Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 18, No. 1, pp. 9-14, 2024
https://doi.org/10.23042/radin.2024.18.1.9

Original article

실시간 능동형 타입 격납장치 개발

신중기[1] · 백희균[1] · 이용주[1,*]
[1]㈜네오시스코리아

Development of Real-Time Active Type Seals

Jung-ki Shin[1], Heekyun Baek[1], and Yongju Lee[1,*]
[1]Neosiskorea Co., Ltd., 10-11, Expo-ro 339beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, Repiblic of Korea

ABSTRACT In order to thoroughly verify the denuclearization of the Korean Peninsula, it is urgent to develop technology capabilities to monitor, detect, collect, analyze, interpret, and evaluate nuclear activities using nuclear materials and secure nuclear transparency. The IAEA is actively using seal technology to maximize the efficiency of safety measures, and currently uses metal cap, paper, COBRA, and EOSS as seal devices. Unlike facilities that comply with safety measures requirements, such as domestic nuclear facilities, facilities subject to denuclearization are likely to have various risk environments that make it difficult to apply safety measures, and there is a high possibility that continuity of knowledge (COK) such as damage, malfunction, and power loss will not be maintained. This study aims to develop a real-time active seal device that can be applied in such special situations to enable immediate response in the event of a similar situation. To this end, the main functions of the real-time seal device were derived and applied, and a commercialized seal device and operation software. The real-time seal technology developed through this study can be applied to all nuclear facilities in South Korea, especially used as storage equipment for dry cask storage facilities of heavy water reactor's after fuel, and it is believed that unnecessary radiation exposure by inspectors can be minimized.

Key words: Real time, Safeguards, Seal, Remote, Nuclear material

1. 서 론

원자력의 평화적 이용을 위해 국제사회는 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)와 안전조치 협정을 체결하여 국제적인 의무를 이행하고, IAEA는 이러한 의무의 이행을 검증하기 위해 사찰을 시행하고 있으며 이와 함께 국가 자체적으로도 핵물질 관리체계를 구축하여 국가 검사 검사를 시행하고 있다. 이러한 안전조치 활동을 뒷받침하는 수단에는 핵물질 계량, 격납/감시, 무인/원격 모니터링, 환경시료 분석 등이 있다. 가장 핵심적인 안전조치 수단은 핵물질 계량(Nuclear Material Accountancy)이며 국가 검사원의 직접 방문을 통한 품목 계수(Item Counting), 비파괴 분석(NDA; Non-Destructive Analysis), 파괴 분석(DA; Destructive Analysis) 등의 방법을 통해 이루어진다. 핵물질 계량은 가장 정확한 검증방법이지만, 분석방법에 따라 충분한 분석시간이 필요하여 안전조치의 효율성을 저하시키는 요인으로 작용한다. 이런 이유로 핵물질 계량 기술의 보완하는 수단으로 격납/감시 기술을 함께 적용하여 사용하고 있다[1].

격납(Containment) 기술의 목적은 정보 연속성(Cok; Continuity of Knowledge)를 유지하는 것이며, 핵물질 계량을 통한 검증된 핵물질에 대한 정보가 유지되었는지를 판단하는 기술로 격납장치의 건전성만을 확인하여 내부의 핵물질은 변함없이 존재한다고 가정할 수 있어 안전조치의 효율성을 개선할 수 있다.

격납 장치(Seal)는 일종의 변조 표시장치(Temper-Indicating Device)이며, 핵물질에 대해 인가되지 않은 접근이 있었는지 검증할 수 있다. 격납장치는 크게 피동형 장치(Passive Seal)와 능동형 장치(Active)로 구분하여 사용되고 있으며, 피동형의 경우 전원이 필요 없고 저렴하다는 장점이 있는 반면에 실시간 모니

ISSN 1976-2402 http://www.ksri.kr/
Copyright© 2024 by Korean Society of Radiation Industry
*Corresponding author: Yongju Lee
Tel: +82-42-489-6541, Fax: +82-42-489-6534, E-mail: yjlee@neosiskorea.com
Received 1 February 2024 Revised 26 March 2024 Accepted 26 March 2024

터링이 불가능하고 사찰관이 근접 접근을 통해 검증해야 한다는 단점이 있다. 능동형의 경우 검증을 위한 에너지원이 필요하지만 재활용 및 실시간 모니터링이 가능하다는 장점이 있다. 2006년 기준 IAEA에서는 매년 약 3만 개의 피동형 장치를 사용하고 있고, 약 2천 개의 능동형 장치가 활용되고 있으며 운반용기 및 재료보관함, IAEA사찰에 필요한 장치등의 봉인에 이용되고 있다[1,2].

