

잔향이 많은 공간에서 음향 시스템의 명료도 향상에 관한 연구

A Study on the Improving Speech Intelligibility of Sound Reinforcement System in Reverberant Rooms

강 성 훈
(Seong-Hoon Kang)

대전보건대학교 방송제작과

(접수일자: 2011년 8월 10일; 수정일자: 2011년 9월 6일; 채택일자: 2011년 9월 7일)

잔향이 많은 공간에서는 음성을 명확하게 알아 듣기 어렵다. 음성의 명료도를 확보하는 데는 자음이 중요하므로 잔향음에 비하여 직접음을 크게 하는 것이 중요하다. 잔향이 많은 공간에 음향 시스템을 적절하게 설계하면 흡음 처리하지 않고도 높은 명료도를 얻을 수 있었다. 지향성이 좁은 스피커를 사용하여도 사람이 앉아 있는 영역으로 음을 집중시킬 수 있어서 음성의 명료도를 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 잔향이 많은 공간에서도 실내를 흡음 처리하지 않고 스피커의 지향성을 제어하여 높은 명료도를 얻을 수 있음을 실험을 통하여 제시하였으며, 음향 시스템을 적절히 튜닝함으로써 명료도를 더욱 향상시킬 수 있는 것을 제시하였다.

핵심용어: 잔향 공간, 명료도, 룸 튜닝, 음향 시스템

투고분야: 전기음향 분야 (3)

Speech may not be clearly understandable in the room that is highly reverberant, due to the loss of consonants intelligibility. Therefore, it is very important to obtain a high sound pressure level of direct sound in reverberant room. A properly designed sound reinforcement system can not provide the good speech intelligibility without the absorption treatments of walls. With using the highly directional speaker, we can transmit the sound energy into only the areas where people are sitting. This can be help to improve the speech intelligibility. In this paper, even in reverberant rooms, it will be shown that the good speech intelligibility can be obtained by only the directivity control of speaker without the room treatment. Also, it would be more improved by the properly room tuning using an equalizer.

Keywords: Reverberant room, Speech articulation, Room tuning, Sound reinforcement system

ASK subject classification: Electro-Acoustics (3)

I. 서 론

일반적으로 잔향이 많은 공간에서 음향 시스템의 명료도를 확보하기 어렵다. 이 경우에는 잔향 음이 일종의 소음으로서 작용하여 음성의 자음을 마스킹하기 때문이다 [1]. 이러한 공간은 잔향 시간을 줄여야만 명료도의 확보가 가능하지만, 인테리어 설계상 흡음 처리하기가 어려운 경우가 많다. 예를 들어, 실내 체육관과 실내 수영장이 대

표적인 경우이고, 본 논문의 실험 장소와 같이 3면이 유리 로 마감된 공간에서는 흡음 처리가 어려운 것이 현실이다.

본 논문에서는 잔향이 많은 공간에서 음향 시스템의 명료도를 높이기 위하여, 지향각이 좁은 스피커를 천장에 설치하여 후기 반사음을 최소화하고 직접음 대 반사음의 비율을 높여 명료도를 향상하고자 한다. 명료도와 관련된 파라미터들의 고찰뿐만 아니라, 음향 시스템의 룸 튜닝에 의해 명료도를 향상시킬 수 있는 방법에 대해서도 연구하였다.

책임저자: 강 성 훈 (ksound@hit.ac.kr)

대전시 동구 충청로 21 대전보건대학교 방송제작과
(전화: 042-670-9422; 팩스: 042-670-9578)

II. 명료도 파라미터

잔향이 많은 공간에서는 음성을 정확하게 이해하기 어려운 경우가 많다. 이것은 잔향음이 음성의 자음을 마스킹하기 때문이다 [1]. 명료도의 저하 정도는 잔향 시간과 직접음에 대한 잔향음 레벨에 의존한다. 음성을 이해하는데 있어서 자음이 중요하므로 직접음 대 반사음의 비율을 크게 해야 한다.

