

콘서트홀 무대반사판의 설계에 관한 연구

A study on the design of ensemble reflector in a concert hall

김민애,¹ 오양기^{2†}

(Min Ae Kim¹ and Yang Ki Oh^{2†})

¹목포대학교 음악과 ²목포대학교 건축학과

(Received July 19, 2018; revised September 7, 2018; accepted September 20, 2018)

초 록: 장방형 평면의 한쪽 끝에 자리잡아 벽체와 천장 등의 1차 혹은 2차반사음을 많이 확보할 수 있는 슈박스 콘서트홀의 무대와 달리, 객석으로 둘러싸인 무대의 빈야드 콘서트홀은 무대 위의 연주자들이 자신이나 다른 연주자들의 연주음 크기나 화음을 모니터링 할 수 있는 초기반사음이 절대 부족하다. 무대 주변벽에서의 반사음을 기대할 수 있지만 무대라이저와 그 위의 연주자들에 의해 상당부분 가려지기 때문에 그 효과는 극히 제한적이다. 무대반사판(ensemble reflector)은 무대의 상부에 설치하여 연주자들의 모니터링을 가능하게 함으로써 연주음의 양상불을 향상시키는 데 기여할 수 있는 효과적인 수단이다. 2,000여석 규모의 커다란, 따라서 높은 천장으로 인해 유효한 초기 천장반사음을 확보하기 힘든 대형 빈야드 콘서트홀에서 적절한 위치와 형태와 면적을 갖는 효율적인 무대반사판을 설계하고 무대서포트에 관한 정량적 지표를 토대로 그 효과를 검증하였다.

핵심용어: 무대반사판, 슈박스 콘서트홀, 빈야드 콘서트홀, 무대서포트

ABSTRACT: Stage in classical shoebox type concert hall is placed and occupy one side of the hall and have much early reflections from surrounded walls and ceiling nearby. On the other hand stage in vinyard terrace concert hall, which is surrounded by terrace seats instead of walls and ceiling, has lack of early reflections which may cause lack of communications among the players. Vinyard hall stage is enclosed with terrace seats front walls, while the players located on the stage riser keep the walls off as the walls have limited heights. Ensemble reflector installed above the stage is an effective way for the players to monitor the sound produced on the stage. That may help achieving a good ensemble of the performance. Ensemble reflector over the stage of a large vinyard terrace hall of 2,000 seats was designed with the variables of the location, the shape and the area. The effectiveness of the ensemble reflector is verified with the parameter of stage support.

Keywords: Ensemble reflector, Concert hall, Vinyard terrace, Stage support

PACS numbers: 43.55.Fw, 43.55.Gx

1. 서 론

자신을 포함한 주변 악기음을 명료하게 들을 수 있어야 자기 연주음의 템포나 크기를 적절히 유지할 수 있다는 점에서 빈야드 콘서트홀의 무대는 연주자들에게 그다지 좋은 연주조건이 아니다. 슈박스 콘서트홀의 경우 객석 방향을 제외한 삼면과 천장이 닫힌 조건인데다가 소규모 발코니 하부천장의 초기

2차반사음까지 더하여 매우 강한 초기반사음이 무대 위로 집중되어 연주자들의 효과적인 모니터링이 가능하다. 반면 대규모의 빈야드홀에서는 무대가 객석의 가운데 위치하고 있어서 무대라이저로 대부분 가려져 있는 낮은 무대주변벽 이외에 벽면반사음을 기대하기 힘들 뿐더러 높은 주천장에서 반사음은 유효한 초기 지연시간의 범위 밖에 있다. 이러한 한계를 감안할 때 무대 상부에 무대반사판(ensemble reflector)을 설치하는 것이 빈야드 홀 무대의 연주환경 개선에 가장 적합한 방식인 것으로 생각된다.

