

EFBEM(Energy Flow Boundary Element Method)을 이용한 다영역해석기법 개발 및 소음 차폐장치 해석

Development of Multi-domain Energy Flow Boundary Element Method and Analysis of Noise Enclosures

김종도† · 황성목* · 권혁* · 서용석*

Jong-Do Kim, Sung-Mok Hwang, Hyuk Kwun, Yong-Suk Suh

1. 서 론

장비의 소음 전달 경로를 차단하여 소음을 줄이는 용도로 주로 사용하는 인클로저(enclosure)의 삽입손실(IL, Insertion Loss)을 해석하기 위해서는 인클로저 내부와 외부의 동시 해석이 있어야 한다. 또한 인클로저는 도어(door), 창(window), 패널(panel) 등 여러 개의 구성품으로 이루어진 장치이므로 이들 각각의 위치, 면적, 투과손실이 모두 고려되어야 한다. 이를 만족하는 해석법으로는 유한요소법과 경계요소법을 연성하는 기법과 에너지기반 해석법인 통계적에너지해석법(SEA, Statistical Energy Analysis), 에너지흐름해석법(EFA, Energy Flow Analysis) 등이 있다. 본 연구에서는 에너지흐름해석법에 경계요소법을 적용한 EFBEM(Energy Flow Boundary Element Method)을 이용하여 다영역해석을 수행하는 기법에 대해 연구하고 이를 인클로저 해석에 적용하였다. EFBEM을 이용한 다영역해석은 직접법(Direct)⁽¹⁾과 간접법(Indirect)⁽²⁾ 모두 연구가 이루어져 있으나 본 연구에서는 간접법에 의한 해석에 흡음률의 영향을 추가로 고려하였다.

2. 이론

2.1 에너지흐름경계요소법(EFBEM)

(1) 구면파 지배방정식

구면파에 의한 에너지 지배 방정식은 아래 식 (1)

과 같으며 이는 원거리장(far field) 가정과 손실계수가 아주 작다는 가정에 얻어진 것이다⁽³⁾.

$$\nabla \cdot \left\{ \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 e) \vec{r} \right\} - k^2 e = \pi_{in} \quad (1)$$

여기서 e 는 에너지 밀도이고 $k = \omega / c_g$, ω 는 가진 주파수, c_g 는 군속도, r 은 소스점에서 관찰점까지의 거리, 그리고 π_{in} 는 입력과위를 의미한다.

(2) Indirect method

경계요소법의 간접적인 기법에서는 해석하고자 하는 유한한 크기의 실제 시스템을 무한 영역 내에 끼워 넣고 무한영역과 시스템 사이의 경계에 가상 소스(fictitious source)가 분포한다고 가정한다. 에너지밀도와 인텐시티의 경계면에 대한 수직 방향 성분은 다음 식 (2), (3)와 같이 표현되고 이를 행렬의 형태로 표현하면 식 (4), (5)와 같다.

$$\tilde{e}(\mathbf{x}) = \int_S \Phi(\xi) G(|\mathbf{x} - \xi|) dS(\xi) + \int_V \bar{\pi}_m(\mathbf{z}) G(|\mathbf{x} - \mathbf{z}|) d\Omega(\mathbf{z}) \quad (2)$$

$$\tilde{q}_n(\mathbf{x}) = \int_S \Phi(\xi) \frac{\partial G(|\mathbf{x} - \xi|)}{\partial n(\mathbf{x})} d\Gamma(\xi) + \int_V \bar{\pi}_m(\mathbf{z}) \frac{\partial G(|\mathbf{x} - \mathbf{z}|)}{\partial n(\mathbf{x})} dV(\mathbf{z}) \quad (3)$$

$$\{e\} = [G]_{m \times m} \{\phi\}_{m \times 1} + [G]_{m \times n}^m \{\pi\}_{n \times 1} \quad (4)$$

$$\{q\} = [F]_{m \times m} \{\phi\}_{m \times 1} + [F]_{m \times n}^m \{\pi\}_{n \times 1} \quad (5)$$

$$G(r) = \frac{1}{4\pi c_g r^2} e^{-kr} \quad (6)$$

여기서 ξ 는 경계면 위의 점들을 의미하며 \mathbf{x} 는 관찰점을 나타낸다. 그리고 본 연구에서 사용하는 3차원 기본해 G 는 식 (6)과 같으며 $\Phi(\xi)$ 는 경계

† 교신저자: 정희원, 삼성중공업 조선해양연구소

E-mail : jd7.kim@samsung.com

Tel: 055-630-5904, Fax: 055-630-8061

* 삼성중공업 조선해양연구소

면에서의 가상소스를 의미한다.

