

평행평판형 이온함의 두 전극간의 간격 변화에 따른 유효측정점에 관한 연구

단국대학교 의과대학 치료방사선과학교실

신 교 철 · 윤 형 근

본 연구는 제작된 방사선 측정시스템을 평가하기 위한 방법중의 하나인 유효측정점을 명확히 정하기 위하여 실행되었다. 일반적으로 원통형이나 두 전극간의 간격이 매우 작은 평행평판형 이온함의 경우 유효측정점은 잘 정의 되어있다. 그 정의에 의하면 그리 크지 않은 체적을 갖는 평행평판형 이온함의 유효측정점은 방사선이 입사되는 윗면의 바로 아래로 정의한다고 되어있다. 그러나 본 연구에서 제작한 이온함과 같이 두 전극간의 간격을 비교적 크게 할 경우 위의 정의는 더 이상 유효하지 않을 수도 있을 것으로 생각되어 평행평판형 이온함의 두 전극간의 간격을 3, 6, 10 mm로 하여 체적이 0.9, 1.9, 3.1 cc로 비교적 크게 한 경우에 그 유효측정점의 변화를 검토하고자 하였다. 실험은 의료용 선형가속기로부터 발생 가능한 광자선 6, 10 MV와 전자선 6, 12 MeV에 대하여 시행되었으며, 방법은 이온함의 buildup의 두께를 증가시켜가면서 방사선의 측정선량이 최대가 되는 깊이를 조사하였다. 그 결과 광자선과 전자선의 경우 조사된 모든 에너지에 대하여 그 정도의 차이는 있으나 전반적으로 이온함의 체적이 커짐에 따라 즉, 두 전극간의 간격이 멀어짐에 따라서 유효측정점이 이온함의 윗면에서부터 이온함의 중심 쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 그 정도는 이온함 체적의 크기가 커질수록 더 크게 이동하는 양상을 보였다. 이와 같은 결과로 볼 때 평행평판형 이온함의 경우는 두 전극간의 간격이 어느 정도 큰 경우에는 유효측정점이 변하게 됨으로 이온함의 체적에 따라서 그 유효측정점을 조사할 필요가 있다고 생각된다.

중심단어 : 유효측정점, 평행평판형 이온함

서 론

방사선이 발견된 이후 진단과 치료에 주요한 방법이 되었고 현재는 매우 넓은 영역에서 사용되어지고 있으며, 이에 따라 의료용 방사선 장비의 안정한 점검이 필요하게 되었다. 특히 고 에너지의 X-선이나 전자선을 이용하여 종양을 치료하는 치료방사선의 영역에서는 이용되는 방사선의 장비의 점검과 방사선량의 정확한 교정은 치료의 성패를 좌우할 수 있는 매우 중요한 일이다.¹⁾ 현재 방사선을 교정하기 위한 안정한 규약과 측정시스템들이 개발되어 있고 사용 중에 있다. 그런데 상용화된 방사선 측정의 장비들은 값도 매우 비싸고 일상 점검을 위해서 사용되기에는 좀 복잡한 면이 있다. 본 교실에서는 이런 문제를 해결하고자 일상점검에 적절한 방사선 측정시스템 개발을 위해 연구중이다. 무엇보다

도 높은 에너지의 치료기기의 점검을 위해 개발된 이온함은 여러 가지의 충족 기준을 만족하여야 함은 물론 이온함의 유효측정점(effective point of measurement)이 잘 정의되어 있어야 한다.¹⁾ 팬텀 내에서 이온함을 가지고 방사선의 흡수선량을 측정할 때, 팬텀 내에서 전자평형을 고려한 이온함의 기하학적 위치를 결정하게 되는 점이 유효측정점이다. 즉, 이온함에 의하여 측정된 선량과 매질 내에서 흡수된 선량이 같게 되도록 이온함을 위치시켜야 하는데, 이러한 조건이 만족되는 이온함 내의 점을 유효측정점이라고 한다.²⁻⁵⁾

