

미래를 여는 방사선 의료기기

채 증 서*

1. 서론

최근 의학의 발전으로 모든 사람이 잠재적으로 생각하는 꿈의 의료기기에 한층 다가서게 되었다. 우리가 상상하는 의술이란 잠자고 있는 사이에 간단히 병을 진단하고 진단한 데이터를 근거로 환자가 아프지 않게 치료를 하는 것이다. 이와 같이 치료 받은 뒤에도 통증 없고 간단하고 신속하게 치유가 된다는 것은 상상만 하어도 즐거운 일이다.

지난 100여 년 간의 의술의 역사를 보면 병의 유무와 종류를 감별하기 위하여 많은 방법을 동원하였다. 병의 유무는 소리, 맥박, 압력, 색깔, 단백질 및 설탕의 양 등 여러 물리적인 양에서 화학적인 양까지 측정하기에 이르렀다. 그러나 병의 발현과 성질을 가장 잘 파악하는데 필요로 하는 것은 병적 변화를 일으키는 자리인 병소의 모양과 크기 등을 직접 관찰하여 예후를 판단하는 것이다. 하지만 인체 안을 들여다 볼 수 있는 방법은 그리 많지 않다. 이러한 방법 중

〈표 1〉 방사선의 종류

대분류	소분류	비 고
전자파 방사선	X 선	정지 X선 · 특성X선 등 원자핵 외부에서 방출하는 전자파
	감마선	원자핵의 에너지 상태 변화에 의해 원자핵에서 방출하는 전자파
전기를 갖은 입자선	β^- 선 β^+ 선 전자선 알파선 양성자선 중양성자선	원자핵에서 방출되는 전자 원자핵에서 방출되는 양전자 가속기로 발생 원자핵에서 방출되는 헬륨의 원자핵 가속기로 수소 핵 가속하여 발생 가속기로 발생
전기를 갖지 않은 입자선	중성자선	원자로, 가속기, 동위원소 등으로 발생

* 한국원자력학원(e-mail: jschai@kcch.re.kr)

에는 초음파, 체온 그리고 방사선이 있는데, 특히 방사선은 의료에서 진단과 치료의 두 분야에 이용할 수 있다는 장점이 있다.

2 본론

방사선 중 의료에 가장 많이 적용되는 방사선은 X 선이다. 1895년 뢰트겐이 X 선을 발견한 이래로 이미 1905년 X선관을 이용하여 방사선 치료를 시작하였다. X선은 지금까지 방사선 진단과 치료에 가장 중요한 수단으로 이용되고 있다. X 선은 발생 형태에 따라 정지 X 선과 특성 X 선으로 분류 된다. 에너지가 높은 고속전자가 원자핵을 통과할 때 궤도 전자에 의해 강력한 정지력을 받게 되므로 입사전자는 진행 방향이 변하게 된다. 이와 같이 입사전자가 진행 방향을 바꾸면 전자는 운동에너지의 일부를 상실하게 되고 이 때 상실된 에너지는 전자파(X 선)로 방출된다. 이와 같이 입사전자가 원자핵 부근을 통과할 때 운동에너지의 일부를 상실하는 과정에서 방출하는 X선을 정지 X선이라 한다.

정지 X선은 의료분야나 공업 분야에서 많이 사용되는데, 입사전자의 에너지에 의존하는 연속스펙트럼을 갖는다. 그러므로 입사전자의 에너지가 클수록, 즉 X선관에 가해지는 전압이 높을수록 높은 에너지의 X선이 발생한다. 그리고 X선의 발생량은 표적물질의 원자번호와 X선관에 공급되는 전류의 양에 의존하므로 표적물질의 원자번호가 크고 그리고 X선관에 공급되는 전류의 양이 많으면 많을수록 정지 X선이 많이 발생한다. 일반적으로 의료용 X선발생장치는 140 KV가 사용 되고 공업용은 이보다 높은 보

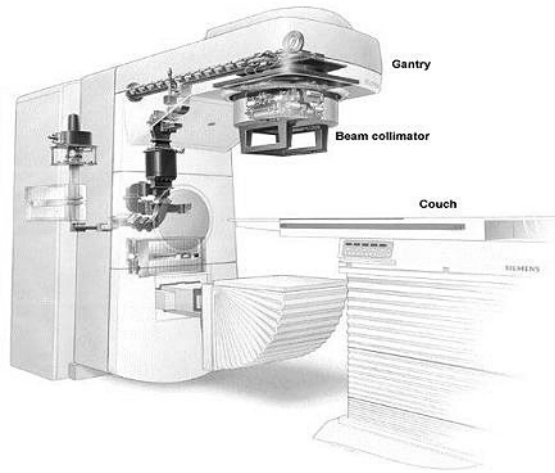
통 250KV 이상의 것이 사용되고 있다.

