

Research Paper

고속도로 방음벽 유지관리를 위한 방음벽 노후도 평가 방안

김상태* · 신일형** · 김경수* · 김다애* · 김흥래* · 임자혜** · 이재준***

(*)평화엔지니어링 연구원*, 한국도로공사 품질환경처**, 전북대학교 토목공학과***

Deterioration Evaluation Method of Noise Barriers for Managements of Highway

Sangtae Kim* · Ilhyoung Shin** · Kyoungsu Kim* · Dae Kim* ·
Heungrae Kim* · Jahae Im** · Jajun Lee***

R&D Institute, Pyunghwa Engineering Consultants*
Environment & Quality Division, Korea Expressway Corporation**
Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University***

요약: 본 연구에서는 고속도로 방음벽을 대상으로 방음벽의 손상유형 분류 및 손상등급 체계를 마련하고 이를 반영한 방음벽 노후도 평가기법 개발을 목표로 하였다. 방음벽이 방음판, 기초, 지주로 구성되어 있고 10종의 다양한 재질이 활용되고 있는 방음판은 단일 또는 혼합형으로 사용되고 있으며, 방음판의 손상은 단일 또는 복합적인 손상을 나타내는 특징을 나타내고 있어 이러한 방음벽의 특징을 반영할 수 있는 방음벽 노후도 평가모형을 개발하고자 하였다. 방음벽에 주로 사용되고 있는 재질을 금속재, 플라스틱재, 목재, 투명재, 콘크리트재의 재질유형으로 나누고 또한, 각 재질별 손상유형을 부식, 변색, 변형, 깨짐, 탈리로 분류하여 방음벽의 손상유형을 방음벽 구성부재와 재질에 따라 세분화하였다. 방음벽 주요부위별로 각 손상유형별 손상등급을 양호, 경미, 보통, 심함으로 구분하여 방음판, 지주, 기초의 손상등급을 평가, 이를 바탕으로 부위별 노후도를 평가하여 가중평균을 통한 방음벽 전체의 노후도를 평가하는 방식을 통해서 종합적인 방음벽 노후화 정도를 평가하였다. 단일형 또는 혼합형 방음판을 사용하는 방음벽의 노후도 평가는 물론, 손상유형이 단일형 뿐만 아니라 복합형으로 나타나는 방음벽에 대해서도 체계적인 평가가 가능한 노후도 평가 기법을 개발하였으며, 이러한 평가시스템을 통하여, 현재 설치되어 있는 방음시설의 노후화 현황을 체계적으로 파악함은 물론, 이를 토대로 방음벽의 보수 및 개량을 위한 효율적인 유지관리 계획 및 시행에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

주요어: 방음벽, 노후도 평가, 손상유형, 손상등급, 유지관리

First & Corresponding Author: Sangtae Kim, Tel: +82-31-420-7811, E-mail: stkim99@pec.kr, ORCID: 0000-0003-1717-9695

Co-Authors: Ilhyoung Shin, Tel: +82-54-811-3234, E-mail: niceguy@ex.co.kr, ORCID: 0000-0001-8283-8808

Kyoungsu Kim, Tel: +82-31-420-7327, E-mail: kyoungsu1205@pec.kr, ORCID: 0000-0003-3524-3638

Dae Kim, Tel: +82-31-420-7988, E-mail: kda08272@pec.kr, ORCID: 0000-0003-4196-2663

Heungrae Kim, Tel: +82-31-420-7920, E-mail: hrkpro@pec.kr, ORCID: 0000-0003-2938-9243

Jahae Im, Tel: +82-54-811-3235, E-mail: kinaigo@ex.co.kr, ORCID: 0000-0003-4278-6219

Jajun Lee, Tel: +82-63-270-2427, E-mail: lee2012@jbnu.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5137-8351

Received: 16 April, 2019. Revised: 18 June, 2019. Accepted: 18 July, 2019.

Abstract: This research aimed to prepare the classification of the damage types and the damage rating system of noise barriers for expressway noise barriers and to develop deterioration evaluation method of noise barriers by reflecting them. The noise barrier consists of soundproof panels, foundations and posts and the soundproof panels with 10 different types of materials are used in a single or mixed form. In this paper, damage of soundproof panel shows a single or composite damage, and thus a evaluation model of deterioration has been developed for noise barriers that can reflect the characteristic of noise barriers. Materials used mainly for soundproof walls were divided into material types for metal, plastic, timber, transparent and concrete. And damage types for noise barrier were classified into corrosion, discoloration, deformation, spalling and dislocation and damage types were subdivided according to the noise barrier's components and materials. Damage rating was divided into good, minor, normal and severe for each major part of noise barrier to assess damage rating of soundproof panel, foundation and post. The deterioration degree of noise barrier was evaluated comprehensively by using the deterioration evaluation method of whole noise barrier using weighted average. Deterioration evaluation method that can be systematically assessed has been developed for noise barrier using single or mixed soundproof panel and noise barrier with single or complex damage types. Through such an evaluation system, it is deemed that the deterioration status of noise barrier installed can be systematically understood and utilized for efficient maintenance planning and implementation for repair and improvement of noise barriers.

Keywords : Noise barrier, Deterioration evaluation, Damage type, Damage rating, Maintenance

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1980년대 방음시설이 국내에 도입된 이후, 고속도로 방음벽의 설치개소와 관리연장은 지속적으로 증가하고 있으며 2000년대부터 최근까지 2.5배 이상

증가하여 2017년 08월 기준으로 고속도로 방음벽 관리연장은 약 1,093km로, 약 3,800개소에 설치 운영되고 있다.

