

BSPN16110-059-12

# 극한지 오일샌드 플랜트 모듈 건전도 검증을 위한 손상 모니터링 시스템 개발

Development of damage monitoring system  
and evaluation of health monitoring



2017. 1

극지연구소

# 극한지 오일샌드 플랜트 모듈 건전도 검증을 위한 손상 모니터링 시스템 개발



극지연구소

# 제 출 문

주관기관장 귀하

2016년 5월 24일 귀 기관과 우리 극지연구소간에 계약한 “극한지 오일샌드 플랫폼 모듈 건전도 검증을 위한 손상 모니터링 시스템 개발”에 대한 위탁용역을 과업 지시서에 의거하여 완수하였기에 보고서로 제출합니다.

2017 년 1월 일

극지연구소

위탁기관명 : 극지연구소

연구책임자 : 이 방용

연 구 원 : 책임연구원 윤 영준

선임기술원 김 진석

연 구 원 박 근보

# 목 차

제1장 오일샌드 플랜트 변형감지 WSN 모니터링 시스템 제작 .....	1
1. 무선센서네트워크(WSN) .....	1
1.1 극저온 환경 WSN 시스템의 구성 .....	4
1.2 극저온 환경 WSN 시스템의 성능 .....	6
2. 모니터링 시스템에 의한 핵심 데이터 수집 .....	9
2.1 변형률(strain) .....	10
2.2 경사 .....	11
2.3 균열 .....	13
2.4 지중침하량 또는 동상(Heaving)량 .....	14
3. 변형감지 WSN 모니터링 시스템 제작 .....	15
3.1 개발된 극저온 WNS 시스템의 성능 및 범위 .....	15
3.2 진동현 방식 센서의 인터페이스 제작 .....	17
3.3 수분 (GS3) 센서의 인터페이스 제작 .....	21
3.4 게이트웨이 제작 .....	25
제2장 오일샌드 플랜트 상태감지 WSN 모니터링 시스템 요소기술 설계 .....	32
1. 온도변화 .....	32
1.1 개요 .....	32
1.2 온도센서 이론 .....	33
2. 상태감지 WSN 모니터링 시스템의 개발 내용 .....	37
2.1 센서노드 인터페이스 .....	37
2.2 소프트웨어 및 알고리즘 .....	40
3. 상태감지 WSN 모니터링 시스템의 설계 결과 .....	41
3.1 센서노드 및 인터페이스 설계 .....	41
3.2 운영 및 제어프로그램 .....	43
제3장 소결 .....	44
참고문헌 .....	46

# 그림목차

그림 1.1 무선센서네트워크 개념도 .....	2
그림 1.2 무선센서네트워크 사용예 .....	3
그림 1.3 토플로지 사용예 .....	3
그림 1.4 ZigBee 사용 예제 - MODBUS 구성도 .....	4
그림 1.5 네트워크 형성 절차 .....	5
그림 1.6 전송지연시간에 대한 성능 분석 .....	5
그림 1.7 LoRa의 측정 범위 .....	6
그림 1.8 배터리 작동 범위 .....	7
그림 1.9 배터리 성능 분석 .....	7
그림 1.10 배터리 전압분석 .....	8
그림 1.11 ZigBee 무선 모듈 예 .....	8
그림 1.12 RSSI 실험결과 - ZigBee Module .....	9
그림 1.13 진동현식 변환기의 원리 .....	11
그림 1.1 서보식 가속도계의 원리 .....	12
그림 1.15 LVDT의 구조 .....	14
그림 1.16 지중앵커 방식에 의한 침하측정 .....	15
그림 1.17 진동현의 신호 형태 .....	17
그림 1.18 전원 제어 회로 .....	18
그림 1.19 무선 모듈 인터페이스 소켓 .....	19
그림 1.20 디버깅 회로 .....	19
그림 1.21 진동현 센서 연결 커넥터 .....	20
그림 1.22 진동현 타입 센서 PCB 설계 파일 및 시제품 .....	21
그림 1.23 VWC를 측정하는 GS3 센서 .....	22
그림 1.24 GS3 센서의 사양 .....	22
그림 1.25 통신 모듈 연결용 소켓 .....	23
그림 1.26 전원 제어 회로 및 센서 연결용 통신 포트 .....	23
그림 1.27 수분함량센서 인터페이스 PCB 설계 파일 및 시제품 .....	24
그림 1.28 게이트웨이 구성도 .....	26

그림 1.29 게이트웨이 회로도(MCU부) .....	28
그림 1.30 게이트웨이 회로도(메모리부) .....	28
그림 1.31 게이트웨이 회로도(전원부) .....	29
그림 1.32 게이트웨이 회로도(이더넷부) .....	29
그림 1.33 게이트웨이 회로도(연결부) .....	30
그림 1.34 게이트웨이용 PCB 설계 도면 및 시제품 .....	31
그림 2.1 2-Wire RTD> .....	36
그림 2.2 4-Wire RTD> .....	36
그림 2.3 Thermocouple의 원리 .....	37
그림 2.4 Seedback 효과 .....	37
그림 2.5 센서노드 구성도 .....	39
그림 2.6 온도센서 인터페이스 회로도 .....	42
그림 2.7 온도센서 인터페이스 보드 PCB .....	42



# 제1장

## 오일샌드 플랜트 변형감지 WSN 모니터링 시스템 제작

### WSN 모니터링 시스템

#### 1. 무선센서네트워크(WSN)

센서에서 데이터를 수집하여 무선으로 데이터를 전송하는 네트워크를 무선센서네트워크 ((Wireless Sensor Network, WSN) 기술이라 하며 이러한 WSN 기술은 인간을 중심으로 하던 정보 운용 형태를 확장하여 인간과 사물뿐만 아니라 사물 간의 정보 공유를 언제 어디서든 가능하게 하는 유비쿼터스 환경으로의 패러다임 구현에 초석을 마련해 나가고 있다. 특히 WSN은 최근 인기를 끌고 있는 IoT를 포함하여 더욱더 많은 분야에서 적용되고 있다. 과거에 가격이 부담이 되었던 기기들은 시간이 지나고 기술이 발전하면서 경제적으로 접근하기 편리해졌고, 이로 인해 많은 분야에서 센서 및 제어 장치를 소형화 한 형태로 만든 후 각종 환경 상태 확인 및 조정에 사용되고 있다. 과거에 전력 감당 및 기술의 부족함 때문에 크고 다루기 불편한 기기들이 유선으로 연결되어 네트워크로 구성되었지만 최근에는 기기의 소형화와 같이, 네트워크를 유선에서 무선으로 바꾸면서 설치 및 유지의 편리함과 미적으로 깔끔한 네트워크가 가능해졌다. 여기에 해당되는 대표적인 예가 바로 무선센서네트워크다.

무선센서네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)는 일정 공간 내에 있는 다양한 장치를 연결시켜주는 역할을 한다. 예를 들면 공간적으로 분포되어 있는 센서들이 온도 및 환

경에 대한 정보를 측정한 후, 센서들의 정보를 관리하는데 유용하게 쓰이는 통신방식이다. 이 센서 네트워크 내에서 무선으로 정보를 모으면, 이 데이터는 한 곳으로 모여진 다음 유/무선 네트워크를 통해 외부로부터 접속 및 제어 가능하도록 설계되어 있다.

일반적으로 WSN은 그림 1.1과 같은 형태로 구성되어 있다. 환경에 대한 정보를 수집하는 센서들이 Sensor node에 포함되어, 정보를 수집한 후 Gateway측에 무선으로 전송한다. Gateway는 명칭대로 관문과 비슷한 역할을 하며, 센서 노드들에서 모인 정보를 인터넷이나 외부 통신망을 통해 공유하는 장치이다. 이 후 인터넷이나 외부 통신망에 연결되어 있는 관찰 장치 (observer)에서 센서 정보를 확인할 수 있다. 즉, 현장으로부터 벗어난, 원격으로 현장에 대한 정보를 수집할 수 있는 방식이다.

네트워크의 무선 통신 방식은 용도에 따라 그림 1.2와 같이 다양한 선택권이 존재한다. 단거리 통신에서 자주 쓰이는 주파수 대역은 별도 면허가 필요 없이 사용가능한 2.4 GHz 대역에서 사용되고 있다. 2.4 GHz대역에서 사용되는 통신 방식은 다양하다. 몇 가지 예를 들면 ZigBee 같이 IEEE 802.15.4에 해당되는 통신 프로토콜(Low-rate wireless personal area network, 저속 무선 네트워크)이나 IEEE의 802.11 (Wi-Fi)에 해당되는 통신 프로토콜을 사용하는 경우도 많다. 이 외로, 단거리가 아닌 장거리 통신을 해야 하는 경우에는 LoRa같은 통신방식도 사용되는 경우가 많다.

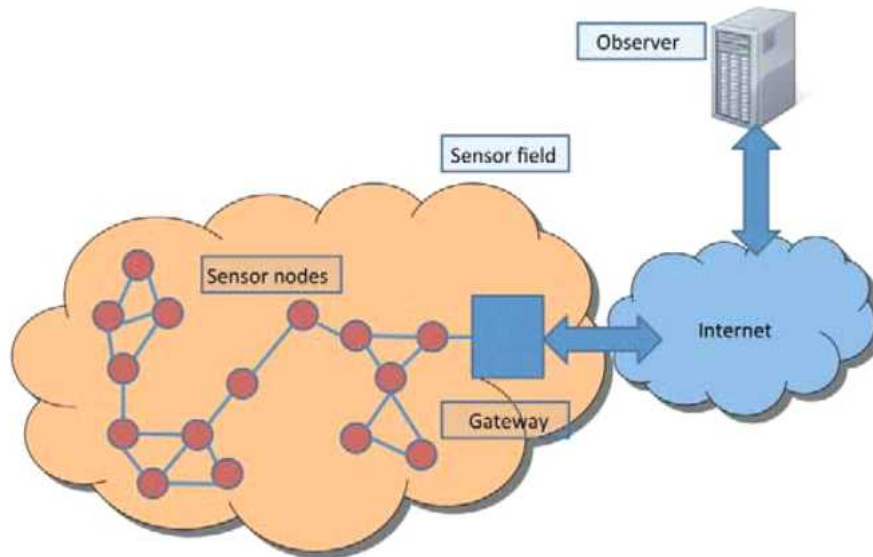


그림 1.1 무선센서네트워크 개념도



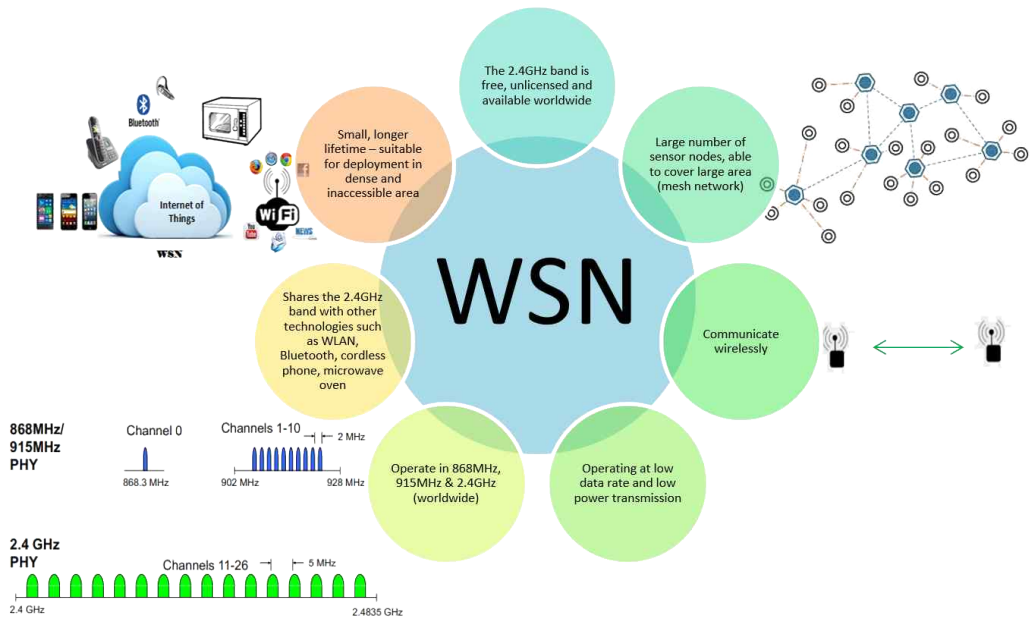


그림 1.2 무선센서네트워크 사용예

네트워크의 구성에 대한 또 다른 부분은 그림 1.3과 같은 토폴로지 (topology)이다. 이 부분에서 네트워크 안에 있는 노드간의 연결 방식, 즉 네트워크가 어떤 형태로 서로 데이터를 주고받는지 정해지는 부분이다. 무선센서네트워크에서 자주 사용되는 토폴로지는 스타 (star), 클러스터 트리 (cluster tree), 그리고 메쉬 네트워크이다. 각 형태에 대한 장단점이 있고, 환경에 따라 선택하면 된다.

본 연구에서는 WSN을 이용한 센서 통신과 데이터 저장에 관한 연구로 오일샌드 플랜트 모듈의 운송 및 시공중 모듈의 변형과 상태를 감지할 수 있는 통신 및 데이터 저장 시스템 개발에 있으며 3차년도에는 변형감지 WSN 시스템의 제작과 상태감지 WSN 시스템의 설계에 대한 내용을 연구하고자 한다.

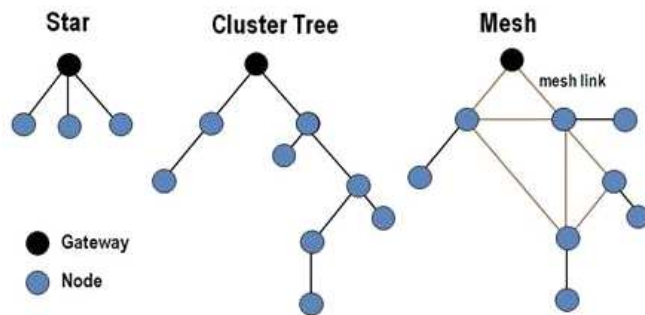


그림 1.3 토폴로지 사용예

## 1.1 극저온 환경 WSN 시스템의 구성

무선센서네트워크의 대표적인 예 중 하나가 바로 ZigBee이다. 이 방식은 그림 1.4와 같은 구성도를 갖고 있으며, 단거리에서 저전력 데이터 통신을 하는 부분에서 우수한 성능이 가능하다. 데이터 수집프로그램은 최초 미터 연결 시에는 미터들에 대한 상세한 정보를 요구하는데 이 데이터가 250바이트를 차지한다. 하지만 ZigBee 패킷은 250바이트를 수용할 수 없기 때문에 데이터를 여러개 로 나누어 전송하는 Fragmentation을 이용한다.

ZigBee 무선모듈은 패킷의 크기에 따라 적당한 크기로 패킷을 나누어 전송하게 되고 이 분할된 패킷을 받은 ZigBee 무선모듈은 다른 ZigBee 무선모듈로 전송하거나 수집 프로그램으로 전달하게 된다. 수집된 미터링 데이터는 ZigBee에 저장되어 ZigBee네트워크에서 에너지 관리를 위해 활용된다. 그림 1.4를 보면 ZigBee의 상용 예제가 되는 MODBUS의 구성도를 확인할 수 있다.

그림 1.5와 같은 경우에도 무선센서네트워크의 형태를 확인할 수 있다. ZigBee 무선모듈이 연결될 수 있도록 한다. 이때, 연결되는 순서대로 주소가 부여되게 된다. 만일 마스터와 슬레이브 간의 거리가 멀어 연결이 되지 않을 경우 근처의 슬레이브를 이용해 네트워크 가입이 가능하다. 이렇게 버튼만으로 간단하게 네트워크를 구성할 수 있다.

