

# 개구부를 가지는 실내의 능동소음제어시스템의 최적 트랜스듀서 위치 Optimal Transducer Positions of an Active Noise Control System with an Opening in an Enclosure

백 광 현<sup>†</sup>

Kwang-Hyun Baik

(2003년 12월 9일 접수 : 2003년 12월 26일 심사완료)

**Key Words** : Active Noise Control(능동소음제어), Opening(개구부), Optimal Position(최적위치), Transducer(트랜스듀서)

## ABSTRACT

Optimal transducer positions are important as much as the control algorithms and hardware performance in the active noise control system. This study is similar to the past researches on the optimal transducer locations but with a far field noise source having a plane wave characteristic and the noise coming through an opening such as a window in an enclosure. Optimization techniques are used to find sets of optimal loudspeaker positions from a larger possible loudspeaker positions. Loudspeakers are placed on the surface of opening at the wall and inside of the enclosure. Using the measured acoustic transfer impedances and numerical simulations with the optimization technique, optimal positions are identified and compared. When a small number of loudspeakers are used, loudspeaker positions on the opening near the center seems to be the best place, but when a larger number of loudspeakers are used it was difficult to find simple patterns in the optimal positions. With the optimally positioned loudspeakers, optimal microphone positions are also studied.

## 1. 서론

능동소음제어시스템에 영향을 미치는 요소에는 여러 가지가 있을 수 있다. 트랜스듀서들의 위치는 그 중의 하나이며 본 논문에서 다루고자 하는 부분이기도 하다. 본 연구에서 시도한 연구과정은 과거에 이미 행해진 연구들과<sup>(1)</sup> 매우 유사하나 본 연구의 경우 주소음원이 창문등과 같은 개구부를 가지는 실내 공간에서 멀리 떨어진 곳에 위치한 경우이다. 따라서 주소음원에 의한 음장은 개구부를 통과 할 때 평면파의 특성을 가진다고 가정하여도 크게 지장이 없는

경우이다.

본 연구의 주 목적은 이러한 평면파적인 특성을 가지는 주소음원이 개구부를 통하여 실내에 음장을 형성할 때 능동소음제어시스템에 의하여 어떻게 효과적으로 억제하는가에 있다. 본 연구에서는 스피커의 위치를, 실내 벽면의 모서리 진 여러 곳을 따라서 배치하는 통상적인 배치방법뿐 아니라 개구부 표면에도 배치하여 그 최적 위치를 파악하고 얼마나 효과적인가를 중점적으로 알아보았다. 약 2평 정도 크기의 모형 실내공간에 창문을 내고 외부에서 가능한 한 평면파에 가까운 형태로 주소음이 진입하게 하였으며, 정해진 위치의 마이크로폰과 제어 스피커 위치 사이의 음향전달 특성을 미리 측정하였다. 이러한 데이터를 이용하여 개구부의 많은 가능한 위치 중에서 어떤 위치가 가장 효율적인가를 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, 단국대학교

E-mail : khbaek@dku.edu

Tel : (02) 709-2563, Fax : (02) 709-2569

알아보았다. 계산시간의 최소화와 효율성을 위하여 simulated annealing 기법<sup>(2)</sup>과 전수조사법(exhaustive searching)<sup>(3)</sup>을 함께 사용하여 최적의 위치를 알아보았다. 또한 이렇게 찾아진 적정한 위치에 스피커를 고정시키고, 어떤 마이크로폰 위치가 적은 수로도 보다 넓은 범위에서 소음제어를 가능하게 하는지 그 위치를 찾아 비교 분석하였다.

