

◆ 특집 ◆ 신경모방 소자 및 감각 도우미 시스템

초소형 마이크로폰 어레이 기반 청각보조시스템 기술동향

Recent Trends in MEMS Microphone and Application for Hearing Aid System

허신^{1,✉}, 최홍수¹, 박준식¹, 김양한²
Shin Hur^{1,✉}, Hongsoo Choi¹, Joonsik Park¹ and Yang-Han Kim²

1 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부 (Nano Convergence and Manufacturing Systems Research Division, KIMM)

2 한국과학기술원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, KAIST.)

✉ Corresponding author: shur@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7886

Key Words: MEMS Microphone (멤스 마이크로폰), Sound Visualization (음가시화), MEMS Microphone Array (멤스 마이크로폰 어레이), Micro-fabrication (미세가공)

1. 서론

오늘날 기술의 발달에도 불구하고 중이나 신경에 장애가 있는 전농 장애우들은 기존의 소리를 증폭시키는 보청기 형태의 청각보조장치의 도움을 받지 못하고 있다. 또한 기존의 보청기도 음원의 위치를 파악하고 주변 소음을 제거하는 기능면에서는 많은 발전이 요구되고 있다. 이를 해결하기 위한 청각보조장치에는 전자, 기계, 음향학 등 다양한 분야의 기술들이 접목되어 장애우의 다른 감각기관을 활용하는 방안을 생각해볼 수 있다. 이런 기술은 비단 청각장애우에게 뿐만 아니라 음향의 활용이 요구되는 소음측정, 제어 분야 등에서도 유용하게 사용될 것으로 예상된다. 예를 들어 시각을 이용하여 음원의 위치와 강도를 파악하기 위해서는 효과적으로 소리를 받아들이는 센서와 신호를 분석하여 시각화하는 기술이 필수적일 것으로 보인다.

주변의 소리를 받아들이고 감도와 방향성을 측정하기 위해서는 여러 마이크로폰을 회로로 연결해놓은 마이크로폰 어레이가 필요하다. 이에 사용되는 마이크로폰 기술은 민감한 진동판을 이용한 ECM (electret condenser microphone) 타입의 형태에서 점차 MEMS 기술을 이용한 MEMS 마이크로폰

으로 대체되어가고 있는 추세이다. MEMS 마이크로폰은 기존의 ECM 타입의 마이크로폰보다 더 작고 열과 진동에 더 잘 견디는 등 우수한 성질을 가지고 있어 획기적인 대체 신기술로 평가받고 있다.

이와 같은 저전력, 고효율, 초소형 특성을 이용하여 MEMS 마이크로폰은 시각을 이용한 새로운 개념의 청각보조장치에 효과적으로 응용될 수 있다. MEMS 마이크로폰은 CMOS 회로와 손쉽게 접목될 수 있고 MEMS 마이크로폰 어레이에서 받아들인 시그널을 분석하여 음가시화 기술을 가능하게 할 수 있다. 어레이 측정면의 음압신호를 이용하여 측정면 이외의 음장을 예측하고 음향 홀로그래피를 구현하여 음원의 위치와 강도를 시각적으로 표현할 수 있다. 이런 음가시화 홀로그램을 이용하면 청각장애우가 음파의 변화를 감지하고 위험을 피하는데 뿐만 아니라 잡음이 있는 환경에서 작동하는 기기의 소음발생원과 기계적 결함을 찾는 데 응용될 수 있다. 또한 마이크로폰 어레이를 통해 특정한 위치의 음을 증폭시켜서 노이즈를 줄일 수 있다. 초소형 마이크로폰 어레이 기반 청각보조시스템 기술은 청각장애우를 위한 보조장비 이외에도 핸드폰, 방송, 군사장비 등에도 활용될 수 있을 것으로 보인다.

2. 최신 청각보조 시스템의 기술동향

2.1 MEMS 마이크로폰

MEMS 마이크로폰은 웨이퍼 위에 손쉽게 멀티 어레이를 구현할 수 있고 대량생산을 통해 고감도의 센서를 값싼 가격에 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다. 기존의 ECM 마이크로폰이 민감한 진동관과 납땜으로 인해 온도와 습도의 영향을 많이 받는데 비해 MEMS 마이크로폰은 실리콘의 물성을 이용하여 -40°C 에서 120°C 의 영역에서 균일한 성능을 보이고 있다.

초소형 마이크로폰의 작동원리는 일반적으로 capacitive type, piezoresistive type, piezoelectric type, optical type, FET type 등으로 분류된다. 본 논문에서는 capacitive type 과 piezoelectric type 의 초소형 MEMS 마이크로폰에 관하여 논의하고자 한다.

기존의 MEMS microphone 을 제작하는데 있어 가장 큰 문제점은 CMOS 를 만드는데 최적화된 공정이 MEMS 공정과 결합될 경우 변질될 가능성이 있기 때문에 두 공정을 효율적으로 합치는데 발생하는 문제를 해결하는 것이었다. 또한 CMOS 와는 다르게 MEMS 공정은 다양한 방법으로 동일한 결과 구현이 가능하기 때문에 가격과 성능을 보장하는 공정을 확보하는 연구가 필요하다. 카네기 멜론 대학의 Neumann 과 Gabriel 교수팀은 그림 1 과 같이 이 문제를 해결하고 기존의 표준 CMOS 공정을 이용한 CMOS-MEMS 마이크로폰을 개발하였다.¹ 개발된 CMOS-MEMS 마이크로폰은 40Hz 에서 10kHz 의 가청 주파수범위를 가지고 있고 완제품은 길이 약 1.4mm 의 정사각형 형태이다.¹ 개발된 제품은 미로모양의 $32\ \mu\text{m}$ 유닛 셀이 반복되는 형태로 제작되었고 작동 주파수 영역에서 최저 측정 소음 SPL 은 70dB 에서 40dB 로 기존의 ECM 타입의 감도에는 미치지 못하나 크기 면에서 열 배 이상 작은 장점을 가지고 있다.

