

◆특집◆ 지능형 Machine Vision 응용

휴대폰 배터리 조립 검사를 위한 X선 영상 시스템 해석 및 설계

고국원\*, 고경철\*, 김종형\*\*, 이복녀\*\*\*

X-ray Imaging System Design and analysis for Battery Inspection

Kuk Won Ko\*, Kyung Cheol Koh\*, Jong Hyeong Kim\*\* and Bok Yeo Lee\*\*\*

Key Words : X-ray image(X선 영상), Battery inspection(배터리 검사), Image intensifier(영상 증배관), Image processing algorithm(영상처리 알고리즘), edge detection(에지 추출), Image distortion(영상 왜곡)

1. 서론

최근 PDA, Pocket PC, 휴대폰 등의 디지털 정보기기가 보편화 되고 있다. 이들 제품에 대한 생산 공정에서 제품의 품질을 검사하기 위한 공정이 필수적이다. 일반적으로 제품의 품질을 검사하는 방법으로는 레이저나 조명 장치 등을 이용한 외관 검사를 위한 광학식 방법이 적용되어 왔다.[1, 2] 최근 이러한 부품이 소형화에 따라 다른 부품에 의해 가려진 부분이나 내부의 결함을 검사하기 위해서는 X 선을 이용한 투과 검사를 해야 하지만, 취급이 어려운 이유로 산업 현장에서는 제한된 영역에서 사용되었다.[3-12]

최근 휴대폰 시장의 급성장으로 인하여 휴대폰 배터리의 수요가 많아지고 있다. 휴대폰의 배터리는 캡이 씌워진 상태이므로, 캡 내부에서의

탭과 캡의 접촉, 전극간 거리, 전극과 캡의 접촉 등의 불량을 검출하기 위해서는 기존의 광학식 검사 방법으로는 불량을 검사할 수 없으므로, 내부 검사를 하기 위한 X 선을 사용한 검사 방법이 필요하다.

본 연구에서는 휴대폰 배터리의 조립 단계에서의 양/불량 검사를 위해 캡 내부의 영상을 얻을 수 있는 X 선 영상 시스템을 개발하고자 한다.

X 선 영상 시스템의 특징은 대상 물체가 기하학적 요인으로 인해 위치, 크기 등의 왜곡이 생기며, 광량 왜곡에 의해 두께 정보가 왜곡되어 나타나 영상의 질을 떨어트린다. 본 연구에서는 X 선 영상 장치가 기본적으로 가지고 있는 왜곡 현상을 시스템 해석을 통하여 수학적으로 모델을 세우고 이를 분석하여 왜곡 모델을 보정하여 선명한 영상을 얻을 수 있도록 한다. 그리고, 각종 시스템 설계 변수를 정의하고 이를 변화시키면서 각각의 설계변수를 변화시키면서 시스템에 어떻게 영향을 미치는지를 확인하고 이를 통해 시스템을 최적화한다.

앞서 제안된 최적화된 설계 변수를 이용하여 X 선 영상 시스템을 구성하고 휴대폰 배터리의 X 선 투과 영상을 사용하여 개발된 시스템의 영상을 평가하며, 마지막으로, 획득된 휴대폰 검사 영상을 검사할 수 있는 검사 알고리즘의 개발에 필요한 영상 처리 기법을 개발하였으며,

\* 선문대학교 기계 및 제어공학부  
Tel. 041-530-2348, Fax. 041-530-2981  
Email kuks2309@sunmoon.ac.kr

\*\* 서울 산업대학교 기계설계자동화공학부  
Tel. 02-970-6357, Fax. 02-974-8270  
Email : johnkim@snut.ac.kr

\*\*\* Trixen, 연구원  
Tel : 02-2668-2380 , Fax : 02-2668-2384  
영상 처리를 이용한 시각 검사 자동화 및 지능화, 영상처리 시스템 개발, 인공지능에 관심을 두고 연구하고 있다.

실제 공정 상에서 획득한 영상을 통하여 개발된 알고리즘의 유용성을 검증하였다.

## 2. X선 영상 시스템 원리

### 2.1 제독 방사선 투과 검사의 원리

X 선은 방사선 투과 검사에서 가장 많이 사용되고 있는 방사선의 하나이다. X 선은 그림 1 과 같이 2극의 진공관으로 구성된 X선관에 의해 발생 시킨다. 이렇게 발생된 X 선의 강도는 어떤 물질을 투과함에 따라 지수적으로 감소 되는 성질을 갖는데, 이때 X 선의 감소 정도는 X 선의 강도와 대상 물질의 물성치, 그리고 투과된 거리에 따라 결정된다. 이는 식 (1)과 같다.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

여기서  $\mu$  는 X 선 감쇄 계수,  $I_0$  는 X 선 강도,  $t$  만큼의 두께를 통과 한 후의 X 선 강도  $I$  이다.