그림 1은 'AKA'라고 발성한 음성의 파형을 나타낸다. 그림 1 (a)는 잔향이 없는 상태에서의 파형을 나타내는 반면에, 그림 1 (b)는 잔향이 있는 경우의 파형을 나타낸다. 그림 1 (a)와 같이 잔향이 없으면 'K'의 파형이 명확하게 나타나지만, 잔향이 있으면 그림 1 (b)와 같이 잔향 음이 에너지가 작은 자음 K를 마스킹하여 명료도를 감소시킨다. 즉, 잔향은 일종의 소음처럼 작용하여 음성의 명료도를 저하시킨다. 주파수 대역이 1~4 kHz인 자음의 음압 레벨도 모음에 비하여 20 dB 정도 작으므로 자음은 잔향에 마스킹되기 쉽다.

명료도에 관련한 파라미터들로는 STI (Speech Transmission Index), 직접음 대 반사음의 비율인 D50과 C50 등이 있다. D50이 50 % 이상이면 명료도는 90 %가 되고, C50은 0 dB가 최소 허용치인 반면에 4 dB 이상이 되면 명료도가 높다고 할 수 있다 [2].

Peutz는 임계 거리의 3.5배 이내에서 실내의 음향 특성에 의해서 손실되는 자음의 수와 관련된 자음 명료도 손실에 관한 실험 식을 (%ALcons; Articulation Loss of Consonants) 유도하였다 [3].

$$\%ALcons = 200D^2 T_{60}^2 N / VQ + a \tag{1}$$

여기에서 D는 음원으로부터 청취 지점까지의 거리, T_{60} 은 1 kHz와 2 kHz의 평균 잔향시간, N은 실내에 있는 같은 파워를 가진 음원의 개수, V는 실내 체적 (m^3), Q는 스피커의 지향계수, 그리고 a는 청취자의 숙련도 (1.5 % ~ 12.5 %) 등을 나타낸다. 표 1에서는 ALcons 값에 따른 명료도 등급을 보여준다.

식 (1)에서 잔향 시간과 음원의 수 (N)가 늘어나면 ALcons가 증가되어 명료도가 감소하게 된다. 이것은 잔향이 많은 공간에서 스피커의 개수가 많아지면, 청취자와 가장 가까운 스피커에서만 직접음을 제공하게 되고 나머지 다른 스피커들은 잔향음만을 증가시키기 때문이다. 실내에 있는 스피커들의 파워가 모두 동일할 경우의 임계 거리는 식 (2)와 같이 정의할 수 있다 [3].

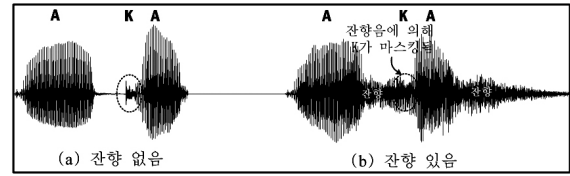


그림 1. 잔향이 없는 음성과 잔향이 있는 음성
Fig. 1. Original and reverberant speeches.

표 1. ALcons 값에 따른 명료도 등급
Table 1. Intelligibility grade according to ALcons values.

ALcons (%)	grade
≤3%	Ideal intelligibility
3~8%	Very good intelligibility
8~11%	Good intelligibility
<11~20%	Poor intelligibility
>20%	Worthless intelligibility

$$D_{crit} = \sqrt{RQ/N} \tag{2}$$

여기에서 R은 실내 정수, Q는 스피커의 지향계수, 그리고 N은 음원의 개수이다. 식 (2)에서 N이 증가하면 임계 거리가 짧아져서 명료도를 확보하는데 어려워진다.

