투명방음판의 품질기준 설정에 관한 연구(2) - 음향 특성 및 내후성 평가

Study on Quality Criteria for Transparent Soundproof Panels(2) - Sound Insulation Characteristics and Evaluation of Weatherability

장 태 순[†] · 김 철 환^{*} · 황 철 호^{**}

Taesun Chang, Chulhwan Kim and Cheolho Hwang

(Received August 9, 2012 ; Revised October 18, 2012 ; Accepted October 18, 2012)

Key Words : Noise Barrier(방음벽), Transparent Soundproof Panel(투명방음판), Polycarbonate(폴리카보네이트), PMMA(폴리메틸메타크릴레이트), Laminated Glass(접합유리)

ABSTRACT

Transparent noise barrier panels have the advantages of transmitting light to nearby residents and allowing drivers to orientate themselves by providing views of the surrounding area. To develop guidelines on quality criteria for transparent soundproof panels, their sound transmission loss and weatherability were experimentally investigated. In Korea, the sound transmission loss of noise barrier panels should be more than 25 dB at 500 Hz and 30 dB at 1000 Hz. The transmission loss tests of transparent panels were performed in accordance with KS F 2808. Typically, plastic materials suffer from color changes when exposed to ultraviolet(UV) light over extended periods. Therefore, weathering of plastics is one of the most important properties for outdoor applications. Protection against UV radiation and weathering is usually accomplished by using UV stabilizer additives or coatings. Transparent materials for soundproof panels were examined through accelerated weathering tests and their weathering resistances were evaluated from changes in yellowness index.

1. 서 론

투명방음벽은 일조경관과 관련한 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 시계 차단으로 발생될 수 있는 사고를 미연에 예방할 수 있는 장점이 있다. 그리고 불투명 방음벽이 높게 설

치되는 경우, 그늘로 인하여 동절기 노면 결빙이 지속되어 교통사고의 위험성이 커질 수 있는데, 투명 방음벽의 사용을 통해 효과적인 대응이 가능하다. 그러나 아크릴(PMMA: polymethylmethacrylate), 폴리카보네이트(PC: polycarbonate) 등 투명 플라스틱 소재가 대부분인 기존의 투명방음판은 시간의 경과에 따라 자외선에 의한 황변 및 재질 변성 문제가 발생하기도 하며, 먼지나 매연의 부착 등 여러 요인으로 인해 투명도가 떨어진 상태로 남아 도로 경관

[†] Corresponding Author ; Member, Korea Expressway Corporation Research Institute

E-mail : tschang@ex.co.kr

Tel : +82-31-371-3494, Fax : +82-31-371-3496

^{*} Member, Korea Expressway Corporation Research Institute

^{**} Member, Department of Mechanical Engineering, Hannam University

A part of this paper was presented at the KSNVE 2010 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Jin Oh Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

을 해치는 경우도 있다⁽¹⁾. 또한, 투명방음판에 대해서는 한국산업규격(KS)의 제정이 이루어지지 않아 제품에 대한 효과적인 품질관리가 어려운 상황이다.

이 연구에서는 투명방음판의 소재 특성을 감안한 성능시험방법 및 기준 도출의 일환으로, 투명방음판 재질별, 두께별 차음 성능 시험을 실시하고, 내후성 평가를 위해 촉진 내후 시험을 실시하여 그 특성을 비교, 검토하였다.

2. 투명방음벽 현황 및 성능 검토

2.1 투명방음벽 설치 현황

주민의 요구에 따라 도로 방음시설로 투명재료를 처음으로 채택하여 설치한 나라는 프랑스(1976년)이며, 이때 사용된 재료는 유리였다. 독일의 경우도 투명방음벽의 설치비율이 1985년 이후 급격하게 증가하였는데, 1985년 방음벽 총설치길이 68.46 km 중 5.4%에 해당하는 3.61 km, 1986년에는 총설치길이 58.81 km 중 14.5%에 해당하는 8.55 km가 유리 또는 투명한 합성수지계 재료가 사용되었다⁽²⁾.