한편, 환경부와 한국도로공사가 수행한 '방음시설 성능 및 설치기준 마련 연구(Ministry of Environment & Korea Expressway Corporation

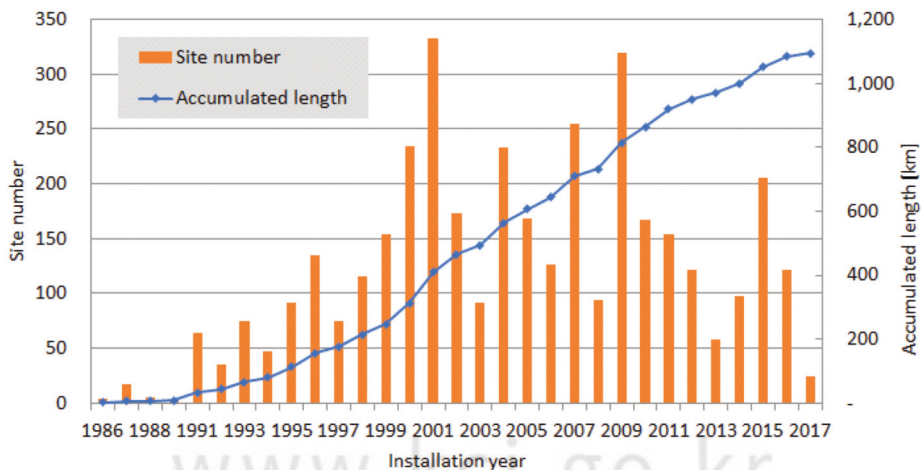


Figure 1. Annual installation of noise barriers.

2009)에서 현장에 설치된 노후 방음벽을 대상으로 성능검토를 수행한 결과에 따르면 방음벽의 내구연한을 20년으로 제시하고 있으며 일본과 독일에서도 방음벽의 내구연한을 비슷한 수준으로 설정하고 있다. 2000년에서 2010년까지 집중적으로 설치된 국내 방음벽은 2017년 기준으로 공용 20년이 초과된 방음벽이 약 177km로 총연장대비 약 16%에 이르고 있어, 노후 방음벽의 교체 및 유지보수 대책 방안 수립이 필요한 시점이라 할 수 있다. 고속도로 방음시설 관리기관인 한국도로공사에서는 방음시설 전수조사를 실시하여 방음시설의 관리상태를 점검하고 방음시설의 품질기준 강화 및 개선 등 성능향상을 위한 연구를 수행하고 있으며, 또한, 보다 체계적인 방음시설의 노후화 평가를 통한 방음벽 유지관리 체계를 정립하기 위해 다양한 방안을 수립 중에 있다.

본 연구에서는 고속도로 방음벽을 대상으로 방음벽의 손상유형 분류 및 손상등급 체계를 마련하고 이를 반영한 방음벽 노후도 평가기법 개발을 목표로 하였다. 이러한 방음벽 노후도 평가기법을 통하여 현재 설치되어 있는 방음시설의 노후화 현황을 체계적으로 파악하고 또한 이를 토대로 방음벽 보수 및 개량을 위한 효율적인 유지관리 계획 및 시행을 지원하고자 하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 고속도로 방음벽의 노후화 평가기법을 개발하였다. 이러한 평가 방법론 개발을 위하여 다음의 세부내용을 수행하였다.

첫째, 방음판의 손상유형을 재질별로 분류하고, 방음벽 부위별로 손상유형에 따른 손상등급 체계를 도입하였다.

둘째, 다양한 재질과 다양한 손상유형을 나타내는 방음벽의 종합적인 노후도 평가 방법론을 개발하였다.

셋째, 사례검증으로 수도권 고속도로 3개 구간을 대상으로 방음벽 노후도 평가를 실시하여 노후도 평가 기법의 타당성을 검토하였다.

II. 관련 문헌 고찰

1. 방음시설 유지관리 기준

환경부(Ministry of Environment 2014)는 “방음시설의 성능 및 설치기준”에서 방음시설의 음향성능 및 재질기준, 방음시설의 설계 및 설치기준, 방음시설의 성능평가 및 사후관리에 대한 내용을 규정하고 있다. 시공 전·후의 방음시설 성능평가서 제출을 규정하여 설계·시공의 적정성 여부를 검토하고 방음시설의 성능유지를 위하여 설치 후 5년마다 성능평가를 실시하여 그 결과를 방음시설 관리카드에 기록·유지하고, 그 결과가 적합하지 않을 경우에는 1년 이내에 적절한 대책으로 보완한 후 재평가를 실시하도록 규정하고 있다.

한국도로공사(Korea Expressway Corporation 2012)는 “고속도로공사 전문시방서”에서 방음벽 및 방음터널의 재료품질과 시공기준을 세부적으로 명시하고 있다. 방음패널의 투과손실, 흡음율, 하중변위 등의 공통적인 사항에서부터 금속재, 비금속재, 목재, 투명 방음판과 지주 및 부속자재의 품질기준에 이르기까지 세부적으로 규정하고 있으며, 방음시설의 유지관리를 위한 성능평가는 환경부 기준과 유사한 수준이다.

하지만, 방음시설의 시공 전후나 사후 유지관리를 위한 성능평가는 소음도평가 중심으로 이루어지고 있으며, 방음시설의 손상이나 성능감소와 같은 노후화를 정량적으로 평가하는데 미치지 못하고 있는 실정이다.

한편, 기존의 금속재뿐만 아니라 컬러 플라스틱, 합성목재, 경량콘크리트 등 다양한 재질의 방음판이 적용되고 있어 적정 품질확보를 위한 연구가 수행되고 있다. 한국도로공사(Korea Expressway Corporation 2014)는 “유지관리를 고려한 방음자재 품질기준 개선 연구”를 통하여 금속재 방음판의 품질기준 개선방안, 경량골재 콘크리트 패널과 WPC(Wood-plastic-composite)의 평가방법과 평가기준을 도출하였다. 그 외에 투명방음판의 품질기준(Chang et al, 2010)과 WPC 방음판 내하성능평가(Chang et al, 2017)에 대한 연구가 지속되고 있다.

