

음향 보상 시스템에 관한 연구

A Study on the Audio Compensation System

정병철[†], 원총상^{*}

(Byung-Chul Jeoung[†] and Chung-Sang Won^{*})

(주)케빅 부설 연구소, *국립 한국교통대학교 컴퓨터공학과
(접수일자: 2013년 8월 8일; 채택일자: 2013년 9월 26일)

초 록: 본 연구에서는 음성전기변환기로서 다이내믹 마이크로폰과 디지털 신호처리를 사용하고 성능분석을 통해 좋은 음성신호를 출력하는 방법을 다루었다. 음성음향시스템의 성능이라 함은 음성신호를 왜곡하지 않고 얼마나 원음 특성을 충실하게 증폭하여 확산하는가를 뜻한다. 마이크로폰의 주파수 응답특성을 측정된 후, 신호처리방법으로 표준 마이크로폰 주파수 응답특성과 비교하여 주파수대역 별 보정치를 구하였다. 본 논문에서 사용된 마이크로폰과 스피커는 일반적으로 사용되는 제품으로, 주파수응답특성을 구하고 기준치와 비교하여 필요한 보정치를 구하였다. 이와 같이 구한 마이크로폰과 스피커의 보정치는 디지털신호처리방법으로 처리하여 원신호에 가깝게 보상하였다. 그리고 음성음원과 수음마이크 사이의 거리변화에 의한 음향특성변화보상에 관한 측정 결과도 비교적 좋은 결과를 얻었다.
핵심용어: 마이크로폰, 스피커, 주파수응답특성, 비선형성 왜곡, FFT, iFFT, 음향보상

ABSTRACT: In this paper, we researched a method that makes a good acoustic-speech system using a digital signal processing technique with dynamic microphone as a transducer. Good acoustic-speech system should deliver the original sound input to electric signal without distortion. By measuring the frequency response of the microphone, adjustment factors are obtained by comparing measured data and standard frequency response of microphone for each frequency band. The final sound levels are obtained using the developed adjustment factors of frequency responses from the microphone and speaker to match the original sound levels using the digital signal processing technique. Then, we minimize the changes in the frequency response and level due to the variation of the distance from source to microphone, where the frequency responses were measured according to the distance changes.

Keywords: Microphone, Speaker, Frequency response, Nonlinear distortion, FFT, iFFT, Audio compensation
PACS numbers: 43.60.-c

1. 서 론

음성신호를 위한 성능 좋은 전기음향시스템은 입력되는 음성신호를 왜곡하지 않고 충실하게 증폭하고 신호처리를 기반으로 음성의 음질을 조절하여 스피커를 통하여 외부로 방출하는 시스템을 뜻한다. 음성음향신호는 사람의 입으로부터 방출되지만 이 음성은 음성전기변환기인 마이크로 폰으로 입력된다. 마이크로폰으로 입력된 음성음향신호는 음성전기신호로 변환됨과 동시에 마이크로폰의 기계적인 구조 등에 의하여 왜곡된 음성음향신호로 변질된다.

이와 같이 변질된 음성음향신호는 디지털 신호처리 방법으로 원음음성 특성에 근사하도록 처리하여 전기음향기기인 스피커를 통하여 증폭 조정된 소리로 방출하게 된다.

그러나 최종단계에서도 전기음향기기인 다이내믹 스피커 역시 전기기계적인 비선형 특성에 의하여 방출되는 음성음향신호를 왜곡시킨다. 스피커의 비선형성은 스피커의 진동판을 받쳐주는 엷지, 댐퍼, 보이스코일, 보빈, 영구자석, 진동판의 재질 형태 등에 의해 비선형왜곡이 발생한다. 이와 같은 비선형 왜곡은 입력신호의 정수배 성분이 출력 되는 고조파 왜곡과 입력주파수 성분의 합 또는 차의 성분으로

[†]Corresponding author: Byung-Chul Jeoung (jbc@kevic.com)
Nonhyeon-Ro 24Gil 5, Gangnam-Gu Seoul, Republic of Korea
(Tel: 82-2-579-1533, Fax: 82-2-579-1538)

출력되는 상호변조파 왜곡이 있다. 또한 비선형왜곡은 스피커 시스템 입력 신호에 포함되지 않은 새로운 성분을 출력신호로서 발생하게 하기 때문에 입력 신호를 충실하게 출력하는데 어려움이 발생한다. 특히 최근에 많이 보급되고 있는 스마트폰에 사용되는 소형 스피커인 경우 유닛 크기가 작기 때문에 구조상의 제약이나 기계음향공학적인 측면에서 고찰할 때 비선형왜곡 저감에는 한계가 있게 된다. 따라서 스피커 구조적인 개조에 의한 왜곡저감에 한계점을 해결하는 방법으로 디지털신호처리를 이용하여 스피커시스템의 비선형왜곡을 보정하는 연구가 시도되고 있다. 비선형시스템의 모델로서 볼테라 급수 전개를 이용한 볼테라필터로 비선형왜곡을 보정하는 방법^[1-5]도 활발하게 연구가 진행되고 있다. Jeoung과 Choe^[6]는 일반 마이크로폰을 저음역, 중음역, 고음역대로 주파수 대역을 분류하여 거리에 따른 음역별 주파수 특성을 보정하는 방법으로 실험 연구하였다. Jamg^[7]은 보청기의 주파수 대역을 64채널로 분류하여 주파수 특성을 보정하는 방법으로 실험 연구하였다.

