

Computed radiography의 line spread function(LSF) 측정

김창복, 김영근*, 김건중**, 이경섭***

동신대학교전기전자공학과, 광주보건대학*, 서울아산병원**, 동신대학교***

A measurment of the line spread function of computed radiography

Chang-Bok Kim, Young-Keun Kim*, Keon-Jung Kim**, Kyung-Sup Lee***

Dept. of Electrical and Electronic Eng. Dongshin

Abstract

Zinc Oxide(ZnO) thin films on Si (100) substrate were deposited by RF magnetron sputter with changing sputtering conditions such as argon/oxygen gas ratios, RF power, and substrate temperature, chamber pressure and target-substrate distance. To analyze a crystallographic properties of the films, $\theta/2\theta$ mode X-ray diffraction, SEM, and AFM analyses. C-axis preferred orientation, resistivity, and surface roughness highly depended on Ar/O₂ gas ratios. The resistivity of ZnO thin films rapidly increased with increasing oxygen ratio and the resistivity value of $9 \times 10^7 \Omega\text{cm}$ was obtained at a working pressure of 10 mTorr with Ar/O₂=50/50. The surface roughness was also improved with increasing oxygen ratio and the ZnO films deposited with Ar/O₂=50/50 showed the excellent roughness value of 28.7Å.

Key Words : computed radiography(CR), image plate(IP), line spread function(LSF)

1. 서론

지금까지 X선 필름과 증감지를 조합한 시스템은 화질이 우수하고 기능적으로 유용성이 뛰어나 진료영상의 표준이 되어 왔다. X선 필름은 영상의 획득(capture), 전시(display), 저장(storage), 전달(communication)의 네 가지 기능을 함께 지니고 있어 매우 편리하였다. 이제 네 기능중 영상의 전시, 저장과 통신(전달) 등 세 기능이 전자기술의 향상으로 가능해지기 시작하여 일반촬영의 디지털 화에도 활력이 주어진 셈이다. 다른 한 기능인 고

화질의 영상데이터를 효과적으로 획득하여 디지털 화 하는가에 따라 앞으로의 디지털화시스템의 방향이 결정이 될 것으로 판단된다.

지금까지 필름과 증감지를 조합한 시스템은 다양한 화질분석 방법 등을 통해 고화질을 유지해 왔던 것처럼 계속 발전하고 있는 디지털방사선 검출기의 특성을 이해하고 시스템 변화에 따른 다양한 화질분석이 필요하다.(그림 1)

방사선부문 디지털시스템 중 일반촬영 부문에서 현재 가장 많이 사용하고 있는 computed radiography(CR) 영상판(image plate, IP)은 증감지·필름시스템과 유사한 방식을 채용하고 있는

간접 검출시스템을 사용하고 있다. 이러한 간접검출시스템은 X선 필름과 같이 일정한 크기를 가진 판형검출기(flat-panel detector)의 모양을 갖추고 있으며, 증감지·필름 시스템과 같은 증감지 형광체를 이용하여 입사 X선 에너지를 흡수하여 빛으로 변환하는 간접검출시스템이다.

따라서 형광체(증감지)에서 발생한 빛은 산란도가 높아 영상의 선예도(sharpness)를 감소시키며, 또한 발생한 빛이 확산 신호 파형을 갖기 때문에 영상을 흐리게 만들게 마련이다. 지금까지 증감지·필름 시스템에서의 이러한 영상의 흐림 정도 측정에는 필름현상기를 이용하여 출력된 필름을 농도계(microdensitometer)를 이용하여 측정하였으나,¹⁾⁻²⁾ 디지털방사선 영상 측정을 위해 A병원에서 실험중인 자동농도계산 profile을 이용하여 측정해 보았다.

