2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

DFDF시설의 핵물질 감시시스템

Nuclear Material Surveillance System for DUPIC Fuel Development Facility

송대용, 이상윤, 하장호, 고원일, 김호동
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

사용후핵연료를 취급하는 시설에서 핵물질 안전조치를 위해 적용되는 연속 무인 감시시스템은 많은 양의 영상 및 방사선 감시 데이터를 생산하게 되며, 이러한 자료로부터 핵물질의 전용 여부를 분석하기 위해서는 상당한 시간과 인력이 소요된다. 따라서 핵물질 취급시설의 감시시스템은 시설로부터 취득한 감시 데이터를 자동적으로 분석하여 비정상적인 상황을 추출해 낼 수 있는 기능이 요구된다. 이 연구에서는 이러한 관점에서 영상 및 방사선 데이터를 자동 분석할 수 있는 신경망을 이용한 지능형 핵물질 감시시스템을 개발하였다. 동 시스템은 수차례의 성능 시험을 거쳐, 현재 DUPIC시설에 설치하여 안정적으로 운영 중에 있다.

Abstract

Unattended continuous 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 a novel concept of the continuous surveillance system that integrates visual image and radiation data by the use of neural networks based on self-organized feature mapping. This surveillance system is stably operating for safeguards of the DUPIC (DFDF) in KAERI.

1. 서 론

DUPIC 시설과 같이 핵물질을 취급하는 시설에서의 핵물질 안전조치는 매우 중요한 의미가 있다. 즉 시설 차원에서 스스로 핵물질의 보유, 취급 및 이동 등의 제반 활동에 대한 기록을 정확하고 철저하게 관리함으로써 대외적인 신뢰도를 제고하고, 이를 통해 국가의 원자력 활동에 대한 제약요인을 최소화할 수 있기 때문이다. DUPIC 시설의 핵물질 감시시스템의 개발도 DUPIC 핵연료 연구개발 활동이 보다 원활히 이루어질 수 있도록 핵 투명성의 확보 및 대외 신뢰도를 제고하는 데에 그 목적이 있다.

일반적으로 핵물질 취급시설의 안전조치를 위해 적용되는 연속 무인 감시시스템은 많은 양의 영상 및 방사선 감시 데이터를 생산하게 되며, 이러한 자료로부터 핵물질의 전용 여부를 분석하기 위해서는 상당한 시간과 인력이 소요된다. 따라서 핵물질 감시시스템은 시설로부터 취득한 감시 데이터를 자동적으로 분석하여 비정상적인 상황(또는 핵물질 전용 상황)을 추출해 낼 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다.[1,2)]

이 연구에서는 시설의 핵물질 거동을 감시하기 위해 핵물질이 이동 가능한 모든 경로에 중성자 모니터(DUPIC Safeguards Neutron Monitor; DSNM)와 CCD 카메라를 설치하고, 이들로부터 실시간으로 방사선 데이터와 영상 데이터를 취득하고, 이를 분석하여 핵물질의 거동을 진단할 수 있는 지능형 핵물질 감시시스템을 개발하였다. 동 핵물질 감시 시스템에서는 자율 학습 모델인 SOM(Self Organized feature Mapping) 알고리즘을 적용하여 핵물질의 거동 진단 기능을 구현하였다. 구현된 핵물질의 거동진단 기능은 1단계의 개별적 거동진단과 2단계의 종합적 거동진단으로 나누어진다. 1단계에서는 방사선 데이터를 사용한 핵물질 거동진단과 영상데이터를 이용한 핵물질 수송용기의 거동진단이 독립적으로 이루어지는데, 거동진단의 결과는 'No Detection', 'Near', 'Fade In', 'Rest', 'Fade Out' 의 5가지 중의 하나이다. 2단계에서는 1단계에서의 핵물질 거동진단, 수송용기 거동진단의 결과 및 영상과 방사선 데이터를 종합하여 총체적으로 핵물질의 거동을 진단하도록 시스템을 구성하였다.

2. DUPIC 시설의 감시시스템 구성

2.1 핵물질 감시시스템의 구성

본 연구에서 제안하는 핵물질 감시시스템은 한국원자력연구소의 경·중수로 연계 핵연료(DUPIC: Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU reactors) 제조 시설(DFDF: DUPIC Fuel Development Facility)을 대상으로 개발한 시스템이다. 이 시스템은 출입구를 감시하기 위한 CCD 카메라, 핵물질의 거동을 인지하기 위한 중성자 모니터, 그리고 이들 장비로부터 영상 및 방사선 데이터를 취득하기 위한 데이터 취득장비(DAQ)로 구성되어 있다.

핵물질 감시시스템의 대상 시설인, DFDF에는 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 DUPIC 핵물질인 사용후핵연료에서 방출되는 중성자를 검출하여 핵물질의 움직임을 감시하는 장비이다.

