

## 굴착로드를 통한 이중변조 기반의 센서 데이터 전송

윤언호<sup>1</sup>, 이상락<sup>2</sup>, 김기현<sup>3</sup>, 광명수<sup>3</sup>, 최한고<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>금오공과대학교 전자공학과, <sup>2</sup>(주)케이에스엠, <sup>3</sup>로비트코리아(주)

## Double Modulation-based Sensor Data Transmission through Drill Rods

Eon-Ho Yun<sup>1</sup>, Sang-Rak Lee<sup>2</sup>, Gi-Hyun Kim<sup>3</sup>, James M. Kwack<sup>3</sup>, Han-Go Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Electronic Eng, Kumoh National Institute of Technology

<sup>2</sup>KSM Co., Ltd.

<sup>3</sup>Robit Korea Ltd.

**요약** 광산 및 지열 에너지 개발에 필요한 굴착 과정에서 안전성과 수익성을 확보하기 위해 현재 진행 중인 천공 위치 데이터의 실시간 전송이 요구되지만 이를 수행할 방법은 현재까지 연구되어 있지 않다. 본 논문에서는 천공 드릴 비트에 탑재된 센서의 출력 데이터를 드릴 로드를 통해 전송할 수 있는 통신 방식을 제안하였다. 즉, 송신기는 센서 데이터를 PSK31로 변조한 후 다시 SSB로 변조하여 드릴 로드로 전송하고 수신기에서는 드릴 로드에서 검출한 신호에 대해 SSB 복조 후 PSK31 복조 과정을 통해 센서 데이터를 복원하였다. 제안된 방식을 구현한 장치를 개발한 후 3,000번 실험을 통해 실시간 데이터 전송이 정상적으로 수행됨을 확인하였다. 제안된 방법을 산업현장에 적용 시 드릴의 위치와 방향을 실시간으로 확인할 수 있으므로 기존 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 드릴 로드를 사용하는 모든 산업 분야에 적용할 수 있다.

**Abstract** During the drilling process required in mining and geothermal energy development, real-time transmission of current drilling position data is required to ensure safety and profitability. But, methods capable of performing real-time transmission of drilling position have not been studied so far. In this paper, we proposed a communication method that can transmit the output data of the sensor mounted on the drill bit through drill rods. In this setup, the transmitter modulates the sensor data with PSK31 (Phase Shift Keying, 31 Baud), modulates it again with SSB (Single Side Band), and then transmits it to drill rods. The receiver restores the sensor data through the PSK31 demodulation process after the SSB demodulation of the signal detected by drill rods is performed. After developing the device implementing the proposed method, it was confirmed through 3000 experiments that real-time data transmission was normally performed. When the proposed method is applied to an industrial site, the position and direction of the drill can be checked in real-time, so the existing problems related to safety and profitability can be solved. Hence, this method is useful in all industrial fields that use drill rods.

**Keywords** : Data Transmission, Modulation, Sensor, Drill Rod, PSK

본 연구는 2019년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S2781065]

\*Corresponding Author : Han-Go Choi(Kumoh Inst. of Tech.)

email: hgchoi@kumoh.ac.kr

Received September 6, 2021

Revised September 28, 2021

Accepted October 1, 2021

Published October 31, 2021

## 1. 서론

광산, 원유, 지열 에너지 개발 시 천공 과정에서 원하는 방향으로 진행하는지 확인하기 위해 실시간 천공 위치 검출이 요구된다. 광산 분야에서 목표 위치에 도달하지 못하면 이는 발파를 다시 수행해야 함에 따라 연료, 장약, 소모품 및 채굴 사이클 시간 증가로 경제성이 떨어지며 여러 번 발파로 주변 안전에도 문제를 발생시킬 수 있다[1]. 따라서 현장에서의 안전사고 예방 및 채산성 향상을 위해 천공 방향 및 위치를 실시간으로 측정할 방법이 요구된다.

