

| 최종보고서(일반과제용)       |               |                                                                                   |                             |         | 보안등급                                                                      |                   |
|--------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                    |               |                                                                                   |                             |         | 일반[ <input checked="" type="checkbox"/> ], 보안[ <input type="checkbox"/> ] |                   |
| 중앙행정기관명            | 국토교통부         |                                                                                   | 사업명                         | 사업명     | 국토교통기술혁신연구사업                                                              |                   |
| 전문기관명              | 국토교통과학기술진흥원   |                                                                                   |                             | 내역사업명   | 국토교통기술혁신연구                                                                |                   |
| 공고번호               | 공고-제2호        |                                                                                   | 총괄연구개발 식별번호                 |         |                                                                           |                   |
|                    |               |                                                                                   | 연구개발과제번호                    |         | 21CTAP-C152182-03                                                         |                   |
| 국가과학기술<br>표준분류     | 교통운영관리기술      | 100%                                                                              |                             |         |                                                                           |                   |
| 총괄연구개발명            | 국문            |                                                                                   |                             |         |                                                                           |                   |
|                    | 영문            |                                                                                   |                             |         |                                                                           |                   |
| 연구개발과제명            | 국문            | 사운드 태그 기반 Cardless 버스요금 통합 자동결제시스템 개발                                             |                             |         |                                                                           |                   |
|                    | 영문            | Development of Cardless Automatic Bus Payment System Based on Sound-Tag Technique |                             |         |                                                                           |                   |
| 주관연구기관             | 기관명           | ㈜제이디솔루션                                                                           |                             | 사업자등록번호 | 214-88-44610                                                              |                   |
|                    | 주소            | 서울특별시 금천구 디지털로9길 32, A동13층(가산동, 갑을그레이트빌리)                                         |                             | 법인등록번호  | 110111-4135988                                                            |                   |
| 주관연구책임자            | 성명            | 제영호                                                                               |                             | 직위      | 대표이사                                                                      |                   |
|                    | 연락처           | 직장전화                                                                              | 02-3397-7080                | 휴대전화    | 010-2006-6694                                                             |                   |
|                    |               | 전자우편                                                                              | ceo@jdsol.co.kr             | 국가연구자번호 | 11426773                                                                  |                   |
| 연구개발기간             | 전체            | 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)                                                 |                             |         |                                                                           |                   |
|                    | 1년차           | 2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9개월)                                                  |                             |         |                                                                           |                   |
|                    | 2년차           | 2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12개월)                                                 |                             |         |                                                                           |                   |
|                    | 3년차           | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)                                                 |                             |         |                                                                           |                   |
| 연구개발비<br>(단위 : 천원) | 정부지원<br>연구개발비 | 기관부담<br>연구개발비                                                                     | 그 외 기관 등의 지원금<br>자차자세 기타( ) |         | 합계                                                                        | 연구개발비<br>외<br>지원금 |
|                    | 현금            | 현금                                                                                | 현물                          | 현금      | 현물                                                                        | 합계                |
| 총계                 | 600,000       | 18,028                                                                            | 159,952                     | -       | -                                                                         | 777,980           |
| 1년차                | 134,000       | 4,700                                                                             | 40,000                      | -       | -                                                                         | 178,700           |
| 2년차                | 135,000       | 4,500                                                                             | 40,500                      | -       | -                                                                         | 180,000           |
| 3년차                | 331,000       | 8,828                                                                             | 79,452                      | -       | -                                                                         | 419,280           |
| 공동연구기관 등           | 기관명           | 책임자                                                                               | 직위                          | 휴대전화    | 전자우편                                                                      | 비고                |
|                    |               |                                                                                   |                             |         |                                                                           | 역할 기관유형           |
| 공동연구기관             |               |                                                                                   |                             |         |                                                                           |                   |
| 위탁연구기관             |               |                                                                                   |                             |         |                                                                           |                   |
| 연구기관 외 기관          |               |                                                                                   |                             |         |                                                                           |                   |
| 연구개발담당자            | 성명            | 서인홍                                                                               |                             | 직위      | 부사장                                                                       |                   |
| 실무담당자              | 연락처           | 직장전화                                                                              | 1577-1435                   | 휴대전화    | 010-4163-3773                                                             |                   |
|                    |               | 전자우편                                                                              | pyj@jdsol.co.kr             | 국가연구자번호 | 11376274                                                                  |                   |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 2 월 4 일

주관연구책임자 : 제 영 호

주관연구기관의 장 : 제 영 호



국토교통과학기술진흥원장 귀하

## < 요약 문 >

|                           |       |                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
|---------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------|--|------------------------------|--|
| 사업명                       |       | 국토교통기술촉진연구사업                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  | 총괄연구개발 식별번호 |  | -                            |  |
| 내역사업명                     |       | 국토교통기술촉진연구                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  | 연구개발과제번호    |  | 21CTAP-C152182-03            |  |
| 국가과학기술<br>표준분류            |       | 교통운영관리기술                                                                                    | 100%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |             |  |                              |  |
| 총괄연구개발명                   |       |                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
| 연구개발과제명                   |       | 사운드 태그 기반 Cardless 버스요금 통합 자동결제시스템 개발                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
| 전체 연구개발기간                 |       | 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31( 2년 9개월)                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
| 총 연구개발비                   |       | 총 800,100천원<br>(정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 200,100천원,<br>지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
| 연구개발단계                    |       | 기초[ ] 응용[ ] 개발[ ✓ ]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  | 기술성숙도       |  | 착수시점 기준( 4 )<br>종료시점 목표( 7 ) |  |
| 연구개발과제 유형                 |       | 지정공모 [ ] 자유공모 [✓]                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
| 연구개발과제 특성                 |       | 실용화                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
| 연구<br>개발<br>목표<br>및<br>내용 | 최종 목표 |                                                                                             | • 본 연구는 신속하고 편리하게 버스 승하차가 가능하도록 지향각이 ±7°로 매우 우수한 초지향성 스피커에 사운드 태그를 접목하고 교통카드 대신 승객의 스마트폰을 이용하여 1:N 방식으로 실시간 버스 결제가 되는 시스템을 세계 최초로 개발 및 상용화하고자 함                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |             |  |                              |  |
|                           | 전체 내용 |                                                                                             | • 초음파 사운드 태그 기법을 적용한 통신프로토콜 및 아키텍처 설계<br>(40kHz의 반송파, 18 ~ 20kHz 내의 사운드 통신프로토콜)<br>• 초음파 특성을 이용한 초음파 거리 감지, 초음파 음향 송출, 초음파 사운드 태그 알고리즘 구현<br>• 안내방송, 사운드 태그 통신, 공간 및 사람 인지를 위한 통합형 하드웨어 제작 (세계최초)<br>• 다기능 DSP 기반 SSP(Smart Sound Platform) 보드 설계 및 제작<br>• 사운드 교통결제를 위한 Smart Device 상의 사운드 태그용 신호처리 기술 SDK 구현<br>• 결제를 위한 User Interface 및 통신용 SDK 구현<br>• 시내버스 환경상의 다양한 검증 테스트 및 최적화를 통한 환경 강인성 확보<br>• 현장실험 검증, 특허출원, 인증획득 및 상용화(TRL7)      |  |             |  |                              |  |
|                           | 1년차   | 목표                                                                                          | 사운드 기반 교통결제시스템 설계 및 검증                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |             |  |                              |  |
|                           |       | 내용                                                                                          | • 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 설계<br>- 기존 보유 기술 및 제품에 대한 단점을 개선<br>- DSP회로로 구성하여 센서 등과의 융합에 융통성을 높임<br>- 타 사운드 태그 기술과의 호환 가능<br>- 통신 아키텍처와 통신 프로토콜을 설계<br>- Binary CDMA를 이용하여 보안기술을 강화 함<br>• 스피커 및 센서 융합 처리 알고리즘 설계<br>- 기존 스마트 디바이스에서 수음 가능한 20~22kHz 영역에서 송수신을 할 수 있도록 기존 기술과 차별화<br>• 테스트용 보드 제작 및 기능별 검증<br>- 개발 기능 및 성능에 대한 테스트 결과 인식거리(3m), 인식률(97%), 인식시간(2.47 sec), 지향각도(±10도) 및 음압(88.9dB)로 목표를 100% 달성<br>• 버스/지하철 등 대중교통 운용 시스템 분석 및 통신 아키텍처 설계 |  |             |  |                              |  |

|  |     |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  | 2년차 | 목표 | 사운드 태그 기반 자동 교통결제 기능 통합용 시제작 및 검증                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |     | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Skeleton형 통합 하드웨어 제작 및 알고리즘 기능 통합 구현               <ul style="list-style-type: none"> <li>일반/초지향성 스피커 및 SoDAR(Sound Detection &amp; Ranging) 기술을 융합하고 다양한 사용 환경을 고려한 동시/단일 송출을 가능하게 하여 사용자 및 환경에 따른 선택의 다형성을 확보</li> </ul> </li> <li>Android 기반 사운드 태그용 SDK 기능 구현 및 CDMA 기반 보안 기능 구현               <ul style="list-style-type: none"> <li>Binary-CDMA 기반으로 음파 통신 기술을 개발 화이트노이즈 환경에 S/N &lt; 0dB로 노이즈가 신호보다 더 높은 곳에서도 수신</li> </ul> </li> <li>통합 기능 검증 및 성능 확인               <ul style="list-style-type: none"> <li>개발 기능 및 성능에 대한 테스트 결과 인식거리(5m), 인식률(97%), 인식시간(0.92 sec), 지향각도(±8도) 및 음압(88.9dB)로 목표를 100% 달성</li> </ul> </li> </ul> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3년차 | 목표 | 사운드 태그 기반 자동 교통결제 시스템 성능 고도화 및 제품화                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |     | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>성능 고도화 및 버스 운용 환경 상의 최적화 구현               <ul style="list-style-type: none"> <li>개발 기능 및 성능에 대한 테스트 결과 인식거리(10m), 인식률(100%), 인식시간(0.408sec), 지향각도(±7도) 및 음압(93.9dB)로 목표를 100% 달성</li> </ul> </li> <li>통합 시나리오 플랫폼 기능 검증 및 성능 확인               <ul style="list-style-type: none"> <li>버스 운용 환경에서의 기능 검증 및 성능 확인</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| 연구개발성과                      | 구분                                                                                                                      | 논문           | 특허        | 보고서<br>원문       | 연구<br>시설·장비    | 기술요약<br>정보                   | 소프트<br>웨어    | 화합물         | 생명자원         |                       | 신품종 |    |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------------|----------------|------------------------------|--------------|-------------|--------------|-----------------------|-----|----|
|                             | 예상성과<br>(N/Y)                                                                                                           | N            | Y         | Y               | N              | Y                            | Y            | N           | 생명<br>정보     | 생물<br>자원              | 정보  | 실물 |
| 연구개발성과<br>활용방안 및<br>기대효과    | <div>• 시범 서비스 후 단계적으로 모든 버스에 적용</div> <div>• 지하철, 고속버스, 택시 등의 대중교통 결제</div> <div>• 1~5m 거리에서의 1:N 방식의 결제 시스템으로 활용</div> |              |           |                 |                |                              |              |             |              |                       |     |    |
| 연구개발성과의<br>비공개여부 및 사유       | 해당없음                                                                                                                    |              |           |                 |                |                              |              |             |              |                       |     |    |
| 연구개발성과의<br>등록·기탁 건수         | 논문                                                                                                                      | 특허           | 보고서<br>원문 | 연구<br>시설·<br>장비 | 기술<br>요약<br>정보 | 소프트<br>웨어                    | 표준           | 생명자원        |              | 화합물                   | 신품종 |    |
|                             |                                                                                                                         |              |           |                 |                |                              |              | 생명<br>정보    | 생물<br>자원     |                       | 정보  | 실물 |
|                             |                                                                                                                         | 5            | 1         |                 | 1              | 1                            |              |             |              |                       |     |    |
| 연구시설·장비<br>종합정보시스템<br>등록 현황 | 구입기관                                                                                                                    | 연구시설·<br>장비명 |           | 규격<br>(모델명)     | 수량             | 구입<br>연월일                    | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | ZEUS<br>등록번호          |     |    |
|                             |                                                                                                                         |              |           |                 |                |                              |              |             |              |                       |     |    |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)            | 사운드 태그                                                                                                                  |              |           | 카드리스            |                | 초지향성 스피커                     |              | 1:N 결제      |              | 버스결제 시스템              |     |    |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)            | Sound Tag                                                                                                               |              |           | Cardless        |                | Ultra Directional<br>Speaker |              | 1:N Payment |              | Bus Payment<br>System |     |    |

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨자료(참고문헌 등)

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1) 연구개발과제의 최종 목표

### ○ 최종목표

- 신속하고 편리하게 버스 승하차가 가능하도록 지향각이  $\pm 7^\circ$ 로 매우 우수한 초지향성 스피커에 사운드 태그를 접목하고 교통카드 대신 승객의 스마트폰을 이용하여 1:N 방식으로 실시간 버스결제가 되는 시스템을 세계최초로 개발 및 상용화하고자 함

### ○ 세부 목표

- 초지향 안내방송, 사운드태그 통신, 공간 및 승하차객 인지가 가능한 DSP 기반의 SSP 보드 설계 및 개발
- DSP 기반의 SSP 알고리즘 설계 및 구현
- 대중 교통 운용 시스템용 통신 아키텍처 설계
- Skeleton Type 통합형 시스템 개발
- Android 기반 사운드 태그용 SDK 기능 및 CDMA 기반 보안 기능 구현
- 성능 고도화 및 시내버스 환경상의 최적화

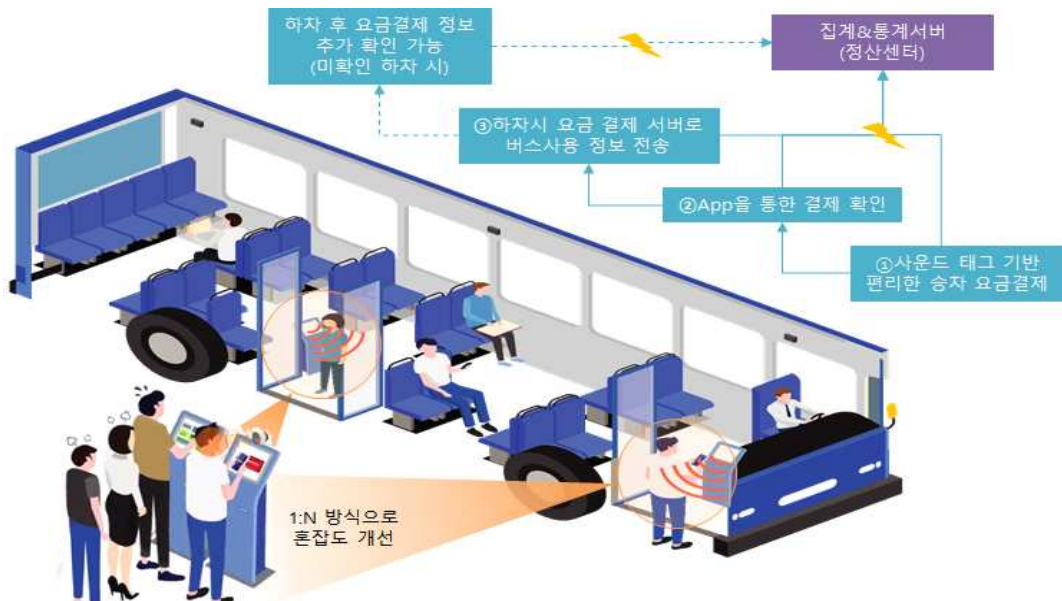


그림 1. 안내방송, 사운드 태그 통신, 공간 및 사람인지를 위한 통합형하드웨어가 포함된 초지향성 스피커를 버스에 적용하여 Cardless 결제를 구현 1:N 방식의 결제 방식으로 기존 승하차시의 카드 접촉에 따른 불편 및 혼잡도 개선

## 2) 연구개발과제의 년차별 목표

### ○ 1차 연도

- 사운드 기반 교통결제시스템 설계 및 검증 단계
  - 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 설계
  - 스피커 및 센서 융합 처리 알고리즘 설계
  - 테스트용 보드 제작 및 기능별 검증
  - 버스/지하철 등 대중교통 운용 시스템 분석 및 통신 아키텍처 설계

### ○ 2차 연도

- 사운드기반 교통결제시스템 기능 통합용 시제작 및 검증 단계
  - Skeleton형 통합 하드웨어 제작 및 알고리즘 기능 통합 구현
  - Android 기반 사운드 태그용 SDK 기능 구현 및 CDMA 기반 보안 기능 구현
  - 통합 기능 검증 및 성능 확인

### ○ 3차 연도

- 주관연구기관((주)제이디솔루션): 사운드 기반 교통결제시스템 성능 고도화 및 제품화 단계
  - 성능 고도화 및 버스 운용 환경 상의 최적화 구현
  - 통합 시나리오 플랫폼 기능 검증 및 성능 확인

| 구분            | 연구개발목표                                      | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)                                | 현재 국내·외<br>기술수준                                                                    | 연구개발<br>목표치                                                                              | 목표치<br>설정 근거                                                                                           | 가중치<br>(%) |
|---------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1년차<br>(2019) | 사운드태그 기반 자동<br>교통결제 시스템 설계<br>및 검증          | 하드웨어 및 소프트웨어<br>시스템 설계                                | -                                                                                  | 90                                                                                       | 평가 목표치                                                                                                 | 10         |
|               |                                             | 스피커 및 센서 융합 처리<br>알고리즘 설계                             | -                                                                                  | 90                                                                                       | 평가 목표치                                                                                                 | 10         |
|               |                                             | 테스트용 보드 제작 및<br>기능별 검증                                | · RFID 인식속도 0.5<br>sec<br>· 초지향성 스피커<br>지향각 $\pm 7^\circ$<br>· 초지향성 스피커<br>음압 96dB | 인식거리 3m<br>인식률 80%<br>인식시간 5sec<br>지향각도 $\pm 10^\circ$<br>음압 80dB                        | · 랩 환경에서의 테스트 기준                                                                                       | 6          |
|               |                                             | 대중 교통 운용 시스템 분석<br>및 통신 아키텍처설계                        | -                                                                                  | 90                                                                                       | 평가 목표치                                                                                                 | 7          |
| 2년차<br>(2020) | 사운드 태그 기반 자동<br>교통결제 기능 통합용<br>시제작 및 검증     | Skeleton형 통합 하드웨어<br>제작 및 알고리즘 기능 통합<br>구현            | -                                                                                  | 유해파기 조절<br>주파수 변경<br>센서 연동<br>음압 조절                                                      | 주요 기능                                                                                                  | 13         |
|               |                                             | Android 기반 사운드 태그용<br>SDK 기능 구현 및 CDMA<br>기반 보안 기능 구현 | -                                                                                  | 가청영역(20Hz~18<br>kHz)<br>비가청영역<br>(18kHz~20kHz,<br>20kHz~22kHz)<br>지원<br>CDMA 기반<br>보안 기능 | · 가청, 비가청 영역<br>에서의 동작 확인                                                                              | 13         |
|               |                                             | 통합 기능 검증 및 성능 확인                                      | · RFID 인식속도 0.5<br>sec<br>· 초지향성 스피커<br>지향각 $\pm 7^\circ$<br>· 초지향성 스피커<br>음압 96dB | 인식거리 5m<br>인식률 95%<br>인식시간 1sec<br>지향각도 $\pm 8^\circ$<br>음압 85dB                         | · 실외 환경에서의 테스트 기준 및 인식<br>속도 향상                                                                        | 8          |
| 3년차<br>(2021) | 사운드 태그 기반 자동<br>교통결제 시스템 성능<br>고도화 및<br>제품화 | 성능 고도화 및 버스<br>운용 환경 상의 최적화<br>구현                     | -                                                                                  | 가청 조절 기능<br>주파수 변경<br>센서 연동<br>음압 조절                                                     | 주요기능                                                                                                   | 17         |
|               |                                             | 통합 시나리오 플랫폼 기능 검증 및<br>성능 확인                          | · RFID 인식속도 0.5<br>sec<br>· 초지향성 스피커<br>지향각 $\pm 7^\circ$<br>· 초지향성 스피커<br>음압 96dB | 인식거리 10m<br>인식률 100%<br>인식시간 0.5sec<br>지향각도 $\pm 7^\circ$<br>음압 90dB                     | · 버스 플랫폼 길이<br>· RFID 인식속도<br>0.5sec<br>· 세계 최대 지향성<br>스피커 지향각 $\pm 7^\circ$<br>· 버스 플랫폼에서의<br>소음대비 음압 | 16         |

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### ○ 1차년도

#### – 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 설계

- 본 개발은 정류장 혼잡을 해결하기 위한 하이패스형 버스 사운드 태그 결제 시스템을 개발하는 것으로 보다 강인성을 위해 초지향성 음향 및 사운드 태그 송출을 위한 초음파 스피커를 도입함
- 결제 시스템을 위한 시스템 기능으로는 승하차 인원의 유무 확인을 위한 SoDAR(Sound Detection & Ranging), 승하차 시 특정 영역의 버스 안내 방송, 승하차 시 사운드 태그 결제 승인 요청, 승차 중 버스 정차 안내 방송이 있음
- 핵심기술은 SoDAR, 초음파를 이용한 사운드태그, 일반 오디오 및 초지향 음향 송출로 나누어짐
- 시스템의 기능과 핵심 기술을 기반한 세부기능을 정의(세부 기능 명세서)하고 하드웨어 구성 및 소프트웨어의 아키텍처 설계(하드웨어 구성도, 소프트웨어 아키텍처 설계도)를 수행함
- 설계 시 다음과 같은 사항을 고려 함
  - (1) 특정 영역의 버스/정류장 등의 교통 정보 전달의 지향성 확보를 위한 초음파 영역의 사운드 태그를 설계
  - (2) SoDAR(Sound Detection And Ranging) 및 초지향 스피커(Ultrasonic Directional Speaker)의 초음파 특성 즉 센서역할(SoDAR)과 스피커(초지향 스피커) 역할을 하나의 시스템으로 융합할 수 있도록 설계
  - (3) 초지향 스피커의 안내방송 송출과 버스 교통 정보 전달, 태그의 역할을 초음파 특성을 이용한 하나의 시스템으로 융합할 수 있도록 설계
  - (4) 일반 오디오 스피커와 초지향 스피커를 목적에 따라 동시에 음원 송출 및 단일 음원 송출이 모두 가능하도록 하나의 시스템으로 융합 설계
  - (5) 사용자 편의를 고려한 인터페이스(블루투스 등) 기능을 설계
  - (6) 원가 등의 가격 경쟁력을 고려한 시스템을 설계(제품구조 체계도)

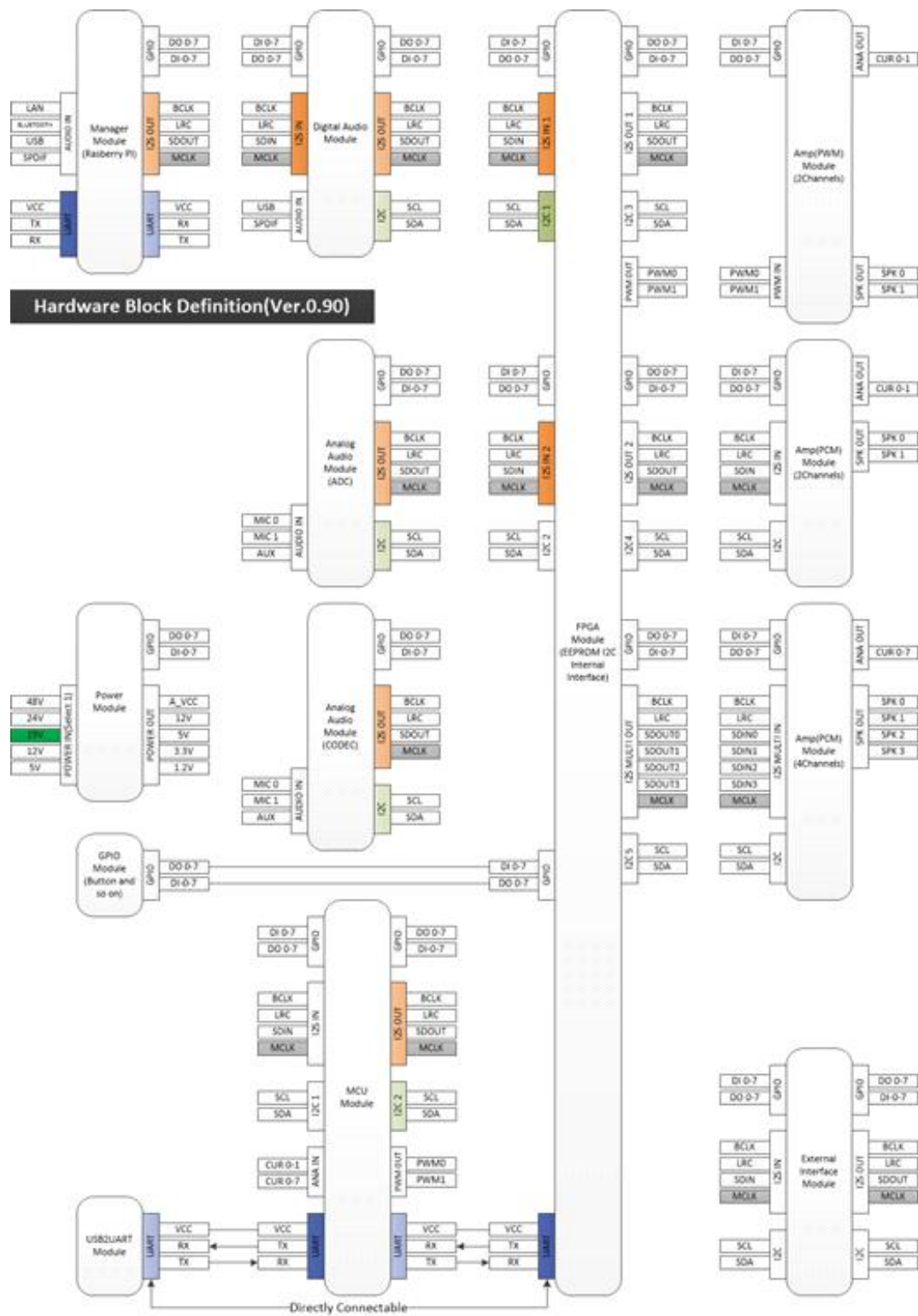


그림2. Hardware Block Definition

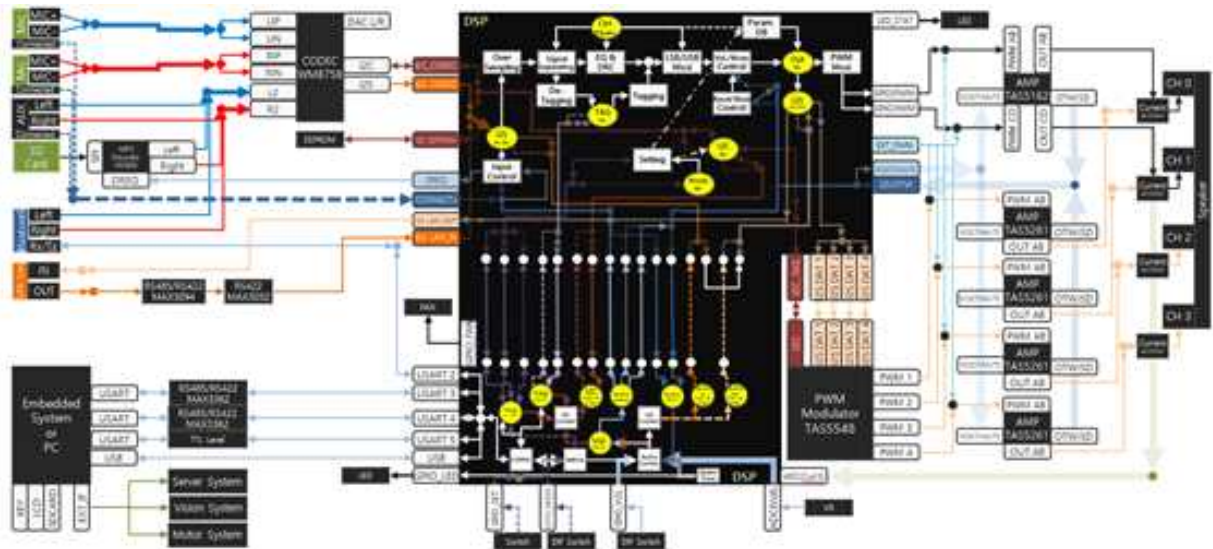


그림3. DSP 회로 구성도

#### - 스피커 및 센서 융합을 위한 DSP칩화 및 신호처리 알고리즘 추가 설계

- 기존 지향성 스피커 상의 음원 재생용만으로 가능했던 FPGA 시스템은 본 사업의 목적인 사운드 태깅 기술 접목을 통한 통신 및 결제, 방송 등의 다목적 기능을 적용하기에는 한계를 가지고 있음
- 즉, 사람의 유무 확인과 특정 영역으로만 지향성 음원과 버스 정보 및 정류장 정보 등의 사운드 태그를 동시에 제공하는 목적에서 FPGA 기반 솔루션은 DSP 기반 솔루션에 비해 개발의 유연성과 알고리즘의 모듈화 등의 관점에서 모두 떨어짐
- 본 사업에서는 DSP 기반 솔루션 플랫폼인 SSP(Smart Speaker Platform)를 개발하여 스피커 및 센서 융합형 솔루션을 제공함으로써 특정영역의 사운드 태깅으로 빠른 승하차 처리를 하고자 함
- 기존의 초음파를 이용한 초지향성 스피커의 음원 송출 알고리즘인 40kHz 반송파(Carrier)를 실어주는 알고리즘을 공간인지 및 사람유무 판단의 SoDAR(Sound Detection And Ranging)와 음향 결제를 위한 특정 영역 사운드 태깅의 핵심기술을 포함 할 수 있도록 확장 설계함
- 더불어 일반 오디오 안내 방송도 수행할 수 있도록 일반오디오, 초지형성 음원 송출을 선택적으로 할 수 있는 구조로 설계

