

## 사용후핵연료집합체 영상에서 핵연료봉 영상 추출방법과 색상정보의 가시화에 관한 연구

### Study on an Extraction Method for a Fuel Rod Image and a Visualization of the Color Information in a Sectional Image of a Spent Fuel Assembly

장지운\*<sup>†</sup>, 신희성\*, 윤청\*\*\*, 김호동\*

Ji Woon Jang\*<sup>†</sup>, Hee Sung Shin\*, Cheung Youn\*\*\* and Ho Dong Kim\*

**초 록** 사용후핵연료집합체 이미지 영상에서 핵연료봉 영상을 추출할 수 있는 영상처리방법과 RGB 색상 데이터를 추출하여 가시화하는 방안에 대해 연구하였다. 핵연료봉 영상 추출방법으로서 히스토그램 분석, 경계선 검출 및 RGB 색상정보를 이용하였다. 그 결과 히스토그램 분석을 통해 사용후핵연료집합체의 크기를 파악할 수 있었고 경계선 검출을 통해 사용후핵연료봉의 형상을 관측할 수 있었다. 그리고 최종적으로 color 값을 이용한 3d 입체영상을 구현함으로써 핵연료집합체 상태에 대한 다양한 분석이 이루어졌다.

**주요어:** 사용후핵연료집합체, 영상처리, 이미지 추출, 적녹청 색상

**Abstract** Image processing methods for an extraction of a nuclear fuel rod image and visualization methods of the RGB color data were studied with a sectional image of spent fuel assembly. The fuel rod images could be extracted by using a histogram analysis, an edge detection and RGB color data. In these results, a size of the spent fuel assembly could be measured by using a histogram analysis method and a shape of the spent fuel rod could be observed by using an edge detection method. Finally, a various analyses were established for status of the spent fuel assembly by realized various 3D images for the color data in an image of a spent fuel assembly.

**Keywords:** Spent fuel Assembly, Image Processing, Image Extraction, RGB Color

#### 1. 서 론

원자력발전소에서 필연적으로 발생하는 사용후핵연료집합체는 고준위 폐기물로 분류되지만 이를 안전하고 효율적으로 관리한다면 미래에 재활용이 가능한 에너지원이다. 전 세계적으로 사용후핵연료 발생 누적량이 증가함에 따라 이에 따른 관리 또한 중요한 문제로 대두되고 있으며, 저장된 사용후핵연료에 대한 검사 및 관리는 IAEA(international atomic energy agencies)의 핵물질보장조치

(safeguards) 임무 중 중요한 사항으로 간주되고 있는 실정이다[1]. 국내 사용후핵연료 발생량의 추이를 살펴보면 향후 2015년까지 10기의 원전이 추가로 건설될 예정으로 있어 원전 운영 수명을 40년으로 가정하였을 때 2055년까지 발생량은 계속 증가할 것으로 본다[2]. 아울러 이에 따른 사용후핵연료 집합체의 효율적인 관리방안이 계속 요구되고 있는 실정이다.

현재 한국원자력연구소 조사후시험시설(post irradiation examination facility: PIEF) 내에는 국내

(접수일: 2007. 3. 16, 심사완료일: 2007. 8. 9) \* 한국원자력연구원 선진핵주기시스템공학그룹, \*\* 충남대학교 컴퓨터 공학과, † Corresponding Author: Korea Atomic Energy Research Insitute, Daejeon 305-353, (E-mail: jwjang73@kaeri.re.kr)

원자력발전소에서 추출된 사용후핵연료집합체들이 일부 저장되어 있다. 사용후핵연료집합체는 원자로에서 추출된 이후에도 발생된 핵분열생성물 때문에 오랜 기간 동안 강력한 방사선과 열을 낸다. 따라서 방사선의 차폐와 열 차단을 목적으로 물로 채워진 수조에 저장하고 있는데 이 수조는 깊이 10 m에 이르고 체렌코프 방사선의 영향으로 수조 전역이 푸르스름한 빛을 발산하고 있다. 이러한 환경 하에서 수조 내에서 집합체의 위치 이동 및 집합체를 구성하는 핵연료 봉에 변화가 생길 경우 이를 확인하기 위해서는 망원경을 통한 육안관찰이나 기타 번거로운 방법을 이용해야 하고 저장된 물을 투과하여 관찰해야 하기 때문에 왜곡에 의한 오류도 발생할 수 있다. 아울러 작업자가 계속 수조 옆에서 관찰해야 하므로 방사선 피폭의 원인이 될 수도 있다.

본 연구에서는 앞서 기술한 문제점을 개선하고 저장된 사용후핵연료집합체의 효율적인 관리와 안전을 위해 집합체의 디지털 이미지를 이용하여 사용후핵연료 집합체를 구성하는 핵연료 봉의 특징을 추출할 수 있는 다양한 영상처리 기법에 관한 연구를 수행하였다.

기존의 사용후핵연료집합체에 대한 영상처리 연구는 핵연료봉의 제원추정 및 변형률 추정에 중점을 두어 수행되었고 그에 따른 다양한 영상처리 기법들을 소개하고 있다[3,4]. 기존 연구들이 gray scale 기반의 2차원적 영상처리에 중점을 둔 반면 본 연구는 기존의 연구들을 활용하면서 나아가 영상의 색상정보를 이용한 3차원적 영상구현에 대한 연구를 모색하였다. 그 방안으로서 사용후핵연료집합체 원본영상에서 RGB 색상정보를 추출하고 각 색상 채널별 profile을 분석하여 최종적으로 3D 가시화를 수행하였다. 프로그래밍 도구로서 기본적인 영상처리를 위해 Matlab Ver. 6.5를 사용하였으며, RGB 색상데이터 추출 및 가시화를 위해 PV-WAVE (precision visuals-workstation analysis and visualization environment) Ver. 8.5를 사용하였다.