본 연구에서는 X-ray 발생장치를 이용하여 computer radiography(CR) 영상판(image plate, IP)의 선식별능(line spread function, LSF)을 측정해보기 위해 현재 A병원에서 사용중인 일반촬영용 IP Fuji ST-Vn 과 mammography용 IP Fuji HR-V 를 대상으로 형광체 증감지 사용시 빛(형광)의 확산으로 인하여 영상의 계면(edge)이 얼마나 흐려지고 불선명해지는지의 정도를 측정 비교하였다.³⁾⁻⁴⁾

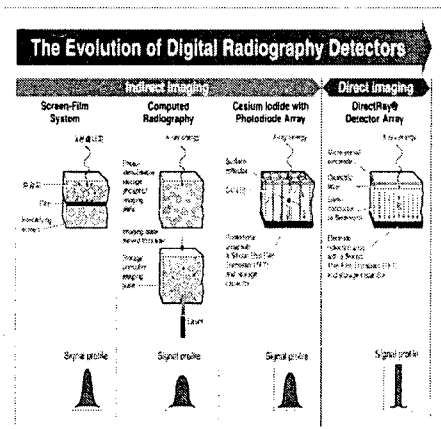


그림 1. 증감지·필름시스템, CR, CsI를 이용한 간접변환시스템 및 Se를 이용한 직접변환시스템의 구성도 및 신호파형의 비교도

2. 본론

2.1 이론

2.1.1 CR system 구조

CR 시스템의 X선 발생장치는 증감지·필름시스템과 사용방법은 동일하나, 단지 검출기를 영상판(IP)으로 대체하는 방법이다. 영상판에서 얻어지는 광신호를 전기신호로 변환시켜 디지털화 하는 영상판독장치와 주파수 처리나 게조처리 등을 행하는 영상처리장치가 있으며, 광디스크를 사용하는 데이터 저장장치, 그리고 영상기록장치(laser imager)와 모니터 등으로 구성된다.(그림2)

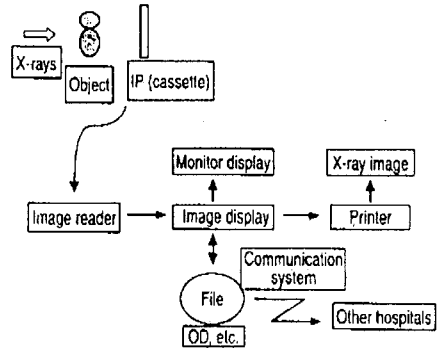


그림 2. CR system 구성 예

X선 발생장치를 이용하여 목적하고자 하는 사물을 대상으로 IP에 X선 조사를 한 후 image 저장(storage), 판독(image reading), 소거(erasure) cycle은 그림 3과 같으며, 영상판독기(image reader) 구조 중 광학부에는 IP에 축적된 정보를 추출하여 전기적 신호로 변화시키는 光 주사기(scanner)와 레이저빔을 굴절시키고 집속시키는 역할을 하는 회전 팔각형 거울과 렌즈시스템, 집광기 및 광증배관이 포함된다.⁵⁾⁻⁶⁾

2.1.2 IP 특성

IP의 구성은 고분자 재료의 지지체 위에 할로겐화 물질의 결정을 도포한 0.5~1mm 두께의 얇고 유연한 판으로 되어있다. IP의 대표적인 횡단면 도식 구조는 front protective layer, phosphor layer, electroconductive layer, support, light-shielding, 그리고 barcode 표지로 구성되어 있다. protective layers는 전면부와 후면부에 위치하여 영상의 불안

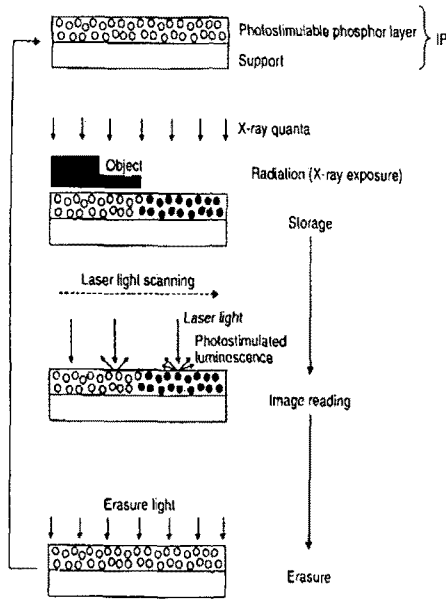


그림 3. IP image 형성 과정

정을 야기할 수 있는 작업장 내에서의 취급 및 운반시 phosphor layer를 보호하며, 온도나 습도의 변화로 인해 수축되거나 늘어나는 현상을 방지하는 역할을 한다. phosphor layer는 BaFBr : Eu²⁺ 라는 고분자 무기화합물의 미립자가 분산되어 지지체에 고밀도로 충전 도포되어 있으며, 표준형 영상판에서는 약 150 μ m의 두께를 갖는다.(그림 4) 휘진성형광체(photo stimulable phosphor) BaFBr : Eu²⁺는 X선 에너지를 받으면 그 에너지를 흡수하여 축적한 후, 레이저빔을 받으면 축적된 에너지를 빛으로 발산하는 물질이다.

