

# 직포 및 코팅재 타입에 따른 건축용 막재의 난연성능

## Flame Resistance Performance of Architectural Membrane According to Woven Fabrics and Coating Materials

김 지 현                      송   훈\*

Kim, Ji Hyeon                      Song, Hun\*

*Eco & Composite Materials Center, Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, Jinju, 52851, Korea*

### Abstract

Membrane structures which can be used large spatial structure are being expanded because of various advantages. However, despite the diverse membrane structure buildings and materials, the standard for membrane material performance that considering fire safety is still inadequate. Therefore, this study applied basalt or glass woven fabric with flame resistance on architectural membrane, and report the fire safety for architectural membrane using the strength properties, flammability and incombustibility. From the test result, the architectural membrane using basalt or glass woven fabric showed a low heat release rate and total heat release. Therefore, it was confirmed that the fire safety is relatively high.

Keywords : flame resistance, architectural membrane, woven fabric, basalt fiber, cone calorimeter

## 1. 서   론

건축용 막재는 경량의 연성 재료로, 기존의 건축재료에 비해 대공간을 구성하는데 유리하며 막재를 사용한 막구조 건축물은 자유로운 곡선의 표현과 구조재로 사용되는 철골량이 적기 때문에 경제성이 높다[1,2].

건축용 막재는 직포로 불리는 직물과 직물을 보호하는 코팅재로 구성된다. 막재의 직포는 주로 폴리에스테르섬유나 유리섬유가 사용되며 코팅재로는 PVC(Poly vinyl chloride), PVDF(Poly vinylidene fluoride), PVF(Poly vinyl fluoride), PTFE(Poly tetra fluoro ethylene) 등이 사용된다. 초기에는 폴리에스테르섬유에 PVC를 코팅한 건축용 막재가 창고, 공장 등과 같은 소규모 건축물에 사용되었다. 하지만 1970

년대 이후 유리섬유에 PTFE를 코팅한 막재료의 개발 및 막구조 시스템의 체계화가 이루어져 기존의 가설 구조물 개념에서 벗어나 영구 구조물로 인식이 전환되어 문화시설, 경기장과 같은 대공간 구조물에는 내구성 및 강도특성이 뛰어난 PTFE 막재가 주로 사용되고 있다. 최근 개발된 막재료는 ETFE(Ethylene tetra fluoro ethylene)가 있는데 기존의 막재와는 달리 불소계열의 고분자 필름 형태이다. ETFE 막재는 일반적으로 단일막이나 에어쿠션 등의 형태로 사용하며 투광성, 내오염성, 경량성 등이 우수하여 다양한 건축물에 폭넓게 사용되고 있다[3].

이러한 많은 장점에도 불구하고 건축용 막재는 직물을 사용하므로 직물의 종류에 따라 화재에 취약한 단점을 가지고 있다. 미국, 일본과 달리 국내에는 건축용 막재 및 막구조 건축물의 특성을 반영한 구체적인 화재안전기준이 마련되어 있지 않아 일반 건축물의 내화기준을 따르고 있다. 따라서 지붕이나 외벽에 막구조가 적용되더라도 내화구조 기준을 적용하기 때문에 과도하게 내화피복이 이루어지는 등 막구조의 화재특성을 고려하지 않고 단순히 막재료의 인장, 인열 강도 및 시공법 등 물리적 특성에 연구가 한정되어 있다

Received : July 12, 2016

Revision received : September 8, 2016

Accepted : October 31, 2016

\* Corresponding author : Song, Hun

[Tel: 82-55-792-2462, E-mail: songhun@kicet.re.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

[4,5].

따라서 본 연구에서는 비교적 화재안전에 유리하다고 알려진 불연성 재료인 유리섬유 및 현무암섬유를 직포로 적용한 막재의 난연성능을 비교하였다. 또한, 현장에서 일반적으로 적용되는 건축용 막재와 현무암섬유를 직포로 적용한 막재의 방염 및 난연성능을 평가하여 건축용 막재의 난연성능에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 재료를 Table 1에 나타내었다. 시험편의 명명은 직포 및 코팅재의 종류로 분류하였고 시중에서 사용되고 있는 건축용 막재 4종과 현무암섬유에 PTFE를 코팅한 막재 2종을 사용하였다.

