

# 유전자 알고리즘을 이용한 직선 방음벽의 최적 설계

## Optimal Design of Straight Noise Barriers Using Genetic Algorithm

하지형\* · 최태묵\*\* · 조대승\*\*\*

Jee-Hyung Ha, Tae-Muk Choi and Dae-Seung Cho

### ABSTRACT

A successful design approach for noise barriers should be multidisciplinary because noise reduction goals influence both acoustical and non-acoustical considerations, such as maintenance, safety, physical construction, cost, and visual impact. These various barrier design options are closely related with barrier dimensions. In this study, we have proposed an optimal design method of straight noise barriers using genetic algorithm, providing a barrier having the smallest dimension and achieving the specified noise reduction at a receiver region exposed to the industry and traffic noise, to help a successful barrier design.

### 1. 서론

최근 정온한 생활환경을 구현하기 위한 노력의 일환으로 교통 또는 옥외 산업기로부터 유발된 소음을 저감하기 위한 방음시설을 많이 설치하고 있다. 국내 고속도로의 경우에 있어서도 1999년도 기준 1,000여 지점에 총 연장길이 249,013 m, 총면적 354,044 m<sup>2</sup>의 방음시설이 설치<sup>(1)</sup>되어 있어 국가적으로 방음시설 구축에 막대한 비용이 소요되고 있다.

방음시설의 대부분을 차지하는 방음벽에 의한 차음 성능은 회절 효과에 의해 좌우된다. 따라서, 소음저감 대상 지역의 목표 소음레벨 저감량이 결정되면 소음원과 수음점 사이에 위치할 방음벽의 높이 및 측면 방향 회절 경로로 전달되는 소음량을 고려해야만 최적의 방음벽 설계가 가능하다. 그러나, 기존의 방음벽 설계는 높이 방향으로 회절효과만을 고려하거나 시

행 착오 방법으로 방음벽의 높이 및 폭을 결정하는 경우가 많다. 이로 인해 방음벽 과잉 설치로 인한 비용 증가와 조망권 저해 또는 방음벽 시공후 소음 저감 효과 미달로 인한 민원이 제기되는 등의 문제점이 발생하고 있다.

이에 본 연구에서는 한 개의 점 소음원은 물론 도로, 철도와 같은 선 소음원을 나타내는 다수의 점 소음원에 노출된 지역에 방음벽을 설치할 경우 최소의 비용으로 지정된 소음저감 효과를 갖는 방음벽의 효율적 설계를 위해 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용한 직선 방음벽 최적 설계 방법을 제시하였다. 이때, 방음벽의 차음성능은 ISO 9613-2<sup>(2)</sup>에 규정된 회절효과 평가식을 이용하여 방음벽의 높이 및 폭 방향 회절경로를 고려하여 평가하였다. 제시된 방법의 타당성과 효율성은 환경소음예측프로그램 ENPro<sup>(3)</sup>를 이용한 계산 결과와 비교·검토하여 수행하였다.

### 2. 직선 방음벽 최적 설계

#### 2.1 정식화

방음벽 설계시 목표 소음저감량은 소음저감 대상지

\* 부산대학교 대학원 조선해양공학과  
E-mail : potato99@hanmail.net  
Tel : (051) 510-2752

\*\* 부산대학교 대학원 조선해양공학과

\*\*\* 정희원, 부산대학교 조선해양공학과

역에 대한 소음 측정 또는 예측에 의해 결정할 수 있다. 방음벽 설치 및 유지 비용은 방음벽 설치면적  $F(X)$ 에 비례한다. 또한, 방음벽에 작용하는 환경 하중과 설치 지역의 용도에 따라 소음저감효과에 상관없이 설치 가능한 방음벽의 최대 높이  $(x_H)_{\max}$  및 최대 길이  $W_{\max}$ 가 제한된다. 한편, ISO 9613-2에서는 특정 구조물이 회절 효과를 유발하기 위해서는 Fig. 1에 보인 바와 같이 소음원과 수음점을 잇는 직선에 수직한 구조물의 길이가 음파의 파장  $\lambda$ 보다 커야 하며, 방음벽과 같이 단일 회절을 유발하는 구조물의 차음성능  $A_b$ 의 최대치는 20 dB로 제한된다고 규정하고 있다.

이에 본 연구에서는 방음벽 최적 설계를 위한 목적 함수와 구속조건을 Fig. 2에 보인 바와 같이 방음벽의 높이  $x_H$ 와 소음원과 수음점을 잇는 직선과 방음벽이 만나는 지점을 기준으로 방음벽의 좌·우측 길이  $x_L$  및  $x_R$ 를 이용해서 다음과 같이 설정하였다.