**2. 핵연료 봉 영상 추출을 위한 영상처리 기법**

**2.1. 실험장치**

국내에서 지금까지 사용된 사용후핵연료집합체 제원을 보면 14×14, 16×16 및 17×17 등의 세 가지 집합체 형태가 있다. 앞서 제시된 숫자는 사용후핵

연료집합체를 구성하고 있는 핵연료 봉의 수이며 동시에 집합체의 크기를 제공하는 중요한 정보이다. 따라서 이는 사용후핵연료 집합체들을 분류하는 가장 강력한 특징이라 할 수 있다. 또한 핵연료 봉 이외의 빈 관 형태의 control rod와 실험목적으로 핵연료 봉이 뽑혀나간 자리 등이 사용후핵연료집합체들을 구분하는 중요한 특징요소라고 할 수 있다.

집합체가 저장된 수조는 서론에서 기술한 바와 같이 물 깊이가 10 m이고 두 열의 저장랙이 있다. 고리 1, 2 호기와 울진 1, 2호기의 사용후핵연료 집합체 8개가 상부 노즐이 제거된 상태로 컨테이너에 담겨져서 이 저장랙에 장전되어 있다[5]. Fig. 1에 사용후핵연료 집합체의 영상을 획득한 전체 시스템을 나타내었고 Fig. 2에 저장랙에 장전된 집합체를 나타냈다. 본 연구의 실험대상인 사용후핵연료집합체는 명칭이 K23이고, 울진 원자력발전소로부터 2001년 5월 15일에 인출된 것으로 가로와 세로에 장착된 핵연료봉의 개수 각각 17개씩인 17×17의 크기를 가지고 있다.

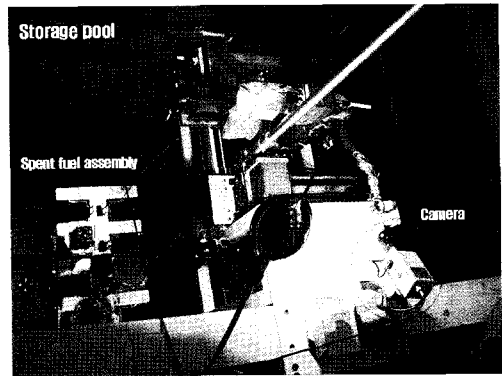


Fig. 1 Experiment system for image processing

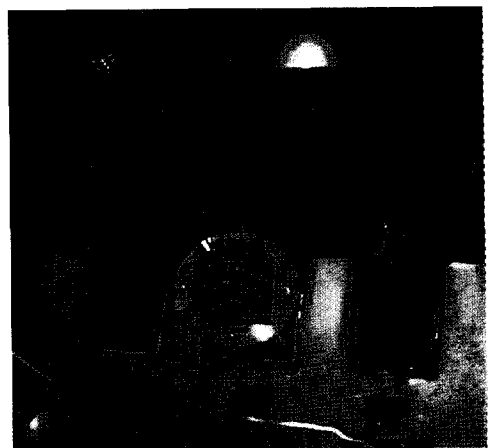


Fig. 2 K23 assembly in the PIEF pool

2.2. 영상처리 알고리즘

사용후핵연료집합체 영상에서 핵연료봉의 특징을 추출하기 위한 영상처리 전체적인 알고리즘은 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 입력된 집합체 영상은 gray scale 이미지로 변환되고 핵연료봉의 검출이 용이하도록 intensity transformation 혹은 역상 이미지 과정을 거친다. 이후 intensity transformation이 이루어진 영상의 히스토그램을 관찰하여 히스토그램 평활화를 수행한다. 이후 morphology method를 이용하여 그레이 영상의 침식 및 팽창연산을 수행한다.

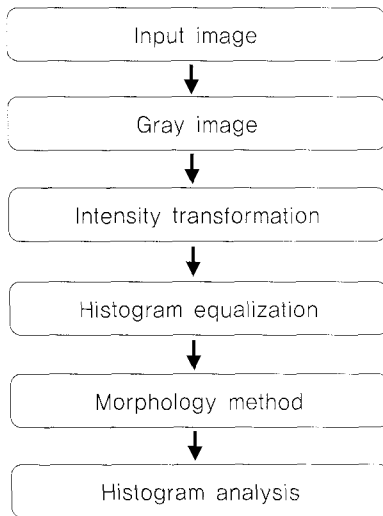


Fig. 3 Total algorithm for image processing

영상처리에 사용된 원본영상은 2560×1920 크기의 JPEG파일(Fig. 4)이며, 영상처리에 적합하도록 500×500 크기로 resizing(Fig. 5)하였다.

2.3. Intensity Transformation과 Histogram Equalization

사용후핵연료집합체가 저장된 수조의 조명조건은 균일하지만 관심영역인 핵연료 봉이 노출된 상부 영역은 Fig. 5에서 보는 바와 전체적으로 밝기 분포가 어두운 쪽으로 치우쳐 있다. 따라서 Matlab에서 제공하는 intensity transformation 함수를 이용하여 영상전체의 명도 값을 밝은 쪽으로 전환시키는 방법을 채택하였다[6]. 먼저, resizing된 500×500 이미지를 0에서 255의 명도 값을 갖는 그레이 이미지로 변환시키고 그 결과를 Fig. 6에 제시하였다.

