

Inspection of electronic components using dual X-ray energy

Kwon Su Chon*, Seung Jun Seo**, Jae Hong Lim**

Department of Radiological Science, Catholic University of Daegu*, Phong Accelerator Laboratory**

이중 엑스선 에너지를 이용한 전자부품 검사

* , ** , **
가 , 가 **

Abstract

X-ray can be applied to obtain a projection image of an object. It is not easy to obtain an high quality image for the object composed of low and high density materials. For the object with large difference in density, it is possible to realize high contrast image using images of low and high tube voltages and image processing. The plastic and metallic parts of the electronic components can be imaged by the dual energy technique which use low and high tube voltages and by processing pixel-by-pixel using visual C++. The contrast-enhanced image can be used to detect and observe defects within the electronic components.

Keyword : X-ray Imaging, Dual X-ray, Image Processing, Electronic Components

요 약

엑스선을 이용하면 다양한 종류의 시료에 대한 투영 영상을 얻을 수 있다. 시료가 저밀도 및 고밀도의 복합 물질로 구성되어 있는 경우는 단일 관전압 엑스선을 이용해서 두 물질을 모두 대조도가 높도록 영상화하기 어렵다. 저관전압과 고관전압을 이용하여 영상을 획득하고 영상처리하면 밀도의 차이가 큰 물질을 영상화하기에 용이하다. 크기가 작은 전자부품을 저관전압과 고관전압에서 영상을 획득하여 visual C++을 이용하여 픽셀-픽셀 영상 합성을 통하여 전자부품의 합성수지부분과 금속부분을 동시에 영상화하여 전자부품의 검사 및 관찰의 가능성을 검증하였다.

중심단어: 엑스선 영상, 이중 엑스선, 영상처리, 전자부품

I. INTRODUCTION

엑스선 영상기법(X-ray imaging)은 의료분야 뿐만 아니라 산업분야에도 광범위하게 사용되고 있다^[1-4]. 엑스선, 특히 고에너지 엑스선을 이용하면 두꺼운 시료나 밀도가 높은 시료의 내부 구조를 파악하는데 매우 유리하기 때문에 산업적 응용의 범위가 넓어지고 있

다^[5]. 엑스선은 또한 농수산물의 이물질 검사^[6]를 실시 간으로 전수검사를 수행하는데도 사용된다. 이 경우 상대적으로 크기가 크고 금속과 같이 밀도가 높은 물질을 검출하는데 용이하다. 최근에는 높은 해상도 구현이 가능한 디지털 검출기를 적용하여 작은 반도체 부품^[7-8]을 검사하는데도 사용하고, PCB(Printed Circuit Board) 기판의 미세 접합상태^[9]를 검사하기도 한다. 전

자부품의 경우는 상대적으로 작은 부분을 정밀하게 검사하기 때문에 전수검사 보다는 부품을 무작위 샘플링(sampling)하여 관찰하는 품질관리 분야로 활용된다.

대부분의 전자부품은 내부는 금속을 포함한 기능 부분이고 외부는 합성수지로 내부를 보호하는 경우가 많다. 저관전압을 사용하면 외부 합성수지 부분은 잘 관찰되나 내부 금속 부분의 대조도가 낮아 내부 관찰이 어렵다. 내부의 서로 다른 금속을 가지는 경우도 동시에 영상화하기 어려운 단점이 있다. 본 연구는 이중 엑스선 에너지를 이용하여 크기가 작은 전자부품의 검사의 유용성을 조사하였다.

II. MATERIAL AND METHOD

전자부품의 영상을 획득하는데 사용한 엑스선 영상 장치는 CsI 신틸레이터(scintillator)를 가지고 있는 CMOS 형태의 1536 × 864 픽셀(pixel) 개수의 검출기(Dexela 1207CL, USA)와 초점 크기가 5 μm 인 10 W 엑스선관(X-ray tube)과 엑스선관과 검출기 사이에 검사 대상물의 위치를 조절할 수 있는 균일한 두께를 가지고 있는 420 mm × 300 mm 크기의 카본 고정판(carbon plate)으로 구성되어 있다. 고정판 위에 대상물체를 두고 250 mm의 Z축 이동 거리를 조절함으로써 2-47배의 확대 배율^[10]을 달성할 수 있다. Fig. 1은 엑스선 영상 장치(SEC, Korea)의 개략도와 사진을 나타낸 것이다. Z축으로 고정판을 이동할 수 있게 하여 높은 확대 투영이 얻어질 수 있도록 하였고, X와 Y축의 이동이 가능하게 하여 시료의 위치 결정을 용이하다. 그리고 X, Y, Z축 모두 미세 이동이 가능하도록 되어 있다.

