

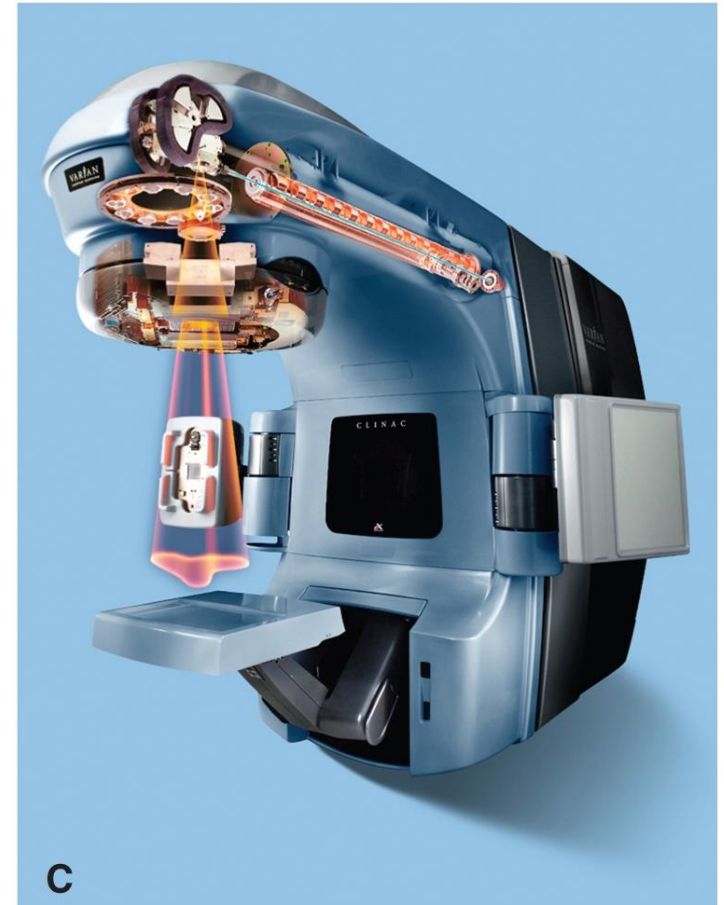
선형가속기

(Linear Accelerator)

Reading Assignment: ch. 4.3

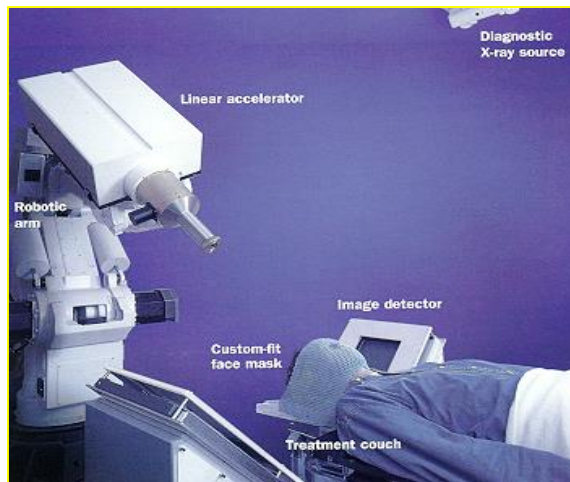
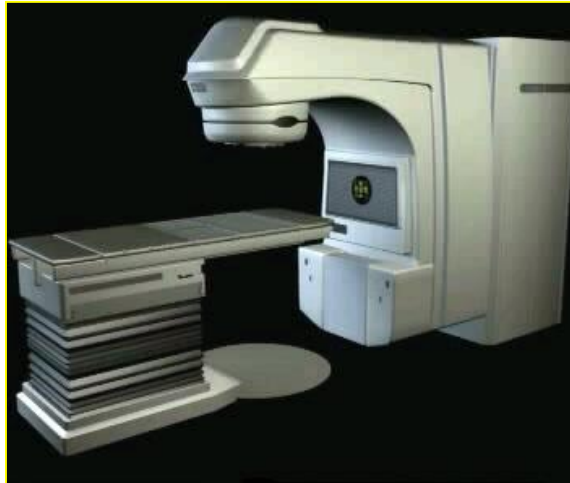
선형가속기 (Linear Accelerator)

- 1) _____: 마이크로파를 이용하여 전자와 같은 하전입자를 높은 에너지로 가속시키는 장치
- 2) 전자는 마이크로파의 전기장에 의해 가속 됨.
- 3) LINAC에 사용되는 마이크로파의 주파수는 _____임.