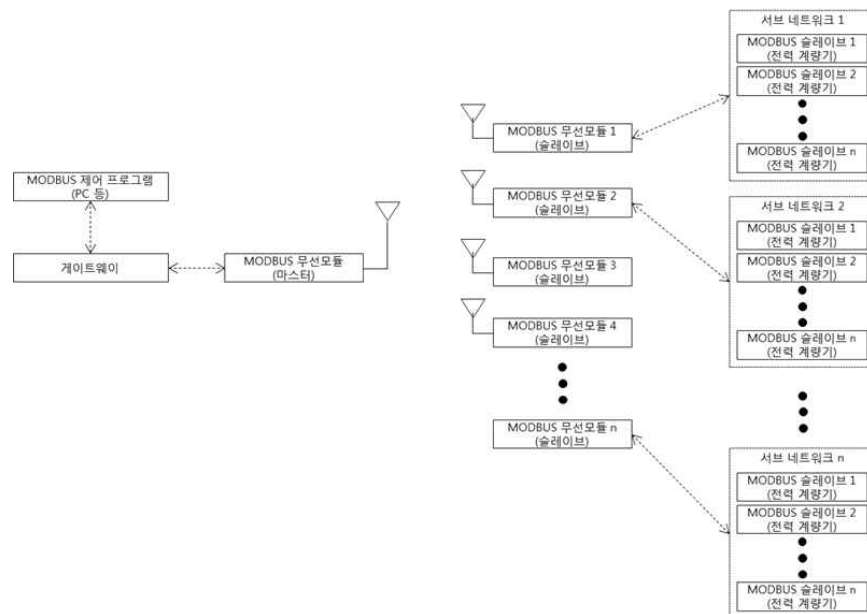


그림 1.4 ZigBee 사용 예제 - MODBUS 구성도

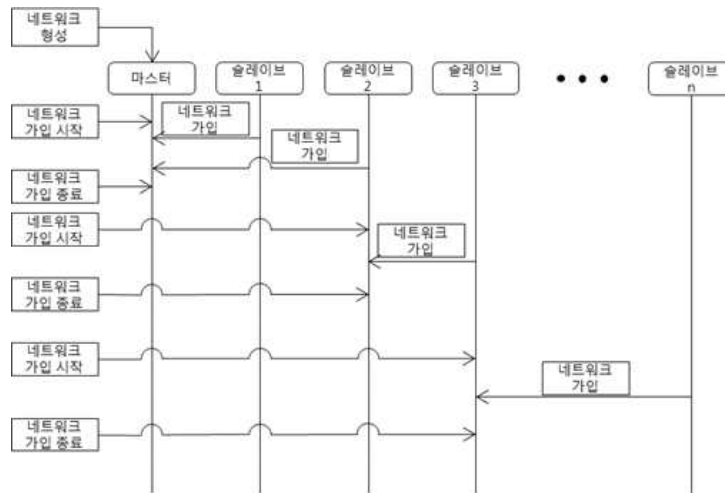


그림 1.5 네트워크 형성 절차

특히 본 연구에서는 ZigBee 무선모듈의 성능 분석을 위해 Multi-Hop 전송 지연시간에 관한 실험을 그림 1.6과 같이 진행하였다. 이는 ZigBee가 극저온 환경에서 어떠한 작용력을 보이는지 판단할 수 있는 척도가 될 수 있다. 전송 지연시간 실험에서는 MODBUS 패킷이 전송할 수 있는 최대인 255바이트를 전송하는 방법으로 진행하였다. 실험결과 x축의 Hop수가 늘어날수록 지연시간이 직선으로 증가하는 모습을 보였다. MODBUS의 경우 리퀘스트 패킷과 리스폰스 패킷으로 통신이 이루어지기 때문에 마스터 측에서 미터링 정보를 얻기까지는 지연시간의 두 배가 걸린다. 따라서 실험결과에 비추어 Hop수를 제한하거나 타임아웃 시간을 늘려 오류를 예방해야 한다.

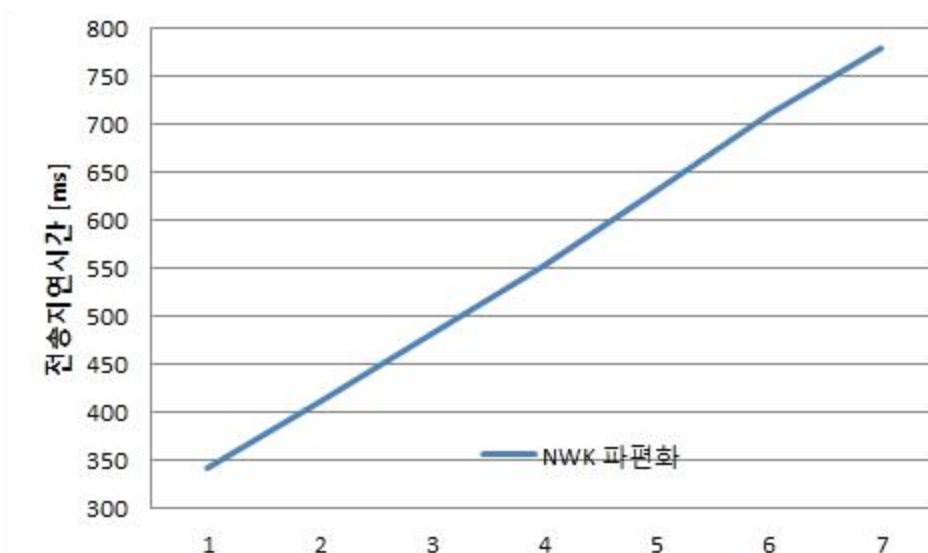


그림 1.6 전송지연시간에 대한 성능 분석

## 1.2 극저온 환경 WSN 시스템의 성능

극저온 환경에서 구현 가능한 통신방식 중 LoRa (Long Range Radio)를 택하면, 측정 범위 (통신가능 거리)는 도심 지역에서 킬로미터(kilometer) 단위로 가능하고, line of sight가 가능한 환경에서는 무려 20에서 30 킬로미터의 사정거리를 갖는 경우도 있다. 그림 1.7과 같이 LoRa 모듈을 만드는 Libelium사의 실험 결과에 의하면 21킬로미터까지 통신이 가능했다.

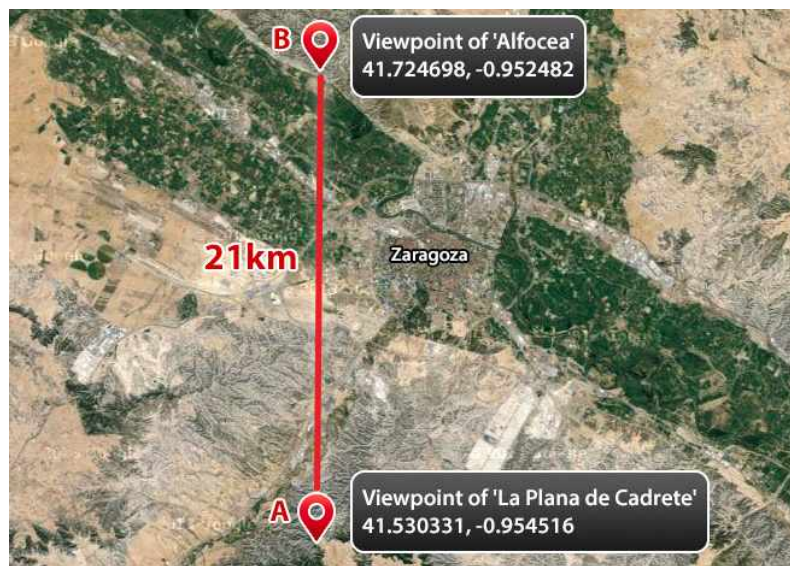


그림 1.7 LoRa의 측정 범위

WSN를 LoRa로 구현했을 때, LoRa 통신방식을 탑재한 Semtech사의 SX1278모듈의 성능을 확인해 보면, 동작온도는  $-55^{\circ}\text{C}$ 에서  $+115^{\circ}\text{C}$ 까지 사용 가능하므로, 극저온 환경에서도 사용 가능할 것으로 예상된다.

배터리 면에서 고려되는 사항은 몇 가지로 이루어지는데, 이 중 중요한 것은 온도에 따라 변하는 배터리의 성능이다. 아래 표를 확인해보면, 세 가지의 배터리 종류를 고려했을 때 (Nickel Cadmium, Nickel Metal-Hydride, 그리고 Lithium-Ion), 극저온에서 용량을 가장 잘 유지하는 배터리는 그림 1.8에서 1.10와 같이 lithium-ion임을 알 수 있다.

그러면 Lithium-Ion을 단독으로 고려했을 때, 그림 1.8에 나타난 바와 같이 저온에서 변하는 충전 유지 능력이  $0^{\circ}$ 와  $-20^{\circ}$  사이에서 유지 능력이 떨어지는 점을 확인 할 수 있지만, 위에서 비교한 세 가지 배터리 중 성능이 가장 좋았던 점을 고민하면 최선의 선택 일 수 있다.

## 2.2. Absolute Maximum Ratings

Stresses above the values listed below may cause permanent device failure. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods may affect device reliability.

Table 3 Absolute Maximum Ratings

Symbol	Description	Min	Max	Unit
VDDmr	Supply Voltage	-0.5	3.9	V
Tmr	Temperature	-55	+115	°C
TJ	Junction temperature	-	+125	°C
Pmr	RF Input Level	-	+10	dBm

Note Specific ratings apply to +20 dBm operation (see Section 5.4.3).

## 2.3. Operating Range

Table 4 Operating Range

Symbol	Description	Min	Max	Unit
VDDop	Supply voltage	1.8	3.7	V
Top	Operational temperature range	-40	+85	°C
Clop	Load capacitance on digital ports	-	25	pF
ML	RF Input Level	-	+10	dBm

Note A specific supply voltage range applies to +20 dBm operation (see Section 5.4.3).

그림 1.8 배터리 작동 범위

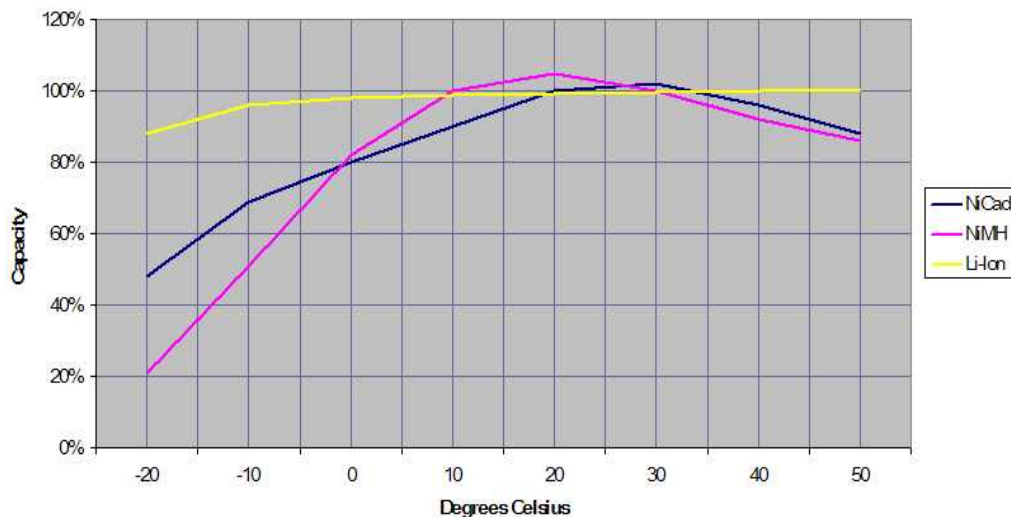


그림 1.9 배터리 성능 분석

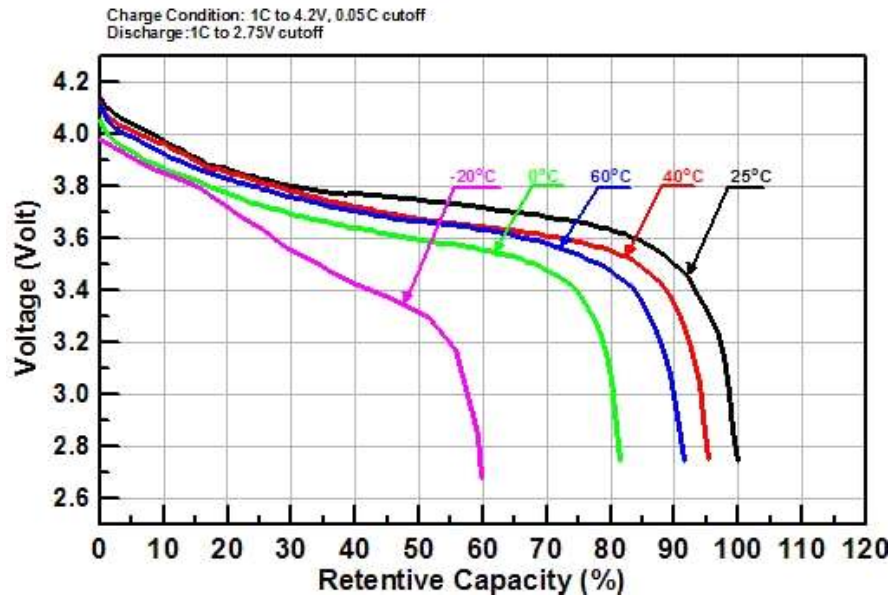


그림 1.10 배터리 전압분석

그림 1.11과 같이 무선 모듈의 구성은 버튼과 전원, 그리고 ZigBee모듈이 들어간다. 유선 통신부로부터 패킷을 받으면 제어알고리즘을 통해 ZigBee를 이용한 무선통신을 하게 된다. 이 때, 터널을 이용해 터널링으로 MODBUS패킷의 변화없이 전달하게 되며 미터로부터 수집된 미터링 데이터는 ZigBee에 저장되어 ZigBee네트워크에서 에너지 관리를 위해 활용된다.



그림 1.11 ZigBee 무선 모듈 예

ZigBee의 경우, RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값을 측정하여 PC에 데이터를 수집한다. 특히 안정적인 데이터 수집 여부를 판단하기 위하여 측정횟수에 대한 RSSI 값을 측정하는 실험을 수행하였다. 각 실험 구간에서 100회를 반복 측정 하였으며 측정값은 그림 1.12에 나타내었다. 측정 결과, 60층 내외의 건물에 설치되는 수직관로에 무선 시스템을 적용하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. 개발된 시스템에서는 무선 네트워크에서 ZigBee을 사용하므로 2홉핑 내에서 통신이 가능할 것으로 보인다. 옥상에서 진행된 백본 네트워크(B-NWK)을 위한 실험 결과 400m 내에서 1홉핑으로 통신이 가능할 것으로 판단된다.

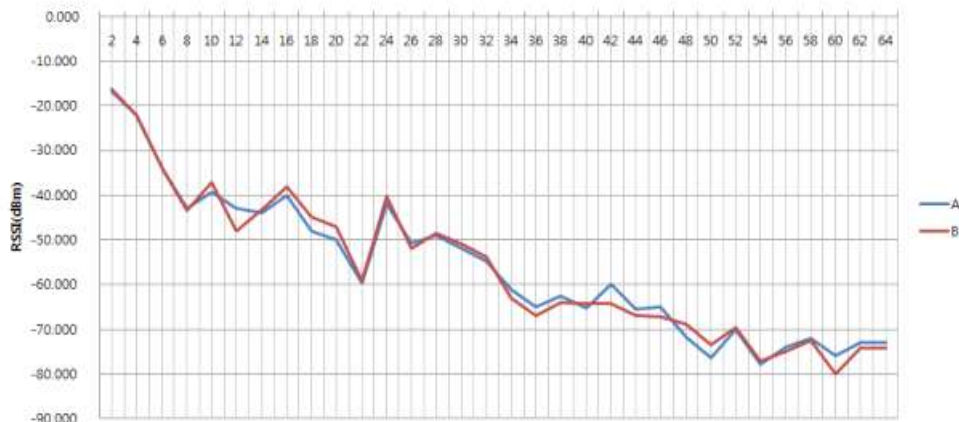


그림 1.12 RSSI 실험결과 - ZigBee Module

## 2. 모니터링 시스템에 의한 핵심 데이터 수집

계측에서 얻어진 데이터는 모니터링 시스템 구축을 통하여 지반 및 구조물의 거동을 파악하고, 이를 바탕으로 현재 상태를 판정하기 위하여 필요한 핵심 데이터들에 대해 조사 분석하였다. 지반 및 구조물의 거동과 이를 바탕으로 현재 상태를 판정하기 위하여 측정하는 핵심 데이터는 지반 및 구조물에 영향을 미치는 환경외력과 지반 및 구조물의 거동을 표시하는 물리적 변화량 및 재료 또는 구조체와 관련된 내력 등이 있다. 따라서 지반 및 구조물 모니터링을 통해 기본적인 몇 가지 물리적 변화량을 측정하고 이를 바탕으로 지반 및 구조공학적인자를 도출하여 이를 전 상태 또는 초기 상태와의 값과 비교함으로써 지반 및 구조물의 현재 상태를 파악한다. 즉, 모니터링을 통해 측정된 핵심 데이터는 변형률, 기울기, 균

열, 하중, 온도 등이며 이를 통해 지반 및 구조물의 현재 상태를 파악한다.

## 2.1 변형률(strain)

변형률이란 단위길이 당 신장 량의 개념으로 축하 중을 받는 봉을 예를 들어 설명하면 봉의 전체길이가 인장을 받을 때는 신장되고 압축을 받을 때는 줄어든다. 따라서 신장 량은 전체 길이에 걸쳐 늘어난 결과로 봉의 단위길이에 대한 신장 량은 전 신장 량  $\delta$ 에  $1/L$ 을 곱한 값이며, 다음 식이 사용된다. 또한 대부분의 구조용 재료는 대부분 응력-변형률 선 도상에 재료가 탄성적으로, 또한 선형적으로 거동하는 초기영역을 갖는다, 이와 같이 재료가 탄성적으로 거동하면서 응력과 변형률사이의 관계가 선형적일 때 이를 선형탄성(linearly elastic)이라 하는데 인장이나 압축을 받는 봉에 대한 응력과 변형률 사이의 선형적인 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}, \sigma = E \cdot \epsilon \quad (\text{식 1.1})$$

$E$ 는 재료의 탄성계수(modulus of elasticity)이며 선형탄성영역에서 응력-변형률 선도의 기울기를 나타내며 재료에 따라 다른 값을 나타낸다. 변형률은 무차원량이므로 탄성계수  $E$ 는 응력의 단위와 같음을 알 수 있다. 이러한 응력과 변형률의 관계로부터 외부하중이 작용하는 경우, 구조물 또는 재료의 변형된 응력과 변형률을 구할 수 있으며 다음과 같은 목적으로 사용된다.

