

SOM-PAK을 이용한 지능형 핵물질 거동진단 시스템

송대용, 이상운, 하장호, 고원일, 김호동(한국원자력연구소)

Intelligent Nuclear Material Diagnosis System Using SOM-PAK

D. Y. Song, S. Y. Lee, J. H. Ha, W. I. Ko, H. D. Kim(KAERI)

<Abstract>

In this paper, the implementation techniques of intelligent nuclear material surveillance system based on the SOM(Self Organized Mapping) was described. Unattended continuous surveillance systems for nuclear facility result in large amounts of 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 a continuous surveillance system that integrates visual image and radiation data by the use of neural networks based on self-organized feature mapping.

1. 서론

최근 사회의 다변화와 더불어 보안 감시의 필요성이 커지면서 시설물의 보안과 공공장소에서의 범죄 예방 등 특정한 장소와 목적을 위해 사용되던 감시시스템의 적용이 일상생활 환경으로 확대되고 있다. 또한, 디지털 기술의 급속한 발전에 따라 기존의 아날로그 영상 기록 매체를 이용한 보안 감시시스템에서 PC를 이용한 디지털 감시시스템으로의 전환이 급속하게 진행되고 있으며, 고성능의 CPU와 비디오 카드를 장착한 PC의 사용이 보편화되고 저가의 카메라가 보급되면서 감시시스템에 관한 특별한 지식이 없는 일반 사용자들도 감시 시스템을 쉽게 구현할 수 있게 되었다.

원자력 산업분야에서도 여러 분야에서 감시 시스템이 활용되고 있다. 특히, 핵물질을 취급하는 시설에서는 핵물질 안전조치 목적의 달성, 즉 핵물질의 군사적 전용을 방지하기 위한 하나의 수단으로서 핵물질의 취급 및 이동을 감시하기 위한 감시 시스템이 요구된다. 일

반적으로 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 취급시설에서의 감시시스템은 시설로부터 취득한 감시 데이터를 자동적으로 검토·분석하여 비정상적인 상황(또는 핵물질 전용 상황)을 추출해 낼 수 있는 프로그램의 기능이 요구된다[Ondrick et al. 1999, Shea & Tolchenkov 1978].

이 논문에서 제안하고 있는 핵물질 감시 시스템에서는 이러한 요구에 부응하기 위해 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 방사선데이터를 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.

이 논문의 2장에서는 핵물질 전용감시를 위한 격납/감시 시스템의 설계 요건에 대하여 기술하고, 3장에서는 이 논문에서 제안한 한국원자력연구소에 있는 DUPIC 시설의 핵물질 감시시스템의 구성에 대해 설명한다. 4장에서는 핵물질의 거동진단 기능의 구현 및 결과에 대해 설명하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.

2. 핵물질 감시시스템의 설계 요건

핵물질 전용감시를 위한 감시 시스템은 다음에 기술하는 바와 같은 시스템 설계 조건이 필요하다. 이러한 조건은 핵물질 취급시설의 설계 초기 단계에서부터 고려해야 하며, 시설측의 시스템이 사용되는 경우에는 IAEA가 인증하는 사양을 충족시켜야 한다[이상운 외 4인 2002].

- 시스템은 시설의 내부로 반입되는 모든 핵연료 집합체/봉 및 다른 핵물질을 측정하고 확인 가능해야 한다.
- 시스템은 시설에서 취급되는 핵물질의 다양한 형태를 구별할 수 있어야 한다.
- 시스템은 영역에서 반출, 반입되는 모든 핵물질 운반용기(cask)의 움직임을 확인하기 위해 저장구역을 감시할 수 있어야 한다.
- 시스템은 구역을 이탈하는 모든 cask가 작업자의 기록과 일치한다는 것을 확인할 수 있어야 한다.
- 시스템은 모든 활동이 작업자의 기록과 일치한다는 것을 확인시키기 위해, 중성자/감마 모니터링 시스템 및 감시 장비는 무인 확인 상태로 운전 가능해야 한다.
- 시스템은 격납/감시 신호 및 측정 자료를 합리적인 거리에 있는 사찰관의 사무실로 전달할 수 있어야 한다.
- 시스템은 실시간 원격으로 감시 및 측정 자료를 재검토하는 기능과 차후의 분석을 위해 저장하는 기능을 갖추어야 한다.

