

# 투명방음판의 품질기준 설정에 관한 연구(1) - 기계적 특성 및 안전성 평가

## Study on Quality Criteria for Transparent Soundproof Panels(1)

### - Evaluation of Mechanical Performance and Safety

장태순†·김철환\*·황철호\*\*

Taesun Chang, Chulhwan Kim and Cheolho Hwang

**Key Words** : noise barrier(방음벽), transparent soundproof panel(투명방음판), polycarbonate(폴리카보네이트), PMMA(폴리메틸 메타크릴레이트), laminated glass(접합유리)

#### ABSTRACT

The major advantage of transparent materials over traditional materials in noise barriers is aesthetics. The transparent panel materials such as clear plastic or glass are an ideal way of reducing or virtually eliminating the visual impact of a noise barrier. With the use of transparent materials, the drivers' view of the roadside and the sunlight penetration to the highway would not be blocked. With the use of transparent materials, the highway and barrier appear less imposing. Korean Industrial Standards for soundproof panels have been established. But, transparent soundproof panels are not included in this standards. And, some specifications provide only a few basic characteristics for transparent soundproof panels. To develop guidelines on quality criteria for transparent soundproof panel, their mechanical properties such as wind load resistance, safety under impact, and abrasion resistance were experimentally investigated.

#### 1. 서론

고속도로 주변에 설치된 방음벽은 2008년을 기준으로 3,024개소에 총 설치연장 약 741 km(노선 연장 대비 23.7%)에 이르고 있다. 고속도로 교통소음 저감 목적으로 주로 사용되는 알루미늄 또는 압출성형 시멘트 방음판은 음향학적 성능은 우수하나 주변 환경과의 조화가 용이하지 않아 도시 경관을 저해하며 운전자와 도로변 거주민들에게 중압감을 주고 시야를 가리는 단점이 있다. 이와 관련하여 조망권에 대한 민원인들의 요구와 방음벽 디자인 평가 등으로 인하여 방음벽 전체 또는 일부에 투명방음판을 적용하는 사례가 급속히 증가하는 추세이다.

투명방음벽은 일조경관에 따른 방음벽 특유의 문제점을 해소할 수 있고, 도로 이용자 측의 시야 확보, 단조로움 및 압박감 등을 해소할 수 있으며, 나들목(IC) 또는 분기점

(JCT) 등 도로 진입 시 시계차단으로 발생할 수 있는 사고를 미연에 예방할 수 있는 장점이 있다. 또한 불투명성 방음벽 설치로 인해 노면에 그들이 생겨 동절기에 결빙이 지속되는 것을 예방할 수 있는 효과가 있어 투명방음벽에 대한 요구는 더 많아질 것으로 예상된다. 그러나 플라스틱 소재가 대부분인 기존의 투명방음판 중 상당수는 시간이 경과됨에 따라 황변 현상과 재질 변성, 오염물질 등의 부착, 세척 작업 시의 마모 등 여러 요인으로 인해 투명도가 떨어지고 오염된 상태로 남아 오히려 도시 미관을 해치는 경우도 있다.

현재 방음판의 품질기준과 관련하여 금속재, 금속재 컬러, 비금속재 컬러, 목재 재질을 사용한 방음판은 한국산업규격이 제정되어 있으나, 투명방음판은 아직 한국산업규격이 마련되어 있지 않다. 일부 지방서에 제시된 기준에 의해 관리되고는 있으나, 시험방법 및 기준에 대한 객관적 근거가 미흡하거나 일부 항목의 경우 적정성에 대한 논란이 있어 이에 대한 종합적인 검토가 필요한 실정이다.

이 연구에서는 투명방음판의 소재 특성을 감안한 성능시험방법 및 기준 도출의 일환으로, 국내외 기준 검토 및 방음판 재질별 성능시험을 통해 투명방음판의 내풍하중 성능 평가를 위한 하중변위시험, 유지관리 및 안전성 확보를 위한 충격 시험, 내마모성 시험 등 기계적 특성 및 안전성 확보와 관련한 성능평가방안을 검토하였다.

