

캐나다 오일샌드 플랜트 온도 조건을 고려한 구조물 모니터링 통신 모듈 적용성에 관한 연구

양희권* · 이찬길* · 이방용** · 박근보** †

A Study of Structure Monitoring Applicability of ZigBee Module through Oil Sand Plant Temperature around Canada

Heekwon Yang*, Chankil Lee*, Bang Yong Lee**, Keunbo Park** †

Key Words : ZigBee(지그비), Temperature(온도), Humidity(습도), Monitoring(유지관리), Freezing Chamber Test(동결 챔버 시험), Oil Sand Plant Environment(오일 샌드 플랜트 환경)

ABSTRACT

The demand for wireless technology in plant structure has recently been increasing due to several advantages such as installation cost reduction, easy placement, easy extension and aesthetic benefits. Among the many wireless technologies, ZigBee is one of the most useful for plant structure; a wireless plant networking system can be configured using ZigBee alone. This research proposes a ZigBee to use for extreme cold region and thereby enable integration of wired and wireless plant monitoring systems. In this study, in order to assess the performance of ZigBee measured data by thermocouple were examined based on the results from laboratory tests between existing ZigBee and developed ZigBee. From the experiment results, performance of developed ZigBee in harsh environment can be increased well.

1. 서 론

국내의 경우 영구동토지역이 존재하지 않는 기후적 특성으로 인해 극한환경을 대상으로 하는 건설기술에 대한 수요가 없었으나 최근 국내 업체들의 영구동토지역 해외 공사 진출 및 에너지 자원 확보를 위한 시베리아 지역 에너지라인 개발 사업, 지구환경문제에 대한 국제사회의 노력에 동참하기 위한 남극 장보고기지 건설 등에 대한 관심 등으로 인해 극한환경 지역에 대한 건설 기술 수요가 증가하고 있다. 특히 많은 이슈가 되고 있는 비전통 자원인 오일샌드는 캐나다가 세계에서 매장량이 가장 크며 주로 앨버타(Alberta)주에 퍼져있고 일부 사스카툰(Saskatchewan) 지역에도 일부 발견되고 있다. 캐나다 오일샌드 보유 추산치는 1조 7천억 배럴 또는 2조 5천억 배럴로 평가되며⁽¹⁾ 아사바스카(Athabasca), 콜드레이크(Cold Lake), 그리고 피스리버(Peace River) 인근이 대

표 오일샌드 생산지역이다. 최근 캐나다, 미국, 유럽의 대규모 석유회사 뿐만 아니라, 일본, 중국, 인도 등의 석유회사들도 앞 다투어 오일샌드 개발에 나서고 있다.⁽²⁾ 국내의 경우 에너지 자원 확보를 위해 한국석유공사가 2006년 국내에서 최초로 캐나다 오일샌드 사업에 참여⁽³⁾하면서 이후 국내 기업들이 활발히 진출을 모색하고 있다.

캐나다 오일샌드 지역에서의 플랜트 구조물은 구조형식과 시공법이 다양하고 취약한 기후로 인해 공사수행을 위하여 필요한 관리항목과 데이터가 증대되어 이를 처리하기 위한 업무도 커질 것으로 예측된다. 또한 플랜트 구조물이 위치한 캐나다의 경우 여러 가지 환경 요인으로 인한 플랜트 구조물의 균열, 화재나 폭발, 플랜트 연결 구조물의 파괴 등에 대한 손상 사례들이 보고되고 있으며⁽⁴⁾ 이에 대한 대처 방안 확보가 필수적이다. 특히 캐나다 오일샌드 지역은 취약한 기후, 작업능률 및 생산성 저하로 인해 좀 더 신뢰성

* 한양대학교 전자통신공학과(Department of Electronics and Communications Eng., Hanyang University ERICA)

** 극지연구소(Korea Polar Research Institute)

† 교신저자, E-mail : kbstar@kopri.re.kr

있는 시공 및 공용중 관리를 위해서 무엇보다도 구조물 유지관리 시스템이 필요하다고 판단되고 있지만 극한환경 플랜트 구조물의 유지관리 계측시스템은 일천한 실정이다.⁽⁵⁾

