

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.225>

IIBC 2017-2-32

회의실의 명료성(STI) 향상을 위한 오디오신호 처리 및 시스템 설계

Audio Signal Processing and System Design for improved intelligibility in Conference Room

강철용*, 이석주**, 조광연*, 이선희***

Cheolyong Kang*, Seokjoo Lee**, Kwangyeon Jo*, Seonhee Lee***

요약 최근에 오디오 신호의 디지털 전송기술의 발전 및 디지털 전송기술을 이용한 오디오 네트워크 장비들의 출시가 이루어지고 있다. 이에 따라 음향시스템의 설계 및 시공에 있어서도 오디오 네트워크 기술 및 장비의 적용이 적극적으로 이루어지고 있다. 회의실이라는 공간은 다수의 참가자가 상호의견교환 및 의사전달을 하는 공간으로, 발언내용이 참석자에게 잘 전달되어야 한다. 마이크 및 스피커 등의 전기음향 장치를 이용하는 것 만 아니라 오디오 네트워크를 이용한 사례를 통해 회의실의 명료도 향상을 개선하고 실제 사례를 통해 오디오 네트워크를 이용한 음향시스템 설계의 적용과 향후 발전방향을 전망한다.

Abstract Recently, the development of digital transmission technology of audio signals and the introduction of audio network equipment using digital transmission technology have been made. As a result, audio network technology and equipment are actively applied to the design and construction of audio systems. The meeting room is a place where a large number of participants exchange opinions and communicate with each other. In addition to using an electric acoustic device such as a microphone and a speaker, it improves the intelligibility of the conference room through an example using an audio network.

Key Words : Audio Signal Processing, Audio System, Design, Definition, Network Audio, Rapid Speech Transmission Index; STI

1. 서 론

음향공간에서의 음성신호전송은 음향설비의 근간이 되는 부분으로 앰프-스피커의 증폭부분과 함께 핵심적인 부분이다. 이러한 신호의 전송은 그림.1에서 볼 수 있듯이 오디오 신호를 발생하는 마이크로폰 및 재생기에서

시작하여 음성신호의 믹싱, 분배 및 프로세싱을 담당하는 믹서/프로세싱부로 전달되며 끝으로 소리의 증폭을 담당하는 파워앰프까지 이루어진다. 오디오 신호는 기본적으로 아날로그 물리량이며 최근의 디지털 기술의 비약적인 발전과 함께 오디오 신호의 디지털 변환에 의한 신호의 전송 및 라우팅이 자유롭게 이루어질 수 있게 되었

*정회원, 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합대학원
정보통신미디어공학

**정회원, 소비코 기술연구소

***정회원, 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과(교신저자)
접수일자: 2017년 4월 6일, 수정완료: 2017년 4월 11일
게재확정일자: 2017년 4월 11일

Received: 6 April, 2017 / Revised: 11 April, 2017

Accepted: 11 April, 2017

***Corresponding Author: seonhee@seoultech.ac.kr

Dept. of Electronic IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

으며 디지털방식 오디오 신호전송에 의하여 전송에 의한 신호 손실을 비약적으로 최소화 할 수 있게 되었다.^[1]



그림 1. 오디오 신호 전송
Fig. 1. Audio Signal Transmission

회의실에 주로 구성되는 전기음향 시스템도 크게 마이크, 프리앰프, 이퀄라이저, 앰프, 스피커 등의 일반적인 전기음향 확장장치로 구성이 된다. 일반적으로 소리가 잘 들리게 하기 위해 가장 쉽게 선택 하는 것 방법이 앰프의 증폭능력과 스피커의 실효 출력으로 크게 확장 되는 소리는 얻는 방법이다. 또한 회의실이라는 특성상 다수의 마이크가 동시에 사용되게 되는데 이는 시스템의 피드백 마진을 낮추는 주요 원인이 되기 때문에 목표하는 음압의 재생이 불가능하게 되기도 한다. 설령 회의실이라는 공간에서 원하는 크기의 소리를 확보했다고 해도 스피커로부터 재생되는 소리의 크기가 명료도를 향상시켰다고 보기는 어렵다. 바로 건축 음향적이라는 환경적 변수가 작용하기 때문이다. 따라서 회의실내 명료도를 높이기 위해서는 마이크의 선택과 스피커의 배치 및 앰프의 출력성능 외에 실내마감재와 모양을 종합적으로 고려해야 명료도 높은 회의실의 만들 수가 있다. 하지만 현실적으로 회의실을 구성하고자 할 때 이 3가지 모두를 고려해서 만들기는 여러 가지 현실적인 이유로 어렵기 때문에 전기음향 시스템만으로 주어진 과제를 완수해야만 하는 경우가 많다.^[2-5] 전기음향 설계 방법 개선을 통해 명료도를 더 확보할 수 있는 방법을 소개하고자 한다.

