

# 세기변조방사선치료의 INTENSITY MAP을 활용한 다엽콜리메이터 정도관리 기구의 고찰

연세의료원 암센터 방사선종양학과  
손동민, 안승권, 조정희, 조광환, 박재일

## I. 서론

최근 도입 된 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT)는 치료표면에서 선량분포가 균일한 예전의 치료 방법과는 달리 치료표면 선량의 세기는 불균등하지만 치료 종양조직에서는 가장 이상적인 선량분포를 나타내고 있는 치료 방법으로서 정상조직을 최대한 보호하고 종양조직의 치료 효과비를 높여 환자를 치료하는 주목받고 있는 치료 방법이다.<sup>1,13)</sup>

세기변조방사선치료 시 형성되는 조사면의 최소단위를 Beamlet이라 한다. 일반적으로 임상에서는 1 cm×1 cm 또는 0.5 cm×0.5 cm 크기를 사용하며 이 조사면의 세기분포를 Intensity map이라고 한다.

목적 종양을 정확, 정밀하게 치료하는 세기변조방사선 치료는 각 치료 방향의 Intensity map을 형성하게되며 다엽콜리메이터(Multileaf Collimator, MLC)의 형태가 적게는 20-30개부터 많이는 100-150개 이상이 사용된다. 따라서 다엽콜리메이터의 정확성과 재현성의 정도 관리는 세기변조방사선치료의 성공여부를 결정하는 주요인자이다.

기존에는 다엽콜리메이터의 정도관리를 위해 고정 된 겐트리 각도 0°에서 광 조사야 또는 필름을 이용해 다엽콜리메이터의 정도관리를 하였다.

본원에 있는 세기변조방사선치료기구의 다엽콜리메이터의 정확성 측정 시 Leaf의 위치에 따른 작은 차이는 보였으나 일반적으로 X1 다엽콜리메이터의 경우 0.4

mm~0.8 mm, X2 다엽콜리메이터 경우 0.2 mm~0.4 mm의 오차가 있는 것으로 측정이 되었으며 이는 제작사에서 제시하는 2 mm의 허용오차 범위에 허용되는 측정치로 이상이 없었다.

그러나 실제 환자를 치료 시 사방향에서도 치료를 하게 되며 또한 동일 Level의 다엽콜리메이터가 형성하는 Intensity map을 구성하는 Beamlet의 재현성에 영향을 받으므로 이러한 점이 고려 된 실제적인 다엽콜리메이터 정도관리가 요구되기에 다엽콜리메이터 정도관리 기구를 제작하여 실제 세기변조방사선치료의 Intensity map을 활용한 다엽콜리메이터의 정도관리를 실시하고자 한다.

## II. 목적

1. 겐트리 각도의 변화에 따른 다엽콜리메이터의 정확성을 분석한다.
2. 다엽콜리메이터 정도관리 기구를 활용한 intensity map을 구성하는 동일 레벨에서의 Beamlet의 재현성을 분석한다.
3. 다엽콜리메이터 정도관리 기구를 사용한 실제 환자의 intensity map에 정도관리를 적용하여 Custom 다엽콜리메이터 정도관리를 시행한다.
4. 위의 실험을 근거로 다엽콜리메이터 정도관리 기구의 유용성을 평가한다.

본 논문은 2002년도 대한방사선치료기술학회에서 Medipops 학술상을 수상한 논문임.

### III. 실험 재료 및 방법

본 연구는 세기변조방사선치료기(PRIMART, SIEMENS, USA) 6 MV를 사용하였으며 Intensity map을 활용한 다엽콜리메이터의 정도관리를 위해 정도관리 기구를 제작하였다.(그림 1) 기구의 수평을 유지하기 위해 지지 나사 못 3개를 기구의 밑판에 설치하였으며 겐트리 각도와 필름이 수평을 이룰 수 있도록 각도기를 설치하였다.

