

음향조정실에서 적절한 초기지연시간을 갖는 무반사지역의 설계연구

Design for the Reflection Free Zone with the Adequate Initial Time Delay Gap at the Control Room

이에스더*
(Esther Rhee*)

*계명대학교 뮤직프로덕션과

(접수일자: 2006년 10월 26일 채택일자: 2006년 11월 22일)

엔지니어의 모니터링 위치가 한 지점에만 한정되어 있는 음향조정실의 기존개념을 여러 사람이 동시에 작업할 수 있는 지역적인 방식으로 개선하였다. 이를 위하여, Davis의 LEDE™ 방식을 도입하였고, 내부의 구조 및 흡음재료의 특성, 확산기 및 지역흡음기의 설치와 음상법 등을 활용하여 초기시간지연을 제어하였다. 따라서 여러 엔지니어들이 서로 유사한 음향특성 하에서 동시에 소리를 모니터링 할 수 있는 무반사지역을 형성시켰다. 뿐만 아니라, 음향조정실 (특히 무반사지역) 안에서 정제파, 음향초점, 컬러링, 하스효과 그리고 플러터 에코 등의 발생을 억제하거나 크게 감소시킬 수 있었다.

핵심용어: 음향조정실, LEDE 방식, 무반사지역, 초기시간지연, 확산기

투고분야: 전기음향분야 (3.1)

The control room has been usually designed by the consideration of only one listening position for the sound engineer. By this study, many listening positions with the very similar acoustical condition were located in the specific region, so-called "the reflection free zone", where the several engineer could evaluate the quality of sound at the same time. For constructing the reflection free zone, the control room has been designed by the concept of the LEDE™, and the initial time delay gap has been controled by the structure of control room and the properties of sound-absorbing materials, diffuser, Helmholtz resonator and image source of sound. The occurrence of any harmful phenomena like the standing wave, acoustic focusing, coloring, Hass effect and flutter echo, has greatly reduced in the reflection free zone.

Key words: Control room, LEDE concept, Reflection free zone, The initial time delay gap, Diffuser

ASK subject classification: Electro-Acoustic (3.1)

1. 서론

음악용 음향조정실은 사운드 엔지니어가 스튜디오 안에서 발생하고 있는 음악이나 노래를 모니터 스피커로 들으면서 녹음을 완성시키는 작은 공간이다. 이 때 음향조정실이 가지는 특유의 음향특성은 녹음된 음악의 음질에 매우 큰 영향이 줄 수 있다. 예를 들어, 어떤 특별한 음향조정실에서 완성된 음악에는 그 음향조정실의 특유

의 특성이 함께 포함되어 있기 때문이다. 만약 음향특성이 다른 공간이나 장소에서 이 음악이 재생될 경우의 음질특성이 그 음향조정실에서 청취하는 것과 큰 차이를 보일 수 있기 때문이다. 따라서 사운드 엔지니어가 수행하고 있는 녹음에 영향을 주지 않도록 음향조정실은 특유한 음향특성을 갖지 않아야 할 것이다. 이러한 음향특성을 얻기 위해서는 음향조정실의 크기, 설치기기의 종류 및 숫자 그리고 기타 음향조건들에 의하여 설계방식이 여러 가지로 달라질 수 있지만 크게 두 가지의 형태로 아래와 같이 나눌 수 있다.

(1) Hidley 방식 : 좌우 스피커의 중심으로부터 등거리를 이루는 선 (믹싱 엔지니어의 청취점)을 기준으로 하여 음향조정실 내부의 음향조건을 대칭이 되도록 설계한다. 이 때 스피커가 설치되는 벽면은 반사방식으로, 그리고 소리를 청취하는 영역은 흡음방식으로 처리한다 (전방반사-후방흡음 구조) [1].

(2) Davis 방식 : LEDE (Live-End Dead-End) 설계 방식으로 알려져 있으며, 스피커가 설치된 전방의 벽면을 흡음처리하여 엔지니어의 전방을 데드 (dead)하게 하는 반면에, 엔지니어의 후방은 반사방식으로 처리하여 라이브(live)하게 한다 (전방흡음-후방반사 구조) [2-3].

Davis 방식에 있어서, 초기지연시간 (initial time delay gap)에 대한 개념의 도입은 음향조정실의 새로운 설계에 출발점이 되었다 (그림1). 최근에는 1차 반사음들이 입사되고, 그 후에는 모든 방향에서 확산음이 들어올 수 있도록 확산기 (diffuser)의 사용이 활발해지고 있다 [4-7]. 특히 Don Davis 방식은 확산효과를 높이기 위하여 확산기의 적절한 배치가 중요하다.

지금까지 대부분의 연구들은 한 지점의 청취점 (엔지니어의 귀 위치)만을 고려하여 이루어져 왔으며, 많은 음향조정실들이 이처럼 실제적으로 설계 및 제작되어 왔다. 그러나 음향조정실에서는 한 사람의 엔지니어가 아닌 여러 사람이 동시에 음질을 조정하는 작업에 임할 수 있을 뿐만 아니라, 특정한 청취점이 아닌 다른 위치에서도 작업이 이루어질 수 있다. 이와 같은 경우를 위하여, 음향조정실의 일정한 영역에서는 음질이나 스테레오 음상 (sound imaging)과 같은 음향조건들이 동일하게 유지되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 음향조정실 내부에서 일정한 공간영역에 대한 공간음향특성이 동일한 음향조정실을 설계 및 제작할 수 있는 기술들을 연구하고자 한다.