† 교신저자: 한국도로공사 도로교통연구원  
E-mail : tschang@ex.co.kr  
Tel : (031) 371-3494, Fax : (031) 371-3439

\* 한국도로공사 도로교통연구원

\*\* 한남대학교 기계공학과

## 2. 투명방음판의 소재

방음판용으로 사용되고 있는 투명 소재는 크게 폴리메틸 메타크릴레이트(polymethylmethacrylate, 이하 PMMA), 폴리카보네이트(polycarbonate, 이하 PC) 등의 투명 플라스틱 계열과 유리 계열로 나눌 수 있다.

1930년대에 개발된 PMMA는 우수한 투명성, 내광성, 표면광택 등의 특성으로 지금까지 조명, 광학부품, 차량 부품, 건재, 잡화 등 수많은 용도로 사용되고 있다. PMMA는 투명 플라스틱 중에서 광선투과율이 가장 높고, 굴절률과 복굴절률이 가장 낮은 대표적인 등방성 재료이며 성형성도 양호하다. 또한 광선의 내부 흡수나 산란에 의한 손실이 적고 굴절률의 파장 의존성도 적다. 이러한 우수한 광학 특성은 PMMA의 분자구조에 기인한다. 측쇄의 비대칭 구조는 비정질 특성을 발현하고, 다수의 C-H 결합으로 이루어짐에 따라 투명성이 나타나고, 측쇄의 메틸기(methyl group)는 내산화성과 내광성 및 내후성을 부여하고, 측쇄의 에스테르기(ester group)는 흡습성을 부여한다. PMMA 시트는 투명성과 표면 질감이 우수하며 가공성이 좋을 뿐만 아니라 사용 중 유지 및 보수성이 뛰어나 건축 내외장재로 다양하게 사용되고 있다.

PC는 방향족 폴리탄산 에스테르 결합을 갖는 열가소성 수지이다. 1959년 독일의 Bayer사가 bisphenol A를 중합하여 Makrolon이라는 상품명으로 최초로 개발했다. 투명 또는 약한 갈색을 띠는 비정질의 플라스틱으로서 내충격성, 내열성, 상용성 등이 우수하여 전기전자기기, 자동차 부품, 의료기기 등 광범위한 분야에 사용되고 있다. 무충전의 플라스틱 재료 중에서 최고의 내충격 강도를 가져서 상온에서의 아이즈드(Izod) 충격강도는 50~70 kg-cm/cm<sup>2</sup>이다. 취화온도는 영하 135℃인데 비해 용점은 230℃로서 광범위한 온도 범위(-40~120℃)에서 사용이 가능하며 가시광선 투과율은 80~90%로서 가볍고 깨어지지 않는 유리 대체용으로 사용된다<sup>(1)</sup>. PC는 자외선에 의해 황변과 열화 현상이 일어나기 쉬우므로 옥외 사용 시에는 광안정제(light stabilizer) 등을 이용한 황변방지 처리가 필수적으로 요구된다. 광안정제는 크게 반응기구상 자외선 흡수제(UV absorber)와 라디칼 포착제(radical scavenger)인 HALS(hindered amine light stabilizer)로 구분된다.

자외선 흡수 타입의 광안정제 중에서 PC에 가장 적합한 첨가형으로는 benzotriazoles, benzophenones 및 oxanilides가 있고, oxanilide는 반응형 또는 단량체 형태로도 적용이 가능하다. 라디칼 포착을 통한 치유형 광안정제인 HALS는 고리형 2차 아민으로서 자체의 염기성 때문에 가공 시 PC를 분해시키므로 일반적으로 PC에는 사용되지 않는다<sup>(2)</sup>. 또한 PC는 표면이 무르기 때문에 표면경도 향상을 위해 하드 코팅(hard coating) 등이 적용되기도 한다.

유리는 광투과성, 내후성, 내화학성, 내마모성 등 다른 재료를 통하여 쉽게 구현할 수 없는 장점을 가지나, 과도한 충격에 의한 파괴 시, 날카로운 파편의 발생으로 인해 위험한 단점이 있으므로 유리 파손에 의한 피해를 줄이기 위한 방안으로 안전유리의 사용이 요구되고 있다. 안전유리는 일반적으로 접합유리(laminated glass)와 강화유리(tempered glass)로 구분될 수 있다. 강화유리는 강도가 우수하지만 집중하중을 가하게 되면 쉽게 파손되고, 일단 파손이 되면 유리 전체가 쏟아져 내리게 된다. 한편, 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 접합 유리는 최소 두 장의 판유리 사이에 투명하면서도 접착력이 강한 특수 접합필름을 삽입하고 온도와 압력을 높여 밀착시켜 만들어지는 유리로서 Table 1에서 보는 바와 같이 파손이 되어도 필름이 유리 파편의 비산을 방지하여 부상 및 피해를 최소화 할 수 있다<sup>(3)</sup>.

