감염부위에 모여들어 침입하는 미생물을 삼킨다)

· 염기성백혈구(basophils) - 염증반응에 관여

· 산성백혈구(eosinophils) - 염증반응에 관여, 기생생물 파괴

· 림프구(lymphocyte) - 면역계 중추로 림프조직에서 침입자와 싸움

· 단핵구(monocyte) - 활성화 되기 전에 대식세포(macrophage)로 발달

② 헤모글로빈

헤모글로빈(hemoglobin)은 글로빈이라는 단백질에 혈색소인 헴(heme)이 결합된 것이 4개가 합쳐 있는 복합 단백질을 말한다. 헤모글로빈은 철이 포함되어 있어 붉은 색이며, 산소 4분자와 결합할 수 있는 구조로 되어 있다. 헤모글로빈은 산소가 풍부한 곳인 폐에서는 산소와 결합합니다. 산소가 적은 곳인 조직에서는 산소가 쉽게 떨어지기 때문에 이 색소를 포함한 적혈구는 산소를 운반할 수 있다. 철이 부족하면 헤모글로빈이 생성되지 않아 적혈구의 수가 부족하여 빈혈이 된다.

(라) 백혈구

아메바 운동을 하며 모양이 일정하지 않고 크기는 9~12㎛정도입니다. 적혈구와 달리 핵이 있고 간과 지라에서 파괴되며, 혈액 1㎣당 5000~10000개 정도이다. 골수, 지라, 림프샘에서 만들어지며 수명은 백혈구 종류에 따라 다른데 수일에서 수년 정도 걸린다.

식균 작용 - 아메바 운동을 하여 혈관벽을 드나들면서 몸 속에 침입한 병균을 잡아먹음.

면역 작용 - 병원체에 대한 항체를 만들어 몸을 보호.

① 혈액의 응고

상처로 인한 피해(세균의 침입)에서 보호

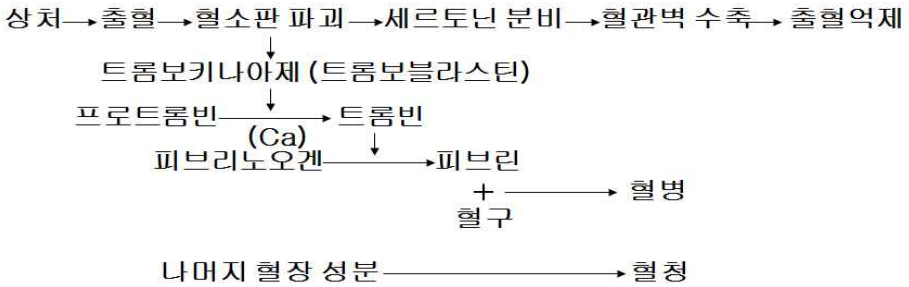


그림 22 혈액의 응고

② 응고 방지법

- 저온처리
- 칼슘제거(시트르산나트륨이나 옥살산나트륨첨가)
- 소의 활성억제(헤파린, 히루딘첨가)
- 피브린 제거(유리막대등으로 걷어냄)

(마) 혈소판

적색 골수에서 거대 세포인 대핵세포가 잘라져 생겨난 세포 조각으로 크기는 2~4㎛ 정도되고 모양이 일정하지 않고 핵이 없습니다. 혈액 1㎣당 20만~30만개 정도이고, 상처가 나면 혈소판이 파괴되어 혈액을 응고시키므로 출혈을 막고 세균의 침입으로부터 몸을 보호한다.

① 일반 검사

㉮ 산염기평형

신생아기에는 외부 환경에 급격한 적용으로 특이한 상태를 나타난다. 정상 성숙 신생아는 호흡성 및 대사성 acidosis 경향을 보인다. 혈액 pH는 생후 수분

에서 10 분내에 급격히 감소하여 최저 7.2까지 감소한다. 그 후 증가하여 24시간에 분만 직전의 모세혈의 pH로 된다. pCO2는 반대로 생후 수분에서 10분내에 최고 53-40Torr에 달하고 그후 호흡기능의 발달로 급격히 감소하여 수 시간내에 호흡성 acidosis가 개선됩니다. HCO3-는 pH처럼 감소하는 경향을 보이는데 이는 유기성 음이온 특히 lactate가 증가하기 때문이다. pO2는 출생직후 20Torr이하에서 1시간 이내에 급속히 증가하여 65Torr정도가 된다.

㉯ 전해질

출생 직후 혈청 Na는 낮은치를 보이지만 수일 내에 성인 정상 범위내의 농도로 된다. 미숙아는 저 Na혈증을 보이는 경우가 많다. 혈청 Cl은 성인과 거의 같다. 혈청 K는 제대혈에서는 7mmol/L로 높으나 출생 후 신속히 감소한다. 출생때의 고 K혈증과 acidosis는 분만때의 무산소 상태와 부신 기능의 미성숙으로 인한 것입니다. 미숙아의 혈청 K는 높다. 혈청 Ca은 출생시에는 높으나 생후 1일까지 1.4mg/dL로 감소한다. 이것은 부갑상선 기능의 미성숙과 인산 및 Ca이 뼈에 침착하기 때문이다. 혈청 P도 출생시부터 성인치보다 높은 상태에서 서서히 증가한다. 이것은 glycogen분해가 항진되어 유기인산이 방출되기 때문이다.

㉰ 단백질

혈청 총 단백량은 생후 1시간 까지는 고농도를 보이는데 이는 출생 직후 혈장이 혈관 밖으로 이동하거나 체표에서 수분이 증발하기 때문이다. 생후 1-3개월에 최저치를 보이는 것은 주로 감마 글로불린의 감소에 의한 것이다. prealbumin은 성인치의 1/2로 14세경에 성인치에 달한다.

㉱ Glucose

신생아는 일반적으로 저혈당을 보이고 생후 2-3일에 대략 60mg/dL로 되는데 미숙아는 계속 낮은 농도를 보인다. 이것은 간의 glycogen 저장이 적어서 glucose 생성이 낮아지기 때문입니다. 1-3세에 80mg/dL전후가 된다.

㉲ 지질

혈청 cholesterol은 출생시 70mg/dL전후이던 것이 생후 4일 이내에 성인치의 60%정도로 된다. 모유아는 인공 수유아보다 높은데 이것은 모유중에 cholesterol이 많이 함유되어있기 때문이다.

㉳ Amino산

혈중 농도는 신생아기 및 유아기에 6.5mg/dL로 높다. 이것은 효소의 발육이 충분치 못하고 특히 간에서 amino기 전이 효소가 낮기 때문이다. 미숙아는

8.1mg/dL로 대단히 높다. 이 시기는 세뇨관의 재흡수 기능도 저조하기 때문에 amino산 clearance가 높아져 요중 amino산 배설량은 성인의 5배 정도이고 특히 미숙아에서는 더욱 높아진다.

㉮ Hormone

신생아기는 모체의 내분비 기능 및 태반의 영향을 받고 또한 신생아 자신의 내분비 기관의 새로운 활동이 추가된다. 생후 1주간은 모체 유래의 estrogen이 요중에 대량 배설된다. 혈중 cortisol이나 기타 mucoid hormone은 출생 후 수일 동안 낮은치를 보이는데 모체의 영향을 받아 부신 피질의 기능이 감소되었기 때문이다. 혈중 thyroxine 농도는 출생시 모체보다 약간 낮으나 그 후 TSH의 분비가 급속도로 커지게 되어 혈중 thyroxine농도는 또 다시 증가하게 된다. 태아의 성장 호르몬 농도는 성인보다 높습니다. 이는 신생아기에 현저하게 증가한다. Gastrin은 신생아에서 활발히 분비되므로 혈중 농도도 높고 위산도의 증가를 보인다.

㉯ 혈액검사

Hb는 출생시 17-18g/dL로 높은데 12-24시간에 혈장이 혈관 밖으로 이동하기 때문에 일과성으로 더욱 증가하게 된다. 생후 1-2주에 급속히 감소하여 약 15g/dL로 되고 2-3개월에는 11g/dL까지 감소한다. RBC도 생후 514만 전후로 증가치를 보이지만 1-2주 후에는 480만, 2-3개월 후에는 370만으로 감소하고, Ht도 이와 평행하게 변동한다. 신생아에서는 MCV가 크고 MCHC의 감소가 눈에 띄지만 생후 10주 경에 성인치로 된다. 망상 적혈구(Reti)는 태아기의 활발한 조혈 기능을 반영하여 출생시에 증가치를 보이는데 생후 1주에 현저하게 감소하여 1% 이하로 된다. WBC는 출생시에 15000-20000으로 가장 높고 이어서 1주후에 대략 12000으로 된다.

㉰ 응고기능

출생시부터 이상 형태를 보여 2-3일 경에는 PT, PTT등이 연장된다. 이것은 Vitk 의존성 응고인자(Ⅱ,Ⅶ,Ⅳ,Ⅹ)가 성인보다 낮기 때문이다. Thrombin time도 연장되는데 이것은 antithrombin 활성이 증가되기 때문이다.

㉱ 체액성 면역

IgG는 태반을 통과하여 모친에게서 태아로 이동하고 또한 출생시의 혈액 농축이 가중되어 출생시에는 모친보다 약간 증가된 농도를 보인다. IgG의 이행은 분만 3개월 전부터 일어나므로 미숙아에게서는 항체가가 낮다. 신생아에서는 IgG합성이 낮고 모체 유래의 IgG의 이화로 인하여 혈중 IgG가 급속하게 감소하여 생후 2-4개월경에 최저 농도를 보인다.

IgA는 출생시에는 나타나지 않으나 3주 이후의 모든 신생아에서 볼 수 있으며 서서히 증가한다.

㉮ 세포성 면역

신생아기에서는 세포성 면역이 존재하므로 BCG나 종두 등을 시행 할 수 있으나 기능적으로는 저하되어 있다고 알려져있다. 즉, 감염증에 대해서는 감수성이 높고, 지연형 과민증도 저하되어 있고, 모친의 혈액 또는 수혈에 의한 동종 세포에 대해서 이식대 숙주 반응의 출현이 적고 세포성 면역 기능 검사도 저하를 볼 수 있다는 것이다.

② 혈액 검사

㉮ WBC - Leukocyte count, 백혈구 수

- WBC의 증가
  · 감염증 - 세균 : 패혈증, 폐렴, 충수염, 결핵
- virus : 전염성 단핵구 증가증
- 진균
  · 조직괴사 - 심근 경색, 겨원성 질병, 화상
  · 악성 종양
  · 중독 - 요독증, 당뇨병성 acidosis
  · 약물 - 부신피질 스테로이드, 에피네프린
  · 급성 출혈, 급성 용혈

- WBC의 감소
  · 감염증 - Virus 감염 : influenza, rubella, 간염
- 세균 감염 : typhoid, paratyphoid
- Rickettsia
  · 약물 - 각종 항암제
  · 혈액질환 - 재생불량성 빈혈, 악성빈혈
  · 비장기능항진 - 간경변
  · 자가면역질환

- 정상치 (/mm3)
  · 출생시 : 10000-2000
  · 2주 : 12000-22000
  · 2개월 : 5000-9000
  · 1년 : 6000-10000
  · 성인 : 4000-10000

(바) RBC (Red cell count) 적혈구수

① 임상적 의의

빈혈 또는 적혈구 증다증 유무와 그 정도를 파악하기 위해서 이다. 그러나 적혈구 수와 혈색소량이 반드시 비례하는 것은 아니어서 적혈구 수만을 지표로 할 수는 없다. RBC가 상승하면 적혈구 증다증이나 dehydration을 의심하고, 낮아지면 anemia, over load fluic, hemorrhage 등을 의심한다.

② 빈혈의 원인 (RBC 수의 감소)

· 조혈장애 : 재생불량성 빈혈, 백혈병, 골수종, 골수 섬유증
· 출혈 : 급성이나 만성 출혈시
· 혈구파괴 : 적혈구의 결함으로 유전성 구상적혈구증, 자가면역성 용혈성 빈혈 등이 있다.

③ 정상치

· F : 400-500만 / ml
· 2개월 : 300만 - 380만 /ml 로 줄어들며 이어서 차츰 상승하여 성인치에 도달한다.

(사) Hb (Hemoglobin 혈색소)

① 임상적 의의

Hb의 주요 기능은 폐에서 조직으로 산소운반과 조직에서 폐로의 탄산가스 운반이다. 전혈 100ml당 혈색소의 gram 양으로 표시를 한 것으로 일반적으로 Hb의 감소를 보이면 빈혈이나 혈액 희석을 고려하고 Hb 농도가 클 경우에는 다혈증을 고려한다.

② 정상치 (g/dl)

· 출생시 : 16-20
· 2주 : 14-17
· 3개월 : 10.5-11.5
· 1년 : 12-13
· 성인 M:14-18
· 성인 F : 11-16

(아) Hct (Hematocrit)

① 임상적 의의

전혈 중 적혈구가 차지하는 비율을 나타낸다. 빈혈 여부 평가와 동시에 적혈구 수에 비해 Hct치가 큰 경우에는 대구성 빈혈, 상대적으로 부족할 경우에는

소구성 빈혈을 감별한다.

② 정상치
· M : 40-50%
· F : 35-45%

(자) MCV, MCH, MCHC, RDW
① 임상적 의의
· MCV (평균 적혈구 용적 : Mean corpuscular volume)

MCV = Hct 치 (%) / 적혈구 수 (×10 6 /ml) ×10fL

적혈구 한 개당 평균 용적을 나타내는 것으로 낮으면 소구성, 정상이면 정구성, 크면 대구성을 나타낸다.
· MCH (평균 적혈구 혈색소량 : mean corpuscular hemoglobin)

MCH = 혈색소량 HB(g/dl) /적혈구수 (×10 6 /ml) ×10Pg

적혈구 한 개에 포함된 hemoglobin 양의 평균치
· MCHC (평균적혈구혈색소농도 : mean corpuscuar hemoglobin concentration)

MCHC = MCH / MCV
= 혈색소량 /hematocrit × 100%

적혈구내 혈색소의 평균 농도로 MCHC가 정상 이하이면 저색소성, 정상이면 정색소성으로 구분한다.

· RDW (적혈구 입자 분포폭 : Red cell volume distribution width)
적혈구 용적의 변이 계수로서 %로 표시되는데 종래의 MCV로 소구성, 정구성, 대구성으로 나누는 것에 RDW가 정상 범위에 있는 것을 균일군, 정상 범위를 초과하는 것을 불균일군으로 빈혈을 6가지로 자세하게 분류 할 수 있게 된다.

② 정상치
- MCV : 80-100 FL
- MCH : 26-34 Pg
- MCHC : 32-36
- RDW : 12.2 - 14.6

(차) Plt (Platelet count 혈소판 수)

① 임상적 의의

혈소판 수는 혈액 질환에서 뿐 아니라 간질환, 교원병, 악성 종양, 염증성 질환, 약물 등의 영향으로 변동된다. 혈소판의 작용은 이물면에 접착하는 접착능과 혈소판 끼리 붙는 응집능으로 나눌 수 있으나 혈소판 기능 이상(질적) 또는 수의 이상(양적)이 있으며 이것은 모두 출혈 경향을 나타낸다.

㉮ 혈소판 감소 - 생산저하 : 재생불량성 빈혈, 급성 백혈병, 거대적아구성 빈혈
파괴항진 : 면역성, 혈전 형성, 미소혈관 장애, DIC
분포이상 : 비장기능항진

㉯ 혈소판 증가 - 종양성 : 본태성 혈소판 증가증, 만성 골수성 백혈병
반응성 : 출혈, 비장적출, 수술 후, 악성 종양

㉰ 정상치 : 15-38만 /ml

(카) PCT (프로트롬빈 소비 시험 : prothrombin consumption test)

정상 혈액응고가 완료되면 prothrombin은 thrombin으로 전환하여 소비되므로 혈청에는 남지 않으나, 응고가 불완전하게 일어날 경우 혈청 prothrombin이 상당량 잔존한다. 이것을 이용하여 prothrombin의 잔존량을 측정하여 응고이상을 간접적으로 차악할 수 있다. 정상인은 prothrombin consumption 시간은 20초에 완결 된다.

(타) MPV (Mean Platelet volume 평균 혈소판 용적)

PDW (Platelet distribution width 혈소판 입자 분포폭)

MPV는 적혈구의 MCV에 상당하고 PDW는 RDW에 필적하는 것으로 MPV나 PDW가 이상을 보이는 경우에는 혈소판 입자의 균일성에 이상이 있음을 의미한다.

parameter에 의한 기준범위 - MPV : 8.0±1.7
- PDW :16.1±0.8
symex E -4000 기준범위 - MPV : 10.4±1.0
- PDW :12.3±1.8

(파) diff. count

① Neutrophil count (호중구수)

호중구는 다형핵 백혈구의 하나로 주요기능은 유주성, 탐식능, 살균능으로 생체 방어의 일익을 담당한다. 가장 많이 순환하는 백혈구로 다른 유형의 백혈구보다 염증과 조직 상해 부위에 더 신속히 대응한다. 급성 감염 중에 신체의 첫

번째 방어막이다. 출생시 호중구수는 정상에서도 13000/ml 내외의 높은 지수를 보이는데 24시간 이내에는 증가 경향을 보인다. 그 후 1주간은 서서히 감소하여 생후 4주에서 2세까지는 낮은 치를 보인 후 서서히 정상으로 올라온다.

㉮ 정상치 : 2400-5000/ml
㉯ 호중구 증가증 - 감염증 : 세균, 진균
염증성 질환 : 화상, 심근경색, 수술
대사성 중독 : 요독증, 당뇨
약물 : 부신피질 스테로이드, 에피네프린
급성 출혈, 용혈, 혈액질환, 악성종양
㉰ 호중구 감소증 - 감염 : 풍진, 수두, 황열, 리켓차, 방사선 피복
약물 : 갑상선제, 항경련제, 항균제
혈액질환 : 선천성 신생아 무과립증, 주기성 호중구 감소

② Lymphocyte count 림프구수
림프구는 면역 반응에 관여하는 백혈구 이다. 림프구는 외부에서 들어온 항원과 접촉하면 면역반응을 수행한다. T림프구는 세포성 면역의 주체가 되고 B림프구는 체액성 면역의 주체가 된다.

㉮ 림프구의 증가
급성 림프구성 백혈병, 성인 T세포 백혈병, 만성 림프구성 백혈병, 전염성 단핵구증, virus 감염(일반 세균감염시 증가하지않는다), 결핵, 매독
㉯ 림프구의 감소
AIDS, 방사선 조사, 항암제, cortisone, epinephrine투여, 요독증
㉰ 정상치
- 성인 : 1000-4000/ml
출생직후 : 5000-6000/ml를 넘고 1세부터 서서히 감소하여 6-8세에 성인범위에 이른다.
정상치 : 20-51%

③ Monocyte 단핵구
단핵구는 세균 감염과 이물질에 대항하는 제 2의 방어선이다. 이 세포는 감염과 염증성 질환에 반응하지만 호중구보다 더 강력하여서 보다 큰 입자를 소화할 수 있다.

㉮ 정상치
생후 2주까지 1000-1200/ml

어린이 750/ml이고 성인은 300-700/ml
정상치 : 2-10%
㉯ 증가 : 급성 단핵구성 백혈병, 감염증이나 교원병, 악성 종양등에서 증가
㉰ 감소 : glucocorticoid 사용 후, 임파성 백혈병, 재생불량성 빈혈

④ Eosinophil count 호산구수
호산구는 골수, 조직, 호흡기, 소화관에 99%, 말초혈중 1% 존재하며 곰팡이, 세균, 기생충을 죽인다. 스트레스 (화상,쇼크), 급성 감염증이나 약물 (glucocorticoid, ACTH, prostaglandin, ephinephrine등) 투여로 감소한다. 약물, 음식물 알러지, 기생충 감염, 피부질환, 종창시에 고율로 증가한다. 생후 3개월까지는 생리적으로 호산구수가 증가하는데 그 정도는 성인의 약 3배이다.

㉮ 정상치 : 150/ml, 0-10%

⑤ Basophil 호염기구
호염기구는 호산구와 같이 염증의 치유단계에 증가하며 히스타민, 백혈구 유주인자, leukotriene, prostaglandin을 생성한다. 아나필락시스, 천식, 알러지성 비염의 측정도구이다.

㉮ 정상치 : 0-0.8 정상에서는 말초 백혈구수의 0.5%, 골수유핵세포수의 0.3%를 점유
㉯ 감소 : anaphylasis직후, 두드러기, 뇌하수체 부신 자극, 갑상선 기능항진, 감염이나 염증
㉰ 증가 : 알러지, 궤양성 대장염, 갑상선 기능저하, 당뇨, 결핵, 백혈병

(하) ESR (Erythroctte sedimentation rate) 적혈구 침강 속도 (L2025)
항응고제를 가한 혈액을 glass관에 넣고 수직으로 세워 적혈구를 침강 시킨 다음 혈장층의 길이를 측정하는 방법이다. 통상 1시간치를 사용하며 다혈증이나 DIC에서 ESR은 현저하게 지연되는 것이 보통이다. 이러한 질환에서 ESR이 짧아지면 병세의 호전을 의미하며 병세의 추이를 알기 위해 이 검사를 실시한다.

① 촉진 : 조직파괴, 염증, 감염, 신장, 간질환, 악성종양, 빈혈, 임신
② 감소 : 적혈구 증다증, 진성 다혈구 혈증, 겸상적혈구, 빈혈, DIC
③ 정상치 : M - 10mm/hr
..... F - 15mm/hr

(거) Reticulocyte 망상적혈구 (L2027)
신장에서 생산된 erythropoietin이 혈액의 간세포에 작용하여 전적아구로 분화된다. 전적아구는 호염기성 적아구, 다염성적아구, 정염성적아구, 망상적혈

구, 성숙적혈구 순으로 성숙한다. 망상적혈구는 1일뒤에 성숙적혈구로 된다. 그러므로 적혈구의 생산능을 알기 위한 간편한 방법으로 빈혈의 감별 진단에 유용한 지표이다. 빈혈시에 빈혈에 대한 보상작용으로 망상적혈구 수의 증가를 초래한다. 급성 출혈이나 용혈성 빈혈이 그 대표적인 예이다. 골수의 조혈이나 비장 적출 후에도 증가한다.

그러나 erythropoietin 생산 장기의 장애에 의한 신성빈혈이나 재생 불량성 빈혈, 백혈병, VitB12결핍, 엽산 결핍에의한 빈혈에는 망상 적혈구는 증가하지 않는다.

- 성인: 0.2-2.0%
- 1-3일 : 2-6%
- 1개월 : 0.1-1.7%

(너) RBC morphology = PB smear : 적혈구 형태

적혈구 수, 적혈구 평균 지수와 함께 도말 표본사에서 적혈구 형태를 관찰하는 것으로 크기와 모양의 비정상 세포가 많을때 빈혈을 뜻하며 혈액 진단시 중요하다.

① 적혈구의 형태 관찰

적혈구가 중첩되지 않고 분포가 고른 위치를 우선 선택하여 적혈구의 염색성, 크기, 모양, 봉입체 유무 등을 관찰한다. 정상 적혈구는 직경 7-8㎛로 거의 원형이고 중앙부에 엷게 염색한 부분, 즉 함몰 중심부가 있다.

② 염색성

- 저색소성 빈혈 : 염색이 엷고 중앙부의 엷은 부분이 확대됨
- 구형 적혈구 : 전체가 이률적으로 진하게 염색됨, 직경이 작다.
- 다염성 적혈구, 망상 적혈구 : 정상 적혈구 사이에 산재하여 약간 회색을 띤다.

③ 크기 : 소형 적혈구(소구성, 저색소성), 난원형(유전성 난원형 적혈구증), 눈물방울형(골수 섬유증), 겸상, 기형

④ 적혈구 봉입체

(더) Electrolyte battery (L3003, L7103)

① Na (sodium)

: Na는 세포외액의 주요 양이온으로 체액양과 삼투압 조절에 중요한 역할을 한다.

- 정상치 : 140-150mmol/ℓ

㉮ 저Na혈증

㉯ 소화관 으로의 상실

구토, 설사는 급성으로 현저한 저 Na혈증을 일으킬 수 있다. 이 경우 Na가 상실된 상태에서 수분을 공급하면 희석성 저 Na 혈증이 더욱 심각하게 된다. 그러나 근본은 체내 Na결핍에 의한 결핍성 저Na 혈증이므로 빨리 Na를 투여하여 보정할 필요가 있다.

㉰ 신장질환

급성 신부전 핍뇨기 에서의 저 Na 혈증은 환자의 음수과다에 의한 희석성으로 체내 의 Na 과잉이라도 저Na혈증을 초래하게 된다. 만성 신부전은 신장에서의 Na의 재흡수 부전, 구토 등으로 결핍성 저Na혈증을 일으키기 쉽다.

㉱ 만성소모성 질환

심부전, 간경변, 영양실조, 빈혈, 암, 결핵 등 만성 소모성 질환에서 중증 심부전과 복수를 수반한 간경변에서는 체내 Na이 과잉 내지 정상인 희석성 저 Na 혈증을 초래한 다.

㉲ ADH 과잉 증후군 (SIADH)

저Na혈증이 있으면서 지속적인 요중 Na 배설을 보이고 수분을 부하하면 Na 배설량 이 증가하고 수분을 제한하면 혈청 Na 농도가 정상으로 되는 질환이다. ADH(항이뇨호르몬)의 분비가 감소되지 않기 때문에 수분 과잉에 의한 희석성 저 Na 혈증을 초래한다.

㉳ 기타

당뇨병성 특히 혼수를 수반한 ketoacidosis 환자는 현저한 저 Na 혈증을 보인다. 임신중독증, 수술후, 출혈, stress도 저 Na혈증을 보이며 병원성으로 glucose액만의 수액, 이뇨제나 항생물질(gentamycin, cephalothin등) 투여에 의해 결핍성 Na 혈증이 나타난다.

㉴ 고 Na혈증

고 Na혈증은 대단히 드물다. 탈수증에서 현저한 고 Na 혈증을 초래하는 것은 갈증을 호소하지 못하는 유아의 중증 설사증이나 갈증 중추 장애가 있는 신경장애 환자에서나 나타난다. 그 밖에는 병원성으로 고장의 식염수의 과잉투여로 인한 경우인데 저Na혈증의 ketone성 혼수 당뇨병 환자에게 insulin과 고장의 식염수를 투여하면 고Na혈증과 저 K혈증이 나타난다.

② K (Potassium)

K는 세포내에 대량 존재하는 양이온으로 신경, 근조직의 흥분성과 밀접한 관계가 있다.

- 정상치 : 3.5-5.0

㉮ 저 K 혈증 (3.5mEq이하)

- 구토, 설사 : 반복하는 급성 설사 또는 만성 구토시 저K혈증을 초래한다.
- 신장으로의 상실 : 대사성 알칼로시스, 선천성 부신피질 과형성, 쿠싱 증후군, 신부전
- 병원성 저 K 혈증

완화제의 남용, 각종 이뇨제의 사용, ACTH, cortisol의 장기 투여에서도 저 K 혈증을 일으킬 수 있어서 이러한 약물 사용시 요중 K 배설량을 감시할 필요가 있다.

㉯ 고 K 혈증 (5mEq이상)

- K 과잉섭취
- K 배설장애 : 신부전, 조직 붕괴로 인한 K 유출, aldosteron분비 부전
- 세포외로의 K이행 : 발열, 만성 소모성 질환, 기아, 조직붕괴
- 병원성 고K혈증

항 aldosteron 작용이 있는 이뇨제 투여, K과잉수액, 보존 혈액의 대량 수혈 (전혈을 저온에 바치하면 1시간당 0.2mmol/ℓ의 속도로 K가 증가한다.
소량의 수혈이라도 유아에게는 가능한 신선한 혈액을 제공해야한다.)

③ Cl (chloride)

㉮ 정상치 (mmol)

· 유아기 104.9±4.9
· 소아기 103.3±3.0
· 성인남자 100.2±2.4
· 여자 102.3±2.9

㉯ 저chloride혈증

- Cl 섭취 부족
- 수분 과잉
- 소화액 상실 : 구토, 위액 흡인
- 신장으로 상실 : addison병, loop이뇨제
- 호흡성 acidosis

㉰ 고 chloride혈증
- Cl의 과잉투여 : 생리식염수, CaCl2
- 수분 결핍성 탈수
- 대사성 Acidosis : 설사, 췌장액 흡인, 담즙 흡인, 요관, 결장루, Diamox투여
- 호흡성 Alkalosis : 과호흡, 과환기증후군, Respirator에 의한 과환기, 뇌염

③ T.CO2 (Total CO2)
혈중의 CO2를 보면 첫째 물리적으로 용해된 상태로 존재하는 부분과 둘째, 중탄산 이온으로 있는 부분과 셋째, 혈색소의 amino기와 결합된 상태로 존재한다.
- 정상치 : 22-34 mmol/ℓ
- 증가 : 구토, 위액흡인, 이뇨제, 스테로이드 사용
- 감소 : DM, 신부전증, 설사, 세뇨관성 acidosis

④ Glucose (L7118)
㉮ 정상치 : 80-120 (mmol/dℓ)

㉯ 고혈당증
- 인슐린 분비 감소 : 랑게르한스섬 염증, 특발성 당뇨병, 췌장 질환
- 저 활성 인슐린의 분비
- 항 인슐린 인자의 과잉
- 성장 호르몬의 분비 증가 : Cushing병
- 갑상선호르몬의 분비 과잉 : Cushing병
- Glucagon 분비 과잉, somatostartin의 분비 과잉, Glucocorticoid의 분비 과잉, Catecholamine 분비 과잉

㉰ 인슐린 receptor의 이상

㉱ 기타 : 중추신경계 질환(뇌종양, 수막염), 발열성 질환(폐렴, 패혈증), 대사성 질환

㉲ 저혈당증
- 인슐린 분비 과잉 : 랑게르한스섬 비대, glucagon 분비 감소
- 췌장성 : 인슐린 분비 과잉, 당대사장애, 뇌하수체 기능부전, addison병, 당배설증가, 장관에서 당흡수 증가 등
- 면역기구에 관한 질환 :인슐린 자가면역 질환

⑤ Ca, Ca++(L7117)
㉮ 정상치

Ca : 8.2-10.5mg/dℓ
Ca++ : 4.2-5.2

Ca의 99%는 골에 나머지는 세포외액에 존재한다.
혈청 중에 Ca의 50%는 이온화형이고 나머지는 단백 결합형이다.
혈액 응고, 신경 전달, 근수축, 호르몬의 자극 전달에 기여하며 하부 소장에서 흡수한다.

㉯ 증가
: 부갑상선 기능항진, VitD중독, 소화성궤양 치료 위해 우유, alkali 흡수시, 악성종양 (백혈병, 다발성 골수종)시 골질 파괴 증가, 급성 불용성 골위축

㉰ 감소 : 부갑상선 기능저하, Ca++ 흡수부전, VitD 결핍, 신부전, 급성 췌장염
참고) 부갑상선호르몬
- 골의 흡수 항진과 장관에선의 흡수 증가, 신장에서의 배설 억제 시켜 혈중 칼슘농도를 높인다.
- Thyrocalcitoin : 골 흡수를 억제시켜 혈중 칼슘치를 저하시킨다.
- Vit D : 골흡수 항진으로 혈중 칼슘치를 항진시킨다.

(러) BUN (Blood Urea Nitrogen) : 요소질소
혈중에 존재하는 urea(요소)중의 nitrogen(질소)로서 urea의 동의어이다. nitrogen의 종말 대사물질(ammonia, uric acid, urea)는 간의 urea cycle 대사계에서 생성되어 사구체에서 여과, 배설되나 일부는 재흡수된다. 주로 조직붕괴정도, 소화관 출혈, 생체 수분양, 요량에 영향받는다.

① 정상치 : 5-23mg/dℓ

② 고뇨소질소혈증 ; BUN 23이상
- 신전성 고뇨소질소혈증 : 탈수증(구토, 설사), 중증 심부전, 소화관 출혈, 쇽, 광범위한 화상, 고열, acidosis, 당뇨병성 산증, 갑상선기능항진
- 신성 고뇨소질소혈증 : 급만성 신장염, 신증, 신우신염, 신기형, 신결석, 신종양등
- 신후성 고뇨소질소혈증 : 요관폐색, 방광종양, 전립선비대로 인한 폐색

③ 저뇨소질소혈증
- 요소생성저해 : 중증 간장애
- 저단백식이 :영양불량, 저칼로리식

- 혈액희석 : 다뇨, 수액
- 단백동화작용 항진 :성장호르몬, 단백 동화호르몬의 투여

(머) Creatinine

Creatine은 아미노산으로서 간, 신장에서 '효소'에 의해 합성된다.

creatinine은 creatine의 탈수물이며 내인성 단백 대사의 종산물로서 신장으로 배설되는 질소 성분 중 가장 배설이 잘 되는 물질중 하나이다. 근육 수축의 에너지로 사용된다.

① 정상치 : 0.5-1.4mg/dℓ
② 증가 : 신혈류 감소, 사구체 여과율 감소, 요독증, 요로폐색, 만성신염
③ 감소 : 간장애, 요붕증, 근위축

(버) ABGA (L7101)

① 정상범위
- pH 7.35-7.45
- pCO2 35-45mmHg
- pO2 80-100mmHg
- HCO3- (Bicarbonate 중탄산염) 22-26mEq/L
- ABEe (BE : Base Excess) -2 -+2
- tCO_2 (CO_2 content) 23-27
- sO_2 (O_2 saturate) 95-100

② 산염기의 균형 장애

㉮ 호흡성 알칼리증 : PH 7.45이상, PCO_2 35이하
- 원인 : 저산소혈증(폐기종, 폐렴), 폐기능부전(폐섬유화, 울혈성 심부전, 폐색전증), 호흡 중추의 화학적 자극 (패혈증, 아스피린 과량복용), 호흡 중추의 외상성자극 (손상, 뇌내압 상승), 과다한 운동
- 증상 : 빈맥, 과호흡, 경련, 테타니, 저칼륨혈증, 저칼슘혈증
- 치료 : 원인을 치료, 느린호흡, 진정제

㉯ 호흡성 산증 : pH7.35이하, pCO_2 45이상
- 원인 : 만성폐쇄성폐질환, 신경근 질환, 호흡 억압 약물 (진정제, 마약, 마취제), 패혈증, 화상, 과다한 당질 섭취, CO_2중독
- 증상 : 호흡곤란, 혼수, 부정맥, 고칼륨혈증, 저산소혈증
- 치료 : 호흡지지, 전해질불균형교정, 정맥내 $NaHCO_3$투여

㉰ 대사성 알칼리증 : pH7.45이상, HCO_3 26 이상
- 원인 : 염기과다로 산성 물질 상실 (저칼륨혈증, 이뇨, 스테로이드, 위액상실)과다한 HCO_3 섭취 (우유알칼리 증후군, 산증의 과잉치료, 전혈의 과다수혈) 과다한 HCO_3 재흡수 (알도스테론 과다증)
- 증상 : 호흡수 감소 (보상성), 부정맥, 저칼륨혈증, 저칼슘혈증
- 치료 : KCl투여

㉱ 대사성 산증 : pH 7.35이하, HCO_3 23이하
- 원인 : 산성물질의 과다 (신부전, 당뇨성케톤산증, 아스피린), 염기성부족 (신세뇨관 산증, 탄산탈수효소억제제), 빈혈, 쇼크
- 증상 : 호흡빈도 증가 (보상성), 졸림, 혼수, 혼돈
- 치료 : 전해질 불균형 치료, 정맥내 $NaHCO_3$투여

(서) SMA (Chemical Battery)
① T. Calcium
② T. phosphorus (인)
에너지 대사, 근수축, 조직으로의 산소 공급에 관여
㉮ 정상치 : 2.5-4.8
㉯ 증가 : 부갑상선 기능저하증, VitD중독, 성장호르몬 분비항진, 조직붕괴항진, 만성 신부전
㉰ 감소 : 부갑상선 기능저하, Ca 흡수 부전, 신부전, 급성 췌장염

③ Glucose
④ BUN
⑤ Creatine

(어) Triglyceride (Neutral Fat), 중성지방
생체내의 에너지원으로 중요하다. 음식물 섭취되는 지방의 대부분은 중성 지방이며 장관에서 흡수되어 혈액으로 들어간다. 이들은 간장, 말초조직, 지방조직에서 섭취되며 이때 Lipoprotein, lipase가 큰 역할을 한다.
① 정상치 : 28-160mg/㎗
② 증가하는 질환 : 식이량 과다, lipase부족, TG합성 증가, DM (말초조직 처리 기능 저하), 췌장염, 갑상선 기능저하증
③ 감소하는 질환 : 무 lipoprotein혈증(유전 질환), 갑상선 기능 항진증, 간경변

(저) Cholesterol
각종 스테로이드, 호르몬, 담즙산의 전구체로서 간에서 acetic acid로 합성되

어 HDL, LCAT에 의해 대사되어 steroid나 담즙산이 되어서 배설 되어진다. 혈중 총 cholesterol과 관상동맥질환 발생과는 상관성이 있기 때문에 중요시 되고 있다. 신생아의 혈청 chol 농도는 70mg/dℓ로 낮다. 그후 혈청 chol은 급속한 증가를 나타내며 생후 1년에는 100-150mg/dℓ이 되는데 이 농도는 사춘기까지 거의 변함이 없다.

① 정상치 ; 130-250 mg/dℓ

② 증가 : 고지혈증, 동맥경화증, 폐쇄성 황달, 갑상선 기능저하 등

③ 감소 : 간경화, 간암

(처) T. Protein

산염기 균형의 완충, 면역, 혈액 응고기능, 혈액 구성 성분의 운반체 역할을 한다.

① 정상치 : 6.6-8.4 g/dℓ

② 증가 : 탈수증, 고 γ-globulin혈증, 만성감염성질환, 간질환, 자가면역질환,

③ 감소 : 단백섭취 부족 (영양불량, 흡수장애)
단백유출(단백뇨, 신질환), 소화관 유출(복수, 흉수), 피부(화상, 열상), 실혈
단백합성장애 (간경변, 간염)
단백이화항진 (감염, 종양, 수술, 화상, 갑상선기능항진증)
혈액희석 (수혈, 임신)

(커) Albumin

혈청에는 보통 6.4-8.0g/dℓ의 단백질이 존재하지만 그거의 약 60%는 albumin이고 나머지는 각종 항체, 효소, 응고인자 등 매우 다양한 단백 인자가 혼합되어 있다. 그러한 모든 단백질을 분석할 수는 없어서 총단백과 albumin을 정량하고 총단백에서 albumin을 빼서 globurin을 계산하며, albumin과 globurin의 양적 비율, 즉 A/G비로 생체내 단백 대사의 양상을 어느 정도 파악할 수 있다. albumin은 전신조직, 세포의 영양보급원의 기능을 가진다.

① 정상치 : 3.7-5.2g/dℓ

② 증가 : 탈수증

③ 감소 : 아미노산 부족, 합성저하(간), 혈관외 유출(복수, 출혈),
요로배설 항진(신증, 신장염)

(터) AST, ALT (=SGOT, SGPT = OT/PT)

AST = aspartate amino transferase, ALT = alanine amino transferase

조직에 장애가 있을시에 혈중으로 유출되어지는 것으로 분자량이 크므로 혈액 유출이 쉬운 심근, 간, 근육, 혈구 장애에 많다.

① 정상치 : 0-40U/L

② 고도증가 : 전격성 간염, 급성 간염, 금성 순환부전

③ 중증도 증가 : 만성간염, 알콜성 간염, 심근경색, 근질환, 용혈성 질환
④ 경도증가 : 지방간, 간경변, 간암

(퍼) ALP
Alkaline phosphatase 흡수, 분비가 활발한 부위에는 ALP가 풍부하다.
① 정상치 : 2.0-7.0 mg/dℓ
② 증가 : 간담도계질환, 골질환(골 생성 항진), 간염, 폐쇄성 황달, 간경변

(허) TB (Total Bilirubin)
적혈구의 Hgb가 비장의 세망내피계에서 효소에 의해 대사된 물질로서
Indirect B : 혈구가 파괴되어 생산되는 bilirubin의 양이 많아지는 것으로 용혈성 황달시 증가한다.
① 정상치 : 0.2-1.2mg/dℓ
② 증가 : 적혈구의 파괴증가. 담도폐쇄, 적혈구 조혈 증가, 간질환(간염, 간암)

(고) DB
Direct B : 간장에서 배설된 담즙이 담도를 통하여 소화기로 배설되지 못하고 혈액으로 흡수되는 것으로 폐쇄성 황달시 증가한다.
가) 정상치 ; 0-0.4MG/dℓ

(노) Mg
세포내 대사에 관여하는 인산효소 반은의 활성인자로 특히 인산전달 반응과 ATP가 관여하는 효소계 반응의 필수 이온이다. 장관에서 흡수되며 신장에서 배설된다. 흡수에 영향을 주는 인자는 Mg 섭취량, vitamin D, 부갑상선 호르몬, 지방 섭취량이 관여하고 있다. vitaminD, 부갑상선 호르몬은 Mg의 흡수를 높이는 작용을 한다.
① 정상치 : 1.5-3.0MG/dℓ
② 증가 : 감상선 기능 저하, 신부전, 당뇨병성 질환, 다발성 골수종, 부신 적출, 에디슨병
③ 감소 : 신우신염, 세뇨관성 산혈증.

(도) CRP
① 정상치 : <0.8mg/dℓ
C-reactive protein
생체내 염증, 조직 괴사시 급속히 증가되는 물질로 ESR보다 예민하다.
감염 후 14-26시간내에 혈청에 출현한다.
② 양성 : 세균 감염증, 악성 종양, 류마티스열, 급성 심근 경색증, 화상환자.

(로) Coagulation Battery

① BT (Bleeding time)

지혈될 때 까지의 시간으로 plt 수와 기능, 모세혈관기능, 피부 혈관 조직의 성상에 영향을 받는다. 가장 큰 영향은 혈소판이다. 혈소판이 8만 이상인 경우에 출혈 시간이 지연되면 혈소판의 기능의 이상을 시사한다.

㉮ 정상치 : 1-4min

㉯ 증가

- PLT 수의 저하 : 8만 이하시, 혈소판간소증
- PLT 기능 저하 : 급성 백혈병, DIC, 간기능 저하, 신부전, aspirin양 증가

② PT (Prothrombin time)

통상 PT는 PTT 및 fibrinogen 농도를 측정하여 이를 조합하여 혈액 응고능 screening 검사로서 사용된다. 이것80으로 응고 이상을 진단 할 수 있다. 즉 PT는 Ⅱ,Ⅴ,Ⅶ,Ⅹ 인자의 변화를 반영한다.

㉮ 정상치

- 10-13 sec
- 75-125%
- 1.0-1.2 INR(International Normalized Ratio)
  : 다른 검사실간 시약간의 측정치 비교가 가능하게된 환산법

㉯ PT의 연장

- 선천적 : 유전자 이상 - 응고인자 생성량 감소, 이상 분자 생성
- 후천적 : Vitamin K에 관여하는 것
  - 섭취감소 (식이중 섭취 부족, 장내 세균에 의한 합성 장애)
  - 흡수불량 (설사, 흡수부전증후군, 장내담즙감소)
  - 이용불량 (VK길항제, 간질환)
  · 생산장애 - 간세포 장애
  · 소비항진 - DIC
  · 저지인자 - 순환 항응고인자 (SLE), FDP, 이상단백혈증

③ aPTT (Activated partial Thromboplastin Time)

활성화 부분 APTT의 검사 목적은 PTT와 마찬가지로 내인계 응고 장애를 검토하기 위한 검사이다. PTT는 오차가 측정 방법에 있어서 큰데 반하여 APTT는 안정되어 측정치를 얻을 수 있고 자동화의 보급으로 일상 검사에서 주로 이용한다. APTT는 내인계의 응고인자가 관여하는데 Ⅸ,Ⅷ 인자 및 공통계로서 Ⅹ,Ⅴ,Ⅱ,Ⅰ 인자가 있다. 이들 인자의 장애로는 감소, 결핍, 분자이상, 저지 물질 등이 있다.

선천적으로는 혈우병에서 특히 연장되며, 후천적으로는 간장애, Vit K결핍증, DIC 증후군일 때 연장된다. 정상치는 30-40초이다.

(모) Fibrinogen

fibrinogen은 혈장중의 응고 인자로 factor 1(1인자) 라고 명명되었다. fibrinogen은 응고과정의 최종 단계에 중요한 응고인자 이고, Thrombin의 작용으로 fibrin monometer가 되는데 이것이 서로 중합하면 fibrin polymer로 되어 응고가 생긴다. fibrinogen은 간에서 합성되며 염증, 악성종양, 혈전 급성기, 신장 질환, 당뇨병 등에서 증가하는 경우가 많은 한편 감소하는 경우는 간실질 장애로인한 생산 저하 및 DIC에서처럼 소비항진을 들 수 있다. 그리고 출혈성 소인의 환자가 의심될 때 screeing 검사로 혈중 fibrinogen을 측정한다. 또한 혈전 용해를 위해 urokinase를 사용할 경우도 fibrinogen을 분해시켜 fibrinogen이 감소하게 된다.

① 정상치

200-400mg/dl

② 증가

감염증 (ESR항진시 우선 혈장 Fbg 증가가 추측된다), 악성종양, 뇌혈전, 당뇨병, 신증, 에스트로겐 투여, 헤파린 투여 중지 후, Fbg 제제 및 신선한 동결 혈장의 대량 또는 장기간의 투여시 증가한다.

③ 감소

선천적 무 또는 저 Fbg혈증(대단히 드물다), DIC를 포함한 전신성 또는 장기 혈관내 응고 증후군, 거대혈전증과 같은 응고과정에서 Fbg소비, shock등 여러 가지 질환에서 Fbg 분해 항진, Fbg 생성 장애를 보이는 중증 간장애(만성 간염, 간경변) 또는 대량 출혈 등에서 Fbg농도는 감소한다.

(보) FDP (Fibrinogen Degradation Product) : fibrinogen 분해 산물

FDP의 형성은 fibrin분해 과정에서 생기는 분해 산물로 섬유소 붕괴 부산물 측정은 섬유소 용해 체계의 활동을 직접적으로 나타낸다. 섬유소 응괴가 용해될 때 피브리노겐과 섬유소 붕괴 부산물(X,D,E,Y)이 형성된다.

Thrombin은 초기에 응고를 가속화 시키고 plasminogen을 plasmin으로 전환을 촉진 시킨다. 이 plasmin은 fibrinogen과 fibrin을 FDP로 변환 시킨다. FDP는 항응고제로 작용하여 여러 조직에서 출혈을 유발 시킨다.

① 정상치 < 10㎕㎕㎕ /ml

② 증가 : DIC, 혈전증, 신질환, 갑상선 기능항진증, 기타 악성종양

- 1차 fibrinolysis : fibrinolysis계 반응이 응고계 항진과 직접 관여하지 않고 진행하는 상태로 백혈병, 전립선암, 중증간질환, 마취 등에서 나타남.

- 2차 fibrinolysis : 응고 항진, 혈전 형성 이후감염증, shock, 부적합 수혈, 외상, urokinase투여후

(소) AT-ⅢⅢ

활성화된 응고인자를 불활성화 시키는 인자, 즉 응고 저지 물질 가운데 임상적으로나 응고학적으로 중요한 것이 antithrombin Ⅲ이다. 이것은 간에서 생성되므로 간질환시에 혈중 농도가 감소한다. 거의 모든 응고인자가 간에서 생성되므로 간질환시에는 출혈 경향이 높다. DIC에서는 소비가 항진되어서 감소하게 된다.

① 정상치 : 80-120%

정상 혈중 농도는 30mg/dl이지만 정상치를 100%를 기준으로 표기하는 방법이 일반적이다.

신생아의 AT-Ⅲ 농도는 성인의 약 1/2이고 생후 1년이 되면 성인 농도에 달한다. 신생아기의 간의 AT-Ⅲ 생성이 불충분하기 때문이라고 생각한다.

② 감소

- 선천적 : 양적 감소 (상염색체 우성 유전)
- 후천적 : 간경변증, 신증, DIC, 폐경색, 심근 경색, 패혈증, 광범위 외상, 악성종양, 동맥경화, 당뇨병 등 ...
- 생리적 감소 : 임신, 신생아

(오) 간염검사

① HBsAg (HBs 항원)

B형 간염 바이러스 감염 이후 제일 먼저 나타나며 잠복기간 동안 혈청에서 검출된다. 급성 간염 초기에 GOT, GPT 증가 이후 최고치에 도달된다. 양성의 의미는 그 사람에게 현재 B형 바이러스가 있을 가능성과 전염성의 가능성을 나타내는 것이다.

HBV에 감염되면 발병하거나 carier 상태로 된다. 무증후성의 HBV carrier, 만성 B형 간염, 급성 B형 간염, HBV에 의한 간경변, 간암을 고려하여 다른 HBV 관련 항원 기능 및 간기능 검사를 정기적으로 시행하여 해석한다.

② HBsAb (HBs 항체)

일반적으로 증상이 나타나기 시작한 후 3-4개월 후인 회복기에 나타난다. HBs 항원이 사라지고 완전히 회복된 다음에 나타나는 것이 보통이다. HBs 항체 양성의 의미는 B형 간염의 임상적 회복 및 면역 형성을 나타내는 지표가 된다.

③ HBeAg (HBe 항원)

HBe 항원의 존재는 감염성이나 간염 활동성의 지표로서 유용하다.

HBe 항원의 양성은 HBe 항체 양성 혈액보다 1억배나 전염성이 높다.

④ AntiHCV

HCV에 감염된 후 비교적 조기에 양성이 되고 HBV 소실 후에도 지속해서 양성을 보인다.

⑤ HBV (Hepatitis B Virus)

감염 경로는 수혈, 주사, 혈액 등을 통한 감염과 수직감염이 주를 이룬다. 헌혈자의 HBs 항원은 폐기한다. 수직 감염은 carrier 상태를 이루는 가장 높은 빈도를 보이는 것으로 특히 HBe 항원이 양성인 모친에게서 태어난 아니는 HBIg 또는 HB vaccine 투여를 시행하지 않으면 80%가 carrier화한다.

혈중 HBV-DNA측정은 virus DNA가 내장된 HBV 입자의 검출을 의미한다.

즉, 혈중에 HBV가 존재하고 간세포 중에서 HBV가 증식 중임을 표시하는 직접적인 증명이된다. 이 검사는 항바이러스 제제의 효과를 볼 때 필요하다. 또 만성 간염이 급성화 될 때 양성화가 나타나고 급성 간염의 회복기에 음성화된다.

⑥ HCV (Hepatitis C Virus Antibody)

C형 간염은 종래의 비A비B형 간염의 대부분을 차지한다. 수혈 후 간염, 만성 간염의 90%이상, 산발성 비A비B형 간염의 약 50%가 C형 간염이다. C형 간염은 어느 연령에서 감염되어도 carrier로 되고 만성화되기 쉽다. C형 간염의 특징은 비교적 긴 잠복기를 가지고 있으며 급성기 중에도 비교적 약한 정도의 증상을 보이고 때로는 무증상을 보일 수도 있다.

⑦ PCR

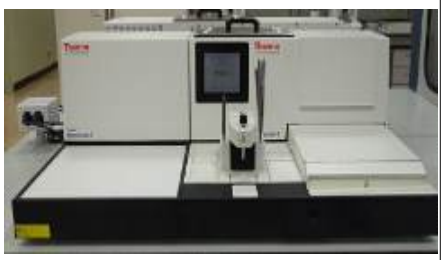
C형 간염의 측정 방법인 C100 항체 측정계의 문제점중 하나가 위양성과 위음성이 있다는 것이다. 임상적으로 C형으로 생각되는 증례에서 C100 항체가 음성인 경우에도 virus 유전자를 직접 검출하는 PCR (Polymerase chain reaction)으로 virus감염이 증명되는 경우가 있다. 이것은 virus에 감염되어 있으면서도 항체 생산이 나쁜 생체가 있는 것도 원인이 되지만 virus의 유전자가 변이를 일으켜 특이 항체를 생성하지 않을 가능성도 있는 것이다.

다. 병리조직 검사

모든 동물을 부검하여 1차 육안 관찰을 하였으며, 폐, 신장, 간, 심장, 비장 등의 장기를 적출하여 각각의 중량을 측정한 후, 10% 중성 포르말린 용액에 고정 보관하고 장기조직 중 폐는 병리조직학적 검사를 한다. 해부된 조직을 고정 시

킨 후 표 21의 순서로 검체 제작은 조직에 대하여 일정한 두께로 삭정한 다음, 일반적인 조직처리과정을 거쳐 파라핀 포매하고 2~3㎛ 두께로 박절하여 조직절편을 제작한 후, H&E(Hematoxylin & Eosin) 염색을 실시한다. 완성된 조직 검체는 광학현미경(Olympus BX50, Olympus Optical)으로 관찰하였으며, 관찰한 조직에 대하여는 광학현미경에 부착된 디지털 카메라(Olympus DP70, Olympus Optical)를 이용해 사진 촬영한다.

표 21 병리조직 채취 과정

순서	검사 단계	검사 내용	
1	수세		흐르는 물로 고정액 제거
2	탈수		저농도 Alcohol에서 고농도 Alcohol을 거치면서 수분제거
3	투명		Xylene에서 탈Alcohol과정
4	침투		Paraffin을 조직내부에 침투시키는 과정
5	포매		paraffin block을 만듬
6	삭정		박절을 위해 paraffin block을 다듬는다
7	박절		박절기로 조직을 두께 2μ내외로 자른다

라. 단세포전기영동시험(Comet assay)

인간에게 있어 어떤 화학물질에의 폭로를 감지하고 정량화하는 것은 외부물질에 대한 인간의 생물학적 반응과 화학물질의 특성을 이해하는데 중요한 일이라 할 수 있다. 이러한 면에서 독성, 암 발생과 노화 등을 연구하는데 있어서 세표의 DNA 손상을 민감하게 감지해 줄 수 있는 기술들이 유용하게 사용되어져 왔다. 특히 대부분의 암유발원이나 독성물질들은 특정기관에 작용하기 때문에, 각각의 세포수준에서 DNA 손상을 감지할 수 있는 기술을 개발하는 것이 중요한 과제라고 할 수 있겠다.

요즘 산업장에서 사용되어지는 유해물질에 대한 유전독성 연구는 활발히 이뤄지는 분야 중의 하나로 동물이나 박테리아에 유해물질을 투여하여 그 독성을 검사하는 소핵검사나 Ames test 가 있으며, 사람을 대상으로 한 방법은 염색체 이상, 자매염색체 교환, Ames test 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 실험이 복잡하거나(염색체 이상), 슬라이드에서 판독할 때 개인적인 차이가 많이 나타나거나(자매염색체교환), 사람에게는 적용하기 힘들거나(소핵). 변이원성의 선별검사 수준(Ames test)이라는 한계들을 가지고 있다. 그 이후 개발된 단세포 전기영동법(single cell gel electrophoresis)은 DNA 손상을 정량화할 수 있는 비교적 간편한 방법이어서 유전독성 연구에 많이 적용되고 있다(류재천 등, 1997). 이 방법은 분석결과 나타나는 모양이 혜성의 모습과 같아 Comet assay 라고도 부르며, Microgel Electrophoresis assay 라고도 부른다.

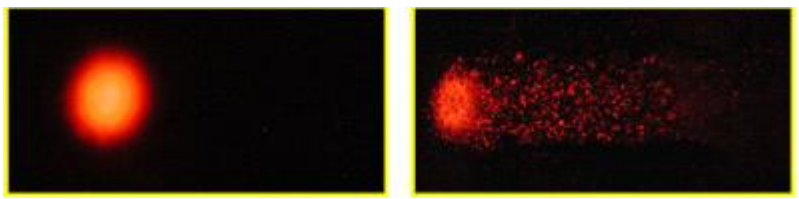


그림 23 정상세포(전) 및 손상세포(후)

단세포 전기영동법(single cell gel electrophoresis, 이하 comet assay)은 분자독성학을 비롯하여 유전자 손상에 관련된 연구에 널리 적용되어지는 방법으로 처음 Ostling과 Johanson(1984)에 의해 도입되었다. 그 이후 Singh 등 (1988)에 의해 보다 민감하게 DNA damage를 감지할 수 있는 alkaline 방법으로 발전되었다. 이후 계속적으로 분석법이 발전하였고, OECD guideline으로 채용되기 위해 alkaline 분석방법이 수렴되었다(Tice RR et al, 2000).

Comet assay는 적은 세포 수(1-10,000 cells)로도 실험이 가능하고 하루만에 결과를 얻을 수 있으며, 비교적 저렴한 실험비용이 소요되어 최근 들어 이 방법은 방사선(Singh et al, 1988; Olive et al, 1990)이나 화학물질(Tice et al, 2000) 뿐만 아니라 비노출 인구집단에 대한 유전독성을 평가하고, DNA repair(Tice,

1995), apoptosis(O'Connell and et al, 2000)를 연구하는데 사용되어지고 있다.

Comet assay가 직업적으로 유전독성 물질에 노출되는 근로자들에서 생물학적 모니토링으로 사용될 수 있음이 Moller등(2000)에 의해 광범위하게 고찰되었다. 생물학적 모니토링에 사용된 노출물질은 styrene, vinyl chloride, 1,3-butadine, 농약, 염모제, 항암제, 유기용제, 폐기물, 나무먼지, 방사선 등이다. Andreoli등(1997)은 주유소에 근무하는 사람들이 낮은 수준의 benzene에 노출되었을 때 노출군에서 DNA 손상이 통계적으로 유의하게 높게 나타났음을 보고하여, 낮은 농도의 유전독성 물질 노출에 의한 DNA 손상을 평가하는데 comet assay가 매우 유용함을 나타내었다.

Comet assay는 DNA 손상을 평가하는 것이지만, 여기서 평가된 DNA 손상이 영구적인 것은 아니다. 실험실에서 세포 배양실험 결과를 보면, 세포의 DNA 손상은 수분 수십분 내로 회복되는 것으로 확인되었다. 따라서 comet assay는 유전독성을 나타내는 것이기도 하지만, 직접적인 건강장해를 나타내는 지표라기보다는 유전독성 물질에 얼마나 노출되었는지를 나타내는 지표로서 더 큰 의미가 있다.

(1) Comet assay에 의한 DNA 손상 평가방법

comet assay는 실험방법에서 다시 언급되지만, DNA 손상 평가는 혈액의 임파구 100개의 DNA 손상을 평가하여 그 평균값으로 하고 있다. 왜냐하면 특별한 유전독성물질에 노출된 경력이 없더라고 DNA 손상을 보이는 세포들이 발견되기 때문이다. 각각의 세포수준에서의 DNA 손상을 평가하는 방법은 이론적으로는 매우 간단하다. 즉, 손상된 부위를 나타내는 꼬리(tail) 부분의 양을 계산하면 된다. 그러나 그 양을 계산하는 방법이 연구자마다 완전히 통일되어 있는 것은 아니다.

DNA 손상을 평가하는 방법 중의 하나는 머리 부분 뒤로 늘어난 꼬리의 길이만을 고려하는 “Tail migration”을 보는 방법이다. 이것은 Komet program과 같은 값비싼 컴퓨터 프로그램을 활용하지 않고, tail의 길이를 바로 재어서(렌즈에 자기 붙어 있는 렌즈 사용 등) 할 수 있다. 그러나 실제로 형광현미경 하에서 “렌즈의 자 “가 잘 보이지 않기 때문에 상당한 숙련이 요구된다. 또한 tail의 끝을 어디로 정해야하는지도 검사하는 개인 간에 차이가 심할 수 있기 때문에 일반적으로 Komet program이 제공하는 tail parameter들을 많이 사용한다.

Komet program을 의지하지 않고 DNA 손상을 평가하는 또 다른 방법은 꼬리부분을 정량적으로 평가하는 것이 아니라, 정성적으로 평가하는 방법이다. 1에서 5까지의 번호를 DNA 손상 정도에 따라 부여하고, 100개의 세포의 값을 평균하는 방법이다. 이런 방법은 빨리 결과를 평가할 수 있는 장점이 있지만, 숙련된 실험자가 아니면 사용할 수 없고, 실험실 간의 차이가 매우 클 수 있다. 또한 comet assay가 적용되는 실험에 따라 번호를 부여하는 방법이

달라져야 한다. 예를 들어 독성물질에 노출된 세포를 comet 실험을 통해 확인하는 실험에서 DNA 손상은 매우 크지만, 산업장 근로자들의 혈액세포에서 DNA 손상을 평가할 때는 그 손상 정도가 훨씬 작다. 따라서 생물학적 모니토링 방법으로 적합하지 않으며, comet assay에 숙련된 실험실 내에서 DNA 손상을 평가하는데 사용할 수 있다.

(가) Tail moment parameter의 종류 및 계산방법

Komet program이 제공하는 tail parameter 중에서 일반적으로 가장 많이 사용하는 것은 tail moment값이다. 연구문헌에서 tail moment값을 사용했다고 표현된 것이 바로 이것이다. Olive 등에 의해 제안되었기 때문에 Olive tail moment라고 불린다. Olive tail moment 외에 Komet program이 제시해주는 tail parameter 중에서 Tail DNA%, Tail extent moment값이 좋은 평가지표로 판단된다. 왜냐하면 Tail DNA%는 전체 DNA 중에 tail에 분포한 DNA%를 제시해주는 것이기 때문에 세포의 크기와 관계없이 세포의 DNA 손상을 잘 평가하는 것이라고 인정될 수 있기 때문이다. Hellman 등(1995)은 tail이 일정 길이 이상 진행되지 않기 때문에 tail에 존재하는 DNA양 측정이 보다 정확한 방법이라고 주장한다. Tail extent moment는 Olive tail moment의 tail distance와는 달리, tail 전체의 길이에서 tail의 DNA%를 곱해 준 값이다.

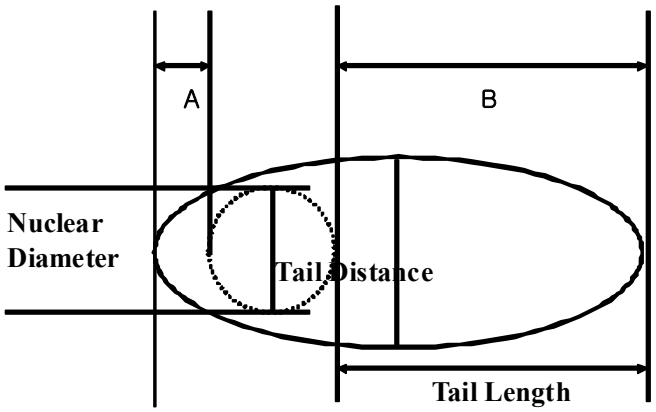


그림 24 Tail moment 계산방법

(나) Tail parameter의 비교평가

비록 Olive tail moment 값이 가장 많이 사용되고 있지만, 우리나라에서 comet assay를 생물학적 모니토링 방법으로 활용하기 위해서 어떤 tail parameter가 가장 좋은지 평가할 필요가 있었다. 이미 낮은 농도의 벤젠 노출에 의해 DNA 손상이 일어나는 것이 외국문헌에서 보고되었기 때문에 일

개 지역의 인쇄회사를 근로자 41명과 대조군 41명에 대하여 Olive tail moment, Tail DNA%, Tail extent moment를 상호 비교 평가하였다.

혈액의 T 임파구에서 3가지 parameter를 비교한 결과 3가지 parameter 중에서 Tail DNA%와 Olive tail moment값만이 벤젠 노출군과 대조군 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였고($p<0.001$), Tail extent moment는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. Tail DNA%는 노출군에서 10.83%, 대조군에서 9.41%를 보였고, Olive tail moment는 노출군에서 1.75, 대조군에서 1.47을 보였다. 반면에 통계적으로 유의하지 않았던 Tail extent moment는 노출군에서 4.05, 대조군에서 3.79를 보였다. 노출군과 대조군을 모두 포함하여 벤젠의 대사물질인 요 중 muconic acid와 3가지 parameter들 간에 spearman 상관관계를 구한 결과 Tail DNA%와 Olive tail moment는 각각 0.319, 0.345로 통계적으로 유의한 값이 나왔고($p<0.01$), Tail extent moment는 spearman 상관계수가 0.073으로 매우 낮았고, 통계적으로 유의하지도 않았다($p>0.5$). 따라서 3가지 tail parameter 중에서 Tail DNA%와 Olive tail moment값이 유용함을 확인하였다.

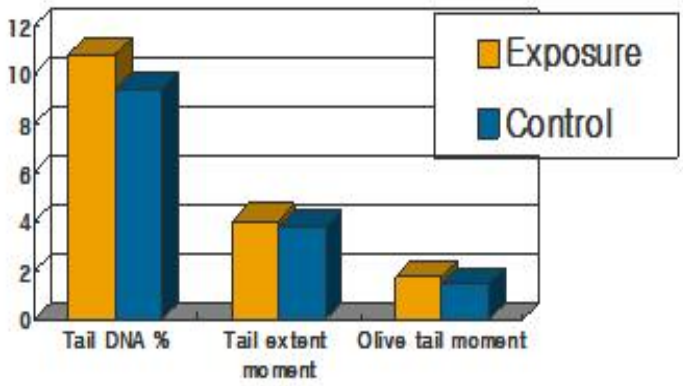


그림 25 벤젠 노출군(exposure)과 대조군의 3가지 tail parameter의 평균값

(2) Comet assay의 장점

comet assay는 Nucleoid sedimentation(Cook, P.R. and I.A. Brazell, 1976)과 hato assay(Rotti Rotti J.L. and W.D. wright, 1987)와 같은 다른 방법들을 적용하여 alkaline 상태를 만들어 줌으로써 단일 가닥 DNA 손상을 보다 명확하게 만들어 주었고, 실제로 nucleoid sedimentation 이나 alkaline elution 만큼 민감한 방법으로 소수의 strand breakage를 나타내 줄 수 있는 것으로 평가되고 있다(Andrew R.C. et al, 1995).

이제까지 연구된 바로는 pH가 중성인 경우 double strand breakage를, alkaline인 경우 double strand breakage 보다는 single strand breakage를 유

발하기 때문에 DNA 손상을 감지하는데 alkaline의 경우가 더욱 민감한 방법이라는 보고가 있으나(Singh, N.P. et al, 1988), 실험 목적에 따라 적절한 방법을 선택하여야 한다. 실험과정에 있어 data 분석까지 하루에 끝낼 수 있어 간단하고, 단일세포수준에서 정량이 가능하므로 적은 양의 sample 수로도 실험이 가능하며, 형광염색에 의해 눈으로 직접 확인할 수 있다는 장점이 있다.

또한 comet assay는 빠른 시간 내에 간편하게 세포수준에서 data를 얻을 수 있어 DNA 손상을 유발할 수 있는 물질에 대해 subpopulation에서 저항성이나 민감도를 측정해 볼 수 있고, 적은 수의 세포에서 실험가능하며 DNA 손상을 감지하는데 민감하여 109 dalton 당 0.1 DNA breakage를 감지할 수 있는 매우 유용한 장점을 갖고 있다. Cell cycle position에 영향을 받지 않는 것으로 보고되어(Olive et al, 1990) asynchronous로 배양된 세포에 적용가능하고, 세포주기 stage가 동일할 필요가 없는 primary 세포에서도 적용가능하며 장비면에서도 다른 short term test에 요구되는 것보다 훨씬 적다는 장점을 지녀 최근 몇 년간 comet assay를 통해 DNA 상해를 본 논문들이 과학선진국을 중심으로 급격하게 증가되고 있다(Fairbairn D.W. et al, 1995).

(3) Comet assay의 실험 방법

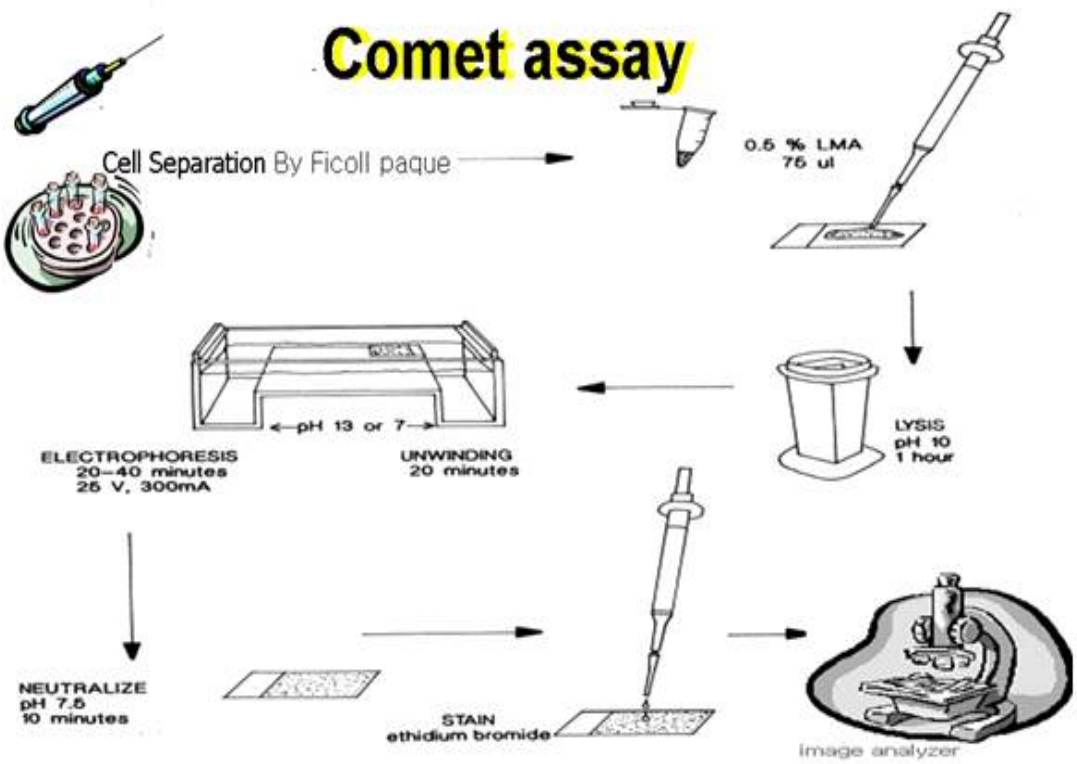


그림 26 Comet assay procedure

(가) 실험도구

- Vacutainer
- Heparin Tube
- 50㎖ , 15㎖ conical tube
- Centrifuge
- 1㎖, 200㎕, 100㎕ Auto pipet , Pasteur pipet
- Microcentrifuge tube
- Hot block : 37℃와 65℃로 setting
- Fully frosted slide (Fisher Scientific 3″×1″×1 ㎜)
- cover glasses : Type of cover glasses 24×24㎜, 24×50㎜
- cell counting 용 현미경 및 Haemacytometer
- Coplin-jar
- 전기영동 Kit 및 power supply
- 형광 현미경 및 Komet 4.0 program

(나) Sample 준비

① Whole Blood에서 Lymphocytes 만 걷을 때

- 15ml conical tube에 ficoll-paque(1.077, SIGMA)를 2㎖ 넣는다.
  * Ficoll의 최소의 양은 2㎖으로 한다.
- Whole Blood 1㎖에 PBS 1㎖을 넣고 pipet으로 조심스럽게 섞는다.
  (보통 혈액 : PBS = 1 : 1로 한다.)
- 2㎖ blood mixture를 15㎖ Tube에 들어 있는 Ficoll 위로 벽면을 따라 혼합되지 않도록 조심스럽게 loading 한다.

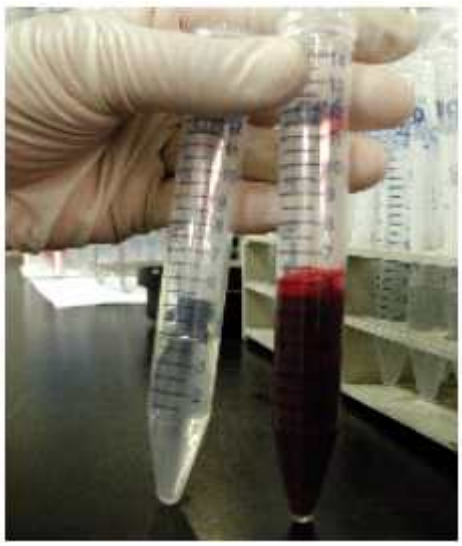


그림 27 Sample 준비

- 1800~2000rpm에서 20분 동안 centrifuge down 시킨다.(Break off 안되는 것 사용)
- Centrifuge down(이하 cfg)이 끝나면 tube가 흔들리지 않도록 조심하면서 꺼낸다.
- Pasteur pipet을 이용하여 구름띠 모양을 하고 있는 Lymphocytes층만을 걷어 새로운 15㎖ conical tube에 담는다.
- Lymphocytes는 RBC나 granulocytes등이 섞여 있을 수 있으므로 PBS를 이용하여 3회 washing 한다. 즉, PBS 10㎖ 정도 넣고 2000rpm으로 10분 cfg하여 pellet만 남기고 상층액을 버린 다음 다시 이를 2회 더 반복한다.

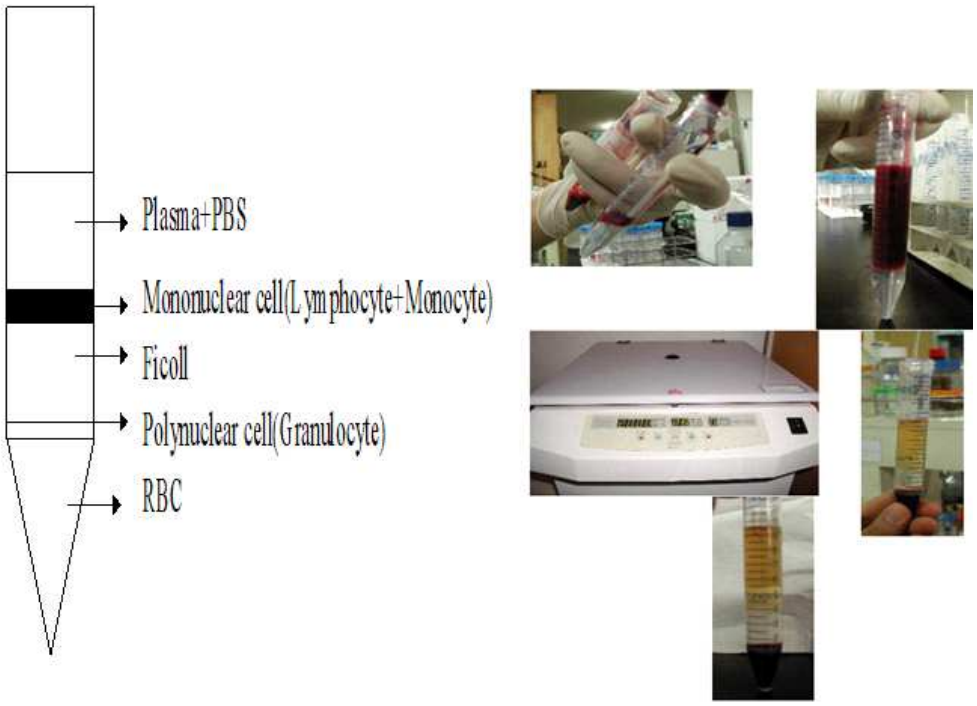


그림 28 Ficoll을 이용한 림프구 층 분리

- Washing이 끝나면 1㎖ PBS로 pellet을 섞는다.
  * Whole blood의 양에 따라 희석되는 PBS양 조절한다.
- Pellet에서 10㎕ aliqute를 haemacytometer에 넣고 세포수를 count한다.
- Cell의 적정수인 3~5×105 cells이 되도록 PBS로 희석 또는 농축을 한다.
  * 농축시 4000rpm에서 5분 동안 Centrifuge down시킨다.

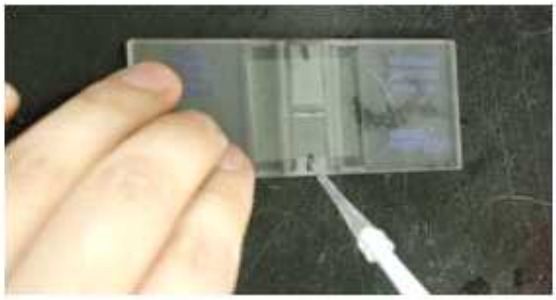



그림 29 세포단위 병리관찰

② Whole Blood에서 Lymphocytes 와 Granulocyte를 같이 걷을 때

- 채혈된 혈액 중 2-3 ㎖의 혈액에 동량의 PBS를 넣어 희석 한다.
- 15㎖ cornical tube에 ficoll-paque(1.119, SIGMA)와 ficoll-paque(1.077, SIGMA)를 각각 3㎖씩 넣어 농도구배층을 형성한다.
- 그 위에 조심스럽게 희석한 혈액 샘플 4㎖을 넣고 clinical centrifuge를 이용하여 700g의 속도로 30분간 원심분리 과정을 통하여 림프구와 과립구를 분리한다.
- Cfg가 끝난 후 15㎖ conical tube를 조심스럽게 꺼내 pasteur pipet을 이용하여 림프구와 과립구를 분리한다.
- 15㎖ conical tube에 넣고 부피가 12㎖이 되도록 PBS를 넣어 2000 rpm의 속도 로 10분간 3번 washing한다.
- 림프구와 과립구에 적혈구가 포함되어져 있을 경우 적혈구 lysis buffer를 1㎖ 넣어 상온에서 10분 동안 배양하여 적혈구 세포를 제거시킨 후 PBS를 이용하 여 2000 rpm 속도로 10분간 washing한다.

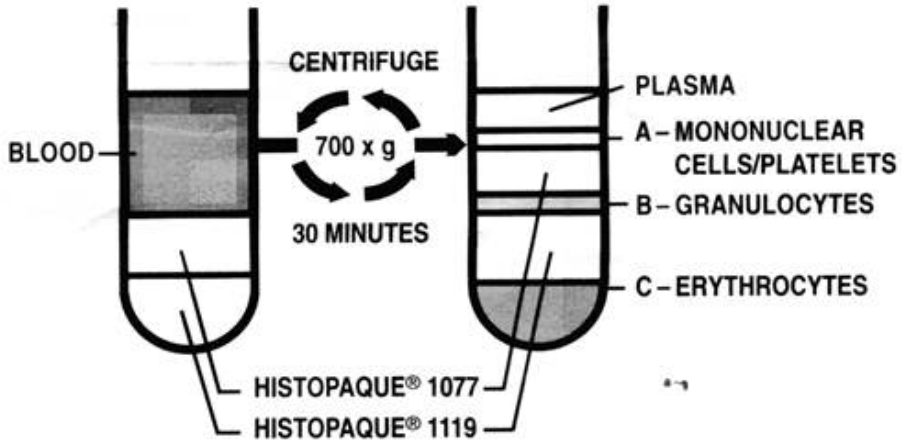


그림 30 2개의 Ficoll을 이용한 림프구 층 분리

③ Cell counting 방법

- 먼저 coverglass를 Hemacytometer위에 올려놓는다.
- 아래 그림에서 보듯 카운팅그리드가 있는 한쪽 끝에 홈이 있으며,(삼각형모양) 그 홈으로 세포가 담겨진 미디어를 떨어뜨리면 모세관 현상으로 인해 coverglass 와 Hemacytometer로 미디어가 빨려 들어간다.
- 아래 그림에서 보면 정사각형 안에 9개의 정사각형이 있는데, 그 한 정사각형에 들어가는 미디어의 부피는 0.1㎕이다.
- 그 정사각형에 들어있는 세포의 숫자를 현미경으로 보면서 센다.
- 예를 들어 그 한 정사각형 안에 100개가 들어있으면 그 세포의 농도는 0.1㎕당 100개가 있는 것이므로 1000000개/㎖의 농도가 된다. (1㎖ = 103㎕)
- 처음 세포수를 세기위해 떨어뜨렸던 세포가 담긴 미디어의 전체부피를 여기에 곱하면 전체 세포수를 구할 수 있다.

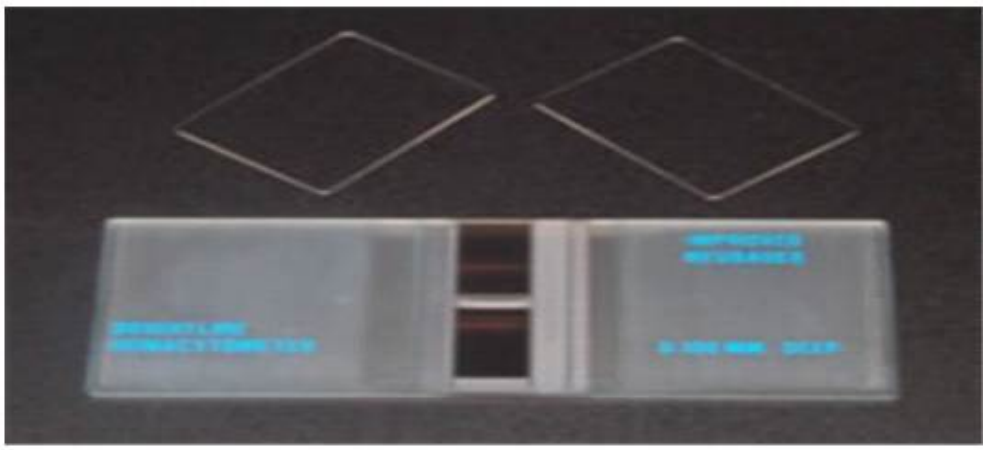


그림 31 세포 관찰 도구: Hemacytmeter

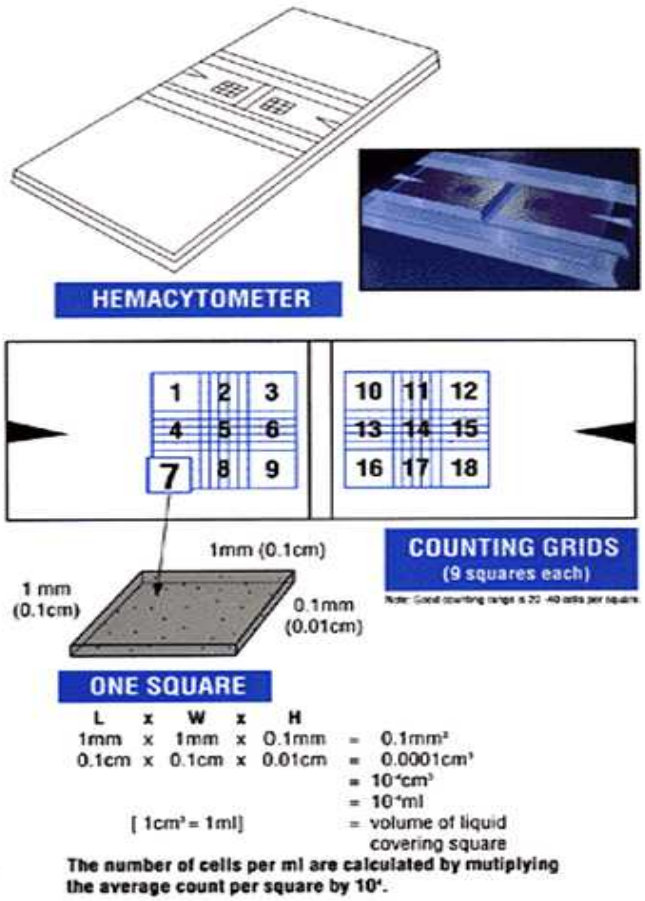


그림 32 Cell counting 방법

④ Slide preparation

㉮ Gel concentration

- Preparation & 1st layer (1%) - Normal agarose (Amresco, Agarose 3:1)
- 2nd layer (1%) - Low melting point agarose (GIBC.BRL)
- 3rd layer (0.5%) - Low melting point agarose (GIBC.BRL)

- Agarose를 50㎖ conical tube를 이용하여 취한 다음 DPBS(pH 7.4)를 넣고 전자렌지를 이용하여 녹인다. Conical tube를 전자렌지용 coplin-jar에 넣어 녹이는데 이때 끓어 넘치지 않도록 잘 보아야 한다. 끓으면 잠시 꺼냈다가 다시 녹이는데,10㎖을 기준으로 할 때 처음에는 10초정도, 두 번째부터는 3초씩 4~5번 정도 반복한다.
- 1%(0.5%) gel을 만들 때: 최대 DPBS의 용량이 10㎖이라면 agarose는 0.1g(0.05g), 보통 10㎖의 gel을 만들면 slide 20장 정도의 prep이 가능하다.

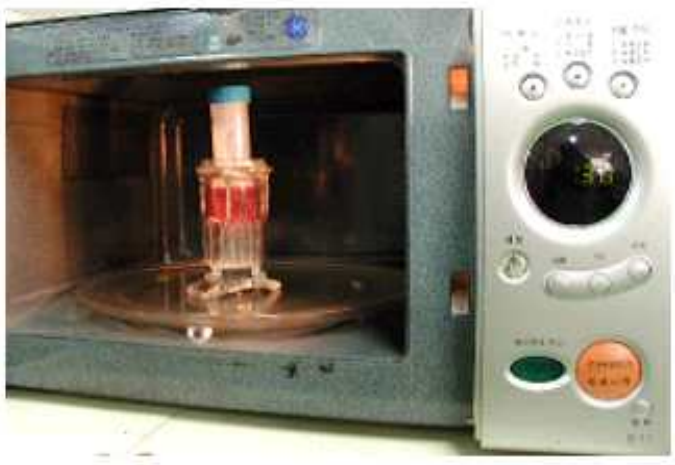


그림 33 Slide preparation procedure

㉯ 녹인 Normal agarose는 Microcentrifuge에 나눠 담아 65℃ hot block에 고정한다. Low melting point agarose의 경우에는 37℃ hot block에 고정한다.



그림 34 Slide preparation procedure

㉰ Gel coating

- Precoating : 1% NMA 50㎕
- 1st layer : 1% NMA 100㎕
- 2nd layer : 1% LMPA 50㎕ + cell suspension 50㎕→100㎕
- 3rd layer : 0.5% LMPA 100㎕

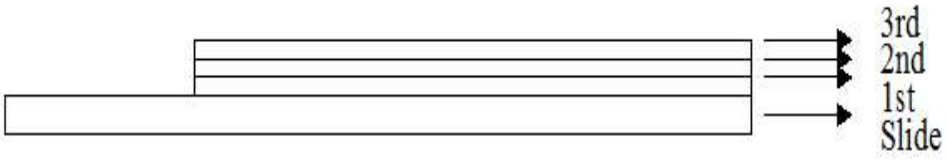


그림 35 Slide preparation procedure

㉮ Slide에 1% NMA 50㎕를 놓은 다음 미는 slide로 고르게 펴서 민다.
㉯ 실온에서 gel을 굳힌다.

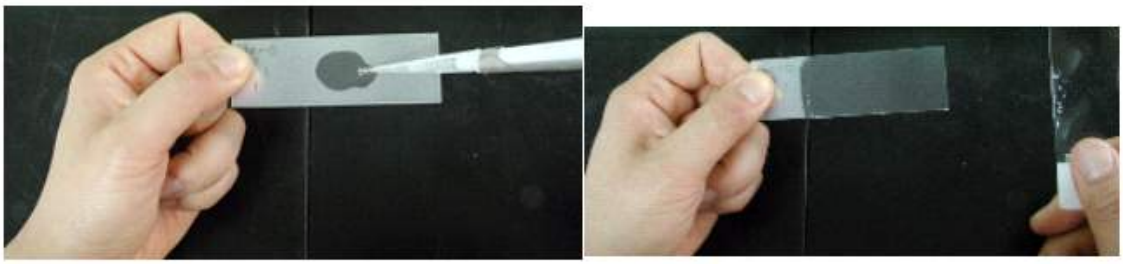


그림 36 Slide preparation procedure

㉰ 1st layer : 1% NMA 100㎕가 slide에 고르게 분주되도록 coverglass를 덮는다. 1% NMA 는 쉽게 굳게 되므로 빠른 동작으로 coverglass를 덮도록 한다.

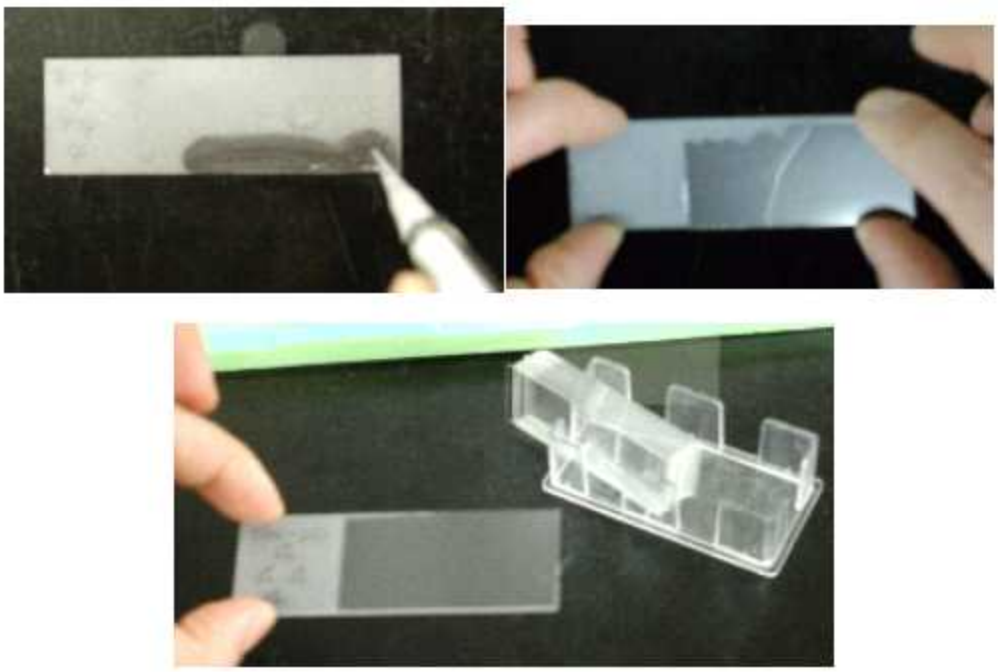


그림 37 Slide preparation procedure

㉮ 실온에서 1~2분정도 지난 후 찢어지지 않도록 주의하면서 coverglass를 벗겨낸다.

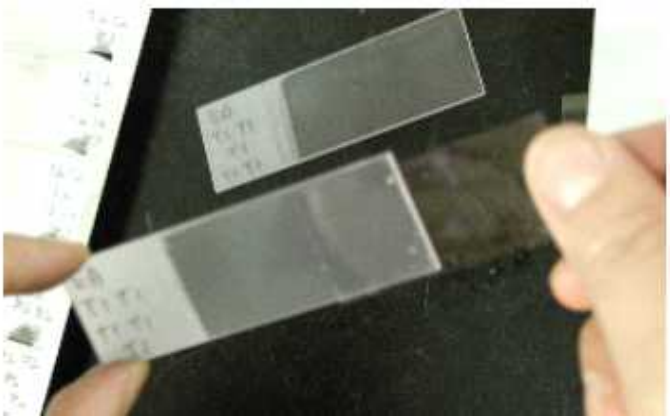


그림 38 Slide preparation procedure

㉯ 2nd layer : 1% LMPA 50㎕ + cell suspension 50㎕을 섞어 100㎕가 되도록 하여 pipet으로 잘 섞어 slide에 분주, coverglass를 덮는다.
- 하나의 sample 당 1쌍의 slide 필요하므로 실제로는 100㎖씩을 섞어 사용한다.



그림 39 Slide preparation procedure

㉰ 상온에서 10~15분 정도 gel을 굳힌 다음 coverglass를 뗀다.
- 1st layer보다 늦게 gel이 굳으므로 서두르지 말고 기포가 생기지 않도록 조심한다.

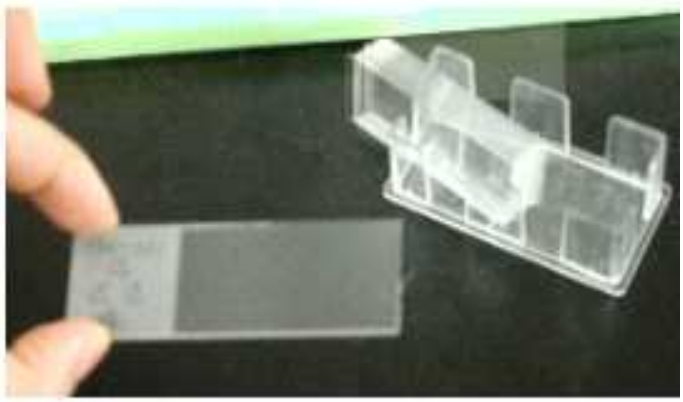


그림 40 Slide preparation procedure

㉯ 3rd layer : 0.5% LMPA 100㎕를 slide에 분주한 후 coverglass를 덮고 15~20분 정도 굳힌 다음 coverglass를 뗀다. (이 단계부터는 암실 조건에서)

⑤ Lysis

* Stock solution

- Lysis buffer 35㎖
- 1% Triton X-100 350㎕

㉮ Lysis buffer는 coplin jar에 직접 만든다.

- Lysis buffer는 DNA만을 볼 수 있게 cell membrane을 깨는 역할을 한다.
- Triton X-100은 점질이 있으므로 tip의 끝부분을 조금 잘라서 사용한다.



그림 41 Making Lysis buffer

㉰ Lysis Stock solution 35㎖을 넣고 Triton X-100을 350㎕를 넣어 잘 섞는다.
㉱ Coplin jar에 slide의 뒷면을 맞대어 넣은 다음 호일로 싸서 냉장고에서 overnight 한다

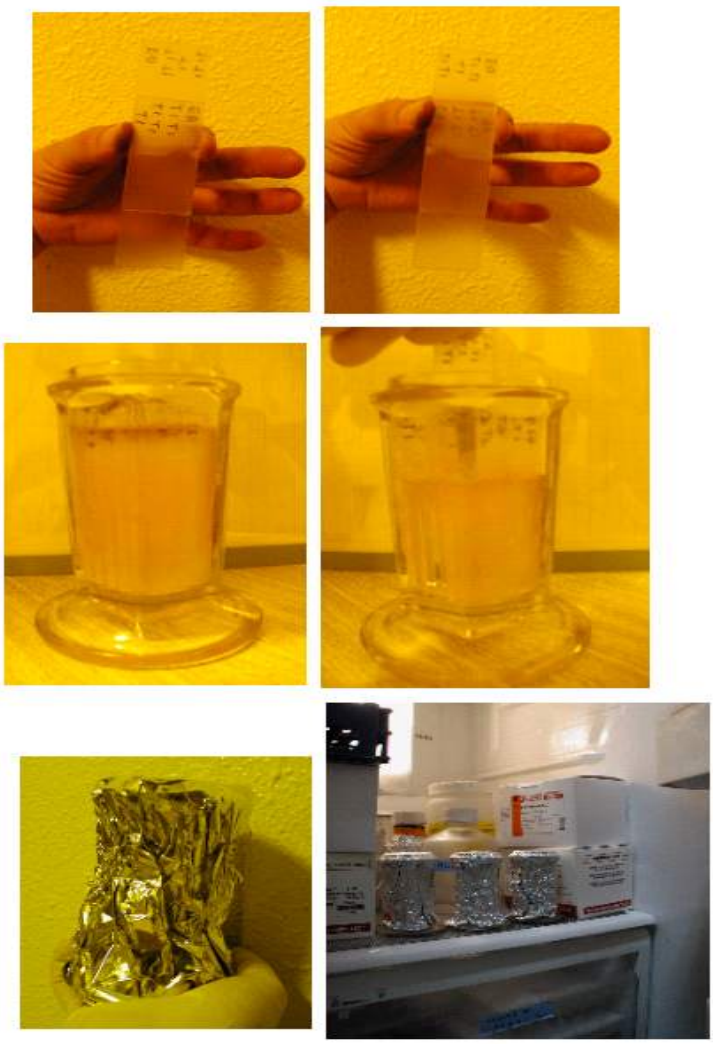


그림 42 Making Lysis buffer

⑥ Alkali Unwinding (pH 13 또는 그 이상)
* Stock solution (slide 10장 기준)
- 3차 D.W 1452㎖
- 10N NaOH 45㎖
- 500mM Na2-EDTA 3㎖

㉮ Unwinding buffer는 1시간 전에 만들어 냉동고에 넣어 두어야 한다. 이 buffer는 Unwinding과 전기영동의 Tank buffer로 사용된다.

- 반드시 당일 만들어 사용하고, 차게 하도록 한다.

㉯ 갈색병에 3차 D·W 1452㎖을 넣고 500mM Na2-EDTA 3㎖과 10N NaOH 45 ㎖을 넣어 잘 섞은 다음 냉장고에 넣는다.

- EDTA 시약은 알칼리성 시약이며, 가장 많이 쓰이는 시약이다.

㉰ Lysis buffer에서 slide를 꺼낸 다음 킴와이프스로 slide뒷면을 잘 닦는다.

- 앞면과 뒷면이 섞이지 않도록 주의한다.

㉱ Coplin jar에 unwinding buffer를 넣고 slide를 넣은 다음 호일로 감싸 빛을 차단한다.

- DNA는 빛에 의해 손상을 입을 수 있기 때문에 호일을 이용하여 빛을 차단한다.



