放治技學會誌 第13券 第1號 2001年

BOLUS 사용 시 환자와의 AIR GAP에 의한 피부선량 변화에 관한 고찰

연세의료원 암센타 방사선 종양학과

안승권, 이원주, 신동봉, 전병철, 이 석, 조정희, 박재일

Ⅰ. 서론

고 에너지 방사선 치료시 공기와 조직의 접촉면에서 전자평형의 결핍으로 인해 선량이 변화 되어 피부선량이 감소되는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 요인으로 인해 표재성 병변의 방사선 치료 시 적정선량을 조사하기 위해서는 세심한 주의를 요하게 되며 전자 평형의 감소 현상을 줄이기 위해 bolus와 같은 물질을 이용하게 된다. .

Bolus는 피부선량을 증가하며 임상적으로 보호해야 할 부분을 피해가면서 종양용적(gross target volum, GTV)에 90 - 95%의 선량을 부여 할 수 있기에 방사선 치료에 있어서 필수적인 치료 기재이다.

Bolus 사용 시 기본되는 원칙은 환자의 체표에 접촉이 확실히 되도록 밀착을 시켜 위치 해야한다.

그러나 인체 구조 또는 수술 및 병변에 의한 함몰과 돌출 부분의 방사선 치료 시 피부선량을 증가시키기 위해 bolus를 사용하게 되면 이때 환자의 체표와 bolus 사이에 불필요한 air gap이 생기게 되어 조사 된 치료 빔이 병소표면에 도달하기도 전에 air gap을 통과하게 되므로 병소표면에서의 전자평형 결핍으로 인해 종양용적에 주어지는 선량이 감소된다.

피부 보호 효과(skin sparing effect)는 여러 치료 요소에 영향을 받으며 특히 에너지, 조사면, modifying device, source surface distance(SSD) 등에 민감하다고 보고 되었다.[1]

그러므로 방사선 치료의 주요 인자 인 에너지, 조사면, 또한 bolus 두께, 갠트리 각도의 변화에 따른 Air gap이 실제 피부선량에 미치는 영향을 분석하여 실제 방사선 치료 시 적용하여 선량을 보상하고자 하는데 목적이 있다.

Ⅱ. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 air gap step phantom 제작

본 논문은 의료용 선형가속기(CL/2100C/D, varian, USA) 장비를 이용하여 테이블 위에 후방 산란선 방지 목적으로 폴리스티렌 30cm을 놓고 평행평판형 전리함(diameter가 2 cm이며 측정 오차가 ± 5%미만)을 장치하여 전리함과 선원간의 거리를 100 cm으로 위치시켰으며 전리계(electrometer, capintec, model 192)를 통해 빔 출력인자를 측정하였다.

인위적으로 bolus 밑에 air gap을 만들기 위해 milling machine을 통해 air gap step phantom을 폴리스틸렌을 사용하여 역 기역자 모양으로 1 mm (5개), 2 mm (10개), 5 mm (4개), 10 mm (12개)를 제작하였으며 인위적으로 air gap을 1 mm - 40 mm까지의 높이를 형성할 수 있게 제작하였다.

또한 테이블 위에 폴리스틸렌의 네 모퉁이에 air gap step phantom을 위치하여 실험에 필요로 하는 air gap을 만들었으며 bolus가 유연성이 강하기 때문에 air gap step phantom위에 2 mm의 polystyrene(40 × 40 ㎠)을 올려놓아 bolus의 유연성에 의한 air gap의 불 균일성을 방지하였으며 그 위에 bolus를 위치하였다.(Fig. 1)

