

# 능동소음제어 시스템의 마이크로폰 및 스피커 최적위치 선정

(Optimal Position Selection of Microphones and Speakers in Adaptive Noise Control System)

남현도\* · 이홍원

(Hyun - Do Nam · Hong - Won Lee)

## 요 약

본 논문에서는 자동차 소음 등과 같은 외부 소음이 창문 등을 통해 실내로 전파될 때, 이를 제거하기 위한 능동 소음제어 시스템의 제어 스피커 및 마이크로폰의 최적 위치를 결정하는 기법을 제안하였다.

능동 소음제어 시스템의 특성을 최적화하기 위해서는 제어 스피커 및 마이크로폰의 위치를 최적화할 필요가 있는데, 오차 마이크로폰들에서 측정되는 소음의 제곱합을 최소화하는 새로운 형태의 시뮬레이티드 어닐링 기법을 제안하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안된 기법의 효용성을 입증하였다.

## Abstract

In this paper, the optimal position selection of error microphones and control speakers to attenuate interior noise from outside noise sources using active noise control techniques is presented.

To get an optimal control characteristics of adaptive noise control systems, it is necessary to optimize the positions of microphones and speakers. New type of simulated annealing method has been proposed as searching techniques to find optimal speakers and microphones positions in which the sum of the squared pressures at microphone positions in an enclosure can be best minimized.

Computer simulations and experiments have been performed to show the effectiveness of the proposed method.

Key words : active noise control, simulated annealing method, optimal positions, digital signal processors

## 1. 서 론

소음을 제어하는 기법으로는 흡음재나 방음재를 이용한 수동 소음제어기법과 중첩의 정리를 이용한 능동 소음제어기법이 있는데, 반도체 기술의 발전으

로 인간에게 큰 영향을 미치는 저주파 대역의 소음에 적합한 능동 소음 제어 기법의 연구가 활발히 이루어지고 있다[1].

능동 제어시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어로 나눌 수 있는데, 하드웨어는 제어방식이 다중 동시제어인 경우 시스템 성능이 제어 프로세서에 의해 상당부분 좌우된다. 또한 이 하드웨어를 움직이는 제어 알고리즘이 얼마나 효율적으로 작성되었느냐에 따라 같은 하드웨어라도 커다란 성능의 차이를 보일 수 있다. 그러나 이 두 가지 못지않게 중요한

\* 주저자 : 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
Tel : 709-2574 Fax : 795-8771

E-mail : hdnam@dku.edu  
접수일자 : 2003년 10월 8일  
1차심사 : 2003년 10월 10일  
심사완료 : 2003년 11월 26일

역할을 하는 것이 제어소스와 센서들의 위치와 수의 선택이다. 일반적으로 같은 수의 센서와 소스들을 이용해도 크기는 몇 배 이상의 차이가 날 수 있다 [2,3].

본 논문에서는 외부 소음원에서 발생한 소음이 창문 등과 같이 부분적인 개구부를 통하여 실내 공간에 전파될 때, 이를 제어하기 위한 능동소음제어 시스템의 스피커 및 마이크로폰의 최적 위치를 추정하는 기법을 제안하였다. 밀폐된 실내 공간내의 소음에 대한 최적 위치 선정에 관한 연구[2,3]는 수행된적이 있으나 본 논문에서와 같이 도로변에 위치한 사무실 등과 같은 외부의 소음원에 노출된 실내 공간의 소음 제어[4]를 위한 최적 위치 선정에 관한 연구는 없었다.

최적의 제어특성을 얻기 위해서는 마이크로폰 및 스피커들의 위치를 최적화 할 필요가 있는데 본 논문에서는 무작위 지향성 탐색 방법의 하나인 새로운 형태의 시뮬레이티드 어닐링 기법을 제안하였다. 실험용 공간의 여러 위치에 스피커들을 위치시키고 마이크로폰들과의 전달특성 값을 측정하여 시뮬레이티드 어닐링 기법을 이용하여 최적의 스피커와 마이크로폰의 위치를 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 선정하고 실험을 통하여 검증하였다.

