

내장재의 연소 및 독성가스 발생 특성

-방염 카펫, 방염 후처리 합판, 소파 내자를 중심으로-

Combustive Characteristic and Toxic Gases Generation of Interior Materials

-The focus for resist-carpet, resist-after-treatment plywood, sofa leather-

김 일 수*

Kim, Ill-Soo

류 경 옥**

Yoo, Kyong-Ok

Abstract

It was studied a compared estimation of the fire risk of the three kinds of the interior materials, such as a resist carpet, a resist-after-treatment plywood and sofa leather. Toxic gases, CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCN, HCl were detected during the combustion of the samples.

A resist-carpet was more combustibile than the resist-after-treatment plywood and sofa leather in the combustion characteristics and has a blow-up-combustion of combustion in all the samples.

The generation of CO reached the lethal doses in minute after the combustion was begun. NO_x and So₂ were detected not more than each of the lethal doses, while HCN was detected in the carpet 20.6 times than the sofa leather, and 4.6 times than the resist-after-treatment plywood.

HCl was detected in the carpet 4.48 times than the sofa leather and 2.47 times than the resist-after-treatment plywood. It is conclusion that the carpet was the highest in the fire risk among the three kinds of the interior materials.

국문요약

화재위험성이 큰 유흥업소에서 주로 사용하는 내장재중 방염 카펫, 방염 후처리 합판, 소파 레자등 3가지 시료에 대한 연소특성과 CO, CO₂, O₂, NO_x, SO₂, HCN, HCl등 독성가스를 검출하여 화재 위험성을 비교평가 하였다. 연소특성에 있어 방염 카펫가 방염 후처리 합판, 소파 레자 보다 연소가 잘 되었고, 폭연 연소가 일어났다. 모든 시료에서 CO의 발생은 연소시작 후 1분 이내에 치사농도를 상회(上

* 한양대학교 환경대학원, 인천소방본부

** 한양대학교 화학공학과 교수

廻) 하였으나 NO_x와 SO₂는 치사농도를 상회(上廻) 하지 않았지만, HCN는 카펫에서 쇼파 레자 보다 20.6배, 방염 후처리 합판 보다 4.6배가 검출 되었고, HCl은 카펫에서 쇼파 레자 보다 4.48배, 방염 후처리 합판 보다 2.47배가 검출 되었다. 이상과 같이 3종의 내장재중 방염 카펫가 화재위험성이 가장 높다는 결론을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

1.1 연구 목적 및 필요성

화재에 의한 사망 원인은 크게 열상과 연기의 흡입 즉 질식사로 구분 할 수 있다. 연기의 흡입은 아직 대다수는 아니지만 화재 상해의 한 원인이다. 예를 들면, 미국 내에서 1989년에서 1993년까지 5년간에 화재로 인한 사망자의 원인 비율을 보면, 전 화재 중 연기중독 42%, 열상 29%, 열상과 연기중독 17%, 기타 사망원인이 13%였다¹⁾. 日本의 경우는 과거 10년간 열상사 52.3%, 질식사 40%, 추락, 낙하물 등 기타 사망원인이 7.7%였고²⁾, 우리나라는 열상사 56%, 질식사 41%, 추락 및 낙하물 등 기타 사망원인이 3%로 화재현장 사상자가 발생하고 있는 등³⁾, 화재현장에서 질식 사망자의 수가 전체 사망자의 40% 이상을 차지하고 있다. 연기 질식사를 방지하는 방안으로 내장재의 난연 및 불연화를 통하여 화재의 초기 발화지연과 질식사를 방지하는데 꾸준히 노력해 오고있지만 질식사를 방지하는 데는 많은 어려움이 따르고 그 주된 원인은 다음과 같다.

첫째, 최근 주거 공간에 갖춘 잠옷, 침구, 가구 인테리어 내장재 등 이러한 화학 제품들이 연소하면서 종래부터 사용되어온 천연소재 보다도 많은 CO나 HCN 등의 독성 연소가스를 발생 시킨다.

둘째, 최근 건물은 냉·난방 시설의 보급에 따라 건물의 밀폐성이 높아 화재시에 발생한 연기 등이 환기 지연으로 인하여 초기 단계에서 옥내에 축만해 버리고, 개방 공간으로 광범위 하게 이동한다.

셋째, CO가스와 같은 연소 생성가스는 지극히 작은 화재, 즉 침구류가 소량 연소 하였더라도

치사량의 가스에 도달하는 일도 있다⁴⁾.

이상과 같은 원인을 고려해 볼 때, 화재로 인한 대부분의 사망원인은 O₂의 결핍 및 CO와 CO₂의 흡입에 의한 것이라고 한다면, 화재의 경우 대기중의 O₂가 결핍되고 CO와 CO₂가 발생하기 때문에 화재의 특성만으로 인명보호 전략을 개선하는 것이 거의 의미가 없겠지만 열 방출을 내리고 화재가 최성기에 도달하는 것을 둔화시키며, 더 나아가서는 고열의 발생을 둔화시켜, 연소로 인한 대기중 독성가스가 방출되는 것을 방지하기 위하여 내장재 재료를 교체시키는 방법은 필요하다. CO와 CO₂의 발생을 제거하는 것은 불가능하겠지만, HCN, HCl 및 그 외 많은 독성가스등의 발생을 적게 하는 대책이 무엇보다 요구 된다.

1.2 연구의 배경

현재 전 일본과 미국을 중심으로 화재현장에서 질식사사망자에 대한 비율을 줄이기 위해 연구가 활발히 진행 되고 있다. 일반적으로 화재로 인한 독성가스 검출은 화재현장에서 직접 검출을 하거나, 실험실에서 독성가스 발생에 대한 연구가 되고 있다.

한편, 연소물질로 부터 독성가스 발생 특성에 대한 발표된 논문은 T. Morkawa¹³⁾, Eiji Yanai¹⁴⁾, F.H. Prager¹⁵⁾에 의해 연구가 된 바 있으나, 상기 연구의 한계는 연소 독성가스의 검출을 위해 고진공(高眞空) 상태이거나, N₂, He 등의 불활성 기체상에서 열분해에 의한 것이고, 또한 실험실에서 단일 고분자물질에 대해서만 열분해에 의한 연구를 중심으로 하였기 때문에 화재현장 혼합물질이 자유연소에 의해 발생하는 독성가스를 검출하는 데에 한계가 있었다.

본 연구에서는 화재위험성이 큰 유흥업소에 주로 내장재로 사용 되는 방염 카펫, 방염 후

처리 합판, 쇼파 레자 등 혼합고분자물질에 대하여 화재현장과 유사한 자유연소 조건하에서 연소시 주요 독성 가스인 O_2 , CO , NO_x , SO_2 , HCN , HCl 에 대하여 각 시료별 독성가스를 정성 분석(定性分析)하여 상대 평가를 하였고, 연소 특성에 대하여 고찰 하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

연소 및 독성 가스의 검출을 위한 실험 연소로는 Fig 1 에서와 같이 부피 1.25ℓ ($\ell=12\text{cm}$, $r=5.75\text{cm}$)의 챔버로서 보온을 위해 내부에는 5cm두께의 황토단열재로, 외부는 3cm 두께의 유리섬유 단열재로 보온 조치를 하였다. 시료의 연소를 위한 열원은 1.7Kwh의 전기로 이다. 온도 측정은 C.A 열전대를 Controller(HY-8000S)에 부착하여 측정하였고, 공기 공급장치는 Air Compressor를 사용하였으며 Flow meter로 공기공급량을 조절하였다.

2.2 실험시료

시료는 방염 카페트, 쇼파레자, 방염 후처리

합판 등 3종을 사용하였으며, 모든 시료의 무게는 편의상 7.2g으로 실험 하였다. 각 시료별 크기는 방염 카페트의 경우 소방검정공사의 검정을 필한 시료로서 크기는 $(8.6\text{cm}\times 7\text{cm})\times 2$ 개 (124cm^2)를 사용하였고, 쇼파 레자의 크기는 $(15\text{cm}\times 7\text{cm})\times 13$ 개 ($1,365\text{cm}^2$), 방염 후처리 합판은 $(7.5\text{cm}\times 7\text{cm})\times 2$ 개 (105cm^2)의 크기로 하였다. 방염 후처리 합판의 경우, 방염 도료처리하는 소방법에서 정하는 기준에 의거 방염도료를 3회 이상 페인팅하여 실험에 임하였다. 각 시료별 물성치는 Table 1과 같다.