두 개의 폴리스틸렌(300(W)×300(L)×5(H) mm<sup>3</sup>) 고정대가 격자모양의 판(250(W)×250(L)×5(H) mm<sup>3</sup>)을 밀

착하여 고정을 하며 격자모양의 판 밑에 저감도 측정용 필름(X - OmatV film, EASTMAN KODAK, USA)을 위치하여 빔의 확산에 의한 오차를 거의 받지 않도록 설계하였다.

격자모양의 판은 넓이 0.5 mm, 깊이 1.2 mm, 간격 10mm로 Milling machine(오차 5/1000 mm)을 통해 제작하여 격자모양의 홈에 Cerrobond을 채워서 저감도 측정용 필름에 표현 할 수 있도록 하였으며 두 개의 고정대에는 수평계와 수직계가 부착되어 필름이 수평과 수직에 정확히 위치 할 수 있도록 하였다(그림 1).

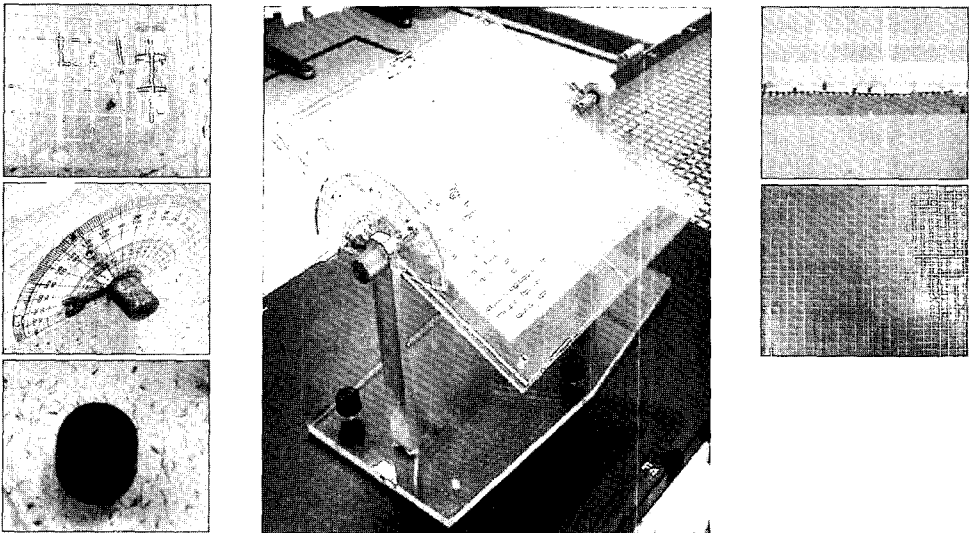


그림 1. 다엽콜리메이터의 정도관리 기구

#### 1. 겐트리 각도의 변화에 따른 다엽콜리메이터의 변화 분석

세기변조방사선치료에서 가장 많이 사용하는 중심 Leaf(두께 1cm)을 기준으로 하방향 5개, 상방향 5개 총 11개의 Leaf를 사용하였다(그림 2).

총 필드 크기를 40(MLC)×11(Y-jaw) cm<sup>2</sup> 으로 하여 3부분(X1=20/X2=-10/Y=11, X=20/Y=11, X1=-10/X2=20/Y=11) 으로 필드를 나누었으며 겐트리 각도가 0°, 270°, 320°, 90°, 140°에서 80 MU(Monitor

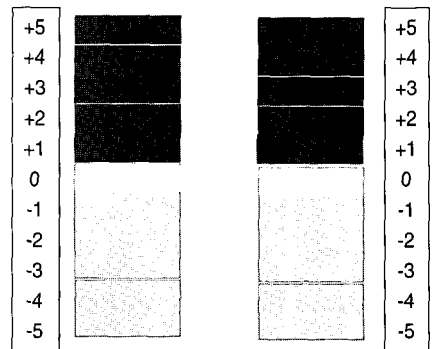


그림 2. 실험에 사용 된 다엽콜리메이터 모형도

Unit) 조건으로 저감도 측 정용 필름을 사용하여 조사 하였으며 겐트리 각도 0°를 기 준으로 겐트리의 변화 에 따른 세개의 필드 경계 부분의 선량변화를 Video- densitometer(WELLHOFER DOSIMETRIE, GERMANY) 를 통해 비교 분석했다.