- 시스템은 최종 처분 cask의 용접 확인 및 건전성 점검을 위한 광-전자적 기법을 제공해야 한다.
- 시스템의 자료 재검토 성능은 자료 취득 모드로 운전되는 것에 의해 영향을 받지 않아야 한다.
- 시스템은 적절하게 작동되지 않을 경우에 대한 진단기능과 경보기능을 갖추어야 한다.
- 시스템은 적정한 시간 계획에 의해 완전히 무인 자동화 상태로 운전되어야 한다.

3. 핵물질 감시시스템의 구조

이 논문에서 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.

이 시스템의 구조를 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서 구분하여 기술하면 다음과 같다.

3.1 핵물질 감시시스템의 구성

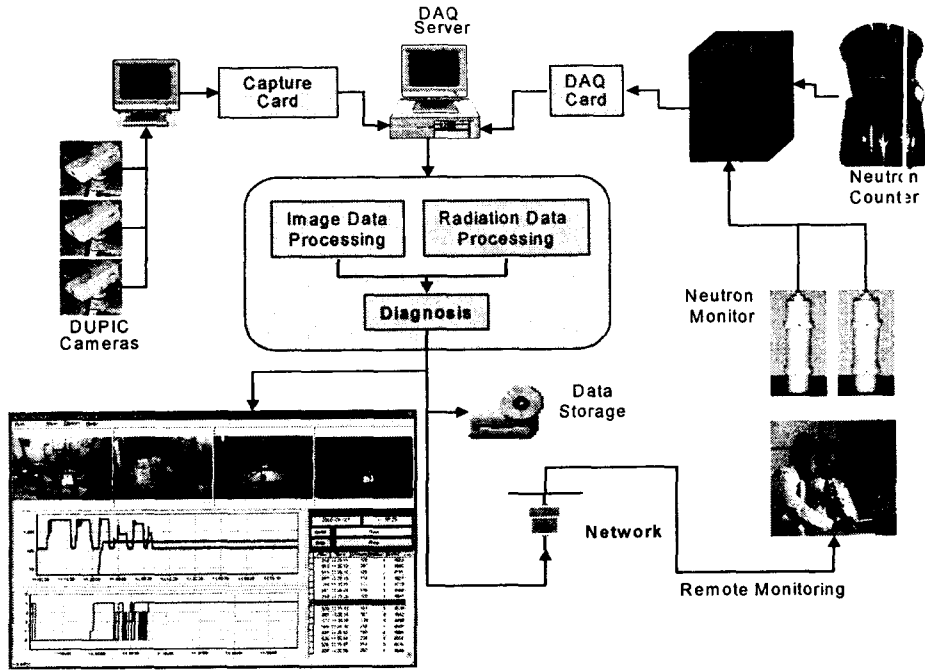
핵물질 감시시스템의 대상 시설인, DFDF에는 핵물질의 출입이 가능한 2개의 경로, 즉 모든 핵물질의 반입 및 반출이 이루어지는 출입구(rear door)와 폐기물의 반출을 위한 출구가 있다. 이들 출입구로의 접근을 감시하기 위해 카메라를 설치하고, 핵물질의 출입을 확인하기 위해 중성자 모니터(DUPIC Safeguards Neutron Monitor, DSNM)를 설치하였다. 중성자 모니터는 DUPIC 핵물질인 사용후핵연료에서 방출되는 중성자를 검출하여 핵물질의 움직임을 감시하는 장비이다.

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[김동영 외 2000].

