

레이추적법에 의한 에어컨 실외기의 환경소음 예측에 관한 연구

최진권*, 0장서일**, 이진교***, 이수일***

Environmental Noise Assessment of Outdoor Air-conditioner Fans by Using Ray Tracing Method

Jin Kwen Choi, Seo Il Chang, Jin Kyo Lee, Soo Il Lee

ABSTRACT

This environmental influence of the noise produced by a number of air-conditioner out-door units in a multi-unit housing is predicted and evaluated. The method based on Ray tracing theory and mirror image source theory is utilized. Each ventilation window in a machine room is considered as a sound source which contributes to the overall noise level of the surrounding environment. The adopted method has been found a very efficient tool to assess the environmental noise impact.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근에 소음공해는 교육 및 문화 수준이 전반적으로 높아짐에 따라 중요한 피해원인으로 인식되고 있으며 그와 관련된 민원은 전체 환경민원의 60% 이상을 차지하고 있다. 특히 주거지역의 대단위 건물의 각종 기기가 발생하는 생활소음은 인근 주민의 정온한 생활환경을 침해하는 경우가 많아 집단민원의 주요원인이 되고 있다. 따라서 설계시 이러한 점들을 미리 고려하여 대책을 마련할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 고층빌딩에 설치할 다수의 에어컨 실외기를 운전할 때 주변 거주지역에 방사되는 소음도를 예측하여 실외기 설치실의 설계에 필요한 최적 음향학적 설계자료를 구하는데 있다.

1.2 연구의 내용, 범위 및 방법

본 연구의 내용은 크게 2단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 각종의 실외기 설치실의 음향학적 해석을 통한 음원의 규명(sound source identification) 단계이다. 주변의 건물을 포함한 전체 시스템을 해석할 때 다수의 실외기 설치실을 실제의 모습대로 모델링에 포함시켜 해석을 수행하는 것은 실제적으로 불가능하기 때문에 1개의 설치실이 전체 시스템에서 어느 정도의 음향파워(sound power)를 갖는지를 규명하게 된다. 두 번째 단계에서는 규명된 다수의 음원을 주위 환경을

* 서울시립대학교 대학원

** 서울시립대학교 환경공학부

*** 삼성전자 공조기기 사업부

포함한 전체 시스템에 적용해 환경에 어떠한 영향을 미치는지를 해석을 통해 검토하게 된다.

이러한 음향학적인 해석을 하는 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 '파동 음향학(wave acoustics)⁽²⁾', 또는 '물리 음향학(physical acoustics)'을 근거로 하는 방법으로 음파의 물리적 측면을 중요시 한다. 이 방법은 어떠한 음장의 해석이 필요할 때 그 음장의 경계조건(boundary conditions)을 수반한 파동 방정식(wave equation)을 풀어 해를 구하는 것으로 이론적인 해석은 매우 간단한 형상의 음장의 경우에만 가능하고 유한요소법(Finite Element Method)이나 경계요소법(Boundary Element Method)에 응용하여 실제문제를 해석할 수 있으나 다수의 고차모드가 관련되는 문제이거나 열린 공간의 경우에는 그 효율성이 떨어진다.

두 번째 방법으로는 본 연구에서 채택한 '기하음향학(geometrical acoustics)⁽³⁾'을 기본원리로 하며 광파(light wave)를 광선(light ray)으로 가정하는 것처럼 음파(sound wave)를 음선(sound ray)으로 가정한다. 이 음선은 고체표면에서는 반사하고 반사할 때마다 에너지의 일부분을 잃어버리게 된다. 이 방법은 물리적인 파동의 성질을 고려하지 않기 때문에 중·고주파수 대역의 해석에 적합하며 특히 스케일이 큰 공간, 또는 옥외에서의 음장해석에 유리하다. 그 구체적인 방법으로는 크게 레이추적법(Ray Tracing Method, RTM)와 거울형상음원법(Mirror Image Source Method, MISM)로 나눌 수 있다.

