

Imaging Plate를 이용한 의료용 광자선의 선량측정

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 치료방사선과*, 경기대학교 의학물리학과†

임 상욱*[†], 여 인환*[‡], 김 대용*, 안 용찬*, 허 승재*, 윤병수[†]

해상도가 뛰어나며 디지털영상으로 저장하므로 공간에 제약을 받지 않으며 재사용이 가능하다는 장점으로 현재 국내 병원에서는 Imaging Plate(IP)가 필름을 대체해가고 있는 추세에 있다. 본 연구는 진단용으로 사용되는 IP를 이용하여 치료영역에서 선량측정용도로의 가능성 여부를 알아보고자 하였다. 실험을 하는데 사용되었던 IP는 Fuji사의 ST-V_A라는 모델이고 가속기는 Varian 2100C의 6 MV 광자선을 사용하였다. 먼저 전리함으로 측정한 심부선량을 기준으로 IP로 측정한 값과 비교를 하였다. 조사문 선량(portal dose)을 측정하기 위하여 SSD=100 cm 위치에 두께 14 cm 되는 폴리스틸렌 팬텀을 놓고 그 밑에 전자포탈영상기구(Electronic Portal Imaging Device: EPID)가 위치한 지점에서 상대적 흡수선량(Off Axis Ratio: OAR)을 측정 그리고 계산하였다. 이때 전리함, 필름(Kodak X-Omat V) 및 IP를 전자포탈영상기구와 같은 위치에 놓고 측정을 하였고 이에 더하여 EGS4 몬테칼로전산모사를 통하여 조사문 선량을 계산하였다. 심부선량(PDD)을 측정한 결과 IP는 BaFBr:Eu²⁺의 인광물질로 이루어져 있기 때문에 물보다 전자밀도가 높아 산란선에 매우 민감함을 알 수 있었다. 따라서 현재 진단영역에서 사용되고있는 IP는 심부선량측정계로는 적합하지 않다. 그러나 IP는 반음영외부부분(outside penumbra)을 제외한 조사문 선량측정에 비교적 정확한 것으로 밝혀졌다. 또한 IP를 치료위치 확인용으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

중심단어 : 조사문선량, imaging plate, 전자포탈영상기구, 몬테칼로

서론

방사선에 의한 치료성적은 방사선의 선량과 직접적으로 관계되기 때문에 방사선치료를 하는데 있어서 높은 정확도가 요구된다.¹⁾ 따라서 1976년 국제방사선단위 및 측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurement, ICRU)는 방사선 치료의 부정확도가 $\pm 5\%$ 를 넘지 않도록 권고하고 있다.²⁾ 이렇게 정상조직의 세포는 최대한 보호를 하고 병소에는 최대한의 선량을 주기 위해서 최근 정위적 방사선 치료(Stereotactic Radiosurgery/Radiotherapy, SRS/SRT)와 세기변조 방사선 치료

(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)등 3차원적 치료 기술이 개발되고 있다.³⁾ 따라서 이에 맞는 정도관리가 필요하다. 일반적으로 절대 선량평가용으로 전리함을 사용하고 있는데 이것은 1차원적인 측정만 할 수 있기 때문에 세기변조 방사선치료에서의 선량분포를 분석하기에는 한계가 있다. 또한 TLD(Thermoluminescent Dosimeter)는 한 점에서의 선량을 측정할 수 있는데 TLD는 크기가 작아 사람의 몸 속에 직접 넣어 흡수선량을 측정할 수 있다. 그러나 TLD는 방향성이 있고 또한 습기에 약하다. 2차원적인 측정장비로는 필름이 대표적이다. 치료영역에서 사용하는 필름은 수백 keV 미만의 에너지의

본 연구는 저자가 2000년 7월 AAPM Annual Meeting, World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 에서 발표한바 있음.

