

# 산업용 CT 볼륨데이터에서 템플릿 매칭을 통한 이물질 자동 검출

지혜림<sup>†</sup>, 홍헬렌<sup>\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 산업용 CT 볼륨데이터에서 템플릿 매칭을 통하여 제품의 이물질을 자동 검출하는 기법을 제안한다. 제안방법은 다음과 같은 세 단계로 이루어진다. 첫째, 다운 샘플링 데이터에서 잡음제거 후 제품을 배경과 분리하고, 영상의 평균값 및 표준편차를 이용하여 초기 이물질 후보를 추출한 후, K-평균 클러스터링을 이용하여 이물질 후보를 추출한다. 둘째, 템플릿 매칭을 이용하여 제품과 유사도가 다른 이물질을 검출한다. 이 때, 검출하고자 하는 이물질의 크기에 따라 밝기값평균차이(SSD)와 조인트 엔트로피를 이용한 유사도 평가를 통하여 이물질을 검출한다. 셋째, 원 볼륨데이터에서 이물질 검출률을 개선하기 위하여 여과기법으로 제품의 이물질을 최종 검출한다. 본 제안 방법의 결과를 평가하기 위해 산업용 CT 볼륨데이터와 시뮬레이션 데이터를 사용하여 육안평가, 정확성 평가와 수행시간 측정을 수행하였다. 정확성 평가를 위하여 기존 밝기값 기반 검출 기법을 비교방법으로 사용하고, 다이스 계수 유사도를 측정하였다.

## Automatic Detection of Foreign Body through Template Matching in Industrial CT Volume Data

Hye-Rim Ji<sup>†</sup>, Helen Hong<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

In this paper, we propose an automatic detection method of foreign bodies through template matching in industrial CT volume data. Our method is composed of three main steps. First, down-sampling data, the product region is separated from background after noise reduction and initial foreign-body candidates are extracted using mean and standard deviation of the product region. Then foreign-body candidates are extracted using K-means clustering. Second, the foreign body with different intensity of product region is detected using template matching. At this time, the template matching is performed by evaluating SSD or joint entropy according to the size of detected foreign-body candidates. Third, to improve the detection rate of foreign body in original volume data, final foreign bodies are detected using percolation method. For the performance evaluation of our method, industrial CT volume data and simulation data are used. Then visual inspection and accuracy assessment are performed and processing time is measured. For accuracy assessment, density-based detection method is used as comparative method and Dice's coefficient is measured.

**Key words:** Industrial CT Image(산업용 CT 영상), Nondestructive Testing(비파괴검사), Inspection of Foreign body(이물질 검사), Automatic defect detection(자동 결함 검출)

※ 교신저자(Corresponding Author): 홍헬렌, 주소: 서울시 노원구 화랑로 621 서울여자대학교 정보미디어대학 멀티미디어학과(139-774), 전화: (02) 970-7812, FAX: (02) 970-5981, E-mail: hlhong@swu.ac.kr

접수일: 2013년 9월 3일, 수정일: 2013년 10월 1일

완료일: 2013년 10월 21일

<sup>†</sup> 서울여자대학교 멀티미디어학과

(E-mail: hyerim@swu.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 서울여자대학교 멀티미디어학과

※ 본 논문은 지식경제 기술혁신사업(3차원 투과 영상 기반 제품 검사 플랫폼 기술 개발, 산업원천기술개발사업, No. 10035474)의 지원을 받았음. 본 논문에서 사용한 산업용 CT 데이터를 제공해주신 한국생산기술연구원 주조기술센터 유승목박사님, ㈜쓰리디산업영상김규년사장님께 감사의 말씀을 전합니다.

## 1. 서 론

이물질(foreign body)은 본래의 재료 속에 다른 물질이 혼입되거나 금속을 만드는 중에 부주의로 인하여 다른 물질이 들어가 매몰된 것으로 금속의 제조 공정 과정 중에 발생한다[1]. 이와 같이 제품 외 다른 물질의 혼입으로 인해 발생한 이물질은 제품의 불량률을 높일 수 있으므로 정확하게 검출하는 것이 필요하다.

기존 이물질 검출 방법은 표면 육안 검사와 비디오, 카메라, 서모그라피(Thermography)와 같은 영상을 이용하여 검출하는 방법과 X-선 영상 또는 초음파 영상을 이용하여 제품표면과 내부의 이물질을 검출하는 방법이 있다. 표면 육안 검사의 경우 내부 불량을 검출하기 어려울 뿐 아니라, 검출하는 전문가의 경험, 기술 정도, 영상의 질에 많은 영향을 받는 한계점이 있다[2,3].

Ishii[4] 등은 병 안에 들어있는 이물질을 검출하기 위해 병의 내부를 촬영한 비디오 영상에서 전후 프레임간의 차영상을 이용하여 사용자가 수동으로 설정한 임계값으로 이물질을 검출하였다. 카메라 영상을 이용하여 이물질을 검출하는 방법으로 Yang[5]등은 섬유를 촬영한 영상에서 비선형 구분 변환 모델(piecewise nonlinear transform model)을 이용하여 영상을 강화한 후 otsu's 임계값 방법과 형태학적 닫힘 연산자를 이용하여 이물질을 검출하였다. Ginesu[6] 등은 곡물이 포장되기 전에 곡물과 함께 섞여 있는 이물질을 검출하기 위해 온도패턴을 영상화하는 서모그라피를 이용하여 곡물을 촬영하고, 이물질을 검출하였다. 촬영된 영상의 밝기값히스토그램을 분석하여 밝은 밝기값을 갖는 이물질 후보군을 검출한 후 이물질 밝기값을 이용한 평균표준편차 거리(mean and standard deviation distance)와 절대오류 거리(integral absolute error distance)를 통하여 이물질 거리(foreign body distance)를 계산하고 최종 이물질을 검출하였다. 이와 같이 표면 촬영이 가능한 2차원 영상을 이용하여 이물질을 검출할 경우 제품 내부에 혼입되어 발생하는 이물질을 검출하지 못하는 한계점이 있다.

