

다엽콜리메이터의 leaf 사이를 통과한 X-선 선량분포에 대한 고찰

가천의과대학 부속 길병원 방사선종양학과

이재승 · 김 현 · 황인봉 · 명노봉

I. 서 론

1895년 처음 X선이 발견된 이래 한 세기가 지난 현재 방사선 치료의 경향은 2차원적 단순 분할 조사법에서 3차원적 입체조영치료(conformal radiotherapy)에 대한 역동적인 발전을 이루어 왔다. 이를 위하여 정적인 합금납블럭(alloy block)에 의존하던 것에 비하여 자동화된 치료 조사야 모양을 직접적으로 만들어 사용하는 다엽콜리메이터(Multileaf Collimator, MLC)의 사용이 필연적으로 증가되고 있으며 현재는 모든 블록의 85% 이상을 대신하고 있다.

다엽콜리메이터는 합금납블럭과 비교하여 제작자나 환경 관리적인 면에서 중금속 오염을 방지할 수 있고 제작시간 단축 및 차폐효율을 높일 수 있지만 완전한 곡면형태의 조사야를 조형할 수 없고 계단식 또는 교차식 배열에 의한 파동형태의 선량분포와 X선 에너지, 측정깊이, 조사야의 선택, 반응영의 정의, 방사된 leaf 표면구역, 인접한 leaf 사이를 통한 누설선, 중심축에서 상대적인 조사야 위치에 의하여 적용되는 반응영 등은 아직 개선해야 할 문제점으로 남아 있다.

위 사실을 근거하여 본원에서는 실용화된 합금납블럭의 누설선량 한계를 5% 이하라 할 때 선형가속장치 제작사에서 제시하는 2~4%의 다엽콜리메이터 누설선량을 실제 인접한 leaf 사이에서 측정하고 교차식 배열에 의한 파동형태

의 선량분포와 다엽콜리메이터에 의한 반응영의 변화를 비교하고자 한다.

II. 사용기기 및 방법

1. 사용 기기 및 장비

Clinac 2100C/D(Varian, USA)
Multileaf Collimator, Portalvision, Ximavision
(Clinac 2100C/D associate oncology system)
WELLHOFER blue phantom
WELLHOFER IC 15 chamber(0.147 cc)
PTW UNIDOS electrometer
polystyrene phantom
farmer type IC 0.6 cc(sun nuclear)

2. 실험 방법

미국 Varian 사 선형가속기 Clinac 2100 C/D에서 발생하는 6MV X-선을 이용하여 측정하였으며 물수조(water phantom)내 전리함을 중심 선속에 수직되게 하여 선원 표면간거리(source surface distance)를 100 cm으로 하고 X선 에너지 분포의 변동이 적은 교정점 깊이(6MV X선 : 5 cm)에서 측정하였다(Fig. 1).

또한 인접한 leaf 사이를 통과한 누설선량 및 교차식 배열에 의한 파동형태의 선량분포는 관

행적으로 사용되는 beam profile을 이용하였으며 다엽콜리메이터를 개방하여 측정된 출력선량과의 비교를 통하여 인접한 leaf 사이를 통과한 누설선량을 측정하였다.

- 1) 조사야를 $40 \times 40 \text{cm}$ 으로 고정한 후 다엽콜리메이터를 모두 닫은 상태에서 Fig. 2와 동일한 방법으로 중심선속을 A라 하고 X_1, X_2 방향으로 각각 5 cm씩 이동한 지점 B, C에서 Y축방향 (inplane)으로 beam profile을 구하여 인접한 leaf 사이를 통과

