

가청화를 이용한 돔형 체조연습장의 음향 성능평가에 관한 연구[#]

Evaluation of Acoustic Performance about Dome-typed Gymnastics Training Floor Using Auralization

윤재현* · 주덕훈* · 김재수[†]

Jae-Hyun Yun, Duck-Hoon Ju and Jae-Soo Kim

(2007년 5월 29일 접수 ; 2007년 7월 4일 심사완료)

Key Words : Dome Roof(돔형천장), Room Acoustics(실내음향), Computer Simulation(컴퓨터 시뮬레이션), Auralization(가청화), Psycho-acoustic Experiment(청감실험)

ABSTRACT

In case of indoor gymnastics training floor, in view of its characteristics, since it is simultaneously required the related smooth communication between the coach and the player, also the acoustic performance regarding to the clearness of music, besides the sport activity, the consideration about the acoustic character has entered the stage as an indispensable element. On such viewpoint, recently constructed dome-typed gymnastic training floor was optimized acoustic design with remodeling through acoustic simulation test. And acoustic satisfaction degree and reaction was attempted to investigate about the gymnastics training floor estimating value of human's psychological(sensual) degree using auralization that enables to experience the virtual sound field at the stage of design. As the result of investigation about the research on the space of object, it could be known that the valuation regarding to the acoustic performance of 'after-improvement' was distinctly more refined than that of 'before-improvement'. It is now considering that such result of the study can be utilized as the useful data which enables to improve the retrenchment effect of the construction cost as well as the acoustic capability, 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.

1. 서 론

돔형체조연습장의 경우 음의 초점(sound focus)을 형성하며 반사성이 강한 마감 재료의 사용으로 인해 음의 울림이 너무 커 원활한 연습 및 교육이 어려운

실정이다. 이를 보완하기 위해 마감 재료와 인테리어 적 변화를 통한 리모델링으로 그 활용도를 높이기 위한 노력을 기울이고 있는 추세이지만 운동경기의 특성상 낮은 천장을 만들 수가 없고 넓은 공간을 요구하는 만큼 과도한 울림현상으로 인한 열악한 음 환경에 노출되어있다. 그러므로 음악의 사용이 많고 감독과 선수와의 의사소통이 중요한 실내체조연습장의 경우 가장 우선적으로 음향적 결함을 최소화 할 수 있는 방안이 시급히 강구 되어야 한다. 이러한 관점에서 돔형 천장을 갖는 실내 체조연습장의 물리적 음향특성(SPL, RT, EDT, D₅₀, C₈₀, RASTI)을 측정·분석하여 문제점을 파악한 뒤, 음향 시뮬레이션 기법을 도입

[†] 교신저자; 정희원, 원광대학교 건축학부

E-mail : soundpro@wku.ac.kr

Tel : (063) 850-6712, Fax : (063) 843-0782

* 정희원, 원광대학교 대학원 건축공학과

이 논문은 2007 춘계 소음진동 학술대회 우수논문으로 추천되었음.

하여 실측치(물리적 음향특성 값)와 예측치(음향 시뮬레이션 값)의 신뢰성을 검토한 후에 마감 재료를 변경하여 최적화된 음향 상태를 갖는 돔형 체조연습장을 설계 하였다. 그러나 기존의 연구에서는 설계단계나 리모델링 단계에서 과연 그 실이 최적화된 음향설계가 되었는지 확인할 방법이 없어 많은 어려움이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이 연구에서는 설계 단계에서 부터 완성 후 음장을 직접 체험할 수 있는 가청화 실험을 실시하여 체조연습장에 대한 음향 만족도 및 반응을 조사 하고자 하였다. 이러한 자료는 향후 이와 유사한 체육시설의 계획 및 설계 단계에서 기초적인 자료로 활용하여 시공비 절감효과 및 음향 성능을 향상시킬 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 돔형 체조연습장의 음향특성

2.1 돔형(Dome) 천장의 음향적 결함

천장 반사음은 직접음을 보강하는 역할을 하고, 특히 무대에서 멀리 떨어진 뒷좌석이 영향을 많이 받는다. Fig. 1은 돔형(dome)천장의 음향점 결함의 예로써 천장의 오목면은 음을 한쪽으로 집중시켜 객석에서 음의 분포를 나쁘게 하므로, 천장면에 버섯 모양의 확산판을 부착시켜 음을 객석 쪽으로 확산시켜 문제점을 개선한 사례이다.

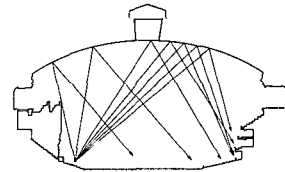
2.2 연구대상 체조연습장의 개요

실내체육관의 음향특성은 규모, 평면형태, 체적, 실내표면과 마감재료 등에 영향을 크게 받는다. 측정대상 실내체조연습장은 W대학교 내에 위치하고

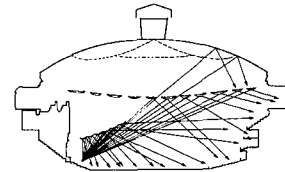
있으며 제원은 Table 1과 같으며, 기존에 연구되었던 자료를 참조한 마감 재료의 주파수별 흡음률은 Table 2와 같다.

2.3 측정방법

이 연구에서 사용된 음향 시뮬레이션 프로그램은



(a) Before improvement



(b) After improvement

Fig. 1 Dome-type the problem point and its improvement example of ceiling(Royal Albert Hall, London)

Table 1 The dimension of the subject indoor gymnasium

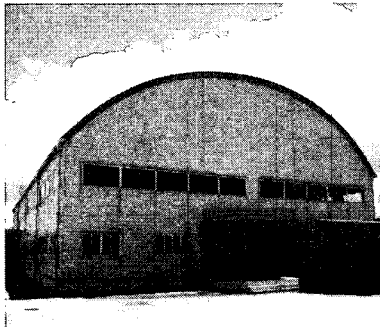
Classification	Dimension	Classification	Dimension
Floor space	837.2 m ²	length	36.4 m
Width	23 m	Height of ceiling lower part	6.45 m
Height of ceiling upper part	11.253 m	Volume	7,730.45 m ³

Table 2 The finishing material for the researching subject indoorgymnasium before improvement