가정 및 산업현장의 에너지원으로 지열 에너지 설비를 시공하기 위해서는 지표면으로부터 보어홀을 반드시 천공해야 한다[2]. 그러나 천공 심도를 측정하기 위한 수단이 없는 경우 대개 작업자의 직감 또는 보어홀을 천공하는 천공기 드릴의 깊이를 파악하여 작업이 진행되므로 정확한 깊이를 측정할 수 없다. 이런 경우 다시 천공하여 보어홀을 추가하거나 이미 천공된 보어홀의 일부를 다시 메우는 추가적인 작업이 요구된다.

위에서 기술된 분야에서 진행 중인 천공 위치 정보 측정을 위한 기존 방식을 살펴보면 광산 분야에서는 천공 진행 후 드릴 비트 뒤에 위치기록 장치를 장착하고 천공을 통해 내려보낸 후 드릴을 지표면으로 올려서 위치기록 장치를 꺼내어 개인용컴퓨터를 연결하여 어느 방향으로 진행되었는지와 어느 정도 깊이까지 천공되었는지 확인한다. 이 과정을 반복하면서 최종 위치까지 천공을 진행한다. 지열 에너지 설비에서는 천공 완료 후 와이어를 천공으로 내려 바닥에 닿게 되면 접촉 신호가 전달되어 위치 정보를 전달해주는 방식이 있다. 이러한 방식들은 천공 후 드릴의 진행 방향 및 위치를 파악하는 방식으로 천공 도중 드릴 위치를 실시간으로 확인할 수 없으므로 장시간 공사, 고비용, 낮은 효율성을 초래한다. 이러한 문제점은 건설공사(도강, 항만, 해양 공사 등)에 사용되는 수평 드릴링 공법에서도 유사하다.

따라서 천공 도중 드릴 위치에 장착된 센서 데이터를 실시간으로 전달할 수 있어야 하는데 이를 위한 송수신 방식과 장치는 아직 연구되어 있지 않다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존의 오프라인 방식과 달리 천공 진행 중 드릴 로드를 통해 센서 데이터를 변조하여 전송하는 방식을 제안하였으며, 제안된 방식을 구현한 통신 장치를 개발하여 실험을 통해 실시간 데이터 전송이 가능함을 보여주었다.

## 2. 드릴 로드 기반 신호 전송

### 2.1 통신 매체로서의 드릴 로드 기능

Fig. 1과 같이 드릴 로드를 여러 개 연결한 후 로드 파이프 한쪽 끝단에는 함수발생기를 연결하고 다른 끝단에는 SDR(Software Defined Radio) 모듈을 연결하였다. SDR 모듈은 입력되는 신호의 주파수 분석을 수행하는 장치로서 드릴 로드가 신호 전송을 위한 통신 매체 역할을 수행하는지를 검증할 수 있다.



Fig. 1. Experimental configuration diagram

(1) 1차 실험: SDR 모듈만 드릴 로드와 연결하였을 때 Fig. 2와 같이 저주파수 성분들이 나타나 있으며(그림의 사각형 부분), 이 사실은 주변의 저주파수대 신호가 드릴 로드를 통해서 전송되었음을 의미한다.

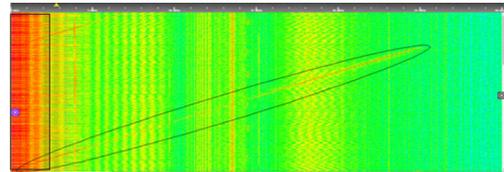


Fig. 2. SDR screen

(2) 2차 실험: 함수발생기와 SDR 모듈을 모두 드릴 로드와 연결하고 50 mV 크기의 정현파 신호를 0 Hz에서 25 MHz까지 변화시킨 경우 Fig. 2와 같이 SDR 모듈에서는 생성된 주파수 성분을 확인하였다. 즉, 주변의 저주파수 신호와 함께 인가한 정현파 신호가 드릴 로드를 통해서 전송됨을 의미한다(그림에서 원으로 표시).

위 실험 결과를 요약하면 드릴 로드를 통해 주변 신호 및 특정 입력 신호가 전달됨을 확인함으로써 드릴 로드 가 통신 매체로 동작함을 확인하였다.

