가청화를 이용한 실내수영장의 음향 성능평가에 관한 연구

A Study on Valuation of Acoustic Performance for Indoor Swimming Pool utilizing Auralization

정 철 운†·국 정 훈·윤 재 현*·김 재 수**

Jung, Chul-woon·Kook, Jung-hoon·Yun, Jae-hyun·Kim, Jae-Soo

Key Words : 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation), 가청화(Auralization), 청감실험(Psycho-Acoustics Experiment)

ABSTRACT

Recently, in accordance with increase of the desire for Sports for All(Life Sports), the swimming pools in many areas are under construction. However, since they used many of the reflexible finish-materials on account of the characteristics of hydrophilic space, most of the Indoor Swimming Pools are generating the excessive reverberation. Such reverberation is bringing about the problem that obstructs the oral communication between the coach and the player, and the Clearness of Sound, besides the sport activity. On this viewpoint, on the object of the actually built indoor swimming pool, after the conduct of an optimized acoustics design by the remodeling through a computer simulation, and by carrying out the Psycho-Acoustics Experiment utilizing of Auralization Technique which is able to experience Virtual Sound Field at the stage of designing, then this thesis has attempted to appraise on the acoustic condition after the completion of construction. It is considered that such result of the study could be utilized as the useful data that enables to improve the curtailment effect of construction cost as well as the acoustic capability, by means of the presupposition·control on the acoustic problem from the stage of design, for the occasion when the similar indoor swimming pool is planning to build, henceforth.

1. 서 론

실내 수영장은 그 특성상 감독과 선수간의 의사전달 및 음의 명료성이 강조되기도 하고 음의 충만성이나 풍부성이 요구되기도 한다. 그러나 대다수의 수영장은 반사성 마감재료의 사용으로 인해 과도한 울림현상이 발생하여 최상의 음환경을 조성하기에는 많은 어려움이 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 실제로 건립되어진 실내수영장을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 리모델링으로 최적화된 음향설계[1)]를 한 후 설계단계에서 가상 음장을 체험 할 수 있는 가청화 기법을 이용한 청감실험을 실시함으로써 완공된 후의 음향상태를 평가하고자 하였다. 이러한 연구결과는 향후 이와 유사한 실내수영장의 건립시 설계 단계에서부터 음향적 문제를 예측·제어하여 시공비 절감효과 및 음향성능을 향상시킬 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 가청화 음향 시뮬레이션

가청화(可聽化)는 홀의 설계단계에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 음향설계를 한 뒤 객석의 수음점에서 구한 임펄스 응답(Impulse Response)과 무향실에서 녹음한 원음(Dry Source)을 합성연산(Convolution)하여 컴퓨터상에서 개관 후 공연이 되었을 때 음향상태를 직접 들어 볼 수 있는 시스템이다. 기존의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 건축음향설계는 건축가에게 설계단계에서는 많은 도움을 주었지만 실제 개관했을 경우 어떤 소리로 들릴 것인가에 대한 신뢰성은 거의 없었다. 그러나 가청화를 통해 설계단계에서 홀이 완성된 후 음장을 직접 체험할 수 있으며, 발주자와 설계자가 홀 형태의 결정, 마감재료의 선택, 음원의 지향성 등 각종 조건들의 변화에 따른 상황을 실제의 음으로 직접 들어 봄으로써 홀에서 요구하는 음향상태를 결정하는데 이용된다.

† 정 철 운, 원광대학교 건축음향연구실
E-mail : roony78@nate.com
Tel : (063) 857-6712,Fax : (063) 843-0782