Neumann 과 Gabriel 의 제조공정은 아래 그림 2 에서 간략하게 볼 수 있다. 먼저 웨이퍼의 뒷면에 vent holes 는 산화실리콘(silicon dioxide, SiO_2)층을 etch-stop 으로 사용하여 제작되었다. MOSIS (Metal Oxide Semiconductor Implementation Service)가 된 웨이퍼는 산화실리콘으로 된 보호 층과 함께 공정을 위하여 전달되며 진동막이 제작될 부분은 금속 층에 패터닝 된다. 이 금속 층이 마스크 역할을 하며 산화실리콘은 실리콘 층까지 식각된다. 진동막 제작을 위해서 DRIE 비등방 식각과 등방성 식각이

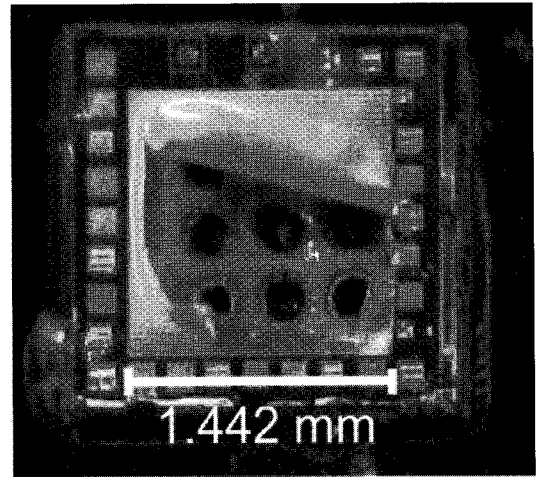


Fig. 1 CMOS-MEMS acoustic microphone¹

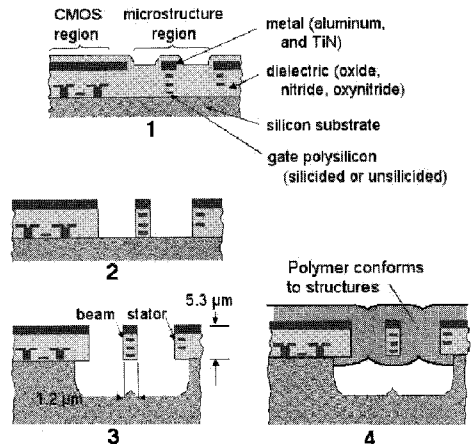


Fig. 2 Fabrication processes for CMOS-MEMS microphone¹

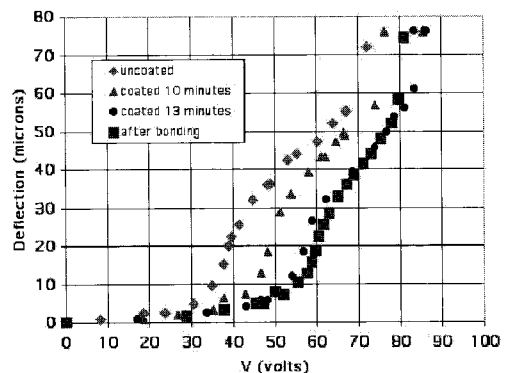


Fig. 3 Static deflection of fabricated membrane as function of voltage¹

진행된다. 마지막으로 CVD (chemical vapor deposition) 공정으로 고분자를 이용하여 소자의 상단부분을 코팅한다.¹ 그림 3 은 이렇게 제작된 진동막의 변위와 입력 전압의 관계를 보여준다.

다른 형태의 capacitive type MEMS 마이크로폰으로는 Jian Liu 의 이중 뒷판 (dual-backplate) MEMS 마이크로폰이 있다.² 이 논문에서는 lumped element method 와 비선형 유한요소법을 이용하여 dual-backplate MEMS 마이크로폰을 해석하고 실험치와 비교하였다. 이렇게 제작된 이중 뒷판 MEMS 마이크로폰은 단일 뒷판 MEMS 마이크로폰에 비하여 작은 크기, 높은 감도, 넓은 동적 대역, 넓은 주파수 영역대의 장점이 있다. 제작된 이중 뒷판 MEMS 마이크로폰의 개략도가 그림 4 에 제시되어 있다.