### 2.2 드릴 로드의 공진주파수 측정

드릴 로드를 통해 모든 주파수 성분들이 손실 없이 같은 세기로 전송되지 않는다. 즉, 드릴 로드의 재질, 성분, 길이 등에 따라 주파수 신호 전송 특성이 다를 수 있으므로 최대 효율로 전송되는 신호의 주파수인 공진주파수(resonance frequency)를 측정하였는데 Fig. 1에서 SDR 모듈 대신에 오실로스코프를 사용하여 최대 크기로

전송되는 신호의 주파수를 측정하였다. 드릴 로드의 신호 전송과 수신에서 서로 다른 커패시터를 사용하였으며 드릴 로드 길이는 약 9 m이다.

합수발생기에서 0 Hz ~ 25 MHz의 주파수를 가변시키면서 정현파 신호를 드릴 로드에서 보낸 후 스크프를 통해 수신되는 주파수 성분을 확인하는 실험을 통해 공진 주파수를 측정하였다. Table 1은 커패시터에 따라서 측정된 공진주파수이며, Fig. 3은 24 pF 사용 시 측정된 오실로스코프 화면 모습이다.

Table 1. Measure of resonant frequency

Capacitance (pF)	Resonance frequency(MHz)	Capacitance (nF)	Resonance frequency(MHz)
10	13.5	0.39	4.6 / 5.3
18	10.8	0.68	3.1 / 4.5
24	9.9	2.2	2.0 / 3.0 / 4.4
180	6.0	100	1.2 / 2.0 / 3.0



Fig. 3. Oscilloscope screen

실험 결과 일반적으로 커패시터값이 클수록 공진주파수가 상대적으로 낮음을 확인하였으며, 낮은 커패시터(3 pF ~ 270 pF)에서는 단일 공진주파수가 발생하였으며 커패시터값이 클수록(330 pF ~ 0.22 uF) 2개 혹은 3개의 공진주파수가 발생하는 경향을 보여주었다. 이러한 공진주파수는 통신의 변조 과정에서 반송파(carrier signal)의 주파수로 사용하였다.

### 2.3 변조 신호 전송

일반적으로 통신 시스템에서 매체를 통해 신호 전달 시 잡음 및 외부 간섭 영향을 최소화하기 위해 변조 방법을 사용하는데, 본 연구에서는 드릴 로드에서 변조 신호 전송을 실험하였다.

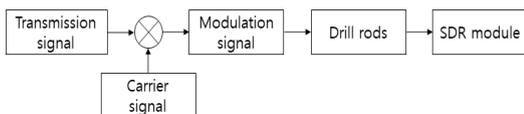


Fig. 4. Block diagram of modulation signal transmission

Fig. 4와 같이 생성된 변조 신호(modulation signal)를 드릴 로드를 통해 전송하였으며 로드 끝단에서는 SDR에서 분석된 Spectrogram에서 수신된 변조 신호의 주파수 성분들을 조사하였다. 여기서 반송신호는 Table 2에서 2.2 nF 커패시터를 연결하여 측정된 공진주파수인 3 MHz 정현파 신호를 사용하였으며, 전송신호로는 일정 범위에서 가변 주파수를 갖는 정현파 신호를 사용하였다.

Fig. 5는 Spectrogram 결과로서 시간에 지남에 따라서 3 MHz를 중심으로 양측에서 가변 주파수 성분들을 보여주고 있다. 따라서 변조된 신호가 드릴 로드를 통해서 정상적으로 전송됨을 확인할 수 있다.

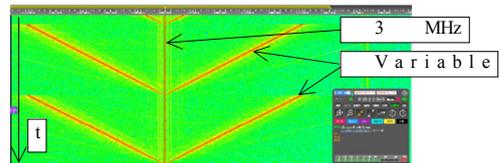


Fig. 5. Measured frequency

### 2.4 제안된 변조 방식

천공 위치 정보를 추출하기 위해 사용되는 9축 센서(가속도 3축, 관성 3축, 지자기 3축)의 출력 데이터를 스펙트럼 효율이 우수한 SSB 변조 방식으로 직접 송신할 경우, 센서 데이터는 디지털 신호로서 대역폭이 넓어 수신부에서의 신호 복원 시 데이터 검출이 안정되지 못하여 전송 정확도가 떨어짐을 실험을 통해 확인하였다. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 저전력 통신과 안정적인 센서 데이터 전송이 가능하도록 데이터를 우선 디지털 변조시켜 데이터의 주파수 대역폭을 감소시킨 후 다시 SSB 변조를 통해 데이터 전송을 수행하였다.