제품 내, 외부의 이물질을 검출할 수 있는 영상장비를 이용한 검사 방법은 수동 검출 방법과 자동 검출 방법으로 나눌 수 있다. 수동으로 이물질을 검

출하는 기법으로 Haff[7] 등은 농산품을 촬영한 X-선 영상을 이용하여 수동으로 이물질을 검출하였고, Schlager[8] 등은 이물질을 종류별로 혼입하여 제작한 실험데이터에 초음파를 보낸 다음, 되돌아오는 초음파를 실시간으로 영상화하여 이물질을 수동으로 검출하였다. 수동으로 이물질을 검출할 경우 영상 분석 전문가가 요구되고 전문가에 따라 결과 해석의 차이가 발생할 가능성이 있다. 자동으로 이물질을 검출하는 기법으로 Kwon[9] 등은 포장된 식품의 X-선 영상을 서브-블록으로 나누고 각 블록의 평균값으로 다운샘플링을 수행한 후 선형보간법으로 업샘플링(up-sampling)을 수행하여 평균값 영상을 생성한다. 생성된 평균값 영상과 원 영상의 차영상에서 임의의 임계값보다 작으면 0을 산출함으로써 제로 평균 영상(zero mean image)을 생성한다. 생성된 제로 평균 영상의 가우시안 모델을 생성하고 사용자가 정한 임의의 임계값을 이용한 임계값 기법으로 포장된 식품의 이물질을 검출 하였다. Kim[10] 등은 재활용 병의 X-선 영상에서 오츠임계값기법(Otsu thresholding)과 평균값 필터를 이용하여 전처리 과정을 수행하고, 인접 픽셀과의 밝기값 비교를 이용하여 이물질을 검출하였다. X-선을 이용하여 자동으로 이물질을 검출할 경우 한 장의 투영평면영상을 이용하기 때문에 이물질의 공간적인 위치를 알기 어렵고, 자동으로 검출할 경우 데이터에 따라 밝기값 범위가 다양하여 이물질 검출이 어려운 한계점이 있다.

본 논문에서는 산업용 CT를 이용하여 획득한 볼륨데이터에서 템플릿 매칭을 통해 제품의 이물질을 자동으로 검출하는 기법을 제안한다. 본 제안 방법은 다운 샘플링 볼륨데이터와 원 볼륨데이터를 기반으로 제품을 배경으로부터 분리하여 제품부위를 한정시키고, K-평균 클러스터링기법으로 이물질 후보를 추출한 후, 템플릿 매칭 기법(template matching)을 이용하여 이물질 검출 결과의 민감도(specificity)를 개선시켰다. 또한 원 볼륨데이터에서 여과기법을 수행하여 최종 이물질을 검출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 밝기값 기반 검출 방법 및 템플릿 매칭기법을 이용한 이물질 검출 기법을 설명하고 3장에서는 본 제안방법을 적용한 결과의 육안평가와 정확성 평가 그리고 수행시간을 분석하며 마지막으로 4장에서는 본 논문에서 제안한 이물질 검출에 대한 결론으로 맺는다.

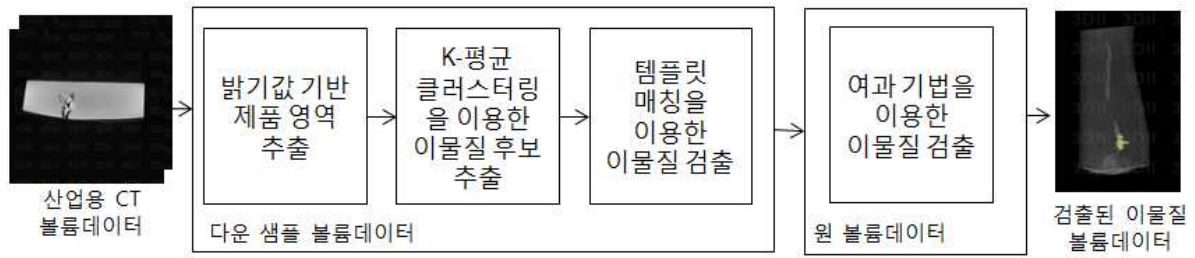


그림 1. 산업용 CT 볼륨데이터에서 이물질 검출을 위한 제안방법의 순서도

2. 템플릿 매칭을 통한 자동 이물질 검출

본 논문에서는 그림 1과 같이 산업용 CT 볼륨데이터에서 밝기값 및 재질정보를 이용한 이물질 검출 기법을 제안한다. 첫째, 제품을 배경으로부터 분리하여 관심부위를 제품으로 한정시키고, K-평균 클러스터링 기법을 이용하여 이물질 후보를 추출한다. 둘째 SSD(Sum of Squared-Difference)와 조인트 엔트로피(joint entropy)를 유사도 평가로 한 템플릿 매칭 기법으로 이물질을 검출한다. 셋째, 원 볼륨데이터에서 여과 기법을 이용하여 최종 이물질을 검출한다.

