

<원저>

몬테칼로시뮬레이션을 이용한 선형가속기 차폐벽에 대한 중성자 특성 평가

- Characterization of the Neutron for Linear Accelerator Shielding Wall using a Monte Carlo Simulation -

<sup>1)동남권원자력의학원 방사선종양학과·<sup>2)인제대학교 부산백병원 방사선종양학과·
^{3)부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과}</sup></sup>

이동연¹⁾·박은태²⁾·김정훈³⁾

— 국문초록 —

선형가속기를 차폐하고 있는 콘크리트 차폐벽의 방사화 평가를 진행하기 위한 선행 연구로서 차폐벽이 받는 중성자에 대한 특성을 평가하였다. 그 결과 차폐벽이 받는 중성자 평균 양은 생성된 광자 대비 10 MV 4.63E-7%, 15 MV 9.69E-6%, 20 MV 2.18E-5%의 발생비율을 보였으며, 이 중 반응단면적이 큰 열중성자의 비율은 대략 18 ~ 33%로 나타났다. 의료용 선형가속기의 경우 수년간 지속적으로 가동되기 때문에 중성자 생성 비율에 관계없이 누적적으로 생성되는 중성자의 양은 무시할 수 없을 것이며, 이에 따른 방사선 치료실 차폐벽의 방사화 문제는 반드시 고려되어야 할 것이다.

중심 단어: 선형가속기, 중성자, 모의실험, 방사화

I. 서 론

방사선치료에 이용되는 의료용선형가속기는 전자를 가속시켜 광자선을 얻는 대표적인 치료 장비이며, 임상에서 주로 사용되는 광자에너지는 6-24 MV 영역이다¹⁾.

현재에는 방사선치료의 목표인 종양만을 선택적으로 사멸시키고 정상조직의 피해는 최소화하기 위한 노력의 일환으로 10 MV 이상의 높은 에너지를 선호하고 있다²⁾. 그러나 미국방사선방호측정심의회 (National Council on Radiation Protection and Measurement; NCRP)에서는 NCRP Report No.79를 통해 높은 에너지의 광자선이 물질과 반응할 때, 그 물질 고유의 임계에너지보다 높을 경우에는 광핵반응으로 인한 중성자가 발생한다고 보고하였으며^{3,4)}, NCRP Report No.151을 통해 높은 에너지의 광자선을 이용하는

선형가속기에서는 중성자의 영향을 고려하여 차폐를 할 것을 권고하였다⁵⁾. 위와 같이 높은 에너지의 광자선 사용 시 생성되는 중성자는 치료를 받는 환자와 방사선작업종사자에게 예상치 못한 피폭을 가져올 수 있다. 이에 방사선방호를 위하여 치료실내의 중성자 분포, 선량 및 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다⁶⁻⁹⁾. 하지만 발생된 중성자로 인한 2차적인 방사화와 관련한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 최근의 연구에 의하면 치료실내에서 생성된 중성자의 스펙트럼을 분석한 결과, 전체 중성자에서 핵반응을 일으킬 확률이 높은 열중성자가 차지하는 비율이 약 20% 정도 차지한다고 보고하였다¹⁾. 이에 따라 선형가속기 내의 부속품(전자총, 가속관, 편향전자석, 타깃, 조리개, 선속평판, 여과판 등)과 선형가속기를 차폐하고 있는 콘크리트 벽이 방사화가 될 가능성이 충분히 있으며, 그로 인한 오염을

Corresponding author: Kim Jung Hoon, 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan, Rep. of KOREA, Catholic University of Pusan, Dept. of Radiologic Science, College of Health Sciences. / TEL: 82-51-510-0583

Received 18 January 2016; 1st Revised 10 February 2016 2nd received 8 March 2016 ; Accepted 15 March 2016

고려하여야 할 것이다.

일반적으로 선형가속기가 교체되더라도 방사선치료실은 20년 이상 계속해서 가동하는 경우가 많기 때문에 방사화로 인한 오염은 더욱 위험할 수 있다. 특히 방사화 된 물질은 지속적으로 방사선이 방출되기 때문에 장비의 유지, 보수, 해체를 진행 할 경우에는 전체적인 안전방침에 대한 논의가 있어야 할 것이다. 이와 관련하여 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency; IAEA)에서는 의료용 소형 연구장비 해체에 대한 권고안을 마련하였지만, 의료용 선형가속기와 방사선치료실의 방사화에 한정된 더 실제적인 연구가 요구되고 있다¹⁰⁾.