유효측정점은 원통형 이온함에 대하여서는 잘 정의되어 있다. 이 경우는 이온함에 입사되는 광자선의 방향 분포를 고려하여 이론적으로 계산될 수 있는데, 유효측정점의 이론적인 값은 원통형 이온함의 내반경(internal radius; r)에 대하여 $0.8r$ 이다. 현재 국제원자력기구(IAEA)의 규약서(TRS-277)에 의하면, 메가볼트(MV) X-선과 감마-선에 대하여서 원통형 이온함의 내반경에 대하여 $0.6r$ 에 해당하는 점이 권고되고 있다.⁶⁾

한편 평행평판형 이온함의 경우는 이온함 내의 두 전

이 논문은 2002년 2월 20일에 접수하여 4월 1일에 채택됨

통신저자: 윤형근, 충남 천안시 안서동 16-5

단국대학교병원 치료방사선과

Tel: 041)550-6930

극간의 간격이 그리 크지 않은 경우(2 mm 이내의 경우) 유효측정점은 방사선이 입사되는 윗면 바로 아래로 가정한다. 그러나 평행평판형 이온함의 두 전극간의 간격이 비교적(일반적으로 이용되고 있는 평행평판형 이온함은 2 mm 이하가 대부분임) 큰 경우 위의 가정은 유효하지 못하게 되고, 이때의 유효측정점은 떨어진 두 전극간의 간격에 관계하게 된다.^{1,5)}

본 교실에서 제작된 평행평판형 이온함은 두 전극간의 간격을 3, 6, 10 mm 로 만들어서 이온함의 체적을 비교적 크게 하여 전자선과 광자선 측정에 사용이 가능하도록 하였다. 이에 본 연구는 이처럼 이온함의 두 전극간의 간격이 비교적 큰 경우에 유효측정점 또한 변화가 있을 것으로 보고 그 정도를 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험에서 방사선 조사를 위해 사용된 의료용 선형 가속기는 Varian 사의 Clinac 1800이 사용되었으며, 이 선형가속기는 두 종류의 광자선(6 MV와 10 MV)과 다섯 종류의 전자선 에너지(4, 6, 9, 12와 16 MeV)가 방출되고 있다.

제작 실험한 검출기는 평행평판형 이온함(parallel plate ionization chamber)으로써 25×26×0.2 cm 크기를 갖는 두 개의 PCB (printed circuit board)와 방사선에 의하여 발생된 전자를 수집하기 위한 부피를 형성하

기 위한 재료로 사용된 아크릴로 형성되어 있다. 이온함의 위쪽 PC board는 중심부위에 직경이 26 mm인 전극이 있으며 고전압 발생장치 (high voltage power supply)와 연결되어 있다. 아래의 PC board는 중심부위에 직경이 20 mm인 전극과 그 둘레에 직경이 22 mm의 guard 전극을 가지고 있으며 각각 electrometer의 signal 채널과 ground 채널에 연결되어 있다. 모든 전극은 100 μm 두께의 금으로 코팅을 하였다. 이온함의 체적을 형성하기 위하여 아크릴 25×26 cm로 제작하였고, 넓이는 같고 두께는 0.3, 0.6, 1.0 cm로 하여 이온함의 체적이 약 0.9, 1.9, 3.1 cc가 되도록 하였다. 모든 아크릴은 중심부위에 직경 28 mm의 구멍을 뚫어서 이온함이 공기로 된 체적을 형성하게 하였다.⁷⁾(Fig. 1)

사용된 Electrometer는 low-noise와 low-drift operational amplifier OPA128 (Burr-Brown, 미국)을 사용하였다. Electrometer의 영점이동(zero-drift)와 누설전류(leakage current)는 CVC (charge to voltage connector)와 charge storage capacitor의 전기적 특성에 의해 주로 결정된다. 방사선측정 시스템의 선형적 특성을 직접적으로 결정하게 될 CVC (charge to voltage connector)의 가장 적절한 선형 범위(-2V~+2V)를 선택하기 위해서 축전지의 용량의 범위는 1000~27000 pF로 하였다. CVC circuit의 electrical connection은 발생할 수 있는 잡음(noise)을 최소화 하기 위하여 적절히 구성하였다.

