

## 풍압에 의한 방음벽의 구조성능 산정 및 평가

### The structural performance estimation and assessment of noise barrier by wind pressure

°윤제원\* · 박진일\* · 권형오\* · 김영찬\* · 김두훈\*

Je-Won Yoon, Jin-Il Park, Hyung-Oh Kwon, Young-Chan Kim, and Doo-Hoon Kim

**Key Words** : noise barrier(방음벽), wind pressure(풍압), working stress design method(허용응력도 설계법)

#### ABSTRACT

도로 및 철도에서 발생하는 소음을 저감시키기 위해 설치되는 방음벽은 흡음률, 투과손실 등과 같은 음향성능 외에도 태풍과 같은 강풍에 견딜 수 있는 구조성능이 확보되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 지역별 특성 및 풍속을 고려한 풍압을 산정하는 방법을 소개하고, 풍압에 의한 방음판의 구조해석을 수행하였다. 또한, EN 1794-1의 규정에서 정하는 시험 방법에 따른 방음판의 하중변형량 시험을 통하여 방음판의 구조성능을 평가하였다.

### 1. 서론

도로 및 철도에서 발생하는 소음을 저감시키기 위해 설치되는 방음벽은 흡음률, 투과손실 등과 같은 음향성능 외에도 태풍과 같은 강풍에 견딜 수 있는 풍압에 대한 구조성능이 확보되어야 한다.

이에 주택공사 표준시방서<sup>(1)</sup>에서는 '방음판의 강도는 판의 중심부에서 풍압하중  $300\text{kg}/\text{m}^2$ (풍속  $60\text{m}/\text{s}$ )에 견딜 수 있는 구조로 설계 제작되어야 한다'고 명시하고 있다. 이에 반하여 환경부고시<sup>(2)</sup>에서는 지역별 풍속을 고려할 수 있도록 하였는데, '방음벽은 강풍·진동에 의하여 변동 또는 파괴되지 않도록 안전한 구조로 하되, 건설교통부의 도로교 표준시방서<sup>(3)</sup>에서 정하는 지역별 설계풍속을 적용할 수 있다'고 명시하고 있다. 즉, 이것은 지형조건 및 풍속을 고려하여 설계하도록 하여 풍압에 대한 방음벽의 과대설계를 방지하기 위함이다. 또한, 국내의 고속철도 설계 기본안에서는 방음판의 강도설계를 허용응력 설계법에 따르되, 방음판의 허용응력(permissible stress)은 사용되는 부재에 대한 항복강도의 2/3을 초과하지 않아야 하는 동시에, 길이에 대한 변형이 1/200 이하이어야 함을 제안하고 있다. 그러나, 일반적으로 풍하중에 대한 방음벽을 설계한다고 하면 지주, 앵커볼트 등

을 선정하는 수준에서 설계하고 있고, 방음판 자체에 대한 구조설계는 소홀히 하는 경우가 있다.

따라서, 본 논문에서는 풍압을 산정하는 방법을 간단히 소개하고, 풍압에 의한 방음판의 구조해석을 수행하고자 한다. 단, 구조해석은 방음벽의 일부를 구성하고 있는 방음판에 대해서만 수행하였으며, 기타 지주 및 부속품 등과 같은 부속품에 대한 구조해석은 본 논문에서 고려하지 않았다. 그리고, 방음벽의 일부를 구성하고 있는 방음판의 구조성능 시험 및 평가방법을 제시하고 있는 EN 1794-1<sup>(1)</sup>의 규정에 따른 하중 변형량 시험을 통하여 방음판의 성능을 평가하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 하중기준의 산정

풍압을 결정하기 위한 방법은 여러 문헌에서 언급<sup>(5),(6)</sup>되고 있으며, 다음의 용어 정의 및 풍압 산정방법은 인용문헌의 내용을 발췌<sup>(5)</sup>하여 나타낸 것이다.

##### 2.1.1 용어 정의

① 기본풍속( $V_0$ ) : 노풍도구분 C인 지역의 지표면으로부터 10m 높이에서 측정된 10분간 평균풍속에 대한 100년 재현기대풍속으로 지형을 고려하여 정한 풍속을 말하며, 지역별 기본풍속은 [표 1]과 같다.

