

EDW(Enhanced Dynamic Wedge)의 선량계측학적 특성 분석 및 이에 따른 임상응용의 유용성 고찰

카톨릭대학교 성빈센트병원 치료방사선과

이정우 · 조화섭 · 박성렬

I. 서 론

인체의 불규칙한 모양이나 내부장기의 불균일성 또는 여러 방사선 조사면의 겹침에 따른 치료 표적내 불균일성을 완화하기 위한 방법으로 여러 가지 선량 변형기를 사용한다.

이 중 대표적인 장치가 췌기이며 대중화되어 사용되는 것이 금속췌기이다.

금속췌기를 선속중앙에 위치시킴으로써 선량 분포를 원하는 각도, 방향으로 기울임으로써 치료의 효과를 증진시킨다.

하지만 금속췌기는 방사선의 출력을 감소시키고, 불필요한 산란선을 생성하며 예기치 않는 물리적 충돌의 위험을 가지고 있는 것이 사실이다.

1990년 Leavitt 등은 미국 Varian사의 CL2100C 선형가속기에 기존췌기의 효과를 낼 수 있는 동적췌기를 이용한 기술을 소개하였으며 1997년에는 기존 동적췌기의 기능을 강화한 Enhanced Dynamic Wedge(이하 EDW)를 소개한 바 있다.¹⁻⁴⁾

EDW는 조사야의 Y축면을 형성하는 Jaw(Y1, Y2)를 방사선 조사중에 연속적으로 움직이게 함으로써 원하는 각도의 췌기모양 선량분포를 만들어 내는 췌기변조 방사선치료의 한 형태이다.

실제로 동적췌기면은 정지된 비대칭 조사면의 합으로 표현할 수 있으며, 비대칭 조사면의 크기와 이 때의 선량정보를 갖고 있는 것을 구간별 치료표(Segmentd Treatment Table : 이하 STT)라 한다.

EDW에서 사용되는 STT를 특별히 Golden STT라고 일컬으며 기존의 DW가 한 에너지당 132개의 STT가 필요한 반면 EDW는 에너지당 단지 하나의 Golden STT만이 필요하다. 그림 1.은 6MV 광자선의 Golden STT의 도표이다.

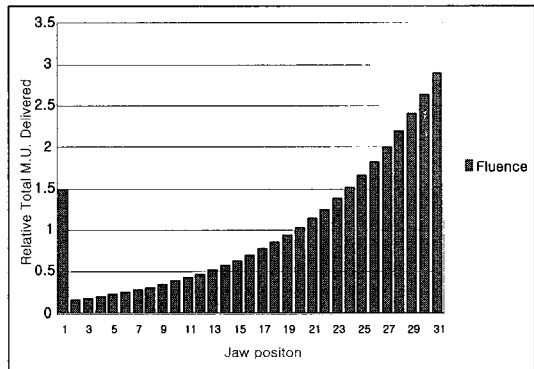


그림 1. 6MV 광자선의 Golden STT

이 비대칭 조사 면의 크기와 조사면에 대한 선량으로 표현할 수 있는 모니터값(Monitor Unit : 이하 MU)이 췌기의 각도를 결정하게 된다.

현재 상품화 되어져 있는 EDW는 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60의 7개 각도를 산출할 수 있으며 Y축 조사면 4 cm에서 30 cm까지 사용이 가능하다. 기존의 동적췌기는 췌기인자의 불연속성, 비대칭 조사야 적용 불능, 제한적인 췌기각도 등, 기능상의 약점을 가지고 있으며 임상적응을 위한 선량, 조사면 인자들을 측정하는데 기술적인

면에서 까다로운 점 때문에 실용화되고 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 EDW의 임상적용을 위한 선량 계측학적 특성인자인 심부선량 백분율, 조사야 밖의 주변 선량분포, 표면선량 등을 금속썰기(Metal Wedge : 이하 MTW), 열린 조사야(이하 Open)와 비교 분석하였으며, EDW의 실효 썰기인자 측정과 선량 측면도를 측정, 계산하여 합리적인 측정법을 제시하고 EDW의 특성을 규명함으로써 임상응용의 가능성을 높이고자 함이다.

