

학교체육관에서 스피커 배치방식에 따른 실내음향특성에 관한 연구

○이 주 엽*, 김 종 빈*, 박 현 구**, 최 형 욱**, 김 선 우***

A Study on the Room Acoustic Characteristics according to the Layout System of Speakers in the School Gymnasium

Ju-Yeob Lee, Jong-Bin Kim, Hyeon-Ku Park, Hyung-Wook Choi, Sun-Woo Kim

Abstract

The aim of this study is to provide fundamental data for acoustic design by analyzing the room acoustic characteristics according to the PA system used in the school gymnasium. The measurements were carried out accordance with the ISO 3382. The sources used in this study were four types; omni-directional, centralized, distribution, the combination of centralized and distribution sound source system. Omni-directional system is recommended by ISO for the acoustic test and the others are installed on the wall, column and ceiling in the school gymnasium for sound reinforcement.

1. 서 론

실내음향특성을 측정하는 가장 일반적인 방법은 ISO 규격에서 제안된 무지향성 표준음원을 사용하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 실을 사용하는 사람들은 건축물 내에 설치되어 있는 스피커 즉, PA시스템을 통해 음향상태를 느끼게 된다. 특히 학교체육관의 경우 비교적 공간의 체적이 크며 대부분 다목적으로 사용되므로 용도에 맞는 PA시스템의 운용이 현실적으로는 어려운 실정이다.

최근 학교체육관의 음향설비는 실 내부의 건축적 형태에 따라 스피커 배치방식이 결정되어 왔다. 그러나 PA시스템의 목적을 음의 보강(sound reinforced) 차원에서 보았을 때, 스피커 배치방식에 따른 음향특성의 이해는 체육관의 음향특성을 이해하는데 있어서

중요한 요소라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 무지향성 표준음원과 실제 시공되어 사용되는 PA시스템 배치방식간의 특성을 서로 비교분석하여, 실제 PA 시스템 사용에 있어서 실의 사용 용도에 따라 적절한 실내음향특성 유지를 위한 기초적 자료로 제시하고자 한다.

2. 체육관의 실내음향특성 측정

2.1 측정방법 및 내용

체육관내에서의 무지향성 음원과 PA시스템 배치방식에 따른 특성 차이를 파악하기 위해서 우선적으로 광주광역시 산하 고등학교 체육관 시설 20개소를 중심으로 스피커의 배치방식에 대한 사전조사를 실시하였다. 주요 배치방식은 집중, 분산, 집중분산방식으로 이루어져 있었으며, 본 연구에서는 스피커 배치방식간의 상호비교를 위해, 집중분산방식으로 이용되며 실의 형태가 비교적 유사한 체육관 3개소를 측정대상으로 선정하였다.

* 정회원, 전남대 석사과정

** 정회원, 전남대 박사수료

*** 정회원, 전남대 건축학과 교수, 공학박사

측정은 무지향성 표준음원, 집중배치음원, 분산배치음원, 집중분산배치음원을 사용하여 실시하였다. 측정 방법은 ISO 3382에 준하였고, 측정용 음원으로는 MLS(maximum length sequence)를 사용하여 배경소음에 대한 영향을 배제하고자 하였으며, 스피커에서 발생하여 실내에 확산된 음에 대해 각 측정점에서 무지향성 마이크로폰을 사용하여 수음한 후 분석하였다. 측정에 사용된 기기는 다음과 같다.

- ① ASA-2 Real Audio & Sound Analyzer(ETANI)
- ② Non-directional 12면체 Speaker (Do12)
- ③ Microphone, Preamplifier (ETANI)
- ④ Amplifier (Inter M)
- ⑤ Notebook Computer (LG IBM)
- ⑥ 체육관별 PA 시스템

측정결과에 대해서는 스피커 배치와 측정위치와의 관계를 impulse response를 통해서 분석하고, 각 체육관에서 나타나는 주파수 대역별 특성으로 울림의 정도를 나타내는 잔향시간(RT)과 초기감쇠시간(EDT)의 관계를, 실의 명료도를 나타내는 Deütligkeit (Definition; D_{50})와 선명성(Clarity; C_{80})을 서로 비교 분석하였다.

2.2 측정대상 체육관의 개요

Table.1은 측정대상 체육관의 마감재, Table.2는 체육관의 스피커에 대한 제원, Fig.1은 스피커의 배치와 마이크로폰의 수음점을 나타내었다.