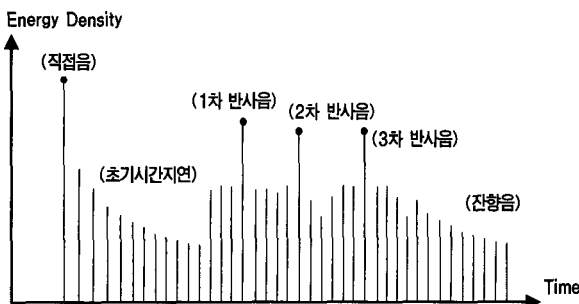


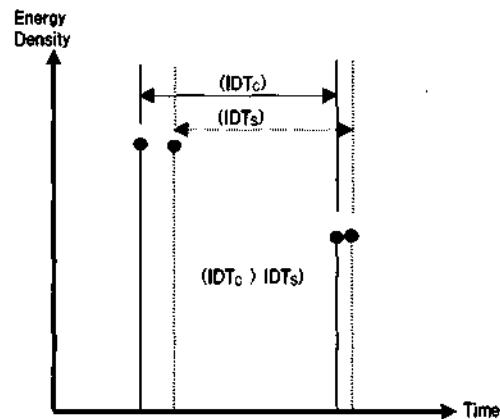
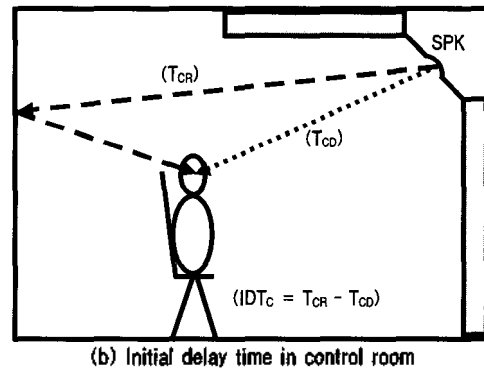
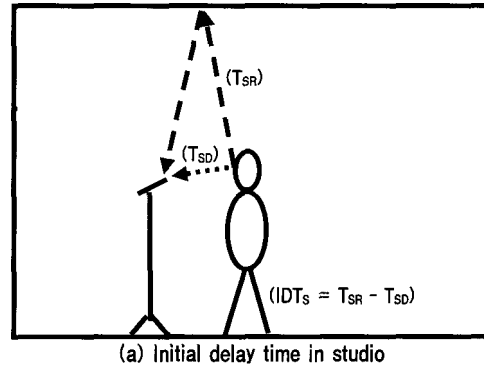
그림 1. LEDE 방식의 음향조정실에서의 전형적인 echogram과 초기시간지연
Fig. 1. Typical echogram and the initial time delay gap in the control room to be designed by LEDE method.

II. 음향조정실의 일반적 음향특성

L. Beranek는 “직접음이 청취점에 도달한 후에 1차 반사음이 도달하는데 소요되는 시간”을 “초기지연시간 (initial time delay gap, IDT)”으로 처음으로 아래와 같이 규정하였다 [8].

$$IDT = T_R - T_D = (d_R - d_D) / c$$

여기서 T_R , T_D , d_R , d_D 과 c 는 1차 반사음과 직접음이 마이크로폰에 도달하는 시간, 1차 반사음과 직접음들의



(c) relation between the initial delay times in studio and control room
그림 2. 스튜디오와 음향조정실의 초기지연시간의 관계
Fig. 2. Correlation between the initial time delay gaps in the studio and control room.

진행거리 그리고 음속을 각각 의미한다. 일반적으로 작은 공간의 음향조정실은 녹음 스튜디오와 연결되어 있는데, 스튜디오의 초기지연시간은 음향조정실의 초기지연시간보다 짧아야 한다 (그림2). 만약 스튜디오의 초기지연시간이 음향조정실의 초기지연시간보다 길다면, 스튜디오에서 연주되는 음악이나 노래를 음향조정실에 위치한 엔지니어가 초기 반사파들에 의한 마스킹 현상으로 인하여 왜곡된 음질로 들을 수 있다. 그러나 스튜디오에 비하여 음향조정실의 공간이 대체로 작기 때문에 음향조정실의 초기지연시간을 스튜디오에 비하여 길게 하기 위해서는 특별한 설계가 요구될 것이다. 왜냐 하면, 공간이 작을수록 소리의 이동거리가 감소하기 때문에 초기지연시간이 짧아지는 것이 일반적이기 때문이다. 특수하게 제작되지 않은 작은 면적의 음향조정실 내부에 설치된 스피커로부터 소리가 방사되었을 경우에, 스피커로부터 직접적으로 수음되는 직접음과 전후측면의 벽면, 천정, 바닥 그리고 믹싱 콘솔 등의 표면으로부터 반사된 반사음들이 시간적 차이를 가지고 엔지니어에 의해 청취될 것이다. (그림3)에서와 같이 작은 음향조정실에서 대부분의 반사음들은 20ms 이내에 청취점에 도달하게 된다 [9]. 특히 믹싱 콘솔의 표면에 의한 반사음은 약 0.8~1.2ms, 천정에 의해서는 약 3ms, 측면의 벽에 의해서는 약 7~8ms, 그리고 후면의 벽에 의해서는 약 15~20ms 후에 반사음이 청취점에 도달하고 있다.

초창기에는 초기 반사음을 제거하기 위하여 음향조정실에 많은 흡음재를 사용하였다. 그러나 음향조정실의 내부를 흡음처리 했다고 해서 초기 반사음이 제거되는 것이 아니고, 단지 잔향시간만이 감소하여 음질이 지나치게 데드 (dead)해지는 특성을 가지게 된다. 그러나 최근에는 사람이 편안함을 느낄 수 있는 정도의 잔향시간 ($\approx 0.2 \sim 0.5$ 초)을 갖는 것이 바람직하다고 주장하고 있다 [10-11]. 이는 일반적인 청음실 (listening room)에서의 음향특성보다 약간 더 데드한 상태를 말한다. 만약

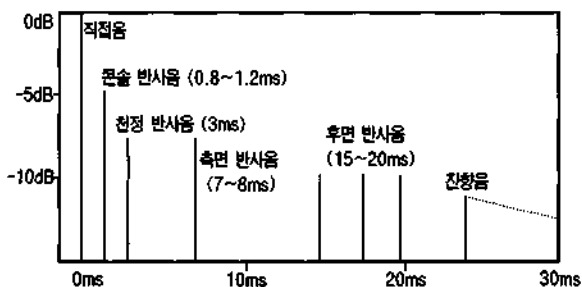


그림 3. 음향조정실에서의 반사음 구조
Fig. 3. Reflection patterns in the control room.

잔향시간이 지나치게 긴 경우에는 모니터하고자 하는 소리를 평가하기가 매우 어려워질 것이다.

음향조정실의 구조에 의하여 여러 가지 음향특성이 나타나게 된다. 만약 서로 마주보는 벽면이 평행할 경우에, 저음에서는 직접음과 초기 반사음 사이에서 정재파 (standing wave)가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 중음과 고음에서는 컬러링 (sound coloring)에 원인이 되는 콤 필터 효과 (comb filter effect)와 플러터 에코 (flutter echo) 현상이 일어날 수 있다. 저음역에서의 정재파 발생을 방지하기 위해서는, 서로 마주보는 벽면 중에서 어느 한 쪽 (특히 후면)을 완벽하게 흡음 처리하는 것이 좋다. 만약 후면이 반사가 잘 일어날 수 있는 재료로 설치되어 있다면, 모니터 스피커에서 방사된 직접음과 후면으로부터의 반사음이 서로 쉽게 합쳐져 정재파의 발생이 용이해 질 것이다. 그리고 벽면이 구부러진 구조를 가지고 있다면, 음향조정실 내부의 어느 한점에 소리가 모이는 음향초점 (sound focusing) 현상을 주의하여야 할 것이다.