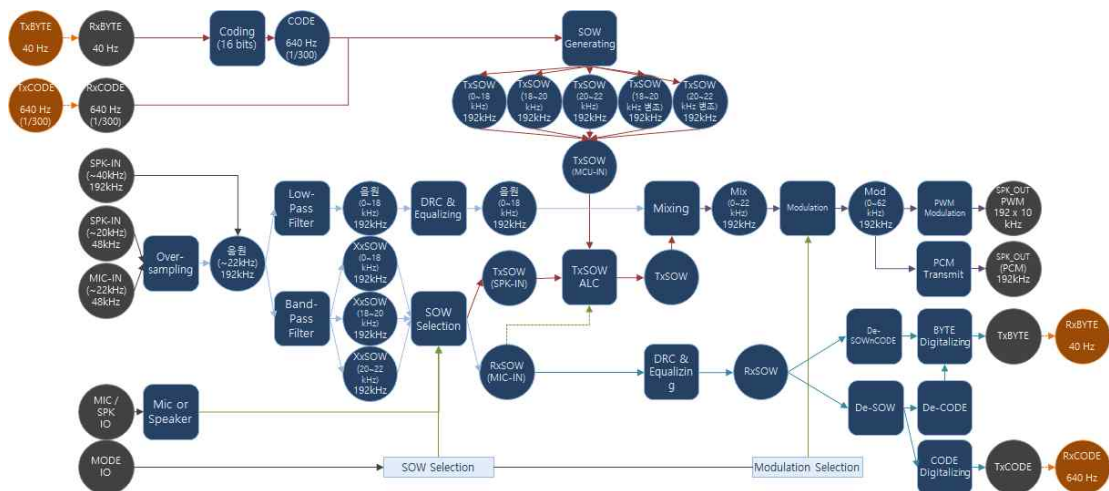


그림4. 알고리즘 구성도

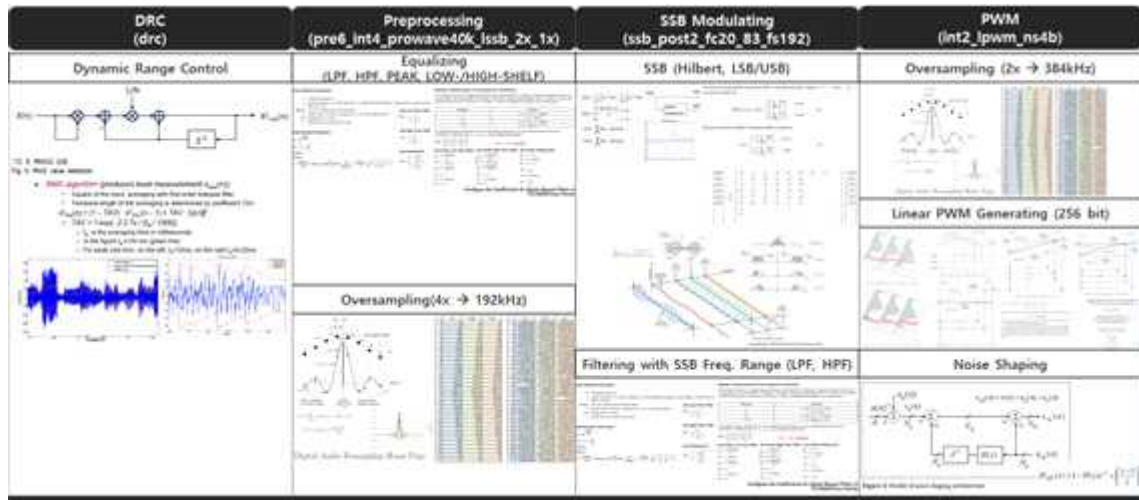


그림5. 적용된 신호처리 알고리즘

#### - 테스트용 보드 제작 및 단위 기능별 검증

- 초지향성 음원 및 일반 오디오 음원 송출을 위한 스피커 송출, SoDAR를 위한 센싱, 결제, 버스 및 정류장 정보를 위한 사운드 태깅 등의 기능 확인 및 테스트를 위한 하드웨어 보드를 제작하고, 테스트용 기본 알고리즘 및 소프트웨어를 개발
- 기능 확인을 위한 모니터링 프로그램도 개발하여 스피커 및 센서, 태그의 단일 기능을 확인
- 검증은 주요 핵심 기술인 초지향성/일반 오디오 음원 송출과 SoDAR의 거리 검출 기능, 사운드 태깅 기능 검증으로 제작된 테스트보드 상에서 수행되며 그 항목은 다음과 같음

- (1) 버스/정류장 등 교통 정보 전달을 위한 초음파 주파수역의 사운드 태깅 데이터 송수신
- (2) 초음파 센서의 거리 검출을 통한 특정 영역 사람 유무 확인
- (3) 승/하차 안내 방송을 위한 초지향성 음원 송출
- (4) 전체 안내 방송을 위한 오디오 음원 송출



그림6. 제작된 테스트 보드

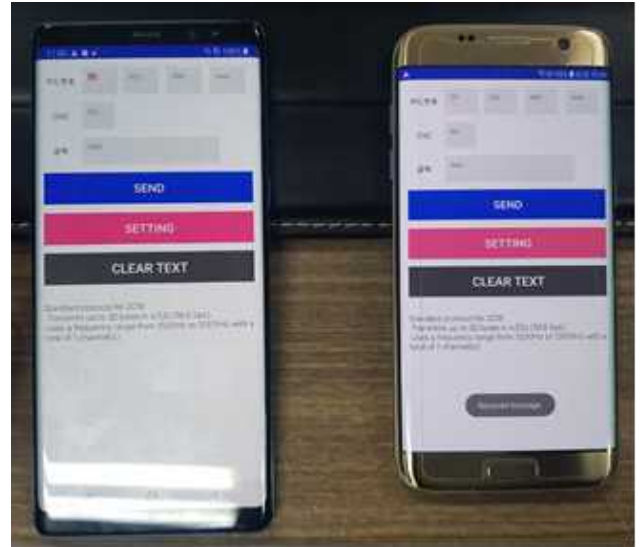
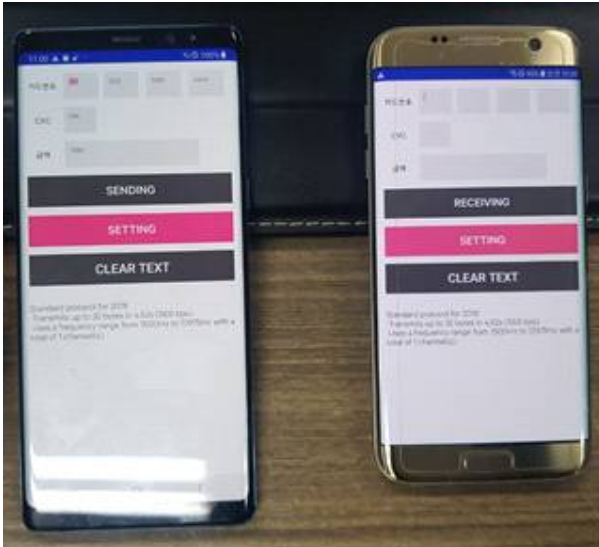


그림7. 구글의 사운드 태그인 Chirp io와 자체 제작 테스트 보드를 이용한 전송 테스트

#### - CDMA 기반 통신 보안 기술 검토 및 확보

- 아키텍처 설계에서 조사하고 검토한 “대중 교통 결제 관련 필요한 교통정보” 중에서 사운드 태그용 데이터를 선정하고 이를 태그 송출 시점과 장소와 결합하여 암호화 구조를 설계하여 프로토콜을 생성
- 더불어 암호화된 데이터 구조를 통신 보안 수준이 높은 CDMA 통신 기술을 접목하기 위해 조사 및 검토하였고 솔루션을 확보 함
- 이를 사운드 태그로 시뮬레이션 구현/검증을 통해 그 기능과 성능 확인 후 보안 기술 확보

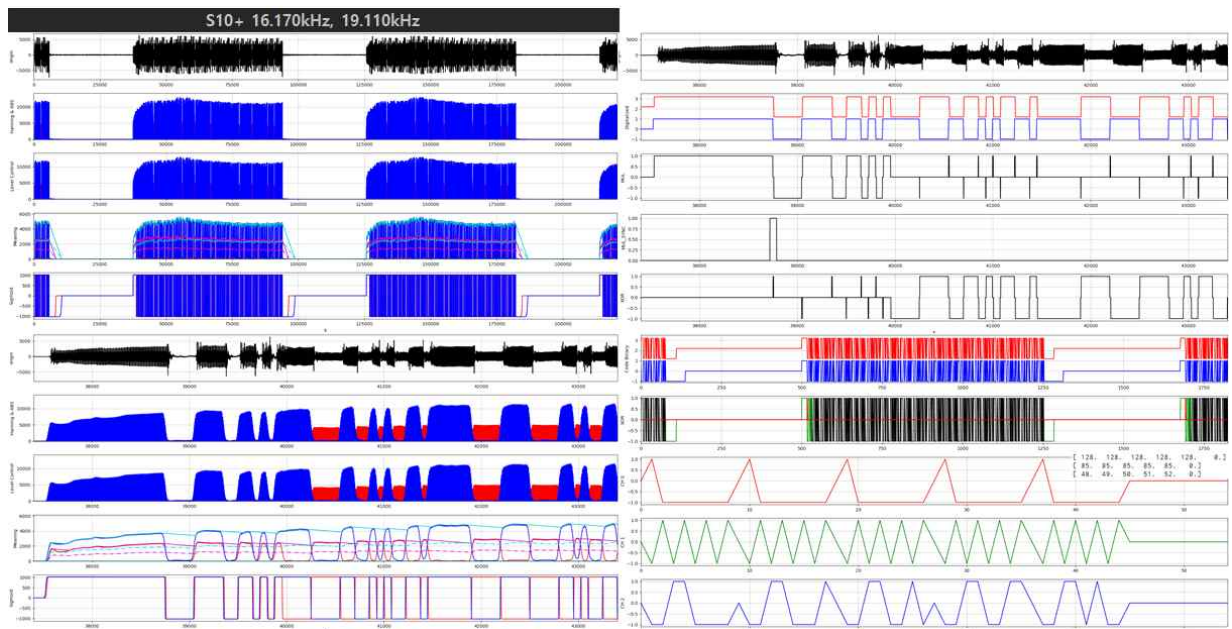


그림8. CDMA 코드 적용(16.170kHz, 19.110kHz) 및 데이터 전송 검증

## ○ 2차년도

### - Skeleton형 통합 하드웨어 제작 및 알고리즘 기능 통합 구현

- 1차년도에서 구현된 핵심 기술 기반으로 버스 승하차 환경을 고려한 하드웨어 시스템을 Skeleton형으로 개발
- 더불어 핵심기술인 사운드 태그, 초지향성 스피커 및 SoDAR(Sound Detection & Ranging) 단위 기술을 이용한 승하차객의 유무 파악 기능, 초지향성 음원 및 오디오 음원의 동시/단일 음원 송출 기능, 초지향 사운드 태깅 기능, 일반 오디오 기반 사운드 태깅 기능을 구현함
- 각각의 하드웨어 요소들이 융합되어 제 기능을 낼 수 있도록 신호처리 알고리즘 및 시스템 통합운용 소프트웨어 기능을 구현함
- 주요 기능 항목은 다음과 같음
  - 초음파 영역의 사운드 태그 송신용 변조 및 수신 필터링/복조 등의 신호처리 기능
  - 가청 음파 영역의 사운드 태그 송신용 변조 및 수신 필터링/복조 등의 신호처리 기능
  - SoDAR를 통한 주변 환경/공간 인지 및 움직임 모니터링 기능
  - SoDAR 및 환경/공간 인지 맵 기준으로 승객의 유무 파악
  - 초지향성 음원과 일반 오디오 음원 동시/단일 선택적 송출기능

### - Skeleton형 통합 하드웨어 제작

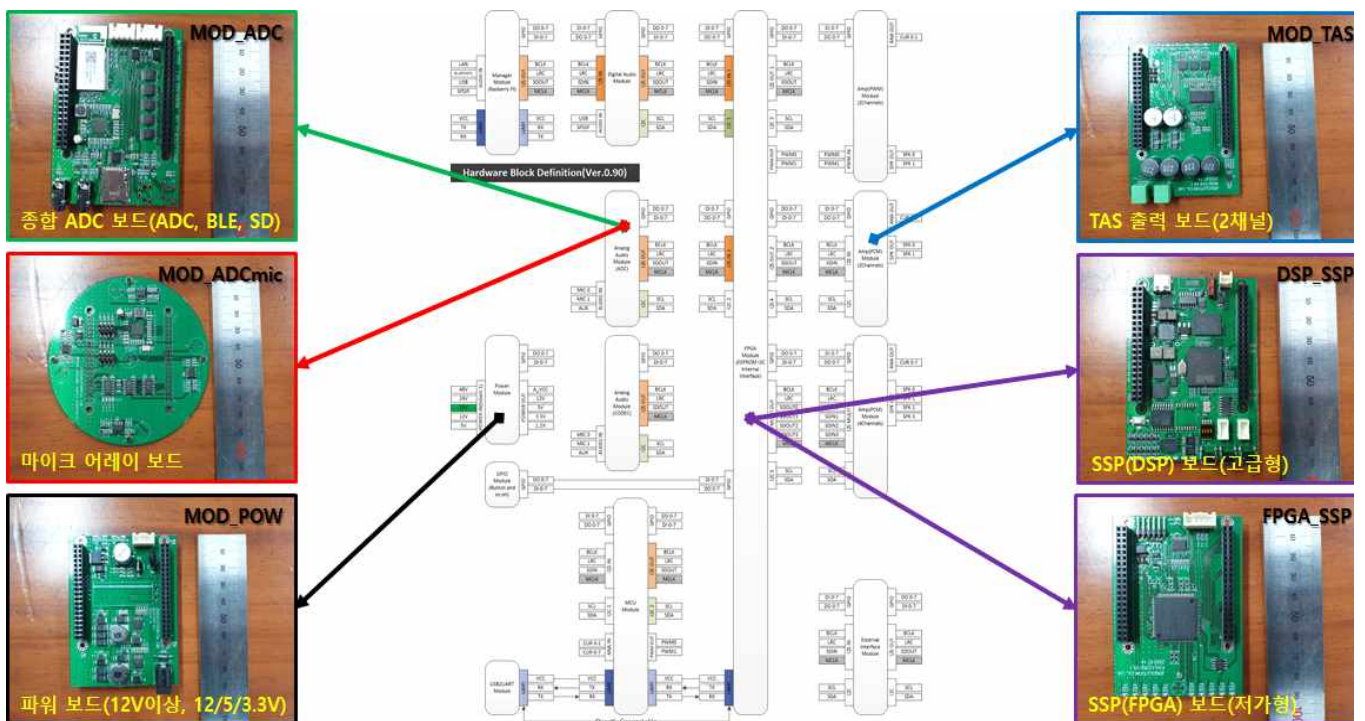


그림 9. DSP 기반의 하드웨어 보드 개발

- 1차년도의 설계된 모듈화 개념의 보드와 인터페이스 구조에 따라서 코어 보드로 고급형인 DSP\_SSP(SSP(DSP) 보드), 저가형인 FPGA\_SSP(SSP(FPGA) 보드)를 개발 함
- 알고리즘의 복잡성에 대한 유연한 구현, 통신 입력 및 음파 통신 단일화, 수신 알고리즘 구현을 위해 DSP\_SSP 보드로 개발(추후 저가형으로 FPGA 기반의 기존 개발된 DSP\_SSP 알고리즘을 포팅할 예정임)
- 입력 보드로는 MOD\_ADC 보드가 아날로그 입력 처리 보드로 LINE-IN, BLE, SD 카드 입력에 대한 처리를 하고 있음

- 마이크입력(MIC-IN)은 MOD\_ADCmic 보드에서 입력처리하고 출력으로는 MOD\_TAS 보드로 2채널을 지원하고 있으며 1채널은 초지향성, 다른 1채널은 일반 오디오 출력으로 송출됨
- 전원보드로 MOD\_POW 보드가 개발되어 시스템 전체의 전원을 공급하며, 입력전압(12V ~ 48V) / 12V / 5V / 3.3V로 표준화된 전원을 생성하여 공급함

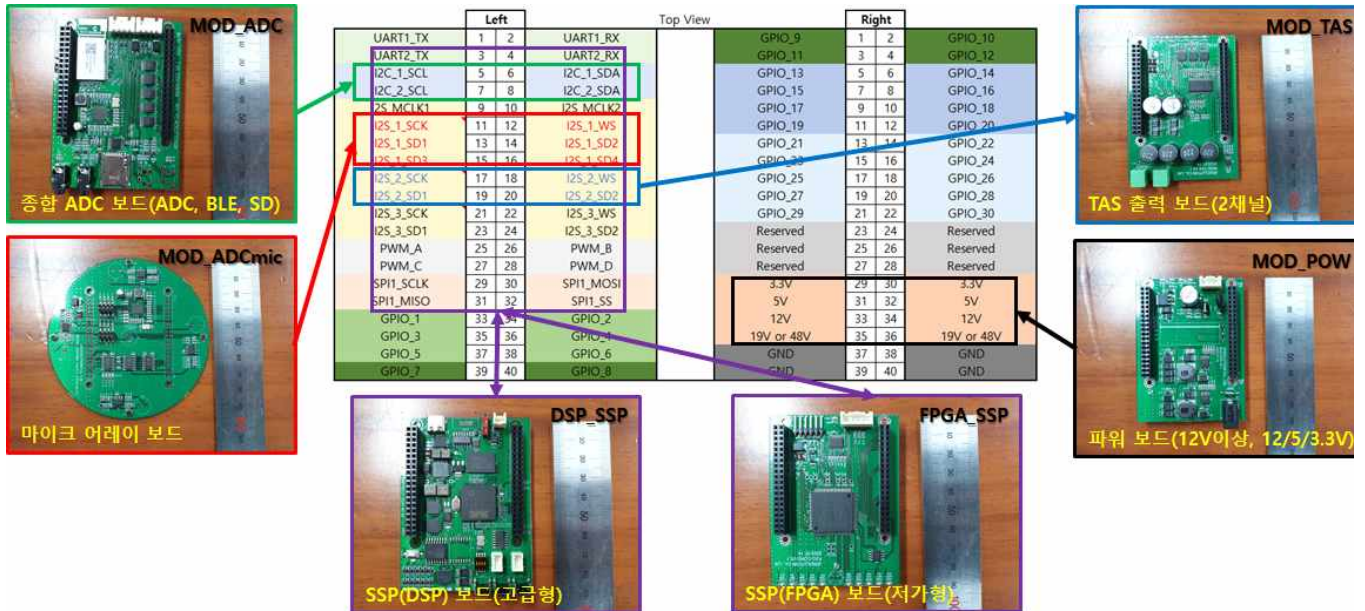


그림 10. 보드간 인터페이스 정의

- 인터페이스는 1차년도 설계를 기본으로 디지털을 기반으로 함
- 보드간의 음원 데이터 입출력은 I2S 통신이 담당을 하고, 각각 모듈 보드 제어는 I2C 통신으로 수행
- GPIO 등으로 각종 상태 등의 정보들을 서로 주고받으며, 모든 핀 배치는 그림과 같이 보드 모두가 각각 Left / Right Pin Array로 정의하고 공유되어 짐
- 추후 I2S, I2C, GPIO 맵을 맞추면 보드간의 업데이트가 가능

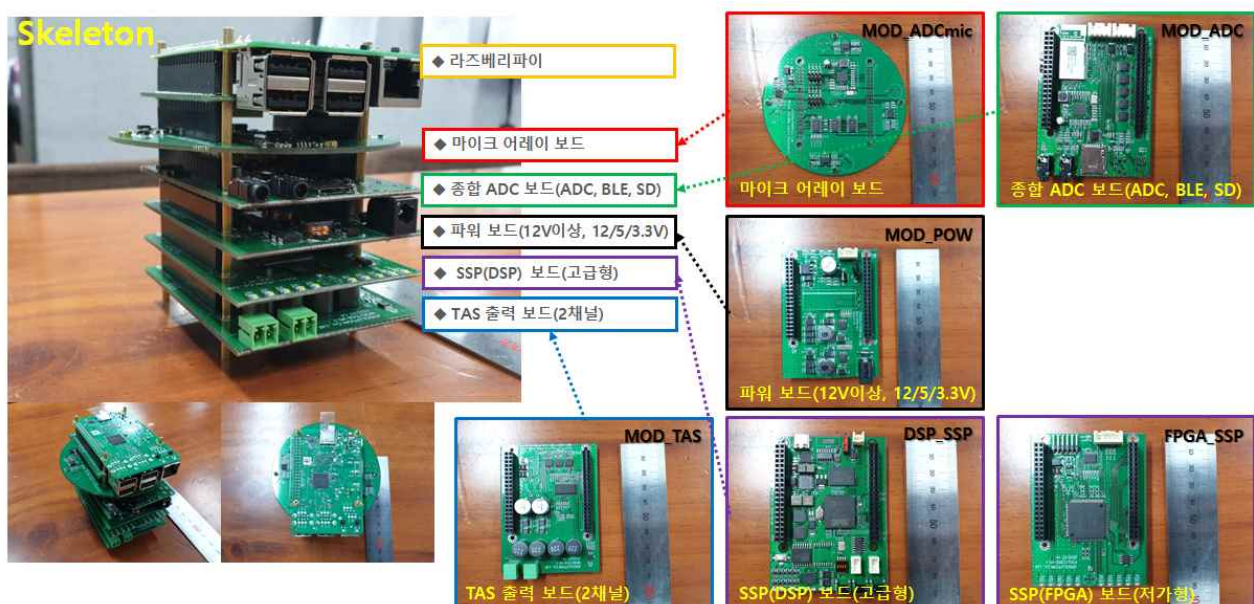


그림 11. Skeleton 조립 사진

- 각각 보드로 만들어진 모듈은 그림과 같이 Skeleton으로 조립됨
- 라즈베리파이의 경우는 16bit I2S 송출이 가능함으로 라즈베리파이가 가지고 있는 주변 장치 소스를 활용하여 또 다른 입력장치 연결이 가능하고 더불어 I2C 통신, UART 통신으로 Manager의 역할로써 활용되어짐
- 3차년도에는 버스 시스템에 맞추어 개발된 통합보드 제어 및 관리를 수행하는 Manager 역할로 개발되어질 예정임

## – 알고리즘 기능 통합 구현

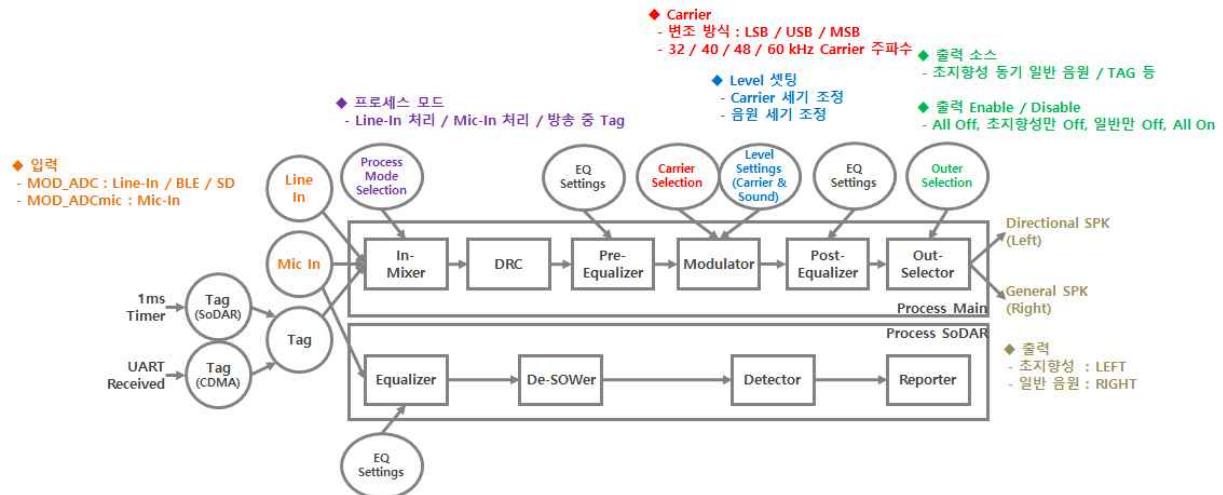


그림 12. 알고리즘 설계 및 구현(구성도)

- 본 구성은 구현된 알고리즘의 블록도로 입력으로는 MOD\_ADC 보드(종합 ADC 보드)의 Line-in 입력, MOD\_ADCmic 보드(마이크 어레이 보드)의 Mic-In 포트가 있음
- 통신을 위한 UART 통신이 있고 출력으로는 MOD\_TAS 보드(TAS 출력 보드)로의 지향성 음원 출력(Directional Speaker)과 일반 오디오 음원 출력(General Speaker)으로 이루어짐
- 음파 통신인 Tag는 2가지 형태로 이루어지는데 하나는 SoDAR의 방식으로 Tag를 송출 및 수신을 통해 전방에 승객의 유무를 확인하며, 또 하나는 UART 통신을 통해 들어온 버스의 위치나 정류장 정보 등을 받아 소리 음원에 Tag를 실어 탑승한 승객에게 데이터를 전송하게 됨
- 프로세스 모드는 Line-In/Mic-In 입력 및 생성된 Tag 기반으로 초음파 영역으로 변환 또는 일반 음원 영역으로 송출하게 됨
- 초음파인 반송파(Carrier)는 주파수에 따른 지향성의 특성을 고려하여 32kHz / 40kHz / 48kHz / 60kHz를 선택할 수 있으며, 변조 방식도 LSB(Lower Side Band) / USB(Upper Side Band) / MSB(Mixed Side Band) 중 한 방식을 선택할 수 있음
- 반송파의 세기와 입력 음원의 세기를 조정하여 가까이 또는 멀리까지, 낮은 출력 또는 높은 출력으로 소리를 보낼 수 있게 함
- 즉, 작은 소리를 멀리까지 보낼지, 큰 소리를 가까이 보낼 지 등을 환경과 상황에 따라 선택할 수 있게 하였음
- 더불어 출력 스피커도 Enable / Disable이 가능하게 하여 일반 음원을 큰소리로 송출하거나, 지향성 음원을 특정 영역으로만 송출하도록 선택할 수 있게 하였음
- 반송파의 주파수/세기, 입력 음원의 세기, 출력 스피커 Enable/Disable 등을 선택할 수 있게 하여 버스 내외 환경에 맞추어 설정을 최적화할 수 있게 함

```

unsigned int LibAUD_ProcessMain(int num_samples_per_channel,
float* ip_data0, int num_ip_channel0, float* ip_data1, int num_ip_channel1,
float* op_data0, int num_op_channel0)

{
    unsigned int unResult = ENUM_RESULT_SUCCESS;
    /** Get. Data : From Device to Algorithm */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_GetData(num_samples_per_channel, ip_data0, num_ip_channel0, ip_data1, num_ip_channel1);
        //음원 데이터 입력
    }

    /** Main Audio Processing */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_Process();
        //메인 처리 함수
    }

    /** Get. Data : From Algorithm To Device */
    LibAUD_SetData(num_samples_per_channel, op_data0, num_op_channel0);
    return unResult;
    //음원 데이터 송출
}

unsigned int LibAUD_Process(void) {
    unsigned int unResult = ENUM_RESULT_SUCCESS;
    /** Receive. Audio Data From Interface In-Buffer */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_INTF_ReceiveAudioData();
        //입력 버퍼링
    }

    /** Get. Equalized Audio Data */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_PREP_PreprocessAudioData();
        //전처리 EQ
    }

    /** Get. Modulated Audio Data : LSB(X), USB(X), DSB(X), VSB(O) */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_MODU_ModulateAudioData(m_unModulationMode, m_unCarrierFreq);
        //변조 등 DSP 처리
    }

    /** Get. Model Based Transfer Filtering Audio Data */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_PSTP_PostprocessAudioData();
        //후처리 EQ
    }

    /** Send. Generated Audio Data to Interface Out-Buffer */
    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unResult = LibAUD_INTF_SendAudioData();
        //출력 버퍼링
    }

    return unResult;
}

```

그림 13. 구현된 알고리즘 - 메인 처리 함수

- 입/출력 버퍼 처리 함수 (\_INTF\_ReceiveAudioData(), \_INTF\_SendAudioData())와 전처리/후처리 EQ 함수(\_PREP\_PreprocessAudioData(), \_PSTP\_PostprocessAudioData()), 그리고 초지향성 음원을 생성하는 변조 DSP 처리 함수(\_MODU\_AudioData())로 메인 함수 (\_Process- Main()) 구성
- LibAUD\_INTF/PREP/MODU/PSTP\_xx 와 같이 개발하여 Library 형태로 설계 및 구현
- 입/출력 버퍼 처리 함수는 DSP 신호 처리를 할 수 있게 입출력 동기화 작업을 수행
- 전처리 EQ 함수는 입력 받은 20~20kHz의 가청음에 필요한 음성 혹은 배경 주파수만을 선택할 수 있도록 EQ 작업을 수행하고, 후처리 EQ 함수는 생성된 초지향성 음원을 초음파 스피커의 응답 특성을 고려하여 자연스러운 음을 만들 수 있도록 EQ 작업을 수행 함
- 변조 DSP 신호 처리 함수는 각각의 반송파 주파수/세기, 음원 세기, 변조 방식 등의 조건에 맞추어 원하는 지향성 음원을 생성하며, 일반 음원을 지향성 스피커에 동기를 맞추어 생성하여 지향성 음원과 일반 음원을 동시에 송출 시 자연스럽게 연결이 가능하도록 함

```

if (m_ucCDMAProcEnable == 1) {
    unResult = LibTAG_GenerateCDMAData(m_ucCDMAProcEnable, m_unCDMAProcCnt, m_fTagGen, &m_ucCDMATagGenerated);
}
else if (m_ucSoDARProcEnable == 1) {
    unResult = LibTAG_GenerateSoDARData(m_ucSoDARProcEnable, m_unSoDARProcCnt, m_fTagGen, &m_ucSoDARTagGenerated);
}
else {
    memset(m_fTagGen, 0, sizeof(float) * (DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN * 2));
}
unResult = LibTAG_ProcessSoDAR(DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN, m_fMicIn, 2);
//Mic -> SoDAR 처리

/** Greneal Speaker's SRC Selection */
switch (m_unProcMode) {
case ENUM_PROC_MODE_AUDIO:
    unResult = LibAUD_INTF_SelectSrc(ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_LR, 0.5);
    unResult = LibAUD_ProcessMain(DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN, m_fAudIn, 2, m_fMicIn, 2, m_fAudOut, 2);
    break;
case ENUM_PROC_MODE_MIC:
    unResult = LibAUD_INTF_SelectSrc(ENUM_SRCSEL_MIX_SRC1_LR, 0.5);
    unResult = LibAUD_ProcessMain(DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN, m_fAudIn, 2, m_fMicIn, 2, m_fAudOut, 2);
    break;
case ENUM_PROC_MODE_AUDIO_WITH_TAG:
    unResult = LibAUD_INTF_SelectSrc(ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1, 0.5);
    unResult = LibAUD_ProcessMain(DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN, m_fAudIn, 2, m_fTagGen, 2, m_fAudOut, 2);
    break;
default:
    unResult = LibAUD_INTF_SelectSrc(ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_LR, 0.5);
    unResult = LibAUD_ProcessMain(DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN, m_fAudIn, 2, m_fMicIn, 2, m_fAudOut, 2);
    break;
}

/** ENUM_PROC_MODE : Processing Mode */
enum ENUM_PROC_MODE {
    ENUM_PROC_MODE_AUDIO = ((unsigned int)0),
    ENUM_PROC_MODE_MIC = ((unsigned int)1),
    ENUM_PROC_MODE_AUDIO_WITH_TAG = ((unsigned int)2)
};

```

SoDAR 신호 송출 및 수신

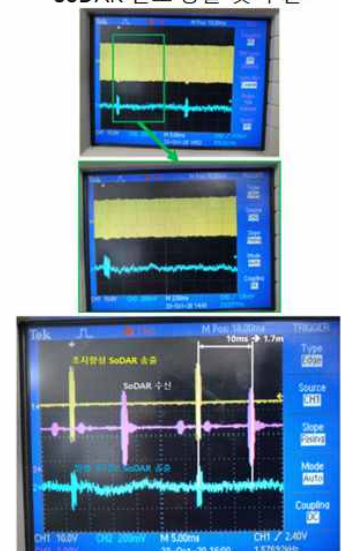


그림 14. 구현된 알고리즘 - 입력 처리 선택(프로세스 모드)

- 입력 처리는 메인 처리 함수(LibAUD\_ProcessMain()) 함수에 들어가기 전에 입력 처리 모드를 선택할 수 있도록 모드화 설계 및 구현 함
- 입력은 크게 Line-In 입력(일반 ADC 입력 - Line-In, BLE, SD 등의 음원), Mic-In 입력, Tag 입력 나뉘며, Tag 입력은 타이머에 의해 주기적으로 생성되는 SoDAR용 Tag와 사운드 태그를 통해 송신할 데이터가 수신되면 생성되는 CDMA용 Tag로 나누어짐
- 입력 처리 모드는 녹음된 음원을 송출할 때 사용되는 Line-In 모드, 마이크로 입력된 음성을 송출할 때 사용되는 Mic-In 모드, 녹음된 음원과 Tag를 혼합하여 송출할 때 사용되는 Tag 혼합 모드로 구분됨
- 안내 방송은 Line-In 모드로 송출이 되며, 특정 정거장 정보를 Tag화하여 안내 방송을 할 때에는 Tag 혼합 모드로 송출됨(버스의 사용 환경에 맞추어 입력 처리 모드를 변경하여 사용되어질 예정)