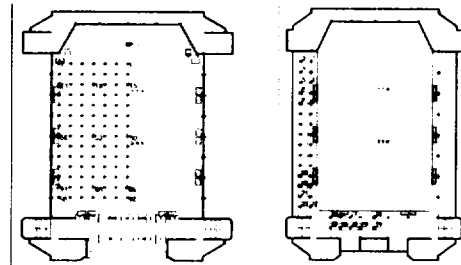
Table 1. Details of objective gymnasium

구분	SA	KD	BM		
평면형태	장방형	장방형	장방형		
단면형태	2층 발코니	2층 발코니	2층 발코니		
실용적(㎡)	18616.2	10758.6	14376		
바닥 마감	1층	Flotan	우레탄	마루	
	객석	테라조	콘크리트	콘크리트	
벽 마감	1층	측면	M.P	M.P/벽돌	목재 리브
		후면	M.P	M.P/벽돌	목재 리브
	객석	측면	M.P	M.P/벽돌	M.P
		후면	M.P	M.P/벽돌	M.P
천장 마감	흡음재 유무	우레탄패널 /칠골트러스	트러스 하부 흡음형 천	목재패널 위 페인트	

* M.P : 모르타르 위 페인트마감

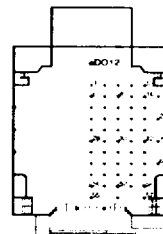
Table 2. Details of speaker used in each gymnasium

구분	SA	KD	BM	
집중 방식	종류	엔클로저형	엔클로저형	혼형
	설치형태	단독	클러스터	클러스터
	설치위치	천장	천장	천장
	설치개수	2EA	33EA	10EA
분산 방식	지향방향	무지향성	객석/폴로어	객석/폴로어
	종류	컬럼형	컬럼형	컬럼형
	형태	한 쌍/단독	단독	단독
	설치위치	기둥/벽	발코니 난간	벽
	설치개수	36EA	20EA	25EA
상호간격	10m	3m	6m	

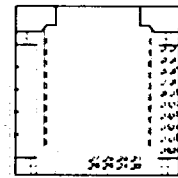


a. SA체육관 1층

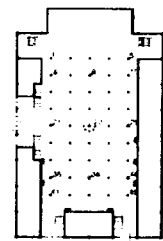
b. SA체육관 2층



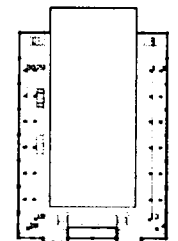
c. KD체육관 1층



d. KD체육관 2층



e. BM체육관 1층



f. BM체육관 2층

Fig.1 Speaker layout system and measuring points of each gymnasium

주요 마감재료를 살펴보면, SA체육관과 BM체육관은 반사성 재료를, KD체육관은 흡음성 재료를 사용

하였다.

PA시스템의 배치형태를 살펴보면, SA체육관은 중앙의 천장 두 곳에 엔클로저형 무지향성 스피커가 집중방식으로 사용되고, 분산방식은 1층은 벽, 2층은 기둥에 컬럼스피커가 수직으로 사용되고 있다. KD체육관은 집중방식이 실 중앙부 천장에 엔클로저형 지향성 스피커가 클러스터 형태로 사용되고, 분산방식은 컬럼스피커가 발코니 난간에 수평으로 부착되어 서로 대칭형으로 설치 사용되었다. BM체육관은 집중방식으로 중심부에 혼형 스피커가 클러스터형으로, 분산방식은 컬럼스피커가 체육관 벽 상부에 수평으로 서로 대칭적인 형태로 설치되어 사용되고 있다.

3. 측정결과 분석 및 고찰

3.1 수음점에 따른 스피커 배치방식간 음향특성

실내의 음향특성을 평가하는데 있어서 수만되는 문제점 중의 하나는 실내음향특성을 하나의 대표값으로 표현하는데는 한계가 있다는 점이다. 특히 체적이 큰 실에서는 위치에 따라서 각기 다른 편차를 보이게 되는데, 그 차이점과 원인을 분석하기 위해서 각 체육관의 스피커 배치방식에 따라 각각의 수음점에 입사되는 음의 impulse response를 비교해 보았다.

