

공명 흡음판 위 가이드 그릴의 형상이 공진기 흡입 유동에 미치는 영향

배현우^a, 성재용^{b*}, 이동훈^bEffect of the Shape of a Guide Grill Above a Resonance Type
Sound Absorbing Panel on Intake Flow into a ResonatorHyunwoo Bae^a, Jaeyoung Sung^{b*}, Dong Hoon Lee^b^a Graduate school, Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232, Gongreung-ro, Seoul 01811, Korea^b Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232, Gongreung-ro, Seoul 01811, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	4	April	2016
Revised	8	June	2016
Accepted	14	June	2016

Keywords:

Guide grill
Cavity flow
LES model
Intake flow
Resonator
Sound absorbing panel

ABSTRACT

This study investigates cavity flows through a guide grill above a resonator. Vortex distributions and intake flows are simulated for various shapes of the guide grill. The flows are assumed to be compressible, unsteady, and turbulent. Numerical simulations are conducted using a large eddy simulation (LES) model. To analyze the effect of the guide grill shape, three cavity lengths (0.2H, 0.6H, and 1.0H) and cavity angles (30°, 45° and 60°) are considered based on resonator height (H). The results show that the vortex generated in the resonator by cavity flow increases with cavity length. Thus, the intake flow is minimum at the smallest cavity length and angle. However, when cavity length is equal to resonator height, the intake flow decreases. The maximum intake flow occurs at a cavity angle 45° at higher cavity lengths owing to the interaction between the vortex in the resonator and intake flow.

1. 서론

도시철도는 2014년 서울시를 기준으로 연간 약 19억 명 이상의 승객을 수송하는 가장 널리 이용되고 있는 대중교통이다^[1]. 생활수준이 향상됨에 따라 안전성과 정확성뿐만 아니라 철도 운행 시 발생하는 소음을 저감하기 위한 많은 노력이 기울어지고 있다. 특히 도시철도가 터널을 지날 때 터널 내부에 100 dB(A)가 넘는 소음이 발생되며 객실 내부로 80 dB(A)가 넘는 소음이 전파된다^[2]. 이러한 터널 내 도시철도 운행 시 발생하는 소음원은 크게 레일과 지하철의 휠의 마찰로 인한 스컬 소음(squeal noise)과 터널 내부에 발생하는

강한 압력파와 빠른 속도의 유동장에 의한 공력 소음이 있다^[3,4]. 이러한 소음이 객실내부로 전파하는 것을 차단하기 위해서는 차량 자체의 소음차단 능력을 향상시키면 되지만, 차량 무게의 증가로 운전비용 증가와 함께 차량의 제조단가가 상승하게 된다. 이 때문에 소음 전달 경로인 터널 벽면에 방음벽을 시공하여 전동차 객실소음을 저감시키는 등의 방안이 검토되고 있다^[5]. 또한 방음벽에 음향 간섭 장치를 적용할 경우 소음 저감에 더 효과적이라는 연구 결과가 있다^[6]. 가이드 그릴이 있는 흡음판은 이러한 간섭 장치 중 하나이다 (Fig. 1 참조). 가이드 그릴의 역할은 흡음판 상단에 설치되어 외력으로부터 흡음판을 보호하고, 터널 내 발생한 음향 소음이 가이

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6398

Fax: +82-2-949-1458

E-mail address: jysung@seoultech.ac.kr (Jaeyoung Sung).

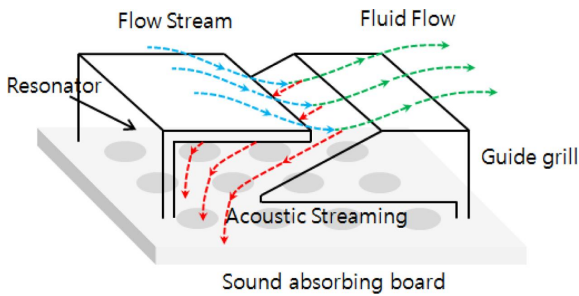


Fig. 1 Guide grill above a resonance sound absorbing board

드 그릴의 슬릿을 지나 공진기로 들어올 때 다량의 흡입 유동 (intake flow) 없이 음향 소음만 통과하도록 하는 것이다. 또한 공진기는 가이드 그릴과 흡음판 설치 시 생기는 공간으로서 공동을 통해 통과된 소음이 흡음판으로 전달되는 소음의 이동 경로이다.

그러나 소음 저감을 위해 설치된 가이드 그릴이 유동 소음을 발생시키는 2차 소음원이 된다는 문제점이 있다. 터널 벽면 근처의 유동이 가이드 그릴의 슬릿을 지날 때 슬릿의 입구에서 경계층이 분리되면서 와류가 발생하게 된다. 이러한 가이드 그릴의 슬릿에 의한 유동현상은 공동 유동(cavity flow)의 특성을 띄게 된다. 와류 진동(vortex shedding)은 공동 유동의 특징 중 하나로서 소음을 발생하게 하는 원인이 된다. 또한 공동을 통해 공진기로 다량의 흡입 유동이 전달되면 흡음판의 소음 저감 성능이 감소된다. 공동 유동과 소음 발생에 대한 역학적 관계를 분석한 다양한 연구가 있다. Howe^[7]와 Alvares^[8]는 공동에서 발생한 음장 특성을 분석함으로써 다양한 유동 속도에 따른 공동에서의 소음 특성을 규명하였다. Erturk와 Gokcol^[9]는 다양한 공동 형상에 따른 공동 내부의 공동 유동 특성을 해석하였다. 앞서 보고된 대부분의 연구 대상은 한쪽만 열려있는 공동이지만 가이드 그릴이 설치된 흡음판은 양쪽이 모두 열려 있는 공동이다. 따라서 공동을 통해 흡음판이 있는 공진기로 전달되는 유동 특성을 분석하고, 이를 통해 흡입 유동을 최소화 하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 터널 벽면의 유동이 가이드 그릴을 통해 공진기로 전달되는 유동 특성을 분석하여 가이드 그릴의 형상이 흡입 유동에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 2차원 압축성 비정상 난류 유동으로 가정하여 수치해석을 수행하고, 다양한 형상의 가이드 그릴 설계 인자에 대해 공진기로의 흡입 및 방출되는 유동의 와류와 주파수 특성을 고찰한다.

