

## 핵물질 취급 시설의 격납/감시 시스템

### Nuclear Material Containment/Surveillance System for Nuclear Facility

송대용\*, 이상윤\*\*, 김호동\*  
(D. Y. Song, S. Y. Lee, H. D. Kim)

**Abstract** - Unattended continuous containment/surveillance systems for safeguards of nuclear facility result in large amounts of image and radiation data, which require much time and effort to inspect. Therefore, it is necessary to develop system that automatically pinpoints and diagnoses the anomalies from data. In this regards, this paper presents the nuclear material containment/surveillance system that integrates visual image and radiation data.

**Key Words** : safeguards, containment/surveillance system, nuclear facility

#### 1. 서론

최근 들어 원자력 산업 분야에서도 여러 분야에서 감시 시스템이 활용되고 있다. 특히, 핵물질을 취급하는 시설에서는 핵물질 안전조치 목적의 달성, 즉 핵물질의 군사적 전용을 방지하기 위한 하나의 수단으로서 핵물질의 이동 및 전용을 감시하기 위한 격납/감시 시스템이 사용되고 있다. 이와 같이 핵물질 안전조치를 위해 적용되는 격납/감시 시스템은 많은 양의 영상 및 방사선 감시 데이터를 생산하게 되며, 이러한 자료로부터 핵물질의 전용 여부를 분석하기 위해서는 상당한 시간과 인력이 소요된다. 따라서 핵물질 취급시설에 적용되는 감시 시스템은 취득한 데이터를 자동으로 검토·분석하여 비정상적인 상황(핵물질 전용 상황)을 추출해 낼 수 있는 소프트웨어적 기능이 요구된다.1,2)

이 논문에서는 한국원자력연구소의 경·중수로 연계 핵연료 제조 시설을 대상으로 개발한 핵물질 격납/감시 시스템에 대해 기술한다.

이 시스템은 카메라, 중성자 모니터, 핵물질 측정 장비, 그리고 이들 장비로부터 신호를 취득하기 위한 데이터 취득 장치로 구성하였다. 핵물질의 움직임을 자동으로 진단하는 기능을 구현하기 위해 자율 학습 모델인 SOM(Self Organized feature Mapping) 알고리즘을 이용하였으며, 진단 기능은 개별적 진단과 종합적 진단으로 나누어 구현하였다. 개별적 진단에서는 핵물질과 핵물질 수송용기의 움직임 여부를 각각 독립적으로 진단하고, 종합적인 진단에서는 개별적 진단 결과를 종합적으로 분석하여 핵물질의 움직임을 진단, 그 결과를

출력하도록 시스템을 구성하였다.

#### 2. 핵물질 격납/감시 시스템의 구성

##### 2.1 핵물질 감시시스템의 구조

격납/감시 대상 시설인 경·중수로 연계 핵연료 제조 시설에는 핵물질의 출입이 가능한 2개의 경로, 즉 모든 핵물질의 반입 및 반출이 이루어지는 출입구(rear door)와 폐기물의 반출을 위한 출구가 있다. 이들 출입구로의 접근을 감시하기 위해 카메라를 설치하고, 핵물질의 출입을 확인하기 위해 중성자 모니터를 설치하였다. 중성자 모니터는 핵물질인 사용 후핵연료에서 방출되는 중성자를 검출하여 핵물질의 움직임을 감시하는 장비이다.

전체적인 시스템의 구조는 <그림 1>에 제시된 바와 같으며, 3대의 CCD 카메라와 2대의 중성자 모니터 및 DAQ 서버 시스템으로 구성되어 있다. 중성자 측정장비(DSNC)는 시설의 핵물질 계량관리에 사용되는 장비로서 감시 시스템에서도 데이터를 취득하고 있다.3)

영상 및 방사선 신호는 PC를 기반으로 한 데이터 취득장비(DAQ)에 의해 CCD 카메라 및 중성자 모니터로부터 실시간으로 동시에(time-synchronized) 취득되고, 취득된 데이터는 소프트웨어에 의해 처리되어 핵물질의 움직임을 자동으로 진단한다.4,5)