BF(Basalt fiber)는 경사, 위사 모두 현무암섬유로 이루어진 직물을 적용한 시험편이며 GBF(Glass-basalt fiber)는 위사는 유리섬유, 경사는 현무암섬유로 이루어진 직포를 적용한 시험편이다. BF와 GBF는 PTFE에 함침하여 제작하였다. 1,000℃에서 시험편의 무게 차이를 계산하여 코팅재의 비율을 Table 2에 나타내었으며 PVC와 PVDF 막재의 경우 고온에서 모두 녹아 코팅재의 비율을 알 수 없었다.

Table 1. Property of architectural membranes

Sample name	Thickness (mm)	Weight (g/cm <sup>2</sup> )	Woven fabrics	Coating type
PVF	1.06	0.12	Polyester fiber	PVC+PVF
PVDF	1.00	0.11	Polyester fiber	PVC+PVDF
PTFE	0.81	0.14	Glass fiber	PTFE
BF	0.75	0.11	Basalt fiber	PTFE
GBF	0.60	0.09	Weft: Glass fiber Warp: Basalt fiber	PTFE
ETFE	0.21	0.04	-	-

Table 2. Percentage of coating materials(PTFE)

	PTFE	BF	GBF
Initial weight (g)	3.45	2.93	3.05
Final weight (g)	1.11	1.12	0.34
Percentage of coating material (%)	67.83	61.77	88.85

## 2.2 실험 및 평가 방법

### 2.2.1 TGA-DSC 열분석 시험

재료의 열 거동을 확인하기 위해 TGA-DSC 열분석을 실시하였다. 보호가스로는 N<sub>2</sub>를 30cc/min으로 사용하였고, 5℃/min의 승온속도로 측정 온도범위는 25~1,000℃이다.

### 2.2.2 인장강도 시험

본 연구에서는 한국산업규격 KS K 0521 스트립법에 의거하여 건축용 막재의 인장강도를 측정하였다[6]. 막재 끝부분의 150mm를 벗어난 지점에서 시험편을 채취하였으며 50×300mm의 크기로 정속 인장강도 시험기를 사용하여 실시하였다. 클램프 간격은 200mm, 파지면의 크기는 50mm로 하여 변위제어 50mm/s의 속도로 측정하였다.

### 2.2.3 방염성 시험

방염성 시험은 KS F 2819 건축용 얇은 재료의 방염성 시험방법에 의거하여 각 시험편 별로 3회 실시하였다[7]. 이 표준은 두께 5mm 미만의 시트, 필름, 두꺼운 포지와 같은 건축용 평판 재료의 방염성 평가에 적용된다. 건축용 막재의 경우 건축물의 외벽이나 지붕 등에 적용되므로 화재의 확산을 방지하기 위해 방염성능이 요구되며 일본의 경우 이 방법을 포함하여 막재의 성능을 준불연재료, 난연재료 등 5등급으로 나누어 평가하고 있다. 시험편의 크기는 200×300mm로 하여 50℃에서 48시간 건조 후 데시게이터에서 24시간 방치하였다. 45° 연소성 시험기의 불꽃길이는 65mm로 하였고 1분간 가열하여 착화시간, 탄화길이 및 분진의 유무를 측정하였다. 탄화길이는 가열 면을 기준으로 지지틀 방향의 최대 길이를, 탄화면적은 프라니미터를 이용하여 측정하였다.

### 2.2.4 난연성 시험

난연성 시험은 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법을 적용하여 평가하였다[8]. 콘칼로리미터법은 시험편의 열방출율을 측정하여 연소성능을 평가함으로써 종합적인 화재 위험의 예측이 가능하다. 콘칼로리미터를 이용한 재료의 난연성능은 국내뿐만 아니라 일본의 건축기준법, 캐나다의 NBC, 국제해사기구(IMO) 등에서 동일한 시험방법을 적용하여 판정한다[9]. 국내에서는 건축물 마감재료의 난연성능을 3등급으로 평가하며 준불연재료, 난연재료의 판정에 이

시험방법을 적용하고 있다. 일본의 경우도 막재의 난연성능을 콘칼로리미터로 평가하며, 국내의 준불연재료가 일본의 막재 등급 1에 해당한다.

