2017년 12월 17ZB1800-01-3130P

환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발

Development of Environment & User Adaptable MEMS Microphone Solution

한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications Research Institute

2017년 12월 17ZB1800-01-3130P

전체부수

환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발

Development of Environment & User Adaptable MEMS Microphone Solution

한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications Research Institute

인 사 말 씀

인터넷은 모든 사물을 초연결하는 디지털 생태계로, 모든 사물은 인공지능을 품고 점점 똑똑해지는 초지능 유기체로, 물리적 공간에서 느끼는 가상현실은 몰입감과 사실감이 극대화된 초실감 서비스로 진화하고 있습니다. 이 같은 4차 산업혁명이 앞으로 제조, 서비스업의 혁신을 넘어 글로벌 경제, 사회, 문화, 고용, 노동 시스템 전반의 변혁을 촉발시킬 것으로 예상되며 이러한 환경변화에 발맞추어 국내 최대 정보통신분야 출연(연)인 ETRI는 4차 산업혁명을 능동적으로 준비해 갈 것입니다.

본 연구과제는 초실감 서비스 구현에 필요한 핵심 ICT 부품 기술 개발을 목적으로 ETRI의 주요사업에서 수행되었으며, 실감지능형 음성 사용자 인터페이스 구현을 위한 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 개발 등 소정의 연구 결과물을 확보하였습니다.

본 연구가 4차 산업혁명을 주도할 핵심 ICT 부품으로 부각되고 있는 스마트 센서 분야의 국내 기술경쟁력을 제고하고, 국내 센서산업을 중소·중견기업의 신성장동력으로 육성하는데 도움이 되길 기대합니다.

끝으로 본 연구에 참여한 연구원들과 연구가 원만히 수행될 수 있도록 지원한 관계자 여러분께 감사의 뜻을 전합니다.

2017년 12월

한국전자통신연구원 원장 이 상 훈

제 출 문

본 연구보고서는 주요사업인 “환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발”의 결과로서, 본 과제에 참여한 아래의 연구팀이 작성한 것입니다.

2017년 12월

연구책임자(주관) : 책임연구원 양우석 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

연구책임자(참여) : 책임연구원 김창원 (비에스이센서스)

연구책임자(참여) : 책임연구원 김성렬 (에이디텍)

연구참여자 : 선임연구원 김이경 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

선임연구원 제창한 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

선임연구원 이재우 (ETRI, ICT소재연구그룹)

선임연구원 조민형 (ETRI, 프로세서연구그룹)

책임연구원 이성규 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 방준학 (ETRI, 감성인터랙션연구그룹)

책임연구원 박강호 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 여준기 (ETRI, 프로세서연구그룹)

책임연구원 이정익 (ETRI, 실감소자연구본부)

특수계약직 전주현 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 권종기 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 김귀동 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 최창억 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 황 건 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 김혜진 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

책임연구원 이형근 (ETRI, 융복합센서연구그룹)

연구원 김윤정 (ETRI, 융복합센서연구그룹)
초빙연구원 김종대 (ETRI, 융복합센서연구그룹)
책임연구원 석정희 (ETRI, 프로세서연구그룹)
책임연구원 전영득 (ETRI, 프로세서연구그룹)
책임연구원 노태문 (ETRI, 융합부품기술센터)
책임기술원 김규열 (ETRI, 융합부품기술센터)
책임기술원 이효현 (ETRI, 융합부품기술센터)
책임기술원 박병무 (ETRI, 융합부품기술센터)
선임기술원 전승진 (ETRI, 융합부품기술센터)
책임연구원 이상균 (ETRI, 바이오의료IT연구본부)
책임연구원 신재헌 (ETRI, 소재부품미래연구실)
책임연구원 이대우 (ETRI, 기업지원협력실)
책임연구원 전용일 (ETRI, 기업지원협력실)
책임연구원 김용국 (비에스이센서스)
연구원 김진선 (비에스이센서스)
책임연구원 이명진 (비에스이센서스)
책임연구원 임승만 (비에스이센서스)
선임연구원 조우성 (비에스이센서스)
책임연구원 박영철 (에이디텍)
연구원 성시우 (에이디텍)
연구원 강민우 (에이디텍)

요 약 문

I. 제목

환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발

II. 연구목적 및 중요성

o 다양한 환경에서 사용자 의도에 맞추어 음향정보를 감지하는 환경/사용자 적응형 마이크로폰 솔루션 개발

o 다양한 ICT 시스템에서 요구하는 실감지능형 음성 UI 구현을 위한 핵심부품 기술 확보

III. 연구내용 및 범위

o 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 기술 개발

o 아날로그 MEMS 마이크로폰 칩 상용화 기술 개발

o 오디오 주밍 기반 지능형 음향제어 기술 개발

IV. 연구결과

o 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰용 음향센서, ROIC 및 음향패키지 연구시제품 개발

o 아날로그 MEMS 마이크로폰용 음향센서 및 ROIC 상용시제품 개발

o 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 연구시제품 개발

V. 연구개발결과의 활용계획

o 본 과제 참여기관을 비롯한 관련 기업에 기술이전을 통한 사업화 추진

VI. 기대성과 및 건의

- o 대표적 스마트 센서인 MEMS 마이크로폰 개발을 통한 국내 센서산업의 기술 경쟁력 제고
- o 전량 수입하고 있는 MEMS 마이크로폰 칩(음향센서 및 ROIC)의 국산화 개발을 통한 수입대체 효과
- o 2019년 13.8억불에 도달하는 MEMS 마이크로폰 세계시장에서 한국의 점유율 확대에 기여

ABSTRACT

I. Title

Development of Environment & User Adaptable MEMS Microphone Solution

II. Purpose & Importance of The Study

o Development of environment & user adaptable MEMS microphone solution, which can sense sound information in accordance with the user's intention in various circumstances

o Secure technology of core component for a realistic and intelligent voice user interface, which is required in various ICT systems

III. Contents & Scope of The Study

o Technology development of digital high-performance MEMS microphone

o Development of commercialization technology for analog MEMS microphone chips

o Technology development of intelligent sound control based on audio zooming

IV. Results

o Development of research prototypes of acoustic sensor, ROIC and acoustic package for digital high-performance MEMS microphone

o Development of commercial prototypes of acoustic sensor and ROIC chips for analog MEMS microphone

o Development of research prototypes of microphone array solution for intelligent sound control

V. Application Plan of Results

o Drive commercialization through technology transfer to the related companies, including ones participating in this study

VI. Expected Results & Proposition

o Raise technological competitiveness of domestic sensor industry through the development of a typical smart sensor, MEMS microphone

o Import substitution effect through the development of MEMS microphone chips(acoustic sensor and ROIC), which are now fully imported

o Contribute to raise Korea's market share in the global MEMS microphone market, which will grow to US$ 1.38 billion in 2019

Contents

Chapter 1 Introduction ····· **1**
Section 1 Needs & Importance of The Study ····· 1
Section 2 Purpose & Contents of The Study ····· 3
Section 3 Implementation System & Methods of The Study ····· 7

Chapter 2 Body ····· **9**
Section 1 Current Domestic or Foreign Status of Technology Development ····· 9
Section 2 Technology Development for Digital High-Performance MEMS Microphone ····· 13
Section 3 Development of Commercialization Technology for Analog MEMS Microphone Chips ····· 37
Section 4 Technology Development of Intelligent Sound Control Based on Audio Zooming ····· 44

Chapter 3 Application Plan of Results ····· **51**

Chapter 4 Conclusion ····· **52**

Chapter 5 Research Facilities & Equipments ····· **53**

References ····· 54
Abbreviations ····· 55

목 차

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구 필요성 및 중요성 ····· 1
제2절 연구 목표 및 내용 ····· 3
제3절 연구개발 추진체계 및 방법 ····· 7

제2장 본론 ····· 9
제1절 국내·외 기술개발 현황 ····· 9
제2절 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 기술 개발 ····· 13
제3절 아날로그 MEMS 마이크로폰 칩 상용화 기술 개발 ····· 37
제4절 오디오 주밍 기반 지능형 음향제어 기술 개발 ····· 44

제3장 연구개발결과의 활용계획 ····· 51

제4장 결론 ····· 52

제5장 연구시설·장비 현황 ····· 53

참고문헌 ····· 54
약어표 ····· 55

표 목 차

[표 1-1] MEMS 마이크 솔루션 주요 성능목표 ····· 4
[표 2-1] MEMS 음향센서 낙하신뢰성 ····· 21
[표 2-2] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 단계별 (칩 설계치, 칩 측정치, 모듈 측정치) 성능 비교 ····· 24
[표 2-3] 디지털 High-SNR ROIC Ver.1 및 Ver.2 성능 비교 ····· 26
[표 2-4] 디지털 High-SNR ROIC Ver.3 성능 ····· 28
[표 2-5] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 주요성능 ····· 33
[표 2-6] 초소형 일반급 음향패키지 적용 MEMS 마이크로폰 주요성능 비교 ····· 36
[표 2-7] 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품 주요성능 ····· 38
[표 2-8] 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 주요성능 ····· 40
[표 2-9] 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 낙하신뢰성 ····· 41
[표 2-10] 아날로그 High-SNR ROIC 연구시제품 및 상용시제품 비교 ····· 41
[표 2-11] 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품(1~4차) 성능 평가표 ····· 43
[표 2-12] 음원방향 추적 알고리즘의 기술적 특징 ····· 44

그 림 목 차

[그림 1-1] 환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개념도 ····· 3
[그림 1-2] MEMS 마이크로폰 솔루션 핵심기술 구성도 ····· 6
[그림 1-3] MEMS 마이크 솔루션 연구개발 로드맵 ····· 6
[그림 1-4] 연구개발 추진체계도 (주관/참여/위탁 기관별 역할분담) ····· 7
[그림 2-1] MEMS 마이크로폰 모듈 및 칩 세계시장 점유율 (2014년) ····· 12
[그림 2-2] 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 개발 사례 ····· 12
[그림 2-3] 이중 멤브레인 구조 고감도 광대역 MEMS 음향센서 개념도 ····· 13
[그림 2-4] 이중 멤브레인 MEMS 음향센서 구조도 ····· 14
[그림 2-5] 이중 멤브레인 MEMS 음향센서의 polyimide 희생층 기반 집적공정 흐름도(左) 및 칩 사진(右) ····· 15
[그림 2-6] polyimide 희생층 기반 이중 멤브레인 MEMS 음향센서 낙하신뢰성 평가시 발생하는 고감도용 저강성・대형 멤브레인 파괴 문제 ····· 16
[그림 2-7] SiO_2 희생층 기반 MEMS 음향센서 설계도(左) 및 집적공정 흐름도(右) ····· 17
[그림 2-8] MEMS 음향센서 설계・성능 시뮬레이션 예: 멤브레인 잔류응력에 따른 성능결과 요약표(上) 및 멤브레인 변형(下) ····· 18
[그림 2-9] MEMS 음향센서 제작시 발생한 공정불량 예제 ····· 19
[그림 2-10] MEMS 음향센서 8인치 웨이퍼(左) 및 칩(右) ····· 19
[그림 2-11] 디지털 MEMS 마이크로폰 모듈 연구시제품 ····· 20
[그림 2-12] MEMS 음향센서의 민감도(左) 및 AOP 성능(右) ····· 20
[그림 2-13] MEMS 음향센서의 큰 성능 편차 및 낙하신뢰성 불량 유발 집적공정 불량: 백플레이트와 백챔버의 misalign(左) 및 불완전한 SiO_2 희생층 제거(右) ····· 21
[그림 2-14] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 블록구조도(上) 및 레이아웃(下) ····· 22
[그림 2-15] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 사진 ····· 23
[그림 2-16] 디지털 High-SNR ROIC 칩 성능측정 개요도 ····· 24

[그림 2-17] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.2) 블록별 설계개선 사항 ····· 25
[그림 2-18] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.2) 사진 ····· 26
[그림 2-19] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.3) 블록별 설계개선 사항 ····· 27
[그림 2-20] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.3) 사진 ····· 28
[그림 2-21] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 개념도 ····· 29
[그림 2-22] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 블록구조도 ····· 30
[그림 2-23] 디지털 High-SNR & WDR ROIC용 아날로그 신호처리 칩(左) 및 WDR-PDM 이득 제어/인터페이스 FPGA(右) ····· 30
[그림 2-24] 디지털 High-SNR & WDR ROIC의 Hjgh-SNR 신호처리 모드 잡음특성: 순수 ROIC 특성(左) 및 MEMS 음향센서에 의한 한계 특성(右) ····· 32
[그림 2-25] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 광대역 음향신호 출력특성: 아날로그 신호처리 ROIC 출력단계(左) 및 WDR-PDM FPGA 출력단계(右) ····· 32
[그림 2-26] 사용자보드(左) 및 내부케이스(右) 이용 고감도 음향패키지 신구조 개념도 ····· 34
[그림 2-27] 기존(左) 및 개발 초소형(右) 일반급 음향패키지 ····· 35
[그림 2-28] 초소형 일반급 음향패키지용 PCB 설계도(上) 및 사진(下) ····· 35
[그림 2-29] 기존(左) 및 개발 초소형(右) 일반급 음향패키지 적용 일반급 MEMS 마이크로폰 민감도 성능 비교 ····· 36
[그림 2-30] SiO_2 희생층 기반 일반급 MEMS 음향센서 설계도(左) 및 집적공정 흐름도(右) · 37
[그림 2-31] 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품(앞면 左上, 후면 左下) 및 이를 이용하여 제작한 MEMS 마이크로폰 모듈(右) ····· 38
[그림 2-32] 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품 제작시 발생한 주요 공정불량 사진 ··· 39
[그림 2-33] 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 사진: 웨이퍼(左) 및 칩(앞면 中, 후면 右) ····· 39
[그림 2-34] 낙하신뢰성 Drop JIG 3D 도면(左) 및 Drop Test 장치(右) ····· 40
[그림 2-35] 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품 레이아웃(左) 및 칩 사진(右) ····· 42
[그림 2-36] 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품의 수요기업 성능평가서 예제 ····· 42
[그림 2-37] 아날로그 High-SNR ROIC 1~4차 상용시제품 칩 사진 ····· 43

[그림 2-38] T자형 4 마이크 어레이(左) 및 알고리즘 시뮬레이션 결과(右) ····· 44
[그림 2-39] 오디오 주밍 알고리즘 실험방법 ····· 45
[그림 2-40] 오디오 주밍 알고리즘: D&S 및 MVDR 신호특성 비교(左), MVDR 방법의 far-field model(右上) 및 near-field mode(右下) 개념도 ····· 46
[그림 2-41] 일자형(左) 및 원통형(右) 마이크로폰 어레이 ····· 47
[그림 2-42] 지능형 마이크 어레이 솔루션 SNR 성능평가 방법: 측정장비 구성도(左) 및 음원 스펙트럼 처리 예(右) ····· 48
[그림 2-43] 일자형 마이크 어레이와 음원의 거리 1.5m(左) 및 5m(右) 조건에서 오디오 주밍 알고리즘 종류에 따른 SNR 향상 정도 ····· 49
[그림 2-44] 일자형(左) 및 원통형(右) 마이크 어레이에서 입력신호의 SNR 특성 및 오디오 주밍 알고리즘 종류에 따른 음성인식률 향상 정도 ····· 50
[그림 3-1] MEMS 마이크로폰 연구개발결과의 사업화 추진계획 ····· 51

제1장 서 론

제1절 연구 필요성 및 중요성

1. 연구 필요성

□ 기술적 필요성

o 터치, 제스처 보다 사용자 친화적인 실감지능형 음성 UI 기술은 스마트기기의 핵심기술로 부각되고 있음

o 실감지능형 음성 UI 구현을 위해서는 다양한 환경에서 사용자 의도에 맞추어 음향을 감지하는 환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발이 요구됨

□ 산업적 필요성

o MEMS 마이크로폰의 세계시장은 2014년 8.9억불에서 연평균 9.2% 성장하여 2019년 13.8억불에 도달할 것으로 전망되나, 한국의 시장점유율은 2014년 기준으로 4%에 불과하여 시장점유율 확대를 위한 고부가가치 제품 기술개발이 요구됨

o 실감지능형 음성 UI는 스마트폰, 착용형 스마트기기, 스마트홈 가전기기, 스마트카 등 한국의 주력 생산 시스템에서 향후 수요가 크게 증가될 것으로 전망되므로 이를 구현하기 위한 핵심부품인 환경/사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발이 요구됨