†Corresponding author: Yang Ki Oh (oh@mokpo.a.kr)
Department of Arhitecture, Mompoo National University 1666
Yeongsanro Chungkye Muan Jeonnam 58554, Republic of Korea
(Tel: 82-61-450-2723, Fax: 82-61-450-2723)

II. 무대반사판

2.1 무대음향^[1]

무대 위 악기음은 주파수가 높아짐에 따라 지향성이 커진다. 금관악기와 같은 지향성 악기의 경우 소리의 방출 방향이 연주자의 반대쪽이므로 연주자가 듣는 소리와 다른 연주자 혹은 청중이 듣는 소리는 크게 다를 수 있다. 더구나 500 Hz 이상 고음은 회절량이 작아서 앞쪽의 연주자나 악기, 보편대, 의자 등에 의해 소리가 가려지는 확률이 높고, 이에 따라 특정 위치, 특정 악기의 소리 크기가 매우 약화될 우려가 있다. 뿐만 아니라 지나치게 큰 레벨의 악기음을 지속적으로 들어야만 하는 무대 위 특정 연주자들에게는 소음성 난청의 우려도 있다. 무대 위 오케스트라의 배열 방식은 각 악기음의 이러한 밸런스를 감안하여 만들어진 것이다. 일반적으로 가장 많이 선택되는 미국방식(American)으로 알려진 오케스트라 배열을 Fig. 1에 나타냈다.

이러한 오케스트라의 배열 방식에도 불구하고, 특

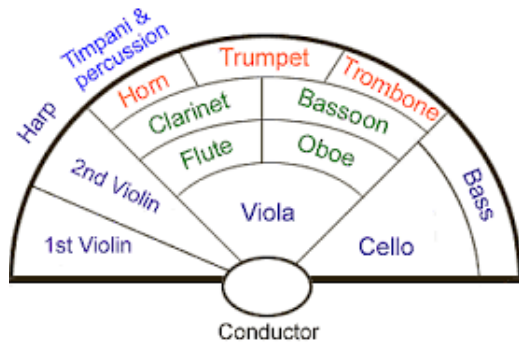


Fig. 1. Orchestra layout (American).^[2]

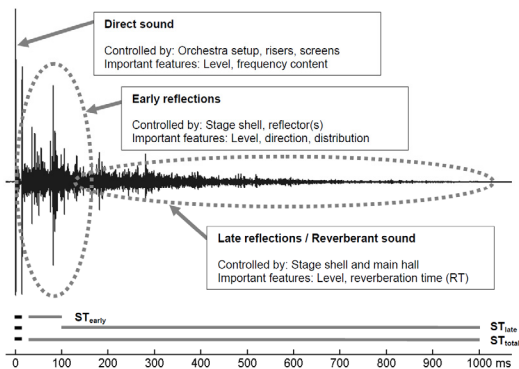


Fig. 2. Stage support concept.^[1]

히 고주파음에 대해서, 각 악기음이 특정 방향으로 지향한다는 사실을 간과해서는 안된다. 그 악기음의 지향 방향에 있는 동료 연주자와(그 악기의 옆이나 뒤편에 있는) 다른 위치의 연주자는 서로 다른 소리를 듣고 있을 수 있다. 무대 위 청취조건에 이러한 차이를 유효하게 보완할 수 있는 방법은 다양한 초기 무대반사음을 제공하는 것이다. Gade는 무대서포트(stage support)의 개념을 제안하였다.^[3] 이는 음원의 1 m 주변에서 측정된 초기반사음의 레벨을 뜻하는 것이다. 직접음 및 10 ms 이내의 음에너지(초기음)와 직접음 이후 20 ms ~ 100 ms 사이에 도달하는 음에너지의 비율을 ST_{early} 로 규정하고, 무대음의 양상비에 도움이 되는 요소(ensemble)로 평가하였다. 또한 초기음과 100 ms ~ 1,000 ms 사이에 도달하는 음에너지의 비율은 ST_{late} 로 표시하고 잔향감(impression of reverberation)을 나타낸다고 설명하였다. 초기음과 이 두 가지 개념을 아우르는 20 ms ~ 1,000 ms까지의 전체 음에너지의 비율을 무대서포트(support)로 규정하고 있다(Fig. 2).

2.2 콘서트홀의 평면형태와 무대반사음

전통적인 슈박스 콘서트홀(shoebox concert hall)의 무대는 객석과 마주보는 형태로 객석 반대편의 한쪽 끝을 차지하고 있기 때문에 벽과 천장에서 1, 2차 반사음, 그리고 때로는 깊이 않은 발코니 아랫면과 하부벽을 통한 2차반사음(cue ball reflection)으로 무대 위 청취조건을 유용하게 보강할 수 있다(Fig. 3(a)). 반면 빈야드 콘서트홀(vinyard terrace concert hall)은 무대가 객석으로 둘러싸여 있어 무대벽면이나 발코니 하부면에 의한 유효 초기반사음의 보강이 불가능하다(Fig. 3(b)). 무대를 둘러싸고 있는 테라스 좌석의 전면벽에서 어느 정도 1차반사음을 제공할 수는 있다. 그러나 전면벽이 높아지면 테라스 좌석열의 경사가 매우 급해지는 문제로 충분한 높이의 반사벽을 만드는 것은 불가능하다. 무대 위 연주자들이 자신의 악기음 뿐 아니라 이와 비교되는 다른 연주자들의 연주음을 모니터링할 수 있어야 훌륭한 연주가 가능하다. 빈야드 콘서트홀은 무대벽면이나 발코니 하부면에 의해 유효 초기반사음을 보강할 수 없기 때문에 무대의 상부에 연주자들을 위한 무대반사판

