

막재료의 난연 및 방염성능 실험에 대한 연구

Tests of Fire and Flame Retardant Performance for Membrane Materials

김 기 철*
Kim, Gee-Cheol

최 광 호**
Choi, Kwang-Ho

Abstract

The Membrane structure has a number of problems in the application of a fireproof code based on general buildings codes. Thus, the fireproof code of membrane structure is necessary to activate the construction of the membrane structure. Because it requires a systematic classification of fire retardant and flame proof performance of membrane material. Fire retardant and flame proof tests are conducted on membrane materials mostly used in current construction to propose the fire and flame retardant performance criteria of membrane materials. Fire and flame retardant tests results, PTFE membrane material with the glass fiber fabric have a limit-combustible performance. PVDF membrane material with the polyester fabric does not ensure the fire retardant performance, but this membrane material has the flame retardant performance of a thick fabric. Also, ETFE does not ensure the fire retardant performance, but this membrane material has the flame retardant of a thin fabric.

Keywords : Membrane structure, Membrane materials, Fire proof, Flame retardant, PTFE, PVDF, ETFE

1. 서론

최근 막구조 건축물의 시공이 증가하고 있으나 막구조 건축물의 내화 및 방화 관련 기준의 부재로 인하여 막구조 건축물의 시공 및 설계에 많은 문제점이 나타나고 있다. 특히 막재료(막재)의 경우에 화재 특성의 우수성에도 불구하고 일반 건축물의 내화기준을 적용하고 있어서 내화관련 공사비의 증가를 초래하고 있다. 따라서 막구조 건축물의 건설 활성화를 위하여 막구조 건축물에 대한 내화관련 기준의 제정이 필요한 상황이다.

막재가 막구조 건축물에 사용되기 위해서는 내화 및 방화성능에 대하여 일정 성능 이상이어야 하므로 막재의 종류별 화재성상에 대한 체계적인 분류와 난연 및 방염성능에 대한 일관성 있는 기준 제정이 필요하다.

막구조 건축물의 설계에 있어서 막재료는 구조적 안정성을 가져야 하며 또한 내화 및 방화에 대한 일정 이상의 성능을 가지고 있어야 한다. 그러나 막구조 건축물은 건축법(건축법 시행령 등)에서 제시하고 있는 일반건축물의 내화기준을 적용하기가 곤란하므로 막구조 건축물의 특성에 맞는 내화 및 방화 기준을 제시하여 실질적인 설계가 될 수 있도록 하여야 한다.

막재의 난연 및 방염 등에 대한 국내 연구는 거의 없어 막재의 내화관련 성능기준을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 국외에서는 막재를 생산하는 업체에서 자체적으로 막재의 난연 및 방염성능 실험을 실시하여 생산하는 막재의 난연성능을 제시하는 것이 일반적이다¹⁾²⁾. 국내에서 생산되는 막재는 국외 기준을 준용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 막구조 건축물에서 많이 사용되고 있는 유리섬유 직포 및 폴리에스터 직포 막재에 대한 화재실험, 난연 및 방염 성능실험을 수행하여 막재의 화재성상을 분석하고 막재의 난연 및 방염성능에 대한 최소 인증기준을 제시하고자 한다.

* 정회원, 서일대학교 건축과, 부교수
Seoil University, Dept. of Architecture Eng., Associate Professor
** 교신저자, 정회원, 남서울대학교 건축공학과, 교수
University of Narseoul, Dept. of Architectural Eng., Professor
Tel: 041-580-2182 Fax: 041-580-2929
E-mail: choikh@nsu.ac.kr

2. 막재료의 구분

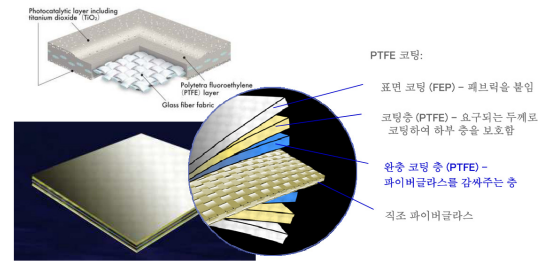
현재 국내에서 막구조용 재료로 사용되는 막의 재질은 크게 폴리에스터를 기본으로 한 PVC, PVDF 제품과 유리섬유(Glass-fiber fabric)에 Teflon 이나 Silicon을 코팅한 PTFE 제품으로 구분한다. 막재는 막구조 건축물의 중요한 구조 재료로서 먼내 인장력에 저항하는 유리섬유 및 폴리에스테르 섬유 등을 이용한 직포구조를 기본으로 하고 있으며 방수성, 방화성, 내구성 등의 확보를 위하여 표면에 테프론, 실리콘, PVC 등을 이용한 코팅재의 조합으로 이루어진다.