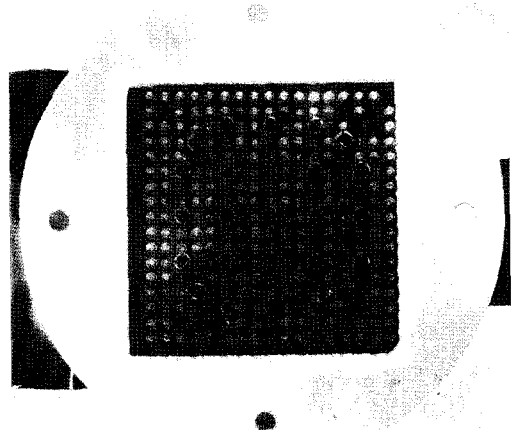


Fig. 4 Original image (2560×1920 jpeg)

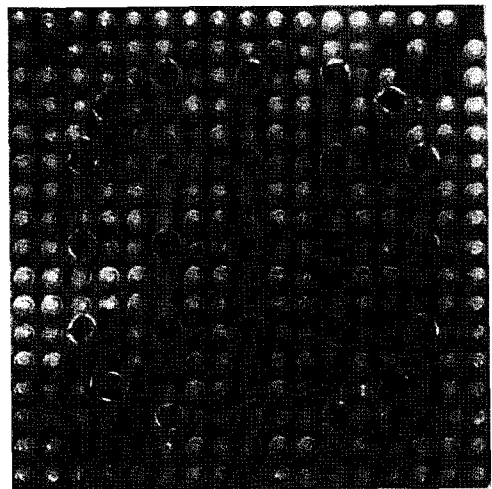


Fig. 5 Resizing image(500×500 jpeg)

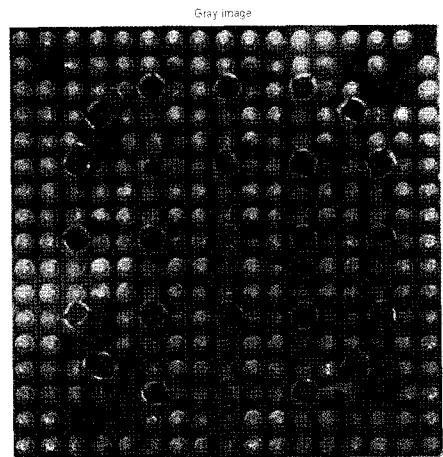


Fig. 6 Gray image for a input image

Fig. 6에서 보는 바와 같이 gray scale로 변환된 이미지 역시, 핵연료 봉이 존재하는 영역의 명암은 전체적으로 어둡고 Fig. 7에서 제시한 바와 같이 히스토그램 분석 결과 역시 명도 값이 낮은 쪽에 많이 분포되어 있음을 확인할 수가 있다.

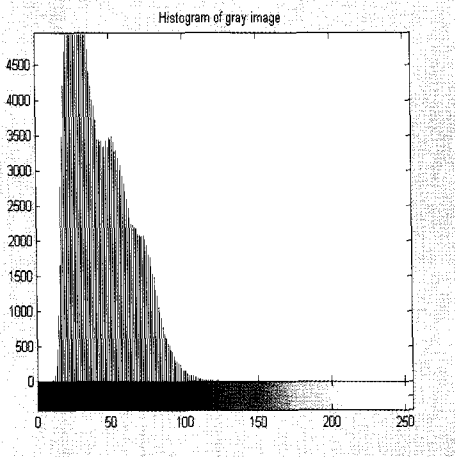


Fig. 7 Histogram for the gray image

Gray scale로 변환된 영상을 잘 관찰하면 핵연료 봉이 존재하는 영역은 그렇지 않은 영역에 비해 상부로 돌출되어 있고 빛의 반사로 인해 좀 더 밝음을 알 수가 있다. 이를 응용하여 intensity transformation하거나 역상 이미지를 만들면 핵연료 봉이 있는 영역은 좀 더 명확해 질 수 있다. 식 (1)에 그레이 영상을 역상 이미지로 전환할 수 있는 수식을 나타내었다. 또한, 식 (2)에 matlab에서 제공하는 intensity transformation 함수를 나타내었다.

$$g(x, y) = 255 - f(x, y)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, 499$$

$$y = 0, 1, 2, \dots, 499$$

(1)

$$g(x, y) = imadjust(f(x, y), [low_{input}, high_{input}], [low_{out}, high_{out}])$$

(2)

여기서,  $g(x, y)$ 는 출력영상,  $f(x, y)$ 는 입력영상,  $low_{input}$ ,  $high_{input}$ 은 입력영상에서의 intensity value 및  $low_{out}$ ,  $high_{out}$ 은 변환되어 출력될 intensity value를 나타낸다. 따라서 intensity transformation 함수를 사용할 경우  $imadjust(f, [0, 1], [1, 0])$ 로 하면 식 (1)의 경우와 마찬가지로 역상 이미지를 구할 수가 있다.

