

초등학교 음악실의 실내음향 개선에 대한 연구

- 대현초등학교 사례를 중심으로 -

A study on the Room Acoustic Renovation of Music Room at Daihyun Elementary School in Yongin

최 원 갑* 신 직 수**
Choi, Won-gab Shin, Jic-soo

Abstract

Elementary school classroom designs have been developed toward open education system to provide students diverse and improved educational environments since the early of 1990 in Korea. Unfortunately, the quality of music room has not still shown dramatic improvements due to the lack of the acoustical knowledges of architects. This report aims to investigate typical acoustic quality of previous or current music room of elementary schools and show new acoustic treatment technologies to improve the room acoustic of music room by adapting composite perforated panel system and diffusion technology. The music room at Daihyun Elementary school in Yongin was chosen as a case study of this report. The music room was measured to be analyzed using field measurements and the acoustical specifications of composite perforated panel systems and kinds of diffusors were set. Acoustic measurements were performed after the renovation to show the differences between previous room acoustic and after the acoustic renovations. As the result, the case study has shown that the new composite perforated panel systems and diffusion surfaces lowered reverberation time at proper level along with improving the clarity of music, RASTI, and spatial impressions. Also, acoustic interferences such as comb filtering and flutter echoes have been controlled dramatically by diffusive surfaces. The study shows music rooms in elementary schools, middle and high schools can be improved by adapting composite perforated panel systems and diffusors.

키워드 : 실내음향, 확산, 초등학교, 음악실

Keywords : room acoustic, diffusion, elementary school, music room

1. 서론

1.1 연구의 목적

경제성장과 더불어 교육환경의 질적 향상은 급속

도로 가속화 되고 있다. 교단 선진화 기자재 보급사업의 일환으로 시행되는 여러 과학실, 컴퓨터 실, 미디어 실 또는 특별 활동실과 같은 부속실들의 선진화가 눈에 띄게 선진국화 되고 있는데 아쉽게도 일부 부속실은 여전히 전문 지식의 부족으로 인하여 개선의 속도가 늦어지거나 개선이 시도되어도 만족

*정회원, RPG KOREA DIFFUSOR SYSTEMS, AES, ASA

**정회원, RPG KOREA DIFFUSOR SYSTEMS, 공학석사

할만한 결과를 얻지 못하고 있는 실정이다.

그 중에서도 특히 음악실은 기존의 교실 환경과 거의 동일한 조건에서 수업이 이루어지고 있는 실정인데 일반 수업을 위한 환경과 음악 교육을 위한 환경은 수업의 특성상 각기 다른 조건을 필요로 한다. 일반적인 수업은 과목에 따라 내용은 다르지만 교사의 음성에 의하여 학생들에게 수업 내용이 전달되기 때문에 교사의 음성 명료도가 좋은 교실 환경 구축에 초점이 맞추어져야 하는 반면에 음악 교육을 위한 음악실 환경은 교사의 음성 명료도 보다는 각종 악기 연주 또는 음악 감상 시 학생들이 청취하게 되는 소리가 음악실 환경에 의하여 왜곡되지 않고 정확히 학생들에게 전달되도록 하는데 초점이 맞추어져야 한다.

본 연구는 초등학교 음악실에서 음환경 개선을 통한 전후의 주요 음향지표(acoustic parameter)를 비교하여 음향성능 개선의 효과를 알아보는데 있다.

1.2 연구의 방법 및 내용

본 연구의 목적인 음악실의 음환경을 개선하기 위해, 개선 전 음악실의 측정데이터와 개선 후의 데이터를 비교 할 것이다. 음환경 개선을 위해 현재 콘크리트 마감소재의 벽체에 타공패널(C.A.P. Board)를 적용하여 주저주파수대역의 음에너지를 제어하고, 벽체 일부에 1차원 확산재(QRD734)와 천정 일부에 2차원 확산재(Omnifusor)를 적용하여 균일한 음장을 형성하고, 연주하는 학생들의 모니터링 환경을 개선할 수 있도록 하였다.

일반 교실과 음악실의 환경이 달라야 하는 이유는 음악 소리의 품질은 음원에서 발생하는 직접음(direct sound)과 음악실의 바닥, 벽체, 천정을 통해 발생하는 초기 반사음(early reflections) 및 잔향성 반사음(reverberant reflections)과의 상관관계에 의하여 좌우되며 이는 음악실을 구성하는 형태 및 체적, 그리고 마감 소재의 종류가 실내음향(room acoustics)과 밀접하게 관련이 있기 때문이다. 초등학교에서의 음악 수업은 특히 학생들이 다양한 악기 소리에 대한 최초의 체계적 음감을 경험하는 시간으로서 얼마큼 정확한 악기 음색과 음악적 화음을 경험하는가는 음악실의 실내음향 환경과 매우 밀접한 관계가 있다고

할 수 있다.

