

## 능동방음벽 시스템에서의 제어음원 위치에 관한 고찰

### Optimal Transducer Positions of an Active Noise Control System with an Opening in an Enclosure

백 광 현<sup>†</sup>

Kwang-Hyun Baek

(2004년 1월 5일 접수 : 2004년 1월 30일 심사완료)

**Key Words** : Active Control(능동제어), Noise Barrier(방음벽), Control Source Position(제어음원위치)

#### ABSTRACT

Active control techniques have been used in wide areas of noise and vibration control engineering and a noise barrier is one of them. Omoto's work in 1993 would be one of the fundamental and systematic studies on the actively controlled noise barrier, in which he used equal number of control sources and error sensors. The error sensors were placed uniformly along the top edge of the noise barrier with equal distance apart and the control sources were placed in the exactly same way some distance apart from the error sensors. Since then, a couple of studies were made on the secondary sources' arrangement rather than the optimality of secondary source positions. Shao's results showed that arc shaped arrangement for secondary sources is better than the straight line one, and later work of Yang showed that the more important factor is the average distance between the primary source and secondary sources. However, since these studies were all executed with a simple uniform distribution of the secondary sources along the straight line or arc, it is difficult to conclude which arrangement is superior. In order for the fare comparison, the optimality of the source positions in each arrangement must be given in prior. The primary goal of this study is focused on this aspect and some major factors were investigated and compared. The computer simulation results showed that the arc shaped arrangement is marginally better than the straight line one, and more importantly slightly tuned position can greatly improve the performance of the control system.

#### 1. 서 론

일반적인 방음벽의 차음 성능은 그 높이와 방음벽을 구성하는 물질의 물성 및 방음벽에 부착되어 음의 반사를 줄이는 부가물의 설계 등에 의하여 좌우된다. 그 중에서도 가장 중요하게 고려되는 요소는 방음벽

의 높이로, 높이가 높아질수록 소음저감 성능은 향상되지만 조망권의 침해와 비용 증가 등의 요소에 의해 제한되어진다. 또한 방음벽에 가려서 직접 소음원이 가시권에 있지 않은 경우라도 음의 회절 현상으로 인하여 어느 정도 소음이 들리는 것을 방지할 수는 없다.

이러한 한계를 극복하기위한 한 방법으로 Omoto<sup>(1)</sup> 등은 능동소음제어기법을 적용하여 회절현상에 의한 소음의 전달을 줄이고자 하였다. 잘 알려진 바와 같이 능동소음제어기법은 주 소음원에 의한 음장을 2차

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, 단국대학교 기계공학과  
E-mail : khbaek@dgu.edu  
Tel : (02) 709-2563, Fax : (02) 709-2569

음원(제어음원)을 이용하여 오차 센서(주로 마이크로폰)가 있는 위치의 소음을 주로 저감시키는 방법이다. 반면에 능동방음벽의 경우에는, 일반적으로 방음벽 상단의 음의 회절 현상이 발생하는 위치에 마이크로폰들을 위치시키고 그 지점에서의 소음을 억제시키는 방법으로 적용되어진다. 이것은 벽에 의한 음의 회절 현상을, 회절이 발생하는 지점에 마치 새로운 음원이 존재하는 것으로 간주하여 설명하는 것과 관련이 있다. 새로운 음원의 발생을 능동소음제어기법으로 상쇄하여 수음지점에서의 소음을 감소시키려는 원리인 것이다.

이와 관련하여 Omoto<sup>(1)</sup> 등은 Fig. 1의 직선 형태로 제어음원들을 배치시키되 동일한 수의 제어음원(스피커)과 오차센서(마이크로폰)를 같은 간격으로 배열하여 사용하였다. 이 경우 제어음원의 신호는 오차센서의 위치에서 음압이 0이 되도록 하였다. 이에 반하여 Shao<sup>(2)</sup> 등은 직선 형태 이외에 Fig. 1의 원호 형태 1의 배열 방법을 사용하여 직선 형태의 경우보다 다소 낡은 결과를 얻었다. 또한 마이크로폰의 수를 제어스피커의 수보다 많게 하여 보다 넓은 범위의 수음 지역에서 소음 감소 효과를 얻을 수 있음을 보여 주었다. 이것은 능동소음제어시스템에서 일반적으로 쓰이는 방법으로, 제어음원과 오차센서의 수가 동일한 경우 오차센서가 있는 지점에서의 신호를 정확히 0으로 할 수 있으나 그 이외의 지역에서는 오히려 소음이 증가할 경우가 많이 생기기 때문이다. 따라서 제어음원의 수 보다 많은 수의 오차센서를 사용함으로써 특