북미회담 및 남북회담이 진행되는 사회분위기 속에 느리지만 북핵문제에 접근하고 있는 가운데에 북핵사찰도 먼미래의 일이 아님이 판단되며 이에 상응하여 대북사찰에 사용할 수 있는 사용후핵연료 관리 및 감시를 위한 맞춤형 격납장치 개발을 통한 준비가 필요하다. 특히, 국내 원자력 시설과 같이 안전조치 요건을 모범적으로 준수하는 시설과 달리 비핵화 대상국의 경우 안전조치 적용을 어렵게 만드는 다양한 위해 환경이 존재할 가능성이 높아 격납장치의 훼손 및 오작동, 전원 상실 등 정보 연속성이 유지되지 않는 상황이 발생 될 가능성이 크며, 핵물질 생산 및 핵무기 제조 프로그램의 가동 중단 및 불능화를 거쳐 비핵화 대상국의 보유하고 있는 핵무기 및 핵물질들을 반출/폐기하는 단계까지 장기간의 시간이 소요될 것으로 예상됨에 따라 장기간 동안 대상국의 핵물질 및 핵시설의 전용 및 밀반출 유무를 검증할 수 있는 격납장치의 사용이 효과적이다.

주요 이상 상황에 대한 내용을 예측하고 이를 통하여 불법적인 접근과 데이터 위변조에 대한 근본적인 차단을 위하여 장기간 사용이 가능하고 실시간으로 건전성을 검증할 수 있는 실시간 원격 능동형 격납시스템은 핵물질 격납 훼손을 감시하는 능동형 격납장치와 원격 데이터를 수집하는 중계기, 그리고 Data base server (DB server)로 구성되며 본 연구에서는 민감 핵물질 능동형 격납장치를 개발하고 광센서 및 지정구역 이탈감지 기능 등 주요 기능을 구현하고 성능을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

능동형 격납장치는 격납장치의 훼손 여부를 기록/관리하는 시스템으로 모니터링 시작 이후부터 핵사찰 이전까지의 훼손 여부를 확인할 수 있다. 이를 위해 격납장치에서는 전원이 공급되어야 한다. 현재 사용되고 있는 능동형 격납장치는 Variable Coding seal system (VACOSS), Electronic Optical Sealing System (EOSS), Two-way Radio-Frequency Seal (TRFS)가 있다[1]. VACOSS는 1970년대 최초의 능동형 격납장치로 광섬유를 이용하여 봉인 여부를 기록 관리하였으며, 리튬 배터리를 내장하여 최대 1.5년의 수명을 갖고 있으나, 이후 VACOSS의 제조 중단으로 EOSS가 개발되어 암호화를 통한 데이터 안전성이 향상되었다. 최대 2년의 수명을 갖고 있으며 외부 전원 공급이 가능하여 장기 운용이 가능하다. TRFS는 RF 무선통신을 통해 최대 76 m 원격 모니터링이 가능하다. 본연구에서 개발된 민감 핵물질 능동형 격납장치 모니터링 시스템은 능동형 격납장치

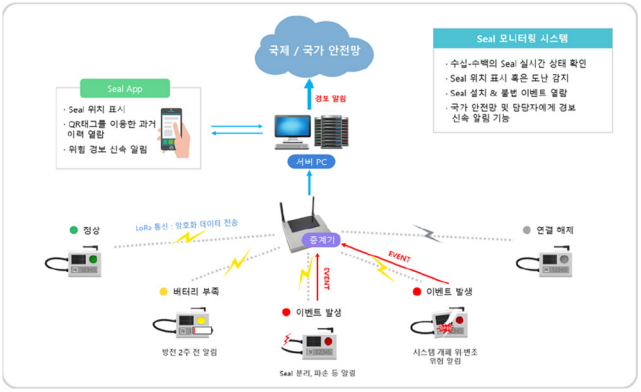

Fig. 1. Containment System Configuration

에 격납장치의 이상 상태가 발생하면 실시간으로 중앙서버에 수집/관리하는 시스템으로 이를 구성하기 위해서는 Fig. 1과 같이 능동형 격납장치, 다채널 중계기 그리고 서버 시스템이 필요하다.