핵물질 감시시스템의 구성은 그림 1에 제시된 바와 같으며, 3대의 CCD 카메라와 2대의 중성자 모니터 및 DAQ 서버 시스템으로 구성되어 있다. 중성자 계측장비(DSNC)는 DUPIC 핵연료 제조시설의 핵물질 계량관리에 사용되는 장비로서 감시시스템에서도 데이터를 취득하고 있다.[3)]

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

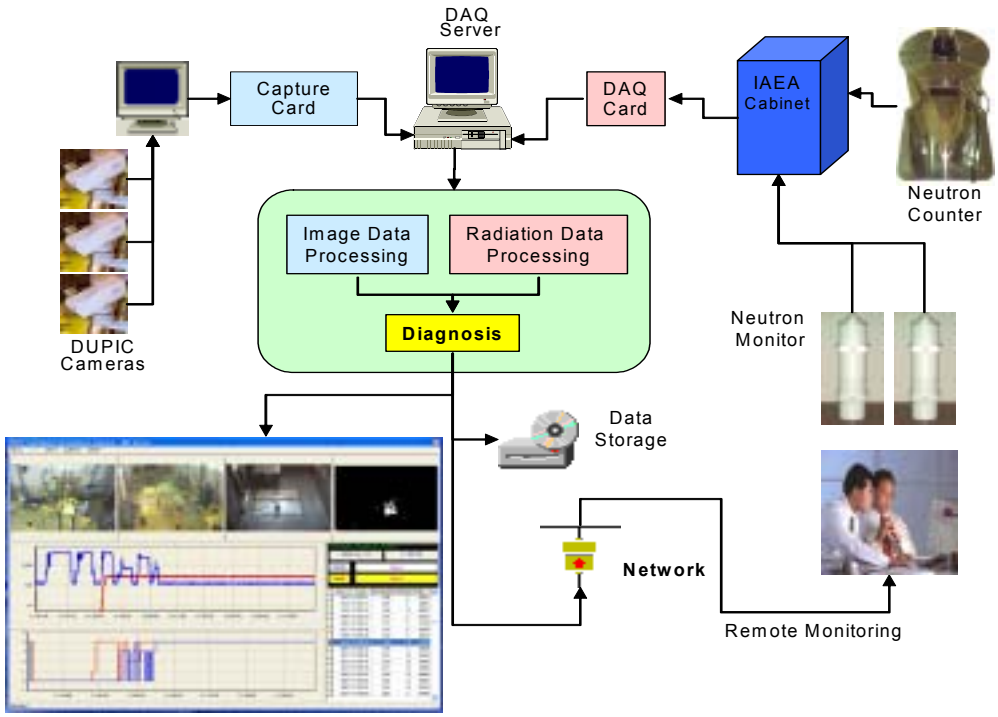

그림 1. 핵물질 감시 시스템의 구성도.

2.2 소프트웨어의 구성

감시시스템의 소프트웨어는 Windows XP를 기반으로 개발하였으며, 프로그램은 Borland C++ Builder를 이용하여 개발하였다. 시스템의 주 화면은 그림 2와 같으며, DSNM의 데이터를 그래프로 그려 보여주는 창, 현재 영상을 보여주는 창, 데이터의 값을

보여주는 창, 핵물질 거동진단을 보여주는 창과 그래프 등으로 구성되어 있다.[5,6)]

감시시스템 서버의 구성은 크게 “DAQ“와 ”Review″ mode로 구분될 수 있으며, 주 메뉴에서의 “New″ 및 ”Open″이 여기에 해당된다. “DAQ″와 ”Review″는 내부적으로는 거의 동일하며, 차이점은 DAQ는 데이터를 하드웨어로부터 직접 취득, 진단, 저장하는 반면, Review는 데이터를 저장된 파일로부터 읽어 들인다는 점이다. 또한, ″Review″ mode에서는 단순히 데이터를 점검하는 mode와 인공신경망의 학습 자료 생성을 위한 data extraction mode로 선택할 수 있도록 하였다.

기능적인 관점에서의 시스템 구성은 사용자 인터페이스, 원격제어처리, 데이터취득, 데이터 처리, 판단부로 나눌 수 있다. 데이터의 취득은 DAQ카드 및 영상보드를 제어해 방사선데이터 및 영상데이터를 취득하는 곳이다. 데이터처리부는 영상데이터를 분석하여 움직임이 있는 영역을 찾아내고 방사선데이터를 분석하여 방사능의 변화를 알아낸다. 마지막으로 판단부는 인공신경망 등을 사용하여 거동진단을 하고 데이터의 저장, 원격감시자에게 통보, 자체 사운드를 사용한 경고 등의 판단을 하게 된다. 원격제어처리부는 인터넷을 통해 원격감시 및 DAQ서버의 원격제어를 할 수 있도록 하며, 이러한 각각의 모듈별 기능에서 데이터처리 모듈 및 진단 모듈이 감시시스템에서 가장 핵심적인 부분이다.