캐나다와 같은 극한환경에서 사용 가능한 모니터링 시스템은 구조물 및 지반의 결함 및 손상 또는 현재의 상태를 탐지하는 목적으로 개발되어지는데 이는 센서 및 부가 계측장비, 신호처리 장비 및 기술, 그리고 정보처리 기술 등이 필요하다. 일시적인 모니터링과는 달리 플랜트 시설물과 같은 장기 모니터링의 경우 시스템의 내구성과 유지 관리가 강조되고, 이는 센서 및 부가 장비의 선택, 설치 방법, 위치 그리고 수효에도 많은 영향을 미친다. 특히 통신 및 저장장치는 열악한 환경 (온도 변화, 습기, 화학물질 침입 등)에서도 장시간 동안 그 기능이 보장되어야 하며 가능한 한 교체 설치될 수 있어야 한다. 특히 극한환경에서의 구조물은 국내의 환경과는 다르게 가혹한 환경에서 건설되고 모니터링 시스템 역시 이러한 환경에 노출되어 있어 플랜트 구조물의 장기 데이터 획득에 문제가 발생하거나 모니터링의 노후화가 국내 환경과는 상대적으로 빨리 진행되어 센서 기능의 유지에 많은 문제점을 가지고 있다.^(4, 6) 또한 극한환경의 경우 인적이 드물어 동물의 침입에 센서를 보호할 필요가 있으며 열악한 환경에서의 센서 기능을 발휘 할 수 있는 내구성이 필요하다. 현재 국·내외에서 일반적으로 사용되고 있는 계측센서는 극한환경의 열악한 환경으로 인해 사용성이 보장되지 않는다⁽⁶⁾. 따라서 극한환경에 사용 가능한 모니터링 장비는 별도로 제작하거나 기존 장치에 성능을 향상시키는 기술을 도입하여 모니터링의 사용성을 증대 시켜야 한다. 특히 계측기와 관련된 국내 건설센서의 경우 데이터 획득을 비롯한 시스템 기술의 개발이 활발히 진행되고 있는 상황이나 핵심모듈과 센서자체는 대부분 수입에 의존하고 있으며 극한환경 구조물의 모니터링 및 안전진단 시스템용 센서와 같이 특정 영역에 대한 연구는 전무한 실정이다.⁽⁶⁻⁷⁾ 극한환경에서의 오일샌드 플랜트 구조물 거동을 파악을 위해서는 센서에서 취득한 데이터를 무선으로 통신하여 게이트웨이(gateway)에 저장하고 저장된 데이터를 관리시스템으로 전송하여 관리시스템에서 구조물 거동에 대한 해석을 수행하게 된다.

본 연구에서는 캐나다 오일샌드 대표 매장 지역의 기상 (아사바스카)을 조사하여 모니터링 장비의 최저 동작 온도를 분석하고 극한환경에서 센서로부터의 관리시스템으로의 전송 과정에서 발생하는 환경적 외력을 극복할 수 있는 통신 모듈을 개발하여 안정적인 데이터를 전송하는 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 또한 개발된 통신 모듈을 -50℃에서 50℃까지 온도를 제어할 수 있는 동결 챔버 실내실험을 통해 극한환경 온도에서도 데이터 획득이 가능한지 확인하고 기존 상용화되어 있는 통신 모듈과의 비교를 통해 개발된 모듈의 신뢰성을 검증하였다.

2. 캐나다 오일샌드 지역의 환경 분석

캐나다 앨버타주의 오일샌드 대표 부존 지역은 아사바스카(Athabasca) 이머⁽⁸⁾ 위치는 북위 50° 와 60° 사이에 위치한다. 아사바스카의 오일샌드 프로젝트는 마이닝 채굴방법으로 생산중인 머스켄 리버(Muskeg River), 선코 스티프뱅크(Suncor Steepbank), 신크루드 21 (Syncrude 21) 등이 있고 SAGD 방식으로 생산중인 프로젝트는 크리스티나레이크(Christina Lake), 도버(Dover), 포스터 크릭(Foster Creek) 등이 있다.