능동형 격납장치는 격납장치 훼손, 배터리 부족 등의 유사상황 발생 시 원격통신을 통해 현재 상태에 대한 정보를 암호화하여 전송하여야 하며, 중계기는 원격통신을 통해 각 격납장치로부터 발송된 데이터를 수집한다. 수신된 데이터는 암호화를 유지한 채 TCP/IP (LAN) 통신을 통해 서버 PC로 전달된다. 서버 PC는 연동된 격납장치들의 이상 유무를 모니터링하며 유사시 국가/국제 안전망 등으로 상황을 실시간으로 전파 가능해야 하며, 서버에서는 일련의 이벤트 이력을 관리하여 보안망을 통한 모바일/웹 등을 통해 열람이 가능하여야 한다.

2.1. 능동형 격납장치 개발

능동형 격납장치는 위의 설계요건을 바탕으로 제작되었으며 전자회로의 구성은 광센서 감지, 케이스 오픈, USB 연동, LoRa 원격통신, 배터리 충전 및 전원 관리 기능 등을 지원한다. 아래 Table 1은 격납장치 회로구성 및 기능을 나타내었다.

2.2. 다채널 중계기 개발

다채널 중계기는 능동형 격납장치에서 전송된 원격 통신 데이터를 수신하는 장비로, 수집된 데이터는 TCP/IP (LAN) 통신을 통해 서버 PC로 전송된다. 현재 원격통신을 위해 사용한 LoRA 통신장치는 국내 통신규격에 부합하는 920 MHz 대역폭을 사용하며, 922.1 MHz부터 923.3 MHz까지 7채널의 주파수 채널을 통하여 최대 14 dBm의 출력을 방출한다. 7채널로 구성된 LoRA 통신 시스템의 안테나는 920 MHz 대역의 2 dB 이중극자를 기본으로 장착하고 있으며, 상황에 따라 5 dB부터 최대 21 dB 안테나의 장착이 가능하다. 특히, 지향성 안테나를 사용할 경우 더 높은 이득을 얻을 수 있으나, 수신방향에 제한적으로 다채널 안테나를 이용하여 같은 주파수 대역에 대해 넓은 범위를 지향하게 할 수 있다.

Table 1. Circuit configuration and Function of Seals

Configuration	Function
Low power processor (MCU)	Cortex M4-series Low Power Design
RTC	Real-time management parts
Optical Tx.Rx	Containment device using Optical sensor
MEMS Accelerometer	Motion detection with a 6 axis accelerometer
Ball Sensor	(auxiliary) motion detection
FRAM	non-volatile memory storage
USB	Provide a Seal programmer via wired communication
Battery	Li-ion 3500 mA Battery × 2ea

