

음원을 둘러싼 인클로저 개구부를 통해 전파되는 소음의 능동 제어

Active Control of Propagated Noise through Opening of Enclosures Surrounding a Noise Source

이 한 울* · 홍 진 숙† · 정 의 봉**

Hanwool Lee, Chinsuk Hong and Weuibong Jeong

(Received December 5, 2013 ; Revised March 19, 2015 ; Accepted March 26, 2015)

Key Words : Active Noise Control(능동소음 제어), Feedforward Control(피드포워드 제어), Enclosure(인클로저), Position Optimization(위치 최적화), Noise Attenuation(소음 감소치)

ABSTRACT

Enclosures are widely used to alleviate the contribution of machinery noise. It has been long concerned with the noise transmission through the access openings of the enclosures. In this study, we investigate active noise control technology for reduction of the transmission. A numerical model based on the acoustic boundary element method is first established. Using the numerical model, the acoustic transfer functions of the field points over the opening to the primary source at arbitrary locations are estimated. The feedforward control to minimize the acoustic power through the opening is then numerically implemented. The controller drives the secondary source to destructively interfere the noise transmission through the opening. Finally, a parametric study is conducted to evaluate the effects of the location and the number of the microphones on the control performance. Furthermore, the effects of the location of the secondary source on the performance of active noise control are investigated. It is followed that the control system implemented in this study leads to a significant reduction of about 31.5 dB in the sound power through the opening using only one secondary source located at the optimized position.

1. 서 론

생활수준이 개선됨에 따라 소음으로부터 벗어나 보다 쾌적한 환경에서 생활하고자 하는 욕구가 증대되고 있으며, 생활 소음감소에 대한 필요성이 부각되는 동시에 산업 현장에서도 소음감소를 통해 근로 환경 개선의 중요성이 증대되고 있다.

산업현장에서 이용되는 기계의 작동 시 발생하는 소음을 감소시키기 위해 기계 구조물 주위에 인클로저(enclosure)를 설치한다. 이러한 인클로저의 설계에 관한 연구는 활발하게 이루어져 왔다.

Yoon⁽¹⁾은 인클로저의 소음감소 효과를 이론적 자료에 근거한 계산치와 비교 분석하였고, 이론치에 비해 평균 8.2 dBA 낮은 효과를 나타낸다고 제시하였다. Cho⁽²⁾는 인클로저를 설계 제작하여 생

† Corresponding Author; Member, School of Mechanical Engineering, Ulsan College

E-mail : cshong@uc.ac.kr

Tel : +82-52-279-3134, Fax : +82-52-279-3137

* School of Mechanical Engineering, Pusan National University

** Member, School of Mechanical Engineering, Pusan National University

‡ Recommended by Editor Hyung Jo Jung

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

산 공장에서의 주 소음원인 송풍기의 소음을 24.4 dBA 감소시켰다. 이를 통해 인클로저가 산업현장의 기계류 소음 방사를 차단하는데 효과적이라 알려졌다.

그런데 실제의 인클로저는 작업자의 접근을 용이하게 하기 위하여 부분적인 개구부를 갖고 있다. 이러한 개구부는 내부 소음을 외부로 유출시키는 주요 통로가 되므로 일반적으로 개구부에 개폐형 도어를 설치한다. 작업 시 이를 열고 닫으며 인클로저 외부에서 개구부를 통해 기계에 접근하여 필요한 작업을 수행한다. 하지만 작업을 위해 개구부 문을 열면 내부 소음이 외부로 유출될 뿐만 아니라 도어의 개폐로 인한 번거로움으로 작업 능률이 떨어질 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 문제가 되는 개폐형 도어를 설치하는 대신 센서와 음원을 개구부와 인클로저 내부에 각각 설치하여 능동소음제어 기법을 이용할 수 있다. 유사한 목적의 다양한 연구사례를 찾을 수 있다. 외부 소음의 실내 유입을 방지하기 위해 소음 전파 경로를 능동적으로 차단하여 내부 공간의 소음을 줄이는 능동소음 제어에 관한 연구가 활발하게 이루어져 왔다. Nam⁽⁴⁾은 적응필터의 수렴성을 증가시키기 위하여 다중채널 leaky LMS 알고리즘을 이용하여 능동방음벽을 구현하였고, Choi⁽⁵⁾는 다중채널 FXLMS 알고리즘을 사용하는 기법과 소음의 특성이 평면파에 가깝다는 가정 하에 제어용 스피커 수만큼의 단일채널 LMS 알고리즘을 사용하는 기법을 제시하였다.

