

음향 시뮬레이션을 이용한 돔형 체조연습장의 음향성능 개선 Acoustic Performance Improvement for Dome-typed Gymnastics Training Floor using Acoustic Simulation

윤재현†·정철운*·국정훈**·김재수***

Yun, Jae-Hyun, Jung, Chul-Woon, Kuk, Joung-Hun, Kim, Jae-Soo

Key Words : Dome roof(돔형천장), Room acoustics(실내음향), Sound simulation(음향 시뮬레이션)

ABSTRACT

In case of dome-typed gymnastics training floor, since its form takes shape of the focus of sound, in the occasion when the finishing-material was used with the sandwich panel that prominent in reflexivity, and because the reverberation of sound in indoor is too loud, a smooth practice and teaching is very difficult. As this indoor gymnastics training floor, standing at its character, is required simultaneously the idea communication between the player and the coach, and the acoustic capability regarding to the clearness of music, besides the sport activity, the method to minimize the acoustic defect should be urgently contrived from the stages of design and beginning of construction. On this viewpoint, after investigation on the confidence of the surveyed value and the estimated value using acoustic simulation, and use of the changed finish-material, this thesis intends to design the dome-typed gymnastics training floor that secured the optimized acoustic condition. It is also considered that such result of the study could be utilized as the useful data that enables to improve the retrenchment effect of the construction cost as well as the acoustic performance, by means of the prediction-control on the acoustic problem from the stage of design, for the occasion when the similar indoor sport gymnasium is planning to build for the near future.

과 및 음향성능을 향상시킬 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서론

오목한 돔형 천장의 구조를 가진 실내체조연습장의 경우 음의 집중현상이 발생하며, 마감 재료로 반사성이 강한 샌드위치 판넬을 사용할 경우 실내에서 음의 울림이 너무 커 원활한 연습 및 교육이 어렵다.¹⁾

따라서 음악의 사용이 많고 감독과 선수와의 의사소통이 중요한 실내체조연습장의 경우 가장 우선적으로 음향적 결함을 최소화 할 수 있는 방안이 시급히 강구 되어야 한다.

이러한 관점에서 음향 시뮬레이션 기법을 도입하여 실측치와 예측치의 신뢰성을 검토한 후에 마감 재료를 변경하여 최적화된 음향 상태를 갖는 돔형 체조연습장을 설계 하고자 한다.

이러한 자료는 향후 이와 유사한 체육시설의 계획 및 설계 단계에서 기초적인 자료로 활용하여 시공비 절감효

2. 측정방법 및 개요

2.1 음향시뮬레이션

본 연구에서 사용된 음향 시뮬레이션 프로그램은 ODEON 4.21이며 음향 시뮬레이션의 측정조건은 정확한 DATA를 위해 실험에 비교적 많은 영향을 미치는 Impulse Response 길이를 4,000ms로 Smoothing late decay는 OFF Smoothing late ratios는 ON으로 설정하였다. 그 외 온도나 습도는 현장 측정치와 동일하게 하였고, Transition order는 3으로 설정하였다.

2.2 연구대상 체조 연습장의 개요

실내체육관의 음향특성은 규모, 평면형태, 체적, 실내표면과 마감재료 등에 영향을 크게 받는다. 측정대상 실내체조연습장은 W대학교 내에 위치하고 있으며 체원과 마감 재료의 주파수별 흡음률은 표 1.과 표 2.와 같다.

표 1. 대상 실내체조연습장의 체원

구분	제원	구분	제원
바닥면적	837.2m ²	길이	36.4m
폭	23m	천정고 (하부)	6.45m
천정고 (상부)	11.253m	체적	7,730.45m ³

표 2. 개선 전 연구대상 체조연습장의 마감 재료

† 윤재현, 원광대학교 건축음향연구실
E-mail : yun810805@naver.com
Tel : (063) 857-6712, Fax : (000) 000-0000

