Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng., 29(3) : 429~434, 2019
https://doi.org/10.5050/KSNVE.2019.29.3.429

한국소음진동공학회논문집 제 29 권 제 3 호, pp. 429~434, 2019
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

지향성을 고려한 야외공연장 옥외전달소음 예측식 비교·분석

Comparison and Analysis on the Prediction Equations of Transmission Noise Considering the Sound Directivity in Playing at the Outdoor Performance Hall

김 흥 식† · 조 순 형*
Heung-Sik Kim† and Soon-Hyeong Jo*

(Received April 18, 2019 ; Revised May 24, 2019 ; Accepted May 24, 2019)

Key Words : Outdoor Theater(야외공연장), Outdoor Transmission Noise(옥외전달소음), Noise Map(소음지도)

ABSTRACT

This study provides an appropriate estimation equation for outdoor transmission noise while manufacturing noise maps or predicting the noise of surrounding regions during a performance at an outdoor performance hall. By utilizing a commercially available program Cadna-A, values predicted using three equations, ISO-9613, VDI-2714, and CONCAWE, are compared with values measured at an actual outdoor performance hall located on a flat ground, wherein signal attenuation due to woodlands, buildings, and barriers is comparatively less. The compared positions are located at directivity angles of 0˚, 45˚, 90˚, 135˚, and 180˚, all at a distance of 15 m from the stage. As a result, the values predicted using the ISO-9613 and CONCAWE equations agree well with the actual values and are within a 5 % error rate; however, the values predicted using the VDI-2714 equation are not. The correction value of direction indexes and surrounding barriers of the hall using the VDI-2714 equation is estimated to be greater than those obtained using the other equations.

기 호 설 명

A : 감쇠량
A_{atm} : 대기 감쇠
A_{bar} : 방음벽에 의한 감쇠
A_{div} : 기하학적 발산에 의한 감쇠
A_{gr} : 지표면 감쇠
A_{misc} : 기타 영향에 의한 감쇠
D_c : 지향성 보정량
d : 방음벽 경로차
K_1 : 음원 지향성계수
R : 음원에서 수음점까지의 거리
K_2 : 대기감쇠
K_3 : 기상조건에 따른 감쇠
K_4 : 지면효과
K_5 : 방음벽 계수
K_6 : 삼림 또는 나무에 의한 감쇠
K_7 : 시가지 건물에 의한 감쇠
Lw : 음원에 의한 옥타브 대역 음압레벨
L_w : 음원파워레벨

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

소음·진동민원은 134 076건으로 전년도 대비 79.3 %

† Corresponding Author ; Member, Architecture, Honam University
E-mail : hsk@honam.ac.kr
* Member, Korea Environment Design

‡ Recommended by Editor Jong Kwan Ryu

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

증가(2016년, 환경부 기준)하였으며, 환경 관련 전체민원과 대비하여 50.3 %로 높은 편이고, 야외공연 소음으로 인한 민원도 꾸준히 증가하고 있다. 야외공연장에서의 공연은 개방성으로 인한 도심 속의 광장이나 공공장소 또는 열린 장소에서 많은 사람들에게 기쁨과 감동을 생생하게 전달하지만, 야외공연 시 고출력 스피커 발생음으로 인한 소리는 관객이 아닌 공연장 주변의 보행자나 주거지역의 주민들에게 소음공해를 야기하기도 한다. 특히, 도심 속의 광장에서의 소음은 대개 주간시간대 보다는 야간시간대에 열리는 특성이 있기 때문에 인근 주거지역의 주민들에게 가장 심각한 외부 소음원으로 평가되고 있다. 이러한 상황임에도 불구하고 야외공연장의 소음 노출에 대한 영향을 객관적으로 예측하고 그 피해를 예측하는 방안에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다.