이에 본 연구는 치료실내의 방사화에 대한 평가를 진행하기 위하여 필요한 중성자를 측정하였으며, 특히 치료실을 차폐하고 있는 콘크리트에 대하여 중성자 스펙트럼과 선속을 측정함으로써 추후 방사화 평가를 진행함에 있어 기초가 되는 중성자 선속에 대한 자료를 제시하고자 한다.

II. 대상 및 방법

본 연구에서는 몬테카를로 방법을 사용하여 모의실험을 진행하였다. 현재 상용되는 모의실험 프로그램으로는 Fluka (FLUktuierende KAskade), Geant4 (GEometry ANd Tracking), MCNPX (Monte Carlo N-Particle Extended) 등이 있으며, 이 가운데 윈도우운영체제를 기반으로 함으로써 접근성이 용이하고 입자 수송측면에 있어서 장점을 가지고 있는 MCNPX (Ver.2.5.0)을 사용하여 모의실험을 수행하였다.

1. 선형가속기 모의모사

본 모의실험에서 모사한 선형가속기는 일반적으로 치료에 사용되고 있는 선형가속기 장비를 단순화시켜 모사한 것으로 가속관을 제외한 헤드부분을 중심으로 모사하였으며, 그 모습은 Fig. 1과 같다. 1차 조리개 (Primary collimator), 타겟 (Target), 선속평탄여과판 (Flattening filter), 2차 조리개 (Secondary collimator), 다엽콜리메이터 (Multileaf collimator)를 세부적으로 나타냈으며, 사용한 재질과 밀도 그리고 기하학적 구조에 대한 세부사항은 Table 1.으로 설명하였다.

2. 차폐벽 모사

선형가속기를 둘러싸고 있는 방사선치료실의 차폐벽은

IAEA¹¹⁾에서 권고하는 형태를 기본으로 모사하였으며, 간략한 구성도는 Fig. 2와 같다. 세부적으로 살펴보면 선형가속기 헤드를 중심으로 좌측과 우측으로 각각 300 cm, 바닥 170 cm, 천장 100 cm, 머리방향 150 cm, 출입구 방향 650 cm, 통로 (maze) 550 cm의 거리를 설정함으로써 전신방사선 조사 (Total Body Irradiation, TBI)와 수술 중 방사선치료 (Intra-operative Procedures, IORT)를 시행할 수 있는 최소한의 크기를 확보하였다. 또한 차폐벽의 두께는 100 cm로 설정하였으며, 선형가속기의 회전으로 인하여 1차선속이 조사될 수 있는 좌측과 우측 방향은 50 cm 두께를 추가하였다¹¹⁾. 차폐벽을 이루고 있는 콘크리트 재질은 한국원자력연구소에서 제공하는 재질 중 상용화 되어있는 Ordinary (NBS 03)을 바탕으로 설정하였다²⁾.

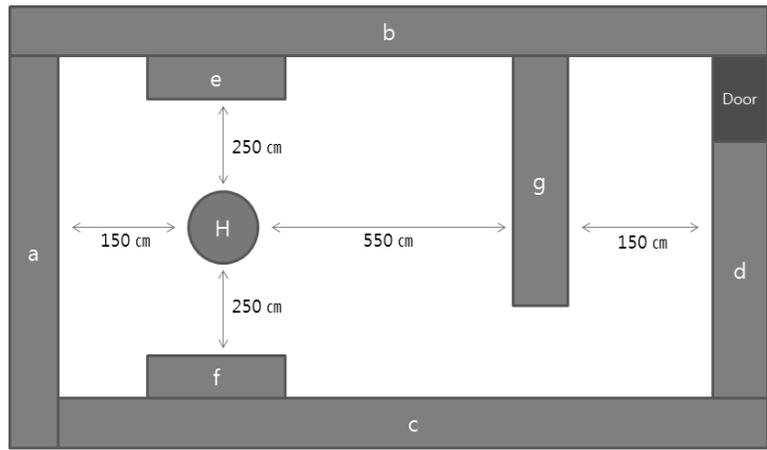
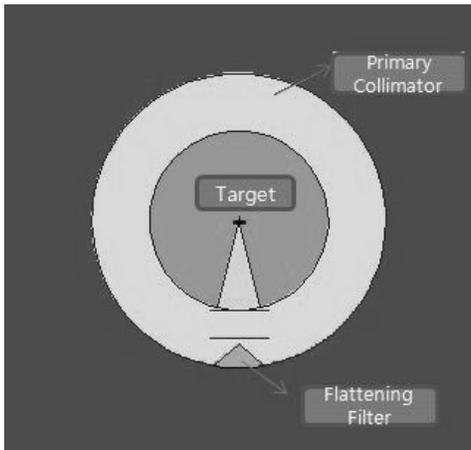
3. 모의실험 방법

본 연구에 사용된 전자선의 에너지는 현재 치료에 사용하는 에너지 중 광핵반응을 일으킬 확률이 높은 10, 15, 20 MeV의 에너지를 대상으로 모의실험을 진행하였다.