본 연구의 목적은 디지털 신호처리 기술을 응용하여 마이크로폰과 스피커의 비선형왜곡을 감소시키는데 있다. 본 연구는 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다. 음향전기변환기로서 일반적으로 많이 사용하는 다이내믹 마이크로폰을 선택하고 전기음향 변환기는 동전형 라우트스피커를 선택하여 그 특성을 고찰하고 FFT(Fast Fourier Transform)을 사용하여 음향특성을 보상하는 방법을 다루었다.

II. 마이크로폰과 스피커의 음향특성

2.1 다이내믹 마이크로폰의 음향특성

일반적으로 음향에너지를 전기에너지로 변환시키는 전기음향변환기를 마이크로폰이라고 한다. 마이크로폰의 종류는 탄소입자를 이용한 카본 마이크로폰, 크리스털 압전소자를 이용한 크리스털 마이크로폰, 세라믹 소자를 이용한 세라믹 마이크로폰, 정전형 콘덴서 마이크로폰, 동전형 다이내믹 마이크로폰, 리본 마이크로폰 등이 있다. 마이크로폰의 용도 별로 살펴보면 고정밀 음향측정용, 방송용, 녹음용, 보

컬용, 확성용, 스테이지용 등으로 분류할 수 있다. 여기서는 일반적으로 가장 많이 사용하는 다이내믹 마이크로폰의 원리와 특성에 대하여 고찰하기로 한다. 다이내믹 마이크로폰의 구조상 가장 중요한 부분이 음향에너지에 의해 진동되어 전기에너지를 발생시키는 진동판과 진동판에 부착된 보이스코일 그리고 이 코일이 운동하는 영역에 있는 자장이라고 할 수 있다.

진동판에 가해지는 음향에너지의 음파 음압 작용은 영구자석에 의해 형성된 자장내를 보이스코일이 움직이게 한다. 따라서 보이스코일이 자장내에서 움직일 때 그 기전력 e 는 식(1)로 나타낸다.

$$e = Blv. \quad (1)$$

여기서 B 는 자속밀도, l 은 보이스코일의 길이, v 는 보이스코일의 속도이다.

보이스코일의 속도는 다음과 같다.

$$v = \frac{f}{Z_m} \quad (2)$$

$$= \frac{PSe^{j\omega t}}{R_0 + j(\omega m_0 - s_0/\omega)} \quad (3)$$

여기서 S 는 진동판의 면적, P 는 진동판에 작용하는 압력의 크기, m_0 는 질량, s_0 는 강성, R_0 는 저항, Z_m 은 기계적 임피던스, f 는 진동주파수이다. 마이크로폰의 감도를 증가시키려면 진동속도를 가능한 크게 하여야 한다. 그러므로 간단한 발전기와 같은 등가적인 기계적 시스템을 사용하여 높은 감도와 좋은 주파수 특성을 얻는다는 것은 불가능하다. 그러나 이것을 보상하여 기계적 임피던스를 작게 하고 주파수 특성을 좋게 하려면 기계적 소자를 부가시켜 저주파에서는 강성리액턴스 s_0/ω 를 증가시키고 고주파에서는 질량리액턴스를 증가시키면 된다. 넓은 대역폭으로 송신할 수 있는 전기회로를 설계할 때는 많은 공진회로를 사용한다.

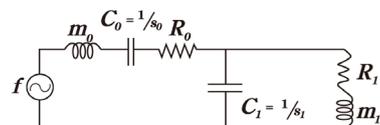


Fig. 1. Mechanical circuit of moving coil microphone.

Fig. 1에서 C_0 와 C_1 은 강성의 역수, m_0 는 자석과 진동판 이의 중심 코일, m_1 은 마이크 내부 코일, R_0 는 진동판의 질량, R_1 은 마이크 내부 코일의 질량, f 는 외부 소리 신호를 말한다. 가동코일 마이크로폰의 기계적 회로에서의 입력임피던스는 식(4)와 같다.

