한국기계가공학회지, 제18권, 제8호, pp.60～66(2019.08) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 8, pp.60~66(2019.08) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2019.18.8.060

이물질 검출을 위한 X-Ray 비파괴검사 장비 개발

유영태*, 오준호**, 김진우*,#

*조선대학교 기계시스템 · 미래자동차공학부, **조선대학교 대학원 기계시스템공학과

Development of X-ray Non-destructive Testing (NDT) Equipment for the Detection of Alien Substances

Young-Tae Yoo*, Joon-Ho Oh**, Jin-Woo Kim*,#

*School of Mechanical System & Automotive Engineerinsg, College of Engineering, Chosun Univ.,
**Department of Mechanical System Engineering, Chosun Univ., Graduate School, Gwangju, Korea

(Received 27 May 2019; received in revised form 5 June 2019; accepted 16 June 2019)

ABSTRACT

This study aims to develop and manufacture a device for inspecting impurities in a sealed aluminum container using an X-ray technique. Two X-ray oscillators and detectors are used to detect the entire sample. The stage for sample movement was fabricated using two high-voltage generators and X-ray detectors arranged diagonally. In addition, the high-voltage generator is composed of a vacuum tube, a high-voltage generator, and circulating oil for cooling. It includes a control unit for controlling other equipment, a power supply unit, and a video output unit; the most important part of the X-ray is the X-ray generation part. In this study, a flat panel was used along with the aim of developing the detector part. In particular, the development of the scintillator introduced in this study is a primary focus. The developed scintillator can be combined with a lens and can then be assembled with a charge coupled device (CCD) sensor.

Key Words : X-ray(X-레이), Scintillator(섬광체), Coupled Charge Device(전하결합기기), Detector(검출기)

1. 서 론

X-ray와 같은 고에너지를 이용하는 검출기로 실리콘을 활용하는 검출기에 대한 연구가 광범위하게 진행 되었다[1-4].

이와 같은 이유로 X-ray를 이용해서 비파괴검사 장치를 연구하는 연구자들은 검출기(detector)의 성질에 대한 연구가 집중 되었다[5-11]. 이들 연구자들은 X-ray 발진기에서 검사체를 투과하는 파장이 섬광체에서 가시광선으로 변화한 X-ray의 선량을 측정하기 위해 광자를 계수하는 방법과 형광하는 빛의 강도를 측정하는 검출기의 소재와 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 X-ray를 이용하여 밀폐된 알루미늄 용기 내에 있는 불순물을 검사하는 장치를 DR 기법을 이용하여 개발하여 제작하고자 한다. X-ray 발진기에서 발진된 방사선이 검사물체를 지나 섬광체에 조사하면서 변화된 가시광선의 광자를 디지털 신호로 검출하여 컴퓨터 모니터에 영상을 출력할 수 있는 간접검출방법을 채택해서 연구하였다.

용량이 355 ml와 473 ml인 알루미늄 캔 내부의

Corresponding Author : jinu763@chosun.ac.kr
Tel: +82-62-230-7014, Fax: +82-62-233-7905

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

음료수에 포함돼 있는 이물질을 검사하여 불량품을 검색하기 위한 X-ray 비파괴검사장비를 개발하고자 한다. 이물질을 검사하는 데 빠른 시간뿐만 아니라 오류를 최소화해야 하기 때문에 2개의 X-ray발진기와 2개의 검출기(detector)를 정렬하는 방식으로 시스템을 구성하였다. X-ray로 검사하는 알루미늄 캔의 밑바닥 직경은 59 mm, 높이는 195 mm인 용기 내 음료수에 2 mm이상의 금속물질과 5 mm이상의 비철금속을 검출할 수 있는 비파괴검사장비를 개발하여 산업체의 현장에 적용하고자 한다.

2. 실험 및 실험장치

X-ray를 이용하는 비파괴검사장치는 X-ray발진기, 검출기(detector), 검사체 이송장치, 차폐장치, 데이터 acquisition 및 소프트웨어와 시험결과 영상 모니터로 구성된다.

