

단일 X선 영상을 이용한 3차원 정보 추출에 관한 연구

조성만·송춘삼·김종형

A Study on 3-D Information Extraction using Single X-ray Image

SungMan Cho, Chun-Sam Song and Jong-hyeong Kim

1. 서론

이차원 및 3차원 형상 및 치수 측정 기술은 자동화 및 정밀 생산 기술의 발전과 함께 산업 현장에서 요구되는 중요한 기술이 되었다. 특히, 최근 반도체 산업의 발달로 인하여 전자기기가 점차 소형화 되고, 생산이 자동화됨에 따라 각종 전자 부품들에 대한 정밀한 검사가 중요한 문제로 대두되었으며, 이에 따라 레이저 및 시각 검사 및 측정 기술이 연구되어 왔다. 특히, 고집적화된 전자기기의 내부 구조에 대한 검사는 조립이 완료된 제품의 결함 판정에 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 내부 구조에 대한 검사에선 내부 구조물의 형상 및 자세에 대한 기하학적인 정보가 필요하며, 이러한 내부 구조물에 대한 검사방법으로 X선 검사 방법의 연구가 진행되고 있다.

X선을 이용한 내부 구조물에 대한 자세 및 형상 측정에 관한 연구는 의료 분야에서 인체의 내부를 대상으로 한 연구가 주로 이루어졌다. 그 대표적인 예로 MRI, 토모그래피(Tomography)등과 같은 단층 촬영 기법을 들 수 있다. MRI는 여러 장의 X선 영상을 얻어 대상의 3차원 표면 모델링을 하고 영상 매칭에 이를 이용한다. 이 방법은 삼차원 표면 형상에 대한 모델을 사용하여 곡면의 형상을 갖는 물체에 적용한 것에 큰 의의가 있다. 그러나, 영상에서의 윤곽 정보만을 사용하는 방법이므로 가림에 대한 X선 영상의 장점을 충분히 활용하지 못하여, 외곽 점들의 매칭에 사용되는 일치점을 찾는 것이 어려운 문제이다. 토모그래피는 단면에 대한 영상을 얻기 위한 방법으로 구하고자 하는 단면 주위로 각 방향의 X선 투영 값을 얻어 연산에 의하여 단면에 대한 영상으로 재구성하는 방식이다. 토모그래피 영상법은 특정 단면 형상을 정확하게 구할 수 있는 방법으로 알려져 있으나 한 단면 영상을 구하기 위하여 많은 수의 영상을 촬영해야 한다는 문제점이 있다. 또한 단면에 대한 전 방향에서의 투과 영상이 요구

되므로 대상에 따라 단면 영상 취득이 어려운 문제점을 갖는다. 따라서 산업적인 응용 면에서 X선 영상을 이용한 형상 및 자세 측정 연구 사례나 X선 영상으로부터 특징치를 구하기 위한 영상 처리 기법에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 한 장의 X선 영상에서 대상 물체의 기하학적 정보를 얻어 낼 수 있는 영상 처리 기법에 관한 방법을 제시하였다.

2. X선 영상 시스템 구성

2.1 X선 영상 취득 원리

본 연구에서의 X선 영상 획득 시스템은 X선 발생 장치인 X선 튜브, 투과 X선의 강도를 검출하여 가시광선화 해주는 X선 검출기, X선 검출기에 맺힌 상을 데이터 어레이로 받아들이는 CCD 카메라로 구성되며, X선원과 검출기 사이에 검사할 대상 물체의 여러 가지 자세를 주기 위한 스테이지로 구성되어 있다. 본 연구에서는 시스템에 필요한 장치들을 구입하여 연구에 사용하였으며, 연구에 사용된 X선 시스템은 테크벨리사의 TVX-IMT90CT를 구입하였고 시스템의 구성요소는 Fig. 1 과 같고, 실험 장치는 Fig. 2와 같다.

