

KBS홀 공연장 건축음향 개선사례

고문안 KBS 홀운영부 팀장

KBS홀은 방송사가 소유하고 있는 유일한 공연장으로써 국내 최고 수준의 무대설비를 갖춘 다목적 공연장으로 다양한 장르의 음악 콘서트, 오케스트라 연주회, 뮤지컬, 국내 주요 시상식과 KBS 대표 음악 프로그램 콘텐츠 제작 등 연간 160회 대규모 음악 공연을 실시하고 있으며, 단일 공연장으로는 국내 최다 공연실적을 보유하고 있다.

하지만 준공 후 25년이 경과하면서 실내 인테리어 환경의 노후 문제와 함께 공연음향 기술의 빠른 발전 속도에 대한 기능적 측면에서 효과적으로 대응하지 못한 문제점이 지적되고 있었다. 특히 음향기술 측면에서 관람객의 질적 기대치가 크게 높아짐에 따라 전기 음향 설비도 점점 고출력화 되어가고 있어, 건축음향 환경에서는 이 같은 변화를 수용할 수 있는 개선이 이루어지지 않아 여러 가지 건축 음향적 문제점들이 노출되고 있는 상황이었다.

이와 같은 문제점을 해소하기 위해 개선안을 사전에 도출하고 효율적인 건축음향 개선 사업을 실시하였다. 이에 대해 간략히 지면을 통해 그 사례를 공유하고자 한다.

KBS홀 공연장 음향환경

KBS홀은 클래식 음악공연에서부터 대출력 확성공연, 열린음악회 같은 방송제작 등 매우 폭넓은 활용 형태를 가지고 있다. 하지만 이와 같은 다양한 공연제작 환경들이 각각 서로 상이한 음향환경을 필요로 한다는 점을 고려할 때, 단일 물리공간 안에서 이들을 모두 충족시킬 수 있는 실내 음향환경을 구축한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

따라서 다목적(Multi-Purpose) 공연장을 위한 실내 음향환경의 조성에는 각 장르 공연의 정상적인 공연진행을 방해하는 음향적 장애요소들을 최대한 제거하고, 각 공연이 요구하는 음향환경의 공통점들을 융합하여 최적화된 음향환경을 구축하는 것이 효과적이다.

다목적 공연장 음향 개선 시 핵심 고려 사항

- 관객들은 긍정적(Positive) 음향성능보다 부정적(Negative) 음향장애에 상대적으로 민감하게 반응함
- 비확성공연(음악회)과 확성공연(대중음악)이 야기하는 음향장애 상황의 차이점에 대한 이해
- 클래식 연주에 필수적인 측방향 초기반사음 확보가 고출력 확성 설비 사용 시에는 결정적인 장애 요소로 작용됨
- 클래식공연에서 초기반사음 확보를 통한 공간감, 입체감 확보가 긴 잔향시간 확보 보다 긍정적인 효과
- 확성공연 시 특정 주파수대역의 이상 공진이나 불필요한 반사음에 의한 위상간섭 문제

KBS홀 음향 현황파악을 위한 측정 및 설계

필자는 KBS홀 근무기간 동안 2011년 Bob McCarthy 측정, 2012년 MeyerSound 사 Pierre Germain의 3D Acoustic 측정 분석 등 6

차례 건축음향 특성을 측정하였으며 그 결과를 종합하여 체계적인 개선책을 수립하고 다음과 같이 개선방향의 주안점을 목표로 하였다.

- 건축음향 문제점 해소를 통한 공연장 음향환경 개선
- 다양한 공연환경에 대응 가능한 건축음향 기능 확보 (가변 천장반사판, 어쿠스틱 배너)
- 시각적, 인테리어 요소의 개선에 의한 전반적인 공연 관람환경 개선

기존 공간의 음향적 문제점을 다각도에서 분석하기 위해 4가지의 서로 다른 음향 상황에 대한 정밀 측정을 실시하였다.

- 비확성 공연 상황 I - 음향반사판 설치 + 무지향성 음원
- 비확성 공연 상황 II - 음향반사판 미설치 + 무지향성 음원
- 확성 공연 상황 - 기존 메인 스피커 사용 측정
- 기타 공연 상황 - 무대 중앙 지향성 음원을 이용하여 측정 (성악공연 상황 등)

위와 같이 서로 다른 4가지 공연 상황에서 발생하는 음향환경을 분석하여 다음과 같은 결과가 확인되었다.

구 분	내 용
잔향환경	음향반사판 설치 시 1.7초, 미설치 시 1.5초로 양호
유효 초기반사음 환경	고밀도/반사성 소재의 객석전반부 측벽 구조로 풍부한 초기 반사음 확보
주파수 에너지 밸런스(BR)	확성-비확성 상황의 적정 평균치인 1.1 수준으로 양호
에너지 감쇄 특성	비교적 짧은 EDT로 비확성 공연 보다는 확성 공연 환경에 유리
확성음원 위상	메인스피커 주변 반사성 벽체로 인한 강한 반사음 발생으로 상당량의 위상간섭 발생
음향장애 현상	측벽 후반부 돌출 벽체에 의한 강한 에코 발생(무대로 집중됨) 1/2층 객석 후벽 철제 리브마감에서 이상 공진현상 발생 발코니 전면에 의한 강한 반사음의 집중현상 발생 프로시니엄 아치 주변 구조에서 불필요한 에코 발생 스피커 인접 측면 지역의 강한 반사음 발생
총 합 분 석	양호한 기본 건축구조로 충분한 체적과 잔향 환경 보유 비교적 양호한 주파수 균형과 명료도 확보 발코니 측후면 벽체의 노후 마감으로 공진, 판진동 등의 문제발생 일부 벽면에 의한 불필요한 반사음 발생으로 심각한 장애 발생 비확성 상황보다 확성 상황 시에 개선이 필요한 요소가 많음