대상물체로 Fig. 2와 같이 내부와 외부의 밀도차가 큰 물질로 구성되어 있는 8 mm × 8 mm × 5 mm 크기의 5K 가변저항, 137 2N4403 GP PNP Bipolar 트랜지스터, 반도체를 선정하였다. 시료를 하나씩 장착대에 올린 후 시료의 투영영상이 적절한 크기가 되도록 Z 높이를 조절한 후 60 kVp, 100 uA, 0.5 sec 조건과 90 kVp, 100 uA, 0.3 sec의 조건으로 영상을 획득하였다. 관전압이 높고 낮음을 이용하여 이중 엑스선 에너지를 달성하였다^[11-13]. 관전압이 높으면 검출기에 도달하는 광자의 개수가 많아지기 때문에 노출시간을 조정함으로써 영상의 배경이 되는 픽셀값이 비슷하도록

조정하였다. 3개의 전자부품에 대해 90 kVp 이상에서는 금속의 대조도가 급속하게 떨어지게 되고, 60 kVp 이하에서는 합성수지 부분의 대조도가 나빠지게 되어 각각을 관전압의 상한 및 하한으로 선정하였다.

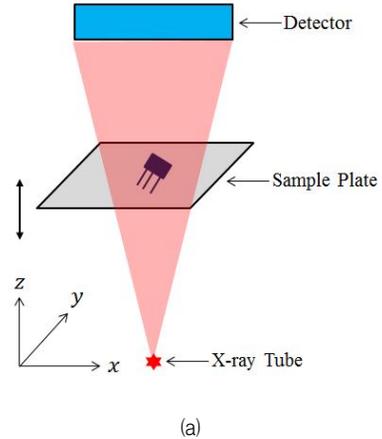


Fig. 1. Schematic diagram (a) and system (b) for imaging electronic components.

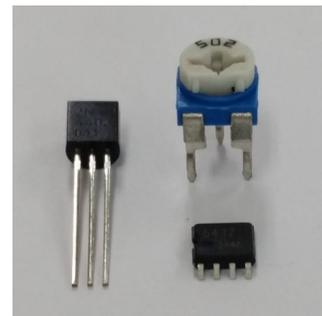


Fig. 2. Electronic components. Each is a resistor, transistor, and a semiconductor.

획득된 RAW 파일영상을 Visual C++(Visual Studio 2010, MFC)를 이용하여 픽셀-픽셀(pixel by pixel) 영상처리(합과 차)를 이용하여 합성된 영상을 얻었다. 영상은 픽셀값의 최대값과 최소값 사이를 256단계의 회색 음영으로 표시하였다.

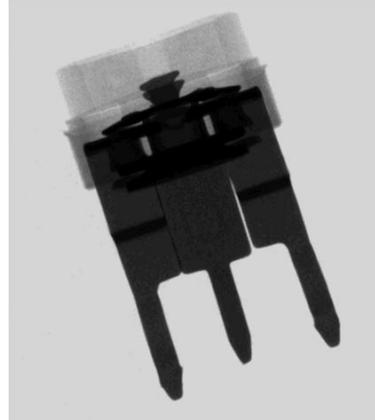
III. RESULT

1. 단순 영상

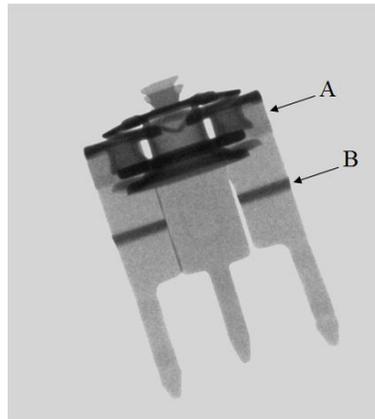
가변저항의 상위부분은 합성수지로 되어 있고 중앙에 나사로 저항값을 조정할 수 있도록 되어 있다. Fig. 3은 저관전압(60 kVp)과 고관전압(90 kVp)으로 획득한 저항에 대한 영상이다. 산업용 엑스선 영상은 의료영상과는 반대로 밀도가 높아 검출기에 도달하는 광자의 개수가 작은 영역이 어둡게 나타나고 밀도가 낮은 부분이 밝은 회색음영으로 나타난다. Fig. 3 (a)에서 밝은 회색으로 나타나는 상부는 플라스틱 합성수지이고 어두운 회색으로 나타난 부분은 금속 부분이다. 합성수지 부분이 잘 나타나도록 한 저관전압에서는 가변저항의 머리 금속이 명확하게 나타나지 않아 내부 구조를 파악하기 어렵다. 그러나 고전압에서는 금속부분만 명확하게 획득되어 내부 구조파악이 상대적으로 쉽다. Fig. 3 (b)의 A와 같이 고관전압에서도 합성수지의 영향이 일부 나타남을 알 수 있다. 즉, 금속의 두께가 상대적으로 두꺼워 어두운 영상으로 나타난 것이 아니라 합성수지의 영향이 반영된 것이다. 가변저항의 3개 다리는 모두 비슷한 픽셀값을 갖기 때문에 두께도 매우 일정하다는 것을 알 수 있다. 그리고 검은색에 가까운 부분은 저항의 다리 부분을 약 90°로 휘게 하였기 때문에 상대적으로 엑스선에 대한 경로 길이가 길어져 두꺼워지는 효과를 보이고 있다.

