

통풍형 방음벽 개발에 관한 연구 I

Study on Development of air-passing soundproofing panel

윤제원† · 김영찬* · 심상덕* · 구본성** · 엄주용**

Je-Won Yoon, Sang-Deok Sim, Young-Chan Kim, Bon-Sung Ku, Joo-Yong Eom

Key Words : air-passing soundproofing panel, insertion loss, wind pressure, wind load

ABSTRACT

The aluminum soundproofing panel used to the traffic noise reduction will judge with the material to improve because the CO₂ emission is greater than other soundproofing panel such as plastic soundproofing panel. Also, if the air-passing soundproofing panel which can endure the fast wind velocity will be developed, it judged that it can reached to the target of low CO₂ traffic technology development using the reduction of material cost and the lower consumption of steel. The objective of this study is to improve the soundproofing panel and to develop the air-passing soundproofing panel for the replacement of aluminum sound proofing panel which is more emit CO₂ than other soundproofing panel. And, we tried to develop the reduction technology of CO₂ emission through the development of air-passing soundproofing panel. At first, the flow and noise simulation were conducted for the purpose of the calculation of wind pressure on soundproofing wall and noise exposure level on receiver points according to the open ratio of air-passing soundproofing panel. And the 1st and 2nd mockup of air-passing soundproofing panel were made, and the design load test were conducted for these mockup.

1. 서 론

대표적인 도로부대시설 중 하나인 방음벽은 일반적으로 가격이 저렴한 콘크리트 또는 알루미늄 방음벽이 널리 사용되고 있다. 이 중, 알루미늄 방음벽은 설치 초기에는 미관이 깨끗하나 시간이 경과할수록 공기와의 접촉에 의한 산화작용으로 인해 주기적인 청소가 이루어지지 않으면 고속도로의 흉물로 전락하기 쉽다. 또한, 알루미늄 방음판은 합성수지 방음판보다 탄소배출량이 심해 '저탄소 녹색성장'이라는

국가전략에 대해 개선되어야 할 소재로 생각할 수 있다. 또한, 방음벽은 풍하중에 견디도록 설계하고 있는데 풍하중 계산 시 적용되는 풍속은 도로설계기준에 의하면 '재현기간 100년에 대하여 일부 해안가를 제외한 지역별 최대 기본풍속'을 적용하고 있다. 그런데 내륙지역이라 할지라도 설계풍속이 30m/s로 상당히 빠르고 또 이를 근거로 방음벽 구조설계를 수행하기 때문에 방음벽 지주의 크기 및 설치 개수가 많이 소요되고 있는 것이 현실이다. 그런데, 만일 이렇게 빠른 풍속을 모두 견디도록 설계하지 않고 면풍(免風)구조 즉, 빠른 풍속이 방음판에 작용할 때 방음판이 개방되는 통풍형(通風形) 방음벽 구조로 설계할 수 있다면 방음벽 설치 시 사용되는 재료비의 절감을 물론 이를 통한 강제 소비량을 줄임으로서 저탄소 도로기술개발 목표를 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 방음벽 개선 연구를 통하여 방음벽 구조 및 재료개선을 통한 탄

† 윤제원; 정회원, 유니슨테크놀러지(주)
E-mail : jwyoona@unisontg.com
Tel : (041) 577-3457, Fax : (041) 577-3458
* 유니슨테크놀러지(주)
** 도로교통연구원

소배출 저감 기술개발, 탄소배출이 심한 소재인 알루미늄 방음판을 대체할 수 있는 저탄소 기술개발, 기존 방음벽의 성능을 유지하면서 사용재료와 에너지를 절감시키는 기술개발, 강풍이나 돌풍 발생시 방음판의 탈락 및 흔들림을 방지하는 방음벽 개발을 목표로 한다. 이를 위해 기존 방음판 소재의 음향 및 구조성능 분석, 신소재의 발굴과 음향 및 구조성능평가, 통풍형 방음판의 시제품 개발 및 현장적용 성능평가를 수행하고자 한다.

2. 통풍형 방음벽 개발

2.1 통풍형 방음벽의 성능예측

(1) 음향해석

통풍형 방음판의 성능은 아래의 Table 1과 같이 음향성능과 구조성능으로 나눌 수 있다. 이러한 방음판의 성능예측을 위해 각 항목별로 합리적인 예측 기법 및 관련 상용 소프트웨어를 이용하여 성능예측을 수행하였다.