② 설계풍속( $V$ ) : 기본풍속에 대하여 건설지점의 지표면상

\* 유니슨기술연구소

E-mail : jwoon@unison.co.kr

Tel : (041)620-3413, Fax : (041)552-7416

태에 따른 풍속의 고도분포와 지형조건에 따른 풍속의 할증 및 설계 재현기간을 고려한 풍속으로 설계속도압 산정의 기본이 되는 풍속을 말한다.

③ 설계속도압( $q$ ) : 건축물 설계용 풍하중을 결정하기 위한 평균풍속의 등가 정적속도압을 말한다.

④ 노풍도구분 : 지표면 조도구분으로 일정지역의 지표면 조도에 해당하는 장애물이 바람에 노출된 정도의 구분을 말하며, [표 2]와 같이 구분한다.

⑤ 가스트 영향계수( $G_f$ ) : 바람의 난류로 인해서 발생하는 구조물의 동적 거동성분을 나타낸 것으로, [표 3]과 같다.

⑥ 풍력계수( $C_f$ ) : 작용하는 바람에 대한 구조물 골조에 작용하는 풍력의 계수로서, 기준높이에서의 속도압에 대한 비를 말하며, [표 4]와 같다.

⑦ 고도분포계수( $K_f$ ) : 지표면으로부터의 높이가 대기경계층 시작높이(지표면의 영향을 받아 연직방향의 풍속이 변화하는 대기층의 시작이 되는 높이)보다 작은 경우 건설지점의 노풍도 구분에 따라 [표 5]와 같이 분류된다.

⑧ 지형에 의한 풍속할증계수( $K_f$ ) : 언덕 및 산 경사지의 정점 부근에서 풍속이 증가하므로, 이에 따른 정점부근의 풍속을 증가시키는 계수로, 경사·산 및 언덕의 영향이 없는 지역에서는 기본적으로 1.0으로 한다.

⑨ 중요도계수( $I_w$ ) : 설계 건축물의 용도, 규모에 따라 중요도를 구분하고 기본풍속의 설계재현기간에 의한 풍속증감계수를 말하며, [표 6]과 같다.

[표 1] 지역별 기본풍속( $V_o$ )

지역	기본풍속 (m/s)	
서울·경기도	서울, 인천, 수원, 강화	30
	성남, 의정부, 이천	25
강원도	속초, 강릉, 주문진	40
	춘천, 양구, 원주, 홍천	25
충청도	장항	40
	태안, 천안, 청주, 조치원	35
경상도	포항, 울릉도, 구룡포	45
	부산, 기장, 장안, 가덕도	40
전라도	군산, 미성	40
	전주, 진안, 무주, 순창	25
제주도	전지역	40

[표 2] 노풍도구분

노풍도구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역
B	높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역, 또는, 중층 건물이 산재해 있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역, 또는 저층 건축물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균 높이가 1.5m 이하인 지역으로 해안, 초원, 비행장 등

[표 3] 가스트 영향계수( $G_f$ )

노풍도구분	A	B	C	D
가스트 영향계수	2.5	2.2	1.9	1.8

[표 4] 풍력계수( $C_f$ )

$h_s/b$	$\leq 3$	5	8	10	20	30	$\geq 40$
풍력계수	1.2	1.3	1.4	1.5	1.75	1.85	2.0

<sup>a)</sup>  $h_s$  : 구조물의 높이(m),  $b$  : 구조물의 폭(m)

[표 5] 노풍도구분에 따른 풍속의 고도분포계수( $K_f$ )

노풍도구분	A	B	C	D
고도분포계수	0.58	0.81	1.0	1.13

[표 6] 중요도계수( $I_w$ )

중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도계수
(특)	· 연면적이 1천 제곱미터 이상인 위험물저장 및 처리시설, 종합병원, 병원, 방송국 등 · 15층 이상 아파트	1.10
(1)	· 연면적이 5천 제곱미터 이상인 관립집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설, 판매시설 · 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 아파트	1.00
(2)	· 중요도 (특), (1), (3)에 해당하지 않는 건축물	0.95
(3)	· 가설건축물, 농가건축물, 소규모창고	0.81

