

아파트 단지 잔향시간 특성 및 예측 경험식 제안

An empirical method to determine a reverberation time in outdoor spaces of apartment complexes

양홍석† · 김명준*

Hong-Seok Yang and Myung-Jun Kim

Key Words : Apartment complex, outdoor space, reverberation time, empirical method

ABSTRACT

RT (reverberation time) of outdoor spaces surrounded by multi-storey buildings depends on many designable factors such as the openness, volume and building layouts, etc. This study therefore aims to clarify the influential factors for RT in outdoor spaces surrounded by buildings with complicated topographical conditions. A series of measurements were carried out for 15 outdoor spaces in 6 apartment complexes with different building layouts. An Empirical method considering the openness, averaged ray length and building high is also suggested, to predict RT approximately in the outdoor spaces. The overall results suggest that RT in outdoor spaces of apartment complexes is significantly influenced by source-receiver distance and building layouts.

1. 서 론

국내 아파트 옥외공간은 고층 아파트 주동으로 둘러싸여져 주동 사이에서 발생하는 다중반사 효과는 잔향시간 및 음압레벨의 상승효과가 발생되며, 이는 옥외공간 사용자 및 아파트 실내에 거주하는 입주자에게 소음 불쾌감을 유발시킨다.

아파트 옥외공간의 음장특성은 주변 건축물의 배치, 형태, 표면마감재의 특성에 따라 변화하게 되며, 건축설계단계에서 음장특성을 고려한 아파트 단지계획 적용 시 거주자의 음환경 쾌적성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 국내 6개 아파트 단지에 위치한 15개 옥외공간 대상으로 잔향시간을 측정하여 옥외공간 음장특성을 분석하여 아파트 단지설계 시 소음제어방법을 모색하고, 측정된 실험결과를 토대로 설계 상용프로그램인 AutoCAD를 활용한 잔향시간 예측 경험식을 제안하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험대상지

본 연구에서는 국내 6개 아파트 단지에 위치한 15개 옥외공간을 대상으로 수음점과 음원의 거리변화 및 위치에 따른 잔향시간을 측정하였다. 각 아파트 단지의 개요 및 실험조건은 다음 표 1, 표2와 같다.

15개 옥외공간은 아파트 주동에 의해 형성된 형태에 따라 5개 타입으로 구분하여 각 공간형태별 잔향시간 특성을 분석하였다. 그림 1은 6개 단지의 현장사진을 보여주며, 그림2는 15개 옥외공간의 공간특성을 나타낸다.

† 교신저자; 정회원, LH토지주택연구원
E-mail : acousticsyang@gmail.com
Tel : 042-866-8480, Fax : 042-866-8547

* 서울시립대학교 건축학부



Figure 1. Bird's-eye views for each apartment complex: (a) Site 1, (b) Site 2, (c) Site 3, (d) Site 4, (e) Site 5, (f) Site 6