음향조정실에서 초기 반사음은 스테레오 방식의 모니터 스피커들로부터 방사되는 소리의 음상 지각에도 큰 영향을 줄 수 있다. 직접음과 반사음 사이의 시간지연에 따른 하스효과 (Hass effect)에 의해 음상의 이동현상이 발생하기 때문이다.

III. 음향조정실의 설계

3.1. 음향조정실의 형태

본 연구에서 제작하고자 하는 음향조정실을 직사각형 형태로 생긴 공간의 내부에 설치하고자 한다. 음향조정실의 형태를 결정하기 위해서 정재파 발생의 억제를 우선적으로 고려하였다. 음향조정실이 실질적으로 설치되는 내부공간의 크기는 정재파의 발생을 감소시켜 줄 수 있는 황금비율 ($L:W:H=1:2^{2/3}:2^{1/3}$)을 고려하여 결정하였다. 뿐만 아니라, 음향조정실에서 사운드 엔지니어에 의해 녹음작업이 실시될 지역을 단순한 직사각형의 형태가 아닌 부정형으로 설계하였다 (그림4). 후면의 벽에서 약 2.42m가 되는 지점으로부터 양쪽의 측면의 벽들이 23.5°씩 내부로 좁아지게 설계하였으며, 특히 전면의 벽이 일직선이 아닌 구부러진 형태로 설계되어 있음을 (그림4)에서 보여주고 있다. 이처럼 오목한 형태의 전면은 반사파들을 한 곳에 모아 음향초점을 만들 수 있으나, 이러

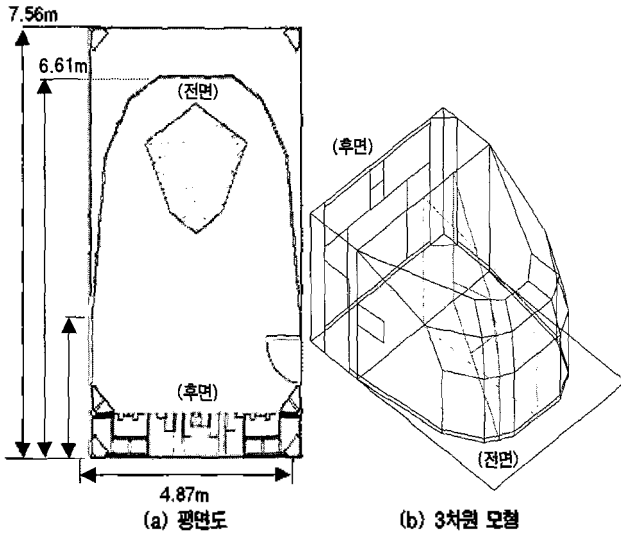


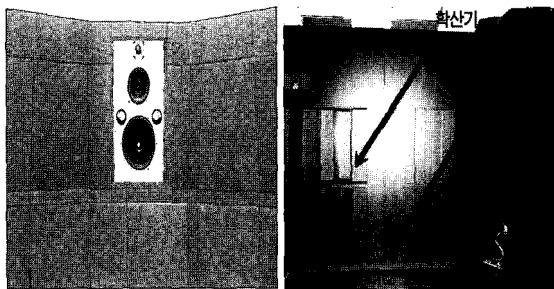
그림 4. 음향조정실 구조도
Fig. 4. Structure of the control room.

한 현상은 뒤에서 설명하게 될 음향조정실의 설계방식을 통하여 제거하였다.

3.2. Davis의 LEDE (Live-End Dead-End)

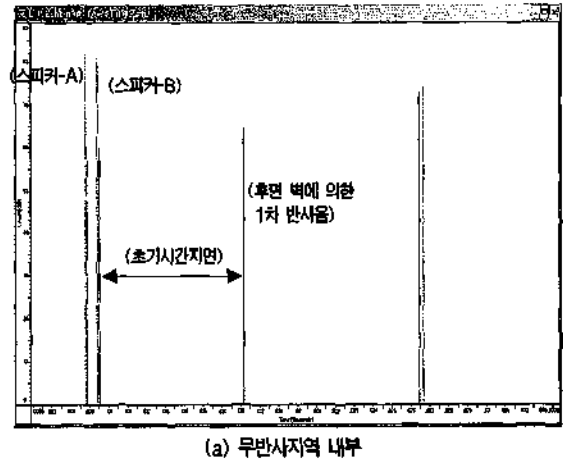
설계방식 도입

음향조정실 자체가 가지는 특유의 공간적 음향특성이 녹음에 포함되지 않게 하기 위해서는 직접음과 1차 반사음 사이의 초기지연시간을 만들어야 한다. 이처럼 초기지연시간을 만들기 위해서는 음향조정실의 벽면이나 천정 또는 바닥들의 전부 혹은 일부를 흡음재로 처리함으로써 모니터 스피커로부터 방사된 소리가 이들로부터 반사되는 것을 막아야 하기 때문이다. 만약 모든 벽면을 흡음처리하게 된다면, 음향조정실의 잔향시간이 지나치게 감소하여 데드 (dead)한 느낌을 주게 될 것이다. 따라서 전체의 벽면보다는 일부의 벽면만을 흡음처리하게 되는데, 측면의 벽들이나 천정 혹은 바닥만을 흡음재로 처리하게 되면, 전방의 벽과 후방의 벽들 사이에서 일어날 수 있는 정재파의 발생을 억제하기가 어렵게 될 것이

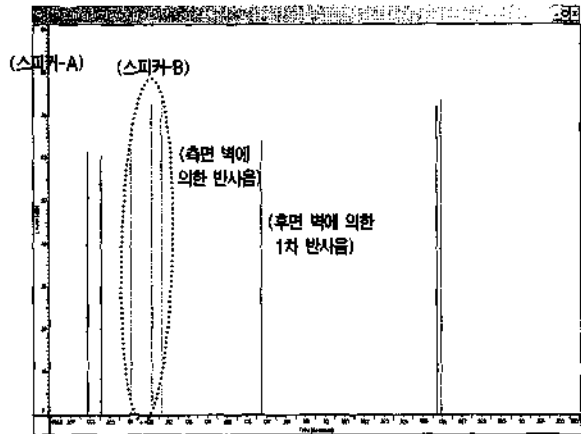


(a) 전면 벽체사 (b) 후면 벽체사진
그림 5. Davis의 LEDE방식 (a) 전면 벽체사진 (b) 후면 벽체사진
Fig. 5. DEDE method by Davis (a) Front wall (b) Back wall.