Tag용 SOW Order 및 Unit Frequency 정의

| Case 1   |                   |     | Transmit Performance (Ryu / JDS) |                  | CDMA Bits | 16                 | Transmit Time (ms / bit)    | 25.0                 | Transmit Time (ms / byte) | 200       | Transmit Data (byte / sec) | 5             |     |
|----------|-------------------|-----|----------------------------------|------------------|-----------|--------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|-----------|----------------------------|---------------|-----|
| Concepts |                   |     | OS or Tools                      | RX / TX          | Device    | Sampling Frequency | Order No. (Sampling Length) | Separating Frequency | Available Range           |           |                            |               |     |
|          |                   |     |                                  |                  |           | Hz                 | EA                          | Full Hz              | Half(Unit) EA             | Order Min | Max                        | Frequency Min | Max |
| JDS      | 안드로이드 with Galaxy | 마이크 | 갤럭시                              | 갤럭시 노트3(2013) 이상 | 48,000    | 48                 | 1,000                       | 500                  | 0                         | 47        | 500                        | 24,000        |     |
|          | 안드로이드 with Galaxy | 스피커 | 갤럭시                              | 갤럭시 노트3(2013) 이상 | 48,000    | 48                 | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
|          | 안드로이드 with ThinQ  | 마이크 | 스피커                              | LG G2(2013) 이상   | 192,000   | 192                | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
|          | 안드로이드 with ThinQ  | 스피커 | 스피커                              | LG G2(2013) 이상   | 192,000   | 192                | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
| Case 1-1 |                   |     | Transmit Performance (Ryu / JDS) |                  | CDMA Bits | 16                 | Transmit Time (ms / bit)    | 25.0                 | Transmit Time (ms / byte) | 200       | Transmit Data (byte / sec) | 5             |     |
| Concepts |                   |     | OS or Tools                      | RX / TX          | Device    | Sampling Frequency | Order No. (Sampling Length) | Separating Frequency | Available Range           |           |                            |               |     |
|          |                   |     |                                  |                  |           | Hz                 | EA                          | Full Hz              | Half(Unit) EA             | Order Min | Max                        | Frequency Min | Max |
| JDS      | 안드로이드 with Galaxy | 마이크 | 갤럭시                              | 갤럭시 노트3(2013) 이상 | 48,000    | 48                 | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
|          | 안드로이드 with Galaxy | 스피커 | 갤럭시                              | 갤럭시 노트3(2013) 이상 | 48,000    | 48                 | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
|          | 안드로이드 with ThinQ  | 마이크 | 스피커                              | LG G2(2013) 이상   | 192,000   | 192                | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
|          | 안드로이드 with ThinQ  | 스피커 | 스피커                              | LG G2(2013) 이상   | 192,000   | 192                | 1,000                       | 500                  | 0                         | 23        | 500                        | 12,000        |     |
| Case 2   |                   |     | Transmit Performance (Ryu / JDS) |                  | CDMA Bits | 16                 | Transmit Time (ms / bit)    | 25.0                 | Transmit Time (ms / byte) | 200       | Transmit Data (byte / sec) | 5             |     |
| Concepts |                   |     | OS or Tools                      | RX / TX          | Device    | Sampling Frequency | Order No. (Sampling Length) | Separating Frequency | Available Range           |           |                            |               |     |
|          |                   |     |                                  |                  |           | Hz                 | EA                          | Full Hz              | Half(Unit) EA             | Order Min | Max                        | Frequency Min | Max |
| JDS      | 안드로이드 with Galaxy | 마이크 | 갤럭시                              | 갤럭시 노트3(2013) 이상 | 48,000    | 96                 | 500                         | 250                  | 0                         | 95        | 250                        | 24,000        |     |
|          | 안드로이드 with Galaxy | 스피커 | 갤럭시                              | 갤럭시 노트3(2013) 이상 | 48,000    | 96                 | 500                         | 250                  | 0                         | 95        | 250                        | 24,000        |     |
|          | 안드로이드 with ThinQ  | 마이크 | 스피커                              | LG G2(2013) 이상   | 192,000   | 384                | 500                         | 250                  | 0                         | 95        | 250                        | 24,000        |     |
|          | 안드로이드 with ThinQ  | 스피커 | 스피커                              | LG G2(2013) 이상   | 192,000   | 384                | 500                         | 250                  | 0                         | 95        | 250                        | 24,000        |     |

SOW 192kHz 기준 192EA Data (Order 0(500Hz) ~ Order 47(24kHz))

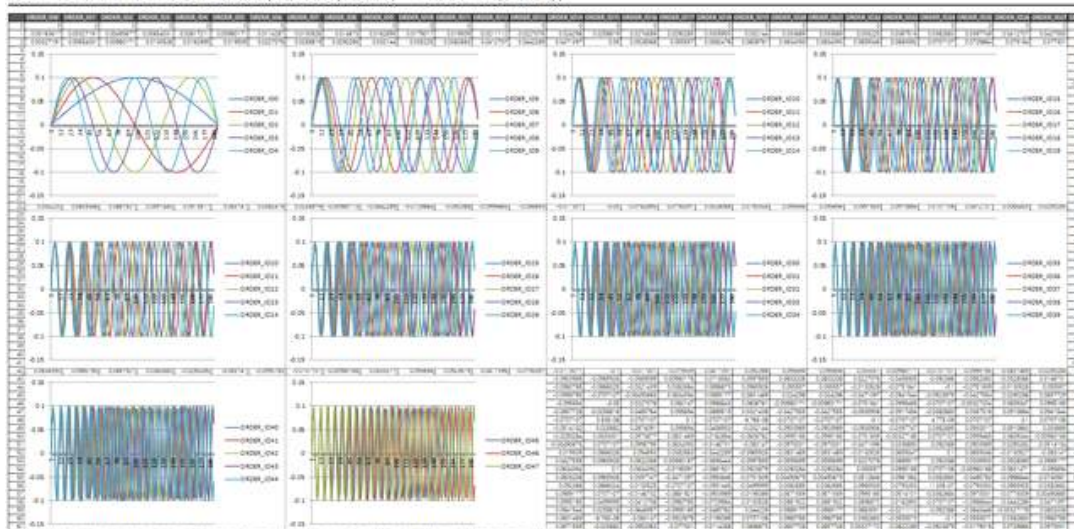


그림 15. Tag 설계 및 구현

- Tag용 SOW(Sinusoidal Orthogonal Waveform)를 결정하기 위하여 현재 보편화되어 사용 중인 안드로이드 폰의 음향 입출력 특성을 조사함
- 갤럭시 시리즈의 경우 48kHz가 한계 요소이고, ThinQ 시리즈의 경우는 본 개발의 주파수와 동일하게 192kHz로 사용이 가능함을 확인
- SOW Data의 개수는 192개로 두어 1ms를 1bit로 설정(추후 속도 등을 위해서는 96EA를 두어 500us/bit 처리가 가능, 1ms 주기로 메인 처리 함수를 수행하고 있어 안정된 알고리즘 구현을 위해 192EA/bit로 1bit/ms에 맞춤)
- 초기 설계 시에 75 EA @ 48kHz의 경우 640Hz의 기본 주파수를 가지고 bit당 25ms, byte당 200ms, 초당 5Bytes를 전송하였으나 현 제안하는 192EA @ 192kHz, 48EA @ 48kHz는 기본 주파수를 1kHz로 가짐
- 비트당 16ms, 바이트당 128ms, 초당 약 7.81Bytes를 전송할 수 있음
- 192kHz는 ORDER는 0~47로 총 48개의 ORDER 개수를 가짐
- 192kHz 간의 통신은 0~47로 500Hz~24kHz의 SOW 주파수가 최적임을 확인하였으며, 48kHz와의 통신에서는 0~23으로 500Hz~12kHz의 SOW 주파수를 가짐
- 비가청영역은 192kHz 기반은 18k~22kHz를, 48kHz 기반은 10kHz~12kHz를 사용하며 Base를 12kHz로 두어 48kHz와 192kHz의 통신 ID를 인식함

```

unsigned int LibAUD_INTF_ReceiveAudioData(void) {
    unsigned int unResult = ENUM_RESULT_SUCCESS;
    unsigned int unChID;

    unsigned int unSRCSEL;
    float fRatioBetweenSrcs;

    /** Input Buffer Shifting & Current Buffer Matching */
    LibAUD_INTF_ShiftBuffer();

    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        unSRCSEL = m_unSRCSEL;
        fRatioBetweenSrcs = m_fRatioBetweenSrcs;

        if (unSRCSEL >= ENUM_SRCSEL_NUM) { }
        if (fRatioBetweenSrcs < 0.0) { }
        if (fRatioBetweenSrcs > 1.0) { }
    }

    if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
        switch (unSRCSEL)
        {
            case ENUM_SRCSEL_MONO_SRC0: ///< - SRC SEL : SRC0_L(only)
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc0l, m_fINSrc0r, 1.0, m_finBufm);
                break;
            case ENUM_SRCSEL_MONO_SRC1: ///< - SRC SEL : SRC1_L(only)
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc1l, m_fINSrc1r, 1.0, m_finBufm);
                break;
            case ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1: ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_L & SRC1_L
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc0l, m_fINSrc1l, fRatioBetweenSrcs, m_finBufm);
                break;
            case ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1: ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_L & SRC1_R
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc0l, m_fINSrc1r, fRatioBetweenSrcs, m_finBufm);
                break;
            case ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1: ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_R & SRC1_L
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc0r, m_fINSrc1l, fRatioBetweenSrcs, m_finBufm);
                break;
            case ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1: ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_R & SRC1_R
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc0r, m_fINSrc1r, fRatioBetweenSrcs, m_finBufm);
                break;
            default: ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_L & SRC0_R
                unResult = LibAUD_INTF_InBuffer(m_fINSrc0l, m_fINSrc0r, 1.0, m_finBufm);
                break;
        }

        /** [DRC] Check. SRC DB and Adjust. Carrier Level / Sound Level */
        if (unResult == ENUM_RESULT_SUCCESS) {
            unResult = LibAUD_INTF_CheckSrcDB(m_finBufm, DEFN_SAMPLE_LEN_OF_AUD_IN * 2, &m_fCheckVAR, &m_fCheckDB);
        }

        return unResult;
    }
}

enum ENUM_SRCSEL {
    ENUM_SRCSEL_MONO_SRC0 = ((unsigned int)0), ///< - SRC SEL : SRC0_L(only) <- Default
    ENUM_SRCSEL_MONO_SRC1 = ((unsigned int)1), ///< - SRC SEL : SRC1_L(only)
    ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_LR = ((unsigned int)2), ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_L & SRC0_R
    ENUM_SRCSEL_MIX_SRC1_LR = ((unsigned int)3), ///< - SRC SEL : Mixing. SRC1_L & SRC1_R
    ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1 = ((unsigned int)4), ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_L & SRC1_L
    ENUM_SRCSEL_MIX_SRC0_SRC1 = ((unsigned int)5), ///< - SRC SEL : Mixing. SRC0_R & SRC1_L
    ENUM_SRCSEL_NUM = ((unsigned int)5) ///< - No. of SRC SEL
};

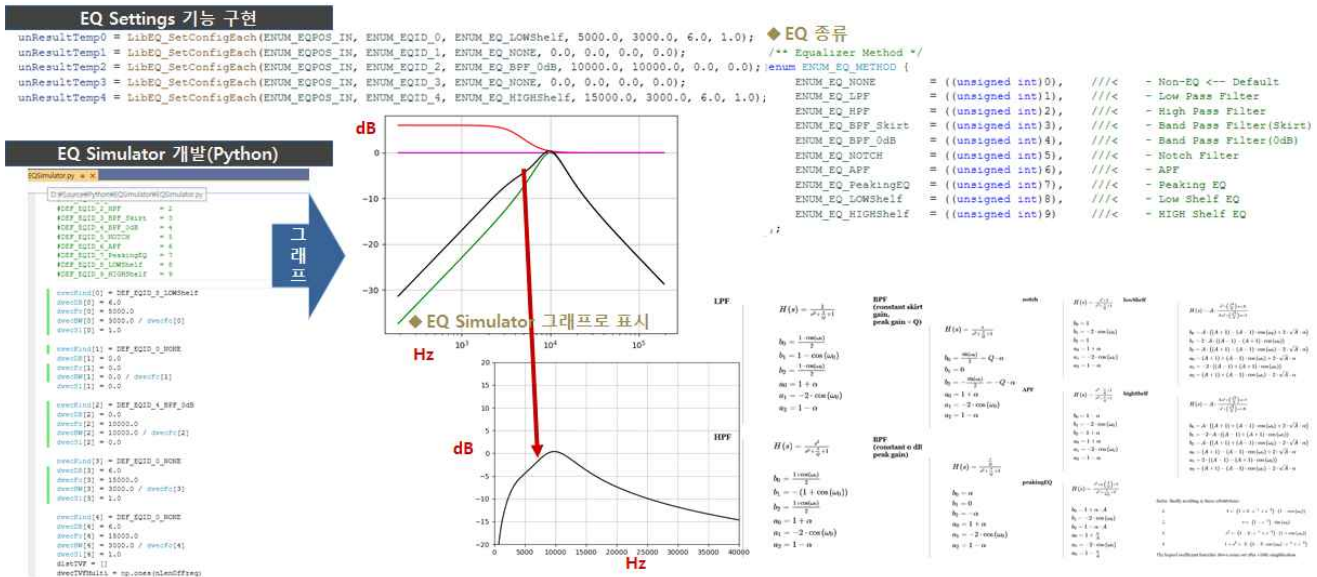
```

그림 16. 구현된 알고리즘 - 입/출력 버퍼 처리 함수

- 입력 버퍼 처리 함수는 2개의 소스 중 선택하여 처리를 하게됨
- 소스 0(INSrc0), 소스 1(INSrc1)의 각각 Mono(Only Left 또는 Left / Right Mixed) 처리 또는 두 소스간의 Mixed 처리로 선택되어 구성되어짐
- Line-In 모드와 Mic-In 모드는 Mono 처리로, Tag 혼합 모드는 혼합 비율을 갖는 Mixed 처리로 입력 버퍼에 저장됨



(a) 처리함수 구성



(b) 구현된 EQ 알고리즘 및 시뮬레이션 툴  
그림 17. 구현된 알고리즘 - 전처리/후처리 EQ 함수

- 입력 음원의 변조 전처리로 EQ 기능을 수행하고, 출력 전에 변조 후처리로 EQ 기능 처리 됨
- EQ 필터는 총 LPF(Low Pass Filter), HPF(High Pass Filter), BPF(Band Pass Filter), APF, Notch Filter, Peaking EQ, Shelf EQ 9개 종류가 있으며 이중 5개까지 혼합 설정 가능
- Python으로 제작된 시뮬레이션 툴로 미리 EQ 성능을 확인한 후 실제 개발에 적용될 수 있도록 구현함

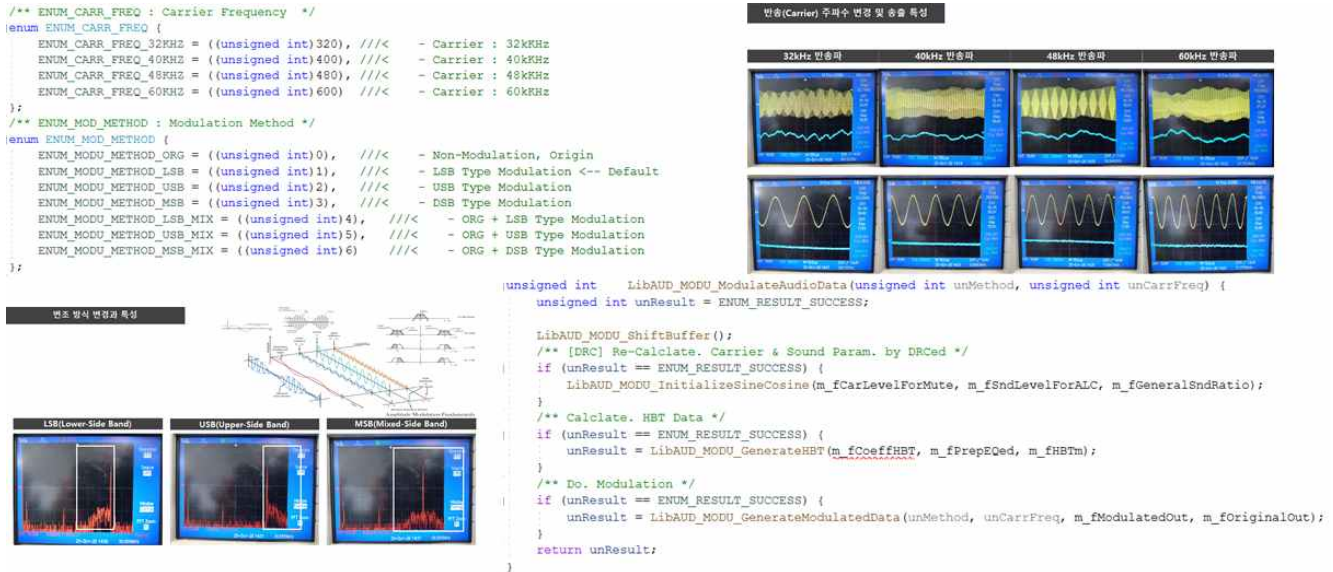


그림 18. 구현된 알고리즘 - 변조 DSP 처리 함수

- 변조 DSP 처리 함수는 32kHz, 40kHz, 48kHz, 60kHz 중 선정된 반송파와 LSB(Low-Side Band), USB(Upper-Side Band), MSB(Mixed-Side Band) 중 선정된 변조 방식으로 지향성 음원 데이터로 재 생성함



그림 19. 일반 음원 종류 선정 및 송출 스피커 Enable/Disable

- 전처리 EQ, 변조, 후처리 EQ로 생성된 음원은 초지향성 음원은 Left, 일반 음원은 Right 출력으로 송출됨
- 그 중 일반 음원은 변조 처리 시에 동기화 처리된 음원이 일반적이거나, 경우에 따라서 MIC의 직접 출력, TAG의 직접 출력 등의 옵션 선택이 가능
- 더불어 송출 스피커 Enable / Disable을 통해서 초지향 음원만 송출, 일반 음원만 송출, 또는 모든 음원 송출가능하도록 개발

```

if (m_unCmd == (((unsigned int)'a') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(m_unModulationMode, ENUM_CARR_FREQ_40KHZ);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000010;
    unStateValue = 0x00000040;
}
else if (m_unCmd == (((unsigned int)'b') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(m_unModulationMode, ENUM_CARR_FREQ_48KHZ);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000018;
    unStateValue = 0x00000048;
}
else if (m_unCmd == (((unsigned int)'c') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(m_unModulationMode, ENUM_CARR_FREQ_60KHZ);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000018;
    unStateValue = 0x00000048;
}
else if (m_unCmd == (((unsigned int)'q') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(m_unModulationMode, ENUM_CARR_FREQ_32KHZ);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000018;
    unStateValue = 0x00000048;
}
}

else if (m_unCmd == (((unsigned int)'o') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(ENUM_MODU_METHOD_ORG, m_unCarrierFreq);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000020;
    unStateValue = ENUM_MODU_METHOD_ORG;
}
else if (m_unCmd == (((unsigned int)'l') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(ENUM_MODU_METHOD_LSB, m_unCarrierFreq);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000021;
    unStateValue = ENUM_MODU_METHOD_LSB;
}
else if (m_unCmd == (((unsigned int)'u') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(ENUM_MODU_METHOD_USB, m_unCarrierFreq);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000022;
    unStateValue = ENUM_MODU_METHOD_USB;
}
else if (m_unCmd == (((unsigned int)'d') & 0x000000ff)) {
    LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
    unResult = LibAUD_SETP_SetMode(ENUM_MODU_METHOD_MSB, m_unCarrierFreq);
    LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
    unCmdReturn = m_unCmd;
    unCmdRegen = 0x00000023;
    unStateValue = ENUM_MODU_METHOD_MSB;
}
}

```

그림 20. 통신 제어 - 반송파 선택 및 변조 방식 선택 통신 기능 구현

- 기본적인 UART 통신을 이용하여 반송파 선택("a" key : 40kHz, "b" key : 48kHz, "c" key : 60kHz, "q" key : 32kHz), 변조 방식 선택("l" key : LSB, "u" key : USB, "m" key : MSB) 등을 선택 할 수 있도록 함
- 기타로 "t" key 는 DRC(Dynamic Range Control) 기능 온/오프 Toggle하고, "-" key와 "+" key로 입력 음원의 볼륨을 감소 / 증가시킴
- 반송파의 세기는 "[" key, "]" key로 감소 및 증가
- "1" key는 지향성 스피커만, "2" key는 일반 스피커만, "3" key는 두개의 스피커를 On하여 출력하고, "0" key는 모든 스피커 Off시킴
- 통신 통해 다양하게 제어를 수행함으로써 버스 내외 환경 및 사용자 시나리오에 맞추어 다양하게 입/출력 제어 및 처리 제어가 가능하게 됨

– Android 기반 사운드 태그용 SDK 기능 및 CDMA 기반 보안 기능 구현

- 아래의 그림과 같이 사운드 태그용 SDK 기능을 정의 하고 구현 함

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre>enum SoundToneNum {     SOUND_TONE_2,     SOUND_TONE_3,     SOUND_TONE_4,     SOUND_TONE_5,     SOUND_TONE_6,     SOUND_TONE_7,     SOUND_TONE_8,     SOUND_TONE_9,     SOUND_TONE_10,     SOUND_TONE_11,     SOUND_TONE_12,     SOUND_TONE_13,     SOUND_TONE_14,     SOUND_TONE_15 } SoundToneNum_t;</pre> |
| <pre>enum SoundDataRate {     SOUND_DATA_RATE_40bps,     SOUND_DATA_RATE_80bps,     SOUND_DATA_RATE_120bps,     SOUND_DATA_RATE_160bps,     SOUND_DATA_RATE_200bps, } SoundDataRate_t;</pre>                                                                                                                      |
| <pre>enum CdmaMuxNum {     CDMA_MUX_2 = 2,     CDMA_MUX_3,     CDMA_MUX_4,     CDMA_MUX_5,     CDMA_MUX_6,     CDMA_MUX_7,     CDMA_MUX_8,     CDMA_MUX_9,     CDMA_MUX_10,     CDMA_MUX_11,     CDMA_MUX_12,     CDMA_MUX_13,     CDMA_MUX_14,      CDMA_MUX_15,     CDMA_MUX_16, } CdmaMuxNum_t;</pre>          |
| <pre>enum Error {     RX_SUCCESS = 1,     RX_BIT_ERROR,     RX_LOW_SNR, } Error_t;</pre>                                                                                                                                                                                                                          |
| <p><b>HANDLE sTag initSoundTag(SoundDataRate_t SoundDataRate, SoundToneNum_t SoundToneNum)</b></p> <p>사운드태그 기능을 설정하고 초기화한다.<br/>스마트폰의 오디오입력장치를 할당받아 초기화 하며 핸들을 리턴한다.<br/>입력변수는 허용가능한 사운드태그 음파통신의 DataRate와 음파통신의 tone의 개수를 설정한다.</p>                                                                              |
| <p><b>Error_t GetReceive(HANDLE sTag, unsigned char *ReceivedData, int Size)</b></p> <p>콜백형태의 함수로 오디오입력장치로부터 사운드태크 음파신호가 들어오면 demodulation하여 Size의 데이터를 ReceivedData버퍼에 저장한다.</p>                                                                                                                                 |
| <p><b>SoundDataRate_t GetDataRate(HANDLE sTag)</b></p> <p>현재 설정된 DataRate를 얻어온다.</p>                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>SetCdmaId(HANDLE sTag, CdmaMuxNum_t CdmMuxId)</b></p> <p>입력으로 자신의 CdmaMuxId를 입력하면 자신의 ID와 같은 데이터만 수신할 수 있게 함.</p>                                                                                                                                                                                           |

그림 21. 사운드 태그용 SDK

- 유저데이터(버스 정류장, 버스 번호 등)는 PSEUDO RANDOM코드로 16배로 spreading 되고 Binary-CDMA로부터 생성된 비트스트림을 SOW에 대응하는 Wave form에 맵핑하여 음파신호를 생성, 수신동기화를 위해 프리앰블(preamble)을 구성함
- 시작 동기화를 위한 시그널 : SOW로 생성된 음파신호는 다른 대역과의 혼선 및 근접 초음파대역을 최적으로 활용하기 위해 위상반전이 일어나지 않도록 설계하며, Auto Correlation의 값이 sharp할 수 있도록 패턴을 결정함
- 시뮬레이션을 통해 수신된 신호의 Auto Correlation의 값이 여러 샘플에서 비슷한 값을 가지며 이는 STO(Sampling Timing Offset)을 발생시키며 STO를 보상해야 함을 알게 됨
- STO를 보상하여 수신된 음파신호를 Demodulation하였으며 그림 22의 'ZERO power'의 크기가 송신된 '0'비트스트림 구간에서 에너지가 존재함을 알 수 있고 'ONE power'의 그래프는 '1'의 비트스트림 구간이 에너지가 존재함
- 시뮬레이션을 통해 본 과제에서 제안한 Binary-CDMA와 SOW기반의 음파통신이 화이트노이즈환경에  $S/N < 0\text{dB}$ 로 노이즈가 신호보다 더 센 곳에서도 수신할 수 있음을 보임

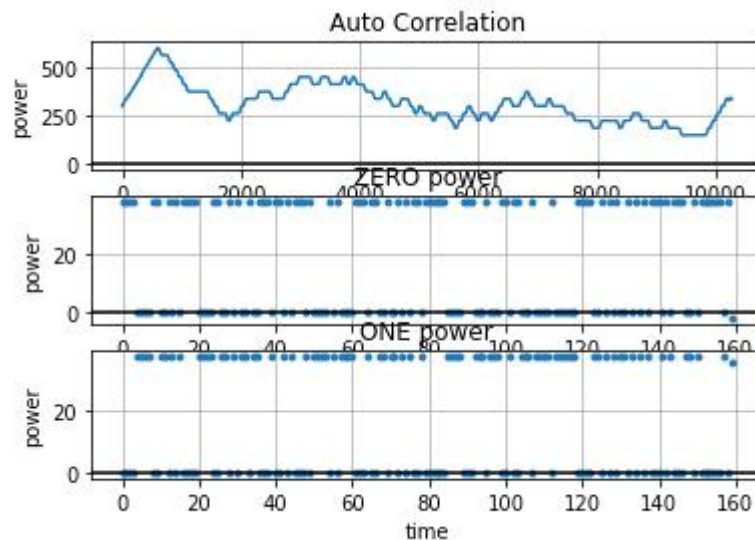


그림 22. No Noise환경 Demodulation

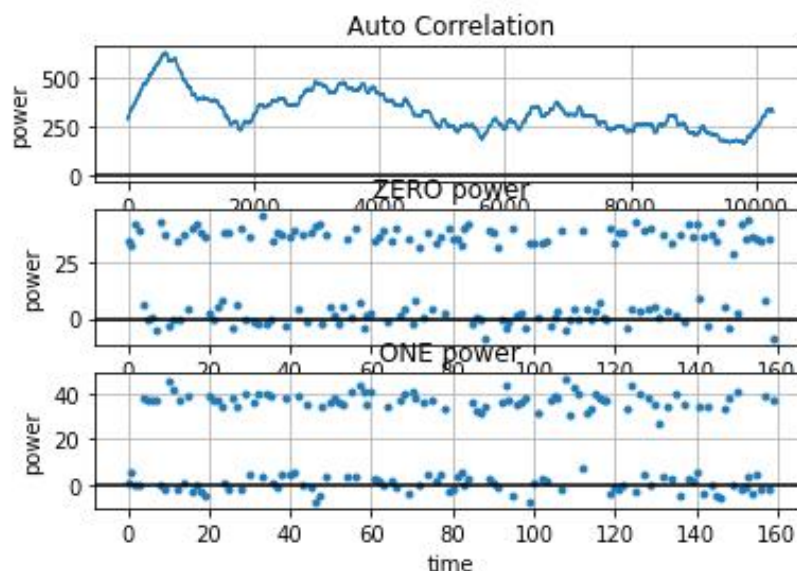


그림 23.  $S/N < 0\text{db}$  환경 Demodulation

## - 통합 기능 검증 및 성능 확인

- Skeleton으로 구성된 하드웨어 및 기능 구현된 알고리즘, 통신 소프트웨어 기반으로 승하차 조건의 통합 기능을 검증하고 성능을 확인
- 기능 및 성능을 확인할 수 있는 테스트용 모니터링 프로그램을 제공하여 가시적으로 볼 수 있도록 함

## - 초음파/가청 음파 영역의 사운드 태그의 송신 및 수신 검증

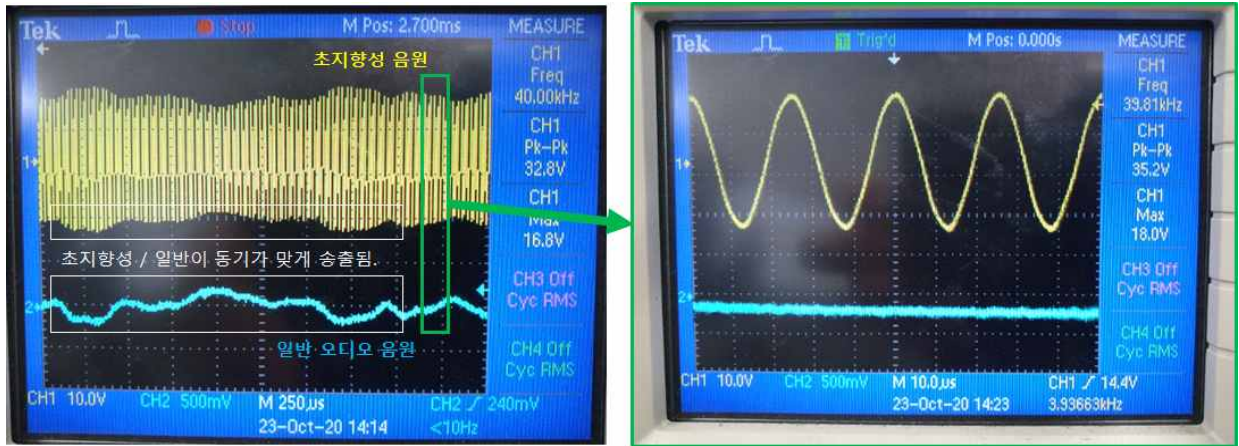


그림 24. 초지향성 음원과 일반 오디오 음원의 동시 송출 결과

- 본 결과는 초지향성 음원과 일반 오디오 음원이 동시에 동기화한 상태로 송출되는 것을 보여 줌
- 동시 송출 시 동기가 맞지 않으면 하울링 등이 발생하나, 본 개발에서는 변조 처리에 동기를 맞춘 일반 음원을 생성하여 송출함으로써 하울링 등이 없는 자연스러운 음원을 재생