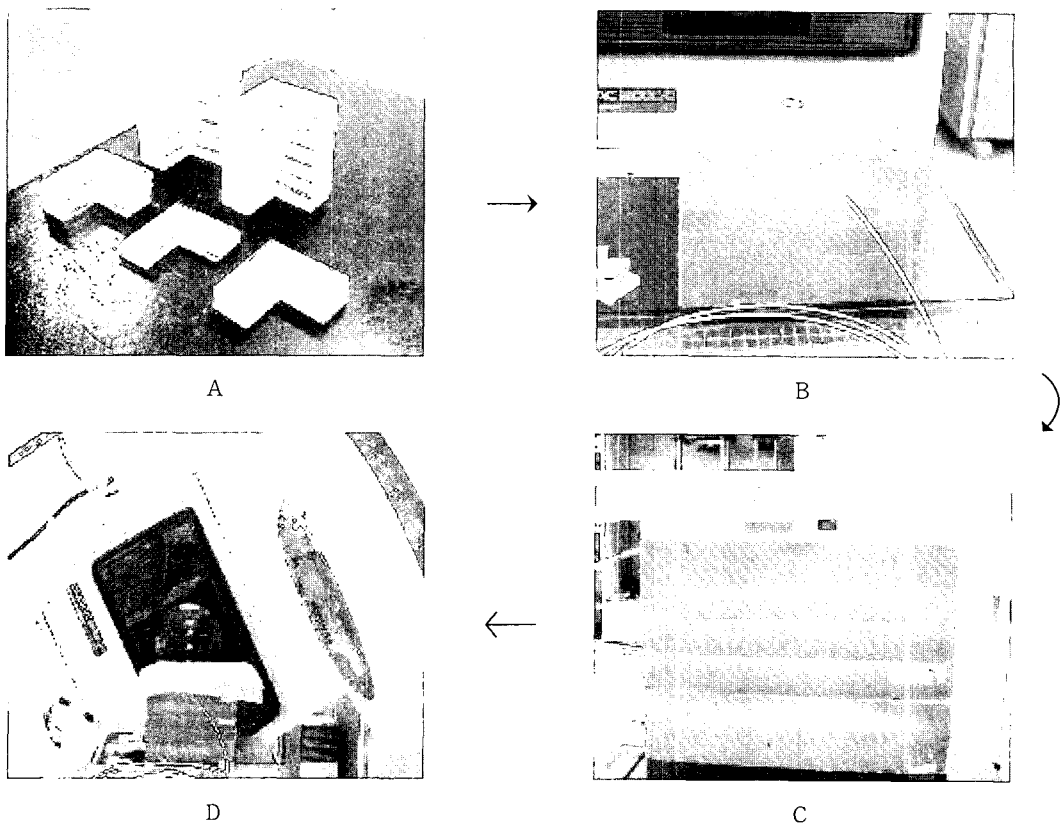

fig 1. Illustration of experimental prosess

2. 에너지, 조사면, bolus두께의 변화에 따른 air gap이 피부선량에 미치는 영향

방사선 치료 시 일반적으로 많이 사용하는 bolus로 6 MV 일 때 bolus두께는 10mm, 15mm를 사용, 10MV 일 때 bolus두께는 15mm, 20mm를 사용하여 조사면(5×5, 10×10㎠)을 변화하였으며 air gap은 인위적으로 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30mm를 만들어 500 dose/rate에 100MU(moniter unit)를 2, 3회 조사 한 평균값을 계산하여 대표값으로 제시하였다.

3. 갠트리 각도의 변화에 따른 air gap이 피부선량에 미치는 영향

6MV 일 때 bolus두께는 10mm, 15mm를 사용, 10MV 일 때 bolus두께는 15mm, 20mm를 사용하여 조사면은 10×10 ㎠으로 고정하고 air gap은 인위적으로 0, 5, 10, 15, 20mm를 만들어 gantry angle을 0°, 30°, 45°, 60°로 변화하여 500 dose/rate에 100MU(moniter unit)를 2, 3회 조사 한 평균값을 계산하여 대표값으로 제시하였다.

4. 임상에서 air gap을 측정

본 논문에 임상적인 적용을 위해 실제 치료 환자들에게 있어 air gap을 측정하였다.

가온 변형 조형물(aquaplast®)을 사용하는 환자의 경우 가온 변형 조형물에 칼로 홈집을 만들어 bolus를 조사면에 위치시키고 밑에서 자를 집어넣어 air gap의 깊이를 측정하였다.(Fig. 2)

또한 치료 조사면 내에 수술 및 병변에 의한 함몰과 돌출 부분이 있는 환자의 경우 block 제작용 styroform을 이용하여 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30mm의 정육면체의 스케일 팬텀을 만들어 함몰 및 돌출 부분에 위치한 후 bolus를 올려놓아 air gap의 깊이를 측정하였다. (Fig. 3)

