

실내수영장 음향성능 개선을 위한 리모델링에 관한 연구

A Study on the Remodeling for Improvement of Acoustic Performance at Indoor Swimming Pool

김남돈*

Kim, Nam-Don

김대군**

Kim, Dae-Goon

김재수***

Kim, Jae-Soo

Abstract

Recently, in accordance with the interesting on well-being as well as the revitalization of living athletics, it is current tendency that people who use the swimming pools are on increasing.

However, because the most of indoor swimming pools have ever used the reflection finishing materials likely as the tile due to the property of its hydrophilic space, the inside of indoor swimming pool is vibrating too much, and some problem which the voice and music do not delivering clearly is occurring when swimming lessons or underwater aerobics(synchronized swimming) and swimming game.

Based on such viewpoint, locating the object on actually built indoor swimming pool, this Study has ever grasped its physical acoustic property, and finally designed the indoor swimming pool that contains an optimum acoustic condition, by remodelling it through an acoustic simulation. It is considered that such study result could be utilized as the useful materials when constructing the similar indoor swimming pool, hereafter.

키워드: 실내수영장, 실내음향, 리모델링

Key words: An Indoor Swimming Pool, Room acoustics, Remodeling

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건강에 대한 관심과 국민들의 의식수준 향상으로 인해 수영장을 이용하는 사람들이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 수영장은 체력 향상과 더불어 수영 교육, 경기 관람 등에 이용되는 공간으로 선수와 감독 간의 의사소통과 음악의 명료도에 대한 음향성능이 동시에 요구되고 있기 때문에 설계단계에서부터 이에 대한 충분한 검토와 계획이 필수적이라고 할 수 있다. 특히 수영장 같은 특수 공간을 설계하기 위해서는 단순히 디자인적인 요소나 형태, 기능만 가지고는 그 목적을 달성하기 어렵다. 그러나 대부분의 수영장은 친수적인 공간의 특성으로 인해 타일과 같은 반사성 마감 재료를 많이 사용함에 따라 수영장 내부가 너무 울려 수엄이나 수중 에어로빅 및 수영 경기시 음성 및 음악이 명료하게 전달되지 않는 문제점이 발생하고 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 음이 명료하게 전달되지 않는 대부분의 실내수영장을 음향 시뮬레이션을 통한 리모델링으로 음향성능을 개선하고자 하는 것에 그 목적이 있다.

1.2 연구 방법 및 범위

연구 방법은 실제 건립되어진 실내수영장을 대상으로 현장실험에 의한 측정치와 음향 시뮬레이션을 통한 예측치를 비교하여 신뢰성을 검토한 후 마감재료의 변경과 현수흡음체의 설치를 통한 리모델링으로 최적화된 음향상태를 갖는 실내수영장을 설계하여 음향성능을 평가를 하고자 한다. 이러한 연구결과는 향후 이와 유사한 실내수영장의 건립시 매우 유용한 자료로 쓰일 것으로 사료된다.

2. 건축 음향 성능 측정

2.1 연구대상 실내체육관의 개요

본 연구대상 실내수영장은 25m 8레인의 일반적인 규모로 기본적인 모습은 직육면체의 형태로, 채광창이 외부 쪽으로 돌출되어 있어서, 대각선 방향으로 대칭적인 모습을 하고 있다. 이러한 수영장의 음향특성은 규모, 평면형태, 용적 등에 의해 큰 영향을 받는다. 실내수영장의 제원, 마감재료 및 실내모습은 표 1,2 및 그림 1과 같다.

* 원광대학교 일반대학원 박사과정, 정회원

** 원광대학교 일반대학원 석사과정, 정회원

*** 원광대학교 건축학부 교수, 정회원

표 1. 대상 실내수영장의 제원 및 마감재료

구 分	제 원	구 分	제 원
면적	약 1,000m ²	천정고	약 5.5m
길이	약 31.7m	폭	약 31.5m
체적	약 5,500m ³	온습도	29°C, 69%
마감재료			
천정	텍스판넬	벽	유기타일
바닥	미끄럼방지타일		유리

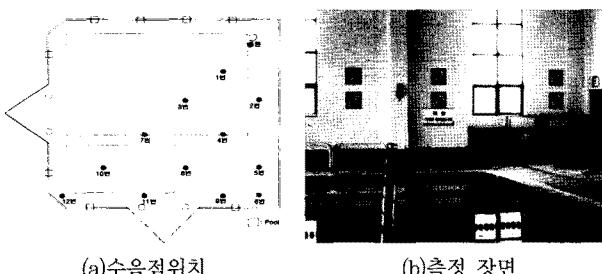
표 2. 개선 전 대상 실내수영장의 마감재료별 음향특성

구분	재료	주파수					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
천정	텍스판넬	0.02	0.02	0.05	0.13	0.12	0.15
바닥	미끄럼방지타일	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
물	water in the pool	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
벽	유기타일	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
창문	유리창	0.15	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02

(a) 채광창 (b) 수영장 내부
그림 1. 실내수영장의 모습

2.2 음향성능 측정방법

대상 실내수영장의 모습은 대각선 방향으로 좌우대칭인 형태로 실의 중심을 기준으로 그리드(Grid)를 설정해 일정한 간격으로 12개의 수음점을 선정하였다. 음원의 위치는 수영장의 대각선 끝 쪽 위치로 고정한 상태에서 측정을 실시하였으며, 수영장의 평면 형태와 수음점의 위치 및 측정 장면은 그림 2와 같다.

