

G 예술회관 대공연장의 건축음향설계

Architectural Acoustic Design for Grand Performance Hall of G Art Hall

김 남 돈·주 덕 훈*·김 재 수**
Kim, Nam-don, Ju, Duck-hoon, Kim, Jae-su

Key Words : Computer simulation(컴퓨터 시뮬레이션), Acoustics design(음향설계)

ABSTRACT

Recently, in accordance with elevation of the consciousness level of citizens, the desire for cultural life is on increasing, and according to this trend, it is the real fact that the demand of the Grand Performance Hall where various cultural events can be performed, is also on increasing. However, since the Grand Performance Hall in view of its distinctiveness, is required of the repletion or abundance of sound, it could be said that the sufficient examination and planning about this are indispensable from the designing stage. On this viewpoint, this Study has intended to design the performance hall that maintains the optimized acoustic capacity through an acoustic simulation for the object of the grand performance hall on the step of construction.

After completion of the construction for Grand Performance Hall hereafter, if compare the data analyzed in such way with the actually measured acoustic performance, it is considered that the more optimized architectural acoustic design could be achieved.

1. 서론

최근 국민들의 의식 수준이 향상됨으로 인해 문화생활에 대한 욕구가 증대되고 있으며 이에 따라 다양한 문화행사가 이루어 질 수 있는 대공연장의 수요가 늘고 있는 실정이다. 하지만 대공연장은 콘서트나 오페라 등의 공연을 전문으로 하는 공간으로서 그 특성상 음의 충만성이나 풍부성이 요구되기 때문에 설계단계에서부터 이에 대한 충분한 검토와 계획이 필수적이라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 아직 건립단계에 있는 대공연장을 대상으로 음향시뮬레이션을 통해 최적화된 음향성능을 갖는 공연장을 설계하고자 하였다. 이렇게 분석된 자료를 토대로 향후 완공되어진 대공연장의 현장측정을 통하여 음향특성을 비교해보면 보다 최적화된 건축음향설계를 할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 음향시뮬레이션

연구대상 대공연장의 음압분포 및 실내음향 파라미터의 예측 분석은 음선추적법(Ray-tracing method)과 허상법(Image

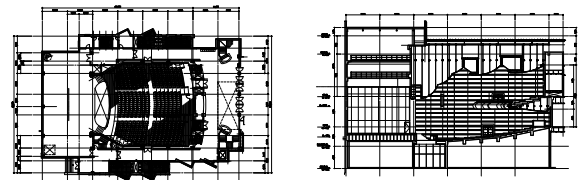
model method)에 의한 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였으며 사용 프로그램은 Odeon ver.4.21이다.

음향시뮬레이션의 확산방법은 Lambert Method, 음선수는 10,547개, Impulse Response 길이는 3814ms, Transition Order는 1로, 온도는 20, 습도는 50%로 설정하였다.

3. 공연장의 개요 및 시뮬레이션 방법

3.1 대상 대공연장의 개요

본 연구대상 대공연장의 음향특성은 규모, 평면형태, 용적, 실내표면과 마감재료 등에 영향을 크게 받는다. 대공연장의 형태는 Fig 1.와 같고 제원은 Table 1.과 같다.