그림 43 Making Lysis buffer

㉲ 냉장고에 20분간 넣어둔다. (이 시간동안 전기영동 Kit를 setting한다.)



그림 44 Making Lysis buffer

⑦ Electrophoresis

- 전기영동에 사용되는 buffer는 unwinding buffer와 같다.
- 전기영동 kit에 buffer를 찰랑찰랑 할 정도로 넣고 power supply를 켠다.
- voltage를 25v로 맞춘다.
- Amperage를 확인하고, buffer를 가감하여 300mA로 맞춘다.
- 달리는 사람으로 표시되어 있는 스위치를 누른다.
- 전기영동은 암실(yellow lamp)에서 20분간 실시한다.

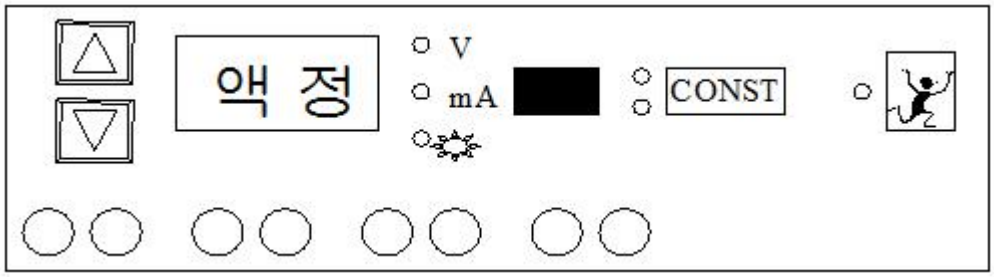


그림 45 Electrophoresis procedure

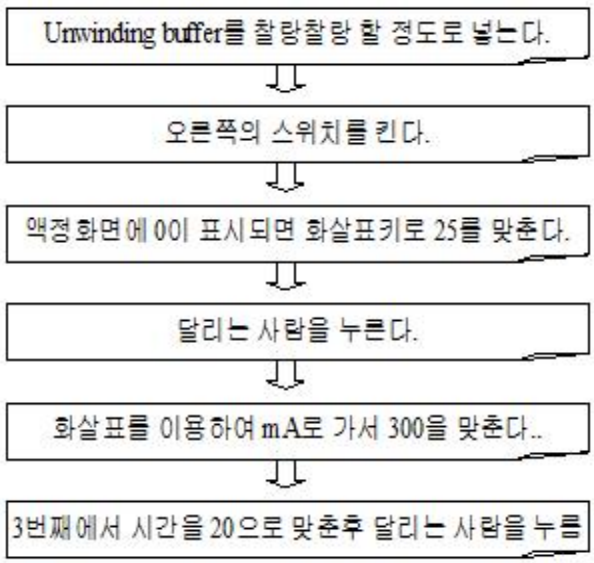


그림 46 Electrophoresis procedure

⑧ Neutralization

㉮ Coplin-jar에 0.4M Tris buffer를 넣는다. (Buffer는 Coplin-jar의 절반정도)

㉯ 전기영동이 끝나면 slide를 꺼내 킴와이프스로 뒷면을 닦는다.

㉰ slide를 coplin-jar에 넣고 10분씩 3회에 걸쳐 중화한다.

⑨ Fixation 과 Air dry

Neutralization이 끝나면 Absolute ethanol(99.9%)에 5분간 담근 후 꺼내 말려

서 (airdry) slide rack에 보관한다.



그림 47 Fixation 과 Air dry

⑩ Staining

㉮ DNA damage 관찰시 EtBr(10㎍/㎖) 50㎕를 slide에 분주 후 coverglass를 덮어 관찰한다.

㉯ EtBr은 carcinogen이므로 반드시 장갑을 끼고 일을 한다.

⑪ Scoreing

Type of data permitted - Image Analyzer , Software(Komet 4.0)이용

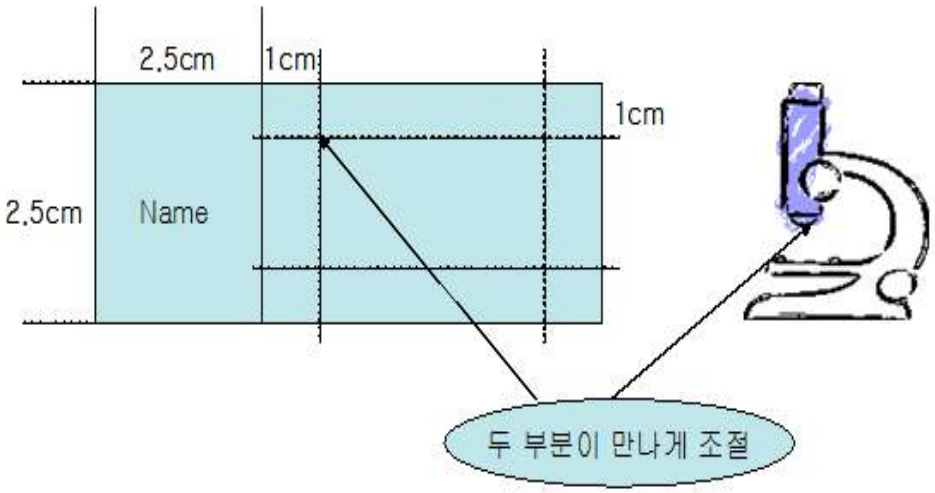


그림 48 scoreing procedure

㉮ 읽을 때는 이름을 적은 부분을 빼고 coverglass 영역만 읽는다.
㉯ coverglass는 slide glass의 끝부분에 맞춰 올려놓는다.
현미경의 렌즈 끝부분과 coverglass 끝부분이 만나도록 한다.

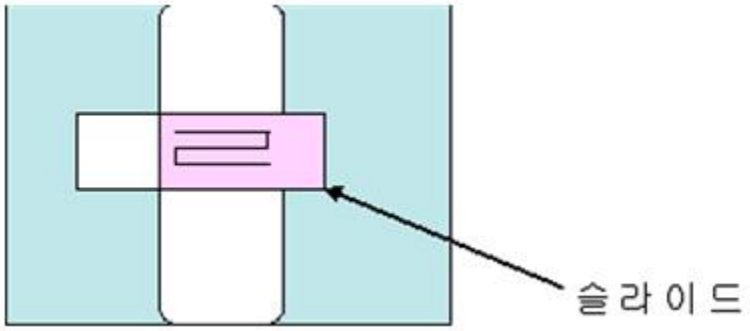


그림 49 scoreing procedure

- coverglass 영역이 5㎝이고 현미경의 거리조절나사의 1/2가 0.5㎝이므로 읽을 수있는 회전수는 10회이지만 커버영역의 끝부분은 거의 읽을 수 없다. 슬라이드 끝에서 1㎝정도는 읽지 않으며 커버 영역의 앞 1㎝도 읽지 않는다. 대부분의 cell은 slide 가장자리에 많고 가운데 부분은 random하게 분포되어 있으므로 되도록 가운데 부분을 옆으로 지그재그로 읽으면 된다. 그러므로 총 9㎝를 읽게 되며 이것은 조절나사를 0.5㎝씩 18번 돌리는 결과이다.

㉰ 한 slide에서 55개씩 읽는다. slide는 sample당 2장씩이므로 총 110여개의 cell을 읽는다.

마. 혈액생화학 검사

혈액학적 검사를 실시한 동물에 대하여 혈액생화학적 검사를 실시하였다. 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 pyrubic trans- aminase), ALP (alkaline phosphatase), LDH (lactate dehydrogenase), TCHO (total cholesterol), Phosphorus등의 항목을 측정하였다. 혈액생화학 검사의 표 22~23과 같다.

표 22 검사항목별 임상적 의의

구분	검사항목	관련 질환 및 임상적 의의
간 기능 검사	**ALP** Alkaline phosphatase	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, 성장기 청소년 ▼감소: 임상학적 의의 없음
	AST (GOT) Aspartate Aminotransferase glutamic oxa-loacetic transaminase	간질환 및 심장질환의 진단 및 경과 관찰지표 간세포 내에 다량으로 포함된 효소로서 간세포가 파손되면 그 파괴정도에 비례하여 혈액내로 유출되어 증가하게 됨 ▲증가: 심근경색, 급성간염, 간암, 간경화, Alcohol성 간염, 폐쇄성 황달 ▼감소: 임상학적 의의 없음
	ALT (GPT) alanine aminotransferase Glutamic Pyruvic Transaminase	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
	r-GTP Gamma Glutamyl Transferase	활동성 만성감염, 간경화증, 간암일 때 현저히 증가하므로 주로 음주성 간질환 진단에 사용됨 간, 신장, 췌장에 분포하는 효소로 간장에 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, 단백이상의 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

표 23 검사항목별 임상적 의의

구분	검사항목	관련질환 및 임상적 의의
신장 기능 검사	BUN blood urea nitrogen	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 Lactate dehydrogenase	에너지생산에 중요한 역학을 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
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 관련 검사	Cholesterol	지방성분으로 식생활과 관련이 깊고 고혈압, 동맥경화를 일으킬 확률이 높음, 유전적 지질대상 이상으로도 혈중 cholesterol수치가 높을 수 있음 ▲증가: 고혈압, 동맥경화, 당뇨, 폐쇄성 황달, 담즙성 간경변, 신증후군 ▼감소: 영양부족, 만성간질환, 갑상선 기능항진증, 교원병 등
	Triglyceride(TG) 중성지질	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
전해질 검사	Inorganic phosphate (무기 인)	혈액 내 무기인은 장관으로부터 흡수, 골로부터 방출, 신장으로부터의 배설에 의해 조절됨, 에너지의 축적, 전달 기능을 하며, 수소이온의 농도유지, 칼슘 대사와 길항작용을 함 ▲증가: 소아, 급/만성신부전, 부갑상선 기능저하, Vitamin D중독증 ▼감소: 원발성 부갑상선기능항진증, 구루병, 골연화증, Vitamin D결핍

마. 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine(8-OHdG)

활성산소종은 거의 모든 세포구조 또는 분자를 공격한다. 비록 노화 및 암과 관련있지만, DNA가 주요 표적이다. 또한, 활성산소종은 주로 doxyribose-phosphate를 손상시키지만 퓨린과 피리미딘 염기에도 제한적인 화학변경을 일이키기도 한다. Deoxyribose 일부분의 산화로 인해 염기가 떨어지거나 DNA 가닥이 끊어짐으로 인해 산화적 염기의 변경은 돌연변이를 일으키며, 4개 염기 모두에서 hydorxy radical이 발생되는 사실에 비추어 단일 산소는 우선적으로 구아닌의 8번째 탄소를 hydorxylation시킨다. DNA 손상에 대한 20개 이상의 부가체들이 알려져 있지만 산화로 인해 변경된 DNA 염기 생성물에 관한 연구에서 민감도와 돌연변이 유발 가능성으로 8-OHdG가 가장 많이 연구되고 있으며, 아직은 산화적 라디칼 손상을 측정하기 위한 간접적인 방법으로 요 중 8-hydroxy-2′-deoxyguanosine(8-OHdG)과 8-hydroxyguanin(8-OHGua)을 많이 사용하고 있다. 동물조직에서 8-OHdG 분석을 위해 ELISA 혹은 LC/MS/MS방법이 최근 가장 많이 선호하고 있는 측정방법이다. 조직시료의 정제 및 8-OHdG 추출을 위해 SPE(Solid phase extraction)을 one-step, two-step, 또는 mutiple의 단계로 적용한 후 single, coupled, triple,로 column을 LC에 연결하여 분석하거나 column-switching방법 및 automated coupled column을 이용하여 분석한다.

바. Malondyaldehyde(MDA)

(1) MDA분석원리

① 분석원리

이 실험방법에서는 MDA를 측정하기 위해 Urine을 원심 분리하여 상층액을 취해 실험에 사용한다. TBA는 MDA를 검출하기 위한 형광물질이며, Dry bath incubation을 하면 형광물질이 잘 붙게 된다. 이후 갑자기 냉각시키면 그대로 굳게 되고 Methanol을 넣어 Shaking을 하면 물에 있던 MDA-TBA가 Methanol로 추출된다. 그다음에 Centrifuse하여 상층액을 액체크로마토그래프/형광검출기에 주입하여 분석하는 방법으로 소변중의 MDA 대사정도를 평가할 수 있다.

② 임상적 의의

과산화 지질 측정방법으로 그 분해물인 malondialdehyde와 TBA와의 반응 생성물을 측정하는 TBA법에는 형광법과 비색법이 있는데, 각각의 정상치는 보고자에 따라 변동을 보이나 3.4±1.0 nmol/mL 정도이다. 연령차에 대하여는 30대에서 서서히 증가하여 50~60세에 peak를 보인 후 감소하는 추세를 보인다. 이상 고농도를 보이는 질환으로 간질환에는 alcohol 성 지방간, 급성간염, 만성활동성 간염이 있고, 조절이 잘 안 되는 당뇨병에서도 고농도를 보인다. 하지만 MDA는 미국의 CPT(의료행위용어목록)에 등재되어 있지 않으며 진단 및 예후판정과 관련하여 유용하다는 증거는 많이 알려져 있지 않아서 임상적 의의는 명확하지 않다. 반면에 환경스트레스 요인의 하나인 활성산소에 의한 oxidative damage 의 결과로서 lipid oxidation product를 알아보는 지표로 활용되고 있으며, 이와 관련한 동맥경화증, 노화와의 관련 등 다방면으로 검토되고 있다. 혈중에 증가된 과산화 지질에 의한 혈관 손상이나 그 부위에 혈소판 부착이 동맥경화의 성인으로 주목되고 있다. 그리고 vitamin E의 결핍상태가 과산화 지질을 증가시키고, 이것이 동맥경화에 관계가 있다고 생각한다. 미숙아망막증은 공급되는 산소 농도와 밀접한 관계가 있다는 것이 알려졌다. 망막변성의 원인으로는 망막의 과산화 지질 증가가 지적되었다. 망막에서의 증가에 앞서 혈중 과산화 지질이 증가한다. 혈청 과산화 지질은 미숙아 보육시에 적절한 산소 부하량을 정하는 지표로 이용하려는 시도도 있다.

표 24 MDA 형태에 따른 분석방법 비교

MDA form		Measurement	Sample
Total	Free 형태와 Bound 형태가 함께 존재함.	TBARS	Urine, Plasma, Serum
		DNPH	Urine

③ MDA 측정방법

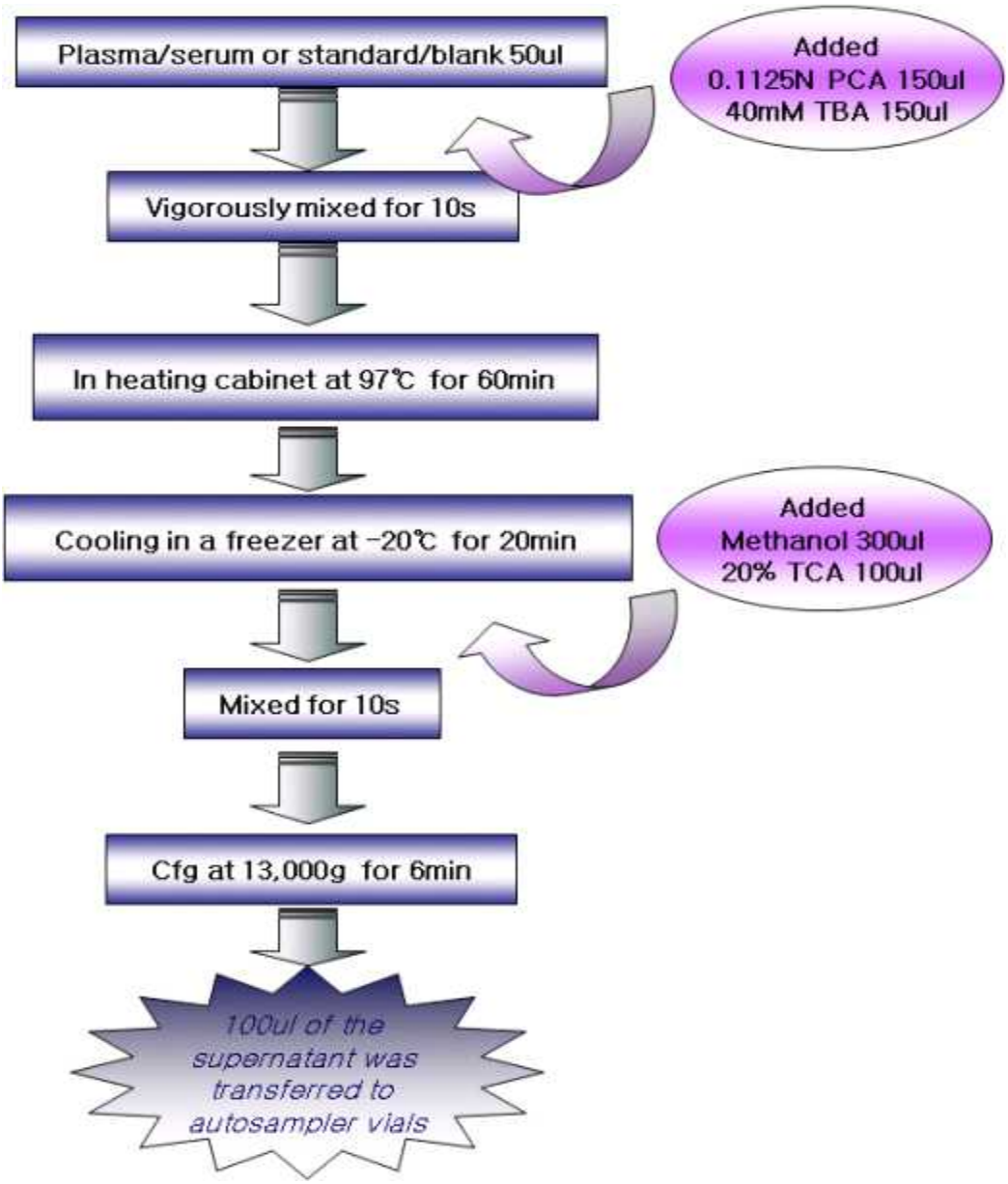


그림 50 MDA 측정방법

㉠ Sample 준비

- Urine/Plasma 보관된 Urine/Plasma를 꺼내 37℃에서 빨리 녹인 후 2500rpm, 10min 동안 centrifuge(cfg)
- Recovery용 Urine/Plsama : 위 방법과 동일

㉡ Sample prep

- 준비된 sample과 STD를 각각 1.5㎖ screw cap tube에 50㎕씩 분주한다.
- 0.1125N PCA 150㎕를 분주한다.

- 40mM 2-TBA 150㎕를 분주한다.
- 10s 동안 mix한다.
- Prep이 끝난 tube를 rack에 넣어 97℃에 맞추어 놓은 dry oven에서 60min 동안 반응시킨다.
- Rack이 녹을 수 있기 때문에 직접 닿지 않도록 호일로 감싼다.
- 반응이 끝나면 바로 꺼내 20min 동안 냉동고에 두어 반응을 멈추게 한다.
- 20min 후, methanol 300㎕를 분주한다.
- 20% TCA 100㎕를 분주한다.
- 10s 동안 mix한다.
- 13,000g, 6min 동안 cfg
- 조심스럽게 상층 200㎕를 insert vial에 넣는다.

㉣ HPLC analysis

- Detector: Fluorescence Detector
- Column: 5.0 × 0.3 ㎝ Phenomenex gemini C18
- Excitation wavelength: 525㎚, Emission wavelength: 560㎚
- Injection volume: 10㎕
- Flow-rate: 1㎖/min
- Run time: 2min

사. 폐와 기관지 폐포세척액으로부터 세포의 분리 및 염증반응산물들의 분석

(1) 분석 과정

폐조직을 잘게 절편하여 2% 우태아 혈청 (fetal bovine serum, FBS) 과 1 mg/ml의 collagenase IV가 포함된 RPMI 1640 배지에 넣은 후, 37oC, shaking incubator에서 30분 동안 반응 시켜는 과정을 3회 이상 반복 하여 폐섬유세포를 분리한다. 다음과 같이 얻은 폐섬유세포에 집 먼지진드기(House dust mite, HDM), 난알부민 (OVA, chicken egg ovalbumin; Grade IV)과 10 Sigma) 등을 농도별로 처리한 후 in vivo에서 면역분석 방법에 의해 염증반응산물들을 분석하고, 폐포세척액을 얻고자, 1ml의 배지를 기관지(trachea)로 주입한 후 세척액을 수거하여 원심 분리한 후 상층액은 회수하여 cytokine ELISA 수행한다.

(2) cytokine 분석

표적cytokine을 코팅 완충액 (Coating buffer; 0.05M carbonate buffer, PH9.6)으로 1 ㎍/㎖이 되도록 희석하여 96웰 (Well) 배양 플레이트 (Dynatech, Immulon II)에 50 ㎕씩 가하고 4℃에서 하룻밤 동안 결합시킨다. 세척 완충액 (PBST; 0.05% Tween-20 in PBS, PH 7.4)로 4회 세척 후 1% bovine serum albumin (BSA in PBS, Sigma)으로 상온에서 2시간동안 코팅되지 않은 부분을 차단 (blocking)하고 다시 4회 세척 후, 1 ㎎/㎖ 소혈청 알부민 (BSA) 70 ㎕로

상온에서 30분간 코팅되지 않은 부분을 차단한다. 이 96웰 플레이트를 희석 완충액 (diluent buffer; 0.05M Tris-HCl, 1mM Mgcl2·6H2O,0.15MNaCl,0.92%NaN3,1%BSA,0.05%Tween20,PH8.1)으로 희석한 하이브리도마 세포의 배양 상청액 100 ㎕를 각 웰에 가하고 상온에서 2시간 반응시킨 후 세척 완충액으로 4회 세척한다. 이를 희석 완충용액 (Dilution Buffer; 0.05M Tris-HCl, 1mM MgCl2・6H2O,0.15MNaCl,0.02%NaN3,1%BSA,0.05%트윈 20, pH 8.1)으로 1,000배 희석된 호스라디쉬 퍼옥시다제 (HRP, horse radish peroxidase)가 결합된 토끼 항-생쥐 IgG (Rabbit anti- mouse IgG)를 50 ㎕씩 각 웰에 가한 후 상온에서 30분 동안 반응시킨다. 이를 다시 3회 세척 후 기질 완충용액 (Substrate buffer; 0.05M NaHCO3,10mMMgCl2・6H2O,pH9.8)에 1 ㎎/㎖로 녹인 올소페닐디아민 (ortho phenyldiamine)을 100 ㎕씩 가하고 약 20분 동안 반응시킨 후 ELISA 판독기 (Titertek Multiskan MCC/340, Finland)를 사용하여 450nm에서 흡광도 (optical density)를 측정한다.

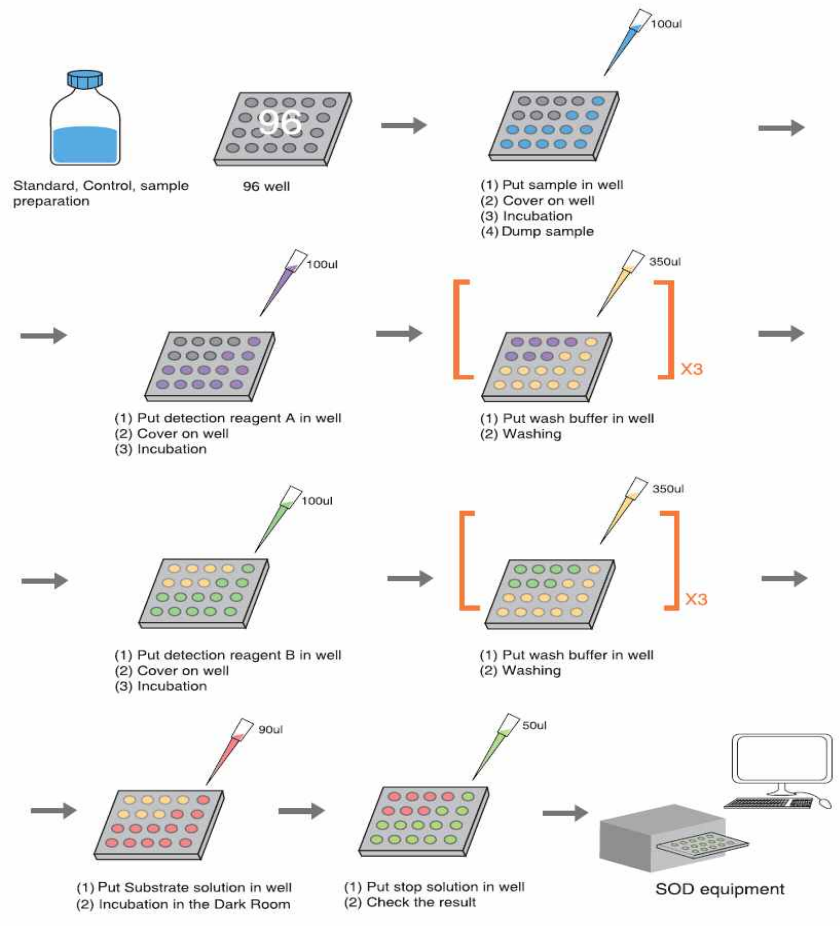


그림 51 cytokine procedure

2절 연구수행 과정 및 내용

1. 가스유해성 시험

가. 표준가스의 가스유해성 시험

각 가스 종류 별 표준가스를 사용하여 가스유해성 시험을 진행하였다. 시험 방식은 기존 가스유해성 시험과 동일하게 진행하였다. 유량의 경우 가스유해성 시험에서 제시 하고 있는 25 ℓ/min의 속도로 표준가스를 주입하였다.

N_2 밸런스와 Air밸런스로 실험을 진행하였다. N_2 밸런스의 경우에는 N_2 가스를 바탕으로 하여 가스의 표준농도를 맞추는 경우를 의미한다. air밸런스의 경우에는 air를 바탕으로 하여 표준 농도를 맞추는 경우를 의미한다. N_2 밸런스 CO 가스 100ppm의 경우 0.01%의 CO 가스와 99.99%의 N_2 가스로 이루어진 표준가스를 의미한다.

나. 마감재료의 연소 독성 노출 시험

(1) 개요

현행 건축법에서 규정하고 있는 가스유해성시험(KS F2271)를 화재모델로 하여 피검상자에 FT-IR을 연결하여 8마리 의 사용하여 무능화시간을 측정하고, FT-IR을 연결하여 동시에 마우스 운동에 대한 실시간 가스분석을 수행하였다.

표 25 Experiment process

분석 장비구분	도출 결과	결과물
가스유해성 시험기	실험동물 노출 결과	평균행동정지시간
FT-IR	연소가스내 유해가스량	유해가스 발생량 데이터

(2) 실험장비의 구성

가스유해성 시험장비를 화재모델로 하였으며, 시험기의 가열로를 사용하여 3분동안 버너 및 추가 3분동안 버너 및 전열기를 사용하여 KS F2271에서 규정하는 표준온도곡선을 구현하여 가열하였다. 시험체로부터 발생된 연소가스는 교반상자에서 균질하게 교반된 후 피검상자로 유입되었으며 피검상자에서 8마리 실험용 흰 쥐의 무능화시간이 측정되었다. 동시에 가스분석기(FT-IR)을 사용하여 발생되는 연소가스의 실시간분석이 수행되었으며 가스분석기로 유입된 가스는 분석 후 다시 피검상자로 보내어 실험용 쥐의 무능화시간 측정 오류를 최소화하였다.

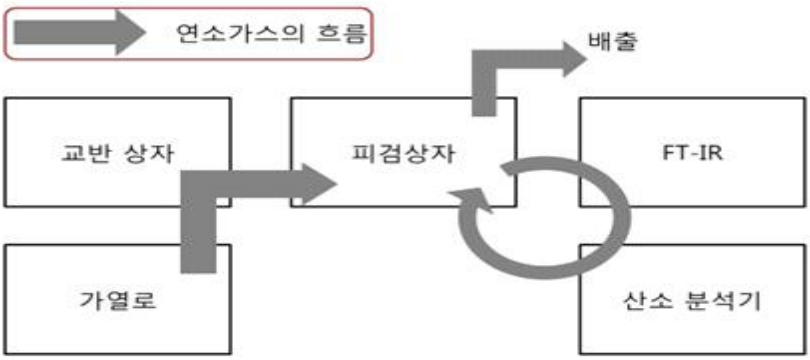


그림 52 Experiment diagram

다. 우레탄 두께에 따른 가스유해성 시험

(1) 개요

현행 건축법에서 규정하고 있는 가스유해성시험(KS F2271)를 화재모델로 하여 우레탄 두께에 따라 8마리 마우스의 사용하여 무능화시간을 측정하고, FT-IR을 연결하여 동시에 마우스 운동에 대한 실시간 가스분석을 수행하였다.

라. 혼합가스 노출시험

1차년도의 단일가스 노출실험에 이어 혼합가스에 노출된 실험동물의 병리학적 분석을 위하여 아래의 표49와 같이 혼합가스 노출실험 계획을 설정하였다. 8가지 가스의 혼합에 대한 실험계획은 현재까지 실제 화재에서 발생되는 연소가스의 측정값을 기초로 하여 계획되었다. 대분분의 실제 화재에서 CO, CO_2가 발생되며, 재료의 성분에 따라 HCN, HCl, SO_2, NO_2, HF, HBr 등이 발생할 수 있다. 혼합된 가스의 종류에 따라 표49와 같은 평균행동정지시간과 실험동물의 행동특성이 분석되었다.

그림53과 같이 제작된 유량조절밸브를 이용하여 최대 8종의 유독화학종을 혼합함과 동시에 노출 챔버에 주입하였다. 각 주입구에는 밸브를 설치하여 유입 유무를 조정하였으며, 유량계를 이용하여 분당 23리터의 유량으로 실험을 진행하였다.



그림 53 유량계

마. 연소유해가스에 노출된 실험용 쥐(Rat)의 행동정지시간 파악 (1차실험)

(1) 실험 방법

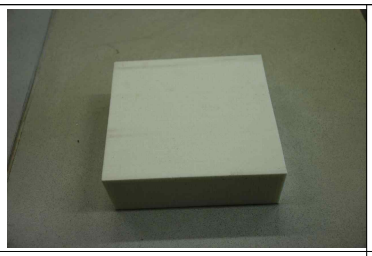
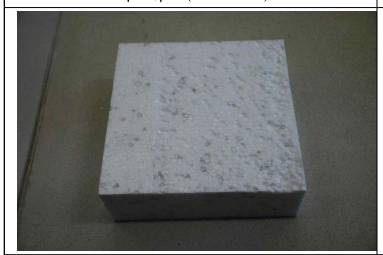
(가) 가스유해성 시험기기를 사용하여 rat의 행동정지시간을 측정하였다. 단 행동정지시간의 경유 쥐들이 생존해있는 시간을 기준으로 측정하였다.

(나) 또한 가스유해성 시험이 진행되는 동안 산소분석기와 FT-IR을 사용하여 산소 농도 및 각 시료에서 발생되는 연소가스의 농도를 측정하였다.

(다) 연소 시 발생하는 soot의 영향을 분석하기 위하여 필터의 有, 無 에 따른 조건을 고려하였다.

(2) 실험 재료

표 26 시료명 및 시료 사진

		
목재 (MDF)	우레탄 (PUR)	PVC 바닥재
		
샌드위치 패널 (EPS)	일반 커튼	방염 커튼

(3) 실험 동물

- 종(계통) : SD계 랫 (SD rat)
- 성별 및 주령 : 암컷, 6 주령

(4) 실험 조건

표 27 실험 조건

분류	시료명	두께	실험 조건	실험용 쥐 소요량 (마리)
목재	MDF	12T	필터 無	3
			필터 有	3
우레탄	PUR	75T	필터 有	3*
샌드위치 패널	EPS	75T	필터 無	3
우레탄	PUR	75T	필터 無	4
PVC 바닥재	PVC 바닥재	6T		4
샌드위치 패널	EPS	75T		4
방염제 (+직물류)	일반 커튼	6T		4
	방염 커튼	6T		5

*목재(필터 有)에 사용된 쥐 재사용.

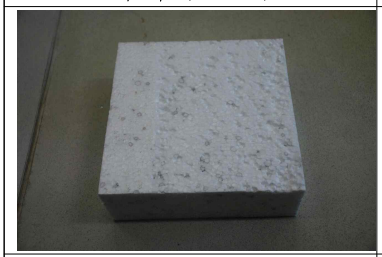
바. 연소유해가스에 노출된 실험용 쥐(Rat)의 행동정지시간 파악 (2차실험)

(1) 실험 방법

- 가스유해성 시험기기를 사용하여 rat의 행동정지시간을 측정하였다. 단 행동정지시간의 경유 쥐들이 생존해있는 시간을 기준으로 측정한다.
- 가스유해성 시험이 진행되는 동안 산소 분석기를 사용하여 산소농도를 측정한다.
- 연소 시 발생하는 soot의 영향을 분석하기 위하여 필터의 有, 無 에 따른 조건을 고려하여 실험을 진행한다.
- 연소가스에 노출되어 행동이 정지된 실험용 쥐 (Rat) 는 표적장기 (갑상선, 폐, 심장, 간, 신장, 비장, 림프, 흉선) 적출 및 혈액 샘플링을 실시한다.

(2) 실험 재료

표 28 시료명 및 시료 사진

		
목재 (MDF)	우레탄 (PUR)	PVC 바닥재
		
샌드위치 패널 (EPS)	일반 커튼	방염 커튼

(3) 실험 동물

- 종(계통) : SD계 랫 (SD rat)
- 성별 및 주령 : 암컷, 6 주령

(4) 실험 조건

표 29 실험 조건

분류	시료명	두께	실험 조건	실험용 쥐 소요량 (마리)
샌드위치 패널	EPS	75T	필터 無	5
			필터 有*	5
우레탄	PUR	75T	필터 無	5
			필터 有	5
목재	MDF	12T	필터 無	5
			필터 有	5
PVC 바닥재	PVC 바닥재	6T	필터 無	5
			필터 有	5
방염제 (+직물류)	일반 커튼	6T	필터 無	5
			필터 有	5
	방염 커튼	6T	필터 無	5
			필터 有	5
총 계	6 종		12회	60 마리

* : 필터 有 pore size : 200 ㎛

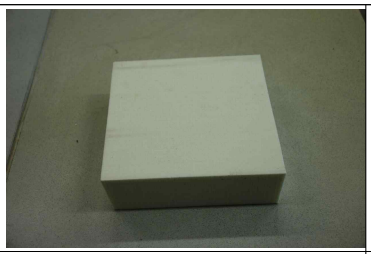
사. 연소유해가스에 노출된 실험용 쥐(Rat)의 행동정지시간 파악 (3차실험)

(1) 실험 방법

- 가스유해성 시험기기를 사용하여 rat의 행동정지시간을 측정하였다. 단 행동정지시간의 경유 쥐들이 생존해있는 시간을 기준으로 측정한다.
- 가스유해성 시험이 진행되는 동안 산소 분석기를 사용하여 산소농도를 측정한다.
- 연소 시 발생하는 soot의 영향을 분석하기 위하여 필터의 有, 無 에 따른 조건을 고려하여 실험을 진행한다.
- 연소가스에 노출되어 행동이 정지된 실험용 쥐 (Rat) 는 표적장기 (갑상선, 폐, 심장, 간, 신장, 비장, 림프, 흉선) 적출 및 혈액 샘플링을 실시한다.

(2) 실험 재료

표 30 시료명 및 시료 사진

		
목재 (MDF)	우레탄 (PUR)	PVC 바닥재
		
샌드위치 패널 (EPS)	일반 커튼	방염 커튼

(3) 실험 동물

- 종(계통) : SD계 랫 (SD rat)
- 성별 및 주령 : 암컷, 6 주령

(4) 실험 조건

표 31 실험 조건

분류	시료명	두께	실험 조건	실험용 쥐 소요량 (마리)
샌드위치 패널	EPS	75T	필터 無	6
			필터 有*	6
우레탄	PUR	75T	필터 無	6
			필터 有	6
목재	MDF	12T	필터 無	6
			필터 有	6
PVC 바닥재	PVC 바닥재	6T	필터 無	6
			필터 有	6
방염제 (+직물류)	일반 커튼	6T	필터 無	6
			필터 有	6
	방염 커튼	6T	필터 無	6
			필터 有	6
총 계	6 종		12회	72 마리

* : 필터 有 pore size : 200 ㎛

아. 표준가스에 노출된 실험용 쥐(Rat)의 가스유해성 시험

(1) 실험 방법

가스유해성 시험기기를 사용하여 Rat을 표준가스에 노출시켰다.

(2) 실험 재료

표 32 실험재료 및 조건

화학종	정량분석 결과 (ppm)	No.	마리수
Control	-	1	5
HF	80	2	5
	169.7	3	5
	222	4	5
	254.6	5	5
	144	6	5
HCN	12	7	5
	55	8	5
	135	9	5
	243.8	10	5
CO_2	788	11	5
HCl	524	12	5
HBr	62.9	13	5
	811	14	5
CO	300	15	5
CO_2	1947	16	5
			80

(3) 실험 동물

- 종(계통) : SD계 랫 (SD rat)
- 성별 및 주령 : 암컷, 6 주령

2. 동물조직에서의 유해화학물질에 대한 유전, 병리 독성 연구

가. 동물조직 독성 연구의 실험군 설정

년차별 연구목표에 맞게 실험용 쥐를 활용한 독성 연구를 위하여 년차별 목표를 설정하였으며, 간략한 설정 해설은 아래 표와 같다.

표 33 실험군 설정

회차	노출군	마리수	종	비고
1차	39종	312	mouse	마우스가 모두 죽어 채혈이 불가능하여 실험 하지 못함
2차	43종	344	mouse	8종 가스(CO, CO_2 NO, NO_2, HCN, HF, HBr, N2)를 농도별로 마우스에 죽기직전까지 노출시킴
3차	13종	152	mouse	실제 혼합가스를 이용하여 마우스에 흡입시킴
4차	13종	65	rat	실제 혼합가스를 이용하여 쥐에 흡입시킴
5차	16종	80	rat	6종 가스(HF, HCN, HCl, HBr, CO, CO2)를 농도별로 쥐에 죽기직전까지 노출시킴

나. 년차별 독성연구 설정

(1) 1차년도

(가) 화재시 발생되는 9종(CO, CO_2, NO, NO_2, HCl, HCN, HBr, HF, SO_2)에 대한 단일가스 노출시 mouse의 유전 병리 독성연구를 수행한다.

(나) Mouse의 혈액에서 혈액학적 및 생화학적 분석을 실시하고, 간, 폐, 신장, 및 정소 조직에서 다양한 병리학적 방법을 이용하여 조직세포의 병리검사를 실시한다.

(다) Mouse의 간, 폐, 신장, 혈구세포에서 Comet assay를 이용하여 DNA 손상을 측정하는 유전독성연구를 수행한다.

(라) Mouse의 간, 폐, 신장, 혈구세포에서 MDA를 이용하여 지질 손상을 측정하는 유전독성연구를 수행한다.

(2) 2차년도

(가) 실제 화재시 발생되는 가스에 노출되었을 때 mouse의 유전 병리 독성연구를 수행한다.

(나) Mouse의 혈액에서 혈액학적 및 생화학적 분석을 실시하고, 간, 폐, 신장, 및 정소 조직에서 다양한 병리학적 방법을 이용하여 조직세포의 병리검사를 실시한다.

(다) Mouse의 간, 폐, 신장, 혈구세포에서 Comet assay를 이용하여 DNA 손상을 측정하는 유전독성연구를 수행한다.

(라) Mouse의 간, 폐, 신장, 혈구세포에서 MDA를 이용하여 지질 손상을 측정하는 유전독성연구를 수행한다.

(3) 3차년도

(가) 2차년도에 구축한 신규 혈장을 적용하여 유해물질에 의한 염증유도반응 분석기술 구축하기위해 폐대식세포, 염증 매개물질 측정하고 세포배양액에서 염증과 관련된 cytokine을 분석한다.

(나) 화재시 발생되는 9종(CO, CO_2, NO, NO_2, HCl, HCN, HBr, HF, SO_2)에 대한 단일가스 노출시 rat의 유전 병리 독성연구를 수행한다.

(다) Rat의 혈액에서 혈액학적 및 생화학적 분석을 실시하고, 간, 폐, 신장, 및 정소 조직에서 다양한 병리학적 방법을 이용하여 조직세포의 병리검사를 실시한다.

(라) Rat의 간, 폐, 신장, 혈구세포에서 8-OHdG를 이용하여 DNA 손상을 측정하는 유전독성연구를 수행한다.

(마) Rat의 간, 폐, 신장, 혈구세포에서 MDA를 이용하여 지질 손상을 측정하는 유전독성연구를 수행한다.

다. 독성 연구 과정 및 내용

2장 1절 6.유해화학물질에 대한 동물조직의 유전, 병리학 독성연구 와 내용 동일하므로 참조.

3. 연소독성 시험

가. 표준가스 Library 및 정량 Method 구축

(1) 표준가스 Library 구축

표준 가스의 경우 FTP코드에서의 위험 농도와 화재 실험을 발생된 가스들의 농도를 기준으로 선정하였다. 표 34와 같이 각 농도의 표준가스를 대상으로 표준가스 Library를 구축하였다.

표 34 표준가스 구축 리스트

화학종	농도(ppm)	비 고 (참고농도)	화학종	농도(ppm)	비 고 (참고농도)
CO	100		SO_2	10	
	300	카페트(150ppm)		24	자극농도
	500	일반우레탄		50	
	1000	obs합판, 플라스틱		120	FTP
	1450	FTP		200	
CO_2	500		HF	20	
	1000	석고보드 및 불연재		50	
	5000	일반우레탄, obs		200	자극농도
	10000	고무판		600	FTP
NO	50				
	200		HCl	10	
	350	FTP		50	일반우레탄
	500			150	FRP
NO_2	50			200	자극농도
	70	자극농도		600	FTP
	100		HCN	10	
	200			50	
	350	FTP		140	FTP, 일반우레탄
			HBr	10	
				50	
				100	
				200	자극농도
				600	FTP

(2) 표준가스 종류별 스펙트럼

표준가스 종류의 따라 스펙트럼이 다르게 나타난다. 그림 54~62은 각 표준가스별 스펙트럼을 측정하여 구축된 Library이다.

(가) CO 스펙트럼

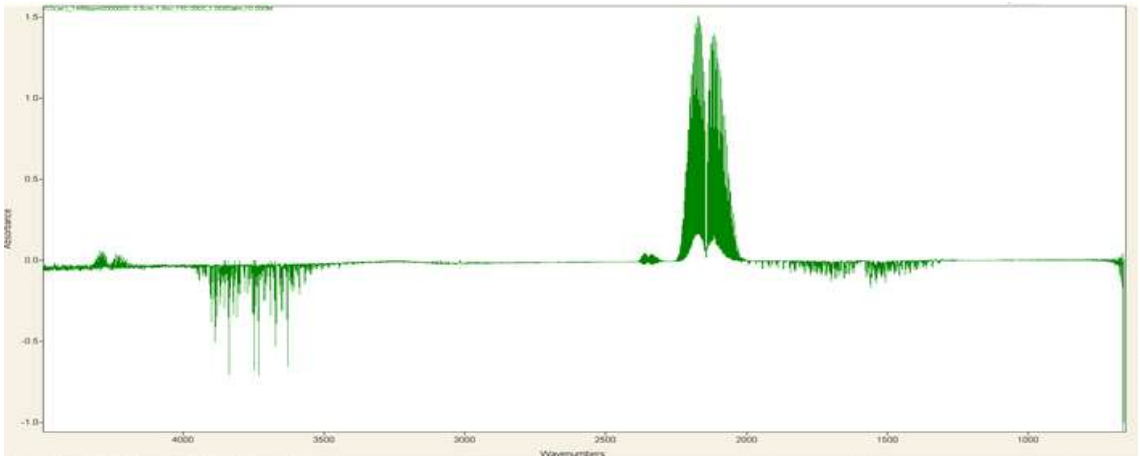


그림 54 CO 스펙트럼

(나) CO_2 스펙트럼

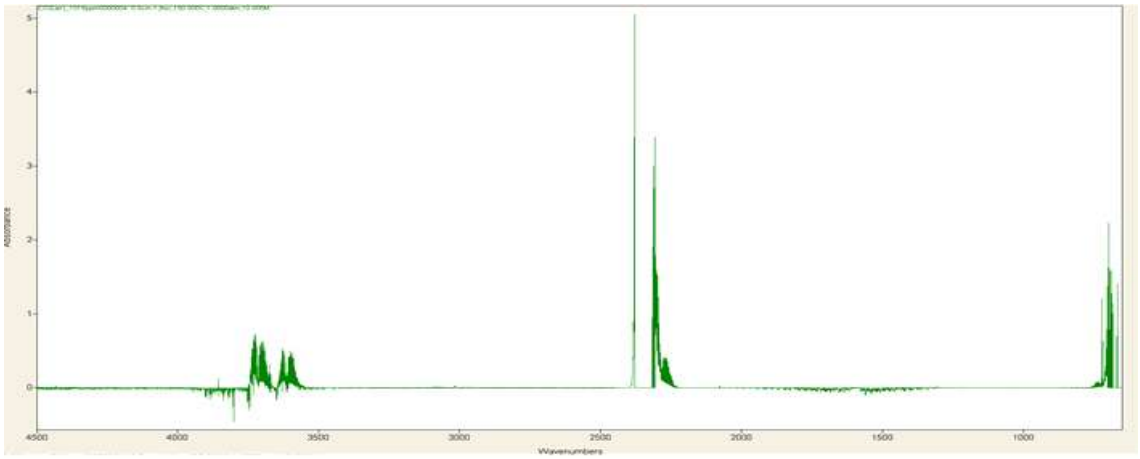


그림 55 CO_2 스펙트럼

(다) NO 스펙트럼

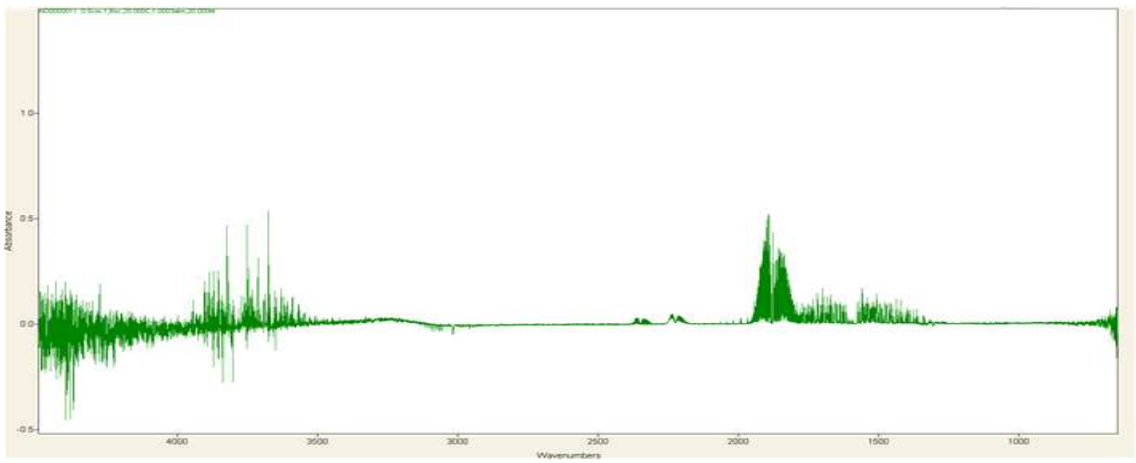


그림 56 NO 스펙트럼

(라) NO_2 스펙트럼

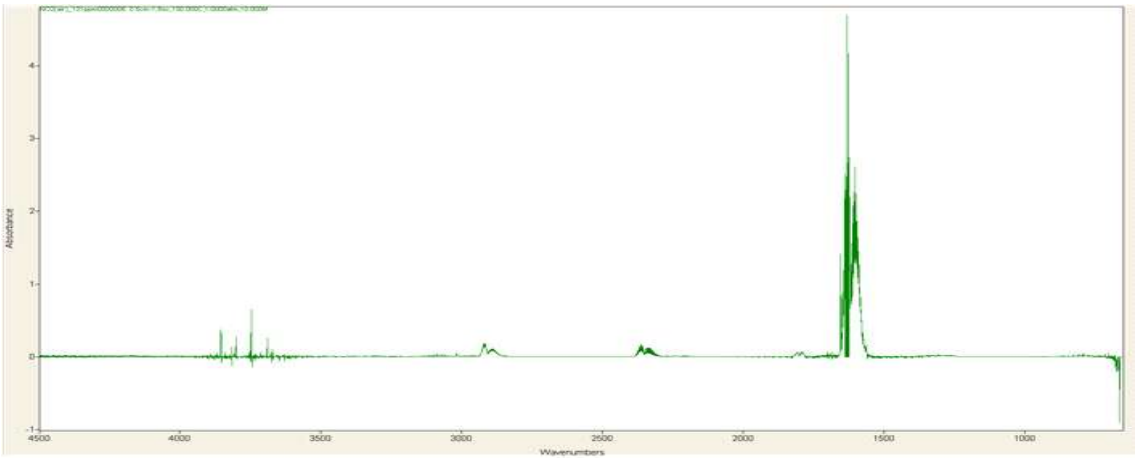


그림 57 NO_2 스펙트럼

(마) SO_2 스펙트럼

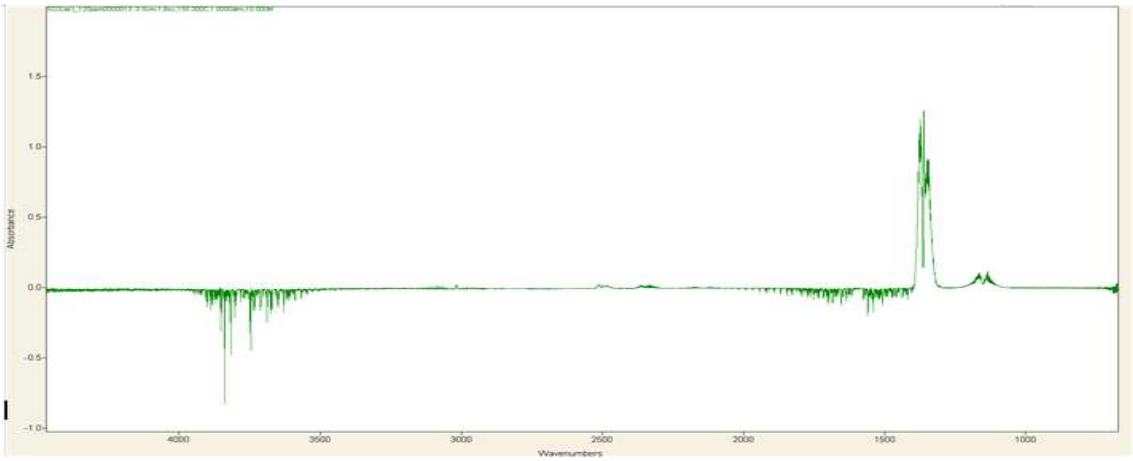


그림 58 SO_2 스펙트럼

(바) HF 스펙트럼

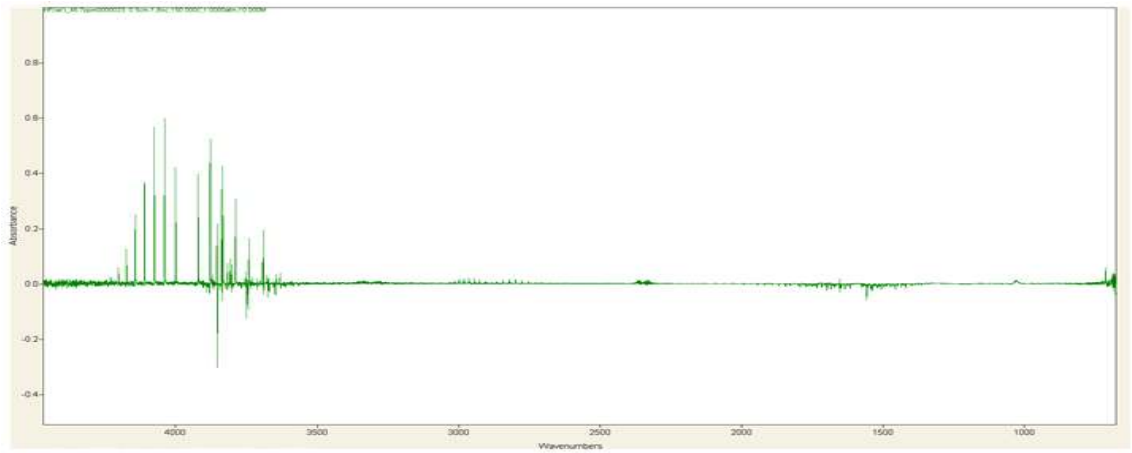


그림 59 HF 스펙트럼

(사) HCl 스펙트럼

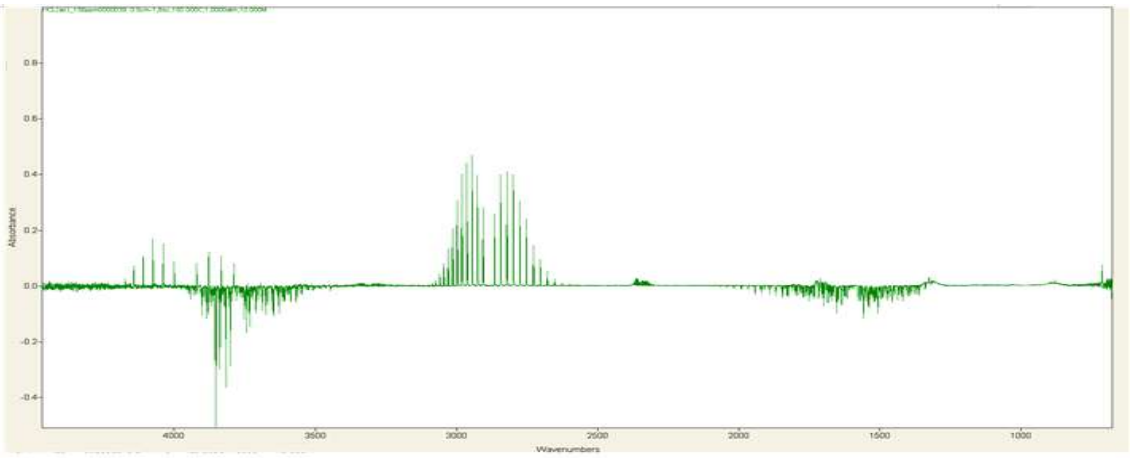


그림 60 HCl 스펙트럼

(아) HCN 스펙트럼

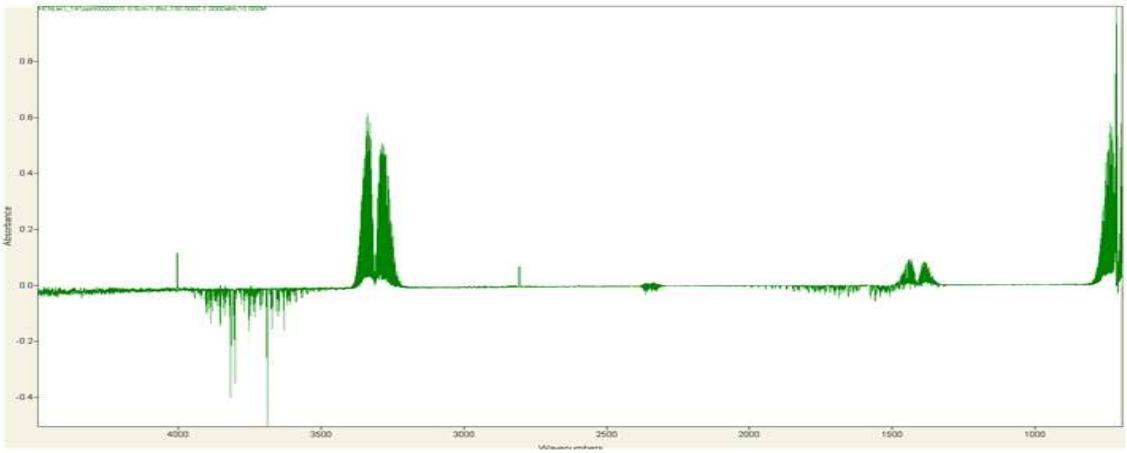


그림 61 HCN 스펙트럼

(자) HBr 스펙트럼

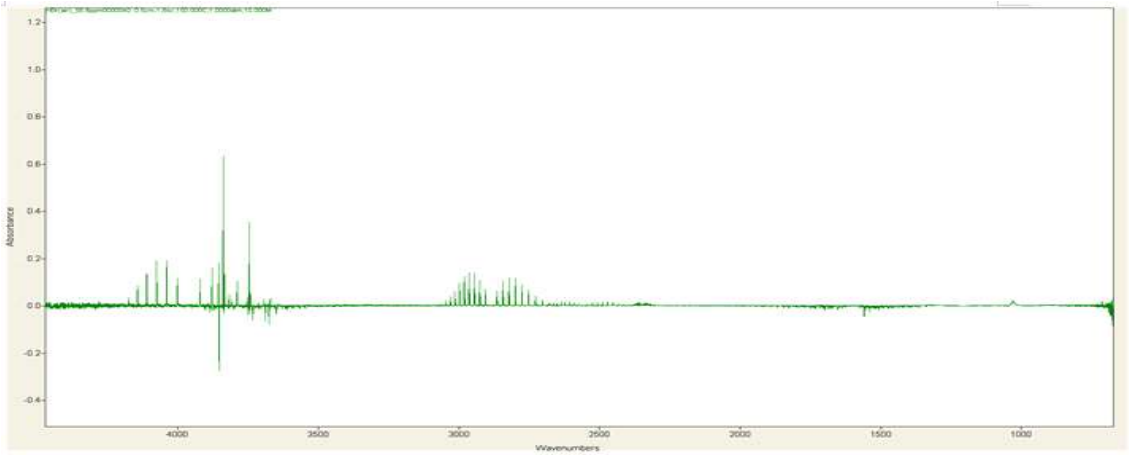


그림 62 HBr 스펙트럼

(3) 정량 method 구축

연소가스의 정량적 분석을 위해서는 정량 method가 필요하다. 따라서 정량 metod를 구축하였다.

(가) 정량 method 구축 순서

① 가스별 스펙트럼 Library를 구축

그림 63은 CO의 스펙트럼으로서 각 농도별로 피크의 높이가 다름을 보여준다. 스펙트럼의 넓이를 계산하여 연소가스의 스펙트럼 넓이와 상대적 비교를 통해 농도를 구한다.

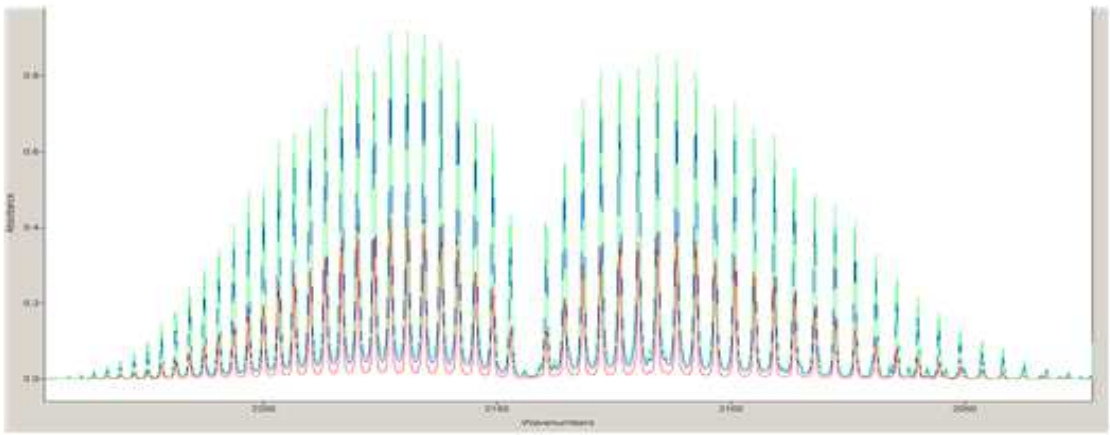


그림 63 Different Concentration Spectrum

② 정량 method 구간 설정

정량을 위해서는 정량 구간을 설정해야 한다. 이는 각 연소 가스에 대한 정확한 계산을 위해 계산 구간을 정하는 것이다. 그림 64에서 CO의 정량 구간을 정하여 구간에서의 피크만을 계산한다.

이는 측정된 스펙트럼의 경우 수분이나 기타 Unknown가스로 인하여 간섭이 될 경우 계산에 오류가 생길 수 있으므로 간섭된 구간을 제외하고 정량 구간을 설정한다.

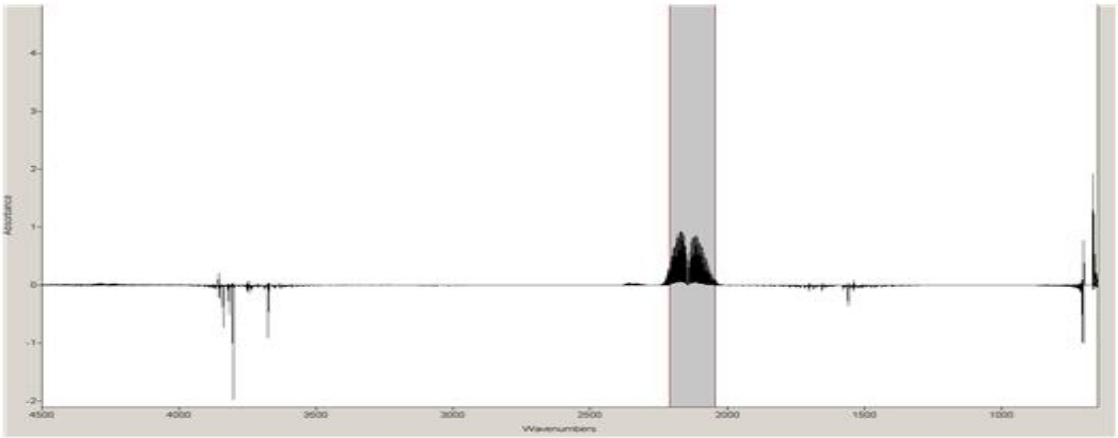


그림 64 Data base spectrum range

③ 농도의 검량선 작성

그림 65에서의 1차 함수 그래프는 각 농도에 표준가스에 대한 보정된 값으로 이 1차 함수 그래프를 사용하여 농도를 계산한다.

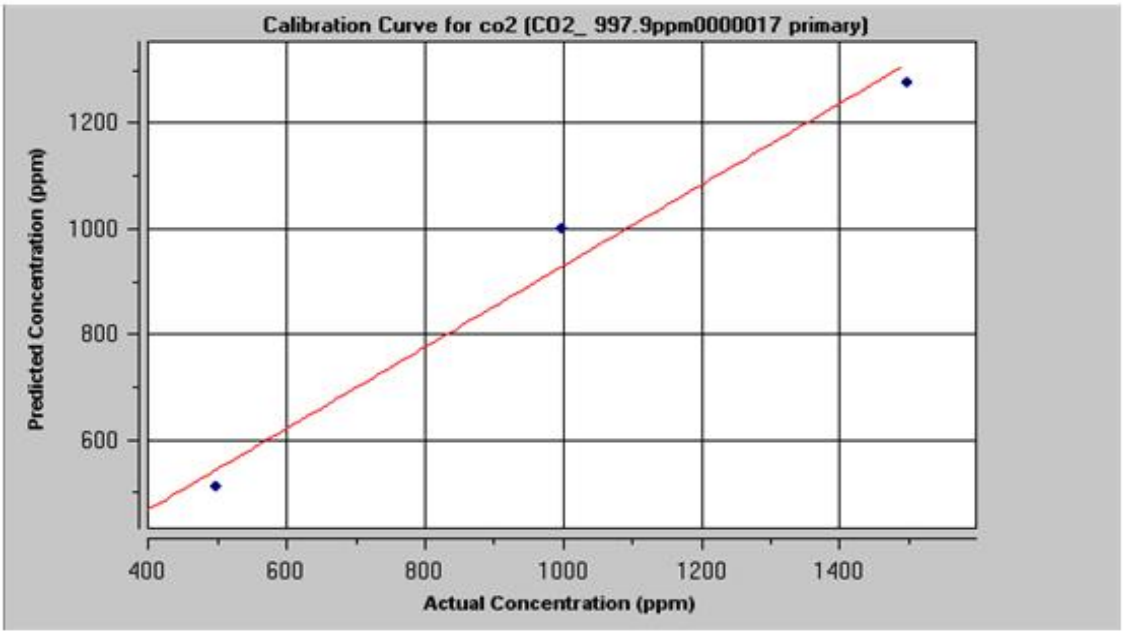


그림 65 Concentration Graph

④ 정량 데이터

정량 과정에 따라 Unknown가스를 정량하게 되면 그림 66의 데이터를 얻을 수 있다. FTIR은 실시간으로 가스를 측정하기에 데이터 역시 시간에 따라 각 가스의 농도로 나타난다. CO(ppm)이 정량된 값이고 SEC(ppm)는 오류 값을

의미한다.

Method	Filename	Sample	Lit	CO (ppm	SEC (ppr	CO2 (ppr	SEC (ppr	HCN (ppr	SEC (ppr
SDC_ URE	20110311_	N/A		516.806	14.511	2578.85	304.271	153.011	16.057
SDC_ URE	20110311_	N/A		496.366	12.627	2487.54	363.504	183.175	15.271
SDC_ URE	20110311_	N/A		476.51	11.588	1970.09	342.15	182.023	14.26
SDC_ URE	20110311_	N/A		481.48	11.946	2584.9	310.387	171.517	14.431
SDC_ URE	20110311_	N/A		475.44	11.249	2587.89	313.642	175.281	14.103
SDC_ URE	20110311_	N/A		473.531	11.38	2804.2	355.524	169.881	14.765
SDC_ URE	20110311_	N/A		479.837	11.554	2654.83	309.959	177.063	14.732
SDC_ URE	20110311_	N/A		470.847	10.96	1902.06	359.118	177.734	15.051
SDC_ URE	20110311_	N/A		464.644	10.68	1776.18	351.026	171.451	13.791
SDC_ URE	20110311_	N/A		474.3	11.144	1732.56	333.069	187.865	15.686
SDC_ URE	20110311_	N/A		463.346	10.536	1902.63	326.463	174.672	14.491
SDC_ URE	20110311_	N/A		447.438	9.407	1705.25	306.338	171.852	12.532
SDC_ URE	20110311_	N/A		440.788	9.29	1783.78	310.677	169.15	13.011
SDC_ URE	20110311_	N/A		452.05	9.914	1806.43	320.398	180.154	13.363
SDC_ URE	20110311_	N/A		432.725	8.234	2619.51	259.475	202.124	12.62
SDC_ URE	20110311_	N/A		369.591	5.599	2136.46	178.294	197.532	10.974
SDC_ URE	20110311_	N/A		445.126	9.596	1827.98	291.246	173.692	12.482
SDC_ URE	20110311_	N/A		483.228	11.832	1848.74	337.645	182.938	15.019
SDC_ URE	20110311_	N/A		502.71	12.998	2560.82	297.764	164.898	14.826

그림 66 Quantitative Analysis Data

(나) 정량 method 범위 설정

정량 method는 스펙트럼의 상태에 따라 변화한다. 이는 수분이나 기타 Unknown가스로 인하여 간섭이 될 경우 계산에 오류가 생길 수 있기 때문이다. 하지만 표준적인 method 범위를 설정하여 기준으로 잡았다. 정량 method의 범위는 표 33과 그림 67 ~ 74과 같다. 각 가스별로 범위가 하나인 경우도 있지만 스펙트럼의 형태에 따라 여러 개의 범위를 설정하기도 하였다.

표 35 Recommended Spectrum Range

가스 명	method 범위 (cm^{-1})	
	시작	끝
CO	2046.71	2219.26
CO_2	2220.00	2284.00
NO	1882.98	1944.36
NO_2	2855.00	2934.00
SO_2	1100.79	1204.16
HCl	3056.77	3059.93
	3042.36	3045.67
	3027.14	3031.18
	3011.01	3015.30
	2994.98	2999.26
	2977.49	2982.53
	2960.16	2964.59
	2942.00	2946.43
	2922.80	2927.38
	2903.31	2907.38
HCN	3313.00	3370.00
	3237.00	3306.00
HBr	2524.31	2525.69
	2506.49	2508.29
	2488.36	2490.16
	2470.22	2471.68
	2451.29	2452.64

① CO method 범위

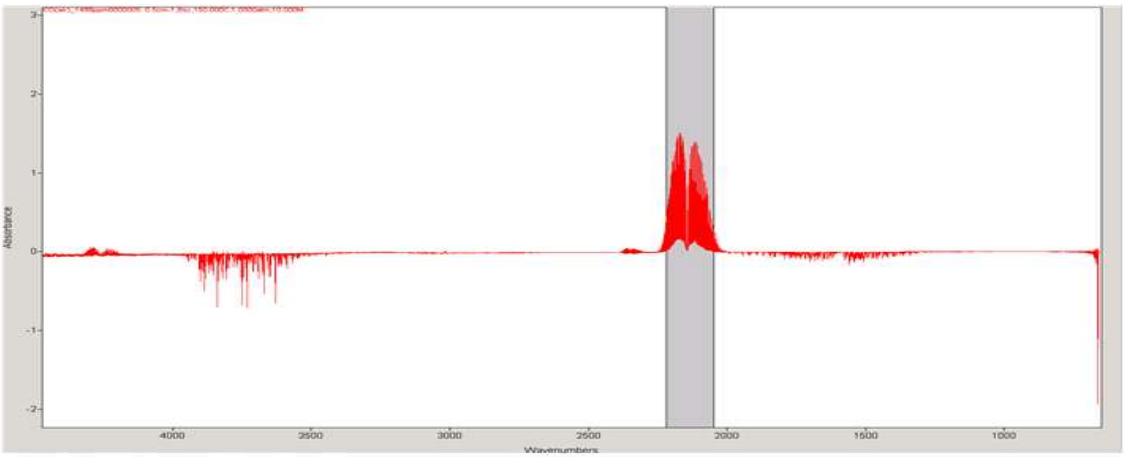


그림 67 CO method 범위

② CO_2 method 범위

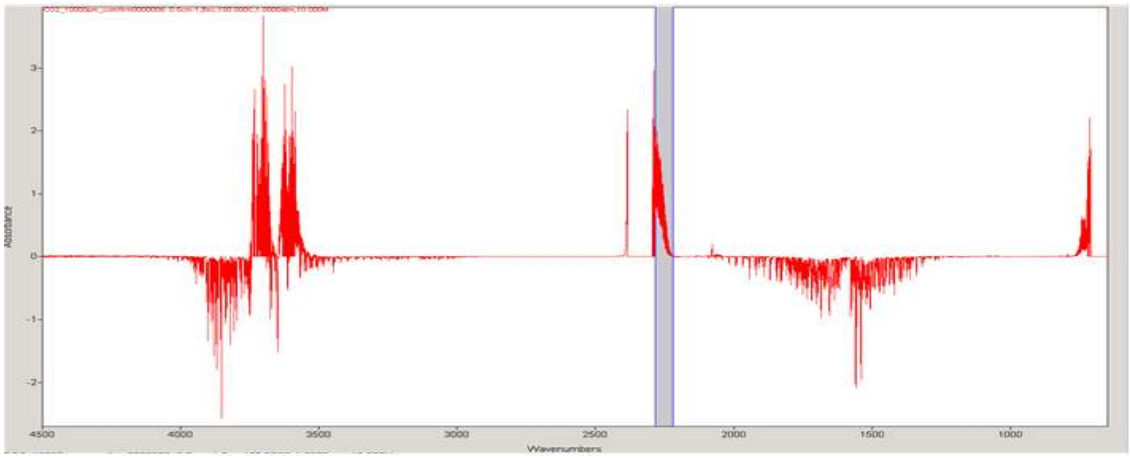


그림 68 CO_2 method 범위

③ NO method 범위

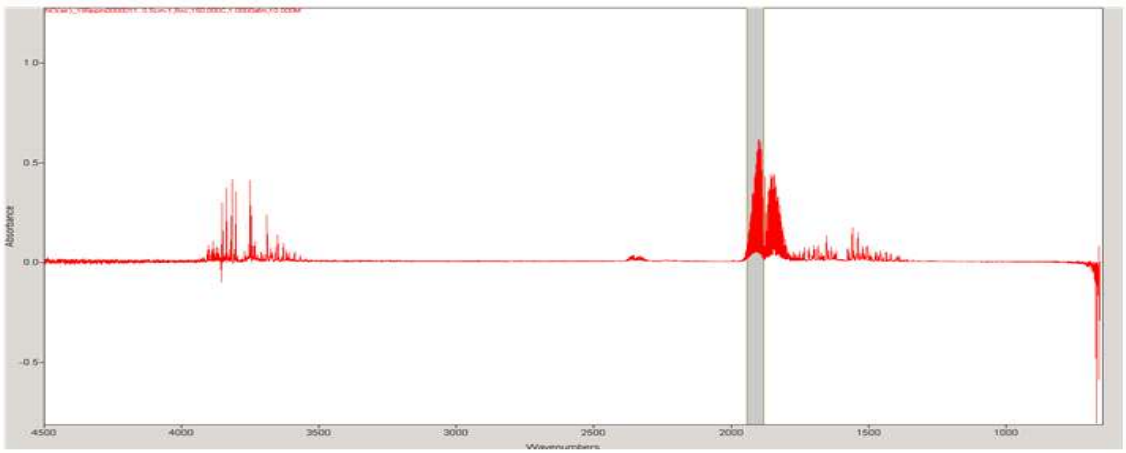


그림 69 NO method 범위

④ NO_2 method 범위

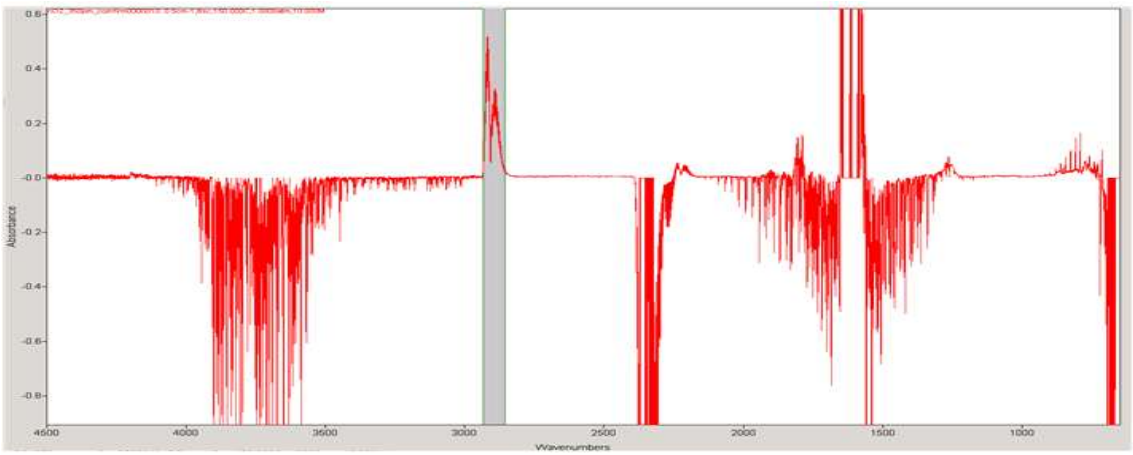


그림 70 NO_2 method 범위

⑤ SO_2 method 범위

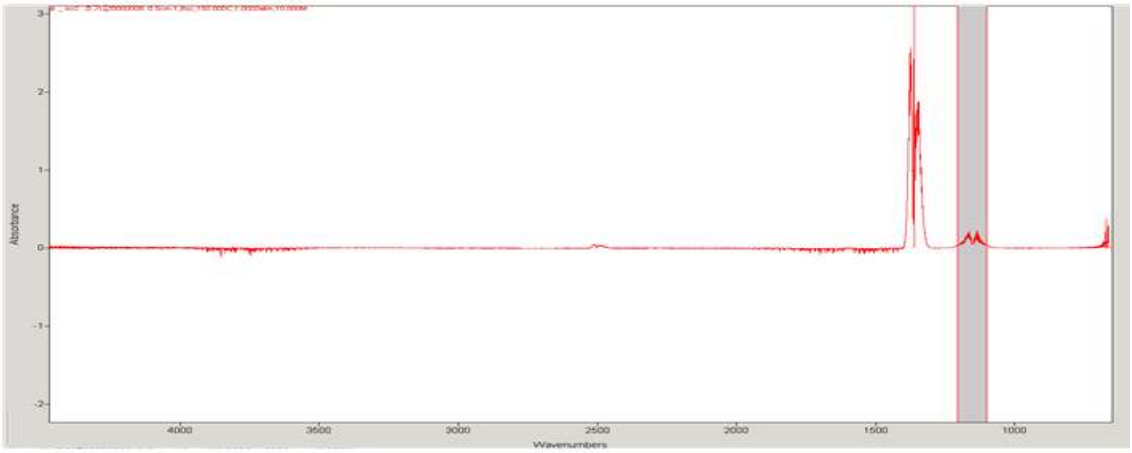


그림 71 SO_2 method 범위

⑥ HCl method 범위

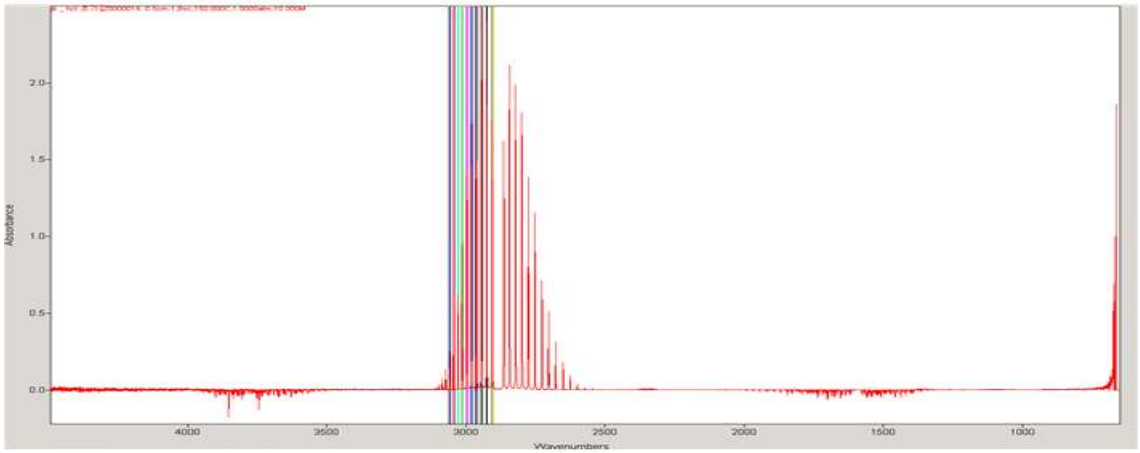


그림 72 HCl method 범위

⑦ HCN method 범위

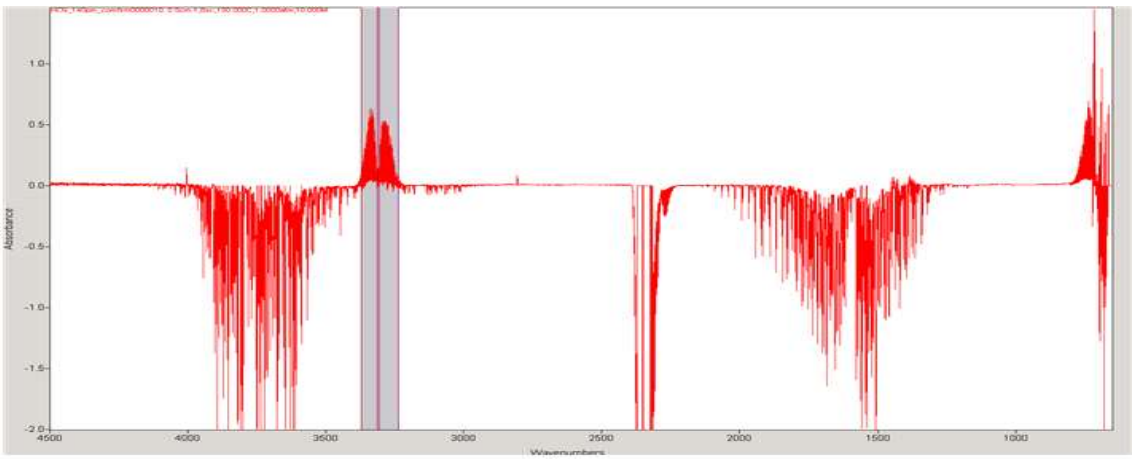


그림 73 HCN method 범위

⑧ HBr method 범위

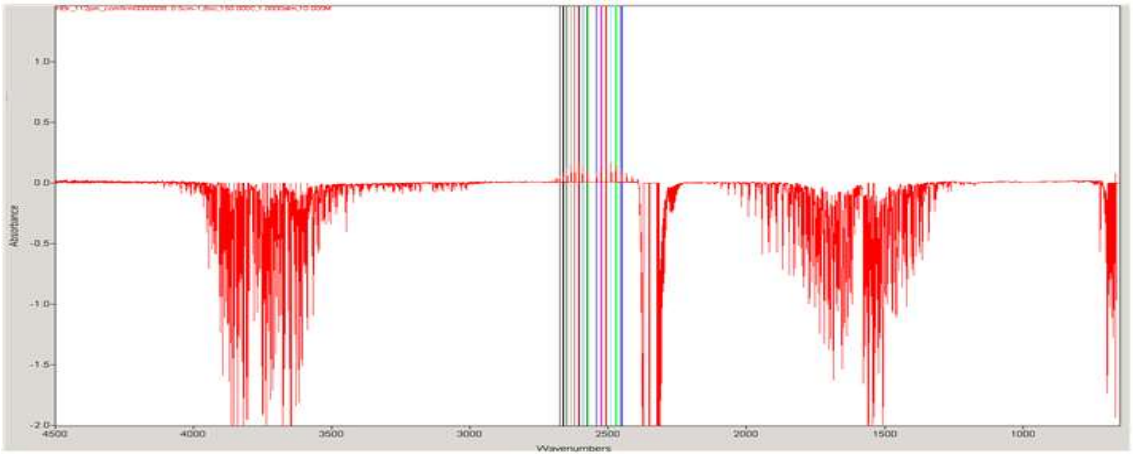


그림 74 HBr method 범위

(다) method의 R^2 값

Coefficient of determination으로도 잘 알려져 있는 R-square (R^2)는 회귀모델(Regression Model)의 정확도를 평가하는 방법이다. R-square의 개념은 실제 모델의 실험점에서의 변동량 중에서 적용한 근사모델로 설명 가능한 부분의 비율을 나타내는 것으로 다음 식을 사용하여 계산할 수 있으며, 계산을 위해 추가 실험점(해석)이 필요없다는 장점이 있다. 그 값은 0에서 1사이 이고, 1에 가까운 값을 가질수록 정확한 근사모델이다. 엑셀을 이용하여 분석을 하였다. 분석 결과 그림 75 ~ 80과 같이 0.94이상의 값을 나타내었다.

① CO의 R^2 값

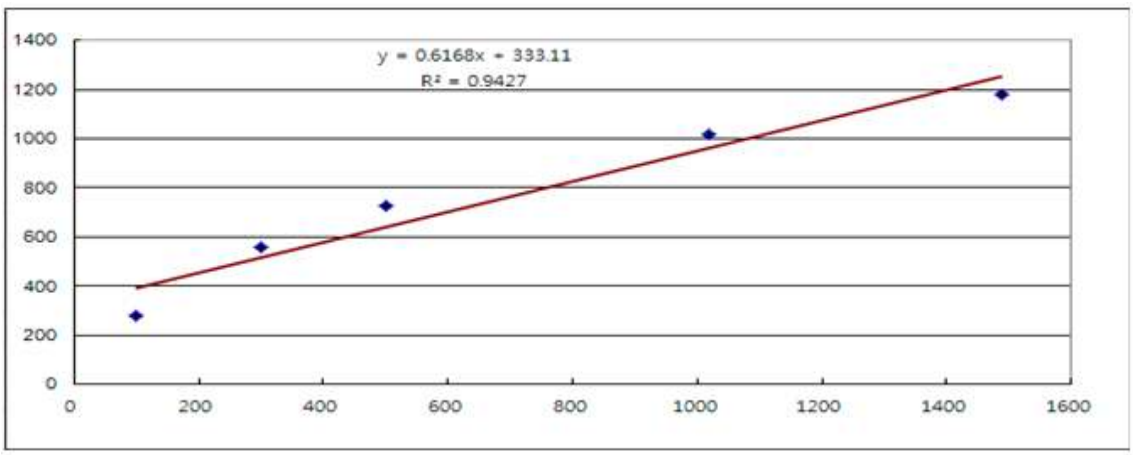


그림 75 CO의 R^2 값

② NO의 R^2 값

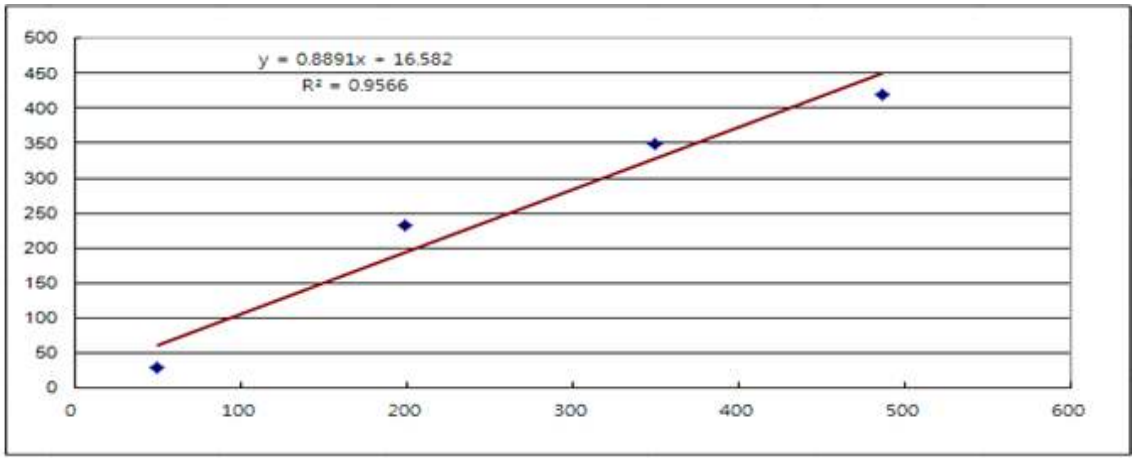


그림 76 NO의 R^2 값

③ SO_2의 R^2값

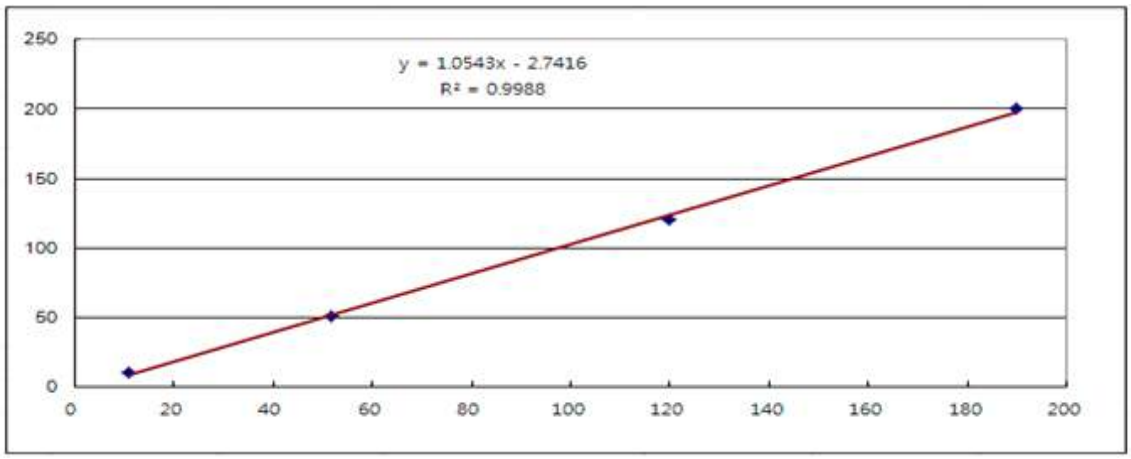


그림 77 SO_2의 R^2값

④ HCl의 R^2 값

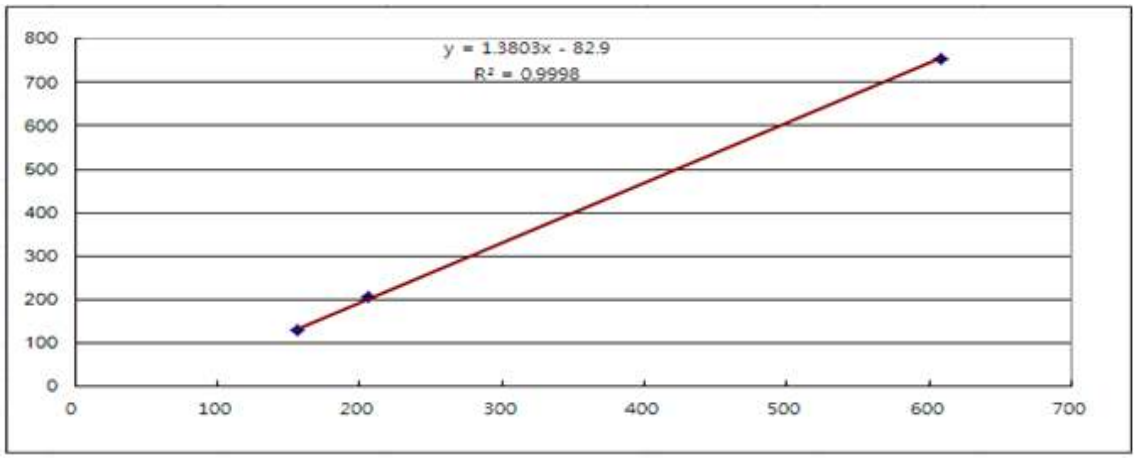


그림 78 HCl의 R^2 값

⑤ HCN의 R^2 값

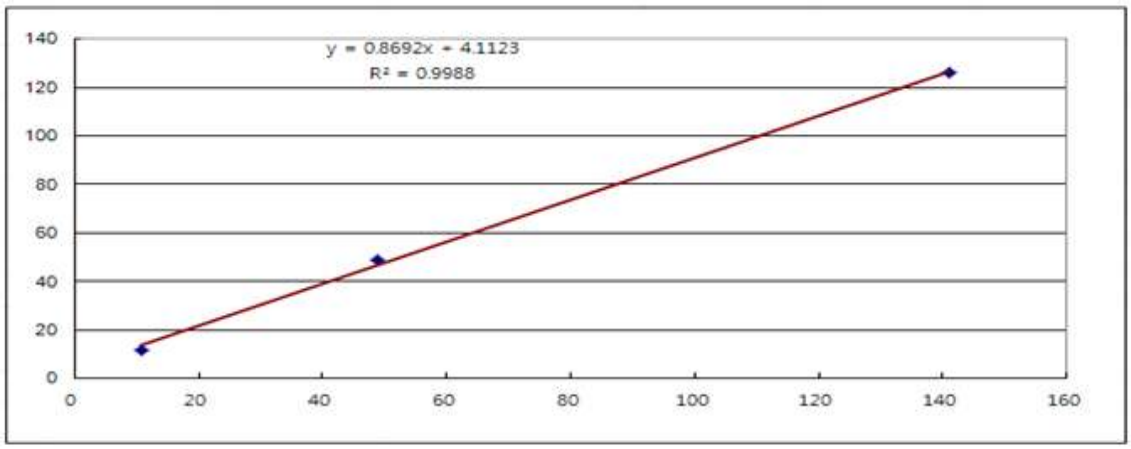


그림 79 HCN의 R^2 값

⑥ HBr의 R^2 값

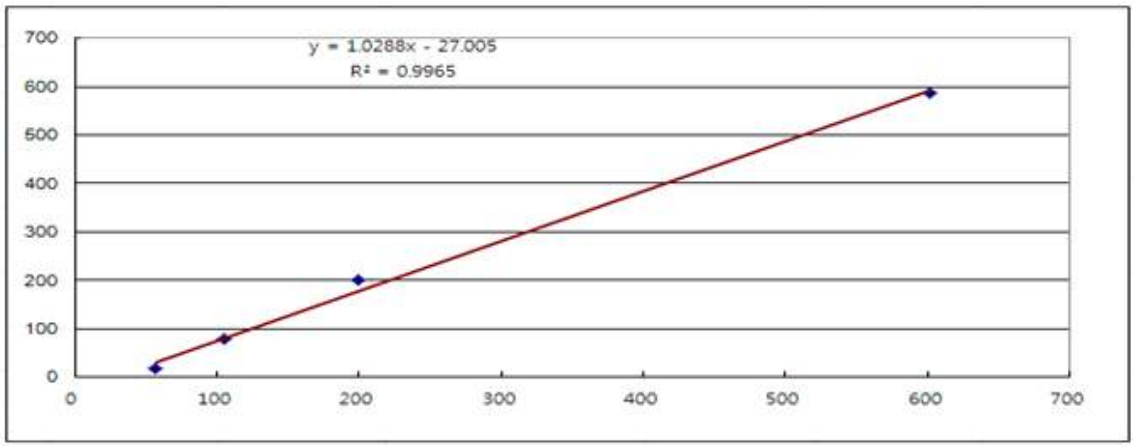


그림 80 HBr의 R^2 값

나. 화재모델을 대상으로 한 마감재료의 연소가스 정량분석

콘 칼로리미터, SDC챔버, 2가지 화재모델을 적용하여 OSB합판, 우레탄, 고무바닥재, PVC타일, 난연 플라스틱을 대상으로 실험을 진행하였다. 연소 가스는 FT-IR 장비를 사용하여 측정하였다. 시험 결과는 3절 연구수행결과에 언급한다.

(1) SDC 챔버

Conical Heater의 복사열에 의한 시험대상의 형상 변화를 측정 및 관찰가능한 장비로서 착화시간, 질량 감소율 등의 결과를 출력할 수 있는 장비이다. 지면으로부터 수평인 시험편이 지정된 복사열(10 ~ 70 kW/㎡)에 의하여 연소되고, 이때 생성된 연소 가스는 914×61×914㎜ 부피의 chamber내에 축적된

다. 이러한 시험을 통하여 시험시편의 착화시간(Ignition Time), 질량감소율(Mass Loss Rate), 복사열에 따른 시험시편의 형상 등을 측정 및 관찰 할 수 있는 장비인 SDC 챔버는 현재 국내의 철도차량 내장재, 저전력 난연 케이블, 인테리어 필름 등의 난연성 시험에 사용되고 있다.

시험 장치는 공기의 누설이 없는 챔버에 시험편 지지대, 콘 방열기, 광투과율 측정기, 작동조건 보조 장치 및 데이터수집 및 분석 시스템들로 구성되어 있다. SDC 챔버의 구조는 표 36, 그림 81과 같다.

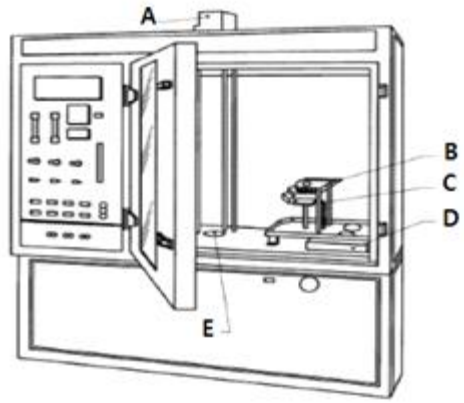


그림 81 SDC 챔버

표 36 Component of SDC 챔버

기호	명칭
A	광 배속 장치
B	콘 방열기
C	가열기
D	안정 과열관
E	광학창

SDC 챔버의 시험방법을 규정하고 있는 ISO 5659에 따르면 두께가 25 mm 이하인 평평한 재료나 복합 재료, 조립재 등의 시험편을 수평으로 놓고 밀폐된 공간에서 규정된 방사열에 노출하였을 때 시험편의 노출면으로부터 발생하는 연기를 측정하도록 되어있다.

(2) 콘 칼로리미터

ISO 5660에 의해 규정된 콘 칼로리미터 모델은 높은 공기유량을 가지는 화재모델로 건축 가감재의 난연 성능 시험에 포함되어있으며 그림 82, 표 37와 같은 구조를 가진다.