$$Z_m = R_m + jX_m \tag{4}$$

여기서

$$R_m = \frac{s_1^2 R_1}{R_1^2 \omega^2 + m_1^2 (\omega_1^2 - \omega^2)^2} + R_0 \tag{5}$$

$$X_m = \frac{s_1 \omega [m_1^2 (\omega_1^2 - \omega^2) - R_1^2]}{R_1^2 \omega^2 + m_1^2 (\omega_1^2 - \omega^2)^2} + m_0 \omega - \frac{s_0}{\omega} \tag{6}$$

$$\omega_1^2 = \frac{s_1}{m_1} \tag{7}$$

강성 s_0 와 저항 R_0 는 진동판을 받치고 있는 주름 잡힌 환대모양으로 된 부분의 영향을 받는다. 강성 s_1 은 주로 진동판 아래 부분의 공간(V_2)내 공기의 압력에 의해 발생한다. 질량 m_1 과 저항 R_1 은 비단과 같은 재료가 공기 흐름을 저지시키는 점성력에 의해 발생한다.^[8] 이와 같이 발생된 강성은 비교적 작기 때문에 무시할 수도 있다.

위의 회로에 대한 기계적 특성을 갖는 가동코일 마이크로폰의 단면도는 Fig. 2와 같다.

진동판은 필요한 주파수 범위 내에서 단단한 피스톤과 같은 구형의 판으로 이루어져 있다.

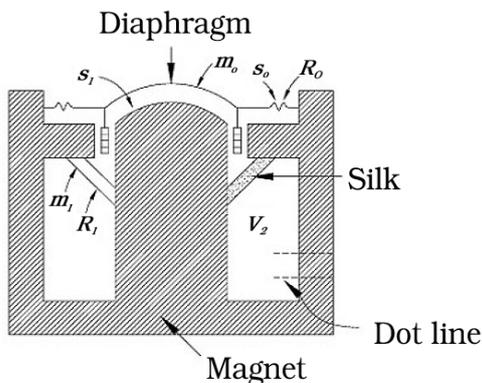


Fig. 2. Moving coil microphone cross section.

이 마이크로폰의 저주파 특성은 Fig. 2의 점선으로 표시된 바와 같이 아래쪽 공간을 외부의 공기와 연결하는 관을 첨가해서 개선할 수 있다. 기호 설명은 Fig. 1과 동일하며, 저주파 영역에서 이 관에 의해 V_2 에 가해지는 음압의 위상은 진동판의 뒷면에 작용하기 전에 180° 변하고 이에 따라 진동판에 작용하는 힘을 증가시켜 마이크로폰의 출력을 증가시킨다. 원리적으로 고찰할 때 이것은 위상반전형 캐비닛을 사용하여 스피커의 저주파 출력을 향상시키는 것과 유사하다.

2.2 라우드 스피커의 음향특성

전기적인 에너지를 음향에너지로 변환시키는 변환기를 스피커라고 한다. 스피커도 그 동작원리에 따라 여러 가지로 분류된다. 여기서는 가장 보편적으로 많이 사용하는 다이내믹 스피커에 대하여 살펴보기로 한다. 다이내믹 스피커 진동판의 기계적 임피던스 Z_m 은 식(8)과 같다.

$$Z_m = Z_r + Z_c \tag{8}$$

여기서 Z_r 은 스피커 진동판의 음향방사 임피던스이며 Z_c 는 진동판 시스템의 총괄적인 상수에 대한 기계적인 임피던스이다. Z_c 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_c = R_m + j[\omega m - (s/\omega)] \tag{9}$$

여기서 R_m 은 진동판을 먼저 고정하고 축방향으로만 움직일 수 있도록 한 진동판 주위와 보이스코일 주위에 주름 있는 받침재가 축방향으로 기계적인 운동을 할 때 생기는 에너지 손실에 주로 관계되는 기계적인 저항이다. m 은 진동판 시스템의 총 운동질량으로 보이스코일과 스피커 진동판의 질량의 합이다. s 는 진동판 주위와 중심 부분에서 고정시키는 재료의 축방향 운동에 대한 강성이다. 높은 주파수로 진동하는 경우 진동판은 균일하게 진동하지 않고 모드에 따라 복잡한 진동현상을 보인다. 이와 같은 현상이 발생하는 경우 총괄적인 상수해석 수정을 하여

야한다. 방사 임피던스 Z_r 은 식(10)과 같이 주어진다.

$$Z_r = R_r + jX_r. \tag{10}$$

여기서 R_r 은 원형 피스톤 방사저항이고 X_r 은 방사 리액티브이다.

스피커 진동판에 가해지는 구동력 f 는 식(11)과 같다.

$$f = Bli. \tag{11}$$

여기서 B 는 자계의 자속밀도, l 은 보이스코일 내의 도체 길이, i 는 전류이다. 만약 보이스코일에 흐르는 전류를 복소수 함수로 표시하면 다음과 같다.

$$i = Ie^{j\omega t}. \tag{12}$$

I 는 전류의 크기, ω 는 전류의 주파수를 의미한다. 이 때, 진동판의 정상상태의 복소수 속도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$v = \frac{f}{Z_m} = \frac{Bli}{Z_m}. \tag{13}$$

Z_m 이 일반적인 복소수이므로, 순간속도는 구동전류와 위상이 다르게 된다. 다음과 같은 전압 보이스코일 양단에 가해지는 전압 e 는 식(14)와 같이 나타

$$e = Ee^{j\omega t}. \tag{14}$$

보이스코일의 일반적인 전기임피던스는 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$Z_E = R_E + j\omega L_E. \tag{15}$$

여기서 R_E 는 보이스코일 저항, L_E 는 인덕턴스이다. 이들은 각각 식(3)의 실수부, 허수부를 나타낸다.