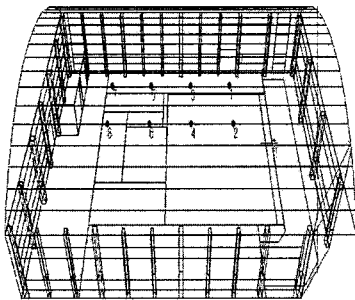
Location	Finishing material	Frequency (Hz)						
		125	250	500	1K	2K	4K	
Stage	Floor	Maple flooring	0.20	0.15	0.1	0.09	0.09	0.09
	Mat	Carpet 25T	0.02	0.05	0.1	0.35	0.45	0.55
Wall	Interior sidewall	Sandwich panel	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Ceiling	Interior finishing	Finishing by water paint on the urethane spray painting	0.07	0.2	0.4	0.55	0.7	0.7
Other	Door	Glass door	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
	Window	Common glass	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
	Pillar	H-section steel	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	Lower part of pillar	Safety rubber rib	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
	Washboard	Lauan timber	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03

ODEON 4.21이며 시뮬레이션 방법은 ISO 3382에서 제안하는 무지향성 음원을 실측치와 동일하게 실의 중심으로부터 마루운동경기매트의 1.5 m 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 Fig. 2와 같다.



(a) The whole view of the object indoor gymnasium



(b) 3D modelling and sound-receiving point

Fig. 2 The general view of the object indoor gymnasium and 3D modelling

2.4 최적 잔향시간의 산출 및 리모델링

Fig. 3은 대상 체조연습장의 측정 잔향시간과 기존에 연구에서 제안되었던 최적 잔향시간을 비교한 것이다. 체조연습장의 체적이 약 7,730.45 m³이므로

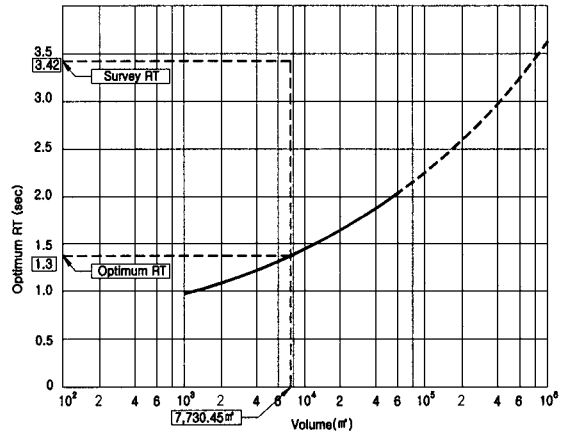


Fig. 3 Optimum reverberation time

Table 3 Authenticity examination on actually measured value and predict value for remodelling (500 Hz)

	RT(sec)	SPL(dB)	D ₅₀ (%)	C ₈₀ (dB)	RASTI(%)
Survey	3.42	63.71	21.18	-3.83	42.88
Prediction	3.45	63.10	23.50	-4.01	43.00

Table 4 The finishing material for the researching subject indoor gymnasium after improvement

Location		Finishing material	Frequency (Hz)					
			125	250	500	1K	2K	4K
Stage	Floor	Lumber-styled flooring	0.2	0.15	0.13	0.11	0.09	0.06
	Mat	Exercise mat on carpet	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44
Wall	Interior sidewall	Wood Wool Panel 50T	0.1	0.2	0.45	0.8	0.6	0.75
Ceiling	Interior finishing	Adhesion of diffusion plate on water paint	0.06	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5
Other	Door	Glass door	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
	Window	Common glass	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
	Pillar	H-section steel spray painting on rock wool	0.05	0.12	0.37	0.55	0.68	0.7
	Lower part of pillar	Safety rubber rib	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
	Washboard	Lauan timber	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03

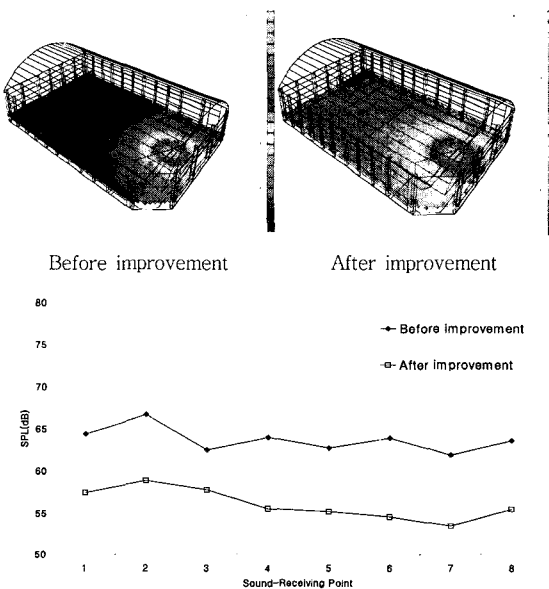
500 Hz에서 최적 잔향시간이 약 1.4초를 유지하는 것이 적정하리라 사료된다.

그러나 이 체조연습장의 잔향시간은 평균 3.42초로 나타나 체육활동을 위한 음악의 명료성 및 대화를 통한 의사전달 등에 많은 어려움이 있으므로 음향성능 개선이 반드시 필요하다. 그러므로 음향 시뮬레이션을 통한 리모델링을 하기 위해 실측치(물리적 음향특성 값)와 예측치(음향 시뮬레이션 값)의 실내 음향 특성 신뢰성 검토 결과는 Table 3과 같다.

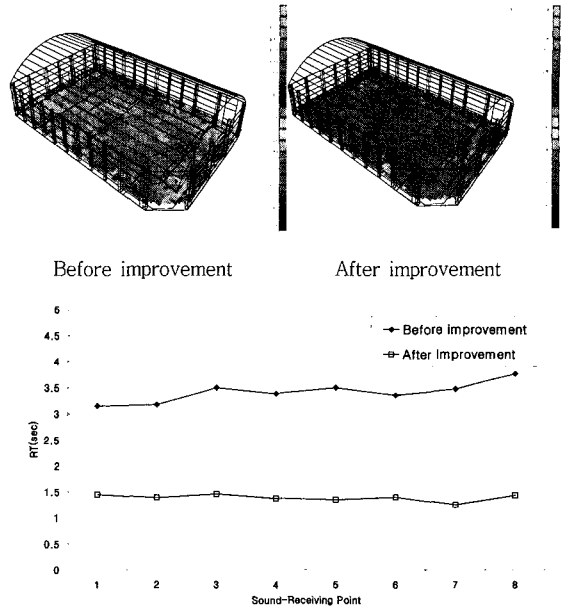
신뢰성 검토 결과 실측치와 예측치의 실내음향 특성값이 거의 일치하기 때문에 예측치의 값을 바탕으로 리모델링을 실시하였다. 리모델링 시 연구대상 체조연습장의 경우 마감 재료가 샌드위치 판넬로 구성되어 있기 때문에 형태의 변경이 어려워 흡음률이 높은 마감 재료를 사용 하여 음향성능을 개선하고자 하였다. Table 4는 음향설계를 통하여 변경된 마감 재료의 종류와 흡음률을 나타내고 있다.