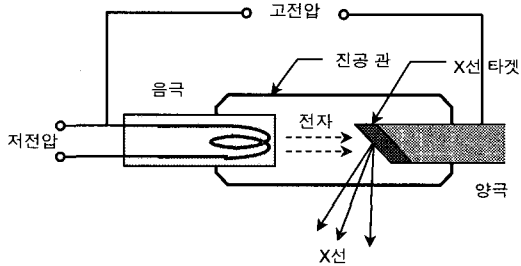


Fig. 1 X ray tube

방사선 투과 검사는 X 선의 시험체를 투과하는 성질을 이용한 것으로 투과하는 정도는 재료를 구성하는 밀도와 두께에 따라 달라진다. 시험체 중에서 방사선의 흡수가 달라지면, 이것은 방사선 투과 사진 상에서 농담이 되어 나타나며, 시험체 내부의 결함 등을 알 수 있다.[3-10]

물체를 투과한 X 선은 강도에 따라 가시화된 영상으로 변환 시켜 주는 장치인 X 선 검출기를 통해 시각화 된다. 이러한 X 선 검출기로는 형광 스크린과 영상 증배관이 있다. 영상 증배관은 그림 2 와 같은 구조를 가지며 X 선 광자 영상을 입력 형광면의 및 광자 영상에서 광 음극의 전자 영상으로 변환 후 마지막으로 출력 형광면에 빛 광자 영상으로 연속적으로 변환시켜 시각으로 볼 수 있게 만드는 장치이다.

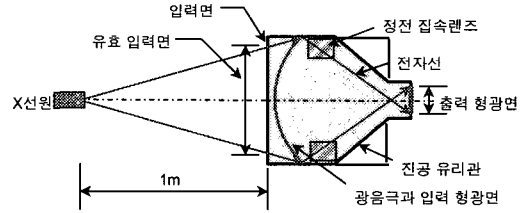


Fig. 2 The structure of image intensifier

### 2.2 투과 영상의 기하학적 불선명도

X 선 영상은 X 선원의 초점의 크기에 따라 영상의 선명도가 달라진다. 선명도란 투과 영상에 나타난 영상의 경계가 선명하게 구분되는 가를 나타내는 의미한다. 이를 정량적으로 나타내기 위하여, 기하학적 불선명도 (Geometrical Unsharpness)란 변수를 정의하며, 그림 3 에서 나타내었다.

기하학적 불선명도는 X 선원의 크기(Spot size), X 선원으로부터 영상 증배관까지의 거리, X 선원으로부터 영상 증배관까지의 거리의 영향을 받는다.

기하학적 불선명도는 X 선원의 크기가 일정할 때, X 선원과 시험체의 거리가 멀수록, X 선원과 영상 증배관의 거리가 가까울수록 작아진다. 이를 식으로 나타내면 식(2)와 같다.[12]

$$U_g = S_s \cdot \frac{FDD}{FOD} \quad (2)$$

여기서,  $S_s$  는 X선원의 크기, FDD는 X선원에서 영상 증배관까지의 거리이며, FOD는 X선원에서 시험체까지의 거리이다

X 선 투과 영상은 이러한 기하학적 불선명도의 영향으로 영상의 왜곡이 생기므로 X 선 투과 영상을 이용한 검사 알고리즘의 개발에 앞서 영상의 전처리 과정에서 세심한 주의를 요하며, X 선 영상 시스템의 주요 설계 변수로서 시스템 설계시 충분히 고려하여 기하학적 불선명도를 줄이도록 해야 한다

## 3. X선 영상 시스템의 해석 및 설계

### 3.1 시스템 개요

그림 4 는 설계하고자 하는 X 선 영상 시스템의 개략도를 보여 준다.

영상 시스템은 X 선 튜브, 피검물, 영상 증배관,

그리고 CCD 카메라로 구성된다. 우선 X 선 튜브는 고정시켜 피검물인 휴대폰 배터리를 수직으로 내려 비추게 하며, 피검물을 투과한 X 선은 영상 증배관을 통해 영상을 얻도록 한다. 영상 증배관을 통해 얻은 영상은 다시 고해상도 CCD 카메라를 통해 최종 영상으로 얻는다.[9]

