

DYNAMIC WEDGE의 임상 적용 가능성에 관한 고찰

고려대학교의료원 치료방사선과

김영범 · 정세영 · 황웅구

〈Abstract〉

Dynamic wedge system has been introduced to modify the beam profile and to make homogeneous isodose curves in the mass of irregular shape. Before the clinical use of dynamic wedge, several factors such as wedge transmission factor, dose profile, percent depth dose, and wedge angle have to be measured quantitatively. Film dosimetry is used to evaluate these factors in this study. A comparison of the result of the dynamic wedge to physical wedge system is made. A positive result for the application of the dynamic wedge to clinic is derived even though there is a limitation in accuracy of the dosimetry system used. To measure all factors quantitatively, more accurate dosimetry systems are required.

I. 서 론

중양 조직의 불규칙한 모양이나 환자 표면의 경사는 중양에 주는 선량의 분포를 불균일하게 만든다. 이를 보정하기 위해서 가장 보편적으로 사용되고 있는 것이 Wedge filter이다. Wedge filter의 형태는 크게 두가지로 구분되는데, 하나는 Individualized wedge system으로 이는 beam의 출력 감소를 최소화하기 위해 light field 경계와 wedge의 얇은 끝을 일치시키는 방식이다. Individual wedge는 Cobalt를 이용한 teletherapy에 유효하나 임상에서는 드물게 사용된다. 또 다른 한가지의 형태는 출력이 큰 선형 가속기에 유효한 Universal wedge system으로 light field 중심축과 wedge의 중심축을 일치시켜 사용하는데 임상에서는 거의 이 system을 사용한다.[1,2] Universal wedge system에서 사용하는 physical wedge filter는 원자 번호가 높은 물질을 사용하기 때문에 낮은 에너지의 전자선과 산란선(photon scatter)이 생긴다. 이로 인하여 wedge 주변부에서 선량이 증가하고 심부에서 선량분포 곡선의 기울기가 변화하는 등의 단점이 있으며, 또한 사용시 취급에 따른 위험 등의 문제가 있다.[3,4] 따라서 근래에 도입되는 선형 가속기에는 기존의 physical wedge filter외에 독립된 조리개를 이용하여 그 조리개를 움직임으로써 beam의 profile을 변화시키는 장치(dynamic wedge)가 부착되어 있는데 그 도입은 날로 증가 추세에 있음에도 불구하고 실제로는 거의 사용을 하고 있지 않는 실정이다.

본 연구에서는 취급이 용이한 dynamic wedge를 임상에 적용하기에 앞서 임상 적용시 필요한 Wedge Transmission Factor(WTF), Dose Profile, Percent Depth Dose(PDD), 그리고 Wedge Angle을 측정하고자 한다. 또한 이의 결과를 physical wedge의 결과와 비교해 봄으로써 임상 적용 가능성을 알아보고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

본 실험에서는 미국의 VARIAN사가 제작한 선형 가속기(CLINAC 600C)를 사용하였고 beam은 4 MV single photon이 이용되었다. 이 선형 가속기의 조리개는 4개(Upper jaw 2, lower jaw 2)의 독립된 조리개로 구성되어 있는데 이중 upper jaw 2개 (Y1, Y2)가 dynamic wedge의 역할을 하게 된다. Dynamic wedge는 4cm에서 20cm까지의 field size에 적용할 수 있고, wedge angle은 physical wedge와 마찬가지로 15° 30° 45° 60° 로 조절이 가능하다.

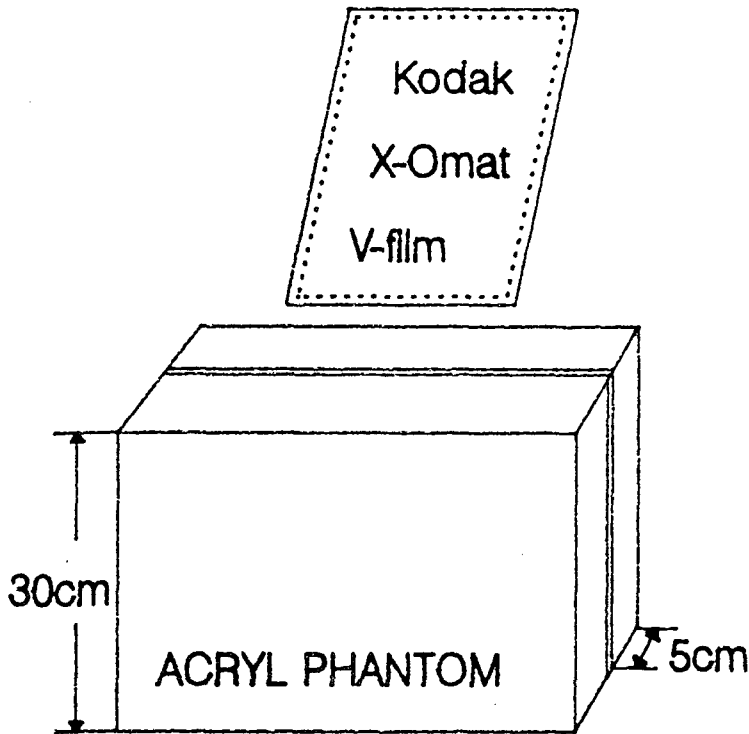
A. Wedge Transmission Factor(WTF)