2. 연구 중요성

o MEMS 마이크로폰의 국내시장은 수요업체로 세계 2위인 삼성전자, LG전자 등이 있어서 매우 크지만 국내수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이므로

향후 수입대체 효과를 위한 국산화 개발이 중요함

- 국내에서는 비에스이와 싸니코전자에서 MEMS 마이크로폰 패키지 제품을 생산하고 있으나, 핵심기술인 MEMS 음향센서 및 CMOS ROIC 칩은 외국으로부터 전량 수입하고 있음

o 다양한 ICT 시스템에서 실감지능형 음성 UI 기술이 급부상할 것으로 전망됨에 따라 MEMS 마이크로폰은 고성능화 및 지능화의 기술변혁을 곧 맞이할 것이므로, 기존 시장에서 밀려난 한국은 이런 기술환경 변화를 새로운 도약의 기회로 삼기 위해 관련 기술 개발이 매우 중요함

- MEMS 마이크로폰은 넓은 음압환경(Wide Dynamic Range)에서 고감도(High Signal-to-Noise Ratio) 음향감지를 목표로 고성능화되고 있음

- 사용자가 원하는 특정 방향의 음향을 선택적 증폭하여 감지하는 오디오 주밍 기반 마이크로폰 어레이 솔루션에 대한 시장요구가 증가되고 있음

제2절 연구 목표 및 내용

1. 연구 목표

□ 최종목표

o 다양한 환경에서 사용자 의도에 맞추어 음향정보를 감지하는 환경 및 사용자 적응형 마이크로폰 솔루션 개발

[그림 1-1] 환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개념도

□ 세부목표

o 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 기술 개발

- 고감도 광대역 MEMS 음향센서 연구시제품
- 디지털 High-SNR ROIC 연구시제품
- 디지털 High-SNR & WDR ROIC 연구시제품
- 초소형 고감도 음향패키지 연구시제품
- 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 모듈 연구시제품

o 아날로그 MEMS 마이크로폰 칩 상용화 기술 개발

- 일반급 MEMS 음향센서 양산시제품
- 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품

o 오디오 주밍 기반 지능형 음향제어 기술 개발

- 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 연구시제품

[표 1-1] MEMS 마이크 솔루션 주요 성능목표

주요 성능목표	단위	세계최고 수준	기술개발 목표치	목표치 설정근거
① 고감도 광대역 MEMS 음향센서 노광공정 횟수	회	10	≤8	세계최고수준 능가
② 고감도 광대역 MEMS 음향센서 민감도 (no gain)	dBV/Pa	-42	≥-38	세계최고수준(SNR 64dB 기준) 능가
③ 고감도 광대역 MEMS 음향센서 낙하신뢰성	%	≥99	≥95	양산화 가능 수준
④ 디지털 Hjgh-SNR ROIC 전원잡음제거(PSR)	dBFS	-86	≤-87	세계최고수준(SNR 64dB 기준) 동등
⑤ 디지털 Hjgh-SNR & WDR ROIC 인터페이스	-	PDM, I^2S	WDR-PDM	세계최고수준
⑥ 디지털 고성능 MEMS 마이크 신호대잡음비(SNR)	dB	64	≥64	세계최고수준(AOP 124dB SPL) 동등
⑦ 디지털 고성능 MEMS 마이크 음향과부하점(AOP)	dB SPL	124	≥135	세계최고수준(SNR 64dB 기준) 능가
⑧ 지능형 음향제어 마이크 어레이 구조	-	-	마이크 갯수 ≤7개, 총 길이 ≤24cm	자체제시(응용에 따라 매우 다름)
⑨ 지능형 음향제어 마이크 어레이 오디오 주밍 (30도 간격)	dB	-	≥6	자체제시(성능수준 비교 불가능)

2. 연구 내용

□ 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 기술 개발

o 고감도 광대역 MEMS 음향센서 기술 <1~3차년도>

- Polyimide 희생층 기반 고감도 광대역 MEMS 음향센서 기술
- SiO_2 희생층 기반 고감도 MEMS 음향센서 기술

o 디지털 High-SNR & WDR ROIC 기술 <1~3차년도>

- 디지털 High-SNR ROIC 기술
- 디지털 High-SNR & WDR ROIC 핵심기술

o 초소형 고감도 음향패키지 기술# <1~2차년도>

□ 아날로그 MEMS 마이크 칩 상용화 기술 개발 <1~3차년도>

o 일반급 MEMS 음향센서 양산화 기술

o 아날로그 High-SNR ROIC 상용화 기술

□ 오디오 주밍 기반 지능형 음향제어 기술 개발# <1~2차년도>

o 빔포밍 기반 오디오 주밍 알고리즘 기술

o 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 기술

2차년도(2016년)에 진행된 ETRI 주요사업 재정립(기초원천 연구 확대, 산업화 기술 개발 축소) 및 이에 따른 본 과제의 연구비 감액에 따라 해당 연구내용은 3차년도부터 중단

[그림 1-2] MEMS 마이크 솔루션 핵심기술 구성도

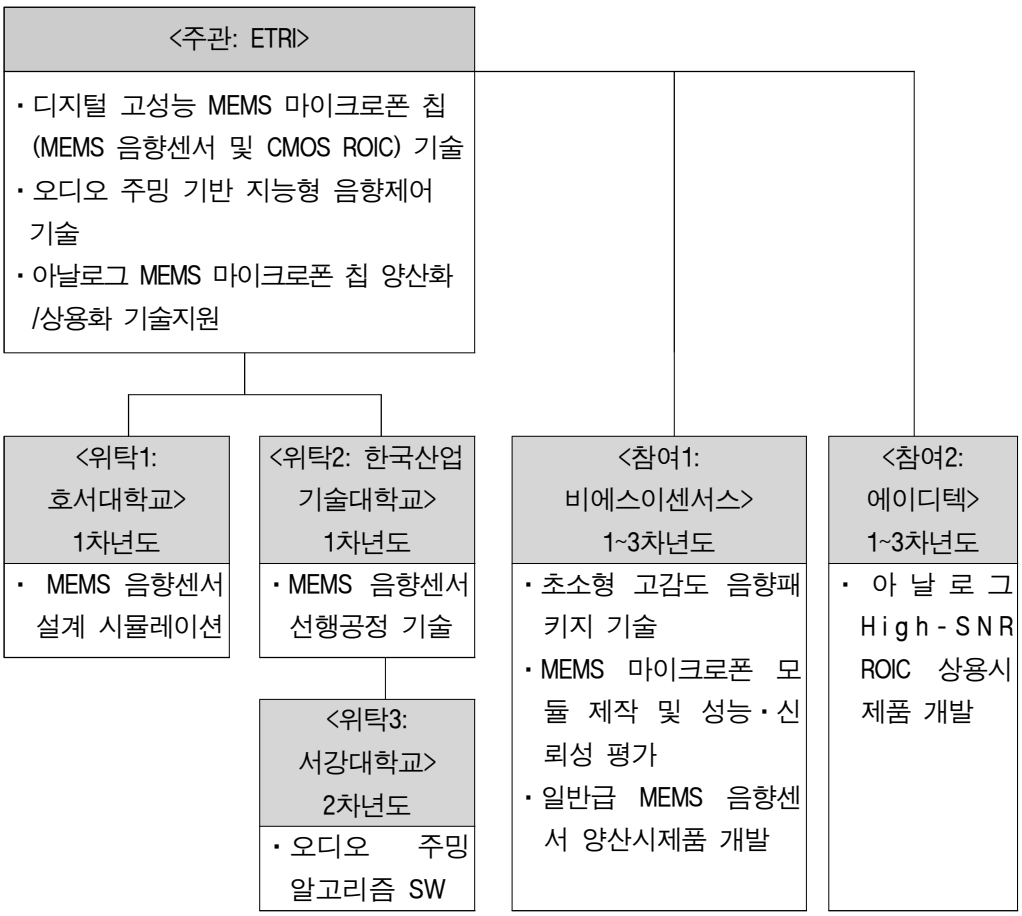
구 분	1차년도(2015년) : TRL 3~4	2차년도(2016년) : TRL 4~5	3차년도(2017년) : TRL 5~6	
연구목표	신구조 마이크로폰 및 지능형 음향제어 알고리즘 개발	고성능 마이크로폰 및 지능형 음향제어 마이크 어레이 개발	디지털 고성능 마이크 성능 확보 및 아날로그 마이크 칩 상용화	
MEMS 음향센서	고감도 광대역 멤브레인 구조 및 MEMS 음향센서 공정 개발	고감도 광대역 MEMS 음향센서 설계 및 집적공정 개발	MEMS 음향센서 설계 및 집적공정 최적화	디지털 고성능 MEMS 마이크 시제품 개발
ROIC	High-SNR ROIC 개발	High-SNR ROIC 최적화 및 High-SNR & WDR ROIC 구조 연구	High-SNR & WDR ROIC 회로 개발	
음향 패키지	초소형 고감도 패키지 신구조 개발	초소형 일반급 음향 패키지 개발	초소형 고감도 음향 패키지#	
지능형 음향제어	빔포밍 기반 오디오 주밍 알고리즘 연구	오디오 주밍 기반 지능형 마이크 어레이 솔루션 개발	자체개발 디지털 고성능 MEMS 마이크 기반 지능형 솔루션 개발#	
기개발 기술 양산화/상용화	일반급 MEMS 음향센서 및 아날로그 High-SNR ROIC 양산화/상용화 기술 개발	아날로그 MEMS 마이크로폰용 칩(센서 및 ROIC) 양산/상용 시제품 제작	아날로그 MEMS 마이크용 칩 양산/상용 시제품 성능 · 신뢰성 검증	

ETRI 주요사업 재정립(기초원천 연구 확대, 산업화 기술개발 축소)에 따른 본 과제 연구비 감액으로 해당 연구내용은 중단

[그림 1-3] MEMS 마이크 솔루션 연구개발 로드맵

제3절 연구개발 추진체계 및 방법

1. 연구개발 추진체계



[그림 1-4] 연구개발 추진체계도 (주관/참여/위탁 기관별 역할분담)

2. 연구개발 방법

□ 위탁과제 수탁 통한 핵심기술 개발능력 보완

o 주관기관인 ETRI는 MEMS 음향센서 설계 시뮬레이션 SW 및 활용인력 미보유

상태이므로 세계선도 MEMS 디자인 SW인 ConventorWare의 국내최고 전문가인 호서대학교 한승오 교수에게 위탁과제(1차년도) 수탁 통한 최적설계 개발기간 단축

o 주관기관인 ETRI는 MEMS 음향센서 설계/공정 기술 개발에 집중하고, 국내 MEMS 전문가인 한국산업기술대학교 김창규 교수에게 위탁과제(1차년도) 수탁을 통해 경쟁기관 및 최근 연구동향 조사를 통하여 새로이 도입할 가치가 있는 선행공정 기술 발굴

o 국내 지능형 음향제어 전문가인 서강대학교 박형민 교수에게 위탁과제(2차년도) 수탁을 통해 ETRI에서 제시한 오디오 주밍 알고리즘에 기반한 SW를 개발함으로써 연구시제품의 개발기단 단축

□ 수요업체 참여 통한 개발기술의 조기 검증 및 상용화 기간 단축

o ETRI로부터 일반급 MEMS 음향센서 기술을 이전받은 비에스이센서스의 참여를 통해 기개발 기술의 양산화 추진 및 후속 개발할 고감도 광대역 MEMS 음향센서의 성능 조기 검증을 통한 향후 상용화 기간 단축

o ETRI로부터 MEMS 마이크로폰용 아날로그 High-SNR ROIC 기술을 이전받은 에이디텍의 참여를 통해 기개발 기술의 상용화 추진 및 후속 개발할 디지털 High-SNR ROIC의 성능 조기 검증을 통한 향후 상용화 기간 단축

o 비에스이센서스는 모회사인 비에스이와 협력하여 자체 생산할 MEMS 음향센서와 에이디텍으로부터 공급받을 ROIC를 이용하여 MEMS 마이크로폰 국산화를 추진

제2장 본 론

제1절 국내・외 기술개발 현황

1. 국내・외 기술현황 및 수준

□ 국외

o 소음환경(콘서트장 등)에서의 녹화 및 고화질 비디오(4k)에 부합하는 고음질 오디오용 고성능 MEMS 마이크로폰에 대한 요구 급증으로 High-AOP 및 High-SNR MEMS 마이크로폰 개발 경주 시작

- Omron(일본)＊STM(프・이)는 멤브레인 면적 조절 통한 고감도(대면적)/고음압(소면적) 이중 멤브레인 구조를 갖는 광대역(AOP~140dB SPL) MEMS 음향센서 칩(크기: 1.6×1.25mm^2) 개발 논문을 발표 [1]

- Knowles(미)는 High-SNR(~64dB) 디지털 ROIC를 개발하였으나, AOP는 120dB SPL로 WDR 성능은 좋지 않음 [2]

o 고성능 MEMS 마이크로폰과 SW 기반 음향제어의 융합을 통한 고부가가치 지능형 마이크로폰 솔루션 개발 움직임 시작

- STM(프랑스・이탈리아)은 고성능 MEMS 마이크로폰과 외부음향의 능동적 조절(AOC) 및 원하는 음향의 선택적 감지(API)의 지능형 음향제어가 접목된 지능형 마이크로폰 솔루션 개발을 위해 SW 업체 Soundchip(스위스)과 최근 기술제휴 시작

□ 국내

o 비에스이 및 싸니코전자에서 각각 스마트폰용 고성능 및 이어폰용 일반급

MEMS 마이크로폰 패키지 제품을 생산하여 삼성전자, LG전자 등에 납품하고 있으나 핵심기술인 MEMS 음향센서 및 CMOS ROIC 칩은 외국으로부터 전량 수입하고 있음

o 한국전자통신연구원(ETRI), 소스트, 평화이엔지, 씨자인 등에서 MEMS 마이크로폰용 MEMS 음향센서 및 CMOS ROIC 칩을 국산화 개발 중

- 국내에서는 유일하게 ETRI가 MEMS 음향센서 및 ROIC 칩 기술을 동시에 개발하고 있으나, 본 과제 이전인 2014년까지 개발한 연구시제품은 성능 면에서 낮은 민감도 및 아날로그 출력 등의 기술적 한계가 있음

  · MEMS 음향센서는 6인치 ETRI 팹을 이용하여 제조하였는데, 노광공정(photolithography) 횟수를 세계최고기관(Knowles 12회, Infineon 10회) 대비 7회로 감소시켜 가격경쟁력 확보에 유리하나 민감도(-46dBV/Pa @no gain)는 세계최고수준(-42dBV/Pa) 보다 낮음

  · CMOS ROIC(국내 상용 CMOS 파운드리를 이용하여 제조)는 높은 SNR(66dB) 및 소형 칩 크기로 기술 및 가격 경쟁력 확보하였으나 출력이 디지털이 아닌 아날로그 형태임

  · 개발된 MEMS 음향센서 및 CMOS ROIC 기술은 각각 비에스이센서스 및 에이디텍에 이전되어 산업계로부터 기술적 가치를 인정받음

2. 글로벌 경쟁기관 현황

o MEMS 마이크로폰 모듈의 세계시장 점유율은 2014년 기준 1위 Knowles(미국) 50%, 2위 AAC(중국) 14%, 3위 GoerTek(중국) 12%, 4위 STMicroelectronics 10%, 5위 BSE(한국) 3%, 6위 Hosiden(일본) 2%, 기타 9%

- Knowels는 자체 생산한 MEMS 음향센서 및 음향패키지와 ODM업체인 AMS (오스트리아)으로 공급받은 CMOS ROIC를 이용하여 MEMS 마이크 모듈 생산
- STM은 자체 생산한 ROIC 및 음향패키지와 ODM업체인 Omron으로 공급받은 음향센서를 이용하여 MEMS 마이크 모듈 생산
- AAC, GoerTek, BSE(비에스이), Hosiden은 Infineon으로부터 공급받은 음향센서 및 ROIC를 자체 기술로 패키징하여 MEMS 마이크 모듈 생산

o MEMS 마이크로폰용 칩(MEMS 음향센서 및 CMOS ROIC) 세계시장 점유율은 2014년 기준 1위 Knowles 47%, 2위 Infineon 34%, 3위 Omron 8%, 4위 NJRC 4%, 기타 7%임