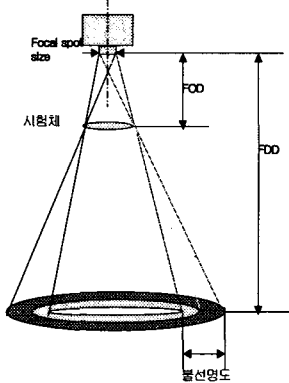


Fig. 3 Definition of geometrical unsharpness

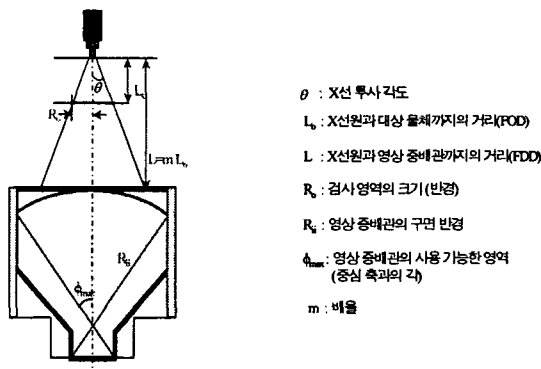


Fig. 4 X-ray imaging system

그림 5 는 x 선 영상 시스템의 주요 설계 변수를 보여준다. 주요 설계 변수로는 X 선원에서 영상 증배관 까지의 거리(FDD) L, X 선원에서 피검물 까지의 거리(FOD) L<sub>0</sub>, 영상증배관의 유효 입력 반경 D 등이다(그림 3-2). 여기서 L 과 L<sub>0</sub> 의 관계에 따라 배율과 해상도가 결정되며, 영상 증배관의 구면 반경인 R<sub>ii</sub> 는 영상 증배관의 구형 입력면으로 인한 영상 왜곡모델의 중요한 변수가 된다.

### 3.2. 시스템의 기하학적 모델

X 선 영상 시스템의 기하학적 모델을 세우는 일은 X 선원과 시험체까지의 거리(FDD), X 선원과

영상 증배관까지의 거리(FOD), 영상 증배관의 유효 입력면의 반경 등의 주요 설계 변수들을 결정짓는 중요한 과정이다. 그리고, 이 모델에 의해 주요 설계 변수들은 서로 연관되어 다른 변수들의 조건에 따라 값이 제한된다. 예를 들면, 영상 증배관의 입력면의 크기가 고정되어 있기 때문에 X 선의 투사각은 제한된다. 또한 검사영역(FOV)는 해상도에 영향을 미친다.

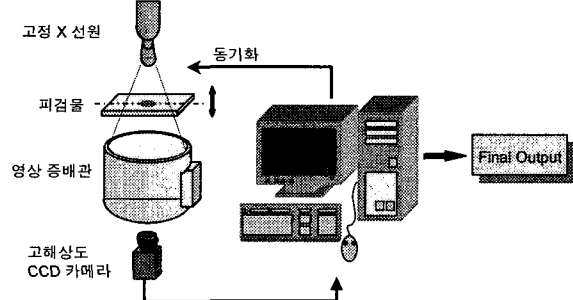


Fig. 5 Design parameters of X-ray imaging system

먼저 검사 영역(FOV)의 투과 영상이 영상 증배관의 입력면내에 맺히도록 변수 들을 설정해야 한다. 이들 변수들의 관계는 다음의 식(3)과 같이 기하학적으로 구해진다.

$$v : L = R_{ii} \sin \varphi : L + R_{ii} (1 - \cos \varphi) \quad (3)$$

$$v = \frac{L \cdot R_{ii} \sin \varphi}{L + R_{ii} (1 - \cos \varphi)} \quad (4)$$

여기서, FOV 의 반경이 R<sub>0</sub>, X 선원의 중심과 영상 증배관까지의 거리 L, 투과선이 영상 증배관의 구면과 만나는 점과 중심 축과의 각도가 phi 일 때 영상 증배관의 입력면 중심으로부터 입력면에 입사되는 점까지의 거리를 v 라고 한다.

이때, 영상 증배관의 크기를 최대한 활용할 수 있는 경우는 검사 영역이 입력면의 가장 자리로 투사 되는 경우로 이때의 v 는 영상 증배관의 유효 크기에 의해 식(5)으로 결정된다.

$$v_{\max} = \frac{L \cdot R_{ii} \sin \varphi_{\max}}{L + R_{ii} (1 - \cos \varphi_{\max})} \quad (5)$$

또, 이 경우 배율 m, FOV 의 반경 R<sub>0</sub> 에 대해 다음의 식(6)이 성립해야 한다.

$$v_{\max} = m \cdot R_0 \quad (6)$$

X 선 영상 시스템에 있어서 시험체를 투과한 X 선이 가시광선 영상으로 맺히는 영상 증배관의 입력면은 구면이다. 이러한 영상 증배관의 구면 입력면은 왜곡을 발생시키는 주 원인이 된다. 이렇게 생긴 왜곡은 시험체를 투과한 영상의 위치를 왜곡시켜 시험체의 크기 정보를 왜곡시키고, 광량의 왜곡은 시험체의 두께 정보를 왜곡시킨다.