## 2. 시스템의 모델링

Nelson과 Elliott<sup>(4)</sup>이 능동소음제어시스템에 대한 수식화 과정에 사용한 기술을 따라서 본 연구에서도 시스템에 대한 모델링이 이루어졌다. 실내공간에 형성된 단일 주파수 성분의 음장을 제어하기 위해  $L$ 개의 마이크로폰과  $M$ 개의 스피커로 구성된 능동소음제어시스템을 가정하자. 다음의 수식들에서 진한 소문자는 복소벡터량, 진한 대문자는 복소행렬을 나타낸다. 마이크로폰에서의 음압은 Fig. 1과 같이 주 소음원에 의한 음압과 2차 음원(제어 신호)에 의한 음압의 합으로 나타낼 수 있다.

Fig. 1의 그림을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_p + \mathbf{Z}\mathbf{q}_s \quad (1)$$

여기서  $\mathbf{P}$ 는  $L \times 1$ 복소 전체 음압,  $\mathbf{P}_p$ 는 소음원에 의한  $L \times 1$ 복소 음압,  $\mathbf{Z}$ 는  $L \times M$ 복소 음향 전달임피던스 행렬,  $\mathbf{q}_s$ 는 2차 소스(제어 음원)의 복소 음압의 세기를 나타낸다. 일반적으로 마이크로폰의 수를 스피커의 수보다 많이 사용하게 되며, 이 때 오차압력신호의 절대값의 제곱을  $J$ 라 할 때, 식 (1)에 적용된 결과는 다음과 같다.

$$J = [\mathbf{q}_s^H \mathbf{Z}^H \mathbf{Z} \mathbf{q}_s + \mathbf{q}_s^H \mathbf{Z}^H \mathbf{p}_p + \mathbf{p}_p^H \mathbf{Z} \mathbf{q}_s + \mathbf{p}_p^H \mathbf{p}_p] \quad (2)$$

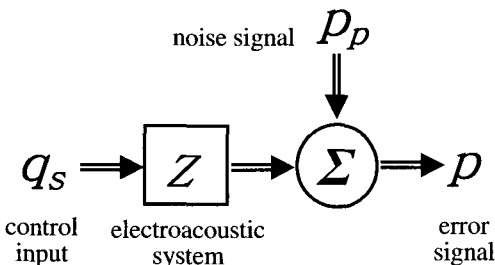


Fig. 1 Block diagram for an ANC system

식 (2)는 일반적 Hermitian제곱 형태이며  $\mathbf{Z}^H \mathbf{Z}$ 은 양의 정부호이므로  $J$ 는 제어 음원의 신호가 다음과 같을 때 최소값을 갖는다.<sup>(5)</sup>

$$\mathbf{q}_{opt} = -[\mathbf{Z}^H \mathbf{Z}]^{-1} \mathbf{Z}^H \mathbf{p}_p \quad (3)$$

이 때의  $J$ 의 최소값은 다음과 같이 주어진다.

$$J_{min} = \mathbf{p}_p^H [\mathbf{I} - \mathbf{Z}(\mathbf{Z}^H \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^H] \mathbf{p}_p \quad (4)$$

능동제어가 이루어지지 않을 때의  $J$ 값은  $\mathbf{P}_p^H \mathbf{P}_p$ 이므로  $\mathbf{Z}$ 와  $\mathbf{P}_p$ 만 주어지면 그 시스템에서 얻을 수 있는 최대한의 소음감소치는 다음의 식으로부터 계산되어질 수 있다.

$$\text{Attenuation [dB]} = 10 \log_{10} \left( \frac{\mathbf{P}_p^H \mathbf{P}_p}{\mathbf{P}_p^H [\mathbf{I} - \mathbf{Z}(\mathbf{Z}^H \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^H] \mathbf{P}_p} \right) \quad (5)$$

또한 control effort라 불리는 제어 신호의 제곱 값의 합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{q}_{opt}^H \mathbf{q}_{opt} = \mathbf{p}_p^H \mathbf{Z} [\mathbf{Z}^H \mathbf{Z}]^{-2} \mathbf{Z}^H \mathbf{p}_p \quad (6)$$