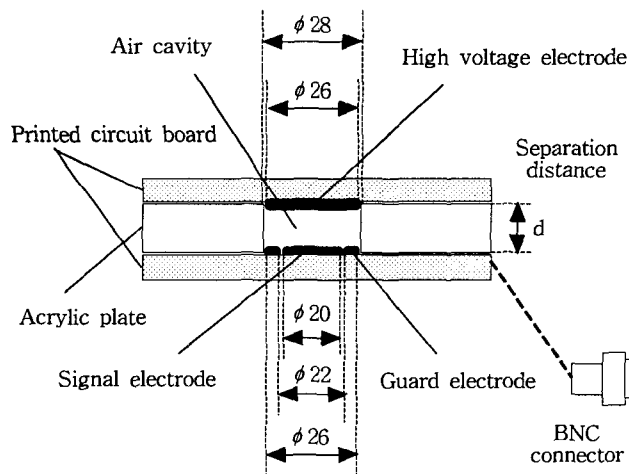


Fig. 1. Cut-away view of the parallel plate type ionization chamber.
Separation distance d: 3 mm 6 mm 10 mm
Nominal volume of chamber: 0.9 cc, 1.9 cc, 3.1 cc

고전압은 상용화된 9 V 배터리 50개를 직렬로 연결하여 만들었다. 다른 시스템에서 사용되는 변압기보다 매우 안정적이며 수명도 2년 이상 사용이 가능하다. 다양한 체적을 갖는 이온함의 포화전압(saturation voltage)을 조사하기 위해서 스위치를 부착하여 공급되는 전압이 0, 50, 100, 150, 200, 300, 400와 500 V DC 가 될 수 있도록 하였다. 이온함으로부터 electrometer와 고전압 발생장치의 연결은 50 Ω의 RF 동축케이블(coaxial cable)을 사용하여 기존의 상용화된 매우 고가의 triaxial cable을 대체할 수 있게 하였다.

모든 전기적 조건을 같게 하고 두 장의 PC board 사이에 넣어준 아크릴의 두께를 3, 6, 10 mm로 교체함으로써 두 전극간의 간격을 조절하여 이온함의 체적이 0.9, 1.9, 3.1 cc (약 1, 2, 3 cc)가 되게 하였다. 이온함의 체적을 형성하기 위한 아크릴의 두께를 마이크로미터로 아크릴의 중심부에 직경은 버니어캘리퍼로 측정하여 이온함의 체적을 계산하였다. 각각의 경우에 대하여 방사선에 의한 이온화된 양이 최대가 되는 깊이를 조사하여 이온함의 체적 변화에 따라서 이온함 내에서 최대선량점(d_{max}) 즉, 유효 측정점(effective point of measurement)이 어떻게 변화하는 가를 조사하였다. 모든 실험은 6, 10 MV 광자선과 6, 12 MeV의 전자선에 대

하여 측정하였으며, 조사면의 크기에 있어서는 광자선의 경우는 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 이고, 전자선의 경우는 $10 \times 10 \text{ cone}$ ($10 \times 10 \text{ cm}^2$)을 사용하였고, SSD (source surface distance)는 100 cm로 하였고 선량을(dose rate)은 240 MU/min로 하였다. 조사된 방사선의 양은 각 에너지에 따라서 electrometer의 측정범위가 가장 선형적인 구간인 -2 V에서 +2 V에 적합하도록 선택하였다.

결 과

결과는 광자선에 대하여 Fig. 2-4와 같이 나타났고, 전자선에 대하여서는 Fig. 5-7로 나타났다. 결과에 대한 분석은 발생하는 전자의 교란 영향과 깊이 이온화분포가 일정한 함수 관계일 것으로 가정하고 분석하였다. 조사된 모든 에너지의 경우가 이온함의 체적이 증가함에 따라서 최대선량점의 위치가 방사선이 입사되는 이온함의 표면쪽에서 이온함의 기하학적 중심쪽으로 약간 이동하는 경향을 보였다.

