

# 광자극발광선량계와 이온함을 이용한 두경부 원발종양 및 림프절 전이성 종양의 선량 측정: 산란판과 볼루스의 비교

이정옥\*, 이재승<sup>†,‡</sup>, 정동혁<sup>§</sup>

\*원광보건대학 방사선과, <sup>†</sup>선린의료원 방사선종양학과, <sup>‡</sup>순천향대학교 물리학과, <sup>§</sup>동남권원자력의학원 연구센터

2011년 7월 11일 접수 / 2011년 8월 8일 1차 수정 / 2011년 8월 9일 채택

본 연구는 두경부 방사선치료에서 산란판(beam spoiler)과 볼루스(bolus)를 사용함에 따라 깊이가 다른 원발종양과 림프절 전이성 종양의 선량 변화를 이온함과 광자극발광선량계(optically stimulated luminescence detectors, OSLDs)를 이용하여 치료계획검증 방법으로 교차 비교하였다. 치료계획검증은 치료계획시스템에서 얻은 동일 조사 조건을 검출기가 삽입 가능한 고체 팬텀에 모사하는 방법으로 산란판과 0.5, 1 cm 볼루스를 비교하였으며 두 선량계의 교차 비교는 측정 오차가  $\pm 2\%$  미만일 때 신뢰성이 있다고 판단하였다. 연구 결과 0.5 cm 두께의 산란판과 피부간 거리가 10 cm 일 때 최적의 선량분포를 얻을 수 있었으며 볼루스에 비하여 피부선량이 작고 중심부 원발종양 선량의 감소가 작았다. 또한 두 선량계의 교차 비교는  $\pm 1\%$  이내로 유의한 결과를 보였다. 두경부 종양의 방사선치료시 산란판을 사용함으로써 피부 부작용을 줄이면서 종양에 최적의 선량분포를 달성할 수 있다고 판단되었으며 향후 임상에 적용하기 위한 연구가 시행되어야 할 것이다.

중심어 : 산란판, 볼루스, 이온함, 광자극발광선량계, 교차 비교

## 1. 서론<sup>1)</sup>

두경부 종양은 탄탄한 기저막이 없고 세포간 연결이 느슨하여 암세포들에 대한 저항성이 약한 주변 모세관이나 림프관들의 기질(nodal stromal)에 쉽게 침습한다. 침습된 암세포는 농축되어 색전을 형성하다가 전이된 암세포 중 일부가 유사분열을 일으키며 림프절 실질(nodal parenchyme)로 침습할 수 있는 충분한 양으로 성장하는데 이러한 미세순환 과정을 반복함으로써 원격전이를 유발한다<sup>[1,2]</sup>. 두경부에 존재하는 림프절은 약 300여개 정도이며 인체 내 전체 림프절의 약 30%를 차지할 만큼 풍부하기 때문에 두경부 종양으로 진단된 대부분의 환자들에서 경부 림프절 전이가 확인된다<sup>[3,4]</sup>.

일반적으로 3 cm 이하의 경부 림프절 전이가 있을 때 60-70 Gy의 방사선치료를 시행하면 약 70-90% 정도의 국소 제어효과가 있는 것으로 알려져 있다<sup>[5,6]</sup>. 그러나 경부 림프절 전이성 종양의 크기가 커서 주변부를 압박하거나 기능적으로 중요 부위 가까운 곳에서 광범위한 침습이 발생한 경우 증상 완화를 목적으로 고식적 조사를 시행하기 때문에 국소제어효과는 상대적으로 감소한다. 이런 경우 고에너지 X-선을 이용한 대향 2분 조사를 시행한다. 이때 입사 X-선 에너지에 해당하는 2차 전자의 비정기 전방으로 향하게 됨에

따라 조직 내 전자밀도가 이 비정에 도달할 때까지 증가되기 때문에 심부에 위치한 두경부 원발종양 선량은 증가하는 반면 피부 근접면(5 mm 깊이)에 위치한 림프절 전이성 종양은 상대적으로 낮은 선량이 전달되어 전체 종양에 균등한 선량 부여가 어렵다<sup>[7,8]</sup>. 이를 방지하기 위하여 부가적으로 전자선을 조사하거나 인위적으로 조직등가 물질인 볼루스(bolus) 또는 저 원자번호 흡수체인 산란판(beam spoiler) 등을 이용한다. 전자선은 종양의 깊이가 다른 경우 X-선과 전자선을 인접하여 조사하는데 조직에 대한 흡수되는 성질이 달라 인접 조사면에서 깊이에 따른 선량분포가 균일하지 않을 수 있다<sup>[9]</sup>. 볼루스는 사용하는 두께만큼 전체적인 선량분포가 피부면으로 이동하기 때문에 피부보호효과는 기대할 수 없으며 경도 내지는 중증도의 방사선 피부염(radiation dermatitis)을 유발 할 수 있다<sup>[10]</sup>. 산란판은 저 원자번호 흡수체에 기인된 산란 광자와 전자를 증가시켜 피부 근접면의 선량을 증가시키고 산란판과 피부간 거리를 변화시킴으로써 피부선량을 조절할 수 있기 때문에 피부보호 효과를 유지 할 수 있다<sup>[11-16]</sup>. 그러나 부가 산란판에 대한 기존 연구들은 대부분 대상 물질들의 두께, 조사면, 거리에 따른 의존성을 논의하였으며 이를 방사선치료에 임상적으로 적용시키기 위해서는 치료계획시스템(treatment planning system, TPS)에서 얻은 동일한 조사 조건을 검출기가 삽입 가능한 팬텀에 모사하여 선량을 측정하는 치료계획검증을 시행해야 한다<sup>[17]</sup>.

따라서 본 연구는 TPS에서 두경부 원발종양과 림프절 전

교신저자 : 이재승, jslee0313@gmail.com  
 경북 포항시 북구 대신동 74-1, 선린의료원 방사선종양학과

이성 종양에 대한 치료계획을 수립하고 볼루스와 산란판의 사용에 따라 깊이가 다른 두 종양의 선량 변화를 이온함과 최근 유용성을 재평가 받고 있는 광자극발광선량계 (optically stimulated luminescence detectors, OSLDs)를 이용하여 치료계획검증 방법으로 교차 비교하고자 하였다.