잔향이 많은 공간에서 음향 시스템의 명료도를 향상시키는 방법은 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ① 흡음 처리하여 잔향 시간을 줄이는 방법; T_{60} 을 감소 시킴.
- ② 음원의 지향성을 제어하는 방법; 식 (2)에서 Q를 크게 하여 임계 거리를 길게 함.
- ③ 스피커의 설치 개수를 최소화 하는 방법

①의 방법은 실내 공간을 흡음 처리하기 어려운 경우가 있고, 비용도 비싸며 시간도 많이 걸린다. 본 연구에서는 ②와 ③의 방법을 기본으로 하여 음향 시스템을 설계하면, 잔향이 많은 공간에서도 명료도를 확보할 수 있는 것을 실험적으로 확인하였다.

III. 실험 공간의 실내 음향 특성 측정 및 분석

본 연구를 위한 실험 장소는 3면의 벽이 유리로 마감된 20 m×15 m×8 m의 대형 식당이다 (그림 2). 공간의 음향 특성은 EASERA™을 사용하여 측정하고 분석하였다. 이 공간에서의 반사음 패턴은 그림 3과 같으며, 잔향시간은



그림 2. 실험 공간
Fig. 2. Test room for this study.

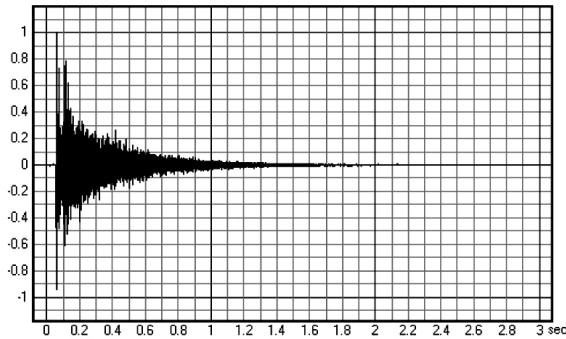


그림 3. 실험 공간에서의 반사음 패턴
Fig. 3. Reflection pattern for the test room.

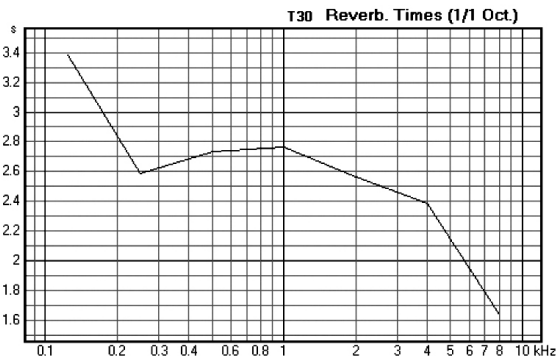
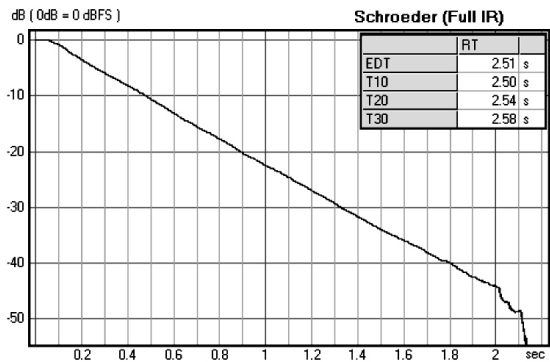


그림 4. 실험 공간에서의 잔향 시간과 주파수 특성
Fig. 4. Reverberation decay curve and frequency response for the test room.

표 2. 실험 공간에서 측정된 음향 데이터
Table 2. Acoustic values to be measured for the test room.

ALcons (%)	C50 [dB]	D50
20.05	-5.9	0.205

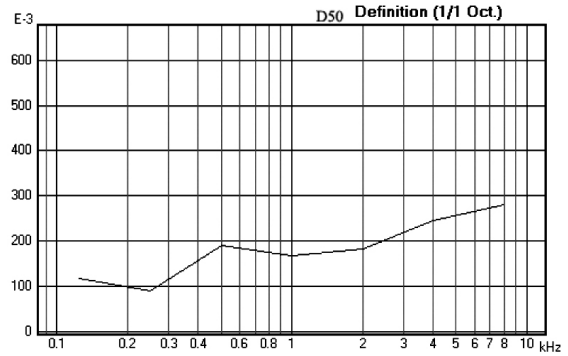


그림 5. 실험 공간에서 D50의 주파수 특성
Fig. 5. Frequency response of D50 for the test room.