Fig. 1 Highway noise barrier construction by year

Fig. 2 Noise barrier materials in highway

국내 고속도로에 설치된 방음벽은 2010년을 기준으로 3356개소에 총 설치연장 약 841 km에 이르고 있다(Fig. 1). 이 중 투명방음벽의 설치비율은 전체 방음벽 연장의 약 4% 정도이나 주로 다른 방음판과 혼합하여 사용되는 경우가 많다(Fig. 2). 조망권에 대한 도로변 주민들의 요구와 방음벽 디자인 평가 등으로 인하여 방음벽 전체 또는 일부에 투명방음판을 적용하는 사례가 증가하는 추세이다(Fig. 3).

특히, 신도시 개발 등으로 도로 주변에 고층 건물이 늘어남에 따라 고층부의 소음 저감을 위해 최근 방음터널(터널형 방음벽)의 설치도 증가하고 있다(Fig. 4). 방음터널은 터널 내부를 통과하는 운전자를 위한 시야 확보와 조명 에너지의 절약 등을 위해 투명 재질의 지붕재를 적용하고 있으므로(Fig. 5), 투명방음판의 차음성능 및 내구성 확보에 대한 중요성이 더욱 부각되고 있다.

2.2 투명방음판의 차음 특성

투명방음판을 포함하여 도로교통 소음 저감 목적의 방음벽에 사용되는 방음판의 차음 성능은 투과손실(TL: transmission loss)로 평가하며, 500 Hz에서 25 dB 이상, 1000 Hz에서 30 dB 이상으로 환경부 고시 등에서 규정하고 있다⁽³⁾. 참고로 일본의 방음판 투과손실 기준은 400 Hz에서 25 dB 이상, 1000 Hz에서 30 dB 이상으로 되어 있는데⁽⁴⁾, 일반적으로 400 Hz보다 500 Hz에서의 투과손실이 더 높게 나타나므로, 국내 기준보다 강화된 차음 성능 기준을 설정하고 있다고 볼 수 있다.

현재 국내에서 사용되는 대부분의 투명방음판은

Fig. 3 Noise barriers with transparent panels

아크릴이나 폴리카보네이트와 같은 투명 플라스틱 또는 유리로 된 판을 알루미늄이나 철재 프레임에 끼워 사용하는 형태이다. 따라서 방음판에 있어서의 대부분의 구조적인 물성은 프레임의 물성과 더욱 밀접한 관련이 있다. 음향 투과 손실 성능에 있어서는 면밀도에 대한 영향이 가장 지배적이라고 할 수 있으며, 유사한 밀도의 재료에 있어서 투명판의 두께와 관련된 물성 규정은 내충격강도를 제외하면 음향

Fig. 4 Soundproof tunnel construction in highway

Fig. 5 Soundproof tunnels

투과 손실이 유일하다고 볼 수 있다. 국내에서는 투명방음판의 두께에 대하여 별도 규정을 두고 있지 않으나, 독일연방교통청의 “도로에서의 방음벽 시공에 관한 지침 및 보충 기술 규정(ZTV-Lsw 88)”⁽⁵⁾에서는 Table 1에서 보는 바와 같이 최소 두께를 규정하고 있다.

이 연구에서는 KS F 2808의 잔향실법에 의한 투과 손실 시험 방법⁽⁶⁾에 따라 아크릴, 폴리카보네이트, 접합유리(laminated glass) 재질의 투광부재를 사용한 방음판에 대하여 음향 투과 손실을 조사하여 비교, 분석하였다. 또한, 6 mm, 8 mm, 10 mm(단, 접합유리는 8.38 mm) 두께의 투명방음판에 대한 투과손실을 각각 비교하였다.

두께 6 mm의 아크릴 및 폴리카보네이트를 사용한 방음판의 경우, 아크릴은 총 3개 제품 중 1개, 폴리카보네이트는 총 6개 제품 중 2개만이 음향 투과 손실에 관한 국내 기준을 겨우 만족하는 수준이며, 나머지 제품들은 기준치에 미달하였다(Fig. 7(a)).

두께 8 mm의 아크릴 및 폴리카보네이트를 사용한 투명방음판에 대하여 각각 3개 제품의 음향 투과 손실을 조사한 결과, 아크릴 재질의 방음판 1개 제품이 500 Hz에서 기준치보다 약간 낮게 나타났으나, 나머지 5개 제품은 모두 음향 투과 손실 기준을

Table 1 Minimum thickness of transparent soundproof panels(ZTV-Lsw 88)⁽⁵⁾

Material	Minimum thickness(mm)
Acryl glass	15
Polycarbonate	12
Single pan security glass	12
Composite safety glass	$2 \times 8 = 16$

Fig. 6 The measurement of sound transmission loss

만족하였다(Fig. 7(b)).