콘칼로리미터법의 콘히터 복사강도는  $0\sim 100\text{kW/m}^2$ 의 범위에서 지정할 수 있으며 본 실험에서는 열효율이 가장 높은  $50\text{kW/m}^2$ 으로 설정하였다[8]. 시험편의 크기는  $100\times 100\text{mm}$ 이며  $23^\circ\text{C}$ , 상대습도 50% 조건에서 항량이 될 때까지 전처리한 후 10분간 복사열을 가하였다. 송풍기의 배출량은  $0.0024\pm 0.002\text{m}^3/\text{s}$ 으로 하였으며 열방출율, 총 방출열량, 착화시간, 질량감소율 등을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 TGA-DSC 열분석

Figure 1, 2, 3은 TGA-DSC 열분석 결과이며 섬유별로 유사한 열 거동을 나타내는 것을 확인하였다. PTFE, BF, GBF는 약  $500^\circ\text{C}$ 에서 감량이 시작되었으며 시험편 중 코팅재 비율이 가장 큰 GBF의 감량이 가장 많았다. PTFE의 녹는점은  $300\sim 340^\circ\text{C}$ 으로 알려져 있는데[10], Figure 2를 보면 약  $320^\circ\text{C}$ 와  $500^\circ\text{C}$ 에서 흡열피크가 나타났으며, 이는 PTFE 코팅재의 상변화에 의한 것이다.

PVF와 PVDF 막재의 경우 2번의 감량이 발생하였는데 약  $200^\circ\text{C}$ 에서의 감량은 PVC 코팅재에서, 약  $300^\circ\text{C}$ 에서의 감량은 폴리에스테르섬유의 감량에 의한 것이다. ETFE 막재는 섬유기반의 막재와는 다른 열 거동을 나타내었으며, 약  $400^\circ\text{C}$ 에서 감량이 시작되어 시험 종료 시 시험편의 잔여물이 남지 않았다.

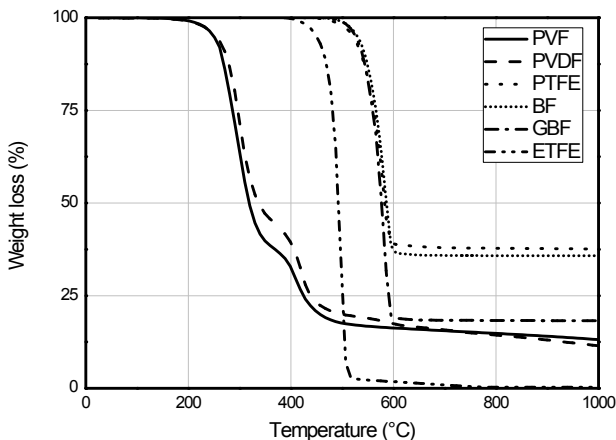


Figure 1. Thermogravimetric analysis of architectural membranes

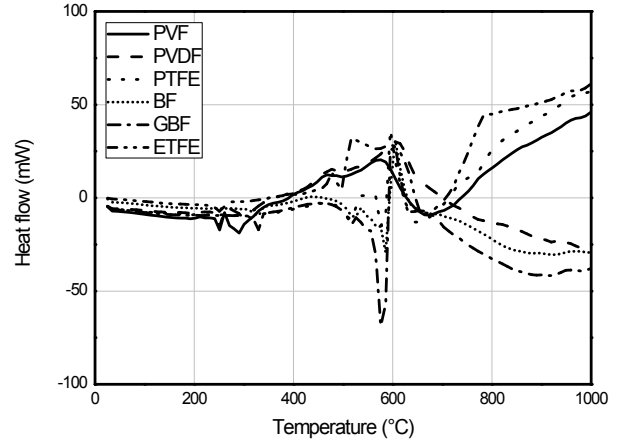


Figure 2. Differential scanning calorimeter of architectural membranes



Figure 3. The results of TGA/DSC thermal analysis (a)PVF (b)PVDF (c)PTFE (d) BF (e)GBF (f)ETFE

#### 3.2 인장강도

건축용 막재의 인장강도 시험 결과를 Table 3에 나타내었다. 인장강도는 PTFE 막재가  $364.3\text{N/cm}$ 로 가장 높게 측정되었으며 GBF가  $82.5\text{N/cm}$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. Table 1과 Table 2에 따라 GBF막재는 직물의 두께가 상대적으로 얇기 때문에 BF, PTFE막재보다 낮은 인장강도를 나타낸 것이다. 국내의 막구조 설계기준에 의하면 막재의 인장강도는  $300\text{N/cm}$  이상이며 일본에서는 용도를 구분하여  $200\text{N/cm}$ 과  $400\text{N/cm}$ 으로 정하고 있는데[11], 현무암섬유를 적용한 막재인 BF는  $263.7\text{N/cm}$ 로 나타났다. 현무암섬유 자체의 인장강도는  $3,000\sim 4,840\text{N/mm}^2$ , 유리섬유는  $3,100\sim 4,650\text{N/mm}^2$ , 탄소섬유는  $3,500\sim 6,000\text{N/mm}^2$ 으로 알려져 있어 섬유 간 인장강도 차이는 크지 않다. 그러므로 막재 간의 인장강도 차이는 현무암섬유 직포와 코팅재간의 결합력에서 기인한 것이며 표면처리와 코팅방법의 개선을