2.1 밝기값 정보를 이용한 이물질 후보 추출

본 논문에서 이물질은 제품과 다른 물질이 혼합된 것으로 산업용 CT 볼륨데이터에서 높은 밝기값 특성을 갖는 물질이며 이물질 대부분의 영역이 제품보다 밝은 밝기값을 가지므로 밝기값 정보를 이용하여 이물질 후보를 검출한다. 이 때, 데이터의 밝기값 분포에 따라 제품의 이물질 후보 검출에 영향을 받으므로 이물질 후보를 견고하게 검출하기 위한 방법이 필요하다.

산업용 CT 볼륨데이터는 원형 모양의 링 또는 금속 인공물과 같은 잡음이 있어 이물질 검출에 영향을 줄 수 있으므로 식(1)과 같은 비등방성 확산 필터링(anisotropic diffusion filtering)을 적용하여 제품 내부에 존재하는 링 및 금속 인공물은 제거하고 제품의 경계선 정보를 유지한다[11].

$$I_t = \text{div}(c(x, y, z)\nabla I) = \nabla c \cdot \nabla I + \nabla c(x, y, t)\Delta I$$

$$c\|\nabla I\| = \frac{1}{1+(\frac{\|\nabla I\|}{k})^2} \tag{1}$$

이 때,  $\text{div}(\cdot)$ 는 발산(divergence)연산자,  $\Delta$ 와  $\nabla$ 는 각각 라플라시안(laplacian)과 기울기(gradient) 연산자를 의미한다.  $c(x, y, t)$ 는 시간  $t$ 에서  $(x, y)$

좌표의 확산계수로 데이터의 기울기 함수가 사용되고, 해당 계수 값 이상의 기울기 정보는 유지하는 역할을 한다.  $k$ 는 에지의 민감도를 조절하는 상수로  $k$  값이 커질수록  $k$  값이 작을 때 보다 상대적으로 많은 잡음이 제거되지만 영상이 많이 다듬어져 크기가 작거나 두께가 얇은 이물질의 경우 제거 될 수 있다. 따라서  $k$  값은 실험을 통하여 잡음이 제거되면서 작은 이물질은 유지가 될 수 있는 상수인 5000으로 설정한다.

일반적으로 산업용 CT 볼륨데이터는 1GB이상의 데이터 크기를 가지므로 볼륨데이터를 처리하는 시간이 오래 걸리므로 제품볼륨을 배경으로부터 분리하여 검출 적용 범위를 좁히는 것이 필요하다. 이를 위하여 전역 임계값 기법으로 제품볼륨을 배경으로부터 분리한 후, 제품볼륨의 밝기값 평균과 표준편차의 합으로 초기 이물질 후보를 추출한다. 이 때, 추출된 이물질 후보에 제품영역이 일부 포함될 수 있으므로 K-평균 클러스터링 기법을 적용한 영상분할을 이용하여 이물질 후보를 추출한다[12]. K-평균 클러스터링 기법에서 K는 3으로 설정하여 완전제품영역, 제품영역, 이물질후보영역으로 분할한다. 이 때, K-평균의 초기 임계값은 초기 이물질 후보의 최소값, 평균값 그리고 최대값으로 설정하여 분할함으로써 견고하게 이물질 후보를 추출한다.

그림 2는 이물질 후보를 검출한 결과 영상이다. 그림 2(b)는 제품영역의 평균과 표준편차를 이용하여 초기 이물질후보군을 검출한 결과로 이물질 이외에 제품영역이 많이 포함된 결과를 볼 수 있다. 그림 2(c)는 K-평균 클러스터링 기법을 초기 이물질 후보군에 적용한 결과로 밝기값에 따라 완전제품영역(빨간색), 제품영역(파란색), 이물질후보영역(녹색)으로 분할된 결과를 볼 수 있다. 녹색으로 검출된 영역은 초기 이물질 후보 영역에서 밝기값이 가장 높은 영역으로 제품영역을 제외한 이물질 후보 영역이 추출

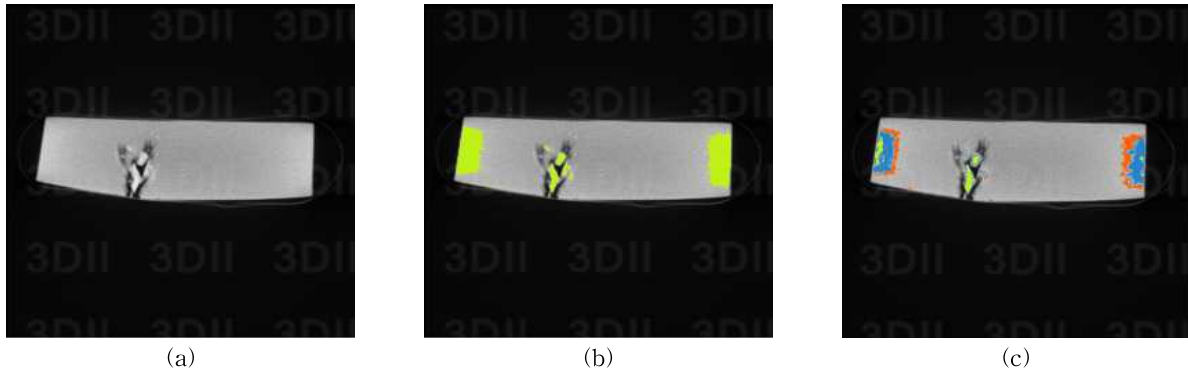


그림 2. 밝기값 정보를 이용한 이물질 후보 추출 결과: (a) 원 영상, (b) 평균과 표준편차를 이용한 이물질 후보 추출, (c) K-평균 클러스터링 기법을 이용한 이물질 후보 추출

된 결과를 볼 수 있다.