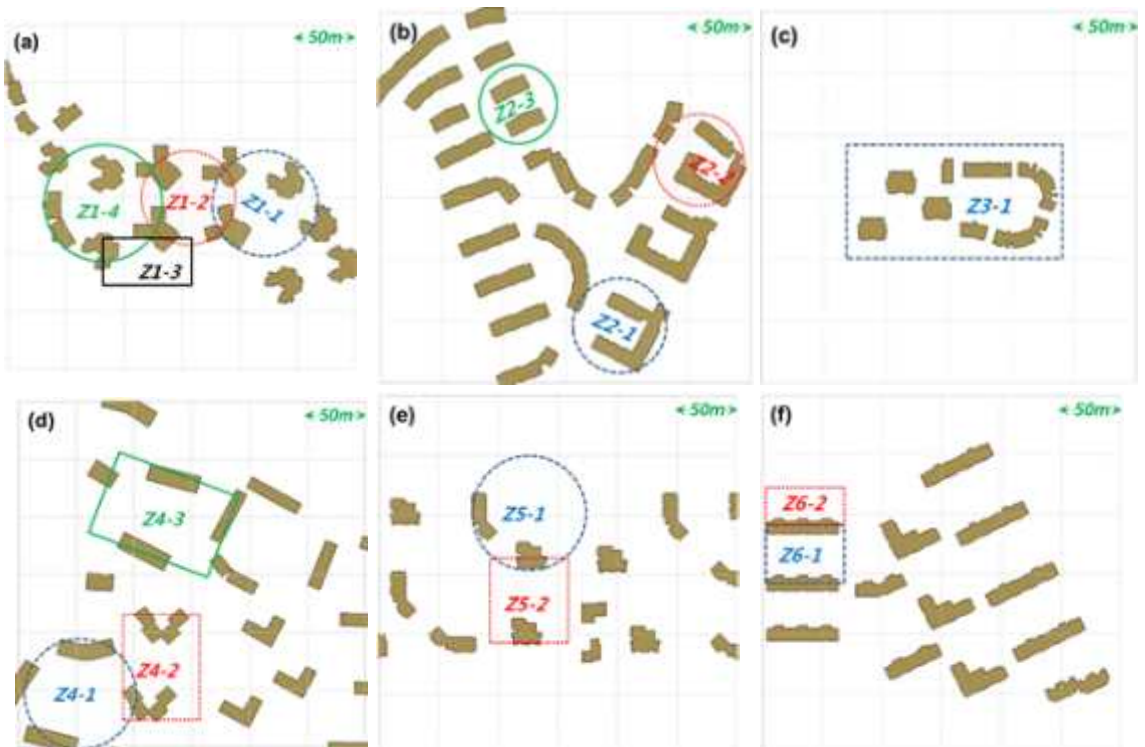


Figure 2. Ground plan and measurement zones for each apartment complex: (a) Site 1, (b) Site 2, (c) Site 3, (d) Site 4, (e) Site 5, (f) Site 6

Table 1 Site and measurement conditions for each apartment complex

Name	Jeon-Nong	Shin-Jung 2nd	Shin-Jung 5th	Pa-Ju	Jeung-Pyung	Chon-Wang
No. of buildings	15	20	8	11	6	13
No. of flats	867	471	238	648	504	1044
No. of floors	9~15	3~7	9~15	12~25	10~15	9~18
Measurement date	13th.Nov.2010	24th.May.2011	24th.May.2011	23rd.Aug.2011	26th.Aug.2011	7th.Oct.2011
Temp.(°C)	11.1	21.5	21.5	24.3	26.4	21.2

Table 2 Details for site and measurement conditions for each measurement zone

	Name of zone	No. of sources	No. of receiver	Total No. of measurement points	Type of building layout
Site 1	Z1-1	1	5	5	U
	Z1-2	1	5	5	□
	Z1-3	1	6	6	-
	Z1-4	1	5	5	□
Site 2	Z2-1	4	5	20	U
	Z2-2	4	5	20	U
	Z2-3	2	5	10	=
Site 3	Z3-1	3	6	18	□
Site 4	Z4-1	4	6	24	U
	Z4-2	4	5	20	L
	Z4-3	4	6	24	=
Site 5	Z5-1	3	4	12	L
	Z5-2	2	4	8	=
Site 6	Z6-1	4	5	20	=
	Z6-2	3	4	12	-

2.2 실험방법

본 연구에서는 옥외공간에서 높은 S/N비를 획득하기 위해 음원으로서 화약총을 사용하였으며, 임펄스 응답은 1/2인치 마이크로폰(G.R.A.S. Type MCE 201)과 FFT 분석기(01dB Symphonic system)를 이용하여 녹음하였다.

잔향시간 분석은 B&K DIRAC 프로그램을 이용하였으며, 감쇠곡선범위는 T20(-5dB~-25dB)를 적용하였다.

3. 실험결과

3.1 옥외공간 잔향시간 특성

그림3은 15개 옥외공간에서 측정된 209개 잔향시간 결과에 대한 주파수별 평균치, 최대치, 최소치에 대한 결과를 나타낸다. 분석결과, 500Hz, 1000Hz 대역에서 평균 잔향시간이 약 2.2초, 최대 잔향시간이 2.6초, 최소 잔향시간이 1.5초로 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 아파트 옥외공간에서 500Hz, 1000Hz 대역에서의 음장제어가 타 주파수

대역과 비교하여 중요함을 알 수 있다. 이는 저주파수 대역에서 회절현상으로 인해 음에너지의 손실이 나타나며, 고주파수 대역에서는 공기흡음에 의한 에너지 손실에 의한 영향으로 판단된다.