## 2. Intensity map에서 동일 Level의 beamlet의 재현성 분석

중심 Leaf을 기준으로 하방향 5개, 상방향 5개로 총 11 개의 Leaf을 사용하여 임의의 Intensity map(11(MLC)× 11(Y jaw) cm<sup>2</sup>)을 제작하였다.

다엽콜리메이터 정도관리 기구를 사용하여 겐트리 각 도를 0°로 고정하였다. 필름과 선원간의 거리를 100 cm 으로 위치하여 광 조사야와 정도관리 기구에 격자의 중 심과 일치시킨 후 80 MU 조건으로 저감도 측정용 필름 을 사용하여 5회 조사하여 동일 Level의 Leaf이 형성하 는 Beamlet의 재현성을 분석하였으며 다엽콜리메이터 정도관리 기구의 격자모양을 기준으로 격자모양 안으 로 Leaf이 들어오면 측정값에 "+", 벗어나면 "-"로 표 현하였다(그림 3).

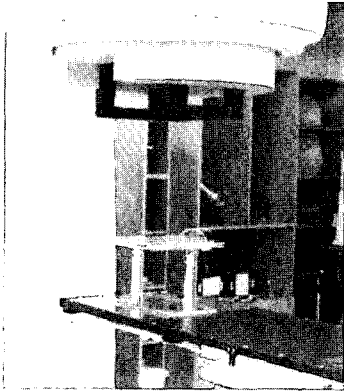


그림 3. 실험 2 모형도

## 3. Intensity map을 활용한 Custom 다엽콜리메 이터 정도관리의 적용

실제 치료 환자 중 Head & Neck환자 1명(9 Portal, 133 Segment)을 선택하여 치료 빔 중에서 겐트리 각도 0°,

270°, 320°, 90°, 140°의 Intensity map을 활용하였다. 다엽콜리메이터 정도관리 기구를 사용하였으며 필름과 선원간의 거리를 100 cm으로 위치하여 광 조사야와 정 도관리 기구에 격자의 중심과 일치시켰다. 겐트리 각도 와 사용된 저감도 측정용 필름이 평행하도록 수평계, 수 직계, 그리고 각도기를 사용하여 정도관리 기구를 위치 후 치료 시와 동일한 조건으로 빔을 조사하였으며 실험 2와 동일한 방법으로 측정값을 분석하였다(그림 4).

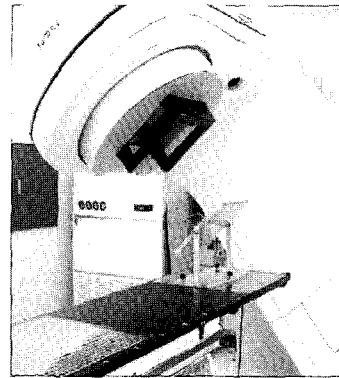


그림 4. 실험 3 모형도

## IV. 결과

### 1. 겐트리 각도의 변화에 따른 다엽콜리메이터의 변 화 분석

저감도 측정용 필름을 사용하여 얻은 영상과 Video- densitomete를 통해 얻은 영상이다. 이론상으로는 필드 의 경계부분이 일직선으로 일치해야 되나 다엽콜리메 이터의 정확성의 오차로 인하여 하얗게 노광되지 않은 부분이 있는 것을 알 수 있다(그림 5).