* 원광대학교 석사과정

** 원광대학교 석사과정

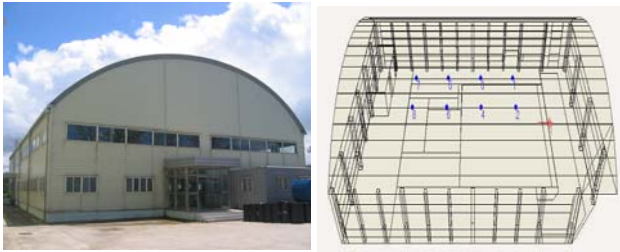
*** 원광대학교 건축학부 교수

1) 정철운, 김재수 ; 돔형 체조연습장의 음향특성에 관한 연구, 대한환경공학회 학술발표대회, 2006.11

위치	마감 재료	주파수						
		125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	
무대	바닥	단풍나무 플로어링	0.20	0.15	0.1	0.09	0.09	0.09
	매트	카펫트 25T	0.02	0.05	0.1	0.35	0.45	0.55
벽	내부측벽	샌드위치판넬	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
천정	내부마감	우레탄폼칠 위 수성페인트	0.07	0.2	0.4	0.55	0.7	0.7
	문	유리문	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
기타	창문	일반유리	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
	기둥	H형강	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	기둥하부	안전고무리브	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
	걸레받이	라왕각재	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03

2.2 측정방법

시뮬레이션 방법은 ISO 3382에서 제안하는 무지향성 음원을 실측치와 동일하게 실의 중심으로부터 마루운동 경기매트의 1.5m 높이에, 수음점은 실내체조연습장의 평면이 대칭에 가까운 형태이므로 실의 중심을 기준으로 그리드(Grid)를 설정해 모두 8개를 선정하여 분석하였다. 체조연습장의 외부 전경과 이를 3D화 한 수음점의 위치는 그림 1.과 같다.



(a) 대상 실내체조연습장의 전경 (b) 3D 모델링 및 수음점
그림 1. 대상 실내체조연습장의 전경 및 3D 모델링

2.3 최적 잔향시간의 산출 및 마감 재료의 변경

그림 2.는 대상 체조연습장의 측정 잔향시간과 기존에 연구에서 제안되었던 최적 잔향시간을 비교한 것이다. 체조연습장의 체적이 약 7,730.45m³이므로 500Hz에서 최적 잔향시간(23)이 약 1.4초를 유지하는 것이 적당하리라 사료된다.

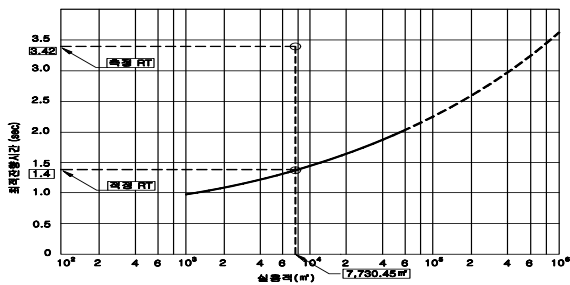


그림 2. 체조연습장의 최적 잔향시간

그러나 본 체조연습장의 잔향시간은 평균 3.42초로 나타나 체육활동을 위한 음악의 명료성 및 대화를 통한 의사전달 등에 많은 어려움이 있으므로 음향성능 개선이 반드시 필요하다. 연구대상 체조연습장의 경우 마감 재

- 2) Vern O. Kundsén and Cyril M. Harris ; "Acoustical Designing in Architecture", JOHN WILEY & SONS, INC, 1955
- 3) M. David Egan ; "Concepts in Architectural Acoustics", Mcgraw-hill book company, 1972, p40

료가 샌드위치 판넬로 구성되어 있기 때문에 형태의 변경이 어려워 흡음력이 높은 마감 재료를 사용 하여 음향성능을 개선하고자 하였다. 표 3.은 음향설계를 통하여 변경된 마감 재료의 종류와 흡음률을 나타내고 있다.

표 3. 개선 후 연구대상 체조연습장의 마감

위치	마감 재료	주파수						
		125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	
무대	바닥	원목형 플로어링	0.2	0.15	0.13	0.11	0.09	0.06
	매트	카펫트 6T 위 운동매트	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44
벽	내부측벽	우드 올 판 50T	0.1	0.2	0.45	0.8	0.6	0.75
천정	내부마감	수성페인트 위 확산판 부착	0.06	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5
	문	유리문	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
기	창문	일반유리	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
	기둥	H형강 위 암면폼칠	0.05	0.12	0.37	0.55	0.68	0.7
타	기둥하부	안전고무리브	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
	걸레받이	라왕각재	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03

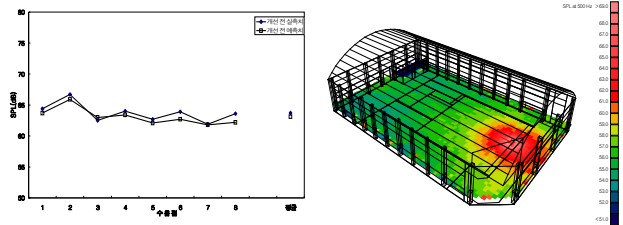
3. 분석 및 고찰

3.1 음압레벨(SPL)

음의 세기를 나타내는 음압레벨은 실의 형태와 내부공간간의 구성에 따라 매우 중요한 의미를 갖는다. 8개의 수음점에서 실측치와 예측치의 500Hz 음압레벨을 측정된 결과는 표 4.와 그림 3.과 같다.