측정 지점은 개선전과 개선 후 동일한 위치에서 실시하였으며, 음원은 지도교사의 반주시를 가정한 피아노음원(전방)과 학생들의 합주시를 가정한 악기 음원(센터)으로 가정하여 실시하였습니다.

2. 조사대상 학교의 건축제원

2.1 대상교실의 개요

본 연구의 비교실험을 위하여 용인에 위치한 대현 초등학교 음악실을 선택하였는데 실험 전의 음악실은 기존의 일반 교실과 동일한 규격과 실내 마감을 유지한 상태에서 음악 교육이 이루어지고 있었다. 그림 1은 음악실의 평면도이다.

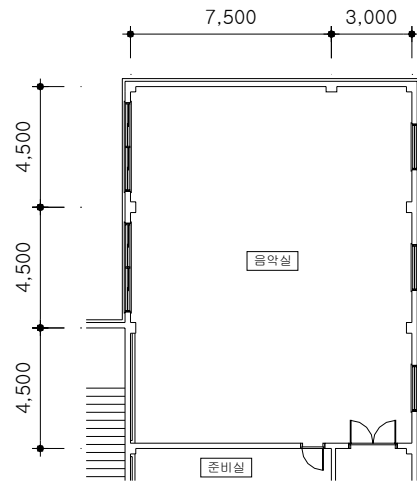


그림 1. 음악실의 평면도

표 1. 음악실의 제원

학교명	대현초등학교
건물층수	5 층
측정교실의 층	5 층
길이 (m)	13.5
폭 (m)	10.5
높이 (m)	2.54
바닥면적 (m ²)	141.75
실체적 (m ³)	360
창문의 총 면적 (m ²)	14.97
출입문 면적 (m ²)	5.16

표 2. 개선전후 마감재

구분	개선 전	개선 후
바닥	인조석 물갈기	
앞 벽	콘크리트 위 도장	C.A.P Board 및 QRD734
뒷 벽	콘크리트 위 도장	C.A.P Board 및 QRD734
옆 벽	콘크리트 위 도장	C.A.P Board
천정	석고텍스	석고텍스 및 Omnifusor
창문	유리	유리
출입문	목재문	목재문

앞서 언급한대로 실내음향개선 전의 음악실은 사방의 벽체가 콘크리트 위에 수성 페인트 마감되었고 천정은 아미텍스 타일로, 주로 반사성이 매우 높은 소재로 마감 되어 있었다.

2.2 대상교실의 실내마감재 개요

표3은 개선 전 음악실을 구성하고 있는 각 마감소재의 옥타브 중심 주파수별 흡음률을 나타내고 있고, 표4와 표5는 음악실 음향 개선에 적용 한 음향 솔루션 소재의 흡음률 데이터와 확산소재의 주파수별 확산계수이다.

표 3. 개선 전의 실내마감재 주파수별 흡음률(%)

재료	주파수, Hz					
	125	250	500	1K	2K	4K
콘크리트	2	3	3	3	3	4
천정텍스	14	10	6	5	4	3
유리	15	5	3	3	2	2
목재도어	18	6	4	3	2	2
인조석물갈기	1	1	1	1	2	2

표 4. 개선 후의 실내마감재 주파수별 흡음률(%)

재료	주파수, Hz					
	125	250	500	1K	2K	4K
C.A.P Board	55	96	53	45	48	24
QRD734	23	26	33	23	20	20
Omnifusor	14	12	14	20	9	12
천정텍스	14	10	6	5	4	3
유리	15	5	3	3	2	2
목재도어	18	6	4	3	2	2
인조석물갈기	1	1	1	1	2	2

표 5. 확산재의 주파수별 확산계수

재료	주파수, Hz					
	125	250	500	1K	2K	4K
QRD734	15	32	60	90	88	90
Omnifusor	10	15	42	89	92	92

2.3 대상교실의 실내음향 환경

먼저 기존 음악실의 실내음향환경을 파악하기 위하여 위치 별 음압레벨(SPL), 잔향시간 (Reverberation Time), 음성 요해도(RASTI), 음악 명료도(C80)를 측정하였다. 실내음향 측정은 그림2에서 나타난 바와 같이 비대칭인 교실의 형태를 고려하여 수음점을 지정하였고 음원은 12면체 무지향성 스피커를 음악 교사와 학생들이 악기를 연주하는 상황을 가정한 교실 전면부와 중앙부 지점을 선정하여 음원으로 사용하였다. 그림2는 음향측정 시 수음점과 음원의 위치를 나타내고 있다.