을 설치할 필요가 있다.

위에서 언급한 Gade의 앙상블 개념을 감안한다면 빈야드 콘서트홀 무대 상부의 반사판 위치나 형태는 매우 중요한 의미를 갖고 있다. 무대반사판의 높이에 대하여 Barron^[4]은 7 m ~ 10 m 정도를 추천하며, Gade는 약간 더 낮은 수준인 6 m~8 m를 적절한 높이인 것으로 제안하였다. Meyer는 반사판의 절대적인 높이보다는 음량이 작은 현악기의 연주음에 어떠한



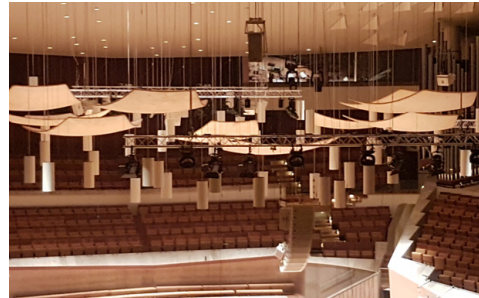
(a) Early reflections of shoebox stage



(b) Lack of early reflections in vineyard stage
Fig. 3. Stages in shoebox/vineyard concert hall.



Fig. 4. Stage reflector on the wall.



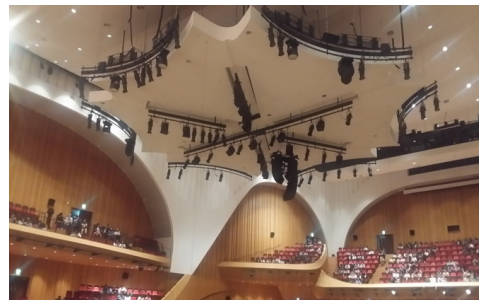
(a) Berlin philharmonic hall



(b) Suntory hall



(c) Birmingham symphony hall



(d) Lotte concert hall



(e) Hong Kong cultural center

Fig. 5. Stage reflectors.

역할을 할 수 있는지에 주목하여야 한다고 주장하였다. 반사판의 형태에 대하여 Rindel^[5]과 Dalenbäck *et al.*^[6] 등은 커다란 하나의 패널보다는 작은 여러 개의 패널로 구성하는 것이 바람직하다는 연구결과를 발표하였다. 최근의 빈야드 콘서트홀은 무대 상부뿐만 아니라 무대 주변의 상부벽체를 활용하는 경향을 보이고 있기도 하다(Fig. 4).^[7]

2.3 빈야드 콘서트홀 무대반사판의 사례

베를린필하모닉홀이나 산토리홀 등의 초기 빈야드 테라스 콘서트홀에서 소규모의 분산형 무대반사판이 설치되었다. 이러한 초기의 무대반사판은 분산된 반사판들의 작은 크기로 인한 반사효율의 문제, 낮은 면밀도에 의한 저주파음 공진의 문제 등을 노출하였다. 그 사례를 베를린 필하모닉 홀[Fig. 5(a)]이나 산토리홀[Fig. 5(b)]에서 찾을 수 있다. 반면 버밍햄심포니홀이나 샷포르콘서트홀, 롯데콘서트홀 등에 적용된 대형의 단일 무대반사판은 지나친 크기로 인하여 무대 상부에 낮게 설치할 수 없을뿐더러 대체로 무대 뒤편에 설치되는 파이프오르간을 시각적으로 가리게 된다. 이러한 점을 감안하여 버밍햄심포니홀[Fig. 5(c)]은 높이를 변화시킬 수 있는 가변 무대반사판을 적용하여 소규모, 대규모 심포니 연주나 파이프오르간 연주의 다양한 요구에 대응하고 있다. 반면 롯데콘서트홀[Fig. 5(d)]의 경우 대형의 무대반사판이 주천장의 높이에 고정되어 있다. 이로 인해 유효한 초기반사음을 만들어내기 힘들고, 따라서 무대위 연주자들의 연주 모니터링이 쉽지 않다. 홍콩 컬처럴센터[Fig. 5(e)]에는 무대 상부의 조명라인에 프레임을 세우고 무대반사판을 줄세워 배치하였다. 무대 주변 테라스좌석의 전면벽과 발코니 파라페트, 그리고 무대상부의 가로세로 반사판에 의해 상당히 양호한 무대 모니터링 환경이 조성되어 있다.

