

불용 핵물질 원격 방호 및 모니터링 시스템 구축

조운형, 박승국, 최윤동, 이규일, 문제권
한국원자력연구원
e-mail:whcho@kaeri.re.kr

Uranium Residues Monitoring System

Woon-Hyoung Cho, Seung-Kook Park, Yun-Dong Choi, Kue-Il Lee,
Jei-Kwon Moon
Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

한국원자력연구원내에는 연구실험 목적으로 사용된 후 용도 폐기된 각종 우라늄 화합물이 수요가 증대 되어온 바, 이러한 불용 우라늄 화합물의 저장관리에 대한 체계적인 시스템의 구축이 필요하게 되었다. 이에 한국원자력연구원에서는 불용 핵물질 원격 물리적 방호시스템, UReMon(Uranium Residues Monitoring System)을 개발하였는데 이는 방사성 물질인 불용 우라늄 화합물의 물리적 방호와 관리 및 도난 방지의 목적을 지닌다. UReMon은 기존 모니터링 서비스에서 자주 사용되던 RFID나 바코드가 가지는 기술적 문제로 인한 위치확인, 도난, 훼손 등의 실태 파악에 소요되는 많은 시간과 경비를 줄이기 위하여 USN 센서와 Zigbee를 이용하여 한국원자력연구원에 기 구축되어 있는 USN기반 화재 예방 시스템(KAERI-uFIPI)과의 연계를 통해 불용 핵물질의 모니터링, 위치 추적 및 재고관리의 효율성을 높인다. UReMon은 연구원 내 물리적 방호 시스템, 핵 물질 및 RI 관리, 출입통제 시스템 등에도 효율적으로 적용 가능하며, 향후 이에 대한 적용성 평가를 수행할 예정이다.

1. 서론

한국원자력연구원에서는 핵 물질의 투명성을 확보하고 유출 가능성을 원천 봉쇄하여 대외 신뢰도 향상을 위하여 우라늄잔류물질 저장시설을 준공, 운영중에 있다. 이 저장 시설에는 과거 여러 곳에 분산 보관 저장되어 있는 사용이 종료된 각종 핵 물질을 집중화하여 분산 보관시 소요됐던 많은 경비와 인력 낭비를 최소화 하였다. 우라늄 잔류 물질 저장시설은 지상 1층에 연면적 172m²(17x12m)규모의 UF₆실린더 전용저장고와 연면적 174m²규모의 지상 1층 및 지하 1층 저장고로 구성되어 있다. 저장시설에 저장 중인 불용 핵물질은 감손우라늄(DU)과 천연우라늄(NU) 물질이며, 이러한 집중화 과정에서 늘어나게 된 불용 핵물질의 체계적이고 효율적인 관리를 위하여 USN 기반의 불용 핵물질 원격 물리적 방호 시스템(UReMon, Uranium Residues Monitoring System)을 개발하였다[1]. 이 시스템은 연구원에 기 구축되어 있는 USN기반 화재예방시스템(KAERI-uFIPI, Ubiquitous Fire Intruder Prevention Infra)의 인프라와 Zigbee 기반 위치인식 시스템을 활용하여 각 불용 핵물질 보관용기의 감시 및 실시간위치추적을 가능하게 하였다. 기본 통신 인프라는 KAERI-uFIPI에서 사용하는 고정형 센서노드, 게이트웨이, 게이트웨이 마스터를 연계하여 사용하였고 각 불용 핵물질 보관용기에 무브먼트 감지 센서가 달린 센서 노드를 부착하여 기존의 화재감시 목적의 고정형 센서노드와 통신을 함으로써 비용절감과 동시에 실시간 모니터링을 가

능하게 하였다. 또한 연구원의 통합안전 경영시스템(ANSIM)과 핵물질 계량관리 시스템(KASIS)를 연계시켜 핵물질의 입출입 관리를 함께 수행한다.

2. 관련연구

RFID를 이용한 물류관리 시스템과 ZigBee를 이용한 위치인식 시스템에는 개념적 차원에서 어느 정도의 거리가 있다. 서로 다른 구현방법을 취하고 있고 그에 따른 특징들 또한 차이가 있으므로 적용 장소, 적용 물품에 따라 각각의 당위성이 성립한다[2][3][4].