Table 5 Comparison of room acoustic characteristics before and after improvement (500Hz)

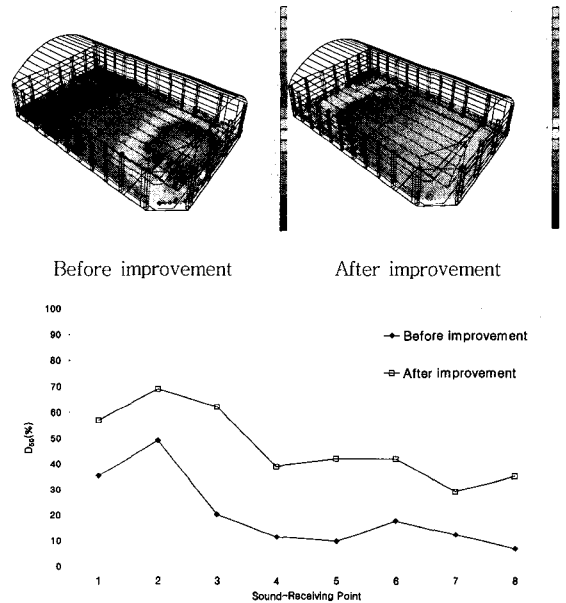
	RT (sec)	SPL (dB)	D_{50} (%)	C_{80} (dB)	RASTI (%)
Before improvement	3.42	63.71	21.18	-3.83	42.88
After improvement	1.39	56.08	46.88	1.73	60.00



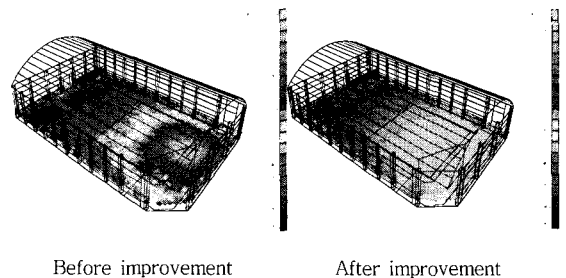
(a) SPL Distribution simulation



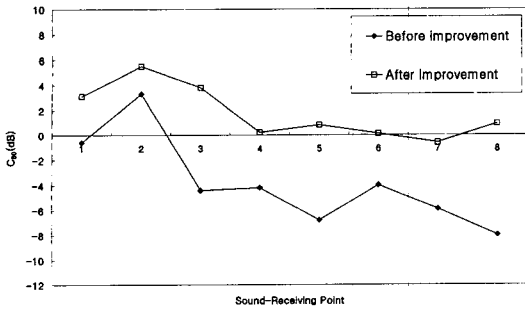
(b) RT Distribution simulation



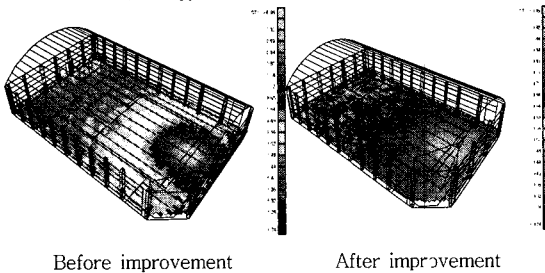
(c) D_{50} Distribution simulation



Before improvement After improvement

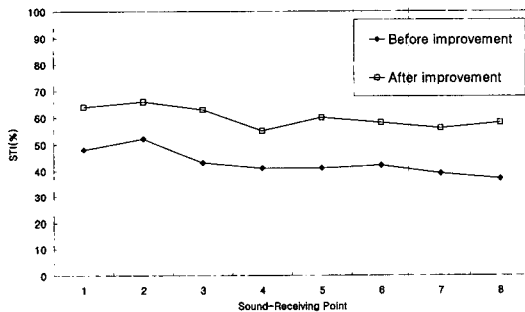


(d) C₈₀ Distribution simulation



Before improvement

After improvement



(e) RASTI Distribution simulation

Fig. 4 Before and after improvement room acoustics distribution simulation(500 Hz)

위의 내용을 바탕으로 선행연구 결과와 음향시뮬레이션 통한 개선 전·후 실내음향 특성 비교와 시뮬레이션을 통한 분포도는 Table 5와 Fig. 4와 같다.

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.