2.3 실험방법

각 시료별 연소특성을 고찰하기 위하여 300°C , 400°C , 500°C , 600°C 의 온도별로 공기 유량별 특성을 고찰하기 위해 $3\ell/\text{min}$, $4\ell/\text{min}$, $6\ell/\text{min}$, $9\ell/\text{min}$ 으로 유량을 변화 시키면서 10분간 연소 실험을 하였다. 독성가스 검출은 연소 실험과 같은 방법으로 온도별 및 공기의 유량에 따른 독성가스 발생특성을 고찰하기 위해 O_2 , CO , CO_2 , NO_x , SO_2 가스는 Ecome (U.S.A 제품)을 이용 포집분석 하였고, HCN 는 피리딘피라존법⁵⁾, HCl 은 티오시안산 제이수은법⁵⁾으로 Fig. 2의 Dust Suction이용 $0.5\ell/\text{min}$ 로 10분

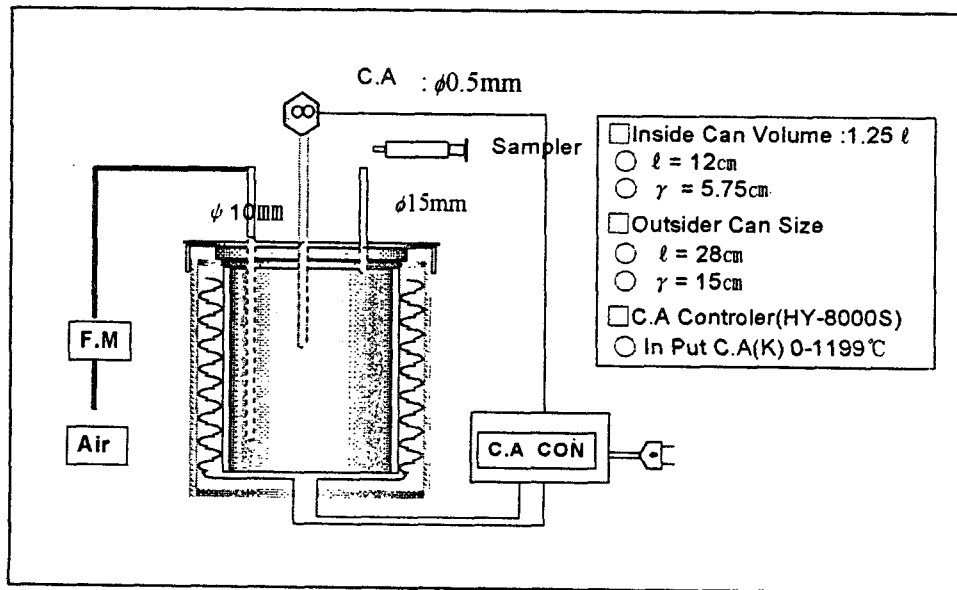


Fig. 1. Schematic Diagram of Combustion Furnace Setup.

Table 1. Layer structure of Samples.

Samples		Sofa Leather	Resist After treatment Plywood	Resist fire of Carpet
Manufacture Company		• D Company (Korea)	• Resist Paints : S.Y company • Plywood : I company	• Interface C.O (USA)
Raw Materials	Front	• Polyurethane 100%	• Chloridation Gum : 54% • Chloridation Paraffin : 7% • Phenol Resins : 15% • Acrylic Resins : 6%	• Nylon 100%
	Back	• Rayon 65% • Cotton 35%	• Plywood : 12mm	• P.V.C
Etc		Not resist treatment	3times Coating with resist paint treatment	Resist treatment

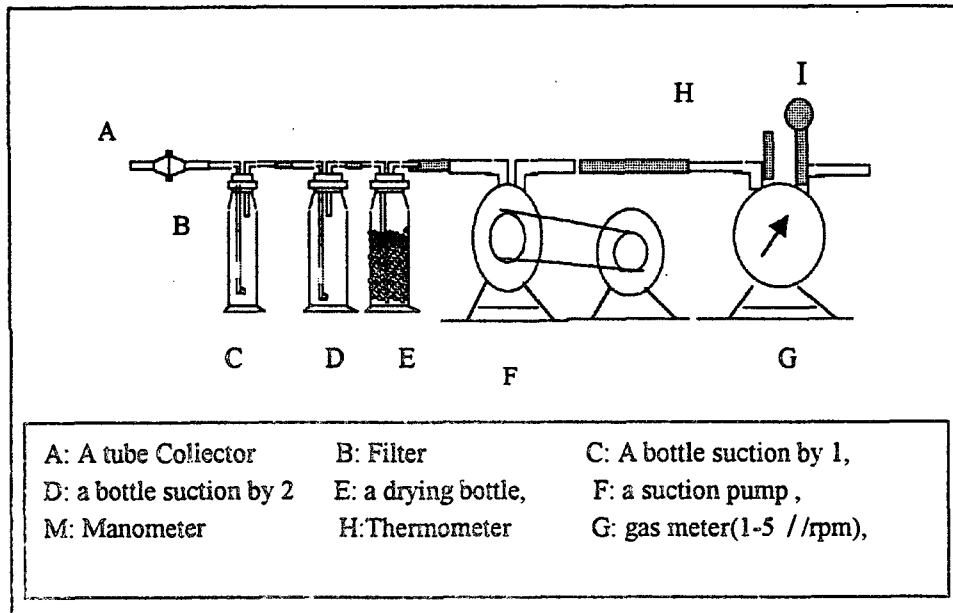


Fig. 2. Schematic Diagram of Dust Section Setup.

간 5ℓ 을 포집 분석 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 열분해 특성

방염 카페트 및 방염 후처리 합판, 쇼파 레자에 대하여 승온법에 의하여 T.G.A로 열분해 특성을 고찰 하였다. 실험의 조건은 질소를 50ℓ /min의 공급하고, 승온은 10℃ /min로 600℃

까지 승온 하였다.

Fig. 3에 보인바와 같이 각 시료 모두 처음 3% 정도의 중량감소는 수분 증발에 의한 것이며, 방염 카페트의 경우 220℃ 지점에서 먼저 중량감소가 시작되었다. 300℃에서 부터는 급속히 중량감소가 발생하여 600℃ 까지 중량 감소를 48%로 더 이상 중량감소는 일어나지 않았다. 방염 후처리 합판의 경우 중량감소는 240℃에서 시작하여 급격히 중량감소가 발생하였다. 그러나 240℃ 이전에 다른 시료보다도 중량감소가 많이 발생한

것은 합판 자체에 함유한 수분의 감소와 합판 표면에 페인팅 된 방염도료의 분해에 의한 것이라 생각이 된다. 쇼파 레자의 경우 카펫 및 합판보다도 열분해 시작 지점이 두 시료보다 늦은 300℃에서 감소가 일어 났으나, 340℃ 부근에서는 합판과 유사하게 중량 감소가 발생 하였다.

3.2 연소특성

3.2.1 유량별 연소 특성은 각 시료별로 고찰하기 위해 챔버내의 온도를 대부분 고분자 물질의 Self-ignition point가 480- 560℃이기 때문에 온도를⁶⁾ 500℃에 고정후 유량별 연소실험을 하였다. Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 보인 바와 같이 공기공급량 3ℓ/min에서는 카펫, 방염 후처리 합판, 쇼파 레자 모두 연소가 거의 발생 하지 않았다. 공기공급량 4ℓ/min에서는 방염 후처리 합판과 쇼파 레자 에서의 10분간 평균온도는 518℃와 515℃로 연소의 양이 다소 적었으나, 카펫에서는 평균온도 527℃로 6분후 부터 연소가 시작되었다. 공기공급량 6ℓ/min에서의 연소는 카펫, 방염 후처리 합판, 쇼파 레자 순으로 연소성이 좋았으나, 방염후 처리 합판과 쇼파 레자는 시간에 따라 정상연소를 하였다.

카펫의 경우는 점화 2분 후에 급격히 연소가 발생하였고 8분에는 2차 폭연이 발생 한 후 10분

에는 연소가 끝났다. 또한, 공기공급량 9ℓ/min의 경우 모든 시료에서 1분내에 급격히 폭연(暴煙)이 발생하였고, 카펫은 3차에 걸친 폭연(暴煙)이 발생 하였다. 카펫과 쇼파 레자는 9분후에 연소가 완전히 끝났으나, 방염 후처리 합판은 10분 이후에도 2차 폭연(暴煙)과 함께 연소가 지속 되었다. 이들 물질의 연소특성을 보면 방염

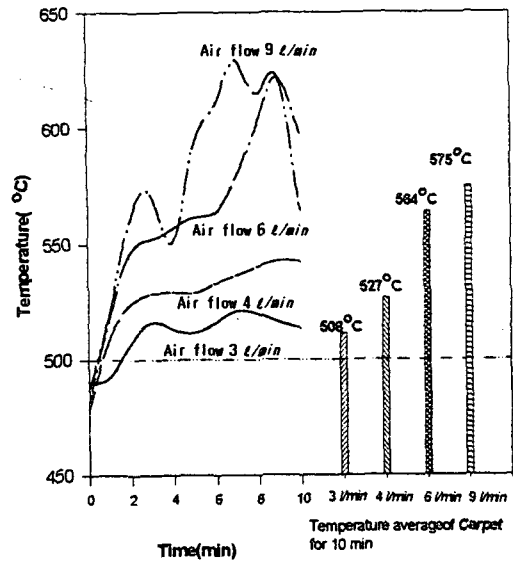


Fig. 4. The combustive characteristic of Carpet in air flow at 500℃.