디지털 변조 방식인 BPSK(Binary Phase Shift Keying)와 DPSK(Differential Phase Shift Keying)를 사용한 실험한 결과 여전히 주파수 대역폭이 크므로 수신 확률이 낮았다. PSK31 변조는 상대적으로 좁은 대역폭을 갖는 방식으로서 BPSK와 DPSK에 비해 전송속도가 떨어지나 대역폭이 좁아 수신부에서 데이터 검출 정확도가 높았다. 따라서 데이터 전송 정확도 측면에서 PSK31 변조 방식이 드릴 로드 전송방식에 적합한 것으로 판단하였다.

일반적으로 PSK31은 HF 대역에서 사용하기에 적합한 통신 방식이며, 다른 디지털 통신 방식과 달리 31.25[Hz]의 좁은 주파수 대역폭을 가지므로 간섭과 잡

음의 영향을 적게 받아 열악한 환경에서도 높은 정확도의 통신이 가능하고 저전력으로 데이터 전송이 가능한 장점을 갖고 있다.

### 3. PSK31 변복조 설계

#### 3.1 PSK31 변조

Fig. 6은 PSK31 변조 블록 다이어그램으로서 기본 방식인 키보드 대신 센서 데이터를 사용하도록 변환하였다[3]. 센서 데이터(Roll, Pitch, Yaw)는 Float 형으로 출력되므로 소수점 데이터를 ASCII로 보낼 시 데이터의 길이가 가변적이고 비효율적이므로 데이터를 4-bit 단위로 분리하여 일정한 길이로 송신하도록 설계하였다. 4-bit로 분리하게 되면 16개의 Varicode가 필요하므로 총 127개 코드로 구성된 Varicode table에서 임의로 선정한 16개의 Varicode('0' ~ '?')를 사용하였다. 추가로 수신부에서 센서 데이터의 시작점 판단을 위해 특정 문자를 앞부분에 붙여서 센서 데이터와 잡음의 분별력을 강화하였다.

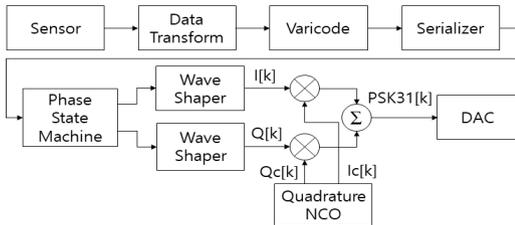


Fig. 6. Block diagram of PSK31 modulation

Varicode를 통해 생성된 값은 위상 변화에 따른 출력을 생성하고, 반송파 주파수를 결정한 뒤 NCO(Numerically Controlled Oscillator)에서 발생한 정현파 신호를 사용하여 변조시킨 후 DAC를 통해 출력된다.

반송파 주파수를  $F_c$ 라고 하면, 이에 따른  $I_c[k]$ ,  $Q_c[k]$ 의 수식(Eq. (1), Eq. (2))은 아래와 같다[4].

$$I_c[k] = \sin(2 * \pi * k * F_c) \quad (1)$$

$$Q_c[k] = \cos(2 * \pi * k * F_c) \quad (2)$$

PSK31 주파수  $F = 31.25 \text{ Hz}$ , 샘플링 주파수  $F_s = 8,000 \text{ Hz}$ 일 때, Varicode를 통해 생성된 값에 따라 수식이 변화하는데 송신 신호의 첫 반 파장에 대한 수식은 Eq. (3)과 같으며 최종 변조 수식은 Eq. (4)와 같다[5].

$$\text{if } (k < 128) \text{ then } I[k] = Q[k] = \sin(\pi * k * F)$$

$$\text{else } I[k] = Q[k] = 0 \quad (3)$$

$$PSK31[k] = I[k]I_c[k] + Q[k]Q_c[k] \quad (4)$$

첫 반 파장 이후의 신호 생성은 위의 Eq. (3)과 같이 1/2 파장 단위로 갱신하면서 0과 1, -1, 그리고 sin, cos, -sin, -cos 형태로 이전 출력과 현재 출력이 연속적으로 발생하면서  $I[k]$ ,  $Q[k]$ 를 생성한 뒤 Eq. (4)를 통해 변조 신호를 발생시킨다. Fig. 7은 시뮬레이션을 통해 생성된 Eq. (4)의 변조 파형이며, Fig. 8은 설계된 회로에서 다른 데이터에 대해 오실로스코프에서 측정된 변조 신호를 보여주고 있다.