아사바스카는 크리스티나(Christina), 클리어워터(Clear-water) 및 아사바스카 3곳의 강을 중심으로 협곡이 발달한 지역이다. 아사바스카의 기상 관측소의 위치는 북위 54° 09', 서경 113° 02'에 위치하며 해발 고도는 623m 이다.⁽⁹⁾ 기상관측은 자동기상관측프로그램인 Synoptic and full hourly observing program을 이용하여 실시간 대기의 기상상태를 관측하며 관측요소로는 기온, 기압, 풍향 풍속, 상대습도, 강수량 등을 측정하고 있다. 아사바스카 지역의 대표 온도 분포는 각각 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1은 1981년부터 2010년까지 관측된 아사바스카의 월평균기온을 나타내고 있으며, 그 온도분포는 -13.4~16.6℃이다. 1981년부터 2010까지 가장 낮은 기온은 -18.1℃로 1월에 관측되었으며, 가장 높은 기온은 16.6℃로 7월에 관측되었다. 여름철 최대 강수량은 103.7mm이며 겨울철 최대 강설량은 21.9cm이다. 극한환경에서 중요하게 여겨지는 1개월 동안 눈의 깊이는 최고 31cm에 달한다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 대부분 지역의 월평균 최저 온도는 -20℃ 정도 이므로 오일샌드 플랜트 모니터링은 최소 -20℃ 이하에서도 신뢰성 있는 데이터를 수집할 수 있는 장비로 구성되어져야 한다. 특히 모니터링 시스템에서 온도 측정의 중요성과 그 결과에 대한 유용성은 오래전부터 인식되어 왔으며 센서의 경우 온도의 영향을 받으므로 온도가 매우 낮은 온도까지 내려가는 극한환경에서는 측정된 자료에 대한 온도 보정은

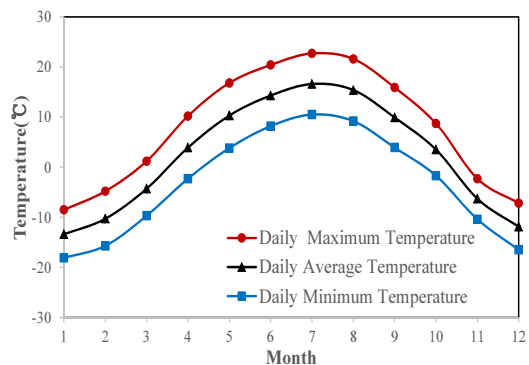


Fig. 1 Temperature and Precipitation Chart for 1981 to 2010 Canadian Climate Normals for Athabasca

필수적이므로 온도에 대한 모니터링은 중요하다.⁽¹⁰⁻¹⁵⁾ 이러한 낮은 온도에서는 센서 자체적인 문제가 발생하여 데이터를 취득하지 못하는 경우도 발생할 수 있다.

플랜트 모니터링 네트워크 구성은 유선과 무선 방식으로 구성이 가능하나 현장의 환경에 따라 유선망이 곤란하고 무선 통신이 불가피하게 필요한 경우가 많이 발생한다. 특히 캐나다, 오일샌드 플랜트의 경우 극한환경에서 수행되는 작업이므로 무선 통신을 이용한 모니터링이 필수적이라고 판단된다. 그 이유는 유선 모니터링에 비해 무선 모니터링이 통신선 설치가 불필요하고, 통신선에 의해 구조물에 미치는 하중 증가가 거의 없으며 장비 설치시 간편하게 설치할 수 있는 등의 장점 때문이다. 또한 극한환경에서도 신뢰성 있게 동작하는 통신 시스템은 안정적으로 플랜트 환경을 모니터링하기 위한 필수 조건이다. 따라서 본 연구에서는 무선 센서 네트워크를 통해 취득된 데이터를 중앙 모니터링 센터로 통합 전송 하도록 하여 구조물 거동 데이터를 원격지에서 관리하고 모니터링 가능 하도록 하였으며, 본 연구를 통해 설계·제작한 센서 모듈과 지그비 통신 모듈의 온도에 따른 동작 특성을 동결 챔버를 사용하여 시험하고 분석하였다.