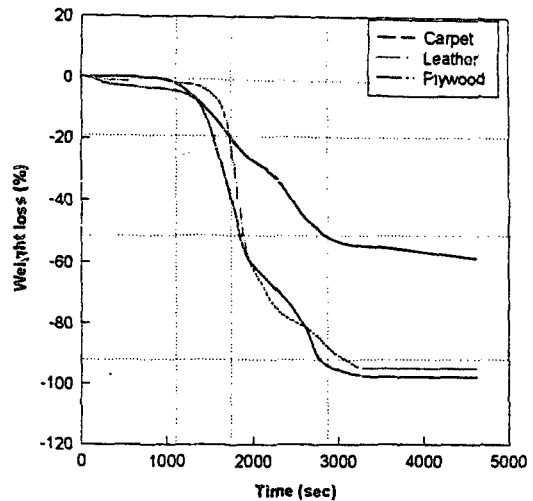
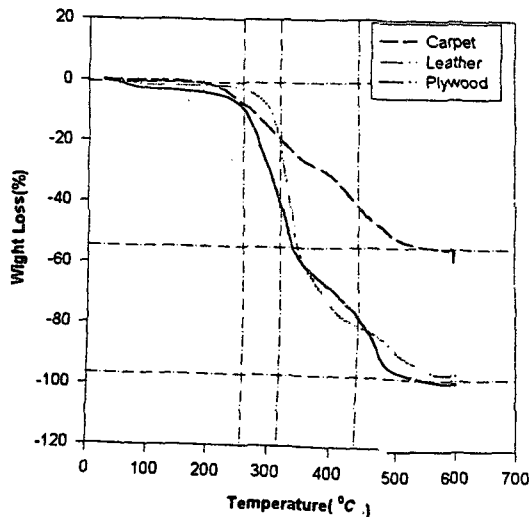


Fig. 3. Weight loss (%) curves of each interior material in air flow.

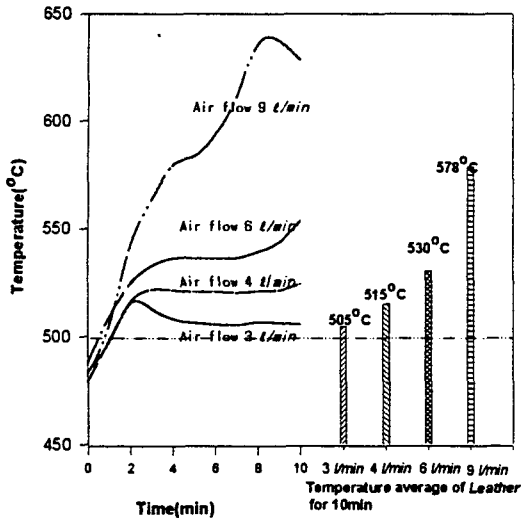


Fig. 5. The combustive characteristic of Leather in air flow at 500°C.

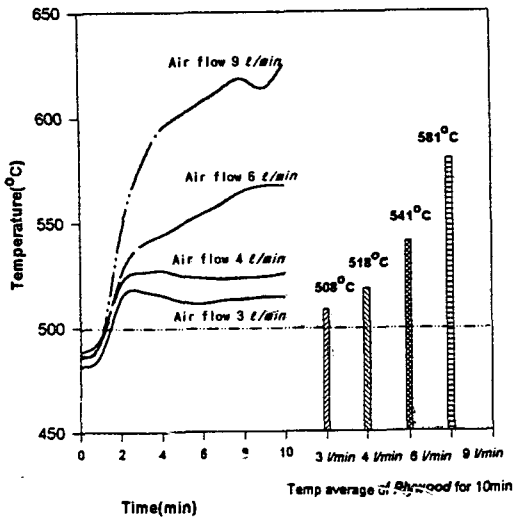


Fig. 6. The combustive characteristic of Plywood in air flow at 500°C.

후처리 합판과 쇼파 레자의 연소는 정상연소를 한 반면, 카펫의 경우는 공기공급량이 증가 할수록 매우 불안정 연소가 발생 하였다. 또한 공기공급량이 3-4 l/min사이에서는 방염 후처리 합판과 쇼파 레자는 거의 연소가 발생하지 않았지만, 카펫의 경우는 연소가 일어났다. 즉 공기공급량 9 l/min에서는 3차에 걸쳐 폭연(爆

燃)이 발생하는 등 모든 온도대에서 카펫이 폭연(爆燃) 연소를 하여 연소 위험성이 가장 높았으며 연소특성이 불안정 함을 알 수 있었다.

3.2.2 온도별 연소 특성은 각 시료를 300°C, 400°C, 500°C, 600°C 등 온도별로 연소특성을 고찰 하였다. Fig. 7에 보인바와 같이 300°C에서는 카펫은 8분에 점화가 되어 연소가 시작되었고, 쇼파 레자와 방염 후처리 합판의 경우는 전혀 연소가 되지 않았다. 2분-4분 사이의 온도상승 피크는 300°C에 Setting된 전열기의 온도제어 오류로 인한 피크로 여겨진다.

Fig. 8에서 보는바와 같이 400°C의 경우 카펫은 1분에 쇼파 레자는 2분에 연소가 시작 되었으나, 방염 후처리 합판의 경우는 연소량이 적었다.

Fig. 9에 보인바와 같이 500°C에서는 모든 시료에서 2분에 폭연(爆燃)에 가까운 연소가 발생 되었으나, 카펫의 경우는 2분에 1차 폭연(爆燃)과 미약하지만 7분에 2차 연소가 되어 연소특성이 불안정 하였다. Fig. 10에 보인바와 같이 600°C에서는 모든 시료에서 1분 이내에 폭연(爆燃) 연소가 발생 되었고, 특히 300-500°C에서 방염 후처리 합판과 쇼파 레자는 정상연소를 하였으나, 600°C에서는 모든 시료에서 불안정하게 연소가 되었다. 연소의 지속성은 쇼파 레자, 방염 후처리 합판, 카펫 순이었다. 이는 연소의 용이성 측면에서 보면 카펫, 방염 후처리 합판, 쇼파 레자 순으로 확인 할 수 있었다.

3.3 Toxicity Gas 발생 특성

3.3.1 연소온도와 O₂, CO, CO₂ 발생량의 상관 관계를 고찰하였다. 일반적으로 유기물질의 연소시 CO와 CO₂가 발생한다. 이 들 가스들은 공기공급량이 많아지면 CO₂의 생성이 많아지고, 공기의 공급량이 적으면 CO의 양은 증가하는 특성이 있다. 온도에 따른 O₂, CO, CO₂의 발생특성을 보면, Fig. 11에서 보인바와 같이 O₂ 변화의 특성은 온도가 증가 할수록 O₂는 감소하는 특성을 확인 할 수 있으며, Fig. 12에서 보인바와 같이 CO와 CO₂의 발생은 연소시간이 지남에 따라 O₂가 감소하는 특성이 있었다.

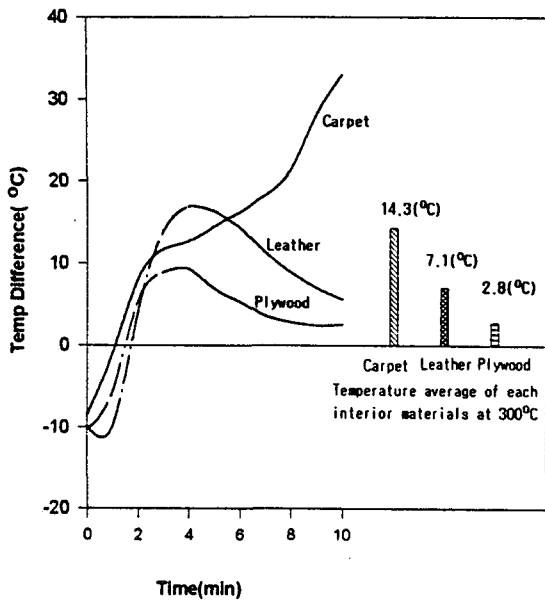


Fig. 7. The combustive characteristic of each interior materials at 300(°C).

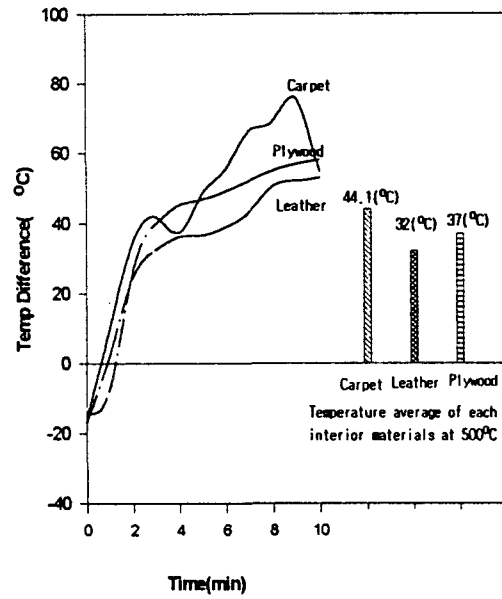


Fig. 9. The combustive characteristic of each interior materials at 500(°C).

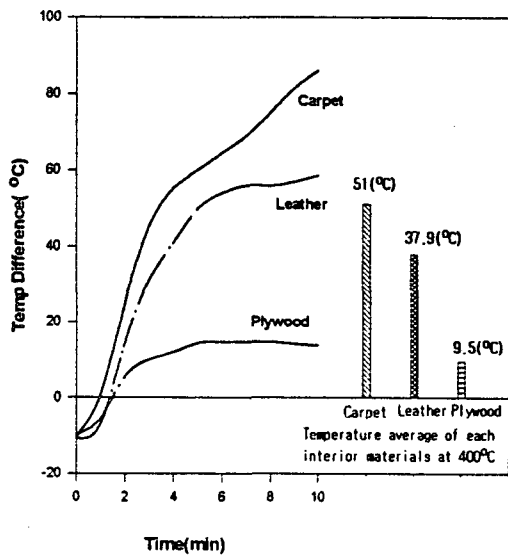


Fig. 8. The combustive characteristic of each interior materials at 400(°C).