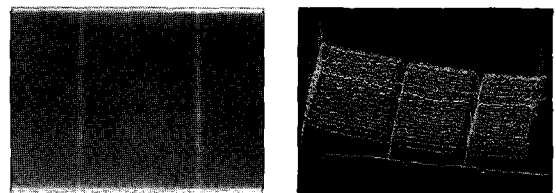
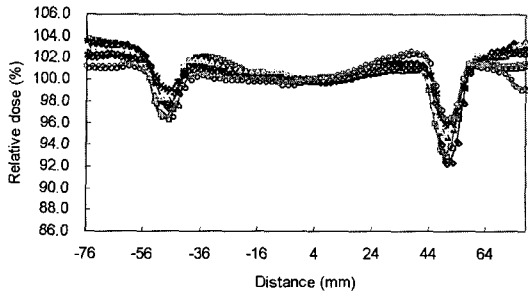
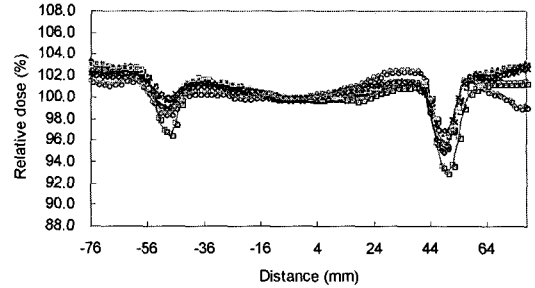


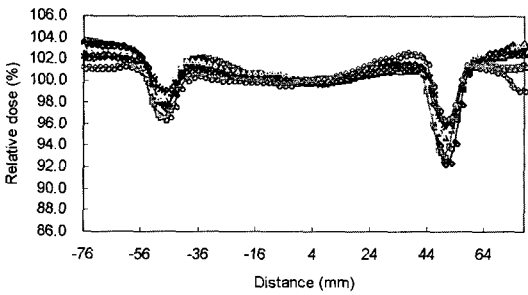
그림5. 겐트리 각도 0°에서의 영상



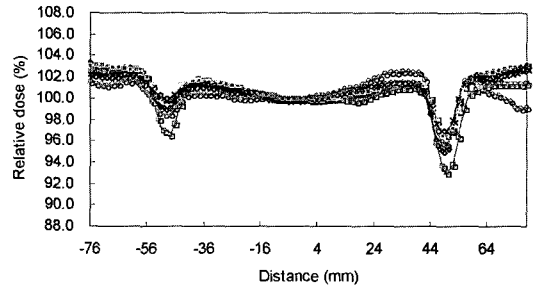
A. Leaf(+2)



B. Leaf(-2)



C. Leaf(+4)



D. Leaf(-4)

그림6. 상방향 Leaf(+2,+4)과 하방향 Leaf(-2,-4)의 겐트리 각도의 변화에 따른 선량분포

11개 Leaf의 측정값의 추세가 큰 차이가 없어 상방향 Leaf(+2, +4)과 하방향 Leaf(-2,-4)의 결과치를 대표적으로 제시하였다. 겐트리 각도의 변화에 따라 선량이 변화하는 것을 알 수 있으며 전체적으로 겐트리 각도 0°를 기준으로 270°일 때가 가장 선량변화가 많았으며 140° 일 때 선량 변화가 작게 나타났다(그림 6). 또한 각 Leaf 마다 측정값이 다른 것으로 보아 각각 독립적으로 겐트리 각도에 영향을 받는 것을 알 수 있었으며 결과 그래프의 내용처럼 두 지점의 최소값이 차이를 보이는 것을 근거로 동일 Level에서의 다엽콜리메이터가 표현하는 위치에 차이가 있는 것을 알 수 있다.

## 2. Intensity map에서 동일 Level의 beamlet의 재현성 분석

다엽콜리메이터 정도관리 기구를 사용하여 저감도 측정용 필름에 표현된 임의 제작한 Intensity map (11(MLC)×11(Y-jaw) cm<sup>2</sup>)의 영상이다.(5개 중 1개) 격자모양의 선(두께 0.5 mm)과 격자모양 안에 Beamlet을 확연히 구분할 수 있다(그림 7).