3. 시스템 구성 및 설계

본 연구에서 구현 하고자 하는 통신 모듈의 구성도는 Fig. 2와 같다. 일반적인 플랜트 구조물에 있어 구조물의 온도와 습도의 측정이 필요한 분야에 응용할 수 있는 가상의 시스템 구성도이다. A는 온습도 센서와 지그비 통신 모듈을 갖는 센서 노드로 관측된 센서 데이터를 실시간으로 B로 전송한다. 여러 개의 센서 노드로부터 데이터를 수집 가능한 싱크노드 B는 A로부터 전송된 데이터를 로컬 메모리(Flash)에 저장함과 동시에 관리자가 있는 공간으로 재전송하게 된다. 본 연구에서는 RS-232 통신을 통해 원격지 모니터링 센터로 전송되도록 하였다. 본 시스템은 저온에서의 시스템 성능 및 부속 장비의 온도 보정을 위한 프로토타입 시스템으로 여기에 플랜트 구조물의 부식, 변형, 균열 등을 모니터링 할 수 있는 센서를 추가할 수 있으며, 싱크노드 B와 원격지 모니터링 센터와의 통신은 와이파이(WiFi), 이동통신망(WCDMA), 이더넷(Ethernet)등으로 구성할 수 있다. Fig. 2에서 SHT71은 온습도 센서이며 EM357(SiLabs)은 32-bit ARM Cortex-M3 프로세서와 RF 송수신 회로가 내장된 칩으로 지그비 통신에 사용되는 2.4 GHz 대역의 ISM 밴드를 사용하였다. 또한 링크 버짓(Link budget)은 103 dB ~110 dB 이며 수신감도는 -102 dBm, RF 출력은 +8 dBm 까지 조정 가능하다. 또한 통신 모듈 자체가 저온으로 떨어지는 것을 방지하기 위하여 일정 저온에서 통신 모듈 케이스 내부의 온도를 상승 시켜줄 수 있는 히터(Heater)를 Fig. 2의 A와 같이 추가하였다. Fig. 3은 EM357 기반으로 개발한

센서 노드에 대한 프로토타입 PCB Top 뷰를 제시하였다.

센서에서 데이터를 모니터링하고 관리하는 PC로의 데이터 전송은 Fig. 2의 B와 같이 싱크 노드가 담당하며, 통신 방식은 RS-232로 전송 속도는 115,200[baud]로 설정하였다. 모니터 프로그램의 구현은 MFC(Microsoft Foundation Class) 기반으로 PC 환경에서 개발하였다. Fig. 2의 싱크노드는 지그비 코디네이터(ZC)로 동작되며, 센서 노드는 지그비 라우터(ZR) 또는 저전력 모드인 지그비 앤드디바이스(ZED)로 동작된다. 지그비 네트워크 구조는 애드혹(Ad-hoc) WMN(Wireless Mesh Network)로 설계하여 센서 노드의 추가 확장이 용이하고 높은 신뢰성을 갖도록 하였다.

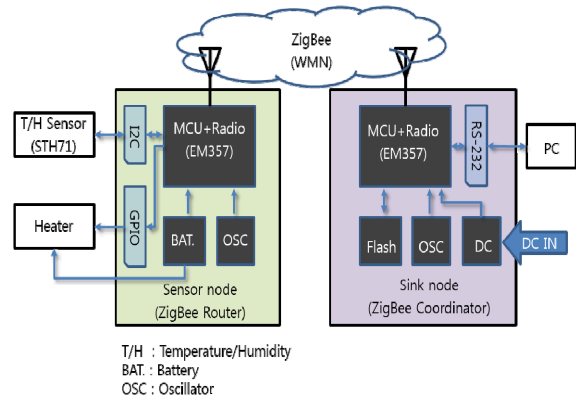


Fig. 2 Structure of sensor system

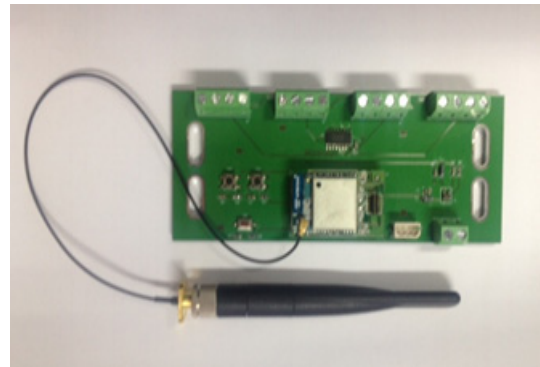


Fig. 3 Top view of ZigBee sensor node

4. 저온 ZigBee 챔버에서의 적용성 평가 시험

개발된 모듈의 적용성 평가를 위해 Fig. 4와 같이 케이스 내부에 부품들을 배치하였다. Fig. 4의 동결 챔버 내부에서의 시스템은 Fig. 2의 A와 같은 구성으로 되어 있으며 Fig. 4의 동결 챔버 외부는 Fig. 2의 B와 같은 구성이다. 컨트롤러(Controller)는 모니터링 시스템을 구성하는 센서 제어용 보드로 케이스 내부 온도를 측정하여 반도체 방식의 히터를 동작 시킨다. 클램프(Clamp)는 컨트롤러와 리튬배터리

(Lithium battery)를 케이스에 연결시키기 위한 장치이다. 케이스 바닥면의 4개의 홀은 온도 및 습도 센서와 안테나 등을 연결하기 위한 것으로 외기 온도 및 습도를 측정할 수 있도록 한다.