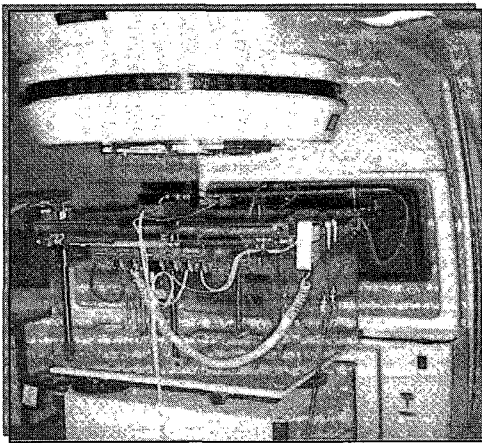


Fig. 1. Picture of dosimetry set up

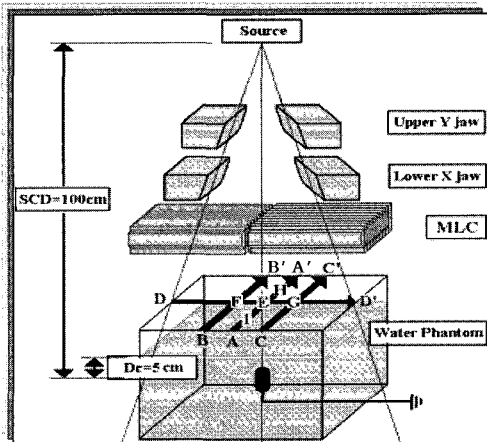


Fig. 2. The diagram used to measure interleaf transmission and beam profile

한 누설선량을 측정하였다. X축 중심선속 D 점을 X축 방향(crossplane)으로 beam profile을 구하여 leaf 끝단과 끝단 접합면에서의 선량분포를 측정하였다(Fig. 2).

- 2) 고체팬텀(polystyrene phantom)내 고정점 깊이 5 cm에서 전리함을 Fig. 2와 같이 E, F, G, H, I 각 점으로 이동시켜 다엽콜리메이터를 개방한 출력선량과 닫은 상태에서 인접한 leaf 사이와 leaf 끝단 접합면에서의 누설선량을 비교하였다(Fig. 2).
- 3) Fig. 3에서 조사야를 $20 \times 20 \text{cm}$ 으로 고정한 후 다엽콜리메이터를 모두 개방하여 측정된 beam profile에서의 반응영과 다엽콜리메이터를 $20 \times 20 \text{cm}$ 으로 하여 측정된 beam profile에서의 반응영의 변화를 각각 비교하였다(Fig. 3).
- 4) 조사야 $40 \times 40 \text{cm}$ 에서 다엽콜리메이터의 X_1, X_2 축 각각 40개의 leaf들에서 X_2 축 leaf들을 모두 개방하고 X_1 의 홀수축 leaf들 $L_1 L_3 L_5 \dots$ 는 중심선속에서 5 cm전방으로 이동시키고 짝수축 leaf들 $L_2 L_4 L_6 \dots$ 는 중심선속에서 5 cm후방으로 이동시켜 교차식 배열에 의한 파동형태의 선량분포를 Y축방향으로 측정하였다(Fig. 4).

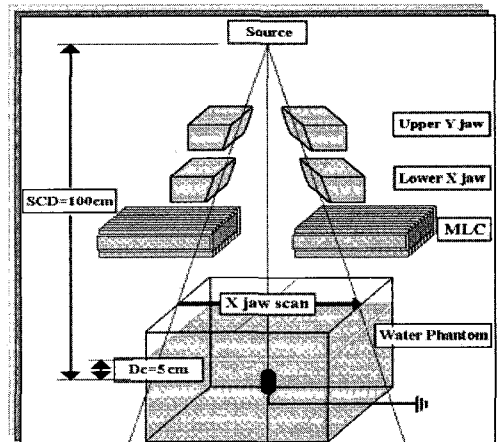


Fig. 3. The diagram used to measure the penumbra of MLC

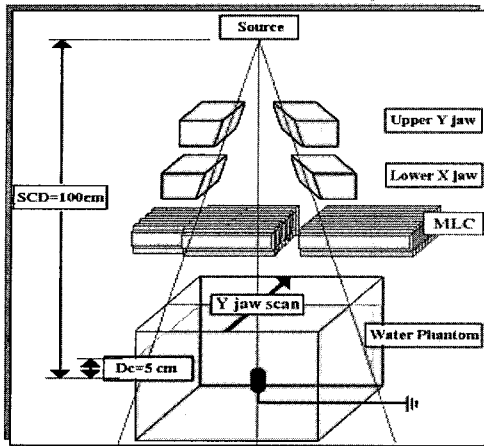
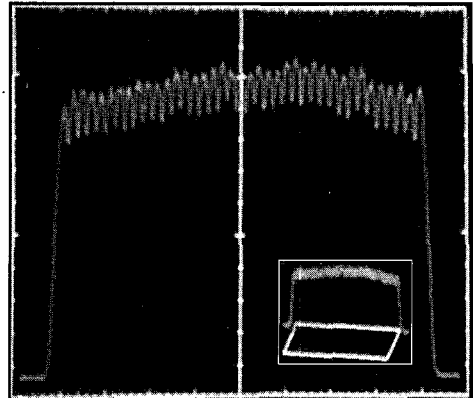