통해 인장강도를 향상할 수 있다. ETFE 막재의 경우 고분자 필름의 특성상 섬유 기반의 막재와 동일한 방법을 적용한 경우 인장강도 측정이 불가하였다. 기존 연구에 따르면 ETFE 막재의 인장강도는 40~60N/mm<sup>2</sup>, 연신율은 350~400%를 나타낸다[12].

Table 3. The results of tensile strength test

Sample name	PVF	PVDF	PTFE	BF	GBF	ETFE
Maximum load (N)	5,653	7,406	7,286	5,273	1,650	N/A*
Tensile strength (N/cm)	282.7	370.3	364.3	263.7	82.5	N/A*
Maximum displacement (mm)	4.6	5.2	1.3	0.5	0.9	N/A*
Elongation (%)	22.9	25.9	6.6	2.7	4.7	N/A*

\*N/A: Not applicable

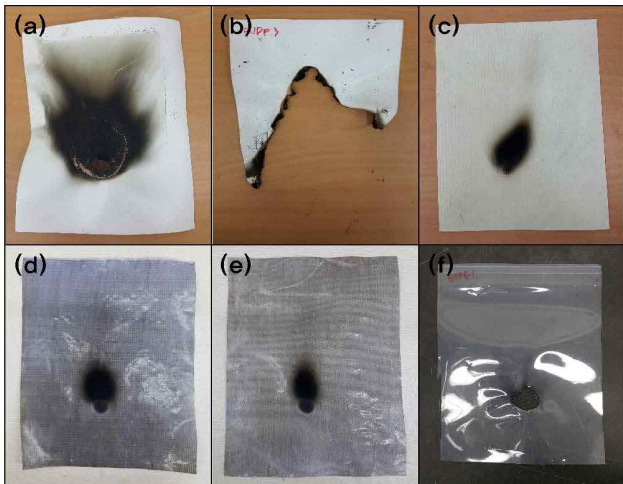


Figure 4. Conditions of architectural membranes after incombustibility test  
(a)PVF (b)PVDF (c)PTFE (d) BF (e)GBF (f)ETFE

Table 4. The results of incombustibility test

Sample name	PVF	PVDF	PTFE	BF	GBF	ETFE
Carbonization length (cm)	8.0	23.7	2.5	2.0	2.0	3.0
Carbonization area (cm <sup>2</sup> )	34.8	355.4	4.9	1.9	3.1	7.8
Ignition time (s)	7	406	DNI*	DNI*	DNI*	DNI*
Remaining Flame (s)	1	1	DNI*	DNI*	DNI*	DNI*

\*DNI: Do not ignite

### 3.3 방염성능

건축용 막재의 방염성능 시험결과를 Figure 4와 Table 4에 나타내었다. 시험결과 PVDF 막재가 가장 큰 탄화길이와 탄화면적을 나타냈으며 약 45초경에 착화되어 전체면적의 1/2 이상이 소실되었다. PVF 막재 또한 착화되어 약 8cm 정도의 탄화흔적이 생겼다. 이는 막재의 코팅재는 난연성이지만 폴리에스테르섬유는 가연성 재료이므로 불꽃에 의해 코팅재가 녹은 후 섬유가 노출되어 연소하며 화염이 전파되기 때문이다. BF, GBF, PTFE 막재는 비슷한 크기의 탄화길이를 나타내었으나 착화되지 않고 그을음이 생겼다. ETFE 막재의 경우 불꽃이 닿으면 바로 용융하여 오그라드는 형태로 착화되지 않고 불꽃이 사라지면 화염이 전파되지 않았다.

### 3.4 난연성능

건축용 막재의 난연성능 시험결과를 Figure 5와 Table 5에 나타내었다.