WTF는 선속 중심축상에 있는 임의의 점에서 wedge filter가 없을 때에 대한 있을 때의 출력의 비로 정의된다. WTF는 어떠한 깊이에서의 선량 보정을 위해 중요한 인자이다. 본 실험에서는 water phantom(Multidata systems Internation Co., Saint Louis, U.S.A)을 사용하였고 SSD를 100cm으로 하고 ionization chamber(PTW 0.3cc M233641)로 Dmax와 10cm깊이에서 조사시간을 100Monitor Unit(MU)로 하여 각각의 선량을 선속의 중심축에서 측정하였다. [1, 5] 이 때 field size는 5cm×5cm에서 5cm씩 증가시켜 20cm×20cm까지 측정하였고, 같은 방법으로 측정된 physical wedge의 WTF와 비교하였다. 측정에 쓰인 wedge angle은 15° 30° 45° 60° 이었다.

B. Dose Profile

Dose Profile은 실제로 임상에서 사용되고 있는 등선량 분포 곡선이나 Percent Depth Dose(PDD), Tissue Maximum Ratio(TMR) 등을 산출해내는 중요한 자료이다. 현재 본원에서 사용하고 있는 선형 가속기의 dose profile은 모두 water phantom을 이용하여 측정하였다. 그러나 dynamic wedge는 그 작동의 특성상 water phantom을 이용한 dose profile의 측정이 매우 어렵고, 따라서 dynamic wedge field의 dose profile 측정에는 multiple ionization chamber나 thermoluminescent dosimeter, 그리고 film dosimeter(radiochromic film, silver bromide verification film)등 여러가지 방법이 이용되고 있다.

본 측정은 film을 두개의 acryl phantom(각각의 두께가 5cm) 사이에 끼워 넣고 film의 모서리와 phantom의 모서리를 일치시킨 후 target까지의 거리를 100cm로 하여 노출시켰다(그림 1). Gantry angle은 180° 로 하였으며 film의 면과 beam의 방향이 평행하도록 하였다. 이 실험은 physical wedge와 dynamic wedge에서 모두 시행하였으며 4개의 wedge angle(15° 30° 45° 60°) 각각에 대하여 field size는 10cm×10cm, 15cm×15cm, 20cm×20cm으로 변화시켜서 측정하였다. 200MU를 조사한 film은 일본 KONICA사와 processor(QX-136 II)를 이용하여 현상하였다.



