

COMSOL에 의한 2중팽창형소음기의 감쇠특성

리대철, 최진, 리운선

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학기술과 생산실천을 밀접히 결합시키는데는 과학연구사업의 성과를 보장하고 기술혁명수행을 다그치기 위한 기본요구입니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 492페이지)

열기관의 가스배기관을 통한 소음과 극장들에서 송풍기의 소음을 줄이는 문제는 현시기 인민경제 여러 부문 특히 환경보호분야에서 중요한 문제로 제기된다.

선행연구[2]에서는 이상적인 경우 소음기의 음향학적특성을 예측하기 위한 이론식을 유도하고 실험과 비교하면서 점차 오차를 줄이는 방법과 실험을 통한 경험식을 도입하여 소음기의 특성을 평가하였다. 그러나 이러한 방법들은 오차가 크기때문에 실전에 적용하기 힘들다. 최근에 응용프로그램 ANSYS에 의한 근사계산을 진행하여 보다 복잡한 환경에서 소음기의 음향학적특성을 평가하였다.[1]

우리는 응용프로그램 COMSOL을 리용하여 2중팽창형소음기의 감쇠특성을 예측평가하고 보다 개선된 소음기구조를 설계하기 위한 방법론을 제기하였다.

1. COMSOL을 리용한 음마당해석절차

3차원모형을 리용하여 주파수에 따르는 음마당을 해석하기 위하여 Model Wizard창에서 3D를 선택하고 Select Physics>Acoustics>Pressure Acoustics에서 Pressure Acoustics, Frequency Domain(acpr)을 추가한다. 다음 Select Study에서 Frequency Domain을 추가한다.

① 대역정의를 진행한다.

Model Builder>Global Definition에서 모의에서 리용하려는 소음기의 물리적특성값들과 기하학적치수들을 파라메터로 정의한다. 이 파라메터들을 리용하여 기하모형을 창조하면 파라메터를 변경시킬 때마다 기하모형이 자동적으로 변경된다.

② 기하모형을 창조한다.

Model Builder>Component 1(comp1)>Geometry>Settings에서 길이의 단위를 설정하고 Geometry안의 도구들과 앞에서 정의한 파라메터들을 리용하여 기하모형을 창조한다.

③ 재료를 설정한다.

Model Builder>Component 1(comp1)>Materials에서 오른쪽단추를 클릭하고 Add Materials From Library를 선택한다. Add Material>Built-in에서 Air를 선택하여 불러들인다. 기정으로는 모든 구역에 처음에 불러들인 재료가 설정된다.

④ 국부정의를 진행한다.

Model Builder>Component 1(comp1)>Definition에서 모의에서 리용하려는 변수와 연산자를 정의한다.

소음기입구와 출구에서 적분연산자 intop1과 intop2를 정의하고 이것에 기초하여 입

구와 출구에서 출력변수를 표와 같이 정의한다.

표. 입구와 출구에서 출력변수			
Name	Expression	Unit	Description
$W_{\text{입구}}$	$\text{Intop1}(p_{\text{in}}^2/(2 \cdot \text{acpr.rho} \cdot \text{acpr.c}))$	W	입구에서 음출력
$W_{\text{출구}}$	$\text{Intop1}(\text{abs}(p)^2/(2 \cdot \text{acpr.rho} \cdot \text{acpr.c}))$	W	출구에서 음출력

⑤ 초기조건 및 경계조건들을 설정한다.

초기음압과 음압구배는 0으로, 바깥경계면들은 모두 음향학적으로 완전히 굳은 면으로 설정한다.

다음으로 소음기의 입구와 출구에 평면파복사조건을 설정한다.

Model Builder>Component 1(comp1)>Pressure Acoustics, Frequency Domain(acpr)을 찰각하고 Radiation Conditions>Plane Wave Radiation을 선택한 다음 입구면과 출구면을 선택한다.

다음으로 입구에 평면파를 입사시키기 위하여 Pressure Acoustics, Frequency Domain(acpr)>Plane Wave Radiation 1을 찰각하고 Incident Pressure Field를 선택한다. 그리고 입구압력진폭값과 음속도값을 입력한다.

⑥ 요소분할을 진행한다.

Model Builder>Component 1(comp1)>Mesh 1>Size를 찰각하고 요소크기를 설정한다. 최대요소 크기는 가장 짧은 파장의 1/5보다 작게 한다. 여기서 각이한 요소형태와 크기를 설정할수 있다.

⑦ 풀이를 진행한다.

Model Builder>Study 1>Step 1: Frequency Domain을 찰각하고 Frequencies칸에 모의하려는 주파수대역을 입력한다. 다음 Compute를 찰각한다.

⑧ 결과처리를 진행한다.

Model Builder>Results>Acoustic Pressure(acpr)를 찰각하면 소음기에서의 음압분포를, Results>Sound Pressure Level(acpr)을 찰각하면 음압준위분포를 볼수 있다.

소음기의 전달손실을 평가하기 위하여 Model Builder>Results에서 1D Plot Group를 추가한다. 다음 Model Builder>Results>1D Plot Group에서 Octave Band를 선택한다. 그리고 Expression칸에 입구와 출구에서의 에너지를의 비를 계산하기 위한 식 $W_{\text{입구}}/W_{\text{출구}}$ 를 입력하고 Expression Type에서 Transfer function을 선택한다. 다음 Plot를 누르면 주파수에 따르는 전달손실곡선이 로그척도로 그려진다.