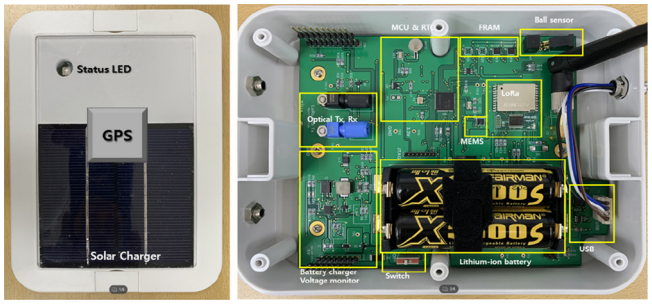

Fig. 2. Internal structure of active seals

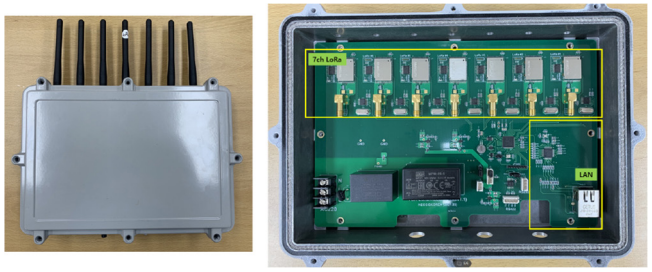

Fig. 3. Internal structure of Multi-channel repeater

다채널 중계기는 LoRa 통신을 통해 수신된 데이터는 암호화 처리되어 있으며, 중계기는 TCP/IP 통신을 통해 연결된 서버 PC에 암호화된 수신 데이터를 전송하며, 연결 전에 수신된 데이터는 모두 삭제된다. TCP/IP (LAN)을 통해 유선 전송을 하는 경우, 내부 네트워크망에서 데이터가 노출될 우려가 있어 인가되지 않은 접근을 허용할 우려가 있어 복호화는 서버 PC에서 이루어 지게 된다.

2.3. 서버 프로그램 개발

서버 프로그램은 TCP/IP 통신을 통해 능동형 격납장치에서 전송된 데이터를 수신하며 수신된 데이터는 서버프로그램에서 복호화 기술을 통하여 원본 데이터로 복원하여 복원된 데이터를 토대로 능동형 격납장치의 상태, 알람 이력 등을 확인 가능하다.

3. 결 과

3.1. 격납장치 손상감지 기능

본 연구에서 개발한 능동형 격납장치는 광센서를 이용한 방법으로 봉인 여부를 판별하고 있으며, 광센서를 연결하는 광섬유를 봉인체에 봉인한 후 감시모드를 활성화하였다. 감시모드 활성화 상태에서는 봉인 상태가 해체되는 광섬유의 단락과 격납장치의 비인가 접근의 감지를 위한 격납장치 접근을 감시한다.

3.1.1. 광센서를 이용한 광섬유 단락 감지

능동형 격납장치의 광센서는 광펄스 생성기, 광펄스 수신기, 광섬유 케이블로 구성되어 개발된 장치는 650 nm ± 20 nm 펄스에 적합하게 설계되었으며 광펄스 생성기에서 생성된 광신호는 광섬유 케이블을 통과하여 광펄스 수신기로 이동 250 ms마다 생성되는 광신호를 체크하여 격납장치의 무결성을 검증한다. Fig. 4는 광신호의 예시로 광신호에 따라 광섬유의 단락 여부를 점검한다. 광섬유가 달락된 상태에서는 광펄스가 정상적으로 수신되지 않으며, 광섬유가 햇빛 혹은 형광등 등 외부 광선원에 노출된 경우 비정상적인 광신호가 수신되기도 하여 광펄스 수신기는 1 ms 마다 광펄스 수신 상태를 점검하며, 광펄스 발생 전/광펄스 발생중/광펄스 소멸 후와 같이 광신호에 맞춰 광섬유 단락 여부를 판별한다.

3.1.2. 비인가 접근 감지

능동형 격납장치의 변조를 방지하기 위하여 케이스에 대한 비인가 접근을 감지하여 능동형 격납장치는 광섬유 케이블을 격납장치 내부에서 결선하도록 설계되었으며, 광섬유 케이블 결선 후 내부에 위치한 전원 스위치를 On 상태로 가동하고 격납장치 외부 케이스를 결합후 USB를 통하여 '감시모드'를 활성화 시킨