2. 방음시설 노후도 평가

주문기 외(Joo et al, 2015)는 철도 주변 약 70지점의 노후화된 방음벽을 대상으로 현장조사를 통하여 방음벽의 관리실태를 조사하였으며 현장흡음률 측정방법과 잔향실 흡음측정을 통하여 방음벽의 음향 및 비음향 성능을 분석하여 유공형 방음벽 대부분이 먼지 소립자에 의해 기공이 막혀 방음성능이 저하되고 시간경과에 따른 방음벽의 채색 및 도장의 변색, 뒤틀림, 처짐 등은 성능, 내구성보다는 미적 측면에 문제가 될 수 있다고 지적하였다.

방음시설의 유지관리를 위한 노후도 평가와 관련된 연구는 상기의 연구를 제외하고는 거의 전무한 수준이며, 방음시설의 현황과 손상·훼손 정도를 파악하는 실태조사를 방음시설 관리기관에서 수행하면서 체계적인 평가방안을 수립 중에 있다.

III. 방음벽 손상유형 및 상태평가 방법

1. 방음판 재질 및 손상유형

방음벽의 주요 구성부위인 방음판은 재질에 따라 금속재, 플라스틱재, 목재, 투명재, 콘크리트재 5가지 재질유형으로 대분류되며, 세부적으로는 현재 10가지 재질유형이 사용되고 있다.

금속재 방음판에는 알루미늄, 컬러알루미늄, 도금강판, 컬러도금강판이 사용되고 있으며, 플라스틱재에는 플라스틱, 고밀도폴리에틸렌(High-density polyethylene, HDPE), 열경화성 강화플라스틱(Fiber reinforced plastics, FRP) 등이 사용되며, 목재에는 일반목재와 합성목재(Wood-plastics composite, WPC)가 사용되며 투명재에는 접합유리, 폴리카보네이트(Polycarbonate, 이하 PC), 아크릴(Polymethylmethacrylate, 이하 PMMA) 등이 사용되며 마지막으로 콘크리트재에는 시멘트콘크리트와 경량발포콘크리트가 사용되고 있다. Figure 2는 방음판 재질별 사례와 대표적인 손상사례를 나타내고 있다.

금속재 방음판은 알루미늄 합금판의 경우 전면판 하단 체결부에 부식이 발생하고, 아연도금강판은 타

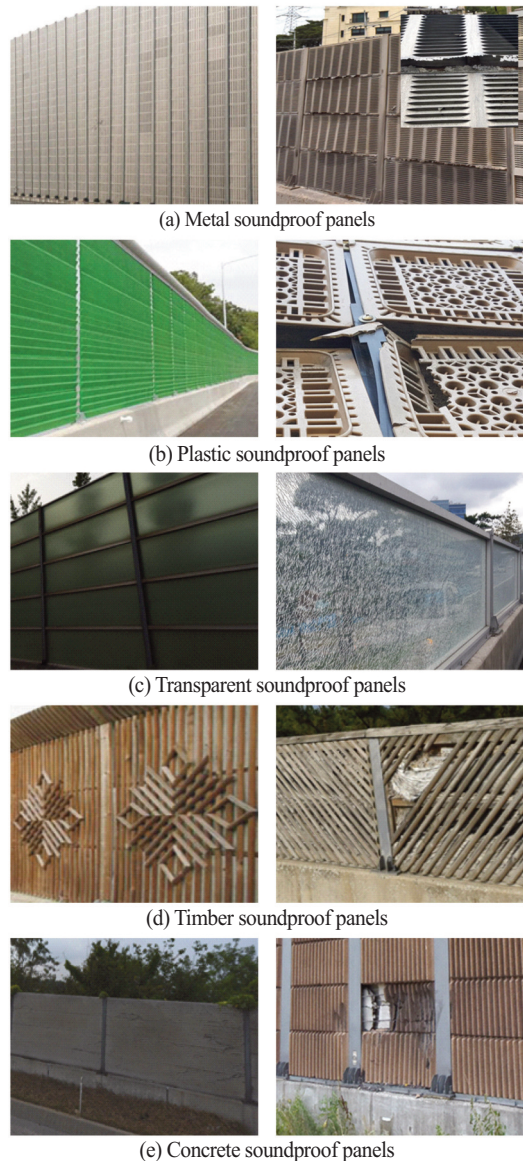


Figure 2. Material types and typical damage of soundproof panels.

공부에 녹이 발생하여 주변으로 부식이 심화되는 경향이 있으며 특히, 제설제의 영향으로 방음벽 하단 3m 이내에 집중적으로 부식이 발생하고, 그 외에 방음판 하단부의 배부름이나 들뜸과 같은 변형이 금속재 방음판의 손상유형으로 구분된다.

목재나 WPC 방음판은 부재의 비틀림이나 깨짐, 탈리가 주로 나타나는 손상유형이며 투명방음판은 폴리카보네이트(PC)의 황변이나 PMMA의 백화와

같은 변색과 외부충격에 의한 투명판의 깨짐이나 고정핀 탈락에 의한 방음판의 깨짐이나 탈리가 주로 발견되는 손상유형이다. 콘크리트 방음판은 외부충격에 의한 깨짐 외에 표면의 얼룩과 식생에 의해 지워진 반원형 얼룩이 미관성을 저해하는 요인으로 되고 있으며 경량 콘크리트 방음판은 골재 탈리와 녹발생이 주된 손상유형으로 구분된다. 플라스틱 방음판은 외부충격에 의한 깨짐이 주된 손상유형으로 방음판 내부의 횡방향 고정 프레임 미흡에 따른 구조적 원인과 자외선에 의한 내충격성 저하로 나타나는 손상유형으로 구분된다.

기초부위에서는 콘크리트 깨짐, 균열, 열화에 의한 박리가 지주부위에서는 부식이나 변형이 주로 나타나는 손상유형이며 특히 교량 신축이음부에 접합용접 불량에 의한 접합플랜지 부식이 주된 손상유형으로 구분할 수 있다.