## 2. 최적화 기법

능동 제어 시스템에서 사용되는 소스와 센서들의 최적 위치를 찾기 위하여 제어 대상이 되는 시스템의 물리적 특성(음향장)을 이론적으로 예측하려는 많은 연구가 있어왔다. 그러나 그 어느 연구 결과도 실제 상황에 적용하는 경우에 있어서는 예측된 데이터를 바탕으로 한 위치 선정보다 좋은 결과를 보여 주지는 못했다. 실제로 본 논문을 위한 선행 연구로 등가 소스법을 이용한 음향 모델링 기법을 이용하여 최적 위치를 추정하여 보았으나 실험 결과와 상이한 결과를 보여주었다.

본 논문에서는 측정 데이터를 기초로 하는 최적화 기법을 이용하여 최적 위치를 찾는 방법을 이용하였다.

## 2.1 능동소음제어 시스템의 모델링

그림 1은 전형적인 다중채널 능동제어 시스템을 간략하게 표현한 블록다이어그램이다. 이 시스템에 사용되는 마이크로폰의 수가 L, 스피커의 수가 M이라고 가정한다.

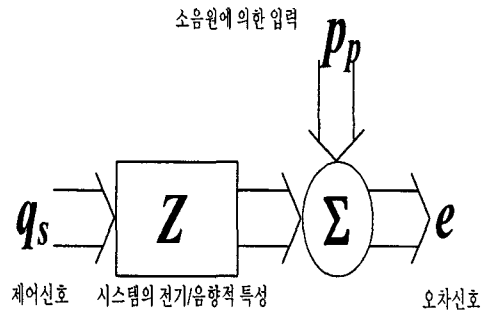


그림 1. 능동 소음제어시스템의 블록다이어그램  
Fig. 1. Block diagram of ANC systems

주소음원과 제어 스피커에 의해 각각의 마이크로폰에서 측정되는 소음의 합은 다음과 같이  $p$ 로서 나타낼 수 있다.

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

여기서  $p_p$ 는  $L \times 1$  벡터,  $Z$ 는  $L \times M$  행렬,  $q_s$ 는  $M \times 1$  벡터이다.

각각의 마이크로폰에서 측정되는 신호의 절대값의 제곱의 합은 식(2)와 같으며, 최적 위치를 추정하기 위해서는 에러센서에서 측정되는 신호 자체를 최소화하기 보다는 식(2)와 같은 형태로 표시되는 파워의 합을 목적함수로 사용한다.

$$J = p^H p \tag{2}$$

여기서  $H$ 는 Hermitian transpose 이다.

(1)식을 (2)식에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$J = [q_s^H Z^H Z q_s + q_s^H Z^H p_p + p_p^H Z q_s + p_p^H p_p] \tag{3}$$

식(3)으로 표시되는 목적함수를 최소화 시키는 제어입력신호  $q_s$ 는 다음과 같으며, 이러한 제어 입력이 가해질 때 최소화된 목적함수 값  $J_{min}$ 는 식(5)와 같다[3].

$$q_{opt} = -[Z^H Z]^{-1} Z^H p_p \quad (4)$$

$$J_{min} = p_p^H [I - Z(Z^H Z)^{-1} Z^H] p_p \quad (5)$$

제어 전 상태의 목적함수 값은 식(6)과 같으므로 이론적인 최대의 소음 감소치는 식(7)과 같다[3].

$$J_{p_p} = p_p^H p_p \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Attenuation(dB)} &= 10 \log_{10} \left( \frac{J_{p_p}}{J_{min}} \right) \\ &= 10 \log_{10} \left( \frac{p_p^H p_p}{p_p^H [I - Z(Z^H Z)^{-1} Z^H] p_p} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

제어 스피커로 입력되는 신호의 절대값의 합으로 표시되는 제어 파워(control effort)는 식(8)과 같다.

$$q_{opt}^H q_{opt} = p_p^H Z [Z^H Z]^{-2} Z^H p_p \quad (8)$$

## 2.2 시뮬레이티드 어닐링 기법

본 논문에서 다루는 최적화 문제는 탐색공간이 비선형적 특성을 갖고 있어서 미분이나 기타 전통적인 방식의 최적화 기법으로는 최적의 값을 찾는 것은 거의 불가능하므로 무작위 지향성 탐색 방법의 하나인 시뮬레이티드 어닐링 기법[5,6]을 이용하였다.