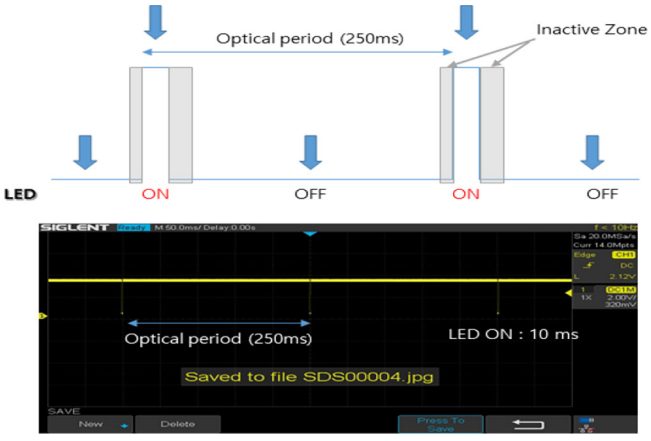

Fig. 4. Optical signal to Optical sensor of seals

다. 광섬유 케이블 제거 혹은 전원 차단 등을 위해서는 격납장치 케이스를 물리적으로 열어야 한다. 비정상적인 과정으로 케이스를 연 경우 알람을 발생시킬 수 있도록 격납장치의 케이스를 상부 하부로 구성하였으며, 연결되는 커넥터를 통해 케이스 이상 감지라인이 결선되었다. 감지라인이 끊길 경우 즉각적으로 비인가 접근상태를 감지할 수 있다.

3.1.3. USB 연결 감지

능동형 격납장치는 USB 유선통신을 통해 설정 혹은 알람 모니터링 기능을 제공하며 능동형 격납장치는 사용자 인증 기능을 제공하여 사용자 인증 과정을 통해서만 장비 설정 및 알람 이력 열람 등을 이용할 수 있다. 사용자 인증은 로그인 방식을 채택하고 있으며, 로그인 계정은 최대 4개까지 지정할 수 있다. 계정은 Guest, Operator, Root 세 가지 등급으로 구분되며, Guest는 실시간 알람 확인, Operator는 실시간 열람 확인, 감시모드 활성화, 알람 이력열람, Root는 계정 관리 기능을 포함한 모든 기능을 제공된다. 능동형 격납장치는 USB 연결 상태를 감지할 수 있도록 설계하여 외부로부터의 불법접근 혹은 사용자에 의한 감시모드 제어 등을 모니터링 하여 기록한다.

3.2. 지정구역 이탈 감지 기능

민감 핵물질은 지정된 관리구역에서 보관되어야 하며, 불법적으로 지정된 장소를 이탈할 경우 알람이 발생 될 수 있어야 한다. 기존의 능동형 격납장치는 오직 봉인 여부만 판별하였으나, 본 연구에서는 지정구역 이탈감지 기능을 추가하였다. 지정구역 이탈감지 기능은 가속센서를 이용하여 움직임 감지 기능, GPS를 이용한 실외 위치추적 그리고 실내 지정구역 이탈감지 기능으로 구성된다.

3.2.1. 6축 가속센서를 이용한 움직임 감지

민감 핵물질을 이동시키기 위해서는 일정 시간 이상의 움직임이 발생되며, 이를 감지하여 움직임을 식별하는 기능을 제공한다. 본 연구에서는 6축 가속센서를 이용하여 X, Y, Z축의 가속도 변화 감지 및 X, Y, Z축 각속도 변화를 감지한다. 일반적으로 움직임이 없는 상태의 가속도는 총 가속도의 합이 1 g (= 9.8 m/s^2) 내외이며, 각속도 변화는 0에 근접할 것이다. 이를 이용하여 움직임이 발생될 경우 가속도는 1 ± 0.1 g, 각속도는 10 rad/s로 움직임 센서에 대한 문턱값을 설정하였다. 움직임 감지 센서는 30초 이상의 움직임을 감지하여 이동 알람을 발생시키며, 움직임 감지상태에서는 평소 소비전력 문제로 비활성화 되어 있는 GPS 모듈을 활성화 시켜 위치를 추적한다.

