

10 MV X선 방사선 치료 시 중성자 선량 분포에 관한 연구

— A Study on the Neutron Dose Distribution in Case of 10 MV X-rays Radiotherapy —

강릉아산병원 방사선종양학과¹⁾ · 한서대학교 방사선학과²⁾

박철수^{1,2)} · 임청환²⁾ · 정홍량²⁾ · 신성수¹⁾

— 국문초록 —

현재 방사선치료는 선형가속기에 의하여 대다수 이루어지고 있으며 사용되는 방사선인 광자도 의학의 발전에 의해 고에너지화 고선량화 되고 있다.

본 연구에서는 방사선치료 조사면에서 중성자 측정이 가능한 CR-39를 이용한 중성자 검출법을 이용하였다. 선형가속기에서 발생하는 X선(광자)치료 시 발생 되는 중성자의 선량을 CR-39를 이용한 중성자 검출법을 이용하여 측정하고, 임상적 응용으로 고에너지 광자를 이용하여 암 치료에 사용할 때 중성자의 발생이 환자 치료 선량과 연관되는 어떤 문제를 발생시키는지를 연구한 결과는 다음과 같다.

속중성자의 경우 광자 1 Gy 조사 시 평균 0.35 mSv, 2 Gy 조사 시 평균 0.65 mSv, 5 Gy 조사 시 평균 1.82 mSv, 열중성자의 경우 광자 1 Gy 조사 시 평균 0.26 mSv, 2 Gy 조사 시 평균 0.56 mSv, 5 Gy 조사 시 평균 1.23 mSv의 중성자 발생하였다.

Wedge Filter를 사용하여 중성자의 발생을 측정한 결과 Wedge Filter를 사용했을 때 중성자의 발생이 증가하였다. 고선량을 요구하는 SRS Cone을 사용했을 때에는 기존의 실험결과 보다 많은 중성자가 검출되었다. 속중성자의 경우 광자 5 Gy 조사 시 평균 2.85 mSv, 열중성자의 경우 광자 5 Gy 조사 시 평균 1.37 mSv의 중성자가 발생하였다. 일반 치료 시 광자 5 Gy 조사했을 때 보다 속중성자의 경우 약 1.6배, 열중성자의 경우 약 1.12배 정도의 중성자가 더 발생하는 것으로 나타났다.

중심 단어 : 중성자, 방사선치료, 선형가속기, CR-39

I. 서 론

현재 방사선치료에 사용되는 방사선은 과학이 발전함으로 고에너지 높은 선량화가 되고 있다. 높은 선량으로

일부 정상조직의 여러 부작용이나 합병증이 예상되고, 상당히 낮은 선량의 전달은 환자의 치료 확률을 심각하게 떨어뜨린다. 이에 따라 방사선치료 분야에 응용되는 방사선의 종류도 다양해져, 피부치료에 효과가 좋은 전자선 암세포살상의 효과가 큰 광자선 중입자선 등이 치료에 응용되게 되었다¹⁾.

이로 인해 치료에 사용되는 방사선에 의한 영향을 엄격한 규제와 관리를 연구하고 있으나 고에너지 방사선치료에 사용되는 X선이 다른 물질과 반응하여 발생하는 중성자와 같은 이차방사선에 의한 영향에 대하여는 규제와 관리의 연구가 미흡한 편이다²⁾.

*접수일(2008년 1월 31일), 1차 심사(2008년 2월 20일), 2차 심사(2008년 11월 20일), 채택일(2008년 11월 28일)

교신저자: 임청환, (356-706) 충남 서산시 해미면 대곡리 360
한서대학교 방사선학과
TEL : 041-660-1056
E-mail : LCH116@hanseo.ac.kr

중성자와 같은 이차방사선의 발생은 선형가속기에서 발생한 X선(광자)이 조사되면서 조사부의 여러 장치들(target, scattering foil, flattening filter, ion chamber, collimator)과 광핵반응에 의하여 발생하게 된다. 이렇게 발생한 중성자는 X선(광자)과 같이 환자의 인체에 조사되게 된다. 우리나라에서는 선형가속기에서 발생된 광자선에 대하여는 항상 측정, 보정 관리하고 있으나 2차 발생에 의한 중성자에 대하여는 측정 보정 관리가 되지 못하고 있다. 또한, 발생한 중성자가 환자에 미치는 영향에 대한 별도의 측정이나 선량보정 규정이 마련되지 못한 실정이므로 선형가속기에서 X선이 조사될 때, X선이 선형가속기 조사부 여러 기기들과 반응하여 발생하는 중성자의 선량을 정량적으로 고찰하고 환자에게 얼마만큼의 영향인가가 발생하는지를 연구가 필요하다³⁾.

따라서 본 연구에서는 암환자 치료를 위해 사용하는 선형가속기에서 발생하는 중성자를 측정하기 위하여 비적검출기의 일종인 CR-39(poly-allyl diglycol carbonate)를 이용하여 암환자의 방사선치료 시 발생하는 중성자의 선량이 어느 정도인지를 확인하고자 한다⁴⁾. 암 환자 치료 시 발생하는 중성자가 환자 치료에 영향력을 나타낼 만큼의 선량관계 인지를 알아보고자 환자에 광자를 조사하였을 경우 광핵반응에 의한 중성자의 발생선량을 측정하고 광자발생에 대한 중성자의 평탄도와 환자치료에 사용하는 여러 가지 장치를 사용 했을 때 발생하는 중성자 선량 및 평탄도를 측정하고자 한다³⁾.

II. 연구 장비 및 방법

1. 연구 장비

본 연구에 사용된 선형가속기 Vrian사의 21EX 모델의 10MV의 선원을 사용하였고, 중성자의 측정을 위하여 고체 비적검출기의 일종인 CR39 : Polyallil diglycol carbonate($C_{12}H_{18}O_7$)소자를 사용하여 중성자를 측정하였다. CR-39 에칭기(electrochemical etching)와 단위 면적당 생성된 비적의 수를 계수하는 비적 계수기를 사용하였다(Fig. 1, 2).