RTM은 음원에 의해 방출되는 에너지가 유한개의 음선으로 동일한 양으로 배분되어진다고 가정한다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 각각의 음선은 음속으로 이동하며 고체면과 충돌해 반사하게 되고 고체면에서의 흡음과 공기 중에서의 흡음으로 인해 에너지가 감소하게 된다. 음선이 갖고 있는 에너지의 양이 어느 수준 이하로 떨어질 때 그 음선은 음장에 아무런 영향을 주지 못하므로 계산을

멈추고 다음 번 음선에 대해 같은 계산을 반복한다. 모든 음선에 대해 이러한 계산을 한 후 특정지점의 음에너지를 계산할 때 그 지점에서의 유한한 부피를 수음부피(sound receiver cell)로 가정하고 그 수음부피를 지나는 모든 음선의 에너지 레벨을 합한다.

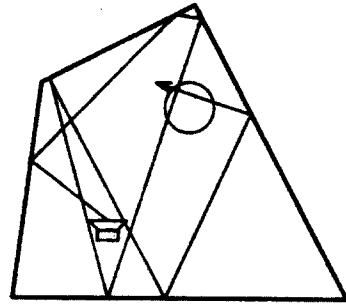


Fig. 1 음선의 이동과 흡음

MISM은 가상의 음원을 벽을 사이에 두고 반대쪽에 위치시키는 방법으로 수음점으로부터 음원으로, 음의 반사경로를 역으로 추적한다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 균일음원(isotropic sound source) S와 수음자 R이 직사각형 단면의 방에 있을 때 4개의 벽에 대해 1차의 거울이미지 S_1, S_2, S_3, S_4 를 설정할 수 있다. Fig. 2에서 보듯이 거울이미지와 수음자를 잇는 선, 즉 S_iR 과 벽의 교차점을 찾아 1차의 반사경로를 찾아낼 수 있으며 이러한 과정은 필요한 차수의 거울이미지에 대해 진행된다.

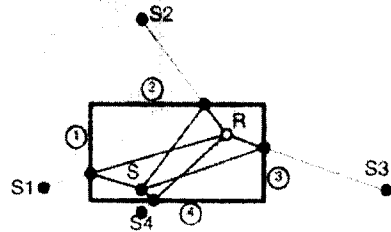


Fig. 2 1차의 거울이미지와 반사경로

본 연구에서 사용한 LMS社의 Raynoise⁽¹⁾는 위에서 설명한 두 가지 방법과 회절, 투과손실 등을 용이하게 모델링할 수 있기 때문에 실내음장분석과 옥외환경소음 관련 문제의 해석에 널리 쓰여 왔으며 본 연구의 대상에도 효율적으로 적용되어졌다.

Raynoise와 같은 시뮬레이션 프로그램을 이용할 때 예측결과와 정확성을 좌우하는 요인 중의 하나는 음원의 정확한 규명(identification)이다. 실외기의 음향파워레벨을 가능한 정확히 알기 위해서는 무향실에서 음압레벨을 측정해서 추정할 수도 있고 음향 인텐시티를 측정해서 얻을 수도 있는데 본 연구에서는 후자의 방법을 택했다. 이러한 측정에 의해 얻은 음원의 음향파워레벨은 설치실의 해석에 이용되어지며 설치실의 환기창을 가상의 음원으로 설정할 때 그 음원의 음향파워레벨을 규명하게 된다.

참고로 본 연구의 모델링은 AUTOCAD에 의해 수행되었고 Raynoise로 Export 되었다.

2. 현장 실태

2.1 S시 G아파트

S시 G아파트는 Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 주거지역의 고층아파트, 교육 및 운동 시설, 업무용 빌딩 등과 인접해 있다. 최소인접거리는 20m정도이며 에어컨 실외기의 소음이 문제 될 수 있다.

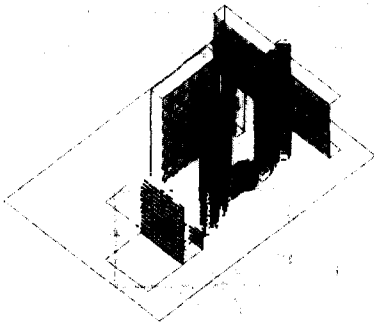


Fig. 3 S시 G아파트

2.2 S시 T아파트

S시 T아파트는 Fig. 4에서 볼 수 있는 것처럼 고층의 업무용 빌딩과 인접해 있다. 에어컨 실외기의 소음이 문제될 수 있을 것으로 판단되며 특히 단지내의 소음도 문제 될 수 있을 것으로 생각된다.

