



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

콘 칼로리미터를 이용한 건축 내장재의
연소거동과 가스유해성 연구



2008년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

지구환경공학 학·연합동과정

이 장 원

공 학 석 사 학 위 논 문

콘 칼로리미터를 이용한 건축 내장재의 연소거동과
가스유해성 연구



2008년 2월

부경대학교 대학원

지구환경공학 학·연협동과정

이 장 원

이 장 원의 공학석사 학위논문을 인준함.

2008년 2월



주 심 이학박사 김 영 섭 인

위 원 공학박사 정 용 현 인

위 원 공학박사 옥 곤 인

목 차

| | |
|--|----|
| List of Tables | iv |
| List of Figures | v |
| Abstract | 1 |
| 1. 서론 | 3 |
| 2. 이론적 배경 | 8 |
| 2.1 콘칼로리미터법 | 8 |
| 2.1.1 열방출률(HRR) | 9 |
| 2.1.2 배출덕트 유속 | 11 |
| 2.1.3 질량감소율(MLR) | 12 |
| 2.2 연소가스의 유해성 | 13 |
| 2.2.1 시안화수소(HCN) | 16 |
| 2.2.2 일산화탄소(CO) | 17 |
| 2.2.3 이산화탄소(CO ₂) | 17 |
| 2.2.4 할로젠화수소(HX) | 18 |
| 2.2.5 이산화질소(NO ₂) | 18 |
| 2.2.6 기타 자극성 가스(Toxity gas) | 18 |
| 2.2.7 고분자 재료의 연소가스(Combustion gas) | 19 |
| 3. 재료 및 방법 | 20 |
| 3.1 재료 | 20 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 3.2 실험방법 | 21 |
| 3.2.1 시험장치 | 21 |
| 3.2.2 시험 시편 준비 | 23 |
| 3.2.3 시험장치 교정 | 24 |
| 3.2.4 시험 절차 | 25 |
| 3.3 가스유해성시험 | 27 |
| 3.3.1 시험장치 | 27 |
| 3.3.2 시험체 준비 | 28 |
| 3.3.3 시험 절차 | 28 |
| 4. 결과 및 고찰 | 31 |
| 4.1 카페트류 | 31 |
| 4.1.1 착화시간(S) | 31 |
| 4.1.2 열방출률(HRR) | 32 |
| 4.1.3 총발열량(THR) | 33 |
| 4.1.4 질량감소율(MLR) | 35 |
| 4.1.5 가스발생량(Gas Mass) | 37 |
| 4.1.6 발연량(Smoke mass) | 40 |
| 4.1.7 가스유해성 평가 | 41 |
| 4.2 장식재류 | 46 |
| 4.2.1 착화시간(S) | 46 |
| 4.2.2 열방출률(HRR) | 47 |
| 4.2.3 총발열량(THR) | 48 |
| 4.2.4 질량감소율(MLR) | 50 |
| 4.2.5 가스발생량(Gas Mass) | 52 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 4.2.6 발연량(Smoke mass) | 55 |
| 4.2.7 가스유해성 평가 | 56 |
| 5. 결 론 | 62 |
| 참고 문헌 | 64 |
| 감사의 글 | 67 |



List of Tables

| | |
|---|----|
| Table 1 -1. National fire safety code interior materials | 3 |
| Table 1 -2. Flammability testing of interior materials | 5 |
| Table 1 -3. Cone calorimeter method(KSF ISO 5660-1) | 5 |
| Table 1 -4. Flame retardant performance standard(KOFEIS 1001) | 6 |
| Table 2 -1. Toxicity test methods of developed countries for combustion gas | 15 |
| Table 2 -2. Harmful gases from burned high polymers | 16 |
| Table 3 -1. Cone calorimeter testing sample size(carpets) | 20 |
| Table 3 -2. Cone calorimeter testing sample size(decorations) | 21 |
| Table 3 -3. Testing condition of cone calorimeter | 23 |
| Table 3 -4. Exhausting temperature of carpets and decorations versus time | 27 |
| Table 3 -5. Testing device condition of exhausting gases | 29 |
| Table 3 -6. Ignitions time(S) of carpets | 31 |
| Table 3 -7. Maximum heat release rate, heat release rate of carpets | 32 |
| Table 3 -8. Total heat release of carpets | 34 |
| Table 3 -9. CO and CO ₂ generation rate of carpets | 38 |
| Table 3 -10. Total smoke production of carpets | 40 |
| Table 3 -11. Toxic gas results of carpets | 42 |
| Table 4 -1. Ignition time of decorations | 46 |
| Table 4 -2. Maximum heat release rate, heat release rate of decorations | 47 |
| Table 4 -3. Total heat release of decorations | 49 |
| Table 4 -4. CO and CO ₂ generation rate of decorations | 52 |
| Table 4 -5. Total smoke production of decorations | 55 |
| Table 4 -6. The mean mouse inactivating time of decorations | 57 |

List of Figures

| | |
|--|----|
| Fig 2 -1. Exhausting system during combustion | 11 |
| Fig 2 -2. The products from combustion gases of various elements | 13 |
| Fig 3 -1. Outline of cone calorimeter | 22 |
| Fig 3 -2. Smoke density measurement of cone calorimeter | 22 |
| Fig 3 -3. Testing device for toxicity of combustion gas(KSF 2271) | 28 |
| Fig 3 -4. The maximum heat release rate (MHRR) of carpets | 32 |
| Fig 3 -5. The graph of total heat release (THR) of carpets | 35 |
| Fig 3 -6. The graph of mass loss rate (MLR) of carpets | 36 |
| Fig 3 -7. The mass loss rate (MLR) of carpets | 36 |
| Fig 3 -8. The mean CO generation rate carpets | 38 |
| Fig 3 -9. The mean CO ₂ generation rate of carpets | 39 |
| Fig 3 -10. The graph of total smoke product for carpets | 40 |
| Fig 3 -11. The graph of combustion temperature for carpets during toxic gas test | 41 |
| Fig 3 -12. The graph of mouse inactivating time for carpets | 42 |
| Fig 3 -13. Nylon carpet specimen before and after cone calorimeter test | 43 |
| Fig 3 -14. PP carpet specimen before and after cone calorimeter test | 43 |
| Fig 3 -15. PTT carpet specimen before and after cone calorimeter test | 44 |
| Fig 3 -16. Wool carpet specimen before and after cone calorimeter test | 44 |
| Fig 3 -17. NW carpet specimen before and after cone calorimeter test | 45 |
| Fig 4 -1. The graph of heat release rate (HRR) of decorations | 47 |
| Fig 4 -2. The graph of total heat release (THR) of decorations | 50 |
| Fig 4 -3. The graph of mass loss rate (MLR) for decorations | 51 |
| Fig 4 -4. The mass loss rate of decorations | 51 |

| | |
|--|----|
| Fig 4 -5. The mean CO generation rate of decorations | 53 |
| Fig 4 -6. The mean CO ₂ generation rate decorations | 54 |
| Fig 4 -7. The graph of total smoke product (TSP) for decorations | 55 |
| Fig 4 -8. The graph of mouse inactivating time for decorations | 57 |
| Fig 4 -9. The graph of combustion temperature for decorations during toxic gas test | 58 |
| Fig 4 -10. MDF(9 mm) specimen before and after cone calorimeter test ... | 59 |
| Fig 4 -11. PE - board specimen before and after cone calorimeter test | 59 |
| Fig 4 -12. ME - flooring material specimen before and after cone calorimeter test | 60 |
| Fig 4 -13. FRP - flooring material specimen before and after cone calorimeter test | 60 |
| Fig 4 -14. PVC - sheet specimen before and after cone calorimeter test ... | 61 |



Burning Behavior of Interior Materials in the Cone Calorimeter and Evaluation of Toxic of Smoking

Jang-Won Lee

*Graduate school of Earth Environmental Engineering,
Pukyong National University*
Nam-gu Daeyeon-3dong 599-1, Busan, 608-737, Korea



Abstract

For the purpose of making an investigation into the burning behaviors some carpets and boards in the interior materials were tested by using a cone calorimeter with the heat flux of 50kWm^{-2} . Four kinds of carpets and seven kinds of domestic interior materials were measured for the maximum heat release rate, the total heat release and the

average heat release, respectively.

As a result of the cone calorimeter test(KS F ISO 5660-1) NY(composite) among the carpets was ignitable most easily. In the ignitability or the initial flammability NW was the highest among the carpets. In the heat release rate(HRR) which means the fire intensity PP showed the largest. And Nylon was the largest in the maximum heat release rate.

In the smoke production rate Nylon was the highest, and NW was the lowest. In the mass loss rate it was shown that $NW > Wool > Nylon > PP > PTT$. Carbon mono-oxide is one of the toxic gases released from the combustion. In the CO concentration PPT was the highest, and NW was the lowest. In carbon dioxide concentration PP was the highest, and NW was the lowest.

The experimental data indicate that the medium density flooring (MDF) board is high release rate than the other interior materials. And also, MDF was made certain that mass loss of MDF is high than the others. The smoke production was measured by burning that fiberboard and PVC Plastic resin sheet were high carbon monoxide and carbon dioxide yield than other interior materials. The average smoke release through specific extinction area was shown a similar tendency. Smoke of interiors materials was judged a harmfulness by a stop of mouse. The results were indicated that MDF is more harmful than other interior materials.

Keywords : Interior materials, flame retardancy, smoking emission, Cone calorimeter

1. 서 론

방화의 대상이 되는 화재는 산불, 시가지 화재, 건물화재 및 위험물 화재 등이다. 최근 고층빌딩이나 산업시설에서 잠재적 화재위험도의 예측은 점점 더 중요해지고 있으며, 대규모 복합시설에 대한 방화 방재대책 시스템화가 이슈화 되고 있다(대한건축학회, 2001).

이러한 건축방화는 넓은 의미에서는 건축물의 화재로부터 인명 및 재산피해를 줄이는 것이고, 좁은 의미로는 내화구조나 방화재를 사용하여 피난루트나 방화구획을 구성함으로써 화재 피해를 경감하는 것이다. 그 중에서도 인명 및 재산피해를 줄이는 것이 방화의 기본 목적이 될 것이다. 국내의 실내내장재와 관련된 화재안전 관리규정에는 건축법, 소방법 Table 1-1 등이 있다.

Table 1 -1 National fire safety code interior materials

| 건축법 | 소방법 |
|---------------|---------------|
| - 건축물의 내부마감재료 | 특수장소의 방염 |
| 건축법 시행령 제 61조 | 소방법 시행령 제 11조 |

건축법에서는 출화·화염확대방지 및 피난안전을 도모하기 위해 일정규모 이상의 건축물에 사용되는 내부 마감재료에 대하여 불연·준불연재료 및 난연재료를 사용하도록 의무화하고 있으나 건축물 내부마감재(하동명, 2006) 적용범위가 모든 ‘실내 마감·장식·치장재 등에 미치지 못하고 건축물 내부의 천장, 반자, 벽 기둥’ 등에 부착되는 자재로 규정하는 것으로 한 구조체에 밀착되어 있는 마감재에 한정되어 있어 준공 후 추가적으로 설치되는 실내 마감·장식재에 대한 방화·방염규제가 없는 실정이다.

최근 건축물 실내장식재는 편리하고 안락한 생활에 대한 욕구가 확산되면서 점차 고급화 및 다양화되어 가고 있다. 하지만 이런 실내장식재들은 대부분 가연성물질들로서 화재위험성이 높은 재료들이다. 이와 같은 실내장식재는 화재 발생 시 높은 온도의 열량과 연기 및 다량의 독성가스를 방출함으로써(박재성, 2005) 인명 및 재산피해를 가중시키기도 한다. 그러나 현재 사용되고 있는 건축물 실내장식재에 대한 열적특성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 화재로 인한 인명피해의 주요 원인은 소위 “화재의 1차 요소”라고 불리는 열, 연기 및 유해가스 흡입으로 인한 질식, 국부 폐손상, 중독성 전신마비 등에 의한 사망 사고로서 이로 인한 사망자 수는 화재로 인한 전체 사망자 수의 70~80 %에 달하는 것으로 보고되고 있다(임홍순, 2002). 더욱이 유기합성재료로 된 건축용 실내장식물의 사용 증가로 화재 시 유해가스로 인한 사망자 또한 증가하고 있다. 2003년 대구지하철 사건이나 1999년 인천호프집 화재사건의 경우가 그 대표적인 예이다.

국내에서는 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법인(건축물의 내장재료 및 구조의 난연성시험방법, 1998) KS F 2271는 실제 화재시 내장재료의 안전성을 평가하고 있다. 하지만 국제적인 조화의 필요성이 요구되어 ISO 5660-1 콘칼로리미터법은 2003년 KS F 5660-1로 제정되었으며, 그 후 건설교통부는 2006년 11월 건축물의 내부마감재료의 난연성기준을 국제적 규격에 부합할 수 있도록 KS F ISO 5660-1로 도입하였다(건설교통부 고시 제 2006-476호). 현재 국내 난연성 시험 방법은 다음 Table 1-2 과 같으며, 난연성 성능기준은 Table 1-3 와 같다.

Table 1 -2 Flammability testing of interior materials

| Rank | Test method |
|--------------|--------------------------|
| 난연 1급(불연성시험) | KS F ISO 1182, KS F 2271 |
| 난연 2급(열방출시험) | KS F ISO 5660, KS F 2271 |
| 난연 3급(열방출시험) | KS F ISO 5660, KS F 2271 |

Table 1 -3 Cone calorimeter method(KS F ISO 5660-1)

| Rank | Test condition |
|-------|---|
| 난연 1급 | <ul style="list-style-type: none"> - 가열개시 후 20분 간 로내 온도가 최종 1분간 평균온도에 20 K를 초과하지 않을 것 - 질량감소율이 30 % 이하 일 것 - 마우스 행동정시시간이 9분 이상일 것 |
| 난연 2급 | <ul style="list-style-type: none"> - 가열개시 후 10분간 총발열량이 8 MJ/m² 이하 일 것 - 최고 열방출률이 10초이상 연속해서 200 k/m²를 초과하지 않을 것 - 마우스 행동정시시간이 9분 이상일 것 |
| 난연 3급 | <ul style="list-style-type: none"> - 가열개시 후 5분간 총발열량이 8 MJ/m² 이하 일 것 - 최고 열방출률이 10초이상 연속해서 200 k/m²를 초과하지 않을 것 - 마우스 행동정시시간이 9분 이상일 것 |

소방법에서는 실내장식물 등에 대한 화염의 착화 및 연소확대 지연성능 등에 일부 한정하고 있을 뿐 연소시 유해성에 대한 제한은 없다.

방염대상물품은 화재초기 단계에서 발생억제 및 화재 확대방지성능을 평가하는 방법으로 방염성능기준 KOFEIS 1001(방염성능, 2005)에 따라 시험하며, 탄화길이, 탄화면적, 잔염시간 및 연기밀도를 규정하고 있으며, 방염대상물품으로는 카펫, 커튼, 블라인드 등이 있다. 적용장소는 소방법 시행령 11조의 특수장소에 규정되어 있다. 특수장소라 함(이두형, 2002)은 아파트

를 제외한 건축물로 층수가 11층 이상인 것, 안마시술소, 다중이용업소, 헬스장, 특수목욕탕, 관광숙박시설 등이 있다(이주현, 2001). 이 대상물들의 내장재들은 화재 연소시 발생하는 발열량, 발연량 및 연소가스 등에 대한 광범위한 시험연구와 그 결과에 대한 데이터베이스 구축 및 시스템 개발이 화재안전을 위해서 필수적으로 요구되고 있다(이근원, 2003. 박영근, 2002).

Table 1 -4 Flame retardant performance standard(KOFEIS 1001)

| 방염재료 | 잔염시간 (초) | 잔신시간 (초) | 탄화길이 (cm) | 탄화면적 (cm ²) | 접염회수 (회) | 연기밀도 (Ds) |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|----------------------------|-------------|--------------|
| 카펫 | 20 이내 | - | 10 이내 | - | - | 400 이하 |
| 얇은 포 | 3 이내 | 5 이내 | 20 이내 | 30 이내 | 3 이상 | 200 이하 |
| 두꺼운 포 | 5 이내 | 20 이내 | 20 이내 | 40 이내 | 3 이상 | 200 이하 |
| 합성수지판 | 5 이내 | 20 이내 | 20 이내 | 40 이내 | - | 400 이하 |
| 합판, 섬유판, 기타물품 등 | 10 이내 | 30 이내 | 20 이내 | 50 이내 | - | 400 이하 |

최근 화재안전 규격에 대한 국제적인 경향은 사양규격(Prescriptive standard)에서 성능규격(Performance-based standard)으로 변하고 있다(이광흠, 2002). 이러한 변화의 일환으로 Small 콘 칼로리미터를 사용하여 열 발생률 등을 측정하는 것은 국제적으로 보편화 되어있다.