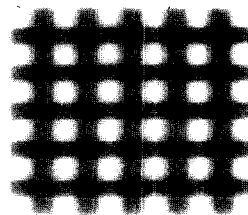
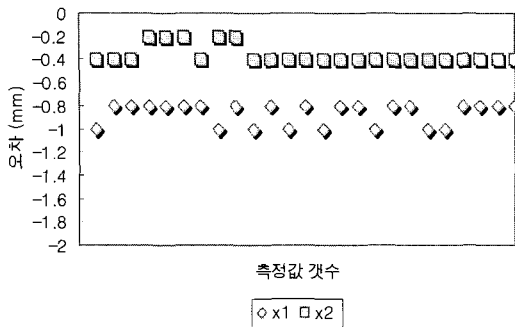
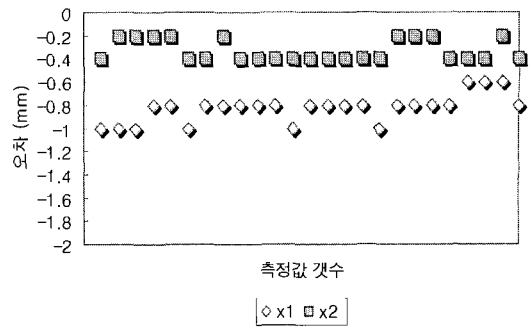


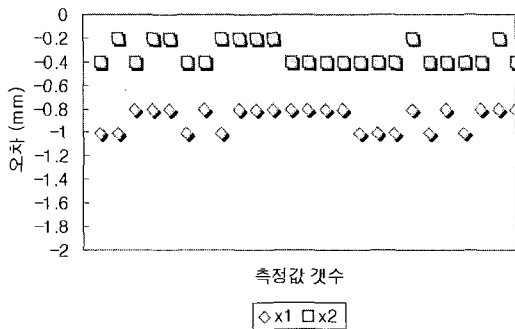
그림7. 겐트리 0°에서 Intensity map 영상



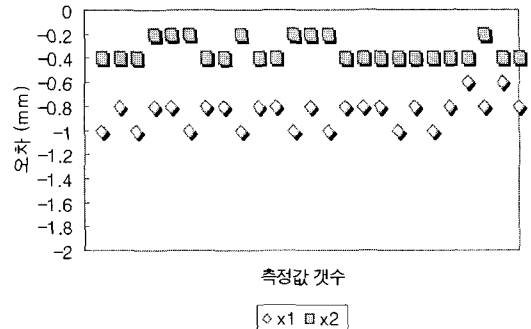
A. Leaf(+2)



B. Leaf(-2)



C. Leaf(+4)



D. Leaf(-4)

그림 8. 상방향 Leaf(+2,+4)과 하방향 Leaf(-2,-4)의 동일 Level에서 Beamlet의 재현성

11개 Leaf의 측정값의 추세가 큰 차이가 없어 상방향 Leaf(+2, +4)과 하방향 Leaf(-2, -4)의 결과치를 대표적으로 제시하였다. X1(MLC)은  $-0.6 \sim -1$  mm, X2(MLC)는  $0 \sim -0.4$  mm의 오차범위를 나타냈으며 이는 허용범위 안에 허용되는 측정값이었다.

그러나 동일 Level의 다엽콜리메이터가 형성하는 Beamlet의 재현성은 X1(MLC), X2(MLC)와 구분 없이 변동이 있었다(그림 8).

### 3. Intensity map을 활용한 Custom 다엽콜리메이터 정도관리의 적용

다엽콜리메이터 정도관리 기구를 사용하여 저감도 측정용 필름에 표현된 겐트리 각도  $0^\circ$  의 Intensity map 영상이다.

격자모양의 선(두께 0.5 mm)과 Beamlet을 확연히 구분할 수 있다(그림 9).

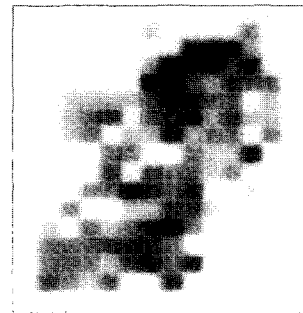


그림 9. 치료 환자의 겐트리 각도  $0^\circ$ 에서 Intensity map

전체 100개의 Beamlet 중에 75개를 분석하였다. X1(MLC)은  $-0.2 \sim -0.8$  mm, X2는  $0 \sim -0.4$  mm로 정확성의 오차를 보였으나 허용범위(2 mm) 안에 들어 왔으며 X1과 X2 Leaf이 형성하는 Beamlet이  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  보다 큰 것을 알 수 있었다(그림 10).