2. 연구 방법

선형가속기에서 발생하는 중성자를 측정하기 위하여 CR39를 에칭 및 분석하여 중성자 선량을 측정한다. 선형

가속기는 암환자의 방사선 치료 시 사용되는 선형가속기를 사용하였고 광자의 에너지는 10 MV를 사용하였다⁵⁾.



Fig. 1. CR-39 etching

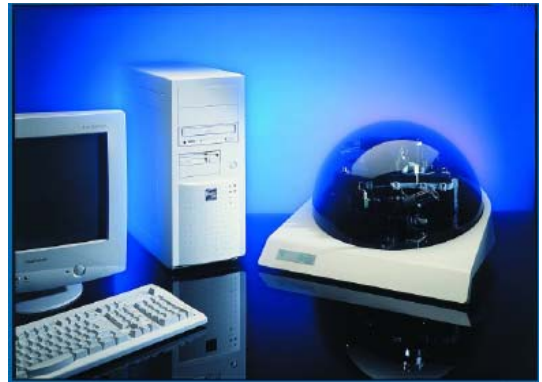


Fig. 2. Tracks counter

중성자의 측정은 조사야 10×10 cm에서 조사야 내의 중성자 선량 및 중성자의 분포를 측정하고 조사야 주위 20×20 cm에서 선량과 분포를 확인하였다. 또 방사선 치료 시 사용되는 부속기구(Wedge, Cone)사용 시 발생하는 중성자를 측정하였다⁶⁾.

광자선발생의 균등도를 측정하기 위하여 물팬텀과 Ion Chamber를 사용하였고, CR-39에 중성자 입사로 생성된 비적은 직접 관측이 불가능하므로 약 90°C의 NaOH 용액에 교류 전기장을 걸어주는 전기화학적 CR-39 에칭기(electrochemical etching)를 수행하여 비적을 확대한다(Fig. 1). 확대된 비적의 직경은 20~200 μm에 이른다. 이후 현미경이나 마이크로필름 관독기를 이용한 자동화된 계수장치로 단위 면적당 생성된 비적의 수를 계수함으로써 중성자 선량을 측정하였다(Fig. 2).

고속 중성자와 라돈입자의 CR-39 소자에 대한 반응도

는 방사선의 특징이 다르기 때문에 잠재된 형태의 트랙도 다르다. 그러므로 트랙이 성장하는 형태가 다르기 때문에 두 가지의 프로그램을 적용한다. 그러나 에칭의 과정은 두 가지 경우를 같이 적용한다. 에칭으로 비적을 성장시키기에 앞서 필히 전처리 과정을 해야 한다.

에칭 작업 시 정전이 되거나 전원 공급이 일정하지 않으면 에칭 작업의 결과에 치명적인 결과를 가져올 수 있다. 에칭 용기의 프로그램은 시간이 자동으로 세팅이 되어 있기 때문에 에칭과정에 정전 시 기계의 미작동 등으로 인해 에칭 값이 다르게 나오며 아울러 판독 값에 영향을 미치게 된다. 또한 전압이 달라지면 에칭의 시간에도 차이가 나기 때문에 이와 같은 이유로 필히 UPS와 함께 기계를 설치하여야 한다.

선형가속기에서 발생하는 중성자를 측정하기 위하여 CR-39를 환자 치료 시와 같은 기하학적 조건으로 조절하여 광자선 조사를 실시한다.

1) 실험 A

Fig. 3, Fig. 4는 선형가속기에서 발생하는 중성자를 측정하기 위하여 실제 10 MV 광자를 조사하여 10×10 cm에서 CR-39에 조사하기 위하여 선형가속기에 Setup하는 과정이다.

조사야 안에서의 중성자의 선량도 측정하고 조사야 이외의 부분은 20×20 cm에서 측정을 실시하였다. 광자선 조사 조건은 1 Gy, 2 Gy, 5 Gy 각각 3회씩 조사하여 평균 값을 구하였다. 선택한 선량은 평상시 환자 치료에 사용하는 하루 조사선량을 기준으로 하였다.