본 연구의 목적은 그간의 화재위험은 사양규격으로 관리하여 왔지만 이는 실제 화재시 내장재의 화재안전성을 평가하기에는 너무 포괄적이고 불확실한 요소들이 많아 실제현장과 건축설계를 바탕으로 각 현장에 맞는 예상시나리오를 작성하여 화재의 피해규모, 피난성능을 평가하는 성능규격방법의 기초연구이다. 현재 국내에서 건축내장재로 폭넓게 사용되고 있는 카펫류 5종과 장식재류 7종을 콘칼로리미터 시험방법 KS F ISO 5660-1(연소성능 시험, 2006)과 동물학적 가스유해성 시험방법 KS F 2271을 통하여 화재

시 발생하는 발열량, 발연량 및 유독가스 등을 비교 분석하여 화재시 각 재료의 위험도를 측정하였으며. 또한 쥐가 유해가스에 노출된 후 행동정시 시간을 측정하여 카페트류 와 장식재류의 다양한 연소물성의 유해성을 평가하고 데이터를 체계적으로 D/B화 하고자 한다. 이 데이터는 앞으로 성능위주의 소방설계 및 화재영향 평가시 중요한 데이터로 사용하고자 하는 것이다.



2. 이론적 배경

2.1. 콘칼로리미터법

연소성능시험은 점화장치가 부착된 수평방향의 콘 히터 복사열에 노출된 시편의 열방출률을 측정하는 방법으로 콘칼로리미터법이라 한다. 열방출률은 이동중인 연소생성물의 산소농도와 산소소비량을 측정하여 결정하며 발열량, 발연량, 시험중 감소되는 질량, 착화시간 등도 측정 할 수 있다.

이 시험방법은 일반적으로 “순연소열은 연소하는데 필요로 하는 산소의 양에 비례한다”는 점에 기초를 두고 있다. 즉 연소 중에 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출된다는 관계가 성립된다(Babraskas, 1992). 시험에서 시편은 미리 결정된 외부복사열($0 \text{ kW/m}^2 \sim 100 \text{ kW/m}^2$)범위에 노출시켜 대기조건에서 연소시키고 이때의 산소농도와 배출가스유량을 측정한다.

연소시스템에서 발생하는 열량과 공기로부터 소모되는 산소의 양 사이에는 밀접한 상관관계가 있음이 시험적으로 알려져 왔으나 Parker의 시험(Principle, 1995)이 발표되기 전까지는 이러한 사실이 실제로 활용되지 않았다. 이로부터 Hugget가 이 열과 공기 사이의 상관관계에 관한 상세한 시험을 하여 “Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements”을 발표하였다. 즉 고분자재료, 유기성액체, 천연재료를 포함한 대부분의 가연성 재료들은 연소시 소비된 산소 1 kg당 13.1 MJ의 열량을 방출한다는 것을 알았다.

$$\text{열방출률} = 13.1 \text{ MJ/kg} \cdot \text{O}_2$$

이 $13.1 \text{ MJ/kg} \cdot \text{O}_2$ 라는 상수 값은 15.7 MJ/kgO_2 값을 갖는 아세틸렌 같은 극소수의 예외를 제외하고, 대다수의 탄화수소계 물질에 대하여 거의

같으며 많은 가연물들에 대한 상수값들은 NFPA Handbook(Fire, 2005)에 잘 나타나 있다.

산소의 소비로 열방출률을 측정하는데 그 소비원리는 다음과 같다. 연소로 인해 열량이 발생되기 위해서는 배출 흐름속으로 제거되는 일정한 양의 산소분자들이 있어야 한다. 따라서 콘칼로리미터 실험에서는 산소의 농도와 유량으로서, 소비되는 산소의 양을 산출한다.

$$\dot{q}_A(t) = q'(t)/A_s$$

$$\dot{q}(t) = (\Delta hc/r_0)(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e} \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}}}$$

q'_A : 단위면적당 열방출률(kW/m²)

q' : 열방출(kW)

A_s : 시편의 초기 노출면적(m²)

Δhc : 순수 연소열(kJ/kg)

1.10 : 공기와 산소분자량비율

r_0 : 화학양론적 산소대 연료 질량비

2.1.1 열방출률

열방출률은 화재위험성을 결정하는데 있어 가장 중요한 변수중의 하나이다.

이는 다음 식을 이용하여 산소분석기의 시간지연 t_d 를 계산한다.

$$X_{O_2}(t) = X_{O_2}^1(t + t_d)$$

여기서, X_{O_2} : 산소분석기 눈금값

$X_{O_2}^1$: 지연시간 보정 이전의 산소분석기 눈금값

t : 시간, s

t_d : 산소분석기의 지연시간, s

열방출률은 다음의 식을 통하여 측정한다.

$$\dot{q}(t) = (\Delta h_c/r_o)(1.10)C\sqrt{\frac{\Delta p}{T_e} \frac{X^o_{O_2} - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}}}$$

여기서, \dot{q} : 열방출률(kw)

Δh_c : 순연소열(kjgl⁻¹)

r_o : 양론적 산소/연료 질량비

C : 오리피스 유량계 교정상수(m^{1/2} · g^{1/2} · k^{1/2})

Δp : 오리피스미터 압력차(Pa)

T_e : 오리피스미터내에서 가스 절대온도(K)

$X^o_{O_2}$: 산소분석기 눈금의 초기값

X_{O_2} : 산소분석기 눈금값

이때 시편에 대해 보다 정확한 $\Delta h_c/r_o$ 값을 알고 있지 않다면 $\Delta h_c/r_o$ 값은 13.1 × 10³ kJ/kg으로 하고, 1분 동안의 기준 측정에서 얻어진 평균 산소 분석기 값을 $X^o_{O_2}$ 로 한다.

단위면적당 열방출률은 다음 식에 의해 구한다.

$$\dot{q}_A(t) = \dot{q}(t)/A_s$$

여기서, A_s : 시료의 초기 노출면적(0.0088m²)

\dot{q}_A : 단위면적당 열방출률 (kW/m²)

t : 시간(s)

\dot{q} : 열방출률(kW)

2.1.2. 배출덕트 유속

덕트내의 질량유속(g/s)은 다음 식에 의해 주어진다.

$$m'_e = C \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e}}$$

여기서, m'_e : 배출덕트내의 질량유속(kg/s)

C : 오리피스 유량계 교정상수($(m^{1/2} \cdot g^{1/2} \cdot k^{1/2})$)

Δp : 오리피스미터 압력차(Pa)

T_e : 오리피스미터에서 가스의 절대온도(K)

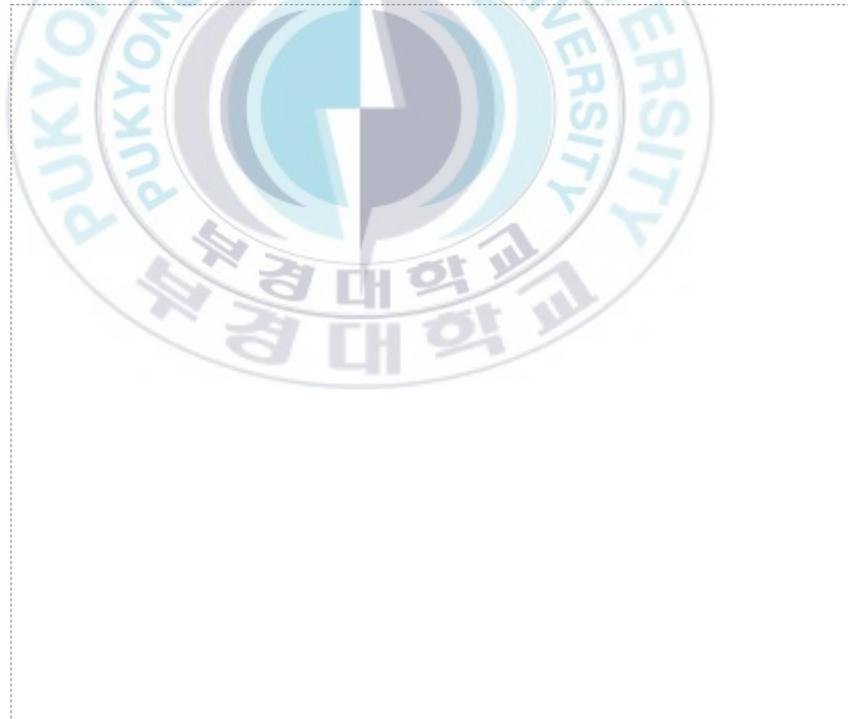


Fig 2 -1 Exhausting system during combustion

2.1.3. 질량감소율

각 시간간격에서의 질량감소율 $-m$ 은 5점 수치미분을 이용하여 계산한다.

$$\text{첫 번째 scan}(i=0) : -[m]_{i=0} = \frac{25m_0 - 48m_1 + 36m_2 - 16m_3 + 3m_4}{12\Delta t}$$

$$\text{두 번째 scan}(i=1) : -[m]_{i=1} = \frac{3m_0 + 10m_1 - 18m_2 + 6m_3 - m_4}{12\Delta t}$$

$1 < i < n-1$ 번째 scan($n = \text{총 scan 횟수}$)

$$-[m]_i = \frac{-3m_{i-2} + 8m_{i-1} - 8m_{i+1} + m_{i+2}}{12\Delta t}$$

마지막에서 두 번째 scan($i = n-1$)

$$-[m]_{i=n-1} = \frac{-3m_n - 10m_{n-1} + 18m_{n-2} - 6m_{n-3} + m_{n-4}}{12\Delta t}$$

마지막 scan($i = n$)

$$-[m]_{i=n} = \frac{-25m_n + 48m_{n-1} - 36m_{n-2} + 16m_{n-3} - 3m_{n-4}}{12\Delta t}$$

여기서, m : 시편의 질량감소율(g/s)

Δt : 샘플링시간 간격(s)

연소기간 동안의 질량감소율(총질량감소가 10 %에서 90 %에 도달되는 시간)은 다음식에 의하여 구한다.

$$m'_{A, 10-90} = \frac{-25m_n + 48m_{n-1} - 36m_{n-2} + 16m_{n-3} - 3m_{n-4}}{12\Delta t}$$

여기서, $\Delta m : m_s - m_f$

$$m_{10} = m_s - 0.10 \Delta m$$

$$m_{90} = m_s - 0.90 \Delta m$$

2.2. 연소가스의 유해성

고분자의 연소에 의해 생성된 연기 중에는 다종류의 가스상 물질 및 미세 입자로 된 연무와 연소가스로 되어 있으며, 그 조성은 고분자의 종류, 연소 온도, 산소의 공급 상태 등에 의해 현저하게 변화한다. 연소가스 중 특히 유독가스 성분으로서는 질식성 가스인 일산화탄소, 시안화 수소이외에 자극성을 갖는 할로젠화수소, 이산화황, 저분자량의 지방족 알데히드류, 할로젠화시안 등이 알려져 있다. Fig 2-2에 고분자의 연소에 의한 각 원소로부터 각종 유독가스 생성을 나타내었다. Fig 2-2에는 각종 유해가스에 대해 나타내었다.



Fig 2 -2 The products from combustion gases of various elements

화재로 인한 인명피해의 주요원인 중 하나가 독성가스인 것으로 밝혀짐에 따라 이들의 종류, 함량 및 유해성 등에 대한 사회적 관심이 증대 하였다.

1950년대부터 이미 미국에서는 목재류와 다른 건축내장물의 비교독성을 측정하여 화재연소가스의 독성을 규제하기 시작했으며, 1980년 뉴욕에서 발생한 화재사고 특별위원회의 최종 보고서에서 화재로 인한 주요 사망원인은 화염이 아닌 독성가스에 의한 것으로 Table 2-1와 같이 보고하고 있다.(Chien W.P, 1991)

1976년 일본에서는 가스유해성시험이 건설성 고시 제1231호로 제도화 하였으며, 비슷한 시기 독일에서는 연소생성물에 14일간 노출시킨 쥐의 사망수와 혈중 COHb(Carboxy Hemoglobin)농도를 측정하는 시험방법(DIN 53436)을 도입하였다.(난연재·난연수지의 전망, 2000년)

영국에서도 화재연소가스 유해성평가를 위해 동물시험을 하고 있으며, 영국 국방성에서는 제품 화재연소생성물에 대하여 독성지수(Toxicity Index)라는 개념을 사용하는 해군기술기준 NES 713(Naval Engineering Standard 1985)을 적용하고 있다.

1997년부터 핀란드 VTT사를 중심으로 하여 주변국들과 공동으로 진행하고 있는 SAFIR(Smoke Gas Analysis by Fourier Transform Infrared Spectroscopy)프로젝트를 통해 연속적인 공정인 온라인 측정이 가능하게 된 SAFIR측정법(Bulien OK, 1997)을 개발하였다. 이것은 콘칼로미터에 연결하여 측정하는 방법이다. 과거의 연소생성물의 화학적 성분분석은 연소생성물의 화학종이 다양하므로 한가지 분석법으로 분석하지 못하였다. 하지만 이 FT-IR기법을 사용하면 연소시험과정에서 각각의 성분 가스를 짧은 시간내에 연속적으로 측정 할 수 있어, 과거의 성분분석 방법보다 훨씬 유용한 자료를 얻을 수 있다는 점이 이 방법의 최대 장점이다. 하지만 아직은 신뢰성이 확보되지 않아 활용은 범용화 되지 못하고 있으며, 한정적인 분야에서 일부 사용되고 있는 실정이다. 연소가스의 유독성을 측정하는 방법은 크게 FT-IR 가스분석장비와 동물을 이용하여 측정하는 두가지 측정방

법으로 크게 분류 된다.

국내에서는 아직까지도 가스유해성평가를 위해 제한적인 생물학적 시험방법인 KS F 2271(건축물의 내장재료 및 구중의 난연성시험방법, 1996)에만 의존하고 있으며, 화재연소가스에 포함된 독성가스의 종류 및 각각의 농도를 측정할 수 있는 화학적 분석방법의 도입도 검토되고 있다. 시간에 따른 연소가스의 변동 상황을 얻을 수 있으면 화재현상에서 탈출 하는데 필요한 시간 등 실화재 현상을 이해하는데 훨씬 유용한 자료로 이용할 수 있다.

이 방법에 사용되는 적외선은 물과 탄소에 강하게 흡착하기 때문에 이방법을 적용하려면 연소생성물 중에 존재하는 물과 검댕 등을 완벽하게 제거해야 하며, 데이터의 해석 등을 컴퓨터를 통하여 해야하는 번거러움이 있다. 이 방법이 지니고 있는 장점 때문에 ISO와 같은 국제기구에서도 이 방법에 관하여 계속 연구 중 이다.

Table 2 -1 Toxicity test methods of developed countries for combustion gas

| 국 명 | 규격명 | 시험내용 | 비고 |
|------------------|---------------------|----------|------------|
| 일본 ^a | 건설성고시 1231 | 가스유해성시험 | 흰쥐시험 |
| 미국 ^b | ASTM E 1678 | 연소가스독성평가 | 흰쥐시험(독성시험) |
| 영국 ^c | BSI DD 180, NES 713 | 연소가스독성평가 | 흰쥐시험(독성시험) |
| 독일 ^d | DIN 53436 | 연소가스독성평가 | 흰쥐시험(독성시험) |
| 프랑스 ^e | NF X 70-100 | 연소가스독성평가 | 흰쥐시험(독성시험) |
| ISO ^f | ISO TR 9122 | 연소가스독성평가 | 흰쥐시험(독성시험) |

a : 일본건설성고시-1231, 1976. b : Standard, 1997. C : Determination, 1985.

d : Producing, 1981. e : Fire, 1986. f ; Toxicity, 1989

하지만 아직 인체공학적으로 실험한 기본데이터가 축적되어 있지 않기 때문에 인체의 연소가스 유해성을 평가하기에는 FT-IR을 이용한 정성, 정량적 시험방법 보다는 마우스를 이용한 가스시험방법이 현실적으로 적합한 것으로 추정되고 있다.

Table 2 -2 Harmful gases from burned high polymers(Terrill J.B, 1978)

| 유해가스 | 유래 | 생리 작용 |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|
| 일산화탄소 | 각종 유기물 | 질식성 가스 헤모글로빈과 결합하여 산소 운반능력을 저하시킴 |
| 시안화수소 | 아크릴, 나일론, 폴리우레탄 수지, 멜라민 수지 등 | 질식성 가스, 호흡마비 |
| 이산화탄소 | 각종 유기물 | 강한 폐 자극성 |
| 할로젠화 수소 | PVC, 할로젠화 수지, 할로젠화 난연제 | 호흡기 자극성 |
| 아황산 가스 | 황 함유 제품 | 강한 자극성 : 치사량 이하에서도 견디기 힘들 |
| 포름알데히드, 아크로레인 | 멜라민 수지, 폴리올레핀 수지 등 | 호흡기 자극성 |

2.2.1. 시안화수소

시안화수소는 나일론, 폴리우레탄, 아크릴 수지 및 멜라민수지등의 질소화합물이 포함된 합성 수지류의 불완전 연소에 의하여 발생한다(Woolley W.D, 1976). 더욱이 담배 연기 중에도 약 0.04 %가 포함되어 있다고 한다. 시안화수소는 후술하는 바와 같이 독성의 발현도 빠르고 강하므로 연소가스중의 유독 성분으로서는 일산화탄소보다 강하다고 생각된다.