3.2.2. GPS를 이용한 실외 위치식별

GPS는 최소 3개 이상의 위성과 타겟간의 신호전송시간을 이용한 위성항법 시스템으로 2000년도 이후 선택적 유용성(SA)을 해제하면서 전 세계적으로 널리 사용되고 있다.[3] 본 연구에서는 가속센서를 통해 움직임이 감지되면 GPS를 활성화 하여 실외 위치를 감지할 수 있도록 하였으며 능동형 격납장치의 관리구역을 사전 등록/관리하여 GPS 위치정보가 관리구역을 벗어날 경우 관리구역 이탈 알람을 발생 시킨다. Fig. 5는 설정된 관리구역을 이탈한 경우 수집된 격납장치의 위치 정보를 표시하고 있다. GPS는 움직임이 감지되지 않거나 관리구역 내에 위치한 경우 5분 내로 비활성화 모드로 전환된다. 실내 출입구 이탈감지 기능은 RFID 리더기를 이용한 TAG 인식 방식으로 구현하였다. 출입구 간격이 최대 5 m 이내일 때 적용 가능하다.

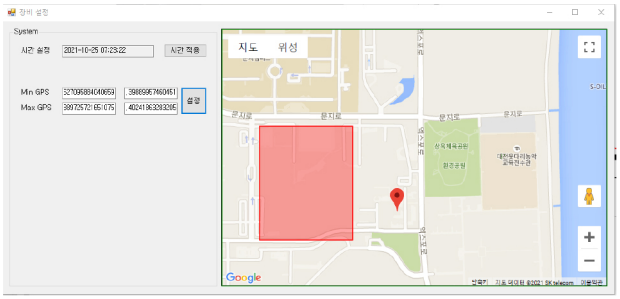

Fig. 5. Management area departure detection with GPS

3.3. 원격통신 기능

능동형 격납 모니터링 시스템은 원격통신을 통해 주변의 능동형 격납장치의 데이터를 수집하고 이상 상태 발생 시 즉각적인 상황전파 및 대응을 가능하게 한다. 원격통신 기술은 Bluetooth, Zigbee, Wifi 등 다양한 무선통신이 존재하며, 능동형 격납장치는 낮은 소비전력을 통해 수년간 동작 및 구역내 통신을 지원해야 하기 때문에 LoRa 통신기술을 원격 통신 기술로 적용하였다[4]. 능동형 격납장치는 방수 방진에 적합한 플라스틱 재질의 케이스를 사용하여 LoRa 통신안테나를 케이스 내부에 배치하여 외부로부터 비정상적인 접근과 방수 등의 문제를 해결하였다.

3.3.1. 거리별 수신감도

능동형 격납장치의 LoRa 통신 가역거리는 북한 영변 핵연구소의 규모(사용후 핵연료 재처리 시설, 우라늄 농축시설 포함)를 감안하여 최대 5 km를 목표로 하였다.

3.3.2. 안테나별 통신 가역거리

능동형 격납장치의 거리별 수신감도는 개활지를 기준으로 통신 가역거리를 평가하였다. 평가는 1채널 중계기의 안테나를 2 dB 이중극자 안테나, 5 dB 이중극자 안테나, 8 dB 지향성 안테나, 15 dB 지향성 안테나를 이용하여 평가하였으며, 2 dB 이중극자 안테나를 제외한 3종의 안테나 모두 최대 6.4 km 의 결과를 보여, 5 dB 이상의 안테나 모두 조건에 만족하였다.