본 연구에서는 X선 시스템을 세 개의 좌표계로 나타

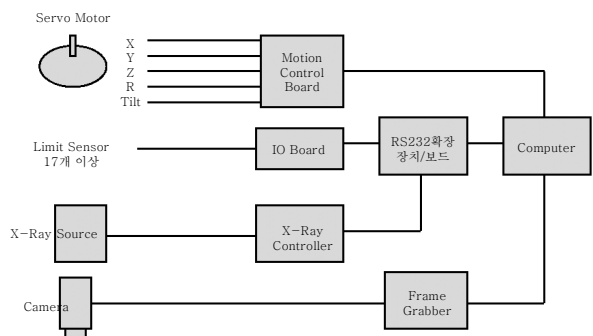


Fig. 1 X선 시스템 구성 요소

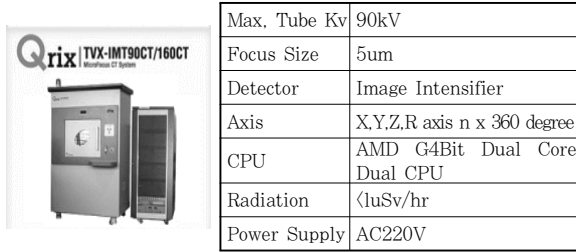


Fig. 2 X 선 시스템 외형 및 Specification

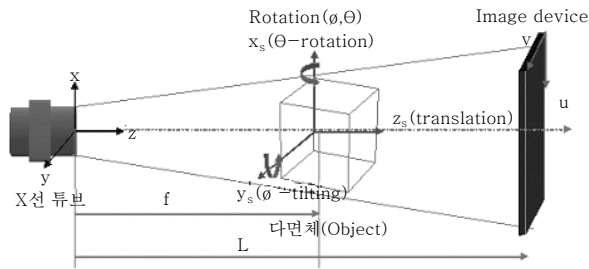


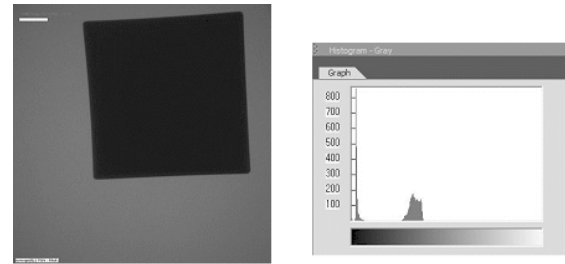
Fig. 3 X선 시스템의 좌표계 설정

낼 수 있다. X선 튜브에서 발생한 X선은 Fig. 3과 같이 스테이지에 놓여있는 물체를 통과하여 영상 좌표에 상을 맺히게 된다. 이때, X선 튜브의 고정된 위치를 원점으로 하는 (x, y, z) 좌표계, 스테이지 좌표계(xs, ys, zs) 그리고 이미지 좌표계를 나타내는 (u, v) 좌표계, 이렇게 3 개의 좌표계를 구성하여 영상 취득 시스템을 나타낼 수 있다.

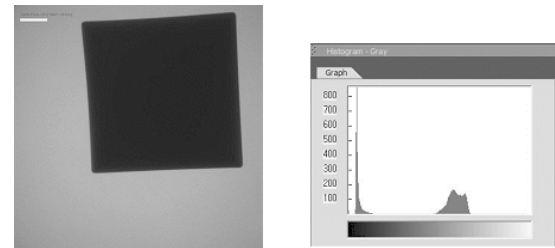
이때, X선 튜브와 스테이지 회전 중심축과의 거리는 f 이고 X선 튜브와 이미지 평면과의 거리는 L 이다. 설계된 스테이지는 x축으로 θ 만큼 회전하고 y축으로 ϕ 만큼 회전하여 물체의 자세를 잡고 z축으로 f 만큼 평행 이동하여 배율을 조정하게 된다. 본 연구에서는 X선 광원의 위치는 고정되어 있고 물체가 위치한 스테이지에서 translation, rotation을 함에 따라 물체에 여러 가지 모션을 주도도록 구성되어 있다.