왜곡된 정보를 바로잡아 신뢰할 만한 검사를 위해서는 이러한 시스템 왜곡을 보정해야 한다. 왜곡을 보정하기 위해 시스템에 대한 좌표모델을 세워 이를 분석하고 보정식을 유도한다.

### 3.2.1 기하학적 왜곡 해석

영상 증배관에서는 X 선원으로부터 발생한 X 선이 시험체를 투과하여 감쇄된 X 선 강도에 따라 출력면에 가시광선으로 영상이 맺히게 된다. 이렇게 맺힌 X 선 영상은 영상 증배관의 출력면에 위치한 CCD 카메라로 얻게 된다. 이 과정에서 영상 증배관의 입력면이 구면을 가지므로 출력면으로 상을 맺는 과정에서 왜곡이 생기게 된다.

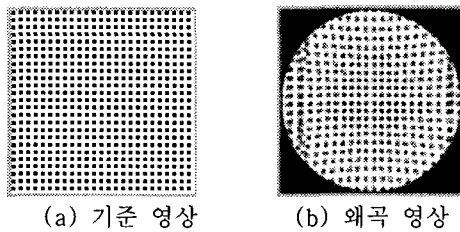


Fig. 6 Distorted acquired image

그림 6 은 영상 증배관 입력면의 구면으로 인한 왜곡을 나타낸다. 그림 6 의 (b)는 왜곡을 살펴 보기 위한 기준 영상이고, 그림 6 의 (a)는 영상 증배관의 왜곡 결과를 보이고 있다. 영상 증배관의 입력 평면에 맺힌 상은 출력 평면으로 축소되어 맺히게 된다.

이와 같은 영상 왜곡은 그림 7 과 같이 영상 증배관의 입력면과 출력면의 좌표 모델로 해석 할 수 있다. 우선 왜곡을 고려하지 않았을 때 입력 평면 상의 점 P 는 출력면의 점 R 로 배율 m 의 선형적인 관계로 맺히게 되고 그 관계식은 식

(7)과 같다.

$$P = \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \end{bmatrix} = -m_i \cdot S_{out} = -\frac{r_0}{R_{ii}} \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \end{bmatrix} \quad (7)$$

그러나, 실제로 영상 증배관의 입력 평면의 점 Q 는 증배관의 구면에 의해 점 P 로 왜곡이 일어난 채로 출력 평면의 점 R 로 맺히게 된다. 이때 입력 평면 상의 점 Q 와 Q 의 왜곡점 P 와의 관계는 위의 왜곡 모델에 따라 다음과 같이 구해진다 P'와 구면 중심 O<sub>i</sub>를 잇는 직선과 입력 평면이 교차하는 지점 P 가 된다.

Q 와 P 는 입력 평면으로 투영된 영상 좌표와 왜곡 영상 좌표의 관계가 되므로, 곧 왜곡된 영상의 보정을 가능하게 해주는 식(8)이 된다.

$$Q = \frac{1}{L + R_{ii}(1 - \cos \Phi)} \begin{bmatrix} L \cos \Phi & 0 \\ 0 & L \cos \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (8)$$

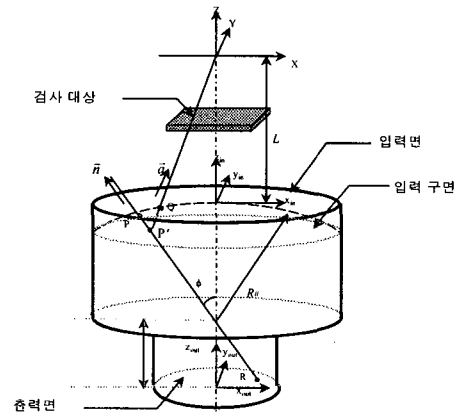


Fig. 7 Coordinates of X-ray imaging system

### 3.2.2 광량 왜곡 해석

영상 증배관의 구면의 입력면은 광량 또한 왜곡 시킨다. X 선 영상의 명암분포는 X 선이 투과한 물질의 두께를 대변하는 수치이므로, 광량 왜곡은 검사 대상 물체의 두께 정보를 왜곡시키는 것이다.