## 2.1.2 풍하중의 산정

풍하중은 지역별 기본풍속( $V_o$ ), 노풍도구분, 풍력계수( $C_f$ ) 및 유효수압면적( $A$ ) 등을 고려하여 다음과 같이 계산할 수 있다. 다음의 식에서  $V$ 는 설계풍속,  $q$ 는 설계속도압,  $P_s$ 는 설계풍력,  $W_f$ 는 풍하중을 의미한다.

$$V = V_o \cdot K_f \cdot K_r \cdot I_w \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \quad [\text{kgf/m}^2] \quad (2)$$

$$\rho \text{ (공기밀도)} : 0.125 \text{ [kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4]$$

$$P_f = q \cdot G_f \cdot C_f \quad [\text{kgf/m}^2] \quad (3)$$

$$W_f = P_f \cdot A \quad [\text{kgf}] \quad (4)$$

이외에도, 일본 도로공단에서는 고속 자동차 도로 및 자동차 전용도로에 방음벽 설치 시 다음과 같은 방법으로 풍압을 설계하고 있으며, 이는 교량부의 경우  $200\text{kgf/m}^2$ , 토공부의 경우  $150\text{kgf/m}^2$ 에 해당한다. 단, 교량 및 고가본체의 설계는  $300\text{kgf/m}^2$ 으로 하고 있다.

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot (V \cdot C_v)^2 \cdot C_d \quad [\text{kgf/m}^2] \quad (5)$$

$$V : 37\text{m/s}, C_v \text{ (수평보정계수)} : 1.2,$$

$$C_d \text{ (항력계수)} : \text{교량부} (=1.6), \text{토공부} (=1.2)$$

## 2.2 구조해석

### 2.2.1 구조해석 방법

구조물의 설계방법에는 허용응력도 설계법과 강도설계법이 있다. 우선, 허용응력도 설계법(WSD : working stress design method)은 하중이 작용할 때 그 재료가 탄성거동하는 것을 기본 원리로 하고 있으며, 또한 그 원리에 따라 사용하중의 작용에 의한 부재의 실제응력이 지정된 그 재료의 허용응력을 넘지 않도록 설계하는 방법이다. 이에 비해 강도설계법(strength design method)은 그 부재의 강도가 계수하중을 지지할 수 있는 강도 이상이 되도록 설계하는 방법이다. 즉, 강도설계법은 구조물이 사용하중의 안전도를 고려하여 하중계수에 의하여 증대시킨 계수하중을 지지할 수 있는 강도를 지닐 수 있도록 설계하는 것이다.

본 논문에서는 허용응력도 설계법에 근거하여 방음판에 대한 구조해석을 수행하였으며, 해석 후 방음판의 중심부에서 작용하는 응력이 부재의 허용응력을 충분히 만족하는지를 평가하였고, 최대처짐량을 계산하였다.

### 2.2.2 구조해석 결과

풍압에 의한 방음판의 구조해석을 위해 ANSYS S/W의 SHELL63 모델을 이용하였다. 대상 모델은 당사에서 생산되는 방음판으로, [그림 1]과 같은 형상으로 구성되어 있으며, 재질은 KS D 3506<sup>(6)</sup>에서 정하는 두께 1.6mm의 용융아연도금강판이다. 방음판의 크기는 1,960×500×100mm이며, 해석 모델은 방음판의 후면판만을 고려하였다. 경계조건으로는 Y=0 및 0.5m 지점의 절점들을 Y축에 대해 구속하였는데, 이는 실제 방음판이 설치될 경우를 고려한 것으로, 상·하부 위 방음판에 의해 이 위치에서의 변위가 구속되기 때문이다. 그리고, [그림 1]에서 보는 바와 같이 8개의 절점을 구속하였으며, 풍압을 변경시켜가며 해석을 수행하였다. 또한, 재료의 물성값은 탄성계수 210GPa, 프와송비 0.33을 입력하였다.