또한, 능동소음 제어 시스템의 성능은 제어음원과 마이크로폰의 위치에 영향을 받으므로 이에 대한 연구 역시 활발하게 이루어져 왔다. Baek⁽⁶⁾은 유전자 알고리즘을 이용하여 밀폐된 실내 공간 내의 소음에 대한 최적 위치 선정에 관한 연구를 수행하였고, Nam⁽⁷⁾은 개구부를 통해 외부에서 실내로 유입되는 소음을 방지하기 위한 능동소음 제어 시스템의 스피커 및 마이크로폰의 위치 최적화를 수행하기 위해 시뮬레이티드 어닐링 기법(simulated annealing method)을 제안하였고, Im⁽⁸⁾은 능동방음벽의 성능 향상과 제어음원의 최적의 위치를 찾는 데 있어 시뮬레이티드 어닐링 기법과 순차적 탐색기법(sequential searching method)을 병행하여 사용하였다.

이 연구에서는 음원을 둘러싼 인클로저의 개구부

를 통해 외부로 전파되는 소음을 저감하기 위한 능동제어시스템을 설계하는 것을 목적으로 하고 있다. 음원은 산업현장에서 널리 사용되는 정밀가공기계, 용작기, 드릴링머신 등과 같이 작동 시 심각한 가공 소음이며 이에 대한 참조신호 획득이 가능하므로 제어는 피드포워드 소음 제어(feedforward noise control)를 기반으로 한다. 인클로저의 개구부는 산업기계에 접근하여 작업하기 위한 통로로서 개방상태로 두고 소음의 전파는 최소가 되도록 하여 작업장 생산성 향상을 기대한다. 궁극적으로 소음이 전파되는 경로인 음향인클로저의 개구부를 통해 전파되는 소음을 능동적으로 차단하기 위해 제어음원, 마이크로폰 및 제어기를 설계한다. 또한 제어음원과 마이크로폰은 위치에 따라 제어성능에 미치는 영향이 크기 때문에 위치 선정을 위해 연구하였다. 문헌에 의하면 위치 최적화가 가능하나 이 연구의 환경은 기존 연구와 달리 소음원이 인클로저 내부에 있으므로 최적화의 효율성이 크지 않다. 따라서 제어음원 및 마이크로폰이 설치 가능한 후보 위치들 중에서 가장 우수한 성능을 보이는 위치를 선정하고 최종적으로 제어 성능을 예측하였다.

2. 연구 대상 인클로저 구조물 및 음향 특성

Fig. 1은 이 연구에서 제시하는 능동소음 제어 기술을 적용할 인클로저 구조의 개략도이다. 외형은 직육면체이고, 제원은 임의로 580 mm×480 mm×1000 mm로 선정하였다. 정면에 작업을 위해 사각창 형태의 개구부가 있다. 개구부의 제원은 400 mm×300 mm이다. 이 절에서는 연구 대상 인클로저의 음향 특성을 분석하여 능동소음 제어를 위한 기초 자료를 획득한다.

인클로저의 음향 특성을 분석하기 위하여 Fig. 1에서 보인 인클로저 구조물을 Fig. 2와 같이 경계요소로 모델링하였다. Fig. 2에 표시된 54개의 점은 인클로저 내부에 150 mm 간격으로 설정한 음원의 후보 위치를 나타낸다. Fig. 3에는 개구부에 100개의 점으로 설정한 필드 포인트를 나타낸다. 이 연구에서 구현하고자 하는 능동소음 제어 시스템은 소음원과 개구부 사이의 전달함수를 필요로 한다.