* 원광대학교 건축학부 석사과정

** 원광대학교 건축학부 교수, 공학박사

1) 국정훈, 정철운, 김재수 ; 음향 시뮬레이션을 이용한 실내수영장의 음향성능 개선

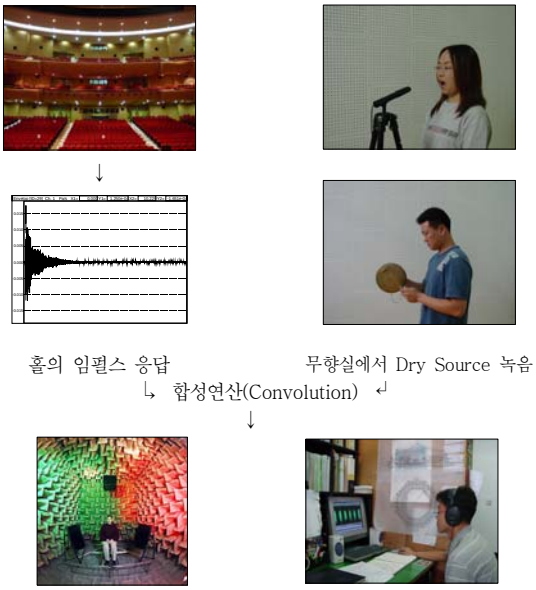


그림 1. 가청화 프로세스

3. 개요 및 측정방법

3.1 연구대상 실내수영장의 개요

연구대상 실내수영장의 음향특성은 규모, 평면형태, 용적 등에 의해 큰 영향을 받는다. 본 연구대상 실내수영장의 모습은 그림 2.와 같이 평면도상 대각선 방향으로 대칭적인 직육면체의 모습을 하고 있으며 제원은 표 1.과 같다.

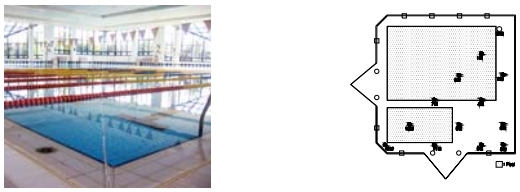


그림 2. 대상 실내수영장의 내부 형태 및 평면도

표 1. 대상 실내수영장의 제원

구 분	제 원	구 분	제 원	구 분	제 원
길이	약 31.7m	폭	약 31.5m	천정고	약 5.5m
면적	약 1,000㎡	체적	약 5,500㎥	온·습도	30℃·70%

선행연구 결과[2] 반사성이 강한 마감재료의 사용으로 인해 실측 잔향시간이 표 2.와 같이 평균 5.81초로 매우 길게 나타났다.

대상 실내수영장의 체적은 약 5,500㎥로서 최적잔향시간은 약 1.3초가 적정하리라 판단되어 과도한 울림의 음향적 결함상태를 개선하기위해 시뮬레이션 상에서 천장 면에 두께 50T의 텍텀을 흡음판으로 설치하였다.

2) 국정훈, 정철운, 김재수 ; 실내수영장의 음향특성에 관한 실험적 연구 2006.11.2 대한환경공학회 추계학술발표대회

표 2. 개선 전·후 실내음향 특성 비교[1)]

	RT(sec)	SPL(dB)	D_{50}(%)	C_{80}(dB)	RASTI(%)
개선전	5.81	67.86	21.18	-4.33	37.33
개선후	1.36	58.14	52.33	3.63	57.42

3.2 음향성능 평가를 위한어휘 조사

실내음향 특성을 정확하게 평가하기 위해 Beranek, Barron등에 의해 연구되어진 내용을 바탕으로 대상 공간의 주관적인 효과를 대변할 수 있는 어휘들을 물리적인 파라메타들과 연관지어 찾고자 하였다. 따라서 대상 실내수영장의 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 파라메타와의 관계를 분석한 것은 표 3.과 같다.

표 3. 대상 실내수영장의 음향성능 구성요소

사용된 어휘	주관적 요소	물리적 요소
건조하다/충만하다	음의 울림	잔향시간(RT)
먼곳에서 연주하는 느낌이다/ 가까운곳에서 연주하는 느낌이다	음의 친밀감	초기지연시간 (ITDG)
작게 들린다/크게 들린다	음의 크기	음압레벨(SPL)
탁하다/명료하다	음의 명료성	명료도(D_{50},C_{80})
둔하다/선명하다	음의 선명함	
날카롭다/부드럽다	음의 포근함	저음비(BR)
음이 한쪽으로 치우친다/ 음이 균형있다	음의 균형	공간감 (IACC)
한쪽으로 집중된다/넓게 확산된다	음의 확산감	

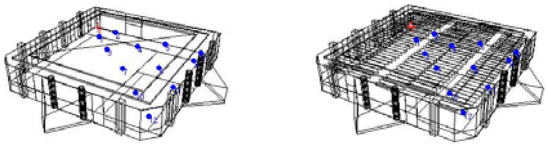
이렇게 추출된 평가어휘를 바탕으로 미국의 심리학자 Osgood에 의해 제안된 의미분별법(SD; Method of Semantic Differential)을 이용한 청취 실험에 사용되어질 설문지는 표 4.와 같이 구성하였다.

