

# 방사선출력 일일정도관리를 위한 이온함 및 선량계 제작

서울대학교병원 치료방사선과

서석진 · 이제희 · 박진홍 · 박흥득

## I. 서 론

우리 나라의 대학병원 및 종합병원의 치료방사선과에서 선형가속기로 암을 치료받고 있는 환자수는 연간 약 1만 6천명 정도로 추산되고 있으며, 매년 그 수는 증가하여 10년 후 현재 암 환자수의 약 2배에 이를 것으로 예상되고 있다. 이와 같이 선형가속기의 사용이 빠른 속도로 증가함에 따라, 선형가속기 정도관리의 문제가 중요성을 더해가고 있다. 선형가속기는 암치료를 위해 고에너지의 X-선이나 전자선을 이용하기 때문에, 정확하고 안전한 방사선 치료를 위해서는 선형가속기의 정도관리가 필수적으로 시행되어야 할 것이다. 이에 국제원자력기구(IAEA), 미국의학물리학회(AAPM) 등과 같은 국제기관들과 한국의학물리학회(KAPM), 대한방사선방어학회 등과 같은 국내기관들은 방사선 치료용 선형가속기의 주기적인(일별, 주별, 월별, 분기별, 연별) 정도관리를 권고하고 있다.

일반적으로 각종 암을 고에너지의 X-선이나 전자선을 이용하여 치료할 때, 조사선량이 증가 되면 병소에 대한 치료성적이 향상되기는 하지만 정상조직이 많은 손상을 받아 부작용이 증가할 수 있는 반면에, 조사선량이 감소하면 건강세포에 대한 부작용은 최소화되지만 목적인 치료효과를 기대하기가 어렵다. 따라서, 이러한 방사선 치료효과를 극대화하고, 부작용을 최소화하기 위해서는 계획한 선량의 정확한 조사가 이루어져야 한다. 또한 선형가속기의 정확한 방사

선 치료를 위해서는 고에너지 X-선과 전자선에 대한 정확하고 주기적인 정도관리가 필요하다. 그러나 이러한 고에너지 X-선과 전자선의 출력에 관한 정도관리에 사용되는 계측장비들은 대부분 수입에 의존하고 있으며, 이들의 수입가격은 미화 20,000불에서 35,000불 정도의 고가로서 국내의 많은 병원들은 경제적 부담이 되고 있는 실정이다. 또한, 현재 수입하여 사용중인 장비가 고장났을 경우 보수비용과 기간이 많이 소요되어 불편을 초래하고 있다.

이에 본원에서는 고가의 외국산 선량측정시스템을 대체하는 이온함(ionization chamber) 및 선량계(electrometer)를 자체 제작하여 그 효용성 및 정확도를 평가하고 이를 방사선출력의 일일정도관리에 적용한 임상결과를 보고하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 이온함 제작

본원에서 제작한 이온함은 평행평판형이온함으로 인쇄기판 사이의 아크릴(medium)에 공동(air cavity)을 만들어 sensitive volume(지름 2cm, 두께 5mm)이 0.6 cc되게 하였다(그림 2).

고전압(high voltage)을 인가하는 인쇄기판은 medium 상단에, 신호를 수집하는 인쇄기판은 medium 하단에 위치하였다. 신호전극(signal electrode)둘레에 있는 보호전극(guard electrode)은 신호전극 사이의 sensitive volume을 경계로 지

정한다. 최대 비정을 고려한 안정된 측정을 위해 buildup 아크릴판을 인쇄기판 상단에 부착하였고, 후방산란 등의 영향을 만족시키기 위하여 1cm 아크릴판을 인쇄기판 하단에 부착하였다(그림 1). 이온함지지대(그림 3)는 선형가속기의 block mount에 장착할 수 있도록 설계하였으며, 기계적 정확도는 0.5mm 이하로 하였다(그림 4).

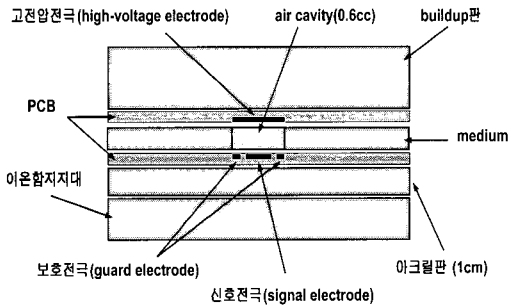


그림 1. 이온함 제작 모식도

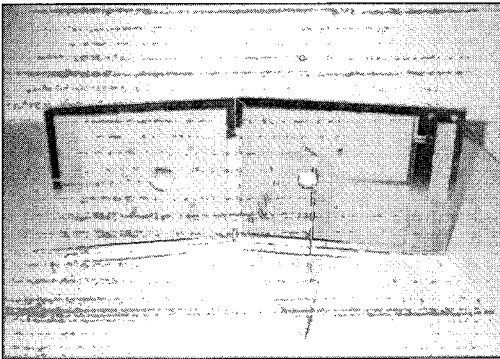


그림 2. 인쇄기판(printed circuit board)