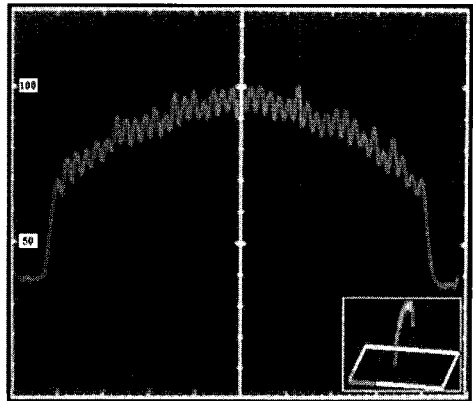
Fig. 4. The diagram used to measure dose distribution for alternative pattern of MLC

III. 결 과

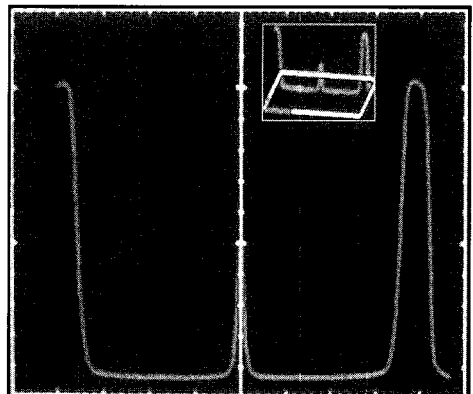
1. 다엽콜리메이터의 인접한 leaf 사이를 통과한 누설선의 선량분포는 일정한 변화폭을 가진 파동형태의 선량분포가 나타났으며 Y축 방향 (inplane) 측정결과 leaf 끝단과 끝단 접합면의 상대적 평탄도 (flatness)는 10.4%로 비교적 평탄한 파동형태를 형성하지만 중심축에서 5cm 떨어진 B, C 점에서의 상대적 평탄도는 15.1%로 조사야 가장자리부에서 급격한 선량감소가 나타났다. 또한 X축 방향 (crossplane) 측정결과 leaf의 전 영역에서 고른 선량분포를 형성하다가 leaf 끝단과 끝단의 접합면에서 선량분포가 급격하게 증가되었고 이 영역에서 등선량곡선의 50% 조사야는 약 1cm 미만의 면적이 나타났다 (Fig. 5).
2. 이를 위하여 측정된 출력선량과 누설선량의 상대적 비율은 table 1과 같으며 F점에서 1.63%, G점에서 1.67%, E점에서 18.7%, H점에서 18.4%, I점에서 18.67%로 나타났으며 X축선상에서의 두점 F, G는 leaf 사이 또는 leaf를 직접 통과하는 누설선이



a. The beam profile in the "Y"axis($X=0$)



b. The beam profile in the "Y"axis($X=5$ cm)

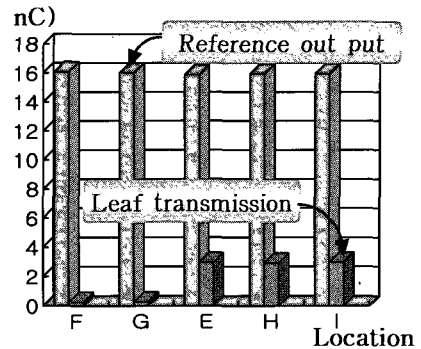


c. The beam profile in the "X"axis($Y=0$)

Fig. 5. The beam profile for closed MLC

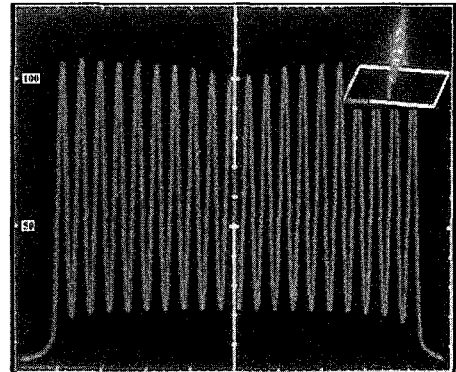
Table 1. Comparison of out put of open & close MLC
단위 : nC

Location	MLC open	MLC close	Ratio for o/c
F($X_1 - 5\text{cm}$)	16.08	0.262	1.63%
G($X_2 + 5\text{cm}$)	16.01	0.267	1.67%
E(center)	15.87	2.971	18.72%
H($Y_1 - 5\text{cm}$)	15.96	2.941	18.42%
I($Y_2 + 5\text{cm}$)	15.95	2.979	18.67%