2.2.2. 일산화탄소

일산화탄소는 철강용고로, 자동차 배기통 등에서도 발생하며, 도시가스, 프로판가스, 석유난로, 목재, 지류, 면섬유 등의 연소때에도 발생한다. 최근의 통계에 의하면 화재에 의한 사인의 약 40 %가 일산화탄소에 의한 질식사라고 알려져 있다. 물질의 연소시에 일산화탄소 생성은 산소의 공급상태와 밀접하게 관련이 되어 있고, 충분히 환기가 되는 조건에서는 생성량이 적으나, 산소의 공급이 저하된 불완전 연소시 특히 Flash over에서 다량으로 발생한다. 건물화재에서는 연기의 발생 후 1~3시간 이내에 일산화탄소가 치사농도에 달한다고 한다(소방백서, 소방청편 1997).

2.2.3. 이산화탄소

이산화탄소는 화재시에는 가장 다량으로 발생하는 가스이지만 독성이 낮기 때문에 그 자체가 사인으로 되지는 않는다. 그러나 이산화탄소는 호흡의 속도 및 심도를 높여 RMV(Respiratory Minute Volume, L/min)을 증가시킨다. 3 %의 농도에서 RMV는 2배, 5 %에서는 약 3배로 높아지게 되므로 이산화탄소의 농도 상승은 연소가스중의 다른 유독사스의 흡입량을 증가시켜 행동불능 상태나 사망에 이르는 시간을 단축시키는 작용을 한다(Hartzell G.E, 1996).

Levin 등은 쥐를 이용한 실험에서 이산화탄소가 일산화탄소의 독성을 높이는 것을 보고하고 있다. 또 물질의 완전 연소시에는 일산화탄소는 거의 발생하지 않고, 이산화탄소로 산화되므로 연기 중에 CO_2/CO 의 존재비율은 화재상태를 나타내는 하나의 지표가 된다.

2.2.4. 할로겐화수소(Beitel J.J, 1987)

할로겐화수소는 PVC등의 할로겐 함유 폴리머로부터 발생한다. 예를 들면 염화수소는 PVC를 220~275 °C로 가열하면 정량적으로 발생하고 연소하지 않는 경우에도 훈소 조건에서 열분해에 의하여 생성된다. PVC의 연소시에 염화수소의 발생은 시안화수소 발생조건과는 달리 일반적으로 온도가 낮을수록 생성량이 많다. 이 염화수소는 75 ~ 100 ppm이상에서 눈, 상부기도에 대하여 강한 자극성을 나타내며 화재시 피난작용을 방해한다. 화재시 연소가스 중에는 유기 자극성 물질들이 존재하나 가장 문제시되는 것은 아크로레인이다. 수 ppm에서도 눈 및 상부기도에 대하여 극히 강한 자극을 나타낸다. 그 강한 자극성 때문에 1분도 견디기 어려우며 만약 고농도가 되면 현기증, 실신, 호흡곤란을 일으킨다. 그러나 물과 같이 할로겐화수소를 흡수하는 물질이 존재하면 할로겐화수소의 농도는 현저하게 저하된다 (Beitel J.J, 1987).

2.2.5. 이산화질소

질소를 함유하는 폴리머의 연소시에는 충분한 산소가 공급되는 경우에도 낮은 농도이긴 하나 이산화질소 등의 질소산화물이 생성한다. 단, 그 생성량은 시안화수소에 비교하여 적은 양이고, 화재시의 유독가스로서의 위치는 아직 밝혀진 것이 많지 않다(Tsuchiya Y, 1989).

2.2.6. 기타 자극성 가스(Morikawa W, 1976)

많은 화학제품의 열분해 또는 불완전 연소 시에 앞서 설명한 가스이외에도 상당량의 자극성 물질이 생성된다. 그 중에서도 독성상 문제가 되는 것은 포름알데히드(Formaldehyde), 아크로레인(Acrolein), 이소시아산(Isocyanic acid), 이산화황이다. 그 중에서 아크로레인은 많은 연소가스 중에 존재한다는 것이 확인되어 있고, 셀룰로오스 및 폴리에틸렌 함유물 등의 불완전 연소에 의하여 생성된다(Morikawa W, 1976).

2.2.7. 고분자 재료의 연소가스

고분자 재료의 연소가스 성분(Demir HD, 2006)은 단일물질의 경우 각종 첨가제로부터 발생하는 가스를 제외하면 어느 정도 성분 예측이 가능하다. 일반적으로 고분자 재료의 연소시험방법은 JIS K 7228 규격을 적용한 연소 장치에 550 °C에서 850 °C의 온도에서 연소시험을 시행하며, 범용고분자 재료로는 주로 500 °C에서 연소시킬 경우에 생성되는 가스의 종류를 분석한다. 재료의 구조내에 할로젠원소를 함유한 폴리염화비닐 등은 할로젠가스를 방출하고(William H.J, 2003), 구조내에 질소를 포함한 폴리아미드, 폴리우레탄 등은 독성이 강한 HCN가스를 방출하는 것을 알 수 있다(Kim H.J, 2001). 대체적으로 연소 온도가 높으면 일산화탄소의 발생량이 줄어드는 것으로 나타났다.

특이할 만한 사실은 천연고분자라 할 수 있는 종이도 일산화탄소에서 보면 다른 고분자보다 훨씬 많은 생성량을 갖고 있음을 볼 수 있다.

3. 재료 및 방법

3.1. 재료

본 연구에서는 국내의 업체에서 생산되어 가장 많이 실제로 건축현장에서 사용되고 있는 실제 제품을 구입하여 샘플로 선정하여 시험 하였다. 내장재 중 재질이 다른 카펫 5종과 목재, 섬유보드, 유리섬유판, 염화비닐시트 등의 장식판 7종에 대하여 열방출률, 총발열량 등을 측정하는 국제적인 시험방법인 콘칼로리미터법 (KS F ISO 5660-1) 과 동물학적 가스유해성 시험방법인 KS F 22710-1방법으로 마우스 행동정지시간을 측정하여 제품의 화재위험도 정도를 정량적으로 측정하였으며 각각 사용된 카펫류 재료는 Table 3-1와 같으며, 장식재류 재료는 Table 3-2에 나타내었다.

Table 3 -1 Cone Calorimeter Testing Sample Size(carpets)

| Kind of Sample | Material | Size (mm) | Weight (g) | Abbreviation |
|----------------|---------------------|-------------|------------|--------------|
| Carpet | Nylon | 100×100×8.7 | 32.3 | Nylon |
| | Polypropylene | 100×100×7.8 | 17.8 | PP |
| | Poly Tetraphthalate | 100×100×6.1 | 20.4 | PTT |
| | Wool | 100×100×9.1 | 29 | Wool |
| | Nylon + Wool | 100×100×10 | 27.4 | NW |

Table 3 -2 Cone calorimeter testing sample size(decorations)

| Kind of Sample | Material | Size (mm) | Weight (g) | Abbreviation |
|-------------------------------|--------------------------|-------------|------------|--------------|
| Midium density flooring (MDF) | Wood fiber | 100×100×9 | 51.9 | MDF9 |
| | Wood fiber | 100×100×15 | 102 | MDF15 |
| | Wood fiber | 100×100×18 | 124.7 | MDF18 |
| Fiberboard | Polyester | 100×100×9.7 | 21.3 | PE |
| | Melamine | 100×100×6.9 | 77.7 | ME |
| Plastic resin flooring | Fiber Reisforced Plastic | 100×100×9 | 111.2 | FRP |
| Plastic resin sheet | PVC | 100×100×2 | 2.4 | PVC |

3.2. 실험방법

3.2.1. 시험장치

내장재의 난연 성능평가는 콘칼로리미터를 통해 측정하였다. KS F ISO 5660-1에 의거 하였으며 각각의 시편은 3개의 샘플을 평균값으로 산출하였다. 콘 칼로리미터를 이용하여 각각 재료의 열방출률, 총발열량, 발연량, 착화시간, 질량감소율, 일산화탄소 및 이산화탄소 생성율을 측정하였다.

시험장치는 콘 형태의 복사전기히터, 시편의 질량을 측정하기위한 무게 측정장치, 시편홀더, 산소분석장치, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크 회로, Heat Flux Meter, 교정용 버너, 데이터 수집 및 분석시스템들로 구성되어 있다(Babrauskas V, 2002). 콘칼로리미터 시험장치는 Fig 3-1, 3-2 과 같다.

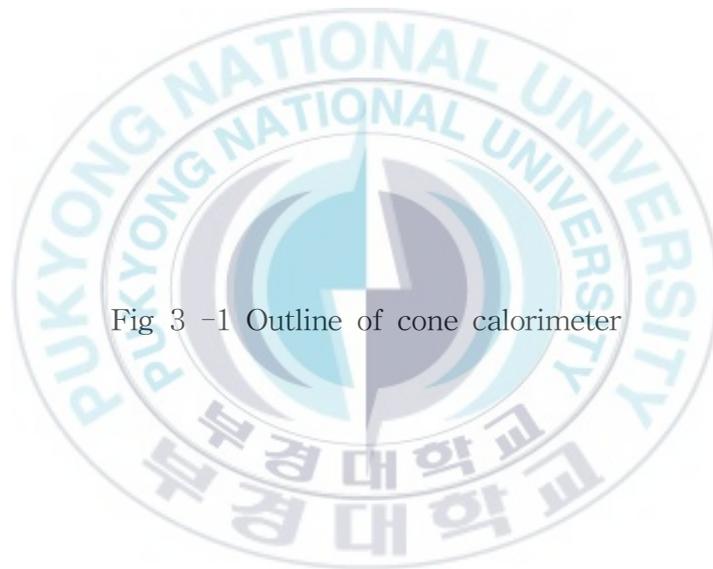


Fig 3 -1 Outline of cone calorimeter

Fig 3 -2 Smoke density measurement of cone calorimeter

Table 3 -3 Testing condition of cone calorimeter

| 구분 | 시험조건 |
|------------|--------------------------------------|
| 가열방식 | 전기로에 의한 복사열 |
| 가열강도 | 0 ~ 100 kW/m ² |
| 가열시간 | 소화시간, 산소농도의 변화에 의해 결정됨 |
| 시편의 크기(mm) | 100 × 100 두께는 50 이하 |
| 연소시스템 | dynamic |
| 배출유량 | 24 L/sec |
| 분석가스 | O ₂ , CO, CO ₂ |
| 장비교정가스 | 매탄 |
| 가열방향 | 수평, 수직 |

3.2.2. 시험 시편 준비

시편은 시험에 앞서 온도 23±2 °C, 상대습도 5±5 %에서 항량이 될 때까지 양생한다.(24시간마다 측정하여 무게가 0.1% 또는 0.1g 이상 차이가 나지 않을 때를 항량으로 한다) 시편은 제품을 대표하는 것으로서 100 mm×100 mm 인 정사각으로 준비하며 두께가 50 mm 이하인 제품은 그 제품의 두께대로 시험을 실시 하였으며, 두께가 50 mm를 초과하는 제품은 비노출면을 절단하여 두께를 50 mm로 감소시켜 시편을 준비한다. 두께가 6 mm 미만의 제품의 경우에는 실제 사용조건에서 사용되는 기재를 사용하여 전체 시편의 두께를 6 mm 이상이 되도록 준비를 한다. 전처리된 시편은 0.03~0.05 mm의 알루미늄 호일로 비노출면을 감싸고 이때 호일의 반쪽이 는 면이 시편을 향하도록 한다.

3.2.3. 시험장치 교정

시험을 실시할 때 또는 복사열의 크기를 변화시킬 때에는 콘히터가 원하는 복사열을 $\pm 2\%$ 이내의 범위 내에서 발생시킬 수 있도록(Heat Flux Meter에 의해 측정) 복사열 제어조절장치를 조정한다. Heat Flux Meter를 교정 위치에 삽입했을 때에는 시편이나 시편 홀더는 사용하지 않아야 한다. 콘히터를 작동시켜 설정값에서 10분 이상 안정시키고, 이 교정을 시작하기 전에 조절기가 그 비례폭 내에 있는지 확인한다.

산소분석기의 영점을 맞추고 교정을 실시한다. 이 교정은 콘히터가 작동중일 때나 작동하지 않을 때 실시할 수 있으나 히터를 워밍업하는 동안에는 실시하지 않아야 한다. 배출팬을 켜고 배출유량을 $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 설정한다. 교정은 건조한 공기를 사용하여 실시하며 산소농도값이 $20.95 \pm 0.01\%$ 가 되도록 조정한다.

오리피스 상수 C를 결정하기 위하여 열방출률 교정을 실시한다. 이 교정은 콘히터가 작동중일 때나 작동하지 않을 때 실시할 수 있으나, 히터를 워밍업 할 동안에는 실시하지 않아야 한다. 배출팬을 켜고 배출유량을 $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 설정한다. 모든 계기의 출력값이 평형상태에 도달한 후 3분 동안에 걸쳐 5초 간격으로 데이터를 수집한다. 3분 동안 측정된 q_b , T_e , Δp , X_{O_2} 를 사용하여 오리피스상수 C를 구하며, $X^0_{O_2}$ 는 1분 동안 측정된 산소분석기 베이스라인값의 평균이다.

$$C = \frac{q_b}{(12.54 \times 10^3)(1.10)} \sqrt{\frac{T_e}{\Delta p} \frac{1.105 \times 1.5 X_{O_2}}{X^0_{O_2} \times X_{O_2}}}$$

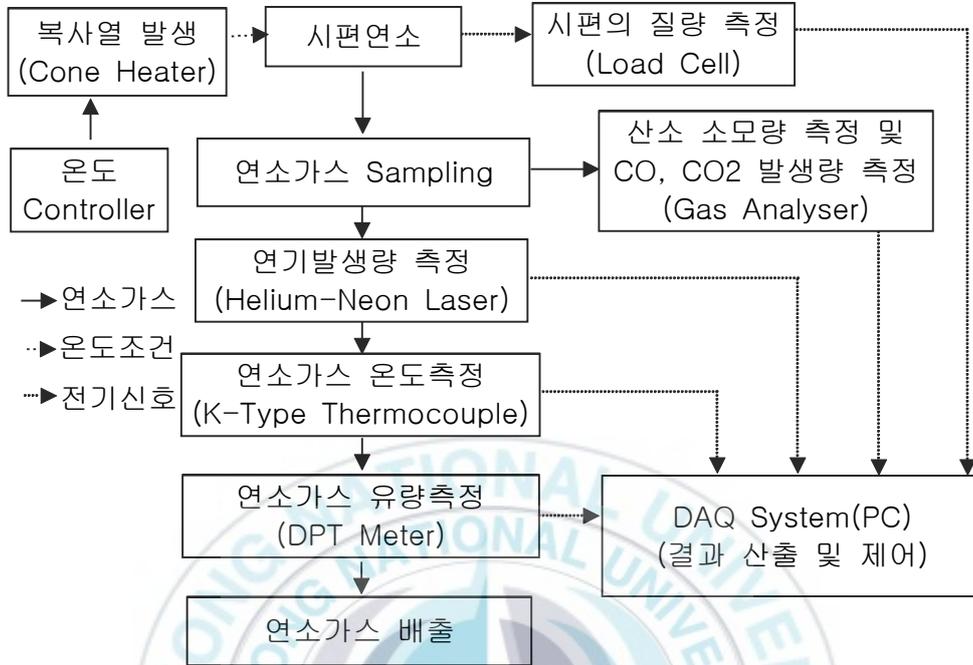
여기서, q_b : 공급된 메탄의 열방출률 $12.54 \times 10^3 =$ 메탄에 대한 $\frac{\Delta h_c}{r_o}$

1.10 : 산소와 공기의 분자량 비

질량측정장치는 시편질량 범위에 있는 표준추를 사용하여 교정해야 한다. 질량측정장치의 교정을 실시하기 전에 콘히터를 끄고 시험장치는 실온까지 냉각시켜야 한다. 250 ± 25 g의 추와 함께 빈 시편홀더를 질량측정장치 위에 얹는다. 질량측정장치의 출력을 측정하고 이 값을 0에 맞춘다. 50 g과 200 g 사이의 질량을 갖는 추를 시편홀더 위에 조심스럽게 놓은 다음, 출력값이 안정된 값에 도달한 후에 질량측정장치의 출력값을 측정한다. 동일한 질량의 추를 얹은 다음 이 절차를 4회 반복한다. 교정이 끝났을 때 홀더 위에 얹은 추의 총질량은 최소한 500 g 이상이어야 한다. 질량측정장치의 정확도는 추의 질량과 교정을 실시하는 동안 기록된 질량측정장치의 출력 사이의 최대차 값으로서 결정한다.