이 연구에서는 이러한 관점에서 야외공연장의 소음 실태를 파악하기 위해서 기본적으로 필요한 야외공연장 옥외전달소음 예측식들을 실측치와의 비교를 통하여 그 차이를 분석하고 그 결과를 도심지역의 야외공연장 주변 소음지도 작성의 기초자료로 제공하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

이 연구의 대상은 정온성이 요구되는 학교와 주거지역의 중간지점에 위치한 1000석 규모의 상설야외공연장(대)과 200석 규모의 상설야외공연장(소)으로 구성되고 평탄한 지역에 위치한 광주광역시 소재 S공원으로 한정하였다. 야외공연장 옥외전달소음 예측식은 국제표준화기구의 ISO-9613, 독일기술자협회의 VDI-2714, 유럽 물·공기보호단체의 CONCAWE 3가지 예측식을 사용하였으며, 연구대상에서의 공연 시 소음도를 측정하고, 음원으로부터 15 m 이격지점에서의 실측값과 3가지 예측식을 이용한 예측치를 비교·분석하였다.

2. 옥외전달소음 예측식 고찰

(1) 국제표준화기구의 ISO-9613 예측식

야외공연장의 소음예측 시 수음원 위치에서 옥타브 대역 음압레벨 $L_{ft}(DW)$는 다음 식(1)의 옥외소음 예측식(ISO-9613)으로부터 구한다. 일반적으로 63 Hz ~ 8 kHz의 중대역 주파수에서 8개의 옥타브 대역에 대해 산정한다.

$$L_{ft}(DW) = L_w + D_c - A \tag{1}$$

이 때, 감쇠량 (A)는 다음 식(2)로부터 산출한다.

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \tag{2}$$

(2) 독일기술자협회의 VDI-2714 예측식

이 예측식은 1976년 독일기술자협회(VDI)에 의해서 옥외소음 전달예측을 위해서 제시되었으며, 예측 지점의 음압레벨은 다음 식(3)으로부터 구한다.

$$L_p dB(A) = \sum_{allsources}^{\log} \begin{bmatrix} L_w + K_1 - 10\log(4\Pi R^2) + 3dB \\ - K_2 - K_3 - K_4 - K_5 - K_6 - K_7 \end{bmatrix} \tag{3}$$

(3) 유럽 물·공기보호단체의 CONCAWE 예측식

이 예측식은 유럽 물 공기보호단체(CONCAWE)에서 옥외전달소음 예측을 위하여 제시하였으며, 야외공연장의 소음예측 시 수음원 위치에서 음압레벨(L_p)은 다음 식(4)로부터 구한다.

$$L_p = L_w + D - \sum K \tag{4}$$

3. 분석방법 및 개요

3.1 조사대상의 선정

야외공연장과 주변 환경을 모델링하고 야외공연 시 실측 소음도를 측정하기 위한 연구대상구역으로서, 대규모(1000석)의 야외공연장을 야외공연장의 규모(소규모/대규모)의 만족여부, 주변에 소음피해를 미치는 거주공간의 존재여부, 야외공연이 자주 개최되는가의 여부, 원활한 연구를 위한 적당한 위치 여부 등을 고려하여 선정하였다.

Fig. 1 Satellite photograph of target area

3.2 분석 방법

Cadna-A 프로그램을 이용한 해석 시 야외공연장 옥외전달소음 예측식은 국제표준화기구의 ISO-9613, 독일기술자협회의 VDI-2714, 유럽 물·공기보호단체의 CONCAWE 3가지 예측식을 사용하였으며, 연구대상에서의 공연 시 소음도를 측정하고, 실측값과 3가지 예측식을 이용한 예측값을 비교·분석하였다. 이 때, 예측시 소음지도의 격자는 5 m × 5 m 단위, 예측지점은 지면 위 1.5 m 높이로 하였다. 공원부지 내 호수의 지면 흡음(G)은 0.0으로, 잔디의 지면 흡음(G)은 1.0으로 설정하였다. 공연 중의 음향파워레벨(PWL)은 실측을 통하여 얻은 음압레벨(SPL)로부터 역으로 환산하여 107.5 dB로 설정하고, 검토 대상의 범위인 overall 값을 대상으로 실측값과 예측값을 비교분석하였으며, 상설야외무대(대)로부터 15 m 떨어진 거리를 선정하였다. 실측값과 예측값의 소음분석 지점으로는 공원부지 내의 상설야외무대(대)를 기준으로 Fig. 2와 같이 15 m 거리에서 각각 0°, 45°, 90°, 135°, 180°에 위치한 5개 지점을 선정하였다.