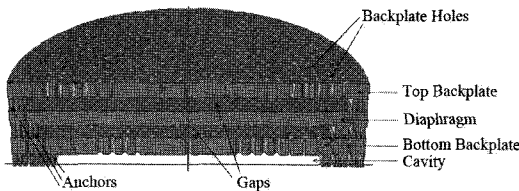


Fig. 4 3D cross-sectional view of dual-backplate MEMS microphone²

Ganji 와 Majlis 는 흡이 있는 진동막을 사용하는 MEMS 마이크로폰에 관한 연구를 2009 년도에 발표하였다.³ 여기에서는 고정된 (clamped) 진동막의 가장자리에 흡을 만들어 구조물의 강성 (stiffness)를 줄여 마이크로폰의 크기를 줄이고 감도를 향상시키고자 하였다. Loeppert 는 MEMS 마이크로폰과 CMOS 소자를 각각 제작하여 하나의 칩으로 결합하는 방식의 CMOS-MEMS 마이크로폰을 개발하였다.⁴ 이상의 capacitive type MEMS 마이크로폰은 공통적으로 동일한 자극에 대하여 진동막의 변위를 증가시키고자 하였으며, 그러한 방법으로 진동막의 강성을 감소시키거나 DC 를 이용하여 전기적으로 마이크로폰의 감도를 증가시켰다. 또한 공통적으로 vent holes 을 사용하여 음파영역에서 마이크로폰의 감도를 증가시키고자 하였다. Capacitive type MEMS 마이크로폰의 핵심 기술은, 1) 최적의 vent holes, 2) 최적의 진동막 gap 거리, 3) 최적의 DC Bias 전압 등으로 정리된다.

Piezoelectric type MEMS 마이크로폰은 2007 년도 Gupta 에 의해서 ZnO 박막을 이용한 연구가 발표

되었다.⁵ 이 논문에서는 3 μm 두께의 c 축으로 정렬된 ZnO 박막을 RF Sputtering 으로 SiO₂ 층 사이에 증착하였고, 이는 실리콘 멤베레인과 접합되었다. Capacitive MEMS 마이크로폰의 vent holes 의 역할을 위해서는 구조물 아래쪽에 터널이 만들어졌다. ZnO 를 이용한 MEMS 마이크로폰의 개략도와 제작된 소자가 각각 그림 5 과 6 에 주어졌다. 이렇게 제작된 ZnO MEMS 마이크로폰의 감도는 300 μV/Pa 로 보고되었다.⁵

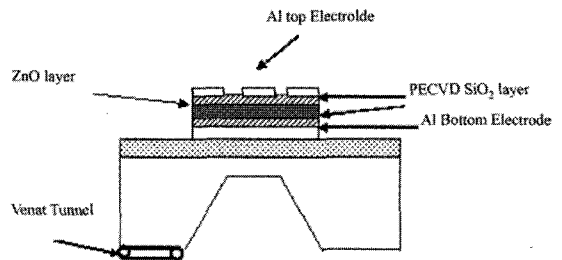


Fig. 5 Schematic view of ZnO MEMS microphone⁵

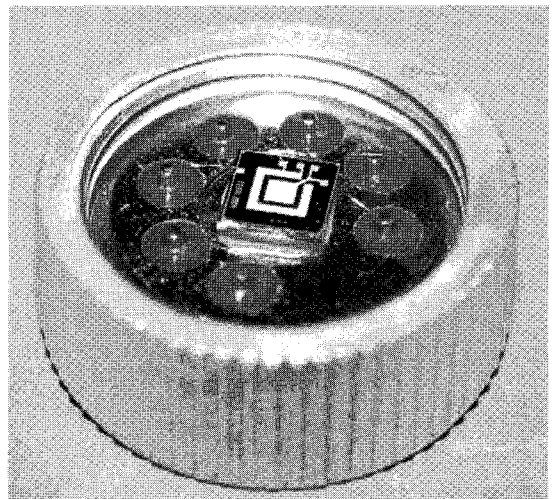
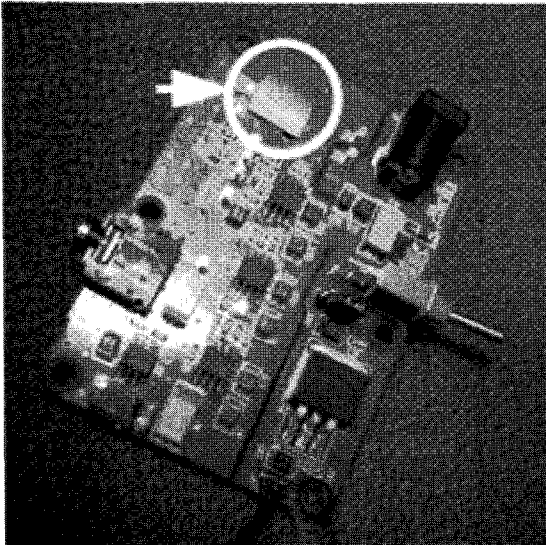


Fig. 6 Packaged ZnO MEMS microphone⁵

유사한 연구로 ZnO 를 이용한 dome 모양의 음파 트랜스듀서의 실험적인 소개와 해석결과는 참고문헌 6 에 보고되고 있다.⁶ ZnO 박막과 원형의 low-stress 질화규소 (silicon nitride) 진동막을 이용한 마이크로폰 시스템은 참고문헌 7 에 소개되어 있다. 제작된 ZnO 압전 MEMS 마이크로폰은 그림 7(a)와 같이 회로가 구성되며 그림 7(b)와 같이 휴대용 소자로 제작되었다. 제작된 마이크로폰의 감도는 1V_{pk} 전압이 가해질 때 8.1mV/Pa 로 나타났

다.