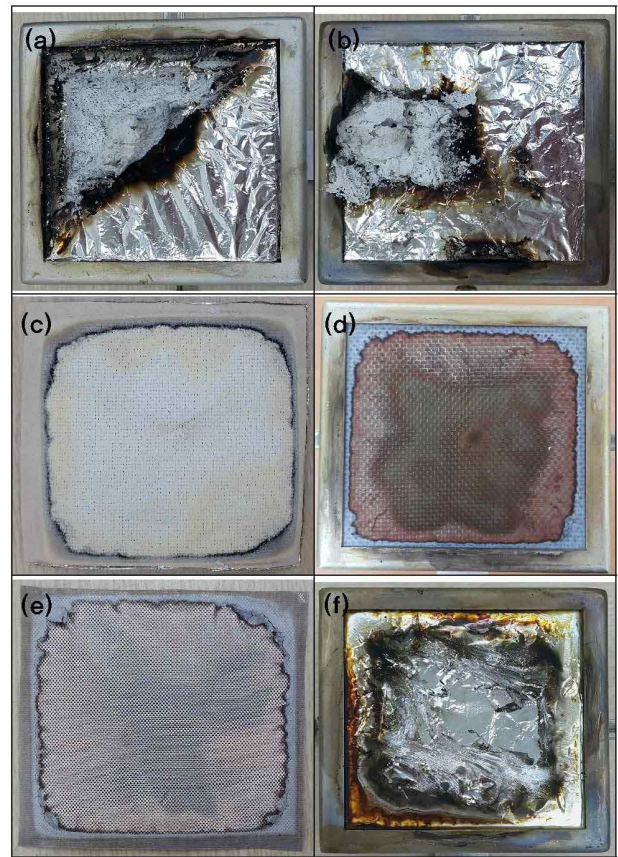


Figure 5. Conditions of architectural membranes after cone calorimeter test  
(a)PVF (b)PVDF (c)PTFE (d) BF (e)GBF (f)ETFE

Table 5. The results of cone calorimeter test

Sample name	PVF	PVDF	PTFE	BF	GBF	ETFE
PHRR (kW/m <sup>2</sup> )	136.06	150.94	22.00	6.86	4.48	38.09
Time to PHRR (s)	51	46	101	160	125	47
AHRR at 180s (kW/m <sup>2</sup> )	90.8	90.8	6.9	1.6	1.7	9.9
AHRR at 300s (kW/m <sup>2</sup> )	65.0	62.5	4.9	2.8	1.8	6.0
THR (MJ/m <sup>2</sup> )	22.2	21.2	1.7	1.3	0.8	1.8
Mass loss rate (g/s)	0.025	0.028	0.009	0.007	0.007	0.003
Time to ignition (s)	7	11	50	82	46	16
Total ignition time (s)	250	206	52	19	24	27

BF, GBF, PTFE 막재는 10분간 복사열을 가한 후에도 방화상 유해한 구멍이나 관통이 생기지 않고 형태를 유지하였으며 PVDF, PVF, ETFE 막재는 전소되었다. 방염성능 시험은 1분 이후에는 점화원이 제거되지만 콘칼로리미터법은 10분 동안 복사열을 계속해서 가하는 형태이다. 따라서 코팅층의 지속적인 손상으로 인해 폴리에스테르섬유가 열원에 노출되어 시험편이 전소되었다. ETFE 막재는 복사열에 노출되자마자 녹아 16초경에 착화되어 27초 동안 연소하였다.

### 3.4.1 열방출율(Heat release rate, HRR)

시험편의 연소 시 발생하는 열방출 특성은 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미친다. 착화시간(Time to ignition, TTI)을 통해 화재가 얼마나 빨리 발생할 것인지를 확인할 수 있다면 초기의 최대열방출율(Peak heat release rate, PHRR)은 화재의 초기성장 및 진행속도를 예측할 수 있다. 평균열방출율(Average heat release rate, AHRR)에 관한 선행 연구에서는 180초 혹은 300초에서의 AHRR이 실제 화재에서의 최대 발열량에 상응한다[13]. 또한, 180초에서의 AHRR보다 300초에서의 AHRR 값이 크다면 재료의 연소는 시간의 흐름에 따라 서서히 이루어진다고 할 수 있다 [11]. 따라서 본 연구에서도 각 시간별 재료의 열방출 특성을 확인하기 위해 180초, 300초에서의 AHRR을 확인하였으며 Table 5와 같다. 현무암섬유가 적용된 BF와 GBF 막재는 180초 보다 300초에서의 AHRR값이 크므로 재료의 열방출이 서서히 이루어지고 있음을 알 수 있다. PVDF와 PVF 막재의 경우 초기 180초까지의 AHRR값이 90.8kW/m<sup>2</sup>으로 그

이후의 시간보다 열방출량이 컸다. 또한, 50초 전후에서 PHRR값을 나타내어 연소의 진행속도와 열방출이 빠른 것을 확인하였다.