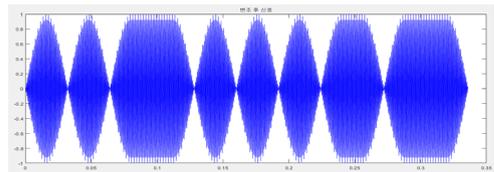


Fig. 7. Simulated PSK31 output waveform



Fig. 8. Designed PSK31 output waveform

#### 3.2 PSK31 복조

Fig. 9는 PSK31 복조 구성도로서 ADC를 통해 PSK31 변조 신호를 수신한 후, 반송파 주파수를 곱하여  $I[k]$ 와  $Q[k]$  신호를 생성한다[3].  $I[k]$ 와  $Q[k]$ 의 8 kHz의 샘플링 속도로 낮추기 위해 Decimation 과정을 수행하여 최종 샘플링 속도를 500 Hz까지 다운 샘플링 함으로서 프로세서에서 필터 설계 및 신호처리가 용이하도록 한다.

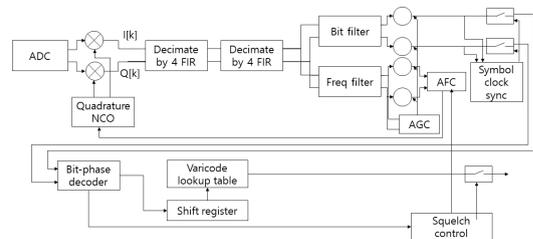


Fig. 9. Block diagram of PSK31 demodulation

Bit filter는 SNR(Signal to Noise Ratio)를 극대화하고 심볼(Symbol) 간 간섭 현상을 최소화하기 위해 사용되며, Frequency filter는 NCO에서의 주파수를 보정하여 특정 주파수로 조정시키기 위해 AFC (Automatic Frequency Control)를 제어한다. Bit filter의 출력은 타이밍을 맞추기 위해 Symbol clock sync에서 심볼의 중심을 찾아 동기화 수행을 하게 된다. 그 후 Bit-phase decoder를 통해 데이터를 Shift register에 순차적으로 저장한 뒤 Varicode lookup table을 이용하여 전송된 데이터를 검출한다.

Fig. 10은 Matlab에서 시뮬레이션을 통해 생성된 파형으로서 채널을 통해 변조 신호 진행 시 잡음이 포함된 경우를 가정한 것으로서 원 변조 신호에 화이트 가우시안 잡음을 12로 설정하고 복조한 파형이다. Fig. 11의 좌측 그림은 두 번의 Decimation 후의 파형이며, Fig. 11의 우측 그림은 최종 65-FIR 필터링이 수행된 것으로서 지연된 파형을 보여주고 있다.

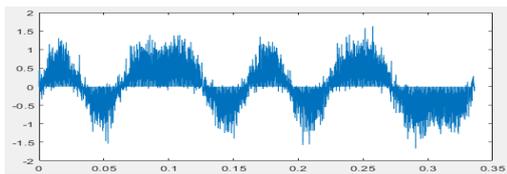


Fig. 10. Demodulated PSK31 wave

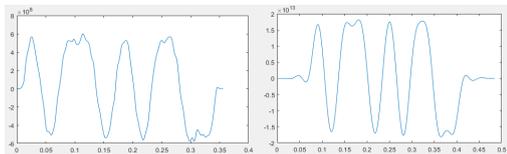


Fig. 11. Waves of decimation and filtering

### 3.3 PSK31 변복조 하드웨어 설계

Fig. 12는 PSK31 변복조 하드웨어 구성도로서 외부 장치와 연결된 모습이며, Fig. 13은 제작된 회로도 모습이다. DSP 프로세서에서는 센서 데이터 획득, 변조 기능과 복조 기능, 주변 소자 제어 등 Fig. 6과 9의 블록도 기능을 코딩하였으며, FIR 등 디지털 필터 구현이 용이한 Microchip사의 dsPIC33FJ128MC706 프로세서를 사용하였다[6].