(a) 수음점 위치 (b) 측정 장면
그림 2. 수음점 위치 및 측정 장면

측정은 ISO 3382에 준하여 실시하였으며, 음원은 ISO에서 제안하는 무지향성 스피커(DO12)를 사용하였고, 스피커 높이는

1.5m, 마이크로폰 높이는 1.2m로 하였으며, 수중에서는 사람이 입수하여 마이크로폰의 삼각대를 들고 측정을 하였다. 측정용 음원은 MLS(Maximum-Length Sequence) 음원을 사용하여 배경소음에 대한 영향을 어느 정도 배제할 수 있었다. 측정에 사용된 측정기기는 01dB사의 Symponie를 사용하였고, 측정기기의 구성은 그림 3과 같다.

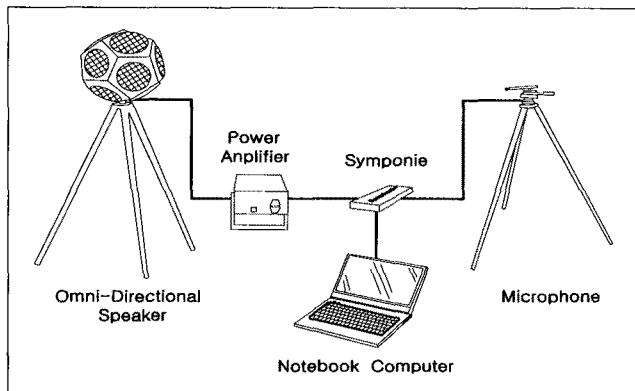


그림 3. 측정기기의 구성모습

2.3 임펄스 응답

임펄스 응답은 시간에 따라 소리가 변화하는 합(sum)이며, 공간이 갖는 음향적 특성을 나타낼 수 있는 모든 정보를 갖고 있어서 이 측정 결과로부터 RT, D50, C80, RASTI 등과 같은 실내 음향 평가지수와 에코(Echo) 발생여부 및 건축음향특성을 판단할 수 있다. 대상 실내수영장의 수음점에서 측정한 임펄스 응답은 그림 4와 같다.

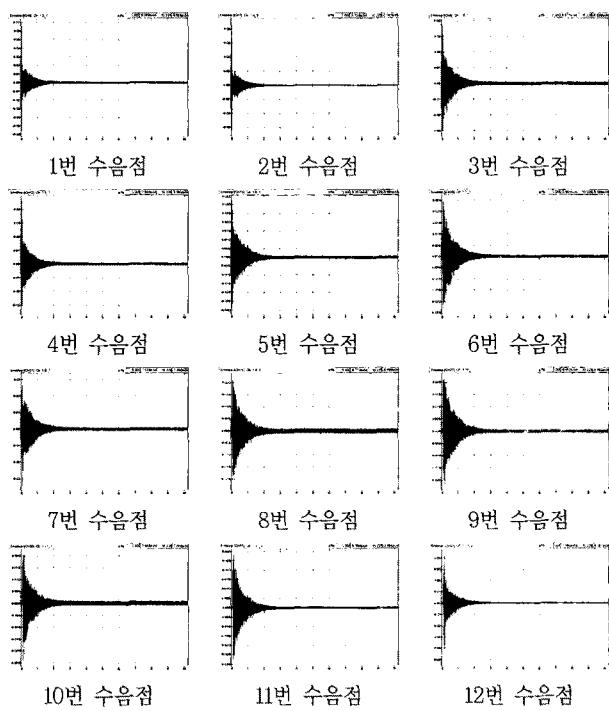


그림 4. 대상 실내수영장의 Impulse Response

3. 실내수영장의 개선 전 음향성능 실측평가

3.1 음압레벨(SPL, Sound Pressure Level)

음의 세기를 나타내는 음압레벨은 실의 형태와 내부공간의 구성을 따라 매우 중요한 의미를 갖는다. 대상 실내 수영장의 각 주파수별 음압레벨을 분석한 결과는 그림 5와 같다.

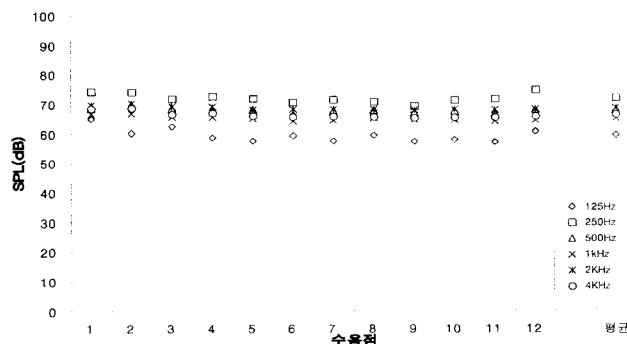


그림 5. 실내수영장의 각 주파수별 음압레벨

그림 5를 보면 500Hz에서 음압레벨은 평균 67.86dB, 표준편차 0.85dB로 나타났다. 이렇게 음압분포가 균일한 것은 실체적이 크고, 반사성 마감 재료를 사용하는 수영장의 특성으로 인해, 잔향시간이 길어져 확산음장을 형성하기 때문으로 사료된다.