##### 2.2 소프트웨어의 구성

소프트웨어는 Windows XP를 기반으로 개발하였으며, 프로그램은 Borland C++ Builder를 이용하여 개발하였다. 시스템 주 화면에는, 중성자 모니터에서 취득한 데이터 값을 그래

#### 저자 소개

\*한국원자력연구소 핵연료주기기술개발단 책임연구원

\*\*한국원자력연구소 핵연료주기기술개발단 선임연구원

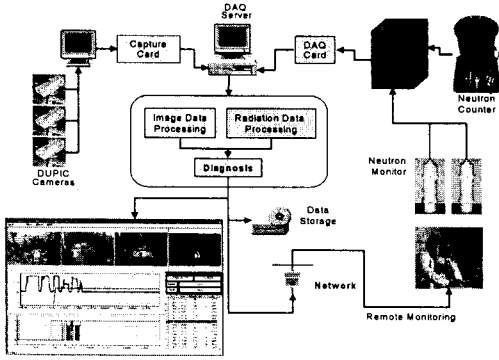


그림 1. 핵물질 감시 시스템의 구성도.

프로 나타내는 창, 현재 영상을 보여주는 창, 중성자 계측기 및 모니터로부터 취득한 데이터의 값을 보여주는 창, 핵물질 거동진단 결과를 보여주는 창 등으로 구성하였다.(6,7)

기능적인 관점에서의 소프트웨어 구성을 살펴보면, 사용자 인터페이스, 데이터취득, 데이터 처리, 판단부, 원격제어처리부로 나눌 수 있다. 데이터의 취득은 DAQ카드 및 영상보드를 제어해 방사선 데이터 및 영상 데이터를 취득하는 곳이다. 데이터 처리부는 영상 데이터를 분석하여 움직임이 있는 영역을 찾아내고 방사선 데이터를 분석하여 방사능의 변화를 알아낸다. 판단부는 핵물질의 움직임을 진단하여 데이터를 저장하고, 원격감시자에게 통보 여부 등의 판단을 한다. 마지막으로 원격제어처리 부분은 인터넷을 통해 원격감시 및 DAQ 서버의 원격제어를 가능하게 한다. 이러한 각 모듈의 기능 중에서 데이터 처리 모듈 및 진단 모듈이 이 시스템의 가장 핵심적인 부분이라 할 수 있으며, 이에 대해 살펴보면 다음과 같다.

### 3. 데이터의 처리 및 거동 진단 모듈의 구현

#### 3.1 데이터 취득 및 처리

시스템이 데이터를 취득하고 처리하는 과정은 대략적으로 다음과 같다.

- 시스템의 시작되면 영상 capture card 및 counter board가 초기화되며, 실시간 영상이 표시된다.
- 약 10초 후 각 카메라의 이미지를 capture한다.
- 영상처리를 통해 motion detection을 수행하고 변화된 영상인 경우, JPEG로 저장한다.
- PC로부터 현재시간을 읽은 후, counter의 데이터를 읽어 들인다.
- 영상 처리를 통해 핵물질 수송용기의 존재 여부와 현재 위치를 파악한다.
- 수송용기의 위치와 방사선 자료를 이용하여 인공신경망 진단 component를 호출하여 핵물질 거동을 진단한다.
- 핵물질 거동 진단 결과를 저장한다.

여기서 방사선 신호(검출된 중성자의 수)는 counter board를 통해 읽히지며 시간은 PC의 타이머로부터 취득된다. 이

시간은 1/100 초의 정확도로 읽히지며, 단위시간당 방사선의 수(중성자/초)를 계산하는데 사용된다. 방사선 신호는 텍스트 파일에 취득 시간 및 해당되는 영상파일에 대한 정보를 함께 저장된다.

영상 데이터는 capture card를 통해 초당 1~2 frame의 영상을 실시간으로 표시하며, JPEG 형태의 640×480, 24bit 컬러로 저장된다. 영상 데이터는 motion detection 루틴에 의해 영상변화가 있는 경우에만 저장되며, 불필요한 영상 변화에 의한 데이터 저장을 배제하기 위해 특정한 FOV(Field of View)에 대해서만 영상을 비교하도록 하였다. 영상 처리 루틴을 통해 획득되는 데이터 크기는, 일상적인 경우에는 일일 평균 10MB 정도이다. 구현된 시스템의 전체적인 모듈의 구성과 각 모듈 상호간의 데이터의 흐름은 <그림 2>와 같다.