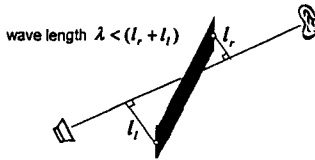


Fig. 1 Barrier having screening effect



Fig. 2 Variables to design an optimal barrier

### 목적함수

$$\text{Minimize } F(X) = x_H(x_L + x_R) \quad (1)$$

### 구속조건

$$\cdot g_1(X) = L_o - A_b - L_d \leq 0 \quad (2)$$

$$\cdot g_2(X) = A_b - 20 \leq 0 \quad (3)$$

$$\cdot g_3(X) = \lambda - l_L - l_R < 0 \quad (4)$$

$$\cdot g_4(X) = x_H - (x_H)_{\max} \leq 0 \quad (5)$$

$$\cdot g_5(X) = x_L + x_R - W_{\max} \leq 0 \quad (6)$$

여기서,  $l_L$ ,  $l_R$ 의 정의는 각각 Fig. 1에 보인 바와

같고,  $L_o$ 는 방음벽이 설치되기 전의 수음점 소음레벨,  $L_d$ 는 수음점의 목표 소음레벨을 나타낸다.  $A_b$ 는 중심주파수 63Hz부터 8kHz까지의 옥타브밴드별로 산정되는 방음벽 설치로 인한 소음저감량(dB)으로서 방음벽 높이 방향 회절감쇠량  $A_H$ 와 좌·우 길이방향 회절 감쇠량  $A_L$ ,  $A_R$ 에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$A_b = 10 \log(10^{-0.1A_H} + 10^{-0.1A_L} + 10^{-0.1A_R}) \quad (7)$$

본 연구에서는 방음벽으로 인한 개별 회절경로에서의 차음효과  $A_s$ 를 ISO 9613-2에 규정된 방법을 적용하여 중심주파수 기준 63Hz부터 8kHz까지의 옥타브밴드별로 다음과 같이 산정하였다.

$$A_s = 10 \log[3 + (20/\lambda)z K_{met}] - C_0 \text{ dB} \quad (8)$$

여기서,

$$C_0 = \begin{cases} \text{높이 회절: } A_{gr} \\ \text{측면 회절: } 0 \end{cases}$$

$\lambda$ : 옥타브밴드 중심주파수에서의 파장 ( $m$ )

$z$ : 회절경로와 직접경로의 거리 차 ( $m$ )

$$K_{met} = \begin{cases} Z > 0 : \exp\left(\frac{-1}{2000} \sqrt{\frac{d_{ss}d_{sr}d}{2z}}\right) \\ Z < 0, \text{ 측면회절} : 1 \end{cases}$$

상기 식에서  $A_{gr}$ 은 ISO 9613-2에 규정된 소음 전달 경로상에서의 지면감쇠효과를 나타낸다. 또한,  $d_{ss}$ ,  $d_{sr}$ ,  $d$ 는 각각 소음원에서 방음벽 회절점, 수음점에서 방음벽 회절점, 소음원에서 수음점까지의 거리( $m$ )를 나타낸다.

### 2.2 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

본 연구에서는 2.1절에 정식화한 방음벽 최적설계의 해법으로 유전자 알고리즘을 적용하였다. 이때, 각 염색체(chromosome)는 방음벽의 최대치수에 대한 구속조건을 만족하는 방음벽의 높이 및 좌·우측 길이로 표현되는 하나의 설계안( $x_H, x_L, x_R$ )으로 설정하고, 임의로 결정된 유한 개의 설계안을 초기 개체군(population)으로 구성하였다. 이때, 실제 방음벽 시공시의 방음판 1개당 크기를 반영할 수 있도록 각 설계안의 방음벽 높이 및 길이는 지정된 간격의 배수로 생성되게 하였다.

최적화에 필요한 각 설계안의 적합도(fitness)는 Fig. 3에 보인 바와 같이 우선 초기 생성된 개체군을 형성하는 설계안들에 대해 식(1)~식(6)에 나타낸 목

즈 함수와 구속함수를 이용해서

$$E(X) = F(X) + \sum_{i=1}^5 w_i g_i(X) \quad (9)$$

로 평가하였다. 여기서,  $w_i$ 는 각 구속조건에 대해 임의로 지정할 수 있는 가중계수이다<sup>(4)</sup>.