이는 이온함의 체적을 크게 하기 위해서 두 전극(high voltage electrode와 ground electrode, signal electrode)간의 간격을 멀리하게 됨으로 최대선량점이 이동한 것으로 보여진다. 최대선량점이 약간 이동한 점

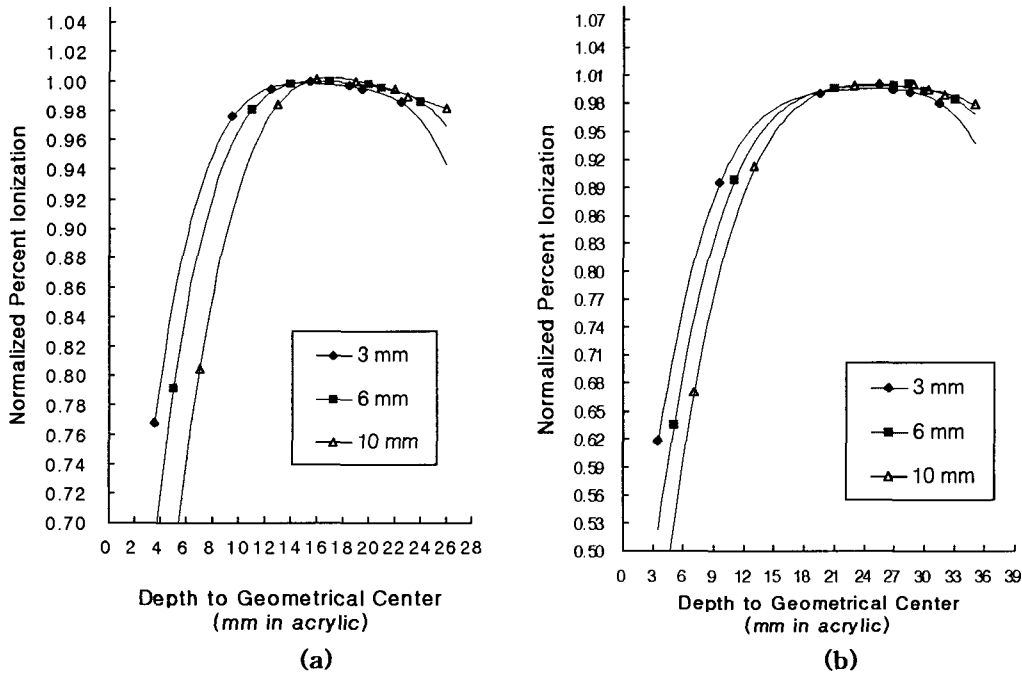


Fig. 2. Shift of the EPM in each chamber for 6 MV photon beam (a) and for 10 MV photon beam (b) (EPM defined by the geometrical center in the chamber).

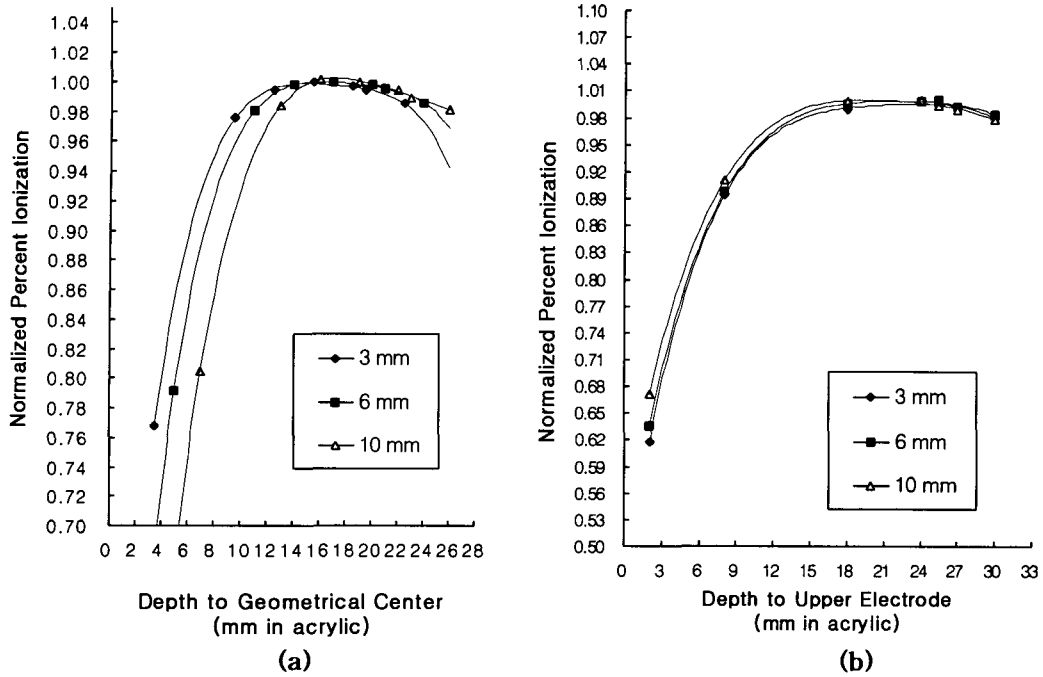


Fig. 3. Shift of the EPM in each chamber for 6 MV photon beam (a) and for 10 MV photon beam (b) (EPM defined by the upper electrode in the chamber).