2. 모델링 및 해석조건

2.1 지배방정식

공동을 지나는 유동은 공동을 통해 공진기로 흡입되는데, 이 때 흡입된 유량 중 일부가 터널로 방출되지 못하면서 압축성 유동을

야기한다. 이러한 압축성 유동은 공진기 내부에서 댐핑 작용을 하여 흡음판의 소음 저감 효과를 감소시킬 뿐 아니라, 공동에서 발생하는 와류 진동에 의한 2차 소음을 발생시킨다. 따라서 본 연구에서는 공동 유동을 압축성 난류 유동으로 가정하여 해석을 수행하였다.

난류 유동을 해석하기 위한 모델에는 여러 가지 종류가 있다. DNS (direct numerical simulation) 모델은 Navier-Stokes 운동량 방정식을 계산함으로써 유동장 내 발생하는 난류 유동에 대한 모든 정보를 해석하는 모델로써 가장 정확한 해석 방법이지만, 격자 수 증가와 함께 해석에 많은 시간이 소요되는 등의 문제가 있다. 반면에, LES (large eddy simulation) 모델은 Navier-Stokes 운동량 방정식의 필터링을 통하여 DNS 모델에서 가지는 문제점을 해소함과 동시에 비교적 높은 정확도를 제공하는 모델로서 많이 사용된다. 본 연구에서는 공동 유동을 해석하기 위하여 LES 모델을 지배방정식으로 사용하여 해석을 수행하였다.

LES 모델에서 압축성 Navier-Stokes 운동량 방정식은 SGS (sub-grid scale) 응력을 모델링에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\sigma}_{ij}}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{\rho} \tau_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\sigma}_{ij} - \tilde{\sigma}_{ij}) \quad (1)$$

$$\tau_{ij} = \bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j - \bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j \quad (2)$$

여기서 $(\bar{\quad})$ 는 필터링 연산자이며, $(\tilde{\quad})$ 는 $\tilde{u}_i = \overline{\rho u_i} / \bar{\rho}$ 로 정의되는 또 다른 필터링 연산자이다. $u, \rho, P, \sigma_{ij}, \tau_{ij}$ 는 각각 속도, 밀도, 압력, 전단응력 텐서(shear stress tensor), SGS 텐서이다.

압축성 유동에서 τ_{ij} 는 다음과 같이 편향 응력(deviatoric stress)과 등방 응력(isotropic stress)으로 분리할 수 있다.

$$\tau_{ij} = \underbrace{\left(\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} \right)}_{\text{deviatoric}} + \underbrace{\left(\frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} \right)}_{\text{isotropic}} \quad (3)$$

여기서 δ_{ij} 는 등방 텐서이다.

식 (3)에서 편향 응력의 SGS 텐서는 Smagorinsky 모델에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} = -2\mu_t \left(S_{ij} - \frac{1}{3} S_{kk} \delta_{ij} \right) \quad (4)$$

S_{ij} 와 μ_t 는 각각 변형률(rate-of-strain tensor)과 SGS 난류 점도(subgrid-scale turbulent viscosity)이다. μ_t 를 계산하는 방법에는 여러 가지 모델이 있는데 본 연구에서는 벽 근처에서의 유동 해석에 적합한 WALE(wall adapting local eddy viscosity) 모델을 사용하였다.

2.2 해석 모델

Fig. 2는 실제 터널 벽면에 부착되는 가이드 그릴을 도식화한 2차원 형상으로서 터널(tunnel), 공동(cavity), 공진기(resonator)로 구성된다. 가이드 그릴의 공동은 공동을 통해 공진기로 소음과 흡입 유동이 함께 전달되는데, 이러한 흡입 유동을 최소화될 수 있도록 그림과 같이 유동 방향과 공동의 방향이 반대인 형태를 가진다. 공진기의 높이는 1.0H이고, 터널의 길이와 높이는 터널의 입출구와 상단의 유동이 공동 유동에 미치는 영향을 최소화 하기 위하여 공동을 기준으로 좌우로 4.0H, 터널의 높이도 4.0H이다. 가이드 그릴의 두께는 0.2H이며, 공진기의 길이는 터널의 길이와 같다.