3. 가청화를 이용한 음향성능 평가

3.1 가청화의 개념

가청화(可聽化)란 홀의 설계 단계에서 컴퓨터 시

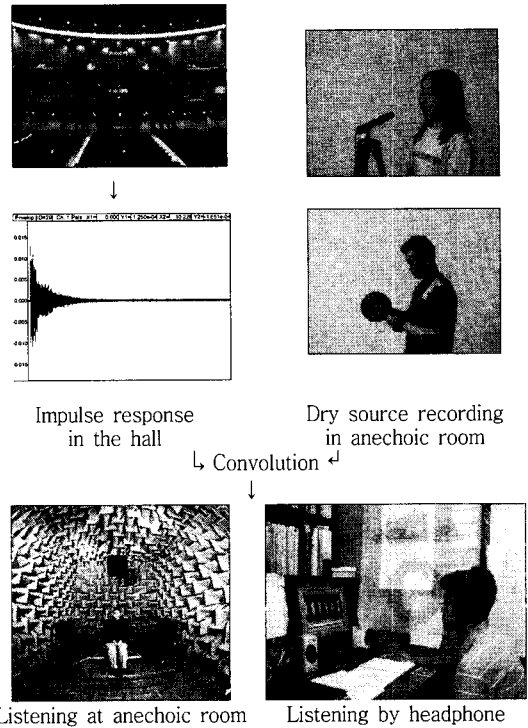


Fig. 5 Auralization process

물레이션을 통해 음향설계를 한 뒤 객석의 수음점에서 구한 임펄스 응답(impulse response)과 무향실에서 녹음한 원음(dry source)을 합성연산(convolution)하여 음향 시뮬레이션의 결과에 따라 에코 패턴 및 잔향시간데이터를 직접음 2채널, 방향에 따른 반사음을 12채널로 분할하고, 그 결과를 스피커를 통하여 재생하는 것을 말한다. 기존의 음향 시뮬레이션에 의한 건축음향설계는 건축가에게 설계단계에서는 많은 도움을 주었지만 실제 개관했을 경우 어떤 소리로 들릴 것인가에 대한 신뢰성은 거의 없었다. 그러나 가청화 시스템은 홀의 설계단계에서 완성 후의 음장을 체험할 수 있으며, 발주자와 설계자가 실행대, 내장재 및 음원의 지향성 등 변화에 따른 상황을 실제의 음, 즉 음의 건본을 들음으로써 희망하는 음장을 결정하는데 이용한다. 가청화의 과정은 Fig. 5와 같다.

3.2 가청화 평가를 위한 평가어휘 조사

실내음향 특성을 정확하게 평가하기 위해 Beranek, Barron등에 의해 연구되어진 내용을 바탕으로 대상 공간의 주관적인 효과를 대변할 수 있는 어휘들을

물리적인 파라미터들과 연관지어 찾고자 하였다. 따라서 대상 실내체조연습장의 특성상 체육활동 외에도 음악의 사용이 많고 감독과 선수와의 의사소통이 중요함을 고려하여 선행연구의 평가안을 기초로 적절한 어휘를 선정하여 주관적인 평가를 하도록 하였다. 음향 평가에 사용된 어휘와 물리적인 파라미터와의 관계를 분석한 것은 Table 6과 같다.

이렇게 추출된 평가어휘를 바탕으로 미국의 심리

학자 Osgood에 의해 제안된 의미분별법(SD; method of semantic differential)을 이용한 청취 실험에 사용되어질 설문지는 Table 7과 같이 구성하였다.

설문지의 왼쪽 항목에는 주관적인 평가 항목을 표현하였으며, 평가척도인 1~7까지의 수치는 주관적 느낌이 1에 가까울수록 “그렇지 않다.”이며, 7에 가까울수록 “매우 그렇다.”이다. 따라서 설문지를 통해 조사된 수치를 평가척도로 이용하여 평균적 반응을 구하였다.

Table 6 The constituent factor of acoustic performance of the subject indoor gymnasium

The used vocabulary	Subjective factor	Physical factor
Construct / Replete	Reverberance	RT
It feels as if performing at a far distance / It feels likely as performing at a close place	Intimacy	ITDG
It hears low sound / It hears loud sound	Loudness	SPL
It sounds thick / It sounds clear	Intelligibility	D50,C80
It is dull / It is vivid	Clarity	
Sharp / Soft	Warmth	BR
The sound inclines toward one side / The sound keeps a balance	Balance	IACC
It concentrates to one side / It diffuses widely	Envelopment	

Table 7 Evaluation Sheet for Assessment on subjective response

By item	Evaluation						
	Naver be not ←————→ So much						
Reverberance	1	2	3	4	5	6	7
Intimacy	1	2	3	4	5	6	7
Loudness	1	2	3	4	5	6	7
Intelligibility	1	2	3	4	5	6	7
Clarity	1	2	3	4	5	6	7
Warmth	1	2	3	4	5	6	7
Balance	1	2	3	4	5	6	7
Envelopment	1	2	3	4	5	6	7

3.3 가청화 평가를 위한 음원의 구성

대상 실내체조연습장의 청감 실험에 사용될 평가 가청화 음원은 체육활동 외 음악의 사용이 많고 감독과 선수간에 의사소통이 중요한 점을 고려하여 CD 및 Odeon sample에서 추출하여 Table 8과 같이 구성하였다.

이러한 청취실험 음원은 반드시 잔향음이 없는 무향실에서 녹음한 dry source를 사용해야 한다. 그 이유는 음이 실내에 울려 퍼지는 감동의 음향적 인상은 초기 반사음의 영향이 큰데 약간의 잔향음이 포함되어도 가청화 시 음의 견본을 들음으로써 희망하는 음상을 정확히 결정하기 어렵기 때문이다. 이 연구에 사용된 dry source를 개선 전·후 Coll Edit Pro 2.1로 분석한 음원형태는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 보면 dry source는 잔향음이 없어 깨끗하지만 홀의 공간적 정보를 반영한 가청화 음원은 소리에 잔향감과 공간감이 포함되어 있음을 알 수 있다. 또한 개선 전에 비해 개선 후 음원형태의 폭이 줄어든 이유는 잔향시간을 줄이기 위해 기둥과 벽면, 천장에 흡음재를 설치하였기 때문인 것으로 판단된다.

Table 8 Composition of auralization sound source

Sound source number	Sort of sound source
1	Applause sound
2	lecture sound (woman's voice)
3	Instrument sound (violin)
4	Cheering song (worldcup cheering)
5	Music accompaniment (patriotic song)
6	Folk song (arirang)

