

6 MV 광자빔에 대한 MicroLion 액체이온함의 특성 연구

*인하대학교 의과대학 방사선종양학교실, †한양대학교 의과대학 방사선종양학교실, ‡한국원자력의학원 방사선치료연구센터, §경희대학교 의과대학 방사선종양학교실, ||한양대학교 대학원 원자력공학과

최상현*^{||} · 허현도* · 김성훈[†] · 지영훈[‡] · 김금배[‡] · 김우철* · 김현정* · 신동오[§] · 김찬형^{||}

최근 PTW사에서는 물등가물질로 구성되어 있고, 측정체적(sensitive volume, 0.002 cm³)이 매우 작은 MicroLion 액체이온함을 내놓았다. 본 연구의 목적은 외부방사선 치료용 광자빔에 대해 MicroLion 액체이온함의 선량선형성, 선량률의존성, 공간분해능, 그리고 출력인수와 같은 선량측정학적 특성을 조사하는 것이다. 이 결과를 Semiflex 이온함(0.125 cm³), Pinpoint 이온함(0.015 cm³), 다이오드 검출기(0.0025 mm³)의 결과와 비교분석하여 소조사면 측정에 적절한지를 평가하고자 하였다. Varian clinac 2300 C/D의 6 MV 광자빔에서 측정하였으며, MP3 물팬텀(PTW, Freiburg)을 이용하였다. 공간분해능은 반음영(penumbra)을 측정하여 평가하였으며, 0.5×0.5 cm²에서 10×10 cm²까지 다양한 조사면에 대하여 측정하였다. 출력인수는 0.5×0.5 cm²에서 40×40 cm²에 대하여 측정하였다. 선량에 따른 MicroLion 액체이온함의 측정값은 선형적인 비례성을 보였다. 그러나 선량률은 100 MU/min와 600 MU/min에 의한 측정값의 차이가 최대 5%의 차이를 보였으며, 선량률이 커질수록 출력선량이 작아지는 결과를 보였다. 공간분해능의 경우 조사면 0.5×0.5 cm²에서 10×10 cm²까지의 측정선량분포 비교에서 Semiflex 이온함을 제외한 다른 모든 검출기들의 경우 2% 이내에서 일치하였다. 출력선량은 2×2 cm²에서 10×10 cm² 조사면에서 Semiflex 검출기 대비 모든 검출기가 2% 이내에서 잘 일치하였다. 연구 결과 MicroLion 액체이온함은 물등가물질로 이루어져 있으며, 감응 면적이 매우 작기 때문에 소조사면에서 매우 유용할 것으로 사료된다.

중심단어: MicroLion 액체이온함, 물등가물질, 소조사면

서 론

세기조절방사선치료(IMRT), 체적변조회전방사선치료(VMAT), 사이버나이프(Cyberknife) 등은 정밀하고 정확하게 주변 장기에는 적은 선량을 주면서 종양에는 고 선량을 줄 수 있는 최신 치료 방법이다.¹⁻³⁾ 이러한 방사선 치료는 대부분 소조사면 형태로 시행되므로 4×4 cm² 이하의 소조사면에 대한 정밀하고 정확한 데이터의 측정 및 선량 평가가 선행되어야 한다.

소조사면은 일반적으로 사용되는 넓은 조사면과는 다른

두 가지 특징을 가진다. 첫 번째는 콜리메이터가 작아짐에 따라 광자 선원이 측정점에서 명확히 보이지 않는 점이며,⁴⁾ 두 번째는 방사선 조사면 크기가 이차 전자의 최대 측방 거리(lateral range of secondary electrons)보다 작아질 수 있다는 점이다.⁵⁾ 첫 번째는 선형가속기 헤드의 기하학적인 형태로 인한 것이며, 두 번째는 빔 에너지와 조사대상의 밀도나 구성 물질에 의한 대전입자불평형에 의한 것이다. 이러한 조건에서는 빔 중심 축에서의 출력선량이 감소되며, 반음영이 중첩되어 넓어지는 현상이 발생한다. 이러한 소조사면의 조건에서 의학 물리사는 소조사면의 특성에 맞는 적절한 이온함 및 검출기의 선택을 통한 정확한 선량 평가를 할 필요가 있다.

선량 평가 시 이용되는 검출기들은 측정 목적에 따라 각기 다른 장점을 가지고 있다. Farmer 타입 0.6 cc 이온함은 방사선치료 분야에서 선량 평가시 표준으로 사용되고 있지만, 감응 면적이 조사면에 비해 커서 소조사면에서는 체적 평균화 및 측방대전입자불평형 등의 단점을 가지고 있다.

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 방사선 기술 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

이 논문은 2011년 11월 28일 접수, 2011년 12월 8일 수정, 2011년 12월 12일 채택되었음.