압전 MEMS 마이크로폰에 사용되는 압전 재료는 외부에서 기계적 응력을 받으면 전하를 발생시킨다.^{8,9} 이러한 압전 MEMS 마이크로폰의 제작에서는 압전 박막을 코팅하거나 sputtering 할 때 재료의 압전 특성을 향상시키는 기술이 마이크로폰의 감도를 증가시키기 위하여 아주 중요한 기술이다. 일반적인 압전 재료는 소자 제작 후 DC 전압을 이용하여 퀴리온도(Curie temperature)보다 낮은 온도에서 폴링(poling) 한다. 폴링과정을 통하여 재료내부의 쌍극자(dipole)가 DC 전압의 방향에 따라 정렬되기 때문에 압전특성이 향상되는 것이다.



(a)



(b)

Fig. 7 ZnO MEMS microphone on a PCB with amplifier (a) and a portable package for testing (b)⁷

또한 진동막의 크기, 진동막의 두께, 전극의 디자인 등도 압전 MEMS 마이크로폰의 음파에 대한 감도 및 사용 가능한 주파수 대역에 영향을 준다.

2.2 음가시화 기술

음가시화를 위해서는 마이크로폰 어레이를 이용한 음파 측정 이후, 신호처리와 결과표시 작업이 필요하다. 신호처리 문제는 마이크로폰에서 얻은 신호를 어떻게 처리하고, 어떤 정보를 구하여 사용자에게 제공할 것인가에 대한 연구이다. 구체적으로는 마이크로폰에서 얻은 신호에서 잡음을 제거하고, 소리의 주파수 특성과 크기, 음의 위치를 구하는 것이다. 이 과정에서는 특히 연산량을 줄여서 신호를 실시간 처리하는 문제, 반사파의 영향을 줄이는 문제가 강조된다. 연산량을 줄이기 위해서는 최근 제안된 공간복소포락(spatial complex envelope) 방법이 있다.

결과표시 문제는, 신호 처리로 얻은 결과를 사용자에게 어떻게 전달할 것인가에 관한 문제이다. 음향학적 기본 지식을 갖고 있지 않는 일반 사용자가 이해하기 쉽도록 결과를 표시해야 하고, 상황에 따라 적절한 결과를 사용자의 청감을 고려하여 표시하는 것이 필요하다. 즉, 일반적인 대화를 할 때, 길을 걸을 때, 음악을 들을 때, 매우 시끄러울 때, 사용자가 필요로 하는 청각 정보가 다를 것이므로, 그에 따라 다른 결과를 표시할 필요가 있다. 음가시화를 위한 대표적인 방법은 파라메트릭 방법과 비 파라메트릭 방법으로 나누어진다. 파라메트릭 방법에는 빔형성(beamforming) 방법이 있는데, 이 방법은 음의 형태 및 음의 위치를 모델링하여 이 모델을 측정된 신호와 비교하면서 음의 위치를 찾아내는 방법이다. 반면, 대표적인 비 파라메트릭 방법에는 음향 홀로그래피(acoustic holography) 방법이 있는데, 이 방법은 어떤 공간상의 한 면(surface)에서 측정된 음압 정보를 가지고 다른 면의 음압 분포를 예측하는 방법이다. 빔형성 방법은, 비교적 적은 수의 센서를 이용하여 빠르게 음의 위치를 구할 수 있다는 장점이 있는 반면, 음의 위치 외의 정보는 얻을 수 없다는 단점이 있다. 빔형성 방법은 그림 8 과 같이 소리로 적의 위치를 파악하는 음향 레이더 장치에서 사용된 것이 시초이다.¹⁰ 근래에는 주로 산업 기기 소음원의 위치를 찾는 문제에서 많이 사용되고 있다.^{11,12}

음가시화 기술은 산업현장에서 발생하는 배경 잡음과 반사파에 의한 문제를 해결하기 위한 연구

에 적용되었다.¹³ 또한 실시간으로 음의 위치를 탐지하는 음향 카메라(acoustic camera) 기술이 상용화되어 사용되고 있는데, 이 기술도 빔형성 방법에 근거한다. 측정면의 음압 신호를 이용하여 측정면 이외의 음장을 예측하는 방법이 음향 홀로그래피라는 용어로 쓰이기 시작했고,¹² 이후 음향 홀로그래피는 감쇠파의 영향을 고려하여 해상도를 높인 근접장 음향 홀로그래피를¹⁴ 비롯해 측정 센서 수를 줄이기 위한 연구,^{15,16} 측정면의 크기를 줄이기 위한 연구,^{17,18} 빠른 예측 시간을 위한 연구,^{19,20} 반사가 있는 공간에서 예측하기 위한 연구,²¹ 해석 방법 측면에서 개별 음의 기여도를 분석하는 연구²² 등이 수행되었다.