표와 같이 KBS홀의 기본적인 건축환경은 비교 대상 공연장이라 할 수 있는 세종문화회관 대극장이나 국립극장 해오름극장 등과 같이 다소 우수한 수준을 확보하고 있음을 확인할 수 있었다. 다만 일부 벽체구조로 인해 불필요한 에코가 상당량 발생하여 음향 장애 요소가 되고 있으며, 고출력/지향성 확성 설비 사용 시 발생하는 1차 반사음의 간섭현상이 심각한 문제점으로 확인되었다. 이와 같은 분석 결과를 고려할 때 공간의 양호한 기본구조와 건축 환경을 유지하면서, 다양한 측정 방법을 통해 확인된 심각한 음향 장애요소들을 해소하는 것이 KBS홀 음향 개선사업의 핵심목표였다.

건축음향 개선공사 구체적 목표 설정

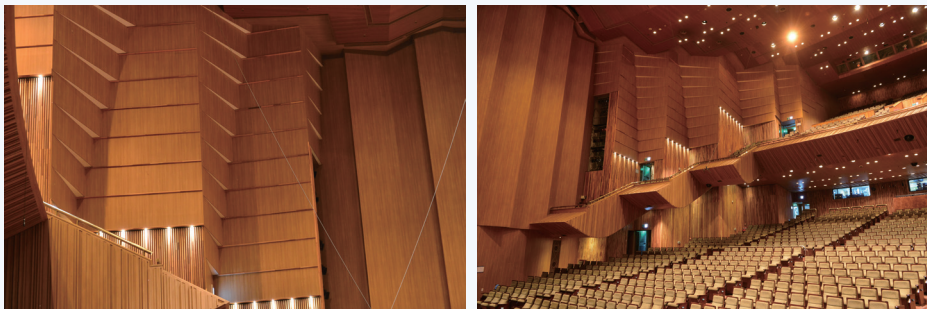
- 양호한 기본 건축구조에 의한 잔향환경과 명료도 등 기존의 공연장 음향환경 유지
- 측벽 계단식 반사벽체 구조 및 마감 변경을 통해 무대로 집중되는 에코(echo) 제어
- 1, 2층 후벽 복합 흡음 구조 적용(중고음 확산/ 저음 흡음)을 통해 이상 공진현상 제거 및 발코니 하부 음향환경 개선
- 가변형 어쿠스틱 배너(Variable Acoustic Banner) 적용을 통해 고출력/ 지향성 스피커로 인해 발생된 강한 반사음 제어 및 잔향시간 조절
- 발코니 돌출면 및 전면부 마이크로 셰이핑(Micro Shaping) 적용을 통해 특정 지역으로 집중되는 스피커 반사음 제어 및 소리의 확산도 증가를 통한 친밀감(Intimacy) 및 공간감(Spaciousness) 확보
- 2층 측벽 반사벽체 구조 변경에 의한 잉여 체적을 활용, 헬름홀츠 공진구조(Helmholtz Resonator) 적용을 통해 기존 타공판 마감 철거 후, 저음 흡음 보강