2.2 X선 영상 획득

X선을 이용한 영상 획득 방법은 측정하고자 하는 대상 물체에 X선을 입사하여 대상 물체를 통과 하고 나온 X선의 강도를 검출하여 얻을 수 있다. 이때 X선의 강도는 X선 튜브의 전류와 전압에 의해 결정된다. 따라서 물체의 재질에 따라 구리와 같이 X선의 감쇄율이 큰 물체는 X선 튜브에서 높은 전류와 전압을 사용하여 X선 영상을 얻어야 한다. 알루미늄과 같이 감쇄율이 작은 재질의 물체에서는 X선 튜브의 파워를 낮춰야 물체의 두께 정보를 잘 포함하고 있는 X선 영상을 얻을 수 있다. Fig. 4은 X선 튜브의 전압에 따른 X선 영상의



X-ray 영상
histogram
(a) 70kv, 102uA, Intensity max : 108



X-ray 영상
histogram
(b) 80kv, 102uA, Intensity max : 161

Fig. 4 전류, 전압에 따른 X선 영상의 변화

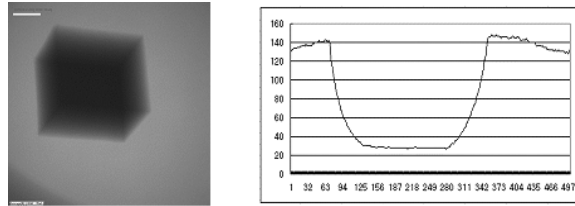
차이점을 Intensity의 형태로 보여준다. 전압과 전류가 높을 수록 X선 영상은 더 밝아지는걸 알 수 있다. 대상 물체의 재질은 알루미늄이다.

3. X선 영상 특징 분석

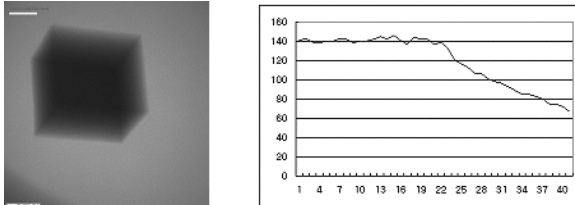
일반적으로 카메라 영상과 X선 영상간의 차이는 Intensity 특성의 차이로 나타난다. 카메라에서 얻은 gray 영상은 물체의 표면에 반사되는 빛의 밝기 값을 CCD에서 감광하여 얻어지는 반면, X선 영상은 X선이 물체를 투과하면서 감쇄되는 정도를 감광하여 얻어진다. 즉 카메라에서 얻어진 gray 영상은 물체의 표면에서 반사된 빛의 양을 나타내는 반면, X선 영상에서의 Intensity는 X선의 투과량, 즉 물체의 두께에 대한 정보를 나타낸다. 카메라 영상과 X선 영상은 이러한 차이점으로 인하여 에지의 특성도 달라지게 된다.

3.1 X선 영상의 intensity 분포도

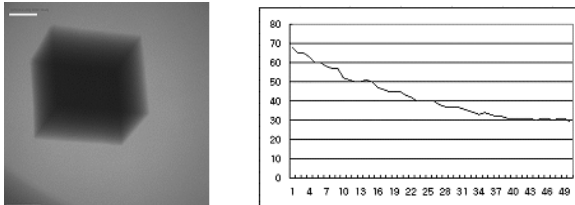
영상의 특징을 분석 하기 위해선 X선 영상의 intensity 분포를 알아야 한다. Fig. 5와 Fig. 6은 X선영상의 intensity분포도를 나타낸 것이다. Fig. 5는 X선 영상의 중심을 기준으로 가로방향으로 스캔 하여 얻은 intensity 분포도를 나타내고 스캔 좌표는(0~Width, Height/2)이다. Fig. 6은 새로 방향으로 스캔 하여 얻은 intensity 분포도를 나타낸 것이고 스캔 좌표는 (Width/2, 0~Height)이다. 대상 물체의 에지를 보다 잘 나타내기 위하여 x축으로 18도, y축으로 30도만큼



($\theta=18, \phi=30$) (x: pixel, y: intensity value)
 (a) X선 영상의 intensity 분포도 (가로 방향)

