

테프론(TEFRON)막 구조 야외공연장의 건축음향특성 분석에 관한 연구

A Study on Architectural Acoustic Characteristics of an Open Air Performance Hall with the Membrane Structure

°박혜나† · 김정중* · 손장열**

Hye-Na Park, Jung-Joong Kim and Jang-Yeul Sohn

Key Words : An Open Air Performance Hall, TEFRON Membrane Structure, Architectural Acoustics

ABSTRACT

Recently, many membrane structure buildings are constructed with the trend of multi functional and high technological construction. The membrane structure has the characteristics such as distinguished architectural shape which can make variable space creation and can make economic use of material. Therefore, it is in the spotlight of sport complex, various concert hall, and public service buildings. However, the acoustic study of membrane structure has not been following up the increasing demand for the membrane structure. In this study, the acoustic characteristics of membrane structure will be studied and analyzed using architectural acoustic factors based on acoustic design theory. And also, the differences between theoretical exhortation value and outcome of study will be studied with the basis of architectural acoustic material study.

1. 서 론

최근 급속도로 발전된 건축기술을 바탕으로 다양한 형태의 건축구조물들이 세워지고 있으며, 막(膜)구조물 역시 여러 가지 장점을 지닌 새로운 건축구조물로 보급이 증가되고 있다. 막의 하중전달 메커니즘 특성을 이용하는 막구조물은 다양한 형태의 공간창출이 가능하고 대공간 형성 및 재료사용에서 경제적이란 특성을 갖고 있다.

막구조물은 현대 산업사회가 요구하는 기본적인 목적에 크게 부응하고 외관의 미적 만족도와 기능을 충족시킬 수 있는 장점에 따라 스포츠 경기장과 다양한 공연장 및 공공시설 등의 대공간 건축물로 각광받고 있다.

그러나, 막구조물이 건축음향학적으로 불리함이 예상되고는 있으나 막구조물에 대한 건축음향학적 연구는 활발히 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 막구조물의 건축음향적 특성을 파악하기

위하여 테프론 막구조의 원형야외공연장에서 건축음향인자들을 이용하여 현장측정 및 분석하였다. 또한, 실내건축음향에서 이론적 적정기준과 막구조물의 음향적 특징을 비교 분석하였다.

2. 연구(이론)배경

2.1 기존 연구

건축음향의 특징을 설명하기 위한 여러 파라메타 가운데 잔향시간(RT)은 실의 체적과 용도에 따라 다르게 표시하나 일반적으로 체적을 10,000m³을 기준으로 공연종류가 오페라일 경우 1.5초, 오케스트라연주의 경우 2.0초로 맞추어 설계하는 것이 바람직 한 것으로 알려져 있다.

또한, 기존의 건축음향 연구자료에서는 야외공연장에 관한 자료가 불충분하나 그중 2050석의 수용능력을 갖춘 Benedict Music Tent 잔향시간(Leo, L. Beranek, 1996)은, 125Hz~1KHz에서 3초대를 웃돌고 1KHz를 초과하는 주파수에서는 1.5초~2.5초대를 나타냄에 따라 건축음향학적으로 우수하다고 평가되는 공연장보다 잔향시간이 길게 나타났다.

2.2 건축음향성능 물리적 평가요소

Table 1.은 기존의 실내음향 파라메타의 내용을 간단히

† 책임저자 ; 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과
E-mail : arch97@empal.com
Tel : (02) 220-0313, Fax : (02) 226-5331

* 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과

** 정희원, 한양대학교 건축공학과

정리한 것으로 본 연구에서는 울림의 양에 대한 파라미터인 잔향 시간(RT, reverberation time)과 실의 음성전달에 대한 명료도 평가에 사용되는 초기음에너지비율(D_{50} , definition, deutlichkeit)값과 RASTI를 사용하여 데이터를 비교·분석하였다.

Table 1 Acoustics parameter

Classification	Parameters	Explanation
The amount of reverberation	RT (Reverberation time, sec)	$D_{50} = 100 \times \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} (\%)$ <p>The time it took the sound to decay the estimated 60dB of its initial sound level was measured by chronograph and defined by Sabin.</p>
	D50(Definition, %)	$D_{50} = 100 \times \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} (\%)$ <p>The distinctness ratio. It's the ratio of the sound energy in the first 50msec after arrival of the direct sound at a listener's position to the total sound energy arriving</p>
	RASTI (Rapid Speech Transmission Index)	$m = \frac{\overline{IE}}{I_0}$ <p>Index to evaluate Speech Transmission with modulation frequency.</p>