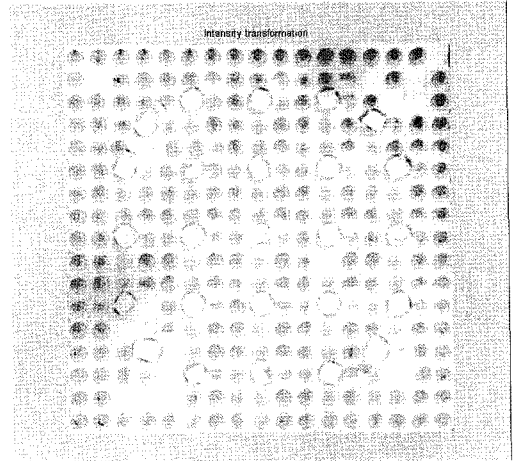


Fig. 8 Negative image for the gray image

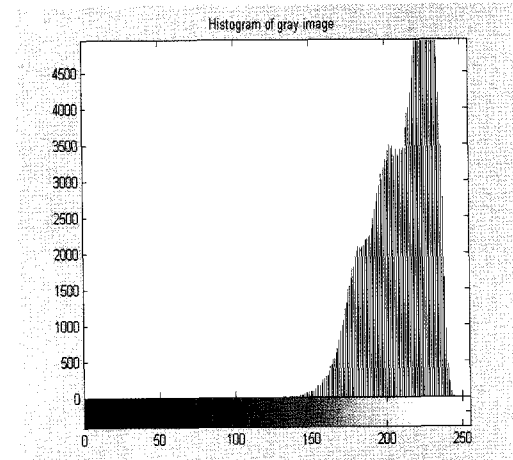


Fig. 9 Histogram for the negative image

Fig. 8과 Fig. 9에 gray scale 영상으로부터 intensity transformation한 결과 영상과 그에 대한 히스토그램을 제시하였다. Fig. 8과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 앞서 제시한 그레이 영상에 비해 핵연료 봉의 영상이 확연히 드러났고 이미지의 명암 분포도 밝은 쪽으로 분포되어 있음을 확인할 수가 있다. 히스토그램의 평활화(histogram equalization)는 낮은 명암대비를 가지는 영상을 높은 명암대비를 가지는 영상으로 전환하여 결과영상에 반영하는 작업이다. 히스토그램 평활화는 단지 명암 값의 분포를 재분배 즉 각 명암 값에 따른 세로 막대의 위치가 수평방향으로 변화하고 반면 그 높이는 변하지 않는다. 또한 빈도수가 0보다 큰 명암 값의 계수도 증가하지 않는다. 이 작업을 통하면 영상의 밝고 어두운 부분이 골고루 영상전체에 퍼지는 효과를 주므로 어두운 부분에 가려진 영상이 도출될 수가 있다.

Fig. 10과 Fig. 11에 역상 이미지를 히스토그램 평활화를 수행한 결과 영상과 그에 대한 히스토그램을 나타내었다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 핵연료봉에 대한 영상이 더욱 뚜렷해 졌고 Fig. 11에서 보는 바와 같이 히스토그램 역시 높은 명암대비를 가지는 영상으로 전환되었음을 확인할 수가 있다.

#### 2.4. Gray 영상에서의 형태처리 모폴로지

Gray 영상에서의 모폴로지 기법 적용은 침식, 팽창, 제거, 채움의 4가지 방법에 근간을 둔다. 기본적인 연산결과는 모두 비슷한 과정을 따른다. 이진 영상에서의 모폴로지와 다른 점은 원영상의 그레이 값에서 바로 모폴로지를 적용한다는 점과 픽셀끼리의 비교가 아니라 픽셀들의 명도 값 크기로 결과영상을 결정한다는 점이다. 예로서 gray 영상에서의 침식연산은 모든 픽셀을  $-255 \sim 0$ 까지 변화시켜서 mask를 구성할 수 있다.  $-255$ 에 가까운 값으로 마스크를 구성하면 더욱 분명한 침식 효과를 볼 수 있다.

침식 영상의 특징은 이진 영상의 침식 영상과 같이 배경이 확장되어 흰색 물체의 축소로 영상을 어둡게 만든다. 침식연산의 방법은  $3 \times 3$  영역의 픽셀 단위 연산을 수행하는데 9개의 픽셀 중 가장 작은 명도 값을 가진 픽셀이 결과 영상의 명도 값으로 결정된다. 이와 반대로 9개 픽셀 중 가장 높은 명도 값을 가진 픽셀이 결과 영상의 명도 값으로 결정되는 것이 팽창연산이다. Fig. 12에 핵연료집합체의 그레이 영상에 팽창연산과 침식연산을 수행한 결과를 나타내었다.