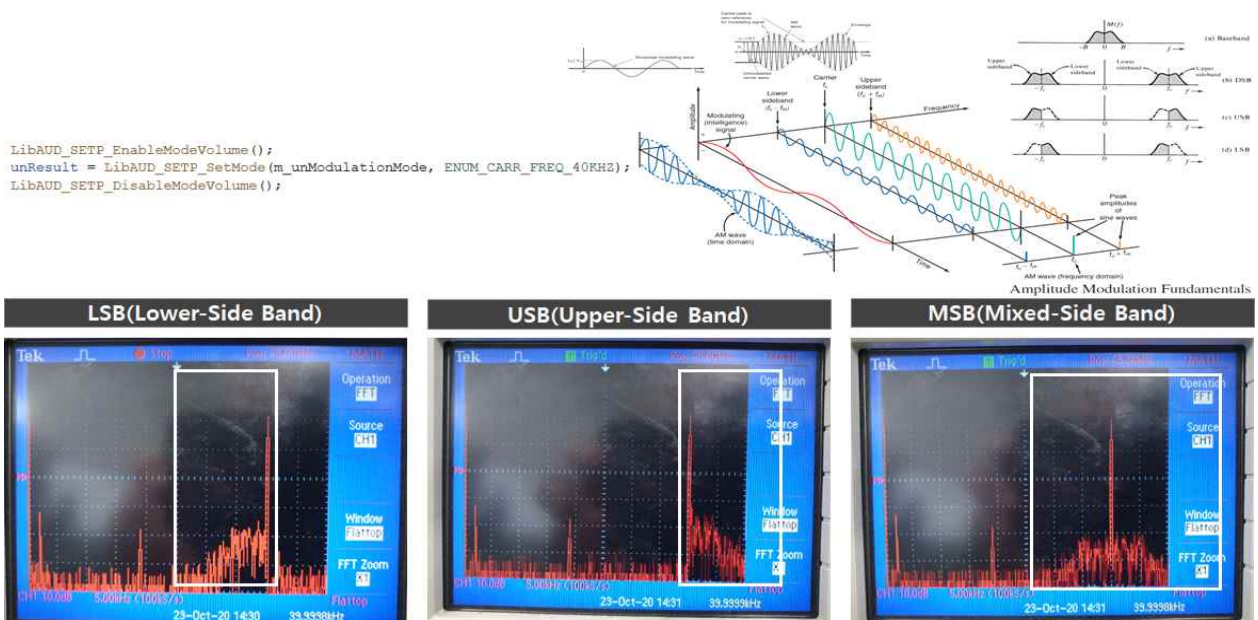


그림 25. 초지향성 음원의 변조 방식 제어 결과

- 본 결과는 변조 방식(LSB, USB, MSB) 선택에 따른 FFT 특성 결과를 보여 줌
- 반송파 기준으로 Lower / Upper / Mixed로 나타남을 알 수 있으며, 전달력이 필요한 일반 음성은 LSB로, 자연스러운 음향은 USB로, 강한 세기가 필요한 음원은 MSB로 변조되어 송출되어 짐

```
LibAUD_SETP_EnableModeVolume();
unResult = LibAUD_SETP_SetMode(ENUM_MODU_METHOD_LSB, m_unCarrierFreq);
LibAUD_SETP_DisableModeVolume();
```

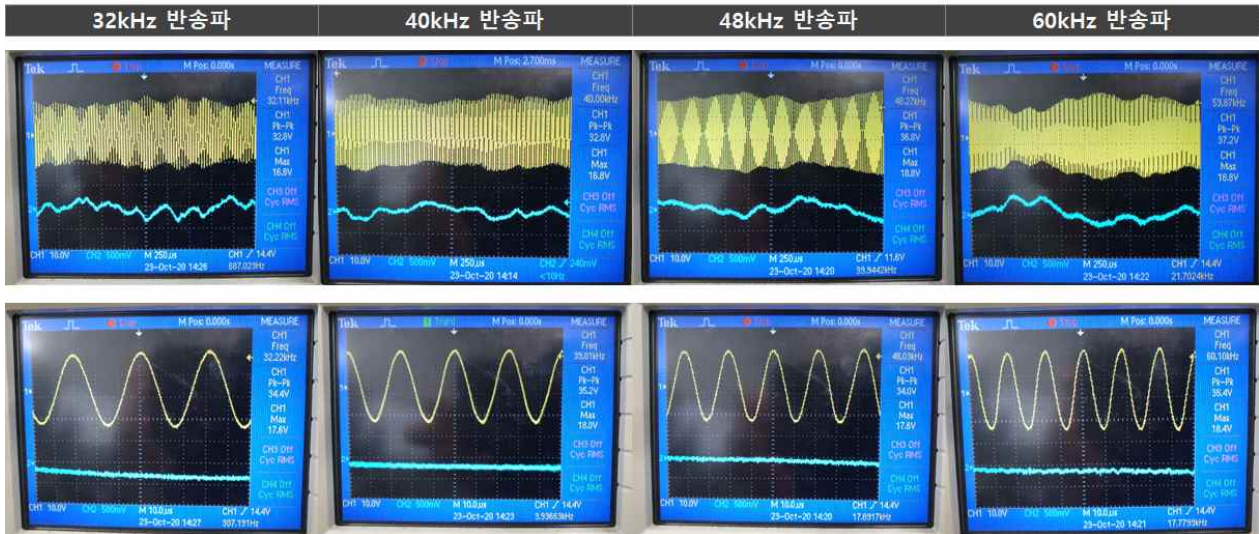


그림 26. 반송파의 주파수별 음원(초지향성/일반) 송출 결과

- 본 결과는 반송파의 주파수(32/40/48/60 kHz)에 따른 송출 특성을 보여줌
- 고주파수의 반송파일수록 지향성을 가지므로, 다양한 버스 환경과 사용 시나리오에 맞추어 반송파 주파수 최적화 가능

```
unResult = LibAUD_SETP_SetVolume(fCarLevel, fSndLevel, fGeneralSndRatio);
```

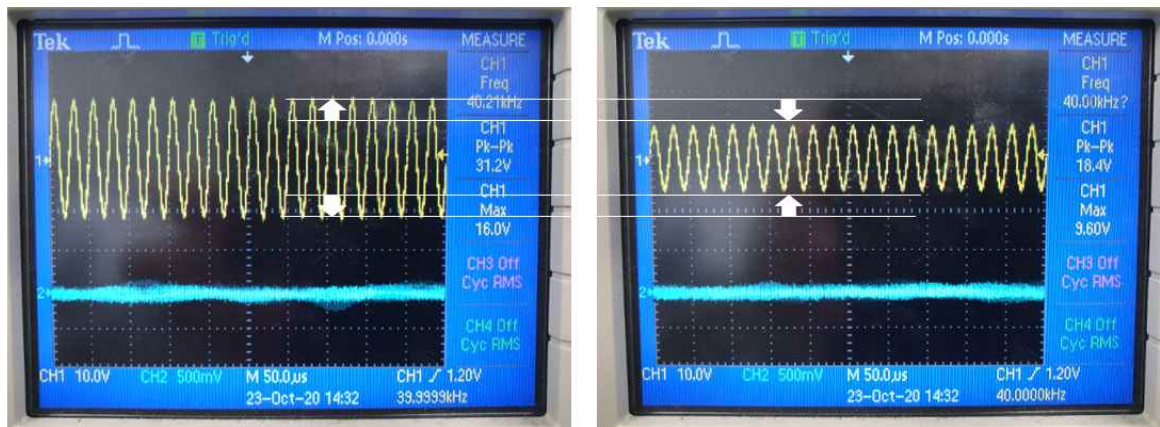
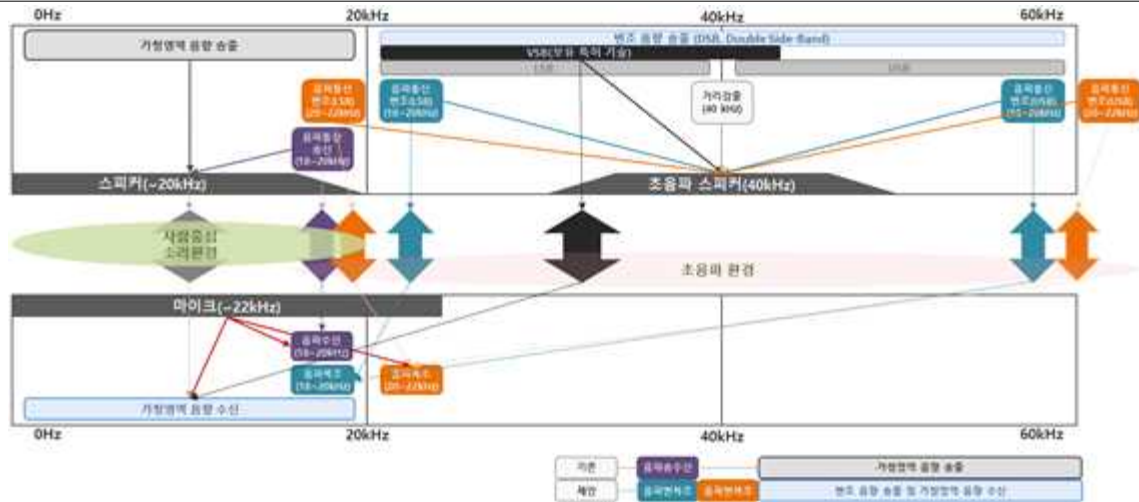
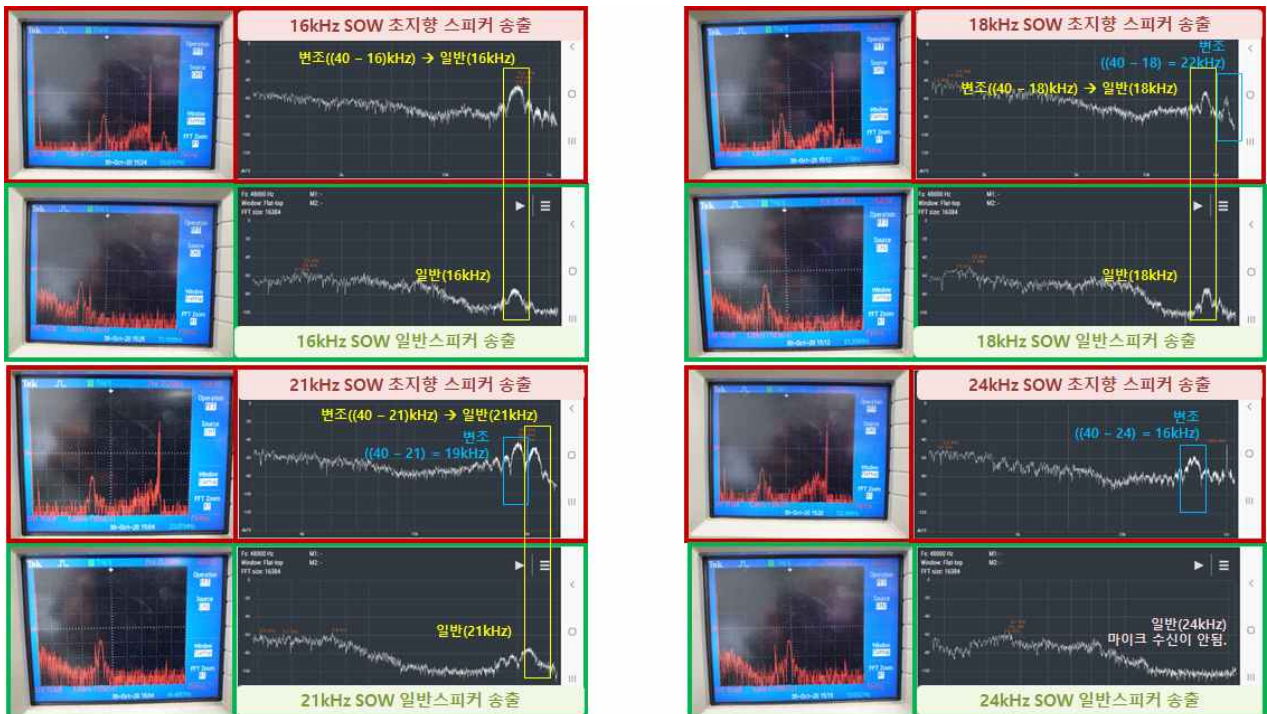


그림 27. 반송파의 세기 조정 송출 결과

- 본 결과는 반송파의 세기 조정의 결과를 보여줌
- 입력 음원의 경우는 약 1V 정도의 레벨의 차이에서도 작동하는 것 또한 확인 함



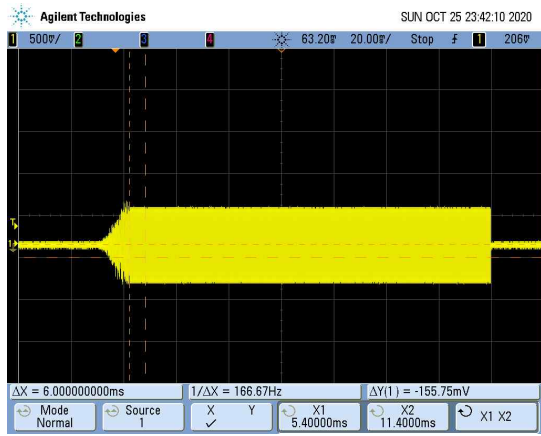
(a) 개념도



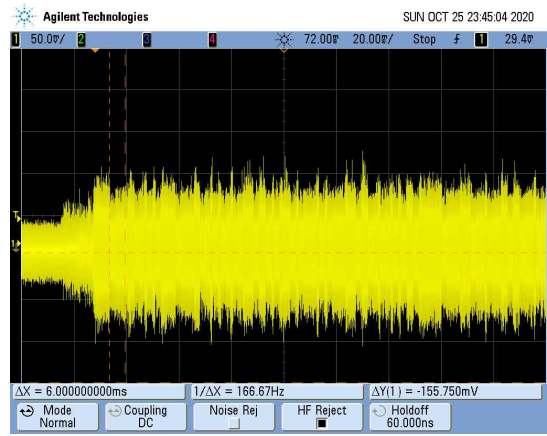
(b) 초지향 스피커 송출 / 일반 스피커 송출 시 주파수별 마이크 입력 특성

그림 28. 초지향성 스피커 적용 시 SOW 주파수의 확장 결과

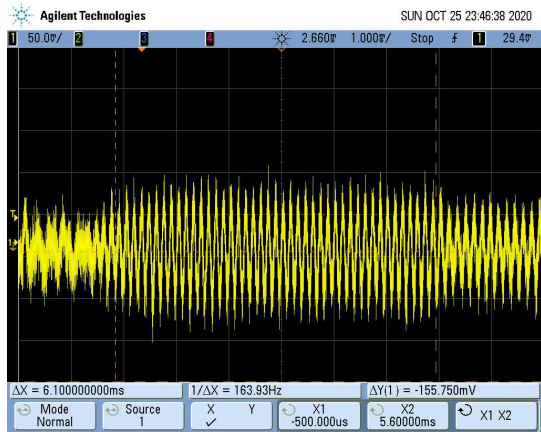
- 본 결과는 초지향성 스피커와 일반 스피커에서 SOW를 주파수별로 송출하고 이를 스마트폰에서 마이크 수신된 FFT에 대한 결과를 보여 줌
- 마이크에서는 22kHz까지 수신이 되며, 16kHz의 송출 시에는 변조 신호는 24kHz( $40 - 16 = 24\text{kHz}$ )이므로 변조신호가 일반화 된 16kHz만 수신됨
- 이러한 현상은 18kHz 미만까지 나타나며 18kHz 이상 24kHz미만의 경우에는 변조 신호도 함께 나타남
- 18kHz~20kHz와 20kHz~22kHz의 경우에는 일반화된 신호와 변조 신호의 위치가 서로 상반됨을 알 수 있으며 일반 스피커와의 스위칭으로 사용시에는 18kHz~22kHz 수신은 물론 SOW 구분까지 가능해 짐
- 22kHz~24kHz에서는 일반 스피커로 구현되지 않은 주파수 영역으로 초지향성 스피커로 구현이 가능해져 일반 가청 주파수뿐만 아니라 24kHz까지 적용이 가능해짐을 알 수 있음



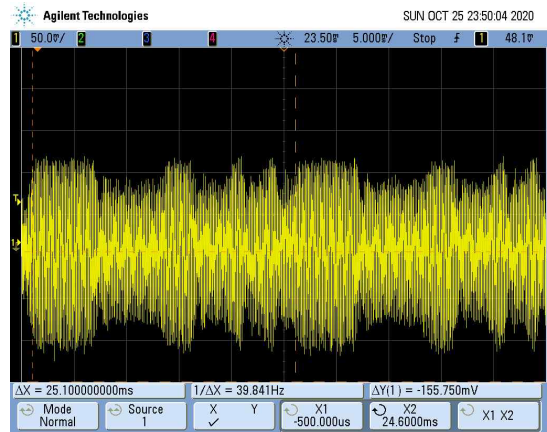
(a) dac를 통해 생성된 신호



(b) 수신부 마이크를 통해 수신된 음파신호



(c) 사인웨이브 확인



(d) 수신된 음파신호의 프리앰블

그림 29. 보안 기능이 강화된 Binary-CDMA 적용 신호 송수신

- Binary-CDMA를 사용하여 데이터를 spreading하여 SOW를 송신하였으며 DAC를 통한 전 기신호는 DSP처리하여 생성한 신호와 같음을 알 수 있음
- 음파신호발생기와 마이크를 통해 얻은 음파신호는 음파채널의 특성과 스피커 마이크의 특성과 관련하여 왜곡이 일어났고 멀티패스가 가장 중요한 왜곡 요인임을 알 수 있음

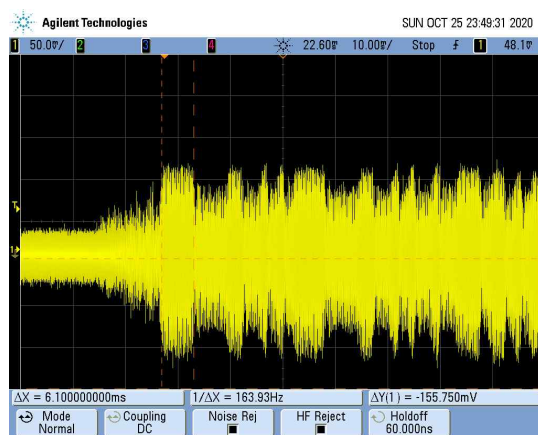


그림 30. 멀티패스 환경에서의 SOW 신호

- 멀티패스가 적은 환경은 비교적 음파의 amplitude가 일정하나 멀티패스 환경에서는 constructive 및 destructive하게 영향을 받아 amplitude가 출렁임을 알 수 있음

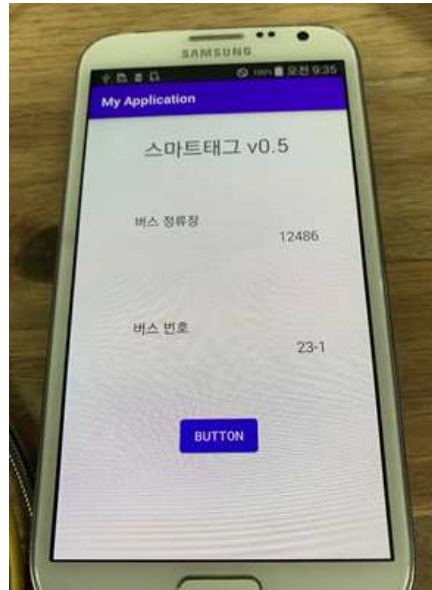


그림 31. 사운드태그 통신을 통한 데이터 수신(샘플 버전)

- 송신된 음파신호를 수신하여 본 과제에서 개발한 demodulation방식을 사용하여 데이터 수신 확인함

- SoDAR 기준 승하객 유무 파악 및 초음파/가청 음파 음원 송출 검증

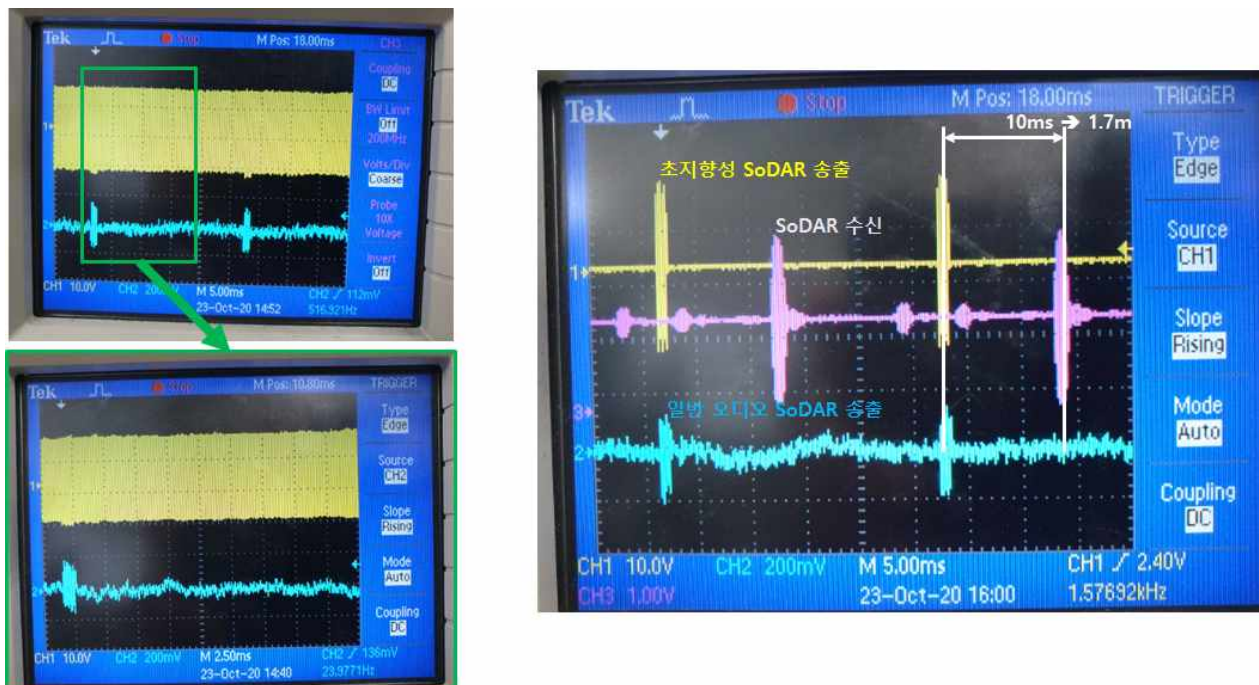


그림 32. SoDAR Tag 송출 및 수신 결과

- 본 결과는 타이머 기준 주기의 SoDAR Tag 송출(초지향성 : 노란색, 일반 오디오 : 하늘색)과 더불어 물체 인식 후 수신(핑크색)을 나타내며, 물체 혹은 사람까지의 간격에 따라 송출과 수신 간의 간격이 달라짐

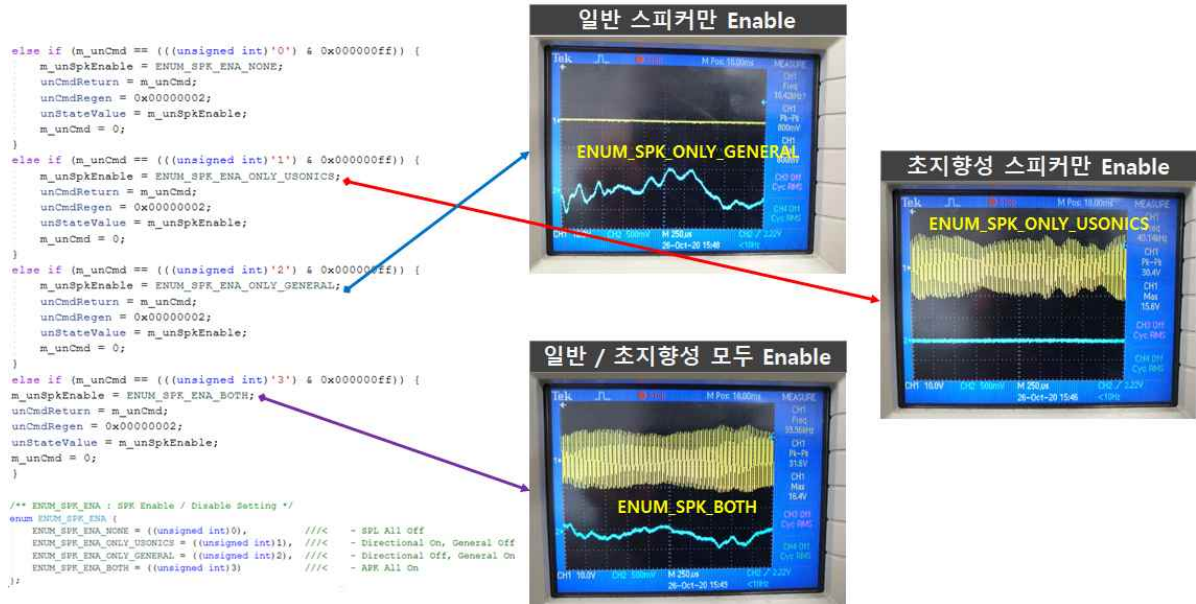


그림 33. 스피커 출력 결과

- 본 결과는 통신을 통한 스피커 출력을 보여 줌
- “0” key : 모두 OFF, “1” key : 초지향성 ON, “2” key : 일반 오디오 ON, “3” key : 모두 ON으로 제어가 됨을 확인 함

#### - 성능 확인

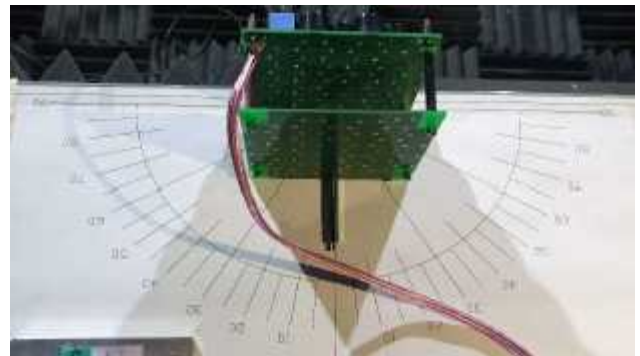
- 성능 및 성능시험을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 시험 환경을 기술함



(a) 음압 및 지향각도 시험환경 구성도



(b) 실제 음압 시험환경

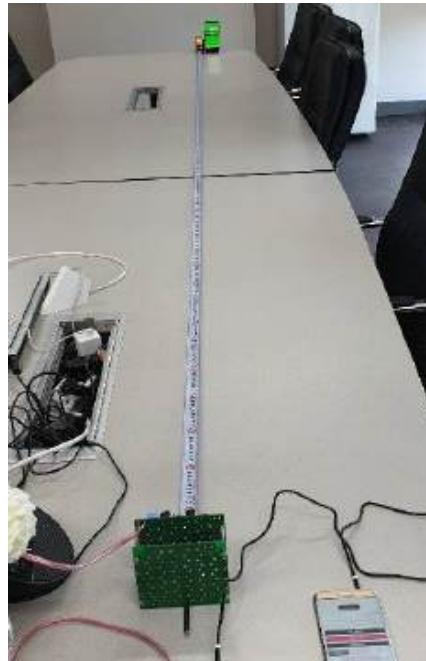


(c) 실제 지향각도 시험환경

그림 34. 음압 및 지향각도 시험환경



(a) 데이터 송수신 시험환경 구성도



(b) 실제 데이터 송수신 시험환경

그림 35. 실제 데이터 송수신 시험환경

- 시험대상 하드웨어 및 소프트웨어 규격은 다음과 같음

표 1. 시험대상

| 구분     | 규격                                                                                                                                                                     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 제조사    | (주)제이디솔루션                                                                                                                                                              |
| 사양     | Skeleton형 통합 하드웨어 / 압전 세라믹 셀(35EA)                                                                                                                                     |
| 용도     | 초지향성 스피커 사운드 태그 테스트용 보드                                                                                                                                                |
| 제품 이미지 |   |

- 시험을 수행하고 측정하기 위한 스마트폰의 하드웨어 및 소프트웨어의 규격은 아래와 같음

표 2. 스마트폰 1,2의 하드웨어 및 소프트웨어의 규격

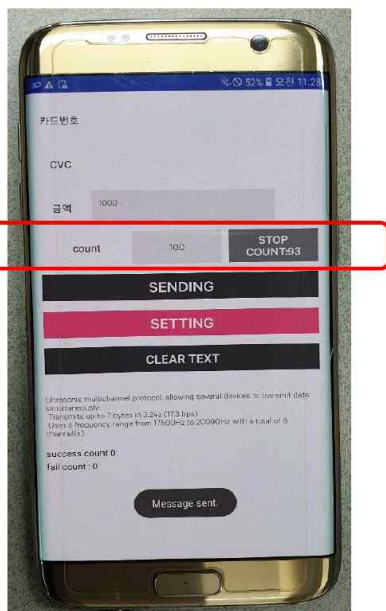
| 구분  | 규격                                |
|-----|-----------------------------------|
| 제조사 | 삼성전자                              |
| 사양  | 갤럭시 노트8(SM-N950N)                 |
| SW  | 안드로이드 OS Ver 9.0, 사운드태그 송수신 테스트 앱 |
| 용도  | 사운드 데이터 송신 및 수신                   |

| 구분  | 규격                                |
|-----|-----------------------------------|
| 제조사 | 삼성전자                              |
| 사양  | 갤럭시 S7 엣지(SM-G935K)               |
| SW  | 안드로이드 OS Ver 8.0, 사운드태그 송수신 테스트 앱 |
| 용도  | 사운드 데이터 송신 및 수신                   |

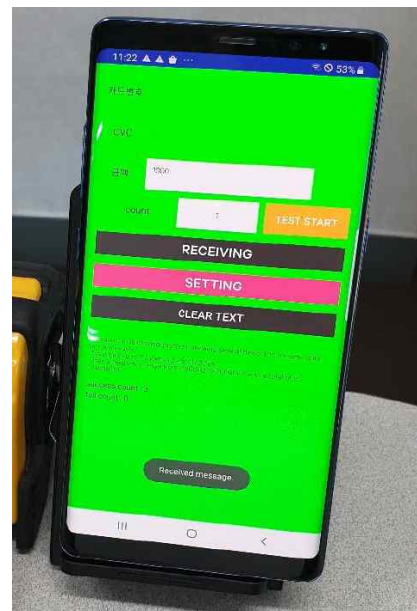
## - 시험 방법 및 결과

### [인식거리, 인식률 및 인식시간]

- 인식률이란 통합 하드웨어를 통하여 N번 동안 전송되는 사운드 데이터의 인식률(성공 횟수 /  $N * 100$ )을 의미하며 인식률이 95%이상인지 확인함
- 인식시간이란 통합 하드웨어를 통하여 송신한 사운드 데이터가 수신 완료되는 시간(sec)을 의미하며 인식시간은 1sec 이내인지 확인함
- 인식시간 확인을 위해 스마트폰2에서 인식 완료음 및 성공 횟수가 갱신되는지 확인하고 녹음파일을 통해 스마트폰2에서 성공 횟수가 갱신되는 시간 차이를 100회 반복하여 평균 인식시간을 계산 함
- 스마트폰1의 이어폰 단자(Out)를 3.5파이 케이블로 통합 보드의 이어폰 단자(In)에 연결하여 테스트 프로그램을 통하여 사운드 데이터를 출력
- 5m 거리에 있는 스마트폰2의 테스트 프로그램을 통하여 사운드 데이터를 수신(수신 장치는 스마트폰2의 마이크로폰을 이용)
- 시험 절차



(a)스마트폰1(송신) count 설정



(b) 스마트폰2(수신)에서  
사운드 데이터 수신 확인

그림 36. 스마트폰 송신 설정 및 수신 확인

- (1) 스마트폰1(그림 36. (a) 참조)에서 count를 100회로 설정함
- (2) 스마트폰1에서 SEND 버튼을 클릭
- (3) 스마트폰2(수신)에서 사운드 데이터가 수신되는지 확인 함(그림 36. (b) 참조)
- (4) 스마트폰1에서 1에서 100회의 사운드 데이터를 모두 송신 후 스마트폰 2에서 수신한 사운드 데이터 개수를 t성공 횟수를 통해 확인함