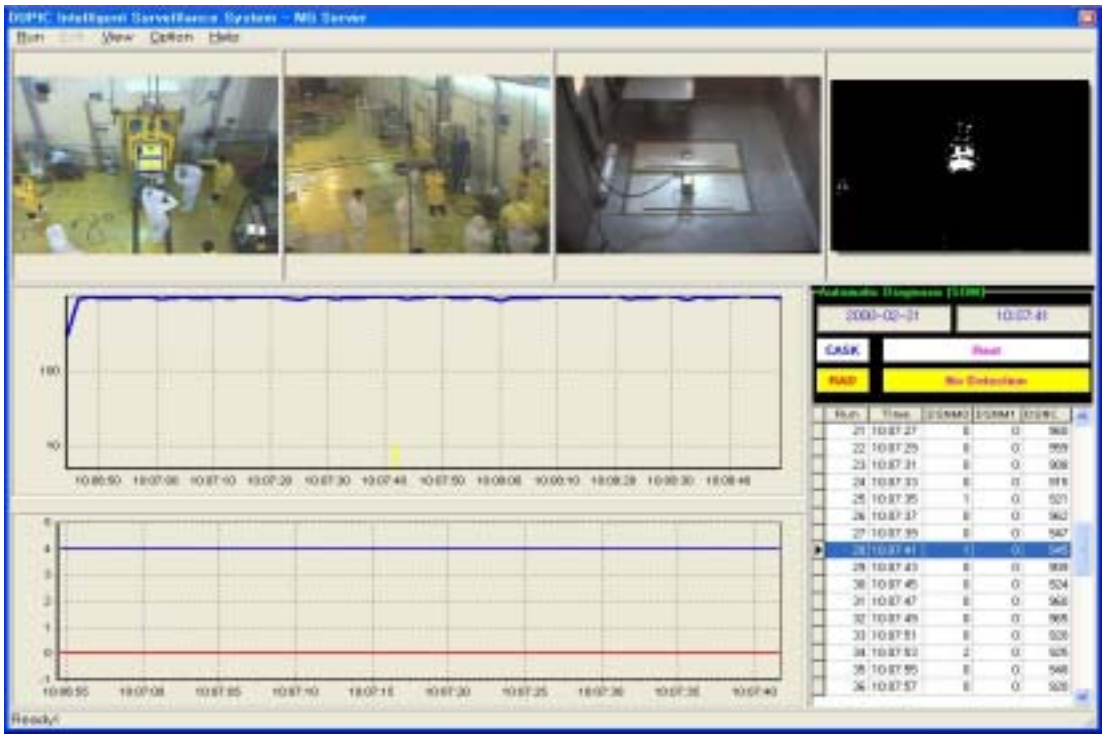

그림 2. 핵물질 감시 시스템의 주화면.

3. 핵물질의 거동 진단

3.1 방사선 데이터 분석 및 핵물질 거동 진단

핵물질 감시시스템의 목적은 핵물질 제조 공정에 전혀 영향을 주지 않으면서 실시간으로 핵물질의 거동을 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 영상데이터 분석 및 핵물질 운반용기의 거동진단

핵물질 감시 시스템에서의 영상처리는 다른 과정에 비해 처리시간이 비교적 많이 소요되며, 지능형 거동 진단 기능의 구현을 위해서도 중요한 단계이다. 방사선 데이터는 핵물질 자체의 거동을 진단하는 반면, 카메라로부터 캡쳐된 영상은 분석된 후, cask로 추측되는 Object의 위치가 추출되고 그로부터 Object의 이동상황을 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(review) 단계는 분리되어 있으며, 신경망에 의한 거동진단은 데이터 취득(DAQ)과 검토(review) 단계에서 시행될 수 있다. 따라서 review 단계에서 나타나는 영상들은 특정한 영역에서 일정한 수준이상의 변화가 진행 중인 상태이므로, 이 영상에서 cask의 위치를 추출하게 된다. DUPIC 핵물질 감시시스템에서 사용하는 영상은 640×480 픽셀의 크기이고 24bit 이다.