1) SA체육관

전반적으로 1층에서 설비음원에 대한 직접음 도달 시간은 위치에 따라 차이를 나타내고 있다. 집중방식은 실의 중심부에서 에코와 같은 음향장해현상이 발생하고 있으나, 측면부로 갈수록 반사면에 의한 초기 반사가 충분히 이루어지는 것으로 나타났다. 반면에 분산방식은 중심부가 측면에 비해 풍부하게 나타나는데, 스피커간의 직접음간 시간차가 적어서 직접음이 서로 보강되고 있기 때문으로 사료된다. Fig.2는 1층의 중앙부(point15)와 2층의 발코니 객석 상단부(point6)에 입사되는 임펄스 파형을 단적으로 표현한 것이다.

2층의 각 위치에서 직접음 도달 시간차를 살펴보면, 집중방식용 스피커가 무지향성의 특성을 갖기 때문에 위치에 따라 별 차이가 없음을 보여주었다. 분산방식은 스피커에 가까울수록 강한 지향특성으로 인해 직접음이 서로 보강하는 형태를 보이고 있으나, 거리가 멀어질수록 직접음이 시간차를 두고 입사하는 것을 알 수 있다. 집중분산방식은 분산방식의 직접음이 도달한 후 집중방식의 직접음이 입사하고 있음을 보여주고 있다.

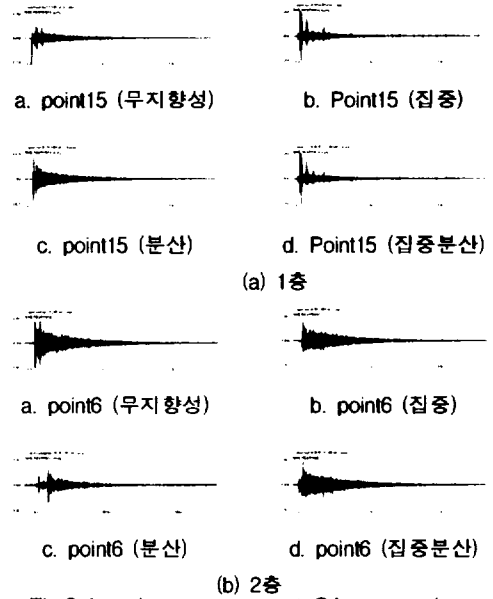


Fig.2 Impulse response at SA gymnasium

2) KD체육관

Fig.3은 1층 발코니 전면 하부(point30)와 2층 발코니 객석 상단부(point16)의 임펄스 파형으로, 1층 각 수음점에서 무지향성 음원은 충분한 초기반사로 인해 비교적 양호하게 감소하는 것으로 나타났다. 집중방식은 지향성이 강한 스피커 클러스터형으로 구성되어 있어서 스피커와 마주보는 위치에서는 위상이 큰 직접음이 도달하였으며, 그 이후에는 반사음의 영향이 적음을 알 수 있다. 분산방식은 스피커와의 거리에 따른 차이가 나타나는데, 실의 중심부쪽에서는 하나의 직접음으로 인식하고 있으나, 거리의 균형이 달라 질수록 거리가 멀어지는 스피커로부터 직접음이 상당한 시간차를 두고 입사하는 것을 알 수 있다. 집중분산방식은 분산스피커의 지향각에 의해 주로 분산방식의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

2층의 임펄스 특성을 살펴보면 집중방식은 객석부로 지향성을 가지고 있어서 직접음의 영향을 많이 받고 있고, 분산방식은 측면객석에서 가까이 배치된 스피커의 지향특성에 따른 직접음 영향 이후 반대편 컬럼스피커로부터 약 100ms 정도의 시간차를 두고 직접음이 입사되는 모습을 보여주고 있다. 두 방식이 병용되어 사용되었을 때에는 직접음간의 현격한 시간차로 인해 음을 보강하지 못하고 오히려 악화시키는 결과를 가져오고 있다. 초기 직접음의 위상보다 나중에 도달되는 스피커의 직접음이 크게 나타나는 것은 스피커의 지향방향과 관련이 있으며, 객석부에서의

명료도 저하의 한 원인이라 할 수 있다. 또한 2층에 스피커가 설치되지 않고, 벽면과 천장이 모두 흡음성 재료로 마감되어 있어 유효한 반사음이 도달되지 않아, 임펄스 파형이 좋지 못한 것으로 판단된다.