### 2.2 템플릿매칭을 통한 이물질 검출

이물질 후보군 밝기값의평균과 분산을 이용한 임계치 기법과 밝기값에 의한 영역분리 방법인 K-평균 클러스터링을 적용하여 이물질을 검출할 경우, 밝기값은 이물질과 유사하지만 영역의 재질 유사도는 이물질과 다른 제품영역이 이물질로 잘못 검출될 수 있다. 따라서 제품영역을 템플릿으로 이용한 템플릿 매칭을 통하여 밝기값 뿐 아니라 영역의 재질 유사도를 고려하여 이물질을 검출하는 기법이 필요하다[13].

먼저, 제품영역에서 제품템플릿을 정의하고, 이물질 후보군과 제품템플릿을 매칭시킴으로써 제품과 재질유사도가 다른 이물질을 검출한다. 이 때, 제품템플릿 크기는 검출된 이물질 후보군 크기 중 가장 작은 크기로 결정한다. 제품템플릿과 이물질 후보군 영역의 재질유사도는 식 (2)와 같이 측정한다. 이물질 후보군의 크기가 제품템플릿과 유사하거나 작은 경우, 밝기값평균차이누적(SSD: Sum of Squared intensity Difference)을 사용하고, 이물질 후보군의 크기가 제품템플릿보다 큰 경우, 밝기값 분포 유사도를 측정하는 조인트 엔트로피를 사용한다. 왜냐하면 SSD를 이용한 영역 유사도 평가는 측정하고자 하는 이물질 후보군의아웃라이어(outlier)에 영향을 많이 받아 이물질 후보군이 제품 템플릿 보다 큰 경우 정확성이 떨어질 수 있기 때문이다.

$$\text{Similarity measure} \begin{cases} \text{SSD} \\ \text{Joint entropy} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{if } FBC_{size} < T_{size} \times 3 \\ \text{otherwise} \end{cases}$$

이 때,  $FBC_{size}$ 는 이물질 후보의 크기,  $T_{size}$ 는 제품템플릿의 크기이다. 이물질은 크기가 작기 때문에 이물질 후보군의 크기가 밝기값 분포를 충분히 파악할 수 있는 크기인 제품템플릿 크기의 3배 이상일 때, 조인트 엔트로피를 사용하여 영역 유사도를 측정한다. 이물질 후보의 크기가 제품템플릿 크기의 3배 미만인 경우, SSD를 이용하여 영역 유사도를 측정한다.

SSD는 식(3)과 같이 제품템플릿과 이물질 후보 간 화소의 밝기값 차이 제곱의 합을 이용하는 유사성 측정 방식으로 이물질을 검출하기 위해 식(4)와 같이 SSD의 평균을 이용한다[14].

$$SSD(x, d) = \sum_{\mu \in W} [I_1(p + \mu) - I_2(p + \mu + d)]^2 \quad (3)$$

$$SSD_{avg} = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m SSD(p^1, p^2) \quad (4)$$

이 때,  $I_1$ 과  $I_2$ 는 제품템플릿의 화소값과 이물질 후보의 화소값,  $p$ 는 매칭위치,  $\mu$ 는 기준 윈도우 위치,  $d$ 는 제품템플릿과 이물질 후보의 매칭점에 대한 영상 좌표 차이,  $W$ 는 기준 윈도우 크기를 나타내고  $m$ 은 제품템플릿의 크기이다.

조인트 엔트로피는 서로 다른 영상의 관계를 나타내는 방법으로 샤논(shannon)이 정의한 확률정보를 불확실성정보로 변환해주는 함수인 엔트로피를 기반으로 한다. 두 영상  $I_1$ 과  $I_2$ 의 조인트 엔트로피의 측정은 식(5)와 같이 이변량 히스토그램과 확률밀도계산으로 이루어진다[15].

$$H(I_1, I_2) = -\sum_{I_1} \sum_{I_2} p(I_1, I_2) \cdot \log p(I_1, I_2) \quad (5)$$

이 때,  $H(I_1, I_2)$ 는  $I_1$ 과  $I_2$ 의 조인트 엔트로피이고  $I_1$ 과  $I_2$ 는 제품템플릿과 이물질 후보,  $p(I_1, I_2)$ 는 제품템플릿과 이물질 후보의 결합 확률 분포이다.