2) 실험 B

조사야 안에서 중성자의 평탄도를 분석하기 위하여

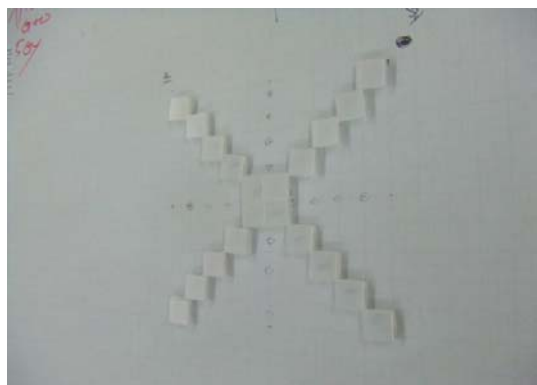


Fig. 3. CR-39 Setup

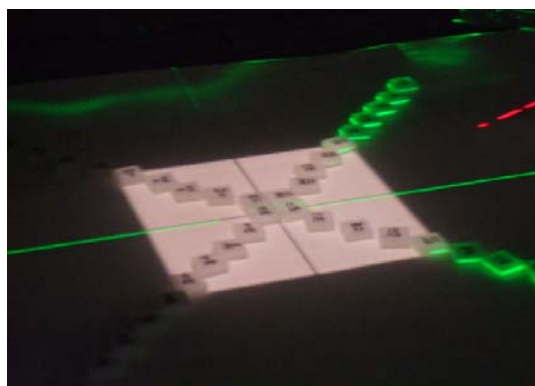


Fig. 4. CR-39 photons exposure

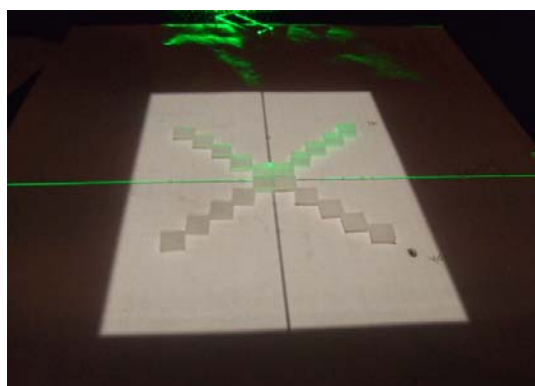


Fig. 5. Flatness of measurement

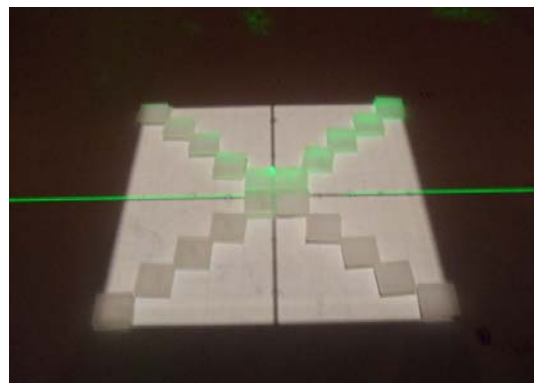


Fig. 6. 10×10 photons exposure

Fig. 3과 같이 대각선 방향으로 CR-39를 위치하여 측정하였다. Fig. 5, 6은 실제 조사야 10×10에서 광자선의 평탄도와 중성자의 평탄도를 비교하기 위하여 실시하였다. 실험A와 마찬가지로 실제 조사야 이외 부분에서의 평

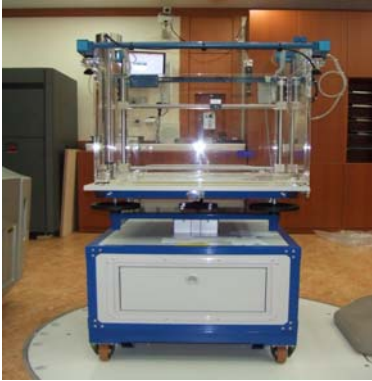


Fig. 7. Measure the photon ray of flatness



Fig. 10. Wedge fixate

탄도를 측정하기 위하여 조사야 이외 부분에도 CR-39를 위치하여 측정하였고, Fig. 7은 광자선의 평탄도를 Ion Chamber를 이용하여 측정하였다.

3) 실험 C

Fig. 8, 9와 Fig. 10은 조사부위에 Cone과 Wedge를 각각 부착하여 실험 A와 같은 방법으로 측정 분석하였다. 이는 여러 가지 부속 기구를 사용했을 경우의 중성자의 발생을 측정하기 위하여 사용하였다.

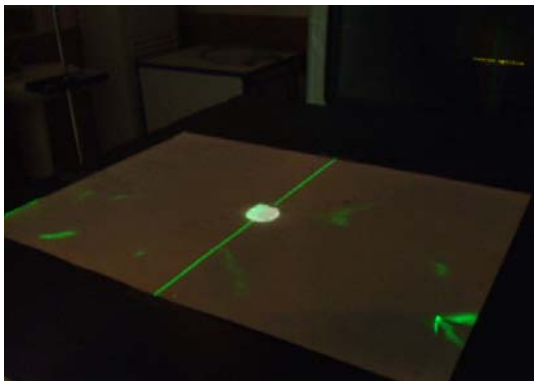


Fig. 8. Post of the Measurement in cone fixate

III. 결 과

측정기로 사용될 CR-39를 교정하기 위하여 중성자 표준선원인 Cf²⁵²(중성자 방출률 : 10⁸/s, 10⁶/s)에 의하여 표준조사를 실시하였다.

1. 조사선량에 따른 중성자 및 평탄도 측정

선형가속기에서 발생하는 중성자를 측정하기 위하여 실제 10 MV 광자선을 조사야 10×10 cm에서 CR-39에 조사하였고, 조사야 안에서의 중성자의 선량을 측정하고, 조사야 이외의 부분은 20×20 cm에서 측정을 실시하였다 (Fig. 11).

선형가속기에서의 10 MV 광자선을 1 Gy, 2 Gy, 5 Gy 조사하여 측정값을 얻을 수 있었으며, 실험결과 속중성자와 열중성자 모두 조사선량이 많을수록 발생하는 중성자의 선량이 증가된다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 광자선조사야와 조사야 주위부분의 발생선량의 경우 조사야 내에서 중성자가 더 많이 발생한다는 것을 확인할 수 있었다 (Table 1, 2).

