

유리섬유 복합재료를 이용한 화재 비상통로용 스크린 소재 성능에 관한 연구

이정엽
DYETEC연구원 총괄기획본부

The Korea Academia-Industrial cooperation Society

Jung-Yub Lee

General Planing Division, Korea Dyeing&Finishing Technology Institute

요 약 초고층·복합시설은 수많은 사람들이 이용하고 있는 도심의 핵심시설로서 안전성을 최우선으로 하고 있으며, 화재발생 시 연기와 유독가스는 대형사고를 유발할 수 있다. 본 연구는 초고층·복합시설물에서 화재에 의한 재난이 발생했을 경우, 피난자들이 신속히 안전한 곳으로 피할 수 있는 비상 대피통로용 접이장치에 적용되는 섬유 스크린 소재를 개발하는 데 목적이 있다. 섬유 스크린 소재 개발 방향은 일반적으로 사용되는 철재 소재와 달리 접이장치 내 물형태로 장기간 보관 시 하중 부담이 적은 경량일 것과 차염/차연 기능이 우수해야 하며 복사열에 의한 피난자의 영향이 적어야 할 것이다. 이에 대해 난연성이 우수한 원단과 후가공을 조건으로 3종의 섬유 스크린 소재를 선정하여 열수축시험, 접촉열시험, 연소성시험, 난연도시험, 인장강도시험, 인열강도시험을 통해 성능평가를 수행하였다. 그 결과 경량의 원단이라도 후가공을 통해 우수한 성능을 발휘할 수 있으며, 실리콘수지 코팅이 섬유 스크린 소재 성능과 복사열에 의한 대피자의 안전을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 무게와 두께가 상이한 유리섬유 2종과 난연 실리콘수지 4종을 대상으로 코팅을 한 후 연소성시험을 수행하여 최적의 후가공조건을 평가하였다.

Abstract High-rise buildings and complex facilities are a representative urban system for the masses, and it requires an increasing role of commodity and safety. Smoke and toxic gasses can cause accidents due to fire in these systems. The purpose of this study is to develop a fiber screen material for emergency evacuation passages that can be avoided quickly and safely in cases of disasters. The fiber screen material is applicable to folding devices for emergency evacuation passages. The material is different from general steel material in that it is lightweight with less burden during storage for a long time in a roll form in a folding device. It also has an excellent secondary function in that it is less affected by radiant heat. Three kinds of fiber screen materials were selected that have good flame retardancy and post-processing characteristics. A performance evaluation was performed by a heat shrinkage test, contact heat test, combustibility test, flame retardancy test, tensile strength test, and tear strength test. As a result, the lightweight fabric shows excellent performance through post-processing, and silicone resin coating can secure safety of the pizza by the fiber screen material performance and radiant heat. The optimum post-treatment conditions were evaluated by performing a burning test after coating two kinds of glass fibers and four types of flame-retardant silicone resins with different weight and thickness.

Keywords : Complex facility, Fire prevention fiber, Glass Fiber Composites, Screen Material Performance, Skyscraper

이 논문은 2016년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 융합연구단 사업(no. CRC-16-02-KICT)의 지원을 받아 수행된 연구임.

*Corresponding Author : Jung-Yub Lee (Korea Dyeing&Finishing Technology Institute)

Tel: +82-53-350-3743 email: leejy@dyetec.or.kr

Received November 9, 2017

Revised (1st November 20, 2017, 2nd January 16, 2018, 3rd January 25, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 필요성 및 연구 목적

1.1 필요성

초고층건물이나 복합시설물은 불특정 다수가 이용하는 시설물로서 화재와 같은 재난이 발생하게 되며 피난자의 신속한 대피가 반드시 요구된다.

2003년 발생한 대구지하철의 경우, 화재가 발생한지 10여분 만에 전역으로 확산되었고, 발생한 사상자 대부분은 연기와 유독가스에 의한 질식사였다. 그 원인으로 비상구와 피난유도등의 기능성·시인성·인지성의 저하와 골든타입의 초기 대응 부족이었다[1].

