

# Codec 2를 이용한 900MHz ISM대역에서의 음성 통신 성능 검토

## (Voice Communication Performance in 900MHz ISM Band Using Codec2)

김 경 진<sup>1)</sup>, 김 정 욱<sup>2)\*</sup>  
(Kim Gyeong-Jin and Kim Jeong-Uk)

**요 약** 본 논문에서는 오픈소스 프로젝트를 표방하는 디지털 아마추어 무선용 저속 음성 코덱인 Codec 2와 900MHz FSK 트랜시버를 이용하여 PTT(Push to talk) 양방향 무전기를 구현하고, 장거리 음성통신이 가능한지 여부를 실험했다. 일반 디지털 무전기의 경우, 성능 면에서 업계 표준으로 인정되고 있는 AMBE+2 코덱을 사용하는데, 가격이 고가이며 기술의 독점성을 가지고 있다. 주파수 측면에서 보면 400MHz 대역을 사용하는 경우, DMR 12.5kHz, DPMR 6.25kHz의 협대역을 사용하기 때문에 데이터 전송률이 낮다. 900MHz 대역은 대역폭을 확장할 수 있어서 데이터 전송 측면에서도 장점이 있다. 음질 및 통달 거리에 대한 필드 테스트를 진행한 결과, 약 500m 내에서 통신이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 음성통신에 대한 검토가 이루어졌지만, 간단한 이미지와 같은 데이터 전송에 대한 검토가 추가된다면, 이 솔루션이 저가형 IOT 생활 무전기로써 다양한 분야에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심주제어** : Codec 2, 주파수 편이 변조, ISM 대역, DPMR, DMR

**Abstract** In this paper, we experimented how long distance voice communication is possible After implemented PTT(Push to talk) Bi-directional radio using open source project Codec 2, which is a low speed voice codec for digital amateur radio and 900MHz FSK transceiver. In case of a general digital radio, the AMBE+2 codec, which is regarded as an industry standard in terms of performance, is expensive and has the monopoly of technology. Using the 400MHz band in terms of frequency, narrow bandwidth of DMR(12.5kHz) and DPMR(6.25kHz) is used, so the data rate is low. In the 900MHz bandwidth can be extended, which is advantageous in terms of data transmission. As a result of the voice quality and distance field test, we could find that the communication takes place within about 500m. In this

\* Corresponding Author : jukim@smu.ac.kr

+ 이 논문은 2018년 11월 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원 지원에 의해 수행한 연구임을 밝힌다. (과제 번호 : No. 20164030300230)

Manuscript received November 1, 2018 / revised November 27, 2018 / accepted December 6, 2018

1) ㈜빌리브마이클론, 제1저자

2) 상명대학교, 전기공학과 교신저자

paper, only voice communication is reviewed. if a review of data transmission such as a simple image is added, this solution can be used in various fields as a low cost IOT radio.

**Key Words** : Codec2, FSK, ISM Band, DPMR(Digital Private Mobile Radio), DMR(Digital Mobile Radio)

### 1. 서 론

무전기는 군, 경찰, 소방, 재난, 재해와 같은 공공목적의 서비스뿐만 아니라, 산업, 민간 영역 등 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 기기이다. 기존에는 아날로그 방식의 무전기를 사용해 왔으나, 이 방식은 주변 환경에 따라서 도달 거리 및 음질이 크게 영향을 받는다. 그리고 간단한 데이터를 전송하기 위해서는 DTMF 구현을 위한 별도의 회로를 구성해야 하며, 전송률도 낮다. 특히 도청에 취약하여 보안성 및 공공성에 문제를 가지고 있다. 이런 아날로그 무전기의 단점으로 인해 디지털 무전기로 전환이 이루어지고 있다.

디지털 무전기의 가장 큰 특징은 통화 환경 내에서 동일한 음성 품질이 유지됨을 들 수 있다. 종래의 아날로그의 경우 무선 신호의 SNR (Signal to Noise Ratio)에 비례해서 잡음이 수반되고 혼신이 유기되는 특징이 있으나 디지털 무전기의 경우에는 아래 Fig. 1과 같이 명료한 음성 품질이 유지된다.

