

# 아파트 단지 옥외 공간에서의 녹화 조건에 따른 잔향특성 변화 분석 Analysis of Reverberation Time of Outdoor Space in Apartment Complex According to the Green Wall Conditions

조현민✚ · 신혜경\* · 성요한\*\* · 김명준†

Hyun-Min Cho, Hye-Kyung Shin, Yo-Han Sung and Myung-Jun Kim

**Key Words** : Wall-Greening, Apartment Complex, Acoustic Performance, Reverberation Time.

## ABSTRACT

This study is aimed to evaluate the acoustic performances of outdoor apartment complex and to analyze acoustic performances change based on greening conditions. The object space located in Seoul, Yangcheon-gu, Sinjung-dong and classified according to type of space-form. The measurement reverberation time at 500 Hz is 0.86~1.84sec. The simulated reverberation time at 500 Hz is decreased from 1.57sec to 0.57sec in □shape type of 69% treatment with greening and 1.7sec to 0.89sec in ▤shape type of 70% treatment and 1.05sec to 0.53sec in ⊥shape type of 61.6% treatment.

## 1. 서 론

최근 도심지의 건축물에 친환경 녹화 설계를 적용하여 소음을 저감시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 해외에서도 녹화요소를 통한 쾌적한 음환경 조성, 불쾌감 저감 등에 관한 연구사례가 지속적으로 보고되고 있다. 이러한 흐름에도 불구하고, 실제 국내에 사용되고 있는 건물 녹화의 잔향특성이나 음향성능 변화에 관한 체계적인 연구는 아직 미진한 실정이다.

본 연구는 국내의 주요 주거 환경인 아파트 단지 중심으로 단지 내의 음향 성능 측정 및 평가를 진행하였다. 아울러 아파트 단지 내 벽면녹화 적용 조건에 따른 음향성능 변화를, 음향 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다.

## 2. 녹화 배치 요소에 따른 음향성능 변화 분석 및 고찰

### 2.1 대상 아파트 단지 개요 및 현장 측정

#### (1) 대상 아파트 단지 및 측정 개요

대상 단지는 서울시 양천구 신정동에 위치한 E아파트 단지로서 연면적 29,489 m<sup>2</sup>, 20개동, 471세대의 규모이다. 단지 내의 옥외 공간 중 단힌 공간을 형성하며 각기 다른 형태의 배치를 갖는 공간을 선정하였다. Fig 1은 선정된 단지 내 옥외 공간과 측정 위치를 나타내고 있으며, 각각 배치 형태에 따라 二 Type, ▤ Type, □ Type 으로 분류하였다.

측정 시 음원은 격발 소음을 발생시켰고, 마이크로폰 (1/2" G.R.A.S)을 통해 수음점에서 각 3회씩 측정하였다. 측정기기는 다채널 신호분석기(Harmonie-4ch, 01dB)를 사용하였고 측정 및 분석 프로그램(dBBATI, 01dB)을 이용하여 평가하였다. 음원의 높이는 약 1.5 m, 수음점의 높이는 약 1.2 m에 위치하며, Fig 2는 측정 현장을 보여 주고 있다.

† 교신저자; 김명준, 서울시립대학교 건축학부 교수  
E-mail : mjunkim@uos.ac.kr

Tel : 02-6490-5569 , Fax : 02-6490-2749

✚ 서울시립대학교 대학원 건축공학과

\* 서울시립대학교 대학원 건축공학과

\*\* 서울시립대학교 대학원 건축공학과



Fig 1. Measurement location and point



Fig 2. Field measurement scene

(2) 측정 결과

잔향시간 측정 결과를 1/3옥타브 밴드 중심주파수로 표현하였으며, 각 형태별 및 수음점 위치별로 결과를 정리하였다(Table 1). 대규모 공간으로 인해 전체적으로 잔향시간이 500 Hz 기준 0.86~1.84초로 상당히 높은 값을 갖는 것으로 측정되었으며, 수음점의 이격 거리에 따라 잔향시간이 소폭 증가하는 것을 확인가능하다. 또한 二 Type보다 ㄷ Type, ㄹ Type의 잔향시간이 더 큰 것으로 측정되었으며, 이는 二 Type의 반사면이 상대적으로 적