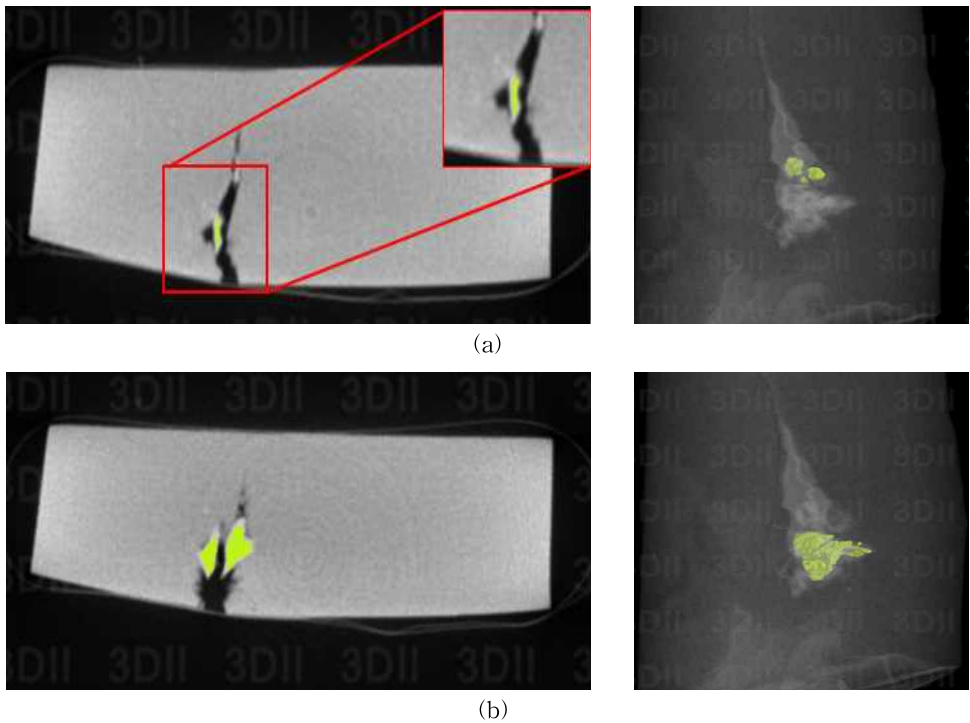


그림 3. 템플릿 매칭을 이용한 이물질 후보 검출 결과: (a) SSD를 이용한 이물질 후보 검출, (b) 조인트 엔트로피를 이용한 이물질 후보 검출

제품템플릿과 이물질 후보군이 정렬되었을 때, 이 변량 히스토그램은 어느 한쪽으로 조밀하게 모이는 형태가 나타나 작은 값이 나타나고, 반대의 경우 전체적으로 퍼지는 형태가 나타나 큰 값이 나타난다. 이물질을 검출하기 위하여 이물질 후보마다 계산된 조인트 엔트로피 값을 이용하여 전역 임계값 기법으로 산정된 임계값으로 조인트 엔트로피 값이 큰 영역을 이물질로 검출한다.

그림 3은 이물질 검출 결과 영상이다. 그림 3(a)는 SSD를 이용한 검출 결과를 나타내며 작은 크기의 이물질이 검출되는 결과를 볼 수 있고, 그림 3(b)는 조인트 엔트로피를 이용한 결과로 크기가 큰 이물질이 검출된 결과를 볼 수 있다.

### 2.3 원 볼륨데이터에서 여과기법을 이용한 이물질 검출

산업용 CT 볼륨데이터에서 이물질 검출은 데이터 크기로 인한 수행시간을 줄이기 위하여 다운 샘플링 데이터에서 수행하였으므로 원 볼륨데이터에서 이물질을 최종적으로 검출하기 위한 기법이 필요하다.

다운 샘플링 데이터에서 검출한 이물질을 원 볼륨 데이터로 업 샘플링하고 여과 기법을 이용하여 원

볼륨데이터의 이물질을 검출한다. 먼저 확장이 가능한 확장 윈도우(scalable window)를 설정하기 위해 3×3 크기의 형태학적 팽창 연산자를 이용하여 확장 윈도우를 그림 4와 같이 반복적으로 확장시킨다[16].

이 때, 확장 윈도우 내의 밝기값을 검사하여 이물질의 평균 밝기값보다 크거나 같으면 이물질 화소로 포함시키는 과정을 반복적으로 수행한다. 검출된 영역이 확장 윈도우 영역의 30%이하일 경우 종료함으

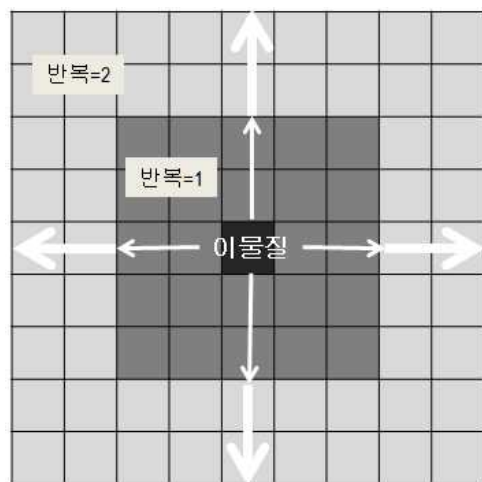


그림 4. 확장 윈도우

로써 원 볼륨데이터의 이물질을 검출한다.

### 3. 실험 및 결과

본 실험에서 사용한 데이터는 표 1과 같이 산업용 CT 볼륨데이터 2개와 정확성 평가를 위한 시물레이션 데이터 3개를 사용하였으며 시물레이션 데이터는 포토샵을 이용하여 제품과 배경을 생성하고 마이크로소프트비주얼 스튜디오를 이용하여 제품 내에 이물질을 삽입함으로써 그림 5와 같이 생성하였다. 제품영역의 밝기값인 130보다 낮은 125를 이물질의 최소 밝기값으로 정하고, 최대 밝기값을 150, 200, 250으로 각각 정하여 해당 범위 내에서 난수를 발생시켜 랜덤 분포를 갖는 이물질을 크기에 따라 다르게 생성하였다.