Sangwook Lim, Inhwan Yeo et al.: Application of An Imaging Plate to Relative Dosimetry of Clinical X-Ray Beams, *AAPM Annual Meeting*, TH-GBR-01 (2000)

광자에 민감하며 또한 습기에 약하고 조사 후에 필름을 현상하여야하는 번거로움이 있다. 최근 3차원적인 측정으로 BANG[®] polymer gel을 이용한 선량 측정이 연구되고 있다.⁴⁾ BANG[®] polymer gel은 단일 구조(monomer)의 화학물질이 방사선을 받으면 복합구조(polymer)상태가 되어지는 정도를 이용한 것인데 이것을 확인해 보기 위해서는 자기공명영상(Magnetic Resonance Image, MRI)을 이용하여야 한다.⁵⁾ 그러나 아직 가격이 비싸 실용화되고있지는 않다. 본 연구에서는 필름대신 진단영역에서 사용되는 IP를 사용하여 투과선량(i.e. portal dose)을 측정하였다. IP는 필름보다 많은 잇점이 있기 때문에 많은 병원에서는 차츰 필름대신 IP로 대체해가고 있다.⁶⁻⁸⁾ IP를 영상계로서 뿐만이 아니라 일본등지의 학자들은 양성자 빔의 선량계로써 사용하고 있다.

본 연구에서는 선량계로서 IP가 광자선에 대한 흡수선량측정에 적합한지에 대한 실험적인 연구를 하고자 한다. 본 연구는 선행적인 연구가 없다는 점에서 의의가 있다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 상기의 목적은 달성하기 위하여 치료용 가속기에서 나오는 6 MeV의 광자선에 대한 선량반응성의 척도로써 수중심부선량백분률과 조사문선량(OAR)을 택하였다. 이를 근거로 IP의 선량반응성을 전리함, 필름, 전자포탈영상기구 및 몬테칼로 방사선수송기술에 근거한 선량분포와 비교평가 하고자 한다.⁹⁻¹¹⁾

방법 및 대상

계측기를 이용하여 측정하여 얻은 신호를 선량으로 환원하려면 신호와 선량과의 관계를 맺어주는 교정곡선(calibration curve)이 필요하다. 본 연구에서는 먼저 교정곡선을 획득하였고 이를 통하여 선량분포를 측정하였다.

1. IP의 교정곡선

IP의 교정곡선을 얻기 위하여 필름과 마찬가지로 방법으로 카세트를 벗겨낸 IP를 폴리스티렌 팬텀의 7 cm 깊이에 위치시켰다.⁹⁻¹¹⁾ 이때 사용한 IP는 일본 Fuji사의 ST-V_A 이고 크기는 가로 35.4 cm 세로

43.0 cm 였다. 여기에 Varian Clinac 2100C(Varian Inc., USA)의 6 MV 광자선과 6×6 cm²의 조사면으로 각각 5, 10, 13, 15, 20, 30 MU을 수직으로 조사시켰다. 상대적으로 작은 위 정도의 조사면에서는 산란효과가 최소화되어 Burch 및 Yeo등은 이러한 조사면을 교정조건으로 사용한 바 있다.⁹⁻¹¹⁾

조사시킨 IP는 IP 스캐너(Fujix FCR9000, Japan)로 스캔을 하고 IP의 영상이 Picture Archiving and Communication System(PACS)을 통하여 전송받았다. 모든 영상에 걸쳐 일정한 대조도로 스캔을 하였고 PACS영상의 영상에 나타난 흑화도를 이용하여 흡수선량으로 환산하였다. 이때 사용한 프로그램은 ImageJ, Version1.01e(Wayne Rasband National Institutes of Health, USA)이었다. 각각의 MU으로 조사시킨 IP의 흑화도를 ImageJ을 이용하여 0-255까지의 흑화도를 읽어 그래프로 나타내면 그림 1과 같다. IP를 스캐너 내에서 자동으로 처리하기 때문에 자동처리기가 분류해내는 대로 동일하지 않은 여러 장의 IP를 사용하여 측정하였다. 이에 따라 각각의 데이터는 서로 상이한 두께의 민감체(sensor)로 측정이 된 것이며, Notomi등의 연구를 참조하여 선형성을 가정할 수 있으리라 본다.⁶⁾