2016년 10월 서울시에서는 서울지역 지하철 5~8호선 역에서 화재가 발생했을 경우를 가정하고 피난 대피시간을 측정하였다. 결과, 145개 역사 중 51%(74곳)가 4분을 초과하는 것으로 조사되었다.



Fig. 1. Daegu Subway Iron Fire Shutter('03)

일반적으로 화재가 처음 발생하게 되면 3~5분 사이에 흰 연기가 발생하고, 이후 5분 정도가 지나면 검은 연기와 함께 유독가스가 발생하여, 피난자 시야확보는 물론이고 피난 중 호흡 불능으로 사망자가 발생하게 된다. 연기가 인명위험의 가장 중대한 원인이 되는 것은 화염에 비해 연기가 건물 내에서 확산되는 속도가 매우 빠르기 때문이다[2].

따라서, 건축법시행령 등에서 방화문, 방화셔터에 대해 규정하고 있으며, 화염과 연기의 전파를 막기 위해 공공건물 등에 시공되어 있다.

일반적으로 방화용 소재는 철제를 많이 떠올리지만 설치면적, 무게, 유지관리 면에서 불편한 점이 많고, 1998년 4월 일본에서 초등학생 사망, 2016년 4월 대한민국의 초등학생 의식불명 등 오작동에 의한 부적합점이

나타나고 있다.

해외에는 설치공간, 중량, 가격 등의 장점으로 방화셔터 소재가 철제에서 내열성이 우수한 무기질 섬유를 이용한 섬유로 변화하고 있으며, 국내에도 시장이 점차 확대되고 있다.

1.2 연구 목적

본 연구는 초고층건물, 복합시설물 화재 발생 시 피난자 안전을 위한 비상 대피통로 접이장치에 설치하는 섬유 스크린 소재 개발을 위한 것으로, 벽면에 설치되는 접이장치 내 케이스 롤형태로 보관 시 하중 부담이 적은 경량일 것과 차임/차연 기능이 우수하고 복사열 영향이 적은 소재를 개발하는데 목적이 있다.

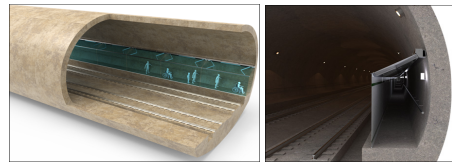


Fig. 2. Fire Emergency-Passage

2. 비상통로용 섬유 스크린 소재 평가

2.1 섬유 스크린 소재 선정 조건

용도 : 기존 철제방화셔터와 섬유방화스크린은 방화구획의 용도로 넓은 공간에 부득이하게 내화구조로 된 벽을 설치하지 못하는 경우에 사용되며, KS F 2268-1 (비차열 1시간 성능), KS F 4510(차연성능)의 성능을 확보해야 한다(국토교통부고시 제216-193호). 본 연구를 위한 섬유 스크린 소재 용도는 피난자가 연기 피해로부터 우선적으로 안전을 확보하고 신속하게 대피를 할 수 있는 통로를 생성하는데 있어 기존 소재와 성능기준과는 차별성이 있다.

무게/두께 : 국내의 섬유방화스크린 제조사에서 제공하고 있는 무게/두께를 분석한 결과 두께는 0.6~1.0mm, 무게는 600~1,200g/m² 가량이며, 대부분 천정 내 매립되므로 무게/두께의 제약이 크게 있지 않다. 이에 반해, 평상 시 구조물 벽체 측면에 위치하는 비상 대피통로 케이스 내 감겨있어야 하는 특성상 가급적 하중의 영향을 최소화하기 위해 우선적으로 고려된 조건이 경량성이다 (Fig 2 참조). 또한, 얇을수록 케이스 설계크기가 작아지

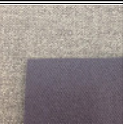

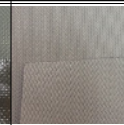

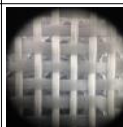
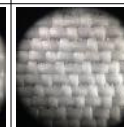
므로 두께도 선정 우선항목이다.