다. 만약 후방 벽을 흡음처리하게 되면 Hidley 방식이 될 것이고, 전방의 벽을 흡음재로 마감을 하게 되면 Davis의 LEDE방식이 될 것이다. 위에서 본 음향조정실의 형태에서 정재파의 발생을 억제하기 위하여 전방의 벽을 구부리진 형태로 제작하기로 결정한 바 있다. 이 경우에 발생할 수 있는 음향초점현상을 방지하기 위하여 전방의 벽면을 흡음으로 처리하는 것이 바람직 할 것이다. 만약 전방의 벽면을 흡음으로 처리하지 않으면 모니터 스피커 또는 벽면들로부터 반사된 소리가 전방의 벽면에서 다시 반사되어 음향조정실의 한 점에 모이게 될 것이다. 따라서 본 음향조정실은 Hidley 방식이 아닌 Davis의 LEDE방식으로 설계하기로 결정하였다 (그림 5). 따라서 전면의 벽은 강한 흡음특성을 갖도록 하고 (dead end), 후면 벽은 확산도가 높은 특성을 갖도록 하였다 (live end). 전면의 흡음정도와 뒤에서 설명하게 될 확산기의 사용 그리고 음상법에 의하여 직접음과 초기반사음 사이의 지연시간을 적절히 조정하여 음향조정실 자



(a) 무반사지역 내부



(b) 무반사지역의 외부

그림 6. 무반사지역의 내/외부의 echogram
Fig. 6. The echogram in the in or out area of the reflection free zone.

체에서 나타날 수 있는 고유한 음향특성이 발생하지 않도록 하였다. 이처럼 적절한 초기지연시간을 가짐으로 인하여 컬러링 (coloring)이나 스트레오 이미지의 이동 현상을 최소화하였다.

3.3. 무반사지역 (reflection free zone)의 설계

음향조정실의 내부에 적절한 초기지연시간동안 반사음이 존재하지 않는 무반사지역의 확대는 동시에 다수의 엔지니어들이 스튜디오에서 일어나고 있는 소리의 모니터링 작업을 가능하게 할 것이다 [7]. 여기서 무반사지역은 약 20ms의 초기지연시간동안 벽면들로부터 최초의 1차 반사음이 존재하지 않는 지역을 말한다. 본 음향조정실의 무반사지역을 확대하기 위하여, 무반사지역에 반사음이 도달하지 않도록 벽체를 부정형으로 설계하였다. 그리고 CADP2 프로그램에 의한 음상법 (image source of sound)을 사용하여 벽면들로부터의 반사음들을 다루었는데, 벽면의 기하학적 모양, 벽면의 흡음율과 반사율을 이용하여 실음원에 의해 벽면 내부에 형성된 허음원의 개수와 특성을 결정하였다. (그림 4a)의 전면부에서 빗금으로 표시된 부분이 본 설계에서 목표로 하는 무반사지역을 나타낸다. 무반사지역의 내부와 외부의 한 지점에서 직접음과 반사음들의 시간에 대한 감쇄특성에 관한 전산해석결과를 (그림 6)에서 보여주고 있다. (그림 6a)에서는 직접음과 후면 벽으로부터의 1차 반사음 사이의 시간지연이 20ms 이상임을 나타내고 있으며, (그림 6b)의 경우에는 이들 사이의 초기지연시간 이내에 측면 벽들에 의한 반사음들이 생성됨을 보여주고 있다. 여기서 5ms 이내에 2개의 직접음 피크들이 나타나는 것은 전산해석과정을 실제에서와 같이 2개의 스피커를 음원으로 사용했기 때문이다.

3.4. 확산기의 설계 및 제작

전면에 설치된 모니터 스피커로부터 방사된 소리가 후면의 벽에 의하여 경면반사가 발생하게 된다. 이처럼 발생된 반사음은 엔지니어가 작업하는 위치에 따라서 음질의 차이가 발생하게 된다. 따라서 후면 반사음이 모니터링 위치에 바로 입사되는 것을 방지하기 위하여 초창기의 LEDE 설계에서는 후면에 반사경을 부착하여 반사음을 확산시키고, 그 결과로써 엔지니어의 위치에 따른 음질변화를 감소시켰다. 그러나 본 연구에서는 반사경을 사용하는 대신에 확산기 (diffuser)를 후면 벽에 설치함으로써 (그림 5b), 특정한 지역 (무반사지역)에서의 음질

변화를 최소화하였다. 본 확산기는 후면 벽으로부터 반사되는 소리가 무반사지역에 바로 입사되는 것을 억제하여 적당한 초기지연시간을 갖도록 하는 반면에 최종적으로는 무반사지역에 확산음장을 형성시켜 모니터링 신호의 음질변화를 감소시킬 수 있도록 제작되었다. 본 확산기에 관련된 기술이 창의성을 인정받아 특허로 등록되어 있다 [12]. 이 때 확산기는 주파수대역에 따라서 두 종류로 설계되었는데, 이들 각각에 대한 주파수대역은 200~900Hz와 900~1,600Hz이며 격자 수는 각각 11과 7로 하였다. 여기서 격자수를 높게 한 것은 모듈화된 확산기들을 사용할 때에 발생할 수 있는 주기성에 의해 2차 경면반사에 의한 확산도의 감소를 억제하도록 하나의 위상 격자패턴을 만들기 위함이다 [5]. 이처럼 확산기의 설치는 본 음향조정실의 잔향시간을 500Hz에서 0.3초로 맞추는데 있어서 벽면의 구조, 내장 재료의 물성등과 더불어 큰 기여를 하였다. 500~2,000Hz의 주파수대역에 대한 잔향시간은 500Hz와 동일하게 0.3초로 유지하는 반면에, 2kHz에서 4kHz까지는 음향의 명료도를 높이기 위하여 0.3초에서 0.25초로 감소시켰다. 그리고 음질이 지나치게 데드해지는 것을 방지하기 위하여, 250Hz에서의 잔향시간을 0.35초로 증가하고 125Hz에서는 다시 0.45초로 증가시켰다. 여기서 500Hz에서의 잔향시간은 Toyoshima등이 추천하고 있는 음향조정실에서의 최적 잔향시간인 0.15~0.25초보다 0.05초 짧지만 [11], Heringa에 의해 제기되는 0.2~0.5초와는 정확하게 일치하고 있다. 이처럼 잔향시간의 범위를 Toyoshima에 비하여 넓게 추천하는 것은 음향조정실의 용도와 크기에 따라서 달라져야 하기 때문이다 [10].

