

## 선형가속기 출력 점검에 사용하는 열형광선량계의 에너지 의존도 평가

\*한림대학교 성심병원 방사선종양학과, †서울아산병원 방사선종양학과, ‡식품의약품안전청 방사선표준과

박성호\* · 강세권\* · 조병철\* · 이병용† · 김귀야‡ · 정희교‡

방사선치료를 위한 고에너지 광자선의 품질관리를 위해 사용하는 TLD의 광자선 선질에 대한 에너지 의존도를 몬테카를로 모사법을 사용하여 평가하였다. IAEA 선량보증사업에 이용되는 LiF TLD 및 홀더를 EGS4기반의 사용자 코드인 DOSIMETER 와 MCNP4C 몬테카를로 코드를 사용하여 기하학구조를 구성하고, Co, 4, 6, 10 및 15 MV 광자선을 시뮬레이션하였다. DOSIMETER 계산 결과를 통해 TLD의 에너지 보정인자가 실험 데이터와 일치함을 확인할 수 있었으며, 이와 별도로 캡슐에 의한 교란량도 무시할 수 없음을 발견하였다.

중심단어: TLD, 에너지 의존도, DOSIMETER, MCNP4C

### 서 론

미국, 유럽을 중심으로 방사선치료의 치료선량평가에 대한 정도관리 프로그램을 개발하여 약 2,400여 병원이 참여중이며[1], IAEA/WHO에서는 TLD 우편선량감사프로그램[2], 유럽방사선종양학회의 EQUAL 프로그램[3], 북미의 RPC (Radiological Physics Center)[4]에서도 우편을 이용한 치료용 선형가속기의 품질관리 프로그램을 적용 중에 있다. 국내의 경우에도 식품의약품안전청 방사선표준부에서는 IAEA와 협력하여 국내 치료선량평가사업을 수행 중에 있다.

TLD를 선량평가에 이용하기 위해서는 TLD 조사에 사용되는 팬텀 내에서 Co-60 방사선장에서와 반응이 다른 모든 교란량에 대한 평가가 이루어져 있어야 하며, 이 교란량들이 보정인자의 형태로 포함되어야 정확한 선량평가가 보장된다. 이 중 중요한 보정인자는 TLD의 에너지 의존성에 대한 부분과 팬텀내 TLD 홀더 등의 기하학적 배열에서 발생하는 감쇠, 산란에 의한 교란 부분이다. TLD의 에너지 의존성은 10 keV 대의 저에너지 영역에서 인체등가물질로 가정하는 LiF의 경우에도 1.35 정도로 과다 반응하기 때문에[5] 에너지 보정인자를 적용해 주어야 한다. 그 동안 고에너지 광자선에 대한 에너지 의존인자에 대한 연구가 이루어져 왔는데, 에너지 의존도가 3% 미만이기 때문에 에너지 보정을 수행할 필요가 없다고 주장하는 연구 그룹[6], TLD의 반응은 4-8% 가량 과소 반응하지만 빔선질에는 무관하다고 주장하는 그룹[7], 7-11% 정도로 빔선질 의존도가 존재한다고 주장하는 연구 그룹[8]들이 있었다. P.N. Mobit[9]은 임상에 주로 사용하는 1mm×6mm인 rod 형태의 TLD와 3.2×3.2×0.9 mm인 칩형태의 TLD에 대하여 6, 10, 15, 25 MV 광자선에 대한 에너지 의존인자를 측정 및 계산하였으며, 6 MV의 경우 1.01, 25 MV의 경우 1.025로 평가되었다. 그러나 Mobit이 사용한 팬텀과 이번 연구에 사용한 팬텀이 크기가 다르며, Mobit은 고체형태의 TLD를 사용한 반면, 이번 연구에서는 powder 형태의 TLD를 사용하였고, TLD 조사조건도 Mobit의 경우에는 TLD를 지지할수 있는 Buildup 형태의 캡슐을 제작하여 사용하였지만 이번 실험에서는 IAEA 홀더[10]를 이용하여 측정하는 등 측정 조건이 상당부분 상이하여 새로운 평가를 수행하게 되었다. 이번 연구를 통해 얻어진 IAEA 홀더의 감쇠보정인자 및 에너지보정인자는 고에너지 광자선의 품질관리에 사용하는 TLD의 선량평가지 고려되어야 할 것이다.