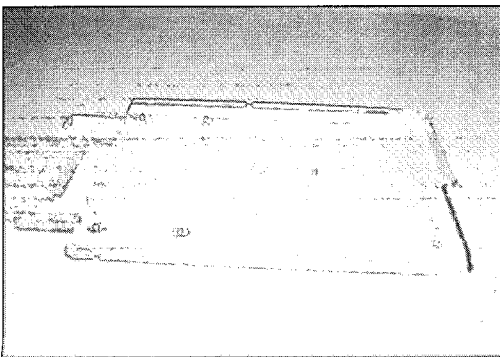


그림 3. 이온함 지지대

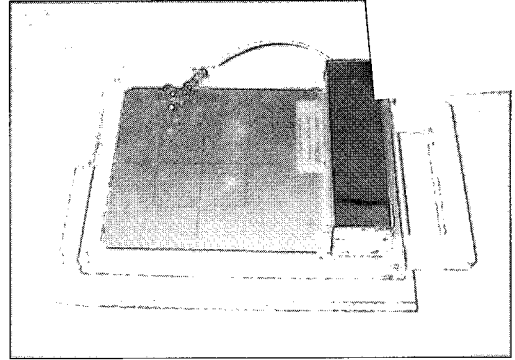


그림 4. 이온함(ionization chamber)

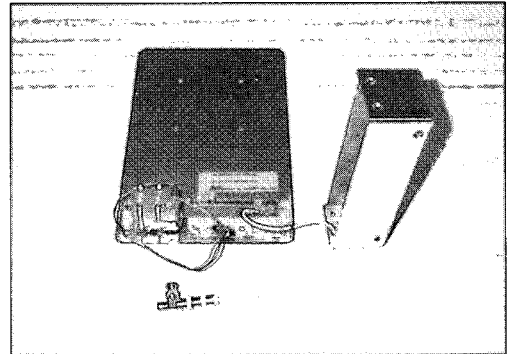


그림 5. 고전압발생기(high voltage generator)

300 V 이상의 고전압발생기(high voltage generator)는 상용의 9V 건전지를 이용하여 제작하였고, 스테인레스(stainless) housing으로 고전압발생기의 덮개를 하였다(그림 5).

## 2. 선량계 제작

이온함에서 발생된 전하를 전압으로 바꾸어 주는 선량계의 변환기는 전하전압변환기(charge-to-voltage converter)를 사용하였고, 잡음(noise)을 감소시켜주는 저잡음증폭기는 OPA 128 I.C.를 사용하였다. 전하전압변환기와 저잡음증폭기 사이에는 relay를 사용하여 zero reset switch 회로가 되게 하였다. multimeter를 이용하여 축전기(capacitor)에 축적된 전하(아날로그신호)를 디지털신호로 변환시켜주는 ADC(analog-

to-digital converter)를 제작하였다(그림 6).

선량계는 2채널 multimeter로써 측정된 데이터 값이 LCD(liquid crystal display)를 통해 display 되도록 하였다. 여기서 채널 1은 SSD가 150 cm 이상인 X-선이나 전자선(electron) 측정을 할 수 있게 capacitor 용량(1.0 $\mu$ F)을 크게 하여 제작하였고, 채널 2는 capacitor 용량(0.027 $\mu$ F)을 작게 제작하였다(그림 7).

일일정도관리에 적용되는 이온함은 차폐용블럭 mount에 장착하여 사용하기 때문에 본 실험에서는 채널 2를 이용하여 측정하였다. 이온함과 선량계의 연결은 기존 선량측정시스템에 사용되는 고가의 외국산 tri-axial cable을 대체하여 비용을 1/30 내지 1/50 정도로 절감할 수 있는 국산의 bi-axial cable을 사용하였다(그림 8).