Table 1 Prediction and evaluation method of soundproofing panel

Item	Estimation contents	Prediction method
Acoustic Performance	Absorption Transmission loss Insertion Loss	Four-pole method Four-pole method 2D BEM
Structure Performance	Displacement & stress Operation availability Flow Analysis	3D FEM(Static) 3D FEM(Dynamic) Open angle of panel

통풍형 방음벽의 개방 여부 및 개방각에 따른 수음점 위치에서의 음압레벨예측을 위해 SYSNOISE를 이용하여 소음해석을 수행하였다. 소음해석 방법은 2차원 경계요소법(Indirect BEM, Boundary Element Method)을 이용하였으며, 해석 시 음원 및 수음점의 위치는 Figure1과 같이 가정하였다. 즉, 그림에서 보는 바와 같이 음원으로부터 방음벽까지의 이격거리는 2m, 방음벽의 높이는 2.5m, 수음점에서의 눈금 간격은 가로·세로 각각 0.5m로 가정하였다.

소음해석결과 방음벽이 닫혀 있을 경우보다 열려 있을 경우 수음점에서의 소음레벨이 증가함을 알 수 있고, 방음벽의 개방각이 15°만 열려 있어도 수음점에서의 소음레벨이 크게 증가함을 알 수 있다. 그리

고, 방음벽의 개방각이 30° 이상이 되면 수음점에서의 소음레벨은 더 이상 증가하지 않음을, 즉 방음벽에 의한 소음저감효과는 기대할 수 없음 의미한다.

Table 2 Sound pressure level by open angle of soundproofing panel at the received point

Angle of panel	Source	0°	15°	30°	45°
SPL dB(A)	90	47	53	60	60

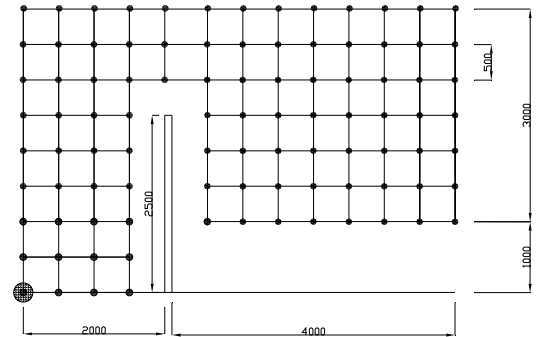
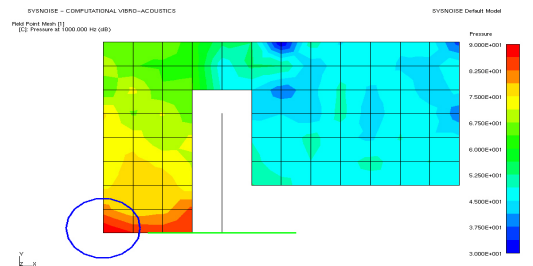
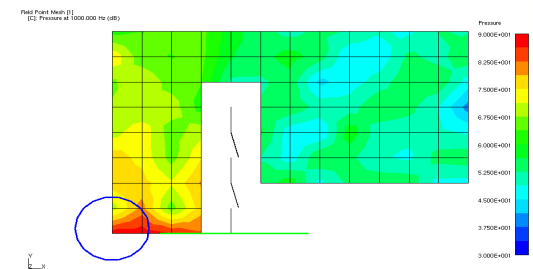


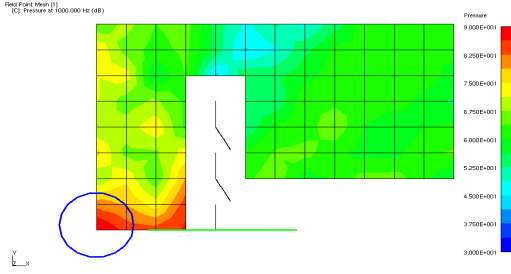
Figure 1 Noise source and received point positions for acoustic analysis of soundproofing panel