주요 개선사항

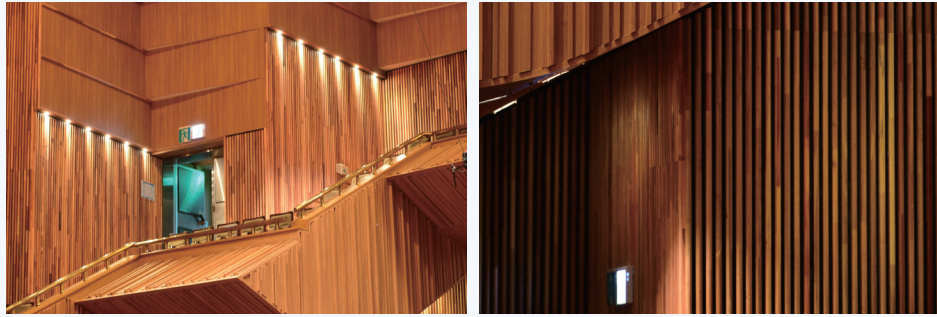
- 계단식 반사 벽체 & 측벽체 구조 변경



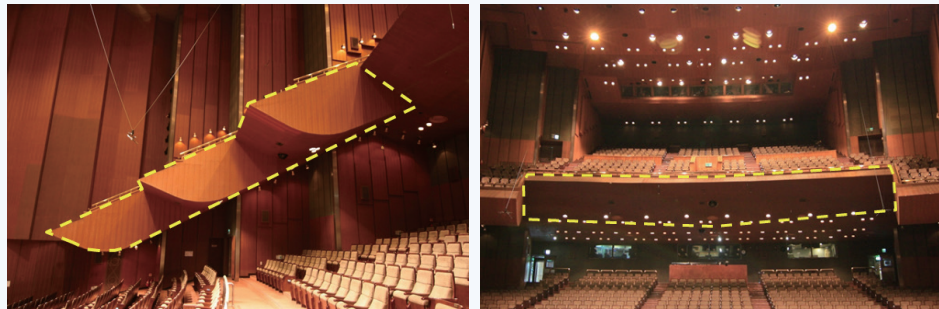
상기 그림은 개선 전 사진이며, 공연장 측벽 계단식 반사 벽체의 직각 돌출구조에 따른 에코(난반사) 문제 해결을 위한 개선을 실시했으며 기존 벽체의 저주파 공진음 제어를 위한 저역 흡음기능을 최대한 유지(확성 환경에 필요한 요소)하면서, 중고음의 확산 반사가 가능한 복합 흡음벽체 선형 구조를 적용하여 벽체를 개선하였다. 관객의 이동 동선에 영향을 미치지 않도록 벽체의 곡률을 높이에 따라 다르게 적용하여 입체적인 구조로 개선하여 시각적인 면도 개선하였다.



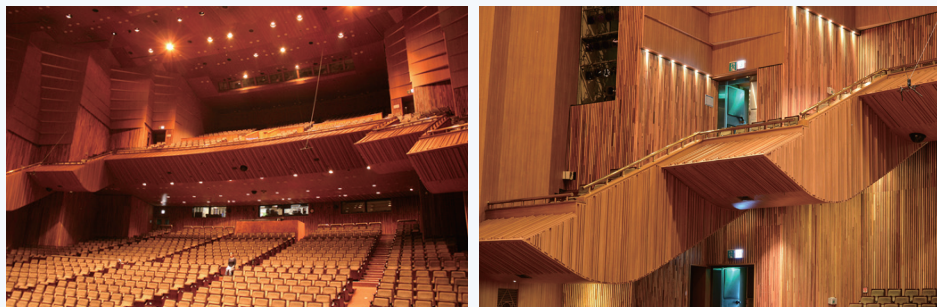
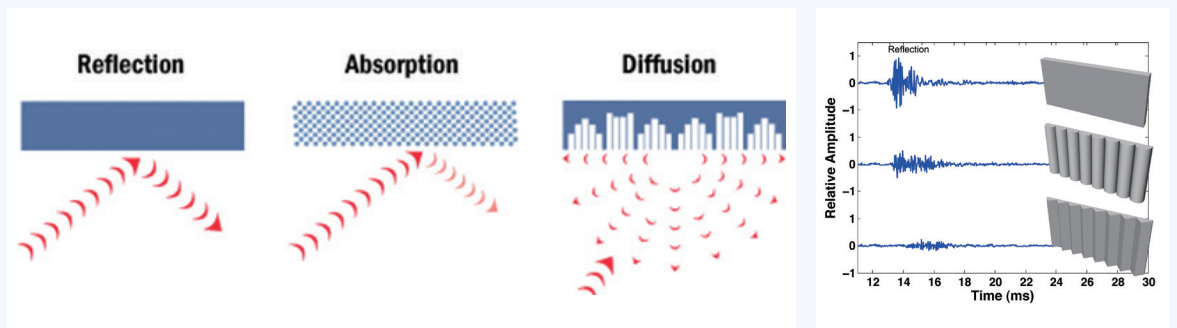
1층, 2층 벽면은 기존 석고보드 재질에서 발생한 판진동 문제를 해소하고 내부 콘트리트 벽체에 적용 가능한 확산 형태로 원목(리송)을 사용하여 마감 처리하여 건축음향 기능뿐만 아니라 시각적인면도 개선하였다.