접합 필름으로 사용되는 물질은 여러 가지가 있으나, 물성 및 성능, 그리고 제조 측면에서 PVB(polyvinyl butyral)를 사용한 접합 유리가 가장 우수하다고 알려져 있다. PVB 수지는 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate)의 가수분해 생성물인 폴리비닐알콜(polyvinyl alcohol)과 n-부탄올(n-butanol)과의 아세탈화 반응으로 합성되며, PVB 접합 필름은 60~90%의 PVB 수지와 10~40%의 가소제를 주성분으로 하여 제조된다. 우리나라에서 사용되고 있는 PVB 수지는 수입 의존도가 큰 고가의 수지로서 성형용 수지는 그중 5%이고, 95%에 이르는 필름 형태의 PVB는 대부분 자동차 안전유리용 라미네이트 필름으로 사용되고 있다.

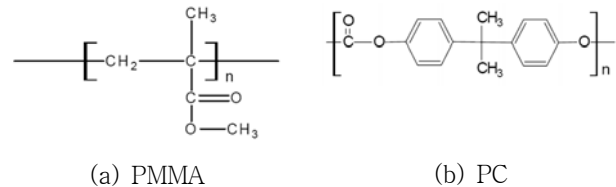
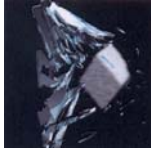
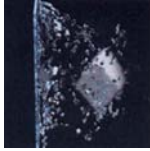
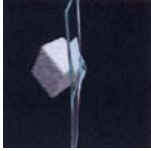





Fig. 1 The chemical structures of PMMA and PC

Table 1 Cracking of glass

	Float glass	Tempered glass	Laminated glass
High-speed photographs			
After impact			

### 3. 시험방법

#### 3.1 내풍하중성

방음판의 내풍하중성 시험에 대해서는 금속재 방음판 한국산업규격인 KS F 4770-1에서 지역별 풍속에 따른 하중변위시험을 규정하고 있다<sup>(4)</sup>. KS F 4770-1에서 제시하고 있는 집중 재하에 의한 시험 방법은 재하량 및 재하 속도를 정확하게 조절할 수 있고, 기계 장비를 사용하므로 인력 부담이 적은 장점이 있다. 그러나 실제 풍하중은 분포 하중의 형태로 작용하므로 동일한 크기의 모멘트를 만들어 내더라도 발생하는 처짐은 차이를 보이게 된다. 더욱이 KS F 4770에서의 집중 하중 형태도의 재하하중은 빔 모델에서 산정되었으므로 실제의 경우인 판 모델과는 차이를 나타낸다<sup>(5)</sup>. 국내에서 사용 중인 투명방음판은 투명 재질의 판을 알루미늄 또는 강재 프레임에 끼운 형태로서 투광부재와 프레임부재의 강도 차이가 커서 시험하중의 대부분을 프레임부재가 받게 된다. 또한 프레임과 투명판의 단차로 인하여 KS F 4770의 시험방법을 그대로 적용할 경우 시험 하중이 투명판에는 직접 전달되지 않고 프레임에만 하중이 재하되어 투명방음판 전체의 내풍하중 성능을 평가하기에는 한계가 있다.

따라서 프레임과 투명 재질의 판으로 구성된 투명방음판의 특성을 감안하여 기본적으로 KS F 4770에 제시된 허용 최대 변위량 기준인 탄성변형량 50 mm 이하, 영구 잔류변형량 (시험용 방음판 최대길이/500) mm 이하를 준용하되 프레임 및 투명재질의 판으로 구성된 투명방음판의 특성을 감안하여 EN 1794-1에서 규정하는 등분포 하중 시험과 유사한 하중 시험 방법을 Fig. 2와 같이 제안하였다<sup>(5)</sup>.

EN 1794-1의 시험방법은 하중 분포를 위한 2 mm 두께의 강철판과 하중체로서 구조용 강재를 이용하였으나, 본 시험에서는 투명방음판의 프레임과 투명판의 단차를 감안하여 강철판은 시험에서 제외하였으며 하중체로는 직경 약 2 mm의 강구를 채운 주머니(최대 5 kgf 이하)를 사용하였다. 또한 지지대로 방음판 높이와 동일한 길이의 H형강(150×150×7×10)을 사용하였다.

