

[Research Paper]

니들 플레임에 의한 바닥재의 수직 연소 및 탄화 패턴의 해석에 관한 연구

박민수 · 최충석^{*†}

전주대학교 소방안전공학과 대학원생, *전주대학교 소방안전공학과 교수

Analysis of Vertical Combustion and Carbonization Patterns of Floor Materials When Using a Needle Flame

Min-Su Park · Chung-Seog Choi^{*†}

Graduate Student, Dept. of Fire Safety Engineering, Jeonju University,

^{*}Professor, Dept. of Fire Safety Engineering, Jeonju University

(Received December 26, 2019; Revised July 27, 2020; Accepted August 19, 2020)

요 약

자체 제작된 니들 플레임을 이용하여 바닥재를 수직 연소시켰을 때의 화염의 성장 특성 및 탄화 패턴을 해석하였다. PVC 장판은 난연성이 있는 것으로 확인되었고, 직사 화염을 받은 곳은 안쪽으로 수축되는 패턴을 나타냈다. 수직 연소가 진행되면 하부에 망울 형태의 고형화가 발생하며, 그늘음은 상부로 성장하는 패턴이 형성된다. 강화마루는 난연성이 없는 것으로 확인되었으며, 상부 표면인 라미네이트층의 소실과 불규칙적인 박리가 형성되는 것을 알 수 있다. 좌측면과 우측면의 탄화의 범위는 대칭적 구조를 나타내는 것으로 해석된다. 강화마루와 마찬가지로 카펫은 수직 연소 실험에서 난연성이 없는 것이 확인되었다. 카펫에 축열이 형성되면 화염은 상승기류를 형성하고, 주변에 가연성 물질이 있을 때 화염의 확산은 더욱 촉진하는 것을 알 수 있었다. 직사화염을 받은 카펫 표면의 탄화 패턴은 표면이 용융되어 흘러내렸을 뿐만 아니라 작은 구멍이 다수 발생되는 것을 알 수 있다.

ABSTRACT

This study analyzed flame growth characteristics and carbonization patterns when floor materials were burned vertically using a needle flame produced for this study. It was found that PVC flooring was fire retardant and the area under direct flame contracted inward. Vertical combustion causes solidification in the form of a lump at the bottom and also generates soot in a pattern that progresses upwards. This study found that laminated flooring exhibited no fire retarding characteristics and that the laminated layer of its upper surface was destroyed by fire, causing irregular delamination. The carbonization ranges at the left and right sides were determined to be symmetrical. A vertical combustion test of a sample carpet showed that it exhibited no fire-retarding characteristics. It was observed that if heat accumulated in the carpet, the flame formed an ascending air current, and that when flammable materials were present around the flame, they further accelerated the diffusion of the flame. The carbonization pattern at the carpet surface exposed to direct flame revealed that the carpet surface had melted and had flown downwards and that many tiny holes formed on it.

Keywords : Vertical combustion, Carbonization patterns, Needle flame

1. 서 론

건축물의 내장재는 인간의 삶과 밀접한 관계가 있어서 설계, 시공 및 관리 등에 주의가 요구된다. 그런데 미적인 요소를 지나치게 고려하면 화재가 발생할 때 필연적으로 생성되는 열, 연기 및 유독가스의 부산물을 더욱 촉진시켜 큰 피해를 유발시키게 된다. 특히 목재, 플라스틱 등의 바

닥재는 다른 재료들에 비해 가연성이 우수하여 실내 화재가 발생할 때 화재를 확대시키는 주된 원인이 되는 것으로 보고되고 있다⁽¹⁾.

건축법에서 제시하고 있는 마감 재료는 KS F ISO 1182, KS F ISO 5660-1, KS F 2271 시험 결과에 따라 불연재료, 준불연재료, 난연재료 등으로 구분하고 있다.