본 논문에서 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 기존 방법으로 밝기값 기반의 오츠임계값기법을 이용한 이물질 검출 결과와 제안방법을 이용한 이물질 검출 결과 간의 육안 평가를 수행하였다. 이 때, 오츠임계값 기법 적용 전, 제품볼륨의 밝기값 평균과 표준편차의 합으로 초기이물질 후보를 추출하는 부분까지는 제안 알고리즘과 동일하게 수행하였다. 또한

성능 평가를 위해 시물레이션 데이터에서 이물질 검출의 정확성을 비교평가한 후, 제안방법의 이물질 검출 수행시간을 측정하였다.

그림 6은 산업용 CT 볼륨데이터에서 밝기값 기반 이물질 검출 방법과 제안방법을 이용하여 이물질을 검출한 결과를 비교한 영상이다. 그림 6(a)는 밝기값 정보로 평균과 표준편차를 사용하여 검출한 결과로 높은 밝기값을 갖는 영역을 모두 이물질로 검출하여 제품영역이나 링 잡음을 이물질로 잘못 검출되는 문제점이 있다. 그림 6(b)의 제안방법 적용 결과는 제품영역과 밝기값이 상이함을 검사할 뿐 아니라 제품영역과 밝기값 분포가 다른 이물질을 정확하게 검출할 수 있다.

이물질 검출의 정확성 평가를 위하여 식 (4)와 같이 시물레이션 데이터의 이물질 영역과 자동으로 검출된 이물질 영역 간 다이스계수 유사도(dice similarity coefficient)를 측정한다.

$$\Omega = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|} \times 100 \tag{4}$$

이 때, A는 최상의 표준(gold standard)이고, B는 자동으로 검출된 이물질의 영역이다. 이 수치는 0부터 100 사이의 값을 갖고 100에 가까울수록 정확하게

표 1. 실험 데이터

데이터	이미지 크기	장	밝기값 범위	데이터 크기	특 성
산업용 CT 데이터 1	552×552	942	16 bit	0.5 GB	
산업용 CT 데이터 2	600×600	923	16 bit	0.6 GB	
시물레이션 데이터 1	512×512	50	8 bit	12 MB	이물질 크기: 10, 15, 30, 50, 100(복셀) 이물질 밝기값 범위: 125-250
시물레이션 데이터 2	512×512	50	8 bit	12 MB	이물질 크기: 10, 15, 30, 50, 100(복셀) 이물질 밝기값 범위: 125-250
시물레이션 데이터 3	512×512	50	8 bit	12 MB	이물질 크기: 10, 15, 30, 50, 100(복셀) 이물질 밝기값 범위: 125-250