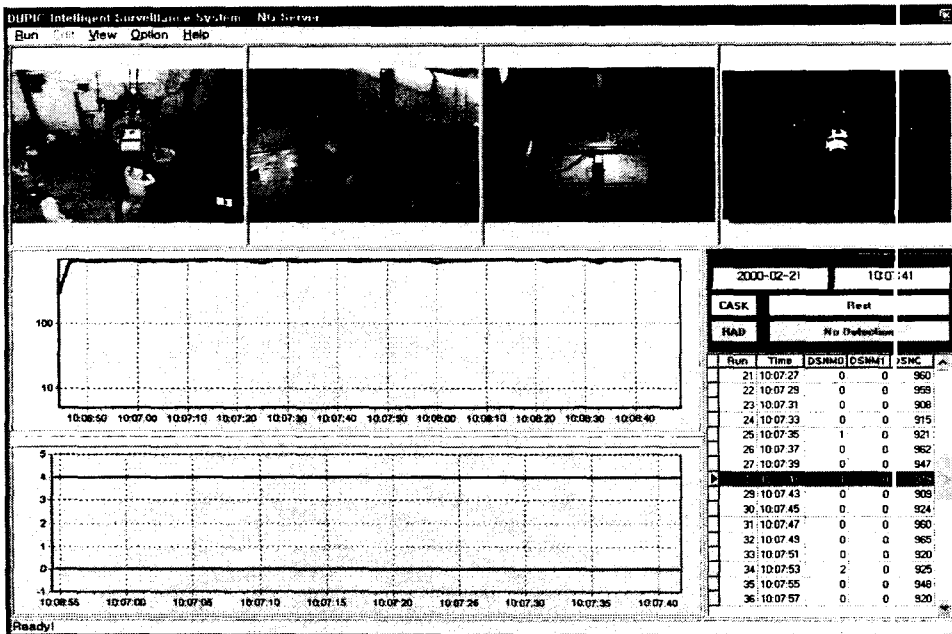
영상 및 방사선 신호는 PC를 기반으로 한 데이터 취득장비(DAQ)에 의해 CCD 카메라 및 DSNM으로부터 실시간(real time)으로 동시에(time-synchronized) 취득되고, 취득된 데이터는 소프트웨어에 의해 처리되어 핵물질의 움직임을 자동으로 진단한다.

3.2 핵물질 감시시스템의 소프트웨어

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[이상윤 외 4인 2003].



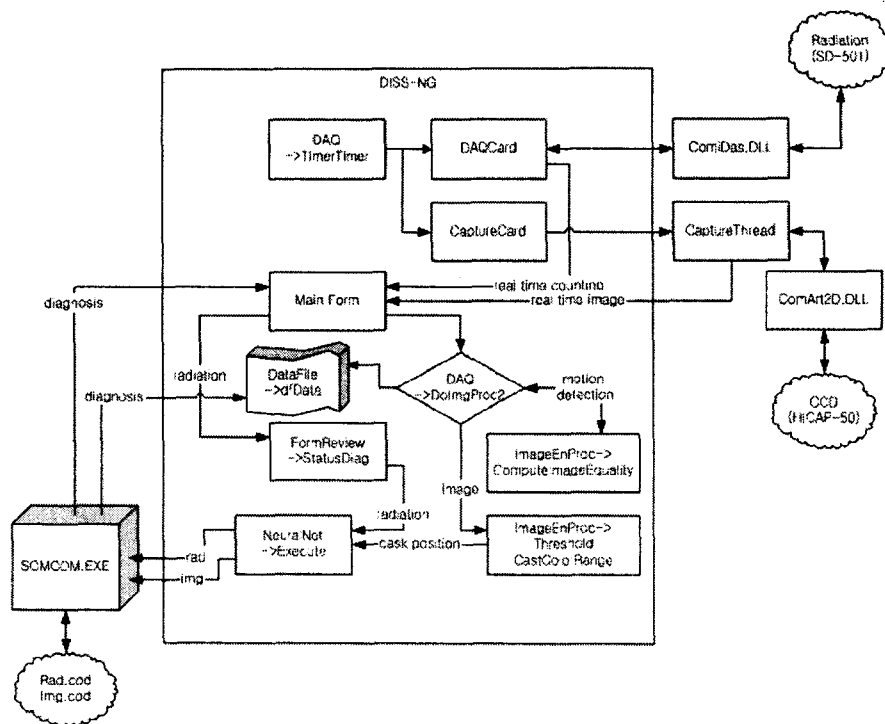
(그림 1) 핵물질 감시 시스템의 구성도



(그림 2) 핵물질 감시 시스템의 주화면

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 인공지능망의 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 인공지능망 등을 사용하여 거동진단을 하고 데이터의 저장, 원격감시자에게 통보, 자체 사운드를 사용한 경고 등의 판단을 하게 된다. 원격제어처리부는 인터넷을 통해 원격 감시 및 DAQ서버의 원격제어를 할 수 있도록 하며, 이러한 각각의 모듈별 기능에서 데이터처리 모듈 및 진단 모듈이 감시시스템에서 가장 핵심적인 부분이다. 시스템의 각 모듈별 연계 구성도는 그림 3에 제시된 바와 같다.