상기의 적합도 평가는 지정된 횟수만큼 기존 개체군을 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)시켜 도출된 새로운 개체군에 대해 반복 수행하되  $E(X)$ 를 최소로 하는 설계안은 항상 현재의 개체군에 포함되도록 하는 엘리트리스트(elitist) 모티프를 사용하였다.

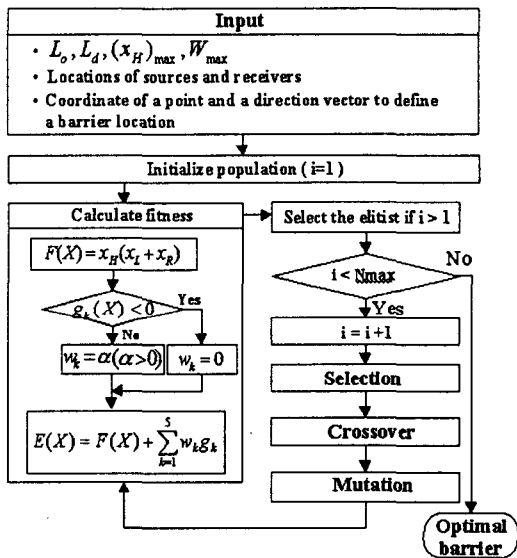


Fig. 3 Procedures to design the optimal barrier using genetic algorithm

### 3. 수치계산 예 및 고찰

전술한 방음벽 최적설계 방법의 타당성을 검토하기 위한 수치계산을 수행하였다. 이때, 도로와 철도와 같은 선소음원은 다수의 분할된 점소음원으로 고려하였다. 수치계산에 있어서 점소음원 한 개의 음향파워레벨은 도로교통소음의 음향파워 스펙트럼을 적용하여 Table 1에 나타낸 값을 이용하였다. 또한, 모든 소음원과 수음점의 유효 높이는 각각 0.1 m, 1.5 m로 하였으며, 방음벽 설치 전·후의 수음점 소음레벨은 본 연구에서와 동일한 방법으로 방음벽의 차음

효과를 산정하는 환경소음 예측프로그램 ENPro를 이용해서 산정하였다. 한편, 수치계산에 있어서 수음점의 목표소음레벨은 65 dBA로 설정하였다.

Table 1. Sound power level  $L_w$  of a point source (unit: dBA)

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	overall
$L_w$	74	84	93	98	100	98	94	87	104

### 3.1 단일 소음원과 단일 수음점

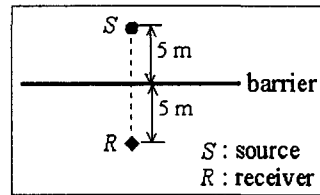


Fig. 4 A barrier optimization problem: single source, single receiver

Fig. 4에 보인 바와 같이 1개의 점 소음원로부터 10 m 떨어진 수음점의 소음저감을 위한 방음벽을 소음원으로부터 5 m 떨어진 위치에서 소음원과 수음점을 잇는 직선에 수직인 방향으로 설치할 경우에 대한 방음벽 최적설계를 수행하였다. 이때, 설치 가능한 방음벽의 최대 높이가  $(x_H)_{max}$ 와 최대 길이  $W_{max}$ 에 대한 구속조건은 다음과 같이 최대설치면적이 동일한 2가지 경우로 설정하였다.

■ Case A:  $(x_H)_{max} = 3 \text{ m}$ ,  $W_{max} = 20 \text{ m}$

■ Case B:  $(x_H)_{max} = 1.5 \text{ m}$ ,  $W_{max} = 40 \text{ m}$

상기 2가지 경우에 대해 방음벽의 높이 및 길이방향 치수 증분을 0.1 m로 설정하고 최적화한 결과는 Table 2에 나타내었으며, 최적 설계된 방음벽 설치 전·후의 수음점 음압레벨을 환경소음예측프로그램 ENPro를 이용해서 계산한 결과는 Table 3에 나타내었다.