(a) 평면도 (b) 단면도
Fig 1. 대공연장의 평·단면도

Table 1. 대상 대공연장의 제원

구분	제원	구분	제원
높이	14m	길이	32m
체적	약 5,458m ³	폭	20m

† 김남돈, 삼선엔지니어링
E-mail : namdon-k@hanmail.net
Tel : (063) 857-6712,

* 원광대학교 건축공학과 석사과정

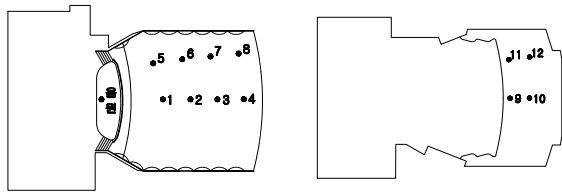
** 원광대학교 건축공학과 교수

3.2 시뮬레이션 방법

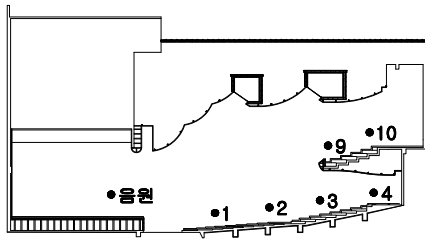
시뮬레이션 방법은 대상 공간의 형태가 대칭이므로 실의 중심을 기준으로 그리드(Grid)를 설정하여 수음점은 객석부분에 총 12개소를 선정하였다. 음원은 ISO에서 제안하는 무지향성 스피커(DO12) 음원(Sound Source)를 사용하였고 높이는 1.5m 높이의 위치로 고정된 상태에서 실시하였으며, 수음점의 높이는 1.2m로, 음원의 파워출력은 Table 2.와 같이 설정하였다. 다음 Fig 2.은 음원 및 수음점의 위치를 나타내고 있다.

Table 2. 무지향성 스피커(DO12)의 주파수별 파워출력

주파수	125	250	500	1k	2k	4k
PWL	113.40	114.35	106.14	101.45	102.99	96.82



(a) 1층 평면도 수음점 위치 (b) 2층 평면도 수음점 위치



(c) 단면도 수음점 위치
Fig 2. 대공연장 수음점 위치

3.3 최적 잔향시간 산출

잔향은 음에 의한 풍요로운 반향이므로 음악연주에는 상당히 긴 잔향시간이 바람직하지만, 강연이나 대화의 경우는 잔향시간이 짧을 수록 명료도가 좋다. 따라서 실의 사용목적에 의해 잔향시간의 최적치가 다르다.

Fig 3.는 이러한 실의 사용목적에 바탕으로 하여 얻어진 최적 설계목표 잔향시간을 나타내고 있다.

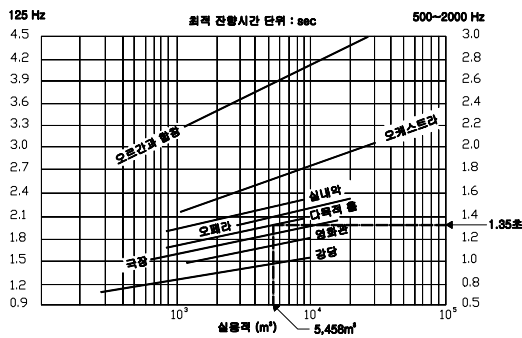
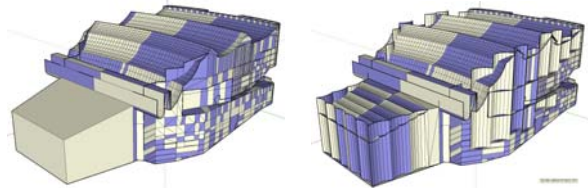


Fig 3. 적정 잔향시간 범위

대상 공간은 사용 용도상 강연적인 요소와 음악적인 요소가 잘 혼합된 다목적 용도의 공연장으로서 콘서트나 오페라등의 전문성을 부여한 공연장으로 적정 잔향시간의 범위는 500Hz에서 1.35초 정도가 적당하다.

3.4 확산판 설치 및 마감 재료의 변경

대상 대공연장의 경우 흡음성이 큰 마감 재료를 사용하여 1.01초의 낮은 잔향시간을 가지고 있었고, 음압레벨의 분포가 균등하지 못하였다. 따라서 객석 벽체에 불룩한 형태의 확산판을 설치하여 실내음의 확산을 용이하도록 하였고, 마감 재료의 변경으로 1.35초의 최적잔향시간을 나타낼 수 있도록 하였다. Fig 4.와 Table 3,4.는 대상 대공연장의 개선 전·후의 투시도와 개선 전·후 변경된 마감 재료이다.



(a) 개선 전 3D Modelling (b) 개선 후 3D Modelling
Fig 4. 개선 전·후의 대상 대공연장

Table 3. 개선 전 대상 대공연장의 마감 재료

대구분	소구분	재 료	주파수(Hz)					
			125	250	500	1k	2k	4k
객석바닥	객석	좌석(탄석시)	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87
	통로	Acoustic Vinyl Sheet	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
벽 체	흡음벽체	T=25mm 텍텀 + 유리면 마감	0.16	0.43	0.99	0.99	0.79	0.98
	반사벽체	T=12mm MDF 2겹 + 금속 쉬트 마감	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.06
천 장	주천장	Roof 합판 9T	0.28	0.22	0.17	0.09	0.1	0.11
	발코니 하부	T=12mm MDF 2겹 + 금속 쉬트 마감	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.06