## 2. 대상 및 방법

### 2.1 측정 장비

본 연구는 선형가속기(ONCOR Impression, Siemens, Germany)에서 출력되는 10 MV X-선을 대상으로 하였다. 치료계획검증에 사용된 고체팬텀(RW3 slab, PTW, Germany)은 30×30 cm<sup>2</sup>이고 두께가 1, 2, 5, 10 mm로 구성된 판으로 임의의 측정 깊이를 재현할 수 있고 팬텀의 중심에 이온함을 삽입할 수 있도록 고안되었으며 물과 등가인 물질로 구성되어 있었다. 림프절 전이성 종양의 선량 증가를 목적으로 사용된 볼루스(CS-BT, Chunsung, Korea)는 균일한 전자밀도를 갖는 조직등가물질이며 5, 10 mm 두께를 사용하였다. 그리고 산란판은 유효원자번호( $Z_{\text{eff}}$ )가 6.48인 루사이트(lucite) 재질을 사용하였고 조사면이 충분하게 포함되도록 30×30×0.5 cm의 판을 겹쳐 필요한 두께를 구성하여 선원과 피부면 사이에 위치하도록 하였다. 실험에 사용된 조직등가물질에 대한 물성표를 Table 1에 자세하게 나열하

였다.

측정에 사용된 선량계는 표면 및 깊이선량 측정을 위하여 감도체적이 0.35 cm<sup>3</sup>인 평형평판형 이온함(Roos type 34001, PTW, Germany)과 감도체적이 0.125 cm<sup>3</sup>인 이온함(Semiflex type 31010, PTW, Germany)을 사용하였다. 또한 이온함의 중심 전극에 수집된 전하량을 측정하는 전위계(UNIDOS, PTW, Germany)는 수집전압이 400 V이며 교정계수는 1.00±0.5% 이었다. 이온함과 전위계는 2차 표준 교정기관에서 매년 불확정도가 ±1% 미만으로 교정하였다.

이온함과 교차 비교를 위하여 사용된 OSL 선량계는 Fig. 1과 같이 판독기(Microstar reader, LANDAUER, USA)와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C 소자가 내장된 9×9×1.5 mm 규격의 플라스틱 팩킷(Nano DOT, LANDAUER Inc., USA)으로 구성되어 있었다. OSL 선량계에 내장된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C 소자의 유효원자번호( $Z_{\text{eff}}$ )는 10.2로 조직의 유효원자번호 7.2와 유사하며 판독기의 고유한 LED 광원으로부터 540 nm의 광자극을 가할 때 방출되는 빛의 파장은 420 nm 이었다[18, 19]. 이 영역에서 측정할 수 있는 에너지 범위는 5 keV에서 20 MeV까지로 비교적 넓은 선량영역의 측정이 가능하였고 ±2% 미만의 감도변화를 가지고 있었으며 1.6% 이내의 에너지 특성을 가지고 있었다. 또한 측정 후 보고된 흡수선량은 최소 10 cGy에서 최대 1500 cGy까지이고 1 회 선량 300 cGy 이하에서 흡수선량에 대한 선형성을 가지고 있었으며 그 이상에서는 선량에 대한 비선형성을 교정할 수 있도록 되어 있었다[19-21].

**Table 1.** Compared the Physical Properties of Various Solid Dry Phantom, Bolus and Beam Spoiler Materials with Water.

Material	Mass density (g/cm <sup>3</sup> )	Number of Electrons per gram (×10 <sup>23</sup> )	Effective atomic number ( $Z_{\text{eff}}$ ) <sup>*</sup>
Water	1.00	3.34	7.42
Solid dry phantom	1.00	3.34	-
Bolus	1.03	3.32	7.22
Beam spoiler	1.16-1.20	3.24	6.48

\* $Z_{\text{eff}}$  is given by Eq. of  $\bar{Z} = (a_1 Z_1^{2.94} + a_2 Z_2^{2.94} + a_3 Z_3^{2.94} + \dots + a_n Z_n^{2.94})^{1/2.94}$



**Fig. 1.** InLight™ OSL system. The MicroStar reader is a compact, lightweight, portable reader. OSLDs are plastic discs infused with crystals of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C and little build-up in device itself.

### 2.2 산란판의 두께 및 피부간 거리의 결정

Fig. 2은 산란판의 두께 및 산란판과 피부간 거리(beam spoiler-to-skin distance, BSD)를 결정하기 위한 기하학적 구조를 보여준다. 산란판에 의한 피부선량의 변화는 산란판 물질의 종류 및 두께 그리고 BSD에 의존하며, X-선의 선질과 조사면 크기에도 의존한다[12,13]. 일반적으로 두경부 대향 2분 조사의 조사면은 X-축으로 11 내지 13 cm, Y축으로 15 내지는 17 cm에서 제한적으로 사용되고 있으며[22] 조사면 및 산란판의 종류, X-선 에너지는 결정되었기 때문에 본 연구에서 제외하였으며 림프절 전이성 종양에 90% 이상의 선량이 전달되면서 피부선량이 최소화되는 산란판의 두께와 피부간 거리를 결정하였다. 이를 위하여 조사면을 12×16 cm<sup>2</sup>, 선원 축간 거리(source-to-axis distance, SAD)를 100 cm로 하였다. 5, 10, 15, 20 mm의 산란판 두께마다 BSD를 10 cm에서 20 cm까지 2 cm씩 증가시켜 측정하였다. 이 때 피부선량은 평형평판형 이온함을 이용하였고 0.5 cm 깊이는 원통형 이온함을 이용하여 측정하였다.