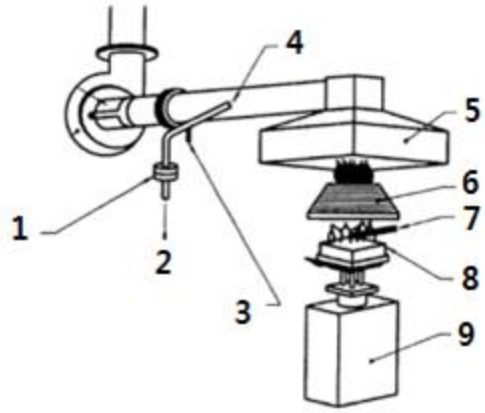


그림 82 Cone Calorimeter

표 37 Component of Cone Calorimeter

기호	명칭
1	매연 수집 필터
2	조절된 유량
3	가스 샘플
4	매연 샘플 튜브 위치
5	배출 후드
6	콘 히터
7	불꽃 발화 장치
8	시료
9	로드셀

Conical Heater로 시료를 가열한 후, 전기스파크에 의하여 점화시키는 화재모델로 본 연구에서는 연소하는 시료가 공기에 노출되어있기 때문에 공기유량이 높다는 특징을 가지고 있는 콘 칼로리미터 모델을 채택하여 실험하였다. 콘 칼로리미터 화재모델은 공기 중에서 연소하는 시료의 연소가스를 실시간으로 분석하기 때문에 연소의 단계별 농도변화를 살펴볼 수 있다는 장점이 있으나, 앞서 언급된 SDC 챔버 화재모델은 밀폐된 공간에서 시료의 연소가 종료한 이후에 연소가스를 배출하며 분석하기 때문에 화재의 단계별 연소가스를 분석할 수 없다는 특징을 가지고 있다.

다. 화재모델을 대상으로 한 다양한 시료들의 연소가스 정량분석

(1) 개요

현행 건축법에서 규정하고 있는 가스유해성시험(KS F2271)를 화재모델로 하여 피검상자에 FT-IR을 연결하여 8마리 마우스의 사용하여 무능화시간을 측정하고, FT-IR을 연결하여 동시에 마우스 운동에 대한 실시간 가스분석을 수행하였다.

표 38 Experiment process

분석 장비구분	도출 결과	결과물
가스유해성 시험기	실험동물 노출 결과	평균행동정지시간
FT-IR	연소가스내 유해가스량	유해가스 발생량 데이터

(2) 실험장비의 구성

가스유해성시험장비를 화재모델로 하였으며, 시험기의 가열로를 사용하여 3분동안 버너 및 추가 3분동안 버너 및 전열기를 사용하여 KS F2271에서 규

정하는 표준온도곡선을 구현하여 가열하였다. 시험체로부터 발생된 연소가스는 교반상자에서 균질하게 교반된 후 피검상자로 유입되었으며 피검상자에서 8마리 실험용 흰 쥐의 무능화시간이 측정되었다. 동시에 가스분석기(FT-IR)을 사용하여 발생되는 연소가스의 실시간분석이 수행되었으며 가스분석기로 유입된 가스는 분석후 다시 피검상자로 보내어 실험용 쥐의 무능화시간 측정 오류를 최소화하였다.

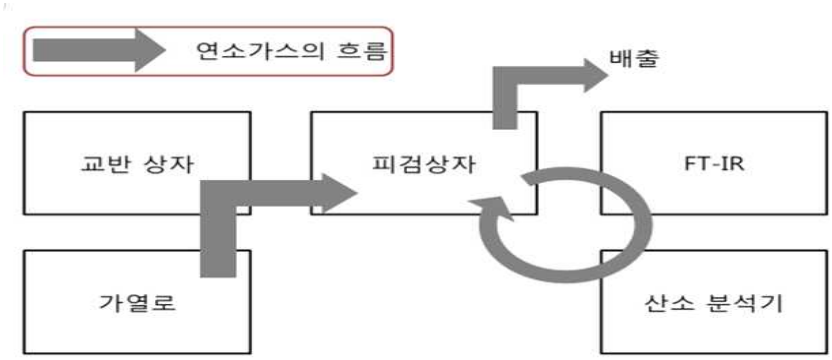


그림 83 Experiment diagram

(3) 정량분석에 사용된 시료

표 39 바닥재 시료명 및 시료 사진

		
PVC 물받이	PVC 파이프	회색 장판
		
옐로우 장판	나무무늬장판	체크무늬장판

표 40 우레탄 시료명 및 시료 사진

		
우레탄 5mm	우레탄 10mm	우레탄 15mm
		
우레탄 20mm	우레탄 25mm	우레탄 30mm

3절 연구수행결과

1. 가스유해성 시험 결과

가. N_2 밸런스에 따른 가스유해성 결과

N_2 밸런스의 경우 대부분의 표준가스가 N_2 밸런스로 제작이 되어 있으며, N_2 가스의 질식 효과의 영향이 예상되기는 했으나, 다른 독성 표준 가스들의 영향이 동시에 나타날 것으로 예상하였다.

N_2 밸런스 시험결과는 표 41과 같다. HCN과 HBr을 제외한 모든 표준가스에서 N_2 가스의 질식 효과로 인하여 각 가스들의 영향을 확인하기 힘들었다. 다만 HCN에서는 농도가 높아질수록 평균행동정지시간이 빨라지는 것을 확인하였다. HBr의 경우에도 616ppm에서 HBr의 독성효과가 나타남을 확인하였다.

표 41 N_2 밸런스 가스유해성 시험 결과

화학종	농도(ppm)	평균행동정지시간 (min, s)	비고
HCl	10	07, 26	
	51.1	07, 22	
	150	07, 25	
	601	07, 35	
N_2	99.9%	07, 07	
HF	21	07, 21	
	58.3	07, 01	
	229	07, 20	
HBr	10.7	07, 44	
	46.1	07, 58	
	112	07, 33	
	616	06, 53	
N_2	99.9%	07, 53	
HCN	10.4	07, 22	
	52.1	06, 12	
	140	05, 18	
SO_2	10.4	07, 01	
	24.9	07, 50	
	122	07, 21	

나. Air 밸런스에 따른 가스유해성 결과

Air 밸런스의 경우 실제 화재 현장과 비슷한 환경에서의 적용을 위해 Air밸런스의 가스유해성 실험을 진행하였다.

Air 밸런스 시험결과는 표 42와 같다. N_2 밸런스의 실험결과와 달리 HCN을 제외한 모든 표준가스에서 가스들의 독성으로 인한 영향을 받지 않음을 확인하였다. 다만 HCN에서는 각 농도별로 평균행동정지시간이 변하는 것을 확인하였다. 저농도인 10.8ppm에서도 가스유해성 시험의 통과 기준인 9분 이하로 나타나 HCN의 위험함을 다시 확인할 수 있었다. 또한 SO_2와 HBr의 경우에는 쥐들이 매우 흥분함을 확인할 수 있었다.

표 42 Air밸런스 가스유해성 시험결과

화학종	농도(ppm)	표준정지시간 (min, s)	비고
CO	100	13, 52	
	300	14, 59	
	500	14, 59	
	1019	14, 59	
	1488	14, 22	
CO_2	516	14, 57	
	1016	15, 00	
	4984	14, 34	
	10023	14, 57	
NO_2	50.4	14, 59	
	70.5	15, 00	
	101	13, 26	
	199	14, 39	
	350	14, 12	
SO_2	11	14, 37	쥐 극도의 흥분상태
	25.5	15, 00	쥐 극도의 흥분상태
	51.7	14, 58	쥐 극도의 흥분상태
	120	14, 57	쥐 극도의 흥분상태
	190	14, 04	쥐 극도의 흥분상태
HCl	11.3	15, 00	
	52.6	14, 45	
	156	14, 48	
	206	13, 13	
	608	14, 17	
HCN	10.8	07, 16	7분에 시험종료 매우 양전한 상태
	49.4	07, 00	7분에 시험종료 매우 양전한 상태
	141	04, 57	7분에 시험종료 매우 양전한 상태

HF	19.3	15, 00	
	46.7	14, 58	
	193	15, 00	
	608	15, 00	
HBr	12.2	14, 59	
	56.8	15, 00	
	105	14, 58	쥐 흥분상태
	200	14, 53	쥐 흥분상태
	601	15, 00	쥐 흥분상태가 심해짐
가스 종류	**유량 (L/min)**	**표준정지시간 (min, s)**	**비고**
N_2	23	07, 43	7분 30초에 시험종료 7분 이후 대부분 행동이 없다가 중지 후 행동 재개 매우 얌전한 상태 직접 밖으로 꺼냄
	20	06, 45	7분 30초에 시험종료 7분이후 몇몇을 제외하고 행동 중지 실험종료 후 몇몇을 제외하고 활발함 매우 얌전한 상태 몇몇 밖으로 나옴
	17	07, 17	7분 30초에 시험종료 7분 이후 대부분 행동함 실험종료 후 활발함 매우 얌전한 상태 대부분 밖으로 나옴

다. 바닥재 연소에 따른 가스유해성 결과

HCl등의 가스가 발생되는 바닥재 소재를 대상으로 실험하였다.

(1) 연소전의 시료

표 43 바닥재 시료명 및 시료 사진

		
PVC 물받이	PVC 파이프	회색 장판
		
옐로우 장판	나무무늬장판	체크무늬장판

(2) 연소후의 시료

표 44 바닥재 시료명 및 시료 사진

		
PVC 물받이	PVC 파이프	회색 장판
		
옐로우 장판	나무무늬장판	체크무늬장판

(3) 평균행동정지시간 결과

표 45 바닥재의 평균행동정지시간

시료	회차	평균행동정지시간(m, s)
PVC 물받이	1회차	13, 43
	2회차	14, 00
PVC 파이프	1회차	14, 17
	2회차	14, 08
회색 장판	1회차	10, 11
	2회차	08, 05
옐로우 장판	1회차	10, 01
나무무늬장판	1회차	09, 13
	2회차	13, 43
체크무늬장판	1회차	10, 09
	2회차	08, 51

라 우레탄 두께별 연소에 따른 가스유해성 결과

(1) 연소전의 시료

표 46 우레탄 시료명 및 시료 사진

		
우레탄 5mm	우레탄 10mm	우레탄 15mm
		
우레탄 20mm	우레탄 25mm	우레탄 30mm

(2) 연소후의 시료

표 47 우레탄 시료명 및 시료 사진

		
우레탄 5mm	우레탄 10mm	우레탄 15mm
		
우레탄 20mm	우레탄 25mm	우레탄 30mm

(3) 평균행동정지시간 결과

20mm 이상의 두께에서 3분 전후의 평균행동정지시간 결과를 보였다. 따라서 20mm 이상에서 유사한 위험성을 보이는 것으로 파악되었다.

표 48 우레탄 평균행동정지시간

시료		회차	평균행동정지시간(m, s)
우레탄	5mm	1회차	12, 01
		2회차	08, 23
	10mm	1회차	07, 21
		2회차	06, 30
	15mm	1회차	05, 11
		2회차	05, 36
	20mm	1회차	03, 55
		2회차	04, 03
	25mm	1회차	03, 22
		2회차	03, 58
	30mm	1회차	03, 58
		2회차	03, 50

마. 혼합가스 노출에 따른 가스유해성 결과

실험결과 HCN이 혼합된 가스에 노출된 실험동물은 무기력함을 보였으며, HCl, SO_2, HF, HBr이 혼합된 가스에 노출된 실험동물은 흥분상태를 보였다.

표 49 실험계획 및 혼합가스에 노출된 마우스의 평균행동정지시간

	CO	CO_2	HCN	HCL	SO_2	NO_2	HF	HBR	평균행동정지시간	실험 후 실험동물의 특징
	ppm								min, sec	
1	300	1,000							14, 47	온순
2	300	5,000							14, 58	온순
3	300	10,000							14, 58	온순
4	100	10,000							14, 58	온순
5	300	1,000	10						14, 58	흥분상태 下
6	100	1,000	50						12. 11	흥분상태 中
7	300	5,000	10						14, 59	온순
8	300	5,000	50						14, 58	무기력
9	300	5,000	140						12, 34	무기력
10	300	10,000	50						15, 00	무기력
11	300	10,000	140						09, 56	무기력
12	300	10,000		150					14, 59	흥분상태 상
13	300	10,000		200					14, 52	흥분상태 상
14	300	10,000		10					14, 58	온순
15	300	5,000	10	50	200				15, 00	흥분상태 上
16	300	5,000	10	50					14, 46	온순
17	300	5,000					20		14, 58	온순
18	300	5,000					50		14, 59	온순
19	300	5,000					200		08, 09	온순
20	300	5,000	140	200	200	350	200	600	14, 38	-
21	300	5,000	10				20		-	-
22	300	5,000	10				50		14, 49	흥분상태 下
23	300	5,000	10				200		14, 59	흥분상태 下
24	300	5,000			200				14, 58	온순
25	300	5,000	50				20		14, 57	흥분상태 中
26	300	5,000	50				50		14, 58	흥분상태 下
27	300	5,000	50				200		14, 57	온순
28	300	5,000			120				14, 57	온순
29	300	5,000	140				20		14, 05	온순
30	300	5,000	140				50		14, 11	온순
31	300	5,000	140				200		12, 58	흥분상태 中
32	300	5,000		200			200		15, 00	온순
33	300	5,000						10	14, 54	흥분상태 下
34	300	5,000						50	14, 58	흥분상태 中
35	300	5,000						100	14, 56	흥분상태 上
36	300	5,000						200	14, 59	흥분상태 上
37	300	5,000						600	14, 59	흥분상태 上
38	300	5,000				50			14, 54	흥분상태 中
39	300	5,000				70			08, 10	흥분상태 中
40	300	5,000				100			14, 58	온순
41	300	5,000				200			14, 57	흥분상태 中
42	300	5,000				350			13, 59	온순

바. 마감재료 및 실내장식물의 연소에 따른 가스유해성 결과

실험 결과, 시료에 따라 실험용 쥐(Rat)의 행동정지시간이 각기 상이 했으며 이는 시료별 연소되는 가스의 성분과 독성의 영향력이 다르게 나타남을 추정 할 수 있다.

soot의 영향을 관찰하고자 설치 한 필터의 유 · 무에 따라 실험용 쥐(Rat)의 행동정지시간 차이를 확인하였으며 연소 시 연소가스 뿐만 아니라 soot의 영향 또한 중요하게 고려되어야 함을 시사하며 추후 관련 연구가 진행 될 필요성이 있다.

표 50 마감재료 및 실내장식물 평균행동정지시간

시료	회차	평균행동정지시간
목재 (MDF), 12T	필터 無	9분 13초 육안확인
	필터 有	15분 이상 생존
우레탄 (PUR), 75T	필터 無	10분 30초 육안확인 11분 30초 사망
	필터 有	15분 이상 생존
샌드위치 패널 (EPS), 75T	필터 無	15분 이상 생존
	필터 有	15분 이상 생존
PVC 바닥재, 6T	필터 無	15분 전·후로 2마리씩 생존 및 사망함
일반 커튼	필터 無	15분 이후 생존하였으나 움직임이 거의 없음
방염 커튼	필터 無	13분 30초, Max. time

2. 유해화학물질에 대한 동물조직의 유전, 병리학 독성 결과

가. 단일가스

표42 참조.

(1) 병리조직검사

각 조직별 손상형태를 파악할 수 있었다. 건강한 쥐의 조직를 수평으로 얇게 잘라 현미경으로 관찰한 결과, 일반인의 폐와 마찬가지로 '스펀지'와 같은 모양이 나타났다. 반면 가스를 흡입한 쥐의 조직에서는 세포가 굳어버린 섬유화가 발견됐고, 기관지에서 갈라져 나온 작은 공기통로인 '세(細)기관지'에서 염증과 울혈 및 충혈(a)이 다수 관찰됐다. 폐 내부 표면을 덮은 상피세포가 떨어져 나가는 현상도 발생했다. 간 고농도군의 간에서는 전체적으로 빌리루빈의 색소침착 (pigmentation), 담관의 증식 (biliary hyperplasia), 염증 등이 모든 가스노출 동물군에서 관찰되었으며 여러 개체에서 풍부한 세포질과 커다란 소낭형 핵을 가지고 있는 확대된 간세포를 관찰할 수 있었다. 다핵성 거대 세포와 림파구의 증식이 두드러졌으며 문맥주변부와 소엽주위의 섬유화 간소엽주변부의 담즙색소 침착이 관찰되었다. 한편, 고농도군에서 전암병변(preneoplastic lesion)으로 간주되는 변이세포소 (foci of cellular alteration)가 관찰되었으며 이러한 변이세포소는 수컷 예보다는 암컷 예에서 발생빈도가 높게 관찰되었다 (그림 84~86).

신장에서는 간의 병변이 간장 다음으로 많이 관찰되었으며, 신장은 대조군과 저농도군에서 사구체를 중심으로 한 기본단위인 nephron이 깨끗한 보우만씨 공간을 가지는 것으로 관찰되었다. 근위세뇨관과 원위세뇨관도 정상적으로 관찰되었으며, 저배율에서 관찰되는 피질과 수질에서 어떠한 병변도 관찰되지 않았지만 중농도와 고농도 군에서는 울혈이 관찰되었다.

흡입으로 인한 호흡기의 병변은 관찰되지 않았다. 비갑개의 공기통로인 비강 (nasal cavity)의 paranasal sinus의 주변 호흡상피를 비롯하여 대조군, 저농도군, 중농도군, 고농도군에서 별다른 차이를 보이지 않았다. 그러나 thymus에서는 울혈과 충혈이 이 관찰되었으나 대조군에서도 비슷한 양상을 보였다.

췌장에서는 췌장섬 (pancreas islet)부분에서 간혹 작은 공포 부분이 관찰되었다. 호흡기와 인접한 심장에서는 대조군을 비롯한 저농도군, 중농도군, 고농도군에서 림파구 침착 등의 국소적인 울혈이 관찰되었으나, 이는 마우스에서 자연발생적으로 흔히 관찰되는 퇴행성변화로서 흡입독성에 의한 병변으로 보기에는 어려웠다.

독성물질들의 생체내의 영향은 노출후 여러 가지 유입 경로를 거쳐 오염 물질이나 마우스에 흡입시킨 gas는 세포의 생체막을 통과 하여 직접 DNA 에 작용하는 경우보다는 막에 존재하는 막 단백질 및 막 지질 분자들에 작용을 하여 그들의 활성화 및 구조, 형태적 변화를 통하여 2 차 물질들을 산출하여 직 간접적으로 DNA 의 손상과

발현에 영향을 끼쳐 여러 가지 질병 및 증상들을 일으키게 되는 원인이 되기 때문에 병리적인 소견 중 고농도군에서 관찰된 림프구 침윤, 울혈 및 충혈은 자연발생적으로는 흔치 않은 소견이며, 또한 대조군에서는 발생하지 않은 것으로 보아 시험물질의 흡입에 기인된 소견으로 판단된다.

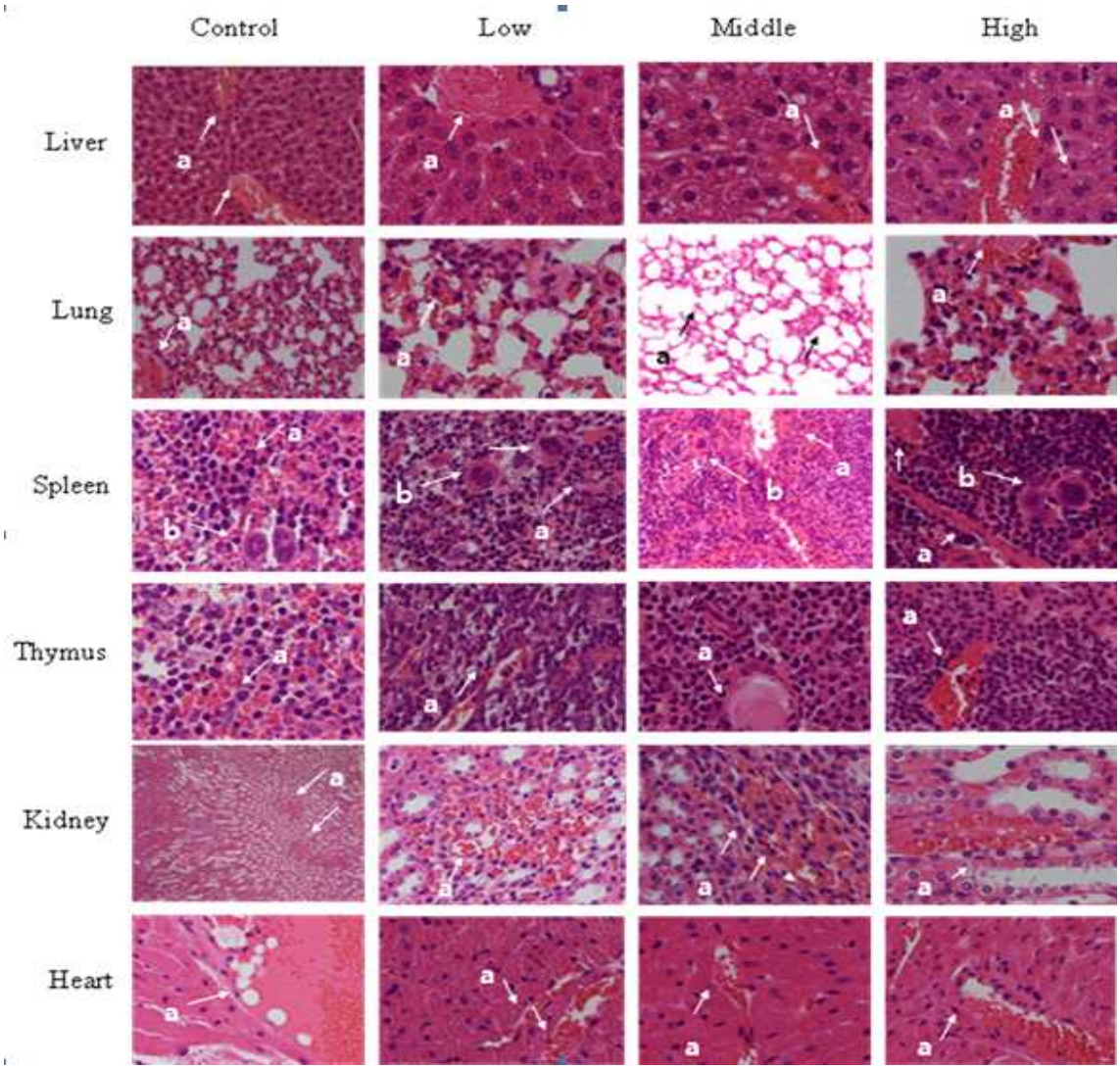


그림 84 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of CO gas

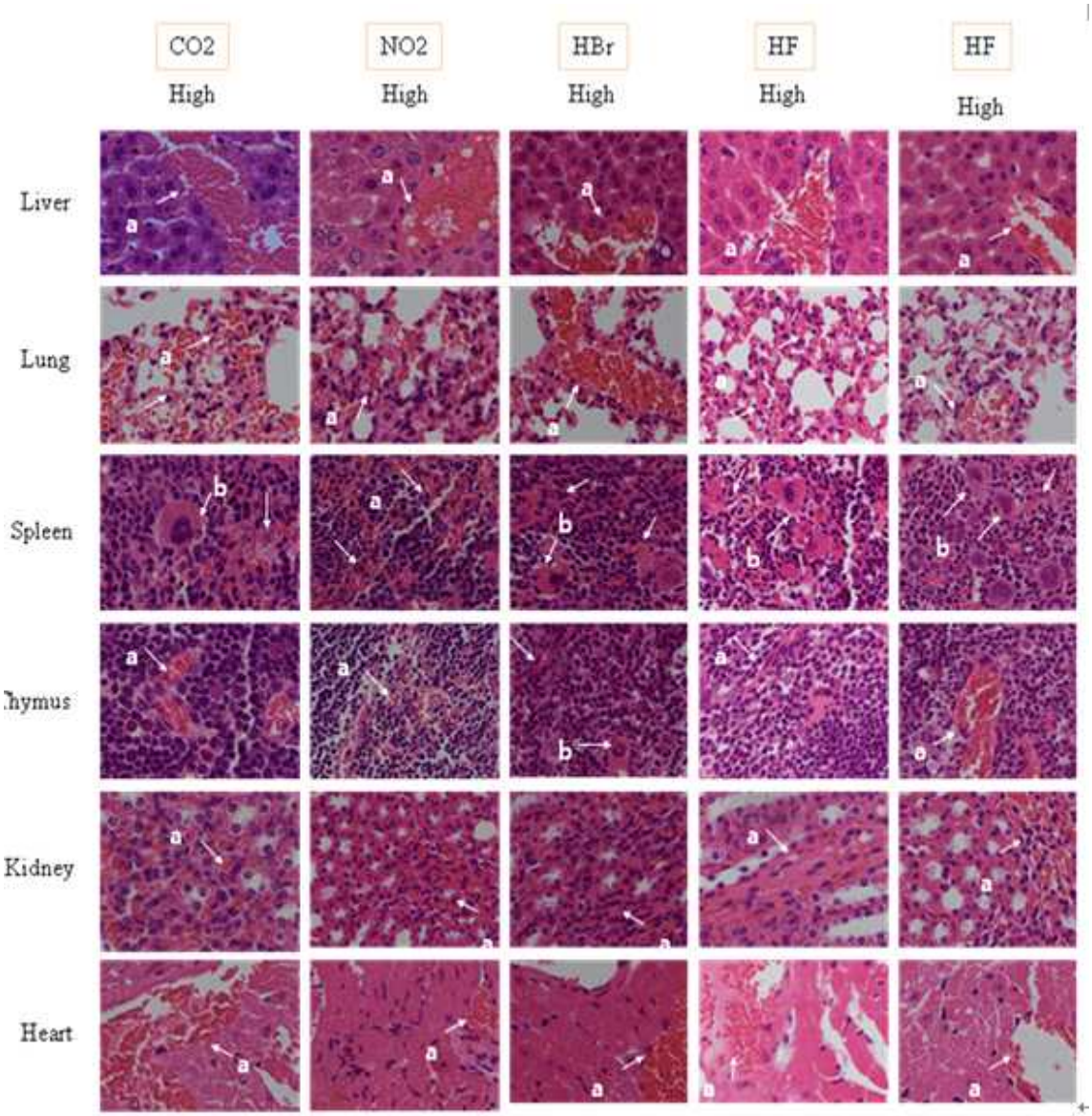


그림 85 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of high dose gases

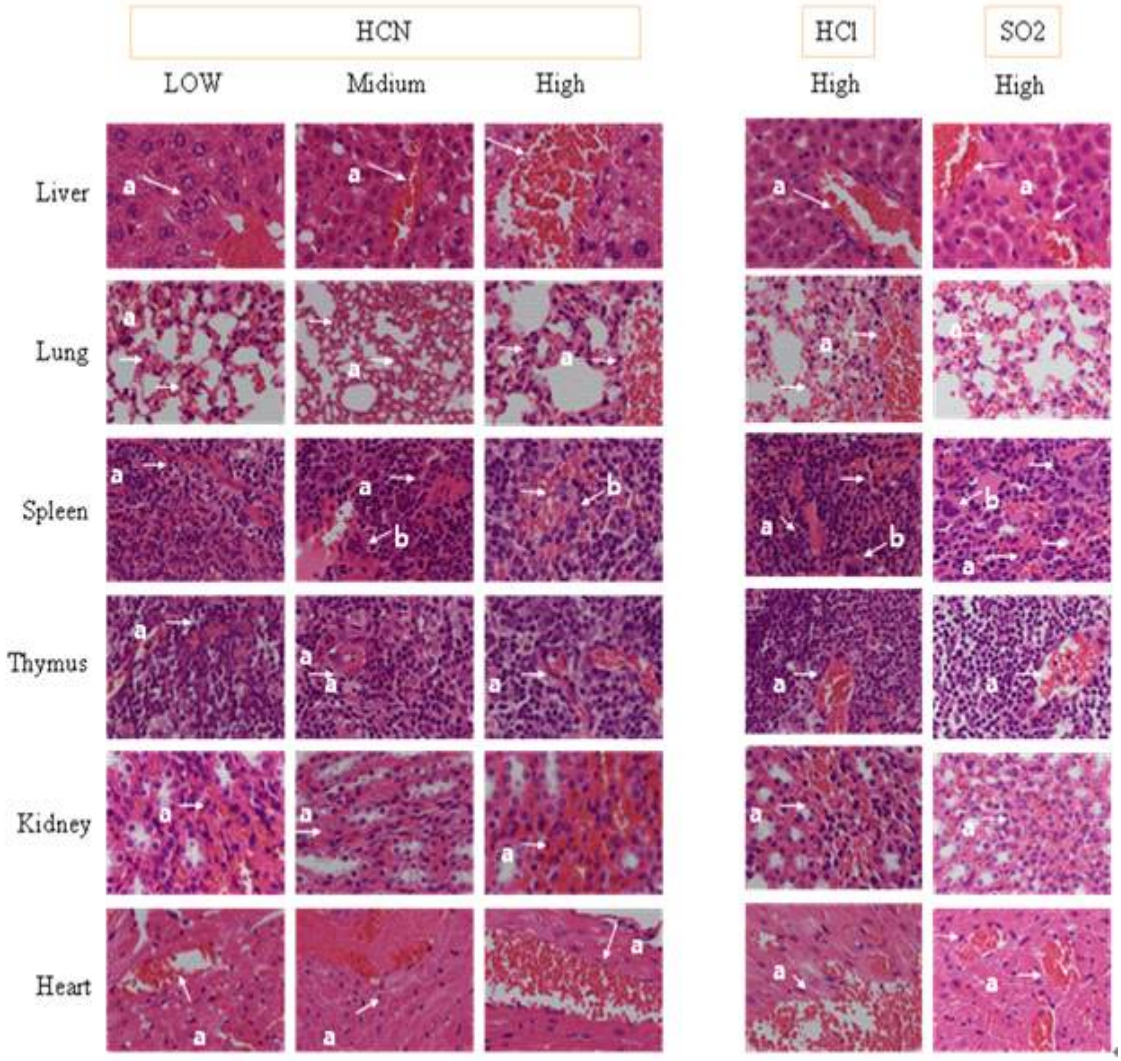


그림 86 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of high dose gases

(2) 혈액검사 결과

혈액 검사 결과 (표 51~60), 노출농도에 따라 WBC (백혈구), netrophil (중성호성백혈구), HB (hemoglobin), HCT (hemato- crit 치), MCV (Mean corpuscular volume) 등 거의 전 항목이 대조군과 비교하여 증가하다가 가장 높은 농도에서 감소였고. RDW (Redcell volum distribution; 적혈구 용적)는 감소하였다. 그러나 기타 항목은 유의적인 변화를 나타내지 않고 모두 정상범주 내의 결과가 나타났다. 모든 투여군에서 관찰된 평균적혈구용적의 감소와 중농도군 및 고농도군에서 나타난 적혈구용적의 감소, 그리고 고농도군에서 인정된 혈색소 농도의 감소는 용량의존적으로 감소하였고, 또한 낮은농도에서도 유사하게 관찰된 것으로 보아 시험물질의 폭로에 기인된 독성학적 변화로 판단된다. 적혈구용적의 감소는 적혈구수의 감소가 없는 것으로 보아 평균적혈구용적의 감소가 주 원인으로 나타났고, 이로 인해 혈색소 농도의 감소가 유발된 것으로 사료된다. 암컷동물의 경우, 혈색소 농도는 모든 투여군에서, 그리고 적혈구용적과 평균적혈구용적은 중농도군과 고농도군에서 대조군에 비해 각각 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 일부가스에서의 중농도군과 고농도군에서 관찰된 백혈구수의 감소는 다른 가스 노출군에서 관찰되는 백혈구수의 증가와는 상반된 결과로서 시험물질의 폭로에 기인된 결과로는 판단되지 않는다. 본 시험에서는 백혈구수의 감소 또는 증가에 대한 명확한 원인을 밝힐 수 없었으며, 추후 이에 대한 추가연구가 필요한 것으로 판단된다. 그 외에 고농도군에서 관찰된 평균혈색소량의 감소와 중용량군에서 나타난 평균적혈구 혈색소농도의 증가, 그리고 적혈구수의 감소는 용량상관성이 인정되지 않았고, 다른 항목과의 관련성이나 일치성이 인정되지 않아 우발적 소견으로 판단된다.

표 51 Hematological values of Female mice exposed to CO gas

Parameters	Reference range	Control	CO concentration (mg/m^3)				
			100	300	500	1019	1488
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.24 ± 2.33	0.91 ± 1.49	0.85 ± 1.32	1.29 ± 1.47	1.07 ± 1.52
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	9.46 ± 0.17	10.09 ± 0.46	9.64 ± 0.52	8.97 ± 0.38	9.01 ± 0.52
Hemoglobin (g/dL)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.9 ± 0.74	15.2 ± 0.54	14.5 ± 0.53	13.4 ± 0.74	14.0 ± 0.63
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	55.5 ± 2.40	64.5 ± 1.37*	58.8 ± 1.25	55.1 ± 1.33	53.9 ± 2.35
MCV(fL)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	58.6 ± 2.29	63.9 ± 2.58	61.1 ± 2.369	61.3 ± 2.22	59.8 ± 2.80
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	14.7 ± 0.67	15.1 ± 0.73	15.1 ± 0.69	14.9 ± 0.64	15.6 ± 0.99*
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	25.1 ± 1.25	23.6 ± 0.50	24.7 ± 0.47	24.3 ± 1.39	26.0 ± 1.98
Platelet ($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	1519 ± 133.36*	1006 ± 51.45	1103 ± 62.20	1032 ± 92.01	1038 ± 135.52
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	19.5 ± 2.92*	20.3 ± 2.20*	7.6 ± 1.72**	23.8 ± 3.07*	10.2 ± 3.25
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	74.4 ± 1.39	73.8 ± 3.09	79.8 ± 2.52	64.3 ± 2.92*	73.4 ± 3.11
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	6.1 ± 0.98*	5.9 ± 0.74*	8.9 ± 0.99	8.5 ± 0.43	6.4 ± 0.97*
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	-	-	3.5 ± 2.16	2.6 ± 0.87	9.3 ± 3.33**
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	-	-	0.2 ± 0.01*	0.8 ± 0.02	0.7 ± 0.02

WBC, white blood cell (K/㎕); NE, neutrophil (K/㎕); LY, lymphocyte (K/㎕); MO, monocyte (K/㎕); EO, eosinophil (K/㎕); BA, basophil (K/㎕); RBC, red blood cell (M/㎕); Hb, hemoglobin (g/dL); HCT, hematocrit (%); MCV, mean corpuscular volume (fL); MCH, mean corpuscular hemoglobin (pg); MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration (g/dL); RDW, red blood cell distribution width (%); PLT, platelets (K/㎕); MPV, mean plasma volume (fL)
All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 52 Hematological values of Female mice exposed to CO_2 gas

Parameters	Reference range	Control	CO_2 concentration (mg/m^3)			
			512	1016	4984	10023
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.15 ± 1.35	1.14 ± 2.15	0.97 ± 1.38	1.64 ± 1.47*
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	8.97 ± 0.55	9.06 ± 0.36	8.18 ± 0.77	8.61 ± 0.38
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.2 ± 0.95	13.2 ± 0.55	12.3 ± 0.85	12.8 ± 0.74
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	51.6 ± 2.54	52.4 ± 1.36	47.5 ± 2.34	50.3 ± 1.33
MCV(fL)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	57.6 ± 2.33	57.8 ± 2.75	58.1 ± 2.95	58.5 ± 2.22
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	14.8 ± 1.20	14.6 ± 0.88	15.1 ± 1.10	14.8 ± 0.64
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	25.6 ± 1.35	25.2 ± 1.24	25.9 ± 1.45	25.4 ± 1.39
Platelet($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	932 ± 152.0	916 ± 110.2	923 ± 99.5	818 ± 92.01
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	6.6 ± 3.04*	15.2 ± 2.42*	6.0 ± 3.12*	11.0 ± 3.07
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	78.4 ± 1.32	70.7 ± 3.25*	75.3 ± 2.32	79.2 ± 2.92
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	6.5 ± 0.75	5.1 ± 0.99	7.0 ± 0.78	6.2 ± 0.43
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	7.6 ± 1.42*	8.0 ± 1.88*	11.2 ± 1.46*	2.9 ± 0.87
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.09 ± 0.02**	1.0 ± 0.03	0.5 ± 0.02	0.7 ± 0.02

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 53 Hematological values of Female mice exposed to NO gas

Parameters	Reference range	Control	NO concentration (mg/m^3)			
			48.4	199	350	500
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.28 ± 2.13	1.55 ± 1.55	1.43 ± 2.01	0.97 ± 2.66*
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	8.73 ± 0.54	8.80 ± 0.78	8.70 ± 0.54	8.52 ± 0.87
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.1 ± 0.88	12.8 ± 0.54	12.8 ± 0.79	13.1 ± 0.54
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	50.8 ± 2.47	50.2 ± 1.48	50.4 ± 1.45	50.5 ± 2.68
MCV(fL)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	58.2 ± 2.49	57.0 ± 2.68	57.9 ± 2.78	59.3 ± 2.89
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	15.1 ± 0.67	14.6 ± 0.75	14.7 ± 0.88	15.4 ± 0.97
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	25.9 ± 1.26	25.6 ± 0.58	25.5 ± 1.45	26.0 ± 1.33
Platelet($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	684 ± 136.5	699 ± 65.5	864 ± 88.2	1179 ± 97.5
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	8.3 ± 2.87	5.9 ± 2.78	13.7 ± 3.45	9.7 ± 2.48
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	79.3 ± 1.50	81.5 ± 3.19	80.0 ± 1.52	78.1 ± 1.55
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	5.6 ± 0.48	5.2 ± 0.78	6.3 ± 0.45	5.6 ± 0.91
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	5.4 ± 1.52	6.4 ± 2.47	-	5.5 ± 1.21
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	1.4 ± 0.03	1.0 ± 0.02	-	1.1 ± 0.03

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 54 Hematological values of Female mice exposed to NO_2 gas

Parameters	Reference range	Control	NO_2 concentration (mg/m^3)				
			50.4	70.5	101	199	350
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.22 ± 1.52	0.89 ± 1.14	0.80 ± 1.35	0.88 ± 1.22	1.83 ± 1.36
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	9.04 ± 0.32	9.09 ± 0.65	8.97 ± 0.42	8.50 ± 0.54	8.64 ± 0.51
Hemoglobin (g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.4 ± 0.65	13.3 ± 0.55	13.4 ± 0.58	12.9 ± 0.75	12.6 ± 0.67
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	57.0 ± 1.32	55.8 ± 1.55	57.6 ± 1.26	53.8 ± 1.48	53.6± 2.37
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	63.0 ± 2.31	61.4 ± 2.36	63.2 ± 2.459	63.3 ± 2.47	62.0 ± 2.32
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	14.8 ± 0.82	14.7 ± 0.54	15.0 ± 0.55	15.1 ± 0.68	14.6 ± 0.88
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	23.6 ± 0.48	23.9 ± 0.51	23.7 ± 0.42	23.9 ± 1.35	23.5 ± 1.41
Platelet ($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	774 ± 65.52*	797 ± 45.52*	655 ± 84.25*	1118 ± 32.25	1035 ± 74.25
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	9.9 ± 2.09	8.9 ± 1.20	10.9 ± 2.45	9.6 ± 2.80	4.9 ± 2.48*
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	82.9 ± 2.25	79.8 ± 2.14	79.9 ± 2.33	84.1 ± 2.52	85.0 ± 2.15
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	5.1 ± 0.34	7.8 ± 0.52	5.2 ± 0.81	4.6 ± 0.74	4.9 ± 0.35
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	1.8 ± 0.77*	2.8 ± 1.21	3.7 ± 1.04	1.3 ± 0.88*	4.8 ± 1.25*
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.3 ± 0.02	0.7 ± 0.03	0.3 ± 0.01	0.4 ± 0.01	0.4 ± 0.02

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 55 Hematological values of Female mice exposed to SO_2 gas

Parameters	Reference range	Control	SO_2 concentration (mg/m^3)				
			11	25.5	51.7	120	190
WBC($x10^9$/L)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.22 ± 1.25	1.42 ± 1.35	1.45 ± 1.85	1.28 ± 1.45	0.64 ± 1.35
RBC($x10^{12}$/L)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	8.87 ± 0.52	8.91 ± 0.33	8.94 ± 0.51	8.48 ± 0.34	8.62 ± 0.52
Hemoglobin (g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.1± 0.45	13.5 ± 0.33	13.9 ± 0.51	12.9 ± 0.66	13.1 ± 0.52
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	55.4 ± 1.45	56.6 ± 1.38	57.1 ± 1.26	53.4 ± 1.38	48.8 ± 1.42
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	62.5 ± 2.52	63.5 ± 2.33	63.9 ± 2.529	63.0 ± 2.22	56.7 ± 2.80
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	14.8 ± 0.61	15.2 ± 0.52	15.6 ± 0.33	15.3 ± 0.54	15.2 ± 0.52
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	23.7 ± 1.25	23.9 ± 0.53	24.4 ± 0.45	24.3 ± 1.33	26.7 ± 1.42
Platelet ($x10^9$/L)	592-2972	1264 ± 59.64	1332 ± 52.32	1358 ± 35.24	1252 ± 52.45	1350± 152.32	1415 ± 112.25
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	0.1 ± 1.92	8.8 ± 1.25	10.1 ± 1.52	9.4 ± 2.04	12.2 ± 2.25
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	85.3 ± 1.33	78.7 ± 2.05	81.1 ± 2.45	81.8 ± 2.52	79.1 ± 2.52
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	4.5 ± 0.91	6.1 ± 0.64	6.0 ± 0.35	5.3 ± 0.55	4.9 ± 0.65
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.42	9.9 ± 1.52	5.9 ± 1.09	2.5 ± 1.16	2.6 ± 0.98	2.7 ± 2.35
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.2 ± 0.03	0.5 ± 0.02	0.3 ± 0.01	0.9 ± 0.02	1.1 ± 0.01

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 56 Hematological values of Female mice exposed to HCl gas

Parameters	Reference range	Control	HCl concentration (mg/m^3)				
			11.3	52.6	156	206	608
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	0.92 ± 1.33	0.96 ± 1.42	0.61 ± 1.65	1.09 ± 1.85	0.62 ± 1.65
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	8.8 ± 0.22	8.25± 0.52	8.93 ± 0.31	9.19 ± 0.33	7.78 ± 0.75
Hemoglobin (g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.1± 0.32	12.4 ± 0.42	13.1 ± 0.95	13.8 ± 0.65	11.9 ± 0.32*
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	50.6 ± 1.55	46.2 ± 1.58*	50.4 ± 1.36	52.0 ± 1.31	45.9 ± 1.52**
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	57.5 ± 2.22	56.1 ± 2.53	56.4 ± 2.459	56.6 ± 2.29	58.9 ± 2.30
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	14.9 ± 0.55	15.0 ± 0.62	14.7 ± 0.31	15.1 ± 0.45	15.3 ± 0.33
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	25.9 ± 1.55	26.7 ± 0.74	26.0 ± 0.77	26.6 ± 1.85	25.9 ± 1.52
Platelet ($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	1327 ± 39.52	1237 ± 45.25	1332 ± 62.52	1181 ± 142.25*	1359 ± 152.25
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	1.1 ± 1.52***	5.2 ± 1.15**	6.3 ± 1.34	15.9 ± 2.25**	5.7 ± 1.25
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	84.7 ± 1.42	78.9 ± 2.42	77.3 ± 2.65	71.9 ± 2.15*	85.7 ± 2.42
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	4.9± 0.88	6.5 ± 0.55	4.8 ± 0.5*2	5.3 ± 0.33	2.7 ± 0.33**
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.42	8.5 ± 1.32	8.9 ± 1.39	11.0 ± 1.28***	3.4 ± 1.82**	5.1 ± 2.35
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.8 ± 0.02	0.5 ± 0.01	0.6 ± 0.05	0.6 ± 0.02	0.8 ± 0.01

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 57 Hematological values of Female mice exposed to HF gas

Parameters	Reference range	Control	HF concentration (mg/m^3)			
			19.3	46.7	193	608
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.32	1.45 ± 2.42	1.00 ± 1.52	2.26 ± 2.36*	1.07 ± 2.47
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.33	8.63 ± 0.35	8.47 ± 0.57	8.86 ± 0.95	8.25 ± 0.85
Hemoglobin(g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	13.4 ± 0.84	12.9 ± 0.74	13.5 ± 0.64	12.4 ± 0.33
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	50.9 ± 2.42	50.5 ± 2.55	51.2 ± 2.36	48.6 ± 1.85
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	59.9 ± 2.48	59.6 ± 2.65	57.8 ± 2.85	58.9 ± 2.45
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	15.5 ± 0.62	15.2 ± 0.74	15.2 ± 0.77	15.0 ± 0.85
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.64	26.3 ± 1.52	25.6 ± 1.33	26.3 ± 2.42	25.5 ± 2.75
Platelet($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	1531 ± 65.85	1438 ± 66.25	1713 ± 112	1422 ± 95.3
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	5.4 ± 2.52	3.2 ± 2.48	3.7 ± 2.33	5.6 ± 2.48
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	83.5 ± 1.40*	84.8 ± 1.48	86.7 ± 3.14	87.4 ± 2.42
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	4.0 ± 0.92	3.6 ± 0.97*	3.4 ± 0.58	2.6 ± 0.42*
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	6.8 ± 1.25	7.9 ± 1.45	6.0 ± 2.49	3.6 ± 0.88*
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.3 ± 0.01	0.5 ± 0.03	0.2 ± 0.02	0.8 ± 0.02

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 58 Hematological values of Female mice exposed to HCN gas

Parameters	Reference range	Control	HCN concentration (mg/m^3)		
			10.8	44.9	141
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.24 ± 1.32	1.66 ± 1.41	1.87 ± 1.35*
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	8.75 ± 0.36	8.47 ± 0.46	8.77 ± 0.34
Hemoglobin(g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	12.9 ± 0.34	12.9 ± 0.64	13.5 ± 0.88
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	51.9 ± 1.25*	52.6± 1.36	53.3± 1.39
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	59.3 ± 2.45*	62.1 ± 2.32	60.8 ± 2.65
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	14.7± 0.88	15.2 ± 0.95	15.4 ± 0.84
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	24.8 ± 1.32	24.5 ± 1.52	25.3 ± 1.52
Platelet($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	1509 ± 65.25	1525 ± 55.12	1653 ± 62.52**
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	9.5 ± 2.85	2.9 ± 2.45**	5.8± 2.45*
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	87.5 ± 1.32	87.4 ± 2.45	87.8 ± 2.45
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	3.0 ± 0.85	2.7 ± 0.75*	2.8 ± 0.95
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	-	6.3 ± 1.85	3.3 ± 1.25*
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	-	0.7 ± 0.01	0.3 ± 0.02

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 59 Hematological values of Female mice exposed to HBr gas

Parameters	Reference range	Control	HBr concentration (mg/m^3)				
			12.2	56.8	105	200	601
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	4.15 ± 1.25**	1.46 ± 1.25	1.58 ± 1.45	2.03 ± 1.32	1.75 ± 1.61
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	8.29 ± 0.25	7.31± 0.36	7.77 ± 0.45	8.37 ± 0.35	8.11 ± 0.55
Hemoglobin (g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	12.7± 0.45	11.3 ± 0.45	11.7 ± 0.95	12.5 ± 0.66	12.2 ± 0.75
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	50.3 ± 1.67	43.4 ± 1.66*	46.7 ± 1.35	48.4 ± 1.12	48.7 ± 1.62
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	60.7 ± 2.35	59.4 ± 2.12	60.1 ± 2.339	57.8 ± 2.52	60.0 ± 2.38
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	15.3 ± 0.54	15.5 ± 0.32	15.0 ± 0.48	15.0 ± 0.58	15.0 ± 0.45
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	25.2 ± 1.75	26.0 ± 0.65	25.0 ± 0.54	25.9 ± 1.80	25.0 ± 1.68
Platelet ($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	1430 ± 35.25	1341 ± 52.45	1368 ± 54.12	1465 ± 62.52	1593 ± 78.25
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	5.7 ± 1.45	8.6 ± 1.85	8.1 ± 1.25	8.9 ± 1.85	9.8 ± 1.99**
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	88.2 ± 1.36	88.2 ± 1.25	88.1 ± 2.21	87.1 ± 2.35	88.2 ± 2.36
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	3.6 ± 0.78	3.2 ± 0.65	3.8 ± 0.32	3.4 ± 0.42	2.0 ± 0.38*
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.42	1.9 ± 1.52	-	-	-	-
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.6 ± 0.02	-	-	-	-

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 60 Hematological values of Female mice exposed to N_2 gas

Parameters	Reference range	Control	N_2 concentration (mg/m^3)		
			17	20	100
WBC($x10^9/L$)	1.8-10.7	1.20 ± 1.98	1.56 ± 1.25*	1.74± 1.35*	1.84 ± 1.25*
RBC($x10^{12}/L$)	6.36-9.42	9.04 ± 0.35	7.26± 0.33	7.67 ± 0.44	7.86 ± 0.31
Hemoglobin(g/dl)	11.0-15.1	14.20 ± 0.45	11.3 ± 0.34	11.8 ± 0.45	11.8 ± 0.54
Hematocrit(%)	35.1-45.4	60.1 ± 1.44	43.5 ± 1.45*	46.2 ± 1.24*	46.3 ± 1.42*
MCV(fl)	45.4-60.3	63.0 ± 2.54	60.1 ± 1.85	60.2 ± 2.18	58.8 ± 2.85
MCH(pg)	14.1-19.3	14.9 ± 0.92	15.6 ± 0.85	15.3 ± 0.33	15.0 ± 0.61
MCHC(g/dl)	30.2-34.2	23.6 ± 0.94	25.9 ± 0.33	25.5 ± 0.45	25.4 ± 0.55
Platelet($x10^9/L$)	592-2972	1264 ± 59.64	1393 ± 65.2	1411 ± 64.52*	1350 ± 54.28
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 1.88	3.9 ± 2.52	0.1 ± 2.33	10.0 ± 2.15
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	81.4 ± 3.03	88.4 ± 1.45*	86.5 ± 2.52	87.4± 2.25*
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.3 ± 0.78	3.0 ± 0.68	3.3 ± 0.64	2.6 ± 0.45
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.1 ± 1.71	4.5 ± 1.25	9.3 ± 2.12	-
Basophil(%)	0.0-2.0	0.6 ± 0.02	0.2 ± 0.02	0.8 ± 0.02	-

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

(3) 혈액 생화학적 검사결과

혈액생화학적 검사결과(표 61 ~ 67), 지방간이나 간섬유증에 의한 간기능 부전시에는 일반적으로 단백질 합성능력이 저하되어 혈청중 단백질이 감소하는 것으로 알려져 있는데, 본 시험의 경우 단백질은 대조군과 거의 비슷한 결과를 나타내었다. 그러나 고용량군의 노출군에서 관찰된 GPT와 GOP의 증가는 간실질세포의 파괴가 진행되고 있음을 암시해 주고 있으며, 조직병리검사에서도 중농도군에서 과립세포 침윤과 다형핵거대세포의 출현, 그리고 고농도군에서 간세포 섬유화와 담즙색소 침착 등이 관찰되어 시험물질의 폭로에 의한 간손상을 확인할 수 있었다. 또한 중농도군 및 고농도군에서 관찰된 크레아티닌의 감소는 간헐적이지만 감소한 것으로 보아 시험물질의 폭로에 기인된 변화로 사료된다. 크레아티닌은 대부분 근육내에 존재하는 내인성물질로서 신장질환이나 근육질환이 있을 경우 혈중에 증가하게 되며, 간경화증 등 간질환시에는 다소 감소하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 시험에서 관찰된 크레아티닌의 감소는 시험물질의 폭로에 기인된 간질환 소견과 관련된 것으로 판단된다.

혈액생화학 검사 결과 크레아티닌과 총빌리루빈, LDH, ALP, T-CHO는 각각 유의성 있게 증가하였다. GOT와 GPT는 대조군의 결과에 비해 통계학적으로 유의하게 약 5.8배와 1.5배 증가한 것으로 나타났다. 중용량군에서는 총단백질과 알부민 및 GLU가 대조군에 비해 각각 통계학적으로 유의성있게 증가하였고, ALP는 유의성있게 감소하였다. 각각의 가스 저, 중, 고노출군에서는 GOT, GPT, 콜레스테롤과 LDH 및 CPK가 대조군에 비해 각각 유의성있게 증가하였다. GOT, GPT, LDH는 대조군의 결과에 비해 상당히 크게 증가한 것으로 나타났다. BUN과 CRTN, T-BIL 및 ALP가 대조군에 비해 각각 통계학적으로 유의성있게 증가하였다.

각각의 가스 실험의 결과를 볼 때 약간의 편차는 있지만 이는 mouse이므로 혈액양이 적어 약간 상반된 결과를 보이기도 하였다. 그러나 대부분의 가스에 노출된 mouse에서는 총단백질과 크레아티닌은 큰변화를 보이지는 않았다. GPT, GOT, 콜레스테롤 등은 약간의 차이는 있지만 농도 의존적으로 모두 증가하는 경향을 보였다. 이상으로 볼 때 혈중 총담백의 증가 (탈수증, 고 γ-globulin, 만성염증질환, 간경변) 또는 감소 (담백질섭취 부족, 소화흡수장애, 체외상실) 혈중 BUN감소 (간부전) T-Bile증가 (적혈구 파괴), GPT, GOT 증가 (간염심근 경색, 근질환, 용혈성 질환) LDH, ALP증가 (적혈구 파괴, 심근경색, 근위축, 간염, 신장경색) 또는 ALP 감소 (선천성 hypuphosphatasia), GLH감소 (담백질 증가), T-Chol증가 (신증후, 간질환, 갑상선 기능저하), CPK 감소 (갑상선 기능항진, 고 Bililubin 혈증) 또는 증가 (근질환, 신경근 질환, 중추신경계질환, 중독, Halothane 마취) 등은 적혈구 파괴, 간, 심장, 신장, 갑상선의 기능 및 기질적 변화가 고농도 폭로군에서 어느정도 진행되고 있는 것으로 사료된다

표 61 Serum biochemistry in female mice exposed to fly NO_2

Parameters	Reference range	Control	Concentration (mg/m3)				
			50.4	70.5	101	199	350
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	5.2 ± 0.51	5 ± 0.47	4.8 ± 0.56	5.3 ± 0.84	5.2 ± 0.47
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.6 ± 0.33	3.1 ± 0.37*	3.2 ± 0.30*	3.3 ± 0.22*	3.6 ± 0.37
Bilirubin (mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.4 ± 0.01	0.2 ± 0.23	-	0.2 ± 0.07	0 ± 0.23
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 11.54	12 ± 1.11*	3 ± 0.14*	4 ± 0.52*	4 ± 0.22*	4 ± 0.44*
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	36.08 ± 3.55**	22.5 ± 2.5*	40 ± 1.57**	35.84 ± 1.71*	23 ± 1.97
Creatinine (mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.05	0.1 ± 0.01*	0.5 ± 0.08	0.1 ± 0.05*	0.5 ± 0.05	0.1 ± 0.08*
GPT(U/L)	23 - 66	65.25 ± 4.54	355.4 ± 22.5*	168.25 ± 12.2*	307.36 ± 20.12*	123.45 ± 8.15*	158.4 ± 6.12*
GOT (U/L)	21 - 102	100.25 ± 2.35	208.32 ± 15.4*	109.13 ± 10.1	153.4 ± 7.51	86.21 ± 8.61*	33.64 ± 5.24*
ALP(U/L)	20 - 156	110.12 ± 15.11	44 ± 4.41***	7 ± 0.45***	18 ± 53.54*	8 ± 0.24***	14.8 ± 117.59**
LDH(U/L)	45 - 233	183.23 ±8.11	3056 ± 205.12***	830 ± 45.5*	1352 ± 180.15**	1004 ± 80.15**	792 ± 61.51**
Cholesterol (mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 4.51	166.2 ± 13.22*	152 ± 11.2*	134.04 ± 8.76*	138.8 ± 13.16*	121.04 ± 8.69*
Triglyceride (mg/dL)	135.4	89.00 ± 7.80	55.44 ± 4.88	36.48 ± 2.54*	33.44 ± 7.23*	37.49 ± 3.85*	45.08 ± 33.24
Phosphorus (mg/dL)	2.6 - 6.2	7.30 ± 0.41	22 ± 2.11*	15.5 ± 1.12*	18.8 ± 0.71*	17.8 ± 2.09*	15.6 ± 1.81*

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 62 Serum biochemistry in female mice exposed to fly SO_2

Parameters	Reference range	Control	Concentration (mg/m3)			
			11	22.5	51.7	120
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	6 ± 0.47	6 ± 0.56	6 ± 0.84	5.8 ± 0.47
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.6 ± 0.37	4 ± 0.30	3.6 ± 0.22	3.5 ± 0.37
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.23	-	0.1 ± 0.07	0.1 ± 0.23
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 11.54	3 ± 0.11*	4 ± 0.35*	3 ± 0.25*	61 ± 5.85**
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	26.71 ± 4.97*	20.16 ± 1.57	28.71 ± 1.71*	28.96 ± 1.97*
Creatinine (mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.05	0.5 ± 0.08*	0.1 ± 0.00	0.3 ± 0.05	0.3 ± 0.08
GPT(U/L)	23 - 66	65.25 ± 4.54	181.01 ± 14.54**	160.04 ± 16.54**	303.96 ± 20.15**	190.65 ± 15.42**
GOT (U/L)	21 - 102	100.25 ± 2.35	43.11 ± 3.54	45 ± 2.55	130.89 ± 11.54	49.84 ± 2.55
ALP(U/L)	20 - 156	110.12 ± 15.11	5.5 ± 0.56**	14 ± 0.54**	6.8 ± 0.27***	6.1 ± 0.24**
LDH(U/L)	45 - 233	183.23 ±8.11	827 ± 65.54	920 ± 57.55	1035 ± 80.54	802 ± 58.24
Cholesterol (mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 4.51	137.2 ± 15.22*	133.8 ± 14.15*	131.05 ± 11.25*	146.52 ± 11.25*
Triglyceride (mg/dL)	135.4	89.00 ± 7.80	50.27 ± 5.22*	42.36 ± 4.22*	49.71 ± 3.58*	57.55 ± 5.48*
Phosphorus (mg/dL)	2.6 - 6.2	7.30 ± 0.41	16.6 ± 1.81*	16 ± 0.71*	14.2 ± 2.09*	13.5 ± 1.81*

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 63 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HCl

Parameters	Reference range	Control	Concentration (mg/m3)				
			11.3	52.6	156	206	608
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.55	5.4 ± 0.84	5.5 ± 0.47	5.4 ± 0.56	5.7 ± 0.84	5.1 ± 0.47
Albumin (g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.4 ± 0.22	3.4 ± 0.37	3.4 ± 0.30	3.5 ± 0.22	3.2 ± 0.37
Bilirubin (mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.07	0.2 ± 0.23	0.1 ± 0.05	0.3 ± 0.07	0.1 ± 0.23
Glucose (mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 14.22	56 ± 6.55**	56 ± 4.74**	107 ± 14.14	38 ± 2.55***	179 ± 14.74
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	21.19 ± 1.71	23.4 ± 4.97	40.51 ± 1.57**	35.77 ± 1.71	24.74 ± 1.97
Creatinine (mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.05	0.3 ± 0.05	0.3 ± 0.08	0.3 ± 0.00	0.2 ± 0.05	0.2 ± 0.08
GPT(U/L)	23 - 66	50.45 ± 4.35	248.6 ± 12.50	2426.16 ± 85.49**	710.78 ± 68.54*	4046.49 ± 150.95**	262.84 ± 41.84*
GOT (U/L)	21 - 102	88.2 ± 5.88	104.18*	1282.16***	320.26*	2292.49***	150.17*
ALP(U/L)	20 - 156	138.20 ± 8.50	7.4 ± 0.82**	7.3 ± 0.59**	7.1 ± 0.54**	8.8 ± 0.82**	6.8 ± 0.59**
LDH(U/L)	45 - 233	185.40 ± 14.44	826 ± 0.01*	2395 ± 0.01*	1334 ± 254.53	3057 ± 0.01	904 ± 0.01
Cholesterol (mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 8.08	144.85 ± 13.16*	144.57 ± 8.69*	138.15 ± 28.76*	173.81 ± 13.16*	162.59 ± 18.69*
Triglyceride(mg/dL)	135.4	89.00 ± 10.10	45.24 ± 3.85*	43.51 ± 3.24*	52.65 ± 4.23*	23.41 ± 3.85**	53.31 ±13.24
Phosphorus (mg/dL)	2.6 - 6.2	5.30 ± 0.61	11.1 ± 2.09*	11.7 ± 1.81*	11.5 ± 0.71*	10.6 ± 2.09*	9.8 ± 1.81*

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 64 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HF

Parameters	Reference range	Control	Concentration (mg/m3)		
			10.8	49.4	141
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	5.4 ± 0.84	5.1 ± 0.47	4.9 ± 0.56
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.4 ± 0.22	3.2 ± 0.37	3.1 ± 0.30
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.07	0.1 ± 0.23	0.1 ± 0.05
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 34.22	221 ± 22.55*	207 ± 14.74*	226 ± 14.14*
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	28.19 ± 1.71*	29.28 ± 4.97*	27.12 ± 1.57*
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.00	0.3 ± 0.00	0.3 ± 0.02	0.3 ± 0.01
GPT(U/L)	23 - 66	50.45 ± 4.35	186.77 ± 14.51*	148.55 ± 13.55*	210.79 ± 11.54*
GOT (U/L)	21 - 102	88.2 ± 5.88	67.93 ± 5.14	59.56 ± 6.54	83.54 ± 6.25
ALP(U/L)	20 - 156	138.20 ± 8.50	6.9 ± 1.82***	6.4 ± 2.59***	5.5 ± 0.54***
LDH(U/L)	45 - 233	185.40 ± 11.44	677 ± 15.55*	619 ± 35.75*	560 ± 67.22*
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 8.08	126.53 ± 13.16*	125.82 ± 10.69*	108.23 ± 10.76*
Triglyceride(mg/dL)	135.4	89.00 ± 7.10*	97.82 ± 8.85*	107.19 ± 13.24*	92.83 ± 7.23*
Phosphorus(mg/dL)	2.6 - 6.2	5.30 ± 0.61*	10.7 ± 2.09*	10.2 ± 1.81*	8.2 ± 0.71*

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 65 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HCN

Parameters	Reference range	Control	Concentration (mg/m3)			
			19.3	46.7	193	608
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	5 ± 0.84	5.1 ± 0.47	5.3 ± 0.56	5.2 ± 0.84
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.1 ± 0.22	3.1 ± 0.37	3.2 ± 0.30	3.2 ± 0.22
Bilirubin (mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.00	0.1 ± 0.00	0.1 ± 0.00	0.1 ± 0.00
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 14.22	156 ± 12.55*	193 ± 14.74	181 ± 14.14	199 ± 12.55
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	31.29 ± 1.71*	31.6 ± 4.97*	22.94 ± 1.57	24.59 ± 1.71
Creatinine (mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.05	0.2 ± 0.05	0.3 ± 0.08	0.3 ± 0.00	0.2 ± 0.05
GPT(U/L)	23 - 66	50.45 ± 4.35	212.38 ± 12.55*	240.26 ± 24.51*	152.11 ± 11.52*	118.51 ± 185*
GOT (U/L)	21 - 102	88.2 ± 5.88	107.16 ± 7.54	101.34 ± 7.25	54.58 ± 3.36*	52.8 ± 4.32*
ALP(U/L)	20 - 156	138.20 ± 11.50	6.3 ± 0.82***	7.2 ± 0.59***	6.6 ± 0.54***	7.3 ± 01.82***
LDH(U/L)	45 - 233	185.40 ± 11.44	637 ± 44.52*	858 ± 54.22*	554 ± 254.53*	521 ± 0.01
Cholesterol (mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 8.08	133.64 ± 13.16*	138.91 ± 8.69*	131.51 ± 2.76*	137.68 ± 13.16*
Triglyceride (mg/dL)	135.4	89.00 ± 8.10	94.85 ± 7.85	98.53 ± 8.24	115.28 ± 11.23	106.66 ± 13.85
Phosphorus (mg/dL)	2.6 - 6.2	5.30 ± 0.61	9.4 ± 2.09	11.5 ± 1.81	10.5 ± 0.71	10.5 ± 2.09

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 66 Serum biochemistry in female mice exposed to fly HBr

Parameters	Reference range	Control	Concentration (mg/m3)				
			12.2	56.8	105	200	601
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	5.8 ± 0.84	5.4 ± 0.47	5.5 ± 0.56	5.9 ± 0.84	5.8 ± 0.47
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.4 ± 0.22	3.3 ± 0.37	3.4 ± 0.30	3.5 ± 0.22	3.5 ± 0.37
Bilirubin (mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.07	0.1 ± 0.23	0.1 ± 0.05	0.1 ± 0.07	0.1 ± 0.23
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 14.22	4 ± 22.55	92 ± 14.74	94 ± 14.14	68 ± 22.55	95 ± 14.74
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	33.88 ± 1.71*	26.69 ± 4.97*	25.24 ± 1.57	20.5 ± 1.71	20.83 ± 4.97
Creatinine (mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.05	0.6 ± 0.05	0.4 ± 0.08	0.4 ± 0.00	0.4 ± 0.05	0.4 ± 0.08
AST(U/L)	23 - 66	50.45 ± 4.35	180.22**	142.44**	125.74*	126.83*	135.79*
ALT(U/L)	21 - 102	88.2 ± 5.88	83.78*	37.26*	34.88*	37.07*	37.37*
ALP(U/L)	20 - 156	138.20 ± 8.50	8.8 ± 1.82**	7.4 ± 1.59**	5.6 ± 5.54**	6.2 ± 1.82*	6.5 ± 1.59*
L DH(U/L)	45 - 233	185.40 ± 14.44	926 ± 0.01	710 ± 0.01	656 ± 254.53	749 ± 0.01	757 ± 0.01
Cholesterol (mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 8.08	130.31 ± 13.16*	113.78 ± 8.69	105.52 ± 8.76	120.71 ± 13.16	128.33 ± 8.69
Triglyceride (mg/dL)	135.4	89.00 ± 10.10	88.65 ± 3.85	102.11 ± 33.24	99.41 ± 7.23	51.59 ± 3.85*	75.53 ± 33.24
Phosphorus (mg/dL)	2.6 - 6.2	5.30 ± 0.61	20 ± 2.09**	18.5 ± 1.81**	19.4 ± 0.71**	17.9 ± 2.09**	19.4 ± 1.81**

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 67 Serum biochemistry in female mice exposed to fly N_2

Parameters	Reference range	N_2 concentration (mg/m^3)			
		Control	17	20	1000
Total protein (g/dL)	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	5.7 ± 0.84	5.6 ± 0.47	5.7 ± 0.56
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.4 ± 0.22	3.4 ± 0.37	3.4 ± 0.30
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.07	0.1 ± 0.23	0.1 ± 0.05
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 34.22	131 ± 22.55	111 ± 14.74	122 ± 14.14
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	22.04 ± 1.71	20.65 ± 4.97	19.47 ± 1.57
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.00	0.4 ± 0.01	0.4 ± 0.02	0.4 ± 0.00
AST(U/L)	23 - 66	50.45 ± 4.35	137.65 ± 11.22**	126.72± 9.32**	148.64 ± 10.87*
ALT(U/L)	21 - 102	88.2 ± 5.88	41.99 ± 2.64*	34.63 ± 7.22*	43.38 ± 11.25*
ALP(U/L)	20 - 156	138.20 ± 8.50	6.2 ± 101.82**	5.4 ± 117.59**	5.1 ± 53.54**
L DH(U/L)	45 - 233	185.40 ± 14.44	731 ± 12.25*	670 ± 16.58*	718 ± 50.88*
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 8.08	125.82 ± 13.16*	118.44 ± 18.69	122.44 ± 18.76
Triglyceride (mg/dL)	135.4	89.00 ± 10.10	95.74 ± 13.85*	88.28 ± 13.24	80.97 ± 7.23

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

(4) Comet assay의 실험 결과

유독화학종에 노출된 실험동물의 장기별 Comet Assay결과를 도출하기 이전에 대조군과 질식에 의한 손상을 분석하기위한 N_2 노출 실험군을 이용하여 기초실험을 실시하였다. 이후, CO, CO_2, NO, NO_2, HCN, HBr, HF의 농도별 가스에 대하여 총 30종류의 유독화학종 노출 실험군을 설정하였다.

(가) 대조군(정상상태)

N_2에 의한 질식, 유독화학종에 의한 손상을 받지 않은 대조군의 장기별 Comet Assay결과는 그림 87과 같다. 모든 장기가 1~1.3 사이의 값을 보였으며, 장기별 편차도 거의 나타나지 않았다.

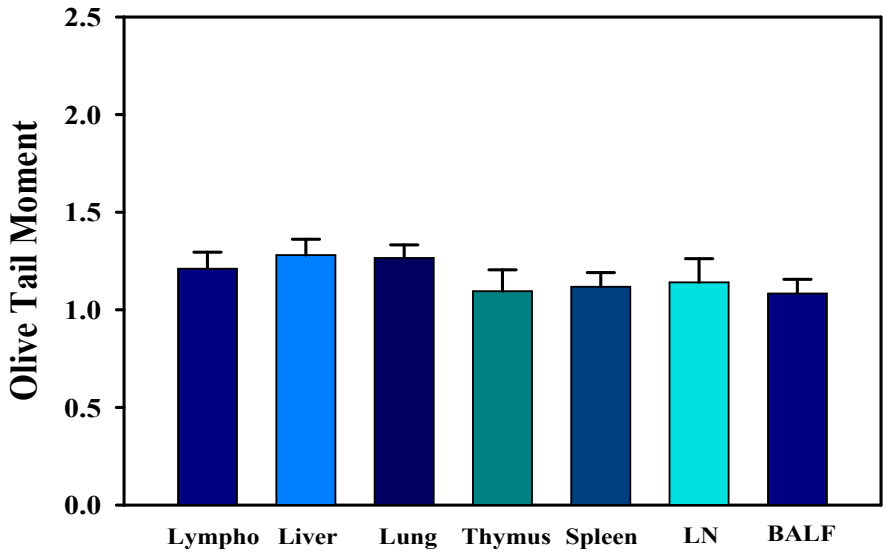


그림 87 비노출(대조)군의 Comet Assay 결과

(나) N_2 노출

N_2에 노출되어 질식효과를 받은 실험동물의 조직별 Comet Assay 결과는 그림 88와 같다. 1~1.3사이의 값을 보이던 대조군보다 높은 값을 보이며, 특히 기관지의 손상정도가 급격한 상승을 보였다.

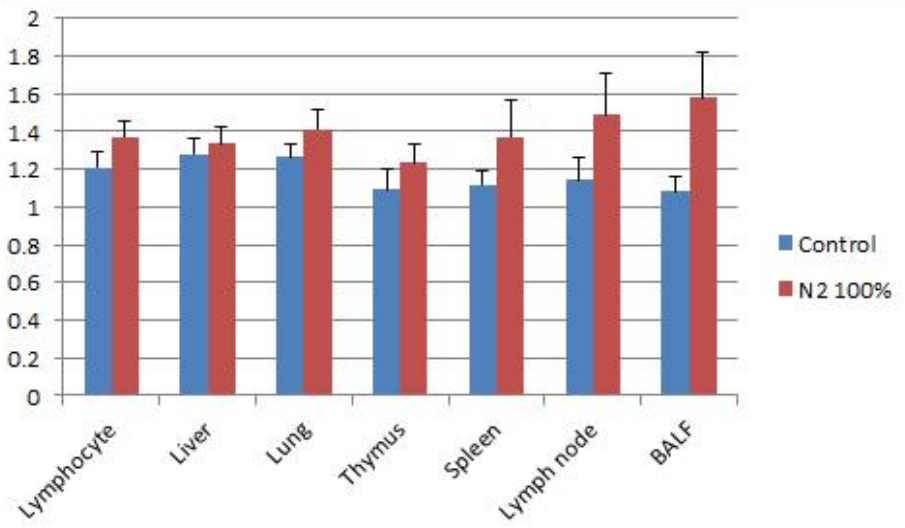


그림 88 N_2 노출군의 Comet Assay 결과

(다) CO

CO에 노출된 실험동물군의 장기별 Comet Assay결과는 그림 89와 같다. 가장 낮은 실험 농도인 100ppm에 노출된 실험군에서도 대조군과 N_2노출 실험군보다 높은 값을 보였다. 또한 각 장기별 결과에서도 농도의 상승에 따라 손상정도가 심해지는 결과를 보였으며, BALF(기관지)와 Liver(간)에서 높은 손상정도를 보임을 확인하였다.

주목할 점은 농도의 상승에따라 선형적으로 상승하는 것이 아니라 일부 유사한 손상을 보이는 구간이 있다는 점이다. Liver와 Lung, Thymus, Spleen은 500ppm과 1019ppm에서 유사한 손상정도를 보였으며 LN(림프절)은 오히려 1019ppm에서 더 낮은 손상정도를 보였다.

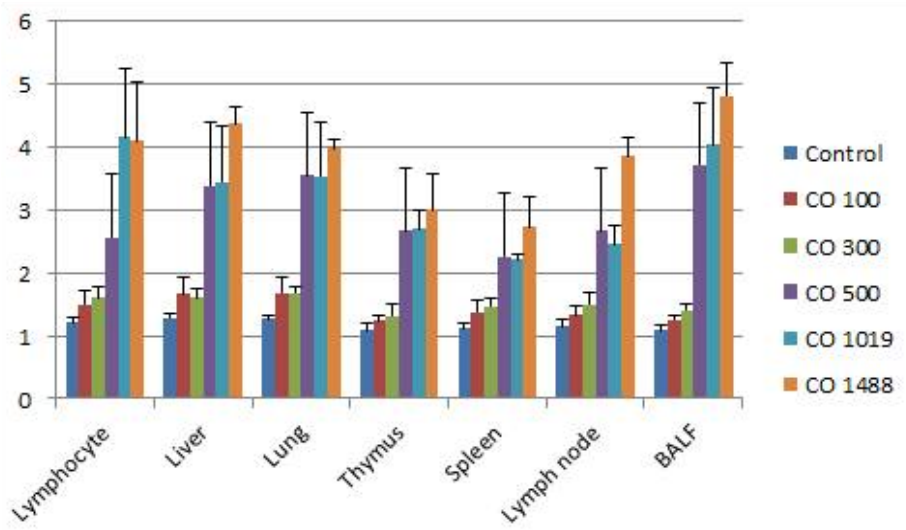


그림 89 CO 노출군의 Comet Assay 결과

(라) CO_2

CO_2 노출실험 결과 실험동물군의 Comet Assay결과는 그림 90와 같다. 최고농도에서의 손상정도는 CO와 유사했으나 그 손상정도가 중농도나 저농도에서부터 큰 차이를 보이지 않는 특징을 보였다. CO_2 역시도 Thymus와 Spleen, LN에서 다른 장기보다 낮은 손상정도를 보였으며 그 값 역시도 CO와 유사했다.

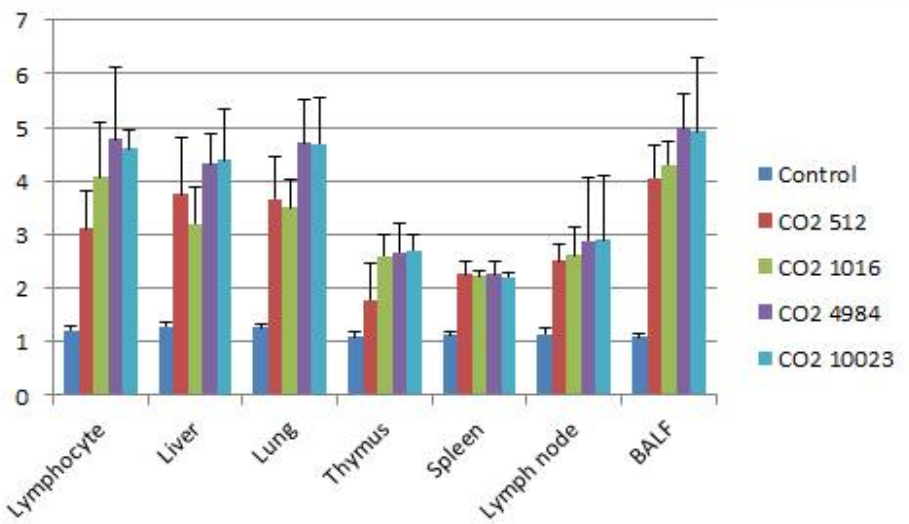


그림 90 CO_2 노출군의 Comet Assay 결과

(마) NO

NO는 CO, CO_2의 동일농도와 유사한 손상정도를 보였다. 그러나 고농도 NO에 노출된Lung에서의 손상정도가 확연히 높은 값을 보여 고농도의 NO에 의한 폐의 손상을 확인할 수 있었으며, 350~500ppm 사이의 농도에서 손상이 급격히 증가하는 구간이 있을 것으로 예상된다.

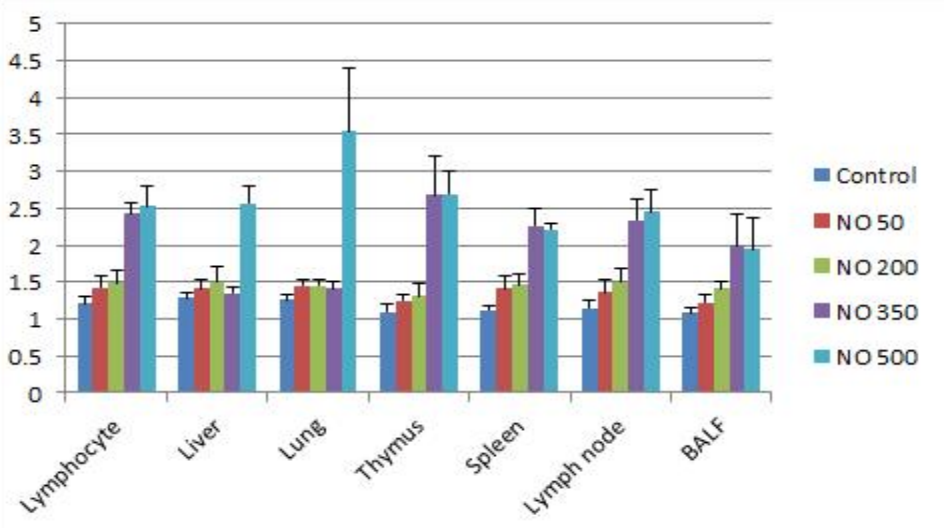


그림 91 NO 노출군의 Comet Assay 결과

(바) NO_2

NO_2 역시도 NO와 유사한 손상정도를 보였다. 그러나 199ppm과 350ppm에서는 급격한 손상정도의 상승을 확인하였으며 그 차이는 Lung에서 명확히 확인할 수 있었다. 50.4ppm, 70.5ppm, 101ppm에서는 대조군과 유사한 손상정도를 보여 해당 농도에서의 손상을 확인할 수 없었다.

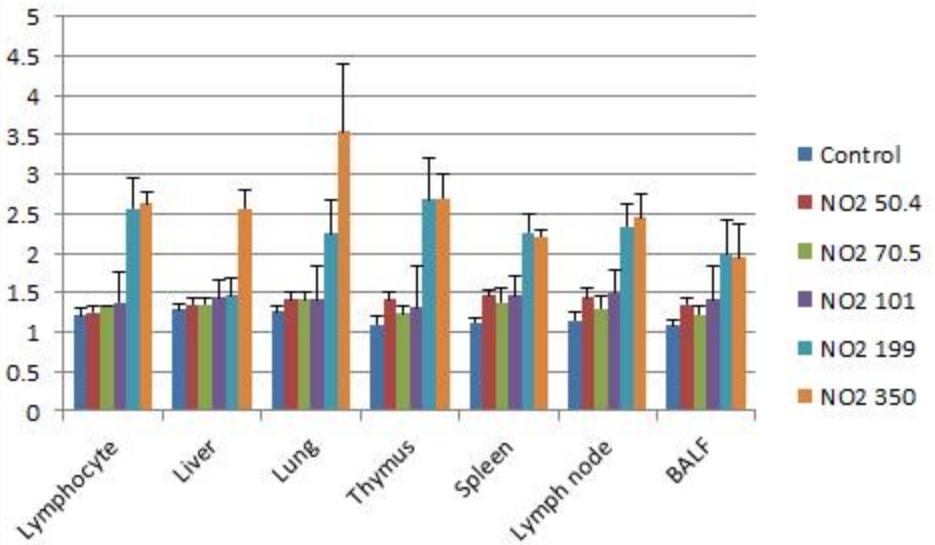


그림 92 NO_2 노출군의 Comet Assay 결과

(사) HCN

HCN에 노출된 실험동물군의 장기별 Comet Assay 결과는 그림 93과 같다. 저농도인 10ppm에서도 다른 화학종의 중농도와 유사한 손상정도를 보였다. 특히 Lympho(림프), Liver, Lung, BALF에서 높은 손상정도를 보였다. 또한, 다른 화학종에 비해 고농도로 설정된 농도가 141ppm으로 낮은 편임에도 불구하고, 141ppm에서의 손상정도도 실험한 모든 화학종 중에서 가장 높은 값을 보였다.

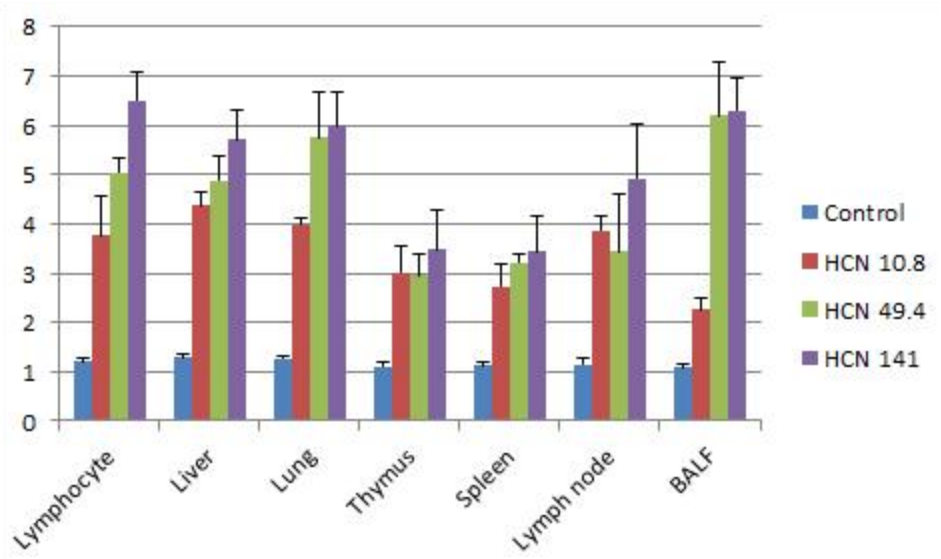


그림 93 HCN 노출군의 Comet Assay 결과

(아) HBr

HBr에 노출된 실험동물군의 장기별 Comet Assay결과는 그림 94와 같다. 12.2ppm의 HBr에 노출된 실험동물의 Lympho, Liver, Lung에서는 대조군과 유사한 손상정도를 보여 독성효과가 미소함을 확인하였다. 또한 고농도(601ppm)에서는 Lung과 Lympho에서 가장 높은 수치의 유사한 손상정도를 보였으며, BALF에서는 근소하게 적은 손상정도를 보였다.

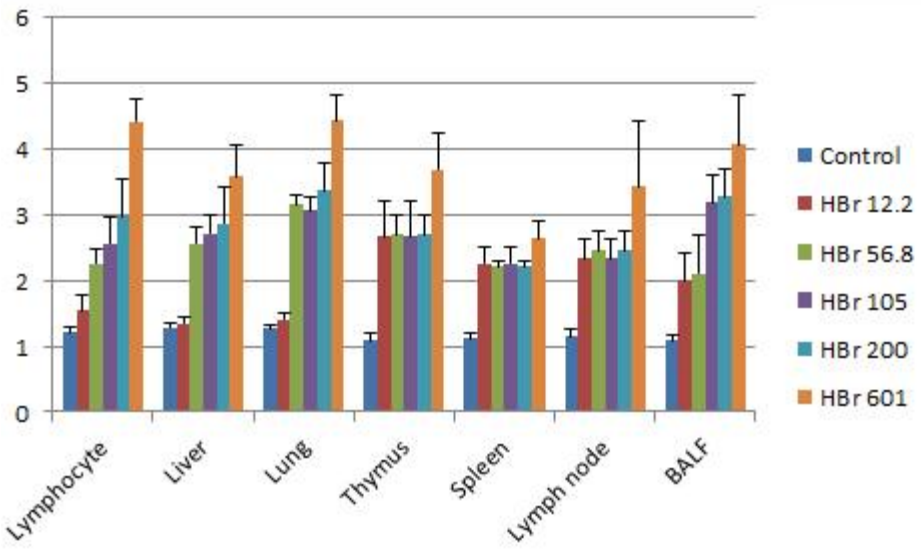


그림 94 HBr 노출군의 Comet Assay 결과

(자) HF

HF에 노출된 실험동물군의 장기별 Comet Assay 분석 결과는 그림 95와 같다. Lympho, Thymus, Spleen에서는 농도의 상승에도 불구하고 손상정도의 차이가 미소함을 확인하였다. Lung과 LN, BALF에서는 193ppm과 608ppm에서 급격한 손상정도의 증가를 확인할 수 있었으며, 이는 46.7~193ppm에서 손상이 급격히 증가하는 농도가 있음을 예상할 수 있다.

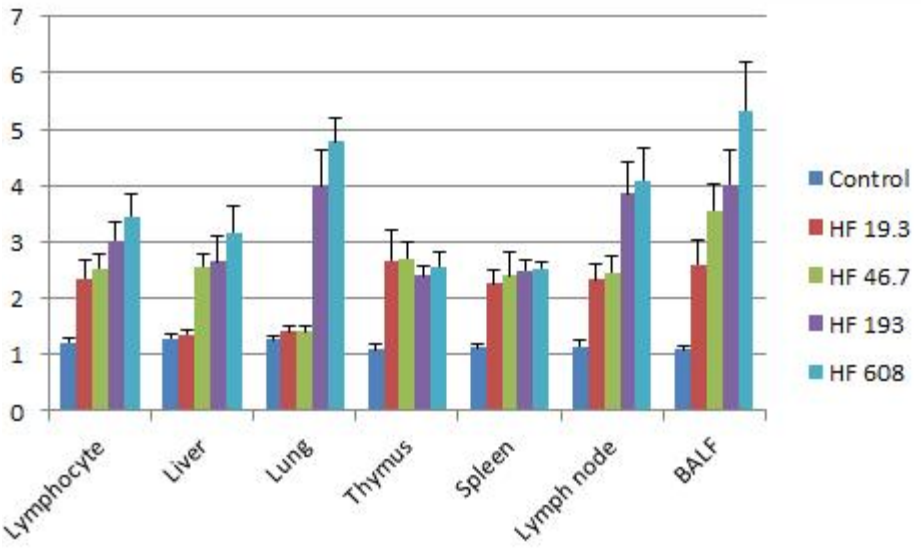


그림 95 HF 노출군의 Comet Assay 결과

표 68 DNA damage in mice blood after exposed of gases.

화학종	conc (mg/m^3)	Olive tail moment		화학종	conc (mg/m^3)	Olive tail moment	
		mean	SD			mean	SD
CO_2	512	2.034	0.576	NO	48.4	3.724	2.193
	1016	3.834	1.605		199	5.138	0.788
	4984	6.662	1.194 *		350	7.632	0.821 *
	10023	7.389	1.251**		500	6.403	1.225 *
NO_2	50.4	2.166	1.947	SO_2	11	2.449	0.475
	70.5	2.355	1.532		25.5	2.468	0.837
	101	3.601	0.527		51.7	2.346	1.031
	199	5.348	1.177 *		120	4.237	3.281
	350	5.627	0.572 *		190	4.849	3.013 *
HCL	11.3	3.437	1.818	HBr	12.2	2.296	0.878
	52.6	3.994	0.720		56.8	3.500	1.629
	156	5.472	3.295 *		105	3.658	0.946
	206	5.246	3.305 *		200	5.703	2.534 *
	608	6.915	1.099 *		601	6.290	1.835 *
HF	19.3	4.443	0.982	HCN	10.8	3.464	0.797
	46.7	5.978	1.901		44.9	4.116	1.086
	193	6.830	2.555		141	6.175	0.626*
	608	9.158	2.784 *				
N_2		2.049	0.320				
	17	2.460	0.585				
	20	4.615	2.259 *				

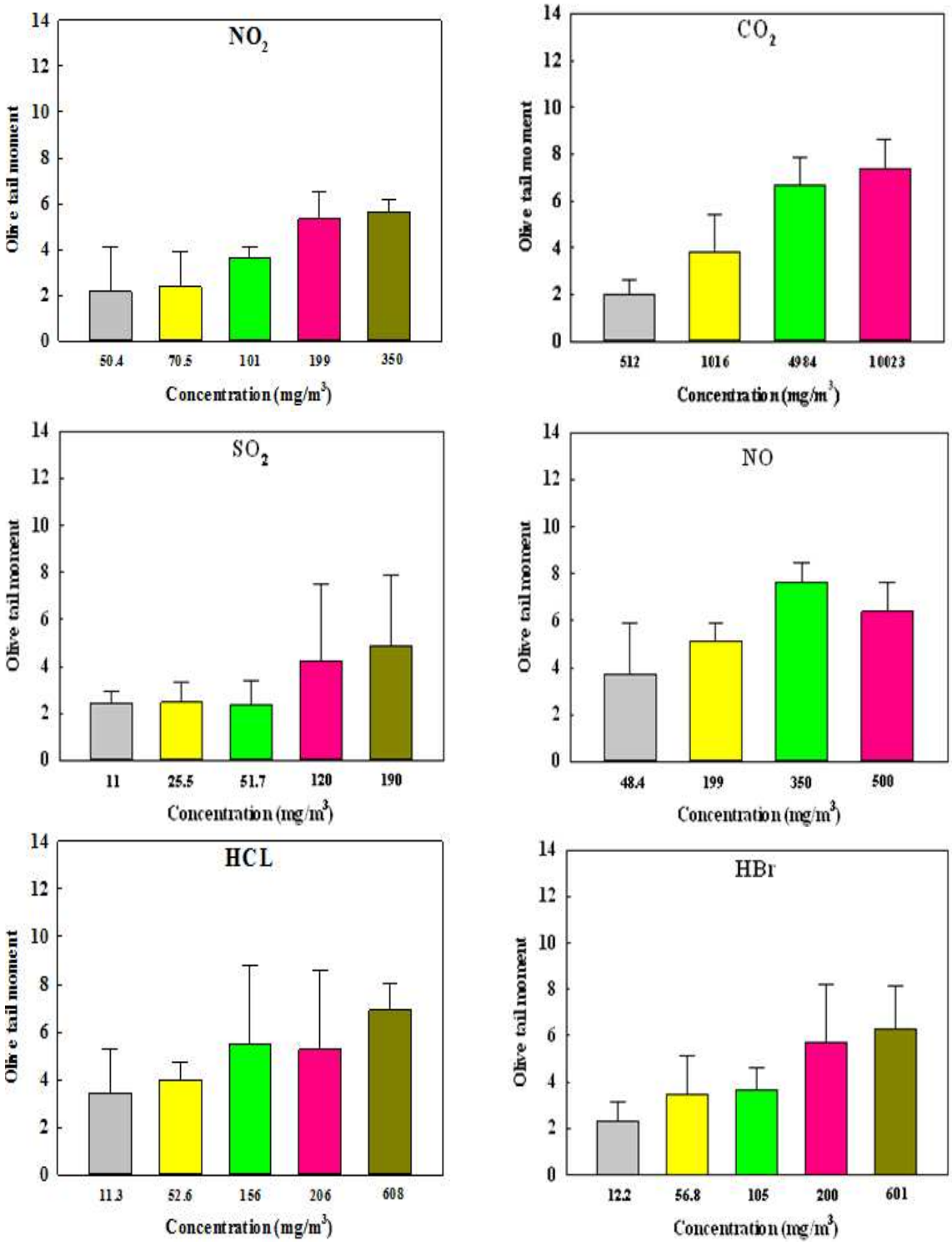


그림 96 Comet assay result (1)

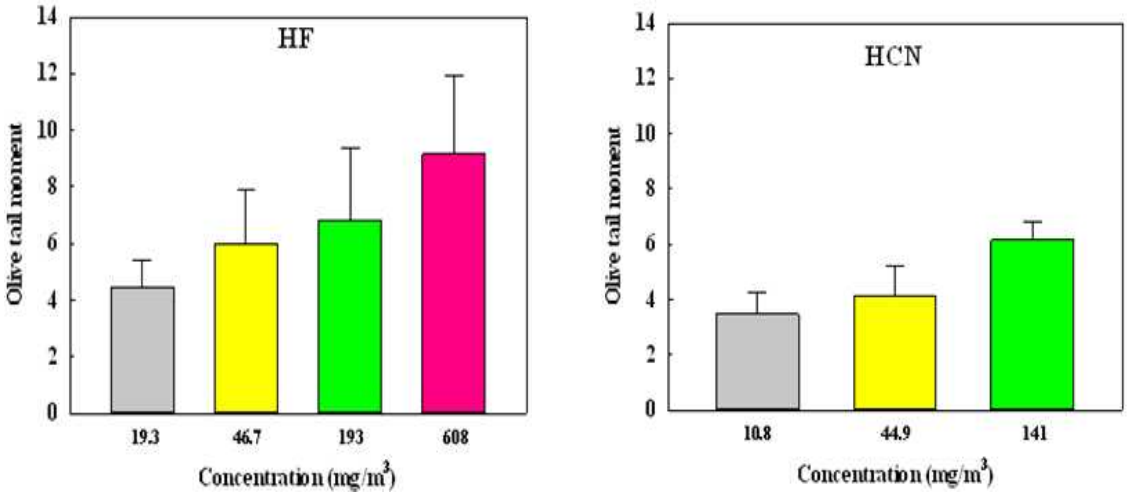


그림 97 Comet assay result (2)

(5) Malondyaldehyde(MDA) 실험 결과

단일가스에 노출된 실험동물의 조직별 MDA 분석의 결과는 그림 98~과 같다. 각 유독 화학종에 노출된 실험동물의 장기별 MDA 분석 결과는 노출되지 않은 대조군과 함께 나타내었으며, 모든 실험에서 노출시 MDA수치의 상승이 확인되었다.

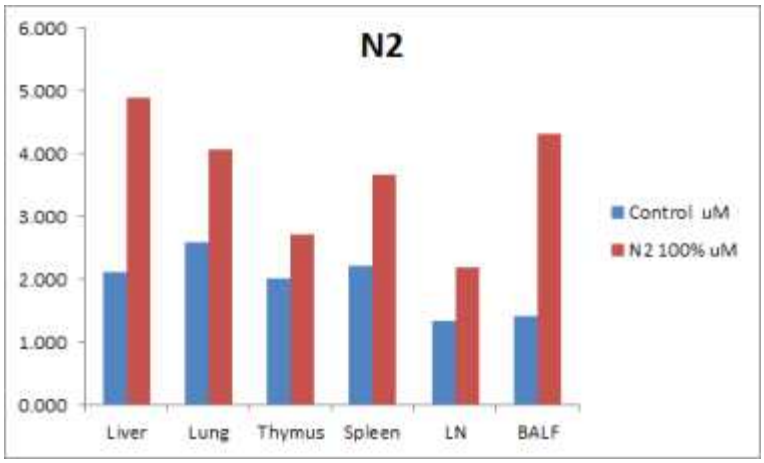


그림 98 N_2에 노출된 실험동물군의 MDA

유독화학종의 독성영향을 제외하고, 산소농도의 저하에 의한 MDA변화를 분석하기위한 실험결과는 위의 그림과 같이 도출되었다. 유독화학종에 노출된 실험동물의 MDA 결과보다는 낮으나 모든 장기에서 MDA 수치의 상승을 보였으며, BALF에서는 대조군(정상상태, control)에 비해 3배에 가까운 수치를 보였다.

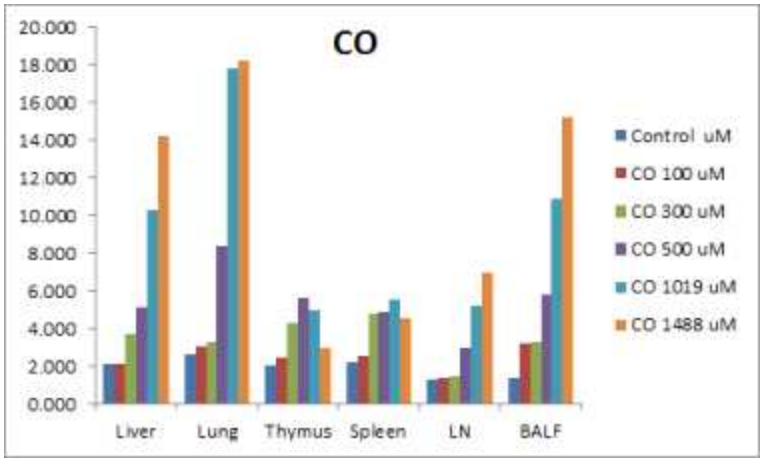


그림 99 CO에 노출된 실험동물군의 MDA

CO에 노출된 실험동물은 대조군의 최대 9배에 달하는 높은 수치가 측정되었다. 특히 Lung의 수치가 가장 높은 것으로 나타났으며 BALF, Liver이 뒤를 이었으며, 해당 장기에서는 농도의 상승에 따라 수치가 함께 증가하는 양상을 보였다.