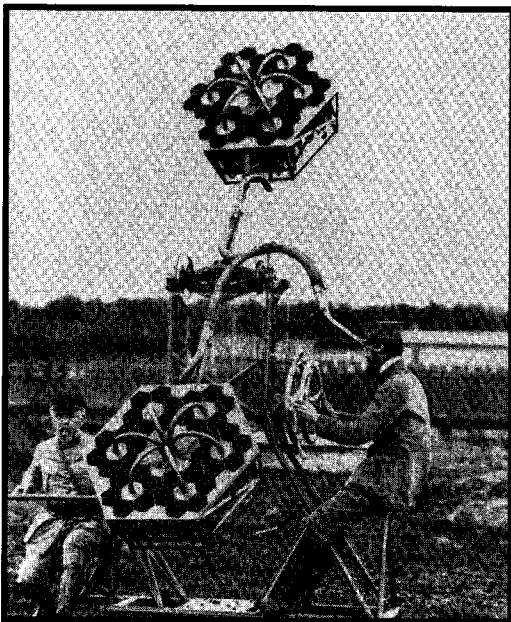


Fig. 8 An application of beamforming¹⁰

2.3 MEMS array 를 이용한 음원 위치 파악, 소음 제거 기술

마이크로폰 어레이를 이용하여 주변의 불필요한 소음을 줄이고 원하는 방향의 음원의 소리를 증폭시키는 기술은 Stanford University 의 Widrow 교수에 의해 개발되었다.²³ 그림 9 와 같이 Widrow 교수는 ECM 타입의 마이크로폰을 어레이로 연결하여 목걸이 형태로 만든 후 사용자의 정면에서 약 60 도의 폭 내에 위치한 소리만 선별하여 목걸이에 내장된 컴퓨터를 이용해 LMS (least mean squared) 알고리즘으로 원하는 소리를 증폭시키고

에코를 줄여서 소리의 선명도를 증가시켰다.²³ 이 보조장치는 실제 청각장애우가 사용했을 때 목소리와 음악을 듣는데 탁월한 성능을 보이고 있다.²³ 이 기술의 단점으로는 목걸이 타입 어레이의 큰 크기와 외장배터리의 내구성에 있다. 또한 현재는 사용자가 소리를 듣기 위해 원하는 음원을 사용자의 앞에 위치하도록 몸을 돌려야 한다. 만일 MEMS 마이크로폰을 이용해 부피와 전력소모량을 줄인다면 안경타입의 어레이로 구현이 가능할 것으로 보인다. 그리고 음원을 선택적으로 지정하여 증폭시키는 알고리즘도 발전의 여지가 남아있다.

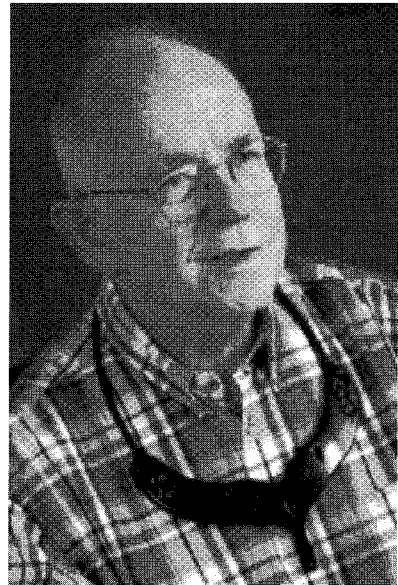


Fig. 9 Professor Widrow wearing a microphone array²³

그림 10 과 같이 MIT 의 CSAIL (Computer Science and Artificial Intelligence Lab)에서는 마이크로폰 어레이를 이용하여 특정한 위치의 음을 증폭시키는 기술을 개발하였다.²⁴ LOUD (Large acoustic Data)라고 불리는 마이크로폰 어레이를 통해 특정한 위치에서 총 1020 개의 마이크로폰으로 음파가 각기 도달하는 시간의 차를 CPU 를 통해 계산하여 소리를 더해줌으로써 주변 소음을 제거하고 원하는 소리를 들을 수 있도록 하였다.²⁴ 이 기술은 단순히 방향성만을 측정하는 데에만 그치지 않고 다양한 음이 존재할 때 특정 위치의 음을 증폭시키고 주변 음을 감소시켜 다양한 음의 분리를 가능하게 한다. 아래의 사진에서 볼 수 있듯이 LOUD 어레이는 여러 사람이 동시에 글을 읽는 상황에서

특정한 위치의 사람의 목소리만을 증폭시켜 또렷하게 들을 수 있을 정도의 음파 분리도를 보여준다.²⁴



Fig. 10 LOUD demonstration²⁴

비슷한 방식으로 Arizona State University 의 채준석 교수팀은 MEMS 마이크로폰 어레이를 이용하여 청각보조장치에서 가장 요구되는 사양 중 하나인 방향성을 확보하고 향상시키는 연구를 진행 중에 있다.²⁵ 그림 11 과 같이 채준석 교수팀은 감도의 조절을 위해 Nano-electrodeposits 을 이용하여 진동막의 무게와 스트레스를 분배하여 미세한 조절을 가능케 하였다. 채준석 교수팀은 그 외에도 보청기에 쓰일 수 있는 마이크로 크기의 고풍력 스피커를 개발 중에 있다.²⁶

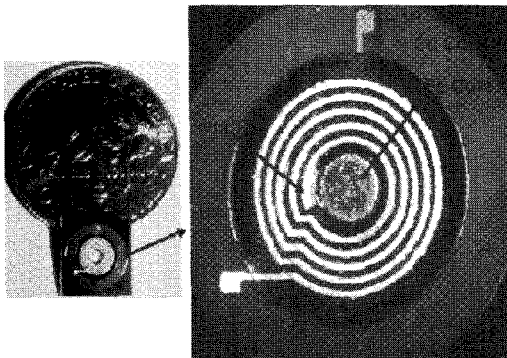


Fig. 11 Micromachined loudspeaker²⁶

3. MEMS 마이크로폰 어레이와 음가시화 기술을 활용한 최신 청각보조시스템 기술개요

MEMS 마이크로폰을 이용한 음가시화의 핵심 기술은 시각 보조기구에 설치되는 MEMS 마이크

로폰으로부터 신호를 얻고, 그 신호를 처리하여 음의 위치, 또는 소리의 주파수 특성과 크기 등 음의 정보를 구한 뒤, 그 정보를 알기 쉬운 형태로 사용자에게 시각 정보로 제공하는 것이다. 또한 반사파와 소음을 고려하여 일상생활의 모든 공간에서 사용 가능하도록 하고, 실시간 처리가 가능하도록 연산시간을 줄이는 것 등이 MEMS 마이크로폰을 이용한 음가시화 기술의 핵심이다.