국내 소방법에서는 바닥재 중 카펫의 방염성능 기준만

[†] Corresponding Author, TEL: +82-63-220-3119, FAX: +82-63-220-2056, E-Mail: enetek@naver.com

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

명시되어 있고, 실내 바닥재에 대한 명확한 기준이 마련되어 있지 않다. 일부의 연구자들은 구획 화재의 홀림 실험에 의한 인화성 액체의 화염 전파 속도⁽³⁾, 담유 실험에 의한 인화성 액체의 연소 패턴⁽⁴⁾, PVC 용기에 담유된 인화성 액체의 화염 패턴⁽⁵⁾, 인화성 혼합유의 구획 화재에 의한 화염의 전파 속도 및 특성⁽⁶⁾, 유리 용기에 담은 휘발유가 연소될 때의 연소 거동⁽⁷⁾, 비닐바닥재 위에 휘발유를 뿌린 후 연소될 때의 특성⁽⁸⁾, 비닐장판 위에서 연소된 인화성 액체의 성장 특성과 탄화 패턴⁽⁹⁾, 실내용 비닐장판의 유리전이 온도 및 중량 감소⁽¹⁰⁾ 등을 연구하였다. 그러나 일반 바닥재가 직접 화염에 노출되었을 때 화염의 성장 특성, 탄화물의 패턴 및 복사열에 의한 바닥재의 소손 메커니즘 등에 대한 분석이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 니들 플레임을 이용하여 바닥재를 수직 연소시켰을 때의 화염의 성장 특성 및 탄화 패턴을 해석하여 화재조사의 판단 근거로 활용하고, 향후 진행될 복사열 분석을 위한 연구의 자료를 확보하는데 있다.

2. 관련 이론

바닥재의 대부분은 PVC 장판이며, 최근에는 강화마루 및 카펫 등도 사용이 증가하고 있다. PVC 장판은 열전도율이 좋아 온돌문화가 지배적인 국내 건축 환경에 적합하다. PVC 장판은 염화비닐의 중합에 의해서 얻어지는 폴리염화비닐(Poly-vinyl chloride)이다.

구성요소는 충격과 차음기능의 효과를 결정하는 발포층, 치수 안정화와 내구성에 영향을 주는 보강층, 디자인적 요소를 반영하는 인쇄층, 표면 보호와 청소가 용이하도록 코팅처리 된 UV 코팅층 등으로 구성된다^(11,12). Figure 1은 PVC 장판의 구조 및 명칭을 나타낸 것이다.

국내 주거용 및 상업용으로 사용되고 있는 목질바닥재는 합판마루와 원목마루, 강마루, 강화마루로 구분할 수 있는데 사용하는 소재나 표면마감 등의 특성에 따라 구분된다. 강화마루는 주재료인 목재와 섬유조직인 열경화성 수지를 혼합하여 고온고압으로 눌러서 만든 섬유판을 사용하며, 표면은 멜라민 수지가 함침되어 있는 Low pressure melamine sheet (LPM)을 압축하여 만든 제품이다.

강화마루는 내마모성, 내압인성 및 내수성이 뛰어나 유지관리가 쉽다. 또한, 표면처리가 가능하며 순간적인 열에도 흔적이 남지 않을 만큼 우수한 내열성을 가지고 있다^(13,14).

카펫은 직물이나 양모 등과 유사한 형태의 섬유로 만들어진 것이다. 본 연구에 사용된 카펫은 합성 섬유이며, 폴리프로필렌 원사로 100% 표면처리 된 제품이다. 카펫은 눈의 피로가 작고, 보온효과 및 방음효과가 상대적으로 우수한 바닥재이다. 시공만으로 실내에서 발생하는 다양한 소음을 흡수하고 반사음을 제어함으로써 조용한 환경을 연출할 수 있다. 또한, 표면의 방염처리로 열적안정성이 뛰어나며, 가격이 저렴한 특징이 있다^(15,16).

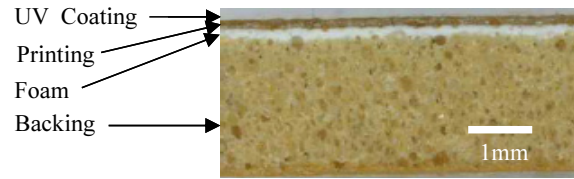


Figure 1. Structure and part name of the PVC board.

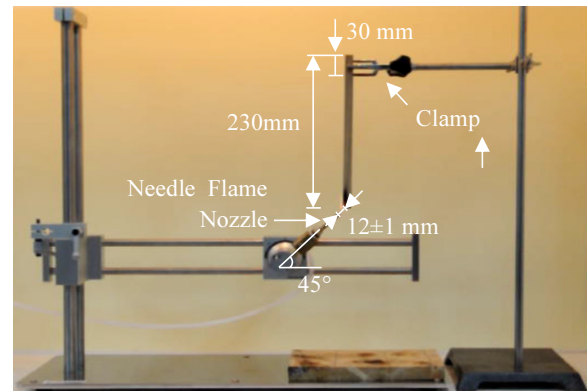


Figure 2. Photos of the needle flame test.

