

## 잔향시간지표를 이용한 나무의 음향확산성 평가

### Using reverberation time to evaluate the amount of scattered sound energy from a tree

양홍석†

Hong-Seok Yang

**Key Words** : Reverberation time(잔향시간), Scattered sound energy(확산음에너지), Tree(나무)

#### ABSTRACT

In urban spaces surrounded by buildings, trees could disperse sound energy, which affect sound level distribution and street canyon reverberation. Therefore, this paper examines the amount of scattered sound energy from a tree in open field by means of a reverberation time (RT). Five trees of different species and crown sizes were considered. The influential factors include crown size and shape, foliage condition, and source-receiver distance. The results show that RT is proportionally increased with the increase of tree crown sizes, which is the most determining factor. The maximum RT measured was 0.34 sec at 4000 Hz for the studied trees in leaf. The presence of leaves increased RT at high frequencies, typically by 0.14 sec at 4000 Hz. With increasing source-receiver distance within 40 m, RT was slightly changed.

#### 1. 서 론

1946년 Eyring의 연구이후 진행된 다양한 실험 및 수치해석 연구를 토대로 수음점과 음원 사이에 설치되는 나무숲이 도로교통소음 저감에 효과적이라는 연구결과가 도출되고 있다 [1-3].

나무에 의한 소음저감효과의 원리는 크게 지면효과 (Ground effect) 및 나무요소(기둥, 가지, 이파리 등)에 의한 확산·흡음·반사효과로 구분하여 설명되어 질 수 있다 [4]. 지면효과는 음원으로부터 발생하는 직접음과 지면에 의해 반사되는 반사음 사이의 간섭 효과로 나타나는 현상으로서 지면조건, 수음점과 음원의 거리 및 높이 등의 조건에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 지면효과는 저·중주파수 영역에서 발생하며, 지면효과를 고려한 나무숲의 설계가 소음저감에 중요한 영향을 주는 것으로 연구되고 있다. 나무요소에 의한 확산·흡음·반사효과는 주로 1kHz 이

상의 중·고주파수 영역에서 나타나며, 이로 인해 발생하는 다중확산효과로 인해 나무숲에서 잔향장이 형성되는 것을 기존연구를 통해 확인할 수 있다.

기존의 관련연구들은 주로 도로교통소음에 대한 나무숲의 소음저감효과에 초점을 두어 진행되어져 왔으며, 이에 따라 단일 나무의 확산효과에 영향을 주는 요소에 대한 체계적인 연구는 미비한 실정이다. 또한, 최근 나무가 건축물로 둘러싸인 도심 옥외공간 및 건축물 내부공간과 같이 다중반사가 일어나는 장소에 광범위하게 설치됨에 따라 음장변화에 영향을 줄 것으로 예상됨으로서 나무의 확산효과에 대한 수치해석모델의 정확도를 검증할 수 있는 효과적인 지표제시가 필요한 실정이다.

이에 따라, 본 연구의 목적은 나무의 확산음에너지를 정량화하기 위해 잔향시간지표를 이용하여 반자유음장조건에 위치한 단일나무의 크기, 식종, 이파리 조건, 음원과 수음점 거리 등에 따른 음향 확산성 평가를 진행하고자 한다.

† 교신저자; 정회원, 토지주택연구원

E-mail : acousticsyang@gmail.com

Tel : 042-866-8480, Fax : 042-866-8547

**Table 1** Dimensional properties of the trees

	Tree 1	Tree 2	Tree 3	Tree 4	Tree 5
Species	Oak ( <i>Q.robur</i> )	Oak ( <i>Q.petraea</i> )	Cherry ( <i>P.avium</i> )	Maple ( <i>A.pseudoplatanus</i> )	Lime ( <i>T.×europaea</i> )
Tree height (m)	7.7	9.2	11.5	14.9	20.6
Tree crown diameter (m)	6.9	12.3	15.7	19.5	21.5
Crown surface area (m <sup>2</sup> )	30	43	88	161	218
Leaf size (cm)	12.0(L)×7.5(W)	12.0(L)×7.5(W)	15.0(L)×6.0(W)	12.0(L)×15.0(W)	10.0(L)×10.0(W)
Trunk diameter (m)	0.14	0.40	0.42	0.51	0.56
Distance from ground to bottom of crown (m)	1.9	1.8	1.9	2.0	2.0

## 2. 잔향시간을 이용한 나무 확산음에너지 평가방법

그림1과 같이 나무를 통과하는 음파는 다양한 경로를 통해 수음점에 도달하며, 그 경로는 크게 직접음, 지면반사음, 나무에 의한 확산음 경로로 구분할 수 있다.