II. 대상 및 방법

본 실험에서 사용된 장비로는 미국 Varian사의 EDW(7가지 각도: 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60)가 장착된 CL2100 C/D가 사용되었고 측정 장비로는 Wellhofer Water Phantom system, MD 240 electrometer, Keithly model 35040, IC 10 지두형 전리조, Markus 평판형 전리조, 3D CadPlan system이 사용되었다.

1. 비교 측정

심부선량 백분율, 조사야 밖의 주변선량분포, 표면선량은 지두형, 평판형 전리조를 이용하여 EDW, MTW, Open에 대하여 측정치를 비교하였다.

심부선량 백분율은 지두형 전리조를 이용하여 깊이 30 cm까지 1 cm 간격으로 6MV, 15 MV 광자선에 대해 측정하여 누적 선량의 비로 표현하였다.

조사야 밖의 주변 선량분포에 대해서는 6MV 광자선, 선량 최대점인 1.5 cm 깊이에서 조사면 크기 $15 \times 15 \text{ cm}^2$ 에 대해 조사야 경계로부터 Offset 9cm 까지 1cm 간격으로 측정하여 선량 중심축의 값에 정규화 하여 표현하였다.

또한, 표면선량은 평판형 전리조인 Markus Chamber를 이용하여 6MV 광자선에 대해 표면

으로부터 0.3 cm 간격으로 2.1 cm 깊이까지 측정하여 상대값으로 나타내었다.

2. EDW 실효 썰기 인자 측정

EDW의 실효썰기 인자는 Jaw의 움직임에 따라 변할 수 있으므로 X축, Y축 Jaw의 크기에 따른 의존도와 비대칭 조사야 사용시 썰기인자 변화에 대한 측정을 하였다.

다음과 같이 나누었다.

- ① X,Y축 조사면 크기에 따른 의존도 측정
- ② X축 Jaw의 의존도 측정
- ③ 비대칭 조사 면에서의 인자변화

항목 ①에 대해서는 정방향 조사면 4 cm에서 20 cm까지 1 cm 간격으로 SSD 100 cm, 물 팬텀에서 6MV는 5 cm 깊이, 15MV는 10 cm 깊이에서 측정하였다.

항목 ②는 X축 Jaw에 따른 인자 변화를 알기 위해 Y축 Jaw를 가장 작은 4 cm으로 고정시키고 X축 Jaw를 4, 10, 20, 30, 40 cm으로 변화시키면서 가장 극단적인 조건에서 측정하였다.

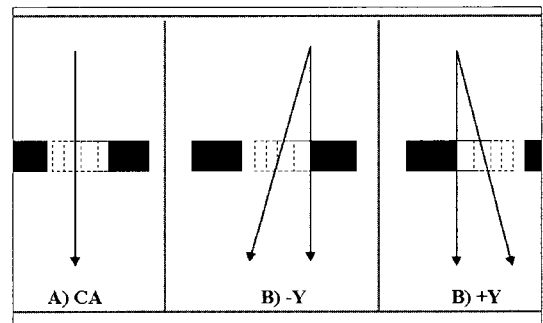


그림 2. 대칭, 비대칭 조사야에서 EDW 실효썰기 인자 측정 모식도

항목 ③은 그림 2에서 보는 바와 같이 조사면의 중심과 선속축이 일치하는 장방향 조사야와 선속축과 일치하지 않는 비대칭 조사야에서의 인자 변화에 관해 실험하였다.

비대칭 조사야의 경우 측정점의 위치를 선속의 퍼짐과 깊이에 따른 확대율을 고려하여 비대칭 조사야의 중심으로 이동시켰다.

3. 선량측면도 측정 및 CadPlan 계산치 비교

EDW는 콜리메이터를 이루는 Y축 Jaw(Y1, Y2)가 방사선 조사중에 조사면을 일정비율로 움직이기 때문에 단일 검출기를 이용한 측정이 사실상 불가능하다.

국내에서는 1996년 김미화가 Film을 이용하여 동적썰기를 측정하였으며 STT를 근간으로 선량 중첩 방식을 이용한 계산치와 비교함으로써 유용성을 입증한 바 있다.⁶⁾

하지만 Film은 방사선의 양과 에너지에 다분히 의존적이므로 측정과 분석과정에서 세심한 주의가 필요하다. 또한 현상과정에서 나타날 수 있는 인위 구조물(artifact)이나 분석에 소요되는 막대한 시간소비 때문에 난점을 가지고 있는 것이 사실이다.

