

방사선수술용 4뱅크 마이크로 다엽콜리메이터의 인수 검사

*원광대학교병원 방사선종양학과, †단국대학교병원 방사선종양학과, ‡동아대학교병원 방사선종양학과,
§강원대학교병원 방사선종양학과, ||원광의과학연구소

정동혁* · 신고철† · 김정기‡ · 김수곤§ · 문성록*|| · 이강규*||

본 연구에서는 방사선수술용 4뱅크 마이크로다엽콜리메이터(micro-multileaf collimator: mMLC)인 Acculeaf (Direx, Isral)의 가동을 위하여 인수 검사를 실시하였다. mMLC의 제어에 필요한 기하학적 요소들을 결정하고 선량계산 모델에 의해 계산한 결과를 절대선량(cGy/100 MU)의 측면에서 측정과 비교하였다. 고정된 SSD (source to surface distance) 및 SCD (source to chamber distance) 조건에서 다양한 조사면과 깊이 5 cm와 10 cm에 대하여 계산값을 평가한 결과 6 MV와 15 MV x-선에 대하여 대부분 1.0% 이내로 일치하였다. 반응영의 크기는 조사면에 의존하면서 6 MV에 대하여 0.29~0.43 cm 범위 그리고 15 MV에 대하여 0.36~0.51 cm 범위로 평가되었다. 엽의 투과 및 누설의 측정결과 단층 엽들에 대하여 평균 6.6% (6 MV) 및 7.4% (15 MV) 그리고 겹층 엽들에 대하여 평균 약 0.5% (6 and 15 MV)로 나타났다. 인수검사를 통하여 mMLC의 선량적 특성을 확인할 수 있었으며 치료계획시스템의 오차범위를 근사적으로 평가할 수 있었다.

중심단어: 방사선수술, 마이크로다엽콜리메이터, 인수검사

서 론

선형가속기 기반 방사선수술(Linac based radiosurgery)에 서는 작은 조사면용 조준기로서 원형콜리메이터(circular collimator) 또는 마이크로 다엽콜리메이터(micro-multileaf collimator; micro-MLC; mMLC)를 사용한다.¹⁾ 원형 콜리메 이터는 제작이 가능하고 탈부착이 편리한 장점들이 있지만 비균일 조사면(irregular fields)을 형성할 수 없기 때문에 주 요 장기의 효과적인 차폐에 어려움이 있다. mMLC는 컴퓨터로 제어되는 폭이 좁은 엽(leaf)으로 구성된 다엽콜리메 이터로서 임의 형태의 조사면을 실시간으로 구현할 수 있 기 때문에 어느 방향에서나 정상조직을 보호하면서 방사선 조사가 가능하다.^{2,3)}

본 논문에서는 국내 최초 도입된 4뱅크 mMLC인 Accu- leaf (Direx, Isral)의 가동을 위한 인수검사(commissioning)의 차원에서 기초적 선량계산 자료를 평가하였다. 미국의학물 리학회(AAPM) 보고서-47에 의하면 인수검사는 장비의 가

동에 필요한 선원자료(beam data)를 측정하고 세부 작동과 정을 정의하는 과정이라고 명시하고 있다.⁴⁾ 여기에는 선원 자료의 측정과 치료계획시스템에 입력, 입력후 정확성의 검사, 그리고 장비 작동법의 개발과 훈련에 이르는 전 과정 이 포함된다.^{4,5)} 따라서 인수검사는 치료계획시스템을 중심 으로 방사선치료 장비를 가동하기 위한 모든 준비과정을 의미하며, 신장비의 초기 운영에 있어 의학물리학자(medi- cal physicist)의 중요한 업무 중의 하나라고 할 수 있다.

Acculeaf은 Direx사에서 개발한 방사선수술 시스템(Accu- knife, Direx, Isral)의 구성요소이다.^{6,7)} 이 때 Accuknife의 주 요기능은 작은 종양에 대한 입체조형방사선치료(Conformal Radiation Therapy)와 세기조절방사선치료(Intensity Modulat- ed Radiation Therapy), 그리고 세기조절호형치료(Intensity Modulated Arc Therapy)로 나눌 수 있다. 치료에 적용되는 부위는 두부(head)와 체부(body)가 모두 가능하지만, 체부의 경우에 선형가속기에 mMLC를 장착한 상태에서 Isocenter 와의 여유 공간(clearance)이 충분히 확보되어야 한다.⁸⁾

본 논문에서는 mMLC에 대한 인수검사의 일환으로 선원 모델의 계산결과에 대한 확인과 함께 mMLC의 투과율과 같은 치료계획에 필요한 인자들의 측정 결과를 제시하였으 며, 아울러 타 기관에서 설치시 참고할 수 있도록 mMLC의 하드웨어적 인자들도 기술하였다.