II. 기술의 배경

1. 오디오 신호 전송

다채널의 오디오 신호의 전송을 위하여는 대부분의 경우 다수의 오디오케이블에 의한 아날로그 방식에 의하여 이루어진다. 그림.1과 같이 입력부에서 믹싱부로 오디오 케이블의 연결에 의하여 모든 입력 신호를 채널 별로

따로 전송하는 방식이다. 큰 손실은 아니지만 각 부분에서 연결되는 모든 신호는 단자와 케이블을 거쳐 신호가 전송되는 방식을 취하고 있어 신호 손실 및 잡음의 발생 소지가 있으며 분기 등의 신호 처리에 있어서 별도의 분기를 위한 장치를 설치하여야 하는 경우가 종종 발생하게 된다. 또한 단일 시스템이 아닌 복수의 음향시스템 간의 연동을 필요로 하는 경우 다수의 케이블 설치가 필요로 하게 되어 복잡한 신호연결이 이루어져야 한다. 그림.2와 같이 동일한 음향 시스템에 대하여 허브로 구성된 디지털방식의 오디오 네트워크를 이용한 신호전송이 이루어지면 복잡한 오디오선의 배선 및 배선에 의한 신호 손실 등의 문제는 모두 없어지게 된다.

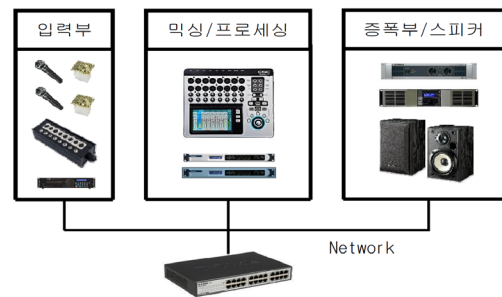


그림 2. 디지털 방식 오디오 신호 전송
Fig. 2. Digital Audio Signal Transmission

2. 오디오 네트워크

디지털 기술의 눈부신 발전과 함께 오디오 신호의 디지털화가 본격적으로 이루어졌고 다양한 디지털 오디오 전송규약이 개발되었다. 이러한 디지털 오디오는 최근에는 가정용으로 널리 사용되는 S/PDIF, 디지털오디오 전용인 MADI 등의 전송규약과 함께 디지털오디오 관련 표준 전송규약의 개발이 본격적으로 이루어지면서 CobraNet 및 Dante Network의 개발이 이루어졌다. 또한 각 음향장비 전문 제조사에서 각 제조사에서 전용으로 사용하기 위하여 개발된 Q-Sys, Hi-Q Net, BluLink 등 다수의 전용 디지털 오디오 전송규약이 개발되었다. 최근에는 음성신호와 영상신호를 같이 전송하는 전송규약으로 AVB 전송규약이 개발되었다. 현재 공용으로 사용되는 오디오 네트워크는 CobraNet 과 Dante Network이며 다수의 음향장비 제조사에서 표준으로 기능을 제공하고 있다. 표 1.에 대표적인 표준 전송규약과 각 제조사에서 전용으로 사용되는 전용 전송규약의 최대 전송 채널을 표시하였다.