3.2 잔향시간 (RT, Reverberation Time)

잔향시간은 울림의 양에 대한 가장 중요한 평가지수이며 정상 상태의 음이 60dB 감쇠하는 데까지 소요되는 시간으로 정의된다. 그림 6은 대상 실내수영장의 각 주파수별 잔향시간을 분석한 결과이다.

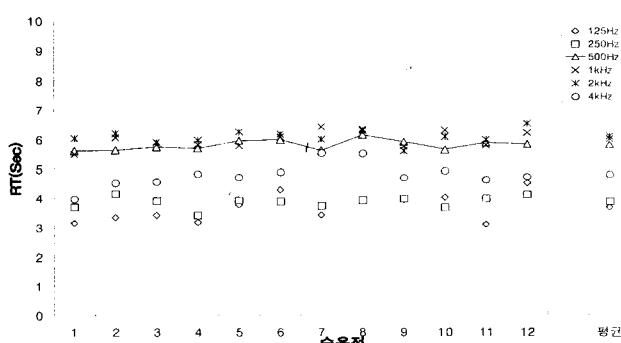


그림 6. 실내수영장의 각 주파수별 잔향시간

그림 6에서 500Hz에서 잔향시간은 평균 5.81초, 표준편차 0.17초로 나타났다. 이는 수영장의 마감 재료가 반사성이 강한 마감재이기 때문에, 모든 위치에서 잔향시간이 매우 길게 나타났으며, 긴 잔향시간으로 인하여 소리가 확산음장을 형성하여 전체적인 위치에서 편차가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

3.3 음성명료도 (D50, Definition)

회화의 명료도에 관한 지수 중 강연을 대상으로 하는 D50(Definition)은 음의 발생이 중지한 후 50ms이내의 직접음 및 초기반사음과 총 에너지 비를 말한다. 대상 실내수영장의 각 주파수별 D50을 분석한 결과는 그림 7과 같다.

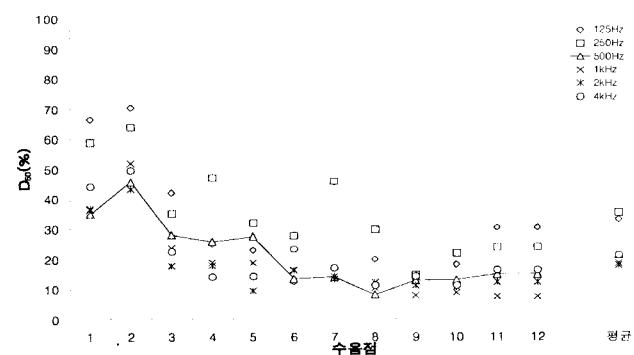


그림 7. 실내수영장의 위치별 D50

그림 7을 보면 500Hz에서 음성명료도(D50)는 평균 21.18%, 각 좌석별 편차는 11.28%로 나타나, 수영수업이나 교육시 제대로 된 의사소통을 하기에는 거의 불가능한 것으로 나타났다. 특히, 음원과의 거리가 가까운 1,2번 수음점의 경우 D50이 매우 높으나, 멀어질수록 감소함을 알 수 있었다. 따라서 음향성능 개선시 위치별로 흡음재 및 반사재를 적절하게 배치하여 D50을 개선해야 할 것으로 사료된다.

3.4 음악명료도(C80, Clarity)

C80은 음악에 대한 명료도 지수(Clarity Index)로서 대상 실내수영장의 각 주파수별 C80을 분석한 결과는 그림 8과 같다.

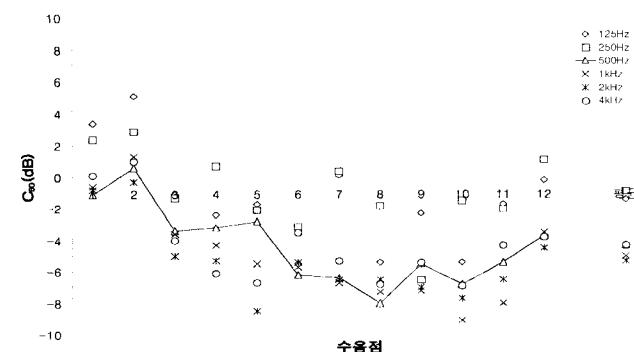


그림 8. 실내수영장의 위치별 C80

그림 8을 보면 500Hz에서 음악명료도(C80)는 수음점별 -8~0.6dB의 차이를 보이며 평균 -4.33dB, 표준편차 2.51dB로 나타나 실내수영장의 긴 잔향시간으로 인하여 음악의 명료도가 매우 떨어짐을 알 수 있다. 대상 실내수영장은 일반 공연장의 C80 평가를 위한 최대치인 +6/-2dB에 미치지 못하여 음악을 필요로 하는 수중 에어로빅 경기시 많은 문제점이 나타날 것으로 사료된다.