- (1) 교량, 건물, 가시설 등의 구조물의 대표적인 강재의 응력 변화 상태를 측정
- (2) 피로 하중을 받기 쉬운 강재의 응력 범위를 측정
- (3) 터널 라이닝의 응력 변화 상태를 측정
- (4) Mass 재료 내부에서 발생하는 응력을 측정
- (5) 철근 및 덮개 재료 부재 내부 철근의 응력

변형률을 측정하는 방법은 진동현식과 전기저항식 등이 있으며, 진동현식 변형률계에서 변환기는 엄밀한 의미에서는 전기적 변환기가 아니라 기계적 변환기의 일종이다. 그림 1.13에 나타난 바와 같이 두 개의 블록사이를 인장된 강선으로 연결하여 측정대상물의 표면에 설치하거나 내부에 매설하고 측정대상물에 변형이 발생하면 두 개의 블록이 서로 변위를 일



으며 강선의 인장력이 달라지며 강선 옆에 설치된 전기코일로 가선을 진도시켜 자기장 (Magnetic Field)에 변화를 주면 교류전압이 발생하고 발생된 전압의 진동수는 강선의 공진 진동수와 같으며 케이블을 통해 적절한 진동수 측정 장치에 전달된다. 여기서 측정된 진동수의 변화로부터 변형율을 계산하는데 이를 위해서는 보정곡선이 필요하며 보정곡선은 다음의 식을 이용한다.

진동현식 변환기의 주요장점중 하나는 전압대신 진동수를 출력신호로 사용한다는 것으로 진동수는 케이블의 저항변화 또는 지반과의 접촉저항, 누전 등의 영향을 받지 않는다. 그러나 상대적으로 값이 비싸고 출력이 비선형이며 동적변형을 측정하는 데는 부적당하다.

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{t}{m}} \quad (\text{식 1.2})$$

여기서 f는 진동 주파수, L은 와이어길이, t는 인장력, m은 단위길이 당 와이어 중량이 다.

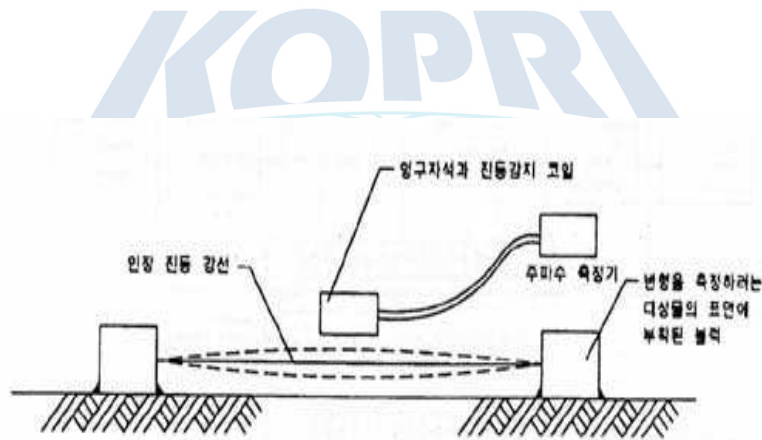


그림 1.13 진동현식 변환기의 원리

## 2.2 경사

하중을 받아 처진 구조물에서 처짐 곡선상의 어떤 특정한 점의 선변위를 처짐이라고하며, 그 점의 접선과 부재축의 원위치와 이루는 각 변위를 기울기 또는 처짐각(slope)이라고 한다. 처짐에는 하중을 받자마자 발생하는 탄성 처짐과 시간의 경과와 더불어 진행되는 장기 처짐이 있는데 이들 처짐이 어떤 허용 값을 넘어서면 구조물의 미관을 해치고 그 구조물에 부착된 다른 부분이 손상을 받게 되는 수가 있다. 이러한 각 변위는 다음과 같이 계산된다.

$$a = g \sin(\alpha) \quad (\text{식 1.3})$$

여기서,  $g$ 는 중력가속도,  $a$ 는 변형된 각을 나타낸다. 일반적으로 경사의 측정은 호의 길이를 선형으로 간주하여 다음과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$x = r \sin(\alpha) = \frac{ra}{g} \quad (\text{식 1.4})$$

여기서,  $r$ 은  $x$ 만큼 변위가 발생될 때의 반지름의 길이를 나타낸다. 따라서 변형된 경사는 다음과 같다.

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{a}{g}\right) \quad (\text{식 1.5})$$

경사의 측정은 하중과 변위관계(the load-deformation characteristics)를 결정하는데 필요하고 탄성거동(elastic behavior)과 곡률(curvature)의 변화에 대한 제한을 정하는데 도움이 된다. 구조물의 기하학적 형태 변화를 측정하고 구조물의 위치 변화를 측정하며, 지반의 경우 침하 등을 측정한다.

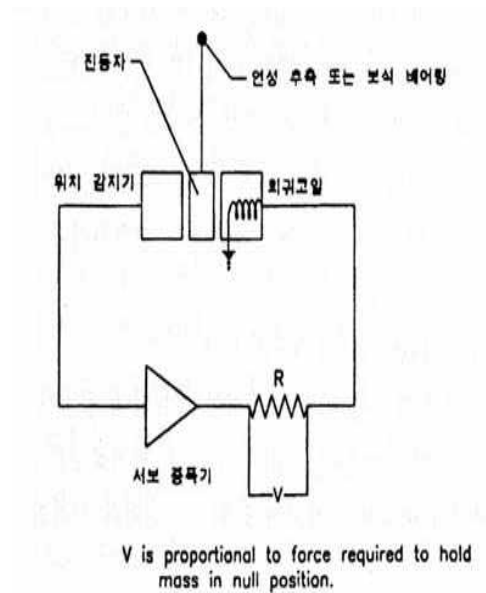


그림 1.14 서보식 가속도계의 원리

최근 구조물 경사계의 경우 서보 가속도계식 변화기를 이용하여 생산되고 있으며 핵심 구성은 그림 1.14와 같다. 계측 원리는 경사계 내부의 위치감지기 (Position Detector)의 자기장 내에 달려있는 진동자에 힘이 가해져 움직이려고 하면 위치감지기에 전류변화가 생기며 전류 변화는 서보증폭기 (Servo-Amplifier)를 통과하면서 증폭되어 회귀코일 (Restoring Coil)에 전달되며 회귀코일은 이 전류변화와 크기가 같지만 방향이 반대인 힘을 가해 Seismic Mass가 움직이지 않도록 한다. 회귀코일을 통한 전류는 저항기에서의 전압강하로 측정되며 이 전압은 초기에 진자에 가해진 가속도에 비례한다.

서보식 가속도계가 구조물경사계나 지중경사계에 적절한 이유는 각  $\alpha$  만큼 경사가 발생할 때 Seismic Mass를 평형시키기 위한 힘이 Sine함수에 비례하기 때문이다. 그러므로 측정된 출력전압은 Sine 함수에 비례하며 경사계의 바퀴간격에 Sine $\alpha$ 를 곱하면 연직선으로 벗어난 거리를 직접 구할 수 있다.

### 2.3 균열

재료의 경우 높은 환경외력이 작용될 때 눈에 띌 만큼 큰 균열이 발생할 수 있는데 이러한 균열은 외관상 좋지 않을 뿐 아니라, 폭이 큰 균열은 재료내부의 철근을 부식케 하여 구조물의 내구성을 저하시킨다. 그러므로 구조물의 내구성을 위해서는 폭이 큰 몇 개의 균열 보다는 많은 수의 미세한 균열이 바람직하다. 즉 균열의 수가 문제가 아니고, 균열의 폭이 문제가 되는 것이다. 균열에 대한 실험결과 재표 표면의 균열 폭은 철근에 대한 재료 덮개에 비례한다는 것을 알게 되었다. 따라서 다음 식에 의하여 균열을 제한하는 경우가 있다.

$$Z = \sigma_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (\text{식 1.6})$$

여기서, Z는 휨 철근의 분포를 제한하는 양,  $\sigma_s$ 는 사용하중에 의해 계산된 철근의 인장응력 (계산 대신 0.6 $\sigma_y$ 를 사용가능),  $d_c$ 는 인장축 하단에 가장 가까운 철근의 도심으로부터 인장 축 하단까지의 거리 및 A는 재료의 유효인장단면적을 철근의 수로 나눈 값을 나타낸다. 균열의 위치와 형태, 그리고 폭은 하중과 관련이 있으며 균열은 사용하중조건(service load condition)을 정하고 극한하중응력조건(ultimate or limit load stress condition)을 구하는 데 이용된다.

균열 측정 시에는 주로 LVDT를 이용한 계측기가 사용된다. 그림 1.15는 AC-type LVDT의 구조를 나타낸 것으로서 1차 코일과 2개의 2차 코일 사이에 철심이 놓여 있다. 1

차 코일에 Function Generator를 이용하여 sine wave(교류전원)를 가하면 2차 코일에 전압이 유도된다. 철심이 1차 코일과 2차 코일 사이에 놓여 있어, 철심의 위치에 따라 2개의 2차 코일에 발생하는 유도 기전력간의 차이가 발생한다. 유도 기전력의 차는 철심의 변위에 선형적으로 비례하여, LVDT를 이용하여 변위를 측정할 수 있다.

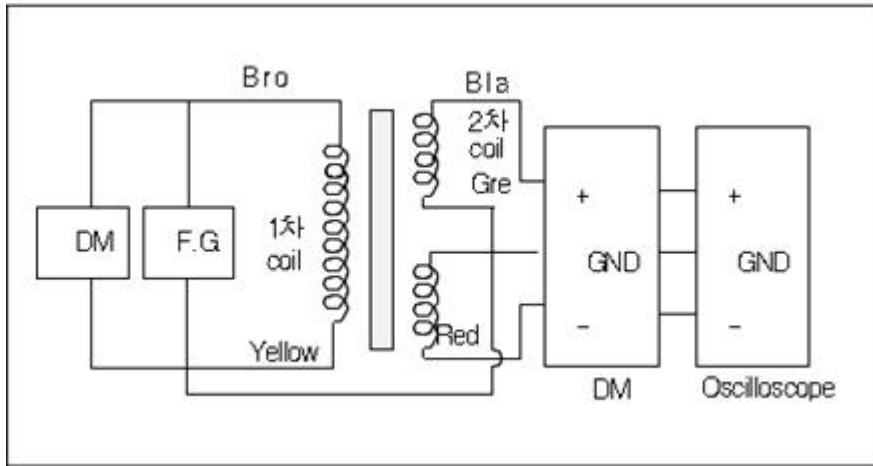


그림 1.15 LVDT의 구조

#### 2.4 지중침하량 또는 동상(Heaving)량

지반에서 발생하는 침하량 또는 동상(heaving)량은 2.1에 나타낸 변형률과 같은 의미이다. 그러나 지중침하량 또는 동상(heaving)량은 단위길이 당 신장량으로 측정하지 않고 변형된 길이만큼을 측정하는 상대변위로 나타낸다. 따라서 다음과 같다.

$$z = f \epsilon \quad (\text{식 1.7})$$

여기서,  $z$ 는 침하 또는 히빙량,  $f$ 는 보정계수 및  $\epsilon$ 은 계측기의 strainmeter에서 관측된 값을 나타낸다.

보링공 또는 관측정을 이용하여 깊은 토층내의 침하를 일으키지 않는 부등점에 앵커를 장착하고, 여기에 기존 앵커로드 또는 튜빙 파이프를 연결한 후 침하측정 대상면에 침하판을 설치하면, 앵커로드 또는 튜빙 파이프의 상단과 침하판의 상대변위를 측정할 수 있다. 이러한 방식에는 그림 1.16과 같이 보링공 저면에 설치된 앵커로드와 측정 대상면에 설치된 침하판의 상대 변위를 전기저항으로 변환한 포테시오미터로 측정하는 연속식 침하계

(Continuous Settlement Gauge)와 관측정 밑에 설치된 튜빙파이프와 침하측정 대상면에 가설된 I형강의 상대변위를 침하계로 측정할 수 있으며, 지반침하에 따른 부마찰력 및 토압의 영향을 제거하기 위하여 이중관식이 많이 사용된다.

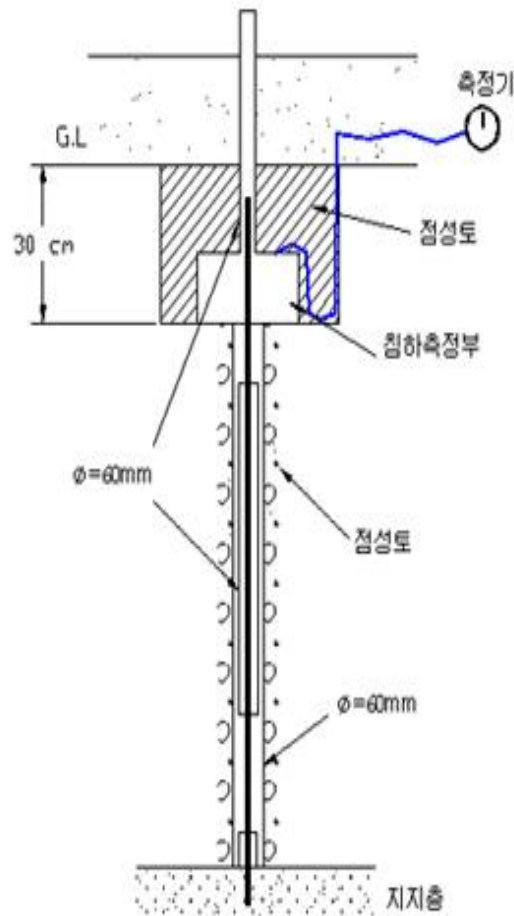


그림 1.16 지중앵커 방식에 의한 침하측정

### 3. 변형감지 WSN 모니터링 시스템 제작

#### 3.1 개발된 극저온 WNS 시스템의 성능 및 범위

극저온 환경의 극지역 기후 변화를 원격으로 관측하기 위한 ICT 융복합형 기술개발에 있어 저전력으로 동작하는 무선센서네트워크 구성은 신뢰성 높은 관측 시스템을 구축하는데

매우 중요하다. 관측 목적에 맞는 적절한 계측 센서의 선정과 연동 기술, 상용 인공 위성을 이용한 실시간 원격모니터링 시스템 등의 기술 개발이 계속 진행 될 것으로 판단된다.

앞에서 조사 되었듯이 저전력 무선센서네트워크 구성에는 ZigBee와 LoRa 표준 규격이 가장 적합하다. 네트워크 토폴로지를 다양하게 확장 구성 할 수 있는 ZigBee 통신과 통신 속도 등을 응용 센서에 맞게 조정하여 수 km 이상의 통신 도달 거리를 가질 수 있는 LoRa 통신 방식을 융합 사용하면 저전력 무선센서네트워크 구성이 용이해 진다. 또한, 센서 노드는 측정이 없이 대기하는 동안에는 최소의 전력을 소비하도록 동작 모드를 조정하여 전력을 최소화 할 수 있다. 무선 통신 노드의 소비 전력만 생각한다면 극저온 극지환경에서 알카라인 건전지로 수년 이상 동작 할 수 있다. 극지에서 관측하고자하는 목표에 따라 적절한 계측 센서를 선정하여 무선 센서 노드와 연동해야 할 것이다. 센서 타입과 측정 빈도에 따라 소비전력은 달라 질수 있다. 따라서 배터리는 센서 타입, 측정 빈도, 통신 빈도 등을 고려하여 선정 될 것이다. 더 나아가 태양광 발전, 풍력 발전 등의 에너지 수확 기술을 접목하면 반영구적인 관측 시스템 구축이 가능해 질 것이다.

아래는 개발 하고자하는 무선 센서 노드의 개발 목표 사양이다.

- ZigBee-WPAN, LoRa-WAN 핵심 기술 개발
  - 동작온도 범위 :  $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$
  - 공급전압 :  $3.3\pm 0.25\text{V}$
  - 대기전류 :  $\lt 10\mu\text{A}$
  - 링크버짓 : 150dB 이상
  - 송신출력 : +27dBm
  - 네트워크 규모 : 256nodes
  - 통신거리 : 10km 이상(line of sight, low data rare)
- 센서인터페이스 보드 개발
  - 온도(16CH), 지표온습도, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 센서 연동 가능 구조
- 위성통신 접속기술 개발
  - 위성 통신 규격 분석(경제성, 신뢰성, 양방향, 통신 속도 등 고려하여 극지에서 사용가능한 위성 통신 규격 선정)
  - 동작온도 범위 :  $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$
  - 공급전압 :  $5.0\pm 0.25\text{V}$
  - 대기전류 :  $\lt 2\text{mA}$

### 3.2 진동현 방식 센서의 인터페이스 제작

진동현방식 센서(vibrating wire type strain gauge)는 물리량의 변화에 따라 탄성체의 고유 진동수가 변화하는 현상을 이용한 센서로서 탄성체의 고유 진동수는 품질계수(Q factor)가 높기 때문에 재현성, 분해능 및 안정성이 좋지만 입출력 관계가 비선형이기 때문에 신호처리가 복잡하다. 그러나, 변위에 대하여 주파수 변화가 발생하기 때문에 AD변환 및 디지털시스템에서의 처리가 용이하다. 현(wire), 음자, 복합음차, 원판 및 원통 등의 진동자가 하중 압력, 변위, 각도 변형률 등을 측정하는데 사용된다. 진동현방식 센서는 전기적 변환기가 아니라 기계적인 변환기이다. 진동현방식 센서의 인풋 아웃풋 통신 구조는 그림 1.17과 같다. 본 연구에서는 장기간의 오일샌드 플랜트 모듈의 모니터링을 위하여 가장 장시간 사용될 수 있는 진동현 방식의 센서를 이용하여 모듈의 변형을 측정한다.