2.1 RFID 기반 물류관리 시스템

RFID를 이용한 물류관리 시스템은 RFID 수신기와 태그로 구성되어 있는 단방향 시스템이다. 태그로 어떠한 정보가 전달되어야 하는 사업 영역에는 도입시킬 수 없다. 이 시스템은 물류창고 내에서 관리되어야 하는 물품의 입출고 감시를 하는 정도의 수준이다. 즉, 물류 창고의 각 출입구에 RFID 수신기가 부착된 게이트를 만들고 이 게이트를 통한 물류 이동만을 강제하도록 되어 있다. 이러한 형태가 될 수 밖에 없는 이유는 RFID 수신기의 경우 인식 거리가 0m ~ 12m 정도로 짧고, 또 멀면 멀수록 매우 고가이기 때문이다. 하지만 상대적으로 태그의 가격이 아주 저렴하다. 그 때문에 관리 대상의 이동 통로가 여러 곳이고 관리 물품의 수량이 소규모일 경우 도입 비용이 막대하다. 즉, RFID 기반의 물류관리 시스템은 관리 물품이

대량이고, 작업장 내 출입통로가 한정되어 있는 곳에 적합한 시스템이다.

RFID 기반 시스템의 장점으로는 태그의 가격이 매우 싸고 전원이 필요치 않으므로 향후 RFID 수신기를 제외하고 특별한 관리가 필요하지 않다는 점이다. 또한 게이트를 만들고 여타의 진출입로를 사용하지 않으므로 입고, 출고 관리 분야에 있어 뛰어난 안정성을 제공한다는 점도 장점이다. 사회적인 면으로 볼 때, 여러 분야에서 RFID를 상용으로 사용하고 있어 이에 대한 유지보수도 상대적으로 유리하다.

단점으로는 완벽하지 않은 폐쇄성이라는 점이다. 지정된 게이트를 무사 통과할 경우는 관리 영역에서 곧바로 이탈한다. 또한 게이트 내에서의 실재고 측정 시 이동형 수신기를 이용해 태그 정보를 입력 받아야 하므로 결국 별도의 인력이 필요하게 된다. 즉, 게이트를 기점으로 게이트 내부에서는 관리 인력을 필요로 하게 되고, 게이트 외부에서 관리가 되지 않는다는 점이 단점이다. 더불어 물류의 이동 의도가 “도난”인 경우 태그를 제거하면 추적이 불가능하다. 이러한 단점은 출입관제에 있어서도 마찬가지이다. 태그를 이용하여 출입문의 시건 장치를 조절하는 방식인 RFID 출입관제는 작업자, 방문자 등에게 폐쇄적인 느낌을 주어 보안 필요성에 대한 경고를 심어주기도 하지만, 결국 태그를 교환 사용한다거나 시건 장치가 풀린 틈을 타 입장하는 등의 시스템 악용 소지가 산재한다는 점이다. 즉, 실제 보안 경계 대상자(침입자)의 경우는 너무도 쉽게 시스템을 빠져나갈 수 있다. 더불어 기록도 남지 않기 때문에 추적이 쉽지 않다.

2.2 Zigbee 기반 위치인식 시스템

ZigBee 기반의 위치인식 시스템[2]은 물류창고 및 주변 환경에 고정노드들(인프라)을 설치하고 이 고정노드들과 통신하는 이동태그의 신호세기에 따라 그 위치를 판별하는 방식이다. 이동태그 내에 전원이 삽입되므로 통신 거리가 상대적으로 길며(70m) 양방향으로 통신한다. 양방향 이 주는 이점은 태그에 별도의 설정 값을 줄 수 있으며 유사 시 설정 값을 전달하거나, 태그에 UI가 있다면 그 상태를 표현할 수도 있다는 점이다. 이러한 형태로 활용할 수 있는 영역을 생각해보면 위치와 때에 따라 센서의 민감도를 설정할 수 있고, 여러 센서들로부터 환경정보를 불러올 수도 있으며, 해당 물품의 상태, 정보, 명령 등을 이동태그에 표현할 수도 있다. 다만 이러한 이동 태그(수만 원대)의 가격은 RFID 태그(수십 원대)에 비해서는 매우 고가이다.

따라서 ZigBee를 이용한 위치인식 시스템은 관리 물품의 수가 많지 않으면서 정밀하고 지속적인 위치 관리, 도난 관리가 이루어져야 하는 곳에 적합한 시스템이다.

Zigbee 기반 시스템의 장점으로는 고정노드의 구축 정도에 따라 상세한 위치인식이 가능하다는 점이다. 게이트

에 의존적인 RFID에 비해 개방적인 느낌을 주어 거부감이 적으면서도 위치정보에 대한 지속적 감시가 가능하며 따라서 특정영역에서의 통신 장애가 잠깐 동안 발생하여도 다음 신호 혹은 타 위치에서의 정보 전송으로 이러한 통신 장애를 극복할 수 있다. 재고 관리에 있어서도 신뢰성 있는 실시간 재고 조사가 원격지에서 가능하다. 또한 RFID의 수신기(수백만 원대)에 비해 고정노드(수만 원대)의 가격이 훨씬 저렴하다는 점이 장점이 된다.