Figure 6은 시간에 따른 HRR 그래프이다. PVDF, PVF 막재는 200초 내에서 거의 모든 열방출이 이루어졌다. 착화 시간과 PHRR에 이른 시간이 가장 빨랐으며 총 연소시간은 모두 4분을 넘겼다.

BF와 GBF 막재는 약 400초까지 긴 시간동안 열방출이 진행되었다. 실험에 사용된 막재 중 가장 낮은 PHRR 값과 늦은 착화시간 및 짧은 연소시간을 나타내어 높은 난연성능과 화재안전성을 가진 것을 확인할 수 있었다. PTFE 막재의 경우 200초 내에서 대부분의 열방출이 이루어지긴 했으나 그 값이 적으며 100초경에 최대값을 나타내어 실제 화재 시 대형 화재확산 위험이 낮을 것으로 예상된다. ETFE 막재는 열방출을 값이 낮고 총 연소시간이 짧게 나타났지만 착화 시간은 매우 빠르며 재료가 전소되었다. ETFE 막재는 착화 시 열방출량이 크진 않지만 재료가 모두 소진될 때까지 연소하는 특징을 지닌다.

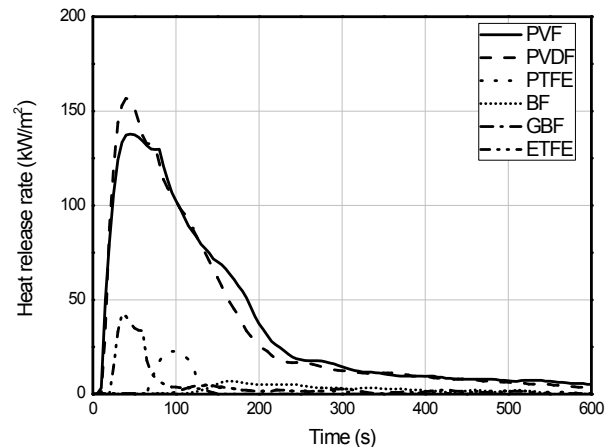


Figure 6. Heat release rate of architectural membranes

### 3.4.2 총방출열량(Total heat release, THR)

THR은 각 실험에서 시험체의 연소로 인해 방출된 열량의 총량으로서 실제 화재 시 발생하는 화재의 크기를 예측할 수 있다. 국토교통부 고시 건축물 마감 재료의 성능판정 기준에 따르면 준불연재료는 콘칼로리미터시험 10분 동안 THR 값이 8MJ/m<sup>2</sup> 이하이며 HRR 값이 10초 이상 200kW/m<sup>2</sup>을 초과하지 않고, 시험체를 관통하는 균열, 구멍, 용융이 없을 것으로 정하고 있다.



Figure 7에 시험에 사용된 6종 막재의 10분 동안 발생한 THR을 나타내었다. PVDF, PVF 막재는 시험 초기 200초 이내에서 값이 급격하게 증가하여 각각  $21.2\text{MJ/m}^2$ ,  $22.2\text{MJ/m}^2$ 으로 준불연재료의 요건에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 나머지 4종의 막재는 모두  $2\text{MJ/m}^2$  이하의 THR값을 나타내었고 GBF가  $0.8\text{MJ/m}^2$ 으로 가장 낮았다. 자동차 내·외장재, 가구 등에 사용되고 있는 난연성 직물인 노멕스 섬유 복합체  $0.41\text{mm}$ 의 경우 THR 값이  $24.6\text{MJ/m}^2$ 으로 BF, GBF, PTFE 막재의 THR 값이 매우 낮은 값임을 알 수 있다[12]. 따라서 현무암섬유를 적용한 BF, GBF 막재와 유리섬유 기반의 PTFE 막재는 착화시간이 길고 재료의 열방출량이 낮으므로 폴리에스테르섬유 계열의 막재보다 화재안전성이 높은 것을 알 수 있다.