정지점에서의 소음 감소량은 줄어들지만 전체적으로는 소음의 양이 비교적 균일하게 줄어드는 효과를 얻는 것과 매우 유사하다. 한편 Yang<sup>(3)</sup> 등은 제어음원의 원호 형태의 배열이 직선 형태의 배열보다 좋은 결과를 가져오는 주된 이유는 주소음원과 제어음원간의 평균거리가 가까웠기 때문이라고 추정하였다.

본 연구에서는 이러한 일련의 연구들에서 꾸준히 제기되어진 제어음원의 배열 형태와 관련한 연구 결과를 보다 객관적인 방법으로 검증하고자 하였다. 기존의 배열 방법에서는 제어음원들을 오차센서의 간격과 동일하게 등 간격으로 연달아 배치하였다. 본 연구에서는 등간격의 배열이라도 보다 많은 위치 중에서 임의로 선택하여 가장 좋은 결과를 보여주는 배열을 찾아서 비교하였다. 또한 종래의 연구결과가 제시하는 최적의 배열 간격인 주소음원의 반파장보다 짧은 간격으로도 배치하여 그 영향도 함께 조사하였다.

## 2. 시스템의 모델링

Fig. 2와 같이 주소음원에 의한 음장을 주소음원과 오차센서 사이에 위치한 제어음원들을 이용하여 방음벽 너머로 회절에 의하여 발생하는 수음점에서의 소음을 감소시키려는 시스템을 가정하자. 이 때 방음벽의 크기는 반 무한평면을 가정하여 바닥면에 의한 음의 반사는 없는 경우이다. 주소음원과 제어음원 들을 점 음원으로 가정하면, 각각의 음원에 의한 오차센서

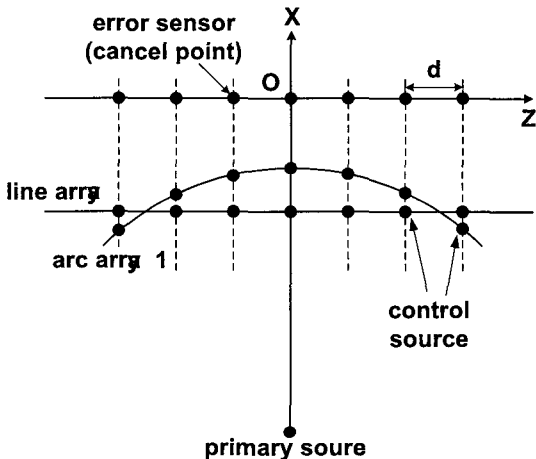


Fig. 1 Control source distribution types and error sensor positions.

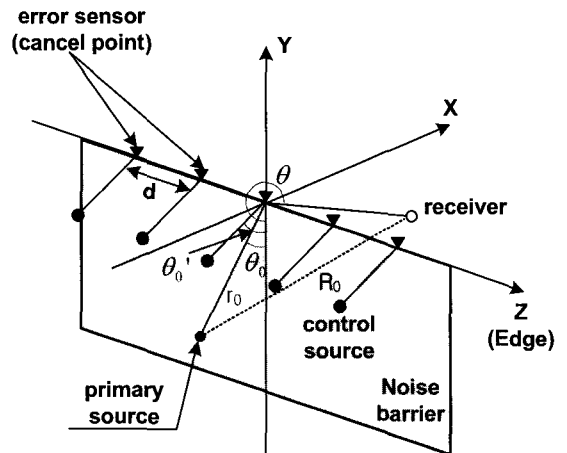


Fig. 2 Geometry of noise barrier and positions of primary source, control sources, error sensors and the receiver.