단점으로는 태그의 가격이 RFID 태그에 비해 훨씬 비싸다는 점과 배터리 사용으로 인한 전원관리가 필요하다는 점이다. 배터리는 빈번한 사용이 있을 시 빠르게 소모되고, 거의 사용하지 않을 시는 자연방전 상태에 가까워질 수 있다. 배터리 방전 시는 교체 혹은 충전을 위한 인력이 필요하게 된다.

출입관제 시점으로 ZigBee 위치인식 시스템의 특징을 나열해 봤을 때, 시건 장치를 뚫고 입장하더라도 경보와 경고가 동시에 발생되므로 시스템 악용 소지가 RFID에 비해 현저히 적고 고정 센서노드의 동체(PIR)센서를 활용하여 작업자, 방문자, 관리자 등의 접근 관리 등의 방법 기능이 가능하다. 또한 해당 근무자의 접근이 허용되지 않은 지역에 접근 시 통합방호실 및 각 실 담당자에게 경보를 전달하고, 출입용 이동태그를 통해 무단 접근자에게 경고를 전달함으로써 접근이 허락되지 않은 영역으로의 접근이 불가능하다.

3. UReMon

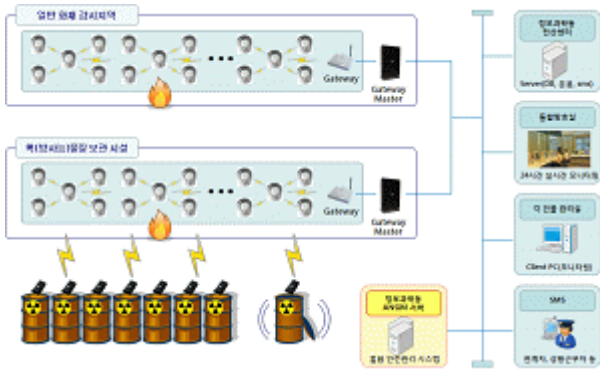
저장시설에 저장 중인 불용 핵물질의 저장량은 우리나라 기준으로 NU 4,493 kg, DU 157,148 kg 이다. 얼핏 보기에는 많아 보이지만 대부분의 용기 단위가 최소 200kg에서 14톤까지 매우 크기 때문에 단순히 태그를 통한 출입관제 등의 관리보다는 실질적인 위치 인식이 더 효율적이라고 판단되었다. 해당 용기들은 위험물질인 우라늄을 포함하고 있고 태그를 사용하게 되면 만약의 상황에 태그만 제거해버리면 분실의 가능성이 매우 높아지기 때문이다. 또한 유동성이 적고 물리적 방호가 중요시 되는 시설에는 빠른 대응과 오류를 줄이는 것이 중요하므로 1차원적인 바코드나 RFID 태그 인식 등은 효율성이 떨어진다 할 수 있다. 따라서 불용 핵물질의 효율적이고 체계적인 관리 및 도난 방지 등을 위하여 USN 기술[5]을 도입하였다. 연구원에서는 이미 화재감시 시스템을 USN 기술로 개발, 운영 중에 있기 때문에 이미 구축되어 있는 인프라를 활용하여 각 불용 핵물질에 이동형 센서노드를 부착하고 기존의 화재감시 센서노드와 연동 시킴으로써 안전방호 팀과의 연계 및 모니터링, 실시간 위치 추적을 가능하게 하였다.

본 시스템은 불용 핵물질의 보관 용기에 부착되는 환경 감시센서가 부착된 이동형 센서노드와 이동형 센서노드들의 데이터를 수집하여 서버로 전송하고 이와 동시에 화재감시의 기능을 수행하는 고정형 센서노드, 고정형 센

서노드들을 관리하는 게이트웨이와 여러 대의 게이트웨이를 관리하는 게이트웨이 마스터로 이루어져 있다. 해당 하드웨어들은 기 구축된 KAERI-uFIPI의 그것들과 같은 모델이지만 본 시스템의 구축을 위하여 추가 및 펌웨어 업그레이드를 통하여 기능적으로 분리되게 하였다.