〈Table 1〉 Fabric and coating materials of membrane

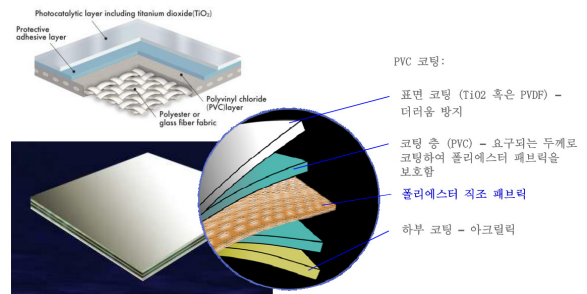
Fabric materials	Coating materials
Glass fiber	Tetra fluoro ethylene resin(fluoro polymer) Silicone resin Polyvinyl chloride(PVC) Chloroprene rubber Chlorosulfonated polyethylene rubber
Polyester fiber Polyamide fiber Polyvinyl alcohol fiber Polyaramid fiber	Polyvinyl chloride(PVC) Chloroprene rubber Chlorosulfonated polyethylene rubber

일반 PVC재는 장력이 약하여 광선에 의한 물성이 쉽게 변질되어 옥외조경시설물용 재료로서는 곤란하여 주로 난연성 PVDF 제품이 사용되며 일본에서 주로 사용하는 불연성 유리섬유코팅제품은 재단시 공해물질인 유리섬유가 노출될 우려가 있다. 막구조용 재료는 가해진 외력을 충분히 전달할 수 있는 강도와 강성을 가져야 하며 변형에 유연하고 방수성능이 우수한 접합디테일을 가져야 한다.

〈Fig. 1〉 및 〈Fig. 2〉는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 유리섬유 직포의 PTFE 막재와 폴리에스테르섬유 직포의 PVC 막재의 구성 단면을 보여 주고 있다. 직포가 같은 막재라도 코팅방법에 의하여 다르게 구분되고 있다.



〈Fig. 1〉 PTFE coating membrane



〈Fig. 2〉 PVC coating membrane

3. 난연 및 방염성능 기준

3.1 건축물의 내화구조

내화구조란 화재 시 발생하는 높은 열에 의해 구조물이 그 내력을 잃지 않고 일정시간 버틸 수 있도록 된 구조를 말하며 건축법에서 그 기준 및 적용대상을 정의하고 있다. 내화구조 적용의 주목적은 실질적인 화재발생 시 구조물이 무너지지 않고 일정 시간 동안 내력을 유지함으로써 인명의 안전 및 피난시간 확보, 화재의 확대를 방지하고 소방활동의 원활함 및 안전 확보 등을 목적으로 하여 주요 구조부에 대하여 그 내화시간을 규정하고 부재에 대한 성능인증을 실시하고 있다. 국내 규정상의 내화구조는 건축물의 용도 및 사용면적에 따라 내화구조의 적용대상여부를 결정하고, 다시 그 용도에 따라서 주요 구조부, 즉 기둥과 보, 지붕틀 등의 내화시간을 규정하고 있다. 위의 목적에서 보듯이 내화구조의 주목적은 실질적인 화재발생 시 안전한 대피 및 소방활동의 원활함을 꾀하는 데 있다.

막구조 건축물의 경우에 화재발생 시 막구조 건축물의 특성상 막이 일차적으로 손상되므로 건물의 내부온도가 일반 건축물과 같이 상승하지 않기 때

문에 실질적으로 기둥과 보와 같은 주요 구조부재가 화재에 의하여 구조적 손상을 받지 않는다. 또한 화재로 손상된(구멍이 뚫린) 막재는 유독가스 등을 손쉽게 배출시키므로 오히려 일반건축물보다 피난 및 소방활동이 용이하다 할 수 있다. 이러한 이유로 해외에서는 막구조 건축물에 대한 내화성능을 '0'시간으로 규정하고 있다.

3.2 난연 및 방염성능 실험 및 기준

건축 재료에 대한 난연 및 방염성능은 기준에서 정한 성능실험 결과에 따라서 등급이 결정된다. 국내 난연 및 방염시험 방법과 기준은 주로 KS에 따르며 이는 국제표준기준(ISO)에 준하여 규정하고 있다. 준불연재와 난연재의 연소성시험과 가스유해성시험은 '건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙' 제5조 및 제7조의 규정에 따르며 또한 '건축물 내부마감재료의 난연성능기준'의 난연성 시험 방법·성능기준 등에 따라서 난연성능 시험을 수행하고 난연성능을 평가한다⁴⁾.