Fig. 3은 공동의 형상과 공동의 격자를 나타내는 그림이다. 다양한 형상에 대한 유동 특성을 분석하기 위하여 터널과 공동이 이루는 공동 각도(θ), 공동의 길이(L)를 해석 변수로 설정하였다. 해석 변수는 실제 가이드 그릴 제작 공정 시 적용 가능한 최소 조건인 30° , 0.2H를 포함하여 각각 3가지 조건($\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$, $L=0.2H, 0.6H, 1.0H$)에 대한 해석을 수행하였다. 터널과 공동, 공진기에 사용된 격자는 그림과 같이 모두 사각정렬 격자를 사용하였다. LES 모델에 적합한 격자를 구성하기 위한 공동의 격자 정보는 Table 1과 같다.

경계조건으로서 터널의 입구 속도는 실제 지하철 최고 운행 속도인 100 km/h(=27 m/s)로 하였고, 터널의 출구는 대기압이다. 터널의 상단은 y 방향으로의 속도 구배가 없도록 Neumann 조건을 적용하였다. 또한 터널의 입출구와 터널의 상단을 제외한 터널의 바닥면과 공동의 벽, 공진기의 벽은 모두 점착(no-slip wall) 조건을 적용하였다. 따라서 공진기는 공동의 바닥(cavity bottom)을 제

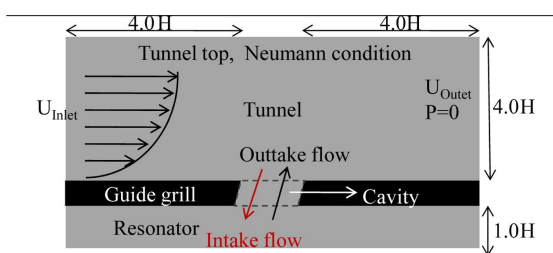


Fig. 2 Schematics of the guide grill with a cavity

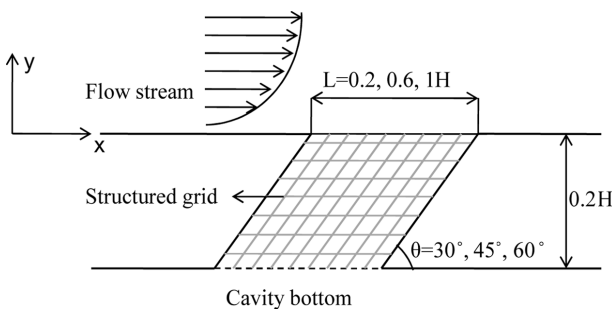


Fig. 3 Computational grid structure of a cavity

외한 모든 면이 벽으로 둘러싸여 있어, 공동을 통해 공진기로 들어오는 흡입 유동(intake flow)과 터널로 다시 빠져나가는 방출 유동(outtake flow)을 반복하는 형태의 유동현상을 가진다.

3. 결과 및 고찰

공동의 양쪽이 모두 열려있는 공동 해석에 대하여 비교할만한 연구 결과가 미비하다. 따라서 본 연구에서는 Demirdzic 등^[10]이 제시한 평행사변형 형상(skewed cavity)의 공동 유동에 대한 검증용 해(benchmark solution)와 비교하여 수치해석 기법을 검증하였다. Fig. 4는 검증을 위한 해석 형상을 나타내는 그림이다. 공동의 네 변의 길이는 모두 같고 공동의 각도는 45° 이며, 공동의 상단은 일정한 속도 U로 움직인다. 해석에 사용된 격자는 정렬 격자가 사용되었고, 가이드 그릴 공동의 격자에 사용된 것과 동일한 크기를 가지도록 하였다. Fig. 5는 공동 중심에서의 수직선(vertical line)인 A-B에서의 x방향의 속도를 검증용 해와 비교한 그림이다. x축과 y축은 각각 U와 공동의 길이인 L로 무차원화 하였다. 비교 결과 Demirdzic 등^[10]의 결과와 잘 일치한다. 검증 결과로부터 해석에 사용된 격자 수가 수치 해석에 적합함을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 터널 벽면에서의 공동 유동과 공진기 내부로 전달되는 흡입 유동에 대한 해석을 수행하였다.

가이드 그릴의 공동에서 발생하는 와류는 공진기로 전달되는 흡입 유동에 영향을 미칠 뿐만 아니라 와류 진동에 의한 2차 소음을 발생시키는 주요한 요인이다. Fig. 6은 가이드 그릴의 공동 각도가 45° 일 때 공동의 길이가 0.2H, 0.6H, 1.0H인 경우에 대한 시간에 따른 공동과 공진기에서의 와류 분포도이다. 해당 시간대는 흡입 및 방출 유동이 활발하게 일어나는 8~9.5 ms에 대한 해석 결과이

Table 1 Summary of grids implemented for LES model

Cavity length	Number of grids	Grid size ($\Delta y/L$)	Dimensionless wall distance (y^+)
0.2H	580×580	2×10^{-3}	$y^+ < 1$
0.6H	1,724×1,740		
1.0H	2,400×2,400		

