

## 論文

## 샌드위치 패널 및 내장재 특성 연구

허완수\*, 이상원\*, 김장엽\*, 이종호\*\*

## Characteristics of Sandwich Panels and Indoor Composite Materials

Wansoo Huh\*, Sang Won Lee\*, Jang Yup Kim\*, Jong Ho Lee\*\*

## ABSTRACT

In this paper, the sandwich panel composites consisting of core material and face sheet were studied to evaluate the mechanical properties, noise level and fire resistance including flammability, smoke, and toxicity. Four types of sandwich panel were prepared using various kinds of panel and honeycomb materials. It was observed that Al honeycomb/Al skin composite materials had the excellent flatwise tensile strength and edgewise compressive strength compared with other types of composites. The flatwise compressive strength and flexural strength of Nomex honeycomb/Al skin composite were higher than those of other composites. PMI form/Al skin composite showed the higher core shear strength and facing bending strength. From the experimental results of flame resistance tests, it can be said that the phenol based skin composite has the excellent flame retardation properties, which are similar to those of the commercial skin composites.

## 초 록

본 연구에서는 샌드위치 패널 구성 요소인 면재와 심재를 변화시켜 4종류의 샌드위치 패널을 제작하였다. 그리고 제작된 샌드위치 패널의 기계적 특성과 철도차량 개발시 중요한 요인으로 작용하는 음향투과 특성 그리고 화재에서의 안정성을 확인하기 위하여 난연특성 실험을 통하여 샌드위치 패널의 특성을 검토하고자 하였다. 샌드위치 패널의 기계적 특성은 알루미늄 면재 + 알루미늄 하니컴 심재로 구성된 샌드위치 패널이 면방향 인장강도와 변방향 압축강도 특성에서 우수하며 알루미늄 면재 + 노멕스 하니컴 심재로 구성된 샌드위치 패널은 면방향 압축강도와 굽힘강도가 우수한 것으로 확인되었다. 알루미늄 면재 + PMI 폼 심재로 구성된 샌드위치 패널은 심재의 전단강도 및 면재의 굽힘강도가 우수하였다. 난연성 시험에서는 phenol 수지 면재와 2종의 외국 면재는 모든 시험 결과에서 유사한 결과를 확인하였다.

## 1. 서 론

복합소재는 2개 이상의 물리적으로 다른 구성 요소가 그 자체의 원래 구조와 특성을 유지한 채 결합하여 만들어진 재료이다. 거시적인 관점에서는 이러한 정의가 자연적인 복합소재인 나무, 뼈 등과 인공적인 복합소재인 강화 콘크리트, 유리섬유, 종이류 등 다양한 종류의 소재에 대해서 적용될 수 있지만 현대적인 의미의 복합소재는 일반적으로

섬유강화 플라스틱(FRP, Fiber Reinforced Plastics) 혹은 샌드위치 패널(sandwich panel)을 지칭한다[1].

FRP는 일반적으로 취성이 강한 유리나 탄소 등의 섬유재와 폴리에스터, 에폭시 등의 수지로 만들어진 다. 각각의 요소가 단독으로 갖는 특성이 실용적으로 필요한 기계적 물성보다 떨어지지만 두 요소의 결합에 의한 복합소재는 중량 대비 특성이 금속에 비해 월등히 우수하다. 또한 FRP를 채택하므로 매우 수준 높은 정도의 설계 유연성을 확보할

\* 숭실대학교 환경화학공학과

\*\* 한국생산기술연구원 생활산업기술개발센터

\*+ 숭실대학교 환경화학공학과, 교신저자(E-mail:wshuh@saint.soongsil.ac.kr)

수 있다. 예상되는 부하에 따라 수지 내부에서 섬유와 수지의 접착을 조정하는 것이 가능하고 결과적으로 주어진 응용분야에서 FRP 요소의 강성과 강도를 최적화할 수 있다[2].

샌드위치 패널은 저밀도의 심재와 얇은 면재(face plates)로 구성되어 있으며, 구조재로 사용되는 I-beam과 유사한 기계적 특성을 갖는 경량 구조재이다. 샌드위치 패널의 면재는 주어진 부하에 대해서 굽힘 응력을 받는 I-beam의 플랜지와 같은 역학적 역할을 한다. 심재는 I-beam의 웹(web)와 마찬가지로 전단응력을 받는다. 전형적으로 사용되고 있는 심재는 하니컴이나 중합체 폼(polymer foam)이 있고, 면재는 보통 FRP나 알루미늄을 사용하고 있다. 강성이 높고 비교적 두께가 얇은 면재를 밀도가 낮은 심재의 양면에 부착시킨 형태의 샌드위치 패널은 굴곡강도가 우수하며, 단일 부재의 금속재나 복합재에 비해 비강성과 비강도가 높을 뿐 아니라 피로특성, 단열성, 흡음성 등이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 샌드위치 패널은 항공기, 선박, 철도차량, 냉동컨테이너, 건축재 등의 부재로서 널리 활용되고 있다[3].