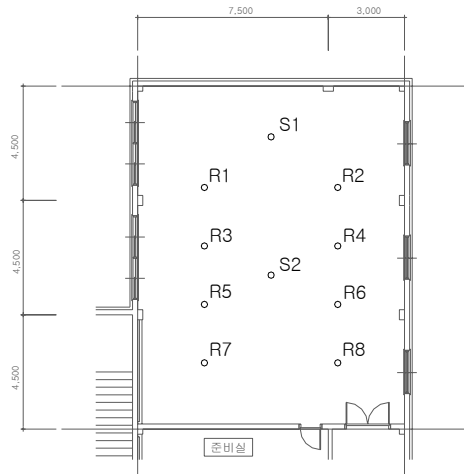


그림 2. 음악실 평면상 음원과 수음점의 위치

측정 음원의 위치 선정은 음악실의 개선전과 개선후의 전체 평균 음향상태를 비교하기 가장 적절하다고 판단되는 중앙에 위치시켰으며 무지향성 스피커를 하였다. 또한 학생들의 책상 배열이 음악실의 중앙을 중심으로 배치되었기 때문에 음악 연주 시 주요 음원이 발생하는 위치와 부합하는 이유도 있어 측정 음원의 위치 선정을 결정하게 되었다.

중앙의 측정 점 이외에 교사가 수업과 연주를 하게 될 피아노 또는 풍금이 위치하는 지점을 추가의 음원 위치로 선정하여 교사가 수업진행 또는 연주 시 학생들이 청취하게 될 음향상태를 비교하였다.

측정 프로그램은 Dirac 3.0을 사용하였고, 12면체 무지향성 스피커에서 89dB로 방사한 음을 마이크로폰을 통해 수음하여 측정 하였고, 측정은 ISO와

표 6. 사용기자재

구 분	내 용
Controller	SONY Notebook Computer
Program	B&K DIRAC 3.0
Microphone	Earthwork M30
Mixer	Eurorack 602A
Amplifier	CARVIN F300
Source	Omni-directional Speaker
Sound Level Meter	RION NA-29
Calibrators	B&K Type 4231

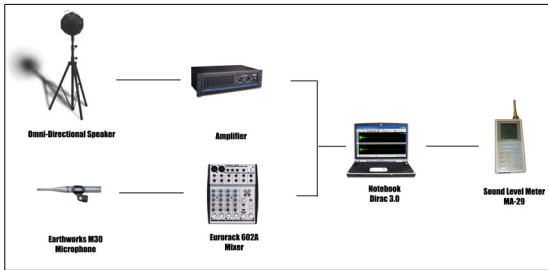


그림 3. 측정기기의 구성도

ASTM의 규준에 따라 시행하였으나, 초등학생의 앉은키를 고려하여 마이크의 높이는 바닥에서 1m로 하였고, 센터 음원에서 높이를 1.15m로 하였다.

3. 실내음향 개선

3.1 잔향시간 제어

1) C.A.P. Board에 의한 흡음

대현초등학교 음악실의 실내음향 개선은 500Hz, 1kHz에서 1.7초가 넘는 잔향시간과 100Hz 이하의 저역 에너지를 감소시키는데 주안점을 두었는데 그 이유는 정재파에 의한 저음공진에 의하여 음악 명료도를 저하시키는 문제를 제어하기위한 것이며 제어 방법은 C.A.P. Board를 사용하였다. 대현초등학교 음악실에 적용된 C.A.P. Board는 패널의 전면 슬롯과 배면 타공 크기가 각기 다르게 가공된 후 패널 배면에 목모시멘트 흡음보드를 접합하여 패널에 입사하는 소리 에너지에 음향학적 부하(acoustic impedance)를 증가시켜 일반 타공 패널 보다 단위 면적당 흡음 성능을 월등히 높인 특징이 있다. 특히 C.A.P. Board는 기존의 타공 패널 흡음 패널 보다 훨씬 넓은 흡음 폭(Q-value)을 가진 흡음 성능을 보이고 있다.