본 연구에서는 Wellhofer사의 다중 전리조 검출 시스템(CA-24)을 이용하였다(그림 3).

CU500E에서 Chamber Array24 (CA24)의 움직임을 조절하고 다중 신호를 검출하기 위해 MD240 electrometer가 사용됐다.

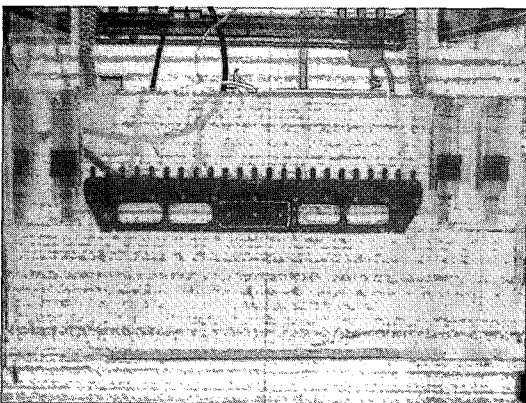


그림 3. Water phantom과 CA24를 이용한 EDW 선량측면도 측정 Setup

III. 결 과

1. 비교 측정 결과

(PDD, Peripheral dose, Surface dose)

광자선 에너지 6 MV, 15 MV에서 EDW, MTW 각각 60도, Open에서의 심부선량 백분율 측정 결과, 6 MV에서 Open field를 기준으로 할 때 EDW는 +0.4%이내로 잘 일치하였고 MTW는 +2% 내외의 차이를 보였다.

반면 15 MV에서는 모두 0.5% 이내로 잘 일치하였다. 고 에너지일수록 심부선량분포가 Open beam에 가깝게 나타났다.

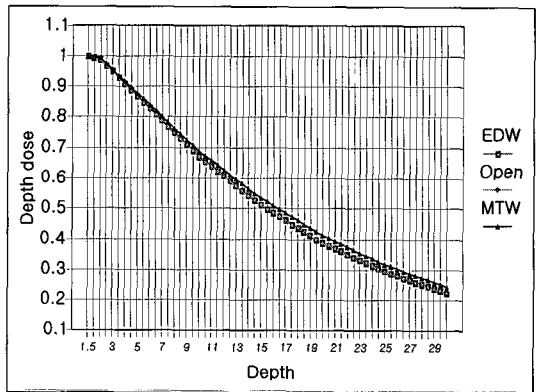


그림 4. 6 MV 광자선에서 EDW, Open, MTW의 심부선량 백분율. (EDW와 Open은 잘 일치하나 MTW는 약 2%정도 높게 나타나고 있다.)

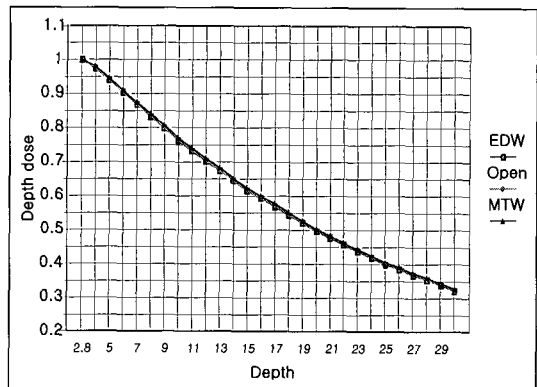


그림 5. 15 MV 광자선에서 EDW, Open, MTW의 심부선량 백분율. (세 개의 그래프가 0.5% 이내로 잘 일치하고 있다.)

그림 4와 5는 각각 6 MV, 15 MV의 심부선량 백분율의 그래프이다.

표 1은 Buildup 영역내에서의 표면선량을 나타내고 있다. EDW와 Open은 1% 이내로 잘 일치하는 반면 MTW의 경우 표면에서 약 10% 이상 선량이 적게 나타났다. MTW의 경우 빔이 금속썰기를 통과하는 과정에서 선질경화 현상에 의해 나타난 결과로 추정되며 EDW의 경우는 선질경화가 일어나지 않음을 알 수 있었다.