원단 : 기존 섬유방화스크린 원단은 KS F 2268-1(비차열 1시간 성능)을 확보하기 위해 대부분 실리카섬유로 제작된다. 본 연구를 위해 용도와 무게/두께 등을 고려하여 불연/내열 원사로 제작된 유리섬유와 하이브리드(아라미드섬유+탄화섬유)를 선정하였다. 특히, 유리섬유는 작업성에는 불리하지만 가격 대비 성능에서 우수하며, 흰색의 소재로서 대피 시 폐쇄감이 다른 원단에 비해 적은 점이 있다.

후가공법 : 유리섬유에는 AL foil 코팅(단면)과 난연 실리코코팅(양면)이 후가공된 소재를 선정하였으며, AL foil이 코팅된 유리섬유는 무게와 두께에서 가장 유리하다. 이들 유리섬유 스크린 소재 소재는 성능평가를 통해 향후 후가공법에 대한 기준을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 하이브리드섬유 스크린 소재는 향후 원단 선정과 유리섬유 스크린 소재와의 비교를 위해 선정하였다. 특히, AL foil은 표면에 폴리에스터 필름이 코팅되어 있어 장기간 노출 시 우려되는 부식 또는 산화에 대한 영향은 거의 없다.

상기와 같은 조건을 통해 3종의 섬유 스크린 소재를 선정하였다.

Table 1. Fiber Screen Material

Sample no.	I	II	III
Picture			
			
Type	PU coated hybrid fiber	AL coated glass fiber	Silicone coated glass fiber
Material	Oxy-pan+ P-aramid PU Black	E-glass AL Foil	E-Glass Silicone
Structure	Twill	Plain	Satin
Width(mm)	1,500±20	1,015±10	1,020±20
Weight(g/m ²)	290±20	123±10	580±30
Thickness(mm)	0.45±0.05	0.12±0.03	0.42±0.05

2.2 성능평가

본 연구 조건에서의 섬유 스크린 소재 평가 항목 기준이 명확하게 없어 국내의 자료를 통해 ISO와 KS에서 규정하고 있는 시험법을 선정하였다[3, 4].

2.2.1 열수축시험(ISO 17493)

복사열이 지속적으로 영향을 미치는 환경에서의 섬유 스크린 소재 성능평가는 260℃의 오븐에서 5분 동안 노출되어 외관변형과 수축/신장률 결과를 시험하는 열수축 시험을 실시하였다.

3종 소재를 대상으로 한 시험결과 접착, 구멍 형성, 적하, 부스러짐, 분리 등의 외관 변화는 발견되지 않았으며, 경/위사 방향으로 0.2~1.8%의 수축률이 관찰되어, 모두 차열/차연 기능을 확보 가능하다고 판단되었다. 또한, AL foil이 코팅된 유리섬유 소재는 최소 경량/두께 임에도 불구하고 경사방향 수축률이 최소값을 보이고 있어, 원단이 경량이라도 후가공 방법에 따라 우수한 차열/차연 성능을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2. Result of ISO 17493

Sample no.		I	II	III
Type		PU coated hybrid fiber	AL coated glass fiber	Silicone coated glass fiber
Shrinkage (%)	warp	-1.4	-0.2	-0.3
	weft	-1.8	-0.6	-0.3
Exterior Strain		No	No	No

2.2.2 접촉열시험(ISO 12127-1)

유리섬유를 사용한 소재(II)와 소재(III)을 대상으로 접촉열 전도율을 평가하기 위해 열수축시험과 동일한 온도인 260℃ 조건에서 접촉열시험을 수행하였다.

시험 시작 시간과 열량계 온도가 시작 온도(260℃)보다 10℃ 올라갔을 때까지 시간은 각각 8.0초와 8.4초로서 경량이면서 단면 코팅이 된 소재(II)가 더 우수한 결과가 나타났다.

열수축시험과 접촉열시험을 통해 원단과 후가공의 조합으로 본 연구 목표인 경량, 차열/차연성능이 우수한 소재를 개발할 수 있음을 확인하였다.