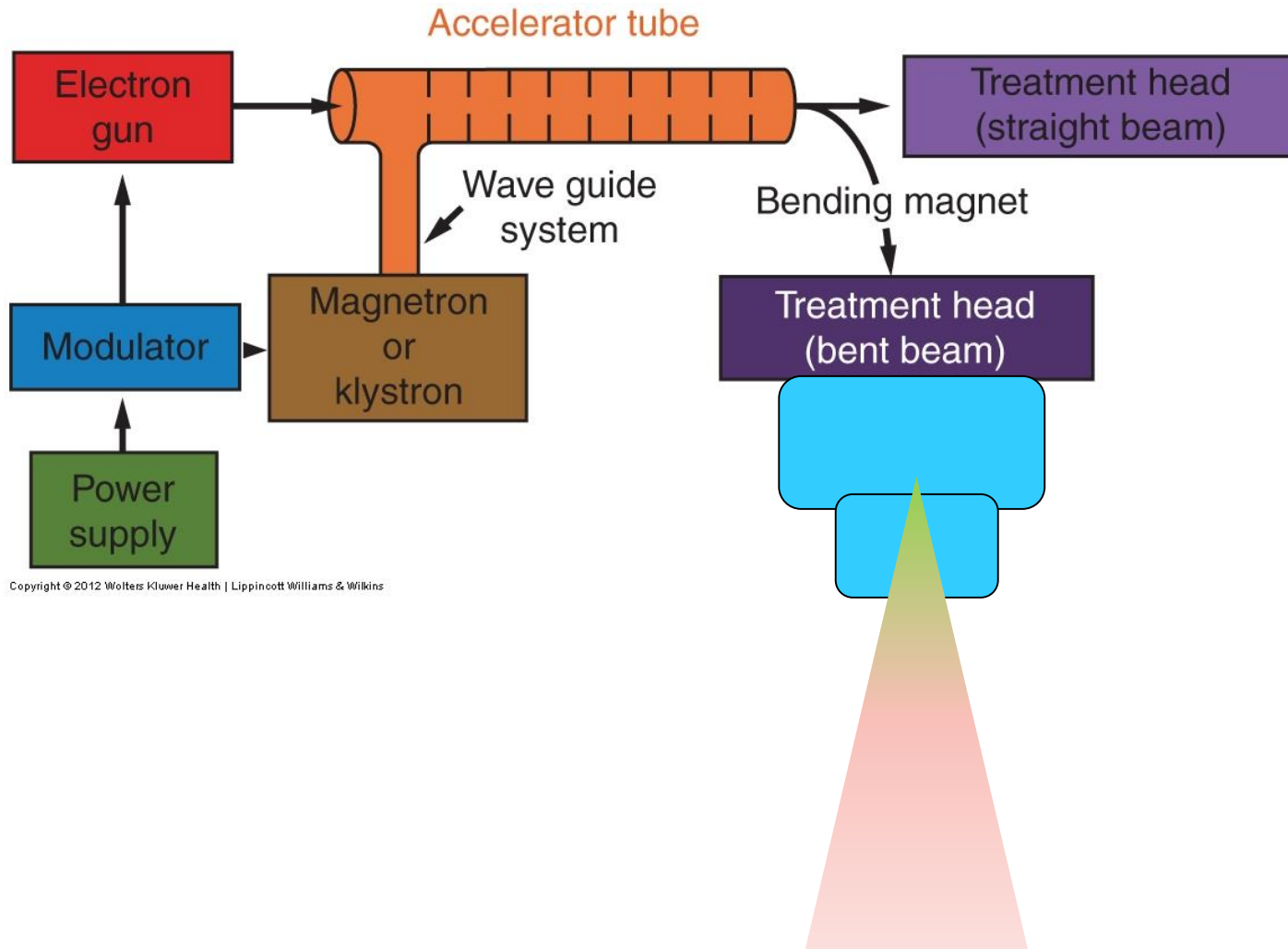


Copyright © 2012 Wolters Kluwer Health | Lippincott Williams & Wilkins

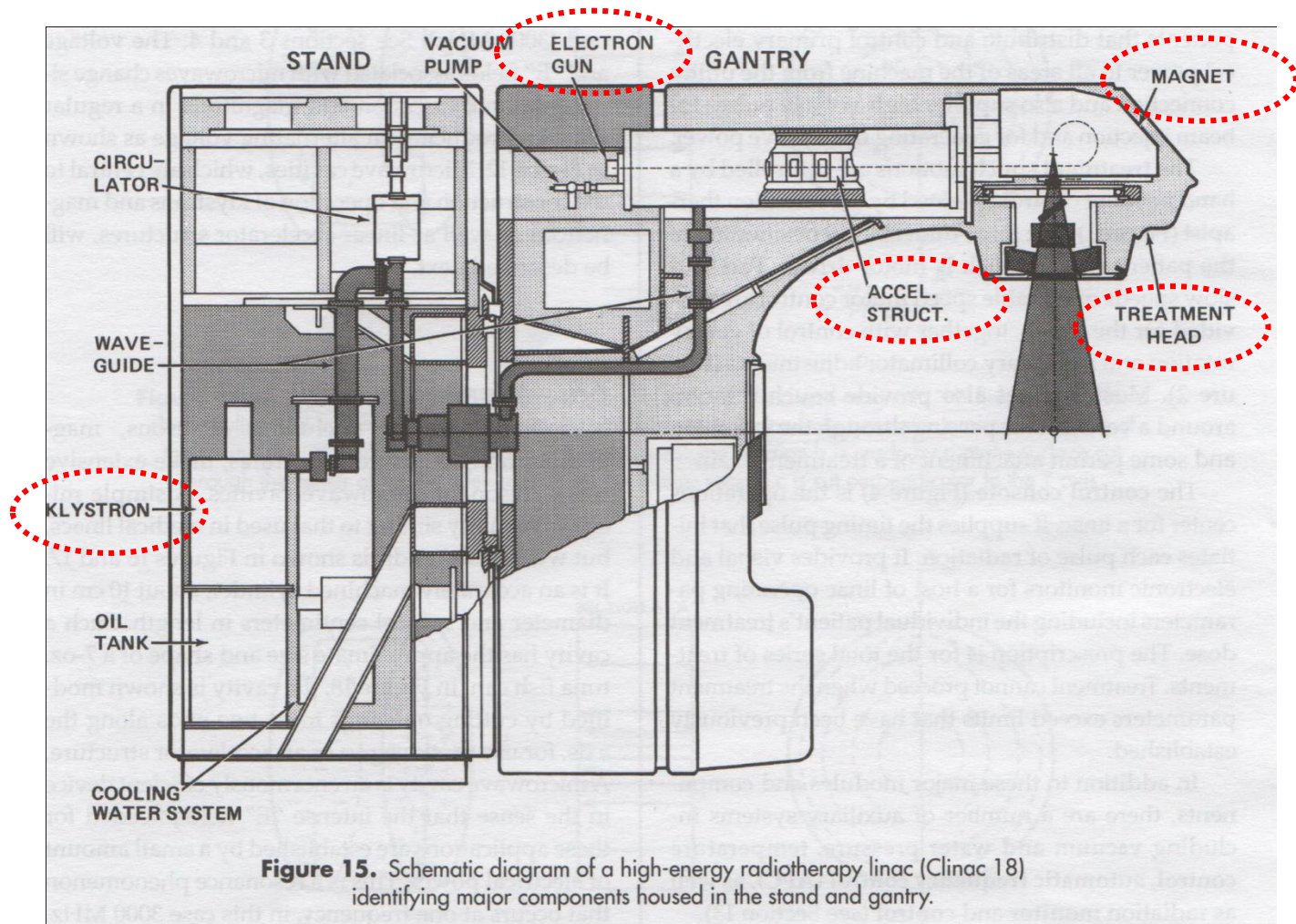
Examples of LINAC



선형가속기 개략도



선형가속기의 구조

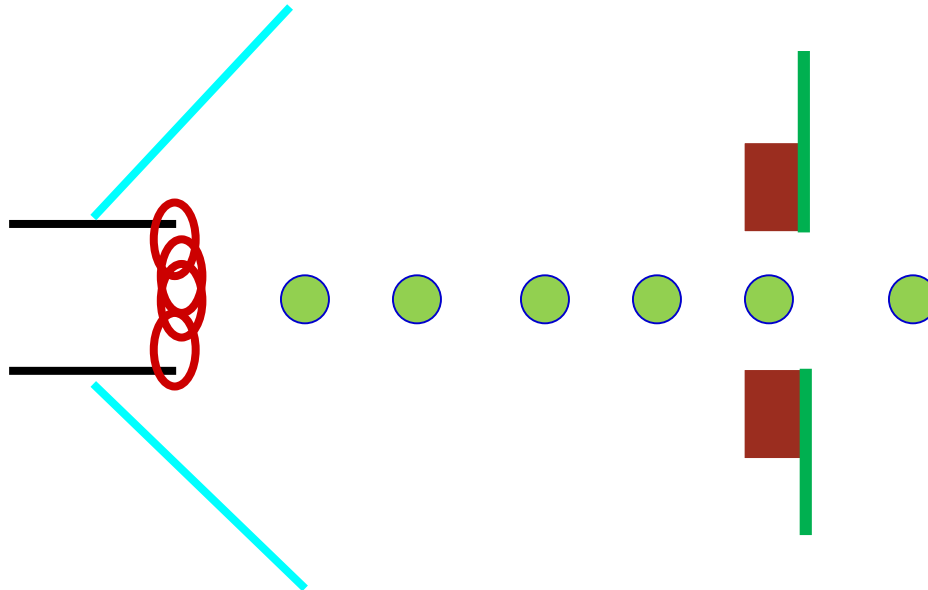


전자총

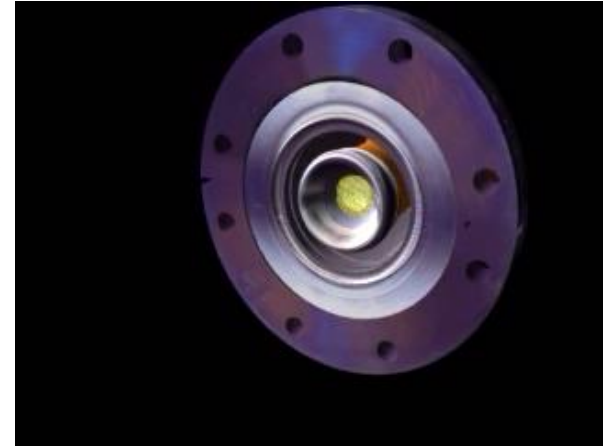
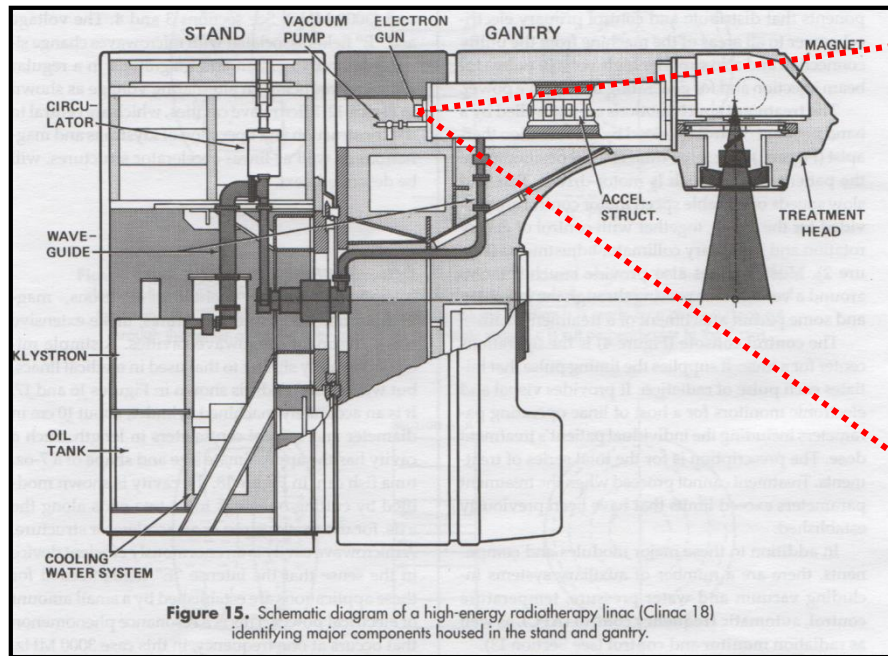
(Electron Gun)

전자총 (Electron Gun)

- 1) 전자는 음극(cathode)의 텅스텐필라멘트에서 _____(**thermionic emission**) 됨.
- 2) 방출된 전자는 _____ 를 통해 모아짐.
- 3) 전자는 구멍이 난 양극 (**perforated anode**)으로 가속됨.
- 4) 양극을 통과한 전자는 _____으로 이동됨.



전자총 (Electron Gun)



전자총 종류

다이오드 총 (Diode gun)

- 1) 다이오드 총은 _____과 구멍난 _____으로 구성되어 짐.
- 2) _____가 음극(cathode)에 작동됨.
- 3) 음극 필라멘트 전류를 조정함으로써 가속관에 유입되는 전자의 양을 조절할 수 있음.

트라이오드 총 (Triode gun)

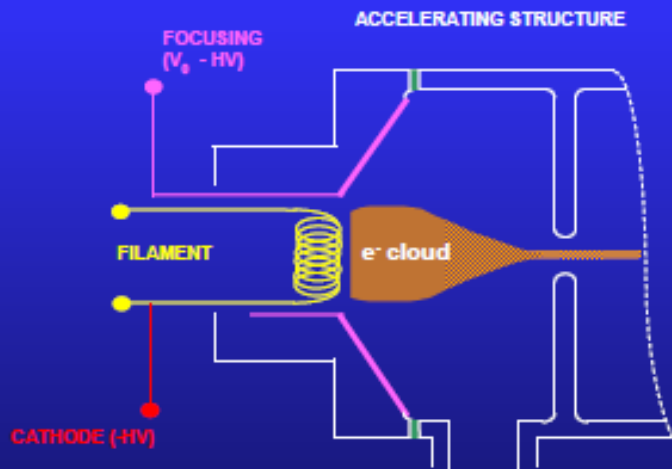
- 1) 트라이오드 총은 ____ 과 _____, _____로 구성됨.
- 2) 음극은 음의 전압이 걸림. (-20kV)
- 3) 음극은 다이오드 총과 같이 열전자를 방출하지만, **가속관에 유입되는 전자의 양**은 _____에 의해 결정된다.

✓ _____ on grid → 전자가 양극에 도달하지 못함.

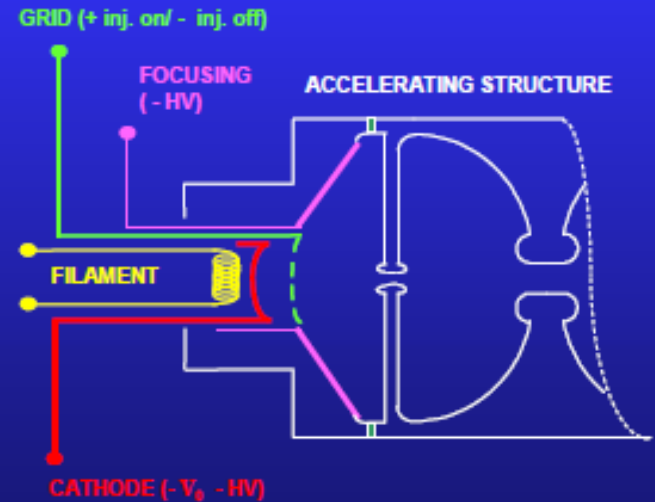
✓ _____ on grid → 전자가 양극에 도달함.

전자총: Diode vs. Triode

Diode Electron Gun

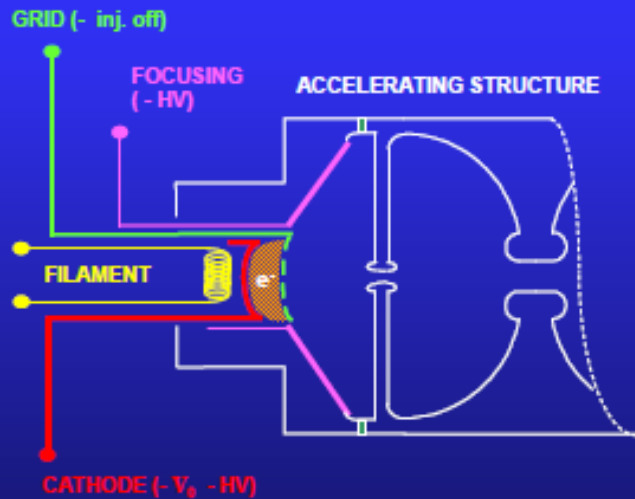


Triode Electron Gun (gridded)

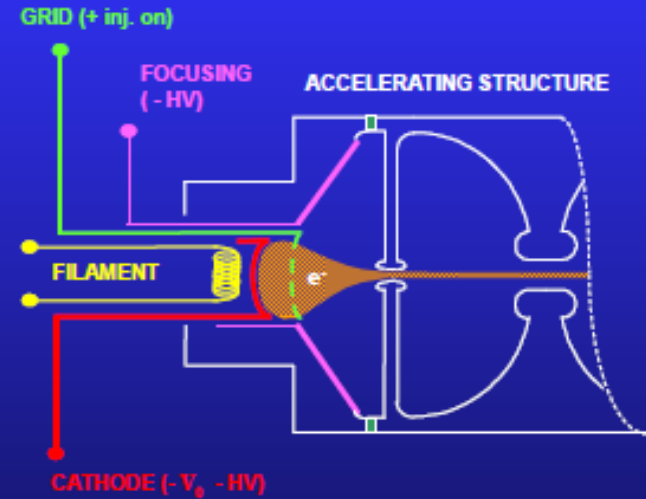


Triode Electron Gun : Working Principle

Triode Electron Gun (gridded)



Triode Electron Gun (gridded)