표 1. Buildup 영역내에서의 표면선량분포 (단위 : %)

종류 깊이	EDW	Open	MTW
0 cm	53.6	52.6	43.4
0.3 cm	92.6	92.2	89.2
0.6 cm	97.9	97.4	96.1
0.9 cm	99.2	99.2	99.2
1.2 cm	100	99.9	100
1.5 cm	100	100	100
1.8 cm	99.9	99.6	100.3
2.1 cm	99.8	99.1	99.2

그림 6은 EDW, MTW, Open 조사면 밖에 주변 선량분포를 보여주고 있다. EDW에서는 Open일때와 같이 주변 선량이 비교적 낮은 반면 MTW의 경우 금속에 의해 발생한 산란선에 의해 주변 선량이 높아진다.

Off axis 9 cm부터 +0.2%로 시작하더니 15 cm

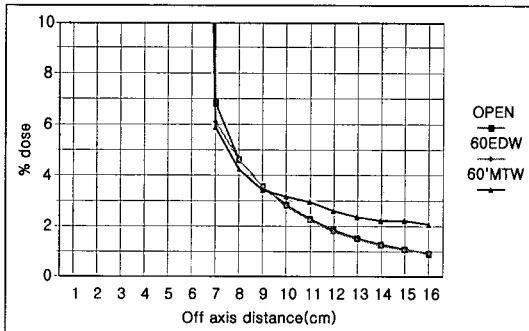


그림 6. 조사야 밖의 주변 선량 분포
6 MV, 조사야 15 × 15 cm², 측정 깊이 : 1.5 cm

까지 +1.2 %의 증가를 보였다.

2. EDW 실효 썰기 인자 측정 결과

X, Y축 조사면 크기에 따른 의존도 측정 결과는 그림 7, 8에서 보여지듯이 7개 각도 모두에서 조사야가 커짐에 따라 실효썰기 인자는 연속적으로 작아짐을 알 수 있었다.

기존 동적썰기의 썰기인자가 불규칙한 단점을 EDW에서는 보완된 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 사이값에 대해서 선형 보간법을 적용할 수 있을 것이다.

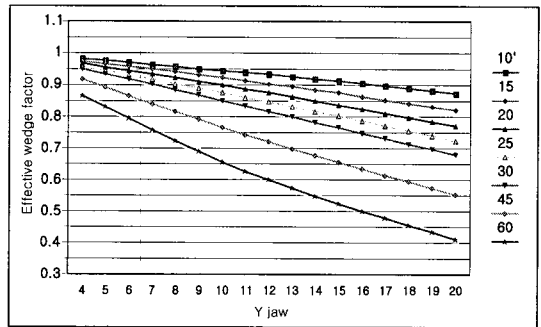


그림 7. 6 MV EDW 실효썰기 인자

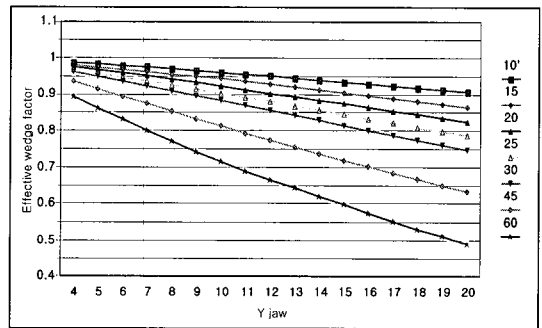


그림 8. 15 MV EDW 실효썰기 인자

또한, X축 Jaw의 크기에 따른 썰기인자 변화에 관한 그래프가 그림 9에 나타나 있다.

가장 극단적인 경우를 실험하기 위해 Y면을 4 cm으로 고정시키고 X축면을 4에서 40 cm까지 늘려가면서 얻은 측정값이다.

그림에서 보는 바와 같이 모든 각도의 EDW에

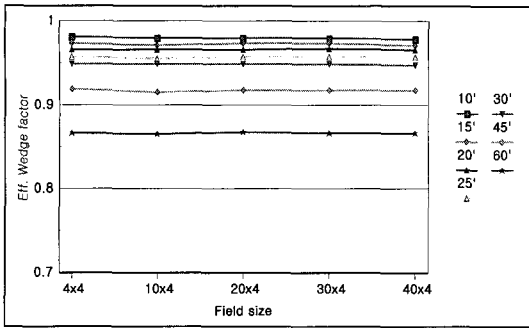


그림 9. X축면의 크기에 따른 실효썰기 인자의 변화, 6 MV, 5 cm 깊이

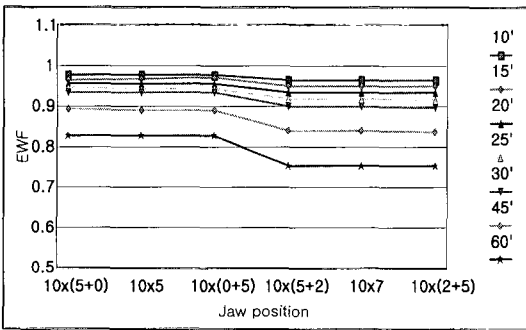


그림 10. 비대칭 조사면에서의 EDW 실효썰기 인자(Symmetric, Asymmetric, Half)