III. 무대반사판의 설계

3.1 콘서트홀 및 무대반사판

2,000석 규모의 빈야드 콘서트홀을 가정하여 무대 반사판의 효과를 검증하고자 하였다. 대상 콘서트홀

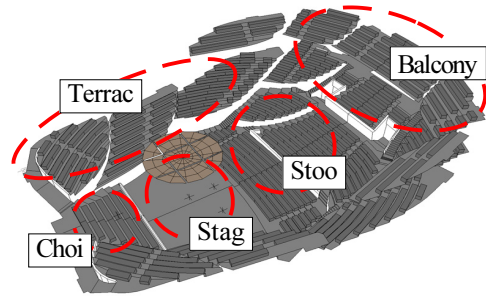


Fig. 6. Seat arrangement of the hall.

은 무대와 합창단석의 음원 위치를 포함하여 1층 객석(stool seats), 발코니석(balcony seats) 등의 무대 대면방향 좌석과 무대-합창단석 주변의 테라스석(terrace seats)으로 구성되어 있다. Fig. 6에서 나타낸 바와 같은 공연장의 조건에 대하여 높이와 크기, 그리고 형태 등의 조건을 감안한 무대반사판 설계를 수행하였다. 객석바닥레벨 기준으로 무대 위 12 m 지점을 기본 설치 위치로 설정하였으며, 다수의 분절된 판으로 구성하여 활용성을 증대시켰다.

3.2 설계조건

형태와 높이, 면적 등을 변화시켜가며 무대반사판이 무대음향에 미치는 효과를 검증하였다. 형태에 대해서는 평평한 표면의 기본형과 볼록형, 오목형 등을 검토하였다(Fig. 7). 이러한 형태적 검토는 무대 반사판의 설치 면적이거나 높이가 제한적일 경우 활용할 수 있는 방법으로 구상한 것이다. (선율 위주의 실내악 등 공연을 위해) 무대반사면의 설치 높이가 낮을 경우는 작은 면적의 볼록형 반사판이 적절하고, (스프링클러 분사각도나 파이프오르간의 시야확보를 위해) 무대반사면의 높이가 높아야 할 경우에는 오히려 오목형의 반사판이 적절할 수 있다. 또한 합창단이 있는 공연의 경우 오케스트라와 합창단의 상호 커뮤니케이션을 위해 앞뒤 방향으로 볼록한 무대 반사판 형태가 요구되기도 한다.

독주회, 소규모 앙상블 등의 소규모 공연과 폴 사이즈 오케스트라 공연, 그리고 합창단이나 파이프오르간 연주 상황에 대하여 객석바닥 기준으로 8 m ~ 16 m로 무대반사판의 설치 높이를 바꿀 수 있도록 하였다. 8 m 높이는 소규모 연주, 12 m는 대부분의 오

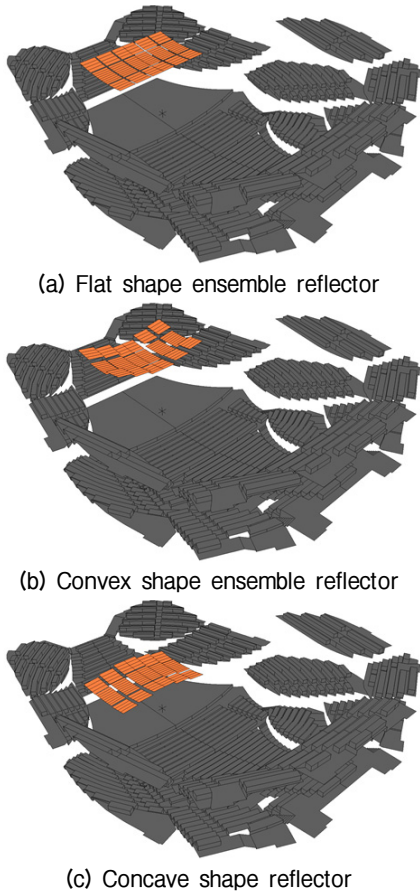


Fig. 7. Shape of ensemble reflector.