반자유음장 조건에서 나무의 유·무에 따라 진파되는 음파의 임펄스 응답특성을 살펴보면 그림2와 같으며, 나무가 음원과 수음점 사이에 위치함에 따라 확산음에너지가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 나무에 의해 발생한 확산음에너지는 상대적으로 긴 임펄스응답시간을 만들어내며, 이에 따라 잔향시간 평가시 상대적으로 높은 수치를 나타낼 것으로 예상된다.

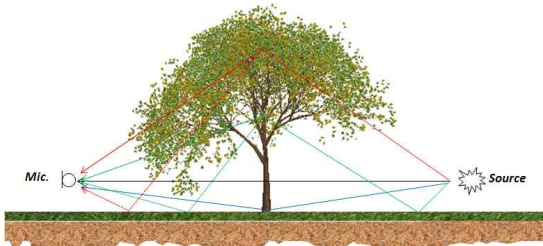


Fig. 1. Diagram for sound paths through a single tree from a point source to a receiver

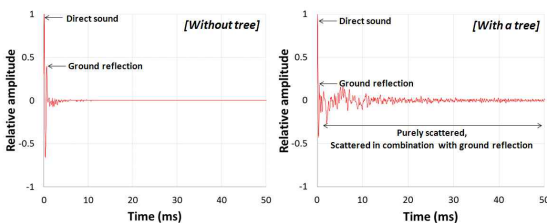


Fig. 2. Impulse responses measured in open field in the absence and presence of a single tree

## 3. 실험방법

본 실험은 영국 셰필드 인근 체스위스 하우스에서 2010년 9월부터 2012년 3월까지 진행되었으며, 이 기간 동안 크기와 식종이 다른 5종의 단일나무를 대상으로 실험을 진행하였다. 나무에 의해 발생하는 확산음에너지의 효과를 정확하게 측정하기 위해 나무 인근 70m 이내에 반사음을 유발할 수 있는 장애물이 없는 조건에서 측정하였다. 표 1은 측정대상 나무의 실험조건을 나타낸다.

## 4. 실험결과

### 4.1 나무크기 및 나뭇잎 효과

본 연구에서는 높이 7.7~20.6m, 너비 6.9~21.5m 크기의 나무 5종을 대상으로 나무의 크기변화에 따른 확산음에너지 변화를 실험하였다. 측정은 나무를 중심으로 양방향으로 10m 거리에 일직선상에 배치된 높이 0.2m의 수음점과 음원에서 진행하였다. 음원은 화약충을 이용하였으며, B&K DIRAC 프로그램을 이용하여 음원의 주파수 및 S/N (Signal to Noise Ratio)를 분석하였다.

그림3은 이파리를 가진 나무5종에 대한 500, 1000, 2000, 4000Hz에서의 감쇠곡선 (decay curve)을 나타낸다. 실험결과, 500Hz에서는 나무의 크기가 작은 Tree 1, 2, 3의 경우 10ms 이후 약한 확산음에너지가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해, 상대적으로 크기가 큰 Tree 4, 5의 경우 나무크기 증가에 따라 확산음에너지의 증가가 명확한 것을 알 수 있다. 1000Hz 이상에서는 나무크기 증가에 따라 확산음에너지가 선형으로 증가하는 것을 알 수 있다.