이 논문은 2007년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행된.
이 논문은 2009년 3월 4일 접수하여 2009년 3월 16일 채택되었음.
책임저자 : 이강규, (570-711) 전북 익산시 신용동 344-2
원광대학교병원 방사선종양학과
Tel: 063)859-1876, Fax: 063)859-1889
E-mail: kklee@wonkwang.ac.kr

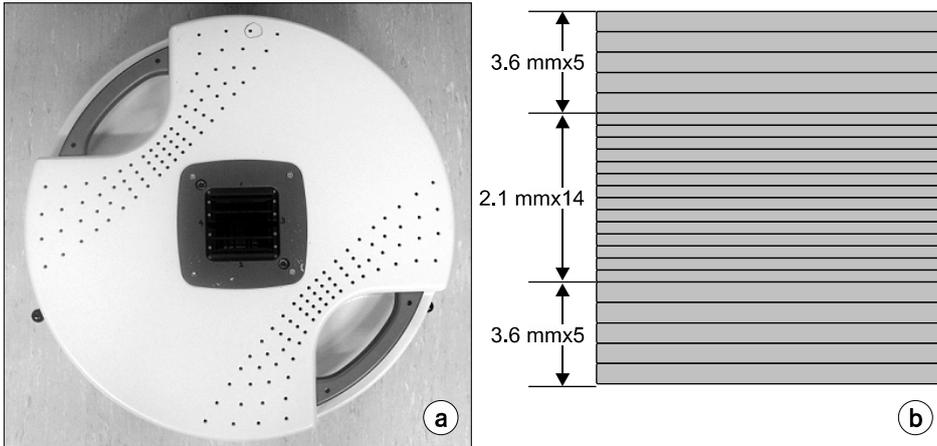


Fig. 1. (a) External form of Acculeaf and (b) leaf configuration for a bank.

재료 및 방법

1. Acculeaf

Acculeaf은 Fig. 1과 같은 형태인데, 외형은 직경 540 mm이며 높이 135 mm이다. Acculeaf의 가장 큰 특징은 겹층(dual level) 형태의 4뱅크 MLC로서 상하좌우에 네 개의 엽뱅크가 있다는 점이며, 이로 인한 장점은 선형가속기 콜리메이터의 회전 없이 조사면의 형태를 자유롭게 구현할 수 있다는 점이다.

Acculeaf의 외형은 Fig. 1(a)와 같다. 이 그림에서 Acculeaf의 외부 직경은 54 cm이고 높이는 13.5 cm 그리고 무게는 28 kg이다. Fig. 1(b)는 한 뱅크에서 엽의 폭 구성을 보여주며 이 구성은 모든 네 개의 뱅크가 동일하다. 이러한 엽 구성으로 인해 Isocenter에서 조사면 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 이내는 약 0.3 cm 폭으로 형성되며 그 이상은 영역은 약 0.5 cm 폭으로 형성된다. 또한 엽으로 구현 가능한 최대 조사면은 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 으로 알려져 있는데 선형가속기 종류에 따라 엽이 부착되는 위치가 다르므로 가능한 최대 조사면은 사용되는 선형가속기에 따라 차이가 있다. 따라서 mMLC 조사면은 사용되는 각 선형가속기에 대하여 평가되어야 한다.

각 뱅크의 엽의 기하학적 형태는 4개 뱅크가 모두 같으므로 Acculeaf은 총 $24 \times 4 = 96$ 개의 엽으로 구성되어 있다. 이때 각 엽의 재질은 텅스텐이며 길이는 6.0 cm 높이는 3.8 cm 이다. 각 뱅크에서 엽은 중심으로부터 후방으로 3.3 cm 까지 이동할 수 있으며 중심을 넘어서 2.0 cm까지 이동할 수 있다. 따라서 엽의 최대 이동거리는 5.3 cm이며 엽 위치에서 구현되는 빔의 최대 면적은 $6.6 \times 6.6 \text{ cm}^2$ 이다.

Isocenter에서 조사면의 크기는 mMLC가 장착되는 지점과 엽의 위치에 따라 결정된다. 이 때 엽의 위치와 조사면

Table 1. Leaf scaling factors for installing mMLC system.

| | 6 MV | | 15 MV | |
|--------------|---------------|-------|---------------|-------|
| | Geometry data | Film | Geometry data | Film |
| Upper leaves | 1.565 | 1.559 | 1.565 | 1.549 |
| Lower leaves | 1.416 | 1.392 | 1.416 | 1.384 |

크기와의 관계는 엽스케일인자(leaf scaling factor; LSF)로 주어진다. LSF는 isocenter에서 조사면 한번의 크기와 mMLC 위치에서 엽의 열린 거리의 비로 정의된다. LSF는 엽의 하드웨어적 위치 계산에 사용되는 인자로서 본 mMLC의 경우에 상층과 하층의 엽에 대하여 각각 주어지며 모든 측정에 앞서 결정되어야 한다. LSF는 선형가속기와 mMLC의 기하학적 구조를 적용하거나 필름측정을 이용한 실측값을 토대로 결정할 수 있다. 본 연구에서는 두 방법 모두 적용하여 LSF를 결정하였으며 그 값을 Table 1에 제시하였다. 이 표에서 Geometry data는 기하학적 자료를 토대로 결정한 값인데, 이 값을 적용하는 경우에 필름과 조사면 차이가 0.2~0.7 mm로 평가되었다. 따라서 필름으로 결정한 LSF 값을 mMLC의 제어에 적용하고 선원자료의 측정을 수행하였다.