건축재료는 KS에서 규정하고 있는 불연성시험방법, 콘칼로리미터법, 가스유해성시험을 통하여 건축재료의 난연등급을 평가한다.

<Table 2> Fire retardant test

Grades	Standard test
Non combustible material (불연재료)	KS F ISO 1182 (건축재료의 불연성시험방법)
	KS F 2271 (가스유해성시험)
Semi-non combustible material (준불연재료)	KS F ISO 5660-1 (콘칼로리미터법)
	KS F 2271 (가스유해성시험)
Flame retardant material (난연재료)	KS F ISO 5660-1 (콘칼로리미터법)
	KS F 2271 (가스유해성시험)

난연성능 실험에 의한 난연등급은 <Table 2>와 같이 1급(불연재), 2급(준불연재), 3급(난연재)로 구분하고 있으며 난연등급에 따른 연소성과 가스유해

성의 성능기준은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Performance grades of fire retardant

Grades	Performance criteria
Non combustible material	가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승하지 않아야 하며 가열 종료 후 시험체의 질량 감소율이 30% 이하이어야 한다. 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균 행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.
Semi-non combustible material	가열시험 개시 후 10분간 총방출열량이 8MJ/m ² 이하이며 10분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로 200kW/m ² 를 초과하지 않으며 10분간 가열후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등이 없어야 한다. 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균 행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.
Flame retardant material	가열시험 개시 후 5분간 총방출열량이 8MJ/m ² 이하이며 5분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로 200kW/m ² 를 초과하지 않으며 5분간 가열후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등이 없어야 한다. 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균 행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.

국내의 물품에 대한 방염성능 실험은 KS, 조달청, 철도청 등 물품의 검증기관에 따라서 다른 기준을 적용하고 있으나 건축재료의 방염성능 실험은 대부분 소방법에 따른다.

'소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률' 제6조(얇은 포 및 두꺼운 포의 방염성능 측정기준 및 방법)에 따라서 방염성 시험을 실시하고 '소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률시행령 제 20조'에 따라서 방염성능을 평가한다³⁾.

소방시설설치·유지 및 안전관리에 관한 법률시행령 제 20조에 의한 얇은 포와 두꺼운 포의 방염성능 기준은 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Flame retardant performance grades

Materials	Performance criteria
Thin fiber (얇은 포)	포지형태의 방염물품으로서 1㎡의 중량이 450g 이하인 것
	잔염시간 3초 이내, 잔신시간 5초 이내, 탄화면적 30cm ² 이내, 탄화길이 20cm 이내, 접염회수 3회 이상, 최대연기밀도 200이하
Thick fiber (두꺼운 포)	포지형태의 방염물품으로서 1㎡의 중량이 450g 을 초과하는 것
	잔염시간 5초 이내, 잔신시간 20초 이내, 탄화면적 40cm ² 이내, 탄화길이 20cm 이내, 접염회수 3회 이상, 최대연기밀도 200이하

4. 막재의 난연 및 방염성능 실험

4.1 막재의 화재 성상

막재의 난연 및 방염성능 실험에 앞서 막재의 화재 특성을 알아보기 위하여 화원의 이격 거리에 따른 PTFE, PVF 및 ETFE 막재의 화재 성상을 살펴보았다. 화원이 막재에 직접 닿지 않는 경우에 이격 거리에 따라서 어떠한 화재성상이 나타나는지 분석하고자 한다. 막재와 화원의 이격거리는 일반적인 화원의 이격거리로 200mm, 300mm로 하였다.

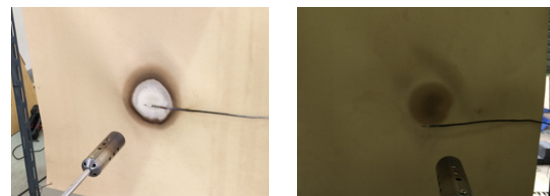
<Fig. 3>에서 보는 바와 같이 화원으로부터 200mm 떨어진 PTFE 막재는 10분이 지난 후에 구멍이 나기 시작하였으며, 화원으로부터 300mm 떨어진 위치에서의 PTFE 막재는 10분간 가열하여도 구멍이 발생하지 않고 변형만 일어났다. PTFE 막재는 화원으로부터 일정거리 이상 떨어져 있으면 막재에 손상을 주지 않는 것을 확인할 수 있다.