제안된 시험방법의 적용성을 검증하기 위해 Table 2와 같은 투명방음판 시료에 대하여 시험을 실시하였다. 지지대에 시험편을 고정하고 30분 후 자중 조건에서의 변위량을 측정하였다. 방음판 위에 하중체를 고르게 재하하고 30분 후 자중 및 부하 조건에서의 처짐량, 즉 탄성 변위량을 측정하였다. 또한 하중체를 모두 제거한 후 30분이 경과하면 영구 잔류 변위량을 측정하였다. 모든 변위량은 방음판 길이의 중간의 양 끝단에서 다이얼 인디케이터를 사용하여 소수점 이하 둘째자리까지 측정 후 두 값의 산술평균값을 변위량으로 산정하였다.

#### 3.2 내충격성

투명방음벽의 경우, 옥외의 도로변과 주거 지역 사이에 설치되는 경우가 대부분이어서 사람 또는 차량에 의해 충격을 받을 가능성이 존재하며, 이로 인한 투명방음판의 파손은 유지보수 비용의 증가뿐만 아니라 파손시의 파편으로 인한 2차 부상까지 일으킬 수 있으므로 내충격성은 중요한 의미를 갖는다.

투명방음벽으로 사용되는 소재의 종류에 따라 내충격강도에 큰 차이가 있다. PC는 내충격성이 매우 우수하나 PMMA나 유리는 상대적으로 내충격성이 떨어진다. 충격으로 인한 방음판의 파손은 유지관리 비용의 증가, 그리고 안전성 확보와 관련이 있으므로, 내충격성 기준의 설정을 위해서는 충격 시 깨어지지 않는 조건과 파괴되었을 시 파편의 발생과 결락을 동시에 고려할 필요가 있다.

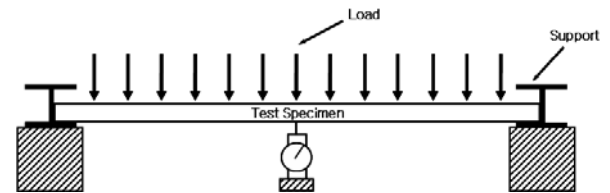


Fig. 2 Schematic diagram of load testing equipment

Table 2 Specimens for load deflection test

Type	Size (mm)	Frame materials	Sheet materials
Type A	1,960×1,000×60	aluminum	PMMA (t: 8 mm)
	3,960×1,000×60		
Type B	1,960×1,000×100	aluminum	PMMA (t: 8 mm)
	3,960×1,000×100		
Type C	3,960×1,000×96	aluminum	PMMA (t: 8 mm)
Type D	1,960×1,000×95	steel	Laminated Glass (t: 8mm)
	3,960×1,000×95		
Type E	3,960×1,000×84	steel	PMMA (t: 10 mm)
Type F1	2,960×1,000×90	steel	PMMA (t: 8 mm)
	3,960×1,000×90		
Type F2	3,960×1,000×90	steel	Laminated Glass (t: 8mm)



(a) Falling ball test (b) Pendulum test

Fig. 3 Impact testing equipments

투명방음판의 내충격성을 평가하기 위하여 접합유리의 한국산업규격인 KS L 2004의 낙구 충격 시험과 쇼트백 시험으로 시험편의 내충격성을 검토하였다<sup>(7)</sup>.

낙구 충격 시험에 사용된 시험편의 치수는 약 610×610 mm이며, 철제 지지틀 위에 올려놓고 무게가 2,260 g인 호칭 3의 강구를 시험편의 중심점에 자유 낙하시킨 후 시험편의 파괴 상태를 조사하였다(Fig. 3(a)). 파괴되지 않을 경우에는 낙하 높이를 순서에 따라 높이면서 시험편의 파괴 상태를 관찰하였다. 다만 유리는 플라스틱 수지에 비해 충격강도가 떨어지므로, 호칭 2의 무게 1,040±10 g인 강구로도 시험을 실시하였다.