Table 4. 개선 후 대상 대공연장의 마감 재료

대구분	소구분	재 료	주파수(Hz)					
			125	250	500	1k	2k	4k
객석바닥	객석	좌석(탄석시)	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87
	통로	Acoustic Vinyl Sheet	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
벽 체*	흡음벽체	T=25mm 흡음판넬 + 지정 흡음천 마감	0.16	0.43	1.00	1.00	0.79	0.98
	반사벽체	T=12mm MDF 2겹 + 금속 쉬트 마감	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.06
	확산벽체	T=8.0mm F.G BOARD 2겹 + 지정 흡음천 마감	0.14	0.08	0.04	0.02	0.02	0.02
천 장*	주천장	T=8.0mm F.G BOARD 2겹 + 지정 흡음천 마감	0.14	0.08	0.04	0.02	0.02	0.02
	발코니 하부	T=8.0mm F.G BOARD 2겹 + 지정 흡음천 마감	0.14	0.08	0.04	0.02	0.02	0.02

* 변경된 재료

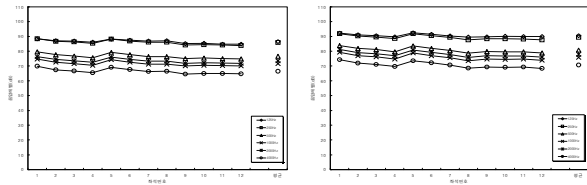
4. 분석 및 고찰

4.1 음압레벨 (Sound Pressure Level)

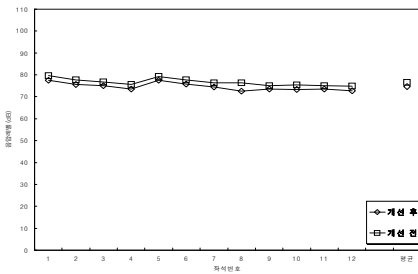
음의 세기를 나타내는 음압레벨은 실의 형태와 내부공간의 구성에 따라 매우 중요한 의미를 갖는다. 객석의 균등한 음압 분포는 소리의 직접음과 초기반사음 에너지의 양에 따라 결정된다. 연구대상 대공연장을 대상으로 12개 수음점에서 주파수별 음압레벨(dB)을 파악해 보면 Table 5., Fig 5.와 같다.

Table 5. 개선 전·후 수음점별 500Hz의 SPL(dB)

수음점	1	2	3	4	5	6
개선전	79.64	77.64	76.84	75.64	79.24	77.64
개선후	83.74	81.84	81.14	79.64	83.64	81.94
7	8	9	10	11	12	평균
76.44	76.45	75.04	75.34	75.14	74.84	76.65
80.64	78.74	79.74	79.54	79.64	78.84	86.97



(a) 개선 전 주파수별 음압레벨 (b) 개선 후 주파수별 음압레벨



(c) 개선 전·후 음압레벨 비교 (500Hz)

Fig 5. 개선 전·후 수음점에 따른 음압레벨

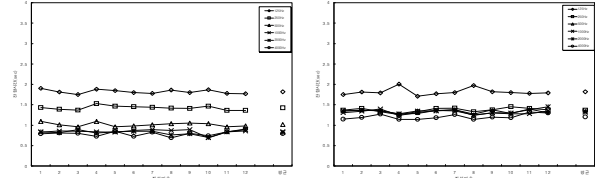
위 Fig 5.에서 보면 개선 후의 음압레벨이 높아진 것을 알 수 있다. 이것은 반사성을 가진 확산판의 설치로 인한 것으로 사료되며 각 수음점간 음압레벨 차가 모두 $\pm 3\text{dB}$ 이내로 나타나 대공연장 12개 수음점에서 균일한 음압분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 평가의 기준이 되는 500Hz에서 음압레벨 표준편차는 1.72dB로 나타나 각 좌석에서 균일한 음압레벨 분포를 보이고 있다.

4.2 잔향시간 (Reverberation Time)

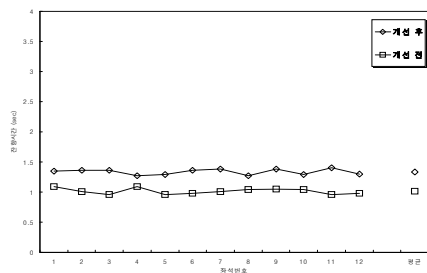
잔향시간은 울림의 양에 대한 가장 중요한 평가지수이며 정상상태의 음이 60dB 감쇠하는 데까지 소요되는 시간으로 정의된다. 연구대상 대공연장을 대상으로 12개 수음점에서 주파수별 잔향시간(sec)을 파악해 보면 Table 6., Fig 6.과 같다.