풍압에 따른 해석결과는 [표 8] 및 [표 9]와 같다. 즉, 풍압이 3,000Pa인 경우 방음판의 중심부에서는 약 90MPa의 응력이 발생하는데, 이는 부재의 비례한도인 200MPa의 약 45% 정도에 해당하는 충분히 만족할 정도의 수준으로 평가되었다. 단, 해석시 정한 풍압은 국내의 풍하중을 대표할 수 있을 정도의 수준으로 판단하여 설정한 것이다.

[표 7] 연강의 기계적 성질

단위 : [MPa]

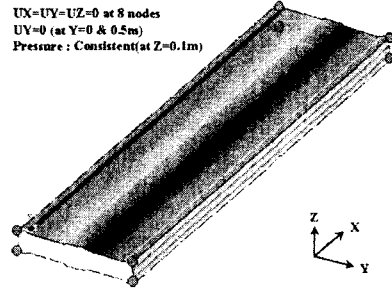
종탄성계수	비례한도	항복점	인장강도
210,000	180~230	200~300	370~450

[표 8] 풍압에 따른 방음판 중앙부에서의 응력

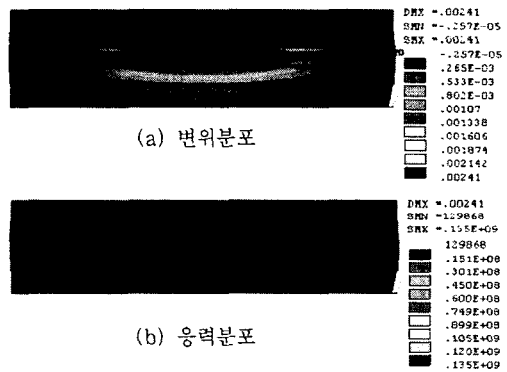
풍 압 [Pa]	1,000	2,000	3,000
응 력 [MPa]	30.1	60.1	90.1

[표 9] 풍압에 따른 방음판 중심부에서의 최대변위

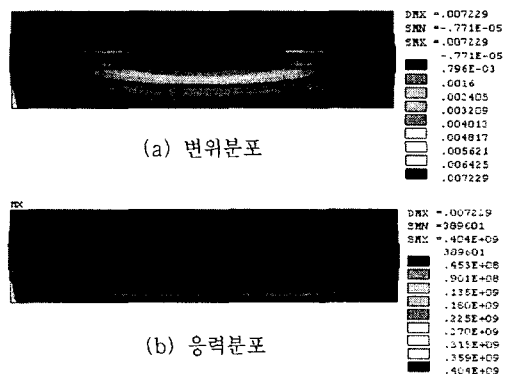
풍 압 [Pa]	1,000	2,000	3,000
최대변위 [mm]	2.4	4.8	7.2



[그림 1] 방음판의 형상 및 구속조건



[그림 2] 풍압 1,000Pa인 경우의 변위 및 응력분포



[그림 3] 풍압 3,000Pa인 경우의 변위 및 응력분포

### 2.3 하중변형량 시험

풍하중에 대한 방음판의 영향을 평가하기 위한 시험 및 평가방법은 EN 1794-1에서 정하고 있는데, 이 규격의 목적은 방음판에 풍하중이 작용할 경우 또는 풍하중이 제거된 후에 방음판 사이의 틈새발생으로 인한 소음의 누출을 방지하기 위해 최대변형량을 규제하는 것이다. 이를 위해, 시험하중은 설계풍하중의 1.5배로 정하고 있으며, 하중변형량 시험은 탄성변형량 시험과 영구변형량 시험으로 나누어 수행하고, 이에 대한 시험방법은 2.3.1과 같다. 시험 후 평가방법은 [표 10]에 나타난 바와 같이 탄성변형량 및 영구변형량의 기준값을 만족하는 동시에, 시험 중 방음판이 지지대로부터 분리되거나 시험하중 제거 후 방음판의 좌굴 또는 흡음재의 손상과 같은 영구변형이 발생해서는 않된다고 정하고 있다.