에서의 음압  $P$ 는 다음과 같은 자유 음장에서의 관계 식으로 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{A}{kr} e^{ikr} \quad (1)$$

여기서

$$A = -iZ_0 q \quad (2)$$

$$Z_0 = w^2 \rho_0 / 4\pi c_0 \quad (3)$$

이다.  $\rho_0, c_0, w, k, q$  는 각기 공기 밀도, 음속, 소음원의 각진동수, 파동수, 음원의 세기를 나타낸다. 따라서 식 (1)을 확장하면  $L$ 개의 제어음원과  $N$ 개의 오차센서사이의 음향전달특성을 나타내는  $N \times L$  복소 임피던스행렬  $Z$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \frac{-i\omega\rho_0}{4\pi} \begin{bmatrix} \frac{e^{ikr_{11}}}{r_{11}} & \frac{e^{ikr_{12}}}{r_{12}} & \dots & \frac{e^{ikr_{1L}}}{r_{1L}} \\ \frac{e^{ikr_{21}}}{r_{21}} & \frac{e^{ikr_{22}}}{r_{22}} & \dots & \frac{e^{ikr_{2L}}}{r_{2L}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{e^{ikr_{N1}}}{r_{N1}} & \frac{e^{ikr_{N2}}}{r_{N2}} & \dots & \frac{e^{ikr_{NL}}}{r_{NL}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $r_{NL}$ 은  $L$ 번째 제어음원과  $N$ 번째 오차센서사이의 거리를 나타낸다.

총  $N$ 개의 오차센서와  $L$ 개의 제어음원이 사용될 때, 주 소음원에 의한 오차센서들에서의 음압을  $P_p$  ( $N \times 1$  복소 벡터), 제어음원들의 세기를  $q_s$  ( $L \times 1$  복소 벡터)라 할 때, 주 소음원과 제어음원 전체에 의한 오차센서에서의 음압  $P$  ( $N \times 1$  복소 벡터)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = P_p + Z q_s \quad (5)$$

$P_p$ 의 값은 식 (1)을 이용하면 바로 구해지는 값이다. 일반적인 능동제어시스템에서  $N > L$ 이며 오차센서에서의 복소 음압의 절대값의 제곱의 합을 최소화하는 제어음원의 최적세기  $q_{opt}$ 는 다음과 같이 주어진다.<sup>(4)</sup>

$$q_{opt} = -[Z^H Z]^{-1} Z^H P_p \quad (6)$$

따라서 제어음원의 세기는 음원과 센서의 위치 정

보와 시스템이 적용되는 물성만 주어지면 식 (4)와 식 (6)으로부터 바로 구해질 수 있다.

한편, 방음벽에 의한 음장의 계산은 상당히 많은 이론과 방법으로 가능하나 여기서는 Huygen의 원리와 Kirchhoff의 회절과 관련한 이론식을 따라 정식화한 Bowman<sup>(5)</sup> 등의 결과를 이용하였다. 주 소음원과 제어음원등과 같이 방음벽의 한쪽 편에 있는 음원에 의한 음장이 방음벽에 의해 회절된 후 반대쪽의 수음점에 유발하는 음압  $P_r$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = \sum_{l=0}^L A_l \phi_l \quad (7)$$

여기서  $l=0$ 은 주 소음원에 의한 것을 나타내며  $l=1, 2, \dots, L$ 은 제어음원에 의한 것을 나타낸다.  $A$ 는 식(2)에서 주어졌으며  $\phi_l$ 은 Bowman<sup>(5)</sup> 등이 사용한 1차 근사식을 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi_l = & -\sqrt{\frac{2}{\pi k R_{1l}}} e^{-i(\pi/4)} (\text{sgn}(\pi + \theta_0 - \theta)) \\ & \times \frac{e^{ikR_l}}{\sqrt{k(R_{1l} + R_l)}} F[\sqrt{k(R_{1l} - R_l)}] \\ & + \text{sgn}(\pi - \theta_0 - \theta) \frac{e^{ikR_l'}}{\sqrt{k(R_{1l} + R_l')}} \\ & \times F[\sqrt{k(R_{1l} - R_l')}] \end{aligned} \quad (8)$$

$R_l$ 과  $R_l'$ 은 수음점으로부터 각 음원까지의 거리와 각 음원의 이미지 음원까지의 거리,  $R_{1l}$ 은 음원으로부터 방음벽 상단을 지나 수음점까지의 최단거리를 나타낸다. 함수  $F$ 는

$$F(x) = \int_x^\infty e^{i\mu^2} d\mu \quad (9)$$

로 정의되며, 이는 Fresnel 적분을 나타낸다.

제어시스템의 성능은 제어 전과 후의 수음점에서의 음압의 비로 나타내었으며 다음과 같이 정의되었다.

$$\Delta L(\text{Attenuation}) = 20 \log(P_{off} / P_{on}) \quad (10)$$

$P_{on}, P_{off}$ 는 각기 제어음원이 존재할 때와 존재하지 않을 때의 수음점에서의 음압을 나타낸다.

