

작은 구멍이 뚫린 팽창형소음기의 전송손실

리운선, 원경수

내연기관배기소음이나 극장배풍기소음을 줄이는것은 소음공해를 막기 위하여 중요한 문제로 나선다.

지난 시기 선행연구[1]에서는 팽창형소음기를 적용하여 소음을 줄이였으며 이것을 발전시켜 산일형소음기 즉 다공성매질을 안붙임한 소음기를 연구하여 전송손실이 큰 소음기를 얻을수 있었다. 그러나 산일형소음기는 높은 원가와 세균오염문제, 미세한 알갱이 류출문제 등 일련의 결함을 가지고있다.

론문에서는 다공성매질을 리용한 산일형소음기와 작은 구멍이 뚫린 관소음기(팽창형소음기)에 대한 연구를 진행하였다. 프로그램 Comsol5.3을 리용하여 작은 구멍관소음기와 다공성매질을 안붙임한 소음기를 모의하여 전송손실을 계산하고 해석하였다.

1. 이론적연구

N 개의 주기적인 작은 구멍이 뚫린 관소음기렬(그림 1)의 n 번째 요소에서 파동들은 다음과 같이 표시할수 있다.[2]

$$\begin{bmatrix} I_n \\ R_n \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} I_{n-1} \\ R_{n-1} \end{bmatrix} = T^2 \begin{bmatrix} I_{n-2} \\ R_{n-2} \end{bmatrix} = \dots = T^{n-1} \begin{bmatrix} I_1 \\ R_1 \end{bmatrix} \quad (T: \text{전송행렬}) \quad (1)$$

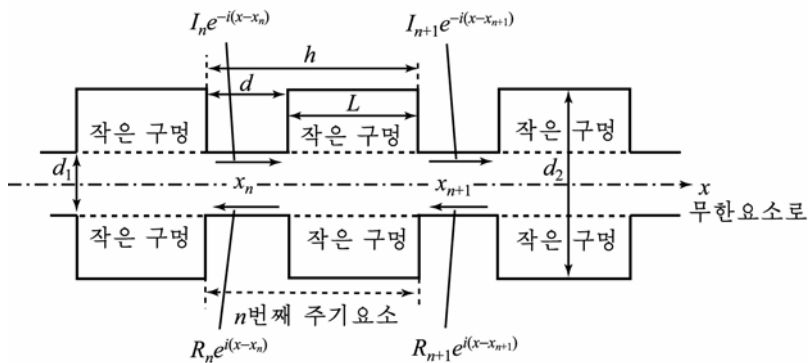


그림 1. 작은 구멍관소음기의 주기적인 렬
 $d_1 = 0.06\text{m}$, $d_2 = 0.18\text{m}$, $d = 0.0625\text{m}$, $L = 0.125\text{m}$

블록파들의 성분들은 주기적인 통로의 시작과 끝에서의 경계조건에 의하여 결정된다. N 개의 작은 구멍이 뚫린 관소음기렬의 첫번째 요소에서 파동들은 2개의 블록파들의 선형중첩으로 표시할수 있다. 즉

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ R_1 \end{bmatrix} = a \begin{bmatrix} v_{1I} \\ v_{1R} \end{bmatrix} + b \begin{bmatrix} v_{2I} \\ v_{2R} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 I_1 과 R_1 은 첫번째 요소에서의 입사파와 반사파의 음압진폭이고 v_{1l} 와 v_{1R} ($i=1, 2$) 는 주기적렬의 전송행렬의 고유값에 따르는 블록파의 성분들이며 a 와 b 는 임의의 상수로서 경계조건으로부터 구할수 있다. N 번째 요소에서 파동들은

$$\begin{bmatrix} I_n \\ R_n \end{bmatrix} = T^{n-1} a \begin{bmatrix} v_{1l} \\ v_{1R} \end{bmatrix} + T^{n-1} b \begin{bmatrix} v_{2l} \\ v_{2R} \end{bmatrix} = e^{-iq_1 h(n-1)} a \begin{bmatrix} v_{1l} \\ v_{1R} \end{bmatrix} + e^{-iq_2 h(n-1)} b \begin{bmatrix} v_{2l} \\ v_{2R} \end{bmatrix} \quad (3)$$

로 표시된다.

유한의 주기적인 작은 구멍이 뚫린 관소음기렬이 무반향끝을 가진다고 하자.