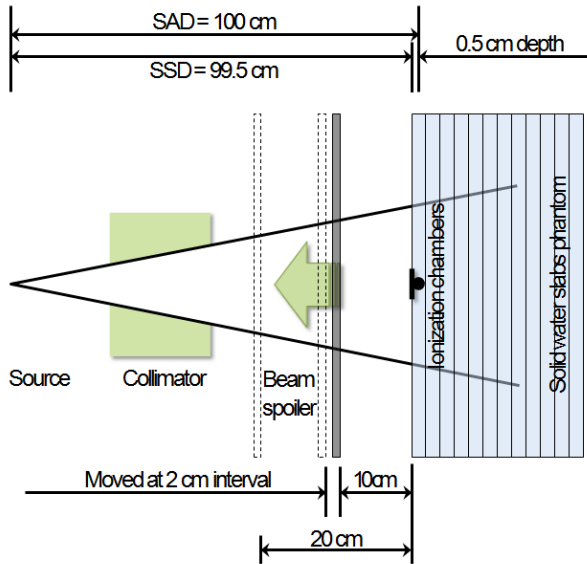


Fig. 2. Reference dose of metastatic lymph node cancer was measured by ionization chambers (0.35 cm<sup>3</sup> parallel-plate chamber and 0.125 cm<sup>3</sup> cylindrical chamber) while the beam spoiler location was moved at 2 cm interval from 10 cm to 20 cm, and beam spoiler for each a location used 0.5, 1, 1.5, 2 cm thickness, respectively.

### 2.3 치료계획 및 치료계획검증

일반적인 성인 환자의 경부 두께는 평균 12 cm 정도이다 [22]. 따라서 고체팬텀을 30×30×12 cm<sup>3</sup>로 쌓아 성인 환자의 경부 두께에 근접하게 조합하여 진산화단층촬영 모의치료 (LightSpeed, GE, USA)를 시행한 후 횡단면 영상을 TPS (OncentraMasterPlan, Nucletron, Nederland)에 전송하였다. TPS에서 고체팬텀 중심부에 두경부 원발종양을 가정하여 4×4×4 cm<sup>3</sup>의 계획용표적체적(planning target volume, PTV1)과 0.5 cm 깊이에 림프절 전이성 종양을 가정하여 4×4×1 cm<sup>3</sup>의 PTV2의 윤곽선을 그렸다. 치료계획은 다엽콜

리메이터(multileaf collimator, MLC)로 차폐물을 조형하였으며 SAD를 100 cm, 10 MV X-선을 대상으로 PTV1의 처방선량이 180 cGy가 되도록 대향 2분 조사를 계획하였다.

Fig. 3은 산란판과 볼루스의 사용에 따라 깊이가 다른 두 종양 PTV1과 2의 선량 변화를 OSL 선량계와 이온함으로 측정된 치료계획검증을 보여준다. TPS에서 얻은 동일 조건을 고체팬텀에 모사하여 측정하였으며 동일 방법으로 산란판과 볼루스를 적용하여 측정하였다. 산란판의 경우 위 실험에서 결정된 두께와 BSD에 따라 선원과 피부 사이에 산란판을 위치시켜 측정하였고(Fig. 3. a) 5, 10 mm 두께의 볼루스를 고체팬텀의 표면에 밀착시켜 측정하였다(Fig. 3. b). 여기서 각각의 측정 깊이는 피부선량을 0 cm (측정점 A), 림프절 전이성 종양을 0.5, 1, 1.5 cm (측정점 B, C, D), 두경부 원발종양을 4, 5, 6 cm (측정점 E, F, G)로 가정하였다.

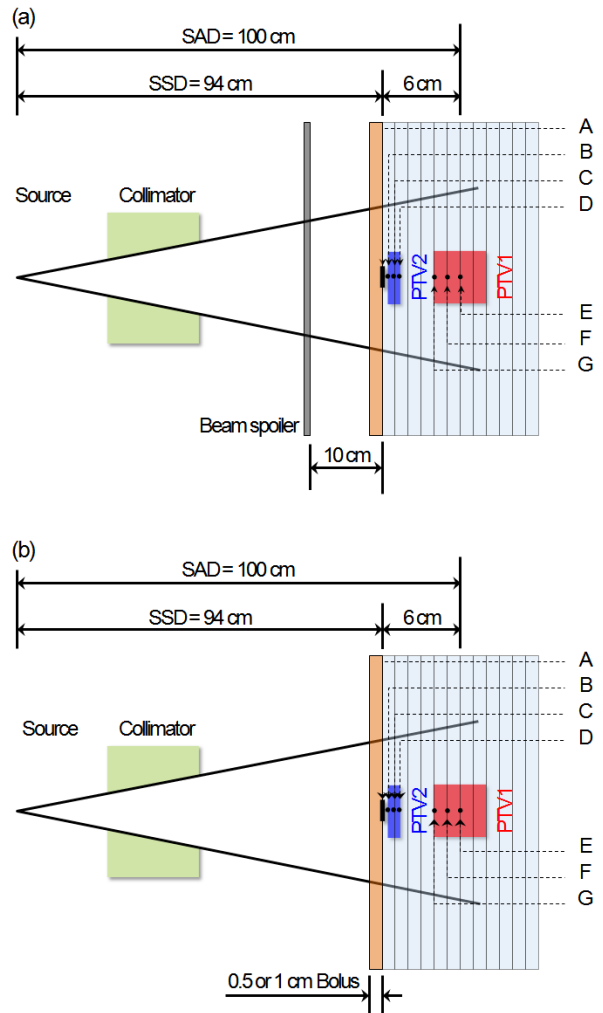


Fig. 3. Schematic for verification of treatment planning according to used beam spoiler and bolus. PTV 1 and 2 were reference dose of primary and metastatic lymph node cancers with head and neck. The dose variation was measured by ionization chambers and optically stimulated luminescence detectors (OSLDs). Measurement points were A: 0 cm, B: 0.5 cm, C: 1 cm, D: 1.5 cm, E: 4 cm, F: 5 cm, G: 6 cm depth, respectively. (a) used beam spoiler, (b) used bolus.