스피커의 자장 내에서 보이스코일의 운동은 반대 방향으로의 역기전력 e_m 을 발생시킨다.

$$e_m = Blv. \tag{16}$$

식(16)에 v 값을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$e_m = \frac{B^2 l^2}{Z_m} i = \frac{\Phi^2}{Z_m} i, \tag{17}$$

$$\Phi = Bl \tag{18}$$

여기서 Φ 는 전기에서 기계의 양으로 서로 관계되는 값으로, 변환 계수라고 한다. 역기전력을 고려하면 보이스코일에 흐르는 전류를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$i = \frac{e - e_m}{Z_E} \tag{19}$$

$$= \frac{e}{Z_E + (\Phi^2/Z_m)}. \tag{20}$$

위 식에서 Φ^2/Z_m 은 전기적 임피던스 성질을 갖고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 위 식의 Φ^2/Z_m 항은 다음과 같은 운동 임피던스 Z_M 으로 대치할 수 있다.

$$Z_M = \frac{\Phi^2}{Z_m} = \frac{\Phi^2}{(R_r + R_m) + j(X_r + \omega m - s/\omega)}. \tag{21}$$

다이나믹 스피커 및 다른 전기음향 변환기를 해석하는 경우 기계적인 계통을 전기적인 계통으로 대치하여 해석하는 것이 때로는 편리하다. X_r 은 스피커 진동판의 음향방사 임피던스 Z_r 의 리액티브이다.

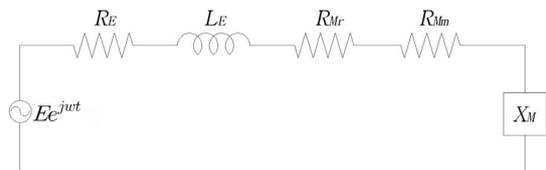


Fig. 3. Equivalent series circuit of cone/horn speaker.

예를 들면 스피커에 가해진 전압에 의해 보이스코

일에 흐르는 전류를 구할 때 Fig. 3과 같은 회로를 사용하여 구할 수 있다. 이 회로에서 운동요소들 R_{M_r} , R_{M_m} 그리고 X_M 은 복소수 식(21)을 유리화함으로서 구할 수 있다.

다이나믹 스피커의 등가직렬 전기회로 리액턴스 부분 X_M 과 전체 저항부분 R_M 은 식(22) 및 식(23)과 같다.

$$X_M = -\frac{\Phi^2(X_r + \omega m - s/\omega)}{Z_m^2}, \quad (22)$$

$$R_M = \frac{\Phi^2(R_r + R_m)}{Z_m^2}. \quad (23)$$

전체 저항 부분 R_M 에서 부분적으로 전기적 에너지가 음향에너지로 변환되는 것과 관계되는 것은 다음과 같다.

$$R_{M_r} = \frac{\Phi^2(R_r)}{Z_m^2}. \quad (24)$$

나머지 부분은 주름잡힌 반침대와 스피커 콘이 굽혀질 때 소모되는 에너지에 관계되며 그 식은 다음과 같다.

$$R_{M_m} = \frac{\Phi^2(R_m)}{Z_m^2}. \quad (25)$$

스피커의 전기음향 효율 η 는 등가전기회로의 효율과 동일하므로 다음과 같다.

$$\eta = \frac{R_{M_r}}{R_{M_r} + R_{M_m} + R_E}. \quad (26)$$

식(24)와 (25)로부터 R_{M_m} , R_{M_r} 에 대한 값을 위 식에 대입하면 다음과 같다.

$$\eta = \frac{\Phi^2 R_r}{\Phi^2(R_r + R_m) + R_E Z_m^2}, \quad (27)$$

여기서 $Z_m^2 = (R_r + R_m)^2 + (X_r + \omega m - s/\omega)^2$, 교류 전류 $I e^{j\omega t}$ 가 보이스코일에 가해지면 방출되는 음향

파워는 다음과 같다.

$$W = I^2 R_{M_r} = \frac{\Phi^2 R_r I^2}{Z_m^2}. \quad (28)$$

이 음향파워는 등가회로의 대응부분에서 소모되는 파워이다.