[표 10] 방음판의 최대변형량

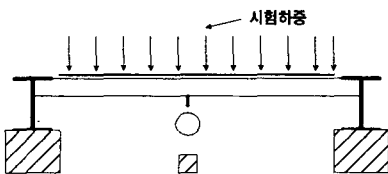
변형량	탄성변형량	영구변형량
최대변형량	50mm 이하	(L/500)mm 이하

\*) L : 방음판의 최대길이(mm)

#### 2.3.1 시험방법

##### 1) 탄성변형량 시험

- ① 시험용 방음판을 가장 큰 크기로 1개 선택한 후 비교적 바닥이 평탄한 곳에 방음판이 움직이지 않도록 적당한 지지대를 [그림 4]와 같이 방음판의 나비 방향으로 양측에 설치한다.
- ② 지지대를 제외하고 노출된 시험용 방음판의 크기와 동일하게 제작한 두께 2mm 철판을 시험용 방음판 위에 30분간 놓아둔다.
- ③ 방음판 길이의 중간 위치에서 초기처짐량을 다이얼게이지 또는 버니어캘리퍼스 측정한다.
- ④ 두께 2mm의 철판 위에 적당한 수의 하중체를 방음판 위에 고르게 분포하여 설치한 후 30분간 놓아 둔 후, 동일한 방법으로 처짐량을 측정한다. 이때, 시험하중은 설계풍하중의 1.5배로 한다.
- ⑤ ③ 및 ④에서 측정된 처짐량의 차를 계산하여 이 값을 설계풍하중에 따른 탄성변형량으로 한다.



[그림 4] 풍압(하중변형량) 시험방법

##### 2) 영구변형량 시험방법

- ① 탄성변형량 시험의 ①, ② 및 ③과 동일하게 시험용 방음판의 초기처짐량을 측정한다.
- ② 탄성변형량 시험의 ④에서 2mm의 철판을 제외한 시험하중을 제거한 후 30분 뒤에 처짐량을 측정한다.
- ③ ① 및 ②에서 측정된 처짐량의 차를 계산하여 이 값을 설계풍하중에 따른 영구변형량으로 한다.

#### 2.3.2 시험결과

하중변형량 시험을 위해 전면 타공형 금속재 칼라방음판(크기 : 3,960×500×95mm, 구조 : 아연도강판 0.6mm+흡음재+아연도강판 1.6mm) 및 갤러리형 알루미늄 방음판(크기 : 3,960×500×95mm, 구조 : 알루미늄판 1.0mm+흡음재+아연도강판 1.6mm)을 사용하였으며, 시험시 시험하중은 [표 11]과 같이 하였다.

시험 수행 결과 타공형 칼라방음판의 경우 설계풍압 250kg/m<sup>2</sup> 및 360kg/m<sup>2</sup>의 1.5배에 해당하는 시험하중에 대해 각각 탄성변형량이 각각 24.2mm 및 38.8mm로 측정되어, EN 규격에서 정한 규제값인 50mm를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 영구변형량도 최대 3.5mm로 측정되어 규제값인 7.9(=3,960/500)mm를 만족하는 것으로 나타났다.

갤러리형 방음판의 경우 설계풍압 250 및 300kg/m<sup>2</sup>의 1.5배에 해당하는 시험하중에 대해 탄성변형량이 32.3mm 및 40mm로 측정되어 탄성변형량의 EN 규격에서 정한 규제값인 50mm를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 영구변형량도 최대 3.9mm로 측정되어 규제값인 7.9mm를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, 설계풍압 360kg/m<sup>2</sup>의 1.5배에 해당하는 시험하중에 대해서는 방음판의 영구변형이 발생하여 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

[표 11] 하중변형량 시험시 시험하중

풍압 [kg/m <sup>2</sup> ]	250	300	360
시험하중 [kg/m <sup>2</sup> ]	380	450	530

[표 12] 타공형 칼라방음판의 하중변형량 시험결과

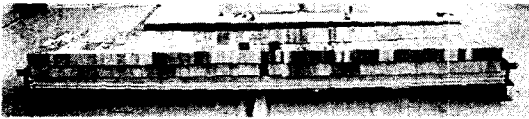
단위 : [MPa]