이를 확보하기 위해 상용 소프트웨어인 LMS/SYSNOISE Indirect Solver를 이용하여 Fig. 2의 경계

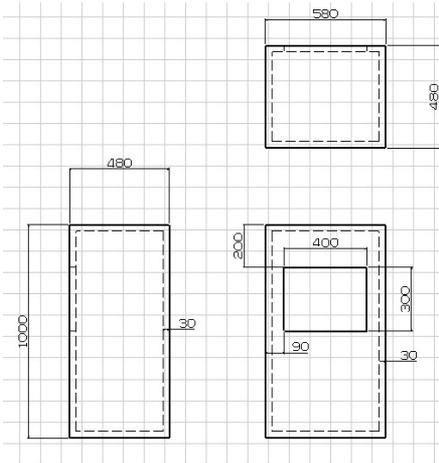


Fig. 1 Schematic of the enclosure under the study

요소모델에서 보인 54점의 음원과 개구부에 정의된 100점의 필드포인트 사이의 전달함수를 구하였다. 이 절에서는 Fig. 2에서 보인 모델을 이용하여 하나의 소음원에 의해 개구부로 방사되는 파워를 해석하여 인클로저의 음향 특성을 보이고자 한다. 해석은 5 Hz 간격으로 5~1000 Hz까지 수행하였다. 음원은 모노폴로 정의하였고, 위치는 Fig. 4에서 보인바와 같다. 주파수 특성은 백색소음으로 정의하였으며, 벽면은 진동과 음향 투과가 없는 강체로 가정하였다. 개구부를 통해 방사되는 음향 파워는 Fig. 5는 해석 결과를 보여주고 있다. 그래프를 보면 1000 Hz 이내에 10개 이상의 피크가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 각 피크의 주파수와 음향 파워 값을 Table 1에 나타내었다.

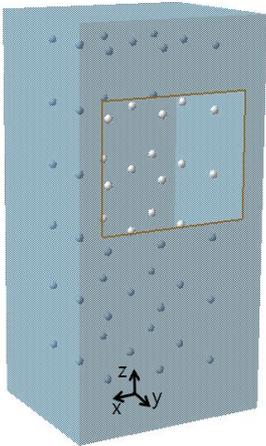


Fig. 2 Acoustic boundary element model for the enclosure with an opening. The solid dots denote candidate locations of the acoustic sources placed in the enclosure

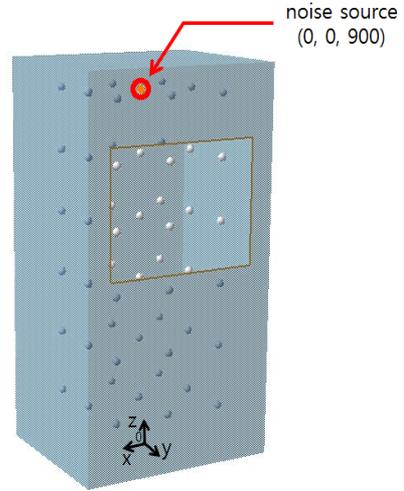


Fig. 4 Position of the primary noise source in the enclosure, (0,0,900)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Fig. 3 Field point mesh established over the opening of the enclosure

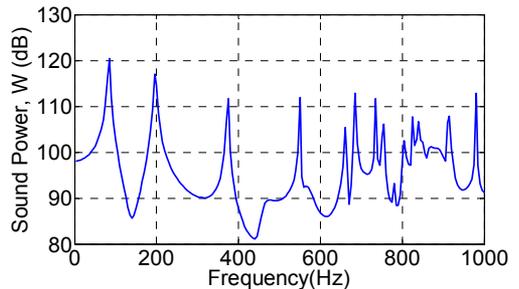


Fig. 5 Uncontrolled sound power radiated through the openings in dB ref. 10^{-12} W

Table 1 Sound power levels in dB ref. 10^{-12} W at peaks for uncontrolled case

Freq. [Hz]	Sound power [dB]	Freq. [Hz]	Sound power [dB]
85	120.3	735	111.7
195	117.0	755	106.1
375	111.7	825	107.7
550	111.9	840	106.7
660	105.4	915	107.9
685	112.8	980	112.9

3. 인클로저 투과 소음 저감을 위한 능동소음 제어

3.1 Feedforward 제어 기법을 이용한 음향 파워의 최적화

음원을 둘러싼 인클로저의 개구부를 통해 외부로 투과되는 소음을 저감하기 위한 전체적인 시스템을 Fig. 6에 나타내었다. 인클로저 내부에 소음원과 제어 음원이 존재한다고 가정하였다. 그리고 인클로저의 개구부 상에 필드포인트를 설정한 후, 그 중 임의의 위치에 마이크론이 있다고 가정하였다. 소음 저감을 위한 피드포워드 제어 시스템은 Fig. 7과 같이 블록다이어그램으로 나타낼 수 있다.

이때, 마이크론에서 측정되는 음압은 식 (1)과 같이 기존 소음원에 의한 음압과 제어 음원에 의한 음압의 합으로 정의된다.

$$p = p_p + p_s \tag{1}$$

여기서 p_p 는 소음원에 의한 마이크론의 음압이며, p_s 는 제어 음원에 의한 마이크론의 음압이다.

또한, 제어 음원에 의한 마이크론의 음압은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_s = H_s q_s \tag{2}$$

여기서, q_s 는 제어 음원의 강도이고, H_s 는 제어 음원과 필드포인트 중에서 제어를 위해 사용되는 센서 마이크론 위치에서 음압 사이의 전달함수이다.

이 때, 마이크론에서 구한 음압을 이용하여 식 (3)과 같이 목적함수를 구할 수 있다.