## 3. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

### 3.1 최적 스피커위치

Fig. 2에 보인 것과 같이 실내 공간(2.1 m × 2.1 m × 3.4 m)에 스피커와 마이크로폰을 설치하고  $\mathbf{Z}$

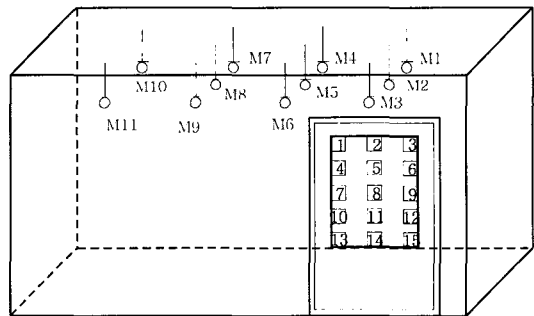


Fig. 2 Loudspeaker positions on the opening and microphone positions inside the enclosure

**Table 1** Attenuations and control efforts obtained with the loudspeakers on the window

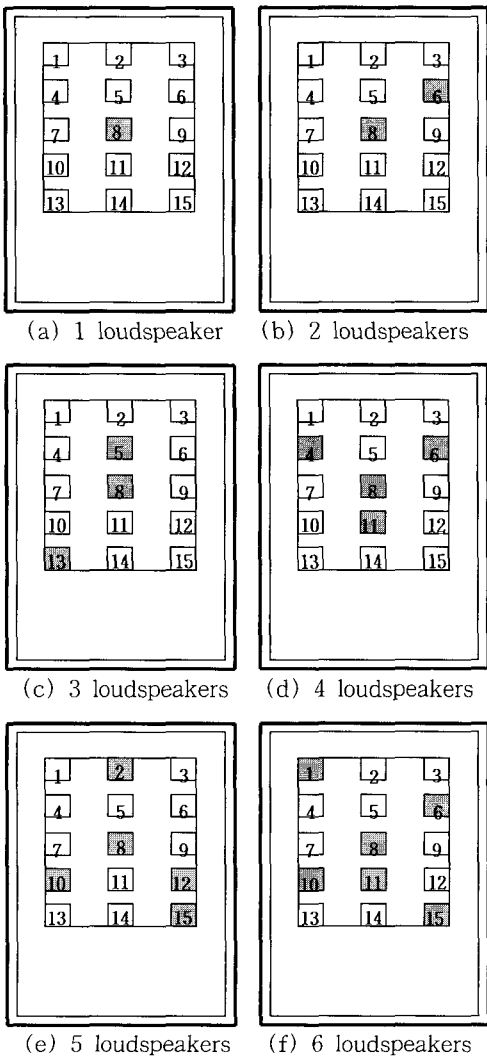
Number of loudspeakers used	Attenuation [dB]	Control Effort
1	7.58	1.98
2	9.84	1.62
3	12.25	2.71
4	16.15	29.89
5	20.47	33.58
6	21.74	21.83
7	24.30	146.09
8	31.64	150.70

행렬을 측정하였다. 마이크로폰은 약 160 cm의 높이의 11 곳에 설치하였으며 스피커는 개구부를 5 × 3으로 균등 배분한 프레임 안에 가능한 균일하게 배치하였다. 192 Hz 순음의 소음을 실외에 설치된 스피커에서 발생시키고 음파 가이드를 통하여 개구부로 유입되도록 하여 가능한 한 평면파적인 특성을 갖도록 하였다.

주어진 스피커와 마이크의 위치에서  $Z$ 와  $P_p$ 가 측정되면, 모든 임의의 수의 스피커 조합에 대하여서도 능동소음제어시스템이 발휘할 수 있는 소음감소치를 계산해 낼 수 있다. Fig. 2에서 보인 예의 경우에는 총 15개의 스피커 중 7 개 또는 8개의 최적의 스피커 위치를 찾는 문제가 탐색공간의 크기에 있어서 가장 큰 문제이나 그 크기는  ${}_{15}C_7 = 6435$ 이므로 모든 경우에 대한 조사가 가능하다. 그러나 모집단이 되는 스피커의 후보 위치가 두 배로만 커져도 총 조합의 수는 기하급수적으로 늘어나 전수 조사는 불가능해지며 통상적인 최적화기법으로는 전역 최적치를 구하기가 매우 어려워진다. 이 경우 simulated annealing기법 등이 매우 유용하게 사용될 수 있다.<sup>(6, 7)</sup>