Fig. 2. 가온 변형 조형물 사용 시인체구조에 의한 air gap 측정

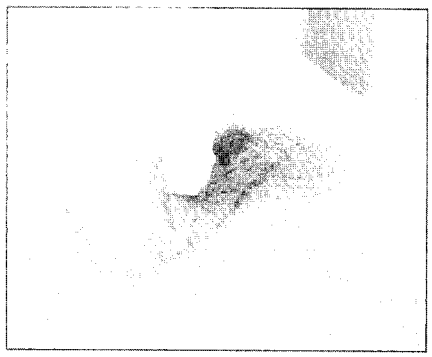

Fig. 3. 수술 및 병변에 의한 함몰 및 돌출에 의한 air gap 측정

Ⅲ. 결과

결과 1> 6MV 일 때 조사면과 bolus 두께의 변화에 따른 air gap이 피부선량에 미치는 영향

1. 6MV 일 때 조사면(5×5, 10×10 ㎠)을 변화하였으며 Bolus 두께 10 mm에 Air gap(0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30mm)을 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

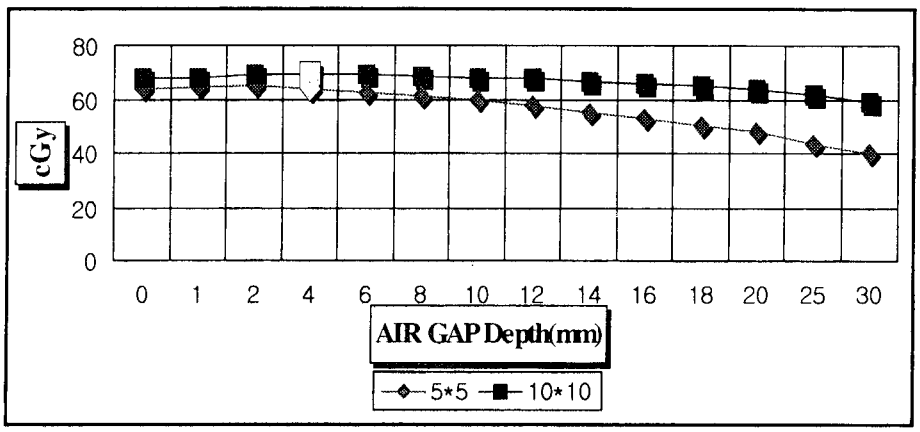

Fig. 4. 100mm의 bolus에서 조사면과 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

bolus를 air gap 없이 밀착했을 경우를 기준으로 조사면 5×5㎠ 일 때 2mm의 air gap은 1%의 선량이 증가했으며, 10mm는 7%, 20mm는 24%, 30mm는 37%의 선량이 감소하였다.

조사면 10×10㎠ 일 때 2mm의 air gap은 1%의 선량이 증가했으며, 10mm는 0%로 이는 build up의 영향으로 보이며, 20mm는 7%, 30mm는 13%의 선량이 감소하였다. (Fig. 4)

2. 6MV 일 때 조사면(5×5, 10×10 ㎠)을 변화하였으며 Bolus 두께 15 mm에 Air gap(0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30mm)을 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

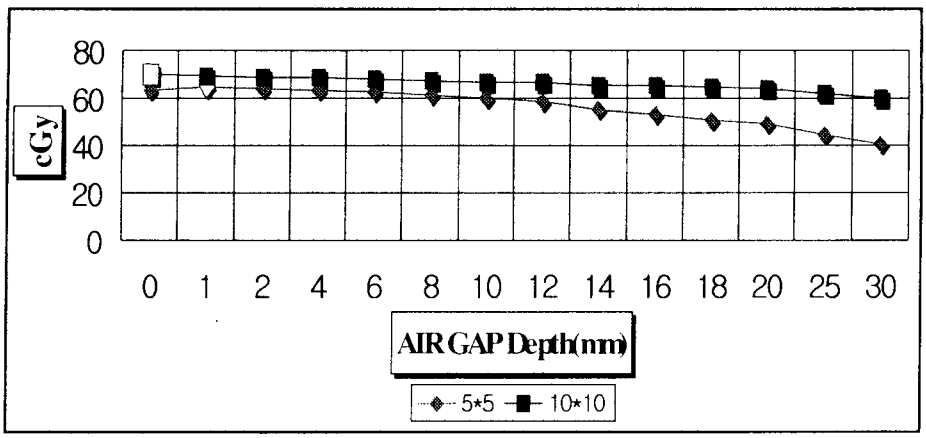

Fig. 5. 15mm의 bolus에서 조사면과 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

bolus를 air gap 없이 밀착했을 경우를 기준으로 조사면 5×5㎠ 일 때 2mm의 air gap은 1%의 선량이 증가했으며, 10mm는 5%, 20mm는 22%, 30mm는 36%의 선량이 감소하였다.