표 4. 주관적 반응을 평가하기 위한 평가시트

항 목 별	평 가 전혀 그렇지않다 ◀——▶ 매우 그렇다
음의 울림(잔향감) (Reverberance)	1 2 3 4 5 6 7
음의 친밀감 (Intimacy)	1 2 3 4 5 6 7
음의 크기 (Loudness)	1 2 3 4 5 6 7
음의 명료성 (Intelligibility)	1 2 3 4 5 6 7
음의 선명함 (Clarity)	1 2 3 4 5 6 7
음의 포근함 (Warmth)	1 2 3 4 5 6 7
음의 균형 (Balance)	1 2 3 4 5 6 7
음의 확산감 (Envelopment)	1 2 3 4 5 6 7

3.3 청감평가를 위한 음원의 구성

가청화 음원은 반드시 잔향음이 없는 무향실에서 녹음한 Dry Source를 사용해야 한다. 본 연구에 사용된 가청화 음원은 체육활동 외 음악의 사용이 많고 감독과 선수간에 의사소통이 중요한 점을 고려하여 CD 및 Odeon Sample에서 추출하여 구성하였으며, 그림 3.과 같이 Dry Source를 음향시뮬레이션 프로그램(Odeon 4.2.1) 에서 가청화 한 후 wav 파일로 저장된 결과를 Cool Edit Pro 2.1로 분석한 음원형태는 그림 4.와 같다.



개선 전 개선 후

그림 3. 음향시뮬레이션 프로그램을 이용한 가청화 음원추출

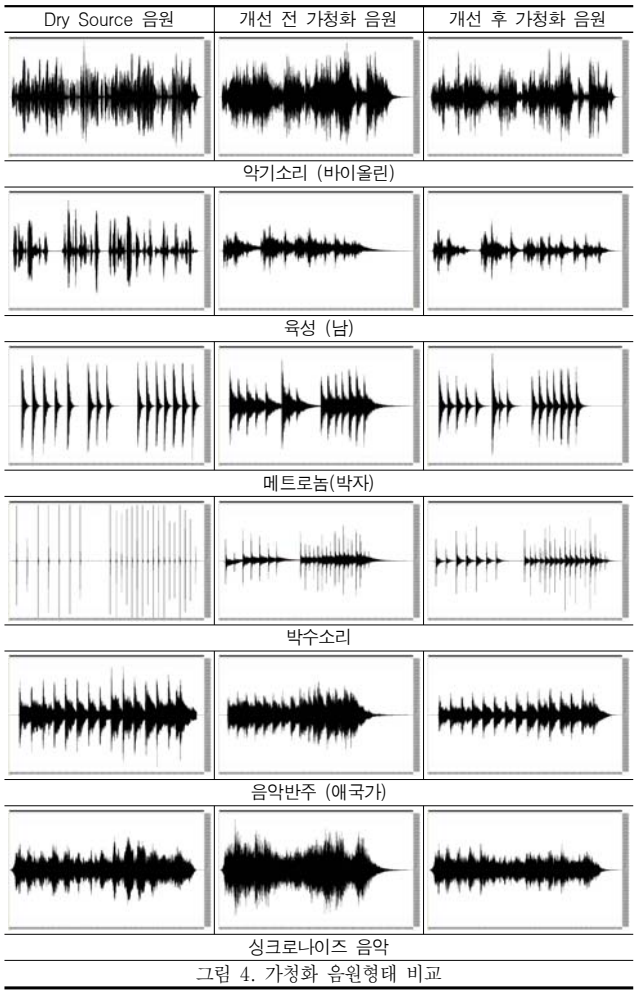


그림 4. 가청화 음원형태 비교

그림 4.에서 보면 Dry Source는 잔향음이 없어 깨끗하지만 홀의 공간적 정보를 반영한 가청화 음원은 소리에 잔향감과 공간감이 포함되어 있음을 알 수 있다. 개선 전·후 가청화 음원을 들음으로써 실내수영장에 적합한 최상의 음장을 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 청감 평가방법 및 실험