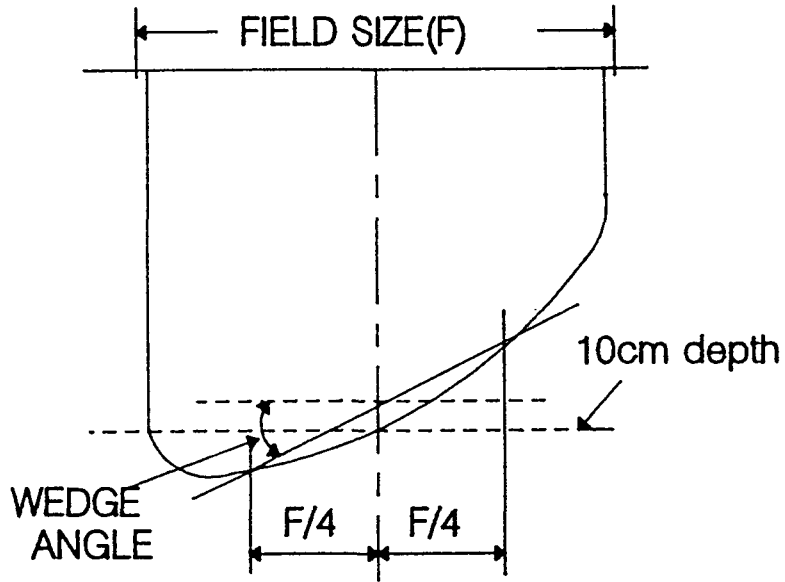
〈그림 1〉 Diagram for film dosimetry

C. PERCENT Depth Dose (PDD)

PDD는 선속 중심축상의 기준점 깊이에서의 최대 흡수 선량에 대한 어느 깊이에서의 흡수선량을 백분율로 나타낸 것이다. 본 실험에서는 dose profile 측정때와 같이 두 acryl phantom 사이에 film 을 끼우고 phantom과 target 까지는 100cm의 거리를 두었다. Gantry angle은 180° 로 유지시켜 beam이 film에 평행하게 입사되어 노출되도록 하였다. X-선의 조사로 노출된 film은 multi data의 film Dosimetry system을 이용하여 dose profile을 구하고 이 data를 선량 분포곡선으로 바꾸었다. 이 측정은 하나의 field size($10\text{cm} \times 10\text{cm}$)에서 시행하였다. PDD는 4MV X-ray beam의 dmax인 1.1cm 깊이에서의 흡수선량을 100으로 하여 0.5cm간격으로 20cm 깊이까지 각 깊이에 따른 PDD 를 구하여 physical wedge와 비교하였다.

D. Wedge Angle

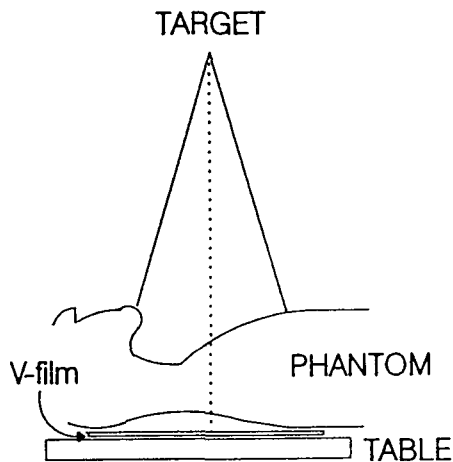
Wedge Angle의 측정은 film dosimetry로 얻은 physical wedge와 dynamic wedge의 등선량 분포 곡선을 이용하여 구하였다. 먼저 physical wedge는 중심축에 수직인 직선과 50%등선량 곡선 사이의 값을 MU 200으로 하여 측정하였다. Dynamic wedge에서 wedge angle은 두가지로 정의된다. 이 연구에서는 wedge angle을 10cm깊이에서 중심축 좌우에서 field size의 $\frac{1}{4}$ 에 해당하는 등선량 곡선상의 두 점을 연결한 직선과 중심축에 수직인 직선 사이의 각으로 정의하고 이를 측정하였다. 15° 30° 45° wedge angle에서는 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 field size를 썼고 60° wedge angle에서는 physical wedge의 최대 field size인 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 에서 측정하였다. 두 경우에서 이 측정값을 nominal wedge angle과 비교하였다.



〈그림 2〉 Defintiton of dynamic wedge angle

E. Rando Phantom Scan

임상에서 주로 compensator를 쓰는 부위에서 dynamic wedge의 효과를 알아보는 실험을 하였다. Anthropomorphic Rando phantom (Alderson research laboratory)이 이용되었고, 경부 부위에 대한 등선량 분포를 film dosimetry 이용하여 그 보상정도를 살펴 보았다(그림 3). Phantom을 누인 상태에서 film을 phantom 아래에 두고 field size를 17cm×17cm로 하였다. 5cm 깊이에 종양이 있다고 가정하여 SSD를 95cm로 하고 AP방향으로 X-선을 경부 부위에 조사하였다. 노출된 film을 현상하여 multidata system으로 scan한 후 isodose line의 변화를 보았다. Physical wedge와 dynamic wedge를 이용하여 위와 같은 실험을 하였으며 이 때 wedge angle은 45°를 이용하였다.