### 3. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

주소음원은  $(r_0, \theta_0, z_0) = (0.5 \text{ m}, 60^\circ, 0)$ 의 위치에서 5 kHz의 순음을 발생하는 것으로 본 연구의 모든 계산에서 동일하게 사용되었다. 또한 제어음원들은 항상  $z=0$ 을 기준으로 좌우로 항상 대칭으로 배열하였으며 수음점은  $-2.0 \text{ m} \leq z \leq 2.0 \text{ m}$ 의 구간에 대하여  $(r, \theta) = (1.0 \text{ m}, 300^\circ)$ 의 지점에서 평가하였다. (Fig. 2 참조) 주소음원의  $z$ 좌표에 대하여 ( $z=0$ ) 제어음원 및 수음점의 소음감소 평가 위치가 완벽히 좌우 대칭이므로 계산 결과는 항상 좌우 대칭으로 나오게 된다. 따라서 수음점에서의 소음감소량은 모두  $0 \leq z \leq 2.0 \text{ m}$ , 즉 절반의 범위에 대해서만 표시하였다.

제어음원의 경우, 직선형태 배열의 경우 모든 계산에서  $(r, \theta) = (0.2 \text{ m}, 60^\circ)$ 로 하였으며 원호 형태의 경우는  $(\theta) = (60^\circ)$ 로 하였다. 따라서 모든 제어음원 들은 주소음원과 오차센서들을 잇는 평면상에 존재하게 된다. 원호 형태의 제어음원의 배열의 경우, 주소음원으로부터 등거리에 상에 분포하였으며 Fig. 1에 보인 원호배열 1의 경우 제어음원간의  $z$ 축 방향 간격을 직선배열 형태와 동일하게 유지하였다. 반면에 Fig. 3에 보인 원호배열 2의 경우에는 제어음원의

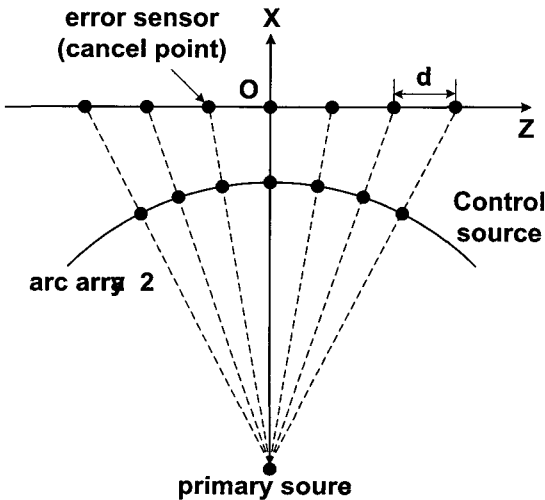


Fig. 3 Control source distribution types and error sensor positions

위치가 주소음원과 오차센서를 잇는 선상에 위치하도록 하였다.

Fig. 4에 보인 그래프는 5개의 제어음원과 11개의 오차센서를 사용하여, 직선배열의 경우는 제어음원 간 간격이  $d=0.03 \text{ m}$ 로 일정하게 하여 얻어진 결과이며 원호 형태의 두 배열의 결과는 앞서 기술한 바와 같이 분포 시켰을 때 얻어진 결과이다. 원호 형태 배열의 두 경우 모두 주소음원과 제어음원간의 거리가 0.3030 m로, 직선 분포 된 5 개 제어음원들과 주소음원 사이의 평균거리와 같게 하였다. 직선 배열의 결과는 Shao<sup>(2)</sup>등의 결과와 동일한 것으로, 계산결과의 비교 검증을 위하여 그래프에 나타내었다. 직선 배열이나 원호배열1의 경우 거의 동일한 결과를 보여주나 본 연구에서 새로 제안한 원호배열 2의 경우에는 중심축( $z=0$ )으로부터 거리가 멀어짐에 따라 성능이 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 세 경우 모두 수음점의 위치가  $z=0.7 \text{ m}$ 이상이 되면 능동소음제어 시스템에 의하여 오히려 소음이 증가하는 양상을 보이고 있다. 기본적으로 제어음원의 수가 너무 적기 때문이기도 하지만 오차센서의 배치위치나 제어음원의 배치 영역이 중심축 근처에 너무 집중되어 있기 때문인 것으로 추정된다. 모든 제어음원은  $z \leq 0.06 \text{ m}$ 인 범위에 있으나 수음지점에서는 그 보다 10배가 넘는 범위까지 소음 감소효과를 보이는 것이므로, 제어음원들이 주소음원에 의한 음장을 비교적 잘 재현하는 것으로 판단된다.