- 시험 결과

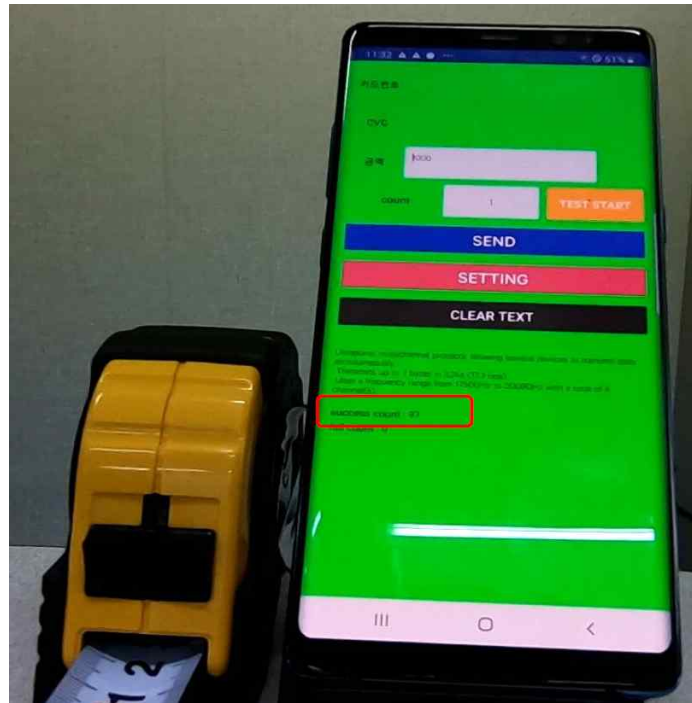


그림 37. 스마트폰2(수신)에서 사운드 데이터 수신 결과

- 성공 횟수가 97로 5m 거리에서 97% 성공 확률로 95%이상 목표 달성

표 3. 인식속도 시험 결과

| 시험<br>회차 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 100회<br>평균 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| 1        | 0.94 | 0.88 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.94 | 0.91 | 0.94 | 0.92 | 0.95 |            |
| 2        | 0.89 | 0.94 | 0.89 | 0.93 | 0.84 | 0.91 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.89 |            |
| 3        | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.92 | 0.89 | 0.93 | 0.96 | 0.95 | 0.91 | 0.94 |            |
| 4        | 0.92 | 0.9  | 0.95 | 0.91 | 0.95 | 0.94 | 0.95 | 0.89 | 0.94 | 0.94 |            |
| 5        | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.94 | 0.92 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.9  | 0.94 |            |
| 6        | 0.95 | 0.95 | 0.87 | 0.95 | 0.91 | 0.94 | 0.92 | 0.93 | 0.96 | 0.91 |            |
| 7        | 0.89 | 0.9  | 0.92 | 0.94 | 0.9  | 0.96 | 0.92 | 0.95 | 0.94 | 0.92 |            |
| 8        | 0.97 | 0.92 | 0.93 | 0.92 | 0.95 | 0.89 | 0.94 | 0.9  | 0.91 | 0.93 |            |
| 9        | 0.93 | 0.94 | 0.91 | 0.84 | 0.87 | 0.92 | 0.91 | 0.92 | 0.92 | 0.95 |            |
| 10       | 0.87 | 0.91 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.95 | 0.91 | 0.94 | 0.94 |            |
| 평균       | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.92       |

- 100회에 대한 인식시간의 평균은 0.92sec로 1sec 이내의 목표 달성

## [지향각도 및 음압]

- 음압이란 통합 하드웨어를 통하여 송출되는 음압이 1m 거리의 정면(0도)에서 측정되는 음압을 의미하며 지향각도란 0도 측정 음압 대비 음압이 3dB이상 감소하는 각도를 의미함
- 음압 85dB이상 지향각  $\pm 8$ 도 이내를 확인 함
- 본사의 무향실에 통합 하드웨어를 설치하고 음원출력기를 연결하여 1kHz의 음원을 입력 함
- 실험의 정확도를 높이기 위해 음압 측정기에 노트북을 연결하여 무향실 밖에서 음압 측정
- 시험 절차
  - (1) 통합 하드웨어를 0도에 두고 음압을 측정
  - (2) 통합 하드웨어를 +8도에 두고 음압을 측정
  - (3) 통합 하드웨어를 -8도에 두고 음압을 측정
  - (4) (1)~(3) 절차를 100회씩 반복하여 기록
- 시험 결과



그림 38. 지향각도 및 음압 측정

표 4. 지향각과 음압에 대한 시험 결과

| 0도(DB)<br>시험회차 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 최종<br>평균 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1              | 88.9 | 88.7 | 88.8 | 88.9 | 88.8 | 89   | 88.6 | 88.9 | 88.7 | 88.9 |          |
| 2              | 89.1 | 88.8 | 88.9 | 89   | 88.9 | 88.9 | 89   | 89.1 | 88.9 | 89.1 |          |
| 3              | 88.8 | 88.7 | 89.1 | 88.7 | 88.9 | 88.8 | 88.4 | 89.2 | 88.8 | 89.2 |          |
| 4              | 89.2 | 88.9 | 89.1 | 88.7 | 89.1 | 88.9 | 88.9 | 88.9 | 88.7 | 88.7 |          |
| 5              | 89.1 | 89.1 | 88.7 | 88.9 | 88.9 | 88.7 | 88.7 | 88.9 | 88.8 | 88.8 |          |
| 6              | 88.7 | 88.8 | 88.8 | 88.8 | 88.8 | 89.2 | 88.7 | 89.1 | 88.7 | 88.7 |          |
| 7              | 88.6 | 88.5 | 88.9 | 88.7 | 88.7 | 88.7 | 88.7 | 88.4 | 89.1 | 88.9 |          |
| 8              | 88.4 | 89.2 | 88.7 | 88.9 | 88.7 | 88.9 | 89.1 | 89.2 | 89   | 88.5 |          |
| 9              | 89.4 | 88.6 | 89.2 | 89.1 | 88.8 | 88.7 | 89.2 | 88.5 | 88.8 | 88.8 |          |
| 10             | 89.1 | 88.9 | 88.9 | 89.2 | 88.7 | 89   | 89.1 | 89.2 | 88.7 | 88.9 |          |
| 평균             | 88.9 | 88.8 | 88.9 | 88.9 | 88.8 | 88.9 | 88.8 | 88.9 | 88.8 | 88.9 | 88.9     |

| +8도(DB)<br>시험회차 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 최종<br>평균 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1               | 74.4 | 73.7 | 73.8 | 73.7 | 73.9 | 74.2 | 74.1 | 73.9 | 73.5 | 73.8 |          |
| 2               | 73.4 | 73.9 | 73.6 | 73.9 | 73.1 | 73.8 | 74.1 | 73.7 | 73.9 | 73.8 |          |
| 3               | 73.5 | 73.1 | 74.2 | 73.4 | 73.9 | 73.9 | 73.7 | 74.1 | 74.1 | 73.5 |          |
| 4               | 73.8 | 74.1 | 73.8 | 73.9 | 73.5 | 73.7 | 73.8 | 73.9 | 73.7 | 73.9 |          |
| 5               | 73.9 | 74.2 | 73.9 | 73.7 | 73.9 | 73.9 | 73.5 | 74.1 | 73.8 | 74.3 |          |
| 6               | 74.1 | 73.8 | 73.7 | 74.1 | 74   | 73.7 | 73.9 | 74   | 74.2 | 73.9 |          |
| 7               | 73.7 | 73.7 | 73.9 | 73.9 | 74.1 | 73.9 | 73.5 | 73.5 | 73.5 | 73.8 |          |
| 8               | 73.9 | 73.5 | 73.5 | 73.8 | 73.5 | 73.5 | 73.9 | 73.8 | 73.8 | 73.7 |          |
| 9               | 73.8 | 73.9 | 74.2 | 73.5 | 73.9 | 73.4 | 74.3 | 73.8 | 74.1 | 73.7 |          |
| 10              | 73.9 | 73.5 | 73.9 | 73.9 | 73.8 | 73.8 | 74.1 | 73.5 | 74.2 | 73.8 |          |
| 평균              | 73.8 | 73.7 | 73.9 | 73.8 | 73.8 | 73.8 | 73.9 | 73.8 | 73.9 | 73.8 | 73.8     |

| +8도(DB)<br>시험회차 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 최종<br>평균 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1               | 73.5 | 73.4 | 73   | 73.1 | 73.2 | 73.8 | 73.4 | 73.1 | 73.3 | 73.1 |          |
| 2               | 73.2 | 73.9 | 73.8 | 73.2 | 73   | 73.4 | 73.5 | 73.2 | 73.5 | 73.6 |          |
| 3               | 73.5 | 73.4 | 73.1 | 73   | 73.5 | 73.5 | 73.5 | 73.5 | 73.2 | 73.5 |          |
| 4               | 73.4 | 73.1 | 73.6 | 73.7 | 73.8 | 73.6 | 73.6 | 73.6 | 73.8 | 73.4 |          |
| 5               | 73.8 | 73.2 | 73.5 | 73.5 | 73.5 | 73.4 | 73.5 | 73.7 | 73.5 | 73.8 |          |
| 6               | 73.3 | 73.6 | 73.4 | 73.4 | 73.5 | 73   | 73.4 | 73.1 | 73.5 | 73.1 |          |
| 7               | 73.5 | 73.8 | 73.8 | 73.6 | 73.4 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.6 | 73.2 |          |
| 8               | 73.6 | 73.4 | 73.1 | 73.2 | 73.6 | 73.4 | 73.6 | 73.5 | 73.7 | 73.1 |          |
| 9               | 73.4 | 73.1 | 73.2 | 73.1 | 73.4 | 73.2 | 73.4 | 73.5 | 73.4 | 73.2 |          |
| 10              | 73.3 | 73.4 | 73.1 | 73.2 | 73.5 | 73.5 | 73.5 | 73.6 | 73.4 | 73.2 |          |
| 평균              | 73.5 | 73.4 | 73.4 | 73.3 | 73.4 | 73.4 | 73.5 | 73.4 | 73.5 | 73.3 | 73.4     |

- 시험결과 ±8도 음압 측정 평균치가 약15dB 차이가 나고 음압 평균치는 88.9dB로 지향각도 ±8도 이내, 음압 85dB 이상 목표 달성

---

– 시험 결과 요약

- 본 과제 결과물에 대한 기능 및 성능 확인을 위한 시험 방법과 절차에 따라 시험한 결과는 아래와 같음

– 시험대상 : 2차년도 과제 결과물

표 5. 시험 결과 요약

| 번호 | 시험항목(성과지표) | 판정기준(목표) | 시험결과      |
|----|------------|----------|-----------|
| 1  | 인식거리       | 5m       | 5m 확인     |
| 2  | 인식률        | 95%      | 97%       |
| 3  | 인식시간       | 1sec     | 0.92sec   |
| 4  | 지향각도       | ±8도      | ±8도 이내 확인 |
| 5  | 음압         | 85dB     | 88.9dB    |

### ○ 3차년도

#### – 사운드태그 음파통신 DSP 알고리즘 개발

- 음파를 매개로 하는 통신을 위해서는 매체가 되는 공기에서의 음파의 전달 특성을 분석하여 적합한 통신 알고리즘을 구현하여야 함
- 그림과 같이 대기중의 공기를 매개로 하는 음파의 특성은 고속의 데이터를 전송하기에 많은 취약점이 있음을 보여줌
- LOS(line of sight)의 경우 전송된 음파가 대부분 수신이 되고 뒤이어 여러 멀티패스를 통한 잔향성분의 신호를 수신함

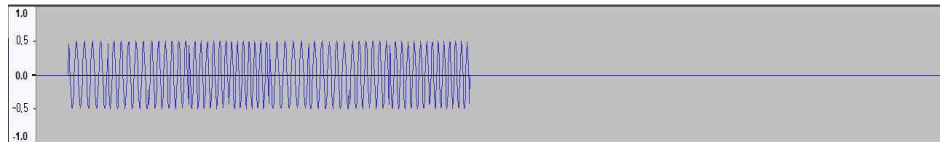


그림 39. 사운드태그를 위한 송신음파

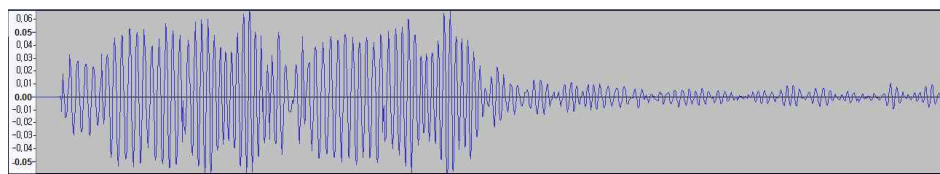


그림 40. LOS 상황(마이크와 스피커가 마주보고 있는 경우)

- LOS(line of sight)상황이 아닌 경우 전송된 음파가 대부분 여러 멀티패스를 통한 잔향성분의 신호임

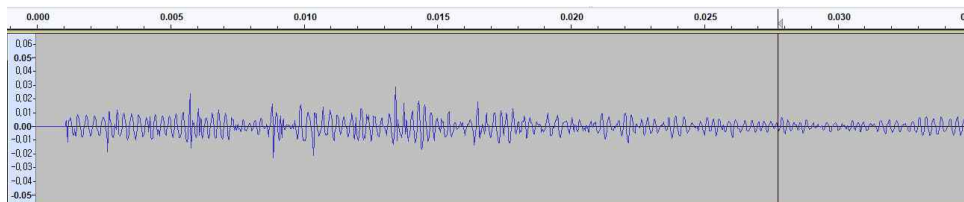


그림 41. 반사파가 많은 경우(지향성 마이크가 스피커와 180도 틀어진 경우)

- 음파를 전송하기 위한 채널의 임펄스응답이 전송하고자 하는 신호에 비해 아주 큰 지연응답을 보여 주고 있고 이는 음파통신을 위해 극복해야 하는 과제임.
- 대기중의 공기를 매개로 하는 음파통신은 공기중에서의 음파의 속도, 반사율, 거리당 감쇄의 특성을 고려하여 설계함

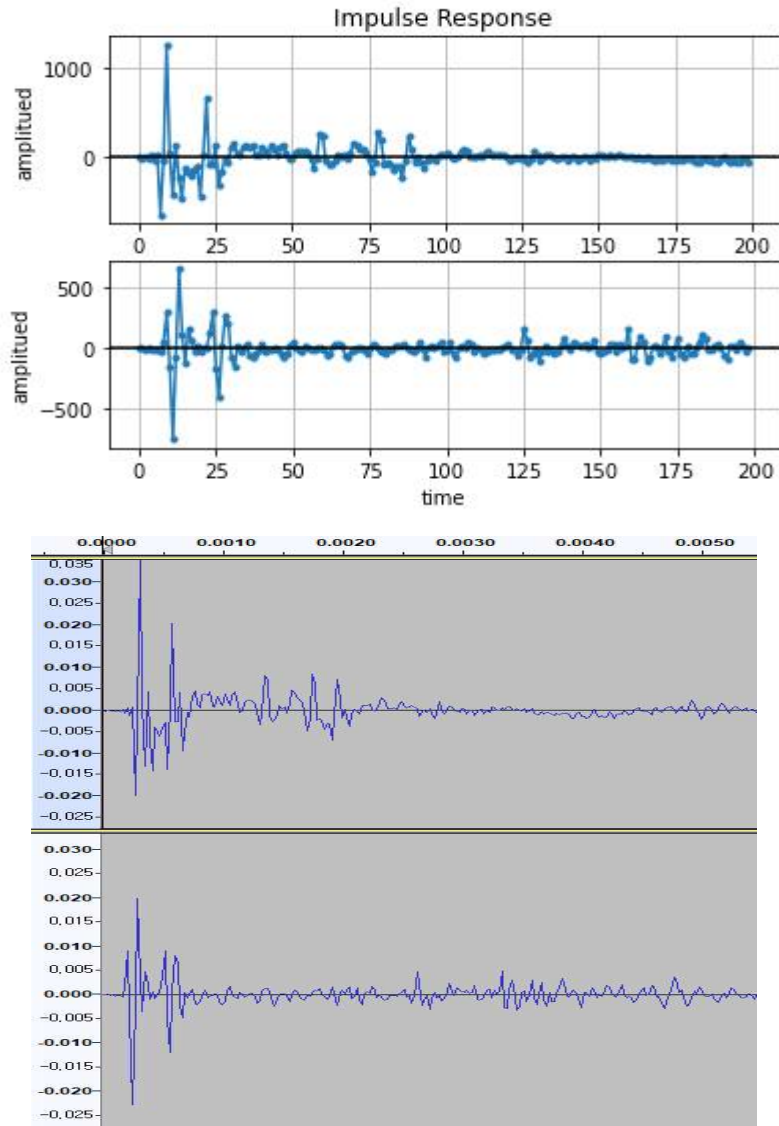


그림 42. 음파채널의 임펄스응답

#### - 음파를 매개로 하는 채널의 특성을 극복하기 위한 알고리즘 구현

- 음파라는 채널이 반사가 심하여 고속의 데이터 전송을 위한 ISI를 극복해야 하는 문제를 해결해야 함
- OFDM과 같은 멀티캐리어 변조방식이 다중경로를 통한 긴 지연의 채널특성에 용이하나 음파의 특성상 인접 주파수도 채널 특성이 동일하지 않음을 발견함
- 이는 기존통신에서 사용하고 있는 Pilot을 전송하여 EQ처리하는 문제가 있음을 보여주고 이를 극복하기위한 알고리즘을 개발하여야 함
- 고속의 데이터를 전송하기 위해 대역폭을 넓힐 경우 음파에 항상 노이즈가 섞여 있을 확률이 매우 높음
- 통신방식은 비동기 방식의 OFDM구조를 채택하기로 하였고 M-FSK와 비슷한 알고리즘을 적용하기로 함
- 데이터를 보내기 위한 심볼을 구성하기위해 128sample부터 1024sample을 변경하면서 가장 최적의 심볼 샘플수를 결정하고 이러한 심볼을 여러개의 주파수를 사용하여 서로 간섭이 없게 하였음
- 이때 심볼의 시간축 샘플수를 늘리면 주파수축에서 해상도가 증가하여 심볼과 심볼 사이를 증가시킬 수 있어 채널의 긴 지연에 대비할 수 있음

1sample@48KHz의 시간 : 21uS  
 512 sample의 심볼 타임 : 10mS,  
 1024 sample의 심볼 타임 : 20ms  
 1204 sample을 사용하는 경우 심볼이 차지하는 주파수 대역폭은  
 $48\text{KHz}/512 = 93.75\text{Hz}$  (약 100Hz)  
 이때 10개의 톤을 사용할 경우 1KHz의 대역을 사용

- 다음 그림은 1024sample을 심볼로 하는 각기 다른 주파수로 생성된 심볼을 순차적으로 전송한 데이터를 분석한 것임

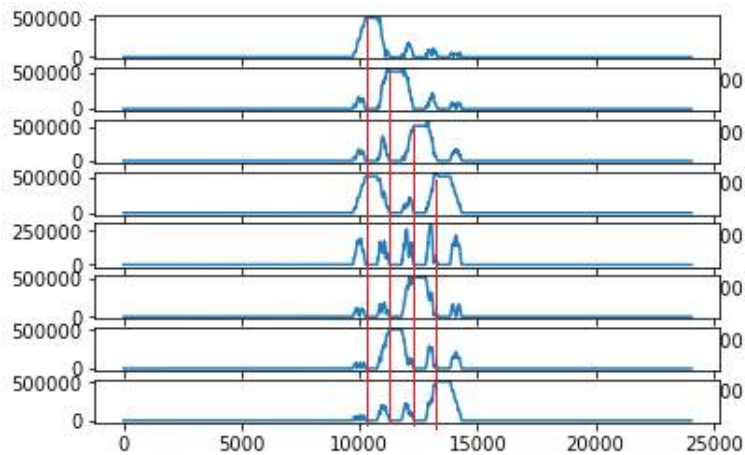


그림 43. 생성된 데이터심볼을 복조한 시뮬레이션

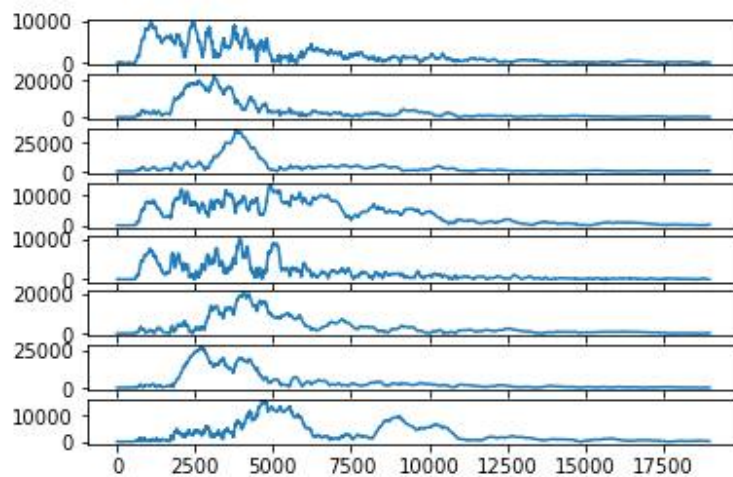


그림 44. 심볼간 채널간격을 2으로 한 경우

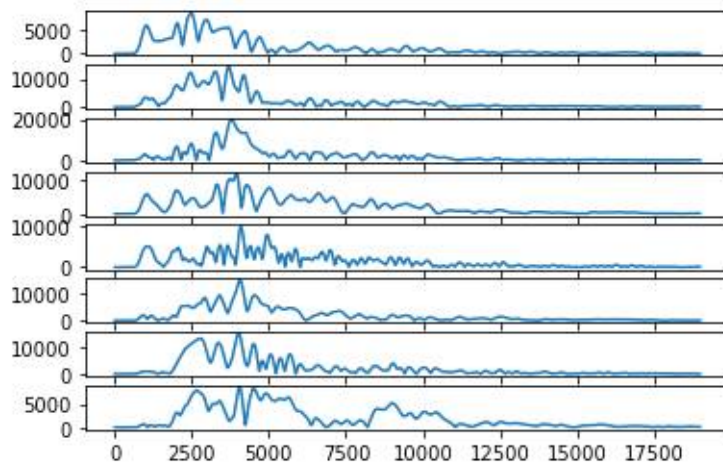


그림 45. 채널간격을 2로 하고 입력 심볼에 hanning windowing을 취한 경우

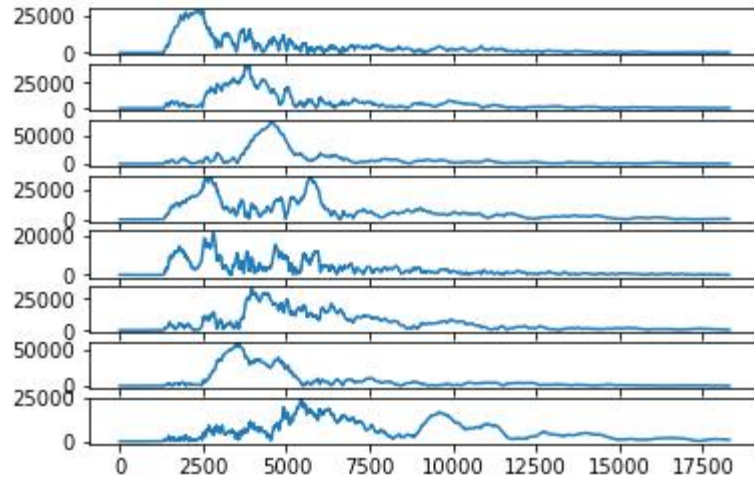


그림 46. 채널간격을 2로 하고 심볼 생성시 각각의 캐리어의 위상을 '0'으로 시작한 경우

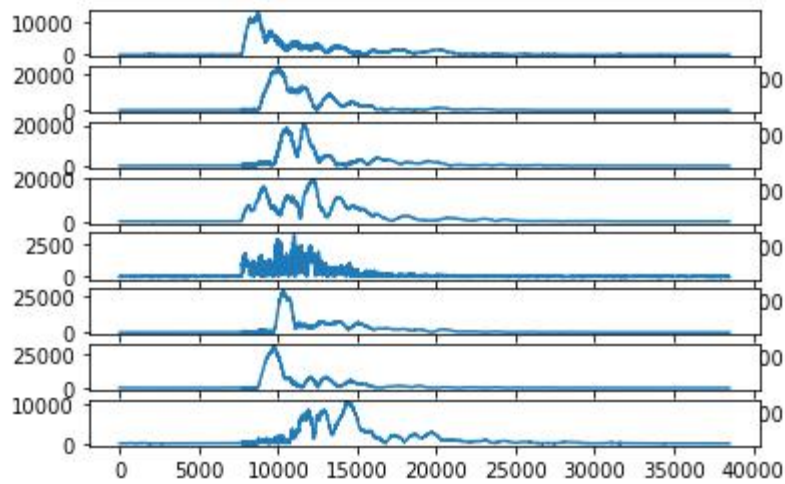


그림 47. 채널간격을 10으로 한 경우

- 각각의 다른 인접 주파수 채널에 보낸 심볼들이 각각의 수신 시점에서 데이터를 복조할 수 있음을 보여줌
- 위의 생성된 데이터 심볼을 음파로 송신하여 공간에서 여러 반사된 경로로 수신한 데이터의 파형은 다음과 같음

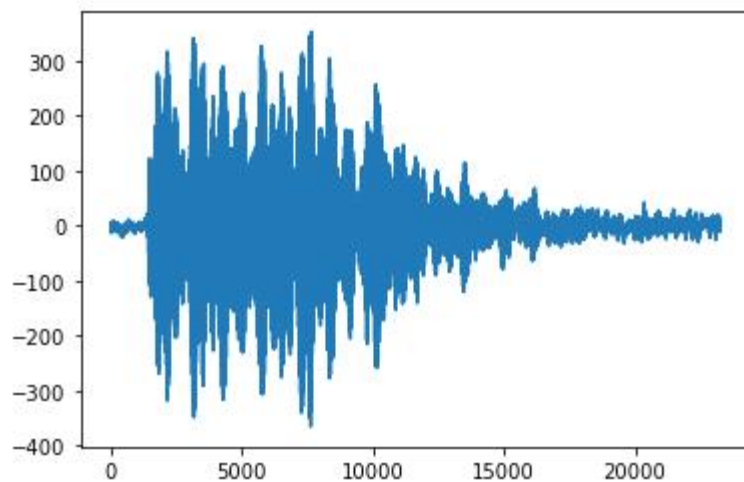


그림 48. 수신데이터 파형

## - 사운드태크 시뮬레이션과 실환경 테스트

- 멀티패스만 존재하는 환경(LOS 상황이 아닌 경우)을 구축하여 테스트한 결과임



그림 49. 사운드태그 음파통신 테스트

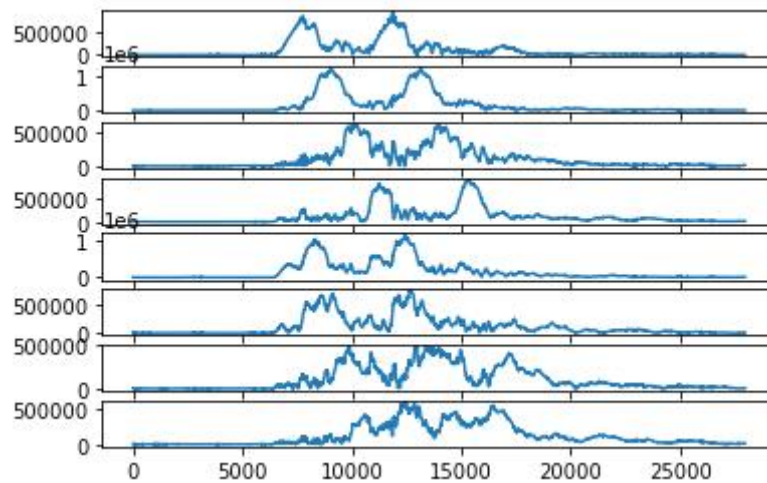


그림 50. 1심볼은 1024샘플, 1.2kHz대역 심볼간격 4의 수신 신호

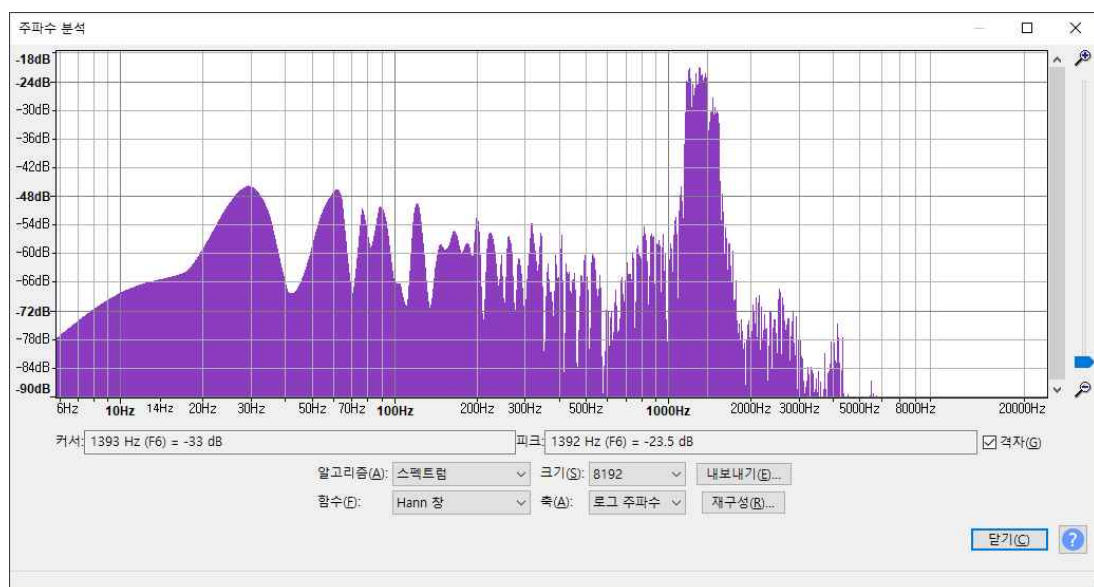


그림 51. 1심볼은 1024샘플, 1.2kHz대역 심볼간격 4의 주파수 특성

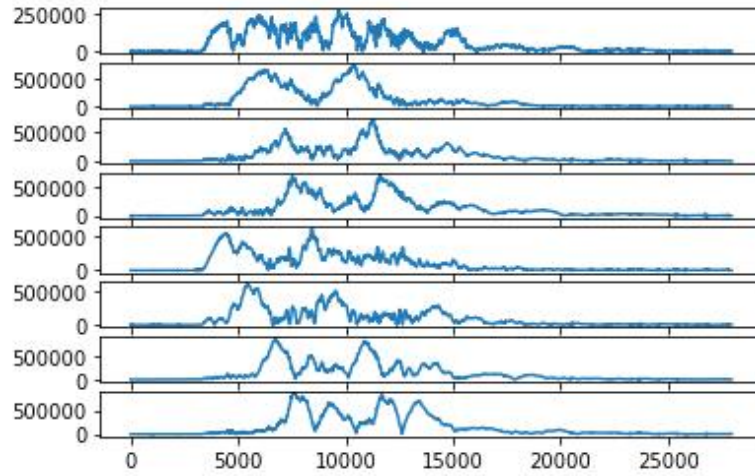


그림 52. 1심볼은 1024샘플, 2.5kHz대역 심볼간격 4의 수신 신호

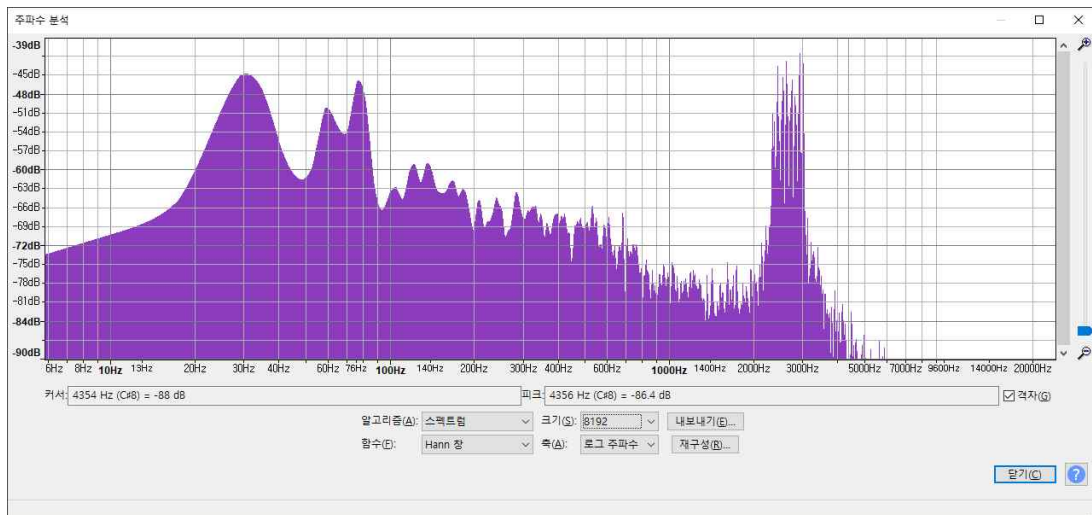


그림 53. 1심볼은 1024샘플, 2.5kHz대역 심볼간격 4의 주파수 특성

#### - 사운드태그 송신부 기술 개발

- 공기중 음파통신의 여러 단점에도 불구하고 단거리 저속데이터 전송을 목표로 적절한 기술을 발명하면 신뢰성 있는 통신이 가능하며 이는 FinTech에 활용될 경우 스마트카드 및 QR코드와 같은 매체를 대신 할 수 있음
- 20Hz ~ 20KHz 대역에서의 통신은 비록 대역폭이 작으나 각각의 대역의 채널 특성은 서로 독립적인 문제가 있어 기존 디지털통신에서 활용했던 동기식 데이터 전송은 적합하지 않기 때문에 비동기방식의 통신을 사용
- 또한 비동기 통신 방식은 위상의 변화를 감지하는 Phase shift key과 같은 방식은 적절하지 못함