방음판 파손 시 파편의 비산으로 인한 2차 재해의 정도를 파악하기 위하여 쇼트백 시험을 실시하였다. 가격체는 가죽 주머니의 중앙에 볼트를 삽입하고, 납산탄을 충전한 후 주머니의 위아래를 볼트로 조이고, 다시 가죽 주머니의 표면을 나비 12 mm의 유리 섬유로 보강한 접착 테이프로 비스듬히 겹치도록 감아 표면을 완전히 덮어씌운 것으로서 무게는 45±0.1 kg이다.

그러나 실제로 쇼트백 시험장치를 제작하여 예비 시험을 실시한 결과, 가격체의 표면을 구성하는 가죽 주머니와 접착 테이프의 탄성에 의해 충돌 시 접촉시간이 달라질 수 있는 것으로 조사되었다. 또한 쇼트백 시험장치를 이용하여 가능한 최대 높이에서 PMMA 시험편을 가격하였으나 충격력 부족으로 파괴되지 않아 파괴 후의 현상을 관찰할 수 없는 문제점이 있었다. 따라서 가격체에 의한 오차를 최소화하고 파괴 후의 파편 비산 정도를 효과적으로 파악하기 위하여 가격체를 동일한 무게(45 kg)의 강구로 대체하여 시험을 실시하였다. 강구를 가격체로 교체한 진자 충격 시험 장치를 Fig. 3(b)에 나타내었다.

### 3.3 내마모성

청소 등으로 인한 스크래치를 예방하기 위하여 기존 여러 시방서에서는 연필경도 4H~6H 수준을 요구하고 있다. 그러나 PC의 경우 소재가 무른 탓에 연필로 하중을 가하는 경우 표면처리를 하더라도 요구 기준을 만족시키기 어려우며, 실제 사용 환경에서 국부적으로 하중을 가하는 연필경도 시험 및 기준의 적절성 여부도 논란이 많다. 따라서 투명방음판의 내마모성 평가에 대해서는 흠먼지나 청소에 의한 스크래치 저항성을 잘 반영할 수 있는 테이버(Taber) 마모시험이 더 적절하다고 판단된다.

여러 종류의 시험편에 대해 KS M ISO 5470-1 및 KS M ISO 9352에 따라 테이버 마모 시험을 실시하였다<sup>(8,9)</sup>. CS-10F 마모롤을 사용하여 200회전, 300회전, 400회전 후의 흐림도(haze)를 각각 측정하였다. 흐림도는 전방 산란에 의해 입사광으로부터 2.5° 이하의 편차를 가지고 시험편을 지나 투과된 광의 비율(%)로 정의되며, KS M ISO 14782에 따라 측정하였다<sup>(10)</sup>.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 내풍하중성

여러 시험편에 대한 시험하중 및 변위량 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. Type A의 경우 1,960×1,000×60 mm 규격의 제품은 2.2 kPa 재하 시 내하중 등급 4호에 해당하는 기준을 만족하였으나, 내하중 등급 3호에 해당하는 시험하중인 2.9 kPa 재하 시에는 프레임이 손상되었다. 3,960×1,000×60 mm 규격의 제품은 1.6 kPa 재하 시 탄성 변위량이 기준을 초과하였으나 처짐이 본 시험 장치 구성의 측정 가능 범위를 넘어 정확한 측정값은 구할 수 없었다. Type B의 1,960×1,000×100 mm 규격의 제품은 2.2 kPa 재하 시 기준을 만족하였으나, 2.9 kPa 재하 시 프레임이 손상되었다. 3,960×1,000×100 mm 규격의 제품은 1.6 kPa 재하 시 프레임의 꺾임 등은 발생하지 않았으나, 탄성 변위량이 기준을 초과하였다. Type C의 경우 1.6 kPa 재하 시 Fig. 4와 같이 프레임의 꺾임이 발생하여 내하중 등급 5호 기준도 만족하지 못하였다. Type D의 1,960×1,000×95 mm 규격의 제품은 4.4 kPa 재하 시 기준을 만족하였다. 3,960×1,000×95 mm 규격의 제품은 2.9 kPa 재하 시 내하중 등급 3호에 해당하는 기준을 만족하였으나, 4.4kPa 재하 시에는 투명판에 균열이 발생하며 프레임으로부터 이탈하였다(Fig. 5). Type E의 경우 3.6 kPa 재하 시 허용 변위량 기준을 초과하였으나, 투명판의 손상이나 프레임으로부터의 이탈 등의 문제점은 발생하지 않아 프레임과 투명판의 고정 상태가 양호한 것으로 조사되었다. Type F1의 2,960×1,000×90 mm 규격의 제품은 4.4 kPa 재하 시 내하중 등급 1호에 해당하는 기준을 만족하였다. 그러나 Type F1과 F2의 3,960×1,000×90 mm 규격의 제품은 각각 4.4 kPa, 3.6 kPa 재하 시 투명판에 균열이 발생하며 프레임으로부터 이탈하였다. 결과적으로, 프레임 자체의 변형은 적으나 투명판이 파손되거나 프레임으로부터 이탈한 제품도 있었으며, 내하중 등급 1호의 하중에 대해 탄성 변위량은 기준을 초과함에도 불구하고 프레임과 투명판의 고정 상태가 양호한 제품도 있었다. 따라서 풍하중을 받는 투명방음판에 대하여 제안 방법이 투명판과 프레임의 안전성을 동시에 평가하는 데 효과적인 것으로 판단된다.