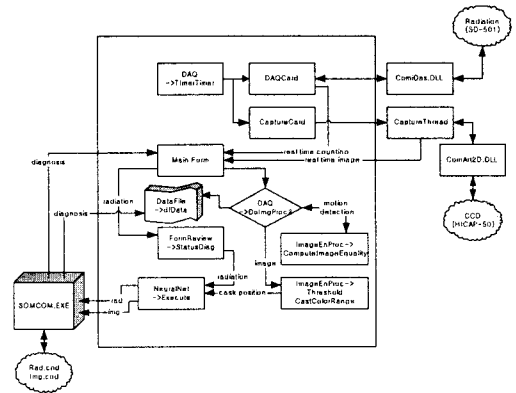


그림 2. 시스템의 모듈 구성 및 자료흐름도.

### 3.2 핵물질 거동 진단 모듈의 구현

#### 3.2.1 영상 데이터 분석

핵물질 취급시설에서 감시 시스템의 역할은 핵물질 제조 공정에 전혀 영향을 주지 않으면서 실시간으로 핵물질의 움직임을 감시하는 것이다. 이러한 상황에서는 핵물질의 종류를 알아내거나 성분을 분석하는 것은 거의 불가능하므로, 이 연구에서는 핵물질의 양과 위치의 변화만을 고려하였다.

자동으로 핵물질의 거동을 진단하기 위해서는 방사선 데이터의 시간 변화율을 분석하면 된다. 즉, 검출되는 방사선의 수가 "0" 이라면 핵물질이 없는 것이고, 그 변화율이 0에 가깝다면 핵물질이 정지한 상태이고, 변화율이 "+" 값이라면 중성자 모니터 쪽으로 핵물질이 이동하고 있는 상태이며, "-" 이면 모니터로부터 멀어지는 방향으로 이동하는 것이다. 이 연구에서는 방사선 데이터의 시간변화를 알기 위해 최근 5개의 데이터로부터 그 기울기를 계산하도록 하였다.

#### 3.2.2 수송 용기의 거동진단

방사선 데이터는 핵물질 자체의 거동을 진단하는 반면, 핵물질 운반 용기의 거동진단은 카메라로부터 취득된 영상을 분석한 후, 운반 용기로 추측되는 object의 위치를 추출하여

object의 움직임을 진단한다.

영상분석의 첫 과정은 기본영상과의 비교이다. 영상 취득은 매 10초에 한번씩 3대의 카메라에서 획득된 영상을 메모리에 저장한 후 이를 이전의 영상과 비교하며, 영상의 변화가 설정된 수준이상인 경우 파일로 저장하고 그렇지 않은 경우는 버려진다. 영상의 저장 단계와 검토 단계는 분리되어 있으며, 신경망에 의한 거동진단은 데이터 취득(DAQ)과 검토(review) 단계에서 수행될 수 있다. review 단계에서 나타나는 영상들은 특정한 영역에서 일정한 수준이상의 변화가 진행 중인 상태이므로, 이 영상에서 핵물질 운반 용기의 위치를 추출하게 된다.

영상처리 루틴은 기본 영상의 gray scale을 설정하고 현재 영상과 비교해서 object를 추출하는 대신, 현재 취득되는 영상에서 핵물질 운반 용기의 이진 영상을 직접 추출하기 위해 RGB 임계값을 적용하였다. 정상적인 조명 상태 하에서의 운반 용기의 RGB 값은 그림 3의 좌측과 같은 분포를 가지며, 이 값을 적용하면 획득된 영상에서의 운반 용기 object를 거의 완벽히 추출할 수 있다. 또한, bitmap image로부터 특정한 RGB 임계값을 적용하기 위해 한 픽셀이 0-255의 값을 갖는 8-bit gray bitmap으로 변환하여 사용하였다.6)

이와 같이 영상처리 루틴을 구성함으로써 부적절한 object를 핵물질 운반 용기로 오인하는 오류는 거의 나타나지 않았다. 다만, RGB 임계값 적용 기법은 시설의 정상적인 조명 상태에 한해 적용 가능하였으며, 조명이 매우 흐리거나 상실되는 경우에는 핵물질 운반용기를 다른 object와 구별하지 못하여 적용할 수 없었다.