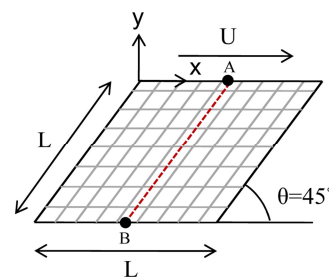


Fig. 4 Geometry of skewed cavity for validation

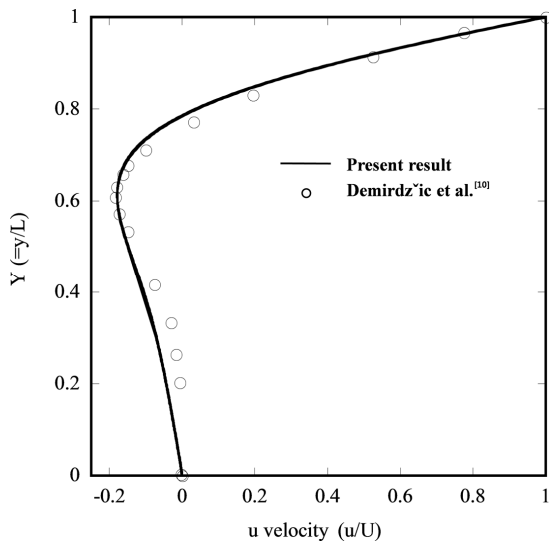


Fig. 5 Comparison of u velocity along the vertical line for cavity angle $\theta=45^\circ$

다. 공동의 앞부분(leading edge)에서 발생한 와류가 공동 내부에서 발달한 후 공동의 끝부분(trailing edge)에서 분리되어 사라지게 되면 또 다른 와류가 생성되는 형태가 반복되는 와류 진동현상이 발생한다. Fig. 6(a)-(c)에서 알 수 있듯이, 이러한 와류 진동은 공동의 길이가 0.2H일 때가 공동의 길이가 0.6H, 1.0H인 경우일 때보다 작게 나타난다. 이는 공동의 앞부분에서 발생한 와류가 공동에서 충분히 발달하기 전에 공동의 끝부분에 도달하여 사라지기 때문이다. 또한 공동의 길이가 0.6H, 1.0H일 때는 공동에서 발달한 와류뿐만 아니라 공진기 내부에서 흡입 유동에 의한 또 다른 와류(secondary vortex)가 생성됨을 알 수 있다. 이러한 공진기에 존재하는 와류는 공동의 길이(L)가 길어질수록 그 크기가 증가한다. 특히 Fig. 6(c)에서 볼 수 있듯이, 공동의 길이와 공진기의 높이와 같아지는 $L=1.0H$ 인 경우에는 공진기 내부에서 발생한 와류가 공동의 하단부까지 발달하여 흡입 유동에 영향을 미친다.

Fig. 7은 가이드 그릴의 공동의 형상과 그에 따른 공진기 내부의 와류가 흡입 유동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 시간에 따른 공동 하단부에서의 흡입 유동을 나타낸 그래프이다. y 축의 0을 기준으로 음의 값은 흡입 유동, 양의 값은 방출 유동이다. 공동의 각도와 상관없이 공동의 길이가 0.2H, 1.0H인 경우가 공동의 길이가 0.6H인 경우보다 유동 변화와 흡입 유동 양이 작게 나타난다. 그 이유는 공동의 길이가 0.2H일 때는 흡입 유동이 통과할 수 있는 공동의 면적이 작고, 공동의 길이가 1.0H인 경우에는 0.6H일 때보다 공동의 면적은 크지만 흡입 유동을 방해하는 와류가 공진기 내부에 존재하기 때문이다. 즉, 공진기 내부에 존재하는 와류는 흡입 유동을 억제하는 차폐효과(blockage effect)로 작용하며, Fig. 3에서 확인할 수 있듯이, 공진기에서 생성되는 와류의 크기는 공동의 길이 L 에 비례하여 증가한다. 이 때 공동의 길이가 공진기의 높이

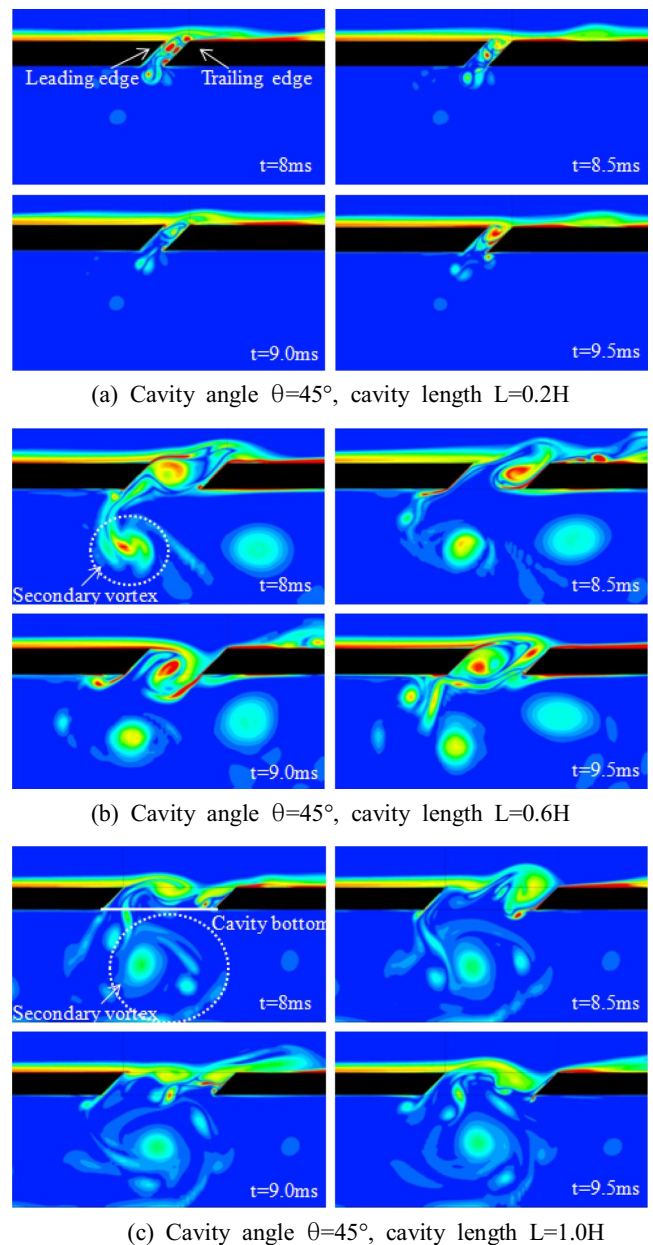
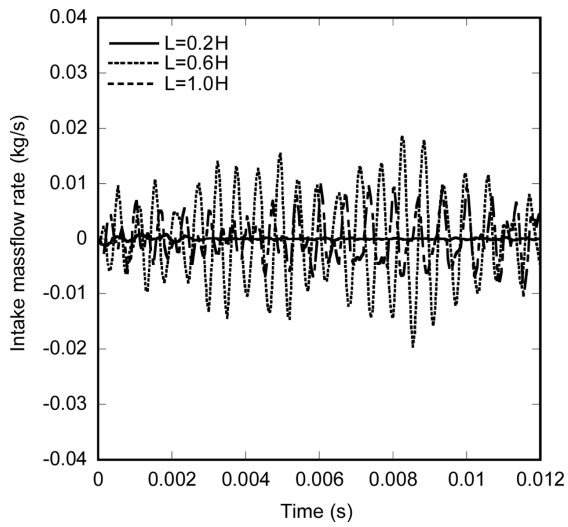