청감실험은 헤드셋을 이용해 동시에 6명씩 진행하였으며 청감시 일정한 음량을 유지하기 위해 헤드엠프를 사용하였다. 피험자로 선정한 18명중 남성은 15명 여성은 3명이며 모두 정상적인 청력을 가진 20대의 신체 건강한 대학생 및 대학원생을 대상으로 하였으며 청감평가를 실시하기 전에 음향에 대한 이해를 돕기 위해 평가시트를 사전에 나누어 주고 설명과 함께 음원을 들려준 뒤 실험에 참가하도록 하였다.

음원의 제시과정은 그림 5.와 같으며 순서대로 6개의 음원을 개선전과 개선후로 나누어 들려주어 평가를 하게 하였다. 그림 6.은 청감평가 실시 장면이다.

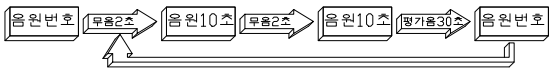


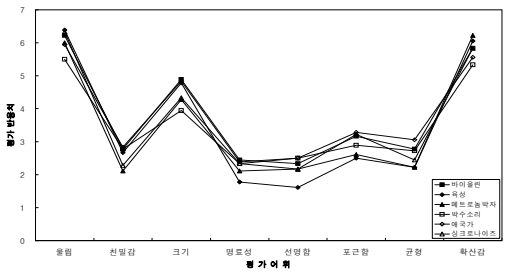
그림 5. 음원의 제시과정

그림 6. 청감실험 장비 및 실험장면

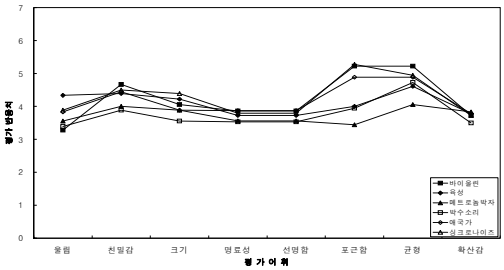
4. 분석 및 고찰

4.1 각 평가어휘에 따른 평균적 반응 분석

실내수영장의 개선 전·후의 평가를 각 항목별 응답결과로 정리한 결과는 다음 그림 7.과 같다.



개선 전 평균적 반응



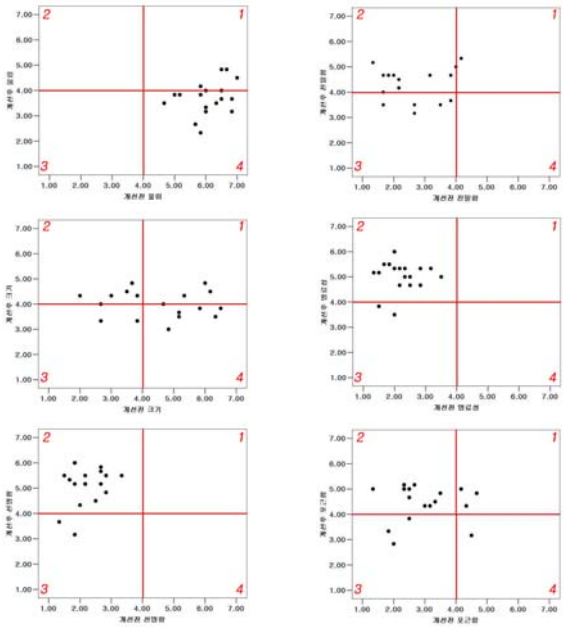
개선 후 평균적 반응
그림 7. 개선 전·후 각 어휘에 따른 평균적 반응

그림 7.을 보면 개선 전에는 “울림”과 “확산감”의 항목에 대한 평균 반응치는 5.33~6.39의 결과로 높게 나타났으나, “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목은 다소 낮게 평가되고 있다.