모든 측정은 이온함과 OSL 선량계를 병행하여 측정하였으며 두 선량계의 측정값을 교차 비교하였다. 여기서 교차 비교는 이온함의 측정값에 대한 OSL 선량계의 비로 정의하였고 두 선량계의 오차가  $\pm 2\%$  미만 일 때 측정값을 신뢰할 수 있다고 판단하였으며 두 선량계의 측정 평균값을 TPS의 치료계획검증과 비교함으로써 산란판과 볼루스의 사용에 따른 표면선량, 림프절 전이성 종양(PTV2)과 원발종양(PTV1)에 대한 선량 변화를 알고자 하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 산란판의 두께 및 피부간 거리의 결정

경부 림프절 전이성 종양에 90% 이상의 선량이 전달되면서 피부선량이 최소화되도록 산란판의 두께와 BSD를 변화시키면서 측정하였으며 최대선량에 대한 피부선량과 0.5 cm 깊이 선량의 비로 정의하여 비교하였다.

최초 TPS에서 산란판을 사용하지 않은 경우 피부선량은 36.4%, 0.5 cm 깊이 선량은 64.8% 이었다. 그러나 산란판을 사용한 경우 피부선량은 BSD가 10 cm 일 때 산란판의 두

께가 5 mm 씩 증가함에 따라 59.4%에서 70.1%까지 급격하게 증가하다가 BSD가 20 cm 일 때 약 40% 정도로 두께와 관계없이 일정하였고 산란판을 사용하지 않은 피부선량에 근접하였다(Fig. 4. a).

또한 림프절 전이성 종양의 기준이 되는 0.5 cm 깊이 선량은 산란판의 두께가 증가함에 따라 BSD가 10 cm 일 때 91.2%에서 94.5%, 12 cm 일 때 88.5%에서 91.9%까지 증가하였으며 BSD가 14 cm 일 때부터 산란판 최대 두께에서 90% 미만으로 조건을 만족하지 않았다(Fig. 4. b). 전체적으로 피부선량은 산란판의 두께가 증가할수록, BSD가 가까울수록 증가되었으나 0.5 cm 깊이 선량은 산란판의 두께에 의한 선량의 증가보다는 BSD의 변화에 따른 선량 증가임을 알 수 있었다(Fig. 4). 따라서 림프절 전이성 종양에 90% 이상의 선량을 부여하면서 피부선량이 최소가 되는 산란판의 두께는 0.5 cm 이었고 BSD는 10 cm 이었다.

#### 3.2 치료계획검증

##### (1) TPS의 치료계획검증

Table 2는 TPS에서 산란판이나 볼루스를 사용하지 않을 때 처방선량에 대한 각 PTV1과 PTV2의 전달선량(delivery dose)과 용적선량(dose volume)을 보여준다. 10 MV X-선으로 대향 2문 조사시 각 PTV의 전달선량은 중심부 원발종양 선량(PTV1)에 최대선량이 184 cGy, 최소선량이 170 cGy로 90% 이상 선량이 전달되었으나 림프절 전이성 종양(PTV2)에 최대선량이 164 cGy, 최소선량이 129 cGy로 90% 미만 선량이 도달되는 표적용적이 존재함을 알 수 있었다. 또한 각 PTV에 대한 용적선량은 PTV1의 경우 전체 체적의 87.1%가 처방선량의 95% 이상 선량이 전달되었고 전체 체적에서 90% 이상 선량이 전달되었다. PTV2의 경우 전체 체적의 48.3%가 처방선량의 90% 이상 선량이 전달되었고 18.7%는 80% 미만 선량이 전달되었다.

Fig. 5는 TPS에서 얻은 동일 조건을 고체팬텀에 모사하여 각 측정위치에서 이온함과 OSL 선량계로 측정한 치료계획검증을 보여준다. TPS에 대한 치료계획검증에서 두 선량계를 교차 비교한 결과 이온함에 대한 OSL 선량계의 오차는 0.61%에서 0.94% 이었고 평균  $0.72 \pm 0.56\%$  로 측정값이 신뢰성 있다고 판단하였다(Table 3). 피부선량의 측정위치 A는 51.74%, PTV1의 측정위치 E, F, G에서는 95% 선량이 모두 전달되었으나 PTV2의 경우 B(0.5 cm)와 C(1 cm) 사이에서 75%에서 89% 선량이 전달되었고 D(1.5 cm) 점에서 94.71% 선량이 전달되어 림프절 전이성 종양에 산란판 또는 볼루스를 사용하지 않은 경우 처방선량의 90% 이상 선량을 전체적으로 부여할 수 없기 때문에 국소제어효과가 감소됨을 알 수 있었다.

##### (2) 산란판 및 볼루스의 치료계획검증

Fig. 6은 BSD가 10 cm 거리에서 사용한 0.5 cm 두께의 산란판과 0.5, 1 cm 볼루스를 사용하였을 때 PTV1과 PTV2의 선량 변화를 보여준다. 산란판과 볼루스를 이용한 치료계획검증에서 두 선량계를 교차 비교한 결과 산란판의 경우 0.83%에서 1.39% 이었고 평균  $1.17 \pm 0.81\%$  이었다. 또한