- Infineon과 NJRC는 음향센서 및 ROIC를 모두 생산
- Knowles과 Omron은 음향센서만을 생산

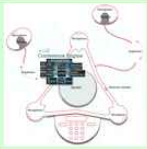
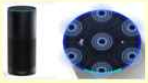
MEMS 마이크로폰 모듈 시장점유율 ('14년)		
순위	제조사 (국가)	시장점유율
1	Knowles (미국) ●●	50%
2	AAC (중국) ●	14%
3	Goertek (중국) ●	12%
4	STMicroelectronics (프·이) ●●	10%
5	BSE (한국) ●	3%
6	Hosiden (일본) ●	2%
7	기타	9%

MEMS 마이크로폰 칩 시장점유율 ('14년)		
순위	제조사 (국가)	시장점유율
1	Knowles· (미국) ●	47%
2	Infineon (독일) ●●	34%
3	Omron (일본) ●	8%
4	NJRC (일본) ●●	4%
5	기타	7%

● MEMS 센서 칩 ● CMOS ROIC 칩 ● 마이크 패키지

[그림 2-1] MEMS 마이크로폰 모듈 및 칩 세계시장 점유율 (2014년)

o 미국 기업들에서 음성인식, 화상회의 등에 응용하기 위하여 특정 사용자의 음성을 보다 명확히 인식하는 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 개발이 진행 중

기관(국가)	마이크 개수	서비스	SNR	대표도
Adaptive Digital (미국)	2~8	화상회의용 및 차량내 음성인식용	3.1dB @2mic 6.2dB @4mic	
Acoustic Magic (미국)	5, 6	화상회의용	14dB	
Amazon "echo" (미국)	7	음성인식용	N/A	
ClearOne (미국)	24	화상회의용	6~15dB	

[그림 2-2] 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 개발 사례

제2절 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 기술 개발

1. 고감도 광대역 MEMS 음향센서 기술 개발

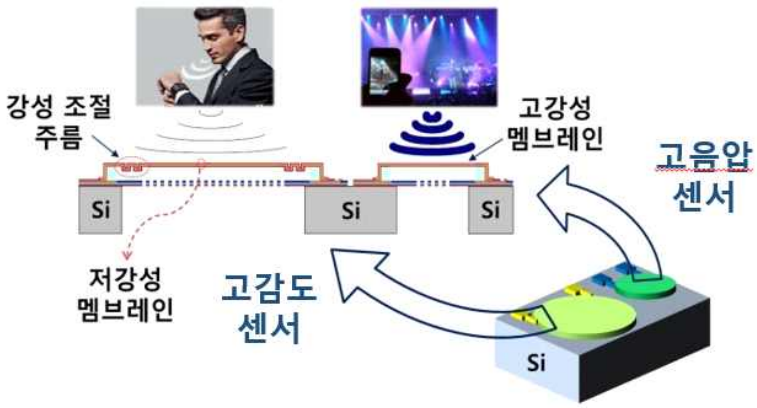
□ Polyimide 희생층 기반 고감도 광대역 MEMS 음향센서 개발

o 고감도용 저강성·대형 멤브레인 및 고음압용 고강성·소형 멤브레인의 이중 멤브레인을 갖는 고감도 광대역 MEMS 음향센서 설계

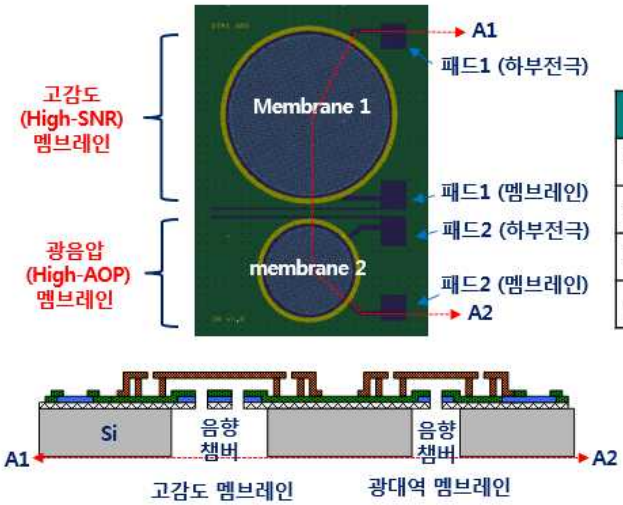
- MEMS 음향센서의 바이어스 전압 및 민감도를 결정하는 멤브레인의 기계적 강성은 기본적으로 멤브레인의 직경/두께/잔류응력(residual stress)로 조절하되, 고감도용의 경우는 강성을 구조적으로 제어하면서 감소시키기 위해 주름(corrugation)을 도입

- 고감도 멤브레인(직경 770um) 및 고음압 멤브레인(직경 450um)은 각각 독립적으로 작동하도록 분리 배치하였으며, 전기적 연결용 패드 4개를 포함한 센서 면적은 1.4×1.0mm^{2}임

- 멤브레인의 전기적 특성, 즉 바이어스 전압, 민감도(open-circuit sensitivity) 등은 해석적 모델링 기법으로 예측하여 설계 진행



[그림 2-3] 이중 멤브레인 구조 고감도 광대역 MEMS 음향센서 개념도



성능 항목	고감도	고음압
멤브레인 직경(um)	770	450
정전용량 [pF]	2.1	0.7
바이어스 전압 [V]	5.0	10
민감도 [dBV/Pa]	-37	-53

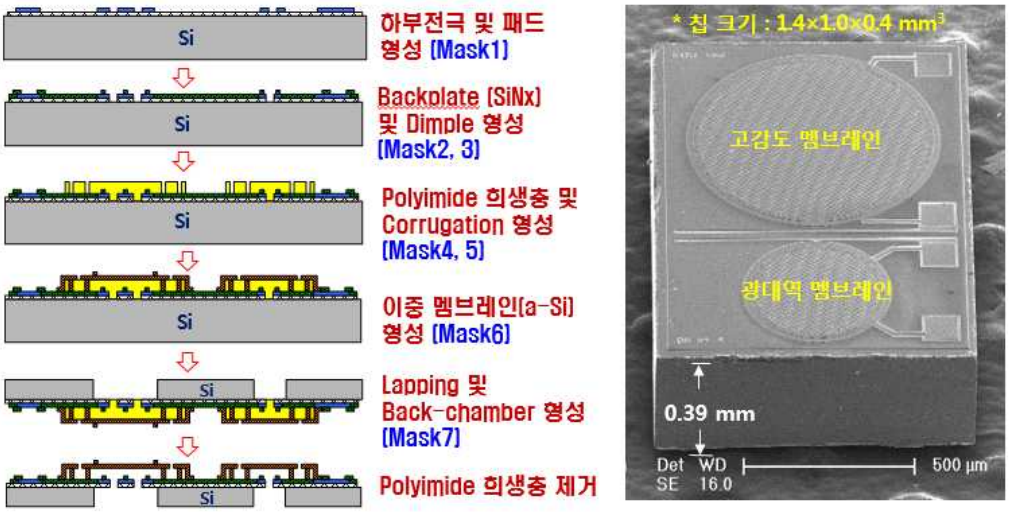
[그림 2-4] 이중 멤브레인 MEMS 음향센서 구조도

o 설계한 MEMS 음향센서는 ETRI 6인치 팹에서 7장의 마스크를 이용한 polyimide 희생층 기반 집적공정으로 제조

- MEMS 음향센서의 가격경쟁력을 확보하는데 있어서 큰 영향을 미치는 노광공정의 횟수(즉 마스크 개수)는 세계최고기관(Knowles 12회, Infineon 10회) 대비 7회로 적음

- Polyimide 희생층은 PR(photoresist)과 같이 일반적인 저가격 플라즈마연소기(plasma asher)로 제거할 수 있어서, SiO_2 희생층 제거에 사용되는 HF-VPE (Hydrofluoric acid-Vapour Phase Etching)와 고가격 전용장비가 불필요한 장점이 있음. 또한 polyimide 희생층을 이용한 MEMS 음향센서 집적공정은 CMOS ROIC 형성 후에도 진행 가능하여 미래에 iMEMS 음향센서도 제조 가능

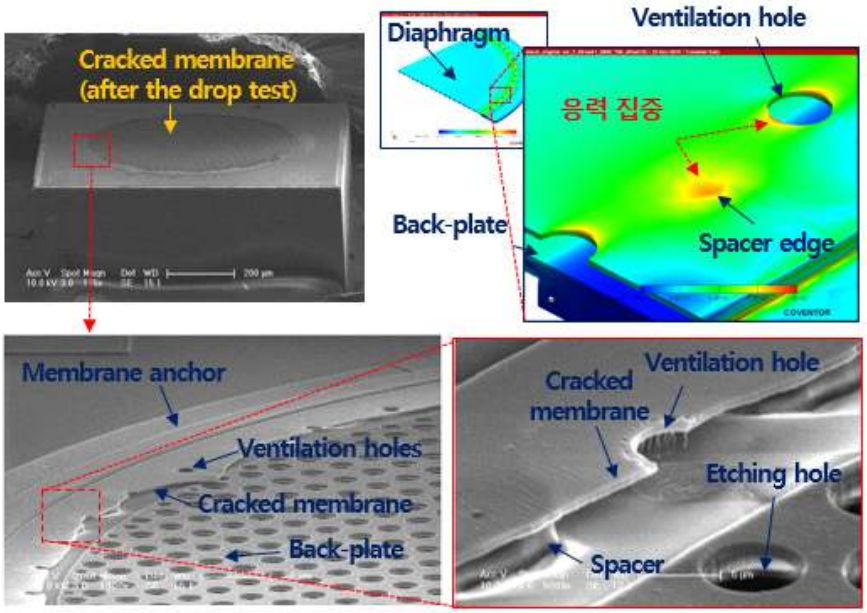
- Polyimide 희생층 코팅 전에 진행하는 고정전극인 백플레이트(backplate)는 고온(≥800℃) 공정인 저압화학기상증착법(LPCVD)으로 증착 가능하나, 코팅 후에 진행하는 이동전극인 멤브레인은 반드시 저온(≤400℃) 공정인 플라즈마화학기상증착법(PECVD)으로 증착해야함. 이에 따라 백플레이트 보다 멤브레인의 잔류응력(residual stress) 조절이 어려운 단점이 있음



[그림 2-5] 이중 멤브레인 MEMS 음향센서의
polyimide 희생층 기반 집적공정 흐름도(左) 및 칩 사진(右)

o Polyimide 희생층 기반 이중 멤브레인 MEMS 음향센서는 멤브레인의 잔류응력에 의존하는 민감도 제어가 어렵고, 고감도용 저강성·대형 멤브레인의 낙하신뢰성 확보가 어려운 기술적 문제가 있음

- PECVD로 증착되는 비정질 실리콘(a-Si) 멤브레인은 공정 특성상 SiO_2 희생층을 이용한 집적공정에서 LPCVD로 증착한 다결정 실리콘(poly-Si) 보다 잔류응력 제어가 어렵고 파괴강도(Young's modulus에 비례)가 작아서 멤브레인의 휨 및 낙하시 물리적 파괴에 취약



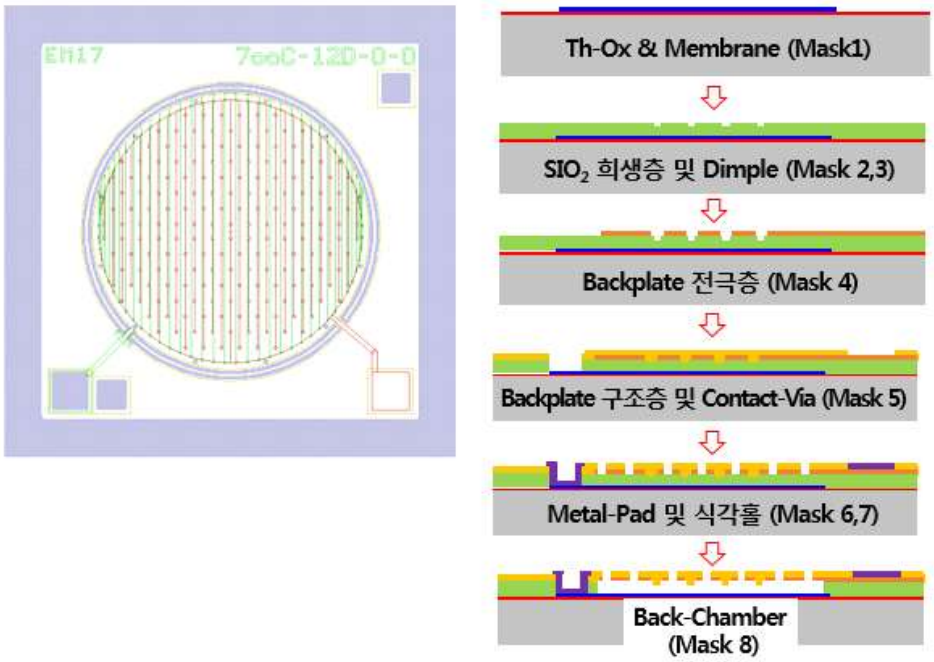
[그림 2-6] Polyimide 희생층 기반 이중 멤브레인 MEMS 음향센서
낙하신뢰성 평가시 발생하는 고감도용 저강성・대형 멤브레인 파괴 문제

□ SiO_2 희생층 기반 고감도 MEMS 음향센서 개발

o Polyimide 희생층 기반 MEMS 음향센서의 기술적 문제를 해결하고, 향후 MEMS 음향센서의 양산화시 상용 MEMS 파운드리에서 타제품의 집적공정과 호환성을 확보하는데 유리한 SiO_2 희생층 기반 MEMS 음향센서를 개발

- 특히 기술적 난이도가 높지만 상용성이 우수한 고감도 MEMS 음향센서를 목표로 연구개발을 수행

- 총 8장의 마스크(목표사양인 노광공정 횟수 ≤8번 달성)를 사용한 집적공정을 통해 개발

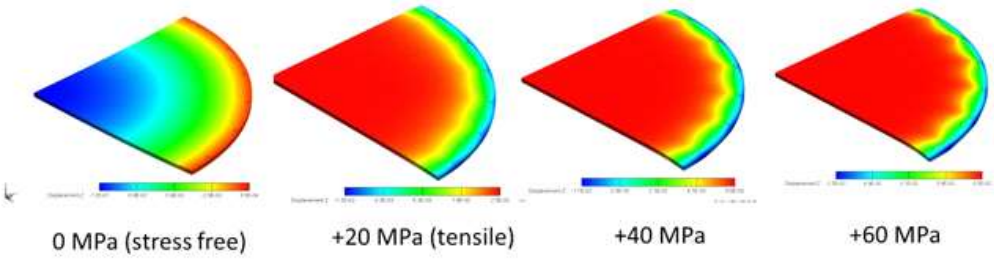


[그림 2-7] SiO_2 희생층 기반 MEMS 음향센서 설계도(左) 및 집적공정 흐름도(右)

o 우수한 성능(멤브레인/백플레이트의 최소 변형 및 공진주파수, Pull-In 전압, 정전용량, 민감도) 및 공정변수(멤브레인/백플레이트 잔류응력)에 따른 우수한 성능 안정성을 목표로 유한요소해석(FEA: Finite Element Analysis) 기반 설계·성능 시뮬레이션을 통하여 적절한 구조 설계치(멤브레인 직경/두께, 백플레이트 앵커 구조/두께 등)를 도출

- 제한된 시간 및 컴퓨팅 파워에서 빠른 결과 확보를 위하여 MEMS 음향센서의 미세구조(멤브레인 전기적 연결선 및 vent -hole 등)를 생략한 quarter(1/4) unit cell에서 시뮬레이션 진행

