

FEM 을 이용한 저주파수 대역의 소음기 삽입손실 해석

Study on the insertion loss of the silencer in the low frequency range using the finite element method

최성희† · 문정훈* · 정태석* · 허주호*

Seonghee Choi, Jeonghoon Moon, Taeseok Jeong and Jooho Heo

1. 서 론

최근 선박에 적용되는 소음 규정이 강제조항으로 바뀌는 추세이며 선주 또한 소음에 큰 관심을 보여 엄격한 소음 규정들을 요구하고 있다. 특히 선박의 bridge wing 에서 배기소음에 의한 소음 문제가 빈번하게 발생하고 있는데 배기소음의 주요 원인은 디젤발전기를 들 수 있는데 특히 엔진 폭발 차수에 해당하는 30 Hz ~ 125 Hz 영역의 저주파수 대역의 소음이 문제가 된다. 따라서 옥외구역의 소음 문제 예방을 위해 소음기 설계 단계에서 저주파수 대역의 성능 평가가 제대로 이루어져야 한다.

일반적으로 소음기의 삽입손실을 예측하기 위해서는 배기관 각 요소의 음압과 속도의 행렬 연성을 이용한 이론적 방법이 주로 사용되고 있다. 이 방법은 행렬을 이용한 대수 연산만 수행하므로 계산에 걸리는 시간이 매우 짧다는 장점이 있다. 그러나 직관, 흡음관, 확장/축소관 등 요소별 행렬식을 연성하여 삽입손실을 예측하고 있어 통합된 소음기 시스템의 삽입손실을 예측하기에는 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 통합 소음기 시스템에 대해서 상용소음해석 툴인 VAOne 을 이용한 소음해석 및 삽입손실 예측 사례에 대해 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 소음기 삽입손실 계측

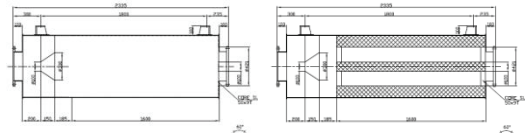
† 교신저자; STX 조선해양

E-mail : nextchoi@onestx.com

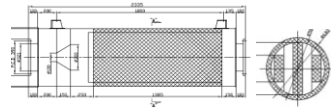
Tel : 055-548-7957, Fax : 055-548-3198

* STX 조선해양

실험에 사용된 선박용 소음기 형상은 Fig. 1 에 나타내었으며 세 가지 경우의 소음기를 제작하였다. 첫 번째는 Spark Arrestor 를 포함한 단순 확장관이고 두 번째는 코어 타입의 흡음재가 추가 되었으며 세 번째는 스플릿 타입의 흡음재가 설치되었다. 확장챔버의 길이는 2135 mm, 지름은 680 mm, 배기관 지름은 340 mm 이다. 소음원으로 Omnipower Sound Source(B&K 4292) 가 사용되었으며, 주파수 밴드별 에너지가 동일한 핑크 노이즈(pink noise)를 발생시킨다. 흡음재는 80kg/m³ 의 밀도를 가진 일반 글라스울(Glass Wool)을 사용하였다.



(a) case1 : 흡음재 제외 (b) case2 : 흡음재 포함(core type)



(c) case3 : 흡음재 포함(split type)

Fig 1. 소음기 형상

일반적으로 원형 덕트에서의 차단주파수는 식 (1)로 나타낼 수 있으며 차단 주파수(296 Hz)를 고려하여 1/1 옥타브 밴드를 기준으로 125 Hz까지만 ISO 7235 국제 규격에 기초하여 소음기 삽입손실을 평가하였다. 이는 선박의 배기 소음 관심 주파수 영역에 속해 적절한 해석 주파수 범위라 할 수 있다. 삽입손실 계측 결과는 Table 1에 나타내었다. 계측 결과를 검토해 보면 흡음재가 하한 주파수 밴드의 흡음성능에 크게 영향을 미치지 못함을 확인할 수

$$f^c = 1.841 \times \frac{c}{\pi D} \quad (1)$$

f^c : cut-off frequency

c : 음파 속도 (m/s)

D : 덕트 지름 (m)

있었는데 이는 저주파수 영역의 파장에 비해 소음기 길이가 상대적으로 작기 때문이라 판단된다.