본 연구의 기술개발에 채택하고 있는 간접검출 방식을 이용한 X-ray 영상검출기(detector)의 경우 광학 시스템을 이용하는 경우가 많은데, 이는 대면적의 엑스선 변환층, 즉 섬광체의 가용성과 달리 픽셀 어레이의 크기가 실제 촬영하고자 하는 대상체 보다 작은 경우에 유용하게 이용될 수 있다. 이때 중요한 설계변수 중 하나로 광학결합효율을 들 수 있다. 섬광체에서 발생된 빛을 손실 없이 얼마나 잘 리드아웃 픽셀 어레이로 전달하는가를 나타내는 척도로 아래 식으로 표현한 X-ray 영상센서의 민감도(sensitivity) α와 직접적인 관계가 있다[1].

$$\alpha = \frac{\tau}{1+4F^2(1+m)^2} \quad (1)$$

여기에서 τ는 렌즈의 투과율(transmittance), F 는 $f-$number(초점거리를 렌즈의 실효구경으로 나눈 값)이며 m은 축소율(demagnification factor)이다. 위 (1)식을 보면 아무리 X-ray 흡수/변환 효율이 뛰어난 섬광체를 사용하더라도 광 수집을 위한 광학 시스템을 잘 설계 하지 않으면 $f-$number와 축소율 m을 곱한 값의 제곱에 반비례하기 때문에 막대한 손실이 나타나 선명한 영상을 얻을 수 없게 됨을 알 수 있다.

2.1 차폐장치

X-ray 검사장비를 개발 할 때 X-ray source로부터 발생되는 방사선으로부터 검사자의 안전을 고려해야 한다. 이와 같은 이유로 X-ray source로부터 방사선에 피폭되지 않도록 안전을 고려한 차폐장치를 제작하였다. 공급전압 60kV와 공급전류 0.5 mA에서 발생되는 방사선을 효과적으로 차단하면서도 가볍게 제작하기 위한 차폐 계산을 통해 2 mm 두께의 철판을 이용하였다.

방사선발생장치의 사용시간은 주당 최대 1시간 정도 되므로 Primary beam 방향에서의 방사선발생장치 외부 방사선량률을 평가하여 필요한 차폐 두께는 약 0.5㎜가 필요하다.

NCRP(National Council on Radiation Protection and Measurements : 미국 방사선방호측정위원회) 49 p91를 근거로 필요한 차폐두께를 찾아보면 약 0.4 mm의 납차폐가 필요함을 알 수 있다. 이를 토대로 납(11.34g/cm^3)과 철(7.8g/cm^3)과의 밀도차이를 이용하여 철의 차폐 두께를 구해보면 0.58 mm의 철이면 충분한 것으로 판단되나 방사선 차폐뿐만 아니라 구조적 안전성을 고려하여 바닥은 4 mm 그 외 부분은 2 mm 두께의 철로 차폐하여 사용하는 사람이 X-ray에 피폭되지 않도록 충분히 안전을 고려하여 제작하였다.

차폐장치(shielding body)는 X-ray 튜브 장착부, 스테이지, 검출기(detector) 장착부가 내장되어 있다. 다시 스테이지(stage)는 X축과 Y축, 2축으로 움직이는 구조로 샘플을 스테이지에 올려놓고 미세하게 선형적으로 이동하면서 검사할 수 있는 방식이다. 고전압박스와 검출기는 고정되어 있고 스테이지가 움직이는 형태로 제작하였다. 스테이지의 X축과 Y축 방향으로의 이동은 스텝모터를 이용하였다. 스텝모터의 평균이송속도는 0.5 mm /sec이다. X-ray를 발진하는 고전압박스와 검사체를 투과하여 전달되는 검출기를 각각 2개씩 대각선 방향으로 정렬하여 구성하였다.

2.2 고전압방전관

발진되는 X-ray 초점크기(focal spot size)는 50 μm가 되도록 하였다. 인가전압은 60 kV이고 전류는 0.5 mA가 흐르도록 하였다. 고압방전관은 일종

의 진공방전관으로 고전압 하에서 가속한 전자를 표적(target)이라는 금속판에 충돌시켜 X-ray를 발생시키는 구조이다.

본 연구개발에서 제작하는 고압방전관은 60 kV이기 때문에 대부분이 열로 바뀌고 X-ray는 불과 0.5%에 불과 하기 때문에 냉각문제가 중요한 과제가 된다. 표적물질이 텅스텐(W)일 경우 일반적으로 고압방전관의 인가전압은 40-200 kV범위에서 사용하기 때문에 고압으로 인가하면 열 발생으로 많은 문제가 발생할 수 있다. 고압방전관의 전압이 100 kV에서 0.8%가 X-ray 변환되고, 120 kV에서 0.9%가 되며 나머지는 열로 변환되어 X-ray 관의 양극(Anode) 온도를 상승시킨다. 그러므로 표적으로 사용하는 소재는 열전도도 양호해야 한다. 열전도성(thermal conductivity)이 높으면 열을 좀 더 신속하게 방출하기 때문에 열전도성을 고려해서 텅스텐을 사용하였다.