책임저자 : 김찬형, (133-791) 서울시 성동구 행당동 한양대학교 원자력공학과

Tel: 02)2220-0513, Fax: 02)2220-4059

E-mail: chkim@hanyang.ac.kr

현재 사용되고 있는 마이크로 이온함이 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 보다 작은 조사면에서 좋은 특성을 제공하고 있지만,^{6,7)} 잡음대신호비가 높지 않다는 문제 또한 가지고 있으며,^{8,9)} 이온함의 공기 공동으로 인한 측방전자불평형이 발생하는 문제점이 있다. 다이아몬드 검출기의 경우 조직 등가물질에 가까워서 $2.6 \times 2.6 \text{ cm}^2$ 보다 작은 조사면에서 이온함 보다 더 나은 결과를 보였다는 연구 결과가 보고되고 있으며, 다이오드 검출기의 경우 물에 비해 높은 원자 번호를 갖는 실리콘으로 구성되어 있어서, 낮은 에너지의 산란 광자에 과잉반응을 보인다는 단점이 있다.¹⁰⁾ 방사선사진 필름(radiographic film, Kodak EDR2), radiochromic 필름(GafchromicTM) 등은 매우 높은 해상도를 가지고 있기 때문에 소조사면에서도 정확하게 측정할 수 있으며, 향상된 에너지 반응성과 넓은 에너지 범위에서의 사용이 가능하다는 보고하고 있다.^{11,12)}

이상적인 검출기는 높은 잡음대신호비를 가지며, 물등가물질로 이루어져 있어야 한다. Dasu 등은 정위방사선의 빔 특성을 위해 비상업적인 액체이온함을 처음 소개하였으며, 실리콘 다이오드 검출기에 비해 향상된 성능에 대한 결과를 보고한바 있다.¹³⁾

본 연구에서는 최근 PTW사에서 내놓은 물등가물질이며 측정체적이 작은(0.002 cm^3) MicroLion 액체이온함의 광자빔에서 선량 평가의 유용성을 평가하기 위해 선량률의존성, 선량선형성, 공간분해능 및 출력선량 등의 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 6 MV 선형 가속기(Clinca 2300 C/D, Varian, USA)를 이용하여 측정하였다. 선량률 의존성을 제외한 측정에서의 선량률은 400 MU/min/min이었다. MicroLion 액체이온함 및 다른 이온함 측정에는 MP3 물팬텀(PTW, Freiburg)

을 사용하였다. 빔의 중심축에 대한 정확한 측정을 위해 각 검출기 및 이온함을 이용하여 빔의 중심축을 확인하고 보정한 이후에 각 특성별 측정을 이행하였다.

1. MicroLion 액체이온함(MicroLion liquid ionization chamber)

MicroLion 액체이온함(PTW, 31018)은 작은 측정체적(0.002 cm^3)을 갖는 액체이온함이다. 감은 용적이 공기가 아닌 물 등가물질인 이소옥탄(isooctane)으로 이루어져 있어서(Fig. 1), 잡음대신호비가 이온함에 비해 매우 높다는 장점을 가지고 있다. MicroLion 액체이온함은 +800V (운전명목전압 nominal operating voltage)에서 측정이 되어야 하므로, 측정시 최대 $\pm 950 \text{ V}$ 까지 이용이 가능한 PTW HV-Supply (T16036)와 Unidose^{webline} 미소전류계를 함께 사용하였다. MicroLion 액체이온함을 이용한 정확한 측정을 위해서 PTW사에서 권고하는 대로, 최소 15분의 준비시간을 갖은 이후 적어도 3 Gy의 예비조사 이후에 측정하였다. 측정시 물팬텀 내에서 장착하고, 빔에 수직인 방향 및 수평인 방향으로 측정이 가능하도록 하기 위해 지지대를 직접 제작하였다(Fig. 1).

2. 특성 연구

1) **선량률의존성 및 선량선형성**: MicroLion 액체이온함의 선량률(dose rate)의존성 및 선량선형성(dose linearty)에 대한 측정에서는 MP3 물팬텀을 이용하고, 조사면의 크기는 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 이고, 선원과 표면과의 거리(SSD)는 100 cm, 측정깊이는 5 cm로 하였다. 선량률이 100 MU/min에서 600 MU/min까지 변함에 따른 전하량을 측정하였으며, 각 선량률 당 5회씩 측정을 시행하였다. 빔축에 수직인 방향에 대하여만 측정하였다. 선량선형성(dose linearity)을 평가하기 위해서 0.1 Gy에서 20 Gy까지 총 15개의 선량에 대하여 측

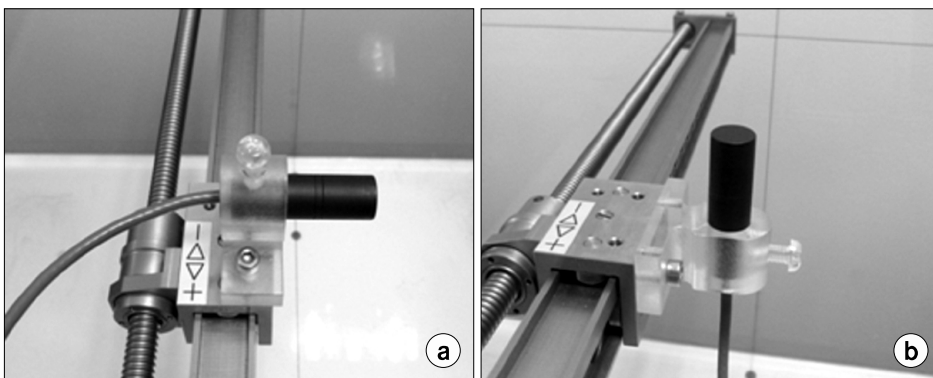


Fig. 1. MicroLion liquid ionization chamber was measured in the frontal (a) and the transverse (b) orientation for spatial resolution and dose rate dependency.