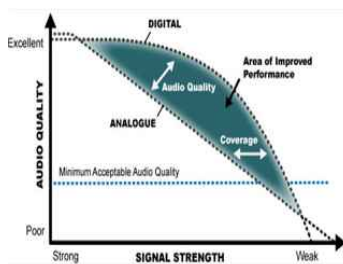


Fig. 1 Audio Quality Comparison between Analog and Digital

미국은 1990년대부터 디지털 무전기 전환 계획을 수립했고, 유럽은 2013년 아날로그 무전기 서비스를 종료했다. 일본은 2008년부터 아날로그와 디

지탈 무전기를 혼용하고 있다. 국내에서도 디지털 무전기 전환 계획을 수립하여 2016년 12월 31일 아날로그 무전기에 대해서 적합인증 종료, 2018년 12월 31일 신규허가 종료, 2020년 100% 디지털 무전기로의 전환을 목표로 하고 있다[1].

무전기는 용도와 출력에 따라 명칭 및 분류가 이루어지는데, 그중 생활 무전기 FRS(Family Radio Service)는 448MHz 대역의 주파수대역에서 0.5W 이하의 출력을 사용하기 때문에, 허가와 통화료 없이 누구나 사용할 수 있다. 디지털 생활 무전기는 통신 방식에 따라 400MHz 주파수대역에서 6.25kHz (DPMR) 혹은 12.5kHz (DMR)의 협대역에 음성 혹은 데이터를 전송한다. 데이터의 경우 대역폭이 작아서 4800 bps (DPMR), 9600 bps (DMR)의 저용량 데이터 전송만 가능하다. 그리고 좋은 음질을 제공할 수 있으나, 주로 AMBE+2와 같이 고가의 코덱을 사용해야 하므로 생활 무전기로서 저가의 제품으로 제공되기에는 한계가 있다[2].

본 논문에서는 Codec 2와 900MHz ISM Transceiver를 사용하여 플랫폼을 구성하고 음질 및 통신 거리를 실험을 통해 검증해 봄으로써 아날로그에서 디지털로 빠르게 전환되고 있는 무전기 환경에서 저가에 더 많은 데이터를 보낼 수 있는 디지털 생활 무전기의 가능성을 검토했다.

### 2. 본 론

#### 2.1 Codec 2 개요

디지털 무전기 분야의 음성 코덱 기술은 주로 DVSI 사의 AMBE+2를 사용한다. 성능 면에서 우수하여 위성 통신 분야나 해상 통신 시스템 등에 적용이 되고 있으며 업계의 표준으로 인정이

되고 있다. 그러나 고가인 단점이 있어서 유사한 성능 정도를 낼 수 있는 RALCWI, MELP, SELP 등 다양한 코덱 기술이 개발되었으나 개발한 회사의 독점성을 벗어나지 못하는 단점이 있고, 저가형의 생활용 무전기를 구현하는 데 한계가 있다[2].

오픈소스 프로젝트를 표방하는 Codec 2는 AMBE+2와 같은 저속 음성 코덱을 특징으로 하는데 1200~3200 bps의 속도를 지원하여 협대역에서 음성통신이 가능하다. Fig. 2는 Codec 2의 Encoder/Decoder의 Block diagram을 나타냈다 [8].