3.5. 저역흡음기의 설계 및 제작

본 음향조정실에서 어느 정도의 후면부분은 부정형이 아닌 사각형의 구조를 가진다. 사각구조에 따른 정재파의 발생에 대한 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 따라서 후면부에서 발생이 가능한 정재파의 주파수를 전산 해석을 통하여 미리 예상한 후에, 이 주파수를 선택적으로 흡수할 수 있는 저역흡수용 헤르몰츠 공명기 (Helmholtz resonator)를 제작하여 후면의 구석에 설치하였다 (그림 5b). 이 저역흡음기는 소형 음향조정실에서 일반적으로 발생하기 쉬운 50~100Hz의 주파수대역에 해당하는 정재파를 효율적으로 흡수할 수 있도록 제작되었으며, 이때의 FWHM (full width at half maximum)은 20Hz로 설계되었다 [13]. 본 저역흡음기에 관련된 기술이 창의

표1. 측정장비목록

Table 1. List of measuring equipments.

장비명	Model	수량
Microphone	Earthwork M30	2
Signal Generator	SIA Smart Live 5	1
Analyzer	SIA Smart Live 5	1
Signal Analyzer Measurement Equipment	SIA Acoustic Tool	1
외장형 Sound Device	Sound Device USB Pre V1.5	1
Amplifier	Chord 1200E	1
Speaker	Harberth Monitor 40	2
Subwoofer	Velodyne 18	1
Amplifier	QSC	1
Equalizer	AMEX	1
Impulse Generator	B&K	1

성을 인정받아 특허로 등록되어 있는 상태이다 [13]. 이처럼 저역흡음기의 설치에 의해 정재파의 발생을 억제하게 되면, 저음율 (bass ratio)의 조정이 가능해지고 음향 에너지의 감쇄뿐만 아니라 소리를 확산시키는 효과도 동시에 가져올 수 있었다.

IV. 측정방법

본 연구는 음향조정실에서 무반사지역의 형성을 검토하기 위하여 여러 지점에서의 초기지연시간을 조사하였다. 이 때 사용된 측정 및 분석장비들을 (표1)에 나타내었다. 우선 음향조정실의 외부에 설치된 B&K사의 신호 발생기 (impulse generator)로부터 발생된 임펄스 신호가 파워앰프를 거쳐 음향조정실 전면의 상단에 설치된

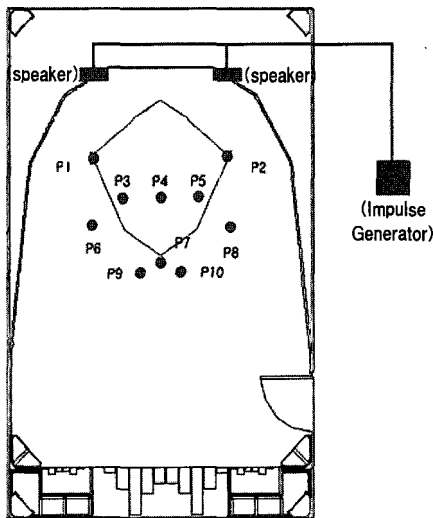


그림 7. 음향조정실에서 측정위치
Fig. 7. Measuring positions in the control room.

모니터 스피커 (Harberth monitor 40)로 입력되었다. 스피커로부터 소리로 방사된 임펄스 신호는 마이크로폰 (Earthwork M30)에 의하여 여러 위치에서 수음된 후에 파워앰프를 거쳐 SIA Smart Live 5에 의하여 분석되었다. 이 때 마이크로폰의 위치는 무반사지역의 형성을 확인하기 위하여, 본 음향조정실을 설계할 때에 설정한 무반사지역 내에서 10개 지점을 (그림7)에서와 같이 선정하였으며, 측정값의 신뢰도를 높이기 위해 각 지점에서 3회씩 측정하여 평균값을 분석에 사용하였다. 그리고 음향조정실 벽면의 차음도를 측정하기 위하여, 음향조정실의 외부에서 신호를 보낸 후에 내부와 외부에서 음압을 3회씩 측정하였다.

V. 결과 및 논의

(그림8~9)는 음향조정실에서 무반사지역으로 설계한 전방의 좌우측 경계면에 해당하는 위치 (P₁과 P₂)에서 수집된 에코그램들이다. (그림8)에서 보면, 모니터 스피커로부터 방사된 직접음이 어느 정도의 시간이 지난 후 마이크로폰에 1차적으로 수음되는 것을 볼 수 있다. 스피커로부터 직접음이 도달한 뒤에 24ms의 시간지연을 가지고 1차 반사음이 마이크로폰에 들어오게 되고, 그 이후에 2차 이상의 반사음들과 잔향음들이 지속적으로 수음되었음이 나타나고 있다. (표2)에 나타난 것처럼, P₁에서의 평균적인 초기지연시간은 23.2ms의 이론적으로 7.9m의 전파경로를 의미한다. 그러나 P₁은 가장 근접한 벽으로부터는 약 0.6m 그리고 정면의 벽으로부터는 약 1.2m정도만이 떨어져 있다 (그림4). 7.9m의 이동경로를 모니터 스피커와 벽면 그리고 벽면과 마이크로폰 사이에 놓여진 거리들의 합으로만 예상하기에는 실질적으로 매우 어렵다. 따라서 (그림8)에서 얻은 1차 반사음은 수음

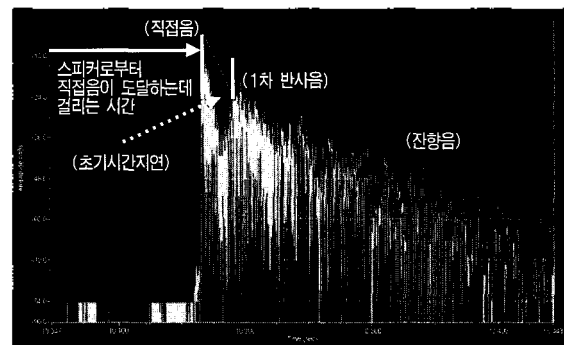


그림 8. P1에서의 에코그램
Fig. 8. The echogram at the P₁ position.