X-ray 발생장치에서 중요한 부분 중에 하나는 전자가 표적에 충돌할 때 99% 이상이 열로 변화되는 것을 냉각시키는 문제이다. 앞에서 설명한 것처럼 전자가 표적에 충돌하면서 발생하는 열을 제어하지 못하면 진공관의 모양이 물리적으로 변형이 발생해서 수명이 짧아진다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 절연유를 이용해서 온도가 60℃이하를 유지할 수 있도록 하였다.

채배단은 여러 개의 콘덴셔와 다이오드 배열 조합으로 이루어지며, 이러한 조합을 통해 입력전압을 60 kV까지 승압을 시키게 되어 있다. 이렇게 승압이 된 전압은 Target이라는 Tube의 양극에 전달되는데, 이러한 강한 양극 영향으로 전자들이 Target에 부딪혀 X-ray와 열이 발생하게 된다. Target의 반대편에 있는 필라멘트에서 Target에 부딪히게 되는 전자를 만들게 되는데 이를 위해 전류를 필라멘트에 흘려 보내야 된다. 이러한 역할을 위해 채배단에서는 입력 전압을 감압시켜 일정 전류만 흘려보내는 부분이 있으며, 본 연구에 사용된 장비는 0.5 mA의 전류를 흘려보내기 위해 약 500 Ω의 저항(R)과 0.25 V의 전압(V)을 인가시키고 있다.

2.3 고전압박스 및 섬광체 제작

먼저 외관은 황동 판금으로 제작하였다. 내부 채배단과 알루미늄 금형에 고전압진공관을 PVC(polyvinyl chloride)와 납으로 감싸 넣고 오일을 충전시켰다. 0.5 mm의 납판으로 고전압관박스를 차폐시키고 X-ray가 한 방향으로 진행하도록 제작하였다.

X-ray는 빠른 속도로 진행하는 전자가 금속 원자의 영향으로 급속하게 감속되거나 정지하는 경우 원래 전자가 갖고 있던 운동에너지가 전자기파 형태인 X-ray로 변화하는데 고압박스 제작시 납으로 모두 차폐하고 원형부로 유도하여 제작되었기 때문에 다른 방향으로는 누설 선량이 차폐가 되고 표적물(target) 방향으로 방사선이 집중하게 되었다.

고압박스를 제작한 다음 내부에 X-ray를 발진하는 진공관과 채배단과 함께 오일을 충전한 다음 60 kV의 전압을 인가시키면서 온도변화를 관찰 하였다. X-ray를 발진하는 진공관에서는 99%이상이 열로 변화하기 때문에 냉각시켜 주지 않으면 표적소재가 용융되어 물리적인 변형으로 수명을 단축시키기 때문이다. 충진한 오일은 MICTRANS OT-4 (MICHANG Oil)을 사용하였다. 인가된 전압은 CHEKMAN TK-201로 측정하여 인가되는 전압값을 확인 하였다. 고압박스에 누설되는 방사선량은 TERRA MKS-05, INSPECT ALERT로 측정하였다.

고전압관을 제작한 다음 고전압이 안정적으로 공급되는지 확인하기 위해 공급전압을 측정하였다. 관전압은 측정위치에서 표시치에 대한 관전압의 백분율 평균오차가 ±8 %이내여야 한다. 본 연구에서 제작한 고전압관의 정격전압은 60 kV 이다. 전압을 측정한 계측기는 모델TK-201(기기명 K2010175897)인 Digital Multimeter이다.