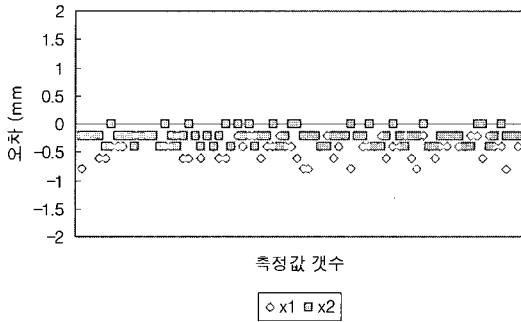


그림 10. 겐트리 각도  $0^\circ$ 에서 Intensity map의 정도관리

전체 97개의 Beamlet 중에 65개를 분석하였다. 치료 기기의 특성으로 X1(MLC)은  $-0.2 \sim -1.8$  mm, X2(MLC)는  $0 \sim 6$  mm로 X1이 X2에 비교해서 정확성이 저하되며 X1 Leaf중에 상방향 Leaf(-2, +3, +4)이 허용범위에 근접하였다.

이는 겐트리 각도의 영향으로 X1이 중력의 영향을 받아 정확성의 오차가 증가하는 반면에 X2는 정확성의 오차가 감소하였다(그림 11).

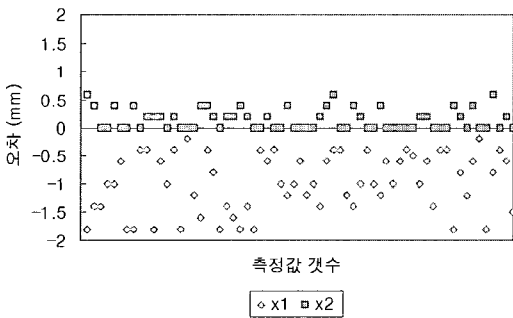


그림 11. 겐트리 각도  $270^\circ$ 에서 Intensity map의 정도관리

전체 125개의 Beamlet 중에 92개를 분석하였다.

기계적인 특성과 겐트리 각도의 영향으로 X1(MLC)은  $-0.2 \sim -1.6$  mm, X2(MLC)는  $0 \sim 6$  mm로 X1이 X2에 비교해서 정확성이 저하되었다(그림 12).

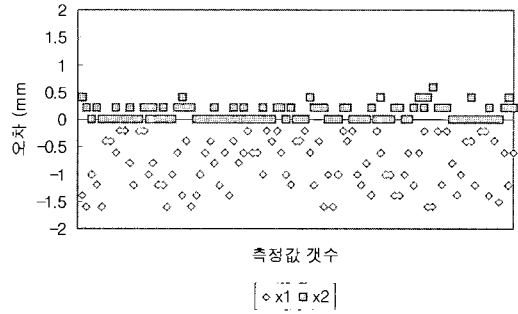


그림 12. 겐트리 각도  $320^\circ$ 에서 Intensity map의 정도관리

전체 83개의 Beamlet 중에 58개를 분석하였다.

겐트리 각도의 영향으로 X1(MLC)은  $0 \sim 0.2$  mm로 대부분의 측정값이 “+” 방향으로 돌아섰으며 X2(MLC)는  $0.2 \sim 1$  mm로 정확성의 큰 오차 범위를 갖았다(그림 13).

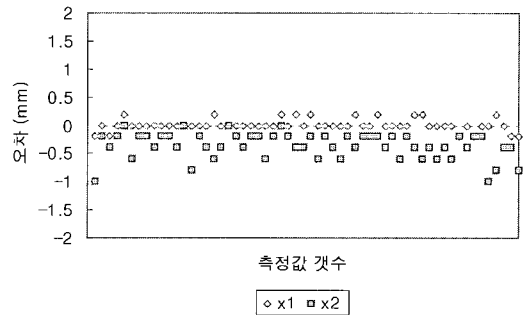


그림 13. 겐트리 각도  $90^\circ$ 에서 Intensity map의 정도관리

전체 115개의 Beamlet 중에 82개를 분석하였다.