두께 8.38 mm의 접합 유리를 사용한 투명방음판은 유사한 두께의 플라스틱 재질 제품에 비해 안정적인 수준으로 음향 투과 손실 기준을 만족하였는데, 이는 유리의 밀도가 플라스틱에 비해 2배 정도 높은 것에 기인한다고 볼 수 있다. 한편, 1250~2000 Hz 대역에서는 접합 유리 방음판의 차음 성능이 저하되는 일치효과(coincidence effect)를 확인할 수 있었다(Fig. 7(b)).

두께 10 mm의 아크릴 방음판과 폴리카보네이트

(a) Thickness : 6 mm

(b) Thickness : 8 mm(8.38 mm for laminated glass)

(c) Thickness : 10 mm

Fig. 7 Sound transmission loss of soundproof panels

방음판에 대한 음향 투과 손실 시험 결과, 시험 제품 모두 기준을 만족하였다.

일반적인 아크릴과 폴리카보네이트의 밀도는 각각 1.18 g/cm^3 , 1.22 g/cm^3 로 거의 유사하므로⁽⁷⁾, 이들 재질의 차이가 음향 투과 손실에 미치는 영향은 미미할 것으로 예상되며, 시험 결과에서도 동일한 두께에서는 각 주파수 대역에서 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

음향 투과 손실에 대한 측정 결과는 투광부재의 면밀도 및 두께 외에도 투광부재와 프레임부재와의 결합 부위에서의 밀폐성 등에 의해서도 영향을 받을 수 있고, 시험 시설에 따라 발생할 수 있는 특성 차이를 감안한다면, 두께 8 mm 미만의 아크릴 및 폴리카보네이트 제품은 방음판에 요구되는 차음 성능을 만족시키기에는 부족한 수준으로 판단된다.

2.3 투명방음판의 내후성

투명방음판의 유지관리에 있어서 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 것은 황변 현상 또는 재질 변성에 따른 투명도의 저하이다. 플라스틱 재질이 옥외에 노출되는 경우에 자외선, 대기의 온도, 습도 및 풍화작용에 의해 변색이나 물성 저하가 발생하는 경향이 있으므로(Fig. 8), 내후성 향상을 위해서는 자외선 차단제를 코팅하거나, 자외선 흡수제 및 차단제가 함유된 층을 시트 생산 시에 동시에 압출하는 공압출 공법 등이 사용된다.

지표에 도달하는 태양광은 대부분 가시광선 및 적외선으로 구성된다. 태양광 스펙트럼에서 290~400 nm의 파장에 해당하는 자외선은 5% 정도의 낮은 비율을 차지하나 에너지 강도가 높기 때문에 플라스틱의 열화를 유발한다. 특히, 300~400 nm 영역의 자외선은 고분자 결합을 끊기 때문에 플라스틱의 기본 구조를 급속하게 열화시킨다. 예를 들어, $\text{CH}_3\text{-CH}_3$ 분자의 경우에 주 결합을 끊기에 충분한 에너지인

Fig. 8 The factors influencing weathering⁽⁸⁾

340 nm 이상의 자외선이 조사되면 결합이 끊어질 수 있다⁽⁸⁾.

투명 플라스틱에 대한 열화 평가의 척도로는 주로 촉진 내후 시험에 의한 황변도를 사용한다. 무색 또는 백색에 가까운 플라스틱 및 성형재료 등의 색상이 빛이나 열 등의 조건에 노출되어 황색 방향으로 변해가는 정도를 양의 값으로 표시한 것을 황색도(yellowness index)라고 하며, 폭로 전·후에 대한 시험편의 황색도 차이를 황변도(ΔYI)라고 한다.

국토해양부의 도로공사 표준시방서(2009) 등 기존의 시방서에서는 내후성 평가와 관련하여 촉진내후 성시험 300시간 후 변화가 없을 것을 규정하고 있다⁽⁹⁾. 300시간으로는 투명방음판의 장기 내후성을 평가하기가 어려우며, 시험 결과에 대한 ‘변화 없음’이라는 기준 역시 모호한 문제점이 있다.

방음판의 요구 수명을 확보하기 위해서는 황변 현상을 최소화하는 데 필요한 적정 기준의 마련이 요구된다.