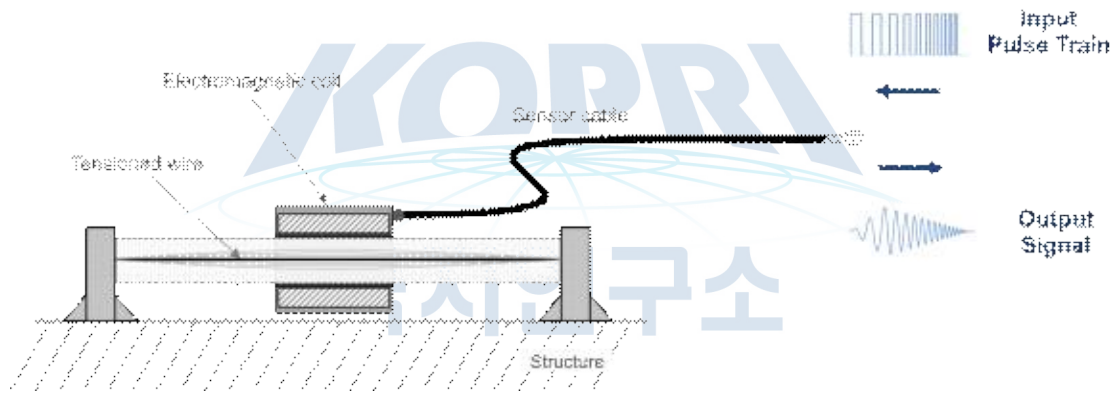


그림 1.17 진동현의 신호 형태

진동현방식 센서는 진동현(vibrating wire, 경강선)을 센서 구조에 맞게 플랜지 등의 고정단에 일정한 장력을 가하여 고정시키고 전자력을 형성시킬 수 있는 마그네틱 코일(flucking coil)을 진동현에 위치시켜 출력장치에서 마그네틱 코일에 신호를 입력하면 강한 전자력이 형성되어 진동현을 진동시킨다. 진동현은 진동이 발생하고 마그네틱 코일을 통한 공진 주파수로 측정되어 출력장치에 초당 진동수(frequency)로 표시 된다.

진동수는 현의 길이, 장력, 밀도, 중력가속도, 탄성계수, 변형률로 식 1.2에 의하여 계산할 수 있으며 현의 진동수를 측정하여 현의 변형률 또는 현이 고정된 두 지점 사이의 길이를 측정한다.

변형이 발생하거나 구조물의 주요 위치에 진동현방식 센서를 부착하고 계측장치를 연결하여 측정한 결과를 기록하고 있다. 따라서, 직접 센서가 설치된 위치로 이동하지 않고 다양한

위치의 변형을 측정 및 실시간 모니터링할 수 있는 원격 모니터링 시스템의 구현하기 위한 단말기가 필요하다.

진동현 센서가 일정하게 변하는 신호를 선에 보내고, 선에 가해지고 있는 장력(힘)에 의하여 부하 센서로 돌아오는 주파수 값의 변화로 장력을 계산할 수 있다. 이러한 방식으로 진동현 센서는 움직임이나 가해지는 힘이 측정가능하다. 하지만 장력은 절대기준에 대한 상대적 움직임을 측정하기 때문에, 안정된 구조체 (structure)가 기준이 되어야 한다. 통신 모듈은 진동현 로거에 저장된 데이터를 WMN을 통해 게이트웨이로 전달하고 측정 주기와 전원을 제어하는 역할을 한다.

지표의 침하율, 변형률 등의 측정하기 위한 센서는 주로 케이블의 장력을 측정할 수 있는 센서인 진동현 (vibrating wire) 센서를 주로 사용하게 된다. 이런 종류의 센서의 핵심은 장력에 따라 고유 주파로 진동하는 선이라는 것이다. 이 선이 진동하면서, 외부로부터 힘이 가해질 경우 선의 장력 변화에 따라 주파수가 변하고, 이것을 측정하여 선에 가해지는 힘을 확인할 수 있게 된다. 따라서, 제어기에서 초기에 센서의 코일을 일정 주파수로 야기 (Exciting) 한 후, 피드백 되는 고유 진동 주파수를 측정하게 된다.

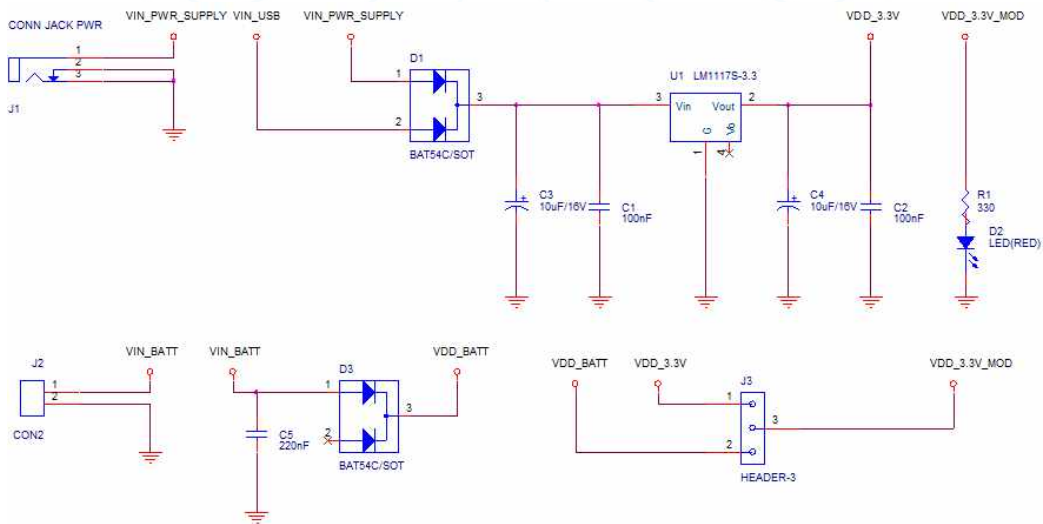


그림 1.18 전원 제어 회로

본 연구에서는 진동현 센서도 다른 센서 인터페이스 보드와 같이 무선센서네트워크에 연결 할 수 있도록 하였다. 그림 1.18은 센서의 전원을 제어하기 위한 회로이다. 센서와 무선 통신 모듈은 대기 상태에서 많은 전류를 소비하므로 휴먼 모드(Sleep mode)로 동작하도록 설계 되었다. 그림 1.19는 본 과제를 통해 개발된 무선 통신 모듈을 연결할 수 있는 소



켓 회로이다.

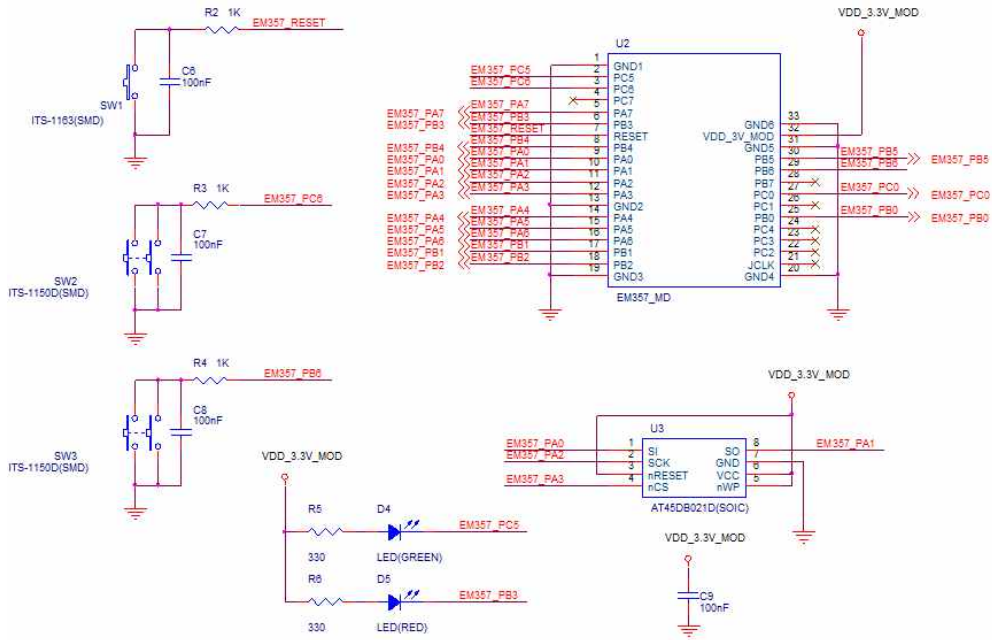


그림 1.19 무선 모듈 인터페이스 소켓

# 극지연구소

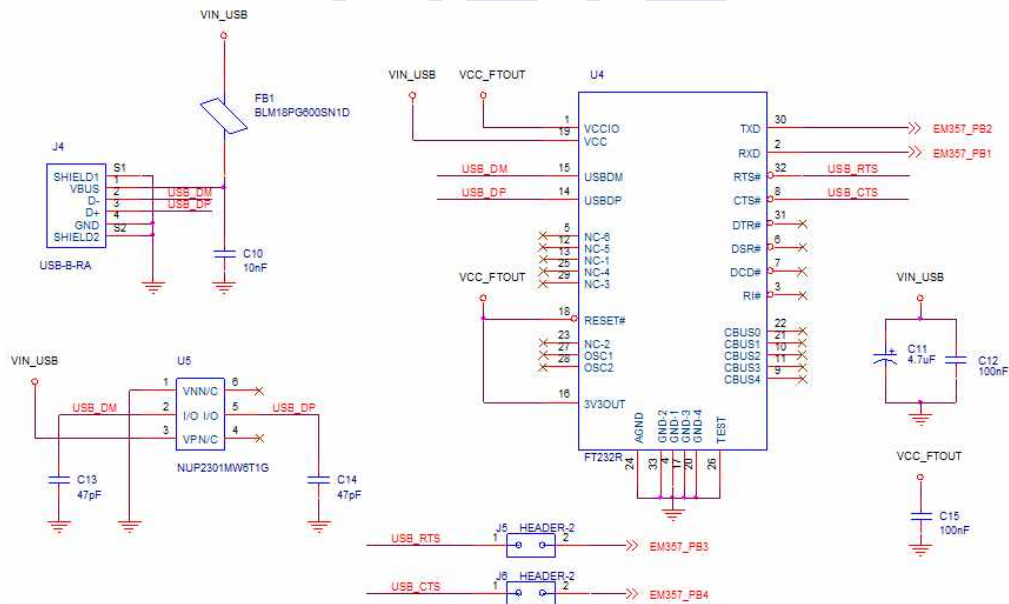


그림 1.20 디버깅 회로

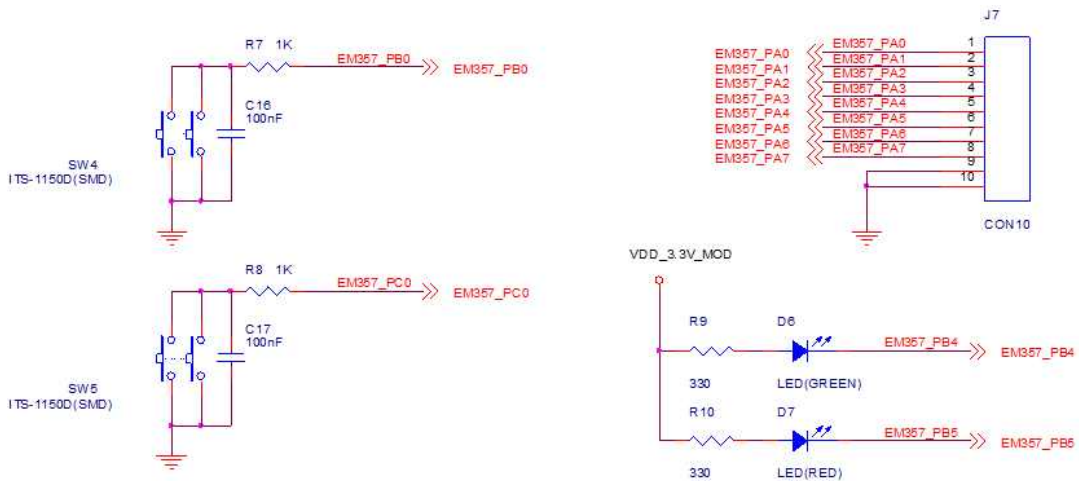


그림 1.21 진동현 센서 연결 컨넥터

그림 1.21은 진동현 센서를 연결 할 수 있는 컨넥터이다. 제어기에서 초기에 센서의 코일을 일정 주파수로 야기(Exciting) 한 후, 피드백 되는 고유 진동 주파수를 측정한다. 그림 1.22은 진동현센서 인터페이스 PCB 및 제작 시제품을 나타내고 있다. PCB 설계 파일은 PADS 툴을 사용하여 설계하였다.

진동현 센서에서 얻은 데이터를 전송하기 위하여 센서 인터페이스를 개발하고 시제품을 완성하였다. 센서 인터페이스에서는 피드백 되는 고유 진동 주파수를 측정하고 센서와 무선 통신 모듈은 대기 상태에서 많은 전류를 소비하므로 휴먼 모드(Sleep mode)로 동작하도록 제작하였다.

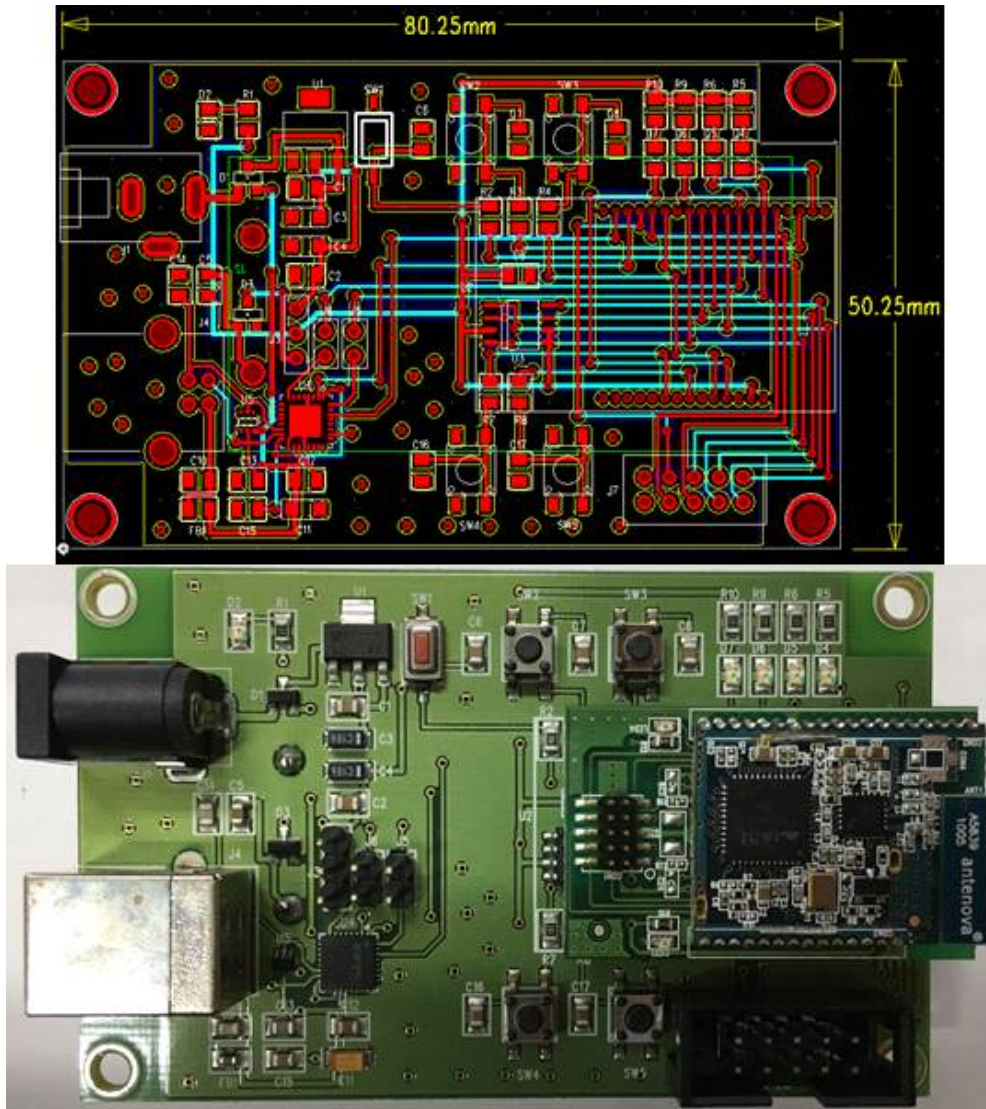


그림 1.22 진동현 타입 센서 PCB 설계 파일 및 시작품

### 3.3 수분 (GS3) 센서의 인터페이스 제작

많은 연구 분야에서 토양 및 구조물에서 발생하는 정보를 수집하는 경우가 많다. 일정 지역 토양의 수분 (Volumetric Water Content, VWC) 및 구조물의 수분을 측정해야 될 때 사용되는 토양 수분 센서는 일반적으로 온도 및 전기 전도도(EC, electrical conductivity)도 같이 측정할 수 있다.