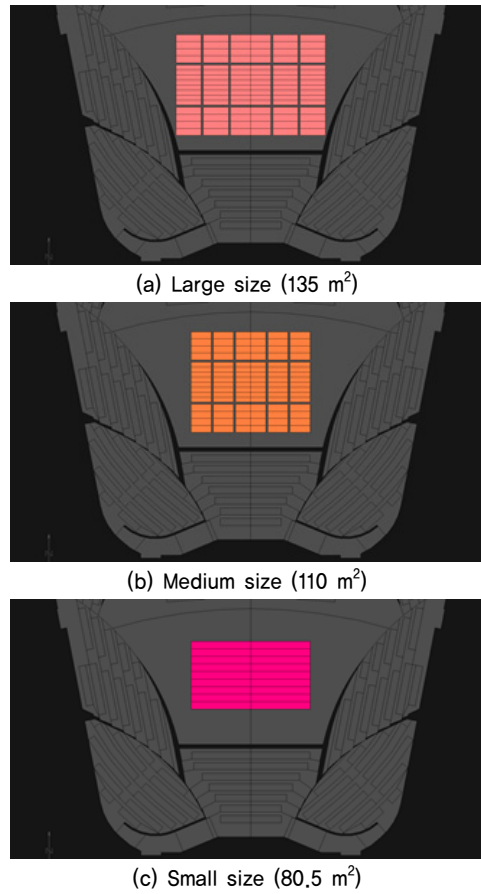


Fig. 9 Size of ensemble reflector.

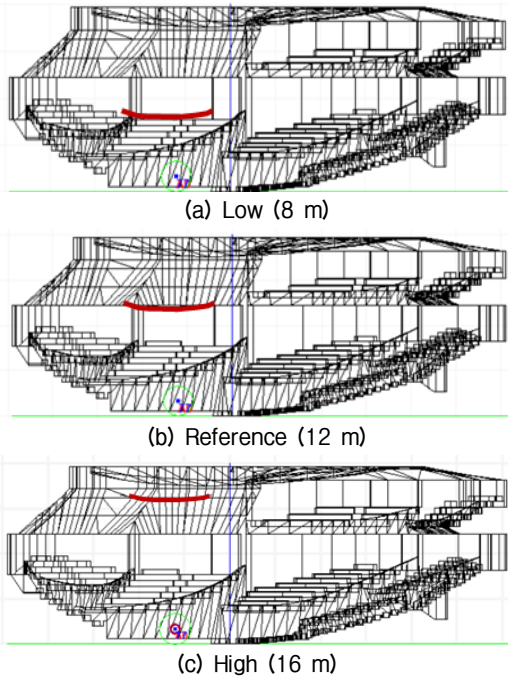


Fig. 8. Height of ensemble reflector.

케스트라 연주를 가정하고, 16 m 높이의 무대 반사판은 무대 뒤편의 파이프오르간 연주자의 모습이 보여질 수 있도록 배려한 것이다(Fig. 8).

이 공연장은 빈야드 콘서트홀의 일반적인 무대 크기보다 20%정도 큰 270 m²에 이른다. 더구나 무대의 뒤편으로 합창단석이 위치하고 있어, 모든 연주자들이 무대음을 모니터링 할 수 있도록 하려면 무대반사판의 넓이 또한 중요한 설계조건으로 감안하여야 한다. 이를 위하여 기준 면적의 반사판(110 m²)과 함께 큰 면적(135 m²) 작은 면적(80.5 m²) 반사판의 효과를 비교하며 검증하고자 하였다(Fig. 9).

IV. 무대반사판의 효율

4.1 반사판 형태와 범위

무대반사판의 있고 없음과 형태적인 변화가 무대 위 초기 유효반사음에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레

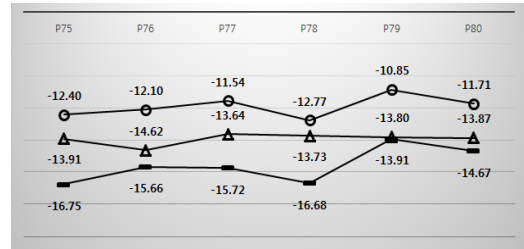
Table 1. Settings of simulation software.