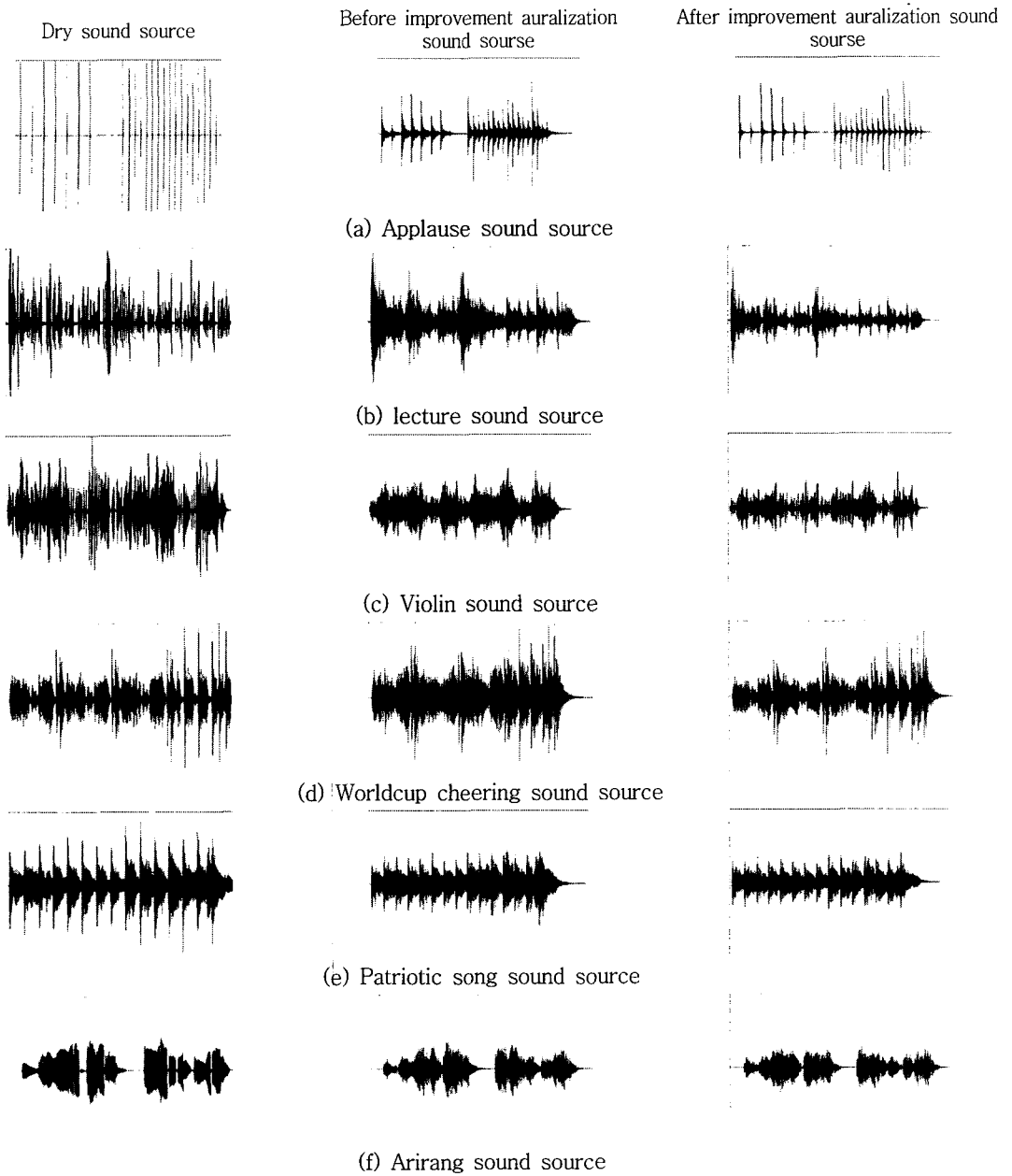


Fig. 6 Comparison of auditory-evoked sound source forms

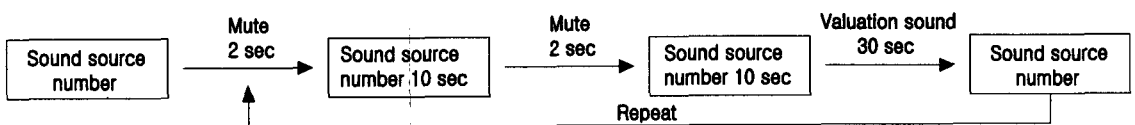


Fig. 7 Presentation process of sound source

3.4 가청화를 이용한 음향성능 평가

청감실험은 헤드셋을 이용해 동시에 8명씩 진행하

였으며 청감 시 일정한 음량을 유지하기 위해 헤드 앰프를 사용하였다. 피험자로 선정된 20명중 남성은



Fig. 8 Psycho-acoustics experimental equipment and experiment scene

17명 여성은 3명이며 실험에 대한 이해력과 참여도, 분석에 유효한 성의 있는 응답을 위해 정상청력의 20대가 참여하였다. 청감평가를 실시하기 전에 실험에 대한 이해를 돕기 위해 평가시트를 사전에 나누어 주고 설명과 함께 음원을 들려준 뒤 실험에 참가하도록 하였다. 음원의 제시과정은 Fig. 7과 같으며 순서대로 6개의 음원을 개선 전·후로 나누어 평가를 하였다. 청감평가 실험장비 및 실시 장면은 Fig. 8과 같다.

4. 분석 및 고찰

4.1 각 평가어휘에 따른 평균적 반응 분석

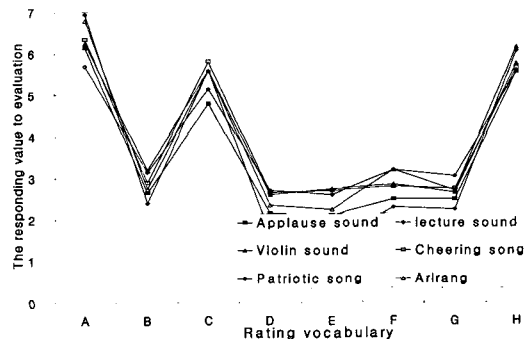
동형체조연습장의 개선 전·후의 평가를 각 항목별 응답결과를 정리한 결과는 Table 9와 Fig. 9와 같다.

Fig. 9를 보면 개선 전에는 “올림”과 “확산감”의 항목에 대한 평균 반응치는 5.55~6.95의 결과로 높게 나타났으나, “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목은 다소 낮게 평가되고 있다. 그러나 개선 후에는 잔향시간을 낮춘 결과 “올림”과 “확산감”항목의 평균 반응치가 3~4으로 낮게 나타나 “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목에 대한 성능이 개선되어 상호 반비례 관계에 있음을 알 수 있다. 또한 개선 후의 “포근함”, “균형”어휘를

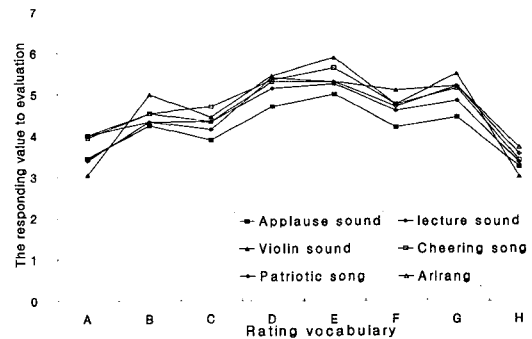
Table 9 Average reaction before and after improvement