특히 샌드위치 패널 복합재는 철도차량 분야에서 무게 감량에 따른 운전경비 절감과 속도향상에 기여하고 있다. 재료자체의 낮은 비중에 따른 무게의 감량 효과가 크고 금속으로는 성형이 어려운 cab ends, nose section과 같은 복잡한 모양을 용이하게 성형할 수 있을 뿐 아니라 내부식성 및 내충격성이 큰 복합소재의 장점을 적극 살려 철도차량에 실용적으로 적용할 수 있는 샌드위치 패널 개발이 절실히 요구되어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 샌드위치 패널 구성 요소인 면재와 심재를 변화시켜 4종류의 샌드위치 패널을 제작하였다. 그리고 제작된 샌드위치 패널의 기계적 특성과 철도차량 개발시 중요한 요인으로 작용하는 음향특성과 특성 그리고 화재에서의 안정성을 확인하기 위하여 난연특성 실험을 통하여 샌드위치 패널의 특성을 검토하였다.

## 2. 제조 및 실험방법

### 2.1 샌드위치 패널 심(core)재 선정

복합소재는 철도차량에서 바닥재, 내부 벽면판재, 천장재 그리고 내장재에 이용되며, 적용부위에 따라 그 구조 및 소재가 다르게 성형되어 적용된다. 샌드위치 패널은 상대적으로 두껍고 낮은 밀도의 심재(core material)의 양쪽 표면에 얇고 높은 강도의 면재(skin, facing)를 접착한 구조를 이루며 하니컴(honeycomb) 심재의 경우 면재와 접착하기

위해 접착제가 필요하다. 샌드위치 구조의 복합소재가 철도차량에 사용되는 이유는 얇고 강한 면재가 단독으로 또는 심재에 의해 지지되고 있을 때 기계적 특성이 만족할 만한 결과를 보여주기 때문이다. 샌드위치 패널을 제작할 때 심재의 두께가 두꺼울수록 기계적 성질이 향상되나 중량이 증가하므로 철도차량의 경량화를 위해서는 기계적 특성을 만족하면서 밀도가 낮은 심재의 사용이 요구되고 있다[4]. 이러한 이유 때문에 심재를 선정 할 때 심재의 단위 밀도 당 강도를 비교하는 것은 중요한 사항이다. 본 연구에서는 샌드위치 패널 제작을 위해 현재 복합소재 분야에서 많이 사용되고 있는 알루미늄 및 노멕스 하니컴과 PMI 폼 등 3 종류의 심재를 선택하였다. Table 1에 샌드위치 패널용 심재의 사양을 나타내었다.

Table 1 Specifications of Core Materials

	Aluminum Honeycomb <sup>1</sup>	Nomex Honeycomb <sup>2</sup>	PMI <sup>3</sup>
density (kg/m <sup>3</sup> )	48	48	75.3
cell size (mm)	9.5	4.2	-
compressive strength(KPa)	1792.6	1903	1468.6
shear strength(KPa)	1378.9	1158.3	1275.5

1. Aluminum 5052

2. Aramid fiber coated with phenolic resin

3. Polymethacrylimide foam

Table 2 Preparation of Composites

	facing materials	core materials
A type	aluminum	Al. Honeycomb
B type	aluminum	Nomex honeycomb
C type	aluminum	PMI
D type	phenol resin	Nomex honeycomb

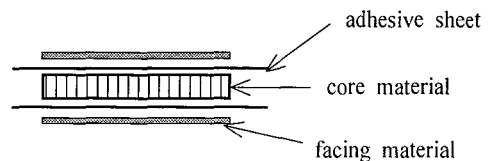


Fig. 1 Constituent unit of sandwich panel.

