

## 6MV 광자선에서 공동에 의한 조직 선량변동에 관한 연구

고신대학교 의학부, 고신의료원 치료방사선과학교실

신병철 · 유명진 · 문창우 · 정태식 · 염하용

= Abstract =

### The Study of Tissue Dose Perturbation by Air Cavity with 6MV Photon Beam

Byung Chul Shin, M.D., Myung Jin Yoo, Ph.D., Chang Woo Moon, M.D.  
Tae Sig Jeung, M.D. and Ha Yong Yum, M.D.

*Department of Therapeutic Radiology, Medical College, Kosin University, Pusan, Korea*

**Purpose :** To determine the perturbation effect in the tissue downstream from surface layers of lesions located in the air/tumor-tissue interface of larynx using 6MV photon beam.

**Materials and Methods :** Thermoluminescent dosimeters(TLDs), were embedded at 3 measurement locations in slab no. 7 of a humanoid phantom and exposed to forward and backward direction using various field sizes( $4\times 4\text{cm}^2$  -  $15\times 15\text{cm}^2$ ).

**Results :** At the air/tissue interface, forward dose perturbation factor(FDPF) is about 1.085 with  $4\times 4\text{cm}^2$ , 1.05 with  $7\times 7\text{cm}^2$ , 1.048 with  $10\times 10\text{cm}^2$ , and 1.041 with  $15\times 15\text{cm}^2$ . Backscatter dose perturbation factor(BDPF) is about 0.99 with  $4\times 4\text{cm}^2$ , 0.981 with  $7\times 7\text{cm}^2$ , 0.956 with  $10\times 10\text{cm}^2$  and 0.97 with  $15\times 15\text{cm}^2$ .

**Conclusion :** FDPF is greater as field size is smaller. And FDPF is smaller as the distance is further from the air/tissue interface.

**Key Words :** Dose perturbation, Air/tissue interface, Larynx

### 서 론

방사선을 인체내에 조사할 때 인체내의 방사선 선량분포는 인체조직과 방사선 상호작용 성질이 유사한 물 팬텀(water phantom)(혹은 물과 유사한 매질)에서 측정된 선량분포에 근거를 둔 값들을 이용하여 분석한다. 그러나 인체는 방사선 선량분포에 영향을 미칠 수 있는 여러가지 불균일 조직들로 구성되어 있다. 예를 들어 뼈, 공동, 폐 및 이외에도 인체내에 삽입되어 있는 금속 등이다.

고에너지 광자가 다양한 매질을 통과하면서 발생되는 2차 전자들이 매질에 따라 감소되기도 하고 증가

되기도 한다. 전자밀도나 원자번호가 다른 매질이 인접해 있을때 광자가 조사되면 서로 다른 매질의 경계면 근처에서 현저한 선량증강이나 선량감소 현상이 나타난다.

이러한 선량변동은 여러 요인에 영향을 받지만 매질의 종류, 매질의 크기, 광자의 에너지, 조사면 크기, 광자의 입사방향 및 경계면으로 부터 거리에 크게 의존한다.

상부기도에 위치한 병소를 방사선으로 치료함에 있어서 방사선은 병소의 표층부에 도달하기 전에 먼저 공동(air cavity)을 통과하기도 하고, 반대로 병소에 먼저 도달한 후 공동을 통과하기도 한다. 그런 조건하에서 공동, 조직, 그리고 공동/조직 경계면의 선량분포