K 개의 스피커 후보 위치 중 최적의 I 개를 선정하는 경우를 고려하면,  $p_p$ 와 Z를 알고 있다면 식(1)을 이용하여 계산할 수 있다. 총 J 개의 마이크로폰이 사용되었다면  $J \times K$  크기의 Z 행렬을 구할 수 있으며 이로부터 임의로 I 개의 열을 골라내어 축소된  $J \times I$  크기의 Z행렬을 추출해 낼 수 있을 것이다. 따라서 K곳의 후보 위치 중 최적의 I 개를 찾는 문제는, 어떤 축소된 전달 특성 행렬이 최대의 소음 감쇄를 가져오는지 찾아내는 조합적 최적화 문제가 된다.

어떤 스피커 위치를 이용할 것인지 나타내는 방법은 2진수 표시법을 이용하였다. 예를 들어 '0101'로

표시되는 위치는 2번과 4번의 위치에 있는 스피커들을 사용한다는 표시다. 따라서 K 개의 위치 중에서 I 개의 위치를 선택하는 경우에는 K bit의 길이를 가지는 스트링으로 모든 위치를 표시하고 이중 어떤 I 곳의 '1'이 가장 좋은 결과를 가져오는지 알아내야 한다. 초기에는 무작위로 I 개의 '1'을 가지는 K bit 스트링이 생성되고 이에 해당하는 스피커 위치와 마이크로폰 간의 축소된 전달특성 행렬을 만든 후 이 구성으로 최대 소음 감소치를 계산해 낸다. 다음으로 기존의 스트링을 바탕으로 다음 스트링을 만들어 내어 그 목적함수 값을 계산한다. 새로운 스트링이 과거의 스트링보다 목적 함수 값이 좋으면 새로운 스트링이 과거의 스트링을 대체한다. 그렇지 않은 경우 새로운 스트링을 생성하여 위의 과정을 반복한다.

시뮬레이티드 어닐링 기법에서 가장 중요한 것은 과거의 스트링으로부터 새로운 스트링을 만들어 낼 때 사용되는 업그레이드 방법이다. 잘못 사용하면 국부 최적치 값만을 찾게 되거나 너무 많은 연산을 하게 되어 최적화 기법을 이용하는 의의를 상실할 위험이 있다.

본 논문에서는 한 개의 '1'인 비트를 무작위로 선택한 다른 '0'인 비트와 맞바꿔주는, 그래서 전체적으로는 항상 일정한 수의 '1'이 유지되게 해주는 알고리즘(기법1)을 제안하였다. 먼저 K 개의 후보 위치 중, 임의로 I 개의 위치에 1을 설정한 후 식 (6)을 이용하여  $J(J_1)$ 를 계산하고 임의로 1개의 위치의 1을 다른 곳으로 변경한 후 새로운  $J(J_2)$ 를 계산한다.  $E = J_1 - J_2$  라 두고 식 (9)를 이용하여 새로운 온도 값을 계산하고 식 (10)의 조건을 만족시키면 새로운 위치를 원래 위치와 교환하고 만족시키지 않으면 위의 과정을 반복한다.

$$T_{i+1} = a T_i, \text{ 초기치는 } T_0 \quad (9)$$

$$\text{RAND} < e^{(-|E|/T_{i+1})} \quad (10)$$

여기서 rand는 0과 1 사이의 랜덤수이며 a는 냉각상수이다. 본 논문에서는 a를 0.9,  $T_0$ 를 0.98로 선정하였다.

Travelling Salesman 문제의 경우에는 스트링의 임의의 두 지점을 선택하여 그 사이에 있는 비트들의 순서를 뒤집어 거꾸로 배열하여 새로운 스트링을 만들어 내는 방법(기법2)[6]이 매우 효과적이라고 알려져 있으나 본 논문의 경우에는 좋은 결과를 얻을 수 없었다.

### 3. 컴퓨터 시뮬레이션

최적 스피커 및 마이크론의 위치를 추정하기 위하여 그림 2와 같이 실험실 내에 위치한 모형 실내 공간 내의 30 곳 및 창문의 15 곳 등 45곳의 스피커 후보 위치 및 11 곳의 마이크론 후보 위치에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

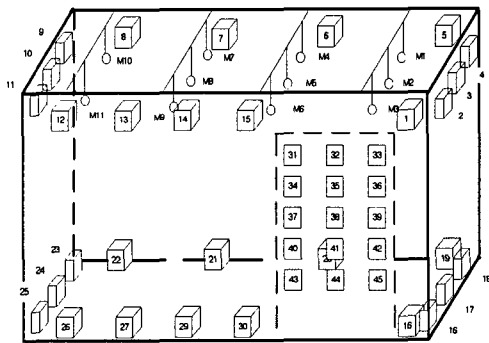


그림 2. 실험용 공간의 구조도  
Fig. 2. Structure of an experimental enclosure

소음원으로는 192[Hz] 소음을 사용하였으며, 소음원이 실험용 공간의 외부에 위치한다고 가정하였다. 실험용 공간의 모델링을 위하여 스피커 후보 위치 45 곳에서 마이크론 후보 위치 11 곳간의 음향 전달함수( $Z$ , 45 x 11 matrix)는 실험을 통하여 측정하였다.