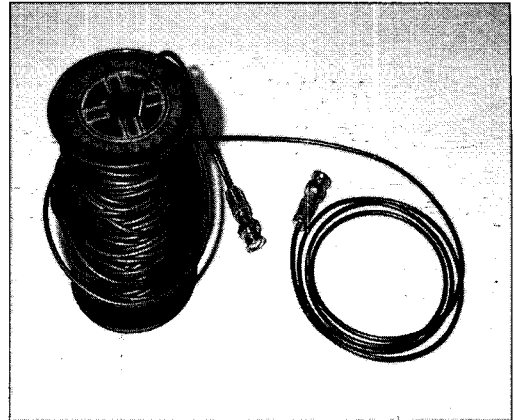


그림 8. bi-axial cable

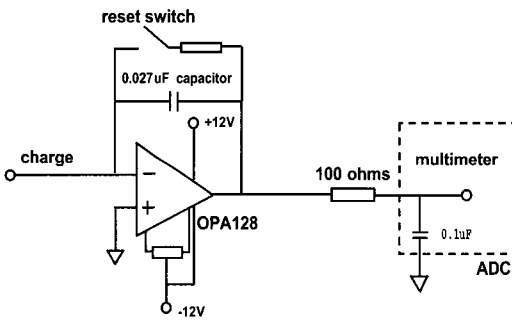


그림 6. 선량계 회로도

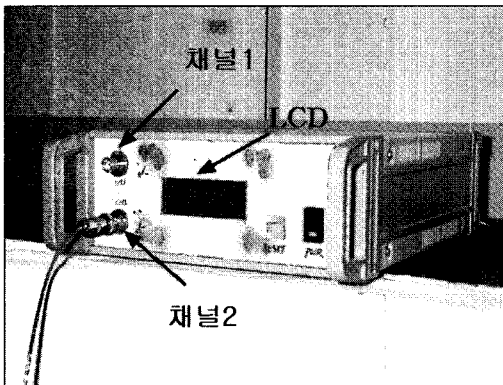


그림 7. 2-channel electrometer

### 3. 실험방법

본원에서 제작한 이온함과 선량계의 특성 및 정확도를 평가하기 위해 재현성(reproducibility), 선형성(linearity), 선량률효과(dose rate effect), 영점변류(變流, zero drift), 암전류(leakage)에 대하여 각각 측정하였다. 사용한 에너지는 선형 가속기의 6 MV/10 MV의 X-선으로, 조사야는 10 cm $\times$ 10 cm<sup>2</sup>, 선원-이온함간 거리는 차폐용블럭 mount의 거리인 65.4 cm으로 하였다. 재현성의 경우는 선량률을 400 MU/min으로 각 에너지마다 10회 반복하여 측정 후 평균값을 구하였다. 그리고 선량률 효과는 100 MU를 선량률 80, 160, 240, 320, 400 MU/min에서 각각 측정하고 선량률 240 MU/min일 경우를 기준(normalization = 1.000)으로 하여 오차값을 구하였다. 선량계 특성을 나타내는 영점변류(變流, zero drift)는 방사선이 조사되지 않은 상태에서 선량계의 전원을 켜고 난 후부터 1분 간격으로 3회에 걸쳐 선량계의 값을 읽었다. 그리고 암전류 측정은 100 MU 조사한 후 시간변화에 따른 선량계의 측정값을 읽었는데, 채널2에서만 측정하였고, 조사야는 10 cm $\times$ 10 cm<sup>2</sup>, 10 MV를 사용하여 선량계의 변화 값을 1분 간격으로 3회에 걸쳐 측정하였다.

### III. 결 과

#### 1. 선량측정시스템의 특성 및 정확도 평가

##### 1) 재현성(reproducibility)

출력의 안전성을 나타내 주는 재현성은 선량을 400 MU/min, 조사야 10 cm × 10 cm<sup>2</sup>, 조사선량 100 MU를 10회 반복하여 조사하였다. 10회 반복하여 측정된 평균값은 6 MV에서 0.184, 10 MV에서 0.188로서 표준편차가 각각 ±0.2%, ±0.2%로 나타났다(표 1).

표 1. 재현성

횟수	측정값	
	6X	10X
1	0.184	0.189
2	0.184	0.189
3	0.184	0.189
4	0.182	0.189
5	0.184	0.186
6	0.184	0.189
7	0.182	0.189
8	0.184	0.186
9	0.184	0.189
10	0.184	0.189
평균	0.184	0.188
표준편차(1STD)	±0.2%	±0.2%

##### 2) 선형성(linearity)

출력의 직선성을 나타내주는 선형성은 선량을 400 MU/min, 조사야 10 cm × 10 cm<sup>2</sup>, 조사선량을 50, 100, 200, 400, 800 MU까지 정량적으로 증가시켜 조사하였다. 오차는 200MU 조사한 측정값(6 MV : 0.365, 10 MV : 0.379)을 기준(normalization), n = 1,000으로 했을 때 6 MV에서 최대오차 ±0.5 %, 10 MV에서 최대오차 ±0.8%로 나타났다(표 2).