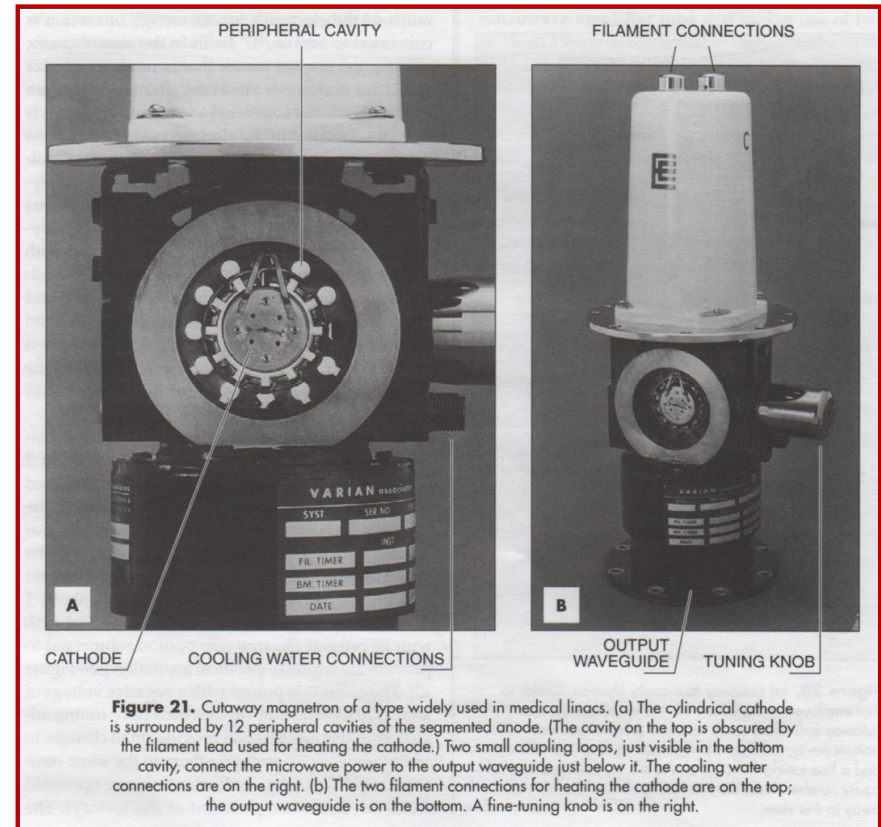


마이크로파 발생기 및 증폭기

Magnetron vs. Klystron

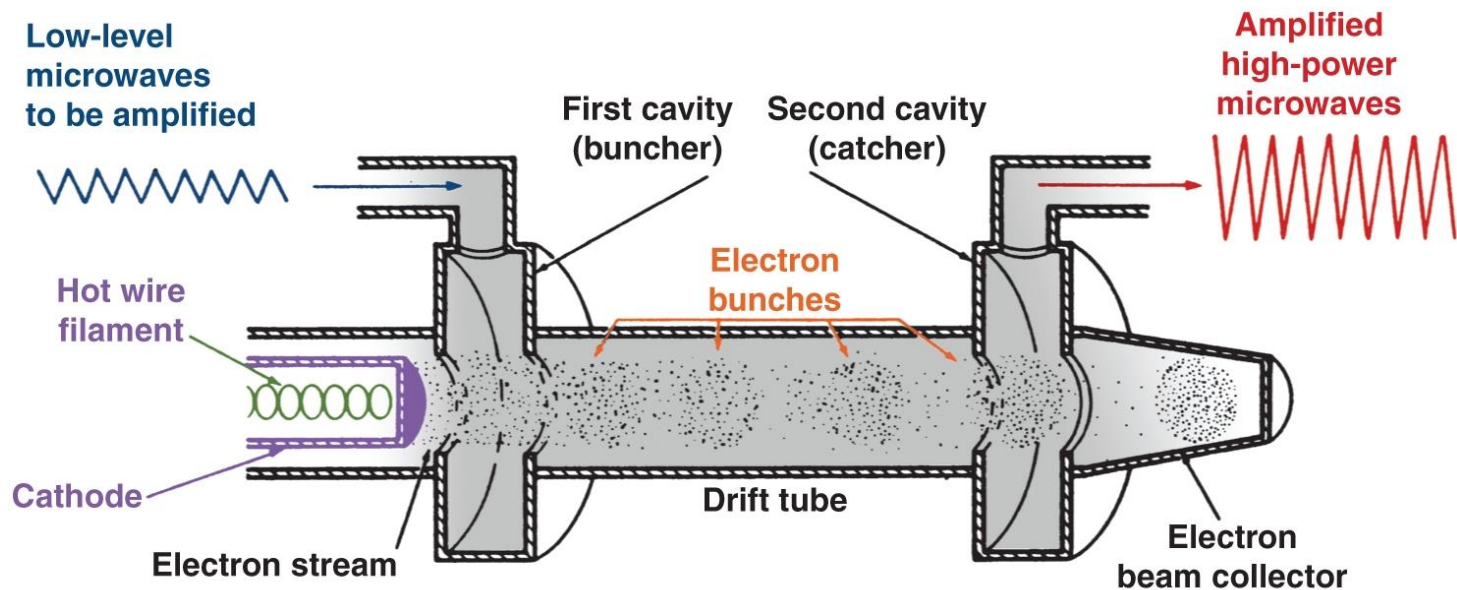
마그네트론 (Magnetron, Microwave Generator)

- 1) _____은 마이크로파를 발생시키는 장치임.
- 2) 이 마이크로파의 주파수는 약 **3,000 MHz** 임.



클라이스트론 (Klystron, Microwave Amplifier)

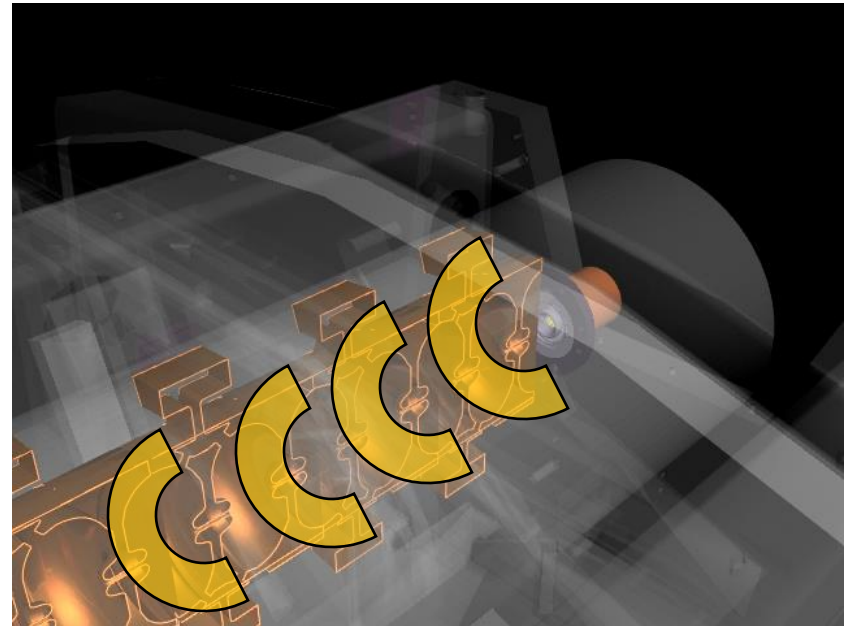
- 1) 마그네트론과는 달리 클라이스트론은 **마이크로파 발생기가 아님**.
- 2) 클라이스트론은 _____ 임.
- 3) 작동하기 위해서는 **저출력 마이크로파의 입력**이 필요함.



가속관

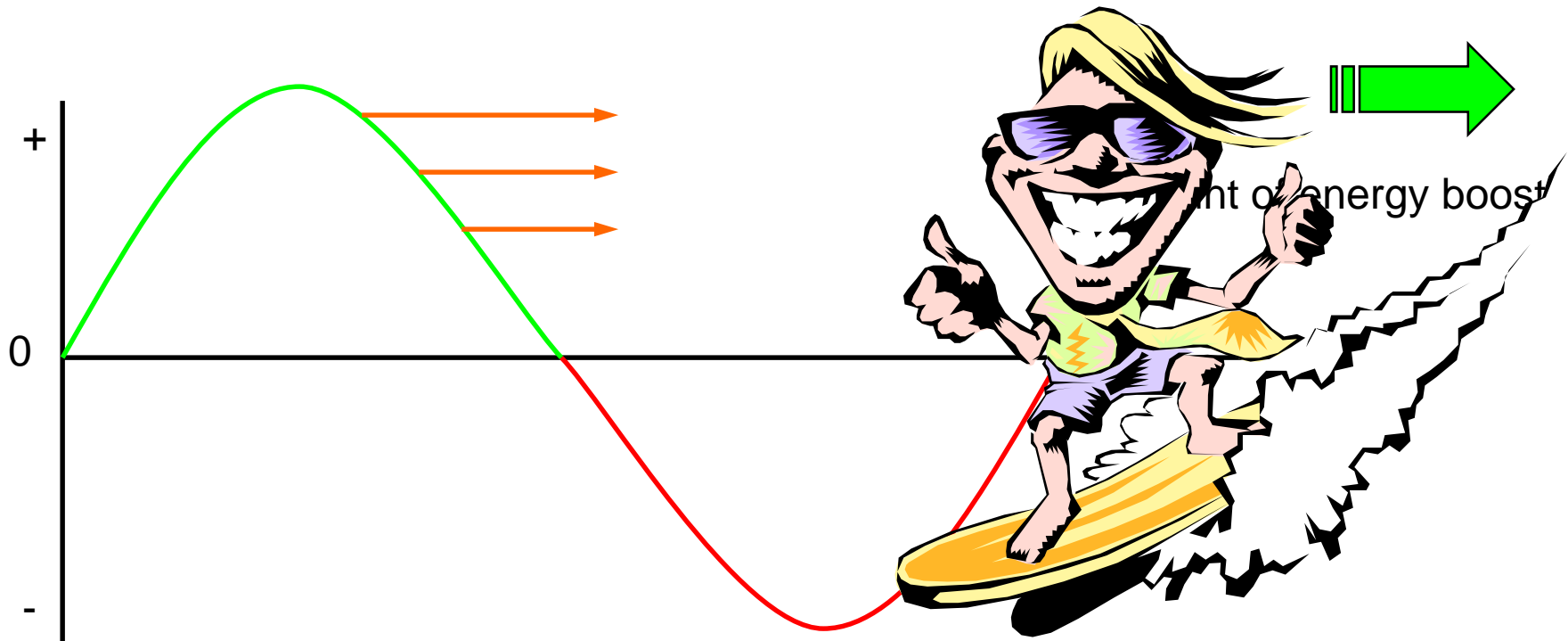
가속관 원리 (1)

- 1) 클라이스트론(또는 마그네트론)으로 부터 **도파관(waveguides)**을 통하여 **가속관으로 마이크로파가 유입됨.**
- 2) 전자기파의 _____에 의해 전자가 힘을 받아 **가속관에서 가속됨.**



가속관 원리 (2)

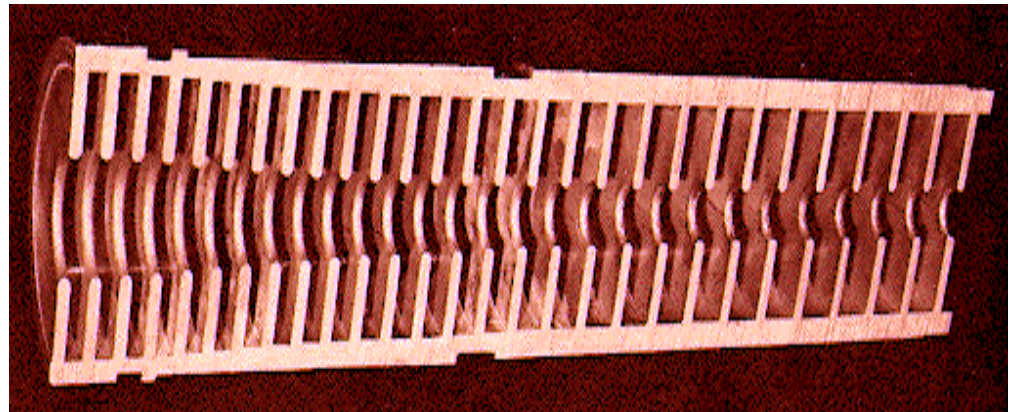
- 3) 가속관에 유입된 전자는 파도타기에서와 같이 전자기파에 의해 가속됨.
- 4) 선형가속기의 가속관은 고진공으로 유지됨.



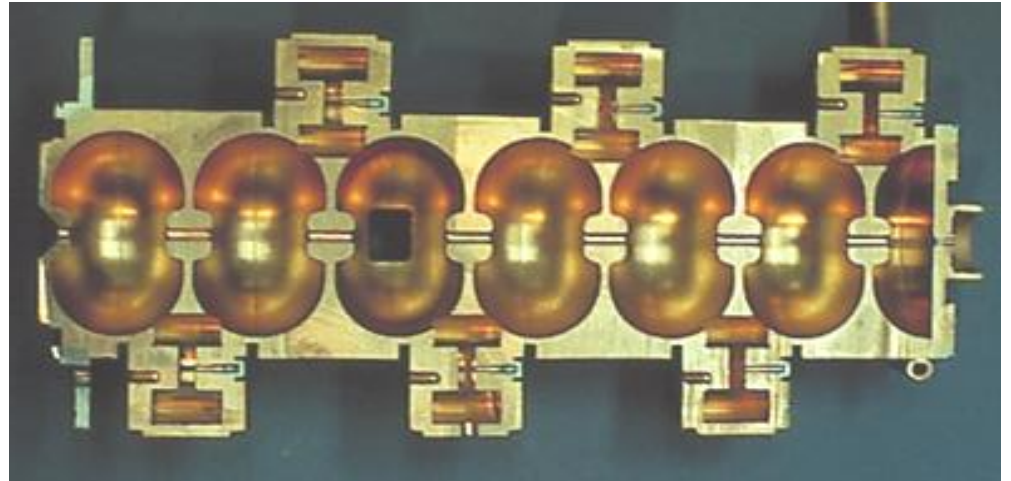
가속관 원리 (3)

5) 가속관의 종류는 _____ 와 _____ 이 있음.