2.3 콘 다이나믹 스피커의 음향특성

이상적인 피스톤 모양 스피커의 특성을 전형적인 콘 다이나믹 스피커의 특성과 비교 고찰하기로 한다. 방사하는 면의 유연 또는 신축성으로 인하여 방사된 소리의 지향성은 반경이 a 인 피스톤으로 주어진 지향성보다 다소 넓게 된다. 이것은 콘의 중앙부분이 콘의 외부보다 빠르게 진동하여 콘돌레의 운동은 내부운동보다 항상 약간의 시간차를 갖고 진동하기 때문에 발생하는 유향한 횡파속도에 기인한다.

콘이 작은 것은 콘 표면의 실제점인 강도가 작기 때문에 각도가 좁은 콘 보다 넓은 콘의 지향성이 감소한다. 따라서 콘 표면의 기본공진 주파수 이상되는 주파수에서는 강도가 약하기 때문에 콘의 원형 주변 영역에서는 반대 위상으로 진동하게 된다. 결국 콘의 실효반경은 주파수가 증가함에 따라 감소하게 된다. 콘의 실효반경을 감소시키는 두 번째 효과는 반경자승에 비례하는 항목 중 방사저항을 감소시키는 것인데 이는 높은 주파수에서 음향출력을 더욱 감소시키지만 그러나 콘의 실효질량을 감소시키는 것과 상호 균형을 이룬다. Figs. 4와 5는 간단한 콘 스피커의 구조이다. 외부 테두리까지의 반경이 a 이고 그 경사진 높이가 l 인 질량 m_p 의 단단한 구조의 종이 콘이 질량 m_c 의 보이스코일에 부착된 상태로 구성되어 있다. 콘의 각도 θ 는 다음과 같게 된다.

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{a}{l}. \quad (29)$$

강성 s 는 s_1 과 s_2 로 구성된다. s_1 은 콘의 테두리에 주름잡힌 모양으로 된 부분의 강성이며, s_2 는 따로 보이스코일에 부착된 비교적 굴곡이 큰 원판 중심부의 강성이다. 종이콘에서 발생하는 횡파(transverse

waves)의 속도는 콘의 두께, 강성, 각도 및 동작주파수와 일반적으로 함수관계를 갖는다. 일반적으로 상용스피커의 콘의 횡파속도는 약 500 m/s 이다. 중심각이 120°이고 반경이 0.1m인 콘의 중심으로부터 주변까지 도달하는데 필요한 시간은 약 400분의 1초이다. 이와 같은 콘형 다이내믹 스피커는 500 Hz보다 낮은 주파수에서 하나의 구성단위로 동작하기에 적합하다고 할 수 있다. 높은 주파수에서는 콘이 한 구성단위로서 진동하는 게 아니라 마디로 된 원(nodal circle)으로 분리된 여러 개의 영역에서 진동한다. 스피커의 둘레부의 진동 진폭은 상대적으로 작아서 방사선의 일차적인 근사치는 스피커 콘의 중심으로부터 방사되는 것과 근사하다고 할 수 있다. 이 피스톤의 반경 a' 와 질량 m_p' 는 주파수가 증가하면 점차 감소한다. 여기서 방사저항 R_r 은 실효반경의 감소 때문에 거의 $(a'/a)^2$ 으로 감소한다.

시스템이 높은 주파수에서 질량조절을 하기 때문에 기계적 임피던스 Z_m 은 거의 $(m_c + m_p')$ ω 와 같다. 결국 주파수 증가에 따라 m_p' 가 감소하므로 m_p 가 일정한 경우 Z_m 은 피스톤과 같이 급격히 증가하지 않는다. 이러한 두 가지 효과에 의해 1 kHz 이상의 주파수에서 큰 스피커의 효율이 증가된다.

높은 주파수에서 진동하는 콘은 어느 정도 작은 반경의 원형 피스톤과 같이 동작하려는 경향이 있다.

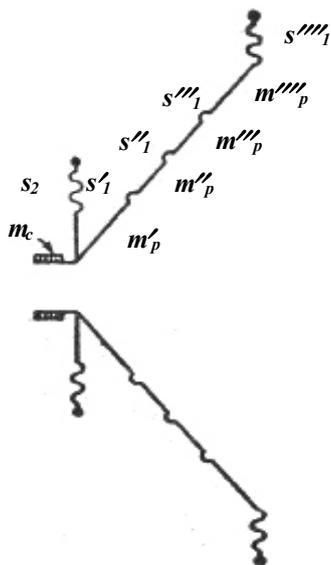


Fig. 4. Speaker cross section (cone paper).

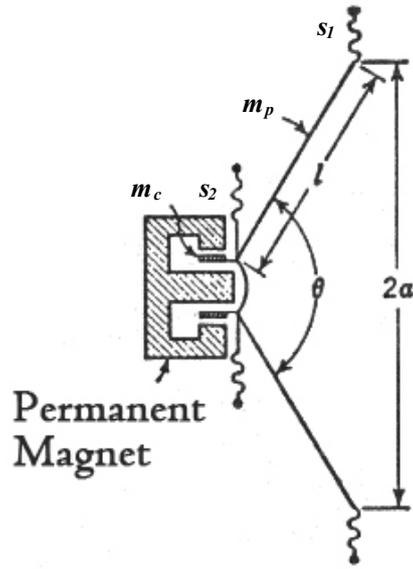


Fig. 5. Speaker cross section (with magnet).