어 나타나는 것으로 검토된다. 반면에 ㄷ Type, ㄹ Type은 반사면의 차이에도 불구하고 잔향시간이 비슷한 것으로 나타나 공간 내의 조경이나 바닥, 입면 형태 및 흡음률에도 영향을 받는 것으로 분석된다. 아울러 500~1K Hz의 중주파수 대역 잔향시간이 그 외 주파수 대역보다 상대적으로 높은 경향을 보였다.

2.2 시뮬레이션 개요 및 3D 모델링 신뢰성 분석

녹화모듈을 적용했을 경우의 음향 파라메타 예측을 위해 음선 추적법(Ray-tracing method)과 허상법(Image model method)에 의한 음향 시뮬레이션 프로그램(ODEON 11.00 Ver. Combine, Brüel & Kjær)을 사용하여 분석을 진행하였다. ODEON의 입력 파라메타는 초 model method)에 의한 음향 시뮬레이션 프로그램(ODEON 11.00 Ver. Combine, Brüel & Kjær)을 사용하여 분석을 진행하였다. ODEON의 입력 파라메타는 초기 반사 횟수 2회, 레이 개수 100,000개로 설정하였으며, Fig 3는 각 Type별 3D 모델링을 나타내고 있고 Table 2는 Odeon상에 적용된 흡음계수를 보여주고 있다.

시뮬레이션의 실측과 예측의 신뢰성 검증을 위해 MAPE(Mean absolute percent error)의 통계 방법을 이용하였다. MAPE는 상대적 측정방법으로 오차의 정도를

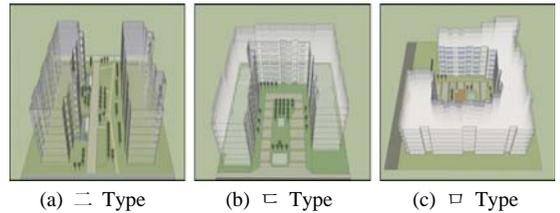


Fig 3. Modelling of object space

Table 1 Result of reverberation time

Classification	Receiver Location [m]	Frequency [Hz]					
		125	250	500	1K	2K	4K
二 Type	7	1.05	0.79	0.91	0.97	0.81	0.72
	14	1.27	0.77	0.86	1.09	0.93	0.79
ㄷ Type	7	0.96	1.20	1.55	1.61	1.34	1.01
	14	1.15	1.17	1.64	1.68	1.42	1.10
	21	1.16	1.31	1.78	1.74	1.52	1.13
ㄹ Type	28	1.04	1.59	1.84	1.83	1.62	1.17
	7	1.25	1.28	1.41	1.50	1.24	0.99
	14	1.59	1.44	1.51	1.59	1.47	1.13
	21	1.58	1.49	1.56	1.62	1.49	1.18
ㄹ Type	28	1.62	1.58	1.62	1.65	1.51	1.23

**Table 2** Finishing materials

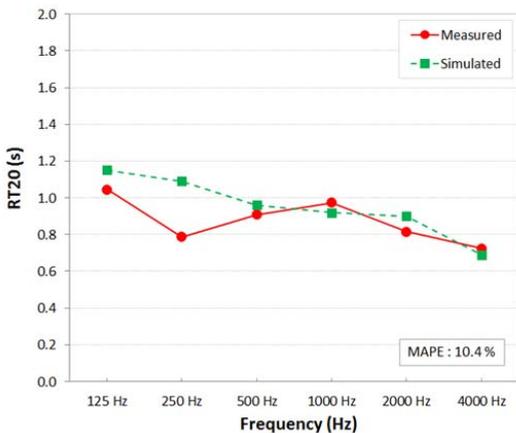
Finishing materials	Absorbion Coefficient [Hz]					
	125	250	500	1K	2K	4K
Concrete (painted)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Double glass 24T	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02
Wooden floor on joists	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Concrete block	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Grass	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60
Wall greening system	0.80	0.95	0.98	0.90	0.80	0.57