BaFBr 휘진성형광체는 형광체내에 함유되어 있는 발광중심과 휘진발광 강도는 X선이 촬영된 영상판에 조사되는 빛의 파장에 따라 차이가 있으며 휘진발광은 390nm 부근에서 가장 효과적으로 얻을 수 있다. 휘진성형광체를 여기 시키는 레이저빔의 스펙트럼은 약 630nm에서 최고치를 가지고 있다.⁷⁾⁻⁹⁾(그림 5)

2.1.3 EDR 알고리즘

센서로서의 영상판의 특성은 X선 노광범위가 넓고 또한 노광 전역에 걸쳐 반응이 직선으로 이루어진다. 그렇지만 이 넓은 노광범위를 그대로 데이터로

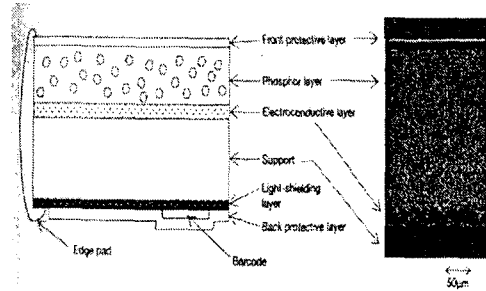


그림 4. IP 횡단면 구조

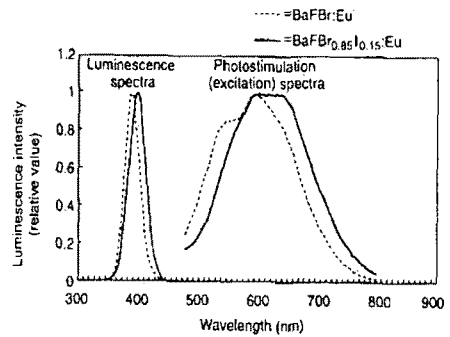


그림 5. 휘진발광·여기 스펙트럼

받아들이면 농도 분해능이 떨어지게 되므로 CR 시스템에서는 선독에 의한 판독 감도조정 방식을 이용하여 필요한 정보만을 데이터로 받아들이는 방법을 사용하고 있다. 선독에 의한 reading 감도 조정 방식은 먼저 영상판 위에 기록되어 있는 정보를 거친 영상데이터로 대강 획득한 다음 이 데이터와 검사항목을 이용하여 영상의 특성을 해석하고 여기에서 가장 적절한 판독조건을 결정하는데 이러한 기능을 하는 장치를 자동감도조절기(exposure data recognition)라 한다.

EDR에는 auto mode, semi-Auto mode, fix mode 3가지로 구분되는데 Auto mode는 판독 관용도와 감도가 자동으로 조정된다.(그림 6) 대부분 메뉴가 자동모드에 해당되며, semi-Auto mode는 판독 관용도는 고정되고 판독감도만 자동 조정된다. fix mode는 필름·스크린계와 동일한 방식으로 선량을 조절하여 고정된 판독 관용도와 감도를 사용하는 모드이다.

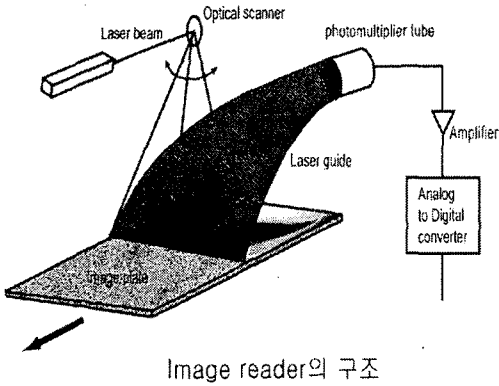


그림 9. 영상판독 구조

Source-image간 초점 확인이 끝난 상태의 고정된 focal spot test stand 위에 X-ray tube anode-cathode 축과 평행이 되게 slit assembly를 고정한 다음 먼저 Fuji ST-Vn IP cassette를 stand 아래에 넣고 70 kvp, 500mA, 50msec의 노출조건으로 exposure 하였으며, 동일 조건으로 Fuji HR-V IP cassette를 exposure 하였다. 이러한 방법으로 slit assembly를 X-ray tube anode-cathode 축과 각각 수직 / 수평으로 놓는 방법으로 2가지의 비교대상 IP(Fuji ST-Vn IP / Fuji HR-V IP)를 각각 exposure 하였다.