2. 방음판 재질 및 손상유형

이처럼 다양한 재질의 방음판이 사용되고, 재질에 따라 손상특성이 다르게 나타나는 방음판과 그 방음판을 지지하는 지주 및 기초의 손상특성을 종합적으로 반영하는 방음벽 노후도 평가를 위하여 본 연구에

서는 방음벽 구성부위별, 방음판 재질별 손상상태를 나타낼 수 있는 손상유형 분류와 손상등급 체계를 도입하였다.

방음벽의 손상유형을 부식, 변색, 변형, 깨짐, 탈리 5가지로 분류하고, 이러한 손상유형이 방음판, 기초, 지주의 재질에 따라 결정됨에 따라, 본 연구에서는 방음벽의 손상유형을 방음벽 구성부재와 재질에 따라 세분화하여 분류하였다(Table 1).

방음벽의 손상등급은 손상 상태에 따라 양호, 경미, 보통, 심함으로 구분하며 양호[G]는 방음벽 기능상 문제점이 없는 상태, 경미[L]는 손상의 초기단계로 방음벽 기능발휘에 지장이 없는 상태로 단순한 보수로 회복이 가능한 상태, 보통[N]은 손상이 진행 중이며 부분적인 손상이 있는 상태로 방음벽의 기능저하가 우려되어 보수가 필요한 상태, 심함[S]은 전반적인 손상이 진행된 상태로 방음벽의 기능이 거의 상실되어 즉각적인 보수가 필요한 상태로 구분하였다(Table 2).

본 연구에서는 방음벽의 주요부위로 방음판, 지주, 기초로 구분하고 각 손상유형(부식, 변색, 변형, 깨짐, 탈리)별로 손상등급(양호, 경미, 보통, 심함)을 손상 사례와 함께 정성 또는 정량적 기준으로 제시하여 방







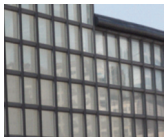









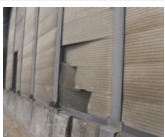


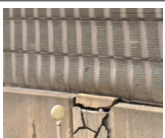









Table 1. Classification of damage type for parts of noise barrier

Type of damage	Materials of soundproof panels					Post	Foundation
	Metal	Plastic	Timber	Transparent	Concrete		
Corrosion	○	×	×	×	×	○	×
Discoloration	×	×	○	○	×	×	×
Deformation	○	×	×	×	×	○	×
Spalling	×	○	○	○	○	×	○
Dislocation	○	○	○	○	○	○	○

Table 2. Definition of damage rating of noise barrier

Rating	Symbol	Definition
Good	G	• Function of soundproof walls is intact.
Minor	L	• In the initial stage of damage, the soundproof walls function has no effect on its function. • There is local damage but it is recoverable by simple repair.
Normal	N	• Damage is ongoing and there is partial damage • The soundproof is in need of repair due to concerns of deterioration
Severe	S	• Overall damage is under way. • The soundproof has almost lost its function and needs immediate maintenance.

Table 3. Examples of each damage rating of noise barrier

Type	Part	Damage rating		
		Minor	Normal	Severe
Corrosion	Soundproof panels			
	Post			
Discoloration	Soundproof panels			
Deformation	Soundproof panels			
	Post	N.A.		
Spalling	Soundproof panels			
	Foundation			
Dislocation	Soundproof panels			
	Foundation			
	Post			

음벽의 손상 정도를 평가에 적용하였다(Table 3).

방음판 부식의 경우, 경미 등급은 부식발생의 초기 단계로 부식에 의한 단면손실이 없는 수준으로 단순 보수로 내구성 및 기능 저하 방지가 가능한 수준이며 보통 등급은 부식에 의해 부분적으로 단면손실이 발생한 수준(하단부 단면손실 25% 이하)으로 기능저하가 우려되어 적절한 보수가 필요한 수준이며, 심함 등급은 방음판 전체적으로 부식이 발생한 수준(하단부 단면손실 25% 이상)으로 내구성 및 기능저하 발생으로 즉각적인 보수가 필요한 수준으로 구분하였다. 지주의 부식은, 경미등급은 부식발생 초기단계로 단순도장처리로 보수가 가능한 수준이며, 보통수준은 부식에 의한 단면손실은 없으나 부분적인 녹이 발생한 수준이며, 심함등급은 전체적으로 녹이 발생하고 부식에 의한 부분적인 단면손실이 발생한 수준으로 구분하였다.

투명형 방음판의 변색의 경우, 경미등급은 먼지 등에 의한 오염수준으로 단순청소작업으로 기능회복이 가능한 수준이며, 보통등급은 자외선에 의한 변색 초기단계로 투명방음판의 후면 사물인지가 가능한 수준이며, 심함등급은 투명방음판의 기능상실로 방음판 후면의 사물인지가 불가능한 수준으로 구분하였다.

방음판의 변형의 경우, 경미등급은 국소적인 표면 찌그러짐(꺾러리 변형)과 같은 수준이며 보통등급은 방음판의 배부름 또는 들뜸과 같은 손상이 나타난 수준으로 안전에는 지장이 없으나 보수가 필요한 수준이며 심함등급은 외부충격에 의해 방음판의 변형으로 내구성이나 기능을 상실한 수준으로 구분하였다.

방음판의 깨짐의 경우, 경미등급은 도로이물질등의 비산으로 국소적인 파손이 있으나 기능상에 문제가 없는 수준이며 보통등급은 부분적인 파손으로 보수가 요구되는 수준이며 심함등급은 전반적인 파손으로 방음판의 교체 등 보수가 시급한 수준으로 구분하였다.