첫번째 요소에서 입사파동을 I_1 , 마지막요소에서 전송파동을 I_n 이라고 하면 N 개의 작은 구멍이 뚫린 관소음기렬의 전송손실은 다음과 같이 계산할수 있다.[3]

$$TL = 20 \lg \left| \frac{I_1}{I_n} \right| = 20 \lg \left| \frac{av_{1l} + bv_{2l}}{e^{-iq_1 d(n-1)} av_{1l} + e^{-iq_2 d(n-1)} bv_{2l}} \right| \quad (4)$$

무반향끝을 가진다는것은 마지막요소에서 반사가 없다는것을 의미한다. 즉

$$R_n = e^{-iq_1 h(n-1)} av_{1R} + e^{-iq_2 h(n-1)} bv_{2R} = 0 \quad (5)$$

이며 그러므로

$$\frac{b}{a} = - \frac{e^{-iq_1 h(n-1)} v_{1R}}{e^{-iq_2 h(n-1)} v_{2R}} \quad (6)$$

이다.

식 (4)에 식 (6)을 대입하면 유한의 주기적인 작은 구멍이 뚫린 관소음기렬의 전송손실이 얻어지게 된다.

그림 2는 유한과 무한의 주기적인 작은 구멍소음기렬들의 전송손실을 대비적으로 보여준다. 여기서 소음기의 치수들은 그림 1에서 보여준것과 동일하다. 이때 작은 구멍의 직경은 0.1mm로 하였다.

유한의 주기적소음기렬에서 소음기수가 증가할 때 그것의 전송손실곡선은 무한의 주기적소음기에서의 전송손실곡선으로 다가간다. 유한의 작은 구멍소음기의 차단대역과 통과대역은 무한의 작은 구멍소음기에서의 차단대역, 통과대역과 같다.

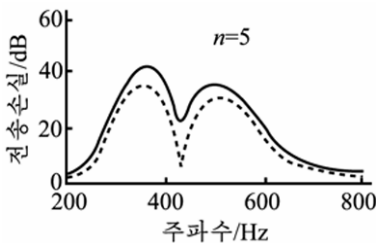


그림 2. 유한과 무한의 주기적인 작은 구멍소음기렬들의 전송손실비교
실선—유한, 점선—무한

2. 작은 구멍이 뚫린 3단관소음기의 모의결과 및 분석

먼저 그림 1과 같은 모양을 가진 다공성매질을 안붙임한 3단관소음기를 응용프로그램 Comsol5.3에 의하여 모의계산하였다.

팽창부분의 안쪽면에 다공성매질을 2cm의 두께로 안붙임하였으며 다공성매질의 다공도는 0.9, 다공의 직경은 0.1mm이다.

우의 모형에서 입구에는 음압진폭이 1Pa인 조화평면파를 입사시키고 출구에서는 반사가 없이 파동이 그대로 전파되어나가도록 평면파복사조건을 주었다.

그리고 나머지경계면들은 음향학적으로 굳은 면으로 설정하였다. 50Hz—1 000Hz의 주파수대역에서 계산을 진행하였다.(그림 3)

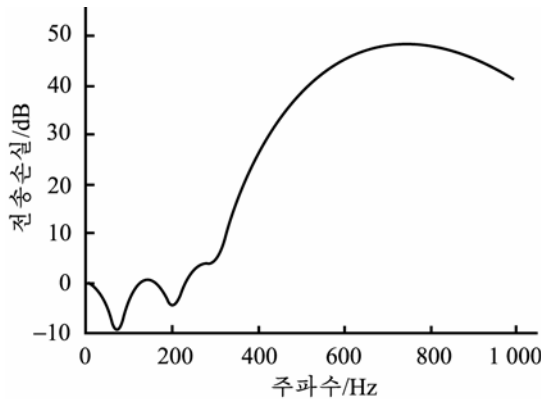


그림 3. 다공성매질을 안붙임한 3단관소음기의 전송손실

다음으로 응용프로그램 Comsol5.3을 리용하여 작은 구멍이 뚫린 3단팽창형소음기를 모의하고 계산을 진행하였다. 모의한 3단팽창형소음기의 형태와 치수들은 그림 1에서와 같이 정하였다. 계산량을 줄이기 위하여 작은 구멍의 직경을 3mm로 택하였다.