DAC에서는 PSK31 변조 신호를 SSB 송신 모듈로 MCP4922 IC를 통해 전송하였으며, 복조 과정에서 신호 수신을 위한 ADC에서는 MCP6S21와 MCP601를 사용하여 프로세서의 Gain control 제어를 통해 수신 크기

를 조정하도록 설계하였다. EEPROM에서는 반송파 주파수 및 AFC 설정 등을 저장하기 위해 24AA256 소자를 사용하였다.

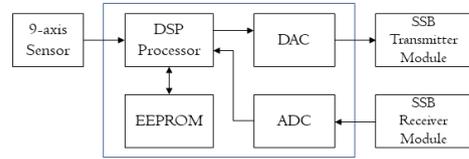


Fig. 12. PSK31 block diagram

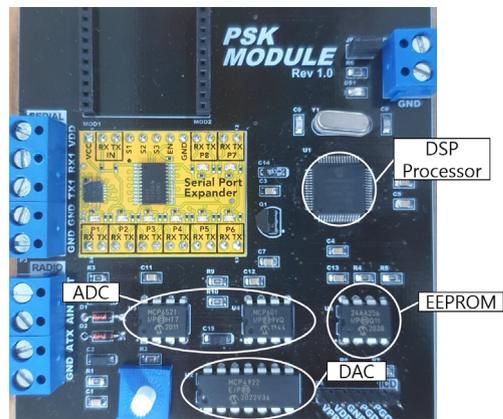


Fig. 13. Designed PSK31 board

## 4. 센서 데이터 전송 장치 설계 및 구현

### 4.1 위치 센서 데이터

위치 센서는 Xsens사의 MTi-3를 사용하였으며, 내부에 Gyroscope, Accelerometer, Magnetometer가 포함되어 있으며, AHRS(Attitude and Heading Reference System) 기능이 있는 제품으로서 온보드 처리 시스템을 통해 3개의 데이터(Roll, Pitch, Yaw)를 출력한다[7]. Roll, Pitch, Yaw 데이터를 통해 센서의 자세를 확인할 수 있으며, 이는 천공 끝단에 위치하여 진행 방향에 대한 정보를 제공한다.

### 4.2 데이터 전송 장치 구성도

드릴 로드를 통해 센서 데이터가 정상적으로 전송되는 지를 실험하기 위해 Fig. 14와 같이 데이터 전송 실험 장치를 구성하였다. 센서 출력 데이터는 디지털 값이므로 외부 잡음에 손실을 최소화하기 위해 좁은 대역을 사용하는 PSK31로 일차적으로 변조한 후 다시 아날로그 방

식인 SSB로 변조하여 커패시터를 통해 드릴 로드로 전송하였다. 수신 측에서는 송신부와 반대로 드릴 로드에서 커패시터를 통해 신호를 수신하고 SSB 복조 후 PSK31 복조를 통해 송신 데이터를 검출하였다.

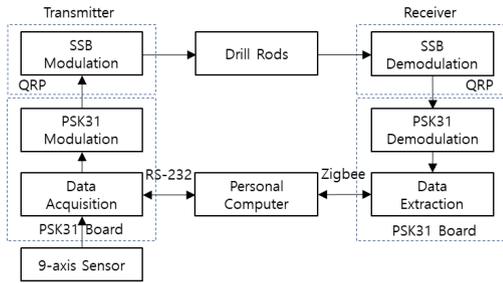


Fig. 14. Experimental configuration diagram

PSK31 변복조와 센서 데이터 획득 및 검출은 Fig. 13의 개발된 PSK31 보드를 사용하였으며, SSB 변복조는 많이 사용되는 아날로그 방식으로서 실험실에 보유하고 있는 QRP ver-1.3 장치를 사용하였다. 드릴 로드는 내경이 1.6 cm, 외경이 4.0 cm의 니켈, 크롬 등의 합금 강으로서 업체에서 생산하고 있는 드릴 로드를 여러 개 연결하여 약 9 m의 길이로 구성하였으며 Fig. 15는 일부분 모습이다.