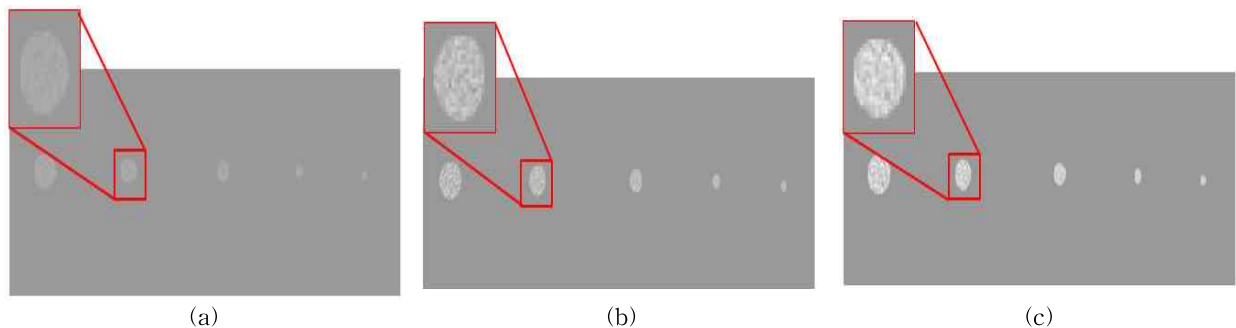


그림 5. 이물질의 밝기값과 크기가 다른 시물레이션 데이터: (a) 시물레이션 데이터1, (b) 시물레이션 데이터2, (c) 시물레이션 데이터3

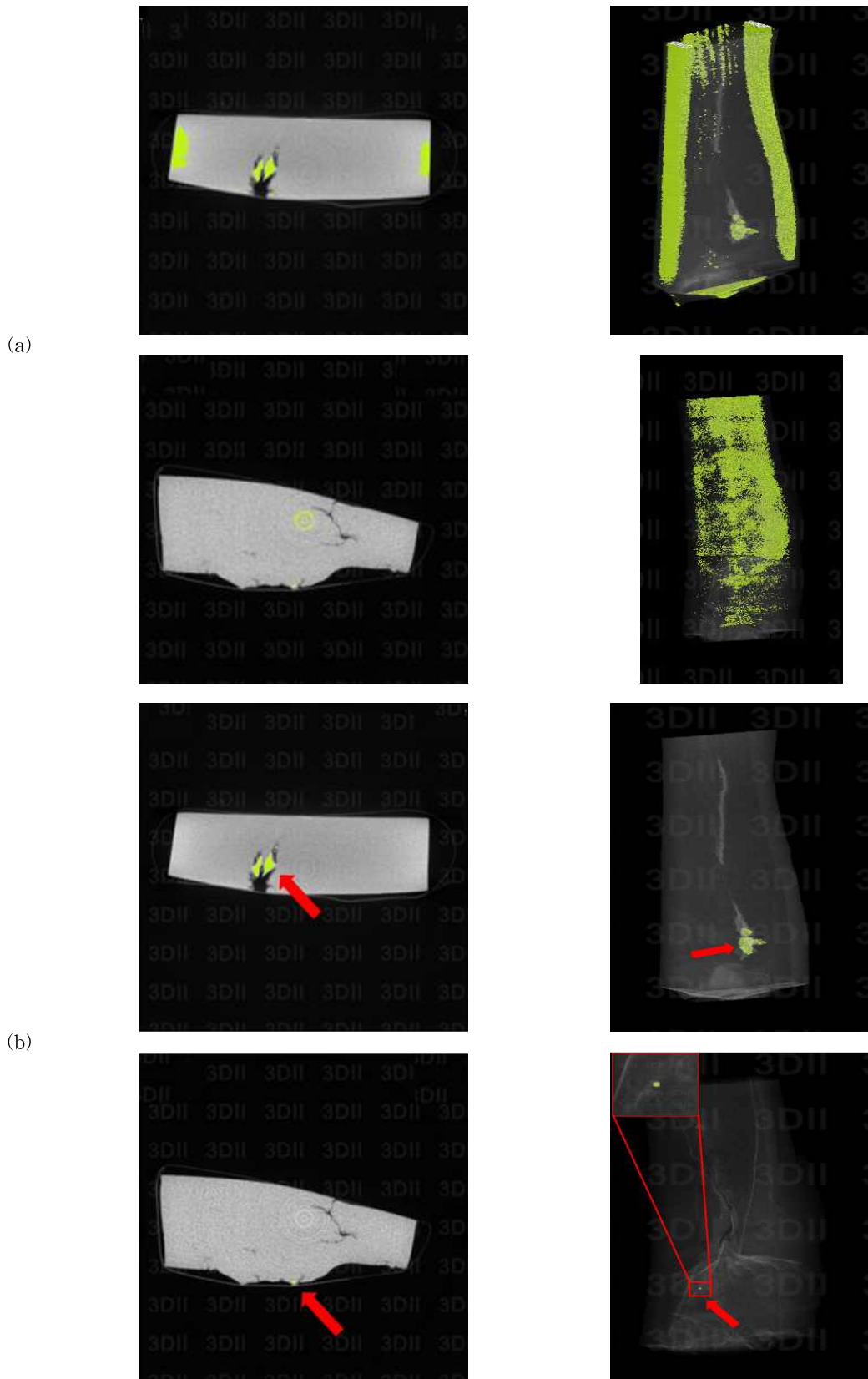


그림 6. 산업용 CT 볼륨데이터에서 자동 이물질 검출 방법 비교결과: (a)박기값 정보를 이용한 이물질 검출 결과, (b) 제안 방법을 이용한 이물질 검출 결과

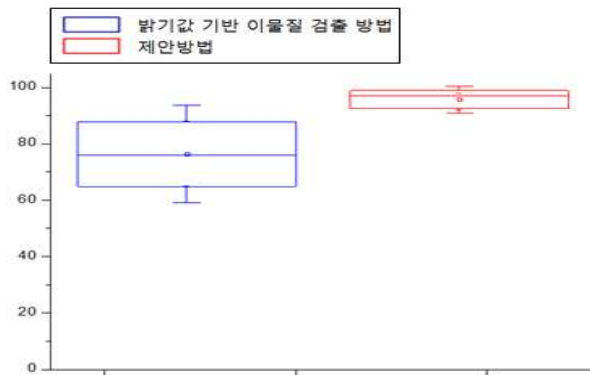


그림 7. 시뮬레이션 데이터에서 자동 이물질 검출 정확성 평가 결과

검출되었음을 의미한다. 자동 검출방법으로는 비교 방법인 밝기값 기반의 이물질 검출 방법과 제안방법을 이용한다.

그림 7은 시뮬레이션 데이터의 다이스계수 유사도 결과를 박스플롯으로 나타낸 결과이다. 밝기값 기반의 이물질 검출 방법과 제안방법을 이용한 방법 결과 다이스계수 유사도의 평균과 표준편차는 각각 76.393%, 95.626%로 측정되었다. 밝기값 기반의 검출 방법에서 이물질의 밝기값이 제품영역의 밝기값과 유사하거나 낮을 경우, 이물질로 검출되지 않아 정확성이 떨어졌다. 반면, 제안방법은 밝기값 유사도 평가를 통한 템플릿 매칭으로 밝기값 정보를 이용한 방법에 비해 25.3% 높게 측정되어 제안방법이 보다 정확하게 이물질을 검출함을 알 수 있다.

본 실험은 인텔코어 i7 3.40GHz CPU와 8.0GB 메모리를 장착한 컴퓨터에서 수행하였으며 이중 해상도 기법과 Open MP를 사용함으로 가속화를 수행하였다. 그림 8은 시뮬레이션 데이터를 이용하여 이물질 후보검출, 템플릿 매칭을 이용한 이물질 검출, 원불림데이터의 이물질 검출로 구분하여 수행시간을 측정된 결과이다. 제안방법의 평균 수행시간은 1.2초