<Fig. 4>에서 보는 바와 같이 화원의 이격거리가 200mm에 위치한 PVF 막재는 가열 후 13초, 화원의 이격거리가 300mm 위치한 PVF 막재는 가열 후 17초에 구멍이 발생하였다. PVF 막재는 화원의 거

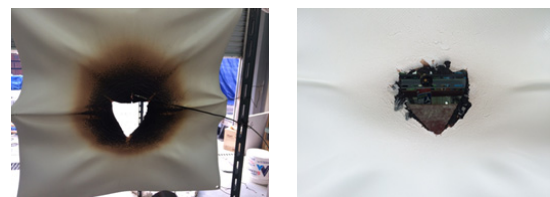
리와 관계없이 열원에 의하여 막재가 손상되는 것을 알 수 있다.

ETFE 막재는 <Fig. 5>에서 보는 바와 같이 PVF와 마찬가지로 모든 막재에 구멍이 발생하였다. 화원으로부터 200mm 떨어진 위치의 ETFE 막재는 가열 후 4초, 화원으로부터 300mm 떨어진 위치의 ETFE 막재는 가열 후 15초에 구멍이 발생하였으나 구멍의 크기는 변화가 없는 것을 볼 수 있다. ETFE 막재의 특성상 불꽃이 직접 가해지는 곳에만 구멍이 발생하는 특성을 가지고 있으며 화원에 의한 구멍의 크기는 화원의 이격거리와 관계없는 것을 알 수 있었다⁹⁾.

화원에 의한 막재의 손상에 대한 실험결과, 폴리에스터 계열의 직포를 갖는 PVC(PVF) 막재를 제외하고는 PTFE 막재 및 ETFE 막재는 화재에 대한 성상이 우수한 것을 확인할 수 있었다. 두 막재는 화원에 의하여 막재의 손상이 퍼지지 않는 것을 확인할 수 있다.



(a) 200mm (b) 300mm
<Fig. 3> Fire characteristics (PTFE)



(a) 200mm (b) 300mm
<Fig. 4> Fire characteristics (PVF)



(a) 200mm (b) 300mm
<Fig. 5> Fire characteristics (ETFE)

4.2 막재의 난연 및 방염성능 실험결과

국내 막구조 건축물에 주로 사용되고 있는 유리섬유 직포 막재(PTFE), 폴리에스테르섬유 직포 막재(PVF) 및 ETFE 막재의 난연성능 시험을 실시하였다.

PTFE, PVF, ETFE 막재의 난연실험에 의한 총방출열량, 200kW/m² 초과 시간, 용융상태, 행동정지 시간 등 시험항목별 실험결과를 <Table 5>에 나타냈다. PTFE는 총방출열량이 4.7MJ/m², 200kW/m² 초과 시간이 0초, 용융이 없고, 쥐의 행동정지시간이 14분가량 나타났다. PVF는 총방출열량이 50.47MJ/m², 200kW/m² 초과 시간이 74초, 용융이 발생, 쥐의 행동정지시간이 6.4분가량 나타났다. ETFE는 총방출열량이 23.87MJ/m², 200kW/m² 초과 시간이 0초, 용융이 발생, 쥐의 행동정지시간이 13.2분가량 나타났다.

<Table 5> Test results of fire retardant

Test items	PTFE	PVF	ETFE
총방출열량 (under 8MJ/m ²)	4.7MJ/m ²	50.47MJ/m ²	23.87MJ/m ²
열방출율이 연속으로 200kW/m ² 를 초과하는 시간 (under 10sec)	0.0sec	74sec	0.0sec
시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 (Non)	Non	Melted	Melted
행동정지 시간 (9min 이상)	14.3min	6.4min	13.2min

막재의 난연실험 결과, 유리섬유실 직포 막재(PTFE)는 준불연재료 난연성능을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 폴리에스테르 직포 막재(PVF)와 ETFE 막재는 난연 3급(난연재료) 성능을 확보하지

못하는 것으로 나타났다

난연 3급을 확보하지 못한 PVF 막재와 ETFE 막재를 ‘소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률’ 제6조(얇은 포 및 두꺼운 포의 방염성능 측정기준 및 방법)에 따라서 방염성 시험을 실시하고 ‘소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률시행령 제 20 조’에 따라서 방염성능을 평가하였다. 중량이 450g/m² 이하인 제품은 얇은 포, 중량이 450g/m²를 초과하는 제품은 두꺼운 포로 구분하므로 PVF는 두꺼운 포, ETFE는 얇은 포에 해당한다.