Table 2 Classification of membrane structure type and material

Classification	structure type	membrane material
	air membrane suspension frame	TEFRON (PTFE) polyester (PVC, PVF, PVDF)

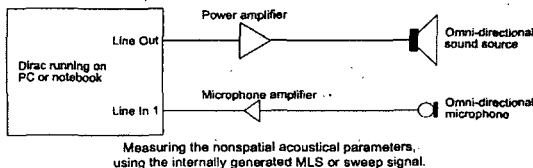


Fig. 1 Measurement equipment using MLS / Sweep signal

2.3 막구조

막구조는 횡력에 의해 발생하는 불안정성에 대하여 구조

체의 자중으로 저항하는 일반적인 강체구조와는 달리 매우 가벼운 구조이다.

연성구조물에 설치되는 자재들의 특징은 막구조물의 구법 특징상 기타 자재와 달리 막재료가 마감제이면서도 골조 역할을 담당하는 것이기 때문에 막재료의 흡음률 및 특성의 고려가 음향설계초기에 필요할 것으로 판단된다.

Table 2는 막의 종류를 나타낸 것으로 구법 및 형태에 따라 세 구조로 나눌 수 있고 재료에 따라서는 크게 두 분류로 나눌 수 있다. 테프론(TEFRON)은 최근 건축물 유지와 보수에 있어 재료적특징이 우수하다고 평가되어 막구조 시공시 선호됨에 따라 본 연구에서는 테프론 막구조의 음향적 특성을 살펴보고자 하였다.

3. 측정방법 및 결과

3.1 측정방법

(1) 공연장 측정

공연장과 관객석에 음향시험 측정위치를 설정하고, 음향학적인 측면에서는 ISO-3382¹⁾ 기준에 의거한 KS F-2864²⁾를 바탕으로 충격음발생 후 Computer System(Symphonie)를 사용하여 주파수 스펙트럼과 잔향시간(Reverberation Time), 음성명료도(Definition), 대화명료도(RASTI)의 음향인자들을 측정 및 분석하였다.

분석기인 Symphonie System은 신호발생기에 연결된 무지향성 스피커를 통해 MLS(Maximum length sequency)신호를 발생시켜 각 수음점의 마이크로폰을 통해 수음하고, 여기에 연결된 컴퓨터의 자동 분석기 프로그램인 dBati를 이용하여 각 측정인자들을 분석하였다. 측정 횟수는 수음점별 3회 이상으로 하며, 그 평균값을 데이터로 이용하였다.

Fig. 1은 MLS나 Sweep signal을 이용한 측정장비 구성을 나타냈고, Table 3.는 측정항목과 장비를 나타내며 공식시를 기준으로 하였다.

공연장의 실내형태는 천정면이 TEFLON 단일막으로 바닥과 천정면이 원형이면서 오목면으로 형성되어졌으며 객석은 8m높이, 24°의 경사각을 가진 원형 돌계단 면으로 Fig. 2와 같이 구성되었고 Fig. 3은 측정장면을 보여준다.

수음점 위치는 공연장의 형태가 원형으로 좌우 대칭임에 따라 측정 정밀도를 높이기 위해 놀이마당 중앙과 좌측을 기준으로 놀이마당의 음향상태를 대표할 수 있는 지점으로 선정하였다. 즉, 수음점과 음원은 그

- 1) ISO 3382 Acoustics-Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters 17p
- 2) KS F 2864 실내공간의 잔향시간과 음향변수 측정방법 (Measurement of the reverberation time of rooms with reference to the other acoustical parameters)

럼 Fig. 2와 Table 4에 나타난 바와 같이 놀이마당과 관객석을 포함하여 총 17개 지점으로 정하고 측정용 마이크는 청중의 귀 높이를 나타내는 높이인 바닥에서 1.2m 높이로 설정하였으며, 음원의 높이는 측정 주파수 범위에서 음원의 저주파 변형을 방지하기 위하여 표준 측정용 Speaker와 현재 사용중인 Speaker System의 상태에 두고 측정하였다. 음원의 위치는 중앙과 무대앞 두 지점으로 설정하였고, 무대 좌우측 상단의 PA system에서 음원을 발생시켜 측정할 경우는 표준음원으로부터 MLS signal을 발생시켜 무선마이크로 수음하여 측정하였다.