No.	Before improvement	Applause sound	Lecture sound	Violin sound	Cheering song	Patriotic song	Ar-rang
A	Reverberance	6.15	6.95	6.25	6.35	5.70	6.80
B	Intimacy	2.65	2.40	3.20	2.90	3.15	2.75
C	Loudness	4.80	5.60	5.60	5.80	5.15	5.60
D	Intelligibility	2.15	1.65	2.60	2.65	2.70	2.35
E	Clarity	2.10	1.45	2.75	2.70	2.60	2.25
F	Warmth	2.50	2.30	2.85	2.80	3.20	3.20
G	Balance	2.50	2.25	2.65	2.75	3.05	2.70
H	Envelopment	5.55	6.05	5.75	5.65	5.55	6.15

No.	After improvement	Applause sound	Lecture sound	Violin sound	Cheering song	Patriotic song	Ar-rang
A	Reverberance	3.45	4.00	3.05	4.00	3.40	3.95
B	Intimacy	4.25	4.35	5.00	4.55	4.35	4.55
C	Loudness	3.90	4.35	4.45	4.70	4.15	4.35
D	Intelligibility	4.70	5.15	5.45	5.35	5.40	5.30
E	Clarity	5.00	5.25	5.90	5.65	5.30	5.30
F	Warmth	4.20	4.60	4.75	4.75	4.70	5.10
G	Balance	4.45	4.85	5.50	5.15	5.20	5.20
H	Envelopment	3.25	3.35	3.00	3.40	3.55	3.70



(a) Average reaction before improvement



(b) Average reaction after improvement

Fig. 9 The average reaction with each vocabulary before and after improvement

살펴보면 “음성”, “바이올린”, “애국가”, “아리랑” 음원이 다른 음원에 비해 비교적 높은 반응치를 보여 음악적 요소가 많이 개선되었음을 알 수 있다.