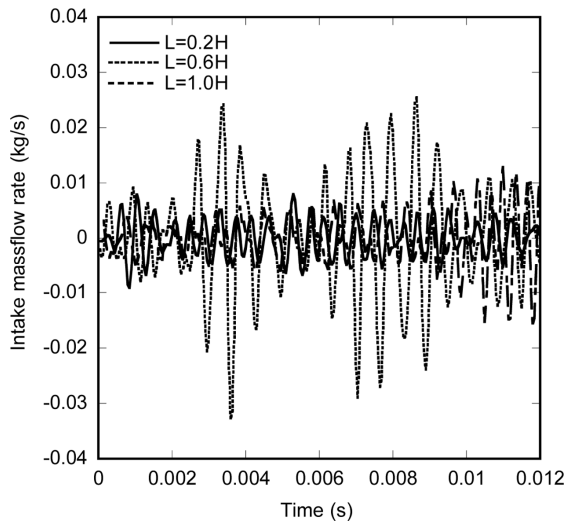
Fig. 6 Time sequence of the vorticity distributions at the cavity above a resonator for the case of $\theta=45^\circ$, (a) $L=0.2H$, (b) $L=0.6H$, (c) $L=1.0H$

보다 작은 $L < H$ 일 때는 공진기 내부에 존재하는 와류가 공동에 미칠 만큼 충분히 발달하지 않는다. 반면에 공동의 길이가 공진기의 높이와 같아지는 $L=1.0H$ 일 때는 공진기 내부의 와류가 충분히 발달하여 공동까지 커지면서 공동 내부로 전달되는 흡입 유동을 방해하는 요소로 작용한다.

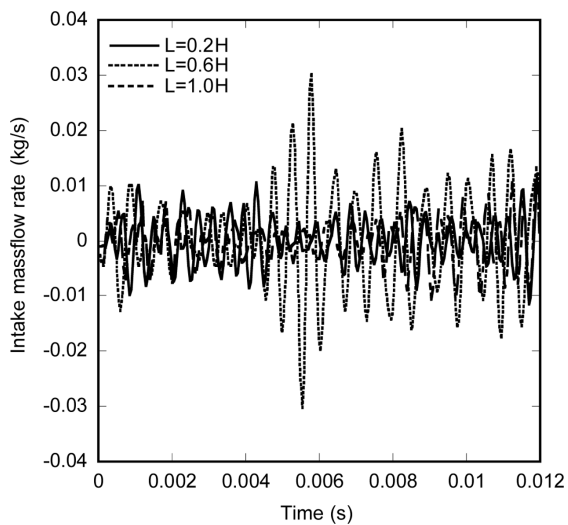
Fig. 8은 가이드 그릴의 공동의 형상에 따른 공진기로 전달되는 흡입 유동의 RMS 값을 나타낸 그래프이다. 흡입 유동은 공동의 각도가 30° , 공동의 길이가 0.2H일 때 가장 작다. 또한 공동의 길이가 0.6H일 때보다 공동의 길이가 더 큰 1.0H일 때 흡입 유동이 더 작게 나타난다. 이는 공진기 내부에서 생성된 와류에 의한 차폐



(a) Cavity angle $\theta=30^\circ$



(b) Cavity angle $\theta=45^\circ$



(c) Cavity angle $\theta=60^\circ$

Fig. 7 Fluctuations of the intake mass flow rate at the cavity bottom; (a) $\theta=30^\circ$, (b) $\theta=45^\circ$, (c) $\theta=60^\circ$