### 재료 및 방법

#### 1. 광자선 에너지 스펙트럼

교정 및 선량검증에 사용될 선형가속기에서 발생하는 에너지 스펙트럼은 몬테카를로 모델링을 통해 얻는 것이 비교

적 정확한 방법으로 알려져 있다. 한림대학교 성심병원에서 보유하고 있는 Siemens 치료기의 경우 이전 연구를 통해 6 MV와 10 MV 광자빔에 대한 스펙트럼을 보유하고 있으며 다른 연구에도 적용되어 왔었다. 그러나 다른 선형가속기에 대한 모델링 경험이 없었기 때문에 Co-60 기계 및 선형가속기의 에너지 스펙트럼은 다른 연구자의 논문에 발표된 자료를 이용하였다. 이번 연구에서 실험에 이용한 선형가속기 중 Siemens 의 6 MV 및 Varian 4, 6, 15 MV 빔에 대한 에너지 스펙트럼은 D. Sheikh-Bagheri 의 논문[11]에 제공된 스펙트럼을 이용하였으며 Co-60의 경우, D.W.O. Rodgers가 1985년 제공한 스펙트럼[12]을 이용하였다. 논문에서 구할 수 없었던 Siemens 10 MV 광자선의 경우에는 본원(한림대학교 성심병원)의 Siemens Primus를 모델링하여 얻은 스펙트럼을 이용하였다. 본 연구에서 사용한 광자선의 스펙트럼을 그림 1에 나타내었다.

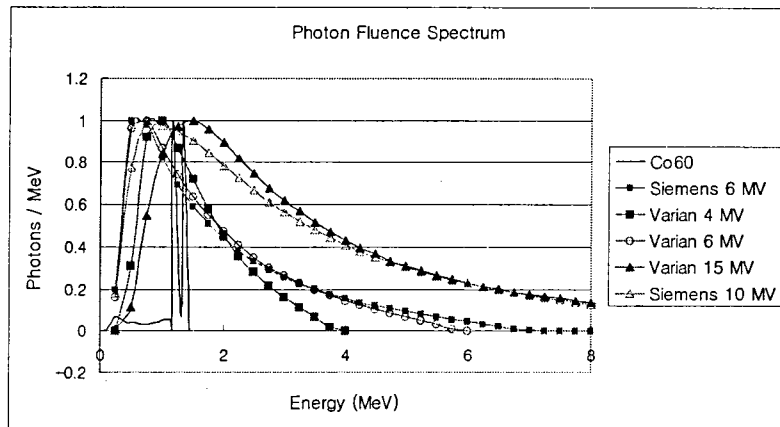


Fig. 1. Photon fluence spectrum used in monte carlo simulation

## 2. 실험방법

Powder 형태의 TLD를 직경 3 mm 길이 20 mm 흠이 파인 두께 1mm의 polyethylene 캡슐에 넣어 준비하였고, 측정시 30×30×30 cm<sup>3</sup> 보다 큰 물팬텀을 이용하였으며, TLD를 고정하기 위해 IAEA 홀더[10]를 사용하였다. IAEA 홀더는 외경 10 mm, 내경 6 mm인 원통형태의 PMMA로 제작되어 5 cm, 15 cm 지점에 TLD를 고정할 수 있는 흠이 준비되어 있다.

TLD 홀더에 의한 감쇠보정효과를 평가하기 위해 TLD를 끼운 IAEA 홀더와 TLD가 단독으로 물속에 존재하는 경우에 대하여 MCNP4C 코드를 사용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 물과 PMMA에 의한 광자선의 감쇠차이가 섭동의 주요한 원인으로 생각되었기 때문에 시뮬레이션시 광자만을 고려하였고, TLD 영역에서 커마값을 계산하였다. 광자선 에너지는 Co-60 및 4, 6, 10, 15 MV 빔을 사용했으며 10, 15 MV 광자선에 대해서는 SSD=100 cm의 10 cm 깊이에서 계산하였고 그 외의 경우에는 5 cm에서 계산하였다.

TLD 반응의 에너지 의존성을 계산하기 위해 EGS4 기반으로 개발된 DOSIMETER를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 조사조건은 Co-60 및 4, 6 MV 광자선에 대해서는 SSD=100 cm의 5 cm 깊이에, 10, 15 MV 광자선에 대해서는 SSD=100 cm의 10 cm 깊이에서 조사하였다. Co-60 광자선에서 교정된 TLD에 대한 선질 X인 광자선의 과다/과소 반응을 보정하기 위한 에너지 보정 인자는 다음과 같이 Mobit의 정의를 이용하였다.

$$f_{Co}^X = \frac{(D_{water}/D_{LiF})_X}{(D_{water}/D_{LiF})_{Co}}$$

여기서 D<sub>LiF</sub> 및 D<sub>water</sub> 는 각각 에너지 X 나 Co 광자선을 조사시켰을때 TLD와 매질(물)에 흡수된 선량이다. 선량측정지점에서의 통계적 오차를 줄이기 위해 DOSIMETER에서 제공하는 Correlated sampling 기법[13]을 사용하였으며, 다중산란된 전자의 에너지 손실 분율을 조정하는 인자인 ESTEPE는 0.04를 사용하였다. 전자와 광자의 에너지 Cutoff는 각각 0.521, 0.01 MeV를 사용하였다.