그러나 개선 후에는 잔향시간을 낮춘 결과 “울림”과 “확산감”항목의 평균 반응치가 3.28~4.33으로 낮게 나타나 “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목에 대한 성능이 개선되어 상호 반비례 관계에 있음을 알 수 있다. 또한 개선 후의 “포근함”, “균형”어휘를 살펴보면 “바이올린”, “애국가”, “싱크로나이즈”음원이 다른 음원에 비해 비교적 높은 반응치를 보여 음악적 요소가 많이 개선되었음을 알 수 있다.

4.2 대상 수영장의 개선 정도 비교 분석

가청화를 실시한 실내 수영장의 전체적인 인상을 알아보기 위해 각 평가 어휘별로 6개 음원 전체에 대한 개선 전·후 응답분포 밀집도는 그림 8.과 같다.



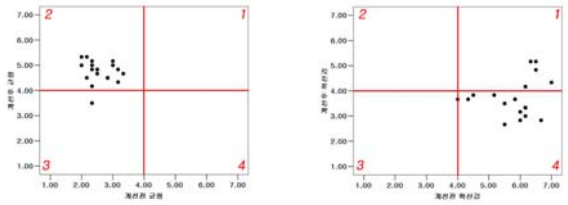
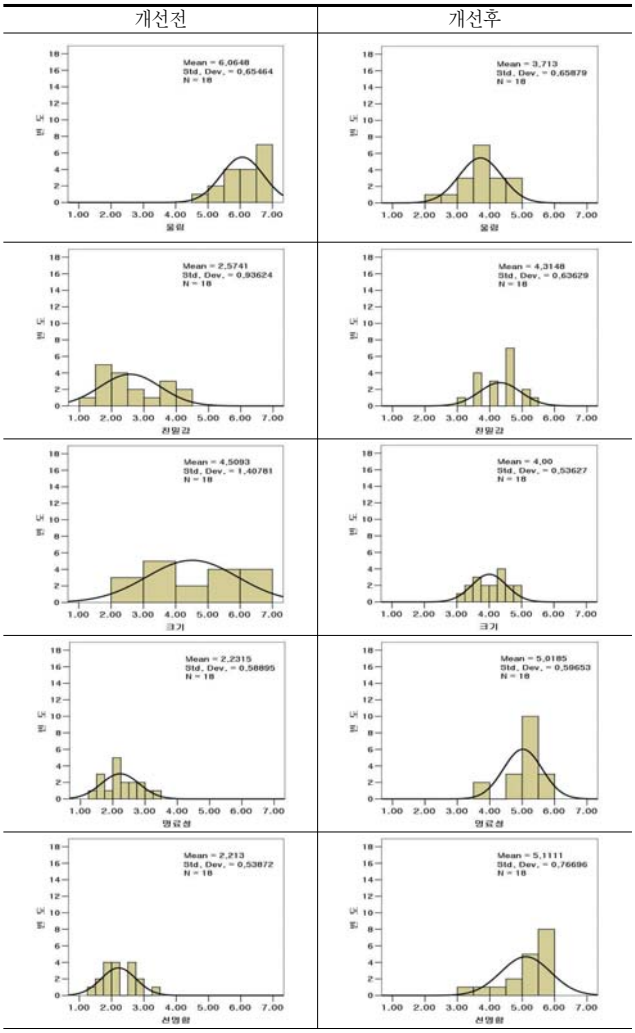


그림 8. 개선 전·후 응답분포의 밀집도

응답분포 밀집도를 살펴보면 음의 “울림”과 “확산감”은 1사분면과 4사분면에 걸쳐서 분포하지만 이와는 반비례하는 “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”은 2사분면에 밀집하여 분포하고 있어 개선 후 실내음향 성능이 상향 평가되었음을 알 수 있다. 또한 “크기”항목은 개선 전 응답분포가 2~7단계로 넓게 분포하였지만 개선 후에는 3~5단계로 응답단계의 폭이 줄었음을 알 수 있다.

그림 9.은 개선 전·후의 빈도분석결과를 정규분포곡선으로 나타낸 것이다.