Fig. 4는 Bipolar 형태의 트랜지스터의 저관전압 및 고관전압의 영상을 나타낸 것이다. 합성수지가 트랜지스터를 둘러싸고 있으며, 왼쪽부터 콜렉터(collector), 베이스(base), 에미터(emitter)를 나타낸다. 그 모양도 서로 다른 구조로 되어 있다는 것을 알 수 있고, 콜렉터와 베이스, 콜렉터와 에미터가 와이어(wire)로 연결되어 있다. 고관전압에서 획득한 영상은 금속 부분만 나타난다. 와이어 부분은 금속이지만 직경이 작기 때

에 고관전압에서 발생된 높은 에너지의 X선에 의해서 투과되는 부분이 증가되어 대조도가 감소하고 와이어의 직경 또한 작아지는 효과가 나타난다.



(a)



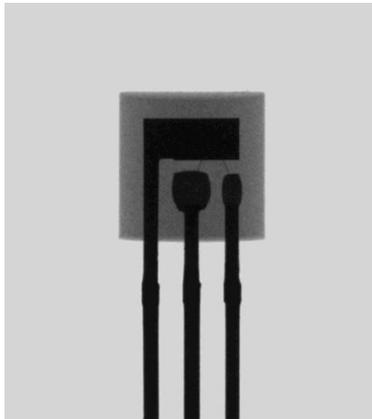
(b)

Fig. 3. X-ray images for a resistor under low tube voltage of 60 kVp (a) and high tube voltages of 90 kVp (b).

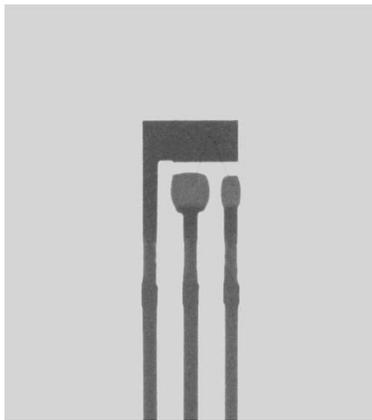
2. 이중 에너지 영상

저관전압에서는 상대적으로 밀도가 낮은 것을 관찰하기 쉽고, 고전압에서는 금속과 같은 밀도가 높은 물질을 관찰하기 용이하다. 저관전압 영상과 고관전압 영상 두개를 픽셀-픽셀(Pixel by pixel) 영상처리하면 밀도가 낮은 물질과 높은 물질 두 가지를 높은 대조도로 관찰할 수 있다. Fig. 5는 Biopolar 형태의 트랜지스터의 저관전압과 고관전압의 영상을 합성하여 256 회색

음영으로 만든 영상이다. Fig. 4 (a)에서 금속 와이어 (wire)가 금속과 중복되면서 잘 보이지 않았던 것이(대조도 0.0) 이중에너지 영상에서는 비교적 선명하게 관찰된다. 픽셀값을 이용하면 Fig. 5 (a)의 A로 표시된 부분과 B로 표시된 부분(확대된 그림 참조)의 대조도를 계산할 수 있으며 각각 0.05와 0.08로 향상되었다.