Fig. 4 Frame damage



Fig. 5 Sheet collapse

**Table 3** Load deflection for transparent soundproof panels

Type	Size (mm)	Test load (kPa)	Elastic deflection (cm)	Permanent deformation (cm)	Remarks
Type A	1,960×1,000×60	2.2	28.00	3.30	
		2.9	-	-	frame damage
	3,960×1,000×60	1.6	>150	-	out of range
Type B	1,960×1,000×100	2.2	25.66	1.16	
		2.9	-	-	frame damage
	3,960×1,000×100	1.6	83.24	7.60	
Type C	3,960×1,000×96	1.6	-	-	frame damage
Type D	1,960×1,000×95	4.4	3.08	0.48	
		2.9	41.70	0.71	
	3,960×1,000×95	4.4	-	-	sheet collapse
Type E	3,960×1,000×84	3.6	55.65	3.40	no damage
		4.4	76.06	12.51	no damage
Type F1	2,960×1,000×90	4.4	21.38	3.72	
	3,960×1,000×90	4.4	-	-	sheet collapse
Type F2	3,960×1,000×90	3.6	-	-	sheet collapse

**4.2 내충격성**

투명방음판 소재 및 두께별 낙구 충격 시험 결과를 Table 4에 나타내었다. 8 mm 두께의 PMMA 시험편의 경우 낙하높이 190 cm에서 파손이 되었다. PMMA는 두께가 증가할수록 충격강도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 두께 10 mm PMMA는 낙하높이 300 cm에서 파손되었으며, 이는 8 mm 두께에 비해 50% 이상의 내충격성 증가에 해당된다. 두께 12 mm인 경우도 마찬가지로 두께 10 mm에 비해 유사한 정도의 내충격성 증가를 나타내었다.

8.4 mm 두께의 접합 유리는 균열이 발생하는 낙하높이의 편차가 크게 나타났으나, 접합 유리는 시험 시 파편이 거의 발생하지 않았으며, 강구도 관통되지 않았다. 접합 유리의 경우 두께의 증가가 충격강도에 절대적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 두께 8 mm 접합 유리에 대하여 낙하높이 300 cm에서 3회 반복 충격을 가한 결과 강구가 관통되는 것으로 조사되었다.

8 mm 두께의 PC의 경우, 낙하높이를 480~900 cm까지 차례로 높이면서 시험을 실시하였으나 낙구 충격 시험으로는 시험편을 파손시킬 수 없었다.

접합 유리는 시험 결과의 편차가 크게 나타났는데, 이것은 유리 재질의 특성상 내충격성이 불순물에 의해 영향을 받기 쉽고, 온도 변화에도 민감하기 때문인 것으로 추정된다. 접합 유리의 시험 결과가 편차가 큰 것을 감안하면 PMMA가 접합 유리에 비해 내충격 강도가 우수하다고 볼 수 있으나, 파편 발생 측면에서는 오히려 불리한 점이 있다. PMMA의 비중이 1.17~1.21 정도로 2.5인 유리에 비해 반이 안 되므로 실제 상황에서 파편으로 인한 피해 정도는 정확히 예상하기 어려우나, 두께의 증가 등을 통해 안전성을 향상시킬 필요가 있다고 판단된다.