측정기로 사용될 CR-39를 교정하기 위해 중성자 표준선원인 Cf²⁵²(중성자 방출률 : 10⁸/s, 10⁶/s)에 의하여 표



Fig. 9. Cone fixate

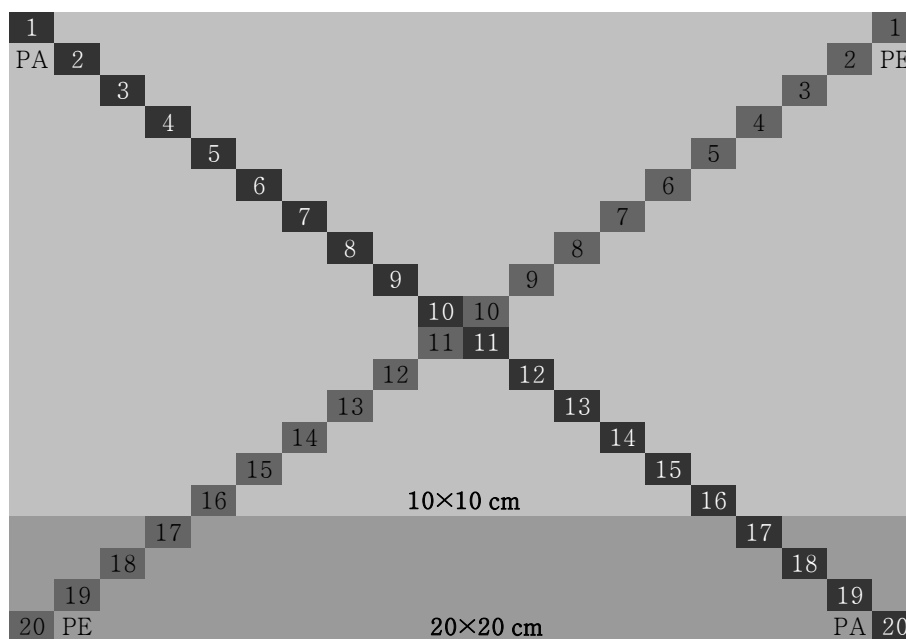


Fig. 11. CR-39 Measurement of position & range

Table 1. Field size 10×10 cm(IN), Field size(OUT) Fast neutron measurement

Converter	번호	1 Gy exposure Dose(mSv)	2 Gy exposure Dose(mSv)	5 Gy exposure Dose(mSv)
PA	1 Field OUT	0.240	0.462	1.249
PA	2 Field OUT	0.216	0.462	1.012
PA	3 Field OUT	0.221	0.550	0.836
PA	4 Field OUT	0.210	0.462	0.946
PA	5 Field OUT	0.382	1.122	1.012
PA	6 Field IN	0.749	0.726	5.68
PA	7 Field IN	0.528	1.232	2.22
PA	8 Field IN	0.410	0.550	2.73
PA	9 Field IN	0.390	0.528	2.58
PA	10 Field IN	0.566	0.968	3.24
PA	11 Field IN	0.436	0.880	2.16
PA	12 Field IN	0.383	0.748	1.96
PA	13 Field IN	0.409	0.792	2.11
PA	14 Field IN	0.385	0.528	2.53
PA	15 Field IN	0.328	0.484	2.07
PA	16 Field OUT	0.160	0.440	0.506
PA	17 Field OUT	0.257	0.616	1.03
PA	18 Field OUT	0.261	0.687	0.902
PA	19 Field OUT	0.147	0.352	0.594
PA	20 Field OUT	0.230	0.506	1.041

Table 2. Field size 10×10 cm(IN), Field size(OUT) Thermal neutron measurement

Converter	번호	Dose(mSv)		
		1 Gy exposure	2 Gy exposure	5 Gy exposure
PE	1 Field OUT	0.172	0.557	0.334
PE	2 Field OUT	0.169	0.520	0.390
PE	3 Field OUT	0.201	0.539	0.669
PE	4 Field OUT	0.188	0.464	0.725
PE	5 Field OUT	0.270	0.613	1.171
PE	6 Field IN	0.341	0.706	1.65
PE	7 Field IN	0.339	0.687	1.68
PE	8 Field IN	0.354	0.910	1.27
PE	9 Field IN	0.361	0.791	1.64
PE	10 Field IN	0.393	0.836	1.84
PE	11 Field IN	0.348	0.702	1.73
PE	12 Field IN	0.341	0.353	2.53
PE	13 Field IN	0.191	0.111	1.64
PE	14 Field IN	0.302	0.613	1.49
PE	15 Field IN	0.267	0.557	1.28
PE	16 Field OUT	0.272	0.599	1.226
PE	17 Field OUT	0.210	0.446	0.985
PE	18 Field OUT	0.157	0.353	0.687
PE	19 Field OUT	0.206	0.430	0.985
PE	20 Field OUT	0.151	0.316	0.725

Table 3. Field size 10×10 cm(IN) Wedge Filter Fast neutron measurement

Converter	번호	Dose(mSv)	
		IN side 5 Gy exposure	OUT side 5 Gy exposure
PA	1 Field OUT	1.418	0.946
PA	2 Field OUT	1.166	1.10
PA	3 Field OUT	0.616	1.342
PA	4 Field OUT	1.034	0.77
PA	5 Field OUT	0.990	1.562
PA	6 Field IN	2.66	4.84
PA	7 Field IN	3.76	3.54
PA	8 Field IN	6.12	3.90
PA	9 Field IN	6.23	3.81
PA	10 Field IN	5.74	3.68
PA	11 Field IN	3.36	4.54
PA	12 Field IN	2.86	2.38
PA	13 Field IN	2.60	4.89
PA	14 Field IN	2.86	3.21
PA	15 Field OUT	3.06	4.59
PA	16 Field OUT	0.528	1.584
PA	17 Field OUT	0.990	1.562
PA	18 Field OUT	0.990	1.298
PA	19 Field OUT	1.012	0.880
PA	20 Field OUT	1.760	1.166

Table 4. Field size 10×10 cm(IN) Wedge Filter Thermal neutron measurement

Converter	번호	Dose(mSv)	
		IN side 5 Gy exposure	OUT side 5 Gy exposure
PE	1 Field OUT	0.992	1.672
PE	2 Field OUT	1.226	2.068
PE	3 Field OUT	1.329	1.122
PE	4 Field OUT	1.803	1.870
PE	5 Field OUT	1.542	1.518
PE	6 Field IN	2.31	3.40
PE	7 Field IN	2.12	2.70
PE	8 Field IN	2.37	2.66
PE	9 Field IN	2.94	2.01
PE	10 Field IN	2.57	2.33
PE	11 Field IN	1.93	1.97
PE	12 Field IN	1.88	2.14
PE	13 Field IN	1.47	2.49
PE	14 Field IN	1.65	1.82
PE	15 Field OUT	2.18	2.10
PE	16 Field OUT	0.836	2.112
PE	17 Field OUT	1.452	2.068
PE	18 Field OUT	2.751	1.672
PE	19 Field OUT	1.496	3.653
PE	20 Field OUT	1.298	2.200

준조사를 실시하였다. 본 실험에 사용할 CR-39의 합격기준은 성능지표가 0.35 이하이어야 한다. 표준조사결과 PA의 성능지표는 0.14, PE의 성능지표는 0.19의 값들을 얻을 수 있어 본 실험에 사용가능한 소자임을 확인할 수 있었다. 성능지표는 성능지수의 평균 절댓값과 표준편차의 합이다(Table 3, 4).