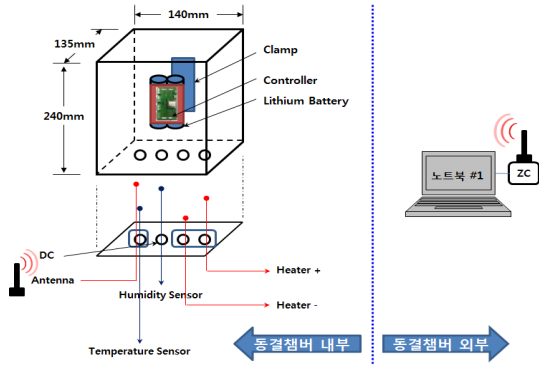


Fig. 4 Diagrammatic sketch for application tests

Fig. 4에서 케이스의 내부온도 및 습도는 센서를 통해 컨트롤러에서 측정 가능하도록 제작하였다. 여기서 획득한 데이터는 통신 장비를 통해 노트북에 연결되어 있는 지그비 코디네이터(ZC)로 측정된 값을 전송한다. 실제 관측지에 설치될 시스템에서는 컨트롤러가 직접 히터의 동작을 제어하겠지만 본 연구에서는 저온에서의 컨트롤러 동작 불량 발생과 히터 동작 온도 설정값을 자유롭게 변경하기 위하여 노트북을 통해 지그비 코디네이터에서 제어 되도록 하였다. 또한 데이터 측정은 동결 챔버 내부, 센서 컨트롤러가 들어 있는 케이스 내부의 온습도를 측정하였다.

히터의 동작 알고리즘은 저온과 고온 문턱 값을 설정하여 히터 자체의 온도 변화에 따라 ON/OFF 가 반복되지 않도록 하였다. 즉, 저온 문턱 값보다 케이스 내부 온도가 낮을 경우 히터를 ON 시키고 고온 문턱 값보다 높아진 경우 히터를 OFF 시킨다.

Fig. 5와 표 1은 동결 챔버 내부에 테스트 시스템을 구성한 모습과 통신 모듈 시험의 종류를 나타내고 있다. 지그비 통신 모듈의 온도 성능을 보다 정확하게 확인하기 위해서 Fig. 5의 (a)와 같이 케이스 없이 동결 챔버 내부에 설치하여 동결 챔버 내부 온습도 변화를 측정하도록 하였으며, 시스템의 전원으로 사용될 배터리도 Fig. 5의 (b)와 같이 플라스틱 케이스로 포장하여 동결 챔버에 같이 넣어 시험 하였다. Fig. 5의 (b)에서의 통신 모듈의 케이스는 스테인레스 스틸과 알루미늄으로 총 2가지의 케이스로 구성하였다. 두 가지 제품은 극한환경에서 장기간 사용이 가능한 제품으로 판단되고 케이스 내부에는 외부 온도에 의해 내부 온도의 보온 효과 및 내충격 보호 기능을 갖는 구조로 진공단열재를 Fig. 5의 (a)와 같이 설치하였다. 각 케이스 내부의 컨트롤러로부터 측정된 온습도 데이터와 무선 수신 강도를 PC

에 엑셀 파일로 저장하였다.

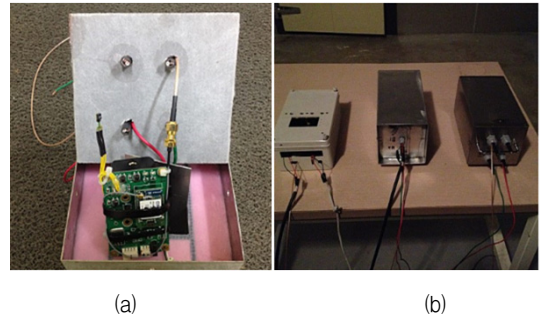


Fig. 5 Experimental apparatus for application tests

Table 1 The list of the freezing chamber tests

	Developed module	Common used module
Stainless steel case	Exclude heater	Include Heater
Stainless steel case	Exclude heater	Exclude heater
Aluminum case	Exclude heater	-