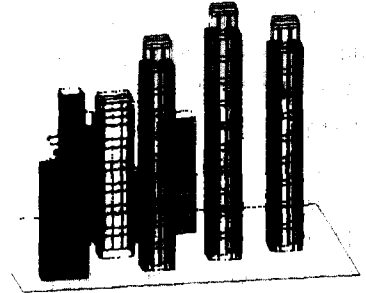


Fig. 4 S시 T아파트

3. 실외기 설치실의 모델링과 해석

3.1 실외기 설치실의 모델링

S시 G아파트의 실외기 설치실은 A, B, C의 3종이 있으며 S시 T아파트의 실외기 설치실은 D의 1종이 있다. AUTOCAD에 의해 모델링된 실외기 설치실의 모습은 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8과 같다.

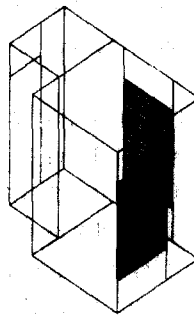


Fig. 5 설치실 A

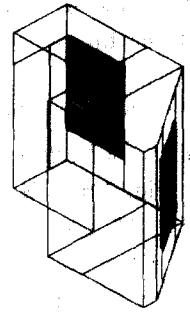


Fig. 6 설치실 B

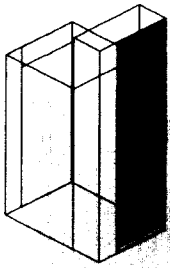


Fig. 7 설치실 C

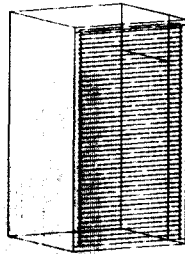


Fig. 8 설치실 D

3.2 실외기의 음향파워레벨 측정

본 연구의 소음원을 규명하기 위하여 음향인텐시티 방법을 이용한 음향파워 측정 실험을 하였다. 측정방법은 ISO 9614를 참조하였으며 무향실/반무향실에서 LMS CADA-X장비와 B&K 인텐시티 프로브를 이용하였으며 각 측정면의 격자점에서 인텐시티를 측정한 후 음향 파워레벨로 환산하였다. 실외기 표면에서 30cm 떨어진 가상 육면체 면의 바닥을 제외한 5개면을 측정면으로 설치하였으며 해당면에 30cm×30cm의 기본격자를 형성하여 총 143개 측정점을 구했다. 에어컨 실외기에서 최대소음이 나타나는 부하상태를 선정하여 각 측정점에서 음향인텐시티를 측정하였으며 이를 토대로 LMS CADA-X시스템에서 자동으로 음향파워를 환산하였다. 측정모델의 모습 및 실측값이 Fig. 9, Fig. 10과 Table. 1, Table. 2에 나타나 있다.

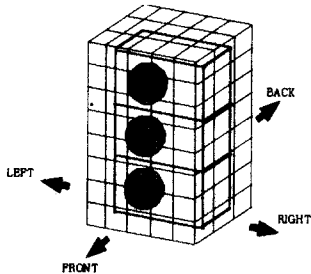


Fig. 9 S시 G아파트의 에어컨 실외기 개략도

Table. 1 S시 G아파트의 에어컨 실외기의 각 방향별 방출 음향 파워 레벨

Octave band	63	125	250	500	1K	2K	4K	Total (dB)
Left (dB)	71.4	62.3	61.7	57.9	57.5	0	0	72.4
Front (dB)	83.5	62.9	0	0	0	0	0	83.3
Right (dB)	76.5	0	0	0	0	49.5	52.2	76.1
Back (dB)	76.5	0	0	0	0	0	0	76.5
Total (dB)	85.2	70.5	68.2	59.5	57.4	0	0	85.3