Parameter		Design Variable : Membrane Stress (MPa) & Thickness (um)				
		0 MPa	+20	+40	+60	+20
Membrane Diameter (um)		750				
Membrane Thickness (um)		0.8				0.5
Backplate SiNx / Poly-Si Stress (Mpa)		+50 / +35				
Z-axis Deformation (um)	MEM	-0.12	+0.025	+0.057	+0.08	+0.01
	BP	-0.10	-0.008	+0.087	+0.18	-0.028
Resonant freq. (kHz)	MEM	23	67	91	99	69
	BP	78	99	99	110	99
Pull-in Voltage (V)		4.5~5.0	10.0 ~10.5	13.5~14.0	16.0~16.5	8.5~9.0
Capacitance (pF)	@0 V	1.56	1.57	1.55	1.52	1.57
	@ Vp	1.80	1.80	1.85	1.85	1.84
So (@ Vb = 0.7Vp)	dBV/Pa	-33	-40	-42	-43	-38

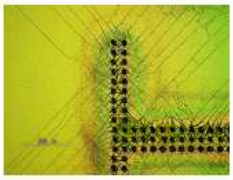
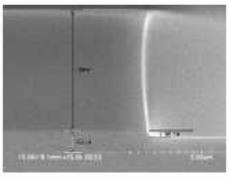
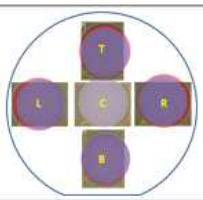
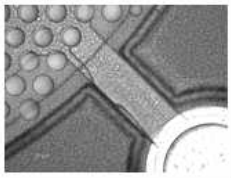


[그림 2-8] MEMS 음향센서 설계・성능 시뮬레이션 예:
멤브레인 잔류응력에 따른 성능결과 요약표(上) 및 멤브레인 변형(下)

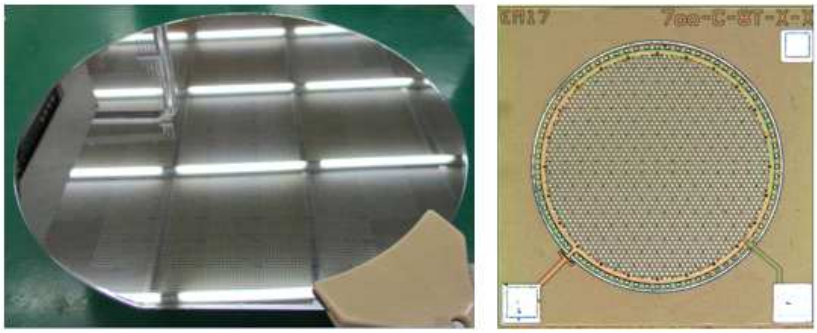
o 설계된 SiO_2 희생층 기반 MEMS 음향센서(크기 $1\times1\times0.4mm^3$)는 저가격으로 빠른 run 진행이 가능한 6인치 ETRI 팹에서 먼저 집적공정을 개발한 후, 향후 시양산이 가능하도록 나노종합기술원(NNFC) 8인치 팹으로 집적공정을 이식(porting)하여 최종 제작

- 국내 유일의 상용 MEMS 파운드리 8인치 팹(D사)에 비해 NNFC 팹은 연구용으로 양산화가 어렵고 단위공정의 완성도가 낮은 단점이 있으나, DRIE 및 HF-VPE 장비를 보유하고 있어서 모든 집적공정이 일괄 진행할 수 있는 장점이 있음

- 가장 중요한 멤브레인 및 백플레이트용 Poly-Si 박막의 잔류응력 조절 이외에 다양한 집적공정 불량을 제거하기 위한 공정조건 개선을 진행

집적공정 불량 예제				
현상	증착된 SiO2 희생층이 후속 열공정에서 larer mark 등의 취약 영역에서 Crack 발생	Via(Pad Open) 공정에서 백플레이트 SiNx 식각시 poly-S I 전극 손상	DRIE 진행후 웨이퍼 영역에 따라 불균일하게 back-chamber의 broadening 발생	HF-VPE 진행후 etch residue 발생 및 SiN 백플레이트 식각 (심한 경우 crack 발생)
사진				

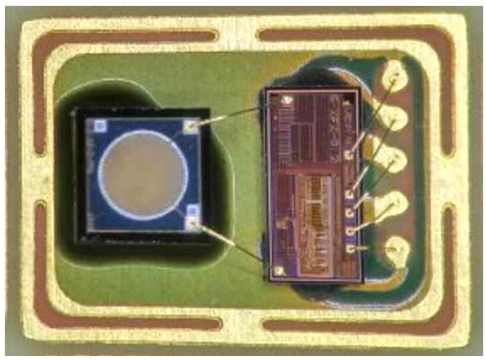
[그림 2-9] MEMS 음향센서 제작시 발생한 공정불량 예제



[그림 2-10] MEMS 음향센서 8인치 웨이퍼(左) 및 칩(右)

o 제작된 MEMS 음향센서 웨이퍼는 참여기관인 비에스이센서스에서 laser dicing 및 ETRI 디지털 High-SNR ROIC(Ver.3, 센서 바이어스 전압 5.8V)와의 모듈 패키징을 통하여 성능평가를 진행함

- 일반적인 High-SNR MEMS 마이크로폰용 Bottom-port형 패키지(크기 $3.76 \times 2.95 \times 1.1mm^3$)를 이용

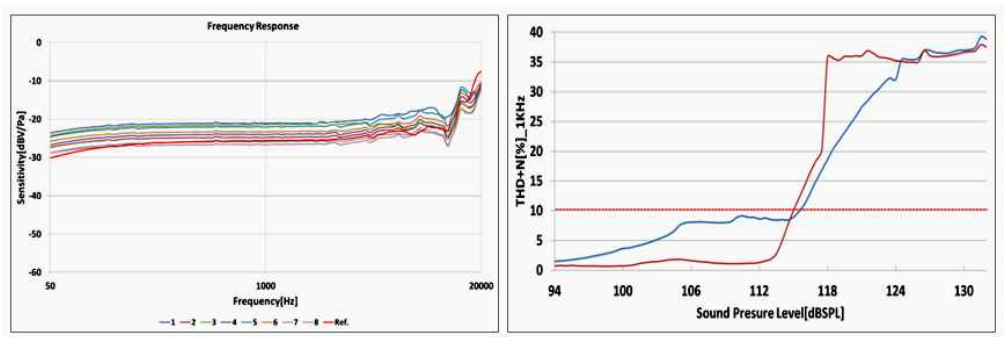


[그림 2-11] 디지털 MEMS 마이크로폰 모듈 연구시제품

o 제작된 MEMS 음향센서 성능은 편차가 큰 편이었는데, good sample 기준으로 민감도는 -42.7 ~ -37.0dBV/Pa (ROIC gain 16dB 포함 마이크 모듈 기준 -26.7 ~ -21.0dBFS), SNR 60.7~64.7dB, AOP(THD 10% 기준)는 114~115dB SPL, 낙하신뢰성은 92%(Pass 비율 12/13)임

- 큰 성능 편차 및 낙하신뢰성 불량은 백플레이트와 백챔버의 misalign, HF-VPE 공정 시간 부족에 따른 불완전한 SiO_2 희생층 제거 등의 집적공정 불량 때문으로 분석됨

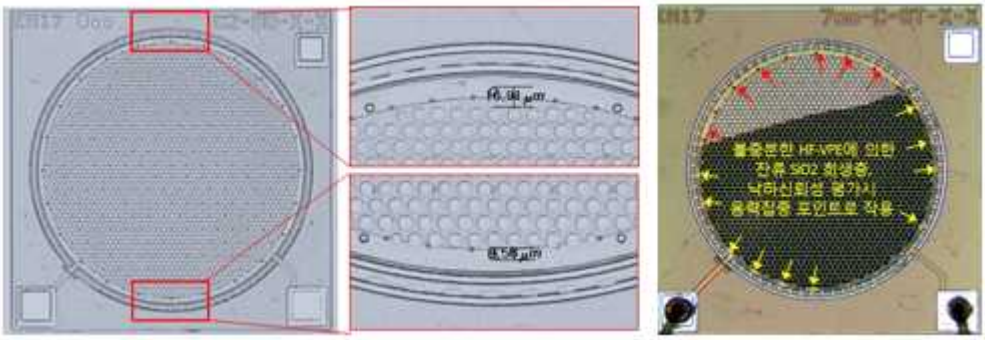
- <u>목표사양인 민감도 -38dBV/Pa, SNR 64dB 낙하신뢰성 95%는 공정불량 제거시 안정적으로 달성할 것으로 예상됨</u>



[그림 2-12] MEMS 음향센서의 민감도(左) 및 AOP 성능(右)

[표 2-1] MEMS 음향센서 낙하신뢰성

샘플	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
민감도 변화 (dBV/Pa)	0.2	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	-38	0.0	0.2	0.0
판정 (Pass or Fail)	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass	Pass	Pass



[그림 2-13] MEMS 음향센서의 큰 성능 편차 및 낙하신뢰성 불량 유발 집적공정 불량: 백플레이트와 백챔버의 misalign(左) 및 불완전한 SiO_2 희생층 제거(右)

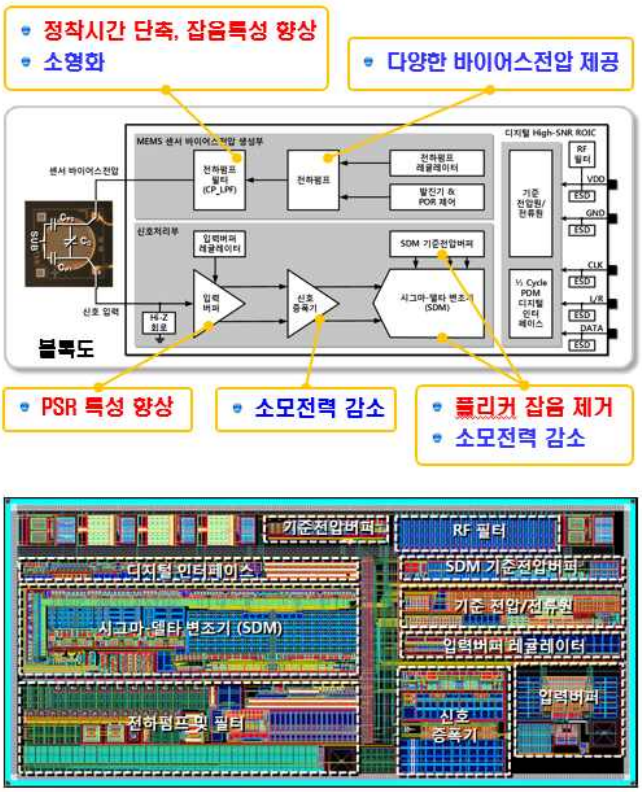
2. 디지털 High-SNR & WDR ROIC 기술 개발

가. 디지털 High-SNR ROIC 기술 개발

□ 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 개발

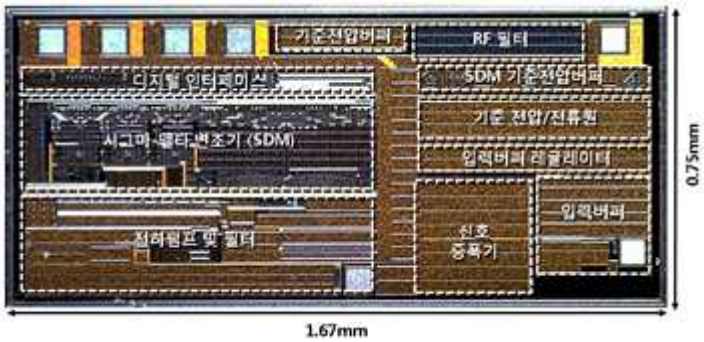
o 디지털 High-SNR ROIC의 블록별 기술적 이슈(Major 및 Minor) 고려한 구조 및 레이아웃 설계

- 센서 바이어스전압 생성부: 정착시간/잡음특성 향상, 소형화 및 다양한 바이어스 전압 제공
- 신호처리부: 저잡음 및 저소모전력 구현



[그림 2-14] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 블록구조도(上) 및 레이아웃(下)

o 설계한 ROIC를 국내 상용 0.35um CMOS 파운드리(M사)의 2-Poly 4-Metal 공정을 이용하여 제작



[그림 2-15] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 사진

o 제작된 ROIC와 고감도 MEMS 음향센서 모델링 회로의 모듈화를 통한 칩 성능 측정과 제작된 ROIC와 실제 상용 고감도 MEMS 음향센서를 패키징 한 마이크로폰 모듈 성능 측정을 통하여 칩 설계치, 칩 측정치 및 모듈 측정치의 단계별 성능 비교분석 진행

- 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1)의 성능 중 민감도는 잡음과 달리 칩 설계, 칩 측정 및 모듈 측정 단계별로 크게 다름. 민감도는 칩 측정치 보다 모듈 측정치가 낮았는데, 이는 실제 MEMS 음향센서의 입력신호가 모델링 회로에서 보다 낮기 때문임
- 이에 따라 가장 중요한 SNR 특성에서 설계치(65.9dB) 보다 모듈 측정치(61.8dB)가 크게 저하되었고, 이에 대한 원인 분석과 해결방안 도출이 MEMS 음향센서의 모델링 어려움 때문에 설계 시뮬레이션을 통하여 원활히 진행되기 어려운 문제가 발생함
- 개발된 ROIC(Ver.1)의 모듈 성능에서 SNR 이외의 다른 항목들(칩 크기, PSR, 소모전류)은 세계최고 상용제품(2015년 기준, K사) 대비 동등 이상의 수준임

[그림 2-16] 디지털 High-SNR ROIC 칩 성능측정 개요도

[표 2-2] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.1) 단계별
(칩 설계치, 칩 측정치, 모듈 측정치) 성능 비교

항목	단위	Ver.1			세계최고수준 상용품(K사) 모듈 측정치
		칩 설계치	칩 측정치	모듈 측정치	
전원전압	V	1.5~3.6			1.62~3.6
소모전류	uA	-	-	585	666
민감도	dBFS	-25.5	-27.2	-29.2	-26
잡음	dBFS(A)	-91.4	-92.4	-91.0	-90
SNR	dB	65.9	65.2	61.8	64
PSR+N	dBFS(A)	-	-89.1	-85 ~ -89	-84
칩 면적	mm^2	1.25 (1.67x0.75)			1.34

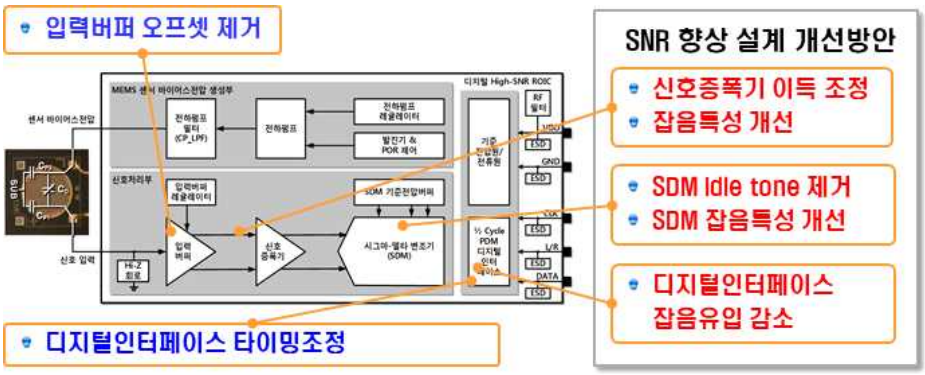
□ 디지털 High-SNR ROIC 설계 개선 및 성능 향상

o ROIC Ver.1의 낮은 SNR(62dB) 등의 문제점 해결 위한 설계 개선, 동일한 0.35um CMOS 파운드리 공정을 이용하여 ROIC Ver.2 제작, 그리고 MEMS 마이크로폰 모듈 성능 측정을 통하여 ROIC Ver.1 및 Ver.2 성능 비교분석 진행