(a)

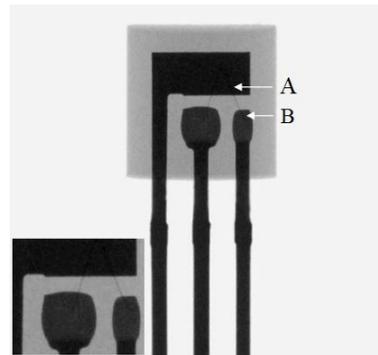


(b)

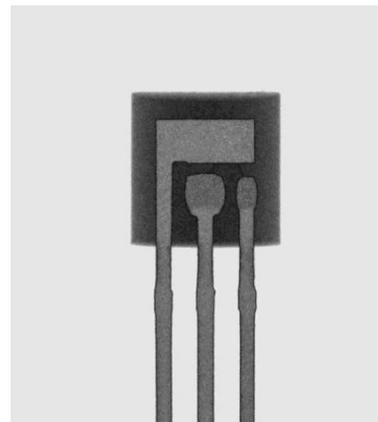
Fig. 4. X-ray images for a transistor under low voltage of 60 kVp (a) and high voltages of 90 kVp (b).

저관전압 영상과 고관전압 영상을 합성해서 영상을 만들 수도 있지만, 두 영상의 차이를 이용해서 Fig. 5 (b)와 같은 영상을 만들 수 있다. 이 영상은 오히려 금속 부분과 접합되어 있는 와이어 부분이 소거되어 실제 모습과 다른 영상이 얻어진다. 그러나 금속 두께 관찰에서는 서로 다른 음영을 보이기 때문에 콜렉터,

베이스와 에미터의 두께가 서로 조금 다르다는 것을 이 영상을 통해 알 수 있다. 따라서 영상의 표현 또는 표시 측면에서 구조물의 모든 부분에 대한 영상의 품질이 향상 향상되는 것이 아님을 알 수 있다. 저관전압과 고관전압 영상의 픽셀값을 1:1로 감산 또는 합산할 수도 있지만 무게인자를 주어 영상처리 하여 관심부분의 영상을 효과적으로 강조할 수도 있다. 따라서 관심부분을 더 잘 관찰 할 수 있도록 영상 처리할 필요가 있다.



(a)



(b)

Fig. 5. Add (a) and subtraction (b) Images for a transistor using dual energy images.

IV. DISCUSSION

전자부품은 대부분 금속으로 된 부분과 합성수지로 된 부분으로 나눌 수가 있다. 통상적인 엑스선 영상

기법에서는 금속과 합성수지는 높은 대조도로 관찰할 수 있지만, 금속과 금속, 합성수지의 내부의 문제점을 발견하기 어렵다. 저관전압을 사용하면 합성수지 부분이 더 잘 표현되고, 반대로 고관전압을 이용하면 엑스선의 물질에 대한 투과력이 높아져 합성수지 부분은 거의 투명하게 나타나고 대부분 금속부분만 나타나게 된다. 이 두 영상을 픽셀-픽셀 영상처리하면 보통의 방법에서 알기 어려운 정보들을 얻을 수 있다.

고관전압에서는 투과력이 높아져 대부분 금속만 영상으로 얻어지나, 금속 중에서도 두께가 서로 다른 부분에서는 영상이 실제 구조물을 100% 있는 그대로 표현하지 못한다. Fig. 6의 흰 사각형으로 된 부분과 같은 금속 와이어를 예로 들 수 있다. 금속과 중복된 부분과 합성수지에 포함된 두 경우의 직경이 서로 다르다는 것을 알 수 있다. 따라서 고관전압의 영상획득에서도 확실적인 조건을 적용하여 영상을 획득하는 것이 아니라 관심 있는 내부 금속의 구조가 가장 잘 표현되도록 하는 조건에서 영상을 획득하여 영상처리를 해야 한다는 것을 알 수 있다.

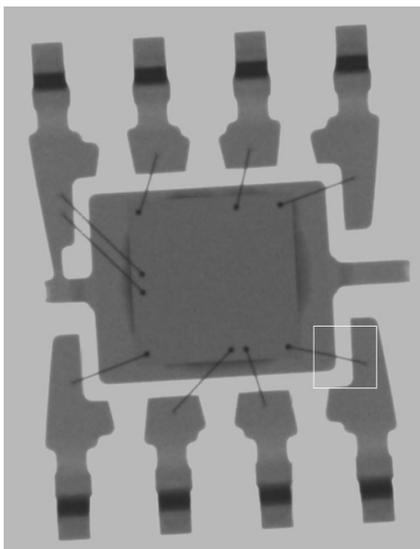


Fig. 6. Semiconductor image under high tube voltage of 90 kVp.