먼저 선형가속기 헤드에서 제동복사로 인해 발생하는 광자를 측정하였다. 측정 위치는 타겟 바로 아래 5 cm 위치에 반경 3 cm인 가상의 구를 설정하여 전자 (e) 1개당 생성된 광자 플럭스 (photon number/cm²sec·e)를 측정하였으며, 모사한 선형가속기의 신뢰성을 검증하기 위해 10 keV 간격으로 광자스펙트럼을 측정하였다. 이 때 출력인자 (Tally)는 F5를 사용하였다¹³⁾.

다음으로 콘크리트 벽이 받는 중성자를 측정하였다. 세부적으로 선형가속기 헤드를 중심으로 9개 구역으로 나누어 알파벳 소문자 a~i로 나타내었으며(Fig. 2), Tally F4를 사용하여 9개 구역의 콘크리트 벽에 대한 중성자의 플럭스 (neutron number/cm²sec·e)를 개별적으로 측정 하였다. 또한 중성자의 측정은 열중성자 (Thermal, 0~1 eV), 열외중성자 (Epithermal, 1~10 keV), 속중성자 (Fast, 10 keV~10 MeV)로 구분하여 측정하였다¹³⁾. 이는 중성자의 경우에 에너지에 따라 핵반응 단면적이 다르기 때문이며, 특히 열중성자에서 반응단면적이 크기 때문에 열중성자에 대한 에너지 스펙트럼을 보기 위하여 세 가지로 나누어 스펙트럼을 측정하였다. 또한 열중성자의 경우 범위가 정해져 있는 것이 아닌 핵반응이 잘 일어나는 구간을 말하고 있으나, 일반적으로 기존의 이론에서는 수소의 열중성자 1 eV를 기준으로 기술하고 있기 때문에 이를 바탕으로 설정하였다¹⁴⁾.

이상의 모든 실험은 결과값의 불확도를 3%로 이내로 적용하여 실험의 신뢰도를 확보하였다.



Floor : i, Roof : h

Fig. 1 The linear accelerator head in MCNPX Fig. 2 A schematic design for shielding wall in MCNPX

Table 1 The accessories for linear accelerator head in MCNPX

Accessory	Density (unit : g/cm)	Material (unit : %)	Geometry
Primary collimator	19.4	¹⁸² W 26.62	5 cm thick rectangle into the center of the target.
		¹⁸³ W 14.31	
		¹⁸⁴ W 30.64	
		¹⁸⁶ W 28.43	
Target	19.4	¹⁸² W 26.62	Thickness 0.8 cm, Radius 2 cm disk.
		¹⁸³ W 14.31	
		¹⁸⁴ W 30.64	
		¹⁸⁶ W 28.43	
		8.94	
		⁶⁵ Cu 30.85	
Ion Chamber	1.85	⁴⁰ Be 100	Horizontal 5 cm, Vertical 5 cm, Height 0.0254 cm
Flattening filter	8.94	⁶³ Cu 69.15	Radius 3 cm, Height 2.5 cm Funnel
		⁶⁵ Cu 30.85	
Secondary collimator	19.4	¹⁸² W 26.62	Thickness 8.2 cm
Multileaf collimator		¹⁸³ W 14.31	
		¹⁸⁴ W 30.64	
		¹⁸⁶ W 28.43	

III. 실험결과

1. 광자선 스펙트럼

Fig. 3은 전자선을 가속하여 측정된 10, 15, 20 MV 광자선에 대한 스펙트럼 결과이며, 10 keV 간격으로 플럭스 (photon number/cm²·sec·e)를 측정하였다.