현 일본고속도로주식회사(NEXCO)의 전신인 일본도로공단(JH: Japan Highway Public Corporation) 시험연구소 보고서에 의하면, 폴리카보네이트에 대한 실외 폭로와 촉진 폭로의 관계에 대한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y=36.53X-1.325 \quad (1)$$

여기서 Y 는 옥외폭로시험의 폭로년수(년)이며, X 는 촉진 내후 시험의 폭로년수(년)이다. 이 회귀식에 따르면, 옥외 폭로 5년, 10년, 15년에 상당하는 촉진

내후 시험 시간은 각각 1500시간, 2700시간, 3900시간 정도이다. 실외 폭로 20년에 상당하는 촉진 내후 시험의 폭로 시간은 0.58년(5,100시간)이 된다. 다만, 시험에서 사용한 촉진 폭로 시험은 전사인 카본아크등식 내후 시험기를 이용한 것이며, 실외 폭로와 촉진 폭로와의 회귀식은 옥외 노출 시험을 실시한 지역의 환경에 따라 다를 수 있다는 점을 감안할 필요가 있다.

Table 2는 일본도로공단(현 NEXCO) 시험연구소에서 시험편 관찰을 통해 제시한 결과로서, 약간 노란빛이 느껴질 때의 황변도는 7 정도이다. 일본도로공단에서는 고속도로에 설치하는 투명방음판의 내구연한을 20년으로 간주하여 옥외폭로 20년에 상당하는 5000시간의 촉진 내후 시험을 제안하고 있으며, 투명성이 유지되면서 황변이 느껴지는 한계값으로서 황변도 7을 설정하고 있다⁽¹⁰⁾.

이 연구에서는 투명방음판의 내후성 기준 마련을 위한 기초 자료를 확보하기 위해서 아크릴 및 폴리 카보네이트, 그리고 황변 방지 처리, 오염 방지 코팅을 실시한 시험편에 대하여 실험실 광원에 의한 노출 시험 방법인 KS M ISO 4892에 따라 촉진 내후 시험을 실시하고,⁽¹¹⁾ 시험 전·후의 황변도를 조사하였다. 촉진 내후 시험에는 자외선 형광램프를 이용한 촉진 내후 시험기(Atlas UV2000)를 사용하였다. 3000시간이 넘는 촉진 내후 시험을 공인기관에서 실시하는 경우, 시험기간 및 비용에 대한 부담이 크고, 적절한 시기에 시험을 실시하기가 용이하지 않은 현실을 감안하여 시험시간은 최대 1500시간으로 설정하였다. 그리고 일본도로공단 시험연구소 자료에 따라 옥외시험 10년에 상당하는 촉진 내후 시험

Fig. 9 The correlation between accelerated and outdoor weathering test⁽⁸⁾

Table 2 Changes in yellowness index and visual color appearance of test specimens in JH⁽¹⁰⁾

ΔYI	Visual color appearance
1.23	Colorless transparent
4.02	Colorless transparent
4.61	Very slight yellowing
7.20	Slight yellowing
10.07	Moderate yellowing
13.06	Moderate yellowing
17.54	Clearly pronounced yellowing

Fig. 10 The variation of yellowness index in the accelerated weatherability test

2700시간에 대해서는 시험 데이터를 외삽법으로 추정하였다.

Fig. 10은 324시간 및 1500시간 동안 촉진 내후시험 후의 황변도 결과와 2700시간에서의 예측치를 나타낸 것이다. 별도의 황변 방지 처리가 되지 않은 폴리카보네이트의 경우, 원판 및 TiO_2 광촉매 코팅(titania-coated) 처리된 시편은 5년에 해당하는 1500시간 촉진 내후 시험 후 황변도가 9를 넘었으며, 이에 비해 아크릴 시편들은 1500시간 시험 후에도 1 이하로 나타났다. 황변 방지 처리된 공압출(co-extruded) 폴리카보네이트 시편은 2700시간 후에 황변도가 7.67로서 노란 빛이 느껴지는 정도로 변할 것으로 예측되었다.

이상의 결과로부터 투명방음판의 내후성 평가방법으로서 자외선 형광 램프를 이용한 1500시간 촉진 내후 시험 후 황변도 3 이하를 만족하도록 하는 방안이 적절할 것으로 판단된다.