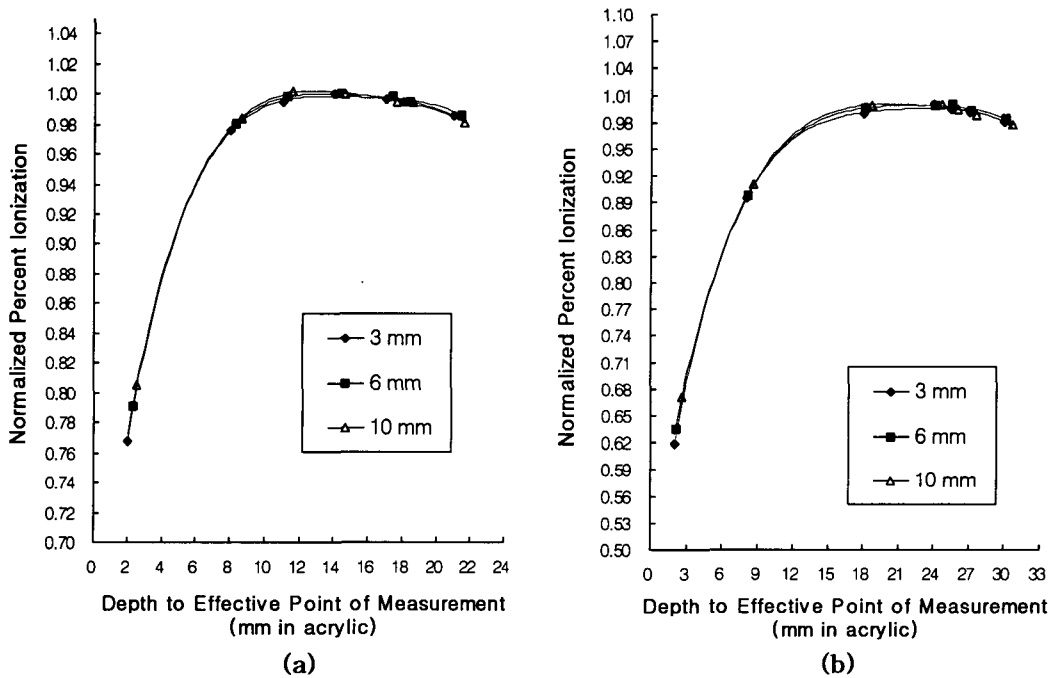


Fig. 4. Shift of the EPM in each chamber for 6 MV photon beam (a) and for 10 MV photon beam (b) (Normalized percent ionization for the EPM).

외에 광자선의 경우나 전자선의 경우 각각의 에너지의 깊이에 따른 선량을 잘 나타내 주고 있다.

