

콘서트홀에서 무대음향에 대한 무대 반사판의 영향

The Effects of Stage Reflectors on Stage Acoustics in Concert Halls

◦김용희* · 김수연** · 전진용***

Yong Hee Kim*, Su Yeon Kim** and Jin Yong Jeon***

Key Words : Stage Acoustics(무대음향), Reflector(반사판), Diffuser(확산체), STI, Auditory Experiment(청감실험)
Subjective preference(주관적 선호도)

ABSTRACT

The effects of the movable reflectors on the stage acoustics in Seoul's Sejong Performing Arts Center (3,048-seat multi-purpose hall, stage area of 270m² within an orchestra shell) and Ceramic Palace Hall (440-seat concert hall, stage area of 105m²) were investigated. Acoustical parameters were evaluated by measuring stage and audience acoustics in the two halls. The study was primarily based on the stage support parameter STI proposed by Gade (Acustica 65, pp.193-203, 1989). Results showed that STI varied on the stage of the large hall according to the position of the reflectors, whereas STI did not vary in the small hall. In the large hall, a smaller clear stage area (bounded by the reflectors) yields an increase in both STI and other early energy measures. In the small hall, early energy decreases when its stage's surface diffusion was covered with specular reflectors.

1. 서론

연주자에게 콘서트홀의 무대는 하나의 거대한 악기라고 볼 수 있다. 성악을 하든지, 기악을 하든지 연주자의 연주는 무대를 통해 객석으로 전달되기 때문이다. 더욱이 연주자는 그 거대한 악기 속에서 자신의 연주소리를 스스로 듣고, 협연하는 다른 연주자들과도 조화를 추구해야 하기 때문에 연주자에게 실제로 도움이 되는 무대음향에 대한 연구는 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

초기 무대음향에 대한 연구는 1978년 Marshall의 2인⁽¹⁾과 Barron⁽²⁾에 의해 시작되었고, 1989년 Gade⁽³⁾는 두 개의 잔향실에서 연주자를 대상으로 진행했던 실험을 통해 Stage Support Early(STI)라는 무대 연주자에게 도움이 될 수 있는 음향지표를 제안해 무대음향 연구의 기틀을 마련했다.

STI은 연주자 자신의 연주를 돕기 위해 제안된 지표로서 직접음(0~20ms)과 짧은 초기반사음(20~100ms) 사이의 음압비로 나타낸다.^(참고 A) 실제 무대에서 측정된 STI은 청감평가를 통해 연주자의 선호도와 관련이 있는 것으로 나타났다.⁽⁴⁾

Gade 이후로도 많은 연구자들이 무대음향을 정립하고자 많은 노력을 하였고,^{(5)~(8)} 주목할 만한 많은 연구결과들이 나왔지만, 아직도 Gade의 Stage Support 이외에 무대음향을 정량적으로 평가하는 연구는 부족한 실정이다. 그 중에서도 시급하게 연구되어야 하는 것은 실제 연주자가 무대음향을 어떻게 청각적으로 인지하는 지를 밝히는 것⁽⁹⁾과 무대 구성요소들이 어떤 방식으로 무대음향에 영향을 미치는 지를 밝히는 것이다.

본 연구에서는 무대 구성요소 중 무대 반사판이 다양한 배치에 따라 무대음향에 어떤 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 또한 무대측벽의 확산부위를 이동식 반사판으로 통제하여 무대 확산체가 무대음향에 미치는 영향도 파악하고자 한다. 다만 이동식 반사판이 무대의 모든 반사면을 통제할 수 없으므로 무대의 전체 크기에 대한 무대 반사판 변화의 양상을 고려하고자 무대의 크기가 다른 두 개의 콘서트홀을 선정하였다.

무대음향을 평가하는 지표로는 STI이 사용되었으며 연주자의 청감에 민감한 중음역(500, 1000, 2000Hz)의 STI 평균치를 사용하였다. 또한 무대확산 평가에는 음원의 공간감을 분석하는 IACF(Interaural cross-correlation function) 요소⁽¹⁰⁾가 사용되었다. 본 연구의 분석결과를 검증하기 위해 연주자를 대상으로 한 주관적 선호도 평가를 준비하고 있다.