4.2 대상 체조연습장의 개선 정도 비교 분석
가칭화를 실시한 체조연습장의 전체적인 인상을 알아보기 위해 각 평가 어휘별로 6개 음원 전체에

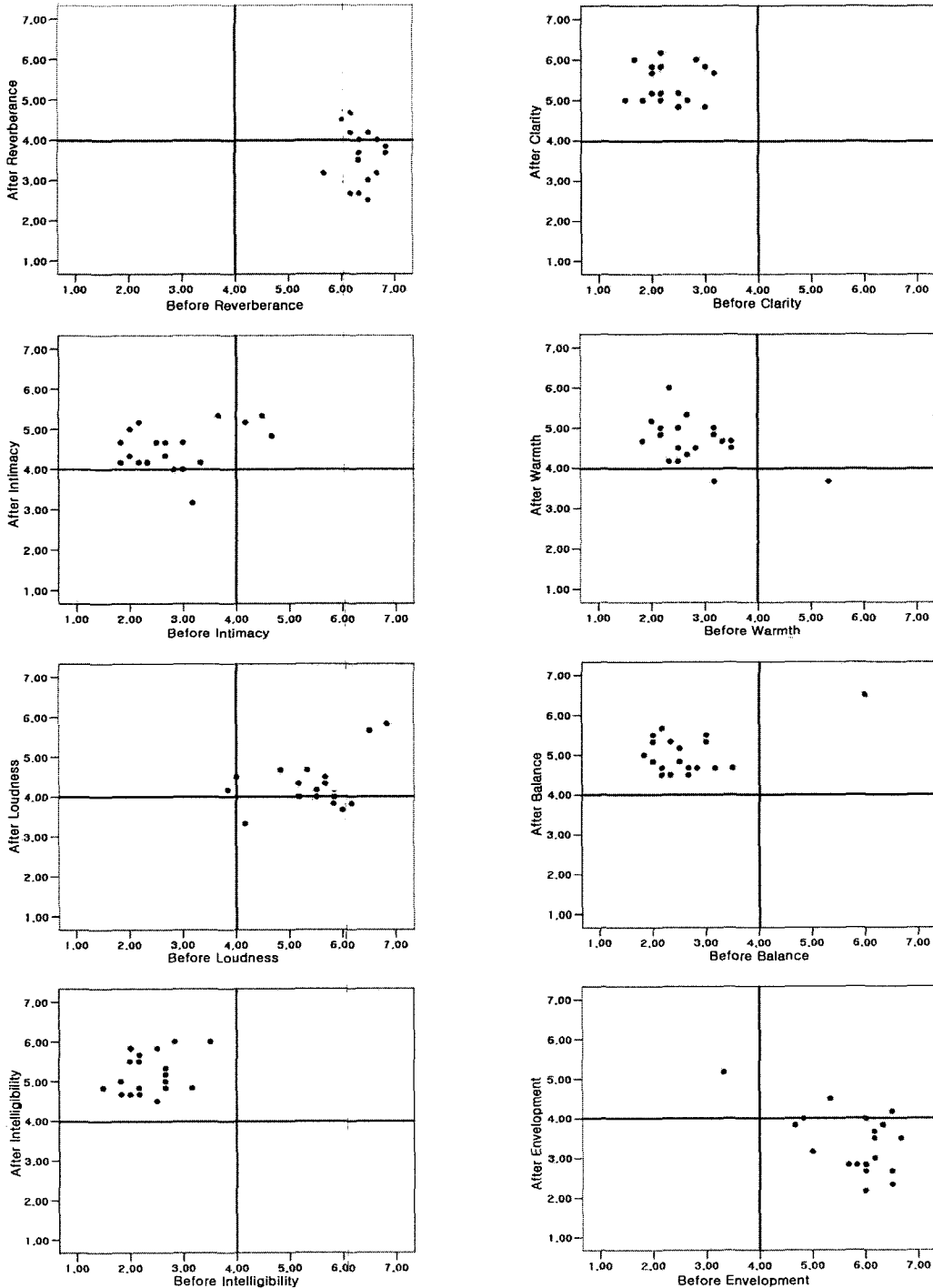
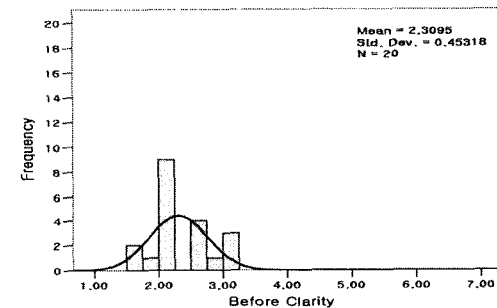
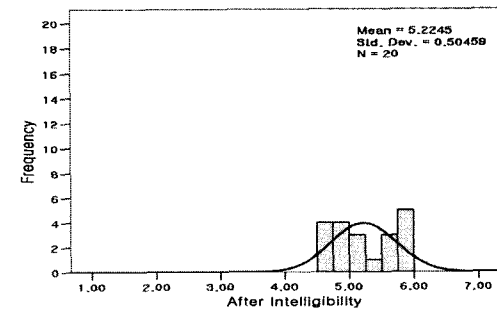
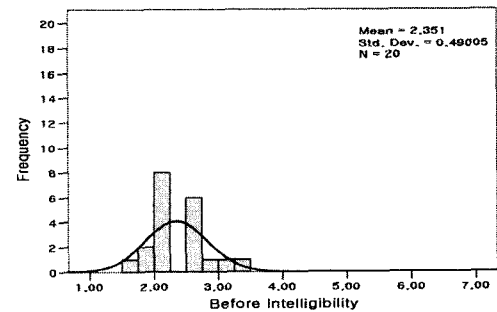
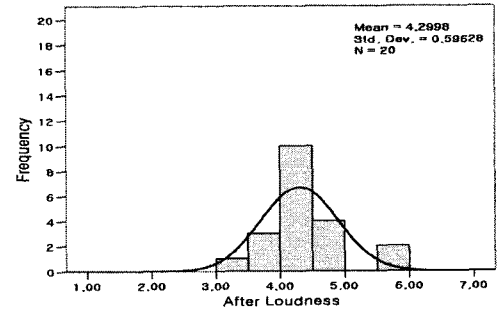
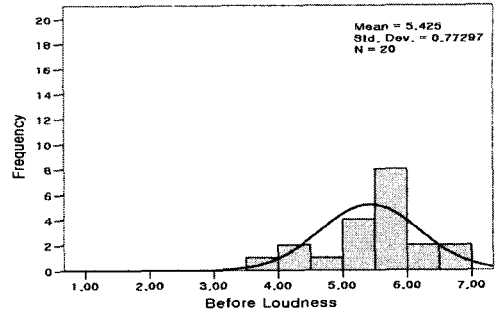
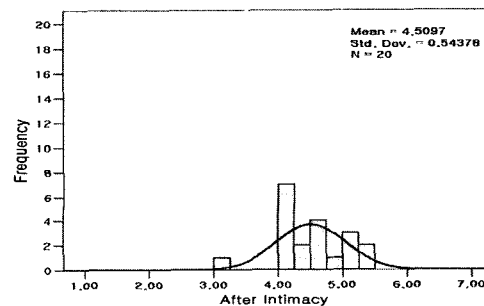
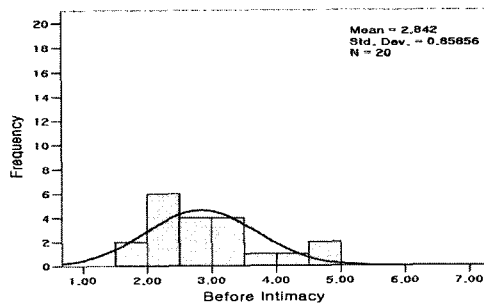
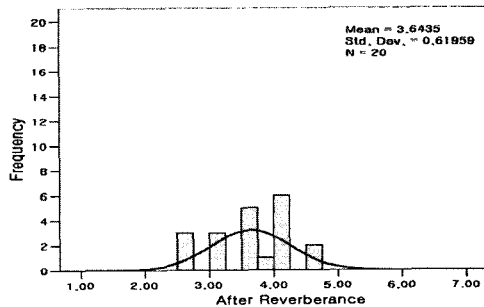
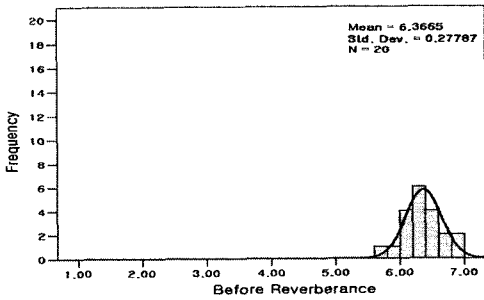


Fig. 10 Density degree of response distribution before and after improvement

대한 개선 전·후 응답분포 밀집도는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10을 살펴보면 십자선을 기준으로 음의 “울림”과 “확산감”은 대부분 우측위쪽(1사분면)과 우측아래쪽(4사분면)에 걸쳐서 분포하지만 이와는 반비례하는 “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”은 대부분 좌측위쪽(2사분면)에 밀집하여 분포하고 있어 개선 후 실내음향 성능이 상당히 평가되었음을 알 수 있다. 개선 전·후의 빈도분석결과를 정규분포