백분율로 동일하게 가중하는 방법으로 MAPE<10 이면 매우 정확한 예측, 10<MAPE<20은 우수한 예측, 20<MAPE<50 일시 합리적 예측, MAPE>50은 부정확한 예측이라고 해석하고 있다(Lee, 2012).

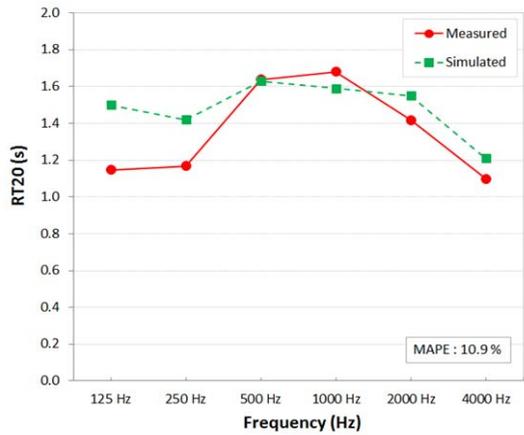
MAPE(Mean absolute percent error)의 식은 다음과 같다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|P_i - M_i|}{M_i} \right) \times 100 (\%) \quad \dots \quad (a)$$

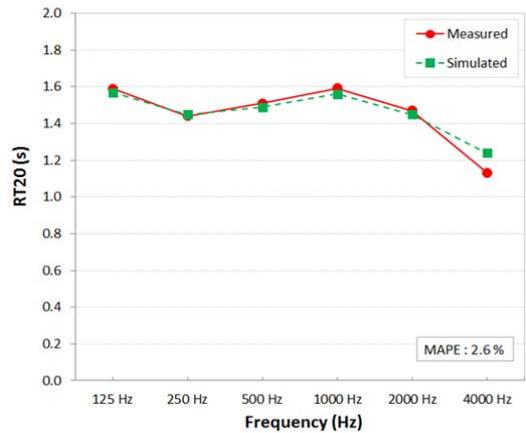
식 (a)에서 P와 M은 예측치와 실측치를 각각 나타내고 n은 측정 개수를 나타낸다. Fig 4는 Type별 잔향시간의 실측치와 예측치를 비교하여 나타낸 것이고, 이를 (a) 식에 각각 대입하여 분석한 결과 二 Type과 ㄷ Type의 경우 MAPE 수치가 각각 10.4%, 10.9%로 나타나 시뮬레이션 예측과 실제 측정값의 신뢰성이 우수한 것으로 나타났으며, ㄹ Type은 2.6%로 매우 정확한 예측으로 검토되었다.



(a) 二 Type



(b) ㄷ Type



(c) ㄹ Type

**Fig 4.** Comparison of measured and simulated Reverberation Time

### 3.3 녹화요소 및 시뮬레이션 변수 조건

변수의 경우 (1)Type별 녹화 적용 벽면의 위치 변수, (2)각 1개 층별 단일 녹화 적용, (3)누적 층별 녹화 적용으로 설정하였다. Type별 녹화 가능한 벽면의 위치 분류

**Table 3** Variable element of each type

		(Unit:m <sup>2</sup> )		
분류		二 Type	ㄷ Type	ㄹ Type
간헐 공간 체적(m <sup>3</sup> )		22,477.6	15,485.6	13,685.1
전체벽면 면적		2,000.6	1,946.5	1,970.6
전체 녹화 가능 면적		1,238.3	1,369.2	1,356.0
1개 층당 녹화면적 [전체 면적대비 녹화면적 비율]	Face A	109.6 [5.5 %]	66.1 [3.4 %]	55.4 [2.8 %]
	Face B	67.3 [3.4 %]	59.6 [3.1 %]	48.1 [2.4 %]
	Face C	-	69.9 [ 3.6 %]	75.6 [3.8 %]
	Face D	-	-	46.9 [2.4 %]
	전체	176.9 [8.8 %]	195.6 [10.0%]	226.0 [11.5 %]