* 한양대학교 건축공학과 석박사통합과정
E-mail : kimyonghee@gmail.com
Tel : (02) 220-1735, Fax : (02) 2201-1733

** 한양대학교 건축공학과 석사과정

*** 한양대학교 건축공학부 부교수

2. 측정

2.1 대상 홀의 개요

본 연구는 세종문화회관 대극장(이하 세종문화회관, SJ)과 세라믹 팔레스 홀(CP)에서의 현장 측정 결과를 토대로 작성되었다.

1978년 준공된 Fan-type의 세종문화회관은 3층으로 구성된 다목적 공연장(Multi-purpose hall)으로 3,048석의 객석과 440m²의 무대면적을 갖추고 있다. 측정은 콘서트 모드용 오케스트라 셸(Orchestra shell)이 설치된 상태에서 진행되었으며, 이때의 무대면적은 270m²이다.

2003년 완공된 세라믹 팔레스 홀은 콘서트전용 공연장으로 2층으로 구성된 432석의 객석과 355m²의 객석면적, 105m²의 무대면적, 3,200m²의 용적을 갖추고 있다. 각 콘서트 홀의 규모와 기본적인 음향특성은 표 1과 같다. 콘서트 전용홀인 세라믹 팔레스 홀의 ST1값이 다목적홀인 세종문화회관보다 높게 나타났다.

표 1. 두 콘서트홀의 규모와 음향특성

구분	V (m)	N (석)	V/N (m ³ /인)	S _{stage} (m ²)	RT (sec.)	ITDG (ms)	ST1 (dB)
SJ	36,000	3,075	11.8	440/270	1.7	45	-19.8
CP	3,580	432	8.3	105	1.8	11	-9.23

N: 좌석수, V: 실용적, V/N: 1인당 용적, S_{stage}: 무대면적
RT: 중음역의 잔향시간(반사시^{[11][12]}), ITDG: 직접음과 초기반사음과의 시간차

2.2 이동식 반사판

무대의 유효 반사면과 확산면의 조절을 위해 총 7개의 미국 Wenger사의 이동식 반사판을 사용하였다. 이동식 반사판은 3단으로 구성되어 있으며 이를 통해 반사판의 높이를 조절할 수 있다. 최상단의 반사판은 4가지 각도(0°, 30°, 60°, 90°)로 조절이 가능하다.

2.3 무대 반사판의 영향

연주 상태는 소규모 협연으로 가정하고 콘서트 모드의 빈 무대와 이동식 반사판으로 부분적인 무대측벽을 다양하게 형성하였다. 무대면적이 큰 세종문화회관은 그림 1과 같이 7개의 이동식 반사판으로 둘러싸인 무대(case 1~5)와 오케스트라 셸만 설치된 빈 무대(case 6)의 6가지 경우에서 무대 및 객석음향을 각각 측정하였다.

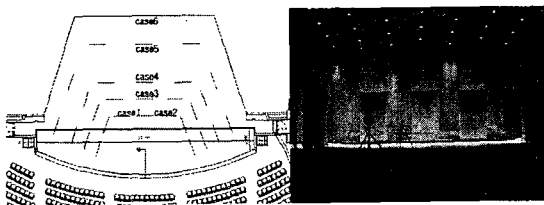


그림 1. 세종문화회관 무대에서의 반사판 배치

반면 무대면적이 작은 세라믹 팔레스 홀은 그림 2와 같이 3~7개의 이동식 반사판을 이용해 3가지 무대 상태(case 1~3)를 구성하고, 이동식 반사판을 사용하지 않은 빈 무대(case 4)도 무대 및 객석음향을 측정하였다.