#### - 사운드태그 음파송신을 위한 데이터 심볼 구성

- 전송하고자 하는 데이터를 적절히 조합하여 여러 주파수대역에 나누어서 전송하는 방법을 사용함
- 각각의 주파수에 변조된 신호(심볼)는 다음 신호(심볼)를 전송하기 위해서 채널의 지연시간보다 더 긴 시간을 유지하고 전송해야 함

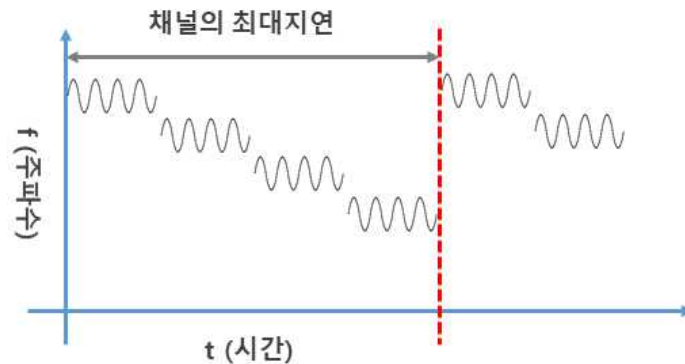


그림 54. 채널의 최대지연을 고려한 심볼매핑

- 기존 전파를 매체로 하는 주된 통신방식은 공기를 매질로 하는 음파통신에는 적합하지 않으며 음파에 최적화된 적절한 통신 방식이 필요함
- 심볼의 길이를 길게 하면 주파수도메인에서 해상도를 향상할 수 있음 (주파수 해상도는  $1/T$ 에 비례,  $T$ :심볼의 길이)
- 데이터 심볼은 주파수에 서로 직교하는 sinusoidal wave를 생성하여 구성함
- 이 방법은 주파수도메인에서 아주 sharp한 band pass filter를 구현하지 않고도 수신한 주파수의 에너지를 detection하기 쉬움

#### - 사운드태그 음파송신시 데이터 보안을 위한 기술 개발

- 전송하고자 하는 데이터를 적절히 조합하여 여러 주파수대역에 나누어서 전송하는데 이때 주파수대역을 hopping하게 하고 hopping 패턴을 다양하게 조작하여 보안성을 강화함

- 사운드태그 음파송신시 프레임 동기를 위한 기술개발



그림 55. 주파수 도메인에서의 프레임 동기

- 기존 디지털 통신에서는 프레임동기를 잡기 위해서 Preamble과 같이 데이터(심볼)의 천이를 이용하여 프레임의 시작을 찾으나 음파통신의 경우 멀티패스와 채널의 지연이 너무 길어 시간도메인에서의 천이를 이용한 프레임 동기를 잡을 수 없음
- 주파수 도메인에서 자연적으로 발생하기 힘든 주파수 패턴을 생성하여 기존 노이즈 및 데이터와 구분하여 프레임동기화 가능
- ISO 7 layer의 물리층에 해당하는 음파송수신은 burst noise로 인해서 부분적 오류가 발생할 수 있으며 이는 상위 layer에 오류정정코드를 사용하여 극복할 수 있음
- 상위 layer에서 들어온 데이터를 스크램블하여 보안을 강화할 수 있음
- 심볼의 전송을 위해 주파수를 변경할 때 무작위 hopping 패턴을 만들어 보안을 강화함

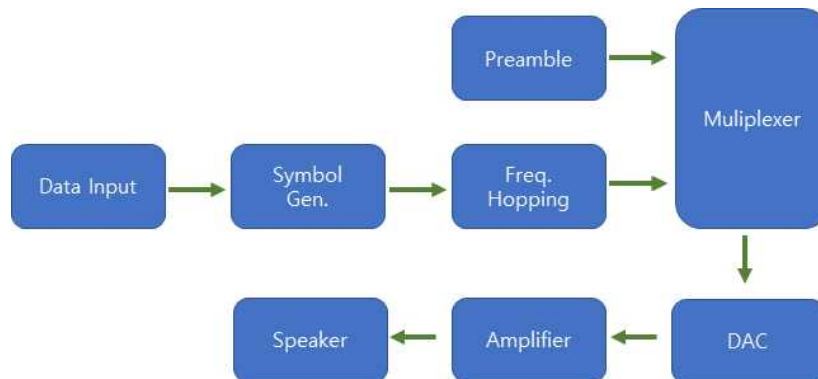


그림 56. 사운드태그 송신부 블록다이어그램

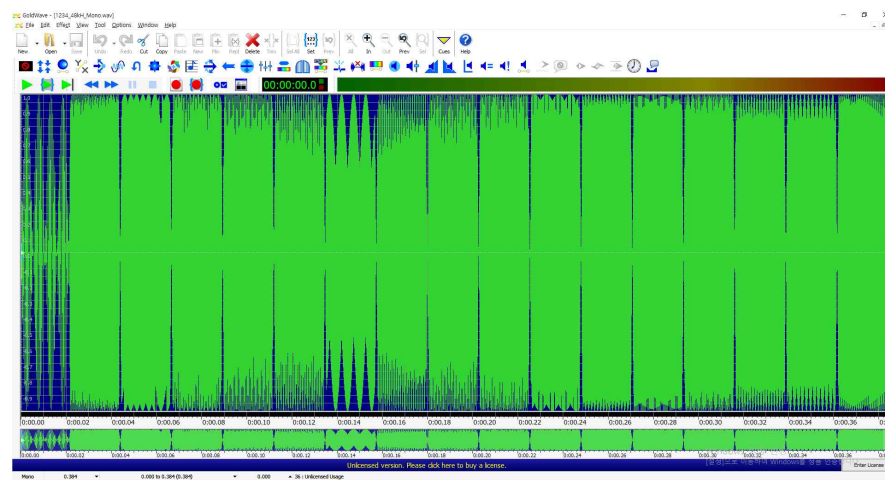


그림 57. 사운드태그 송신된 음파신호

## - 사운드태그 수신부 기술 개발

- 수신부는 다음의 블록다이어그램과 같이 구성되어 있음

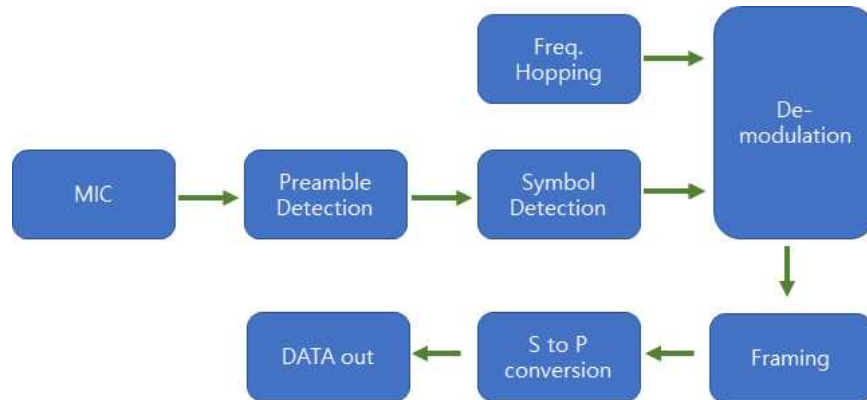


그림 58. 사운드태그 수신부 블록다이어그램

- 일반 마이크를 통해 들어온 음파신호는 Preamble을 detection하는 부분에서 계속적으로 들어온 음파가 송신된 음파인지 확인함
- 이때 Preamble은 일반적인 RF통신에서 사용하는 시간축에서의 신호의 천이 방식으로서는 사용될 수 없어 본 과제를 통해 연구된 주파수 축에서의 패턴을 사용함
- Preamble detection부를 통과한 음파신호는 주어진 주파수 hopping 테이블을 참조하여 심볼을 수신후 복조함
- 복조된 신호는 Framing부에서 보내온 음파의 Framing과 일치하는지 확인한 후 Serial to Parallel 과정을 거쳐 송신된 data로 복원됨
- 이때 마이크에서 수신된 음파신호는 각각의 경우 음파의 세기가 동일하지 않으므로 다음과 같은 공식의 Normalized Cross Correlation을 수행함

$$NCC = \cos \theta = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}||\mathbf{b}|} = \frac{\sum_i a_i b_i}{\sqrt{\sum_i a_i^2} \sqrt{\sum_i b_i^2}},$$

$$-1 \leq NCC \leq 1.$$

그림 59. Normalized Cross Correlation 공식

- 다음 그림은 사운드태그 수신부를 윈도우즈 애플리케이션 형태로 개발한 것임
- 마이크를 통해 들어오는 신호를 여러 단계로 구성하여 실환경에서 최적의 파라미터를 찾기 위해 개발 되었음

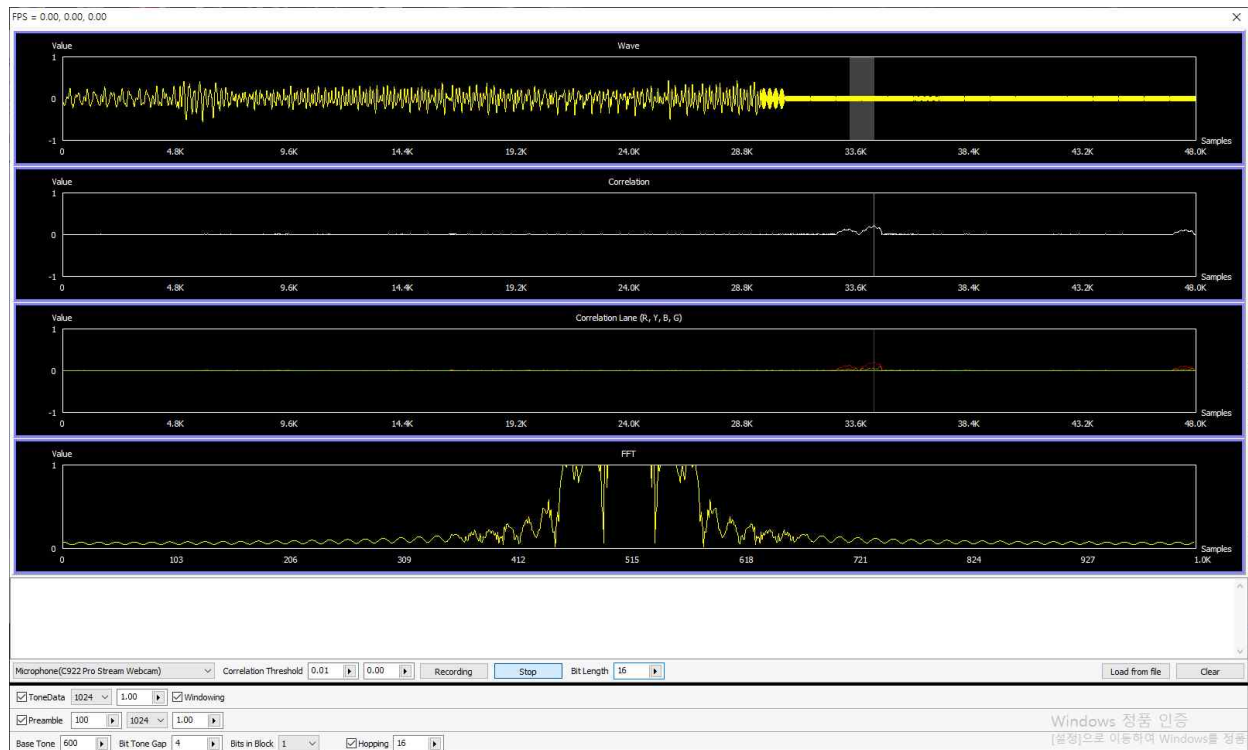


그림 60. 사운드태그 음파수신 처리부-수신된 음파의 신호가 양호한 경우

- 마이크를 통해 들어온 음파신호가 양호한 경우 송신한 음파의 프레임동기를 잡을 수 있는 신호가 검출됨을 알 수 있음

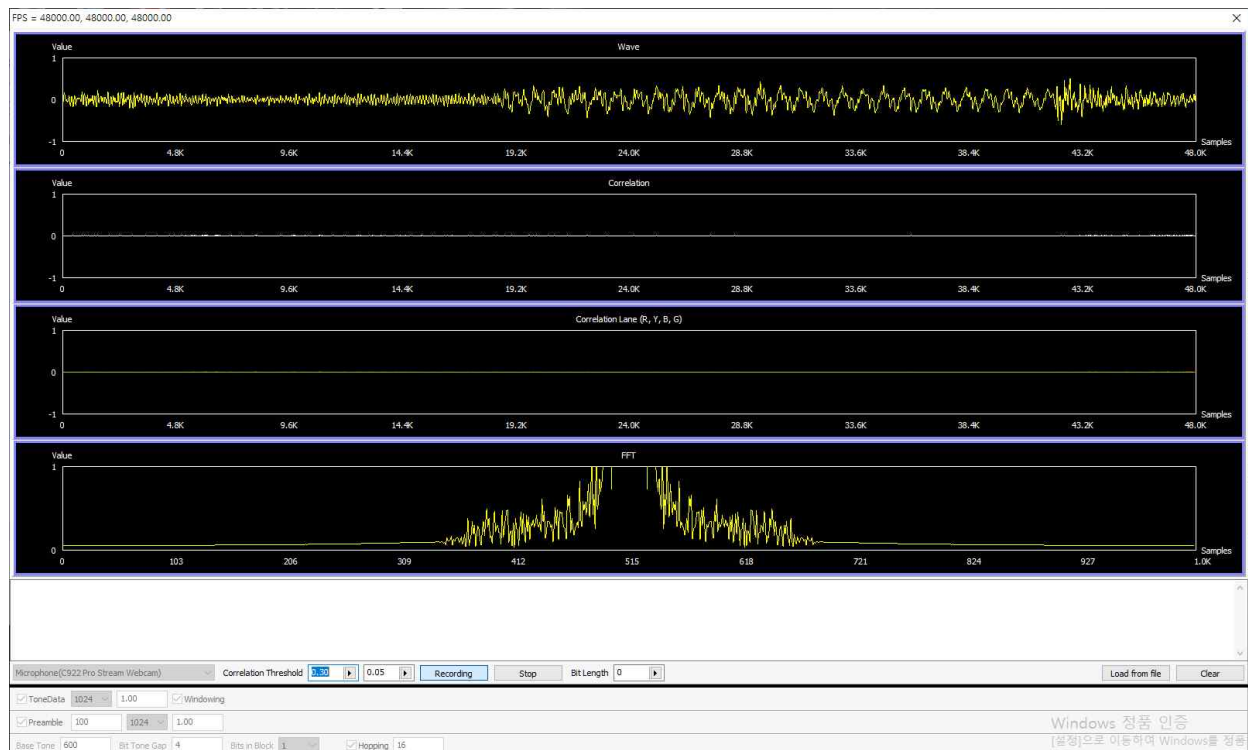


그림 61. 음파수신 처리부-수신된 음파의 신호와 노이즈가 작은 경우

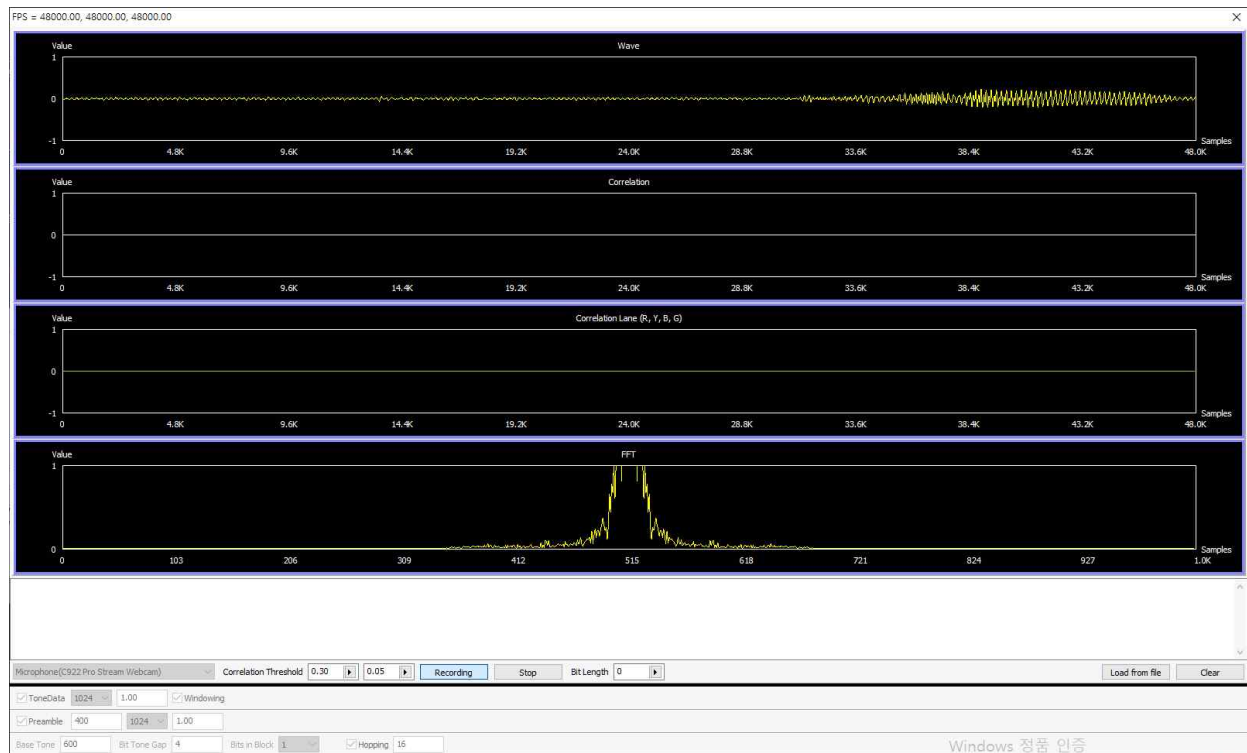


그림 62. 음파수신 처리부-수신된 음파의 노이즈가 신호보다 큰 경우

---

- 사운드태그 수신 앱개발

- Android 기반 앱 개발

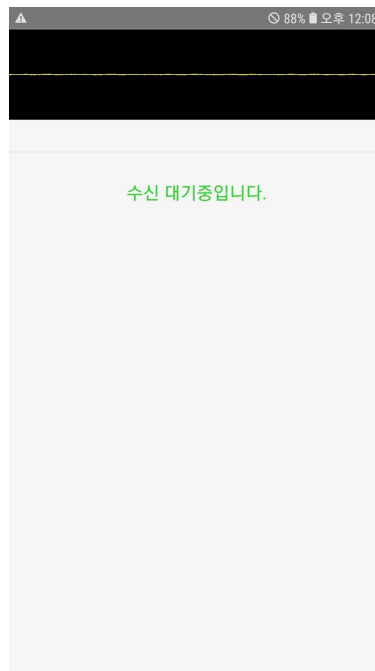


그림 63. 안드로이드 앱 대기 화면

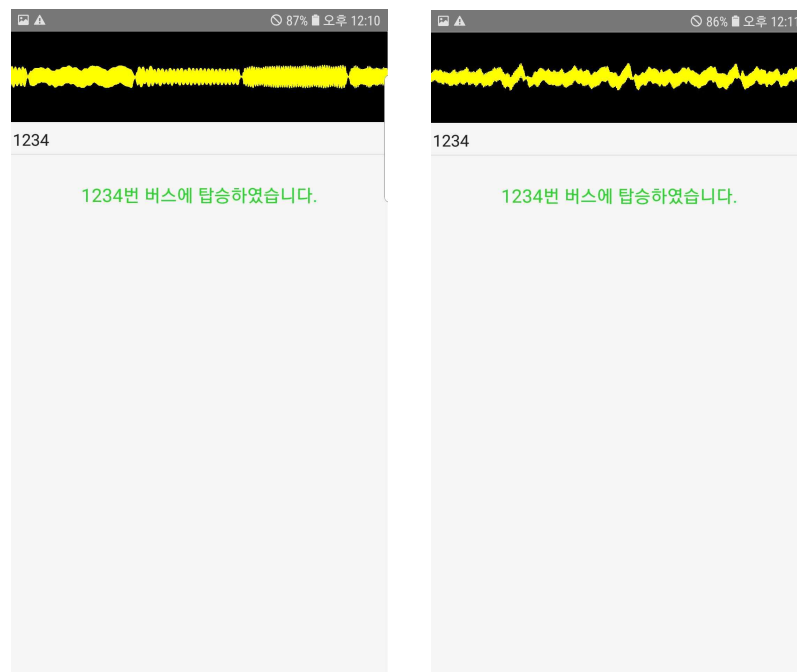


그림 64. 안드로이드 앱 수신화면(좌 : 신호가 크고 노이즈가 적은 경우, 우 : 신호와 노이즈가 큰 경우)

- iOS기반 앱 개발

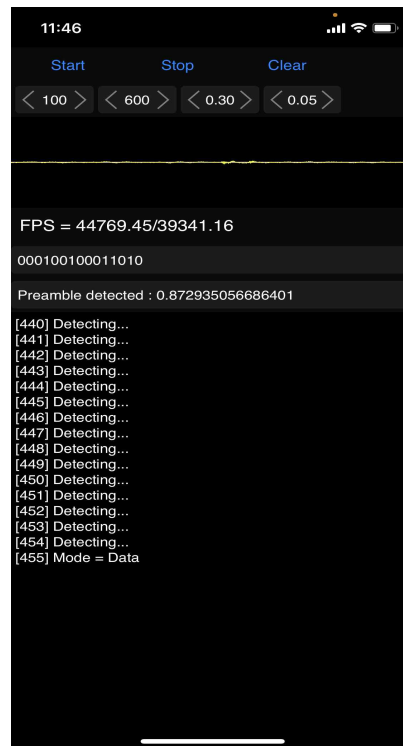


그림 65. iOS 앱 대기화면

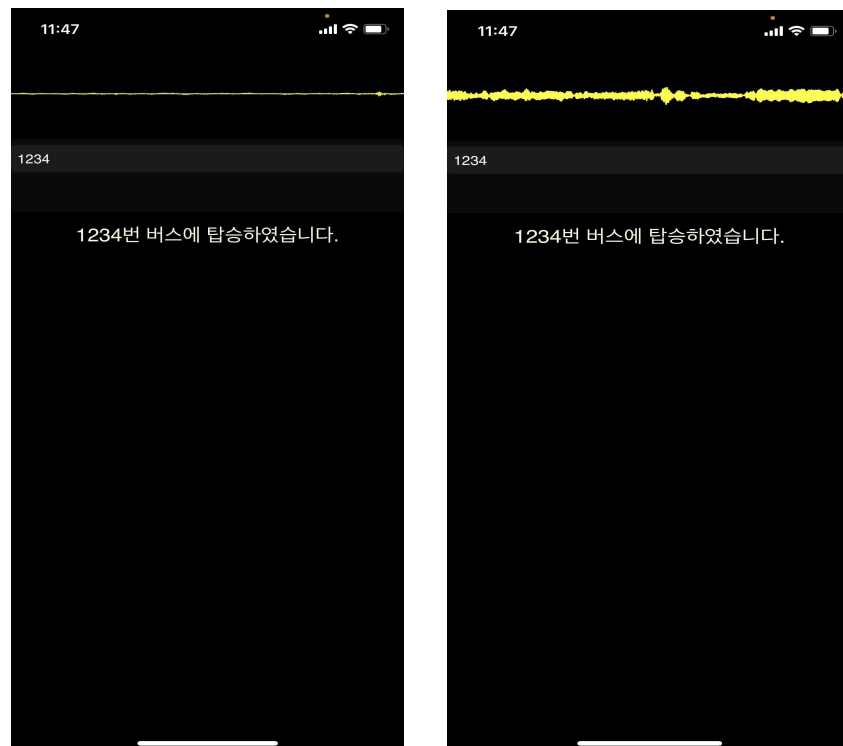


그림 66. iOS 앱 수신화면(좌 : 신호가 작은 경우, 우 : 신호가 큰 경우)

## – 스마트폰 안드로이드 앱스토어 등록

- 안드로이드 개발자 등록을 위해 구글 계정으로 로그인 후 등록 진행
- 결제관련 정보와 필요한 사항을 모두 기입 후 등록을 완료하였으며 내부 심사를 거쳐 앱스토어에 등록 예정

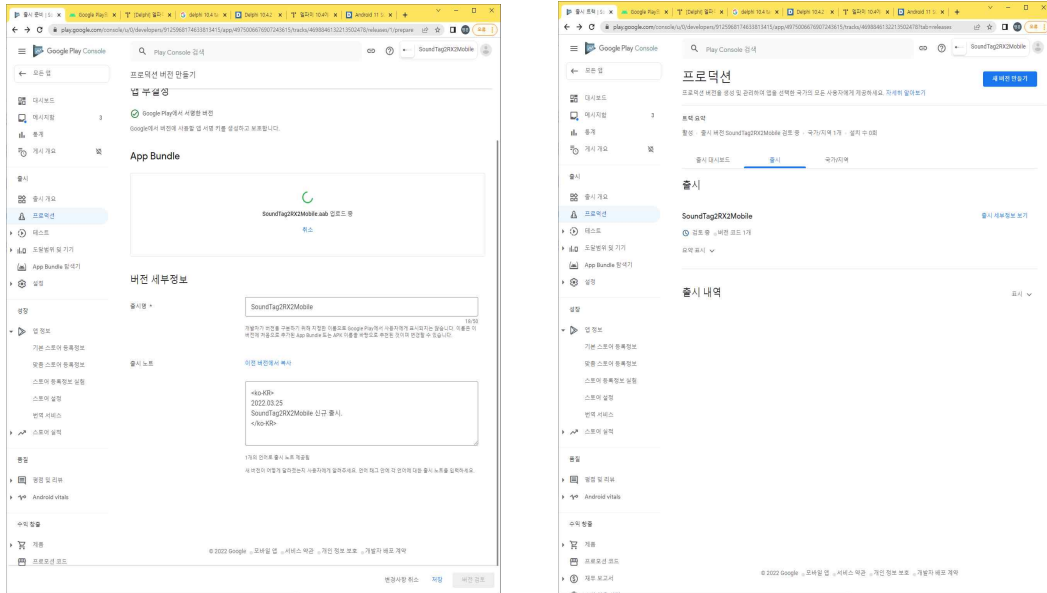


그림 67. 앱스토어 등록을 위한 절차 진행

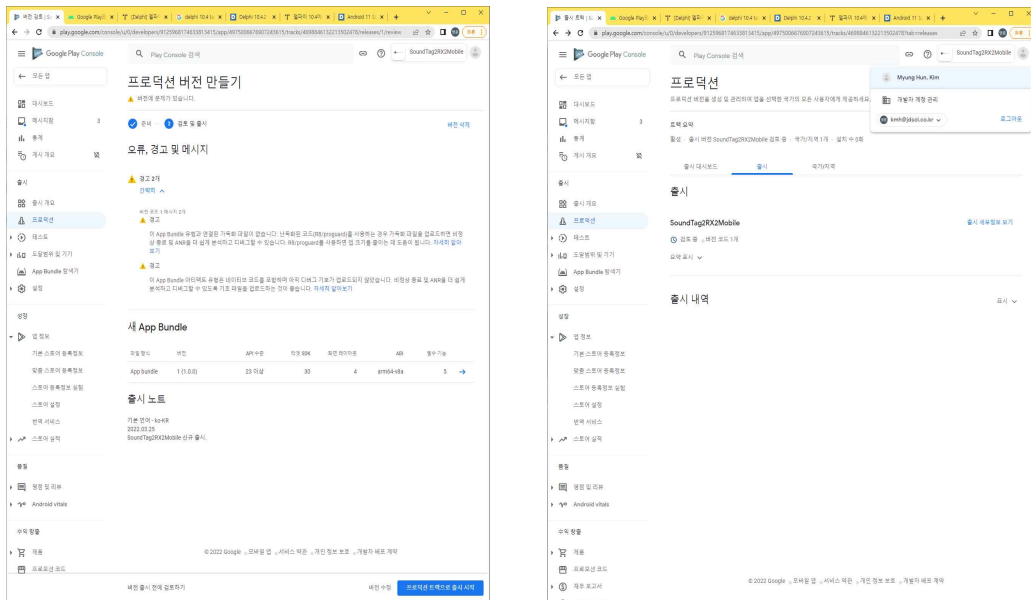


그림 68. 앱스토어 등록 과정 수정 및 등록

## – 사운드 태그 현장테스트 및 수신 성능 개선

- 먼저 실험실 테스트를 통한 수신오류를 분석하였고 실내인 실험실에서는 100회 이상 반복 테스트를 통해 100%의 인식률을 보였음. 실내에서 가장 어려운 해결과제는 반사에 의한 멀티패스 효과였으며 실내 10m x 10m정도의 실내 공간에서는 수신율 100%의 성능을 보여줌
- 실내에서 만약 송신음파보다 더 강한 음파신호를 보내는 경우 S/N비가 음인 경우 수신을 할 수 없는 경우가 생기며 이것은 신호처리에 당연한 결과이긴 하나 이 문제를 해결하기 위한 알고리즘 수정이 필요해 보임

- 100% 수신율을 위해 알고리즘을 개선했으며 음파데이터에 체크섬을 두어 음파통신 중에 부분적인 데이터 오류를 검출 분석하여 올바른 데이터가 아닌 경우 파기 할 수 있도록 수정함
- 순간적인 음파노이즈 발생으로 음파를 수신 할 수 없는 경우를 대비하기 위해 Time redundancy를 위해 재전송할 수 있는 메커니즘을 추가함
- 이는 같은 음파신호를 여러번 보내 예상하지 못한 음파데이터 손실을 극복 할 수 있게 하며 과금과 연결한 데이터의 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있음