〈그림 3〉 Diagram for Rando Phantom Scan (SSD 95cm)

III. 결 과

A. Wedge Transmission Factor (WTF)

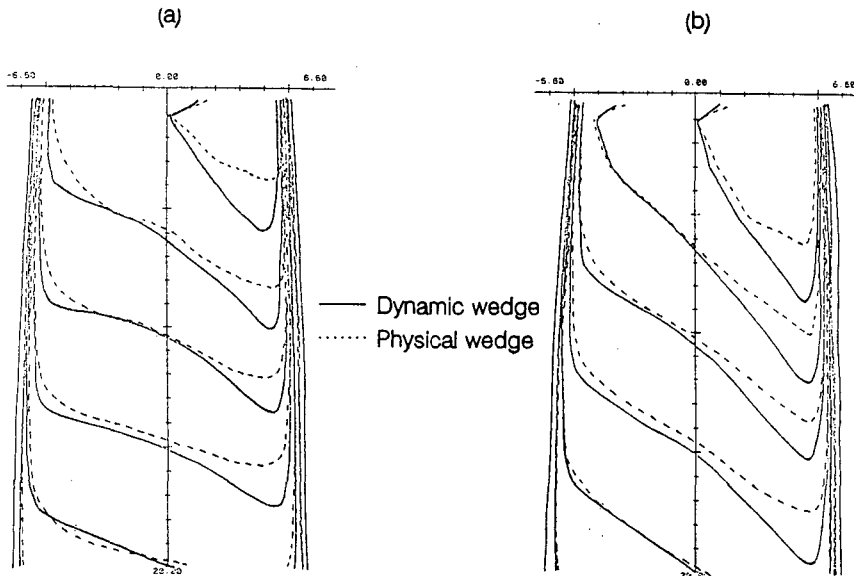
Table 1은 physical wedge와 dynamic wedge에서의 WTF를 4개의 wedge angle에서 보여주고 있다. 모든 wedge angle에서 dynamic wedge의 WTF가 physical wedge에서의 WTF보다 크다. 두 경우의 WTF의 차이는 12.2%~46.3%로 나타났으며, wedge angle이 45° 일 때 46.3%로 가장 큰 차이를 보였다.

| WEDGE ANGLE | Physical wedge | Dynamic wedge |
|----------------|----------------|---------------|
| 15° | 0.778 | 0.873 |
| 30° | 0.620 | 0.782 |
| 45° | 0.458 | 0.670 |
| 60° | 0.375 | 0.508 |

〈표 1〉 Comparison of WTFs between physical and dynamic wedges(Field size 10cm×10cm)

B. Dose Profile

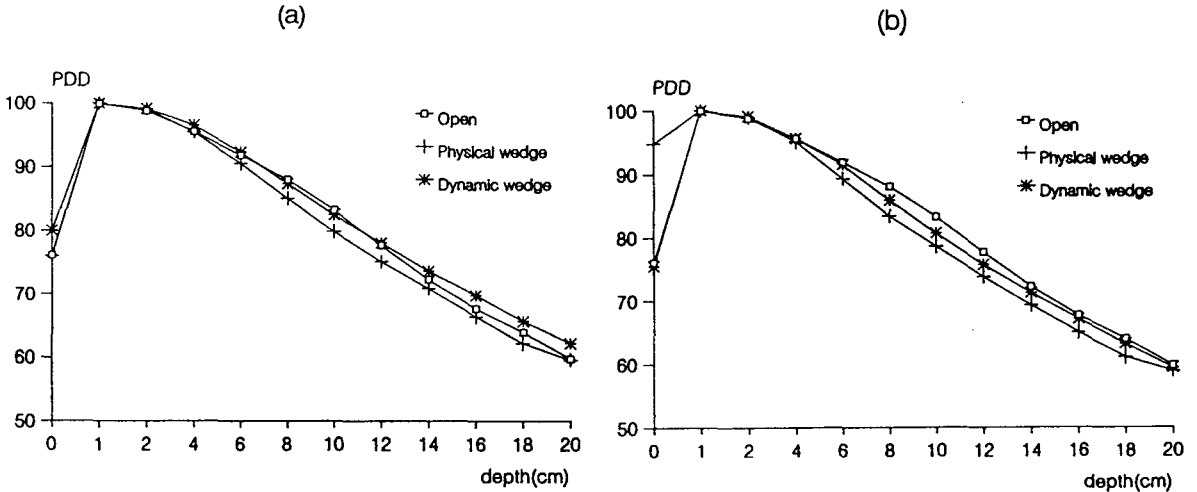
그림 4는 verification film을 이용한 dynamic wedge와 physical wedge의 field size 15cm×15cm에서의 dose profile을 나타내고 있다. Nominal wedge angle은 30° 와 45° 이다. Field 주변부에서의 선량 분포를 비교할 때 깊이가 깊어짐에 따라 dynamic wedge를 썼을 경우 그 효과가 physical wedge에 비해 훨씬 잘 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 다른 field size(그림 3에 나타나 있지 않음)에서도 같은 효과가 나타남을 확인하였다.