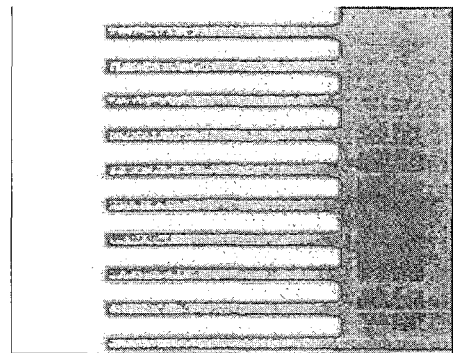


실제 보고된 허용오차 범위에서 발생되었으나 leaf 끝단과 끝단 접합면에서 누설선은 최초 조사선량에 대하여 18.7%가 검출되어 실제 조사야 가장자리부분에서 leaf 접합면으로만 차폐할 경우 누설선량의 증가를 피할 수 없다(Table 1).

- 다엽콜리메이터는 조사면의 크기와 위치에 따라 divergence를 정확하게 고려할 수 없고 이에 따라 선속에 평행하지 못하여 발생하는 반응영은 다엽콜리메이터를 20×20 cm으로 하여 측정된 결과 0.82 cm(X_1 축), 0.78 cm(X_2 축)으로 다엽콜리메이터를 제외한 조사야에 의한 반응영 0.67 cm(X_1 축), 0.64 cm(X_2 축)보다 1.5 mm 정도의 증가를 보이며 이는 일반적인 setup오차를 고려한다면 임상에서 충분히 수용할 수 있는 결과로 보여진다.
- 교차식 배열에 의한 파동형태의 선량분포는 상대적인 최대선량이 109.3% 일 때 상대적 최소선량은 20.9%로 경사면에서 발생된 산란선이나 급격한 선량변동에 의한 반응영의 증가로 인해 1 cm면적의 조사부는 실제 치료 조사야 영역에서 약 80% 정도의 감소를 보이며 차폐 중심부에서 가장자리부까지 선량의 증가를 보인다(Fig. 6).



a. beam profile for alternative pattern of MLC



b. portal vision image for alternative pattern of MLC

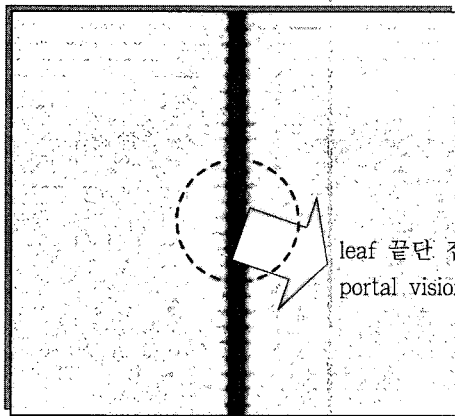
Fig. 6. Dose distribution chart for alternative pattern of MLC

IV. 고찰

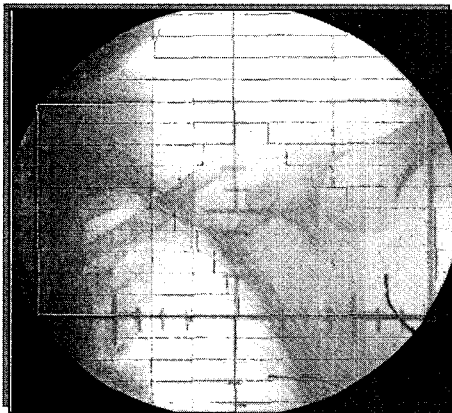
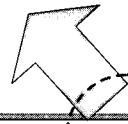
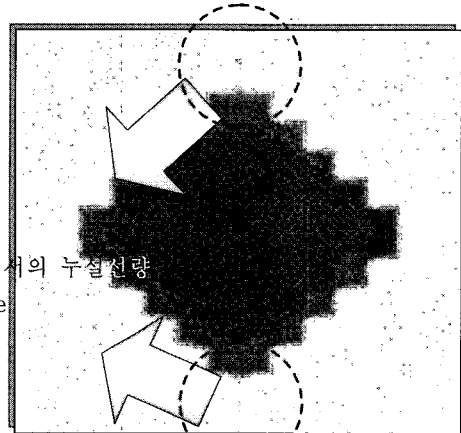
정상조직을 최대한 방어하고 부정형 형태의 종양에 최대한 장애를 유발하기 위하여 다분할적 조사가 요구되며 조사수가 증가됨에 따라 부정형 치료 조사야를 자동적으로 조정할 수 있는 다엽콜리메이터의 사용이 필연적으로 증가되고 있다. 반면 정상조직 차폐시 1cm 단위의 leaf 크기에 의한 완전한 곡면형태를 만들 수 없고 조사면의 크기와 위치의 변동에 따른 divergence를 합금납블럭에 비하여 정확하게 고려할 수 없어 발생하는 반응영의 증가와 leaf 끝단과 끝단의

접합면에서 발생하는 누설선등은 아직 개선되어야 할 과제로 남아 있다.