표 4. 각 수음점별 500Hz의 SPL 단위: dB

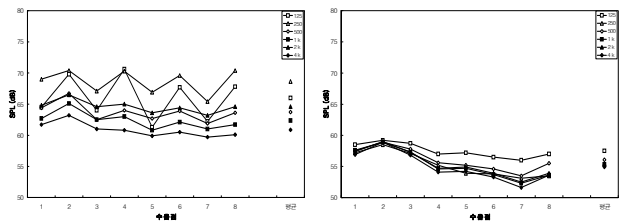
수음점	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
실측	64.4	66.7	62.5	64	62.7	63.9	61.9	63.6	63.71
예측	63.7	65.9	63	63.4	62.1	62.7	61.8	62.2	63.10



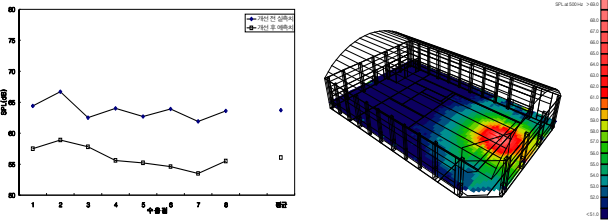
(a) 체조연습장 수음점별 음압레벨 비교(500Hz) (b) 개선 전 음압레벨 분포 시뮬레이션(500Hz)

그림 3. 체조연습장 수음점별 개선 전 음압레벨(SPL)

표 4.와 그림 3.에서 보면 예측치와 실측치의 차이가 거의 나타나지 않아 시뮬레이션의 결과를 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음압레벨은 그림 4.와 같다.



(a) 개선 전 주파수별 실측치 (b) 개선 후 주파수별 예측치



(c) 500Hz의 음압레벨 비교

(d) 개선 후 음압레벨 분포 시뮬레이션(500Hz)

그림 4. 개선 전·후 수음점에 따른 음압레벨(SPL)

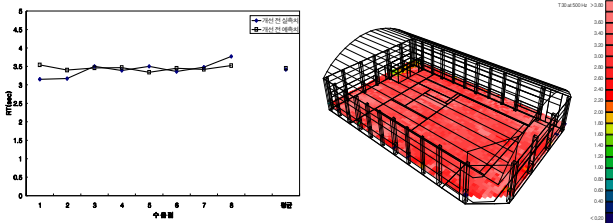
그림 4.에서 보면 개선 전에 비해 수음점별 음압레벨 분포가 개선 후 $\pm 3\text{dB}$ 이하의 균일한 음압분포를 보이며, 매우 만족할만한 음향 상태를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이는 개선 전에 비해 벽과 천장면의 흡음과 반사에 의해 체조연습장 내부의 음압레벨이 고르게 확산되었기 때문이다. 또한, 개선 전에 비해 개선 후의 음압레벨의 분포가 내려간 것은 잔향시간을 줄이기 위해 기둥과 벽면, 천장에 흡음재를 설치하였기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 잔향시간(Reverberation Time)

잔향시간은 정상상태의 음이 60dB 감쇠하는데 까지 소요되는 시간으로 정의되는 울림의 양에 대한 가장 중요한 평가지수이다. 8개의 수음점에서 실측치와 예측치의 500Hz 잔향시간 결과는 표 5.와 그림 5.와 같다.