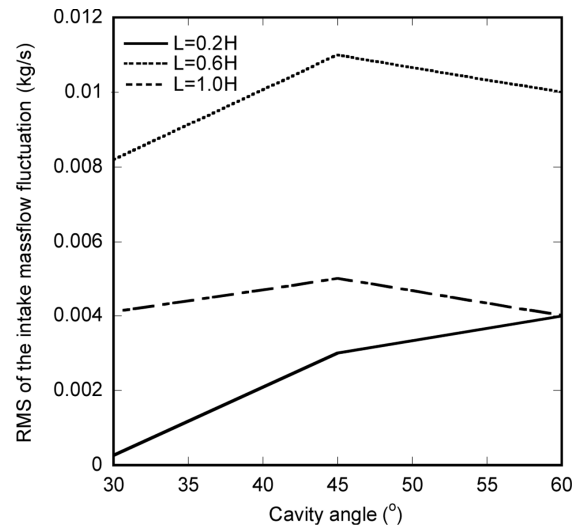
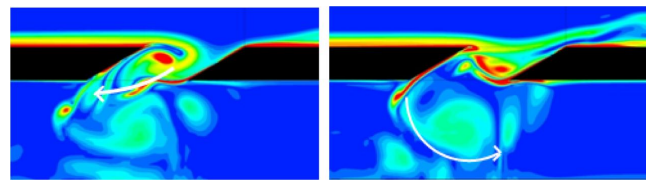
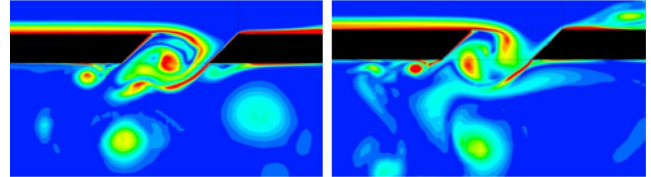


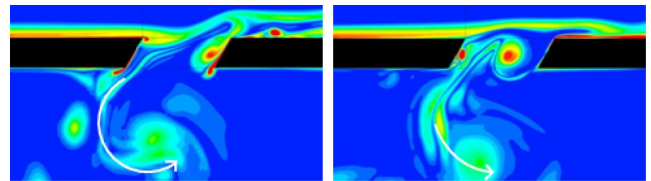
Fig. 8 RMS value of the intake flow fluctuation for various cavity shapes



(a) Cavity angle $\theta=30^\circ$, cavity length $L=0.6H$



(b) Cavity angle $\theta=45^\circ$, cavity length $L=0.6H$



(c) Cavity angle $\theta=60^\circ$, cavity length $L=0.6H$

Fig. 9 Time sequence of the vorticity distributions at the cavity above a resonator for the case of $L=0.6H$, (a) $\theta=30^\circ$, (b) $\theta=45^\circ$, (c) $\theta=60^\circ$

효과의 작용 때문이다. 공진기 길이뿐만 아니라 공동의 각도에 따라 흡입 유동의 특성이 변화함을 알 수 있다. 공동의 길이가 $0.2H$ 인 경우에는 공동의 각도가 커짐에 따라 흡입 유동의 양도 증가한다. 그러나 공동의 길이가 $0.6H$ 일 때는 공동의 각도에 상관없이 흡입 유동의 양이 비슷하였다. 또한 공동의 길이가 $1.0H$ 일 때는 공동의 각도가 커짐에 따라 흡입 유량이 증가하나, 공동의 각도가 45° 일 때 가장 많고 공동의 각도가 60° 일 때 다시 감소한다. 그 이유는 Figs. 9-10에서 볼 수 있듯이, 흡입 유동이 공진기로 전달

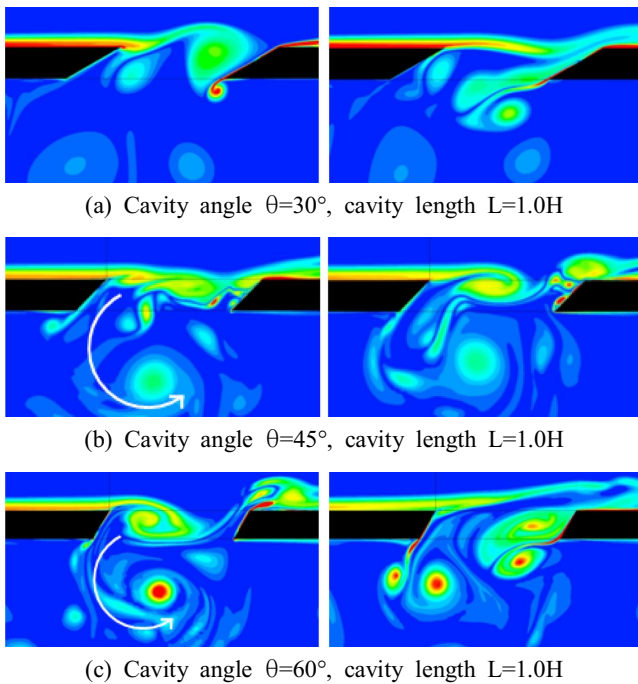


Fig. 10 Time sequence of the vorticity distributions at the cavity above a resonator for the case of $L=1.0H$, (a) $\theta=30^\circ$, (b) $\theta=45^\circ$, (c) $\theta=60^\circ$

될 때, 공진기 내부에 존재하는 와류와 합쳐지는 유동과 공진기 내부로 확산되는 유동으로 분리되는 현상으로부터 확인할 수 있다.