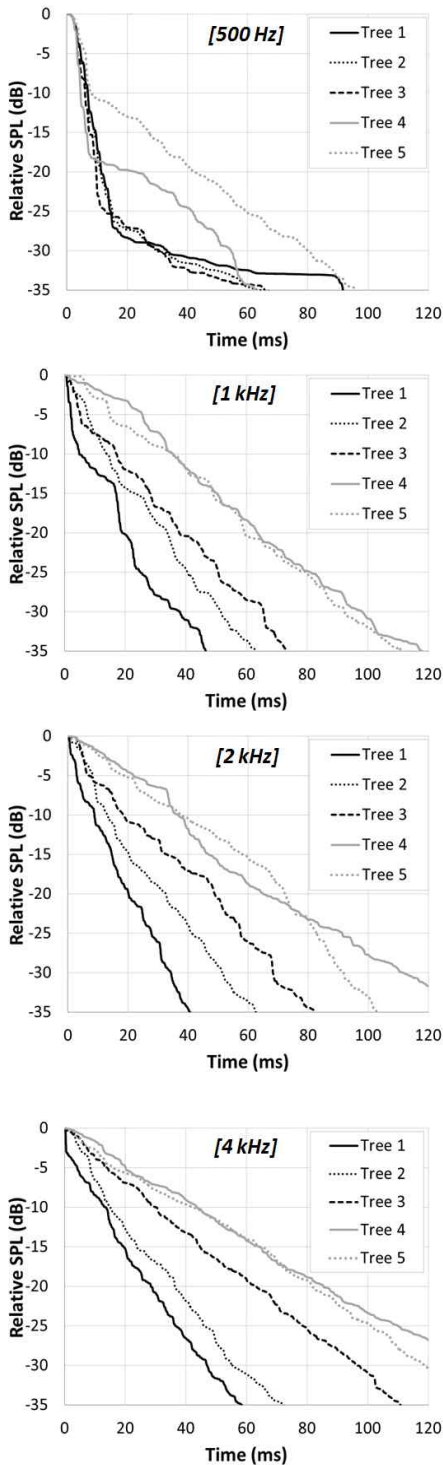


Fig. 3. Decay curves for the five trees with foliage. Each figure shows the decay curves in octave band frequencies from 500 Hz to 4000 Hz

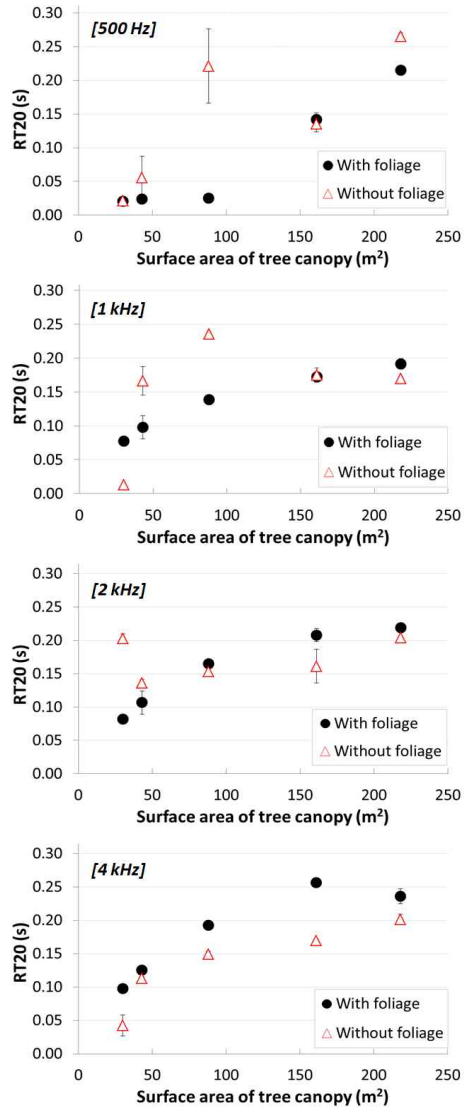


Fig. 4. Effect of the surface area of tree crown with and without foliage on RT20. Each figure shows RT20 in octave band frequencies from 500 Hz to 4000 Hz

그림4는 나무 5종에 대하여 이파리 유·무에 따른 잔향시간 분석결과를 나타내며, 나무의 표면적은 Google Sketchup 프로그램을 이용하여 계산하였다. 측정결과, 이파리의 유·무에 상관없이 나무크기 증가에 따라서 500Hz 이상의 주파수영역에서 잔향시간이 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 4000Hz에서 최대 0.28초의 잔향시간이 나타나는 것을 알 수 있다. 이파리 유·무에 따른 잔향시간 차이는 0.08초로서 이파리 증가에 따라 잔향시간이 증가하는 것을 알 수 있다.