표 5. 각 수음점별 500Hz의 RT 단위:초

수음점	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
실측	3.15	3.17	3.5	3.39	3.5	3.36	3.48	3.77	3.42
예측	3.54	3.4	3.46	3.47	3.34	3.45	3.42	3.52	3.45

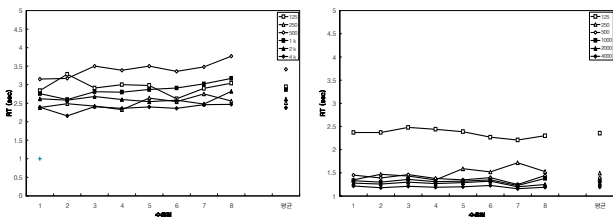


(a) 체조연습장 수음점별 잔향시간 비교(500Hz)

(b) 개선 전 잔향시간 분포 시뮬레이션(500Hz)

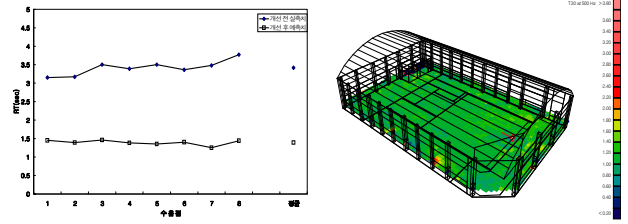
그림 5. 체조연습장 수음점별 개선 전 잔향시간(RT)

표 5.와 그림 5.에서 보면 마감 재료로 반사성이 강한 샌드위치 판넬과 돔형 천장의 사용 및 넓은 체적으로 인해 실내에서 음의 울림이 너무 커 잔향시간이 길게 나타나 의사전달에 많은 문제가 발생할 것으로 사료된다. 따라서 시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 잔향시간은 그림 6.과 같다.



(a) 개선 전 주파수별 실측치

(b) 개선 후 주파수별 예측치



(c) 500Hz의 잔향시간 비교

(d) 개선 후 잔향시간 분포 시뮬레이션(500Hz)

그림 6. 개선 전·후 수음점에 따른 잔향시간(RT)

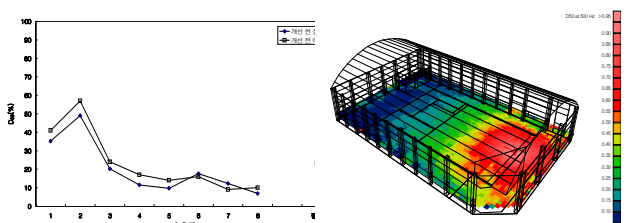
그림 6.에서 보면 개선 후 잔향시간은 500Hz에서 평균 1.39초로 최적 잔향시간과 거의 같은 -0.01 초의 차이를 보이며, 각 수음점별 편차도 개선 전보다 적게 나타나고 있다. 이는 개선 후 기둥을 흡음 처리하고 벽에 흡음보드를 설치하여 잔향시간이 짧아졌기 때문이다. 이로 인하여 체육활동을 위한 음악의 명료성 및 대화를 통한 의사전달 등에 무리가 없을 것으로 사료된다.

3.3 음성명료도(D50)

회화의 명료도에 관한 지수 중 강연을 대상으로 하는 D50은 음의 발생이 중지한 후 50ms이내의 반사음이 직접음을 보강하는 명료도를 좋게 하는 것으로, 음과 총에너지의 비인 Definition 또는 Deutlichkeit를 말한다. 8개의 수음점에서 실측치와 예측치의 500Hz 음성명료도 결과는 표 6.과 그림 7.과 같다.

표 6. 각 수음점별 500Hz의 D50 단위:%

수음점	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
실측	35.2	49	20.2	11.5	9.7	17.6	12.3	6.9	20.3
예측	41	57	24	17	14	16	9	10	23.5

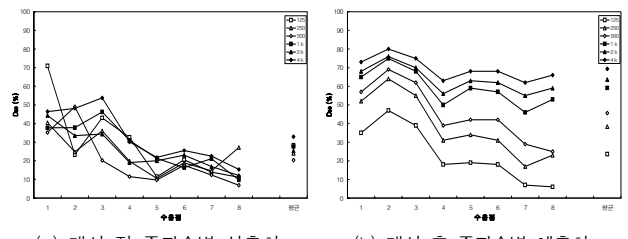


(a) 체조연습장 수음점별 음성명료도 비교(500Hz)

(b) 개선 전 음성명료도 분포 시뮬레이션(500Hz)

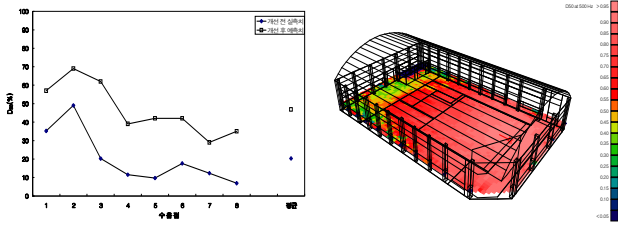
그림 7. 체조연습장 수음점별 개선 전 음성명료도(D50)

표 6.과 그림 7.에서 보면 음원과 거리가 가까운 1,2번 수음점을 제외한 다른 수음점들은 긴 잔향시간으로 인해 의사소통에 많은 문제가 발생하므로 충분한 음성명료도가 확보되어 한다. 따라서 시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음성명료도는 그림 8.과 같다.