겐트리 각도의 영향으로 X1(MLC)은  $0.2 \sim -0.2$  mm, X2는  $0 \sim -0.6$  mm로 전체 Intensity map을 구성하는 Beamlet에 정확성의 가장 적은 오차를 나타냈다(그림 14).

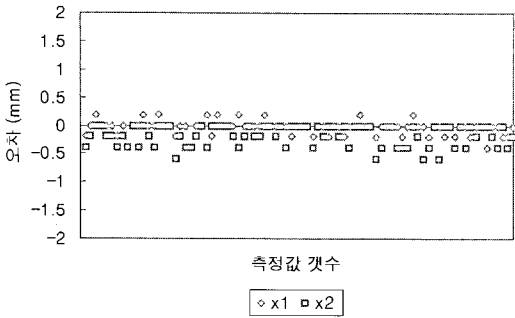


그림 12. 겐트리 각도 320°에서 Intensity map의 정도관리

## V. 결론

1. 다엽콜리메이터의 정확성은 겐트리 각도에 영향을 받는다.
2. 동일 Level의 Leaf이 형성하는 Beamlet의 재현성은  $\pm 2$  mm 정도의 변화가 있다.
3. 본 병원의 세기변조방사선치료기기 특성의 영향으로 다엽콜리메이터의 정도관리 결과 겐트리 각도가 270°일 때 정확성은 가장 저하되며, 140°일 때 정확성이 양호한 것으로 나타났다.
4. 다엽콜리메이터 정도관리 기구 사용 시 환자에 따른 Intensity map을 활용한 Custom 다엽콜리메이터 정도관리를 할 수 있었다.  
 정도관리 기구는 정밀한 기계로 제작하여 격자의 크기가 정확하며 격자선의 두께가 0.5 mm 이므로 2 mm의 허용범위를 측정하는데 우수하였으며 저감도 측정용 필름에도 뚜렷이 표현이 되어 눈으로 식별이 가능하였다.  
 이 기구를 사용 시 다엽콜리메이터 정도관리가 편리하고 유용하였다.

## VI. 고찰

세기변조방사선치료 시 다엽콜리메이터의 정도관리를 위한 목적으로 실제 환자에게 세밀히 적용하기 위해 Intensity map을 활용한 다엽콜리메이터의 정도관리를 계획했을 때 처음에는 본 논문과의 실험방법과는 달리 세기변조방사선치료기기의 썬키 필터를 삽입하는 틀을 이용하여 SSD(Source Skin Distance) 100에서 1 cm×1 cm을 형성 할 수 있는 확대도를 413 mm(선원 - 썬키 필터거리) + 4 mm(아크릴 두께)로 고려한 격자모양의 기구를 제작하여 실험을 하였으나 빔의 확산에 의한 격자모양의 크기와 격자의 형상이 뚜렷하게 나타나지 않아서 Intensity map에 나타난 Beamlet의 정도관리를 할 수가 없었다. 그래서 본 논문에 사용 된 다엽콜리메이터 정도관리 기구를 다시 제작하여 정도관리 기구는 빔의 확산에 의한 오차를 최소화 할 수 있게 하였으며 겐트리 각도와 수평을 유지할 수 있게 하여 정확성을 높 이도록 제작하였다.

본 실험을 시행하기 전에 세기변조방사선치료기기에 대한 기계적인 영향을 받지 않기 위해 광 조사야와 실제 조사야의 일치도 정도관리를 시행하였다.

결과 1은 Video densitometer에서 검증 된 결과이나 결과 2, 3은 사람의 눈으로 분석하여 오차의 여지는 있으나 첫 번째 사람이 결과값을 분석 후 첫 번째 사람의 입회 하에 두번째 사람이 결과치를 확인하는 방법을 시행하여 객관적인 오차의 범위를 줄였다.