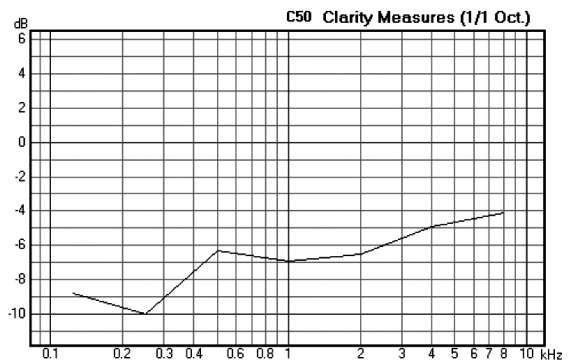


그림 6. 실험 공간에서 C50의 주파수 특성
Fig. 6. Frequency response of C50 for the test room.

약 2.6초로써 (125 Hz에서는 3.4초) 매우 울리는 상태이다 (그림 4). ALcons는 20 %로서 명료도가 매우 좋지 않은 등급에 해당한다. 한편, 직접음 대 반사음의 비율인 D50은 약 20 %이고 (표 2), 주파수 특성은 그림 5와 같았다. 그리고 C50은 -5.9 dB이고 (표 2), 주파수 특성은 그림 6에 나타나 있다. 이와 같이 반사음이 많은 공간에서는 음성의 명료도를 확보하는 것은 쉽지 않을 것으로 예측할 수 있다.

IV. 음향 시스템 튜닝 전후의 음향특성 분석

식당에 음성 확산 시스템을 설치하였으며, 잔향을 최소화하기 위하여 천장에 지향성 스피커 (60도×60도, 그림 7)를 8군데 설치하였다. 음향 시스템을 설치한 후에, 이퀄라이저로 피크 주파수 대역을 커트하여 공간의 주파

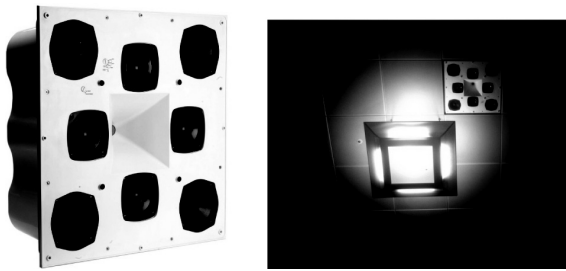


그림 7. 천장 스피커 설치
Fig. 7. Installed ceiling speaker.

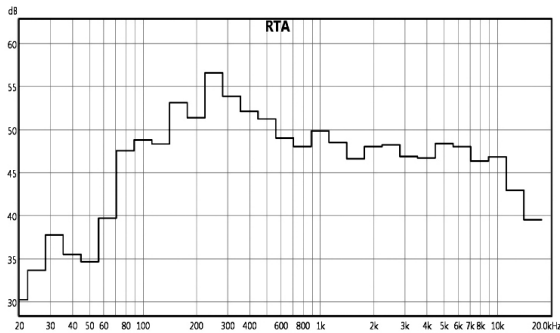


그림 8. 룸 튜닝 전의 스펙트럼
Fig. 8. Frequency response before the room tuning.

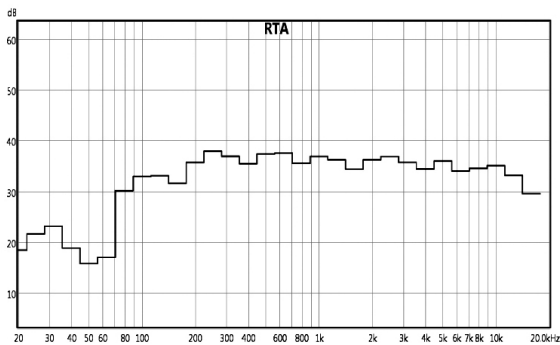


그림 9. 룸 튜닝 후의 스펙트럼
Fig. 9. Frequency response after the room tuning.