그림 69. 실험실 테스트



그림 70. 실외 환경테스트

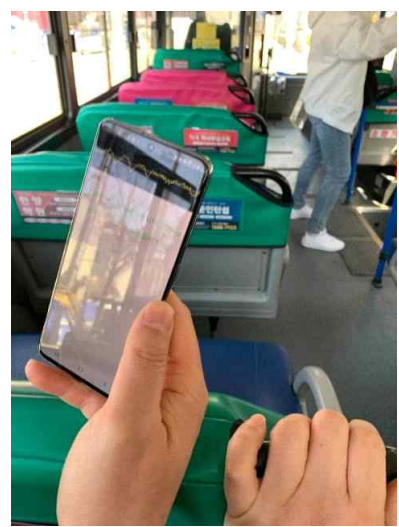
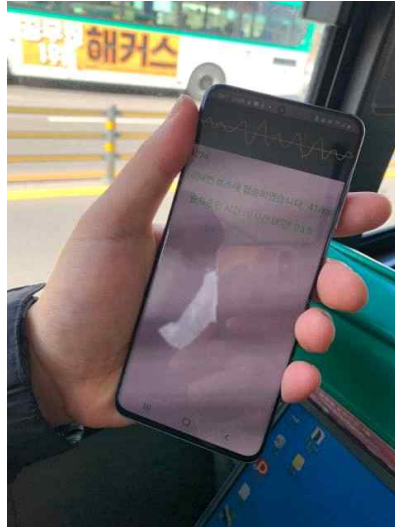


그림 71. 버스 실환경 테스트(승차)

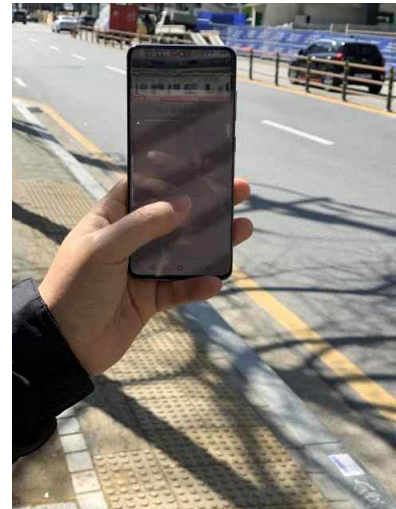


그림 72. 버스 실환경 테스트(하차)

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

##### - 사운드태그 송수신부 시험

- 스피커에 관한 표준인 KS C IEC 60268-5:2010의 일반 사항을 참조하며, 시험 시료는 신호입출력기, 초음파 스피커, 수신용 디바이스로 이루어진 세트임
- 수신용 디바이스는 스마트폰에 APP을 구동하여 구성



그림 73. 시료 사진



그림 74. 측정 사진(실내 1m, 실외 10m)

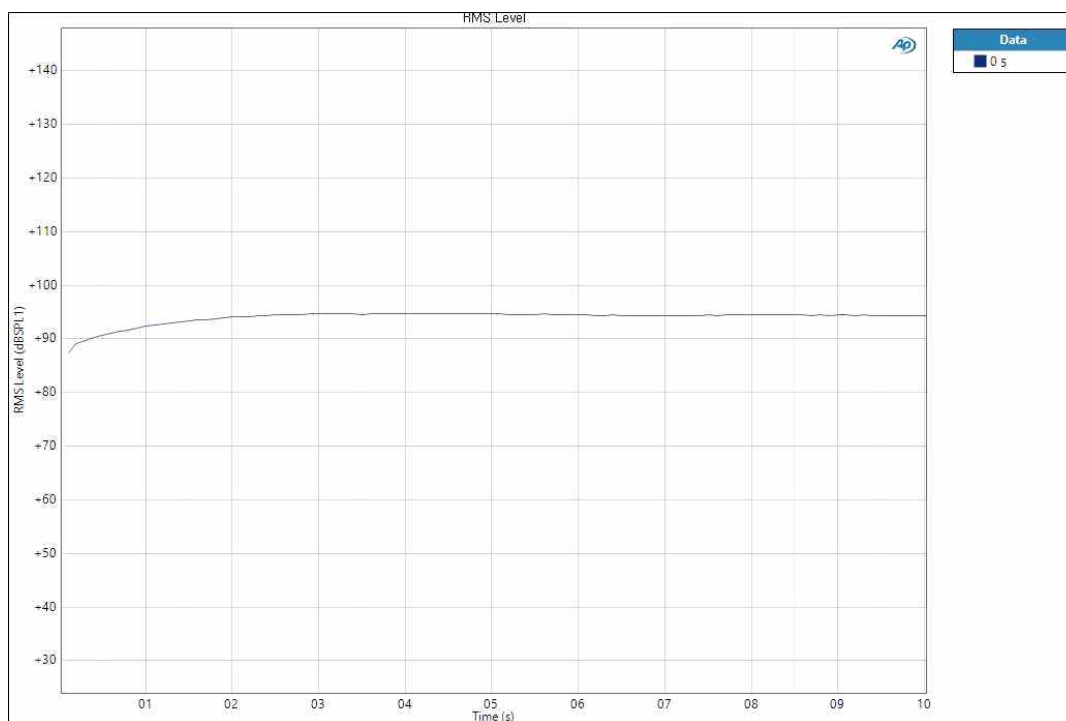


그림 75. 음압 측정 결과 93.90dB 달성(목표 90dB 이상)

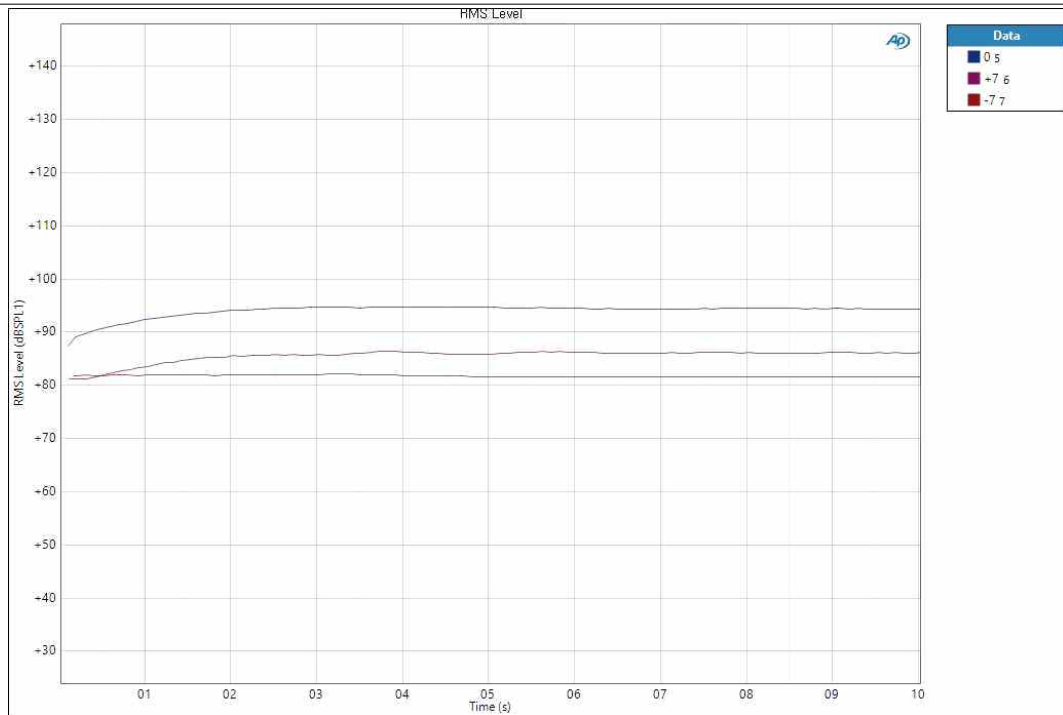


그림 76. 지향각 측정 결과  $\pm 7^\circ$  달성( $0^\circ$  : 93.90dB,  $+7^\circ$  : 81.67dB,  $-7^\circ$  : 85.45dB)

- 인식시간 평균 0.408sec(목표 0.5sec 이내) 달성
- 10m 거리에서 측정 결과 100%(목표 100%) 달성

#### – 시험 결과 요약

- 본 과제 결과물에 대한 기능 및 성능 확인을 위한 시험 방법과 절차에 따라 시험한 결과는 아래와 같음

– 시험대상 : 3차년도 과제 결과물

표 6. 시험 결과 요약

| 번호 | 시험항목(성가지표) | 판정기준(목표)      | 시험결과                |
|----|------------|---------------|---------------------|
| 1  | 인식거리       | 10m           | 10m 확인              |
| 2  | 인식률        | 100%          | 100%                |
| 3  | 인식시간       | 0.5sec        | 0.408sec            |
| 4  | 지향각도       | $\pm 7^\circ$ | $\pm 7^\circ$ 이내 확인 |
| 5  | 음압         | 90dB          | 93.9dB              |

## - 사운드태그 시제품 제작 및 실환경 테스트

- 사운드태그 송신부는 DSP와 초음파스피커, SoDAR와 같이 거리를 측정하는 초음파 측정부로 구성되어 있음
- DSP부는 입력데이터를 수신하여 음파를 생성하는 시그널제너레이터부와 생성된 시그널을 저장하는 저장부로 구성되어 있으며 이 부분은 windows의 프로그램 형태로 구성하였음
- DSP부에서 생성된 음파신호는 송신부 시제품에 적재되어 SoDAR를 통한 근접거리 디텍터에 의해 근처에 사람과 같은 오브젝트가 근접하면 음파신호를 전송하는 구조로 되어 있음

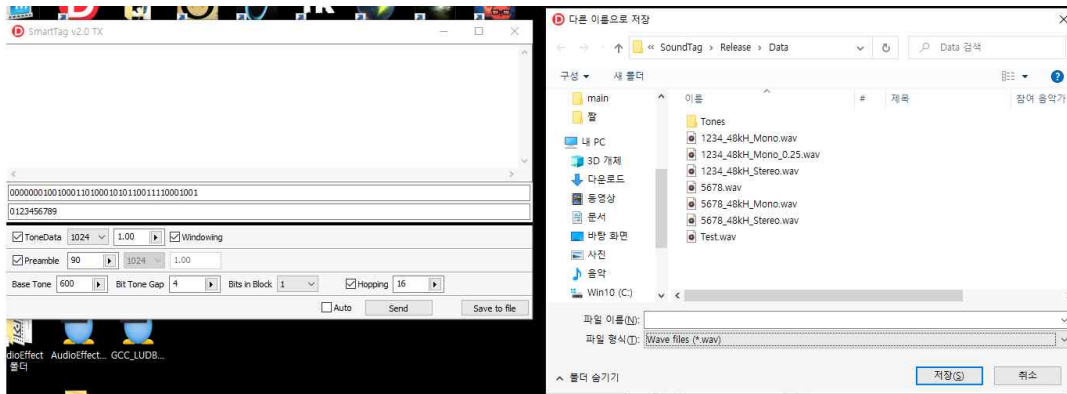


그림 77. 사운드태그 음파생성부

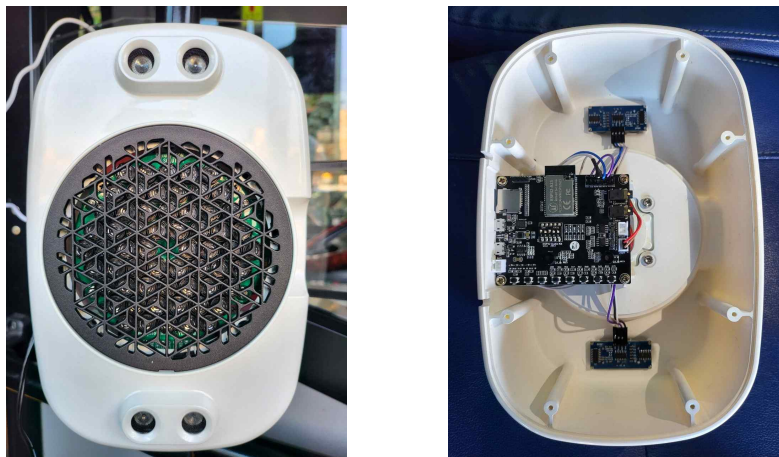


그림 78. 사운드태그 송신부 시제품



그림 79. 사운드태그 송신부 시제품

- 사운드태그 송신부를 버스에 실장착하여 테스트 하였고 실제와 같이 구성하기위해 버스에 시동을 걸고 테스트 하였음
- 본 실환경 테스트에서는 버스 8551번을 섭외하였으며 DSP에서는 버스에 탑승하는 신호로 85510을 송신하도록 해 승차하였음을 표시하게 하였고 또 다른 신호 85511을 생성하여 하차시 송신하도록 셋팅 하였음
- 오브젝트가 근접시 탐지하는 SoDAR는 실환경테스트를 거쳐 1m로 설정하여 승객이 1m 이내에 근접하면 사운드태그 음파를 송신 할 수 있도록 하였음



그림 80. 버스 8551에 장착된 사운드태그 송신부

- 버스 탑승전 안드로이드 앱에 구현한 사운드태그 수신부에서 수신을 받을 준비가 되어 있고 버스 승차 후 8551번 버스에 승차했음을 알려주는 음파를 송신하고 안드로이드 수신 앱에서 올바르게 수신하여 8551번 버스에 승차했음을 확인함

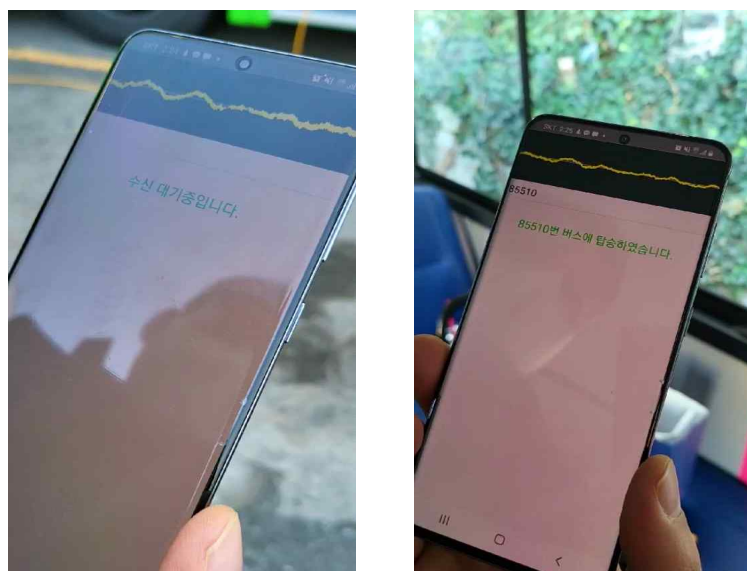


그림 81. 버스운영환경에서의 인식 확인

- 제안한 버스운영환경에서의 100회 이상 반복 테스트를 통해 100% 사운드 태그 인식을 확인함

(2) 정량적 연구개발성과

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

| 구분                 |           | 1차년도<br>(실행/목표) | 2차년도<br>(실행/목표) | 3차년도<br>(실행/목표) | 계<br>(실행/목표) |
|--------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| 특허출원               | 국내        | 2/1             | 1/1             | 2/0             | 5/2          |
|                    | 국외        |                 |                 | 0/1             | 0/1          |
|                    | 계         | 2/1             | 1/1             | 2/0             | 5/3          |
| 특허등록               | 국내        |                 | 2/1             | 0/1             | 2/2          |
|                    | 국외        |                 |                 |                 |              |
|                    | 계         |                 | 2/1             | 0/1             | 2/2          |
| 등록·기탁<br>대상<br>성과물 | 소프트웨어     |                 | 0/1             | 1/0             | 1/1          |
| 기타                 | 시제품       |                 |                 | 1/1             | 1/1          |
|                    | 성과 홍보     |                 |                 | 0/1             | 0/1          |
|                    | 일자리<br>창출 | 2/2             | 2/2             | 2/2             | 6/6          |

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [기술적 성과]

#### □ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| 번호 | 구분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                          | 국명   | 출원            |                |                     | 등록            |                |                | 기여율 | 활용<br>여부 |
|----|----|---------------------------------------------------|------|---------------|----------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|-----|----------|
|    |    |                                                   |      | 출원인           | 출원일            | 출원번호                | 등록인           | 등록일            | 등록번호           |     |          |
| 1  | 특허 | 초지향성 스피커를<br>이용한 사운드 태그<br>시스템                    | 대한민국 | (주)제이디<br>솔루션 | 2019.12.0<br>4 | 10-2019-<br>0159622 | (주)제이디<br>솔루션 | 2021.03.2<br>9 | 10-22357<br>97 | 100 |          |
| 2  | 특허 | 초지향성 스피커를<br>이용한<br>대중교통수단<br>운임결제용 사운드<br>태그 시스템 | 대한민국 | (주)제이디<br>솔루션 | 2019.12.3<br>1 | 10-2019-<br>0179755 | (주)제이디<br>솔루션 | 2021.03.3<br>0 | 10-22364<br>04 | 100 |          |
| 3  | 특허 | 사운드 태그를<br>이용한<br>대중교통요금<br>결제시스템                 | 대한민국 | (주)제이디<br>솔루션 | 2020.11.1<br>7 | 10-2020-<br>0153559 |               |                |                | 100 |          |
| 4  | 특허 | 음파를 이용한<br>근거리 통신 장치<br>및 그 통신 방법                 | 대한민국 | (주)제이디<br>솔루션 | 2021-12-<br>23 | 10-2021-<br>0179429 |               |                |                | 100 |          |
| 5  | 특허 | 음파통신을 이용한<br>학교<br>출결체크시스템                        | 대한민국 | (주)제이디<br>솔루션 | 2021-12.<br>29 | 10-2021-<br>0191146 |               |                |                | 100 |          |

#### ○ 지식재산권 활용 유형

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 활용 예정 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|-------|----|
| 1  | √   | √  |      |      |      |       |      |      |    |       |    |
| 2  | √   | √  |      |      |      |       |      |      |    |       |    |
| 3  | √   | √  |      |      |      |       |      |      |    |       |    |
| 4  | √   | √  |      |      |      |       |      |      |    |       |    |
| 5  | √   | √  |      |      |      |       |      |      |    |       |    |

#### □ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명                            | 창작일         | 저작자명      | 등록일         | 등록번호          | 저작권자명     | 기여율 |
|----|---------------------------------|-------------|-----------|-------------|---------------|-----------|-----|
| 1  | SmartTag v2.0 TX(스마트<br>태그 2.0) | 2021.10.21. | (주)제이디솔루션 | 2021.12.30. | C-2021-059665 | (주)제이디솔루션 | 100 |

## [경제적 성과]

### □ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명        | 출시/제작일     | 제작업체명       | 설치장소 | 이용분야        | 사업화<br>소요 기간 | 인증기관<br>(해당 시) | 인증일<br>(해당 시) |
|----|-------------|------------|-------------|------|-------------|--------------|----------------|---------------|
| 1  | 사운드태그 송/수신부 | 2021.11.24 | 포스테크<br>놀로지 | 버스   | 사운드태그<br>결제 | 2년 6개월       |                |               |

### □ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

| 성과                             |             |                                           | -         |            |            |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-----------|------------|------------|
| 사업화 계획                         | 사업화 소요기간(년) |                                           | 1         |            |            |
|                                | 소요예산(천원)    |                                           | 300,000   |            |            |
|                                | 예상 매출규모(천원) |                                           | 현재까지      | 3년 후       | 5년 후       |
|                                |             |                                           | -         | 6,258,000  | 21,945,000 |
|                                | 시장 점유율      | 단위(%)                                     | 현재까지      | 3년 후       | 5년 후       |
|                                |             | 국내                                        | -         | 10         | 20         |
|                                |             | 국외                                        | -         | 0.01       | 0.05       |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 |             | 출입 인증(음파통신을 이용한 학교 출결체크시스템)<br>비접촉 결제 시스템 |           |            |            |
| 무역 수지 개선 효과(천원)                | 수입대체(내수)    | 현재                                        | 3년 후      | 5년 후       |            |
|                                |             | -                                         | -         | -          |            |
|                                | 수 출         | -                                         | 3,129,000 | 15,645,000 |            |

### □ 고용 창출

| 번호 | 사업화명                                        | 사업화 업체명   | 고용창출 인원(명) |       |       | 합계(명) |
|----|---------------------------------------------|-----------|------------|-------|-------|-------|
|    |                                             |           | 2019년      | 2020년 | 2021년 |       |
| 1  | 사운드 태그 기반<br>Cardless 버스요금 통합<br>자동결제시스템 개발 | (주)제이디솔루션 | 2          | 2     | 2     | 6     |
| 합계 |                                             |           | 2          | 2     | 2     | 6     |

## 2) 목표 달성 수준

| 연구 개발 목표                                                                                                                                | 달 성 내 용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 달성도(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <p>○ 신속하고 편리하게 버스 승하차가 가능하도록 지향각이 <math>\pm 7^\circ</math>로 매우 우수한 초지향성 스피커에 사운드 태그를 접목하고 교통카드 대신 승객의 스마트폰을 이용하여 1:N 방식으로 실시간 버스 결제</p> | <p>○ (1차년도)사운드 기반 교통결제시스템 설계 및 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 특허출원 및 등록</li> </ul> </li> <li>- 스피커 및 센서 융합 처리 알고리즘 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 특허출원 및 등록</li> </ul> </li> <li>- 테스트용 보드 제작 및 기능별 검증 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인식거리: 3m</li> <li>· 인식률: 80%</li> <li>· 인식시간: 5sec 이내</li> <li>· 지향각도: <math>\pm 10^\circ</math> 이내</li> <li>· 음압: 80dB 이상</li> </ul> </li> <li>- 대중 교통 운용 시스템 분석 및 통신 아키텍처 설계</li> <li>- CDMA 기반 통신 보안 기술 검토 및 확보</li> </ul> <p>○ (2차년도) 사운드 태그 기반 자동 교통결제 기능 통합용 시제작 및 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Skeleton형 통합 하드웨어 제작 및 알고리즘 기능 통합 구현 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 특허출원</li> </ul> </li> <li>- Android 기반 사운드 태그용 SDK 및 CDMA 기반 보안 기능 구현 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 가청영역(20Hz~18kHz)</li> <li>· 비가청영역(18kHz~20kHz, 20kHz~22kHz) 지원 확인</li> <li>· CDMA 기반 보안 기능 확인</li> </ul> </li> <li>- 통합 기능 검증 및 성능 확인 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인식거리: 5m</li> <li>· 인식률: 95%</li> <li>· 인식시간: 1sec 이내</li> <li>· 지향각도: <math>\pm 8^\circ</math> 이내</li> <li>· 음압: 85dB 이상</li> </ul> </li> </ul> <p>○ (3차년도) 통합시나리오 플랫폼 기능 검증 및 성능 확인</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 성능고도화 및 버스 운용환경 상의 최적화 구현</li> <li>- 통합시나리오 플랫폼 기능 검증 및 성능 확인 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인식거리: 10m</li> <li>· 인식률: 100%</li> <li>· 인식시간: 0.5sec 이내</li> <li>· 지향각도: <math>\pm 7^\circ</math> 이내</li> <li>· 음압: 90dB 이상</li> </ul> </li> <li>- 버스운영환경에서 동작 테스트</li> </ul> | 100    |

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

- 해당 없음 -

#### 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

---

○ 승·하차시 RFID 태그의 불편 해소

- 현재 버스에서 사용하고 있는 RFID는 1:1 방식으로 2초의 결제 시간이 요구되며 승·하차 시에 버스결제 단말기에 직접 태그를 해야 하기 때문에 혼잡도가 높은 구간의 경우 승객뿐 아니라 정류장에서의 혼잡도 발생하고 있음(서울연구원 “2016 정류장 혼잡도 고려 중앙버스 전용차로의 수송용량 산정 방안)
- 개발 기술은 원거리에서 1:N 방식으로 0.5초 이내에 인식 가능하여 RFID로 발생하는 승하차 혼잡을 개선할 수 있음

○ 5G시대 Cardless 스마트 결제요구 충족

- 전 세계적으로 스마트폰 인프라가 구축되면서 스마트폰을 이용하여 고객이 다양한 결제 수단을 결제 시점에 선택할 수 있는 스마트 결제가 증대되고 있으며 최근 5G 시대가 도래함에 따라 Cardless 스마트 결제가 더욱 확대 적용되기를 요구하고 있음(지형 공간정보체계 용어사전 2016. 1. 3)
- 개발 시스템은 스마트폰을 이용한 결제 방식으로 요구사항에 부합함

○ 신뢰성이 향상된 사운드 태그 기술 제공

- 사운드 태그는 소리를 사용해 정보를 전달하는 서비스로 일반 스피커로 신호를 내보내 타겟 유저의 스마트폰에 콘텐츠를 전달 할 수 있는 사용자 친화적 기술이나, 주변 소음 및 거리에 따라 인식률이 저하되며, 사방으로 퍼지는 소리로 인해 원하는 특정 영역에 지향된 인식 등에 문제를 갖고 있어 기능개선이 절실히 요구됨
- 개발 기술은 10m 이내의 거리에서도 인식이 되며 특정 지역으로 소리가 전달되는 초지향성 스피커 기술을 접목하여 특정 영역에서 인식 됨

## 6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

### ○ 연구개발성과 관리 추진체계



### ○ 사업화 전략

#### - 버스 운용 환경 상의 최적화 구현

- (1) 버스에 승차하지 않는 정류장 대기 승객과 해당 버스를 승차하는 승객을 구분 할 수 있도록 초지향성 스피커를 활용한 사운드 태그로 해당 버스를 승차하는 승객만 인식 하도록 함
- (2) 하차 승객의 경우도 초지향성 스피커 사운드 태그로 하차하는 승객만 인식할 수 있도록 하였고, 서비스 운영 방법에 따라 버스 내에서 비가청 사운드 태그를 지속적으로 전송하여 승차중인 승객에게 다음 정거장 안내, 하차 정보 안내 등 버스를 타고 이동하는 동안 다양한 서비스를 제공할 수 있음
- (3) 유사한 주파수의 다른 음파로 인한 간섭의 영향 또는 인식 오류 등을 없애기 위해 음파 데이터에 체크섬을 두어 음파통신 중에 부분적인 데이터 오류를 검출 분석하여 올바른 데이터가 아닌 경우 파기 할 수 있도록 하고, 순간적인 음파노이즈 발생으로 음파를 수신 할 수 없는 경우를 대비하기 위해 Time redundancy를 위해 재전송할 수 있는 메커니즘을 추가하였음. 또한 CDMA 기반 암호화 처리로 기 개발된 다른 시스템과의 충돌 가능성도 없음

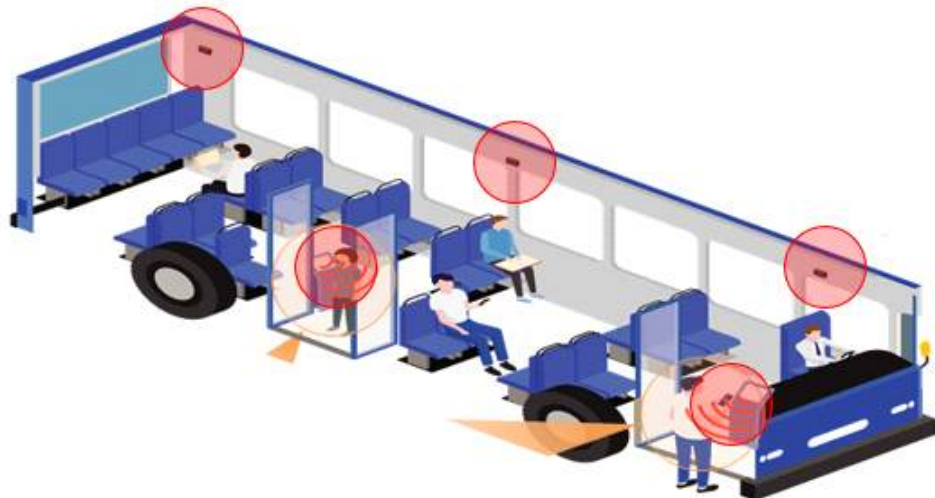


그림 82. 버스 내 시범 설치 위치도(예)

- 버스요금 결제 시스템 서비스 방안

- (1) 지자체, 티머니 등 관련 서비스 업체와 지속적인 미팅을 통해 사운드 태그 결제 서비스 방안 마련 지속 진행 중
- (2) 사운드 태그 결제 시스템과 기존 교통카드 결제 시스템의 서비스 연계를 통한 승객 입장에서의 다양한 결제 서비스 확보
- (3) 기존 결제 시스템과의 호환 서비스를 통해 모든 교통수단과의 환승 서비스가 가능하도록 시스템 구현

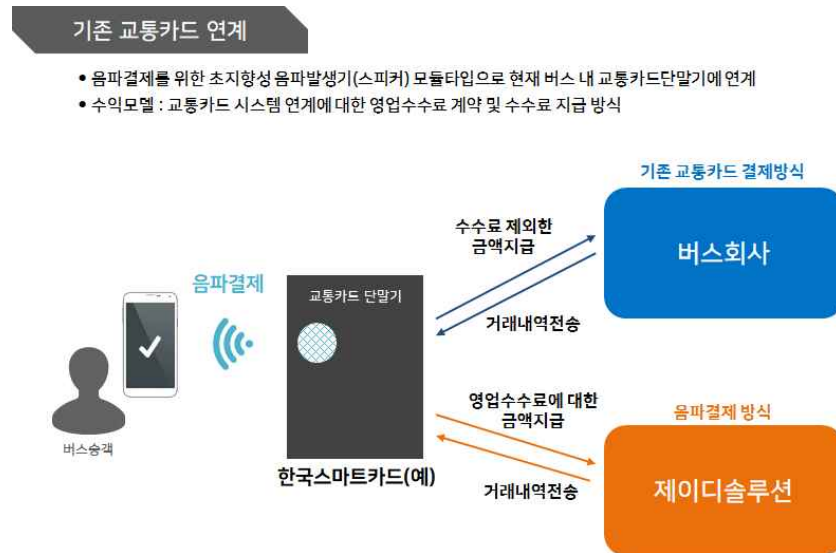


그림 83. 기존 교통카드 시스템 연계한 방식의 구조도

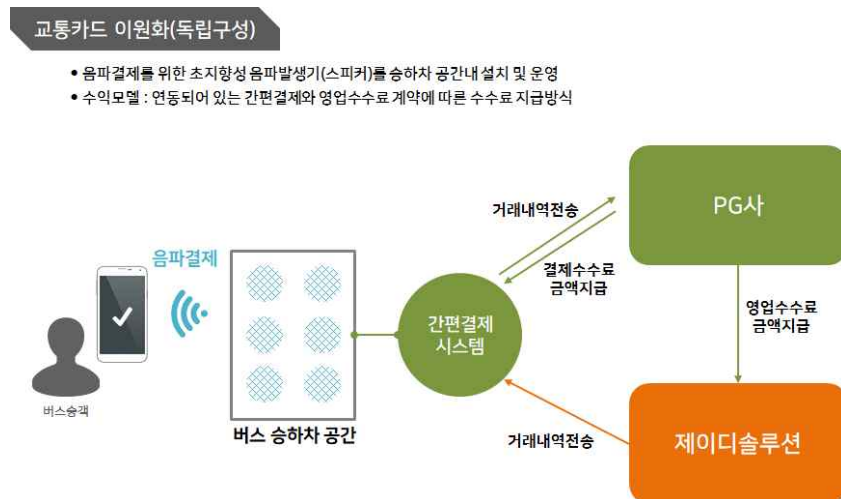


그림 84. 모바일 간편결제 시스템 연계로 음파결제 방식의 구조도

○ 시범서비스(2022년)

- 국내에서 가장 많은 국민이 살고 있는 서울시 노선의 버스를 통해 개발된 사운드 태그 하이패스 결제시스템을 적용하여 적용성과 정밀도를 검증
- 기존 설치된 시스템과 성능 및 사용자 편의성에 대한 성능 비교평가를 통해 우수성을 입증, 기존 시스템 대체 및 신규설치 방안을 모색할 예정
- 1차 시범서비스를 통한 성공적인 시스템의 평가를 기반으로 서울시와 경기도의 버스회사 및 지자체에 계약을 통한 정식 서비스 예정