는 변동이 일어난다. 공동이 존재하므로써 공동 뒤쪽에서 생기는 선량변동의 효과를 Epp등<sup>1)</sup>은 <sup>60</sup>Co 광자에 대해 작은 평판형 전리함을 사용하여 측정하였는데 작은 조사면으로 치료할 때 전자평형이 부족한 결과로 공동 아래쪽으로 0.5cm 떨어진 조직에서의 선량보다 공동/조직 경계면의 선량이 10% 감소한다는 것을 보고하였다. Epp등<sup>1)</sup>이 측정했던 방법은 polystyrene (원자번호나 전자밀도가 인체의 조직과 거의 유사하다.) block 팬텀속에 공동이 존재할 때 광자의 입사방향에 대한 아래쪽 공동/조직 경계면과 경계면으로 부터 build-up 깊이(<sup>60</sup>Co 광자의 경우 0.5cm 깊이)에서 선량을 측정하여 비교하였다. Scrimger<sup>2)</sup>는 <sup>60</sup>Co 광자에 대한 공동/조직 경계면 효과를 TLD 기술을 이용하여 더 많은 연구를 하였다. Scrimger<sup>2)</sup>는 방사선 치료시 대부분의 실제적인 상황에서는 공동 크기가 3cm를 초과하지 않는다면 심각한 전자 평형 손실이 없다고 보고하였다. Koskinen등<sup>3)</sup>과 Nilsson등<sup>4)</sup>은 Scrimger<sup>2)</sup>와는 다른 결과를 보고하였는데, 그들은 Epp등<sup>1)</sup>이 최초로 <sup>60</sup>Co 광자에 대해 발견했던 것처럼 2cm 공동의 크기에서 뚜렷한 전자평형 손실이 있다는 것을 보고하였다. Nilsson등<sup>4)</sup>의 연구에서 사용했던 block 팬텀은 사각형 형태의 공동이 polystyrene 팬텀에 둘러싸인 것으로써 Epp등<sup>1)</sup>이 사용했던 것과 유사하다. 상부기도의 공동에서 공동/조직(암조직) 경계에 대한 앞서 시행되었던 연구들<sup>1, 3, 4)</sup>은 이상적인 기하학적 배열(직사각형 모양의 공기체적이 있는 block 팬텀)로 실험을 수행하였지만 본 연구에서는 최대한 인체의 해부학적 구조와 유사한 인체모형 팬텀(human phantom)을 사용하여 실험을 행하였다. 앞선 연구들<sup>1, 3, 4)</sup>은 Epp등<sup>1)</sup>이 측정했던 방법과 동일한 방법으로 측정했지만, 본 연구에서는 방법을 달리하여 인체모형 팬텀속의 공동을 조직등가물질로 채우고 측정하고 또 공동을 그대로 둔 채로 측정하여 실제 공동존재에 의한 선량변동 효과를 분석하였다. 또한 본 논문에서는 광자가 공동을 먼저 통과한 후 조직에 도달할 때 공동에 의해 전방산란되는 선량변동 뿐만 아니라, 조직을 통과하고 다음에 공동에 도달할 때 공동에 의해 후방산란되는 선량변동도 측정하였다.

본 논문의 목적은 인체모형 팬텀내의 임상적으로 적절한 공동이 존재하는 부분에서 6MV 광자를 사용하여 광자의 입사방향에 따라 공동/조직 경계면 뿐만 아니라 경계면으로 부터 거리에 의존하는 선량변동을 체계적으로 조사하고, 또 이런 선량변동을 작은 조사면에서 부터 큰 조사면까지 측정하여 선량변동의 조사면 크기에 의한 의존성을 밝히는데 있다. 더구나 공동

의 산란과 감쇄 조건은 본질적으로 선량계의 존재에 영향을 받으므로 크기가 작으면서도 여러 지점을 동시에 측정할 수 있는 TLD를 제작하여 실험하였다. LINAC(전자선형가속기)에서 발생하는 광자에 대한 공동효과는 비교할만한 정보가 부족한 실정으로 상부기도 공동 근처에 있는 병소를 치료할 때 6MV와 10MV 광자를 사용하는 경우가 증가하는 추세에서 6MV 광자의 공동에 의한 선량변동 연구는 이런 에너지에 대한 선량변동 효과를 이해하는데 중요한 역할을 하게 될 것이며, 방사선 임상치료에 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 대상 및 방법

### 1. TLD 시료제작 및 특성조사

Fig. 1은 LiF(Mg, Cu, Na, Si) 열형광체의 제조과정을 나타낸다. LiF에 활성제로서 MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 및 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O를 mol비로 무게를 단 후 이온교환수에 넣어 80℃에서 1시간 혼합하였다. 이것을 80℃의 건조기에서 16시간 건조시킨 후 백금도가니에 넣고 질소 분위기 속에서 30분간 소성한 후 공기중에서 급냉하였다. 이를 수정 mortar로 분쇄하여 LiF(Mg, Cu, Na, Si) 열형광체 분말을 얻었다.

한 번 소성할 때 마다 약 1.5g의 열형광체 분말이 생성되는데 이것에 <sup>60</sup>Co 방사선 50rad를 조사시켜 5mg씩 무게를 달아 열형광 판독장치로 glow curve를 측정하여 주 peak의 높이를 잰다. 이렇게하여 한 도가니에서 생성된 열형광체 분말의 평균 주 peak 높이가 결정된다.