〈그림 4〉 Comparison of dose distribution along the central axis between physical and dynamic wedges for different wedge angles ;(a) 30° ,(b) 45° wedge angle

C. PERCENT Depth Dose(PDD)

Field size 10cm×10cm에서 open beam의 PDD를 dynamic wedge와 physical wedge의 PDD와 비교하였다(그림 5). Open beam의 10cm 깊이에서이 PDD는 83.3%로 나타났으며 15° angle dynamic wedge와 physical wedge에서는 각각 82.5%와 79.9%로 나타났다. 또한 45° wedge angle에서의 PDD는 dynamic wedge에서의 값이 physical wedge에서 보다 크다는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 Central axis depth dose distribution using different wedges for 4MV photon beam ; (a) 15° , (b) 45°

D. Wedge Angle

표 2는 등선량 분포 곡선을 이용하여 dynamic wedge와 physical wedge angle을 비교한 표이다. 45° dynamic wedge의 측정 angle은 43.5° 인데 비하여 physical wedge의 측정 angle은 42° 로 나타났고 전반적으로 dynamic wedge가 physical wedge보다 선량 분포 곡선의 기울기가 큰 것을 알 수 있다. 모든 wedge angle에서 dynamic wedge의 angle이 nominal angle의 값에 가까운 것을 알 수 있다.

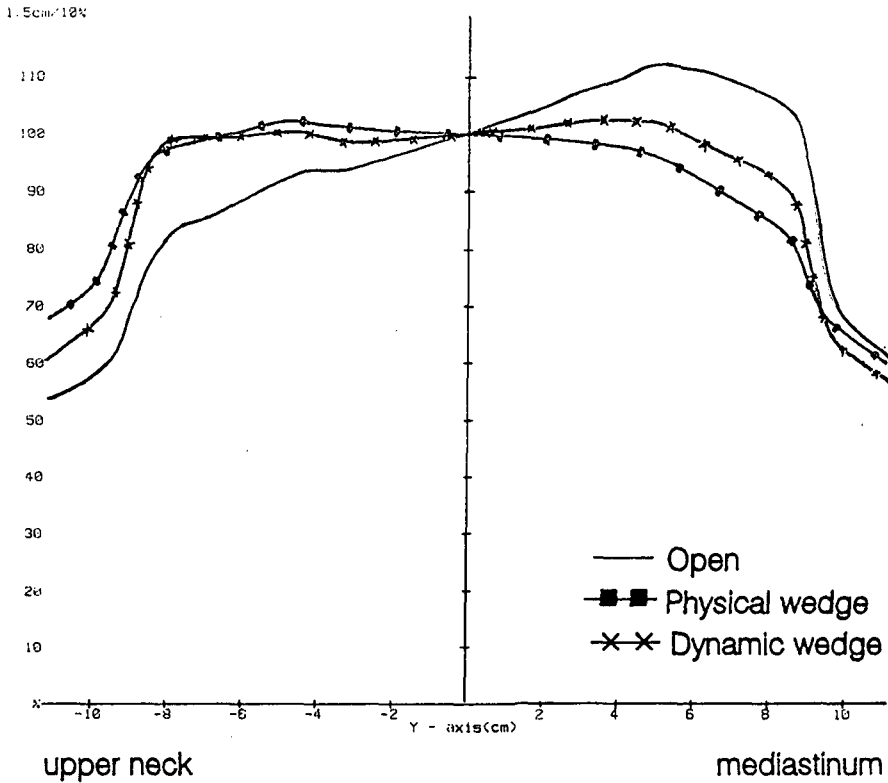
| NOMINAL VALUES | MEASUREMENT VALUES | |
|----------------|--------------------|---------------|
| | Physical wedge | Dynamic wedge |
| 15° | 12° | 13° |
| 30° | 24° | 29° |
| 45° | 42° | 43.5° |
| 60° | 51° | 56° |

〈표 3〉 Comparison of Wedge angles between nominal and measurement values

E. Rando Phantom Scan

그림 6은 두께가 두꺼운 mediastinum에서부터 두께가 얇은 upper neck까지를 film dosimetry를 이용하여 측정한 dose profile이다. 두 영역에서의 film농도 차이가 open beam에서는 20%이상이었

으나 physical wedge를 사용한 결과 선량 분포 곡선이 어느정도 균일하게 되어 그 차이가 8%로 나타났고, dynamic wedge를 사용한 결과 dose nonuniformity를 5%이내로 줄일 수 있었다.