(그림 3) 핵물질 감시시스템의 구성 모듈 및 data flow.

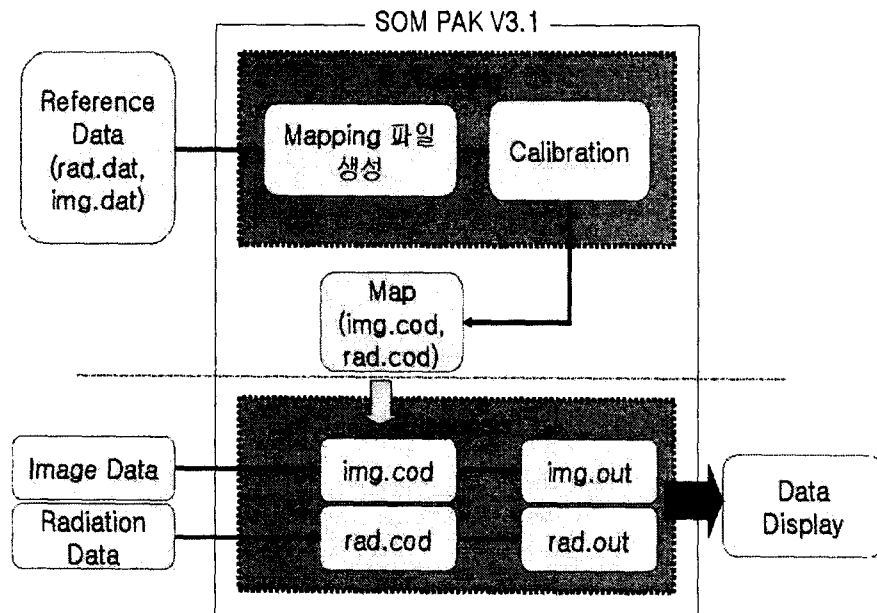
4. 지능형 핵물질 거동진단 모듈의 구현 및 결과

이 논문에서는 SOM 모델을 이용한 지능형 거동 진단 모듈의 구현을 위해 SOM_PAK Version 3.1(1995)을 적용하였다. 이 패키지는 SOM의 기초이론 중의 하나인 Kohonen network의 제안자인 Teuvo Kohonen이 재직 중인 헬싱키 대학에서 배포된 것으로서, 자체적인 성능 시험 모듈이 내장되어 있어 신뢰성이 인정된 패키지이다[Kohonen 1995]. 본 연구에서는 이 패키지의 DOS 모듈 중 일부를 개선하여 핵물질 감시시스템에 탑재하였다.

4.1 SOM_COM 적용 절차

4.1.1 Training data 생성

training data는 핵물질 취급시설(DFDF)에서 발생하는 상황에 따른 자료를 이용하며, normal한 상태와 핵물질 운반용기(cask) 이동 상태에 따른 영상 자료 및 방사선 자료 data를 수집하여 사용한다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 이 연구에서는 data file을 영상과 방사선으로 구별하여 적용하도록 하였으며 생성된 raw data를 엑셀 등의 편집기를 이용하여 두 개의 file로 분리하여 사용한다.



(그림 4) Configuration of COM Based Diagnosis Module.

4.1.2 Calibration data 생성

SOM_PAK은 calibration file을 사용하여 network의 훈련에 의해 생성된 BMU(Best Matching Unit)의 label을 정의할 수 있다. 실제적으로 SOM 알고리즘은 자율 학습 인공신경망이므로 이러한 작업이 없어도 사용에 문제가 없으나, 훈련에 의해 생성된 vector class의 label을 설정해 주면 더욱 명확히 clustering이 가능하므로 이 작업을 진행한다.