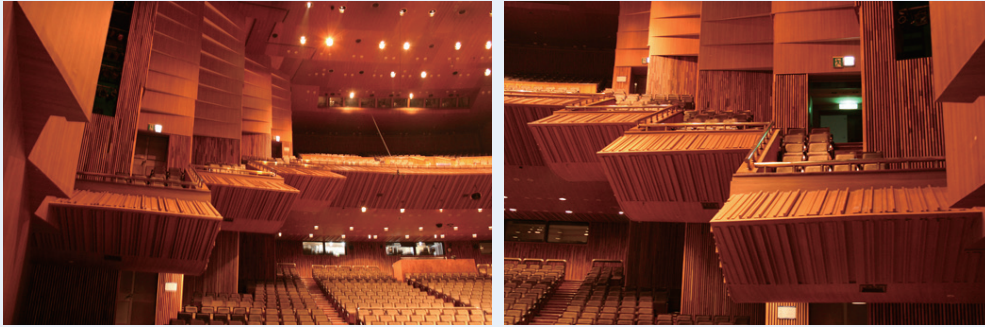


• 발코니 돌출면 및 전면부 마이크로 웨이핑(Micro Shaping) 처리



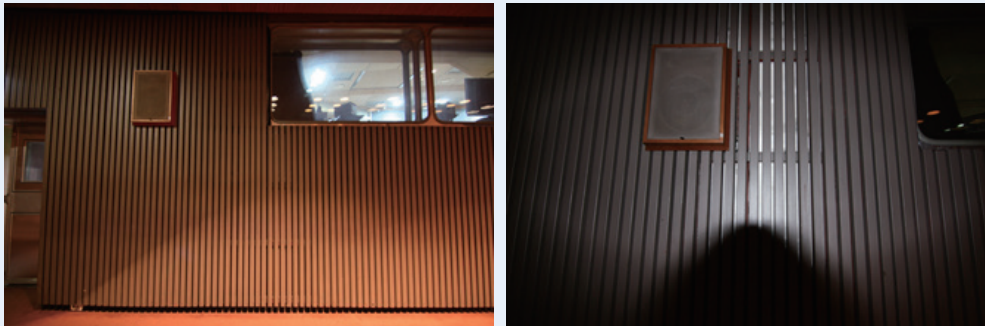
기존 발코니 전면부와 측면은 단순히 면으로만 되어 있어 확성 공연 시 고출력 지향성 음원에 대해 반사 벽체에 의해 발생하는 난반사음의 처리가 필수적이었으며 클래식 공연 시 확산되지 않은 반사음이 긴 시간차를 두고 객석에 도달하여 음향 장애를 유발시킨다. 마이크로 디퓨저(Micro Diffuser) 적용을 통한 확산 처리방식은 최근 Concert Hall Acoustics Design 분야의 가장 중요한 흐름이 되고 있는 요소 중 하나로써 마감 변경 및 처리를 통해 기존의 공연장 음향 성능(잔향시간, 주파수 특성)에 대한 변화 없이 장애현상만 해소할 수 있는 방법이며 인테리어적인 효과와 음향기능적인 기능을 동시 충족할 수 있다.



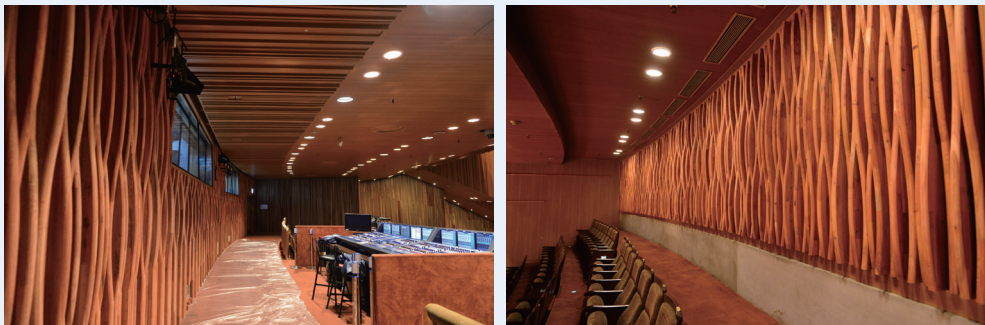


• 후벽(1층, 2층) 복합 흡음 구조 처리

공연장 1, 2층 후벽 철재 파이프 구조는 여러 차례 측정결과에서 중복지적이 되고, 실제 현장에서 현업을 하면서 가장 불편하게 느껴진 부분이다. 개선을 위해 다양한 방법이 고려되었지만 확성공연 환경과 클래식 공연 두 조건을 충족시키면서 예산적인 측면, 시각적인 점을 고려하여 설계 및 시공하였다.



실제 시공 중 후벽부분은 철재 파이프 문제뿐만 아니라 기존 흡음 처리가 아주 미흡한 것으로 나타났다. 아래 그림처럼 우드(라송) 계열로 구성된 확산 구조 뒤에 배면 흡음 구조를 적용하여 시공하였다. 배면 흡음 구조 구성 시 다공질형 흡음재는 중고음 대역 흡음에 활용하고 타공판(헬름홀츠 공진기)은 저음흡음에 활용된다.