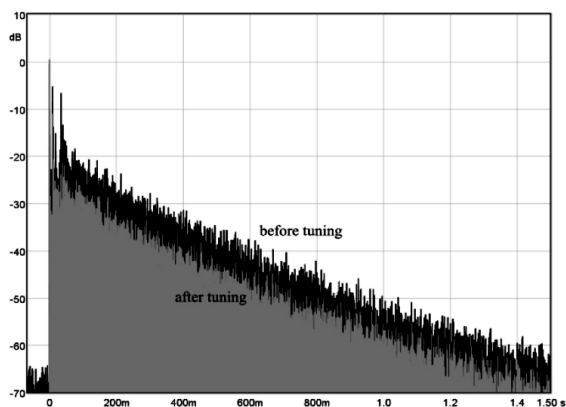


그림 10. 룸 튜닝 전후의 임펄스 리스폰스
Fig. 10. Impulse responses before and after the room tuning.

수 특성을 전반적으로 평탄하게 조정하였다. 일반적으로 실내 공간 특성에 의해서 음향 시스템의 음색이 둔탁하게 들리면 이퀄라이저로 저역을 커트하고 피크를 줄여서 명료도를 향상시킨다 [4].

실험 공간이 튜닝되기 이전의 스펙트럼은 그림 8과 같으며, 100~500 Hz의 대역이 부스트되어 있는 가운데, 특히 250 Hz 부근이 다른 대역에 비하여 약 10 dB씩이나 높게 부스트되어 있다. 따라서 이퀄라이저로 이들 피크를 커트하여 조정하였으며, 100 Hz 이하의 음성의 명료도에 영향을 주지 않으므로 저역 차단 필터를 사용하여 커트하였다. 이처럼 실험 공간을 튜닝한 이후의 스펙트럼이 그림 9와 같으며, 비교적 평탄한 특성을 보이고 있다. 그림 10은 튜닝 전후의 반사음 패턴을 비교하여 보여주는데, 후기 반사음이 상대적으로 많이 줄어 든 것을 알 수 있다.

음향 시스템을 룸 튜닝하기 전후에 음성 명료도 테스트를 실시하였다. 피험자는 20~30대 남녀 10명이고, 테스트 음절은 한국어로 된 단음절 목록 중에서 50개를 사용하였다 [5]. 룸 튜닝하기 이전의 명료도는 60 % 정도에 불과했으나, 튜닝을 한 이후에는 명료도가 86 %로서 26 %씩이나 향상이 되었다. 따라서 튜닝을 한 이후에는 음성이 알아 듣기 쉽고 아주 명료한 것으로 평가되었다.

다음으로는 튜닝 전후의 음향 특성을 분석한 결과를 논의한다. 특히 명료도의 척도가 되는 잔향 시간 (EDT, T10, T20, T30), ALcons, D50, C50, STI를 측정하여 분석하였다. 튜닝을 할 때에 100 Hz 이하를 커트하였으므로 음향 측정 분석은 125 Hz에서 8 kHz까지만 분석하였다.

그림 11에서 튜닝하기 전후의 잔향 시간을 비교하였는데, 튜닝하기 전후의 잔향 시간이 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이것은 잔향 시간과 명료도 사이의 관련성이 적다는 사실을 입증하고 있다. 그러나 튜닝을 한 이후의 반사음 패턴을 보면, 후기 반사음이 많이 줄어들어서 EDT가 현저하게 감소될 것으로 예측된다. 그림 12와 그림 13에서는 튜닝 전후의 T30과 EDT 변화를 보여준다. 튜닝 후에 EDT와 T30의 변화가 더 많은 것은 음향 시스템의 명료도가 잔향시간보다도 EDT에 더 밀접한 관계가 있다는 사실을 보여주는 것이다. 즉, EDT가 RT30보다 짧으면 직접음과 초기 반사음의 에너지가 잔향음의 에너지보다도 크다는 것을 의미함과 동시에 명료도가 높다는 것을 의미한다 [6].