센서 노드들을 통하여 취합된 데이터들을 관리하기 위하여 서버 및 클라이언트 프로그램 UCS(uFIPI Control System)를 제작하였다. UCS는 센서 네트워크의 데이터를 취합, 관리하는 관계서버와 서버의 동작 상태를 확인하는 서버 감시 프로그램, 마지막으로 센서네트워크를 모니터링 및 관리할 수 있는 모니터링 클라이언트로 구성된다. 이러한 프로그램들은 우라늄 잔류물질의 재고, 입고, 출고 등의 기능과 함께 불용 핵물질에 대한 움직임을 실시간으로 감시함으로써 도난, 분실 등의 사태를 사전에 방지할 수 있다.

3.1 시스템 구성



(그림 1) UReMon 시스템 구성도

UReMon의 시스템은 (그림 1)과 같이 구성되어 있다. 기 구축되어 있는 KAERI-uFIPI의 인프라를 이용, 관리 및 운용은 기존의 것들과 연계하여 사용하고 UReMon에서 사용할 하드웨어들의 추가와 동시에 펌웨어 업그레이드를 통하여 시스템 기능상 문제가 없도록 하였다. 화재감시와 마찬가지로 각 불용 핵물질 보관용기에 부착된 이동형 센서노드로부터 무브먼트를 감지하여 그 데이터들을 판독하여 용기의 상태나 위치, 재고 현황 등을 연속적이고 지속적으로 감시하도록 하였다. 이러한 이동형 센서노드들의 데이터들은 고정형 센서노드에 집약된 후 게이트웨이를 통하여 서버 및 클라이언트로 데이터가 전송된다.

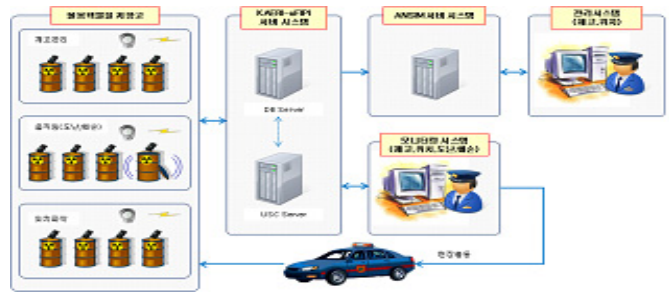


(그림 2) 센서노드 흐름도

이러한 네트워크 체계와 시스템을 구성하기 위하여 사용된 하드웨어는 앞에서 언급했듯이 이동형 센서노드, 고정형 센서노드, 게이트웨이, 게이트웨이 마스터로 이루어져 있다. (그림 2)는 이러한 하드웨어들의 구성 및 기능을 나타낸 그림인데 이동형 센서노드(1)는 Zigbee 통신을 하며 자신의 무브먼트 데이터를 일정주기마다 고정형 센서노드(2)로 전송하도록 설계되어 있다. 이러한 고정형 센서노드는 기본적으로는 불꽃, 연기, 온도, 적외선 등을 감지하여 화재를 감지하고 이동형 센서노드로부터 전송받는 데이터를 취합하여 게이트웨이(3)로 전송한다. 저장시설의 공간이 크기 때문에 하나의 게이트웨이로는 Zigbee의 통신가능거리를 벗어나게 되므로 게이트웨이들을 관리하는 게이트웨이 마스터(4)를 사용한다.

3.2 모니터링 및 감시 시스템

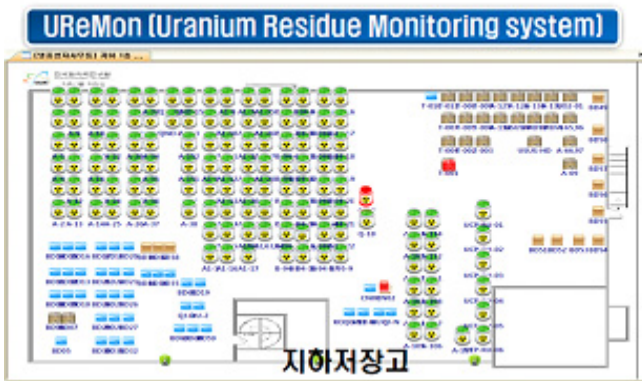
본 절에서는 UReMon의 서비스 개념도와 모니터링 과정을 설명한다. (그림 3)은 UReMon에서 제공하는 서비스의 개념도를 나타낸다.