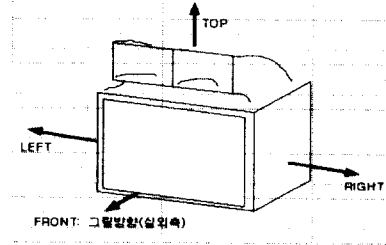


Fig. 10 S시 T아파트의 에어컨 실외기 개략도

Table. 2 S시 T아파트의 에어컨 실외기의 각 방향별 방출 음향 파워 레벨

Octave band	63	125	250	500	1K	2K	4K	Total (dB)
Right (dB)	0	67.1	53.6	55.5	60.0	55.4	55.2	67.6
Back (dB)	61.1	68.3	45.6	51.3	57.5	40.0	0	69.0
Top (dB)	0	63.7	44.8	45.3	51.6	0	0	61.1
Total (dB)	71.5	74.8	56.7	62.1	67.0	61.0	61.0	80.7

3.3 실외기 설치실의 음향 해석

실외기 설치실의 음향해석의 목적은 다음의 주위 환경을 포함한 소시스템의 음향해석에 필요한 음원의 음향파워레벨을 얻는 것이다. 각 설치실은 1개 또는 2개의 환기창을 갖고 있으며 각각의 환기창을 1개의 패널음원⁽¹⁾으로 가정하고 그 음향파워를 추정하게 된다. 소음원은 실측한 실외기의 파워를 5개의 패널음원으로 사용하였으며 적용모델은 Fig. 11과 같다.

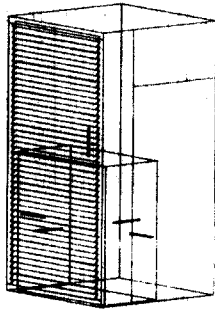


Fig. 11 D실외기 설치실 및 실외기

환기창으로부터 외부방향으로 50미터까지의 음압 레벨(sound pressure level)을 시뮬레이션으로 얻어내고 환기창 1개를 하나의 패널음원으로 가정할 때 그 음향파워를 계산한다. 이 계산된 음향파워는 오차를 포함하고 있기 때문에 이 계산된 음향파워를 시뮬레이션에 패널음원으로 입력시키고 trial & error 과정을 거쳐 최종적인 환기창의 음향파워레벨을 결정한다. Fig. 12는 설치실 D의 음장 해석 결과이며 Fig. 13은 등가의 패널형태의 파워를 갖는 음원의 음장 해석 결과이다. Table. 3은 각 실외기실의 최종적인 패널형태음원의 파워레벨을 보여주고 있다.

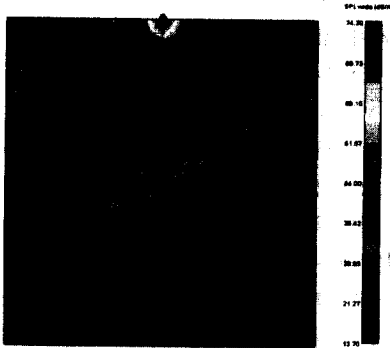


Fig. 12 설치실 D의 음장 해석 결과

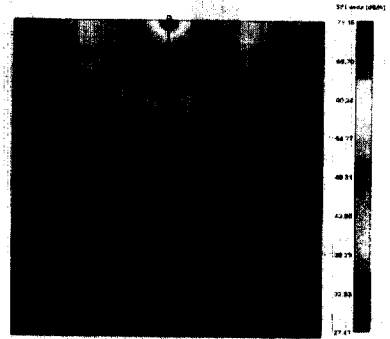


Fig. 13 설치실 D의 등가 패널음원 음장해석 결과

Table. 3 최종적인 패널형태의 음원 파워 레벨

	주파수별 파워레벨(dB)							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
실외기								
설치실B								
설치실C	음원1	90.9	75.8	72.7	63.3	60.3	0	0
설치실D	음원1	84.5	87.1	68.1	72.6	76.5	69.4	68.3

설치실의 음향학적 해석에 관해 주목할 만한 점은 실외기 단독으로의 음향파워레벨보다는 설치실에 설치했을때의 음향파워레벨, 즉 설치실과 실외기의 총시스템이 갖는 음향파워레벨이 더 높다는 점이다. 만약에 이러한 점을 간과하고 설치실의 해석과정 없이 실외기의 음향파워만으로 주위환경의 음향해석을 수행했을 경우 소음도를 저평가(under-estimate)할 수 있다는 점을 유의해야한다.