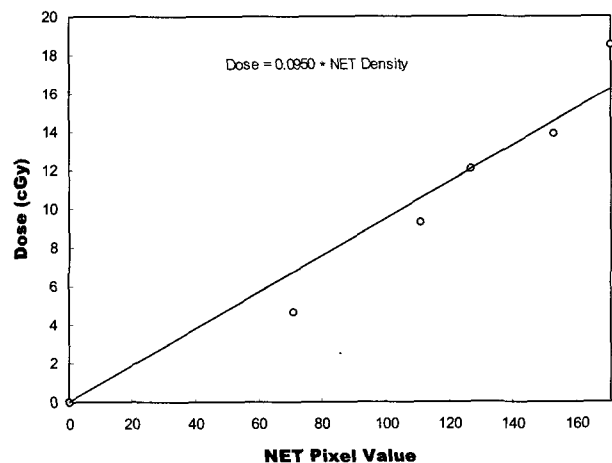


그림 1. Calibration curve for Imaging plate

2. 심부선량 측정

본 연구에서는 심부선량을 측정하기 위해 그림 2와 같이 폴리스티렌 팬텀(25×25×30 cm³) 사이에 IP를 끼워 넣어 측면에서 광자선(6MV 및 10×10 cm²)을

조사시켰다.⁹⁻¹¹⁾ 또 산란선에 의하여 IP가 과 반응을 하기 때문에 IP의 양옆에 6 mm 간격을 두고 0.5 mm 두께의 납필터를 사용하여 산란선의 영향을 최소화하였다. 이러한 세팅은 Burch 및 Yeo등이 필름을 이용한 선행연구에 사용했던 것이다.⁹⁻¹¹⁾ 앞에서와 동일한 방법으로 IP의 영상을 획득하였고 처리하였다. IP의 중심축의 픽셀 값을 교정곡선을 사용하여 선량값으로 환원하였다(물론 상대적인 선량분포를 보는 데에 있어서 선형인 교정곡선을 이용하는 것은 그 분포에 영향을 주지 않는다).

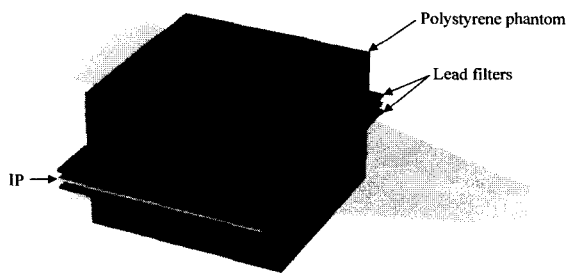


그림 2. PDD를 측정하기 위한 셋업

3. 조사문선량 측정

본 연구에서는 전자포탈영상기구의 위치에서 14 cm 두께(대략적으로 임상적인 머리의 두께)의 폴리스티렌 팬텀을 투과한 조사문선량을 IP, 필름, 전자포탈영상기구(전리함형),¹²⁾ 전리함등으로 측정하였다(그림 3).