영상 증배관에 의한 광량은 왜곡은 그림 과 같이 입사각에 따라 달리 나타나며 가장자리로 갈수록 심해진다. 따라서, 영상 증배관의 광량 왜곡을 보정해주는 과정이 필요하다

광량 왜곡은 입사되는 면의 수직방향과의 이루는 각의 벡터  $\vec{a}$  가 이루는 cosine 값으로 모델 할 수 있다. 이는 방향 벡터  $\vec{n}$  와 방향 벡터  $\vec{a}$  가 이루는 cosine 값이 되며, 역으로 영상 증배관의 출력면에 맺히는 강도를 cosine 값으로 나누어 왜곡된 광량을 보정 할 수 있다. 따라서, 광량 왜곡 보정식을 다음식 (9)와 같이 정리할 수 있다.

$$I' = \frac{1}{\cos \phi} I, \quad \cos \phi = \frac{\vec{a} \cdot \vec{n}}{|\vec{a}| |\vec{n}|} \quad (9)$$

여기서,

$$\vec{a} = (-\cos \Phi \cdot x, -\cos \Phi \cdot y, L + R_{ii}(1 - \cos \Phi))$$

$$\vec{n} = (x, y, R_{ii})$$

이고, 여기서  $I$  는 영상 증배관 출력면에 맺힌 강도이며,  $I'$  는 이를 보정한 강도이다.

왜곡률  $w$  은 식 (10)과 같다.

$$w = \frac{I' - I}{I'} \quad (10)$$

### 3.3 시스템 설계 변수 조건에 따른 왜곡

앞 절에서 영상 증배관의 왜곡현상에 대해서 살펴 보았으며, 시스템 변수인 투사각을 달리하며 영상 증배관 입력면의 중심부터 가장 자리까지 왜곡률을 그림8에 나타내었다.

그리고, 영상 증배관 입력면의 구면으로 인한 이 같은 왜곡은 그림9와 같이 FDD에 따라 그 정도를 달리한다.

왜곡 수치를 식으로 정리하기 위해 영상 왜곡 수치는 영상의 각 위치마다 다르지만, 편의적으로 사용하는 영역 중 가장 왜곡이 심한 가장자리의 왜곡율로 표현하고, 식 (11)과 같이 단위 길이 당 늘어난 길이의 비율로 정의한다.

$x_p$  는 영상 증배관의 입력 구면 가장 자리에 투영 되는 입력 평면 상의  $x$  가 왜곡에 의해 늘어난 길이이다.

$$w = \frac{x_p - x}{x_p} \quad (11)$$

영상 왜곡은 영상 증배관의 각 위치에 X선이 입사하는 각도와 연관 되므로 왜곡 또한 모든

설계 변수들의 함수가 된다. 설계 변수들과 왜곡의 관계식은 다음과 같이 유도된다.

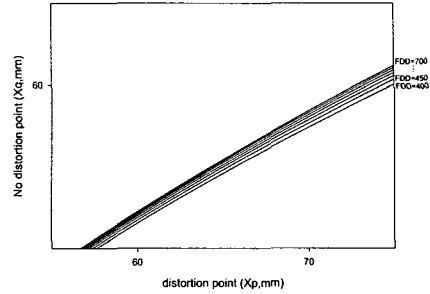


Fig. 8 Bright distortion on image intensifier

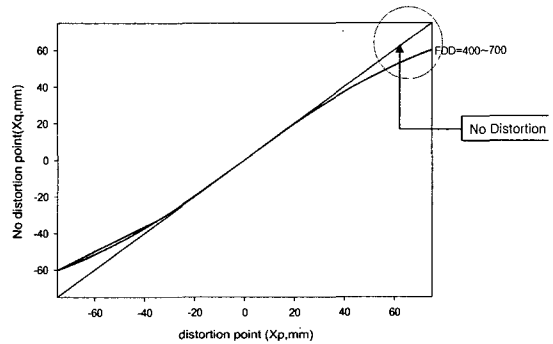


Fig. 9 Image distortion depending on FDD

영상 증배관의 입출력 좌표 관계에 의하여 입력면  $x$ 와  $x_p$  는 다음 식(12)가 성립하고,

$$x = \cos \Phi x_p \frac{L}{L + R_{ii}(1 - \cos \Phi)} \quad (12)$$

식(11)과 (12) 식으로부터 식(13)을 얻을 수 있다.

$$w = \frac{x_p - \frac{L \cos \Phi x_p}{L + R_{ii}(1 - \cos \Phi)}}{x_p} = 1 - \frac{L \cos \Phi}{L + R_{ii}(1 - \cos \Phi)} \quad (13)$$

영상의 왜곡에 의한 데이터의 왜곡을 방지하기 위해서는 가능한 시스템의 설계 가능 범위 중 왜곡이 작은 곳을 선택해야 한다. 그림 8을 보면 영상 증배관의 중심에서 반경 약 40mm내에 맺힌

영상만 취한다면 데이터 왜곡으로부터 비교적 자유로울 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 이 방법은 영상 증배관의 일부 밖에 사용할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 영상 증배관의 입력면을 최대한으로 사용하기 위해서는 왜곡 보정을 통해 잘못된 데이터를 바로 잡아 사용해야 한다.