3.2.4. 시험절차

CO₂ 트랩과 최종 수분 트랩을 점검한다. 냉각트랩 분리챔버내에 축적된 물을 배수시킨다. 냉각트랩의 정상적인 작동 온도는 4 °C를 초과하지 않아야 한다. 점검하는 동안 가스 샘플링 라인에 있는 트랩이나 필터가 개방되어 있었다면 환형검침기에 가능한 가장 가까운 위치에 질소 공급원을 연결하여 샘플가스와 동일한 유량과 압력으로 순수한 질소가스를 주입하는 방법으로 샘플가스의 누설을 확인한다. 이때 산소분석기는 0에 위치하여야 한다. 배출유량은 0.024 ± 0.002 m³/s 으로 설정한다. 데이터는 1분 동안 기준 데이터를 수집한다. 연소시간이 짧을 것으로 예측되는 경우를 제외하고



표준 데이터 수집 간격은 5초로 한다. 인화 또는 일시적인 불꽃연소가 발생된 때에는 그 시간을 기록한다. 지속적인 불꽃연소가 발생한 때에는 그 시간을 기록하고 스파크 전원과 점화장치를 제거한다.

복사열 차단장치를 제 위치에 삽입하고, 질량측정장치를 보호하고 있는 열 차단장치를 제거한다. 준비된 시편과 시편홀더를 질량측정장치 위에 놓는다. 삽입전의 복사열 차단장치의 온도는 100 °C 이하여야 한다.

인화 또는 일시적인 불꽃연소가 발생할 때에는 그 시간을 기록 한다. 지속적인 불꽃연소가 발생한 때에는 그 시간을 기록하고 스파크 전원과 점화장치를 제거한다. 만일 스파크 전원을 차단한 후에 불꽃이 꺼지면 점화기를 재삽입하고 5초 이내에 스파크를 가한 다음 시험이 완료 될 때까지 스파크를 제거하지 않는다. 이러한 현상을 시험에 기록한다.

지속적인 불꽃연소가 시작된 때부터 32분간, 30분간 경과 후에도 시편이

착화되지 않을 때 10분 동안의 X_{O_2} 가 예비시험 산소농도 값의 100 ppm 이내로 되돌아갈 때, 시편의 질량이 0이 될 때 용융, 팽창, 균열 등과 같은 시편의 물리적 변화를 관찰하여 기록한다.

3개의 시편에 대하여 시험을 하고 3개 시편에 대하여 180초 평균 열방출률을 비교 한다. 이들 180초 평균 열방출률값 중 어느 하나라도 3개 값의 산술평균값에서 10 % 이상 차이가 나면 추가로 3개의 시편에 대하여 시험을 실시하고 이 경우에는 시편 6개에 대한 산술 평균값을 사용해야 한다.

3. 3. 가스유해성 시험

3.3.1. 시험장치

가스유해성 시험장치 Fig 3-3 는 마우스를 이용하여 카페트류 및 장식재류의 연소 시 발생하는 가스의 유해성을 평균 행동정지시간으로 측정하는 장치를 사용하였다.

가열로에서 시험체가 연소 시 발생하는 연소 가스는 교반상자에서 교반되고 피검 상자 속으로 유입되어 마우스가 흡입하도록 되어있다. 가열로는 건조 양생된 표준판을 부착하고 먼저 부열원(LPG)으로 3분간 가열한 후, 다시 주열원으로 3분간 가열하였을 때 배기온도를 10 ℃ 이내의 오차로 재현할 수 있는 것으로 하였다.

Table 3 -4 Exhausting Temperature of Carpets and Decorations Versus Time

| 경과시간 (분) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 배기온도 (℃) | 70 | 85 | 100 | 140 | 170 | 195 |

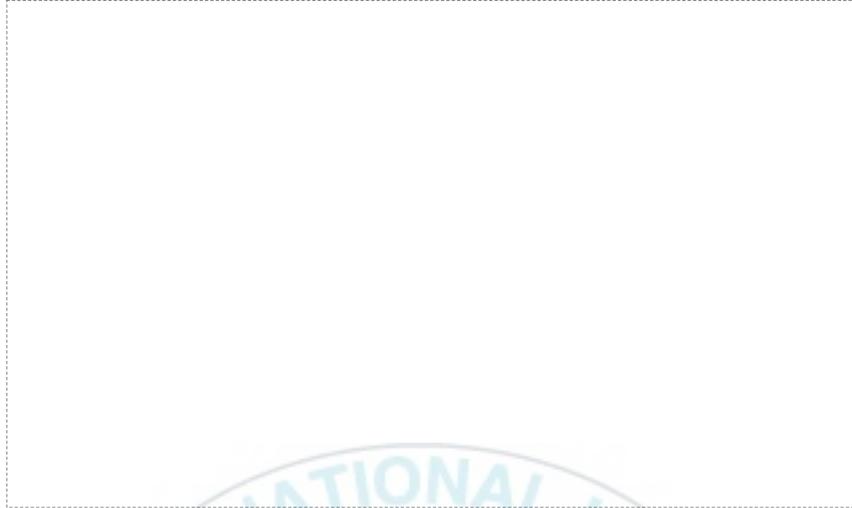


Fig 3 -3 Testing device for toxicity of combustion gas(KS F 2271)

3.3.2. 시험체 준비

시험체는 크기가 가로 , 세로 220±1 mm, 두께는 실제의 것과 같은 것으로 25 mm 구멍이 3개를 갖는 시편을 통풍이 잘되는 실내에 약 1개월 이상 방치한 다음 35~45 °C 건조기 안에서 24시간 이상 건조시킨 후 테시케이터 속에서 24시간 이상 방치하여 양생한 것을 시험체 2개로 사용하여 시험을 하였다. 마우스는 ICR계 암놈 5주령 정도의 18~22 g인 것을 한 시험당 8마리를 사용하여 실시하였다.

3.3.3. 시험 절차

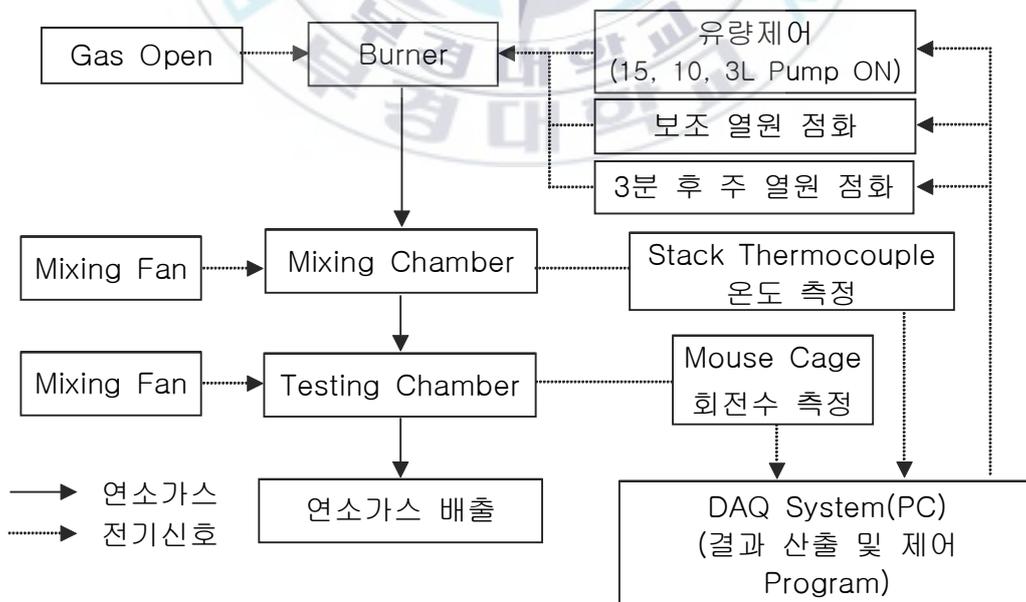
시험은 부열원으로 3분간 가열한 후 주열원으로 3분간 가열하였으며, 공기는 가열 중에 한하여 공급하였다. 공기 공급량은 가열로의 1차 공급 장치에 의해 매분 3 L, 2차 공급 장치에 의해 매분 25 L로 하였다. 피검 상자의 배출장치에 의한 기체는 가열 중에 한하여 배출하였으며, 그 배출량은

매분 10 L로 하였다. 가열 시험은 시작할 때 피검 상자 내의 온도는 30 °C로 하고, 시험용 흰쥐 1마리씩 넣은 회전 바구니 8개를 피검상자에 넣었다.

Table 3 -5 Testing device condition of exhausting gases

| 구분 | 시험조건 | | | | | | |
|-----------|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 가열방식 | 전열 석영관(9.5Ω), LP가스 | | | | | | |
| 가열조건 | 시간(분) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 배기온도 | 70 | 85 | 100 | 140 | 170 | 195 |
| Size (mm) | 220 × 220, 두께 50 이하 | | | | | | |
| 피검상자의 배출량 | 10 L/min | | | | | | |
| 마우스 | ICR계 암컷 8마리 | | | | | | |
| 시험시간 | 15분 | | | | | | |
| 시편가열시간 | 6분 | | | | | | |

가스유해성은 가열을 시작해서 시험용 흰쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간을 자동기록 할 수 있는 장치를 사용하여 측정하였다.



가스유해성시험의 시험조건은 KS F 2271에 의거하여 실시하였으며 시험 장치는 Fig. 4에 시험조건은 Table 6에 각각 나타내었다.

다음의 식을 통하여 가스유해성을 측정하였다 (KS F 2271, 1998).

$$x = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{여기서 } \bar{X} = \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3 \cdots + x_8}{8} \right)$$

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

\bar{X} s는 마우스의 평균 행동정지 시간, X 는 8마리의 마우스의 행동정지까지의 시간(마우스가 행동을 정지하지 않은 경우에는 15분으로 한다)의 평균 값, σ 는 8마리의 마우스의 행동정지까지의 시간(마우스가 행동을 정지하지 않은 경우에는 15분으로 한다)의 표준편차로 하며 시험체 2개에 대한 측정 결과에서 각각의 마우스 행동정지시간이 9분보다 클 경우 가스유해성 시험을 만족한 것으로 한다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 카펫류

4.1.1. 착화시간

본 실험에서 착화시간은 50 kW/m^2 의 Heat Flux로 콘 칼로리미터를 이용하여 카펫류에 대한 연소의 착화시간을 측정하였다. Table 3-6 에서 살펴보면 Wool + Nylon복합체(NW)가 다른 카펫에 비하여, 쉽게 착화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 Nylon으로 이루어진 카펫의 경우는 착화시간이 54초로 다른 카펫 보다 2배 이상의 착화 시간이 긴 것을 알 수 있었다. 이는 Heat Flux Meter에 의한 착화가 표면 재질에 큰 영향을 받는 것을 나타낸다.

착화시간을 통해서 살펴보면 Wool+ Nylon 복합체 카펫가 쉽게 착화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 연소시 착화시간 그 자체만으로는 물리적인 의미는 없지만 화재시 화재전파 위험성을 정상적으로 평가하는데 중요한 요소로 사용될 수 있다.

Table 3 -6 Ignitions time of carpets

| Kind of Sample | Material | Ignition Time (s) |
|----------------|----------------|-------------------|
| Carpet | Nylon | 54 |
| | Polypropylene | 26 |
| | PTT | 35 |
| | Wool | 21 |
| | NW(Wool+Nylon) | 11 |

4.1.2. 열방출률

카펫의 시간에 따른 최대 열방출률은 Table 3-7에 각각 나타내었으며, Fig 3-4에 정리된 결과를 그래프로 나타내었다. 결과를 살펴보면, 최대 열방출률은 폴리프로필렌 카펫 (Polypropylene Carpet)가 가장 높은 값을 나타내었으며. 반면 Wool 카펫은 320 kW/m²의 가장 낮은 열방출률을 나타내었다.

Table 3 -7 Maximum heat release rate, heat release rate of carpets

| Kind of Sample | Material | Maximum heat release rate (kW/m ²) | Mean heat release rate (kW/m ²) |
|----------------|---------------|--|---|
| Carpet | Nylon | 635.5 | 160.2 |
| | Polypropylene | 792.0 | 147.8 |
| | PTT | 500.9 | 34.7 |
| | Wool | 320.7 | 127.9 |
| | NW | 351.1 | 132.2 |



Fig 3 -4 The maximum heat release rate (MHRR) of carpets

이 들의 최대열방출률 순서는 PP > Nylon > PTT > NW > Wool 순으로 나타났다. 폴리프로필렌카페트가 가장 높은 열방출률을 나타낸 것은 PP의 경우 주 사슬결합이 탄소-탄소 결합으로 이루어져 있어 쉽게 연소될수 있으며, Nylon과 PTT의 경우 주사슬 결합에 방향족 고리인 벤젠링이 포함되어 있어 연소가 잘 발생되지 않게 된다. Wool의 경우는 주로 동물성섬유로 이루어져 있고 주성분이 아미노산으로 이루어져 있어 연소시 최대열방출률이 가장 적게 나타난 것으로 사료된다. 전체적으로 볼 때 어떤 제품의 위험도 예측은 복합적인 위험치 결과분석을 통하여, 해당 물질류의 경향성을 파악하여야만 정확한 위험도를 예측 할 수 있다.

4.1.3. 총발열량

카페트의 시간에 따른 총발열량은 Table 3-8에 각각 나타냈고 Fig 3-5에 정리된 결과를 그래프로 표현 하였다. Fig 3-5에서 보면 총발열량은 폴리프로필렌카페트 보다 나일론카페트(Nylon carpet)의 경우가 더 높은 총발열량을 나타냄을 알 수 있다.

이는 폴리프로필렌 카페트의 경우 착화 직후 순간적인 열방출이 일어나 화재크기는 큰 반면, 불꽃 연소 지속시간 동안의 총발열량은 오히려 적은 것을 알 수 있다. PTT 카페트의 경우는 전체 카페트 중에서 가장 적은 발열량을 보였다. 이는 PTT의 발열량이 상대적으로 작은 것으로서 화학적인 구조상 연소하기 힘든 방향족 고리의 영향으로, 재료 자체의 발열성이 낮아지기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

Table 3 -8 Total Heat Release of Carpets

| Kind of Sample | Material | Weight | Total heat release (MJ/m ²) |
|----------------|---------------|--------|---|
| Carpet | Nylon | 32.5 | 61.2 |
| | Polypropylene | 17.2 | 55.0 |
| | PTT | 20.3 | 30.2 |
| | Wool | 28.9 | 59.3 |
| | NW | 27.2 | 59.0 |

Fig 3-5에서 Wool 카펫의 경우 초기 착화 후 총발열량이 급격히 증가하다가 감소하고 다시 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 초기 카펫 외부의 wool 부분이 착화 후 열을 방출하고, 곧바로 Wool 재질 부분이 소진되고 그 직후 카펫 내부의 연소로 발열량이 다시 증가하는 것으로 사료된다.

발열량 그래프에서 살펴볼 수 있는 또 다른 결과는 폴리프로필렌 카펫의 경우는 불꽃 연소 시간이 짧다는 것이다. 또한 PTT로 이루어진 카펫의 경우는 다른 카펫에 비하여 낮은 발열량이 적지만 연소시간은 길다는 것을 나타내고 있다.

각각의 카펫의 실제 두께 사이즈임을 감안하면 같은면적의 카펫이 깔려져 있는 실내에서 Nylon>Wool>NW>PTT>PP순으로 발열량이 가장 많을 것이라 생각된다.