IP와 필름으로 전자포탈영상기구와 같은 위치에서 조사문선량을 측정하기 위해 두께 14 cm의 팬텀을 SSD=100 cm에 위치시키고 그 밑으로 145 cm 위치에서 필름, IP, 및 전자포탈영상기구를 놓고 10×10 cm² 크기로 조사하였다. 필름 또는 IP 위에 놓은 선량증가 팬텀의 두께는 2 cm 로 고체물팬텀(Solid water phantom, Gammax, USA)을 사용했다. 전자포탈영상기구의 선량증가체의 두께를 물의 두께로 환원하면 약 1 cm이 된다. 1 및 2 cm 사이의 차이가 상대적인 선량분포에 미치는 영향은 미미하리라고 사료된다.¹²⁾

IP의 영상, 필름 및 전자포탈영상기구를 통하여 얻은 밀도분포는 그 선형성을 이용하여 밀도분포를 선

량분포와 동일시하였다.^{6,9-11)}

동일한 조건에서 전리함을 사용하여 OAR을 측정하기 위하여 팬텀받침대를 제작하였고 이를 물팬텀(Multidata Waterphantom, Multidata, USA)안에 위치시켜 측정하였다. IP, 필름, 전자포탈영상기구, 전리함을 모두 같은 위치에서 측정을 하여 비교를 하였다.

마지막으로 몬테칼로 계산을 수행하였는데 이 계산은 빔 헤드 모델링으로부터 얻은 빔스펙트럼을 사용하여 조사문 선량을 구한 것이다. 자세한 것은 Lee의 연구에 설명되어 있다.¹³⁾

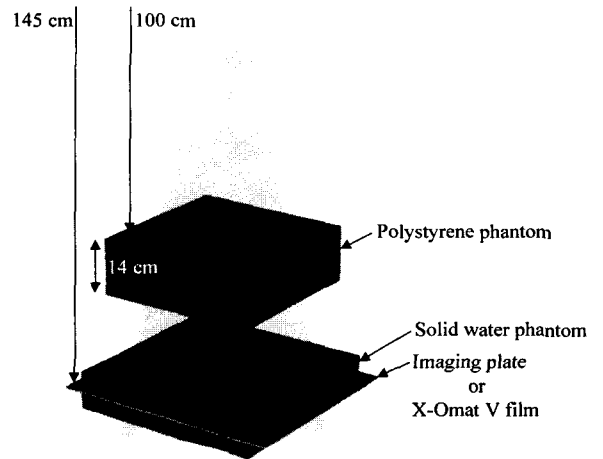


그림 3. 필름과 IP를 이용한 OAR측정방법

결과 및 토의

1. 심부선량 결과

그림 4는 조사면 10×10 cm²의 심부선량백분율 그래프인데 납필터를 사용하지 않은 것과 납필터를 사용한 것과 차이가 있음을 알 수 있었다. 그래프에서 실선은 절대선량계인 전리함으로 측정된 값이다. 전리함, IP 모두 D_{max}(물에서의 최대선량깊이)에서 100%로 일반화(normalize)하였다. D_{max}이상의 깊이에서 심부선량 곡선이 전리함의 측정값에 비하여 상승하였고 이것이 깊이가 증가할수록 심화되었는데 이유는 에너지가 수백 keV보다 작은 산란선의 영향이며 이 현상은 조사면의 크기가 커질수록 심화되는

것으로 확인되었다. 이 현상은 X선 필름이 보이는 현상 (즉, 원자번호가 물에 비하여 상대적으로 높은 물질로 만들어진 선량반응 민감체가 저 에너지 광자에 민감하게 과반응 하는 것)과 원리면에서 동일하다고 볼 수 있다.⁹⁻¹¹⁾

산란선을 막기 위하여 납필터를 끼워 넣어 측정을 하였을 때 납필터를 사용하지 않았을 때 보다 산란선의 영향을 거의 반으로 줄일 수 있었지만(20-25 cm에서의 선량분포 참조) 전리함으로 측정 한 값과는 여전히 큰 차이를 보였다 (깊이 25 cm에서 약 100% 차이).