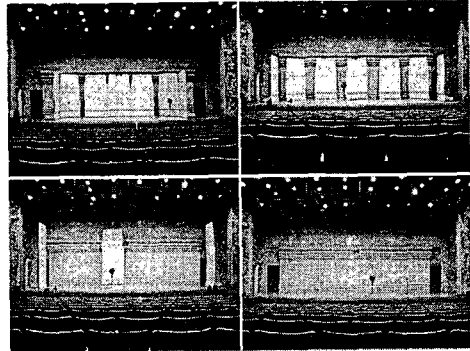


그림 2. 세라믹 팔레스 홀 무대에서의 반사판 배치 (좌측 상단부터 2방향으로 case 1~4)

무대음향 평가를 위한 음원의 위치는 Gade의 연구^[13]를 준용하여 무대선단으로부터 1m×1m (Depth×Width) 떨어진 지점으로 설정했다. ST1 측정을 위한 수음점은 무대음향용 음원으로부터 횡방향(W)으로 1m 떨어진 지점이다. 객석에서의 수음점은 세종문화회관의 경우 넓은 객석면적을 감안하여 횡으로(측벽방향) 3지점을 설정하였고, 세라믹 팔레스 홀의 경우 좁고 긴 객석면적을 감안하여 종으로(후벽방향) 3지점을 설정하였다.

2.4 무대 확산체의 영향

이미 확산체가 설치되어 있는 세라믹 팔레스 홀의 무대 측벽을 이동식 반사판으로 차단하여 무대 확산체의 영향을 조사 하였다. 측정에 사용된 두 가지 무대 상태는 그림 3과 같다.



그림 3. 세라믹 팔레스 홀의 무대 확산체(좌)와 반사판으로 차단된 확산체(우)

무대음향을 평가하기 위한 음원의 위치는 반사판의 영향에서와 동일하고, 객석음향용 음원의 위치는 반사판에 둘러싸이는 면적을 고려하여 무대선단으로부터 2m×1m (D×W) 떨어진 지점과 3m×1m (D×W) 떨어진 지점을 설정하였다.

3. 반사판의 영향 실험결과

그림 4와 같이 무대음향을 나타내는 STI는 세종문화회관에서는 이동식 반사판으로 둘러싸인 면적이 증가할수록 감소하는 경향을 보였지만, 그림 5와 같이 세라믹 팔레스 홀에서는 무대 상태에 따른 경향성이 나타나지 않았다.