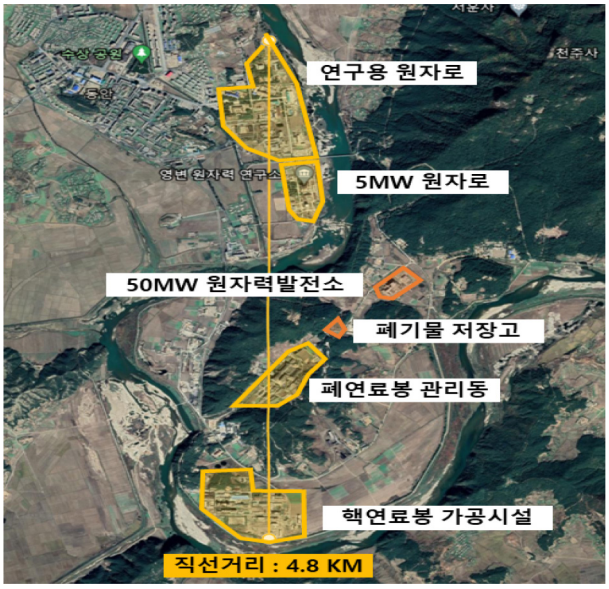

Fig. 6. Area of Youngbyun Nuclear research institute

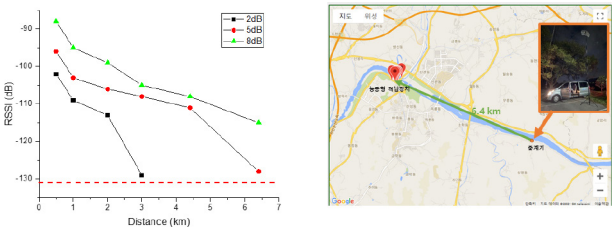

Fig. 7. LoRa communication reception sensitivity by distance

3.4. 비 휘발성 데이터 관리 기능

기존의 능동형 격납장치는 배터리 혹은 외부전원 공급 타입으로 제작되었으나, 전원공급이 중단될 경우 내부에 기록된 이력정보가 소멸되는 문제가 발생됨에 따라 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 비 휘발성 메모리를 적용하여 데이터 관리의 안전성을 향상시켰다. 비 휘발성 메모리는 FRAM, EEPROM, FLASH 등이 존재하며 이중 전력소모, 빠른 읽기/쓰기 속도, 기록 가능 횟수를 고려하여 봤을 때 FRAM이 능동형 격납장치에 적합하여 적용하였다.[5] 본 연구에서는 시리얼 통신(SPI) 통신 기반의 FRAM을 사용하였으며, 불법적인 메모리 읽기를 시도할 경우나 Chip select (CS)핀을 강제로 비활성화 하는 기능, 불법적으로 메모리 쓰기를 시도하는 경우 WP (Write protect)핀을 비활성화 하고 경고 알람을 발생시키는 기능을 구현하였다.

3.5. 데이터 암호화/복호화 기능

원격데이터 통신은 상대적으로 외부로 송수신 데이터가 노출되는 문제가 발생할 빈도가 높으며 이를 이용한 데이터 노출, 왜곡/변조, 훼손 등의 위험성이 있다. 데이터의 보안성 향상을 위해서는 데이터의 암호화 기술 적용이 필요로 하며 암호화 기술

Table 2. Characteristics of each type of encryption technology

Section	Symmetric key	asymmetric key	Hash function
Calculation speed	Fast	Slow	Normal
Encryption key	Secret key	Public key, Private key	N/A
Key management	Dfficult	Easy	-
Decryption	Possible	Possible	Impossible
Representative algorithm	AES, SEED etc.	RSA, DSA etc.	MD5, HAS-160
	Suitable	-	-

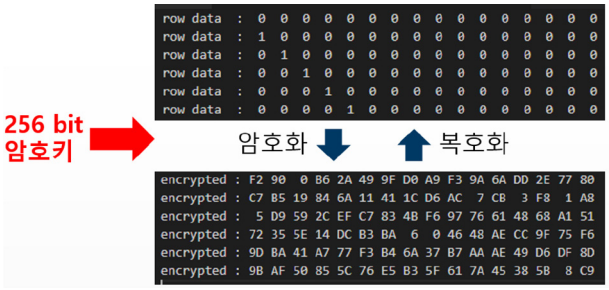

Fig. 8. Results of applying AES-256 encryption technology

은 암호화/복호화에 동일한 키를 사용하는 대칭키, 암호화/복호화 키가 다른 비대칭키 그리고 암호화만이 가능한 해시함수 등이 존재한다. 저전력 프로세서를 사용하는 능동형 격납장치에 연산속도가 느린 비대칭키와 데이터 복호화가 불가능한 해시함수는 부적합하여, 상대적으로 연산속도가 빠르고 복호화가 가능한 대칭키를 사용하였다. 능동형 격납장치의 암호화 기술로 2001년 미국에서 지정된 암호화 기술인 AES-256 대칭키를 사용하여 적용하였다[6].