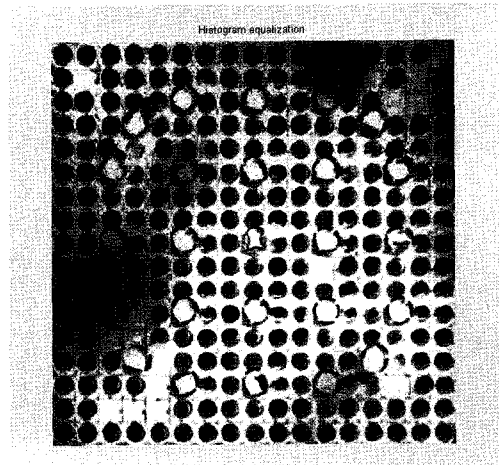


Fig. 10 Gray image after histogram equalization

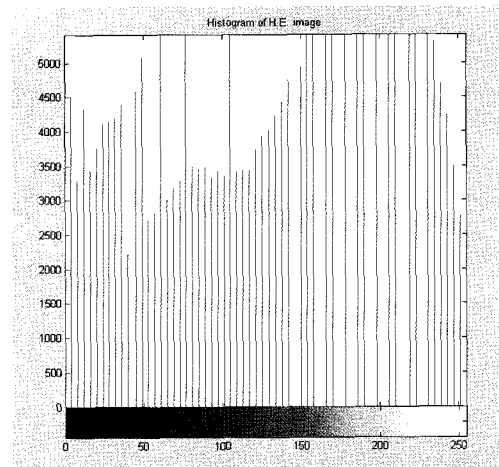


Fig. 11 Histogram for the gray image after histogram equalization

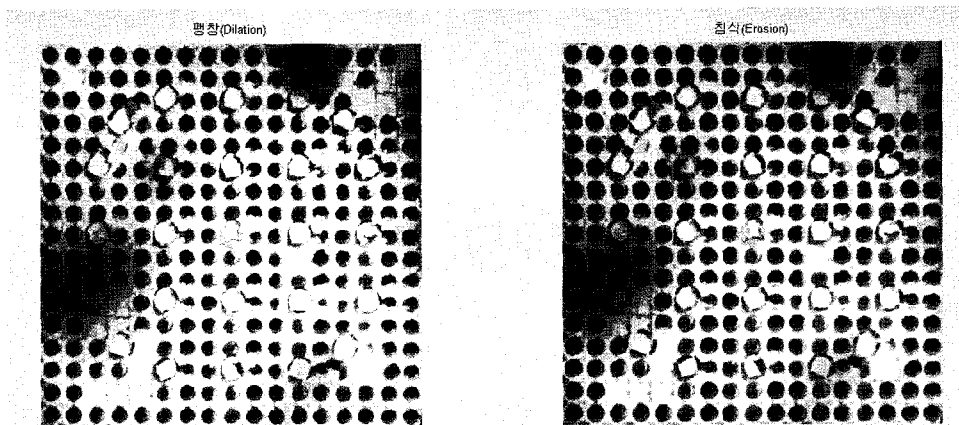


Fig. 12 Dilation and erosion images for a gray image of the K23 assembly

2.5. 히스토그램 분석

히스토그램은 앞서 여러 차례 분석했던 바와 같이 영상의 가장 중요한 정보를 담고 있으며, 영상의 명도 값에 대한 프로필을 반영하는 유용한 도구이다. 또한 이미지의 관심물체와 배경물체를 골과 마루의 형태로 구분하여 분석할 수 있어 영상분할에서 가장 강력한 도구로 사용될 수 있다. 따라서 앞서 모폴로지 기법으로 침식연산을 수행한 사용후핵연료집합체 이미지를 기반으로 수직과 수평 성분으로 나누어 누적된 명도 값을 측정하였다 핵연료집합체 영상의 좌표를  $x, y$ 라고 하면 각각의 수직, 수평성분에 대한 누적된 명도 값을 식 (3)으로서 계산되어진다.

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{i=0}^{199} row(i), 0 \leq row(i) \leq 255, 0 \leq x \leq 499 \\ f(y) = \sum_{i=0}^{199} col(i), 0 \leq col(i) \leq 255, 0 \leq y \leq 499 \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $row(i)$ 는  $i$  번째 행에서의 명도 값,  $col(i)$ 는  $i$  번째 열에서의 명도 값을 나타내고 0에서 255의 값을 가진다. 식 (3)을 이용하여 산출된 누적 명도 값을 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 13에서 보는 바와 같이 핵연료 봉이 존재하는 행과 열의 peak를 계수하면 17개의 피크가 존재함을 알 수가 있고 핵연료 봉이 뿔어나간 자리(흰 사각형) 혹은 control rod(고리 형태)가 존재여부에 따라 피크의 높이가 달라짐을 알 수가 있다.

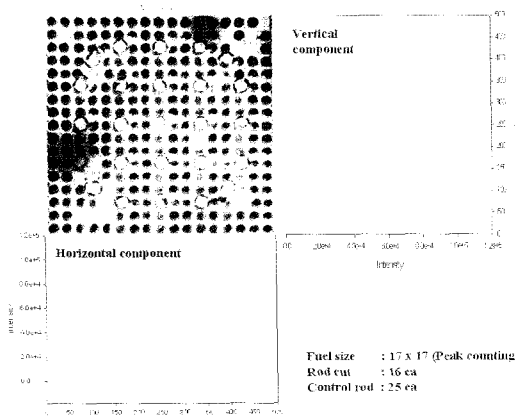


Fig. 13 Multi histogram analysis for a erosion image of spent fuel assembly

2.6. 색상정보를 이용한 영상 판별

Color 영상은 gray 영상과 달리 색상으로 표현하는 정보가 많이 포함되어 있으며, Fig. 14에서 보는 바와 같이 영상내의 각 픽셀의 색상과 적녹청(RGB) 3개 값의 조합으로 결정된다. 색상 정보를 추출하기 위해 본 연구에서 사용된 프로그래밍 언어는 PV-WAVE 이다. 이 프로그램은 4 세대 언어로서 C 언어나 포트란보다 사용하기 편리하며, 특히 그래픽 기능이 뛰어나다. 수학과 통계 IMSL(international mathematical and statistical libraries)을 내장하고 있어 고급적인 알고리즘을 필요로 할 때 이 기능들을 이용하면 편리하고, C언어나 포트란으로 작성된 프로그램 코드를 켜파일하는 기능과 가시화(visualization) 기능이 있어 여러모로 유용한 언어이다. 또한 PV-WAVE에 내장된 navigator 기능을 이용하면 복잡한 코딩작업 없이 파일 입출력 및 그래프 plotting을 수행할 수가 있어 즉각적인 결과분석이 가능하다.