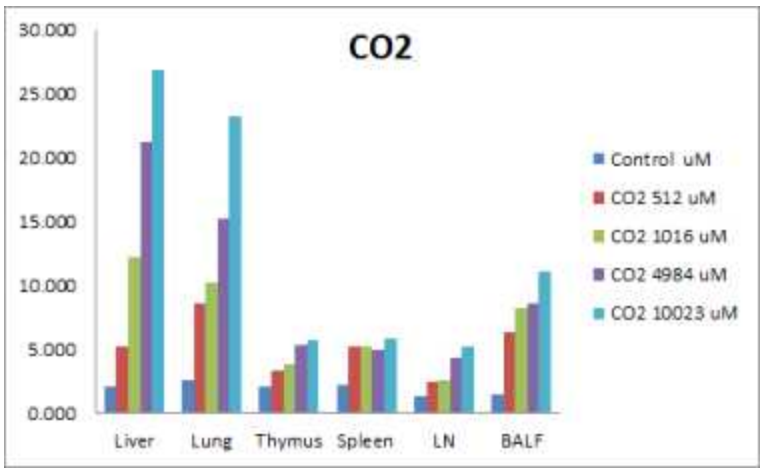


그림 100 CO_2에 노출된 실험동물군의 MDA

CO_2에 노출된 실험동물의 장기별 MDA 분석 결과는 CO의 양상과 유사하게 Lung, BALF, Liver에서 높은 수치를 보였으며, 해당 장기에서는 농도의 상승에 따라 함께 증가하는 경향을 보였다. 그러나 CO_2에 노출된 실험동물에서는 Liver의 MDA 수치가 Lung보다 높은 것으로 나왔으며, CO노출 시보다 최대 10,000가량 높은 수치가 나타났으며, BALF는 손상의 정도가 상대적으로 낮게 측정되었다.

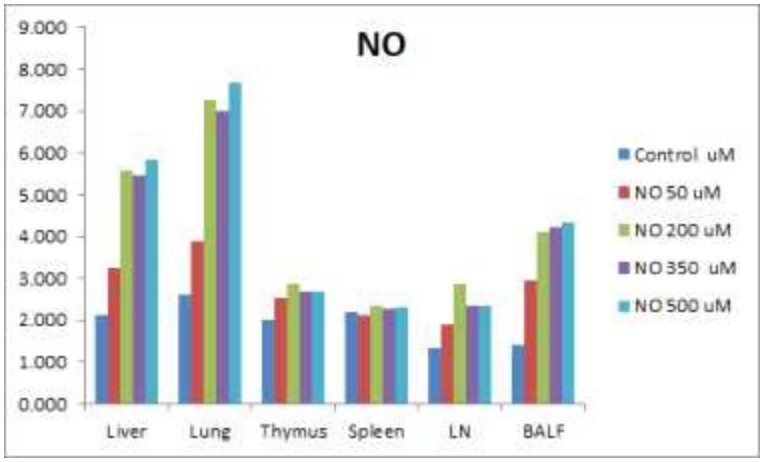


그림 101 NO에 노출된 실험동물군의 MDA

NO에 노출된 실험동물의 장기별 MDA 분석 결과는 앞의 CO, CO_2보다 낮은 수치이나 유사한 경향을 보였다. Lung, Liver, BALF에서 농도에 따라 상승하는 양상을 보이나 200, 350, 500ppm은 상당히 유사한 수치를 보여 한계농도가 있음을 예상할 수 있다.

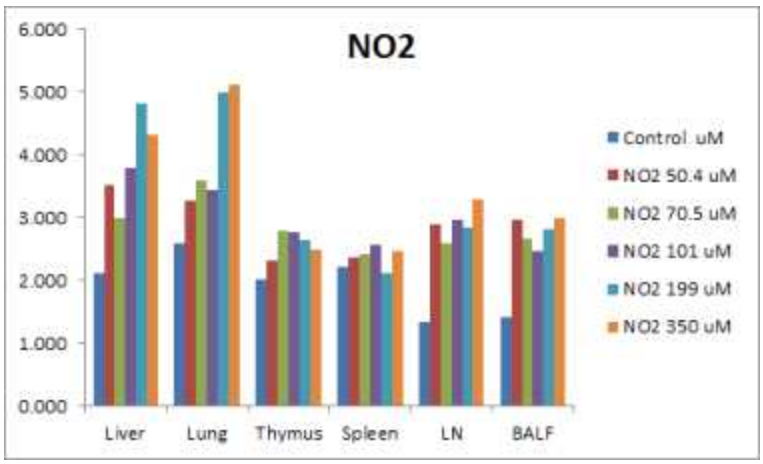


그림 102 NO_2에 노출된 실험동물군의 MDA

NO_2에 노출된 실험동물의 MDA 분석결과는 앞선 CO, CO2, NO의 결과에 비하여 전체적으로 낮은 수치를 보인다. Liver와 Lung에서는 여전히 다른 장기보다 높은 수치를 보이나 BALF는 특별한 수치의 상승을 보이지 않아 NO_2는 BALF를 표적장기로 하지 않음을 확인할 수 있었다.

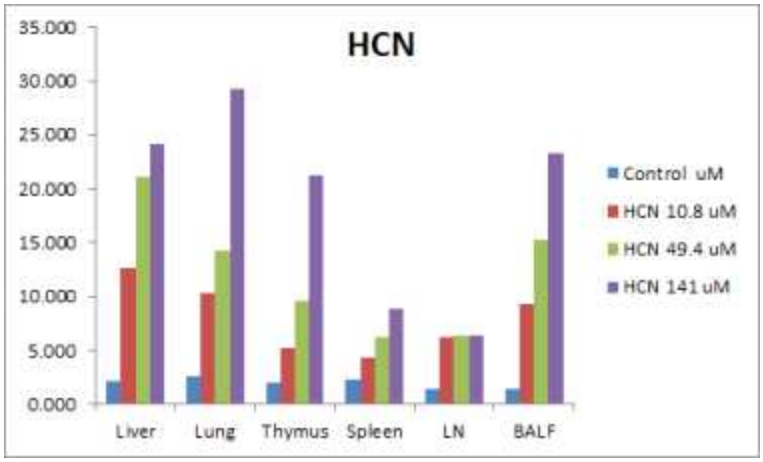


그림 103 HCN에 노출된 실험동물군의 MDA

HCN에 노출된 실험동물의 MDA 분석결과는 위의 그림과 같다. 모든 장기에서 높은 MDA 수치가 측정되었으며, LN을 제외한 모든 장기에서 농도의 상승에 따른 MDA 수치의 상승 경향이 확인되었다.

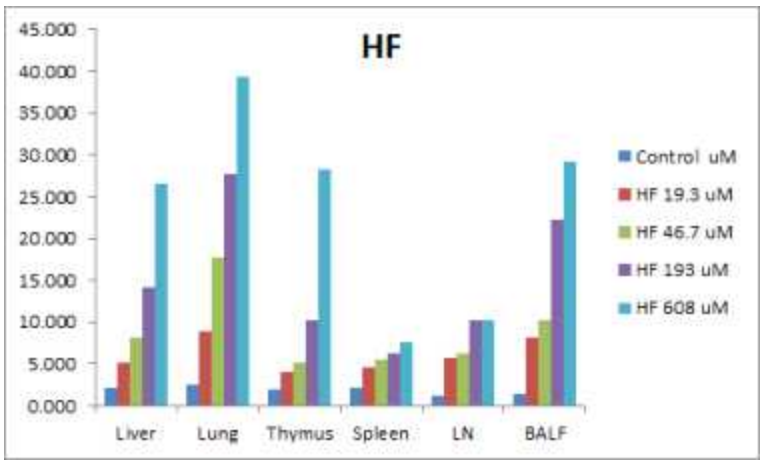


그림 104 HF에 노출된 실험동물군의 MDA

HF에 노출된 실험동물의 MDA 분석결과는 HCN보다 높은 수치를 보였다. 모든 장기에서 농도의 상승에 따른 MDA 수치의 증가를 보였으며 그 값도 최대 40,000 정도의 높은 수치를 보였다.

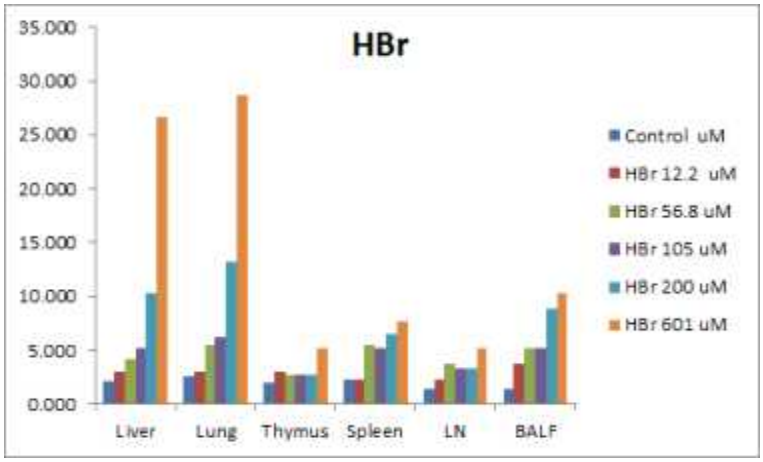


그림 105 HBr에 노출된 실험동물군의 MDA

HBr에 노출된 실험동물의 MDA 결과는 Liver과 Lung에서 높은 수치를 보였으며, 해당 장기에서는 농도의 상승에 따른 MDA 수치의 상승을 보였다.

(6) 혈액검사의 비교해석

평균행동정지시간 측정결과와 혈액검사, 혈액생화학검사, 병리학적 관찰 결과 및 lymphocyte의 Comet assay결과를 교차 분석하여 그림 106~138과 같이 정리하였다. 실험동물이 노출된 유해화학종 중에서 분석된 화학종은 NO_2, SO_2, HCl, HF, HCN, HBr, N_2의 7종이다. 또한, 각 분석결과 그래프에서는 정상영역을 파란색으로 표시하였다.

(가) 혈액검사 결과

① WBC(백혈구)

백혈구는 혈액 속의 혈구세포 중 하나로서 인간의 혈액에서는 수백만 개의 백혈구가 존재하며, 혈액과 조직에서 이물질을 잡아먹거나 항체를 형성함으로써 감염에 저항하여 신체를 보호한다. 백혈구의 주요기능은 아메바운동을 하면서 혈관 밖으로 나와 외부로부터 침입한 세균이나 이물질을 세포 내로 취입한 다음 소화 분해하여 무독화시키는 것이다.

연구 대상 유해 화학종에 노출된 실험동물의 백혈구 수치를 분석한 결과는 다음과 같다.

HCl, N_2는 백혈구 수치가 정상범위의 아래에 위치하여 저농도에서 고농도에 노출된 mouse의 백혈구 수치에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 대부분의 화학종에서 농도가 높아짐에 따라 백혈구 수치가 낮아지는 경향을 보이나, N_2는 가장 높은 농도 조건에서 오히려 증가하였다. 가장 낮은 농도의 HBr에 노출된 실험동물 백혈구수치는 정상범위 내에서 가장 높은 수치로 측정되었다.

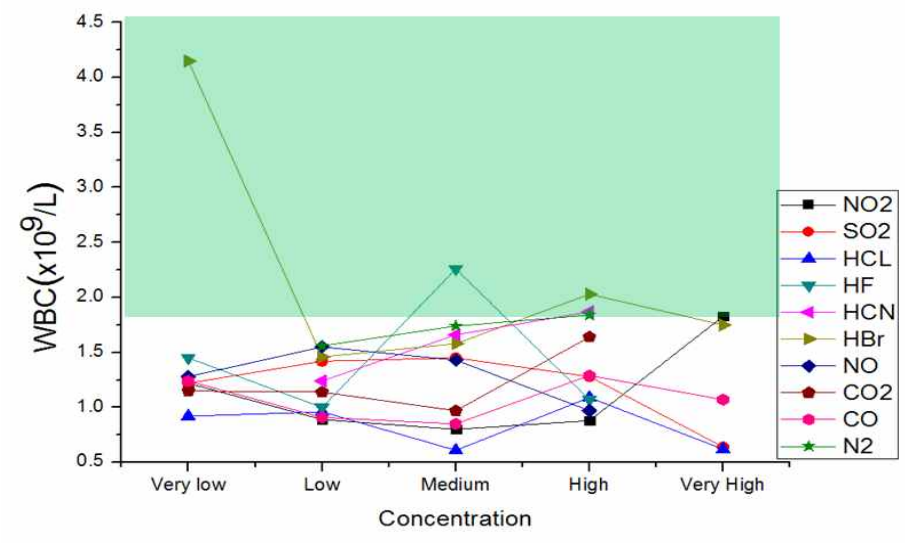


그림 106 WBC 분석결과

② RBC(적혈구)

적혈구는 혈액세포 중에서 수적으로 가장 큰 비중을 차지하는 세포로 붉은색의 납작한 원반 모양을 하고 있으며 혈관을 통해 우리 몸의 조직에 산소를 공급하고 이산화탄소를 제거하는 역할을 한다. 적혈구는 산소 운반을 위해 특화된 세포로 우리 몸을 구성하는 대부분의 다른 세포와는 달리 핵을 포함하지 않으며 산소 운반을 위한 헤모글로빈을 포함하고 있다.

적혈구수치는 대부분의 화학종이 정상범주에 포함되었다. 그러나 HCN과 N_2에 노출된 실험동물의 혈액에서는 적혈구수치가 정상범주의 1/6~1/4에 미치는 낮은 수치를 보였다. 이 두 가지 가스는 대표적인 질식성가스로서 적혈구 수치에 매우 민감하게 작용됨을 확인하였다.

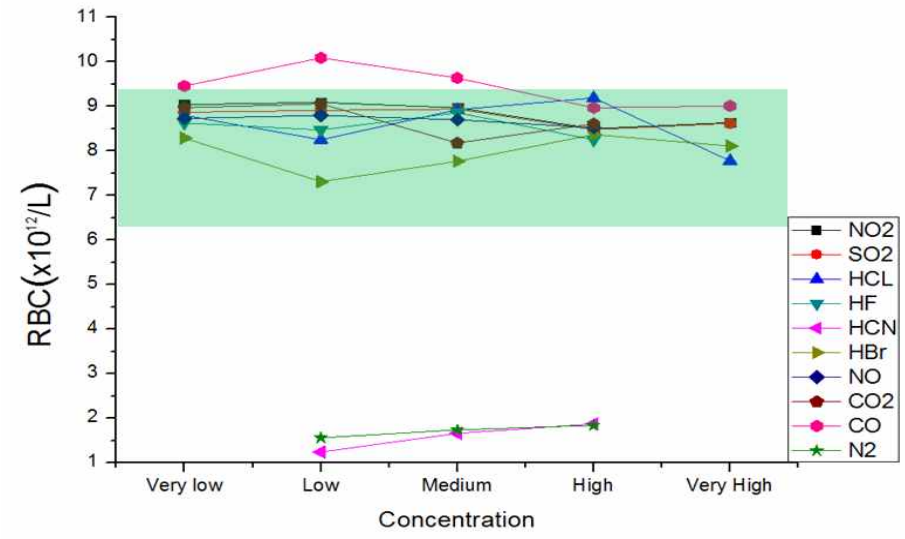


그림 107 RBC 분석결과

③ Hemoglobin

헤모글로빈 분석결과, 거의 모든 실험동물이 정상범주에 속하는 것으로 나타났다. 또한 농도의 변화에 따른 경향성역시 발견되지 않아 실험가스중에서 헤모글로빈에 영향을 미치는 화학종은 없었던 것으로 분석되었다.

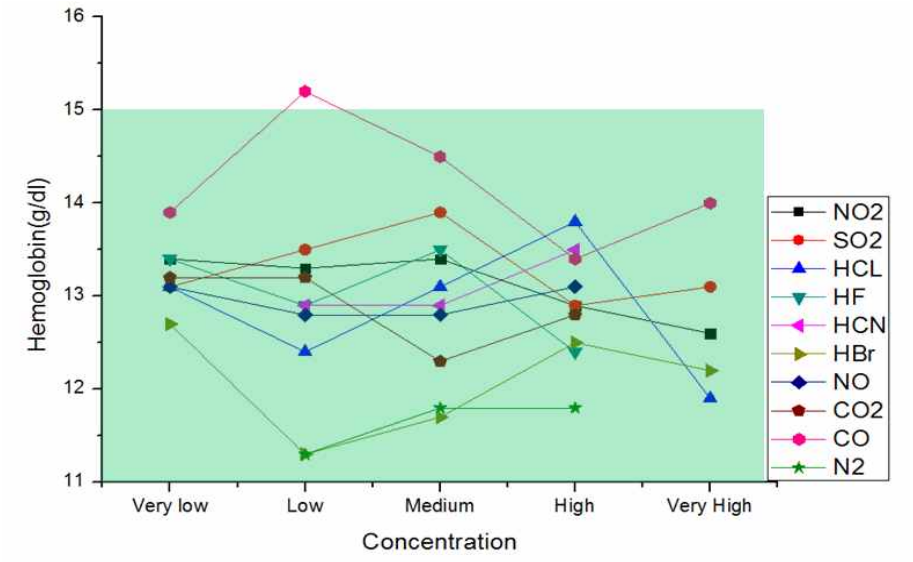


그림 108 Hemoglobin 분석결과

④ Hematocrit

Hematocrit 분석결과, 거의 모든 실험동물에서 정상범주 이상의 Hematocrit가 측정되었다. 그러나 농도의 변화에 따른 경향성이 발견되지는 않았다. 이를 통하여 미량의 화학종에도 Hematocrit가 영향을 받아 정상범주보다 높아지나 농도에 의한 변화는 크지 않은 것으로 분석되었다.

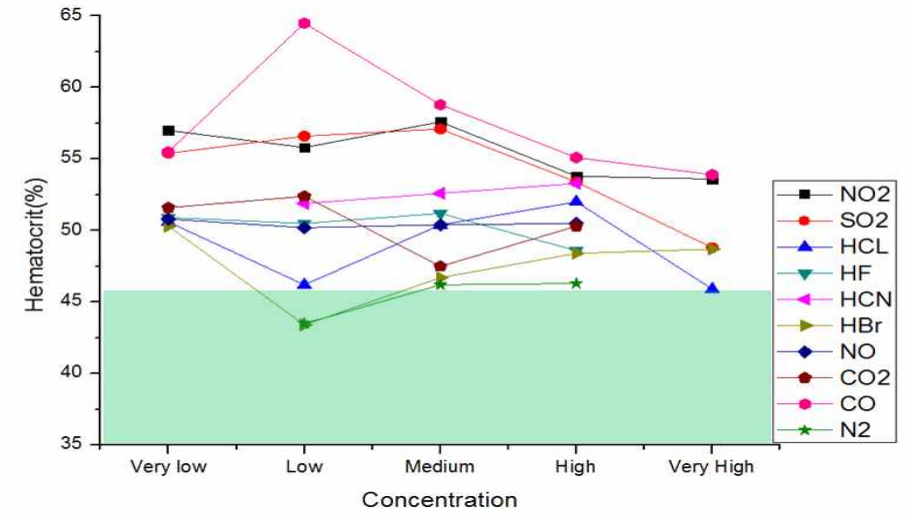


그림 109 Hematocrit 분석결과

⑤ MCV

MCV 분석결과, 농도의 변화에 따른 경향성이 확인되지는 않았으나 정상범주에 속하는 실험동물과 속하지않는 실험동물이 나눠짐을 확인할 수 있다. SO_2, NO_2, HCN, CO등의 화학종에 노출된 실험동물은 정상범주보다 높은 MCV가 측정되었으나, 그 외의 화학종에 노출된 실험동물은 정상범주에 속하는 MCV가 측정되었다.

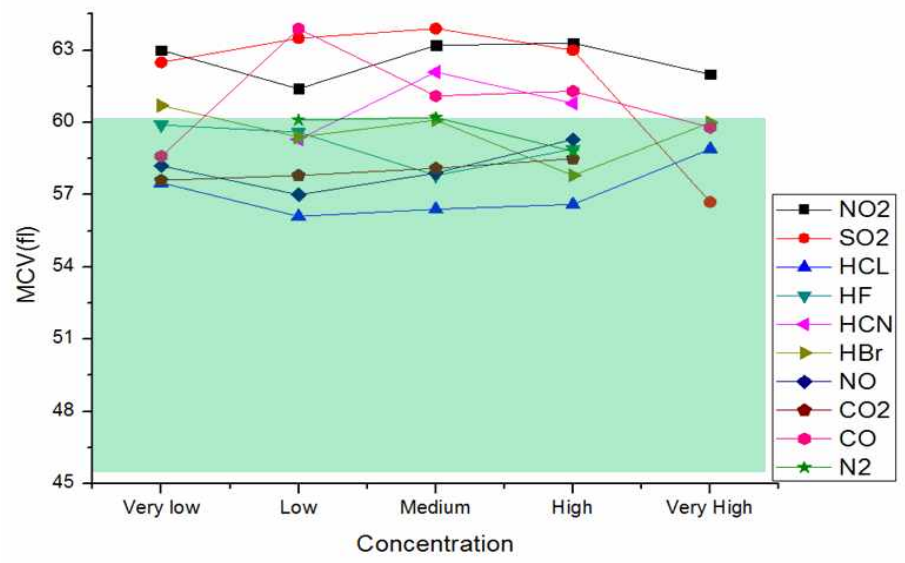


그림 110 MCV 분석결과

⑥ MCH

MCH 분석결과, 농도에 따른 경향성이나 정상범주를 벗어난 실험동물은 발견되지 않았다.

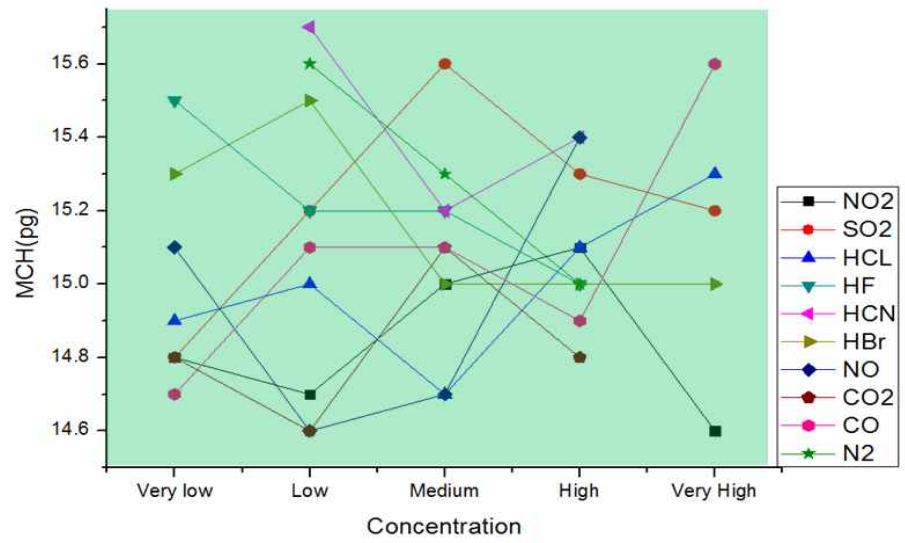


그림 111 MCH 분석결과

⑦ MCHC

실험에 사용된 모든 화학종에 노출된 실험동물에서 정상범주보다 낮은 MCHC 수치가 측정되었다. 또한, CO와 SO_2의 농도가 높아짐에 따라 MCHC의 값이 높아지는 경향성을 확인할 수 있었다.

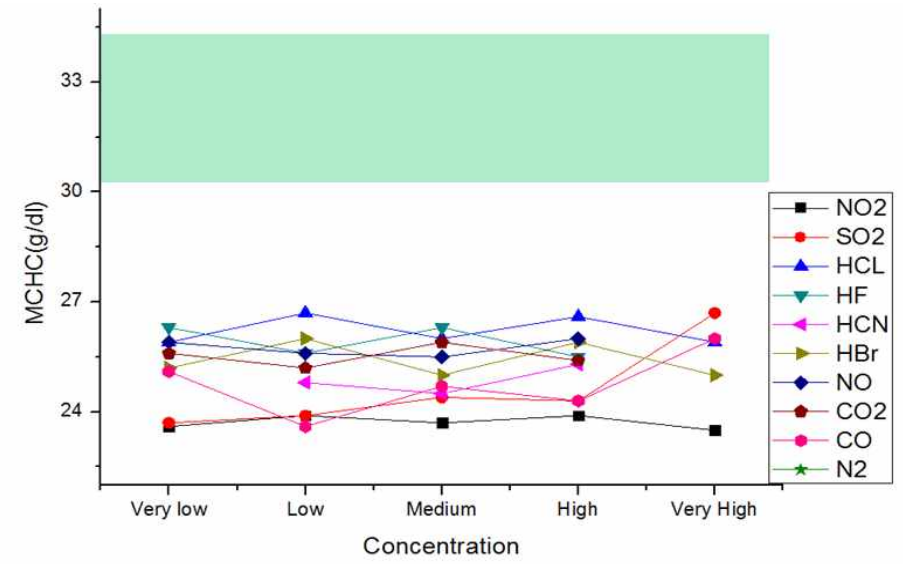


그림 112 MCHC 분석결과

⑧ Platelet(혈소판)

혈소판은 말초 혈액 내에 존재하는 유형 성분인 혈구의 일종으로 부착과 응집 과정을 통해 일차 지혈 기전을 담당하는 물질이다. 주로 골수에서 생성되며 수적 이상과 기능 이상에 의한 각종 질병이 발생할 수 있다. 혈소판은 염색 후 현미경으로 보면 자줏빛을 띄는 미세한 과립의 형태를 하고 있으며 크기는 약 2~3㎛로 적혈구의 5분의 1 정도로 매우 작다. 정상적으로는 말초 혈액 내에서 적혈구 10~30개당 혈소판 1개 정도로 관찰된다. 혈소판의 외피는 일종의 당단백질로 이루어져 있는데 이는 혈소판의 부착과 응집을 주도하는 중요한 역할을 담당한다. 내부에는 혈소판의 기능에 관여하는 여러 가지 물질과 각종 응고인자들이 함유된 과립이 들어 있다.

혈소판 수치는 실험동물에 노출된 화학종과 농도에 상관없이 정상범주에 포함되었으며, NO2는 정상범주의 하한선에 가까운 낮은 수치를 보여 화재독성가스에 노출된 실험동물은 혈소판수치에 큰 영향을 주지 않는 것으로 측정되었다.

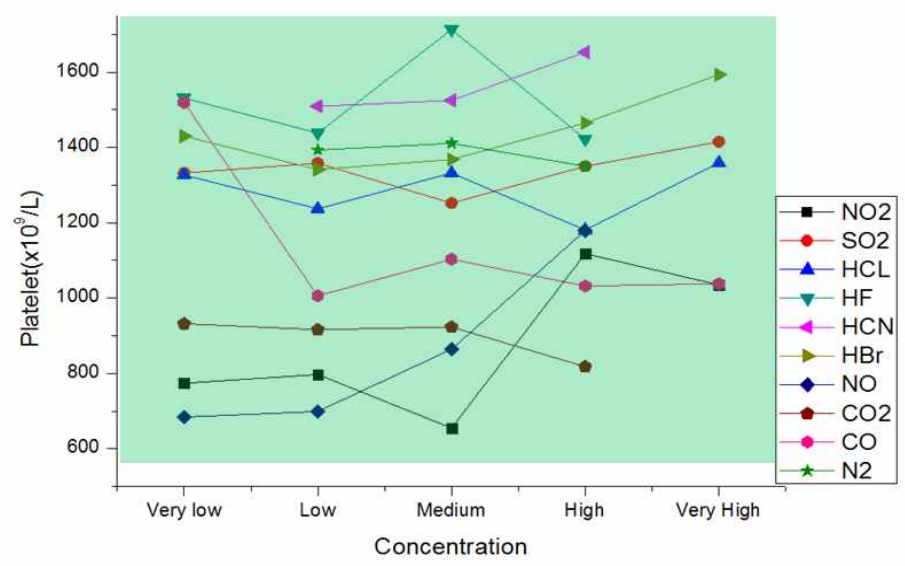


그림 113 Platelet 분석결과

⑨ Segment

Segment 분석결과 몇몇 화학종에 노출된 실험동물에서 정상범주보다 낮은 수치가 측정되었다. 낮은 농도의 N_2와 HCl, HF에서 낮은 수치가 발견되었지만 농도의 변화에 따른 경향성이 발견되지는 않았다.

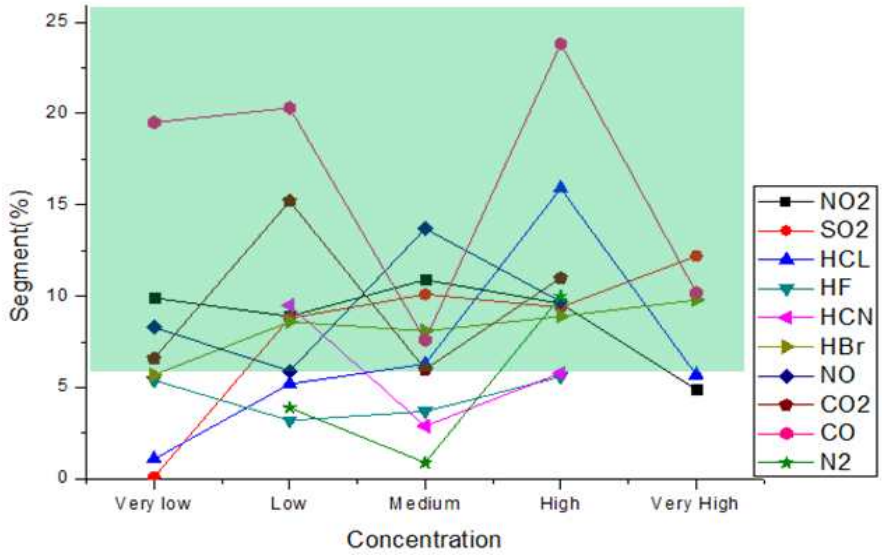


그림 114 Segment 분석결과

⑩ Lymphocyte(림프구)

림프구는 면역계의 중추로 림프조직에서 생성되며 체내에 유입되는 병원균에 대항하는 역할을 담당한다. 실험결과, 실험에 사용된 모든 화학종에 노출된 실험동물에서 정상범주에 속하는 림프구 수치가 측정되었다.

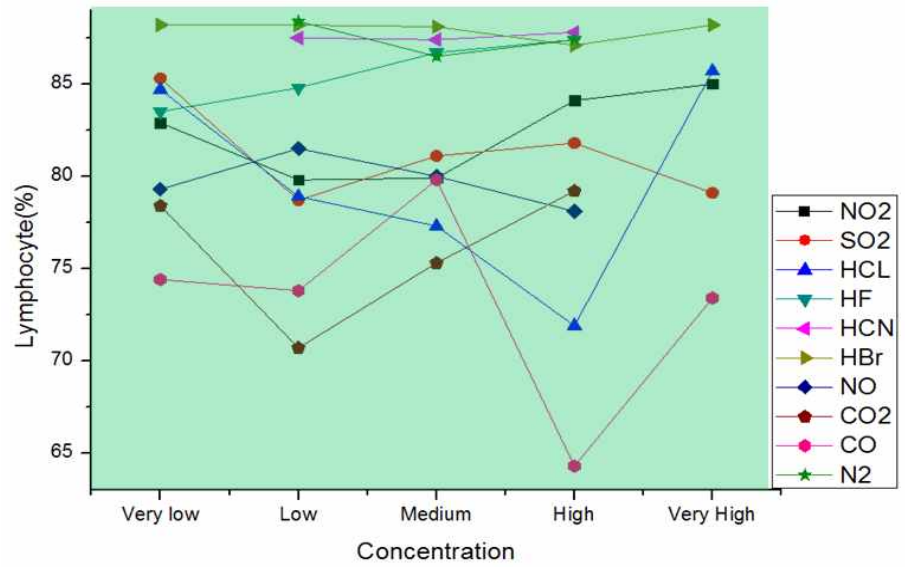


그림 115 Lymphocyte 분석결과

⑪ Monocyte(단핵구)

Monocyte 분석결과, 높은 농도의 CO에서는 정상범주 이상의 수치가 측정되었으나 그 외의 화학종은 정상범주에 속하는 수치를 보였다. 농도의 변호에 따른 경향성은 발견되지 않았다.

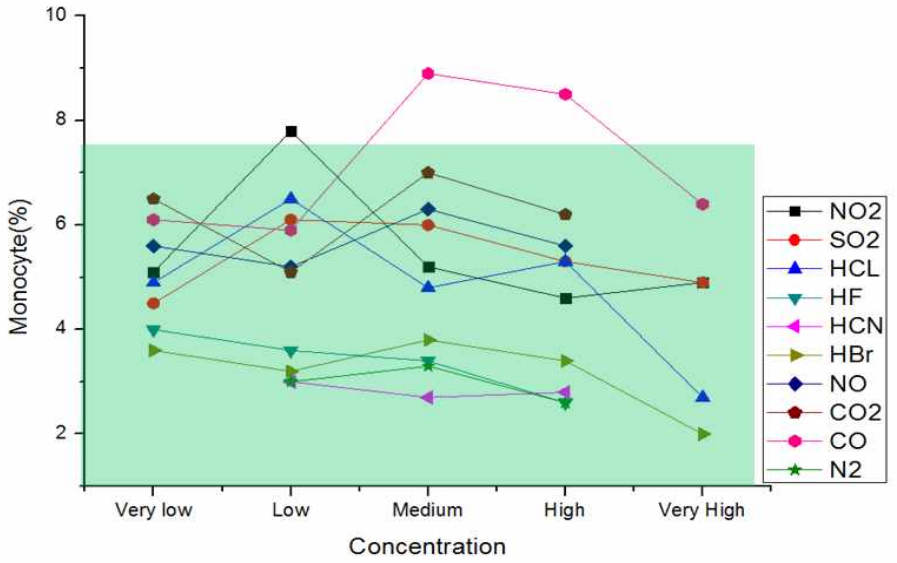


그림 116 Monocyte 분석결과

⑫ Eosinophil(산성백혈구)

염증반응에 관여하는 적혈구의 성분이다. 실험결과, NO에 노출된 실험동물은

정상범주 이내의 Eosinophil수치를 보였으나 그 외의 다른 화학종에 노출된 실험동물에서는 정상범주이상의 수치가 측정되었다. 또한, HF, CO_2, HCl의 Medium와 High에서 농도가 상승함에 따라 Eosinophil수치가 낮아지는 경향성을 확인하였다.

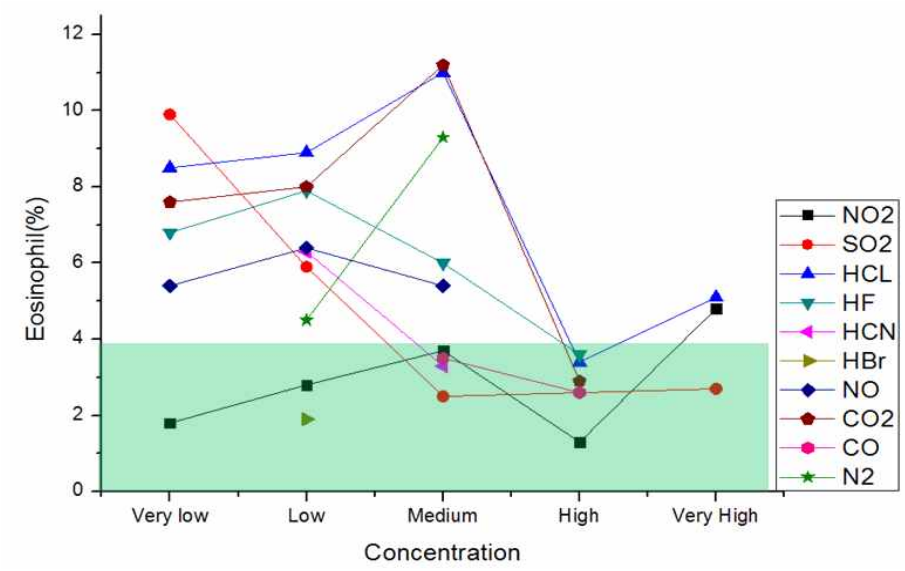


그림 117 Eosinophil 분석결과

⑬ Basophil(염기성 백혈구)

Basophil 분석결과, 실험에 사용된 모든 화학종에 노출된 모든 실험동물에서 정상범주 이내의 수치가 측정되었으며 농도의 변화에 따른 경향성은 파악되지 않았다.

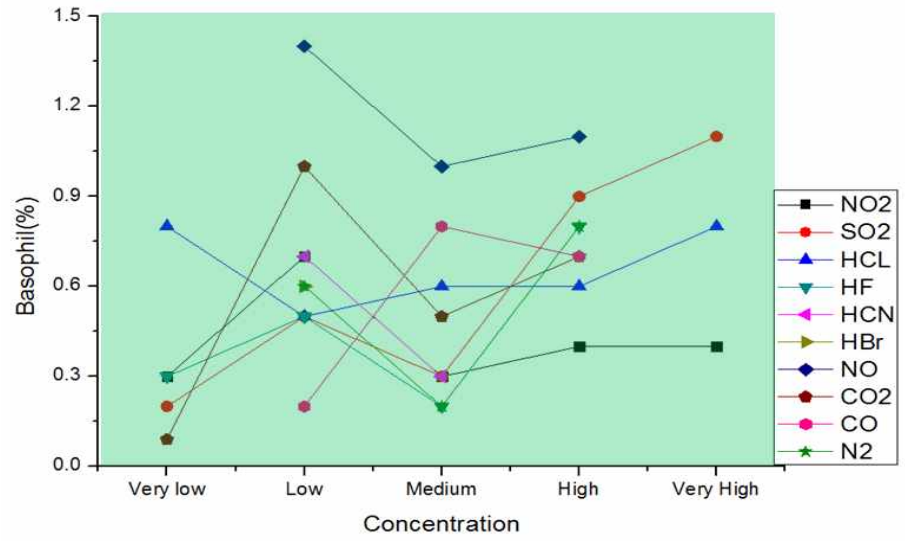


그림 118 Basophil 분석결과

(나) 혈액 생화학적 검사 결과

① Total Protein

혈청내의 모든 단백질의 총합으로 영양상태를 평가하기위한 항목이다. 단백이상의 스크리닝, 연관질환 파악의 기본검사로 실시된다.

정상범주보다 높은 수치를 보이면 Macroglobulin혈증, 만성간염, 다발성 골수종, 자가면역질환이 예상되며, 낮은 수치를 보이면 만성간염, 간경변, 악성종양, 당뇨, 기아, 임신, 신증후군을 예상할 수 있다.

Total Protein 측정결과 NO_2, HCN에 노출된 실험동물에서 정상범주 이하의 수치를 확인하였다.

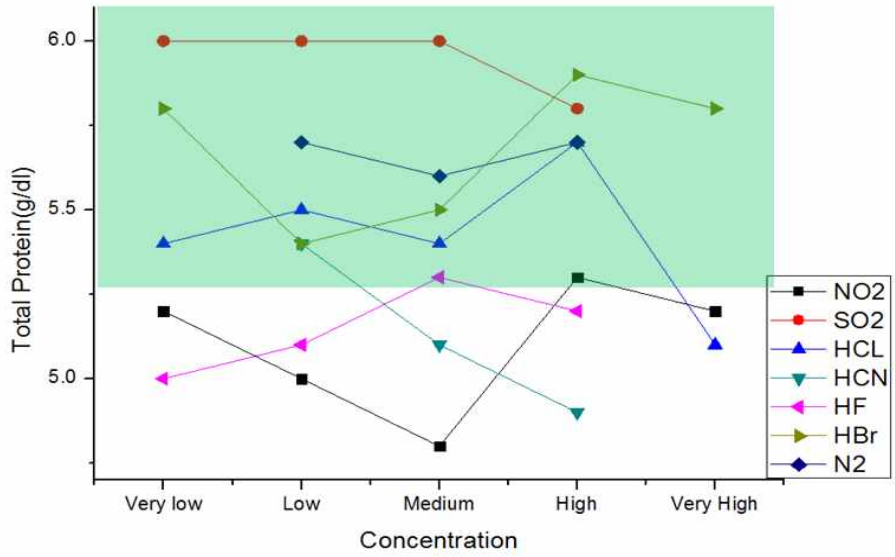


그림 119 Total Protein 분석결과

② Albumin

간에서 합성되는 물질로 영양과 혈액의 삼투압조절, 이온물질의 운반기능을 하는 물질이다. Dehydration(탈수), 간염회복기인 경우 정상범주보다 높은 수치를 보이고, 낮은 수치를 보이는 경우 영양결핍, 소화기질환의 흡수장애, 신증후군, 급만성 염증, 간질환, 부종(Edema)를 예상할 수 있다.

Albumin분석결과 SO_2와 N_2에 노출된 실험동물에서 정상범주보다 높은 값을 확인할 수 있었다. 그러나 농도의 변화에 따른 경향성은 발견되지 않았다.

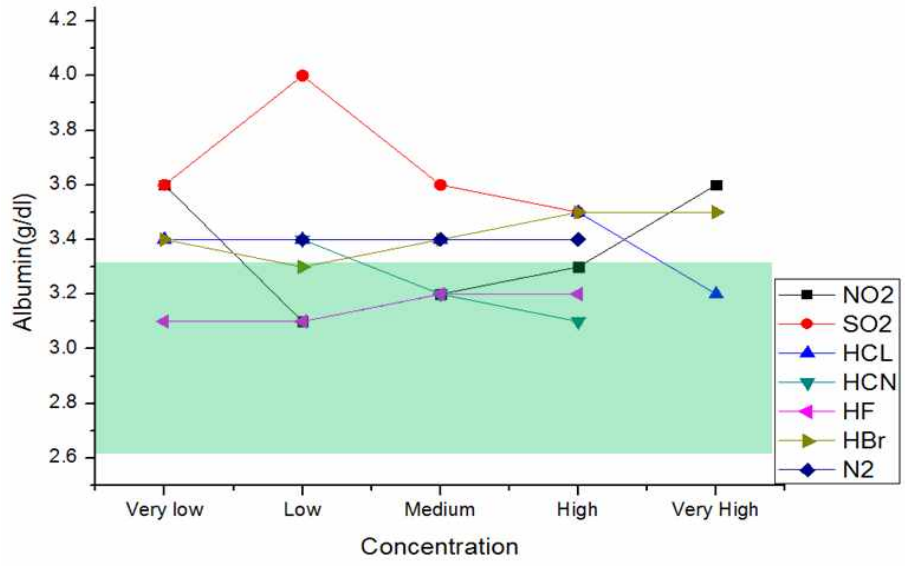


그림 120 Albumin 분석결과

③ Bilirubin

Bilirubin 분석결과 대부분의 시료에서 정상범주 이하의 수치가 측정되었다. 그러나 최소 측정단위가 0.1이며, 측정치간의 최대 차이가 0.4이기 때문에 결과의 비교가 어렵다는 특징을 가진다. 농도의 변화에 따른 경향성은 발견되지 않았다.

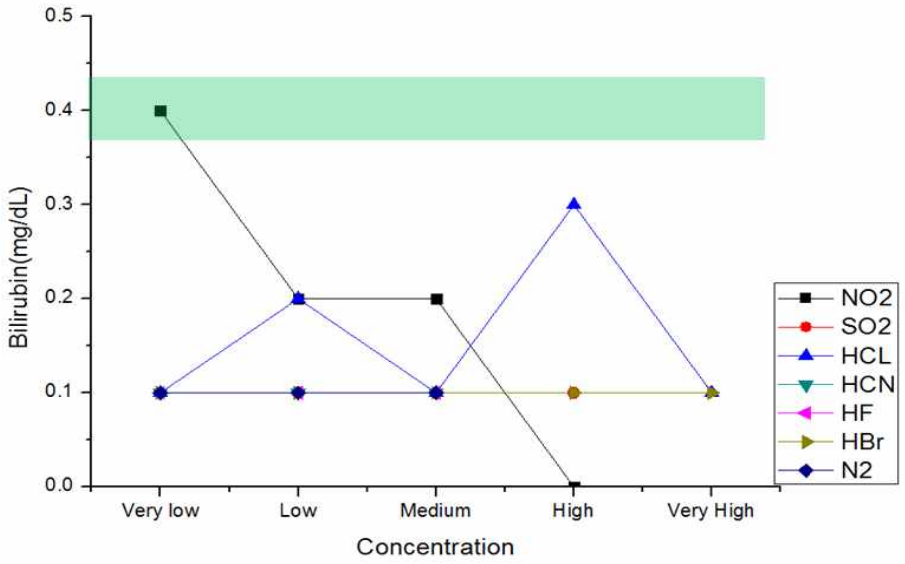


그림 121 Bilirubin 분석결과

④ Glucose

Glucose 분석결과 N_2, SO_2에 노출된 실험동물에서 정상범주보다 높은 값이 측정되었으며, HCN에 노출된 실험동물에서는 정상범주보다 높은 값이 측정되

었다. 이를 통하여 노출시 Glucose에 영향을 미치는 화학종은 N_2, SO_2, HCN 이며 HCN은 Glucose의 수치를 높이는 작용을 함을 파악할수 있다.

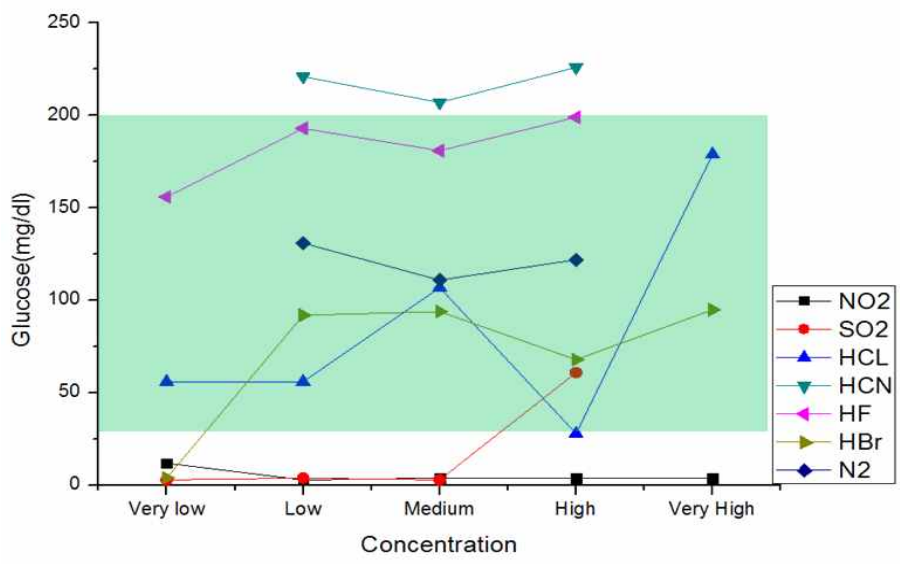


그림 122 Glucose 분석결과

⑤ BUN

BUN 측정결과 NO_2와 HCl의 수치와 경향이 매우 유사함을 볼 수 있다. 또한, 고농도에 노출될수록 낮아지는 경향성도 발견할 수 있다.

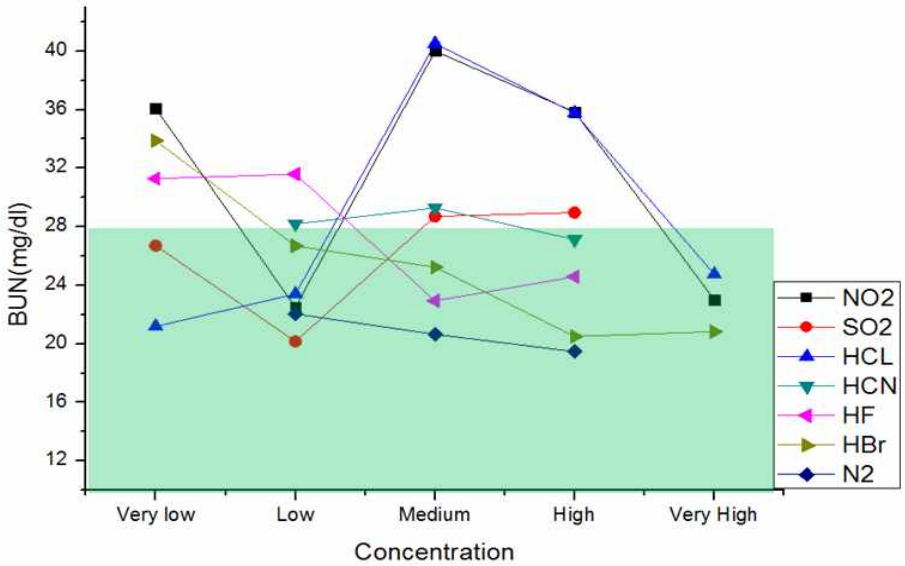


그림 123 BUN 분석결과

⑥ Creatinine

Creatinine 분석결과 대부분의 시료에서 정상범주 이하의 수치가 측정되었다. 그러나 농도에 따른 경향성은 발견되지 않았다.

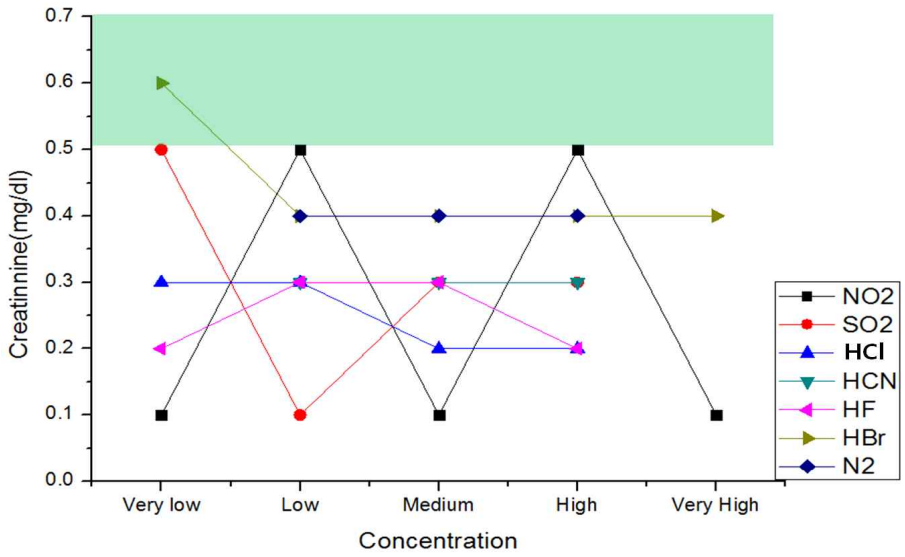


그림 124 Creatinnine 분석결과

⑦ GPT(Glutamic Pyrubic Trans-aminase)

GPT는 간세포 내에 다량으로 존재하며 심장, 골격근에도 소량존재하고 있다. 이는 간세포 손상이 심한 경우 혈청으로 다량 유입되기 때문에 GPT는 간조직 세포의 손상정도를 유추하기위한 지표로 사용될 수 있다. GPT가 높게 나타나면 급/만성간염, 전염성 단핵구증, 간경화증, 지방간, 약제성 간 장애를 예상할 수 있다.

대부분의 시료에서 정상범주 이상의 값으로 분석되었다. 특히 HCl에 노출된 실험동물은 LOW와 HIGH 농도에서 정상범주 수치보다 100배 가량 높게 나타나, 화학종의 독성에 의하여 심한 간손상이 발생하였음을 예측할 수 있었다.

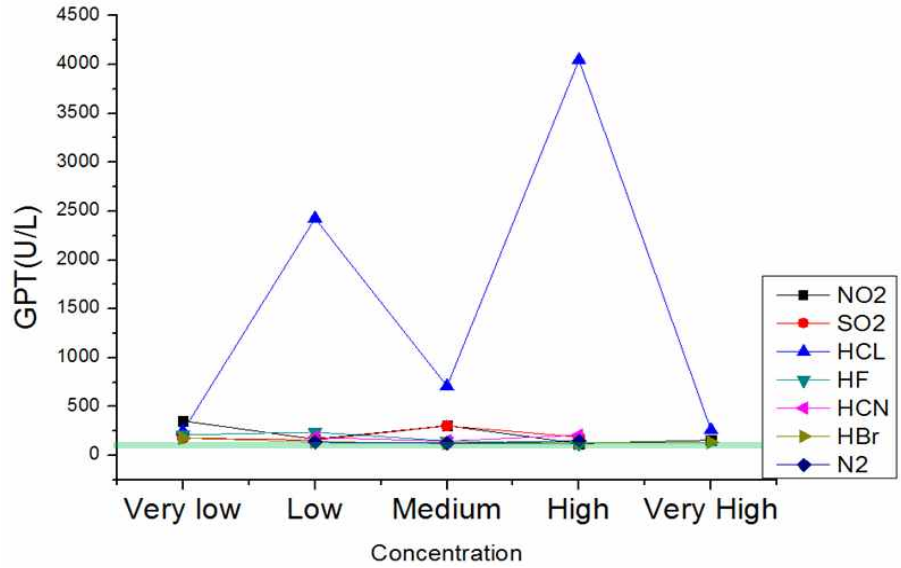


그림 125 GPT 분석결과

⑧ GOT(Glutamic Oxalacetic Trans-aminase)

간세포 내에 다량으로 포함된 효소로서 간세포가 파괴되면 그 파괴정도에 비례하여 혈액내로 유출되어 수치가 높게 나타난다. 이를 이용하여 GOT는 간질환 및 심장질환의 진단 및 경과 관찰 지표로 이용된다. GOT가 정상범주보다 높아지면 심근경색, 급성간염, 간암, 간경화, Alcohol성 간염, 폐쇄성 황달등의 질병을 예상할 수 있다. GOT역시 대부분의 화학종에서 정상범주보다 높은 수치를 보였으며, HCl은 정상수치의 100배에 달하는 높은 수치를 보여 HCl에 의한 간손상이 심각함을 보여주었다.

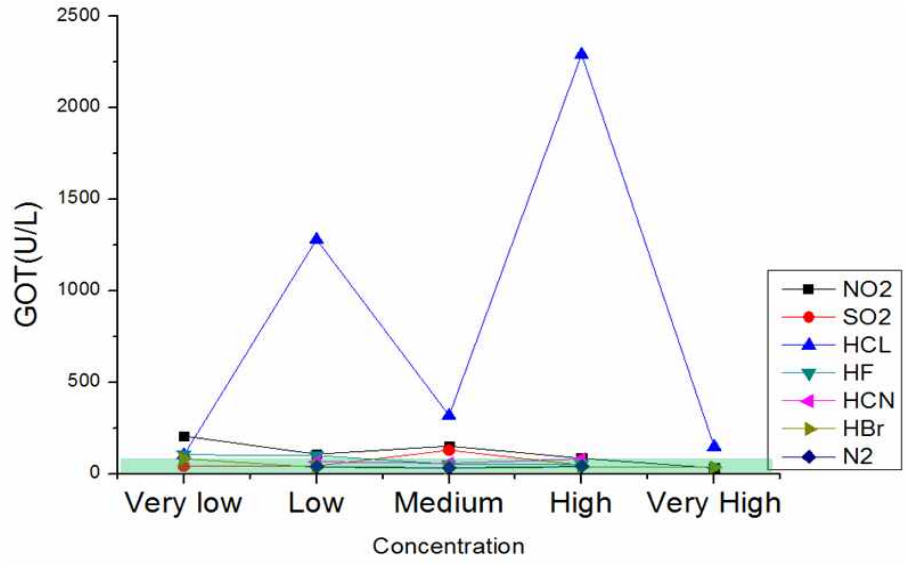


그림 126 GOT 분석결과

⑨ ALP

ALP분석결과 대부분의 화학종에 노출된 실험동물에서 정상범주 이하의 수치가 측정되었으나 농도의 변화에 따른 경향성은 파악되지 않았다.

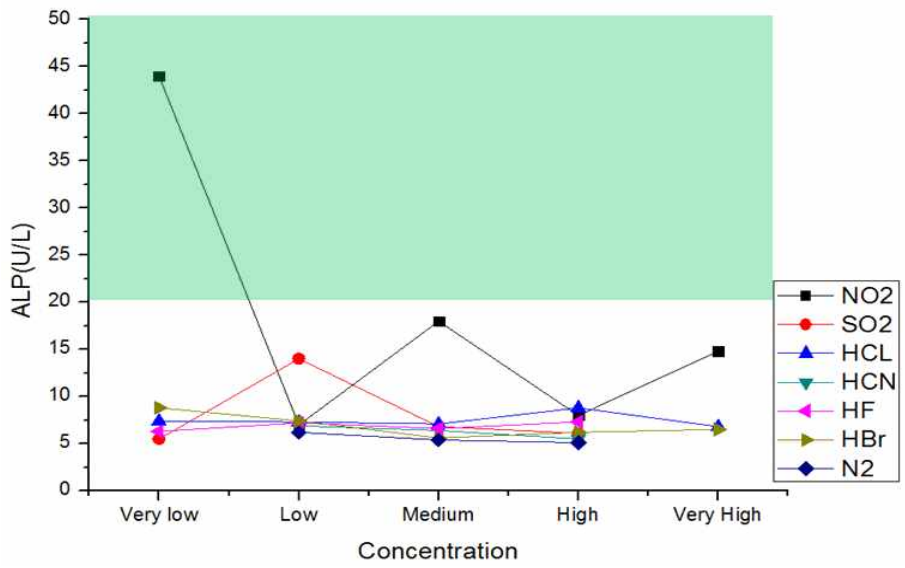


그림 127 ALP 분석결과

⑩ LDH(Lactate Dehydrogenase)

LDH는 에너지 생산에 중요한 역할을 하는 효소로서 심근, 간, 심장, 신장, 적혈구 내에 많이 분포되어있으며, 낮아질 경우큰 임상학적 의의는 없다. 그러나 높은 수치가 나올 경우 심근경색, 심부전, 급/만성간염, 악성빈혈, 악성종양, 임신, 뇌혈관장애, 급성간염, 지방간, 월발성 간암이 예상된다.

LDH는 가장 낮은 농도의 NO_2에서 높은 수치가 도출되었으나 원인을 규명하지는 못하였다.

이는 앞서 분석된 GOT, GPT와 마찬가지로 간 조직세포의 손상을 나타내는 지표로써, 다른 두가지 수치와 달리 모든 화학종에서 정상범주의 40~70배 높은 값을 보였다. 그러나 HCl에 노출된 실험동물의 해부결과는 3가지 모두 정상범주를 크게 벗어난 높은 수치를 보였다. 이를 통하여 HCl이 간 조직세포의 손상에 지대한 영향을 미친다는 결론을 도출하였다.

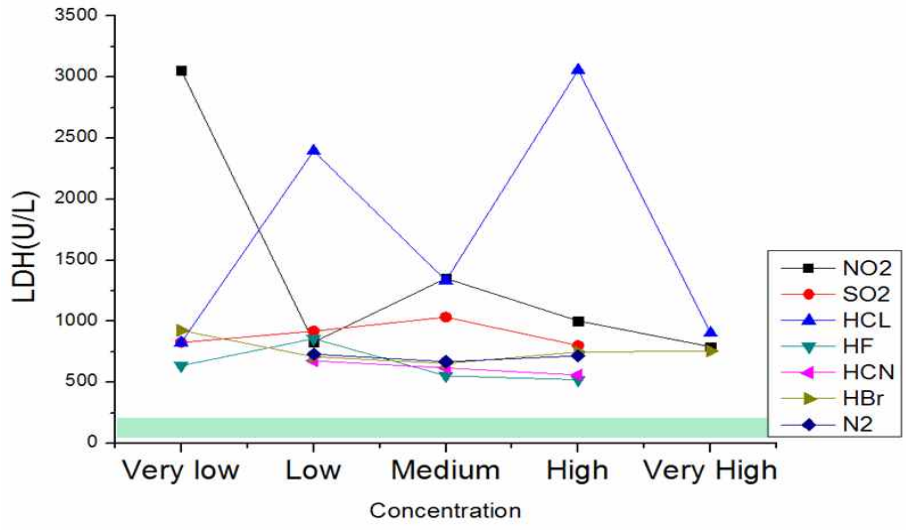


그림 128 LDH 분석결과

⑪ Cholesterol

콜레스테롤은 지방성분으로 식생활과 관련이 깊고 고혈압, 동맥경화를 일으킬 확률이 높다. 유전적 지질 대상 이상으로도 혈중 콜레스테롤 수치가 높을 수 있어, 본 연구에서는 유해 화학종에 노출되지 않은 실험동물도 동일한 분석을 실시하여 신뢰성을 확보하였다. 이 콜레스테롤의 양이 높으면 고혈압, 동맥경화, 당뇨, 폐쇄성 황달, 담즙성 간경변, 신증후군이 예상되고, 낮을 경우에는 영양부족, 만성간질환, 갑상선 기능항진증, 교병원등의 발생이 예상된다.

실험결과를 살펴보면 콜레스테롤의 정상범주가 11~28mg/dL임을 감안하였을 때, 그 10배 이상의 콜레스테롤 수치를 보여 모든 실험 대상 화학종에 노출되었을 때 콜레스테롤이 증가되며 이에 따르는 피해가 예상된다는 결과를 도출하였다.

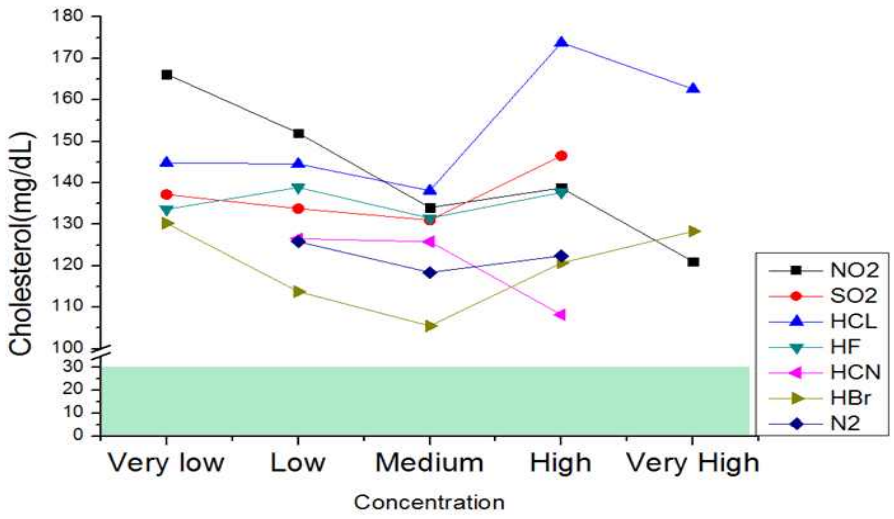


그림 129 Cholesterol 분석결과

⑫ Triglyceride

Triglyceride 분석결과, 실험에 사용된 모든 화학종에 노출된 실험동물에서 정상범주 이하의 수치가 측정되었다. 농도의 변화에 따른 경향성은 확인되지 않았다.

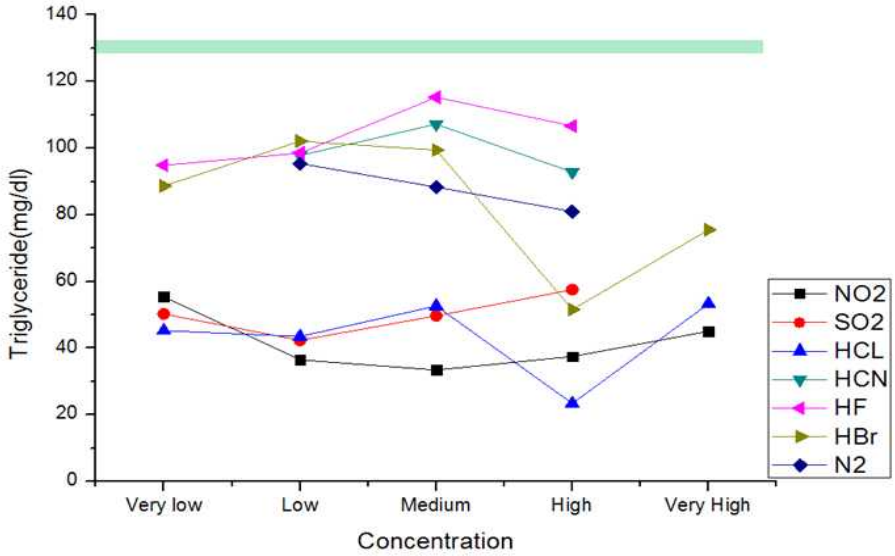


그림 130 riglyceride 분석결과

⑬ Phosphorus

Phosphorus 분석결과, 실험에 사용된 모든 화학조엥 노출된 실험동물에서 정상범주이상의 수치가 측정되었으며 NO_2와 HCl에서 작게나마 농도의 상승에 따라 Phosphorus수치가 낮아지는 경향성을 발견할 수 있었다.

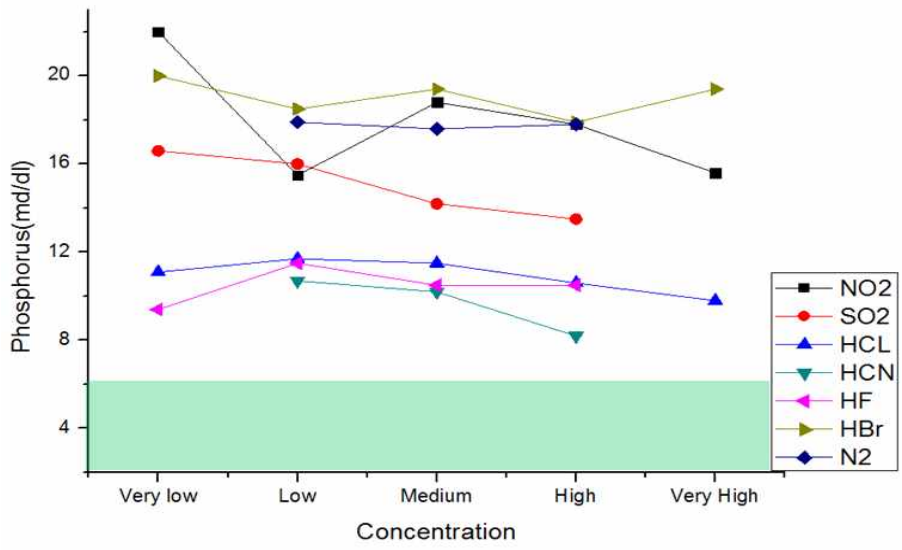


그림 131 Phosphorus 분석결과

(다) Comet Assay

CO_2에 노출된 실험동물의 평균행동정지시간은 그림 132의 line 그래프와 같다. 1016mg/㎥의 평균행동정지시간이 가장 높은 것을 제외하면, 농도가 높아질수록 평균행동정지시간이 짧아지는 경향이 있다고 볼 수 있다. Olive Tail Moment분석결과는 노출된 가스의 농도와 비례관계를 보이고 있다.

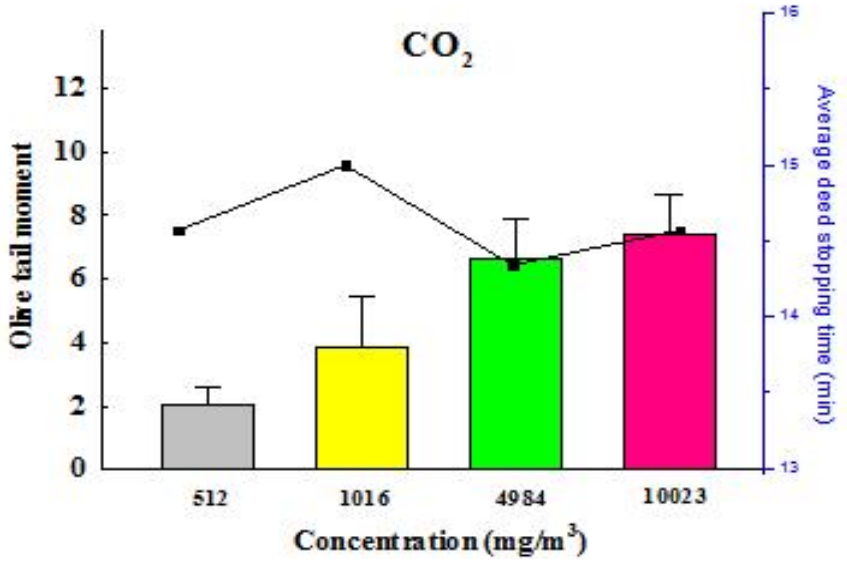


그림 132 CO_2의 실험결과 교차분석

NO_2의 Comet Assay결과를 살펴보면 199mg/㎥와 350mg/㎥에 노출된 실험동물의 결과 차이가 작은 것을 제외하면 농도가 높아질수록 피해가 커지는 경향을 가진다는 결론이 도출되었다.(그림133) 이는 일정 농도이상에서는 농도가 올라가도 피해의 정도가 심해지지 않을 수 있다는 가능성을 의미한다. 또한 평균행동정지시간은 101mg/㎥에서 급격히 낮은 값을 보이는데 이를 제외하면 농도가 높아질수록 평균행동정지시간이 짧아지는 경향을 가진다고 볼 수 있다.

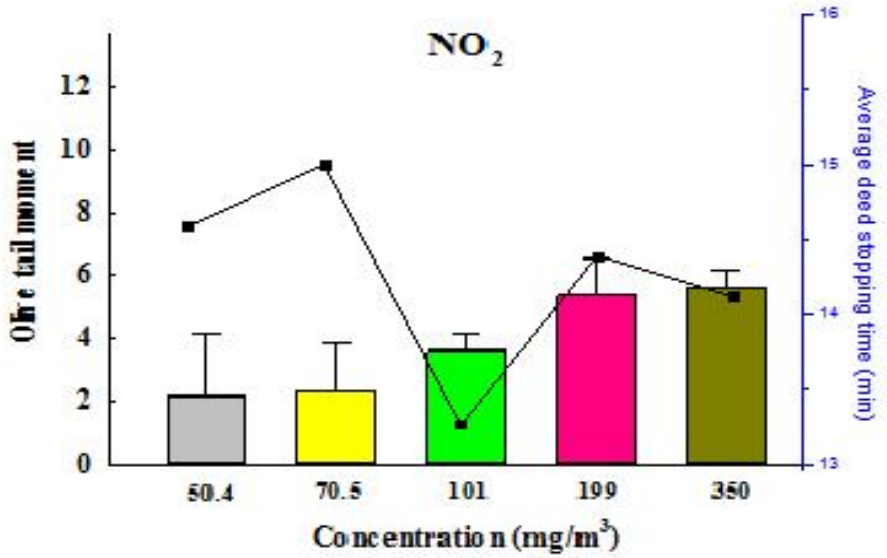


그림 133 NO_2의 실험결과 교차분석

SO_2에 노출된 실험동물의 Comet Assay결과는 그림 134과 같다. 11, 25.5, 51.7 mg/㎥에 노출된 실험동물의 결과는 별 차이가 없으나, 농도의 차이도 작기 때문에 실험결과에 오류가 있는 것으로 판단되지는 않는다. 120mg/㎥부터는 농도가 높아짐에 따라 손상도 커지는 경향을 보인다. 평균행동정지시간은 가장 낮은 농도인 11mg/㎥에서 2번째로 짧은 평균행동정지시간이 나왔으나, 25.5, 51.7, 120, 190mg/㎥의 결과는 역전현상 없이 농도가 높아질수록 짧아지는 경향성을 보였다.

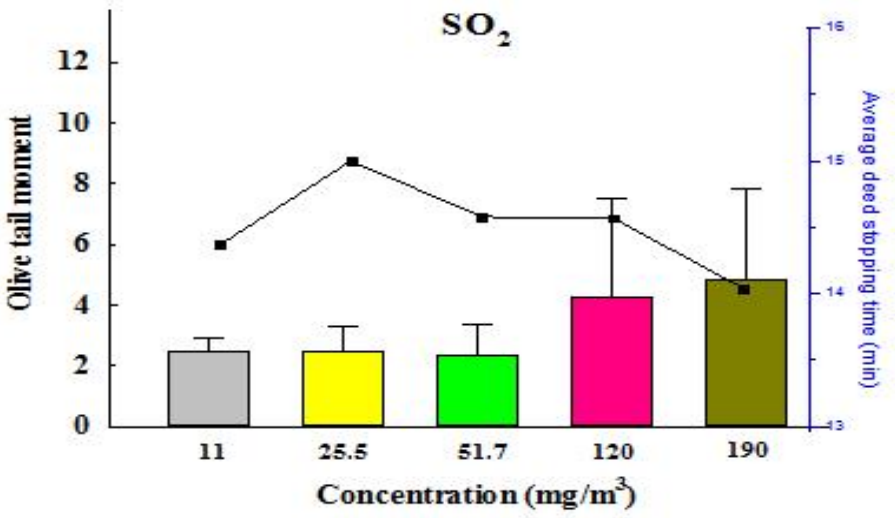


그림 134 SO_2의 실험결과 교차분석

HCl에 노출된 실험동물의 Comet Assay결과는 그림 135과 같다. 156mg/㎥과 206mg/㎥에서 Comet Assay와 평균행동정지시간 데이터가 역전되는 것을 제외하면 농도가 높아질수록 피해가 커지는 경향을 보이고 있다. 그러나 206mg/㎥은 평균행동정지시간이 가장 짧으나 Comet Assay결과는 156mg/㎥보다 적은 피해를 보이고 있다. 현행 건축법에 의해 수행되는 가스유해성시험의 단순한 평균행동정시간 측정의 재현성 한계도 한 원인으로 작용하는 것으로 유추하였다.

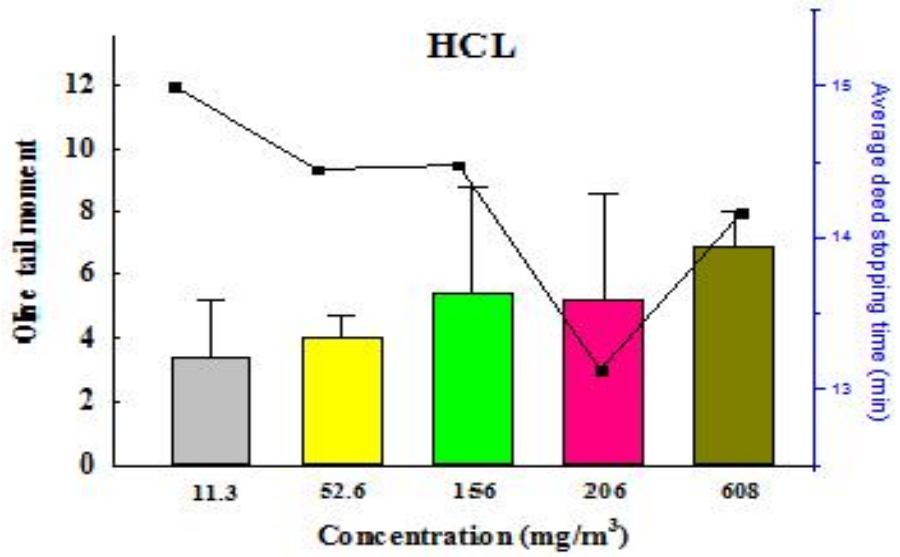


그림 135 HCl의 실험결과 교차분석

HCN은 경향성에 어긋나는 데이터 없이 Comet Assay, 평균행동정지시간이 각각의 경향성을 정확히 보이고 있다. 10.8~44.9mg/㎥의 차이보다 44.9~141mg/㎥의 차이가 큰 것으로 보아 농도의 차이와 피해의 차이가 비례관계에 있다는 결론을 도출할 수 있다.즉 HCN은 독성이 큰 질식성 가스로서 농도가 높아질수록 노출되는 동물의 DNA 손상에도 매우 큰 효과를 확인할 수 있었다. (그림 136)

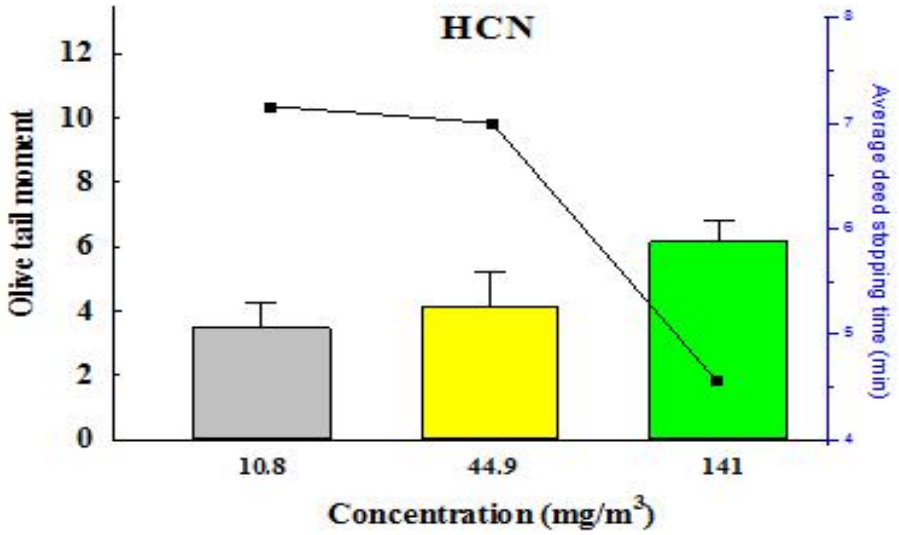


그림 136 HCN의 실험결과 교차분석

HF는 농도가 증가함에 따라 DNA손상도 커지는 경향성을 보인다. 그러나 평균행동정지시간은 46.7mg/㎥을 제외하고는 비슷한 결과를 보여 유전독성을 검사하면 DNA손상이 발견되나, 단순한 행동시간의 측정은 생체에서 발생되는 유해성을 확인에 한계가 있음을 분석할 수 있었다. (그림137)

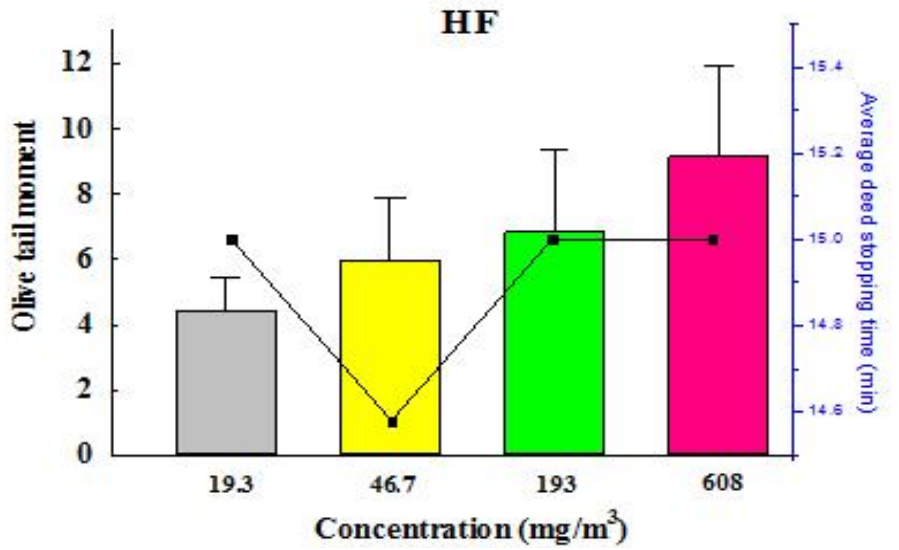


그림 137 HF의 실험결과 교차분석

HBr의 경우 Comet Assay결과는 농도가 높아짐에 따라 피해가 커짐을 보여주는데 반해, 평균행동정지시간결과는 농도가 높아짐에 따른 경향성이 없이

오르내리다 가장 높은 농도인 601ppm에서는 가장 높은 결과를 보였다. 이 결과 역시, 평균행동정지시간을 통해서는 판별할 수 없는 독성에 의한 피해를 Comet Assay분석을 통해서는 판별될 수 있는 것으로 판단된다.(그림 138)

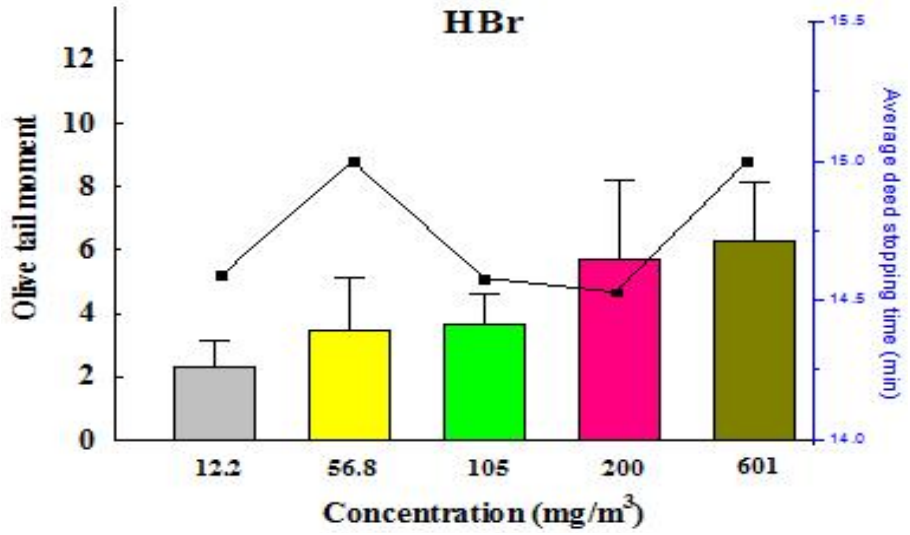


그림 138 HBr의 실험결과 교차분석

나. 혼합가스

표 69 혼합가스 동물실험 실험 디자인

	CO	CO_2	HCN	HCL	SO_2	NO_2	HF	HBr
	ppm							
1	300	1,000						
2	300	5,000						
3	300	10,000						
4	100	10,000						
5	300	1,000	10					
6	100	1,000	50					
7	300	5,000	10					
8	300	5,000	50					
9	300	5,000	140					
10	300	10,000	50					
11	300	10,000	140					
12	300	10,000		150				
13	300	10,000		200				
14	300	10,000		10				
15	300	5,000	10	50	200			
16	300	5,000	10	50				
17	300	5,000					20	
18	300	5,000					50	
19	300	5,000					200	
20	300	5,000	140	200	200	350	200	600
21	300	5,000	10				20	
22	300	5,000	10				50	
23	300	5,000	10				200	
24	300	5,000			200			
25	300	5,000	50				20	
26	300	5,000	50				50	
27	300	5,000	50				200	
28	300	5,000			120			
29	300	5,000	140				20	
30	300	5,000	140				50	
31	300	5,000	140				200	
32	300	5,000		200			200	
33	300	5,000						10
34	300	5,000						50
35	300	5,000						100
36	300	5,000						200
37	300	5,000						600
38	300	5,000				50		
39	300	5,000				70		
40	300	5,000				100		
41	300	5,000				200		
42	300	5,000				350		

(1) 혈액검사 결과

혼합가스에 노출된 실험동물의 혈액을 채취·분석한 결과는 다음과 같다.

(가) WBC

WBC 분석 결과, HCl이 혼합된 가스를 흡입한 실험동물의 일부에서 정상영역(음영처리부분) 이하의 수치를 보임을 확인할 수 있었다. 그러나 그 수치는 큰 차이를 보이지 않았다.

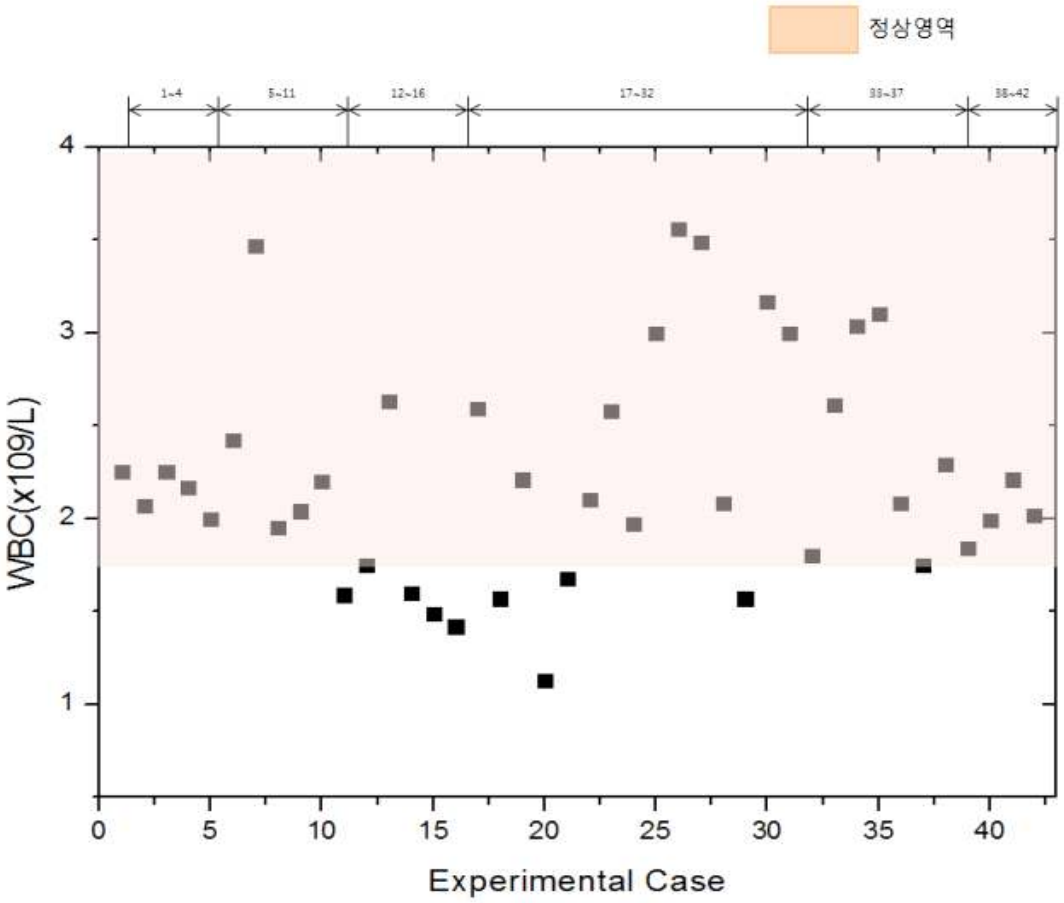


그림 139 WBC

(나) RBC

RBC는 27번을 제외한 모든 실험에서 정상영역에 포함되는 수치를 보였다. 정상영역 이상의 수치를 보인 27번은 300ppm의 CO, 5,000ppm의 CO_2, 50ppm의 HCN, 200ppm의 HF가 혼합된 가스로 29~32번이 더 높은 농도의 화학종으로 구성되어있음에도, 더 높은 값을 보여 특정 농도의 혼합에 의한 독성 상승작용 또는, 실험동물 개체의 특성에서 기인한 것으로 분석된다.

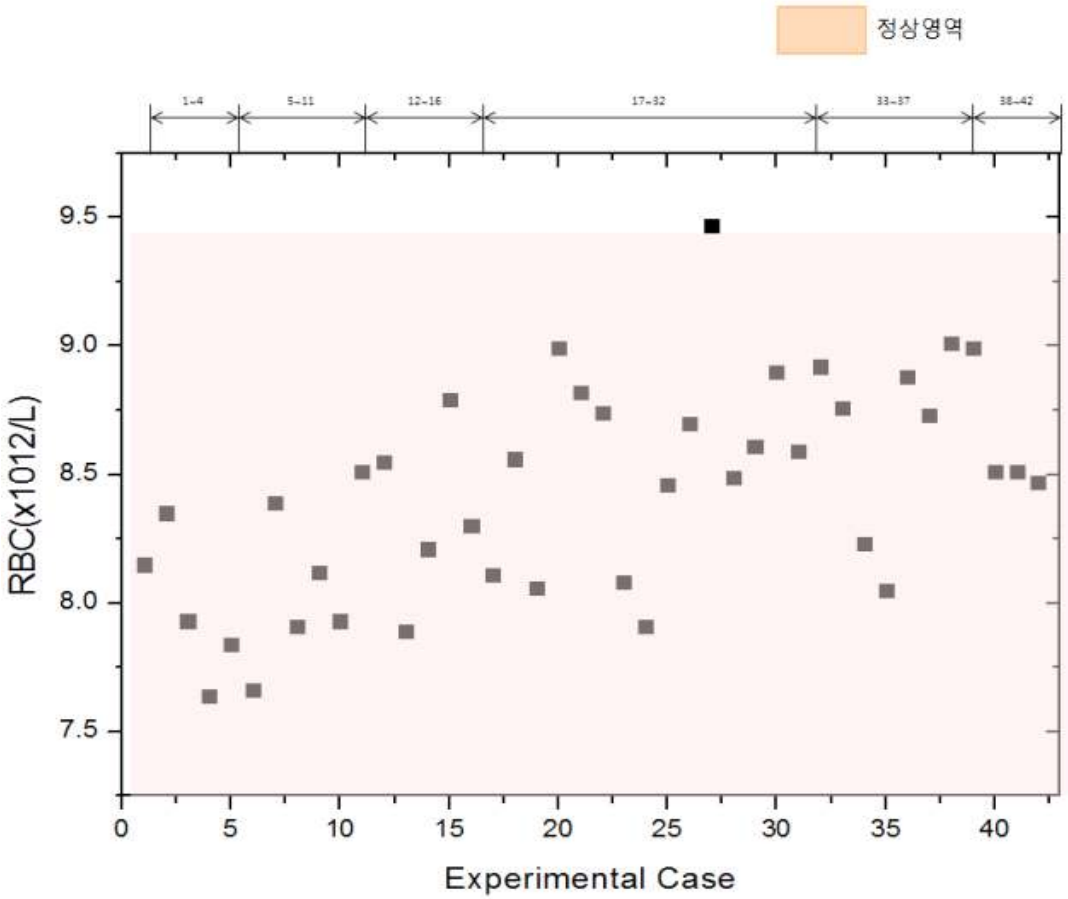


그림 140 RBC

(다) Hemoglobin

Hemoglobin은 모든 실험군에서 정상영역에 포함되는 값을 보였다. 그러나 WBC에서는 평균 이하의 값을, RBC에서는 특별히 높은 수치를 보인 27번은 Hemoglobin에서도 평균에서 벗어나는 높은 수치를 보였다. 이는 27번 가스의 특성 또는, 실험개체의 특성에서 기인한 것으로 분석된다.

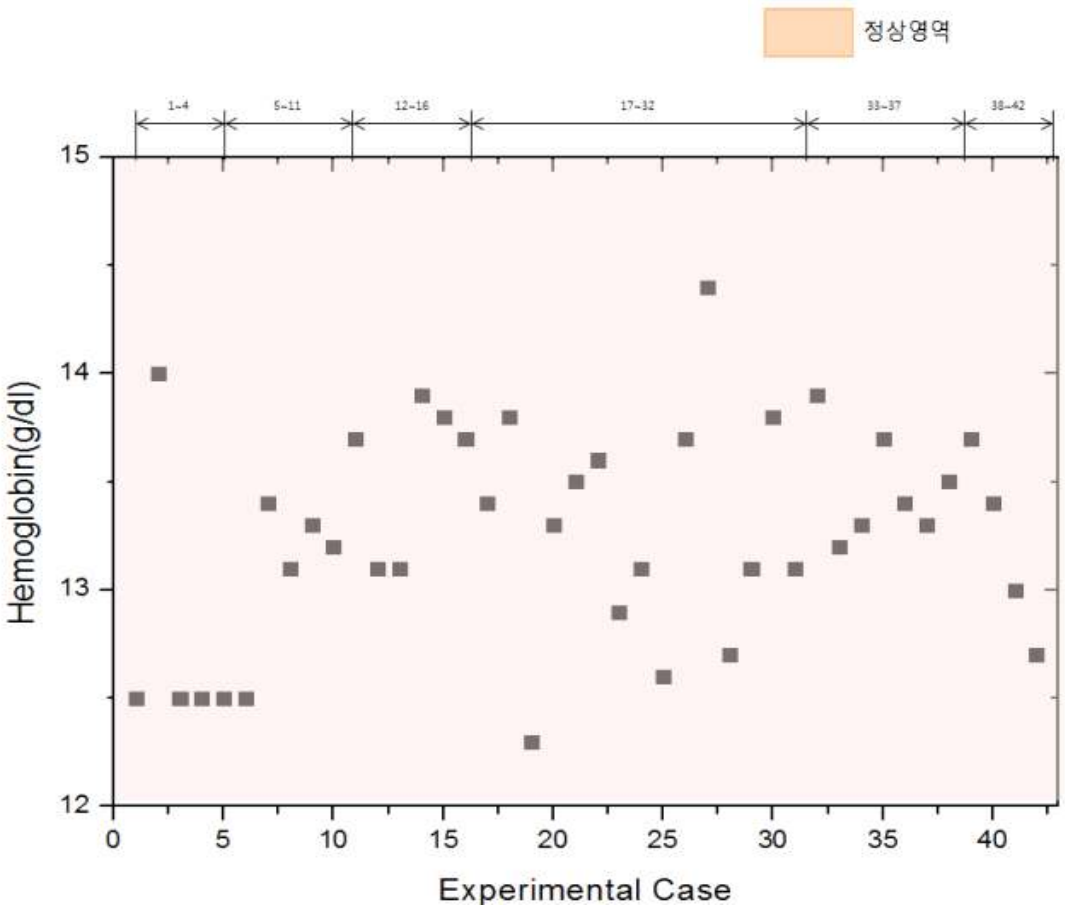


그림 141 Hemoglobin

(라) Hematocrit

Hematocrit는 모든 실험동물군에서 정상치 이상의 값이 도출되었다. Hematocrit 수치가 높게 나타나는 것은 철결핍성 빈혈, 구상적혈구증등 적혈구 형태에 이상이 있는 경우이므로, 모든 실험군에서 적혈구 형태에 이상이 발생하였음을 확인할 수 있다.

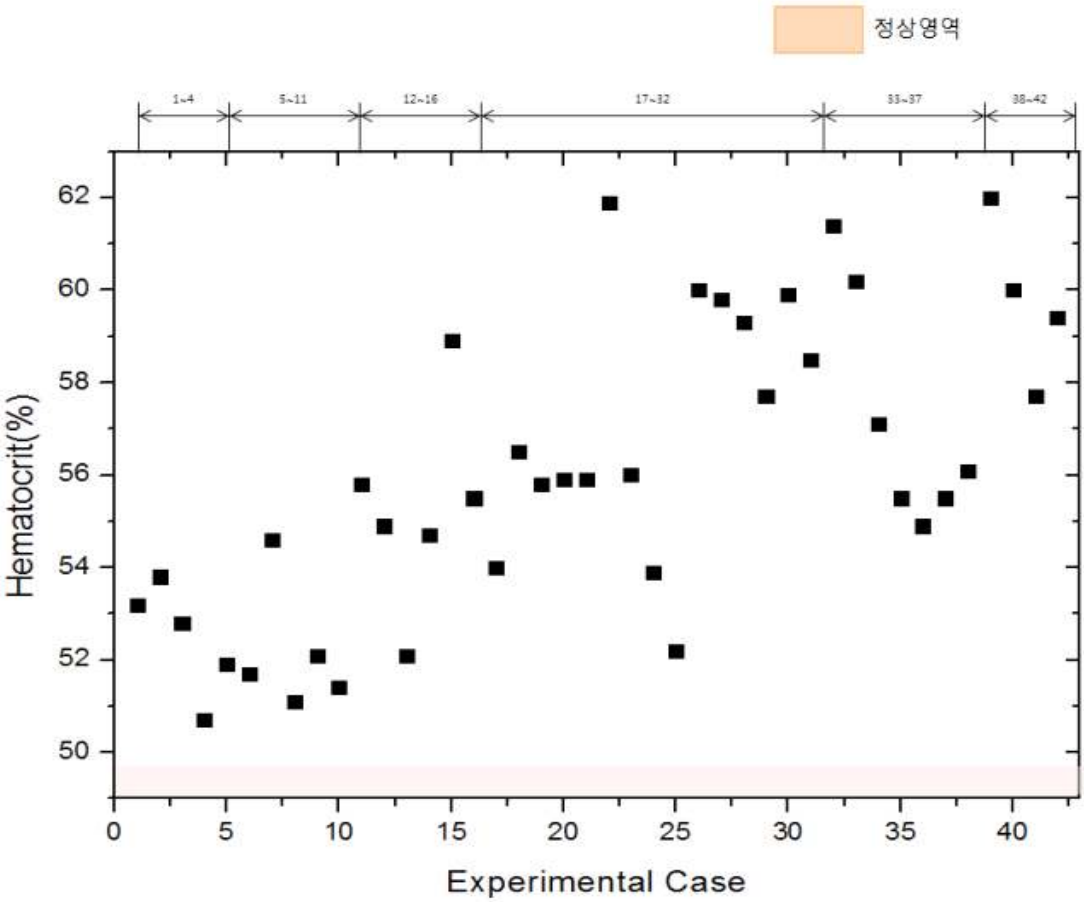


그림 142 Hematocrit

(마) MCV

MCV는 적혈구 한 개의 평균용적으로 모든 실험군이 정상치 이상의 값을 보였다. 이러한 상태를 대구성이라 명명하며, 적혈구의 이상을 예측할 수 있다.