방사선치료 시 광자의 평탄도³⁾와 이에 발생하는 중성자의 평탄도를 측정하였다. 광자선의 평탄도는 10 MV 광자선의 조사야 10×10 cm에서의 Ion Chamber를 사용하여 측정된 결과 광자선의 경우 조사야 내의 모든 부분에서 균등한 선량을 나타내고 있다(Fig. 12).

방사선치료에 광자선을 사용할 때 광자선과 여러 가지

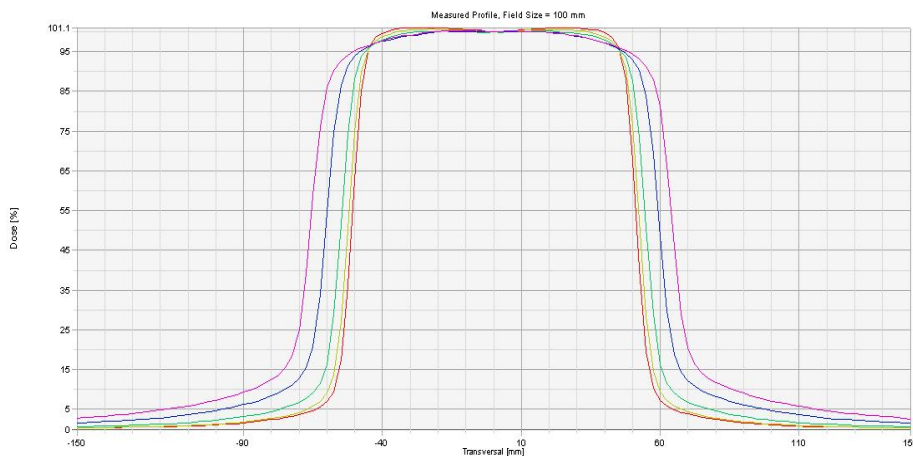


Fig. 12. 10×10 cm Measure the photon ray of flatness

장치들과의 핵반응에 의하여 중성자를 발생하게 된다. 이때 발생하는 중성자의 선량은 광자선과 비교하여 발생된 중성자의 평탄도를 측정한 결과 광자선이 일정하게 발생하여도 이에 따른 중성자의 발생은 불규칙하게 발생한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 조사야 내에서도 중심부가 중성자가 많이 발생한다는 사실을 확인할 수 있었다. 또 조사선량이 증가할수록 중성자의 발생도 증가하였다(Fig. 13~15).

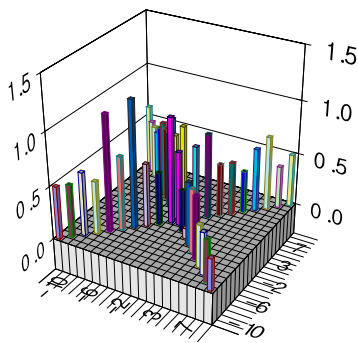


Fig. 13. Measure the 10×10 cm and around (2 Gy photons exposure)

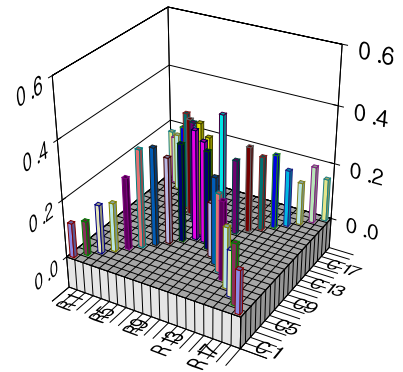


Fig. 14. Measure the 10×10 cm and around (1 Gy photons exposure)

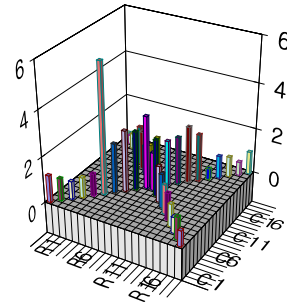


Fig. 15. Measure the 10×10 cm and around (5 Gy photons exposure)

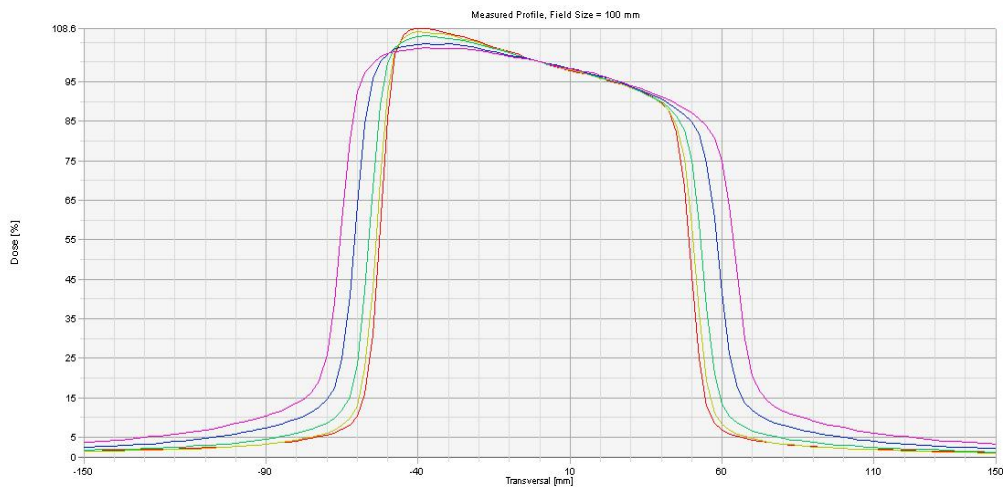


Fig. 16. 10×10 cm of wedge filter(In & Out course) fixate Measure the photon ray of flatness