본 연구에서 제작한 섬광체는 Sol-gel법을 이용해서 X-ray 섬광체를 합성하였다. 합성한 섬광체 분말 Gd_2O_2S:Tb를 Emi Miyata의 방법처럼 Al판에 밀착시켜서 이용하였다. Sol-gel에 의한 섬광체는 $GdCl_3 \cdot 6H_2O$: $TbCl_3 \cdot 6H_2O$: H_2SO_4 를 1 : 0.5 : 0.5 의 비가 되도록 재료 배합 설계를 하였다. 각각의 순도는 99.0%, 99.9%, 60%이다. $GdCl_3 \cdot 6H_2O$ 146g와 $TbCl_3 \cdot 6H_2O$ 73g을 각각 에탄올(99%) 175g에 넣고 12시간 동안 상온에서 교반하였다. 두 용액을 혼합하고 교반 중에 H_2SO_4 31g을 서서히 적하하여 gel 침전을 유도하였다. H_2SO_4 적하가 끝난 다음 60℃에서 2시

간 동안 교반하였다.

다음으로 불필요한 촉매, 에탄올 등의 용매를 제거하기 위해 응축기를 이용하여 용매를 추출하였다. 모든 교반과정은 밀봉상태에서 진행하였으며 시약은 정제 없이 그대로 사용하였다. 침전이 완전히 끝난 후 5㎛ 종이 필터를 이용하여 상징액은 제거하고 2~3회 증류수로 침전물을 세척하였다. 세척이 끝난 침전물을 100℃에서 2시간 동안 건조한 후 720℃에서 2시간 동안 열처리한 다음, 100℃에서 담금질(quenching)하여 Gd_2O_2S:Tb의 형광체 분말을 얻었다. 이 때 승온속도는 5℃/min이다.

2.4 검사 system 제작

알루미늄 캔 내부의 음료수에 포함된 이물질을 비파괴 검사하기 위한 시스템을 제작하였다. 차폐박스 내부에 스테이지 등을 설치하고 고전압박스를 고정한 다음 평판 검출기(Flat Panel Detector)를 설치했다. 영상출력을 위해 검출기(Detector)에서 받아들인 X-ray 영상을 Frame Grabber(Picolo Board)를 통해 컴퓨터 화면에 영상이 출력되도록 하였다. Frame Grabber는 컴퓨터 보드의 PCI 인터페이스를 통해 컴퓨터와 통신하게 되며, 이 신호는 Viewer 프로그램을 통해 육안으로 확인이 가능하도록 개발하여 조립하였다. 컴퓨터로 X-ray 선량을 조정하여 영상을 볼 수 있는 소프트웨어가 설치되어 있어 X-ray 영상을 쉽게 출력할 수 있도록 하였다. X-ray 발진기를 지난 방사선량이 검출기에 도달하는 중간에 알루미늄 캔을 놓고 이물질을 검출하기 위해 배열하였다. X-ray 발진기와 검출기를 각각 2개씩 대각선으로 배열하여 검출시간과 검출에 대한 효율성을 높였다.

시스템을 완성시킨 다음 방사조사누설량을 측정하였다. 방사조사선량율 측정기(엑스/감마 서베이미터)는 모델명 Medcom, Insepctor(기기번호 A05656)으로 측정하였다. 누설선량은 X-Ray 발생시 제품의 외관에서 측정한 누설선량은 1 uSv/h 이하 이어야 한다. X-ray 정상 동작 시 피검사체의 중앙점에 일치하는 높이의 제품 외관(4면)을 중심으로 좌우상하 50cm 되는 곳마다 방사선 누설 선량계를 이용하여 측정한 결과 누설량이 기준치 이하로 측정되어 안전함을 확인 하였다.

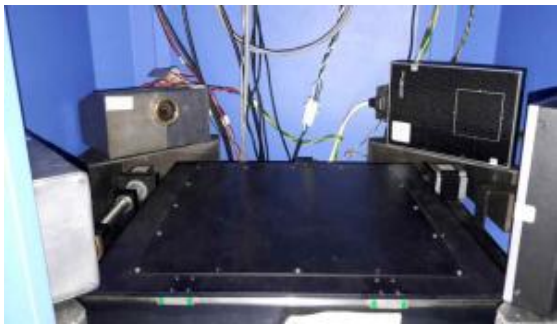

Fig. 1 X-ray generator and detector

개발된 제품에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 실제로 시중에 유통되고 있는 주류회사의 알루미늄캔을 사용해 실험을 했다. 알루미늄 캔의 높이는 195 mm이고 캔의 밑면이 직경은 59 mm이다. 본 연구를 통해 개발한 비파괴검사 장비를 이용하여 알루미늄 캔 내부에 있는 이물질을 검출하기 위한 실험을 하기 위해 금속의 경우 재질이 철인 직경 2 mm 길이 2 mm, 비금속은 내경이 3 mm, 외경 5 mm 두께 편측1 mm인 이물질을 넣었다.