한국기계연구원의 허신 박사팀과 한국과학기술원의 김양한 교수팀은 MEMS 마이크로폰 어레이를 이용하여 음가시화를 하는 기술을 통해서 청각장애인에게 적용할 수 있는 청각보조시스템을 개발하고자 한다. 김양한 교수팀은 측정면의 음압 신호를 측정하고 측정면 이외의 음장을 예측하는 방법으로 음향 홀로그래피를 구현하였고 음가시화를 하는 기술을 개발하였다. 움직이는 물체의 소리를 가시화 할 수 있는 MFAH (Moving frame acoustic holography) 방식과 움직이지 않는 물체의 소리를 측정하는 NAH (near-field acoustic holography) 방식으로 홀로그램을 통해 음의 위치와 강도를 시각적으로 표현할 수 있다. 허신 박사팀은 외팔보 형식의 압전 센서와 멤베레인 형식의 압전 MEMS 초음파 트랜스듀서를 개발하였다. 외팔보 압전 센서는 음파를 주파수에 따라 분리하는 청각과 같은 기능을 구현하고자 하였다.²⁷ 압전 MEMS 초음파 트랜스듀서는 3 차원 초음파 의료영상을 위한 프로브에 응용하기 위하여 연구가 이루어졌다.²⁸⁻³⁰ 이러한 기술은 첨단 MEMS 마이크로폰 개발과, MEMS 마이크로폰 어레이를 이용한 음가시화 기술 개발에 응용될 수 있다. 이러한 기술을 사용하여 홀로그램으로 보다 전체적이고 정확한 강도 측정을 통해 잡음이 있는 환경에서 작동하는 기기의 소음발생원과 기계적 결함을 찾는 데 응용될 수 있다.³¹ 또한 청각장애우가 음파의 변화를 감지하고 위험을 피하는데도 쓰일 수 있다.

한국기계연구원과 한국과학기술원은 신개념의 청각보조시스템으로서 초소형 MEMS 마이크로폰 어레이를 기반으로 한 청각소자를 개발하고, 이를 이용하여 청각장애우에게 청각정보를 실시간으로 시각적 디스플레이가 가능하도록 하는 음가시화 (sound visualization) 기술을 개발중에 있다. 개발되는 청각소자는 전치증폭기 및 AD 신호변환기가 CMOS 칩에 내장되는 초소형 MEMS 마이크로폰 어레이로서 기존의 안경, 헤드 셋 등에 간편하게 설치할 수 있도록 하고, 청각장애우에게 청각정보

를 알기 쉽게 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

아래 그림 12 는 음가시화를 통한 청각보조시스템의 개념도를 보여준다. CMOS-MEMS 마이크로폰 어레이는 초소형, 고감도의 MEMS 마이크로폰과 초소형 CMOS 칩을 이용하여 최적의 마이크로폰 어레이로 제작된다. Alarm Signal 은 사용자에게 위험상황을 인지시켜주는 역할을 한다. Octave band sound intensity displayer 와 loudness or sharpness displayer 는 감지된 음의 질적 특성을 제시하여준다. Small displayer 는 청취된 음의 위치와 강도를 가시화 해주는 기능을 한다.

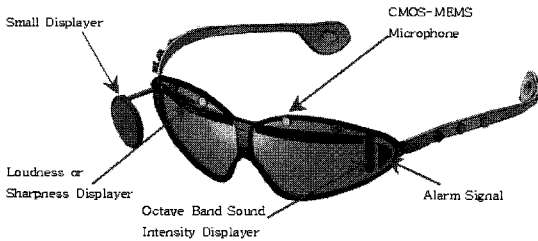


Fig. 12 Schematic view of MEMS microphone based sound visualization device

4. 청각보조시스템 관련 시장 규모 및 전망

세계적으로 노령화 사회 및 복지국가 시대에 들어서서 난청인구가 계속 증가하고 있으며 이에 따른 청각보조장치 시장의 규모는 꾸준히 증가하고 있다. 현재 전농 장애우를 위한 청각보조장치는 미미한 수준으로 전체 청각보조시스템의 시장 규모는 보청기 시장을 통해 전망할 수 있으며 전농 장애우를 위한 청각보조장치는 이보다 더 빠른 속도로 성장할 것으로 보인다. 한국보건산업진흥원이 발표한 국내 보청기 시장의 동향에 따르면 보청기의 국내 수요는 2005 년 57,027 개에서 2007 년 89,806 개로 큰 성장폭을 보이고 있다.³²

이러한 국내 보청기 시장의 증대는 노인 인구나 청각장애우의 증가에 따른 것으로, 앞으로 고령화 사회로의 진입 등으로 시장의 수요는 더욱 증대될 것으로 예상된다. 우리는 이러한 시장의 확대에 대비하여야겠지만 우리의 수출수량과 수출액은 감소를 거듭하여 그 물량과 수출액이 거의 미비한 상태이다. 이를 극복하기 위하여 첨단 보청기 시장의 핵심 기술이 될 MEMS 마이크로폰의 국산화와, 그를 이용한 보청기, 음가시화 기술을 이용한 청각보조시스템 개발은 관련분야 연구자들

에게 핵심적인 연구 분야가 될 것으로 예상된다. 보청기와 청각보조시스템의 신속한 기술 개발과 시장 진입은 국내 시장의 수입감소와 해외 시장으로의 진출을 위해 가장 중요한 부분이다. 효율적인 MEMS 마이크로폰의 개발은 표 1 에서 볼 수 있듯이 성장하는 여러 산업제품시장에도 응용될 수 있을 것으로 보인다.