그림 4. 측정사진

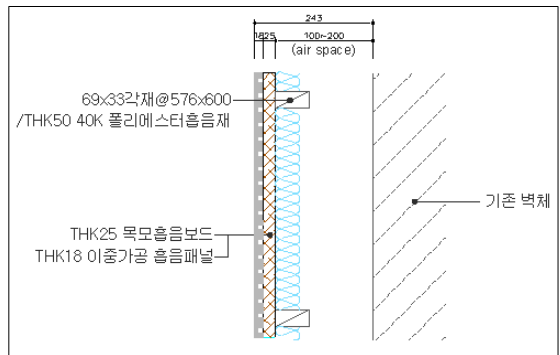


그림 5. C.A.P. Board 시스템 구조와 설치상세

C.A.P. Board의 음향학적 성능은 패널의 타공 크기, 타공률(perforation,%), 패널의 두께, 그리고 배면의 공극(air space) 깊이를 조정하여 흡음하고자 하는 주파수 대역을 결정하게 되는데 대현초등학교 음악실에서는 500Hz 이하의 중 저역 에너지를 선택적으로 흡음할 수 있도록 패널의 타공률과 공극을 조정하였다.

2) 확산표면에 의한 흡음

대현초등학교 음악실의 실내음향 제어에는 C.A.P. Board에 의한 흡음 이외에도 확산표면에서 자생적으로 발생하는 흡음 현상도 전체 잔향시간을 감소시키는 역할을 하게 되는데 이는 확산의 원리상 소리 에너지들의 위상상쇄(phase cancelation) 현상에 의한 것이다. 대현초등학교 음악실에 적용된 확산 표면은 슈레이더(schröder) 일차원확산재인 QRD734

와 이차원확산재인 Omnifusor가 적용되었는데 각 확산재의 주파수 별 흡음률은 다음과 같다.

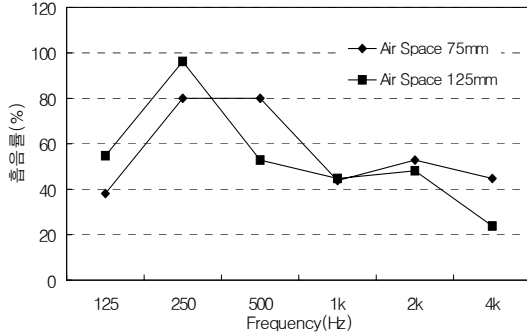


그림 6. C.A.P. 보드의 주파수별 흡음률

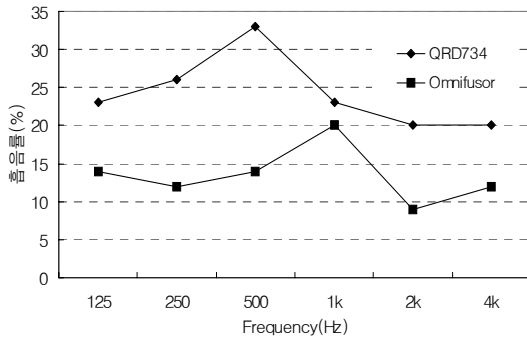


그림 7. QRD734와 Omnifusor의 주파수별 흡음률

3.2 확산장(Diffusion Field) 적용

대현초등학교 음악실 개선에 적용된 또 다른 실내 음향 제어 기술은 확산 표면을 적용한 점이다. 확산은 서양 선진국에선 이미 오랜 전부터 음의 흡음, 반사와 함께 음향 공간에 적극적으로 응용해 왔던 기술로 그 동안 전문 공연장과 녹음 스튜디오 또는 방송국 스튜디오에만 적용되어왔던 새로운 기술을 대현초등학교 음악실에 적용하게 되었다. 확산은 소리 에너지를 넓은 공간에 부채살같이 균질하게 넓게 펼쳐지게 함으로서 연주자나 청취자 위치 별 음향 편차를 최소화하는 기능을 하며, 평면 벽체 환경에서 발생하는 각종 음향학적 교란(acoustic interferences) 현상들을 억제 하여 음색 왜곡(acoustic distortion)이나 울림(flutter echo)과 같은 문제점들을 최소화시키는 효과를 얻게 한다.

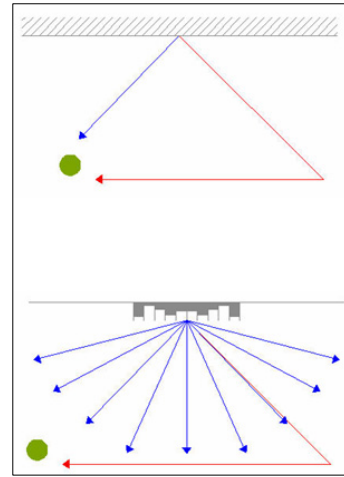


그림 8. 평면과 확산표면에서의 소리의 운동

또한 확산표면을 음향 공간에 적용하면 흡음을 하지 않고도 각종 음향 문제들을 제어할 수 있기 때문에 소리 에너지들을 가능한 보존할 수 있게 되며 그 결과 밀도 높고 생기 있는 자연스러운 음색을 얻게 된다.