표 1. 디지털 오디오 전송 규약

Table 1. Digital Audio Transmission Protocol

표준 전송규약	
Cobra-Net Dante Network AVB	최대 64 채널 전송 최대 512 채널 전송 최대 400 채널 전송
전용 전송규약	
Q-Sys HiQNet BLU-Link	최대 512/512 채널 전송 최대 64 채널 최대 256 채널

최근 제품들에 적용되는 오디오 네트워크를 보면 Dante Network 전송규약이 많은 부분을 차지하는 것을 볼 수 있다. 다수의 프로세서 제작사들이 처음으로 적용한 Cobra-Net으로 시작된 오디오 네트워크는 최근 믹서 및 파워앰프 제작사들이 대부분 Dante Network를 지원하기 시작하면서 프로세서 제품들도 Dante Network를 지원하기 시작하였다. 이러한 이유로 서로 다른 제조사의 믹서, 프로세서, 파워앰프가 Dante Network기반의 오디오 네트워크를 구성할 수 있게 되어 신호전송에 제한이 없어지고 있다. 당분간 Dante Network가 업계전반에 다양하게 적용되고 사용될 것으로 전망된다. 하지만 멀티미디어 관점에서 음향/영상 신호를 동시에 전송할 수 있는 전송규약인 AVB 전송규약이 향후 폭 넓게 사용될 것이 명확하나 최근의 급격한 진보를 보이고 있는 영상설비의 영상신호/사양의 변경에 따라 표준 전송규약으로 채용하기 어려운 점이 있다.

III. 본 론

1. 명료도 개선 전 환경 분석

회의장내 참석한 발언자의 마이크를 통해 변환된 음성 신호가 스피커로 확성될 때 스피커와 가까운 마이크 또는 마이크 지향성과 스피커 지향성을 고려치 않은 설치로 인해 피드백이 발생하게 되고 이는 청취하는데 필요한 오디오 레벨을 목표치만큼 확보하지 못하게 하는 요인이 된다.^[6]

1) 회의용 마이크 시스템

회의용 마이크 시스템의 경우 회의실이라는 특수한 용도에 맞게 제조사들은 일반 마이크에는 없는 몇 가지

부가기능(투표기능, 발언자 시간 조정기능, 순서대기 기능, 우선순위 기능 등)을 내장하여 제품을 생산한다. 회의 전문 마이크제품들은 그 편리성을 이유로 마이크 간 데이지체인(Daisy chain) 방식이라고 불리는 연결 방식으로 설치가 된다. 이 데이지 체인 방식은 다수의 마이크 신호를 최종단의 관리 장치까지 집합 될 때까지 모노(Mono)로 서밍(Summing)해서 오디오 신호를 전달하므로 음향시스템을 구성하는데 마이크 수량만큼 믹서의 채널이 필요치 않기 때문에 편리하다고 할 수 있으나 마이크 개별의 음색조정과 레벨조정 등 신호처리가 불가능한 단점이 있다.

또한 회의용 마이크 제품은 대부분 감도가 높은 컨텐서 마이크를 사용하는데 이는 피드백이 잘 발생하는 원인이 되기도 한다. 특히 스피커 지향각과 마이크의 픽업 패턴이 중첩될 경우 피드백을 피하기 위해 할 수 있는 현실적인 선택은 이퀄라이저로 피드백 주파수를 제어하거나 음량을 조절하는 방법을 통해 하울링 마진을 확보하게 된다. 이퀄라이저로 스피커의 진폭특성을 보정하게 되면 하울링 마진이 증가하여 보정하기 전보다 좀 더 높은 음압의 소리를 재생 할 수 있다. 하지만 동시에 사용하는 마이크 수량이 늘어나는 경우에는 확보한 하울링 마진이 다시 낮아지고 원하는 레벨확보를 위해 과도한 보정을 하게 될 경우 음색이 더 나빠지는 등의 문제가 발생하게 된다.



그림 3. 회의용 마이크장비의 오디오 신호전달
 Fig. 3. Audio Signal Transmission of Conference Microphone Equipment

하지만 더 문제는 음압을 확보하기 위해 마이크 및 스피커에서부터 처리된 주파수 보정의 영향으로 인해 명료도 증가를 보장 할 수는 없다는 점이다. 이는 발표사례가 되는 H기업 화상회의실에서(40석) 측정된 결과를 통해 확인할 수 있는데 회의실은 테코타일마감, 석고보드 천정, 좌우측 유리벽면(우측유리는 암막블라인드사용)으로 마감되어 있는 환경이며 전면에 화상회의를 위한 스크린이 설치된 공간이다.