위의 그림에서 보여지는 바와 같이 6 MV의 광자선

인 경우 두 판 사이의 간격이 6 mm일 때 0.3 mm 이동하였고, 두 판 사이의 간격이 10 mm일 때는 0.6 mm

이동하였다. 그리고 10 MV 광자선인 경우 두 판 사이

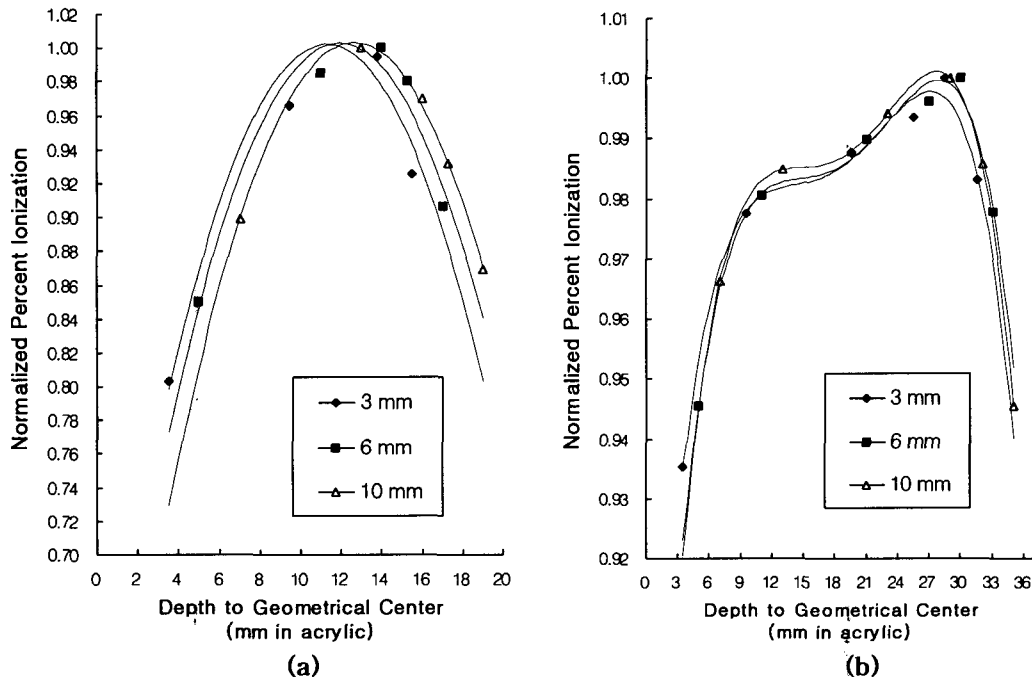


Fig. 5. Shift of the EPM in each chamber for 6 MeV electron beam (a) and for 12 MeV electron beam (b) (EPM defined by the geometrical center in the chamber).

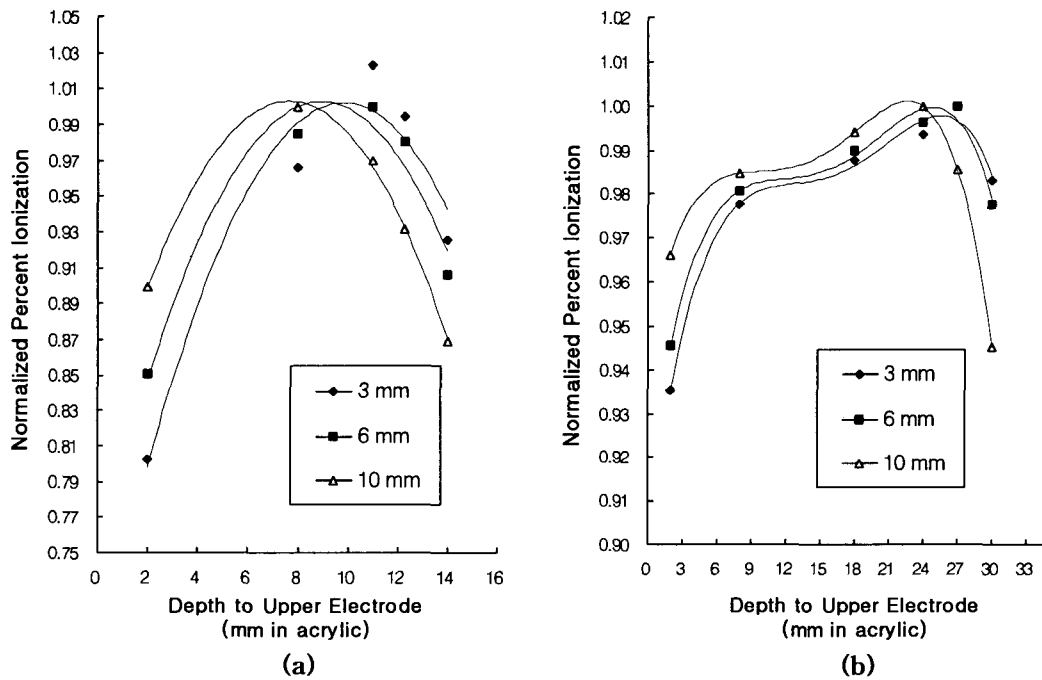


Fig. 6. Shift of the EPM in each chamber for 6 MeV electron beam (a) and for 12 MeV electron beam (b) (EPM defined by the upper electrode in the chamber).