소음 측정을 위한 기기 구성도는 Fig. 3과 같다.

3.3 예측값 산정 시 주요입력변수

(1) 음원파워레벨

옥외소음 예측프로그램에 입력변수 값을 넣기 위해 영향요인 중 기여도가 큰 음원의 파워레벨 값을 알기 위해 실제 측정한 값(SPL)을 기반으로 1/1 옥타브밴드별 주파수값을 수식에 대입하여 역환산한 PWL값을 구하였다. 무대에서 정면(0°)에서는 지향성의 영향이 없다고 가정하고 감쇠는 거리에 의해서만 일어난다고 가정하였으며(장애물이 없고 공기와 잔디에 의한 감쇠는 무시), 이에 따른 값은 다음 식(5)로부터 구한다.

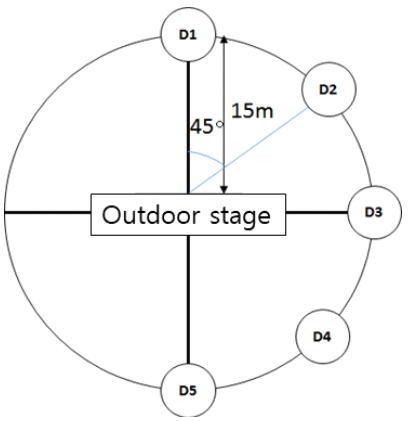

Fig. 2 Analysis points for the verification of measurement values and predicted values

$$L_w = L_p + 10\log(Q/4\pi r^2) \tag{5}$$

실제 측정한 주파수 63 Hz ~ 4 kHz의 SPL값을 각각 대입하여 구하여 음원의 값을 Table 1과 같이 산정하였다.

(2) 음원의 지향지수

야외공연장의 공연 시 스피커의 방향에 따라 음원이 지향성을 가지고 퍼지게 된다. 음원의 지향지수는 실제 스피커 제조사에서 제공하는 지향성 정보를 입력한 예측을 수행하여 비교하는 방법이 있으나, 이는 주변의 영향을 실질적으로 반영하기에는 한계가 있기 때문에 이 연구에서는 실측음압레벨(L_p)값과 이로부터 구한 음향파워레벨(L_w)을 이용하여 식(6)에 의해 지향계수(Q)를 구한 후, 실제 무대주변의 영향을 고려한 지향지수(directivity index)를 식(7)을 이용하여 Table 2와 같이 구하였다.

$$Q = 4\pi r^2 10^{\frac{(L_w - L_p)}{10}} \tag{6}$$

$$DI = 10\log Q \tag{7}$$

(3) 대상지역 주변건물 실태

소음지도 제작 시 건물에 대한 특성(전고)은 소음의 전파 시 장애물의 역할을 하여 소음의 감쇠가 되는 영

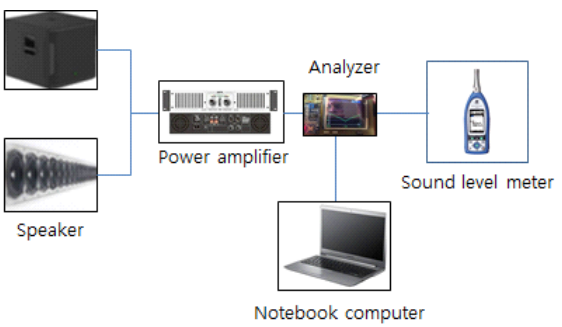

Fig. 3 Noise test equipment block diagram

Table 1 PWL value of the point (0°) at 15 m distance from the front stage (dB)