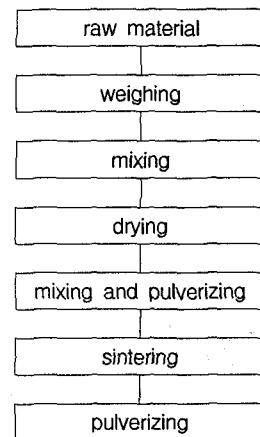


Fig. 1. Flow diagram of fabricating process of LiF (Mg, Cu, Na, Si).

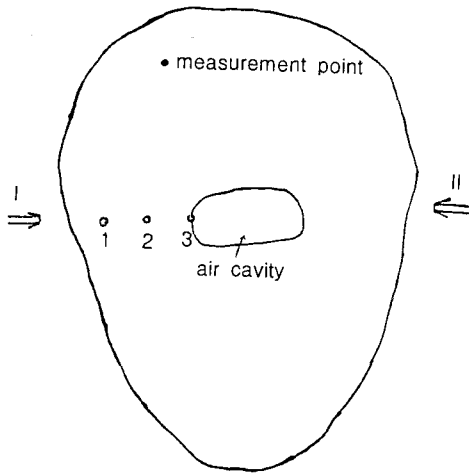


Fig. 2. Transverse view of the TLD locations in slab No. 7 of the of humanoid phantom(ART-PHANTOM, radiology support devices Inc.).

매 번 도가니에서 생성되는 열형광체 분말을 같은 방법으로 주 peak의 높이를 결정하여 전체 35g의 열형광체 분말에 대한 특성을 조사하였다. 이 중에서 주 peak 높이에 대한 표준편차가 5% 이내에 들어가는 것 만을 선택하여 선량변동 실험에 사용하였다. 열형광 판독장치는 제작하여 사용하였는데 이에 대한 것은 이미 발표한 바 있다<sup>5)</sup>.

## 2. 선량변동인자 측정

Fig. 2는 인체모형 팬텀 slab#7 단면에 TLD 캡슐 (polystyrene 재질, 밀도=1.04g/cm<sup>3</sup>, 지름 3mm, 길이 5mm 원통형)이 위치하고 있는 모양을 나타낸다. 열형광체 분말을 조직등가물질인 TLD 캡슐에 담아서 상부기도 지역에 있는 조직, 공동/조직 경계면에 TLD 캡슐을 삽입시켰다.

공동의 크기는 3.8×1.8×20cm<sup>3</sup> 이었다.

### 1) 전방선량변동인자(Forward Dose Perturbation Factor, FDPF)

Fig. 2의 #1(경계면으로 부터 3.1cm), #2(경계면으로 부터 1.6cm), #3(경계면) 위치에 TLD 캡슐을 넣어 조사방향 II로 조사할 때 공동에 의해 영향을 받는 #1, #2, #3 위치에서 TLD의 흡수선량을 측정한다. 다음에 시료를 새 것으로 교체하고 공동을 조직등가물질로 빈틈없이 채운 후 공동이 존재할 때와 똑같은 방법으로 조사하여 #1, #2, #3 위치의 선량을 측정한다.

각 점의 TLD가 받은 선량결정은 시료를 10mg 씩 무게를 달아 4번 이상씩 측정하여 평균값을 취하였다. 공동을 조직등가물질로 채웠을 때의 선량에 대한 공동

이 존재할 때의 선량의 비를 FDPF라 한다. FDPF의 경계면으로부터의 거리 의존성과 조사면 크기(4×4cm<sup>2</sup>- 15×15cm<sup>2</sup>)에 따른 의존성을 측정하였다. 방사선량은 beam 중심축 상의 slab#7의 중앙 깊이에 90cGy가 흡수되도록 조사하였다.

### 2) 후방산란선량변동인자(Backscatter Dose Perturbation Factor, BDPF),

FDPF 측정방법과 다른 점은 방사선 조사 방향이 정반대 방향이고 나머지 부분은 꼭 같다. Fig. 2의 #1, #2, #3 위치에 TLD 캡슐을 넣어 조사방향 I로 조사한다. 다음에 공동을 조직 등가물질로 빈틈없이 채우고 시료를 새 것으로 교체한 후 조사 방향 I로 조사하여 #1, #2, #3 위치의 선량을 측정한다. 공동을 조직등가물질로 채웠을 때의 선량에 대해서 공동이 존재할 때의 선량의 비를 BDPF라 한다. BDPF의 경계면으로부터 거리에 의한 의존성과 조사면 크기(4×4cm<sup>2</sup>- 15×15cm<sup>2</sup>)에 따른 의존성을 측정하였다. 방사선량은 beam 중심축 상의 slab#7의 중앙 깊이에 90cGy가 흡수되도록 조사하였고 각 점의 TLD가 받은 선량결정은 시료를 10mg 씩 무게를 달아 4번 이상씩 측정하여 평균값을 취하였다.