3.5 음성전달지수(RASTI, Rapid Speech Transmissivon Index)

실내에서 음성 전달의 이해도(Speech Intelligibility)를 나타내는 주관적 척도로서, 그림 9는 각 음성전달지수 실측치를 위치별로 비교 분석한 결과이다.

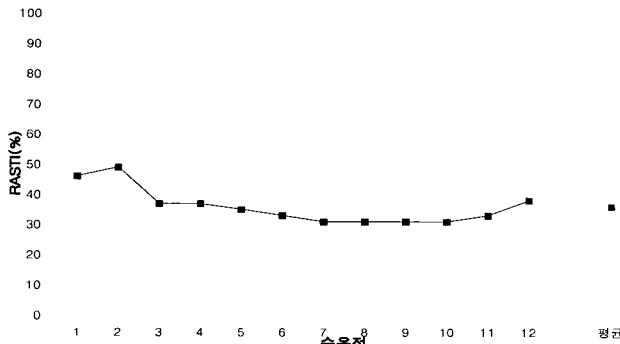


그림 9. 위치에 따른 음성전달지수

표 3. 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 편안하게 들을 수 있다.)

그림 9를 보면 평균값이 36%이었으며, 이것을 표 3의 RASTI 평가기준표에서 보면 Poor(잘 알아듣지 못한다)로 일반적인 대화나 교육시 의사소통이 거의 불가능한 수준임을 알 수 있다. 음성 전달지수는 대체적으로 음원에서 가까운 곳이 높으며, 음원에서 멀어질수록 값이 낮아짐을 알 수 있다.

4. 음향 Simulation을 이용한 음향성능 예측평가

4.1 음향 Simulation 개요

실내수영장의 실측치와의 비교를 통해 신뢰성을 확보하고, 이를 토대로 음향개선을 하기 위해 음선추적법(Ray-tracing method)과 허상법(Image model method)에의한 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였으며 사용 프로그램은 Odeon 4.21이다. 실측과의 정확한 비교를 위해 시뮬레이션 상의 수음점 등 여러 조건들을 현장조건과 동일하게 설정하였고 수음점의 위치 및 음선추적도는 그림 10과 같다.

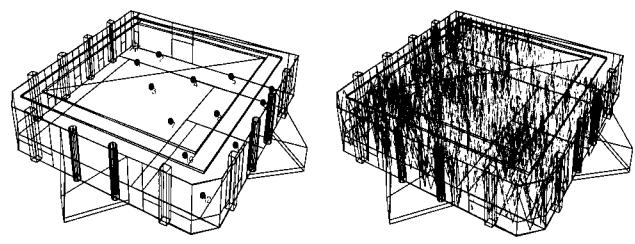
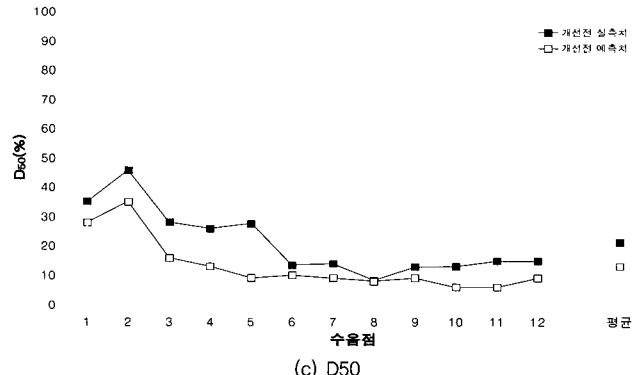
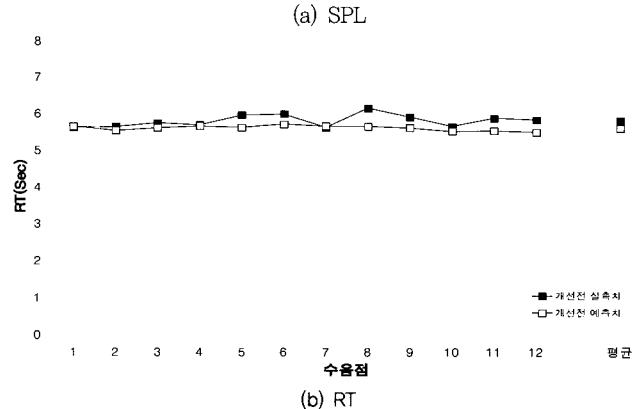
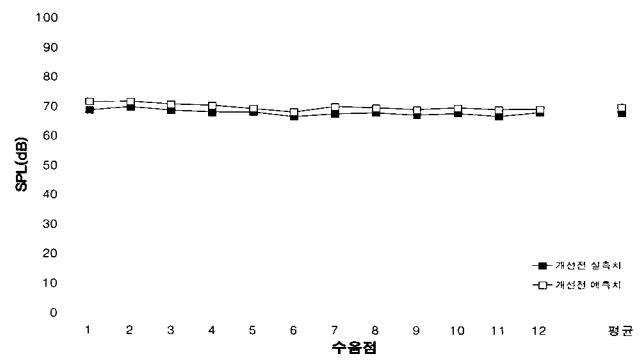


그림 10. 실내수영장의 모습

4.2 음향 시뮬레이션을 이용한 실측치와 예측치의 신뢰성 검토

현장측정을 통한 데이터의 실측치와 음향시뮬레이션에 의한 예측치의 음향특성을 500Hz에서 비교하여 신뢰성을 검토해 보았으며 그림 11은 대상 실내수영장 실측치와 예측치의 음향특성을 비교하여 나타낸 것이다.