서 썰기 인자가 같음을 알 수 있었다. 따라서 임상적용시 EDW 실효썰기 인자의 고려는 Y축의 길이에 따라서만 고려해도 문제가 없음을 알 수 있다.

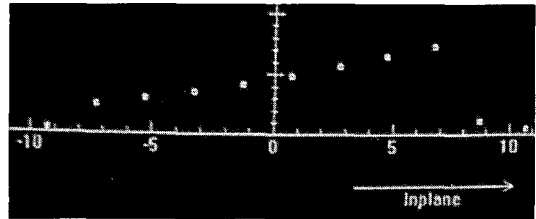
그림 10은 EDW를 사용하는 비대칭 조사면에서의 실효썰기 인자의 특성을 보여주는 그래프이다. MTW를 비대칭 조사면에 적용하는 경우 썰기 인자의 적용이 모호해지는 경우가 있다. 반면 EDW의 경우 실효썰기 인자는 비대칭과 상관없이 Y축면의 크기에만 의존하므로 썰기 인자의 적절한 적용으로 의도하는 처방 선량을 계산하는데 명확하다.

3. 선량 측면도

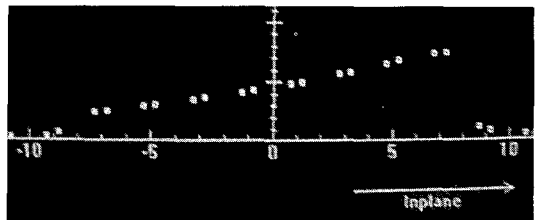
그림 11은 CA24를 이용하여 선량측면도를

측정하는 과정을 보여주고 있다.

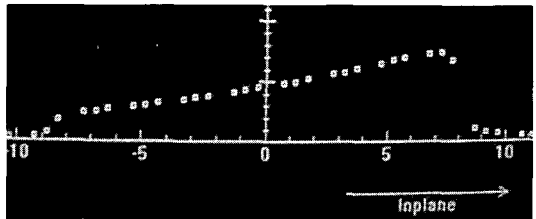
각각의 전리조 사이의 간격은 2 cm이고 그림 11. (a), (b), (c), (d)에서 보는 바와 같이 네 번에 걸쳐 0.5 cm 간격으로 동적썰기를 구동시켜 누적된 선량을 중첩 시킴으로써 선량측면도를 완성하였다.



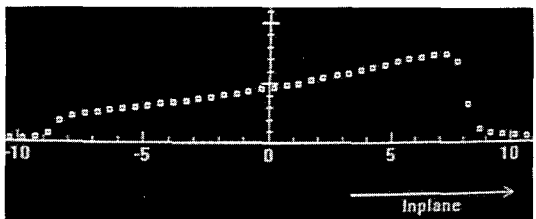
(a) 1st session



(b) 2nd session



(c) 3rd session



(d) 4th session

그림 11. CA24와 Wellhofer Dosimetry System을 이용하여 4 Session에 걸쳐 선량측면도를 완성하는 과정. (Chamber의 사이간격은 2 cm이고 0.5 cm 간격으로 측정)