## 2.2 샌드위치 패널의 제작

샌드위치 패널은 철도차량에서 적용부위에 따라 구조 및 소재가 다르고, 성형방법도 hot press molding법, autoclave molding법, match mold press법, vacuum bag processing법 등으로 다양하다. 철도차량 내장용 복합소재의 특성 실험 및 평가를 위해서 알루미늄과 페놀수지를 면재(3mm)로 사용하고 알루미늄 및 노맥스 하니컴, PMI 폼 심재(54mm)를 조합하여 4종류의 샌드위치 패널을 제작하였으며 그 구성을 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 면재와 심재의 접착은 에폭시계 Bondex 206(한국화이바) 접착 sheet를 사용하였으며 hot press molding법으로 제작하였다.

## 2.3 실험

복합소재를 철도차량에 적용하기 위해서는 복합소재가 국제적으로 공인되거나 국가별 특성에 따른 기준 및 규격을 만족하여야 한다. 현재 국내에는 철도차량용 복합소재의 기준 및 규격이 설정되어 있지 않은 실정으로 본 연구에서는 프랑스 TGV에 적용되고 있는 규격과 국제적으로 공인된 규격에 따라 실험을 수행했다. 복합소재와 관련하여 객차의 fitting이나 interior arrangement에 적용하는 세부시험평가 기준은 기계적 특성, 화학적 특성, 난연 특성(flammability, smoke, toxicity)등을 만족하여야 하며, 이에 대한 자료들은 KS, UIC, ASTM 등에 규정되어 있다. 본 연구에서는 샌드위치 패널의 기계적 특성시험을 위하여 Instron사의 UTM(5 ton)을 사용하여 인장실험과 압축실험을 수행하였다. 압축실험의 경우 Fig. 2에 나타난 것과 같이 압축방향에 따른 압축강도를 확인하기 위하여 응력을 (a) 변방향과 (b) 변방향 가하여 수행하였다. 차음시험은 실험실에서의 음향투과손실 측정방법을 규정하고 있는 KS F 2808 규격에 준하여 샌드위치 구조물에 대해 잔향실 설비를 이용하여 수행하였다. Phenol 수지 면재에 대한 난연성 시험과 산소지수시험은 Standon Redcraft사의 smoke box와 Rheometric사의 oxygen index tester기를 이용하여 각각 측정하였다. 가연성시험은 UIC 564-2 규격에 맞게 제작된 시험장치를 이용하였다. 면재를 태울 때 발생하는 가스의 분석은 프랑스 규격 NF X 70-100에 의거하여 포집하여 Gas Chromatograph(GC)를 이용하여 분석하였다. Phenol 수지 면재(이하 P)에 대한 결과를 비교하기 위하여 현재 철도차량에 적용되고 있는 외국 Culver city사의 제품(이하 C)과 Stesalit사 제품(이하 S)를 구입하여 실험결과를 비교 분석하였다.

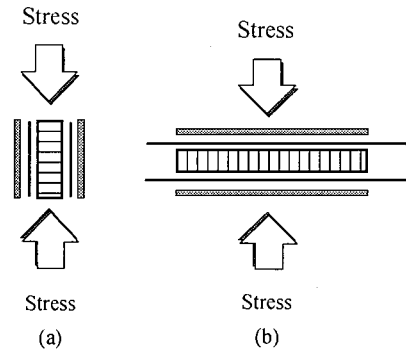


Fig. 2 Schematic diagram of compression test.  
(a) edgewise compression, (b) flatwise compression

## 3. 실험결과 및 고찰

하니컴 복합소재의 파손현상은 하중으로 인한 압축응력, 인장응력, 전단응력으로 인해서 다양한 형태로 나타난다. 일반적으로 압축응력에 의한 내측 면재료의 파손, 전단응력에 의한 하니컴 코어의 파손, 인장응력에 의한 외측 면재료의 파손 및 3가지 응력에 의한 접착 부위의 파손현상으로 나타난다[3]. 이런 파손현상 예측을 하기 위해서 복합소재의 기계적 특성을 아는 것은 매우 중요하다. 복합구조물에 대한 기계적 특성시험은 강도시험, 진동특성시험을 들 수 있으며 이런 방법들로 얻어지는 결과를 통해 복합소재의 기계적 특성에 관해 평가 할 수 있다. 제작된 샌드위치 패널 시편에 대한 기계적 특성 시험 결과와 적용 규격을 Table 3에 나타내었다. 측정결과는 각 시편에 대해 5회 측정된 값을 평균한 것으로 하였다. 기계적 특성시험결과에 따르면, 알루미늄 면재 + 알루미늄 하니컴 심재로 구성된 A type 샌드위치 패널이 변방향 인장강도와 변방향 압축강도 특성에서 우수하며 알루미늄 면재 + 노맥스 하니컴 심재로 구성된 B type은 변방향 압축강도와 굽힘강도가 우수한 것으로 확인되었다. 알루미늄 면재 + PMI 폼 심재 구성의 C형은 심재의 전단강도 및 면재의 굽힘강도가 우수한 것을 알 수 있다.