제안된 알고리즘과 몬테카를로 알고리즘(M.M.) 및 시뮬레이티드 어닐링 중 가장 좋은 결과를 보이는 것으로 알려진 기법(S.A.)[6] 등을 이용하여 위치를 최적화하고 결과를 비교하였다.

11개의 마이크론을 모두 사용한다고 가정하고 최적 스피커의 위치를 추정한 후, 최적 스피커의 위

치에서 마이크론의 위치를 최적화 하였다.

### 3.1 스피커 최적 위치

#### 3.1.1 스피커가 모두 내부에 배치된 경우

표 1은 제안된 알고리즘을 이용하여 내부에 위치한 스피커 중에서 가장 좋은 결과를 보인 위치 조합에 대하여 소음 감소치가 가장 좋은 것부터 순서대로 5개의 결과를 나열한 것이며, 4개의 스피커만으로도 11개의 마이크론 위치에서 평균적으로 약 12.8[dB]의 소음 감소를 가져올 수 있음을 보여주고 있다

표 1. 최적 내부 스피커 위치(4개 사용시)  
Table 1. Optimal positions of internal speakers(4 speakers used)

순서	소음감쇄 [dB]	소요 파워	스피커 위치 번호			
1	12.79	1.78	15	17	18	30
2	12.61	1.88	15	16	18	30
3	12.50	21.25	15	16	17	30
4	11.05	2.00	1	3	14	15
5	11.00	2.04	2	3	14	15

그림 3은 제안된 알고리즘과 M.M. 및 S.A. 기법을 이용하여 내부에 위치한 30개의 스피커 위치를 최적화한 결과이다. 본 논문에서 제시한 방법이 다른 알고리즘에 비해 빠른 수렴을 보임을 알 수 있다.

표 2는 제어에 쓰이는 스피커의 총 수를 1개부터 8개까지 늘려 나갈 때 얼마만큼의 소음감소를 가져올 수 있는지를 계산한 결과이다. 스피커 6개나 7개를 사용하면 약 19~24[dB] 정도의 매우 좋은 소음 감소를 가져올 수 있음을 보여 준다. 스피커 6개를 썼을 때가 5개를 썼을 때보다 오히려 제어에 소요된 전체파워는 2.86에서 2.65로 줄어드는 것은 6개의 스피커를 쓰는 경우가 보다 효율적으로 역할 분담이 되었다는 것을 보여준다.

능동소음제어 시스템의 마이크론 및 스피커 최적위치 선정

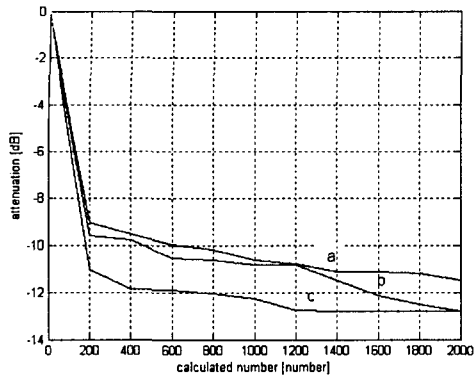


그림 3. 수렴성 비교

a: M.M, b: S.A, c: 제안 기법

Fig. 3. Comparison of Coverage properties

a: M.M., b: S.A., c: Proposed

표 2. 스피커수에 따른 최적 내부 스피커 위치

Table 2. Optimal positions of internal speakers(No. of speakers varies)

스피커 수	소음감쇄 [dB]	소요 파워	스피커 위치 번호														
1	2.64	0.64	15														
2	5.46	0.82	3	15													
3	9.02	1.01	2	3	15												
4	12.79	1.78	15	17	18	30											
5	15.58	2.86	2	14	15	17	30										
6	18.97	2.65	2	10	14	15	17	30									
7	24.24	2.1	1	3	12	14	15	17	29								
8	34.02	2.37	1	3	10	11	14	15	16	29							