Table 3. measurement substance

	substance
condition	1) weather : clear, 28°C ~ 31°C relative humidity 75% 2) environmental sound Level : average 50 ~ 62dB(A)
measurement item	RT / D50 / RASTI
measurement equipment	1) Standard MIC / Calibrator (NC-73) 2) Sound level Meters (NA-10) 3) Real-Time 1/1 및 1/3 Oct Band Analysis 4) Professional audio Generator (Sin, Square, Pink Noise, Polarity test) (MR-1) 5) Analog Audio Analyzer (Level(RMS) VU & Peak Programmer)/(Polarity Test Sweep Recording) (ML-1) 6) Sound Measurement and Analysis 01dB Symphonie system 7) Spectra LAB / USB DEVICE, Real Time Spectrum Analysis
sound source	MLS(Maximum length sequency)

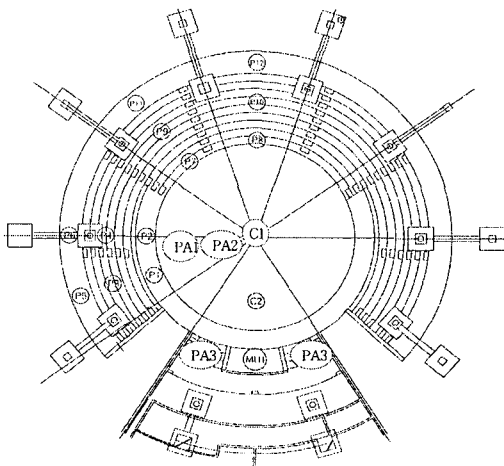


Fig. 2 Concert hall plan and microphone position 또한, 야외공연장의 객석에 PP film을 설치하여 음향환경에 객석의 기여율을 측정하였고, 음의 지향성을 알아보

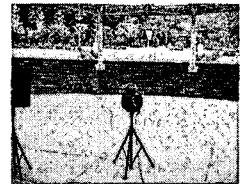
기 위하여 실험용 PA 스피커를 객석방향으로 설치하였다. 실험용 PA 스피커는 높이 1.2m 위치에 4m(PA1)와 6m(PA2)의 이격거리를 두고 객석 6지점과 놀이마당 2지점에서 측정하였다.

Table 4 Measurement position and point number

	Position	Point number
Microphone	The seats	12 (P1 ~ P12)
Sound source	Concert hall stage front and center	2 (C1, C2)
	Experimental PA speaker	2 (PA1, PA2)
	The existing PA speaker	1 (PA3)



interior



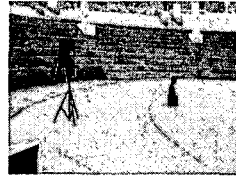
sound source(stage front)



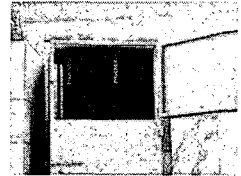
sound source



sound source(center)



experimental PA speaker



the existing PA speaker



the seats PP film



the seats PP film

Fig. 3 Microphone and sound source position

3.2 측정결과

(1) 음향인자분석

표준음원의 위치에 따른 잔향시간과 음성명료도를 측정하기 위해 각 수음점에서 측정된 결과에서 울림현상을 일으키는 저음역 125 Hz와 500 Hz에 대한 데이터 값을 분석하여 잔향시간의 이론치와 비교하였다.

① 잔향시간(RT)

가. 표준음원

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 125 Hz와 250 Hz의 음원변화에 따른 잔향시간을 나타낸다.

125Hz에서 음원위치 변화(C1, C2)에 따라 잔향시간은 대부분 2sec를 초과하고 있다. 거리에 따른 잔향시간 감쇠영향으로 0.3~0.7sec의 변화를 나타내지만 일부 측정점에서 차이가 많은 것으로 나타났다.

잔향시간의 기여율을 판단하기 위해 무대앞에서 음원을 발생시키고 객석에 PP film을 설치할 경우(PP film-C1) 평균 0.12sec의 감소에 따라 잔향시간 조정을 위해서는 객석의 처리가 필요하다.