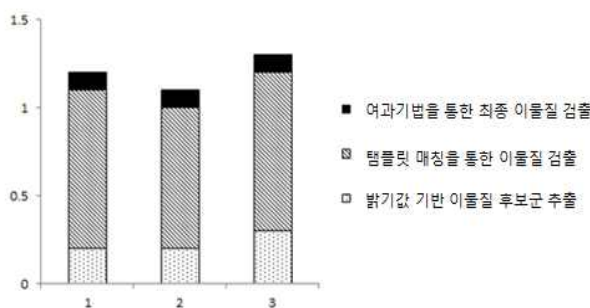


그림 8. 제안 방법의 수행시간 측정 결과

이고, 이물질 후보 검출에서 평균 0.2초, 템플릿 매칭 기법에서 평균 0.8초, 원 불림데이터의 이물질 검출에서 평균 0.1초가 소요되었다. 이 때, 템플릿 매칭 기법에서 템플릿을 이용하여 이물질 후보영역에 반복적으로 매칭하여 검출하기 때문에 상대적으로 많은 수행시간이 소요되었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 산업용 CT 불량데이터에서 밝기값 정보와 템플릿 매칭기법을 이용하여 제품의 이물질 검출 방법을 제안하였다. 다운 샘플링된 불림데이터에서 비등방성 확산 필터링을 수행하여 잡음을 제거하고, 전역 임계값 기법으로 제품영역을 배경과 자동으로 분리하였다. 또한, 제품영역의 평균과 표준편차를 이용하여 초기 이물질 후보를 추출하였고, K-평균 클러스터링을 통하여 제품영역 보다 밝은 영역의 이물질 후보를 추출하였다. 이물질 검출의 민감도를 개선하기 위하여 SSD와 조인트 엔트로피를 유사도 평가 기준으로 하는 템플릿 매칭을 수행하였고, 이물질 검출의 정확도를 개선하기 위하여 원 불림데이터에서 여과기법을 통해 최종 이물질을 검출하였다. 시뮬레이션 데이터를 이용하여 제안 방법의 정확성 평가 결과 다이스계수 유사도가 95.626%로 측정되었고, 수행시간은 시뮬레이션 데이터에서 평균 1.2초가 소요되었다. 본 제안 방법을 통한 자동 이물질 검출 결과는 제품을 파괴하지 않으면서 제품의 이물질을 정확하게 검출함으로써 제품의 불량률을 낮추는데 활용될 수 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] The Korean society for Nondestructive testing, *Dictionary of Nondestruction Testing*, Sejinbook, Seoul, pp. 128, 2004.

[2] B.R. Suresh, R.A. Fundakowski, T.S. Levitt, and J.E. Overland, "A Real-time Automated Visual Inspection System for Hot Steel Slabs," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-5, Issue 6, pp. 563-572, 1983.

[3] F.S. Hiller, "Continuous Sampling Plans Under



Destructive Testing," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 59, No. 306, pp. 376-401, 1964.

[ 4 ] A. Ishii, T. Mizuta, and S. Todo, "Detection of Foreign Substances Mixed in a Plastic Bottle of Medicinal Solution Using Real-Time Video Image Processing," *Proc. Fourteenth International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 1646-1650, 1998

[ 5 ] W. Yanga, D. Li, L. Zhub, Y. Kang, and F. Li, "A New Approach for Image Processing in Foreign Fiber Detection," *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 68, Issue 1, pp. 68-77, 2009.

[ 6 ] G. Ginesu, D. Giusto, V. Märgner, and P. Meinschmidt, "Detection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 51, No. 2, pp. 480-490, 2004.

[ 7 ] R.P Haff and N. Toyofuku, "X-ray Detection of Defects and Contaminants in the Food Industry," *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, Vol. 2, Issue 4, pp. 262-273, 2008.

[ 8 ] D. Schlager, A.B Sanders, and W. Boren, "Ultrasound for the Detection of Foreign Bodies," *Annals of Emergency Medicine*, Vol. 20, Issue 2, pp. 189-191, 1991.

[ 9 ] J.S Kwon, J.M Lee, and W.Y Kim, "Real-time Detection of Foreign Objects using X-ray Imageing for Dry Food Manufacturing Line," *IEEE International Symposium on Consumer Electronics*, pp. 1-4, 2008.

[10] 김철문, 이종민, 김희율 "인접 픽셀의 밝기 변화를 이물질 검출 방법." 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp 149-153, 2008.

[11] P. Perona and J. Malik, "Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion," *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 2, No. 7, pp. 629-639, 1990.

[12] J.A Hartigan and M.A Wong "A K-means Clustering Algorithm," *Royal Statistical Society*, Vol. 28, No. 1, pp. 100-108, 1979.

[13] 박병준, 한광수, 이호준 "색상 검사와 템플릿매칭을 이용한 정선 박스 자동 시각 검사 시스템," 멀티미디어학회논문지, 제13권, 제3호, pp. 392-399, 2010.

[14] M. Okutomi and T. Kanade, "A Multiple-baseline Stereo," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 4, pp. 353-363, 1993.

[15] C. Shannon and W.W Elwood, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, Vol. 5, Issue 1, pp. 379-423, 1948.

[16] T. Yamaguchi and S. Hashimoto, "Fast Crack Detection Method for Large-size Concrete Surface Images using Percolation-based Image Processing," *Machine Vision and Application*, Vol. 21, Issue 5, pp. 797-809, 2010.



지혜림

2011년 2월 서울여자대학교 컴퓨터학과 학사  
 2013년 8월 서울여자대학교 대학원 컴퓨터학과 석사  
 관심분야 : 산업영상처리, 영상분할



홍헬렌

1994년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 학사  
 1996년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 석사  
 2001년 8월 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사

2001년 9월~2003년 7월 서울대학교 컴퓨터공학부 BK 박사후 연구원  
 2003년 8월~2006년 2월 서울대학교 컴퓨터공학부 BK 계약조교수  
 2006년 3월~현재 서울여자대학교 멀티미디어학과 부교수  
 관심분야 : 의료영상처리, 영상매칭, 컴퓨터그래픽스, HCI