다공성매질소음기에서와 마찬가지로 입구에는 진폭이 1Pa인 조화평면파를 입사시키고 출구에서는 반사가 없이 파동이 전파되도록 평면파복사조건을 준다. 나머지경계면들은 음향학적으로 굳은 면으로 설정하였다. 50Hz-1 000Hz의 주파수대역에서 소음기의 특성을 연구하기 위하여 최대요소크기가 최소파장의 1/4로 되도록 설정하였다.

소음기의 중요한 특성량은 전송손실이다. 전송손실은 입구와 출구에서의 음에너지를의 비로 정의한다.

로그척도에서 전송손실은 다음과 같이 표시된다.

$$d_w = 10 \lg \left(\frac{w_{\text{입구}}}{w_{\text{출구}}} \right) \quad (7)$$

여기서 $w_{\text{입구}}$ 와 $w_{\text{출구}}$ 는 각각 입구와 출구에서의 음에너지이다.

우의 3차원모형의 기하학적치수를 보면 고찰하는 주파수대역에서 평면파만이 전파하고 기타 다른 기준파는 전송되지 않는다. 따라서 입구와 출구에서 음에너지는 다음과 같이 표시된다.[3]

$$w_{\text{입구}} = \int_{\Omega} \frac{p_0^2}{2\rho c} dA \quad (8)$$

$$w_{\text{출구}} = \int_{\Omega} \frac{|p|^2}{2\rho c} dA \quad (9)$$

여기서 Ω 는 입출구자름면적이고 p_0 과 p 는 입구와 출구에서 음압의 진폭이다.

작은 구멍이 뚫린 3단관소음기의 전송손실곡선을 그림 4에 보여주었다.

그림 3과 4에서 보는바와 같이 작은 구멍이 뚫린 관소음기는 다공성매질을 안붙임한 소음기에서와 같이 1 000Hz아래의 낮은 주파수대역에서 좋은 소음감쇠특성을 얻을수 있다는것을 보여준다. 내연기관의 배기소음기에서 다공성매질을 리용하면 위생적으로 나쁘며 원가를 줄일수 없다. 그러므로 배기소음기로 작은 구멍이 뚫린 관소음기를 리용하는 것이 편리하다.

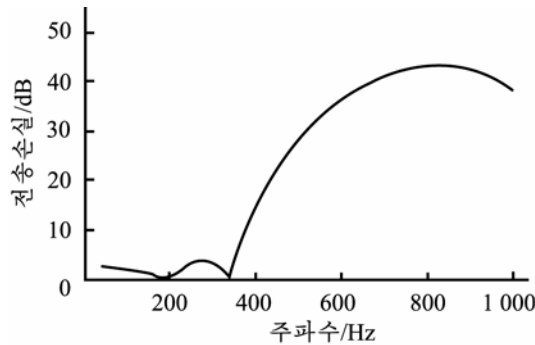


그림 4. 작은 구멍이 뚫린 3단관소음기의 전송손실곡선

계산결과로부터 Comsol5.3을 리용한 계산결과가 평면파전파리론에 기초하여 계산한 리론값과 큰 차이가 없다는것을 확인하였다.

맺 는 말

작은 구멍이 뚫린 3단팽창형소음기의 감쇠특성에 대한 리론적계산을 진행하고 Comsol5.3을 리용하여 모의하였다. 결과 다공성매질소음기를 리용하지 않고도 낮은 주파수대역에서 좋은 소음감쇠특성을 얻을수 있다는것을 알수 있었으며 작은 구멍팽창형소음기의 합리적인 설계를 진행할수 있는 방법론을 마련하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 60, 8, 42, 주체103(2014).
- [2] X. Wang et al.; J. Acoust. Soc. Am., 131, 1172, 2012.
- [3] H. Kuttruff; Acoustics, Taylor & Francis, 42~138, 2009.

주체109(2020)년 9월 5일 원고접수

Transmission Loss of Micro-Perforated Expansion Muffler

Ri Un Son, Won Kyong Su

In this paper, the sound attenuation of three-periodic micro-perforated expansion muffler was theoretically investigated and was simulated by using Comsol5.3. It showed that this muffler could provide considerable sound attenuation without using porous materials. And we established the method of rational designing of micro-perforated expansion muffler.

Keywords: expansion muffler, transmission loss