그림10에서 나타난 바와 같이 흡음을 위주로 음향제어를 한 공간에서의 소리 에너지 스펙트럼을 보면 소리에 대한 정보량이 매우 낮으며 그러나 여전히 울림을 발생하는 난반사 피크는 존재함을 알 수 있다. 그러나 그림11의 확산공간에서의 소리 에너지 스펙트럼은 소리 에너지가 거의 그대로 보존되어 있으며, 매우 밀도가 높으면서도 자연스러운 감쇠곡선을 그리고 있음을 알 수 있다.

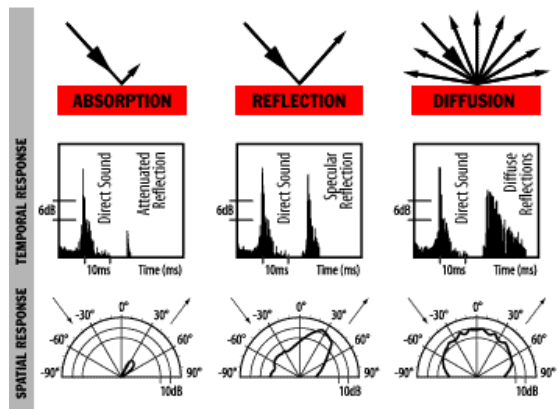


그림 9. 흡음, 반사, 확산 표면에 따른 소리 에너지의 운동

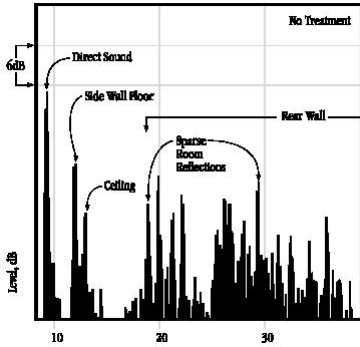


그림 10. 흡음 공간에서의 소리 에너지 스펙트럼

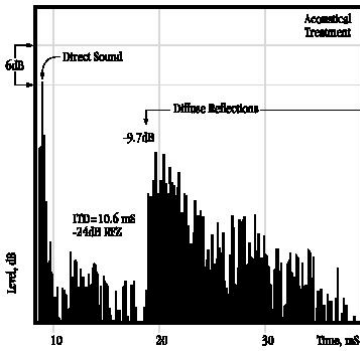


그림 11. 확산 공간에서의 소리 에너지 스펙트럼

확산표면을 적용하면서 얻게 되는 또 다른 혜택은 확산표면은 과학적으로 정밀하게 계산되어진 입체적 굴곡 형태 때문에 동일한 면적의 평면보다 표면적이 약 5~6배 이상 크기 때문에 청감적으로 공간감(spatial impression)을 확장 시키는 효과를 얻게 된다. 특히 천정이 낮아 소리의 이동 경로가 짧은 공간에서는 각종 난반사 현상이 쉽게 나타나 대량의 울림과 함께 음색을 변화시키는 콤팩터 현상을 다량 발생 시키게 되고 동시에 공간감이 적게 나타난다.



그림 12. 1차원 확산재(QRD734)

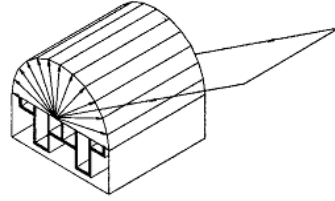


그림 13. 1차원 확산재의 확산 패턴



그림 14. 2차원 확산재(Omnifusor)

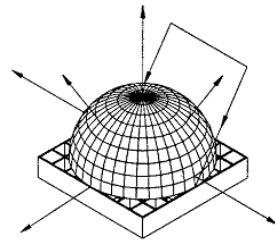


그림 15. 2차원 확산재의 확산 패턴

대현초등학교 음악실의 경우 역시 천정이 2.4미터로 음악 연주를 하기에는 천정 높이가 매우 낮은 사례로 앞서 언급한 각종 음향문제들이 발생하게 되기 때문에 확산표면의 적용은 많은 실내 음향적 이득을 얻게 되며 실질적으로 대현초등학교 음악실 개선 후 그 결과는 음악실을 사용하는 교사와 학생들에게서 시공전과 시공후의 결과에 대하여 대단히 만족스러운 평가를 받게 되었다.

