

## 방사선 입체조형치료를 위한 동적썰기여과판의 고안과 조직내 선량분포 특성

연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실

추 성 실

썰기형 선량분포는 임상에 많이 응용하고 있으며 고정썰기여과판은 선질의 강화와 조사면 주위의 산란선 증가, 등선량 각도의 불일치, 여과판의 장착 및 취급이 부정확하고 어려우며 입체조형 방사선 치료시 많은 조사면을 입체방향으로 중첩시킴으로서 발생하는 선량의 불균질을 방지하고 동적입체방사선조형치료(dynamic 3D conformal radiotherapy) 및 선량강도조절치료(intensity modulation radiotherapy)를 가능케 하는 동적썰기여과판을 고안 제작한다. 동적썰기여과판은 콜리메이터를 움직이면서 선량을 변화시켜서 최적의 썰기각의 등량곡선을 얻을 수 있도록 미분치료표(segmented treatment tables : STT)를 유도하며 표준형의 STT를 컴퓨터에 입력시킨다. STT에 의하여 생성되는 동적썰기여과판의 특성과 조직내 선량분포를 썰기각, 조사면의 크기, 조사선량율등 여러 조건하에서 측정 분석함으로써 방사선 감수성이 높은 장기 내의 종양과 저항성이 강한 악성종양치료를 도움을 주며 전반적인 방사선치료 성과를 향상시키고자 한다. 연세암센터에서 가동되는 선형가속기(Varian Clinac-2100C/D)를 이용하여 6MV와 10MV 광자선과 썰기각이 15°, 30°, 45°, 60°이고 정사각형 조사면의 한변이 4cm부터 20cm 범위를 0.5cm 간격으로 콜리메이터를 움직이면서 선량 변동량을 표시하는 미분치료표(STT)를 작성하였다. 썰기투과선량인자(wedge transmission factor)는 표준 물팬텀내에 표준전리함을 장치하고 열린조사면과 미분치료표에 의한 썰기조사면의 선량비로서 결정하였다. 썰기여과판에 의한 조직내선량분포와 등량곡선 및 프로파일은 필름으로 측정하고 영상선량측정기로 작성하였다. 수식으로 유도한 미분치료표(segmented treatment tables: STT)은 썰기여과판의 썰기각과 일치하였으며 썰기투과선량인자는 썰기각이 클수록 감소하였으며 조사면이 클수록 적어졌고 조사면 크기와 관계는 비선형적이었다. 동적썰기여과판에 의한 등량곡선의 썰기 기울기는 고정여과판보다 더욱 일치된 경사각을 유지하였다. 심부선량백율은 열린조사면에 의한 것과 거의 비슷하였으며 고정썰기여과판의 심부율보다 약간 줄어들었다. 동적썰기여과판은 고정썰기여과판보다 사용상, 선량측정 및 선량분포에서 장점이 많으며 피부와 여과판사이의 길이가 길어서 침대에 부딪치는 일이 없고 피부의 산란선 오염이 감소되어 치료효과를 상승시킬 수 있다. 동적썰기조사방법을 개발함으로써 지금까지 방사선 후유증과 종양의 불균일한 선량배열로 치료의 어려움이 있었던 분야를 개척할 수 있으며 동적입체 방사선조형치료(dynamic 3D conformal radiotherapy) 및 선량강도조정치료(intensity modulation radiotherapy)를 가능하게 함으로써 방사선치료성과를 향상시킬 수 있다.

### 서 론

방사선치료의 최선방법은 주위 건강조직과 주요장기의 방사선 피폭을 최대한 줄이면서 종양에만 방사

선을 집중 조사하는 것으로서 이를 위해 많은 노력과 다양한 치료기술이 개발되고 있다. 연세의료원 암센터는 새로 도입된 6, 20 MeV의 고성능 방사선 치료장치(CLINAC 2100 D)를 이용하여 주위 건강조직의 피폭을 줄이고 악성종양의 크기와 모양에 적합한 방사선 입체조형치료를 계획 시행하고 있으며 다

본 연구논문은 '연세대학교 의과대학 1996년도 교수연구비'에 의하여 이루어졌음.

방향 회전장치, 비대칭 콜리메이터, 다엽콜리메이터, 전자영상장치 및 3차원 입체 치료계획용 컴퓨터등에 의하여 최적치료계획을 구사하고 있다.

그러나 방사선입체조형치료는 눈의 수정체, 척수 등 방사선에 민감한 장기들을 피하면서 악성종양을 향하여 입체적인 방향에서 수많은 치료면을 겹치게 함으로서 방사선량분포의 과다, 과소의 폭이 크게되며 이는 방사선 입체조형치료의 문제로 해결해야할 과제로 남아있다.

또한 간, 폐, 신장 등 방사선 감수성이 높은 장기 내에 존재하는 악성종양에 대한 방사선 입체조형치료에서 발생하는 불균일한 선량분포의 평준화하는 방법이 요구되어 왔으며 이를 해결하기 위하여 썬기형 방사선여과판과 보상여과판의 사용이 검토되고 있다. 썬기여과판은 경사진 피부면이나 불균일한 종양의 모양, 조사면의 중복 결합등 보통 입상에서 가장 많이 사용되는 기구이다. 썬기형 등량곡선의 발생은 방사선치료 기간 동안 조사면을 점점 줄이는 방법과 썬기형 차폐벽들을 제작 사용되고 있으며 최근 선형가속기는 고퍬썬기여과판을 15°, 30°, 45°, 60°도 각의 전형적인 기본부품으로 제작공급하고 있다.

그러나 고퍬썬기여과판은 크기가 제한되어 있고 무거우며 어느 때는 머리위로 올려야 하고 조사면 표시등을 가려서 조사면의 확인이 어려울 때도 있으며 콜리메이터에 부착하기 때문에 약간의 위치변동으로 썬기 각이 큰 경우 등선량분포의 오차가 커진다. 또한 밀도와 원자번호가 큰 금속을 사용하기 때문에 저에너지 전자선과 광자선의 산란이 발생되어 피부선량과 조사면 주위의 피폭선량이 증가하며 선속의 에너지를 경화시킴으로서 심부백분율을 증가시킨다.

선형가속기의 부품으로 공급되는 3-4개의 표준썬기여과판만으로 이상적이지 못하며 상황에 따라 효과적인 썬기여과판의 제작을 제안하고 있다. 한편 동적썬기여과판은 컴퓨터로 콜리메이터를 제어하기 때문에 임의의 썬기각 또는 임의의 모양의 선량분포를 만들 수 있다. 그러나 동적 썬기는 방사선이 전달되는 동안 콜리메이터 위치와 선량율이 모두 변화하기 때문에 전체 노출동안 팬텀내의 각측정점에서 방사선이 적분되어야 하고 조사면의 크기에 도 관계됨으로 실측이 어렵다.