토양 VWC는 토양 속에 있는 수분을 수치로 측정하는 것은 두 가지 방식이 존재한다. GWC (Gravimetric Water Content)이라는 것은 일정 면적 안에 있는 수분성분의 무게

와 토양 무게를 비교하여 얻을 수 있다. GWC 방식과 달리, VWC라는 것도 측정방법이다. 이것은 Volumetric Water Content임으로 물의 양과 토양의 양을 비교하여 얻을 수 있는 값이다.

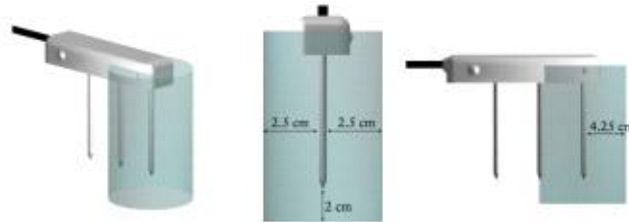


Figure 6: Idealized Measurement Volume of Decagon GS3 Sensor

그림 1.23 VWC를 측정하는 GS3 센서

예를 들면, Decagon사에서 제공하는 GS3 제품 같은 경우에는(그림 1.23), 토양수분뿐만 아닌 온도, 전기 전도도를 같이 측정할 수 있다. 그림 1.24를 보면, GS3같은 경우에는 세 가지의 센서가 같이 포함되어 있기 때문에, 온도, VWC, 및 EC 센서의 종류를 확인할 수 있다:

Accuracy	<p>Apparent dielectric Permittivity (<math>E_a</math>): <math>\pm 1E_a</math> (unitless) from 1-40 (soil range), <math>\pm 15\%</math> from 40-80</p> <p>VWC: Using Topp equation: <math>\pm 0.03 \text{ m}^3/\text{m}^3</math> (<math>\pm 3\%</math> VWC) typical in mineral soils that have solution electrical conductivity <math>&lt; 10 \text{ dS/m}</math></p> <p>Using medium specific calibration, <math>\pm 0.01\text{-}0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3</math> (<math>\pm 1\text{-}2\%</math> VWC) in any porous medium</p> <p>Electrical Conductivity (EC): <math>\pm 10\%</math> from 0 to 7 dS/m</p> <p>Temperature: <math>\pm 1^\circ\text{C}</math></p>
Resolution	<p><math>E_a</math>: <math>0.1E_a</math> (unitless) from 1-20, <math>&lt; 0.75E_a</math> (unitless) from 20-80</p> <p>VWC: <math>0.002 \text{ m}^3/\text{m}^3</math> (0.2% VWC) from 0 to 40% VWC, <math>0.001 \text{ m}^3/\text{m}^3</math> (0.1% VWC) <math>&gt; 40\%</math> VWC</p> <p>EC: <math>0.001 \text{ dS/m}</math> from 0 to 23 dS/m</p> <p>Temperature: <math>0.1^\circ\text{C}</math></p>
Range	<p><math>E_a</math>: 1 (air) to 80 (water)</p> <p>EC: 0-23 dS/m (bulk)</p> <p>Temperature: <math>-40\text{-}50^\circ\text{C}</math></p>
Measurement Speed	150mS
Sensor Type	<p>VWC: Frequency domain</p> <p>EC: Two probe design</p> <p>Temperature: Thermistor</p>

그림 1.24 GS3 센서의 사양

센서에서 사용되는 70 MHz 주파수 대역은 토양의 염분 및 감촉에서 받는 영향을 최소화하므로, 대부분 토양에서 적용가능하다. 에폭시 몸체와 스테인레스 스틸 바늘을 사용하여 만들어졌으며, 모양은 물질 또는 가혹한 환경 속을 위하여 최적화되어 있다.

Decagon사에서 제공하는 GS3 제품 무선 메쉬 네트워크에(ZigBee-Pro) 연결하기 위한

인터페이스 보드를 개발하였다. 전원은 3.6V 배터리를 동작 할 수 있게 하였으며, 극한 환경에서 장시간 운영 될 수 있도록 -40 ~ 85 °C 범위에서 동작 할 수 있게 하였다.

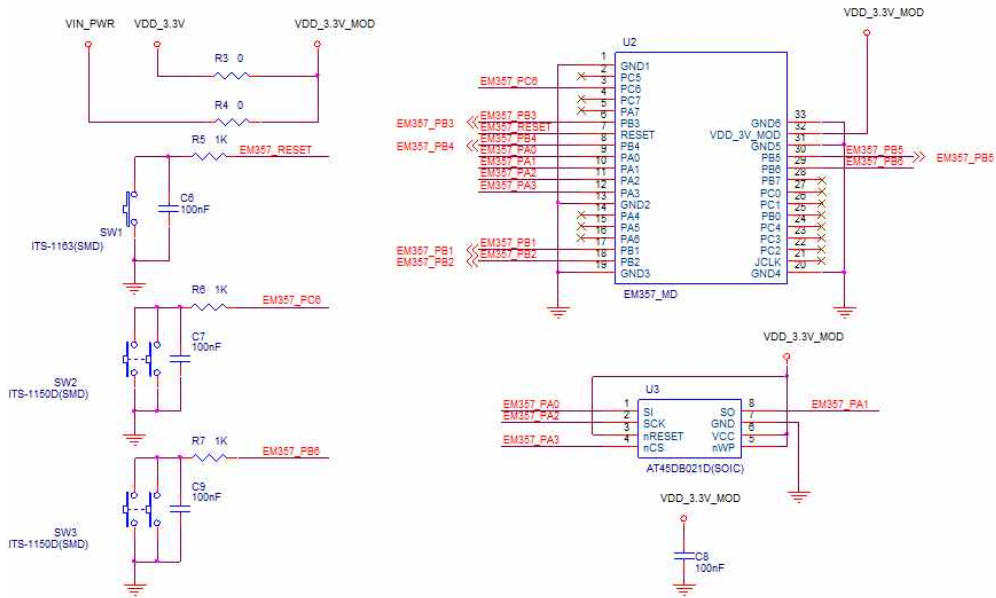


그림 1.25 통신 모듈 연결용 소켓

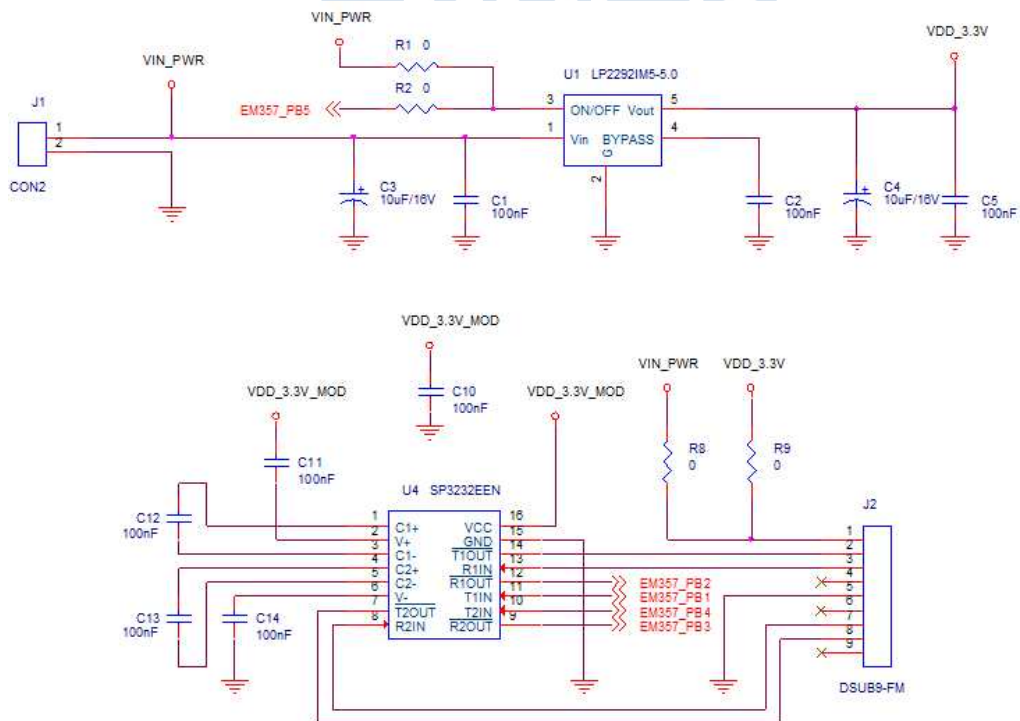


그림 1.26 전원 제어 회로 및 센서 연결용 통신 포트

센서와 무선 통신 모듈은 대기 상태에서 많은 전류를 소비하므로 휴먼 모드(Sleep mode)로 동작하도록 설계 되었다. 그림 1.25는 본 과제를 통해 개발된 무선 통신 모듈을 연결할 수 있는 소켓 회로이다.

그림 1.26은 센서의 전원을 제어할 수 있는 회로와 센서를 연결하기 위한 통신 포트 회로이다. 센서 값을 읽지 않는 동작에서는 GS3 센서의 전원을 완전히 OFF 상태로 설정하여 대기 전류가 '0' 이 되도록 하였다. 그림 1.27은 수분함량센서 인터페이스 PCB 설계 파일 및 시제품이다. PCB 설계 파일은 PADS 툴을 사용하였다.

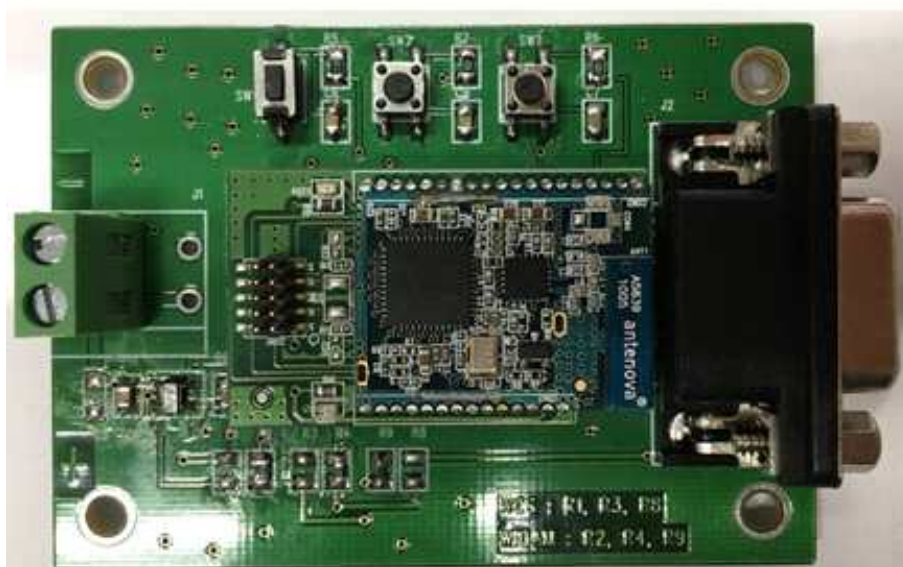
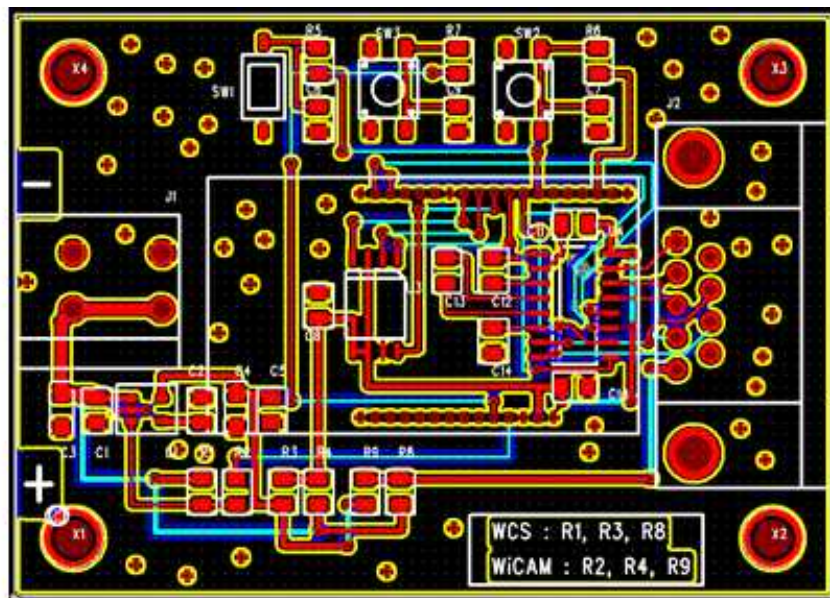


그림 1.27 수분함량센서 인터페이스 PCB 설계 파일 및 시제품

### 3.4 게이트웨이 제작

게이트웨이는 ZigBee에서 출력된 데이터를 현장에서 무선으로 수집하는 장치이다. 즉, 모듈형 오일샌드 플랜트 시스템을 원격으로 모니터링 하기 위한 WSN(Wireless Sensor Network) 구조이다. 시스템은 각종 센서를 연결할 수 있는 센서 노드, 센서노드로부터 데이터를 수집할 수 있는 WSN 코디네이터, 그리고 인터넷 또는 인공 위성 이동통신 인프라 등 이종 네트워크로 연결하기 위한 게이트웨어로 구성된다. 게이트웨이와 WSN 코디네이터는 하나의 장치로 개발이 가능하다. 센서노드는 각종 아날로그센서와 디지털 센서를 연결하기 위한 인터페이스를 제공하여 적당한 센서로 시스템을 구성할 수 있도록 하였다. 또한, 유지보수 및 설치의 편의를 제공하기 위해 센서 노드는 저전력 모드로 동작 가능하도록 설계하였다.

- 게이트웨이 장치(센서 코디네이터)

그림 1.28과 같이 지그비(ZigBee) 센서네트워크로부터 수집된 데이터를 이더넷·무선인터넷·인공위성 등 이종의 통신방식으로 변환하는 장치이며 보드(장치) 내에 비 휘발성 메모리를 갖추고 있어 수집된 데이터를 자체적으로 보존할 수 있도록 설계하였다. 동작 온도 범위는  $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$  이상이 되도록 하여 극한 환경 온도에서도 사용 가능하도록 설계하였다. 캐나다의 경우 겨울에 공사가 진행되므로 최소  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 온도 설정이 필요하다. 하지만 이미 적용되어있는 모니터링 장비를 운용중에 사용하기 위해서는  $-40^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화에도 사용가능한 센서로 구성되어야 한다. WSN 모니터링 시스템중 개발된 게이트웨이 주요기능은 다음과 같다.

- 이더넷 통신

- 원격 서버와 TCP/IP 통신
- 센서데이터 송신
- 동작 모드 및 에러 상태 모니터링
- 동작 모드 변경
- ZigBee 출력 변경

- ZigBee 통신

- IEEE 802.15.4-2006 표준
- 채널, 출력 변경 가능

- ZigBee 코디네이터(ZC) 또는
- 라우터(ZR) 로 동작 가능
- 센서 노드로 부터 데이터 수신
  
- LED 표시 기능
  - 동작모드, 통신상태, 에러 표시
  
- 펌웨어 업데이트
  - 펌웨어 업데이트 기능 제공
  
- 자체 진단 기능
  - 센서동작 상태 진단
  - 각종 하드웨어 장치 진단

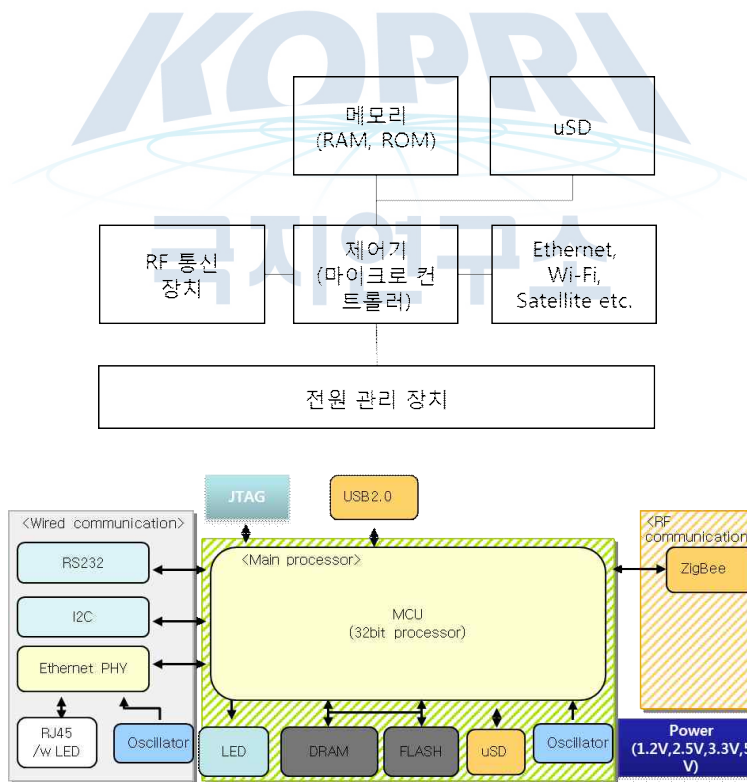


그림 1.28 게이트웨이 구성도

- 소프트웨어 및 알고리즘
  - 센서 네트워크에서 시각 동기를 하기 위한 시각 정보 데이터 전송 시에 지연 요소가 포함



될 수 있어 이 면에서 소프트웨어 알고리즘의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 시간 지연 요소를 데이터 전달 측면에서 분석하여 디자인에 반영되어야 한다. 다음은 이러한 분석을 계층별로 나타내었다.