## 결 과

### 1. FDPF

Fig. 3은 FDPF의 조사면 크기에 의한 의존성을 나타낸 것이다.

어떤 조사면에서든지 FDPF 값은 1보다 크다. 이는 Fig. 2의 조사방향 II로 조사하면 공동존재에 의하여 공동을 통과한 후의 조직에서는 선량증강 현상이 나타난다는 것을 말해준다.

선량증강이 나타나는 원인은 공동이 존재할 때 보다 균일한 조직으로 채워져 있을 때의 전자 밀도가 더 크므로 공동이 존재할 때 광자의 감쇄(주로 콤프턴 산란에 의한)가 더 작기 때문이다. Fig. 3에서 선량변동은 조사면 크기에 의존하며 조사면이 작을수록 선량변동은 증가하므로 작은 조사면에서 조사면이 중요한 변수임을 알 수 있다. 특히 4×4cm<sup>2</sup> 조사면의 경우 8.5-17.9%의 선량증강 현상을 관찰 할 수 있다. 공동/조직 경계면으로 부터 조직쪽으로 거리가 멀어질수록 직선의 기울기는 급경사를 이루므로 조사면 의존성은 더 뚜렷하게 나타난다.

Fig. 4는 공동/조직 경계면으로 부터 거리에 의존하는 FDPF를 나타낸 것이다.

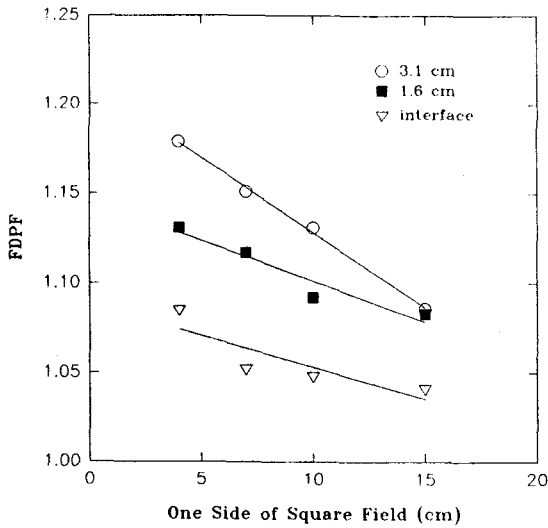


Fig. 3. Field size dependence of FDPF for 6MV photon beam.

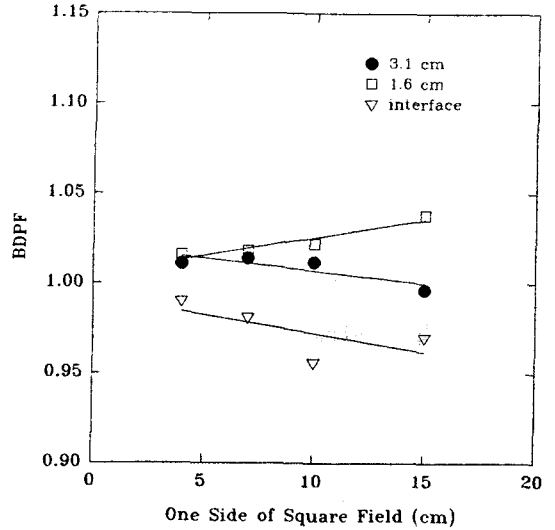


Fig. 5. Field size dependence of BDPF for 6MV photon beam.