X-ray 발진기와 알루미늄 캔 사이의 거리는 약 140 mm 위치에 놓여있다. X-ray 발진기에서 발생한 X-ray는 알루미늄 캔을 투과하여 약 550 mm 위치에 있는 검출기에 도달한다. 본 연구에 사용한 검출기는 평판검출기(Flat Panel Detector)로 고해상도 및 공간 활용이 용이하다. 본 연구 개발에 사용한 검출기 시스템은 2개의 X-ray 발진기와 2개의 검출기로 구성된 더블헤더의 형식으로 구성되어 있다. Fig. 1은 X-ray 발진기와 검출기를 배열한 사진을 나타내고 있다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 간접검출방식(indirect detection method)을 채택하였으며 섬광체는 Gd2O2S:Tb를 직접 제작하여 섬광체로 이용하였다.

X-ray에 조사된 섬광체에서 나오는 광량을 형광 반응 적분구 측정한 결과를 Table 1에 정리하여 나타내었다. 적분구의 측정은 적분구의 빛 유입구에 샘플을 위치하고 빛의 유입 경로를 흑색막으로 밀봉하여 빛의 유입을 완전 차단한 상태에서 X-ray를

Table 1 X-Ray integrating sphere measurement

sample	Optical Power(mW)	Peak Wavelength(nm)	Half-width (nm)
49㎛	0.0011	544.6	7.5
57㎛	0.0014	544.7	7.4
95㎛	0.0009	544.7	7.4
121㎛	0.0013	544.6	7.5
245㎛	0.0015	544.7	7.6
310㎛	0.0088	544.6	7.6

투과하여 형광막의 형광체 반응광을 측정하였다. X-Ray에 반응하는 형광막의 광량이 절대적으로 부족하여 60초간 광량을 받아들이기 위해 X-Ray 의 최대 출력 시간인 1.3Sec를 샘플별 28회 시행 하였다.

최고 파장은 544nm이고 반치폭은 7.5nm 정도가 됨을 알 수 있다. 섬광체의 두께가 증가 할수록 광출력이 증가하고 있음을 알 수 있는데 이는 섬광체의 내부에서 내부 반사되면서 광량이 증폭되기 때문인 것으로 판단한다.

본 연구에서 X-ray를 이용하여 이물질을 검출하는 방법은 X-ray가 검사물체를 투과해서 검출기(detector)에 전달되는 신호를 검출하는 간접방법을 사용하고 있다. 간접검출방법의 특징은 검출하는 센서인 검출기의 특성으로 결정된다. 이 방법은 피검사체를 투과한 X-ray가 섬광체(scintillator)에 조사되어 가시광선으로 바뀐 빛을 포토다이오드(photodiode (a-silicone))에서 광신호를 전기적 신호로 바꾸고 박막트랜지스터(thin film transistor : TFT array)를 지나 디지털 영상(digital image)으로 바뀌어 모니터에 출력되는 방법을 이용하고 있다.

X-ray 발진기로부터 출발한 X-ray가 피검사체를 투과한 X-ray 섬광체(scintillator)는 일종의 형광판으로 광자의 영상증배관 역할을 한다. X-ray가 섬광체에 조사되면 가시광선으로 변화된 신호를 전하결합기기(coupled charge device : CCD)를 이용하여 디지털 영상(digital image)을 전기신호를 바꾸는 방식이 간접변환방식을 채택하는 일반적인 비파괴검사시스템이다.

고압방전관의 정격 최대 출력을 60 kV로 한 X-ray 발전기의 전압변화에 따른 이물질의 검출 영상을 분석하였다. 금속이물질 길이 2 mm와 직경 2 mm 크기와 비금속 이물질은 내경 3 mm이고 외경은 5 mm 두께가 편측 1 mm인 도넛형태의 플라스틱 재료의 시험물질을 용기에 투입하였다. Plastic 이물질을 투입한 후 알루미늄 캔의 거리를 X-ray 발진기로부터 500 mm 위치에 놓고 인가전압의 증가에 따른 해상도 변화를 실험하였다.

3.1 X-ray 발진기와 피검사체 거리 변화에 따른 해상도

X-ray를 이용한 비파괴 검사장치는 X-ray발진기와 검출기(detector)사이에 검사하고자 하는 피검사체를 놓고 X-ray 발진기에서 피사체를 투과하여 검출기에 도달하는 선량의 변화를 판독하는 방법을 이용하고 있다. 이와 같은 이유로 피검사체가 X-ray 발진기와 거리 변화에 따라 영상의 크기가 어떻게 변화하는지 실험했다.