Fig. 15. Drill rods

드릴 로드를 통해 센서 데이터 전송 정확도를 조사하기 위해 송신부의 PSK31 보드에서 RS-232 시리얼 통신을 통해 센서 데이터를 읽은 후 PSK31 변조를 수행함과 동시에 동일 데이터를 다른 시리얼 포트를 통해 유선으로 개인용컴퓨터에 전달하였다. 수신부의 PSK31 보드에서는 복조 과정을 통해서 데이터를 검출함과 동시에 검출된 데이터를 Zigbee 모듈(Digi XBee 3)을 통해 원격으로 개인용컴퓨터로 전달하였다.

개인용컴퓨터에서는 송신부 프로세서에서 센서 데이터를 RS-232 시리얼 통신으로 읽고, 동시에 수신부 프로세서에서 추출된 데이터도 Zigbee 통신을 통해 읽은 후 서로 데이터를 비교함으로써 데이터 전송 정확도를 실시간으로 측정하였다. Fig. 16은 LabVIEW를 사용하여 송수신 데이터 및 전송 정확도를 검사를 위해 개발된 사용자 인터페이스(user interface)를 보여주고 있다.



Fig. 16. User interface

### 4.3 실험 및 분석

실험은 6회에 걸쳐서 서로 다른 시간에 실시하였으며 1회에 500번씩 센서 데이터를 전송함으로써 전체적으로 3,000번 송수신 데이터를 비교하였다. 이때 데이터 비교는 Roll, Yaw, Pitch 개별 데이터에 대해 비교하였으며 이 중 적어도 한 개의 데이터에 대해 일치하지 않을 때 실패로 판정하였다.

Table 2. Experimental results

Iterations	Data	Number of transmissions	Accuracy (%)
6 times (500/time)	Roll	3,000	100
	Yaw	3,000	100
	Pitch	3,000	100

실험 결과는 Table 2와 같이 개별 데이터에 대한 전송으로서 모두 정확하게 수신되었다. 요약하면 평균 100%의 전송 정확도를 보여주었으며 이러한 결과는 드릴 로드를 통해 디지털 센서 데이터의 전송이 가능함을 보여주었다. 현장에 적용할 때 주변 환경에 무관하게 안전한 데이터 전송 및 전송 정확도 보장을 위해서는 송수신부에서 드릴 로드와 변복조 장치 간 연결에서 최소 신호 손실을 위한 모듈이 추가로 필요하다. 이를 위해서는 드릴 로드의 정확한 공진주파수 측정 및 단순 커패시터 사용을 탈피해 신호 전달을 최대화할 수 있는 LC 회로 등의 발룬(balun) 설계가 요구된다.

산업현장에서의 사용 가능성을 조사하기 위해서 제조업체 현장에 설치된 약 200 m 드릴 로드에서 센서 데이터 전송을 실험한 결과 정상적으로 동작함을 확인하였으며 추가로 데이터의 전송 정확도 측정을 수행할 예정이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 산업현장에서 사용하고 있는 드릴 로드

를 통해 연속 변조된 센서 데이터의 실시간 전송방식을 제안하고 장치를 설계하였으며, 실험을 통해 데이터 전송이 정상적으로 수행됨을 확인하였다. 실험 결과 3,000 번 센서 데이터 전송에서 에러 없이 모든 데이터가 수신됨을 확인하였다. 본 연구에서 사용한 PSK31 변복조는 Baud rate가 낮은 단점은 있지만, 산업현장에서는 높은 전송속도가 요구되지 않으므로 사용하기에는 문제가 없다.