본 측정에서 사용한 선형가속기(Clinac iX, Varian, USA)에 mMLC를 장착하였을 때 Isocenter에서 엽들에 의하여 형성되는 최대 조사면은 약 $10.2 \times 9.1 \text{ cm}^2$ 로 평가된다. 여기서 큰 변과 작은 변은 각각 상층 및 하층엽에 의한 것이다. 각 뱅크는 동일하게 Fig. 1(b)의 형태를 가지므로 조사면 $4.6 \times 4.2 \text{ cm}^2$ 이내는 폭 0.33 cm (상층엽) 및 0.30 cm (하층엽)로 구성되며, 그 이상의 영역은 폭 0.56 cm (상층엽) 및 0.51 cm (하층엽)로 구성된다.

mMLC가 가동되는 동안 선형가속기 콜리메이터는 하나의 조사면으로 고정시켜 사용하는데 본 연구에서는 mMLC의 용도의 측면에서 선형가속기 콜리메이터의 크기를 8×8 cm²으로 설정하였다. 즉, 선형가속기에서 0.5 cm 폭의 엽을 지원하기 때문에 표적의 직경이 약 4 cm 이상이 되면 조사영역의 차폐에 있어서 선형가속기 MLC를 사용하는 것과는 큰 차이가 없기 때문이다.

2. 선원자료 측정

치료계획시스템(Crossplan, Direx, Isral)의 선량계산 모델에 적용하기 위해 제작사에서 요구하는 선원자료(beam data)는 깊이선량율(percentage depth dose)과 빔측면도(Beam profile) 그리고 SCD (source to chamber distance)=100 cm에서 각 조사면에 따른 100 MU에 대한 팬텀속 흡수선량이다. 이를 위해 3차원 물팬텀(Bluephantom, IBA, Germany)과 소형전리함(CC01, IBA, Germany), 파머형전리함(FC65G, IBA Germany), 그리고 평판형전리함(PPC40, IBA, Germany)을 사용하여 측정을 수행하였다. 본 논문에서는 깊이선량율과 빔측면도의 측정과정은 생략하고 절대선량 관련인자의 결정과정만을 기술한다.

조사면 출력선량은 SCD=100 cm로 고정한 상태에서 물팬텀 속 깊이 d 에서 각 조사면에 따른 100 MU에 대한 흡수선량으로 정의된다. 이 과정은 절대선량의 평가로서 가속기의 교정조건에 의존하므로 다음과 같은 방법으로 조사면 출력선량을 결정하였다.

$$D(r, SCD, d) = D_{ref} \times CF(SCD, d) \times OF(r, SCD, d) \quad (1)$$

여기서 $D(r, SCD, d)$ 는 mMLC를 장착하고 SCD가 일정한 상태에서 조사면 r 깊이 d 에서 100 MU 당의 흡수선량이다. D_{ref} 는 가속기 출력의 기준값으로서 SSD (source to surface distance)=100 cm, 조사면 10×10 cm² 그리고 깊이 10 cm에서의 100 MU 당 흡수선량과 같다. D_{ref} 는 국제원자력기구 TRS-398 프로토콜에 따라 물흡수선량에 대해 교정된 파머형전리함을 사용하여 측정하였다.⁹⁾

(1)식에서 $CF(SCD, d)$ 는 D_{ref} 를 mMLC 최대 조사면에서의 흡수선량으로 변환하는 인자로서, SCD=100 cm 및 깊이 d 에서 mMLC 최대 조사면에 대한 선량과 D_{ref} 의 비로 정의된다. 이 인자의 측정에서는 깊이의 변화에 따른 유효 측정점(effective point of measurement)에 대한 영향을 제거하기 위하여 평판형전리함을 사용하였다. 마지막으로 $OF(SCD, r, d)$ 는 깊이 d 에서 mMLC 조사면 r 에 대한 흡수선량을 최대 조사면에 대한 값으로 일반화한 상대적 값으로서 소형 전리함을 사용하여 측정하였다.

이와 같은 선량자료의 측정결과는 선원 모델링(beam modelling)을 위하여 치료계획시스템 제작사인 Direx 사로 전송되었다. 선원 모델링은 선량계산에 적합한 매개변수를 찾는 과정인데 이 과정의 알고리즘은 현재 공개되어 있지 않으며 단지 결정된 모델로부터 계산된 다음과 같은 측정량들을 확인할 수 있다.

- (a) 고정 SSD(fixed SSD)에서 100 MU에 대한 흡수선량
- (b) 고정 SCD(fixed SCD)에서 100 MU에 대한 흡수선량
- (c) 빔측면도

여기서 SCD가 일정한 상태에서의 측정값은 (1)식으로 주어지는 $D(r, SCD, d)$ 와 같다. 또한 (a)와 (b)의 측정과의 비교는 절대선량(cGy/MU)의 평가로서 깊이선량율과 같은 상대선량 자료들을 평가하는 것보다 임상적 차원에서 보다 중요할 수 있다. 본 논문의 결과에서는 상기 명시한 세 항목에 대한 평가 결과를 제시하였다.

3. 투과 및 누설측정

다엽콜리메이터의 사용에 있어 투과선량의 측정은 MLC의 특성 평가를 위해 필요하며 또한 치료계획장치에 입력되어 선량 계산시 반영된다. 본 연구에서는 전체 엽의 투과 특성의 일반적 고찰과 치료계획에 사용하기 위하여 필름과 전리함 사용한 측정을 수행하였다.