Fig. 5의 결과는 Fig. 4와 모든 조건은 같고 사용된 제어음원의 수와 오차 센서의 수를 각각 11개와 17개로 늘리고 계산한 결과이다. 배열 방법간의 우열

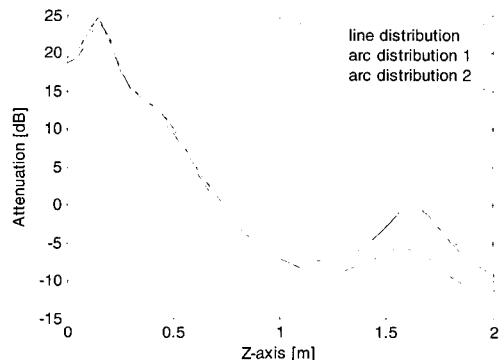


Fig. 4 Attenuation of line and arc type arrays with  $d=0.03 \text{ m}$ ,  $L=5$  and  $N=11$

성은 Fig. 4와 매우 비슷한 양상을 보이고 있으나 원호배열의 결과가 직선 배열 보다 미소하지만 낮은 결과를 보이고 있다. 주소음원과 제어음원간의 거리는 평균 0.3144 m로 Fig. 4의 경우보다 멀어졌지만 제어음원과 오차센서 수의 증가로 인하여, 수음점에서의 소음감소 영역이 약  $z=1.2$  m까지 넓어졌으며 전체적인 소음 감소량도 평균 10 dB정도 증가하였음을 볼 수 있다.

Fig. 6의 결과는 5개의 제어음원과 11개의 오차센서를 사용할 때, 본 연구에서 인용된 과거의 연구들에서 사용되었던 일반적인 직선배열과 최적의 위치에 놓여진 직선배열의 결과를 비교한 것이다. 각 경우의 제어음원 위치는 Fig. 7에 속이 채워진 원으로 표시되어 있다. 최적의 직선 배열 위치는 Fig. 7의 제일 상단에 보인 속이 빈 원으로 표시된 6개의 후보 위치

중에서, 수음점 소음감소 평가구간에서 평균적으로 가장 좋은 결과를 보이는 2개 위치의 조합을 찾아낸 결과이다. 평균 성능은  $z=0 \sim 2.0$  m의 구간을 0.1 m 간격으로 소음감소치를 계산, 평균하여 평가하였다. 제어음원은 총 5개이지만 중앙에 고정된 1개를 제외하고 좌우 대칭인 형태로 배열되므로 결과적으로는 2개의 위치만 찾아내면 되는 것이다. 따라서 이 경우에는 총 6개의 0.03 m 등간격의 후보 위치 군에서 2개의 조합만 찾아내면 되는 조합적 최적화 문제가 된다. 이러한 종류의 문제는 자연알고리즘<sup>(6)</sup> 등을 비롯한 여러 가지 최적화 기법<sup>(7, 8)</sup>이 사용될 수 있다. 본 연구에서 다른 예 들은 비교적 탐색 공간의 크기가 작아서 최적화 기법의 적용이 전수조사법(전체 가능한 모든 경우에 대하여 계산하는 방법)에 비하여 주는 이점이 적어, 확실한 해를 찾을 수 있는 전수조사법을 모든 계산에서 사용하여 최적의 위치를 구하였다.

Fig. 6은 전수조사법의 적용으로 수음점의 거의 모든 구간에서 일반적인 직선 배열 결과에 비해 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 또한, 소음이 증가하는 역효과를 주는 구간이 현저히 줄어들고 있으며 소음이 증가하더라도 그 값이 매우 적음을 보여주고 있다. Fig. 7에 보인 제어음원의 위치를 비교해보면 단지 1개의 음원 위치가 다를 뿐이지만 결과는 상당히 달라질 수 있음을 볼 때 단순한 배열 형태를 떠나 최적 위치의 선정이 매우 중요함을 알 수 있다. Fig. 6에 보인 최적의 2개의 위치를, 후보 위치의 수를 6개에서 15개와 30개로 늘려가면서, 간격은 0.03 m로 유지하면서 찾아보았으나 6개에서 찾은 것과 동일한 결과를 얻었다. 오차 센서의 위치가 상대적으로 중앙에 밀집해 있어 제어음원을 넓게 분포시켜도 별다른 이득이 없는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 전수조사법을 적용하여 최적의 2개(전체