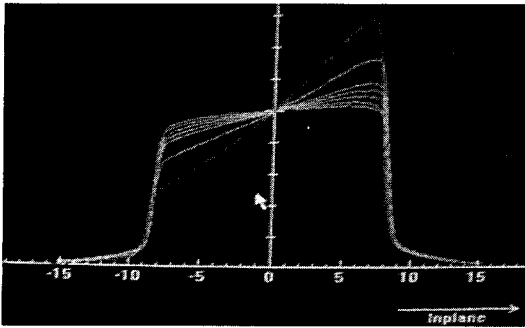


그림 12. 4 Session에 걸쳐 완성된 EDW 7각도 (10, 15, 20, 25, 30, 45, 60도)의 선량측면도

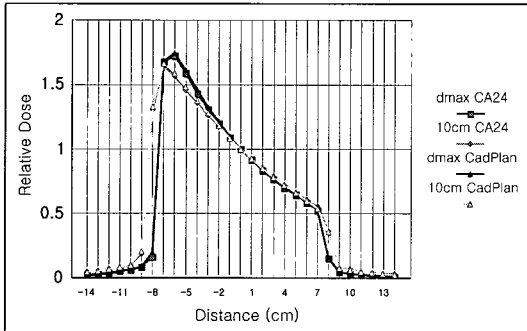


그림 13. CA24로 얻은 실측치와 CadPlan에서 얻은 계산치 비교

CA24를 이용해서 얻은 측정치와 CadPlan 시스템에서 Open Beam data와 Golden STT를 이용해 계산한 EDW 선량 측면도를 비교하였다. CadPlan 시스템의 광자선 계산 모델은 두 가지 절차를 걸친다. 우선적으로 기하학적 인자와 선질을 고려하여 물 등가 물질에서의 선량 분포를 만들고 부정형 조사면의 계산을 위해 Pencil beam convolution model 알고리즘을 사용한다. Pencil beam convolution model은 두 가지의 핵(Kernel)을 가지고 있는데, 그것이 바로 Scatter kernel과 Boundary kernel이다.

CadPlan 시스템에서 EDW를 구현하기 위해서는 Open beam data와 Golden STT 이외에 다른 측정자료는 필요치 않다.⁵⁾

그림 13은 CadPlan에서 구현한 EDW의 선량

측면도를 ASCII 형태로 변환하여 CA24로 측정해서 얻은 실측치와 비교한 그래프이다. 비교 측정, 계산 깊이는 6 MV의 선량 최대점인 1.5 cm과 10 cm이다. 각 깊이에서 두 자료 모두 1%이내의 일치를 보였다.

따라서 EDW 선량측면도의 방대한 측정없이도 CadPlan 시스템에서의 구현 및 임상 적용에 문제가 없음을 알게 되었다.

IV. 결 론

EDW의 임상적용을 위해서는 다양한 선량 계측학적 인자들의 측정 및 검증절차가 필요하며 이를 위한 적절한 도구 및 방법이 요구된다. 이상의 실험을 통해 동적췌기의 일반적인 특성인 장비의 출력효율 증대, 조사야 밖 선량감소로 인한 잠재적 장애 감소, 치료자의 노동력 절감 외에도 유방암의 절선조사와 같은 비대칭 조사야 치료시에도 적절한 췌기 인자를 고려함으로써 치료의 정확도를 향상시킬 수 있다.

또한 CadPlan 시스템에서 Golden STT를 근간으로 계산한 값과 실측치를 비교함으로써 방대한 측정없이도 임상적용을 할 수 있음을 확인했다.

향후 EDW의 특성을 이용한 폭 넓고 다양한 형태의 치료에 응용을 기대하며 적절한 정도관리 프로그램의 고안도 수반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Dennis D. Leavitt, Calvin Huntzinger, Thanos Etmektzoglou : Dynamic collimator and dose rate control : Enabling technology for enhanced dynamic wedge. Med. Dosi. 22 : 167-168, 1997
2. Dennis D. Leavitt, Eric Klein : Dosimetry measurement tools for commissioning enhanced dynamic wedge. Med. Dosi. 22 : 171-176, 1997

3. Dennis D. Leavitt, Wing Lok Lee, David K. Gaffney et al. : Dosimetric parameters of enhanced dynamic wedge for treatment planning and verification. Med. Dosi. 22 : 177-183, 1997
4. Bidmead A.M., Garton A.J., Childs P.J.: Beam data measurement for dynamic wedges on Varian 600C(6MV) and 2100C (6 MV and 10MV) linear accelerators. Phys. Med. Biol. 40:393-411, 1995
5. Anna Sanuelsson, Karl-Axel Johansson, Olof Mattsson et al. : Practical implementation of enhanced dynamic wedge in the CadPlan treatment planning system. Medi. Dosi. 22: 207-211, 1997
6. 김미화 : 선량 중첩 방식을 이용한 동적 썬키 조사면의 특성 연구 : 이학석사학위논문 1996 : 1-40