Table 1. Typical characteristics of commercial small field detectors (chamber and detector).

Ionisation chamber/detector	Semiflex chamber (31010)	Pinpoint chamber (31014)	Diode detector (60008)	MicroLion chamber (31018)
Measurement volume (cm ³)	0.125	0.015	0.0025×10 ⁻³	0.002
Cavity length (mm)	6.50	5.00	Depth 2.5	Depth 0.35
Cavity radius (mm)	2.75	2.00	0.56	2.50
Wall materials, density	0.55 mm PMMA, 1.19 g/cm ³ , 0.15 mm Graphite, 0.82 g/cm ³	0.57 mm PMMA, 1.19 g/cm ³ , 0.09 mm Graphite, 1.85 g/cm ³	1.0 mm RW3, 1.045 g/cm ³ , 1.0 mm epoxy	0.5 mm phlystyrene, 0.28 mm graphite, 0.02 mm varnish, 0.107 g/cm ³
Electrode	Aluminum	Aluminum	-	Graphite

정하였다.

2) **공간분해능**: 선량이 급격히 변화하는 영역의 선량 측정은 이온함 크기로 인해 분해능 문제가 제기될 수 있다. 공간분해능(spatial resolution)은 선량이 급격히 변화는 측방선량분포(dose profile)의 반음영(penumbra)을 측정하여 평가하였다. 공간분해능을 측정하기 위해서 다양한 체적을 가진 선량계를 이용하여 시행하였다(Table 1). 또한 소조사면에 따른 공간분해능을 평가하기 위해서 0.5×0.5 cm², 1×1 cm², 4×4 cm² 및 10×10 cm²의 조사면에 대하여 측정하였으며, 조사영역의 크기를 각 선량계 별로 평가하기 위해서 측정 깊이는 5 cm로 하고, 선원과 선량계간의 거리(Source Detector Distance, SDD) 100 cm에서 측정하였다. 소조사면의 경우 측방선량분포 측정 시에 방사선 치료기의 출력의 변화를 보정해주기 위해 사용되는 기준이온함(reference chamber)이 조사면을 가려서 실제 측정에 사용되는 선량계에 영향을 주어 측정에 오차를 발생시킬 수 있다. 이러한 이유로 소조사면에서 측방선량분포 측정시 다양한 방법들이 연구되어 왔다.^{4,14,15)} 본 실험에서는 MP3 물팬텀과 함께 측정에 사용되는 소프트웨어인 Mephisto MC2 (PTW, Freiburg) 프로그램에서 제공하는 단계별 측정법(step by step) 방법을 사용하여 측정하였으며, 측정 위치 별 충분한 신호를 측정하기 위해서 2초의 시간 간격을 두고 측정하였다.

3) **출력선량인수**: 조사면 크기에 따른 출력선량인수(output factor)를 측정하기 위해서 치료계획시스템(Eclipse 8.6, Varian, USA)에서 권고하는 측정조건과 동일하게 선원과 물팬텀 표면 사이의 거리(SSD) 95 cm, 5 cm 깊이에서 실험하였으며, 200 MU/min씩 조사하여, 5회씩 반복 측정을 시행하였다. 조사면은 0.5×0.5 cm²에서 40×40 cm²까지 총 12개의 조사면에 대하여 측정하였고, 특히 소조사면에 대해서는 0.5×0.5 cm²에서 1×1 cm²까지는 조사면의 크기를 0.1 mm, 0.2 mm 간격으로 조정하여 측정하였다. Table 1에서 제시된

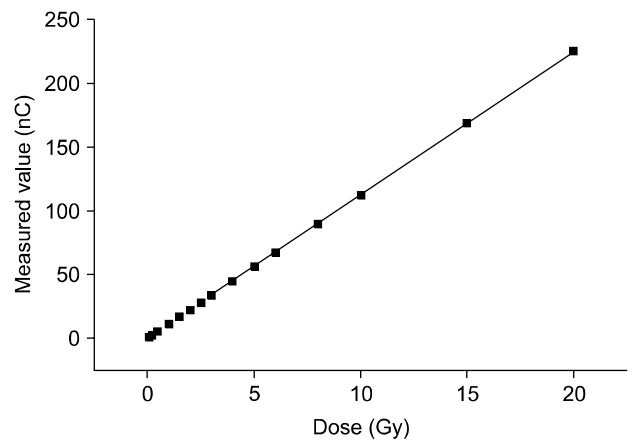


Fig. 2. Dose linearity, of MicroLion liquid ionization chamber was measured from 0.1 Gy to 20 Gy for dose linearity.