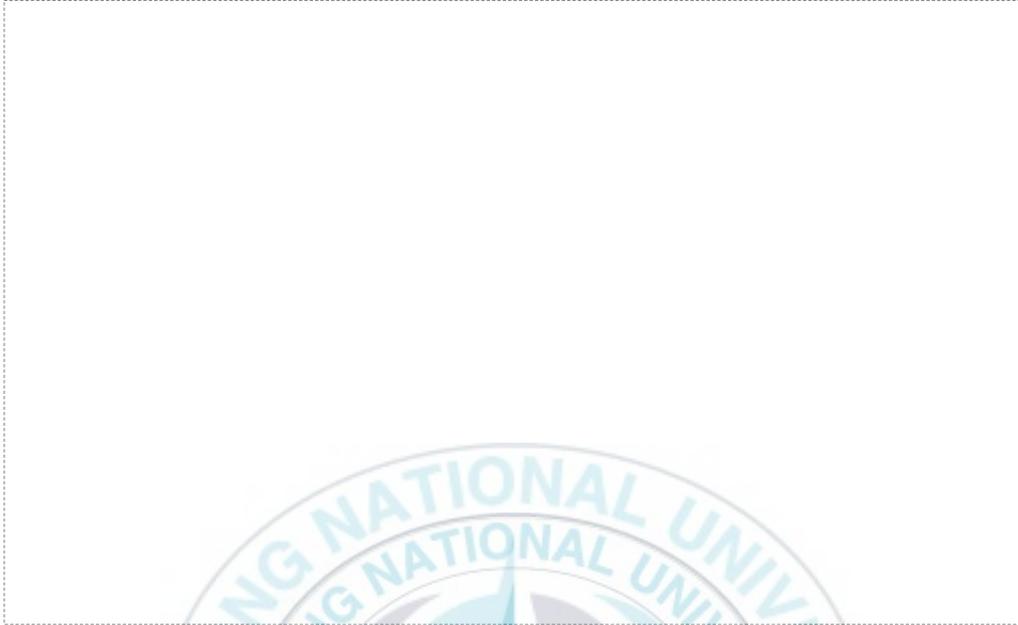


Fig 3 -5 The graph of total heat release (THR) of carpets

4.1.4. 질량 감소율

시편이 착화된 시점으로부터 6분 동안의 질량감소율의 평균값으로 결정하였다. Fig 3-6 은 시간에 따른 질량의 변화를 그래프로 나타냈으며 Fig 3-7 는 각 카펫의 평균 질량 감소율을 나타냈다. 각각의 카펫 재료에서 살펴보면, 초기의 질량 감소가 큰 것을 알 수 있었다.

이는 시편이 연소 되면서 열방출이 일어나고 연소와 동시에 질량이 감소하는 것을 나타내고 있다. Wool 카펫을 제외한 나일론, 폴리프로필렌, PTT 카펫의 경우는 초기 질량 감소율이 컸으며 폴리프로필렌 카펫의 경우는 1,000초 전후로 불꽃이 사라지고 연소가 급격히 진행되어 멈춘 것을 알 수 있었다.



Fig 3 -6 The graph of mass loss rate (MLR) of carpets



Fig 3 -7 The mass loss rate (MLR) of carpets

질량 감소율은 총발열량과 밀접한 관계가 있어 질량 감소율이 높은 물질은 그 만큼 높은양의 열을 방출하기 때문에 중요한 의미를 갖는다. Nylon + Wool 복합카페트(NW)가 질량감소율이 제일 크고, PTT소재 카페트가 최소의 질량감소율을 보여주고 있다. 이들의 순서는 NW > Wool > Nylon > PP > PTT으로 나타났다. 이는 샘플의 분자구조와 밀접한 연관을 가지고 있다. PTT 고분자의 경우 Terephthalate로 이루어져 내열성이 높은 구조를 가지고 있다. 반면 Wool은 케라틴이 주성분이며 케라틴은 아미노산으로 이루어져 있기에 열에 약하고 쉽게 분해가 되는 특징을 나타낸다. 따라서 NW와 Wool의 질량감소가 큰 것으로 사료된다. 이러한 결과는 총발열량과 약간 차이가 나타나는데 이는 각 시편마다 단위 질량당 발생하는 열량의 차이 때문인 것으로 판단된다.

4.1.5. 가스 발생량

발생한 가스의 양 및 일산화탄소, 이산화탄소, 전체 연기 발생량을 Fig 3-8 과 Table 3-9에 각각 나타냈다. 일반적으로 화재 연소 시 인간에게 가장 치명적인 일산화탄소의 발생량을 살펴보면, PTT에서 그 발생량이 가장 많은 것을 확인할 수 있었다. 반면 Nylon + Wool 복합체 카페트(NW)의 경우는 일산화탄소의 발생량이 다른 카페트보다 적었다. 이는 PTT의 화학구조에서 물질의 열분해시 CO의 생성확률이 높은것에서 기인되며 향후 보다 더 많은 연구가 필요하다.

Table 3 -9 CO and CO₂ generation rate of carpets

| Kind of sample | Material | Total Smoke Production (m ²) | Mean CO Yield (kg/kg) | Mean CO ₂ Yield (kg/kg) |
|----------------|---------------|--|-----------------------|------------------------------------|
| Carpet | Nylon | 9.52 | 0.04 | 2.64 |
| | Polypropylene | 7.29 | 0.05 | 3.54 |
| | PTT | 8.74 | 0.07 | 3.09 |
| | Wool | 8.98 | 0.03 | 1.79 |
| | N.W | 6.37 | 0.02 | 1.64 |



Fig 3 -8 The mean CO generation rate carpets

일산화탄소 생성율은 재료의 단위무게당 일산화탄소가 생성된 비율로서 재료의 연기유해성 평가에서 핵심적인 위험요소이다.

이들의 일산화탄소 발생량은 Fig 3-8에서 보는 바와 같이 PTT > PP >

Nylon > Wool > NW 순으로 나타났다. 여기서 PTT는 질량감소율에서 가장 적게 나타나 열적으로 안정한 특성을 나타내었지만, 일산화탄소 방출량은 오히려 많았다. 화재 발생시 초기에 인체에 영향을 가장 많이 미치는 일산화탄소 중독이라는 측면에서 살펴보면 PTT경우는 가장 많은 일산화탄소를 배출하여 일산화탄소 배출량을 기준으로 보았을 경우 건축 내장재료적인 성능은 좋지 않았다.

이산화탄소의 발생량 또한 질식의 위험성이 크기 때문에 실내내장재의 가스유해성시험에서 중요하게 고려되어야 한다. 전체 롤카펫 중 폴리프로필렌 카펫가 제일 많이 발생하였다. 일반적인 고분자 재료의 경우는 연소시 이산화탄소의 발생량이 많기 때문이다. 이산화탄소 발생량의 순서는 Fig 3-9와 같이 PP > PTT > Nylon > Wool > NW 으로 발생하였으며 초기에 연소된 폴리프로필렌 카펫에서 가장 적은 가스 발생량을 나타냈다.



Fig 3 -9 The mean CO₂ generation rate of carpets

4.1.6. 발연량

화재시 발생하는 연기의 양은 착화에서 소화까지 발생한 전체 연기의 발생량을 Table 3-10 과 Fig 3-10에 나타냈다.

Table 3 -10 Total Smoke Production of Carpets

| Kind of sample | Material | Total smoke production(m ²) |
|----------------|---------------|---|
| Carpet | Nylon | 9.52 |
| | Polypropylene | 7.29 |
| | PTT | 8.74 |
| | Wool | 8.98 |
| | N.W | 6.37 |

나일론 카페트가 가장 많은 연기를 발생하였으며 나일론과 울이 혼합된 복합체가 가장 적은 연기 발생량을 나타냈다. 이들의 발생크기 순서는 Nylon > Wool > PTT > PP > NW으로 연기량이 발생하였다. 검출된 일산화탄소와 이산화탄소 이외에 시편의 열분해 시 다른 연소가스가 발생하였음을 알 수 있다. 불완전 연소의 지표인 일산화탄소의 발생량은 PTT가 가장 높았으나 다른 시편의 경우에는 일산화탄소 이외의 가스가 많이 발생되었다고 판단할 수 있다.

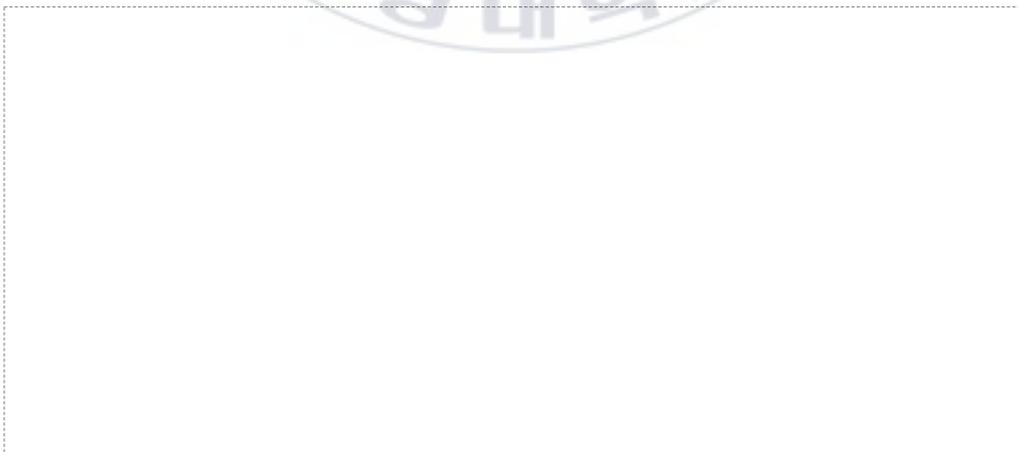


Fig 3 -10 The graph of total smoke product for carpets

4.1.7. 가스유해성 평가

쥐를 이용한 카페트류의 가스유해성 평가를 Table 3-11에 나타내었으며 이때 쥐의 행동정지 시간은 앞선 가스 발생량과는 다소 다른 결과를 나타내었다. 쥐의 행동정지시간으로 Fig 3-11을 보면 Wool < NW < Nylon < PP < PTT 으로 순으로 쥐의 정지시간이 길어짐을 알 수 있었다.

또한 카페트류의 시험시, 시간변화에 따른 연소온도 그래프들의 경향성을 측정 한 값은 Fig 3-12 와 같다.



Fig 3 -12 The graph of combustion temperature for carpets during toxic gas test

재질이 나일론인 경우 처음부터 완만하게 온도가 상승하여 60초에서 100 °C 360초 에서는 265 °C까지 일정한 상승성을 보여주고 있으며, PP, PTT 카페트는 60초에서 125 °C이었고, 거의 최종 평형온도는 280 °C 이었다.

이와는 달리 NW, Wool은 60초에서 170 °C로 급격한 연소를 하였음을 알 수 있었고, 60 - 180초 가지는 평형온도를 유지하다가 185초 이상에서는 2차 연소가 진행되어 최종온도는 약 300 °C이었다.

Table 3 -11 Toxic gas results of carpets

| 시편 | 1회 | 2회 | 평균(초) | 평균(분) |
|-------|-----|-----|-------|--------|
| Nylon | 287 | 303 | 295 | 4분 55초 |
| PP | 345 | 363 | 354 | 5분 54초 |
| PTT | 393 | 444 | 419 | 6분 59초 |
| Wool | 260 | 284 | 272 | 4분 32초 |
| N.W | 285 | 270 | 277 | 4분 37초 |



Fig 3 -11 The graph of mouse inactivating time for carpets

결과를 살펴보면 Wool 카페트의 경우가 가장 낮은 행동정지시간 4분 32초로 나타났다. 이는 Wool 카페트 연소 시 시안화수소가 생성 되는데, 시안화수소는 일산화탄소 보다 더 유독 성분으로 알려져 있다. 일반적인 일산화탄소의 농도가 질식에 관련이 있으나 쥐의 행동정지 시간을 살펴볼 때, 발생한 가스 중 일산화탄소 이외의 생성 가스가 쥐의 행동정지 시간에 영향을 미쳤다고 판단할 수 있다.

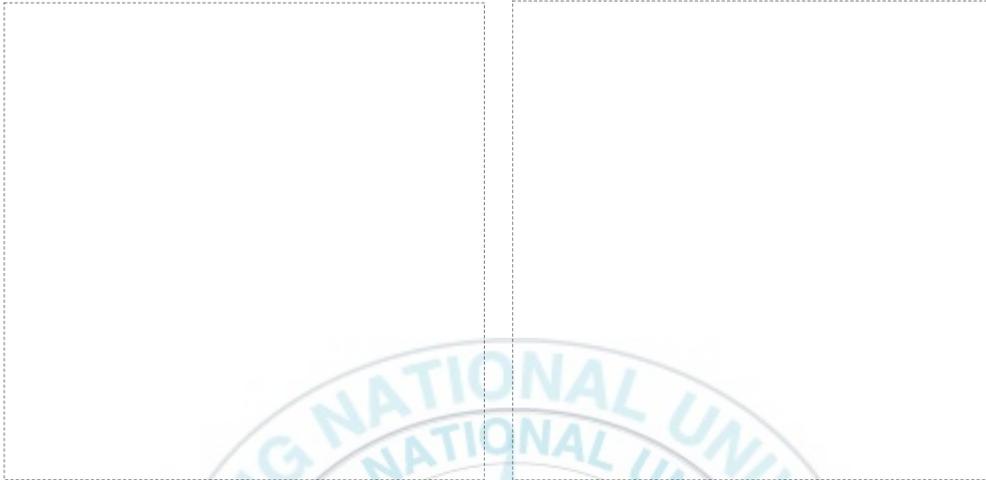


Fig 3 -13 Nylon carpet specimen before and after cone calorimeter test

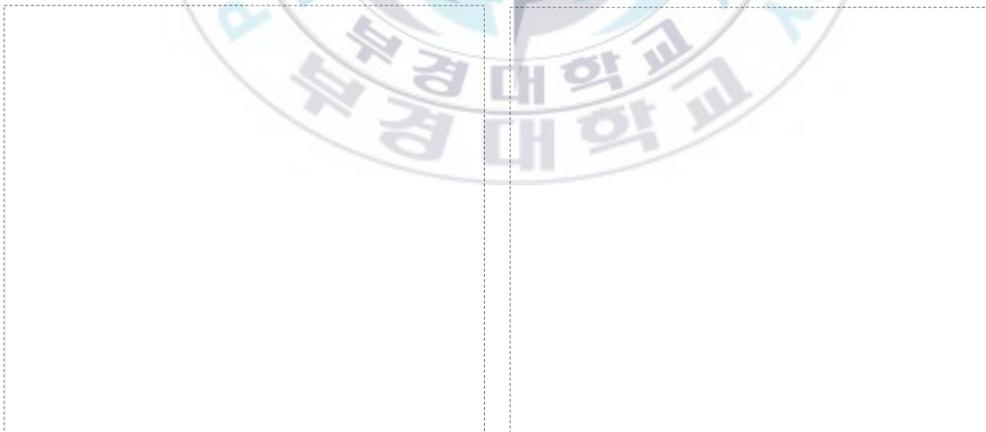


Fig 3 -14 PP carpet specimen before and after cone calorimeter test

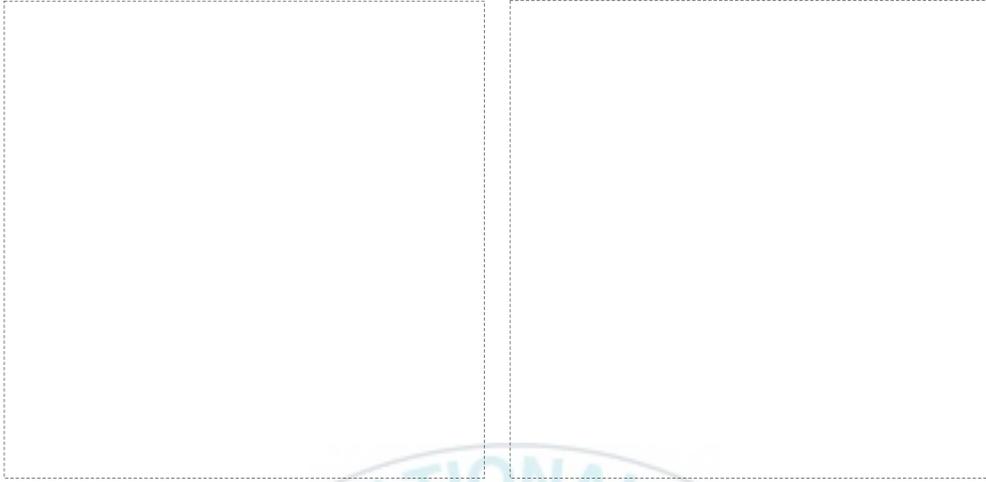


Fig 3 -15 PTT carpet specimen before and after cone calorimeter test



Fig 3 -16 Wool carpet specimen before and after cone calorimeter test

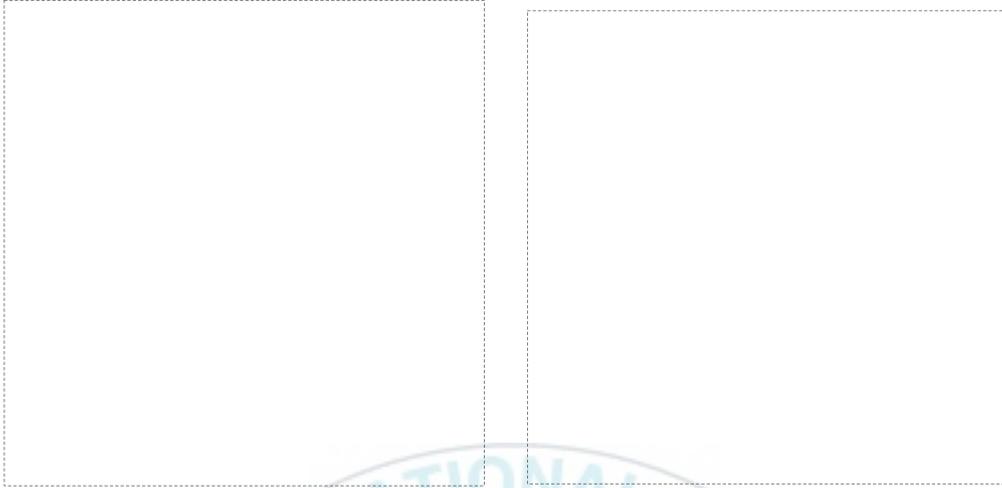
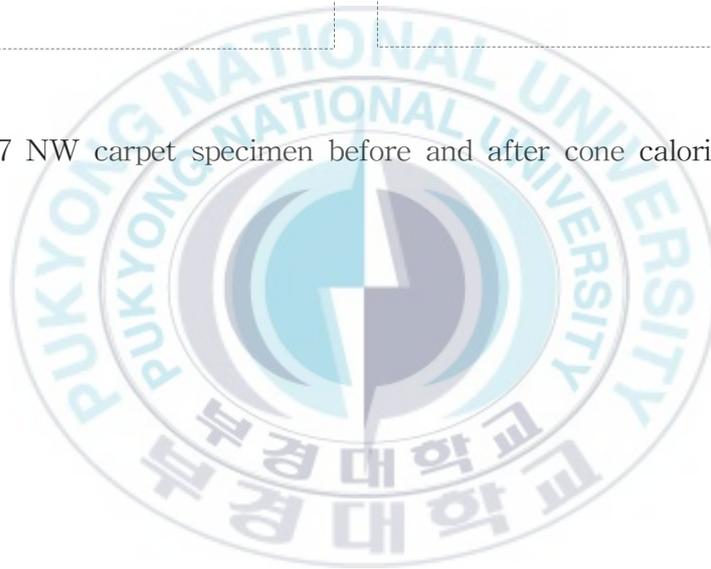


Fig 3 -17 NW carpet specimen before and after cone calorimeter test



4.2. 장식재류

4.2.1. 착화시간

착화시간은 그 자체만으로는 물질적인 의미는 거의 없지만 동종의 다른 시편과 비교를 통하여 착화성을 평가하고 화재시 화염전파 위험성을 정량적으로 평가하는데 중요한 자료가 되며, Table 4-1에 나타내었다.