Table 1 Markets for MEMS microphone³³

(\$ millions)	2005	2010
Cellular phone, PDA, digital camera, video camera microphone	4,600	12,000
Laptop, VoIP	105	550
Automobile hands-free set	-	42
High-tech hearing aid	9,400 (2007)	14,194
Total	14,105	26,786

기존의 청각보조시스템은 보청기와 인공와우가 보편적으로 알려져 있다. 기존의 보청기와 인공와우가 청각의 개선을 위한 시스템이라면, 본 논문에서 설명하는 신개념의 청각보조시스템은 청각장애우의 청각을 시각적으로 보조하는 시스템이다. 이러한 신개념의 청각보조시스템은 마이크로폰 어레이를 기반으로 음을 측정하고, 청각장애우에게 청각정보를 실시간으로 시각적 디스플레이가 가능하도록 하는 음가시화(sound visualization) 기술에 핵심을 두고 있다. 이 신개념의 청각보조시스템은 마이크로폰 어레이를 이용하여 잡음과 반사파를 제거하며, 실시간으로 신호를 처리하여 청각장애우가 음가시화 기술을 통하여 일상 생활에서 편리를 느끼게 하고자 한다.

기존의 음가시화 기술은 사용하는 마이크로폰 어레이의 크기가 크고 가격이 비싸, 신개념의 청각보조시스템에 응용하는 데는 무게, 크기, 비용면에서 무리가 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 초소형 MEMS 마이크로폰을 이용하여 어레이를 제작하고, 이를 이용하여 음가시화의 연구가 필요할 것으로 예상된다. 그림 13 은 MEMS 마이크로폰 어레이를 이용한 음가시화 기술의 개략도를 나타내고 있다. 이러한 청각신호를 인간의 인지/감성 모델에 적용하면 사물 및 감성을 인식하

는 감각도우미(ear helper)로 응용이 가능하며, 차세대 로봇을 위한 융합 감각인지에도 이용될 수 있으리라 기대된다.

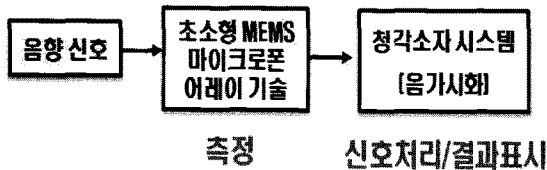


Fig. 13 Schematic view sound visualization using MEMS microphone array

5. 결론

MEMS 마이크로폰은 2006 년 기준 핸드폰 마이크로폰 시장의 20%를 차지하고 있으며 노트북 시장의 18%를 차지하고 있다. 향후 높은 가격대 성능비로 핸드폰, 노트북 등의 소비자 시장을 급속도로 잠식할 것으로 보이나 높은 감도를 필요로 하는 보청기 시장에서는 기존 마이크로폰의 감도를 따라잡는데 시일이 걸릴 것으로 예상된다. 현재 MEMS 마이크로폰을 이용하여 청각보조장치를 개발하기 위하여 MEMS 마이크로폰 어레이를 이용한 음원 감지기술과 음가시화 기술을 통해 시각적으로 음을 표현하는 기술이 연구되고 있다.

이 기술을 통해 음을 포착하고 시각적으로 표현하여 음의 위치를 인지기술을 통하여 선택적으로 증폭시켜 보다 효과적으로 청각장애우에게 도움이 될 것이다. 또한 실시간 신호처리, 잡음과 반사 파를 제거하는 기술은 음가시화 분야 전반에 걸쳐 응용될 수 있다. 즉, 산업현장에서 기계소음을 실시간 모니터링하여 이상 유무를 판단하거나, 적의 움직임에 의해 발생하는 소리를 실시간 처리하여 적의 위치를 알아내는 군사적 목적으로 쓰일 수도 있다. 이에 따라 MEMS 마이크로폰 어레이를 이용한 음가시화 기술에 대한 연구가 활발하게 진행될 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 교육과학기술부 신기술융합형 성장동력사업 중 “복합 감각형 시각 및 청각 보조시스템 개발”의 지원으로 진행 중이다.