Table 1은 사용된 스피커의 수에 따른 최적의 스피커 위치에서 얻어진 소음감소치와 이 때 필요한 제어 입력신호의 파워 값을 보여주고 있다. 당연히 스피커의 수가 많아질수록 더 좋은 결과를 보여주고 있으며 스피커의 수가 6개가 될 때까지는 소음감소 레벨이 약 22 dB정도에 수렴하는 듯하다가 다시 급격히 증가되는 양상을 보여주고 있다. 이것은 총 마이크로폰의 수 11에 사용된 스피커의 수가 근접함에 따라 식 (3)에서 사용된 2차 소스의 최적 세기가 정방향 행렬의 역을 구하는 fully determined 경우의 해에 근접해지면서 발생하는 현상이다. 따라서 총 사용된 스피커수가 7개 이상인 경우는 그 결과에 의미를 부여하기 힘들다. 그 보다는 총 사용된 스피커수가 5개인 경우와 6개인 경우의 control effort를 비교해보면 소음감소레벨은 증가함에도 오히려 제어 입력신호 파워의 합은 줄어든 것을 알 수 있다. 이것은 찾아진 6개의 스피커 위치가 최적이며 강건함을 보여주는 증거의 하나로 볼 수 있다.

Fig. 3은 Table 1에 보인 결과 중 사용된 총 스피커의 수가 1~6개인 경우의 최적의 위치를 표시한 것이다. 1개가 사용된 경우 최적의 위치는 한 가운데 임을 보여주고 있는데 이것은 개구부를 통해 들어오



**Fig. 3** The best loudspeaker positions on the surface of the opening

는 소음의 음장 특성을 고려 할 때 매우 당연한 결과라 할 수 있다. 뒤집어 생각해 보면 외부의 스피커에 의해 생성된 소음이 개구부에 수직한 방향으로 비교적 잘 유도되어진 것을 나타낸다고 판단 할 수도 있다. 사용된 스피커의 수가 증가되어도 한 가운데에 위치한 8번 스피커는 항상 사용됨을 알 수 있다. 총 4개의 스피커가 사용된 경우를 보면 스피커의 배치가 비교적 중심에 대하여 대칭인 모양을 이루고 있음을 관찰할 수 있다. 5개 이상의 스피커가 사용된 경우에는 더 이상 중심부에 대칭인 간결한 배열 형태는 찾기가 힘들다.

Table 2에서는 제어스피커의 위치를 개구부의 표면이 아닌 실내 공간의 모서리를 따라서 균등 배치하고(Fig. 4의 스피커 번호 16번부터 45번 까지) 최적의 위치를 찾아낸 결과를 요약한 것이다. 통상적으로 제어스피커가 놓일 수 있는 총 30 곳의 후보 위치 중, 총 사용 스피커의 수를 1개에서부터 8개까지 늘려가며 전수조사법과 simulated annealing 기법을 혼용하여 찾아낸 결과이다. 이 경우 후보위치의 수가 개구부 표면에 배치하는 경우보다 두 배이어서 더 좋은 결과를 예상하였으나 오히려 결과는 그 반대이었다. 이것은 개구부에 진입하는 주소음원에 의한 음장의 평면파적인 특성을 고려할 할 때, 그 진입면에서의 스피커 배치가 주소음원에 의한 음장의 재현에 본질적으로 더 유사한 위치에 있기 때문이라고 추정된다. 한 가지 특이한 현상은 소음제어에 소요되는 파워의 경우 개구부 표면 배치의 경우 소요 control effort의 값이 10~30정도 이었으나 실내 배치의 경우에는 최대 3을 넘지 못하였다. 이것은 실내 배치의 경우 3~4 dB 정도 소음 저감 능력은 떨어지지만 소