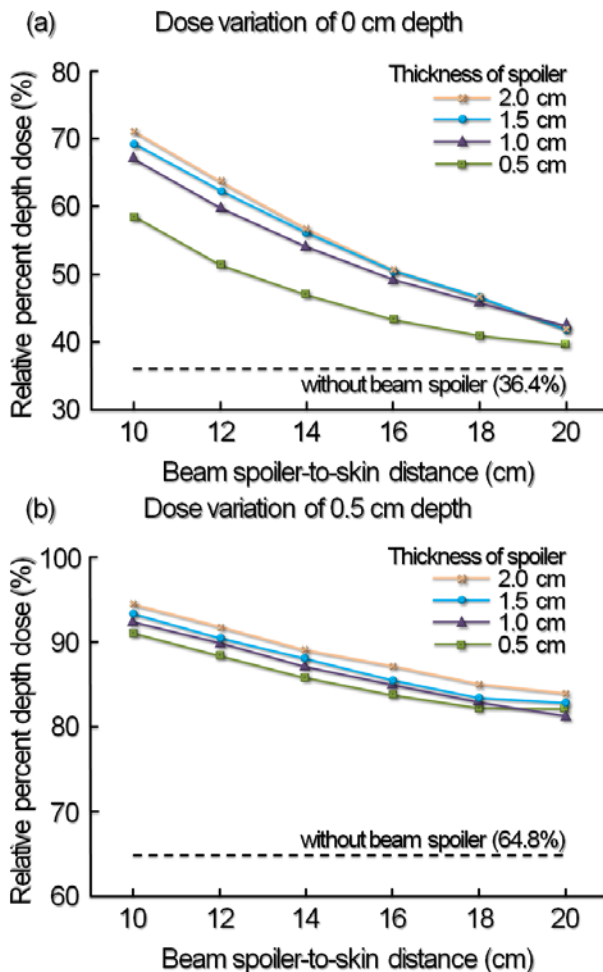


Fig. 4. Variation of 0 cm and 0.5 cm depth dose for the determination of spoiler thickness and beam spoiler-to-skin distance. (a) dose variation of 0 cm depth, (b) dose variation of 0.5 cm depth.

볼루스의 경우 0.5 cm는 0.70%에서 1.06%, 평균  $0.72 \pm 1.29\%$  이었고 1.0 cm는 0.76%에서 1.17%, 평균  $1.02 \pm 0.68\%$  이었다. 따라서 산란판과 볼루스를 이용한 치료계획검증에서 두 선량계의 측정값 오차는 최대 1.39% 이었고 이 결과는 허용오차  $\pm 2\%$  미만으로 측정값이 신뢰성 있다고 판단하였다(Table 3).

Fig. 6에서 피부선량의 변화는 0.5 cm와 1 cm 볼루스를 사용한 경우 67.62%와 87.96%였으며 산란판을 사용한 경우 58.37%로 인위적 선량증가 물질을 사용하지 않은 TPS와 비교하여 약 2배 정도 증가되는 경향을 보였다. 경부 림프절 전이성 종양으로 가정한 PTV2 영역의 측정점 B, C, D(0.5,

1, 1.5 cm 깊이)에서 0.5 cm와 1 cm 볼루스, 산란판 모두 처방선량의 90% 선량을 전달할 수 있었으며 특히 고체팬텀의 0.5, 1, 1.5 cm 깊이에서 산란판의 선량 특성은 1 cm 볼루스를 사용하는 것과 유사하였다. 또한 두경부 원발종양으로 가정한 PTV1 영역의 측정점 E, F, G(4, 5, 6 cm 깊이)에서 심부로 갈수록 선량의 감소는 모두 동일한 경향을 보였으며 산란판에 의한 심부선량 감소는 TPS의 선량 특성에 근접하여 저 원자번호 흡수체에 기인된 산란광자가 심부선량 변화에 관여하지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 볼루스에 의한 심부선량은 TPS와 비교하여 0.5 cm 두께는 평균 1.02%, 1 cm 두께는 평균 1.04% 감소하였다.

**Table 2.** Dose Volume Information for Planning Target Volume (PTV) without Beam Spoiler and Bolus. PTV 1 were Reference Dose of Primary Cancer and PTV 2 were Reference Dose of Primary and Metastatic Lymph Node Cancer.

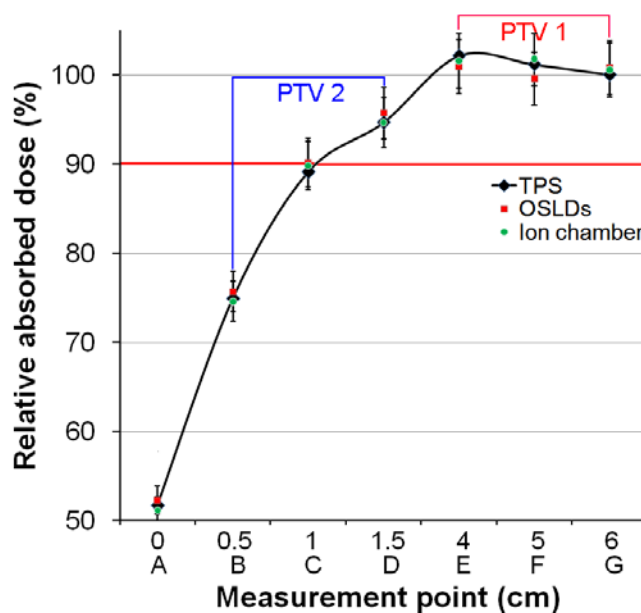
Label	Delivery dose*			Dose volume			
	Min (cGy)	Max (cGy)	STD† (cGy)	More than 100%	100-90%	90-80%	Less than 80%
PTV 1	170.46	184.44	0.34	11.93	99.72	0.28	—
PTV 2	129.21	164.34	0.53	—	48.32	32.74	18.94

\* , The PTV 1 and 2 of absorbed dose to the prescribed dose. Given dose was 180 cGy.

† , The standard deviation calculated by TPS.

**Table 3.** Cross-comparison of Ionization Chambers and Optically Stimulated Luminescence Detectors (OSLDs) for Verification of Treatment Planning used TPS, Beam spoiler, 0.5 cm and 1 cm Bolus.

Verification of treatment planning	Measurement location (%)							Average (avg.±STD)	
	Skin	PTV 2				PTV 1			
		A	B	C	D	E	F		G
Point									
Depth (cm)	0	0.5	1	1.5	4	5	6		
TPS	0.83	0.61	0.68	0.57	0.85	0.94	0.92	$0.72 \pm 0.56$	
Beam spoiler	1.09	0.93	0.83	1.14	1.31	1.26	1.39	$1.17 \pm 0.81$	
Bolus. 0.5 cm	0.74	0.70	0.88	0.72	0.94	0.91	1.06	$0.72 \pm 1.29$	
1.0 cm	0.76	0.83	0.81	0.81	1.17	1.04	1.06	$1.02 \pm 0.68$	



**Fig. 5.** Verification of treatment planning without beam spoiler and bolus in the measurement points using the ionization chambers and optically stimulated luminescence detectors (OSLDs).