연구자는 선형가속기(Clinac 2100C/D)의 일부기

능인 동적썬기여과판 (dynamic wedge filter)에 의한 썬기형 등선량곡선을 얻기 위하여 미분치료표 (segmented treatment table: STT)를 유도하고 이들의 특성을 평가하여 방사선 입체조형치료에 최적한 선량분포를 형성할 수 있도록 충분한 크기와 다양한 모양 및 다단계 썬기각에 대한 조직내 선량분포를 측정하였다. 측정된 자료는 임상응용에 편리하도록 기본자료를 작성하며 간암, 폐암등 방사선 감수성이 비교적 예민한 장기내의 종양이나 방사선 저항성이 큰 종양치료에 효과적으로 사용함으로서 방사선 치료성적을 향상시키는데 큰 도움이 될 것으로 확신한다.

또한 재래식 방법으로 방사선 치료가 어려웠던 간, 폐, 신장 등 방사선 감수성이 높은 장기 내에 존재하는 악성종양을 새로 고안한 동적썬기여과판을 이용한 방사선 입체조형 치료(3-D conformal radiotherapy)를 계획하고 방사선량분포의 개선된 점과 방사선 치료 효과를 평가한다.

6, 10 MV의 고에너지 광자선을 이용한 방사선 입체조형치료에서 다양한 모양과 크기를 가진 종양을 중심으로 입체방향의 많은 조사면을 중첩시킴으로서 발생하는 선량의 불균질을 방지하기 위하여 컴퓨터로 조종되는 동적썬기여과판을 고안하고 이에 대한 특성과 조직내 선량분포를 썬기각, 조사 방향, 조사면의 크기, 조사선량율등 여러 조건하에서 측정 분석함으로써 방사선 감수성이 높은 장기 내의 종양과 저항성이 강한 악성종양치료에 도움을 주며 전반적인 방사선치료 성과를 향상 시키고자 한다.

썬기형선량분포 뿐 아니라 조직보상형(tissue compensator) 여과판의 역할도 가능한 동적썬기여과판 (dynamic wedge filter)의 개발은 차세대 새로운 암치료방법인 방사선 동적 입체조형치료(dynamic conformal radiotherapy)기술을 가능하게 하며 방사선 치료의 획기적인 성장을 기대할 수 있다.

## 실험 방법

### 썬기형 선량분포를 위한 미분 치료표의 작성

방사선을 조사하는 동안 한쪽 콜리메이터를 비대칭적으로 이동하면서 방사선을 차폐시키면 썬기형 선량곡선(wedge isodose curve)이 생성되고 이와 같은

행위와 기구를 동적썰기여과판이라고 하며 방사선 조사중 콜리메이터의 이동속도, 조사면의 크기, 방사선 에너지, 조사선량, 평탄도, 선량율에 따른 썰기등량곡선의 각도, 모양, 감쇄인자에 관계된다.

동적썰기여과판은 일정한 선량율에서 콜리메이터의 이동속도를 조절함으로써 썰기각을 얻을 수 있다. 즉, 한쪽 콜리메이터의 위치가 열린조사면에서 일정한 폭으로 움직이면서 썰기각도에 따라 계산된 선량을 부여한다. 이때 썰기각도에 의한 썰기형등선량곡선과 열린조사면에 의한 등선량곡선의 중심축 밖의 선량비율(off axis ratio:OAR)의 변화를  $T(x)$ 라고 하면

$$T(x) = \text{썰기조사면OAR}(x) / \text{열린조사면OAR}(x) \quad (1)$$

로 주어진다.

그리고,

$$T(x) = \exp(\mu \cdot h(x)) \quad (2)$$

이며  $h(x)$  는 조사면의  $x$ -지점에서 선속에 평행한 조직의 깊이를 표시한다.

썰기곡선의 각을  $\theta$ 라하면

$$h_i = x_i \cdot \tan\theta \quad (3)$$

여기서  $x_i$ 는 조사면 한변 길이를 여러 등분한 변의 폭을 말한다.

$x_i$ 지점에서 썰기각의 미분치료표(STT)의 크기는 대략 다음과 같다.

$$STT_i = a + C_i \cdot \exp(\mu \cdot h_i) \quad (4)$$

여기서  $a$ 는 초기선량이고  $C_i$  는 조사면 변화에 따른 산란선의 비율이다.

전체선량을 MU라하면

$$MU = \sum STT_i = a + \sum C_i \exp(\mu \cdot h_i) \quad (5)$$

(5) 식에서 계산한 STT를 기본으로 하여 계획된 썰기각과 조사선량율, 조사면의 크기에 따라 실측하고 오차에 대하여서는 다소 보정한다.

이와 같은 방법으로 가장빈도가 큰 썰기각분포에 대하여 조사방사선의 에너지, 조사선량을 및 조사면에 따른 미분치료표 (segmented treatment table)를 작성 프로그램화하고 방사선 조사중 콜리메이터가 컴퓨터에 의하여 이동하게 되면 계획된 썰기 선량분포를 얻을 수 있다.

### 썰기투과선량비(wedge transmission factor)

썰기투과선량비(wedge transmission factor)는 열

린조사면에 대한 썰기조사면의 선량비율로서 방사선이 조사되는 전체시간 또는 전체 MU와 선량중심축을 콜리메이터가 가리지 않은 시간 또는MU의 비로서 표시할 수 있으며 STT를 이용한 계산치의 비교를 통하여 STT를 이용한 썰기투과선량비 계산방법의 정확성과 실용성을 검토하였다.

선형가속기(Clinac 2100C/D)에서 발생된 6 MV와 10 MV 광자선에 대하여 선량최대점  $d_{max}$ 와 10cm 깊이에서 열린조사면과 썰기조사면에 대한 선량율을 측정하였으며 이때 선원과 표면간의 거리(SSD)는 100 cm이었고 전리함을 폴리스틸렌 팬텀 표면에서  $d_{max}$  와 10 cm 깊이에 놓고 측정하였다. 선량단위(monitor unit, MU)는 100 MU, 선량율을 600 cGy/min로 고정하고 열린조사면과 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup> 까지 2 cm 간격의 조사면을 선택하였다.

선량측정은 표준전리함(Farmer chamber PTW 0.65cc)과 물팬텀(Welhoffer 700)을 이용한 소형 전리함(PTW 233643 0.125cc)을 이용하여 상호 비교하였으며 선량분포는 필름(Kodak X-Omat, USA)을 이용하였고 Welhoffer 700i densitometer 에 의하여 선량분포를 작성하였다.