다른 형태인 특성 X 선은 고속전자가 원자핵의 내각전자와 충돌하여 연쇄효과(knock on)가 일어나면 내각궤도의 전자가 이탈하게 되어 원자핵은 들뜸 상태가 된다. 이 때 전자가 이탈된 내각궤도에는 즉시 외각궤도의 전자가 들어와 채우게 된다. 원자에서는 외각궤도가 내각궤도보다 잠재된 에너지가 높으므로 외각궤도 전자가 내각궤도로 떨어지면서 궤도에 따른 잠재된 에너지의 차이만큼 에너지를 방출하는데, 이 과정에서 방출하는 X선을 특성 X선이라 한다. 특성 X선의 에너지는 원자구조에 의해 결정되므로 원소에 따라라 각각 고유의 에너지를 갖고 있는데, 이러한 특성은 원소분석 등에 이용되고 있다.

X선을 이용한 영상진단은 오랫동안 X선 필름을 이용하여 직접 조사하고 감광하는 방법을 사용하여 왔다. 영국의 G. 하운스필드와 미국의 앨런 코맥은 1971년 X선 영상을 단층으로 찍어 컴퓨터로 영상 데이터를 모아 3차원으로 구현하는 컴퓨터 단층촬영기(Computer Tomography)의 발명하였다. 이러한CT의 덕택으로 X 선의 활용이 더욱 커지게 되었다. 그 후 CT는 핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance)의 전기 신호를 이용하여 X선 CT 처럼 단층영상을 모아 재구성한 핵자기공명영상장치(Magnetic Resonance Image)로 발전한다.

1950년대에 이르러 X 선을 만드는 전자의 에너지를 가속기로 높여 종양에 치료를 하여 높은 치료율을 보이기 시작 하였다. 1980년대에 이르러서 전자가속기의 소형화가 실현 되어 치료 장치 내에 선형가속기를 넣은 오늘날의 전자

<그림 1> X 선 치료용 전자 가속 선형치료기(LINAC) Ref. Siemens



선형가속기 즉 LINAC이 실체화 되었다.

1905년에 X 선관을 이용하여 방사선 치료를 시작한 이래로 21세기인 오늘날에는 중이온가속기를 이용하여 탄소치료에 이르렀다. 현재 전 세계 암 환자들의 50% 가량이 방사선을 이용한 암 치료를 받고 있다.

현재 방사선 치료 중 가장 보편적으로 사용되는 치료방법은 X선 치료이다. X 선 치료는 가장 보편적일 뿐만 아니라 치료비가 가장 저렴하다. X선이나 높은 에너지의 전자로 암 세포안의 수소 결합을 끊어 암의 DNA를 제거한다. 기존의 X 선 조사 방법으로 치료 시 악성 종양의 박멸을 기 할 수 있으나 암 조직 뿐 만 아니라 정상 조직에도 조사가 되어 부작용을 피하기 어려운 점이 있었다.

최근에 이러한 문제점을 고려하여 정상 조직에 X 선 피폭을 최소화하고 암 조직에만 집중할 수 있는 방법이 개발 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 처음 소개된 방법이 IMRT(Intensity Modulation Radiation

Therapy)이다. IMRT는 방사선의 세기를 부분별로 조절하여 깊이와 조직의 정도에 따른 차이에 맞추어 종양에 가장 이상적으로 치료하는 선형가속기이다. 이후 방사선 치료를 전방향에서 방사선을 조사 할 수 있도록 고안된 것이 단층치료기(Tomotherapy)이다. 이 장치는 전부위에 방사선을 조사함으로써 치료의 효율을 극대화 하도록 하였다. 이외에도 전자가속기를 로봇 팔에 붙여 심부에 있는 암 종양을 수 백 개의 방향에서 조사를 하여 정상 조직에 발생하는 부작용을 줄이는 융합 전자가속기도 사용되고 있다. Cyberknife라 불리는 전자 가속기는 기존의 전자선이나 X 선이 가지는 여러 부작용을 최소화 할 수 있는 장점으로 최근에 각광을 받고 있다. Cyberknife는 치료계획과 빔 조사가 매우 중요하여 크게 치료 계획 시스템 TSP(treat planning System)과 TDS(Treat Delivery system)으로 구성 된다. TDS는 6MV 선형가속기(Linac)과 6축 암 로봇(Six-axis manipulator(Robot)와 영상장치(Imaging