표 2. 무반사지역에 관련한 측정결과

Table 2. Sound pressure level and the initial time delay gap measured in the reflection free zone.

위치	측정횟수	1회	2회	3회	평균
		SPL (dB)	Time (ms)	SPL (dB)	
P1	SPL (dB)	-18.44	-20.49	-23.41	-20.78
	Time (ms)	24.0	23.2	22.3	23.2
P2	SPL (dB)	-23.3	-21.12	-24.17	-22.86
	Time (ms)	28.6	28.0	27.6	28.1
P3	SPL (dB)	-21.7	-19.81	-19.81	-20.44
	Time (ms)	23.1	23.8	23.2	23.4
P4	SPL (dB)	-21.84	-24.27	-24.03	-23.38
	Time (ms)	23.7	23.7	23.9	23.8
P5	SPL (dB)	-24.61	-22.57	-24.90	-24.03
	Time (ms)	24.3	23.8	24.1	24.1
P6	SPL (dB)	-10.5	-10.63	-11.94	-11.02
	Time (ms)	11.3	10.8	11.7	11.3
P7	SPL (dB)	-12.52	-12.96	-12.38	-12.62
	Time (ms)	10.8	10.9	10.3	10.7
P8	SPL (dB)	-20.24	-21.41	-19.37	-20.34
	Time (ms)	11.3	11.3	10.9	11.2
P9	SPL (dB)	-9.76	-12.38	-12.23	-11.46
	Time (ms)	11.1	10.0	10.3	10.5
P10	SPL (dB)	-12.52	-14.27	-9.32	-12.04
	Time (ms)	16.4	16.4	16.6	16.5

지점이 포함되어 있는 전면부에서 반사된 신호이기 보다는 후면 혹은 천정을 포함한 그 외의 벽체에서 반사된 소리가 될 것이다.

직접음과 초기반사음사이에 여러 개의 소음들을 (그림 8)에서 볼 수 있다. 그러나 이들의 진폭은 직접음과 1차 반사음에 의한 것들에 비하여 크게 낮아진 것을 알 수 있다. 만약 이들이 벽면이나 천정에 의한 반사음들이라면, 1차 반사음의 진폭과 큰 차이를 나타내지 않는 것이 일반적이다 (그림6(b)). 따라서 이들 소음은 플러터 에코에 의한 것으로 판단된다. (표2)에 나타난 것처럼, 직접음의 음압에 비하여 평균적으로 21dB 이하로 나타나고 있다. 여기서 21dB의 음압차이는 시청실에서 ITU-R과 EBU에서 권고하는 직접음과 반사음들 사이의 음압차이

(10dB)에 비하여 2배 이상으로 크기 때문에 플러터 에코가 음질에 줄 수 있는 실질적인 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단된다 [14]. 그리고 측정음압의 차이가 약 5dB정도까지 나타나고 있는 것은 본 음향조정실의 차음구조가 완벽하지 못하기 때문일 것으로 예상된다. (표3)에 나타난 주파수별 차음도를 살펴보면, 3회 측정에 있어서 2.7~4.4dB의 편차를 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 벽면과 천정 또는 바닥으로부터의 초기반사음들이 도달한 이후에 들어오는 잔향음들의 전형적인 분포를 (그림8)에서 보여주고 있다.

(그림9)는 P₂의 위치에서 측정한 에코그램 (echogram)으로써, P₂의 위치는 음향조정실의 중심축에 대하여 P₁과 대칭적 위치에 놓여 있다 (그림7). 평균적인 초기시간 지연은 28.1ms이며, 직접음과 1차 반사음 사이의 평균적인 음압차이는 약 23dB 정도임을 (표2)에서 보여주고 있다. 28.1ms의 초기시간지연은 9.6m의 전파경로를 말하지만, P₂의 측정지점도 가장 근접한 벽과 정면으로부터 불과 0.6m와 1.2m 정도로 각각 떨어져 있다. 따라서 P₂에서 수음된 신호는 P₁에서와 마찬가지로 전면부에서 반사된 신호보다는 후면 혹은 천정을 포함한 그 외의 벽체에서 반사된 소리로 판단된다. 그리고 1차 반사음들이 마이크로폰에 수음된 이후에 두꺼운 확산음장이 잘 입사되고 있음이 (그림9)에 나타나고 있다.

P₁과 P₂에서의 초기시간지연을 서로 비교하여 보면, 약 5ms정도의 차이가 있음을 (표2)에서 알 수 있다. 이처럼 초기지연시간의 차이가 발생한 것은 모니터 스피커를 두 개가 아닌 단 한 개만을 사용하였기 때문이다. 다시 말하면, P₁ 방향에 놓여진 모니터 스피커만을 본 측정에 사용하였기 때문에 P₁의 초기시간지연이 P₂에서 보다는 짧게 나타나는 것이다. 5ms의 초기시간지연 차이는 P₁과 P₂ 사이의 전파경로가 약 1.7m 정도의 차이가 있었음을 의미한다. 음향조정실에서 P₂ 방향에 설치된 모니

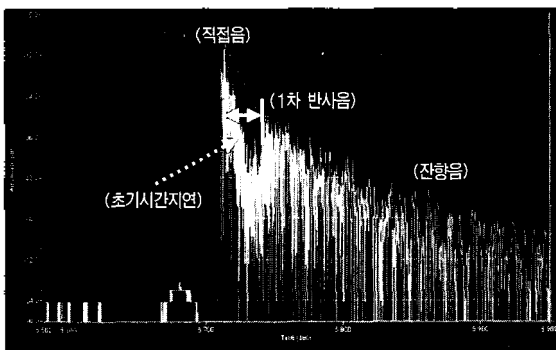


그림 9. P₂에서의 에코그램
Fig. 9. The echogram at the P₂ position.

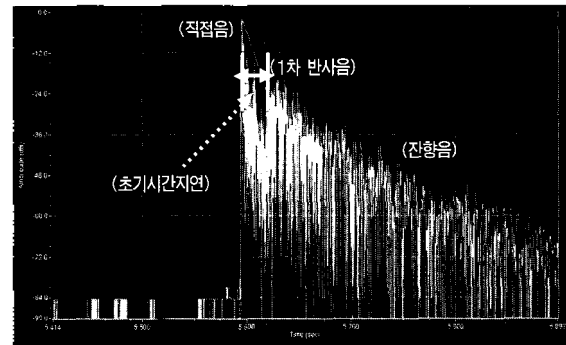


그림 10. P₃에서의 에코그램
Fig. 10. The echogram at the P₃ position.