### 심부선량율(percentage depth dose) 측정

납판과 텅스텐으로 제작된 기존 고정썰기여과판(hard wedge filter)과 콜리메이터 만을 일정한 속도로 이동시키는 동적썰기여과판(dynamic wedge filter)에 의한 조직내 방사선 심부 선량분포를 상호 비교 검토하여 각각의 장단점을 분석하였다. 동적썰기여과판은 납등 차폐물질을 직접 이용하지 않으며 방사선량의 감약과 에너지의 여과 및 산란선에 의한 선질의 변화가 없기 때문에 열린조사면의 심부선량율과 거의 비슷하다.

썰기형 등선량곡선의 측정은 방사선조사중 한쪽 콜리메이터가 컴퓨터 프로그램(STT)에 따라 일정한 간격, 정해진 시간으로 움직이기 때문에 한 개의 표준측정기로서는 선량분포를 측정할 수 없으며 다중측정기 또는 분해능이 큰 필름 측정법을 이용하여야 한다.

본 연구에서는 필름 측정법을 사용하였으며 이를 위하여 조직등가팬텀과 필름(Kodak X-Omat, USA)을 압착할 수 있는 기구를 제작하였다. 선형가속기

에서 방출되는 6 MV 와 10 MV 광자선에 대하여 조사면 15x15 cm<sup>2</sup>의 정사각형 조사면에서 15°, 30°, 45°, 60°의 썰기각을 사용하였다.

고에너지 방사선에 노출된 필름은 현상한 후 정밀 흑화도측정기(Micro densitometer, Welhoffer 700i)에 의하여 선량으로 환산하였으며 TLD를 이용하여 확인하였다.

### 썰기선량분포(wedge dose distribution) 측정

동적썰기조사면의 프로파일과 등선량곡선등은 콜리메이터 위치에 따라 선량율이 달라지기 때문에 다중검출기로 선량을 측정하거나 필름선량측정이 가장 이상적인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 필름 측정법을 사용하였으며 이를 위하여 조직등가 팬텀 내에 필름을 압착시킨후 선형가속기에서 방출되는 고에너지 광자선을 컴퓨터 프로그램(STT)에 따라 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup>까지의 정사각형 조사면에서 각각 15°, 30°, 45°, 60°의 썰기각에 대하여 측정하였다.

고에너지 방사선에 노출된 필름은 현상한 후 정밀 흑화도 측정기 (Micro densitometer, Welhoffer 700i)에 의하여 선량으로 환산하였고 TLD를 이용하여 확인하였으며 방사선치료에 편리함과 치료 오차

를 줄일 필요에 따라 많은 썰기각과 다양한 모양의 썰기 등선량곡선을 컴퓨터 프로그램(STT)에 의하여 창출할 수 있으며 사용빈도가 높은 썰기 등선량곡선은 에너지와 썰기각에 따른 미분치료표(Segmented treatment tables)를 미리 작성하고 이를 컴퓨터 프로그램화하여 간편하게 사용할 수 있도록 하였다.

### 결 과

#### 썰기형에 따른 미분치료표 (segmented treatment tables)

동적썰기여과판의 썰기각에 따른 해당 미분치료표(segmented treatment tables)를 선택하고 컴퓨터 프로그램에 의하여 한쪽 콜리메이터를 이동시킴으로써 동적썰기여과판을 이용한 썰기형 등선량곡선을 얻을 수 있다. 선형가속기(Clinac 2100C/D)에서 발생된 6 MV와 10 MV 광자선에 대하여 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup>까지 한 변의 길이가 2 cm씩 증가시키면서 정사각형 조사면을 선택하고 15°, 30°, 45°, 60°의 썰기각을 발생시킬 수 있는 미분치료표(STT)를 관계수식(식5)으로 유도 계산하였다.

미분치료표(segmented treatment tables)는 한쪽 콜리메이터(Y<sub>1</sub> collimator)를 0.5 cm간격으로 이동

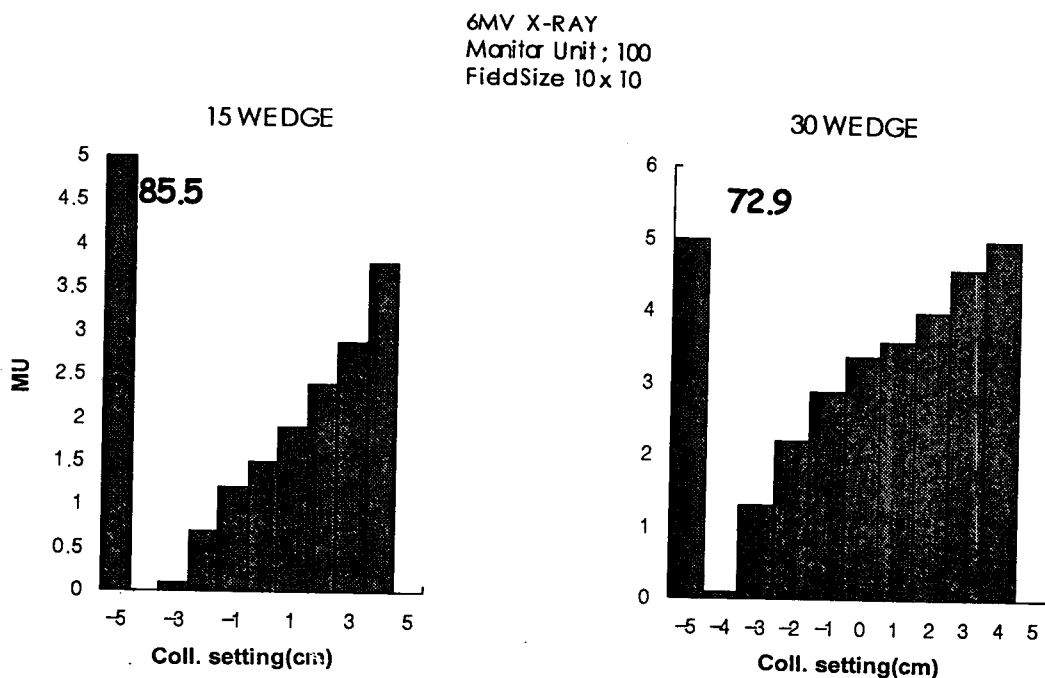


Fig. 1. Segmented treatment tables of 15° and 30° dynamic wedge angles for 6MV photon beam.