표 2. 선형성

MU	6X		10X	
	측정값	n	측정값	n
50	0.091	0.997	0.094	0.992
100	0.182	0.997	0.189	0.997
200	0.365	1.000	0.379	1.000
400	0.732	1.002	0.759	1.001
800	1.467	1.005	1.523	1.004
오차	±0.5 %		±0.8 %	

\* n(normalization) : 200 MU를 조사한 측정값을 기준, n=1,000

##### 3) 선량률 효과(dose rate effect)

선량률 변화에 따른 출력변화를 나타내주는 선량률효과는 조사선량 100 MU를 80, 160, 240, 320, 400 MU/min으로 각각 변화시키며 측정하였는데 이때 오차는 240 MU/min의 측정값을 기준(Normalization), n = 1,000으로 했을 때 6 MV의 최대오차는 ±1.1%, 그리고 10 MV일 경우에는 ±1.2%로 나타났다.

표 3. 선량률효과

MU/min	6X		10X	
	측정값	n	측정값	n
80	0.186	1.011	0.192	1.012
160	0.184	1.000	0.189	1.000
240	0.184	1.000	0.189	1.000
320	0.184	1.000	0.189	1.000
400	0.182	0.989	0.189	1.000
오차	±1.1%		±1.2%	

\* n(normalization) : 240 MU/min으로 조사한 측정값을 기준, n=1,000

##### 4) 영점변류(變流, zero drift)

선량계의 전원을 켜후 방사선을 조사하지 않고 시간변화에 따른 선량계의 표시값은 채널 1에서는 0.000, 0.000, 0.002, 0.004로 변화였고, 채널

2에서는 0.000, 0.000, 0.000, 0.002로 변화였다.

	1분	1분	1분
채널 1 :	0.000	→ 0.000	→ 0.002 → 0.004
채널 2 :	0.000	→ 0.000	→ 0.000 → 0.002

### 5) 암전류(leakage)

100 MU 조사한 후 시간변화에 따른 선량계의 측정값을 읽었는데, 측정값은 0.184, 0.184, 0.184, 0.184, 0.186으로 거의 변화가 없었다.

	1분	1분	1분
채널 2 :	0.184	→ 0.184	→ 0.184 → 0.186

## 2. 방사선출력 일일정도관리에 적용

방사선출력은 Unidose 10005(PTW, USA) 선량계와 Farmer type chamber, N3004(PTW, USA) 이온함의 표준선량시스템을 이용하여 검교정한 후 정도관리를 시행하였다.

차폐용 블럭 mount에 장착된 이온함과 조정실에 있는 선량계의 연결은 bi-axial cable을 사용하여 측정하였다. 이때 조사야는 10 cm × 10cm<sup>2</sup>, 선량률은 400 MU/min, 조사선량은 100 MU로 하여 3회 시행하였다(그림 9).

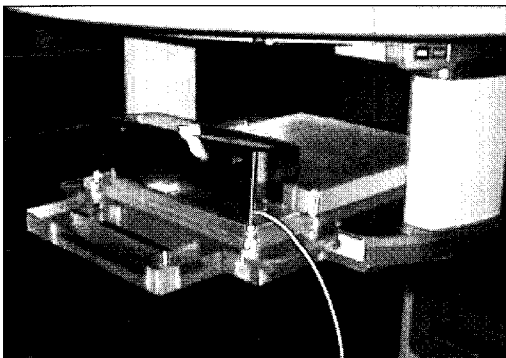


그림 9. 이온함을 block mount에 장착

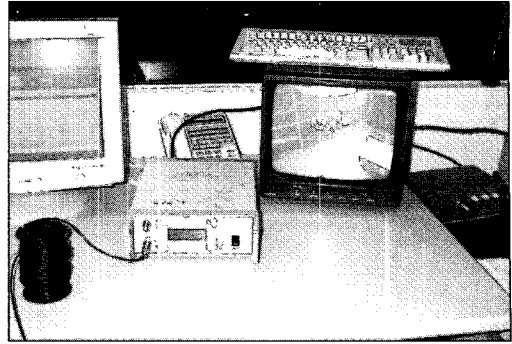


그림 10. bi-axial 케이블로 이온함과 선량계 연결

## IV. 결론 및 고찰

본원에서 제작한 선량측정시스템의 특성을 분석한 결과 외국산 선량측정 장비와 비교해도 손색이 없는 것으로 나타났다.(재현성 <math>\pm 0.2\%</math>, 선형성 최대 <math>\pm 0.8\%</math>, 선량률효과 최대 <math>\pm 1.2\%</math>)