3. 결 론

아크릴, 폴리카보네이트, 접합유리 재질을 투명방음판에 대하여 음향 투과 손실을 조사한 결과, 두께 8.38 mm의 접합 유리를 사용한 투명방음판은 안정적인 수준으로 방음판에 요구되는 차음 성능 기준을 만족하였으며, 아크릴, 폴리카보네이트 재질의 경우, 기준을 충분히 만족시키기 위해서는 두께 8 mm 이상이 요구되는 것으로 나타났다.

한편, 아크릴, 폴리카보네이트 시험편에 대하여 황변 방지 처리, 오염 방지 코팅 유무에 대해 촉진

내후 시험을 실시한 결과, 원판의 경우 아크릴 재질이 폴리카보네이트 재질에 비해 우수한 내후성을 나타내었으며, 방음판에 사용되는 폴리카보네이트 재질은 유지관리 기간 동안의 내후성 확보를 위해 반드시 황변 방지 처리가 필요함을 확인하였다.

투명 플라스틱 재질 외에도 일반유리보다 안전성이 강화된 접합유리가 투명방음판으로 사용되면서 재질 선택의 폭이 넓어진 반면, 재질에 따른 특성 차이가 크기 때문에 재질 선정 시에는 설치 현장 여건을 감안하여 안전성, 투명성, 유지관리성, 경제성 등을 충분히 고려할 필요가 있다. 각 재질별 단점을 보완할 수 있도록 제품의 물성 개선, 유지관리 및 재활용의 편의성 등 제품 성능 향상을 위한 기술개발과 이에 대한 적절한 평가기준의 정립에 대한 연구도 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Chang, T. S., Kim, C. H. and Hwang, C. H., 2010, Study on Quality Criteria for Transparent Soundproof Panels(1) - Evaluation of Mechanical Performance and Safety, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 12, pp. 1111~1120.
- (2) Yang, K. S., Lee, S. E., Yoo, J. W. and Doho, G. H., 1989, A Study on Traffic Noise Reduction Facilities of Europe, Proceedings of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol. 9, No. 2, pp. 365~368.
- (3) Ministry of Environment, 2011, Standard for Installation and Properties of Noise Facilities, Notification No. 2011-135.
- (4) NEXCO, Standard Design Specifications Vol. 5 Traffic Control Facilities - Standard Design Specifications for Noise Barriers, 2011.
- (5) The Federal Ministry for Transport(Germany), 1998, ZTV-Lsw 88, Technical Rules for the Production of Anti-noise Barriers Alongside roads.
- (6) Korean Agency for Technology Standards, 2011, KS F 2808; Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Elements.
- (7) Domininghaus, H., Plastics for Engineers: Materials, Properties, Applications, 1993, Hanser Publishers,

Munich and New York.

(8) Technical Whitepaper, Weathering of Plastics, 2006, Zeus Industrial Products, Inc.

(9) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009, Standard Specifications for Road Construction Works.

(10) Matsumoto, K., Nakasaki, K. and Osafune, T., 1995, Tests to Prepare Design Manual on Transparent Noise Barriers, Nihon Doro Kodan Research Institute Report, Vol. 32, pp. 163~175.

(11) Korean Agency for Technology Standards, 2002, KS M ISO 4892-3; Plastics-methods of Exposure to Laboratory Light Sources-part 3 : Fluorescent UV Lamps.

Taesun Chang received Ph.D. degree in Chemical Engineering from Hanyang University in 2010. He is currently a senior researcher at Korea Expressway Corporation Research Institute.

His work focuses on materials and environmental science in road construction and management. He has been also involved in research in the areas of application and evaluation of road traffic noise reducing devices.

Chulhwan Kim received Ph.D degree in Acoustic Design from Kyushu Institute of Design, Fukuoka, Japan in 1997. He is currently a chief researcher at Korea Expressway Corporation Research Institute. His research interests include environment noise and vibration analysis, road traffic noise prediction model, and road traffic noise impact assessment.

Cheolho Hwang received Ph.D. degree in Mechanical Design Engineering from Seoul National University in 1998. He worked at Korea Research Institute of Standards and Science as a senior researcher. He is currently a professor of Mechanical Engineering at Hannam University. His research interests include noise and vibration control, environmental noise impact assessment, and mechanical vibration analysis.