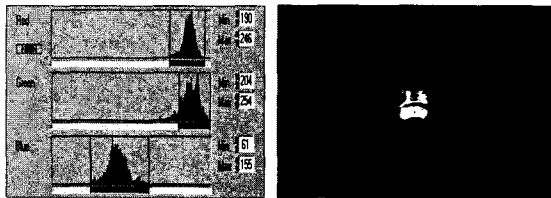


그림 3. 수송 용기의 RGB 분포 및 임계값에 의한 이진 영상.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 핵물질 수송 용기에 대한 영상 데이터와 방사선 데이터를 이용하여 핵물질의 움직임을 파악할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 핵물질 취급시설에서 감시 시스템의 역할은 핵물질 제조 공정에 전혀 영향을 주지 않으면서 실시간으로 핵물질의 움직임을 감시하는 것이다. 이러한 상황에서는 핵물질의 종류를 알아내거나 성분을 분석하는 것은 거의 불가능하므로, 이 연구에서는 핵물질의 양과 위치의 변화만을 고려하였다. 또한, 영상 데이터를 이용한 움직임 진단은 취득된 영상에서 수송용기로 추측되는 객체의 위치를 추출하고 이를 바탕으로 용기의 이동 상황을 판단하도록 하였다.

개발된 시스템은 여러 차례의 성능 시험을 거쳐 감시 대상 시설에 설치되어 안정적으로 운영되고 있다. 또한, 이 시스템은 정상적인 조명 상태에서는 취득한 영상 데이터로부터 수송 용기의 움직임을 거의 완벽하게 추출하고 있다. 그러나 이 시스템을 다른 원자력 시설에 적용하기 위해서는 몇 가지 선결해야 할 문제점이 있다.

우선, 이 시스템에서는 영상 데이터 분석을 통한 핵물질 수송용기의 거동진단을 위해 RGB 임계값을 이용하고 있으나, 이는 정상적인 조명상태에 한해 적용 가능하며, 조명이 흐리거나 상실될 경우의 오진 가능성에 대한 보완이 필요하다.

또한, 현재의 시스템은 내부 통신망을 이용한 원격감시 기능이 구현되어 있으나 인터넷을 이용한 원격감시 체계를 구축하기 위해서는 자료 전송보안 문제 등을 해결해야 한다.

따라서 향후 연구에서는 이들 문제점을 해결하기 위한 연구들을 추가로 수행할 계획이다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력연구개발중장기 계획사업의 일환으로 수행하였습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Ondrik, M., S. Kadner, and J. Backes, "New demands in safeguards surveillance system," Proceedings of the Institute of Nuclear Materials Management 40th Annual Meeting, Phoenix, Arizona USA, 1999.
- [2] Shea, T. and Tolchenkov, D., Role of Containment and Surveillance in IAEA Safeguards, IAEA-SM-231/110, IAEA, Vienna, 1978.
- [3] 김호동 외 15인, 「DUPIC 핵물질 안전조치 기술개발」, 한국원자력연구소, KAERI/RR-2231/2001, 2002.
- [4] 김동영 외, DUPIC 시설 감시시스템 설치 및 성능검사, KAERI/TR-1617/00, 한국원자력연구소, 2000.
- [5] 송대용, 이 상운 외 4인 「영상 및 방사선 신호를 이용한 핵물질 감시 시스템」, 한국방사성폐기물학회 학술논문집 Vol2(1)2004, pp. 305, 2004. 6.
- [6] 이상운, 송대용 외 3인 「컴포넌트 객체 모델에 기초한 지능형 핵물질 거동진단 모듈 구현 기술」, KAERI/TR-2560/2003, 한국원자력연구소, 2003.
- [7] 이상운, 송대용 외 3인 「디지털 영상 캡처 카드 및 카운터를 이용한 핵물질 감시 시스템 구현 기술」, KAERI/TR-2552/2003, 한국원자력연구소, 2003.