**Table 4** Falling ball impact resistance

Sample	Thick-ness (mm)	Falling height (cm)									Ball weight (g)
		130	150	190	240	300	380	480	560	900	
PMMA	8		○	×							2,260
	10			○	○	×					2,260
	12					○	○	×	×		2,260
PC	8							○	○	○	2,260
	8.4	○	○	○	○	○	△				1,040
Laminated glass	8.4	△									1,040
	8.4	○	○	○	△						1,040
	8.4	○	○	○	○	△					1,040
	8.4	○	△								2,260
	12.4	○	△	△							2,260
	16.4	△									2,260

○:no breakage, △:broken, but not penetrated, ×:penetrated



(a) PMMA(8T)      (b) Laminated Glass(8.4T)

**Fig. 6** The result of falling ball test (Falling height : 190 cm)

도로 상의 화물차에서 적재된 화물이 떨어지면서 방음판에 부딪치거나 도로 상의 돌이나 사람이 던진 돌에 의해 방음판에 충격이 가해져서 방음판이 깨지는 경우, 방음판의 파편이 2차 위험요소가 될 가능성이 있다. 이러한 영향을 검토하기 위한 진자 충격 시험 결과를 Table 5에 나타내었다.

8 mm 두께의 PMMA는 가격체 높이 61 cm의 충격에서는 파괴가 되었으나 파편의 결락으로 인한 노출 부분은 발생하지 않았으며, 높이 77 cm의 가격체 충격에 의한 파괴시 발생한 파편은 시료로부터 약 1 m 거리에 떨어졌다. 시료의 두께가 두꺼워질수록 내충격 강도는 상당히 증가함을 알 수 있다.

두께 8 mm PC의 경우 가격체의 높이를 38~120 cm로 변화시키면서 가격하였으나 시험편은 깨지지 않았다.

접합 유리의 경우, 8 mm 두께의 시험편에 대해 가격체의 높이를 170 cm로 하여 시험한 경우에도 시험편에 균열은 심하게 발생하였으나, 파편이 필름에 고정되어 파편의 결락은 발생하지 않았다(Fig. 7).



Fig. 7 Laminated glass (12.4T) after the impact (Drop height : 30 cm)

### 4.3 내마모성

투명방음판의 표면경도 평가와 관련하여 여러 종류의 시험편에 대하여 테이버 마모시험을 실시하고 연필경도 시험 결과와 비교하여 Table 6에 나타내었다.

연필경도 시험은 도장 용융 아연도금 강판 및 강대에 대한 규격인 KS D 3520에 따라 시행하였으며, 연필은 미쓰비시 연필로 방음판에 대해 약 45°를 유지하면서 10 N의 하중을 가하여 측정하였다<sup>(11)</sup>. 시험 결과, PMMA의 연필경도는 3H~4H 정도로 나타났다.

PC의 연필경도는 내마모 코팅을 적용한 시험편을 제외하고는 모두 2B~B 수준으로 낮은 것으로 조사되었다. 경도를 높게 만든 제품으로 알려진 GE사 시험편의 연필경도가 H로서 내마모 코팅을 적용한 시험편과 같은 수준인 것으로 나타났다.

테이버 마모시험은 마모시험을 실시하기 전에 흐림도를 측정하고 200회전, 300회전, 400회전 후의 흐림도를 측정해서 흐림도 변화( $\Delta H$ )를 구하였다.

Fig. 8은 PC, 그리고 TiO<sub>2</sub> 광촉매 코팅 PC 시험편에 대하여 테이버 마모시험을 400회전 실행한 후의 시험편으로서 육안으로 원형 자국을 쉽게 확인할 수 있다.

최근 내마모성 평가와 관련하여 세척 기술의 향상, 내오염성 코팅 기술 개발 등으로 내마모성에 대한 필요성이 점차 감소하고 있으므로, 고내마모성이 요구되는 경우에 한하여 JIS K 6735에서 제시하고 있는 내마모용 PC의 내마모성 기준인 테이버 마모 시험(100회전) 후 흐림도 변화( $\Delta H$ ) 15% 이하를 만족하는 수준이 적절할 것으로 판단된다<sup>(12)</sup>.