조사면 10×10㎠ 일 때 2mm의 air gap은 1%, 10mm는 4%, 20mm는 8%, 30mm는 14%의 선량이 감소하였다. (Fig. 5)

결과 2 〉 6MV 일 때 조사면과 bolus 두께의 변화에 따른 air gap이 피부선량에 미치는 영향

1. 10MV 일 때 조사면(5×5, 10×10 ㎠)을 변화하였으며 Bolus 두께 15 mm에 Air gap(0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30mm)을 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

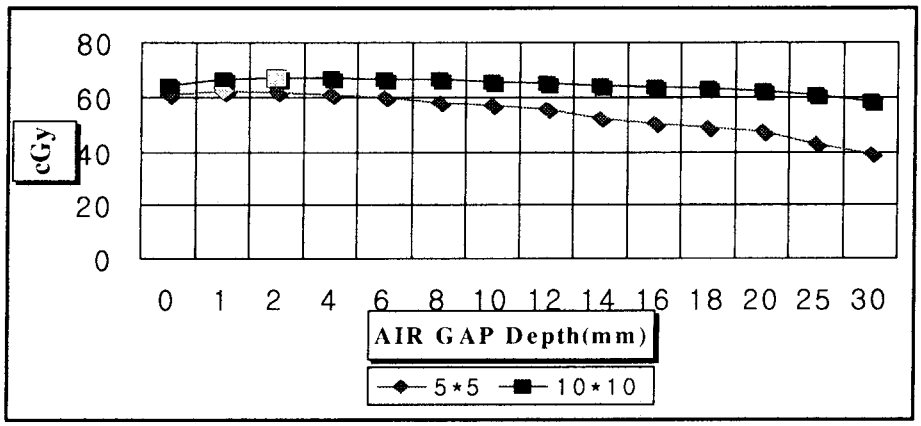

Fig. 6. 15mm의 bolus에서 조사면과 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

bolus를 air gap 없이 밀착했을 경우를 기준으로 조사면 5×5㎠ 일 때 2mm의 air gap은 2%의 선량이 증가했으며, 10mm는 6%, 20mm는 22%, 30mm는 35%의 선량이 감소하였다.

조사면 10×10㎠ 일 때 2mm의 air gap은 4%, 10mm는 2%의 선량이 증가했으며, 20mm는 3%, 30mm는 9%의 선량이 감소하였다. (Fig. 6)

2. 10MV 일 때 조사면(5×5, 10×10 ㎠)을 변화하였으며 Bolus 두께 20 mm에 Air gap(0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30mm)을 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

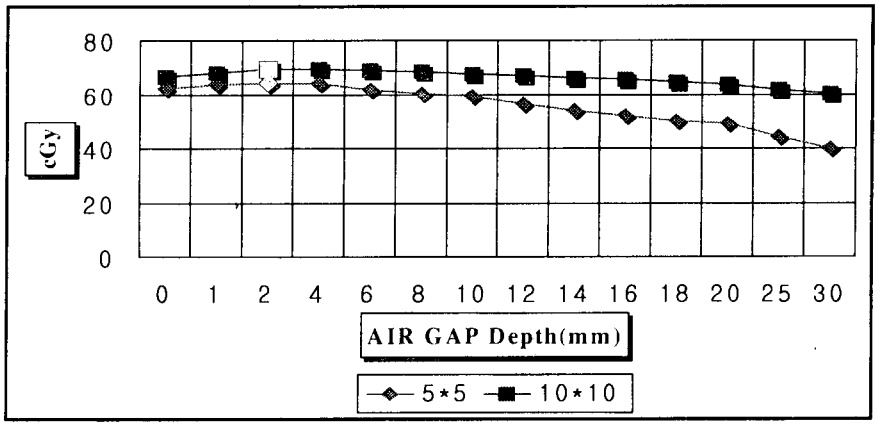

Fig. 7. 20mm의 bolus에서 조사면과 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

bolus를 air gap 없이 밀착했을 경우를 기준으로 조사면 5×5㎠ 일 때 2mm의 air gap은 3%의 선량이 증가했으며, 10mm는 5%, 20mm는 21%, 30mm는 36%의 선량이 감소하였다.