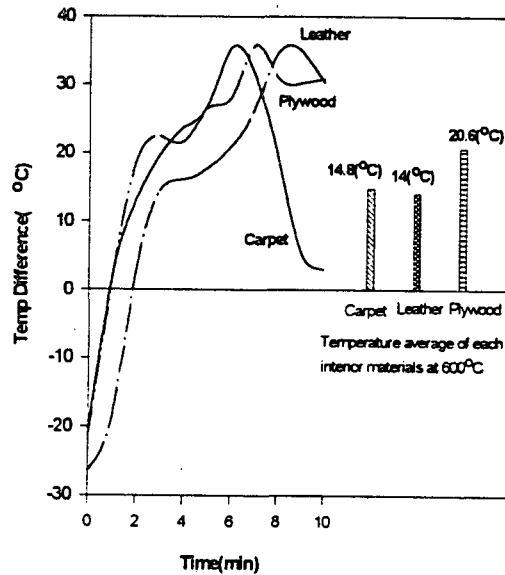


Fig. 10. The combustive characteristic of each interior materials at 600(°C).

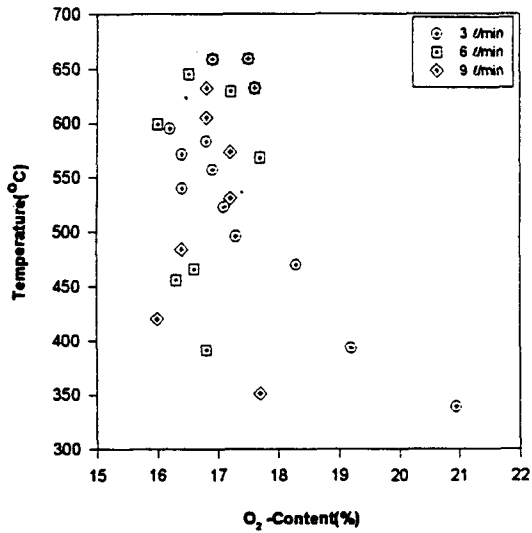


Fig. 11. Oxygen characteristic depended on Temperature for Carpet.

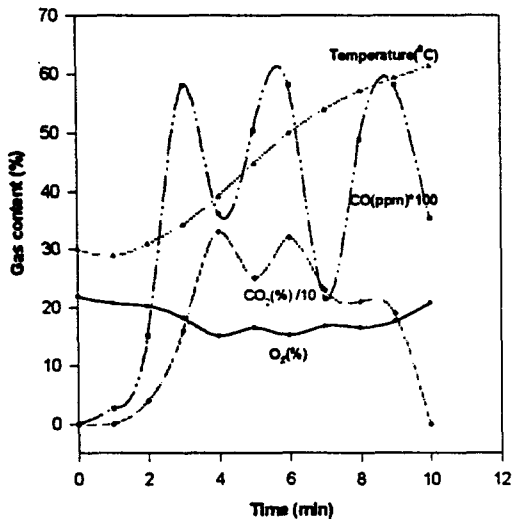


Fig. 12. Time vs. O₂, CO, CO₂, Temperature of Leather.

3.3.2 NO_x의 발생은 연소물 자체에 함유된 질소분자가 연소분해에 의해 발생되는 경우와 공기중 질소가 연소과정에서 O₂와 반응하여 NO_x가 발생한다. NO_x 발생은 Fig. 13에서 보듯이 O₂농도가 저하될수록 NO_x의 발생이 증가하는 추세를 보인다. O₂ 농도가 19%~16% 까지 NO_x의 발생은 지속적으로 발생 하였고, Fig. 14~16에서 보는 바와 같이 공기공급량이 적을수록 NO_x 발

생이 대부분 높게 발생하는 것은 시료자체에 함유된 질소분자가 분해되면서 발생 하는 것으로 생각이 된다. 또한 온도에 따른 반응 특성을 보면, NO_x의 피크가 거의 500°C~550°C 사이에서 최대임을 알 수가 있고, 이후로는 NO_x의 양은 감소하는 추세를 보였다. 여기에서 발생하는 NO_x는 공기중 질소분자에 의한 대기보다도 시료자체에 함유된 질소가 열분해에 의해 발생하는 것으로 판단이 된다.

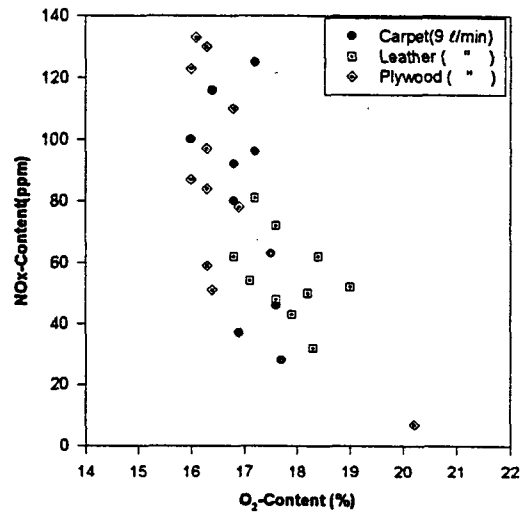


Fig. 13. NO_x gases generation characteristic with O₂ at Air rate 9 l/min.

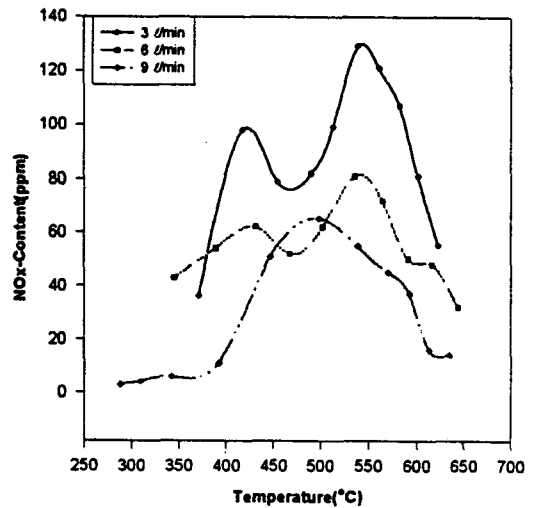


Fig. 14. Variations of NO_x concentration with Temperature of Carpet at air rate.

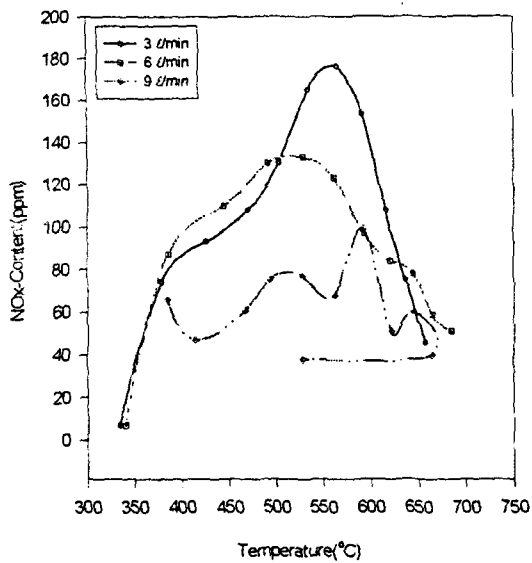


Fig. 15. Variations of NO_x concentration with Temperature of Plywood at air rate.

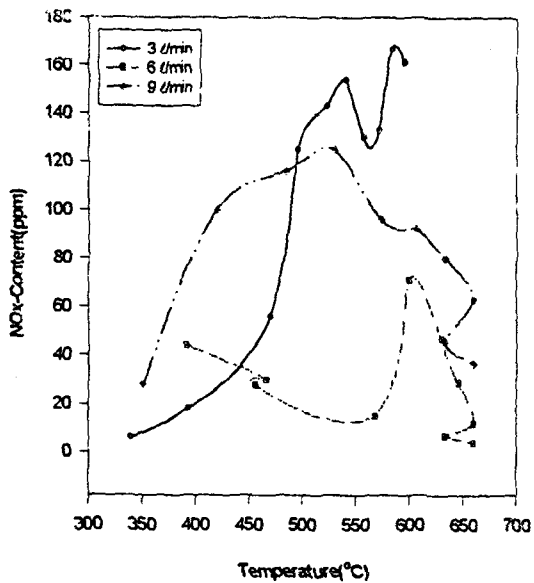


Fig. 16. Variations of NO_x concentration with Temperature of Leather at air rate.