표 3. 방음 및 차음성능

Table 3. STC about the walls of the control room.

		주파수(Hz)			
		125	250	500	1,000
1회	SPL(외부)	83.1	76.1	81.3	73.8
	SPL(내부)	23.8	16.8	14.8	1.4
	STC	59.3	59.3	66.5	72.4
2회	SPL(외부)	82.3	76.6	81.8	73.2
	SPL(내부)	24.5	12.9	14.8	4.7
	STC	57.8	63.7	67.0	68.5
3회	SPL(외부)	79	78.6	78.4	74.7
	SPL(내부)	18.5	16.6	15.4	6.2
	STC	60.5	62.0	63.0	68.5

터 스피커에서 P₁과 P₂ 사이의 실질적인 거리차이는 약 0.5~0.6m 정도이지만, 벽면으로부터 반사를 고려하게 되면 1.7m 정도의 경로차이는 발생이 가능할 것이다. 따라서 P₁과 P₂에서의 실질적인 초기시간지연은 매우 유사할 것으로 판단할 수 있다. 그리고 P₁과 P₂에서의 플러터 에코에 대해서도 직접음과 1차 반사음 사이의 평균적인 음압차이가 21dB와 23dB로써 2dB의 차이만을 나타내고 있으며, 상술한 바와 같이 이들 모두가 음질에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 여겨진다. 따라서 본 음향조정실을 설계할 때에 계획했던 것처럼, P₁과 P₂ 사이의 영역을 LEDE 방식에 의한 무반사지역으로 규정할 수 있다.

P₃와 P₄는 무반사지역 내부에 위치한 지점들로서, 이들 위치에서 얻은 에코그램들을 (그림10)과 (그림11)에서 보여주고 있다. 이들 에코그램들을 서로 비교하여 보면, 외관상으로 양쪽이 매우 유사한 것을 쉽게 볼 수 있다. 이처럼 에코그램의 유사성은 이들 지점에서의 음향특성이 거의 동일하다는 것을 의미한다. 이들 두 지점 사이에는 약 0.35m 정도의 거리차이가 있는데도 불구하고 평균적인 초기시간지연은 23.4ms와 23.8ms로써 거의 차이가 나타나고 있지 않는 것을 (표2)에서 보여주고 있다. 뿐만 아니라, 무반사지역 안에서의 또 다른 측정지점인 P₅의 에코그램도 이들과 거의 동일하게 나타났으

며, 평균적인 초기시간지연도 24.1ms로써 P₃과 P₄에서의 평균적인 초기시간지연과 거의 동일하게 나타나고 있다 (표2), 그리고 이들 세 지점에서의 플러터 에코에 관련해서도 직접음과 1차 반사음 사이의 평균적인 음압차이가 각각 20dB, 23dB 그리고 24dB로써, 이들 역시도 음질에 주는 영향은 거의 없을 것으로 판단된다. 따라서 최소한 P₁로부터 P₅에 이르는 영역은 LEDE 방식에 의한 무반사조건지역이 형성되었다고 볼 수 있다.

P₆에서부터 P₁₀까지의 지점들은 음향조정실에서 무반사지역으로 설계되지 않은 지역에 있는 측정지점들이다. 이들 지점에서 측정된 모든 에코그램들은 매우 유사하였기 때문에 P₆에서의 에코그램만을 (그림12)에 나타내었다. 이 때 측정된 평균적인 초기지연시간은 11ms로써, P₇부터 P₉까지의 지점들에 대한 그들과 큰 차이를 보이는 않는다 (표2). 이들에서 11ms의 평균적인 초기지연 시간에 해당하는 전파거리는 3.74m로 계산된다. 그런데 모니터 스피커로부터 P₇에 이르는 직선거리는 약 2.1m가 되는 반면에, 모니터 스피커로부터 후면의 중앙에 이르는 직선거리만도 대략적으로 3.7m가 된다. 따라서 이들 측정지점에서 수음된 1차 반사음들은 바닥 또는 측면의 벽으로부터 반사된 것으로 볼 수 있을 것이다. 그러나 P₁₀에서 측정된 평균적인 초기지연시간은 16.5ms로써, P₇로부터 P₉까지의 이들에 대하여 5~6ms 정도 증가한 것을 (표2)에서 볼 수 있다. 이처럼 평균적인 초기지연시간이 다른 지점에 비하여 증가한 것은 P₁₀이 무반사조건으로 설계되지 않은 지역에 위치하고 있기 때문에 이 지점에서의 1차 반사가 다른 지점들에 비하여 지연된 것으로 여겨진다. P₈을 제외한 P₆에서부터 P₁₀까지 직접음과 1차 반사음의 평균적인 음압차이는 대체로 11~12.6dB 사이에 놓여져 있다 (표2). 다만 P₈에서 플러터 에코에 관련한 평균적인 음압차이만이 20.3dB로써 다른 지점들에 비하여 높게 나타나고 있다. 그 이유는 위에서

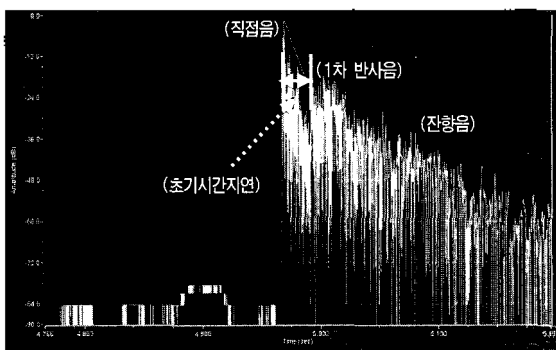


그림 11. P₄에서의 에코그램
Fig. 11. The echogram at the P₄ position.

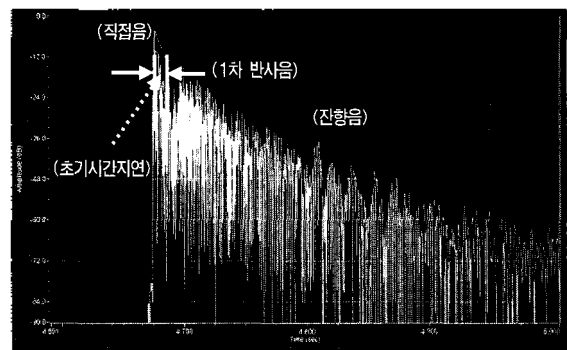


그림 12. P₅에서의 에코그램
Fig. 12. The echogram at the P₅ position.