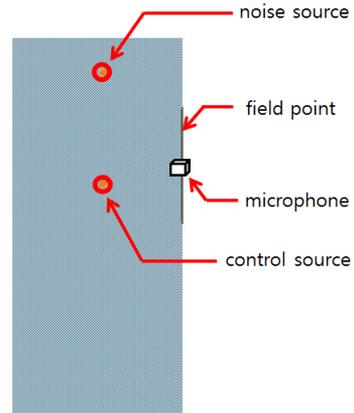


Fig. 6 Schematic of the active feedforward control system for enclosures with access openings

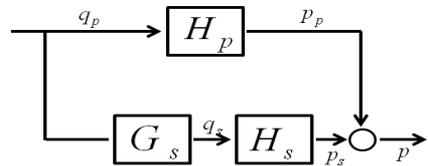


Fig. 7 Block diagram for active feed-forward control

$$J = p^H M p \tag{3}$$

(단, $M = \frac{A}{\rho c}$)

여기서 A는 필드포인트의 면적 행렬을 나타내며, ρ 는 공기의 밀도, c 는 공기의 음속을 나타낸다.

식 (3)에 식 (2)를 대입하여 이를 전개하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = p_p^H M p_p + q_s^H H_s^H M p_p + p_p^H M H_s q_s^H + q_s^H H_s^H M H_s q_s^H \tag{4}$$

식 (4)를 목적함수로 두고, 이를 최소화하기 위해서 식 (5)와 식 (6)을 만족하는 하여야 한다.

$$\frac{\partial J}{\partial \text{Re}(q_s)} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial J}{\partial \text{Im}(q_s)} = 0 \tag{6}$$

식 (5)와 식 (6)을 만족시키는 제어 음원 강도 q_s 는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_s = -(H_s^H M H_s)^{-1} H_s^H M H_p q_p \tag{7}$$

식 (4)에 식 (7)을 대입하면, 최소화된 목적함수를 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$J_{\min} = (p_p + H_s q_s)^H M (p_p + H_s q_s) \tag{8}$$

이 때, 식 (7)은 목적함수인 필드포인트 상에 설치된 각각의 마이크로폰의 음압의 제곱의 합이 최소가 되도록 하는 제어 소스의 강도를 말한다. 그리고 식 (8)은 앞서 구한 제어 음원을 발생시켰을 때, 필드포인트 전체의 음향 파워를 나타낸다.

한편, 제어 전·후의 음향 파워의 dB 값의 차이, 즉 소음 감소치는 식 (9)로 정의될 수 있다.

$$\text{Attenuation(dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{J_{\min}}{J_{\text{ref}}} \right) \tag{9}$$

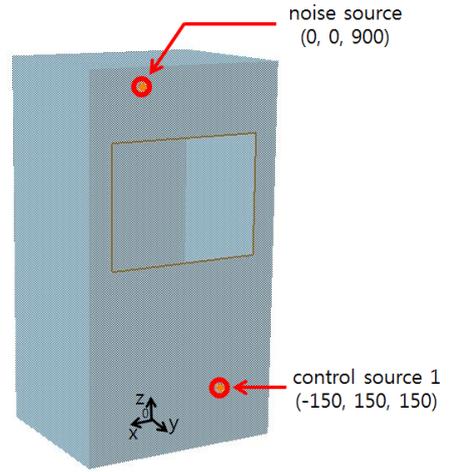
여기서 J_{ref} 는 제어 전의 음향 파워로 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$J_{\text{ref}} = p_p^H M p_p \tag{10}$$

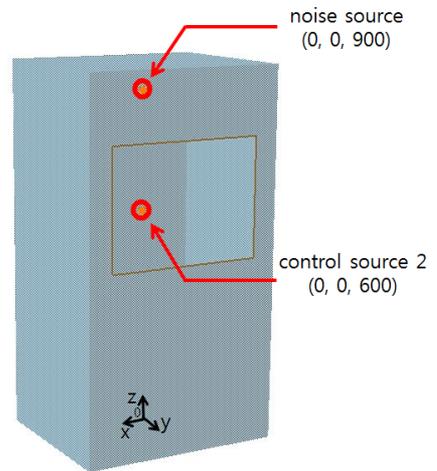
3.2 제어 음원의 위치가 제어 성능에 미치는 영향

이 절에서는 제어 음원의 위치가 제어 성능에 미치는 영향을 검토한다. 이를 위하여 Fig. 8과 같이 제어 음원의 위치를 달리한 두 가지 경우에 대하여 피드포워드 제어를 수행하였다. 이 때, 시뮬레이션에서 Fig. 3에서 언급한 필드포인트 상의 100점의 여러 마이크로폰을 모두 고려하여 구한 음향 파워를 최소화하는 제어를 수행하였다. 인클로저 내에 소음원과 제어 음원의 수는 각각 1개로 설정하였다.