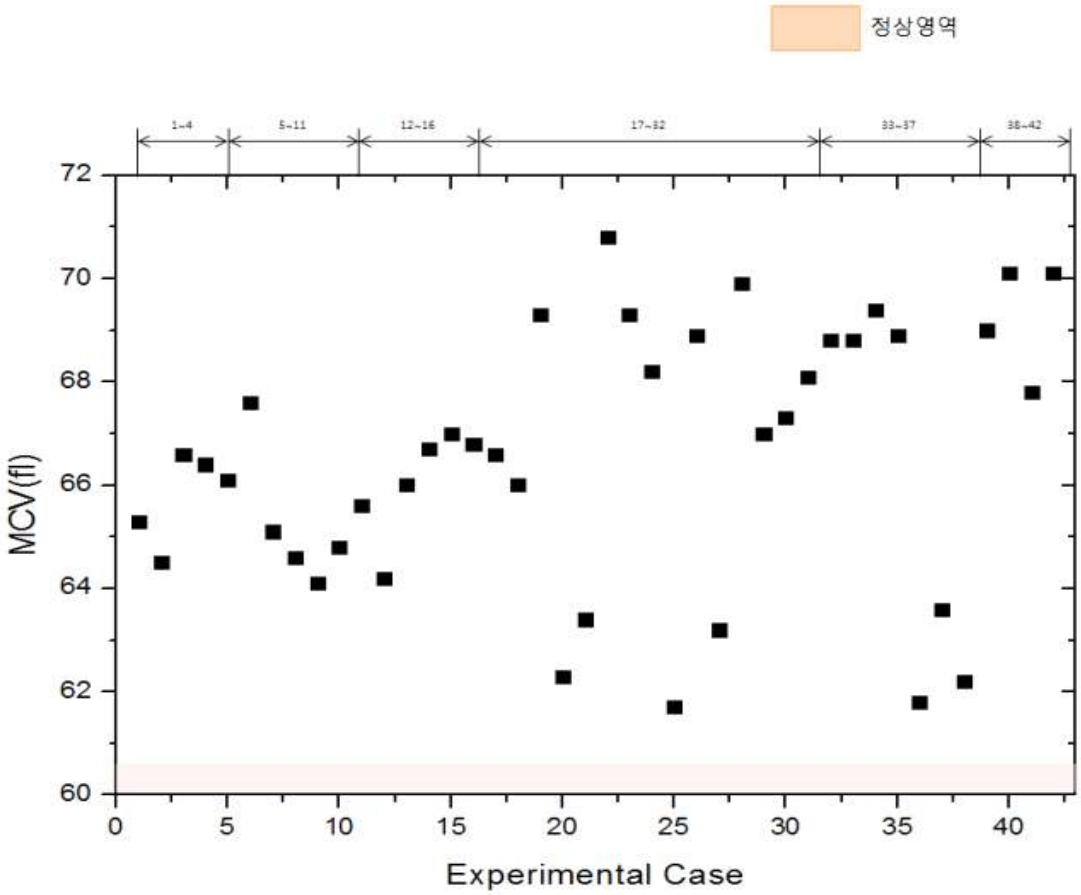
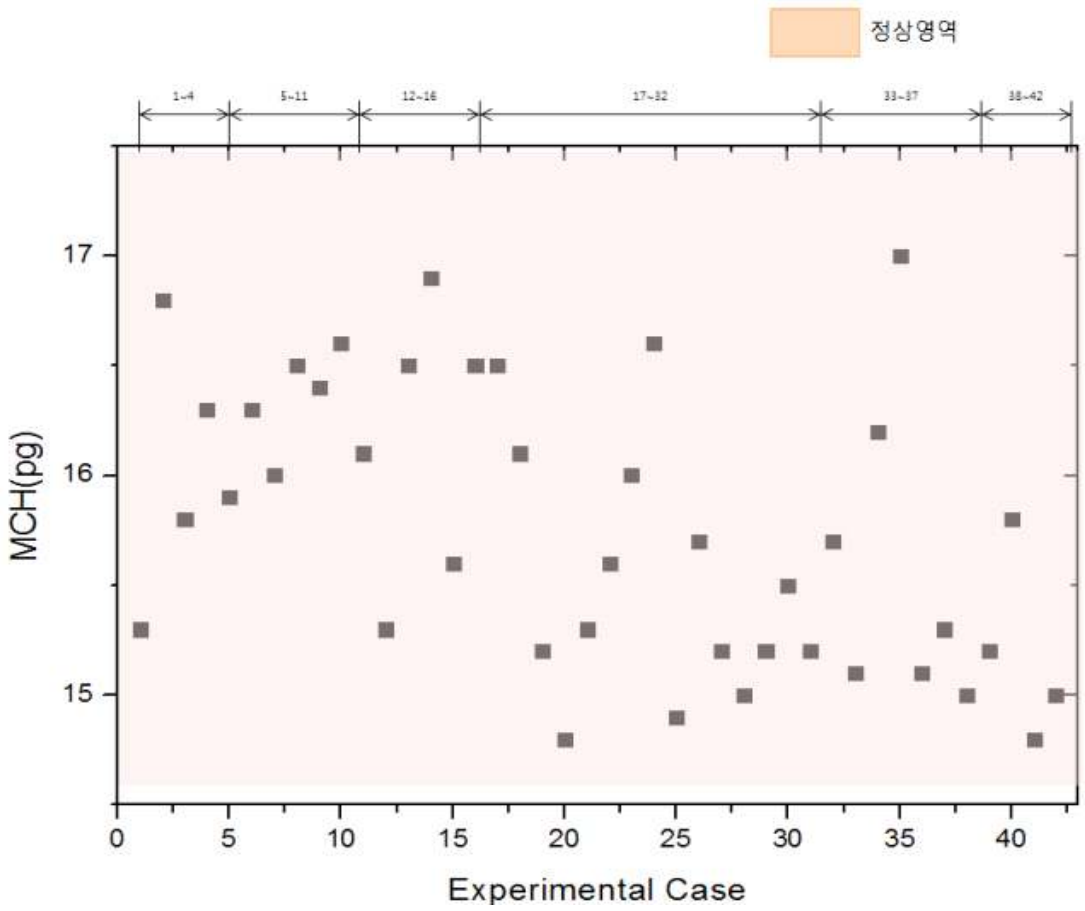


그림 143 MCHC

(바) MCH

MCH는 적혈구 한 개에 포함된 Hemoglobin양의 평균치를 나타내며 낮은 수치인 경우에는 저색소성으로 명명한다. 1~42의 혼합가스에 노출된 실험동물의 MCH는 모두 정상영역 내부에서 나타나 Hemoglobin의 양이 변하지 않았음을 확인하였다.



나) 그림 144 MCH

(사) MCHC

MCHC는 적혈구내 혈색소의 평균농도로 모든 실험동물군에서 정상치 이하의 값을 보였다.

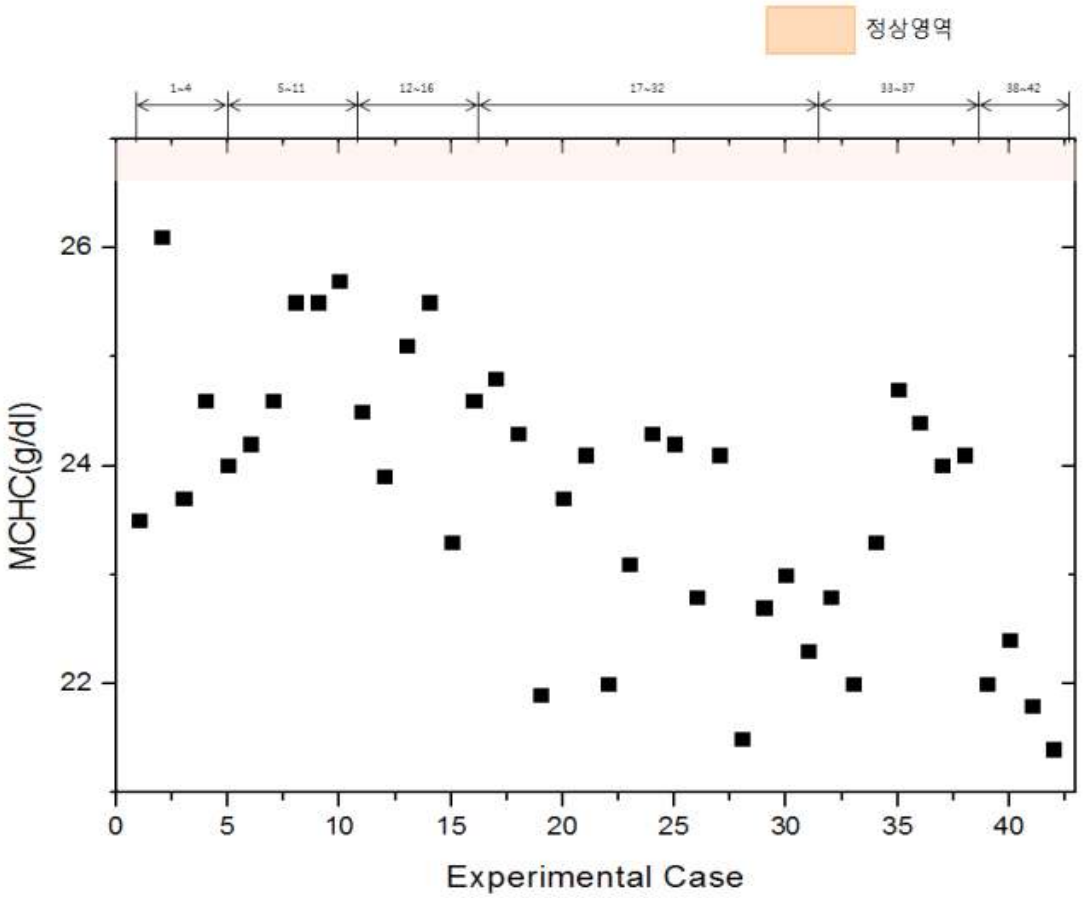


그림 145 MCHC

(아) Platelet

Platelet는 손상된 혈관벽, 내피세포하 조직과 반응하여 지혈 혈전을 형성하는 혈소판의 수로 피부와 점막의 출혈을 확인하는데 이용되는 항목이다. 이 수치가 변하는 것은 체내 또는 체외 출혈경향이 있을 때인데, 본 실험에 이용된 모든 실험동물군에서는 정상영역 내부의 값을 보였다.

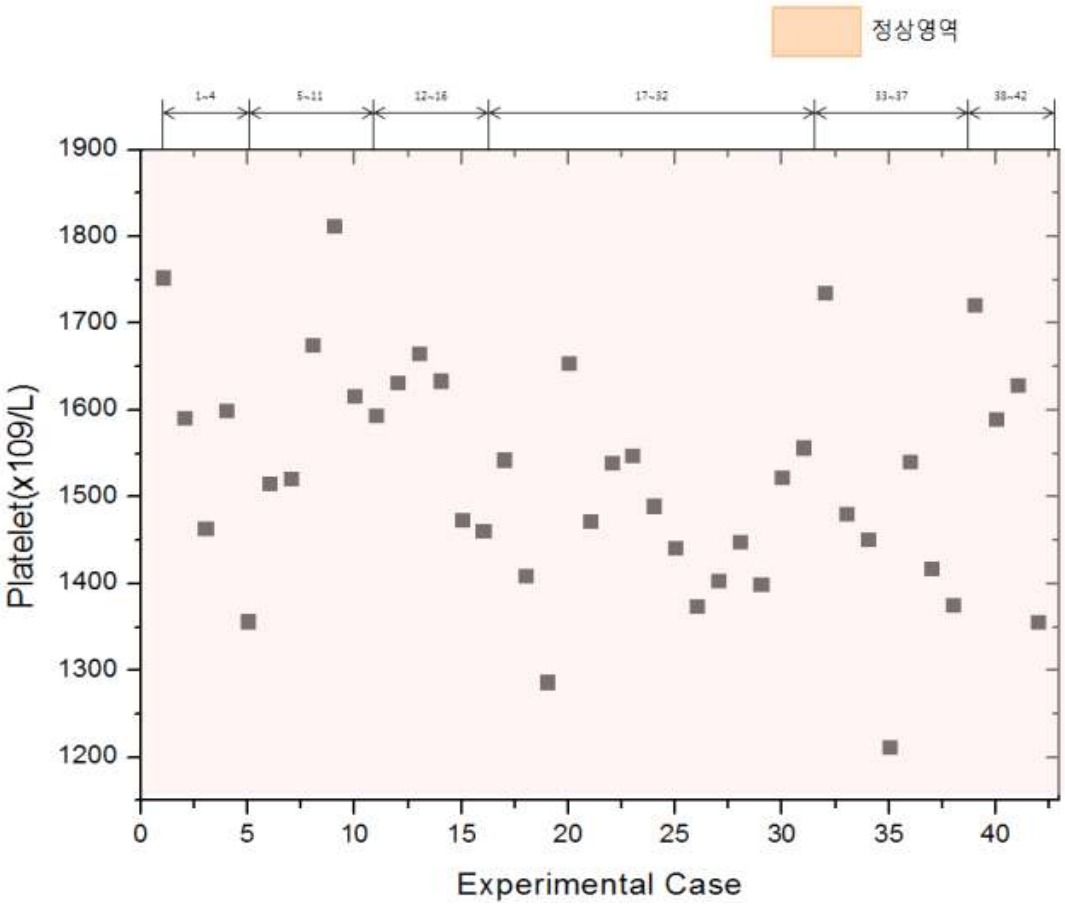


그림 146 Platelet

(자) Segment

혼합가스에 노출된 실험동물군의 Segment는 일부항목에서 정상범주 이하의 수치를 보였다.

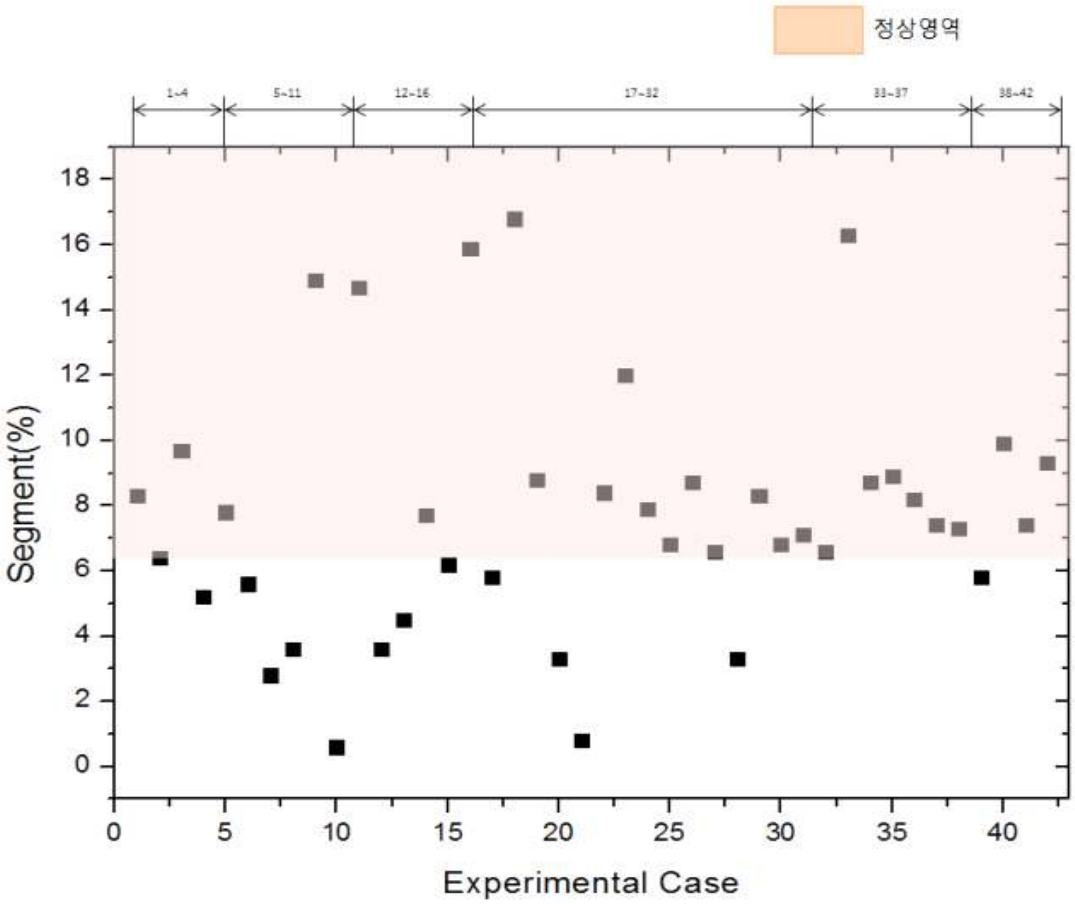


그림 147 Segment

(차) Lymphocyte

Lymphocyte는 모든 실험동물 군에서 정상범위 내의 수치를 보였다.

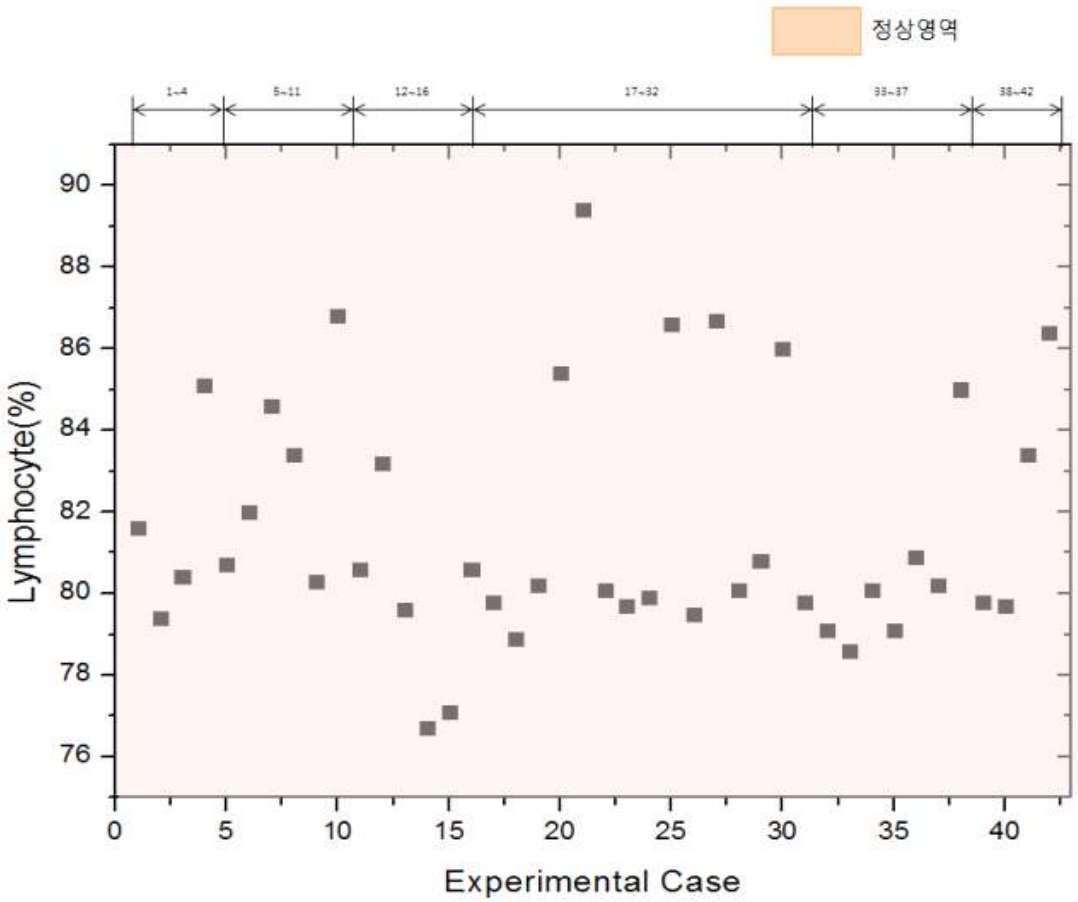


그림 148 Lymphocyte

(카) Monocyte

Monocyte는 모든 실험동물 군에서 정상범주 내의 결과를 보였다.

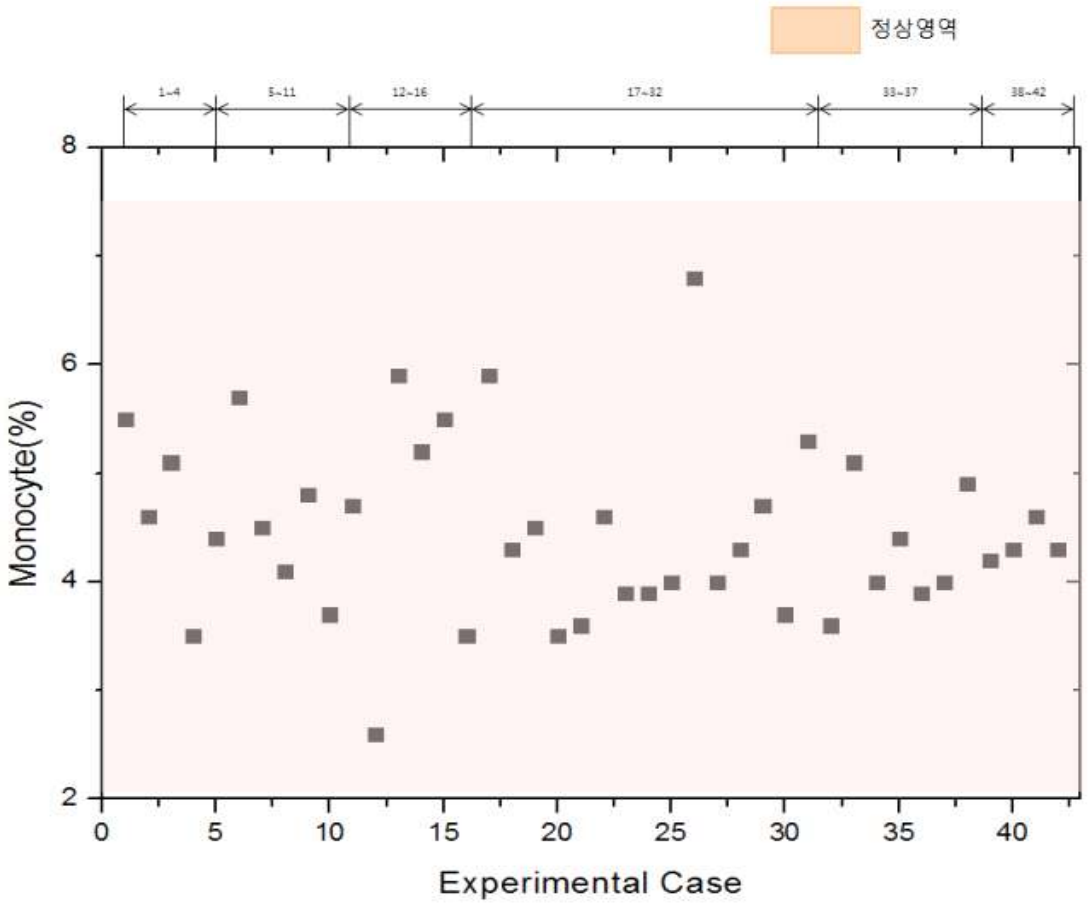


그림 149 Monocyte

(타) Eosinophil

Eosinophil는 25, 27, 30, 37번 혼합가스가 정상범주이내의 값을 보였으며, 9, 11, 16, 18, 33, 42번 혼합가스에서는 정상범주 이하의 값을 보였다.

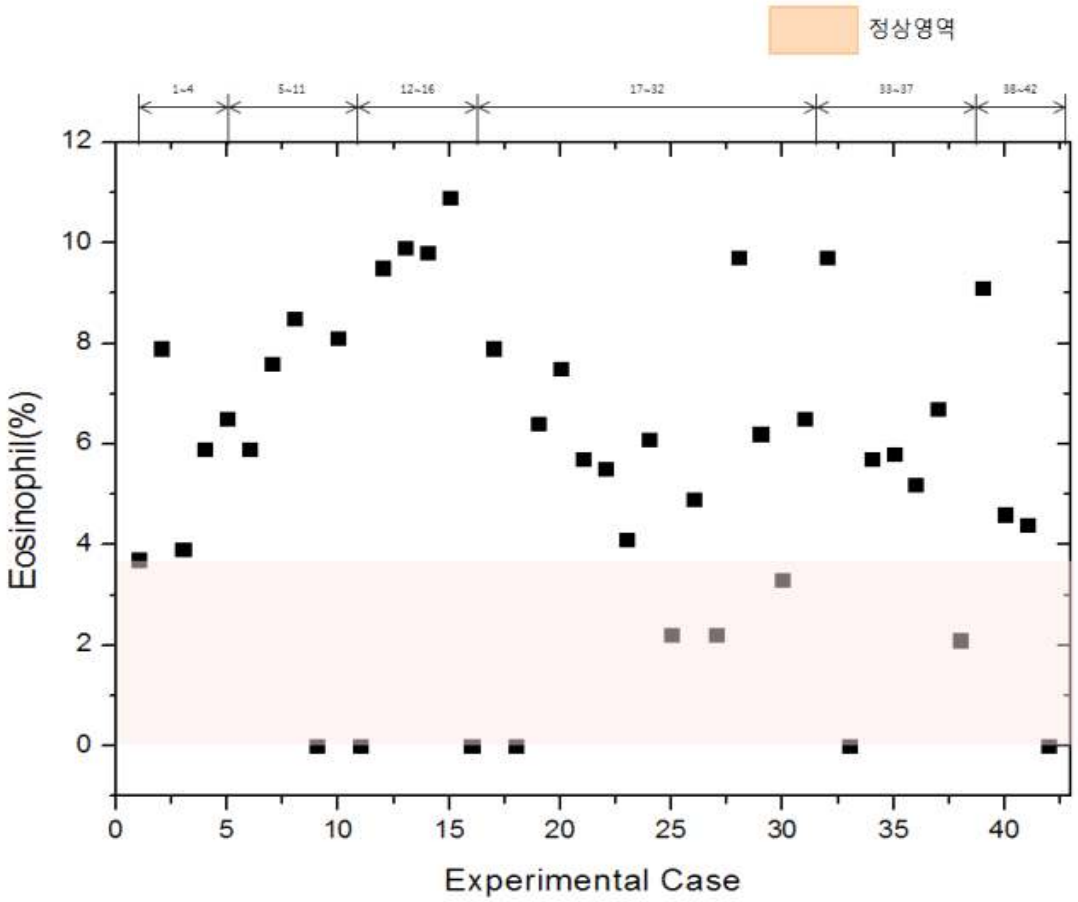


그림 150 Eosinophil

(파) Basophil

Basophil의 분석 결과는 23, 27을 제외한 모든 실험동물군에서 정상범주를 나타냈다.

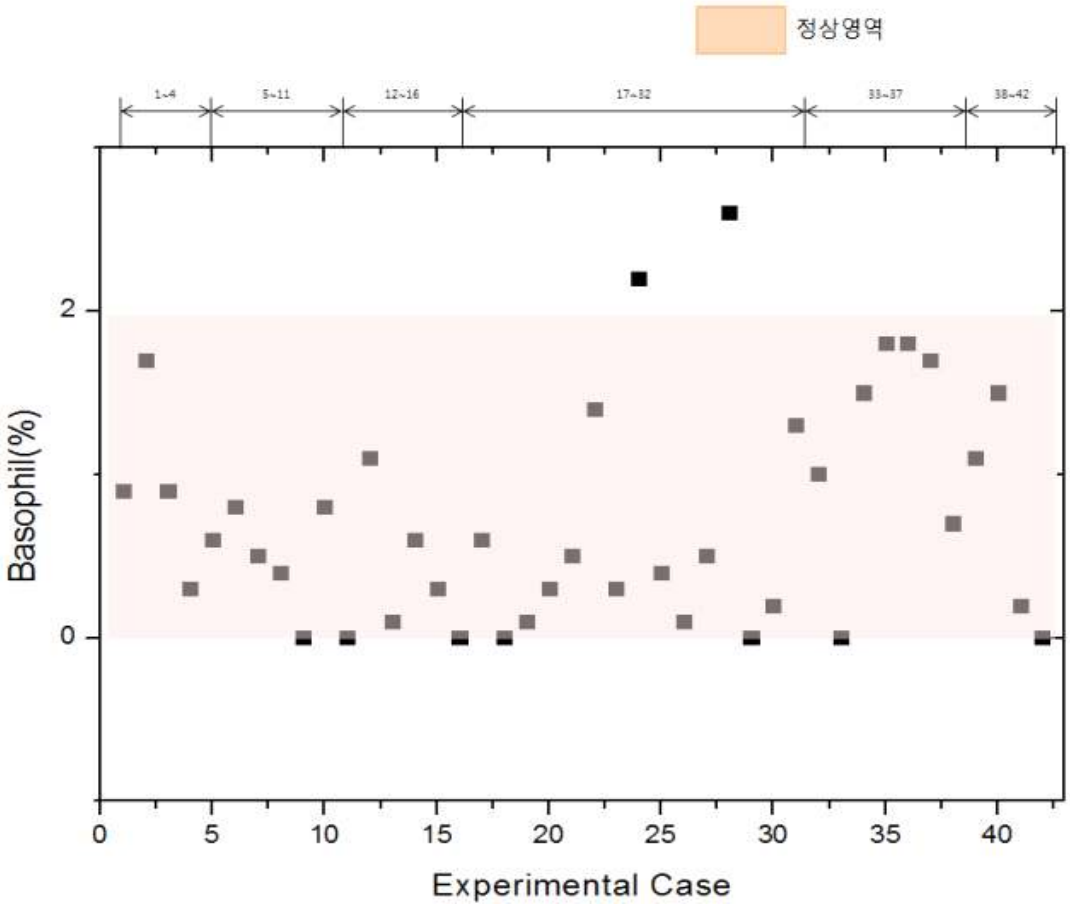


그림 151 Basopihl

(2) 혈액 생화학검사

혈청에는 100여종 이상의 단백질이 함유되어있는데 이 전체의 값이 Total Protein(혈청 총단백량)이다. 혼합가스에 노출된 실험동물의 Total Protein 분석 결과, 일부의 실험동물군에서 정상범주 이하로 분석되었다. 총단백 농도가 기준범위라면 단백의 혈중 농도를 규정하는 인자인 합성, 이화, 체내분포, 체외상실 등에서 큰 이상이 없는 것으로 일단 판단할 수 있으나 기준범위 이하인 실험동물군에서는 저단백혈증의 경우 신장질환, 열상, 화상, 염증성 질환등을 예상할 수 있다.

(가) Total Protein

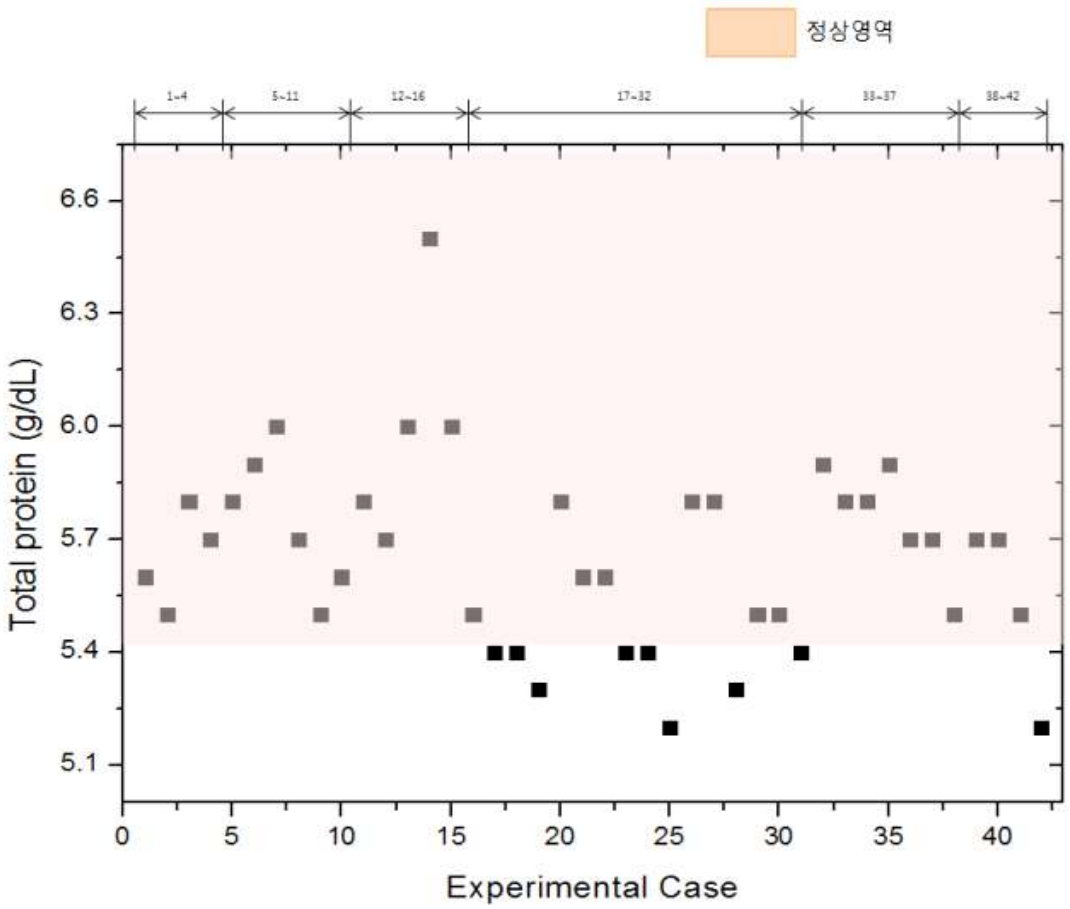


그림 152 Total Protein

(나) Albumin

Albumin은 혈청내에 존재하는 단백질의 60%를 차지하는 성분으로 세포의 영양단백 보급원으로 필요한 것은 세포로 운반하고 불필요한 것은 제거하는 역할을 담당하고 있다. Albumin은 증가하는 경우가 거의 없으나 본 실험결과 대부분의 실험동물군에서 정상범주보다 높은 수치를 보였다.

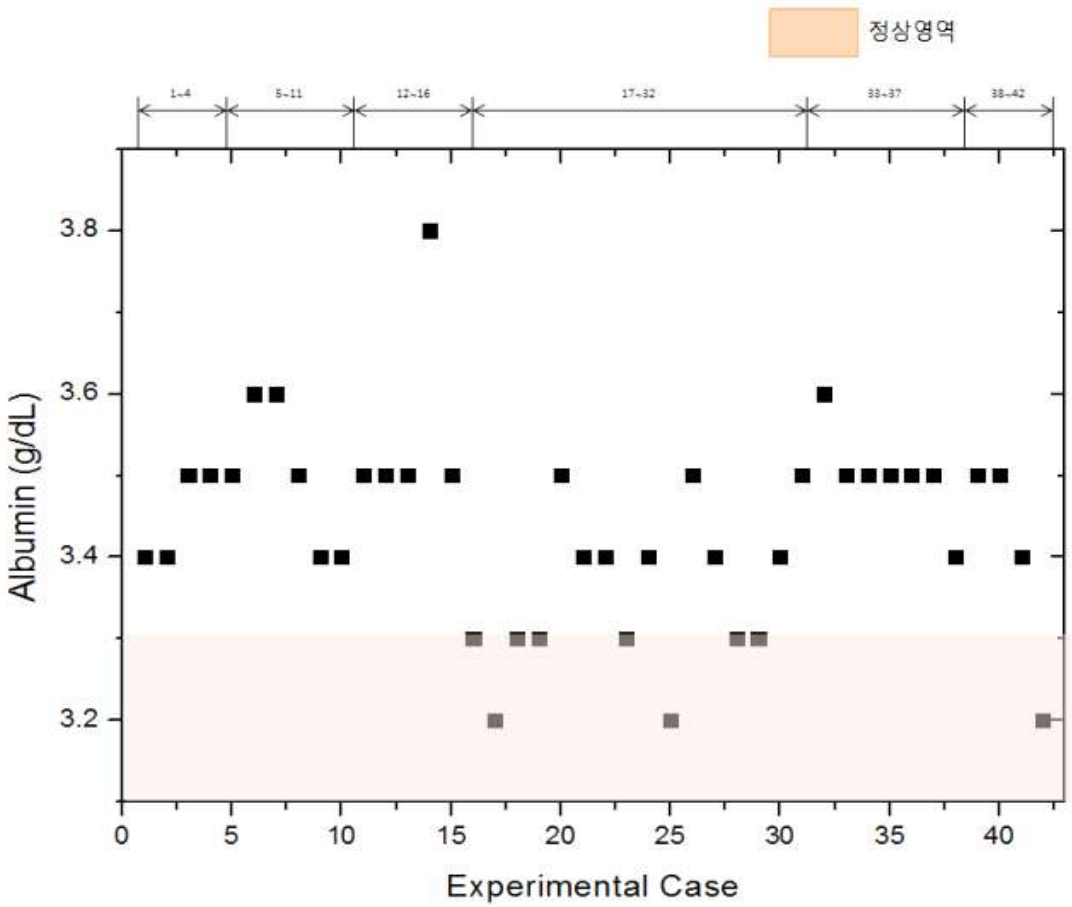


그림 153 Albumin

(다) Bilirubin

Bilirubin은 적혈구중 hemoglobin에서 유래하는 tetrapyrrole화합물이다. 생성된 Bilirubin은 순환 혈액에서 혈청 albumin과 가역적으로 결합하여 간으로 운반된다. 혈중 glucose는 혈액에 당의 공급과 소비로 조절된다. 혈당조절은 주로 여러 가지 내분비 hormone에 의해 수행된다. 임상적으로 glucose가 높은 수치를 보이는 경우는 당뇨병이 의심되지만 갑상선기능항진증, 두부외상, 뇌출혈 등에 의해서도 가능하다.

그러나 혼합가스에 노출된 모든 실험동물군에서 Bilirubin 수치가 정상범주보다 낮은 수치를 보여 insulin의 과잉분비, 뇌하수체 전엽 기능 저하증이 예상된다.

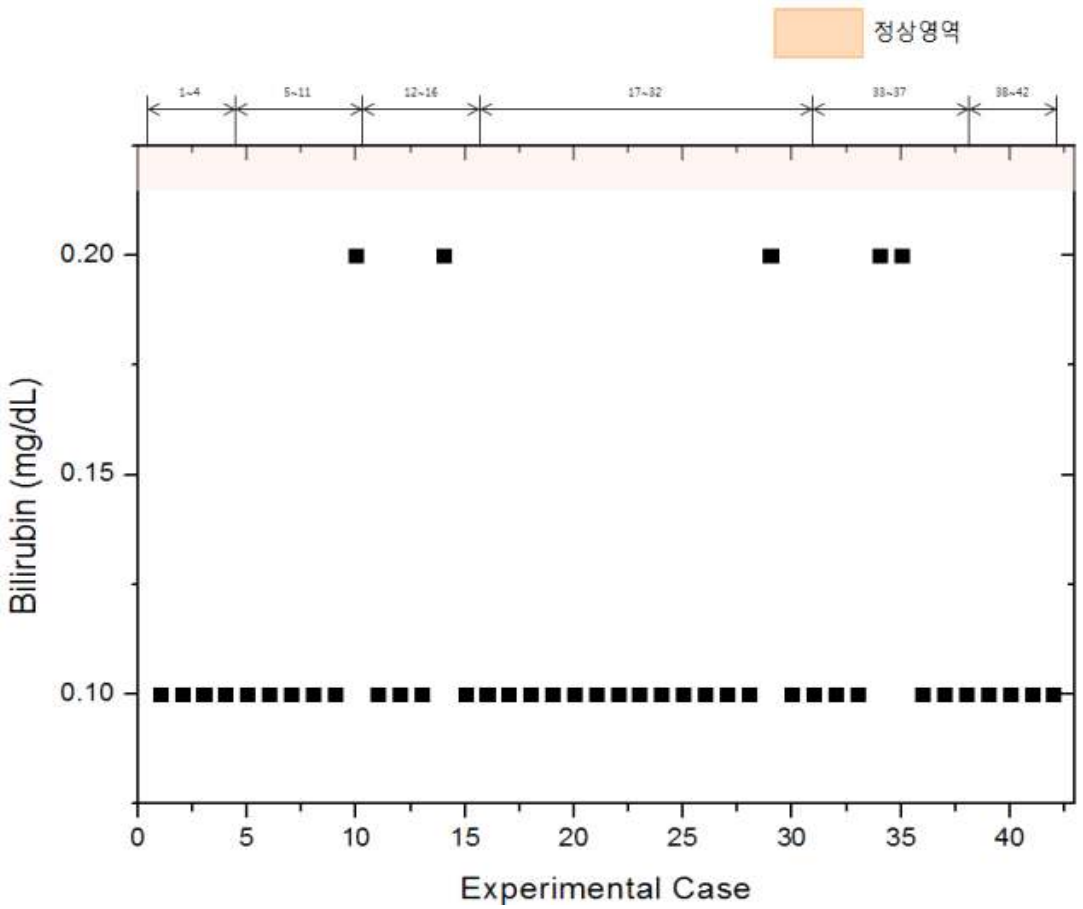


그림 154 Bilirubin

(라) Glucose

혈중 glucose는 혈액에 당의 공급과 소비로 조절되며, 혈당조절은 주로 여러 가지 내분비 hormone에 의해 수행된다. 임상적으로 glucose가 높은 수치를 보이는 경우는 당뇨병이 의심되지만 갑상선기능항진증, 두부외상, 뇌출혈 등에 의해서도 가능하다. 그러나 혼합가스에 노출된 모든 실험군에서는 정상범주보다 낮은 수치가 나타나 insulin의 과잉분비, 뇌하수체 전엽 기능 저하증이 예상된다.

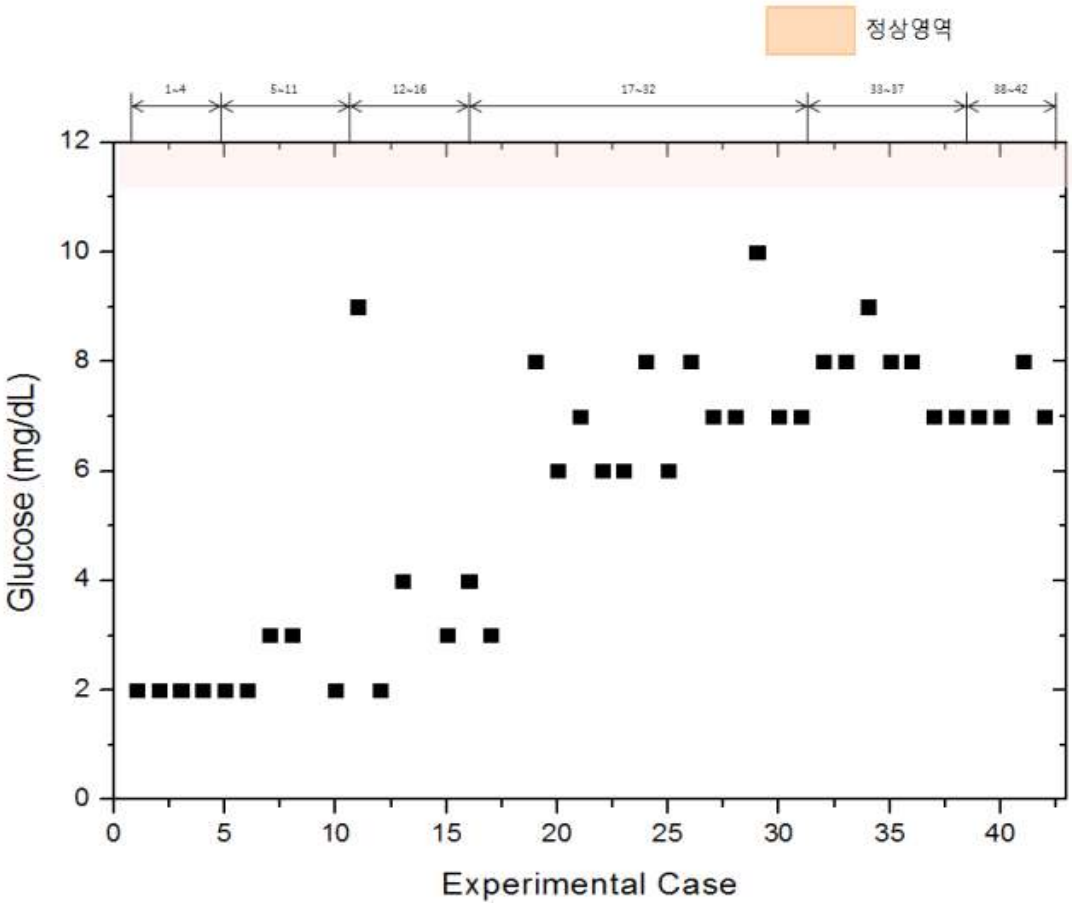


그림 155 Glucose

(마) BUN

BUN은 혈중에 존재하는 urea내 질소이다. 혈중 urea는 거의 모두가 사구체에서 여과되어 배설되지만, 그 일부는 세뇨관 및 유두부에서 수동적으로 재흡수되어 혈류로 유입된다. BUN이 정상보다 낮은 경우와 높은 경우가 있지만 임상적으로는 높은 경우를 확인하기 위하여 BUN을 측정한다. 혼합가스에 노출된 대부분의 실험동물군에서 정상범주보다 높은 수치를 보였으며 이는 탈수증, 중증심부전, 소화관출혈, 화상 등을 예상할 수 있다.

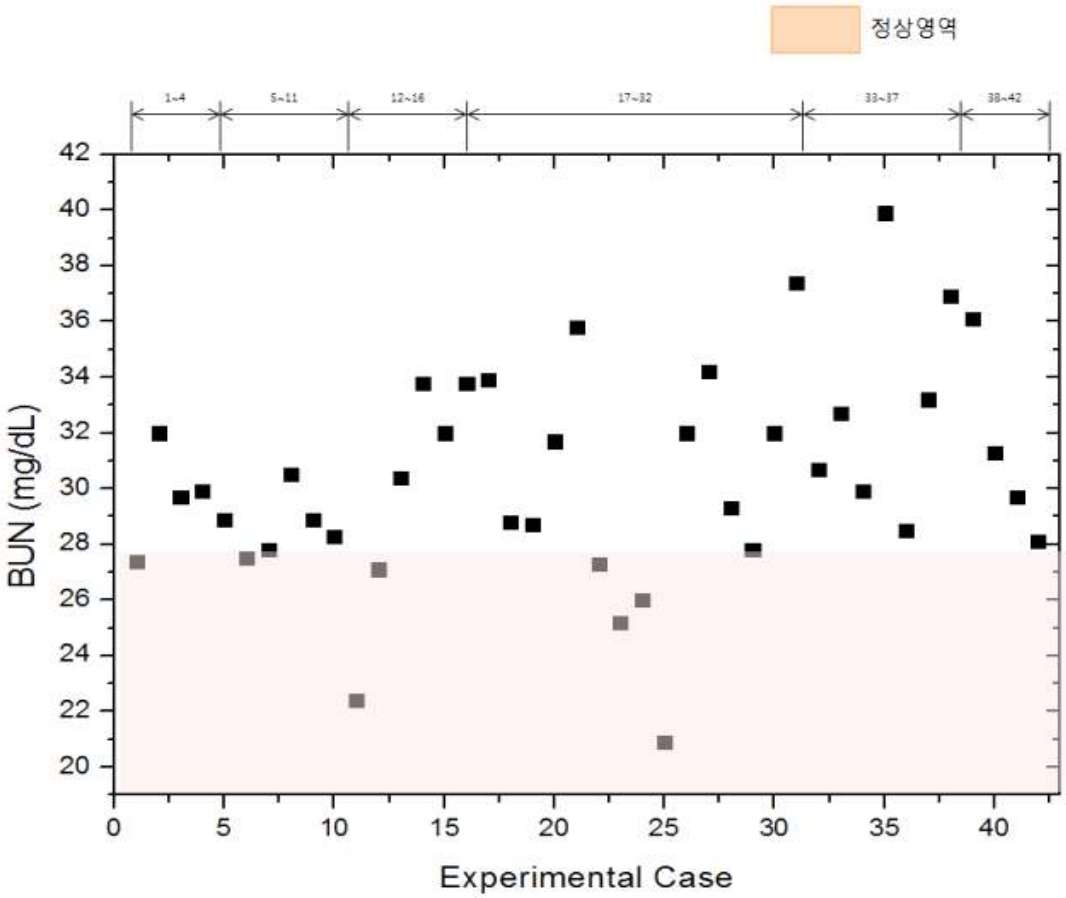


그림 156 BUN

(바) Creatinine

Creatinine은 근육의 수축 energy로써 대사 종말산물이다. 이는 질환 특이성이 없어 신경근 질환의 진단적 의의는 거의 강조되지 않으나, 신장질환과의 상관성이 대단히 커 신장기능의 지표로 중요시되고 있다. 1~18, 25, 28, 41번 혼합가스에서 정상범주보다 낮은 수치의 Creatinine이 분석되었으며 신혈류량 증가, 신사구체 여과치(GFR)의 증가에 의한 것으로 예상된다.

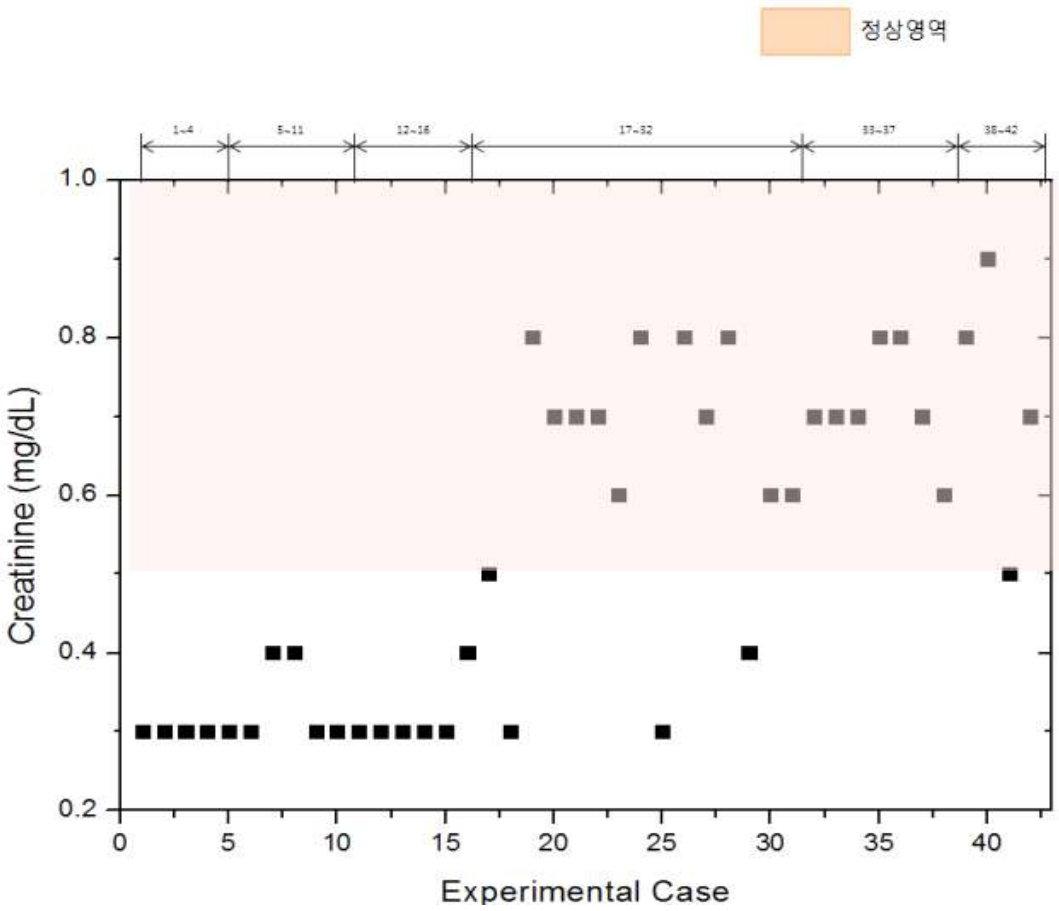


그림 157 Creatinine

(사) AST, ALT

AST, ALT는 효소의 일종으로 조직 내에 축적되어 있다가, 조직에 장애가 생기면 혈중으로 유출되어 혈중 농도를 증가시키는 특징이 있다. 조직이 손상된 경우의 혈중 효소 활성치는 손상 범위, 조직내 효소 함량, 혈중으로의 유출 조건, 효소활성의 안정성, 혈중 효소의 반감기 등에 의하여 결정된다. 따라서 어떤 시점의 혈정 AST, ALT 활성이 장애 크기를 나타내는 것만은 아니다. AST, ALT의 상대농도는 조직에 따라 다를 뿐만 아니라 같은 조직에서도 병적 상태에 따라 효소활성 수준은 변동하는 것이다. 또한 혈중 반감기는 AST가 ALT보다 짧기 때문에 활성치와 AST/ALT비의 시간적인 추이를 추적하여 질병을 찾아낼 수 있으며 그 대상은 간염, 급성 순환부전, 지방간, 심근경색, 간경변, 간암 등이다.

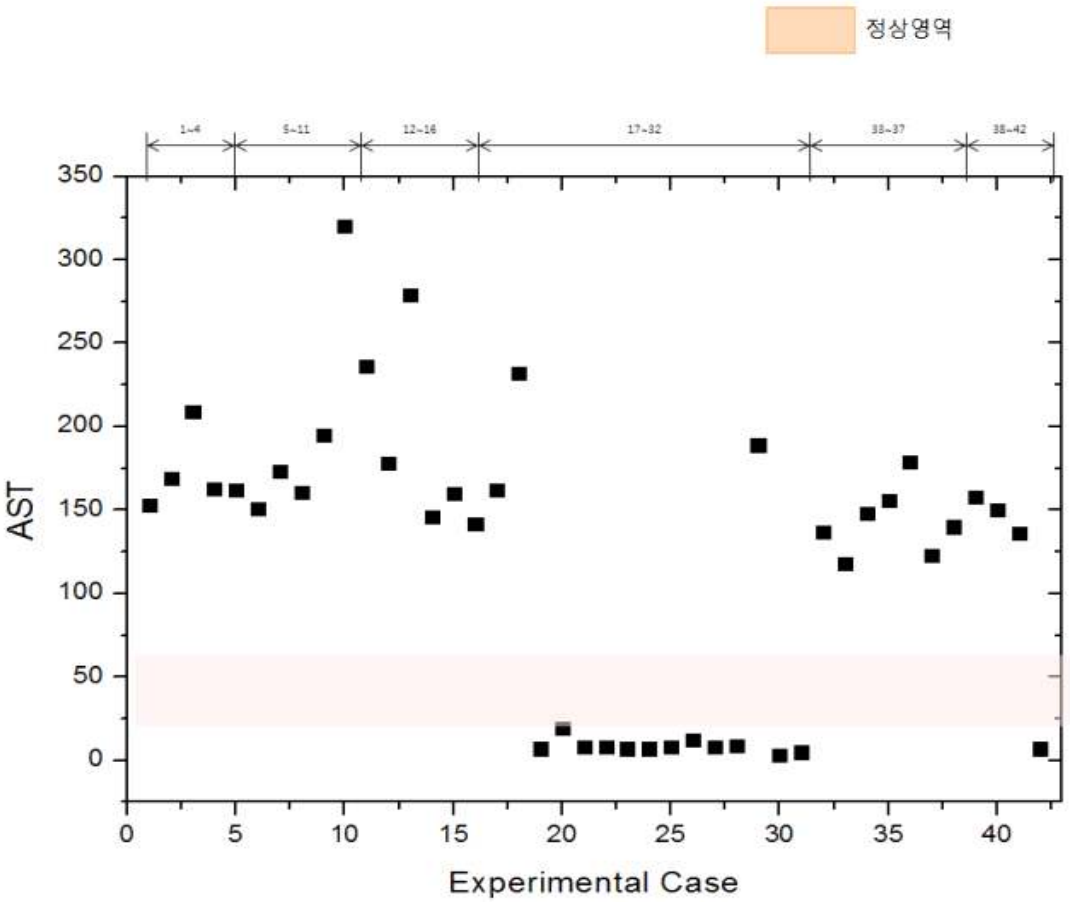


그림 158 AST

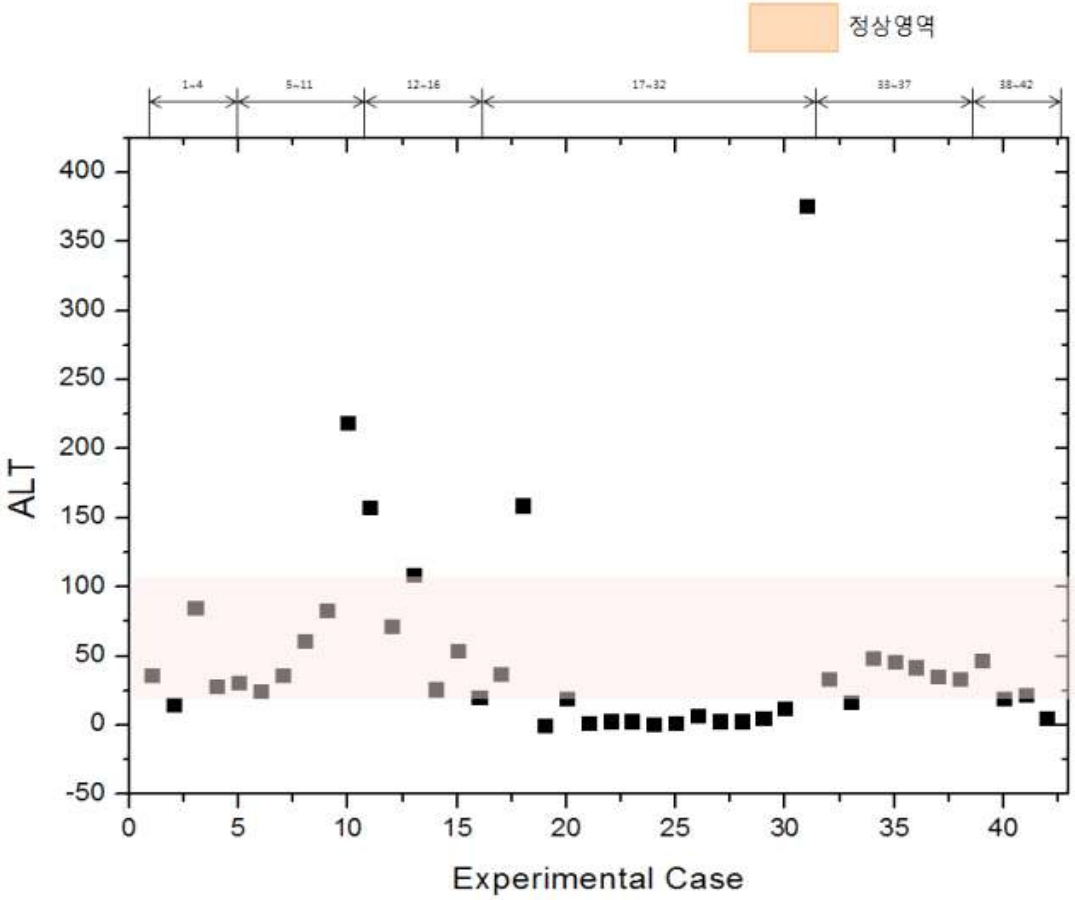

정상영역
1~4
5~11
12~16
17~32
33~37
38~42
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
ALT
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Experimental Case

그림 159 ALT

(아) ALP

ALP는 생체내에 널리 분포하지만 혈중에 출현하는 것은 한정된 장기의 ALP에 의한 것이다. 간담도계 질환, 골질환등에서 증가하나 골파괴에 수반하여 골신생이 없는 경우에는 증가하지 않는 특징을 지닌다. 관련 질병으로는 간염, 간경변, 간압, 골질환, 만성신부전등이나 혼합가스에 노출된 모든 실험동물군에서는 정상범주 이하의 수치가 나타났다.

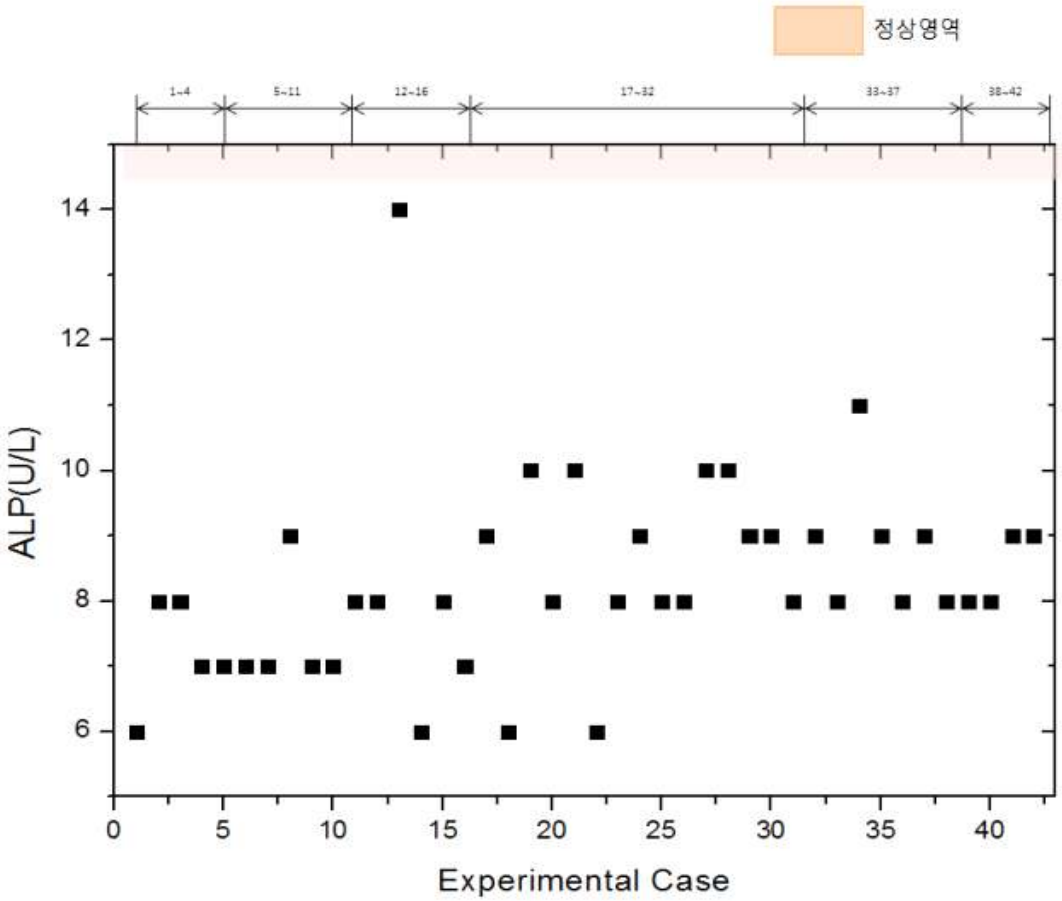


그림 160 ALP

(자) LDH

LDH는 에너지 생산에 중요한 역할을 하는 효소로서 심근, 간, 심장, 신장, 적혈구 내에 많이 분포되어있으며, 낮아질 경우큰 임상학적 의의는 없다. 혼합가스에 노출된 모든 실험동물군에서는 정상범주보다 높은 수치가 나와 심근경색, 심부전, 급/만성간염, 악성빈혈, 악성종양, 임신, 뇌혈관장애, 급성간염, 지방간, 월발성 간암이 예상된다.

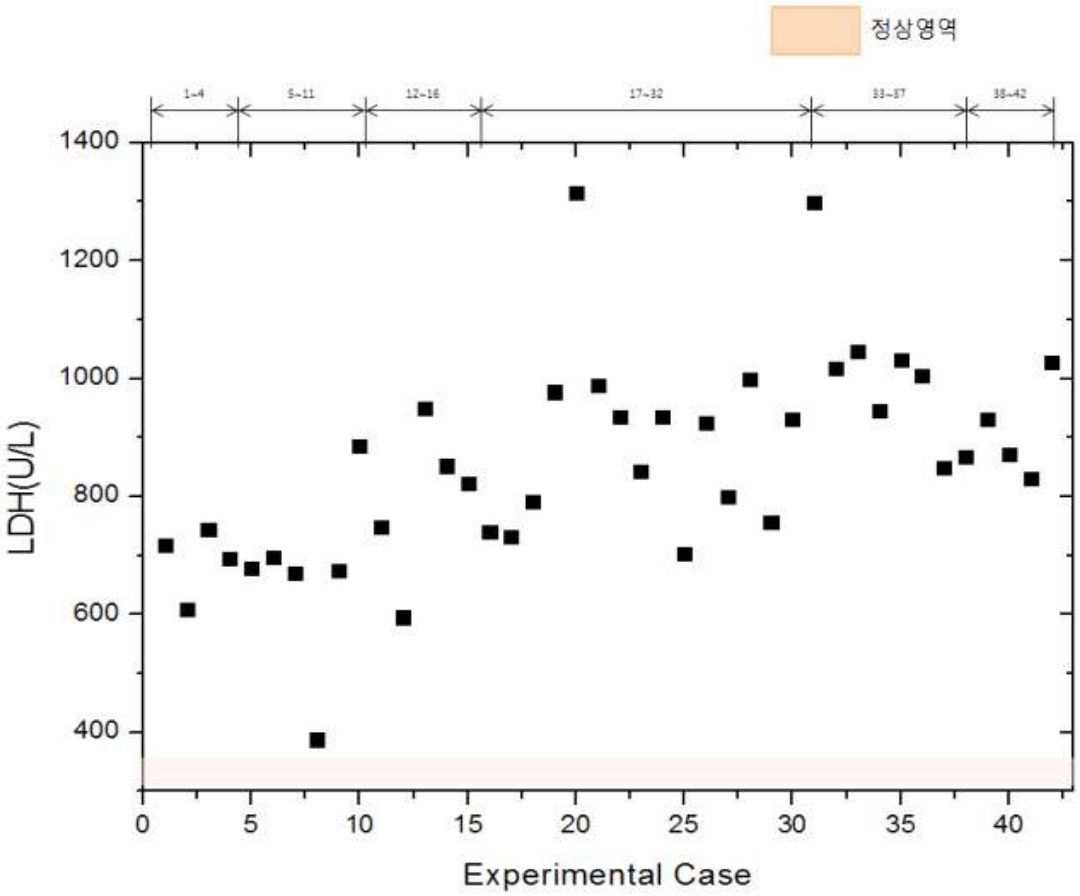


그림 161 LDH

(차) Cholesterol

Cholesterol은 인지질과 함께 세포막을 구성하는 성분으로 대부분은 간에서, 일부는 장관, 부신피질, 피부, 대동맥등에서 acetic acid로부터 합성된다. Cholesterol의 측정을 통하여 간기능, 담도폐색, 장관의 흡수상태와 영양상태, 지질대사와 동맥경화의 위험성 등의 이상을 예측할 수 있으며 혼합가스에 노출된 모든 실험동물군에서는 정상범주보다 높은 수치가 측정되었다.

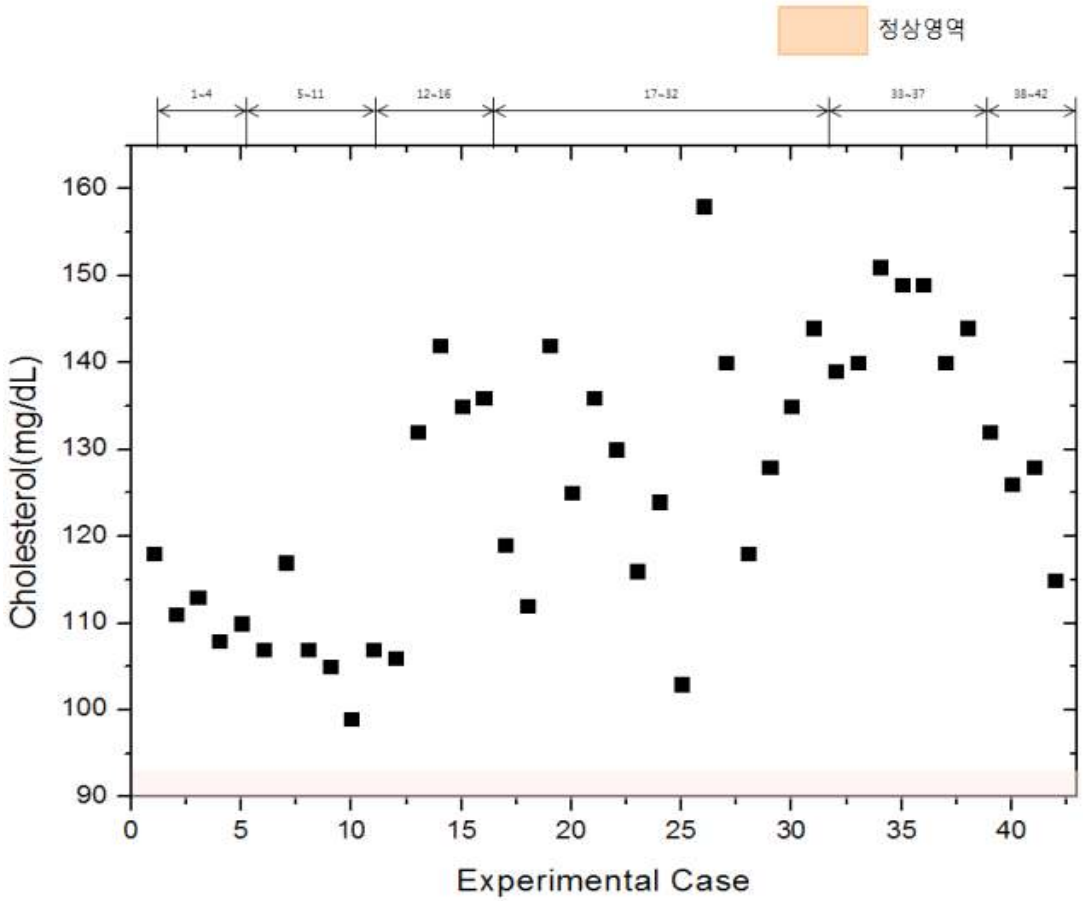


그림 162 Cholesterol

(카) Triglyceride

Triglyceride(중성지방)은 식품을 통하여 유입되는 지방의 95%를 차지하는 물질로 16번 혼합가스에 노출된 실험동물군에서는 정상범주보다 높은 수치를 보여 당뇨병, 신장질환, 취장염, 갑상선 기능저하 등을 예상할 수 있으며, 다른 실험동물군에서는 낮은 수치를 보여 간질환을 예측할 수 있다.

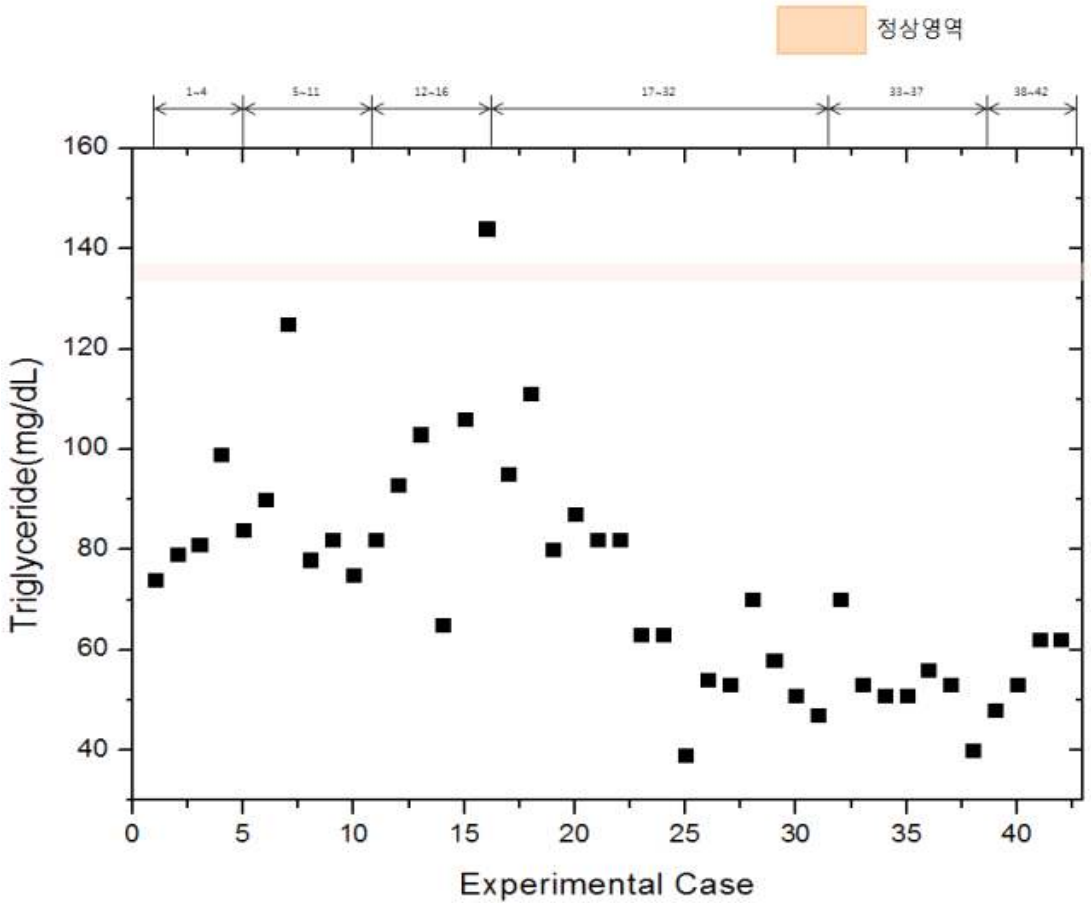


그림 163 Triglyceride

(타) Phosphorus

Phosphorus 분석결과, 혼합가스에 노출된 모든 실험동물군에서 정상범주보다 높은 수치가 측정되었다.

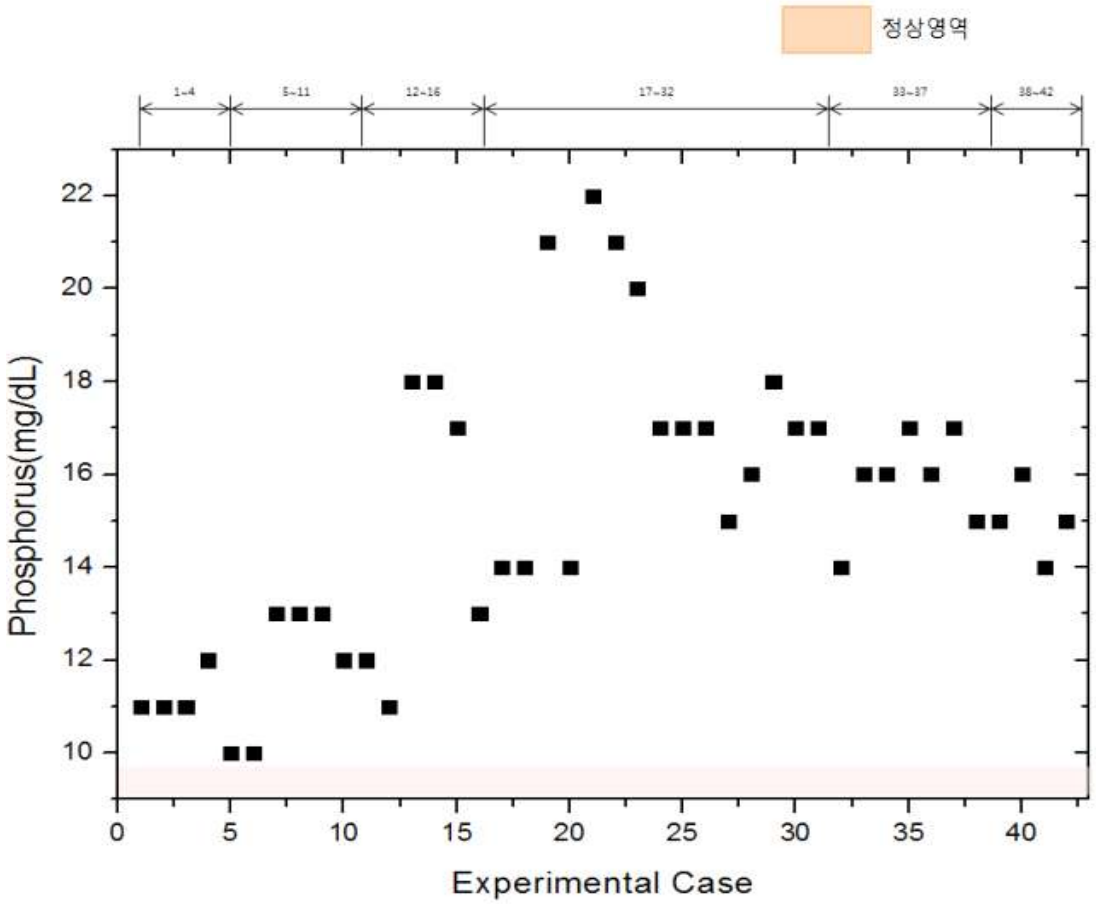


그림 164 Phosphorus

(4) Comet assay의 실험 결과

(가) 결과 그래프 및 해석

그림 165은 CO, CO_2의 혼합가스를 대상으로 실험한 결과로 1군, 2군, 3군의 경우 동일한 CO농도에 CO_2농도를 조절하였다. 분석 결과 모든 수치에서 대조군(컨트롤)에 비하여 높은 수치를 보인다. 또한 Lympho, Liver, Spleen, Thymus, LN에서는 농도에 비례하여 DNA손상이 발생하였다. Lung 또한 2군을 제외하고는 비슷한 경향을 보이고 있다.

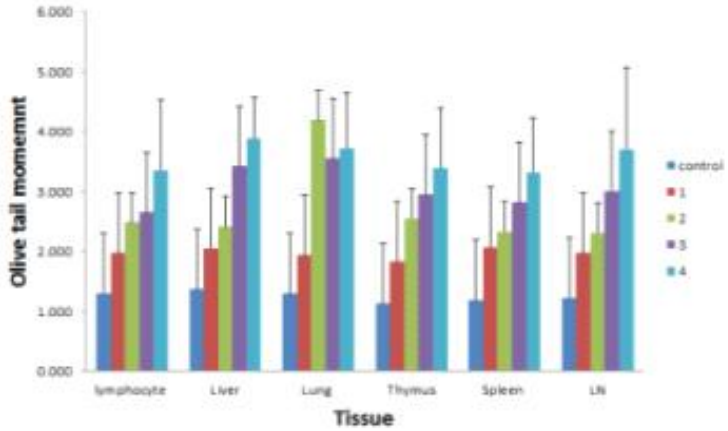


그림 165 1~4 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 166와 167, 168은 CO, CO_2, HCN의 혼합가스를 대상으로 실험한 결과로 7군, 8군, 9군의 경우 동일한 CO, CO_2농도에 HCN농도를 10, 50, 140ppm을 대상으로 실험을 진행하였다. 분석 결과 모든 결과에서 농도에 비례하였다. 또한 Lympho, Liver, Lung의 경우 Spleen, Thymus, LN보다 높은 DNA 손상을 보인다.

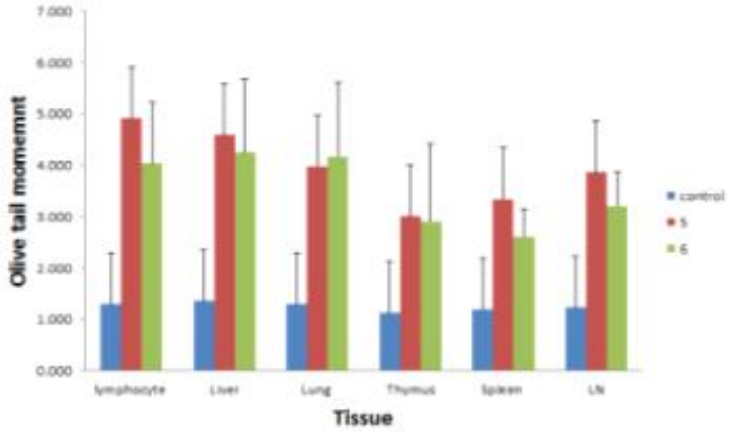


그림 166 5,6 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

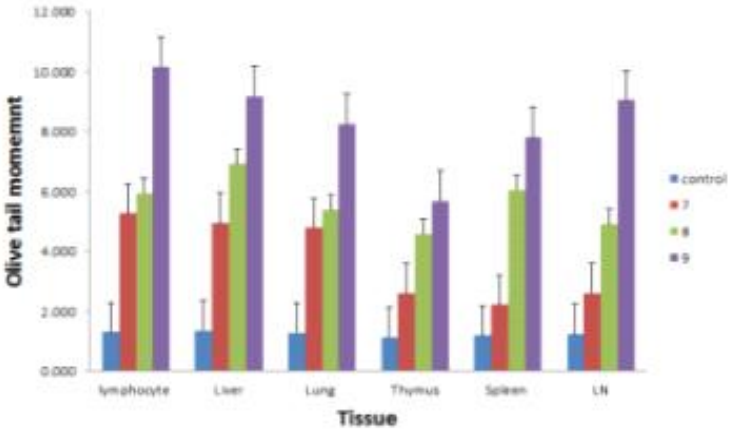


그림 167 7~9 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

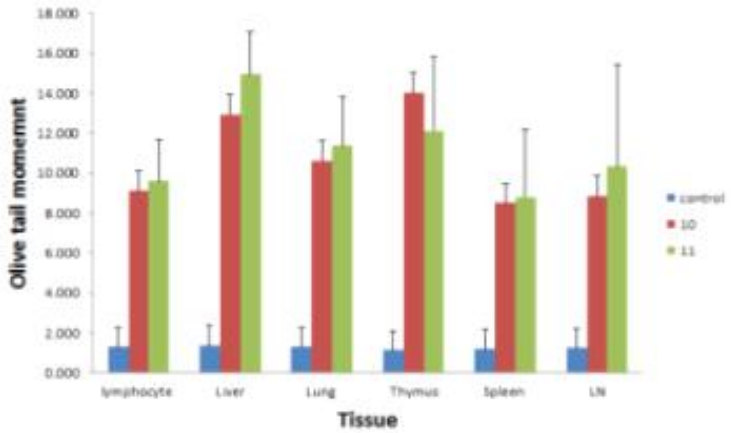


그림 168 10, 11 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 169는 CO, CO_2, HCl의 혼합가스를 대상으로 실험한 결과로 12군, 13군, 14군의 경우 동일한 CO, CO_2농도에 HCl농도를 150, 200, 10ppm을 대상

으로 실험을 진행하였다. 분석 결과 모든 결과에서 컨트롤보다 높은 DNA 손상을 보인다. 또한 Lympho, Liver의 경우 농도에 따른 경향을 보이지 않지만 Lung, Spleen, Thymus, LN의 경우에는 10ppm에서 낮은 경향을 보인다. 150ppm과 200ppm의 경우에는 DNA손상에 차이가 없는 것으로 판단되며 이는 150ppm이상에서는 DNA의 손상이 최대치에 달한 것으로 판단된다.

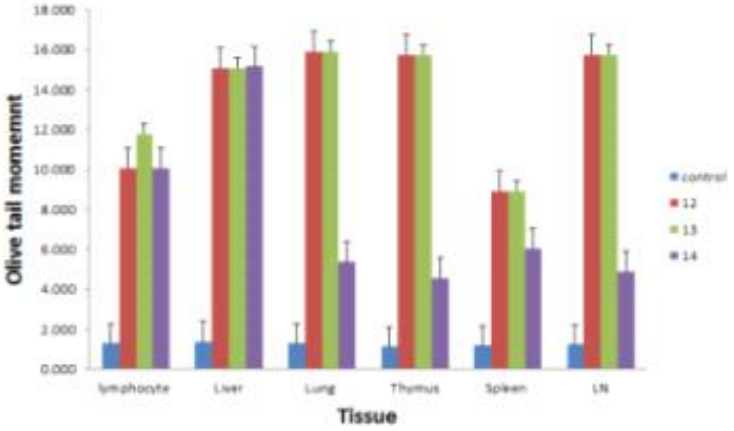


그림 169 12~14 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 170의 경우에는 CO, CO_2, HCN, HCl, SO_2의 혼합가스를 대상으로 실험한 결과로 15군, 16군의 경우 동일한 CO, CO_2, HCN, HCl 농도에 SO_2 200ppm의 추가에 대해 실험을 진행하였다. 분석 결과 모든 결과에서 컨트롤보다 높은 DNA 손상을 보였으나 SO_2 유무에 따른 경향성을 확인할 수 없었다.

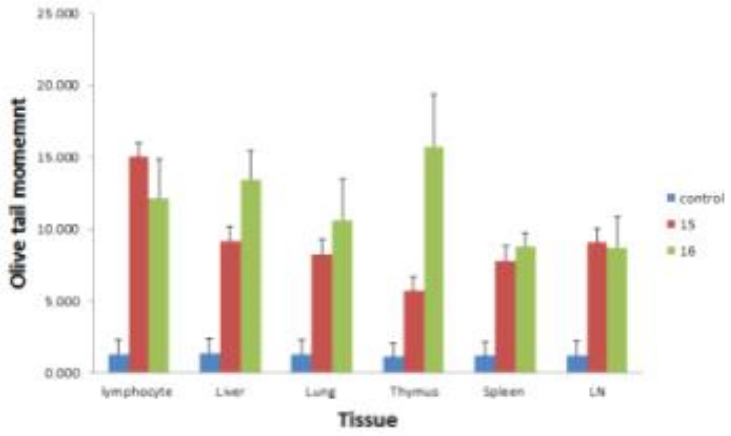


그림 170 15, 16 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 171은 CO, CO_2, HF의 혼합가스를 대상으로 실험한 7군, 8군, 9군의 경우 동일한 CO, CO_2농도에 HF농도를 20, 50, 200ppm을 대상으로 실험을

진행하였다. 분석 결과 Lympho, Liver에서는 비슷한 DNA손상을 보였고, Lung, Spleen, BALF, LN의 농도에 따른 DNA 손상 경향을 보이지만 50ppm과 200ppm의 경우 Thymus를 제외한 결과에서 농도에 대한 경향성을 보이지 않아 손상치가 최대에 달한 것으로 보인다.

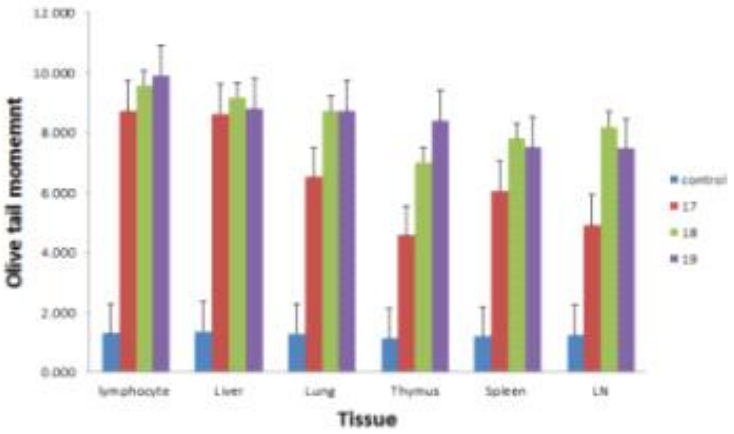


그림 171 17~19 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 172의 23 실험군의 경우, 21, 22보다 높은 HF농도로 혼합되어 간에 높은 손상 수치를 보이며 대부분의 장기에 더 높은 손상수치를 보임을 알 수 있다. 그러나 Spleen에서는 오히려 22 실험군이 더 높은 손상수치를 보였다. 이는 Spleen에 손상을 입히는 측정농도의 존재 또는 측정상의 오차인 것으로 판단되며, 실제로 오차범위 내에 위치하고 있기 때문에 이를 판단하기위해서는 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다.

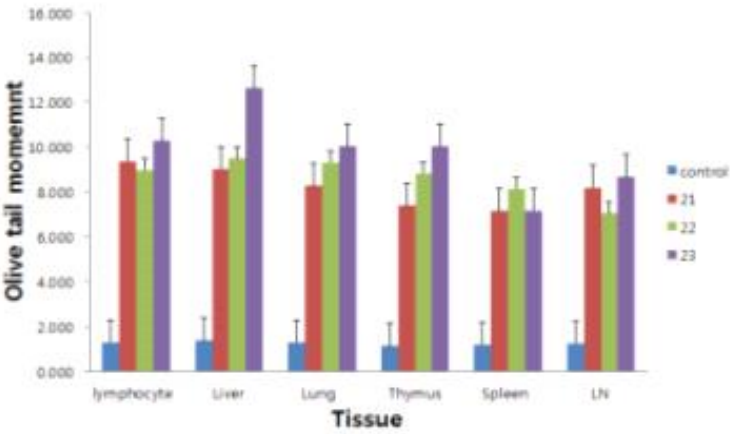


그림 172 21~23 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 173의 24 실험군은 200ppm의 SO_2가 혼합된 가스로 LN에 가장 높은

손상을 보였으며, Liver, Lung, Thymus에도 유사한 피해를 입힘을 확인하였다. 이는 다른 SO_2의 실험결과와도 유사한 경향을 보이며, Control군의 4~13배까지 높은 수치를 보였다.

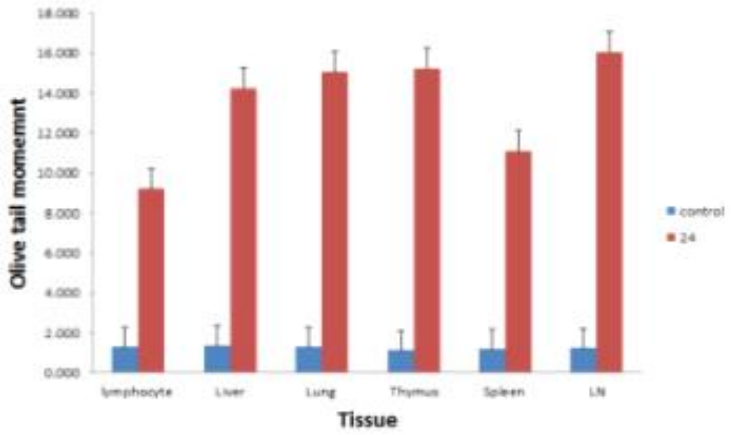


그림 173 24 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 174의 25~27의 시험군은 동일한 조건에서 HF의 농도가 각각 20, 50, 200ppm으로 혼합된 가스이다. Comet Assay 분석 결과, 26 실험군은 27 실험군보다 낮은 농도의 HF 농도임에도 불구하고 Thymus, Spleen, LN에서 더 높은 손상수치를 보였다. 이는 오차범위를 포함하여 분석한 경우에도 26 실험군에서 더 높은 수치를 보이기 때문에 오차가 아닌 실제 결과로 분석되며 이를 규명하게위해서는 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다.

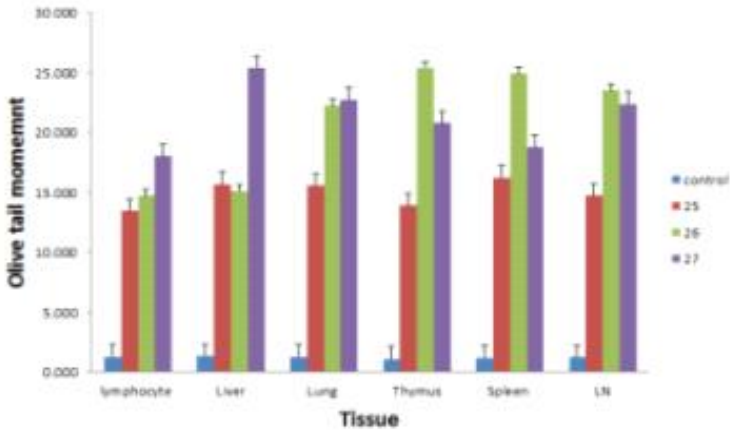


그림 174 25~27 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 175의 28 실험군은 120ppm의 SO_2가 혼합된 가스로 Thymus에서 가장 높은 손상수치를 보였으며 Lymphocyte, Liver, Lung의 순으로 높은 피해를

입혔다. 고농도의 SO_2가 혼합된 28 실험군은 앞서 분석된 24 실험군과는 다른 양상을 보이는데, LN에서 가장 높은 손상수치를 보인 24실험군과는 달리 Thymus에서 가장 높은 손상을 보였다.

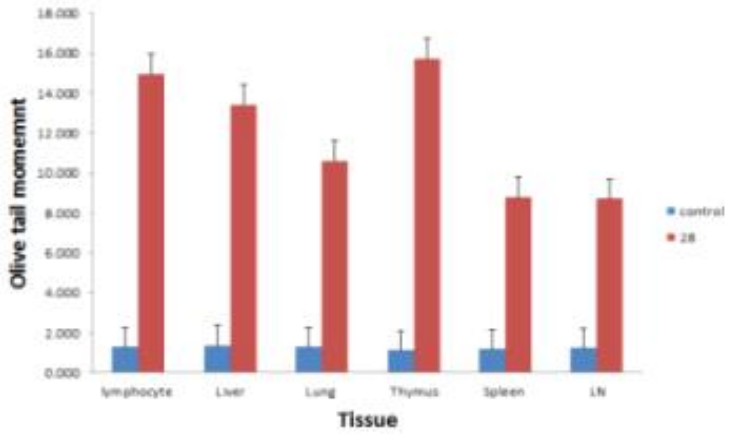


그림 175 28 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 176의 33~36의 실험군은 동일한 농도 조건에 HBr의 농도가 10, 50, 100, 200 ppm으로 점차 상승 혼합된 가스로 HBr이 가장 높은 36번 실험군은 Lung에 가장 높은 손상을 보였으며 Lymphocyte, Liver 순으로 높은 피해를 입혔다. LN에서는 HBr이 100 ppm인 35번 실험군이 36번 실험군보다 높은 손상수치를 보였다.

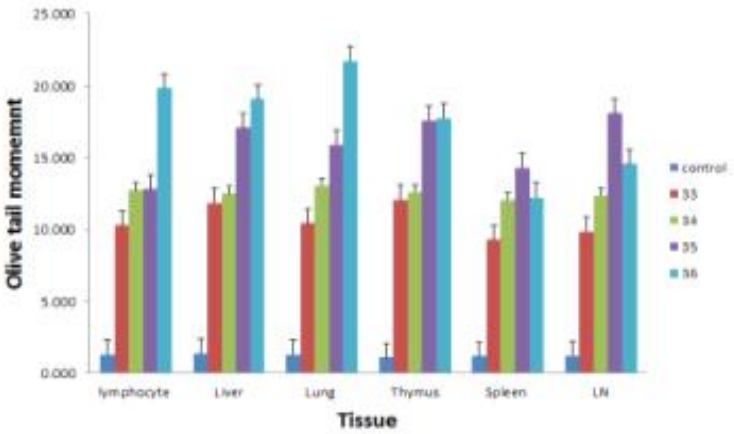


그림 176 33~36 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 177의 37 실험군은 36 실험군보다 높은 HBr 농도를 포함한 혼합가스였으나 모든 장기에서의 손상정도는 33 실험군보다 낮은 것으로 나타났다. 또한 NO2가 100 ppm 혼합된 40 실험군에서는 LN에서 특히 높은 수치의 손상이 확인되었다.

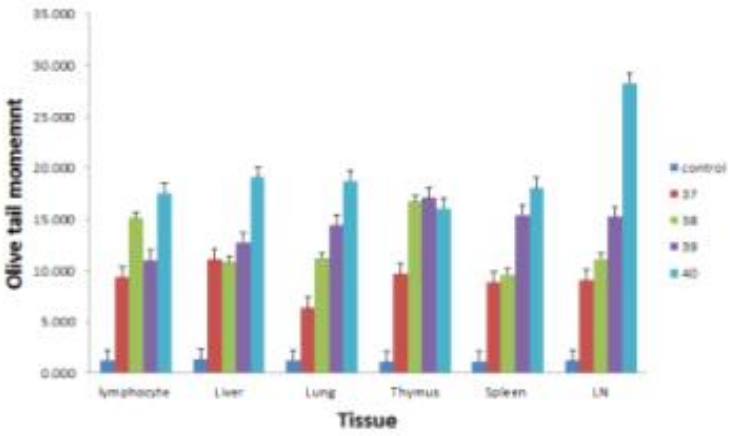


그림 177 37~40 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

그림 178의 41, 42 실험군은 NO_2가 각각 200, 350 ppm포함된 혼합가스로 41 실험군은 Lung에서 가장 높은 손상정도를 보였으며 42 실험군은 Lymphocyte에서 가장 높은 손상정도를 보였다. Lung에서의 결과가 오차에 의한 것으로 분석한다면 42번 실험군의 오차범위가 높게 설정되어있기 때문에 분석오차에 의한 것으로 판단할 수 있다.