5. 시험 결과

Fig. 6은 동작온도가 -20°C 인 상용 모듈이 동결 챔버의 -40°C 에서 동작하여 데이터를 획득하는지에 대한 결과를 나타낸다. Table 1에서 나타난 바와 같이 동작온도가 -20°C 인 통신 모듈과 동작온도가 -20°C 통신 모듈과 히터를 포함한 스테인레스 통신 모듈 케이스를 동결 챔버에서 약 20시간 동안 시험을 수행하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 히터를 포함한 통신 모듈과 히터를 포함하지 않은 통신 모듈 케이스 내부의 온도가 시간이 지남에 따라 비슷한 속도로 감소되었다. 또한 히터를 포함한 통신 모듈과 히터를 포함하지 않은 통신 모듈 케이스 내부의 온도가 약 -15°C (Fig. 6의 a)와 -22°C (Fig. 6의 b)에서 통신 모듈이 동작을 멈추어서 더 이상의 데이터를 전송하지 못하였다. 이후 히터를 강제적으로 ON하여 통신 모듈 케이스 내부의 온도를 상승시켰더니 Fig. 6의 c에서와 같이 약 -28°C 에서 통신 모듈에서 데이터를 다시 전송하기 시작하였다. 통신 모듈 케이스 내부의 온도는 계속 상승하였고 히터의 저온과 고온 문턱 값을 설정 부분에서의 온도변화에 대한 데이터를 계속 획득하였다. 그러나 9시간(Fig. 6의 d) 후 히터를 강제로 OFF한 이후 외기 온도에 의해 케이스 내부 온도가 -17°C 가 되었을 때 통신 모듈은 더 이상 데이터를 관측하지 못하였다. 따라서 일반적으로 최저 동작온도가 -20°C 로 나온 제품의 경우 통신에 의한 데이터 전송을 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다고 판단된다. Fig. 6은 습도에 대한 결과를 나타내고 있다. Fig. 6에서 측정된 온도 데이터와 같은 시간까지 습도가 측정되었고 통신 모듈 케이스 내부의 온도가 약 -15°C (Fig. 7의 a)

와 -22°C (Fig. 7의 b)에서 데이터를 전송하지 못하였다. 그러나 Fig. 6의 c에서와 같이 Fig. 7의 c에서도 히터에 의해 습도 센서의 데이터가 획득되었으며 Fig. 7의 d에서 히터를 강제적으로 종료시켰을 경우에도 습도는 측정되지 않았다. 기존에 상용화된 통신 모듈을 극한환경에서 사용하기 위해서는 Fig. 6 및 7과 같이 히터를 이용하여 저온과 고온 문턱값을 설정하면 극한환경에서 모니터링 데이터가 측정 가능하다. 그러나 히터를 사용함에 있어 필요한 전력의 양이 데이터 수집에 대한 전력량에 비해 아주 많은 양의 전력이 필요하다. 따라서 히터를 이용한 방법을 최소화 하거나 사용하지 않는 것이 장기간 모니터링 장비를 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