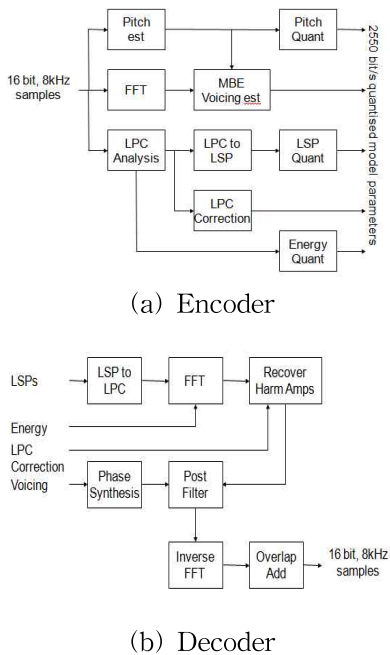


Fig. 2 Encoder/Decoder Block Diagram

Fig. 3은 Codec 2에서 개발 참고 자료로 활용되는 있는 SM1000이라는 모델의 Block diagram이다. STM32F4 마이크로 컨트롤러 기반으로 설계되어 있으며 단측파대(Single-Sideband) 혹은 FM 라디오에 연결하면 디지털 음성을 사용할 수 있다. SM1000은 Codec 2를 포함한 하드웨어 [6] 및 소프트웨어[7]가 완전한 오픈소스이며, 라디오의 음성 처리와 같은 응용 애플리케이션을 위해 프로그래밍이 가능하다[3].

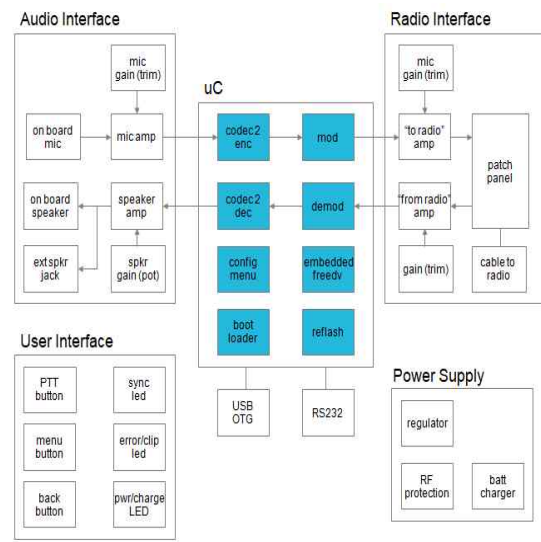


Fig. 3 SM1000 Reference Board Block Diagram

## 2.2 900MHz ISM 대역 검토

900MHz ISM 밴드는 IOT 분야에서 전 세계적으로 많이 사용하는 주파수 대역이다. 우수한 전파 특성에도 불구하고 10mW의 출력 제한으로 인해 근거리용 서비스에 이용되었다. 2016년 3월 900MHz ISM 출력 기준이 200mW로 상향 조정이 됐다. 이는 저전력 장거리(Low Power Wide Area) 서비스와 같은 전용망을 구축할 수 있게 되었다. 현재는 20~32채널에서 실외 고정형 점대다점(Point-to-Multi Point) 무선기기에 한정되어 있으나, 휴대용 생활 무전기 영역으로 확대 가능성이 있다.

이에 본 논문에서는 900MHz 트랜시버를 활용하여 200mW 출력의 RF 회로를 구성하여 음성 에 대한 거리 테스트를 진행했다. 200mW 출력은 서론에서 언급된 400MHz 대역 FRS 출력 500mW보다 작지만, 12.5kHz 대역폭보다 넓은 대역폭을 사용할 수 있기 때문에 보다 많은 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있다.

## 2.3 하드웨어 구성

Floating-Point Unit(FPU) 확장을 갖춘 32bit

ARM Cortex-M4 계열의 STM32F4 마이크로 컨트롤러를 기반으로 설계되었다. 오디오 입출력은 마이크 인터페이스와 스테레오 헤드폰 드라이버가 내장된 저전력 스테레오 코덱인 WM8960을 사용하여 처리되어 진다. 마이크로 컨트롤러와 I2S 인터페이스를 이용하여 오디오 신호 처리를 하며 I2C를 이용하여 제어한다. 설계 기반인 SM1000의 경우, STM32F4의 자체 분해능이 최대 12bit인 ADC를 이용하였으나, 설계 보드는 WM8960을 사용하여 최대 24bit로 마이크, 스피커의 입출력 성능을 높일 수 있도록 변경하였다.

Fig. 4는 마이크로 컨트롤러와 ST-LINK, 버튼, LED, 오디오 코덱, 마이크, RF 트랜시버에 대한 연결 상태를 보여주는 Hardware Block Diagram 이다.