본 실험에서는 50 kW/m²의 heat flux로 콘 칼로리미터를 이용하여 측정하였는데, Table 4-1에서 살펴보면 MDF는 다른 장식재에 비하여 쉽게 착화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 FRP계 Plastic Resin Flooring과 PVC계 Plastic Resin Sheet는 착화가 일어나지 않는 것을 알 수 있었다. 또한 두께에 따른 MDF의 착화시간을 살펴보면 두께가 증가할수록 착화시간이 약간 증가하였다. 이는 착화가 표면의 재질에 따라 영향을 받는 것을 나타내며, 재료의 표면에 따라서는 착화가 일어나지 않을 수도 있다. 이를 통해 목질계 장식재가 다른 장식재보다 착화성이 빠른 것을 확인할 수 있었다.

Table 4 -1 Ignition time of decorations

| Kind of sample | Weight | Material | Ignition time |
|-------------------------------------|--------|----------|---------------|
| Midium density flooring (MDF) | 51.8 | MDF9 | 32.7 |
| | 101.6 | MDF15 | 34.0 |
| | 125.0 | MDF18 | 37.0 |
| Fiberboard | 21.0 | PE | 57.3 |
| Plastic resin flooring | 77.5 | ME | 87.7 |
| | 111.0 | FRP | - |
| Plastic resin sheet | 2.5 | PVC | - |

4.2.2. 열방출률

큰 칼로리미터를 통해 측정된 장식재의 시간에 따른 열방출률을 Fig 4-1에 나타내었으며 이를 통하여 최대 열방출률, 평균열방출률에 대한 값을 구하여 Table 4-2에 나타냈다. 결과를 보면 최대 열방출률은 폴리에스테르계 섬유판 (Polyester Fiberboard)이 가장 높은 값을 나타내었다.

Table 4 -2 Maximum heat release rate, heat release rate of decorations

| Kind of Sample | Weight | Material | MHRR ₁ (kW/m ²) | HRR ₂ (kW/m ²) |
|-------------------------------------|--------|----------|---|--|
| Midium Density Flooring (MDF) | 51.8 | MDF9 | 287 | 128.6 |
| | 101.6 | MDF15 | 176 | 99.6 |
| | 125.0 | MDF18 | 174.8 | 106.6 |
| Fiberboard | 21.3 | PE | 566.7 | 93.3 |
| Plastic Resin Flooring | 77.5 | ME | 46 | 12.9 |
| | 111.0 | FRP | 27.1 | 7.6 |
| Plastic Resin Sheet | | PVC | 46.4 | 18.4 |

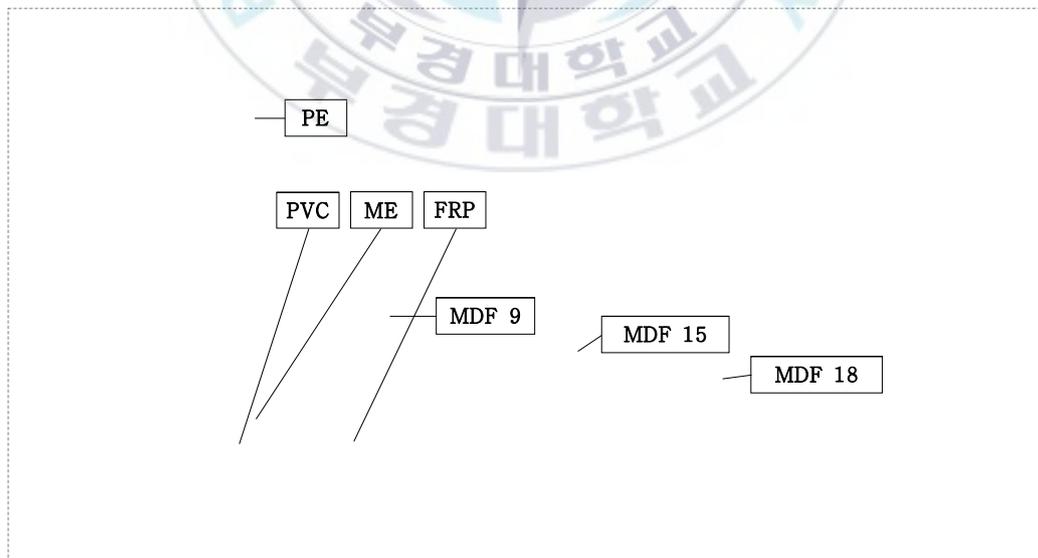


Fig 4 -1 The graph of heat release rate (HRR) of decorations

반면 FRP계 Plastic Resin Flooring은 27.05의 낮은 최대 열방출률을 나타내었다. 이는 폴리에스테르계 섬유판이 착화 후 순간적인 연소가 쉽게 일어나는 것을 의미하며, 반면에 Plastic Resin Sheet은 앞에서 살펴보았듯이 착화도 일어나지 않을 정도로 난연성이 높은 것을 알 수 있었다.

MDF의 두께에 따른 최대 열방출률은 MDF 9 mm의 경우 가장 높은 값을 나타냈다. 그러나 Fig 4-1에서 살펴보듯이 MDF의 경우 착화 후 초기에 열방출률이 급격히 상승 후 감소하다가 다시 열방출률이 상승하는 경향을 확인할 수 있다. MDF의 두께가 얇을수록 두 번째 열방출률이 최대인 점이 짧은 시간에 나타난 것도 알 수 있다.

이는 목질계 보드인 MDF의 경우 내부에서의 불꽃 연소가 강하게 일어나는 것을 의미한다. 또한 장식재의 종류별 평균 열방출률을 살펴보면, 전체적으로 쉽게 착화되고 발열량이 높은 MDF와 폴리에스테르계 섬유판이 높게 나타났으며 반면에 착화가 잘 이루어지지 않는 Plastic Resin Flooring와 PVC계 Plastic Resin Sheet가 낮게 나타났다. 그러나 MDF 9 mm가 MDF 18 mm보다 높은 평균 열방출률은 보인 것은 열방출률의 평균값은 초기 착화 후 6분간의 평균으로 산출하기 때문이다.

4.2.3. 총발열량

장식재료의 시간에 따른 총발열량은 Table 4-3에 각각 나타냈고, Fig 4-2에 정리된 결과를 그래프로 표현 하였다.

총 발열량은 Fig 4-2의 그래프의 곡선 아래 면적에 해당하며 MDF의 경우 높은 총 발열량을 나타냈으며 그 중에서도 두께가 가장 큰 MDF 18 mm에서 최대 총 발열량을 나타냈다. 이는 목질계 장식재인 MDF의 경우

쉽게 착화하여 열을 발생하기 때문이다. 또한 같은 재질의 MDF라도 두께가 두꺼울수록 총 발열량이 증가하였는데, 이는 가연성물질의 총량이 더 크기 때문이다.

Table 4 -3 Total Heat Release of Decorations

| Kind of Sample | Weight | Material | THR (MJ/m ²) |
|-------------------------------------|--------|----------|-----------------------------|
| Midium density flooring (MDF) | 51.8 | MDF9 | 82.9 |
| | 101.6 | MDF15 | 117.0 |
| | 125.0 | MDF18 | 129.9 |
| Fiberboard | 21.0 | PE | 38.2 |
| Plastic Resin Flooring | 77.5 | ME | 7.1 |
| | 111.0 | FRP | 10.6 |
| Plastic Reisin Sheet | 2.5 | PVC | 2.5 |

장식재의 발열은 장식재의 재질과 상당히 밀접한 관계를 나타내었다. 목질계 장식재의 경우 주 구성성분이 Cellulose, Hemicellulose, Lignin이다. 이 세 가지 목재 구성성분은 쉽게 불이 붙고 낮은 열분해 온도를 갖는다. 즉 목질계 장식재인 MDF는 쉽게 착화가 일어나며 이는 곧 불에 잘 타는 것을 뜻한다.

그러나 불이 잘 붙는 경우에도 폴리에스테르계 섬유판의 경우 착화 후 초기 불꽃연소는 높으나 불꽃연소지속시간이 짧을 경우 총 발열량은 낮게 나타나게 되는 것을 알 수 있다.

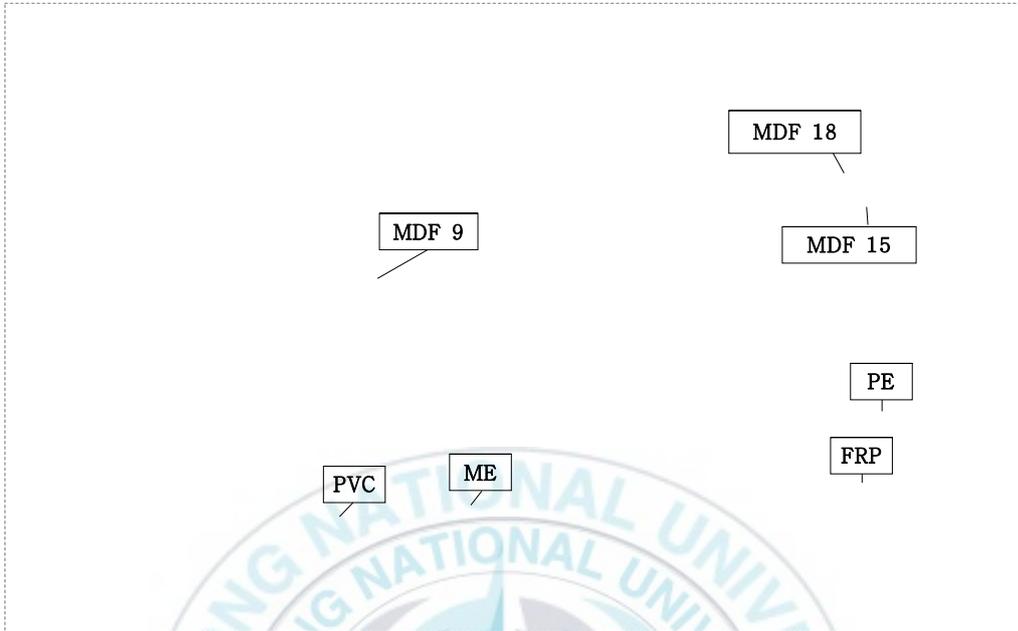


Fig 4 -2 The graph of total heat release (THR) of decorations

이들의 총발열량에서 목질계가 가장 큰 열량을 나타냈으며, 작은 값은 FRP로서 열방출률과 연소지속시간에 의해 결정되는 특성이라 생각된다.

4.2.4. 질량감소율

Fig 4-3은 시간에 따른 질량의 변화를 나타냈으며, Fig 4-4는 각 장식재의 평균 질량 감소율을 나타냈다. MDF의 경우는 다른 초기 질량의 감소율이 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명한 열방출량의 결과와 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있는데 이는 재료의 연소가 곧 열량으로 방출되는 것임을 의미하는 것이다. 폴리에스테르계 섬유판의 경우는 초기 100초 전후로 급격한 질량 감소를 보이는데 이때 폴리에스테르계 섬유판은

큰 열량을 방출하고 급격히 열방출량이 감소하는 것을 나타내는 것이다. Plastic Resin Flooring과 PVC계 Plastic Resin Sheet의 경우 질량의 변화가 완만했으며, 특히 Melamine계 Plastic Resin Flooring의 경우 700초 전후로 불꽃이 사라지는 것을 알 수 있었다.

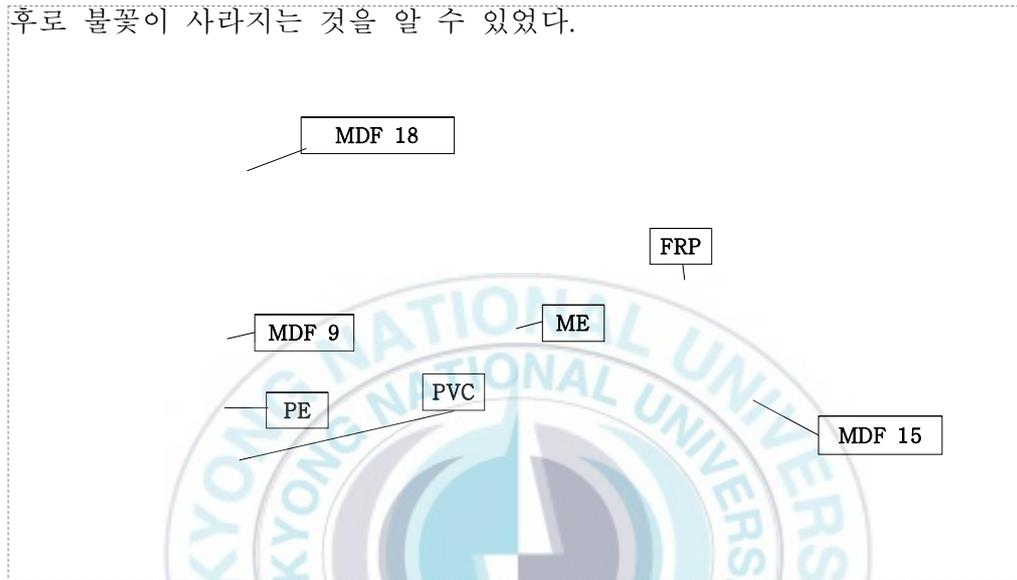


Fig 4 -3 The graph of mass loss rate (MLR) for decorations



Fig 4 -4 The mass loss rate of decorations

이는 앞선 열방출률을 통해서도 확인할 수 있다. FRP계 Plastic Resin Flooring과 PVC계 Plastic Resin Sheet의 경우 불꽃은 일어나지 않았지만 질량이 감소한 것은 열분해와 연기의 발생으로 감소하였을 것이라 추측할 수 있다.

4.2.5. 가스 발생량

발생한 가스의 양 및 일산화탄소, 이산화탄소의 생성률을 Table 4-4에 나타냈다. 우선, 폴리에스테르계 섬유판(PE) 와 PVC계 Plastic Resin Sheet에서 가스의 발생량이 가장 많은 것을 확인할 수 있다.

또한 일산화탄소와 이산화탄소의 생성률 또한 폴리에스테르계 섬유판과 PVC계 Plastic Resin Sheet에서 가장 높게 나타났다.