철도차량은 바닥재, 내부 벽면판재, 천장재로 객차의 내부를 완전히 감싸는 배치를 하고 있으므로, 철도차량의 고속 운행 중 발생하는 외기와의 단열뿐만 아니라 외부에서 유입되는 소음 차단 특성이 중요한 기능 중의 하나이다. 최종적으로 소음 환경을 만족하는 제품을 제작하기 위해서 이론적 해석에 시험 데이터를 적용하여 최적의 설계가 되어야 할 것이다[5]. 따라서 내·외장재에 대한 차음시험(음향

투과손실시험)이 필요하다. 철도 차량의 주요 소음 발생원은 차륜과 레일사이에서 발생하는 전동소음, 고속 주행시 발생하는 공력소음, 전차선과 집전 장치 사이에 발생하는 집전계 소음 및 구조물과 지반을 통하여 전달되는 저주파 영역의 소음, 진동 등이 있으며 중·저속의 경우 추진기관의 소음도 문제가 된다. 이중 차실 내부소음의 주원인은 전동소음, 구조물 전달소음, 지반 전달소음 그리고 추진 장치소음이다[6].

이렇게 발생한 소음이 차체를 입사하는 경우, 그 중의 일부는 반사되고 나머지는 차체 속으로 들어간다. 차체 속으로 들어간 음은 일부가 차체 내에서 흡수되거나 차체를 투과한다. 이때 입사음 에너지(I)에 대한 투과음 에너지(T)의 비율을 투과율( $\tau$ )이라고 하며  $\tau=T/I$ 로 정의된다. 투과손실(transmission loss, TL)은 (1)식과 같이 표현되고 단위는 데시벨(dB)이다[6].

$$TL = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad (1)$$

차음시험은 실험실에서의 음향투과손실 측정방법을 규정하고 있는 KS F 2808 규격에 준하여 샌드위치 구조물에 대해 잔향실 설비를 이용하여 수행하였다. Fig. 3은 4종의 샌드위치 패널의 차음투과손실 시험의 결과를 보여주고 있다. 궤도 구조물소음과 지반 전달소음에 의해 발생하는 300Hz이하의 저주파 소음에서는 4종의 모든 샌드위치가 낮은 투과손실을 보이고 있고 주파수가 높아 질수록 음향

투과손실은 커지는 것으로 나타났다. C type 샌드위치 패널(알루미늄 면재+PMI foam)의 경우 300Hz 이하 주파수 영역에서 음향 투과손실이 크게 나타나 저주파수영역의 소음 차음특성이 가장 양호하게 나타났다. 300Hz이상의 주파수 영역 소음에서는 A type 샌드위치 패널(알루미늄 면재+알루미늄 honeycomb)이 가장 음향투과손실이 크게 나타나 300Hz이상의 주파수 영역에서 차음 특성이 가장 우수한 경향을 보이고 있다.

바닥재, 내부 벽면판재, 천장재 그리고 내부를 분리하는 격벽은 승객이 탑승하고 있는 내부에 직접적으로 노출되어 있으므로 유사시 사고에 의한 화재의 발생이 탑승하고 있는 승객의 안전을 위협할 수 있다. 따라서 고속전철의 내장재로 사용되는 소재의 화연, 연기 그리고 유독가스 배출 등은 엄격히 규제하여야만 한다. 이러한 규제는 국내에서 아직까지 이루어지지 않았기 때문에 프랑스의 TGV와 같이 프랑스 NF 규격과 UIC 규격에 의거하여 난연성(FST)시험을 수행하였다. 소재의 적용부위에 따른 난연성 여부의 판단은 NF F 16-101 규격에 따라 결정된다. 난연성 시험은 패널 수지 면재와 외국의 철도차량에 현재 적용 중인 면재 2종류를 확보하여 똑같은 시험을 모든 시편에 적용하여 비교하였다. 철도차량의 내장재 또는 샌드위치 패널의 면재로 사용되는 복합소재는 연소가능성을 최소화 하고 화재에 의한 유독가스 발생을 최소화할 수 있는 재료를 선택하여야 한다. 철도차량용 복합소재의 가연성 판단은 UIC 564-2에 규정되어 있는데 UIC 564-2 규격에 의하면  $4 \pm 0.1 \text{ ml}$ 의 순수한 알코올을 태울 때 발생하는 불꽃을 복합소재 시편에 접촉시켜 알코올에 의한 불꽃이 소화되었을 때, 시편에 발생하는 불꽃의 소화되는 시간과 불꽃에 의해 손상된 시편의 면적을 측정하여 시편의 가연성을 Table 4에 의해서 결정한다. Table 4에서 P는 알코올의 불꽃이 꺼진 후 시편