이로부터 Case A와 Case B 모두 목표 소음레벨 65 dB(A)를 만족시키나 최대 높이 제한 조건이 3 m인 Case A가 1.5 m로 제한한 Case

Table 2 Optimized barrier size: Single source, single receiver

	$x_L(m)$	$x_R(m)$	$x_H(m)$	Area( $m^2$ )
Case A	2.0	2.0	1.6	6.40
Case B	2.3	2.2	1.5	6.75

Table 3 A-weighted SPL at the receiver with and without the optimal barrier  
(unit : dBA)

Freq. (Hz)	Without barrier	Optimally designed barrier	
		Case A	Case B
63	19.7	19.7	19.7
125	39.8	35.5	35.1
250	56.3	50.3	50.1
500	66.7	58.7	58.6
1000	71.9	61.6	61.7
2000	71.0	58.2	58.4
4000	66.7	51.1	51.4
8000	56.9	38.5	38.9
Overall	75.8	64.9	65.0

B보다 방음벽 설치 면적이 적음을 확인할 수 있다. 이는 상대적으로 높이 방향 회절 효과가 좌·우측 길이방향 회절효과보다 크기 때문이다. 또한, 두 경우 모두 63Hz 대역에서 소음저감효과가 없는 것은 소음원과 수음점을 잇는 직선에 수직한 방음벽의 길이가 63Hz에서의 음파의 파장보다 작기 때문이다.

한편, 최적설계된 방음벽 치수를 기준으로 방음벽의 길이와 높이를 증감시키면서 수음점의 소음레벨을 ENPro를 이용해서 평가한 결과 상기 최적설계된 방음벽보다 작은 면적을 가지면서 수음점의 목표소음레벨을 만족하는 방음벽은 찾지 못하였다.

### 3.2 복수 소음원과 단일 수음점

본 연구에서 제시한 방법을 교통 소음원과 같이 선 소음원에 대해 적용할 경우의 타당성을 확인하고자 Fig. 5에 보인 바와 같이 분할된 선소음원을 나타내는  $S_1$ 부터  $S_5$ 까지의 5개의 동일 점 소음원이 일직선상에 위치한 경우 한 개의 수음점에 대한 방음벽 최적설계를 수행하였다. 이때, 방음벽 설치 전의 각 점 소음원

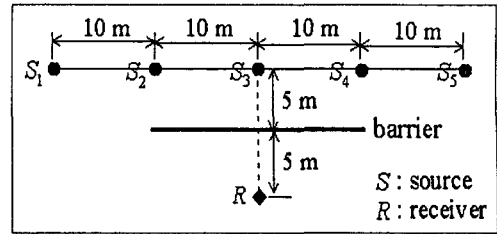


Fig. 5 A barrier optimization problem: Multi-sources, single receiver

이 수음점에 기여하는 소음레벨은  $S_1$ 부터 차례대로 68.8, 72.8, 75.8, 72.8, 68.8(dBA)로서 수음점의 총합음압레벨은 79.6 dBA이다.

최적 설계에 있어서 방음벽의 최대 높이 및 최대 길이에 대한 구속조건은

- Case A:  $(x_H)_{max}=50m, W_{max}=4m$
- Case B:  $(x_H)_{max}=100m, W_{max}=2m$

와 같은 두 경우로 설정하였으며, 방음벽의 높이 및 길이방향 치수 증분은 0.4m로 설정하였다.

상기의 구속조건에 대해 최적설계를 수행한 결과는 Table 4에 나타내었는데 2 경우 모두 수음점과 중앙에 위치한 점 소음원을 잇는 직선을 기준으로 방음벽의 좌·우측 길이가 동일함을 확인할 수 있다. 아울러, 최적 설계 결과에 해당하는 방음벽 설치시 수음점의 음압레벨을 ENPro를 이용해서 평가한 결과 2 경우 모두 목표 소음레벨 65dB(A)를 만족함을 확인하였다.

Table 4 Optimized barrier size: Multi-sources, single receiver

	$x_L(m)$	$x_R(m)$	$x_H(m)$	Area( $m^2$ )
Case A	12.8	12.8	2.4	61.44
Case B	16.0	16.0	2.0	64.00

### 3.3 복수 소음원과 복수 수음점

본 연구에서 제시한 방음벽 최적 설계방법의 응용성을 검토하고자 Fig. 6에 보인 바와 같이 곡선 형태로 배치된 5개의 점 소음원과 사각

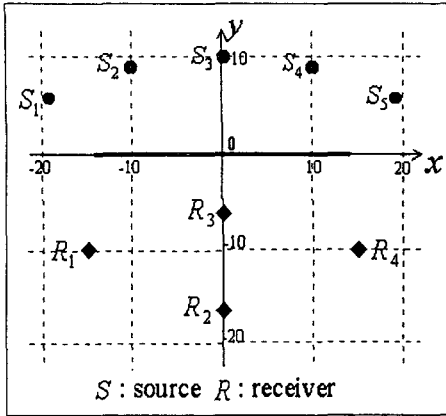


Fig. 6 A barrier optimization problem: Multi-sources, multi-receivers

Table 5. Receiver noise levels propagated from the five point sources before barrier construction