Traveling Wave Type



Standing Wave Type

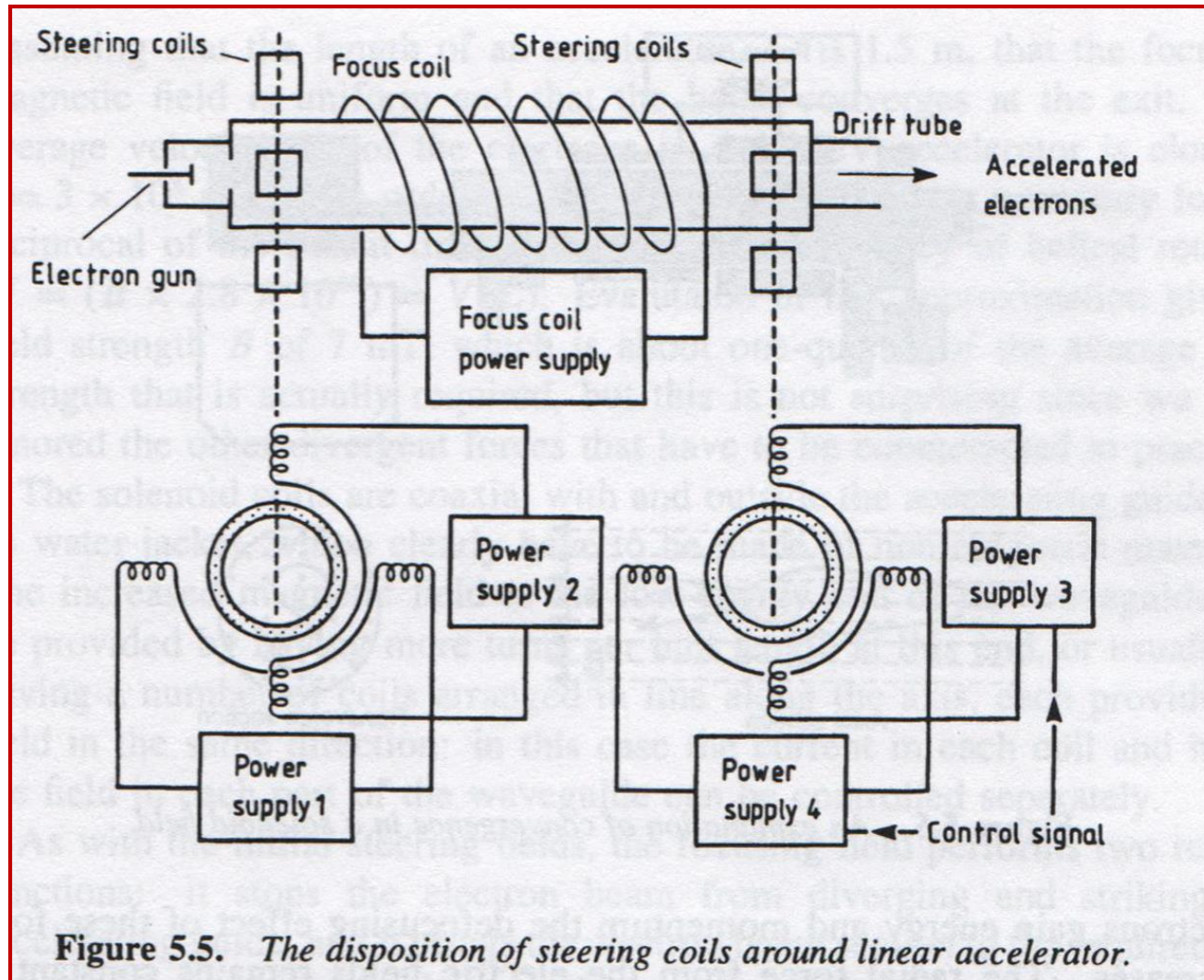


Comparison of Wave-Guides

Parameter	Traveling Wave	Standing Wave
Electric Field Strength	Low	High
Length of Guide	Long	Short
Microwave Power Feed	Gun End	Anywhere
Acceleration	Continuous	Pulsed
Vacuum requirement	Low	High

Beam Geometry

Steering Coil and Focusing Coil



Beam Geometry

- 1) _____: Large **accelerator solenoid** in mid-section of sled assembly
- 2) _____: 4 **positioning coils** are located at end of guide

Bending Magnets

Bending Magnet

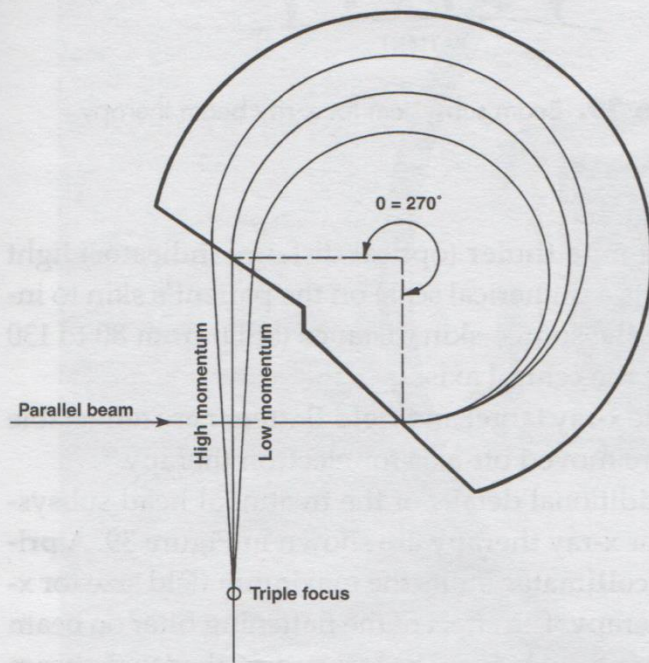


Figure 37. A simplified 270° beam-bending magnet (singly achromatic) with focusing properties as shown. The magnetic field, H , is perpendicular to the plane of the electron orbits. A full doubly achromatic magnet includes additional angular and spatial focusing properties not shown here but described in the text. For example, it also provides transverse focus, that is, focusing in a plane at right angles to that shown. (Courtesy of Physics and Medicine in Biology, Vol 18, pp. 321–354, 1973 and C.J. Karzmark, Ph.D.)

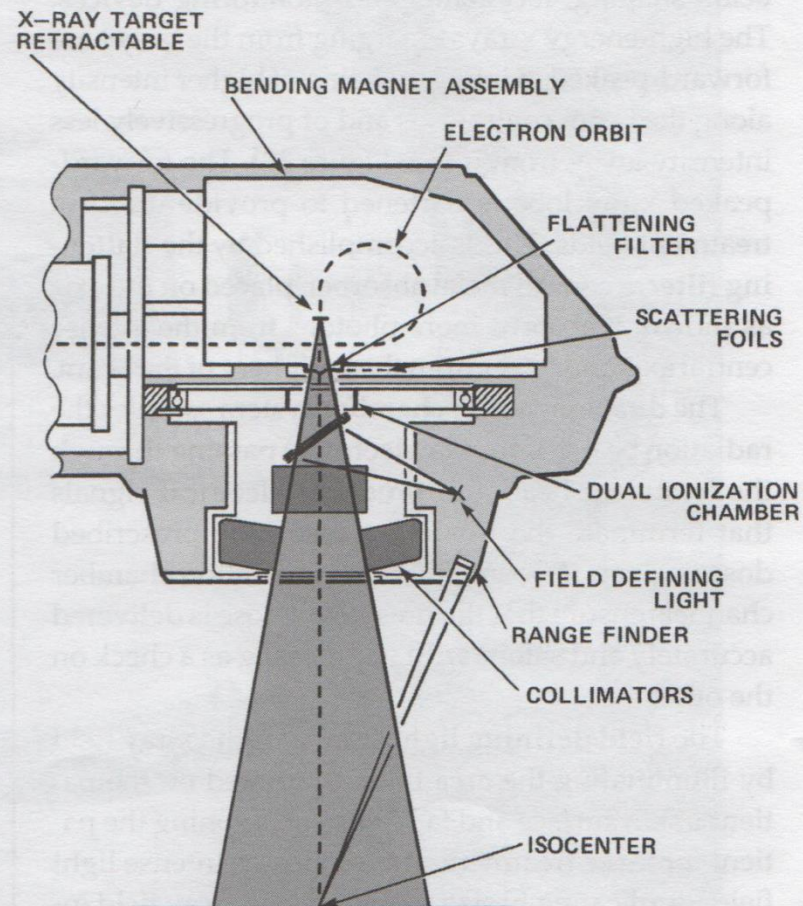


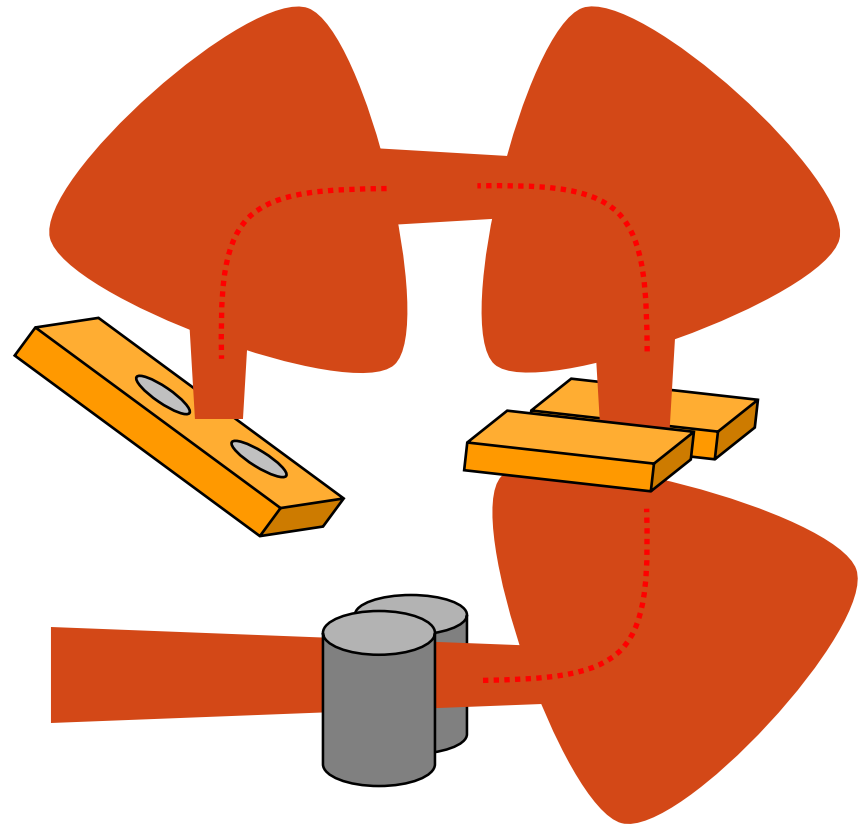
Figure 38. Treatment head. (Clinac 18, courtesy of Varian Associates.)

Bending Magnet 역할

- 1) 가속관에서 가속된 전자가 가속관을 나와서 _____ 또는 _____에 정확히 충돌하도록 하는 장치임.
- 2) 선형가속기에서 bending magnet 은 _____할 수 있도록 하는 장치임.

Bending Magnet (1)

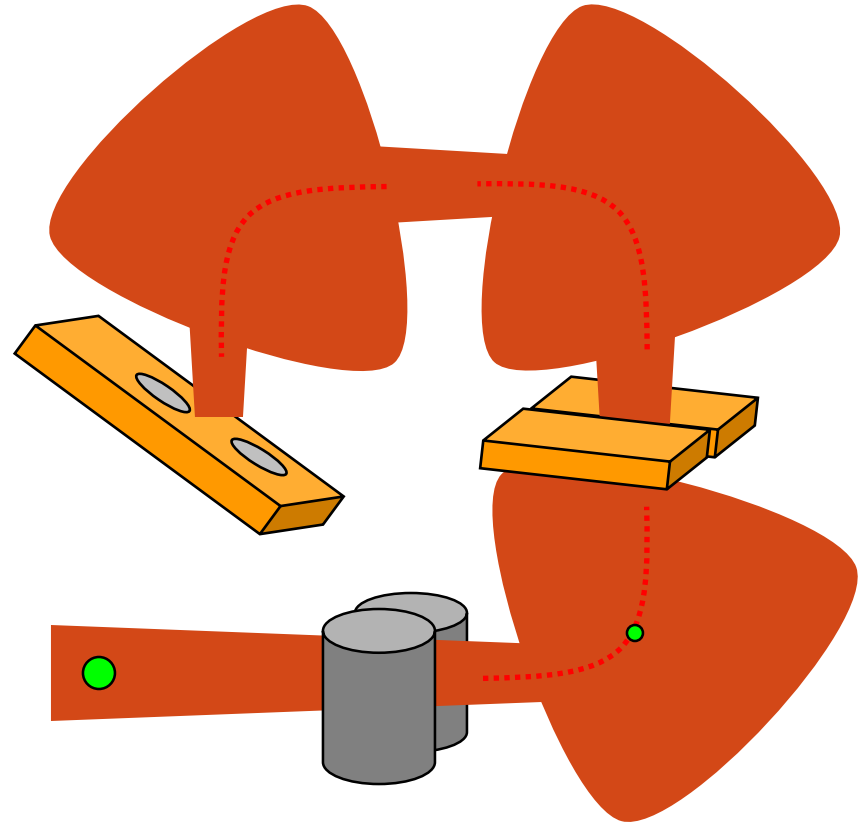
- 1) Varian: "270 degree bending magnet"
- 2) bending magnet 은 서로 **다른 에너지의 전자를 같은 초점에** 충돌하게 하는 장치임.