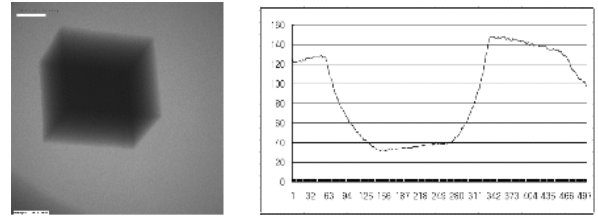


($\theta=18, \phi=30$) (x: pixel, y: intensity value)
 (b) X선 영상의 intensity 분포도 (외곽 에지 부분)

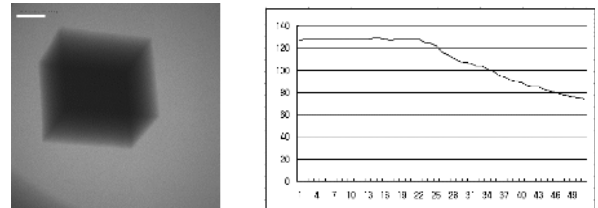


($\theta=18, \phi=30$) (x: pixel, y: intensity value)
 (c) X선 영상의 intensity 분포도 (내부 에지 부분)

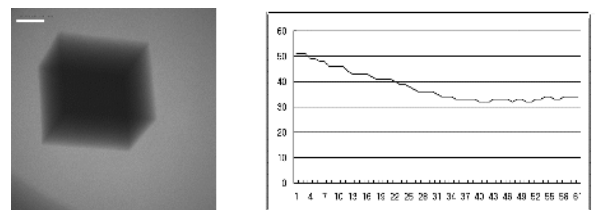
Fig. 5 X선 영상의 intensity 분포도 (가로 방향)



($\theta=18, \phi=30$) (x: pixel, y: intensity value)
 (a) X선 영상의 intensity 분포도 (세로 방향)



($\theta=18, \phi=30$) (x: pixel, y: intensity value)
 (b) X선 영상의 intensity 분포도 (외곽 에지 부분)



($\theta=18, \phi=30$) (x: pixel, y: intensity value)
 (c) X선 영상의 intensity 분포도 (내부 에지 부분)

Fig. 6 X선 영상의 intensity 분포도 (세로 방향)

회전시켰다. Fig. 5(a), Fig. 6(a)는 각각 가로, 세로방향에 대한 전체 스캔 된 부분의 intensity 분포도를 나타낸다. 두 원에 해당 하는 부분이 대상 물체의 에지 부분에서의 intensity 분포를 나타낸 것이며, 이는 각각(b), (c)에 나타내었다. 사용된 대상은 2.5cm X 2.2cm X 2cm 크기의 직육면체를 사용하였으며 재질은 알루미늄을 사용하였다.

Fig. 5, Fig. 6에서와 같이 x선 영상의 intensity 값은 x선이 대상 물체와 만나는 부분에서 특히 에지 부분에서 변화가 일어나는 것을 알 수 있다. 처음 x선이 대상 물체에 입사 될 때 일정한 intensity 분포를 나타내던 값이 갑자기 낮아지는걸 알 수 있으며, 계속 낮아지다가 내부경계면 에서 다시 일정한 값이 유지 되는 것을 알 수 있다.

3.2 X선 영상의 특징 분석

x선 intensity 분포도를 통해 에지 부분에서의 intensity 변화를 알 수 있었다. 이에, 에지 부분의 intensity 곡선은 어떤 형태를 나타내는지에 대하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7은 Fig. 5(a)의 intensity 곡선에 대한 추세선과 결정계수(R-square)를 표시 한 것이다.

Fig. 5~7을 살펴보면 다음과 같은 특징을 알 수 있다.

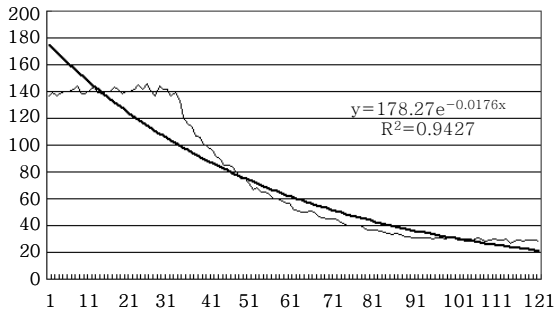
다면체 X선 영상은 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 먼저 다면체의 영상 이외의 배경이미지, 다면체와 배경 이미지와의 경계를 이루는 에지, 다면체 내부를 나타내는 내부 이미지로 나눌 수 있다.