2.2 다영역해석법

$$\{q\}_\Gamma = \{q\}_{\Gamma_1}^{input} + \{q\}_{\Gamma_2}^{absorp} + \{q\}_{\Gamma_3}^{trans-reflect} \quad (7)$$

경계면을 통해 흐르는 파워는 경계면의 가진에 의해 입력되는 파워, 흡수에 의해 경계면에 흡수되는 파워, 인접한 영역(domain)에서 공통 경계를 통해 전달되는 파워로 구분할 수 있다.

$$\{q\}_{\Gamma_2}^{absorp} = \frac{1}{4} [\alpha]_{m \times m} [C]_{m \times m} \{e\}_{\Gamma_2} = [H] \{e\}_{\Gamma_2} \quad (8)$$

$$\{q\}_{\Gamma_3}^{trans-reflect} = [J][G]_{global} \quad (9)$$

$$[G]_{global} = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

이 중 흡수에 의해 손실되는 파워는 식(8)과 같이 인접한 영역에서 전달되는 파워는 연성행렬 J (Joint matrix)를 통해 식(9)와 같이 표현할 수 있다. ⁽²⁾ 이를 이용하여 각 경계에 배치된 가상소스의 크기를 구하면 식 (11)과 같다.

$$\begin{cases} \phi_1 \\ \phi_2 \end{cases} = [[H]_{global} - [F]_{global} + [J][G]_{global}]^{-1} \left\{ - \begin{cases} q_1 \\ q_2 \end{cases}_{input} - [[H]_{global}^{in} - [F]_{global}^{in} + [J][G]_{global}^{in}] \begin{cases} \pi_1 \\ \pi_2 \end{cases} \right\} \quad (11)$$

최종적으로 구해진 가상소스를 식(4)에 대입하여 관찰지점의 에너지 밀도를 구할 수 있다.

2.3 해석 결과

인클로저의 내부와 인클로저를 투과하여 방사되는 외부음장을 해석하기 위하여 Figure 1. 과 같은 모델을 사용하였다. 주파수는 1000Hz 에서 해석을 수행하였으며 이 때 도어, 창, steel 패널의 투과 손실은 각각 10dB, 20dB, 40dB 로 가정하였다. 해석 결과는 Figure 2.와 같으며 각 구성요소 별로 다른 투과손실의 영향을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

3. 결론

에너지흐름경계요소법의 간접기법을 이용하여 다영역해석기법을 연구하였다. 그리고 이를 인클로저에 적용하였으며 해석 결과의 유효성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 동남광역경제권 선도산업 육성사업의 지원 하에 이루어졌습니다.

참고문헌

- (1) Suk-Yoon Hong, Hyun-Wung Kwon and Jong-Do Kim, 2007, Car Interior and Exterior Multi-domain Noise Analysis using Energy Flow Analysis (EFA) Software, NASEFAC++, Proceedings of SAE international, 2007-01-2174.
- (2) Jong-Do Kim, Suk-Yoon Hong and Jee-Hun Song, 2011, Development of Power Flow Boundary Element Method for 3-dimensional Multi-domain Noise Analysis, KSNVE, vol.21, no.10, pp.967~974.
- (3) Hyun-Wung Kwon, 2004, Development of PFBEM indirect method for the analysis of radiating noise problems, PhD Thesis, Seoul National University

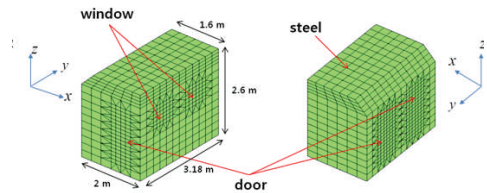


Figure 1. Analysis model of enclosure

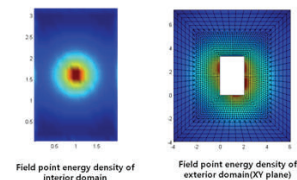


Figure 2. Acoustic energy density (Field point)