조사면 10×10㎠ 일 때 2mm의 air gap은 4%, 10mm는 2%의 선량이 증가했으며, 20mm는 3%, 30mm는 9%의 선량이 감소하였다. (Fig. 7)

결과 3 〉 6MV 일 때 갠트리 각도와 air gap의 변화에 따른 피부선량변화 분석

1. 6MV 일 때 조사면(10×10 ㎠)을 고정하고 Bolus 두께 10 mm에 air gap을 0, 5, 10, 15, 20,mm로 변화시켰으며 gantry angle을 0°, 30°, 45°, 60° 로 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

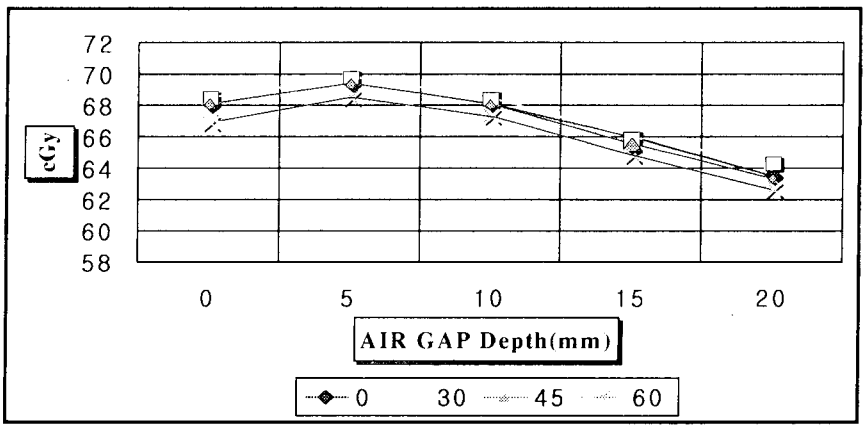

Fig. 8. 10mm의 bolus에서 갠트리 각도와 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

각 air gap에서 갠트리 각도가 0° 일 때를 기준으로 하여 갠트리 각도가 30° 일 때 build up의 영향으로 1%의 선량증가를 보였으며 45° 일 때 1%의 선량감소가 있었다.

또한 60° 일 때 1 - 2%의 선량이 감소하였다. (Fig. 8)

2. 6MV 일 때 조사면(10×10 ㎠)을 고정하고 Bolus 두께 15 mm에 air gap을 0, 5, 10, 15, 20,mm로 변화시켰으며 gantry angle을 0°, 30°, 45°, 60°로 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

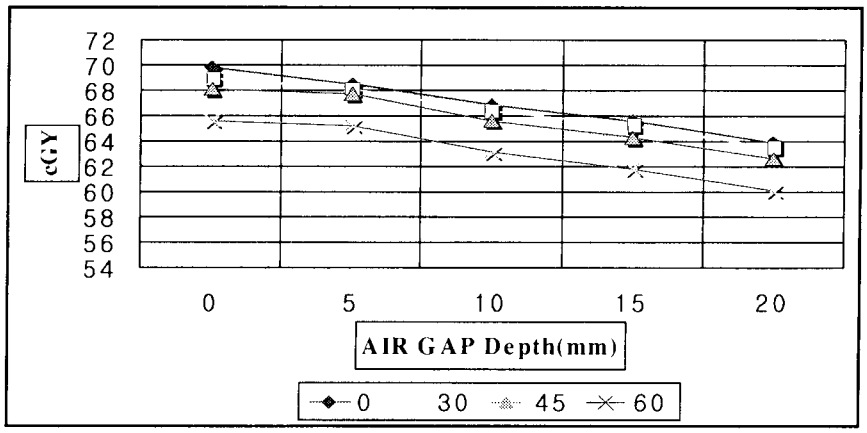

Fig. 9. 15mm의 bolus에서 갠트리 각도와 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

각 air gap에서 갠트리 각도가 0° 일 때를 기준으로 하여 갠트리 각도가 30° 일 때 1%의 선량감소를 보였으며 45° 일 때 1 - 2%의 선량감소가 있었다.