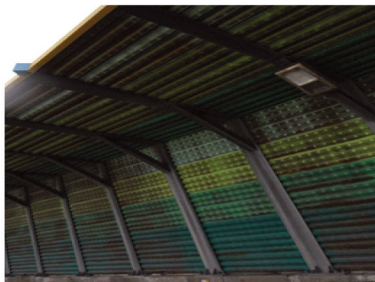
방음판의 탈리의 경우, 경미등급은 지주에서 방음판이 이격되어 있는 수준이며 보통등급은 부분적인 탈리가 발생한 수준이며 심함등급은 지주경간에서 방음판이 고정위치에서 벗어나 분리되어 있는 수준으로 시설물 안전을 위하여 긴급한 보수가 필요한 수준으로 구분하였다.

IV. 방음벽 노후도 평가 방법론

1. 방음벽 노후도 정의

본 연구에서는 방음벽의 노후는 정상적인 품질상태에서 시간의 경과에 따른 재료적인 열화와 외부충격에 의한 손상에 의하여 방음벽의 기능을 제대로 발휘하지 못하는 상태로 정의한다. 또한, 방음벽의 노후도는 방음벽의 노후상태를 나타내는 지표로 방음벽이 노화되어 그 기능이 상실된 상태를 노후도 1.0 (=100%)로 하고, 정상적인 양호한 품질상태를 0.0 (=0%)로 정의한다(Figure 3).

한편, 방음벽의 기능은 기본기능, 부가기능, 필수기능으로 구분할 수 있으며 다음과 같이 정의한다. 기본기능은 도로주변 소음의 차음 또는 흡음성능을 발휘하는 음향기능으로, 부가기능은 도로시설물로서의 경관향상을 위한 외관기능으로, 필수기능은 기본



Deterioration degree = 1.0



Deterioration degree = 0.0

Figure 3. Example and definition of deterioration degree.

기능, 부가기능을 구현하기 위해 필요한 구조적 안정 기능으로 정의할 수 있다.

방음벽의 이러한 세가지 기능 가운데 어느 한가지 기능이라도 제대로 발휘하지 못하는 경우에 방음벽은 노후된 상태라고 인식되어지고 있다. 예를 들어, 변색이 심한 투명형 방음판의 경우 음향기능의 저하는 없다고 하더라도 외관기능은 현저히 저하된 상태로 노후화가 심한 상태로 판단하며, 부식이 다소 진행된 금속재 방음판의 경우에도 음향기능의 저하는 없지만 외관기능의 저하로 노후화가 다소 진행된 상태로 판단하게 된다.

2. 방음벽 노후도 평가모델 기본개념

방음벽의 특징을 부위별 구성, 방음판 재료, 손상 유형 측면에서 다음과 같이 구분하였다.

- 1) 방음판, 기초, 지주를 주요부위로 하는 도로시설 구조물
- 2) 10종 이상의 다양한 재질로 구성된 다양한 종류의 방음판으로 구성
- 3) 단일 또는 혼합형 방음판에서 나타나는 단일 또는 복합적인 손상 발생

따라서 본 연구에서는 이러한 방음벽의 특징을 반영할 수 있는 방음벽 노후도 평가모델을 개발하였다.

- 1) 방음벽 부위별 노후도를 반영한 종합평가; 방음벽의 노후는 각각 구성요소의 노후와 밀접한 관련이 있으므로 본 연구에서 개발한 노후도 평가 모델에서는 방음벽의 노후도를 방음판 노후도, 지주 노후도, 기초 노후도로 세분화하여 정의하고 이를 가중평균하여 방음벽 노후도를 평가함

2) 혼합형 방음판의 경우 재질별 면적비를 고려한 노후도 평가; 2종류 이상의 방음판을 사용한 혼합형의 경우 재질별 면적비를 고려하여 다양한 재질의 방음판이 사용된 방음벽의 노후도를 평가함

3) 복합적인 손상유형의 경우 재질별 손상을 누적 합산한 노후도 평가; 혼합형 방음판에서 뿐만 아니라 단일 재질의 방음판에서도 2개 이상의 손상유형이 복합적으로 나타나는 방음판의 경우 손상의 정도를 산술합산하여 노후의 정도를 가중하는 방식으로 노후도를 평가함

3. 방음벽 손상 평가지표 정의

앞서 설명한 방음벽 재질별 손상유형을 고려하여 방음벽 부위별 손상 평가지표를 손상유형과 연계해서 다음과 같이 선정하였다.

방음판 노후도를 평가하기 위해서 손상지표로 방음판의 부식율, 변색율, 변형율, 깨짐율, 탈리율을 평가하고, 지주 노후도 평가시에는 지주의 부식율, 변형율, 탈리율을 평가하고, 기초 노후도 평가시에는 기초의 깨짐율, 탈리율을 손상지표로 평가해서 방음벽 노후도를 평가한다.


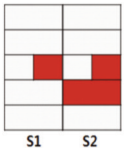
본 연구에서 제시하는 방음판 노후도 평가모델의 특징 중에 하나는 방음판 각각의 단위(패널)평가를 통하여 경간평가, 구간평가로 개념을 확장하는 방식이다. Table 5에 제시한 방음벽 손상 평가지표의 개념을 부식율을 예시로 설명한다.