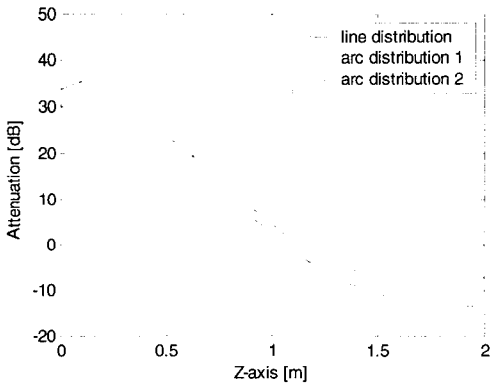


Fig. 5 Attenuation of line and arc type arrays with  $d=0.03$  m,  $L=11$  and  $N=17$

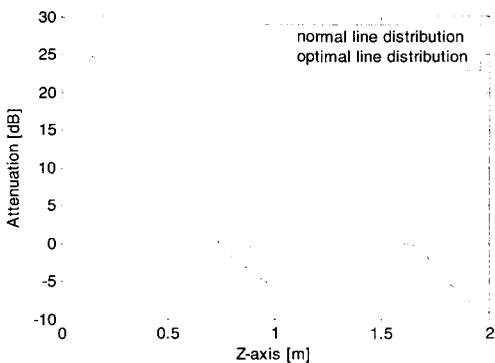


Fig. 6 Attenuation of normal and optimal line arrays with  $d=0.03$  m,  $L=5$  and  $N=11$

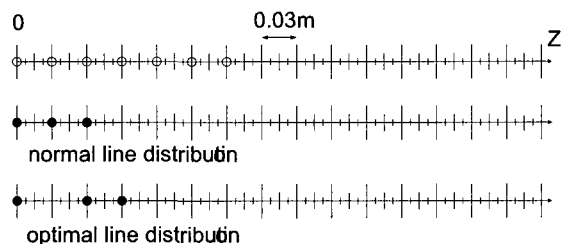


Fig. 7 Control source positions used for the results shown in Fig. 6

제어음원의 수는 5개)의 제어음원의 위치를 15개의 후보 위치 중에서, 후보 위치의 간격을 0.03 m, 0.015 m, 0.0075 m로 바꾸어가면서 찾아낸 결과이다. 각 경우의 최적 위치는 Fig. 9에 나타내었다. 최적의 제어음원의 위치들이 거의 동일한 곳으로 찾아지는 것을 볼 수 있으며 그 위치의 차이가 매우 적음에도 불구하고, 수음점의 z축의 좌표가 약 1 m보다 커지면 그로 인하여 결과의 차이는 Fig. 8에 보인 바와 같이 무시할 수 없을 정도가 된다.  $d=0.015$  m 간격의 배열에서 찾아진 위치가 평균적으로는 우수하지만  $z=1 \sim 1.5$  m 구간에서는 오히려 소음을 증가시키는 것으로 나타나 배열 간격을 줄이는 것으로는 성능 향상에 한계가 있음을 보여주고 있다. 세 경우 모두 약 1 m까지는 매우 유사한 결과를 보여주는 것으로 미루어 볼 때, 제어음원 위치 변화로 전 구간에 걸친 소음 감소 효과를 얻기가 어려운 것은 오차센서 위치의 제한 때문인 것으로 추정된다.

Fig. 10은  $d=0.03$  m로 후보 제어음원 간의거리

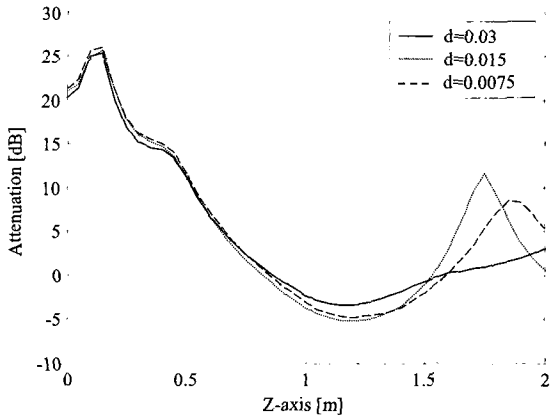


Fig. 8 Attenuation of optimal line arrays with  $d=0.03$  m, 0.015 m and 0.0075 m ( $L=5$  and  $N=11$ )