Table 6. 개선 전·후 수음점별 500Hz의 RT(sec)

수음점	1	2	3	4	5	6
개선전	1.09	1.01	0.96	1.09	0.96	0.98
개선후	1.35	1.36	1.36	1.27	1.29	1.36
7	8	9	10	11	12	평균
1.01	1.04	1.05	1.04	0.96	0.98	1.01
1.38	1.27	1.38	1.29	1.40	1.30	1.33



(a) 개선 전 주파수별 잔향시간 (b) 개선 후 주파수별 잔향시간



(c) 개선 전·후 잔향시간 비교 (500Hz)

Fig 6. 개선 전·후 수음점에 따른 잔향시간

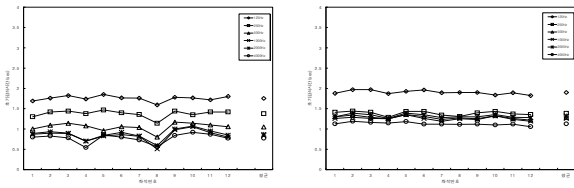
울림의 양에 대한 평가지수인 RT는 음향설계의 기준 주파수인 500Hz에서 개선 전 1.01초로 공연장으로서의 목적보다는 강연이나 연설의 목적에 부합되는 잔향시간을 나타내고 있으나, 개선 후 1.33초로 나타나 이러한 잔향 시간 결과는 콘서트나 오페라 등의 전문성을 부여한 다목적 용도의 공연장으로서 500Hz에서 적정 잔향시간의 범위인 1.35초에 만족하는 값을 보여주고 있음을 알 수 있다.

4.3 초기감쇠시간 (Early Decay Time)

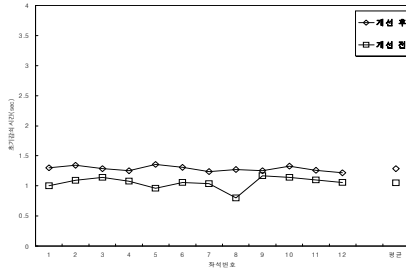
정상상태에서 음원을 정지시킨 후 10dB 감쇠할 때까지의 시간으로 정의되고, 약간의 강도, 분리된 반사로부터 정해지며 측정위치에 따라 달라지는 잔향의 또 다른 주관적 지수인 초기감쇠시간이다. 연구대상 대공연장을 대상으로 12개 수음점에서 측정한 주파수별 초기감쇠시간(sec)을 파악해 보면 다음 Table 7., Fig 7.과 같다.

Table 7. 개선 전 수음점별 500Hz의 EDT(sec)

수음점	1	2	3	4	5	6
개선전	1	1.09	1.14	1.08	0.96	1.06
개선후	1.3	1.34	1.29	1.25	1.36	1.31
7	8	9	10	11	12	평균
1.04	0.8	1.17	1.14	1.1	1.06	1.05
1.24	1.27	1.25	1.33	1.26	1.22	1.29



(a) 개선폭 전 주파수별 초기감쇠시간 (b) 개선폭 후 주파수별 초기감쇠시간



(c) 개선폭 전·후 초기감쇠시간 비교 (500Hz)
Fig 7. 개선폭 전·후 수음점에 따른 초기감쇠시간

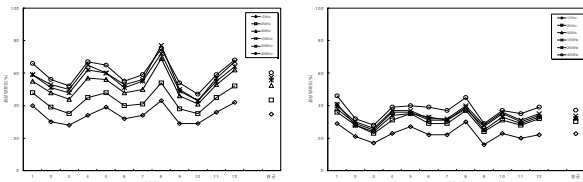
Fig 7.을 보면 500Hz를 기준으로 할 때 개선폭 전에는 평균값이 1.05초를 나타내고 있으며, 개선폭 후 평균값이 1.29초임을 알 수 있다. 개선폭 후의 주파수별 표준편차가 0.04초 이하로 나타나 좌석간 초기감쇠시간의 차이는 거의 없는 것으로 나타남을 알 수 있다.