## 4.2 음원과 수음점 거리

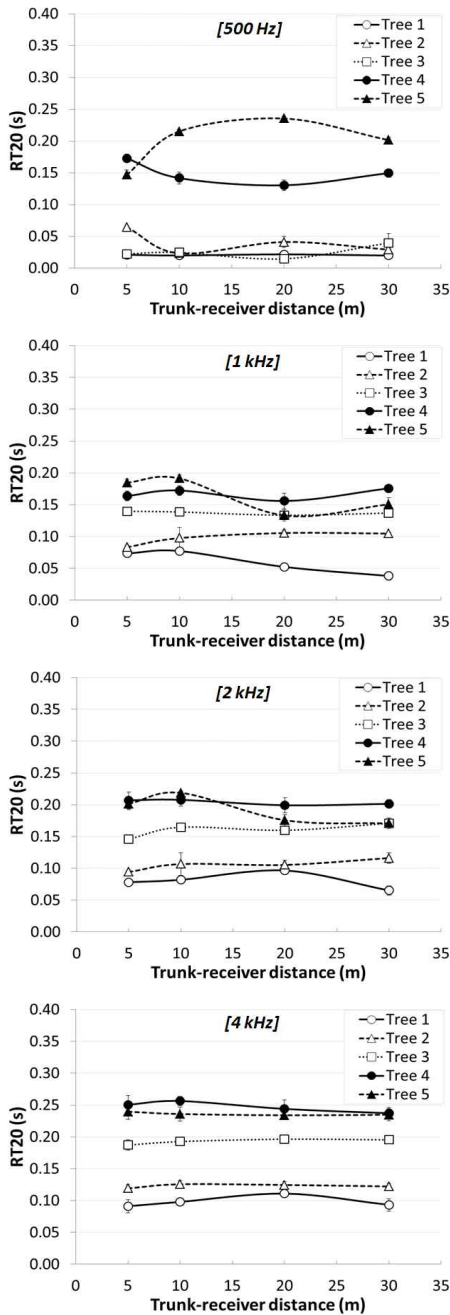


Fig. 5. RT20 with different source-receiver distances from 15 m to 40 m, with  $d_s=10\text{m}$  and  $d_r=5, 10, 20, 30\text{m}$  for each tree. Each figure shows the decay curves in octave band frequencies from 500 Hz to 4000 Hz

수음점 위치변화에 따른 확산음에너지의 변화를 분석하기 위해 음원의 위치를 나무로부터 10m로 고정하고 수음점의 위치를 5, 10, 20, 30m로 변화하여 실험을 진행하였다. 측정결과, 그림5에서와 같이 해당 거리내에서는 거리변화에 따른 확산음에너지 변화가 크지 않은 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 옥외에 위치한 단일 나무를 대상으로 잔향시간지표를 이용하여 나무의 크기, 이파리 조건, 측정거리 등의 변화에 따른 확산음에너지의 변화를 실험하였다. 측정결과, 나무의 크기 및 이파리의 양이 증가할수록 나무의 확산효과는 증가하는 것으로 나타났다. 이와는 달리, 측정거리에 따른 확산음에너지의 변화는 미비한 것으로 분석되었다.

## 후 기

본 논문은 저자의 논문인 “H. Yang *et al.* Quantifying scattered sound energy from a single tree by means of reverberation time”, Journal of the Acoustical Society of America, 134(1), 264-274, 2013”의 내용을 요약하여 작성하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) C. F. Eyring, “Jungle Acoustics,” J. Acoust. Soc. Am. 18, 257-270 (1946).
- (2) C. F. Fang and D. L. Ling, “Investigation of the noise reduction provided by tree belts,” Landscape Urban Plan. 63, 187-195(2003).
- (3) T. Van Renterghem, D. Botteldooren and K. Verheyen, “Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth,” J. Sound Vib. 331, 2404-2425 (2012).
- (4) M. A. Price, K. Attenborough and N. W. Heath, “Sound attenuation through trees: measurements and models,” J. Acoust. Soc. Am. 84, 1836-1844 (1988).