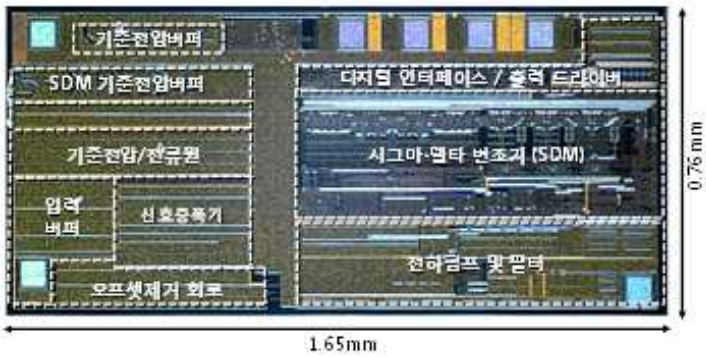
- SNR 향상을 위해 신호증폭기, 시그마-델타 변조기(SDM) 및 디지털인터페이스 회로의 잡음특성 향상 위한 설계 개선

- 모듈 성능 측정 결과, SNR은 목표치(64dB)를 달성하였으나, 민감도와 PSR은 목표치(-87dBFS) 미달

- 개발된 ROIC(Ver.2)의 모듈 성능은 대부분 세계최고 상용제품(2016년 기준, K사 및 I사) 대비 동등한 수준이며, 민감도 및 PSR 성능은 약간 낮지만 성능 향상에 큰 어려움이 없는 수준임



[그림 2-17] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.2) 블록별 설계개선 사항



[그림 2-18] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.2) 사진

[표 2-3] 디지털 High-SNR ROIC Ver.1 및 Ver.2 성능 비교

항목	단위	Ver.1		Ver.2		세계최고수준 상용품(K사) 모듈 측정치	세계최고수준 상용품(I사) 모듈 측정치
		칩 설계치	모듈 측정치	칩 설계치	모듈 측정치		
전원전압	V	1.5~3.6		1.6~3.6		1.62~3.6	1.6~3.6
소모전류	uA	-	585	-	680	666	500~800
민감도	dBFS	-25.5	-29.2	-26	-27.2	-26	-26
잡음	dBFS(A)	-91.4	-91.0	-91.0	-91.2	-90	-90.3
SNR	dB	65.9	61.8	65	64	64	64.3
PSR+N	dBFS(A)	-	-85 ~ -89	-	-80 ~ -96	-84	-86
칩 면적	mm^2	1.25 (1.67x0.75)		1.26 (1.65x0.76)		1.34	-

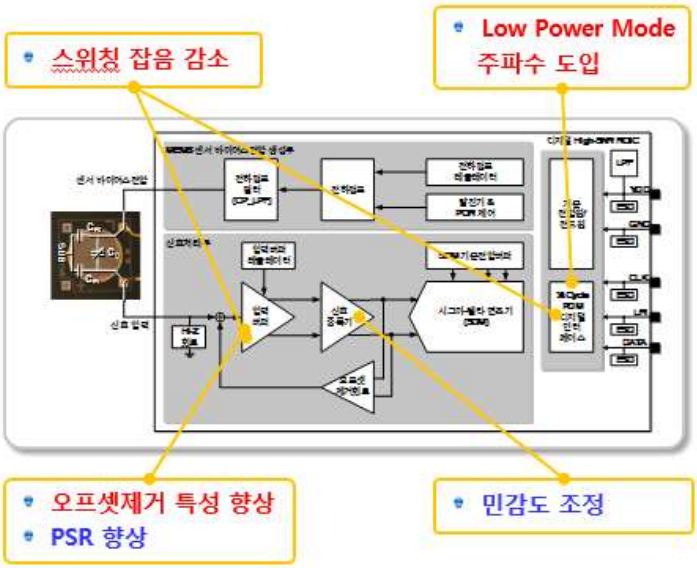
□ 디지털 High-SNR ROIC 최종 연구시제품 개발 및 성능 확보

o 최종 연구시제품으로서 기술적 완성도 제고를 위하여 수요기업 요구사항이 반영된 설계 개선을 통한 ROIC Ver.3 제작 후 모듈 성능 평가 결과, 세계최고수준과 대등한 기술경쟁력을 확보

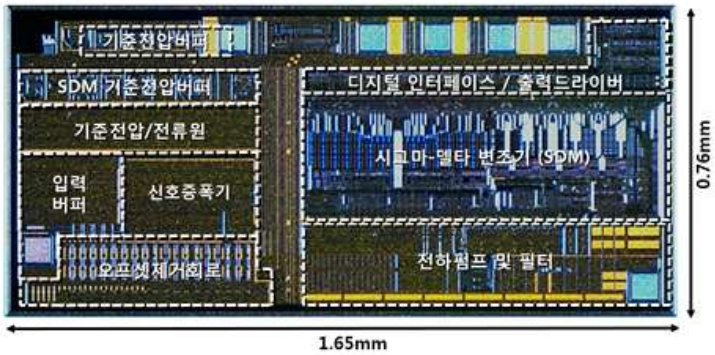
- 모듈 패키징시 전원 커패시터 크기에 상관없이 SNR 성능 유지, 칩 별 SNR 성능 편차 감소, 저전력 모드 도입, 민감도 및 PSR 향상 등의 수요기업(비에스이센서스) 요구사항을 반영한 설계 개선

- 세계최고 고감도 상용 MEMS 음향센서와 패키징 후 마이크로폰 모듈 성능 측정 결과, 목표사양인 SNR 64dB 및 PSR -87dBFS을 달성하였고, 세계최고 상용제품(2017년 기준, I사)과 대등한 성능 수준을 확보

- ROIC의 센서 바이어스 전압은 4.9V 및 5.8V로 실제 MEMS 음향센서의 적정 바이어스 전압인 5.4V와 차이가 있기 때문에 ROIC의 성능은 각 VSBIAS에서 모듈 측정치의 중간 정도임



[그림 2-19] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.3) 블록별 설계개선 사항



[그림 2-20] 디지털 High-SNR ROIC(Ver.3) 사진

[표 2-4] 디지털 High-SNR ROIC Ver.3 성능

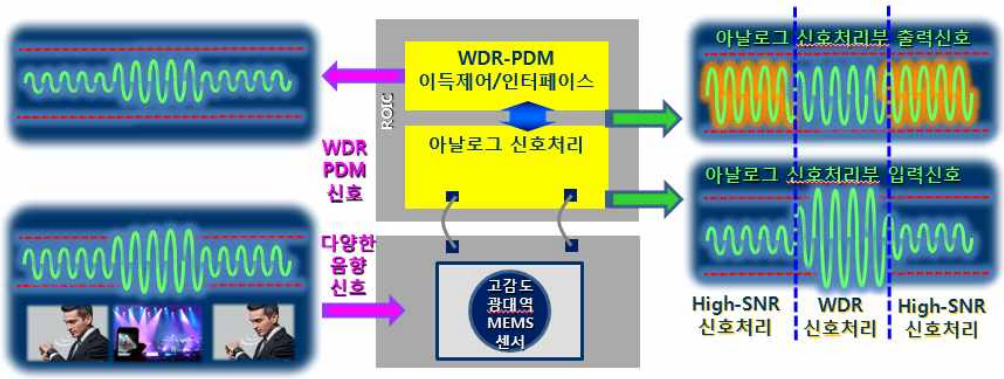
항목	단위	ETRI ROIC (Ver.3) 모듈 측정치		세계최고수준 상용품(I사) 모듈 측정치	
		Normal	Low-Power	Normal	LP
전원전압	V	1.6~3.6		1.6~3.6	
소모전류	uA	683~714	349~371	500~800	200~300
민감도	dBFS	-27.3 / -23.05*	-27.2 / -23.02*	-26	-26
잡음	dBFS(A)	-90.3 / -88.05*	-87.9 / -87.35*	-90.4	-88
SNR	dB	63.0 / 65*	60.7 / 64.3*	64.4	62
PSR	dBFS(A)	-96.5 / -90.5*	-88.8 / -91.0*	-86	-93
AOP	dBSPL	123~124 / 120*	122~123 / 119*	122	122
VSBIAS	V	4.9 / 5.8*		5.4	
인터페이스	-	½ Cycle PDM		½ Cycle PDM	
칩 면적	mm^2	1.65x0.76		1.2 x 0.9	

나. 디지털 High-SNR & WDR ROIC 핵심기술 개발

□ 디지털 High-SNR & WDR ROIC 설계 및 제작

o 디지털 High-SNR & WDR ROIC는 입력된 넓은 음압레벨의 음향신호를 적절히 신호처리하여 왜곡을 최소화하여 출력하는 것을 목표로 함

- 작은 음향신호(음성 명령어 등) 및 큰 신호(콘선트장 음악 등)를 음압레벨에 맞추어 이득을 제어하면서 각각 High-SNR 및 WDR 모드에서 신호처리하여 이음새없이(seamless) 출력



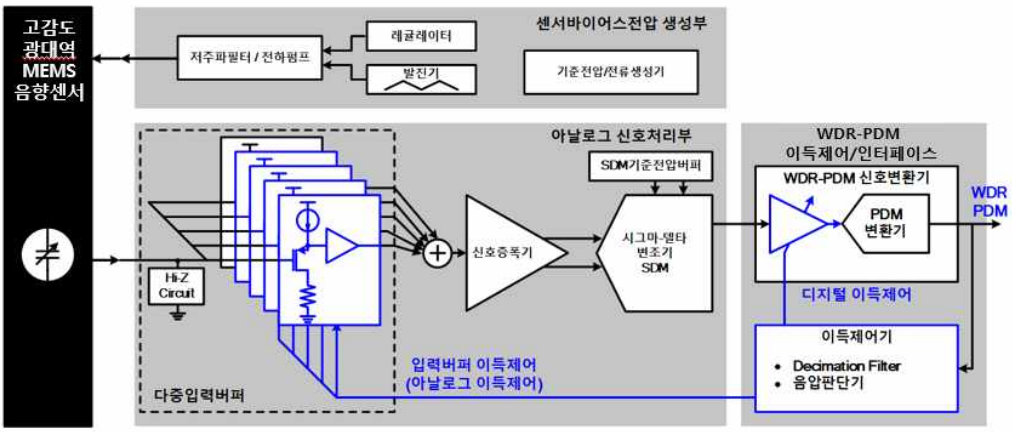
[그림 2-21] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 개념도

o 디지털 High-SNR & WDR ROIC 회로는 크게 아날로그 신호처리 부분과 WDR-PDM 이득제어/인터페이스 부분으로 구성되는데, 전자는 ROIC 칩으로, 후자는 FPGA로 제작

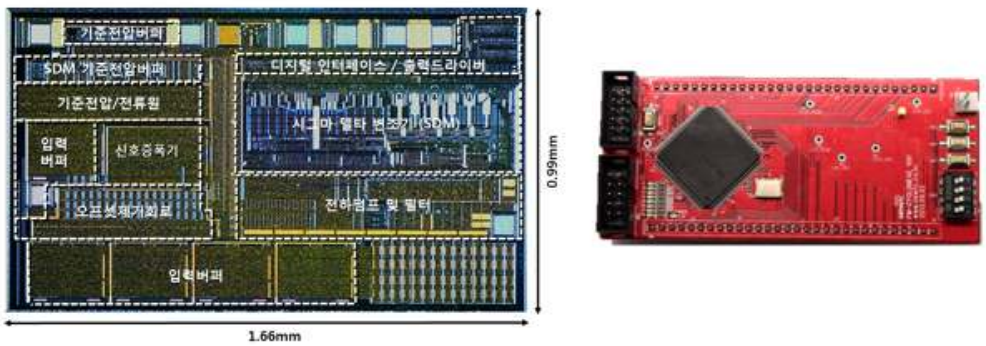
- 아날로그 신호처리 부분은 센서 바이어스 전압 생성부, 다중 입력버퍼, 신호증폭기 및 시그마-델타 변조기로 구성됨. High-SNR ROIC와 유사한 구조로 개발 위험성이 낮기 때문에 동일하게 0.35um CMOS 파운드리 공정을 이용하여 ROIC 칩으로 제작

- WDR-PDM 이득제어/인터페이스 부분은 음압판단기 및 Decimation Filter로

구성된 이득제어기와 WDR-PDM 신호변환기로 구성됨. 아날로그 신호처리 부분이 거의 완성된 이후 남은 짧은 기간(3차년도, 1년)동안 개발을 진행해야 하고, 아날로그 신호처리 부분과 같이 0.35um CMOS 칩으로 제작할 경우 칩 면적 증가로 실용성이 저하되므로 FPGA로 제작



[그림 2-22] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 블록구조도



[그림 2-23] 디지털 High-SNR & WDR ROIC용 아날로그 신호처리 칩(左)
및 WDR-PDM 이득제어/인터페이스 FPGA(右)

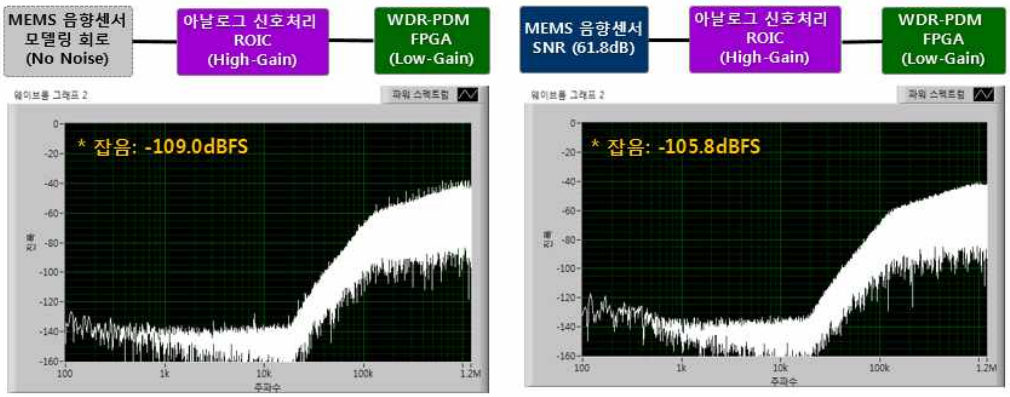
□ 디지털 High-SNR & WDR ROIC 성능 평가

o 디지털 High-SNR & WDR ROIC의 최대성능을 평가하기 위해서는 고감도(민감도 ≥-40dBV/Pa, SNR ≥64dB) 광대역(AOP ≥135dB SPL) MEMS 음향센서가 요구되나, 본 과제에서 개발되지 못 한 상태이므로 현재 세계적으로 가장 근접한 상용제품(민감도 -44.5 dBV/Pa, SNR 61.8dB, AOP 131.5dB SPL)을 이용하여 가능한 범위 내에서 성능을 평가함

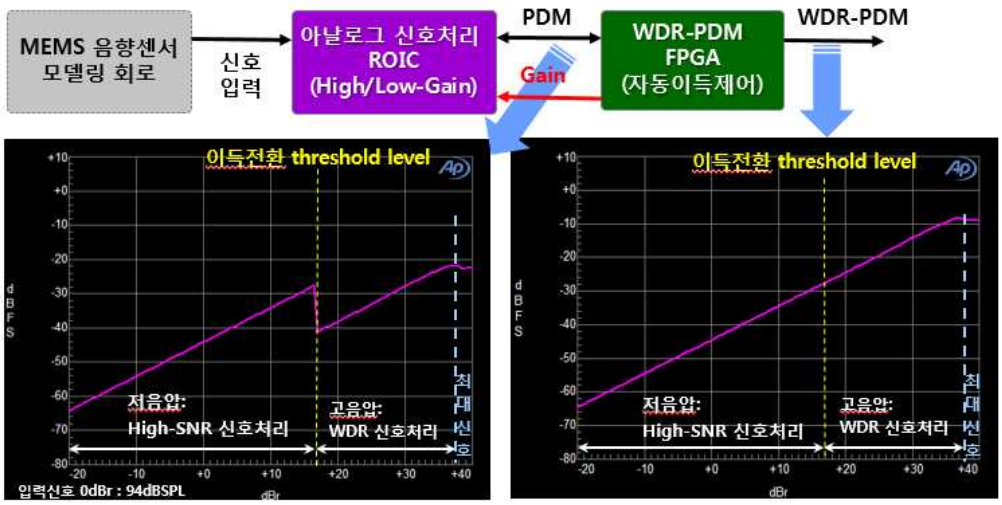
- 먼저 High-SNR 신호처리 모드(아날로그 신호처리 ROIC는 High-Gain 및 WDR-PDM FPGA는 Low-Gain 상태)에의 잡음 특성 평가 결과, MEMS 음향센서의 모델링 회로(무잡음)를 이용한 경우의 잡음(즉 순수한 ROIC의 잡음)은 -109.0dBFS로 MEMS 음향센서의 잡음이 없는 경우 SNR 특성은 65.0dB이상으로 매우 높음. 실제 MEMS 음향센서를 이용한 경우의 잡음은 MEMS 음향센서의 SNR 특성에 의해 한계가 정해져 -105.8 dBFS로 측정됨