단위패널평가에서는 평가대상 구간에 설치되어 있는 방음판 하나의 부식정도에 따라 손상등급(양호, 경미, 보통, 심함)을 평가하고 이에 따라 단위 방음

Table 4. Damage evaluation index of each part of noise barrier

Classification	Evaluation index of damage
Soundproof panels	<ul style="list-style-type: none"> • Metal: corrosion rate, deformation rate, dislocation rate of soundproof panel • Plastic: spalling rate, dislocation rate of soundproof panel • Timber: spalling rate, dislocation rate and discoloration rate of soundproof panel • Transparent: discoloration rate, spalling rate and dislocation rate of soundproof panel • Concrete: spalling rate, dislocation rate of soundproof panel
Post	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion rate, deformation rate and dislocation rate of post
Foundation	<ul style="list-style-type: none"> • Spalling rate, dislocation rate of foundation

Table 5. Examples of damage evaluation index according to evaluation scope

Scope	Evaluation of damage evaluation index										
Unit panel	<ul style="list-style-type: none"> Conduct a four-grade evaluation of soundproof wall, post, foundation according to the definition of damage grade; Damage grade <table border="1"> <thead> <tr> <th>Damage grade</th> <th>Deterioration evaluation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Good</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Minor</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>Normal</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Severe</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	Damage grade	Deterioration evaluation	Good	0.0	Minor	0.2	Normal	0.5	Severe	1.0
Damage grade	Deterioration evaluation										
Good	0.0										
Minor	0.2										
Normal	0.5										
Severe	1.0										
Span	<ul style="list-style-type: none"> ex) Corrosion rate of 5-panel span  <ul style="list-style-type: none"> - 2 panel: Corrosion severe → 1.0 (100%) - 3 panel: Corrosion normal → 0.5 (50%) - Corrosion rate = $(1.0+0.5)/5 = 0.3$ - Corrosion rate of soundproof panel by span: 30% 										
Section	<ul style="list-style-type: none"> ex) Corrosion rate of 10-panel section  <ul style="list-style-type: none"> - S1: Corrosion rate by span 20% - S2: Corrosion rate by span 30% - Corrosion rate = $(0.5*2+1.0*1)/10 = 0.2$ - Section corrosion rate of soundproof panel: 20% 										

판의 부식율을 0.0(양호), 0.2(경미), 0.5(보통), 1.0(심함)으로 평가한다.

경간 단위에서는 지주간 다수의 방음패널을 대상으로 방음판 부식율을 평가하며 지주 부식율은 하나의 지주 전체를 대상으로 평가하고, 기초의 깨짐율(노후도 평가지표)은 지주간의 범위내에서의 기초를 대상으로 평가한다. 예를 들어, 방음판 5개로 구성된 경간의 경우, 세 번째 패널의 부식등급이 보통일 때 단위패널의 부식율은 0.5이고 경간 단위에서는 $0.5/5=0.1$ 로 방음판 경간 부식율은 0.1(=10%)가 된다.

구간단위에서는 방음벽구간을 대상으로 평가한다. 예를 들어, 2개의 경간(총 10개 단위패널)으로 구성된 경우에, 경간1에서는 부식율 0.1, 경간2에서는 0.3인 경우에 구간단위의 부식율은 $2.0/10=0.2$ 로 방음판 구간 부식율은 0.2 (=20%)가 된다.

4. 방음벽 노후도 평가모델

본 연구에서 개발한 방음벽 노후도는 방음판 노후도, 지주 노후도, 기초 노후도로 세분화하여 평가하고 이를 가중평균하여 종합평가하는 방식을 도입

하였으며, 이를 위해 방음벽 부위별 가중치, 즉 방음벽 노후도에 영향을 미치는 방음판, 지주, 기초의 중요도를 산정하기 위하여 방음벽 관련 전문가를 대상으로 AHP기법을 적용한 설문조사를 통하여 가중치를 산정하였다. 방음벽 관련 전문가 및 실무자를 대상으로 총 38부의 설문지를 회수하여 분석에 활용하였으며 방음벽 노후도 부위별 가중치 분석결과는 방음판 0.615, 지주 0.186, 기초 0.199로 산정되었다.

한편, 방음판 노후도 평가모델의 또 다른 특징으로

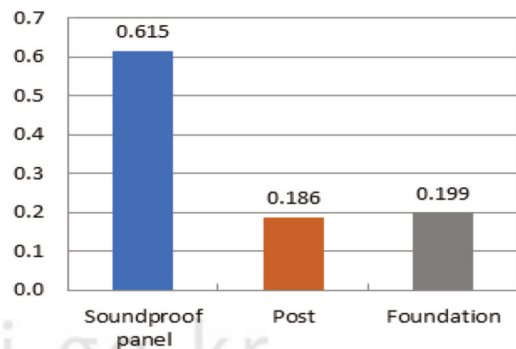


Figure 4. Weight of soundproof walls by part.

다양한 재질의 방음판이 활용되고 있고 손상유형도 재질에 따라 특유의 유형을 나타내며 손상유형 또한 단일 형태의 손상만 나타나는 것이 아니라 복합적으로 나타나기도 하므로 이러한 방음벽의 특성을 종합적으로 평가할 수 있는 모델이 필요하다. 이를 해결하기 위해 본 평가모델에서는 동일한 재질에서의 복합적인 손상에 따른 노후도는 합산방식으로 여러 재질의 혼합형 방음벽의 노후도는 해당 재질의 면적비를 도입하여 평가모델을 구축하였다.

방음판의 노후도는 전체 (방음)판수 대비 손상판수의 비율로 정의가 가능하며 다음과 같이 수식화가 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{방음판 노후도}(\%) &= \frac{\text{손상판수}}{\text{전체판수}} \times 100 \\ &= \frac{\text{손상판수}}{\text{해당재질판수}} \times \frac{\text{해당재질판수}}{\text{전체판수}} \times 100 \\ \text{손상판수} &= \sum_{\substack{\text{=식함, 보통, 경미}}} N_{\text{손상등급}} \times W_{\text{손상등급가중치}} \\ \begin{cases} N_{\text{손상등급}} &= \text{해당 손상등급 판수} \\ W_{\text{손상등급}} &= \text{해당 손상등급 가중치} \end{cases} \end{aligned}$$

따라서, 노후도 평가지표(부식율, 변색율, 변형율, 깨짐율, 탈리율)를 반영하여 재정리를 하면 다음과 같다.