Calibration은 training data에 대해 알려진 상황을 labelling하는 작업이다. 즉, network의 훈련을 위해 입력으로 사용되는 영상 및 방사선 data sample들 중에서 명확히 구분된 상황에 의한 것으로 판단되는 data에 대해 labelling을 한 후 calibration file로 저장해 사용한다. 이 연구에서는 시설에서 발생할 수 있는 상황을 다음과 같이 설정하여 class label로 적용하였다.

- 1 = 캐스크 검출 안됨(영상 및 방사선 반응 없음)
- 2 = 캐스크가 주변에 있음(영상 반응이 없으나 방사선 반응이 있음)
- 3 = 캐스크가 접근하고 있음(영상 및 방사선 반응이 있으며 증가 상황임)
- 4 = 캐스크가 나가고 있음(영상 및 방사선 반응이 있으며 감소 상황임)
- 5 = 캐스크가 정지하고 있음(영상 및 방사선 반응이 있으며 고정 상황임)

4.1.3 Map file 생성 및 적용

이상과 같이 영상 및 방사선 data에 대한 training data file 및 calibration dat file이 준비되면 이를 이용하여 network을 훈련시키는 작업을 진행하게 된다. 신경망의 훈련은 vector 초기화, 1차 및 2차 훈련으로 진행된다. 이 연구에서는 DOS 플랫폼에 대해 코딩되어 있는 이 모듈의 시스템 탑재를 위해 Component server로 개발하고 이를 SOMCOM으로 명명하였으며, 데이터 취득(DAQ) mode에서 실시간으로 각 10 초 마다 취득된 data의 진행에 따라 SOMCOM server가 호출되도록 하였다.

4.2 SOM Component Server를 이용한 핵물질 거동 진단

4.2.1 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 변화율(dN/dt)이 0에 가깝다면 핵물질이 정지한 상태이고, 변화율이 "+" 값이라면 중성자 모니터(DSNM) 쪽으로 핵물질이 이동하고 있는 상태이며, "-" 이면 모니터로부터 멀어지는 방향으로 이동하

는 것이다. 이 연구에서는 방사선 데이터의 시간변화를 알기 위해 최근 5개의 데이터로부터 그 기울기를 계산하도록 하였다.

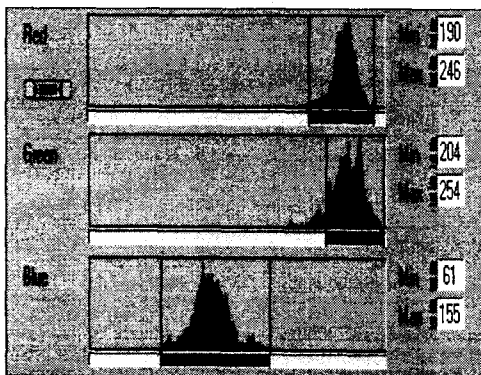
4.2.2 영상데이터 분석 및 핵물질 운반용기(cask)의 거동진단

핵물질 감시 시스템에서의 영상처리는 다른 과정에 비해 처리시간이 비교적 많이 소요되며, 지능형 거동 진단 기능의 구현을 위해서도 중요한 단계이다.