Bending Magnet (2)

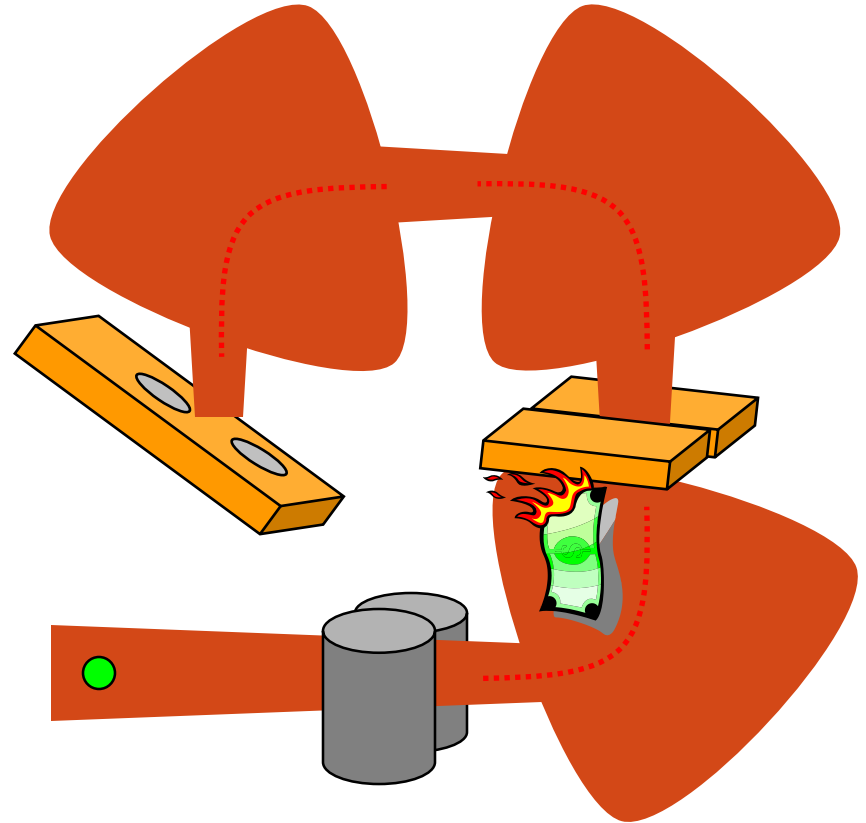
3) 가속기에서 나온 전자는
_____을 통과하게 됨.

4) 만약 에너지가 허용범위를
벗어나게 되는 경우 slit을 통과하지
못하고 slit에 충돌하게 되며 이 때
열로써 에너지를 잃음.



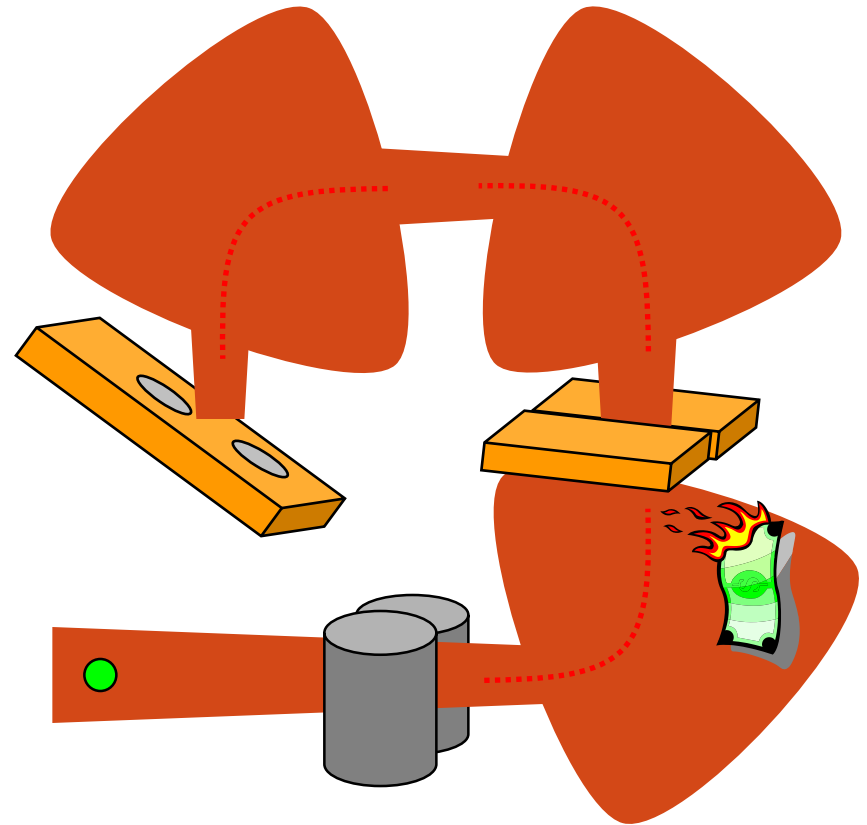
Bending Magnet (3)

에너지가 낮을 때 ➔



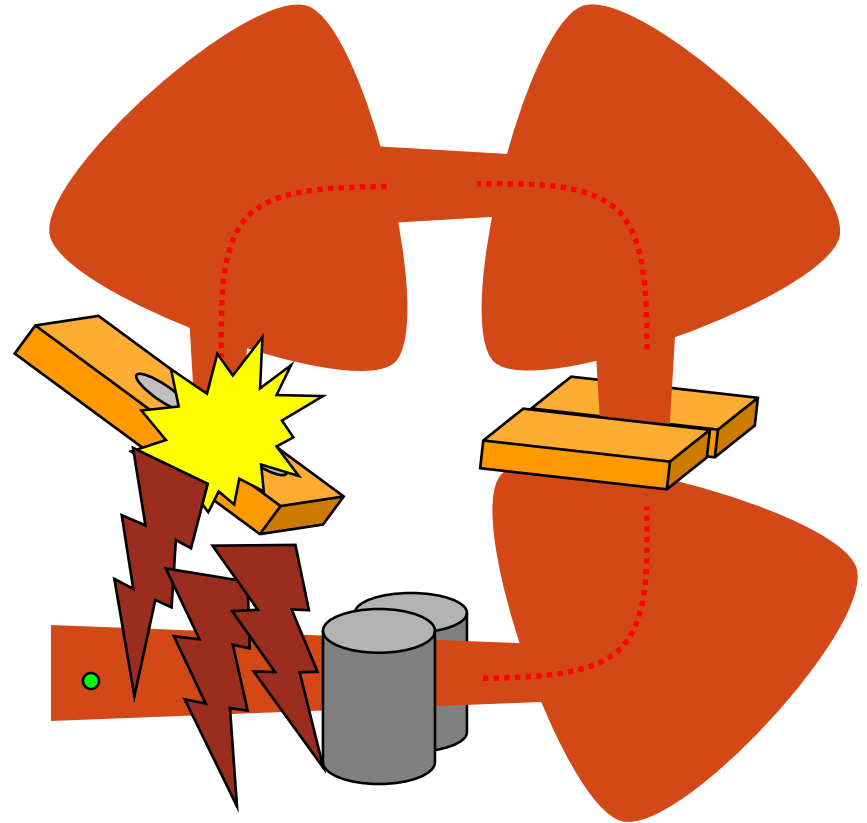
Bending Magnet (4)

에너지가 높을 때 →



Bending Magnet (5)

- 5) 전자의 에너지가 적절한 경우, 다음 slit으로 진행함.
- 6) 일반적으로 모든 모든 slit을 통과한 전자의 에너지 분포는 _____ 이내임.

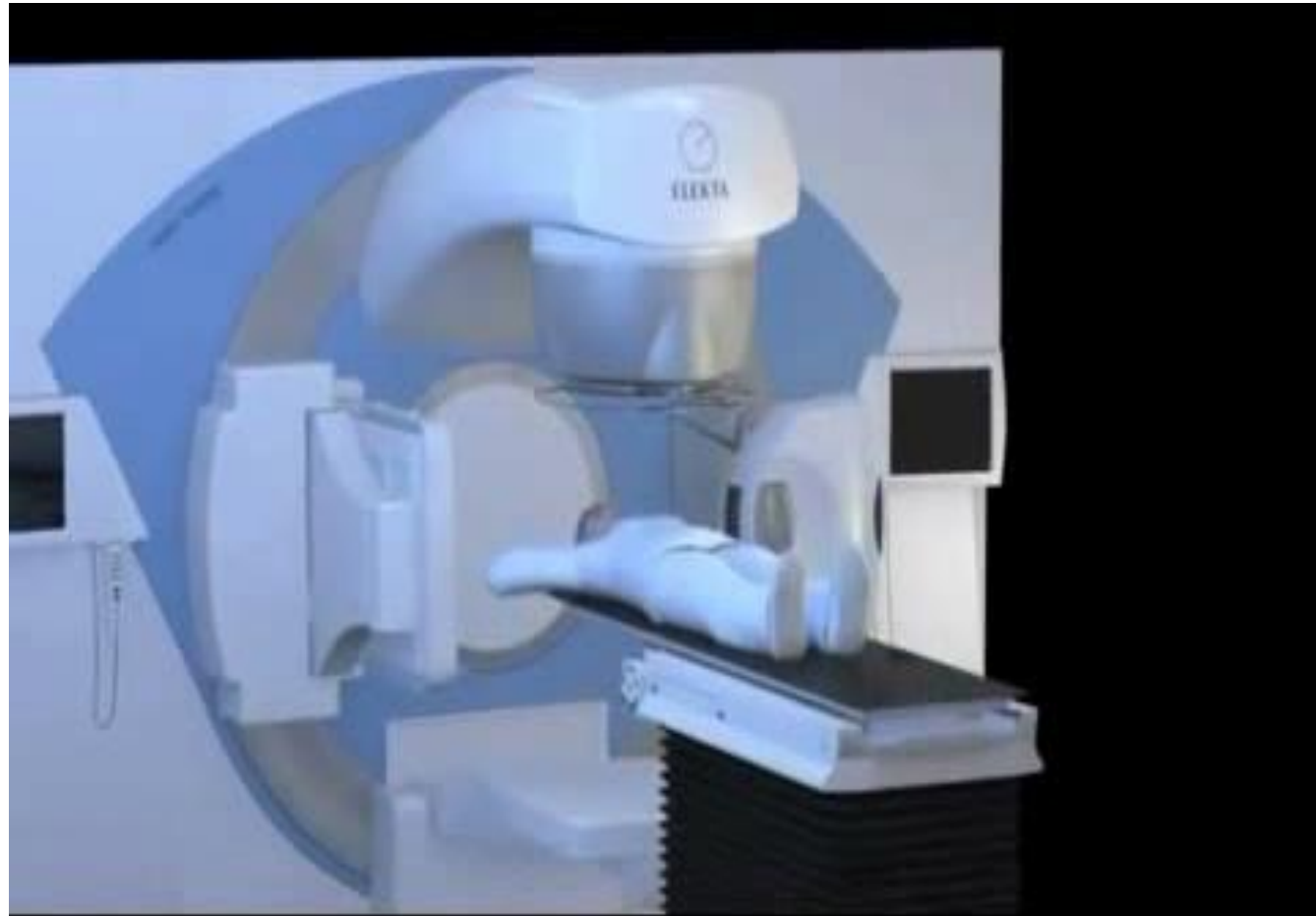
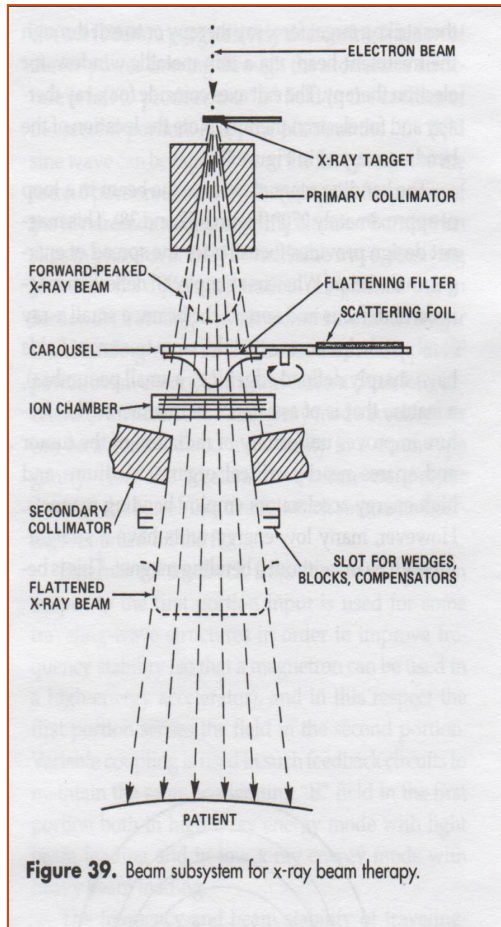