Fig. 8의 (a), (b)와 같이 소음원을 (0, 0, 900)에 위치시키고, 제어 음원을 다르게 위치시킨 2가지 경우에 대해 피드포워드 제어를 수행하여 그 결과를 비교해 보았다. 피드포워드 해석을 통한 제어 음원의 위치에 따른 필드포인트 상의 음향 파워를 Fig. 9에 나타내었고, 제어 전 대비 음향 파워의 감소치를 Fig. 10에 나타내었다. 각각의 그래프를 보면, 제어 음원의 위치에 따라 주파수 별 제어 성능이 크게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이 같은 제어 성능의 차이는 제어 음원의 위치가 공진주파수 별 공진



(a) Control source 1



(b) Control source 2

Fig. 8 Position of a noise and a control source to examine the effect of the position of a control source

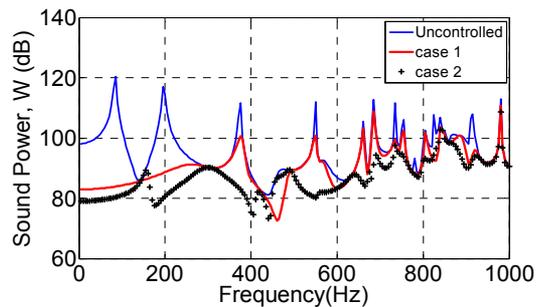


Fig. 9 Variation of the sound power with the 2 cases of the placement of the control source

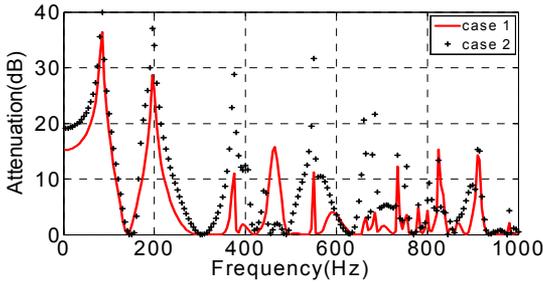


Fig. 10 Variation of the attenuation with the 2 cases of the placement of control source

모드와 연성의 차이가 나기 때문이다. 이를 통해 피드포워드 제어를 수행하는데 있어서 제어 음원의 위치가 중요하게 고려되어야 하는 사항임을 확인하였고, 제어 목적에 맞는 제어 음원의 위치를 선정함으로써 제어 성능을 증대시킬 수 있다고 예상되었다. 제어 음원의 위치는 실제상황에서 제어음원을 설치할 수 있는 공간에 후보위치를 설정하고 이들 중 제어 성능이 우수한 위치를 선정하였다.

3.3 에러 마이크로폰의 배치가 제어 성능에 미치는 영향

이 연구에서는 필드포인트 상에 제한된 수의 에러 마이크로폰을 배치시키고, 피드포워드 제어를 통해 앞서 배치시킨 마이크로폰만을 고려하여 구한 음향 파워가 최소가 되도록 하는 제어 신호를 생성하였다. 이 때, Fig. 3에 언급한 개구부 상에 필드포인트 100점을 통해 얻은 음향 파워를 제어 성능으로 평가한다. 하지만 이 방법은 피드포워드 제어를 수행하는 목적함수와 제어 성능을 평가하는 음향 파워 사이에 차이가 나는 문제가 발생하게 된다. 이 문제는 앞서 언급한 것처럼 필드포인트의 100점을 모두 에러 마이크로폰으로 고려하여 구한 음향 파워를 최소화하는 제어를 수행하면 해결될 수 있겠지만, 이는 현실적으로 제한이 있다. 따라서 이 절에서는 실용화할 때 필요로 하는 적응형 제어(adaptive control)를 고려하여 에러 마이크로폰의 배치가 제어 성능에 미치는 영향을 검토하였다.

