

Mean Flow 를 고려한 단순확장관 음향 투과손실의 CFD 해석

CFD analysis of Acoustic Transmission Loss considering Mean flow in Simple Expansion Chamber

권진* · 정의봉† · 홍진숙**

Jin Kwon, Weuibong Jeong and Chinsuk Hong

1. 서 론

소음기의 음향성능을 나타내는 대표적인 지수 중의 하나인 투과손실(Transmission loss; TL)은 소음기를 통과하기 이전과 이후의 음압을 측정하여 이를 dB로 환산한 것이다. 본 연구에서는 관 내에 유동이 존재할 때와 그렇지 않을 때, 음향해석 소프트웨어와 CFD에서의 투과손실 해석결과를 얻고 차이를 알아보았다.

2. 지배방정식

2.1 파동방정식

전산음향해석에 사용되는 지배방정식은 파동방정식이다. 단열과정에서의 상태방정식, 질량보존의 법칙을 대표하는 연속방정식 그리고 비점성 유동을 대표하는 Euler방정식으로부터 유도되는 파동방정식의 형태는 다음과 같다.

$$\nabla^2 p(x, y, z, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(x, y, z, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

2.2 Navier-Stokes 방정식

전산유동해석에 사용되는 지배방정식인 Navier-Stokes 방정식의 형태는 다음과 같다.

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \nabla p = \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (2)$$

CFD 상용 소프트웨어의 경우 위 Navier-Stokes 방정식을 이루는 상태방정식, 연속방정식, 운동량보

존방정식과 유체의 온도변화를 고려하기 위한 에너지방정식, 또한 점성항을 구하기 위한 난류모델에 대한 수송방정식을 유한체적기법을 사용하여 해를 구할 수 있다.

2.3 지배방정식 비교

위 두 식에서 알 수 있듯이 압축성 유동에서의 밀도변화에 따른 유체의 점성과 온도변화가 식(1)에는 고려되지 않은 것을 알 수 있고, 이는 본래 파동방정식이 유도되는 과정에서 Euler방정식을 사용함으로써 유체 점성을 무시한 결과이기도 하다

3. 전산 음향해석 정보

3.1 음향 해석 Model

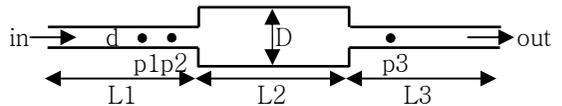


Fig.1 Geometry of Acoustic model

음향 해석을 위한 단순확장관의 단면은 Fig.1과 같다. 작은 관의 직경은 0.1[m], 확장관의 직경은 0.2[m] 그리고 L1, L2, L3의 길이는 0.5[m]로 정하였다.

3.2 전산 음향해석 경계 조건

경계조건으로는 머플러 입구단에 크기 1[m/s]로 1에서 4000[Hz]까지 sine sweep 방법으로 가진하고, 출구단에는 Impedance($\rho c = 1.225 \times 340$) 값을 주어 무반사 조건을 적용하였다. 투과손실을 구하는 방법으로는 '3Point-Method'를 사용하였다.

4. 전산 유동해석 정보

4.1 유동 해석 Model



† 교신저자; 정희원, 부산대학교 기계공학부

E-mail : wjeong@pusan.ac.kr

Tel : (051) 510-2337, Fax : (051) 517-3805

* 부산대학교 대학원 기계공학부

** 울산과학기술대학교 디지털기계학부

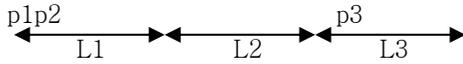


Fig.2 Geometry of CFD model

CFD에는 무반사 경계조건이 없으므로 반사파를 고려하여 L1, L3의 길이는 10[m]로 정하였다. 사용자는 입구단의 시간신호 파형을 알고 있으므로 p1점은 입구경계조건이 들어간 점과 같다. p2점은 파의 시간지연이 잘 일어나고 있는지 확인하기 위한 Monitor Point로 사용하였으며, p3점은 p1점과 함께 TL을 구하는데 사용되고 확장관 후단 0.2[m] 지점에 위치시켰다.