영상처리 루틴은 기본 영상의 gray scale을 설정하고 현재 영상과 비교해서 object를 추출하는 대신, 현재 취득되는 영상에서 cask의 이진 영상을 직접 추출하기 위해 RGB 임계값을 적용하였다. 현재 DFDF의 정상적인 조명 상태 하에서의 cask의 RGB 값은 그림 3과 같은 분포를 가지며, 이 값을 적용하면 획득된 영상에서의 cask object를 거의 완벽히 추출할 수 있다(그림 4). 또한, Bitmap image로부터 특정한 RGB 임계값을 적용하기 위해 한 픽셀이 0-255의 값을 갖는 8-bit gray Bitmap으로 변환하여 사용하도록 하였다.[6)]

이와 같이 영상처리 루틴를 구성함으로써 부적절한 object에 대한 cask 오인 오류는 거의 나타나지 않게 되었다. 다만, 현재의 RGB 임계값 적용 기법은 시설의 정상적인 조

명 상태에 한해 적용 가능하며, 조명이 상실되는 경우에 대한 보완 대책이 요구된다.

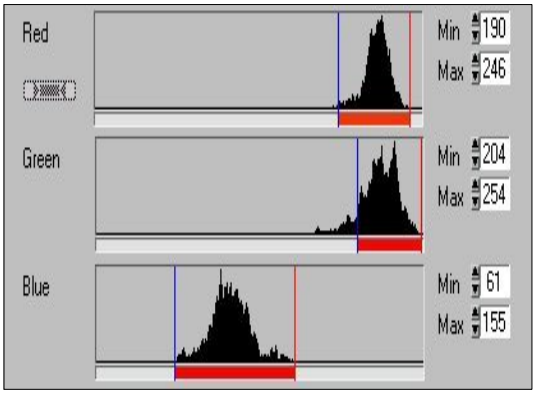

그림 3. Cask의 RGB 분포.

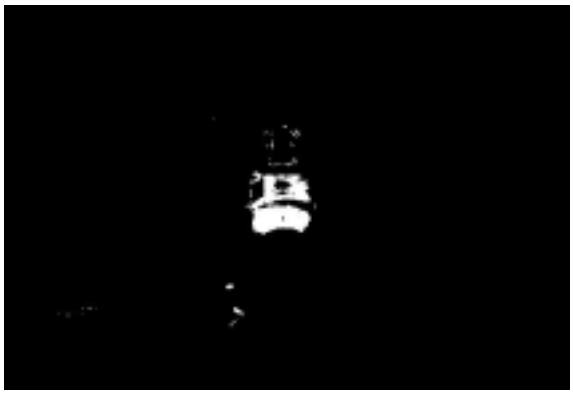

그림 4. RGB 임계 값에 의한 cask 이진 영상.

4. 결론

이 논문에서 제안한 핵물질 감시시스템은 핵물질의 거동 진단 기능의 구현을 위해 자율 학습 모델인 SOM 알고리즘을 적용하였다. 구현된 핵물질의 거동진단 기능은 1단계의 개별적 거동진단과 2단계의 종합적 거동진단으로 나누어진다. 1단계에서는 방사선데이터를 사용한 핵물질 거동진단과 영상데이터를 이용한 핵물질 수송용기의 거동진단이 독립적으로 이루어지며, 2단계에서는 1단계에서의 핵물질 거동진단, 수송용기 거동진단의 결과 및 영상과 방사선 데이터를 종합하여 총체적으로 핵물질의 거동을 진단한다.

방사선데이터를 이용한 핵물질 거동진단은 핵물질의 양 또는 위치 변화만을 고려하였고, 영상 데이터를 이용한 수송용기의 거동진단은 영상을 분석하여 수송용기(cask)로 추측되는 Object의 위치를 추출하고 그로부터 Object의 이동상황을 진단하도록 하였다. 영상으로부터 cask를 직접 추출하기 위해 RGB 임계값을 적용하였다. 이러한 RGB 임계값 적용 기법은 정상적인 조명 상태에 한해 적용이 가능하다.

동 감시시스템은 수차례의 성능 시험을 거쳐, 현재 한국원자력연구소의 DUPIC 핵연료 제조 시설에 대한 핵물질 감시를 위해 해당시설에 설치하여 안정적으로 운영 중에 있다. 그러나, IAEA의 설계기준에 적합하면서 일반적인 원자력 시설에도 적용 가능한 차세대 지능형 연속 무인감시시스템으로 개발하기 위해서는 해결해야 할 몇 가지 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 체계

를 구축하기 위해서는 자료 전송보안 문제 등을 해결해야 한다. 따라서 향후 연구에서는 이들 문제점을 해결하기 위한 연구를 추가로 수행할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행하였습니다.

참고 문헌

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. 이상윤, 송대용 외 3인 「컴포넌트 객체 모델에 기초한 지능형 핵물질 거동진단 모듈 구현 기술」, KAERI/TR-2560/2003, 한국원자력연구소, 2003.
6. 이상윤, 송대용 외 3인 「디지털 영상 캡쳐 카드 및 카운터를 이용한 핵물질 감시 시스템 구현 기술」, KAERI/TR-2552/2003, 한국원자력연구소, 2003.