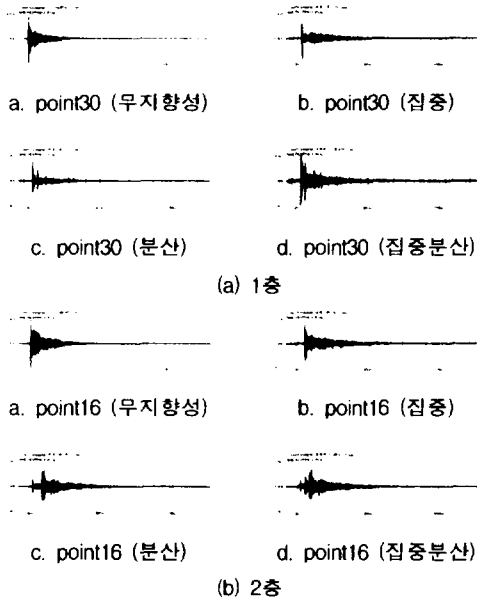


Fig.3 Impulse response at KD gymnasium

3) BM체육관

BM체육관은 전체적으로 네 방식 모두 양호한 감쇠패턴을 나타내고 있다. 집중은 위치에 따라서는 직접음의 영향을 많이 받는 위치의 정도 차이가 나타나고 있으나, 분산은 실의 측면벽에 배치되어 위치에 상관없이 동시에 직접음이 도달하고 있으며 반사성 마감재의 영향으로 초기반사와 후기반사가 잘 이루어져 비교적 확산음장이 형성되고 있는 것으로 보인다.

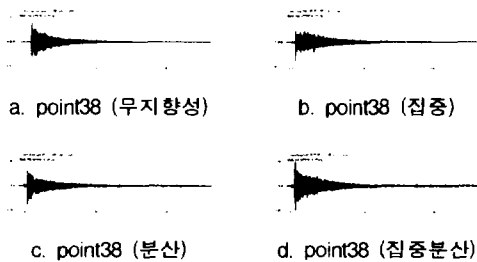


Fig.4 Impulse response at BM gymnasium

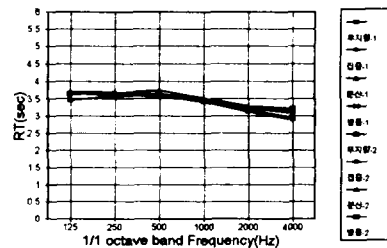
Fig.4를 살펴보면, 집중분산방식은 실의 후면부에서는 집중방식과 분산방식 모두의 영향을 받아 비교적 각각의 음이 보강하는 형태를 취함으로써 양호하게

감쇠하는 패턴을 보여주고 있으나, 초기음에너지는 주로 분산방식의 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다 (point38은 1층 중앙부).

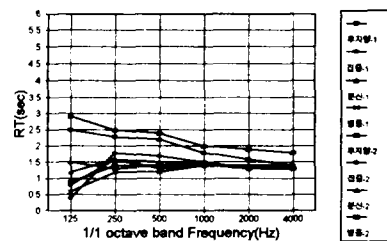
3.2 스피커 배치방식에 따른 주파수별 실내음향특성

1) 잔향시간(RT)과 초기감쇠시간(EDT)

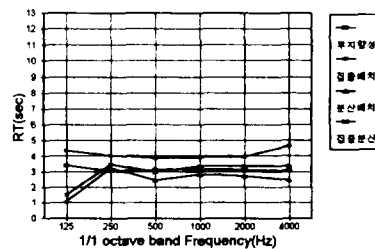
먼저 각 체육관의 잔향시간을 살펴보면, SA는 전 주파수대역에 걸쳐 네 방식이 모두 유사한 값을 나타내는데, 이는 실내 마감이 반사성 재료로 이루어져 비교적 확산음장이 형성되기 때문으로 보인다. 초기감쇠시간은 무지향성 음원과 집중방식의 경우가 저주파수 대역에서 다른 방식에 비해 길어지는 양상을 나타내고 있다. 집중형으로 사용된 스피커가 무지향성의 특성을 지니고 있으며, 실의 긴 장방형 평면을 고려하여 두 위치에 설치되고, 분산 스피커 역시 1층과 2층에 고르게 배치되어 있기 때문으로 사료된다.