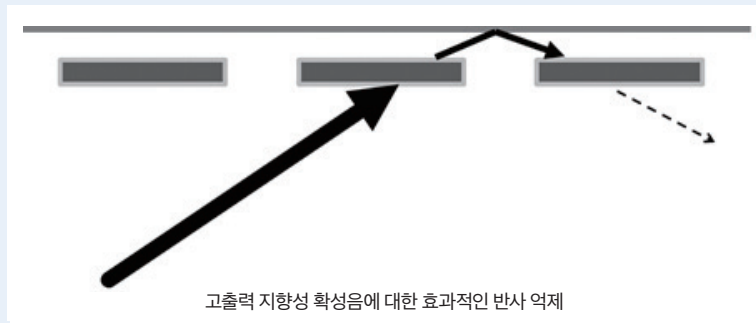


• 가변형 어쿠스틱 배너(Variable Acoustic Banner) 설치

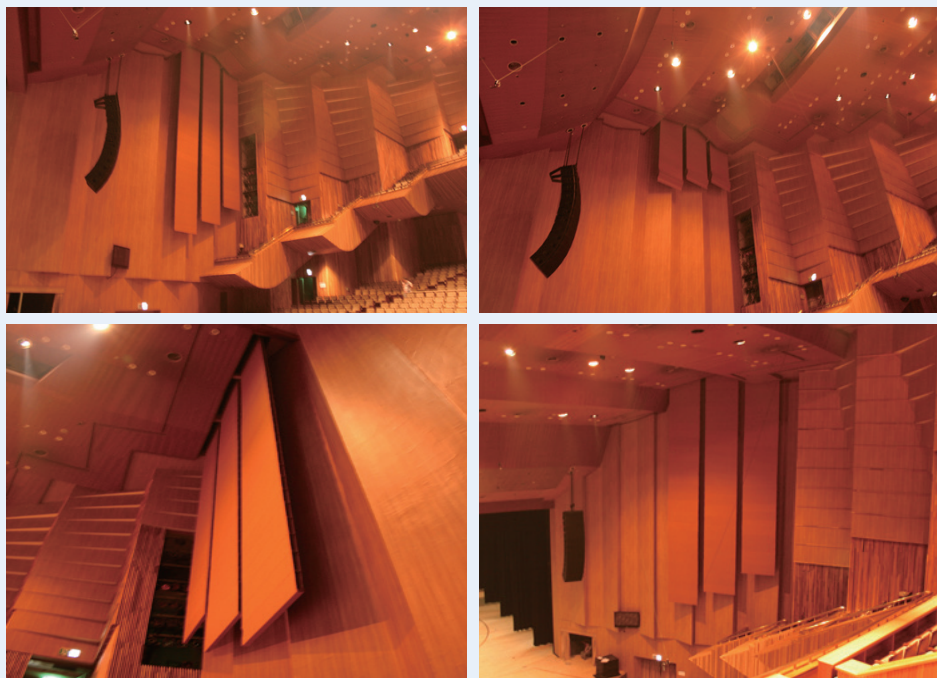
고출력 스피커 지향성 음원에 근접한 반사 벽체에 의해 발생하는 스피커 반사음의 제어가 필수적이라는 중복적인 지적에 따라 다음 그림 부분벽체에 대한 기능개선을 실시하였다.



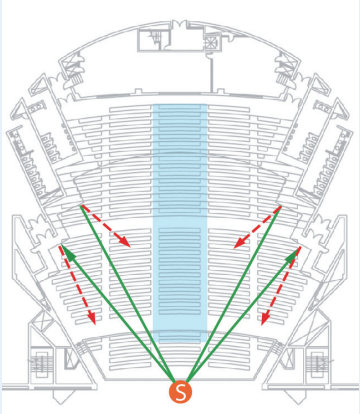
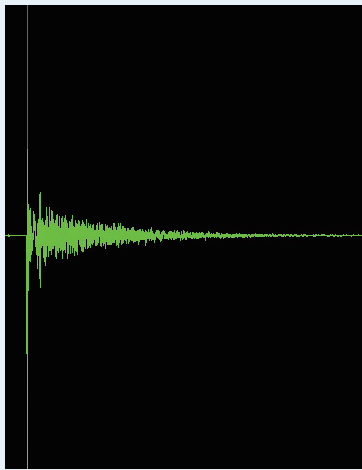
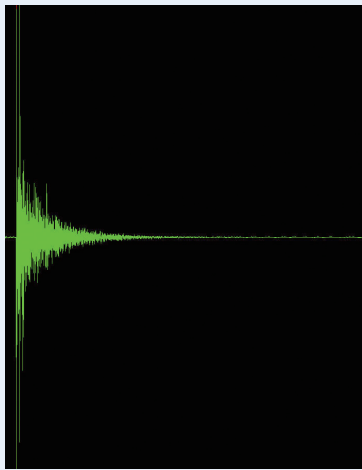
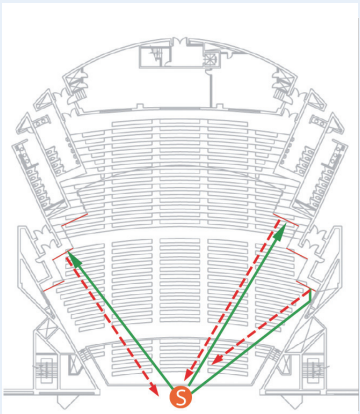
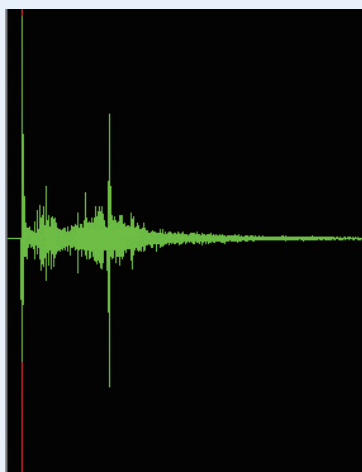
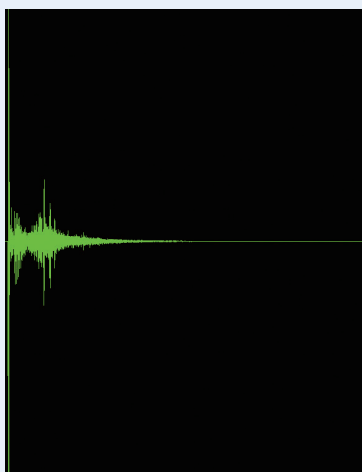
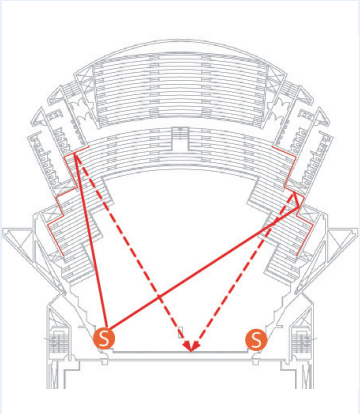
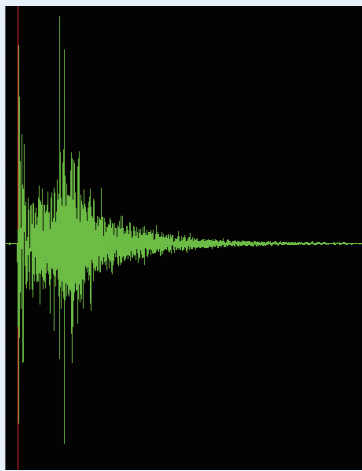
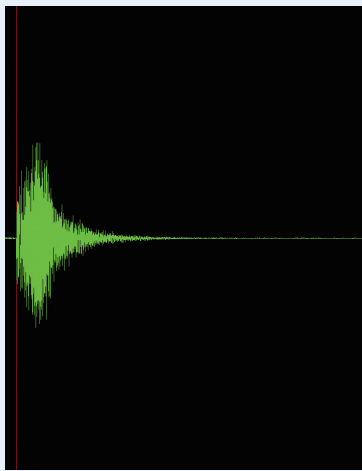
해당 벽체는 비확성 공연 시 객석에 전달되는 유효 반사음을 확보하는 매우 중요한 기능을 하고 있는 벽체이므로, 고출력 스피커 지향성 반사음 제어를 위해 흡음 처리할 경우 클래식 공연 시 필수적으로 요구되는 반사음 확보가 어려워 가변형 어쿠스틱 배너를 적용하여 클래식 공연과 확성 공연 모두 수용이 가능한 음향환경 조건을 조성하였다. 이 방식 또한 저비용으로 최대 효과를 얻어낸 방식이다.