선량측정 시스템은 이온함 및 선량계의 설치가 매우 간편하고, 조작방법이 간단해 set-up 시간을 단축하여 일일정도 관리하는데 소요되는 시간이 총 10분 정도로 치료시작전 신속, 정확하게 정도관리가 가능하였다. 또한, 이온함 및 선량계를 저렴한 가격으로 제작함으로써 고가의 선량측정시스템을 대체할 수 있으며, 이를 방사선출력의 일일정도관리에 적용함으로써 보다 간편한 방법으로 효율적인 정도관리를 시행할 수 있었다. 이러한 기술을 바탕으로 방사선출력 뿐만 아니라 평탄도(flatness) 및 대칭도(symmetry)를 동시에 측정할 수 있는 multichannel 이온함(그림 11) 개발의 기초가 되었으며, electron dosimetry도 가능 할 것으로 사료된다. 또한, 상품화하여 대량 생산하게 되면 저렴한 가격으로 국내 보급이 가능하고, 동남 아시아 및 남미 국가들에게 수출하여 외화획득에도 기여할 수 있을 것으로 본다.

한편, 본 실험에서 사용된 선량측정시스템은 기온과 기압에 대한 의존성이 있었으며, 현재 본원에서는 이를 개선하기 위하여 공기를 밀폐

시킨 이온함(air-tight chamber)도 연구중에 있다(그림 12).

끝으로 본 연구에 참여할 수 있게 도와주시고, 선량측정시스템의 기본적인 이론과 개발에 도움을 주신 허 순영 박사님께 진심으로 감사드립니다.

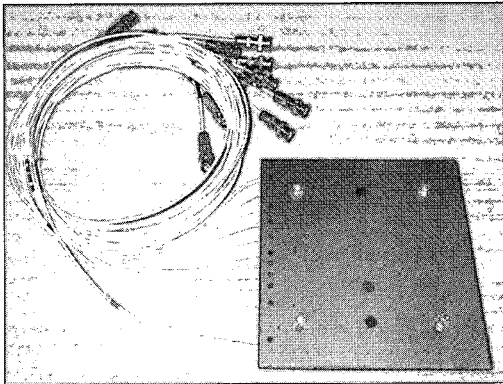


그림 11. 9-channel 이온함

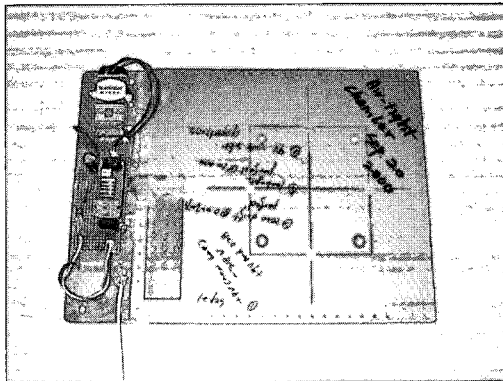


그림 12. air-tight chamber

### 참 고 문 헌

1. International Commission of Radiological Units and Measurements. Radiation quantities and units. Report No. 33 Washington, DC : ICRU, 1980

2. Wyckoff HO, Attix FH. Design of free-air ionization chamber. National Bureau of Standards Handbook No. 64 Washington, DC:US Government Printing Office, 1957
3. Farmer FT. A substandard x-ray dose-meter. Br J Radiol 1955:78:77
4. International Commission of Radiological Units and Measurements. Physical aspects of irradiation. Report No. 10b. Handbook 85. Washington
5. Almond PR. Use of a Victoreen 500 electrometer to determine ionization chamber collection efficiencies. Med Phys 1981:8:901
6. Mattsson LO, Johansson KA, Svensson H. Calibration and use of plane-parallel ionization chambers for the determination of absorbed dose in electron beams. Acta Radiol Oncol 1981:20:385
7. Gerbi BJ, Khan FM. The polarity effect for commercially available plane-parallel ionization chambers for the determination of absorbed dose in electron beams. Acta Radiol oncol 1981:20:385
8. Boag JW. Ionization chambers. In : Attix FH, Roesch WC, eds. Radiation dosimetry. Vol 2. New York:Academic Press, 1969:1
9. Johns HE, Cunningham JR. The physics of radiology. 4th ed. Springfield, IL:Charles C Thomas, 1983
10. Khan FM. Physics of Therapy, 3rd ed
11. Johns and Cunningham. Physics of Therapy Radiology, 2nd ed
12. H.J., Engelmann U., Saubier F., et al. How to deal with security issues in tele-radiology. Comput Methods Programs Biomea. 1997:53:1-8
13. 국립암센터, 암발생통계, <http://www.ncc.re.kr>