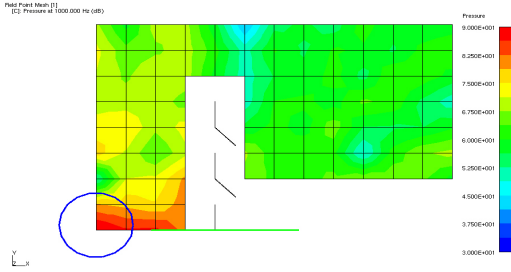
(a) The closed panel



(b) The opened panel at an angle of 15 degrees



(c) The opened panel at an angle of 30 degrees



(d) The opened panel at an angle of 45degrees

Figure 2 Results of acoustic analysis for air-passing soundproofing panel according to open angle

(1) 유동해석

통풍형 방음벽의 개방 여부 및 개방각에 따른 방음벽에서의 풍하중 예측을 위해 SOLID WORKS를 이용하여 속도 및 압력분포에 대한 유동해석을 수행하였다. 유동해석 방법은 3차원 유한체적법(FVM, Finite Volume Method)을 이용하였으며, 해석 시 유속은 30m/s로 모델의 우측으로부터 유입되는 것으로 가정하였고 방음벽의 높이는 3.5m에 대해 해석을 수행하였다.

유동해석결과 방음벽이 닫혀 있을 경우보다 열려 있을 경우 방음벽에 작용하는 풍하중은 감소함을 알 수 있고, 방음판의 개방각이 15°만 열려 있어도 풍하중이 현저히 저감됨을 알 수 있다. 이는 방음벽에 작용하는 풍하중이 감소하면 지주 및 기초 등의 크기를 저감할 수 있음을 의미한다. 그리고 방음판의 개방각이 30° 정도 되면 개방되지 않은 경우에 비해 풍하중이 1/2 수준으로 감소됨을 알 수 있다.

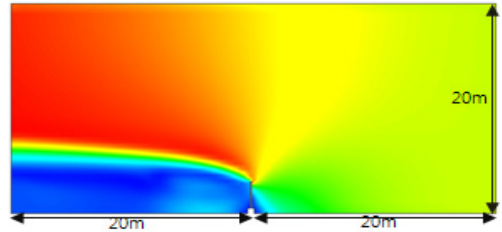
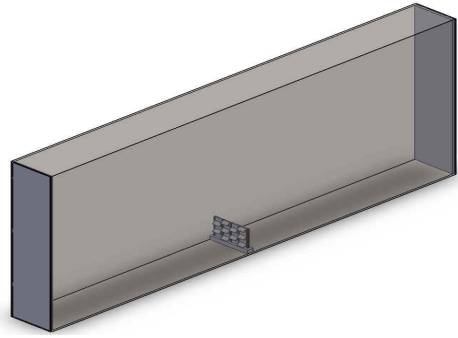


Figure 3 Size of flow fields for a flow analysis of the soundproofing panel

Table 3 Ratio of wind load acting on the soundproofing panel by open angle

Open angle	Closed	15°	30°	45°
Ratio of wind load	1.0	0.64	0.46	0.37

*) 풍하중 비 = (방음벽이 열렸을 때 작용하는 풍하중)/(방음벽이 닫혔을 때 작용하는 풍하중)

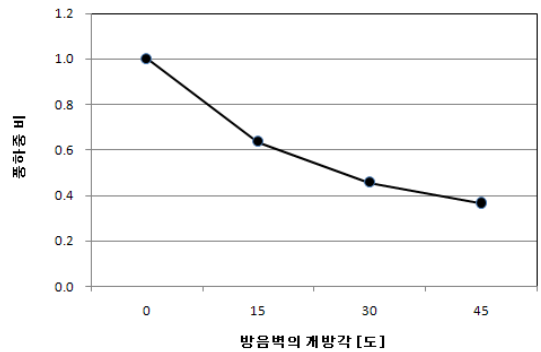
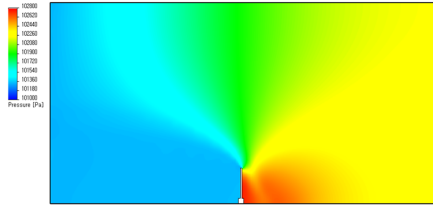
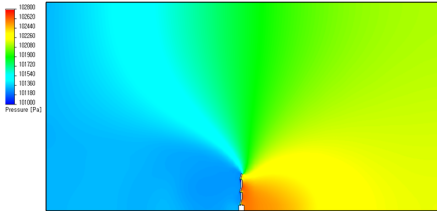