3.3.3 SO₂ 가스의 발생은 시료에 함유된 S가 연소과정에서 발생하는 것으로서, Fig. 17에서 보인바와 같이 O₂ 농도가 감소함에 따라 SO₂ 가스는 증가를 하였고, O₂ 농도 18%-16%에서 SO₂ 는 집중적으로 발생하였다. Fig.18에 보인바와

같이 카페트의 공기유량별 SO₂의 발생특성은 500°C에서 최대피크를 보이다 550°C이상에서는 발생량이 감소 하였다. 공기량이 많은 9 l/min에서 130PPM 까지 발생하였고, 공기공급량이 3 l/min, 6 l/min 순으로 발생량 차이가 있

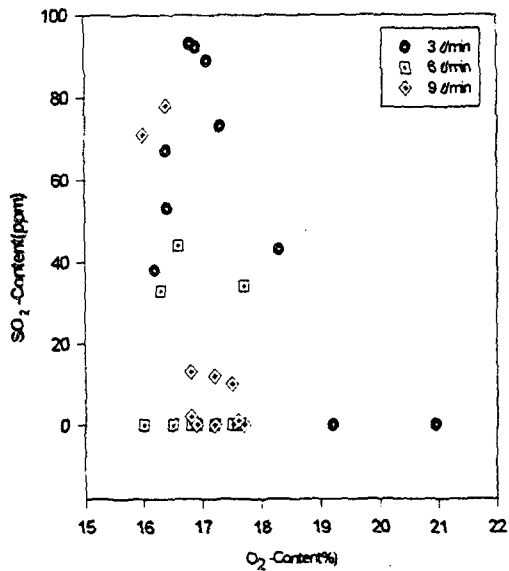


Fig. 17. SO₂ vs. O₂ gases generator characteristic of Carpet at Air rate 9 l/min.

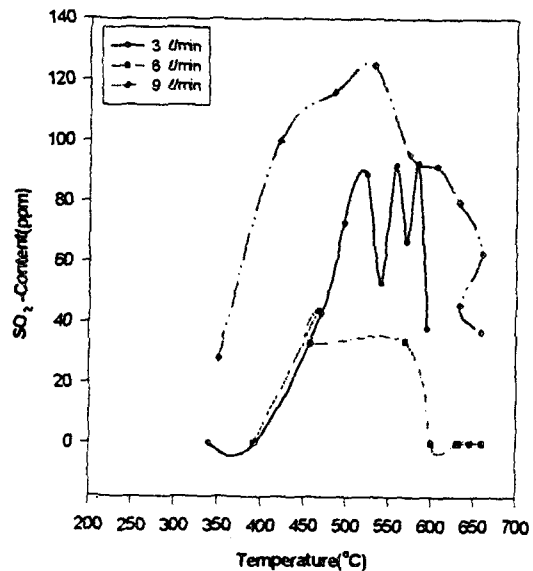


Fig. 18. Variations of SO₂ concentration with Temperature of Carpet at air rate.

었다. Fig. 19의 방염 후처리 합판의 경우 카페트와 달리 SO₂ 발생량은 적은 반면 350℃ 부터 발생이 시작되어 600℃ 에서 최대를 이루었고, 공기공급량이 적은 3ℓ/min에서 많이 발생하였다. Fig. 20에서 보인바와 같이 쇼파 레자의 경우

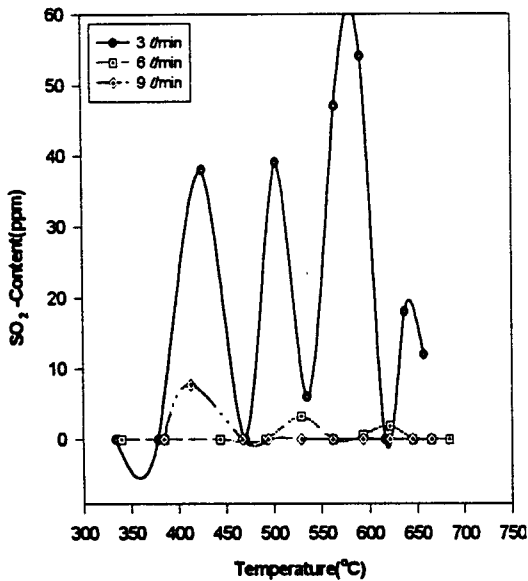


Fig. 19. Variations of SO₂ concentration with Temperature of Plywood at air rate.

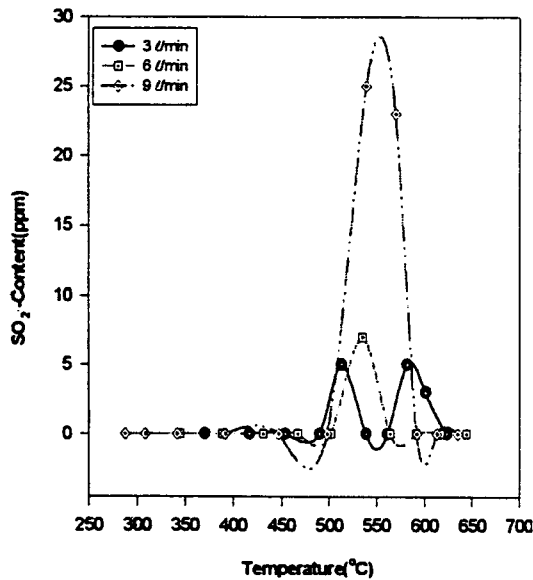


Fig. 20. Variations of SO₂ concentration with Temperature of Leather at air rate.

SO₂가스의 발생량은 적었으나, Fig.18의 카페트 경우와 같이 550℃에서 주로 발생을 하였다. 이들 시료별 발생 온도와 공기량 변화가 일치하지 않는 것은 시료별로 연소 특성이 다르기 때문이라 생각이 된다.

3.3.4 HCN은 연소물이 함질소계(含窒素係)의 소재에서 발생을 하며 온도가 높을수록 O₂가 부족 상태에서 HCN이 다량 발생한다²⁾. Fig. 21에 보인 카페트의 경우 400℃ 부터 HCN이 발생하기 시작하여 온도가 증가할수록 발생량이 증가하여 650℃에서 최대 2053PPM 으로 치사량 350PPM¹³⁾ 보다 5.9배까지 발생하였다.

쇼파 레자, 방염 후처리 합판의 경우도 발생량은 치사량 350PPM에는 미치지 않았지만 온도가 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 600℃근방에서 방염 후처리 합판의 경우 치사량 이상의 양이 검출되었다. 공기공급량에 대한 HCN의 발생 특성을 살펴볼 때 카페트의 경우 Fig. 23에 보인바와 같이 온도가 증가하고 공기공급량이 적을수록 HCN의 발생 농도는 증가하였다. 그러나 Fig. 24의 쇼파 레자는 공기공급량이 증가할수록 발생량이 많았고, Fig. 22의 방염

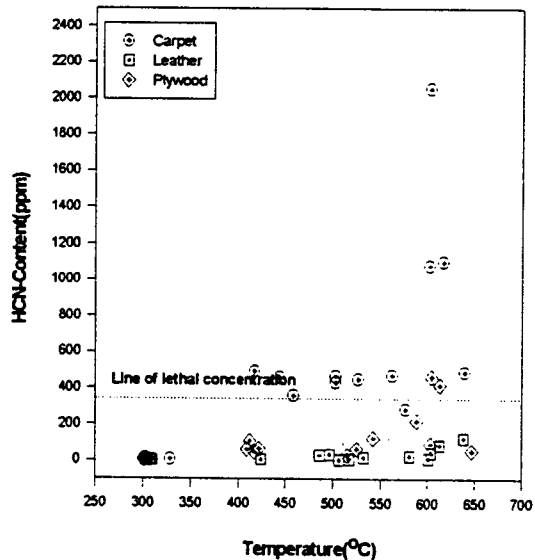


Fig. 21. HCN vs. Temperature gases generation characteristic of interior materials.

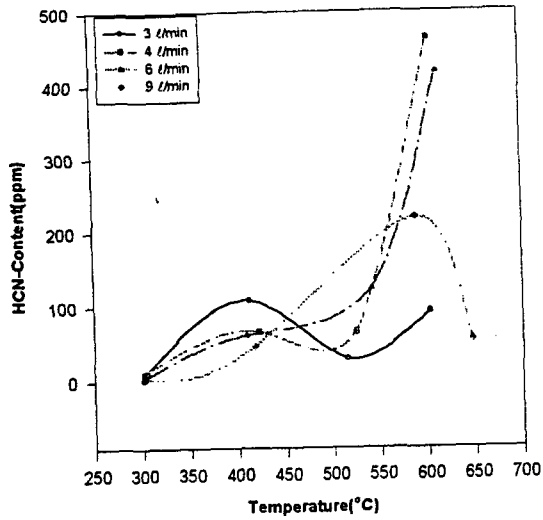


Fig. 22. Variations of HCN concentration with Temperature of Plywood at air rate.

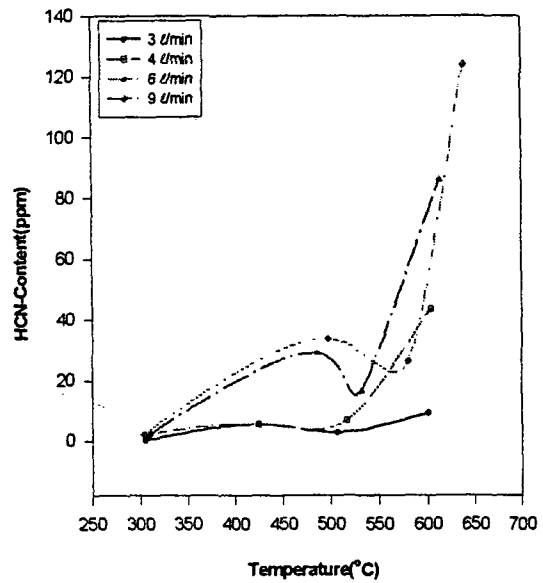


Fig. 24. Variations of HCN concentration with Temperature of Leather at air rate.