Figs. 9-10은 흡입 유동이 비교적 크게 나타나는 공동의 길이가 0.6H, 1.0H인 경우에 대하여 공동의 각도가 30°, 45°, 60°일 때의 공진기 내부의 와류 분포를 나타낸 그림이다. 공동의 길이가 0.6H에 대한 Fig. 9에서 알 수 있듯이, 공동의 각도가 45°일 경우에는 흡입 유동이 공진기로 전달될 때 공진기 내부에 존재하는 와류와 합쳐지는 유동보다 공진기 내부로 확산되는 유동이 많음을 알 수 있다. 반면에 공동의 각도가 30°와 60°인 경우, 공진기 내부로 확산되는 유동보다 공진기 내부에 존재하는 와류와 합쳐지는 유동이 많다. 따라서 공동의 각도가 45°일 때와 비교하여 공동의 각도가 30°와 60°일 때는 공진기 내부의 와류 유동이 더 많이 발달된다. 이는 흡입 유동을 억제하는 와류의 차폐효과를 발달시키는 요인으로 작용하여 공진기로 전달되는 흡입 유동을 억제한다. 따라서 공동의 각도가 30°, 60°일 때 흡입 유동이 작게 나타난다. 하지만 공동의 길이가 1.0H일 때는 모든 경우에서 공진기의 와류와 합쳐지는 유동이 두드러지게 나타난다. Fig. 10에서 알 수 있듯이, 공진기로 흡입되는 유동은 공진기에서 발생한 와류와 합쳐지면서 와류를 발달시킨다. 이로 인해 Fig. 8에서의 공동의 길이가 0.6H인 경우에 대한 흡입 유동에 대한 그래프에서도 확인할 수 있듯이, 공동의 각도에 상관없이 공진기로 전달되는 흡입 유동의 양이 비슷하게 나타난다. 공동을 통해 공진기로 흡입되는 유동은 흡입과 방출을 반복하며 진동하는 특성을 가진다. 이러한 특성은 와류가 형상에

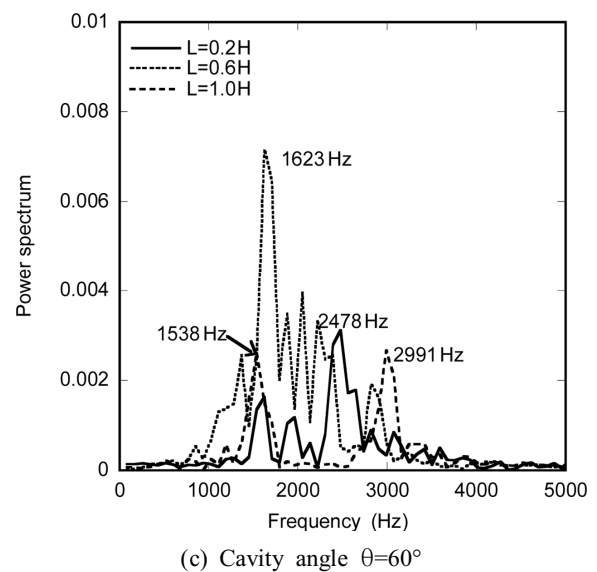
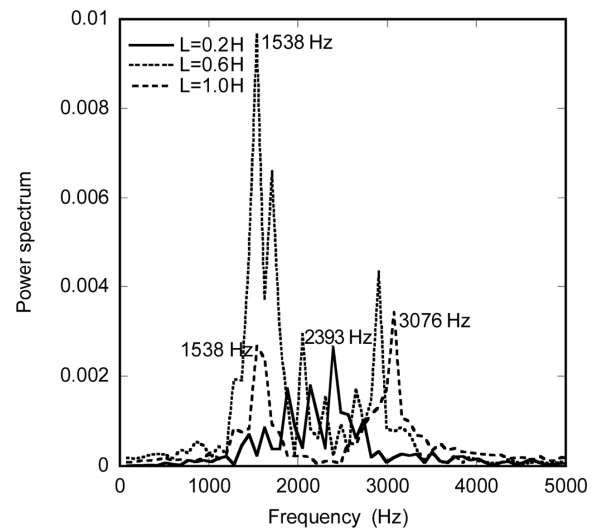
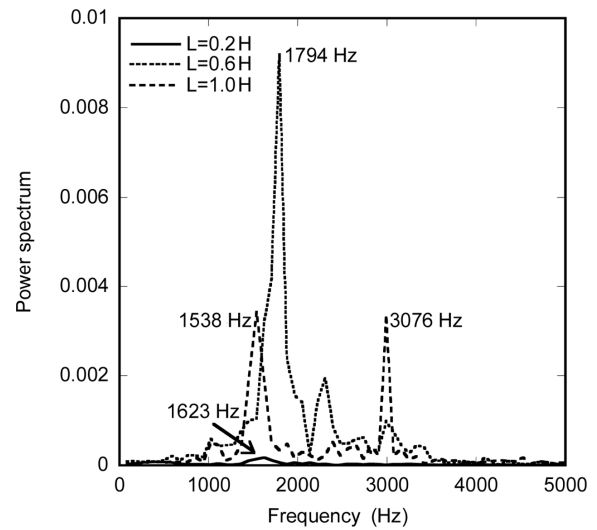


Fig. 11 Power spectrum of the intake mass flow at the cavity bottom; (a) $\theta=30^\circ$, (b) $\theta=45^\circ$, (c) $\theta=60^\circ$

따라 각각 특정한 주기를 가지며 반복됨을 의미한다. 이로 인해 발생하는 와류 진동은 2차 소음을 야기하므로, 공진기로 전달되는 흡입 유동의 주기성을 분석하는 것이 중요하고 이를 통해 추후 소음 특성과 접목시킨 연구에서 활용될 수 있다.