Gantry Head

X-선 치료

표적과 평탄필터 (Target and Flattening Filter)

X-선 치료를 위한 Gantry head 구조

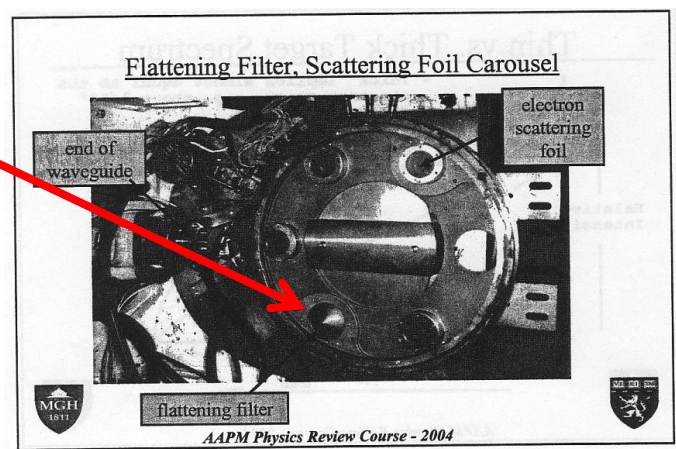
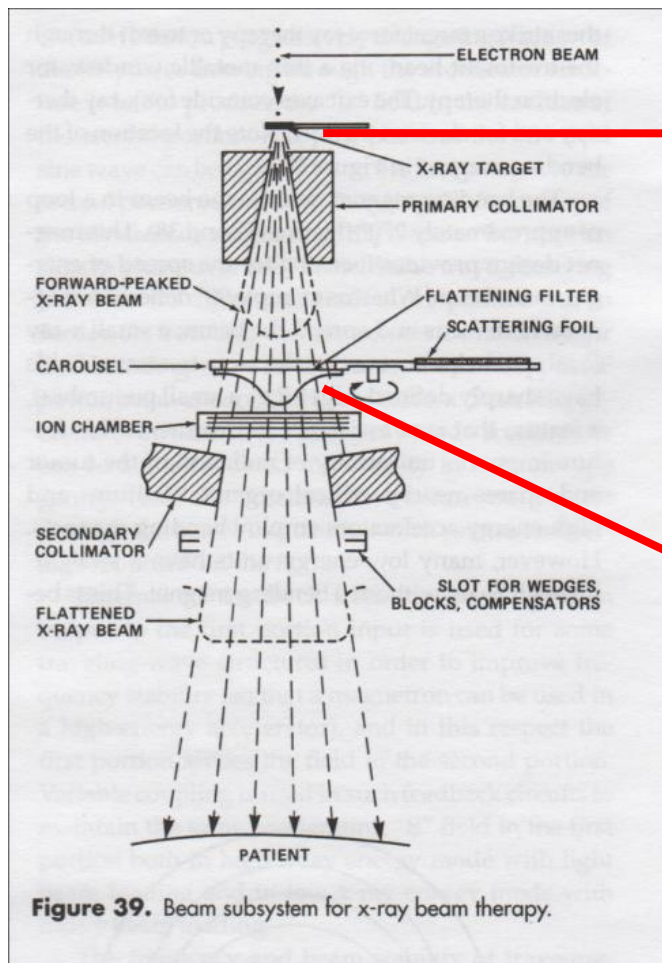


표적 (Target)

- 1) 투과형 텅스텐 표적은 전자와 상호작용하여 주로 _____을
통해 **x-ray** 빔을 발생시킴.
- 2) 초점의 크기는 지름이 약 _____임.
- 3) **전자치료모드**(electron therapy mode)에서 _____은 전자의 경로에서 충돌하
지 않도록 움직임.

평탄필터 (Flattening Filter)

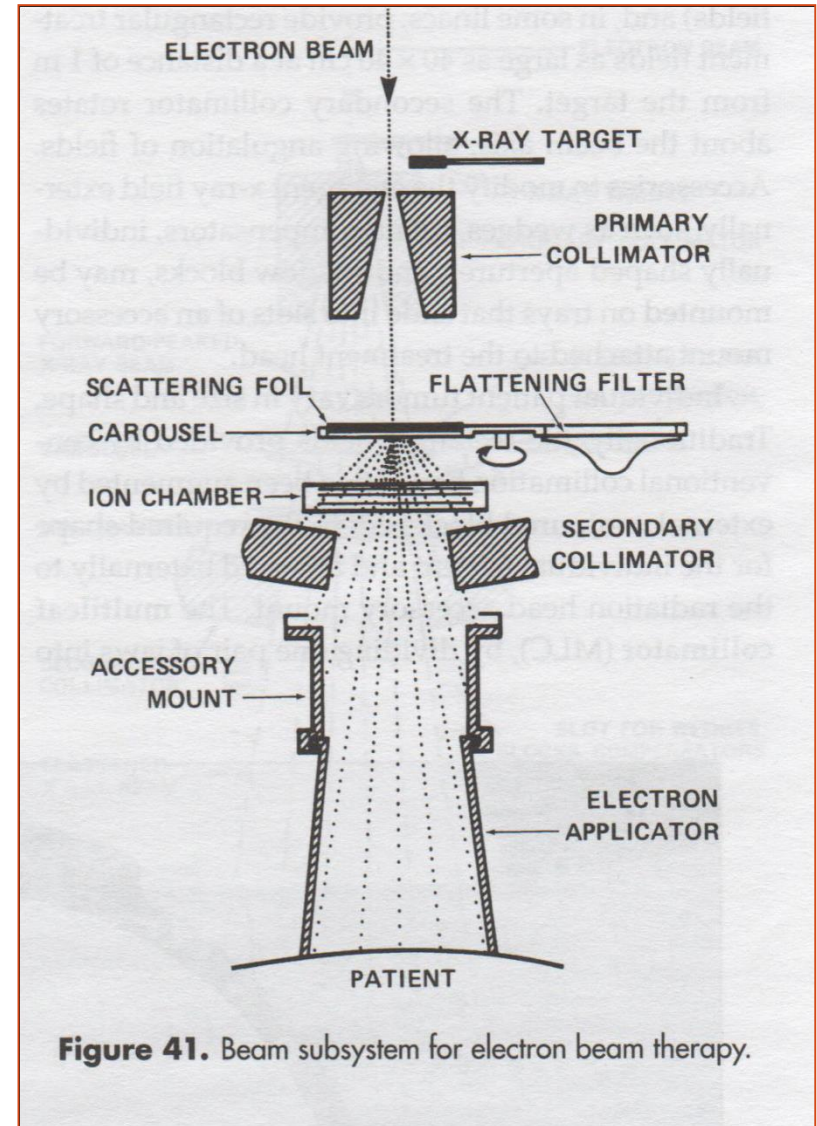
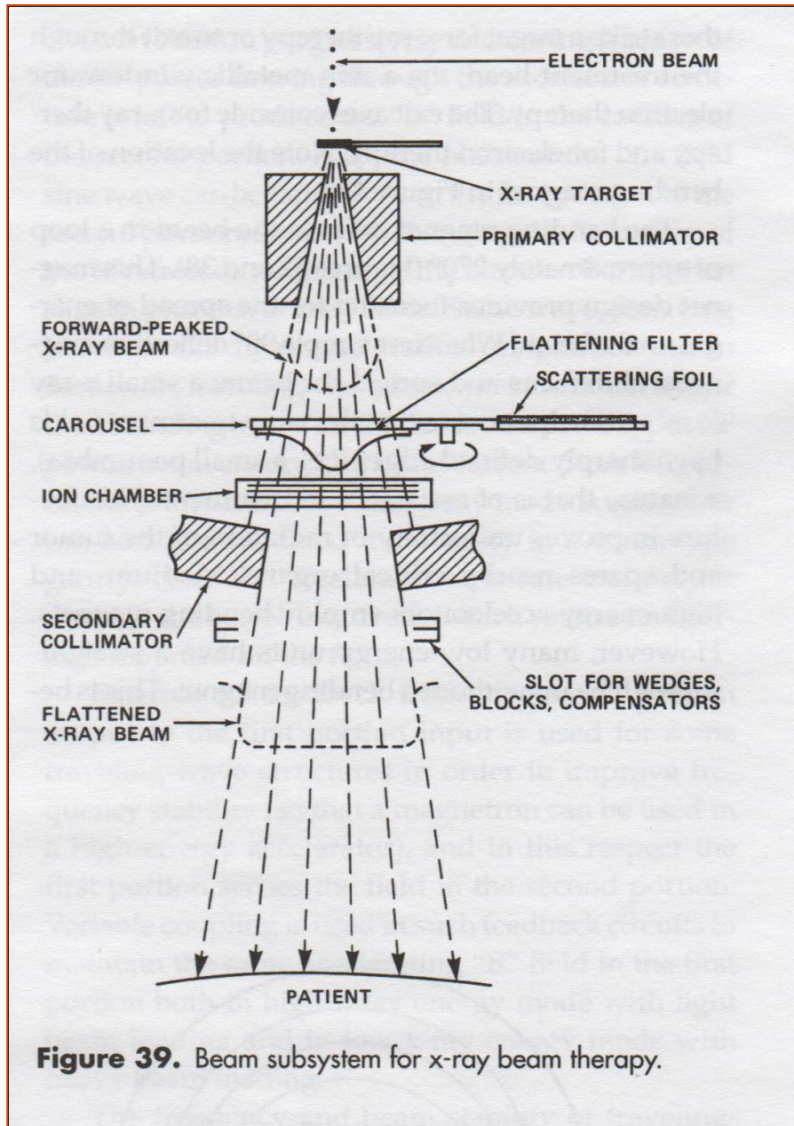
- 1) 선형가속기에서 전자는 megavoltage 로 가속되므로 에너지가 충분히 큼.
- 2) X-선의 방향은 주로 입사하는 전자의 방향과 같으며 그 **강도(intensity)**는 _____(peak)을 형성함.
- 3) **X-선의 강도가 일정하기 위해서는** _____(**flattening filter**)가 사용되어야 함.
- 4) 평탄필터는 _____납으로 만들어 저서 중앙에 좀 더 많은 x-선이 감약되도록 디자인 됨.