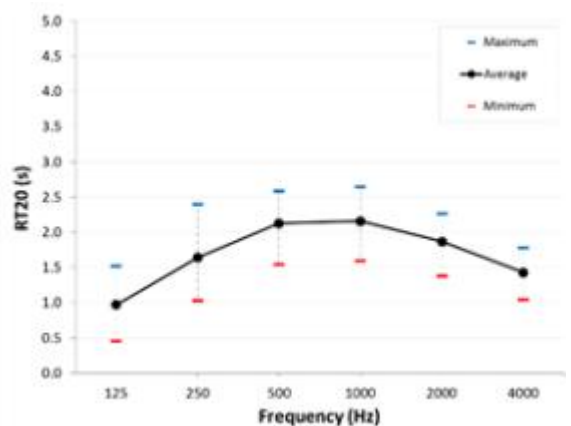


Figure 3. Overall averaged RT for maximum, average and minimum values measured at the 15 outdoor spaces

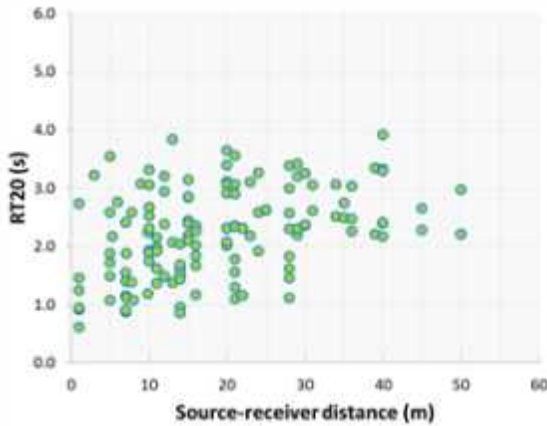


Figure 4. Overall RT at 500 Hz with different source-receiver distances measured at the 15 measurement zones

그림4는 500Hz 대역에서 거리변화에 따른 잔향 시간 특성을 나타낸다. 분석결과, 동일한 음원-수음점 거리에서 잔향시간 변화의 폭이 넓으며, 전체적으로 음원-수음점 거리가 증가할수록 잔향시간이 높아지는 것을 알 수 있어, 단지설계변화에 따른 잔향 시간 조절이 가능할 것으로 판단된다.

3. 잔향시간 예측 경험식 제안

본 장에서는 설계상용 프로그램인 AutoCAD를 활용하여 아파트 옥외공간의 잔향시간을 경험식으로 예측하는 방법을 제시하고자 한다.

세이빈의 공식에 따르면 잔향시간은 공간의 부피에 비례하고, 흡음력에 반비례함을 알 수 있다. 옥외공간 특성 상 흡음력은 주동 사이의 개구부를 의미할 수 있으며, 용적률은 옥외공간을 둘러싼 주동 사이의 부피를 의미할 수 있다.

일반적인 실내공간과 달리 아파트 옥외공간의 용적률 및 흡음률은 옥외공간의 배치형태 특성상 정확한 계산법이 어려우며 따라서 이를 계산하기 위한 근사치 설정 방법이 제시되어야 한다.

본 연구에서는 옥외공간에 위치한 임의의 음원 위치를 선정하여 AutoCAD를 이용하여 음선을 각도1도별로 방사하여 옥외공간의 개구부 비율 및 음선의 길이를 계산하였다. 즉, 개구부 비율이 높음은 잔향시간의 저감을 의미하며, 음선의 길이가 길어짐은 부피의 증가를 의미한다.

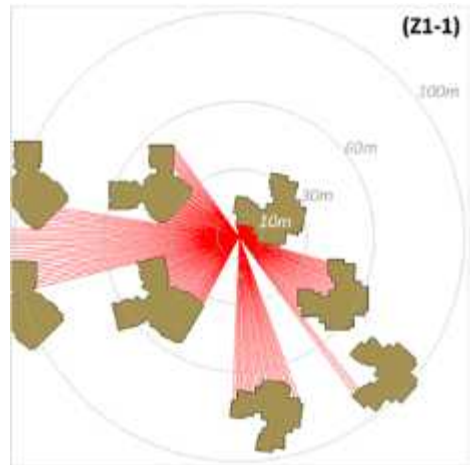


Figure 5. Example of the calculation method for effective ray and openness at Z1-1

옥외공간 개구부의 비율 및 음선의 평균길이는 아래의 식으로 계산되어진다.