생성된 광자의 입자수는 10, 15, 20 MV 각각 4.01E-03 개/cm²·sec·e, 1.08E-2 개/cm²·sec·e, 2.05E-2 개/cm²·sec·e였

으며 전자 1개당 광자 발생율이 약 0.4 ~ 2%로 나타났다. 또한 측정된 광자의 특성에너지는 512 keV으로 나타났으며, 평균에너지는 각각 2.24 MeV, 3.04 MeV, 3.75 MeV로 측정되었다.

2. 중성자 스펙트럼과 에너지 영역별 비율

Fig. 4는 차폐벽 9개 구역에 대한 중성자 스펙트럼 결과이며 열중성자의 스펙트럼을 대표적으로 나타낸 것이다.

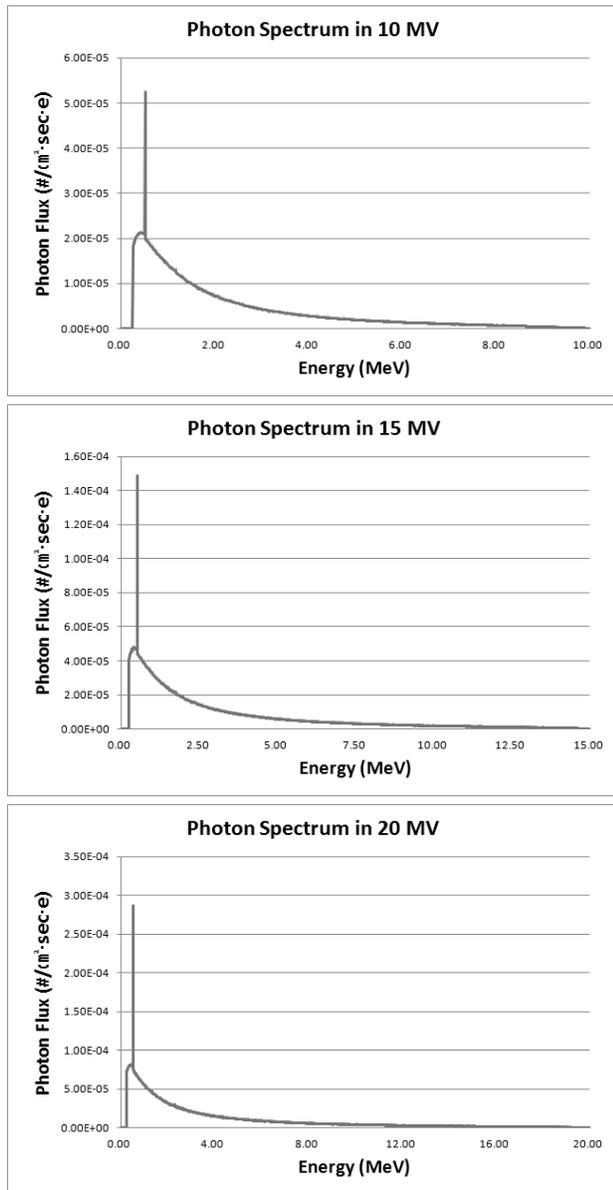


Fig. 3 The spectra of photons measured in the simulation

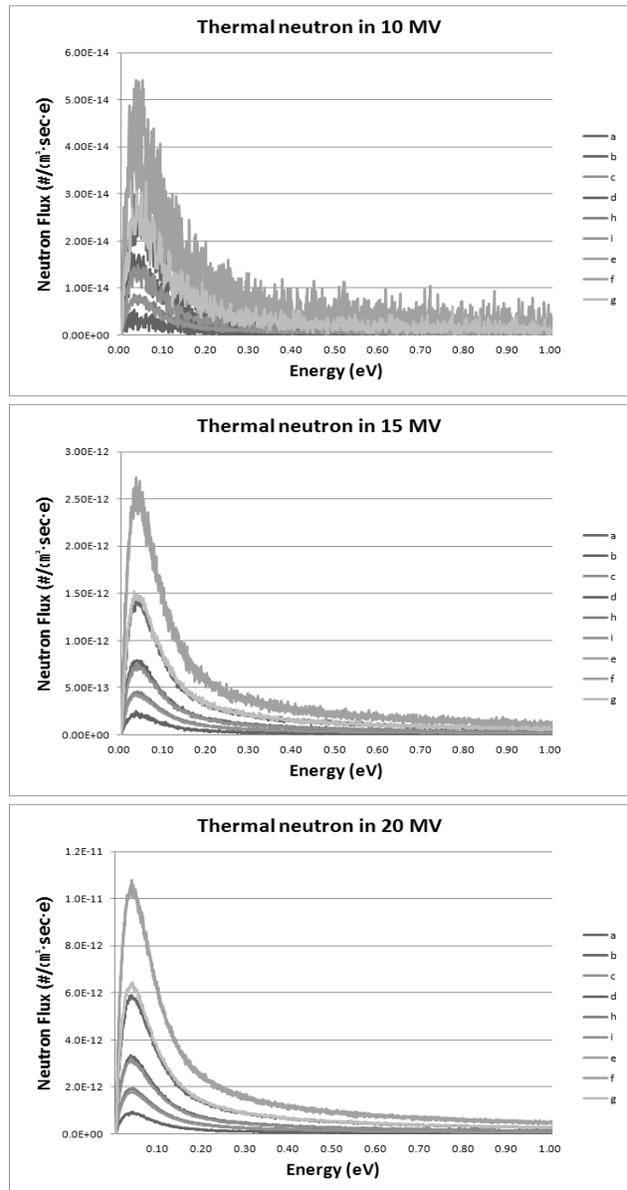


Fig. 4 The spectra of thermal neutron measured in the simulation

Table 2.은 생성된 광자에 대한 중성자의 생성 비율이며, 검출된 전체 중성자에 대한 에너지 영역별(열, 열외, 속중성자) 결과를 Table 3-5.으로 나타냈다.

이를 세부적으로 살펴보면, 9개 구역에서 받은 중성자 플럭스에 대한 평균값은 10 MV $1.86E-11$ 개/ $\text{cm}^2\cdot\text{sec}\cdot\text{e}$, 15 MV $1.05E-09$ 개/ $\text{cm}^2\cdot\text{sec}\cdot\text{e}$, 20 MV $4.47E-09$ 개/ $\text{cm}^2\cdot\text{sec}\cdot\text{e}$ 으로 산정되었으며, 15 MV는 10 MV에 비해 약 56배 높았으며, 20 MV에 비해 약 240배 높은 결과를 보였다. 생성된 광자에 대한 비율은 10 MV 4.63E-7%, 15 MV 9.69E-6%, 20 MV 2.18E-5%의 발생비율을 나타냈다.

다음으로 에너지 영역별 중성자 비율은 열중성자 17.5 ~