3. 실험 방법

Figure 2는 니들 플레임 시험에 의해 바닥재가 수직 연소될 때의 화염의 거동 및 특성을 해석하기 위한 실험 장치의 실제 사진이다. KS C IEC 60695-2-2에 제시되고 있는 기준을 준용하였고, 니들 플레임 시험기(Needle flame tester, F1830, Elex polytech, Ltd., Korea)는 자체 설계 및 제작하였다. 실물 연소 실험이 진행된 실내의 온도는 20~22 °C, 상대습도는 18 ± 2%를 일정하게 유지하였다.

바닥재에 대한 화염의 공급은 바닥재의 좌측 하단에서 노즐을 45°로 조절하여 방사하였다. 바닥재는 가로 10 mm, 세로 230 mm로 일정하게 절단하였고, 바닥재의 상부를 클램프로 고정시켰다.

일반적으로 PVC 장판은 콘크리트, 석재, 타일 등과 같은 불연재 위에 접착제를 이용하여 부착시킨다. 그리고 PVC 장판 자체만을 연소시킬 때 발생하는 뒤튐림을 억제하기 위해 시공 환경과 유사한 조건인 인조타일에 부착하여 실험을 실시하였다. 화염 공급 전 니들 플레임 노즐을 수직으로 세운 상태에서 화염의 크기를 12 ± 1 mm 이하가 되도록 조절하였고, 연소 실험이 진행되는 동안 화염의 길이를 유지시켰다.

니들 플레임 노즐 끝과 바닥재 좌측 하단과의 거리는 약 8 mm이며, 30 s 동안 화염을 인가하였다. 사용한 가스는 순도 95% 이상의 부탄가스이며, 35 mm 이상의 길이와 0.5 ± 1 mm의 안지름, 0.9 mm의 바깥지름의 튜브를 통해 니들 플레임 시험기 노즐에 부탄가스를 공급하였다. 30 s 동안 화염을 인가한 후 화염을 제거하였고, 바닥재의 자연 소화

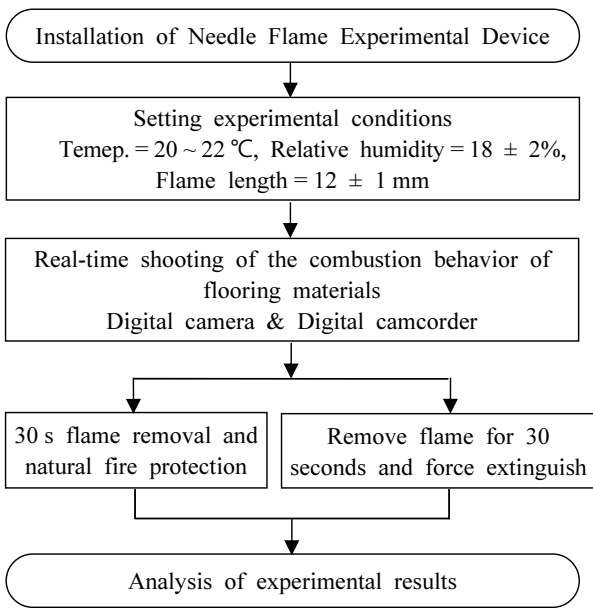


Figure 3. Flowchart of the needle flame test.

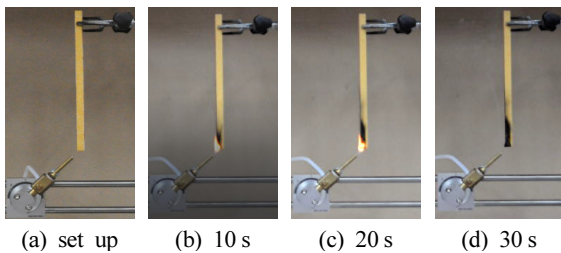


Figure 4. PVC board combustion test by the needle flame test.

여부를 확인하였다. 연소가 계속 진행되면 60 s에 화염을 강제로 소화하였다.