에러 마이크로폰의 수와 위치를 Table 2와 같이 임의의 6가지 경우에 대해 피드포워드 제어를 실시하고, 각 경우에 대한 주파수별 제어 성능을 비교해 보았다. 이 때, 소음원과 제어 음원의 위치는 Fig. 11과

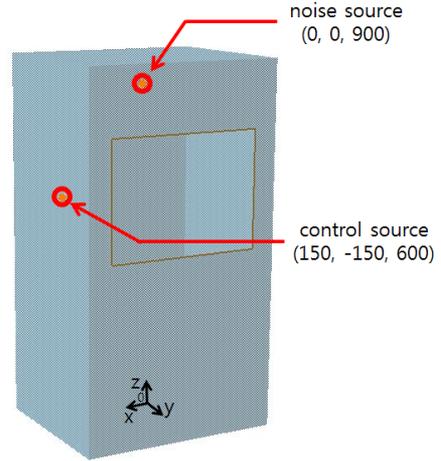


Fig. 11 Position of a noise and a control source to examine the effect of the placement of microphones

Table 2 6 cases of microphone locations for examining the effect of the placement of microphones. The location is denoted by the ID number of the field point mesh shown in Fig. 3

	Number of microphones	Location(s) of microphones
Case 1	1	10
Case 2	1	77
Case 3	2	10, 77
Case 4	2	77, 90
Case 5	3	10, 11, 80
Case 6	3	5, 71, 100

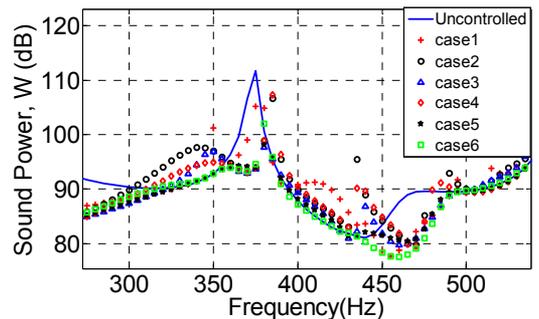


Fig. 12 Variation of the sound power with the 6 cases of the placement of error microphones

같이 배치시켰다. 각 경우에 대하여 식 (3)에서 정의된 목적함수가 최소가 되도록 하는 제어 음원을 생성시키고, 이 제어 음원과 원래의 소음원의 합에 의한 필드포인트 상의 음향 파워를 Fig. 12에 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 마이크론의 배치가 주파수 별 제어 성능에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 또한 피드포워드 제어를 수행했음에도 불구하고 필드포인트 상의 음향 파워가 증가하는 주파수가 있는 문제도 발생함을 확인할 수 있다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 피드포워드 제어를 통해 생성된 신호는 필드포인트 상의 배치된 여러 마이크론만을 고려한 음향 파워를 최소로 만들어 주는 신호이므로 해당 마이크론만을 고려한 음향 파워는 감소하지만, 필드 포인트 100점을 모두 고려한 음향 파워는 오히려 증가하게 할 수도 있다고 예측된다. 하지만 Fig. 11에서 보는 것과 같이 여러 마이크론의 수를 증가시켜 이러한 문제가 해결될 수 있다고 판단된다. 이를 통해 피드포워드 제어에 있어서 적절한 마이크론의 수와 위치의 선정이 제어 성능에 중요한 요인임을 확인하였다.

3.4 제어 음원과 여러 마이크론의 위치 선정 및 음향 파워의 능동 제어

지금 까지 제어 성능이 제어 음원의 위치와 여러 마이크론의 배치에 크게 영향을 받는 것을 확인하였다. 이 절에서는 인클로저 내부에 하나의 소음원이 존재하는 Fig. 4와 같은 모델에 대하여 제한된 마이크론을 이용하여 개구부를 통과하는 소음을 저감하기 위한 피드포워드 제어를 실시하였다. 이때, Table 1에서와 같이 1000 Hz 이내의 존재하는 여러 피크들 중 임의의 한 주파수인 375 Hz의 소음을 최대한 저감하기 위한 제어 음원의 위치와 마이크론의 배치를 선택하였다. 소음원과 제어 음원은 각각 1개로 가정하였고, 해석은 5~1000 Hz 범위 내에서 5 Hz 간격으로 실시하였다.

제어 음원을 선정하기 위해 Fig. 2와 같이 인클로저 내부에 150 mm 간격으로 설정된 54개의 제어 음원 후보를 두고, 각각의 제어 음원에 대해 피드포워드 해석을 반복적으로 수행하였다. 이 때, 피드포워드 제어는 필드포인트 상의 100점의 마이크론을 모두 제어한 경우를 수행하였으며, 375 Hz의 소음을 가장 많이 저감하는 제어 음원을 선택하였다.