요파워는 1/10 정도에 불과하므로 더 효율적이라고 볼 수도 있으나, 더이상의 스피커 파워입력도 소음 감소에 도움이 되지 못하는 한계의 위치라는 것을 의미하기도 한다. 개구부 배치 경우의 높은 control effort 값은 제어스피커들 간의 거리가 비교적 가까운 탓에 식 (3)의 역행렬 식이 특이점에 가까워지는 것에 기인한 것으로 판단된다. 이 경우 제어스피커들은 주소음원에 의한 음장 제어 뿐 아니라 제어스피커끼리 서로의 음장을 견제하여 소요되는 파워가 증가되는 양상을 보이게 된다.

Table 3에서는 Fig. 4에 보인 것과 같이 제어스피커의 위치를 개구부 표면과 실내 모두의 총 45 곳을 후보 위치로 하여 찾아낸 최적의 위치 결과이다. 전체적으로는 개구부면을 포함한 보다 많은 후보위치의 집단에서 찾아진 결과이므로 당연히 모든 경우에 대해 같거나 더 좋은 결과를 보이고 있다. Table 1과 비교해 볼 때 총 사용 스피커수가 5개 까지는 소음 감소 레벨에 큰 이득이 없어 보이나 소요되는 control effort의 값은 상당히 많이 줄어든 것을 알 수 있다. 실내에 배치된 스피커가 개구부에 배치된 스피커만의 조합에 보완적 역할을 한 것으로 판단된다. 반면에 총 6개 이상의 스피커가 사용된 경우에는 소음제어 레벨이 많이 향상되는 것을 볼 수 있다. 2개 또는 그 이상의 실내에 배치된 제어스피커가 순수하게 개구부에만 배치된 시스템에 비해 약 5 dB 이상의 성능 향상을 보이고 있다. 주목할만한 점은 Table 1의 모든 경우에 8번 스피커 위치가 항상 사용되었는데 Table 3에서는 총 스피커수가 1, 2, 6인 경우에만 사용된다는 것이다. 후보 위치가 많아졌기 때문이기도 하지만 시

Table 2 Attenuations and control efforts obtained with the loudspeakers inside the enclosure

Total No. of loudspeakers	Attenuation [dB]	Control Effort	Loudspeaker No. in use
1	2.64	0.64	30
2	5.46	0.82	18 30
3	9.02	1.01	17 18 30
4	12.79	1.78	30 32 33 45
5	15.58	2.86	17 29 30 32 45
6	18.97	2.65	17 25 29 30 32 45
7	24.24	2.10	16 18 27 29 30 32 44
8	34.02	2.37	16 18 25 26 29 30 31 44

Table 3 Attenuations and control efforts obtained with the loudspeakers on the window and inside of the enclosure

Total No. of loudspeakers	Attenuation [dB]	Control Effort	Loudspeaker No. in use
1	7.58	1.98	8
2	9.84	1.62	6 8
3	13.89	19.23	9 12 16
4	18.97	1.66	5 17 32 45
5	21.70	5.68	3 4 5 31 45
6	26.80	26.49	5 8 9 11 32 40
7	33.86	20.90	2 6 10 11 15 28 45
8	43.40	1.77	2 7 17 31 35 36 38 45

시스템의 비선형성을 나타내는 결과이기도하다. 총 사용 스피커수가 7, 8인 경우에는 소요파워의 값이 많이 줄어들었으며 특히 총 8개가 사용되는 경우에는 거의 1/100 수준으로 줄어들었다. 동시에 개구부의 스피커 위치가 주도적이 된 것이 실내 스피커 위치로 바뀌어서 8개중 2개만이 개구부에서 선택되었다. 이것은 제어 스피커의 수가 적절한 수 이상으로 사용될 수 있다면, 일반적인 실내 배치 스피커가 개구부에 배치된 소수의 주도적 역할을 하는 스피커에 보완적 역할을 상당히 효율적으로 하는 것으로 판단된다.