의 간격이 6 mm일 때 0.2 mm 이동하였고, 두 판 사이의 간격이 10 mm일 때는 0.6 mm 이동하였다. 6 MeV 의 전자선인 경우 두 판 사이의 간격이 6 mm일 때 0.9 mm 이동하였고, 두 판 사이의 간격이 10 mm일 때는

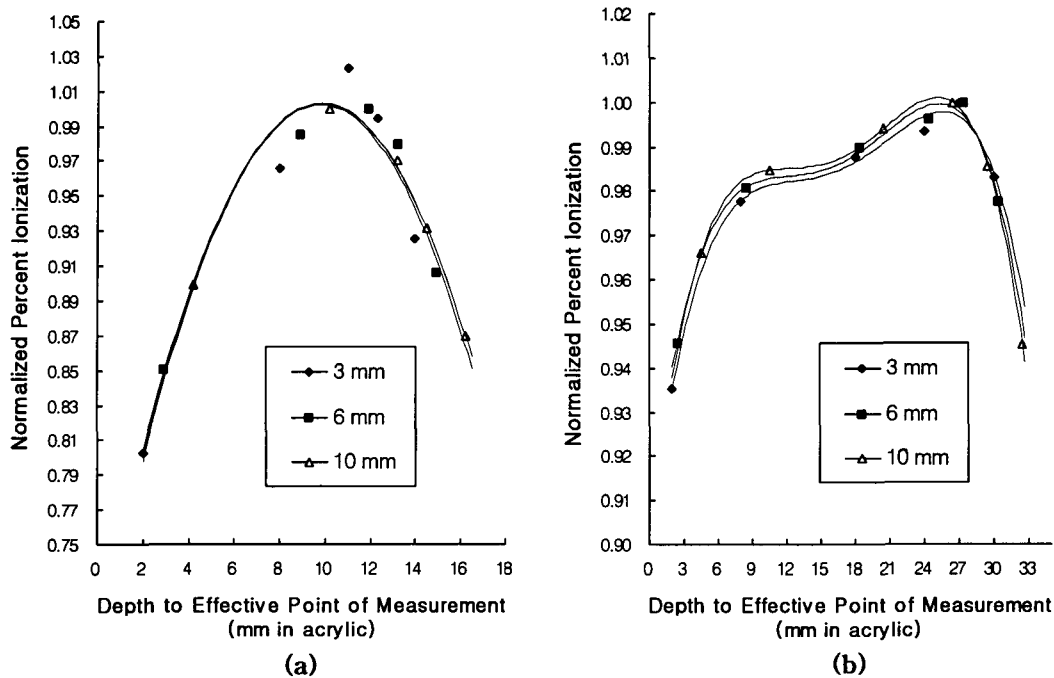


Fig. 7. Shift of the EPM in each chamber for 6 MeV electron beam (a) and for 12 MeV electron beam (b) (Normalized percent ionization for the EPM).

2.2 mm 이동하였다. 그리고 12 MeV 전자선인 경우 두 판 사이의 간격이 6 mm일 때 0.4 mm 이동하였고, 두 판 사이의 간격이 10 mm일 때는 2.5 mm 이동하였다.

고찰 및 결론

평행평판형 이온함의 경우 이온함의 두 판 사이의 간격이 멀어짐에 따라서 유효측정점은 이온함의 기하학적 중심 쪽으로 약간 이동하는 경향을 보이고 있다. 그 정도는 광자선의 경우에 대하여 이온함에 두 판 사이의 간격이 6, 10 mm로 멀어짐에 따라 이온함의 유효측정점이 이온함의 기하학적 중심 쪽으로 6 MV 경우는 0.3, 0.6 mm, 그리고 10 MV 경우는 0.2, 0.6 mm 만큼 이동됨을 알 수 있었다. 또한 결과로부터 두 판 사이가 비교적 크게 되어도 유효 측정점은 윗면 바로 아래로부터 1 mm 이내에 가까이 있음을 알 수 있다. 그러나 1 mm 이하의 범위는 방사선 측정을 위해 이온함을 배치 하는데 있어서 발생할 수 있는 배치오차의 범위와 관련됨을 염두에 두어야 할 것이다.⁸⁾

한편 전자선의 경우에 대하여서는 이온함에 두 판 사이의 간격이 6, 10 mm로 멀어짐에 따라 이온함의 유효 측정점이 이온함의 기하학적 중심 쪽으로 6 MeV 경우

0.9, 2.2 mm, 그리고 12 MeV 경우 0.4, 2.5 mm만큼 이동됨을 알 수 있었다.