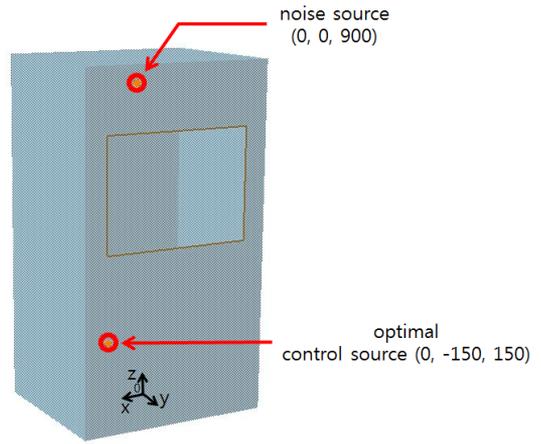


Fig. 13 Position of the noise source and the optimal control source

Table 5 Effect of the location of error microphones on the noise attenuation at 375 Hz with the optimally selected placement of the control speaker

Selected placement of control speaker	Number of microphone	Selected placement of microphone	Noise attenuation [dB]
(0, -150, 150)	1	80	32.4
	2	23, 79	32.5
	3	21, 22, 72	32.5

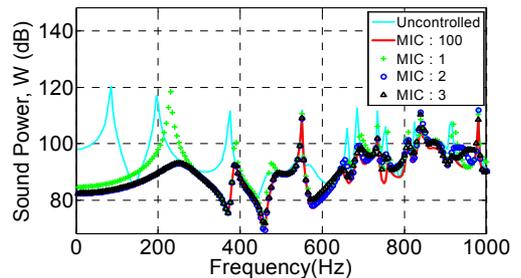


Fig. 14 Effect of the location of error microphones on the sound power with the optimally selected placement of the control speaker

반복 계산을 통해 선정된 제어 음원의 위치는 (0, -150, 150)이며, 이를 Fig. 13에 나타내었다.

다음으로 피드포워드 제어를 위한 여러 마이크론의 수를 1~3개로 바꾸어 가며, 저감하고자 하는 주파수(375 Hz)에 대해 제어 성능이 가장 뛰어난 마

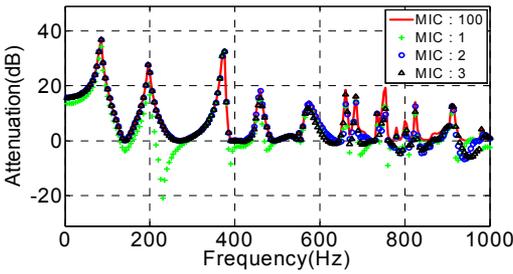


Fig. 15 Effect of the location of error microphones on the attenuation with the optimally selected placement of the control speaker

이 마이크로폰의 배치를 선정하였다. Table 5는 앞서 구한 제어 음원을 사용할 경우 마이크로폰의 수 별로 가장 우수한 성능을 보이는 마이크로폰의 위치와 그 제어 성능을 나타낸 것이다. 이 때, 주파수별 음향 파워를 Fig. 14에 나타내었고, 제어 전 대비 음향 파워의 감소치를 Fig. 15에 나타내었다. 제어를 위한 여러 마이크로폰 1개를 사용할 경우, 마이크로폰의 위치를 필드포인트 상의 80 노드에 위치시키면 375 Hz의 소음에 대하여 32.4 dB 저감을 할 수 있음을 확인하였다. 그리고 2개를 사용할 경우 23, 79 노드에 위치시키면 32.5 dB 저감할 수 있으며, 3개를 사용할 경우 21, 22, 72 노드에 위치시키면 32.5 dB 저감할 수 있는 것을 확인하였다. 이를 통하여 단일 주파수에 대해서는 마이크로폰의 수에 상관없이 배치만 적절히 한다면 동일한 제어 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 반면 Fig. 15에서 보는 바와 같이 마이크로폰의 수가 적으면 저감하고자 하는 주파수 외의 다른 주파수의 소음이 오히려 증가하는 문제가 발생한다. 이러한 문제는 마이크로폰의 수를 적절히 증가시키면 해결될 것으로 예측할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 소음원을 둘러싼 인클로저의 개구부를 통해 외부로 투과되는 소음을 저감하기 위하여 능동적인 방법으로 음향 파워의 저감을 수행하였다. 우선 임의의 위치에 하나의 소음원이 존재할 때, 주파수별 음향 파워를 구하였다. 그 중 음향 파워가 높은 하나의 주파수를 선정하여 피드포워드 해석을 수행하였다. 이 때, 제어 음원의 수는 소음원과 마찬가지로 1개로 가정하였고, 제어를 위한 마이크로

폰의 수를 1개~3개로 바꾸어 가며 각각의 경우에 대하여 가장 우수한 성능을 보이는 마이크로폰의 위치를 선정하고 제어 성능을 비교하였다. 이 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 능동소음 제어의 성능에 있어서 제어 음원의 위치와 마이크로폰의 배치의 중요성을 확인하였다. 제어 음원의 위치와 마이크로폰의 배치에 따라 제어 전과 후의 음향 파워의 감소의 차이가 큰 것을 확인하였다.