또한 60° 일 때 5 - 6%의 선량이 감소하였다. (Fig. 9)

결과 4 〉 10MV 일 때 갠트리 각도와 air gap의 변화에 따른 피부선량변화 분석

1. 10MV 일 때 조사면(10×10 ㎠)을 고정하고 Bolus 두께 15 mm에 air gap을 0, 5, 10, 15, 20,mm로 변화시켰으며 gantry angle을 0°, 30°, 45°, 60°로 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

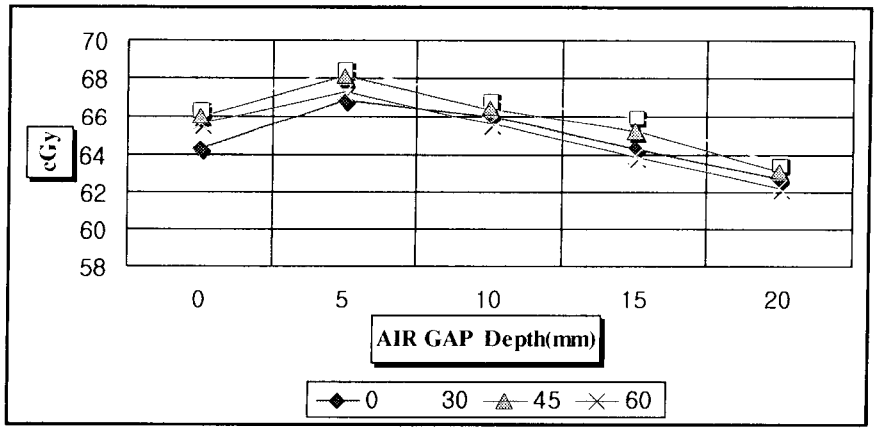

Fig. 10. 15mm의 bolus에서 갠트리 각도와 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

각 air gap에서 갠트리 각도가 0° 일 때를 기준으로 하여 갠트리 각도가 30° 일 때 build up의 영향으로 1 - 3%의 선량증가를 보였으며 45° 일 때 1 - 2%의 선량증가 있었다.

또한 60° 일 때 1%의 선량이 감소하였다. (Fig. 10)

2. 10MV 일 때 조사면(10 × 10 ㎠)을 고정하고 Bolus 두께 20 mm에 air gap을 0, 5, 10, 15, 20,mm로 변화시켰으며 gantry angle을 0°, 30°, 45°, 60° 로 변화하여 beam을 조사 한 측정값이다.

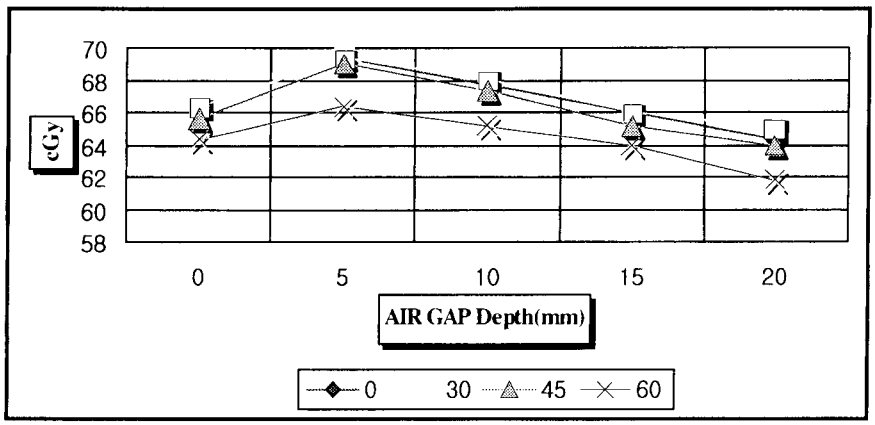

Fig. 11. 20mm의 bolus에서 갠트리 각도와 air gap의 변화에 따른 피부선량 변화

각 air gap에서 갠트리 각도가 0° 일 때를 기준으로 하여 갠트리 각도가 30° 일 때 build up의 영향으로 1%의 선량증가를 보였으며 45° 일 때 1%의 선량감소가 있었다.

또한 60° 일 때 3 - 4%의 선량이 감소하였다. (Fig. 11)

결과 5 〉 임상의 환자의 air gap 깊이 측정

인체 구조에 의해 air gap이 형성되는 경우는 상악동암이 대부분을 차지했으며 수술 및 병변에 의한 함몰 및 돌출에 의해 air gap이 형성되는 경우는 유방암의 경우가 많았다.