3.6. 전원관리 기능

능동형 격납장치는 리튬이온 배터리를 통해 전원을 공급하며, 일정 수준 이하로 배터리가 소모되면 전원 공급이 중단되기 전에 저전력 알람을 발생시켜 배터리 사전교체를 지원해야한다. 북한에서의 능동형 격납장치 운용 시 배터리 교체가 원활하지 못하는 상황이 존재할수 있으며 이를 대비하여 야외 운용 시 태양전지 충전기능을 지원한다. 1 W급 태양전지를 장착하여 일조량이 좋고 일조시간 6 H를 가정할 때 약 1.8 Ah의 전력 충전이 가능하며 이는 약 1년 운용이 가능한 전력량이다.

4. 고 찰

다 채널 중계기는 7채널의 LoRa 통신모듈을 장착하고 있으

며, 수신감도가 –66 dB 이하로 감소되는 1 km 이상의 거리에서 통신 불감 증상이 발생되었으며, 이는 수 cm 이내의 근거리에 위치한 LoRa 통신간의 간섭으로 인해 수신범위가 대폭 감소된 증상으로 예상되며, 이를 고려하여 이후의 중계기는 1채널 중계기로 교체할 예정이다. 추가적으로 국가 검사원의 직접적인 사용을 통한 의견을 수렴하여 소형화 및 경량화를 진행할 예정이다.

상용화 단계의 연구에서는 군집 형태의 능동형 격납장치에 대한 전체 모니터링 시스템 구축을 통해 격납장치의 등록/관리, 알람 이벤트 모니터링, 과거 알람이력 열람, 사찰 정보 관리 등을 제공할 것이며 능동형 격납장치, 중계기의 장기 운용을 통한 시스템 안정성 향상 및 신뢰성을 증대시킬 예정이다.

5. 결 론

본 연구에서는 민감 핵물질 능동형 격납장치 모니터링 시스템 개발을 위하여 격납장치, 중계기, 서버를 제작 및 구성하여 성능을 구현하였다.

광센서를 이용한 봉인감지 기능, 비인가 접근 감지 기능을 이용하여 격납장치에 대한 불법적인 접근에 대한 알람을 구현화하였다. USB 통신을 이용한 장비 설정 변경을 지원하고 USB 연결 감지 기능을 통해 제어기능 접근을 모니터링하였다.

또한 6축 가속센서를 이용한 능동형 격납장치의 움직임 및 이동을 감지하고 이에 따른 GPS를 활성화 기능을 구현하였다. 또한 위치이탈 기능을 통하여 이탈시 알람을 발송하고 위치를 추적한다. LoRa 통신을 통해 최대 6.4 km 통신을 확인하였으며 모든 데이터는 AES-256 암호화 알고리즘을 통해 전송되거나 격납장치 내부 휘발성 메모리에 기록/관리된다. 전원은 리튬이온배터리를 이용하여 잔량이 부족 시 알람을 통해 사전에 알리며, 태양 전지를 통한 전원 공급을 통하여 사용시간을 극대화 하였다.

연구를 통해 구축 및 제시된 자료 및 시나리오는 향후 북한 검증 및 사찰 시 참고 자료로 활용될 수 있다. 또한, 향후 한반도 비핵화 참여에 대비한 정책 및 전략 수립에 기여할 것으로 판단된다.

Acknowledgment

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Foundation Of Nuclear Safety (KoFONS) using the financial resource granted by the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) of the Republic of Korea (No. 2004024).

References

1. IAEA. 2011. “Safeguards Techniques and Equidment: 2011 Edition”, International Nuclear Verification Deries No. 1.
2. Hymel R. 2014 “Material Sealing and Monitoring”, SAND204-18140PE.
3. Christophe A, Irene G, Jean-Paul G, and Georges J. 2022. Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to Selective Availability removal. *Comptes Rendus Biologies* **325**(2):165-170. https://doi.org/10.1016/S1631-0691(02)01414-2.
4. Aloys A, Jiazi Y, Thomas C, and Wiliam MT. 2016. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors* **16**(9):1466-1484. https://doi.org/10.3390/s16091466.
5. Bondurant D. 1990. Ferroelectronic RAM memory family for critical data storage. *Ferroelectrics* **112**(1):273-282.
6. NIST. 2001. “Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES)”, Federal Information Processing Standards Publication 197.