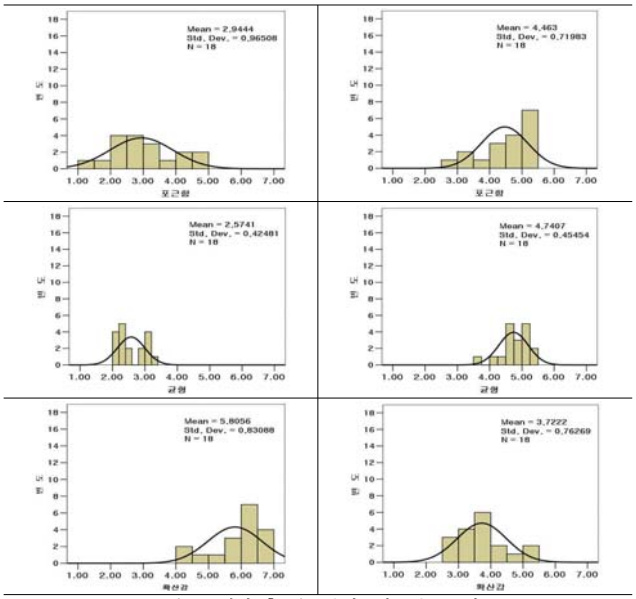


그림 9. 개선 후 빈도분석 (정규분포곡선)

개선 전·후의 정규분포곡선을 비교해보면 과도한 잔향을 줄인 결과 “울림”과 “확산감”의 반응은 감소한 반면에 이와 반비례관계에 있는 “친밀함”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목의 반응은 큰 폭으로 상향평가 되어 “보통”의 4단계를 상회하고 있는 것으로 미루어 실내음향성능의 개선에 대한 긍정적인 반응을 보였다고 사료된다.

또한 “크기”항목의 경우 개선 전에는 표준편차가 커 응답분포가 넓게 나타났고, 개선 후에는 표준편차는 작아져 응답분포가 좁게 나타났지만 응답평균의 변함은 크지 않음을 보아 “울림”과 “확산감”에 따른 음의 “크기”변화는 큰 상관성이 없다고 판단된다.

5. 결 론

잔향시간이 길어 음향적 결함이 있는 실내 수영장을 시뮬레이션을 통해 리모델링한 뒤 가청화 청감실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 개선 전에는 “울림”, “확산감”의 항목에 대한 평균 반응치는 5.33~6.39의 결과로 높게 평가되었으나 개선 후에는 “울림”, “확산감”항목의 평균 반응치가 3.28~4.33으로 낮게 나타나 “친밀감”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목에 대한 성능이 개선됨을 알 수 있다. 이는 감독과 선수간의 의사소통 및 음악의 정확한 박자를 인지할 수 있어 최적화된 음향성능을 갖는 수영장으로 변화되었음을 알 수 있다.

2. 대상 수영장의 음향성능 개선 정도를 비교해본 결과 과도한 잔향을 줄여 “울림”, “확산감”의 반응은 감소하였고 이와 반비례관계에 있는 “친밀함”, “명료성”, “선명함”, “포근함”, “균형”항목의 반응은 큰 폭으로 상향평가 되어 음향성능이 매우 개선되었음을 알 수 있다.

위와 같은 연구결과는 향후 이와 유사한 실내수영장의 건립시 설계 단계에서부터 음향적 문제를 예측·제어하여 시공비 절감효과 및 음향성능을 향상시킬 수 있는 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) 국정훈, 정철운, 김재수 ; 실내수영장의 음향특성에 관한 실험적 연구 2006.11.2 대한환경공학회 추계학술발표대회
(4) 국정훈, 정철운, 김재수 ; 음향 시뮬레이션을 이용한 실내수영장의 음향성능 개선 2007.
(5) 정철운, 김재수 ; 돔형 체조연습장의 음향특성에 관한 연구, 대한환경공학회 학술발표대회, 2006.11.
(6) 윤희경, 김재수 ; 대형 실내체육관 음향성능의 주관적 반응 평가에 관한 연구, 한국주거학회 추계학술발표대회 14권, 2003.11.
(7) 한경연 김재수 ; 실내체육관 리노베이션을 위한 음향성능 평가에 관한연구, 대한건축학회 학술발표대회 25권, 2005.10.24