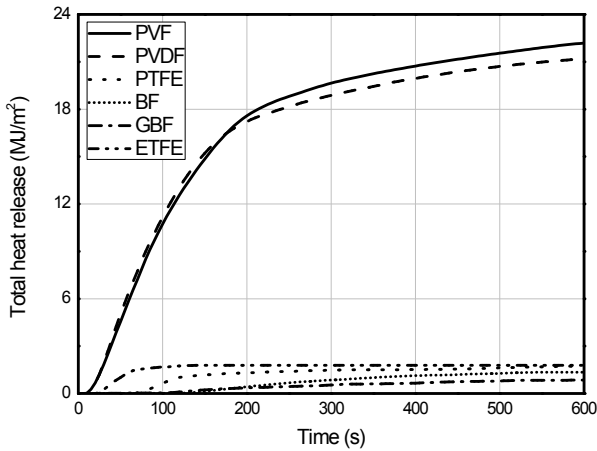


Figure 7. Total heat release of architectural membranes

### 3.4.3 질량감소율(Mass loss rate, MLR)

유효연소열을 알고 있는 단일 물질의 경우 질량감소율에 유효연소열을 곱함으로써 물질의 연소 시 발생하는 열방출률을 구할 수 있다[13]. 그러므로 질량감소율 또한 화재의 확산속도 및 크기를 예측할 수 있는 요소가 된다.

Figure 8에 콘칼로리미터시험 10분 동안 발생한 시험편의 감량을 백분율로, Figure 9에 각 시간에 따른 질량감소율을 나타내었다. 그래프를 보면 HRR값과 THR값이 클수록 질량감소율과 질량감소가 큰 것을 알 수 있다. PVDF,

PVF 막재는 시험 시작 후 1분에 질량감소가 가장 컸으며, 전체 질량의 80%가 감량된 것을 알 수 있으며 이때 HRR값이 최대로 나타났다. BF, GBF, PTFE 막재는 급격한 질량감소는 없었지만 시간이 흐를수록 일정량이 조금씩 감소하

는 형태를 보였다.

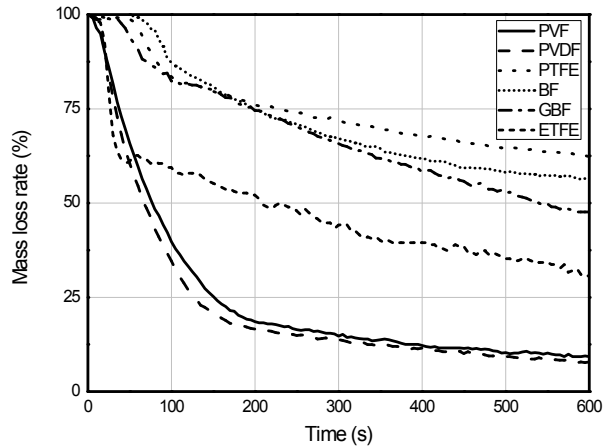


Figure 8. Mass loss rate of architectural membranes

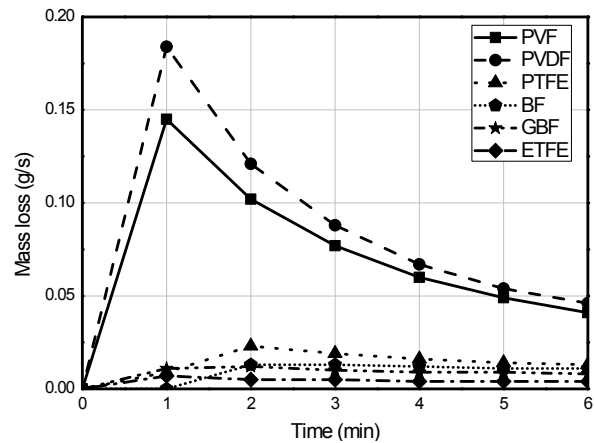


Figure 9. Mass loss of architectural membranes

## 4. 결 론

본 연구에서는 건축용 막재에 보다 높은 난연성을 부여하기 위해 현무암섬유를 직포로 적용하였으며 강도시험, 방염 및 난연성능 시험을 실시하여 기존의 건축용 막재와 비교, 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 방염성 실험 결과 현무암섬유를 적용한 막재와 PTFE 막재는 착화되지 않고 불꽃에 의한 손상이 적어 우수한 방염성능을 가진 것을 확인하였다. ETFE 막재의 경우 기존의 막재와 달리 불꽃이 닿으면 곧바로 용융하는 형태를 가지므로 고분자 특성을 반영한 별도의 평가 기준이 필요하다.