필름측정은 Gafchromic EBT (ISP, USA)를 사용하였으며 필름의 픽셀측정과 분석은 Epson-1680 (Epson, USA) 스캐너와 FilmQA (3cognition, USA) 소프트웨어를 사용하였다. 필름 측정은 RW3 고체팬텀을 사용하였으며 SSD=95 cm 그리고 깊이 5 cm 조건에서 수행하였다. 필름측정은 mMLC를 부착한 상태에서 민조사면(8×8 cm²)에 대하여 100 MU를 조사하고 MLC를 닫은 조건에 대하여 800 MU를 조사하였다. 이 때 모니터유니트의 차이는 필름계측시 일반화(normalization) 조건에서 고려하였다.

전리함을 사용한 측정은 상층과 하층 그리고 겹층의 엽들이 모두 닫힌 경우에 대하여 민조사면 2×2 cm²에 대한 상대적 투과선량을 평가하였다. 이 때 엽에서 측정위치는 엽단에서 2.0 cm (Isocenter에서 2.8 cm) 지점으로 설정하였다(Fig. 2). 이러한 방법으로 상하층의 4개 बैं크의 엽에 대하여 투과선량을 각각 측정하여 평균하였으며 겹층에 대해서도 동일한 방법으로 4점의 투과선량을 측정하여 평균을 구하였다. 측정에 사용된 전리함은 CC01이며 전기계는 DOSE-1 (IBA, Germany), 그리고 측정물질은 RW3 고체 팬텀을 사용하였다. 이 때 측정깊이는 6 MV x-선에 대하여 2 cm 그리고 15 MV에 대하여 3 cm로 설정하였다. 이러한 조

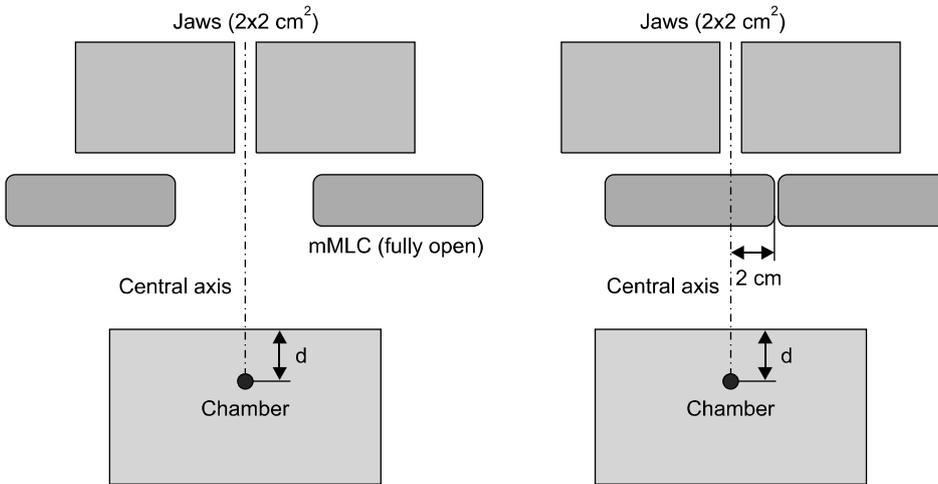


Fig. 2. Leaf configurations of open (left) and shielded (right) beam for transmission dosimetry using ionization chamber.

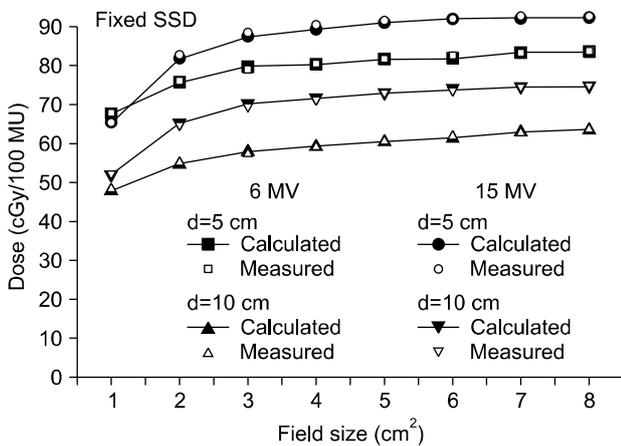


Fig. 3. Calculated and measured dose (cGy/100 MU) for 6 MV and 15 MV x-rays at fixed SSD=100 cm.

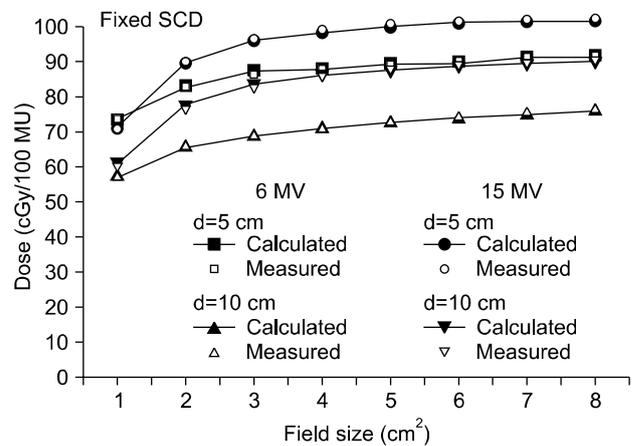


Fig. 4. Calculated and measured dose (cGy/100 MU) for 6 MV and 15 MV x-rays at fixed SCD=100 cm.