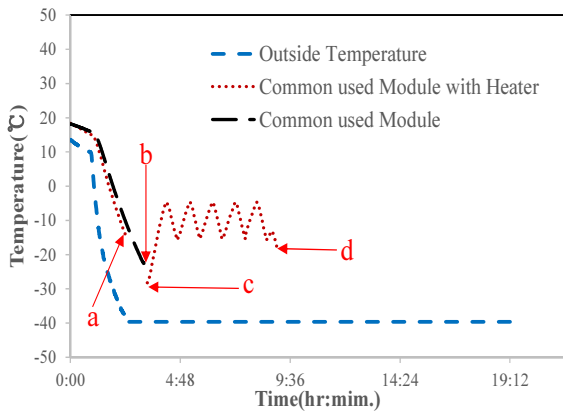


Fig. 6 Temperature monitoring test results with no heater and heater

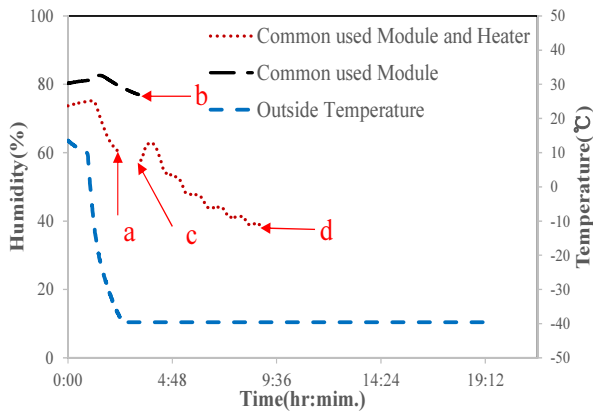


Fig. 7 Humidity monitoring test results with no heater and heater

Fig. 8에서 9는 본 연구에서 개발된 통신 모듈에 대한 시험 결과를 나타내고 있다. Fig. 8은 스테인레스 케이스를 사용한 통신 모듈 내부의 온도와 습도를 나타내고 있다. 시험 시작 30분 정도의 시간 경과까지 통신 모듈 내부의 온도는 변화하지 않았지만 이후 급격히 저하되고 9시간 이후에는 동결 챔버 외부온도와 같은 약 -40°C 의 온도로 떨어져 유지되었다. 통신 모듈 내부의 습도는 시험시작 30분까지 증가

하는 경향을 보이다가 급격히 떨어졌고 약 2시간 이후부터는 증가하는 경향을 나타내고 있다. Fig. 9의 경우도 Fig. 8과 같이 비슷한 경향을 나타내고 있다. Fig. 6에서 9 보면 일정시간 이후에는 통신 모듈 주변의 온도가 유지되어 이후에는 온도 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 Fig. 8과 9에 나타난 바와 같이 -40°C 까지 외기 온도가 떨어지고 이로 인해 통신 모듈 케이스 안의 온도가 -40°C 까지 떨어져도 온도와 습도의 데이터를 모두 획득할 수 있어 개발된 통신 모듈을 극한환경 온도에서도 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2 Temperature delay for test results

Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Temperature delay for different case	
	Stainless steel case	Aluminium
10	35	54
0	56	78
-10	74	103
-20	90	132
-30	130	203
-35	211	311

Table 2는 스테인레스 케이스와 알루미늄케이스의 내부 온도와 동결 챔버 외부온도를 나타낸 결과이다. 동결 챔버 외부온도가 -40°C 까지 떨어지는 동안 스테인레스 케이스와 알루미늄 케이스 내부의 온도가 외부온도에 비해 평균 150분의 온도지연을 갖는다. 이것은 케이스 내부에 진공단열재로 인한 온도 지연으로 판단되나 약 9시간 이후에는 외부온도와 케이스 내부온도가 일치해 짐으로 단열재를 이용한 통신 모듈 보호에 비해 통신 모듈에 들어가는 부품의 동작온도가 극저온에서도 사용 가능한 제품으로 통신 모듈을 구성하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

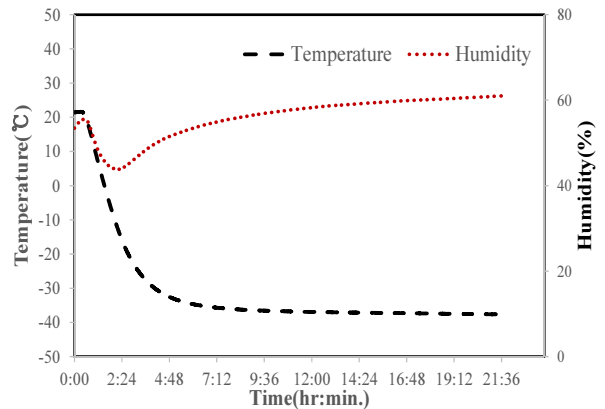


Fig. 8 Developed module for test results with stainless steel case

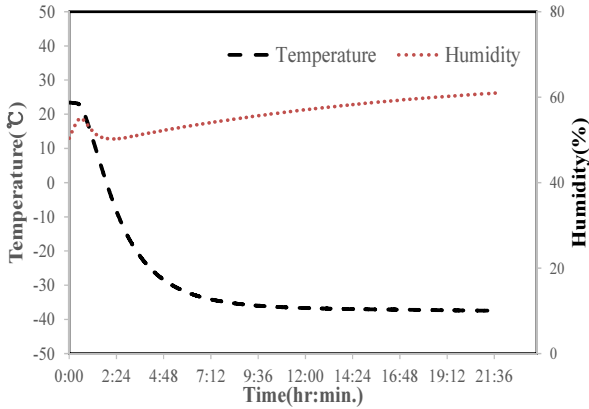


Fig. 9 Developed module for test results with Aluminum case

6. 결 론

본 연구에서는 극한환경에서 사용가능한 모니터링 시스템 중 통신 모듈을 저온에 강한 통신 모듈로 개발하고 실내 실험을 실시하여 통신 모듈의 적용성을 평가하였다. 또한 기존에 일반적으로 사용중인 모듈과의 비교를 통해 개발된 통신 모듈의 신뢰성을 분석하였다. 본 연구에서 도출된 주요 결과를 정리하면 다음과 같다