$$\text{Openness} = \frac{n}{360} \times 100 (\%) \quad (1)$$

$$\text{Averaged ray length} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} (\text{m}) \quad (2)$$

where,

n: Number of the effective rays

L: Length of the effective ray (m)

위 식을 토대로 경험식의 예측정확도를 높이기 위해 아래와 같이 개구부율, 평균 음선길이, 건물의 높이를 계산하여 공식을 제안하였다.

$$\text{Weighted area} = \frac{(100 - \text{Openness})}{100} \times \text{Averaged ray length} \times \text{Averaged building height} (\text{m}^2) \quad (3)$$

위 경험식을 이용하여 아파트 옥외공간 별 500Hz 대역에서의 최대 잔향시간을 예측한 결과는 아래와 같다.

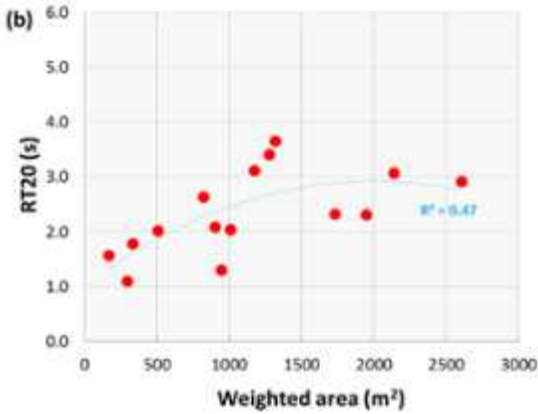


Figure 6. Relationship of RT with the weighted area

3. 결 론

본 연구에서는 6개 아파트 단지 15개 옥외공간에서 음원-수음점 거리별 잔향시간을 측정하여 임펄스 응답을 분석하였다.

실험결과, 500Hz, 1000Hz대역에서 가장 높은 잔향시간 결과가 측정되어, 건축적 설계를 이용한 소음제어 시 위 주파수 대역에서 음장제어 설계가 필요한 것으로 분석되었다.

또한, 본 연구에서는 아파트 옥외공간의 개구부를 및 평균 음선길이를 고려한 예측 경험식을 이용하여 잔향시간을 예측하는 방법을 제시하였으며, 예측결과 그 오차범위가 약 1초 이내로 형성되어 경험식의 유효성을 검증하였다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

1. H. S. Baik, "Creating outdoor space for everyday life in multi-family housing estate", Doctoral thesis, Yonsei University, (2003).
2. R. H. Lyon, "Role of multiple reflections and reverberation in urban noise propagation", *J. Acoust. Soc. Am.*, 55, 493-503, (1974).
3. J. Y. Jeon, P. J. Lee, J. Y. Hong and D. Cabrera, "Non-auditory factors affecting urban soundscape evaluation", *J. Acoust. Soc. Am.*, 130, 3761-3770 (2011).
4. J. Picaut, L. Simon, and J. Hardy, "Sound field modelling in streets with a diffusion equation", *J. Acoust. Soc. Am.*, 106, 2638-2645, (1999).
5. J. Kang, "Sound propagation in street canyons: Comparison between diffusely and geometrically reflecting boundaries", *J. Acoust. Soc. Am.*, 107, 1394-1404, (2000).
6. J. Kang, "Numerical modelling of the sound fields in urban squares", *J. Acoust. Soc. Am.*, 117, 3695-3706, (2005).
7. D. Aylor, J. Y. Parlange, and C. Chapman, "Reverberation in a city street", *J. Acoust. Soc. Am.*, 54, 1754-1757, (1973).
8. K. W. Yeow, "External reverberation times observed in built-up area", *J. Sound Vib.*, 48, 438-440, (1976).
9. K. W. Yeow, "Decay of sound levels with distance from a steady source observed in a built-up area", *J. Sound Vib.*, 52, 151-154, (1977).
10. N. W. M. Ko and C. P. Tang, "Reverberation time in a high-rise city", *J. Sound Vib.*, 56, 459-461, (1978).
11. P. Steenackers, H. Myncke, and A. Cops, "Reverberation in town streets", *Acustica*, 40, 115-119, (1978).
12. J. Picaut and L. Simon, "A scale model experiment for the study of sound propagation in urban areas", *Appl Acoust*, 62, 327-340, (2001).