4.4 음성명료도 (D₅₀)

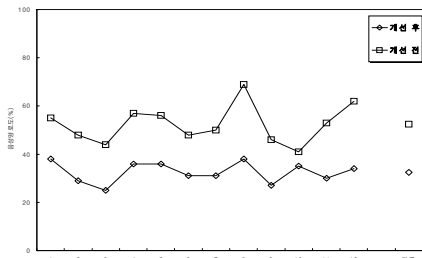
회화의 명료도에 관한 지수중 강연을 대상으로 하는 D₅₀은 음의 발생이 중지한 후 50ms이내의 직접음 및 초기반사음이 직접음을 보장하는 명료도를 좋게 하는 것으로, 음과 총에너지의 비인 Definition 또는 Deutlichkeit 를 말한다. 연구대상 대공연장을 대상으로 12개 수음점에서 주파수별 음성명료도(%)를 파악해 보면 Table 8., Fig 8.과 같다.

Table 8. 개선폭 전 수음점별 500Hz의 D₅₀(%)

수음점	1	2	3	4	5	6
개선폭 전	55	48	44	57	56	48
개선폭 후	38	29	25	36	36	31
7	8	9	10	11	12	평균
50	69	46	41	53	62	52.42
31	38	27	35	30	34	32.5



(a) 개선폭 전 주파수별 음성명료도 (b) 개선폭 후 주파수별 음성명료도



(c) 개선폭 전·후 음성명료도 비교 (500Hz)
Fig 8. 개선폭 전·후 수음점에 따른 음성명료도

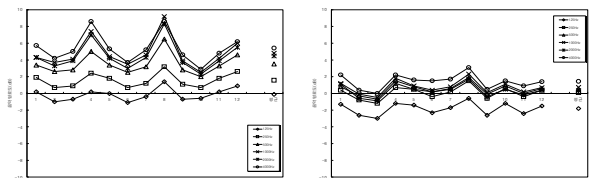
Fig 8.을 보면 음향설계의 기준 주파수인 500Hz에서 개선폭 전 D₅₀ 평균이 52.42%로 다소 높게 나타나며 이것은 흡음성을 가진 마감재료의 과도한 사용으로 인한 것으로 사료된다. 개선폭 후 D₅₀ 평균은 32.5%로 개선폭 전보다 다소 낮게 나타났는데 이러한 원인은 공연장의 특성상 잔향시간이 길어져 음성 정보 전달이 약간 떨어지며, 특히 D₅₀은 음의 충만성과 역함수적인 관계이므로 잔향시간이 길어지면 D₅₀은 낮아진다. 이러한 이유로 강연에 대한 명료성을 더욱 확보하기 위해서는 PA시스템의 도입과 적절한 스피커 시스템을 배열하면 더욱 충만한 명료성을 확보 할 수 있을 것으로 평가된다.

4.5 음악명료도(C₈₀)

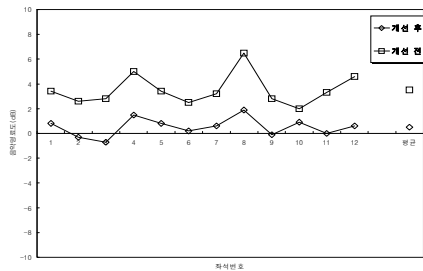
음악에 대한 명료도지수(Clarify Index)인 C₈₀은 콘서트홀에서 음악에 대한 명료도를 나타내기 위한 지수로 너무 클 경우 연주음이 너무 건조하고 딱딱해져 충분한 음량과 음색으로 이를 감상하기 어려워진다. 연구대상 대공연장을 대상으로 12개 수음점에서 주파수별 음악명료도(dB)를 파악해 보면 Table 9., Fig 9.과 같다.