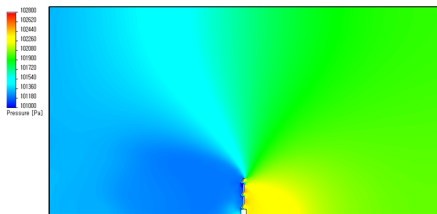
Figure 4 Ratio of wind load acting on the soundproofing panel according to open angle



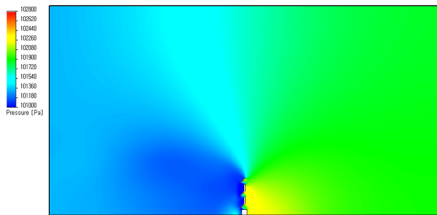
(a) The closed panel



(b) The opened panel at an angle of 15 degrees

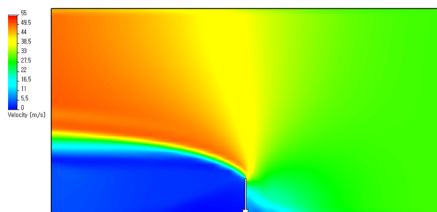


(c) The opened panel at an angle of 30 degrees

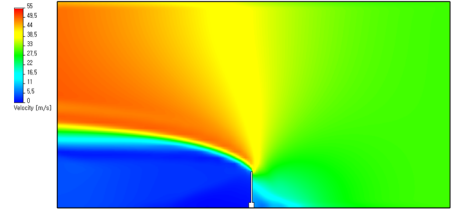


(d) The opened panel at an angle of 45degrees

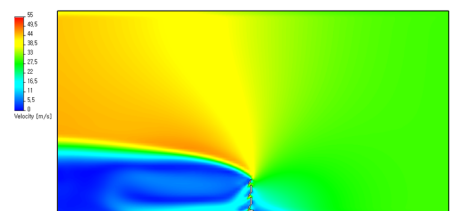
Figure 5 Results of flow analysis for 3.5m height - pressure distribution



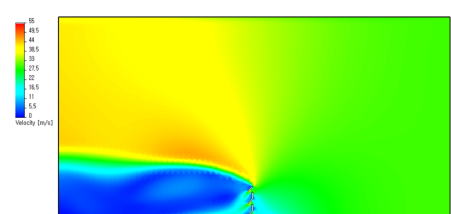
(a) The closed panel



(b) The opened panel at an angle of 15 degrees



(c) The opened panel at an angle of 30 degrees



(d) The opened panel at an angle of 45degrees

Figure 6 Results of flow analysis for 3.5m height - velocity distribution

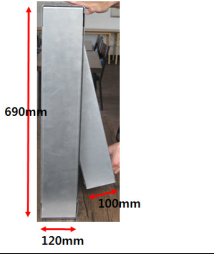
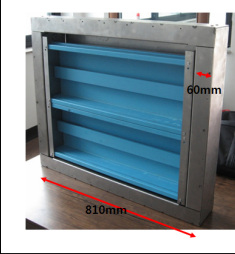
2.2 시작품제작 및 성능평가

(1) 통풍형 방음판의 시제품 제작

전술한 바와 같이 통풍형 방음판의 제작기술은 일정 한도 이상의 풍하중이 발생할 때 방음판이 원하는 수준까지 개방되도록 함으로서 풍하중을 저감시켜 지주의 크기 또는 설치물량을 줄이는데 있다. 이를 위해 본 연구에서는 탄소배출량이 상대적으로 적은 합성수지 재질의 저탄소 방음판을 사용하되 일정 한도 이상의 풍하중이 발생할 경우 방음판의 개방이 가능한 통풍형 방음판을 개발하고 시제품을 제작하여 성능평가를 수행하고자 하였다. 통풍형 방음판의 설계 개념은 다음과 같다. 우선, 일정 한도 이상의 풍하중에서 작동하는 통풍형 방음판의 설계를 위해 댐퍼의 설치를 고려하였는데 이 댐퍼는 설계하중 이상에서 작동됨은 물론 풍하중에 의해 방음판의 급격한 개폐가 발생하지 않도록 하는 역할을 담당하게 된다. 또한, 방음판의 개방 시 발생하는 통과소음을

최소화하기 위해 통풍형 방음판의 외부 프레임에는 흡음재를 삽입한 구조로 설계하였고, 시스템의 단순화를 위해 방음판의 작동은 한방향으로만 가능하도록 고려하였다. 이러한 방음판에 대한 개념도를 아래의 그림에 나타내었고, 이를 근거로 Table 4와 같이 통풍형 방음판의 시제품을 제작하였다.