(Table 1)(Table 2)

Table 1. 인체 구조에 의한 air gap 측정

CASE	인체구조에 의한 air gap (mm)
1	2.4
2	1.8
3	2.2
4	2.7
5	2.4

Table 2. 함몰 및 돌출에 의한 air gap 측정

CASE	함몰 및 돌출에 의한 air gap (mm)
1	3.5
2	1.3
3	2.6
4	2.4
5	3.2

Ⅳ. 결론

본 논문의 연구결과 저 에너지 일수록, 조사면이 작을수록 air gap에 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며 6MV 경우 air gap이 10mm 일 때 5-7%, 20mm 일 때 7-24%, 30mm 일 때 14-37%로 선량의 변화가 있었으며 10 MV 경우 air gap이 10mm 일 때 2-6%, 20mm 일 때 3-22%, 30mm 일 때 9-36%로 선량의 변화가 있었다.

또한 갠트리 각도 30° 일 때 1 %, Angle 45° 일 때 1-2 %, Angle 60° 일 때 3-6 %의 선량 감소를 보였며 갠트리 각도가 증가함에 따라 측정 선량은 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

결과 5>에서 알 수 있듯이 임상에서는 작게는 1mm부터 크게는 3.5mm의 air gap이 형성되고 있으므로 특히 표재성 환자의 방사선 치료계획 시 air gap에 대한 효과는 고려해야 한다.

Ⅴ. 고찰

표재성 병변이나 치료 목적 상 피부선량을 증가시키기 위해 bolus는 매우 중요하게 사용되어져 왔다. 그러나 인체 구조 또는 수술 및 병변에 의한 함몰과 돌출 부분의 방사선 치료 시 불필요한 air gap이 생기게 되며 이 air gap은 종양용적의 선량을 감소시킨다.

이러한 문제점을 보안하기 위한 방안으로 air gap이 피부선량에 미치는 영향의 data를 분석하여 방사선 치료계획 시 air gap에 의한 효과를 고려해서 종양용적에 주어지는 선량의 감소를 방지하고자 했다.

결과 1, 2, 3, 4>의 실험은 6, 10MV에서 일반적으로 사용하는 10mm, 15mm, 20mm,의 bolus를 사용하여 실제적인 임상에 적용시키기 위한 data를 제공하고자 했으나 build up의 영향으로 작은 air gap에서 결과치가 일관성을 가지지 못했다.

그러므로 10MV에서는 본 실험과 함께 최대흡수선량지점에 이르게 하는 25mm의 bolus를 사용한 결과치를 함께 시험하였더라면 순수하게 air gap이 피부선량에 미치는 영향을 알 수있었으리라 사료된다.

또한 결과 5>에서 갠트리 각도가 커질수록 air gap을 길게 통과하기 때문에 선량감소를 보였으나 조사된 빔이 air gap을 통과하기 전에 bolus를 길게 통과하므로서 야기되는 선량감소는 고려되지 않았으나 향후 실험에서는 bolus를 길게 통과하므로 생기는 선량의 감소를 air gap에 의해서 생기는 선량감소와 함께 고려해 준다면 더욱 정확한 data를 제시 할 수 있을 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

(1) J. Butson, Tsang Cheung, Peter Yu, Peter Metcalfe : Effects on skin dose from unwanted air gaps under bolus in photon beam radiotherapy, Radiation Measurement, 2000 ; :32, 201-204.

(2) 조정희, 방동환, 박재일 : 조사변내 공동의 존재에 따른 선량분포의 변화측정, 방사선사치료기술학회, 1996 ; 8권, 1호, 11.

(3) Sharma S. C, Johnson M. W : Surface dose perturbation due to air gap between patient and bolus for electron beams, Medical physics, 1993 ; 20, 377-378.

(4) Kevin S. Jones : The conversion of air splints to provide buildup bolus in the treatment of extremities with skin involvement, Medical Dosimetry, 2000 ; 25, 197-200.

(5) Beach J. L : A Protocol for the determination of absorbed dose from high energy photon and electron beam, Med Phys. 1983 ; 10, 741-771.

(6) Eric E . Klein : The influence of air cavities on interface doses for photon beam, Int, J, Rad, Oncol, Biol, Phys, 1993 ; 27, 419-427

(7) S. C. Parasad et al : Surface dose for tangentially incident photon beam in the presence of air gap and air cavity, Med, dosimetry, 1995 ; 20, 15-19

(8) EPP E. R. : Underdosing of lesions resulting form lack of electronic equilibrium in upper respiratory air cavities irradiated by 10MV X-ray beam, Int, J, Rad; Oncol, Biol, Phys, 1977 ; 2, 613-619