500Hz에서 역시 천정막을 벗어난 P11과 P12를 제외한 대부분의 측정점에서 잔향시간이 2sec를 초과하지만, 음원위치에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

나. 현장 PA 스피커

현재 사용중인 PA 스피커의 잔향시간 편차는 측정위치별로 크게 나타나고, PP film을 설치할 경우(PP film-PA3)는 설치전과 비교하여 125Hz와 500Hz에서 대부분 차이가 없는 것으로 나타나 현 스피커음원에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

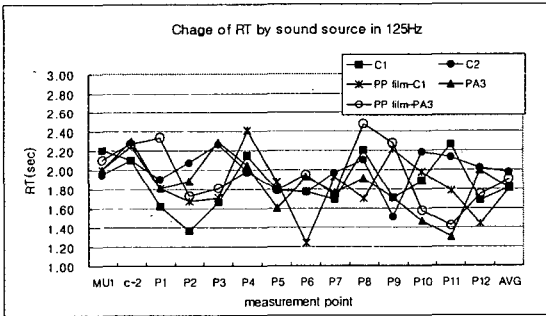


Fig. 4 Change of RT by sound source in 125Hz

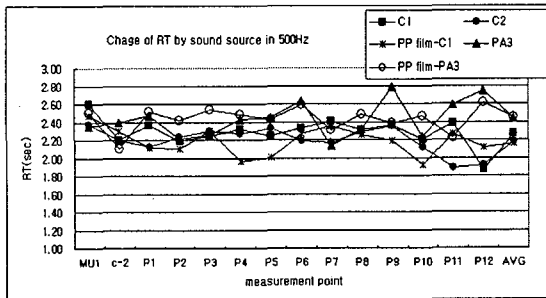


Fig. 5 Change of RT by sound source in 500Hz
다. 실험용 PA 스피커

Fig. 6은 실험용 PA스피커의 이격거리에 따른 잔향시간 변화를 나타낸다. 이격거리가 4m일 경우 잔향시간의

증가량이 크고, 6m인 경우 잔향시간의 편차가 4m일 때 보다 적은 것을 알 수 있다.

② 음성명료도(D50)

가. 표준음원

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 125 Hz와 250 Hz의 음원변화에 따른 음성명료도를 나타낸다.

125Hz에서 음원위치 변화(C1, C2)에 따라 D50(%) 값은 대부분 거리에 따른 감쇠영향으로 평균 10%의 오차를 나타내고 있고 P7을 포함한 측정점부터는 50% 미만으로 음성전달이 어려운 것으로 나타났다.

500Hz에서는 125Hz보다 평균적으로 가변폭은 줄었으나 대부분의 측정점에서 50% 미만으로 음원위치에 따른 영향이 125Hz보다 큰 것으로 나타났다.

나. 현장 PA 스피커

125 Hz에서 D50(%) 값의 편차는 측정위치별로 많은 편차를 나타내고 있으며 객석에 PP film을 설치할 경우(PP film-PA3)는 설치전보다 대부분의 측정점에서 평균 5% 증가하여 스피커 지향성에 영향을 받는 것으로 판단된다. 500 Hz에서는 125 Hz보다 가변폭은 줄었으나 공통적으로 대부분의 측정점에서 50% 미만으로 나타났다.

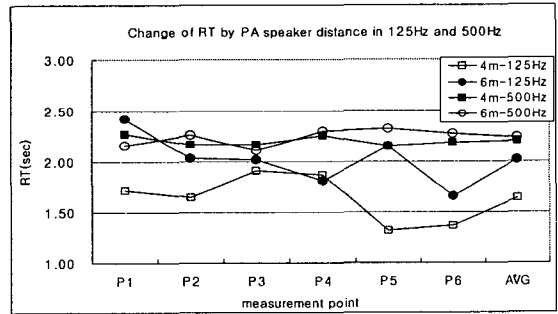


Fig. 6 Change of RT by speaker distance

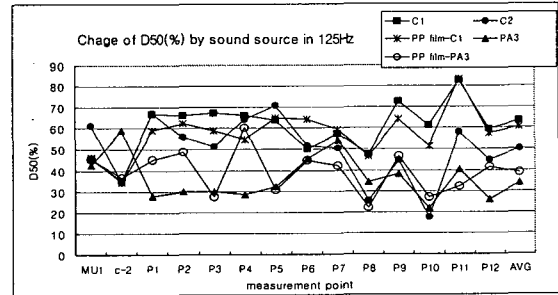


Fig. 7 Change of D50 by sound source in 125Hz
다. 실험용 PA 스피커

Fig. 9는 실험용 PA스피커의 이격거리에 따른 잔향시간 변화를 나타낸다. 이격거리가 4m인 경우 주파수 별로

70%이상의 높은 명료도와 10%내외의 편차를 나타내고 있었으며, 6m인 경우는 53%에서 81% 까지 전체적으로 28%의 편차를 보이고 있어 관객석과 음원간의 거리가 근접하여 명료도는 좋은 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 테프론(TEFRON) 막구조 야외공연장의 건축 음향특성을 알아보기 위하여 음원 종류의 변화, 표준음원 위치변화와 잔향시간의 기여율을 알아보기 위한 PP film 설치전후의 측정, 스피커 이격거리 변화를 통해 음향측정 평가인자들을 실측하였고 본 연구의 결론은 다음과 같다.