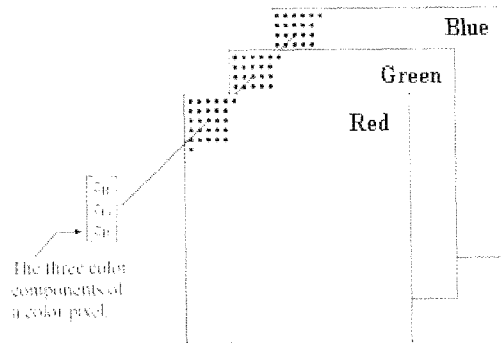


Fig. 14 RGB components in a color image

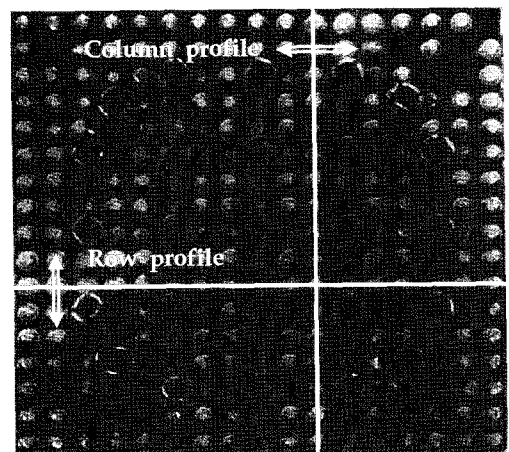


Fig. 15 Color profile scanning

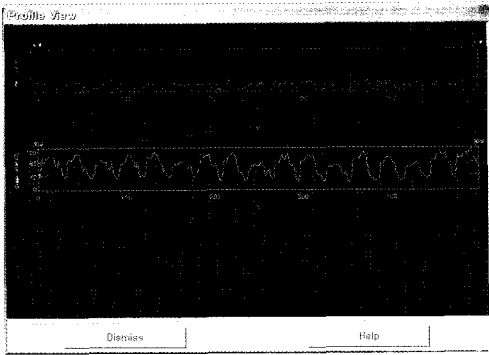


Fig. 16 Row scanning result (Rod:17)

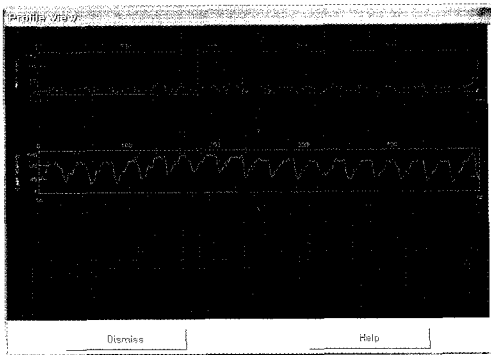


Fig. 17 Column scanning result (Rod:17)

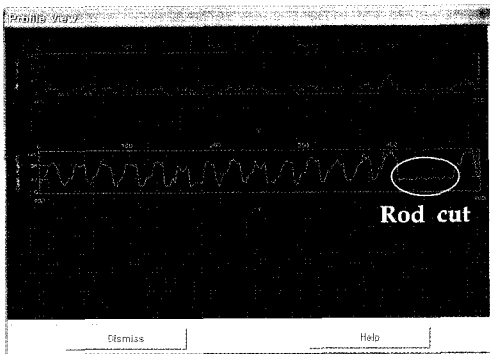


Fig. 18 Row scanning result (Rod cut:2)

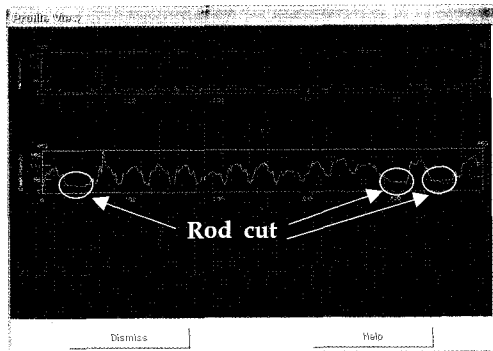


Fig. 19 Column scanning result (Rod cut:3)

Color 영상에서 RGB 데이터를 추출하기 위해 PV-WAVE의 navigator 기능을 이용하여 영상 데이터를 읽고 이를 윈도우 상에 로드시켰다[7]. 그리고 Fig. 15에서 보는 바와 같이 profile 라인을 이용하여 행과 열 방향으로 스캐닝을 수행하면서 RGB 색상 데이터를 관찰하였다.

Profile 라인이 장착된 핵연료봉의 행과 열의 중심을 통과할 때 색상 데이터의 결과를 캡처하여 Fig. 16 ~ 19에 나타내었다. Fig. 16과 Fig. 17은 profile 라인이 17개의 핵연료 봉이 모두 장착된 위에서 각각 행 방향과 열 방향으로 scanning한 결과를 나타낸다. Fig. 16과 Fig. 17에서 보는 바와 같이 핵연료 봉에 대응되는 color 값의 피크가 정확히 집합체 사이즈와 일치하며 특히 green 성분의 color 값은 red와 blue 성분의 color 값보다 상대적으로 뚜렷한 피크를 형성하고 있다.

결과영상에서 Fig. 18과 Fig. 19는 핵연료 봉이 빠진 행과 열을 scanning 결과를 나타낸다. Fig. 18과 Fig. 19에서 보는 바와 같이 핵연료가 빠진 개수와 피크의 개수가 정확히 일치하고 있다.