X선 영상의 intensity 분포도를 보면 노이즈가 많이 섞여 있어 전체적으로 균일하지 않다. 이러한 특징은 X선 영상의 신호대비잡음 비를 낮추게 되어 에지 검출 등의 영상처리 수행을 어렵게 만드는 요인이 된다. X선 영상의 intensity 분포도를 최소제곱 법을 이용하여 근사식과 결정계수를 유도해본 결과 다면체와 배경이미지 사이의 에지 부분에서 exponential 함수의 특성을 나타낸다. 이에 본 논문에서는 최소제곱 법을 이용한 exponential 근사식을 유도하고 이를 x선 영상의 에지 검출기로 사용 하였다.

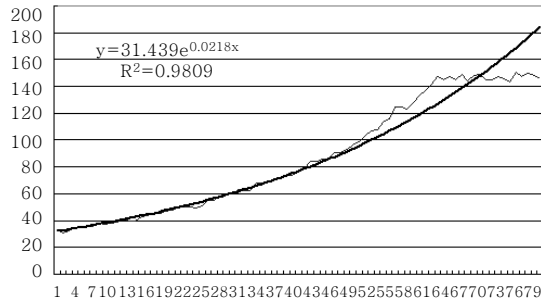
4. X선 영상의 영상처리

4.1 최소 제곱법을 이용한 exponential 근사식

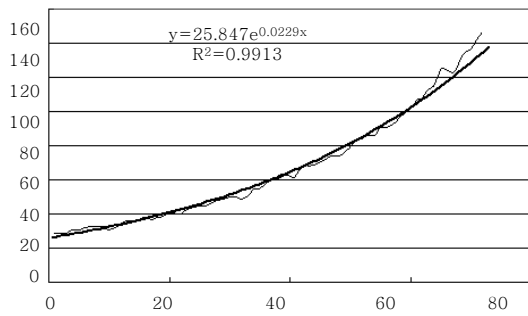
Exponential 근사화 에러 값을 이용한 다면체 X선



(a) 첫 경계 면에 대한 추세선과 결정계수



(b) 마지막 경계 면에 대한 추세선과 결정계수



(c) intensity 분포도에 대한 추세선과 결정계수

Fig. 7 intensity 분포도에 대한 추세선과 결정계수(x : pixel, y: intensity value)

영상의 외곽 에지 추출 과정은 다음과 같다.

21 × 1, 1 × 20 마스크를 생성한다. 이 마스크는 x선 영상을 4 방면에서 스캔 하면서 각 좌표의 intensity 값을 저장한다. 저장된 intensity 값은 식 (1)의 조건에 맞을 때까지 X선 영상을 스캔 한다.

$$\sum_{i=11}^{20} |(I_{11} - I_i)| - \sum_{i=0}^0 |(I_0 - I_i)| > 50 \quad (1)$$

식(1)의 조건에 맞는 구간이 나오게 되면 21개의 픽셀 데이터를 가지고 최소제곱 법을 이용하여 exponential 근사식을 유도한다. 식(2)는 exponential equation이다.

$$y = ae^{(bx)} \quad (2)$$

식(2)에 ln을 취하게 되면 식(3)이 된다.

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \quad (3)$$

식(3)을 잔차 방정식의 형태로 바꾸면 식(4)가 된다.

$$e = \sum_{i=0}^{n-1} (1n(y_i) - 1n(a) - bx_i)^2 \quad (4)$$

잔차 제곱의 합인 e의 값이 최소가 되는 값은 편 미분을 통하여 구할 수 있다. 식(5)

$$\frac{\partial e}{\partial a} = 0, \frac{\partial e}{\partial b} = 0 \quad (5)$$

편 미분을 통하여 얻게 된 a, b 두 변수의 값을 식 (4)에 대입하여 e의 값을 구한다.

$$R\text{-square} = 1 - e / \left\{ \sum_{i=0}^{20} (I_i - \text{mean}(I))^2 \right\} \quad (6)$$

식(6)을 통하여 결정계수(R-square)를 구한다.

$$0.98 < R\text{-square} < 0.99 \quad (7)$$

식(7)을 만족하는 부분이 에지가 된다.