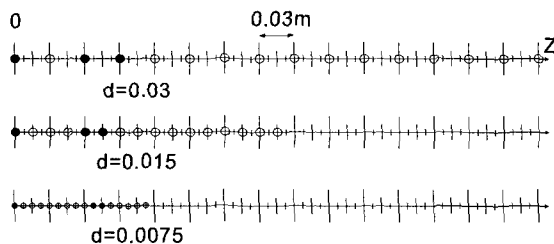


Fig. 9 Control source positions used for the results shown in Fig. 8

를 유지하고 좌측 절반 구간의 총 15개 후보 위치 중 최적 제어음원의 수를 2~4로 하여 찾아진 결과이며, 그 위치는 Fig. 11에 표시되어 있다. 제어음원의 수가 증가함에 따라 수음점의 z축 좌표로 약 1.1 m까지는 소음감소치가 증가하지만 그 이상의 구역에서는 부분적으로 좋으면 다른 부분에서는 나빠지는, 지금까지 관찰된 현상을 반복하고 있다. Fig. 11에 보인 제어음원의 위치를 보면 여전히 대칭중심부에 밀집해 있음을 볼 수 있다.

Fig. 12에서는 Fig. 10에 보인 것과 모든 조건은 동일하되 제어음원 후보위치 간격을 0.0075 m로 하고 찾아진 결과이다. Fig. 10과 비교하면 총 제어음원의 수를 7개에서 9개로 증가시키기에 따라 두드러진 소음감소의 증가를 볼 수 있다. 반면에 z축의 좌표로 약 1 m가 넘는 구간에서는 더 심한 소음 증가 현상을 보이고 있다. 역시 오차센서 위치가 주요한 원인인 것으로 추정된다. Fig. 13에서는 Fig. 12에 보인 9개의 최적 제어음원을 사용한 결과와 원호배열 1의 형태로 찾아진 9개의 최적 제어음원을 사용할 때의

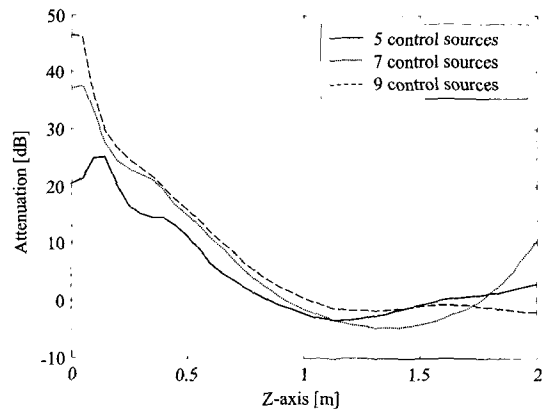


Fig. 10 Attenuation of optimal line arrays with  $d=0.03$  m ( $L=5, 7$  and  $9, N=11$ )

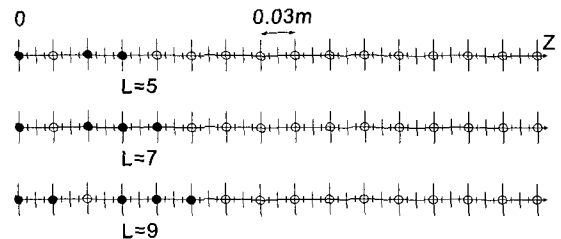


Fig. 11 Control source positions used for the results shown in Fig. 10

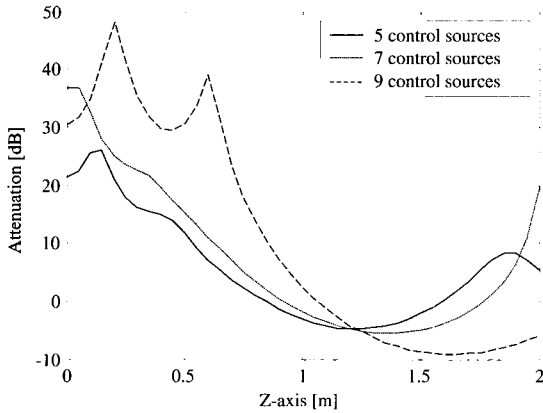


Fig. 12 Attenuation of optimal line arrays with  $d=0.0075$  m ( $L=5, 7$  and  $9, N=11$ )