(2) 제어를 목표로 하는 주파수의 소음을 가장 많이 저감할 수 있는 제어 음원의 위치를 선정하였다. 이 때 제어 음원과 마이크로폰의 수를 각각 1~3개로 정의하였으며, 이러한 방법을 통하여 최종적으로 해당 주파수의 음향 파워는 32.5 dB 정도까지 저감할 수 있는 것을 확인하였다. 또한 음향 파워를 추정하는 마이크로폰의 수에 따라 제어 성능을 살펴본 결과, 이 연구에서 설정한 관심 주파수인 375 Hz에 대한 제어에서는 마이크로폰의 수의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있었다. 그리고 넓은 주파수 영역을 관찰한 결과, 제어대상 주파수가 달라질 경우 주파수 별 마이크로폰의 위치와 개수에 대하여 재선정 과정이 필요한 것으로 확인하였다.

이 연구는 내부의 구조물이 없는 인클로저를 대상으로 시뮬레이션을 통해 제어 음원 및 마이크로폰의 위치를 선정한 후, 그 성능을 예측하였다. 이를 통해 음향인클로저를 가진 산업기계의 작업구를 상시 개방해 둘 수 있어 작업성이 향상될 수 있을 것으로 기대한다. 향후 실험을 통해 그 결과를 검증하고, 인클로저 내부에 소음원 구조물이 존재하는 경우에 대해서도 같은 절차를 적용해 볼 예정이다.

후 기

이 논문은 2013년 울산과학대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행됨.

References

(1) Yoon, S. C. and Lee, H. K., 1994, A Study on Sound Attenuation of Plant Noise by Enclosure, Journal

of Korean Institute of Industrial Safety, Vol. 9, No. 4, pp. 119~124.

(2) Cho, T. J., 2008, The Noise Reduction of Industrial due to Close Type Enclosure, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 17, No. 3, pp. 128~133.

(3) Kuo, S. M. and Morgan, D., 1996, Active Noise Control System, John Wiley and Sons. Inc, New York.

(4) Nam, H. D. and Seo, S. D., 2003, Implementation of Active Noise Barriers Using Multiple Channel LMS Algorithms, Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 147~153.

(5) Choi, Y. H., Choi, J. I., Kim, D. S., Nam, H. D. and Shim, J. S., 2010, Active Noise Barrier Using Adaptive Filters, Information and Control Symposium, pp. 217~218.

(6) Baek, K. H. and Elliott, S. J., 1995, Natural Algorithms For Choosing Source Locations In Active Control Systems, Journal of Sound and Vibration, Vol. 186, No. 2, pp. 245~267.

(7) Nam, H. D. and Lee, H. W., 2004, Optimal Position Selection of Microphones and Speakers in Adaptive Noise Control System, Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, Vol. 18, No. 1, pp. 90~97.

(8) Im, H. J. and Beak, K. H., 2004, A Study on the Performance of Optimization Techniques on the Selection of Control Source Positions in an Active Noise Barrier System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, pp. 1012~1015.



Hanwool Lee received B.S. and M.S. degrees from Pusan National University in 2009 and 2011. He is Ph.D. student of the School of Mechanical Engineering in Pusan National University. His research interests are in the area of active

noise control.



Chinsuk Hong received B.S. in mechanical engineering and an M.S. in dynamic and vibration from Youngnam University, Korea, in 1988 and 1991, respectively. He worked for the Naval System Development center in Agency

Defense Development(ADD), Korea, for 12 years from 1991. He then joined the Institute of Sound and Vibration Research(ISVR), University of Southampton, UK, in 2003, to pursue his Ph.D. He received the Ph.D in sound and vibration, in 2005. He was then with ISVR as a research fellow until 2006. After 3 years research work at Pusan National University, Korea, from 2006, he is now with Naval Architecture and Ocean Engineering, Ulsan College from 2009. His research interests include active noise and vibration control, flow-induced noise and under-water shock response analysis.



Weui-Bong Jeong is received B.S. and M.S. degrees from Seoul National University in 1978 and from KAIST in 1980, respectively. He then received his Ph.D. degree from Tokyo Institute of Technology in 1990. Dr. Jeong is currently a

professor at the department of mechanical engineering at Pusan National University in Busan, Korea. His research interests are in the area of the measurement and signal processing, finite/boundary element analysis of noise and vibration, fluid-structure interactions and acoustics-structure interactions.