- 1) 오일샌드가 많이 분포된 캐나다 북부 지역에 대한 기후환경을 분석하였다. 그 결과 오일샌드 플랜트 모니터링은 최소 -20°C 이하에서도 신뢰성 있는 데이터를 수집할 수 있는 장비로 구성되어져야 한다.
- 2) 일반적으로 최저 동작온도가 -20°C로 나온 제품의 경우 통신 모듈과 접하는 온도가 그 이하로 떨어졌을 경우 통신에 의한 데이터 전송을 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.
- 3) 기존에 상용화된 통신 모듈을 극한환경에서 사용하기 위해서는 히터를 이용하여 저온과 고온 문턱 값을 설정하면 극한환경에서 모니터링 데이터가 측정 가능하다. 그러나 히터를 사용함에 있어 필요한 전력의 양이 데이터 수집에 대한 전력량에 비해 아주 많은 양의 전력이 필요하다. 따라서 히터를 이용한 방법을 최소화하거나 사용하지 않는 것이 장기간 모니터링 장비를 운영하는 방법이라고 할 수 있다.
- 4) 개발된 통신 모듈은 통신 모듈과 접하는 온도가 -40°C 까지 떨어져도 센서에 의해 획득한 데이터를 안정적으로 모두 획득할 수 있어 개발된 통신 모듈은 극한환경 온도(-40°C)에서도 신뢰성 있는 데이터를 획득 할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비지원 (15IFIP-B089065-02) 및 극지연구소 연구비지원 (PN15110)에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) Alberta Energy., 2009, Facts about Alberta's oil sands and its industry, http://history.alberta.ca/oilsands/resources/docs/facts_sheets09.pdf.
- (2) 권이균, 2008, "캐나다 아사바스카 오일샌드 지질특성," Korean Jour. of Petrol. Geol., Vol. 14, pp. 1~11.
- (3) 조한나, 2013, 비전통가스 개발의 환경영향평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구, 한국환경정책·평가연구원.
- (4) 극지연구소, 2015, 극한지 오일샌드 플랜트 모듈 견전도 검증을 위한 손상 모니터링 시스템 개발 요건 및 계획보고서, 극지연구소.
- (5) 한국건설기술연구원, 2012, 극한지 지반평가 및 극한환경 모니터링 시스템 개발(Ⅲ), 한국건설기술연구원.
- (6) 한국건설기술연구원, 2011, 극한지 지반평가 및 극한환경 모니터링 시스템 개발(Ⅱ), 한국건설기술연구원.
- (7) 박근보, 김영석, 2013, "극지환경을 고려한 남극 세종과학기지 계측시스템 적용성에 관한 연구," 한국토목섬유학회 논문집, pp. 43~53.
- (8) http://www.energy.alberta.ca/LandAccess/pdfs/OilSands_Projects.pdf.
- (9) Environment Canada, 1984, Principal Station Data, Cape St. James, PSD/DSP-66, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Ottawa.
- (10) 김중열, 김유성, 송운호, 2007, "온도 모니터링을 위한 광섬유 센서와 온도센서 배열 케이블의 비교 연구," 한국지반공학회논문집, 제23권, 제4호, pp. 15~24.
- (11) 김재민, 김현우, 김영상, 김진원, 윤정방, 2008, "광섬유센서가 내장된 강연선을 이용한 교량의 장력 모니터링 방법," 한국전산구조공학회논문집, 제21권, 제3호, pp. 287~294.
- (12) Dunncliff, J., 1988, Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, John Wiley & Sons, New York, p. 577.
- (13) Smith, D. W., 1996, Cold regions utilities monograph, ASCE, New York.
- (14) Daigle, L. and Zhao, J. Q., 2004, "The influence of temperature on earth pressure cell readings," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 41, No. 3, pp. 551~559.
- (15) Daigle, L., 2005, "Temperature influence on earth pressure cell readings," Geotechnical Instrumentation News, p. 32.