실험결과 속중성자의 경우 광자 1Gy 조사 시 평균 0.35 mSv, 2 Gy 조사 시 평균 0.65 mSv, 5 Gy 조사 시 평균 1.82 mSv, 열중성자의 경우 광자 1Gy 조사 시 평균 0.26 mSv, 2 Gy 조사 시 평균 0.56 mSv, 5 Gy 조사 시 평균 1.23 mSv의 중성자가 발생하였다. 이와 같이 속중성자와 열중성자의 경우 광자의 조사량을 2배 정도 증가시키면 중성자의 발생량 또한 약 2배 정도 증가한다는 것을 알 수 있었다(Fig. 20).

2. Wedge Filter 사용 시 중성자 및 평탄도 측정

방사선치료 시 종양에 균등한 선량을 조사하기 위하여 Wedge Filter를 사용하여 방사선치료를 한다. 그러나 인해 광자의 핵반응에 의하여 중성자가 발생할 것으로 사료되므로 선형가속기의 조사 Head부에 Wedge Filter를 장

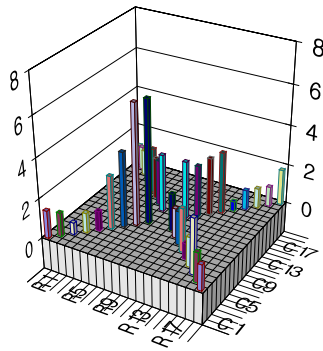


Fig. 17. Measure the 10×10 cm and around (5 Gy wedge in course)

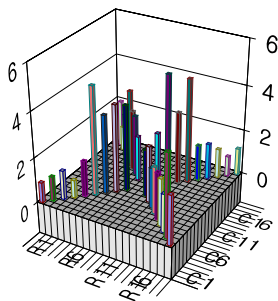


Fig. 18. Measure the 10×10 cm and around (5 Gy wedge out course)

착(In방향, Out방향)하고 중성자의 평탄도를 측정한 결과 중성자의 발생은 Wedge Filter를 사용하지 않았을 때보다 약 1.3배 정도 중성자의 발생이 많다는 사실을 확인할 수 있었다(Table 3, 4).

광자선의 경우 Wedge Filter를 사용했을 때 Wedge Filter의 경사와 같이 광자선을 측정할 수 있으나 이때 발생하는 중성자는 Wedge Filter의 경사와 관계없이 발생됨을 확인할 수 있다.

Wedge Filter를 장착(In 방향, Out 방향)하고 방사선 치료를 시행할 때 선형가속기에서 발생된 광자는 Wedge와 광핵반응을 하게 된다. 이때 광핵반응에 의하여 발생된 중성자의 선량을 측정하였고, 광자선의 선량의 평탄도와 발생된 중성자의 평탄도를 측정하였다. Wedge Filter를 장착하고 중성자를 측정하였을 때 역시 Wedge Filter 사용에 따른 일정한 선량의 중성자발생은 기대할 수 없었다(Fig. 16~18).

정위방사선수술의 경우에는 많은 광자선의 선량을 요구하게 된다(8-1). 많은 선량의 광자선을 사용할 때 발생하는 중성자의 선량을 평가하고 중성자선량 평탄도를 평가하였다. 조사부위에 Brain Lab Cone을 장착하여 측정 분석 하였으며, 정위방사선수술의 시행 시 Cone은 가장 많이 사용되는 직경 30 mm을 사용하였다. 고선량을 요구하는 SRS Cone을 사용했을 때에는 기존의 실험결과보다 더 많은 중성자가 검출된다는 사실을 확인할 수 있었다. 속중성자의 경우 광자 5Gy 조사 시 평균 2.85 mSv, 열중성자의 경우 광자 5Gy 조사 시 평균 1.37 mSv의 중성자가 발생한다는 결과를 얻을 수 있었다. 일반 치료 시 광자 5 Gy 조사했을 때 보다 속중성자의 경우 약 1.6배, 열중성자의 경우 약 1.12배 정도의 중성자가 더 발생하였다(Table 5, Fig. 19, 20).

표 5. Fast, Thermal neutron measurement (SRS Cone 5 Gy exposure)

SRS Cone diameter 30 mm Fast, Thermal neutron measurement			
Converter	Dose(mSv)	Converter	Dose(mSv)
PA	3.57	PE	1.42
PA	2.13	PE	1.32

Dose (mSv)

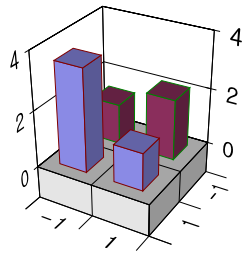


Fig. 19. SRS Cone a diameter 30 mm use in measure the photon ray



Fig. 20. Neutron of the CR-39 surface of bandit image

IV. 고 찰

현재의 방사선치료기술의 발전으로 사용되는 방사선은 고선량화 고에너지화 되고 있으며, 암 환자의 고에너지 방사선치료 시 선형가속기에서 발생하는 광자와 물질과의 광핵반응에 의하여 이차방사선인 중성자가 발생하게 된다는 것은 사실화 되었다^{3,7)}. 따라서 본 연구에서는 실제 방사선치료의 조사면에서 발생하는 중성자를 측정하고 발생된 중성자와 치료 조사면에서의 대칭관계를 비교 평가하였다.