결과 3의 경우 사용 된 Intensity map은 실제 환자의 것으로 임의로 제작 된 Intensity map을 사용한 것이 아니어서 주위 농도가 비슷하여 경계를 구분 할 수 없는 경우는 결과치 분석에서 누락을 시켰으며 전체 Beamlet의 갯수 중 70%정도를 분석 할 수 있었으며 한 개의 Intensity map에서 작게는 58개에서 많이는 92개의 Beamlet을 분석 할 수 있어 70%정도만으로도 다엽콜리메이터를 정도관리 하는데는 충분히 유용하였다.

또한 모든 실험을 일관성 있게 하기 위해 겐트리의 회전은 시계방향으로 회전하였다.

다엽콜리메이터 정도관리 기구를 사용할 경우 이 논문에서는 Beamlet의 구성요소인 다엽콜리메이터 만을 대상으로 하였으나 Y-jaw의 정도관리도 겸해서 할 수 있으며 또한 일반적인 치료에 사용되는 다엽콜리메이터 및 Jaw 그리고 필름을 통한 조사면 검증에 사용 할 수 있다.

본 논문은 Siemens사의 PRIMART(USA)를 사용하여 실험하였으나 다른 병원 Siemens사의 세기변조방사선치료기기나 Varian, Elekta등의 치료기기로 실험범위를 넓혔으면 더욱 객관적인 결과값을 제시 할 수 있었으리라 사료된다.

환자의 정확한 차폐를 위한 블럭으로 Custom 블럭을 사용하고 있으며 세기변조방사선치료 시 단순한 다엽콜리메이터의 정도관리 뿐만 아니라 환자의 치료에 실제적으로 적용되는 Intensity map을 활용한 Custom 다엽콜리메이터의 정도관리가 요구된다.

## 참고문헌

1. Chui C. S, Spirou S.: Dose calculation for photon beam with intensity modulation generated by dynamic jaw or multileaf collimators. *Med. Phys.* 1994;21:1237-1244
2. Indra J. D.: A dosimetric comparison of various multileaf collimators. *Phys. Med. Biol.* 2002;47:159-170
3. Cheng B. S, Komanduri M. A, Weining Z, et al.: Commissioning and quality assurance for MLC-based IMRT. *Med. Dosim.* 2001;26:125-133
4. Boyer and Shidong L.: Geometric analysis of light-field position of a multileaf collimator with curved ends. *Med. Phys.* 1997;24:5
5. Mark R. A, Qiuwen W.: Dosimetric validation for multileaf collimator-based intensity-modulated radiotherapy: a review. *Med. Dosim.* 2001;26:179-188
6. Claus F, De Gersem w, De Wagter C.: Leaf position optimization for step-and-shoot IMRT. *Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2001;51:1374-1388
7. Xia P, Verhey L. J.: Multileaf collimator leaf sequencing algorithm for intensity modulated beams with multiple static segments. *Med. Phys.* 1998;25:1424-1434
8. Galvin J. M, Smith A. R, Lally B.: Characterization of a multileaf collimator system. *Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 1993;25:181-192
9. Don C.: Intensity modulation using multileaf collimators : current status. *Med. Dosim* 2001;26: 151-156
10. Filip C.: Evaluation of leaf position optimization tool for intensity modulated radiation therapy of head and neck cancer. *Radiat. Oncol.* 2001;61:281-286
11. Saw C. B, Siochi R. A, Ayyangar K. M, et al.: Leaf sequencing techniques for MLC-based IMRT. *Med. Dosim.* 2001;26:199-204
12. Ping X, Lynn J. V.: Delivery systems of intensity-modulated radiotherapy using conventional multileaf collimators. *Med. Dosim.* 2001;26:169-177
13. 윤상민, 이병용, 안승도, 등.: 세기조절방사선치료 환자의 QA. *대한방사선종양학회지.* 2002;20:81-90
14. 조병철, 박석원, 오도훈, 등.: 세기조절방사선치료의 정도보증. *대한방사선종양학회지.* 2001;19:275-286
15. 주상규, 허승재, 박영환, 등.: 필름을 사용한 세기변조치료법에 대한 선량측정. *대한방사 선종양학회지.* 2002;20:172-178