#### 4. X 선 영상 시스템 시뮬레이션

##### 4.1 시뮬레이션 프로그램의 개요

앞장에서 제안한 X선 영상 시스템에 근거하여 X선 투과 영상을 시뮬레이션을 구성하였다. 그림 10은 X선 영상 시스템 시뮬레이션 프로그램의 블록 다이어그램이다.

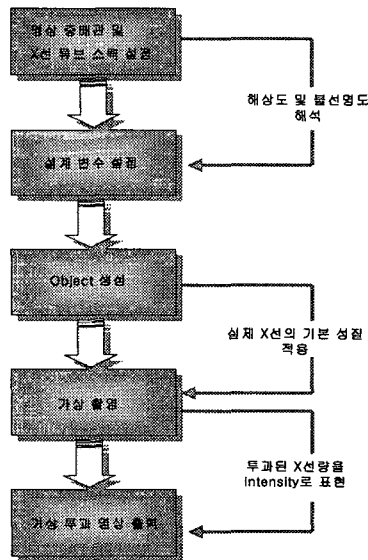


Fig .10 Block diagram for simulation

시뮬레이션 프로그램은 크게 X선 영상 시스템의 기본이 되는 X선 튜브 및 영상 증배관의 스펙을 입력하는 부분과 시스템의 설계변수를 임의로 설정하는 부분, 검사하고자 하는 시험체의 생성 부분, 그리고 거리의 역제곱법칙, X선 감쇄율 등 X선의 기본적인 성질을 적용한 시뮬레이션 촬영부분으로 나누어져 있다.

또한 영상 증배관의 왜곡 모델과 보정식을 적용해 영상 증배관의 구면으로 인한 왜곡을 확인하고 이를 보정할 수 있도록 구성했다. 특히,

X선 튜브 및 영상 증배관의 스펙을 입력하는 부분과 FDD, FOD, 배율 등의 설계 변수를 설정하는 부분에서는 설정된 설계 변수의 조건에 따라 해상도를 분석하고 불선명도를 평가할 수 있도록 했다.

##### 4.2 설계변수에 따른 시뮬레이션 영상

설계 변수를 각각 바꿔 입력시키면서 설계 변수 조건에 따라 투과 영상이 어떻게 달라지는지 확인한다.

시험체는 직육면체의 모형과 큰 직육면체 위에 작은 직육면체를 올려 놓은 모형의 두 가지를 사용하였다. 그림 11는 배율을 달리했을 때의 영상과, 그림 12는 배율을 고정시키고 FDD를 변화시켰을 때의 영상변화를 나타내었다. 그림 13은 왜곡의 보정 전과 후의 영상을 나타내었다.

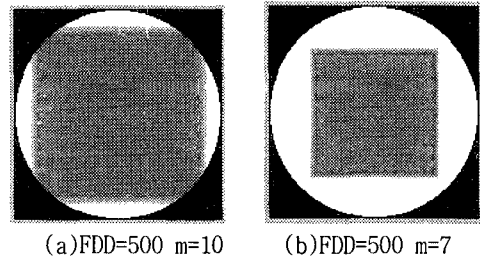


Fig .11 Simulation image I

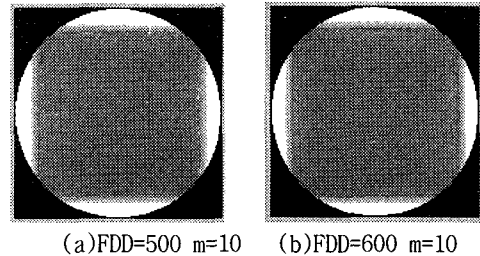


Fig .12 Simulation image II

#### 5. 배터리 검사를 위한 영상처리 기법 개발

##### 5.1 휴대폰 배터리 검사를 위한 영상 처리

이 장에서는 X 선 영상 시스템에 의해 얻은 휴대폰 배터리 투과 영상을 가지고 휴대폰 배터리 조립과정에서 생기는 불량을 검사하기 위한 알고리즘을 제안하고 이를 구현한다.

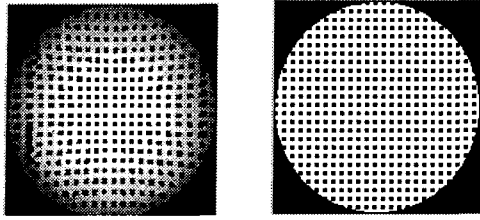


Fig.13 Simulation image III

휴대폰 배터리 조립 검사에서 측정하고자 하는 항목은 표 1 과 같다. 이들은 모두 휴대폰 배터리 조립과정에서 생기는 불량으로 캔 내부의 영상을 얻을 수 있는 X 선 영상 시스템을 이용하여 검사하여야 한다. 검사에 사용할 x 선 빔데리는 영상 시스템은 표 2 와 같다.