## 2.7. 핵연료 봉에 대한 경계선 검출

경계선은 이미지 내에서 경계를 나타내는 특징으로서 픽셀 밝기의 불연속적인 점을 나타낸다. 즉, 경계선은 픽셀의 밝기가 갑작스럽게 변화하는 점을 말하며, 이미지 내에서 물체의 윤곽과 대응된다. 따라서 경계선을 잘 추출하면 물체의 위치, 모양, 크기, 표면의 무늬까지 파악할 수가 있다.

본 연구에서는 기존에 많이 사용된 sobel 필터를 이용한 경계선 검출과 RGB 색상정보에서 green 성분 데이터만을 추출하여 contour graph를 작성함으로써 경계선을 검출하는 방식에 대해 연구해 보았다. Sobel 필터는 비선형 연산자로서 사용하는 mask window 영역에서 양 끝단에 속한 화소들 사이의 합의 차이를 구한 후 이를 수평과 수직 방향에 대하여 평균 크기를 구함으로써 에지 부분을 강조하는 역할을 한다. Sobel 필터는 보통 3×3로 정의되고 수평과 수직방향에 대한 회전 마스크는 Fig. 20과 같다. Sobel 필터를 이용하여 경계선을 검출한 결과를 Fig. 21에 나타내었다. Fig. 21에서 보는 바와 같이 비교적 핵연료 봉에 대한 경계선 검출이 잘 이루어졌다. 특이할 만한 사항으로서 경계선 검출이 이루어진 핵연료 봉 형상은 도넛 모양

을 하고 있다는 것이다. 이는 실제 핵연료 봉 끝 단면에 굴곡이 있다는 것을 의미하고 장착된 핵연료 봉 진위여부를 판단할 수 있는 중요한 정보라고 할 수 있다.

경계선 검출의 다른 방안으로 2.6절에서 분석한 color profile 중 핵연료 봉을 가장 잘 내변하는 색상 데이터를 수치화하여 contour graph를 도식화하였다. 앞서 2.6절 Fig. 16 ~ 19에서 보는 바와 같이 RGB 색상성분 중 green 성분에 해당하는 데이터가 핵연료 봉을 가장 잘 나타내고 있음을 알 수가 있고 이 데이터를 기준으로 가로 및 세로 픽셀 수를 x, y축로 하고 green 성분의 색상 값을 높이 레벨로 하는 contour graph를 Fig. 22와 Fig 23에 제시하였다. Fig. 22와 Fig. 23은 green 성분의 색상 값을 높이 레벨로 각각 2와 5로 설정하였을 때의 그림이다. Fig. 22와 Fig. 23에서 보는 바와 같이 핵연료봉의 경계선을 잘 표현하고 있음을 알 수가 있고, 다소 번거로운 filtering 처리 없이 경계선 검출이 가능함을 확인할 수 있었다.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1
1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

Fig. 20 Convolution mask(3×3) for the sobel filter

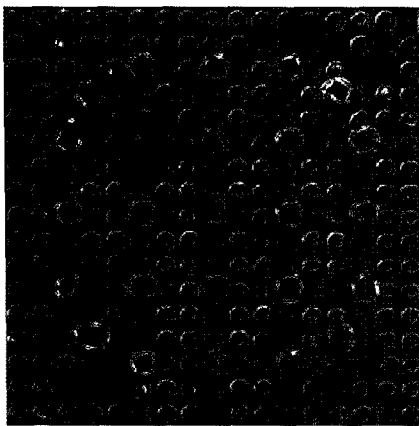


Fig. 21 Edge detection using the sobel filter

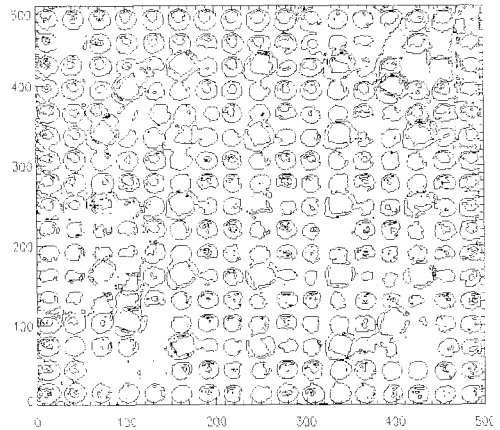


Fig. 22 Contour graph using green color data (High levels: 2)

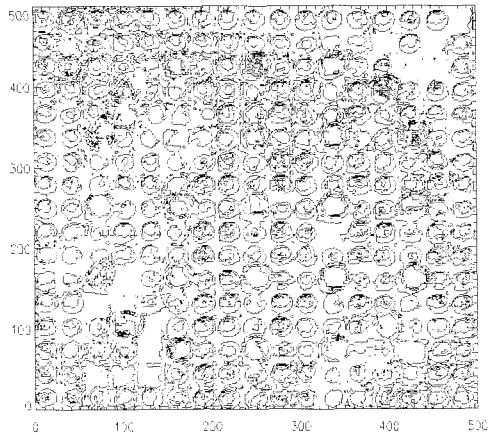


Fig. 23 Contour graph using green color data (High levels: 5)