Fig. 4와 5에서는 Table 3의 결과 중 스피커수가 5, 6인 경우의 위치를 그림으로 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 둘 사이에는 5번 스피커 위치만이 공유되고 있다. 사용되는 스피커의 수가 5개 이상인 경우에는 전수조사대신 simulated annealing 최적화 기법을 적용하여 적은 수의 계산으로 찾아낸 결과이다. 따라서 5번 스피커만 중복되는 현상은 적용되는 최적화 기법의 오차에 기인한 것 일 수도 있다.

### 3.2 최적 마이크로폰 위치

최적의 마이크로폰 위치라 함은, 예를 들어 11개중 6개의 마이크로폰만 사용해야 하는 경우, 제어스피커

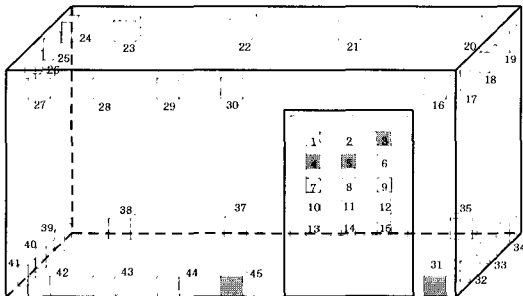


Fig. 4 The best 5 loudspeaker positions

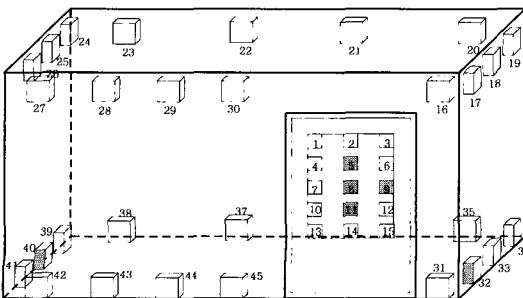


Fig. 5 The best 6 loudspeaker positions

에 입력되는 제어신호의 값은 선택된 6개의 마이크로폰을 기준으로 계산되어 입력되지만 소음감소레벨은 전체 11개의 마이크로폰 위치를 기준으로 평가 했을 때 좋은 결과를 주는 위치를 말한다. 예를 들어 스피커를 4개 사용하고 마이크로폰을 6개 사용하는 능동 제어시스템에서, 스피커 위치를 최적 위치에 고정시키더라도 마이크로폰을 어떤 위치에 놓고 사용하느냐에 따라 전체 공간에서의 평균적인 소음감소는 다르기 때문이다.

Table 1의 최적 스피커 위치 결과 중, 총 4개의 스피커가 사용되는 경우에 대하여, 마이크로폰의 수를 6개로 제한 할 때 기존의 11 곳 중에서 어떤 위치의 조합이 가장 좋은 가를 알아보았다. Table 4 와 5는 스피커 위치는 4, 6, 8, 11번으로 고정시키고 찾아본 결과 중 가장 좋은 다섯 경우와 가장 나쁜 다섯 경우를 요약한 것이다. 가장 좋은 결과를 보여준 1, 2, 5, 6, 7, 8번 마이크로폰 위치와의 조합은 사용된 마이크로폰을 기준으로 한 경우 22 dB 이상의 소음 감소를 보여주고 있으나 전체 11개의 마이크로폰 위치에서

Table 4 Best 6 microphone positions and attenuations with respect to the used 6 and 11 (loudspeakers are placed at No. 4, 6, 8 and 11)

No.	Att. wrt. all microphone [dB]	Att. wrt. used microphone [dB]	Microphone No.
1	10.46	22.25	1 2 5 6 7 8
2	10.34	19.16	1 2 5 7 8 11
3	9.67	21.32	2 3 4 5 6 7
4	8.93	19.66	2 4 7 8 10 11
5	8.46	18.73	2 4 7 8 9 10