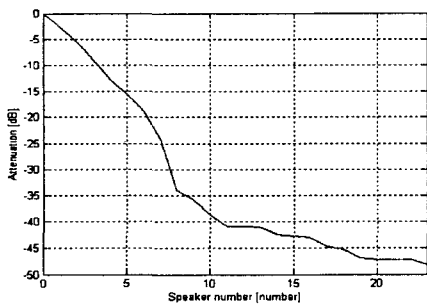


그림 4. 스피커 수에 따른 소음감쇄

Fig. 4. Noise attenuation for numbers of speakers

그림 4는 내부에 위치한 스피커들을 이용하여 스피커 수에 따른 소음감쇄를 본 것이다. 스피커 수가 늘어남에 따라 소음감쇄가 증가하나 스피커 수가 10개를 넘어서면 완만하게 증가함을 알 수 있다.

3.1.2 스피커가 모두 창문에 배치된 경우

표 3은 능동 방음벽인[4] 문에 위치한 스피커 중에서 가장 좋은 결과를 보인 위치 조합에 대하여 소음 감소치가 가장 좋은 것부터 순서대로 5개의 결과를 나열한 것이며, 약 16.15[dB]의 소음 감쇄를 가져올 수 있음을 보여주고 있다.

표 3. 최적 창문 스피커 위치(4개 사용시)

Table 3. Optimal positions of window speakers(4 speakers used)

순서	소음감쇄 [dB]	소요 파워	스피커 위치 번호			
1	16.15	29.89	34	36	38	41
2	15.06	23.01	33	34	38	41
3	15.02	25.00	32	37	38	39
4	14.95	24.05	35	37	38	39
5	14.90	29.37	33	37	38	39

표 4. 스피커수에 따른 최적 창문 스피커 위치

Table 4. Optimal positions of window speakers(No. of speakers varies)

스피커 수	소음감쇄 [dB]	소요 파워	스피커 위치 번호														
1	7.58	1.98	38														
2	9.84	1.62	36	38													
3	12.25	2.71	35	38	43												
4	16.15	29.89	34	36	38	41											
5	20.47	33.58	32	38	40	42	45										
6	21.74	21.83	31	36	38	40	41	45									
7	24.30	146.1	32	33	36	38	41	42	45								
8	31.64	150.7	31	36	38	39	40	41	42	45							

표 4는 창문에 배치된 스피커 수를 늘여가며 최적 위치에 배치할 때 가능한 소음 감쇄의 크기를 계산한 것이다. 표 2와 비교하면 내부에 배치하는 경우보

다 더 나은 결과를 보여주고 있다.

**3.1.3 스피커가 내부와 창문에 배치된 경우**

표 5는 내부와 창문에 위치한 모든 스피커를 이용하여 총 45곳의 위치에서 스피커 6개 사용 시 가장 좋은 스피커 위치를 5개까지 나열한 것이다. 마이크로폰 11개 위치에서 스피커 6개 사용시 약 26.80[dB]의 소음감쇄를 볼 수 있다.

**표 5. 최적 내부 및 창문 스피커 위치(6개 사용시)**  
Table 5. Optimal positions of internal and window speakers(6 speakers used)

순서	소음감쇄 [dB]	소요 파워	스피커 위치 번호						
1	26.80	26.499	17	25	35	38	39	41	
2	26.74	27.60	17	25	35	37	38	41	
3	26.26	12.19	13	17	30	32	35	41	
4	25.83	1.37	13	17	30	32	33	41	
5	25.79	24.35	16	25	35	38	39	41	

표 6은 내부와 문에 위치한 모든 스피커를 이용하여 총 45곳의 위치에서 1개부터 8개까지의 스피커 수를 늘려가면서 최적의 위치와 소음 감소를 나타낸 표이다. 전반적으로 내부와 문의 양쪽에서 고루 스피커 위치가 선정되어졌으며, 같은 수의 스피커를 사용하면 표 2 및 표 4보다 더 좋은 결과를 보였다.