- Send Time: 매체 접근 제어(MAC)의 상위계층에서 메시지를 생성하고 처리하는데 소요되는 시간으로 일반적으로 수백 ms 지연 시간이 포함된다.
- Access Time: 데이터를 전송하기 위한 매체 접근제어(MAC)에 소요되는 시간으로 수백 ms 에서 수초 사이의 지연 시간이 포함된다.
- Transmission Time: 물리(PHY)계층에서 데이터를 보내기 위해 소요되는 시간으로 수십 ms 이내의 지연 시간이 소요된다.
- Propagation Time: 송신 노드의 RF 에서 신호가 출력되어 수신 노드의 RF 에서 데이터를 수신하기까지의 소요시간으로 1 us 이내의 지연 시간이 소요된다.
- Receive Time: Send Time 과 대칭되며 MAC 상위계층에서 데이터를 처리하는데 소요되는 시간이다.

RBS는 시각 정보 값을 포함하지 않고 주기적인 참조 노드의 시각 정보 데이터를 참고하여 시각 동기를 형성하는 방식이다. RBS는 R-R synchronization 방법으로 참조 노드의 수신 시간 값을 이용하여 주변노드들간의 데이터 송수신을 통한 동기화를 이룬다. 이러한 방법은 무선 통신의 데이터 전송 시 누적되는 에러 요소 중 송신 노드에서 발생하는 에러를 제거할 수 있는 장점을 가진다.

FTSP 알고리즘은 보다 정밀한 시각 동기를 위하여 시각 동기 데이터를 연속적인 n개를 송신하여 수신된 n개의 샘플데이터 값으로 Linear Regression 을 통한 에러 보정을 포함하며, 또한 동기 필드(sync filed)의 바이트 정렬(byte alignment)를 통하여 에러를 보정하고 있다. 또한 네트워크 시각 동기 방식이 브로드캐스팅 방법이기 때문에 네트워크 토폴로지 및 에러 에 대한 복구 능력이 뛰어나다.

RS485 유선 통신 포트와 ZigBee 모듈을 이용한 MODBUS/ZigBee 무선 모듈로 설치 환경을 감안해 최대한 작은크기로 설계하였다. 그림 1.29에서 1.33은 MODBUS/ZigBee 무선모듈의 설계도이다. 미터와 MODBUS 데이터 수집프로그램으로부터 받는 패킷을 위해 유선통신용 RS485포트가 있고 네트워크 구성용 버튼과 전원, 그리고 ZigBee모듈이 들어간다. 유선 통신부로부터 패킷을 받으면 제어알고리즘을 통해 ZigBee를 이용한 무선통신을

하게 된다. 이 때, 터널을 이용해 터널링으로 MODBUS패킷의 변화없이 전달하게 되며 미터로부터 수집된 미터링 데이터는 ZigBee에 저장되어 ZigBee네트워크에서 에너지 관리를 위해 활용된다. 그림 1.34는 그림 1.29에서 1.33과 같이 설계한 회로도의 PCB제작 설계도와 시작품을 나타내고 있다.

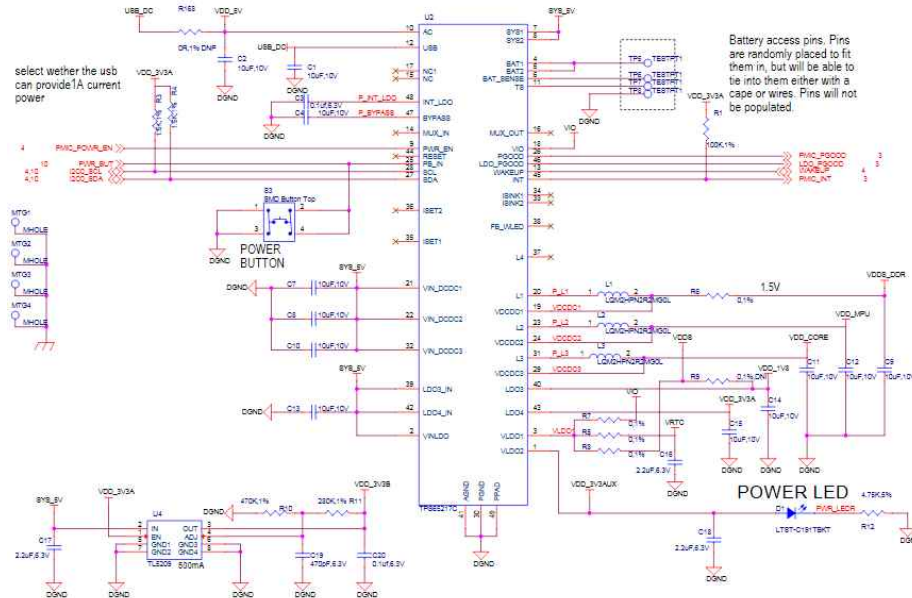


그림 1.29 게이트웨이 회로도(MCU부)

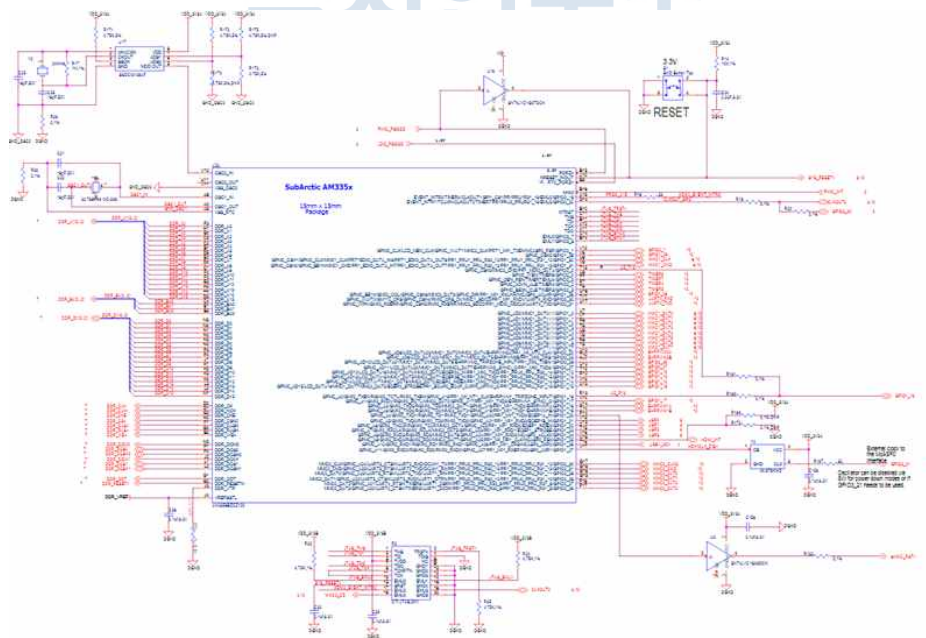


그림 1.30 게이트웨이 회로도(메모리부)

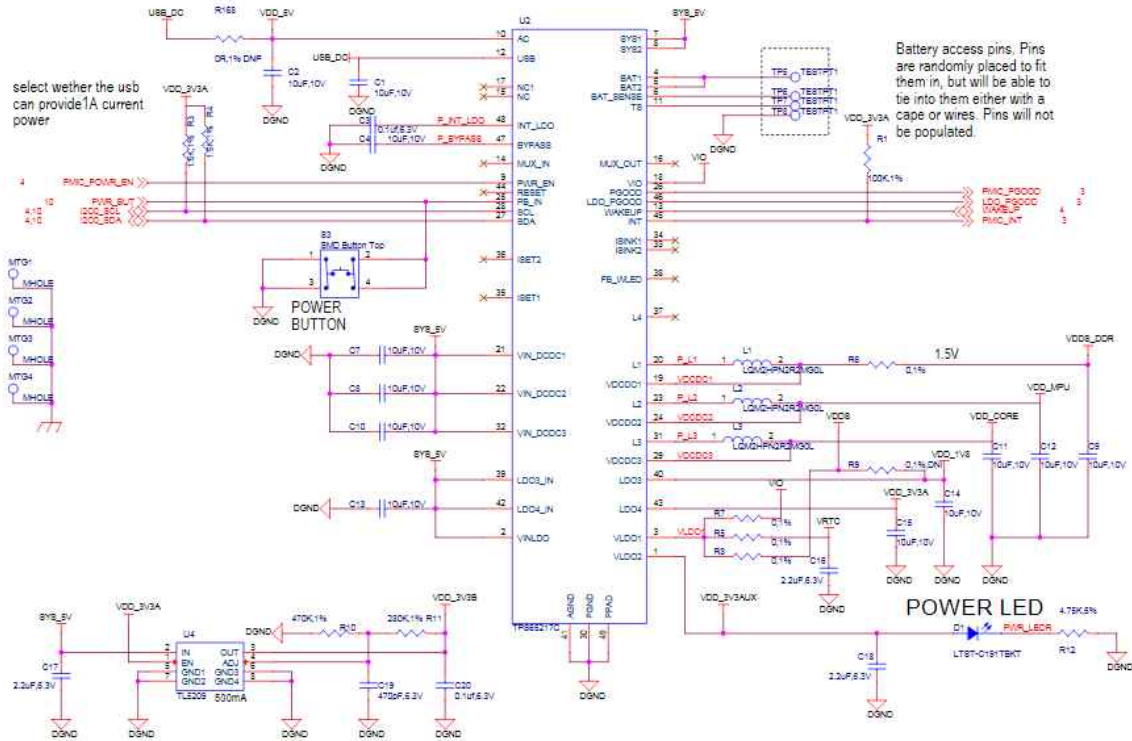


그림 1.31 게이트웨이 회로도(전원부)

# 극지연구소

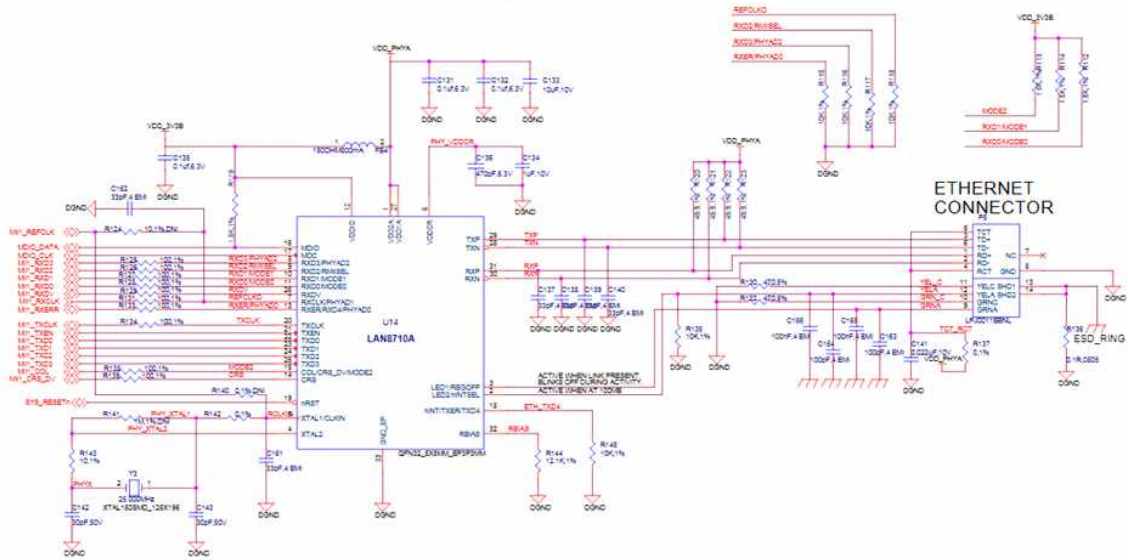


그림 1.32 게이트웨이 회로도(이더넷부)

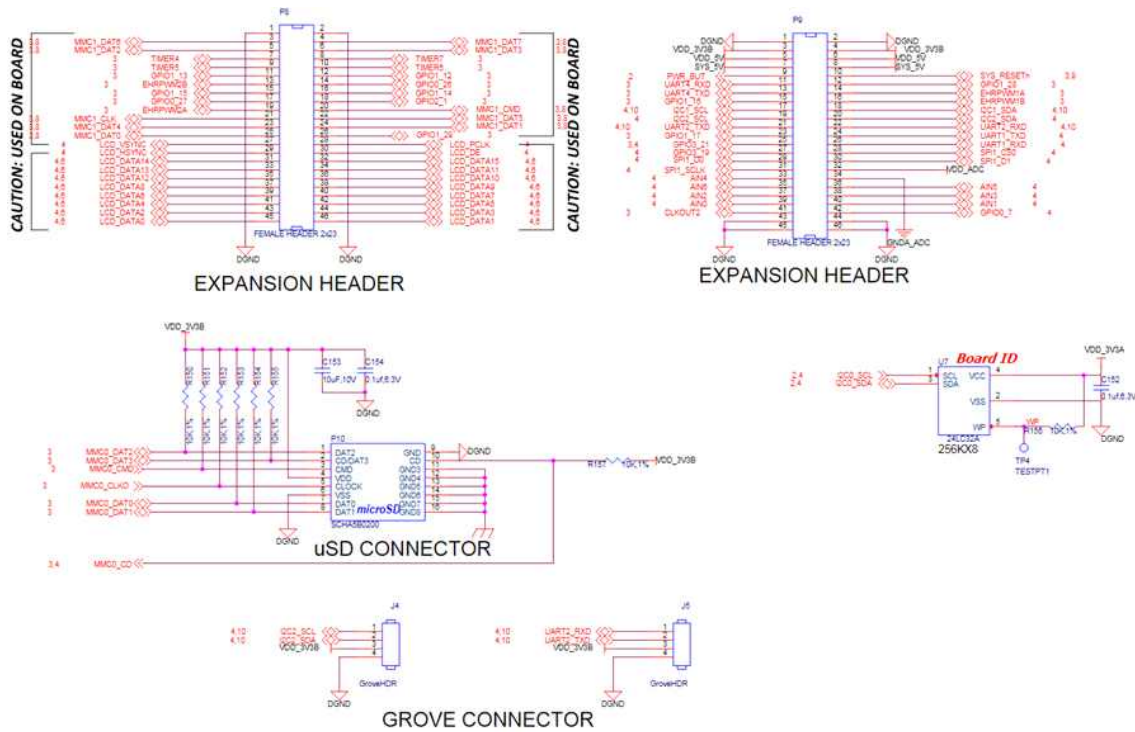


그림 1.33 게이트웨이 회로도(연결부)

그림 1.34에서 게이트웨이용 CPU 보드는 ARM Cortex-A8 프로세서, 512MB DDR3, 4GB eMMC, 인터넷 통신 포트, USB 2.0 호스트, UART 3포트, 16GB SD 카드, 확장 I/O 포트로 구성된다. 이리듐(Iridium) 모뎀과 지그비(ZigBee) 통신 모듈은 UART 포트를 통해 연결하게 된다. 센서 노드로부터 수집된 센서 값은 실시간으로 SD 카드에 저장되고, 사용자가 설정한 주기로 평균된 값(또는 샘플 값)을 이리듐 모뎀을 통해 원격지 서버로 송신한다.