명료도에 관련된 파라미터들인 ALcons, C50, D50와 STI에 관해 튜닝 전후에 분석한 결과를 표 3에 나타내었다. ALcons는 12.8 %에서 8.3 %로 1등급이 향상되었다. C50은 0.4 dB에서 4.1 dB로 증가되고, 그리고 D50은 52 %에

before tuning	RT	
EDT	1.49	s
T10	1.74	s
T20	1.93	s
T30	2.07	s

after tuning	RT	
EDT	1.38	s
T10	1.64	s
T20	1.90	s
T30	2.08	s

그림 11. 룸 튜닝 전후의 잔향 시간
Fig. 11. RTs before and after the room tunings.

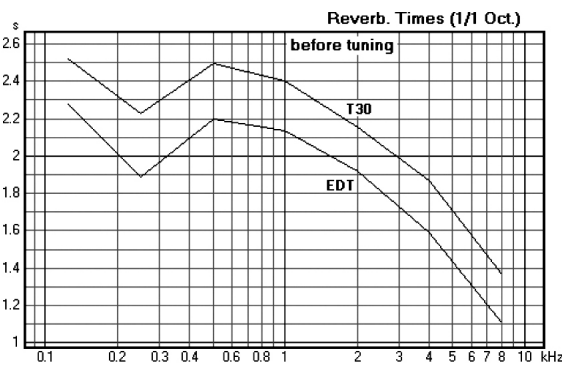


그림 12. 룸 튜닝 전의 EDT와 T30
Fig. 12. EDT and T30 before the room tuning.

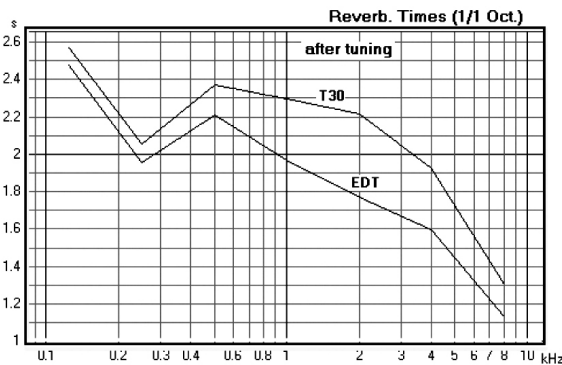


그림 13. 룸 튜닝 후의 EDT와 T30
Fig. 13. EDT and T30 after the room tuning.

서 72 %로 증가되어 직접음 대 반사음 비가 커진 것을 알 수 있다. 또한 명료도의 척도인 STI는 0.478에서 0.554로 향상되었다. STI의 변화는 크지 않고 fair에 해당되지만 중요하지 않을 것으로 판단된다. 왜냐 하면, STI의 값은 반사음의 많은 정도에 비례하므로 잔향이 많은 공간에서는 STI보다는 직접음 대 반사음 비를 확인하는 방법이 더 적절하기 때문이다. 그림 14~15에는 D50과 C50의 주파수 특성을 나타낸다.

표 3. 룸 튜닝 전후의 음향 데이터의 변화
Table 3. Change of acoustic data before and after the room tunings.

	ALcons (%)	C50 [dB]	D50 (%)	STI
before tuning	12.8	0.4	52	0.478
after tuning	8.3	4.1	72	0.554

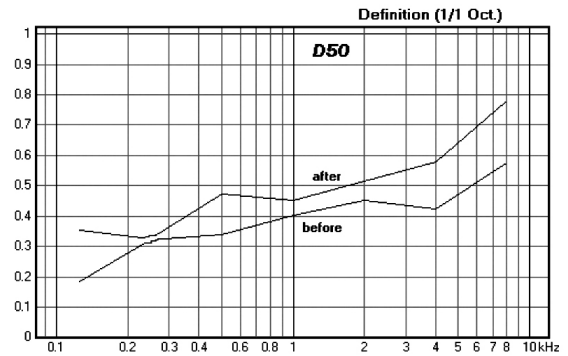


그림 14. 룸 튜닝 전후의 D50
Fig. 14. D50 before and after the room tuning.