실험 과정은 디지털캠코더(Digital camcorder, Sony nxcam adchd Mpe2 SD, Japan)와 디지털카메라(Digital camera, D90, 2009, Nikon, Japan)로 실시간 촬영하여 연소 특징을 해석하였다.

Figure 3은 니들 플레임을 이용하여 바닥재의 수직 연소 및 특성 해석을 위한 과정을 나타낸 것이다. 실험의 신뢰성과 안전성을 확보하기 위해 모든 10회 반복 실험을 진행하였다. 실험장치 주변에 분말소화기를 비치하였으며 동일한 표준작업절차(SOP)를 준수하였다.

3. 결과 및 고찰

Figure 4는 니들 플레임 시험에 의한 PVC 장판의 수직 연소 과정을 나타낸 것이다. Figure 4(a)는 연소 실험의 준비 단계로 니들 플레임 연소기의 노즐 및 클램프에 고정된 PVC 장판을 나타낸 실체 사진이다. Figure 4(b)는 수직으로 고정된 PVC 장판에 인위적으로 화염을 공급하는 과정으로 화염은 바닥재의 좌측 하단에서 45°로 공급되도록 하였다.

노즐의 끝과 수직 설치된 PVC 장판의 거리는 약 8 mm이다. 화염 공급과 동시에 검은 연기가 발생하며 빠른 연소가 진행되었다. Figure 4(c)는 PVC 장판에 화염이 20 s 동안 공급되었을 때의 실체 사진으로 검정색 그을음은 많이 발생하였으나 화염의 크기는 비슷한 것으로 분석되었다. Figure 4(d)는 화염의 공급이 30 s 되었을 때의 실체 사진이다. 10회의 반복 실험에서 니들플레임 시험기 노즐의 화염을 제거하면 화염의 성장은 멈추는 것을 알 수 있었고, 화염을 차단하였을 때 약 2 s 이내에 자연 소화되는 것을 확인하였다. PVC 장판 제조 시 첨가된 열안정제에 의해 난연성이 있는 것을 확인하였다^(10,17).

Figure 5는 강화마루의 연소 거동을 촬영한 실체 사진으로 PVC 장판과 동일한 조건에서 진행되었다. Figure 5(a)는 실험의 준비 단계로 노즐 및 클램프에 고정된 강화마루를 나타낸 것이다. Figure 5(b)는 고정된 강화마루에 인위적으로 화염을 공급하였으며, 강화마루의 좌측 하단에서 45°로 공급되도록 하였다. Figure 5(c)는 강화마루에 화염을 10 s 동안 공급한 후의 실체 사진으로 검은색 연기의 발생과 더불어 화염의 성장을 알 수 있었다. Figure 5(d)는 화염을 20 s 동안 공급한 후의 연소 거동으로 상승 연소가 진행되어 화염의 크기 및 탄화 면적의 확대가 확인된다. Figure 5(e)는 화염을 30 s 동안 공급했을 때의 실체 사진으로 가스의 공급을 차단하였으나 잔염에 의해 연소가 진행된다. Figure 5(f)는 가스 공급을 차단하고 10 s가 경과한 실체 사진이며, 축열된 열에 의해 수직 연소가 지속되는 것을 알 수 있다. Figure 5(g)는 가스 공급이 차단하고 20 s 경과한 실체 사진이다. 화염 크기 및 면적은 더욱 성장한 것을 알 수 있다. Figure 5(h)는 착화하여 60 s 경과되어 강제로 화염을 진압한 상태의 실체 사진이다. 즉, 강화마루는 일반 화염에 의해 착화되어 축열이 발생하면 가스 공급이 차단되어도 지속적으로 화염이 성장하는 것으로 보아 주변에 가연물이 있을 때 화재는 더욱 확산될 수 있다^(10,17).