방음판 노후도(%)

$$= \left(\begin{aligned} &\text{부식율} \times \frac{N_{\text{부식}}}{N_{\text{전체}}} + \text{변색율} \times \frac{N_{\text{변색}}}{N_{\text{전체}}} + \text{변형율} \times \frac{N_{\text{변형}}}{N_{\text{전체}}} \\ &+ \text{깨짐율} \times \frac{N_{\text{깨짐}}}{N_{\text{전체}}} + \text{탈리율} \times \frac{N_{\text{탈리}}}{N_{\text{전체}}} \end{aligned} \right) \times 100$$

- $N_{\text{전체}}$ = 총 방음판수
- $N_{\text{부식}}$ = 부식 손상이 발생 가능한 판수
- $N_{\text{변색}}$ = 변색 손상이 발생 가능한 판수
- $N_{\text{변형}}$ = 변형 손상이 발생 가능한 판수
- $N_{\text{깨짐}}$ = 깨짐 손상이 발생 가능한 판수
- $N_{\text{탈리}}$ = 탈리 손상이 발생 가능한 판수

(예) 부식율 = $\frac{\text{부식판수}}{N_{\text{부식}}} = \frac{N_{\text{식함}} \times 1.0 + N_{\text{보통}} \times 0.5 + N_{\text{경미}} \times 0.2}{\text{부식손상이 발생가능한 판수}}$

한편, 기초 노후도 및 지주 노후도는 방음판노후도와 동일한 개념으로 수식화가 가능하다.

기초 노후도(%) = $\frac{\text{손상 경간수}}{\text{전체 경간수}} \times 100$

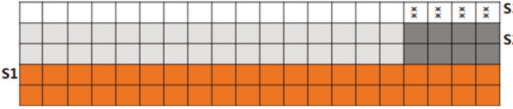
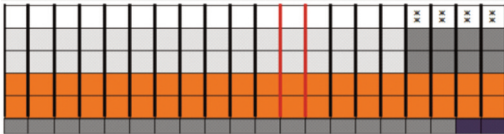
기초 노후도(%) = $\frac{\text{손상 지주수}}{\text{전체 지주수}} \times 100$

방음벽의 노후도는 방음벽 부위별 노후도 가중합산에 의해 산출된다.

$$\begin{aligned} \text{방음벽노후도}(\%) &= W_{\text{방음판}} \times \text{방음판노후도} + \\ &W_{\text{기초}} \times \text{기초노후도} + \\ &W_{\text{지주}} \times \text{지주노후도} \end{aligned}$$

- $W_{\text{부위}}$ = 부위별가중치;
- $W_{\text{방음판}} = 0.615, W_{\text{기초}} = 0.199, W_{\text{지주}} = 0.186$

Table 6. Examples of deterioration degree evaluation

Case	Examples of deterioration degree evaluation
Sound proof panels	 <ul style="list-style-type: none"> • S1 : Corrosion rate = 40/80 = 50% • S2 : Deformation rate = 8/80 = 10% • S3 : Spalling rate = 4/20 = 20% • Deterioration degree of soundproof panel = 50% × (80/100) + 10% × (80/100) + 20% × (20/100) = 52%
Noise Barrier	 <ul style="list-style-type: none"> • Deterioration degree of soundproof panels = 52% • Deterioration degree of foundations = 2/20 = 10% • Deterioration degree of posts = 2/21 = 9.5% • Deterioration degree of noise barrier = 52% × 0.615 + 10% × 0.199 + 9.5% × 0.186 = 35.7%

간단한 사례를 통하여 앞서 설명한 방음벽 노후도의 평가방법을 살펴보면 다음과 같다(Table 6). 금속재 방음판 80개, 투명형 방음판 20개, 지주 21개, 기초로 구성된 20 경간의 방음벽 손상이, 금속재 방음판 부식(S1: 심함등급 판수 40), 금속재 방음판 변형(S2: 심함등급 판수 8), 투명형 방음판 깨짐(S3: 심함등급 판수 4), 기초 깨짐(심함등급 기초경간수 2), 지주 부식(심함등급 지주수 2) 등 부위별로 다양하게 발생하였을 때, 방음판노후도는 52%, 기초노후도는 10%, 자주노후도는 9.5%이며, 방음벽 전체의 노후도는 35.7%로 평가된다.

V. 방음벽 노후도 분석 결과

1. 노후도 분석 결과

본 연구에서 개발한 방음벽 노후도 평가방법의 타당성을 검토하기 수도권에 설치되어 있는 3개 구간을 대상으로 노후도 평가 결과를 분석하였다.

Site-A는 서울외곽선에 설치된 연장 974m의 칼라도금판만을 사용한 방음벽 구간으로 방음판의



Site-A : A beltway around Seoul 12.158K (To Ilsan)



Site-B : Gyeongbu line 377.112K (To Busan)



Site-C : Gyeongbu line 2.2.926K (To Anyang)

Figure 5. Case-study sites of deterioration evaluation.

Table 7. Status of case-study of deterioration evaluation

Classification	Site		
	A	B	C
Installation year	1991	1993	2007
Length [m]	974	400	206
Height [m]	8.5	4.0	6.5
The number of soundproof panels	7,305	1,200	1,030
- Steel panel	7,305	-	927
- Aluminum panel	-	1,200	-
- Transparent panel	-	-	103
The number of post	489	202	105
The number of foundation	488	201	104

부식 손상이 전반적으로 심하게 발생한 구간이며, Site-B는 경부선에 설치된 연장 400m의 알루미늄 판만을 사용한 구간으로 지주의 부식이 함께 발생한 구간이며 Site-C는 제2경인선에 설치된 연장 206m의 칼라도금판과 투명방음판으로 구성된 구간이다. 사례검증 방음벽의 각 구간별 일반현황을 Figure 5와 Table 7에 제시하였다.

Site-A의 방음판 부식은 전체가 심함을 나타내는 수준으로 다른 손상유형은 복합적으로 나타나지 않는 단순한 손상유형을 나타낸다. 손상평가 결과, 손상지표인 방음판의 부식율은 100%이며 해당 손상유형이 나타날 수 있는 면적비율을 감안하더라도 방음판의 노후도는 100%이며 방음벽 전체의 노후도는 61.5%로 이는 방음판의 가중치를 반영된 결과이다.