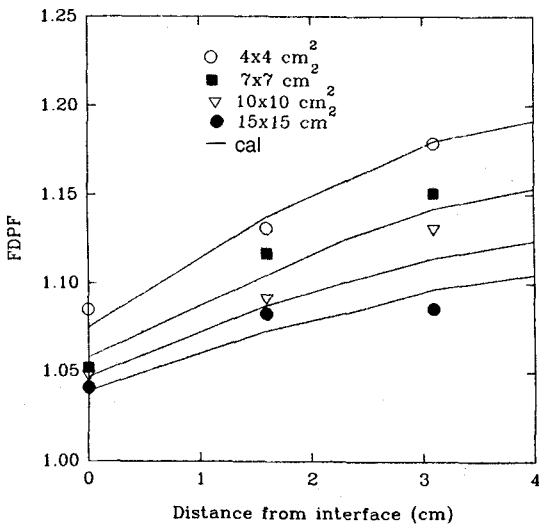


Fig. 4. Dependence of FDPF on the distance from an air/tissue interface for 6MV photon beam.

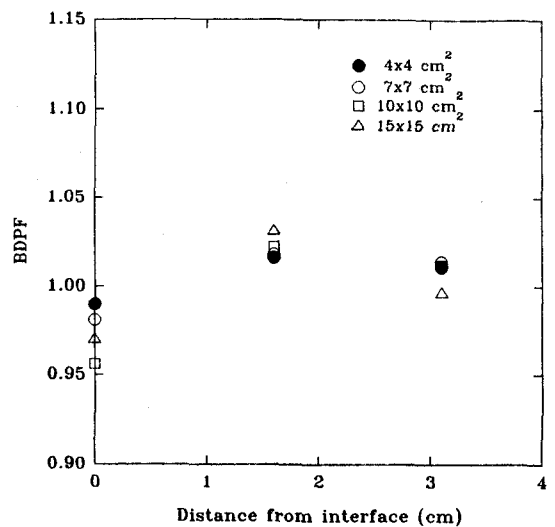


Fig. 6. Dependence of BDPF on the distance from an air/tissue interface for 6MV photon beam.

15×15cm<sup>2</sup> 조사면 경우에, 공동/조직 경계면에서는 공동존재에 의한 4.1%의 선량증강을 나타냈고 경계면으로 부터 조직쪽으로 멀어질수록 선량변동인자는 점차 증가하였다. 또 조사면이 작을수록 거리에 따른 선량변동인자의 증가율이 커지는 것을 알 수 있다. 곡선은 Power Law Tissue Air Ratio 방법<sup>6)</sup>에 의하여 이론적으로 계산한 것이다. 측정치는 이론식에 의한 값과 대체로 비슷한 결과를 보이고 있다.

## 2. BDPF

Fig. 5는 BDPF를 조사면 크기의 변수로 나타낸 것이다.

공동/조직 경계면과 경계면으로 부터 조직쪽으로 3.1cm 거리까지 조사면 변화에 따른 선량 변동율은 3.4% 이내이다. 전체적으로 BDPF의 조사면 크기에 의한 의존성은 찾아 볼 수 없다. 이와 같이 조사면 독립성은 BDPF가 광자의 후방산란 보다는 2차 전자의

수송에 더 많이 관련되어 있다는 것을 암시한다.

Fig. 6은 공동/조직 경계면으로 부터 거리에 따른 BDPF를 나타낸 것이다.

공동/조직 경계면에서는 공동존재에 의한 선량감소가 1-3.4% 정도이고 경계면으로 부터 조직쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 BDPF는 1보다 약간 큰 값을 나타내다가 다시 1에 근접하는 것을 볼 수 있다. 이는 공동의 전자밀도가 조직의 전자밀도 보다 작으므로 공동에서 후방 산란되는 2차전자 보다 조직에서 후방 산란되는 2차전자가 약간 많기 때문이며 또한 경계면으로 부터 짧은 거리인 1.6cm 이내에서 BDPF의 효과가 나타난다는 것은 후방 산란되는 2차 전자의 에너지가 대단히 낮다는 것을 의미한다.