Figure 6은 니들 플레임에 의한 카펫의 수직 연소 실험 과정을 나타낸 실체 사진이다. 카펫은 국내 소방법에 따라 방염 처리된 제품을 실험에 적용하였다. Figure 6(a)는 실험의 준비 단계이며, PVC 장판 및 강화마루와 동일한 조건 및 방법을 적용하여 연소 실험을 실시하였다. Figure 6(b)는 고정된 카펫에 화염의 착화 단계를 나타낸 것으로 화염의 크기는 약 12 mm이다. Figure 6(c)는 카펫의 연소가 10 s 경과된 실체 사진으로 상향으로 연소가 진행되며, 검정색 연기가 발생하였다. Figure 6(d)는 연소가 20 s 경과된 것으로 상승 연소는 활성화되어 화염의 크기와 면적 역시 증가한 것을 확인할 수 있다. Figure 6(e)는 카펫에 화염을 30 s 동안 공급하여 연소가 진행된 실체 사진으로 착화된 화염의 크기는 더욱 성장한 것을 알 수 있다. Figure 6(f)는 연소가 40 s 진행된 실체 사진으로 가스공급이 차단되어 10 s가 경과했는데도 화염은 더욱 성장하고 있으며, 상승기류를 형성하면서 불꽃이 확산되는 것을 알 수 있다. Figure 6(g)는

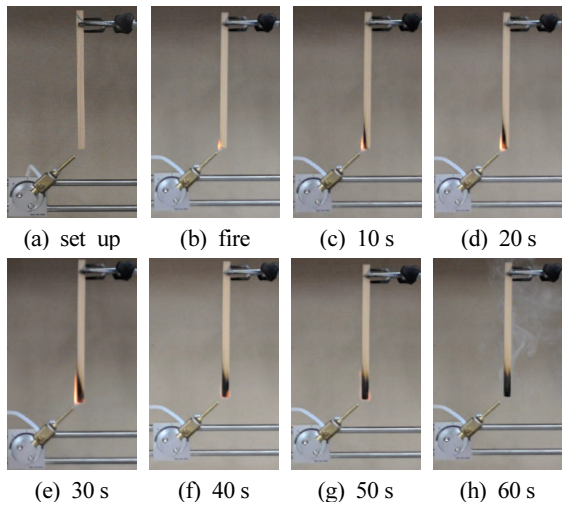


Figure 5. Laminate flooring combustion test by the needle flame test.

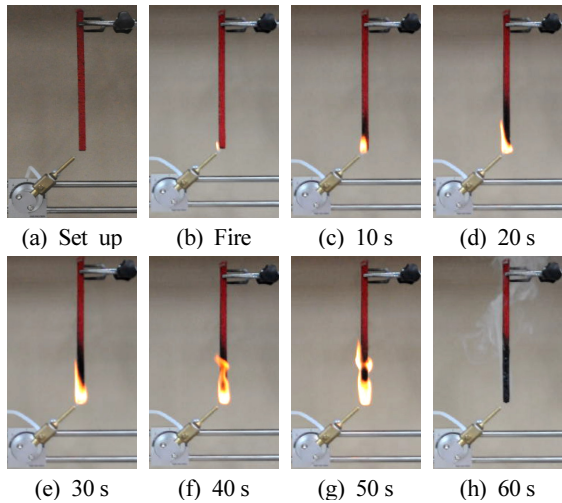


Figure 6. Carpet combustion test by the needle flame test.

가스공급이 차단된 지 20 s가 경과된 실제 사진으로 카펫 상부의 표면이 용융되어 바닥으로 떨어지는 것을 확인할 수 있었고, 바닥에 떨어진 카펫에서도 연소가 진행되어 2차 화재가 진행될 수 있는 것으로 확인되었다. Figure 6(h)는 설정된 60 s가 경과되어 강제로 화염을 진압한 직후의 실제 사진이다. 이상의 실험에서 확인된 바와 같이 카펫에 착화되고 축열이 형성되면 화염은 상승기류를 형성하면서 더욱 성장하는 것이 확인되었고, 주변에 가연성 물질이 있을 때 화염의 확산은 더욱 촉진될 것으로 판단된다^(10,17).