Fig. 5에서 m_c 는 마이크 내부의 코일, s_1, s_2 는 진동판에 연결된 용수철의 강성을 나타낸다. l, θ 그리고 $2a$ 는 진동판의 직경, 각도와 정면에서의 직경을 나타낸다. 이와 같은 경우 Fig. 5와 같이 콘의 원주에서 주름 잡힌 형태로 된 것이 다소 존재한다. 낮은 주파수에서 강성 리액턴스 $s_1'/\omega, s_1''/\omega, s_1'''/\omega$ 는 질량 리액턴스 $\omega m_p'', \omega m_p''', \omega m_p''''$ 에 비해 모두 크다. 결국 전체 콘의 질량에 보이스코일의 질량을 더한 것은 실효질량이 되고 $s_2 + s_1''''$ 는 유효강성이 되기 때문에 콘은 한 단위 구성체와 같이 진동한다. 그러나 주파수가 높아짐에 따라 강성 리액턴스는 감소하고 반면에 질량 리액턴스는 증가하여 콘의 외부 부분은 진동이 점차로 감쇠한 후 마침내는 콘의 중앙 부분만 진동한다. 저주파주파수 응답 특성을 개선하는 한 가지 방법은 스피커 진동판 직경을 증가시키는 것이다. 이것은 진동판 반경에 4승으로 정비례하는 방사저항을 증가시키고 효율을 증가시킨다. 그러나 효율의 증가는 스피커의 질량과 Z_m 이 반경에 따라 커지기 때문에 기대했던 만큼 크지는 않다. 저주파반응은 서스펜션 시스템의 강성을 감소시키고 기계적 공진 주파수를 저하시킴으로서 향상시킬 수 있다. 다만 효율과 출력 파워만을 생각하는 경우 서스펜션 시스템의 강성을 감소시키는 것이 가장 좋은

해결 방법이다. 그러나 기계적 시스템의 강도를 너무 많이 감소시키면 음향출력에 조화왜곡을 발생시키는 변위가 저주파에서 매우 크다. 이와 같은 조화왜곡은 변위와 복원력 사이의 비선형성에 의해 발생한다. 이 변위와 복원력은 받침시스템의 탄성한계를 초과한 경우이며 조화왜곡은 불균일한 자장영역에서 보이스코일에 비선형운동을 하기 때문에 발생한다.

III. 왜곡 및 감쇠음향보상

모든 음향신호는 분석 및 합성에 의해 그 특성이 변화하며 원하는 음향신호로 변환될 수 있다. 음향신호는 시간적인 함수관계로 고려할 때 규칙적으로 또는 불규칙적으로 변화한다고 생각할 수 있다. 일반적으로 음향신호에 포함된 유효한 정보를 추출하고자 임의처리를 하는 것을 신호처리를 한다고 한다. 아날로그신호를 이산화한 디지털신호로서 처리하는 것을 디지털신호처리이라고 한다. 이와 같이 디지털신호처리를 하면 음향신호인 아날로그신호는 신호의 진폭 대 시간함수로 나타내지만 디지털신호는 신호의 진폭 대 주파수함수로 변환되어 처리됨으로써 유용하게 사용할 수 있다. 이와 같은 처리방법의 하나로서 요즘 많이 사용되는 신호처리방식이 고속푸리에 변환이다.

3.1 왜곡된 음향신호의 보상

왜곡된 음향신호라 함은 수음용마이크로폰과 확장용 스피커에서 발생하는 비선형왜곡신호를 뜻하며, 이것을 디지털신호처리 방법으로 보상하는 시스템은 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 입력신호가 마이크로폰으로 입력되면 전치증폭기에서 증폭되어 A/D 변환기를 통해 아날로그신호는 디지털신호가 된다. 이 디지털신호는 FFT에 입력되어 시간영역에서 주파수영역인 스펙트럼 채널별로 전환되어 진폭이 주파수별로 원신호와 비교하여 증감하게 된다. 다음 이 증감된 신호들은 iFFT에서 합성 및 시간함수로 전환된다. 최종적으로 이 신호는 증폭되어 보상된 신호로서 스피커출력으로 출력된다.