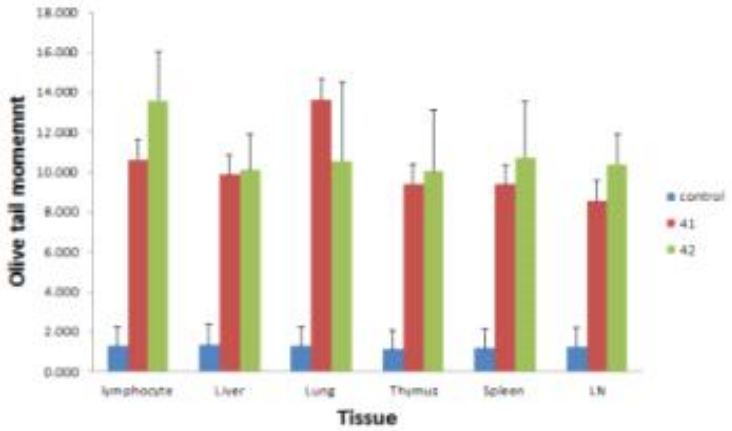


그림 178 41,42 실험군의 Comet Assay 분석 그래프

(나) 결과 데이터 정리

표 70 비노출 실험군의 Comet Assay 결과

조직명	대조군	
	mean	SD
lymphocyte	1.301	0.138
Liver	1.366	0.101
Lung	1.294	0.074
Thymus	1.126	0.094
Spleen	1.188	0.089
LN	1.235	0.148

표 71 1~4 실험군의 Comet Assay 결과

	1		2		3		4	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	1.975	0.349	2.484	1.366	2.653	0.378	3.364	1.168
Liver	2.061	0.661	2.419	1.111	3.421	0.621	3.895	0.678
Lung	1.935	0.425	4.193	1.169	3.553	0.883	3.730	0.921
Thymus	1.832	0.610	2.548	0.417	2.943	0.442	3.399	0.995
Spleen	2.075	0.639	2.332	0.595	2.822	0.529	3.321	0.896
LN	1.970	0.551	2.313	1.370	3.009	0.728	3.707	1.356

표 72 5~8 실험군의 Comet Assay 결과

	5		6		7		8	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	4.912	1.041	4.037	1.203	5.260	1.164	5.946	2.183
Liver	4.592	0.368	4.255	1.426	4.947	1.196	6.928	1.378
Lung	3.981	0.149	4.179	1.441	4.786	2.239	5.380	0.692
Thymus	3.005	0.555	2.918	1.506	2.599	0.384	4.571	1.667
Spleen	3.346	1.271	2.618	0.537	2.221	0.105	6.058	2.479
LN	3.863	0.292	3.215	0.660	2.616	0.524	4.904	1.881

표 73 9~12 실험군의 Comet Assay 결과

	9		10		11		12	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	10.167	2.987	9.111	0.927	9.608	2.079	10.072	2.137
Liver	9.173	1.978	12.941	3.083	14.946	2.109	15.091	3.484
Lung	8.257	1.886	10.616	2.896	11.368	2.460	15.902	1.966
Thymus	5.689	0.997	14.022	4.774	12.127	3.669	15.758	4.052
Spleen	7.803	1.944	8.499	1.381	8.824	3.341	8.911	3.054
LN	9.048	2.042	8.850	2.415	10.333	5.096	15.737	3.775

표 74 13~16 실험군의 Comet Assay 결과

	13		14		15		16	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	11.789	2.827	10.083	2.617	15.021	2.959	12.157	2.724
Liver	15.091	3.484	15.167	2.078	9.173	1.978	13.445	1.989
Lung	15.902	1.966	5.380	0.692	8.257	1.886	10.616	2.896
Thymus	15.758	4.052	4.571	1.667	5.689	0.997	15.757	3.629
Spleen	8.911	3.054	6.058	2.479	7.803	1.944	8.792	0.972
LN	15.737	3.775	4.904	1.881	9.048	2.042	8.732	2.174

표 75 17~19 실험군의 Comet Assay 결과

	17		18		19	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	8.721	3.581	9.580	2.747	9.911	2.652
Liver	8.617	2.102	9.173	1.978	8.796	1.161
Lung	6.516	1.551	8.721	0.920	8.721	1.441
Thymus	4.571	1.667	7.008	1.407	8.389	3.631
Spleen	6.058	2.479	7.803	1.944	7.510	2.557
LN	4.904	1.881	8.193	1.942	7.467	2.316

표 76 21~24 실험군의 Comet Assay 결과

	21		22		23		24	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	9.357	2.652	8.986	0.467	10.272	4.096	9.221	2.892
Liver	9.018	2.184	9.497	3.398	12.627	2.673	14.255	3.742
Lung	8.257	1.886	9.324	0.645	10.031	3.275	15.072	3.056
Thymus	7.389	1.781	8.829	1.648	10.020	2.623	15.259	4.319
Spleen	7.145	1.902	8.153	1.729	7.157	1.478	11.107	1.376
LN	8.183	1.038	7.051	2.043	8.649	3.883	16.070	3.117

표 77 25~28 실험군의 Comet Assay 결과

	25		26		27		28	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	13.453	4.986	14.749	4.545	18.038	4.581	14.965	4.262
Liver	15.703	6.024	15.167	2.078	25.401	2.317	13.445	1.989
Lung	15.535	4.412	22.235	3.633	22.750	3.020	10.616	2.896
Thymus	13.907	3.558	25.428	2.474	20.807	4.044	15.757	3.629
Spleen	16.252	8.788	24.909	10.470	18.763	2.547	8.792	0.972
LN	14.731	3.676	23.538	4.538	22.413	7.549	8.732	2.174

표 78 33~36 실험군의 Comet Assay 결과

	33		34		35		36	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	10.292	3.544	12.727	4.862	12.809	2.862	19.831	4.927
Liver	11.866	2.755	12.504	2.348	17.094	3.586	19.072	4.706
Lung	10.434	2.469	13.093	3.691	15.902	1.966	21.735	5.891
Thymus	12.066	3.008	12.630	3.207	17.591	4.083	17.758	4.325
Spleen	9.300	1.916	12.067	3.187	14.302	2.768	12.238	2.531
LN	9.853	3.576	12.385	3.024	18.069	3.240	14.560	2.598

표 79 37~40 실험군의 Comet Assay 결과

	37		38		39		40	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	9.431	2.275	15.176	2.669	10.986	2.562	17.568	2.753
Liver	11.079	6.021	10.896	3.084	12.749	1.372	19.103	2.137
Lung	6.380	1.640	11.248	3.165	14.432	5.311	18.722	3.964
Thymus	9.709	3.498	16.742	4.551	17.090	3.069	16.050	3.378
Spleen	8.830	2.435	9.655	2.384	15.416	6.142	18.063	2.828
LN	9.078	2.312	11.153	1.693	15.245	3.284	28.252	2.900

표 80 41~42 실험군의 Comet Assay 결과

	41		42	
	mean	SD	mean	SD
lymphocyte	10.637	2.857	13.603	2.444
Liver	9.878	1.291	10.091	1.819
Lung	13.642	5.640	10.570	3.933
Thymus	9.424	1.703	10.058	3.069
Spleen	9.391	1.642	10.750	2.824
LN	8.585	2.176	10.404	1.479

(5) Malondyaldehyde(MDA) 결과

(가) 결과 그래프 및 해석

혼합가스에 노출된 실험동물의 MDA 분석결과를 조직별로 분석한 결과는 아래 그림과 같다.

① Lung

MDA_Lung의 분석결과 높은 수치를 보이는 것을 보이고 있다.특히 컨트롤과 비교하여 5배정도의 차이를 보이고 있다. 하지만 농도에 따른 경향성이 보이지 않고 있어 이는 일정 이상의 농도에서의 파괴가 되는 것으로 판단되어진다.

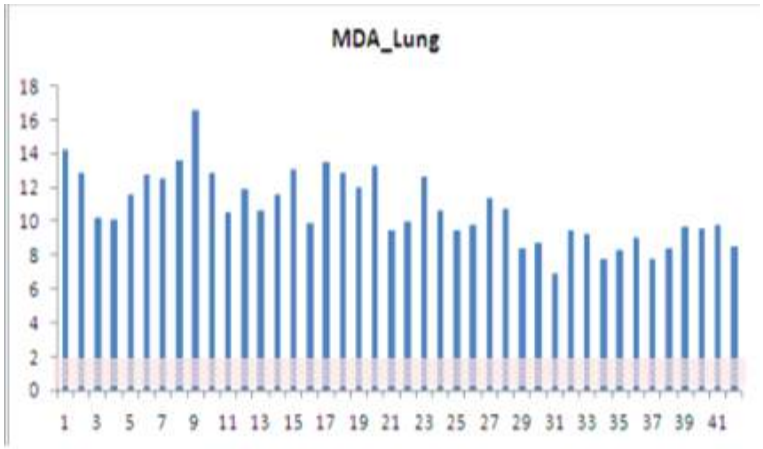


그림 179 MDA Lung

② Liver

MDA_Liver의 분석결과 다른 장기보다 수치를 보이는 것을 보이고 있다. 특히 10번대 군의 경우 컨트롤 대비 10배 이상의 차이를 보이고 있다. 하지만 Liver 역시 농도에 따른 경향성이 보이지 않고 있다. 특히 20번 이상의 실험군과 10번대 의 실험군과의 차이가 많이 발생하는데 이는 가스에 따라 Liver에 미치는 영향이 다른 것으로 판단되어진다.

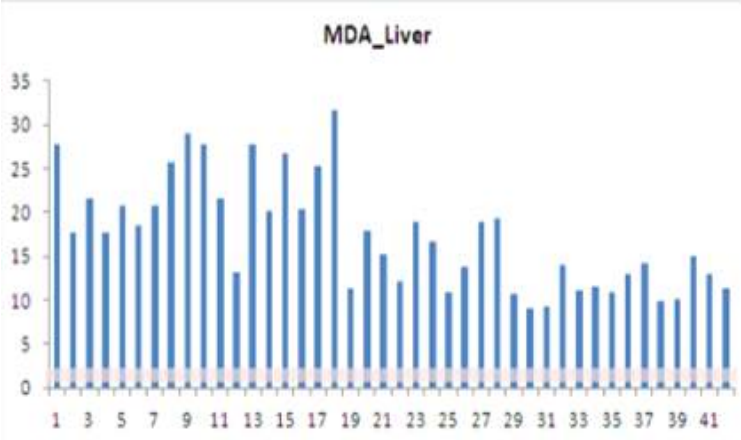


그림 180 MDA Liver

③ Spleen

MDA_Spleen의 분석결과 다른 장기보다 경향을 보이는데 뒤의 실험군으로 갈수록 높아지는 경향을 보이는데 이는 Lung과 Liver의 경우와 대비되는 경향을 보이는데 이는 가스에 따라 장기에 미치는 영향이 다른 것으로 판단되어진다.

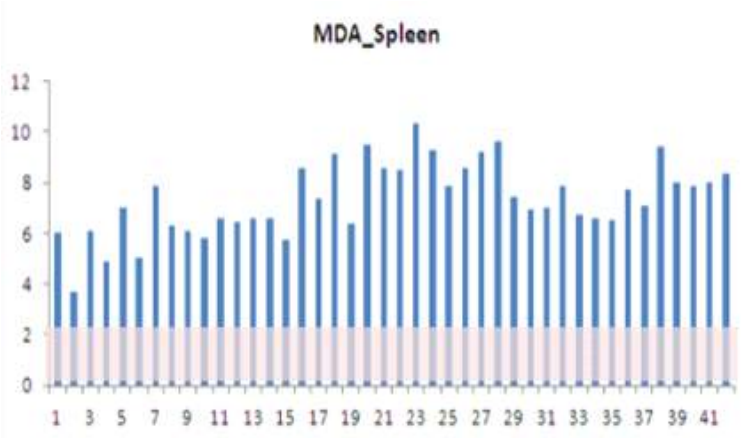


그림 181 MDA Spleen

④ Thymus

MDA_Thymus의 분석결과 Spleen과 같은 경향을 보이고 있고 Spleen에서보다 더욱 큰 차이를 보이고 있다. 특히 19번군을 기준으로 앞에서의 군과 뒤에서의 군의 차이가 많이 발생하는 경향을 보이고 있다.

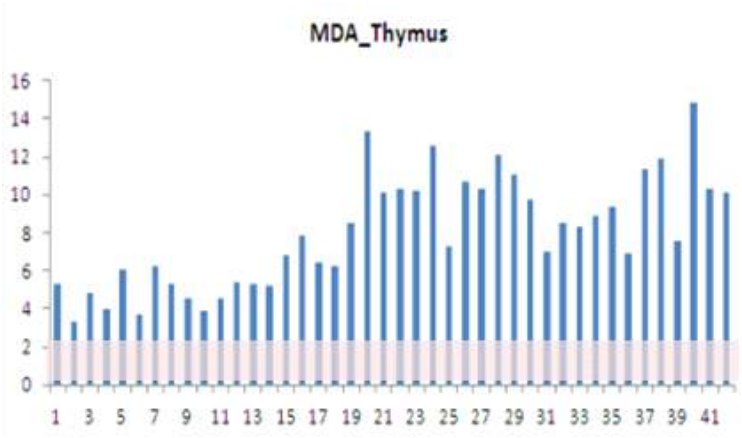


그림 182 MDA Thymus

⑤ LN

MDA_LN의 분석결과 모든 군에서 비슷한 경향을 보이고 있다. 손상정도는 콘트롤과 비교하여 약 8~9배의 경향을 보이고 있다.

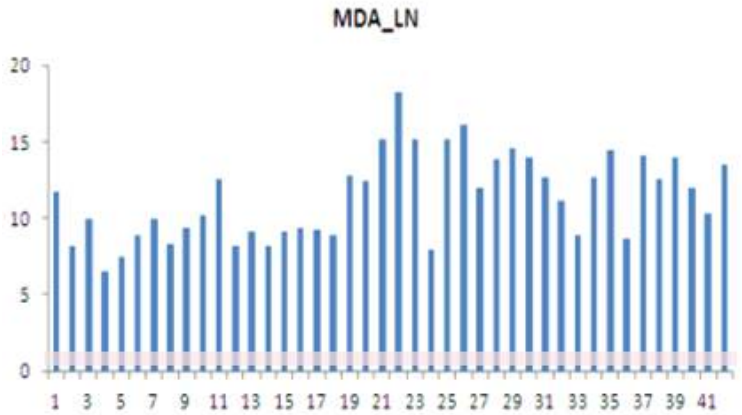


그림 183 MDA LN

⑥ Plasma

MDA_Plasma의 분석결과 동일 25번, 29번 41번군을 제외하고는 비슷한 수치를 보이고 있고 컨트롤과 비교하여도 손상이 나타나지 않는 것으로 보인다.

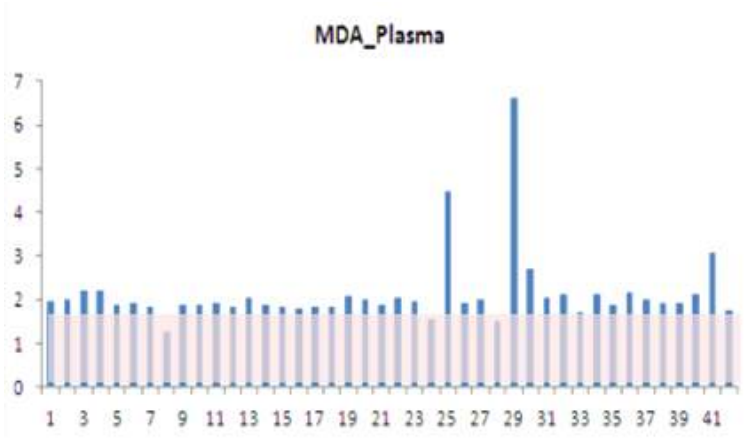


그림 184 MDA Plasma

(나) 조직별 MDA spot

전체적인 양상을 보기위하여 아래의 그래프와 같이 작성하였다. 분석 결과, Liver에서 가장 높은 손상을 보였으며 장기별로 다른 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 하지만 전체적인 결과 가스들에 의한 손상은 확인하였으나 각 가스별 영향을 파악할 수 없었으며 이는 혼합가스의 경우 단일 가스들의 상승효과가 있는 것으로 판단되어진다. 특히 그림 186의 Plasma의 경우 각 가스의 영향을 확인하는데 실패하였다.

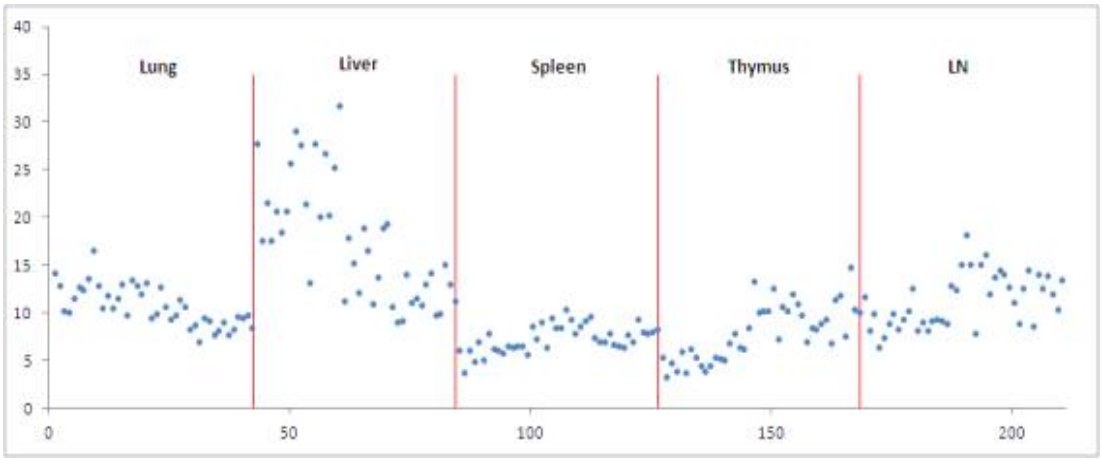


그림 185 조직별 MDA Spot

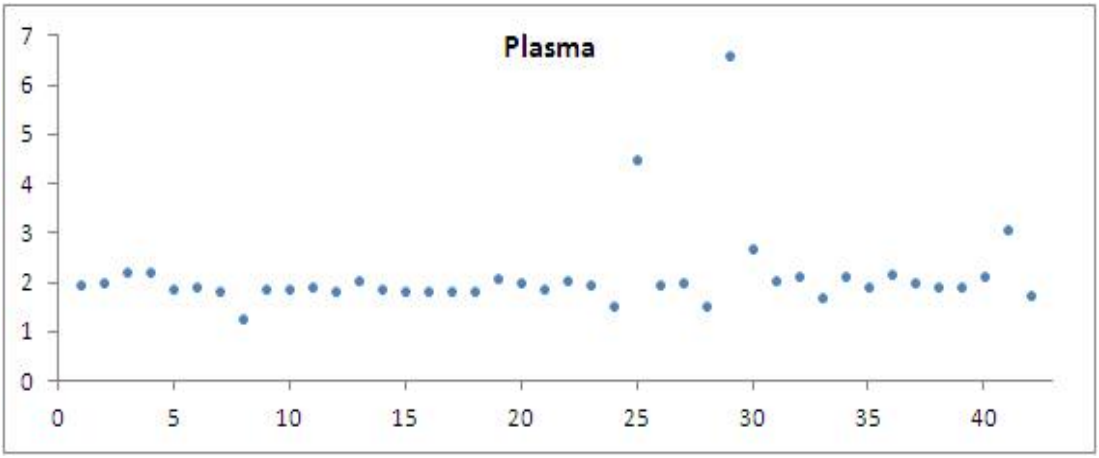


그림 186 Plasma MDA Spot

(다) 군별 MDA 그래프

각 실험동물군별 조직 MDA 분석결과는 다음과 같다. 군별로 차이는 있으나 공통적으로 Liver에서 가장 높은 수치가 측정되었으며 Lung와 LN도 MDA 수치의 상승을 보였다.

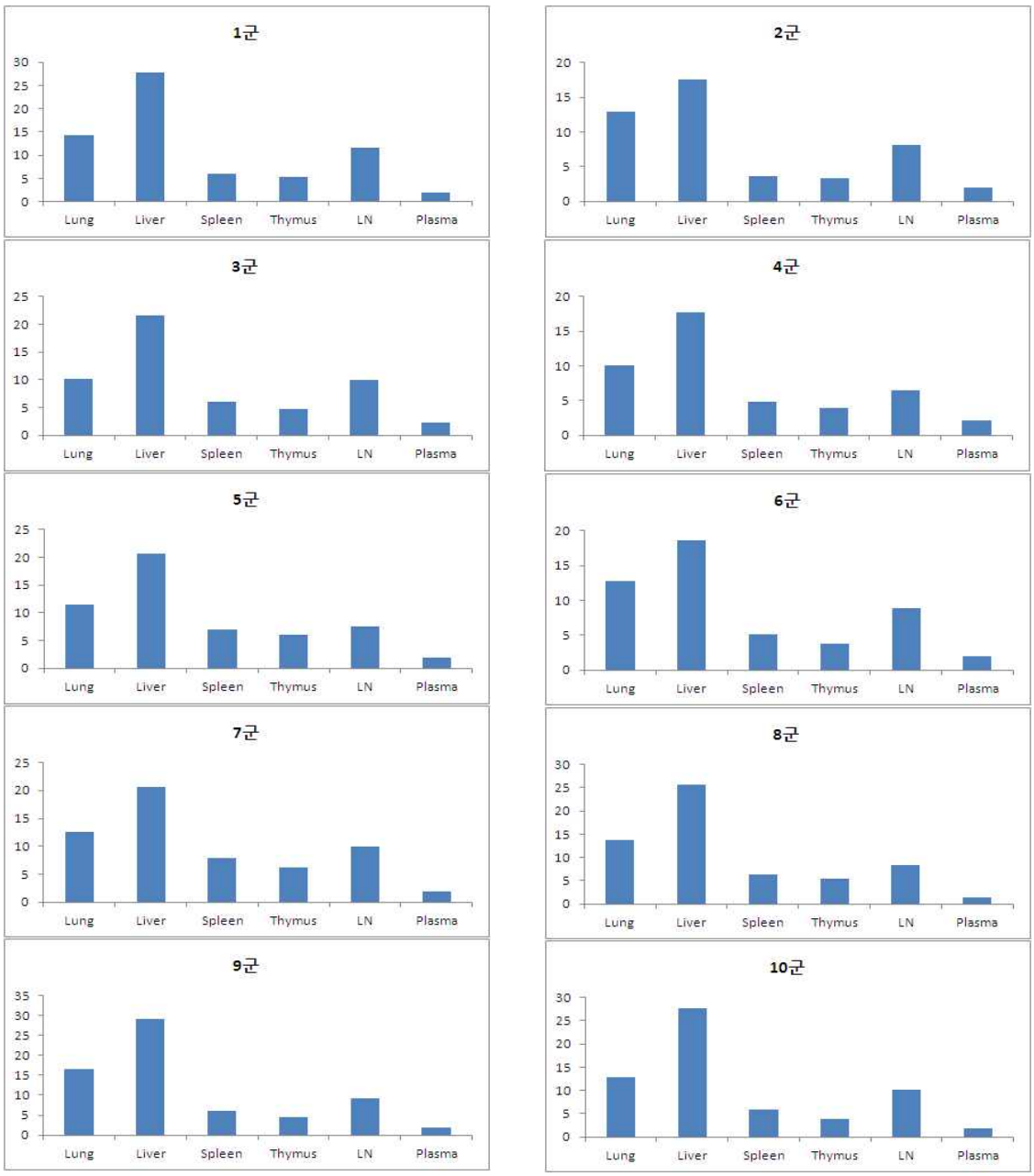


그림 187 1~10 MDA 결과

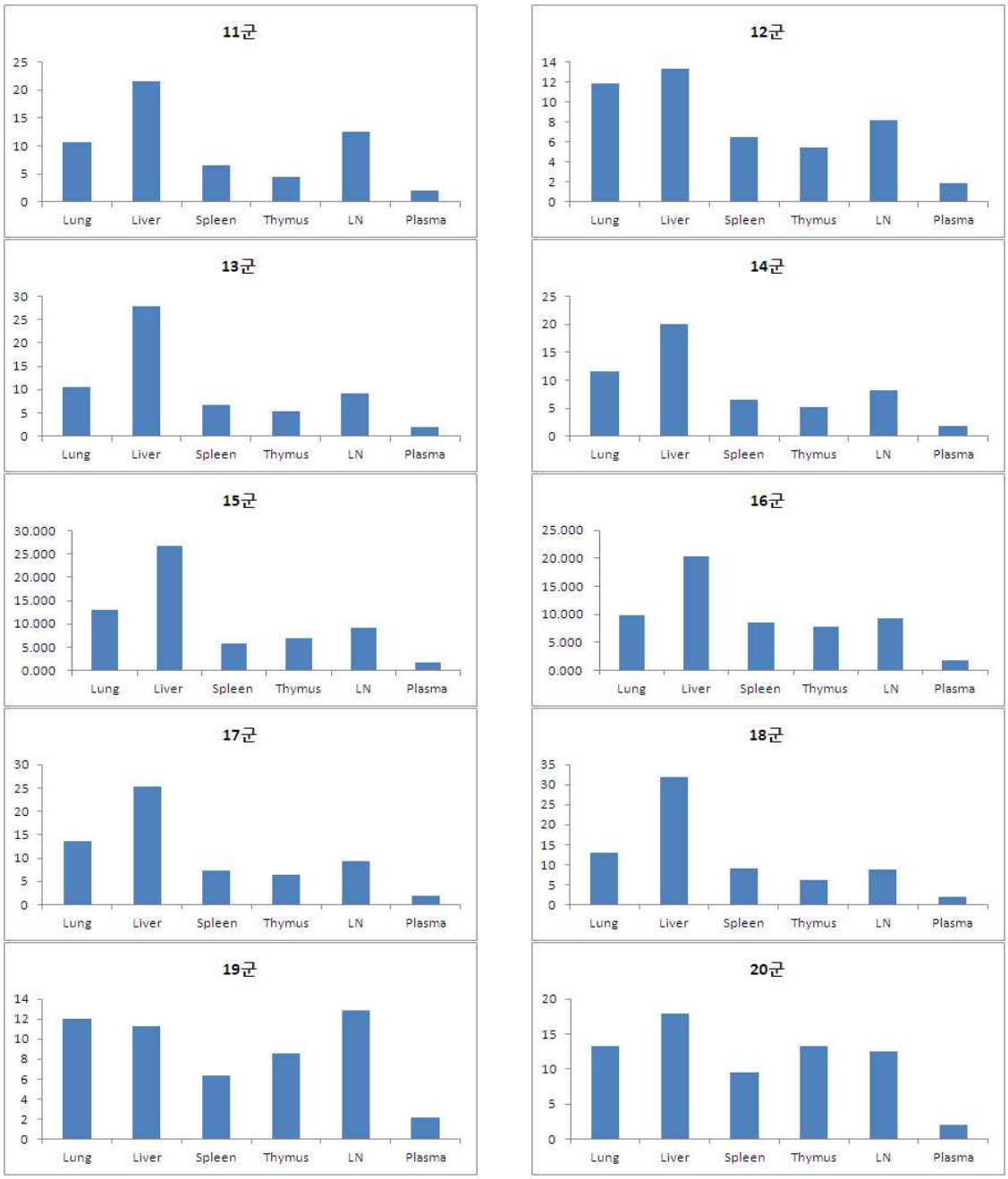


그림 188 11~20 MDA 결과

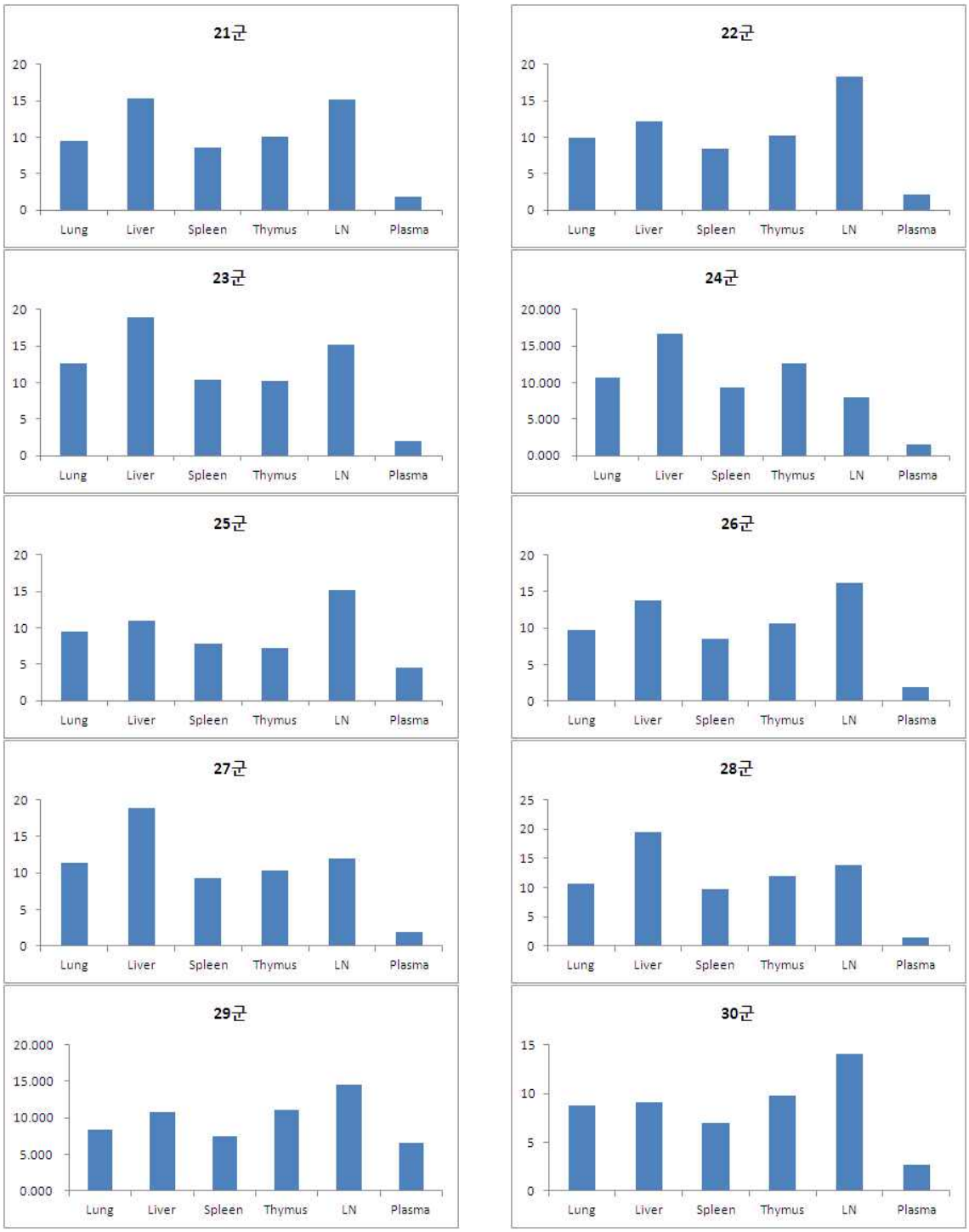


그림 189 21~30 MDA 결과

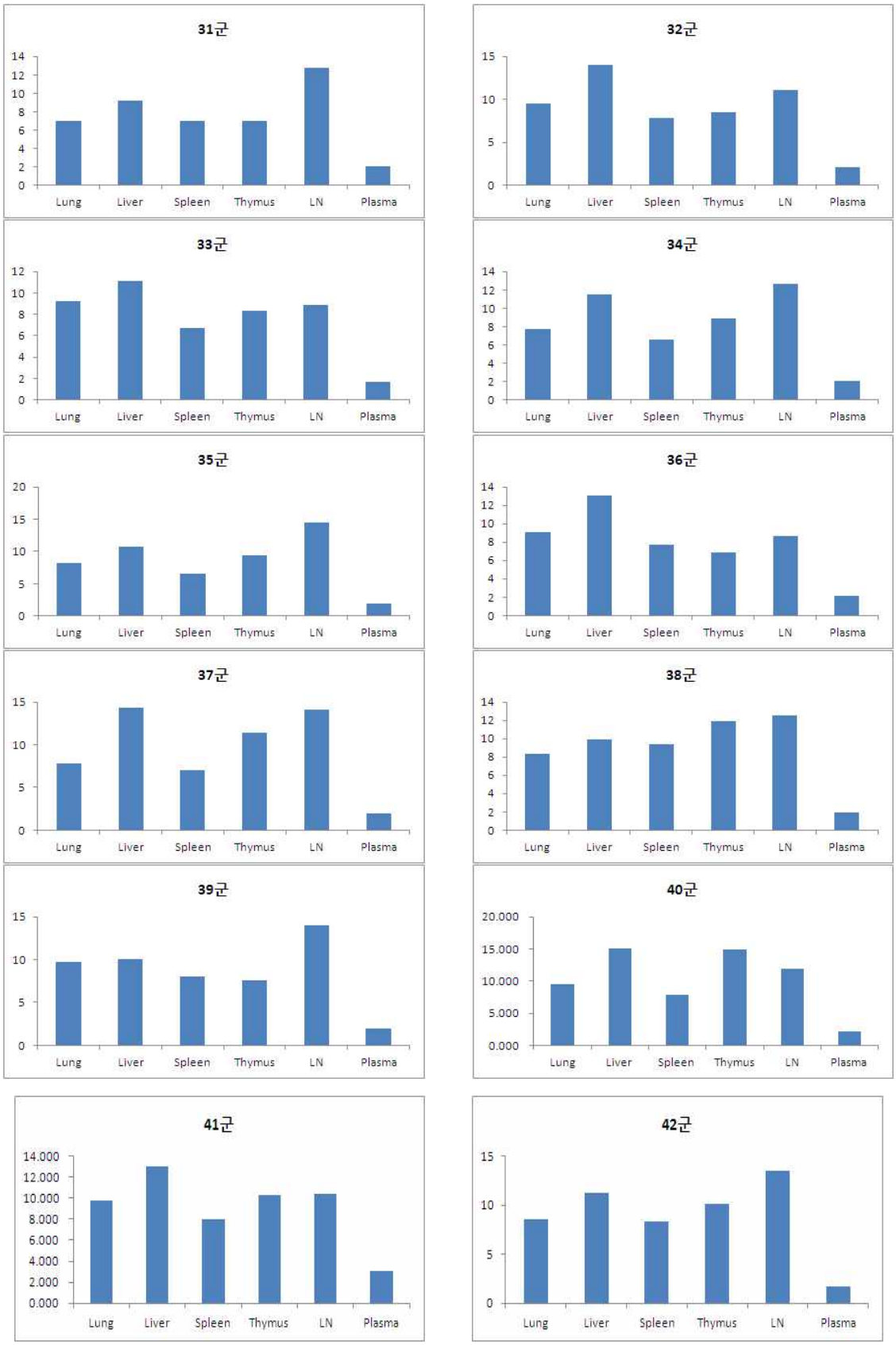


그림 190 31~42 MDA 결과

(라) MDA 측정 결과값

2종의 혼합가스에 노출된 실험동물을 병리학적으로 분석하여 MDA를 측정한 결과는 아래 표와 같다.

표 81 MDA 측정 결과

실험군	장기	결과값 (umol/L)
1	Lung	14.282
	Liver	27.799
	Spleen	6.058
	Thymus	5.344
	LN	11.695
2	Lung	12.885
	Liver	17.613
	Spleen	3.703
	Thymus	3.315
	LN	8.148
3	Lung	10.213
	Liver	21.617
	Spleen	6.137
	Thymus	4.822
	LN	9.949
4	Lung	10.074
	Liver	17.688
	Spleen	4.888
	Thymus	3.969
	LN	6.495
5	Lung	11.558
	Liver	20.677
	Spleen	7.042
	Thymus	6.027
	LN	7.512
6	Lung	12.753
	Liver	18.551
	Spleen	5.068
	Thymus	3.721
	LN	8.897
7	Lung	12.497
	Liver	20.717
	Spleen	7.879
	Thymus	6.251
	LN	10.001
8	Lung	13.649
	Liver	25.661
	Spleen	6.308

	Thymus	5.337
	LN	8.292
9	Lung	16.587
	Liver	29.055
	Spleen	6.133
	Thymus	4.544
	LN	9.308
10	Lung	12.874
	Liver	27.701
	Spleen	5.837
	Thymus	3.895
	LN	10.236
11	Lung	10.569
	Liver	21.509
	Spleen	6.583
	Thymus	4.543
12	LN	12.601
	Lung	11.868
	Liver	13.256
	Spleen	6.469
	Thymus	5.442
13	LN	8.200
	Lung	10.588
	Liver	27.754
	Spleen	6.629
	Thymus	5.296
14	LN	9.095
	Lung	11.565
	Liver	20.077
	Spleen	6.606
	Thymus	5.169
	LN	8.226
15	Lung	13.050
	Liver	26.806
	Spleen	5.735
	Thymus	6.846
	LN	9.158
16	Lung	9.840
	Liver	20.273
	Spleen	8.589
	Thymus	7.846
	LN	9.355
17	Lung	13.538
	Liver	25.295
	Spleen	7.365
	Thymus	6.482
	LN	9.266

18	Lung	12.883
	Liver	31.766
	Spleen	9.121
	Thymus	6.216
19	LN	8.859
	Lung	11.987
	Liver	11.271
	Spleen	6.403
	Thymus	8.555
20	LN	12.843
	Lung	13.253
	Liver	17.845
	Spleen	9.482
	Thymus	13.314
21	LN	12.484
	Lung	9.466
	Liver	15.289
	Spleen	8.549
	Thymus	10.122
	LN	15.141
22	Lung	10.003
	Liver	12.159
	Spleen	8.489
	Thymus	10.282
	LN	18.261
23	Lung	12.694
	Liver	18.982
	Spleen	10.384
	Thymus	10.232
	LN	15.152
24	Lung	10.680
	Liver	16.652
	Spleen	9.313
	Thymus	12.578
	LN	7.937
25	Lung	9.437
	Liver	10.987
	Spleen	7.898
	Thymus	7.243
	LN	15.123
26	Lung	9.761
	Liver	13.845
	Spleen	8.561
	Thymus	10.709
	LN	16.174
27	Lung	11.363

	Liver	18.897
	Spleen	9.245
	Thymus	10.265
	LN	12.007
28	Lung	10.727
	Liver	19.399
	Spleen	9.655
	Thymus	12.064
	LN	13.846
29	Lung	8.380
	Liver	10.735
	Spleen	7.441
	Thymus	11.025
	LN	14.555
30	Lung	8.715
	Liver	9.119
	Spleen	6.949
	Thymus	9.754
	LN	14.037
31	Lung	6.973
	Liver	9.181
	Spleen	6.992
	Thymus	7.023
	LN	12.735
32	Lung	7.837
	Liver	8.508
	Spleen	11.097
	Thymus	9.211
	LN	11.136
33	Lung	6.749
	Liver	8.367
	Spleen	8.915
	Thymus	7.732
	LN	11.525
34	Lung	6.632
	Liver	8.924
	Spleen	12.658
	Thymus	8.254
	LN	10.815
35	Lung	6.494
	Liver	9.329
	Spleen	14.483
	Thymus	9.072
	LN	13.054
36	Lung	7.703

	Liver	6.875
	Spleen	8.643
	Thymus	7.776
	LN	14.285
37	Lung	7.072
	Liver	11.380
	Spleen	14.144
	Thymus	8.382
	LN	9.882
38	Lung	9.425
	Liver	11.905
	Spleen	12.571
	Thymus	9.671
	LN	10.003
39	Lung	7.989
	Liver	7.612
	Spleen	13.989
	Thymus	9.530
	LN	15.066
40	Lung	7.871
	Liver	14.873
	Spleen	11.965
	Thymus	9.820
	LN	13.023
41	Lung	8.023
	Liver	10.347
	Spleen	10.362
	Thymus	8.516
	LN	11.288
42	Lung	8.381
	Liver	10.085
	Spleen	13.526
	Thymus	9.530
	LN	15.066

다. 마감재료 연소가스 노출실험 (mouse)

혼합가스에 의한 영향을 보기 위해 실제 마감재료를 연소하였으며, 연소시 생성되는 가스를 마우스에 노출시키는 실험을 진행하였다.

표 82 마감재료 동물실험 디자인

분류	시료명	두께	실험 조건	군별
목재	MDF	12T	필터 無	1군
			필터 有	2군
우레탄	PUR	75T	필터 無	3군
			필터 有	4군
PVC 바닥재	PVC 바닥재	6T	필터 無	5군
			필터 有	6군
샌드위치 패널	EPS	75T	필터 無	7군
			필터 有	8군
방염재 (+직물류)	일반커튼	6T	필터 無	9군
			필터 有	10군
	방염커튼	6T	필터 有	11군
			필터 無	12군
총계	6종		12회	

(1) 병리조직검사

실제 마감재료 연소 유해가스로 인한 각 조직별 손상형태를 본 결과 거의 모든 실험군의 폐 및 신장에서 Hyperemia(충혈) 소견이 관찰 되었고, 실험군의 간에서 경도의 문맥간 조직, 경도의 만성염증 세포 침윤이 관찰되었다.

또한, 우레탄 필터, PVC 바닥재, PVC 바닥재 필터, 방염커텐 필터 실험군의 간에서 경미한 지방증(Microsteatosi)이 관찰되었고 바닥재 필터 실험군의 폐장조직에서 간질의 급만성 염증,

PVC 바닥재, 샌드위치 패널 실험군의 신장에서 경도의 급성 증식성 사구체염이 관찰되었다.

모든 실험군에서 충혈이 관찰됨은 염증 혹은 변성 등의 초기 소견으로 볼 수 있으나 정상 쥐의 소견과 감별하기에는 어려움이 있고, 문맥간조직의 경도 만성염증 소견은 실험제제의 독성으로 인한 것으로 사료된다.

바닥재필터의 폐장에서 간질의 급만성 염증이 관찰되었으나 실험군 수의 제한으로 확실한 의미를 부여하기 어려움이 있다. PVC 바닥재, 샌드위치 패널 실험군에서 신장의 경도 급성 증식성 염증이 관찰되었고, 이는 마감재료에 의한 것으로 추정된다. 몇가지 실험제재에서 경미한 조직 변화가 있었고, 피복시간을 연장하여 병변의 변화를 관찰함이 필요하다고 사료된다.

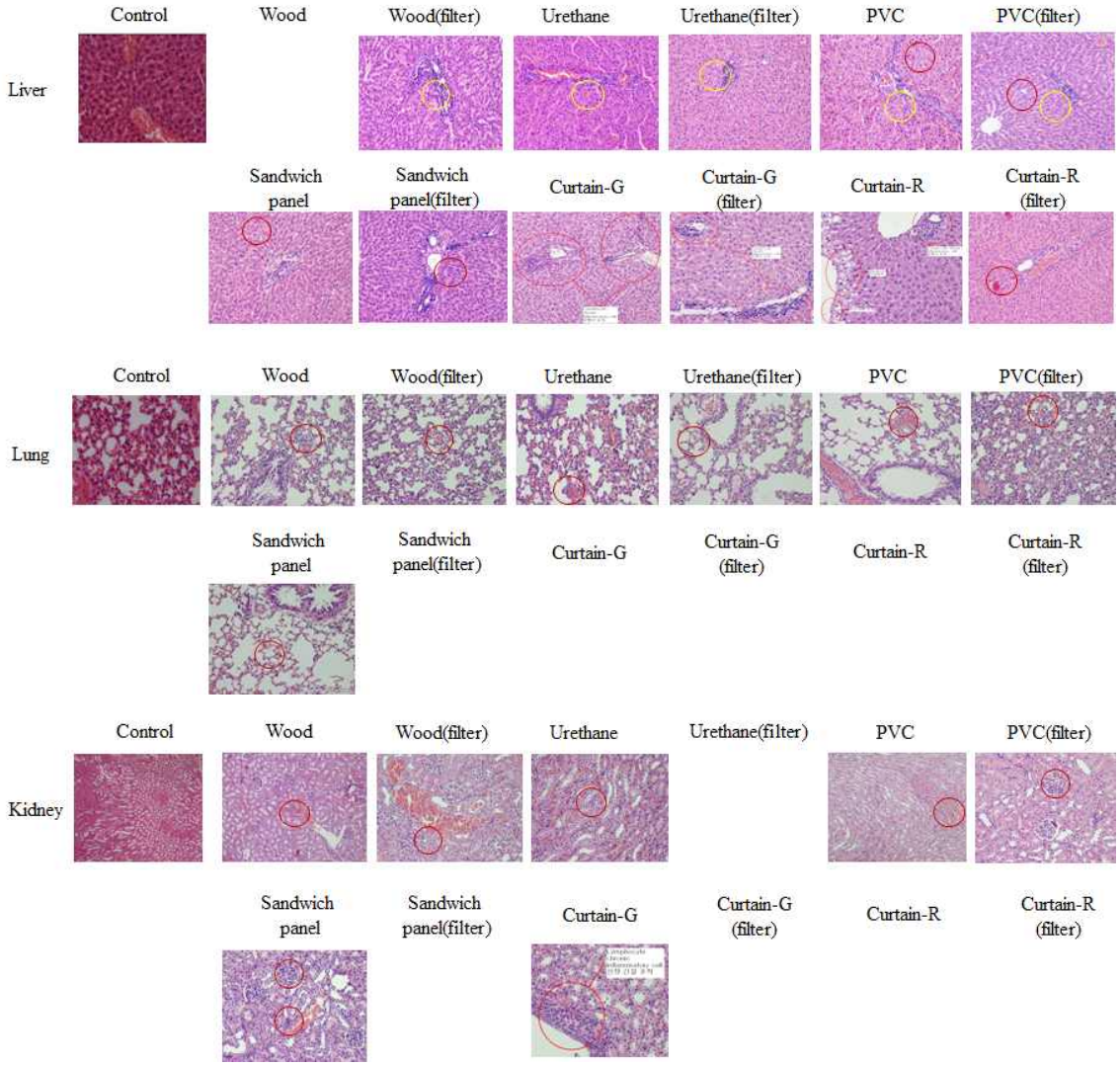


그림 191 Histopathological findings for the tissue in acute inhalation of gases.

표 83 Histopathological findings in rat(Group summary) by inhalation

Organ/Findings	Number of animal	wood		urethane		PVC	
			filter		filter		filter
heart		0	0	0	0	0	0
Liver	충혈(Hyperemia)	1	0	1	1	1	1
	국소염증(Mild chronic portal inflammation)	0	1	1	1	1	1
	지방염(microsteatosis)	0	0	0	1	0	0
	가벼운 지방염(Mild microsteatosis)	0	0	0	0	1	1
Lung	충혈(Hyperemia)	1	1	1	1	1	1
	급만성 간질성 염증	0	0	0	0	0	1
spleen	충혈(Hyperemia)	1	1	1	1	1	1
Tymus	충혈(Hyperemia)	0	1	1	0	0	0
Kidney	충혈(Hyperemia)	1	1	1	1	1	1
	급성 증식성 사구체 신염	0	0	0	0	0	1
Total		4	5	5	4	4	4

표 84 Histopathological findings in rat(Group summary) by inhalation

Organ/Findings	Number of animal	Sandwich panel		Curtain(general)		Curtain(resist printing)	
			filter		filter		filter
heart		0	0	0	0	0	0
Liver	충혈(Hyperemia)	0	1	0	0	0	0
	국소염증(Mild chronic portal inflammation)	0	1	1	1	1	1
	지방염(microsteatosis)	0	0	0	0	0	1
	가벼운 지방염(Mild microsteatosis)						
Lung	충혈(Hyperemia)	1	1	1	0	0	1
	급만성 간질성 염증						
spleen	충혈(Hyperemia)	1	0	1	1	1	1
Tymus	충혈(Hyperemia)	0	1	0	0	0	0
Kidney	충혈(Hyperemia)	1	0	0	0	0	1
	급성 증식성 사구체 신염	1	0	0	0	0	0
Total		3	3	3	2	2	4

(2) 혈액 및 생화학적 검사 결과

혈액 검사 결과는, 마감재료 시료에 따라 WBC (백혈구), netrophil (중성호성백혈구), HB (hemoglobin), HCT (hemato- crit 치), MCV (Mean corpuscular volume) 등 거의 전 항목이 대조군과 비교하여 유의성이 없었다. 생화학적 검사 결과 (표85, 86)에서는 총단백질과 알부민이 대조군과 비교하여 유의성이 없었고, CRTN과 총빌리루빈, LDH, ALP, T-CHO도 역시 변화가 없었다. GOT는 대조군의 결과에 비해 통계학적 유의성은 인정되지 않았지만 약간 증가한 것으로 나타났다.

표 85 Hematological values of Female mice exposed to gases

Parameters	Reference Range	1군	2군	3군	4군	5군	6군	7군	8군	9군	10군	11군	12군	13군
WBC(m/mm3)	4.00 - 15.00	1.86	2.97	2.18	2.64	1.86	2.92	2.07	2.74	3.57	3.06	2.73	2.35	3.27
RBC(M/mm3)	6.00 - 11.00	7.86	8.32	8.20	7.65	8.06	7.75	7.73	7.74	8.10	8.08	7.99	8.64	8.11
Hemoglobin(Hb) (g/dl)	14.00 - 18.00	12.96	13.70	14.16	13.65	13.75	13.47	13.10	13.51	13.56	13.19	13.42	14.58	13.65
Hematocrit(Hct) (%)	35.00 - 45.00	50.86	52.74	49.18	46.27	47.72	45.86	47.94	48.25	50.55	49.64	49.63	52.21	50.88
MCV(fl)	35.00 - 50.00	64.72	63.40	59.98	60.46	59.21	59.15	62.06	62.34	62.38	61.44	62.15	60.40	62.76
MCH(pg)	13.00 - 22.00	16.49	16.47	17.27	17.84	17.05	17.37	16.96	17.46	16.73	16.33	16.81	16.87	16.84
MCHC(g/dl)	24.00 - 40.00	25.48	25.98	28.80	29.51	28.80	29.37	27.32	28.01	26.83	26.57	27.04	27.92	26.83
Platelet(m/mm3)	600 - 1000	964	1081	1184	1022	1058	905	1060	1127	959	1139	1151	1222	1164
Segment(%)	10.00 - 30.00	9.64	2.96	8.02	15.26	8.63	19.62	6.10	6.17	15.84	19.62	15.97	4.18	9.52
Lymphocyte(%)	70.00 - 81.00	80.73	80.55	75.73	66.82	75.35	65.41	78.83	80.87	73.50	66.61	74.76	78.97	80.49
Monocyte(%)	1.00 - 5.00	4.97	5.28	6.88	6.83	6.15	8.03	5.80	6.39	7.06	8.78	6.77	6.21	5.41
Eosinophil(%)	< 10.00	3.07	8.92	8.79	8.74	9.14	4.69	8.42	5.58	2.11	3.65	1.76	9.47	3.76
Basophil(%)		1.59	2.29	0.58	2.36	0.73	2.25	0.85	0.99	1.49	1.34	0.74	1.17	0.82
RDW-CV(%)		15.80	16.20	16.80	16.60	16.90	16.80	16.20	16.10	16.40	16.50	16.50	16.70	16.30
MPV(fl)	3.00 - 8.00	6.61	6.55	7.41	7.36	6.73	7.15	6.85	6.76	6.72	6.62	6.43	6.56	6.30
Pct(%)		0.64	0.71	0.88	0.75	0.71	0.65	0.73	0.76	0.64	0.75	0.74	0.80	0.73
PDW	6.0 - 10.0	8.8	9.2	10.2	10.4	9.1	10.2	9.7	9.4	9.6	9.7	9.1	9.1	8.8

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 86 Serum biochemistry in female mice exposed to gases

Parameters	Reference Range	1군	2군	3군	4군	5군	6군	7군	8군	9군	10군	11군	12군	13군
Protein, total (g/dl)	6.6 - 8.7	5.7	5.5	5.1	5.5	5.2	5.3	5.7	5.7	5.9	5.6	5.2	4.9	6.1
Albumin (g/dl)	3.5 - 5.2	4.3	4.1	4.0	4.1	3.9	3.9	4.1	4.2	4.3	4.3	4.2	3.9	4.3
BUN (mg/dl)	6.0 - 20.0	25	33	24	28	29	28	26	30	25	27	27	28	23
Creatinine (mg/dl)	M : 0.70 - 1.20 F : 0.50 - 0.90	0.46	0.99	0.89	0.96	1.08	0.99	0.90	1.07	1.05	1.04	1.05	1.07	0.66
Glucose(FBS) (mg/dl)	70-110	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Bilirubin, total (mg/dl)	≤ 1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
AST (SGOT) (U/L)	< 40	184	163	164	151	229	239	168	202	173	179	169	220	150
ALT (SGPT) (U/L)	< 40	42	44	43	42	45	54	44	60	56	54	50	52	49
γ-GTP (U/L)	M : 10 - 71 F : 6 - 42	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ammonia (μ mol/L)	M : 16 - 60 F : 11 - 51	823	835	664	577	639	616	870	977	798	745	686	707	821
Cholesterol (mg/dl)	< 200	132	140	112	123	112	113	150	157	162	141	123	105	164
Phosphorus(Pi) (mg/dl)	2.5 - 4.5	> 20.0	> 20.0	19.5	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0	> 20.0

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

(3) Comet assay의 실험 결과

본 연구에서는 혼합가스에 흡입노출에 의한 마우스의 조직의 DNA 손상을 측정하기 위해 comet assay를 실시하였다. 조직별로 보았을 때 혈액세포인 lymphocyte와 폐조직세포인 BALF세포의 지질손상이 크게 나타났고, 샌드위치 패널과 PVC 연소가스에 노출된 마우스의 조직의 DNA 손상이 큰 것으로 나타났다. 목재, 우레탄, PVC바닥재, 샌드위치 패널의 필터 없는 군은 통계적으로도 유의하였다 (표 87, 그림 192~194).

표 87 DNA damage in mice blood after exposed of gases.

	1 군*	2 군*	3 군*	4 군*	5 군*	6 군*	7 군*	8 군	9 군	10 군	11 군	12 군	13 군
Lymphocyte	2.818	3.585	4.626	2.818	3.585	5.388	4.743	1.322	1.258	2.302	2.743	1.221	1.221
Liver	3.280	3.467	4.271	4.396	3.467	3.755	3.654	1.462	1.393	1.271	2.654	1.271	1.271
Lung	2.973	3.228	4.117	3.344	3.228	3.877	4.253	1.451	1.451	1.451	3.228	1.451	1.233
Thymus	2.454	2.812	2.765	2.600	2.510	2.454	2.812	1.241	1.185	2.454	2.812	1.361	1.154
Spleen	2.051	2.228	2.940	2.051	2.228	2.051	2.228	1.344	1.390	2.051	2.228	1.413	1.102
LN	2.283	2.539	3.809	2.283	3.010	2.283	2.539	1.438	1.297	2.283	2.539	1.412	1.244
BALF	3.011	3.000	5.063	4.028	3.814	5.525	6.068	1.315	1.407	2.025	2.234	1.350	1.037

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

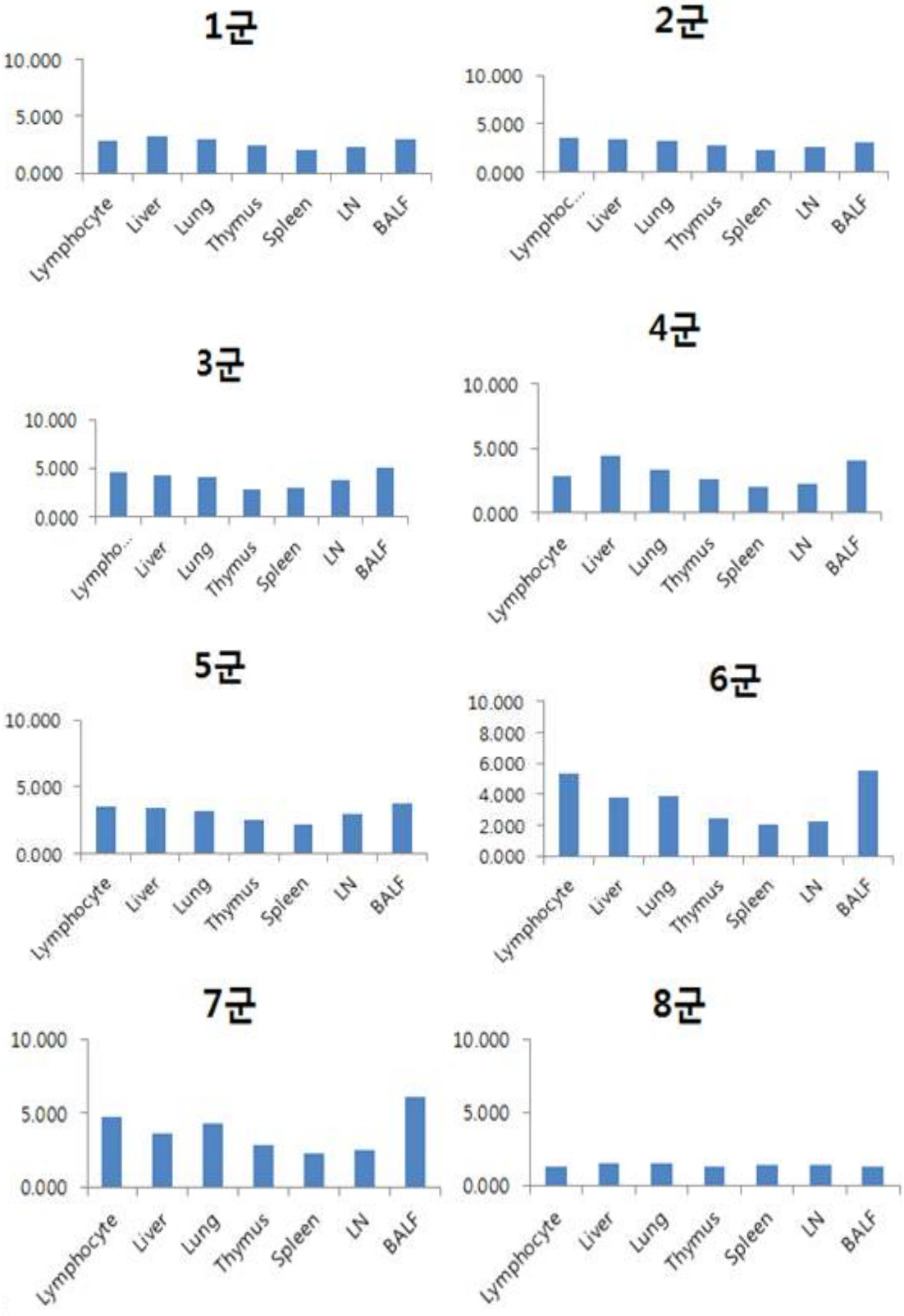


그림 192 실험 군 분류별 조직 comet assay 결과 (1)

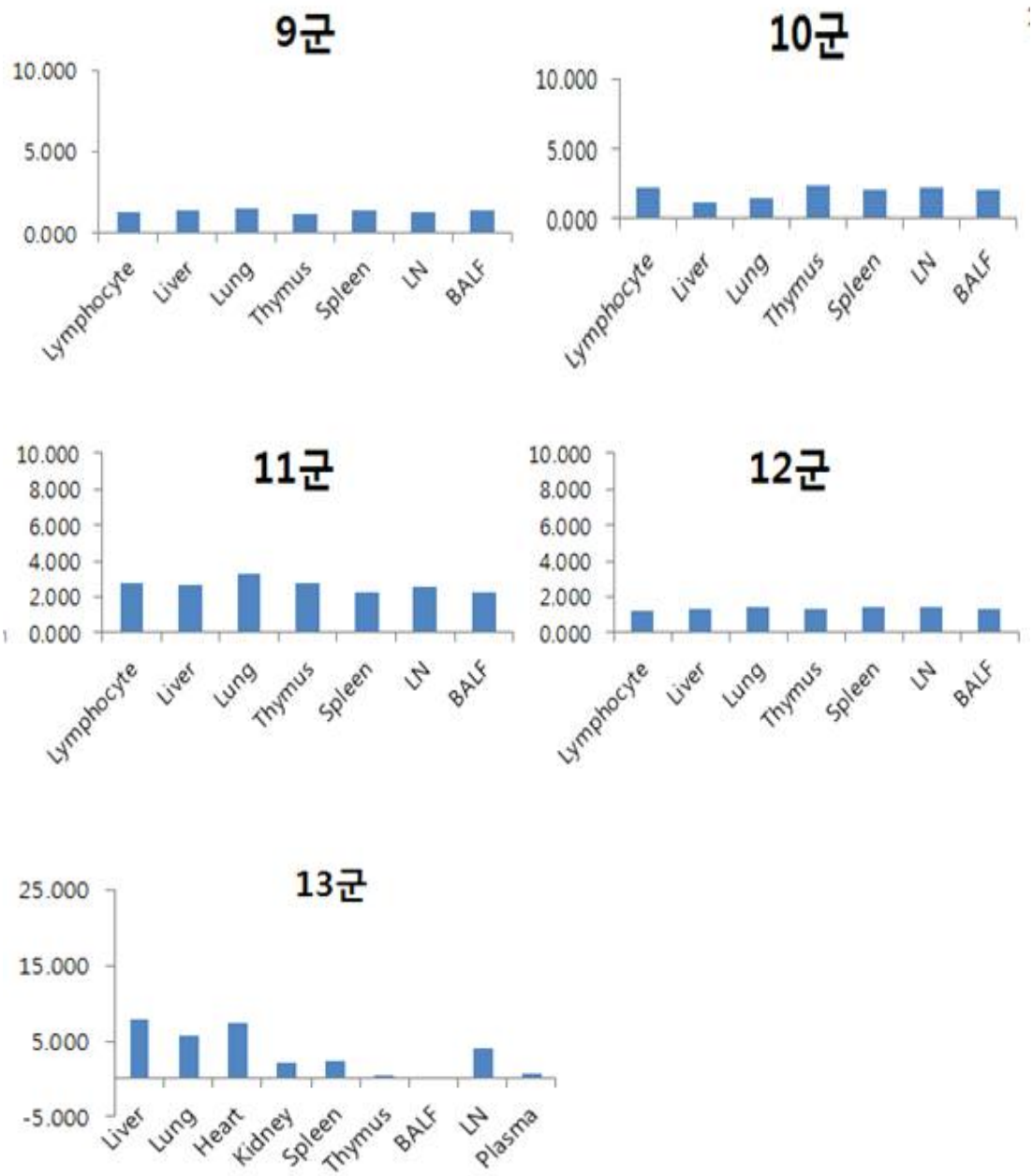


그림 193 실험 군 분류별 조직 comet assay 결과 (2)

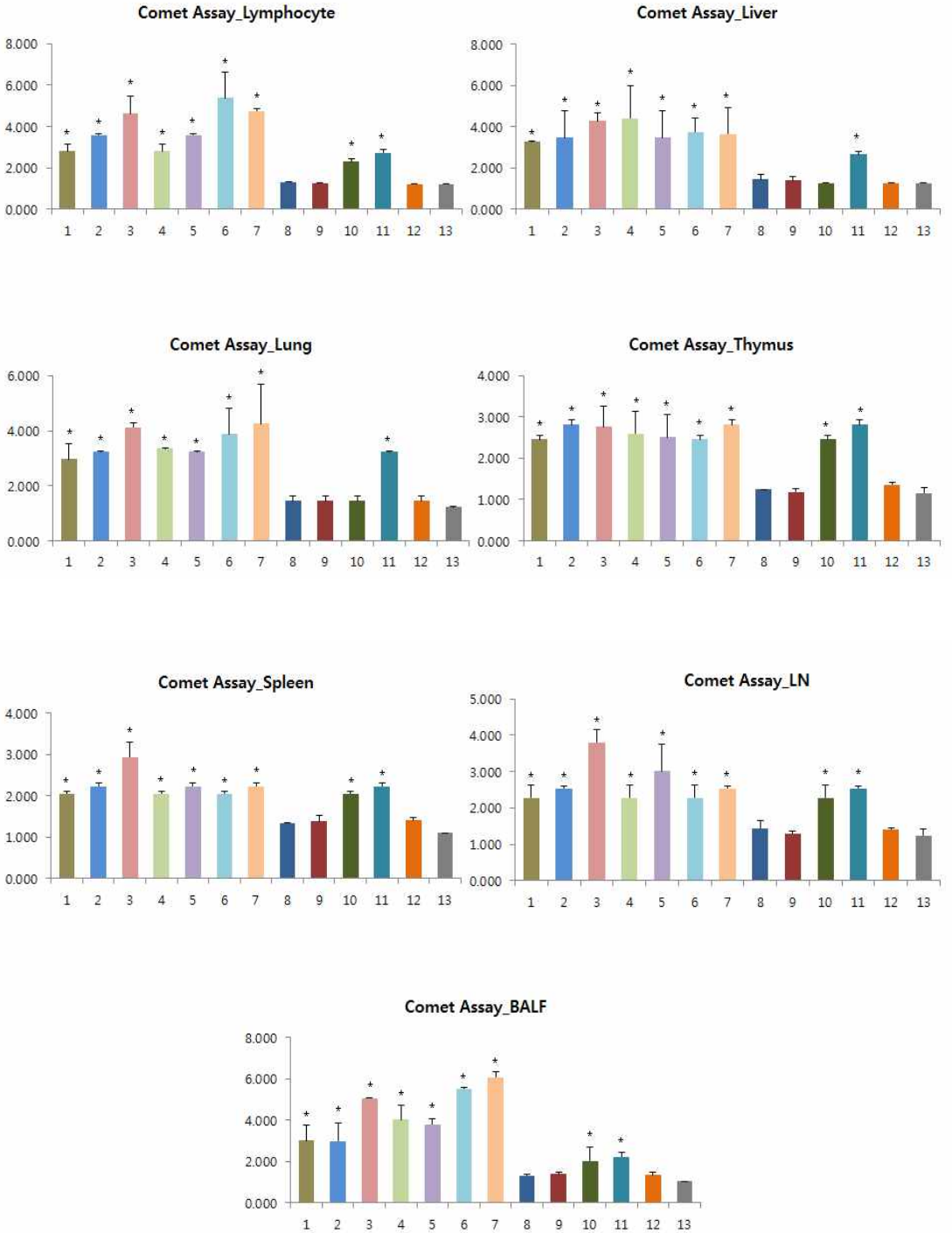


그림 194 조직 분류별 군의 commet assay 분석 결과

(4) Malondyaldehyde(MDA) 결과

본 연구에서는 혼합가스에 흡입노출에 의한 마우스의 조직의 지질 손상을 측정하기 위해 MDA를 실시하였다. 조직의 지질과산화를 알아보기 위해 측정하는 MDA는 조직손상 3시간 이내에 시작된다고 알려져 있다. MDA의 반감기가 단지 몇시간인 점을 감안해 볼 때 조직별로 MDA가 증가해 있다는 것은 지질과산화가 증가하고 있다고 보여진다. 혼합가스에 흡입노출된 마우스의 조직은 대조군과 비교하여 보았을 때 모두 통계적으로 유희한 결과를 보였다. 그러나 폐액세포인 BALF세포에서는 지질손상이 크게 나타나지 않았다(표 88, 그림 195~197).

표 88 Lipid peroxidation in mice blood after exposed of gases.

	1 군	2 군	3 군	4 군	5 군	6 군	7 군	8 군	9 군	10 군	11 군	12 군	13 군
Liver	13.276	19.628	14.811	11.869	11.010	18.099	20.848	16.848	13.517	16.773	18.935	17.705	7.940
Lung	5.911	6.447	9.337	8.215	14.003	10.670	5.998	6.083	8.458	7.761	7.355	6.606	5.633
Heart	14.934	13.652	16.130	17.014	15.011	15.660	15.458	15.858	14.718	15.574	16.088	14.903	7.298
Kidney	13.825	4.465	5.607	4.780	7.034	3.737	9.433	8.414	4.217	8.657	10.503	6.756	2.199
Spleen	4.818	4.235	2.694	7.073	7.714	3.909	4.410	4.383	3.935	2.897	3.626	2.767	2.485
Thymus	0.972	4.109	5.516	2.796	2.137	0.817	1.150	0.949	1.104	0.688	1.155	2.774	0.454
BALF	0.157	0.167	0.162	0.153	0.161	0.154	0.205	0.151	0.147	0.208	0.173	0.151	0.134
LN	8.637	7.703	7.238	8.632	8.343	5.589	7.339	9.524	6.964	7.428	12.958	5.677	4.062
Plasma	3.327	5.488	3.174	3.825	3.709	3.310	2.759	6.438	6.531	7.661	6.510	3.319	0.753

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

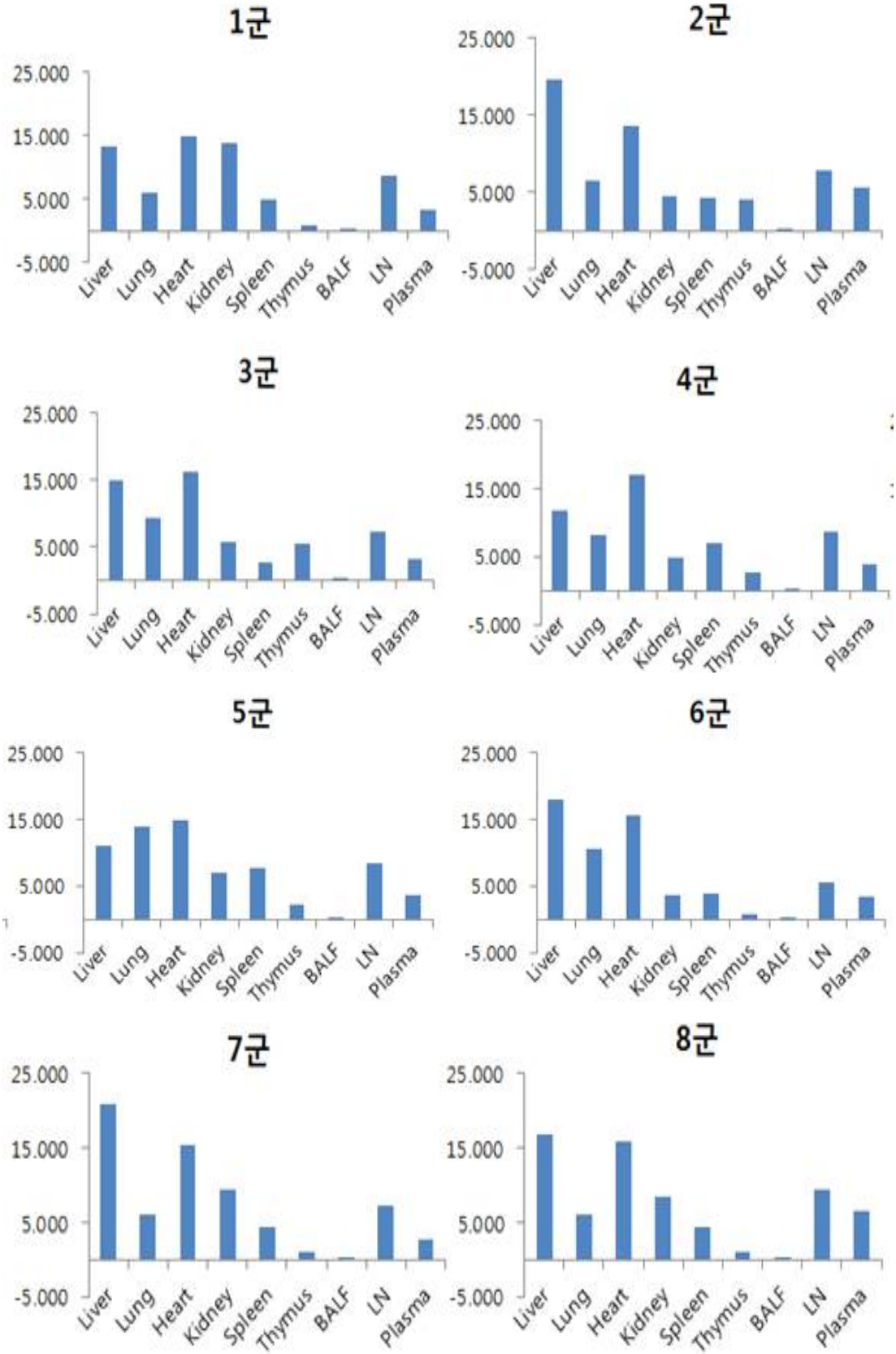


그림 195 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (1)

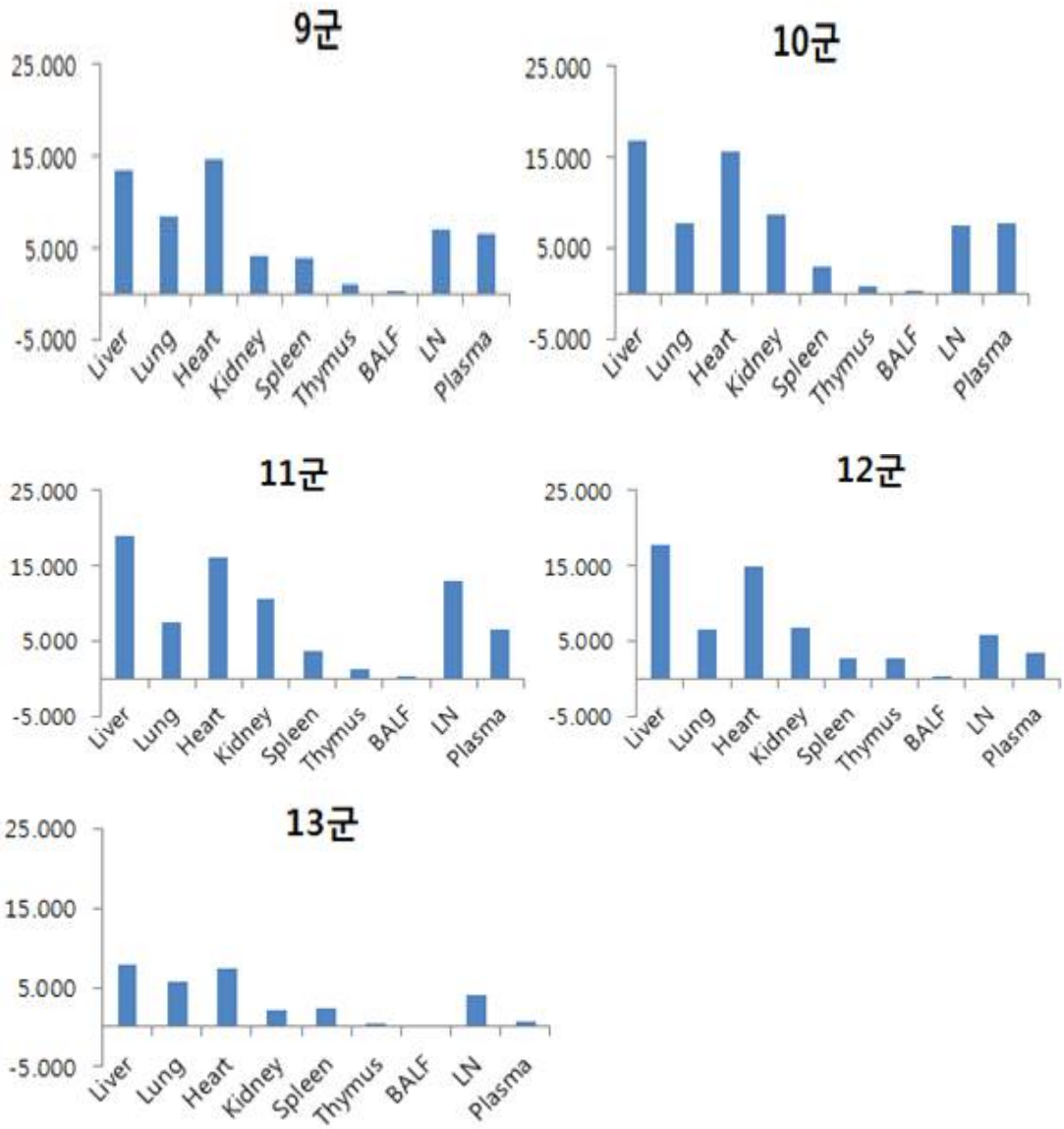


그림 196 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (2)

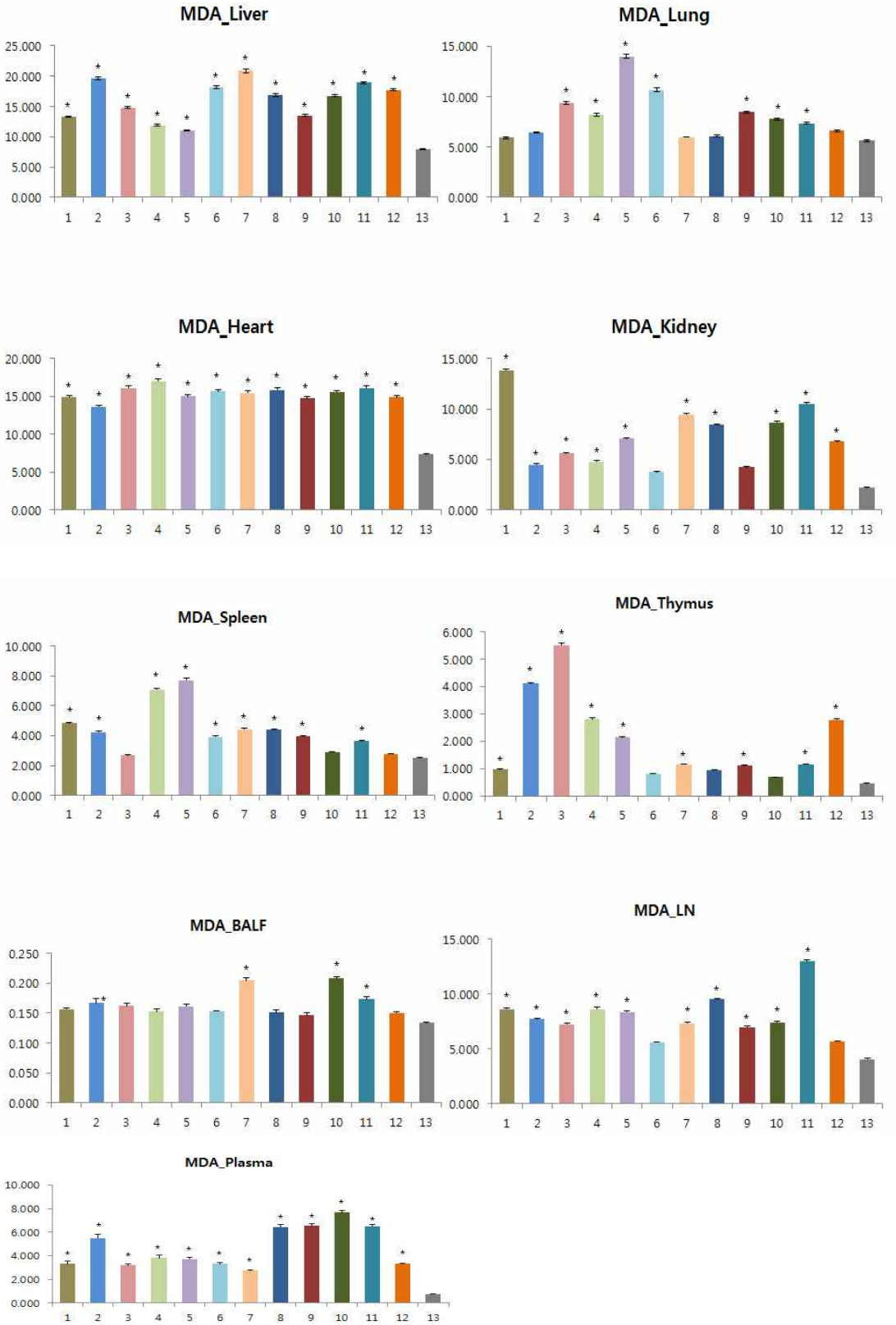


그림 197 조직 분류별 군의 MDA 분석 결과

라. 마감재료 연소가스 노출실험(Rat)

'가~다' 항목의 독성평가는 마우스로 진행하였으나 마우스의 혈액과 조직이 매우 적어 이를 인간의 용량을 추정하기에는 정확한 정보를 구하기 어려워 마우스보다는 조금더 큰 쥐를 사용하여 혈액과 조직을 사용하고자 하였다. 쥐를 통한 흡입의 경로를 통해 표적장기 적출과 좀더 많은 혈액샘플링을 통해 시료별 연소가스 발생가스에 따른 피해정도를 알아보고자 하였다.

본 연구는 DNA 손상을 감지하는데 민감한 방법으로 COMET ASSAY를 사용하였다. Comet assay는 조직과 세포의 물질 투여경로에 따른 양-반응관계연구에 적용가능하고 짧은 기간동안 노출시킨 후 세포를 분리하여 세포의 손상정도를 평가할 수 있어서 연소독성평가에 유용하게 사용하였다. 그러나 마우스의 혈액이 매우 소량이고 혈액학 검사를 병행해야 하는 어려움이 있어 다른 DNA 손상을 보는 평가지표중의 하나인 8-OHdG(8-hydroxy-2'-deoxy-guanosine)농도 증가 여부로 손상정도를 파악하고자 하였다.

또한, 연소독성에 노출된 rat에서의 면역관련 생체지표를 연구하고 세포, 동물조직에서 얻어진 생체면역지표의 인간에서의 발현도 측정 및 상호 연관성을 확립하고자 하였다. 이에 혈장, 조직, 비강세척액에서 새로운 cytokine 생물지표에 특이적인 면역학적 방법들을 이용하여 생체지표를 발굴하고자 하였다.

혼합가스를 이용한 노출의 영향을 분석하기 위해 필터의 유, 무에 따른 조건실험을 진행하여 쥐의 표적장기(갑상선, 폐, 심장, 간, 신장, 비장, 림프, 흉선) 적출 및 혈액 샘플링을 실시하였다.

표 89 마감재료 동물실험 디자인

분류	시료명	두께	실험 조건	실험용 쥐 소요량 (마리)
목재	MDF	12T	필터 無	1군
			필터 有	2군
우레탄	PUR	75T	필터 無	3군
			필터 有	4군
PVC 바닥재	PVC 바닥재	6T	필터 無	5군
			필터 有	6군
샌드위치 패널	EPS	75T	필터 無	7군
			필터 有	8군
방염재 (+직물류)	일반커튼	6T	필터 無	9군
			필터 有	10군
	방염커튼	6T	필터 有	11군
			필터 無	12군
총계	6종		12회	

(1) 혈액 및 생화학 검사 결과

가스 노출 후의 시험 후 부검시 채혈하여 실시한 rat의 혈액학적 검사에서 각 대조군에 비해 모든 시험 군에서 적혈구가 약간 증가하였으나 유의성 있는 차이는 보이지는 않았으며, 그 외에 백혈구, 헤마토크릿트, 헤모글로빈, 혈소판 수에서는 저용량, 중용량 그리고 고용량군 모두에서 대조군과 시험군간의 유의한 차이를 관찰할 수 없었다. 그러나 PVC 바닥재 배출가스의 필터가 있는 노출군과 필터가 없는 노출군의 랫트에서 모두 항목이 정상범주 내의 값을 나타냈지만, 필터가 없는 PVC 바닥재에 노출된 암컷 랫드의 백혈구(WBC)에서 통계적으로 유의한 감소와 혈소판(PLT)에서 통계적으로 유의한 감소를 보였다. 또한, lymphocyte, monocyte의 혈소판에서 통계적으로 유의한 감소를 보였다(표90).

랫드의 혈액 생화학적 검사결과에서도 혈액내 전해질 및 이온지수의 변화에 있어서 모든 농도에서 대조군과 시험군간의 유의성이 있는 차이는 발견되지 않았으며, 신장기능 관련 지수와 간 기능과 관련있는 효소들에 있어서도 모든 농도에 있어서 대조군과 시험군 간의 유의한 차이를 관찰 할 수 없었으며, glucose와 지질관련 지수에 있어서서도 유의한 변화가 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 생화학적 검사에서도 PVC 바닥재 연소가스의 혈액 생화학적 검사는 모두 정상범주내의 값을 나타냈지만, 노출군의 랫트의 총빌리루빈(TBIL), 알부민(Ablumin), 알카리성 인산분해효소(ALP), 중성지방(TG) 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다. 또한, 노출군에서 알카리성 인산분해효소(ALP)의 통계적으로 유의한 증가를 보였고, 총콜레스테롤(TCHO)의 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다.

표 90 Hematological values of Female rats exposed to gases

Parameters	Reference Range	1군	2군	3군	4군	5군	6군	7군	8군	9군	10군	11군	12군	13군
WBC(m/mm3)	4.00 - 15.00	5.77	4.20	5.92	3.49	1.86	2.92	5.67	4.62	5.76	3.50	3.91	2.34	3.30
RBC(M/mm3)	6.00 - 11.00	6.61	6.75	5.86	6.02	8.06	7.75	6.51	5.88	6.06	5.83	5.58	5.85	5.55
Hemoglobin(Hb) (g/dl)	14.00 - 18.00	14.34	14.30	13.54	13.09	13.75	13.47	13.45	12.64	14.25	12.42	12.82	13.00	11.70
Hematocrit(Hct) (%)	35.00 - 45.00	46.01	45.54	41.33	41.47	47.72	45.86	45.59	40.13	42.51	39.87	38.61	40.44	38.64
MCV(fl)	35.00 - 50.00	69.65	67.49	70.48	68.94	59.21	59.15	70.03	68.25	70.10	68.37	69.26	69.09	69.65
MCH(pg)	13.00 - 22.00	21.71	21.19	23.08	21.76	17.05	17.37	20.66	21.50	23.50	21.29	22.99	22.21	21.09
MCHC(g/dl)	24.00 - 40.00	31.18	31.40	32.75	31.56	28.80	29.37	29.50	31.50	33.53	31.14	33.20	32.15	30.28
Platelet(m/mm3)	600 - 1000	766	960	687	835	1058	905	740	720	792	831	848	957	628
Segment(%)	10.00 - 30.00	8.41	8.42	7.64	7.37	8.63	19.62	8.76	8.28	8.15	7.89	7.97	7.08	3.98
Lymphocyte(%)	70.00 - 81.00	84.69	81.71	86.65	83.25	75.35	65.41	83.87	85.02	85.08	84.89	84.26	84.35	86.65
Monocyte(%)	1.00 - 5.00	4.03	4.52	4.25	3.10	6.15	8.03	3.65	3.44	4.10	4.11	3.93	3.71	3.63
Eosinophil(%)	< 10.00	1.94	4.76	0.74	5.71	9.14	4.69	3.30	2.41	2.17	2.65	3.12	4.49	5.06
Basophil(%)		0.93	0.59	0.72	0.57	0.73	2.25	0.42	0.85	0.50	0.46	0.72	0.37	0.68
RDW-CV(%)		14.5	15.1	14.3	14.6	16.90	16.80	14.5	14.6	14.7	14.7	14.8	14.7	14.6
MPV(fl)	3.00 - 8.00	11.10	10.30	11.63	9.81	6.73	7.15	10.11	10.14	11.09	10.33	10.73	9.56	11.23
Pct(%)		0.85	0.99	0.80	0.82	0.71	0.65	0.75	0.73	0.88	0.86	0.91	0.91	0.70
PDW	6.0 - 10.0	9.9	9.7	10.1	9.5	9.1	10.2	9.5	9.3	9.9	9.9	10.0	9.4	10.7

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 91 Serum biochemistry in Female rats exposed to gases

Parameters	Reference Range	1군	2군	3군	4군	5군	6군	7군	8군	9군	10군	11군	12군	13군
Protein, total (g/dl)	6.6 - 8.7	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	5.3	5.9	5.7	5.7	5.5	5.7	5.6	5.6
Albumin (g/dl)	3.5 - 5.2	4.2	4.5	4.1	4.3	6.5	3.9	4.6	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.2
BUN (mg/dl)	6.0 - 20.0	15	12	19	14	29	28	17	16	17	15	17	14	15
Creatinine (mg/dl)	M : 0.70 - 1.20 F : 0.50 - 0.90	0.37	0.27	0.31	0.18	1.08	0.99	0.26	0.22	0.35	0.21	0.26	0.22	0.20
Glucose(FBS) (mg/dl)	70-110	349	197	259	204	< 2	< 2	201	197	332	228	206	185	192
Bilirubin, total (mg/dl)	≤ 1.3	0	0.03	0.22	0.02	0.45	0.36	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.05
AST (SGOT) (U/L)	< 40	82	78	256	80	229	239	113	78	78	68	84	86	98
ALT (SGPT) (U/L)	< 40	34	31	84	37	64	55	50	48	43	27	44	34	36
γ-GTP (U/L)	M : 10 - 71 F : 6 - 42	-1	0	1	0	< 3	< 3	-1	-1	-1	-1	-2	-1	0
Ammonia (μ mol/L)	M : 16 - 60 F : 11 - 51	331	155	308	146	639	616	219	174	195	255	170	162	220
Cholesterol (mg/dl)	< 200	98	85	143	94	519	228	94	94	86	81	83	86	98
Phosphorus(Pi) (mg/dl)	2.5 - 4.5	12.5	10.6	11.5	10.2	> 20.0	> 20.0	11.4	10.6	12.8	10.2	10.5	11.3	10.2

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

(2) Malondyaldehyde(MDA) 결과

본 연구에서는 혼합가스에 흡입노출에 의한 랫드의 조직의 지질 손상을 측정하기 위해 MDA를 실시하였다. 랫드도 마찬가지로 조직별로 MDA가 증가해 있다는 것은 지질과산화가 증가하고 있다고 보여진다. 혼합가스에 흡입 노출된 랫드 조직은 대조군과 비교하여 보았을 때 모두 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 혼합가스에 의한 지질과산화 현상은 폭로초기에 대해서는 유용한 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.(표 92, 그림 198~200).

표 92 Lipid peroxidation in Female rats blood after exposed of gases.

	1 군	2 군	3 군	4 군	5 군	6 군	7 군	8 군	9 군	10 군	11 군	12 군	13 군
Lympho	0.542	0.614	0.673	0.652	0.812	0.605	0.634	0.673	0.882	0.769	0.694	0.644	0.560
Liver	7.276	11.480	7.886	7.680	8.133	9.085	18.296	15.481	9.963	15.251	9.526	12.292	6.694
Lung	1.941	3.710	3.885	6.646	7.875	7.406	2.316	2.880	3.478	5.399	4.991	3.702	0.981
Thymus	2.572	5.145	4.736	3.357	3.923	2.704	4.437	2.703	3.568	2.792	3.730	3.821	1.789
Spleen	2.494	1.932	1.144	3.535	4.067	1.579	2.693	2.853	2.154	1.696	1.684	1.487	1.109
LymphNode	4.589	3.038	3.203	3.096	4.130	2.336	2.729	4.299	2.287	3.004	5.152	2.504	2.129
Plasma	1.031	2.534	1.599	1.938	1.177	1.112	1.407	2.043	2.973	5.491	2.899	1.797	0.735

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

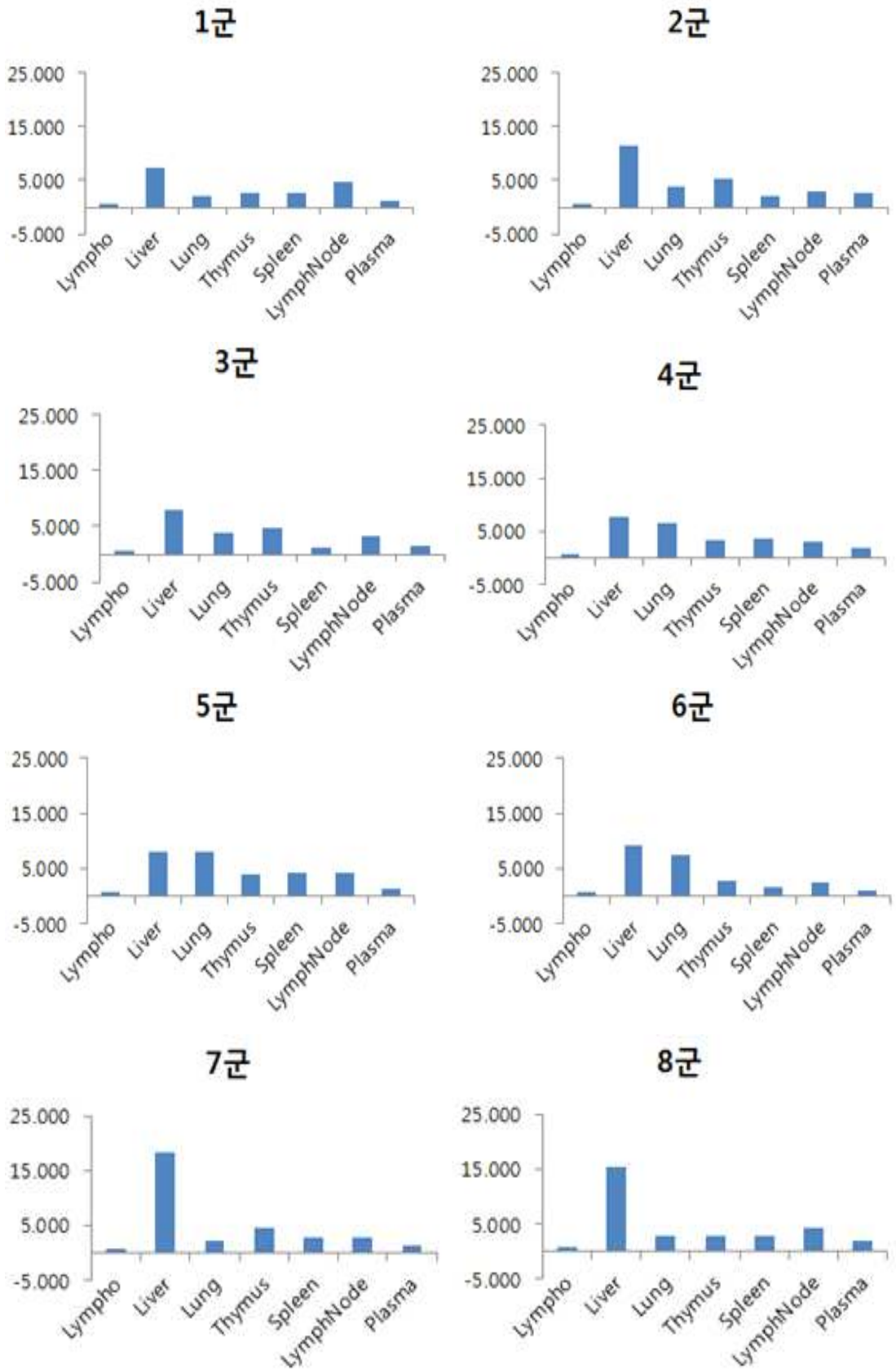


그림 198 Rat 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (1)

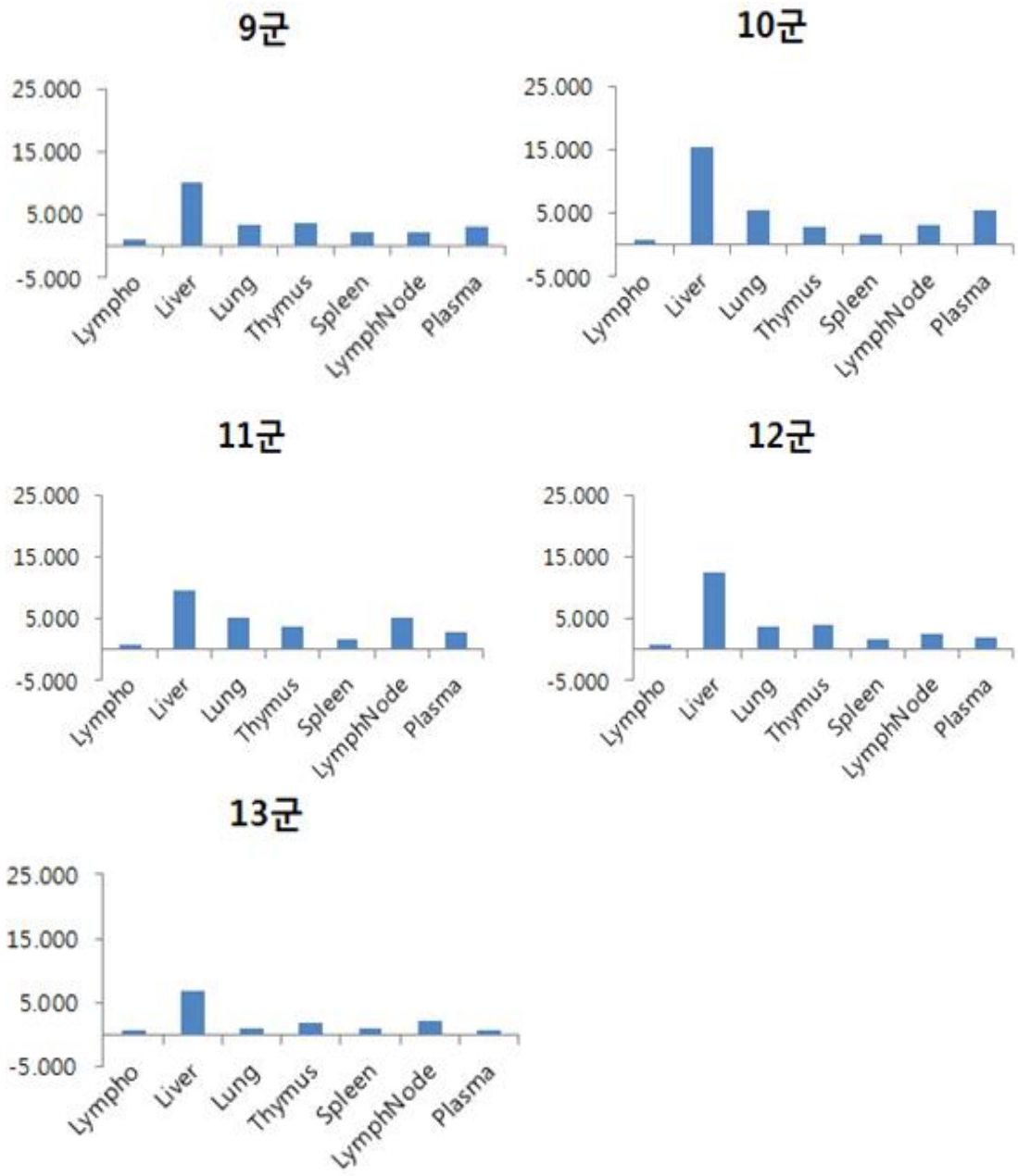


그림 199 Rat 실험 군 분류별 조직 MDA 결과 (2)

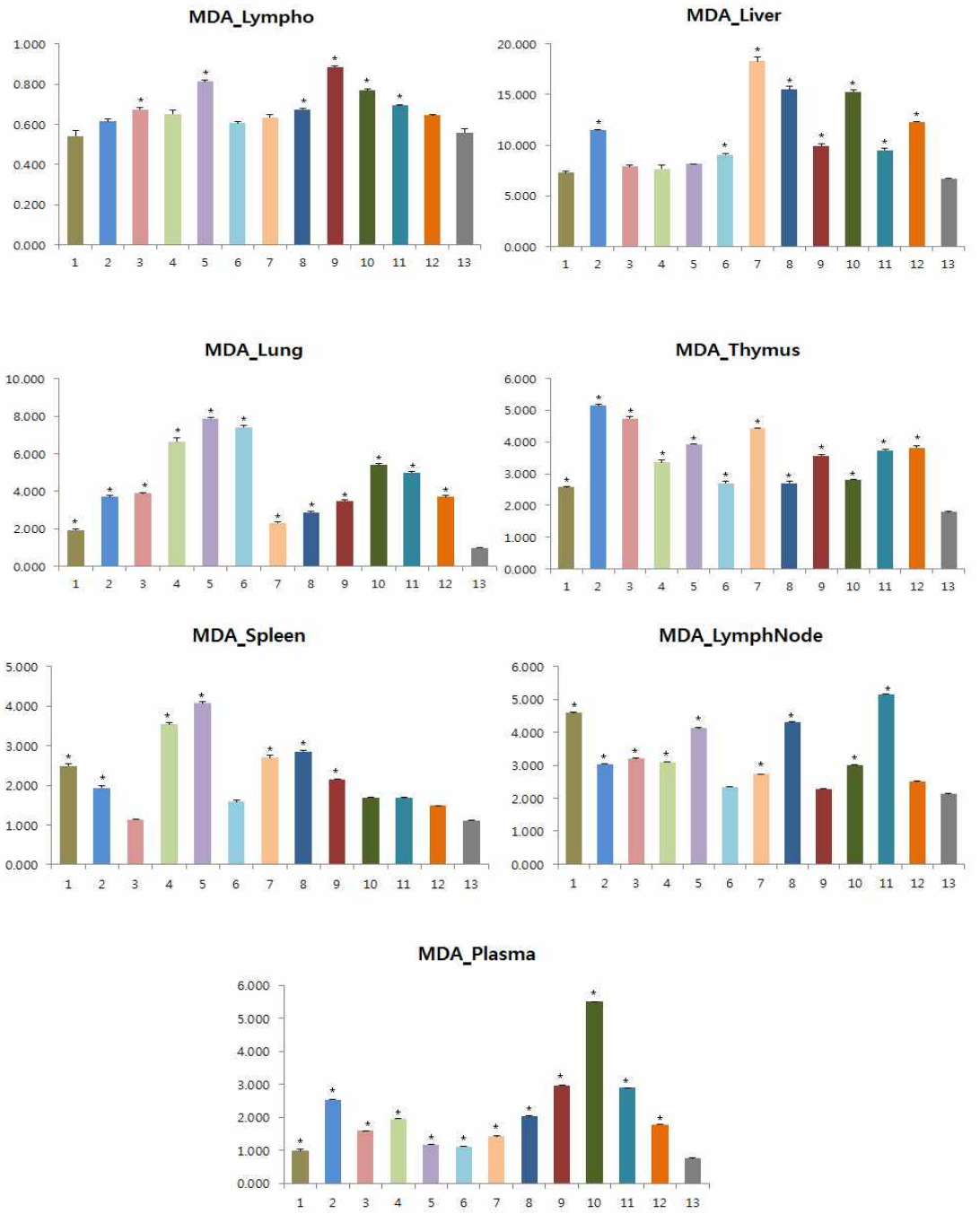


그림 200 Rat 조직 분류별 군의 MDA 분석 결과_

(3) 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine(8-OHdG)

혼합가스에 흡입노출에 의한 랫드의 조직의 DNA 손상을 측정하기 위해 8-OHdG를 실시하였다. 조직별로 보았을 때 Liver와 폐조직세포인 BALF세포의 지질손상이 크게 나타났고, 샌드위치 패널과 PVC 연소가스에 노출된 마우스의 조직의 DNA 손상이 큰 것으로 나타났다. 목재, 우레탄, PVC바닥재, 샌드위치 패널의 필터 없는군은 통계적으로도 유의하였다 (표 93, 그림 201~203)

표 93 DNA damage in Female rats tissue after exposed of gases.