Table 4 1st prototype of soundproofing panel

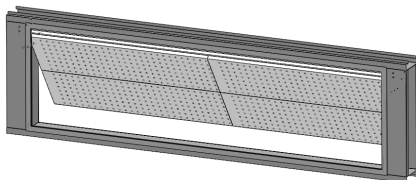
Size(mm) : 810(L) × 120(W) × 690(H)	
	

(2) 통풍형 방음판의 2차 시제품 제작

통풍형 방음판의 1차 시제품 제작 시 보완사항인 방음판 회전 시 열림 각도가 작은 문제, 방음판과 상부 프레임간의 틈과 측면 프레임간의 틈 발생 문제 등을 줄이고자 하였다. 또한, 방음판의 길이를 일반적인 지주간격을 고려하여 1960mm로 제작하였으며 상시 풍속에는 방음판이 열리지 않아야 하고 강한 풍속에는 열리고 닫혀야 하므로 회전지부에서 토크 스프링을 사용하였으며 토크 스프링으로 인해 강하게 닫히는 것을 방지하기 위한 단립 속도 조절용 실린더형 댐퍼를 적용하여 제작하였다.

Table 5 2nd prototype of soundproofing panel

Length	Width	Height
1960 [mm]	130 [mm]	580 [mm]



방음판의 회전장치는 토크스프링과 공압댐퍼로 구성되며 토크스프링 선정에 위한 스프링 상수, 비틀림각 및 모멘트는 다음과 같이 계산이 가능하다.

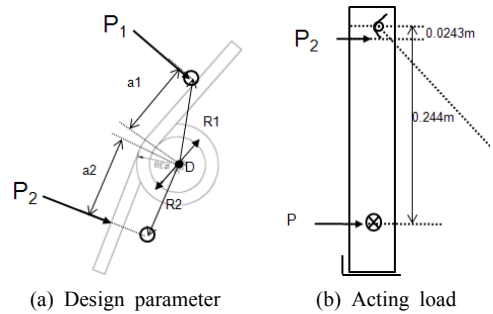


Figure 7 Design parameter and acting load for the torsion spring

- $k = E\pi d^4 / 64[\pi DN + (a1 + a2)/3]$
- $\phi = (64M/E\pi d^4) \times [\pi DN + (a1 + a2)/3]$
- k : 스프링 상수 [kgf/mm]
- R1, R2 : 스프링 중심에서 지지점간의 거리 [mm]
- a1, a2 : 스프링 암의 길이 [mm]
- P1, P2 : 스프링에 걸리는 하중 [kgf]
- M : 스프링에 작용하는 토크 [kgfmm]
- ϕ : 스프링의 비틀림각 (rad)
- E : 탄성계수, 21000 [kgf/mm²]
- D : 코일스프링의 평균지름

시제품에 적용한 토크스프링의 제원 및 지지점간의 설계 변수는 다음과 같다. a1 = 28.3, a2 = 33, R1 = 36.2, R2 = 33, N = 2, d = 6, D = 35

(3) 회전 방음판 회전력 시험

회전 방음판의 열림 각도를 확인하기 위해 방음판을 수평으로 놓은 다음 각각 12.9kgf 및 15.1kgf의 하중체를 방음판 무게중심 부근에 올려놓은 후 방음판의 열림 각도를 측정하였다. 하중시험 결과 방음판 자중에 의해서는 방음판이 개방되지 않는 반면, 15kgf의 하중체 부여 시 30° 정도 열리는 것을 확인하였다. 이러한 하중시험을 통하여 방음판에 작용하는 풍속이 어느 정도일 때 통풍형 방음판이 어느 정도 개방되는지를 유추할 수 있을 것으로 예상된다.