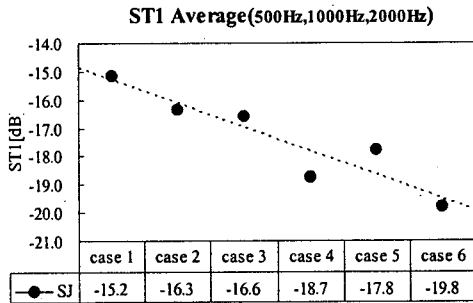


그림 4. 세종문화회관의 각 무대 상태별 STI

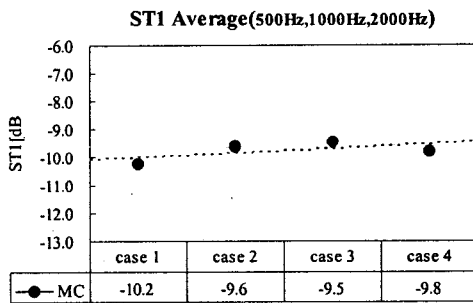
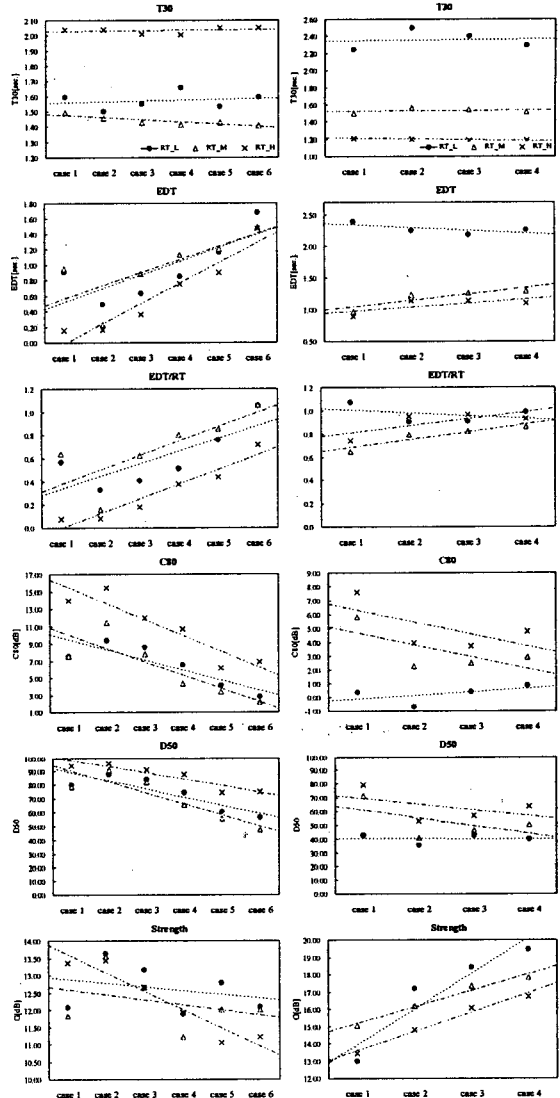


그림 5. 세라믹 팔레스 홀의 각 무대 상태별 STI

STI는 0~20ms, 20~100ms 이내의 음에너지를 고려하므로 수음점을 중심으로 반경 4.6~17.7m 이내에 무대 반사면이 존재할 때 무대 구성요소가 STI에 영향을 줄 것이라 예상할 수 있는데, 무대가 큰 세종문화회관의 경우에는 이동식 반사판이 음원으로부터 멀어짐에 따라 STI에 대한 변화요인으로 작용했으나, 무대가 작은 세라믹 팔레스 홀은 확산 마감면 자체가 이미 20~100ms 사이에서 최대 음에너지를 제공하고 있기 때문에 이동식반사판의 위치에 거의 반응하지 않았다.

음향 파라미터 별로 살펴보면 그림 6과 같다. 주파수 대역별 변화를 위해 125~250Hz는 저주파(L, ●), 500~1000Hz는 중주파(M, △), 2000~4000Hz는 고주파(H, ×)대역으로 각각 그룹화하여 분석하였다. 각 case 숫자는 숫자가 클수록 이동식 반사판에 의해 형성된 유효 무대 면적이 크다. 즉, 세종문화회관의 case 6과 세라믹 팔레스 홀의 case 4는 각각 이동식 반사판이 없는 상태의 무대이다.



(a) 세종문화회관

(b) 세라믹 팔레스 홀

그림 6. 각 공연장 무대에서의 음향 파라미터

위의 측정결과를 통해 반사판에 의한 무대상태의 변화는 잔향시간(T30)에 별다른 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다. 다만 홀 특성의 차이로 세종문화회관의 잔향시간은 '중주파<저주파<고주파'순으로 분포하는 데 반해, 세라믹 팔레스 홀은 '고주파<중주파<저주파'순으로 분포하였다.

초기감쇄시간(EDT)의 경우 세종문화회관에서는 이동식 반사판을 음원으로부터 멀리 배치할수록 EDT가 높아지는 경향을 보인 반면, 세라믹 팔레스 홀에서는 특별한 반응을 보이지 않았다. EDT/RT는 주관적인 잔향감에 관련된 요소로서 낮을수록 명료도가 높다고 할 수 있는데, 세종문화회관에서는 EDT와 같은 양상을 보였고, 세라믹 팔레스 홀에

서는 규칙적인 경향성이 드러나지 않았다.