4.2 전산 유동해석 조건

입구단의 경계조건은 각 주파수별 가진을 위해 한 주기의 Sine파를 부여하고, 그 이후의 시간에는 0의 값을 주었다. 이를 식으로 나타내면 식6과 같다.

$$f(t) = 0.15 \sin(2\pi \cdot 6400 \cdot t) \quad (6)$$

출구단은 Pressure-outlet조건으로 게이지압 0[Pa]을 부여하였다. 매질은 Air(Ideal gas)를 사용하였고, 모델형상의 특성상 축대칭 모델이므로 해석 시간을 고려하여 2D Aximmetric 모듈을 사용하였으며, 점성모델은 CA와의 결과 비교를 위해 점성이 고려되지 않은 'Inviscid'모델 그리고 점성이 고려된 k-ε (2equation) standard모델을 각각 적용하였다.

5. 해석 결과 비교(유동이 없을 때)

5.1 유동이 없을 때

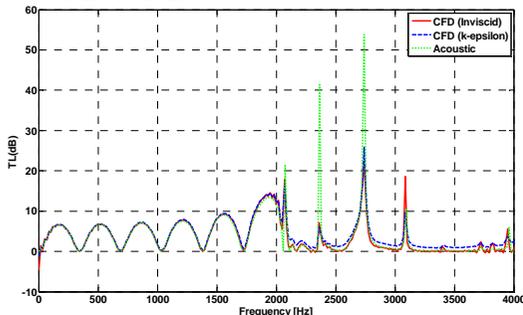


Fig.3 Compare with No flow

Mean Flow가 없을 때 CFD 및 음향해석의 투과손실 결과는 Fig.5와 같다. Cut off frequency 이하의 주파수 대역에서는 세 경우가 거의 동일한 결과를 보이고 있고, 그 이상의 주파수 대역에서는 k-ε 점성모델을 적용한 경우에 손실이 더 큰 것을 볼 수 있다.

5.2 유동이 있을 때

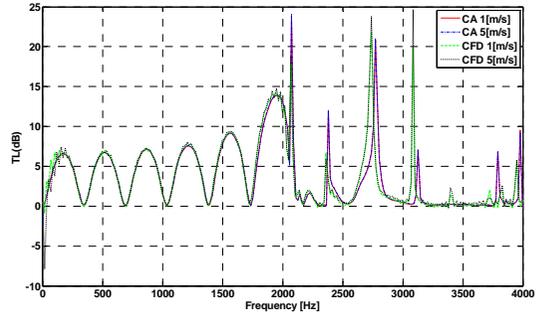


Fig.4 Compare with low vel. flow

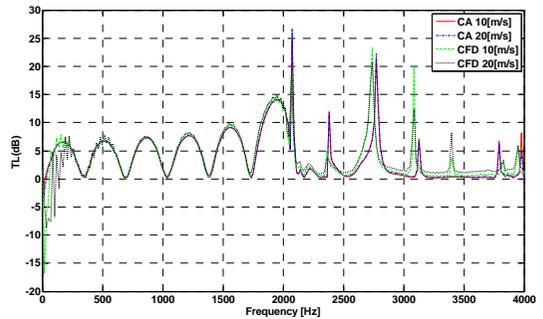


Fig.5 Compare with high vel. flow

CFD로 구한 투과손실 값이 음향해석에 비해 높은 결과가 나왔다. 또한 관 내에 흐르는 유속이 빨라질수록 그 차이는 더 커지는 것을 알 수 있다. Fig.4, Fig.5에서 CA는 전산음향해석을 의미한다.

3. 결론

관 내의 유동이 있을 때와 그렇지 않을 때의 투과손실을 음향해석과 CFD로 계산하여 보았다. 관 내 유동이 없을 때 CFD상에 Inviscid 모델을 사용할 경우 음향해석 모델과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 음향해석 결과를 활용한 투과손실을 구하는 방법중에 하나인 '3Point-Method'의 경우 음파가 평면파임을 가정한 식이므로 2000[Hz]이상의 주파수에서는 CFD의 결과와 다소 차이가 있었다. 그리고 CFD에 'k-epsilon' 점성모델을 사용했을 경우에는 유동이 없을 때와 있을 때 모두 음향해석의 투과손실 값보다는 높은 값을 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 Mean flow의 유속을 높여가며 해석을 수행했을 경우 CFD의 경우 Acoustic 해석에 비해 2000[Hz]이상의 주파수 대역에서 투과손실의 크기가 더 뚜렷한 것을 확인하였다.