의 경우 각각 二 Type은 A, B면, ㄷ Type은 A, B, C면, ㄹ Type은 A, B, C, D면으로 나누어 각 면마다 전체적으로 녹화를 진행하였다. 또한 각 단일 층별 녹화 적용을 진행하여 1층~7층까지의 누적 층별 녹화 효율과 (2)변수에 의해 설정된 누적 층별 녹화 효율을 서로 비교하였다. Table 3은 각각의 변수 요소 및 타입별 공간 개요에 대한 세부사항을 보여주고 있다. 二 Type의 공간 체적이 가장 크고 ㄹ Type이 가장 작은 것으로 나타난 반면 전체 벽면 면적이나 벽면 녹화 가능 면적에 있어서는 큰 차이가 없는 것으로 나타나 Type 별 면적대비 녹화 효율의 비교 측면에 있어 매우 효과적일 것으로 분석되었다. 음원의 위치 및 크기와 수음점의 위치는 고정변수로 진행하였다.

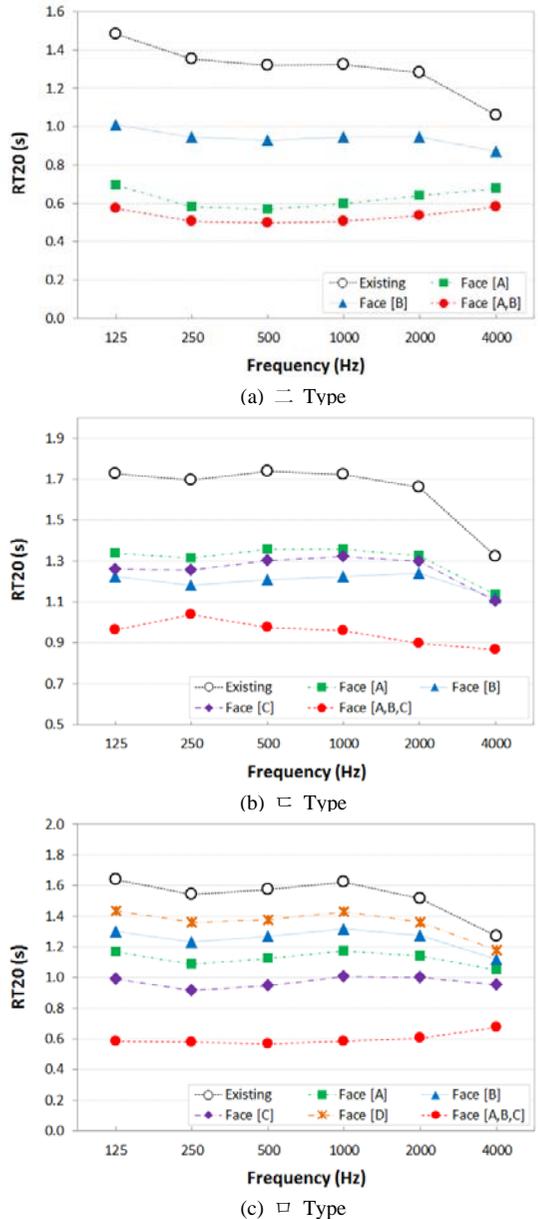
### 3.4 결과 분석 및 고찰

#### (1)Type별 녹화 적용 벽면의 위치 변수

각 Type별 녹화 벽면의 위치 조건에 따른 잔향시간 변화를 Fig 5에 나타내었다. 각 Face별 조건에 따른 잔향시간의 차이가 최대 0.4초 까지 나타났으며, 이는 Face 별 녹화 가능면적의 차이로 인한 결과로 분석된다.