Table 4 -4 CO and CO₂ generation rate of decorations

| Kind of Sample | Material | Mean CO Yield (kg/kg) | Mean CO ₂ Yield (kg/kg) |
|-------------------------------|----------|-----------------------|------------------------------------|
| Midium Density Flooring (MDF) | MDF9 | 0.019 | 1.346 |
| | MDF15 | 0.019 | 1.196 |
| | MDF18 | 0.023 | 1.253 |
| Fiberboard | PE | 0.112 | 2.242 |
| Plastic Resin Flooring | ME | 0.055 | 1.009 |
| | FRP | 0.081 | 1.479 |
| Plastic Reisin Sheet | PVC | 0.115 | 3.205 |

이는 PVC 고분자가 연소 시 검은 가스를 다량 방출하기 때문인 것으로

판단 할 수 있었다(William 2003; Yimin P.T 2005). 반면 Melamine계 Plastic Resin Flooring의 경우 가스의 발생량이 제일 적었으며 특히 PVC계 Plastic Resin Sheet에 비해 1/60 이상 작은 값을 나타냈다. 이는 앞선 열방출률과는 상반된 결과로 열 발생과 가스의 발생량은 독립적인 특성을 나타내는 것이다. 일산화탄소 생성률은 재료의 단위 무게당 일산화탄소가 생성된 비율로서 재료의 연기유해성 평가에서 핵심적인 위험요소이다. 일산화탄소 생성률이 가장 큰 것은 열적으로 안정한 열경화성수지인 PVC시트가 가장 큰 것을 알 수 있었다. 대체적으로 플라스틱재료가 목질계 제품보다 높은 값을 보이고 있다.

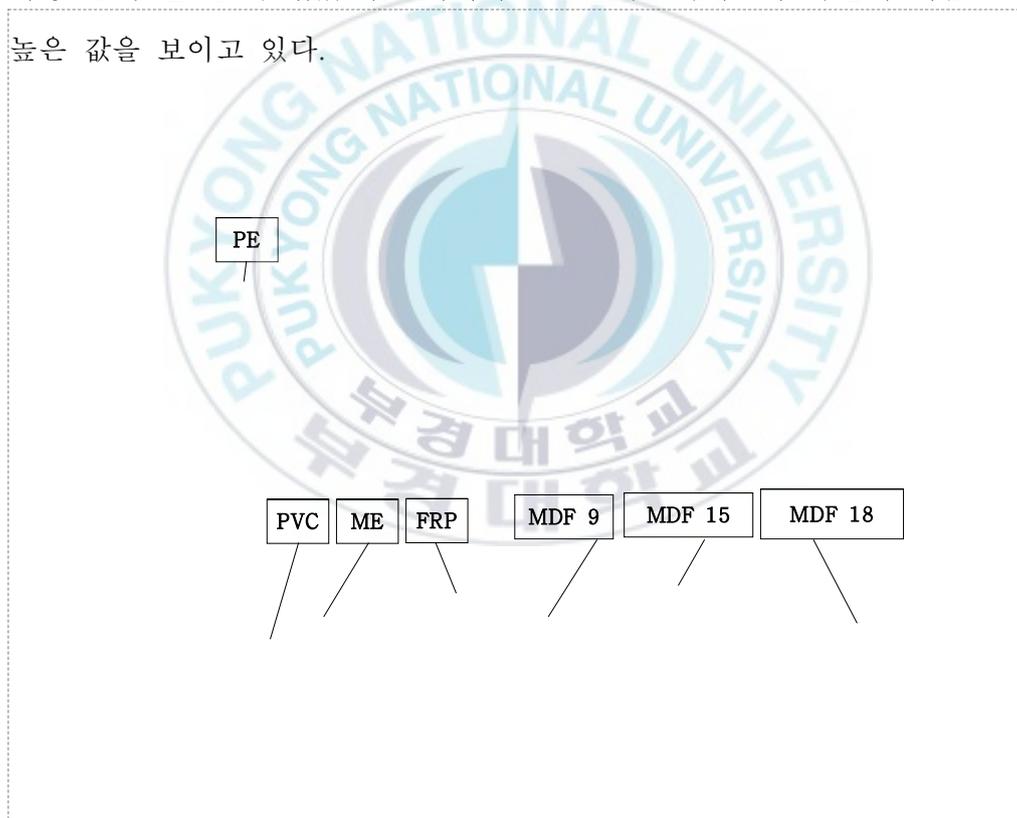


Fig 4 -5 The mean CO generation rate of decorations

이들의 일산화탄소 발생량은 Fig 4-5와 같이 $PVC > PE > FRP > ME$

> MDF 순으로 나타났다. 여기서 ME, FRP는 질량 감소율에서 가장 적게 나타나 열적으로 가장 안정한 특성을 나타내었지만, 재료의 특성상 연기의 특성은 우수하지 못하였다.

이산화탄소의 발생량 또한 질식의 위험성이 크기 때문에 실내 장식재류의 가스유해성시험에서도 중요한 위험요소 이다. 전체 장식재 중 염화수지 장식재가 제일 많이 발생하였다. 그 다음은 폴리에스테르 섬유보드 제품이 높은값을 보여주고 있다. 이산화탄소 발생량을 순서는 Fig 4-6과 같이 PVC > PE > FRP > MDF > ME 순으로 발생하였으며, 초기에도 연소가 아주 약한 착화성을 갖는 ME가 가장 적은 이산화탄소의 발생량을 나타내었다. 전체적으로 열적 특성은 플라스틱 제품들이 목질계보다 강한 면을 보였으나, 연소가스, 연기는 그 반대로 많이 방출되는 양상을 보였다. 이 경향성은 화재 안전 평가시 정확한 평가를 위해서는 종합적인 위험인자인 발열량, 발연량, 질량감소율, 착화시간, 열방출률, 유해 가스량 등을 평가하여 판단해야 한다.

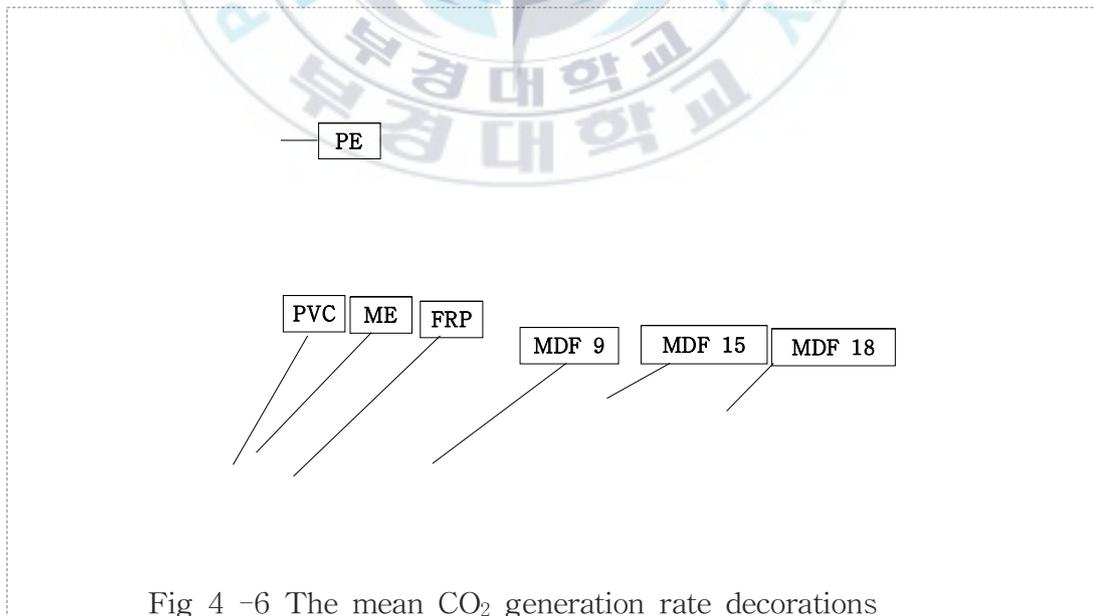


Fig 4 -6 The mean CO₂ generation rate decorations

4.2.6. 발연량

연소시 발생하는 장식재류의 연기의 양은 착화에서 소화까지 발생한 전체 연기의 발생량을 Table 4-5 와 Fig 4-7에 나타내었다.

Table 4 -5 Total Smoke Production of Decorations

| Kind of Sample | Weight | Material | TSP(m ²) |
|-------------------------------------|--------|----------|----------------------|
| Midium Density Flooring (MDF) | 51.8 | MDF9 | 4.55 |
| | 101.6 | MDF15 | 4.45 |
| | 125.0 | MDF18 | 4.74 |
| Fiberboard | 21.0 | PE | 9.32 |
| | 77.5 | ME | 0.65 |
| Plastic Resin Flooring | 111.0 | FRP | 2.41 |
| | 2.5 | PVC | 0.71 |

폴리에스테르 섬유보드가 가장 많은 연기를 발생하였으며 다음으로는 예상외로 목재용 합판인 MDF가 많은 연기발생량을 나타냈다.

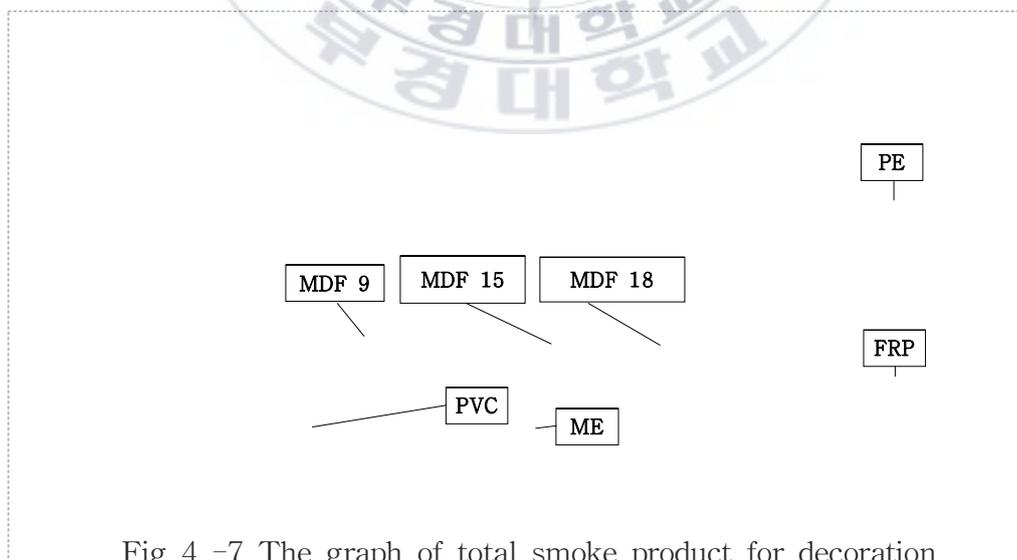


Fig 4 -7 The graph of total smoke product for decoration

이들의 발생크기 순서는 PE > MDF > FRP > PVC > ME 순으로 연기량이 발생하였다. 여기서 ME 경우는 착화도 늦지만, 쉽게 연소가 정지되는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 볼 때 연기량은 재료의 구성 요소인 화학적인 유기 성분의 함량에 따라, 쉽게 열분해가 일어나는 재료들이 많은 연기를 방출하는 것으로 추정할 있다. 단 천연재료인 MDF는 제품을 구성하는 접착제가 요소수지를 포함하고 있기 때문에 예상외에 많은 연기를 방출하는 것으로 판단된다.

4.2.7. 가스유해성 평가

쥐를 이용한 가스유해성 평가를 Fig 4-8에 나타내었다. 쥐의 행동정지 시간은 앞선 가스 발생량과 상반된 결과를 나타냈다. 일반적으로 질식과 관련된 일산화탄소의 농도는 폴리에스테르계 섬유판과 PVC계 Plastic Resin Sheet가 높았으나 쥐의 행동 정지 시간은 오히려 14분 정도로 유해성이 가장 적은 것으로 나타났다. 반면 MDF의 경우는 일산화탄소의 발생량이 적었으나 오히려 6분 전후의 짧은 시간에 쥐의 행동이 정지했다. 이는 일산화탄소 이외의 검출되지 않은 다른 가스의 발생이 쥐의 행동정지에 영향을 미친 것으로 파악된다. 결과적으로, 쥐의 행동정지 시간으로 유해성을 살펴보면 폴리에스테르계 섬유판이 유해성이 가장 낮은 것을 알 수 있었다.

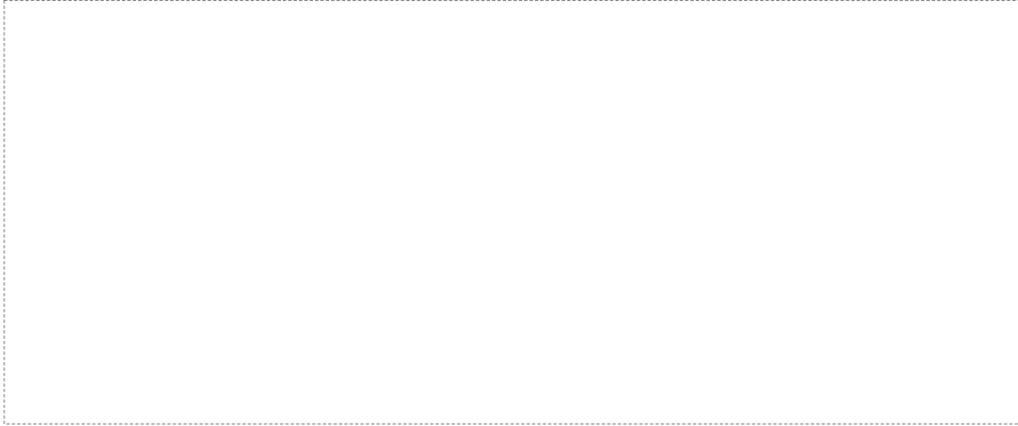


Fig 4 -8 The graph of mouse inactivating time for decorations

Table 4 -6 The mean mouse inactivating time of decorations

| 시편 | 1회 | 2회 | 평균(초) | 평균(분) |
|-------|-----|-----|-------|---------|
| MDF9 | 347 | 373 | 360 | 6분 00초 |
| MDF15 | 346 | 353 | 350 | 5분 50초 |
| MDF18 | 354 | 345 | 350 | 5분 50초 |
| PE | 857 | 875 | 866 | 14분 26초 |
| ME | 816 | 708 | 762 | 12분 42초 |
| FRP | 788 | 767 | 778 | 12분 58초 |
| PVC | 823 | 884 | 854 | 14분 14초 |

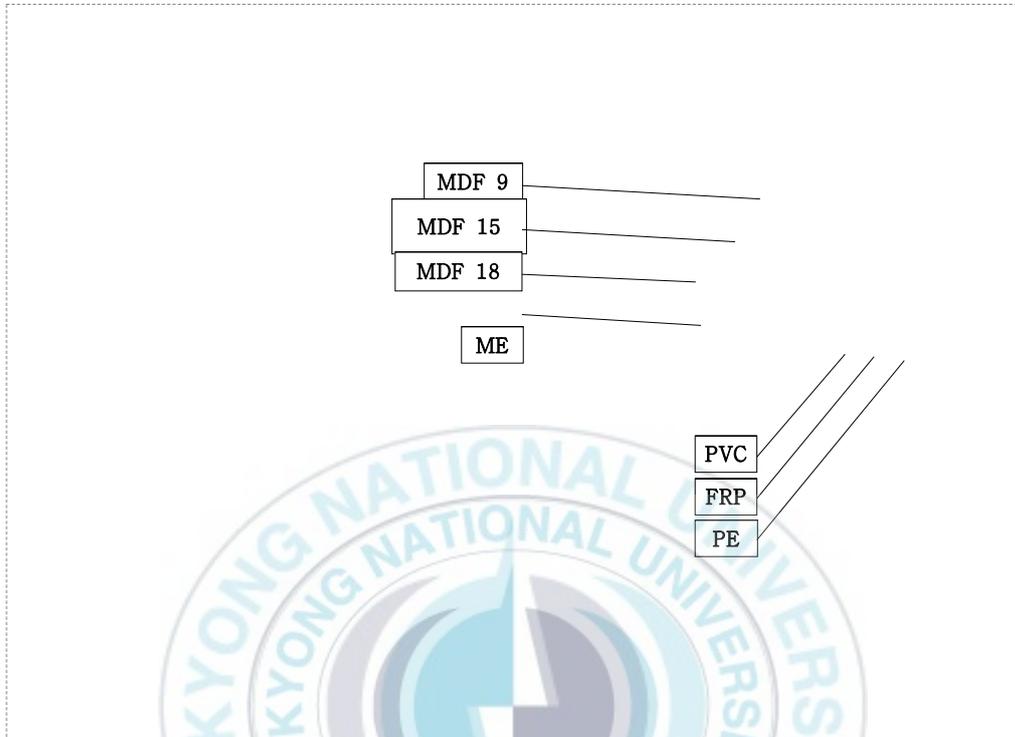


Fig 4 -9 The graph of combustion temperature for decorations during toxic gas test

Fig 4-9에서 유해가스 테스트 중 연소온도는 MDF합판의 경우는 0초 ~ 180초 까지는 서서히 온도가 상승하다가 이후 급격히 연소온도가 상승하는 것을 볼 수 있으며, ME 경우 230초 까지 완만한 온도상승을 보이다가 240 초에서 급격히 상승하여 280 °C로 상승하였다.