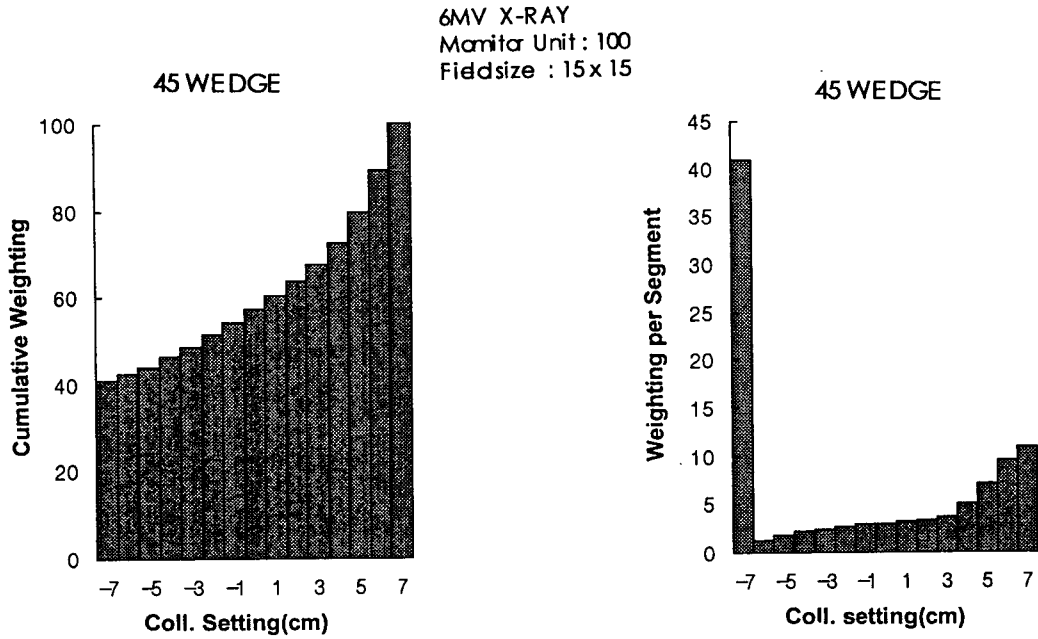


Fig. 2. Cumulated and segmented treatment tables of 45° dynamic wedge angles for 6MV photon beam.

시키면서 각 위치마다 정해진 선량을 모니터 단위 (MU)로 조사시킴으로서 썰기선량 분포를 얻을 수 있다.

그림 1과 2는 선형가속기에서 발생된 6 MV 광자선에 대하여 조사면 10x10 cm<sup>2</sup> 및 15x15 cm<sup>2</sup>의 정사각형 조사면에서 15°, 30°, 45°의 썰기각을 발생시킬 수 있는 미분치료표(STT)를 콜리메이터 이동에 따라 각각 미분선량과 적분선량을 막대그림으로 표시한 것이다.

이 미분치료표(segmented treatment tables)에서 동적썰기여과판의 시작선량은 종양에 주어지는 전체 선량에 따라 큰 폭으로 변화하며 썰기조사면의 중심부위보다 가장부위의 선량을 다소 증가시켜 조직내의 썰기선량곡선이 거의 직선이 되도록 노력하였다.

### 썰기투과선량인자 (wedge transmission factor)

썰기투과선량인자(wedge transmission factor)는 열린조사면에 대한 썰기조사면의 선량비율로서 방사선이 조사되는 전체 모니터 선량(MU)과 선량중심축을 콜리메이터가 가리지 않은 MU 값의 비로 정의한다.

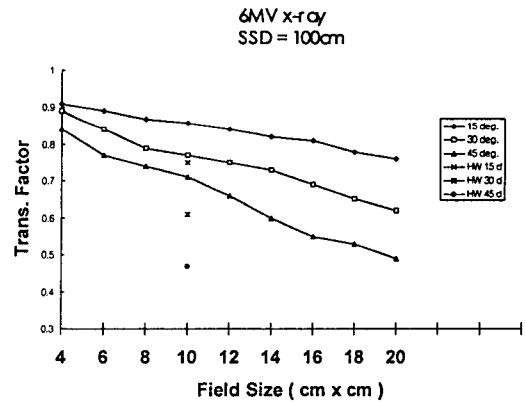


Fig. 3. Wedge transmission factor of square fields for 6MV photon beam.

그림 3은 선형가속기에서 발생된 6 MV x-선, 선원과 표면간의 거리(SSD) 100cm, 조직등가 팬텀의 깊이 10 cm에서 동적썰기 및 고정썰기조사면에 대한 선량 투과인자를 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup>까지 2 cm 간격의 조사면 과 15°, 30°, 45°의 썰기각에 따라 측정된 값이다.

이 그림에서 썰기조사면 10x10 cm<sup>2</sup>에서 썰기각 15°, 30°, 45°에 대한 동적썰기조사면의 선량투과인자는 각각 0.87, 0.79, 0.72 이었고 고정 썰기는 각각 0.76, 0.60, 0.46으로 측정되었으며 동적썰기여과판의

조사면이 클수록 썰기투과선량비율이 감소되었다.

썰기투과선량인자는 측정기에 의한 직접측정과 STT 값을 이용하여 계산을 수행한 값은 거의 일치 하였으며 이는 동적 썰기조사면에서 썰기투과선량인자를 구하기 위해 모든 조사면에 대한 방대한 측정이 없이도 STT를 이용하여 썰기인자를 쉽게 계산해 낼 수 있음을 의미한다.

또한 직사각형 조사면에서 썰기투과선량인자의 변화는 썰기방향의 조사면이 변하지 않으면 썰기투과인자의 변화는 거의 일정하였다. 즉 동일한 y-field에 대하여 직사각형 조사면은 정사각형 조사면에서의 썰기투과인자와 거의 같다. 따라서 정사각형 조사면에서의 측정과 계산만으로 동적썰기조사면에서의 썰기투과선량인자를 얻는데 충분하다. 그림 4는 동적썰기여과판과 고정썰기여과판을 각각 사용하였을 때 투여되는 전체 모니터선량(MU)은 조사시간에 비례하지만 고정썰기여과판의 조사시간이 더 길었다.

**심부백분율( percentage depth dose)**

동적썰기여과판은 납등 차폐물질을 직접 사용하지 않고 방사선량의 감약과 에너지의 여과 및 산란선에 의한 선질의 변화가 없기 때문에 열린조사면의 심부선량율과 거의 비슷하다.

썰기조사면에 의한 심부선량측정은 한쪽 콜리메이터가 컴퓨터 프로그램(STT)에 따라 일정한 간격

으로 움직이면서 정해진 선량(MU)을 조사하기 때문에 한 개의 표준측정기로서는 선량분포를 측정할 수 없으며 다중 측정기 또는 분해능이 큰 필름 측정법을 이용하여야 한다.

본 연구에서는 필름 측정법을 사용하였으며 선형 가속기에서 방출되는 6 MV와 10 MV 광자선에 대하여 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup>의 정사각형 조사면에서 15°, 30°, 45°, 60°의 썰기각을 사용하였다.