그림16은 대현초등학교 음악실 개선을 위하여 벽체에 적용된 1차원 확산재 QRD734와 천정에 적용된 2차원 확산재 Omnifusor의 주파수 별 확산률이다. 그림 16에서 나타난바와 같이 일반 평면에 소리 에너지가 입사하였을 때의 확산 정도는 아래로 치우치게 되는데 이는 소리 에너지가 특정 방향으로

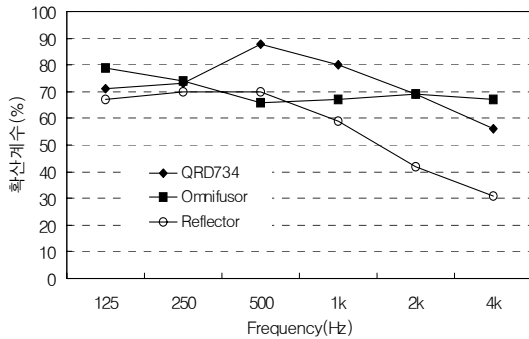


그림 16. 1차원 및 2차원 확산재의 주파수별 확산계수

편중됨을 의미하는 것으로 이는 연주자나 청취자의 위치 별 음향 환경 편차가 심함을 나타낸다.

4. 실내음향 측정 결과

4.1 잔향시간(Reverberation Time)

대현초등학교 음악실 잔향시간 측정결과 표 7과 같이 나타나고 있다. 개선 전 500~1KHz 사이의 중주파수 대역에서 2초에 가까운 높은 잔향시간을 보였으나 개선 후 약 0.6~1.0초 사이의 값이 측정되었다. 벽체에 적용된 C.A.P. Board(composite perforated panel systems)에 의해 중저주파수 대역의 음에너지가 효과적으로 흡음이 되어 다량의 중 저역 주파수의 잔향시간이 짧게 분포된 것으로 판단된다.



그림 17. 개선 전 음악실 사진



그림 18. 개선 후 음악실 사진

표 7. 주파수 별 잔향시간 데이터

RT(sec)		125	250	500	1K	2K	4K
개선 전	악기음원(센터)	1.17	1.43	1.76	1.88	1.67	1.29
	피아노음원(전방)	1.26	1.50	1.82	1.99	1.75	1.32
개선 후	악기음원(센터)	0.52	0.61	0.74	0.77	0.78	0.81
	피아노음원(전방)	0.50	0.55	0.71	0.76	0.77	0.80

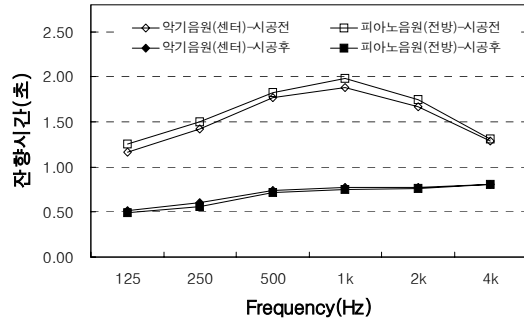


그림 19. 주파수 별 잔향시간 그래프

4.2 음악 명료도(C80)

개선 전 음악명료도는 0 dB에 가까운 값을 보여 오르간 등의 느린 템포의 악기 연주에 적합한 값을 보여주었고, 개선 후에는 포크음악, 현대음악, 대중음악 등의 상대적으로 빠른 템포의 음악에 적합한 값을 보여주고 있다.

일반적으로 음악 명료도(C80)는 클래식 음악 연주를 위한 공간에 적용되는 음향지표로서 적정치는 약 +1~-4 dB로 알려져 있다. 이 때 낮은 마이너스 값(-)을 나타낼수록 울림이 많음을 의미하며 높은 플러스 값(+)을 나타낼수록 반사음이 적고 잔향시간이 짧음을 의미한다.

초등학교 음악시간에 학습하는 악기에 대한 조사 결과 일반적으로 풍금, 피아노, 타악기, 피리, 트라이앵글 등으로 순수 클래식 연주를 위한 바이올린, 첼로, 비올라, 클라리넷, 플룻 등의 악기를 연주하는 경우는 매우 드문 것으로 나타났다.

대현초등학교 음악실의 경우 순수 클래식 연주를 위한 음악 명료도 기준보다는 전반적으로 잔향시간이 짧고 울림이 적은 것으로 나타났는데 이는 음악실의 체적이 순수 클래식 음악을 연주하는 공간에 비하여 월등히 적고, 특히 천정의 높이가 약 2.5미터로서 음원 주위에 음악적으로 직접음에 해당하는 초기 반사음들의 양이 다량 발생하기 때문인 것으

로 분석되고 있다.

초등학교에서 주로 학습하는 악기들은 바이올린이나 첼로 등과 같은 현악기는 거의 없고 관악기나 타악기 종류라고 할 수 있는데 이러한 악기들은 잔향시간이 긴 환경보다는 잔향시간이 어느 정도 짧은 환경이 적절한 명료도를 유지하게 되며, 개선 후 교사와 학생들의 청감 평가에서도 개선 후보다 음악 명료도가 향상 된 것으로 나타나고 있다.