Site-B의 경우는 알루미늄판의 부식정도가 심함, 보통, 경미 수준이 혼재되어 나타나는 경우로, 구간 방음판의 부식율은 40.6%로 분석되었다. 이는 각 방음판의 부식등급에 가중치를 적용하여 산출한 구간 방음판의 부식율을 나타내는 것으로 구간 내 전체 방음판을 100패널이라고 할 때 심함 수준으로 부식된 방음판은 40패널이며 또는, 보통수준으로 부식된 방음판은 80패널로 손상의 수준을 가늠할 수 있게 된다. 또한, 지주 부식율은 11.8% 수준으로 방음벽 전체의 노후도는 27.2%로 평가되었다.

Site-C의 경우는 2가지 재질의 방음판이 사용된 구간으로, 금속재 방음판의 부식율은 88.9%, 투명형 방음판의 변색율은 50.0%로 방음판의 노후도는

Table 8. Results of case-study of deterioration evaluation

Classification			Site		
			A	B	C
Damage status [EA]	Corrosion of soundproof panel	Severe	7,305	369	721
		Normal	0	231	206
		Minor	0	11	0
	Discoloration of soundproof panel	Severe	0	0	0
		Normal	0	0	103
		Minor	0	0	0
	0	0	0
	Corrosion of post	Severe	0	0	0
		Normal	0	48	0
		Minor	0	0	0
...	...				
Damage index [%]	Soundproof panel	Corrosion rate	100.0	40.6	88.9
		Discoloration rate	0.0	0.0	50.0
		Deformation rate	0.0	0.0	0.0
		...	0.0	0.0	0.0
	post	Corrosion rate	0.0	11.9	0.0
		...	0.0	0.0	0.0
	Foundation	dislocation rate	0.0	0.0	0.0
Deterioration degree [%]	Soundproof panel		100.0	40.6	85.0
	post		0.0	11.8	0.0
	Foundation		0.0	0.0	0.0
	Soundproof wall		61.5	27.2	52.3

85.0%로 분석되었다. 이는 해당 손상유형이 나타날 수 있는 방음판의 면적비율을 감안하여 산출된 값으로 2개 이상의 재질로 구성된 방음벽 구간의 방음판 노후도를 종합적으로 나타낸 것이다.

2. 활용방안

본 연구에서 제시하는 방음벽 노후도 평가기법은 방음패널 단위의 노후도 평가에서부터 방음벽 전체 구간의 노후도 평가는 물론 경간별 노후도 평가까지도 가능한 기법으로 전국 고속도로에 설치되어 있는 방음벽의 노후도를 정량적으로 평가하여 현황 파악에 활용하는 것은 물론, 전국범위 뿐만 아니라 다양한 범위의 방음벽 유지관리 계획수립이나 집행 시에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

VI. 결론

본 연구에서는 고속도로 방음벽을 대상으로 방음벽의 손상유형 분류 및 손상등급 체계를 마련하고 이를 반영한 방음벽 노후도 평가기법을 개발하였다.

1) 고속도로 방음벽에 주로 사용되고 있는 10종의 방음판 재질을 금속재, 플라스틱재, 목재, 투명재, 콘크리트재 재질유형으로 나누고, 또한 각 재질별 손상유형을 부식, 변색, 변형, 깨짐, 탈리로 분류하여 방음벽의 손상유형을 방음벽 구성 부재와 재질에 따라 세분화하였다.

2) 방음벽 주요부위별로 각 손상유형별 손상등급을 양호, 경미, 보통, 심함으로 구분하여 방음판, 지주, 기초의 손상등급을 평가, 이를 기본으로 부위별 노후도를 평가하여 가중평균을 통한 방음벽 전체의 노후도를 평가하는 방식을 통해서 종합적인 방음벽 노후

화 정도를 평가할 수 있도록 하였다.

3) 단일형 또는 혼합형 방음판을 사용하는 방음벽의 노후도 평가는 물론, 손상유형이 단일형뿐만 아니라 복합형으로 나타나는 방음벽에 대해서도 체계적인 노후도 평가가 가능하도록 하였다.

4) 사례검증으로 수도권외곽의 고속도로 방음벽 3개 구간의 노후도 평가를 통하여 평가기법의 타당성을 검토하였다. 각 대상 구간의 방음패널 단위의 평가에서부터 구간 단위, 구간 단위의 노후도 평가를 수행하여 실제 손상 정도와 비교 검토하였다.

사 사

본 연구는 한국도로공사의 지원을 받아 “방음시설 실태조사 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

References

Chang TS, Kim CH, Hwang CH. 2010. Study on Quality Criteria for Transparent Soundproof Panels(1) - Evaluation of Mechanical Performance and Safety. Transactions of Korean Society for Noise and Vibration Engineering. 20(12): 1111-1120. [Korean Literature]

Chang TS, Lee IK, Kim CH, Shim JW. 2017. Load Carrying Capacity Evaluation of WPC Soundproof Panel Subjected to Vertical Loads. Transactions of Korean Society for Noise and Vibration Engineering. 27(5): 537-544. [Korean Literature]

Joo MK, Ko HI, Hong JY, Oh YK. 2015. Research on the Performance of Deterioration Railroad Noise Barrier Wall. Journal of KIAEBS. 9(3): 242-246. [Korean Literature]

Korea Expressway Corporation. 2012. Expressway Construction Guide Specification. [Korean Literature]

Korea Expressway Corporation Research Institute. 2014. A Study on Quality Criteria and Management for Noise Barrier Panels. 2014 Research report. [Korean Literature]

Ministry of Environment, Korea Expressway Corporation. 2009. A Study on Performance and Installation Criteria of Soundproof Facilities. [Korean Literature]

Ministry of Environment. 2014. Performance and Installation guide of Soundproof Facilities. [Korean Literature]