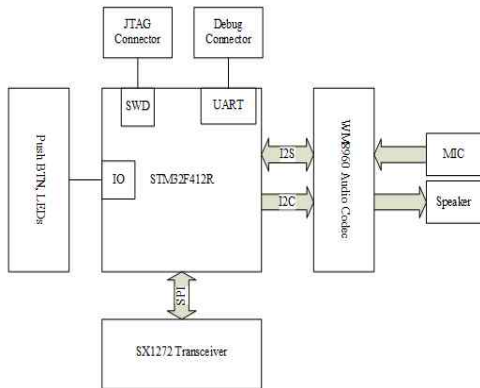


Fig. 4 Hardware Block Diagram

RF(Radio Frequency) 회로는 저전력 설계가 가능한 Semtech 사의 SX1272를 사용하여 FSK 변복

조 트랜시버를 구성하였다. 이 칩은 LoRa(Long range spread spectrum)와 FSK 모두 지원하고 Low-IF 구조와 자동 주파수 조정 기능이 있어 협대역 무선 통신용 모델으로 적합하다[4]. 트랜시버와 마이크로 컨트롤러와의 데이터 및 제어 인터페이스는 SPI를 사용한다. Fig. 5는 SX1272를 이용한 900MHz 대역 FSK RF 회로도이다. 그 외에 버튼을 사용한 PTT 기능, LED와 디버그 UART를 통해 시스템 상태 확인, 충·방전 가능한 배터리로 전원 공급의 기능을 구현했다. Fig. 6, Fig. 7은 전체 하드웨어 PCB layout 및 실제 단말기 사진이다.

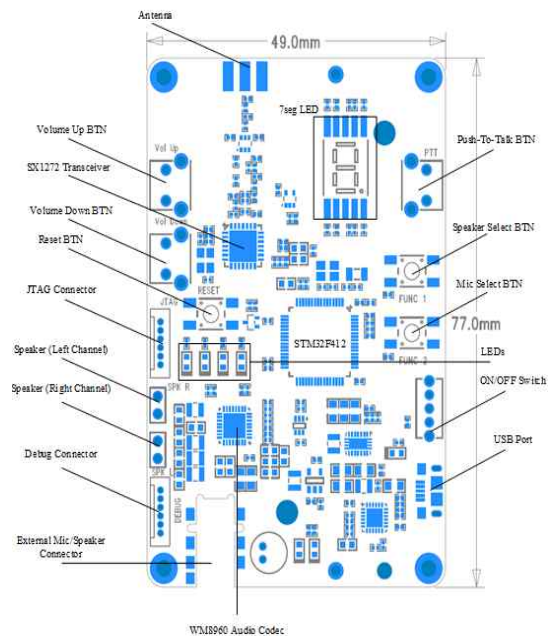


Fig. 6 Hardware PCB Top layout

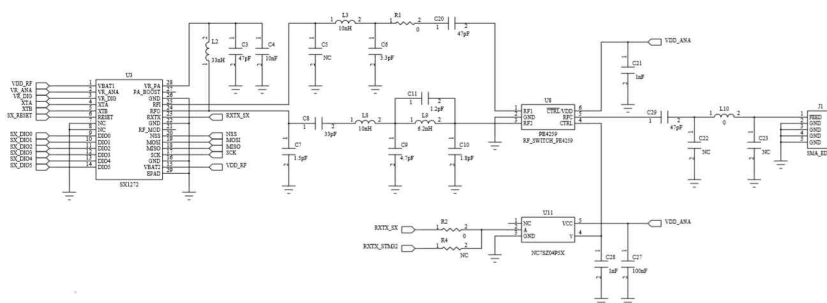


Fig. 5 SX1272 RF Schematic



Fig. 7 Hardware Device

### 2.4 보코더 검토

STM 32 오디오 보코더 패키지에는 음성 기반 오디오 애플리케이션을 구축하는 데 사용되는 일련의 펌웨어 라이브러리가 포함되어 있으며 공개 소프트웨어 라이선스로 G.711, G.726, IMA-ADPCM, Speex등이 있다[5]. Table 1에 Codec 2를 포함한 각 보코더의 특징을 비교하였다.