Figure 7은 소손된 PVC 장판의 표면 분석을 위해 나타난 실제 사진이다. Figure 7(a)는 직사 화염을 받은 PVC 장판 표면의 소손 패턴이다. 표면은 광택이 없어졌고, 용융되어 안쪽으로 수축된 것을 알 수 있다. Figure 7(b)는 화염이 공격한 우측면의 실제 사진이다. 수직 연소가 진행된 것을 확인할 수 있는 그을음이 형성되었고, 하부에 망울 형태의 고

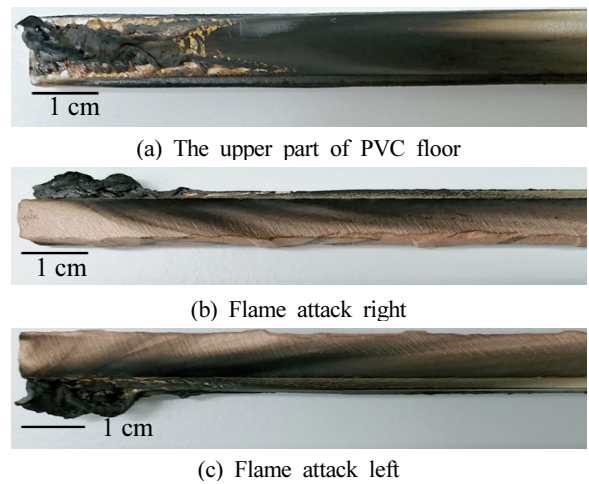


Figure 7. Photos of the carbonized surface of the PVC board burnt by the needle flame test.

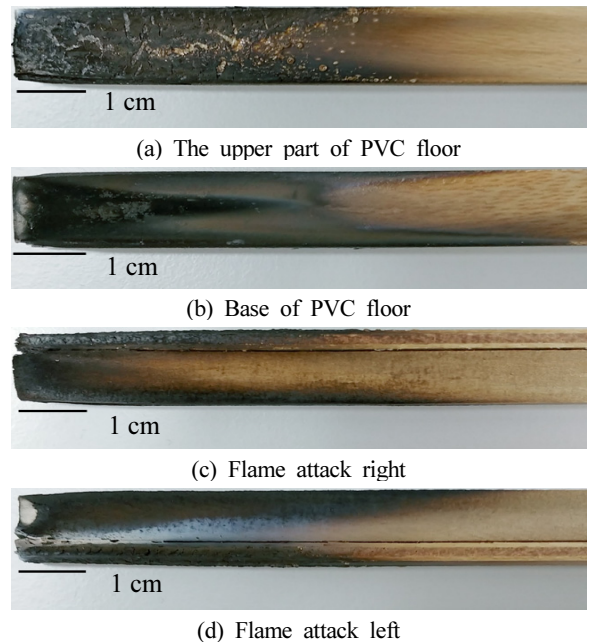


Figure 8. Photos of the carbonized surface of the laminate flooring burnt by the needle flame test.

형화가 진행되는 것을 알 수 있다. Figure 7(c)는 화염이 공격한 좌측면을 촬영한 실제 사진이다. 우측면과 대칭적인 연소 패턴을 보이는 것으로 분석된다. 즉, PVC 장판의 수직 연소가 발생되면 하부에 망울 형태의 고형화가 발생하며, 그을음 역시 상부로 성장하는 패턴이 형성되는바 화재의 방향성 판정에 활용할 수 있을 것으로 기대된다^(10,17).

Figure 8은 강화마루의 탄화 패턴을 해석하기 위해 나타난 실제 사진이다. Figure 8(a)는 직사 화염의 공격을 받은 강화마루 상부 표면의 소손 패턴이다. 표면의 라미네이트 층은 없어지고, 불규칙적인 박리가 형성되는 것을 알 수 있었다. Figure 8(b)는 화염의 공격을 받은 강화마루 하부의

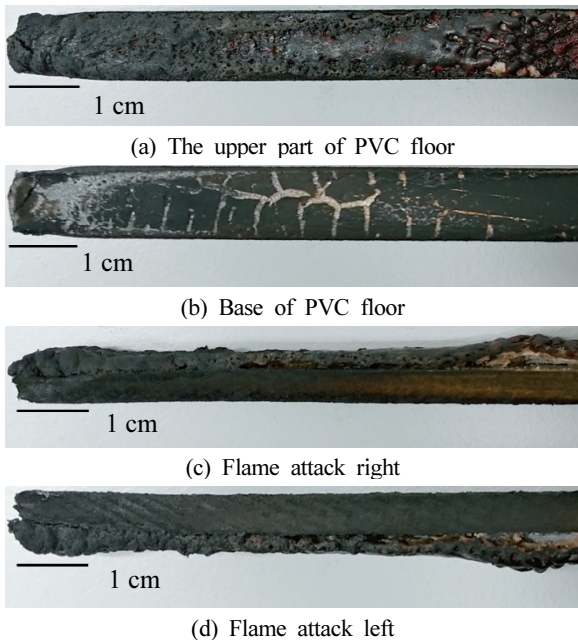


Figure 9. Photos of the carbonized surface of the carpet burnt by the needle flame test.