	1 군	2 군	3 군	4 군	5 군	6 군	7 군	8 군	9 군	10 군	11 군	12 군	13 군
Liver	32.180	3.987	8.027	2.308	15.047	10.782	14.666	7.237	11.758	10.113	10.892	10.313	1.239
Lung	1.437	0.376	1.832	0.493	5.234	2.092	2.575	2.063	2.918	2.573	2.685	1.459	0.320
Spleen	2.651	1.540	3.557	1.235	6.772	2.548	3.179	3.019	3.218	3.138	4.194	2.714	0.784
Thymus	2.742	1.463	4.708	1.434	4.155	1.788	1.512	1.292	2.170	1.353	1.928	1.429	1.030
LN	0.480	0.223	0.550	0.308	2.389	1.587	2.057	1.921	2.259	2.039	1.170	0.920	0.137
Heart	3.122	1.806	3.894	3.239	6.918	4.595	4.342	2.892	3.719	3.253	3.209	2.898	0.804
Kidney	16.904	6.318	6.537	6.248	9.775	6.130	6.667	5.387	6.240	5.096	5.209	4.285	3.019

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

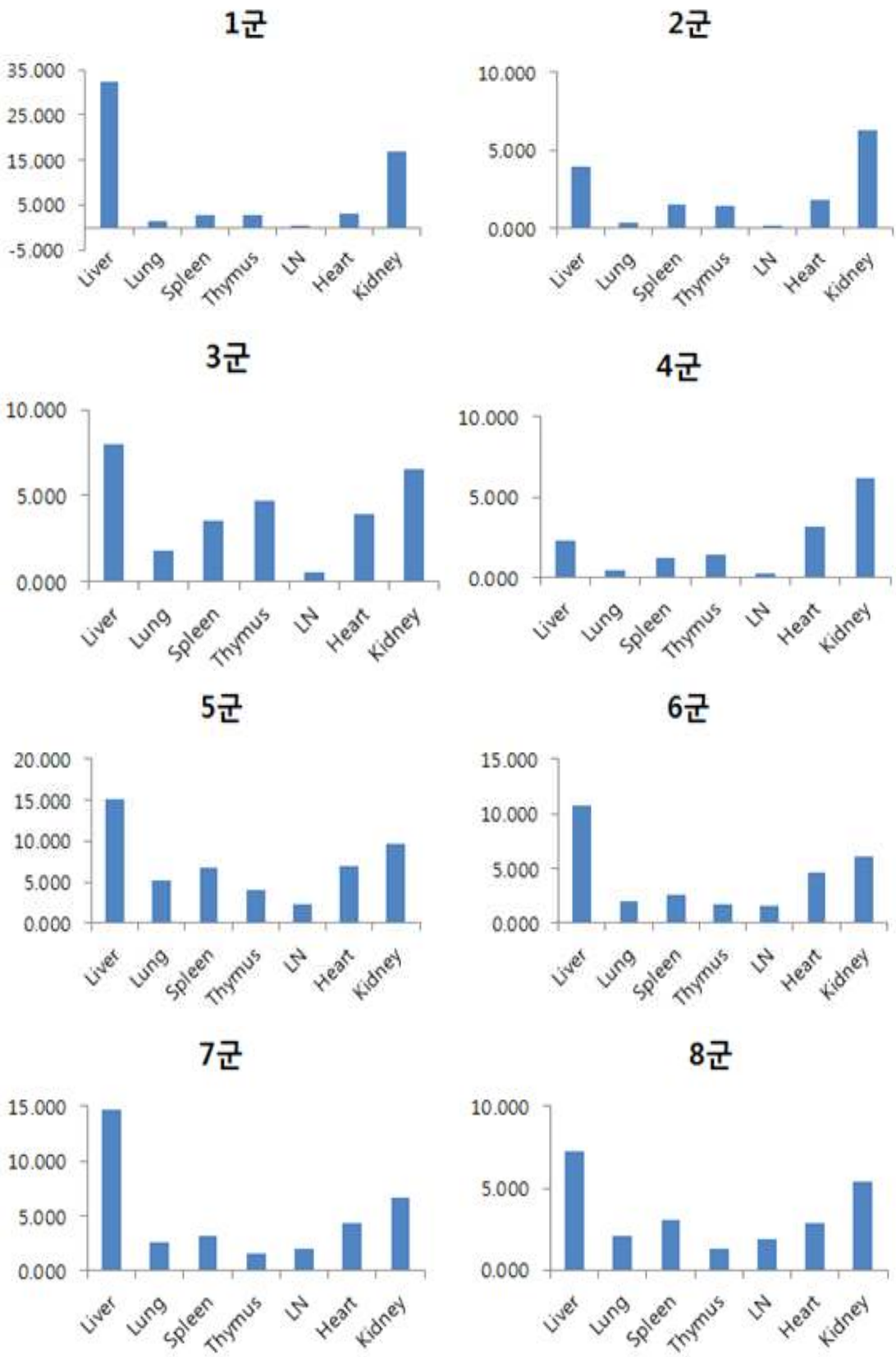


그림 201 Rat 실험 군 분류별 조직 8-OHdG 결과 (1)

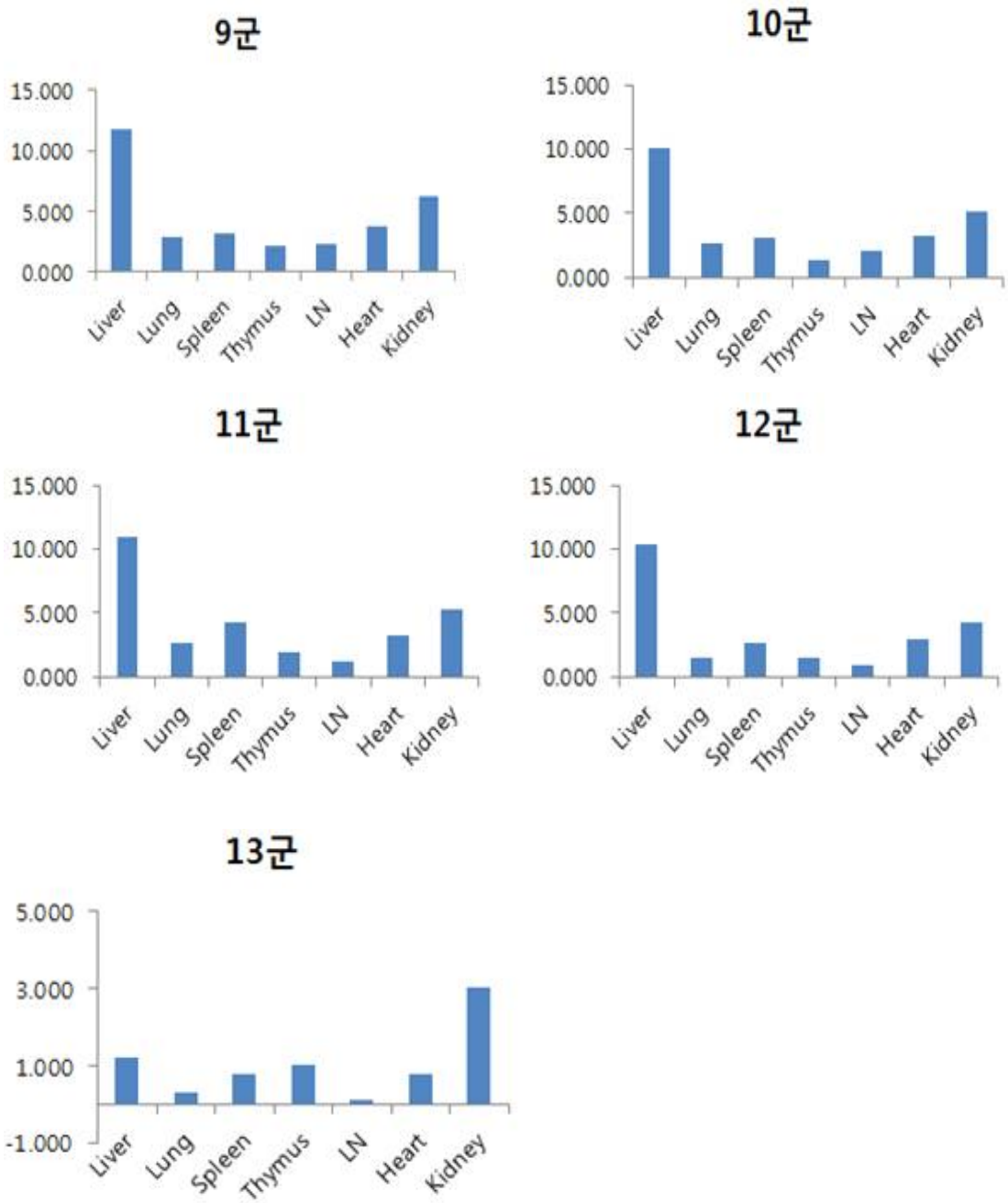


그림 202 Rat 실험 군 분류별 조직 8-OHdG 결과 (2)

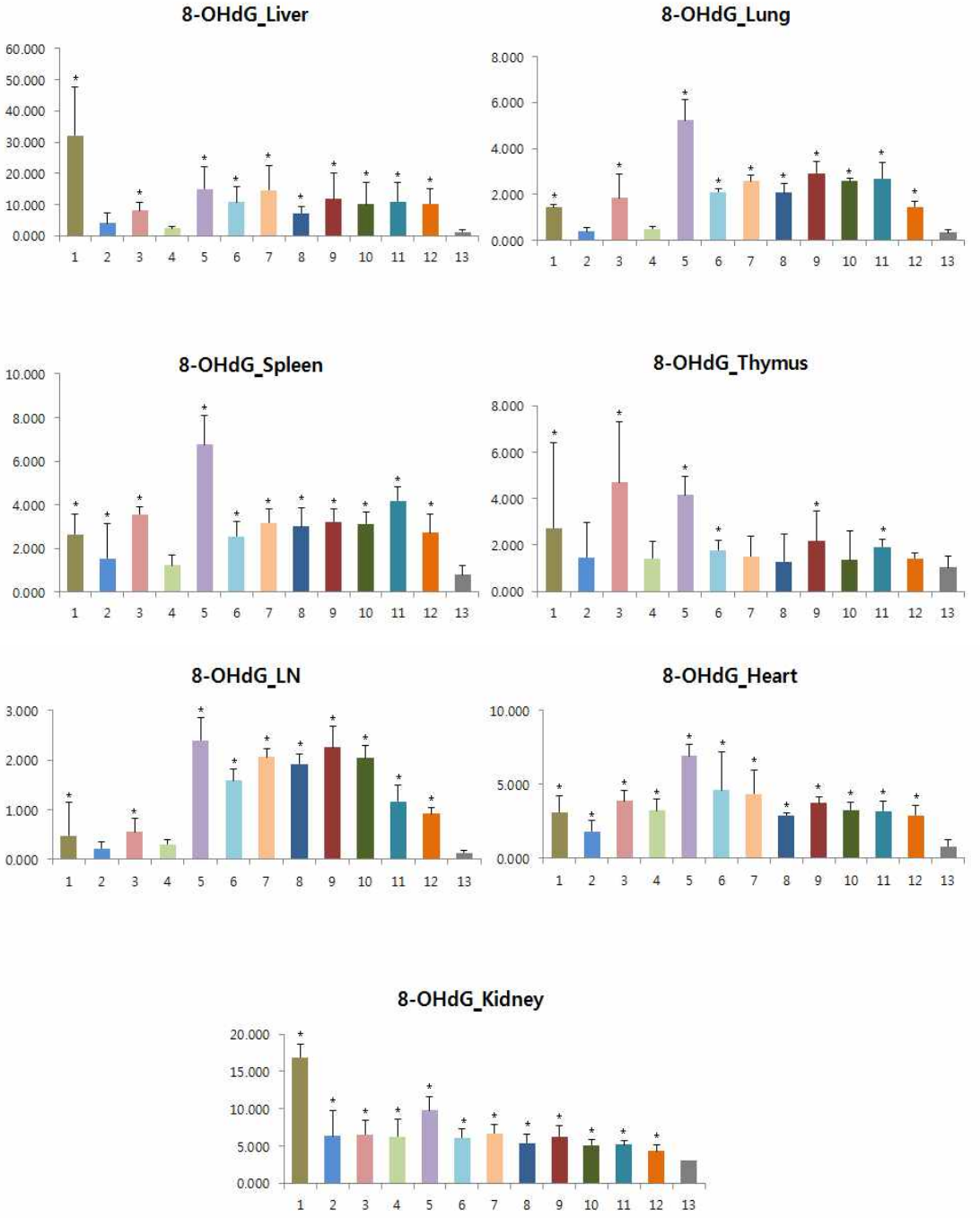


그림 203 Rat 조직 분류별 군의 8-OHdG 분석 결과

마. 표준가스 노출실험 (Rat)

표준가스를 실험용 쥐(Rat)에 노출시킨 후, 해부를 실시하여 표적장기 적출과 혈액 샘플링을 통해 표준가스의 종류별, 농도별 피해정도를 분석한다. 연소가스에 노출되어 행동이 정지된 실험용 쥐 (Rat) 는 표적장기 (폐, 심장, 간, 신장, 흉선, 췌장) 적출 및 혈액 샘플링을 실시한다.

표 94 표준가스 동물실험 디자인

화학종	표준가스 농도 (KICT분석농도) (ppm)	No.	마리수
Control	-	1	5
HF	80	2	5
	169.7	3	5
	222	4	5
	254.6	5	5
	144	6	5
HCN	12	7	5
	55	8	5
	135	9	5
	243.8	10	5
CO2	788	11	5
HCl	524	12	5
HBr	62.9	13	5
	811	14	5
CO	300	15	5
CO2	1947	16	5
			80

(1) 병리조직 검사 결과

기도내 가스노출에 의한 조직병리학적 분석결과 HCN 고농도 노출군에서 급성 염증에 따른 기관지 주변의 출현, 폐포강내 폐부종 발생 하였으며 심한 폐부종과 호중구와 같은 급성염증세포의 침윤을 특징으로 하는 급성폐포염 발생과 더불어 폐장 실질의 섬유화가 관찰되었다 ©.

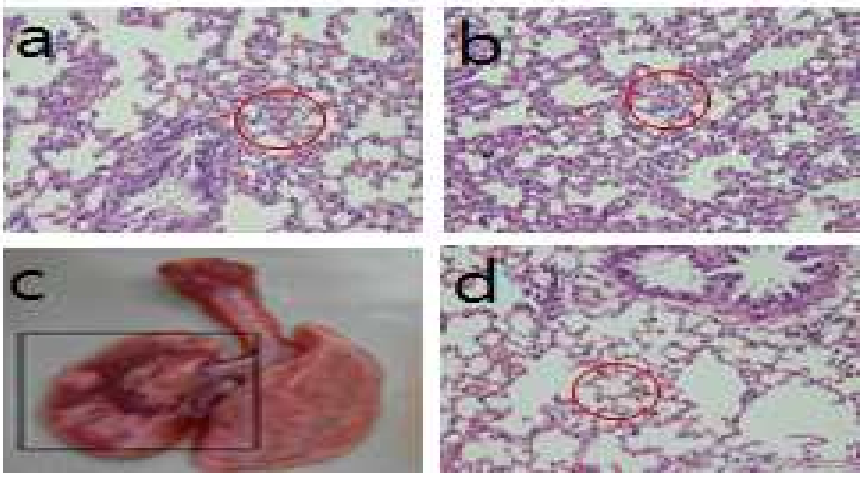


그림 204 Histopathology of High dose(261ppm) HCN gas exposure in Rat lung tissue.

a: after exposure gas. acute alveolitis. b: After exposure, pulmonary edema. c: After exposure , lung fibrosis.

대부분의 가스흡입 쥐 간의 혈관주위에 국소다발성의 문맥간 조직 만성염증 세포 침윤이 관찰되었다.

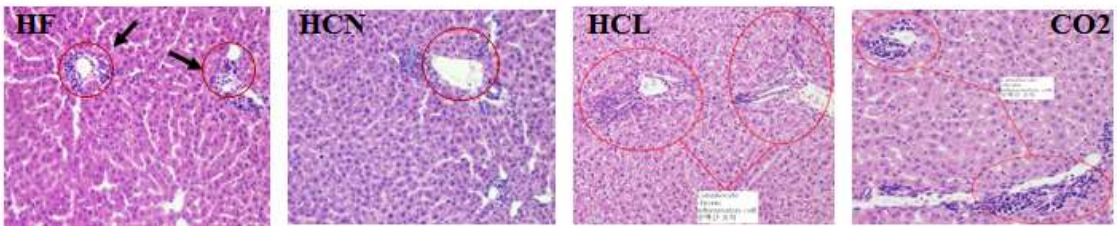


그림 205 Histopathological findings for the Liver inhalation of gases

Histopathology of the Liver in the female rats inhaled with gases. Central vein & portal space(circle) of the female livers H&E, Mag.=X200 for all.

고농도 HF 실험군의 신장조직에서 경도의 microsteatosis 가 관찰되었다.

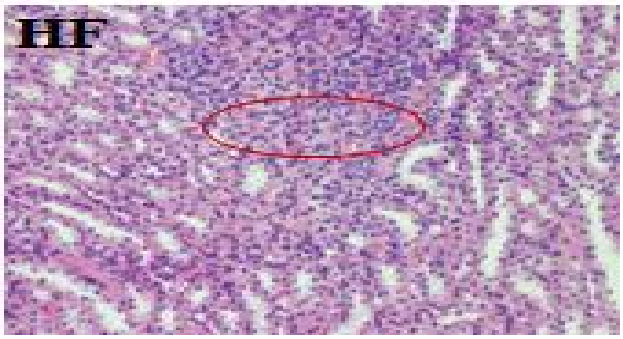


그림 206 경도의 microsteatosis

(2) 혈액학적 검사

가스에 노출된 암컷의 혈액검사결과 노출농도에 따라 WBC (백혈구), netrophil (중성호성백혈구), HB (hemoglobin), HCT (hemato- crit 치), MCV (Mean corpuscular volume) 등 거의 전 항목이 대조군과 비교하여 농도가 높아질수록 감소하였고, 고농도군에서의 백혈구(WBC)가 대조군과 비교하여 유의하게 증가하였고, 림프구(LY)와 단구(MO)도 대조군과 비교하여 용량의 존적으로 감소하였다. 이는 가스물질에 의한 독성학적 변화로 판단된다. 그 외 나머지 항목도 변이는 있었으나 모두 정상범주로 나타났다.

표 95 Hematological values of Female rats exposed to gases (1)

Parameters	Reference range	1군	2군	3군
WBC(x109/L)	1.8-10.7	0.87 ± 0.32	1.20 ± 1.32	1.15 ± 0.98
RBC(x1012/L)	6.36-9.42	9.63 ± 0.22	9.01 ± 0.25	8.97 ± 0.25
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	14.5 ± 0.53	14.20 ± 0.45	13.2 ± 0.95
Hematocrit(%)	35.1-45.4	58.8 ± 1.25	60.1 ±21.44	51.6 ± 1.54
MCV(fL)	45.4-60.3	61.1 ± 2.46	63.0 ± 2.55	57.6 ± 2.43
MCH(pg)	14.1-19.3	15.1 ± 0.69	14.9 ± 0.92	14.8 ± 1.20
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	24.7 ± 0.47	23.6 ± 0.94	25.6 ± 1.35
Platelet(x109/L)	592-2972	1103 ± 52.21	1264 ± 42.25	1832 ± 52.0
Segment(%)	6.6-38.9	7.6 ± 1.02	9.6 ± 1.81	9.6 ± 1.04
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	79.8 ± 2.52	91.4 ± 2.03	98.4 ± 1.32
Monocyte(%)	0.0-7.5	8.9 ± 0.99	5.5 ± 0.78	5.5 ± 0.75
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.5 ± 2.16	3.1 ± 1.71	3.6 ± 1.42
Basophil(%)	0.0-2.0	0.2 ± 0.01	0.6 ± 0.02	0.7 ± 0.02

WBC, white blood cell (K/㎕); NE, neutrophil (K/㎕); LY, lymphocyte (K/㎕); MO, monocyte (K/㎕); EO, eosinophil (K/㎕); BA, basophil (K/㎕); RBC, red blood cell (M/㎕); Hb, hemoglobin (g/dL); HCT, hematocrit (%); MCV, mean corpuscular volume (fL); MCH, mean corpuscular hemoglobin (pg); MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration (g/dL); RDW, red blood cell distribution width (%); PLT, platelets (K/㎕); MPV, mean plasma volume (fL)

All values are expressed as means ± SD.

표 96 Hematological values of Female rats exposed to gases (2)

Parameters	Reference range	4군	5군	6군
WBC(x109/L)	1.8-10.7	2.22 ± 2.21	2.97 ± 1.21	2.64 ± 0.98
RBC(x1012/L)	6.36-9.42	9.16 ± 0.25	8.38 ± 0.42	8.61 ± 0.36
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	13.2 ± 0.55	12.3 ± 0.85	12.8 ± 0.74
Hematocrit(%)	35.1-45.4	52.4 ± 0.36	57.5 ± 1.34	50.3 ± 0.59
MCV(fL)	45.4-60.3	57.8 ± 2.85	58.1 ± 2.25	58.5 ± 2.29
MCH(pg)	14.1-19.3	14.6 ± 0.88	15.1 ± 1.10	14.8 ± 0.64
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	25.2 ± 1.24	25.9 ± 1.45	25.4 ± 1.39
Platelet(x109/L)	592-2972	1916 ± 30.2	1923 ± 49.5	1818 ± 52.01
Segment(%)	6.6-38.9	15.2 ± 1.42	16.0 ± 1.12	11.0 ± 1.07
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	97.7 ± 3.25	95.3 ± 2.32	98.2 ± 2.92
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.1 ± 0.99	5.0 ± 0.45	5.2 ± 0.43
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.0 ± 1.88	3.2 ± 1.46	2.9 ± 0.87
Basophil(%)	0.0-2.0	1.0 ± 0.03	0.5 ± 0.02	0.7 ± 0.02

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 97 Hematological values of Female rats exposed to gases (3)

Parameters	Reference range	7군	8군	9군
WBC(x109/L)	1.8-10.7	2.32 ± 2.22	2.55 ± 0.95	1.97 ±0.36
RBC(x1012/L)	6.36-9.42	7.73 ± 0.33	7.80 ± 0.68	6.52 ± 0.46
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	13.1 ± 0.88	12.8 ± 0.54	13.1 ± 0.54
Hematocrit(%)	35.1-45.4	50.8 ± 0.58	50.2 ± 1.11	50.5 ± 1.68
MCV(fL)	45.4-60.3	58.2 ± 2.49	57.0 ± 2.68	59.3 ± 2.89
MCH(pg)	14.1-19.3	15.1 ± 0.67	14.6 ± 0.75	15.4 ± 0.97
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	25.9 ± 1.26	25.6 ± 0.58	26.0 ± 1.33
Platelet(x109/L)	592-2972	1684 ± 36.5	1699 ± 55.5	1179 ± 87.5
Segment(%)	6.6-38.9	8.3 ± 2.07	9.9 ± 2.81	9.7 ± 2.42
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	89.3 ± 1.50	81.5 ± 3.19	1011 ± 1.21
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.6 ± 0.48	5.2 ± 0.78	5.6 ± 0.91
Eosinophil(%)	0.0-3.9	5.4 ± 1.52	6.4 ± 2.47	5.5 ± 1.21
Basophil(%)	0.0-2.0	1.4 ± 0.03	1.0 ± 0.02	1.1 ± 0.03

All values are expressed as means ± SD.
Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 98 Hematological values of Female rats exposed to gases (4)

Parameters	Reference range	10군	11군	12군
WBC(x109/L)	1.8-10.7	3.22 ± 1.22	3.89 ± 1.12	3.80 ± 1.12
RBC(x1012/L)	6.36-9.42	6.04 ± 0.24	5.09 ±0.35	7.97 ± 0.32
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	13.4 ± 0.65	13.3 ± 0.55	13.4 ± 0.58
Hematocrit(%)	35.1-45.4	57.0 ± 1.22	55.8 ± 1.12	57.6 ± 1.36
MCV(fL)	45.4-60.3	63.0 ± 2.31	61.4 ± 1.78	63.0 ± 1.77
MCH(pg)	14.1-19.3	14.8 ± 0.82	14.7 ± 0.54	15.0 ± 0.55
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	23.6 ± 0.48	23.9 ± 0.51	23.7 ± 0.42
Platelet(x109/L)	592-2972	1774 ± 35.52	1797 ± 25.52	1655 ± 44.25
Segment(%)	6.6-38.9	9.9 ± 2.93	8.9 ± 1.20	10.9 ± 2.45
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	82.9 ± 2.25	99.8 ± 3.14	89.9 ± 2.33
Monocyte(%)	0.0-7.5	5.1 ± 0.34	5.8 ± 0.21	5.2 ± 0.81
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.8 ± 0.77	3.8 ± 1.21	3.9 ± 1.04
Basophil(%)	0.0-2.0	0.3 ± 0.02	0.7 ± 0.03	0.3 ± 0.01

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 99 Hematological values of Female rats exposed to gases (5)

Parameters	Reference range	13군	14군	15군	16군
WBC(x109/L)	1.8-10.7	2.88 ± 0.99	3.83 ± 1.36	3.42 ± 1.45	3.55 ± 1.75
RBC(x1012/L)	6.36-9.42	8.50 ± 0.54	8.64 ± 0.51	8.91 ± 0.39	8.94 ± 0.41
Hemoglobin(g/dL)	11.0-15.1	12.9 ± 0.75	12.6 ± 0.67	13.5 ± 0.33	13.9 ± 0.51
Hematocrit(%)	35.1-45.4	53.8 ± 1.58	53.6± 1.42	56.6 ± 1.39	57.1 ± 1.52
MCV(fL)	45.4-60.3	56.7 ± 1.80	62.0 ± 1.45	63.5 ± 1.42	62.0 ± 1.45
MCH(pg)	14.1-19.3	15.1 ± 0.68	14.6 ± 0.88	15.2 ± 0.52	15.6 ± 0.33
MCHC(g/dL)	30.2-34.2	23.9 ± 1.35	23.5 ± 1.41	23.9 ± 0.53	24.4 ± 0.45
Platelet(x109/L)	592-2972	1118 ± 31.25	1035 ± 44.25	1388 ± 25.24	1352 ± 42.45
Segment(%)	6.6-38.9	9.6 ± 2.83	9.9 ± 1.48	9.8 ± 1.45	10.1 ± 1.32
Lymphocyte(%)	55.8-91.6	84.9 ± 2.52	85.0 ± 2.18	98.7 ± 2.05	101.1 ±3.75
Monocyte(%)	0.0-7.5	4.6 ± 0.74	4.9 ± 0.35	4.1 ± 0.64	4.0 ± 0.35
Eosinophil(%)	0.0-3.9	3.3 ± 0.81	4.8 ± 1.25	4.9 ± 1.09	3.5 ± 1.16
Basophil(%)	0.0-2.0	0.4 ± 0.01	0.4 ± 0.02	0.5 ± 0.02	0.3 ± 0.01

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

(3) 혈액 생화학적 검사결과

세포손상 지표인 Lactate dehydrogenase (LDH) 항목과 폐기능 지표인 TP(total protein)항목에서 노출 후 중농도 및 고농도 노출군에서 대조군 대비 유의성 있는 변화가 관찰되었고, 간손상 지수를 나타내는 GPT도 대조군에 비하여 높은 수치를 보였다 (표100). 이러한 LDH 및 TP 항목은 폐내 염증반응지표 및 lung permeability에 영향을 확인하는 지표이기에 고농도 노출군에서 폐기능에 영향을 미칠 가능성이 있음을 제시한다.

표 100 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (1)

Parameters	정상범위	1군	2군	3군
Total protein(g/dL)*	5.4 - 7.1	4.95 ± 0.51	5.1 ± 0.47	5.4 ± 0.84
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	4.34 ± 0.18	3.2 ± 0.37	3.4 ± 0.22
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.48 ± 0.04	0.1 ± 0.23	0.1 ± 0.07
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	137.40 ± 11.54	179 ± 14.74	56 ± 6.55
BUN(mg/dL)	10 - 28	17.20 ± 1.81	24.74 ± 1.97	21.19 ± 1.71
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.24 ± 0.05	0.2 ± 0.08	0.3 ± 0.05
GPT(U/L)*	23 - 66	65.25 ± 4.54	262.84 ± 41.84	248.6 ± 12.50
GOT (U/L)	21 - 102	100.25 ± 2.35	150.17±12.25	104.18±3.25
ALP(U/L)	20 - 156	110.12 ± 15.11	6.8 ± 0.59	7.4 ± 0.82
LDH(U/L)*	45 - 233	183.23 ±8.11	904 ± 0.01	826 ± 0.01
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	88.60 ± 4.51	162.59 ± 18.69	144.85 ± 13.16
Triglyceride(mg/dL)	135.4	89.00 ± 7.80	53.31 ±13.24	45.24 ± 3.85
Phosphorus(mg/dL)	2.6 - 6.2	7.30 ± 0.41	9.8 ± 1.81	11.1 ± 2.09

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 101 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (2)

Parameters	정상범위	4군	5군	6군
Total protein(g/dL)*	5.4 - 7.1	5.5 ± 0.47	5.7 ± 0.84	5.4 ± 0.56
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	3.4 ± 0.37	3.5 ± 0.22	3.4 ± 0.30
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.2 ± 0.23	0.3 ± 0.07	0.1 ± 0.05
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	56 ± 4.74	38 ± 2.55	107 ± 14.14
BUN(mg/dL)	10 - 28	23.4 ± 4.97	35.77 ± 1.71	40.51 ± 1.57
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.3 ± 0.08	0.2 ± 0.05	0.3 ± 0.00
GPT(U/L)*	23 - 66	2426.16 ± 85.49	4046.49 ±150.95	710.78 ± 68.54
GOT (U/L)	21 - 102	1282.16±4.32	2292.49±32.32	320.26±24.23
ALP(U/L)	20 - 156	7.3 ± 0.59	8.8 ± 0.82	7.1 ± 0.54
LDH(U/L)*	45 - 233	2395 ± 0.01	3057 ± 0.01	1334 ± 2.54
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	144.57 ± 8.69	173.81 ± 13.16	138.15 ± 28.76
Triglyceride(mg/dL)	135.4	43.51 ± 3.24	23.41 ± 3.85	52.65 ± 4.23
Phosphorus(mg/dL)	2.6 - 6.2	11.7 ± 1.81	10.6 ± 2.09	11.5 ± 0.71

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 102 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (3)

Parameters	정상범위	7군	8군	9군
Total protein(g/dL)*	5.4 - 7.1	4.8 ± 0.56	7.2 ± 0.47	6.2 ± 0.51
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	3.2 ± 0.30	3.1 ± 0.37	3.6 ± 0.33
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0 ± 0.05	0.2 ± 0.23	0.4 ± 0.01
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	4 ± 0.52	3 ± 0.14	12 ± 1.11
BUN(mg/dL)	10 - 28	40 ± 1.57	42.5 ± 2.5	46.08 ± 3.55
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.1 ± 0.05	0.5 ± 0.08	0.1 ± 0.01
GPT(U/L)*	23 - 66	307.36 ± 20.12	168.25 ± 12.2	355.4 ± 22.5
GOT (U/L)	21 - 102	153.4 ± 7.51	109.13 ± 10.1	208.32 ± 15.4
ALP(U/L)	20 - 156	18 ± 53.54	7 ± 0.45	44 ± 4.41
LDH(U/L)*	45 - 233	1352 ± 9.39	1830 ± 45.5	3056 ± 3.33
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	134.04 ± 8.76	152 ± 11.2	166.2 ± 13.22
Triglyceride(mg/dL)	135.4	33.44 ± 7.23	36.48 ± 2.54	55.44 ± 4.88
Phosphorus(mg/dL)	2.6 - 6.2	18.8 ± 0.71	15.5 ± 1.12	22 ± 2.11

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 103 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (4)

Parameters	정상범위	10군	11군	12군
Total protein(g/dL)*	5.4 - 7.1	6.5 ± 0.84	6.7 ± 0.24	7.1 ± 0.41
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	3.2 ± 0.22	3.5 ± 0.12	3.3 ± 0.31
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.1 ± 0.21	0.3 ± 0.02	0.4 ± 0.12
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	199 ± 12.55	152 ± 3.25	198± 12.72
BUN(mg/dL)	10 - 28	44.59 ± 1.71	55.47 ± 2.45	64.34 ± 3.35
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.2 ± 0.05	0.6 ± 0.04	0.6 ± 0.02
GPT(U/L)*	23 - 66	118.51 ± 185	3245.25 ±120.25	4132.84 ± 82.2
GOT (U/L)	21 - 102	152.8 ± 4.32	201.25±21.25	425.65±22.48
ALP(U/L)	20 - 156	7.3 ± 01.82	8.8 ± 0.82	6.8 ± 0.59
LDH(U/L)*	45 - 233	3521 ± 0.01	3057 ± 2.25	3904 ± 3.12
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	137.68 ± 13.16	173.81 ± 13.16	232.52 ± 11.25
Triglyceride(mg/dL)	135.4	106.66 ± 13.85	23.41 ± 3.85	33.235 ±12.24
Phosphorus(mg/dL)	2.6 - 6.2	10.5 ± 2.09	10.6 ± 2.09	19.8 ± 2.22

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

표 104 Serum biochemistry in female rats exposed to gases (5)

Parameters	정상범위	13군	14군	15군	16군
Total protein(g/dL)*	5.4 - 7.1	6.3 ± 0.23	6.8 ± 0.84	7.1 ± 0.58	8.8 ± 0.67
Albumin(g/dL)	2.6 - 3.3	3.8 ± 0.20	3.3 ± 0.22	3.1 ± 0.17	3.5 ± 0.27
Bilirubin(mg/dL)	0.4 ± 0.5	0.2 ± 0.01	0.1 ± 0.05	0.2 ± 0.02	0.1 ± 0.03
Glucose(mg/dL)	31.4 - 200	210 ± 12.31	186 ± 13.25	201 ± 13.25	195 ± 12.21
BUN(mg/dL)	10 - 28	62.94 ± 4.25	66.58 ± 7.71	62.25 ± 3.33	62.21 ± 3.97
Creatinine(mg/dL)	0.5 - 1.4	0.8 ± 0.32	0.9 ± 0.02	0.3 ± 0.07	0.4 ± 0.02
GPT(U/L)*	23 - 66	2153.11 ± 42.62	2132.28 ± 32.65	2240.26 ± 42.21	2135.79±32.42
GOT (U/L)	21 - 102	156.58 ± 33.25	137.26 ± 22.54	181.34 ± 6.25	237.37±21.21
ALP(U/L)	20 - 156	6.9 ± 0.68	6.3 ± 0.42	8.2 ± 0.69	7.4 ±0.59
LDH(U/L)*	45 - 233	2554 ± 42.52	2657 ± 32.52	2868 ± 34.25	2757 ± 34.25
Cholesterol(mg/dL)	28.6 - 11.04	254.25 ± 13.25	233.64 ± 12.26	238.91 ± 11.26	229.54 ± 24.245
Triglyceride(mg/dL)	135.4	12.25 ± 13.25	64.75 ± 6.85	98.68± 6.24	75.53 ± 24.25
Phosphorus(mg/dL)	2.6 - 6.2	12.5 ± 2.74	8.52± 2.09	12.62 ± 2.08	19.4 ± 1.81

All values are expressed as means ± SD.

Significant differences as compared with control: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

(4) cytokine 분석실험 결과

Cytokine은 다양하고, 특이적인 수용체를 가지고 있는 세포와 반응하여 작용을 나타낸다. 그 중에서 Interleukins(i.e : IL-1α,β, IL-6, IL-10 등)과 Colony stimulating factors(G-CSF, GM-CSF 등)는 일반적으로 면역조절작용 및 조혈세포의 성장조절에 관여하는 cytokine 이고, Interferons는 항바이러스작용 및 면역조절작용을 주로 하는 cytokine 들이다. 기관지 및 폐염증을 유발하는 주요 특징은 IL-1β와 IL-5 등의 cytokine을 생산하는 CD4+ T 세포가 폐와 기관지에 상당한 수로 침윤하여 증식한다는 것이다.

연소흡입가스의 유해물질에 노출된 랫드의 폐세척액(BALF)에서 cytokines의 발현정도를 확인해 보았을 때, HCN, CO 가스노출군에서 IL-10, IL-6, GM-CSF 그리고 sICAM-1 등의 cytokine 발현이 현저히 증가하고, VEGF, IL-1β의 발현이 감소하였다. Cytochrome C, IFN-ɣ, TGF-β는 크게 변화는 없었다.

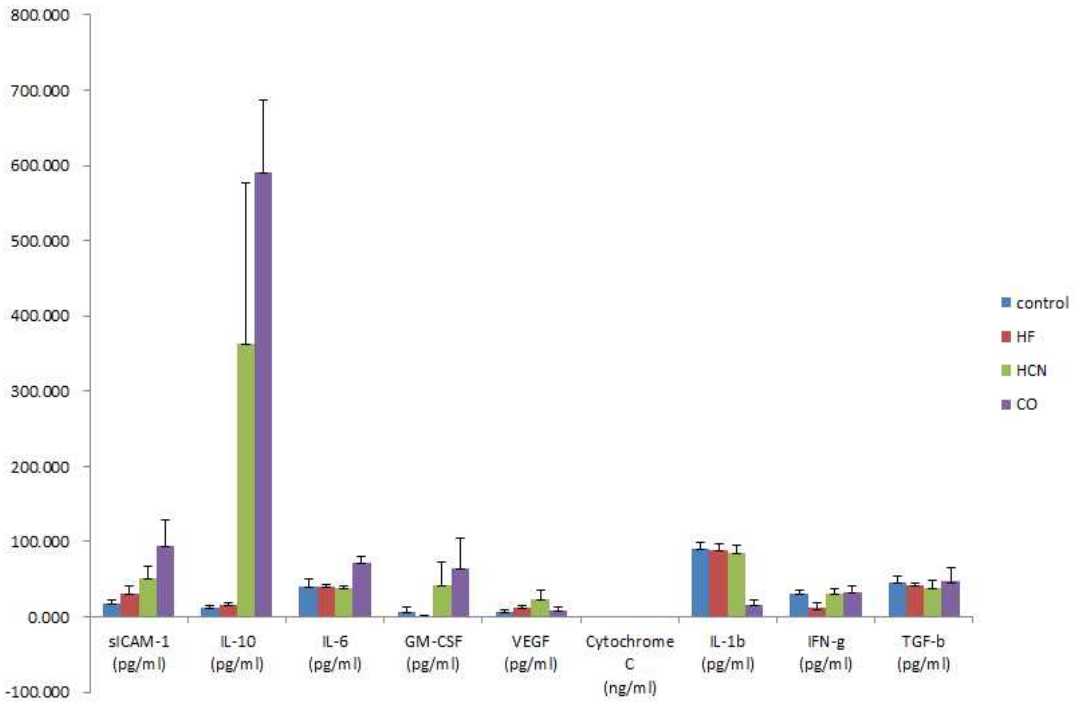


그림 207 cytokine 분석실험

혈액학적 검사를 살펴보면, WBC, RBC, hemoglobin, hematocrit의 감소는 용량의존적인 변화가 관찰되었고, 이는 시험물질에 의한 것으로 사료된다.

혈액생화학적 검사에서 Total Protein, Albumin,, ALP, ALT, LDH의 용량의존적인 변화는 내 염증반응지표 및 lung permeability에 영향을 확인하는 지표로서 독성학적 의미를 가진다고 판단되었다.

부검시 육안적 관찰에서도 시험물질을 투여한 모든 동물에서 시험물질에 의한 육안적 병변은 폐부종이 보였으나 다른 병변들은 시험물질과 상관없이 산발적으로 발생한 병변으로 사료된다.

각 장기에서 여러 가지 병변들이 관찰되었으나, 시험물질투여와 관련이 없는 우발적 병변들로서 독성학적인 중요성이 인정되지 않는 병변들이 대부분이었다. 폐장 및 심장에서 관찰된 여러 병변들도 시험물질의 용량상관성이 없는 우발적인 병변들로서, 특히 심장에서 관찰된 병변들은 F344 랫드에서 정상적으로 관찰되는 병변들로 보고되어 있는 수준의 병변이었다.

결론적으로 가스흡입에의한 랫드에서 8-OHdG와 MDA가 급성흡입 독성시험평가 방법으로 의미가 있다고 사료된다.

표 105 cytokine 분석실험 결과

Concentration		sICAM-1(pg/ml)	IL-10 (pg/ml)	IL-6 (pg/ml)	GM-CSF (pg/ml)	VEGF (pg/ml)	Cytochrome C (ng/ml)	IL-1b (pg/ml)	IFN-g (pg/ml)	TGF-b (pg/ml)
control	mean	18.213	11.973	40.156	5.990	7.135	0.824	90.606	31.820	46.108
	SD	4.283	3.547	9.705	7.149	2.734	0.082	8.127	4.524	9.109
HF	mean	30.246	16.651	41.050	1.550	12.353	0.982	88.913	11.387	42.933
	SD	11.368	1.574	2.356	1.412	3.401	0.101	7.556	6.619	2.724
HCN	mean	51.766	362.778	38.070	42.162	22.648	0.881	85.358	31.534	39.339
	SD	15.771	213.346	2.980	30.997	13.131	0.093	9.253	5.847	8.831
CO	mean	94.703	590.477	72.639	65.014	9.325	0.892	16.797	33.443	46.863
	SD	34.364	95.537	7.177	39.311	4.264	0.127	6.611	8.540	19.424

3. 화재모델을 적용한 연소가스 정량분석

가. 연기밀도시험 모델 및 콘칼로리미터 모델

(1) SDC Chamber

4가지 시료를 SDC Chamber에서 연소실험하고 그 연소가스를 FT-IR로 분석하였다. CO, CO_2, HCN의 발생이 확인되었으며, CO는 우레탄에서 288.9ppm으로 가장 많이 발생했으며, CO2는 난연 플라스틱에서 8135.7ppm으로 가장 많이 발생했다. HCN은 OSB합판에서는 발생하지 않았으며, 우레탄에서 67ppm으로 가장 많이 발생했다.

표 106 마감재료의 연소가스 정량분석

시료명	CO	CO_2	SO_2	HCN	HCl
우레탄	288.9	3144.2	N.D	67.0	N.D
난연 플라스틱	213.7	8135.7	N.D	3.79	N.D
PVC 타일	165.4	1605.8	N.D	3.3	N.D
OSB합판	49.3	831.7	N.D	N.D	N.D

(가) 우레탄

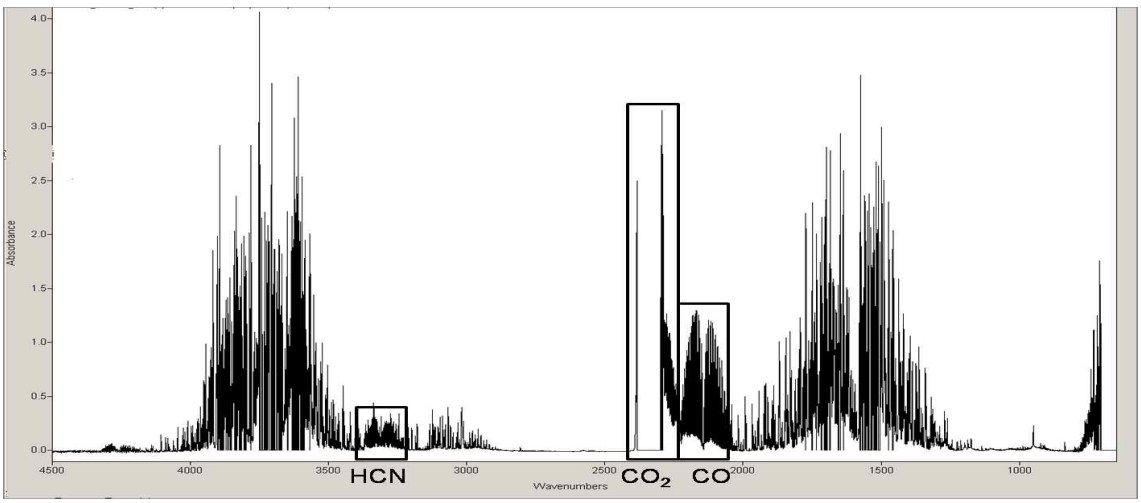


그림 208 Combustion gas Spectrum of Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 107 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN
우레탄	288.9	3144.2	67.0

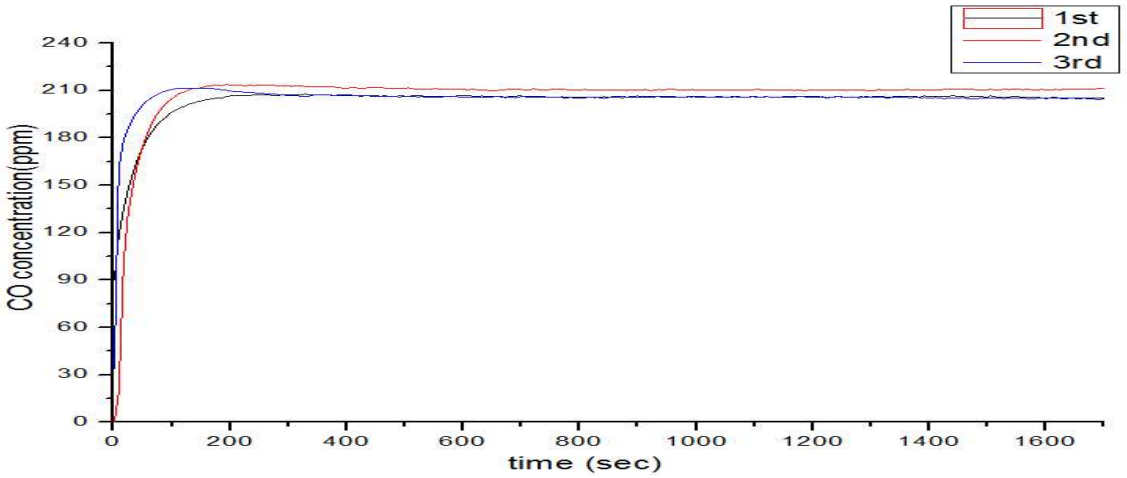


그림 209 CO production

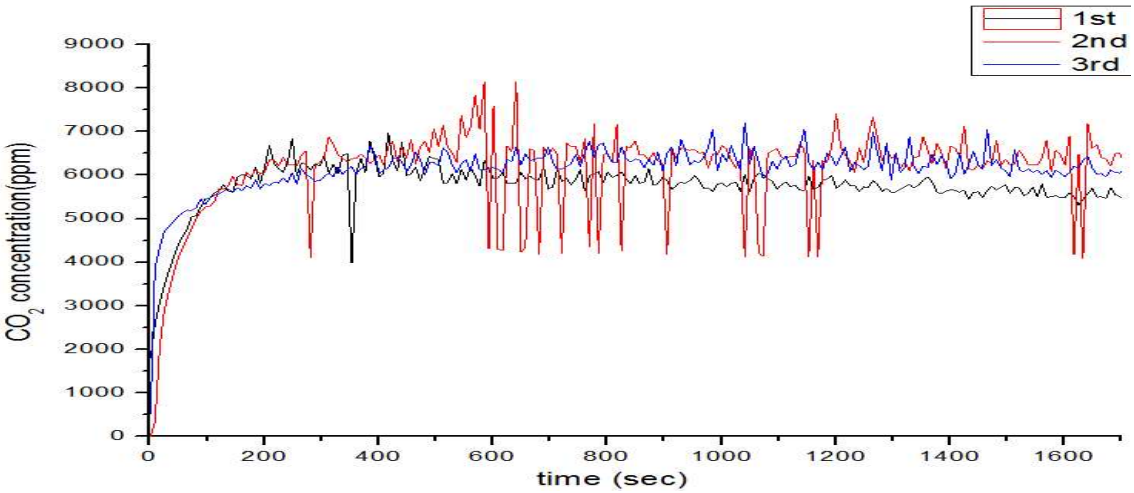


그림 210 CO_2 production

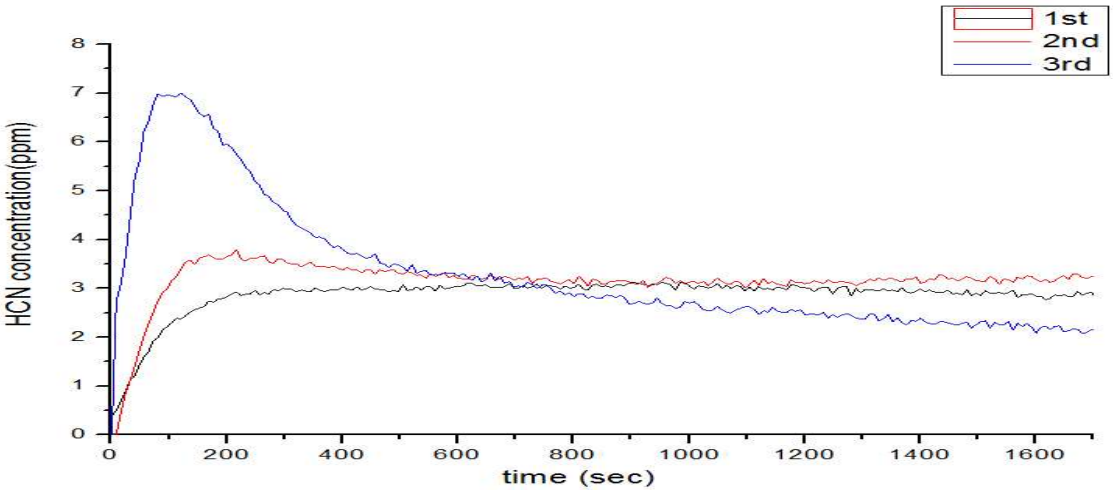


그림 211 HCN production

(나) 난연플라스틱

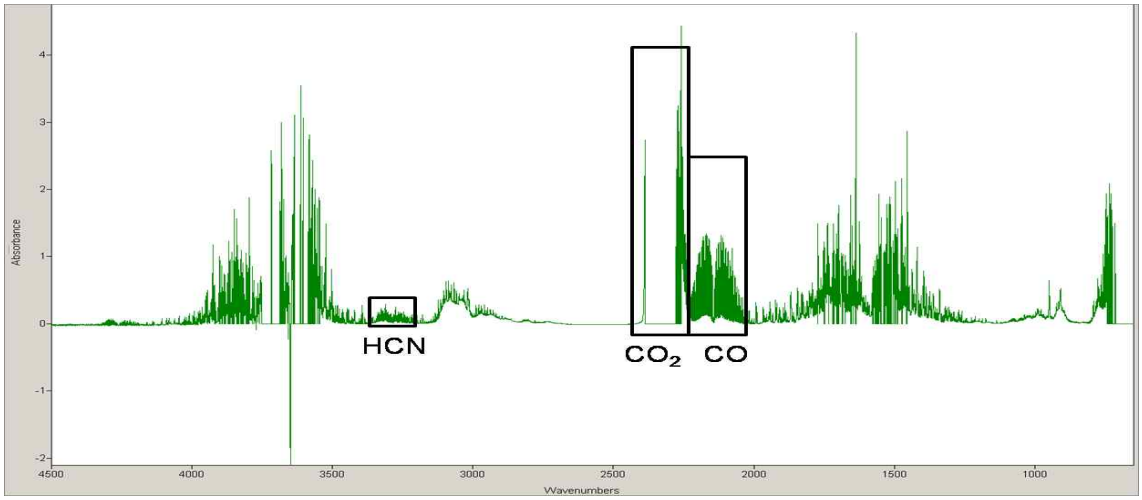


그림 212 Combustion gas Spectrum of Nonflammable Plastic

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 108 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN
난연플라스틱	213.7	8135.7	3.79

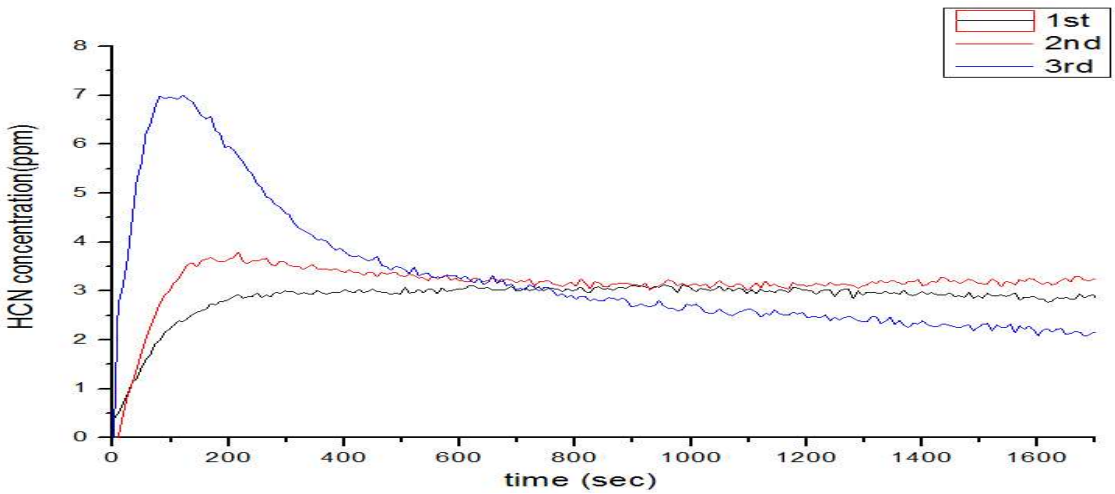


그림 213 HCN production

(다) PVC 타일

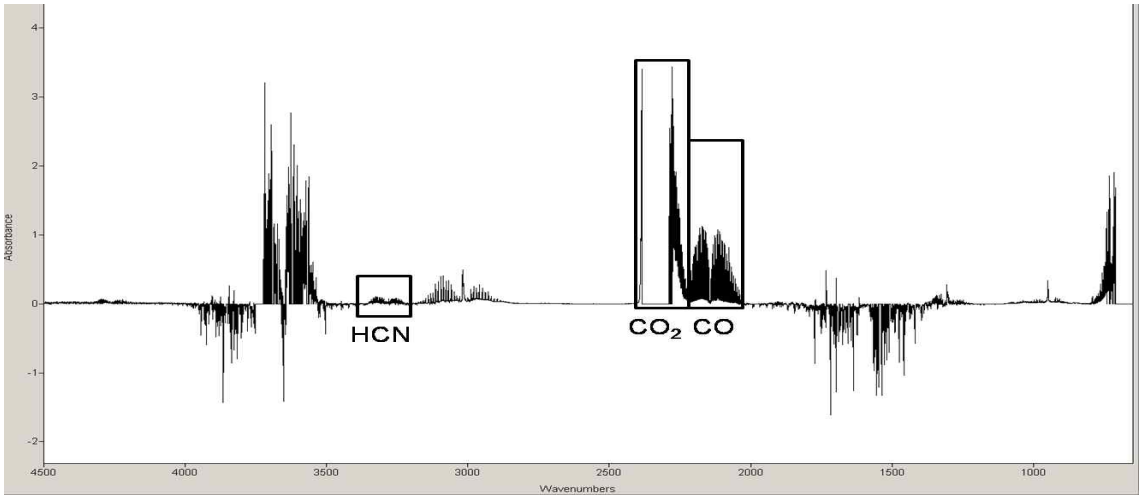


그림 214 Combustion gas Spectrum of PVC Tile

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 109 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN
PVC 타일	165.4	1605.8	3.3

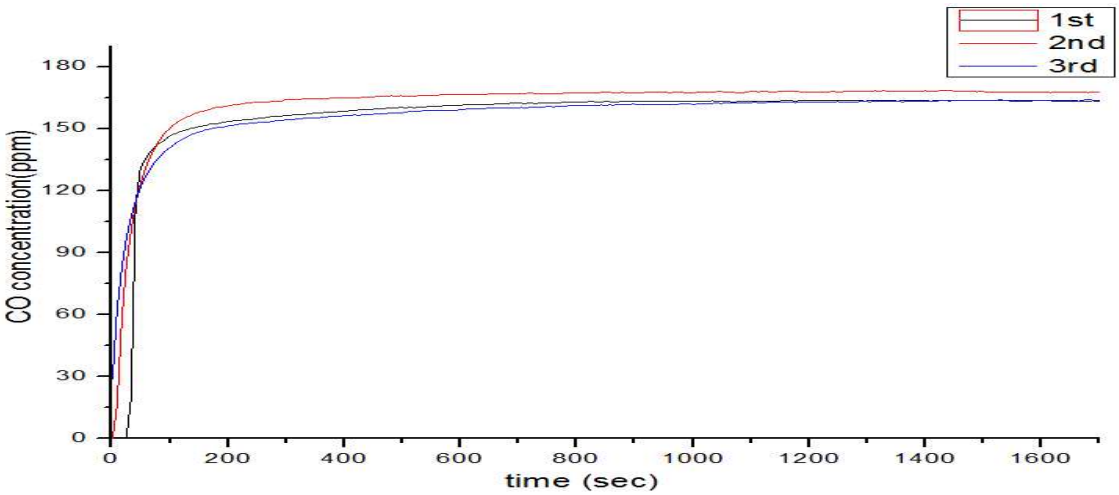


그림 215 CO production

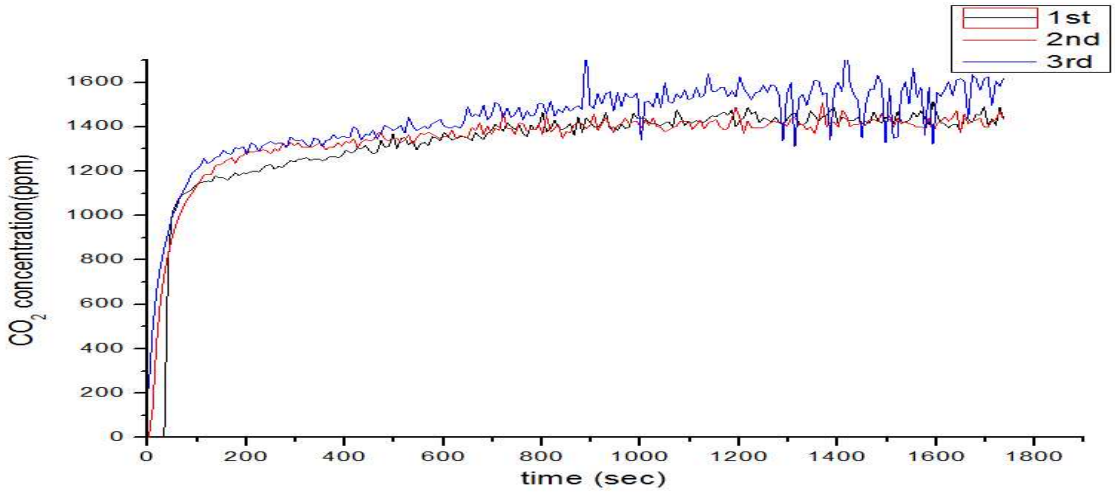


그림 216 CO_2 production

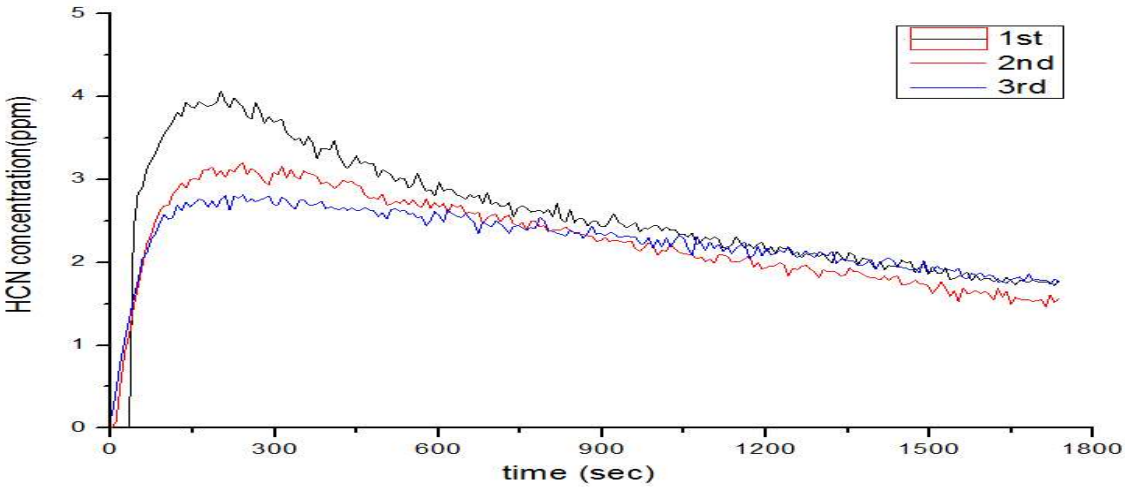


그림 217 HCN production

(라) OSB합판

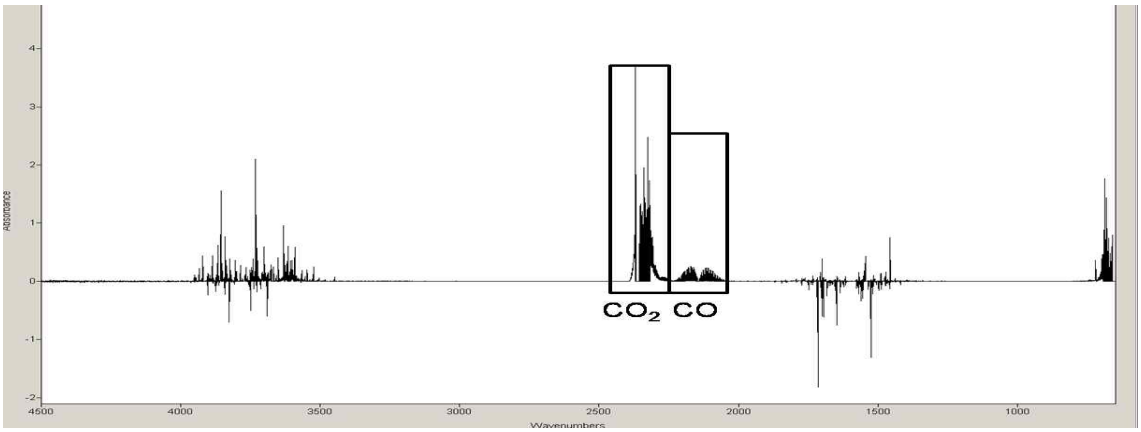


그림 218 Combustion gas Spectrum of Wood

스펙트럼을 정성한 결과 CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 110 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2
OSB합판	49.3	831.7

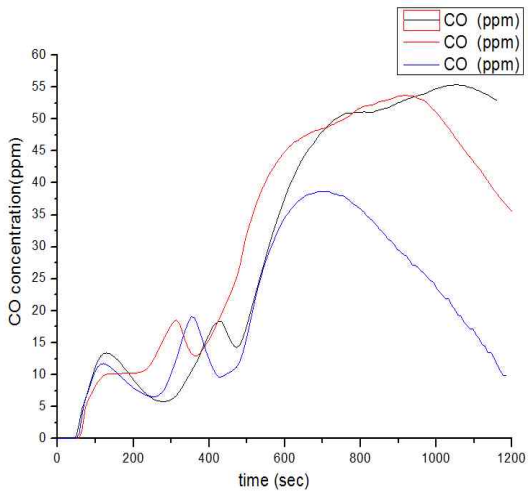


그림 219 CO production

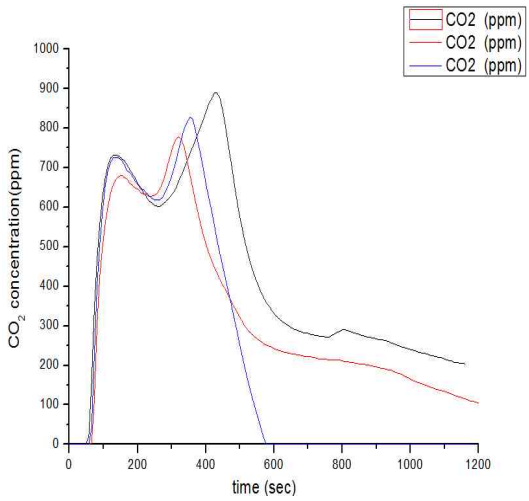


그림 220 CO_2 production

(2) Cone Calorimeter

SDC Chamber에서의 실험과 동일한 4가지 시료를 Cone Calorimeter에서 연소실험하고 그 연소가스를 FT-IR로 분석한 결과는 아래 표와 같다. 각 화학종별로 가장 많은 발생량을 보인 시료는 SDC Chamber에서의 실험과 동일하였다. CO는 우레탄에서 4881ppm으로 가장 많이 발생하였으며, CO2는 난연 플라스틱에서 1657ppm으로 가장 많이 발생하였다. HCN은 우레탄에서 5ppm으로 가장 많이 발생하였으며, SDC Chamber에서의 실험과 달리 PVC 타일의 연소가스에서 HCl 1.13ppm 발생이 확인되었다.

표 111 마감재료의 연소가스 정량분석

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
우레탄	4881.2	213.2	5	N.D	N.D
난연 플라스틱	3970	1657	0.39	N.D	N.D
PVC 타일	3803	894.6	0.25	1.13	N.D
OSB 합판	915.1	1173	N.D	N.D	N.D

(가) 우레탄

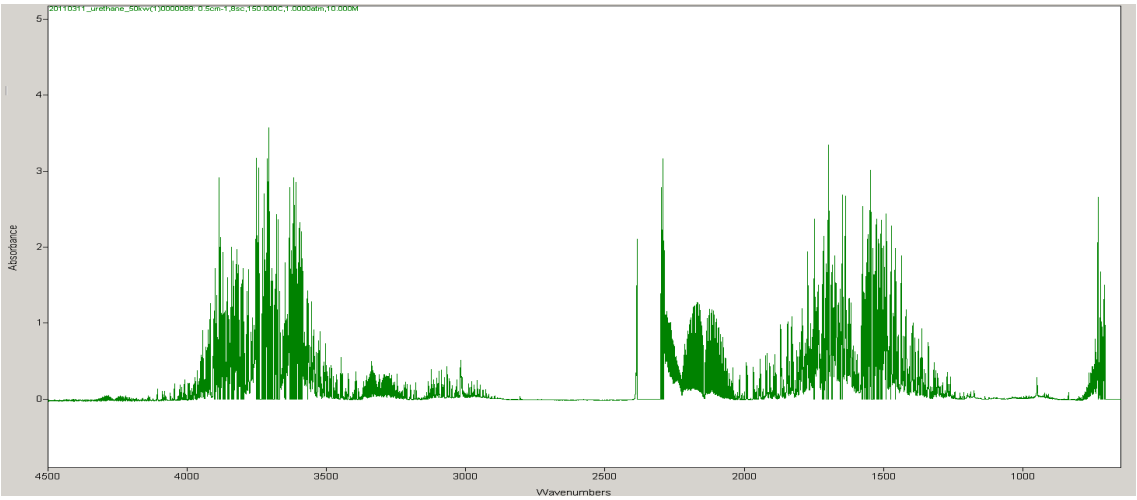


그림 221 Combustion gas Spectrum of Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 112 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN
우레탄	4881.2	213.2	5

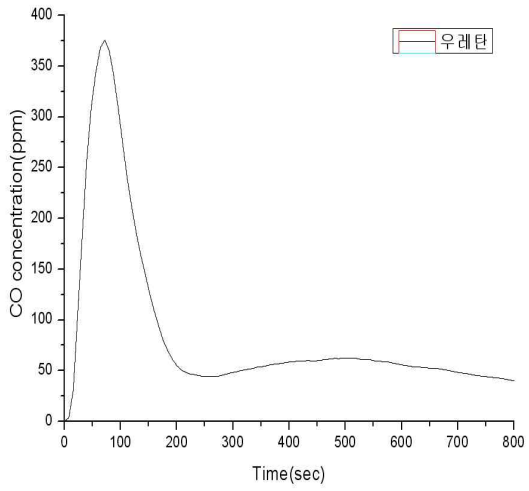


그림 222 CO production

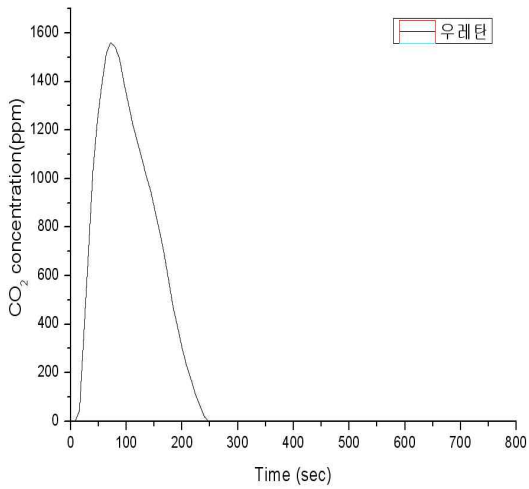


그림 223 CO_2 production

(나) 난연플라스틱

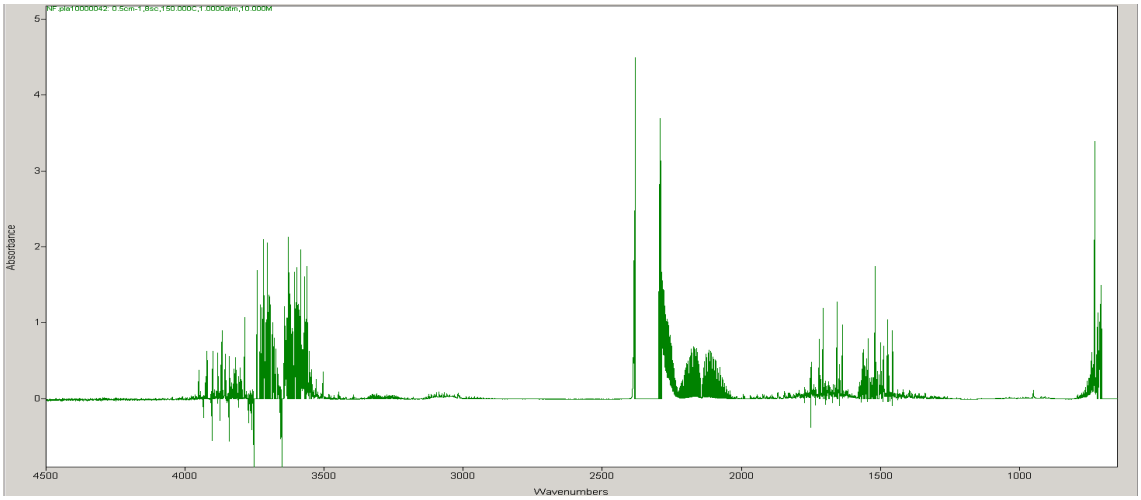


그림 224 Combustion gas Spectrum of Nonflammable Plastic

펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 113 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN
난연플라스틱	3970	1657	0.39

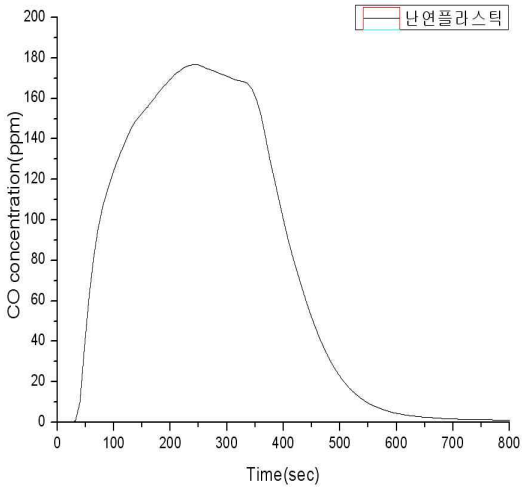


그림 225 CO production

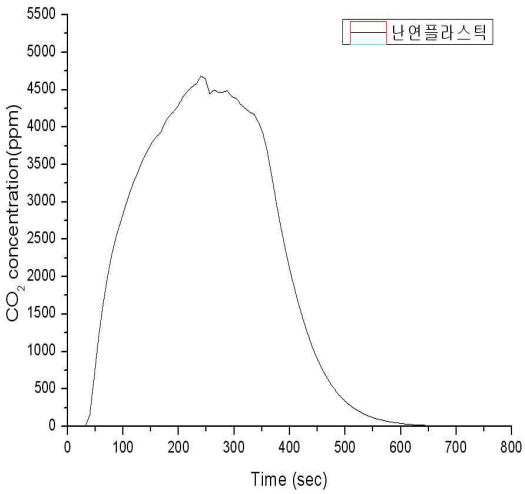


그림 226 CO_2 production

(다) PVC 타일

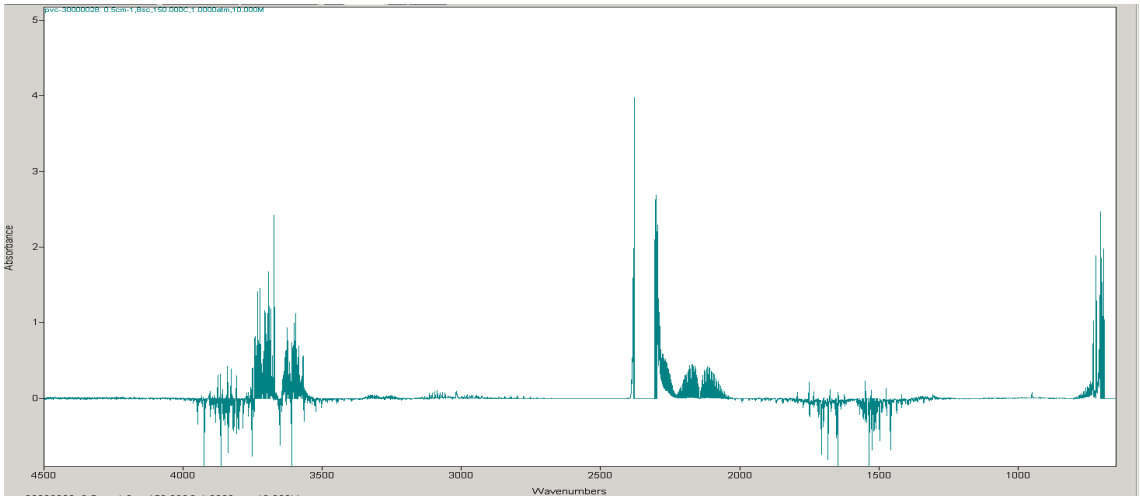


그림 227 Combustion gas Spectrum of PVC Tile

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 114 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl
PVC 타일	3803	894.6	0.25	1.13

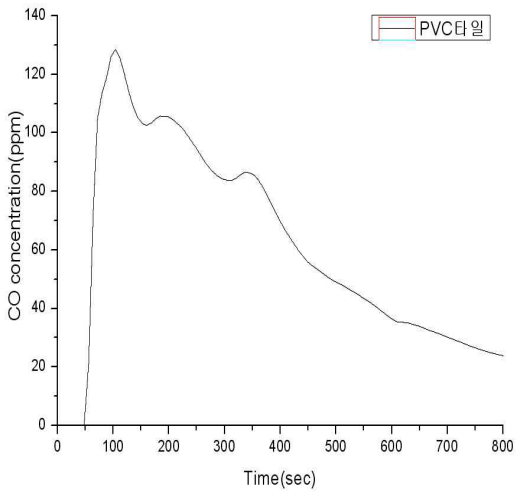


그림 228 CO production

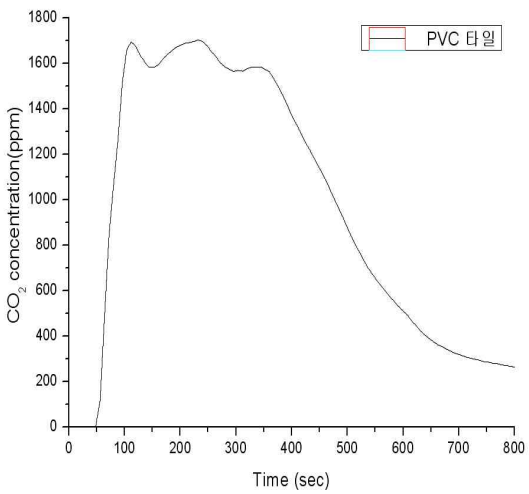


그림 229 CO_2 production

(라) OSB합판

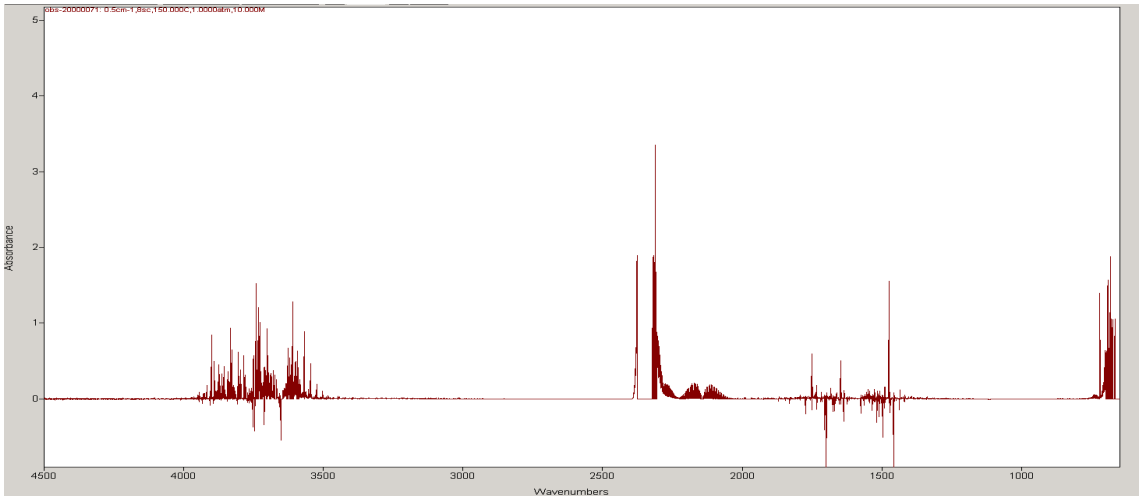


그림 230 Combustion gas Spectrum of Wood

스펙트럼을 정성한 결과 CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 115 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl
OSB합판	915.1	1173	N.D	N.D

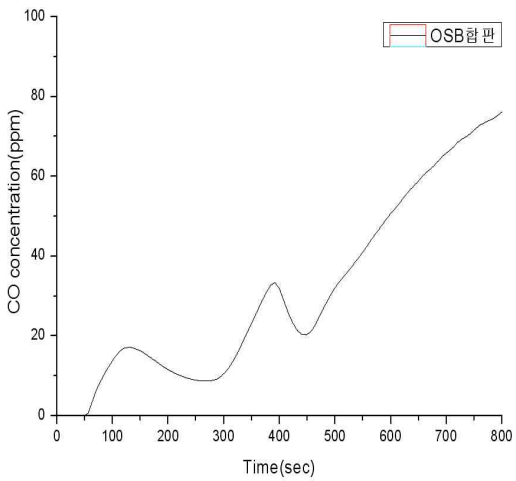


그림 231 CO production

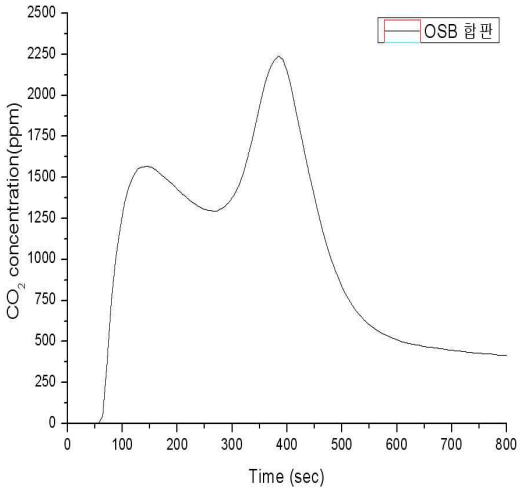


그림 232 CO_2 production

나. 가스유해성시험 모델(바닥재)

6가지 시료를 가스유해성 실험을 진행하고 그 연소가스를 FT-IR로 분석하였다. CO, CO_2, HCl의 발생이 확인되었으며, CO, HCl은 회색 바닥재에서 가장 많이 발생하였다.

표 116 바닥재 시료명 및 시료 사진

		
PVC 물받이	PVC 파이프	회색 장판
		
옐로우 장판	나무무늬장판	체크무늬장판

표 117 바닥재 연소가스 정량분석

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
PVC 물받이	2803	31286.4	9.699	1318	N.D
PVC Pipe	2629	36289	1.2	1301	N.D
회색 장판	3108	34668.9	18.136	1408	N.D
옐로우 장판	1982	17613.8	0.492	N.D	N.D
나무무늬장판	2654	47558.3	14.695	956	N.D
체크무늬장판	2806	25351.1	1.768	1059	N.D

(1) PVC 물받이

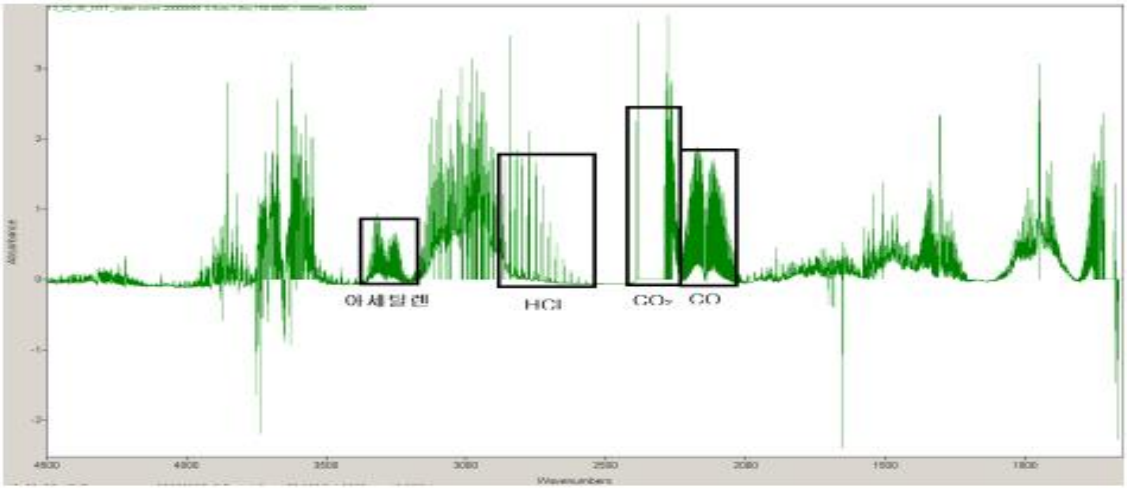


그림 233 Combustion gas Spectrum of PVC Water Cover

펙트럼을 정성한 결과 HCl, CO, CO_2, 아세틸렌이 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 118 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
PVC Water Cover	2803	31286.4	9.699	1318	N.D

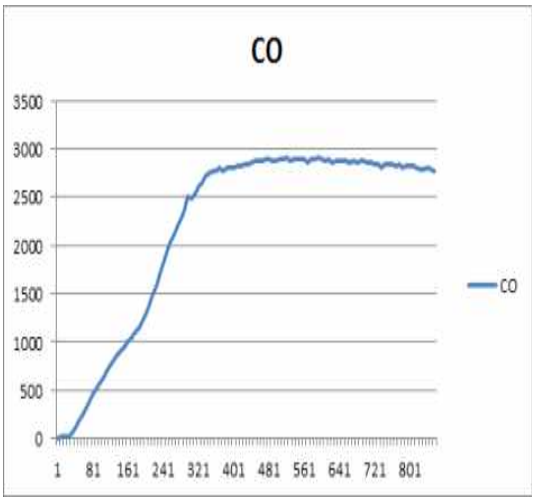


그림 234 CO production

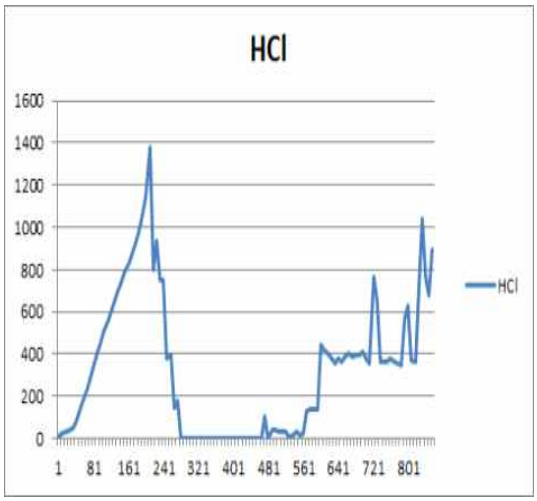


그림 235 HCl production

(2) PVC Pipe

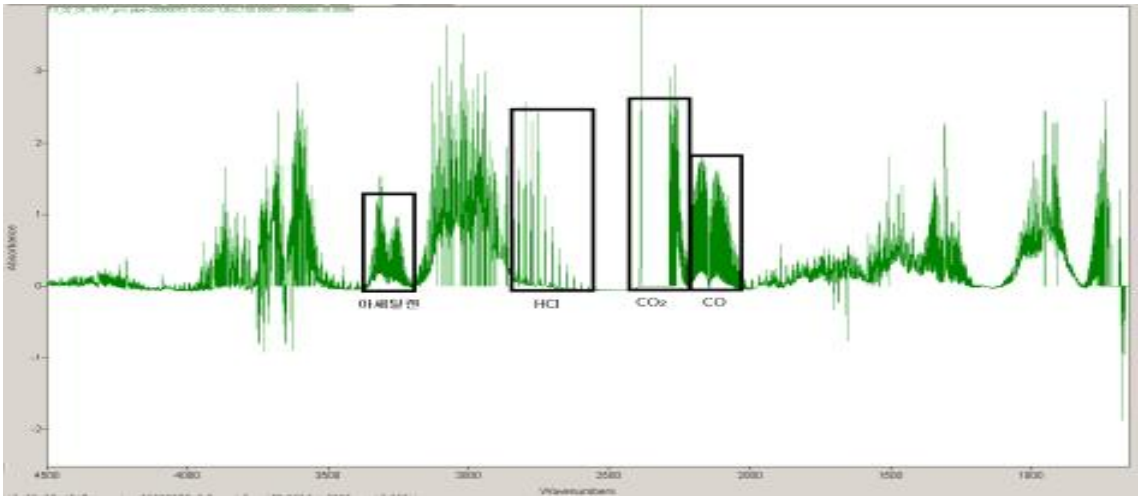


그림 236 Combustion gas Spectrum of PVC Pipe

스펙트럼을 정성한 결과 HCl, CO, CO_2, 아세틸렌이 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 119 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
PVC Pipe	2629	36289	1.2	1301	N.D

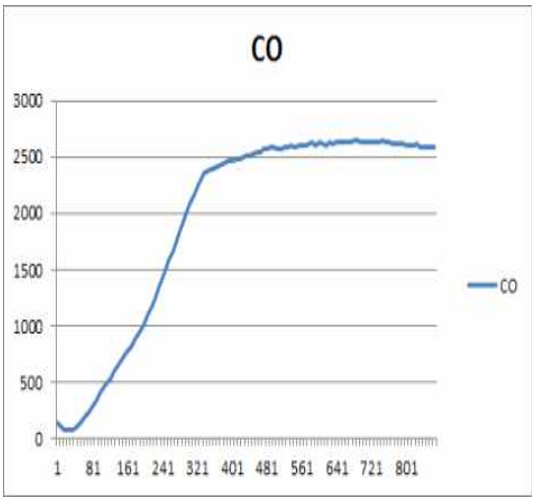


그림 237 CO production

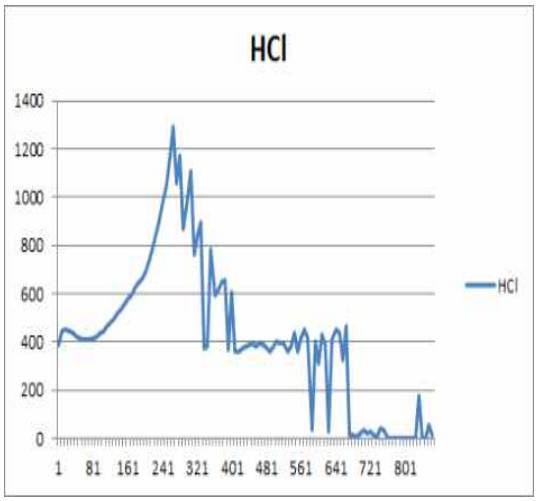


그림 238 HCl production

(3) 회색 장판

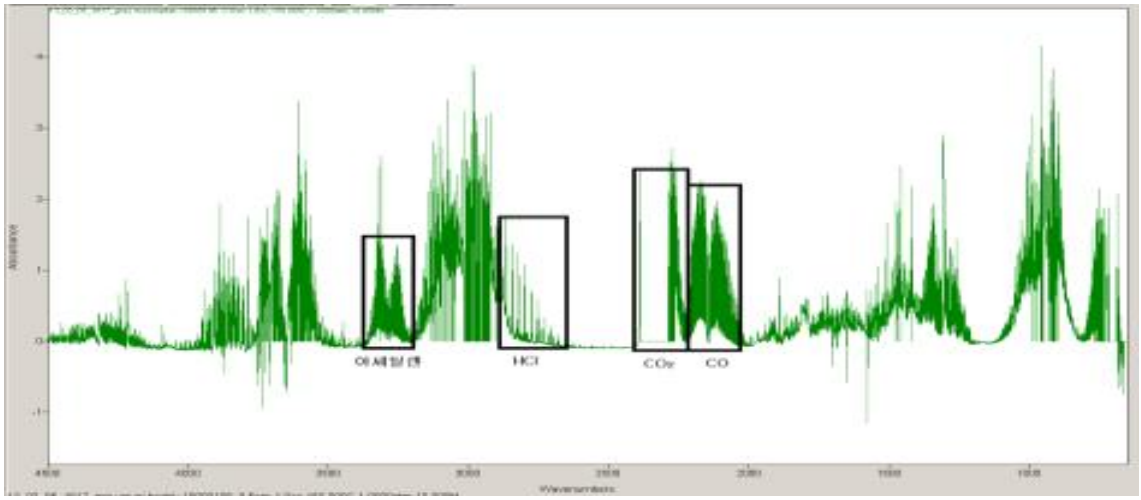


그림 239 Combustion gas Spectrum of Gray covered floor

펙트럼을 정성한 결과 HCl, CO, CO_2, 아세틸렌이 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 120 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
Gray covered floor	3108	34668.9	18.136	1408	N.D

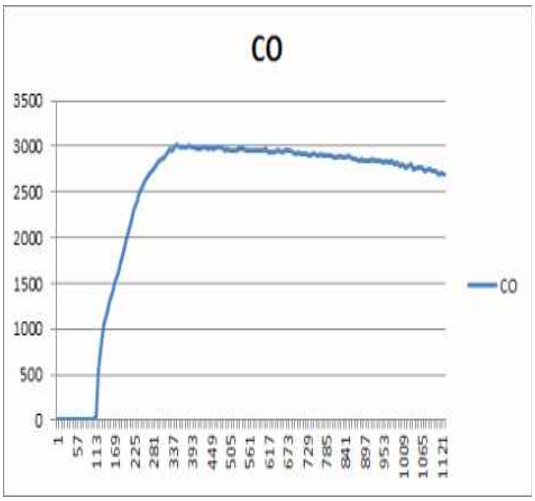


그림 240 CO production

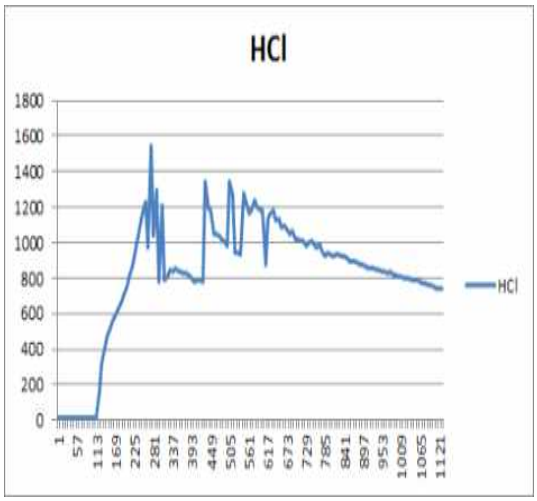


그림 241 HCl production

(4) 옐로우 장판

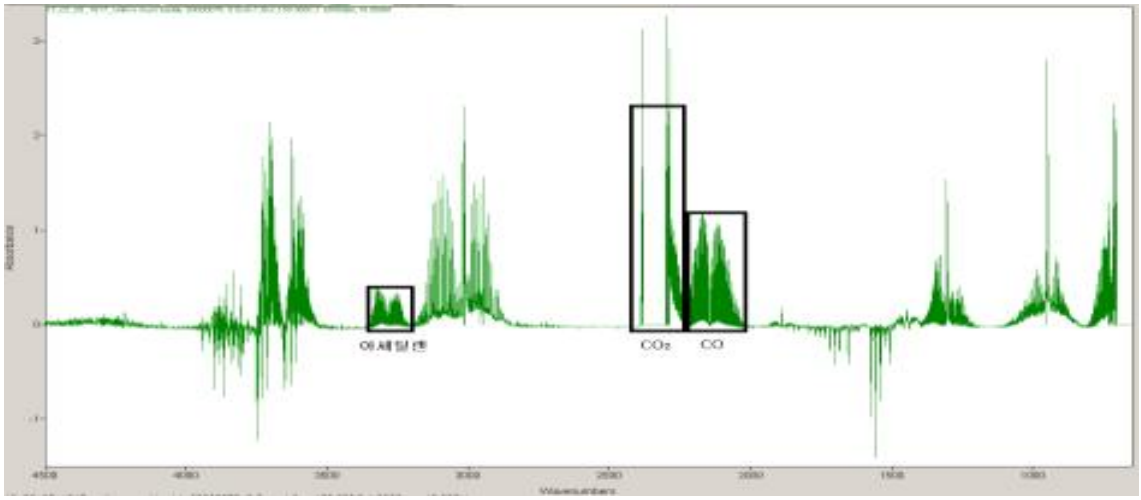


그림 242 Combustion gas Spectrum of Yellow covered floor

퓩트럼을 정성한 결과 CO, CO_2 아세틸렌이 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 121 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
Yellow covered floor	1982	17613.8	0.492	N.D	N.D

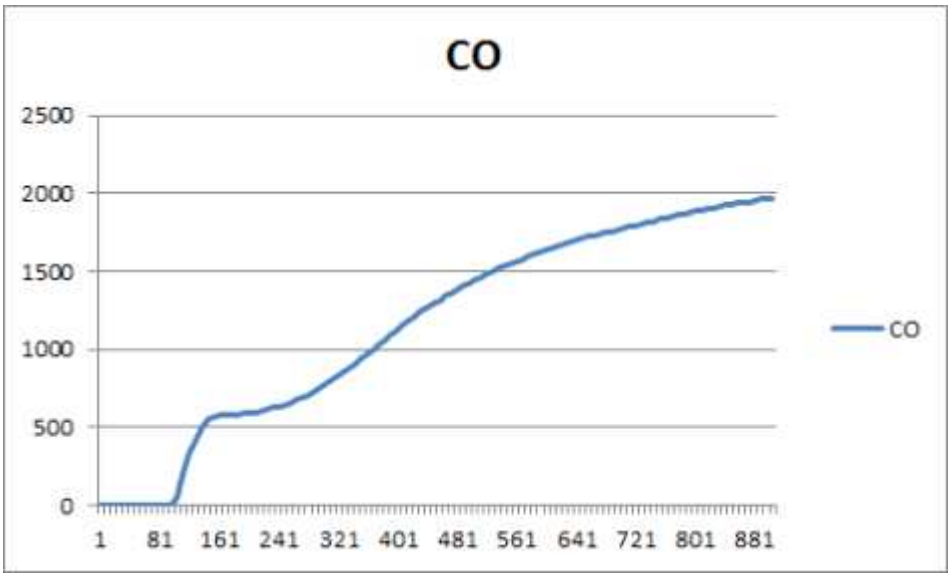


그림 243 CO production

(5) 나무무늬장판

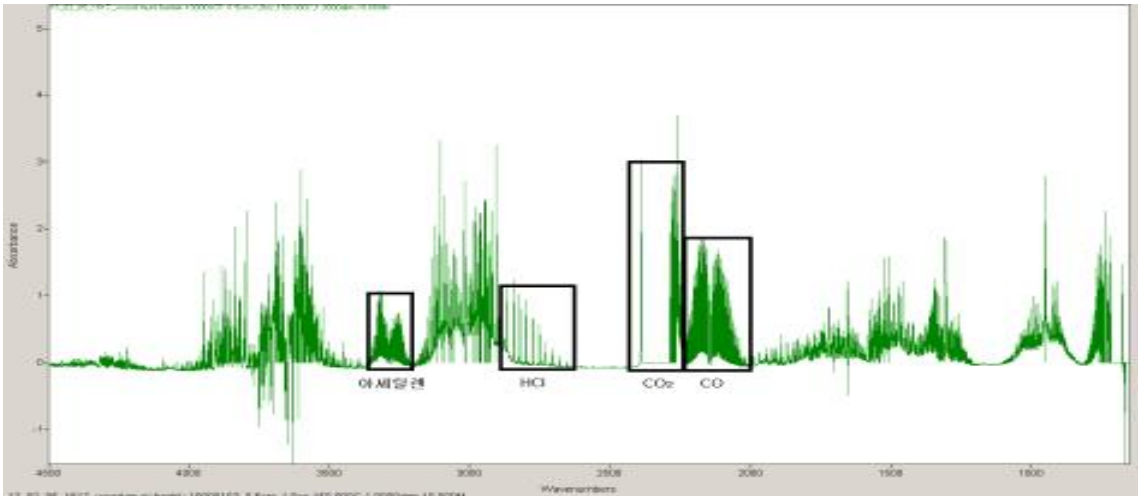


그림 244 Combustion gas Spectrum of Wood covered floor

퓍트럼을 정성한 결과 CO, CO_2 아세틸렌이 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 122 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
Wood covered floor	2654	47558.3	14.695	956	N.D

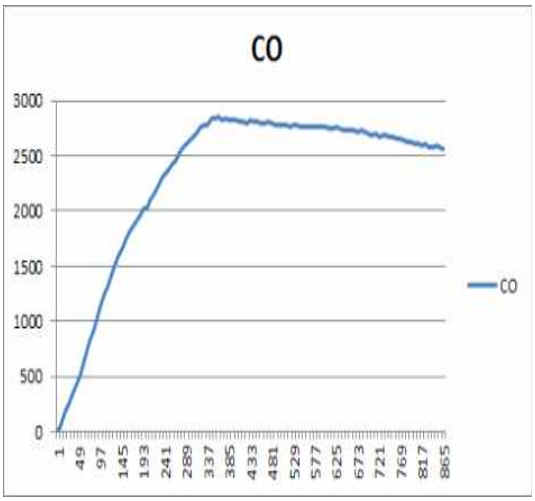


그림 245 CO production

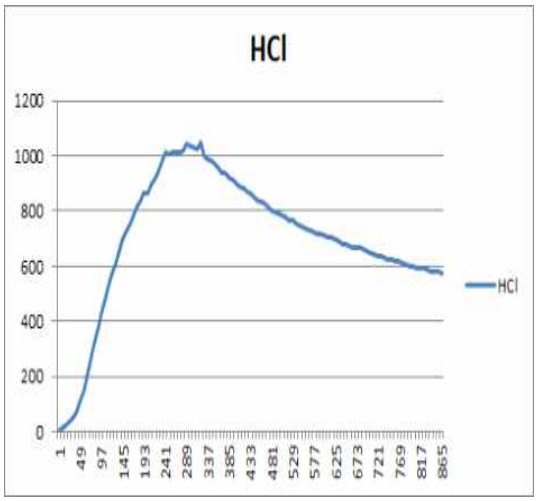


그림 246 HCl production

(6) 체크무늬장판

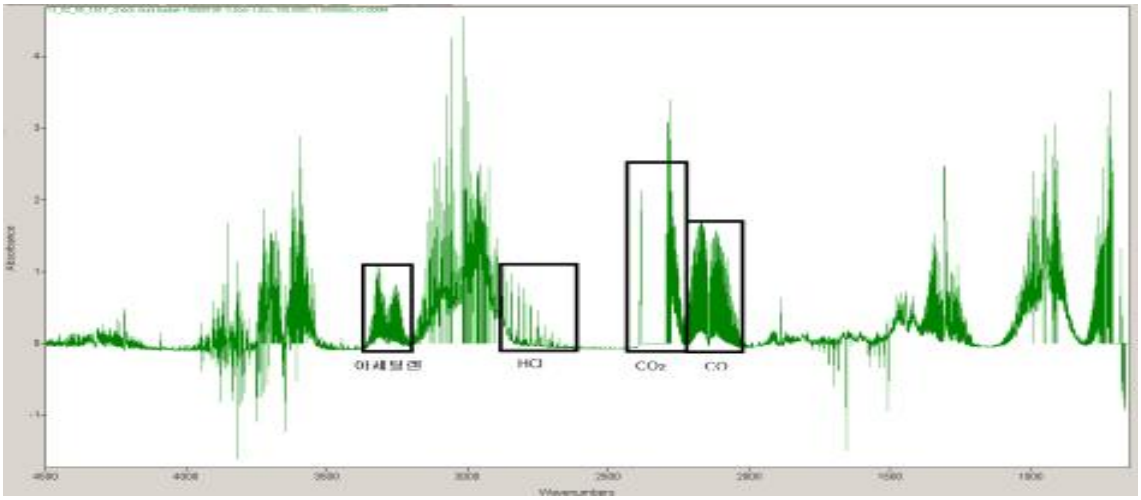


그림 247 Combustion gas Spectrum of Check covered floor

퓩트럼을 정성한 결과 CO, CO_2 아세틸렌이 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래 표와 같다.