그림 5는 6 MV x-선에서 선원과 표면간의 거리(SSD) 100 cm, 썰기조사면 10x10cm<sup>2</sup>에서 썰기각 45°에 대한 동적 썰기조사면과 열린조사면 및 고정 썰기조사면에 대한 심부백분율로써 표면에서 10 cm

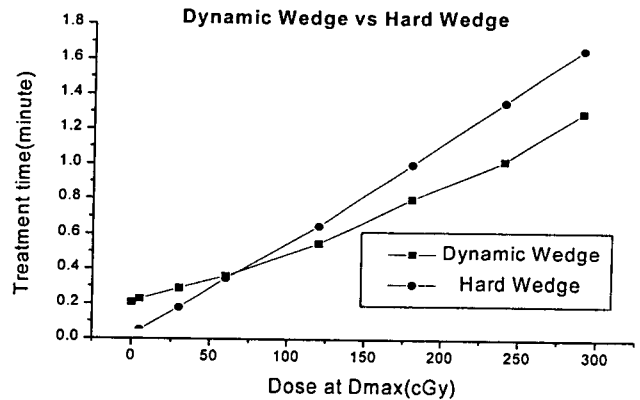


Fig. 4. Typical treatment time curves for 45 degree wedge angle and 10 x 10cm treatment fields.

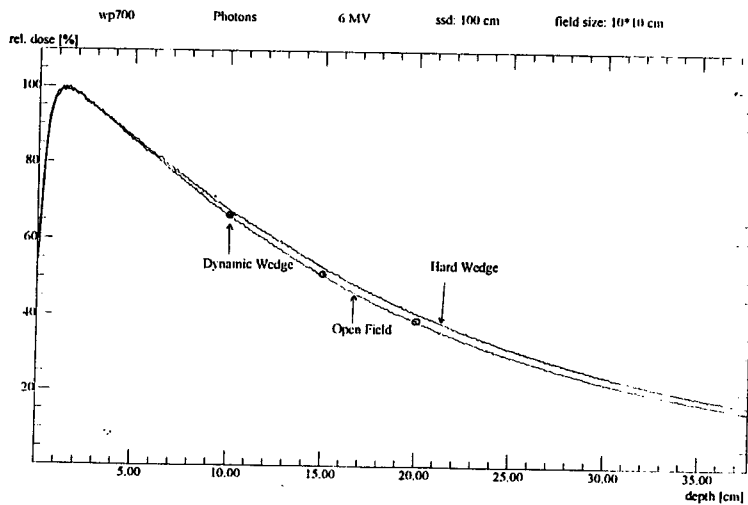


Fig. 5. Percentage depth dose of 45 degree dynamic and hard wedge field for 6MV photon beam and 10 x 10cm<sup>2</sup> field size.

Dynamic wedge 6 MV field size: 15x15 cm ssd: 100 cm

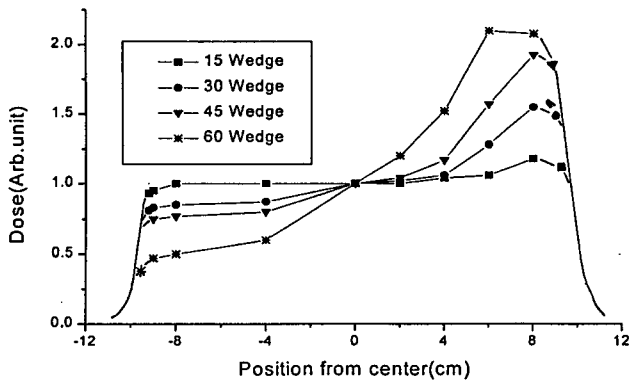


Fig. 6 The dose profile of 20 × 20cm<sup>2</sup> dynamic wedge field by STT generation for 6MV photon at 5 cm depth.

깊이의 심부선량을 동적췌기 일때 67.0% 로서 열린조사면과 거의 비슷하지만 고정췌기여과판에 의한 심부선량은 67.4%로서 약 4% 증가하였으며 이는 고정췌기여과판에 의한 저에너지선량의 여과로 선속의 평균 에너지가 증가하였기 때문이었다. 방사선치료 계획에서 고정췌기여과판에 의한 심부선량은 췌기각에 따라 다소 증가현상이 발생하지만 동적췌기여과판의 심부선량은 열린조사면과 거의 같기 때문에 조사면에 관계없이 같은 값을 사용할 수 있다.

**조사면의 선량 평탄도(dose profile)**

동적췌기조사면의 프로파일 측정은 콜리메이터 위치에 따라 선량이 달라지기 때문에 필름 측정법을 사용하였으며 이를 위하여 조직등가 팬텀내에 필름을 압착시킨후 선형가속기에서 방출되는 고에너지 광자선을 컴퓨터 프로그램(STT)에 따라 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup>까지의 정사각형 조사면에서 각각 15°, 30°, 45°, 60°의 췌기각에 대하여 측정 하였다. 10 MV x-선에 대한 어떤 깊이에서의 선량분포는 필름의 선량-흑화도 관계에 거의 일치하였으며 6 MV x-선에 대하여 cm당 0.2% 의존하였다. 동적췌기여과판과 고정췌기여과판간의 평탄도 비교에서 가장 현저하게 다른점은 어떤 깊이에서 동적췌기여과판의 등선량곡선의 예리한 부분이 매우 다르게 나타났다.

고정췌기여과판에서는 예리한 과선량지점이 10

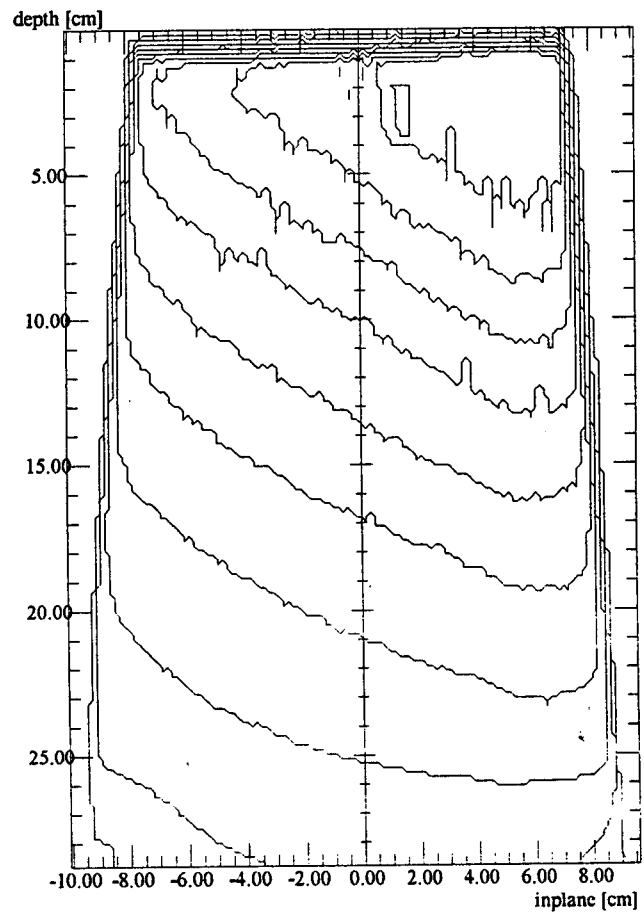


Fig. 7. Isodose distribution of 30 degree dynamic wedge filter for 6MV photon beam and 15 × 15 cm<sup>2</sup> field size.