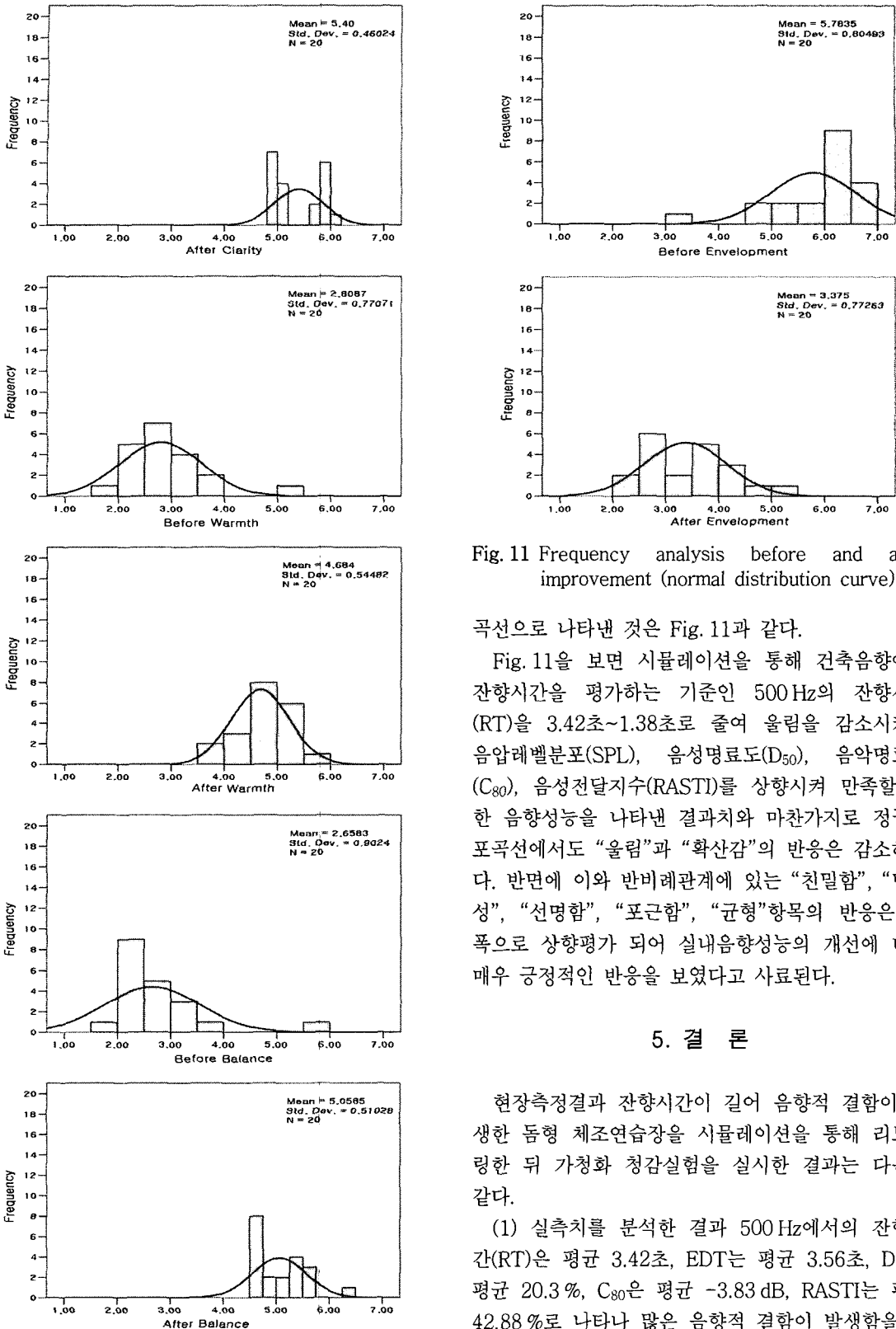


Fig. 11 Frequency analysis before and after improvement (normal distribution curve)

곡선으로 나타낸 것은 Fig. 11과 같다.

Fig. 11을 보면 시뮬레이션을 통해 건축음향에서 잔향시간을 평가하는 기준인 500 Hz의 잔향시간(RT)을 3.42초~1.38초로 줄여 울림을 감소시키고 음압레벨분포(SPL), 음성명료도(D₅₀), 음악명료도(C₈₀), 음성전달지수(RASTI)를 상향시켜 만족할 만한 음향성능을 나타낸 결과치와 마찬가지로 정규분포곡선에서도 “울림”과 “확산감”의 반응은 감소하였다. 반면에 이와 반비례관계에 있는 “친밀함”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목의 반응은 큰 폭으로 상향평가가 되어 실내음향성능의 개선에 대해 매우 긍정적인 반응을 보였다고 사료된다.

5. 결 론

현장측정결과 잔향시간이 길어 음향적 결함이 발생한 돔형 체조연습장을 시뮬레이션을 통해 리모델링한 뒤 가정화 청감실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

(1) 실측치를 분석한 결과 500 Hz에서의 잔향시간(RT)은 평균 3.42초, EDT는 평균 3.56초, D₅₀은 평균 20.3%, C₈₀은 평균 -3.83 dB, RASTI는 평균 42.88%로 나타나 많은 음향적 결함이 발생함을 알

수 있었다.

(2) 음향 시뮬레이션을 통하여 최적화된 음향설계를 한 결과 물리적 음향 평가지수가 개선 전보다 개선 후 모두 만족할 만한 음향성능을 보임을 알 수 있었다.

(3) 가청화 결과 개선 전에는 “울림”, “확산감”의 항목에 대한 평균 반응치는 5.55~6.95의 결과로 높게 평가되었으나 개선 후에는 “울림”, “확산감” 항목의 평균 반응치가 3~4로 낮게 나타나 “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형” 항목에 대한 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

(4) 각 어휘의 개선 전·후의 평균적 반응을 비교해 본 결과 “박수소리”나 “응원가”보다는 귀에 익숙한 “음성”, “바이올린”, “애국가”, “아리랑” 음원이 각 항목에서 개선 전·후 뚜렷한 반응차이를 보였음을 알 수 있었다.

(5) 대상 체조연습장의 음향성능 개선 정도를 비교해본 결과 최적 잔향시간에 맞춰 줄인 결과 큰 폭으로 상향평가 되어 음향성능이 매우 개선되었음을 알 수 있다. 따라서 체육활동 외에도 감독과 선수 간에 원활한 의사소통과 음악의 명료도가 중요시 되는 체조연습장에서 최적화된 음향성능을 가질 수 있도록 변화되었다고 판단된다.

위와 같은 연구결과들이 축적되면 설계 단계에서

부터 음향적 문제를 예측·제어하여 시공비 절감효과 및 음향성능을 향상시킬 수 있는 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) Kim, J. S., 2004, “Architectural Room Acoustic Design, Sejin Book Company”, p. 487.

(2) Naylor, G., Rindel, J. H., 1988, ODEON Room Acoustics Program, Version3.1, User Manual.

(3) Kundsén, V. O. and Harris, C. M., “Acoustical Designing in Architecture”, JOHN WILEY & SONS.INC, 1955.

(4) Egan, M. D., 1972, “Concepts in Architectural Acoustics”, McGraw-hill Book Company, p. 40.

(5) Beranek, L., 1994, Concert and Opera Halls, Acoustics, Van Nostrand Reinhold.

(6) Barron. M., 1986, “The Architecture of Sound”.

(7) Yun, J. H. Jung C. W. Kuk, J. H. and Kim, J. S., 2007, “Acoustic Performance Improvement for Dome-typed Gymnastics Training Floor Using Acoustic Simulation”, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, KSNVE07S-22-21.