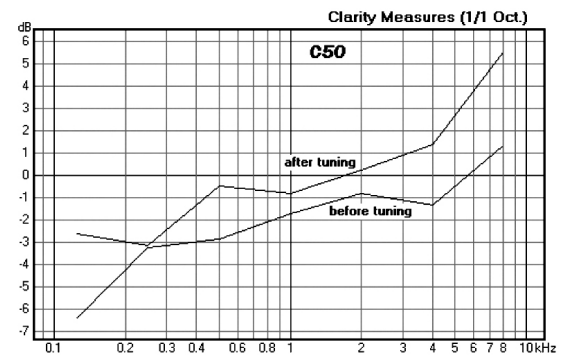


그림 15. 룸 튜닝 전후의 C50
Fig. 15. C50 before and after the room tuning.

V. 실내 음향 특성과 음향 시스템 특성의 비교 분석

V절에서는 잔향이 많은 공간에서 공간 자체의 명료도는 얻어지지 않지만, 적절하게 음향 시스템을 설계하면 충분한 명료도가 얻어지는 것을 확인하기 위하여 공간의 음향 특성과 공간 특성을 포함한 음향 시스템의 음향 파라미터를 측정하여 비교 분석하였다.

그림 16은 실내 반사음의 패턴과 튜닝된 음향 시스템의 반사음 패턴을 비교하여 나타낸다. 반사음이 많은 공간에서도 스피커의 지향성이 좁은 것을 사용하면, 반사음을 최소화할 수 있음을 알 수 있다. 그림 17은 실내의 잔향 감쇠 곡선과 음향 시스템의 잔향 감쇠 곡선을 비교하여 나타낸다. 특히 음향 시스템의 EDT가 실내의 EDT보다 현저하게 감소된 것을 볼 수 있다. 또한, 실

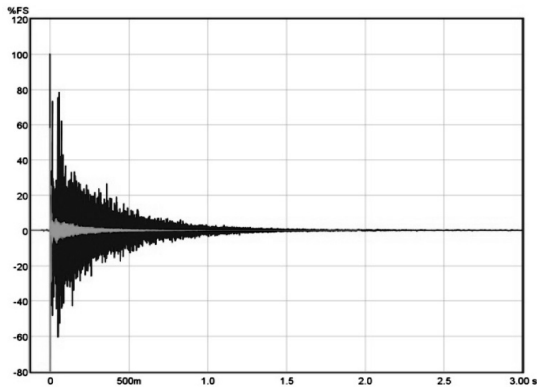


그림 16. 실내 반사음 패턴과 음향 시스템 반사음 패턴
Fig. 16. Reflection patterns of the room and sound system.

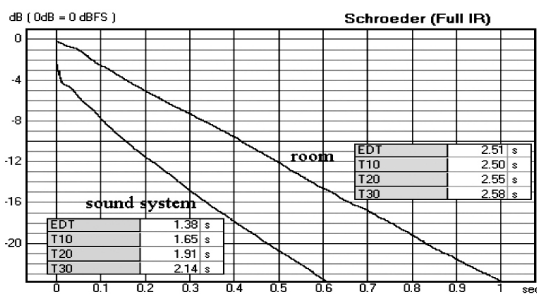


그림 17. 실내의 잔향 감쇠 곡선과 음향 시스템의 잔향 감쇠 곡선의 비교
Fig. 17. Decay curves of the room and sound system.