Table 3 Mechanical properties of sandwich panels

	Types			
	A	B	C	D
flatwise tensile strength (MPa)	3.45	1.18	1.42	0.79
flatwise compressive strength (MPa)	1.87	2.22	1.17	1.82
edgewise compressive strength (MPa)	8.06	6.88	6.95	5.71
sandwich core shear stress (MPa)	0.93	1.13	1.31	0.93
sandwich facing bending stress (MPa)	10.64	13.09	15.28	10.82
flexural strength (MPa)	27.54	30.35	28.39	25.18
displacement (mm)	4.0	10.6	11.4	13.6

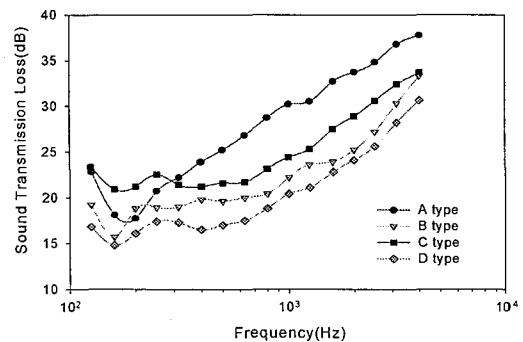


Fig. 3 Transmission loss vs. frequency for sandwich panels.

에 불꽃이 남아 연속적으로 타는 시간(sec)을 나타내고, S는 시험 후 화염에 의해 손상된 시편의 표면적(cm<sup>2</sup>)을 나타낸다.

흰색 공간은 합격을 의미하며 흰색공간에 X자로 표시된 부분은 불합격을 나타낸다. 빈 공간에 진한 색으로 표시된 부분은 협의 후 사용가능성을 판단할 수 있는 부분으로 구매요구자의 판단에 의해 사용여부가 판단된다.

Table 5에 가연성 시험의 결과를 나타내었다. 손상된 면적 S는 phenol 수지 면재(P)가 51.5cm<sup>2</sup>로 나타났고, 외국제품 S는 47.1cm<sup>2</sup> 그리고 외국제품 C는 45.9cm<sup>2</sup> 결과를 각각 보여 phenol 수지 면재가 손상된 면적에서 외국제품과 거의 같은 수준을 나타내었다. 알코올의 불꽃이 꺼진 후 시편에 불꽃이 남아 연속적으로 타는 시간 P는 모든 면재에서 0 sec로 나타나 모든 시편에 자기소화성으로 가지고 있는 것으로 판단된다. 따라서 가연성 시험에서는 phenol 수지 면재가 외국제품과 같이 합격을 받았다.

프랑스 규격인 NF T 51-071은 특별히 지정된 실험조건에서 시편의 연소를 3분 이상 유지시켜주는 산소/질소 혼합물 중의 최소 산소 농도를 부피 백분율로 측정하는 방법을 명시하고 있으며 그에 따라 산소지수를 측정하기 위하여 실험을 수행하였으며 산소지수는 식 (2)에 의하여 구하였다. 식 (2)에서 O<sub>2</sub>는 산소의 부피유량(mm<sup>3</sup>/s)이고 N<sub>2</sub>는 질소의 부피유량(mm<sup>3</sup>/s)이다.

$$\text{Oxygen Index} = \frac{O_2}{(O_2 + N_2)} \quad (2)$$

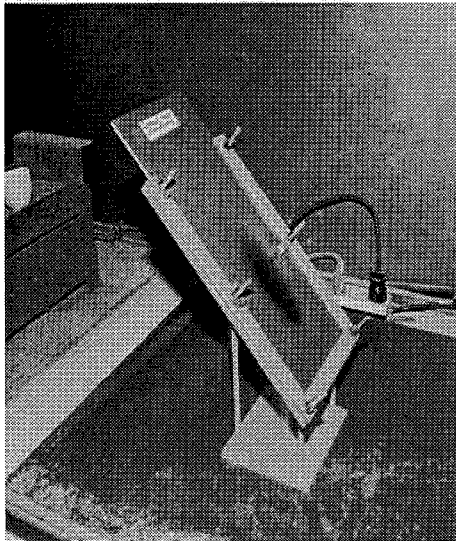


Fig. 4 Overview of flammability tester.