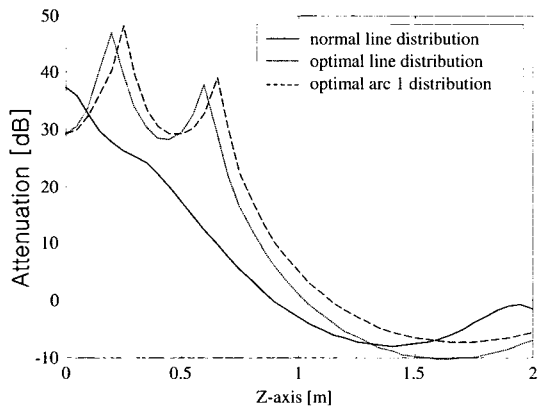


Fig. 13 Attenuation of normal( $d=0.03$ ), optimal line( $d=0.0075$ ) and arc type 1( $d=0.0075$  m) arrays with  $L=9$  and  $N=11$

결과를, 일반적인 직선배열 결과와 비교한 것이다. 주소음원으로부터 최적 제어음원간의 평균거리는 최적 직선배열과 원호배열이 같게 하여 얻어진 결과이다. 최적 제어음원의 두 결과는 매우 유사한 성능을 보여 주고 있으나 원호 형태의 배열이 작은 양이지만 이 경우에도 더 좋은 결과를 보여주고 있음을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

능동소음제어시스템을 방음벽에 적용하여, 회절 현상으로 방음벽을 우회하여 수음점으로 전달되는 소음을 줄이는 시스템에서 제어음원의 위치에 관하여 알아보았다. 기존의 연구 결과는 주로 제어음원의 배열 형태에만 집중하여 객관적인 비교가 되지 못하였다.

본 연구에서는 세가지 배열 방법에 대하여, 주소음원으로부터 제어음원간의 평균 거리는 동일하게 유지하면서, 각각의 배열 방법에서 최적의 제어음원 위치를 먼저 알아내고 그 다음 성능을 비교하였다.

원호 형태1의 배열 방법이 소음감소치의 차이는 작지만 일관되게 직선배열보다 낮은 결과를 보인 것으로 추정할 때, 조금은 우월한 배열 방법인 것으로 판단되었다. 그러나 그러한 배열 방법보다는 탐색규모 크기를 작게 하더라도 부분적으로라도 최적의 위치를 찾는 것이 소음감소 능력에 훨씬 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다. 한편으로는 오차센서의 위치가 또 다른 중요한 한 요소로 도출되었다.

최적의 오차센서의 위치를 찾는 것은 제어음원의 최적 위치와 서로 상관이 있으며 그 결과에 서로 영향을 미치기 때문에, 제어음원의 최적 위치를 찾는 것과는 비교할 수 없을 정도로 탐색공간의 크기가 커진다. 본 연구에서 사용된 수음점에서의 음압을 계산하는 이론식을 이렇게 수많은 경우에 대하여 반복 계산을 하기에는 상당한 계산 시간을 소요하여 바로 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 복합적인 사항 등을 고려할 때, 최적의 오차센서와 제어음원의 위치를 동시에 찾는 것은 매우 잘 튜닝 된 최적화 기법과 계산 시간을 줄일 수 있는 근사식 또는 기타 방법 등이 필요할 것으로 판단되며 이는 추후로 진행될 연구과제로 사료된다.

#### 후 기

이 논문은 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Omoto, A. and Fujiwara, A., 1993, "A study of an Actively Controlled Noise Barrier," Journal of Acoustical Society of America Vol. 94, No. 4, pp. 2173~2180.
- (2) Shao, J., Sha, J.-H. and Zhang, Z.-L., 1997, "The method of the Minimum Sum of Squared Acoustic Pressures in an Actively Controlled Noise Barrier," Journal of Sound and Vibration Vol. 204, No 2, pp. 381~385.

(3) Yang, J. and Gan, W.-S., 2001, "On the Actively Controlled Noise Barrier," *Journal of Sound and Vibration* Vol. 240, No 3, pp. 592~597.

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

(5) Bowman, J. J., Senior, T. B. A. and Uslenghi, P. L. E., 1969, *Electromagnetic and Acoustic Scattering by Simple Shapes*, Chap. 8, North-Holland Publishing Company.

(6) 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.

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

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