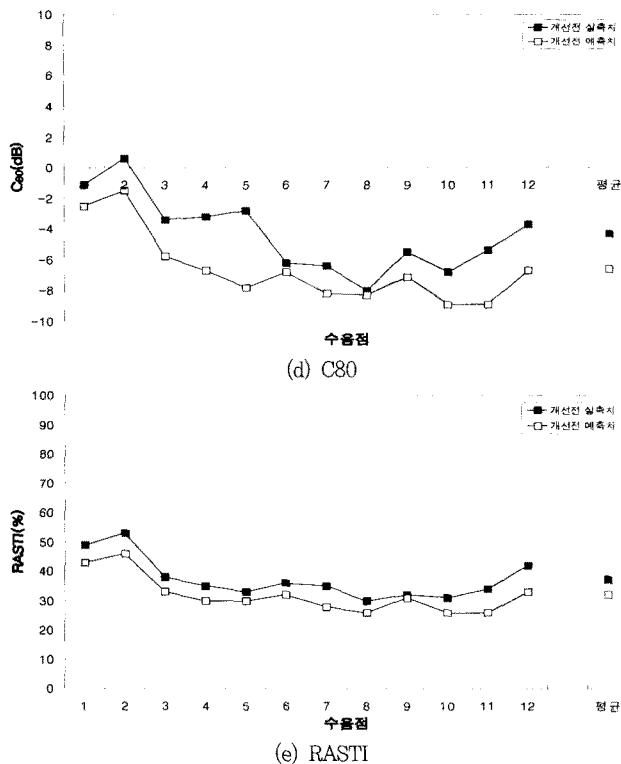


그림 11. 대상 실내수영장 실측치과 예측치의 음향특성 비교

그림 11을 바탕으로 크론바하 알파 (Chronbach's α) 계수를 이용한 신뢰성 검토결과는 표 4와 같다.

표 4. Chronbach's α 계수에 의한 평가

평가 파라메터	N of Items	Chronbach's α
SPL		0.930
RT		0.851
D50	12	0.937
C80		0.920
RASTI		0.972

표 4의 크론바하 알파 계수를 이용하여 신뢰성을 검토해본 결과 모든 평가 파라메터에서 최소 0.851로 나타났으며, 일반적으로 크론바하 알파값이 0.7이상인 경우에 신뢰도가 높은 것으로 평가되었다. 따라서 대부분의 평가 파라메터 실측치와 예측치의 차이가 크지 않아 시뮬레이션을 통한 결과는 매우 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 음향성능 개선 후 음향성능 평가

4.3.1 최적 잔향시간 산출

대상 실내수영장의 체적은 약 $5,500\text{m}^3$ 로서 그림 12의 잔향시간표에서 보면 최적 잔향시간은 약 1.3초가 적정하다고 판단된다.

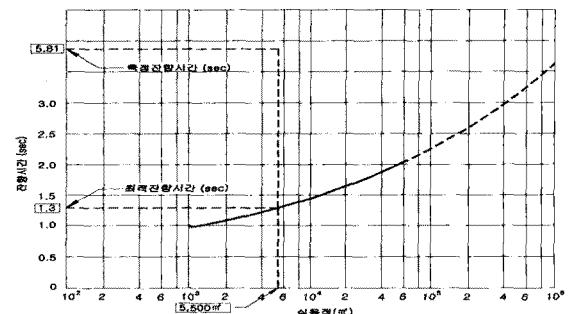


그림 12. 체육시설의 최적 잔향시간

대상 실내수영장의 경우 반사성이 강한 마감 재료의 사용으로 인해 실측 잔향시간이 평균 5.81초로 매우 길게 나타났다. 이러한 음향적 결함으로 인해, 음악을 필요로 하는 수중 에어로빅 경기나 일반적인 대화 및 교육시 의사소통이 어려울 것으로 예상된다.

4.3.2 마감 재료의 변경 및 흡음판 설치

국내 이미 시공된 실내수영장의 경우 그 형태나 평면을 변경하기에 많은 무리가 따르기 때문에, 본 연구에서는 음향성능 개선을 위해 시뮬레이션 상에서 천장 면에 두께 50T의 텍텀을 흡음판으로 설치하였으며, 상벽부분을 밤포 알루미늄판으로 변경하였다. 그림 13 및 표 5는 개선에 따른 흡음판의 모습과 음향설계를 통하여 변경되어진 벽체의 흡음을 나타내고 있다.