Table 5 Worst 6 microphone positions and attenuations with respect to the used 6 and 11 (loudspeakers are placed at No. 5, 17, 32 and 45)

No.	Att. wrt. all microphone [dB]	Att. wrt. used microphone [dB]	Microphone No.
1	-34.48	24.09	1 2 5 6 7 8
2	-29.32	18.52	1 2 5 7 8 11
3	-27.80	24.87	2 3 4 5 6 7
4	-22.62	21.26	2 4 7 8 10 11
5	-22.16	19.56	2 4 7 8 9 10

평가한 결과는 약 10.5 dB 이다. 마이크로폰 11개 전체를 사용한 Table 1의 16.2 dB 정도의 결과에 비하면 좋지 못한 결과로 평가 될 수 있으나 사용되는 마이크로폰의 수를 거의 절반 가까이로 줄인 것을 고려할 때 실제 현장에 적용되는 시스템에 있어서는 매우 유용한 결과 일 수 있다.

Table 5는 이 같은 고찰을 다른 측면에서 한층 강조해주는 결과이다. 가장 최악의 경우, 사용된 6개의 마이크로폰 위치에서는 24 dB 이상의 소음 감소를 가져오지만 실내 전체의 소음 감소를 더 잘 나타내는 11개 위치에서는 오히려 평균 소음이 약 35 dB 정도 증가하는 것을 보이고 있다. 물론 통상적인 실내 소음의 전역제어(global control)에서는 공간 전체에 적절한 수의 마이크로폰을 고루 분포시키므로 이런 황당한 결과를 가져오는 일은 드물 것이나 부득이 마이크로폰의 수를 줄이는 경우 매우 조심하지 않으면 마이크로폰이 있지 않은 다른 위치에서는 제어스피커로 인하여 전체적으로 훨씬 시끄러워지는 결과를 가져올 수 있는 것을 계산 결과는 잘 보여주고 있다.

Table 6과 7은 Table 3에 보인 4개의 최적 스피커

위치인 5, 17, 32, 45번에 스피커를 위치시키고, 앞서와 같은 방법으로 마이크로폰 위치를 찾아 요약한 결과이다. 전체적으로는 Table 4 와 5에 보인 결과와 매우 유사한 경향을 보여주고 있다. 특이한 점은 Table 6에서 사용된 스피커 위치들은, 11개 마이크로폰 모두 사용할 경우, 약 19 dB 감소를 보여준 경우로 Table 4에 사용된 스피커 보다 약 3 dB 정도 우수한 스피커 위치의 조합이었다. 그러나 Table 4 와 6에 나타난 결과처럼 마이크로폰의 수가 6개로 제한된 경우에는 오히려 0.5 dB 이상 나쁜 결과를 보여주고 있다. 여러 가지 이유가 가능할 것이나 가장 중요한 원인으로서는 Table 6에 사용된 스피커 중 2개는 실내에 배치된 것으로, 2 개의 개구부에 배치된 주된 제어 역할을 하는 스피커의 보조 역할을 하게 되는데 마이크로폰 11개의 위치 중 소수의 특정 위치에서 제어의 역할이 컸던 것이 마이크로폰의 수가 제한되어 짐으로서 그 역할을 제대로 발휘하지 못하는 것으로 추정된다. 즉, 개구부에 위치한 스피커들이 마이크로폰의 위치에 덜 민감하게 반응한다는 것인데 이 것은 주 소음원의 특성과도 잘 일치하는 결과로 판단된다.