PVF 막재와 ETFE 막재의 방염실험에 의한 잔염시간, 잔진시간, 탄화면적, 탄화길이를 <Table 6>에 나타냈다. PVF 막재는 잔염시간 5초, 전진시간 20초, 탄화면적 40cm², 탄화길이 20cm를 확인할 수 있었다. 그리고 ETFE 막재의 잔염시간 3초, 전진시간 5초, 탄화면적 30cm², 탄화길이 20cm를 확인할 수 있었다.

<Table 6> Test results of flame retardant

Test items	Thick fiber (두꺼운 포)		Thin fiber (얇은 포)	
	Criteria	PVF	Criteria	ETFE
잔염시간	≤5sec	0.0초	≤3sec	0.0sec
잔진시간	≤20sec	0.0초	≤5sec	0.0sec
Flame area	≤40cm ²	26.5cm ²	≤30cm ²	3.0cm ²
Flame length	≤20cm	6.1cm	≤20cm	2.0cm

국내에서 주로 사용되고 있는 유리섬유실 직포의 PTFE 막재, 폴리에스테르 직포의 PVF 막재에 대하여 두꺼운 포의 방염성능 시험을 실시한 결과, 두꺼운 포의 방염성능 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 필름용 막재인 ETFE 막재의 얇은 포의 방염성능 시험을 실시한 결과, 얇은 포의 방염성능 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

<Table 7> Fire and flame retardant performance of membranes

Membrane	Performance criteria
Glass fiber (PTFE)	난연성능 기준: 준불연재료
	두꺼운 포의 방염성능 기준: 만족
Polyester fiber (PVF)	난연성능 기준: 성능기준 미달 총방출열량: 46.7MJ/m ² , 200kW/m ² 초과시간: 46초, 행동정지: 6분 29초
	두꺼운 포의 방염성능 기준: 만족
Film type material (ETFE)	난연성능 기준: 성능기준 미달 총방출열량: 22.7MJ/m ² , 200kW/m ² 초과시간: 0초, 행동정지: 13분 20초
	얇은 포의 방염성능 기준: 만족

5. 결론

막구조 건축물의 막재료(막재)는 구조적 안정성을 가져야 하며 또한 내화 및 방화성능 확보를 위하여 일정 수준 이상의 난연 및 방염성능을 가져야 한다. 본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 막재료의 난연 및 방염 성능실험 결과의 분석을 통하여 막재료의 난연 및 방염성능 인증기준을 다음과 같이 제시하고자 한다.

막구조 건축물이 연소의 우려가 있는 경우, 막재료는 난연성능 기준에서 규정하는 난연재료 이상의 성능을 가져야 한다. 난연재료 이상의 성능을 갖는 막재료는 KBC-S 막재의 구분에서 A종 또는 B종에 해당하는 것으로 직포가 유리섬유계열이다.

막구조 건축물이 연소의 우려가 없는 경우, 막재료는 방염성능기준에서 규정하는 두꺼운 포의 방염성능기준 이상의 성능을 가져야 한다. 두꺼운 포의 방염성능을 갖는 막재료는 KBC-S 막재의 구분에서 C종에 해당하는 것으로 직포가 폴리에스터계열이다.

ETFE와 같은 필름형 막재료는 화재에 대한 성능이 매우 우수하나 국내 난연성능 기준에 미치지 못하므로 필름형 막재료를 막구조 건축물에 사용하는 경우에 전문기관이나 전문학회의 확인을 받아 사용하도록 한다.

또한 막재료의 화재실험을 통하여 유리섬유 직포

막재(PTFE)와 필름형 막재(ETFE)의 화재성상이 매우 우수한 것을 확인하였다.

추후 연구에서는 실제 막구조 건축물에 대한 내화관련 기준제시를 위해서는 막구조 건축물에 대한 화재성상, 내화 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2016년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

References

1. Technical Report, Surface Spread of Flame Test for PTFE, WARRINGTON Research Centre, 1986
 2. Technical Report, Fire Propagation Test for PTFE, WARRINGTON Research Centre, 1986
 3. 소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률시행령 제20조, 2015
 4. 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제5조 및 제7조, 2014
 5. ENFORCEMENT DECREE OF THE BUILDING ACT, Article 56 and 61, 2016
 6. KS F ISO 1182, Method of non-combustibility test of building products
 7. KS F 2271, Testing method for incombustibility of internal finish material and element of buildings
 8. KS F ISO 5660-1, Cone Calorimeter
 9. Kang-gewn Park, Seoung-Hyun Yoon and Boo-Hwan Bae, (2009), Mechanical Characteristic Test of Architectural ETFE Film Membrane, Journal of the Association for Spatial Structure, Vol. 9, No. 2, pp.77-82
- Received : April 06, 2016
 - Revised : May 02, 2016
 - Accepted : May 02, 2016