표 123 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
Check covered floor	2806	25351.1	1.768	1059	N.D

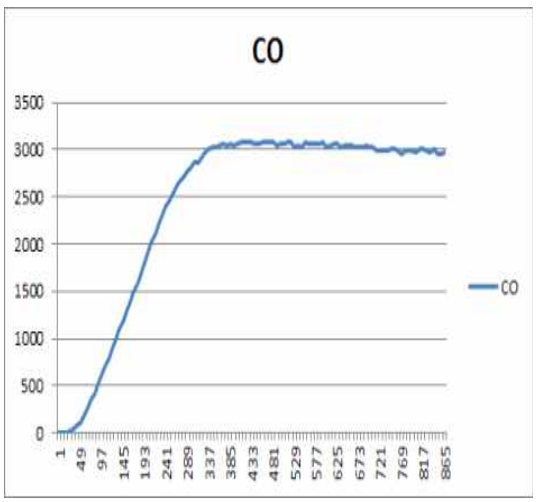


그림 248 CO production

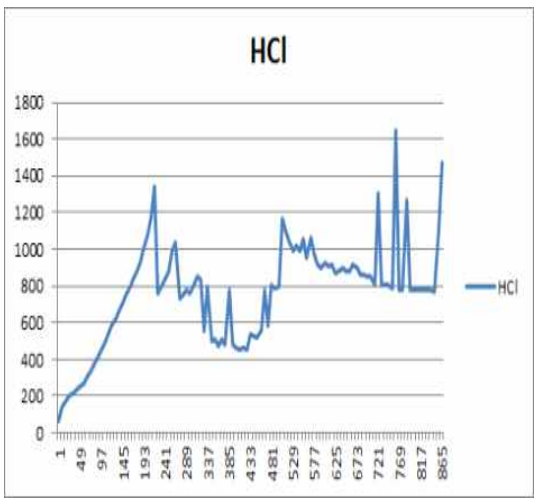


그림 249 HCl production

다. 가스유해성 모델을 적용한 우레탄 두께별 연소가스 정량분석

5가지 시료를 가스유해성 실험을 진행하고 그 연소가스를 FT-IR로 분석하였다. CO, CO_2, HCN, HCl의 발생이 확인되었으며, CO, HCN은 25mm에서 가장 많이 발생하였으나 10mm 이상에서 2000ppm전후와 CO발생 및 200ppm 전후의 HCN 발생을 확인하였다. HCl의 경우 두께별로 상이한 농도가 발생하였다.

표 124 우레탄 시료명 및 시료 사진

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>우레탄 5mm</td><td>우레탄 10mm</td><td>우레탄 15mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">우레탄 20mm</td><td>우레탄 25mm</td></tr>
</table>

표 125 우레탄 두께별 연소가스 정량분석

시료명	CO	CO_2	SO_2	HCN	HCl
5mm	1808.09	94967.4	N.D	0.134	184.445
10mm	2305.81	39556.8	N.D	8.454	206.073
15mm	2598.61	45292.1	N.D	0.282	326.462
20mm	1990.43	13560.4	N.D	0.547	172.714
25mm	2754.16	25094.3	N.D	317.072	0.206

(1) 5mm 우레탄

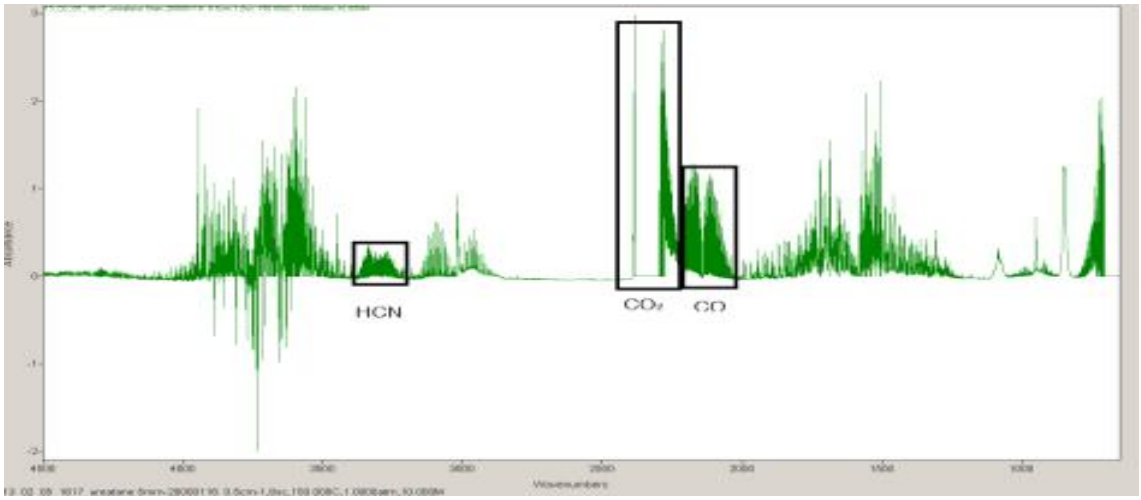


그림 250 Combustion gas Spectrum of 5mm Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 126 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
5mm 우레탄	1808.09	94967.4	0.134	184.445	N.D

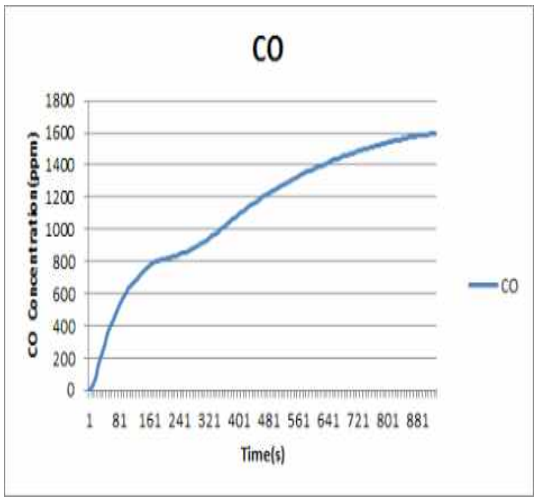


그림 251 CO production

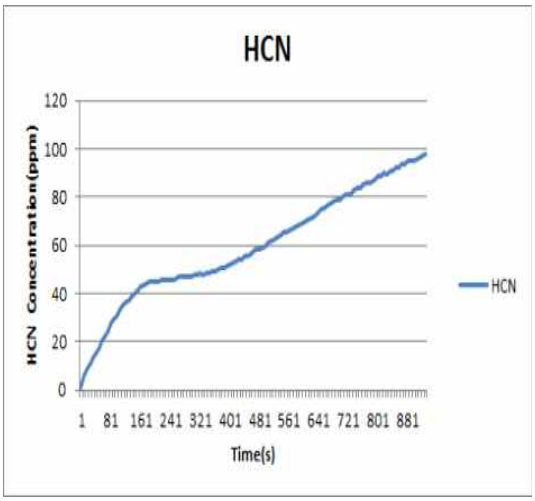


그림 252 HCN production

(2) 10mm 우레탄

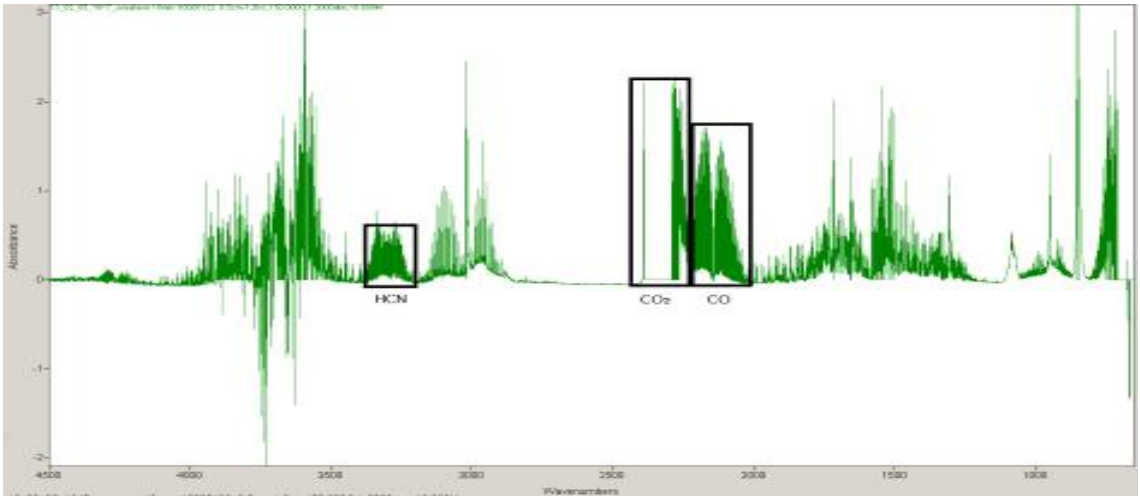


그림 253 Combustion gas Spectrum of 10mm Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 127 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
10mm 우레탄	2305.81	39556.8	8.454	206.073	N.D

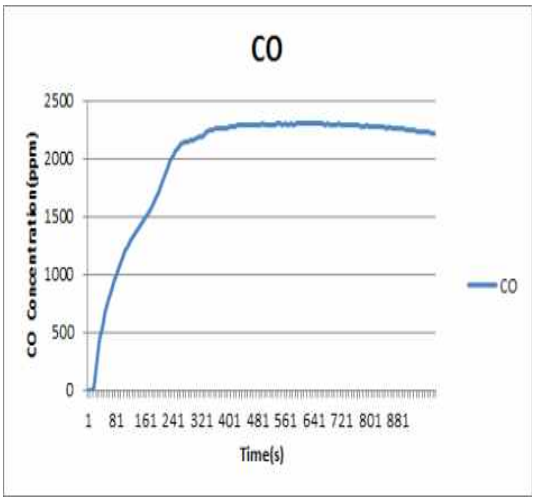


그림 254 CO production

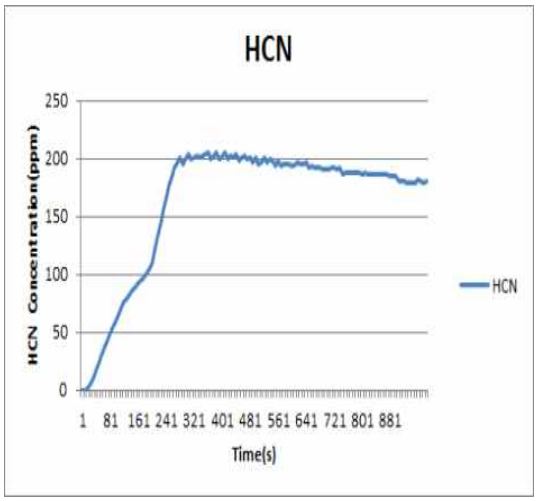


그림 255 HCN production

(3) 15mm우레탄

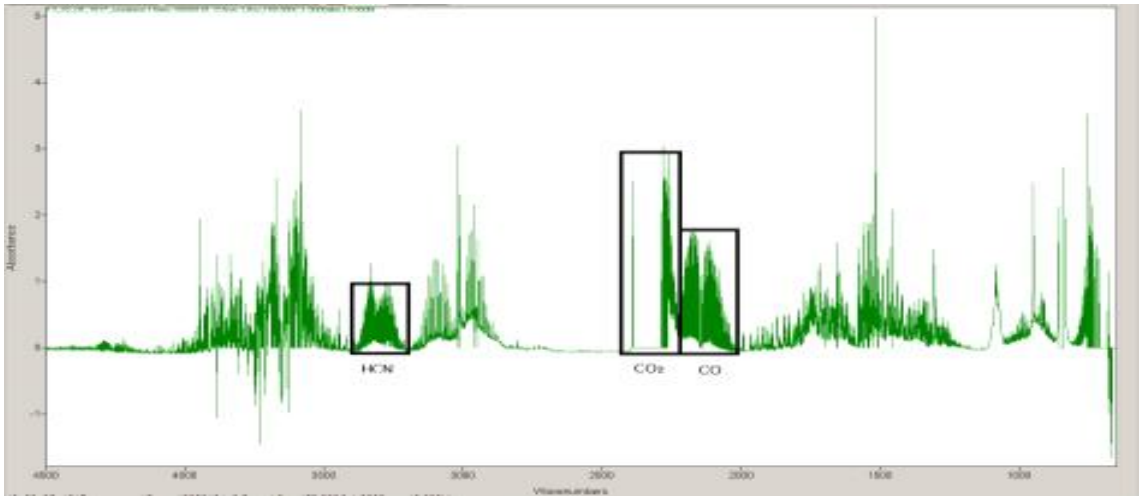


그림 256 Combustion gas Spectrum of 15mm Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 128 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
15mm 우레탄	2598.61	45292.1	0.282	326.462	N.D

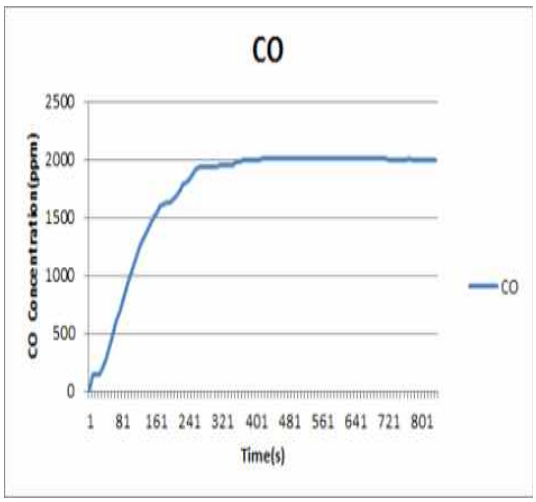


그림 257 CO production

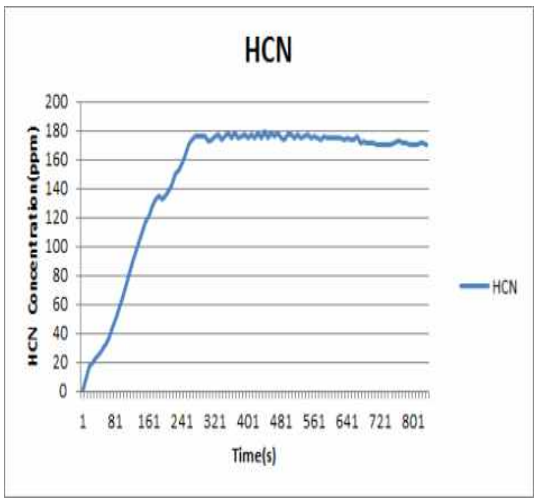


그림 258 HCN production

(4) 20mm우레탄

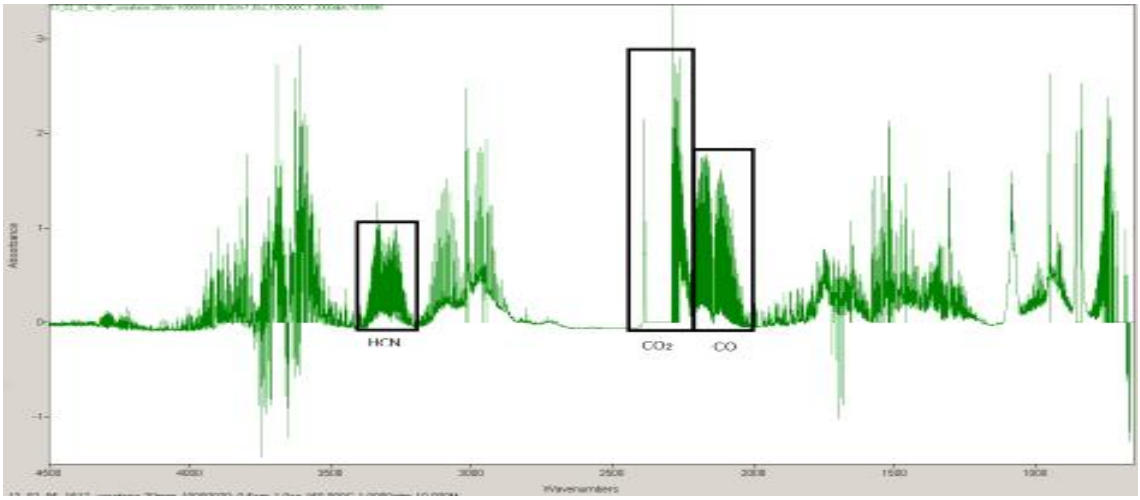


그림 259 Combustion gas Spectrum of 20mm Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 129 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
20mm 우레탄	1990.43	13560.4	0.547	172.714	N.D

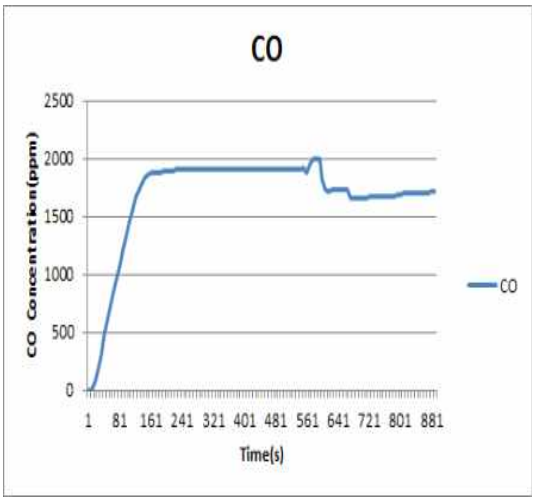


그림 260 CO production

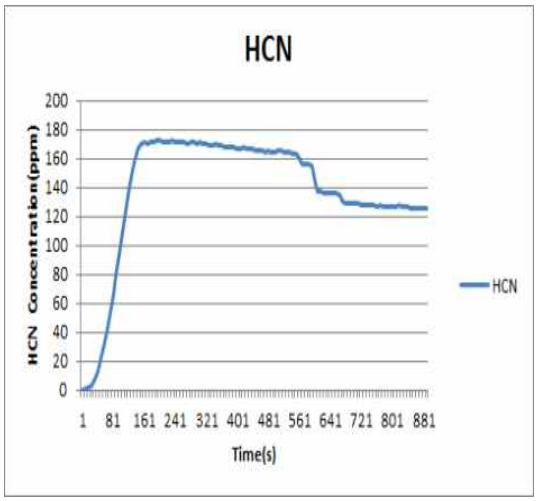


그림 261 HCN production

(5) 25mm우레탄

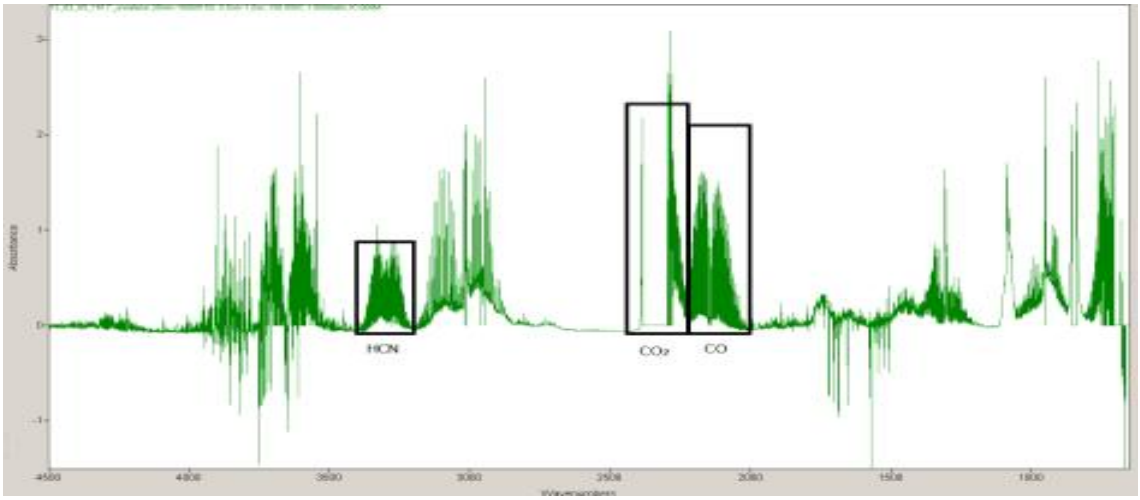


그림 262 Combustion gas Spectrum of 25mm Urethane

스펙트럼을 정성한 결과 HCN, CO, CO_2가 발생하였음을 확인하였다. 또한 정량한 값의 최대값은 아래표와 같다.

표 130 Combustion gas production(max value)

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2
25mm 우레탄	2754.16	25094.3	317.072	0.206	N.D

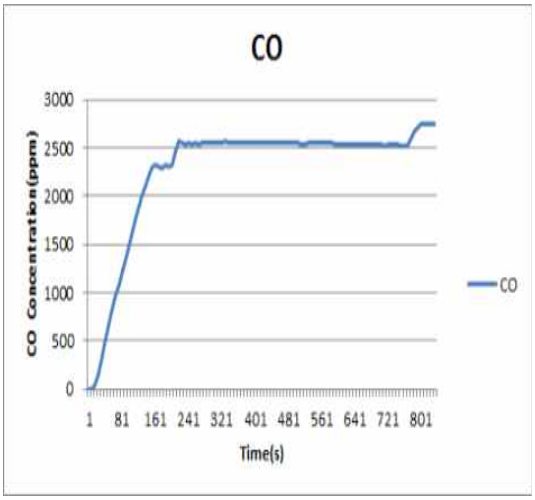


그림 263 CO production

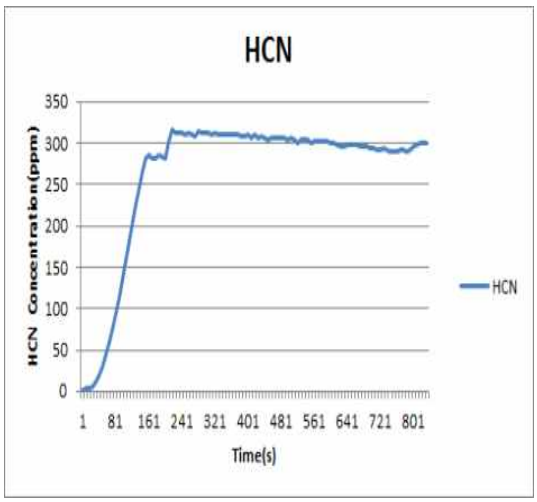


그림 264 HCN production

라. 가스유해성시험 모델(마감재료 및 실내장식물)

가스유해성시험기를 화재모델로 각 시료에 대하여 15분간의 실험을 통하여 정성 정량 분석된 결과는 그림 265~269와 같다. CO와 CO_2의 발생량은 MDF시료가 가장 높은 것으로 나타났으며 최대 농도에 도달하는 시기도 가장 빠른 것으로 나타났다. 이는 셀룰로오즈로 구성된 목재의 특성상 C(탄소)와 O(산소)의 결합이 가장 활발히 일어나기 때문인 것으로 분석되었다. 또한 CO_2의 발생량도 가장 높은 것으로 분석되었는데 이는 위와 동일한 이유로 탄소의 함유가 가장 많기 때문에 동일한 연소조건에서도 가장 높은 것으로 사료된다. MDF를 제외한 나머지 시료는 모두 4~5분 정도에 최대 농도에 도달하였으며, 이는 목재시료에 비해 복잡한 화학구조를 가지기 때문에 초기 착화단계에서의 화재 확대가 지연되어 발생한 것으로 분석된다. MDF, EPS는 CO와 CO_2의 발생만이 확인되었으며, 우레탄은 CO, CO_2, HCN, SO_2, HCl의 5가지 화학종이 정성분석되어 가장 다양한 화학종으로 구성된 연소가스를 보였다.

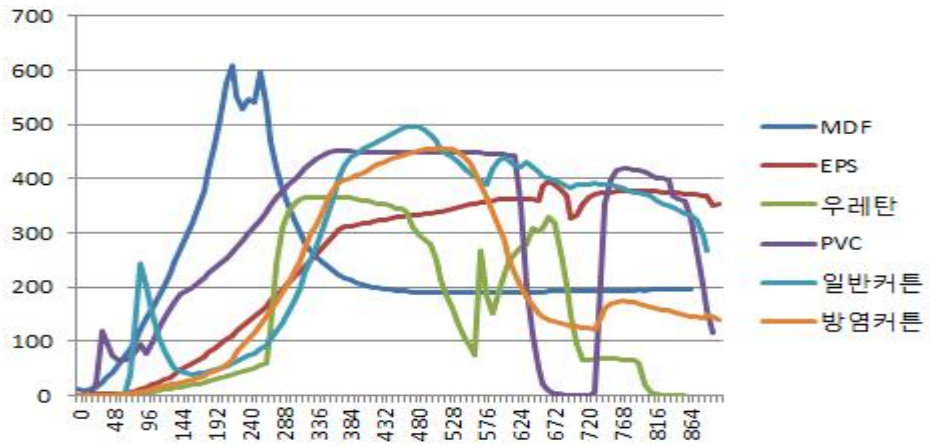


그림 265 CO 농도 분석 결과

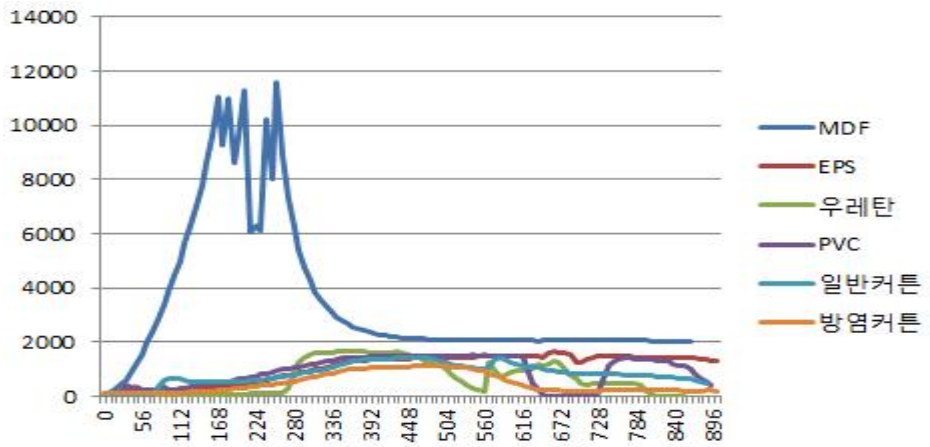


그림 266 CO_2 농도 분석 결과

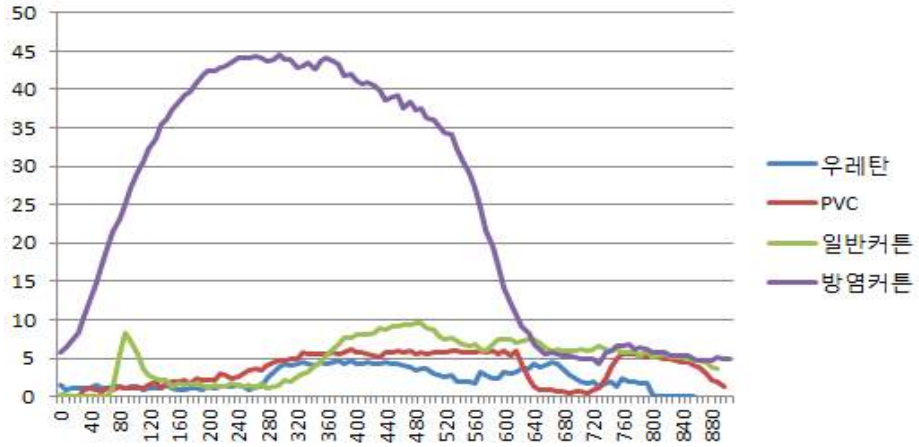


그림 267 HCl 농도 분석 결과



그림 268 HCN 농도 분석 결과

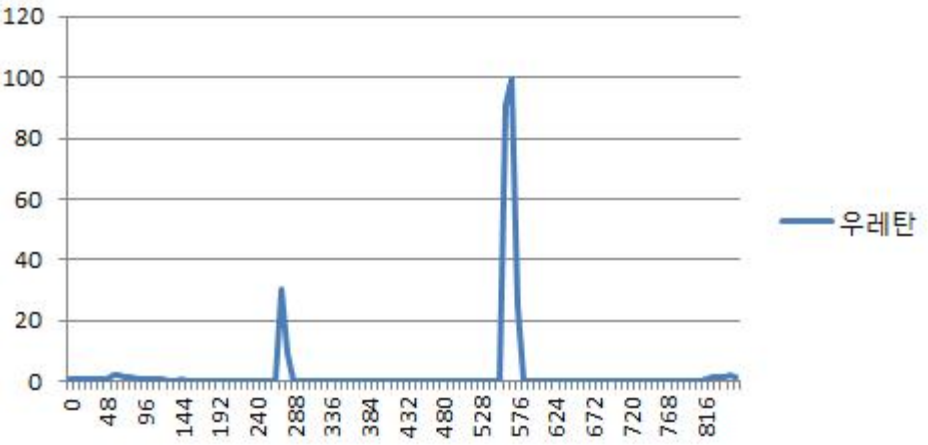


그림 269 SO_2 농도 분석 결과

마. 혼합 표준가스 노출 실험 결과

표 131 실험계획 및 혼합가스에 노출된 마우스의 평균행동정지시간

	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2	NO_2	HF	HBr	평균행동정지시간	FED
	ppm								min, sec	
1	300	1,000							14, 47	0.05
2	300	5,000							14, 58	0.05
3	300	10,000							14, 58	0.05
4	100	10,000							14, 58	0.02
5	300	1,000	10						14, 58	0.11
6	100	1,000	50						12. 11	0.32
7	300	5,000	10						14, 59	0.11
8	300	5,000	50						14, 58	0.35
9	300	5,000	140						12, 34	0.90
10	300	10,000	50						15, 00	0.35
11	300	10,000	140						09, 56	0.90
12	300	10,000		150					14, 59	0.09
13	300	10,000		200					14, 52	0.10
14	300	10,000		10					14, 58	0.05
15	300	5,000	10	50	200				15, 00	0.27
16	300	5,000	10	50					14, 46	0.13
17	300	5,000					20		14, 58	0.06
18	300	5,000					50		14, 59	0.07
19	300	5,000					200		08, 09	0.12
20	300	5,000	140	200	200	350	200	600	14, 38	3.38
21	300	5,000	10				20		-	0.12
22	300	5,000	10				50		14, 49	0.13
23	300	5,000	10				200		14, 59	0.18
24	300	5,000			200				14, 58	0.19
25	300	5,000	50				20		14, 57	0.36
26	300	5,000	50				50		14, 58	0.37
27	300	5,000	50				200		14, 57	0.42
28	300	5,000			120				14, 57	0.14
29	300	5,000	140				20		14, 05	0.90
30	300	5,000	140				50		14, 11	0.92
31	300	5,000	140				200		12, 58	0.97
32	300	5,000		200			200		15, 00	0.17
33	300	5,000						10	14, 54	0.05
34	300	5,000						50	14, 58	0.07
35	300	5,000						100	14, 56	0.08
36	300	5,000						200	14, 59	0.10
37	300	5,000						600	14, 59	0.21
38	300	5,000				50			14, 54	0.35
39	300	5,000				70			08, 10	0.46
40	300	5,000				100			14, 58	0.64
41	300	5,000				200			14, 57	1.23
42	300	5,000				350			13, 59	2.11

바. 독성지수 산정

FED 와 R-value는 기존 국제 및 국내 규격에 따른 계산 값이며, 본 연구에서 진행한 FED_I,와 $R\text{-}Value_I$ 는 연소가스 분석결과에 기초하여 누적발생량을 계산한 지수 산정이다.

(1) SDC Chambe 실험의 독성지수 산정

표 132 SDC Chamber 실험결과 (최고농도- R Value)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	R Value
우레탄	288.9	3144.2	67.0	N.D	0.79
난연 플라스틱	213.7	8135.7	3.79	N.D	0.22
PVC 타일	165.4	1605.8	3.3	N.D	0.11
OSB합판	49.3	831.7	N.D	N.D	0.03

N.D=No Detection

표 133 SDC Chamber 실험결과 (분당 누적 발생량 - FED)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	FED
우레탄	5054.9	97580.5	32.2	N.D	1.08
난연 플라스틱	9472	254242.1	132.6	N.D	2.46
PVC 타일	7538.5	93073.0	107.7	N.D	1.97
OSB합판	10440	195870.5	N.D	N.D	1.83

표 134 SDC Chamber 실험결과 (총 발생량 - FED_I, $R\ Value_I$,)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	FED_I	$R\ Value_I$
우레탄	37912	731854	242	N.D	8.12	26.30
난연 플라스틱	71040	1906816	995	N.D	18.50	61.27
PVC 타일	56539	698048	808	N.D	14.82	38.44
OSB합판	78300	1469029	N.D	N.D	13.74	49.03

(2) Cone Calorimeter 실험의 독성지수 산정

표 135 Cone Calorimeter 실험결과 (최고 농도 - R Value)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	R Value
우레탄	4881.2	213.2	5	N.D	1.94
난연 플라스틱	3970	1657	0.39	N.D	1.56
PVC 타일	3803	894.6	0.25	1.13	1.48
OSB 합판	915.1	1173	N.D	N.D	0.37

표 136 Cone Calorimeter 실험결과 (분당 누적 발생량 - FED)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	FED
우레탄	4899.482	213.9985	5.018727	N.D	0.89
난연 플라스틱	3970	1657	0.39	N.D	0.70
PVC 타일	3784.079	890.1493	0.248756	1.124378	0.66
OSB 합판	915.1	1173	N.D	N.D	0.16

표 137 Cone Calorimeter 실험결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	FED_I	R $Value_I$
우레탄	73492.23	3209.978	75.2809	0	13.4	29.16
난연 플라스틱	59550	24855	5.85	0	10.5	23.39
PVC 타일	56761.18	13352.24	3.731343	16.86567	10.0	22.30
OSB 합판	13726.5	17595	0	0	2.4	5.53

(3) 바닥재 실험의 독성지수 산정

표 138 바닥재의 연소가스 발생량 분석 결과 (최고 농도 - R Value)

시료명	CO	CO_2	HCl	HCN	R Value
PVC 물받이	2803	31286.4	1260.45	9.699	13.24
PVC Pipe	2629	36289	1292	1.2	13.63
회색 장판	3108	34668.9	1271.52	18.136	13.79
옐로우 장판	1982	17613.8	0.24	0.492	0.99
나무무늬장판	2654	47558.3	1049.09	14.695	11.70
체크무늬장판	2806	25351.1	468.506	1.768	5.71

표 139 바닥재의 연소가스 발생량 분석 결과 (분당 누적 발생량 - FED)

시료명	CO	HCN	HCl	FED
PVC 물받이	14108.09	13.45593	1308.417	3.04
PVC Pipe	14100.83	0.396533	3065.767	3.61
회색 장판	18603.07	48.02613	4832.213	5.34
옐로우 장판	8777.16	0.283467	0.058267	1.54
나무무늬장판	16787.15	32.75093	5086.814	5.02
체크무늬장판	11022.25	2.5682	1610.301	2.54

표 140 바닥재의 연소가스 발생량 분석 결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)

시료명	CO	CO_2	HCl	HCN	FED_I	R $Value_I$,
PVC 물받이	211621.4	2366457	19626.25	201.839	12.6	298.28
PVC Pipe	211512.5	2691531	45986.51	5.948	12	548.15
회색 장판	279046	2885003	72483.19	720.392	13.65	832.40
옐로우 장판	131657.4	905490.7	0.874	4.252	5.25	62.50
나무무늬장판	251807.2	3280600	76302.21	491.264	10.8	860.63
체크무늬장판	165333.7	1447610	24154.52	38.523	11.55	309.65

(4) 우레탄 두께별 실험의 독성지수 산정

표 141 우레탄 두께별 연소가스 발생량 (최고 농도 - R Value)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	R Value
5mm	1808.09	94967.4	0.134	184.445	3.65
10mm	2305.81	39556.8	8.454	206.073	3.41
15mm	2598.61	45292.1	0.282	326.462	4.65
20mm	1990.43	13560.4	0.547	172.714	2.57
25mm	2754.16	25094.3	317.072	0.206	4.40

표 142 우레탄 두께별 연소가스 발생량 (분당 누적 발생량 - FED)

시료명	CO	HCN	HCl	FED
5mm	10181.27	0.010267	893.646	2.12
10mm	16427.67	10.05953	1342.099	3.44
15mm	14721.35	0.0238	1668.395	3.20
20mm	12497.31	0.1516	1028.995	2.57
25mm	15917.19	0.052467	1851.761	3.48

표 143 우레탄 두께별 연소가스 발생량 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)

시료명	CO	CO_2	HCN	HCl	FED_I	R $Value_I$
5mm	152719.1	3235713	0.154	13404.69	4.5	226.28
10mm	246415.1	2817428	150.893	20131.48	6.9	32.76
15mm	220820.2	2111019	0.357	25025.93	6.0	347.39
20mm	187459.7	1222275	2.274	15434.92	6.0	219.01
25mm	238757.8	2087528	0.787	27776.41	8.5	379.86

(5) 마감재료 및 실내장식물 실험의 독성지수 산정

표 144 마감재료 및 실내장식물 실험결과 (최고 농도 - R Value)

	CO	CO_2	SO_2	HCN	HCl	R Value
EPS	396	1660	N.D	N.D	N.D	0.17
PVC	450	1459	N.D	N.D	6	0.25
Urethane	366	1643	2	1	3	0.21
방염커튼	456	1101	N.D	N.D	21	0.39
일반커튼	497	1417	N.D	N.D	5	0.26
MDF	610	11564	N.D	N.D	N.D	0.38

표 145 마감재료 및 실내장식물 실험결과 (분당 누적 발생량 - FED)

	CO	CO_2	SO_2	HCN	HCl	FED
EPS	1915.6	8024.9	N.D	N.D	N.D	0.34
PVC	2185.3	6900.8	N.D	N.D	26.8	0.39
Urethane	1113.0	4854.4	N.D	9.7	18.6	0.26
방염커튼	1695.4	3952.1	N.D	N.D	192.8	0.35
일반커튼	2118.7	6312.9	N.D	N.D	36.0	0.38
MDF	1683.4	25026.9	N.D	N.D	N.D	0.29

표 146 마감재료 및 실내장식물 실험결과 (총 발생량 - FED_I, R $Value_I$,)

	CO	CO_2	SO_2	HCN	HCl	FED_I	R $Value_I$
EPS	28734	120374	N.D	N.D	N.D	5.04	12.64
PVC	32780.03	103511.5	N.D	N.D	401.42	5.86	17.76
Urethane	16694.97	72816.4	N.D	146.318	279.36	3.89	11.40
방염커튼	25431.03	59281.24	N.D	N.D	2891.413	5.22	37.75
일반커튼	31780	94694	N.D	N.D	540.512	5.72	18.57
MDF	25251.8	375404	N.D	N.D	N.D	4.43	14.56

마. 독성지수와 평균행동정지시간의 비교 분석

(1) 바닥재 연소가스 분석 결과와 평균행동정지시간 비교결과

표 147 바닥재의 평균행동정지시간과 연소독성지수 비교 결과

시료	회차	평균행동정지시간(m, s)	FED	FEDI	R Value	R ValueI
PVC 물받이	1회차	13, 43	3.04	12.6	13.24	298.28
	2회차	14, 00				
PVC 파이프	1회차	14, 17	3.61	12	13.63	548.15
	2회차	14, 08				
회색 장판	1회차	10, 11	5.34	13.65	13.79	832.4
	2회차	08, 05				
옐로우 장판	1회차	10, 01	1.54	5.25	0.99	62.5
나무무늬 장판	1회차	09, 13	5.02	10.8	11.7	860.63
	2회차	13, 43				
체크무늬 장판	1회차	10, 09	2.54	11.55	5.71	309.65
	2회차	08, 51				

(2) 우레탄 두께에 따른 연소가스 분석 결과와 평균행동정지시간 비교 결과

20mm 이상의 두께에서 3분 전후의 평균행동정지시간 결과를 보였다. 따라서 20mm 이상에서 유사한 위험성을 보이는 것으로 파악되었다.

표 148 우레탄 두께에 따른 평균행동정지시간과 연소독성지수 비교 결과

시료		회차	평균행동정지시간(m, s)	FED	FEDI	R Value	R ValueI
우레탄	5mm	1회차	12, 01	2.12	4.5	3.65	226.28
		2회차	08, 23				
	10mm	1회차	07, 21	3.44	6.9	3.41	32.76
		2회차	06, 30				
	15mm	1회차	05, 11	3.2	6	4.65	347.39
		2회차	05, 36				
	20mm	1회차	03, 55	2.57	6	2.57	219.01
		2회차	04, 03				
	25mm	1회차	03, 22	3.48	8.5	4.4	379.86
		2회차	03, 58				
	30mm	1회차	03, 58	Error	Error	Error	Error
		2회차	03, 50				

(3) 마감재료와 실내장식물의 연소가스 정량분석결과와 독성지수의 비교

연소가스가 생체에 미치는 영향을 직접적으로 분석하는 가스 유해성 시험의 결과인 평균행동정지시간과 ISO 13344에 기초한 FED, BS 6853에 기초한 R Value를 산정한 결과를 비교한 결과는 표 149와 같다.

평균행동정지시간이 짧게 나타날수록 연소가스의 독성이 높은 것임을 감안하고 분석한 결과, 평균행동정지시간과 FED가 더 유사한 경향을 보여, 가스유해성시험기의 연소독성 평가에는 R Value보다 FED가 더 적합한 것으로 분석되었다.

표 149 마감재료와 실내장식물의 평균행동정지시간과 연소독성지수 비교 결과

시료명	평균행동정지시간 (min:sec)	FED	FEDI	R Value	R ValueI
EPS	15:00	0.34	5.04	0.17	12.64
PVC	6:45	0.39	5.86	0.25	17.76
우레탄	5:30	0.26	3.89	0.21	11.4
방염 커튼	8:30	0.35	5.22	0.39	37.75
일반 커튼	15:00	0.38	5.72	0.26	18.57
MDF	5:37	0.29	4.43	0.38	14.56

(4) 평균행동정지시간과 FED의 비교

분당 평균 발생량에 기초하여 산정된 FED와 이에 노출된 실험용 쥐의 평균행동정지시간을 비교한 결과는 그림 270과 같다. 높은 FED를 보이는 시료는 짧은 평균행동정지시간을, 낮은 FED를 보이는 시료는 긴 평균행동정지시간을 보이는 우하향 곡선으로 도출되었다. 또한, 그래프를 통하여 평균행동정지시간이 9분을 보일 때의 독성지수를 산정한 결과, 1.3016의 FED로 분석되었다.

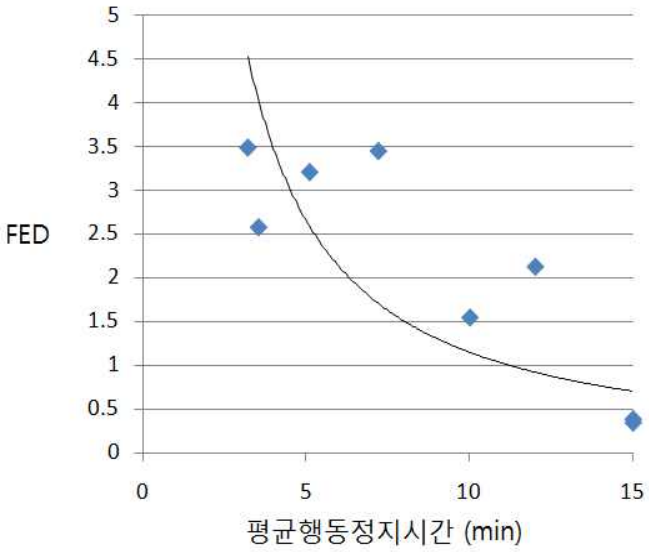


그림 270 평균행동정지시간과 FED 비교

(5) 평균행동정지시간과 FED_I의 비교

연소가스의 총 발생량에 기초하여 산정된 FEDI와 이에 노출된 실험용 쥐의 평균행동정지시간을 비교한 결과는 그림 271과 같다. 높은 FED를 보이는 시료는 짧은 평균행동정지시간을, 낮은 FED를 보이는 시료는 긴 평균행동정지시간을 보이는 우하향 곡선으로 도출되었다. 또한, 그래프를 통하여 평균행동정지시간이 9분을 보일 때의 독성지수를 산정한 결과, 5.5963의 FED로 분석되었다.

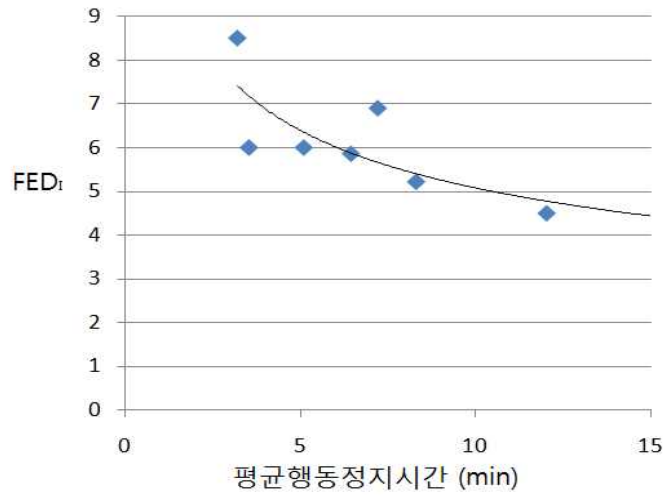


그림 271 평균행동정지시간과 FED_I 비교

(6) 평균행동정지시간과 R Value의 비교

연소가스의 최고 농도에 기초하여 산정된 R Value와 이에 노출된 실험용 쥐의 평균행동정지시간을 비교한 결과는 그림 272와 같다. 높은 FED를 보이는 시료는 짧은 평균행동정지시간을, 낮은 FED를 보이는 시료는 긴 평균행동정지시간을 보이는 우하향 곡선으로 도출되었다. 또한, 그래프를 통하여 평균행동정지시간이 9분을 보일 때의 독성지수를 산정한 결과, 0.8647의 FED로 분석되었다.

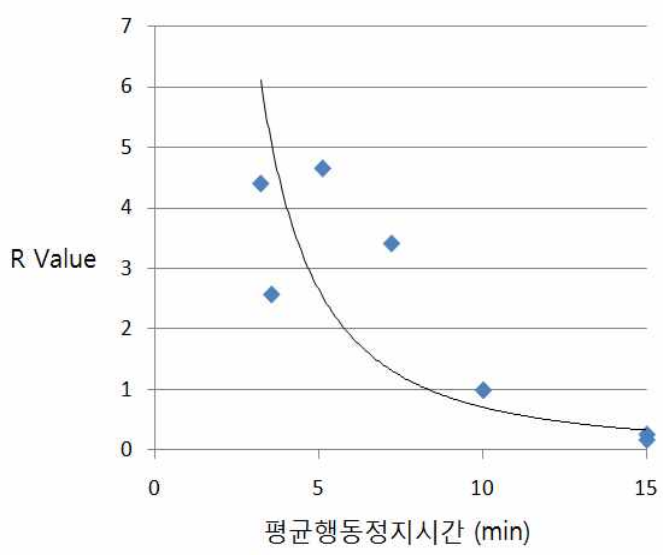


그림 272 평균행동정지시간과 R Value 비교 결과

(7) 평균행동정지시간과 R $Value_I$의 비교

연소가스의 총 발생량에 기초하여 산정된 R $Value_I$와 이에 노출된 실험용 쥐의 평균행동정지시간을 비교한 결과는 그림 273과 같다. 높은 FED를 보이는 시료는 짧은 평균행동정지시간을, 낮은 FED를 보이는 시료는 긴 평균행동정지시간을 보이는 우하향 곡선으로 도출되었다. 또한, 그래프를 통하여 평균행동정지시간이 9분을 보일 때의 독성지수를 산정한 결과, 49.3918의 R $Value_I$로 분석되었다.

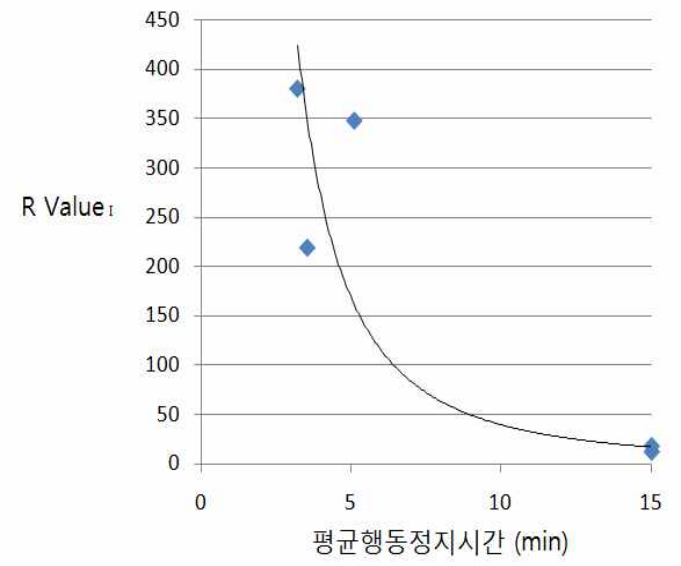


그림 273 평균행동정지시간과 R Value$_I$의 비교 결과

(8) 현행 기준의 독성지수 분석 결과

다양한 연소 독성지수 산정기법을 통하여 산정된 4가지 연소독성지수와 평균행동정지시간의 비교결과, 현행 기준인 KS F 2271 가스유해성시험에서의 판정 기준인 9분에 해당하는 독성지수를 산정한 기준은 표 150과 같다. 각 실험비교데이터 결과를 OECD Guideline for Testing of chemicals(1981)의 급성흡입독성시험법을 기준으로 분석한 결과, 추세선을 그릴 수 있었고 이에 대하여 9분에 해당하는 값을 분석하였다.

표 150 현행기법의 판정기준 9분에서의 독성지수 도출값

독성기준	9분에서의 독성지수
FED	1.3016
FED$_I$	5.5963
R Value	0.8647
R Value$_I$	49.3918

(9) 건축 마감재료의 연소가스 발생 농도 정리 및 독성지수값 비교

본 연구는 건축물에 사용되는 다양한 마감재료에 대하여 ISO 5659 Smoke Density Chamber (SDC chamber), ISO 5660-1 Cone Calorimeter, KS F 2271 가스유해성시험, 총 3가지 화재모델로 연소시켰으며, 국제공인 인증시험방법인 ISO 19702 “Toxicity Testing of Fire Effluents - Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis” 기준에 준하여 발생되는 연소가스를 FT-IR로 분석을 실시하였다[11].

동일 시료임에도 선택된 화재모델 특징에 따라 측정되는 연소가스의 분석결과는 상이 했으며, SDC chamber와 Cone Calorimeter 화재모델로 측정된 연소가스 데이터에 따른 독성지수 값 또한 학문적 의미를 갖는다. 국제적으로 규격화 되어있는 독성지수값 산출식과 방법엔 BS 6853, NES 713, NFPA 269, ISO 13344 이 규정되어있다. 그러나 본 연구에서는 **FED 값은 ISO 13344, Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents (2004)의 기준을 따랐으며[9], R value는 독성지수값 산출의 신뢰성에 따라 현 [국토해양부 고시 제 2010-637호, 철도차량 안전기준에 관한 지침]에서 규정하는 시험방법인 BS 6853 Annex B.1 또는 BS 6853 Annex B.2 방법에 의한 독성지수 (R : Index of Toxicity)의 계산을 토대로 하였다[54].**

현재 규정되어있는 독성지수 값 산출은 발생농도의 최고 농도, 분당 누적발생량 농도 값만 고려하여 계산하였으나, 본 연구에서는 연소 발생가스의 총발생량 (Integrated) 값을 고려하여 FEDI, R ValueI, 의 개념을 도입하였다.

따라서 본 연구결과는 R Value, FED, FEDI, R ValueI 의 독성지수값을 산출하였으며, 종합적인 결과의 정리는 아래 표 151～153 에 나타내었다.

표 151 건축 마감재료의 연소가스 최고농도 및 독성지수 값 - R Value

마감재료	화재모델	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2	NO_2	HF	HBr	R Value	FED	FED_I	$R\ Value_I$
		ppm											
우레탄	Closed Cabinet Toxicity Test (SDC chamber)	288.9	3144.2	67.0	N.D	N.D	-	-	-	**0.79**	1.08	8.12	26.30
난연 플라스틱		213.7	8135.7	3.79	N.D	N.D	-	-	-	**0.22**	2.46	18.50	61.27
PVC 타일		165.4	1605.8	3.3	N.D	N.D	-	-	-	**0.11**	1.97	14.82	38.44
OSB합판		49.3	831.7	N.D	N.D	N.D	-	-	-	**0.03**	1.83	13.74	49.03
우레탄	Cone Calorimeter	4881.2	213.2	5	N.D	N.D	-	-	-	**1.94**	0.89	13.4	29.16
난연 플라스틱		3970	1657	0.39	N.D	N.D	-	-	-	**1.56**	0.70	10.5	23.39
PVC 타일		3803	894.6	0.25	1.13	N.D	-	-	-	**1.48**	0.66	10.0	22.30
OSB 합판		915.1	1173	N.D	N.D	N.D	-	-	-	**0.37**	0.16	2.4	5.53
PVC 물받이	가스유해성 모델	2803	31286.4	9.699	1318	N.D	-	-	-	**13.24**	3.04	12.6	298.28
PVC Pipe		2629	36289	1.2	1301	N.D	-	-	-	**13.63**	3.61	12	548.15
회색 장판		3108	34668.9	18.136	1408	N.D	-	-	-	**13.79**	5.34	13.65	832.40
옐로우 장판		1982	17613.8	0.492	N.D	N.D	-	-	-	**0.99**	1.54	5.25	62.50
나무무늬장판		2654	47558.3	14.695	956	N.D	-	-	-	**11.70**	5.02	10.8	860.63
체크무늬장판		2806	25351.1	1.768	1059	N.D	-	-	-	**5.71**	2.54	11.55	309.65
우레탄 5mm	가스유해성 모델	1808.09	94967.4	0.134	184.445	N.D	-	-	-	**3.65**	2.12	4.5	226.28
우레탄10mm		2305.81	39556.8	8.454	206.073	N.D	-	-	-	**3.41**	3.44	6.9	32.76
우레탄15mm		2598.61	45292.1	0.282	326.462	N.D	-	-	-	**4.65**	3.20	6	347.39
우레탄20mm		1990.43	13560.4	0.547	172.714	N.D	-	-	-	**2.57**	2.57	6	219.01
우레탄25mm		2754.16	25094.3	317.072	0.206	N.D	-	-	-	**4.40**	3.48	8.5	379.86
EPS	가스유해성 모델	396	1660	N.D	N.D	N.D	-	-	-	**0.17**	0.34	5.04	12.64
PVC		450	1459	N.D	6	N.D	-	-	-	**0.25**	0.39	5.86	17.76
Urethane		366	1643	1	3	2	-	-	-	**0.21**	0.26	3.89	11.4
방염커튼		456	1101	N.D	21	N.D	-	-	-	**0.39**	0.35	5.22	37.75
일반커튼		497	1417	N.D	5	N.D	-	-	-	**0.26**	0.38	5.72	18.57
MDF		610	11564	N.D	N.D	N.D	-	-	-	**0.38**	0.29	4.43	14.56

표 152 건축 마감재료의 연소가스 분당 누적 발생량 및 독성지수 값 - FED

마감재료	화재모델	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2	NO_2	HF	HBr	R Value	FED	FED_I	R $Value_I$
		ppm											
우레탄	Closed Cabinet Toxicity Test (SDC chamber)	5055	97581	32	N.D	N.D	-	-	-	0.79	**1.08**	8.12	26.30
난연 플라스틱		9472	254242	133	N.D	N.D	-	-	-	0.22	**2.46**	18.50	61.27
PVC 타일		7539	93073	108	N.D	N.D	-	-	-	0.11	**1.97**	14.82	38.44
OSB합판		10440	195871	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.03	**1.83**	13.74	49.03
우레탄	Cone Calorimeter	4899.	214	5	N.D	N.D	-	-	-	1.94	**0.89**	13.4	29.16
난연 플라스틱		3970	1657	0.39	N.D	N.D	-	-	-	1.56	**0.70**	10.5	23.39
PVC 타일		3784	890	0.25	1	N.D	-	-	-	1.48	**0.66**	10.0	22.30
OSB 합판		915	1173	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.37	**0.16**	2.4	5.53
PVC 물받이	가스유해성 모델	14108	-	13	1308	N.D	-	-	-	13.24	**3.04**	12.6	298.28
PVC Pipe		14101	-	0.39	3066	N.D	-	-	-	13.63	**3.61**	12	548.15
회색 장판		18603	-	48	4832	N.D	-	-	-	13.79	**5.34**	13.65	832.40
옐로우 장판		8777	-	0.28	0.05	N.D	-	-	-	0.99	**1.54**	5.25	62.50
나무무늬장판		16787	-	33	5087	N.D	-	-	-	11.70	**5.02**	10.8	860.63
체크무늬장판		11022	-	3	1610	N.D	-	-	-	5.71	**2.54**	11.55	309.65
우레탄 5mm	가스유해성 모델	10181	-	0.01	894	N.D	-	-	-	3.65	**2.12**	4.5	226.28
우레탄10mm		16428	-	10	1342	N.D	-	-	-	3.41	**3.44**	6.9	32.76
우레탄15mm		14721	-	0.02	1668	N.D	-	-	-	4.65	**3.20**	6	347.39
우레탄20mm		12497	-	0.15	1029	N.D	-	-	-	2.57	**2.57**	6	219.01
우레탄25mm		15917	-	0.05	1852	N.D	-	-	-	4.40	**3.48**	8.5	379.86
EPS	가스유해성 모델	1916	8025	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.17	**0.34**	5.04	12.64
PVC		2185	6901	N.D	27	N.D	-	-	-	0.25	**0.39**	5.86	17.76
Urethane		1113	4854	9.7	19	N.D	-	-	-	0.21	**0.26**	3.89	11.4
방염커튼		1695	3952	N.D	193	N.D	-	-	-	0.39	**0.35**	5.22	37.75
일반커튼		2119	6313	N.D	36	N.D	-	-	-	0.26	**0.38**	5.72	18.57
MDF		1683	25027	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.38	**0.29**	4.43	14.56

표 153 건축 마감재료의 연소가스 총 발생량 및 독성지수 값 - FED_I, R $Value_I$,

마감재료	화재모델	CO	CO_2	HCN	HCl	SO_2	NO_2	HF	HBr	R Value	FED	FED_I	R $Value_I$
		ppm											
우레탄	Closed Cabinet Toxicity Test (SDC chamber)	37912	731854	242	N.D	N.D	-	-	-	0.79	1.08	8.12	26.30
난연 플라스틱		71040	1906816	995	N.D	N.D	-	-	-	0.22	2.46	18.50	61.27
PVC 타일		56539	698048	808	N.D	N.D	-	-	-	0.11	1.97	14.82	38.44
OSB합판		78300	1469029	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.03	1.83	13.74	49.03
우레탄	Cone Calorimeter	73492	3210	75	0	N.D	-	-	-	1.94	0.89	13.4	29.16
난연 플라스틱		59550	24855	6	0	N.D	-	-	-	1.56	0.70	10.5	23.39
PVC 타일		56761	13352	4	17	N.D	-	-	-	1.48	0.66	10.0	22.30
OSB 합판		13727	17595	0	0	N.D	-	-	-	0.37	0.16	2.4	5.53
PVC 물받이	가스유해성 모델	211621	2366457	19626	202	N.D	-	-	-	13.24	3.04	12.6	298.28
PVC Pipe		211513	2691531	45987	6	N.D	-	-	-	13.63	3.61	12	548.15
회색 장판		279046	2885003	72483	720	N.D	-	-	-	13.79	5.34	13.65	832.40
옐로우 장판		131657	905491	0.87	4	N.D	-	-	-	0.99	1.54	5.25	62.50
나무무늬장판		251807	3280600	76302	491	N.D	-	-	-	11.70	5.02	10.8	860.63
체크무늬장판		165334	1447610	24155	39	N.D	-	-	-	5.71	2.54	11.55	309.65
우레탄 5mm	가스유해성 모델	152719	3235713	0.15	13405	N.D	-	-	-	3.65	2.12	4.5	226.28
우레탄10mm		246415	2817428	151	20131	N.D	-	-	-	3.41	3.44	6.9	32.76
우레탄15mm		220820	2111019	0.35	25026	N.D	-	-	-	4.65	3.20	6	347.39
우레탄20mm		187460	1222275	2	15435	N.D	-	-	-	2.57	2.57	6	219.01
우레탄25mm		238758	2087528	0.78	27776	N.D	-	-	-	4.40	3.48	8.5	379.86
EPS	가스유해성 모델	28734	120374	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.17	0.34	5.04	12.64
PVC		32780	103512	N.D	401	N.D	-	-	-	0.25	0.39	5.86	17.76
Urethane		16695	72816	146	279	N.D	-	-	-	0.21	0.26	3.89	11.4
방염커튼		25431	59281	N.D	2891	N.D	-	-	-	0.39	0.35	5.22	37.75
일반커튼		31780	94694	N.D	541	N.D	-	-	-	0.26	0.38	5.72	18.57
MDF		25252	375404	N.D	N.D	N.D	-	-	-	0.38	0.29	4.43	14.56

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1. 연구 성과의 국내외 차별성 및 우수성

- 현재 국외의 연기 독성 측정의 측정 방법으로는 크게 쥐(rat 또는 mouse)를 이용하여 측정하는 생물학적 측정법과 가스의 화학적 성분을 측정하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 생물학적 측정법으로는 일본 건설성 고시 제 1231호에 의한 연독성 측정 방법, Pittsburgh 대학 연독성 측정 방법[52, 53], NBS Cup furnace법, 변형 NBS Cup furnace법, DIN 53436시험법 등이 있고, 가스의 화학적 성분을 측정하는 방법으로는 SAFIR법, Airbus Industrie사의 연독성 측정 방법, JIS K 728에 의한 연독성 측정방법, JIS K 7217에 의한 연독성 측정 방법 등이 있다[51].
- 또한 연기독성 규제의 경우 미국내 건축법의 역할을 통합적으로 규제하는 IBC(International Building Code)에도 연기의 독성에 관한 규제조항은 들어있지 않다. 다만 건물 내장재(벽, 천장, 바닥)의 ASTM E 84시험에 의한 화염전파속도 및 연기 발생량을 규제하고 있을 뿐이다. New York주에서는 Pittsburgh대학의 연독성 측정방법에 따라 건축재료 등의 연소생성물에 관한 독성은 측정하고 있으나 이는 강제규정이 아니라 재료의 등급을 정하는 참고자료로서 사용하고 있고, California주에서는 일산화탄소의 농도를 규제하고 있으나 전술한 바와 같이 일산화탄소는 재료의 특성보다는 연소상태에 의한 영향을 강하게 받으며, 또 규제대상을 매트리스나 의자등 가구 종류에 한하고 있다. Airbus회사도 연독성을 규제하나 이는 비행기 내장재료에 한정되어 있다. 프랑스에서는 일산화탄소의 농도는 규제하지 않고, 시안화수소와 염화수소의 농도를 규제하고 있으나, 이 역시 양모와 같은 천연물은 제외하고 있으며, 폴리우레탄 같은 재료라 하더라도 일정한 난연등급을 받고, 같은 재료로 밀봉되어 있는 경우에는 제외되어 매우 넓은 제외 규정을 두고 있다.[51]
- 이처럼 연기독성은 학문적으로나 규제차원에서 보았을 때 연기 독성은 매우 복잡한 메커니즘으로 복잡성 때문에 강제규정을 두어 연기독성을 규제하는 나라는 극히 적은 것이 현실이다.
- 그러나 본 연구는 소규모 화재 시험에서 배출되는 독성생성물의 영향에 대한 추정 값으로, 실규모 화재를 예측 가능도록 하였으며, 특히 국내고시에서 정하는 기준에 준하는 화재모델을 선택하여 (가스유해성 KS F 2271) 다양한 건축물 마감재료를 연소하여 ISO 19702:2006 “Toxicity Testing of Fire Effluents – uidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis”에 준하여 가스 분석을 실시하였다. 본 연구에서 도출된 결론으로는 건축물 마감재료에서 발생하는 연소독성물질에 대한 시

험동물의 의학적 피해정도의 결과를 구축하였으며, 정량·정성 분석으로 얻어진 결과로 연소 독성지수값을 도출하였다. **본 연구 결과물은 앞서 언급된 국외의 미흡한 연소독성 규제 현황을 새로이 구축하는데 활용될 수 있으며, 국내 연구 성과물이 국외로 활용되어 연기독성 평가분야를 선도할 수 있는 가능성과 독자적 데이터 구축의 차별성을 보인다. 본 연구 성과물을 활용하여 추후 건축물 마감재료의 연기 독성지수값을 통해 건축물 마감재료의 엄격한 관리를 진행함으로써 연기독성에 의한 피해를 줄이고, 나아가 더 이상 동물을 사용하지 않는 시험방법으로 동물윤리를 선도하는 선진국형 평가방법으로 발전이 가능할 것으로 본다.**

2. 연소가스의 표적장기와 농도별 피해정도 위험도를 도출, DB화

- 본 연구결과에서는 세포단위로 독성가스가 실험동물의 각 기관에 미치는 영향에 대하여 병리학적 접근을 시도하고 DNA 변형을 관찰함으로 연소독성가스가 미치는 각 기관(장기)의 손상정도를 추적하였다는 점에서 국내 및 세계적으로도 유래가 없는 흡입연소독성의 기초연구이다.
- 최초로 연소가스 실험에 사용된 마우스를 병리학적 검사와, DNA 분석을 통하여 현재 제도와 비교 데이터 확보 및 기초자료로 활용할 수 있다.
- 화재로부터 발생되는 연소가스의 유해성 평가는 필연적으로 화재공학, 의학, 분자생물학, 분석화학 등의 학문 분야가 융합하여야 가능한 연구분야로서 성과물을 활용을 통한 시너지 효과가 기대된다.
- 주요연구성과
  - ✓ 정책기준안 1건 : 국토부 정책제안
  - ✓ 시험/조사DB 구축 : 건축물 마감재료의 연소실험을 통해 실험용 쥐의 표적장기 피해정도 DB 구축 및 표준가스 실험을 통해 실험용 쥐의 표적장기 피해 및 평균행동정지시간 파악
  - ✓ 논문발표 16건 달성 : 우수발표논문상 2회 수상
  - ✓ 논문게재 6건 달성 : 학회지 우수논문상 1회 수상
  - ✓ 기고(전문지) 1건 : 국토경제신문
  - ✓ SCI 논문 2건 제출

3. 연소독성평가 방법 및 기준 개발

- 건축법에서 규정하는 건축물 마감재료의 가스유해성 평가방법은 설치류(mouse)를 이용하여 평균행동정지시간을 측정하고 결과를 통하여 건축물 마감재료의 적합성을 평가하였다. 하지만 실험동물을 이용한 현 제도의 가스유

해성 평가방법은 연소시 발생되는 독성가스의 종류 및 농도를 확인할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 또한 동물 보호법의 강화로 인해 동물실험의 3원칙(실험동물 대체 사용법 강구, 실험에 사용되는 동물수의 축소, 동물고통의 최소화)이 강조되고 있는 시대적 요구를 볼 때, 분석기기을 통하여 독성가스를 측정하고 연소독성을 평가하여 동물실험을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

- 현 제도에서 기준으로 제시되고 있는 mouse의 평균행동정지시간인 9분과 연소가스 정량분석을 통해 계산된 FED 값의 비교를 통하여 현 제도에 적합한 FED 기준값을 제시함. **본 연구에서 제시한 근거와 기준값은 다음과 같다.**
  - ✓ 첫째, 분당 평균 발생량에 기초한 FED와 최고 농도에 기초한 R Value의 평균행동정지시간 분석 결과, 독성지수가 높게 나오는 연소가스는 평균행동정지시간이 짧게 나타나는 것으로 분석되었다.
  - ✓ 둘째, 본 연구에서 최초로 시도된 총 발생량(누적값)에 기초하여 계산한 FED_I(Fractional Effective Dose Integrated), R $Value_I$(R Value Integrated)의 결과 역시, 독성지수가 높은 연소가스는 평균행동정지시간이 짧게 나타나는 것으로 분석되었다.
  - ✓ 셋째, 현행 건축법에서 난연성능 판정기준에 근거, 평균행동정지시간이 9분일 때를 자체 기준으로 설정하여 연소독성지수를 비교·분석한 결과, FED는 1.3016, FED_I는 5.5963, R Value는 0.8647, R $Value_I$는 49.3918로 도출되었음. 이에 연소가스 분석기법을 이용한 독성지수의 산정으로 선진화된 난연성능 평가기법의 개발 가능성을 확인함과 동시에 기초 데이터를 확보하였다.

4. 주요 연구성과 및 적용실적

가. 연소독성 평가 기법 개발

- **[기존 기준의 문제점]** 현행 건축법에서 규정하고 있는 연소독성평가 방법은 건축물 마감재료를 대상으로, 건축법시행령 제 2조, 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙에 의거 동물을 사용하는 KS F 2271(가스유해성시험)으로 수행되고 있다. 본 시험방법은 시험용 쥐의 평균행동정지시간을 측정하여 건축물 마감재료의 연소독성 평가를 수행하고 있다.
- 그러나 본 시험방법은 동물보호법(농림수산식품부) 및 실험동물에 관한 법률(보건복지부) 개정에 의해 동물실험은 지양되고 있으며, 동물대체 시험방법의 마련이 요구되고 있는 시점이다.
- 따라서 동물시험을 대체하고 연소생성물의 정성·정량 분석을 통해 연소가스

유해성을 종합적으로 평가할 수 있는 시험방법의 개발을 진행하였으며, 현행 건축법에서 채택하여 시행중인 동물실험인 KS F2271(가스유해성시험)의 판정기준에 상응한 건축물 마감재료 연소유해가스의 기준을 제시하였으며, 그에 상응하는 결과가 독성지수값이다.

- **[연소독성 평가 방법]** 본 연구에서 **도출된 연소독성평가 절차**는 다음과 같다.

① 현행 건축법에서 규정하고 있는 가스유해성시험(KS F2271)을 화재모델로 하여 피검상자에 FT-IR(ISO19702 기준)을 연결하여 건축물 마감재료를 연소시킨다.
② 연소시 발생하는 가스를 연결된 FT-IR로 분석하고(ISO19702 기준) 분석시 발생하는 화학종별 농도를 파악한다.
③ 발생하는 화학종별 농도의 특성치※를 반영하여 독성지수값인 FED, FEDI, R Value, R ValueI를 계산한다.
④ 도출된 독성지수값을 본 연구에서 제시한 독성지수값과 비교한다.
⑤ 시험한 건축물 마감재료의 독성지수값이 본 연구에서 제시한 독성지수값보다 초과할 시 부적합 마감재료로 평가한다.

독성기준	9분에서의 독성지수
FED	1.3016
FED_I	5.5963
R Value	0.8647
R $Value_I$	49.3918

※특성치 계산

✓ FED : ISO 13344 기준, 발생 화학종의 분당 누적 발생량을 반영하여 독성지수값 도출
✓ R Value : BS 6853 Annex B.2 기준, 발생 화학종의 최고 농도를 반영하여 독성지수값 도출
✓ FEDI,, R ValueI : ISO 13344 및 BS 6853 Annex B.2 기준, 발생 화학종의 총 발생량을 반영하여 독성지수값 도출

나. 정책안 제시

- ✓ 국토부 고시 제2012-624호 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지 구조 기준” 개정(안) 마련 → 동물보호법 및 실험동물에 관한 법률에 따라 동물실험을 대체할 수 있는 시험방법 개발
- ✓ 국토부 고시 제2012-624호 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지 구조 기준” 제2조, 제3조, 제4조 2항 개정
- ✓ 한국산업규격 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법)를 화재모델로하여 ISO19702로 분석 후 BS 6853 Annex B.2에 따라 연소독성을 적분하여 계산한 결과 R Value는 49.3918미만이어야 한다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

1. 연구개발 최종목표 달성도

- 연소가스의 표적장기와 농도별 피해정도 위험도를 도출, DB화
- 연소독성평가 방법 및 기준 개발

목표	목표 건수	달성 건수	인정 건수	달성율 (%)	비고
정책(안)	1	1	1	100	국토부에 정책안 제시
시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	1	1	1	100	
논문발표	4	16	16	400	
논문게재	4	6	7	150	
기고(전문지)		1			국토경제신문 : 불산누출사고 관련
SCI 논문게재	2	-	-	0	논문 2편 제출

2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석

- 연소가스 특성 DB 구축을 통한 국내 내장재의 화재 위험도 평가자료 활용
- 건축물 내장재 가스유해성 기술 자료 및 데이터 공유를 통한 관련 연구 선도
- 공학적 화재위험도 평가 방법개발을 통한 신뢰성 확보
- 국내·외 내장재 연소가스 유해성 평가에 관한 기술선도
- 건축물 내장재 연소가스의 독성에 대한 평가 방법을 적용하여 체계적이고 기술적으로 타당한 생산 및 설계를 유도

3. 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출, 고용창출 등)

- 본 연구는 제품이나 기술의 개발이 목적이 아니며 건축물 화재시 건축자재에서 발생하는 가스에 의한 질식사 방지를 위한 정량적 평가방법 개발을 위한 것으로 연구 성과물을 기초로 건축자재 생산시 건축자재에 의한 질식사를 방지할 수 있는 건축자재 생산을 위한 기초 자료로 활용.

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업활용	장비활용	교육연계	기술상담	정보제공	기술지도	기술이전	공동연구	창업지원
1	KCC	마감 재료의 연소독성평가 기준	√	√	√	√	√	√			
2	벽산	마감 재료의 연소독성평가 기준	√		√	√	√				
3	라파즈	마감 재료의 연소독성평가 기준	√		√	√	√				
4	하니소	마감 재료의 연소독성평가 기준	√		√	√	√				
합계			√	√	√	√	√	√			

4. 연구개발 성과의 정책적 효과분석

- 국토부 건축기획과와 긴밀한 협조 및 정책 제개정 추진(동물대체시험 홍보 및 환경보호 캠페인개최)
- 건축공사표준시방서에 관련 자재 반입검사에 반영
- 국토부 건축기획과 정책반영을 위한 지원
- 동물대체시험 도입에 대한 당위성 홍보 및 동물보호법에 의한 동물시험 최소화 홍보
- 동물대체시험법 개발을 통한 선진국형 평가제도 도입으로 국가 이미지 제고

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1. 연구성과의 활용

- 현재 건축법 제52조(건축물의 마감재료), 동법 시행령 제61조(건축물의 마감재료)의 “건축물의 피난·방화등의 기준에 관한 규칙” 제5조 내지 7조 규정 및 “건축물 마감재료의 난연성능기준”(국토부 고시 제2012-624호)에 의거 시행되고 있는 가스유해성시험(KS F 2271)은 시험용 흰쥐 8마리가 연소가스에 노출 되었을 때 나타나는 평균행동정지시간(min)을 측정하여 화재가스의 노출로부터 9분 이상 행동이 가능한 재료만을 허용하며 이때 실험용 마우스 연 20,000마리가 소요되는 것으로 추정(건축법에 의한 동물시험)된다. **본 연구에서 도출된 독성지수 값은 현행 고시 기준 쥐의 평균행동정지시간 9분기준에 따라 도출된 값으로, 본 결과는 현재 국토부 정책안에 제시하였으며, 본 연구결과를 활용하여 향후 동물 대체 시험방법으로 국가제도(고시 기준) 적용이 가능 할 것으로 파악된다.**
- 다양한 건축물 마감재료와 표준가스를 사용한 동물실험은 실험 결과도출 및 의학적 해설을 위해 의학, 보건학 분야의 관련 전문의 및 분석화학 등의 전문인의 융합연구를 통해 건축분야 뿐만 아니라 다양한 학문이 함께 연구하는 시너지가 창출 될 것으로 파악된다.
- 본 연구는 건축 마감재료로 사용되는 다양한 시료를 바탕으로 연소가스를 측정하였으며, 본 데이터는 ‘건축물 마감재료 연소가스 database 구축’의 성과를 도출하였으며, 본 결과는 국내 내장재의 화재 위험도를 평가하는 자료로 활용 가능할 것으로 파악된다.
- 현재 국내·외 건축물 마감재료를 대상으로 한 연소가스 유해성 평가는 가스유해성시험(KS F 2271)로, 동물시험을 통하여 평가를 하고 있으며, 본 연구성과(독성지수값)를 활용한 건축물 마감재료를 대상으로 한 연소가스 유해성 평가는 이에 관한 기술선도 및 대표적 기술표준 제시로 활용할 수 있을 것으로 파악된다.

2. 연구성과의 후속조치

- 본 연구결과의 활용을 위하여 공청회를 통해 국토부 고시 제2012-624호 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준” 제2조, 제3조, 제4조 2항의 제도 개선 과정에서 공청회를 개최할 예정이다.

2. 추가연구 필요성

- 다양한 건축물 마감재료의 연소 독성지수값 산정이 필요하다.
- 건축물 마감재료의 연소시 발생하는 산물은 독성가스 뿐만 아니라 검댕(soot)이 있는데, 본 부가산물에 대한 추가 연구가 필요하며, 입자 크기를 고려하여 다양한 크기의 filter를 적용한 데이터 구축이 필요 하다.
- 검댕(soot)의 영향에 따른 표적장기에 대한 연구와 항산화 지표 분석을 통하여 연소가스에 의한 장기간 영향에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 유럽연합 위험 규정(R-phrases,Risk Phrases), Directive 67/548/EEC
2. 유럽연합 위험 규정(R-phrases,Risk Phrases), Directive 2001/59/EC
3. 한국산업안전보건공단(www.kosha.or.kr), MSDS(물질안전보건자료)
4. ISO 9122-4 “Toxicity Testing of Fire Effluents - Part 4: The fire model (furnaces and combustion apparatus used in small-scale testing)
5. ISO 5659-2, Plastics - Smoke Generation - Part 2 :Determination of Optical Density by a Single Chamber Test, ISO (2002).
6. ISO 5660 "Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)", ISO (2002)
7. BS 6853 Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains(1999)
8. NES 713, Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials. issue 03, (1985).
9. ISO 13344 : 2004 “Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents”
10. ISO 9122-3 “Toxicity testing of fire effluents - Part 3: Methods for the analysis of gases and vapours in fire effluents”
11. ISO 19702 : 2006 ”Toxicity testing of fire effluents - guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis”
12. 국토해양부 (2012). “국토해양부 고시 제 2012-624호. 건축물 마감재료의 난연성능 기준”
13. 소방방재청, “2011 상반기 화재발생현황 분석”, 소방방재청, (2011): 1-4
14. KS F 2271 : 2006 “건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험 방법”
15. ISO TR 9122, Toxicity testing of fire effluents, ISO, (1989)
16. ISO 12136, Reaction to fire tests-Measurement of material properties using a fire propagation apparatus, ISO(2011)
17. ISO 16312-1, Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment-part1: Criteria, ISO,(2010)

18. ISO 16732-1, Fire safety engineering -Fire risk assessment- Part 1: General, ISO,(2012)
19. ISO 24473, Fire tests-Open calorimetry-Measurement of the rate of production of heat and combustion products for fires of up to 40MW, ISO,(2008)
20. ISO 29903, Guidance for comparison of toxic gas data between different physical fire models and scales, ISO,(2012)
21. ISO/TR 16312-2, Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment - Part 2: Evaluation of individual physical fire models, ISO, (2007)
22. ISO/TR 16732-2, Fire Safety Engineering - Fire risk assessment - Part 2: Example of an office building, ISO, (2012)
23. ISO/TR 16738, Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people, ISO, (2009)
24. ISO/TS 16733, Fire safety engineering - Selection of design fire scenarios and design fires, ISO, (2006)
25. ISO/TS 19700, Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents,ISO, (2007)
26. ISO/TC 92/SC 3/TG 3 N 25, rev 9, Candidate Work Items from Matrix for Use of Tenability and Smoke Toxic Potency Information in Fire Safety Engineering, ISO, (2010)
27. SFPE 방화공학핸드북(3판), 6장 연소생성물의 독성, PP2~92,165(2005)
28. SFPE, “The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, “Section Three. HAZARD CALCULATIONS”, pp3-23 ~ 3-24(3rd edition)
29. United Kingdom Fire Statistics 1983, Home Office, london (1983)
30. WHO, “Environmental Health Criteria 10”, Carbon disulphide“, Geneva, (1979)
31. 한규대, “건축 시공”, 한솔아카데미, pp 439~440 (2008)
32. 조남욱, 전준표, 김홍열, 민병렬, “샌드위치패널의 난연성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회 2006년도 학술발표대회 논문집,
33. 이인구, 조남욱, 이봉재, 이동호, “Smoke density chamber를 적용한 건축물 마감재의 연소가스 독성평가”, 한국화재소방학회 학술대회 논문집, (4), (2011): 248-251
34. 조남욱, 이종천, 이동호, “연소독성지수와 마우스 행동정지시간 비교 연구” 한국화재소방

학회논문지, 25(4), (2011): 35-41
35. 김성수, “ FT-IR과 FED를 이용한 건축 재료의 연소독성평가에 관한 연구” 한국소방학회 논문지, 제25권 제 6호(2011)
36. 조남욱, “ 연소독성지수와 마우스 행동정지시간 비교 연구” 한국소방학회 논문지, 제25권 제 4호(2011)
37. 박영근, "NES 713에 의한 내장재료의 연소가스독성평가" 방재기술 제 28호(2000)
38. 박수영, “샌드위치패널 단열재의 연기농도 및 연소독성가스에 대한 실험적 연구(연소챔버법)” 한국화재소방학회 논문지, 제20권 제4호, 26~32, (2006)
39. 강성동, "다중이용시설 바닥마감재의 연소독성평가에 관한 실험연구" 한국화재소방학회 논문지, 제 16권 제2호, 14~21, (2002)
40. Jogn B. Morris, Frank A. Smith, “Regional deposition and absorption of inhaled hydrogen flouride in the rat” Toxicology and applied pharmacology, Vol62, p. 81~89(1982)
41. M, Yoshida, J. Adachi, T, Watabiki, Y. Tatsuno, N, Ishida, “A study on house fire victirns : age, carboxbemoglobin, hydrogen cyanide and hemolysis”, Forensic Science International, 52(1), (1991): 13-20
42. Leopoldo C Cancio, “Current concepts in the pathophysiolgy and treatment of inhalation injury”, Trauma, (7), (2005): 19-35.
43. Ron Cote,P.E, Gregory E. Harrington, P.E. "Life Safety Code Handbook", NFPA
44. G.E. Hartzell, D.N. Priest, W.G. Switzer(1988), “The Fractional Effective Dose Model for Assessment of Toxic hazards in Fires" Journal of fire science, pp.356-362
45. Wood R, “Neurobehavier toxicity of carbon dislfide”, Neurobehav Toxicol Teratol, 3, (1981): 397-405
46. F. Lestari, “An alternative method for in vitro fire smoke toxicity assessment of polymers and composites using human lung cells” Fire and Materials, 35 (2011) : 411-429
47. Luis A. Ferrari, “Hydrogen cyanide and carbon monoxide in blood of convicted dead in a polyurehane combustion: a proposition for the data analysis” Forensic Science International, 121 (2011) : 140-143
48. 이귀녕, “임상병리파일” 의학문화사 (2000)
49. Huang, Yeou-Lih “LIPID PEROXIDATION IN WORKERS EXPOSED TO

HEXAVALENT CHROMIUM" 56 (1999) : 235-247

50. Olive. P. L "Heterogeneity in radiation-induced DNA damage and repair in tumor and normal cells measured using the "comet" assay" 122 (1990) : 86-94

51. 한국과학기술연구원, '방염물품의 연소가스 유해성에 관한 연구', 연구보고서 (2000)

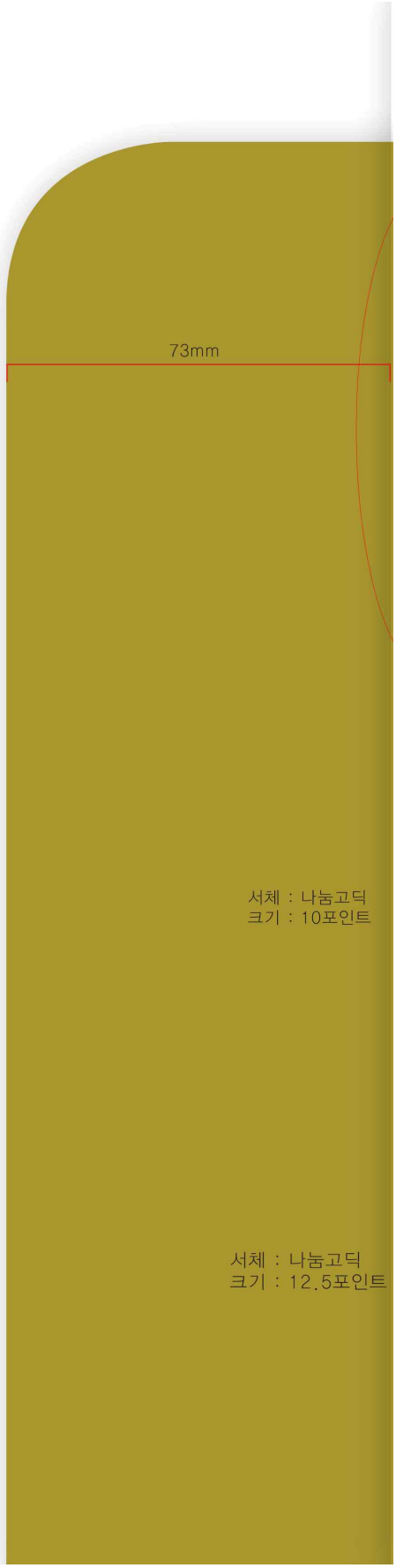
52. Purser, D. A., Toxicity Assessment of Combustion Products, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 5Ed. Section 1/Chapter 14, pp 1-200~1-245 (1992)

53. Caldwell D. J., and Alarie, Y., A Method to Determine the Potential Toxicity of Smoke from Burning Polymers: Ⅲ. Comparison of Synthetic Polymers to ouglas Fir Using the UPitt Ⅱ Flamming Combustion/Toxicity of Smoke Apparatus. J . Fire Sci.9, Nov./Dec. 470-518, (1991)

54. 국토해양부 고시 제 2010-637호, 철도차량 안전기준에 관한 지침

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.



주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.