위의 과정은 x선 영상에서 외곽에 해당하는 에지를 검출 하는 과정이며, 내부에 숨겨진 에지를 검출하기 위해선 식(1) 과 식(7)의 값을 조절하여 구할 수 있다.

4.2 Exponential 근사식을 이용한 에지 추출

Exponential 근사식을 이용한 에지 추출은 외곽에지와 내부에지를 따로 구해서 추후 매칭을 통하여 대상 물체에 대한 완성된 에지 모형을 나타내었다. 에지 추출 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

X선 영상 자체가 노이즈 성분을 많이 포함하고 있어서 내부 에지 검출 시 생기는 노이즈는 영역 필터링을 통하여 제거 하였고, 외곽에지와 내부 에지의 결합 시 외곽에지의 모서리 점을 기준으로 내부에지의 끝점을 연결 시키는 방법을 통하여 매칭 하였다.

추출된 에지의 성능을 평가하기 위하여 대상 물체의 실제 크기와 비교하였다. 실제 대상물체의 가장 긴 에지인 2.5cm를 기준으로 비교 하였으며 x선 영상에서 획득된 길이 값은 calibration 행렬을 통하여 실제로 크기로 변환하여 비교 하였다.

Exponential 근사화를 이용한 에지 추출 알고리즘의 실제 측정 오차는 Table 1에서 보는 바와 같이 실제 2.5cm의 길이를 측정 하였을 때 평균값으로 2.473692cm 즉, 263.08um의 오차가 발생하였다.