4개의 검출기에 대하여 측정, 비교하였으며, MicroLion 액체이온함 검출기의 경우 축에 수직인 방향과 수평인 방향에 대하여 각각 측정하여 비교하였다.

결 과

1. 선량선형성 및 선량률의존성

선량선형성은 MicroLion 액체이온함의 빔축상 수직인 방향에 대하여 측정하였다. Fig. 2는 선형가속기에 대한 선량 범위 0.1Gy에서 20 Gy까지 MicroLion 액체이온함의 반응도에 대한 측정값을 그래프로 나타내었다. 그 결과 선량 증가에 따른 MicroLion 액체이온함의 선형성을 확인하였으며, 0.999의 상관계수(correlation coefficient)를 보였다.

선량률에 대한 의존성 분석을 위하여 100에서 600 MU/min까지의 선량률에서 이온함을 수직방향으로 정렬시킨 후 측정하였으며(Fig. 3), 최대 5%의 차이가 100 MU/min에 의한 측정치와 600 MU/min에 의한 측정치에서 보였으

며, 선량률이 클수록 출력선량이 작아지는 결과를 나타내었다.

2. 공간분해능

MicroLion 액체이온함의 공간분해능의 평가는 측방선량 분포로 분석하였다. Fig. 4는 0.5×0.5 cm², 1×1 cm², 4×4 cm² 및 10×10 cm² 조사면에 대한 각 검출기의 측방선량분포이며, Table 2는 선원과 검출기의 거리(SDD)가 100 cm인 지점에서의 각 검출기로 측정된 조사면과 80~20% 반응영을 나타낸다. Semiflex 이온함을 제외한 다른 모든 검출기의 경우 조사면 및 반응영의 크기에서 잘 일치함을 보였다. MicroLion 액체이온함의 경우 측정체적이 가장 작은 Diode 검출기와 비교하여 전 조사면에서 2% 이내의 차이를 보였으며, 반응영은 10% 내외의 차이를 보여, 잘 일치함을 확인하였다. 반면, 상대적으로 측정체적이 큰 Semiflex 이온함

은 1×1 cm² 이하 조사면에서 조사면의 크기는 Diode 검출기와 비교하여 30% 이상의 차이를 보였으며, 반응영의 경

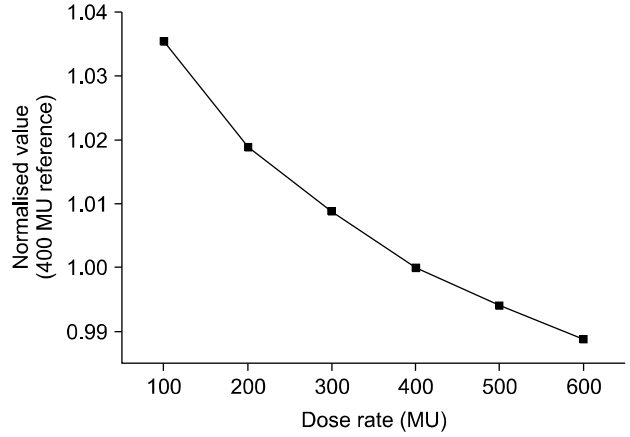


Fig. 3. Dose rate dependency, MicroLion liquid ionization chamber was measured from 100 MU/min to 600 MU/min.