image reading은 FCR9000 시스템 Fix mode(판독감도 200)와 Auto mode(femur 판독감도)을 각각 이용하였으며 digital image 측정은 DICOM 파일로 변환하여 신규 개발한 profile로 측정하였다.

표 1. Slit assembly 측정 조건

EDR	노출조건	anode-cathode	
		ST-Vn	HR-V
Fix mode (200)	70kvp	평행	평행
	500mA	수직	수직
Auto mode (femur)	70kvp	평행	평행
	500mA	수직	수직
	50msec		

2.3 결과 및 고찰

그림 10은 focal spot test stand alignment device 안에 5개의 점이 정확히 나타나 있는 사진이다. X-ray source와 image간의 초점이 정확하게 맞추어져 있다는 것을 알 수 있다.

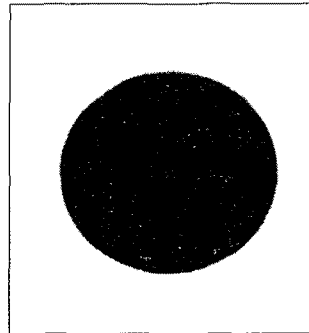


그림 10. 초점검사 결과

그림 11은 실험 조건에 의해 촬영된 image 이며 농도측정은 Anode-cathode 축 수직 방향(화살표 방향)으로 중심의 폭을 측정하였다. 이러한 방법으로 농도측정한 결과를 실제 음영에 비해 확대하여 그래프로 나타내었으며, 그래프 내에는 그래프의 이해를 돕기위해 농도 100%를 기준으로 slit image를 그래프에 맞춰 겹쳐 놓았다.

대부분 농도 100% 기준에서 Anode-cathode 축 수평 측정은 250~320 μ m 폭으로 나타났으며, 수직 방향 측정은 250~420 μ m 폭으로 나타났다.

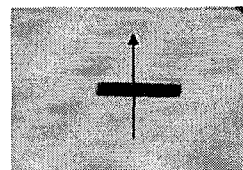


그림 11. Slit image 및 측정

의 노출조건으로 사용할 때의 감도는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

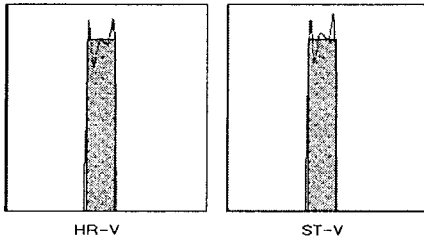


그림 12. Anode-cathode 축 평행
fix mode 비교

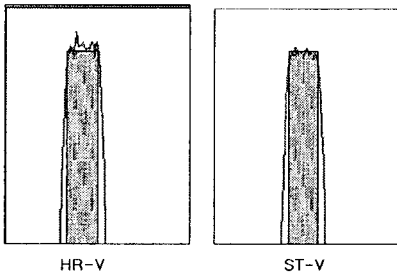


그림 13. Anode-cathode 축 수직
fix mode 비교

그림 12와 그림 14는 X-선 발생장치 anode-cathod 축과 slit assembly 폭이 평행이 되게 하여 측정된 그래프로서 HR-V(hige-resolution type), ST-Vn(standard type)는 큰 차이가 없게 나타나고 있으며, 농도 100% 기준으로 영상의 흐림 또한 적게 나타났다.

그림 13과 그림 15는 X-선 발생장치 anode-cathod 축과 slit assembly 폭이 수직이 되게 하여 측정된 그래프로서 HR-V(hige-resolution type), ST-Vn(standard type)는 큰 차이가 없게 나타나고 있으나 농도 100% 기준으로 영상의 흐림은 anode-cathod 축과 평행에 비해 많이 나타나는 것을 알 수 있었다.