(unit: dBA)

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
$S_1$	71.2	66.5	68.7	64.0
$S_2$	69.5	67.1	70.7	65.6
$S_3$	67.5	67.5	71.7	67.5
$S_4$	65.6	67.1	70.7	69.5
$S_5$	64.0	66.5	68.7	71.2
Overall	75.3	73.9	77.3	75.3

수음영역의 모서리부에 위치한 4개의 수음점에 대한 방음벽 최적설계를 수행하였다. 방음벽 설치 전에 각 소음원이 수음점에 기여하는 소음 레벨과 각 수음점에서의 총압음압레벨은 Table 5에 나타내었다. 최적설계에 있어서 방음벽의 최대 길이와 높이는 각각 100 m, 8 m로 설정하였다.

Table 6에는 최적 설계를 각각의 수음점에 대해 별도로 수행한 결과와 4개의 수음점을 동시에 고려하여 수행한 결과를 나타내었다. 이로부터 4개의 수음점을 동시에 고려하여 최적설계한 방음벽의 설치 면적 72 m<sup>2</sup>은 개별 수음점에 대한 최적 설계치들의 최대값에 해당하는

높이 2.0 m, 좌·우측 길이 21.2 m로 할 경우의 설치면적 84.8 m<sup>2</sup>보다 적게 산정됨을 확인할 수 있다. 이는 개별 수음점에 대한 최적설계 결과는 복수 수음점에 대한 최적설계와 비교하여 높이 또는 길이 방향의 회절 효과가 적게 평가되기 때문이다.

한편, 최적 설계된 방음벽이 설치된 경우의 수음점 소음레벨을 ENPro를 이용해서 계산한 결과를 Fig. 7에 나타내었는데 수음점  $R_3$ 의 소음레벨이 목표치인 65dBA와 같고, 타 수음점은 65 dB 이하임을 확인할 수 있다.

Table 6. Optimized barrier sizes for both each receiver and all the receivers

Receiver	$x_L(m)$	$x_R(m)$	$x_H(m)$	Area( m <sup>2</sup> )
$R_1$	21.2	11.2	1.4	45.36
$R_2$	17.6	17.6	1.0	35.20
$R_3$	13.4	13.4	2.0	53.60
$R_4$	11.2	21.2	1.4	45.36
Total	20.0	20.0	1.8	72.00

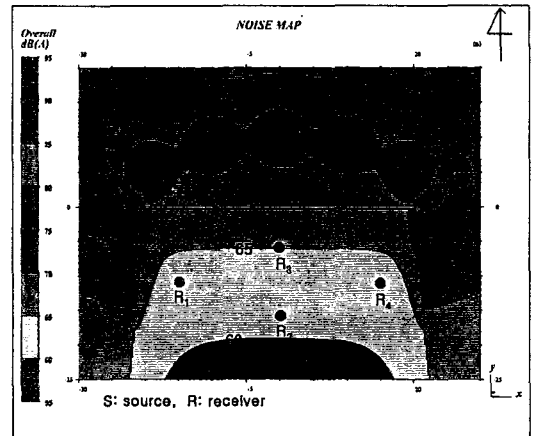


Fig. 7 Noise map after building the optimally designed barrier

#### 4. 결론

본 연구에서는 지정된 소음저감 효과를 갖는 방음벽의 효율적 설계를 위하여 방음벽 설계

문제를 정식화하고 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 방법을 제시하였다. 제시된 방법은 산업 기기와 같은 점 소음원은 물론 도로, 철로와 같이 다수의 점소음원으로 모델링 가능한 선소음원에 노출된 수음 영역의 소음 저감을 위한 직선 방음벽의 최적 설계에 유용하게 활용될 수 있다고 판단한다.

### 참 고 문 헌

- (1) 한국도로공사, 1999, 방음시설 설치 현황.
- (2) ISO 9613-2, 1996, "Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 2: General method of calculation", International Standard Organization, Geneva.
- (3) Dae-Seung Cho, 2001, *ENPro 3.0 User Manual*, Createch.
- (4) Melanie Mitchell, 1996, *An Introduction to Genetic Algorithms*, Massachusetts Institute of Technology.
- (5) Zbigniew Michalewicz, 1996, *Genetic Algorithms+Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag.
- (6) Mitsuo Gen and Runwei Cheng, 1997, *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (7) Beranek, L. L., and Ver, I. L., 1992, *Noise and Vibration Control Engineering - Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York, Chap. 5.