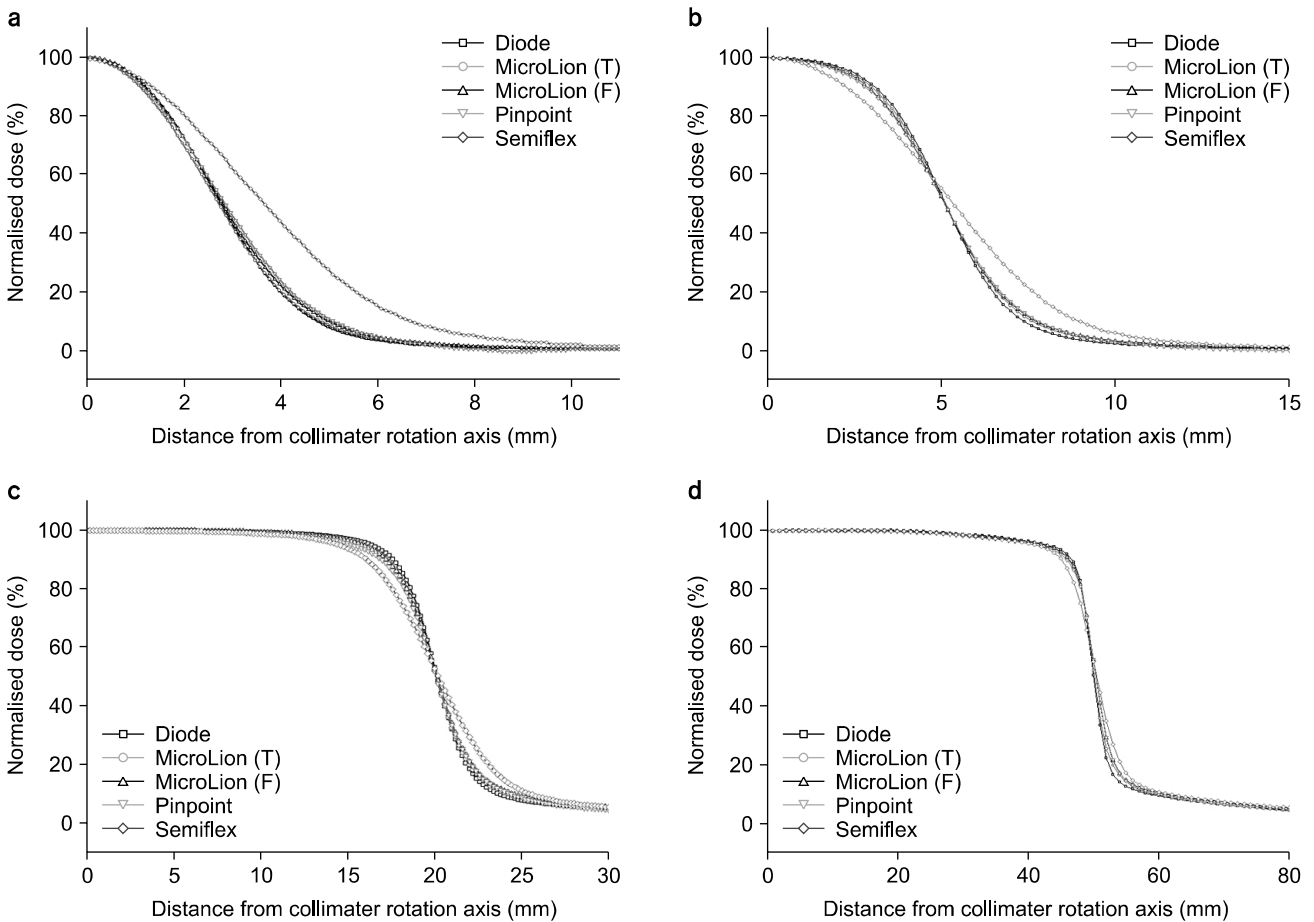


Fig. 4. This shows profiles of each field sizes using different detectors (a) 0.5×0.5 cm², (b) 1×1 cm², (c) 4×4 cm², (d) 10×10 cm². Dose values are normalized to the value at the central axis.

Table 2. Left and right penumbra regions according to each detectors.

Field size		Chamber/detector				
		Semiflex	Pinpoint	Diode	MicroLion (T)	MicroLion (F)
10.0×10.0 cm ²	Field Size [cm]	10.11	10.08	10.06	10.11	10.08
	Pen. Left [mm]	6.91	5.34	4.65	5.07	5.12
	Pen. Right [mm]	6.99	5.27	4.64	5.15	5.17
4.0×4.0 cm ²	Field Size [cm]	4.05	4.02	4.03	4.02	4.03
	Pen. Left [mm]	5.54	3.85	3.24	3.60	3.73
	Pen. Right [mm]	5.55	3.86	3.22	3.56	3.75
1.0×1.0 cm ²	Field Size [cm]	1.07	1.03	1.03	1.03	1.02
	Pen. Left [mm]	4.41	3.13	2.71	2.94	2.96
	Pen. Right [mm]	4.40	3.14	2.70	2.91	2.97
0.5×0.5 cm ²	Field Size [cm]	0.76	0.58	0.56	0.56	0.57
	Pen. Left [mm]	3.61	2.59	2.31	2.45	2.49
	Pen. Right [mm]	3.53	2.56	2.29	2.42	2.48

우 40% 이상의 차이를 보였다.

3. 출력선량인수

Fig. 5는 0.5×0.5 cm²에서 40×40 cm²까지 범위의 조사면에 대하여 MicroLion 액체이온함의 출력선량과 다양한 검출기들의 출력선량을 보여준다. 2×2 cm²과 10×10 cm² 조사면 사이의 출력선량은 Semiflex 이온함과 비교하여 모든 검출기의 출력선량은 2% 이내에서 일치하였다. 그러나, 2×2 cm²보다 작은 조사면에서는 그 차이가 조사면의 크기가 작아질수록 증가하였다. Semiflex 이온함과 Pinpoint 이온함의 경우 측정체적이 가장 작은 Diode 검출기의 출력선량과의 각각 50%, 30% 이상의 차이를 보였다. MicroLion 검출기의 경우 소조사면에서도 Diode 검출기와 잘 일치하였으며, 빔축 방향 보다는 수평인 방향으로 측정된 출력선량이 2~3% 높은 결과를 보였다. 조사면이 작아짐에 따른 출력선량 변화도는 Diode 검출기와 비교하여 Pinpoint 이온함, Semiflex 이온함, MicroLion 액체이온함의 출력선량은 1×1 cm² 조사면의 경우 9%, 15%, 2%의 차이를 보였고, 0.5×0.5 cm² 조사면의 경우 27%, 57%, 9%의 차이를 보였다. 10×10 cm² 보다 큰 조사면에서는 Semiflex 이온함과 비교하여 Diode 검출기와 Pinpoint 이온함은 2% 정도 높은 값을 보였고, MicroLion 액체이온함은 빔의 중심축 방향에 수평인 방향에서 측정했을 때 40×40 cm² 조사면에서 최대 4% 정도의 낮은 값을 보였다.