연구 개발된 평행평판형 이온함의 유효측정점은 사용되는 방사선이 광자선인 경우에 대하여서는 윗면 바로 아래에서부터 1 mm 이내로 확인되었으므로 방사선 측정의 일상적인 점검을 위한 이온함의 배치는 윗면의 전극으로 해도 무방할 것으로 생각된다. 그러나 전자선의 경우는 비정(range)이 광자선에 비하여 매우 짧고 에너지에 따라서도 달라지기(6 MeV인 경우 $R_{50} = 2.5$ cm 이고, 12 MeV인 경우 $R_{50} = 5.1$ cm임) 때문에 평행평판형 이온함에서 두 판 사이의 간격이 비교적 큰 경우에 유효측정점의 평가는 좀 더 면밀한 검토가 필요하리라 생각된다.

참고 문헌

- Holt J.G., Buffa A.B., et al.: Absorbed Dose Measurement Using Parallel Plate Polystyrene Ionization Chambers in Polystyrene Phantom. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. 5(11):2031-2038 (1979)
- Boag J.W., Sc.D.: Space Charge Distortion of the Electric Field in a Parallel-Plate Ionization Chamber.

- Phy. Med. Biol. 8(4):461-467 (1963)
3. Boag J.W., Sc.D.: Distortion of the Electric Field in an Ionization Chamber due to a Difference in Potential between Guard Ring and Collector. *Phy. Med. Biol.* 9(1):25-32 (1964)
 4. Greening J.R., Sc. D., F. Inst. P.: Saturation Characteristics of Parallel-Plate Ionization Chambers. *Phy. Med. Biol.* 9(2):143-154 (1964)
 5. Kotler L., Webb D.: Experimental determination of the effective point of measurement of a parallel plate ionization chamber. *Australas. Phys. Eng. Sci. Med.* 19:1-10 (1996)
 6. 한국의학물리학회: 방사선량의 표준측정법. *의학물리* 2(1):37-105 (1991)
 7. 신교철: 고에너지 광자선과 전자선 측정용 평행평판 전리함의 개발 및 특성, 단국대학교대학원, 박사학위논문, (2000)
 8. 이병용, 최은경, 장혜숙, 홍석민, 이명자, 전하정: 원통형 전리함의 유효 측정점에 관한 실험적 연구. *의학물리* 2(2):155-160 (1991)

Study on Effective Point of Measurement for Parallel Plate Type Ionization Chamber with Different Spacing

Kyo Chul Shin, Ph.D., Hyong Geun Yun, Ph.D.

Department of Therapeutic Radiology, Dankook University College of Medicine, Cheonan, Korea

In this work, EPM (effective point of measurement) of parallel plate ionization chamber with three different spacing were investigated. If the plate separation is less than 2 mm one generally assumes that the effective point of measurement is just behind the front window of the parallel plate ionization chamber. For chamber with relatively large separation, such as the ones used for very accurate exposure measurements, this assumption breaks down and the EPM depends on plate separation and thickness of the front window. For parallel plate chambers, conventional theoretical analyses suggest that the EPM is the inner front wall and that it shifts towards the geometric centre of the chamber as the plate separation increases. The PP-IC (parallel plate ionization chamber) is fabricated using acrylic plate for the chamber medium and printed circuit board for electrical configuration. The various sizes of the sensitive volumes designed so far are 0.9, 1.9, and 3.1 cc. The gap between two electrodes ranges from 3, 6, and 10mm. Also the charge-to-voltage converter is designed to collect the electrons produced in the ionization chamber cavity. As the result of our experiment, the EPM shift was within 0.6 mm in photon beams and 0.4 mm to 2.5 mm in electron beams for the plate separation of 6 mm and 10 mm. EPM shifts towards the geometric center of the chamber as the plate separation increases.

Key words : Effective point of measurement, Parallel plate ionization chamber