선형가속기 조사부를 구성하는 기기들은 모두 중금속 합금으로 이루어져 있어 이로 인해 조사부에서 조사되는 고에너지 광자선은 조사부위 중금속 물질과의 반응으로 인하여 중성자가 발생하게 된다⁸⁾. 이렇게 발생하는 중성자는 환자의 치료계획 선량에 영향을 준다는 사실을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 비적검출기를 이용하여 중성자를 검출하여 방사선치료 조사면에서 직접 중성자를 측정할 수 있었으며, 비적검출기의 사용으로 인하여 실제 암환자에게 적용되는 중성자 선량과 중성자의 발생 분포

를 확인할 수 있었다.

비적 검출기에 대한 최근 연구는 주로 개인 중성자 선량계 개발을 위하여 많이 이루어지고 있다. 특히, 보다 낮은 에너지의 중성자에 대한 반응성이 큰 검출기나 중성자의 에너지와 중성자 검출 효율이 무관한 선량계를 개발을 위한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구의 성과 중 하나인 CR-39를 1978년 최초로 소개된 이후로 현재 비적 검출기로써 가장 많이 쓰이는 물질 중 하나이다⁹⁾.

비적 검출기인 CR-39로 선형가속기에서 발생하는 중성자를 측정한다면 이차방사선인 중성자의 선량을 측정할 수 있고 암환자의 방사선치료선량 평가에 적용할 수 있다. 방사선의 생물학적 효과에 대한 중성자의 방사선가중치는 에너지에 따라 5~20으로 보고 되고 있다^{10,11)}. 또 하나 중요한 것은 속중성자에 대한 quality factor가 10과 20이라는 점이다. 이 변환을 사용하면 isocenter에 발생하는 X-ray의 1 Gy당 0.01과 0.02라는 높은 누설에너지의 결과를 얻을 수 있다. 70 Gy의 방사선량을 주었을 때, 총 0.7에서 1.4 Sv라는 값을 추출해 낼 수 있다. Kliauga와 Amols¹²⁾는 70 Gy를 받은 환자들의 follow up 과정에서 2.3 mSv의 중성자 누설이 생기는 것을 추측하였다. 15 MeV의 에너지일 경우 중심축에서 1 Gy당 주변에서 1에서 2 mSv 정도의 누설이 있는 것으로 나타났다.

비적검출기는 선형가속기에서 발생하는 중성자를 조사부의 변동에 따른 조건에 적합하고 측정결과의 기록 보존이 가능하며 측정이 간단하고 편리하다. 그러므로 비적검출기(CR-39)의 사용이 환자치료에 사용되는 선형가속기의 중성자 측정에 적합하다⁵⁾. 한 조사면에서 광자 발생에 따른 중성자의 발생 분포를 알아 보기위해 중성자 검출조건과 같은 조건에서 광자선의 평탄도를 분석하였다. 광자선의 평탄도는 한조사면에서 균일하게 나타났으나 광자에 의한 중성자는 기준을 잡을 수 없을 정도로 불균등한 분포를 볼 수 있었다. 이에 광자선조사면에서의 중성자의 측정은 필수요건으로 이루어져야 할 것이다. 환자에게 10 MV 이상의 고에너지 방사선치료 시 환자에게 하루에 얼마의 선량을 주어지는 지에 따른 중성자의 선량을 측정할 수 있었고, 일일 한계선량을 증가시킬 경우 중성자의 의한 선량도 그만큼 증가하는 것을 알 수 있었다. 현재 환자에게 주어지는 방사선의 선량은 선형가속기에서 발생하는 중성자의 선량 보상에 대한 계획은 간과되고 있다. 이에 본 연구에서 실험한 결과 암환자의 치료선량 평가 시 중성자에 의한 방사선의 선량평가도 함께 이루어져야 한다⁶⁾.

본 연구에서 나타낸 결과와 같이 선형가속기에서의 중성자의 발생은 기존의 사례들과는 달리 방사선치료에 많

은 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다. 이런 결과에서 볼 수 있듯이 기존에 방사선치료에서 간과되었던 중성자발생에 관한 실험연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 치료조사면 주위의 중성자에 의한 선량평가에서도 결과와 같은 측정값을 볼 수 있었고 치료조사면 주위에도 중성자의 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 방사선에 의한 피부암의 경우 방사선피부염이 발생하고 오랜 잠복기를 거쳐 암이 유발된다고 알고 있다. 발암 위험률과 피부방사선 선량과의 관계는 확실치 않으나 일반적으로 암을 발생시키려면 급성조사로 10 Gy 이상의 선량이 필요하며, 전구 증상인 방사선피부염이 심할수록 그 확률이 높아진다고 생각된다. 본 실험에서 얻은 결과와 비교하여 볼 때 중성자에 의한 피부염의 발생이나 피부암의 발생 확률도 연구와 계속적인 실험과 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 선형가속기를 이용하여 방사선치료를 시행할 때 발생하는 중성자에 대하여 연구 결과를 언급한 바 방사선치료 시 중성자에 대한 선량 평가도 이루어져야 할 것이며, 치료계획 시 적극적인 도입이 필요하며 중성자에 대한 연구와 실험이 이루어져야 한다.

V. 결 론

본 연구는 선형가속기를 이용한 고에너지(10 MV) 광자선치료 시 선형가속기의 광자선 조사부에서 발생하는 중성자를 측정하여 환자치료에 미치는 영향과 치료조사부 이외의 부위의 중성자에 대한 관계를 규명하고자 한다. 선형가속기를 이용한 고에너지 광자선치료 시 광자선이 조사부의 여러 치료기기들과 반응하여 발생하는 중성자의 선량을 측정하였고 광자선 조사부 이외의 부분에서 선량을 측정하였다.