PE, FRP, PVC 경우는 180초까지 1차로 100°C정도를 유지하다가 완만하게 200 °C로 상승함을 알 수 있었다.

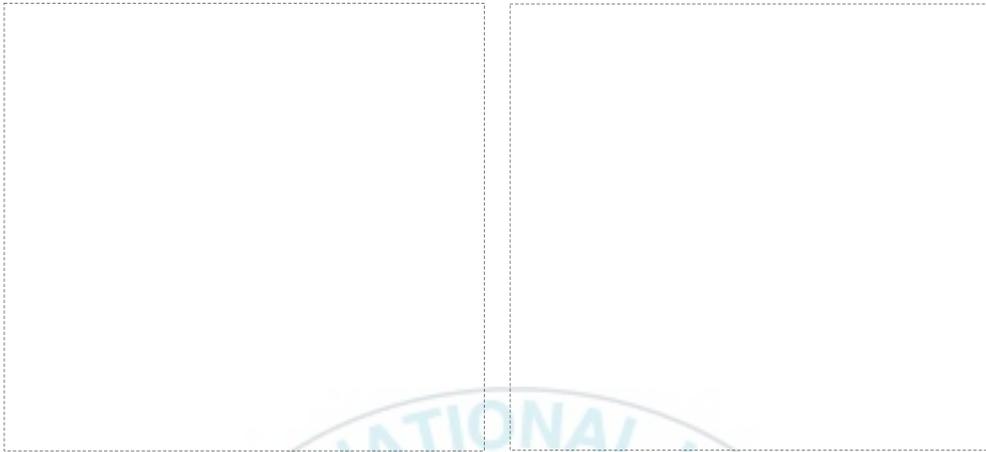


Fig 4 -10 MDF(9 mm) specimen before and after cone calorimeter test

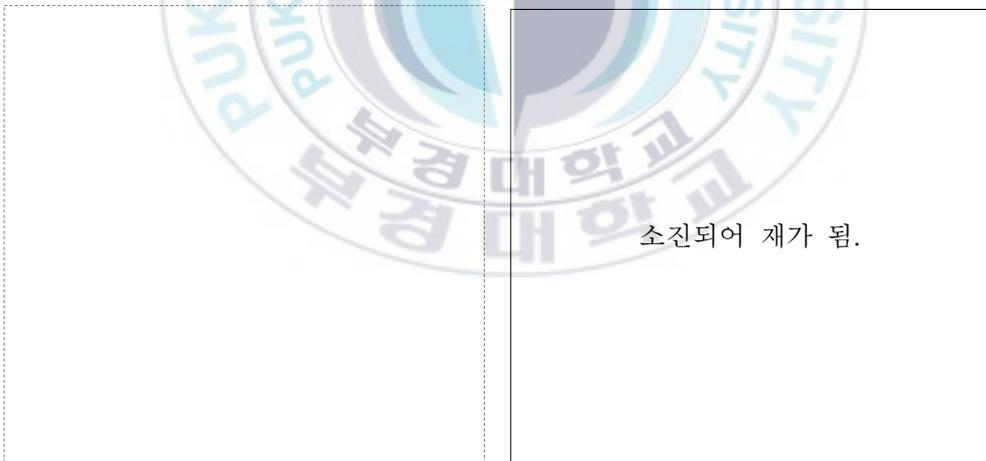


Fig 4 -11 PE - board specimen before and after cone calorimeter test

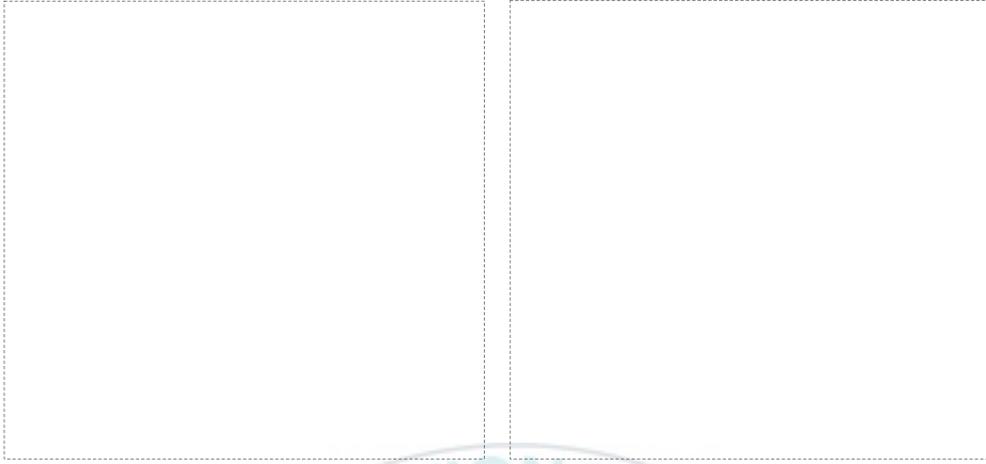


Fig 4 -12 ME - flooring material specimen before and after cone calorimeter test



Fig 4 -13 FRP - flooring material specimen before and after cone calorimeter test

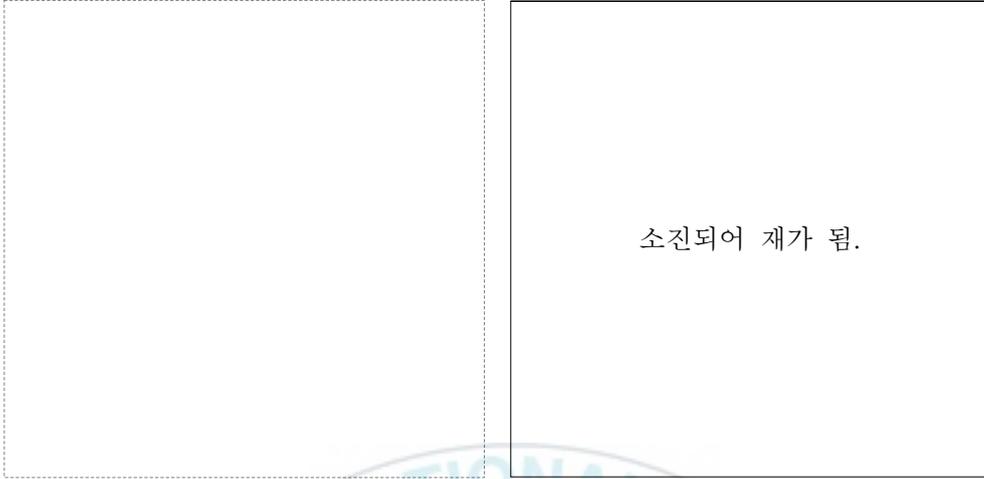
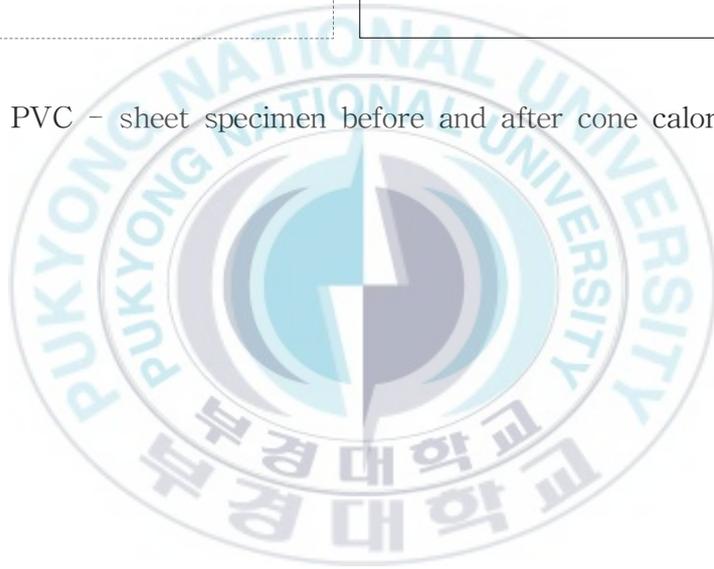


Fig 4 -14 PVC - sheet specimen before and after cone calorimeter test



5. 결 론

본 연구에서는 건축 내장재 중 카펫류 5종과 장식재류 7종에 대하여 열적 특성 및 열분해, 가스 방출량을 ISO 5660-1의 기준에 따라 콘칼로리미터로 측정하였고, KS F 2271에 의거해 가스유해성 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 착화시간의 경우 카펫류는 나일론 카펫의 경우에 착화가 가장 늦게 일어났으며, Wool+Nylon(NW) 복합체 카펫이 다른 카펫에 비해 쉽게 착화가 일어나는 것을 알았으며, 장식재류에서는 목질계 장식재가 다른 장식재보다 착화성이 빠른 것을 알 수 있었다.
- (2) 발열량은 폴리프로필렌 카펫의 경우에 순간 최대 열방출률은 많았으나 전체 열방출률의 경우에는 오히려 나일론 카펫이 높게 나타났다. 반면 PTT 카펫의 경우는 초기에 상대적으로 낮은 열방출률을 보이며 전체적인 열방출률도 가장 적은 것을 알 수 있었으며 장식재는 폴리에스테르계섬유판 (Fireboard)이 착화 후 순간적인 연소가 쉽게 일어나 열방출률이 가장 높게 나타난 반면에 Prastic Resin Flooring은 착화도 일어나지 않을 정도로 난연성이 높은 것을 알 수 있었다.
- (3) 일산화탄소와 이산화탄소 방출량은 PTT 카펫이 높게 나타났으며, Wool 카펫에서 가장 적은 방출량을 나타냈다. 그러나 일산화탄소와 이산화탄소의 방출량이 많은 PTT 카펫의 경우에 오히려 쥐의 행동시간이 더 길게 나타난 반면 Wool 카펫에서 쥐의 행동시간이 가장 짧았으며 이는 일산화탄소와 이산화탄소 이외의 방출 가스의 영향으로 판단된다.

- (4) 카페트와 장식재의 가스유해성 평가는 건축물 내장재료 및 구조의 난연성시험방법(KS F 2271)으로 쥐의 행동정지시간을 바탕으로 측정한 결과 카페트의 경우 Wool 카페트가 마우스 행동정지시간이 4분 32초로 가장 짧아 인체유해성이 제일 높았고, 장식재료의 경우 MDF에서 마우스 행동정지 시간이 5분 50초로 나타나 가장 인체유해성이 높은것을 알 수 있었다.



참 고 문 헌

건축물의 내장재료 및 구조의 난연성시험방법 - KS F 2271, (1998)

김형진, 김상철. 건축재료 방화시험의 국제동향과 관련기술의 국내적용 방안. 환경관리학회지 8(4), 299-308(2002)

난연재, 난연수지 시장의 전망(2000 일본)

대한건축학회 건축물 방재기준의 제도적 기반 선진화 방안 연구, (2001)

방염성능의 기준 - KOFEIS 1001, (2005)

박영근, 김동일. 가스검지법에 의한 플라스틱재료의 연소가스 독성평가, 한국화재·소방학회지, 4, 73-80(2002)

박재성, 윤명오, 이의평. 다중이용건축물의 화재안전성 측면에서 취약요인에 관한 연구, 한국화재·소방학회 추계학술발표논문집, 145 -150(2005)

소방백서, 소방청 편(1997 일본)

임홍순, 육근성. 복사열원에 의한 건축용 바닥마감재 화재시험방법에 관한 연구. 한국화재·소방학회 추계학술발표논문집, 73-80(2002)

이주헌, 윤명오, 김운형, “ 다중이용업소의 내장재 적용에 관한 연구”. 한국화재·소방학회, 15, 100-107(2001)

이근원, 김관응, “콘칼로리미터를 이용한 플라스틱 단열재의 화재 특성” 한국화재·소방학회 17, 76-83(2003)

연소성능시험-열방출, 연기발생, 질량감소율 -KSF ISO 5660-1(2006)

이광흠, 박영근, 윤명오, 현성호. 소파커버의 연소특성에 관한 연구. 한국화재·소방학회지, 4, 73-80(2002)

이두형, 이지섭, 건축용 바닥재의 화재시험방법에 관한 연구. 방재기술 33, 18-20(2002)

일본건설성고시 -1231(건축기준법시행령 제1 및 제5호)

하동명 내장재의 발화시간, 열방출율 및 최대화염높이의 예측을 위한 반응 표면 방법론의 활용성 고찰 한국화재·소방학회지. 20, 33-41(2006)

Arthur Cote, P.E and Percy B., Principle of fire protection(1995)

Babraskas, V, Grason, S. J simple case of heat release rates "in Heat release in Fire. 173 - 201(1992).

Babrauskas V, Handbook of fire protection engineering(The Cone Calorimeter) 3rd ed., 3-81 SFPE(2002)

Beitel J.J., Bertelo C.A and Grand A.F., Hydrogen chloride transport and decay in a large apparatus, J. Fire Sci., 5, 105-45(1987)

Bulien Ole Kr, FT-IR Spectrometer for measuring toxic smoke components in fire testing -Review of equipment and calibration routines in NT Fire 047, Fire Mater., 21(4), 195(1997)

Chien, W.P, Delain G.E and Richard F.S, New york state fire gas toxicity requirement J. Fire Sci 9, may/jun 173-182(1991)

Cote, A.E, Fire protection Handbook. 19th ed., NFPA (2005)

Demir H., D. Balkose and S. Ulku. Influence of surface modification of fillers and polymer on flammability and tensile behavior of polypropylene composites. Polymme Degradation and Stability. 91(5): 1079-1085(2006)

Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials Issue 3, 1985

Fire test analysis of combustion and pyrolysis gases tube furnace method(1986)

Fitzgerald, R.W Building fire performance analysis. 329-352(2004)

Hartzell G.E., Overview of combustion toxicology 115, 7-23(1996)

Kim Hyun-Joong, and Young-Geun Eom. Thermogravimetric analysis of rice husk flour for a new raw material of lignocellulosic fiber-thermoplastic polymer composites. Journal of the Korean Wood Science and Technology. 20(3): 59~67(2001)

Morikawa W., Acrolein, formaldehyde and volatile fatty acids from smoldering combustion., J. comb. Toxicol 5, 135-50(1976)

Producing thermal decomposition products from materials in air stream and their toxicological testing(1981)

Standard test method for measuring smoke toxicity for use in fire hazard analysis(ASTM E 1678, 1997)

Terrill J.B. Montgomery R.R and Reinhardt C.F. Toxic gas from fires. science 200, 1343-7(1978)

Toxicity testing of fire effluents ISO 1989.

Troitzsch, J International plastic flammability handbook 2nd 65-76(1983)

Tsuchiya, Y., Fire safety science proceeding of the second international symposium, Hemisphere publishing co., new york pp381-90(1989)

William H., J. Starnes, D.P. Robert, R.C. Jenine, S.D. Alexander, J.K. Edward, T.L. Jeffrey, J.M. Philip, A.Q. Ronald and Z. Jing. Cone calorimetric study of copper promoted smoke suppression and fire retardance of poly(vinyl chloride) Polymer Degradation and Stability. 82(1): 15-24(2003)

Woolley W.D, Fardell P, J Paper presented at the international symposium on toxicity and physiology of combustion products. University of Utah salt lake city pp 22-6(1976)

Yimin L., B.Y.J Qin. Preliminary burning tests on PVC fires with water mist. Polymer Testing. 24(5): 583-587(2005)

감사의 글

만학의 길로 들어서 시작한지가 엇그제 같은데 벌써 맺음을 할 때가 되고 보니 아쉬움이 많이 남습니다

학업을 시작하고 숨가쁘게 달려오면서 자료를 정리하여 논문을 완성하고 보니 기쁨마음 금할 수 없으며 부족하고 아쉽지만 이를 마음의 위안으로 삼고자 합니다

이렇게 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 따뜻한 배려를 해주신 옥 곤 지도교수님께 깊이 감사드립니다.

또한, 학업을 완성 할 수 있도록 배려해주신 검정공사 남상호 사장님과 윤희광 기술본부장님을 비롯한 공사 임직원 여러분께도 감사드리며 결실을 맺을 수 있도록 동기를 부여해주신 사공성호 연구소장님께 진심으로 감사드립니다.

그리고 이 논문이 완성되기까지 곁에서 자문과 성원을 보내준 이봉우 팀장과 항상 도움을 아끼지 않은 박종길 대리, 정용남 주임을 비롯한 기술지원 팀 직원 여러분에게도 감사의 말씀을 드리며, 학교에서 학사일정을 꼼꼼히 챙겨주고 도와준 황성민 학우에게도 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 가정에서 항상 헌신하고 묵묵히 도와 준 아내에게도 참으로 고마운 마음을 전하며 온 가족과 함께 기쁨을 나누고자 합니다.