Table 9. 개선폭 전 수음점별 500Hz의 C₈₀(dB)

수음점	1	2	3	4	5	6
개선폭 전	3.4	2.6	2.8	5	3.4	2.5
개선폭 후	0.8	-0.3	-0.7	1.5	0.8	0.2
7	8	9	10	11	12	평균
3.2	6.5	2.8	2	3.3	4.6	3.51
0.6	1.9	-0.1	0.9	0.0	0.6	0.52



(a) 개선폭 전 주파수별 음악명료도 (b) 개선폭 후 주파수별 음악명료도



(c) 개선 후 C₈₀ 분포도(500Hz)
Fig 9. 개선 전·후 수음점에 따른 음악명료도

Fig 9.을 보면 500Hz에서 개선 전은 3.51dB으로 음악당에 적합하지 못한 값으로 나타나지만 개선 후 0.52dB로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 Reichart 등에 의해 제안된 연구 결과에 따르면 C₈₀의 허용값은 음악당 내에서 ±1.6dB로 만족한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4.6 음성전달지수(RASTI)

음성전달지수는 실내에서 음성의 전달에 따른 이해도(Speech Intelligibility)를 나타내고자 하는 주관지수이다. 연구대상 대공연장을 대상으로 12개 수음점에서 주파수별 음성전달지수(%)를 파악해 보면 Table 10., Fig 10.과 같다.

Table 10. 개선 전 수음점별 RASTI(%)

수음점	1	2	3	4	5	6
개선전	57	52	52	59	56	53
개선후	49	45	46	51	46	48
7	8	9	10	11	12	평균
55	62	51	52	53	58	55.0
49	52	49	52	48	51	48.8

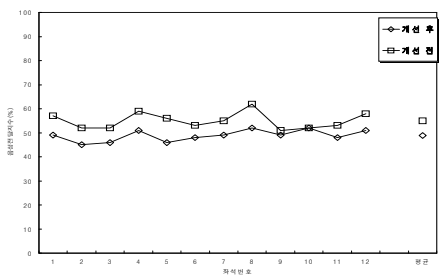


Fig 10. 수음점에 따른 음성전달지수

Fig 10.을 보면 정량적인 음성전달 평가지수인 RASTI는 개선 전 평균값이 55.0%로 나타나고 이것은 개선 전 흡음력이 높은 마감재료를 사용하였기 때문이다. 개선 후 평균값은 48.8%로 원음이 왜곡되어 명료성이 저하 되지는 않을 것으로 사료된다.

위 결과를 RASTI평가 기준 표에 넣어본 결과 개선 전·후 모두 “Fair (노력하면 들을 수 있다.)”로 평가됨을 알 수 있다.

Table 11. 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.)

5. 결론

본 연구는 건축음향설계로 실제 설계되어지는 대공연장을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 음향설계 전·후 실내 공간의 음향성능을 평가해 보았다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석해 본 결과 물리적 음향 평가 지수인 음압레벨분포, 잔향시간, 초기감쇠시간, 음성명료도, 음악명료도, 음성전달지수 등을 살펴보면, 개선 전 실내음향은 음악당보다는 강연에 적합한 음향상태를 가지고 있었으며, 개선 후 실내음향은 음악당에 부합되는 음향상태를 가지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 연구대상 대공연장이 완공되어지면 실제 현장 측정을 통한 물리적 음향 평가 지수와 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 예측한 값을 비교 분석하여 보다 최적화된 건축음향설계를 할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 감사의 글

본 연구는 2007년 (사)대학산업기술지원단의 지원에 의한 결과의 일부임

7. 참고문헌

- 김재수 : 건축음향설계(개정판), 세진사, 2004. 3
- 한경연, 김재수 : “실내체육관 리노베이션을 위한 음향성능 평가에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표대회 25권, 2005. 10. 24
- 국정훈, 박영지, 김재수 : “타원형 평면을 갖는 교회의 건축음향설계” 대한환경공학회 학술발표대회, 2006. 11. 2
- 양만우, 김재수 : “대형 대학강의실의 음향특성과 시뮬레이션에 관한 연구” 한국주거학회 학술발표대회, 2004. 11. 13
- 양만우, 김재수 : “대형 실내체육관의 음향특성과 시뮬레이션에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표대회 21권 1호, 2001.4
- 윤희경, 박정호, 김재수 : “대형 실내체육관의 음향성능 개선에 관한 실험적 연구” 대한건축학회 학술발표대회 23권 2호, 2003. 10
- 주덕훈, 김재수 : “음향시뮬레이션을 이용한 실내체육관의 음향성능 개선” 대한환경공학회 학술발표대회, 2007.5.3
- 서정석, 한경연, 김재수 : “D 문화체육센터 대공연장의 음향특성에 관한 연구” 한국주거학회 학술발표대회, 2004.11.13
- 서정석, 김재수 : “G 이벤트홀의 건축음향설계” 대한환경공학회 학술발표대회, 2004.11.5