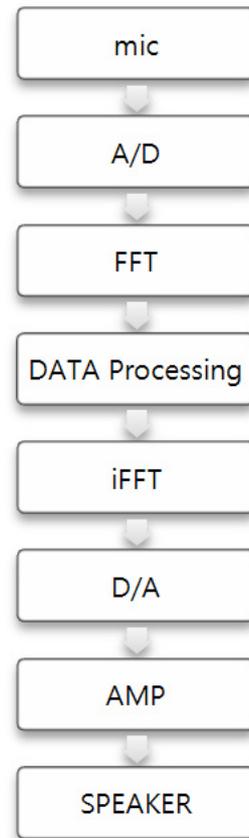


Fig. 6. Flow chart of distorted audio compensation system.

3.2 거리감쇠 음향보상시스템

발성음원과 수음마이크로폰 사이의 거리가 증가하면 수음된 음성신호의 크기는 감소하게 된다. 이것은 주파수 별로 감소현상이 변하게 된다. 이와 같은 입력음성신호를 주파수 별로 분류하고 비교기를 통해 주파수별로 기준거리에서 측정된 기준음압레벨과 비교하여 얻은 결과를 활용하여 감쇠된 음향신호처리방식에 의하여 원음과 같이 보상하고자 한다.

거리감쇠 음향보상시스템의 구성도는 Fig. 7과 같다. 이 시스템은 거리계로 측정된 음원과 마이크로폰의 거리를 음성신호비교기로 전달하고 음성신호비교기는 입력된 보상데이터와 비교하여 보상하여야 할 값을 산출한 후 보상기에서 음성신호를 거리별 보정치로 보상하여 출력하게 된다.

이 결과로 최종 음향출력기에서 출력되는 음성신호는 음원과 마이크로폰의 거리에 따라 변화하지 않고 동일하게 유지될 수 있다. 거리보정치의 기준값

은 마이크로폰에서 일반적으로 사용하는데 적합한 거리 10 cm를 기준으로 한다.

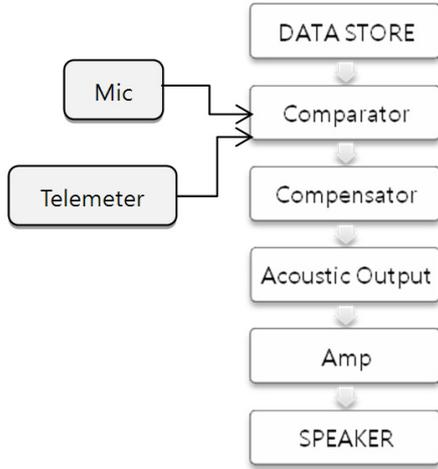


Fig. 7. Audio compensation system by distance.

IV. 실험 및 결과 고찰

4.1 마이크로폰과 스피커의 주파수 응답특성 측정 및 보상

실험할 마이크로폰의 주파수별 보상치를 선행실험을 하여 구하였다. 실험에 사용한 마이크로폰은 일반적으로 많이 사용하는 다이내믹 마이크로폰 (KEVIC MIC CM77S FRF)을 선정하였다. 선정한 다이내믹 마이크로폰의 주파수 응답측정은 한국표준과 학연구원의 무향실에서 측정하였으며 측정결과는 Fig. 8과 같다.

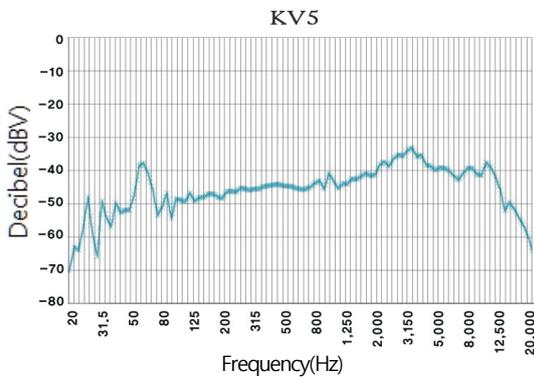


Fig. 8. Microphone frequency response.

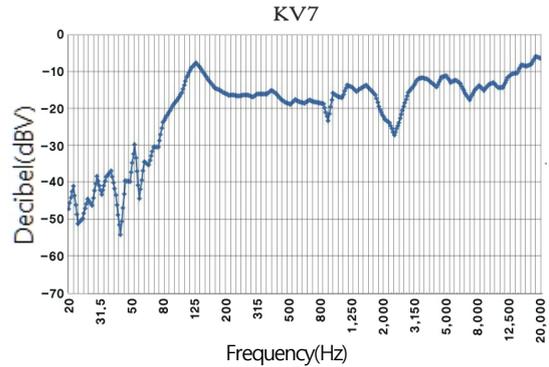


Fig. 9. Speaker frequency response.

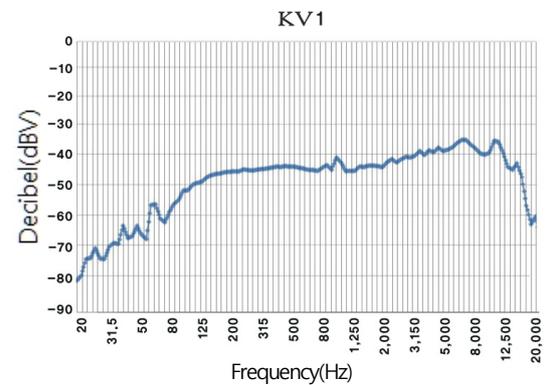


Fig. 10. Microphone, speaker system output frequency response.