제안된 방법은 지하에서 검출된 센서 데이터를 지상으로 전송이 요구되는 광산 및 지열 에너지 채굴, 터널 굴착, 지하수 천공, 석유 시공 등 드릴 로드를 사용하여 천공하는 모든 산업 분야에 적용 가능할 것으로 판단되며, 천공 도중 위치와 방향 정보를 확인할 수 있으므로 천공 시간, 경제성, 채산성 및 안정성 측면에서 크게 이바지할 것으로 예상된다.

## References

- [1] Deok-Hwan Lee, Sung-Oong Choi, Chang-Oh Kim, "Analytic Hierarchy Process Analysis on Correlation Between Drilling Error and Blasting Accuracy", *TUNNEL AND UNDERGROUND SPACE*, Vol.24, No.5, pp.386-394, Oct.2014. DOI: <https://doi.org/10.7474/TUS.2014.24.5.386>
- [2] HANGIL PLANT, Hong Seokil. Depth measurement device. 1020150081440, filed June 6, 2015, and issued December 16, 2015.
- [3] Midnight Design Solutions. NUE-PSK Modem Overview [Internet]. Midnight Design Solutions, c2020 [cited 2020 Aug], Available From: <https://www.nue-psk.com/NUE-PSK%20Overview.ppt> (accessed Aug. 1, 2021)
- [4] Dae-Ryung Lee, Keun-Seong Park, Ki-Mon Kim. "A study on the implementation of digital fisheries information network using PSK31 on MH/HF radio Band", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.14, No.6, pp.1365-1374, Jun.2010. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2010.14.6.1365>
- [5] MoeTronix. AE4JY PSKCore.DLL [Internet]. MoeTronix, c2008 [cited 2008 Sep 24], Available From: <http://www.moetronix.com/ae4jy/files/pskcoredll141.pdf> (accessed Aug. 1, 2021)
- [6] Manni Chen, Zhidong Zhao, Changchun Shi, Honghua Ying, and Xiaoyang Fei, "Development of the Home Uterine Contraction Pressure Monitoring System Based on PDA." *AASRI Procedia*, Vol.3, pp.566-570, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.aasri.2012.11.089>
- [7] Xsens. MTi 1-series Datasheet [Internet]. Xsens, c2019 [cited 2019 Dec], Available From:

<https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/Manuals/MTi-1-series-datasheet.pdf> (accessed Aug. 1, 2021)

윤 언 호(Eon-Ho Yun)

[정회원]



- 2017년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (학사)
- 2019년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과 (석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 (박사과정)

<관심분야>

신호 및 영상처리, 딥러닝, DSP 응용

이 상 략(Sang-Rak Lee)

[정회원]



- 2006년 2월 : 금오공과대학교 전자제어공학과 (석사)
- 2016년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과 (박사)
- 2012년 3월 ~ 2018년 10월 : ㈜ 뉴런 대표이사
- 2018년 11월 ~ 현재 : ㈜ 케이에스엠 대표이사

<관심분야>

유전 및 광산 건설분야 천공 위치추적기술, 특수무선통신

김 기 현(Gi-Hyun Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 금오공과대학교 기계공학과 (학사)
- 1998년 5월 ~ 2008년 3월 : ㈜ BERU Automotive 공장 Part 총괄 팀장
- 2008년 4월 ~ 2011년 11월 : ㈜ Parker한일유압 품질팀장
- 2012년 12월 ~ 현재 : ㈜ROBIT Korea 기술이사

<관심분야>

생산자동화, Smart Factory, 금속재료

---

곽 명 수(James M. Kwack)

[정회원]



- 1992년 2월 : Vasteras University (석사)
- 2020년 2월 : Hanken School of Economics (e-MBA)
- 2011년 9월 ~ 2014년 3월 : POLAIS BUSINESS CONSULTING JSC 대표이사
- 2015년 4월 ~ 현재 : (주)ROBIT Korea 대표이사

<관심분야>

금속재료, 자동제어, 생산자동화, 외투기업경영

---

최 한 고(Han-Go Choi)

[정회원]



- 1988년 2월 : 플로리다대학교 전기전자공학과 (석사)
- 1992년 2월 : 플로리다대학교 전기전자공학과 (박사)
- 1979년 3월 ~ 1986년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수

<관심분야>

신호 및 영상처리, 딥러닝, DSP 응용