

## 핵연료봉 번호인식 시각시스템 개발 및 적용

이찬호, 최원혁, 허종성  
현대중공업(주) 기술개발본부 마복리연구소

### A Development and Application of Vision System for the Serial Number Recognition of Nuclear Fuel Tube

Chan-Ho Lee, Won-Hyuk Choi, Jong-Sung Hur  
Mabookri Research Institute, R & D Division, Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd.

**Abstract** - A development and application of machine vision system is introduced, which automatically recognizes the serial number of nuclear fuel tube. For the recognition, an indirect back light illuminating system is designed and a pattern matching algorithm based on neural network is applied. The various operation and management functions are also developed, on a PC under windows OS, for easy operation and data management, respectively. By the successful application of the vision system the productivity of the nuclear fuel tube recognition process is highly improved.

### 1. 서 론

국내 원자력발전소에 공급되는 핵연료봉은 농축된 핵연료를 빙 연료봉에 넣어 밀봉한 후 다발형태로 묶는 공정을 통하여 생산된다. 여기서, 핵연료를 담는 빙 연료봉은 한쪽 말단부에 연료봉의 고유번호가 되는 아라비아 숫자열이 애칭으로 새겨져 있다. 이 고유번호는 핵연료봉 생산 및 출하, 그리고, 가동현황파악등에 이용되는 매우 중요한 정보로서, 핵연료봉의 생산공정 전반에 걸쳐 해당 연료봉의 고유등록번호로 판리되거나 때문에, 생산 초기부터 이 고유번호를 정확하게 인식하는 것이 매우 중요하며, 생산성 향상과 원가절감을 위하여 고유번호 인식 공정의 자동화와 신속한 처리가 요구된다.

이러한 필요성에 의하여 1994년부터 국내 핵연료봉 생산업체에서는 시각시스템을 이용한 핵연료봉 고유번호 자동인식시스템을 외주개발하여 운용해 오고 있다. 운용되고 있는 시각시스템은, 원통형 구조를 갖는 연료봉의 외형적 특성을 고려할 때 등근 봉표면상에 발생하는 반사현상을 최소화하기 위한 적정조명장치의 구축이 우선적으로 필요하다. 그러나, 그림 1.와 같이 간접투과방식의 조명하에서 연료봉을 스템모터로 회전시켜가며, 등근 봉표면상에 반사현성이 발생하지 않는 부위의 부분영상 정보만을 획득하여 전체영상정보를 구성한 후 이차화작업 및 신경망학습과정을 통하여 번호를 인식하는 기존 시스템의 경우, 다음과 같은 문제점이 발생하고 있다.

(1) 등근 연료봉 표면을 고르게 비출수 있는 조명장치 구조가 아니기 때문에 봉표면에서 반사현성이 심하게 발생하며, 반사현성이 발생하지 않는 부위의 설정이 쉽지 않고, 전체영상정보를 얻기 위한 작업시간이 길어진다.

(2) 획득한 영상정보를 일정한 임계치를 기준으로 흑과 백의 정보로 분류한 후 번호인식을 수행하는 이차화 영상처리방법을 이용하기 때문에 연료봉에 새겨진 번호 패턴의 상태 및 조명조건에 따라 양호한 번호영역만을 분리하는 작업이 쉽지 않고, 오류 발생 가능성이 높다.

(3) 연료봉 표면에 새겨진 고유번호 패턴은 일정한

크기와 폰트를 갖도록 제작사양이 정해져 있으나, 실제로 공급되는 빙 연료봉상에 새겨져 있는 번호는 놓남이 불균일하고, 크기가 변하는 등 불량한 상태로 기록되어 공급되는 경우가 수시 발생하여, 양호한 영상정보의 획득이 쉽지 않으며, 인식오율이 5%에 이른다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하고 보다 향상된 인식율을 얻기위하여 개발 적용한 핵연료봉 번호인식 시각시스템에 대하여 소개하고, 특히, 등근 연료봉 표면에 새겨진 고유번호를 CCD 카메라를 이용하여 양호한 영상정보로 획득하기 위하여 고안된 조명장치와 신경망 학습방법에 의한 번호인식알고리듬에 대하여 논한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 시스템 구성

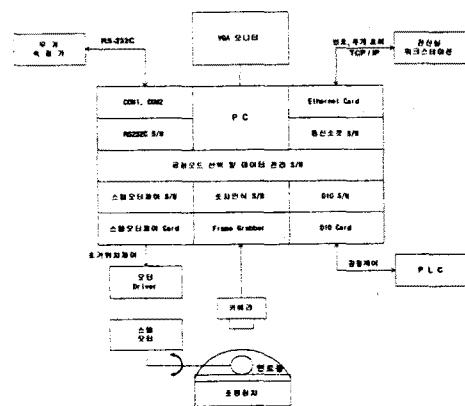
핵연료봉 번호인식 시각시스템은 그림 1.과 같이 호스트 PC를 중심으로 번호인식용 영상처리부와 무게측정부, PLC 및 상위 워크스테이션과의 통신부, 연료봉 번호 초기위치를 찾기 위한 스템모터제어부, 그리고, 작업 모드선택 및 자료관리를 위한 사용자운영부로 나눌 수 있다. 시스템의 주요 수행작업은 다음과 같다.