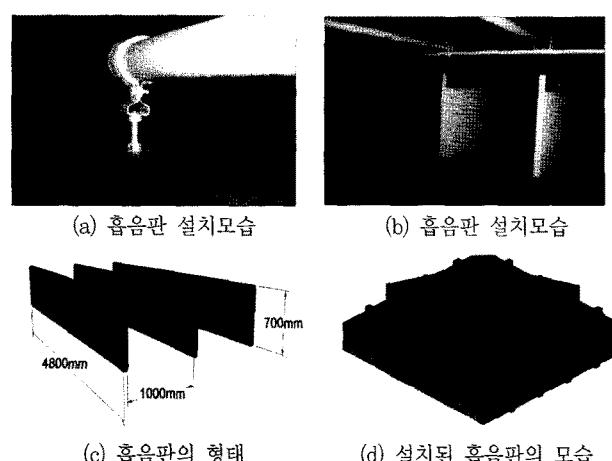


그림 13. 설계에 적용된 흡음판

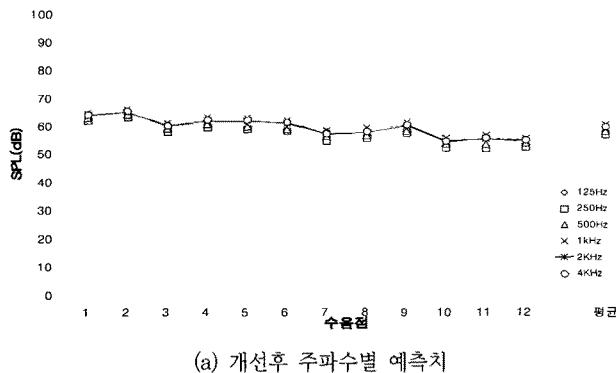
표 5. 개선 후 대상 실내수영장의 마감재료별 음향특성

구분	재료	주파수					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
천정	텍스판넬	0.02	0.02	0.05	0.13	0.12	0.15
바닥	미끄럼방지타일	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
물	water in the pool	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
상부	벤포 알루미늄판	0.5	1	0.76	0.49	0.58	0.49
하벽	유기타일	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
창문	복층유리	0.15	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
흡음판	텍텀 50T	0.62	0.94	0.94	0.92	0.62	0.62

4.3.3 개선 후 음향 성능 평가

1) 음압레벨(SPL)

시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음압레벨은 그림 14와 같다.



(a) 개선후 주파수별 예측치

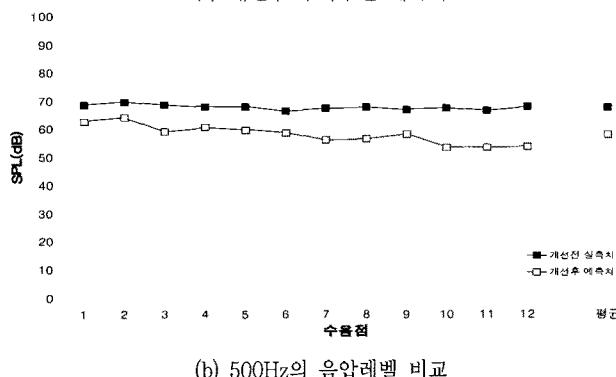
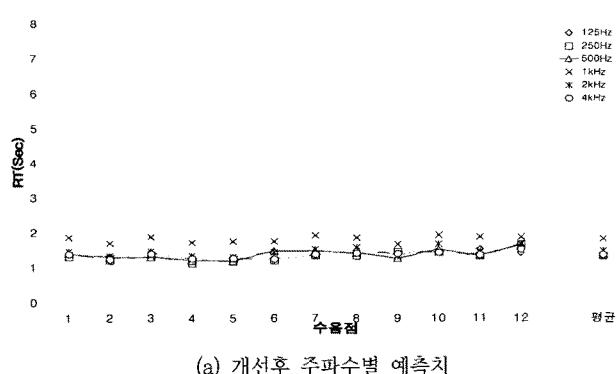


그림 14. 개선 전·후 수음점에 따른 음압레벨(SPL)

그림 14에서 보면 개선전의 음압레벨의 평균이 약 9dB 높고, 개선전의 표준편차에 비해 개선후의 표준편차가 더 많은 차이를 보이고 있다. 이는 흡음판 설치와 마감재로 변화로 초기반사음이 감쇠함에 따라 잔향시간이 짧아져, 음원에서 수음점의 거리가 멀어질수록 음압레벨이 다소 낮아진 것으로 사료된다.

2) 잔향시간(Reverberation Time)

개선전과 적정잔향시간을 고려한 개선후의 주파수별 잔향시간을 비교해보면 다음 그림 15와 같다.