측정된 산소지수가 높을수록 철도차량의 운행 중 발생하는 사고에도 화재의 위험이 적어지게 되는 것이다. NF F 16-101규격에는 측정된 산소지수를 6개로 분류하여 명시하고 있는데 Table 6에 그 분류를 나타내었다. 실험결과 phenol 수지 면재의 경우 산소지수가 56.3으로 외국제품 C의 58.4와 비슷한 수준을 유지하였으나 외국제품 S의 46.1보다는 높게 나타나 자기 소화특성이 높은 것으로 나타났으며 Table 6의 분류에서 11에 속하는 것으로 확인됐다.

Table 4 Flammability Determination

	P ≤ 2	2 < P ≤ 10	P ≥ 10
S ≤ 100			
100 < S ≤ 150			
S > 150			

P(sec), S(cm<sup>2</sup>)

Table 5 Results of flammability

	P(sec)	S(cm <sup>2</sup> )	Results
phenol resin face material (P)	-	51.5	Approved
imported product (S)	-	47.1	Approved
imported product (C)	-	45.9	Approved

Table 6 Classification of oxygen index

Class	Oxygen Index
10	≥ 70
11	≥ 45
12	≥ 32
13	≥ 28
14	≥ 20
NC	< 20

NC : Non-Classified

화재가 발생하는 동안 대부분의 물질은 화염이나 그로 인한 열에 의해서 연기를 발생하게 된다. NF X 10-702 규격은 관례적 방법에 의해 고체재료가 연소되거나 열분해될 때 발생하는 연기의 불투명성을 수량화하는 것을 목적으로 하고 있다. 밀폐된 chamber 안에서 출력이 고정되어 있는 불꽃의 열방사에 의해 복합소재가 발생하는 연기가 야기시키는 어두움의 정도를 광도측정장치로 측정하여 (3)식을

이용하여, 연기의 최대광학밀도( $D_m$ , maximum optical density of smoke)를 구하였다.

$$D_m = G \left[ \log \frac{100}{T} + F \right] \quad (3)$$

여기서  $G$ 는  $V/AL$ 이며  $V$ 는 chamber의 부피,  $A$ 는 시편의 면적,  $L$ 은 빔(beam)의 발광원과 검출기 사이의 길이,  $T$ 는 빔 투과율 그리고  $F$ 는 필터의 광학밀도이다. 또한 실험 시작 후 4분 동안 측정된 특수광학밀도를 (4)식에 대입하여 연기의 불투명값(value of obscuration due to smoke in the course of the first four minutes of the test, VOS4)을 계산하였다.  $D_1, D_2, D_3, D_4$ 는 각각 매 분마다 측정된 광학밀도이다. 최대광학밀도를 구하기 위한 투과율과 그에 대한 최대광학밀도를 Table 7에 나타내었고 연기의 불투명값을 Table 8에 나타내었다. 최대광학밀도를 구하기 위한 실험에서 연기 투과율은 phenol 수지 면재가 92.2%로 다른 면재에 비하여 높게 나타나 연기발생량이 상대적으로 적은 것으로 확인되어 졌다. 그에 따른 최대광학밀도도 4.65로 외국제품 S의 11.72, 그리고 외국제품 C의 12.86보다 낮은 값을 나타내었다.

$$VOS4 = D_1 + D_2 + D_3 + \frac{D_4}{2} \quad (4)$$

운행 중 철도차량에 사고로 인한 화재가 발생하였을 때 샌드위치 패널의 면재나 내장재로 사용되는 복합소재에서 독성을 지닌 가스가 발생하면 인명피해를 가중시키는 결과를 초래할 것이다. 따라서 철도차량용 복합소재는 화재가 발생하여도 독성 가스가 발생하지 않아야 한다.