Table1 List of Battery Inspection

구분	검사 항목	
상부	1. 전극간의 거리 (음극-양극 약 0.85mm)	
	2. Tab 과 Can 의 접촉	
하부	3. 전극간의 거리 (음극-양극 약 0.72mm)	
	4. Cell 밀면과 전극간의 거리 (약 1.34mm)	
	5. 같은 전극간의 편차	
	6. 전극과 Can side 의 접촉	

Table 2 Components of Inspection system

X선 튜브	•70kv •Spot size : 30 um
영상 증배관	•6inch Tomson Tube •Effective dimension : 145 mm •Central resolution : 45 line/mm
CCD 카메라	•1/2inch CCD cell •760 x 570
시험체	•삼성BTL1017S표준 배터리

각 항목에 사용할 투과영상 획득을 위한 설계 변수는 표 3 과 같다.

### 5.2 제안된 영상 처리 알고리즘

표2에서 정의한 휴대폰 배터리 조립검사에 있어서 검사 항목은 상부의 2가지, 하부의 4가지 총 6가지이다. 각 항목의 검사 방법을 정리하면 다음과 같다.

Table 3 System design parameter

해당 검사항목	시스템 설계변수		
	FOD	FDD	배율
전극간의 거리	70	700	10
Tab 과 Can 간의 접촉	186	700	3.7
셀 밀면과 전극간의 거리	100	700	7
전극간 거리 및 같은 전극간의 편차	70	700	10
전극과 Can 의 접촉	70	700	10

\*. FOD, FDD 단위 : mm

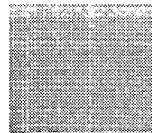
1. 상부, 하부 전극간 거리 - 음극, 양극의 라인을 찾아 두 라인의 길이 차를 구한다.
2. 상부 탭과 캔의 접촉, 하부 전극과 캔의 접촉 기준점을 찾아 이미 알고 있는 정보를 이용하여 기준점으로부터 일정정도 떨어진 영역을 ROI로 자동 지정하여 ROI에 대해 모폴로지를 이용하여 접촉 여부를 검사한다.
3. 셀 밀면과 전극간의 거리 - 기준점을 찾고 기준점을 중심으로 ROI의 align을 잡아준다. 셀 밀면과 전극간의 거리를 잰다

획득된 X 선 영상의 중요 특징치는 에지를 사용하였으며, 사용된 에지 추출 기법은 획득 된 영상의 에지 샘플의 명암분포를 분석하여 이에 적합한 에지 추출 mask를 만들고 이를 convolution한 결과를 이용하여 에지를 찾았다.

그림 14는 획득된 영상에서의 에지를 검출하는 과정을 나타내고있다. 그림 14의 (c)는 제안한 마스크의 컨볼루션 결과로 연속해서 가장 높은 그레이 레벨을 갖는 부분이 에지에 해당하는 부분이며 많은 노이즈가 보임을 확인 할 수 있다. 그림14의 (d)는 임계값을 적용하여 노이즈를 제거한 결과이다.

그림 15은 각각 앞서 제안한 마스크를 이용하여 에지를 검출했을 때와 은 프리윗 마스크로 에지를 검출했을 때의 영상을 비교한 것이다.

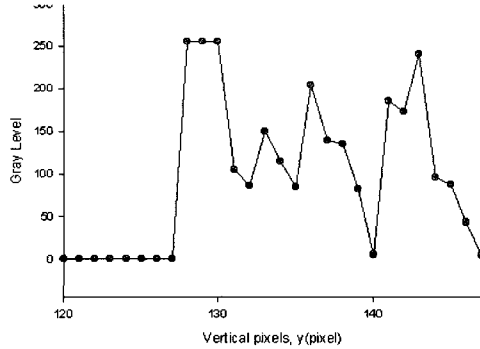
프리윗 마스크를 사용한 경우보다 제안한 마스크를 사용하여 에지를 검출하였을 때 더 좋은 결과를 보임을 확인 할 수 있다