MV x-선, 조사면 20x20 cm<sup>2</sup>, 췌기여과판의 각도 45도 일때 145%에서 160%로 증가하며 조사면이 15x15 cm<sup>2</sup>보다 작고 췌기여과판의 각이 45도 이하 일때 줄어든다. 대부분 임상응용에서 동적췌기여과판을 사용하면 과선량지점이 줄어들며 등선량각은 동적췌기여과판에서는 임의로 조정할 수 있다.

선량 프로파일은 동적췌기판의 방향에는 무관하였으며 다른 중요한 임상요인은 조사면 밖의 선량이 고정췌기여과판 보다 현저히 감소하였다.

그림 6과 7은 각각 6 MV와 10 MV x-선, 조사면 20x20 cm<sup>2</sup>, 선원과 측정점의 거리 SAD=100 cm, 표면에서 5 cm깊이에서 췌기각 15°, 30°, 45°, 60°의 동적췌기여과판의 선량 프로파일로서 과다선량지점(hot point)이 약간 평탄하였으며 췌기등선량곡선이 췌기각에 거의 평행하게 측정되었다.

동적썰기조사면에서 직접 필름으로 측정하여 얻은 선량프로파일과 STT를 이용한 선량계산으로 얻어진 선량프로파일을 비교한 결과 아주 잘 일치하였다. 이는 몇 개의 조사면 측정만으로 선량프로파일을 충분히 계산할 수 있기 때문에 동적썰기조사면의 측정상 어려움을 해결할 수 있다.

**동적썰기등량곡선 (dynamic wedge isodose curve)**

동적썰기조사면에 의한 등선량곡선은 콜리메이터 위치에 따라 선량율이 달라지기 때문에 필름 측정법을 사용하였으며 이를 위하여 조직등가 팬텀내에 필름을 압착시킨후 선형가속기에서 방출되는 고에너지 광자선을 컴퓨터 프로그램(STT)에 따라 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup> 까지의 정사각형 조사면에서 각각 15°, 30°, 45°, 60°의 썰기각에 대하여 측정하였고 노출된 필름은 현상한 후 정밀 흑화도 측정기 (Micro densitometer, Welhoffer 700i)에 의하여 선량으로 환산하였다.

그림 7과 8은 6 MV x-선, 조사면 15x15 cm<sup>2</sup>, 선원과 표면간의 거리 SSD=100 cm, 썰기각 30° 와 45°에서 동적썰기여과판의 선량 분포를 도시한 것으로서 과다선량지점(hot point)이 약간 평탄하였고 썰기등량곡선이 썰기각에 거의 평행하였으며 깊이에 따른 썰기각의 변화는 거의 없었다.

방사선 치료계획시 4문대항 썰기조사면에서 동적 썰기여과판은 큰 조사면과 45도 이상의 썰기각에 의한 과선량지점을 줄일 수 있으며 반면 종양의 체적 선량은 증가시킬 수 있었다.

**고 찰**

대부분의 악성종양은 방사선으로 억제 또는 사멸시킬 수 있어 방사선이 종양치료의 중요한 방법으로 이용되고 있으나 방사선은 종양 뿐 아니라 주위 건강조직과 주요 장기에 손상을 주기 때문에 종양에만 충분한 선량을 투여할 수 없었으며 이를 해결하려는 노력이 끊임없이 진행되고 있다.

종양의 위치에 따라 균일한 선량계획을 성취하기 위한 방법으로서 다문치료법이 개발되어 왔으며 종양의 위치가 주요장기에 인접되어 있거나 한쪽으로 기울어져 있을 때는 썰기형 등선량곡선을 이용하였으며 이는 납이나 텅스텐으로 제작된 고정썰기여과판(hard wedge filter)에 의하여 이루어지고 있다.

그러나 최적한 선량계획을 성취하기 위하여서는 같은 조사면내에 여러가지 다른 썰기각이 요구되고 있으며 각각 부분적 조사선량을 변화시킬 수 있고 구성물질에 의한 산란선량을 줄일 수 있는 동적썰기여과판(dynamic wedge filter)의 필요성이 인정되고 있다.

또한 방사선은 조직을 투과하면서 선량이 점점 감소됨으로 체내 깊은 곳에 존재하는 종양에 대하여 방사선량을 집중시키고 주위 건강조직의 상해를 감소시키기 위하여 방사선의 다문, 전자, 회전 조사 등 물리적인 집속 조사방법과 방사선 분할조사등 생물학적 방법이 연구되어 왔다.

예를 들면 두개골을 절제한 후 뇌종양 또는 뇌속에 발생한 병소를 제거하는 수술대신 병소의 중심을 향하여 방사선을 입체적으로 집속 조사하여 뇌 절제 수술과 같은 효과를 갖는 방사선 수술 요법이 개발되어 실행되고 있다.

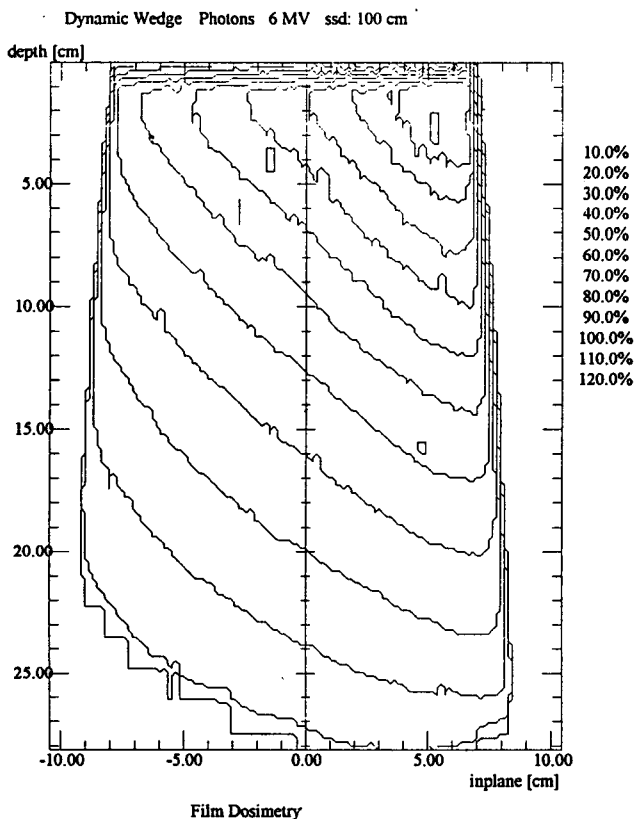


Fig. 8. Isodose distribution of 45 degree dynamic wedge filter for 6MV photon beam and 15 × 15 cm<sup>2</sup> field size.