측정은 NTT社의 XL2 측정용 장비와 동사의 토크박스(Talk Box)를 통해 명료도 측정 레퍼런스 신호(STIPA

reference)를 IEC60268-16 : 2011(edition4) 개선된 표준 규격을 적용하여 60dBA로 재생하고 측정하였다. 일상적인 사용환경에서 측정의 근사치를 높이기 위해 건물의 업무시간내 발주처의 협조를 얻어 인원을 통제 한 후 측정하였다.



그림 4. NT社의 레퍼런스 시그널 재생기 Talk Box(좌)와 분석기 XL2(우)
Fig. 4. NT Ltm's Reference Signal Regenerator Talkbox (left) and Analyzer XL2 (right)

측정된 NC 커브는 일반적인 사무공간에서 나타나는 특징을 가지고 있었다. 외부로부터 유입되는 자동차 소음과 공조시스템의 동작으로 인한 저역대의 비교적 특이점을 제외하고 전체적인 수치는 40dB 이하로 회의를 하기엔 적합하다고 판단된다.

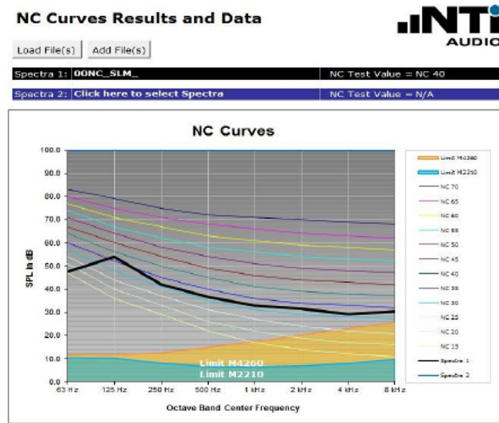


그림 5. 회의실 Acoustic NC Curve
Fig. 5. Conference Acoustic NC Curve

회의실내 건축음향 명료도(STI)는 임의의 좌석 4곳을 측정하여 평균한 결과 약 0.65로 Good(전좌석 평균 음압 :75.3dB)으로 측정 되었다.

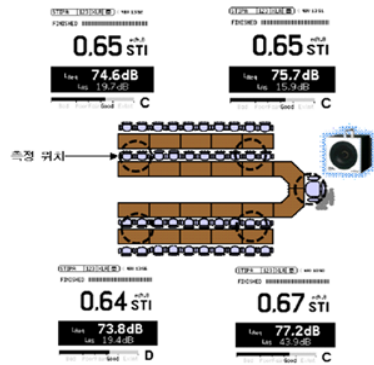


그림 6. Room Acoustic 명료도
Fig. 6. Room Acoustic Clarity

2) 명료도(STI)를 저해하는 전기음향 설계

이번 사례의 회의실 전기음향 시스템은 몇 번의 리모델링을 거쳐 장비가 교체되었으나 명료도 향상이라는 목표를 이루지 못한 상태였다. 오히려 전기음향 장비를 이용할 경우 실내 반사음과 좌우측 벽 에코(ECHO)등으로 명료도를 저하시키는 요인으로 작용하였다.

측정결과 스피커 확성을 통한 음압은 전좌석 평균음압 80.18dB로 증가하였으나 STI평균값은 0.55(Fair등급)으로 명료도의 저하가 있었다.

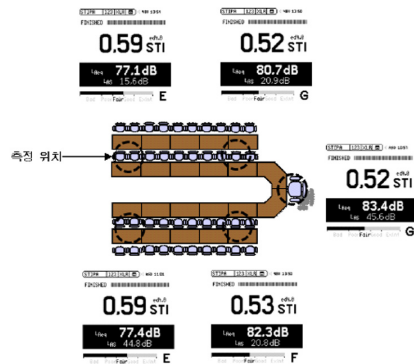


그림 7. 개선 전 전기음향시스템을 이용하여 확성한 명료도(음압은 증가하였으나 명료도는 저하됨)
Fig. 7. The clarity (the sound pressure is increased but the intelligibility is lowered), which is amplified by using the pre-improvement electroacoustic system.

2. 변경된 전기음향 시스템

회의실의 명료도 개선을 위해 취한 방법은 다음과 같다.