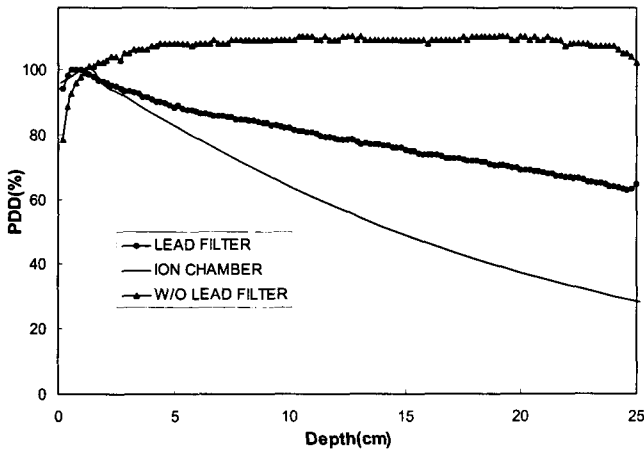


그림 4. 조사면 10×10 cm²의 PDD 그래프

2. 조사면 선량 결과

그림 5는 10×10 cm²의 조사면의 크기 20 MU를 조사시킨 OAR의 그래프를 나타낸 것인데 횡축은 빔 중심축에 대한 거리이고 종축은 상대선량이다.

그래프에서 실선은 절대 선량계인 전리함으로 측정 한 값이다. 모든 그래프들은 빔 중심에서 일반화(normalization)하여 상대적인 비로 나타내었다. 전리함, 필름, IP를 전자포탈영상기구위치에서 측정하여 비교했다.

OAR의 그래프에서 조사면의 크기는 선량이 50% 되는 양쪽 지점에서의 거리인데 SSD=145 cm 위치에서 측정 한 값이므로 조사면의 크기보다 1.45배 더 크다. 조사면 내부에서는 선량계들이 대체적으로 서로 일치하는 경향을 보였으나 IP는 전자포탈영상기구와 함께 반응영외부(outside penumbra)영역에서

높게 측정되었다. 이것은 IP가 물보다 전자밀도가 높아 반응영외부부분에 상대적으로 많이 분포한 저 에너지 산란선에 민감하게 작용하기 때문이다. 이 현상은 20×20 cm² 조사면에 대하여도 동일하게 관찰 되었다.

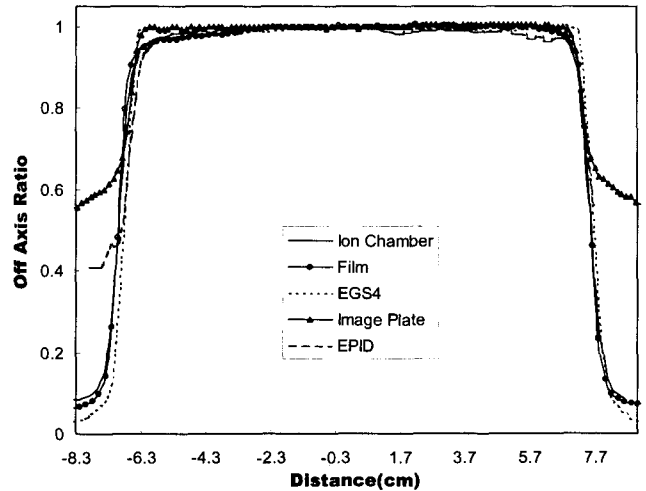


그림 5. 조사면 10×10 cm²의 OAR

결론

아직 진단용의 IP로 선량측정은 조사야 내부에서만 가능하며 또한 치료위치확인용으로는 적절한 계측기가 될 수 있으리라 생각된다. IP를 전자포탈영상기구 대신 사용을 한다면 IP의 해상도가 뛰어나기 때문에 현재 사용되고있는 전자포탈영상기구의 단점을 보완 할 수 있을 것으로 기대 된다. 치료영역에서의 IP의 실용화를 위해서는 인광물질의 적절한 배합으로 산란선에 대한 과 반응을 없애야 한다. 본 연구는 IP의 선량계로서의 가능성을 시험한 것으로 의미를 찾을 수 있으며 향후 다른 조사면 및 광자빔 에너지에 대하여 광범위한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 원자력 중장기 계획사업 중 방사선 치료 기기 제품화 및 기반기술 개발 과제(1999-2001)로 수행되었음.