## 고 안

FDPF의 조사면 크기에 의한 의존성이 나타나는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 조사면의 크기가 변하면 측방산란에 의한 2차전자의 양이 변한다. 특히 조사면이 작으면 공동이 존재할 때 보다 공동이 존재하지 않을때 TLD가 받아들이는 2차전자의 손실은 더 많기 때문이다. Young등<sup>6)</sup>은 polystyrene block 팬텀 속에 5cm 두께의 공동(직사각형 모양)이 존재할 때 <sup>60</sup>Co 광자를 조사하여 전리함으로 전방 선량변동 효과를 측정하였는데, 10×10cm<sup>2</sup> 조사면의 경우 경계면으로 부터 조직쪽으로 0.5cm 지점에서는 17.5%의 선량증강이 있었고 1.5cm 지점에서는 20.1%, 4.5cm 지점에서는 26.2%의 선량증강을 보고하였다. Werner등<sup>8)</sup>은 4×4cm<sup>2</sup> 조사면으로 6MV 광자를 조사했을 때, 균일한 polystyrene 속에 알루미늄이 불균일 물질로 존재하는 상황에서 두 매질 경계면에서는 오히려 1-3%의 선량감소를 보고하였다. 이는 FDPF가 불균일 물질의 종류에도 크게 의존하는 것을 말해주는 것으로, 원자번호나 전자밀도에 있어서, 조직보다 알루미늄이 훨씬 크므로 알루미늄에 의한 광자의 감쇄가 더 많이 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

FDPF가 공동/조직 경계면에서 급하게 증가하다가 경계면으로부터 조직쪽으로 거리가 멀어질수록 서서히 증가하였는데 이는 처음에는 공동에 의해 산란되는 광자의 영향이 우월하게 나타나지만 거리가 멀어질수록 2차 전자의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 생각된다. 또한 2차 전자의 비정은 짧기 때문에 경계면으로부터 먼 거리에서는 FDPF가 서서히 포화곡선의 형태를 나타내는 것 같다. Young등<sup>6)</sup>은 조사면 10×10cm<sup>2</sup>로 <sup>60</sup>Co 광자를 조사했을 때 공동/조직 경계면에서 부

터 선량변동은 점차 증가하여 경계면으로 부터 8.5cm 거리 이상에서는 FDPF 값이 서서히 1.3에 접근하는 형태를 나타낸다고 하였다. 불균일 매질로 공동(유효 원자번호=7.64, 전자밀도=3.89×1020개/cm<sup>3</sup>)이 존재할 때 FDPF의 거리 의존성은 불균일 매질로 원자번호가 높은 물질이 존재할 때 FDPF의 거리 의존성과는 정반대의 양상을 나타낸다. Werner등<sup>7)</sup>은 조사면 10×10cm<sup>2</sup>로 24MV 광자를 조사했을 때 알루미늄/polystyrene 경계면에서는 15%의 선량증강이 있었고 경계면으로 부터 polystyrene 조직쪽으로 멀어질수록 선량증강은 지수함수적으로 감소하여 8cm 거리 이상에서는 선량증강이 1.5% 정도로 포화하는 형태를 나타낸다고 하였다.

공동이 불균일 물질로 존재할 때 BDPF의 조사면 의존성은 본 연구에서는 나타나지 않았으며 Das와 Khan<sup>8)</sup>이 균일한 polystyrene 속에 알루미늄, 강철, 구리, 납 등과 같은 고원자번호의 물질들이 불균일 매질로 존재할 때 6MV-24MV 광자를 이용하여 BDPF를 측정된 결과 BDPF의 조사면 크기의 의존성은 없다고 보고한 것과 잘 일치함을 알 수 있었다. Scrimger<sup>9)</sup>도 고원자번호의 물질이 불균일 매질로 존재할 때 4×4cm<sup>2</sup> 와 15×15cm<sup>2</sup> 조사면에서 BDPF의 차이는 없다고 하였다.

BDPF의 공동/조직 경계면으로부터 거리에 따른 의존성은 존재하였는데, 공동/조직 경계면 근처에서는 BDPF 값이 1 보다 작지만 조직쪽으로 거리가 멀어질수록 BDPF 값은 1에 근접하였다. Nilsson등<sup>4)</sup>은 polystyrene block 팬텀속에 공동(3.9×3×∞ cm<sup>3</sup>)이 존재할 때 6MV 광자를 조사하여 TLD로 공동/조직 경계면에서 BDPF값을 측정하였다. 그들이 4×4cm<sup>2</sup> 조사면에 대하여 공동/조직 경계면에서 측정된 BDPF 값은 약 0.87로 본 연구에서 측정된 0.99값과 다소 차이를 보였다. BDPF의 이런 효과는 불균일 물질이 고원자번호 일때는 또 다르게 나타나는데 Das와 Khan<sup>8)</sup>은 10MV 광자를 이용하여 polystyrene 속에 납이 불균일 매질로 존재할 때 납/polystyrene 경계면에서는 무려 70%의 선량증강이 있었고 polystyrene 쪽으로 1.4cm 거리에서 부터 BDPF는 거의 1로 근접한다고 하였다. Gibbs등<sup>10)</sup>, Schwartz등<sup>11)</sup>, Thambi등<sup>12)</sup>도 고원자번호의 불균일 매질에 대해서 4MV와 <sup>60</sup>Co 광자를 이용하여 Das와 Khan<sup>8)</sup>이 얻은 결과와 유사한 결과를 얻었다.