표면을 나타낸 것이다. 간접 화염에 의해 소손된 전형적인 패턴으로 상대적으로 많은 화열을 받은 하단부가 회백색으로 변형되는 것으로 분석되었다. Figure 8(c)는 소손된 강화마루의 우측면을 나타낸 실제 사진이다. 그을음의 성장 및 크기는 상부로 확산되었고, 탄화의 범위는 상부 및 하부표면에 비해 상대적으로 작게 생성되는 것을 알 수 있다. Figure 8(d)는 소손된 강화마루 좌측면의 탄화 패턴으로 우측면과 대칭적 구조가 나타나지만 직접 화염의 공격을 받은 좌측면은 회백색으로의 변색이 더욱 뚜렷하게 나타난 것으로 해석된다. 즉, 강화마루의 소손 패턴은 직사화염을 받은 곳과 간접 화염을 받은 곳의 차이가 명확하므로 화재 원인의 조사 및 판정에 탄화 패턴을 분석한다면 연소의 방향성을 결정하는 중요한 근거로 활용될 수 있다^(10,17).

Figure 9는 카펫의 탄화 패턴을 해석하기 위해 나타낸 실제 사진이다. Figure 9(a)는 직사 화염의 공격을 받은 카펫 상부의 표면이다. 표면은 심하게 소손되어 광택이 없어지고, 표면이 용융되어 흘러내렸을 뿐만 아니라 작은 구멍이 다수 발생하는 것을 알 수 있다. Figure 9(b)는 간접 화염의 공격을 받은 카펫의 하부 표면의 실제 사진이다. 불규칙적인 균열이 확인되며, 하부는 회백색으로 변색된 것을 알 수 있다. Figure 9(c)는 화염의 공격을 받은 카펫 우측면의 소손 패턴으로 상부는 용융되어 흘러내린 망울의 형태가 형성되며, 하부는 탄화된 덩어리가 형성되는 것이 확인된다. Figure 9(d)는 카펫 좌측면의 소손 패턴으로 우측면과 대칭적 특성을 나타낸다. 즉, 카펫의 탄화 패턴과 용융 특성을 입체적으로 해석하면 연소의 방향 및 화염의 시점을 유추할 수 있다는 것을 알 수 있다^(10,17).

4. 결 론

자체 제작된 니들 플레임을 이용하여 바닥재를 수직 연소시켰을 때의 화염의 성장 특성 및 탄화 패턴을 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) PVC 장판은 니들 플레임 시험에서 화염 공급과 동시에 검은색 연기를 발생하며 활발하게 연소하였고, 화염 공급이 차단된 후 자연소화에 따라 난연성이 있는 것으로 확인되었다. 직사 화염을 받은 PVC 장판 표면의 소손 패턴은 광택이 없어졌고, 용융되어 안쪽으로 수축되었다. 우측면과 좌측면은 대칭적 구조로 탄화 및 그을음 패턴이 나타났다. 또한, 수직 연소가 발생되면 하부에 망울 형태의 고형화가 발생하며, 그을음 역시 상부로 성장하는 패턴이 형성된다.

2) 강화마루는 한번 착화되면 강제로 소화할 때까지 계속 연소하였으며, 화염의 공격을 받은 강화마루 상부 표면은 라미네이트층의 소실과 불규칙적인 박리가 형성되었다. 그리고 간접 화염에 의해 소손된 후면은 하단부에 회백색이 나타났다. 좌측면과 우측면의 탄화의 범위는 대칭적 구조를 나타내지만 좌측표면은 직접 화염에 의해 회백색으로 변색이 더욱 뚜렷하였다. 즉, 강화마루의 소손 패턴은 직사 화염을 받은 곳과 간접 화염을 받은 곳의 분석을 통해서 연소의 방향성을 결정할 수 있다.