33.4%, 열외중성자 50.3 ~ 54.6%, 속중성자 12.2 ~ 31.7%를 나타냈다. 특히 열중성자의 평균 플럭스 결과는 10 MV, $3.72E-12$ 개/ $\text{cm}^2\cdot\text{sec}\cdot\text{e}$, 15 MV $2.11E-10$ 개/ $\text{cm}^2\cdot\text{sec}\cdot\text{e}$, 20 MV $8.88E-10$ 으로 나타났으며, 이것은 총 중성자 대비 10 MV 20.0%, 15 MV 20.0%, 20 MV 19.8%의 비율을 차지하였다.

마지막으로 구역별 중성자 플럭스의 양을 보면, 실험대상의 모든 에너지 영역에서 선형가속기 헤드와 근접된 부분이 높게 나타났다.

Table 2 Neutron Production rate of the photon

Energy	Photon Flux (unit : $\#/cm^2 \cdot sec \cdot e$)	Located	Neutron Flux (unit : $\#/cm^2 \cdot sec \cdot e$)	Neutron Production rate (unit : %)
10 MV	4.01E-03	a	2.33E-11	5.80E-7
		b	1.07E-11	2.70E-7
		c	1.01E-11	2.50E-7
		d	1.86E-12	5.00E-8
		e	4.36E-11	1.01E-6
		f	4.48E-11	1.12E-6
		g	2.13E-11	5.30E-7
		h	6.06E-12	1.50E-7
		i	5.41E-12	1.30E-7
15 MV	1.08E-2	a	1.32E-09	1.22E-5
		b	5.93E-10	5.48E-6
		c	5.51E-10	5.09E-6
		d	1.07E-10	9.90E-7
		e	2.48E-09	2.29E-5
		f	2.53E-09	2.33E-5
		g	1.20E-09	1.11E-5
		h	3.59E-10	3.32E-6
		i	3.18E-10	2.94E-6
20 MV	2.05E-2	a	5.59E-09	2.73E-5
		b	2.50E-09	1.22E-5
		c	2.32E-09	1.13E-5
		d	4.51E-10	2.20E-6
		e	1.07E-08	5.20E-5
		f	1.07E-08	5.23E-5
		g	5.12E-09	2.50E-5
		h	1.53E-09	7.48E-6
		i	1.34E-09	6.54E-6

IV. 고 찰

본 연구는 선형가속기에서 높은 에너지의 광자들로 인하여 발생된 중성자에 관한 연구로서 선형가속기를 차폐하고 있는 콘크리트가 받는 중성자의 양을 측정하였다.