- 넓은 음압레벨(74~132dB SPL)의 음향신호를 입력하면서 출력신호를 측정한 결과, WDR-PDM FPGA가 자신은 물론 아날로그 신호처리 ROIC의 이득을 자동으로 조절하면서 저음압 신호는 Hjgh-SNR 모드로 고음압 신호는 WDR 모드로 처리하여 이음새없이(seamless) 출력됨을 검증함. <u>디지털 High-SNR & WDR ROIC의 목표사양인 WDR-PDM 인터페이스 구현</u>

- 개발한 디지털 High-SNR & WDR ROIC의 주요 성능은 SNR ≥65dB, AOP ≥ 132dB SPL, PSR <-100dBFS 임. 이러한 성능은 MEMS 음향센서에 따라 한계치를 설정해진 것으로 MEMS 음향센서의 AOP가 충분히 높을 경우 <u>디지털 High-SNR & WDR ROIC의 AOP는 목표사양인 ≥135dB SPL을 달성 가능</u>



[그림 2-24] 디지털 High-SNR & WDR ROIC의 Hjgh-SNR 신호처리 모드 잡음 특성:
순수 ROIC 특성(左) 및 MEMS 음향센서에 의한 한계 특성(右)



[그림 2-25] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 광대역 음향신호 출력특성:
아날로그 신호처리 ROIC 출력단계(左) 및 WDR-PDM FPGA 출력단계(右)

[표 2-5] 디지털 High-SNR & WDR ROIC 주요성능

항목	단위	ETRI High-SNR & WDR ROIC	
		MEMS 센서 모델링 회로 이용	실제 MEMS 센서# 이용
전원전압	V	1.6~3.6	
소모전류	uA	1110 (=970 + 140*)	
민감도	dBFS	-44	
잡음	dBFS(A)	-109.0	-105.8
SNR	dB	65.0	61.8
PSR	dBFS(A)	< -100	
AOP	dBSPL	132	131.5
VSBIAS	V	9.2	
인터페이스	-	WDR-PDM	
칩 면적	mm^2	1.85 (1.64+0.21*)	

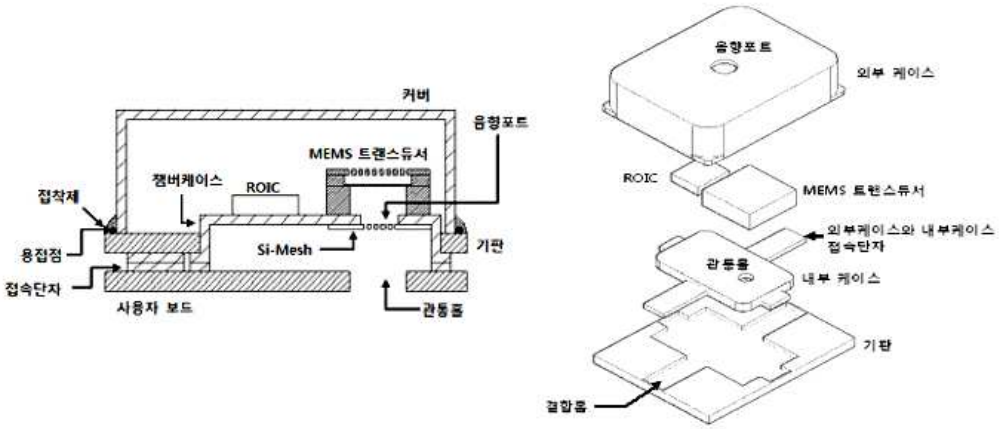
* : PDK(standard cell library)를 이용하여 도출
\# : 감도 -44.5dBV/Pa, SNR 61.8dB, AOP 131.5 dBSPL

3. 초소형 고감도 음향패키지 기술 개발

□ 초소형 고감도 음향패키지 신구조 개발

o 음향패키지의 크기를 유지 또는 감소시키면서 고감도 확보에 필요한 MEMS 마이크로폰의 백챔버 공간 확장을 위한 새로운 음향패키지 구조 개발

- 사용자보드에 MEMS 마이크로폰 음향패키지를 표면 실장하여 백챔버 공간 확장 및 패키지 크기 감소
- 내부케이스 삽입을 통한 백챔버 공간 확장 및 패키지 크기 유지
- 위와 같은 새로운 음향패키지 구조는 제조용 기존 자동화 공정의 변경 없이 바로 적용 가능



[그림 2-26] 사용자보드(左) 및 내부케이스(右) 이용
초소형 고감도 음향패키지 신구조 개념도

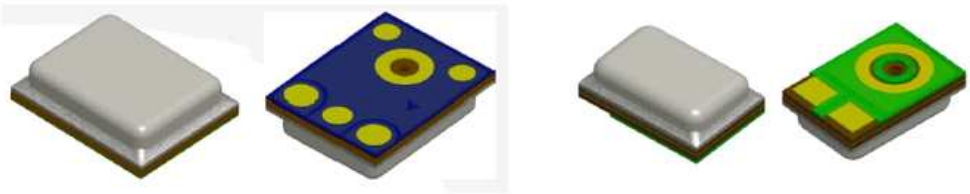
□ 초소형 일반급 음향패키지 개발

o 신구조 기반 초소형 일반급 음향패키지 설계, 상용 음향센서와 ROIC를 이용한 MEMS 마이크로폰 모듈 제작 후 기존 음향패키지 경우와 성능 비교평가

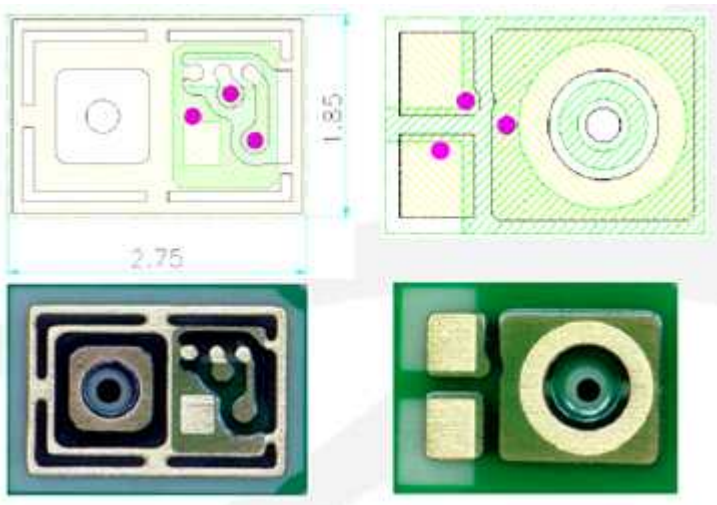
- 개발된 초소형 일반급 음향패키지(크기 2.75×1.85×0.9mm^3)는 향후

High-SNR급에 적용하기에 적합한 Bottom-port형으로 기존형(크기 3.76×2.95×1.1mm^3) 대비 크기를 38% 수준으로 대폭 감소시킴

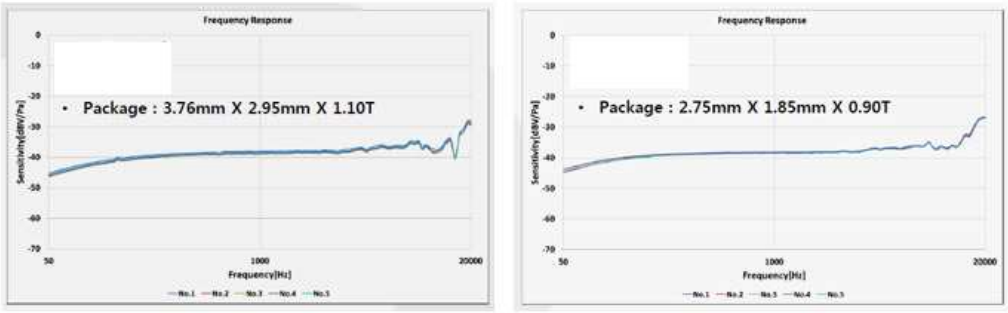
- 개발된 초소형 일반급 음향패키지를 적용한 일반급 MEMS 마이크로폰의 성능은 기존 음향패키지 적용 경우 대비 동등 이상으로 검증



[그림 2-27] 기존(左) 및 개발 초소형(右) 일반급 음향패키지



[그림 2-28] 초소형(右) 일반급 음향패키지용 PCB 설계도(上) 및 사진(下)



[그림 2-29] 기존(左) 및 개발 초소형(右) 일반급 음향패키지 적용
일반급 MEMS 마이크로폰 민감도 성능 비교

[표 2-6] 초소형 일반급 음향패키지 적용 MEMS 마이크로폰 주요성능 비교

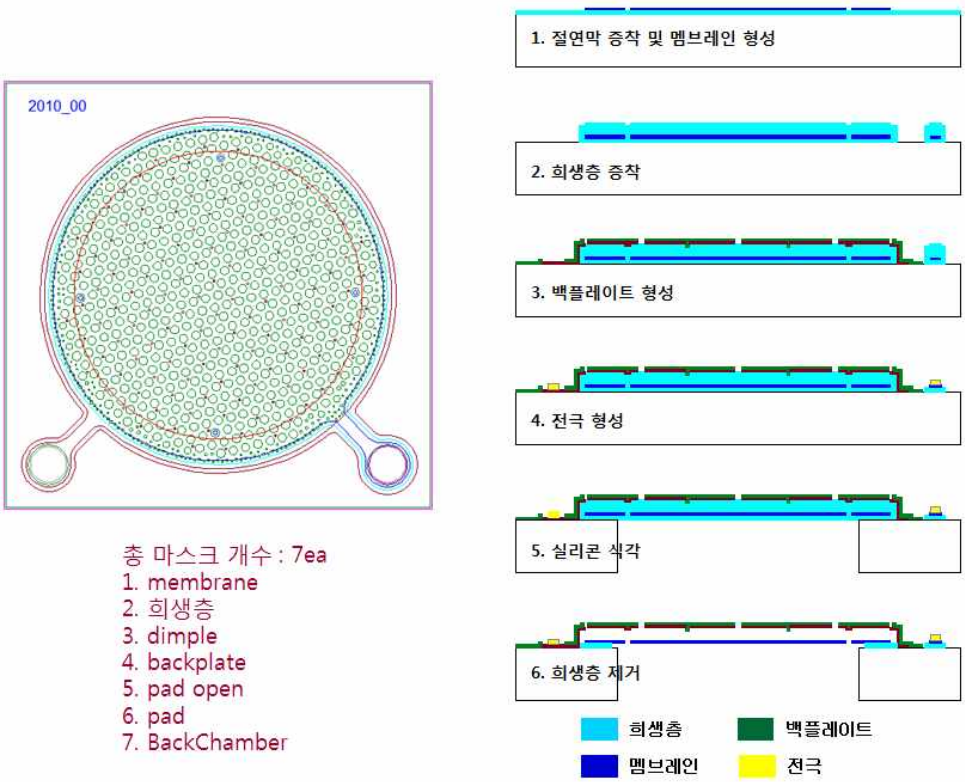
성능 항목 (단위)	일반급 목표사양	기존 음향패키지	개발 초소형 패키지
민감도 (dBV/Pa)	-38(±3)	-38	-38
SNR (dB)	62	62.0	62.5
AOP (dB SPL)	124	124	123
PSR (dB)	-85	-85	-110

제3절 아날로그 MEMS 마이크로폰 칩 상용화 기술 개발

1. 일반급 MEMS 음향센서 양산화 기술 개발

□ 일반급 MEMS 음향센서 양산화 위한 설계/공정 개조

o Polyimide 희생층 기반 집적공정을 이용하는 기개발 MEMS 음향센서(ETRI가 비에스이센서에 기술이전)를 양산화를 위해 섭외한 상용 MEMS 파운드리에서 타제품의 집적공정과 호환성을 위해 요구하는 SiO_2 희생층 기반 MEMS 음향센서로 전환하기 위한 설계/공정 개조

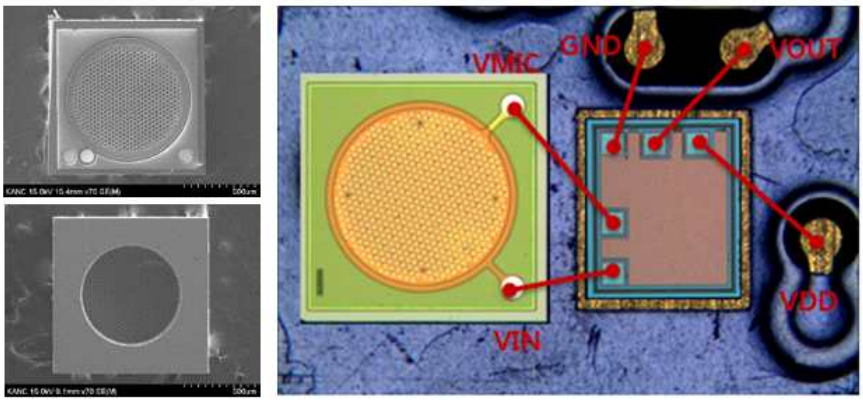


[그림 2-30] SiO_2 희생층 기반 일반급 MEMS 음향센서
설계도(左) 및 집적공정 흐름도(右)

□ 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품 개발

o 국내 상용 MEMS 파운드리 8인치 팹(D사)을 이용하여 양산시제품 제작(총 2회 집적공정 Run 진행) 및 아날로그 일반급 ROIC(에이디텍)와 MEMS 마이크로폰 모듈(Top-port 패키지 크기: 3.76×2.95× 1.1mm^3) 제작 후 주요성능 평가

- 민감도 -42.8dBV/Pa (6dB ROIC gain), SNR 53.3dB 및 AOP (THD 10%) 127dB SPL 확보. 일반급 상용품 목표사양 대비 AOP 성능은 우수하나, 민감도 및 SNR 성능은 미달

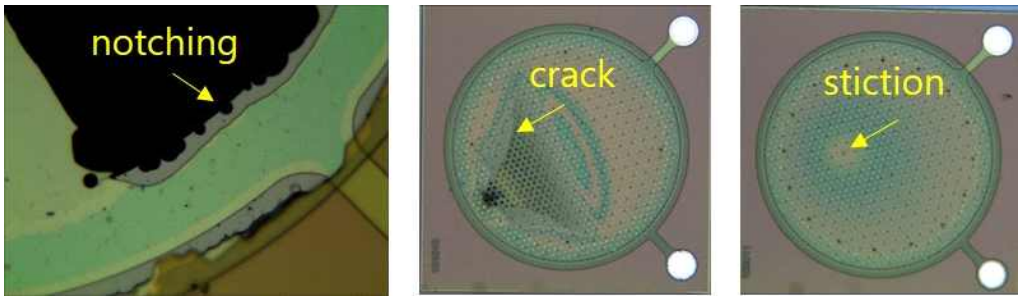


[그림 2-31] 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품(앞면 左上, 후면 左下) 및 이를 이용하여 제작한 MEMS 마이크로폰 모듈(右)

[표 2-7] 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품 주요성능

성능 항목 (단위)	일반급 목표사양	1차 양산시제품	
		1차 Run	2차 Run
Pull-in 전압 (V)	-	11.5±0.5	12±0.5
Bias 전압 (V)	-	9.6	9.6
정전용량 (pF)	-	2.6±0.2	2.7±0.2
민감도 (dBV/Pa)	-42	-48.1	-42.8
SNR (dB)	58	50.6	53.3
AOP (dB SPL)	120	-	127

o 백챔버 식각용 Si DRIE 공정(외부 outsourcing) 후 notching 및 crack 발생, SiO_2 희생층 제거용 HF-VPE 공정(외부 outsourcing) 후 식각 잔류물에 의한 stiction 발생 등의 집적공정 불량 발생 문제로 양산화에 필요한 수율 확보가 어렵다고 판정