1. 치료선량이 많을수록 발생하는 중성자의 선량이 많다는 사실을 확인할 수 있었고, 광자선이 일정하게 조사되어도 이에 따른 중성자의 발생은 균등하지 않다는 것을 확인하였다. 아울러 조사야 내에서의 중성자의 발생은 중심부 쪽이 더 많이 발생한다는 것을 확인하였다. 속중성자의 경우 광자 1 Gy 조사 시 평균 0.35 mSv, 2 Gy 조사 시 평균 0.65 mSv, 5 Gy 조사 시 평균 1.82 mSv, 열중성자의 경우 광자 1 Gy 조사 시 평균 0.26 mSv, 2 Gy 조사 시 평균 0.56 mSv, 5 Gy 조사 시 평균 1.23 mSv의 중성자 발생을 확인할 수 있었다.

2. 방사선치료 시 종양에 균등한 선량을 조사하기 위하여 Wedge Filter를 사용하여 방사선치료를 하게 된다. 그러나 인해 광자의 핵반응에 의하여 중성자가 발생할 것으로 사료되어, 이로 인해 선형가속기의 조사 Head부에 Wedge Filter를 장착(In 방향, Out 방향)하고 중성자의 평탄도를 측정한 결과 중성자의 발생은 Wedge Filter를 사용하지 않았을 때보다 약 1.3배 정도 중성자의 발생이 많다는 사실을 확인할 수 있었다. 광자선의 경우 Wedge Filter를 사용했을 때 Wedge Filter의 경사와 같이 광자선을 측정할 수 있으나 이 때 발생하는 중성자는 Wedge Filter의 경사와 관계없이 발생됨을 확인할 수 있다.
3. 고선량을 요구하는 SRS Cone을 사용했을 때에는 기존의 실험결과 보다 더 많은 중성자가 검출된다는 사실을 확인할 수 있었다. 속중성자의 경우 광자 5 Gy 조사 시 평균 2.85 mSv, 열중성자의 경우 광자 5 Gy 조사 시 평균 1.37 mSv, 의 중성자가 발생한다는 결과를 얻을 수 있었다. 일반 치료 시 광자 5 Gy 조사했을 때 보다 속중성자의 경우 약 1.6배, 열중성자의 경우 약 1.12배 정도의 중성자가 더 발생하였다.

참 고 문 헌

1. 강세식 외 : 방사선치료학, 대학서림, 19-41, 1989
2. ICRP, 1996 recommendations of the international commission on radiological protection : International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 73, 1996
3. Khan : The Physics of Radiation Therapy, 159-227, 2003
4. P. F. Green, A. G. Ramli et al. : A study of bulk-etch rates and track-etch rates in CR-39. Nucl. Instrum. Methods, 203, 551-559, 1982
5. Eric J. Hall, D. Sc., Stewart G. Martin : "Photoneutrons from medical linear accelerators-radiobiological measurements and risk estimates" Radiation Oncology Biology Physics 33(1), 1995
6. Paul Kliuga, Howard Amols : "Photoneutrons from high energy medical linear accelerators : measurement of The spectrum and dose using a miniature proportional counter" Radiation Oncology

- Biology Physics 31(3), 1995
7. Horiot, J. C, Radiotherapy : still young and almost a hundred years The Magazine of the World Health Organization. 48th year, No. 3. May/Jun, 1995
 8. A. J. Khan, A. K. Varshney, Rajendra Prasad : Calibration of CR-39 plastic track detector for the measurement of radon and its daughters in dwellings. Nucl. Tracks Radiat. Meas., Vol. 17, No. 4, 497-502, 1997
 9. D. Nikezic, C. Baixeras, D. Kostic : "Sensitivity determination and optimisation of a cylindrical diffusion, for radon measurements, with a CR-39 detector," Nucl. Instrum. Methods, 373, 290-298, 1996
 10. 류대현 외 : 중성자선의 방사선생물학적 고찰. 방사선치료학회지, 2(1), 41-45, 1987
 11. ICRP, 1990 recommendations of the international commission on radiological protection : International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, 1991
 12. H. A. Khan, E. Qureshi, M. Tufail : "Passive dosimetry of radon and its daughters using solid state nuclear track detectors," Radiat. Protect. Dosim. 46(3), 149-170, 1993

• Abstract

A Study on the Neutron Dose Distribution in Case of 10 MV X-rays Radiotherapy

Cheol-Soo Park^{1,2)} · Cheong-Hwan Lim²⁾ · Hong-Ryang Jung²⁾ · Seong-Soo Shin¹⁾

¹⁾*Dept. of Radiation Oncology, Gangneung Asan Hospital*

²⁾*Dept. of Radiological Science, Hanseo University*

This study is to measure the radiation dose of neutrons generated by the particle accelerator during X-ray (photon) treatment with a neutron detection method by using CR-39, and to research how the generation of neutrons may incur problems associated with radiation doses for patient treatment when using high energy photons for cancer treatment as a clinical application. The findings are summarized as follows :

The results showed that average 0.35 mSv was measured with exposure of 1 Gy photon in case of fast neutron, 0.65 mSv with exposure of 2 Gy photon, 1.82 mSv exposure of 5 Gy, 0.26 mSv with exposure of 1 Gy photon in case of thermal neutron, 0.56 mSv with exposure of 2 Gy photon, and 1.23 mSv with exposure of 5 Gy of photon.

By measuring the occurrence of neutron by using Wedge Filter, it has been confirmed that the occurrence of neutrons increased when using Wedge Filter. The results also showed that more neutrons were detected over the existing experiments when using an SRS Cone requiring high doses of radiation. Total 2.85 mSv neutrons were found on the average with exposure of 5 Gy photon in case of fast neutron and 1.37 mSv neutrons were found on the average with exposure of 5 Gy photon in case of thermal neutron. During the general treatment, about 1.6 times more neutrons over 5 Gy photon were found in case of fast neutron and about 1.12 time more neutrons over 5 Gy photon were found in case of thermal neutron.

Key Words : Neutron, Radiation Therapy, Linear Accelerator, CR-39