선형가속기의 광자선 스펙트럼과 관련하여 Geant3를 이용한 Mesbahi¹⁵⁾ 등의 연구와 PENELOPE-2006을 이용한 Baumgatner¹⁶⁾ 등의 연구에서 6 MV의 평균에너지는 각각 1.67, 1.65 MeV로 산정되었다. 또한 MCNPX를 이용한 이정욱¹⁷⁻¹⁹⁾ 등의 연구에서는 24 MV 광자선의 평균에너지는 약 4.90 MeV로 보고하였다. 위의 연구와 본 연구를 비교하면 평균에너지가 약 4~8% 높은 결과이다. 이는 광자스펙트럼을 측정된 위치가 본 연구에서는 타깃 바로 아래 지점에서 측정을 하였기 때문에 상대적으로 저에너지 광자의

수가 증가함으로써 평균에너지가 낮게 측정된 것으로 사료된다.

고 에너지의 광자로 인하여 생성된 중성자의 발생 비율을 보면 10 MV 대비 15 MV에서는 약 20배, 15 MV 대비 20 MV에서는 약 2.25배로 중성자의 발생비율이 증가했다. 이것은 측정된 광자수에 따라 비례적으로 중성자 발생확률이 증가하는 것이 아닌 다른 확률적인 변수가 있다는 점을 의미하는 것이며, 10 MV를 초과할 경우 중성자 발생확률이 급격히 높아지는 현상을 확인할 수 있었다. 또한 이와 같은 결과는 기존의 박철수 등의 연구⁸⁾에서 광자 에너지에 커질수록 중성자의 발생이 증가하지만 비율적이지 않다는 것과 일정한 광자를 조사하더라도 중성자의 발생은 일정하게 나타나지 않는다는 결과와 유사한 결과를 얻었다.

마지막으로 차폐벽이 받은 중성자 양은 치료기 헤드를 중

Table 3 Ratio of the neutron in shielding wall(unit : #/cm²·sec·e)

Energy	Located	Total neutron	Thermal	Epithermal	Fast
10 MV	a	2.33E-11 (100%)	4.44E-12 (19.1%)	1.22E-11 (52.3%)	6.66E-12 (28.6%)
	b	1.07E-11 (100%)	2.57E-12 (24.0%)	5.70E-12 (53.1%)	2.45E-12 (22.8%)
	c	1.01E-11 (100%)	2.37E-12 (23.5%)	5.38E-12 (53.5%)	2.33E-12 (23.1%)
	d	1.86E-12 (100%)	5.96E-13 (32.0%)	1.00E-12 (54.0%)	2.60E-13 (14.0%)
	e	4.36E-11 (100%)	7.61E-12 (22.7%)	2.17E-11 (49.7%)	1.43E-11 (32.9%)
	f	4.48E-11 (100%)	8.50E-12 (23.8%)	2.26E-11 (50.3%)	1.38E-11 (30.7%)
	g	2.13E-11 (100%)	4.71E-12 (17.5%)	1.16E-11 (54.6%)	4.95E-12 (23.3%)
	h	6.06E-12 (100%)	1.37E-12 (19.0%)	3.14E-12 (51.8%)	1.55E-12 (25.5%)
	i	5.41E-12 (100%)	1.29E-12 (22.1%)	2.88E-12 (53.2%)	1.25E-12 (23.0%)

Table 4 Ratio of the neutron in shielding wall(unit : #/cm²·sec·e)