## 결 과

IAEA 홀더에 의한 광자선의 감쇠보정인자에 대한 계산 결과를 그림 2에 나타내었다. 이론적 계산값은 광자선의 명목에너지에 대응하는 감쇠계수를 사용해 약산해 계산한 값[10]을 나타내었는데, MCNP4C의 계산결과와는 약 0.2% 이내에서 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

DOSIMETER로 계산한 광자선 에너지 보정인자는 그림 3에 나타내었는데 통계적 오차 0.8% 이내에서 실험값과 비교적 잘 일치하고 있었으며, 4, 6MV의 경우 1.015의 값을 10, 15 MV의 경우 1.02 가량의 값을 나타내고 있었다.

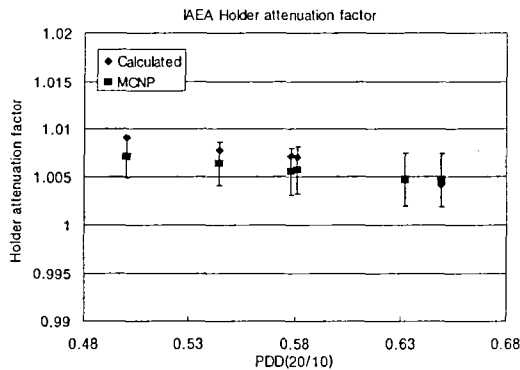


Fig. 2. Holder correction factor of the IAEA holder

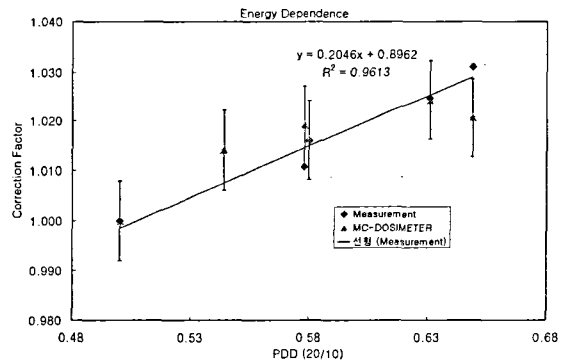


Fig. 3. Energy correction factor of the LIF TLD

## 결 론

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 TLD의 에너지 보정인자를 계산하여 15 MV 이하의 광자선에 대하여 대략 3% 미만의 반응 차이를 보이고 있음을 알 수 있었고, IAEA 홀더에 의한 감쇠보정인자는 0.5-0.8% 정도 기여함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- Izewska J, Svensson H, Ibbott G: Worldwide QA networks for radiotherapy dosimetry. IAEA-CN-96-76
- Izewska J, Andreo P: The IAEA/WHO TLD postal programme for radiotherapy hospitals. *Radiother. Oncol.* 54: 65-72 (2000)
- Dutreix A, Derremaux S, Chavaudra J, Van der Schueren E: Quality control of radiotherapy centers in Europe: beam calibration. *Rad. Onc.* 32: 256-264 (1994)
- Hanson W F, Shalek RJ, Kennedy P: Dosimetry quality assurance in the United States from the experience of the Radiological Physics Center. IAEA, Vienna, Austria SSDL Newsletter 30 (1991)
- Knoll GF.: *Radiation Detection and Measurements*. 3rd edition, John Wiley & Sons (2000), pp. 734
- Bagne F: A comprehensive study of LIF TL response to high energy photons and electrons. *Radiat. Phys* 123: 753-60 (1977)
- Nystrom H, Bera P, Nette P: Beam quality dependence of TLDs irradiated in standardized geometry. IAEA-SM-330/72: 527-39 (1994)
- Olivera GH, Kessler C, Sonsogne RA, Saravi M: Energy dependence of the response of thermoluminescence dosimeters to photons and electrons beams. *Nucl. Instrum. Methods B* 84: 89-94 (1994)
- Mobit PN, Mayles P, Nahum AE: The quality dependence of LIF TLD in megavoltage photon beams: Monte Carlo simulation and experiments. *Phys. Med. Biol.* 41: 387-398 (1996)
- Izewska J, Novotny J, Van Dam J, Duteix A, van der Schueren E: The influence of the IAEA standard holder on dose evaluated from TLD samples. *Phys. Med. Biol.* 41: 465-473 (1996)
- Sheikh-Bagheri D, Rogers D W O: Monte Carlo calculation of nine megavoltage photon beam spectra using the BEAM code. *Med. Phys.* 29(3): 391-402 (2002)
- Mohán R, Chui C, Lidofsky L: Energy and angular distributions of photons from medical linear accelerators. *Med. Phys.* 12: 592-597 (1985)
- Ma C M, Nahum A E: Calculation of absorbed dose ratios using correlated Monte Carlo sampling. *Med. Phys.* 20: 1189-1199 (1993)