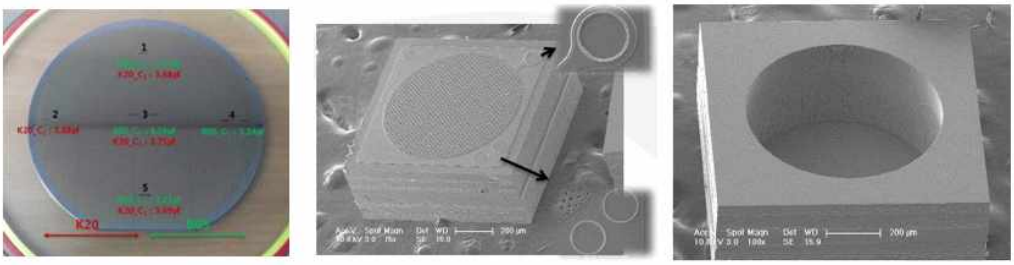


[그림 2-32] 일반급 MEMS 음향센서 1차 양산시제품 제작시
발생한 주요 공정불량 사진

□ 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 개발

o 국내 6인치 MEMS 파운드리 팹(S사)을 이용하여 2차 양산시제품 제작 및 1차와 동일하게 MEMS 마이크로폰 모듈 주요성능 평가

- 백플레이트 직경을 810um로 최적화한 경우 민감도 -43.0 dBV/Pa, SNR 55.3dB 및 AOP 124dB SPL 확보. 목표사양 대비 AOP 성능은 역시 우수하나, 여전히 민감도 및 SNR 성능은 약간 미달



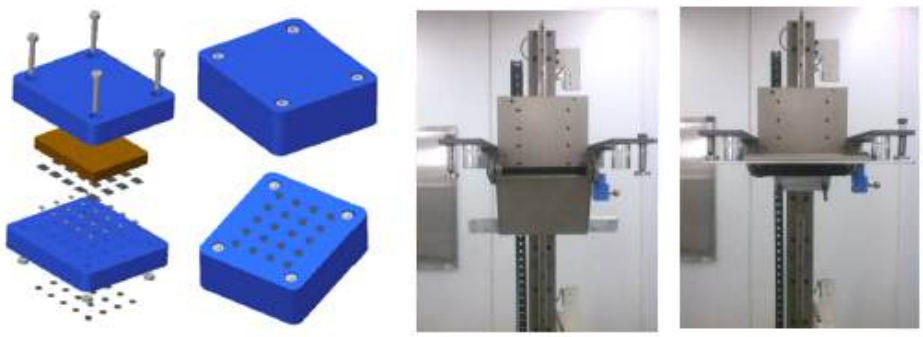
[그림 2-33] 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 사진:
웨이퍼(左) 및 칩(앞면 中, 후면 右)

[표 2-8] 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 주요성능

성능 항목 (단위)	일반급 목표사양	2차 양산시제품	
		Φ 810um 백플레이트	Φ 840um 백플레이트
Pull-in 전압 (V)	-	13.1±0.1	13.2±0.1
Bias 전압 (V)	-	10.3	10.3
정전용량 (pF)	-	3.20±0.5	3.73±0.5
민감도 (dBV/Pa)	-42	-43.0	-46.3
SNR (dB)	58	55.3	53.8
AOP (dB SPL)	120	124	-

o 국내 8인치 MEMS 파운드리 팹(D사)을 이용한 1차 경우와 달리 모든 집적공정을 외부 outsourcing 없이 일괄 진행가능하고, 양산화가 가능할 수준으로 주요 공정불량 발생도 없음. 또한 웨이퍼 안에서 전기적 특성(Pull-In 전압, 정전용량)의 균일도가 양호

o 낙하신뢰성 평가를 위해 1.5m 높이에서 Drop JIG 각 6면으로 3회씩 총 18회 자유낙하 진행 후 초기 민감도 대비 ±3dB 감도 변화 유무를 확인한 결과 10개 시편에서 100% Pass



[그림 2-34] 낙하신뢰성 Drop JIG 3D 도면(左) 및 Drop Test 장치(右)

[표 2-9] 일반급 MEMS 음향센서 2차 양산시제품 낙하신뢰성

샘플	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
초기 민감도 (dBV/Pa)	-42.8	-42.6	-42.7	-42.7	-42.6	-42.7	-42.9	-42.7	-42.8	-42.6
낙하후 민감도 (dBV/Pa)	-42.7	-42.6	-42.8	-42.7	-42.5	-42.7	-42.8	-42.7	-42.7	-42.6
변화량 (dBV/Pa)	+0.1	0	-0.1	0	+0.1	0	+0.1	0	+0.1	0
판정 (Pass or Fail)	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

2. 아날로그 High-SNR ROIC 상용화 기술 개발

□ 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품 개발

o 기개발 연구시제품(ETRI가 에이디텍에 기술이전)의 가격경쟁력 및 수요기업 요구대응 위한 설계 개선을 통한 상용사제품 개발

- 가격경쟁력 확보 위해 칩 제작공정 및 면적 축소

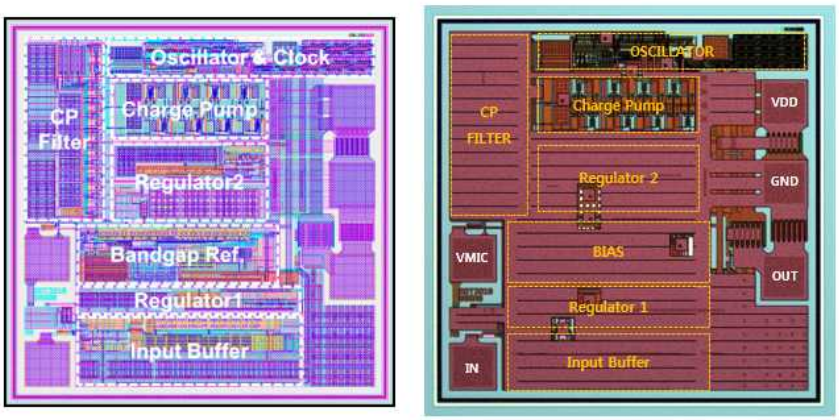
- 센서 바이어스 전압, 신호이득 다양화를 통한 수요기업 대응

[표 2-10] 아날로그 High-SNR ROIC 연구시제품 및 상용시제품 비교

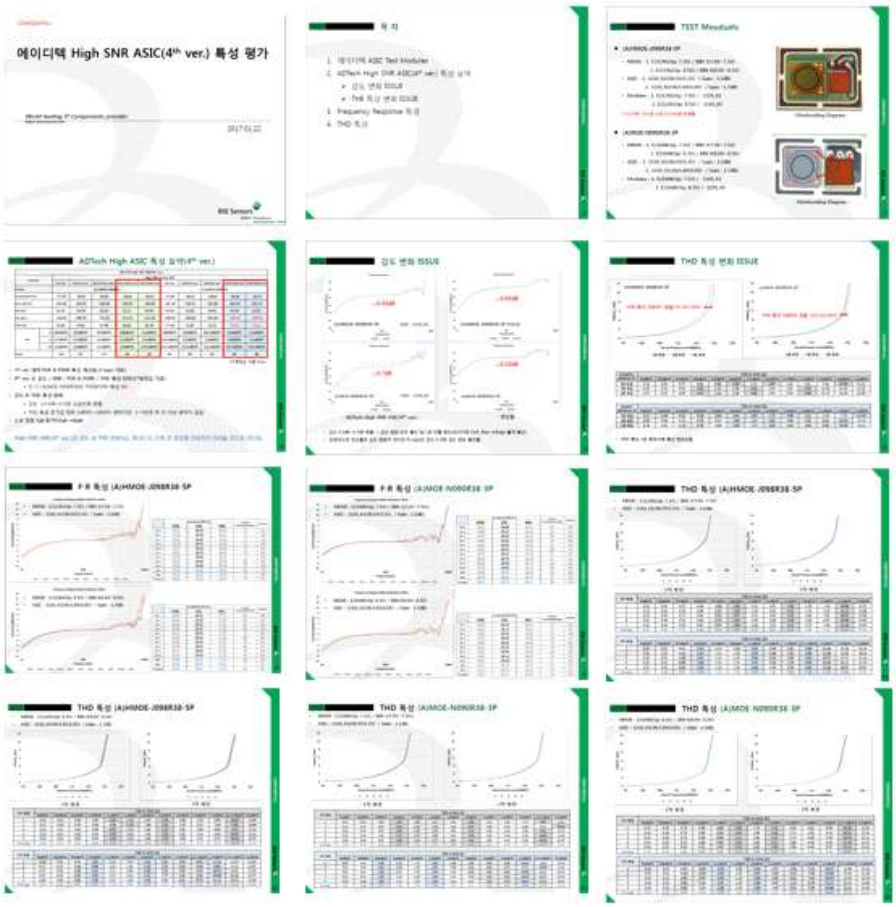
ROIC 칩 성능 항목	기개발 연구시제품	보개발 상용시제품
칩 면적 [mm^2]	0.72 (1.055 ×0.675)	0.56 (0.750×0.750)
0.35um CMOS 공정	2-Poly 4-Metal	2-Poly 3-Metal
센서 바이어스 전압 [V]	9/10/11	5/6/7/10
신호이득 [dB]	0/6/8 (3step)	0~7 (8step)

o 설계한 ROIC를 국내 상용 0.35um CMOS 파운드리(M사)를 이용하여 제작, 수요기업인 비에스이센서스를 통하여 상용 MEMS 음향센서와 마이크로폰 모듈 패키징 후 주요성능 평가 진행

- 경쟁사 제품을 능가하는 목표치에 미달하는 성능의 원인 파악 및 설계 개선 사항 도출



[그림 2-35] 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품 레이아웃(左) 및 칩 사진(右)

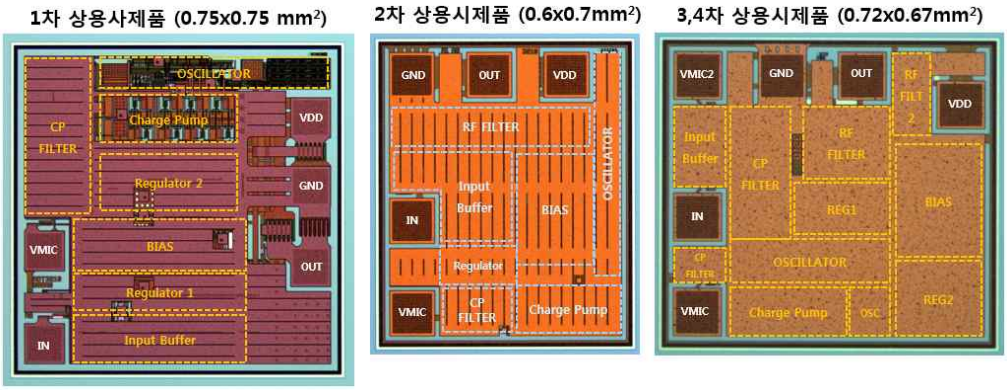


[그림 2-36] 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품의 수요기업 성능평가서 예제

□ 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품 업그레이드

o 목표성능 확보 위해 총 4회 상용시제품 제작 및 특성평가 진행

- 최종 4차 상용시제품에서 목표성능 모두 달성



[그림 2-37] 아날로그 High-SNR ROIC 1~4차 상용시제품 칩 사진

[표 2-11] 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품(1~4차) 성능 평가표

항 목		단위	목표치	1차	2차	3차	4차
민감도		dBV	-38.0	-39.1	-38.5	-38.66	-37.8
SNR		dB	65.0	65.2	65.6	65.17	65.6
PSR		dBV	-110	-96.5	-100.6	-111.6	-111.6
THD+N	10%	dBSPL	123	125	124	124	124
TDMA Test	GSM	dBV	-90	-33	-87	≤ -90 (EMC test ≤ -95)	≤ -90 (EMC test ≤ -95)
	DCS	dBV	-90	-76	-62		
ICC		uA	138	111	63	68	92
ESD (HBM)		-	2.0kV	1.75kV	< 1.5kV	2.0kV	2.0kV
동작 온도 범위		℃	-40~+85	-40~+60	-40~+85	-40~+85	-40~+85
Chip Area		mm²	0.51	0.56	0.42	0.482	0.482

※ TDMA test는 3차 시제품부터 평가시간 단축 위해 EMC test로 대체하여 진행

제4절 오디오 주밍 기반 지능형 음향제어 기술 개발

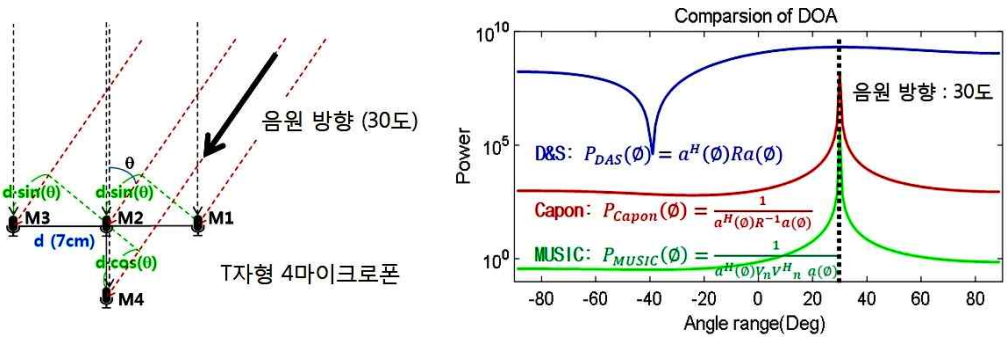
1. 빔포밍 기반 오디오 주밍 알고리즘 기술 개발

□ 음원 방향 추적 알고리즘 채택

o 소형(최대 간격 15cm) 및 소수(4개) 마이크로폰 어레이 제약 조건에서 D&S(Delay & Sum), Capon(MVDR: Minimum Variance Distortionless Response) 및 MUSIC(Multiple Signal Classification) 후보 알고리즘을 검토하여 분해능, 연산량 및 신호강인성 종합 고려 통해 Capon 채택

[표 2-12] 음원방향 추적 알고리즘의 기술적 특징

알고리즘	특징	분해능	연산량	신호강인성
D&S	최대 파워 방향	하	하	상
Capon (MVDR)	최대 SNR 방향	상	상	중
MUSIC	최소 잡음 방향	상	중	하



[그림 2-38] T자형 4 마이크 어레이(左) 및 알고리즘 시뮬레이션 결과(右)

□ 오디오 주밍 기초 알고리즘 연구

o 오디오 주밍 알고리즘은 음성인식률 향상을 위하여 마이크로폰 어레이를 이용하여 음원의 방향 또는 위치를 추적한 후 빔포밍을 통하여 음원의 SNR을 향상시키는 전처리 알고리즘

o 오디오 주밍도 자체 정의

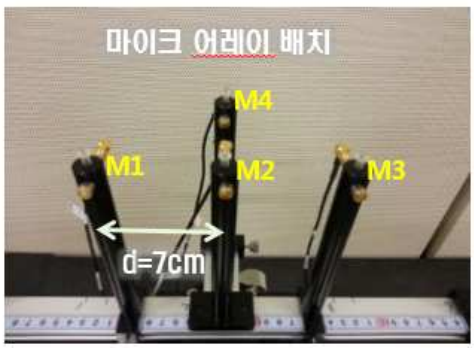
- API Index 정의 = 관심음원 파워 / 간섭음원(관심음원 외 음원) 파워

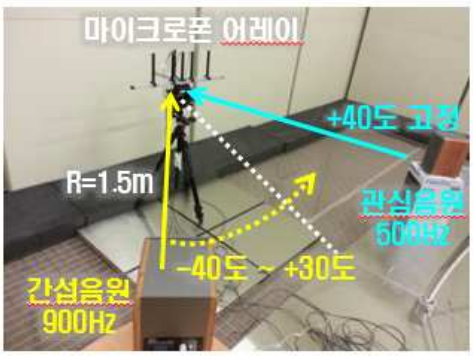
- 오디오 주밍도 = ⊿API Index (오디오 주밍 전후 API Index 비율)

o D&S 기반 오디오 주밍 알고리즘의 이론 및 실험 결과 비교

- 4개 마이크의 간격이 7cm인 T자형 4 마이크 어레이, 관심음원(500Hz) 및 간섭음원(900Hz) 및 마이크와 스피커의 거리 1.5m 조건에서 시뮬레이션(무향공간) 및 실험(간이무향공간) 진행