(a) 개선 전 주파수별 실측치

(b) 개선 후 주파수별 예측치



(c) 500Hz의 음성명료도 비교

(d) 개선 후 음성명료도 분포 시뮬레이션(500Hz)

그림 8. 개선 전·후 수음점에 따른 음성명료도(D50)

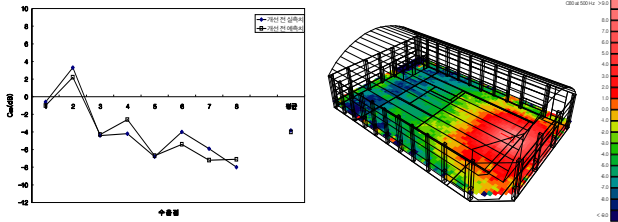
그림 8.에서 보면 개선 후의 수음점별 음성명료도 분포가 개선 전에 비해 모두 높아졌고, 500Hz의 음성명료도 역시 평균 20%에서 45%로 약 25%정도 높아졌다. 이는 개선 후 잔향시간이 짧아졌기 때문에 음성명료도는 높아진 것으로 사료된다.

3.4 음악명료도(C80)

D50과 개념상 유사하지만, 음악에 대한 명료도는 너무 클 경우 연주음이 너무 건조하고 딱딱해져 충분한 음량과 음색으로 이를 감상하기 어려워진다. 8개의 수음점에서 실측치와 예측치의 500Hz 음악명료도 결과는 표 7.과 그림 9.와 같다.

표 7. 각 수음점별 500Hz의 C80 단위:dB

수음점	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
실측	-0.6	3.3	-4.4	-4.2	-6.8	-4	-5.9	-8	-3.83
예측	-1	2.2	-4.3	-2.6	-6.7	-5.4	-7.2	-7.1	-4.01

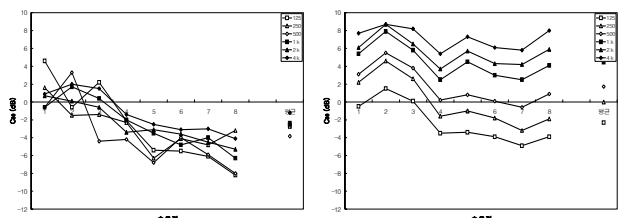


(a) 체조연습장 수음점별 음악명료도 비교(500Hz)

(b) 개선 전 음악명료도 분포 시뮬레이션(500Hz)

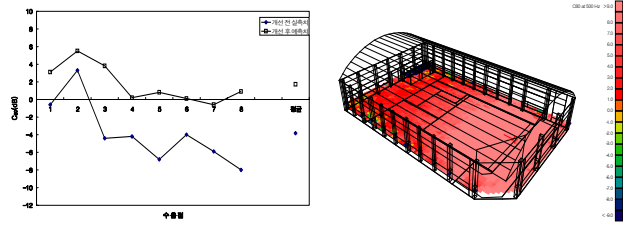
그림 9. 체조연습장 수음점별 개선 전 음악명료도(C80)

일반적으로 공연장은 C80 평가를 위한 최대치인 +6/-2dB을 설계의 기준으로 삼고 있는 것에 비해 표 7.과 그림 9.에서 보면 대상 체조연습장은 이를 훨씬 초과하고 있음을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음악명료도는 그림 10.과 같다.