(1) 시각센서를 이용하여 연료봉 고유번호의 영상을 획득한 후, 영상처리과정을 통해 자동으로 번호를 인식 한다.

(2) 고유번호가 인식된 연료봉의 무게를 정밀전자저울로 자동측정한다.

(3) 인식된 고유번호와 측정된 무게정보를 상위 중앙 관리시스템인 워크스테이션에 전달하여, 인식한 번호가 워크스테이션에 등록된 공정자재코드인지를 확인하게 하며 워크스테이션이 작업자료를 저장하도록 지원한다.

(4) 연료봉 번호인식과 무게측정 작업, 자료관리를 위한 그래픽 사용자 운영환경을 지원한다.



## 2.2 핵연료봉 번호인식용 조명시스템

핵연료봉은 그림 2의 연료봉 영상화면과 같이 금속성 재질에 원통형 모양으로 되어 있기 때문에 봉표면상에는 번호정보를 소실시키는 반사현상이 나타난다. 그러므로, 시각센서를 이용하여 번호를 읽기 쉽게 인식하기 위해서는 연료봉 표면과 표면상에 표시된 번호가 구분되는 양호한 화질을 만들기 위한 조명시스템의 구축이 필요하다. 이에 본 시스템은 그림 2와 같은 기존 시각시스템의 문제를 보완하여 다음과 같은 핵연료봉 번호인식용 조명시스템을 설계함으로써, 연료봉 표면에서의 반사현상을 최소화할 뿐만 아니라 봉표면 배경과 번호와의 구분이 가능한 영상처리환경을 구축하였다. 개발된 조명장치의 구조는 그림 3과 같다[1],[2],[3].

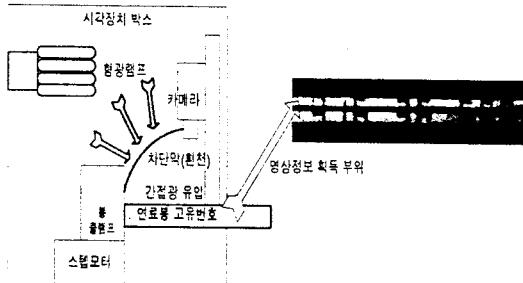


그림 2. 기존 핵연료봉 번호인식용 조명시스템 구성도

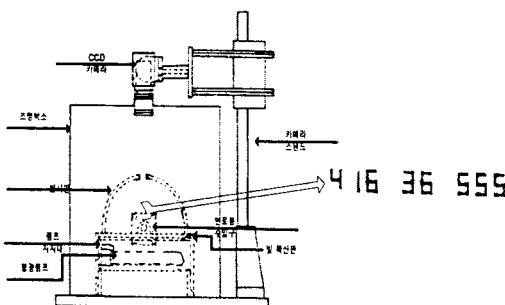


그림 3. 개발 핵연료봉 번호인식용 조명시스템 구성도

조명시스템의 광원은 조명박스 하단 부위에 고주파출력이 가능한 전자식 안정기와 안정된 조도를 유지할 수 있는 인버터 형광램프가 설치된 형태이다. 램프 상단에는 온은한 간접빛을 확산시키기 위하여 흰색의 반투명 아크릴판을 설치하고, 이 반투명아크릴판 위로는 연료봉주입구를 통하여 진입된 연료봉이 위치하도록 구성하였다. 또한, 반투명아크릴판 상단에도 카메라를 통하여 연료봉 번호영상을 얻기 위한 희은 흙이 파여진, 등근형태의 반사판을 흰색의 반투명 아크릴판을 이용하여 설치하였다. 이러한 구조에 의하여, 조명박스 하단으로부터 비춰지는 형광램프의 빛은 반투명반사판을 거쳐 연료봉이 놓인 위치 하단부에서부터 전파되어 상단의 등근반사판에 의해 다양한 각도로 반사되며, 이 간접광은 연료봉 표면에 다양한 각도로 골고루 비추어진다. 조명박스 외부 우측에는 상하이동 및 전후이동이 가능한 카메라스텐드를 설치하였으며, 여기에 CCD카메라를 설치하였다.