Table 5 Pendulum impact resistance

Specimen	Thick-ness (mm)	Drop heights of impactor (unit: cm)								
		30	38	48	61	77	96	120	150	170
PMMA	8			△	△	×				
	10		△			△	×			
	12							△	×	
PC	8		○	○	○	○	○	○		
	8.4								△	△
	12.4		△							
Laminated glass	16.4		○	○	○	△				

○:no breakage, △:breaks safely, ×:fragments separate

Table 6 Variation of haze value after Taber abrasion

Specimen	Pencil hard-ness	Initial Haze (%)	$\Delta H$ (%)			
			200 turns	300 turns	400 turns	
PC	original	2B	0.1	11.9	14.2	15.3
	co-extruded	2B	2.6	10.9	13.6	15.4
	TiO <sub>2</sub> -coated	B	3.6	6.4	11.1	15.2
	multi-coated	H	0.8	0.6	1.0	1.7
	GE	H	0.5	15.1	20.3	30.4
PMMA	original	3H	1.1	6.4	13.6	23.6
	anti-pollution-coated	4H	3.4	31.7	34.7	34.8



(a) co-extruded PC (b) TiO<sub>2</sub> coated PC

Fig. 8 Specimens after abrasion

## 5. 결 론

이 연구에서는 투명방음판의 품질기준을 정립하기 위한 일환으로 투명 패널로 사용되는 소재들의 특성을 감안한 기계적 물성 및 안전성 평가방안을 검토하였다. 내풍하중 성능을 평가하기 위한 허용 최대 변위량은 KS F 4770-1의 기준을 준용하되 3등분점 집중하중 시험방법은 투명방음판에는 적절하지 않으므로, EN 1794-1의 등분포 하중 재하 시험 방법을 응용하여 제안하였다. 내충격성 시험은 접합유리 한국산업규격인 KS L 2004를 참고하여 내충격 강도와 파편 결락 유무를 확인할 수 있도록 낙구 충격 시험과 쇼트백 충격 시험의 적용을 제안하였다. 다만 쇼트백 충격시험은 가격체에 따른 시험 오차를 최소화하고 파편 결락 상태를 효과적으로 확인하기 위해 가격체를 쇼트백 대신 동일 무게의 강구로 교체하는 것이 바람직하다고 판단된다. 내마모성 평가는 실제 청소 작업 환경을 감안하여 국부적인 하중을 가하는 연필경도 시험보다는 테이버 마모시험에 의한 평가가 더 적절할 것으로 판단되며, 최근 세척 기술의 향상, 내오염 기능성 코팅 기술 개발 등으로 내마모성에 대한 필요성이 감소하고 있으므로, 고내마모성이 요구되는 경우 테이버 마모 시험(100회전) 후 흐림도 변화( $\Delta H$ ) 15% 이하를 만족하는 기준을 제안하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Kang, K. B., 2005, Transparent Plastic Materials for Display Industry, Korea Institute of Science and Technology Information.
- (2) Kim S. J., 2000, "Analyses of Additives Applied in a Polycarbonate", Vol. 13, No. 3, Analytical Science and Technology, pp. 282~290,
- (3) Kim, K. H., Lee, S. H., Song, T. H., and Kim, D. H., 2009, Practical Use Technology Development of Laminated Glass, Korea Institute of Construction Technology.
- (4) Korean Agency for Technology Standards, 2001, KS F 4770-1; Soundproof Panel-Metal.
- (5) Heo, Y., and Kim, H. S., 2003, "Investigation and Analysis of Regulations for the Safety of the Noise Barrier", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 730~730.
- (6) CEN, 2003, EN 1794-1; Road Traffic Noise Reducing Devices - Non-acoustic Performance, Part 1: Mechanical Performance and Stability Requirements.
- (7) Korean Agency for Technology Standards, 2003, KS L 2004; Laminated Glass.

(8) Korean Agency for Technology Standards, 2002, KS M ISO 5470-1; Rubber-or Plastics-Coated Fabrics-Determination of Abrasion Resistance - Part 1 : Taber abrader.

(9) Korean Agency for Technology Standards, 2007, KS M ISO 9352; Plastics-Determination of Resistance to Wear by Abrasive Wheels.

(10) Korean Agency for Technology Standards, 2008, KS M ISO 14782; Plastics-Determination of Haze for Transparent Materials.

(11) Korean Agency for Technology Standards, 2008, KS D 3520; Prepainted Hot-dip Zinc-coated Steel Sheets and Coils.

(12) Japanese Industrial Standards Committee, 2006, JIS K 6735; Plastics-Polycarbonate Sheets-Types, Dimensions and Characteristics.