Item		Settings	
1	Number of rays	100,000 rays	
2	Impulse response length	3,500 ms	
3	max. number of reflections	2,000	
4	Power level	90 dB	
5	Number of sound sources	1	
6	Number of receiver points	1 st Floor	56
		2 nd Floor	17
		Stage	6
7	number of 3D surfaces	4913	

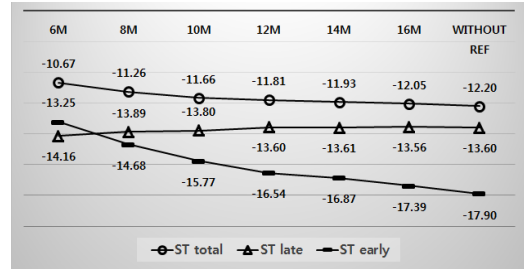
이션을 통하여 조사하였다. 시뮬레이션 소프트웨어는 CATT Acoustics V9.1a를 사용하였으며 설정값은 Table 1과 같다. 무대반사판의 적정 위치 검토를 위한 시뮬레이션에서 무대반사음이 무대 전면의 좌석열까지 미칠 경우 C_{80} 값과 G값은 소폭 향상되나(+0.3 dB) LF 값은 0.23에서 0.20으로 감소하는 것이 관찰되었다(Table 1). 수평반사음의 보강 없이 천장반사판을 통한 수직반사음만 추가되기 때문에 나타나는 현상이다.

4.2 무대반사판의 높이

나가타음향의 대표 컨설턴트인 토요타는 삿포로 콘서트홀의 무대반사판에 설계에 대하여 빈야드 홀의 새로운 무대환경에 적응해야 하는 오케스트라 단원들은 초기인 13 m 높이의 무대반사판에 대해서 조차 연주하는 데 어려움을 겪었으나 몇 개월 동안 점차로 익숙해져 나갔으며 최종적으로는 15 m의 높이에도 적응하여 좋은 연주를 하게 되었다고 말하고 있다.^[8] 어느 높이이건 무대반사판이 있다면 무대반사판이 없는 경우보다는 현저하게 높은 무대서포트 지표를 나타낸다. 무대반사판이 높아짐에 따라 전체 무대서포트(ST_{total})가 감소하지만, 특히 초기값(ST_{early})의 감소가 현저하게 드러났다[Fig. 10(b)]. 초기, 및 후기 및 전체 무대서포트 값의 변화는 무대 위 전반적인 위치에 대해서 거의 유사하게 나타나는 현상이다 [Fig. 10(a)]. 무대서포트의 편차는 무대반사판의 높이에 따른 ST_{early} 에서 더욱 현저하게 드러나는데 무대반사판이 6m 높이에 있을 때에 비해 16m의 경우에 약 4 dB 낮은 값을 보인다.



(a) Stage support value at various locations on the stage (Stage reflector at 10 m)



(b) Stage support of various height of stage reflector

Fig. 10 Stage support due to the height of ensemble reflector.

4.3 무대반사판의 크기

무대반사판의 크기의 변화에 대해서도 주로 초기 무대서포트(ST_{early}) 값이 크게 변하는 현상을 확인할 수 있다. Table 2에서 나타낸 바와 같이 무대반사판이 없었을 때와 가장 큰 무대반사판(135 m²)이 설치되었을 때의 무대서포트 편차에 주목하면 초기 무대서포트(ST_{early})는 +4.23의 향상을 보인 반면, 후기

Table 2. LF value changes due to the ensemble reflector.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Average
Concave shape	9.5	18.0	27.0	9.3	32.5	33.5	20.1	20.0	10.7	20.1
Convex shape	10.5	20.0	28.5	11.0	35.0	35.0	21.5	20.1	13.5	21.7
No reflector	11.5	20.1	29.0	11.0	36.0	36.0	24.5	21.0	15.5	22.7

Table 3. Stage support values and the size of reflector.

