

의료용 선형 가속기 시설 해체를 위한 중성자속 분포 계산

정진영, 황주호, 김정훈*

경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지

*부산가톨릭대학교, 부산시 금정구 부곡 3동 9번지

jinyoung@khu.ac.kr

1. 서론

의료용 선형 가속기는 방사선치료의 목적으로 사용되며 치료에 필요한 선량을 최대한 조사하되 병리적 부위가 아닌 신체의 조사는 최소화 하도록 설계 된다. 국내에서 사용되는 의료용 선형가속기는 1970년대부터 도입되어 현재에는 100여대 이상이 사용되고 있다. 대부분의 의료용 선형가속기는 1~24 MeV 범위내의 primary electron energy를 가진다. 이때 x-선의 에너지가 10 MeV 이상이 되는 경우에는 광핵반응에 의하여 중성자가 발생된다. 발생된 중성자는 의료용 선형 가속기 시설내의 주요 기구 및 차폐벽의 원소들과 반응하여 방사화 시키게 된다. 이는 시설이 가동되는 기간 동안 누적되어 시설의 해체시 방사성동위원소의 오염을 염두해 두어야 함을 의미한다. 그러므로 시설의 해체전 선형가속기 운용에 따라 발생하는 방사화량을 계산하여 처리, 처분의 방법 및 작업자의 피폭량을 계산하여야 한다.

본 연구에서는 중성자의 발생과 방사화되는 물질을 정의하기 위한 기초 연구로서, 몬테칼로 방법론의 코드인 MCNPX(2.5.0)을 사용하여 광핵반응에 의한 중성자의 양을 모사하였다.

2. 본론

2.1 계산조건

중핵반응에 의한 중성자 발생을 예측하기 위해서 몬테칼로 방법론의 코드인 MCNPX(2.5.0) 코드를 사용하였다. 이를 위해 의료용 선형가속기 시설 내부의 주요 요소를 파악하고 Geometry를 구성하였다. 주요 구성요소는 표 1.과 같다. 각각의 주요 구성 요소는 텅스텐과 구리 및 베릴륨이 사용되었다.

표 1. 의료용 선형가속기의 Geometry 구성

Component	Distance from Target	Material
X-ray Target 6 MeV	0	Tungsten(W) 0.0889 cm
		Copper (Cu) 0.15748 cm
Primary collimator	1.6 cm	Tungsten(W) 6 cm thick
Vacuum window	9 cm	Beryllium(Be) 0.0254 cm
Flattening filter	10.45 cm	Copper(Cu) with 19 layers
Secondary collimator jaws	28 cm	Tungsten(W) 7.8 cm
Upper Y-jaws/Lower X-jaws	36.7 cm	Tungsten(W) 7.8 cm
Multi-leaf collimator	47.8 cm	Tungsten(W) 6.5 cm thick 40 leaves (width=0.25525 cm)

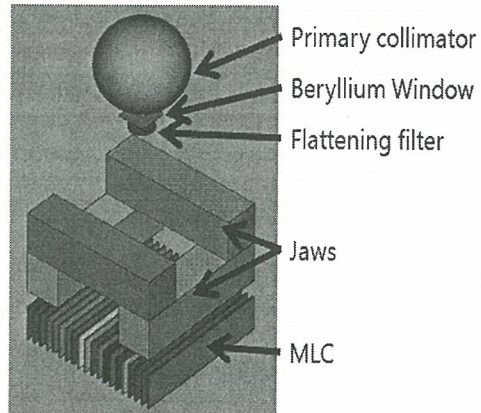


그림 1. 의료용 선형가속기의 Geometry 구성

시설의 차폐는 콘크리트 벽으로 밀도는 2.26 g/cm^3 의 콘크리트를 사용하였다. 구성원소 및 구조는 다음의 그림 2.와 같다.

모사에 사용된 전자선의 에너지는 10, 15, 20, 24 MeV를 사용하였다. 이는 국내에서 의료용 치료목적으로 사용되는 선형가속기의 주요 장치의 에너지이며, 중핵반응이 발생되지 않은 6 MeV 이하의 장치는 제외하였다. 이를 통하여 발생하는 x-선 및 중성자선을 MCNPX code를 이용하여 계산하였다.