명료도(C80)는 두 홀에서 모두 무대 유효면적의 증가에 따라 감소하는 양상을 보였는데, 이것은 이동식 반사판의 사용이 소리의 명료도 향상에 도움을 준다는 것을 의미한다. 또한 요해도(D50)는 세종문화회관에서는 무대 유효면적의 증가에 따라 많이 감소하는 양상을 보였는데, 세라믹 팔레스 홀에서는 다소 감소하는 양상을 보였다. 다만 세라믹 팔레스 홀에서 저주파의 명료도와 요해도는 무대상태의 변화에 영향을 받지 않았는데, 이것은 무대 크기가 작기 때문인 것으로 사료된다. 즉, 80이나 50ms 이내의 초기음에너지의 크기에 영향을 미치는 요소가 이미 공간적으로 더 이상 생성될 수 없기 때문이다.

G 값은 참조값 설정의 오차로 절대값이 아닌 상대값으로만 비교하였다. 전체적인 양상을 살펴보면 세종문화회관에서 G값은 무대 유효면적의 증가에 따라 다소 감소하는 양상을 보이는데 반해, 세라믹 팔레스 홀에서의 G값은 반사판이 없는 경우가 오히려 증가하는 양상을 보였는데, 이는 유효면적의 변화폭이 상대적으로 작고, 기존 확산체가 이동식 반사판보다 강한 확산에너지를 제공하기 때문으로 사료된다.

4. 확산체의 영향조사

세라믹 팔레스 홀의 무대 위의 2지점에서 수음된 음원으로 무대 확산체를 드러냈을 때(●)와 이동식 반사판으로 가렸을 때(△) 측정된 STI 값은 그림 7과 같다.

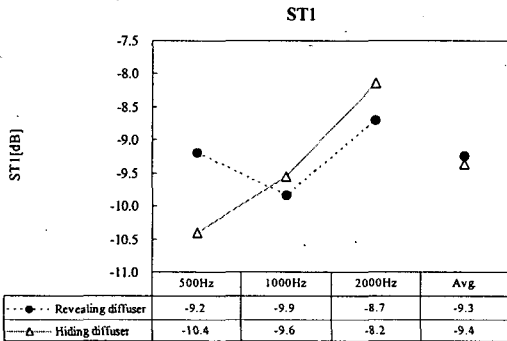


그림 7. 세라믹 팔레스 홀에서 무대 확산체 노출에 의한 STI 값

무대 확산면을 가리지 않았을 때의 STI의 500~2000Hz 대역의 평균값은 별다른 차이를 보이지 않았지만, 주파수 대역별로 살펴보면 특히 500Hz 중음역에서는 확산면을 노출했을 때 약 1.2dB 상승하고, 반대로 1000~2000Hz에서는 0.4~0.5dB 감소했음을 알 수 있었다.

아래 그림 8은 각 무대 확산면의 상태에 따른 음향파라미터들을 나타낸다. 1-IACC는 초기음(0~80ms)을 계산하였다.