## 결 론

조직속에 공동과 같은 불균일 물질이 존재할 때 공동의 영향으로 인해 선량변동이 일어나는데 선량변동은 광자가 입사하는 방향에 따라 증강되거나 감소되어 나타나는 성질을 보였다. 즉 6MV 광자가 공동을 먼저 통과한 다음 인접해있는 조직속에 조사될 때 조직에서 선량은 공동이 없고 균일한 조직으로만 되어 있을 때보다 4.1-17.9% 증강되었다. 이와 관계되는 인자를 FDPF라고 하며 FDPF는 조사면 크기와 공동/조직 경계면으로 부터 거리에 크게 의존하였다. 특히 작은 조사면과 경계면으로 부터 조직쪽으로 멀어질수록 선량 증강 현상은 두드러졌다.

6MV 광자가 공동을 통과하기 전에 먼저 조직에 입사한 후 다음에 공동을 통과할 때 공동에 의해 후방산란되는 선량은 공동이 없는 균일한 조직으로만 되어 있을 때 보다 감소 또는 증가하는 현상을 보였다. 이와 관계되는 인자를 BDPF라 하며 BDPF는 조사면 크기와는 무관하며 공동/조직 경계면으로 부터 거리에 의존하는 성질을 보였다. 특히 경계면에서는 공동에 의해 후방산란되는 성분은 균일한 조직으로 채워져 있을 때 보다 적은 것으로 나타났다.

그러나 경계면으로 부터 조직쪽으로 거리가 멀어질수록 공동의 존재 유무에 따른 후방산란 성분의 기여도는 일정한 거리까지는 공동에 의한 기여도가 크다가 거리가 더 멀어지면서 기여도는 거의 같아져서 BDPF의 값은 1에 근접하는 양상을 보였다. 공동과 같은 불균일 물질이 조직속에 존재하여 선량변동에 영향을 미치는 이런 요인으로 인해 공동이 존재하는 상부기도의 방사선 치료시, 특히 후두부의 치료시 이런 영향을 충분히 고려해야 될 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. Epp ER, Loughheed MN, McKay JW. Ionization build-up in upper respiratory air cavities during teletherapy with cobalt 60 radiation. Br J Radiol 1958; 31:361-367
2. Scrimger JW. Effect of air gap on absorbed dose in tissue. Radiology 1972; 102:171-172
3. Koskinen MO, Spring E. Build-up and build-down measurement with the LiF-teflon dosimeters with special reference to radiotherapy of carcinoma of larynx. Strahlentherapie 1973; 145:565-570
4. Nilsson B, Schnell PO. Build-up effects at air cavities measured with thin thermoluminescent dosimeters. Acta Radiol Ther Phys Biol 1978; 15: 427-432
5. 유명진, 도시홍, 이우교, 이정식. Magnesium Borate 열형광체의 제작과 열형광 특성. 응용물리 1991; 4(2):146-151
6. Young MEJ, Gaylord JD. Experimental tests of corrections for tissue inhomogeneities in radiotherapy. Br J Radiol 1970; 43:349-355
7. Werner BL, Das IJ, Khan FM, Meigooni AS. Dose perturbations at interfaces in photon beams. Med Phys 1987; 14(4):585-595
8. Das IJ, Khan FM. Backscatter dose perturbation at high atomic number interfaces in megavoltage photon beams. Med Phys 1989; 16(3):367-375
9. Scrimger JW. Backscatter from high atomic number materials in high energy photon beams. Radiology 1977; 15:88-91
10. Gibbs FA, Palos B, Goffinet DR. The metal tissue interface effect in irradiation of the oral cavity. Radiology 1978; 119:705-707
11. Schwartz M, Wollin M, Leake DL, Kagan R. Interface radiation dosimetry in mandibular reconstruction. Arch Otolaryngol 1979; 105:293-295
12. Thambi V, Murthy AK, Alder G, Kartha P. Dose perturbation resulting from gold fillings in patients in head and neck cancers. Int J Rad Oncol Biol Phys 1979; 5:581-582