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
100.5	103.6	99.5	105.9	112.5	107.4	101.8	98.7

향을 주기도 하지만 그 곳에 사는 주민들의 피해량을 파악하는데 쓰이기도 한다. 이 연구의 대상지역 주변 대지에 있는 공공건물 및 주거, 상업건물의 대다수를 정확하게 조사를 할 수는 없었으나 대표적인 주거 아파트 및 공공건물에 대한 개요를 Table 3과 같이 조사하였다. 상가 및 원룸 등의 건물의 정보는 1층을 3 m로 통일하였다.

(4) 등고선

등고선(contour line)의 경우 지리정보시스템에서 맵을 제공받을 때 cad file상에 Z축(높이)의 정보가 입력되어 있다.

(5) 지리정보

이 논문에서 소음지도 제작 시 사용한 대상지역 수치지형도는 지리정보시스템을 통해 구입하여 사용하였다.

Table 2 Directivity Index of sound source considering the effect of surrounding conditions at stage

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
0˚	0	0	0	0	0	0	0	0
45˚	0.2	1.3	7.4	4.4	2.9	7.2	4.1	4.6
90˚	3.8	8.5	7.5	0.5	9	12.2	12.5	19.2
135˚	15.7	6.5	3.1	4.2	14.5	23.1	21.9	24.7
180˚	20.9	15	7.5	16.6	31.6	34.4	34	37.8

Table 3 Outline of building around the outdoor performance hall

Name of building	Floor	Height of floor (m)	Total height (m)
GIST, A building	3	3	9
GIST, B building	4	3	12
GIST, C building	9	3	27
GIST, D building	4	3	12
GIST, E building	3	4	12
Design center	6	3	18
Industry campus of CHU	4	3	12
Hospital building	9	3.5	31.5
Gwangsan-gu exper. building	3	3	15
Donga Apart. housing	5	2.6	13
Ssangyong Apart. housing	5	2.6	13
Moa Apart. housing	15	2.6	39
Byeogsan Apart. housing	15	2.6	39
Geumgwang Apart. housing	15	2.6	39
Dongbu Apart. housing	15	2.6	39
Ilsin Apart. housing	12	2.6	31.2
Jeongam elementary school	4	3.6	14.4
Bia middle school	5	3.6	18

4. 예측값과 실측값의 비교분석

소음을 예측하는 방법으로 옥외소음 예측프로그램은 Cadna-A(ver 4.6, DataKustic社)를 사용하였으며, 실측 시 소음측정지점에서 사용한 소음계는 NL-52 (Rion社)의 정밀 측정계를 사용하여 옥타브밴드별 주파수(octave band level)로 측정하여 전주파수(over all)로 비교한 결과는 Tables 4 ~ 6과 같다.

실측을 통한 소음도 결과와 시뮬레이션을 통한 예측소음도를 비교한 결과는 다음과 같다.

(1) ISO-9613의 경우

Table 4와 같이 측정위치 0˚에서 오차값은 0.8 dB, 45˚의 경우 1.7 dB, 90˚의 경우 2.1 dB, 135˚의 경우 1.5 dB, 180˚의 경우 2.8 dB로 나타났다. 예측값과 실측값의 소음도 차이는 ±3 dB이내이며, 이를 오차율로 평가한 결과, 예측값과 실측값의 오차율은 0.9 % ~ 4 %로서, 일반적인 정확도 판단기준인 오차율 5 % 이내에 해당하여 예측값은 높은 신뢰성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 이는 지형조건이 고저차가 없이 평탄하고, 식재나 건물 등 음원 주변 영향이 적은 경우에 적합한 옥외전달소음 예측식임을 보이고 있다. 아울러, 측정값을 기준으로 측정위치 0˚에 비해 45˚의 경우 –0.2 dB, 90˚의 경우 –4.2 dB, 135˚의 경우 –10.1 dB, 180˚의 경우 –16.1 dB의 차이가