천정에 적용된 이차원확산표면은 낮은 천정 환경에서 오는 이러한 음향문제들을 해소하기 위한 것인데 소리 에너지가 천정과 바닥사이에 왕복운동하면서 발생하는 플러터에코우를 억제 시키고 확산표면의 표면적 증가에 따른 공간감 확대를 하는 역할을 하게 되어 음향적으로 천정의 높이가 높아진 것과 같은 효과를 얻도록 하기위한 것이었다.

잔향시간의 감소는 음성 명료도를 향상시키는 결과를 가져와 교사의 목소리가 보다 명확하게 들리게 되어 수업의 전달도가 향상 될 수 있음을 예측하게 되었다.

초등학교 음악학습에 연주되는 악기들을 위한 최적의 실내음향 환경, 즉 적정 잔향시간, 음악 명료도, 공간감 등의 값에 대한 적정 기준은 현재 연구가 진행된 사례가 거의 없는 상태로 보다 정밀하고 신뢰도 높은 연구가 진행될 필요가 있다.

표 8. 주파수별 잔향시간 데이터

C80(dB)		125	250	500	1K	2K	4K
개선 전	악기음원(센터)	5.49	1.21	0.04	-0.05	0.39	2.11
	피아노음원(전방)	4.67	2.61	-1.21	-0.91	-0.53	1.56
개선 후	악기음원(센터)	13.6	9.00	7.06	6.84	5.99	5.26
	피아노음원(전방)	12.5	11.2	6.35	5.96	5.73	5.28

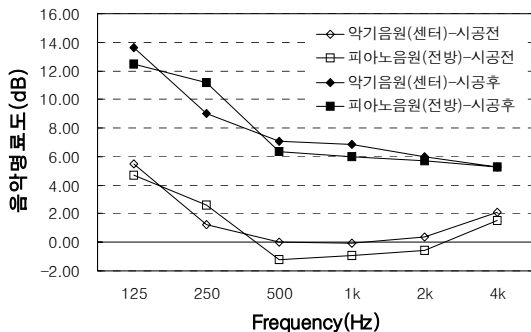


그림 20. 주파수 별 음악명료도 그래프

4.3 음압분포(SPL)

무지향성 스피커에서 방사한 소리의 음압은 개선 후 약 4~6 dB 감소하였고, 500~1KHz에서 음압감소가 가장 많았으며, 2~4KHz의 고주파 대역에서는 상대적으로 음압의 감소가 적었다. 이는 적용된 음향제어 방법이 다공질흡음재(porous absorptive material)에 의한 중 고역 흡음 보다는 C.A.P. Board 시스템에 의한 중 저역 제어에 의하여 정재파(standing wave)에 의한 저음 공진을 제어하여 음악 명료도를 높이는 데 초점을 두었기 때문이다. 한편 약 750 Hz 이상 중 고역주파수는 확산표면에 의하여 제어되었으며 이는 콤필터(comb filtering) 현상과 에코우(flutter echoes)를 제어하는 역할을 하게 된다.

표 9. 주파수 별 음압레벨

SPL(dB)		125	250	500	1K	2K	4K
개선 전	악기음원(센터)	60.9	68.2	73.8	77.6	78.4	77.2
	피아노음원(전방)	60.1	69.2	73.8	77.6	78.7	77.3
개선 후	악기음원(센터)	56.3	63.3	69.2	72.8	74.4	74.3
	피아노음원(전방)	53.5	61.9	67.2	71.0	72.7	73.2

표 10. 주파수별 기준 음압레벨

Ref.	125	250	500	1K	2K	4K	AP
개선 전	68.2	75.4	79.4	81.2	82.3	81.5	88.4
개선 후	66.8	74.7	77.7	81.2	79.0	83.3	89.0

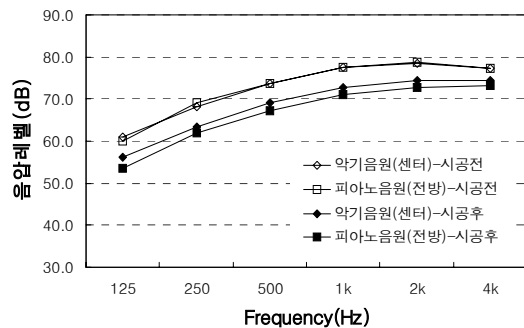


그림 21. 주파수별 음압레벨 그래프

4.4 음성 요해도(RASTI)

음악실에서의 수업도 상당부분 선생님의 음성 전달이 중요한 부분이며, 실제 악기를 연주하는 행위도 이루어지지만 합주의 형태가 많아 개인 스스로의 모니터링 환경을 충족시켜야 하고, 오디오에서

나오는 음악을 듣는 청취실의 기능도 충족해야 하는 다용도의 기능을 요구하고 있다. 또한 독창이나 합창(chorus)은 어느 정도 음성 명료도가 요구되는 음악 형태라고 볼 수 있다.