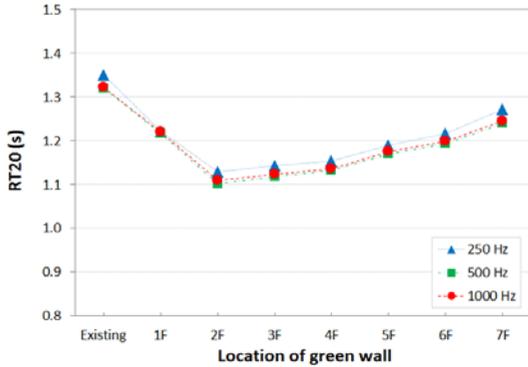
#### (2)각 1개 층별 단일 녹화 적용

Fig 6은 각각의 단일 층만 녹화를 진행할 경우 Type 별 잔향시간을 보여주고 있다. 2층에 설치 시 가장 잔향시간 저감 효과가 뛰어난 것으로 나타났으며, 층이 올라 갈수록 효율이 점점 감소하는 것으로 분석되었다. 1층에

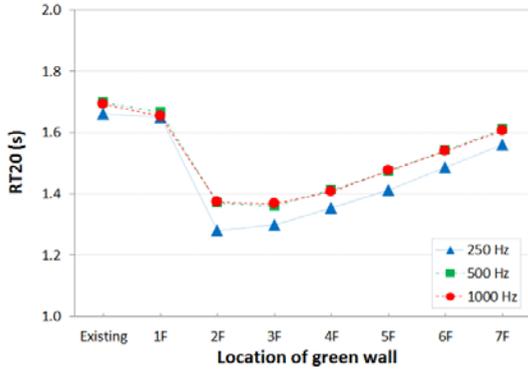


**Fig 5.** Reverberation time of each type on wall location condition of greening

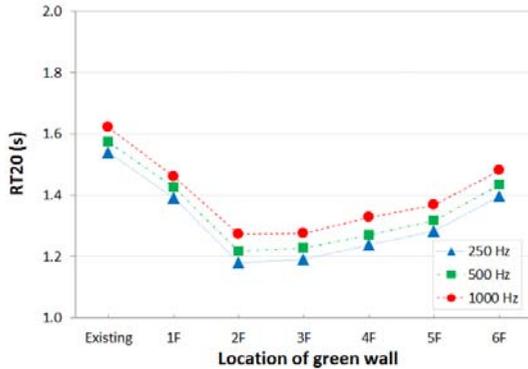
단일 설치 시 잔향시간은 二 Type의 경우 6층에 단일 설치했을 때와 비슷한 효율로 나타났고 ㄷ, ㄹ Type에서는 가장 효율이 떨어지는 경향을 보였다. 이는 천장이 없는 중정형 간헐 옥외공간에서 음원과 수음점의 위치가 지면에 의한 반사음의 손실이 가장 많은 위치인 1층에 고정되어 있고, 일반적인 공간에 비해 벽면 간 거리가 먼 공간특성에 따른 결과로 사료된다.