그러나 작은 체적의 뇌병소를 제외한 모든 신체에 대하여 지금까지 대항2분, 4분 또는 진자조사를 시행하였으며 이와 같은 방법은 종양의 모양대로 방사선량이 집중되지 못하고 직육면체 또는 원통형으로 선량이 분포됨으로 주위 건강조직의 피폭을 피할 수가 없어 종양부위에 충분하고 적절한 선량을 부여하는데 상당한 어려움이 따른다.

연세의료원 암센터는 인체의 입체영상기법과 함께 종양의 크기와 모양대로 치료할 수 있는 방사선 입체조형치료(3D conformal radiotherapy)가 가능하도록 다엽 콜리메이터와 전자 영상장치를 포함한 최신형 고성능 방사선 발생 장치(Clinac 2100C/D)를 새로이 도입, 가동함으로써 고차원 입체종양치료가 가능하여졌다.

그러나 눈의 수정체, 척수등 방사선에 민감한 장기들을 피하면서 악성종양을 향하여 입체적인 방향에서 수많은 치료면을 겹치게 함으로서 방사선량 분포의 과다, 과소의 폭을 줄일 수 없으며 간, 폐, 신장등 방사선 감수성이 높은 장기 내에 존재하는 악성종양에 대한 방사선 입체조형 치료에서 도 불균일한 선량분포를 만족스럽게 줄일 수 없었다.

저자는 컴퓨터 조종용 동적썰기여과판(Dynamic wedge filter)을 사용하여 이들의 특성을 평가하며 3차원 입체조형치료를 위한 최적의 선량분포를 형성할 수 있도록 충분한 크기와 다양한 모양 및 다 단계 썰기각에 대한 조직내 선량분포를 측정하고 임상 이용에 편리하도록 기본자료를 작성함으로써 간암, 폐암등 방사선 감수성이 비교적 예민한 장기내의 종양이나 방사선 저항성이 큰 종양치료를 효과적이며 방사선 치료성적을 향상시키는데 큰 도움이 될 것으로 확신한다.

본 연구에서 선형가속기의 일부기능인 동적썰기여과판(dynamic wedge filter)에 의한 썰기형등선량곡선을 얻기 위하여 미분치료표(segmented treatment table: STT)를 유도하고 이들의 특성을 평가하여 방사선 입체조형치료를 위한 최적의 선량분포를 형성할 수 있도록 충분한 크기와 다양한 모양 및 다단계 썰기각에 대한 조직내 선량분포를 측정하였다. 측정된 자료는 임상응용에 편리하도록 기본자료를 작성하며 간암, 폐암 등 방사선 감수성이 비교적 예민한 장기내의 종양이나 방사선 저항성이 큰 종양치료를 효과적으로 사용함으로써 방사선 치료성적을

향상시키는데 큰 도움이 될 것으로 확신한다.

동적썰기여과판은 컴퓨터 프로그램에 의하여 한쪽 콜리메이터를 STT에 따라 구동시킴으로서 생길 수 있는 오차를 최소화하기 위하여 치료전 또는 정기적인 질적 평가 계획과 교정이 필요하였다.

동적썰기여과판은 6 MV와 10 MV 에너지의 광자선에서 조사면 4x4 cm<sup>2</sup>에서 20x20 cm<sup>2</sup>까지 매 2 cm 증가시키면서 썰기각 15°, 30°, 45°, 60°를 각각 측정하고 계산된 STT와 비교하여 일치시켰다. 동적썰기여과판의 질적 평가를 위하여 STT 표를 만들고 일정한 시간을 정하여 계획된 STT와 가속기에서 시행되는 STT를 비교하고 인쇄, 보존한다.

동적썰기여과판은 고정썰기여과판과 마찬가지로 조사면의 크기와 표준썰기각 이외의 각을 사용하는 데는 제한을 받으며 꼭 한 방향으로만 콜리메이터가 움직임으로 다른 방향일때는 콜리메이터의 방향을 조정하여야한다.

동적썰기여과판은 동적입체조형치료를 필수적으로 앞으로의 사용 필요성이 매우 높다. 동적썰기여과판은 무거운 금속 썰기여과판을 사용하지 않고 등선량곡선을 경사지게 창조하는 방법이며 깊은 깊이에서 썰기선량각을 계획대로 달성할 수 있다. 고정썰기여과판은 동적입체조형치료를 다양한 썰기조사면과 조사방향에 대하여 기동성이 떨어지며 치료침대에 충돌하기 때문에 동적썰기여과판으로 대처되어야 한다.

동적썰기여과판은 큰 조사면과 큰 썰기각에서 과다선량지점이 다소 증가되지만 종양에 균일한 선량분포를 얻을 수 있다. 한편 동적썰기여과판의 썰기투과선량인수는 조사면의 크기에 따라 열린조사면에서의 값과 매우다르며 이는 동적썰기여과판에서의 썰기투과선량인자는 줄어든 조사면에 의하여 콜리메이터와 팬텀산란이 거의 영향을 주지 못하기 때문이다.

동적썰기여과판의 심부백분율(PDD)은 열린조사면과 같으며 이를 사용하여 치료계획을 수립할 경우 균일한 선량분포를 얻을 수 있지만 조사면이 크고 썰기각이 크면 과다선량지점이 약간 증가한다. 동적썰기여과판은 조사면 전체에 거의 같은 선량기울기를 유지하는 장점이 있다.

두경부, 흉부, 복부등에 위치한 악성종양의 3차원 입체방사선치료계획에 기존의 입체 다중조사면을 이

용했을 때보다 동적췌기여과관을 가미함으로써 최적한 치료조건 즉 건강조직이나 방사선에 민감한 장기를 피하면서 악성종양에만 집중적이고 균일한 선량분포를 구사할 수 있다.

동적췌기조사방법을 개발함으로써 지금까지 방사선 후유증과 종양의 불균일한 선량배열로 치료의 어려움이 있었던 분야를 개척할 수 있으며 동적입체방사선조형치료(dynamic 3D conformal radiotherapy) 및 선량 강도조정치료(intensity modulation radiotherapy)를 가능하게 함으로써 방사선치료성과를 향상시키는데 크게 도움을 줄 수 있다.