실험한 스피커의 주파수응답측정도 한국표준과 학연구원의 무향실에서 측정하였으며 측정결과는 Fig. 9와 같다. 이와 같이 처음은 선행실험으로 마이크로폰과 스피커 특성보상실험은 별도로 시험하여 보상결과를 구하였고 다음은 종합적으로 측정실험을 하고 신호처리방법에 의하여 구한 주파수 특성보상결과는 Fig. 10과 같다.

4.2 마이크로폰 거리별 주파수응답특성 보상

마이크로폰과 음성 음원사이의 거리변화에 대한 마이크로폰 출력 신호를 보상하면 마이크로폰과 음성 음원사이의 거리에 상관없이 기준거리에서 측정 한 주파수응답특성 측정 기준치에 ± 2.0 dB로 근접한 출력신호를 얻을 수 있었다. 이와 같이 거리 별 마이크로폰의 보정 후 출력 신호는 Fig. 11과 같으며 Fig. 11에서 10 cm일 때를 기준으로 하여, 20 cm의 보상 전의 특성곡선을 보정한 후 측정한 결과 10 cm의 결과치와 거의 유사하게 나타났다(사용된 마이크로 폰

은 Klark-Teknik Type 6501).

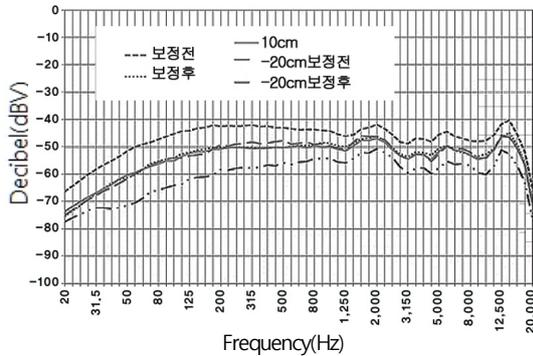


Fig. 11. Output signal of microphone after compensation.

V. 결 론

마이크로폰과 신호처리시스템 그리고 스피커로 구성된 시스템 내의 마이크로폰과 스피커의 상호작용에 의하여 전체 출력 주파수 응답특성은 변화가 있었다. 음원과 수음마이크 사이의 거리변화에 대한 보정치를 구하여 음향특성 및 음압레벨을 보정할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

음향과 관련한 디지털신호처리에 대한 향후 연구 방향은 주파수대역별 능동적인 보상방법과 고주파 대역의 상호음폐효과에 의한 하모닉왜곡감쇠 등의 연구가 필요하다고 사료된다.

References

1. M. Schetzen, *The Volterra and Wiener Theories of nonlinear Systems* (John Wiley, New York, 1980), pp. 125-136.
2. V. J. Mathews, "Adaptive polynomial Filters," *IEEE Signal Process. mag.* **8**, 110-26 (1991).
3. V. J. Mathews and G. L. Sicuranza, *Polynomial Signal Processing* (John Wiley, New York, 2000), pp. 211-219.
4. W. Klippel, "The mirror Filter-A new basis for reducing nonlinear distortion and equalizing response in woofer systems," *J. Audio Eng. Soc.* **40**, 675-691 (1992).
5. H. Schurer, C. Slemp and O. E. Herrmann, "Theoretical and experimental compariron of three methods for compensation of electrodynamic transducer nonlinearity," *J. Audio Eng. Soc.* **46**, 723-740 (1980).

6. B. C. Jeoung and Y.-S. Choe, "A study on the compensating system for the acoustic characteristics caused by the variation of distance from sound source to microphone" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **31**, 197-204 (2012).
7. S. S. Jamg, "An experimental study on the fitting of 64 channel digital hearing aid by in-situ method" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **31**, 273-275 (2012).
8. I. W. Cha, *Acoustical Engineering* (in Korean, Hanshin moonhwa co., 1976), pp. 13-23.

저자 약력

▶ 정 병 철(Byung-Chul Jeoung)



2004년: 충주대학교 컴퓨터공학과 학사
 2010년: 연세대학교 공학대학원 전자공학과 석사
 2011년: 한국교통대학교(구.충주대학교) 대학원 컴퓨터공학과 박사 과정
 1989년 10월 ~ 현재: (주)케빅 대표이사

▶ 원 총 상(Chung Sang Won)



1973년: 한양대학교 전자공학과 학사
 1985년: 한양대학교 전자계산전공 석사
 1996년: 청주대학교 전자계산기 전공 공학박사
 1981년 ~ 현재: 국립 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> Digital System Design (PLD)