건에서 선형가속기 조사량 500 MU를 조사하고 투과선량을 평가하였다.

결 과

1. 선량평가

Fig. 3은 SSD=100 cm 조건에서 깊이 5, 10 cm에서 100 MU에 대한 측정값(cGy/100 MU)과 계산값 그리고 차이(%)를 보여준다. 6 MV의 경우에 조사면 3×3 cm²에서 +1.4% (d=10 cm)의 차이를 보인 것을 제외하고 대부분의 경우 모두 1.0% 이내로 일치하고 있다. 15 MV의 경우에도 조사면 1×1 cm²에서 최대 +2.0% (d=5 cm)를 보였지만 나머지는 대부분 1.0% 이내로 일치하는 것으로 나타났다. 이 때 조사면 1×1 cm²일 때 +2.0%의 다소 높은 오차를 보인 것은

가장 작은 조사면에 대한 선원 모델과정에서의 오차로 보여진다.

Fig. 4는 SCD=100 cm 조건에서 깊이 5, 10 cm에서 각 조사면에 대한 출력 측정값(cGy/100 MU)과 계산값 그리고 차이를 보여준다. 6 MV의 경우에 대부분의 계산값들은 1.0% 이내로 일치하고 있으며 최대 차이는 조사면 1×1 cm²에서 +1.5%로 나타났다. 15 MV의 경우에 모든 계산값들은 1.0% 이내로 측정과 일치하였다.

2. 빔측면도

Fig. 5는 빔측면도의 측정과 계산결과를 보여준다. 이 그림에서 기호는 빔모델에 의해 계산된 값이며 직선은 측정값이다. 이 결과에서 상대선량 80%와 50%인 지점의 폭에 대해 측정과 계산을 비교한 결과 6 MV에서 조사면 8×8

cm²인 경우에 1.6 mm의 차이를 보인 것을 제외하고 나머지 조사면에서 1.2 mm 이내에서 일치함을 알 수 있었다.

Table 2는 각 mMLC 조사면에 대한 반응영의 측정값을 보여준다. 이 결과는 SSD=100 cm에서 깊이 5 cm와 10 cm의 프로파일에 나타난 선량 80~20% 폭과 같다. 6 MV의 경우에 깊이 10 cm에서 반응영은 근사적으로 조사면에 따라 증가하면서 0.32~0.47 cm 범위를 가지며, 15 MV의 경우에는 약 0.39~0.56 cm 범위를 가진다. 이 결과는 SCD=105 cm 또는 110 cm에서의 값이므로 SCD=100 cm에서 측정하는 경우에 이보다 줄어들 것으로 예상된다.

3. 투과와 누설

Fig. 6은 mMLC의 투과율과 누설율을 평가하기 위해 조

Table 2. Measured mean penumbra widths (distance between relative dose 80% and 20%) in cm for mMLC shaped fields at the depths of 5 and 10 cm and SSD=100 cm.

| Field size (cm ²) | 6 MV | | 15 MV | |
|-------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| | d=5 cm | d=10 cm | d=5 cm | d=10 cm |
| 1×1 | 0.31 | 0.32 | 0.37 | 0.39 |
| 2×2 | 0.34 | 0.37 | 0.45 | 0.47 |
| 3×3 | 0.35 | 0.37 | 0.47 | 0.50 |
| 4×4 | 0.35 | 0.38 | 0.47 | 0.51 |
| 5×5 | 0.37 | 0.42 | 0.48 | 0.54 |
| 6×6 | 0.38 | 0.45 | 0.50 | 0.53 |
| 7×7 | 0.40 | 0.47 | 0.49 | 0.56 |
| 8×8 | 0.39 | 0.45 | 0.47 | 0.53 |

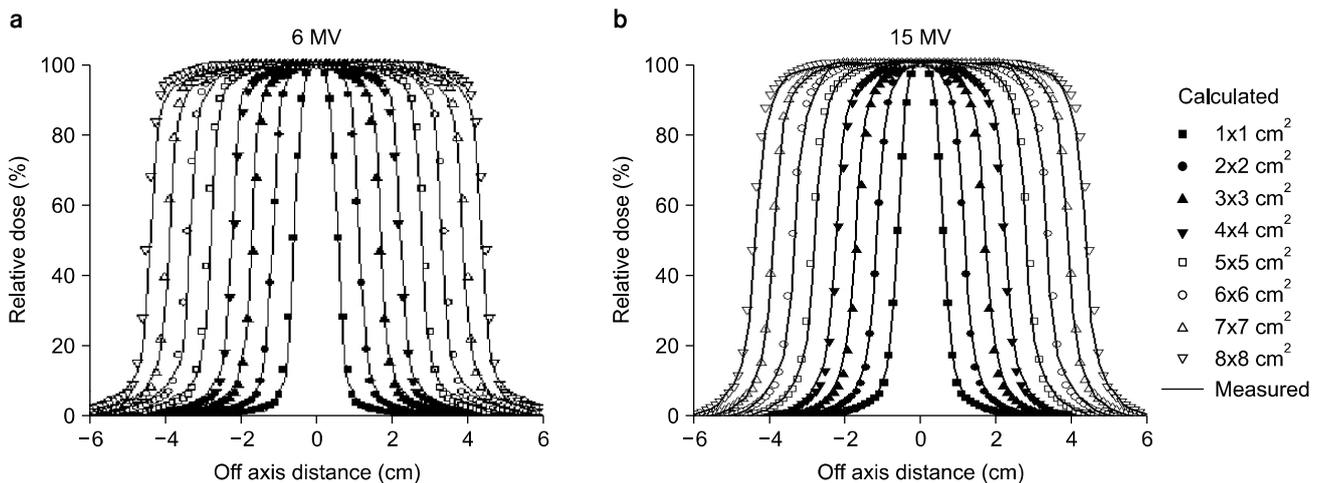


Fig. 5. Beam profiles for mMLC fields of 6 MV (a) and 15 MV (b) x-rays at the depth of 10 cm in SSD=100 cm.