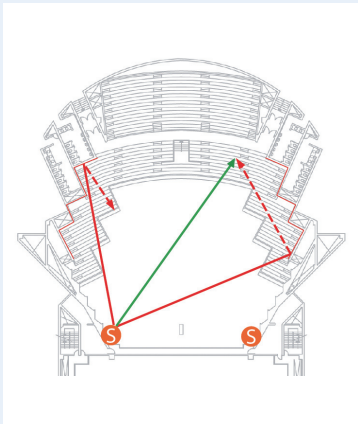
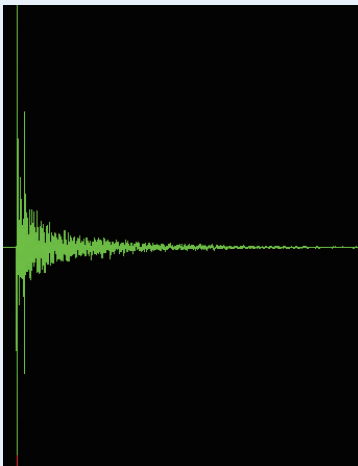
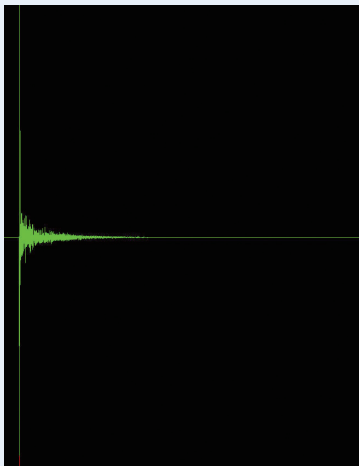
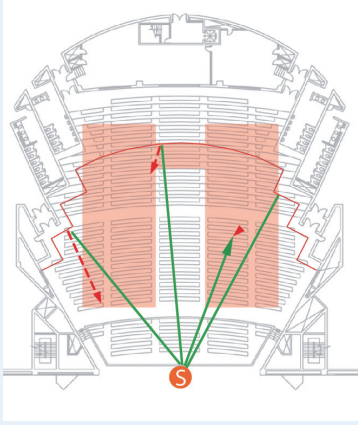
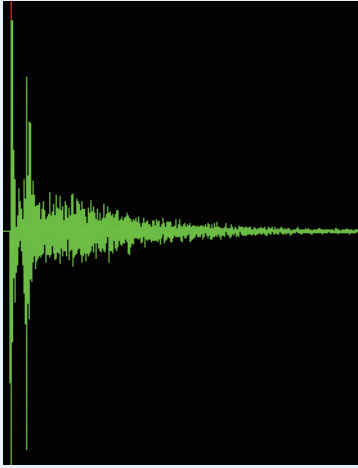
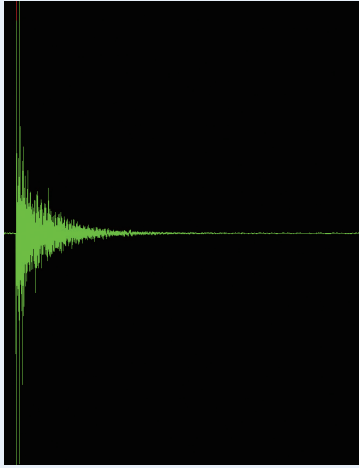


배너에 사용된 원단은 800g/m² 이상의 고밀도 방염 Woolserge 원단(독일산 프리미엄급 원단 사용 2Layer)을 사용하여 초기 반사음을 제어하였으며, 구동부를 설치한 전동 승하강 방식으로 고출력 스피커를 사용한 공연 시 배너를 내려 사용하고 있다.