Fig. 11은 공동의 각도가 30°, 45°, 60°일 때 공동의 길이가 각각 0.2H, 0.6H, 1.0H인 공동 형상에 대한 흡입과 방출 유동의 주기성을 분석한 그래프이다. 공진기로의 흡입 유동은 1~3 kHz 사이의 주파수를 가지며 흡입과 방출을 반복한다. 이러한 와류 진동은 가이드 그릴에 의한 2차 소음을 일으키는 원인이 된다. 공동의 각도보다는 공동의 길이가 주파수를 결정하는 중요한 요소가 되며, 공동의 길이가 1.0H일 때는 두 개의 주파수에서 강한 응답 특성을 보이고 있다. 이는 공진기 내부에서 생성된 와류로 인해 나타나는 특징으로, 공진기 내부의 와류로 인한 회전하는 유동과 공동의 하단부를 통해 흡입되는 유동과의 상호작용에 의해 공동의 길이가 0.2H, 0.6H일 때와 다른 주파수 특성을 가진다. 이러한 두 개의 주파수에서 강한 응답을 보이는 특징으로부터 가이드 그릴 형상에 따라 와류 진동으로 발생하는 2차 소음과 관련하여 서로 다른 주파수 대역을 가지는 소음이 발생할 수 있음을 예측할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 LES 기법을 이용하여 슬릿 형태의 관통부를 가진 가이드 그릴 형상이 흡입 유동에 미치는 영향을 규명하였다. 다양한 가이드 그릴 형상을 적용하기 위하여 공동의 각도는 30°, 45°, 60°, 공동의 길이(L)는 공진기의 높이(H)에 대하여 0.2H, 0.6H, 1.0H로 변화시키면서 수치해석을 수행하였다. 수치해석을 통해 공동과 공진기에서 발생하는 와류와 공진기로 전달되는 흡입 유동을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 공진기 내부에서 발생하는 와류의 크기는 공동의 길이가 길수록 증가한다. 이러한 와류는 공동의 길이(L)와 공진기의 높이(H)가 같을 때, 즉 $L=1.0H$ 일 때 공동으로 흡입 되는 유동을 억제하는 차폐효과로 작용한다. 따라서 공동의 길이가 1.0H일 때보다 공동의 길이가 0.6H일 때 흡입 유동의 양이 크게 나타난다.

(2) 공진기로 전달되는 흡입 유량은 공동의 각도가 30°, 공동의 길이가 0.2H일 때 가장 작게 나타난다. 또한 흡입 유량은 공동의 길이가 0.2H일 때는 공동의 각도가 커짐에 따라 증가한다. 반면에, 공동의 길이가 0.6H일 때는 공동의 각도가 45°일 때 흡입 유량이 제일 많고 공동의 각도가 60°일 때 감소한다. 또한 공동의 길이가 1.0H일 때는 공진기에 발생한 와류의 차폐효과로 인하여 공동의

각도와 상관없이 흡입 유량이 일정하다.

(3) 흡입 유동은 흡입과 방출을 반복하며 진동하는 특성을 가진다. 따라서 각각의 공동의 형상에 따라 특정 주파수를 가지게 되는데 특히, 공동의 길이가 1.0H일 때는 공진기 내부의 와류로 인해 두 개의 주파수를 가진다.

후 기

이 연구는 환경부의 환경선진화기술개발사업에서 지원을 받아 수행된 연구 결과임(과제번호: 2014000120002).

References

- [1] National Statistical Office, viewed 2015, Annual report on the amount of urban railway transportation, <http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1259>.
- [2] Choi, J. K., Lee, J. W., Chang, I. S., 2001, A Study on Squeal Noise Control by Absorption Treatment in Urban Rail Transit System, T. KSNVE, 11:4 58-64.
- [3] Lee, I. M., Choi, S. S., Park, B., 1994, Prediction and Control of Noise and Vibration in Building From Underground Rail Systems, J. KSRM, 4:2 77-86.
- [4] Oh, Y. K., Kim, H. G., Lee, W., Y., 2004, Evaluation and Prediction of the Characteristics of Noise Reduction Depending on the Shapes of the Tunnel Section, JAIK, 20:8 177-84.
- [5] Raghunathan, R. S., Kim, H. D., Setoguchi, T., 2002, Aerodynamics of High-speed Railway Train, Progress in Aerospace Science, 38:6-7 469-514.
- [6] Jang, K. S., Yoon, J. W., Kim, Y. C., Kim, D. H., 2001, The Study of the Experimental Evaluation for the Interference Device on the Noise Barrier Edge, KSNVE, 1 844-848.
- [7] Howe, M. S., 2004, Mechanism of Sound Generation by Low Mach Number Flow over a Wall Cavity, JSV 273:1-2 103-123.
- [8] Alvarez, J. O., Kerschen, E. J., Tumin, A., 2004, A Theoretical Model of Cavity Acoustic Resonance in Subsonic Flow, AIAA J. 2004-2845.
- [9] Erturk, E., Gokcol, O., 2007, Fine Grid Numerical Solutions of Triangular Cavity Flow, EPJ. Appl. Phys., 38:1 97-105.
- [10] Demirdžić, I., Lileka, Z., Peric, M., 1992, Fluid Flow And Heat Transfer Test Problems For Non-orthogonal Grids: Bench-mark Solutions, IJNM, 15 329-354.