1) 스피커 회로 분리

기존의 전기음향 시스템의 스피커 출력회로 구성을 개별로 제어 할 수 있도록 스피커와 앰프의 매칭을 1:1로 구성을 변경 하였다.

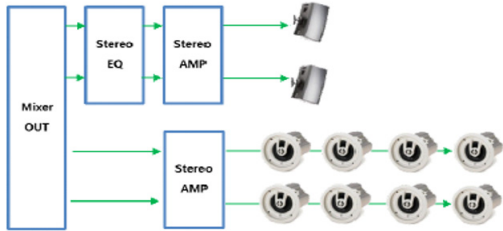


그림 8. 기존의 스피커 출력방식 계통도
 Fig. 8. Conventional Speaker Output System Schematic Diagram

설치위치는 변경이 불가능하여 기존의 위치를 그대로 유지 하였다.

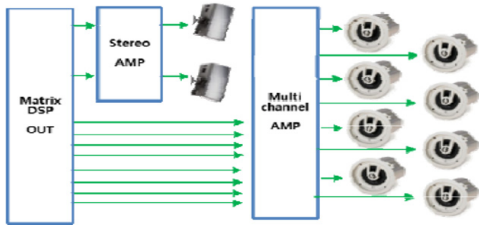


그림 9. 명료도 개선을 위해 변경된 스피커 출력방식 계통도
 Fig. 9. Modified speaker output scheme for clarity improvement

2) 프로그래머블(programmable) DSP(Digital Signal Processing)를 통한 개별 오디오 입출력 프로 세싱

시그널 프로세서(DSP)를 사용하여 마이크와 스피커 출력회로를 개별 입/출력 방식으로 변경하였다.

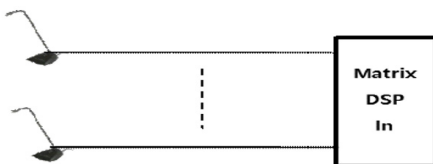


그림 10. 명료도 개선을 위해 변경한 마이크 연결방식 계통도
 Fig. 10. Microphone Connection System Schematic Diagram Changed for Clarity Improvement

변경 후 각 마이크별 레벨보정과 스피커별 레벨 보정 등을 거쳐 42 × 20의 매트릭스 시스템을 구성하였으며 서로 설치시점이 틀리고 제조사가 틀린 스피커의 상이한 음색특성을 보정하여 최대한 같은 음색이 재생되도록 하였다.

3. 오디오 신호 처리 방법

1) 마이크의 신호 처리

마이크는 DSP 매트릭스로 개별 입력된 채널에 하이 패스(HPF) 필터를 사용하였다. 회의실 좌석에 사용자가 지정되어 있지 않고 돌아가면서 쓰는 회의실 이므로 오토게인컨트롤(AGC)신호 처리를 하여 -40dB~-20dB 구간의 소리는 +3dB 보상을 하여주고 -10dB부터 발생하는 높은 레벨의 입력에 대해서는 2.5:1 Ratio로 컴프레싱을 하였다. 이외 마이크 근접효과로 인한 저음성분을 제어 하기 위해 다이내믹 EQ를 사용하여 특정레벨 이상의 저음성분을 압축하도록 하는 프로세싱을 적용 하였다. 이들 오디오 신호처리 알고리즘으로 인하여 목소리의 크기의 차이로 인한 음향적 리스크를 제어 할 수 있었다.

2) 스피커의 신호 처리

스피커로 출력되는 각 오디오의 레벨을 설정하기 전에 공간의 공진 주파수에 해당하는 이퀄라이저 보정작업을 하였으며 보정작업은 음색에 지장을 주지 않는 범위 내에서 최소화 하였다.

3) 입출력 레벨의 분배

입력된 오디오 신호들이 스피커로 분배되는 과정에서는 전체신호를 믹싱하여 확장하는 방법을 사용하지 않고 매트릭스에서 각 스피커로 출력되는 마이크 입력 값들을 개별로 지정하여 분배하였다. 이 작업은 각 마이크 하나가 12개의 스피커로 출력되는 소리에 대한 개별적인 출력 값을 가질 수 있게 해준다. 40여개의 각 마이크에 대



그림 11. 믹스 마이너스 방식으로 음성 확장
 Fig. 11. Audio Amplification though Mix Minus System

해 개별로 적용한 이 신호처리 방식을 통해 믹스마이너스(Mix-minus)라는 독특한 음성 출력방식이 구현이 된다.