프랑스 규격 NF X 70-100에는 공기 중에서 열에 분해되는 특정한 조건에서 시편이나 시편내의 물질 배합에 의하여 발생 또는 생성되는 가스의 포집 방법 및 분석 방법을 나타내고 있다. 본 연구에서는 phenol 수지 면재를 온도 600℃로 고정된 관 화로(tube furnace)에서 공기 분위기 하에서 열분해 시켜 발생하는 가스를 tedler bag에 포집하여 NF F 16-101 규격에 규정된 CO, CO<sub>2</sub>, HCl, HBr, HCN, HF, SO<sub>2</sub> 가스에 대하여 정량분석을 행하였고, 발생가스의 임계농도와 분석농도를 (5)식에 대입, 발생가스의 conventional index of toxicity(C.I.T.)을 확인하였다.

$$C.I.T. = 100 \times \sum \frac{t_i}{cc_i} \quad (5)$$

Table 7 Transmission(%) and optical density( $D_m$ )

	Transmission (%)	Optical Density ( $D_m$ )
phenol resin face material (P)	92.2	4.65
Imported Product (S)	81.5	11.72
Imported Product (C)	79.9	12.86

Table 8 value of obscuration due to smoke in the course of the first four minutes of the test, VOS4

	D1	D2	D3	D4/2	VOS4
phenol resin face material (P)	1.158	1.746	2.34	1.17	6.414
imported product (S)	1.746	2.94	4.16	3.019	11.865
imported product (C)	1.746	3.547	6.039	3.66	14.992

Table 9 Critical concentration and analytical concentration

	C.C <sup>1</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	mg of gas/g of material, $t_i$		
		phenol resin face material (P)	Imported Product (C)	Imported Product (S)
CO	1,750	229.62	145.44	157.12
CO <sub>2</sub>	90,000	305.31	313.44	367.18
HCl	150	4.50	0.076	0.0049
HBr	170	0.011	0.1	N.D. <sup>2</sup>
HCN	55	N.D. <sup>2</sup>	N.D. <sup>2</sup>	N.D. <sup>2</sup>
HF	17	N.D. <sup>2</sup>	N.D. <sup>2</sup>	N.D. <sup>2</sup>
SO <sub>2</sub>	260	4.50	6.36	8.90

1. critical concentration

2. non-detectable

식(5)에서  $t_i$ 는 발생가스의 분석농도,  $cc_i$ 는 발생가스의 임계농도로 인체에 후유증을 남기지 않으면서, 사람이 15분 동안 견딜 수 있는 최대농도를 나타낸다. 임계농도와 실험결과에 따른 분석농도는 Table 9에 나타내었다. Phenol 수지 면재의 열분해에 의한 발생가스를 정량분석한 결과, HCN과 HF는 검출되지 않았으며 다른 가스들도 임계농도보다

소량 검출되었으며 외국제품들도 모든 발생가스에서 임계농도보다 적게 분석되거나 검출되지 않았다. NF F 16-101에 규정된 연기지수(smoke index)는 최대 특수 광학 밀도( $D_m$ ), 불투명값(VOS4)과 C.I.T.을 (6)식에 대입하여 계산되어지는 정수로서 철도차량용 복합소재의 난연성을 판단하는 기준 중 하나이다. 연기지수에 따라 복합소재는 6개의 등급으로 분류되며 그 분류를 Table 10에 나타내었으며, 수행한 실험의 결과를 Table 11에 나타내었다. Phenol 수지 면재는 연기지수가 7.86으로 다른 2종의 외국 면재보다 약간 높게 나타났지만 F1등급으로 모두 같은 등급에 속하는 것으로 확인되었다.

$$S.I. = \frac{D_m}{100} + \frac{VOS4}{30} + \frac{C.I.T.}{2} \quad (6)$$

Table 10 Classification of smoke index

Classification	Smoke Index(S.I.)
F0	$\leq 5$
F1	$\leq 20$
F2	$\leq 40$
F3	$\leq 80$
F4	$\leq 120$
F5	$> 120$

Table 11 Smoke index of face materials

	results	
	S.I	class
phenol resin face material (P)	7.86	F1
imported product (S)	6.92	F1
imported product (C)	6.17	F1

Table 12 Grid 2 for ceilings and ceiling coverings

	10	11	12	13	14	NC
F0						
F1		●				
F2						
F3						
F4						
F5						

● : phenol resin face material(P)