Energy	Located	Total neutron	Thermal	Epithermal	Fast
15 MV	a	1.32E-09 (100%)	2.56E-10 (19.5%)	6.75E-10 (51.3%)	3.84E-10 (29.2%)
	b	5.93E-10 (100%)	1.39E-10 (23.4%)	3.2E-10 (53.9%)	1.34E-10 (22.7%)
	c	5.51E-10 (100%)	1.3E-10 (23.6%)	2.97E-10 (54.0%)	1.24E-10 (22.4%)
	d	1.07E-10 (100%)	3.59E-11 (33.4%)	5.84E-11 (54.3%)	1.32E-11 (12.2%)
	e	2.48E-09 (100%)	4.51E-10 (18.2%)	1.26E-09 (50.8%)	7.73E-10 (31.1%)
	f	2.53E-09 (100%)	4.65E-10 (18.4%)	1.28E-09 (53.8%)	7.79E-10 (30.8%)
	g	1.20E-09 (100%)	2.65E-10 (22.1%)	6.45E-10 (51.3%)	2.89E-10 (24.1%)
	h	3.59E-10 (100%)	8.01E-11 (22.3%)	1.84E-10 (52.8%)	9.49E-11 (26.4%)
	i	3.18E-10 (100%)	7.44E-11 (23.4%)	1.68E-10 (50.7%)	7.57E-11 (23.8%)

심으로 거리가 이격될수록 감소하는 경향을 보였다. 하지만 이에 반해 열중성자의 비율은 높게 나타났다. 이것은 발생된 중성자가 특정한 방향성을 가지고 방사하는 것이 아닌 전체적으로 균등하게 방사하는 것으로 판단되며, 열외중성자와 속중성자의 경우에는 치료실 차폐벽과 산란으로 인하

여 속도를 잃고 열중성자로 변하게 됨으로써, 중성자가 발생된 선형가속기 헤드에서 거리가 이격될수록 열중성자의 비율이 높아진 것으로 사료된다.

Table 5 Ratio of the neutron in shielding wall

(unit : #/cm²·sec·e)

Energy	Located	Total neutron	Thermal	Epithermal	Fast
20 MV	a	5.59E-09 (100%)	1.08E-09 (19.2%)	2.85E-09 (51.0%)	1.66E-09 (29.7%)
	b	2.5E-09 (100%)	5.83E-10 (23.3%)	1.34E-09 (53.7%)	5.73E-10 (22.9%)
	c	2.32E-09 (100%)	5.52E-10 (23.8%)	1.24E-09 (53.5%)	5.27E-10 (22.7%)
	d	4.51E-10 (100%)	1.49E-10 (32.9%)	2.45E-10 (54.3%)	5.77E-11 (12.8%)
	e	1.07E-08 (100%)	1.92E-09 (18%)	5.37E-09 (50.5%)	3.37E-09 (31.5%)
	f	1.07E-08 (100%)	1.93E-09 (22.1%)	5.41E-09 (53.4%)	3.38E-09 (24.5%)
	g	5.12E-09 (100%)	1.13E-09 (22.1%)	2.73E-09 (51.1%)	1.25E-09 (26.8%)
	h	1.53E-09 (100%)	3.39E-10 (23.4%)	7.84E-10 (52.5%)	4.11E-10 (24.1%)
	i	1.34E-09 (100%)	3.13E-10 (18%)	7.04E-10 (50.4%)	3.24E-10 (31.7%)

V. 결 론

본 연구는 의료용 선형가속기의 유지, 보수, 해체에 대한 연구의 선행연구로서 치료실 내에서 발생하는 중성자에 대한 특성을 평가하고자 하였다. 특히 본 논문에서는 차폐벽이 받는 중성자에 대한 영향을 구역을 설정하여 분석하였다. 그 결과 높은 에너지에서 콘크리트 차폐벽이 받는 중성자의 양은 제동복사로 인해 생성된 광자 대비 최대 5.0E-5% 정도로 미미하게 나타났다. 그러나 본 연구에서 사용한 MCNPX 프로그램의 경우 초당 전자 1개에 대하여 측정된 양이므로 실제 치료 시 가속하는 전자의 개수를 감안한다면, 실질적인 양은 무시할 수 없을 것으로 판단된다. 또한 치료실의 가동시간과 해체 시점까지의 운영기간을 역산하여 고려한다면, 수십 년 후 방사화가 진행될 가능성은 충분이 높을 것으로 생각된다. 또한 본 실험을 통해 발생한 중성자의 특성은 특정한 방향성 없이 방사하며, 거리에 따라 중성자의 양과 열중성자의 비율이 변화됨을 알 수 있었다.

REFERENCE

1. Eun Tae Park : Study on the Characteristics of Photonutron Produced in Medical Linear Accelerators,

Dept. of Radiological Science, Graduate School, Catholic University of Pusan, 2015.