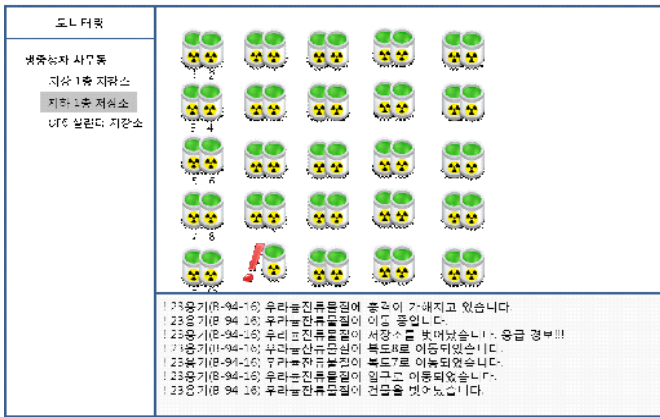
(그림 3) UReMon 서비스 개념도

연구원에서는 UReMon을 사용함으로써 불용 핵물질에 대하여 적절한 통제 시스템을 구축하였다. 이러한 감시 시스템은 각 센서노드와 시스템에 따라 역할이 분담되어 있다. 먼저 이동형 센서노드의 경우에는 실제 용기에 부착되는 노드으로써 주기적으로 센서노드 자신의 상태정보(움직임, 위치, 재고) 등을 고정형 센서노드에 전송한다. 주기적인 전송 외에도 움직임이 발생하면 그 즉시 응급전송 정보를 전송하며 용기의 수가 많기 때문에 관리의 용이성을 위하여 배터리는 기본적으로 6개월 이상 유지한다. 고정형

센서노드는 이동형 센서노드로부터 받은 데이터를 센서네트워크를 통해 게이트웨이에 전달한다. 이러한 고정형 센서노드는 환경감지 뿐 아니라 이동형 센서노드들의 데이터를 게이트웨이에 전달할 수 있어야 하기 때문에 통신의 안정성이 요구된다. 고정형 센서노드의 경우 기구축된 화재 예방 시스템(KAERI-uFIPI)의 고정형 센서노드를 이용한다. 시스템의 경우에는 주로 모니터링 기능이 추가되는데 이들 서버와 클라이언트는 저장고 별 방사능잔류물질 재고 확인 및 보고 양식 출력, 센서노드 현상태 디스플레이 및 움직임 발생 시 알람 및 담당자에게 연락을 취하는 기능을 수행한다. (그림 4)는 모니터링 시스템의 기본 화면이고 (그림 5)는 응급 상황이 발생하였을 때 시스템에서 발생하는 상황을 나타낸다.



(그림 4) 모니터링 클라이언트 GUI



(그림 5) 응급상황 발생

4. 결론

한국원자력연구원 내 사용이 종료된 각종 불용 핵물질의 대부분은 현재 통합 저장시설인 우라늄 잔류물질 저장 시설에 안전하게 저장 중에 있다. 불용 핵물질의 효율적이고 체계적인 관리 및 도난 방지 등을 위한 시스템을 구축하였다. 기존의 물류관리 시스템에서 사용되는 바코드나 RFID의 단점을 보완하기 위하여 연구원에 구축된 USN

기반 화재예방시스템 (KAERI- uFIPI)의 인프라와 Zigbee를 활용한 USN 센서와 모니터링 프로그램을 개발하여 실시간 위치추적시스템을 적용하였다. 기본 통신 인프라는 KAERI-uFIPI (고정형센서노드, 게이트웨이, 게이트웨이마스터, 모니터링 PC 등) 시스템을 활용하여 비용절감과 함께 효율적으로 불용 핵물질을 관리하는 시스템을 구축하였다. 본 시스템은 연구원 내 물리적 방호 시스템, 핵물질 및 RI 관리, 출입통제 시스템 등에도 효율적으로 적용이 가능하며, 향후 이에 대한 적용성을 평가할 예정이다.

참고문헌

- [1] 황두성, 최윤동, 최희경, 이규일, 정운수, 불용핵물질 저장관리, 한국방사성폐기물학회 논문지, pp 53-54, 2010
- [2] 안규희, 양석환, 정목동, 효율적인 RFID 애플리케이션 개발을 위한 엔터프라이즈 애플리케이션 프레임워크에 관한 연구, 멀티미디어학회논문지 제11권 제2호, pp 129-180, 2008. 2
- [3] 박용민, 오영환, 복합 이벤트 처리기반 RFID/WSN을 이용한 환자모니터링 시스템 설계에 관한 연구, 전자공학회논문지-TC 제46권 제10호, pp 1-7, 2009. 10
- [4] 김주일, 이우진, 정기원, RFID를 이용한 웹 기반의 실시간 위험물 모니터링 시스템 구축 사례, 한국전자거래학회지 제13권 제2호, pp 101-115, 2008. 5
- [5] 김관중, 김선지, 김내수, 표철식, "USN 서비스 및 시장 동향", 정보과학회지, 제25권, 제12호, 2007