Table 1 Vocoder Comparison

	G.711	G.726	IMA-ADPCM	Speex	Codec2
License	GPL	GPL	Free	BSD	LGPL
Bitrate (Kbps)	64	16,24 32,40	32	2.15 to 24.6	0.7 to 3.2
Sampling rate(KHz)	8	8	8	8,16,32	8
input bit	16	13	16	16	16

Table 2 Encoder/Decoder Performance of Codec 2

Bitrate (bps)	Input size (16-bit sample)	Encoded size(bit)	Encode time(ms)	Decode time(ms)	Sound quality
1200	320	48	18	16	Bad
1300	320	52	17	14	Bad
1400	320	56	18	15	Bad
1600	320	64	16	16	Bad
2400	160	48	11	10	Good
3200	160	64	11	9	Good

Table 3 Encoder/Decoder performance of Speex

Encode Complexity	Input size (16-bit sample) Encoded size(bit)	Encode time(ms)	Decode time(ms)	Sound quality
1	10	8	3	Bad
2	15	6	3	Bad
3	20	7	3	Bad
4	20	7	3	Good
5	28	10	3	Good
6	28	10	3	Good
7	38	9	3	Good
8	38	9	3	Good
9	46	14	3	Good
10	62	12	3	Good

본 논문의 목표는 음성의 장거리 통신의 가능성과 음질에 대한 성능이다. 비트 전송률이 낮을수록 전송 거리가 넓어지므로 Speex와 Codec 2를 선정했다. STM 32 기반 마이크로 컨트롤러는 Speex와 Codec 2를 각각 STmicroelectronics사에서 제공하는 보코더 패키지와 SM1000 기반의 소스를 사용하여 구현할 수 있다. Table 2와 Table 3은 앞서 구성한 하드웨어를 가지고 두 가지 보코더에 대해서 Data Rate 혹은 Encode Complexity를 변경하면서 음질을 듣고, 통신용으로 사용 가능한지 여부를 비교해 본 결과이다. Codec 2는 2,400 bps와 3,200 bps, Speex는 복잡도가 최소 4 (11,000 bps)부터 Codec 2의 3,200 bps 정도의 음질을 얻을 수 있었다. Codec 2가 Speex 대비 협대역으로 음성 통신이 가능하기에 저가형 코덱으로 선정하여 시스템을 구성했다.

### 2.5 소프트웨어 검토

시스템은 오디오, RF 전송을 위한 데이터, 버튼, LED 동작을 위한 입출력 인터페이스와 보코더의 인코더/디코더로 구성이 된다. 오디오 입·출력은 이중 버퍼링 방식을 사용하여 오디오 코덱 IC에서 오디오 프레임 읽기/쓰기를 수행한다. 이 전송은 DMA로 수행되며, 마이크로 컨트롤러는 I2S가 코덱 IC WM8960에서 데이터를 가져오는 동안 보코더의 인코드/디코드 작업을 수행할 수 있다. DMA 전송 완료 인터럽트는 새로운 오디오 프레임을 읽고 인코딩하라는 상태를 알린다. DMA가 버퍼를 출력하는 동안 응용 프로그램은 다른 버퍼를 읽고 디코딩한다.

SX1272 RF 트랜시버는 915MHz, 62.5kHz 대역폭, 25kHz deviation FSK, 4,800 bps로 설정을 한다. 4,800 bps는 Codec 2 최대 data rate인 3,200 bps와 어드레스, 프리엠블, 헤더, CRC 오버헤드를 포함한 설정이다. SX1272 프로세스도 마이크로 컨트롤러와 마찬가지로 이중 버퍼링을 사용한다. Fig. 8은 오디오와 RF의 이중 버퍼링 과정을 나타낸 것이다.