〈표 2〉 방사선 치료의 발달 과정

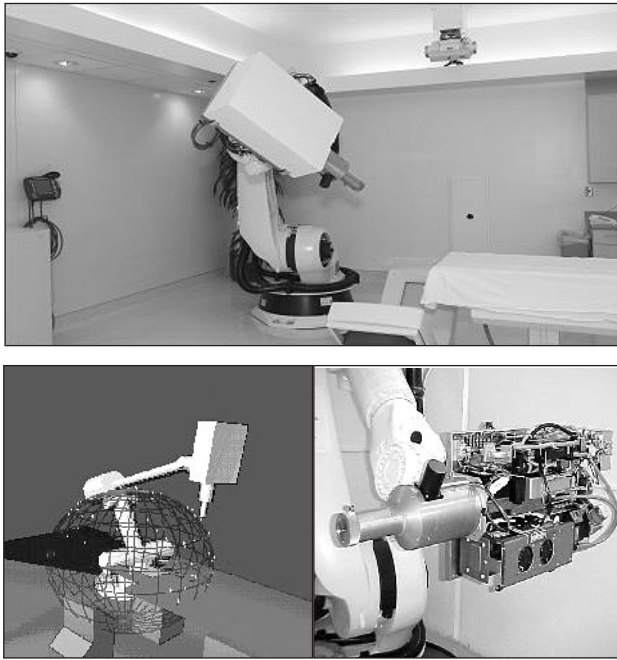
DATE	PROCESS	ENERGY in MeV
	X-RAY THERAPY	
1905	X-ray tube	0.05-0.2
1947	Van de Graaff	3
1948	Betatron	20
1953	Linac	6 - 30
	GAMMA-RAY THERAPY	
1910	Radium needles	1-3
1951	Cobalt "bomb"	2
	ELECTRON THERAPY	
1947	Van de Graaff	3
1948	Betatron	20
1963	Linac	6 -30
	NEUTRON THERAPY	
1969	Cyclotron	30
	PROTON THERAPY	
1955	Cyclotron [and synchrotron]	60-230
	HEAVY ION THERAPY(Carbon)	
1994	Synchrotron [and Cyclotron]	400 MeV/u

subsystem) 및 안전 장치(safety system)으로 구성 된다. 그러나 X 선이 가지고 있는 근본적인 물리효과를 극복하는 것이 매우 어렵다.

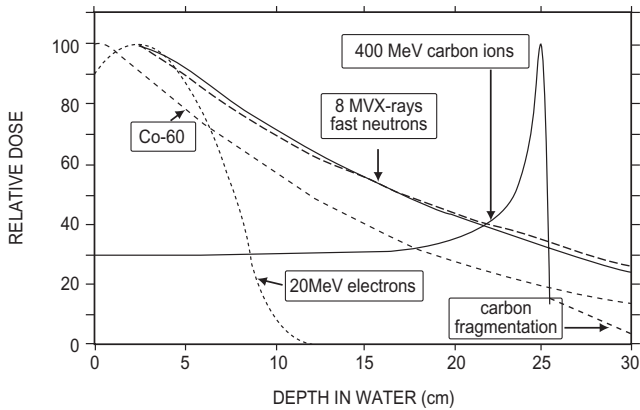
이러한 부작용 문제를 원리적으로 해결할 수 있는 치료 수단이 바로 이온빔에 의한 치료이다. 이온은 원자에서 전자를 떼어낸 핵을 뜻하는 것이다. 이온빔이 물질을 투과 하려면 전자와 마찬가지로 빠른 속도로 날아야만 한다. 빠른 속도로 이동하는 이온빔이 어떤 물질을 투과하게 되면 들어가면서 조금씩 속도가 떨어진다. 완전히 속도를 잃어 정지하는 지점에서 많은 전

리가 일어나 방사선이 발생된다. 이것을 Bragg Peak라 한다. 따라서 이온의 속도만 가속기로 정해주면 어떠한 지점에 있는 암 종양에 정확히 많은 방사선을 피부울 수 있게 할 수 있다. 이러한 물리적인 성질을 이용하는 치료 요법이 이온빔 치료이다. 심부 종양에 다다를 수 있도록 이온을 빠르게 가속시키는 것이다. 물리에서 운동 속도는 곧 에너지이므로 심부에 있는 치료를 위하여 이온빔에 높은 에너지를 실어 주어야 한다. 그러나 가장 가벼운 수소 이온 일지라도 전자에 비하면 질량이 약 1836배 무겁다. 따라서

〈그림 2〉 Cyberknife 시스템



〈그림 3〉 각종 방사선의 Dose Distribution



양성자를 빠른 속도로 가속 시키려면, 전자 가속기 보다 훨씬 규모가 큰 가속기가 필요하게 된다. 양성자로 심부에 있는 암 종양을 치료하려면, 에너지가 최소 2억 전자볼트의 규모를 가