Table 3. Result of ISO 12127-1

Sample no.	II	III
Type	AL coated glass fiber	Silicone coated glass fiber
Threshold Time (sec)	8.0	8.4

2.2.3 연소성시험(수직법, KS K 0585)

소재(I)은 가장 긴 잔염시간을 보였으며 PU 코팅면




상단까지 불꽃이 관찰되었다. 원단 노출면은 변색 외 특이한 사항은 관찰되지 않았다.

소재(II)는 잔염시간동안 AL foil과 유리섬유 간 접착물이 연소되면서 현상이 관찰되었다. 화원 접촉부를 중심으로 AL foil과 유리섬유 간 분리가 관찰되었다.

소재(III)은 수축이나 외관 변형이 관찰되지 않았으며, 화원 접촉부에서 1초의 잔염이 발생하였다.

후가공 소재에 따라 연소성이 상이하며, 이는 대피자 안전에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로, 가장 성능이 우수한 실리콘수지 코팅을 유리섬유 스크린 소재 개발을 위한 후가공법으로 선정하였다.

Table 4. Result of KS K 0585

Sample no.	I	II	III
Picture			
Type	PU coated hybrid fiber	AL coated glass fiber	Silicone coated glass fiber
Duration of flame(sec)	22~81	17~21	0
Duration of afterglow(sec)	0	0	1
Char length (cm)	0~0.2	0.2~0.7	0

2.2.4 난연도시험(수평법, KS K 0583)

연소성시험 결과 AL foil과 유리섬유 간 박리가 관찰된 소재(II)에 대해 AL foil면에 난연도시험을 수행하였다.

시험 초 복사열에 의해 유리섬유면에서 탄화가 발생하였으며, 시험 후 유리섬유면 탄화직경은 AL foil면보다 2배 큰 특성을 보였다. 수직법과는 달리 잔염은 발생하지 않았으며 이는 수직법에서 화원이 AL foil과 유리섬유 간 접착물에 영향을 미쳐 잔염시간이 발생한 것으로 판단된다. 또한, 수직법과 동일하게 AL foil과 유리섬유 간 분리가 관찰되었다.



Fig. 3. Result of KS K 0583
(a)AL foil side (b)Glass fiber side

2.2.5 강도시험(KS K 0521, KS K 0536)

강도시험은 스트립법에 의한 인장강도시험(KS K 0521)과 텅법에 의한 인열강도(KS K 0536)를 각각 경사와 위사방향으로 나눠 수행하였으며, Table.5는 이에 대한 결과이다.

각 소재별 강도시험 결과는 후가공 소재과 제조법 뿐만 아니라 특성보다는 중량과 두께 등 직물 특성이 종합적으로 영향을 미친 것으로 판단된다. 즉, 가장 경량인 소재(II)는 조직 특성상 느슨하게 제작될 수 밖에 없으며, AL foil이 단면 코팅되어 있으므로, 실리콘수지가 양면으로 코팅되어 있고 4.7배 중량과 3.5배 두께인 소재(III)보다 강도는 낮을 수 밖에 없을 것이다.

따라서, 본 의 목적인 경량의 차염/차연성능을 갖는 스크린 소재 개발을 위해서는 경량의 직물뿐만 아니라 적합한 후가공 소재를 복합적으로 적용해야 한 소재를 개발해야 할 것으로 판단된다.

Table 5. Result of KS K 0521, KS K 0536

Sample no.		I	II	III
Type		PU coated hybrid fiber	AL coated glass fiber	Silicone coated glass fiber
KS K 0521 (N/5cm)	warp	1,800	830	3,200
	weft	1,300	810	1,900
KS K 0536 (N)	warp	80.9	66.3	131.7
	weft	88.0	48.2	169.9

3. 유리섬유 스크린 소재 개발

3.1 섬유복합재료

섬유복합재료는 역학적인 재료특성이 서로 상이한 섬유와 수지(매트릭스)로 구성되며, 각 재료는 단면에 균등하게 분포되어 독특한 재료특성을 갖춘 제 3의 재료가 된다. 유리섬유 복합재료에서 유리섬유는 기계적 강도를 부여하고, 수지는 섬유를 분리, 유지시키고 힘을 분산시키며 외부환경으로부터 섬유를 보호한다[5]. 이러한 섬유복합재료는 우수한 등방성 재료와 비교하여 비강성과 비강도가 높고, 감쇠 및 충격 특성이 우수하기 때문에 항공우주, 수송기계, 무기 등의 분야에서 그 이용이 점차 증가하고 있으며, 응용 분야 또한 다변화되고 있다[6].