3) 카펫은 니들 플레임 실험에서 화염의 인가에 따라 활발하게 연소하였다. 카펫에 축열이 형성되면서 화염은 상승 기류를 형성하였고, 시간의 경과에 따라 화염의 크기가 커졌으며, 카펫 표면이 용융되면서 2차 화재의 위험성을 확인하였다. 직사화염을 받은 카펫 표면은 광택이 없고 거칠며 표면이 용융되어 흘러내렸을 뿐만 아니라 작은 구멍이 다수 발생되었다. 간접 화염을 받은 카펫의 하부 표면은 불규칙적인 균열이 확인되며, 일부는 회백색으로 변색되었다. 또한, 카펫 우측면과 좌측면은 대칭적 탄화 패턴을 형성하는 것으로 분석되며, 탄화된 덩어리 및 용융물이 형성된다.

후 기

본 논문의 일부는 제1저자의 전주대학교 일반대학원 공학석사 논문⁽¹⁷⁾ 및 (사)한국화재소방학회 학술발표대회 발표원고⁽¹⁰⁾를 기반으로 진보된 해석을 실시하여 집필되었음을 고지합니다.

References

1. Ministry of Public Safety and Security, "Fire Statistic Status", National Fire Date System (2017).
2. H. S. Joe and C. S. Choi, "Flame Propagation Rate of Flammable Liquid by Oil Flow Test Experiment of Division Fire", Proceedings of 2014 Spring Annual Conference, Korean

- Institute of Fire Science & Engineering, pp. 145-146 (2014).
3. H. S. Joe and C. S. Choi, "Analysis of Fire Patterns of Flammable Liquids for Oil Flow Tests of Compartment Fires with Reduced Simulation", *Fire Science and Engineering*, Vol. 28, No. 3, pp. 43-48 (2014).
 4. H. S. Joe and C. S. Choi, "A Study on Combustion Patterns of Flammable Liquids by Contained Oil Test", *Fire Science and Engineering*, Vol. 28, No. 4, pp. 14-20 (2014).
 5. H. S. Joe, C. S. Choi, "A Study on the Flame Pattern of Contained Flammable Liquid for PVC Vessel", *Proceedings of 2014 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 3-4 (2014).
 6. H. S. Joe, J. O. Lee and C. S. Choi, "Propagation Speed and Characteristic Analysis of Flame in Compartment Fires of Flammable Liquids", *Fire Science and Engineering*, Vol. 29, No. 3, pp. 31-36 (2015).
 7. H. S. Joe and C. S. Choi, "Burning Behavior When Gasoline is Burned in a Glass Container", *Proceedings of 2016 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 73-74 (2016).
 8. H. S. Joe and C. S. Choi, "A Study on the Characteristics of Burning after Gasoline Spraying on Vinyl Floor", *Proceedings of 2017 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 29-30 (2017).
 9. H. S. Joe and C. S. Choi, "Growth Characteristics and Hydrocarbon Patterns of Flammable Liquid on a Vinyl Layer", *Fire Science and Engineering*, Vol. 32, No. 5, pp. 15-21 (2018).
 10. M. S. Park and C. S. Choi, "A Study on the Weight Reduction and Glass Transition Temperature of Vinyl linoleum for Indoor", *Proceedings of 2018 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 95-96 (2018).
 11. N. Platzer, "Manufacture and Processing of PVC", *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters*, Vol. 20, No. 6, p. 350 (1982).
 12. H. S. Joe, "A Study on the Examination Technique for the Fire Behavior and Carbonization Pattern of a Flammable Liquid", *Ph.D. Thesis, Jeonju University*, p. 123 (2016).
 13. J. K. Park, "A Study on the Oxygen Index Concentration for Residential Interior Materials", *Master's Thesis, Pukyong National University*, p. 13 (2016).
 14. J. K. Park, Y. J. Choi and J. W. Choi, "A Study on the Oxygen Index Concentration for Residential Interior Materials", *Proceedings of 2016 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 269-270 (2016).
 15. K. C. Lee, "A Study on the Thermal Stability of Carpets", *Master's Thesis, Changwon National University*, pp. 2-3 (2004).
 16. K. H. Park, S. Lee, J. Y. Song and K. C. Lee, "A study on the Thermal Stability of carpet in Air Condition", *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, Vol. 23, No. 4, pp. 362-367 (2006).
 17. M. S. Park, "A Study on the Characteristics of Combustion and Carbonization of Flooring Materials according to Combustion Test Methods", *Master's Thesis, Jeonju University* (2019).