이 신호처리방식이 가지는 이점은 회의실 내 설치한 스피커를 통해 방사되는 소리에 대한 확성레벨의 기준이 개별 마이크의 위치값과 연동해서 동작하므로 피드백 마진을 높일 수 있다는 것이다.

그 다음으로 실내공간의 건축음향 명료도를 해치지 않고 발언자와 가장 멀리 떨어진 청취자까지 명료도를 개선한 상태로 음성을 전달 할 수 있도록 하기 위해 보이 스피리프팅(Voice Lifting)처리방식을 적용 하였다.

발언자가 전기음향장치를 사용하지 않고 발언한 소리의 레벨을 가장 멀리 떨어진 청취자까지 도달하기까지 음압 감쇄분을 고려하여 그 경로상에 있는 스피커들로 보상을 해주는 방식이다. 이는 회의실의 책상구조와 규모, 마이크 수량에 따라 틀리게 적용되는데 바로 옆자리에서 듣는 청감상의 디테일을 거리에 상관없이 구현 가능하다는 이점이 있다.

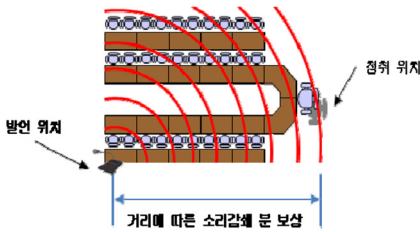


그림 12. 보이 스피리프팅 확성의 개념도
Fig. 12. A Conceptual Diagram of Voice Lifting Amplification

4. 오디오 신호 처리 결과

1) 명료도 증가

마이크 사용시 저하되던 명료도가 개선되었다.(개선 전/후 평균 명료도 :0.55 / 0.65)

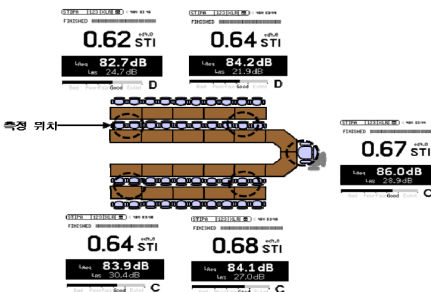


그림 13. 개선 후 측정 결과
Fig. 13. Measurement Results after Improvement

표 2. 개선 전/후 STI측정 결과

Table 2. STI Measurement Results before and after Improvement

측정위치	A	B	C	D
Acoustic	0.65	0.65	0.67	0.64
개선 전	0.52	0.59	0.59	0.53
개선 후	0.64	0.62	0.68	0.64

2) 음압증가

전체적으로 음압이 고르게 증가되어 스피커를 이용한 확성 환경이 개선되었다. (개선 전/후 평균음압 : 80.18dB / 84.18dB)

표 3. 개선 전/후 음압 측정 결과

Table 3. Sound Pressure Measurement Results after Improvement

측정위치	A(dB)	B(B)	C(dB)	D(dB)
Acoustic	75.7	74.6	73.8	77.2
개선전	80.7	77.1	77.4	82.3
개선후	84.2	82.7	83.9	84.1

3) 참석자 집중력 증가

거리에 상관없이 바로 옆 사람이 말하듯이 자연스럽게 들리는 결과물로 인해 청취자의 청취피로를 줄여 편하게 장시간 회의가 가능한 환경이 되었다.

4) 발언자 전달력 증가

발언자의 목소리 크기에 상관없이 일정비율로 레벨을 보정하여 주므로 발언자는 마이크를 의식하지 않고 청취자와의 소통에 집중 할 수 있는 환경이 되었다.

5) 화상회의 시 에코(Echo)제거

화상회의 시 가장 문제가 발생하는 자국과 타국의 루프(Loop) 시그널을 제거하여 에코제거를 통한 명료한 화상회의가 가능하게 되었다.