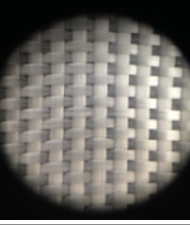
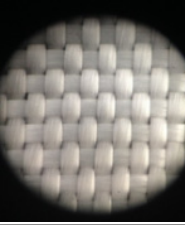
3.2 원단 선정

본 연구를 위한 원단으로 난연성능과 가격 경쟁력이

높고, 백색으로 대피자의 폐쇄공포감이 적을 것으로 판단되는 유리섬유로 선정하였다. 유리섬유는 인장강도가 크고 내풍화성, 내약품성, 표면전기저항 등의 뛰어난 표면특성을 갖고 있다.

본 연구를 위해 중량과 두께가 상이한 2종의 유리원단을 선정하였으며, 수지를 첨가한 복합재료화 후 중량과 두께가 증가하는 각 조건에서 성능평가를 수행하였다.

Table 6. Glass Fiber

no.	A	B
Picture		
Weight(g/m ²)	140	280
Thickness(mm)	0.17	0.32

3.3 수지 선정

수지는 물성과 일정 성분이 상이한 난연 실리콘 수지 4종을 선정하였다. 난연 실리콘 수지로 사용되는 열안정성이 우수한 PDMS(Poly Dimethyl siloxane) 타입의 고분자는 내열 소재로 주목받고 있다. PDMS는 실리콘 고무 수지를 지칭하기도 하며 내열 수지로 사용 시 열분해 후 표면에 산화규소가 생성된다. 이 산화물 피막은 고분자와 열원사이 방어막 역할을 하여 이차 열원으로부터 공급되는 열과 산소를 차단해 추가 연소를 막아주는 장점을 가지고 있다[7].

Table 7. Silicone resin

no.	a	b	c	d
Viscosity (cP)	160,000	100,000	50,000	40,000
Tesion Strngth (MPa)	3.5	6.0	5.0	3.8
Internal Tearing Strength(KN/m)	5.0	35	30	5.5
Elongation(%)	1,000	500	300	180

3.4 복합재료화 방법 선정

유리섬유와 실리콘 수지를 복합재료화 위해 선행된 소재 성능평가 결과에 따라 섬유 후가공법 중 하나인 코팅을 한 후 성능평가를 수행하였다.

섬유 코팅이란 섬유 용도에 따라 내열성, 난연성, 내마모성, 강인성, 내후성 등의 특성이 요구되므로 특수 가공 및 처리과정을 거치게 되며, 원단에 기능을 부여하기 위해 여러 가지 재료로서 피막을 형성하여 피복하는 기술이다. 사용한 코팅기는 원단을 0.4m×0.3m 크기로 잘라서 거치시킨 후 코팅법과 건조조건을 다양하게 적용할 수 있어 실제 코팅 전 코팅조건을 선정하는데 사용되는 장비이다.

사용된 코팅법은 Knife over Roll 방식으로 J-Knife를 이용한 단면코팅으로 코팅두께는 0.1mm, 0.3mm, 건조시간은 180℃ 조건에서 3분으로 설정하였다. 수지배합은 1회용 스푼과 컵을 사용하였으며, 점도가 높은 실리콘 수지 특성 상 고속으로 교반될 경우 코팅 전 경화가 시작될 수 있으므로 300rpm 이하 저속으로 약 5분간 실시하였다. 모든 공정에서 상이한 수지가 배합되지 않도록 교반기와 J-Knife는 에탄올로 세척하였다. 배합점도와 고형분 측정은 실리콘 수지 특성상 예외로 하여 실시하지 않았다.