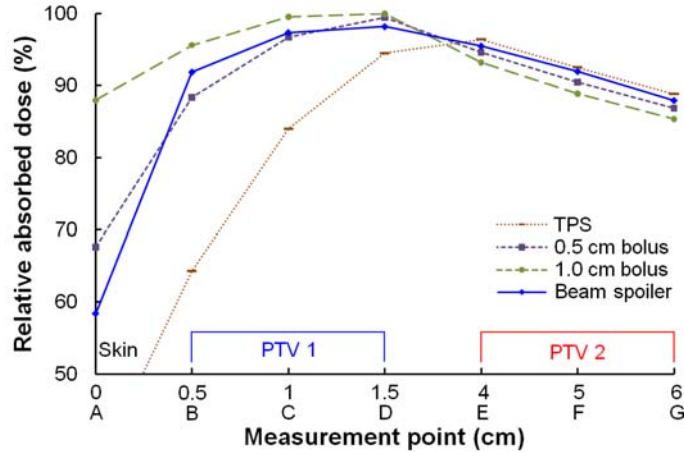


Fig. 6. Dose variation of PTV 1 and PTV 2 used the beam spoiler of 0.5 cm thickness at beam spoiler-to-skin distance of 10 cm and the bolus of 0.5, 1 cm thickness, respectively.

따라서 이온함과 OSL 선량계를 교차 비교한 결과 측정값의 신뢰성을 확인할 수 있었으며 두경부 방사선치료에서 산란판은 피부선량은 적으면서 경부 림프절 전이 종양에 볼루스와 유사한 선량특성을 보였고 심부 원발종양에 고에너지 X-선의 흡수 성질과 근접하였음을 알 수 있었다.

#### 4. 고찰 및 결론

의료용 선형가속기에서 방출되는 고에너지 X-선은 조직의 깊이가 증가할수록 흡수선량이 증가되어 최대선량 영역은 심부쪽으로 이동하고 상대적으로 피부선량이 감소한다. 그러나 두경부는 림프절 고리가 매우 복잡하고 원적전이가 쉽기 때문에 진단 시점부터 병기가 상당히 진전되어 있으며 원발종양과 상부 및 하부 경부 림프절은 표적용적의 깊이가 상이하게 다르기 때문에 고에너지 X-선을 이용한 두경부 방사선치료에서 두 표적용적에 균일한 선량분포를 부여하기 어렵다[7,8]. 이런 경우 피부 근접면에 위치한 림프절 전이성 종양의 선량 증가를 목적으로 산란판이나 볼루스 등을 사용한다. McKenna 등은 저 원자번호 흡수체를 사용할 경우 고에너지 X-선이 흡수체를 통과하면서 산란광자와 2차 전자를 방출하고 이들의 비정이 전방으로 향하게 되어 최대선량의 변화를 일으킨다고 하였다[15].

따라서 본 연구는 인위적 선량증가 물질인 산란판과 볼루스를 사용함에 따라 피부선량, 두경부 원발종양과 림프절 전이성 종양의 선량 변화를 이온함과 OSL 선량계를 이용하여 교차 비교하고자 하였다. 부가 산란판과 관련하여 많은 연구자들은 조사면의 크기가 증가할수록, 산란판이 두꺼울수록, 산란판과 피부간 거리(Beam spoiler-to-skin distance, BSD)가 가까울수록 최대선량 깊이에서 흡수선량이 증가된다고 보고하였다[11-16]. 그러나 산란판의 두께와 BSD를 결정하기 위한 실험에서 고에너지 X-선이 저 원자번호 흡수체를 통과하면서 입사에너지에 해당하는 산란광자와 2차 전자는 전방으로 향하게 되어 최대선량 깊이까지 영향을 주다가 그 이상에서 어느 정도 소멸하여 입사 광자에너

지 자체가 감소하는 것으로 판단되었다. 그 결과로서 피부선량은 산란판의 두께가 증가할수록, BSD가 가까울수록 증가되었으나 0.5 cm 깊이 선량은 산란판의 두께에 의한 선량의 증가보다는 BSD의 변화에 따른 선량 증가임을 알 수 있었다. 이는 Kang 등이 Monte Carlo Cord system을 이용한 전산모사에서 산란판에 기인된 2차 전자는 광자선의 에너지 및 BSD와 관계가 있으며 상대적으로 산란판의 두께와는 관련이 적다고 보고한 것과 일치하였다[12].

Longobardi 등은 두경부 종양에 대한 3차원입체조형방사선치료와 세기조절방사선치료를 비교하면서 종양의 국소제어효과를 위하여 0.5 cm 깊이의 림프절 전이성 종양 선량은 적어도 처방선량의 90% 이상이어야 한다고 하였다[23]. 그러나 본 연구의 Fig. 7과 같이 인위적인 선량 증가 물질을 사용하지 않은 경우 두경부 원발종양(PTV1)은 대부분 90% 이상의 용적선량을 포함하였으나 두경부 림프절 전이성 종양(PTV2)은 90% 이상의 용적선량이 매우 작았고 피부 근접면에서 80% 미만의 용적선량이 전달되었다. 이는 깊이가 다른 두 표적용적에 처방선량의 90% 이상 선량을 전체적으로 부여할 수 없기 때문에 국소제어효과가 감소하는 결과를 가져왔다. 이를 방지하기 위하여 인위적인 선량증가물질인 산란판과 0.5, 1 cm 볼루스를 사용한 경우 피부선량은 처방선량 180 cGy에 대하여 산란판은 105 cGy, 0.5 cm 볼루스는 122 cGy, 1 cm 볼루스는 158 cGy로 조직등가물질인 볼루스보다 피부보호 효과를 기대할 수 있었다. 또한 림프절 전이성 종양의 선량은 산란판과 0.5, 1 cm 볼루스 모두 산란광자와 2차 전자에 기인된 부가적인 선량이 전달되어 처방선량의 90% 이상 선량이 도달하였으며 특히 산란판의 선량 특성이 1 cm 볼루스를 사용하는 것에 근접하였다. 그러나 심부에 위치한 원발종양의 선량은 입사 광자 자신의 에너지가 감소하기 때문에 산란판과 0.5, 1 cm 볼루스 모두 피부선량은 동일한 감소를 보였으나 두께만큼 선량을 표면쪽으로 이동시키는 볼루스가 산란판보다 1% 이상 선량이 감소를 하였다.