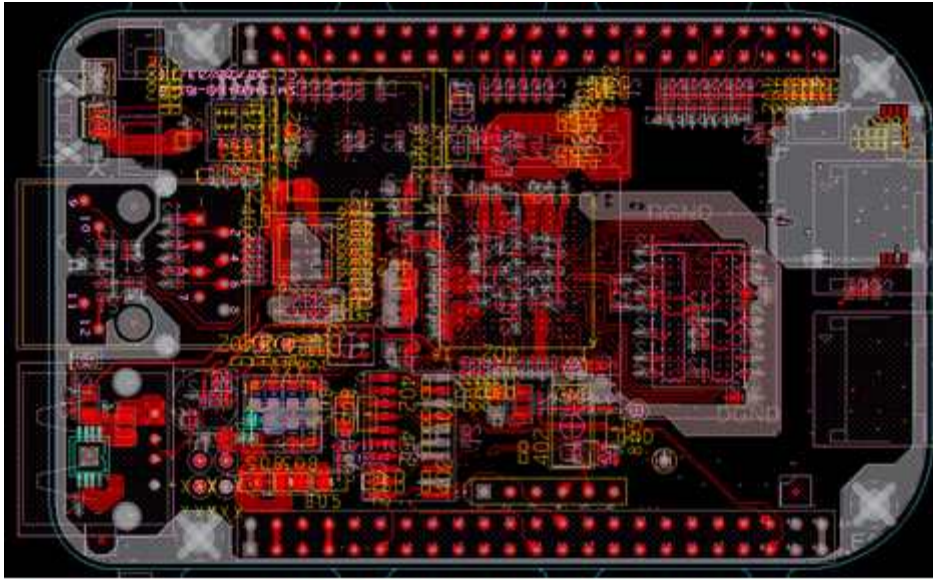


그림 1.34 게이트웨이용 PCB 설계 도면 및 시제품

## 제2장

# 오일샌드 플랜트 상태감지 WSN 모니터링 시스템 요소기술 설계

## 통신 및 로깅 가능한 상태감지 WSN 모니터링 시스템 설계

### 1. 온도변화

#### 1.1 개요

구조물의 경우는 온도가 올라가면 팽창하고 온도가 내려가면 수축한다. 온도에 의한 수축이 건조수축과 동시에 일어나면 재료 자체에 심한 균열을 유발하며, 특히 부정정 구조물에서 온도변화로 인한 변형은 부재에 해로운 응력을 일으킨다. 즉 라멘, 아치 등의 부정정 구조물에서 온도변화로 인한 신축 때문에 온도응력이 크게 일어난다. 구조물의 온도변화는 구조물을 만드는 지방, 또는 장소의 기온의 변화, 시공의 시기, 구조물의 단면치수, 구조물의 피복의 정도 등에 따라 다르다. 온도의 승강을 보통의 경우는 20℃, 부재의 치수가 70cm 이상인 경우에는 15℃를 표준으로 하도록 규정하고 있다. 예를 들어 우리나라의 연평균기온을 10℃라고 할 때 완공시의 구조물의 온도를 10℃로 보고, 겨울에는 그 구조물의 온도가 -10℃까지 내려가며, 여름에는 +30℃까지 올라간다고 보고 구조물의 온도응력을 검토한다. 특히 플랜트 구조물의 경우 온도를 통하여 구조물의 상태변화를 감시한다. 온도의 변화로 인한 파이프의 변형, 연결체의 변형 등을 감시하여 위급한 사고에 대처하고 있다.

구조물에서의 온도의 측정은 다른 공학 분야에서처럼 중요한 부분을 차지하는 것은 아닐지라도 기본적인 측정 요소 중의 하나이다. 구조물에서의 온도 계측은 다음과 같은 용도로 사용된다.

- (1) 구조물이 온도에 의해 열팽창으로 받는 응력 변화를 측정한다.
- (2) Mass 재료의 타설시 mass의 내부와 외부의 수화 열에 의한 온도차로 발생하는 재료의 인장 균열을 방지하기 위한 시공관리 및 품질관리의 목적으로 측정한다.
- (3) Ground freezing 공법으로 시공할 때 지반의 온도 측정은 가장 중요한 측정 요소이다.
- (4) 도로의 지반 등에서의 동결 선을 결정하기 위하여 측정한다.
- (5) 지하 핵 폐기물 저장소의 지하에서 발생하는 열에 의한 지반의 거동을 예측하기 위하여 측정한다.
- (6) 다른 계측기의 온도에 의한 영향을 보정하기 위하여 사용된다.

## 1.2 온도센서 이론

센서는 환경의 상태를 감지하여 나타내는 역할을 하는 소자이다. 온도(습도) 센서는 온도(습도)의 변화를 감지하여 현재의 상태를 전압으로 나타내는 소자로서 온도의 변화에 따른 환경 관리와 제어 등을 목적으로 사용되는 부품이다. 이 장에서는 온도 센서와 습도 센서의 역할과 동작 원리 그리고 종류와 응용 분야 등에 대하여 서술하였다.

센서(Sensor)는 라틴어의 “Sens-”에서 유래된 말로 “지각하다”, “느낀다”라는 의미를 가진다. 측정 환경이나 대상물로부터 정보를 감지하여 그 측정량을 인식 가능한 유용한 전기 신호로 변환하는 장치를 통칭한다.

온도 센서는 온도의 변화를 감지하는 소자이다. 즉 온도의 변화에 따른 환경 관리와 제어 등을 목적으로 사용되는 부품이다. 온도 센서는 온도(열)를 감지하여 그 상태를 전기 신호로 출력하는 소자이다. 센서는 일반적으로 접촉식과 비접촉식으로 나뉘어진다. 접촉식은 실제 측정 대상에 직접 접촉시켜 온도를 측정하는 방식이며, 비접촉식은 물체로부터 방사되는 열선을 비접촉 상태에서 측정하는 방법이다. 온도 센서는 온도가 높아지면 저항 값이 감소하는 부저항 온도 계수의 특성이 있는 전자 회로용 소자로, 열용량이 작아서 미세한 온도 변화에도 급격한 저항 변화가 생기므로 온도 제어용 센서로 많이 이용된다.

온도 센서는 온도의 변화에 의해서 내부 저항 값이나 전압 혹은 전류가 변하는 센서이다. 도체에 있어서 전기 저항은 온도의 변화에 따라 변화한다. 이러한 특성을 이용하여 단위 온도 변화에 대한 저항 변동률을 안다면 변동되는 저항치만으로 해당 온도를 측정할 수 있게 된다. 단위 온도에 대한 저항 변동률을 온도 계수라 하며, 온도 증가 시 저항치가 증가하면

정의 온도 계수, 저항치가 감소하면 부의 온도 계수라고 한다.

\* 온도 센서의 종류와 특징

온도 센서는 크게 접촉식과 비접촉식으로 분류한다. 접촉식은 측정 대상물과의 접촉을 통해 온도를 측정하는 방식으로 백금 저항 온도 센서, 서미스터, 열전대, 바이메탈 등 대부분의 센서가 이에 해당하며, 비접촉식에는 방사 온도계, 광도 온도계가 있다.

가. 백금 저항 온도 센서

온도에 따라 백금의 저항치가 변하는 원리를 이용한 것으로 현존하는 온도 센서 중 가장 정확도가 높아  $-260^{\circ}\text{C}\sim 63^{\circ}\text{C}$  영역에서는 표준 온도 센서로 사용된다. 대부분 절연 물질이 충전된 보호관에 넣어 사용하며 정밀한 측정이 요구되는 염색, 화학 공업이나 프로세서 제어용으로 많이 사용되고 있으나 가격이 다소 비싼 편이다.

나. 서미스터

금속 산화물을 소결하여 만들며 온도에 따라 저항치가 변하는 특성을 이용한 것이다. 온도가 올라가면 저항 값이 적어지는 부특성 서미스터와 반대인 정특성 서미스터로 나눈다. 현재 온도 센서로 가장 많이, 널리 사용되고 있으며, 값이 싸고 소형이지만 온도에 따른 저항 변화의 비례를 나타내는 직선성과 감도가 좋지 않다. 부특성 서미스터는 주로 온도 감지, 온도 보상, 지연 소자 등에 사용되고 있으며, 정특성 서미스터는 모터의 기동, 과전류 보호용으로 사용된다. 최근에는 기술 개발의 진보로 극저온, 저온, 고온용의 서미스터들이 개발되어 사용되고 있다.

다. 열전대(Thermocouple)

두 종류 금속선의 접합점을 기준으로 하여 양쪽 단에서 발생하는 전압의 변화를 이용한 것이다. 철강, 발전소, 중화학 등 공업용으로 많이 사용되고 있으나 대체로 백금 저항 온도 센서나 복사 온도계에 비해 정확도가 떨어진다. 그러나, 열전대는 IPTS(국제 실용 온도 척도)에서  $630^{\circ}\text{C}\sim 1,064.43^{\circ}\text{C}$  까지 표준 온도 측정기로 사용토록 규정되어 있으며, 열전대의 백금선과 로듐 선에 보호관을 씌워 산화되지 않도록 하여 사용한다.

라. 방사(복사) 온도계

측정 대상물체의 표면에서 발생하는 열방사(복사)를 측정하는 것으로 비접촉식이며 단색



과장대 복사와 2개 과장대 복사를 이용하는 방식이 있다. 철강, 요업에서 많이 사용하며 최근에는 저온 복사 온도계가 실용화되어 열전대들을 대체해 가고 있다.

#### 마. IC 온도 센서

서미스터나 열전대의 단점인 직선성, 감소, 기준 온도 등을 보완한 것이 IC 온도 센서이다. 이것은 온도에 따라 P-N 접합부의 전류 전압 특성이 변하는 것을 이용한 것으로 전압 출력형과 전류 출력형이 있다.

#### 바. 기타

바이메탈, 감온 페라이트, 유리 온도계, NQR 온도계 등 많은 종류가 있으나 정밀도가 떨어지고 응용 범위가 제한되어 있다. 수정 온도계는 매우 고감도이며 아직은 특수 용도로 많이 사용되고 있다.

극지에서 온도 프로파일을 측정하는 용도에 사용될 수 있는 센서는 크게 두 종류로 분류될 수 있다. 저항 온도 측정 (Resistor temperature detector, RTD) 방식은 고정밀 온도 측정이 가능한 대신, 가격이 높은 단점이 있고, 열전대 (thermocouple) 방식은 상대적으로 정밀도가 떨어지지만 다용도 및 저가인 장점이 있어 많이 사용되고 있다.

저항 온도 측정 방식은 고정밀의 성능을 발휘하는 장점이 있다. RTD의 구성은 원통형 유리 혹은 도자기의 중심에 얇은 선이 감겨 있고, 이 선은 일반적으로 순수한 재료 (백금, 니켈, 구리, 등)로 만들어진다. 이 순수한 재료는 정확한 저항/온도 관계를 가지고 있으며, 이것으로 인해 온도의 측정이 가능하다. 고정밀도를 제공하는 RTD는 600°C 이하의 산업용으로 많이 사용되고 있다.

RTD같은 경우에는, 몇 가지의 측정 방식이 존재한다. 기본적인 원리는 2-wire RTD의 간단한 회로에서 시작하지만, 4-wire이상으로도 측정이 가능하다. 2-wire같은 경우에 생기는 회로도 는 다음과 같다:

ADS1248

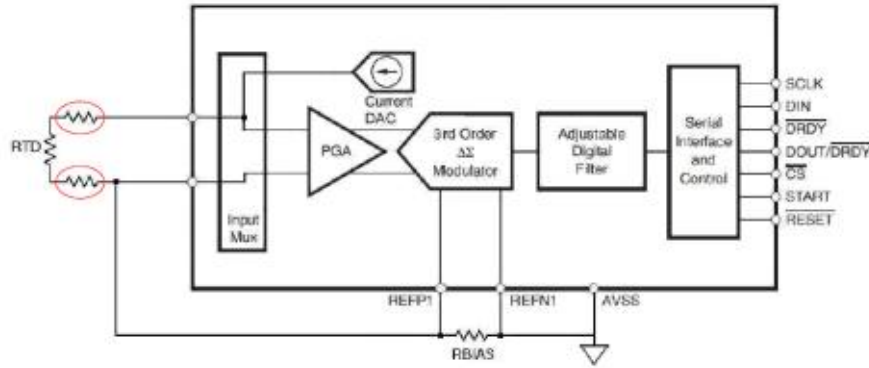


그림 2.1 2-Wire RTD

복잡한 회로를 가만하여 더 정밀한 데이터가 필요할 경우, 전류 DAC가 추가된 RTD 센서를 사용할 수도 있다. 이것은 선이 2개 대신 4개인 것만큼, 측정할 수 있는 저항값이 생기고, 이를 통하여 더 정확한 수치를 얻을 수도 있다. 4-Wire RTD의 회로도도 그림 2.2와 같다.

ADS1248

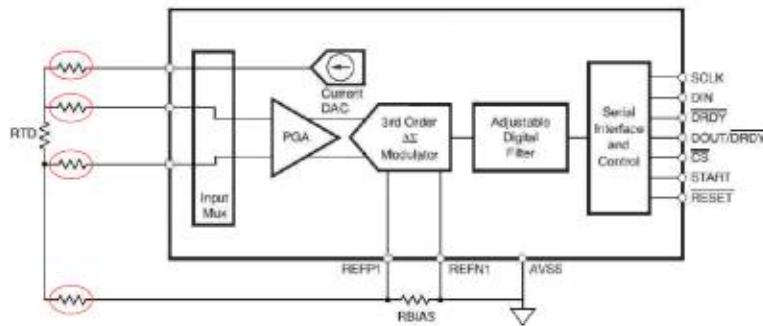


그림 2.2 4-Wire RTD

열전대 측정 방식의 장점은 저가 및 다용도에 더하여 회로가 간단하면서, 별도의 여자(勵磁)가 필요 없다는 장점이 있다. 하지만 안정된 전압 수준을 유지해줘야 한다. 열전대의 원리는 그림 2.3과 같다.

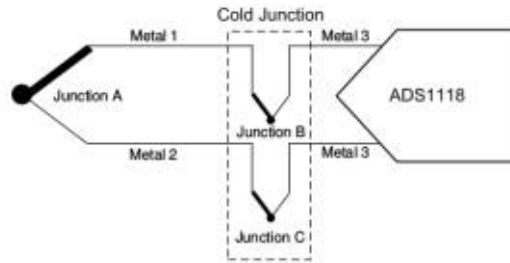


그림 2.3 Thermocouple의 원리

그림 2.3에서 확인할 수 있는 바와 같이, 열전대는 다른 재료로 구성된 도선이 납 혹은 용접으로 연결되어 있다. 도선은 필요한 온도, 정밀도, 수명, 및 환경 같은 요소에 따라 다양한 재료들로 구성되어 있지만 원리는 같다: 열전효과, 혹은 Seeback 효과(그림 2.4)로 불리는 현상에 의해 동작한다. 이 현상은, 하나의 도체에 온도 경사(변화)도가 생길 경우, 전위차가 발생하는 원리이다. 이 것은 온도 차이가 나는 것만큼, 자유전자의 숫자도 차이가 나기 때문에 곧 온도 차이는 전위차의 값으로 측정가능하다.

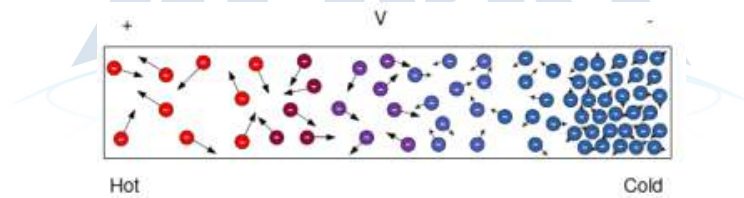


그림 2.4 Seeback 효과

## 2. 상태감지 WSN 모니터링 시스템의 개발 내용

### 2.1 센서노드 인터페이스

무선센서 네트워크 WSN(wireless sensor networks)는 센서뿐만 아니라 구동기(actuator)도 포함하는 제어계측용 무선 네트워크를 의미한다. 무선센서 네트워크는 종래의 이더넷, 직렬통신, 필드버스 등의 유선 네트워크를 치환하는 것뿐만아니라 제어계측 분야에서 종래의 유선방식에서 다루기 어려운 응용분야와 새로운 통신 인프라를 제공하고자 한다. 무선센서 네트워크는 일반적으로 게이트웨이를 경유하여 이더넷 백본(backbone), 직렬통신, 필드버스 등의 유선 네트워크와 접속된다. 계측제어 데이터 액세스 단말 기능을 담당한다.

본 연구에서 수행되는 오일샌드 플랜트 모듈 상태감지 모니터링 시스템은 WSN 기반으로 구축할 예정이다. 본장에서는 상태감지 WSN 기반 통신 모듈 및 오일샌드 플랜트 모듈 모니터링 프로그램에 대하여 기술하였다. 현장에 설치될 센서에서 모니터링 스테이션까지 무선통신 방식으로 데이터를 획득하는 것을 기본으로 하고, 관계자가 원거리에서 접속하여 모니터링을 할 수 있도록 원거리 데이터 통신 방식(초고속 통신 등)을 이용한 원격 모니터링 서비스를 제공한다. 또한 통신 모듈은 Buffer Memory를 사용하여 통신 장애시 데이터를 보관할 수 있으며, 통신 장애가 해결되면 서버에 전송하여 모든 데이터를 획득할 수 있도록 구축할 예정이다. 모니터링 소프트웨어를 사용하여 계측기 별로 계측 주기 및 계측시간 조정 가능 1.0GHz 대역의 통신 주파수를 사용하는 IEEE 802.15.4 프로토콜 기반의 WSN 기반 통신, 무선데이터로거(게이트웨이) 및 무선데이터로거 내부에 ADC 24bit 센서구동회로, 신호증폭기, LowPass Filter를 내장하여 센서에서 측정된 데이터를 관리화면에서 점검자가 즉시 확인할 수 있다. 다음은 통신과 WSN 요소장치의 개발 내용을 나타내고 있다.

#### ○ 센서노드

- WPAN기술중 최저 전력 : 100mW 미만
- 100m 이상 통신가능(자유공간)
- ZigBee 표준 준수
- IEEE 802.15.4-2011 기반

센서노드는 각종 아날로그센서와 디지털 센서를 연결하기 위한 인터페이스를 제공하여 적당한 센서로 시스템을 구성할 수 있도록 하였다. 또한, 유지보수 및 설치의 편의를 제공하기 위해 센서 노드는 저전력 모드로 동작 가능하도록 설계하였다. 개발하는 WSN 시스템의 각종 구성 장치들의 주요 기능과 설계 내용은 다음과 같다.