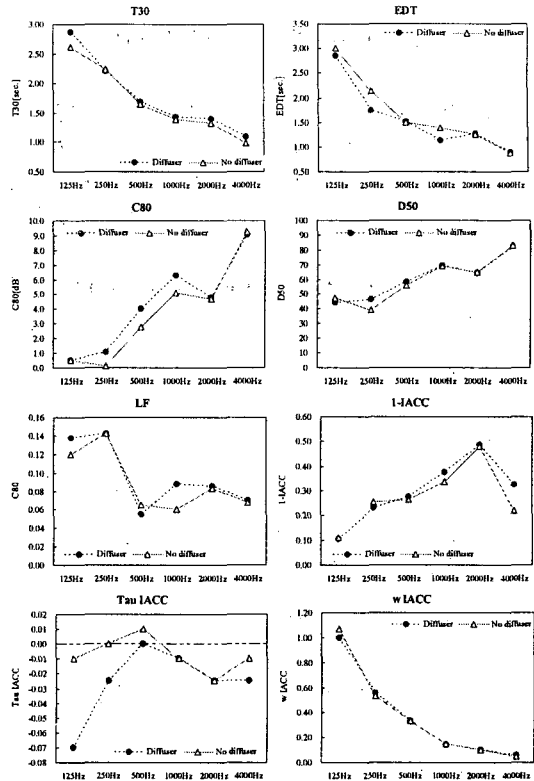


그림 8. 각 상태별 무대에서의 음향 파라미터

위의 측정결과를 통해 잔향시간(T30), 요해도(D50), 음원의 결보기 크기(w IACC)는 무대 확산면 노출에 거의 영향을 받지 않는 것을 나타냈다. 반면 측면반사비율(LF)은 125Hz와 1000Hz대역에서 확산에 의해 측면반사율이 0.02~0.03 향상된 것을 알 수 있다. 또한 양이상관도(1-IACC) 중 E3(500, 1000, 2000Hz)값이 0.05 향상된 것을 알 수 있다. 이 1-IACC_{E3} 값은 Hidaka와 Beranek⁽¹⁴⁾에 의해 무대 연주자의 선호도와 상당한 상관관계가 있다고 알려진 지표이다. 또한 τ_{IACC} (Tau IACC)는 확산체가 있을 때 -0.0258이고 확산체를 가렸을 때 -0.0075였다. 이것은 음원의 좌우 균형을 나타내는 지표로 확산체를 노출시켰을 때 음원의 공간감이 향상된다는 것을 나타낸다. 특히 125~250Hz의 저주파와 4000Hz의 고주파에서 공간감이 많이 향상된다. 그리고 확산체의 노출은 무대 위의 명료도(C80)향상에도 도움을 주었다.

또한 확산체를 가렸을 때는 그림 9와 같이 임펄스 리스펜스의 모양에도 큰 변화를 주었다. 이 변화는 비록 현재 개발된 음향 파라미터를 통해 설명할 수는 없지만, 실제로 경면반사에 의해 딱딱하고 튀는 음원이 보다 부드럽게 확산될 수 있다는 것을 나타낸다.

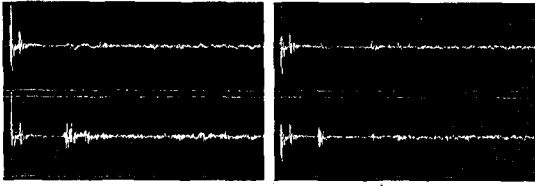


그림 9. 확산체를 노출시켰을 때(좌)와 가렸을 때(우)의 임펄스 리스폰스

6. 토의 및 결론

이상의 측정결과를 통해 이동식 반사판에 의한 무대 유효면적의 감소는 무대가 큰 세종문화회관에서는 STI의 변화에 영향을 주었지만, 무대가 작은 세라믹 팔레스 홀에서는 STI에 별다른 영향을 주지 못하였다. 이것은 무대 반사판의 영향이 전체적인 무대 크기와 상관성을 갖고 있다는 것을 의미하며, 무대 반사판의 설치가 모든 공연장에 일괄적으로 적용될 수 없다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 두 개의 무대크기가 서로 다른 공연장에서 현장 측정을 통해 무대음향을 분석했는데, 무대 반사판에 의해 변화되는 무대 유효크기에 대한 정량화나 반사판의 반사 효율에 관한 문제들에 관해서도 심도 깊게 접근해야 할 것으로 사료된다. 다만 세종문화회관에서의 측정결과를 통해 무대 유효면적의 감소는 음원의 명료도와 요해도를 향상시키고, 초기감쇄시간을 감소시키며, 연주자를 위한 STI를 향상시키는 것으로 나타났다.

한편 무대 확산면에 대한 실험에서는 무대 확산체를 단순히 이동식반사판으로 가린 것만으로도 무대음향에 상당한 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다. 다만 IACF 요소를 제외한 현재 통용되는 음향 파라미터로는 그 확산현상을 충분히 설명할 수 없었기 때문에 이를 위한 발전된 음향 파라미터의 개발이 시급하고 할 수 있다. 본 연구의 확산면에 대한 실험결과를 통해 무대 확산체는 음원의 겉보기 크기와 잔향시간에 큰 영향은 없지만 무대 명료도와 공간감에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