전자부품의 영상화에 있어서 미세 구조물 분석에는 해당 영상장비의 공간분해능을 우선 평가한 후 실시할 필요가 있다. Fig. 6의 중앙부는 미세 회로로 패턴화되어 있는 부분이나 영상장비의 공간분해능을 넘어서

기 때문에 패턴을 확인하기 어렵다. 또는 미세 회로를 구성하는 패턴의 두께가 얇아서 고관전압을 이용할 때 대부분이 투과하여 영상화되지 않을 가능성이 있다.

V. CONCLUSION

저관전압과 고관전압을 이용하여 전자부품을 영상화하였다. 이 두 영상을 픽셀-픽셀 처리를 통하여 전자부품의 합성수지 부분과 금속부분을 동시에 적절한 대조도로 나타낼 수 있어, 단일의 저관전압 영상 및 고관전압 영상의 단점을 동시에 보완할 수 있다. 이는 전자부품의 합성수지 및 금속 부분의 결함을 관찰할 수 있음을 의미한다. 따라서 이중 엑스선 에너지 기법을 이용하면 전자부품과 같은 저밀도 물질과 고밀도 물질이 동시에 존재하는 대상의 검사 및 확인에 매우 유용하다.

저관전압과 고관전압 영상의 처리방법에 따라 영상의 품질이 향상될 수 있고 정보의 손실이 발생할 수 있다는 것을 확인하였다. 그리고 고관전압의 영상을 획득하는 조건에 따라 대상물질의 두께가 다른 부분에서 왜곡이 발생하였다. 따라서 관심 부분의 검사 또는 관찰을 위해서는 적절한 영상획득 조건의 적용과 이중에너지 영상을 합 또는 감 할 때 두 영상의 무게인자를 다르게 하는 영상처리가 필요하다는 것을 알 수 있다.

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) grant No. 10038749 and No. 10047485.

Reference

- [1] Zang Hee Cho, Joie P. Jones, Manbir Singh, "Foundations of Medical Imaging," John Wiley & Sons, Inc. 1993.
- [2] Alex Pappachen James, Belur V. Dasarathy, "Medical image fusion: A survey of the state of the art," Information Fusion, Vol. 19, No. 4, pp.4-19, 2014.
- [3] Justin G. Schneeman, "Industrial X-ray Interpretation," Intex Publishing Company, 1968.

- [4] Martin Hoheisel, "Review of medical imaging with emphasis on X-ray detectors," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Vol. 563, No. 1, pp.215-224, 2006.
- [5] Alexander Flisch, Joachim Wirth, Robert Zanini, Michael Breitenstein, Adrian Rudin, Florian Wendt, Franz Mních, Roland Golz, "Industrial Computed Tomography in Reverse Engineering Applications," *DGZ-fP-Proceedings BB*, Vol. 4, No. 7, pp.45-53, 1999.
- [6] Sunil K. Mathanker, Paul R. Weckler, Timothy J. Bowser, "X-Ray Applications in Food and Agriculture: A Review," *Transactions of the ASABE*, Vol. 56, No. 3, pp.1227-1239, 2013.
- [7] Mario Pacheco, Deepak Goyal, "New Developments in High-Resolution X-ray Computed Tomography for Non-Destructive Defect Detection in Next Generation Package Technologies," *International Symposium for Testing and Failure Analysis(ISTFA)*, pp.30-35, 2008.
- [8] S. Rooks, T. Sack, "X-ray Inspection of Flip Chip Attach Using Digital Tomosynthesis," *Journal of the Circuit World*, Vol. 21, No. 3, pp.51-55, 1995.
- [9] David Bernard, "X-ray tube selection criteria for BGA/CSP X-ray inspection," *The Proceedings of SMTA International Conference*, 2002.
- [10] Jerrold T. Bushberg, J. Anthony Seibert, Edsin M. Leidholdt JR, John M. Boone, "The Essential Physics of Medical Imaging," Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- [11] Jean-Marc Dinten, Christine Robert-Coutant, Michel Darboux, "Dual-energy X-rays absorptiometry using a 2D digital radiography detector: application to bone densitometry," *SPIE Medical Imaging conference*, pp.459-468, 2001.
- [12] E. Gingold, B. Hasegawa, " Systematic bias in basis material decomposition applied to quantitative dual-energy x-ray imaging ", *Medical Physics*, Vol. 19, No. 1, pp.25-33, 1992.
- [13] Angelo Pietrobelli, Carmelo Formica, Zimian Wang, Steven B. Heymsfield, "Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts," *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, Vol. 271, No. 6, pp.941-951, 1996.