#### • 센서노드 장치

그림 2.5와 같이 센서로부터 측정된 데이터를 지그비(ZigBee) 통신을 통해 USN 게이트웨이로 전송하는 장치로 각종 디지털, 아날로그 센서 연결이 가능. 저전력 모드를 지원하도록 설계하였으며 저전력 동작 모드 시 수  $\mu\text{A}$  이하로 동작되도록 구성하였다. 동작 온도 범위는 극한환경을 고려하여  $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 로 개발 하였다. 상기에서 설명한 바와 같이 캐나다의 경우 겨울에 공사가 진행되므로 최소  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 온도 설정이 필요하다. 하지만 이미 적용되어있는 모니터링 장비를 운용중에 사용하기 위해서는  $-40^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화에도 사용가능한

센서로 구성되어야 한다.

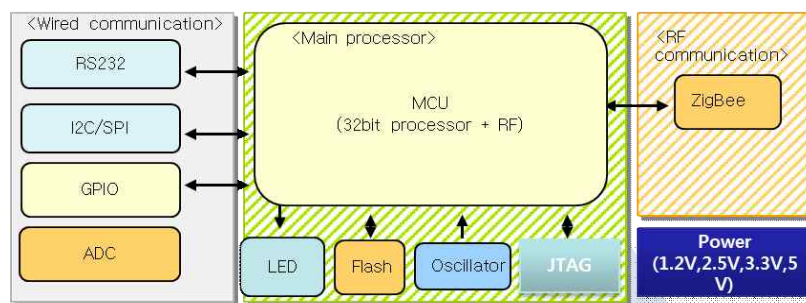
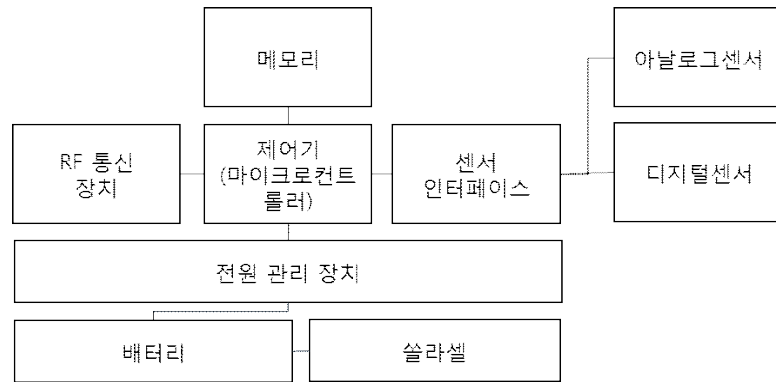


그림 2.5 센서노드 구성도

- RF 통신 장치

Ad-hoc WMN(Wireless Mesh Network)의 ZigBee 통신을 제공하도록 설계하였다. ZigBee 통신 방식은 저전력, 저비용으로 센서 네트워크를 구성하기 위한 국제 표준 기술로 배터리를 사용하여 수개월에서 수년간 지속 사용이 가능하다.

WSN 기반 오일샌드 플랜트 모듈 모니터링의 운영 및 제어 프로그램은 현장 게이트웨이에 설치할 계획이고, 현장 게이트웨이는 원격 모니터링을 할 수 있도록 원격 접속 서비스를 제공할 수 있도록 개발하였다. 모니터링 프로그램의 주요한 기능은 현장에 설치된 센서에서 획득한 데이터를 완벽하게 수신하고 이를 저장할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 WSN 기반 오일샌드 플랜트 모듈을 관리자가 원하는 시간에 모니터링 할 수 있도록 이러한 기능을 구축할 계획이다. 일반적으로 구조물을 모니터링 하는 이유는 구조물에 중대한 결함이나 이상 징후가 발생하였을 경우 관리주체가 이를 파악할 수 있도록 경보를 하고 원인을 찾을 수 있는 데이터를 제공하는데 있다. 본 운영 프로그램에서는 이러한 기능을 모두 탑재할 예정이다. 또한 본 연구에서 성과기준을 Packet Error Rate(PER) 1%로 구성하였다. PER 1%의 의미는 본 연구 개발품이 세계표준에 대한 기준을 충족함을 의미한다.

## 2.2 소프트웨어 및 알고리즘

센서 네트워크에서 시각 동기를 하기 위한 시각 정보 데이터 전송 시에 지연 요소가 포함될 수 있어 이 면에서 소프트웨어 알고리즘의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 시간 지연 요소를 데이터 전달 측면에서 분석하여 디자인에 반영되어야 한다. 다음은 이러한 분석을 계층별로 나타내었다.

- Send Time: 매체 접근 제어(MAC)의 상위계층에서 메시지를 생성하고 처리하는데 소요되는 시간으로 일반적으로 수백 ms 지연 시간이 포함된다.
- Access Time: 데이터를 전송하기 위한 매체 접근제어(MAC)에 소요되는 시간으로 수백 ms 에서 수초 사이의 지연 시간이 포함된다.
- Transmission Time: 물리(PHY)계층에서 데이터를 보내기 위해 소요되는 시간으로 수십 ms 이내의 지연 시간이 소요된다.
- Propagation Time: 송신 노드의 RF 에서 신호가 출력되어 수신 노드의 RF 에서 데이터를 수신하기까지의 소요시간으로 1 us 이내의 지연 시간이 소요된다.
- Receive Time: Send Time 과 대칭되며 MAC 상위계층에서 데이터를 처리하는데 소요되는 시간이다.

RBS는 시각 정보 값을 포함하지 않고 주기적인 참조 노드의 시각 정보 데이터를 참고하여 시각 동기를 형성하는 방식이다. RBS는 R-R synchronization 방법으로 참조 노드의 수신 시간 값을 이용하여 주변노드들 간의 데이터 송수신을 통한 동기화를 이룬다. 이러한 방법은 무선 통신의 데이터 전송 시 누적되는 에러 요소 중 송신 노드에서 발생하는 에러를 제거할 수 있는 장점을 가진다.

FTSP 알고리즘은 보다 정밀한 시각 동기를 위하여 시각 동기 데이터를 연속적인 n개를 송신하여 수신된 n개의 샘플데이터 값으로 Linear Regression 을 통한 에러 보정을 포함하며, 또한 동기 필드(sync filed)의 바이트 정렬(byte alignment)를 통하여 에러를 보정하고 있다. 또한 네트워크 시각 동기 방식이 브로드캐스팅 방법이기 때문에 네트워크 토폴로지 및 에러 에 대한 복구 능력이 뛰어나다. 센서노드의 개발목표 사양은 변형감지 WSN 시스템과 동일하다.

### 3. 상태감지 WSN 모니터링 시스템의 설계 결과

#### 3.1 센서노드 및 인터페이스 설계

상태감지 WSN 모니터링 시스템의 센서노드는 본 연구에서 개발되는 시스템을 구성하기 위한 핵심 무선 통신 모듈로 송신 출력과 안테나 타입에 따라 4종류로 구분되며 주요기능은 다음과 같고 설계 회로도는 그림 2.6과 같다. 또한 센서노드의 PCB는 그림 2.7과 같다.

- ZigBee 통신
  - IEEE 802.15.4-2006 표준
  - 채널, 출력 변경 가능
  - ZC, ZR, ZED 동작 가능
  - 최대 +20[dBm] 출력 가능
  - SMD, SMA 아테나 가능
- LED 표시 기능
  - 동작모드, 통신상태, 에러 표시
- 펌웨어 업데이트
  - 펌웨어 업데이트 기능 제공

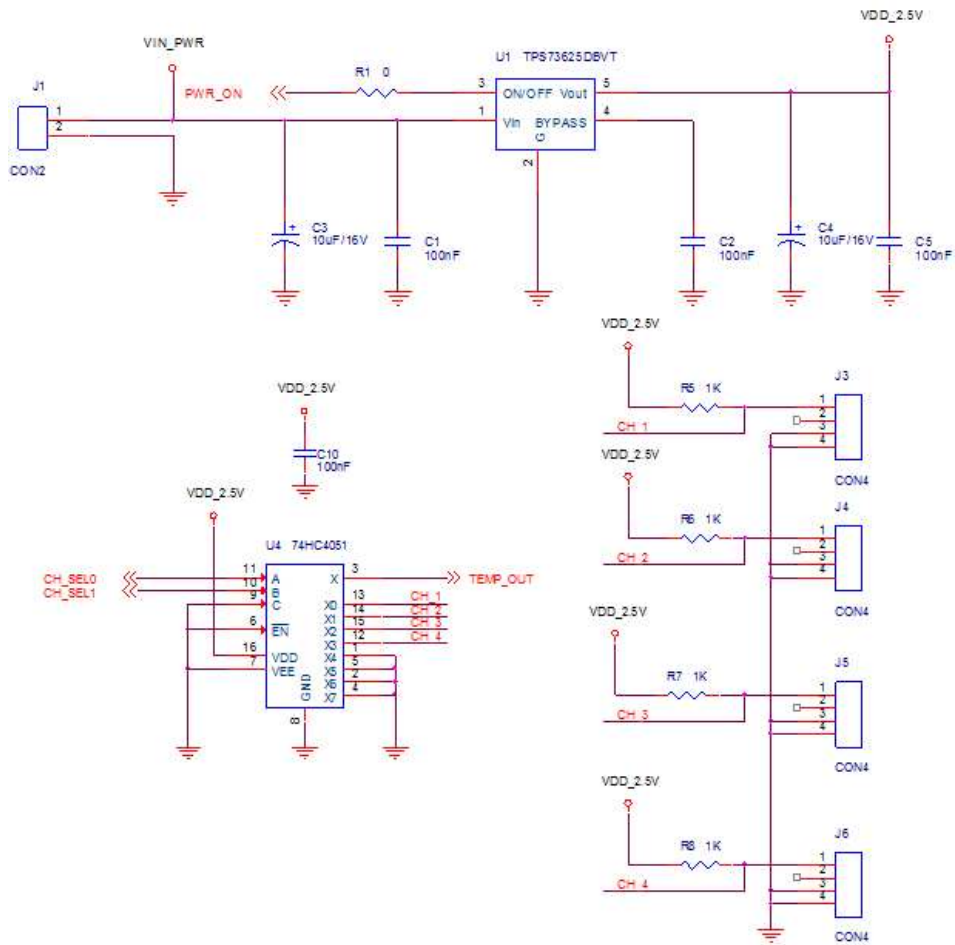


그림 2.6 온도센서 인터페이스 회로도

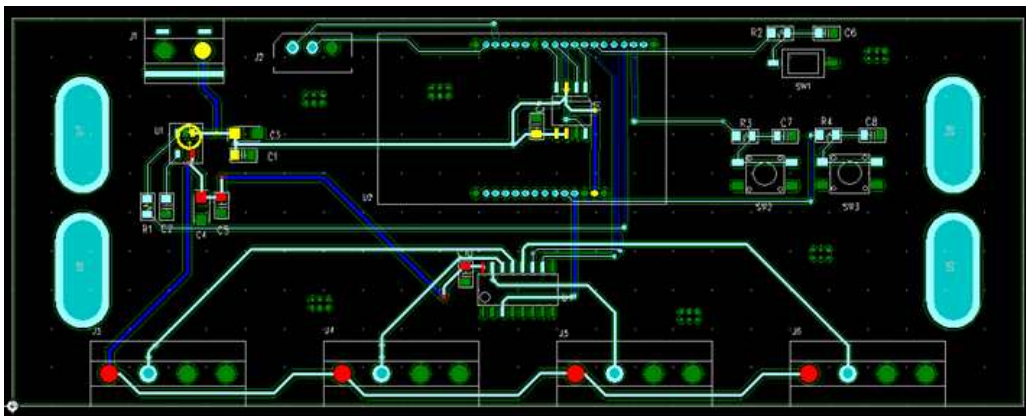


그림 2.7 온도센서 인터페이스 보드 PCB

그림 2.7은 PCB 설계 파일은 PADS 툴을 사용하여 설계한 도면이다. 1개의 제어 보드 (인터페이스보드)에 4개의 센서를 연결 할 수 있으므로 총 4개의 온도센서 인터페이스 보드



가 사용될 수 있다. 전원은 3.6V 배터리를 동작 할 수 있게 하였으며, 극한 환경에서 장시간 운영되도록  $-40 \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  범위에서 동작 할 수 있게 하였다. 그림 2.6의 회로도와 같이 하나의 인터페이스 보드에 4개의 센서를 연결 할 수 있도록 개발 하였다.

온도 변화를 관측하기 위한 시스템에서 사용되는 제어기 개수를 줄여 전체 시스템 가격을 낮추기 위함이다. 온도 센서 값은 아날로그 멀티플렉스를 통해 통신 모듈의 ADC(Analog to Digital Converter)로 연결된다.

### 3.2 운영 및 제어프로그램

운영프로그램은 3.1장에 나타난 개발 내용에 맞추어 제작하였다. PC에서 미터링정보를 수집하고 제어프로그램을 이용해 미터링 정보를 수집하는 것으로 무선모듈을 이용해 정보를 수집하는 방식으로 개발하였다.



## 제3장

### 소결

본 연구에서는 극한지에서 모듈의 변형에 관계되는 핵심 데이터에 대해 분석하고 변형감지 WSN의 시작품을 제작하였다. 또한 실내시험을 통해 개발된 시작품의 저온에서의 적용성을 검증하였으며 상태감지 WSN 설계를 통해 개발될 전체 모니터링 시스템의 무선 통신 및 데이터 저장을 구현하기 위한 연구를 수행하였다. 3차년도 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 계측에서 얻어진 데이터는 모니터링 시스템 구축을 통하여 지반 및 구조물의 거동을 파악하고, 이를 바탕으로 현재 상태를 판정하기 위하여 필요한 핵심 데이터들에 대해 조사 분석 하였다
2. 진동현 센서에서 얻은 데이터를 전송하기 위하여 센서 인터페이스를 개발하고 시작품을 완성하였다. 센서 인터페이스에서 제어기에서 초기에 센서의 코일을 일정 주파수로 야기(Exciting) 한 후, 피드백 되는 고유 진동 주파수를 측정하고 센서와 무선 통신 모듈은 대기 상태에서 많은 전류를 소비하므로 휴먼 모드(Sleep mode)로 동작하도록 제작하였다. 진동현 센서도 다른 센서 인터페이스 보드와 같이 무선 센서 네트워크에 연결 할 수 있도록 구성하였다.
3. 수분센서 제품에 무선 메쉬 네트워크(ZigBee-Pro) 연결하기 위한 인터페이스 보드를 개발하였다. 전원은 3.6V 배터리를 동작 할 수 있게 하였으며, 극한 환경에서 장시간 운영 될 수 있도록 -40 ~ 85 °C 범위에서 동작 할 수 있게 하였다.
4. CPU 보드는 ARM Cortex-A8 프로세서, 512MB DDR3, 4GB eMMC, 인터넷 통

신 포트, USB 2.0 호스트, UART 3포트, 16GB SD 카드, 확장 I/O 포트로 구성된 게이트웨이 시작품을 개발하고, 이리듐(Iridium) 모뎀과 지그비(ZigBee) 통신 모듈은 UART 포트를 통해 연결되도록 구성하였다. 센서 노드로부터 수집된 센서 값은 실시간으로 SD 카드에 저장되고, 사용자가 설정한 주기로 평균된 값(또는 샘플 값)을 이리듐 모뎀을 통해 원격지 서버로 송신할 수 있도록 제작하였다.

5. 일반적으로 최저 동작온도가  $-20^{\circ}\text{C}$ 로 나온 제품의 경우 통신 모듈과 접하는 온도가 그 이하로 떨어졌을 경우 통신에 의한 데이터 전송을 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 개발된 통신 모듈은 통신 모듈과 접하는 온도가  $-40^{\circ}\text{C}$ 까지 떨어져도 센서에 의해 획득한 데이터를 안정적으로 모두 획득할 수 있어 개발된 통신 모듈은 극한환경 온도( $-40^{\circ}\text{C}$ )에서도 신뢰성 있는 데이터를 획득 할 수 있을 것으로 판단된다.
6. WSN 기반 오일샌드 플랜트 모듈 모니터링의 운영 프로그램은 현장 게이트웨이에 설치할 계획이고, 현장 게이트웨이는 원격 모니터링을 할 수 있도록 원격 접속 서비스를 제공할 수 있도록 개발하였다. 모니터링 프로그램의 주요한 기능은 현장에 설치된 센서에서 획득한 데이터를 완벽하게 수신하고 이를 저장할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 WSN 기반 오일샌드 플랜트 모듈을 모니터링 할 수 있도록 이러한 기능을 구축할 계획이다.

## 참고문헌

---

- [http://hartcommorg/hcf/news/pr2010/WirelessHART\\_approved\\_by\\_IEC.html](http://hartcommorg/hcf/news/pr2010/WirelessHART_approved_by_IEC.html).
- IEEE Std 802.15.4-2006, IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local metropolitan area networks - Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs), 2006.
- ISA-100.11a-2009, Wireless systems for industrial automation: Process control and related applications, ISA, 2009.
- Kastner, W. G. Neugschwandtner, S. Soucek, and H. Newman, "Communication systems for building automation and control," Proc. of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, vol. 93, pp. 1178-1203, June 2005.
- Reinisch, W. C. Kastner, G. Neugschwandtner, and W. Granzer, "Wireless technologies in home and building automation," Proc. 7th Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Industrial Informatics, vol. 1, pp. 93-98, 2007.