- 2) PVDF와 PVF 막재는 복사열을 가한 후 10초경에 착화되어 약 50초에 최대열방출율을 나타내었다. 또한, 총 방출열량이 약 22MJ/m<sup>2</sup>, 2분 이내에 질량의 70% 이상이 소실되었다. 이에 따라 실화재 발생 시 폴리에스테르섬유 기반의 막재는 화재의 성장속도 및 전파속도가 빠를 것으로 판단된다.
- 3) 현무암섬유와 유리섬유를 사용한 건축용 막재는 실험 전체 기열시간 동안 낮은 값의 열량이 서서히 방출되었으며 2MJ/m<sup>2</sup> 이하의 총방출열량을 나타냈다. 그리고 시험 종료 후 코팅재는 연소되었지만 직포의 형태를 그대로 유지하였다.
- 4) 실 화재 시 현무암섬유나 유리섬유 기반의 건축용 막재는 화재의 성장속도나 크기가 비교적 작을 것으로 판단된다. 따라서 막구조 건축물의 연소 가능성이 높은 경우 현무암섬유나 유리섬유 기반의 준불연 막재를 사용함으로써 건축물의 화재안전성을 높일 수 있다.

## 요 약

막구조 건축물의 시공 증가에도 불구하고 국내에는 내화 및 방화기준이 마련되어있지 않고 일반 건축물의 내화기준을 적용하고 있어 막구조 건축물과 막재료의 특성을 반영하지 못하고 있다. 또한 막구조 건축물의 내화 및 방염성능을 확보하기 위해서는 막재료가 규정된 난연성능을 만족해야 한다. 따라서 본 연구에서는 건축용 막재의 고온에서의 안전성을 확보하기 위해 현무암섬유를 직포로 적용하였다. 그리고 막재의 강도특성과 방염 및 난연특성을 기존의 건축용 막재와 비교, 평가함으로써 막재료의 평가기준에 대한 참고자료로 삼고자 한다. 연구결과, 현무암섬유와 유리섬유 기반의 건축용 막재는 낮은 열방출율과 총방출열량을 나타내 화재안전성이 높은 것으로 확인되었다.

**키워드** : 난연성능, 건축용 막재, 직포, 현무암섬유, 콘칼로리미터

## Acknowledgement

This research was supported by a grant from Project for Ceramic Fiber & Composite Center funded by Ministry of Trade, Industry and Energy.

## References

1. Ko Y. Development of polytetrafluoroethylene(PTFE) coated architectural membrane of more than 3 meters wide and high endurance products membrane[master' thesis],[Kongju]: Kongju National University; 2015. 40p.
2. Jang MH, Sur SY. Analysis on the construction cost of spatial structures, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, 2007 Jun;7(3):133-140.
3. Kim SD. The present and future of architectural fabrics, Architectural Institute of Korea, 2005 Oct;49(10):49-56.
4. Park KG, Yoon SK. Tearing strength test of architectural membrane, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, 2007 Apr;7(6):5-11.
5. Sur SY, Jang MH, Park KG, Kim SD. Study for tensile properties of architectural membrane with different yarn, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, 2010 Sep;10(3): 41-48.
6. KS K 0521 Textiles-Tensile properties of fabrics-Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method, Korea Standard Association (2011).
7. KS F 2819 Testing method for incombustibility of thin materials for buildings, Korea Standard Association (2005).
8. KS F ISO 5660-1 Fire Tests for Combustion (Cone Calorimeter Test), Korea Standard Association (2009).
9. Park SY, Kim D, Im HS. The Experimental Study for the Combustion-Property of Sandwich Panels using ISO 5660 Cone Calorimeter, Fire Science and Engineering, 2006 Dec;20(4):33-41.
10. Kim JH, Song H, Flame Resistance Performance of Glass Fiber and Polyester Fiber Architectural Membranes, Fire Science and Engineering, 2016 Feb;30(1):17-23
11. Kim JH, Song H, Shin HU. Flame resistance performance of architectural membranes using basalt woven fabric, Fire Science and Engineering, 2016 Apr;30(2):35-42
12. Park KG, Yoon SH, Bae BH. Mechanical characteristic test of architectural ETFE film membrane, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, 2009 Jun;9(2):77-82.
13. Lee KW, Kim KE, Lee DH. Combustion characteristic of fiber reinforced plastic by cone calorimeter, Fire Science and Engineering, 2004 Jun;18(2):68-72