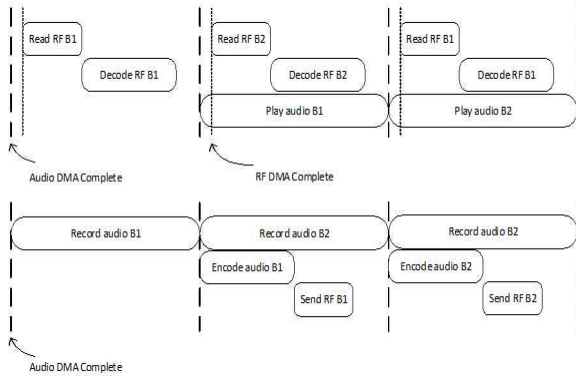


Fig. 8 Audio/RF Double-Buffering Method

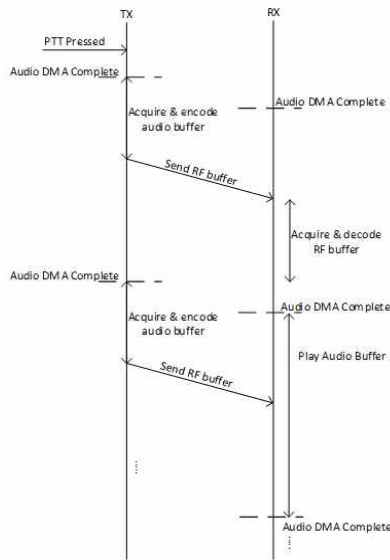


Fig. 9 Rx and Tx Operation

송신부의 PTT 버튼을 누르면 오디오 버퍼가 취해지고, Codec 2 MODE\_3200으로 인코딩되어 8byte의 압축된 음성을 생성한다. 이 8byte는 SPI 인터페이스를 통해서 SX1272 트랜시버로 전송된

다. 수신부는 압축음성이 성공적으로 수신되면 트랜시버에서 인터럽트를 발생시켜 마이크로컨트롤러에 수신 버퍼가 준비되도록 알린다. 이때 마이크로 컨트롤러는 버퍼에서 데이터를 가져와 디코딩을 시작한다. 모노 오디오 출력은 코덱 IC 오디오 버퍼에 전송되어 스피커를 통해 음성이 나올 수 있도록 준비한다.

Fig. 9는 위에 설명된 전체 송수신 프로세서를 나타내었다.

### 3. 실험결과

3,200 bps 모드를 기준으로 Codec 2의 음질 테스트는 레퍼런스 보드 SM1000과 설계 보드 상에서 무선 환경을 배제하고 루프 백(Loop back) 방식으로 진행하였다. SM1000의 경우 STM32F4 마이크로 컨트롤러의 ADC 1과 DAC 2를 각각 오디오 입력과 출력으로 하고, 설계 보드는 WM8960 칩의 루프 백 기능을 사용하였다. 설계 보드는 ADC 분해능이 24bit로 레퍼런스 보드의 12bit에 비해 좋으나, 실제 음질은 같은 수준이었다.

무선 환경을 포함한 필드 테스트는 설계 보드 2개를 가지고 도심 환경에서 거리 테스트를 진행하였다. 디지털 무전기의 경우 SINAD 임계치를 넘어갈 경우 음 단절이 일어나기 때문에 A 지점에 송신 보드를 거치하고 수신 보드를 이동시키면서 음 단절이 일어나지 않는 최대 임계 지점을 확인하고 거리를 측정했다. Table 4는 A, B, C, D, E에 대한 위치 및 고도 정보를 표시했다.

Table 4 Tested location information

Location	Latitude	Longitude	Altitude
A	37°26'34''N	127°10'13''E	137m
B	37°26'14''N	127°10'25''E	97m
C	37°26'27''N	127°10'31''E	126m
D	37°26'28''N	127°10'11''E	140m
E	37°26'40''N	127°10'11''E	154m



Fig. 10은 송신 지점 A를 기준으로 B, C, D, E의 수신 임계점에서 측정된 통신 거리를 표시한 지도이다.

테스트 결과 LOS(Line of Sight) A-B 구간에서 667m로 가장 좋은 결과를 보였고, NLOS(Non Line of Sight)이며, 사이에 15층 아파트 단지와 중원 보건소가 위치한 A-D 구간에서는 235m로 4구간 중 가장 좋지 않았다. NLOS이나 사이에 건물이 낮은 A-C와 A-E의 경우, 500m 전후의 성능을 보였다. 통신 거리에 대한 측정은 환경 변수에 따라 영향을 많이 받지만, 저층 건물 도심 지역에서 반경 500m 정도에서 저가형 생활 무전기로서 활용 가능성을 확인할 수 있다.