(a) 개선 전 주파수별 실측치

(b) 개선 후 주파수별 예측치



(c) 500Hz의 음악명료도 비교

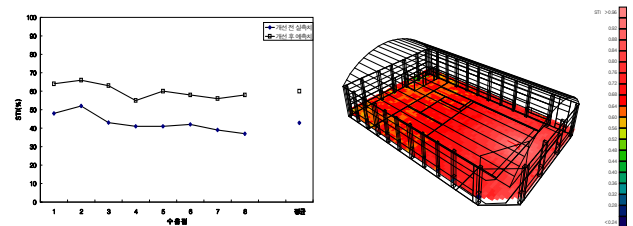
(d) 개선 후 음악명료도 분포 시뮬레이션(500Hz)

그림 10. 개선 전·후 수음점에 따른 음악명료도(C80)

그림 10.에서 보면 500Hz를 기준으로 개선 후의 음악명료도의 값이 +5dB/-0.6dB로 공연장에서 C80 평가를 위한 최대치인 +6/-2dB를 만족하여 음악을 명료하게 감상할 수 있을 것으로 사료된다.

3.5 음성전달지수(RASTI)

음성전달지수는 실내에서 음성의 전달에 따른 이해도 (Speech Intelligibility)를 나타내하고자 하는 주관지수이다. 시뮬레이션을 통한 개선 전·후 음성전달지수는 그림 11.과 같다.



(a) 개선 전·후 수음점별

(b) 개선 후 음성전달지수

음성전달지수 비교

분포 시뮬레이션

그림 11. 개선 전·후 수음점에 따른 음성전달지수(RASTI)

표 8. RASTI 평가기준

RASTI(%)	평가 척도
0~32	Bad (전혀 알아듣지 못한다.)
32~45	Poor (잘 알아듣지 못한다.)
45~60	Fair (노력하면 들을 수 있다.)
60~75	Good (잘 들린다.)
75~100	Excellent (아주 편하게 들을 수 있다.)

음성전달지수는 대체적으로 음원에서 가까운 곳이 높으며, 음원에서 멀어질수록 값이 낮아진다. 개선 전 음성전달지수가 평균 42.88%에서 개선 후 60%의 결과로 미루어볼 때 표 8.과 같이 “Good (잘 들린다.)”로 평가됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 돛형 천장을 갖는 체조연습장을 완공 후 음향 시뮬레이션 기법을 도입하여 실측치와 예측치의 신뢰성을 검토하였으며, 이를 토대로 마감 재료를 변경하여 최적화된 음향 상태를 갖는 돛형체조연습장을 제안 하고자 하였다.

음향 시뮬레이션을 통하여 분석해 본 결과 물리적 음향 평가지수인 음압레벨분포(SPL), 잔향시간(RT), 음성명료도(D50), 음악명료도(C80), 음성전달지수(RASTI)

등이 개선 전보다 개선 후 모두 만족할 만한 음향성능을 보임을 알 수 있었다.

따라서 향후 연구대상 체조연습장이 이러한 음향 설계에 따라 완공되어 진다면 충분한 음량감과 잔향감 및 확산감을 확보하여 음악의 사용과, 감독과 선수와의 원활한 의사소통이 가능한 우수한 체조연습장이 될 것이라고 판단된다.

또한 이러한 연구가 지속되고 자료가 축적된다면 향후 체조연습장의 음향 설계시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김재수 ; 건축음향설계(개정판), 세진사, 2004.3.
2. 김재수, 양만우 ; 건축음향설계방법론, 도서출판 서우, 2001.9.
3. 정철운, 김재수 ; 돔형 체조연습장의 음향특성에 관한 연구, 대한환경공학회 학술발표대회, 2006.11.
4. 국정훈, 박영지, 김재수 ; 타원형 평면을 갖는 교회의 건축음향설계, 대한환경공학회 학술발표대회, 2006.11.
5. 서정석 ; 대형 전시공간의 건축음향설계, 대한설비공학회 하계학술발표대회, pp115, 204.6
6. CADP2 Manual, ODEON Manual, Raynoise Manual, CATT-acoustics Manual
7. Heinrich Kuttruff; Room Acoustics, Elsevier Applied Science, 1991
8. James P.Cowan; Handbook of Environmental Acoustics, Van Nostrand Reinhold, 1994
9. Leslie L.Doelle; Environmental Acoustics, McGRAW-Hill Book Company, 1972
10. M.David Egan; Concepts in Architectural Acoustics, McGRAW-Hill Book Company, 1972
11. William J. Cavanaugh & Joseph A. Wilks; Architectural Acoustics, John. Wiley & sons
12. Yochi Ando; Architectural Acoustics, Springer, 1998
13. Bril l & Kjær; Sound & Vibration Catalogue, 1997
14. Bril l & Kjær; Measuring Sound, 1984