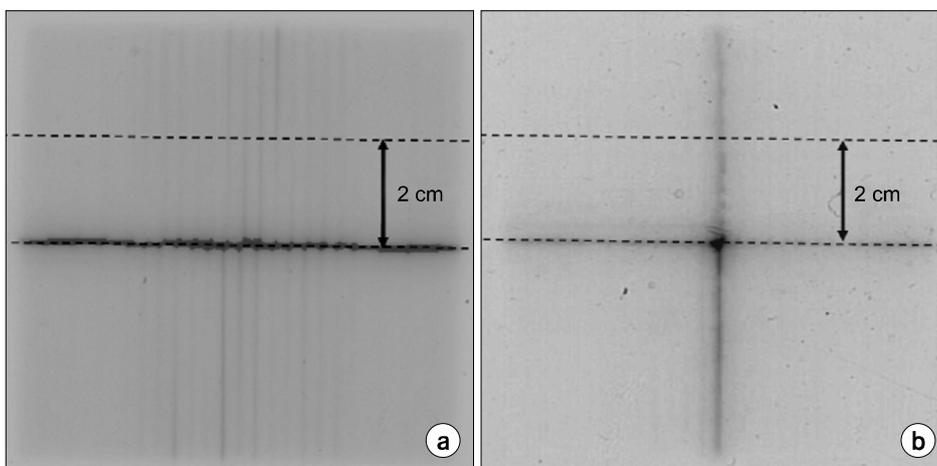


Fig. 6. Photography of exposed films for closed leaves of one (a) and two (b) level. Dotted lines were used for evaluation of leakage and transmission.

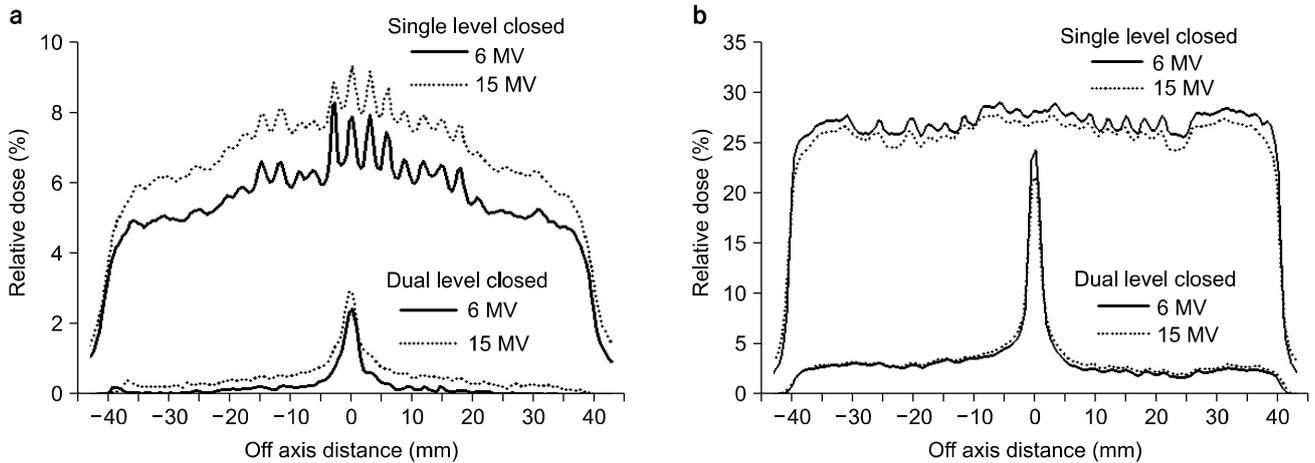


Fig. 7. Film dosimetry results for leakage and transmission of mMLC in 6 MV and 15 MV x-rays. (a) and (b) are horizontal beam profiles at the 2 cm upper region and central region described in Fig. 4.

사된 필름을 보여준다. (a)는 하단의 엽들이 닫힌 경우, (b)는 상하층의 엽들이 모두 닫힌 경우이다. (a)와 (b)에서 나타난 선은 분석을 위한 선량평가 지점이며 이때 상단의 횡선은 중심으로부터 2 cm 지점이다.

Fig. 7(a)는 중심으로부터 2 cm 상단에 대한 평가결과이다. 이 결과는 민조사면(8×8 cm²)에 대한 선량에 대해 일반화되어있다.