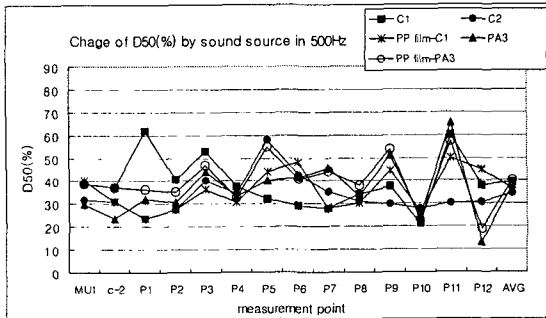


Fig. 8 Change of D50 by sound source in 500Hz

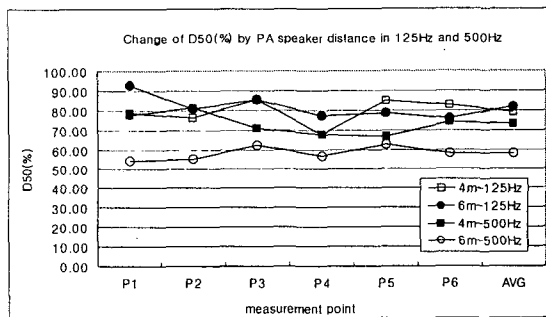


Fig. 9 Change of D50 by speaker distance

③ 대화 명료도(RASTI)

가. 표준음원위치 변화

무대앞 음원위치에 대화의 명료도는 0.49~0.57의 값을 나타내나 공연장 전체 평균값이 0.51을 나타냈고, 중앙 음원위치에 따르는 대화의 명료도 역시 0.48~0.57의 값을 나타내나 공연장 전체 평균값이 0.52초로 대화 명료도가 주관적 평가기준에서 Fair 단계수치인 0.6 이하로 나타나 “노력해야 정확히 들을 수 있는 단계”로 나타났다.

PP film 설치시 표준음원에 대한 대화 명료도 역시 0.47~0.54로 기준명료도 0.6에는 미치지 못하였다.

나. 현장 PA 스피커

측정위치에 따르는 대화의 명료도도 0.5~0.63의 값을 측정 위치별로 나타내고 있으나 공연장 전체 평균값이 0.56으로 나타났고 PP film 설치후 평균값 역시 0.6이하로 나타났다.

(1) 표준음원에 의한 잔향시간 측정결과에서는 125Hz와 500Hz 모두 적정 기준인 2sec를 대부분 초과하는 것으로 나타났고 125Hz보다 500Hz가 표준음원 위치에 따른 차이가 적은 것으로 나타났고 PP film 설치 전·후의 차이가 나타남에 따라 잔향시간의 조절시 객석의 흡음처리가 필요할 것으로 판단되었다.

(2) 음성명료도는 표준음원의 위치변화에 따라 500Hz에서 영향이 더 큰 것으로 나타났고, 현재 사용중인 PA스피커에 의해서는 공통적으로 125Hz보다 500Hz의 가변폭이 적지만 음성명료도값이 50% 미만으로 명료도를 증가시키는 작업이 필요할 것으로 판단된다.

(3) 현재 사용중인 PA스피커를 이용한 PP film 설치 전·후의 잔향시간 및 명료도 차이에서 그 영향이 적음으로 현재 스피커의 지향성과 배치방법 분석이 필요하다.

(4) 실험용 PA 스피커의 이격거리에 의한 영향으로는 평가인자 측정결과 6m인 경우가 측정편차는 적으나 4m인 경우가 더 좋은 것으로 나타나 시설 배치시 고려해야 할 것이다.

본 연구는 현재 공연장으로 운영되고 있는 테프론 막구조를 실측한 것으로 기존의 막구조물들의 건축음향적 특징을 언급하기에 부족함에 따라 향후 막재와 다양한 구조형태의 특징연구 등을 통해 보다 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- (1) J.S. Bradly ; “Auditorium acoustics measurement from pistol shots”, J. Acoust. Soc. 1986. 7, pp 199-205.
- (2) M. David Egan(1998) ; “Architectural acoustics”
- (3) Leo, L. Beranek(1996) “Concert and Opera Halls, How They Sound”
- (4) M. Barron, “Impulse Testing Techniques for Auditoria” Applied Acoustics 17, 1984, pp. 165-181