(a) 二 Type



(b) ㄷ Type

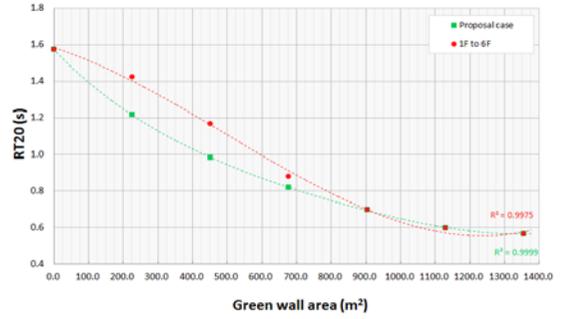


(c) ㄹ Type

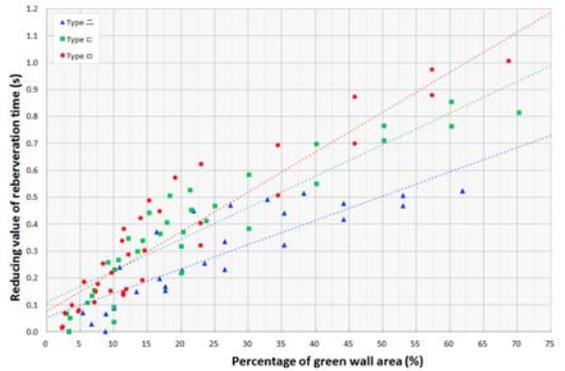
**Fig 6.** Reverberation time of each type on single floor condition of greening

(3)누적 층별 녹화 적용

Fig 7은 ㄹ Type에서 1층부터 7층까지 차례대로 벽면 녹화를 누적 시 잔향시간 변화와 Fig 6의 (c)에서 나타난 효율순서로 누적했을 때의 잔향시간 변화의 비교를 녹화 누적면적에 따라 보여주고 있다. 1개 층만 적용했을 경우 녹화면적인 226 m<sup>2</sup>부터 약 3개 층을 누적 적용면적 678m<sup>2</sup>까지의 경우 1층을 제외하고 녹화를 적용한



**Fig7.** Reverberation time on accumulation floor order condition of greening



**Fig 8.** Reducing value of reverberation time of each type on greening condition

Case에서 잔향시간 감소가 좀 더 효율적인 것으로 분석되었다.

(4)Type별 녹화 효율 비교

Fig 8은 각각의 Type별 전체 녹화가능 면적 중 적용면적 비율에 따른 잔향시간 감소 수치 그래프를 나타내고 있다. 벽면녹화 적용 %정도에 따라 ㄹ Type에서의 잔향시간 감소량이 가장 기울기가 높은 것으로 나타났으며, 이어서 ㄷ, 二 Type 순으로 분석되었다. 이는 ㄹ Type이 가장 녹화 면적 비율 대비 잔향시간 감소 효율이 높다는 것을 나타내며, 그 원인은 벽면반사를 통한 반사가 가장 많이 이루어질 수 있는 공간적 특성 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 아파트 단지 내 닫힌 옥외 공간에서의 실측을 통한 음향 특성 분석을 진행하였다. 또한 아파트 단지 내에서 벽면 녹화 모듈을 적용할 경우 공간의 음향

적 특성 변화에 대한 측정 및 시뮬레이션을 진행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

아파트 단지 내의 음향특성 분석결과 500 Hz 기준 최대 1.84초의 잔향시간을 갖는 것으로 평가되었으며, 음원과 수음점의 이격 거리에 따라 잔향시간이 증가하는 경향을 보였고, Type별로 반사면이 상대적으로 많은  $\alpha$  Type이 잔향시간이 다른 Type에 비해 높게 분석되었다. 아울러 녹화 모듈을 아파트 단지에 적용할 경우  $\alpha$  Type형의 단지 내에서의 녹화가 가장 효율적인 것으로 검토되었으며, 면적이 제한된 벽면 녹화를 진행할 시 2층 높이부터 녹화를 진행하는 것이 좀 더 효과적이라 사료된다.

## 후 기

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

(No. 2011-0007171)

## 참 고 문 헌

(1) Yang, Y. K., Seo, H. S. and Tae, C. S., 2010, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. pp. 356~361.

(2) Yang, H. S., Kang, J. and Choi, M. S., 2012. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. Building and Environment. Vol. 50, pp. 44~55.

(3) Lee, M. J., 2012, An improved design for audibility of fire alarm sound in residential buildings. Unpublished doctoral dissertation, University of Seoul, Seoul.

(4) Jeong, S. W. and Jung, J. Y. and Kim, M. J., 2013, Case study on the characteristics of reverberation in outdoor space with the application of the natural element, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 4, pp. 604~605.