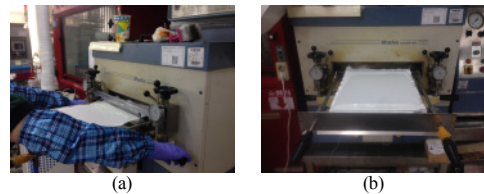


Fig. 4. Lab Coating
(a)Knife over Roll Coating (b)Result of Coating

3.5 유리섬유 스크린 소재 성능평가

유리섬유 원단에 대한 연소성시험을 수행한 결과, 두 소재 모두 잔염은 관찰되지 않았으며, 잔진시간은 1초(중량 : 140g/m², 이하 소재 A)와 2초(중량 : 280g/m², 이하 소재 B)으로 측정되었다. 또한, 4.45N의 추를 이용한 탄화거리 측정은 추의 중량에 비해 원단 밀도가 낮아서 추가 위치한 지점에서 찢어짐이 발생하여 측정이 불가능하였다. 연소성시험 후 탄화거리를 측정하기 전 소재 A는 불꽃에 의해 접촉면이 평균 1cm 연소가 되었으며, 소재 B는 불꽃 접촉면에 원사가 노출된 시험조건임에도 평균 0.3cm 연소가 되어 두 소재 모두 원단 자체 내열성이 확보되어 있음을 알 수 있다.

상기와 같이 유리섬유 자체 내열성은 확보되어 있으나, 제직 특성상 경사/위사 간 틈새로 화재 연기의 차연

기능과 경계면 울퉁임, 형태안정성이 미흡한 상태로서 이를 극복하기 위해 복합재료화가 요구된다.

연소성시험 결과 모든 원단 외관에서 관찰되는 특징은 다음과 같다.

첫째, 코팅면은 불꽃 접촉부부터 불규칙형상으로 경화되어 쪼개지면서 탈락되며, 원단은 수지에 의해 보호되어 외형적 변화는 관찰되지 않는다.

둘째, 탄화거리는 원단에 불꽃에 의해 훼손되면서 발생하는 것이 아니라, 추의 중량에 의해 불꽃 접촉면 좌우 경계면에서 관찰된다.

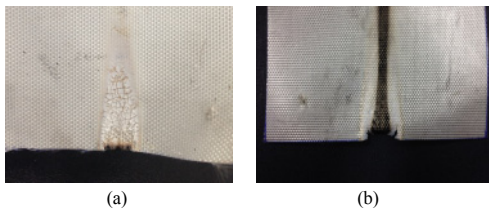


Fig. 5. Special quality of fabric
(a)Resine break (b)Char length

연소성시험 결과 소재 특징은 다음과 같다.

첫째, 잔염시간(Duration of flame)은 인화원을 제거했을 때 원단에 불꽃을 보이면서 연소하는 것으로, 원단 중량과 코팅두께와 상관성이 크지 않는 것으로 판단되며, 잔염은 하부 경계면에서 관찰되고 상부로 확산은 발생하지 않았다.

둘째, 잔진시간(Duration of afterglow)은 인화원을 제거했을 때 불꽃이 꺼진 뒤에도 계속해서 연소하는 것으로, 동일 원단에서 코팅두께가 증가할수록 비례하지만, 원단 중량과는 큰 상관성이 없는 것으로 경향을 보인다. 이는 상대적으로 많은 수지가 불꽃에 영향을 받으면서 발생한 것으로 판단되며, 잔진 발생 형태는 잔염과 같다.

셋째, 탄화거리(Char length)는 소재 끝에서 탄 곳 중앙의 찢긴 곳까지 거리이며, 코팅두께, 원단 중량에 반비례적인 상관성을 보이고 있다.

수지 4종의 코팅두께 0.1mm 조건에서의 연소성시험 결과, 원단 중량에 따라 수지 종류에 상관없이 탄화거리는 반비례 관계를 보이고, 잔염시간은 동일한 결과를 보이고 있다. 또한, 잔진시간과 원단 중량은 상관성이 없는 것으로 판단되며, 수지 종류에 따라 잔진시간 분포가 상이한 결과를 보인다.