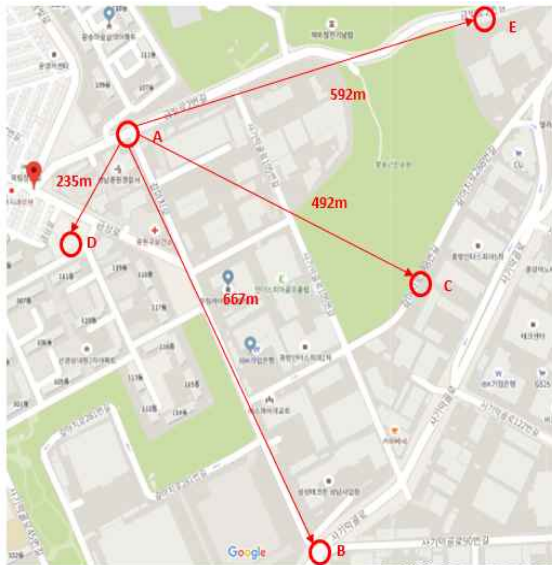


Fig. 10 Measured Voice Communication Distance Map

#### 4. 결론

Codec 2는 고음질을 요구하는 시스템을 제외하고 일상생활 환경에서 저가형 IOT 무전기 솔루션으로 활용할 수 있다. 3,200 bps를 가지고 테스트를 진행했지만, 2,400 bps, 1,200 bps를 지원함으로써 400MHz 협대역에서의 5~20W의 고출력 무전기에서도 적용 가능한 솔루션이다. 그

리고 900MHz ISM 대역은 출력 제한을 200mW로 상향 조정이 되어 저전력 장거리(Low Power Wide Area; LPWA) IOT 구축이 용이하다. 현재는 스마트 미터링, 위치 기반 서비스, 모니터링 서비스 활용 등 데이터 서비스 기반으로 사용되고 있지만, 음성 통신 영역으로 확장할 수 있다.

본 논문은 Codec 2와 900MHz 대역의 장점을 활용하여 저가형 디지털 생활 무전기의 애플리케이션 활용 가능성에 대해서 검토했다. 도심 지역에서의 음성 통신 테스트를 진행했고, 대략 500m 정도의 거리에서 생활 무전기로 활용할 가능성을 보여 주었다. 900MHz 대역은 출력이 500mW보다 작지만, 대역폭을 확장할 수 있는 장점이 있기 때문에 음성통신과 더불어 저용량 이미지 전송과 같은 데이터 전송에 대한 테스트가 추후 진행되면 생활 무전기 애플리케이션 영역을 확대할 수 있을 것으로 보인다.

#### References

- [1] Sung. J. Y., "Technological Standards of Radio and Digital Conversion Policy," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 35, No. 10, pp. 3-6, 2018.
- [2] Young. J. Y., "Study on Analysis of Technology Trends and Domestic Development of Key Components in LMR Industry," Korea Radio Promotion Association, 2015.
- [3] Rowe. David, "Codec 2 Home Page," <http://www.rowetel.com/codec2.html>.
- [4] SEMTECH Corporation, "SX1272/73 - 860MHz to 1020MHz Low Power Long Range Transceiver,"
- [5] STMicroelectronics, "How to Implement a Vocoder Solution Using STM32 Microcontrollers,"
- [6] "SCH-SM1000," <http://svn.code.sf.net/p/freetel/code/smartmic/SM1000-A/>

[7] “p/freetel/code - Revision 3899:/odec2-dev,”  
<http://svn.code.sf.net/p/freetel/code/codec2-dev/>

[8] Devid Rowe, “Codec2\_Tapr\_2010\_v0.2,”



김 경 진 (Kim Gyeong-Jin)

- 정회원
- 한양대학교 전자전기공학부 공학  
학사
- (주) 빌리브 마이크론
- 관심분야 : 전파 공학, 정보통신,  
신재생에너지



김 정 옥 (Kim Jeong-Uk)

- 정회원
- 상명대학교 전기공학과 교수
- 관심분야 : IOT, BAS, BEMS,  
신재생에너지, AI