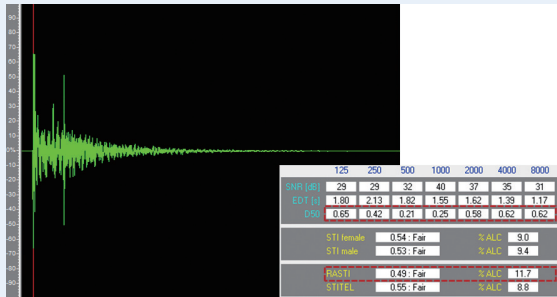
충격 응답 특성(Impulse Response) 결과 비교

Condition	공사 전	개선 공사 후
음원 : 무지향 스피커 		
측벽 확산 벽체 및 발코니 마이크로 웨이핑에 의해 유효한 초기 반사음들이 순차적으로 집적되어 양호한 반사음 환경과 안정적인 감쇠 패턴을 나타냄		
음원 : 지향성 스피커 		
개선 전에는 80~90ms(27m) 후에 강한 에코 음이 무대지역으로 도달함. 측벽체 선형 조정 및 확산 효과를 극대화한 발코니 마이크로 웨이핑 적용으로 무대 쪽으로 지향하는 반사음이 현저하게 감소되어 성악가, 협연연주 시 양호한 모니터링 환경과 방송음향 품질향상 효과		
음원 : 메인스피커(L) 		
개선 전에는 70~100ms(24~33m) 후에 강한 반사음이 집중되었으나, 2층 측벽체 선형 조정 및 벽체 확산 구조를 통해 무대 지역으로 집중되는 반사음이 현저하게 감소함.		

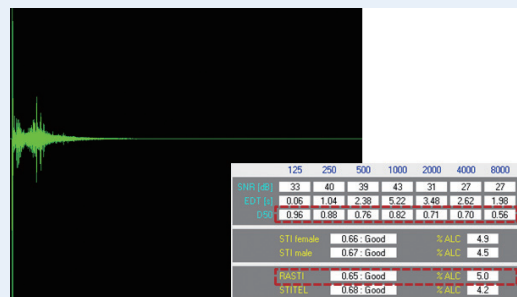
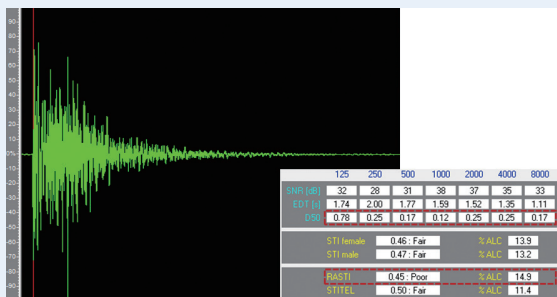
Condition	공사 전	개선 공사 후
음원 : 메인스피커(L)  <가변형 음향 배너 적용>		
음원 : 무지향 스피커 		
스피커 인접 측면에 위치한 반사 벽체로 인해 확인된 에코가 어쿠스틱 배너 적용 후 응답 특성에 나타나지 않으며 배너에 의해 강한 반사음이 효과적으로 제어되고 있는 것으로 확인됨		
발코니 지역 확산 효과를 극대화한 마이크로 셰이핑 적용으로 공사 이전 측정되었던 에코30ms(10m)가 발생하지 않으며 공사 이전에 비해 초기 반사음이 보강되어 양호한 음향 환경을 나타냄		

무대 지역

공사 전



개선 공사 후



- 위의 사진은 개선 공사 후 무대 지역의 음향 환경 측정 결과를 비교한 것임
- 충격 응답 특성 결과 공사 이전에 발생되었던 높은 음압을 가진 에코가 개선 공사 후 나타나지 않았으며, 이는 측벽체 선형 조정과 후벽 복합 흡음 구조가 효과적으로 반영된 것으로 측정결과 나타남.

명료도 지수	비 고	공사 전	공사 후	개선 후, 음성 명료도(D50), 음성전달지수(RaSTI) 및 자음손실도(%ALC) 등 명료도와 관련된 지수들의 결과가 개선 공사 이전에 비해 상당히 양호한 수준으로 도출되었으며, 무대 위 연주자들의 모니터링 환경이 대폭 개선 됨
음성명료도(D50)		15 %	79 %	
음성전달지수(RaSTI)		45 % : Poor	65 % : Good	
자음손실도(%ALC)		14.9	5.0	