### 2.3 번호인식 영상처리 알고리듬

연료봉 번호인식을 위한 영상처리 과정은 크게 연료봉에 새겨진 번호의 초기위치를 찾는 과정과 번호영상화질을 개선하기 위한 전처리과정, 그리고, 번호인식을 위한 신경망학습 및 적용과정으로 나누어진다.

#### 2.3.1 연료봉 번호 초기위치잡기

원통형 연료봉 표면에 새겨진 고유번호의 초기위치를 찾기 위하여 고유번호가 새겨져 있는 봉의 말단부를 스텝모터와 연결된 클램프로 고정시킨 후 스텝모터를 천천히 회전시키며, 고유번호의 초기위치를 찾는다.

연료봉 번호의 초기위치 검색과정은 다음의 네 단계로 이루어진다.

(1) 영상의 각 행에 대해 가로로 인접하는 두 픽셀의 밝기값의 차이의 절대값들의 총합을 얻는다. 이 값들의 배열은 가로 프로파일 데이터가 된다.

(2) 가로 프로파일 데이터를 분석하여 임계값 이상을 발견하면 그 위치를 번호의 상단 위치로 규정하고 기준으로부터의 변위를 멤버변수  $dy$ 에 저장한다. 이때, 얻어진  $dy$ 값을 참조하여 스텝모터를 적절히 회전시켜 연료봉의 번호 위치를 맞춘다.

(3) 영상의 각 열에 대해 세로로 인접하는 두 픽셀의 밝기값의 차이의 절대값들의 총합을 얻는다. 이 값들의 배열은 세로 프로파일 데이터가 된다.

(4) 세로 프로파일 데이터를 분석하면서 오른쪽에서 왼쪽으로 스캔하며 8개 번호의 위치를 얻는다. 410-11-210과 같이 대쉬(-) 표시가 있는 연료봉의 경우에는 고정된 번호배치 정보를 이용하여 대쉬(-)위치는 건너뛰며 번호위치를 찾는다. 만약 새겨진 각 번호의 상단 위치가 다를 경우에는 (2)에서 찾은 상단위치 주변을 재검색하여 해당번호의 상단위치를 찾는다.

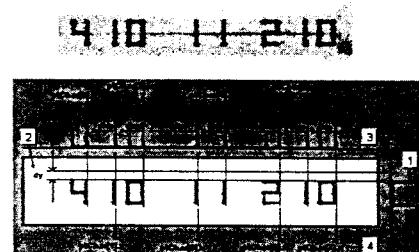


그림 4. 위치잡기와 전처리수행 결과

#### 2.3.2 전처리

연료봉 금속표면의 번호는 애칭을 통해 기록된 것으로서 배경과 번호의 그레이 레벨은 연료봉에 따라 차이가 심하게 날 수 있다. 이러한 변화로 인해 발생하는 번호의 인식오류를 피하기 위하여 번호와 배경 사이의 명암차를 크고 일정하게 만드는 전처리 과정이 필요하다. 본 시스템에서는 입력 패턴의 일부 정보가 유실되는 것을 피하기 위해 2.3.1에서 찾은 번호의 위치정보를 이용하여, 번호패턴영역 정보만을 획득한 후, stretching 연산을 수행하였다[7].

#### 2.3.3 신경망 적용 번호인식

핵연료봉 표면에 새겨진 번호들은, 연료봉의 표면이 반사가 심한 금속재질로 이루어지고 번호의 인쇄상태도 불균일하여 같은 번호에 대해서도 다양한 형상이 나타날 수 있다. 번호의 인식 방법으로 템플릿 매칭방법을 적용할 수도 있으나, 열악한 입력영상으로부터 높은 인식률 결과를 안정적으로 보장하기 위해 잡음에 의한 입력의 왜곡, 변형에 비교적 강한 신경망 인식 방법을 채택하였다. 신경망의 학습효과를 높이기 위해, 4방향으로 각각 1 픽셀 시프트(shift)된 변형 패턴을 추가하고 전체 학습패턴을 임의로 섞은(shuffle) 후 학습을 수행하였다.

신경망에 사용된 파라메터는 표 1과 같다[4],[6].

표 1. 적용 신경망에 사용된 파라미터

신경망 파라미터	
망의 형태	단층 완전연결 신경망
입력층 뉴런 갯수	384개 (16X24픽셀 그레이 패턴)
출력층 뉴런 갯수	10개 (0 ~ 9)
활성함수	시그모이드 함수
활성값	0
バイ어스	1
초기 가중치	-0.1 ~ 0.1 사이의 난수
학습률	0.02
모멘텀	0
학습규칙	델타규칙

#### 2.4 적용 결과

개발된 시각시스템을 원전연료 집합체를 생산하는 국내 업체에 납품하여, 핵연료봉단 마개 1차용집공정에 적용하였다.