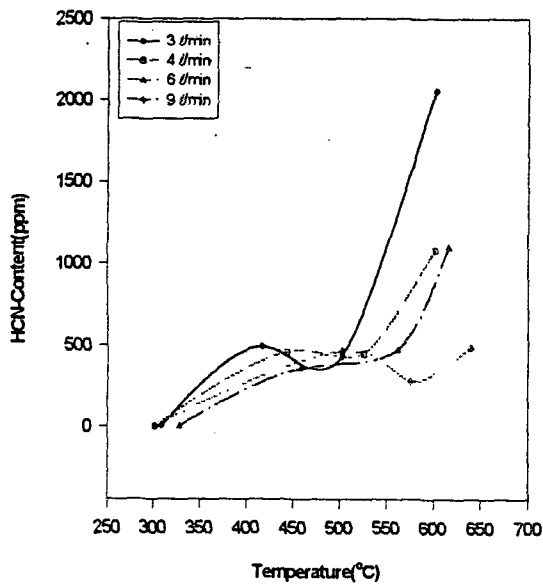


Fig. 23. Variations of HCN concentration with Temperature of Carpet at air rate.

후처리 합판은 400℃까지는 3 l/min에서 발생량이 많았으나, 550℃ 부터는 4 l/min일 때 증가를 하였다. 각각 시료별 온도 및 공기공급량에 따라 HCN 발생량의 차이가 있는 것은 카페트의 경우 합질소계(舍窒素係)인 Nylon성분이 연소분해에 의한 발생으로 생각이 되며, 쇼파 레자,

방염 후처리 합판의 경우 비합질소계(非舍窒素係) 시료로서 연소시 시료자체에서는 HCN가 발생 하지 않기 때문이며, 소량의 HCN의 발생은 공기중 질소 성분이 연소에 의해 공기공급량이 증가할수록 HCN가 증가하는 추세를 보이는 것으로 생각이 된다.

3.3.5 HCl은 내장재에 함유된 Cl성분이 연소할 때 발생한다²⁾. HCl의 발생특성은 Fig. 25에 보인바와 같이 온도 300℃-650℃ 까지 전범위 온도로 부터 발생 하고 있음을 알 수가 있다. HCl의 치사농도 500PPM을 초과하는 경우는 300℃에서 발생하였다. 발생 최고농도는 치사농도 350PPM¹³⁾의 2.1배인 1,185PPM이 온도500℃의 카페트에서 검출 할 수 있었고, 방염 후처리 합판의 경우 400℃에서부터 치사량 이상의 HCl가 온도 증가에 따라 발생 하였다. 공기공급량 변수에 따른 HCl 발생량은, Fig. 27에 보인 카페트의 경우 450℃근방에서 공기공급량이 증가 할수록 감소하기 시작해서 온도가 높아 질수록 줄어드는 경향을 보였다. Fig. 26에 쇼파 레자의 HCl 발생은 온도500℃, 공기공급량 3 l/min에서 532PPM으로 가장 많은 HCl Gas가 발생 하였다. 다음은 410℃, 9 l/min에서 384PPM이

발생하였고, 4 l/min, 6 l/min 순으로 발생량이 많았다.

Fig. 28의 방염 후처리 합판의 경우는 400℃에서 3 l/min에서 544PPM으로 높게 발생하였으나, 500℃대에서는 4 l/min, 6 l/min, 9 l/min 순으로 발생하여 661℃, 9 l/min에서 885.86 PPM으로 가장 많이 발생하였다.

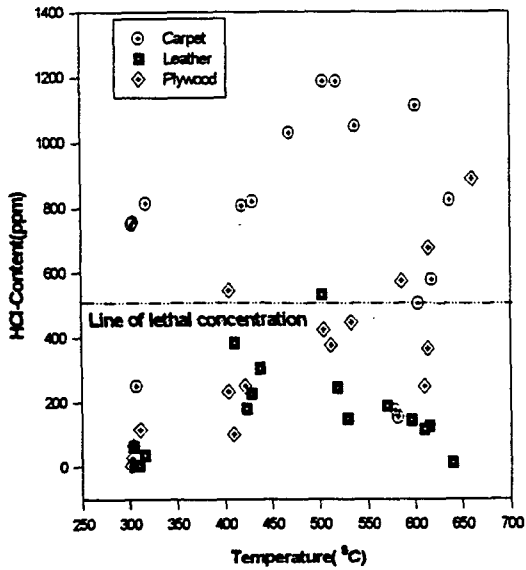


Fig. 25. HCl vs. Temperature gases generator characteristic of interior materials.

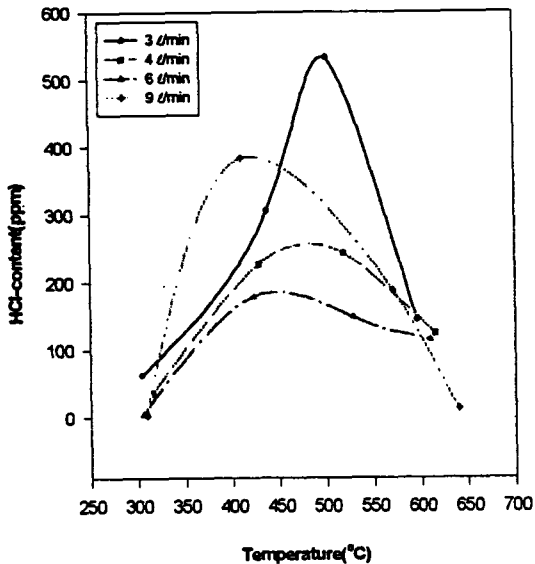


Fig. 26. Variations of HCl concentration with Temperature of Leather at air rate.

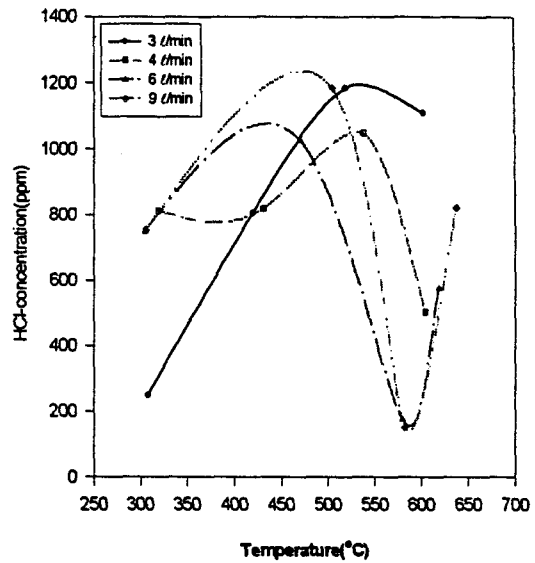


Fig. 27. Variations of HCl concentration with Temperature of Carpet at air rate.

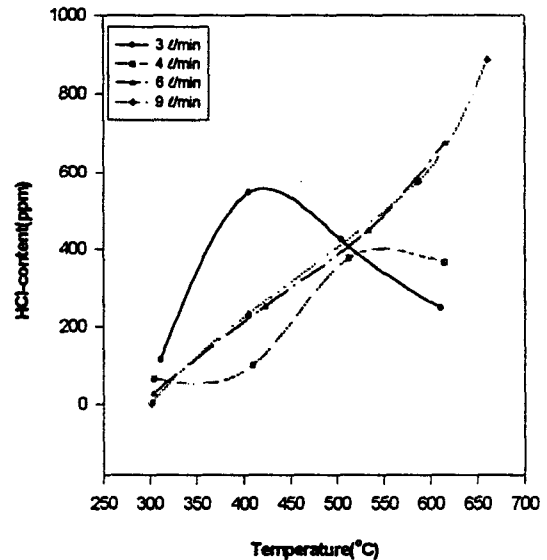


Fig. 28. Variations of HCl concentration with Temperature of Plywood at air rate.

시료별 HCl의 발생 특성은 Fig. 27에 보인바와 같이 카페트의 경우, 온도와 공기의 변화에 Gas 발생은 큰 변화가 없었으나, Fig. 28의 방염 후처리 합판의 경우는 온도와 공기공급량이 증가 할수록 HCl 발생량이 증가하는 추세를 보였다. 그러나 Fig. 26에 보인바와 같이 쇼파 레자의 경우는 온도와 공기공급량이 증가 할수록 Gas의

발생량은 적게 발생 하는 특성이 있었다. 이러한 이유는 쇼파 레자 시료자체의 연소특성 차이 때문이라 생각된다.

3.4 시료별 독성 평가

3.4.1 O₂는 화재발생시 CO와 더불어 질식할 수 있는 가스중의 하나로서 화재현장에서의 O₂의 농도는 4%이하 까지 농도가 저하가 되나²⁾, Fig. 29에서와 같이 급번 실험에서의 O₂ 저하농도는 방염 후처리 합판의 경우 최고 12.5%로써 치사량 6%²⁾까지는 저하되지 않았다. 이는 연소로의 용기 부피가 1.25ℓ로 작고, 공기공급이 강제공급 조건이기 때문이라 생각이 된다. 시료별 O₂의 발생량은 방염 후처리 합판, 쇼파 레자, 카

펫트 순으로 O₂농도 저하가 되었다. O₂농도에 따른 실험시료의 연소특성을 예측 할 수 있었다.