이상의 무대 반사판과 확산체에 대한 실험을 통해 무대 구성요소가 무대음향에 어떤 영향을 미치는가를 알아보았다. 추후 연구과제로는 이렇게 무대 구성요소에 의해 변화된 무대음향이 실제로 연주자에게 어떤 영향을 주는지를 밝히는 것이다. 우리가 수치적으로 살펴본 변화들이 연주자의 청감에 별다른 영향을 주지 못하는 미미한 것일 수도 있고 또한 작은 홀에서 STI 변화가 없으나 무대음향의 변화요인을 감지하는 음향 파라미터가 존재할 수도 있기 때문이다.

따라서 측정된 음원으로 가청화작업을 실시하여 연주자를 대상으로 하는 청감평가를 진행할 계획이다. 청감평가는 반사판의 영향과 확산체의 영향으로 나뉘어 진행되며, 무향실에서 사실감 있는 음원의 재현을 위해 두 개의 Loudspeaker를 이용한 Stereo Dipole System에서 진행될 것이다. 실험방

법은 반사판의 경우 반사체의 위치변화를 독립변인으로 하여 다른 모든 조건들은 통제시킨 상태에서 선택의 모호함을 최소화한 Paired-comparison Test로 음원쌍에 대한 선호도를 조사할 것이다. 확산체의 경우는 확산체의 유무를 독립변인으로 반사판과 같은 실험방법을 사용한다.

청감평가를 통해 나타나는 주관적 선호도는 반사판과 확산체에 의해 변화되는 무대음향의 지표들과 어떤 상관관계를 가지고 있을 것이다.

참고 A

$$STI = 10 \log \left\{ \frac{\int_{20}^{100} P^2(\lambda) d\lambda}{\int_0^{20} P^2(\lambda) d\lambda} \right\}, \text{ dB}$$

참고 문헌

- (1) A. H. Marshall, D. Gottlob and H. Alrutz, "Acoustical conditions preferred for ensemble," J. Acoust. Soc. Am. 64, 1437-1442 (1978).
- (2) M. Barron, "The Gulbenkian Great Hall, Lisbon, II: an acoustic study of a concert hall with variable stage," J. Sound Vib. 59, pp. 481-502 (1978).
- (3) A. C. Gade, "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part I: Method and laboratory experiments," Acustica 65, pp. 193-203 (1989).
- (4) M. Barron, "Auditorium Acoustics and Architectural Design," Capman & Hall/Routledge, London, (1993).
- (5) J. H. Rindel, "Design of new ceiling reflectors for improved ensemble in a concert hall," Appl. Acoust. 34, pp. 7-17 (1991).
- (6) J. O'Keefe, "A Preliminary Study of Reflected Sound on Stages," 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, pp. 601-604 (1995).
- (7) J. Meyer, "Influence of Communication on Stage on the Musical Quality," 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, pp. 573-587 (1995).
- (8) J. Y. Jeon and M. Barron, "Evaluation of Stage Acoustics in Seoul Arts Center Concert Hall by Measuring Stage Support," J. Acoust. Soc. Am. 117 (1), pp. 232-239 (2005).
- (9) J. Meyer, "Problems of mutual hearing of musicians," Proceeding of ICA '86, (1986)
- (10) S. Sato, H. Sakai, N. Prodi, "Subjective preference for sound sources located on the stage and in the orchestra pit of an opera house," J. Sound and Vibration, 258(3), pp. 549-561, (2002).
- (11) 서춘기, "다목적홀의 리모델링을 통한 음향 개선," 한양대학교 공학대학원 석사학위 논문, (2005).
- (12) 류종관, 전진용. "밀알학교 콘서트홀의 음향설계," 한국생활환경학회 추계학술대회, pp. 89-92 (2001).
- (13) A. C. Gade, "Acoustical survey of eleven European concert halls, Report No.44," Appl. Acoust. 31, 207-214, (1989).
- (14) T. Hidaka, L. L. Beranek, "Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas," J. Acoust. Soc. Am. 107(1), pp. 368-383, (2000).