Slit image 확대비율이 많게 나타난 것은 노출량(500mA)을 늘리고, 시간(50msec)을 단축함에 따른 현상으로 보여지며, LSF를 숫자화 하여 측정할 수 있었지만 실제 사용하는 노출조건으로 측정함에 따라 숫자화 하지는 않았다. HR-V의 고해상도 IP(mammography용)와 ST-Vn IP(일반촬영용)

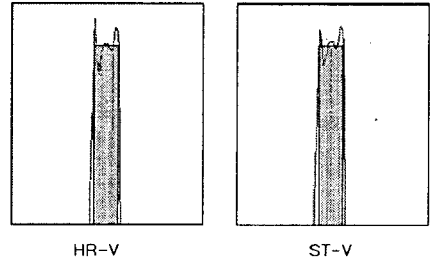


그림 14. Anode-cathode 축 평행
auto mode 비교

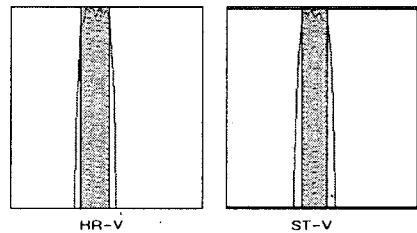


그림 15. Anode-cathode 축 수직
auto mode 비교

3. 결론

IP image에 형성된 세격영상의 폭은 10 μ m의 흑선으로 재현되어야 하지만 형광체(증감지)에서의 빛의 확산으로 인하여 실제로는 수백 microns의 폭을 갖게 되는 것을 알 수 있었다. 또한 지금까지 증감지·필름시스템에서 미세농도계(microdensitometer)를 이용하여 농도 측정하여 계산한 방식을 digital image 측정을 위해 복잡한 수학적 공식을 전산화 하여 개발한 profile을 이용하여 LSF를 측정할 수 있었으며, 향후 MTF 측정 또한 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] K. Doi., K. Strubler, and K. Rossmann, "Truncation errors in calculating the MTF of

- radiographic screen-film system from the spread function." *Phys. Med. Biol.* 17. p.241-250. 1972
- [2] J. Morishita, K. Doi, R. Bollen, P. C. Bunch, D. Hoeschen, G. Sirand-rey, and Y. Sukenobu, "Comparison of two methods for accurate measurement of modulation transfer functions of screen-film system," *Med. phys.* 22. p. 193-200. 1995.
- [3] S. M. Kengyelics, A. G. Davies, and A. R. Cowen, "A comparison of the physical imaging properties of Fuji ST-V, ST-VA, and ST-VN computed radiography image plates," *Med phys.* 25, p. 2163-2169. 1998.
- [4] S. M. Kengyelics, "A technical evaluation of the Fuji ST-VA computed radiography image plates under standard radiographic conditions," MDA/97/12. Available from the Department of Health, Medical Devices Agency, Rm. 1207, Hannibal House, Elephant and Castle, London SE1 6TQ.
- [5] H. Fujita, K. Ueda, J. Morishita,, T.Fujikawa, A. Ohtsuka, and T. Sai, "Basic imaging properties of a computed radiographic system with photostimulable phosphors," *Med. Phys.* 16. p. 52-59. 1989.
- [6] H. Fujita, J. Morishita,, K. Ueda, T. Fujikawa, A. Ohtsuka, and T. Sai, "Resolution properties of a computed radiographic system, " *SPIE Med. Imaging* 1090, p. 263-275. 1989.
- [7] W. Hillen, U. Schiebel, and T. Zaengel, "Imaging performance of a digital storage phosphor system," *Med. Phys.* 14, p. 744-751. 1987.
- [8] D. M. Tucker and P. S Rezentos, "The relationship between pixel value and beam quality in photostimulable phosphor imaging," *Med phys.* 24, p. 887-893. 1997.
- [9] H. Li, P. Hackenschmied, E. Epelbaum, M. Batentschuk, "Imaging performance of polycrystalline BaFBr:Eu²⁺ storage phosphor plates," *Materials Science and engineering B94*, p. 32-39. 2002.
- [10] J. M. Boone and J. A. Seibert, "An analytical edge spread function model for computer fitting and subsequent calculation of the LSF and MTF," *Med. Phys.* 21, p.1541-1545. 1994.