2. 모의결과 및 분석

모의를 진행한 2중평창형소음기의 구조는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 입구에 진폭이 1Pa인 조화평면파를 입사시키면 출구에서는 반사가 없이 파동이 그대로 전파되어나가기도록 평면파복사조건이 주어져있다. 그리고 나머지 경계면들은 음향학적으로 굳은 면으로 설정하였다. 50~1 500Hz까지의 주파수대역에서 소음기의 특성을 연구하기 위하여 최대요소크기를 0.04m로 설정하였다.

소음기의 중요한 특성량은 전달손실이다. 전달손실은 입구로 들어오는 음향에너지와 출구로 나가는 음향에너지를의 비로 정의한다.

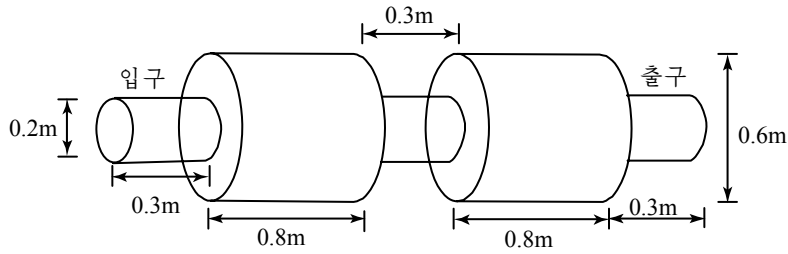


그림 1. 2중팽창형소음기의 구조

$$d_W = 10 \lg \left(\frac{W_{\text{입구}}}{W_{\text{출구}}} \right)$$

여기서 $W_{\text{입구}}$ 와 $W_{\text{출구}}$ 는 각각 입구로 들어오거나 출구로 나가는 음향에너지이다.

3차원모형의 기하학적치수들은 주어진 주파수구간에서 평면파만이 전파되고 다른 기준파들은 전달되지 않게 설정된것이므로 따라서 입구와 출구에서 들어가거나 나가는 에너지를 다음과 같이 정의된다.[3]

$$W_{\text{입구}} = \int_{\partial\Omega} \frac{p_0^2}{2\rho c} dA, \quad W_{\text{출구}} = \int_{\partial\Omega} \frac{|p|^2}{2\rho c} dA$$

여기서 A 는 입출구자름면적이다.

계산된 전달손실곡선은 그림 2와 같다.

우리는 COMSOL 5.3을 리용하여 계산한 결과가 평면파전파리론에 기초하여 계산한 리론값과 거의 일치한다는것을 확인하였다.

그림 2에서 보는바와 같이 전달손실이 최소로 되는 주파수는 팽창형소음기의 세로공진주파수라는것을 알수 있다. 그러므로 이 주파수에서 소음기의 특성을 개선하기 위하여 팽창통의 결면에 다공성재료를 입히었다. 그 결과는 그림 3과 같다.

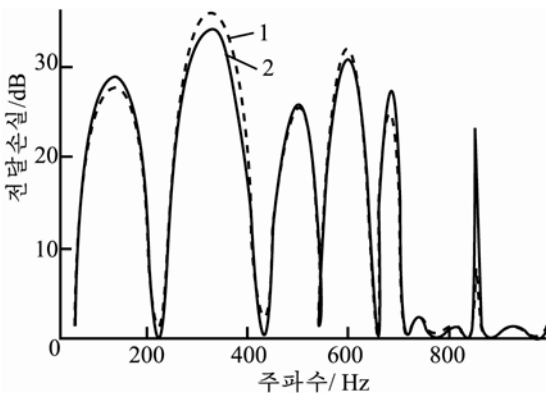


그림 2. 2중팽창형소음기의 전달손실
1-리론곡선, 2-모의곡선

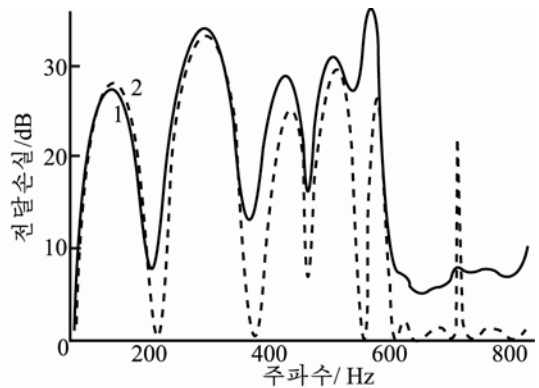


그림 3. 다공성재료를 리용하지 않은 경우(1)와 리용한 경우(2)의 전달손실

그림 3에서 보는바와 같이 다공성재료를 리용한 결과 700Hz이상의 높은 주파수대역과 팽창형소음기의 세로공진주파수에서 소음감쇠특성이 훨씬 개선되었다.

맺 는 말

모의프로그램 (COMSOL 5.3)을 리용하면 2중팽창형소음기의 소음감쇠특성을 비교적 정확히 평가할수 있으며 팽창형소음기를 보다 합리적으로 설계할수 있는 기초자료를 얻을수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 60, 8, 42, 주체103(2014).
- [2] E. Redon et al.; Int. J. Numer. Meth. Eng., 86, 1360, 2011.
- [3] H. Kuttruff; Acoustics, Taylor & Francis, 42, 138, 2009.

주체106(2017)년 12월 5일 원고접수

Decrement Characteristics of Double Expansion Muffler by Using COMSOL

Ri Tae Chol, Choe Jin and Ri Un Son

We clarified the transmission loss of double expansion muffler by using COMSOL 5.3 and found the design and analysing method of expansion muffler through the comparison with the theoretical value.

Key words: COMSOL, muffler