X-ray 빔 방출 지점에서 영상이 맺히는 지점까지 거리를 FDD(Focal spot to Detector Distance)라 할 때 본 연구에서 사용하는 실험장치의 거리는 550 mm이다. X-ray 빔 방출 지점에서 시료까지의 거리를 FOD(Focal spot to Object Distance)라 할 때 본 연구에서는 FDD는 550 mm로 고정 되어 있기 때문에 피검사체의 이동에 따른 영상크기의 변화는 FOD의 변화에 따라 달라진다. FDD와 FOD로 정의하는 X-ray 배율은 아래와 식 같이 표현된다.

$$\text{X-ray 배율} = \frac{FDD}{FOD} \tag{2}$$

빔이 조사되어 시료를 지나 영상이 검출기(Detector)에 도달하는 영역은 FOV(Field of view)라 한다. 일반적으로 검사장비의 크기가 고정되어 있기 때문에 FDD를 일정하게 고정하고 X-ray로 검사하고자 하는 피검사체를 X-ray 발진기 방향으로 이동하면 FOD가 작아져 위식에 표시한 것처럼 X-ray 배율은 커진다. 식(2)에 의하면 본 연구에서 개발하고자 하는 X-ray 비파괴 검사장치에서 FDD는 550 mm로 고정 되어 있기 때문에 X-ray 배율은 FOD^{-1}의 형태로 변화 한다. 즉 FOD의 크기 작을수록 영상의 배율은 증가 하는 형태로 나타나야 한다. 비철금속인 플라스틱의 내경 3 mm 외경 5 mm

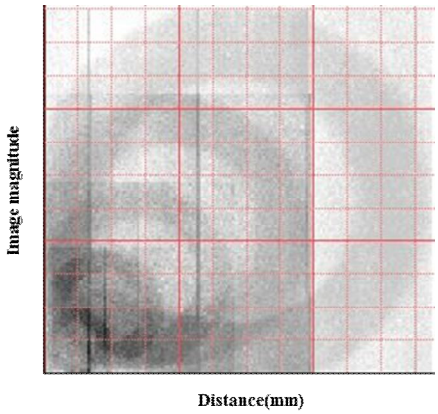

Fig. 2 Comparison of image magnitude to distance change from X-ray generator

두께 편측 1 mm 인 이물질을 알루미늄 캔에 투입하여 X-ray을 조사하였다.

피검사체가 X-ray 발진기로부터 거리가 멀어짐에 따라 영상크기의 변화를 육안으로 비교하기 위해 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2의 실험 결과는 X-ray 발진기로부터 피검사체의 거리가 각각 50 mm, 100 mm, 150 mm, 250 mm, 500 mm 일 때 영상크기의 변화를 나타낸 것이다. 식 (2)에 의하면 X-ray 배율은 이론적으로 각각 11, 5.5, 3.66, 2.2, 1.1이다. 이론적으로는 X-ray 발진기로부터 피검사체의 거리가 50 mm일 경우와 500 mm일 경우 영상크기는 50 mm일 때 500 mm 보다 10배 정도 커야 한다. 실험으로 각각 외경을 측정한 결과 영상크기 변화는 50 mm 일 때 500 mm 일 때보다 영상의 면적비를 비교한 결과 70배 정도 큰 것으로 측정 되었다.

3.2 발진기 파장 특성과 섬광체 특성

에너지 스펙트럼 해상도는 가시광선의 평균 광자의 수와 섬광체 두께의 깊이에 따르는 가시광선의 광자 수의 변화와 관계가 있다.

본 연구 개발에서 제작한 섬광체의 두께는 각각 섬광체의 두께는 49㎛, 57㎛, 95㎛, 121㎛, 245㎛, 310㎛이다. Table 2에서는 스펙트럼의 최대 강도(peak intensity)를 나타냈다. Table 2에 정리한 실험 결과에 의하면 섬광체의 두께가 작은 경우보다 두꺼울 때 섬광체에서 발광되는 스펙트럼의 최고 강도가

Table 2 Spectrum peak intensity

thickness	Peak Intensity (W/nm)
49㎛	5.47×10^{-8}
57㎛	6.88×10^{-8}
95㎛	4.68×10^{-8}
121㎛	7.38×10^{-8}
245㎛	7.07×10^{-8}
310㎛	5.13×10^{-7}

크게 나타남을 알 수 있다. 특히 310㎛의 경우 최고 강도가 한 개의 오더(order)정도 크게 나타났다.