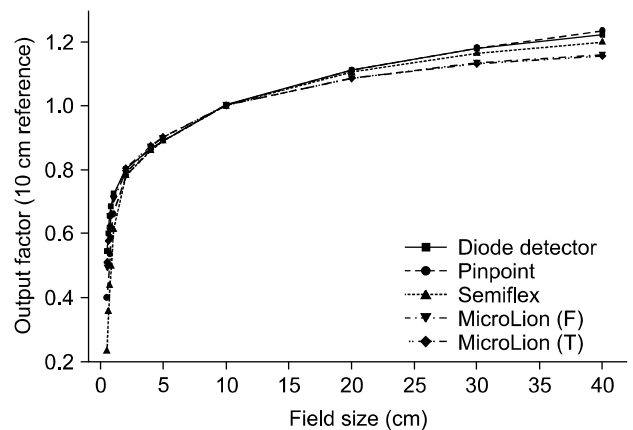


Fig. 5. Output factors for each detectors were measured in field sized from 0.5×0.5 cm² to 40×40 cm².

고찰 및 결론

방사선 치료 분야에서 정확한 선량 평가를 위해서는 적절한 이온함의 선택은 중요하다. 특히, 소조사면으로 이루어진 작은 콘(5~60 mm)을 이용하여 치료하는 사이버나이프나 세기변조방사선 치료 시 최소 단위(beamlet)의 소조사면을 이용하여 MLC의 정적 및 동적인 움직임으로 치료하는 방식인 IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy), 갠트리 속도와 선량률의 변화 그리고 작은 소조사면으로 이루어진 MLC의 움직임을 이용하여 회전하면서 환자를 치료하는 방식인 VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) 같은 최신 치료 방식에서는 각 검출기 및 이온함의 특성에 따라 통상적인 3차원 치료 조사면(conventional radiation

therapy)에서의 선량 평가에 비해 더 큰 정량적인 차이를 보일 수 있다. 그러므로 소조사면 및 방사선 치료 기법에 따른 각 검출기 및 이온함의 특성에 대한 정확한 평가 및 이해가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 MicroLion 액체이온함의 광자빔에 대한 특성을 평가하기 위해서 선량선형성, 선량률의존성, 공간 분해능 및 출력선량(output factor)에 대하여 측정하고, 다른 검출기 및 이온함과 비교하여 적정성을 평가하였다.

고에너지 방사선 치료 및 수술 시 선량 범위(0.1~20 Gy)에서 선형성을 보여, 환자 맞춤형 치료 선량 검증(specific patient treatment QA)시 고 선량이 전달되는 종양 및 주변 장기의 선량 측정에 적절할 것으로 판단된다. 이는 방사선 치료에서 수술 영역에 이르기까지 이용이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 이온함 같은 잡음대신호비가 낮은 이온함에서 측정이 힘든 선량 영역에서도 상대 선량평가에 사용될 수 있음을 보인다.

MicroLion 액체이온함은 선량률에 대한 의존성을 보였다. 기존 통상적인 3차원 방사선 치료 방법 및 동적이거나 정적인 세기변조 방사선 치료(IMRT) 방법은 한 개의 치료 조사면에 하나의 선량률 즉 100~600 MU/min에 해당하는 선량률 중 300 MU/min이나 400 MU/min 선량률을 치료시 사용하므로, 선량률 보정인자(dose rate correction factor)를 적용하여 각 선량률에 대한 선량 평가를 정확히 할 수 있다. 하지만, 체적 변조 회전 치료(VMAT)는 갠트리 방향을 시계방향이나 시계 반대방향으로 한 바퀴 회전하거나 치료하고자 하는 범위에 해당하는 각도의 범위를 정하여 선량률을 변화시키면서 치료하는 치료 기법이므로, 선량률 보정이 어려우며, 선량률을 보정하지 않고 선량 평가에 사용하게 되면, 최대 5%의 차이를 보일 수 있다. 만약 이온함을 이용한 교차교정을 통해서 300 MU/min에서 교정을 하였다면, 최대 2.6% 차이를 보일 수 있다. 하지만, 체적변조 회전 치료 시 갠트리 방향이 한 바퀴(181~179° 또는 179~181°) 돌때 선량률이 100~600 MU/min 사이에서 변함으로 이보다 적은 선량 차이를 보일 것으로 사료된다.