NF F 16-101에 의하면 철도차량용 복합소재의 난연성 평가는 산소지수(O.I.)에 의한 등급과 연기지수(S.I.)에 의한 등급을 조합하여 적용 차량과 적용 부위에 따라 각기 다른 기준을 적용하게 되어있다. 적용 차량은 3개의 등급으로 나누어져 있는데 터널을 자주 통과하는 객차는 A1, 터널을 자주 통과하지 않는 도심용, 교외용 객차는 A2, 그리고 터널을 자주 통과하지 않는 동력차 및 동력객차는 B 등급으로 정의되어지며, 고속전철용 차량은 A1과 B등급에 속한다. 적용부위는 18개로 분류되어 각기 다른 grid로 표현되고 있는데 그 18개의 grid중 ceiling과 ceiling cover에 해당하는 grid2를 Table 12에 나타내었다. Grid에서 흰색부분은 합격, 회색부분은 불합격, 그리고 회색바탕에 X자가 표시된 부분은 재료사용자와 합의 후 사용 가능하다는 것을 의미한다. Phenol 수지 면재는 산소지수에서 56.3으로 II의 등급을 받았고, 연기지수에서 7.86으로 F1등급을 받았으므로 Table 12에 나타난 grid 2에서 합격의 판정을 받는 것으로 평가됐다.

#### 4. 결 론

철도차량의 운행속도를 향상시키고 일회 운송능력을 증대시키기 위해서는 추진시스템의 성능향상과 더불어 축하중을 줄이기 위한 차체 및 차체 내외장 장치의 감량이 요구된다. 운행속도 300 km/h인 한국형 고속전철(TGV-K)의 편성 모타 출력은 1,130kW(총 13 MW)인데 반해 350 km/h로 운행하기 위해서는 1,450kW(총 17MW)의 출력이 요구된다. 그러나 모타출력의 증가는 추진장치의 중량과 직결되기 때문에 한계가 있으며, 속도증가를 위해서 차체 및 차체 내외장 장치의 감량이 필수적으로 요구된다. 차량의 속도 향상 및 최적화를 위해 구조물의 무게 감량은 안전성과 운전부하의 요구사항, 쾌적성, 경제성을 동시에 만족하도록 이루어져야 한다. 철도차량에 복합소재의 적용은 이러한 면을 충분히 만족하고 또한 금속으로 성형이 어려운 복잡한 모양을 용이하게 제작할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점에도 불구하고 복합소재가 철도차량에 적용되기 위해서는 국제적으로 공인되고 국내환경에 적합한 기준을 만족하여야만 한다. 따라서 복합소재를 국제적으로 공인된 규격에 적용하여 기계적 특성, 내장재로서 필수적으로 요구되는 차음특성 그리고 난연성 시험을 수행하였다. 샌드위치 패널의 기계적 특성은 알루미늄 면재 + 알루미늄 하니컴 심재로 구성된 A type 샌드위치 패널이 면방향 인장강도와 변방향 압축강도 특성에서 우수한 것으로 확인되었고, 알루미늄 면재 + 노맥스 하니컴 심재로 구성된 B type은 면

방향 압축강도와 굽힘강도가 우수하였다. 알루미늄 면재 + PMI 폼 심재 구성의 C형은 심재의 전단강도 및 면재의 굽힘강도가 우수하였다. 내장재용 복합소재의 난연성 부분에서는 UIC와 NF규격에 규정된 여러 시험을 통하여 phenol 수지 면재를 2종의 외국 면재와 비교하였다. Phenol 수지 면재는 2종의 외국 면재와 모든 시험 결과에서 유사한 결과를 보였다. 2종의 외국 면재가 현재 외국에서 철도차량에 적용되어 사용되는 점과 비교한 3종의 면재가 모두 UIC와 NF규격의 기준을 통과하였다는 점에서 phenol 수지 면재가 한국형 고속전철의 interior와 샌드위치 패널의 면재로 사용 가능함을 확인하였다.

### 참고문헌

- 1) Stuart M. Lee, *Reference Book for Composites Technology*, Technomic Publishing Company, 1989, pp. 1-16.
- 2) Wells J. K., and P. W. R. Beaumont, *Composite Materials Testing and Design(Sixth Conference) ASTM STP*, 1982, pp. 147.
- 3) Batchelor, J., "Use of Fiber Reinforced Composites in Modern Railway Vehicles," *Materials in Engineering*, Vol 2, No. 4, 1981, pp. 172-182.
- 4) Humphries D. R., "Composite Material Application for a Monorail Car Body," *Composite*, No.2, 1991, pp. 114-118.
- 5) Hibbert L., "Composites Come up on the Rails," *Professional Engineering*, Vol. 10, No. 4, 1997, pp. 14-15.
- 6) 한국소음진동학회, 소음·진동 편람, 1995, pp. 175-178.