Table 4 Comparison of the measured value and predicted value by using the ISO-9613

Measurement point	Measured value (dB)	Predicted value (dB)	Error value (error rate)
0˚ (front stage)	85.7	86.5	+0.8 (0.9 %)
45˚	85.5	83.8	–1.7 (1.9 %)
90˚	81.5	79.4	–2.1 (2.5 %)
135˚	75.6	74.1	–1.5 (1.9 %)
180˚	69.6	66.8	–2.8 (4 %)

*Error rate = [(predicted value – measured value) / measured value] × 100

발생하는 것으로 나타났다.

(2) VDI-2714의 경우

Table 5와 같이 쌍암공원의 경우 0°에서 오차값은 4.3 dB, 45°의 경우 2.7 dB, 90°의 경우 3.8dB, 135°의 경우 6.5 dB, 180°의 경우 9.6 dB로서, 오차율은 2.3 % ~ 13.8 %로 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 무대 후면부인 예측위치 135°와 180° 지점에서 일반적인 정확도 판단기준인 오차율 5 % 이내를 훨씬 초과하는 8.6 % ~ 13.8 %의 값을 보이고 있어서 상대적으로 신뢰성이 낮은 것으로 나타났다. 이는 평탄지형에서는 무대 후면부의 경우, 예측식에서 음원의 지향성계수에 대한 보정값과 무대후면 반사판 및 주변건물 등의 영향이 과도하게 평가되기 때문인 것으로 사료된다.

(3) CONCAWE의 경우

Table 6과 같이 쌍암공원의 경우 0°에서 오차값은 4.9 dB, 45°의 경우 3.4 dB, 90°의 경우 1.9 dB, 135°의 경우 1.9 dB, 180°의 경우 2.2 dB로서, 오차율은 2.3 % ~ 5.7 %로 나타났다. 무대정면 위치를 제외하고는 일반

Table 5 Comparison of the measured value and predicted value by using the VDI-2714 (dB)

Measurement point	Measured value (dB)	Predicted value (dB)	Error value (error rate)
0° (front stage)	85.7	90.0	+4.3 (5 %)
45°	85.5	88.2	+2.7 (2.3 %)
90°	81.5	85.3	+3.8 (4.7 %)
135°	75.6	82.1	+6.5 (8.6 %)
180°	69.6	79.2	+9.6 (13.8 %)

*Error rate = [(predicted value – measured value) / measured value] × 100

Table 6 Comparison of the measured value and predicted value by using the CONCAWE (dB)

Measurement point	Measured value (dB)	Predicted value (dB)	Error value (error rate)
0° (front stage)	85.7	90.6	+4.9 (5.7 %)
45°	85.5	88.9	+3.4 (3.9 %)
90°	81.5	83.4	+1.9 (2.3 %)
135°	75.6	77.5	+1.9 (2.5 %)
180°	69.6	71.8	+2.2 (3.1 %)

*Error rate = [(predicted value – measured value) / measured value] × 100

적인 정확도 판단기준인 오차율 5 % 이내에 해당되는 수준으로 비교적 예측도가 높으나, 주변에 영향을 크게 미치는 무대 전면부인 측정위치 0°에서 5.7 %의 오차율을 나타내는 문제점도 있는 것으로 평가된다. 이는 음원과 수음점의 높이 교정효과와 평탄한 지형조건과 음원 주변 영향을 상대적으로 적게 받는 옥외전달소음 예측식의 영향인 것으로 사료된다.