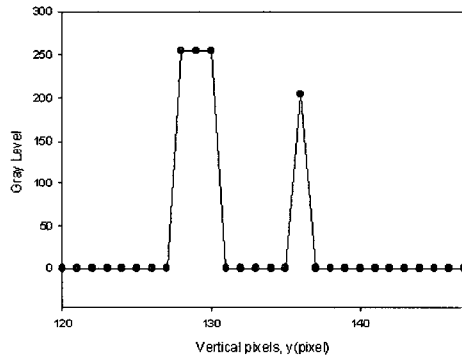
(a) 획득된 영상

-15	0	12	10	8	0	-15
-----	---	----	----	---	---	-----

(b) 에지 검출 마스크



(c) 제안된 마스크와 영상의 convolution 결과



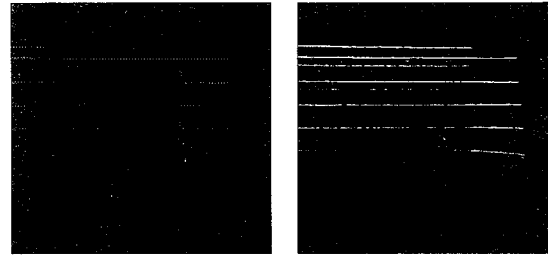
(d) 임계 값 적용후의 결과

Fig. 14 Image processing procedure

### 6. 결론

본 논문에서는 휴대폰 배터리 조립 검사를 위해 캔 내부의 영상을 얻을 수 있는 X선 영상 시스템 개발에 대해 연구하고 검사 위치 왜곡, 광량 왜곡 등의 시스템 왜곡을 해석하고 이에 대한 보정식을 제안 하였다. 본 연구의 내용을 정리하면 다음과 같다.

X선 영상 시스템을 개발하는데 필요한 주요 설계 변수들간의 관계식을 정리하고 시스템의 구성과 설계변수의 조건에 따른 해상도를 분석하였다. 또한 영상 증배관의 입력면과 출력면의 좌표 모델을 세워 영상 증배관에 의한 왜곡을 보정할 수 있는 보정식으로 정리 하였다.



(a) 프리윗 마스크 (b) 제안된방법  
Fig. 15 Comparison study for edge detection

이렇게 정리한 내용은 시뮬레이션을 통해 확인한 후 각 항목별로 실제 X선 영상 시스템을 설계하여 영상을 얻었다. 이렇게 얻은 영상은 제안한 보정식을 이용하여 왜곡을 보정하였다. 보정은 영상은 실제 검사에 적용할 수 있도록 x선 투과영상의 특징을 분석하고, 분석을 통해 영상 인식을 위한 에지 마스크를 제안 하였다. 기존에 많이 사용되고 있는 에지 마스크중 x선 투과영상에서 가장 좋은 검출 결과를 보이는 프리윗 마스크와 제안한 마스크를 이용한 에지 검출 결과를 비교하였다. 그 결과 제안한 마스크가 프리윗 마스크에 비해 좋은 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

본 연구의 내용으로 미루어 볼 때 앞으로 많은 검사로 신뢰성을 검증하고 실제 라인에 적용한다면, X선 영상 시스템을 휴대폰 배터리 조립 검사에 이용하여 휴대폰 배터리의 양산 단계에서 생길 수 있는 불량을 빠르고 신뢰할 만한 수준으로 검사 할 수 있어 제품 불량을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

본 연구는 선문대학교 RRC 와 ㈜고영테크 의 공동 연구비지원으로 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. Y.K. Ryu and H.S. Cho, "Visual inspection scheme for use in optical solder joint inspection system", IEEE ICRA '96, Minnesota, USA, 1996
2. S. M. Rooks, B. Benhabib, and K. C. Smith, "Development of an inspection process for ball-grid-array" tech A. E. M. Bocage, French Patent,



No.536464(1922)

3. Y. J. Lee, "Engineering inspection of radioactive rays", Gold Press, 1994, pp 67-132.
4. S. Black, D. L. Millard, and K.Nilson, "An animated interface for X-ray laminographic inspection of fine-pitch interconnect", IEMT Symposium 1991, pp 207-211
5. H. Doi, Y. Suzuki, and Y. Hara, "Real-time X-ray inspection of 3-D defects in circuit board patterns", Fifth international conference on computer vision (ICCV'95), pp 575-582 June, 1995.
6. S. Rooks and T. Sack, "X-ray inspection of flip chip attach using digital tomosynthesis", Surface Mount international conference (San Jose) 51-55, 1994
7. J. Adams, "X-ray laminography analysis of ultra fine pitch solder connections on ultra-thin boards", Integrated Circuit Metrology, Inspection, and Process Control V (SPIE) Vol. 1464. 1991, pp 484-497
8. T. A. Siewert and M. W. Austin, "Evaluation and qualification standards for an X-ray laminography system", Materials Evaluation, Sept. 1992, pp 1027-1035.
9. Y., J. Roh, H.S. Cho, "The design and analysis of X-ray imaging system using digital tomosynthesis", KAIST, M.S. thesis, 1997.
10. F. Protes and M. Chausse, French Patent 541941 (1992).
11. E. F. Kaelble, Handbook of X-rays, McGraw Hill, New York pp 1-31
12. T. D. Kampp, "The backprojection method applied to classical tomography", Med. Phys. Vol. 13, NO. 3, pp 329-333, 1986.