소조사면에서 절대선량 및 상대선량의 정확한 측정은 조사면 크기에 대한 검출기의 크기에 따라 달라진다. 검출기의 측정체적이 클수록 측정된 반응영도 커진다.¹⁶⁾ 본 연구에서도 이러한 영향을 평가하고, MicroLion 액체이온함의 공간분해능을 측정하기 위해서 구성 물질 및 측정체적이 다른 검출기 및 이온함을 이용하여 소조사면에서 측방선량 분포를 측정하였다. 조사면에 따른 측정된 조사면 크기 및 반응영의 크기는 Semiflex 이온함>Pinpoint 이온함>MicroLion

액체이온함>다이오드 검출기 순으로 측정체적이 클 수록 큰 값을 보였다. 특히 Semiflex 이온함의 경우 1×1 cm² 조사면에서는 조사면의 크기가 실제 조사면 보다 7% 이상의 차이를 보였다. Pinpoint 이온함은 Semiflex 이온함에 비해 측정체적이 작지만, 다이오드 검출기 및 MicroLion 액체이온함에 비해 반응영이 큼을 확인할 수 있다. 이는 두 이온함이 다른 이온함에 비해 측정체적이 커서 생기는 체적 평균화 현상(volume averaging) 및 소조사면에서 이온함의 이차 전자 플루언스의 주요한 요동(perturbation) 현상을 유발하는 비물등가물질에 의해 반응영의 폭이 넓어지는 원인 때문이다.^{6,14,17)} 이러한 이유로 Ding 등¹⁵⁾은 15 mm 보다 작은 소조사면에서는 고체 검출기의 사용을 권고하였으며, Westermarck 등은 측방선량분포 측정시 액체형 이온함이 좋은 결과를 보였음을 보고하였다.¹⁸⁾ 이는 액체형 이온함이 물등가물질로 이루어져 있어서 이차 전자 플루언스의 요동이 공기 공동으로 이루어진 이온함에 비해 작고, 잡음대신호비가 높은 장점을 가지고 있음으로 판단된다.^{9,13)}

출력선량 또한 소조사면에서 조사면이 작아질수록 Diode 검출기가 가장 완만한 곡선 그래프를 보인 반면 Pinpoint 이온함과 Semiflex 이온함은 급격한 곡선을 그리며 떨어짐을 확인하였다. 특히 1×1 cm² 이하에서는 그 폭이 점점 더 큰 차이를 보였다. 이는 측정체적이 상대적으로 큼으로 인한 체적 영향과 구성 물질이 조직 등가 물질이 아닌 공기 공동으로 이루어져 있어서 조사된 균질한 매질에서 이차 전자 플루언스의 요동 현상 및 중심축에서 측방 선량 불균일이 커짐에 따른 것으로 판단된다. 이에 관하여 많은 연구자들은 Diode 검출기는 고밀도이고 높은 원자번호의 매질로 이루어져 있어서 균질 매질에서 플루언스의 요동으로 인해 소조사면에서 과대 평가됨을 확인하였다.^{19,21)} 10×10 cm² 이상의 조사면에서는 Pinpoint 이온함>Diode 검출기>Semiflex 이온함>MicroLion 액체이온함순으로 출력선량이 높은 값을 보였다. MicroLion 액체이온함의 경우 Semiflex 이온함에 비해 40×40 cm² 조사면에서 최대 4% 정도의 낮은 출력선량을 보였다. 이러한 원인에 대한 정확한 분석을 위해서 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이상적인 검출기는 조사면 크기와 상관없이 정확하게 선량평가를 할 수 있어야 한다. 이는 검출기의 감응 면적이 조사면에 비해 매우 작고, 물등가물질이어야 하며, 잡음대신호비가 높아야 하는 조건을 만족하는 검출기 일 것이다. 이러한 이유로 위에서 몇몇 연구자들이 측정체적이 물등가인 액체이온함에 대한 연구를 하였다.^{9,13)} 하지만, 현재 상업적으로 이용가능한 MicroLion 액체이온함의 특성에 대해

여 보고 된 바 없다.