5. 결 론

야외상설공연장의 공연 시 발생하는 소음도를 실측하고, 실측값으로부터 역환산한 음원의 파워레벨을 일정하게 한 상태에서 음원으로부터 15 m 이격지점에서의 3가지 옥외전달소음 예측식을 이용한 예측값과 실측값을 비교·분석한 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 지형조건이 고저차가 없이 평탄하고, 식재나 건물 등 음원 주변 영향이 적은 경우에는 ISO-9613 예측식을 이용한 경우가 가장 신뢰도가 높고, CONCAWE 예측식은 오차율이 평균 5 % 이내로서 사용에 무리는 없으나 주변에 영향을 크게 미치는 무대 전면부인 측정위치 0°에서 5.7 %의 오차율을 나타내는 문제점이 있으며, VDI-2714 예측식을 이용한 경우가 가장 신뢰성이 낮은 것으로 나타났다. 이는 VDI-2714 예측식을 이용한 경우에는 음원의 지향계수에 대한 보정값과 무대후면 반사판 및 주변건물 등의 영향이 과도하게 평가되기 때문인 것으로 사료된다.

(2) 측정값을 기준으로 지향성에 따른 영향을 검토한 결과, 무대전면부인 측정위치 0°에 비해 45°의 경우 –0.2 dB, 90°의 경우 –4.2 dB, 135°의 경우 –10.1 dB, 180°의 경우 –16.1 dB의 차이가 발생하여 지향성이 주변소음도에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다.

이 연구에서는 지역이 평탄하고 음원주변의 방음벽이나 건물 등의 영향이 비교적 적은 대상을 중심으로 예측값과 실측값을 비교하였으나, 금후, 다양한 측정조건 상태에서의 예측값과 실측값에 대한 비교·분석이 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2017년도 교육부의 재원으로 한국연구재

단 이공학개인기초연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1D1A3B03034545).

References

(1) Kim, H.-S., 2016, A Study on the Manufacture of Noise Map and the Influence of Sound Souce in Playing at the Outdoor Performance Hall, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 5, pp. 175~180.

(2) Jang, H., 2010, A Study on the Manufacture of the Road Traffic Noise Map and the Calculation of the Exposed Population by Computer Simulation Techniques, Master's Thesis, Honam University, Gwangju, Korea, pp. 55~66.

(3) Kim H.-S., Jang, H. and Bang, M., 2009, A Comparison of Foreign Traffic Noise Prediction Method Used in Road Traffic Noise Map Program, Journal of The Korean Society of Living Environmental System, Vol. 16, No. 5, pp. 461~467.

(4) Jung, E.-J., 2008, A Study on the Acoustic Characteristics of Outdoor Performance Hall, Master's Thesis, Wonkwang University, Jeonbuk, Korea, pp. 29~36.

(5) Kim, H.-S., Jang, H. and Bang, M., 2008, Analysis on the Traffic Noise Prediction Formula Used in Road Traffic Noise Map, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 709~714.

(6) Jung, E.-J., Jung, C.-W. and Kim, J.-S., 2006, A Study on the Acoustic Characteristics of Small-sized Outdoor Performance Hall, Proceedings of Korean Society of Environmental Engineers Annual Autumn Conference, pp. 1009~1016.

(7) International Standard Organization, 1996, ISO 9613-2, Acoustics-Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 2: General Method of Calculation, Geneva, Switzerland.

Heung-Sik Kim received B.S. & M.S. & Ph.D. degree in Architectural Engineering from Hanyang University. He has researched at the Graduate Programs in Acoustics of Penn. State University as a Post-Doctoral researcher from 1991 to 1993. And he served as a 16th president of KSNVE. He is currently a Professor at the Department of Architecture of Honam University. His interested research is the control method of floor impact noise and environmental noise for buildings.

Soon-Hyeong Jo finished his Bachelor Degree and Master Degree from Honam University in 2016 and 2018 respectively. Presently, he is a assistant manager at the noise and vibration team of Korea Environment Design.