Table 8. Result of KS K 0585(Resine a)

Glass fiber no.	A		B	
Glass fiber side				
Coating side				
Coating thickness (mm)	0.1	0.3	0.1	0.3
Duration of flame(sec)	0	0	0	3
Duration of afterglow(sec)	1	5	2	10
Char length (cm)	0.8	0.0	0.2	0.0

4. 결론

본 연구는 초고층·복합시설에서 화재 발생 시 전개되는 비상 대피통로 접이장치에 적용되는 경량 차염/차연 섬유 스크린 소재를 개발하는 것을 목표로 총 3차년도에 걸쳐 진행되는 연구 중 1차년도 진행 결과이다.

섬유방화스크린은 철제방화셔터 대안으로 개발되어 고시된 동일한 성능기준을 만족해야하는 제원(원단/무게/두께 등)의 제약이 있다. 하지만, 본 연구는 연기로부터 피난자가 신속하게 대피할 수 있는 용도로 개발되므로 제원, 성능기준 선정에 다양성이 있다.

따라서, 불연성이고 산업용으로 널리 사용되는 유리 섬유 복합재료를 스크린 소재로 활용하기 위해 다양한 섬유 복합재료를 선정하고 국내·외 성능평가시험을 수행하였다. 그 결과 경량의 원단이라도 후가공에 따라 상대적으로 두께/무게가 큰 원단보다 동등한 성능을 발휘함을 알 수 있었으며, 후가공 중 실리콘수지 코팅이 상대적으로 우수하였다.

상기와 같은 결과를 바탕으로 무게/두께가 상이한 2종의 유리섬유를 대상으로 4종의 난연 실리콘수지를 코팅하여 연소성시험을 한 결과 경량의 유리섬유와 난연성이 우수한 실리콘수지를 적절한 두께로 복합재료화 하게 되면 본 연구 목표에 적합한 섬유 스크린 소재를 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Y. S. Kim, K. I. Kim, "ActionPicto Design:A Proposion for High Visibility in the Sign System for Evacuation", *The Korean Society of Illustration Research*, vol. 52, pp. 67-76, 2017
- [2] D. M. Lee, "A Study on the Displacements Thermal Stress Analysis of Smoke/Heat Interception Screen in Fire Door", *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, vol. 18, No 2, 2014
- [3] J. H. Kim and H. Song, "Flame Resistance Performance of Glass Fiber and Polyester Fiber Architectural Membranes", *Fire Science Engineering*, vol. 30, no. 1, PP 17-23, 2016
- [4] G. C. Kim and K. H. Choi, " Tests of Fire and Flame Retardant Performance for Membrane Materials", *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, vol. 16, no. 2, pp 55-60, 2016
DOI: <https://doi.org/10.9712/KASS.2016.16.2.055>
- [5] H. Y. Park, M. S. Ahn, amd M. K. Na, "Compressive Strength of FRP in Variation with Fiber Orientation", *The Korean institute of electrical engineers*. pp. 1349-1350, 2006
- [6] Chen, W. C. "Some Experimental Investigations in the Drilling of Carbon Fiber Reinforced Composite Laminations", *International Journal of Machine Toll and Manufacture*, vol. 37, No 8, pp. 1097-1108, 1997
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(96\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(96)00095-8)
- [7] C. R. Toon, J. H J. Lee, D. S. Bang, I. Y. Jang, J. P. Won, and W. Y. Park, "Preparation and Characterization of Fire Resistant Silicone Polymer Composites Containing Inorganic Flame Retardants", *Elastomers and Composites*, pp. 87-93, 2010

이 정 엽(Jung-Yub Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 영남대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2002년 9월 ~ 2015년 5월 : 한국건설기술연구원 지반연구소 전임연구원
- 2015년 5월 ~ 현재 : DYETEC연구원 총괄기획본부 선임연구원

<관심분야>

방재공학, 지반공학, 방재섬유