종합평가 및 결과 비교

		개선공사 전	건축음향 시뮬레이션	개선공사 후
잔향시간(RT)	반사판 무	1.5 sec	1.4 sec	1.4 sec
	반사판 유	1.7 sec	-	1.7 sec
	배너 적용	(배너 적용 전)	1.2 sec	1.3 sec
저음비(BR)	반사판 무	1.2	1.3	1.2
	반사판 유	1.1	-	1.0
음악명료도(C80)	반사판 무	0.1 ~ 5.3 dB	2.2 ~ 5.0 dB	1.6 ~ 4.4 dB
	반사판 유	- 0.2 ~ 2.3 dB	-	- 1.3 ~ 1.2 dB
음성명료도(D50)	배너 미적용	52 %	52 %	51 %
	배너 적용	(배너 적용 전)	57 %	55 %
음성전달지수 (RaSTI)	배너 미적용	56 %	57 %	57 %
	배너 적용	(배너 적용 전)	61 %	59 %
자음손실도 (%ALC)	배너 미적용	6.6 %	-	7.7 %
	배너 적용	(배너 적용 전)	-	7.1 %

• 기존 우수한 건축음향 성능은 유지

개선 공사 후 측정 결과, 개선 공사 이전과 유사한 결과값이 도출되어 초기 설계 목표 시 제시한 기존의 잔향 환경과 명료도 등 양호한 건축음향환경이 유지되고 있는 것으로 확인됨

• 권장 적정 음향성능 기준치 충족

무지향 스피커 및 메인 스피커를 적용하여 확성/비확성 상황의 음향 환경을 검토한 결과 각 지수들의 결과값이 권장치 내에 분포 됨.

• 음향 장애현상 제거

측벽 확산 벽체 구성 및 선형 조정을 통해 무대 지역 및 특정 객석 지점에 집중되었던 에코(난반사)가 현저하게 감소하였으며, 충격음 단특성 검토 결과 확산 벽체에 의해 유효한 초기 반사음들이 순차적으로 집적되어 양호한 반사음 환경과 안정적인 감쇠 패턴을 나타냄. 이에 따라 각종 공연의 객석 청취 음향과 방송음향품질이 향상되어 그 결과를 현장에서 직접 확인할 수 있었다.

• 제안 솔루션의 효과 확인

기존 타공판 마감 철거로 인한 저음역 흡음 보강을 위해 설계한 헬름홀츠 공진 구조가 효과적으로 적용되어 확성 환경에 적합한 음장 환경이 조성됨. 발코니 돌출면 및 전면부 마이크로 웨이핑 적용을 통해 공사 이전 무대 및 1층 객석지역에서 확인되었던 에코(난반사)가 발생하지 않고 초기 반사음이 보강되어 양호한 음향 환경을 나타냄

• 어쿠스틱 배너의 효과 확인

어쿠스틱 배너 적용을 통해 1.7초(무대 반사판 적용 시) ~ 1.2초의 가변 잔향 폭을 확보하였으며, 고출력 확성 스피커로부터 발생했던 높은 레벨의 에코와 위상간섭을 효과적으로 억제하고 있음이 측정 결과를 통해 확인됨.

어쿠스틱 배너와 기존의 음향 반사판을 조합하여 적용한 경우, 저음역대와 고음역대의 편차가 적은 잔향 에너지 분포를 나타내어 고출력 스피커 시스템을 위주로 하는 공연장 운영 형태를 고려할 때, 상당히 양호한 잔향 환경을 나타내었으며, 위상간섭이나 에코 등 음향장애현상을 발생시키는 스피커 반사음들이 효과적으로 제어되어 안정적인 특성을 보인 효과가 실제 현업현장에서 확인됨.

• 발코니 하부 공진 문제 해소

기존의 철 재질의 각재 마감에서 발생했던 특정 주파수의 공진 문제 해소를 위해 1, 2층 후벽에 복합 흡음 구조를 적용하여, 강한 저주파 에너지가 발생하는 확성 시스템 운영 상황에서 발코니 하부 지역에 나타나던 특정 주파수 이상 공진 현상을 해소시킴.

또한, 클래식(교향악단, 국악관현악단) 공연 시 발코니 하부 객석 청취음향이 개선됨.

글을 마치며

KBS홀 공연장 건축음향 개선 사례를 간략하게 소개하였다. 현장상황에 맞는 세밀한 설계와 효율적인 시공법으로 음향 장애 현상 개선, 가변 시스템 적용, 미적인 개선 효과를 저예산으로 모두 확보 했으며 어쿠스틱 배너 등 가변시스템 확보로 다목적 공연장의 기능을 한층 업그레이드했다. 공연장 핵심이 되는 기술 요소는 건축음향, 전기음향설비, 무대기계 및 무대조명 4개 분야이다. 2015년 2년 차 사업으로 계획하고 있는 건축음향 고도화 사업은 건축음향 완성도 향상과 무대조명 기능을 개선시킬 수 있는 사업을 실시할 예정이다. 앞서 언급한대로 연간 160회 정도 대규모 음악 공연을 실시해야 하는 KBS홀 공연일정 때문에 공사기간 부족과 긴축예산으로 2014년 사업여건은 매우 어려웠지만 성공적인 결과를 얻었다고 생각된다. 공사를 마치고 약 6개월 정도 다양한 공연을 진행하면서 건축음향 변화에 대한 긍정적인 평가를 예상보다 많이 받아 큰 힘이 되었다. 어려운 여건에도 최선을 다해 주신 건축기전부, 시공사인 ㈜제우소닉, 공사설계부터 전문적인 부분 조언과 최종 결과물 측정까지 실행한 AD&C 조현의 대표에게 감사드린다. 