4. 전 시스템의 모델링과 해석

4.1 S시 G 아파트의 모델링과 해석

Fig. 14과 Fig. 15는 S시 G 아파트와 주위환경을 시뮬레이션한 것을 보여준다. 최고 56dB에서 최저 27dB의 분포를 나타낸다.

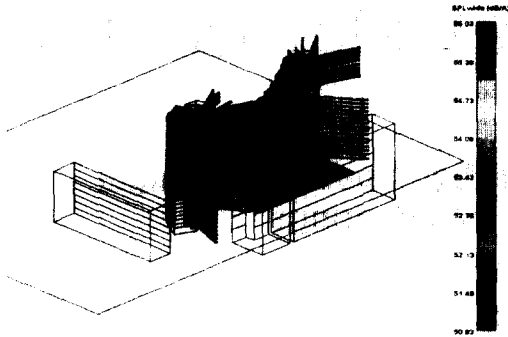


Fig. 14 S시 G아파트 음장해석 결과 (지점 1)

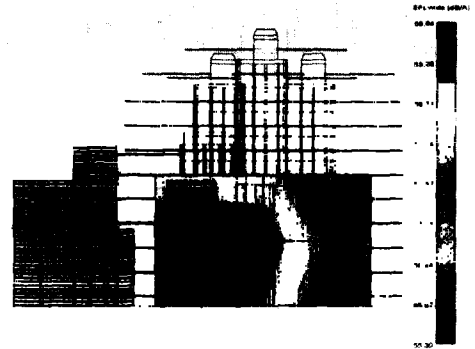


Fig. 17 S시 T아파트 음장해석 결과 (지점 2)

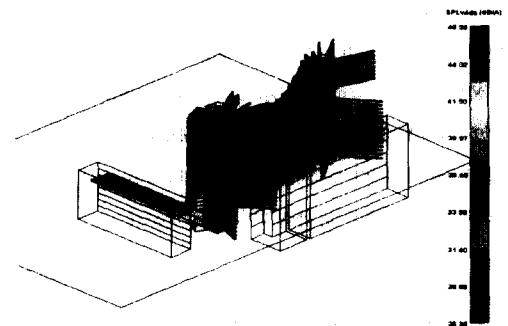


Fig. 15 S시 G아파트 음장해석 결과 (지점 2)

4.2 S시 D 아파트의 모델링과 해석

Fig. 16와 Fig.17은 S시 D 아파트와 주위환경을 시뮬레이션한 것을 보여준다. 최고 62dB에서 최저 55dB의 분포를 나타낸다.

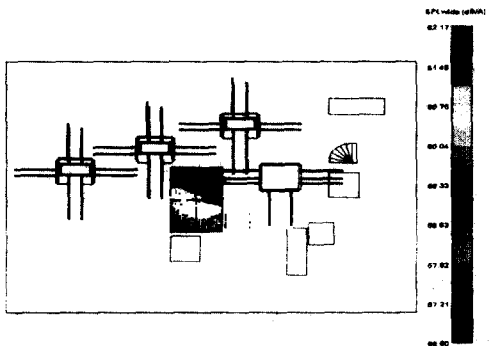


Fig. 16 S시 T아파트 음장해석 결과 (지점 1)

5. 결론

S시 G아파트와 S시 D아파트의 주위환경에 대한 에어컨 실외기의 소음의 영향을 시뮬레이션한 결과 환경기준상의 기준을 만족하나 실측 데이터와의 비교 검증이 이루어지지 못하였으므로 차후 실측을 하여 검토할 예정이다. 또한 본 연구중 주목할만한 점은 실외기 설치실의 소음도가 실외기 자체의 소음도 보다 높다는 점이다. 이러한 점을 간과하면 전 시스템 모델링시 소음도를 저평가 할 수 있다. 최종적으로 RTM과 MISM은 음장해석시 빠른 계산력을 보여줌으로서 소음 문제를 미리 예측하고 대안을 마련하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. LMS International, Raynoise 3.0 User's Manual
2. J. D. Irwin and E. R Graf, 1979, Industrial Noise and Vibration Control, Prentice-Hall
3. Z. Maekawa and P. Lord, 1994 Environmental and Architectural Acoustics, E & FN SPON