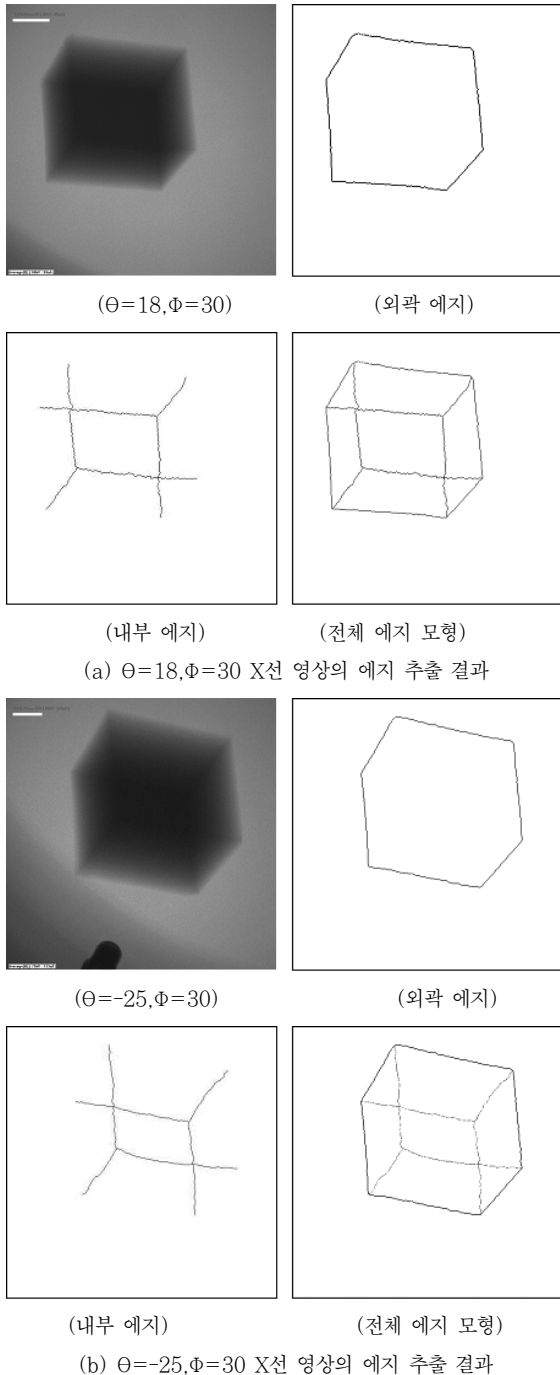


Fig. 8 Exponential 근사식을 이용한 X선 영상의 에지 추출 결과

5. 결 론

본 논문에서는 한 장의 X선 영상에서 기하학적 특징치를 추출하기 위해 이루어져야 할 에지 검출을 위한 영상처리 기법을 제시 하였다. 먼저 X선 영상의 intensity 분포를 분석하여 특징을 도출하였고, 도출된 특징을 이용하여 X선 영상의 에지를 추출하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 X선 영상의 intensity 분포도가 에지

Table 1 가로 × 세로 × 높이 (2.5 x 2.2 x 2)cm 인 직육면체의 길이 측정($\theta=10\sim 48, \phi=30$)

case (degree)	exponential 근사화(cm)	실제 치수와의 차이(um)
10	2,45988	401.2
12	2,47116	288.4
14	2,45882	411.8
16	2,48320	168
18	2,47252	274.8
20	2,48277	172.3
22	2,44911	508.9
24	2,49372	62.8
26	2,48229	177.1
28	2,47991	400.9
30	2,45988	401.2
32	2,45993	400.7
34	2,44856	514.4
36	2,48245	175.5
38	2,43741	625.9
40	2,48444	155.6
42	2,48249	175.1
44	2,45989	401.1
46	2,49400	60
48	2,49380	62
평균	2,473692	263.08

부분에서 exponential 함수의 형태로 감소 하는 것을 바탕으로 최소제곱법과 결정계수를 통하여 에지를 추출 하는 것이다. 추출된 에지의 신뢰성 검사로 실제 대상 물체의 길이와의 비교를 하였으며 평균 263.08um 의 오차를 나타나게 되었다. 이러한 오차는 X선 영상자체 가 가지고 있는 노이즈에 대한 처리문제 등의 원인으로 나타난다. 향후 X선 영상에 효과적인 노이즈 필터링 기법의 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 Seoul R&BD Program. (10890)과 국가플랫폼기술개발사업에서 지원하여 연구하였음.

참 고 문 헌

1. Computed tomography details casting defects, Advanced Materials & Process, Nov 1990, 54-66
2. M. Rooks, B. Benhabib, and K. C. Smith: Development of an inspection process for ball-grid-array technology using scanned beam x-ray laminography, IEEE trans. On Components, Packing, and Manufacturing Technology. Part A. **18-4** (December 1995), 851-861

3. Y. J. Roh, K. W. Ko, H. S. Cho, H. C. Kim, H. N. Joo : Inspection of BGA(Ball Grid Array) solder joints using x-ray cross-sectional images, Intelligent Systems and Advanced Manufacturing(SPIE), **Vol. 3836** (1999), 168-178
4. 노영준 : 디지털 영상 합성법을 사용한 X 선 단층 영상 시스템의 해석 및 설계, 한국과학기술원, 1997, 8-9
5. S. Rooks, T. Sack : X-ray inspection of flip chip attach using digital tomosynthesis, Circuit World, **21-3**, 51-55, 1995
6. S. T. Kang, Y. U. Kim and H. S. Cho : A digital tomosynthesis method for evaluating the soldering states of ball-grid-array joints, 7th Annual Research Symposium of Transfer of Emerging N DE Technologies, 1998
7. Heikkila, J and Silven, O : A four-step camera calibration procedure with implicit image correction, IEEEcomputer society, 1106 -1112, June 1997
8. David vernon : Machine vision- Automated visual inspection and robot vision, prentice



- 조성만
- 1979년생
- 서울과학기술대학교
- 기계설계 자동화
- e-mail : csmani@snut.ac.kr



- 김종형
- 1962년생
- 서울과학기술대학교
- 기계설계 자동화
- e-mail : johnkim@snut.ac.kr



- 송춘삼
- 1976년생
- 서울과학기술대학교
- 마이크로시스템 패키징
- e-mail : cssong@snut.ac.kr