IV. 결론

오디오 네트워크가 개발되고 현장에 적용되기 시작한 것은 이미 10년 전부터이다. 하지만 그 적용이 본격화 되고 있는 것은 최근의 일이며 많은 현장에서 적용되고 있

고 그 적용이 검토되고 있다.

사례를 통한 실험에 따르면 다음의 네 가지로 압축할 수 있다.

- 1) 음압이 높다고 명료도가 향상되진 않는다.
- 2) 음압확보를 위한 지나친 이퀄라이저 보정은 음색이 나빠져 명료도를 저하시킨다.
- 3) 건축음향이 고려되지 않은 공간에서 스피커로 형성된 높은 음압은 오히려 명료도를 해치는 원인이 된다.
- 4) 입출력 레벨의 분배 및 신호처리 알고리즘으로 음압 및 명료도를 일정부분 개선시킬 수 있으며 공간 전체에 고른 소리분포가 가능하다.

이상적인 명료도 개선을 하기 위해서는 전기음향과 건축음향이 동시에 고려되고 스피커 배치와 형성 방법에 대한 주의가 필요하다. 하지만 회의실에서 전기음향 시스템의 설계방법의 변화와 신호처리방법의 알고리즘 변경만으로 건축음향의 개선 없이 명료도가 일정부분 향상됨을 알 수가 있다. 현재 다수의 음향기기 제조사들이 채용하고 있는 전송규약은 Dante Network이다. 따라서 설계 및 시공 측면에 있어서 가장 유리한 것이 Dante Network이다. 하지만 멀티미디어란 관점에 있어서 음향/영상 전송이 동시에 이루어지는 AVB 전송규약의 향후 향방에 대하여 지속적인 고려가 진행되어야 할 것이다.

물론 회의장의 환경과 요건에 따른 개선방향이 다르게 적용되어야 하겠지만, 오디오네트워크 시스템을 이용한 음장가변장치는 우리에게 주는 또 다른 전기음향과 건축음향의 경제적 개선방법임은 확실하다.

References

- [1] J. Eyre and J. Bier, "The evolution of DSPprocessor," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 17, Mar. 2000, pp.43-51
- [2] Haas, H. ~1949!. "The influence of a single echo on the audibility of speech," J. Audiol. Eng. Soc. 20, pp.146 - 159, English translation ~1972!.
- [3] Olive, Sean E. and Floyd E. Toole, The Detection of Reflections in Typical Rooms, J. Audio Eng. Soc., 37, 7/8, (July/Aug 1989) pp.539-553.
- [4] Toole, Floyd E., Loudspeakers and Rooms for

Stereophonic Sound Reproduction, Proc. Audio Eng. Soc. 8th International Conference, Washington, D.C., (1990) pp.71-91.

- [5] HOUTGAST, T., A review of the MTF concept in room acoustics and its STEENEKEN, H.J.M.: use for estimating speech intelligibility in auditoria J. Acoust. Soc. Amer. 77 (1985), pp.1060-1077
- [6] Seonghoon Kang, Proceedings of the Acoustical Society of Korea Conference, 2015 Spring Symposium pp.88-91

저자 소개

강 철 용(정회원)



- 2015년 8월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합대학원 정보통신미디어공학 박사과정
 <주관심분야 : 방송음향기술, 음향측정, 음향신호처리>

이 석 주(정회원)



- 2008년 : 부경대학교 전자공학과(공학사)
- 2011년 8월 ~ 2013년 12월 : 소비코 기술연구소 선임연구원
- 2014년 1월 ~ 2017년 2월 : 소비코 기술연구소 수석연구원

<주관심분야 : 음향 시스템 설계, 음향 시공>

조 광 연(정회원)



- 2008년 : 청주대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2014년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 나노IT융합대학원 정보통신미디어공학전공 석박사과정
 <주관심분야 : 무선신호처리, 정보통신공학>

이 선 희(정회원)



- 1982년 : 동국대학교 대학원 전자공학(공학석사)
- 1990년 : 동국대학교 대학원 전자공학(공학박사)
- 1982년 ~ 1990년 : 유한대학교 전자과 교수
- 1990년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수

<주관심분야 : 오디오기술, 3D음향, 전자공학>

※ 이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.