2. Dong Wook Kim, Myong Geun Yoon, Sung Yong Park, Se Byeong Lee, et al. : Comparison of Helical TomoTherapy with Linear Accelerator Base Intensity-modulated Radiotherapy for Head & Neck Cases, Korean Society of Medical Physics, 19(2), 89-94, 2008.
3. NCRP Report No. 79 : Neutron Contamination From Medical Electron Accelerators, 1984.
4. W.L.Huang, Q.F.Li, Y.Z.Lin, Q.Su, Y.S.Luo : Measurements of phononeutrons produced by a 15 MeV electron linac for radiography applications., Nucl. Instr. and Meth. in Phy. Res. B, 251, 361-366, 2006.
5. NCRP Report No. 151 : Radiation ,Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, 2005.
6. J.H,Chao, W.S,Liu, C.Y.Chen : Estimation of Argon-41 concentrations in the vicinity of a high energy medical accelerator, Radiation Measurements, 42 1538-1544, 2007.
7. Sang Koo Kang, Sung Hwan Ahn, Chong Yeal Kim : A Study on Photon Dose Calculation in 6 MV Linear

- Accelerator Based on Monte Carlo Method, Korean Society of Radiological Science, 34(1), 43–50, 2011.
8. Cheol Soo Park, Cheong Hwan Lim, Hong Ryang Jung, Seong Soo Shin : A Study on the Neutron Dose Distribution in Case of 10 MV X-rays Radiotherapy, Korean Society of Radiological Science, 34(4), 415–427, 2008.
 9. Oh Nam Yang : Study on the Photoneutron Produced in Medical Linear Accelerators : Comparison of 3DCRT and IMRT, Dept. of Radiological Science The Graduate School of Health promotion Hanseo University, 2013.
 10. IAEA : Safety Standard Series No. WS-G-2.2, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, 1999.
 11. IAEA : Safety Report Series No.47 Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities, 2006.
 12. Korea Atomic Energy Research Institute : Shielding Technology for High Energy Radiation Production Facility, 2004.
 13. Los Alamos National Laboratory : User's manual version 2.5.0, LANL, 2005.
 14. Herman Cember, Thomas E. Johnson : Introduction to Health Physics 4th edition., Mv Graw Hill, 2006.
 15. A. Baumgartner, A. Steurer, F. Maringer : Simulation of photon energy spectra from Varian 2100C and 2300C/D Linacs: Simplified estimates with PENELOPE Monte Carlo models, Applied Radiation and Isotope 67(11) 2007–2012, 2009.
 16. A. Mesbahi, M. Fix, M. Allahverdi et al. : Monte Carlo calculation of Varian 2300C/D Linac photon beam Characteristics: a comparison between MCNP4C, GEANT3 and measurements, Applied Radiation and Isotopes, 62(3) 469–477, 2005.
 17. Jeong Ok Lee, Dong Hyeok Jeong, Kang Jeong Ku : Neutron Generation from a 24 MV Medical Linac, Korean Society of Medical Physics, 16(2), 97–103, 2005.
 18. Kang Sang Koo : A study on 6 MV Photon Dose Distributions from Medical Linear Accelerators in phantom based on CT data using GEANT4, Dept. of Radiation Science and Technology The Graduate School Chonbuk National University, 2012.
 19. Lee Jeong Ok, Jeong Dong Hyeok : Calculation of Energy Spectra for 6 MeV Electron Beam of LINAC Using MCNPX, Korean Society of Medical Physics, 17(4), 224–231, 2006.

•Abstract

Characterization of the Neutron for Linear Accelerator Shielding Wall using a Monte Carlo Simulation

Dong Yeon Lee¹⁾·Eun Tae Park²⁾·Jung Hoon Kim³⁾

¹⁾*Dept. of Radiation Oncology, Dongnam Inst. of Radiological & Medical Scienc*

²⁾*Dept. of Radiation Oncology, Inje University Busan Paik Hospital*

³⁾*Dept. of Radiologic Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan*

As previous studies to proceed with the evaluation of the radioactive at linear accelerator's shielding concrete wall. And the shielding wall was evaluated the characteristics for the incoming neutron. As a result, the shielding wall is the average amount of incoming neutrons 10 MV 4.63E-7%, 15 MV 9.69E-6%, showed the occurrence of 20 MV 2.18E-5%. The proportion of thermal neutrons of which are found to be approximately 18-33%.

The neutron generation rate can be seen as a slight numerical order. However, in consideration of the linear accelerator operating time we can not ignore the effects of neutrons. Accordingly radioactive problem of the radiation shield wall of the treatment room will be this should be considered.

Key Words : Linear Accelerator, Neutron, Simulation, Radioactive