지고 있어야 한다. 기기의 규모는 에너지 크기와 비례하므로 양성자 치료용 사이클로트론의 경우 200평 이상의 규모의 공간이 필요하고 가속기 가격 또한 수 백 억 원을 호가 한다. 양성

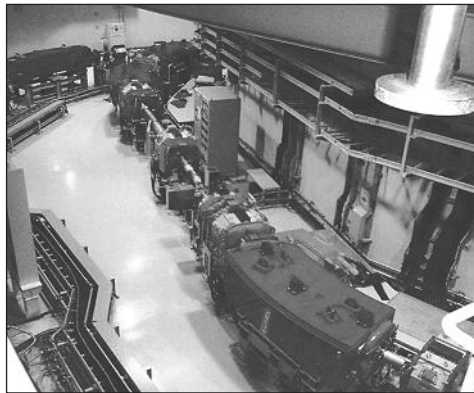
자는 이온 중 가장 가벼운 수소 이온이므로 독일이나 일본에서는 수소 보다 무거운 탄소 이온으로 암을 치료하는 연구가 1994년부터 시작되었다. 탄소는 양성자에 비하여 생물학적효과비가 약 2.8배 높아 암 조직의 파괴율에 월등한 효과를 보인다. 또한 암 재발율에 관련된 산소 증감비 또한 X선이나 양성자에 비해 2.5배 낮은 효과를 보인다. 이러한 일본의 방사선 의학 종합연구소와 독일의 중이온가속기물리연구소의 연구 결과로 효고암센터와 하이델베르크대학병원에 전용 암 치료용 중이온 가속기를 설치하게 되었다. 일본의 경우 폐암이나 간암 같이 치사

율이 높고 수술이 까다로운 기관암수록 그 수요가 매우 높다. 이미 이탈리아, 프랑스, 오스트리아, 스웨덴, 중국 등도 암 치료를 위한 중이온 가속기 개발 건설에 박차를 가하였다.

3. 결론

한국은 국민 소득 2만 불 근처에서 계속 머무르고 있다. 많은 사람들 생각이 우리나라에 성장 동력을 위한 재료가 필요하다고 생각한다. 여러 종류의 성장 동력 재료가 있지만 의료 산업이 중요한 재료이며 그 중 미래형 기술인 방

〈그림 4〉 일본 HIBMC의 중입자 가속기 (Heavy Ion Accelerator)



〈그림 5〉 중입자 치료 장치 (Gantry for Heavy Ion Accelerator)



사선 의료기기가 그 중 하나이다

최근 영상 진단장치는 분자영상을 실현하는 기술로 진입하고 있다. 분자영상 획득용 고방사선 영상기기는 첨단 기술을 필요로 하는 영상 장비로서 계속 발전을 거듭하고 있으며, 각종 생명과학 연구에 매우 유용하게 활용되는 등 그 이용도가 급격하게 증가 추세이다. 따라서 한국은 축적된 기술을 이용하여 현재 전량 수입에 의존하고 있는 환자용 영상기기 제작에 응용이 가능하도록 체계적인 분자영상획득 융합형 고분해능 방사선 영상기기의 기술 개발 추진이 필요하다. 그 종류에는 다음과 같은 시스템들이 포함된다. 핀 홀 조준기를 이용한 고 분해능 SPECT 시스템, 2차원의 평판 검출기와 마이크로 포커스 엑스선 발생기로 구성된 고 분해능 CT 검출 시스템, 반응 깊이 측정이 가능한 고 분해능 PET 시스템, 나노 급의 해상도를 갖는

X-선을 이용한 진단용 의료영상 시스템 등이다.

또한 방사선 치료분야 국내 시장을 고려할 때 규모가 엄청나게 큰 방사선치료기기 본체 개발은 어려움이 있으나 부가가치가 높은 방사선 치료 계획 또는 보조기기 개발이 필요하다. 따라서 방사선 치료기기 기술 개발은 방사선 기기 분야 중 단기간 내에 산업화를 할 수 있으며, 국산화시 가격 경쟁력이 높고, 수입대체효과가 클 뿐 아니라 동남아 및 남미 등 후발국에 수출 가능성이 매우 높다. 특히 새로운 기능과 IT를 접목한 방사선 치료 및 진단 기기는 한국의 의료 산업을 밝게 할 수 있다. 또한 지식 기반의 장치인 가속기를 이용한 전자, 양성자, 중입자 치료기 등은 앞으로 한국이 세계에서 1 등 할 수 있는 매우 밝은 미래의 기술 개척 분야이다.