Table 7은 하중시험을 근거로 방음판의 개방각도에 따른 작용풍속을 계산한 결과를 나타낸 것으로 방음판의 자중에 의해 열리는 풍속은 약 13m/s이고, 방음판이 30° 개방되기 위해서는 20m/s 이상의 풍속이 발생해야 할 것으로 예상된다.

Table 6 Picture of load test of the soundproofing panel


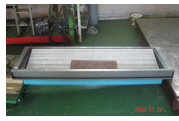
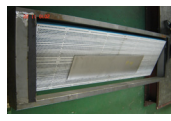
Open angle of soundproofing panel by load		
		
Self load : 15kgf	Additional load : 12.9kgf	Additional load : 15.1kgf
Open angle : 0°	Open angle : 15°	Open angle : 30°

Table 7 Acting wind velocity of soundproofing panel by load test

Open angle	0°	15°	30°	Relation Equation
Load(F) [kgf]	15	27.9	43	$P = \frac{1}{2} \rho V^2 C$ [kgf/m ²] ρ : Air density (=0.125) [kgf*s ² /m ⁴] C : Constant(=1.6)
Area(A) [m ²]	A=0.88m ² (1.76*0.5m)			
Wind velocity(V) [m/s]	13	18	22	

3. 결 론

본 연구에서는 탄소배출 저감을 위한 방음벽 개선과 통풍형 방음벽을 개발하기 위함이다. 이를 위해 탄소배출량이 다른 방음판에 비해 상대적으로 많은 알루미늄 방음판을 대체하기 위한 합성수지 방음판을 선정하고 통풍형 방음벽 개발을 통한 탄소배출 저감기술을 개발하고자 하였으며, 1차년도에서의 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 통풍형 방음판의 소재 결정을 위해 국내외 자료조사를 통하여 기존의 탄소배출량이 상대적으로 큰 알루미늄 방음판을 대체하기 위한 합성수지 방음판을 결정하였다.

2. 소음해석을 통하여 통풍형 방음벽의 방음판 개방각에 따른 수음점 위치에서의 소음해석을 수행하였다. 소음해석결과 통풍형 방음판의 개방각이 30° 이상이 되면 수음점에서의 소음레벨은 더 이상 증가하지 않음을, 즉 방음벽에 의한 소음저감효과는 기대할 수 없음을 확인 하였다.

3. 유동해석을 통하여 통풍형 방음벽의 방음판 개방각에 따른 압력 및 속도분포를 분석하였고, 해석결과를 근거로 설계하중에서 통풍형 방음판의 작동을 위한 댐퍼 및 스프링의 용량을 결정하였다.

4. 통풍형 방음판의 연구개발을 통해 1차 시제품을 제작하였고, 댐퍼 및 스프링 등을 개선하여 2차 시제품을 제작하였다. 그리고, 2차 시제품에 대한 하중시험을 수행하였다.

5. 향후, 시제품에 대해 추가적인 개선사항을 분석하고 양산을 고려한 각 부품 및 프레임 설계, 그리고 경제성을 고려한 4m 통풍형 방음벽을 제작할 예정이다. 또한, 시제품의 시험시공을 통해 음향 및 유동특성 등에 관한 성능평가를 수행할 예정이다.

후 기

이 연구는 한국도로공사 도로교통연구원 ‘저탄소 및 신재생에너지를 이용한 도로기술개발 방안 연구’에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1)환경부, ‘방음벽의 성능 및 설치기준’,1999.
- (2) KS F 4770, 방음판, 2001.
- (3) 건설교통부, ‘방음벽 기초 설계기준 검토 및 표준도 작성연구’, 2004.
- (4) 국토해양부, ‘건축구조기준’, 제2009-1245호
- (5) 대한건축학회, ‘건축물 하중기준 및 해설’,2000.
- (6) KS D 3506, ‘용융아연도금 강판 및 강대’
- (7) 유신기술회보 제11호, ‘방음벽 기초 표준도 개선에 관한 연구’, 2004.
- (8) 도로교통기술원, 건설공사장 가설방음벽 설치기준에 관한 연구’, 2006
- (9) 윤제원 외 4인, ‘풍압에 의한 방음벽의 구조성능 산명 및 평가’, 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 2001.
- (10) 윤제원 외 4인, ‘방음벽의 성능평가를 위한 시험방법의 검토’, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 2001.