Element	Concrete (2.26 g/cm ³)	Concrete (3.35 g/cm ³)
H	0.55%	0.36%
C	--	--
O	49.57%	31.14%
Na	1.70%	--
K	1.91%	4.75%
Mg	0.26%	0.12%
Al	4.55%	0.42%
Si	31.36%	1.05%
S	0.13%	10.8%
Ca	8.26%	5.02%
Fe	1.23%	--
Ba	--	46.30%

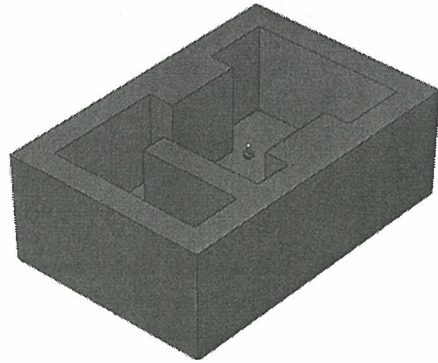


그림 2. 차폐벽의 콘크리트 구성원소 및 Geometry 구조

2.2 계산결과

계산 결과는 다음의 표 2와 같다. 모든 에너지에서 구리 타겟이 중성자의 영향이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 구리타겟에서 x-선이 발생되기 때문이며, 발생된 x-선이 중핵반응으로 중성자를 생성하기 때문이다. 차폐벽에 있어서는 바닥에 해당하는 shield wall 10에서 가장 높은 중성자속을 나타냈다.

표 2. 전자 1개당 발생되는 시설 주요 요소의 중성자속 분포

	10 MeV	15 MeV	20 MeV	24 MeV
target w	4.248.E-10	3.053.E-08	1.525.E-07	2.604.E-07
source housing	7.679.E-12	5.405.E-10	2.714.E-09	4.841.E-09
flattening filter	4.720.E-12	3.769.E-10	1.902.E-09	3.207.E-09
target cu	1.279.E-09	9.473.E-08	4.511.E-07	7.817.E-07
void window	2.781.E-10	2.302.E-08	1.095.E-07	1.905.E-07
void window	2.327.E-10	1.549.E-08	7.458.E-08	1.261.E-07
jow y1	3.610.E-14	3.654.E-12	1.918.E-11	3.341.E-11
jow y2	6.526.E-14	3.921.E-12	1.939.E-11	3.308.E-11
jow x1	3.628.E-14	2.377.E-12	1.135.E-11	1.957.E-11
jow x2	2.259.E-14	2.342.E-12	1.189.E-11	2.095.E-11
MLC	2.948.E-13	3.263.E-11	1.703.E-10	2.908.E-10
shield wall 1	5.716.E-15	3.975.E-13	1.883.E-12	3.348.E-12
shield wall 2	6.708.E-16	5.251.E-14	2.574.E-13	4.492.E-13
shield wall 3	3.426.E-15	1.948.E-13	9.096.E-13	1.601.E-12
shield wall 4	2.634.E-15	1.455.E-13	6.940.E-13	1.208.E-12
shield wall 5	1.284.E-14	7.381.E-13	3.510.E-12	6.179.E-12
shield wall 6	6.965.E-16	7.049.E-14	3.328.E-13	5.862.E-13
shield wall 7	4.251.E-15	2.824.E-13	1.332.E-12	2.353.E-12
shield wall 8	1.807.E-14	1.083.E-12	5.238.E-12	9.190.E-12
shield wall 9	1.814.E-14	1.120.E-12	5.288.E-12	9.335.E-12
shield wall 10	3.721.E-14	2.597.E-12	1.270.E-11	2.227.E-11

3. 결론

본 연구는 의료용 선형가속기 시설의 중성자속 분포를 계산하였다. 시설내의 기구물의 방사화를 정량적, 정성적 파악을 위한 기초연구단계로서 선형가속기 가동시 시설내의 중성자속분포를 계산하였다. 본 연구에서는 몬테카를로 방법론의 검증된 코드인 MCNPX(ver.2.5.0) 코드를 이용하여 중성자속을 계산하였다. 시설내의 구성요소인 가속장치 및 차폐물의 중성자속을 계산 비교한 결과, 중성자속이 가장 높은 곳은 가속장치의 구리타겟으로 1.28e-9#/eV, 가장 낮은 곳은 출입구쪽 차폐벽으로 6.96e-16#/eV로 나타났다. 본 연구의 결과는 물질의 방사화 계산 코드인 오리젠 코드의 기초자료로 사용된다.

참고문헌

- 이정옥 외 2명, "24 MV 의료용 선형가속기의 중성자 발생에 관한 연구", 의학물리학회 제 16 권 제 2 호 2005
- Frank Verhaegen and Jan Seuntjens, "Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams" Phy. Med. Biol, 48, R107-R164, 2003