개선 전 0.5 이하의 요해도 값이 측정되었으나, 개선 후 0.7에 가까운 값으로 요해도 값이 향상 되었다.

표 11. 음성요해도

RASTI		
개선전	악기(센터)	0.48
	피아노(전방)	0.47
개선후	악기(센터)	0.67
	피아노(전방)	0.67

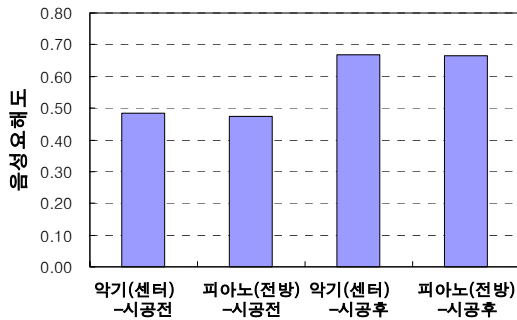


그림 22. 음성요해도 그래프

5. 결론

이상의 연구에서 대현초등학교 음악실에 적용된 C.A.P. Board 시스템과 확산표면 적용을 통해 개선된 특징은 다음과 같다.

1) 500 Hz와 1 KHz를 중심으로 1.7초 이상의 긴 잔향시간이 음악 교육을 하기에 적절한 1초 이하의 잔향시간 분포를 얻게 되었다.

2) 정재파에 의한 저음 공진(low frequency resonances) 현상이 제어 되었다.

3) 그 결과 음악 명료도가 향상 되었다.

4) 음성 요해도(RASTI)가 향상 되었다.

5) 확산에 의한 공간감(spatial impression)이 현저히 향상 되었다.

6)Flutter Echo와 같은 울림 현상이 현저히 제어 되었다.

7) 음색을 왜곡 시키는 콤파터(comb filtering) 현

상이 제어 되어 정확한 음색(timbre)을 청취할 수 있게 되었다.

8) 밀도 높고 자연스러운 음색을 얻게 되었다.

9) 합주 시 자기 악기 소리를 정확히 들을 수 있는 자청력(self hearing capability)이 향상 되었다.

10) 합주 시 다른 학생들의 연주 소리와 템포를 더욱 잘 들을 수 있는 음악적 커뮤니케이션(musical communication capability) 능력이 향상 되었다.

상기의 결과에서 보면 기존의 음악실과 새로이 설계 되는 음악실의 실내음향 환경은 C.A.P. Board 와 확산표면의 적용에 의하여 잔향시간, 음악 명료도, 음성 명료도, 음압분포 등의 주요 음향인자들의 품질이 크게 향상될 수 있음을 확인할 수 있게 되었다. 이상의 결과를 토대로 음악실 설계에 전문적이고 새로운 시스템을 적용하면 선진국 수준의 실내음향환경이 구축된 조건에서 학생들이 보다 정확한 음악명료도를 습득하게 되어 향후 음악에 대한 깊이를 즐거운 학습을 통하여 획득할 수 있게 될 것으로 확신하게 되었다.

참고문헌

1. Trever J. Cox, Peter D'Antonio, Acoustic Absorbers and Diffusers;Theory, Design and Application, Spon press, 2004
2. M. David Egan, Architectural Acoustics, Mcgrow-Hill, p64, 1988
3. 김재수, 건축음향설계, 세진사, p200-211, 2004
4. M.Mehta, J.Johnson, J.Rocafort, Architectural Acoustics, p218, 2000
5. Peter D'Antinio, Two decades of Diffusor Design and Development, AES paper sept. 1995
6. 이경희, 이상우, 최원령 “학습환경개선을 위한 초등학교 설계기준 설정에 관한 연구(II)-음 환경을 중심으로” 대한건축학회 논문집 제5권 6호, 225-233, 1989
7. 한찬훈, 문규천, “초등학교 교실의 음환경 평가에 관한 실험적 연구”, 대한교육시설학회지, 제11권 1호, p5-14, 2004
8. 강은주, 정숙영, 오덕성, “제7차 교육과정에 따른 리노베이션에 관한 연구”, 대한교육시설학회지, 제8권 5호,2001