**Table 6** Best 6 microphone positions and attenuations with respect to the used 6 and 11 (loudspeakers are placed at No. 5, 17, 32 and 45)

No.	Att. wrt. all microphone [dB]	Att. wrt. used microphone [dB]	Microphone No.
1	9.96	23.85	1 3 5 6 7 8
2	9.20	21.27	1 3 5 7 8 9
3	7.93	20.14	1 3 4 5 6 9
4	7.51	21.15	2 3 6 7 8 9
5	7.44	23.91	1 2 3 6 9 11

**Table 7** Worst 6 microphone positions and attenuations with respect to the used 6 and 11 (loudspeakers are placed at No. 5, 17, 32 and 45)

No.	Att. wrt. all microphone [dB]	Att. wrt. used microphone [dB]	Microphone No.
1	-22.23	23.44	1 4 5 6 8 11
2	-22.05	23.75	2 3 4 5 10 11
3	-21.63	28.22	1 2 3 4 7 10
4	-20.18	25.84	2 3 4 5 6 10
5	-20.03	25.49	2 3 4 5 6 8

#### 4. 결론

개구부를 가지는 실내공간의 능동소음제어시스템에 영향을 미치는 여러 요소 중 제어 음원으로 자주 사용되어지는 스피커의 최적위치와 오차 센서로 사용되는 마이크로폰의 최적 위치에 대하여 알아보았다. 본 연구에서는 최적화 기법과 전수 조사법을 이용하여 개구부와 실내의 여러 후보 위치 중에서 어느 곳에 스피커를 배치하는 것이 좋은가를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 주 소음원은 평면파적인 특성을 가지는 음장을 가정하였으며 이에 따라 이와 유사한 환경을 조성하여 실험을 하였다.

개구부에 위치하는 최적의 스피커 위치는 적은 수의 스피커가 사용되는 경우에는 주로 개구부의 가운데를 중심으로 대칭적인 배치 양상을 보였다. 이것은 개구부에 진입하는 소음원에 의한 음장의 평면파적인 특성과도 일치하는 결과로 판단되었다. 스피커 수가 5~6개 이상으로 증가함에 따라 실내에 더 많은 스피커를 배치하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그러나 스피커 배치 위치의 모집단으로 선정된 후보 위치의 수가 적어 스피커 수가 증가됨에 따른 정확한

경향은 파악하기가 어려웠다. 전체적으로는 스피커의 배치가 가능한 모집단의 수가 증가하면 그에 따라 같은 수의 스피커를 사용하더라도 매우 큰 성능의 차이가 발생할 수 있음을 보여주었다.

이렇게 찾아진 최적 위치에 스피커를 고정시킨 후 최적의 마이크로폰 위치를 알아보았다. 시뮬레이션 결과는 소음감소를 다소 희생할 수 있다면 이러한 기법으로 마이크로폰의 수를 절반 가까이로 줄일 수 있음을 보였다. 또한 잘못 선정된 마이크로폰 위치는 오히려 그 이외의 지역에서 제어시스템의 성능을 심각하게 훼손 할 수 있음도 잘 보여 주었다.

## 후 기

이 논문은 2003년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었습니다.

## 참 고 문 헌

(1) Baek, K.-H. and Elliott, S. J., 1995,

"Natural Algorithms for Choosing Source Locations in Active Control System," Journal of Sound and Vibration Vol. 186, No 2, pp. 245~267.

(2) Van Laarhoven, P. J. M. and Aarts, E. H., 1988, Simulated Annealing: Theory and Applications, Kluwer Academic Publishers.

(3) Rao, S. S., 1994. Optimization Theory and Applications, Wiley Eastern Limited.

(4) Nelson, P. A. and Elliott, S. J., 1992, Active Control of Sound, Academic Press, London.

(5) Noble, B. and Daniel, J. W., 1988, Applied Linear Algebra, Prentice-Hall International.

(6) 백광현, 2000, "등가소스법을 이용한 공간 내의 음장 모델링에서 경계면 조건 오차의 최소화에 관한 연구," 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 581~586.

(7) 백광현, 2003, "등가음원법에서의 원거리음원의 위치와 개수의 최적화 연구," 한국소음진동공학회 논문집 제 13 권, 제 10 호, pp. 743~750.