단층의 엽을 평가할 때 6 MV의 경우에 엽의 투과율은 평균 5.5% (5.0~6.4% 범위) 그리고 엽간의 누설율은 평균 6.2% (5.1~7.8% 범위)로 나타났다. 또한 15 MV의 경우에 단층 엽의 투과율은 평균 6.9% (5.5~7.9% 범위) 그리고 누설율은 평균 7.5% (6.2~9.3% 범위)로 나타났다. 여기서 제시한 선량평가의 범위는 빔축면도 상 중심에서 좌우측 3 cm 이내에 대한 값이다.

상하층의 엽들이 모두 닫힌 경우에 중심부의 누설은 6 MV와 15 MV에 대해 각각 2.4%와 2.9%로 나타났으며 다른 영역에서는 각각 평균 0.2%와 0.4%를 보였다.

Fig. 7(b)는 엽들이 중심부에서 닫혔을 때 중심부의 횡축에 대한 평가결과이다. 한층의 엽들이 닫힌 경우 중심부의 누설은 6 MV와 15 MV에 대해 각각 평균 27.1%와 26.1%로 나타났다. 상하층의 엽들이 모두 닫힌 경우에 누설은 중심에서 6 MV와 15 MV에 대해 24.2%와 21.5%로 나타났으며 다른 영역에서는 각각 평균 2.7%와 3.0%로 나타났다.

이러한 측정결과들은 치료계획장치에 입력되어 선량계산에 반영될 것이다. 이 때 치료계획시스템에서는 투과와 누설을 별도로 구분하지 않고 단층 또는 겹층에 대한 평균값을 적용하여 선량계산을 수행하도록 되어있다. Table 3에

Table 3. Average transmission and leakage of the mMLC leaves for 6 and 15 MV x-rays.

| | Single level closed | | Dual level closed | |
|-------|---------------------|---------|-------------------|---------|
| | Film | Chamber | Film | Chamber |
| 6 MV | 5.95% | 6.58% | 0.27% | 0.51% |
| 15 MV | 7.29% | 7.35% | 0.60% | 0.56% |

단층과 겹층에 대한 투과와 누설의 평균값을 전리함의 측정결과와 함께 나타냈다. 필름과 전리함의 측정 결과는 측정시 기하학적 구조가 약간 다르지만 투과율과 누설율의 평균값은 상호 근사적으로 일치하였다. 6 MV에 대한 결과에서 엽이 모두 닫혔을 때 필름과 전리함은 각각 0.27%와 0.57%로 차이를 보이고 있는데 이는 저선량의 계측에서 발생한 오차로 보인다. 만약 단층의 투과율이 t_1 일 때 겹층의 투과율은 근사적으로 t^2 을 가질 것이다. 이를 이용하여 평가하면 필름보다 전리함의 측정결과가 이 관계를 보다 잘 만족함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전리함의 측정결과를 선량계산의 기초자료로서 입력하였다.

고찰 및 결론

방사선수술용으로 국내 최초 도입된 Acculeaf의 가동을 위하여 엽의 물리적 특성을 조사하였고 치료계획시스템의 가동을 위한 선량측정을 수행하였다. 먼저 Acculeaf에 대한 소개의 측면에서 mMLC 형태와 작동에 대하여 요약하여 제시하였으며 타 기관에서 설치시 참고할 수 있도록 LSF

(leaf scaling factor) 등에 대해 설명하고 이를 제시하였다.

치료계획시스템의 가동을 위해 6 MV와 15 MV x-선에 대하여 빔모델링에 필요한 자료(깊이선량율, 빔측면도, 출력인자)를 측정하였으며 모델에 의해 계산된 고정 SSD 및 SCD 조건에 대한 절대선량을 측정과 비교하였다. 그 결과 두 선질 그리고 다양한 조사면에 대하여 대부분 1.0% 이내로 일치함을 알 수 있었다. 가장 높은 오차를 보인 것은 조사면 1×1 cm²인데, 고정 SSD 조건의 경우 15 MV x-선에서 계산값이 2% 높게 평가되었으며, 고정 SCD 조건의 경우 6 MV x-선에서 1.5% 높게 평가되었다. 작은 조사면인 경우에 출력선량이 적기 때문에 실제 치료시 조사량이 높으므로 이러한 오차는 보다 중요하다고 할 수 있다. 따라서 다른 소형 전리함 또는 다이오드 검출기, TLD 등 여러 검출기를 사용하여 측정값을 정밀히 평가하고 동일한 결과물을 얻는 경우에는 제작사와 협의하여 구성된 모델의 관련 매개변수를 변경해야 할 것으로 생각한다.

mMLC 조사면에 대한 반응영은 6 MV의 경우에 조사면에 의존하면서 0.32~0.47 cm 범위, 15 MV의 경우에 0.39~0.56 cm 범위로 평가되었다. 이 결과는 SSD=100 cm 및 깊이 10 cm에서의 값들인데 이를 기하학적 근사를 적용하여 SAD (source to axis distance)=100 cm에 투영하면, SCD/(SSD+d)=100/110=0.91, 즉, SAD에서 반응영은 근사적으로 6 MV에서 0.29~0.43 cm 범위 그리고 15 MV의 경우에는 0.36~0.51 cm 범위로 평가된다.