전자선 치료

산란박 (Scattering Foil)

X-ray vs. Electron Unit



산란박 (Scattering Foil)

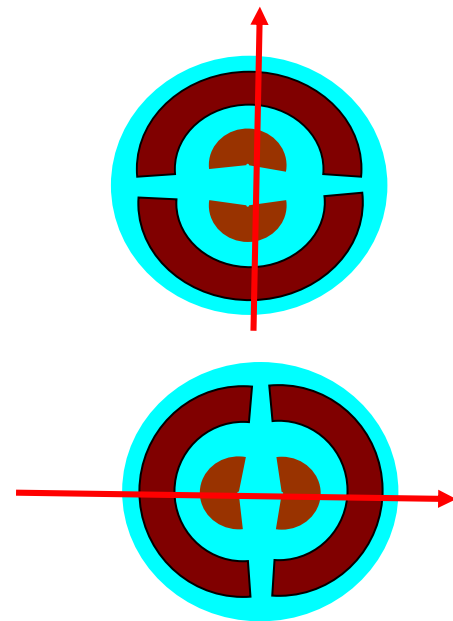
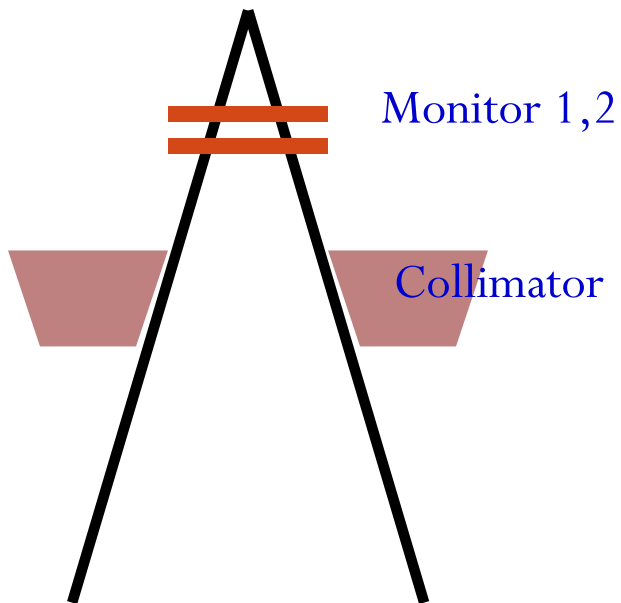
- 1) 전자치료 모드에서 표적과 평탄필터는 전자의 운동방향에서 벗어나게 배치되고 그 자리에 _____이 위치하게 됨.
- 2) 산란박은 _____를 갖는 물질로 만들어지고 두께가 1 mm 미만임.
- 3) 산란박의 주요 기능은 폭이 좁은 전자빔 (pencil electron beam)을 산란(multiple Coulomb scattering)시켜 _____으로 만드는 것임.

이온함

(Ion chamber)

이온함

- 1) X-선의 경우 평탄필터를 지난 후 또는 전자의 경우 산란박을 지난후
평탄해진 빔은 이온함에 입사하게 됨.
- 2) 중복검사와 안정성을 확보하기 위해 _____을
사용함.



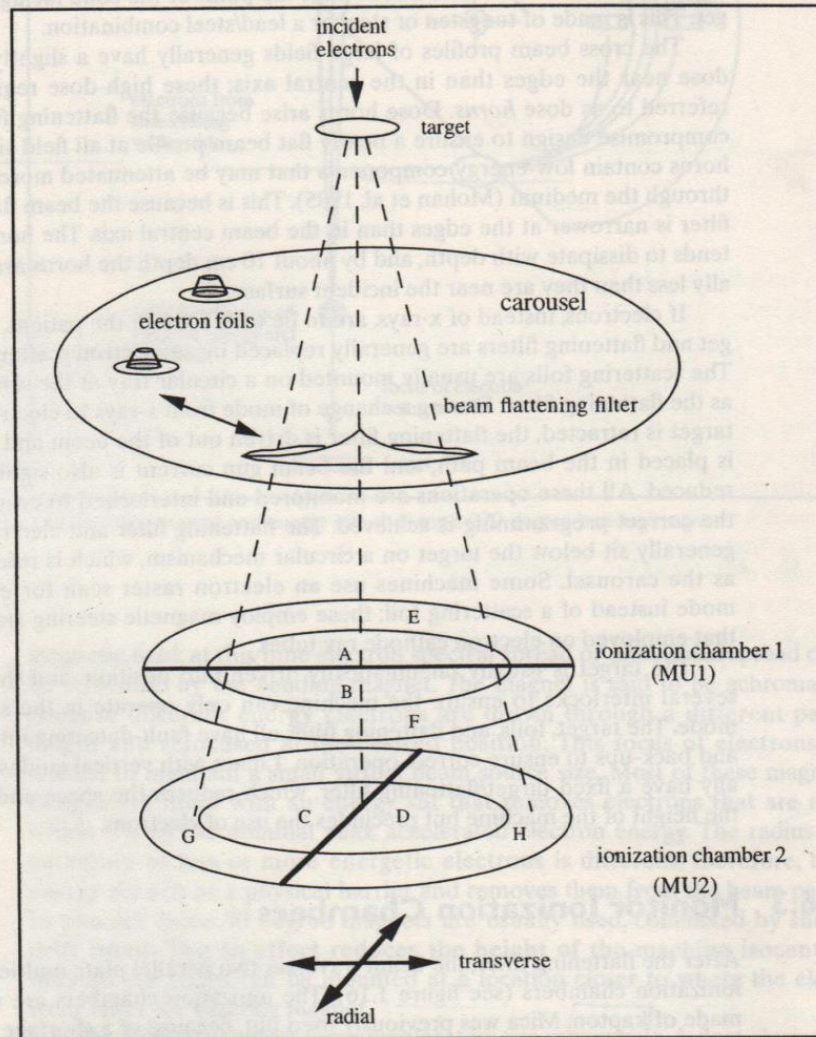
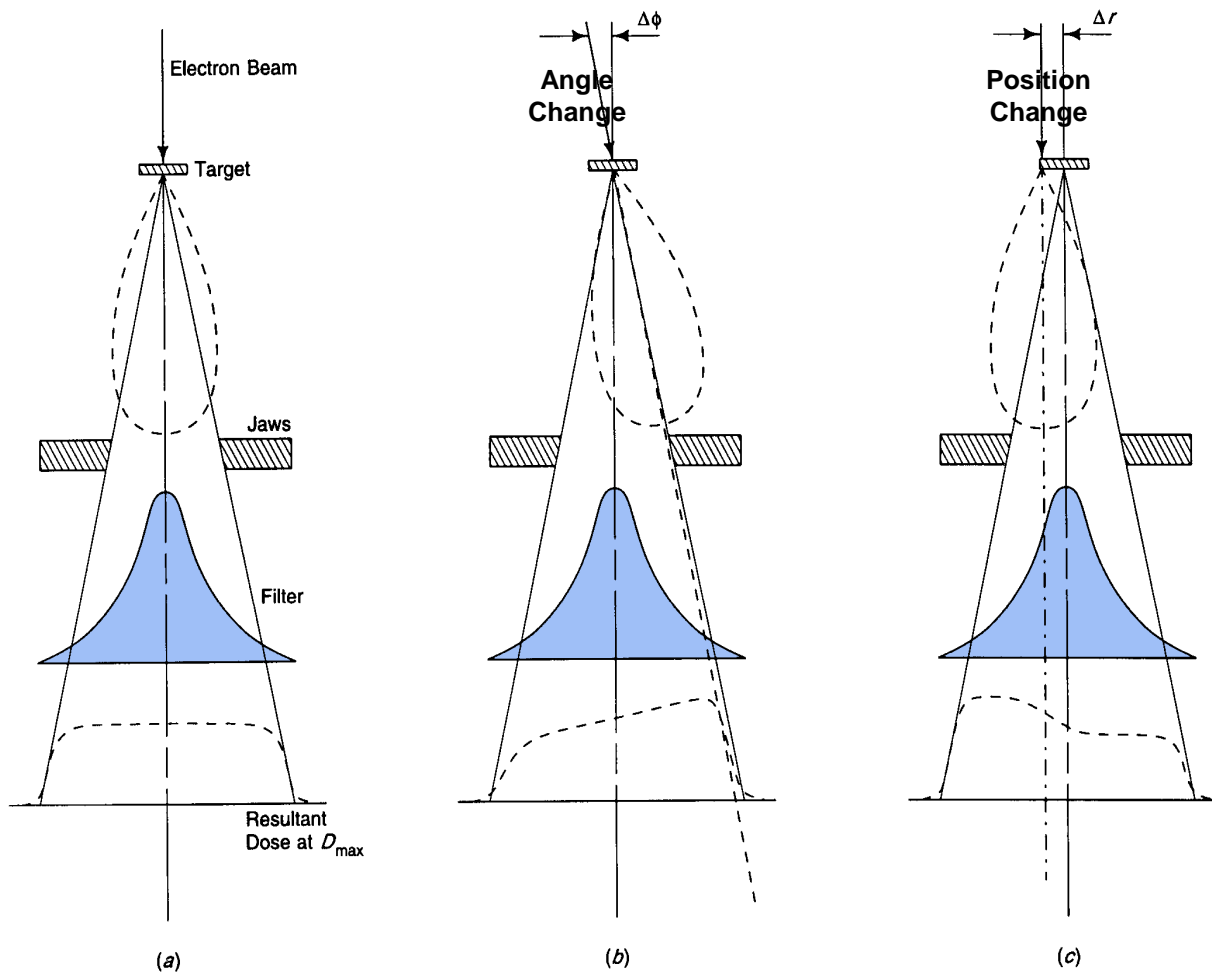


Figure 1.16: Linac from target to monitor ion chambers. The orientation of the ionization chambers mounted in the treatment head used to monitor dose output, symmetry, and flatness is shown. AB and CD ionization chambers are used for integration of charge to give dose output in monitor units. The A to B and C to D current ratios are compared for feedback to angular beam steering in the radial and transverse planes. The E to F and G to H current ratios are compared for feedback to the position beam steering in the radial and transverse planes.

Beam Symmetry and Flatness



선형가속기에서 이온함의 주요 기능

- 1) _____
- 2) 평탄성 모니터링 (Monitor Flatness)
- 3) 대칭성 모니터링 (Monitor Symmetry)
- 4) 선량률 모니터일 (Monitor Dose rate)

이온함이 갖추어야 할 특성

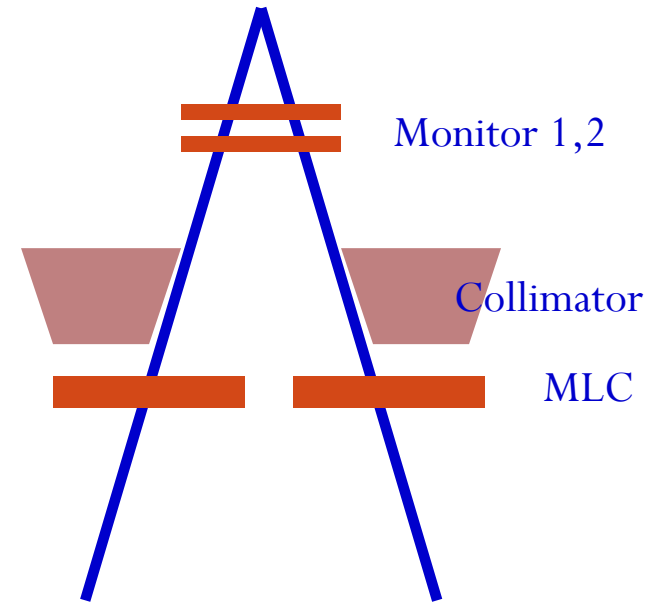
- 1) _____ (0.1mm electrode thickness) 방사선과의 상호작용이 작게 일어나기 하기 위해 _____ (Al or mica)로 된 물질이어야 함.
- 2) 보통 이온함은 온도와 압력의 변화와 무관하게 _____ (sealed)되어 있음.
- 3) **전하수집**(collection efficiency)에 손실이 없도록 _____ 을 사용함.

다엽 콜리메이터

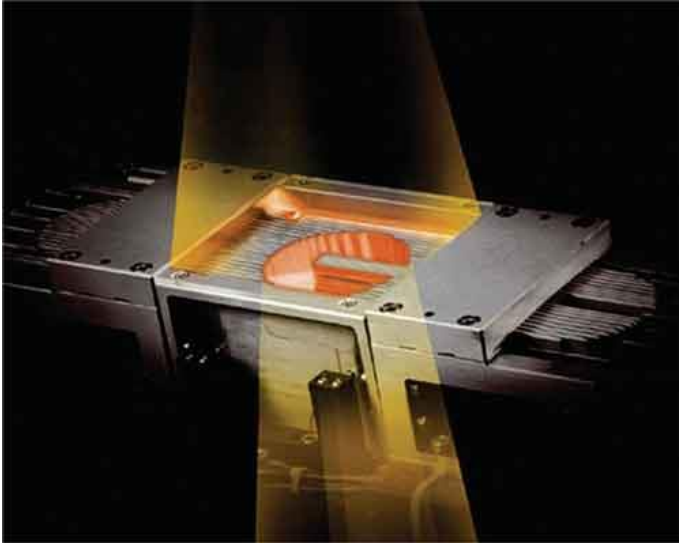
Multi-Leaf Collimators (MLC)

Collimator and MLC

- 1) 이온함을 통과한 빔은 x-선 _____ (x-ray jaws
라고도 불리움) 에 의해 빔모양이 형성됨.
- 2) 보통 환자의 중심에서 _____
크기의 직사각형 모양의 빔을 형성함.
- 3) 콜리메이터는 보통 납-텅스텐 합금으로 만들어져
있으며 빔을 막는 부분에서의 primary beam의
투과율은 1 % 미만임.