○ 공인인증기관을 통한 성적서 발행 및 품질평가(2022년)

- 공인인증기관을 통해 품질평가를 실시하여 개발 시스템의 공인 시험성적서를 확보, 향후 시장

---

진입을 위한 기틀을 마련

- 개발 시스템의 적용성 확대 가능성 평가를 위해, 시범서비스를 통한 기존 서비스와 비교/평가하여 실용화를 추진할 예정

○ NEP 신청/획득(2022년)

- 공인시험성적서와 품질평가를 바탕으로 NEP를 신청/획득하여 시장 진입에 유리한 조건을 갖추고, 이후 이를 토대로 상용화 및 제품 홍보를 추진할 계획

○ 수요처 확장(2022년 이후)

- 사운드태그 하이패스 결제시스템은 정류장의 혼잡 해결을 위해서 반드시 필요하나 초기 비용을 고려하여 대중교통 시장을 중심으로 수요처를 점진적으로 확대해 나갈 계획
- 본 기술은 전철에도 적용 가능한 기술이고 전철 역시 출퇴근 시간에 입구에서 혼잡함이 버스와 동일하여 병목현상 해결에 획기적으로 새로운 교통 결제 시스템으로 다양한 시장에 진출할 수 있을 것이라 예상
- 당사에서 진행하고 있는 보행신호 음성안내 보조장치(우수조달제품), 학교 무지향성 스피커 등의 사업에 사운드 태그 기술을 적용하여 제품 경쟁력 확보

○ 해외시장 개척(2024년)

- 개발 시스템의 국내 사용화를 바탕으로 전세계의 대중교통 시장의 진출을 모색하여 국산기술의 해외진출 및 시장 확대를 도모할 예정
- 현재 전 세계의 주요도시의 대중교통시장은 지속적으로 성장하고 있으나, 현금결제 혹은 발행된 표를 이용하는 방법은 교통의 혼잡함을 유발
- 이를 해결하기 위해서 전 세계적으로 많은 노력을 기울이고 있으며 본 과제가 완료되고 상용화 되는 2024년 이후 연구진은 해외기관과의 연계를 통해 전 세계시장을 대상으로 해외시장 개척을 타진할 계획
- 개발 시스템은 획기적인 교통 결제 시스템으로 신시장 진출이 용이할 것으로 예상되며 시장 안착시 제품판매, 라이선스 판매 등을 통한 많은 매출을 기대할 수 있을 뿐 아니라, 국산기술의 보급을 통한 국가 경쟁력 제고 및 홍보효과도 기대

○ 연구개발성과 사업화

- 안내방송, 사운드 태그 통신, 공간 및 사람인지를 위한 통합형 하드웨어와 초지향성 스피커를 버스에 적용하여 카드리스 결제를 구현하고 1:N 방식의 결제 방식으로 기존 승하차시의 카드 접촉에 따른 불편 및 혼잡도를 개선하기 위한
- 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 최종목표

• 개발 최종성과물

- 신뢰도 및 인식 속도가 향상된 사운드 태그 기술
- 안내방송, 사운드 태그 통신, 공간 및 사람인지를 위한 통합형하드웨어(세계최초)
- 사운드 교통결제를 위한 스마트장치 상의 사운드 태그용 신호처리 SDK
- 카드리스 사운드 태그 결제 앱(안드로이드 기반)
- 국내외 특허출원, 품질시험, 공인인증 성적서

• 활용방안

- 시범 서비스 이후 단계적으로 버스에 적용

- 지하철, 고속버스, 택시 등의 대중교통 결제 확장
- 사운드태그 접목을 통해 다양한 소비자의 결제요소를 연결하여 멤버십 서비스로 발전

## (2) 핵심경쟁요인

- 교통카드 구분 : 교통카드는 선불교통카드인 선불전자지급수단, 전자화폐와 후불교통카드로 되어 있음
- 교통카드 경쟁사 현황(※ 주 수단으로 사용되고 있는 선불전자지급수단 국한): 현재 교통 분야에서 사용되고 있는 선불전자지급수단에는 티머니, 이비카드, 대경교통카드, 하나로카드, 하이패스플러스카드 등이 있음
  - 티머니 : 2004년 7월 서울시 시내버스 및 수도권전철 적용을 시작으로 경기도, 경상남도, 제주시 등 국내 많은 지역의 교통카드로 채택되어 사용되고 있으며, 편의점, 대학교 및 공공시설 등 유통분야에도 진출하여 사용되고 있음
  - ▶ 대중들에게 가장 잘 알려진 티머니는 국내 1위 선불카드 브랜드로 연간 판매량이 587만장에 달하며, 선불교통카드 시장에서 점유율이 80%에 이릅니다
  - ▶ 연간 결제 금액도 2조원을 넘어섰으며, 최근 모바일 결제 영역이 확장되면서 모바일 티머니로 연간 4,300억원의 결제가 이루어지고 있음



그림 85. 한국스마트카드 정산실적 추이

- ▶ 하루 평균 1,938만 건의 정산이 이뤄지고 정산금액은 170억이 넘으며, 최근 들어 카드 택시 정산 서비스도 주요 사업 분야로 시장 점유율 64%를 기록하고 있음
- ▶ 또한 고속버스 모바일 예매 발권 서비스와 티켓팅 서비스, 시스템 구축 운영 사업도 담당하고 있으며, 고속버스 연간 취급액은 8,000억원이 넘어서고 있음
- 이비카드 : 이비카드는 경기 및 인천 등 수도권 지역을 중심으로 사용되고 있는 교통카드로 충남, 강릉, 경상도 및 제주도 지역에서도 통용되고 있고, 최근 강원도 지역에도

이비카드를 사용하기 위한 교통카드시스템 구축을 추진하는 등 사용처가 확대되고 있음

- ▶ 이비카드/마이비 교통카드 등으로 한국스마트카드(티머니)와 함께 3대 사업자로 자리매김을 하였으며, 시장점유율 38%를 기록하고 있음

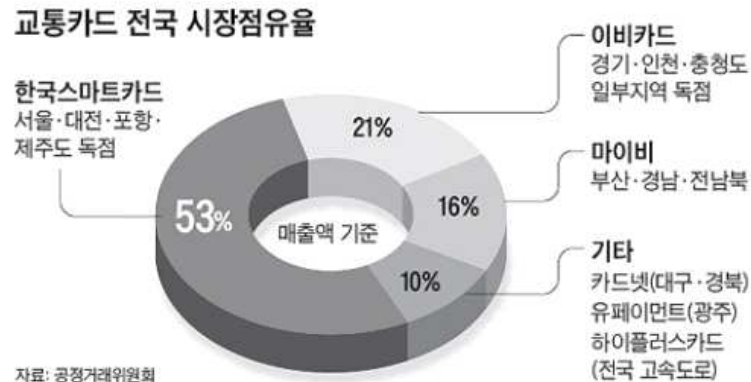


그림 86. 교통카드 전국 시장 점유율

- ▶ 서비스 지역이 티머니와 구분되어 고객 기반이 확실하며, 롯데카드와 연동되는 장점을 토대로 고객 데이터 베이스 기반의 다양한 유통 쪽으로 확장을 하고 있음
- ▶ 최근 들어 통합선불카드 ‘캐시비’와 BGF리테일이 운영하는 편의점 CU와 손잡고 리락 쿠마 캐시비카드 3종을 런칭하면서 대중교통(버스, 지하철, 택시)과 전국 편의점, 쇼핑, 외식 등 10만여 캐시비 가맹점에서 사용할 수 있는 장점을 토대로 국내청소년과 여성 뿐 아니라 다양한 연령층에 많은 팬을 보유하고 있어 사업 확장이 예상됨

- 대경교통카드 : 대경교통카드는 2000년 대구시 시내버스에 첫 도입되어 서비스를 시작한 선불교통카드로 카드넷에 의해 발행되며 대구시와 경상북도 일부지역에 통용되고 있음. 버스, 지하철, 택시 등 교통부문을 중심으로 사용되고 있으며, 유통분야에 있어서는 은행, 관공서, 백화점 등의 구내식당과 대학교의 식당, 매점, 도서관 등과 주차장, 자판기, 공중전화 등에도 사용되고 있음

- ▶ 대경교통카드는 500만장 이상 발급되어 사용되고 있으며, 대구, 경북 시내버스 37개사에 1,952대, 대구지하철 1/2호선 56개 역사에 560대, 국우터널 등 유료도로 3개 영업소의 48개 게이트, 택시에 2,106대 설치되어 사용 중임. 또한 충전소는 학교, 상점 등 464개소 일반충전소와 대구은행 165개 지점창구, 대구은행 365일 코너 660대, 대구지하철 역사 56개소가 있음

- ▶ 대경교통카드는 대구시와 경북 일부지역에만 사용되고 있으며, 타 지역의 교통 및 유통 분야로 그 영역을 확장하려 하나 사업추진이 순조롭지 않은 실정임. 또한 대구시에서 교통카드의 전국호환을 목표로 신교통카드 사업을 추진하면서 카드넷의 입지는 더욱 좁아지고 있음

- 하나로카드 : 하나로카드는 국내에서 두 번째로 상용화된 교통카드로 1997년 9월 시범 실시 후 1998년 2월부터 부산시의 버스, 지하철에서 사용되었으며, 부산지역을 중심으

---

로 버스, 지하철, 택시, 유료도로 등에서 사용되고 있고, 유통분야에서도 자판기, 영화관, 주차장 등과 민원서류 발급에도 사용되고 있음

- ▶ 2005년 5월 마이비에서 부산하나로카드를 인수하였으며, 마이비와 함께 부산, 경남지역에서 사용되고 있음
- ▶ 2009년 1월 10일부터 티머니, 이비, 마이비 간에 협약에 따라 서울시, 경기도, 인천시 등에서도 사용할 수 있음
- ▶ 현재 836만장 이상 발급되어 유통되고 있으며, 주로 부산지하철, 유료도로 중심으로 사용이 가능함

- 교통카드 업계의 전망 및 제한사항

- 선불교통카드의 사용영역 확대

- ▶ 초기 선불교통카드는 충전의 불편함으로 인하여 후불교통카드의 사용이 선호되었으나 교통카드 운영업체의 선불교통카드의 자동충전서비스, 모바일카드 발급, 인터넷 충전 등의 제공으로 사용이 늘어나는 추세임
    - ▶ 사용영역이 유통분야로 확대되어 편의점과 서점, 극장, 놀이공원, 스포츠구장 등에서도 사용이 되고 있으며, 점점 늘어날 전망이다

- 교통카드 전국호환의 지속적인 추진

- ▶ 2005년 이후 교통카드 산업은 보다 성숙되고 안정적인 서비스 산업으로 전환되어 나가고 있으며, 전국적으로 교통카드가 보급됨에 따라 기술적인 규격차이와 운영업체의 이해관계에 의해 교통카드의 전국적인 호환과 관련규격의 표준화가 추진 중임.

- 제안 BM의 경쟁력 : 사운드 태그 기반 카드리스 버스요금 자동 결제 시스템

- 차별성

- ▶ 교통카드를 대신하여 승객들이 항상 소지하고 있는 스마트폰을 이용한 결제 방식으로 편리함을 극대화
    - ▶ 스마트폰을 통해서 승객이 하차에 대한 정보를 알림으로 수신하여 하차에 대한 신경을 쓰지 않아도 되며, 사전에 요금에 대한 정보 확인과 사용내역도 스마트폰으로 확인할 수 있는 등 사용자 중심의 서비스 제공 가능
    - ▶ 음파 결제는 다양한 모바일 결제 시스템과 연결할 수 있는 게이트웨이 역할 수행으로 프로세스가 간편하며, 기존 모바일 결제 시스템과 인터페이스 연동을 통한 구현으로 확장성이 용이함
    - ▶ 다양한 유통관련 쿠폰정보를 스마트폰으로 수신하여 사용이 가능하고, 결제와 같이 활용할 수 있는 유저인터페이스를 제공함으로써 사용의 확대를 가져올 수 있으며, 다양한 멤버십과의 연동으로 서비스 사업자들이 원하는 프로모션 효과까지 제공할 수 있음

- 독창성

- ▶ 지향각이  $\pm 7^\circ$ 로 매우 우수한 초지향성 스피커에 사운드 태그를 접목하고 교통카드 대
-

---

신 스마트폰으로 결제가 가능한 세계 최초 교통에 접목되는 시스템

- ▶ 현재 TV홈쇼핑 음파 쿠폰서비스, 유통분야 일반스피커기반 음파결제, 비콘 방식과 비교하여 일반스피커를 할 경우 공간에 대한 제약, 인프라 구축 비용, 불특정다수에게 정보 전달 등의 오류에 대한 부분과 비콘 또한 인프라 구축에 대한 부담이 있으나, 결제를 위한 Zone 구성을 통해 초지향성스피커(모듈)를 이용할 경우 인프라 구축의 편리함과 비용감소, 해당 영역에 있는 고객 대상으로만 결제가 될 수 있는 정확도에서 탁월함이 있음

- 시장진입 장벽

- 승객의 사용자경험상 기존 교통카드 이용에 익숙함에 따라 스마트폰을 사용하여 결제하는 것에 대한 UX 측면의 제한사항이 있음
  - ▶ 최근 스마트폰은 생활 모든 분야에서 사용되고 있으며, 항상 손에 들고 다니는 소유물이며, 모바일 결제에 대한 사용자 경험 축적이 되어 있는 시점에서 충분히 빠른 시일 내에 익숙해 질 것으로 기대됨
  - ▶ 스마트폰 잠금화면에페이앱을 연동해 놓은 상태로 손쉽게 이용절차를 최소화하는 방식으로 사용자들의 경험이 발전됨에 따라 카드리스 음파결제에 대한 불편함은 없을 것으로 판단됨
- 이동수단인 자동차 내에서 초음파 스피커를 활용한 운전자용 시스템을 개발하고 있으며, 자동차에 이미 많은 초음파 센서들이 운전자와 동승자의 안전에 중요한 역할을 하고 있는 등 관련하여 접목하는 데 규제사항은 없음
- 초음파 안정성에 대한 자료
  - ▶ 20kHz의 초음파에서 피부에 직접 접촉한 상태에서 장시간 고강도로 사용하는 경우 세포분해를 가속화하여 세포부종, 괴사, 열상, 감염을 유발
  - ▶ 불완전한 공동현상이 있을 시 조직 손상을 유발하나 초음파 영상과 달리 표면에 접촉한 상태가 아닌 스피커의 사용에 있어서 안정성에 대한 문제가 전혀 없음
  - ▶ 본 기술은 100dB 미만의 음압을 사용하므로 국제초음파협회와 미국 FDA, EU의 ECMUS 등의 안전 가이드에서 제시하고 있는 110dB보다 낮은 음압레벨을 사용하고 있어서 안전성에 대한 문제가 없음

Table 1: Recommended ultrasound exposure limits in octave band \*

| Frequency (kHz) | Sound Pressure Level (dB re 20μPa) |
|-----------------|------------------------------------|
| 8               | -                                  |
| 10              | -                                  |
| 12.5            | -                                  |
| 16              | -                                  |
| 20              | 75                                 |
| 25              | 110                                |
| 31.5            | 110                                |
| 40              | 110                                |
| 50              | 110                                |

Table 2: Guidelines for the safe use of ultrasound [13].

| Frequency (kHz) | Proposed By* |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 | 1            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 8               | 90           | 75  | -   | -   | -   | -   | -   |
| 10              | 90           | 75  | -   | -   | 80  | -   | -   |
| 12.5            | 90           | 75  | 75  | -   | 80  | -   | -   |
| 16              | 90           | 75  | 85  | -   | 80  | -   | 75  |
| 20              | 110          | 75  | 110 | 105 | 105 | 75  | 75  |
| 25              | 110          | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| 31.5            | 110          | 110 | 110 | 115 | 115 | 110 | 110 |
| 40              | 110          | 110 | 110 | 115 | 115 | 110 | 110 |
| 50              | 110          | -   | 110 | 115 | 115 | 110 | 110 |

\*Legend: 1. Japan (1971); 2. Acton (1975) [19]; 3. USSR (1975); 4. Sweden (1978); 5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH 89) [20] and US Department of Defense (2004) [21]; 6. International Radiation Protection Agency (IRPA 1984) [8]; 7. Canada (1991) [13].

## A Review of Current Ultrasound Exposure Limits

Carl Q. Howard, Colin H. Hansen and Anthony C. Zander  
School of Mechanical Engineering,  
University of Adelaide,  
South Australia, 5005, Australia

September 8, 2004

### 그림 87. 초음파 안전 가이드라인

- 사용자 수용성(기존 사운드태그 시스템과의 비교)
  - ▶ 기존 사운드 태그 시스템의 핵심 기술인 음파 통신 솔루션은 소리를 통한 전파 영역(가청영역)으로 제한되며 오류 발생 가능성이 높음
  - ▶ 가청영역 사용으로 노이즈 대응을 위한 복잡한 주파수 패턴을 사용하며 전송 속도도 떨어짐
  - ▶ 또한, 공간적 보안성 이슈 및 불필요한 통신 트리거가 발생

| 음파통신 특성 비교  |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 구분          | 환경                                                                                                                                                         | 제안 솔루션                                                                                                                                                                                                                                        | 기존 음파 통신 솔루션                                                                                                                                                           |
| 보안성         | <ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 통신 <b>해킹</b> 가능성</li> <li>- 인증 및 보안에 대한 니즈 존재</li> </ul>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 공간 : 통신영역으로 제한</li> <li>- 초음파의 <b>지향성</b> 및 <b>비투과성</b> 특성의 물리적 특징 공간 제한 ▶ 오류발생 최소화</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 공간 : 통신영역으로 제한</li> <li>- 소리 전파 영역의 공간 제한되나 투과 특성 있음</li> <li>- 전자파에 비해 양호하나 폐쇄공간상 넓게 퍼짐</li> <li>▶ 오류 발생 가능성 높음</li> </ul> |
| 정확성 (통신/전달) | <ul style="list-style-type: none"> <li>음악 등 인위적인 음향</li> <li>- 음파통신에서 <b>노이즈</b>로 취급</li> <li>전자파에 비해 BPS(Bit Per Second) 성능 낮음(Carrier 주파수 낮음)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>저주파 초음파의 40kHz 초음파로 변조 사용</li> <li>- 공기 중 비가청의 고주파대역 초음파를 통신 적용</li> <li>- 음향센서 등을 통한 단말 시점에 가청 음파로 변경</li> <li>물리적 초음파 사용 ▶ 채널별 주파수 할당 ▶ BPS 추가 확보</li> <li>20~22kHz 녹음 기준 주파수대역 확대로 채널 확보</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>가청영역의 저주파 초음파(18~20kHz) 사용</li> <li>내노이즈를 위한 복잡한 주파수 패턴(Chirp 등) 사용</li> <li>- BPS 성능이 떨어짐</li> </ul>                           |
| 공간성         | <ul style="list-style-type: none"> <li>접촉이 아닌 <b>일정 간격(비접촉)</b> 상의 통신 니즈(결제 등) 존재</li> <li>특정 영역 공간 상의 통신 니즈 (주차장 결제, 쿠폰 등) 존재</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>작은 소리도 멀리까지 송출가능 ▶ 통신거리 확대</li> <li>초음파의 지향성 ▶ 특정 각도의 통신 트리거 발생</li> <li>무지향성 초음파 사용 가능 ▶ 넓은 공간 통신 가능</li> </ul>                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>짧은 거리의 공기 중 음파 통신 가능함</li> <li>소리 전달 영역의 음파 수신 공간의 넓</li> <li>- 공간적 보안성 이슈 및 불필요한 통신 트리거 발생</li> </ul>                          |

그림 88. 음파통신 특성 비교

- ▶ 기존 음파 통신 솔루션의 핵심 문제를 개선하고자 제안 솔루션은 초음파 영역을 사용, 영역 확대에 따른 채널 추가, 초음파의 특성인 지향각 및 멀리까지 송출되는 기능으로 통신 트리거 기능 추가

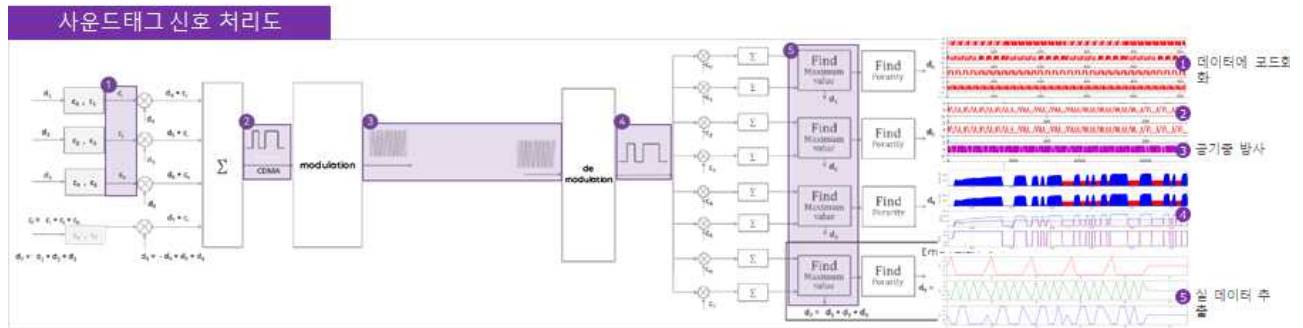


그림 89. 사운드태그 신호처리도(CDMA 방식 추가)

▶ 또한, 사운드태그 기술에 보안성이 높은 CDMA 방식을 도입하여, 보안성을 확보함

#### • 수익 확보 전략

– 비즈니스 모델: 기존 교통카드 시스템 연계한 영업수수료 방식

▶ 기존 교통카드 시스템과 연계를 하여 설치된 단말기에 추가로 사운드태그가 가능한 모듈화된 초지향성 스피커를 설치하여 기존의 방법을 사용하면서 결제의 방식을 추가할 수 있음

▶ RFID를 이용한 1:1 방식의 결제 방법과 사운드 태그를 이용한 1:n의 다중 결제 방식을 사용하여 추가 설치비를 최소화 하고 결제 시스템의 변경 없이 가능한 장점이 있음

– 비즈니스 모델: 모바일 간편 결제 시스템 연계로 음파결제 영업수수료 방식

▶ 모바일 간편 결제 시스템과의 연계로 후불제 방식의 결제시스템을 적용하여 기존 교통카드 단말기 없이 당사의 초지향성 스피커 결제시스템을 적용하면 버스에 추가의 스피커 연결 없이 결제와 버스의 안내방송을 동시에 이용할 수 있어 추가 스피커와 설치비용을 절감할 수 있음

– 잠재고객 및 고객 니즈에 관한 분석

▶ 모바일 간편 결제 서비스 이용에 대한 인식

❖ 모바일 간편 결제 서비스 이용 경험은 최근 2년간 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, 최근 6개월간 이용 경험을 조사한 결과 10명 중 약 9.2명에 해당하는 91.8%가 이용 경험이 있다고 답함

❖ 전년 대비 3.8%p 증가한 수치로 예년보다 더 많은 사람들이 모바일 간편 결제 서비스를 접한 것으로 분석되며, 남성(90.8%)보다는 여성(93.1%) 이용자가 높게 나타나고 있음

▶ 모바일 간편 결제 서비스 이용 비중

- ❖ 전체 결제 중 모바일 간편 결제 서비스 이용이 절반 이상인 54.1% 차지함
- ❖ 이용자 특성별로 살펴보면, 여성의 모바일 간편 결제 이용 비중(58.9%)이 남성(50.1%)보다 높아, 여성이 모바일 간편 결제 서비스를 상대적으로 더욱 적극적으로 이용하는 것으로 조사됨
- ❖ 연령대로는 30대의 이용 비중이 59.7%로 가장 많으며, 다음으로는 20대, 40대 순임
- ❖ 모바일 간편 결제 서비스 이용 이유는 결제가 편리해서(93.2%)로 타 항목 대비 두드러지게 높으며, 다음으로는 결제 처리 속도가 빨라서(61.6%), 할인/프로모션/이벤트 등 경제적 혜택이 있어서(27.7%), 결제 서비스 등록이 간단해서(26.4%) 등의 이유로 모바일 간편 결제 서비스를 이용하는 것으로 나타남
- ❖ 성별로 살펴보면, 남성은 할인/프로모션/이벤트 등 경제적 혜택이 많아서, 여성은 결제 서비스 등록이 간단하고 가지고 있는 카드가 모바일 결제를 지원해서 서비스를 이용하는 경우가 상대적으로 많음
- ❖ 연령대별로는 연령대가 낮을수록 결제 처리 속도가 빨라서, 간편 결제 사용처가 많아서, 광고를 많이 해서, 연령대가 높을수록 서비스 제공 기업을 신뢰할 수 있어서 간편 결제 서비스를 이용하는 경향을 보임

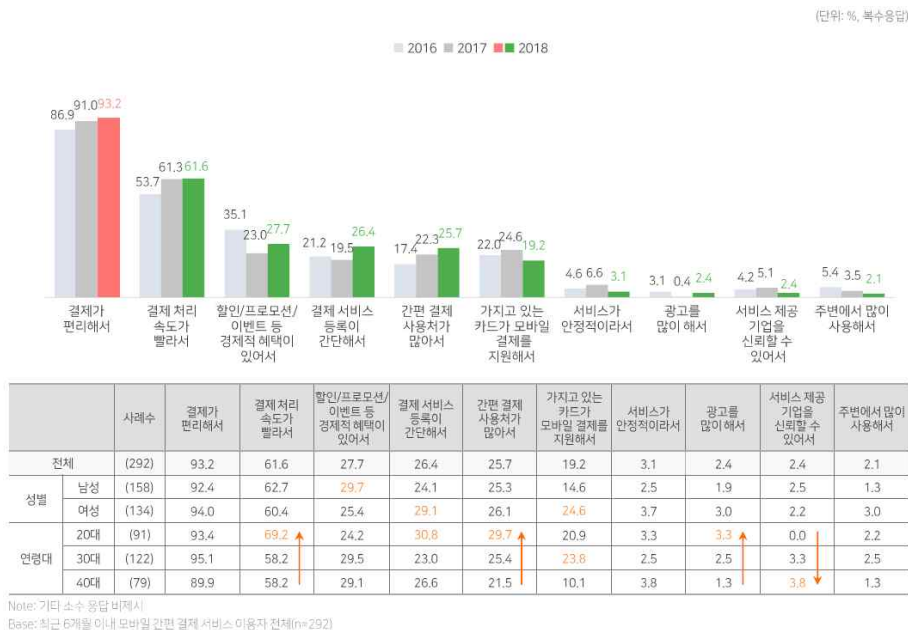


그림 90. 모바일 간편 결제 서비스 이용자의 사용 이유

▶ 모바일 간편 결제 이용 경험 서비스

- ❖ 소셜 및 포털사 제공 서비스 이용이 가장 많으며, 전년 대비 11.5%p 상승함
- ❖ 네이버 페이, 카카오 페이 등 소셜 및 포털사가 적극적인 마케팅을 펼침에 따라 이용자가 해당 서비스를 접할 기회가 확대되었기 때문으로 판단됨

(단위: %, 복수응답)

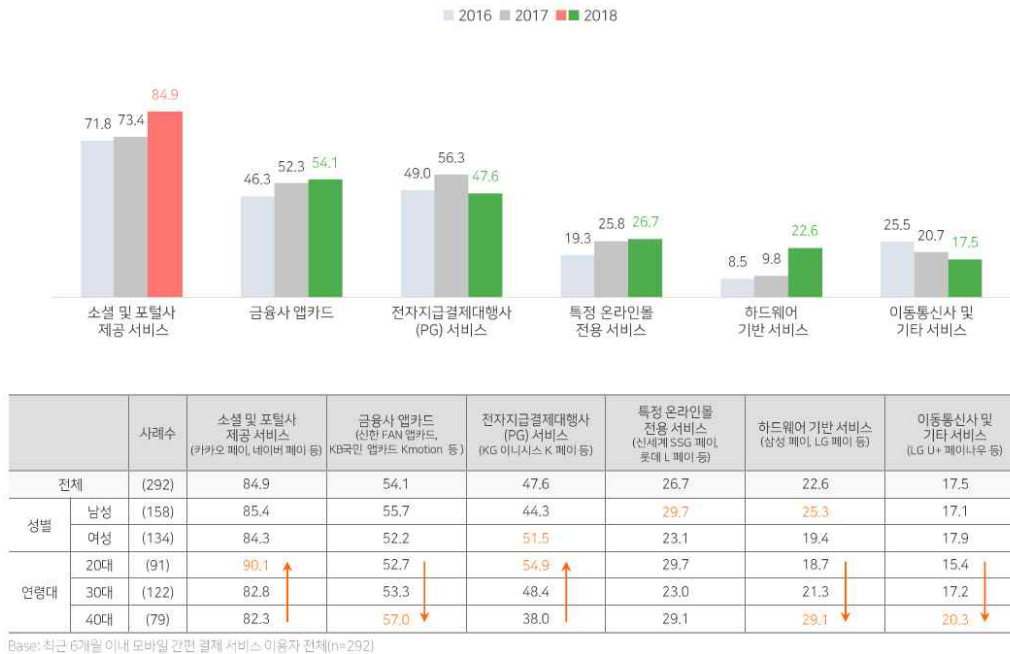


그림 91. 최근 모바일 간편 결제 서비스 이용자의 사용업체

- ▶ 타겟고객 : 스마트폰 활용 및 간편결제 서비스에 익숙한 20대~40대
- ▶ 가능성 : 이미 스마트폰 보급률과 모바일을 통한 금융서비스를 접하고 사용하고 있는 UX 관점에서의 소요시간은 예상보다 적을 것으로 예상되며, 이미 많은 분야에서 모바일 간편 결제를 사용하고 있음
- ▶ 스마트폰의 경우 콘텐츠 이용, 금융서비스, 게임, 커뮤니케이션 용도 등 전 연령층들이 사용하여 거부감이 없으며, 특히 현금보다는 모바일, 신용카드 결제율이 상승하고 있는 사회적인 환경 변화 측면도 가능성을 높게 하고 있음
- 시장진입 장벽 극복방안
- ▶ 기존 교통카드 사업자와의 협업을 통한 시장 진입
  - ❖ 현재 주로 사용되고 있는 선불전자카드(티머니, 이비 등) 사업자들의 시스템을 연동하여 음파결제를 접목할 경우 기존 시스템에 결제수단을 추가하는 것으로 간단하게 접근할 수 있으며, 점점 후불식전자지급카드 시장이 커지는 것에서 음파결제의 경우 모바일 결제수단을 추가할 수 있어 협업을 통해 시장 점유율 유지 및 소폭상승을 기대할 수 있음
  - ❖ 음파결제의 모바일 간편 결제 도입을 통해서 기존 교통카드 서비스 사업자의 경우 유통분야 등 지속적으로 확장하고 있는 시장으로 바로 적용이 가능한 점도 장점임
  - ❖ 최근 모바일 선불카드도 활성화하고 있는 점에서 해당 지역의 버스 단말기에 음파결제 수단만 SDK로 접목하여 간단하게 상용화할 수 있어 추가적인 투자 없이 도입이 가능함
  - ❖ 모바일 간편결제 서비스 사업자(소셜, 포털사)와의 공동 프로모션을 통한 시장진입 강화

- 
- ❖ 소셜, 포털사의 장점을 연계하여 공격적인 마케팅프로모션 활동을 통해 음파결제에 대한 인지도를 높이고 사용자 경험을 극대화
  - ❖ 소셜, 포털사의 다양한 서비스, 콘텐츠, 제휴 등의 상품을 연동하여 혜택을 제공하고 결제 사용 시 포인트 적립 등의 멤버십 강화 부분을 적극 도입함으로써 사용, 재사용의 선순환구조 방식으로 마케팅 전략 추진

## < 별첨 >

### 별첨 자료

1. 참고문헌

2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘사운드 태그 기반 Cardless 버스요금 통합 자동 결제시스템 기술 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.