### 참고 문헌

- Mansfield C.M., Suntharalingam N., Chow N.: Experimental verification of a method for varying the effective angle of wedge filters. *Am. J. Roent.*, 120:699-702 (1985)
- Petti P.L., Siddon R.L.: Effective wedge angles with a universal wedge. *Phys. Med. Biol.* 30: 985-991 (1985)
- Tatcher M.: Method for varying effective angle of wedge filters. *Radiology* 97:132-141 (1970)
- Baker C.M., Filimonov A., Conine F., Coughlin C.T.: Treatment of the intact breast using tangent split beam fields and half 15 degree wedges as tissue compensators. *Radio. Technol.* 58:135-138 (1986)
- Fraass B.A., Tepper J.E., Glatatein E., Vande Geijn J.: Clinical use of a match line wedge for adjacent megavoltage radiation field matching. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 9:209-216 (1983)
- Kijewski P.K., Chin L.M., Bjarngard B.E.: Wedge shaped dose distributions by computer controlled collimator motion. *Med. Phys.* 5:426-429 (1978)
- Lowene M.B., Kijewski P.K., Chin L.M., Bjarngard B.E., Hellman S.: Computer controlled radiation therapy. *Radiology* 129:769-775 (1978)
- Khan F.M., Gerbi B.J., Deibel F.C.: Dosimetry of asymmetric x-ray collimators. *Med. Phys.* 13:936-941 (1986)
- Desanti S., Muller R.: Using different sets of wedges, Clinical applications, dosimetry and safety interlocks. *Med. Dosim.* 14:237-243 (1989)
- Fraass B.A., Van de Geijn J.: Peripheral dose from megavoltage beams. *Med. Phys.* 10:809-818 (1983)
- Kalend A.M., Wu A., Yoder V., Mantz A.: Separation of dose gradient effect from beam hardening effect on wedge factors in photon fields. *Med. Phys.* 17:701-704 (1990)
- Leavitt D.D.: Dynamic beam shaping. *Med. Dosim.* 15:47-50 (1990)
- Leavitt D.D., Larsson L.: Evaluation of a diode detector array for measurements of dynamic wedge dose distributions. *Med. Phys.* 17:87-91 (1990)
- Macfarland B.J.: Peripheral doses of two linear accelerators employing universal wedges. *Br. J. Radiol.* 63:295-298 (1990)
- Sherhouse G.W.: A mathematical basis for selection of wedge angle and orientation. *Med. Phys.* 20:1211-1218 (1993)
- Williamson J.F., Khan F.M., Sharma S.C.: Film dosimetry of megavoltage photon beams, a practical method of isodensity to isodose curve conversion. *Med. Phys.* 8:94-98 (1981)
- Wu A., Zwicker R., Krasin F., Sternick E.: Dosimetry characteristics of large wedges for 4 and 6MV x-rays. *Med. Phys.* 11:186-188 (1984)
- Zwicker R., Shahabi S., Wu A., Sternick E.: Effective wedge angles for 6MV wedges. *Med. Phys.* 12:347-349 (1985)
- Cheng C.W., Chin L.M.: A computer aided treatment planning technique for universal wedges. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 12:504 (1985)
- Fraass B.A., Tepper J.E., Glatatein E., Vande Geijn J.: Clinical use of a match line wedge for adjacent megavoltage radiation field matching.

- Int. J. Rad. Oncol. Bio. Phys. 9:209-216 (1983)
21. Kijewski P.K., Chin L.M., Bjarngard B.E.: Wedge shaped dose distributions by computer controlled collimator motion. Med. Phys. 5: 426-429 (1978)
  22. Lowene M.B., Kijewski P.K., Chin L.M., Bjarngard B.E., Hellman S.: Computer controlled radiation therapy. Radiology 129:769-775 (1978)
  23. Khan F.M., Gerbi B.J., Deibel F.C.: Dosimetry of asymmetric x-ray collimators. Med. Phys. 13: 936-941 (1986)
  24. Kalend A.M., Wu A., Yoder V., Mantz A.: Separation of dose gradient effect from beam hardening effect on wedge factors in photon fields. Med. Phys. 17:701-704 (1990)
  25. Leavitt D.D.: Dynamic beam shaping. Med. Dosim. 15:47-50 (1990)
  26. Macfarland B.J.: Peripheral doses of two linear accelerators employing universal wedges. Br. J. Radiol. 63:295-298 (1990)
  27. Sherhouse G.W.: A mathematical basis for selection of wedge angle and orientation. Med. Phys. 20:1211-1218 (1993)
  28. Wu A., Zwicker R., Krasin F., Sternick E.: Dosimetry characteristics of large wedges for 4 and 6MV x-rays. Med. Phys. 11:186-188 (1984)
  29. Thomas S.J., Thomas R.L.: A beam generation algorithm for linear accelerators with independent collimators. Phys. Med. Biol. 35:325-332 (1990)
  30. Thomas S.J., Foster K.R.: Radiotherapy treatment planning with dynamic wedge-an algorithm for generating wedge factors and beam data. Phys. Med. Biol. 40:1421-1433 (1990)

## Dose Distribution and Design of Dynamic Wedge Filter for 3D Conformal Radiotherapy

Sung Sil Chu, Ph.D

*Department of Radiation Oncology College of Medicine Yonsei University  
Seoul, Korea*

Wedge shaped isodoses are desired in a number of clinical situations. Hard wedge filters have provided nominal angled isodoses with dosimetric consequences of beam hardening, increased peripheral dosing, nonidealized gradients at deep depths along with the practical consequences of filter handling and placement problems. Dynamic wedging uses a combination of a moving collimator and changing monitor dose to achieve angled isodoses. The segmented treatment tables(STT) that monitor unit setting by every distance of moving collimator, was induced by numerical formular. The characteristics of dynamic wedge by STT compared with real dosimetry. Methods and Materials : The accelerator CLINAC 2100C/D at Yonsei Cancer Center has two photon energies (6MV and 10MV), currently with dynamic wedge angles of 15°, 30°, 45° and 60°. The segmented treatment tables(STT) that drive the collimator in concert with a changing monitor unit are unique for field sizes ranging from 4.0cm to 20.0cm in 0.5cm steps. Transmission wedge factors were measured for each STT with an standard ion chamber. Isodose profiles, isodose curves, percentage depth dose for dynamic wedge filters were measured with film dosimetry. Dynamic wedge angle by STT was well coincident with film dosimetry. Percent depth doses were found to be closer to open field but more shallow than hard wedge filter. The wedge transmission factor were decreased by increased the wedge angle and more higher than hard wedge filters. Dynamic wedging provided more consistent gradients across the field compared with hard wedge filters. Dynamic wedging has practical and dosimetric advantages over hard filters for rapid setup and keeping from table collisions. Dynamic wedge filters are positive replacement for hard filters and introduction of dynamic conformal radiotherapy and intensity modulation radiotherapy in a future.