(a) 개선후 주파수별 예측치

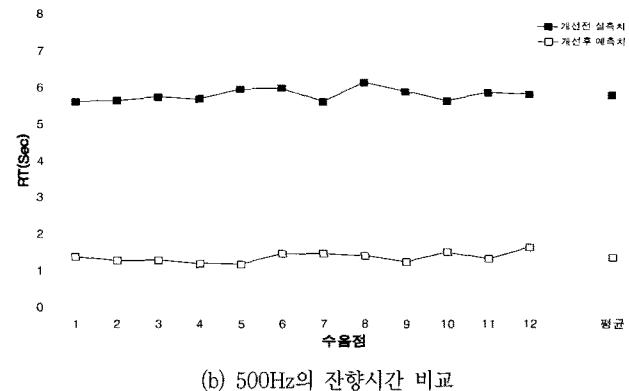
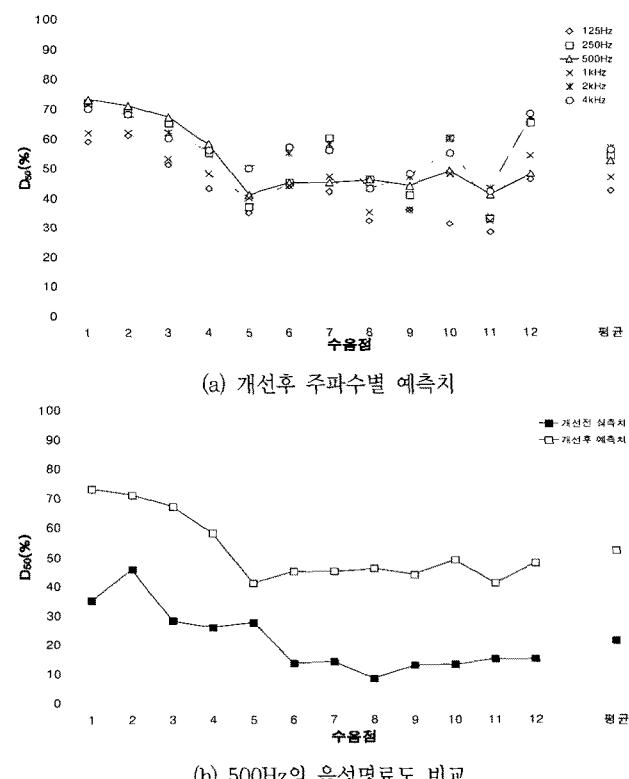


그림 15. 개선 전·후 수음점에 따른 잔향시간(RT)

그림 15에서 보면 개선 후 잔향시간은 500Hz에서 평균 1.39초로 최적 잔향시간을 거의 만족하며, 각 수음점별 편차도 개선 전보다 적게 나타나고 있다. 따라서 잔향시간의 감쇠로 인해 울림이나 에코가 줄어들고 명료도가 높아지는 등 개선 전에 비해 내부 음향상태가 향상 되리라 사료된다.

3) 음성명료도(D50)

시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음성명료도는 그림 16과 같다.



(b) 500Hz의 음성명료도 비교

그림 16. 개선 전·후 수음점에 따른 음성명료도(D50)

4) 음악명료도(C80)

시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음악명료도는 그림 17과 같다.

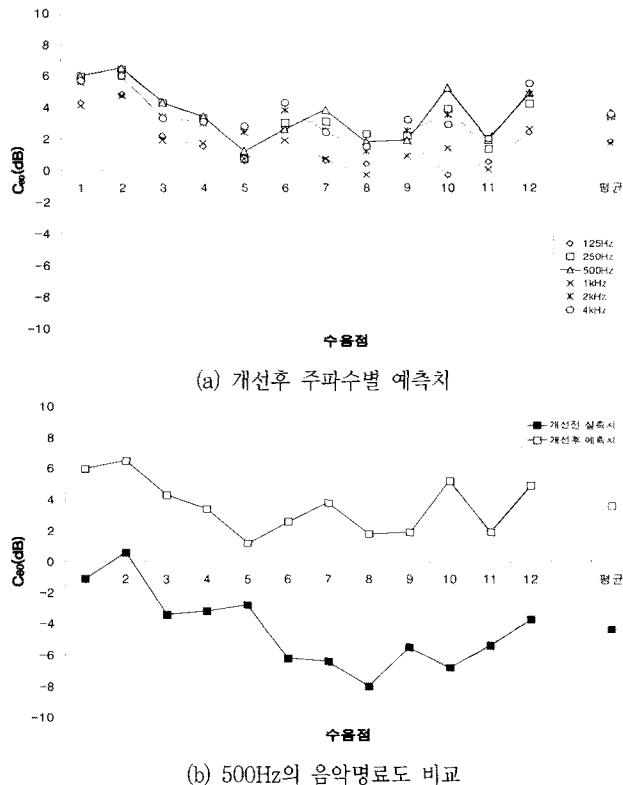


그림 17. 개선 전·후 수음점에 따른 음악명료도(C80)

그림 17에서 보면 500Hz를 기준으로 개선 후의 음악명료도의 값이 +5dB/-0.6dB로 나타나 공연장에서 C80평기를 위한 최대치를 만족하는 것을 알 수 있으며, 시공 후 음악을 명료하게 감상할 수 있을 것으로 사료된다.

5) 음성전달지수(RASTI)

시뮬레이션을 통한 개선 전·후 각 주파수별 음악명료도는 그림 18과 같다.