**표 6. 스피커수에 따른 최적 내부 및 창문스피커 위치**  
Table 6. Optimal positions of internal and window speakers(No. of speakers varies)

스피커 수	소음감쇄[dB]	소요 파워	스피커 위치 번호											
1	7.58	1.98	38											
2	9.84	1.62	36	38										
3	13.89	19.23	1	39	42									
4	18.97	1.66	2	17	30	35								
5	21.70	5.68	16	30	33	34	35							
6	26.80	26.49	17	25	35	38	39	41						
7	33.86	20.90	13	30	32	36	40	41	45					
8	43.40	1.77	2	16	20	21	23	30	32	37				

**3.2 마이크로폰 최적 위치**

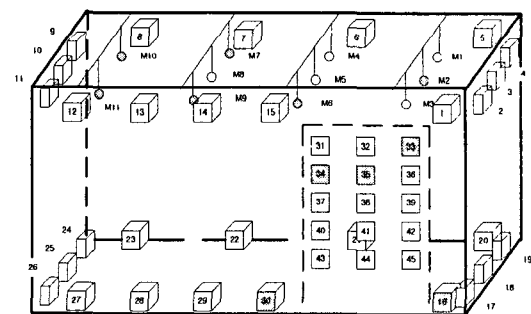
실험에 사용할 DSP의 성능을 고려하여 내부와 창문에 5개의 스피커를 사용시 최적위치인 16, 30, 33, 34, 35 위치에 스피커를 고정하고 전 절에서 시행한 시뮬레이션과 같은 방법으로 11개의 마이크로폰 위치 중 최적의 6개의 위치를 선정하였다.

표 7은 6개의 마이크로폰을 사용 시 소음감쇄 및 위치를 순서대로 나타낸 것이다. 6개의 마이크로폰을 이용하여 다중채널 LMS 알고리즘을 이용하여 능동소음제어 시스템을 시뮬레이션하였다. 표 7에 표시된 소음 감쇄는 전체 11개의 마이크로폰 위치에서 감쇄되는 소음감쇄의 평균치이다. 표 6과 비교하면 11개의 마이크로폰을 모두 사용할 때에 비하면 5 dB 정도 감쇄가 줄어드나 공간 전체에서 비교적 높은 감쇄를 얻을 수 있었다.

**표 7. 최적 마이크로폰 위치(6개 사용시)**  
Table 7. Optimal microphone positions(6 microphones)

순서	소음감쇄 [dB]	마이크로폰 위치 번호						
1	16.23	2	6	7	9	10	11	
2	14.03	1	3	5	6	7	9	
3	13.14	1	3	4	6	7	11	
4	12.87	2	3	5	6	7	9	
5	11.90	1	3	5	6	7	11	

스피커 및 마이크로폰의 최적 위치를 표시하면 그림 5과 같다.



**그림 5. 최적 스피커 및 마이크로폰 위치**  
Fig. 5. Optimal speaker and microphone positions

#### 4. 실험 및 검토

전장에서 계산된 최적 위치를 검증하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험용 공간의 전체적인 모양은 그림 5와 같고 크기는 가로 3.4[m], 세로 2.1, 높이 2.1[m]이며 스피커 및 마이크로폰(1.5m 높이)은 그림 5의 위치에 설치하였다.

하드웨어는 DSP TMS320VC33[7], 마이크로폰 증폭기, LPF(Low Pass Filter), 신호 증폭기(OP Amp), 스피커 증폭기 등으로 구성하였으며, 적응필터는 24차의 다중채널 LMS 알고리즘을 이용하여 구현하였다.

최적 위치와 임의의 위치를 비교하기 위하여 그림 6과 같은 위치에서 실험한 결과를 그림 5의 최적 위치와 비교하였다.

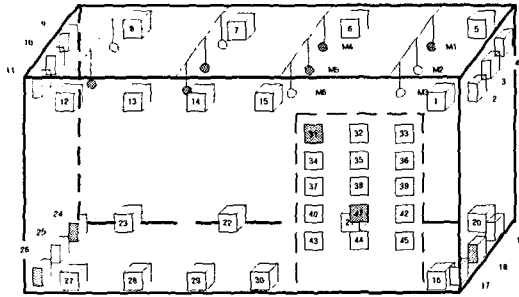


그림 6. 임의의 최적 스피커 및 마이크로폰 위치  
Fig. 6. Arbitrary speaker and microphone positions

시뮬레이션에서 이용된 192[Hz]의 주파수의 정현파를 이용하여 실험하였으며 전체 위치에서 소음 감쇄를 그림 7 및 8에 보였다.

그림 7은 그림 6의 최적 위치에서 실험한 결과로 최대 20[dB] 이상 평균 11[dB]의 소음감쇄를 얻을 수 있었다. 그림 8은 그림 6과 같이 임의의 위치에서 공간 전체에서의 소음 감쇄 실험 결과이다. 최대 20[dB]이상 평균 6[dB]의 소음감쇄를 보여준다.