a. SA체육관



b. KD체육관

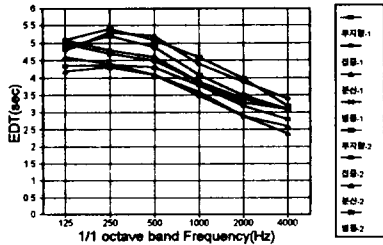


c. BM체육관

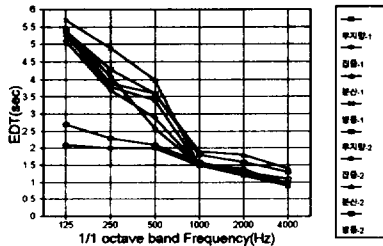
Fig.5 Reverberation time for each gymnasium

KD는 설비음원들이 무지향성 음원에 비해 비교적

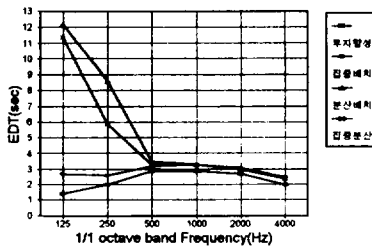
잔향시간이 짧게 나타나는데, 이는 설비음원들의 강한 지향특성과 마감(천, 벽들) 자체의 흡음성으로 잔향음 성분이 억제된 결과로 판단된다. 그러나, 초기감쇠시간은 반대의 양상을 나타내고 있다. 이는 대부분의 설비음원의 강한 지향특성뿐만 아니라, 분산의 스피커 경우에는 서로 마주보도록 배치가 되어 있어 각 스피커의 직접음이 시간차를 갖고 연속적으로 수음됨에 따라 저주파수 대역에서 이상적인 음의 감쇠가 이루어지지 않기 때문인 것으로 판단된다. Fig.7은 30번 위치에서의 음 감쇠를 3차원적으로 살펴본 것이다.



a. SA체육관



b. KD체육관



c. BM체육관

Fig.6 Early decay time for each gymnasium

BM에서 무지향성 음원과 집중방식은 전주파수 대역에서 비교적 일정한 잔향시간을 갖지만, 분산과 집중분산방식은 저주파수 대역에서 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있다. 초기감쇠시간은 500Hz대역을 기점으로 저주파수 대역에서 분산방식과 집중분산방식이 긴 초기감쇠시간을 갖고 있다. Fig.8에서 보면 분산방식은 저주파수대역에서 계속적으로 음이 입사하고 있

음을 알 수 있는데, 이는 스피커의 강한 지향성과 서로 마주하는데서 오는 결과로 사료된다. 또한 집중분산방식이 분산방식의 패턴과 유사하게 나타나는 것은 주로 분산방식의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

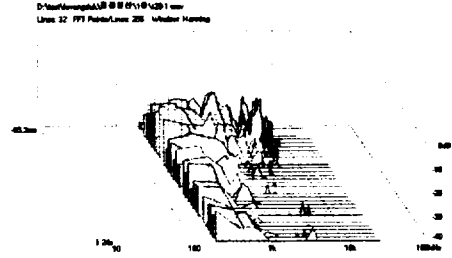


Fig.7 3D decay curve in point 30 at KD gym.

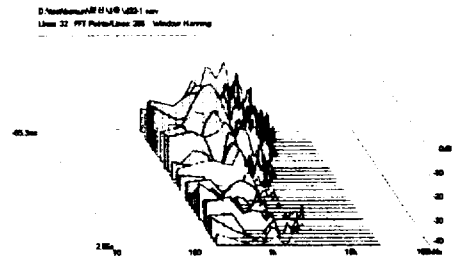
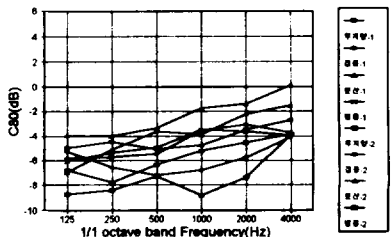
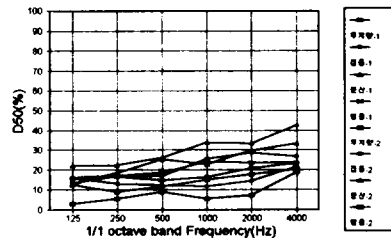


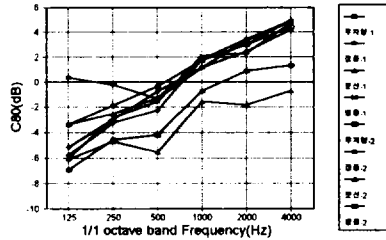
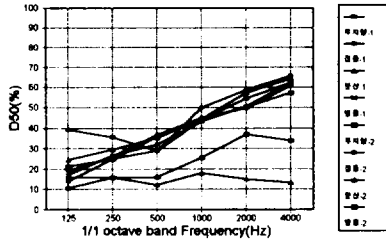
Fig.8 3D decay curve in point 38 at BM gym.