3.4.2 CO 발생은 Fig. 30에서 보느냐와 같이 O₂농도 저하와 연소물의 불완전 연소에 의해 CO 발생농도는 연소물의 종류, 위치에 따라 농도차이가 있다⁷⁾. 또한, CO의 발생량은 연소물중 탄소(C) 함유량과 O₂ 존재량에 의존 한다⁸⁾. 본 실험에서 CO 발생은 모든 시료에서 점화 후 1분 이내에 치사량 농도인 5,000ppm⁹⁾ 이상 발생하였다. 공기공급량이 높을수록 적은 농도의 CO가 발생 되었다. 이는 공기의 양이 완전연소에 가깝도록 공급됐기 했기 때문이라 생각 한다.

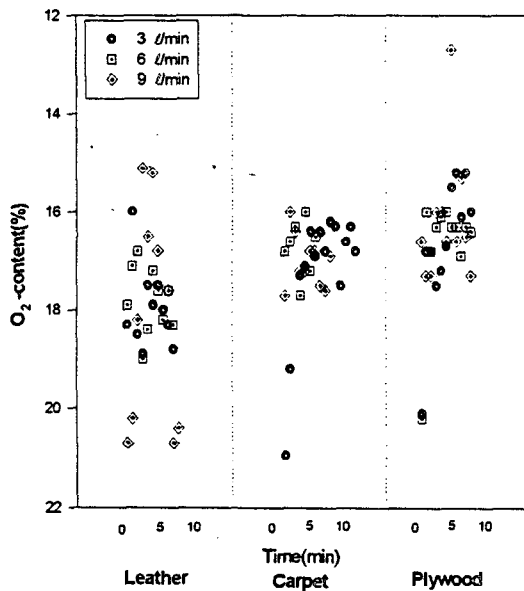


Fig. 29. Toxicity evaluation of O₂ a each of interior materials.

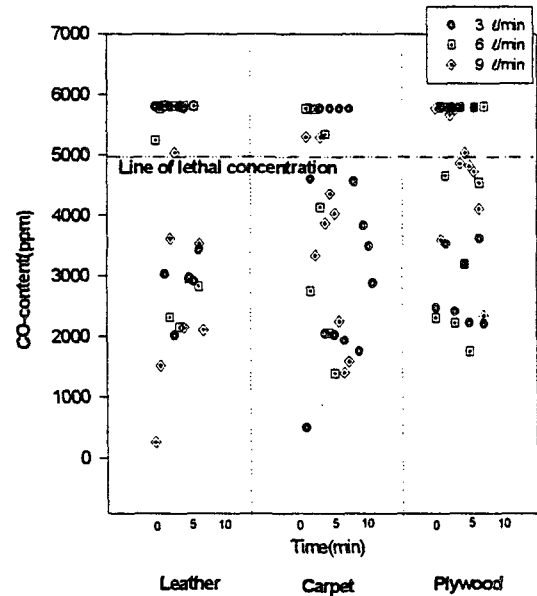


Fig. 30. Toxicity evaluation of CO a each of interior materials.

Table 2. Toxicity가스별 허용, 치사농도^{2),8),10),13)}.

Toxicity gases	화학식	허용농도 (PPM)	Lion치사농도 (H : hour, M : minute)	인체 치사농도
Oxygen	O ₂	18%	6%(10min)	6%(10min)
Carbon monoxide	CO	50	1,807 (PPM) (4H)	5,000 (PPM) (10min)
Hydrogen cyanide	HCN	10	544 (PPM) (5M)	350 (PPM) (10min)
Hydrogen Chloride	HCl	5	4,701 (PPM) (30M)	500 (PPM) (10min)
Nitrogen Oxide	NO _x	3	67 (PPM) (30M)	200 (PPM) (10min)
Sulfurous oxide	SO ₂	5	611 (PPM) (5H)	500 (PPM) (10min)

3.4.3 NO_x의 발생은 공기중 질소가 연소시 공기중 O₂와 반응에 의해 발생 하고 또한 연소물이 질소를 함유한 경우 연소과정에서 O₂와 반응에 의해 NO_x가 발생 하고, 이중 NO₂는 230℃에서 분해하여 O₂를 방출하고 650℃에서 완전히 분해하는 특성이 있다¹¹⁾. Fig. 31에 보인 바와 같이 모든 시료중 NO_x 발생 농도는 치사량 200ppm¹¹⁾에 미치는 농도까지는 어느 시료에서도 발생하지 않았다. 이 세 연소 시료중 NO_x의 발생량은 방염 후처리 합판에서 최고180PPM으로 가장 많이 발생하였고, 다음은 카페트, 쇼파 레자순으로 NO_x 생성량이 많았다. 또한 공기공급량에 변화에 따른 발생 특성은 공기공급량이 적을수록 높은 농도의 NO_x가 발생하였다.

3.4.4 SO₂ 가스 발생은 치사농도 500PPM¹²⁾보다 훨씬 낮은 양의 SO₂가 발생 하였다. Fig. 32에서 보는 바와 같이 SO₂ 가스의 시료별 발생은 카페트 경우 공기공급량이 3 l/min에서 최고 95PPM이 검출 되었고, 방염 후처리 합판에서는 60PPM, 쇼파 레자에서는 거의 검출되지 않았다. SO₂의 발생 특성은 공기공급량이 적을수록

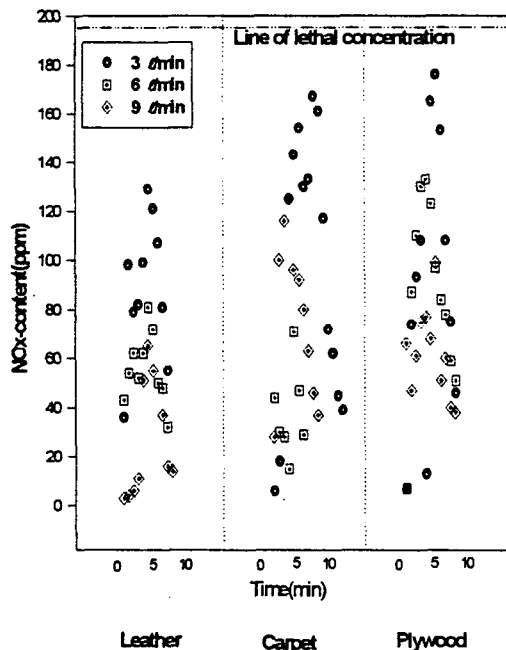


Fig. 31. Toxicity evaluation of NO_x a each of interior materials.

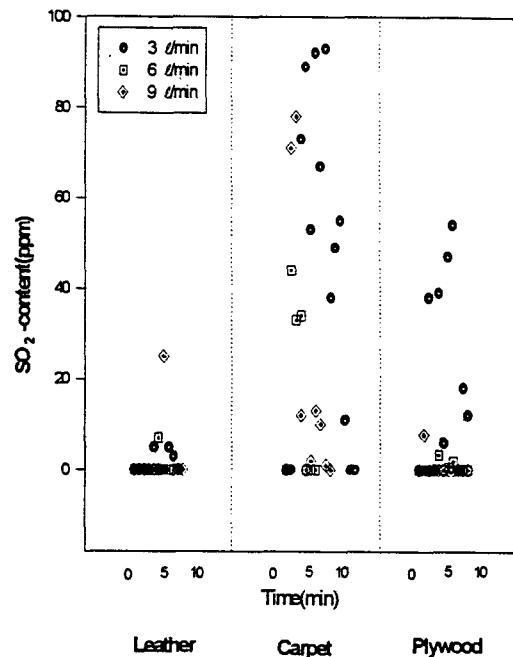


Fig. 32. Toxicity evaluation of SO₂ a each of interior materials.

발생 가스의 농도는 증가하는 특성을 확인 할 수 있었다.

3.4.5 HCN의 발생은 주로 합질소(舍窒素)고 분자 물질로 부터 발생한다¹²⁾. CO와 같이 불완전 연소시에 발생을 하며, 온도 의존도가 큰 성질을 가지고 있다¹³⁾. 각 시료별 HCN의 발생은 Fig. 33에서 보는 바와 같이 쇼파 레자의 경우는 치사량 350PPM¹³⁾ 미만으로 발생을 하였고, 방염 후처리 합판의 경우 공기유량 4 l/min와 6 l/min에서 462PPM과 417PPM 으로 치사량을 상회 하였다. 방염 카페트는 다른 시료에 비하여 300℃와 400℃등 3개의 시료만이 치사량 이하의 HCN이 발생하였지만, 458℃(6 l/min)에서 358PPM, 503℃(6 l/min)에서 431.7PPM, 526℃(4 l/min)에서 449.3PPM, 417℃(3 l/min)에서 492.27PPM, 503℃(9 l/min)에서 465.7PPM, 562℃(6 l/min)에서 470PPM, 639℃(9 l/min)에서 487.9PPM, 601℃(4 l/min)에서 1,088.1PPM, 616℃(6 l/min)에서 1,101.98PPM 등 601℃(3 l/min)에서 최고 2,053PPM으로 치사량의 5.9배의 독성이 검출

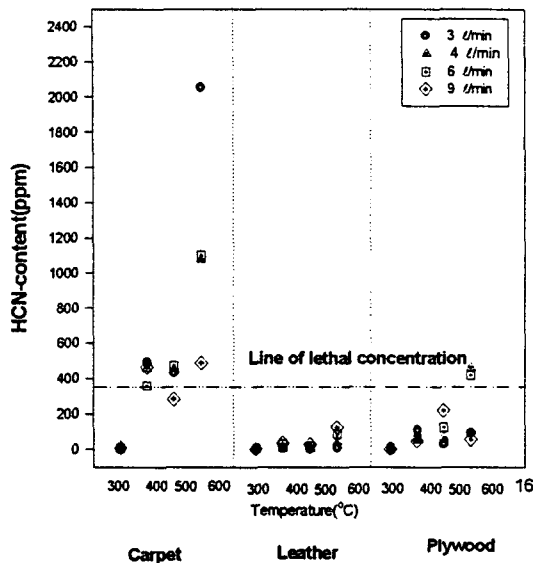


Fig. 33. Toxicity evaluation of HCN a each of interior materials.