마이크로폰이 위치한 부근에서는 최적 위치와 임의의 위치가 큰 차이를 보이지 않으나 공간 전체에서는 최적 위치에서 실험한 결과가 훨씬 좋은 결과를 보였다. 마이크로폰 및 스피커의 위치를 여러 가

지로 옮겨가며 실험하였으나 유사한 결과를 보였다.

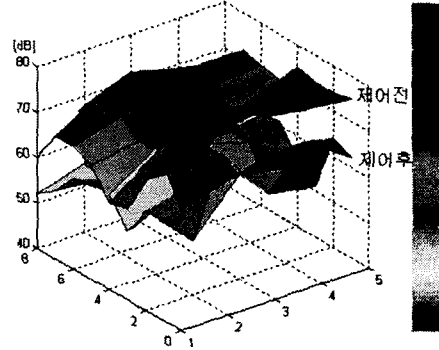


그림 7. 최적위치에서 공간 전체의 소음감쇄  
Fig. 7. Overall noise attenuation for optimal positions

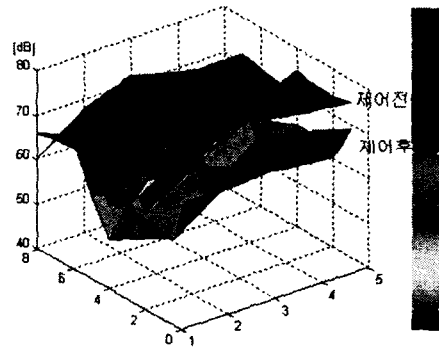


그림 8. 임의의 위치에서 공간 전체의 소음감쇄  
Fig. 8. Overall noise attenuation for arbitrary positions

#### 5. 결론

본 논문에서는 외부 소음원에서 발생한 소음이 창문 등을 통해 실내 공간에 전파되는 것을 방지하기 위한 능동소음제어 시스템의 스피커 및 마이크로폰의 최적 위치를 추정하는 기법을 제안하였다.

최적의 제어특성을 얻기 위해서는 마이크로폰 및 스피커들의 위치를 최적화 할 필요가 있는데 본 논문에서는 무작위 지향성 탐색 방법의 하나인 새로운

형태의 시뮬레이티드 어닐링 기법을 제안하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 최적의 스피커 위치를 계산한 결과 스피커를 공간의 내부 및 창문에 섞어 배치하는 것이 효과적이라는 결과를 얻었다.

최적의 스피커 및 마이크로폰 위치에서 정현파를 가진시킨 실험 결과 최적의 위치에서 실험한 결과가 임의의 위치에서 실험한 결과보다 전체적으로 좋은 특성을 보였다.

이 연구는 2003 학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 남현도 (南炫道)

1956년 3월 27일생, 1979년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1986년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학 박사), 1991년-1992년 Visiting fellow, ISVR, Univ. of Southampton, England, 1982년 - 현재 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수, 1998년 - 현재 단국대학교 부설산업기술연구소장.

#### 이홍원 (李弘源)

1978년 4월 13일생, 2001년 단국대학교 전기공학과 졸업, 현재 단국대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

## References

- [1] S.M. Kuo and D. Morgan, Active Noise Control System, John Wiley and Sons. Inc, 1996.
- [2] C. P. Kuo and R. Bruno, "Optimal actuator placement on an active reflector using a modified simulated annealing technique," Second Conference on Recent Advances in Active Control of Sound and Vibration, pp.1056-1067, 1993.
- [3] K.H. Baek and S.J. Elliott, "Natural algorithms for choosing source locations in active control systems," J. of Sound and Vibration, vol.186, pp.245-267, 1995.
- [4] 남 현도, 서 성대, "다중채널 LMS 알고리즘을 이용한 능동방음벽 구현," 조명·전기설비학회 논문지 게재 예정, 2003.
- [5] P.J.M Van Laarhoven and E.H. Aarts, Simulated Annealing: Theory and Applications, Kluwer academic publisher, 1988.
- [6] V. Cerny, "Thermodynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm," Journal of Optimization Theory and Applications, Vol.45, pp.41-51, 1985.
- [7] Texas Instruments, TMS320VC33 Programmer' s Guide, 2000.