국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)는 측정의 정확성 향상과 신뢰성을 위하여 측정 선량

계와 기준 선량계의 측정값을 교차 비교하여 사용할 것을 권고하고 있다[24]. 본 연구에서 이온함과 OSL 선량계를 병행하여 측정하였으며 이온함의 측정값에 대한 OSL 선량계의 비로 정하여 치료계획검증을 수행하였다. 이 때 두 선량계의 허용오차는  $\pm 2\%$  미만으로 하여 정확성과 신뢰성을 판단하였다. TPS, 산란판, 0.5 cm과 1 cm 볼루스에 대한 치료계획검증에서 두 선량계의 교차 비교는 대부분 1% 미만이었으나 산란판에 기인된 저에너지 영역의 산란 광자에 대하여 OSL 선량계의 감도저하가 원인이 되어 심부쪽에 최대 1.39%의 오차를 보였다. 이 결과는 1m 등이 직장암의 피부선량 측정에서 이온함과 OSL 선량계를 이용한 교차 비교한 결과 최대 1.38%의 오차를 보고하고 있어 본 연구와 일치하였다[25]. 두 선량계의 교차 비교는 단일 선량계의 측정 오류를 방지할 수 있으며 환자를 대상으로 치료계획검증에서 측정에 대한 정확성과 신뢰성을 입증할 수 있기 때문에 선량측정에서 선행되어야 할 필수 요소라 할 수 있겠다.

결론적으로 두경부 방사선치료에서 림프절 전이성 종양의 선량증가를 위하여 사용된 선량증가 물질로서 산란판은 볼루스와 비교하여 피부선량을 줄일 수 있어 피부보호효과를 어느 정도 기대할 수 있었으며 피부 근접면(5 mm 깊이)과 최대선량 부근 선량은 1 cm 볼루스와 유사한 선량특성을 보였고 심부에 위치한 원발종양의 선량은 고에너지 X-선의 흡수 특성과 유사하여 임상적으로 선량학적 이점을 가질 수 있었다. 또한 이를 임상에 적용시키기 위하여 반드시 치료계획검증을 거쳐야 하고 환자를 대상으로 하는 치료계획검증의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위한 노력으로 반드시 두 선량계를 교차 비교해야 할 것으로 판단되었다.

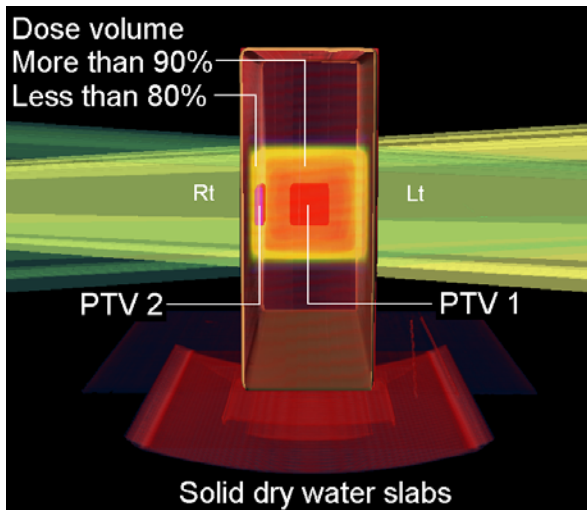


Fig. 7. Dose volume information of PTV 1 and PTV 2 without artificially increasing the dose of substances.

### 감사의 글

이 논문은 2010학년도 원광보건대학 교내 연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

### 참고문헌

1. Barsky SH, Baker A, Siegal GP, Togo S, Liotta LA. Use of anti-basement membrane antibodies to distinguish

- blood vessel capillaries from lymphatic capillaries. *Am. J. Surg. Phathol.* 1983;7(7):667-677.
2. DeVita VT, Lawrence TS, Rosenberg SA, Weinberg RA, DePino RA, DeVita, Hellman, and Rosenberg's cancer: principles & practice of oncology. 8th ed. Philadelphia PA; Lippincott Williams & Wilkins. 2008:127-131.
3. Clifford Chao KS. *Practical Essentials of Intensity Modulated Radiation Therapy.* 2nd ed. Philadelphia PA; Lippincott Williams & Wilkins. 2005:233-235.
4. Yang DS, Choi MS, Choi JO. Nodal status of the head and neck cancer patients. *J. Korean Soc. Ther. Radiol.* 1997;15(4):321-330.
5. Mendenhall WM, Villaret DB, Amdur RJ, Hinerman RW, Mancuso AA. Planned neck dissection after definitive radiotherapy for squamous cell carcinoma of the head and neck. *Head Neck.* 2002;24(11):1012-1018.
6. Yeung AR, Liauw SL, Amdur RJ, Mancuso AA, Hinerman RW, Morris CG, Villaret DB, Werning JW, Mendenhall WM. Lymph node-positive head and neck cancer treated with definitive radiotherapy: can treatment response determine the extent of neck dissection. *Cancer* 2008;112(5):1076-1082.
7. Dnishaw KA, Agarwal JP, Laskar SG, Gupta T, Shrivastava SK, Cruz AD. Head and neck squamous cell carcinoma: the role of post-operative adjuvant radiotherapy. *J. Surg. Oncol.* 2005;19(1):48-55.
8. Lloyd S, Yu JB, Wilson LD, Decker RH. Determinants and patterns of survival in adenoid cystic carcinoma of the head and neck, including an analysis of adjuvant radiotherapy. *Am. J. Clin. Oncol.* 2011;34(1):76-81.
9. Steel J, Stewart A, Satory P. Matching extended-SSD electron beams to multileaf collimated photon beams in the treatment of head and neck cancer. *Med. Phys.* 2009;36(9):4244-4249.
10. Mayer MN, Yoshikawa H, Moriarity L, Sidhu N. Use of a petroleum-based bolus for photon radiation therapy of distal extremities in dogs. *Vet Radiol. Ultrasound* 2009;50(2):235-238.
11. Lief EP, Hunt MA, Hong LX, Amols HI. Radiation therapy of large intact breasts using a beam spoiler or photons with mixed energies. *Med. Dosim.* 2007;32(4):246-53.
12. Kang SK, Cho BC, Park SH, Park HC, Bae H, Kim JO, Keall PJ, Siebers JV. Monte Carlo-based treatment planning for a spoiler system with experimental validation using plane-parallel ionization chambers. *Phys. Med. Biol.* 2004;49(22):5145-5155.
13. Kassae A, Bloch P, Yorke E, Altschuler MD, Rosenthal DI. Beam spoilers versus bolus for 6 MV