논의한 바 있는 것처럼, P_8 이 무반사조건으로 설계되지 않은 지역에 위치하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 1차 반사음들이 마이크로폰에 입사되고 난 이후의 잔향음들이 무반사조건지역 내에 있는 측정점에서처럼 두껍게 확산음장의 형태로 나타나고 있다.

$P_6 \sim P_{10}$ 의 초기지연시간들이 $P_1 \sim P_5$ 에서의 그들에 비하여 매우 짧다고 하는 것은 $P_6 \sim P_{10}$ 에서의 1차 반사음들이 $P_1 \sim P_5$ 에서 보다 더 빨리 도달한다는 것을 의미한다. 초기지연시간과 마찬가지로 $P_6 \sim P_{10}$ 에서 직접음과 1차 반사음 사이의 음압차이가 크지 않아서 플러터 에코의 영향을 완전히 피할 수 없다. 이처럼 1차 반사음들의 빠른 도달과 플러터 에코의 영향 등은 P_6 에서 P_{10} 까지의 영역을 LEDE 방식에 의한 무반사지역이라고 규정하기는 매우 어렵게 하는 사실들이다. 그러나 $P_6 \sim P_{10}$ 의 지역은 본 음향조정실의 설계시에 무반사지역으로부터 제외된 지역이기 때문에 설계의도와 잘 부합되는 결과라고 할 수 있다.

P_7 에서의 초기시간지연 및 플러터 에코에 관련된 음압차이는 무반사지역의 설계에 특별한 의미를 가지고 있다. 다시 말하면, P_7 의 측정지점은 실질적으로 본 음향조정실의 설계단계에서 목표로 한 무반사지역에 포함되어 있지 않지만 이에 매우 근접해 있다. 따라서 이 위치에서의 음향특성이 무반사지역의 내부에 위치하고 있는 지점 ($P_1 \sim P_5$)들과 그들과 유사하다면, 본 음향조정실에 형성된 무반사지역을 설계시의 목표와 동일한 결과를 얻었다고 할 수 있다. 그러나 이 지점에서의 초기시간지연 및 음압차이와 같은 음향특성은 위에서 논의한 바와 같이 무반사지역의 특성으로 보기에는 어려운 것이 사실이다. 따라서 본 음향조정실에서 실제적으로 형성된 무반사지역은 P_4 와 P_7 사이에 놓여 있는 어느 특정한 지점이 될 것으로 판단된다. 이는 본 음향조정실의 무반사지역에 관련하여 설계목표인 3.75m²로부터 다소 축소되는 결과를 가져오지만, P_4 와 P_7 사이의 거리가 불과 약 0.5m 정도에 그치기 때문에 그 차이는 크지 않을 것으로 판단된다. 이처럼 무반사지역의 축소는 모니터 스피커에 관련한 주파수 특성, 지향특성, 설치높이, 각도 등과 같은 전기음향적인 측면을 추가적으로 보완하게 되면 해결할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 차기의 연구목표가 될 것이다.

VI. 결론

Davis의 LEDE 방식에 의해 초기시간지연을 제어하고, 확산기와 저역흡음기 등을 후면 벽에 설치하여 음향조정실 내부에 일정한 무반사지역을 형성시켰다. 이처럼 무반사지역이 형성됨으로 인하여 여러 엔지니어들이 서로 유사한 음향특성 하에서 동시에 소리를 모니터링 할 수 있는 여건을 마련하였다. 뿐만 아니라, 음향조정실 (특히 무반사지역) 안에서 정재파, 음향초점, 컬러링, 하스효과 그리고 플러터 에코 등의 발생을 억제하거나 크게 감소시킬 수 있었다. 따라서 음향조정실에서 엔지니어의 모니터링 위치가 한 지점에만 한정되어 있는 기존의 개념을 지역적인 방식으로 새롭게 개선할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 계명대학교 신진 비사연구비 지원을 받아 연구되었습니다.

참고 문헌

1. T. Hidley, "Acoustics in studio Design," Recording Eng. Producer, 5, 29-37, 1974.
2. C. Davis and D. Davis, "Live-end-dead-end control room Acoustics," Recording Eng. Producer, 10 (1) 41-59, 1979.
3. D. Davis, "The role of the initial time delay gap in the acoustic design of control rooms for recording and reinforcing system," Proc. AES Conf. 1-8, New York, Nov. 1979.
4. P. D'Antonio and T.J. Cox, "Diffusor application in rooms," Appl. Acoustics, 60, 113-142, 2000.
5. M.C. D'Orazio and D.M. Fontana, "Optimization of acoustical absorption characteristics of an enclosure," Applied Acoustics, 57, 139-162, 1999.
6. M.R. Schroeder, "Binaural dissimilarity and optimum ceilings for the concert halls: more lateral sound diffusion," J. of Acoust. Soc. of Am., 65 (4), 958-963, 1979.
7. N.A. Muncy, "Applying the reflection free zone concept in control room design," DB the Sound Eng. Mag, 35-39, 1986.
8. L. Beranek, *Acoustical Measurements*, (Acoustical Soc. of America, Cambridge, 1993), Chap.18, pp. 789-791.
9. 감성훈, *건축과 소리*, (KsoundLab, 2001), Chap.10, pp. 201-202.

10. P.H. Heringa and K. Rijk, "Design of small control room with broadband frequency response," Proc. AES Conf. 1-18, Paris, Mar. 1988.
11. S.M. Toyoshima and H. Suzuki, "Control Room Acoustic Design", Proc. AES Conf. pp.1-14, Montreux, Mar. 1986.
12. 김규택, 음향컨디셔너, (특허번호 : 10-0309592, 2001)
13. 김규택, 임피던스 정합 저역흡수기, (특허공개번호 : 특2000-0000338, 2000)
14. 강성훈, 음향기술입문, (음향기술산업연구소, 2006), Chap.14, pp. 362.

저자 약력

• **이에스더 (Esther Rhee)**



1991년 2월: 계명대학교 음악대학 졸업 (피아노전공학사)
 1993년 2월: 계명대학교 교육대학원 졸업 (음악교육석사)
 1997년 5월: 뉴욕대학 졸업 (뮤직테크놀로지전공, 음악석사)
 2001년 8월: 켄트주립대학교 음악교육과 졸업
 (뮤직테크놀로지전공, 음악교육학 박사)
 2004년 3월~현재: 계명대학교 미디어아트대학
 뮤직프로덕션과 조교수