Stage Support	no reflector	Size of ensemble reflector		
		135 m ²	110 m ²	80.5 m ²
ST_{early}	-18.95	-14.72	-14.97	-15.52
ST_{late}	-13.63	-13.17	-13.32	-13.45
ST_{total}	-12.50	-10.87	-11.06	-11.34

무대서포트(ST_{late})는 +0.46의 변화를 나타낼 뿐이다. 결국 전체 무대서포트(ST_{total})의 변화도 +1.63에 불과하다. 초기 무대서포트가 무대 위 연주자들의 청취 명료도에 영향을 미치는 반면 후기 무대서포트가 잔향감에 영향을 미친다는 연구결과를 감안할 때, 무대반사판은 잔향감에는 별 영향을 주지 않으면서 연주자들의 자기 악기음 혹은 주변 악기음 청취의 명료도는 크게 향상시킬 수 있다는 점을 의미한다. 특히 무대반사판의 넓이에 따른 무대서포트 변화량 (-15.52 vs -14.72)보다 가장 작더라도 무대반사판이 있고 없을 때 (-15.52 vs -18.95)의 변화량이 훨씬 크다는 점에서 무대반사판의 존재 유무가 큰 의미를 갖는다고 결론지을 수 있다(Table 3).

V. 결 론

빈야드 콘서트홀의 무대는 무대 위 연주자들을 위한 초기 유효반사음이 절대적으로 부족하다. 객석의 가운데 위치한 무대는 무대라이저로 인해 그다지 높지 않은 주변 테라스좌석 전면벽의 수평반사음이 지향하기 힘들뿐더러 높은 주천장으로부터의 1차반사음은 직접음과의 시간차가 100 ms를 넘는 후기반사음으로 유효한 초기 지연시간의 범위 밖에 있다. 이러한 한계를 넘어서기 위한 방법으로 무대반사판을 설치하고 그 효과를 검증하였다. 무대반사음이 무대 전면의 좌석열까지 미칠 경우 C_{80} 값과 G 값은 소폭 향상되나 LF 값은 일정 수준 감소함으로써 천장반사판에 의한 초기반사음이 소리의 크기나 명료도에는 긍정적인 요소이지만 공간감에는 부정적 요인을 제공할 수 있음을 확인하였다. 무대반사판의 설치 위치가 높아짐에 특히 초기 무대서포트 지표 (ST_{early})가 크게 감소함으로써, 가능한 낮은 위치에 무대반사판을 설치하는 것이 타당하다는 점을 알 수 있었다. 또한 무대반사판이 무대 위 연주자들의 잔향감에 미치는 영향은 크지 않지만, 청취 명료도에는 큰 효과를 줄 수 있다는 점을 확인하였다. 이때 무대반사판을 더욱 넓게 구성해서 얻을 수 있는 무대서포트의 긍정적 효과보다는 무대반사판이 있고 없기에 따른 변화가 훨씬 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2018학년도 목포대학교 외부기관지원 장기해외연수 연구과제에 의해 수행되었음.

References

1. J. J. Dammerud, "Stage acoustics" Literature review, University of Bath, 1-14 (2006).
2. www.music-theory.stallwoodmusic.co.uk, accessed on July 4, 2018.
3. A. C. Gade, "Investigation of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part I: Field experiments and synthesis of results," *Acustica* **69**, 249-262 (1989).
4. M. Barron, "The Gulbenkian Grate Hall, Lisbon, II: an acoustic study of a concert hall with variable stage," *J. Sound Vib.* **59**, 481-502 (1978).
5. J. H. Rindel, "Design of new ceiling reflectors for improved ensemble in a concert hall," *Applied Acoustics* **34**, 7-17 (1991).
6. B. I. Dalenback, M. Kleiner, and P. Svensson, "A macroscopic view of diffuse reflection," *J. Audio Eng. Soc.* **42**, 793-807 (1994).
7. https://live.stanford.edu/, accessed on July 4, 2018Y.
8. Y. Toyota, A. Ozawa, and K. Naniwa, "Acoustical design of Sapporo Concert Hall," *Proc. ICA.* 257-2458 (1998).

저자 약력

▶ 김민애 (Min Ae Kim)



1985년 2월: 이화여자대학교 작곡과 음악학사 (이론전공)
1991년 8월: 한양대학교대학원 음악학과 음악석사 (이론전공)
1992년 ~ 2017년: 조선대학교 강사
2006년 ~ 현재: 목포대학교 강사
2015년 ~ 현재: 광주대학교 강사

▶ 오양기 (Yang Ki Oh)



1984년 2월: 서울대학교 건축학과 공학사
1986년 2월: 서울대학교 대학원 건축학과 공학석사
1990년 2월: 서울대학교 대학원 건축학과 공학박사
1991년 3월 ~ 현재: 목포대학교 건축학과 교수