시험	하중[kg/m <sup>2</sup> ]		비고	
	380	530		
탄성 변형 시험	(1)	82.0	시험하중이 없는 경우 지면으로부터 방음판까지의 높이	
	(2)	58.3	43.7	시험하중 설치 후 지면으로부터 방음판까지의 높이
	(3)	24.2	38.8	탄성변형량 : (3)=(1)-(2)
영구 변형 시험	(4)	81.1	79.0	시험하중 제거 후 지면으로부터 방음판까지의 높이
	(5)	1.4	3.5	영구변형량 : (5)=(1)-(4)

[표 13] 갤러리형 방음판의 하중변형량 시험결과

단위 : [MPa]

시험	하중[kg/m <sup>2</sup> ]			비 고	
	380	450	530		
탄성 변형 시험	(1)	82.0		방음판 좌굴	
	(2)	49.7	42.0		시험하중 제거 후 지면으로부터 방음판까지의 높이
	(3)	32.3	40.0		탄성변형량 : (3)=(1)-(2)
영구 변형 시험	(4)	79.9	78.1	시험하중 제거 후 지면으로부터 방음판까지의 높이	
	(5)	2.1	3.9	영구변형량 : (5)=(1)-(4)	



(a) 시험하중 380kg/m<sup>2</sup>인 경우



(b) 시험하중 530kg/m<sup>2</sup>인 경우

[그림 5] 다공형 금속재 방음판의 하중변형량 시험결과



(a) 시험하중 380kg/m<sup>2</sup>인 경우



(b) 시험하중 530kg/m<sup>2</sup>인 경우

[그림 6] 갤러리형 알루미늄 방음판의 하중변형량 시험결과

### 3. 결 론

- 1) 환경부고시에 기초한 지형적 특성 및 풍속 등을 고려하여 방음판을 설계하고자 풍압을 산정하는 방법을 소개함으로써, 풍압에 대한 과대설계를 방지할 수 있도록 하였다.
- 2) 풍압에 따른 방음판의 구조해석을 수행하여 방음판의 응력 및 변위를 구하였으며, 허용응력도 설계법에 근거하여 방음판의 구조성능을 평가하였다. 해석 결과 방음판이 풍압에 대해 충분한 강도를 가지고 있는 것으로 평가되었다.
- 3) EN 1794-1의 규정에서 정하는 시험방법에 따라 시험하중을 달리하며 방음판의 변형량 시험을 수행하였는데, 시험 결과 방음판 종류에 따라 어떤 시험하중에 대해서는 EN 규격에서 정하는 규제값을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는, EN 규격이 방음판의 구조성능을 평가하기 위한 극한강도에 이르는 하중보다도 낮은 시험하중으로 시험하도록 규정하고 있음에도 불구하고 어떤 풍하중에 대해서는 견디지 못하는 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

- (1) 주택공사 표준시방서, "방음벽"
- (2) 환경부고시 제 1998-150호, 1999, "방음벽의 성능 및 설치기준"
- (3) 건설교통부, "도로교 표준시방서", pp56~65
- (4) EN 1794-1, "Road traffic noise reducing devices - Non acoustic performance"
- (5) 대한건축학회, 2000, "건축물 하중기준 및 해설"
- (6) KS D 3506, "용융아연도금 강판 및 강대"
- (7) 건설교통부령제53호, "건축물의 구조기준등에 관한 규칙"
- (8) 일본도로공단 방음벽 설계요령
- (9) 阪神고속도로 방음벽 설계요령
- (10) ISO 4354, "Wind actions on structures"
- (11) 기술표준원, 2001, "도로방음벽표준화연구"
- (12) 윤재원 외 4, 2001, "방음벽의 성능평가를 위한 시험방법의 검토", 한국소음진동공학회 추계학술대회, pp449~455
- (11) 유니슨산업(주), '96 G7 연구개발사업, "갈라복합 방음벽의 실용화 연구", pp31~44
- (12) ANSYS Manual, "Static analysis"