참고문헌

- a. Send correspondence to Inhwan Jason Yeo at dryeo@smc.samsung.co.kr
1. Brahme, A. et al.: Accuracy requirements and quality assurance of external beam therapy with photons and electrons. *Acta Oncol. Suppl.* 1 (1988)
 2. ICRU Report 24: *Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures*, International Commission on Radiation Units and Measurements (1976)
 3. Meeks S.L., Bova F.J., Maryanski M.J. et, al.: Image registration of BANG gel dose maps for quantitative dosimetry verification. *Radio. Onco.* 43(5):1135-41 (1999)
 4. Meeks S.L. et al.: Image registration of BANG gel dose maps for quantitative dosimetry verification. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 43(5):1135-1141 (1999)
 5. Audet C. et al.: Dose response of the BANG polymer gel dosimeter: Post-Irradiation time delay. *AAPM '95:PA-K-01.T43:1135-1141* (1999)
 6. Notomi A. et al.: Application an imaging plate to dose distribution measurement of clinical proton beams. *Jap. J. of Med. Phys. Suppl.* 19:234-237 (1999)
 7. Segger H. et al.: X-ray imaging with photostimulatable phosphors. *Nuclear instruments & Methods in Physics Research* 322:467-471 (1992)
 8. Shirouzu S. et al.: X-ray image xerographic method imaging techniques? *Proceeding of SPIE*, 1896:2-8 (1993)
 9. Burch S.E., Yeo I.J.: A new approach to film dosimetry for high energy photon beam: lateral scatter filtering, *Med. Phys.* 24:775-783 (1997)
 10. Yeo I.J., Burch S.E., Wang C.K.: A filtration method for improving x-ray film dosimetry in photon radiotherapy. *Med. Phys.* 24:1943-1953 (1997)
 11. Zhu Y., Yeo I.J.: Portal dosimetry using x-ray film: An experimental and computational study. *Med. Phys.* 26:2403-2409 (1999)
 12. Zhu Y., Jiang X., Van Dyk J.: Portal dosimetry using a liquid ion chamber matrix: Dose response studies. *Med. Phys.* 22:1101-1463 (1995)
 13. 이영민: 몬테칼로방법에 의한 환자의 *Portal Dose Image* 계산. 한양대학교 원자력공학과 석사학위논문 (1999)

Application of an imaging plate to relative dosimetry of clinical x-ray beams

Sangwook Lim, Inhwan Jason Yeo, Dae Yong Kim, Yong Chan Ahn,
Seung Jae Huh

*Department of Radiation Oncology, Samsung medical Center, School of
Medicine, Sungkyunkwan University
Department of Medical Physics, Kyonggi University*

The IP(imaging plate) has been widely used to measure the two-dimensional distribution of incident radiation since it has a high sensitivity, reusability, a wide dynamic range, a high position resolution.

Particularly, the easiness of acquiring digitized image using IP poses a strong merit because recent trend of data handling prefers image digitization.

In order to test its usefulness in photon beam dosimetry, we measured the off-axis ratio(OAR) on portal planes and percent depth dose(PDD) within a phantom using IP, and compared the results with the data based on EGS4 Monte Carlo particle transport code, ion-chambers, conventional films. For the measurement, we used 6 MV X-rays, various field sizes.

As a result, IP showed significant deviation from ion-chamber measurement: a significant overresponse, 100% greater than that of ion-chamber measurement at deep part of the phantom. Filtration of low-energy scattered photons at deep part of the phantom using 0.5 mm thick lead sheets did improve the result, only to the unacceptable extent.

However, portal dose measurement showed possibilities of IP as a dosimeter by showing errors less than 5%, as compared with film measurement.

Key Words : portal dose, imaging plate, EPID, Monte Carlo