- 오디오 주밍도는 관심-간섭 음원의 간격이 증가함에 따라 오디오 주밍도는 지수적(exponential)으로 감소하며, 60도일 때 실험치(1.8배)는 이론치(2.7배)의 67% 수준인데 이는 간이무향공간 등의 실험 제약조건에 따른 간섭음원의 증가에 기인함





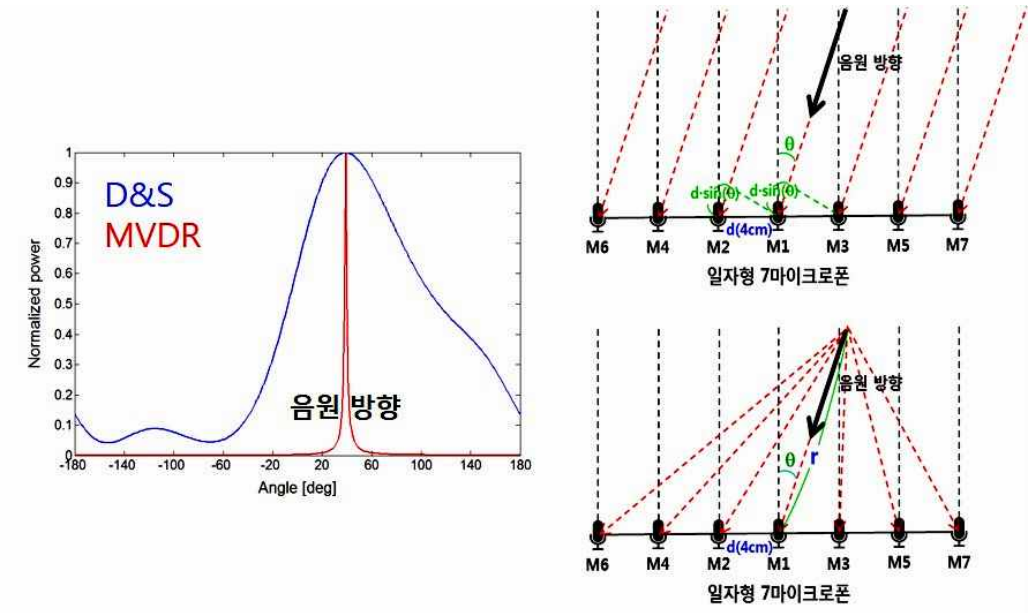
[그림 2-39] 오디오 주밍 알고리즘 실험방법

□ 오디오 주밍 알고리즘 최적화

o 입력신호(음원)의 위상(지연)을 조정하여 위상정합을 통한 파워를 최대화하는 D&S 방법 대신 입력신호의 특정 방향에 대한 이득은 유지하면서 잡음에 대한 최소 가중치를 주어 SNR을 향상시키는 MVDR 방법을 이용

- D&S 및 MVDR 방법은 각각 입력신호의 파워 최대화 및 잡음 최소화에 유리하나, 무향공간이 아닌 실공간에서의 응용을 고려하면 후자가 적합

o MVDR 방법에 의한 오디오 주밍시 음원의 방향만을 고려하는 far-field model과 음원 위치, 즉 방향 및 거리를 동시에 고려하는 near-field model를 비교 평가



[그림 2-40] 오디오 주밍 알고리즘: D&S 및 MVDR 신호특성 비교(左), MVDR 방법의 far-field model(右上) 및 near-field mode(右下) 개념도

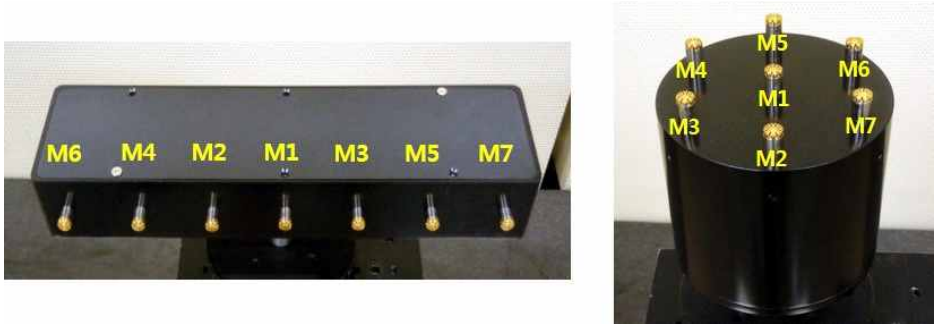
2. 지능형 음향제어 마이크로폰 어레이 솔루션 기술 개발

□ 마이크로폰 어레이 제작

o 7개 마이크를 4.0cm 간격으로 배열하여 총 길이가 24cm인 일자형 어레이와 7개 마이크를 3.7cm 간격으로 중심 및 육각형으로 배열하여 직경 8cm인 원통형 어레이를 제작

- 목표사양인 마이크 개수 ≤7개, 총 길이 ≤24cm 달성

- 일자형 어레이는 음성인식이 가능한 스마트TV용 사운드바 제품을, 원통형 어레이는 AI 스피커 제품을 응용을 위해 제작



[그림 2-41] 일자형(左) 및 원통형(右) 마이크로폰 어레이

□ 지능형 마이크로폰 어레이 솔루션 성능 평가

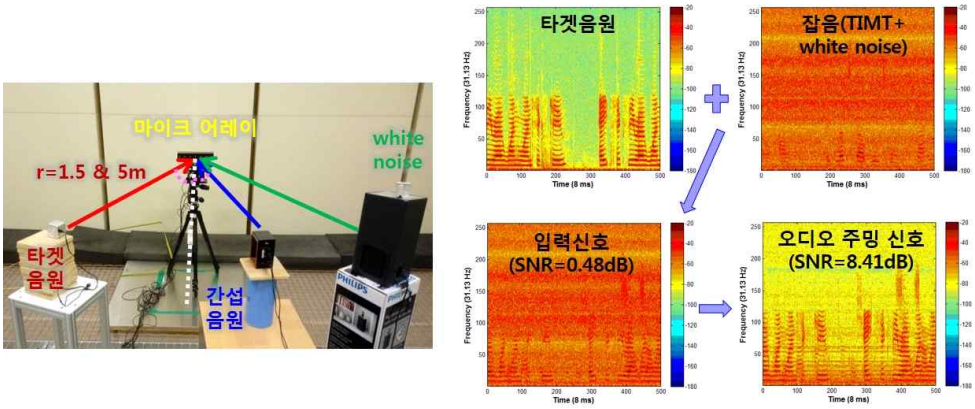
o 오디오 주밍 알고리즘 SW와 일자형 및 원통형 마이크로폰 어레이 HW를 이용한 지능형 마이크로폰 어레이 솔루션 제작

o 마이크로폰 어레이 전방 1.5m 및 5m 거리에 Aurora-2 형식의 타겟음원 4종(20도), TIMIT 형식의 간섭음원(-10도) 및 white noise (-30도)를 배치하여, 오디오 주밍 알고리즘에 따른 SNR 성능 평가

- Aurora-2 형식의 타겟음원은 미국인 성인 남성과 여성을 화자로 0~9 숫자(0은 'oh' 또는 'zero' 로 발음)를 0~7번 연속적으로 말하는 조합의 음성 데이터

로, 예를 들면 ‘F43O7571’, ‘M5376869’와 같은데 여기서 ‘F’ 및 ‘M’은 화자의 성별을 의미

- TIMIT 형식의 간섭음원은 미국인 성인 남성과 여성을 화자로 말하는 음성 데이터



[그림 2-42] 지능형 마이크 어레이 솔루션 SNR 성능평가 방법: 측정장비 구성도(左) 및 음원 스펙트럼 처리 예(右)

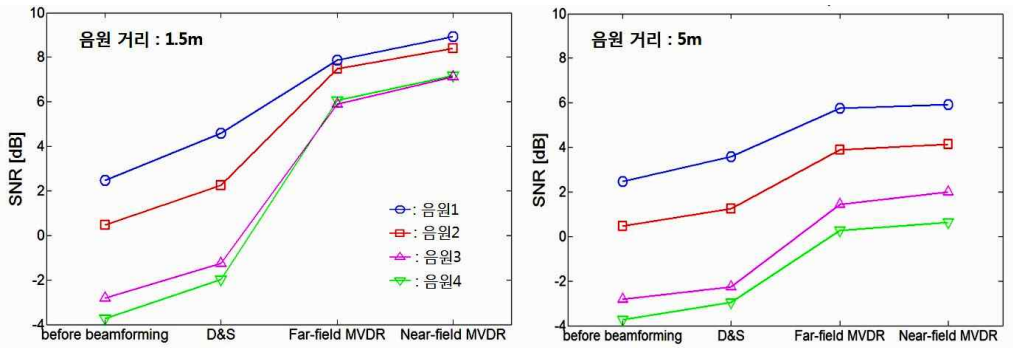
o 일자형 마이크 어레이를 이용하여 오디오 주밍 알고리즘 적용 전후, 알고리즘 종류(D&S, far-field MVDR 및 near-field MVDR) 및 음원과의 거리에 따른 SNR 성능 평가

- 오디오 주밍 알고리즘 종류에 따른 SNR 향상 정도는 D&S ≫ far-field MVDR ≳ near-field MVDR 순서이며, 음원과의 거리가 가까울수록 SNR 향상 정도 차이가 큼. 알고리즘 경량화 측면에서 far-field MDVR 선정이 바람직함

- Far-field MDVR 적용시 SNR 향상 정도는 음원과의 거리가 1.5m인 경우는 음원 종류에 따라 6~11dB 정도이며, 5m인 경우는 음원 종류에 크게 상관없이 ~4dB 정도임.

- Far-field MDVR 적용시 음원과의 거리가 1.5m 조건에서 목표사양인 오디오

주밍(타겟음원과 간섭음원의 간격 30도) 6dB 달성

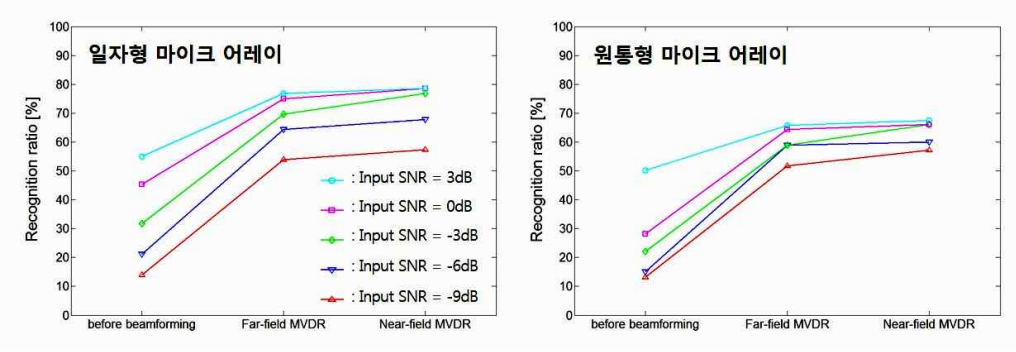


[그림 2-43] 일자형 마이크 어레이와 음원의 거리 1.5m(左) 및 5m(右) 조건에서 오디오 주밍 알고리즘 종류에 따른 SNR 향상 정도

o 일자형 및 원통형 마이크 어레이에서 다양한 SNR 특성(-9dB~3dB)의 입력신호를 far-field MVDR 및 near-field MVDR의 오디오 주밍 알고리즘으로 전처리 후 음성인식 엔진(HTK v3.41)을 이용한 음성인식률 평가

- 오디오 주밍 알고리즘 적용시 음성인식률 향상 정도는 입력신호의 SNR 특성이 낮을수록 훨씬 커지며, 원통형 보다 일자형 마이크 어레이에서 약간 크며, 오디오 주밍 알고리즘 종류(far-field MVDR 및 near-field MVDR)에 크게 상관없이 없음

- Far-field MDVR 오디오 주밍 알고리즘 적용시 음성인식률 향상 정도는 일자형 마이크 어레이에서 23~43%, 원통형에서 16~44% 정도임



[그림 2-44] 일자형(左) 및 원통형(右) 마이크 어레이에서 입력신호의 SNR 특성 및 오디오 주밍 알고리즘 종류에 따른 음성인식률 향상 정도

제3장 연구개발결과의 활용계획

□ 연구개발결과의 활용계획

o 참여기관인 비에스이센스 및 에이디텍을 통한 MEMS 음향센서(일반급, 고감도) 및 ROIC(아날로그, 디지털)의 사업화 추진

o 비에스이센서스＊에이디텍＊비에스이(비에스이센서스의 모회사)의 국내 기업의 컨소시움을 통한 MEMS 마이크로폰(일반급, High- SNR급, 아날로그, 디지털)의 국산화 추진 및 세계시장 진출

[그림 3-1] MEMS 마이크로폰 연구개발결과의 사업화 추진계획

제4장 결 론

□ 연구개발결과 요약

o 환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 구현을 위한 디지털 고성능 MEMS 마이크로폰 및 지능형 음향제어 기술 개발

- 고감도 MEMS 음향센서 연구시제품
- 디지털 High-SNR ROIC 및 High-SNR & WDR ROIC 연구시제품
- 초소형 고감도 음향패키지 연구시제품
- 오디오 주밍 기반 지능형 음향제어 마이크 어레이 솔루션 연구시제품

o 아날로그 MEMS 마이크로폰 칩 상용화 기술 개발

- 일반급 MEMS 음향센서 양산시제품
- 아날로그 High-SNR ROIC 상용시제품

□ 연구개발결과의 기대효과

o 대표적 스마트 센서인 MEMS 마이크로폰 개발을 통한 국내 센서산업의 기술경쟁력 제고

o 전량 수입하고 있는 MEMS 마이크로폰 칩(음향센서 및 ROIC)의 국산화 개발을 통한 수입대체 효과

o 2019년 13.8억불에 도달할 것으로 전망되는 MEMS 마이크로폰 세계시장에서 한국의 점유율 확대에 기여

제5장 연구시설·장비 현황

연구장비명	국가과학기술 종합정보시스템 장비고유번호	용도	도입일시	소요금액 (천원)
광대역 음향센서 민감도 분석기 (Wide-Dynamic Acoustic Sensor Sensitivity Analyzer)	NFEC-2015-10-205566	음향소자 평가	2015. 09.09.	67,907
롤 프린터 (Roll Printer)	NFEC-2016-07-210683	센서소자 제조	2016. 07.13.	67,800

참 고 문 헌

[1] Takashi Kasai et al., “NOVEL CONCEPT FOR A MEMS MICROPHONE WITH DUAL CHANNELS FOR AN ULTRAWIDE DYNAMIC RANGE”, 2011 IEEE 24th International Conference on MEMS

[2] “Lowest Power MEMS Mic Cuts Noise”, EE Times, 2014.7.6.

약 어 표

- AOC: Active Occlusion Control
- AOP: Acoustic Overload Point
- API: Acoustic Point of Interest
- CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor
- DSC: Digital Cellular Service
- ESD: Electrostatic Discharge
- FPGA: Field Programmable Gate Array
- GSM: Global System for Mobile Communications
- HBM: Human Body Model
- I^2S: Inter-IC Sound
- LPCVD: Low Pressure Chemical Vapor Deposition
- MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems
- MUSIC: Multiple Signal Classification
- MVDR: Minimum Variance Distortionless Response
- ODM: Original Design Manufacturer
- PCB: Printed Circuit Board
- PDM: Pulse Density Modulation
- PSR: Power Supply Rejection
- ROIC: Read-Out Integrated Circuit
- SDM: Sigma-Delta Modulator
- TDMA: Time Division Multiple Access
- TEOS: Tetraethyl orthosilicate
- THD: Total Harmonic Distortion
- UI: User Interface
- WDR: Wide Dynamic Range

주 의

1. 이 연구보고서는 한국전자통신연구원의 주요사업으로 수행한 최종연구결과입니다.

2. 이 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 한국전자통신연구원에서 수행한 주요사업 결과임을 밝혀야 합니다.