다엽콜리메이터에서 발생하는 X선 선량분포에 대하여 다엽콜리메이터의 각도가 증가함에 따른 반응영의 증가는 여러 조사보고가 있었으며 실효반응영이 최대가 되는 45°에서 4mm 정도의 증가를 고려한다면 측정결과에서 다엽콜리메이터에 의한 반응영 1.5mm의 증가는 실제 임상에서 충분히 수용 가능할 거라 생각된다. 다엽콜리메이터의 인접한 leaf 사이와 직접적인 leaf를 통과한 누설선은 제작사에서 제시하는 2~4% 영역에서 발생되므로 포괄적인 최대 한



a. portal vision image of fully closed MLC



b. example of using MLC for clinical treatment

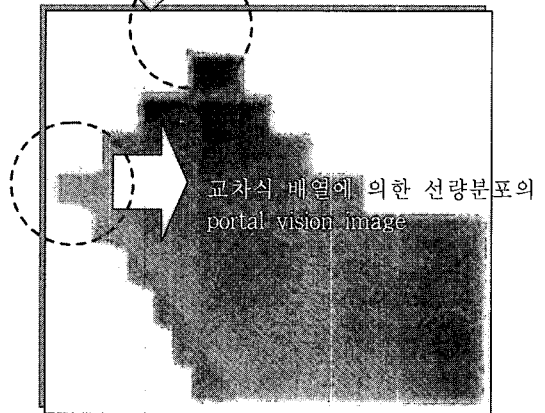


Fig. 7. Picture for MLC dose distribution

계 누설선량 영역에서 발생 되어진다.

반면, leaf 끝단과 끝단 접합면에서 발생하는 누설선량은 조사선량에 대하여 18%를 차지하며 실효 조사야 50% 영역에서 약 0.8 cm의 면적을 보이고 있다. Fig. 7은 leaf 끝단 접합면에서 누설선량과 교차식 또는 계단식 배열에 의한 선량 분포를 portal vision 영상으로 나타낸 것이다. 이와 같이 실제 임상에서 조사야 가장자리부를 부득이하게 다엽콜리메이터의 leaf 끝단과 끝단으로만 차폐할 경우나 다엽콜리메이터가 X jaw collimator를 대신할 경우 두경부암, 폐암, 식도암, 척추부 뼈 전이 등의 치료 조사야 안구(eye ball) 또는 척추(spinal cord)등 임계장기(critical organ)의 내용선량 누적이나 림프선 단절등을 고려해야 할 것으로 생각되며 leaf 끝단 접합면 차폐를 가능한 X, Y jaw collimator에 의한 조사야로 정의해야 할 것이다.

Fig. 6과 같은 경우 leaf의 교차식 배열에서 A점에서의 선량분포는 파동형태를 지니며 조사부 경계면에서 가장자리부에 갈수록 반음영과 산란선에 의한 선량의 증가를 고려해야 한다.

V. 결 론

다엽콜리메이터는 부정형 형태의 종양을 단시간내 자동화된 치료 조사야 모양을 조형할 수

있고 3차원적 입체조영치료(conformal radiotherapy)를 가능하게 함으로서 정상조직의 효율적인 차폐를 고려할 수 있어 그 필요성이 증가되어지고 있다.

반면, 본원에서 측정한 실험에서 조사야내 부득이하게 leaf 끝단과 끝단 접합면으로만 차폐할 경우 주요 결정장기 등의 한계 내용선량의 증가를 신중하게 고려해야 할 것이며 교차식 배열에 의한 다엽콜리메이터의 경계면에서 발생하는 산란선과 급격한 선량변동에 따른 반음영의 증가 등은 개선 되어져야 할 과제로 생각된다.

또한 많은 연구자료에서 논의되어져 왔던 곡면형태의 조사야 모양이나 파동형태의 선량분포등을 보완해 나간다면 방사선 치료의 질적인 향상을 가져올 것이다.

참 고 자 료

1. MLC system and maintenance guide ; march, 1995, varian associates inc. oncology system
2. Varian c-series multileaf collimator equipment specification ; 1993, varian associates inc. oncology system
3. MLC service manual ; 1993, varian associates inc. oncology system