### 3. 색상데이터를 이용한 3차원 가시화

사용후핵연료집합체 영상에서 green color에 대한 데이터를 2차원 배열로 저장하여 color 값을 z축으로 하는 3차원 입체 영상을 구현하였다. 또한 z축에 해당하는 color data를 사용자가 쉽게 인지할 수 있도록 사용자 정의형태의 색상 테이블을 구성하고 그 색상 값을 3차원 영상에 입혔다. 입체 영상의 구성은 PV-WAVE 내에서 제공하는 VTK(visualization tool kit)를 이용하였다. VTK은 OpenGL을 이용하는 3D 도구로써 그래픽 합성, 영상처리, 3차원 데이터 가시화의 기능을 제공하는 소프트웨어 라이브러리이다. 또한 사용자가 윈도우 상에서 마우스의 드래그 혹은 스크롤과 같은 조작



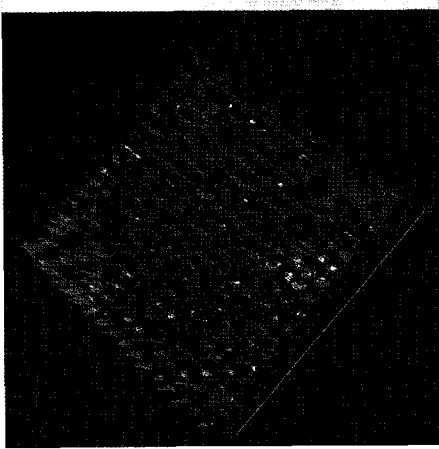


Fig. 24 Front view for 3D image of green color data Fig. 25 Rear view for 3D image of green color data



Fig. 26 Zoom in view for 3D image for green color data

만으로도 영상의 회전 확대 및 축소가 가능하여 세밀한 분석이 가능하다.

VTK를 이용하여 green color 데이터를 입체영상으로 구현한 결과를 Fig. 24 ~ 25에 나타내었다. Fig. 24와 Fig. 25는 각각 마우스 조작을 통해 3D 영상의 전면과 후면을 살펴본 결과이고 그림에서 보는 바와 같이 color 값이 낮은 점에서 높은 점으로 이동할 경우 붉은색에서 푸른색으로 변하는 것을 확인할 수가 있다. 또한 핵연료 봉이 뿔처럼 나간 지리의 color 값은 핵연료 봉이 존재하는 color 값보다 상대적으로 낮기 때문에 붉은색을 띄며 쉽게 판별할 수가 있다. 3D 영상을 확대하면 더욱 명확한 결과를 관찰할 수가 있는데 Fig. 26에서 보는

바와 같이 핵연료 봉이 장착된 곳은 shading된 색상이 짙은 원뿔의 형상을 이루고 있음을 확인할 수가 있다.

#### 4. 결론

원자력발전소에서 필연적으로 발생하는 사용후핵연료집합체의 단면 영상에서 핵연료 봉을 추출할 수 있는 영상처리기법에 대한 연구와 색상정보에 대한 분석 및 가시화에 대한 연구를 수행하였다. 핵연료 봉 추출기법으로서 핵연료집합체의 gray 영상을 기반으로 역상 이미지를 만들고 히스토그램 활성화를 통해 높은 명암대비를 갖는 gray 영상으로

전환시켰다. 그리고 형태처리 모폴로지 기법 중 침식연산을 통해 관심대상인 핵연료 봉을 시각적으로 명확히 추출할 수 있었다. 또한 RGB 색상정보를 추출하여 개별적인 핵연료 봉에 대한 색상 피크를 측정할 수가 있었다. 핵연료 봉 경계선 검출을 통해 핵연료 크기 및 형상을 파악할 수 있었고 색상정보를 이용한 contour 그래프가 경계선 검출의 다른 방안이 될 수 있는 가능성을 확인하였다. 최종적으로 색상데이터를 이용하여 3D 입체 영상을 구현하였다.

본 연구를 통해 핵연료집합체 이미지를 이용하여 다양한 영상처리 방안을 제시했다고 판단되며, 시각적이고 직관적인 영상을 제공했다고 판단된다. 향후 다양한 핵연료집합체를 대상으로 실험을 수행할 예정이며, 각각의 집합체에 대한 영상처리 결과에 대한 데이터베이스화를 추진할 계획이다.

#### 참고문헌

- [1] Clark S. Lindsey, Thomas Lindblad, Karina Waldemark and Lars Hildingsson, "Nuclear fuel assembly assessment project and image categorization," Ninth Workshop on Virtual Intelligence/Dynamic Neural Networks, Vol. 3728, PP. 491-499, (1999)
- [2] 조동진, 최종원, "국내 사용후핵연료 현황 분석", Proceeding of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 2(1), PP. 261-267, (2004)
- [3] 이원상, 구대서, 민덕기, 김은가, 이용법, "핵연료봉 제원측정을 위한 영상처리 소프트웨어 개발", 한국원자력연구소 기술보고서, TR-936/97, pp. 3-10, (1997)
- [4] 구대서, 민덕기, 김은가, 이원상, 이용법, "영상처리방법에 의한 핵연료 집합체의 제원측정시험기술개발", 한국원자력연구소 기술보고서, TR-1082/98, pp. 1-5, (1998)
- [5] 신희성, 이상윤, 김길수, 엄성호, 노성기, 서기석, "지수실험장치의 구성 및 성능시험", 한국원자력연구소 기술보고서, TR-2199/2002, pp. 34-37, (2002)
- [6] 김현수, 엄두섭, 추현승, 홍충선, "Mastering MATLAB7," 대광서림, pp. 531-540, (2006)
- [7] Visual Numerics Inc., "Procedure and Function Reference," PV-WAVE Reference Guide, (2005)