이 결과는 Bucciolini 등(2002)이 동일 모델 mMLC로 측정한 반응영 0.28~0.33 cm (SL-75 Linac, 6 MV)의 결과와 0.1 cm 이내로 일치한다.¹⁰⁾

엽의 투과와 누설에 대한 필름측정 결과 단층 mMLC에서 6 MV와 15 MV에 대해 각각 평균 5.5% 및 6.2% 그리고 엽간의 누설은 각각 평균 6.2%와 7.5%로 평가되었다. 또한 전리함을 이용한 투과와 누설의 측정결과는 단층에 대하여 6 MV와 15 MV에 대해 각각 평균 6.6%와 7.4%로 평가되었으며, 겹층에 대해서는 두 에너지에 대해 약 0.5%로 평가되었다. 이 값들은 Direx사에서 제시하는 값인 7% (단층) 및 0.5% (겹층)과 근사적으로 일치하고 있으며, 6 MV x-선의 경우 Bucciolini 등(2002)이 보고한 5% (단층)와 0.4% (겹층)과도 근사적으로 일치한다.¹⁰⁾

m3 (BrainLab GmbH, Germany) mMLC의 경우에 평균적

투과율과 누설율을 1.9%와 2.8%로 보고된바 있는데,¹¹⁾ Acculeaf의 경우에 실제 치료시 차폐영역의 대부분이 겹층의 엽들에 의해 차폐되기 때문에 Acculeaf이 정상조직의 차폐에 보다 효과적이라고 할 수 있다.

이상과 같은 과정을 통하여 겹층 mMLC의 특성을 고찰할 수 있었으며, 다양한 조건에 대한 절대선량의 평가를 통하여 치료계획시스템의 오차범위를 근사적으로 평가할 수 있었다. 그렇지만 본 논문의 내용은 단순한 조건에 대한 평가이기 때문에 추후에는 실제 치료계획에 대한 mMLC 조사면 정확성과 중첩된 조사면들에 대한 선량계산 정확성 등의 평가가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Van Dyk J: *The Modern Technology of Radiation Oncology*. Medical Physics Publishing, Wisconsin, USA (1999), pp. 589-639
2. Kubo HD, Pappas CTE, Wilder RB: A comparison of arc-based and static mini-multileaf collimator-based radiosurgery treatment plans. *Radiat Oncol* 45:89-93 (1997)
3. Benedict SH, Cardinale RM, Wu Qiuwen, et al: Intensity modulated stereotactic radiosurgery using dynamic micro-multileaf collimation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 50(3):751-758 (2001)
4. AAPM TG-45: AAPM code of practice for radiotherapy accelerators. *Med Phys* 21(7):1093-1121 (1994)
5. AAPM TG-53: Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys* 25(10):1773-1829 (1998)
6. Initia Ltd: AccuLeaf Operational Manual Rev. B. Initia Ltd, Tiqva, Isral (2002)
7. Initia Ltd: AccuSoft Technical Manual 4.1. Initia Ltd, Tiqva, Isral (2002)
8. Furhang EE, Hanley J, Chiu-Tsao ST, et al: Clearance assurance for stereotactic radiosurgery and radiotherapy. *Med Phys* 29(1):45-50 (2002)
9. TRS-398: *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed dose to Water*. Technical Report Series No. 398. IAEA Vienna (2000)
10. Bucciolini M, Russo S, Buonamici FB, Pini S, Silli P: Dosimetric characterization of a bi-directional micromultileaf collimator for stereotactic applications. *Med Phys* 29(7):1456-1463 (2002)
11. Cosgrove VP, Jahn U, Pfaender M, Bauer S, Budach V, Werm R: Commissioning of a micro multi-leaf collimator and planning system for stereotactic radiosurgery. *Radiat Oncol* 50:325-336 (1999)

Commissioning of a micro-MLC (mMLC) for Stereotactic Radiosurgery

Dong Hyeok Jeong*, Kyo Chul Shin[†], Jeung Kee Kim[†], Soo Kon Kim[§],
Sun Rock Moon*^{||}, Kang Kyoo Lee*^{||}

Department of Radiation Oncology, *School of Medicine, Wonkwang University, Iksan,
[†]Dankook University Hospital, Cheonan, [†]Dong-A University Hospital, Busan,
[§]Kangwon University Hospital, Chuncheon, ^{||}Institute of Wonkwang Medical Science, Iksan, Korea

The 4 bank micro-MLC (mMLC; Acculeaf, Direx, Israel) has been commissioned for clinical use of linac based stereotactic radiosurgery. The geometrical parameters to control the leaves were determined and comparisons between measured and calculated by the calculation model were performed in terms of absolute dose (cGy/100 MU). As a result of evaluating calculated dose for various field sizes and depths of 5 and 10 cm in water in the geometric condition of fixed SSD (source to surface distance) and fixed SCD (source to chamber distance), most of differences were within 1% for 6 MV and 15 MV x-rays. The penumbral widths at the isocenter were approximately evaluated to 0.29~0.43 cm depending on the field size for 6 MV and 0.36~0.51 cm for 15 MV x-rays. The average transmission and leakage for 6 MV and 15 MV x-rays were 6.6% and 7.4% respectively in single level of leaves fully closed. In case of dual level of leaves fully closed the measured transmission is approximately 0.5% for both 6 MV and 15 MV x-rays. Through the commissioning procedure we could verify the dose characteristics of mMLC and approximately evaluate the error ranges for treatment planning system.

Key Words: Radiosurgery, mMLC, Commissioning