본 연구에서 평가한 특성의 경우 MicroLion 액체이온함은 물등가물질로 이루어져 있으며, 감응 면적이 매우 작기 때문에 소조사면에서 이온함에 비해 좋은 결과를 나타내었다. IMRT, VMAT 방사선 치료 및 사이버나이프와 같은 치료 분야 및 방사선 수술 분야의 소조사면에서의 선량 측정에 매우 유용할 것으로 판단되며, 다양하고, 정확한 특성 파악을 위해서 몬테칼로 전산모사 등을 이용한 소조사면에서의 특성에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. **Burman C, Chui CS, Kutcher G, et al:** Planning, delivery and quality assurance of intensity modulated radiotherapy using dynamic MU/minileaf collimator: a strategy for large-scale implementation for the treatment of carcinoma of the prostate. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 39:863-873 (1997)
2. **Araki F:** Monte Carlo study of a Cyberknife stereotactic radiosurgery system. *Med Phys* 33:2955-2963 (2006)
3. **Otto K:** Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Med Phys* 35:310-317 (2008)
4. **Chow JC, Seguin M, Alexander A:** Dosimetric effect of collimating jaws for small MU/minileaf collimated fields. *Med Phys* 32:759-765 (2005)
5. **Dutreix J, Dutreix A, Tubiana M:** Electronic equilibrium and transition stages. *Phys Med Biol* 10:177-190 (1965)
6. **Martens C, De Wagter C, De Neve W:** The value of the PinPoint ion chamber for characterization of small field segments used in intensity-modulated radiotherapy. *Phys Med Biol* 45:2519-2530 (2000)
7. **Laub WU, Wong T:** The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT. *Med Phys* 30:341-347 (2003)
8. **Lee HR, Pankuch M, Chu JC, et al:** Evaluation and characterization of parallel plate microchamber's functionalities in small beam dosimetry. *Med Phys* 29:2489-2496 (2002)
9. **Francescon P, Cora S, Cavedon C:** Total scatter factors of small beams: a MU/minileaf detector and Monte Carlo study. *Med Phys* 35:504-513 (2008)
10. **Bucciolini M, Buonamici FB, Mazzocchi S, et al:** Diamond detector versus silicon Diode and ion chamber in photon beams of different energy and field size. *Med Phys* 30:2149-2154 (2003)
11. **Esthappan J, Muntic S, Harms WB, et al:** Dosimetry of therapeutic photon beams using an extended dose range film. *Med Phys* 29:2438-2445 (2002)
12. **Olch AJ:** Dosimetric accuracy of the ITP inverse treatment planning system. *Med Phys* 29:2484-2488 (2002)
13. **Dasu A, Lofroth PO, Wickman G:** Liquid ionization chamber measurements of dose distributions in small 6 MV photon beams. *Phys Med Biol* 43:21-36 (1998)
14. **McKerracher C, Thwaites DI:** Assessment of new small-field detectors against standard-field detectors for practical stereotactic beam data acquisition. *Phys Med Biol* 44:2143-2160 (1999)
15. **Ding GX, Duggan DM, Coffey CW:** Commissioning stereotactic radiosurgery beams using both experimental and theoretical methods. *Phys Med Biol* 51:2549-2566 (2006)
16. **McNiven A, Kron T:** Interpolation and extrapolation of dose measurements with different detector sizes to improve the spatial resolution of radiotherapy dosimetry as demonstrated for helical tomotherapy. *Phys Med Biol* 49:3665-3674 (2004)
17. **Wilcox EE, Daskalov GM:** Evaluation of GAFCHROMIC EBT film for Cyberknife dosimetry. *Med Phys* 34:1967-1974 (2007)
18. **Westerrnark M, Arndt J, Nilsson B, et al:** Comparative dosimetry in narrow high-energy photon beams. *Phys Med Biol* 45:685-702 (2000)
19. **Zhu XR, Allen JJ, Shi J, et al:** Total scatter factors and tissue maxMU/min ratios for small radiosurgery fields: comparison of Diode detectors, a parallel plate ion chamber, and radiographic film. *Med Phys* 27:472-477 (2000)
20. **Araki F, Ikegami T, Ishidoya T, et al:** Measurements of Gamma-Knife helmet output factors using a radio-photoluminescent glass rod dosimeter and a Diode detector. *Med Phys* 30:1976-1981 (2003)
21. **Sauer OA, Wilbert J:** Measurement of output factors for small photon beams. *Med Phys* 4:1983-1988 (2007)

A Study of Characteristics of MicroLion Liquid Ionization Chamber for 6 MV Photon Beam

Sang Hyoun Choi^{||}, Hyun Do Huh^{*}, Seong Hoon Kim[†], Young Hoon Ji[‡], Kum Bae Kim[‡],
Woo Chul Kim^{*}, Hun Jeong Kim^{*}, Dong Oh Shin[§], Chan Hyeong Kim^{||}

^{*}Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Inha University, Incheon, [†]Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Hanyang University, [‡]Research Center for Radiotherapy, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences, [§]Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Kyung Hee University, ^{||}Department of Nuclear technology, Hanyang University, Seoul, Korea

Recently PTW developed a MicroLion liquid ionization chamber which is water-equivalent and has a small sensitive volume of 0.002 cm³. The aim of this work is to investigate such dosimetric characteristics as dose linearity, dose rate dependency, spatial resolution, and output factors of the chamber for the external radiotherapy photon beam. The results were compared to those of Semiflex chamber, Pinpoint chamber and Diode chamber with the sensitive volumes of 0.125 cm³, 0.03 cm³ and 0.0025 cm³, respectively and evaluated to be suitable for small fields. This study was performed in the 6MV photon energy from a Varian 2300 C/D linac accelerator and the MP3 water phantom (PTW, Freiburg) was used. Penumbrae in the various field sizes ranged from 0.5×0.5 cm² to 10×10 cm² were used to evaluate the spatial resolution. Output factors were measured in the field sizes of 0.5×0.5 to 40×40 cm². Readings of the chamber were linearly proportional to dose. Dose rate dependency was measured from 100 MU/min to 600 MU/min, showed a maximum difference of 5.0%, and outputs decreased with dose rates. The spatial resolutions determined with comparing profiles for the field sizes of 0.5×0.5 cm² to 10×10 cm² agreed between every detector except the Semiflex chamber to within 2%. Outputs of detectors were compared to that of Semiflex chamber and showed good agreements within 2% for every chamber. This study shows that MicroLion chamber characterized by a high signal-to-noise ratio and water equivalence could be suitable for the small field dosimetry.

Key Words: MicroLion liquid ionization chamber, Water equilibrium material, Small field