Table 1 삽입손실 계측 결과

Frequency	Insertion Loss (dB)			Remark
	Case1	Case2	Case3	
31.5 Hz	12.4	13.4	13.2	
63 Hz	10.0	10.8	11.0	
125 Hz	8.8	15.0	15.2	

2.2 소음기 삽입손실 해석

소음상용해석 툴인 VAOne 프로그램을 이용하여 소음기를 모델링 하고 삽입손실을 계산하기 위한 소음해석을 수행하였다. 공기의 댐핑 효과는 0%로 가정하였고 Two-Microphone Method 를 통해 전진파를 분리하여 삽입손실을 계산하였다.

Table 2 에서 흡음재가 설치되지 않은 소음기의 해석 및 계측 결과를 비교하면 약 3dB 정도의 오차가 발생하는데, 이는 Spark Arrestor, 공기 흡음 효과 등 해석에서 고려하지 못한 요소에 의한 효과로 판단된다. 이를 보정하기 위해 3 dB 를 보정치로 산정하였다.

흡음재가 설치된 소음기의 경우, 보정치를 동일하게 적용하고 더불어 흡음재의 물성치를 정해 주어야 한다. 흡음재의 물성치 중 흡음성능에 영향을 가장 크게 미치는 것이 Flow Resistivity 인데 실제 계측 데이터 부재로 인하여 VAOne 을 활용한 케이스 스터디를 수행하였다. 그 결과 14,000 Nm⁻⁴s 값을 적용하였을 때 실제 계측된 삽입손실과 가장 유사한 결과를 보였다. 실제로도 일반 글라스울은 10,000 ~ 27,000 Nm⁻⁴s 값을 가져 예측된 Flow Resistivity 값이 합리적임을 알 수 있다.

Table 2 삽입손실 비교 검토(흡음재 무)

Frequency	Insertion Loss (dB)		차이 (dB)
	해석(보정치)	계측	
31.5 Hz	8.3(+3)	12.4	1.1
63 Hz	5.8(+3)	10.0	1.2
125 Hz	7.8(+3)	8.8	-2

Table 3 삽입손실 비교 검토(흡음재 유, Core Type)

Frequency	Insertion Loss (dB)		차이 (dB)
	해석(보정치)	계측	
31.5 Hz	10.7(+3)	13.4	-0.3
63 Hz	6.8(+3)	10.8	1.0
125 Hz	12.3(+3)	15.0	-0.3

Table 4 삽입손실 비교 검토(흡음재 유, Split Type)

Frequency	Insertion Loss (dB)		차이 (dB)
	해석(보정치)	계측	
31.5 Hz	10.2(+3)	13.2	0.0
63 Hz	8.4(+3)	11.0	-0.4
125 Hz	11.6(+3)	15.2	0.6

삽입손실 해석 결과는 Table 3, 4에 나타내었다. 코어 타입 및 스플릿 타입에서 해석 결과는 계측과 3 dB 이내에서 매우 잘 일치하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 선박용 소음기의 저주파수 대역의 삽입손실 예측을 위하여 상용소음해석 툴인 VAOne 을 활용해 FEM 해석을 수행하였다. 실제 소음기를 제작하고 ISO 7235 규격에 기초하여 소음기 삽입손실을 평가하였고 해석 결과와 비교 검토하였다.

1. 흡음재가 설치되지 않은 소음기의 경우, Spark Arrestor, 및 공기 흡음 효과를 보정하기 위해 해석 결과에서 주파수 밴드별 3 dB 를 부가하였다.
2. 흡음재가 설치된 경우, Flow Resistivity 의 결정이 요구되었으며, 실험 데이터 부재로 인해 해석을 통한 케이스 스터디를 수행하였다. 그 결과 약 14,000 Nm⁻⁴s 값을 도출할 수 있었고 삽입손실 해석 및 계측 결과가 3 dB 이내에서 잘 일치함을 확인하였다.
3. 코어 및 스플릿 타입의 소음기에 대한 삽입손실 해석수행 결과, 소음기의 형상 변경에 의한 성능 예측에도 VAOne 프로그램이 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

종합해 보면, 유한요소해석을 이용한 소음기 해석은 저주파수 대역에서 소음기 삽입손실을 정도 있게 예측 가능하여 향후 선박용 소음기 설계 또는 문제 해결에 충분히 기여할 수 있을 것으로 사료된다.