섬광체가 두꺼우면 두꺼울수록 검출효율은 더 좋아진다. 그러나 가시광의 범위는 섬광체가 두꺼우면 내부에서 X-ray가 서로 상호작용해서 선명도가 떨어지는 결과가 나타난다. 게다가 섬광체로 변환된 가시광의 범위가 커지면 CCD로 검출한 X-ray를 누적하는데 영향을 받는다. 에너지 해상도는 X-ray 에너지의 제곱근에 역비례한다. 섬광체 두께가 증가하면 발광된 가시광의 광자수는 X-ray 흡수 깊이가 감소함에 따라 줄어들 뿐만 아니라 가시광의 분산을 증가시킨다.

4. 결 론

X-ray를 이용한 비파괴검사장비를 제작하여 연구를 진행하면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 개발한 시스템의 경우 인가전압의 증가에 따른 해상도가 최소 30 kV 이상의 고전압에서 검출이 가능하다는 결과를 얻었다.
2. 고압방전관의 정격 최대 출력을 60 kV로 한 X-ray 발전기의 전압변화에 따른 이물질의 검출 영상을 분석하였다.
3. X-ray 영상에서 중요한 디텍터의 섬광체에 대한 실험을 통해 섬광체가 두꺼우면 두꺼울수록 검출효율은 더 좋아지는 것을 확인 하였다. 섬광체 두께가 증가하면 발광된 가시광의 광자수는 X-ray 흡수 깊이가 감소함에 따라 줄어들 뿐만 아니라 가시광의 분산을 증가시켜 영상판독이 어렵게 되는 것을 확인하였다.
4. X-ray 발진기로부터 검사체의 이동 거리 변화에

대한 영상크기 변화를 정량적으로 분석하였다.

후 기

"이 논문은 2018학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음."

REFERENCES

1. Ahn, H. S., "Digital Radiography", JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, Vol. 33. No. 1, pp. 80-95, 2013.
2. Kim, H. K., "Sensor Technology for Digital Radiography", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 22. No. 8. Augest. pp. 1-10, 2005.
3. Miyata, E., "Broadband X-ray Detector Using CCDs and Scintillators", SNIC Symposium Stanford, California, Vol. 8, pp. 3-6, 2006.
4. Delpierre, P., "Pixels detectors and silicon X-rays detectors", Journal de Physiqueiv Colloque C9, Supplement au Journal de phsique Ⅲ, Volume 4, Novmember. pp. 9-18, 1994.
5. Fransen, M. J., "On the Influence of Generator and Detector Settings in X-ray Powder Diffractometry", Advances in X-ray Analysis, Vol. 48. pp. 143-149, 2005.
6. Uersugi, K., Hoshino, M., and Yagi, N., "Comparison of lens- and fiber-coupled CCD detectors for X-ray computed tomography", Journal of Synchrotron Radiation, Vol. 18, pp. 217-223, 2011.
7. Brambilla, A., Ouvrier-Buffer, P., Rinkel, J., Gonon, G., Boudou, C., "CdTe linear Pixel X-ray detector with enhanced spectrometric performance for high flux X-ray imaging", IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, Vol. 59, No. 4, pp. 1552-1558, 2012.
8. Manuilskiy, A., Norlin, B., Nilsson, H-E., Frojdh, C., "Spectroscopy Applications for the Medipix photon counting X-ray system", IEEE Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol. 531, No. 1-2, pp. 251-257, 2004.
9. Norlin, B., Manuilskiy, A., Nilsson, H-E., Frojdh, C., "Material recognition with the Medipix photon counting colour X-ray system", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 531, No. 1-2, pp 265-269, 2004.
10. Norlin, B., Frojdh, C., "Energy dependence in dental imaging with Medipix2", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipmen, Vol. 546, No. 1-2, pp. 19-23, 2005.
11. Frojdh, C., Nilsson, H. E., & Norlin, B., "Spectral Response of Pixellated Semiconductor X-ray Detectors", IEEE Nuclear Science Symposium Conference, Vol. 5, pp. 2967-2970, 2005.