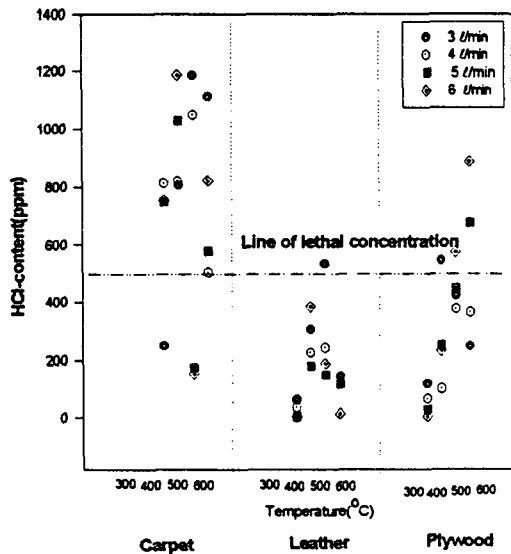


Fig. 34. Toxicity evaluation of HCl a each of interior materials.

되었다. 3개의 시료중 HCN에 대한 독성은 방염 카펫 경우, 쇼파 레자 보다 20.6배, 방염 후처리 합판 보다 4.6배로 HCN는 방염 카펫에서 위험성이 더 많았다.

3.4.6 HCl의 발생은 Cl이 함유된 물질이 연소할 때 발생하는 가스로서 치사량은 500PPM¹³⁾으로, Fig. 34에 보인 바와 같이 방염 후처리 합판의 경우 12개의 플롯트중 4개 만이 치사농도 이상 검출 할 수 있었다. 쇼파 레자는 1개의 플롯트에서 카펫은 3개의 플롯트를 제외한 9개 플롯트에서 치사농도 이상의 HCl가 검출 되었다. HCl는 공기공급량에는 큰 변화가 없었으나, 온도가 증가할수록 높은 농도의 HCl를 검출 되었다.

카펫의 경우 9ℓ/min에서 1,186PPM으로 치사농도의 2.4배 농도를 검출할 수 있었다. 표면에 염화수지가 주성분인 방염도료를 처리한 방염 후처리 합판에서는 885PPM으로 최고 농도가 검출되었다. 쇼파 레자의 경우는 치사량 이상의 농도는 532ppm으로 503℃에서 검출 되었다. 시료별로 HCl는 카펫에서 주로 검출되었으며, 쇼파 레자 보다 4.48배, 방염 후처리 합판 보다는 2.47배의 농도가 검출되어 HCl에 있어 카펫이 위험성이 많았다.

4. 결 론

화재 위험성 큰 유흥업소에서 주로 사용하는 내장재중 방염 카펫, 방염 후처리 합판, 쇼파 레자등 3가지 내장재에 대한 연소 및 독성 가스 발생 특성에 대한 비교평가 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 연소특성에 대하여

1) Thermogravmetric에서 열분해 실험을 고찰한 바, 쇼파 레자, 방염 후처리 합판은 260℃에서 1차 열분해가 시작되어 600℃에서 98%까지 중량감소가 되었으나, 방염 카펫의 경우는 250℃에서 열분해가 시작되어 600℃까지는 중량감소가 58%로 다른 시료에 비해 42%가 늦게 열분해가 일어났다.

2) 연소의 경우 300℃, 400℃에서 쇼파 레자와 방염 후처리 합판은 10분 동안 연소가 되지 않았으나, 카펫의 경우는 300℃에서 6분 후에 연소가 시작 되었으며, Thermo-gravmetric에 의한

열분해는 250℃에 발생 하였다.

3) 500℃까지는 방염 카펫의 연소성이 좋았으나, 600℃에서는 방염 후처리 합판에서 연소성이 좋았다.

시료별 연소 위험성은 방염 카펫, 방염 후처리 합판, 쇼파 레자순 이라고 판단이 된다.

2. 독성가스 발생 특성에 대하여

1) Flue Gases에서 O₂의 농도저하는 온도인자가 지배적이었으며, 모든 시료에서 치사 농도량인 6% 이하로는 검출되지 않았다.

2) CO의 발생은 시료 모두에서 연소시작 후 1분 이내에 치사농도 5,000PPM을 상회하는 것으로 보아 화재현장에서 주요 치사 가스는 CO라는 결론을 얻을 수 있었다.

3) NO_x의 발생은 치사량 200PPM을 상회하지 않았지만, 주로 카펫에서 많이 검출이 되었고, T.Morikawa¹³⁾의 연구에서는 고온과 공기공급량이 많을수록 NO_x의 발생은 증가 하였으나, 금번 실시한 연구에서는 고온에서 NO_x가 증가한다는 점은 일치 하였다. 그러나 공기공급량이 적을수록 NO_x가 높게 발생되는 상반된 결과를 얻을 수 있었다. 이는 시료 성상과 연소특성 차이 때문이라 생각이 되어 진다.

3) SO₂의 발생은 치사량 500PPM 보다도 훨씬 적은 양인 125PPM이 카펫에서 발생 하였고, 나머지 시료는 모두 80PPM 이하의 농도가 검출 되었다.

4) HCN는 온도가 증가 할수록 HCN의 발생량도 증가를 하였고,

- 카펫의 HCN 최대 발생농도 2,053PPM으로 치사농도 350PPM의 5.9배가 검출 되었으며,

- 시료별 독성가스 발생 농도는 방염 카펫의 경우 쇼파 레자보다 20.6배, 방염 후처리 합판 보다 4.6배가 검출되어 카펫가 위험성이 가장 높았다.

5) HCl의 발생은 온도가 증가 할수록 공기공급량이 적을수록 발생 농도는 증가하였고, 300℃에서 600℃에 이르기 까지 저온에서 부터 고온에 이르기 까지 발생하였다.

- 발생농도는 방염 카펫에서 최대 1,186 PPM으로 치사농도 500PPM보다 2.4배 발생하였고,

- 시료별 HCl은 방염 카펫에서 쇼파 레자 보다 4.48배, 방염 후처리 합판 보다 2.47배로 발생하여 HCl은 방염 카펫에서 위험성이 가장 높았다.

위와 같이 방염 카펫, 방염 후처리 합판, 쇼파 레자중 화재 및 독성가스 발생에서 위험성이 가장 높은 내장재는 방염 카펫이라는 결론을 얻을 수가 있었다.

참고 문헌

1. NFPA2-3, 1996, "Toxicity Gases of generator in fire"
2. 勝野 仁, "화재시 발생하는 연소생성 가스의 독성에 관하여" 建築防災VOL12, Japan, pp12-29, 1990.4
3. 인천광역시 소방본부 화재발생 조사원부 분석 (1996.4-1997.4)
4. T.Morikawa, "Concentrations of CO and O₂ and temperature in small scale enclosed fires and a consideration on possible death due to CO poisoning, O₂ deficiency and heat" Report of Research Institute of Japan 49, P26, 1980
5. 대학서림, "환경오염공정시험법", pp154-201
6. Dr. Martin Rieber etc 2. "International plastics flammability handbook", p23
7. Tokio Morikawa and Eijl Yanai, "Toxic Gases Evolution in Room Fires" Report of fire research Institute of Japan 62, pp17-28, 1986
8. Tokio. Morikawa, "Concentrations of CO and O₂ and Temperature in Small Scale Enclosed Fires and a Consideration on Possible Death Due to CO Poisoning, O₂ Deficiency and Heat" Report of Research Institute of Japan 51, p12, 1981
9. Tokio. Morikawa, "Effect of Supply Rate and Concentration of Oxygen and Fuel Location on CO Evolution in Combustion" Report of Research Institute of Japan 55, p34, 1983
10. 화재보험협회 "화재시 유해가스 발생에 관한 연구" 방화대책 연구보고서, pp11-45, 1987

11. Marcelo M. Hirschler, "Toxicity of Combustion and Decomposition Products of Polyurethane" Fire and materials 16, p127, 1992
12. Tokio. Morikawa, "Toxicity Evaluation of Fire Effluent Gases from Experimental Fires in building" Journal of fires science, 5, p248, 1976
13. Tokio Morikawa, "Toxic Gases Evolution from Burning Polymeric Materials in Small Scale Room Model" Report of fire research Institute of Japan 63, pp21-54, 197
14. Eiji Yanai "Toxic gases evolution in room fires" Report of fire research Institute of Japan 62, pp1-7, 1986
15. F.H. Prager. et 4 "Toxicity of combustion and decomposition products of polyurethane" Fire and Materials. VOL 18, pp107-119, 1994