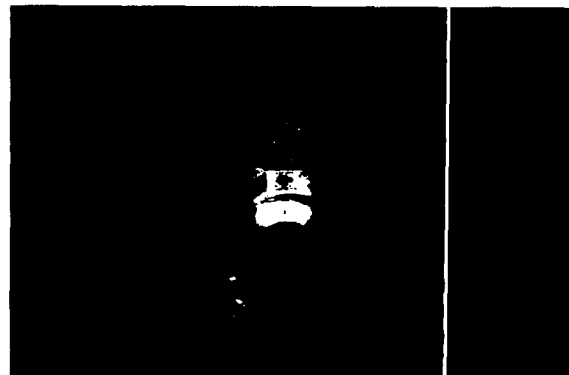
방사선 데이터는 핵물질 자체의 거동을 진단하는 반면, 카메라로부터 캡처된 영상은 분석된 후, cask로 추측되는 Object의 위치가 추출되고 그로부터 Object의 이동상황을 진단한다. 영상분석의 첫 과정은 기본영상과의 비교이다. 영상 취득은 매 10초에 한번씩 3대의 카메라에서 획득된 영상을 메모리에 저장한 후 이를 이전의 영상과 비교하며, 영상의 변화가 설정된 수준이상인 경우 파일로 저장하고 그렇지 않은 경우는 버려진다. 영상의 저장 단계와 검토(review) 단계는 분리되어 있으며, 신경망에 의한 거동진단은 데이터 취득(DAQ)과 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. 이 연구에서 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 5와 같은 분포를 가지며, 이 값을 적용하면 획득된 영상에서의 cask object를 거의 완벽히 추출할 수 있다(그림 6). 또한, Bitmap image로부터 특정한 RGB 임계값을 적용하기 위해 한 픽셀이 0-255의 값을 갖는 8-bit gray Bitmap으로 변환하여 사용하도록 하였다.

이와 같이 영상처리 루틴을 구성함으로써 부적절한 object에 대한 cask 오인 오류는 거의 나타나지 않게 되었다. 다만, 현재의 RGB 임계값 적용 기법은 시설의 정상적인 조명 상태에 한해 적용 가능하며, 조명이 상실되는 경우에 대한 보완 대책이 요구된다.



(그림 5) CASK의 RGB 분포



(그림 6) RGB 임계값에 의한 cask 이진 영상

5. 결론 및 향후계획

이 논문에서 제안한 핵물질 감시시스템은 핵물질의 거동 진단 기능의 구현을 위해 자율 학습 모델인 SOM(Self Organized feature Mapping) 알고리즘을 적용하였다. 구현된 핵물질의 거동진단 기능은 1단계의 개별적 거동진단과 2단계의 종합적 거동진단으로 나누어진다. 1단계에서는 방사선데이터를 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.

동 시스템에서 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 정상적으로 운영 중에 있으나, 조명이 없거나 흐릴 경우 오진의 가능성이 있다. 따라서 조명이 흐리거나 상실될 경우의 오진의 문제점을 해결하기 위한 연구가 필요하다. 또한, 현재의 시스템은 내부 통신망을 이용한 원격감시 기능이 구현되어 있으나 인터넷을 이용한 원격감시 체계를 구축하기 위해서는 자료 전송보안 문제 등에 대한 연구도 추가로 요구된다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김호동 외 15인, 「DUPIC 핵물질 안전조치 기술개발」, 한국원자력연구소, KAERI/RR-2231/2001, 2002.
- [2] 김동영 외, DUPIC 시설 감시시스템 설치 및 성능검사, KAERI/TR-1617/00, 한국원자력연구소, 2000.
- [3] 이상윤, 고원일 외 3인 「차세대 관리공정시설에서의 핵물질 이동 감시 체계 개념 설계 보고서」, KAERI/TR-2262/2002, 한국원자력연구소, 2002.

- [4] 이상윤, 송대용 외 3인 「컴포넌트 객체 모델에 기초한 지능형 핵물질 거동진단 모듈 구현 기술」, KAERI/TR-2560/2003, 한국원자력연구소, 2003.
- [5] 이상윤, 송대용 외 3인 「디지털 영상 캡처 카드 및 카운터를 이용한 핵물질 감시 시스템 구현 기술」, KAERI/TR-2552/2003, 한국원자력연구소, 2003.
- [6] Kohonen, T., et al., *SOM_PAK, The Self-Organizing Map Program Package*, Helsinki University of Technology, 1995.
- [7] 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.
- [8] Shea, T. and Tolchenkov, D., *Role of Containment and Surveillance in IAEA Safeguards*, IAEA-SM-231/110, IAEA, Vienna., 1978.

저 자 약 력

송 대 용

e-mail : dysong@kaeri.re.kr

1986년 인하대학교 전자계산학과 졸업

2001년 충북대학교 대학원 전자계산학과 졸업

1987년 ~ 현재 한국원자력연구소 건식공정핵연료기술개발부 선임연구원

관심분야 : 데이터베이스, 정보통신, 영상처리 등