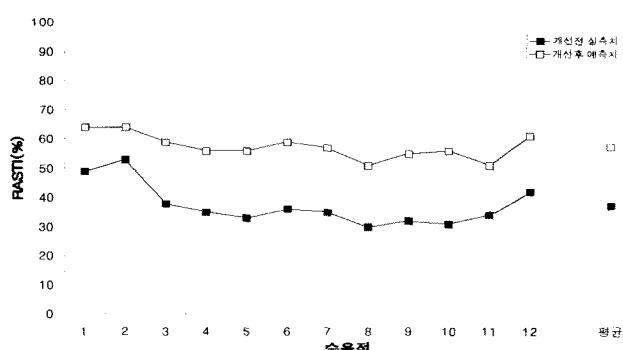


그림 18. 개선 전·후 수음점에 따른 음성전달지수(RASTI)

그림 18에서 보면 음성전달지수는 대체적으로 음원에서 가까운 곳이 높으며, 음원에서 멀어질수록 값이 낮아진다. 개선 전 음성전달지수가 평균 37%로 Poor(잘 알아듣지 못한다.) 정도의 평가를 얻었으나 개선 후는 57%로 Fair(노력하면 들을 수 있다.)의 결과로 나타났는데 이는 다목적 홀의 경우 음성전달지수가 Fair일 때 음의 전달에 문제가 없는 것으로 판단하므로 실내수영장의 음성전달지수가 많이 개선되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 실내 수영장의 물리적 특성을 파악해보고 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 리모델링으로 최적의 음향 상태를 갖는 실내수영장을 설계하여 개선 전·후의 음향성능 평가를 해보았으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 개선 전 음압레벨의 경우 전체위치에서 비교적 분포가 균일하였으나, 이는 수영장 내부를 배수성 재료인 타일과 같은 반사성 재료를 사용하여 확산음장이 형성되었기 때문이다. 또한 울림의 평가요소인 잔향시간은 5.8초로 적정잔향시간인 1.3초를 크게 상회하는 것으로 나타났다. D50, C80, RASTI는 일반적인 평가치를 만족하지 못하고 있어, 음악을 필요로 하는 수중 에어로빅 경기나 일반적인 대화 및 교육시 의사소통이 불가능해 많은 음향적 결함이 나타나는 것으로 나타났다.
- 2) 대상 실내수영장의 실측치와 예측치를 크로바하 알파 계수를 이용하여 신뢰성을 검토해본 결과 모든 평가 파라메터에서 최소 0.851로 나타났다. 따라서 대부분의 평가 파라메터 실측치와 예측치의 차이가 크지 않아 시뮬레이션을 통한 예측치는 매우 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 음향 시뮬레이션에서 상벽, 창문의 변경과 천장 흡음판으로 마감재료를 변경한 실내수영장의 음향특성을 비교해 본 결과 SPL은 67.86dB에서 58.14dB로, RT는 5.81초에서 1.36초로, D50은 21.18%에서 52.33%로 C80은 -4.33dB에서 3.63dB로 RASTI는 37.33%에서 57.42%로 개선 전보다 개선 후에 향상된 음향성능을 보임을 알 수 있었다.

따라서 향후 연구대상 실내수영장이 이러한 음향 설계에 따라 리모델링되어 진다면 충분한 음량감과 잔향감 및 확산감을 확보하여 음악의 사용과, 감독과 선수와의 원활한 의사소통이 가능한 우수한 실내수영장이 될 것이라고 판단된다. 또한, 이러한 연구가 지속되고 자료가 축적된다면 향후 실내수영장의 음향 설계시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 국정훈, 정철운, 김재수, 실내수영장의 음향특성에 관한 실험적 연구, 대한환경공학회 학술발표대회, 2006.11.2
2. 국정훈, 정철운, 주덕훈, 김재수, 음향 시뮬레이션을 이용한 실내수영장의 음향성능개선, 대한환경공학회 학술발표대회, 2007.5.3
3. 김대군, 김남돈, 김재수, 가변형 시스템을 갖는 다목적 홀의 건축음향 성능 평가, 대한건축학회 학술발표대회 제28권, pp.24~25, 2008.10
4. 김재수, 건축 음향설계, 개정 3판, 세진사, 2008.2
5. 윤재현, 김재수, 가청화를 이용한 대형 실내체육관의 음향 성능평가에 관한 연구, 대한환경공학회 학술발표대회, pp.6~7, 2008.11
6. 윤재현, 최돌, 김재수, Y 문예회관 실내체육관의 건축음향설계, 대한환경공학회 학술발표대회, pp.6~7, 2008.11
7. 정철운, 국정훈, 윤재현, 김재수, 가청화를 이용한 실내수영장의 음향 성능평가에 관한 연구, 한국소음진동공학회 학술발표대회, 2007.5.10
8. Duncan Templeton, David Saunders, Acoustic Design, The Architectural Press, 1987
9. Heinrich Kuttruff : Room Acoustics, Elsevier Applied Science, 1991
10. Leo Beranek, Concert and Opera Halls, Acoustics, Van Nostrand Reinhold, 1994
11. M.David Egan, Concepts in Architectural Acoustics, McGraw-hill book company, 1972
12. Michael Barron, The Architecture of Sound, 1986
13. Vern O. Kundsen and Cyril M. Harris, Acoustical Designing in Architecture, JOHN WILEY & SONS, INC, 1955
14. Yochi Ando ; Architectural Acoustic, Springer, 1998

(접수 2009. 3. 24, 심사 2009. 5. 27, 게재확정 2009. 6. 3)