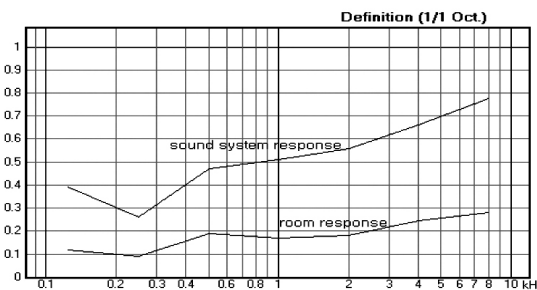


그림 18. 실내 공간의 D50의 특성과 음향 시스템의 D50의 특성
Fig. 18. D50 of the room and sound system.

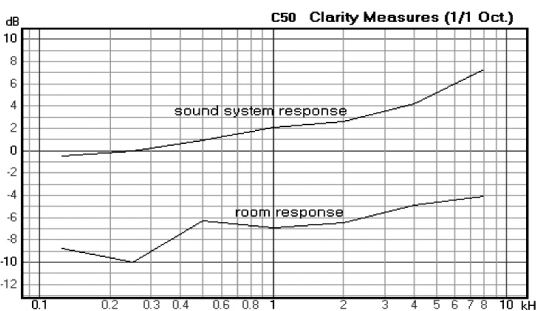


그림 19. 실내 공간의 C50의 특성과 음향 시스템의 C50의 특성
Fig. 19. C50 of the room and sound system.

내 공간의 D50은 20 %에서 음향 시스템의 D50은 72 %로 증가되었고, 그림 18에는 D50의 주파수 특성을 나타낸

다. 그리고 실내 공간의 C50은 -5.9 dB에서 음향 시스템의 C50은 4.1 dB로 현저하게 증가되었고, 그림 19에 C50의 주파수 특성을 나타내었다.

VI. 결론

잔향이 많은 공간에서 명료도를 향상시키기 위해서는 실내 흡음 처리를 하여 잔향 시간을 줄여야 하는데 이 작업은 많은 비용과 시간이 필요로 한다. 그러나 실내 공간을 흡음 처리를 하지 않고 자음 명료도의 손실을 최소화 할 수 있는 방법의 하나로서 지향각이 좁은 스피커를 사용한 음향 시스템을 설계하여 명료도를 향상시킬 수 있었다. 이것은 직접음의 음압 레벨이 커지는 반면에 후기 반사음의 음압 레벨은 감소함으로써 자음 명료도의 손실도가 감소되고 직접음 대 반사음의 비율이 높아졌기 때문이다. 그리고 음향 시스템을 이용해 실험 공간을 튜닝함으로써 직접음 레벨은 올리고 후기 반사음을 억제함으로써 명료도를 1등급 향상시킬 수 있었다.

결론적으로 건축 공간의 음향 특성으로는 얻을 수 없었던 명료도가 적절한 음향 시스템의 설계와 튜닝으로 최상의 명료도를 얻을 수 있음을 보여주었다.

참고 문헌

1. 강성훈, *음향기술총론*, 사운드미디어, 고양시, 2011, 14장 건축음향.
2. EASERA Tutorial, 2001.
3. Peutz, "Articulation loss of consonants as a criteria for speech transmission in a room," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 19, no. 11, pp. 915-919, 1971.
4. 강성훈, *음향시스템의 기초*, 사운드미디어, 고양시, 2011, 13장 음향시스템 튜닝과 룸튜닝.
5. 강성훈, *음향기술총론*, 사운드미디어, 고양시, 2011, 1장 소리의 기초.
6. 강성훈, "잔향 시간의 해석", *한국음향학회 2010년도 추계학술대회 논문집*, 29권, 2(S)호, 311-314쪽, 2010.

저자 약력

• 강 성 훈 (Seong-Hoon Kang)



1981년: 광운대학교 전자공학과 공학사
 1983년: 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1987년: 고베대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 1988년 ~ 1996년: 한국전자통신연구원 음향연구실장
 1996년 ~ 현재: 대전보건대학 방송제작과 교수
 ※ 주관심 분야: 전기음향시스템 설계 및 튜닝, 음향 측정 및 평가, 건축음향