번호인식작업을 수행하기 위하여 생산에 투입되는 빈 연료봉으로부터 2.2 x 3.2mm의 크기를 갖는 번호패턴을 약 91세트 채집하였다.

채집된 번호패턴의 상태는 그림 5와 같이 농담이 불균일하고, 크기가 변하는 등 불량한 상태로 애칭되어 공급되는 경향으로 인하여, 번호패턴의 획이 끊어지거나, 획의 유무구분이 불분명한 현상 등을 보였다. 이것은 해당번호를 인식하기 위한 번호패턴의 기준설정부터가 난이하였고, 인식오류 가능성이 높게 나타남으로 인하여, 본 시스템은 불균일한 농담패턴에 대응하기 위하여, 그레이레벨 영상을 입력패턴으로 하는 신경망학습방법을 이용하였고, 채집된 번호패턴들은 100회 반복 학습하여 번호인식작업을 수행하였다.

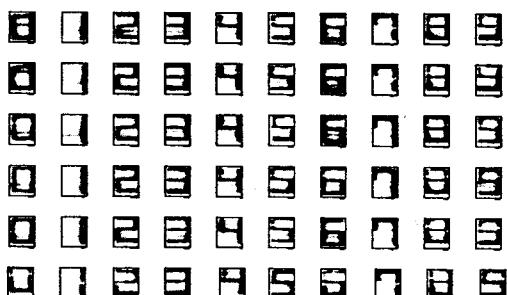


그림 5. 채집 번호 패턴 예

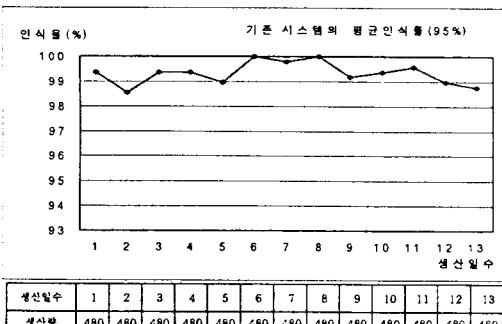


그림 6. 번호 인식률 적용 결과

적용한 결과, 그림 6과 같이 평균인식률 95%를 갖는 기준 시스템보다 약 4% 인식율이 향상된 99.33%의 평균인식율을 보였다. 이것은, 약 98%의 평균인식율을 요구한 적용처의 요구사양을 상이하여 만족시키는 결과이다.

그림 7은 개발 시각시스템의 번호학습작업화면을 보여주는 그림이다[5].

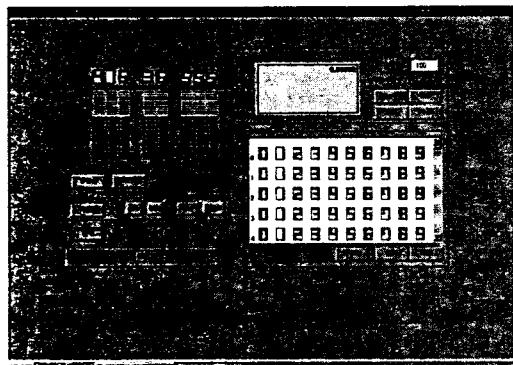


그림 7. 번호학습작업 화면

#### 3. 결 론

핵연료봉의 고유번호를 자동으로 인식할 수 있는 시각시스템을 개발하여, 국내 핵연료봉 생산업체에 적용한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

적용효과면에서, 생산업체는, 안정화된 조명시스템의 구축과 편리하고 신속한 기능 구현 등으로 인하여, 평균자동번호인식율이 95%에서 99%로 향상되었으며, 시간당 인식처리능력도 기존 시스템에 비하여 약 3배정도 향상되었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 이규봉, 안인모, 권창완, "머신비전용 최적조명장치 개발에 관한 기본 연구", 생산기술연구원 연구보고서, pp. 1-75, 1993.
- [2] 임현구, 유영기, 오춘석, "핵연료봉상에 숫자인식 장치 설계 및 인식방법", 한국정보처리학회 춘계 학술발표논문집, 제4권 1호, pp. 1084-1088, 1997.
- [3] 허종성, 이찬호, 최원혁, "로봇 시각장치 응용기술 연구", 현대중공업 마복리연구소 연구보고서, pp. 67-71, 1998.
- [4] 이상원, "학습하는 기계 신경망", Ohm사, 한슬기획, pp. 1-332, 1995.
- [5] 백정렬, 곽준기, 정도진, 성상훈, "Visual C++ 4.x Technical Programming", 삼각형, KMK 정보산업연구원, 1997.
- [6] 김상운, "패턴인식 입문", 홍릉과학출판사, 명지대학교 컴퓨터공학과, pp. 73-104, 1995.
- [7] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, pp. 580-586, pp. 595-619, 1993.