참고문헌

1. Neumann, J. J. and Gabriel, K. J., “CMOS-MEMS Membrane for Audio-frequency Acoustic Actuation,” Sensors and Actuators A, Vol. 95, No. 2, pp. 175-182, 2002.
2. Liu, J., Martin, D., Kadirvel, K., Nishida, T., Sheplak, M., and Mann, B., “Nonlinear identification of a capacitive dual-backplate MEMS microphone,” 2005 ASME IDETC, Paper No. DETC2005-84591, 2005.
3. Ganji, B. and Majlis, B., “Design and fabrication of a novel single-chip MEMS capacitive microphone using slotted diaphragm,” Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS, Vol. 8, No. 2, Paper No. 021112, 2009.
4. Loeppert, P. and Lee, S., “SiSonic™ - the first commercialized MEMS microphone,” Proc. Of Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems Workshop, pp. 27-30, 2006.
5. Arora, A., Arora, A., Dwivedi, V. K., George, P. J., Sreenivas, K. and Gupta, V., “Zinc oxide thin film-based MEMS acoustic sensor with tunnel for pressure compensation,” Sensors and Actuators A, Vol. 141, No. 2, pp. 256-261, 2007.
6. Han, C. and Kim, E., “Simulation of piezoelectric dome-shaped diaphragm acoustic transducers,” Journal of Semiconductor Technology and Science, Vol. 5, No. 1, pp. 17-23, 2005.
7. Lee, W. and Lee, S., “Piezoelectric microphone built on circular diaphragm,” Sensors and Actuators A, Vol. 144, No. 2, pp. 367-373, 2008.
8. Choi, B. and Lee, W., “A study on the energy harvesting system using piezoelectric direct effect of piezo film,” J. Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 78-85, 2008.
9. Hur, S., Yun, Y. and Lee, S., “Nano-bio sensor technology using micro cantilever,” J. Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 22-29, 2008.
10. Johnson, D. and Eudgeon, D., “Array signal processing: concepts and techniques,” Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993.
11. King, W. and Bechedrt, D., “On the sources of wayside noise generted by high-speed trains,” Journal of Sound and Vibration, Vol. 66, No. 3, pp. 311-332, 1979.
12. Graham, T., “Long-wavelength acoustic holography,”

- J. Acoustical Society of America, Vol. 46, No. 1A, p. 116, 1969.
13. Choi, Y. and Kim, Y., "Near field impulsive source localization in a noisy environment," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 303, No. 1-2, pp. 209-220, 2007.
 14. Williams, E., Maynard, J. and Skudrzyk, E., "Sound source reconstructions using a microphone array," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 68, No. 1, pp. 340-344, 1980.
 15. Weinreich, G. and Arnold, E., "Method for measuring acoustic radiation fields," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 68, No. 2, pp. 404-411, 1980.
 16. Williams, E., Dardy, H. and Fink, R., "Nearfield acoustical holography using an underwater, automated scanner," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 78, No. 2, pp. 789-798, 1985.
 17. Lee, M. and Bolton, J., "Reconstruction of source distributions from sound pressures measured over discontinuous regions: Multipatch holography and interpolation," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 121, No. 4, pp. 2086-2096, 2007.
 18. Lee, M. and Bolton, J., "A one-step patch near-field acoustical holography procedure," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 122, No. 3, pp. 1662-1670, 2007.
 19. Maynard, J., Williams, E. and Lee, Y., "Nearfield acoustic holography (NAH): I. Theory of generalized holography and the development of NAH," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 78, No. 4, pp. 1395-1413, 1985.
 20. Veronesi, W. and Maynard, J., "Nearfield acoustic holography (NAH): II. Holographic reconstruction algorithms and computer implementation," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 81, No. 5, pp. 1307-1322, 1987.
 21. Bai, M. "Application of BEM(boundary element method) - based acoustic holography to radiation analysis of sound sources with arbitrarily shaped geometries," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 92, No. 1, pp. 533-549, 1992.
 22. Kwon, H. and Kim, Y., "Moving frame technique for planar acoustic holography," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 103, No. 4, pp. 1734-1741, 1998.
 23. Stanford D-HEAR(Directional HEarintg Array), <http://www.stanford.edu/dept/news/news/2001/june6/widrow-66.html>
 24. MIT CSAIL: MIT Project Oxygen, <http://oxygen.lcs.mit.edu/>
 25. Je, S., Kim, J., Koziicki, M. and Chae, J., "A Directional Capacitive MEMS Microphone Using Nano-electrodeposits," *IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, pp. 96-99, 2009.
 26. Je, S. and Chae, J., "An Electromagnetically Actuated Micromachined Loudspeaker for Hearing Aids Applications," *IEEE Sensors*, pp. 1024-1027, 2007.
 27. Hur, S., Lee, S. and Kim, W., "Feasibility study of cochlear-like acoustic sensor using PMN-PT single crystal cantilever array," *NSTI Nanotech*, Vol. 3, pp. 223-226, 2008.
 28. Choi, H., Ding, J., Bandyopadhyay, A., Anderson, M. and Bose, S., "Characterization and modeling of a piezoelectric micromachined ultrasonic transducer with a very large length/width aspect ratio," *J. Micromechanics and Microengineering*, Vol. 18, No. 2, Paper No. 025037, 2008.
 29. Choi, H., Ding, J., Bandyopadhyay, A. and Bose, S., "Finite element analysis of piezoelectric thin film membrane structures," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 54, No. 10, pp. 2036-2044, 2007.
 30. Choi, H., Dalakoti, A., Bose, S. and Bandyopadhyay, A., "Influence of Top Electrode Design on pMUTs Performance," *Sensors and Actuators A*, Vol. 135, No. 2, pp. 613-619, 2007.
 31. Park, C. and Kim, Y., "Effects of the speed of moving noise sources on the sound visualization by means of moving frame acoustic holography," *J. Acoustical Society of America*, Vol. 108, No. 2, pp. 2719-2728, 2000.
 32. Korea Health Industry Development Institute, "2008 Report on medical device markets," Korea Health Industry Development Institute, 2008.
 33. Yole Development, <http://www.yole.fr>