- photon treatment of head and neck cancers. *Med. Dosim*, 2000;25(3):127-131.
14. Niroomand-Rad A, Javedan K, Rodgers JE, Harter KW. Effects of beam spoiler on radiation dose for head and neck irradiation with 10-MV photon beam. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1997;37(4):935-940.
  15. McKenna MG, Chen XG, Altschuler MD, Bloch P. Calculation of the dose in the build-up region for high energy photon beam. Treatment planning when beam spoilers are employed. *Radiother Oncol.* 1995; 34(1):63-68.
  16. Lee PC, Thomason C, Glasgow GP. Characteristics of a spoiled 6-MV beam from a dual-energy linear accelerator. *Med. Phys.* 1993;20(3):717-721.
  17. Shiau AC, Lai PL, Liang JA, Shueng PW, Chen WL, Kuan WP. Dosimetric verification of surface and superficial doses for head and neck IMRT with different PTV shrinkage margins. *Med. Phys.* 2011; 38(3):1435-1443.
  18. Aznar MC, Medin J, Hemdal B, Thilander KA, Botter-Jensen L, Mattsson S. A Monte Carlo study of the energy dependence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C crystals for real-time in vivo dosimetry in mammography. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2005;114(1-3):444-449.
  19. Jursinic PA. Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. *Med. Phys.* 2007;34(12): 4594-4604.
  20. Viamonte A, da Rosa LA, Buckey LA, Cherpak A, Cygler JE. Radiotherapy dosimetry using a commercial OSL system. *Med. Phys.* 2008;35(4): 1261-1266.
  21. Reft CS. The energy dependence and dose response of a commercial optically stimulated luminescent detector for kilovoltage photon, megavoltage photon, and electron, proton, and carbon beams. *Med. Phys.* 2009;36(5):1690-1699.
  22. Bruce G, Haffty, Lynn D, Wilson. *Handbook of radiation oncology: basic principles and clinical protocols*. 1st ed. Canada; Jones & Bartlett Learning, 2009:251-342.
  23. Longobardi B, De Martin E, Fiorino C, Dell'oca I, Broggi S, Cattaneo GM, Calandrino R. Comparing 3D-CRT and inversely optimized IMRT planning for head and neck cancer: equivalence between step-and-shoot and sliding window techniques. *Radiother. Oncol.* 2005;77(2):148-156.
  24. IAEA. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. Technical Reports Series No. 398. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2000.
  25. Im IC, Yu YS, Lee JS. Measurement of Skin Dose for Rectal Cancer Patients in Radiotherapy using Optically Stimulated Luminescence Detectors (OSLDs). *J. Radiat. Rrot.* 2011;36(2):52-58.

## Measurement of Tumor Dose Using Optically Stimulated Luminescence Detectors (OSLDs) and Ionization Chambers for Primary and Metastatic Lymph Node Cancers with Head and Neck: Comparison of Beam Spoiler and Bolus

Jeong-Ok Lee\*, Jae-Seung Lee<sup>†,‡</sup>, and Dong-Hyeok Jeong<sup>§</sup>

\*Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University,

<sup>†</sup>Department of Radiation Oncology, Good Samaritan Hospital,

<sup>‡</sup>Department of Physics, Soonchunhyang University,

<sup>§</sup>Research center, Dongnam Inst. of Radiological and Medical Sciences

**Abstract** - This study conducts cross-comparison through verification of treatment planning of using beam spoiler and bolus, according to the dose variation of different tumor bed and metastatic lymph node cancers, against ionization and optically stimulated luminescence detectors(OSLDs), in head and neck radiotherapy. Verification of treatment planning examined the feasibility of inserting detectors through simulated solid dry water slabs under identical irradiated conditions from treatment planning system to measure beam spoiler and 0.5, 1 cm bolus. In addition, two detectors were cross-compared for verification of treatment planning accuracy and reliability within  $\pm 2\%$ . The study found that, given a beam spoiler thickness of 0.5 cm and beam spoiler-to-skin distance of 10 cm subjected to optimal dose distribution given for metastatic lymph node cancers, the bolus low-level skin dose was less, and the tumor bed dose reduced slightly. Additionally, two detectors were cross-compared for accuracy within  $\pm 1\%$ . Accordingly, The use of beam spoiler was determined that reduces skin side effects and can deliver an optimal dose distribution for tumor, and to apply to future clinical studies should be performed.

**Keywords** : Beam spoiler, Bolus, Ionization chamber, Optically stimulated luminescence detectors OSLDs, Cross-comparison