〈그림 6〉 Dose profile calculated in the sagittal plane for uncompensated (open) and compensated fields using physical and dynamic wedges with 45° wedge angle

IV. 결론 및 고찰

Conformal Therapy의 초보적인 단계로 4개의 조리개가 각각 독립적으로 움직이는 dynamic wedge가 각 병원에 도입되고 있으나 실제 임상에서는 실용화되지 않고 있다. Dynamic wedge의 실용화를 위해서 임상 적용시 필요한 factor들을 film dosimetry를 이용하여 측정, 평가한 결과 dynamic wedge의 wedge factor는 physical wedge에 비해 크게 나타났다. 따라서 dynamic wedge의 wedge factor는 physical wedge에 비해 크게 나타났다. 따라서 dynamic wedge가 독립된 조리개의 움직임에 따른 시간과 선량률의 변화 때문에 제한을 받게 되므로 선량률을 250MU/min까지 증가시킬 수 있는 physical wedge에 비해 길다. 또한 wedge profile에서는 dynamic wedge field 주변부의 선량 분포 효과의 개선이 보여지는데 이는 독립된 조리개의 위치를 조정하여 산란선의 영향을 감소시켰기 때문이다. Rando phantom을 이용한 scan에서는 경부 부위의 phantom 두께차에 의한 선량 분포 곡선의

불균등성도 어느 정도 보정이 가능한 것을 알 수 있었으며 실제 사용시 무거운 금속 filter의 사용없이도 필요로 하는 등선량 분포 곡선을 얻을 수 있는 dynamic wedge의 사용이 긍정적으로 평가되었다. 그러나 film dosimetry는 방사선의 절대량을 측정하기 어렵고 측정에 따르는 오차의 폭이 크기 때문에 dynamic wedge의 임상 적용에 앞서 multiple ionization chamber나 multi channel diode detector를 이용한 정량적이고 좀 더 정확한 측정이 요구된다.

참 고 문 헌

1. Khan, Faiz M. The physics of radiation therapy, second edition, pp.234-239, pp.250-254, 1994.
2. John, Harold Elford ; Cunningham, Jhon Robert. The physics of radiology, fourth edition, pp. 396-397, 1983.
3. Klain, Eric E ; Low, Daniel A. ; Meigooni, Aill S. Dosimetry and clinical implementation of dynamic wedge. Int.J.Radiation Oncology, Biol, Phys. Vol. 31 No. 3, PP. 583-592, 1995.
4. Kaleng. A. M. ; Yoder, V. ; Mantz, A. Seperation of dose-gradient effect from beam-hardening effect on wedge factors in photon fields. Med. Phys.17, pp.701-704, 1990.
5. Abrath, F. G. ; Purdy, J.A. Wedge design and dosimetry for 25-MV X-rays. Radiology 136, pp.757-762, 1980.
6. Leavitt, D.D ; Martin. M. ; Moeller, J.H ; Lee, W.L. Dynamic wedge field techniques through computer-controlled collimator motion and dose delivery. Med. Phys.17, pp.87-91, 1990.
7. International Electrotechnical Commission, Medical Electron Accelerators Functional Performance Characteristics, IEC Performance Standard 976, Geneva, October 1989.
8. International Ccomission on Radiation Units and Measurements, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures, ICRU report 24, 15 September 1976.
9. Petti, P.L. ; Siddon, R.L. Effective wedge angles with a universal wedge. Phys. Med. Biol. 30, pp.985-991, 1985.
10. Mansfield, C.M. ; Sunthalingram, N. ; Chow, N. Expermental verification of a method for varying the effective wedge angle of wedge filtors, Am. J. Roentgenol. 120, pp. 699-702, 1974.
11. Leavitt, D.D. Dynamic beam shapping. Med. Dosim. 15, pp.47-50, 1990.
12. Mcfarland, B.J. The effect of a dynamic wedge in the medial tangential field upon the medial tangential field upon the contralateral breast dose. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 19, pp.1515-1520, 1990.