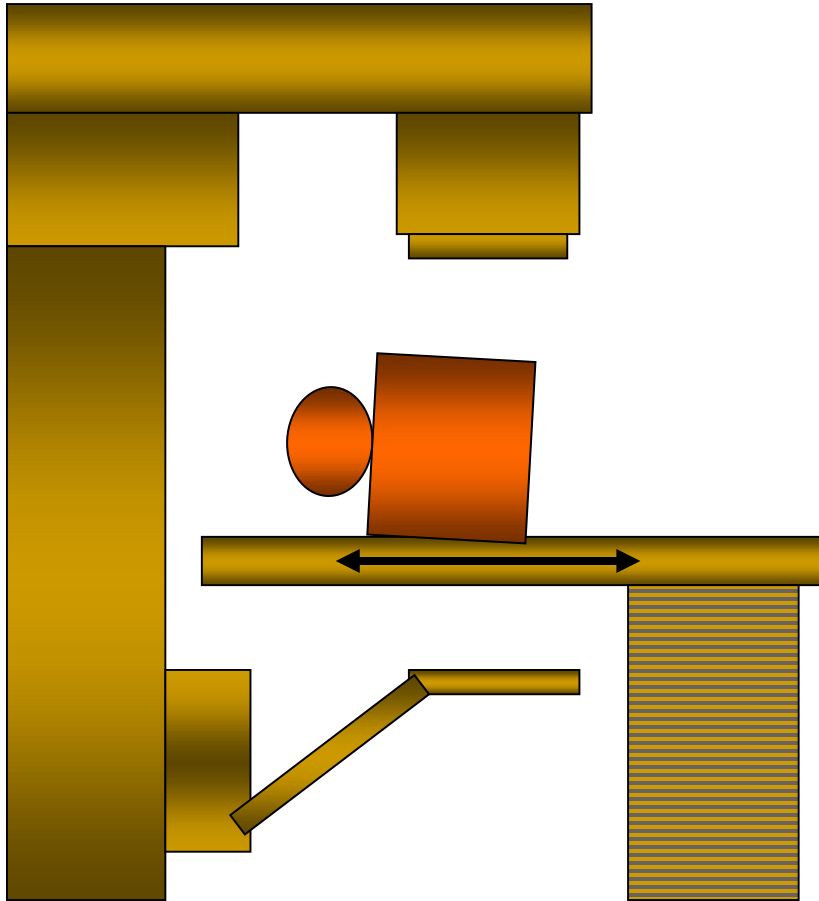
- 4) 현대의 선형가속기에는 콜리메이터에 추가로 _____ (**multi-leaf collimator, MLC**)가 장착되어 있음.
- 5) MLC는 불규칙한 모양의 방사선을 만들 수 있고 _____ (intensity modulation)를 하는 데 사용됨.



포털 이미징시스템

(Portal Imaging System)

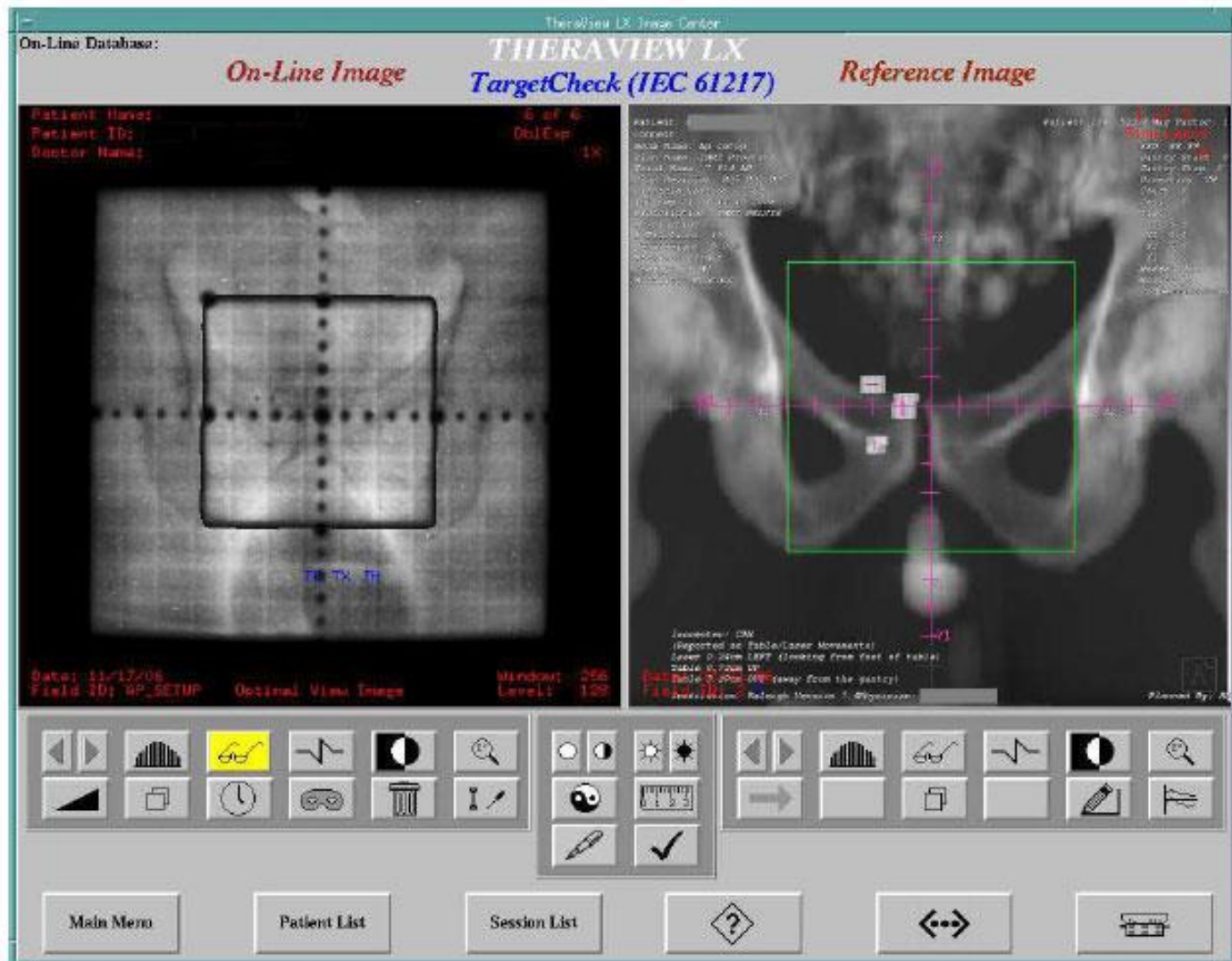
포털 이미징시스템



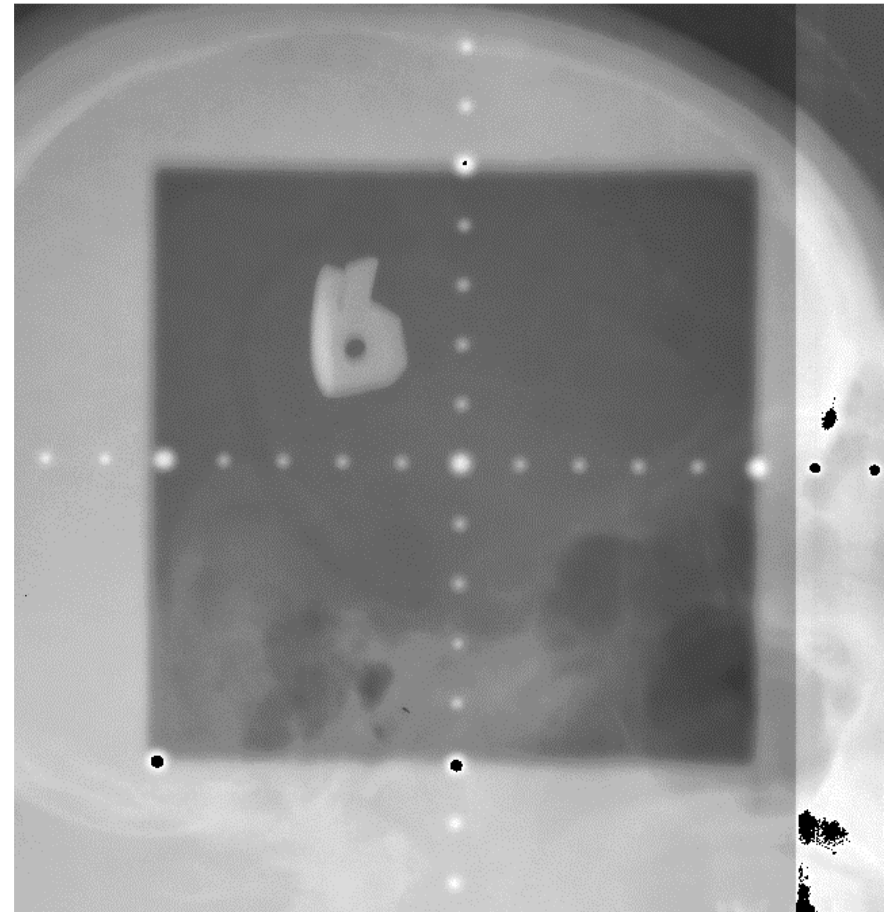
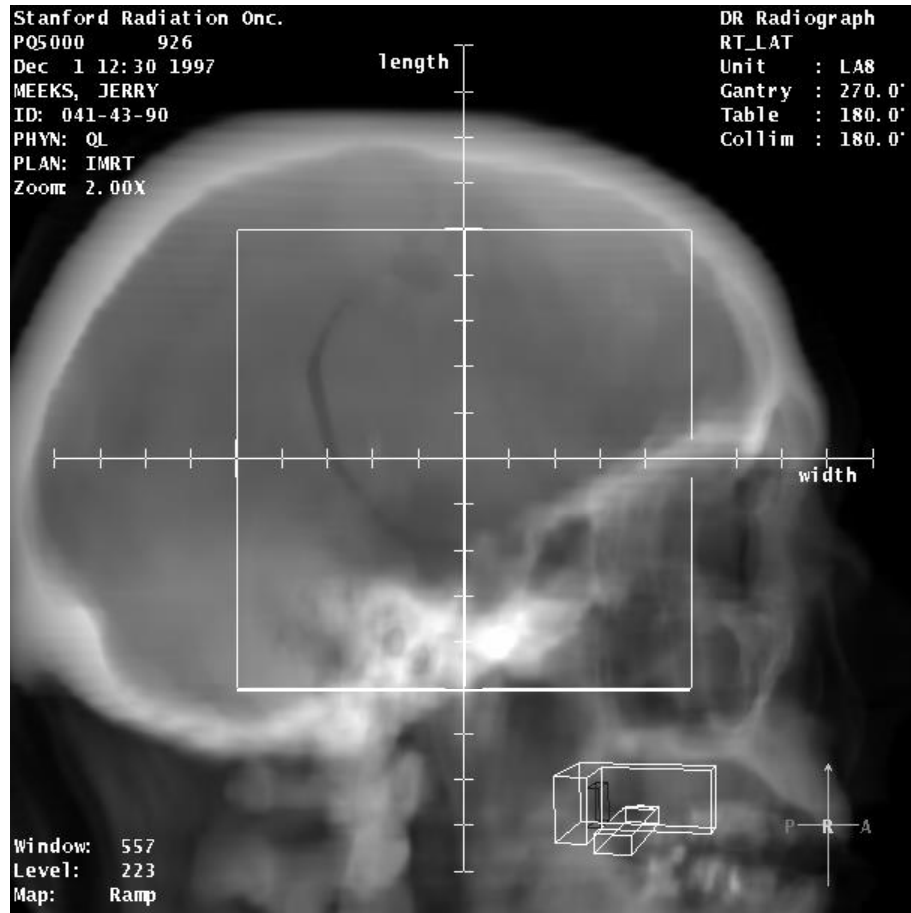
포털이미지

- 1) _____ (Patient positioning)
- 2) _____ (MV 영상)
- 3) 치료선량을 보증하는 데 사용 가능
- 4) 품질검사에 사용 가능 (Quality Control/ Quality Assurance)

예: 방사선 치료에서 빔의 모양과 환자의 자세 확인



예: 방사선 치료에서 빔의 모양과 환자의 자세 확인



예: 방사선 치료에서 치료선량 보증