2) 초기음에너지비율(D50)과 선명도(C80) 분석

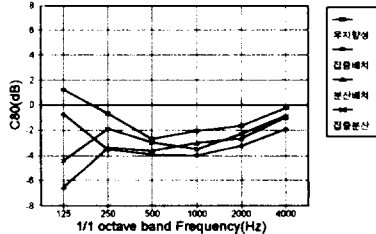
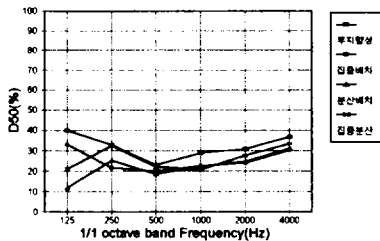
SA는 고주파수 대역으로 갈수록 완만하게 명료도가 높아지고 있음을 알 수 있다. 그러나 집중분산방식일 때의 명료도는 단독으로 사용될 때에 비해 명료



a. SA체육관



b. KD체육관



c. BM체육관

Fig.9 Definition and clarity at each gymnasium

도가 저하하고 있음을 알 수 있다. 이는 배치방식간의 직접음 도달 시간차에 의해 초기 음에너지에 대한 보강이 이루어지지 않았기 때문으로 보인다.

KD는 2층에서의 분산방식과 집중분산방식의 명료도가 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 스피커의 지향성을 보면, 집중방식은 1층 바닥과 2층 객석을 향해 강한 지향성을 보여주고 있으나, 분산방식은 발코니 난간에 분포되어 1층 플로어를 향한 지향성에 의해 2층부에는 스피커의 지향성에 따른 초기 직접음의 영향이 거의 없기 때문으로 사료된다.

BM에서는 집중과 분산방식이 서로 비슷한 값을 갖기 때문에, 집중분산방식은 약간 상승된 값을 나타내고 있어서 각 방식간에 미세하게나마 음의 보강이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구의 주요결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 잔향시간과 초기감쇠시간의 관계를 보면, 무지향성 음원은 비교적 유사하게 나타났으나 설비음원은 초기감쇠시간이 훨씬 길게 나타났다. 이는 설비음원의 강한 지향특성으로 인해 다중의 직접음을 연속적으로 인식하기 때문으로 사료된다.

2) 집중방식에 따른 실내음향특성을 분석한 결과, 주요 마감이 반사성 재료로 이루어진 경우에는 중심부에서 측면부로 갈수록 초기반사가 효과적으로 이루어져 음량이 풍부해지는 것을 알 수 있다. 또한 집중형 스피커로서 무지향성이 사용된 경우에는, 지향성 클러스터로 사용되었을 때보다 비교적 확산음장이 형성되는 것으로 나타났다.

3) 분산방식에 따른 실내음향특성을 분석한 결과, 1층과 2층 부분에 스피커가 고르게 설치되어 있는 경우에는 위치에 상관없이 유효한 반사음이 도달하였으나, 편중되어 설치되어 있는 경우에는 직접음에 대해 유효한 반사음의 도달량이 적어지면서 부분적으로 음향적 장애현상이 발생하는 것으로 나타났다.

4) 집중분산방식은 각 배치방식과 수음점의 거리에 따라 직접음이 도달하는 시간차가 달라지는데, 이러한 특성은 초기 음에너지에 대해 음이 보강되는 역할이 이루어지지 않고 실의 명료도를 저하시키는 원인이 되는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김선우, 최형욱, 박현구, 김미아, 이주엽, “학교체육관의 실내음향특성에 관한 실험적 연구”, 소음진동 공학회 추계학술대회논문집, 1999.11
2. 강성훈, 음향시스템 이론 및 설계, 기전연구소, 1998.2
3. 김윤언 역, PA 음향시스템, 세운, 1998.2
4. 永田穂, 新版 建築の音響設計, オーム社, 1991
5. Z.Maekawa, P.Lord, Environmental and architectural acoustics