

KIRAMS 의료용 중입자 가속기

채종서

원자력의학원

가속기개발 연구실

우리의 가속기 과제 전략

1. 싸이클로트론

권역별 싸이클로트론센터 (강원대, 부산대)

RI생산용 싸이클로트론 가속기 기술 개발

대전류 소형 싸이클로트론 개발

----BNCT, NRT 용 (산자부)

2. 전자 가속기

----Cyber Knife용

고주파형 선형 전자가속기 X-band
에너지 ~6 MeV
Microtron ---- 소독용

3. DT
4. 중입자 source + 가속기
에너지 1 MeV 내외

왜 한국이 가속기 산업을 하여야 하는가

1. 기술 집약적으로 한국인 특성에 적합한 산업
2. 장치 산업중 부가가치가 높은 분야
3. RT 등 국내의 원자력의 방향과 일치하는 분야이다
4. 물리, 기계, 전자, 컴퓨터, 화학, 의료 등
복합기술의 집합체
5. 의료 산업, 생명과학 산업과 일치 되는 21세기
미래형 기기 산업

국내의 가속기 연구 인력

1. KIRAMS	26 명
2. PAL 및 POSTECH	60 명
3. KAERI 양성자 팀	15 명
전자가속기	10 명
4. 전기연구소	15 명
5. 서울대 및 KAPRA	10 명
6. KAIST	3 명
7. 자원 연구소	6 명

국내의 추진 중인 가속기 과제

1. 중입자 치료용 가속기
Synchrotron
KIRAMS 400 MeV /u
2. FEL 용 고밀도 전자가속기
광주과기원
3. 중입자 선형가속기
한국 물리학회 1 GeV/u

방사선동위원소 생산량

방사선 동위원소	생 산 량
Tl-201	14,484
Ga-67	5,989
I-123	4,423
[123I]mIBG	861
[18F]FDG	6,627
총 계	32,384

Cyclotron Facilities of KIRAMS

MC50 :Nuclear Science Research



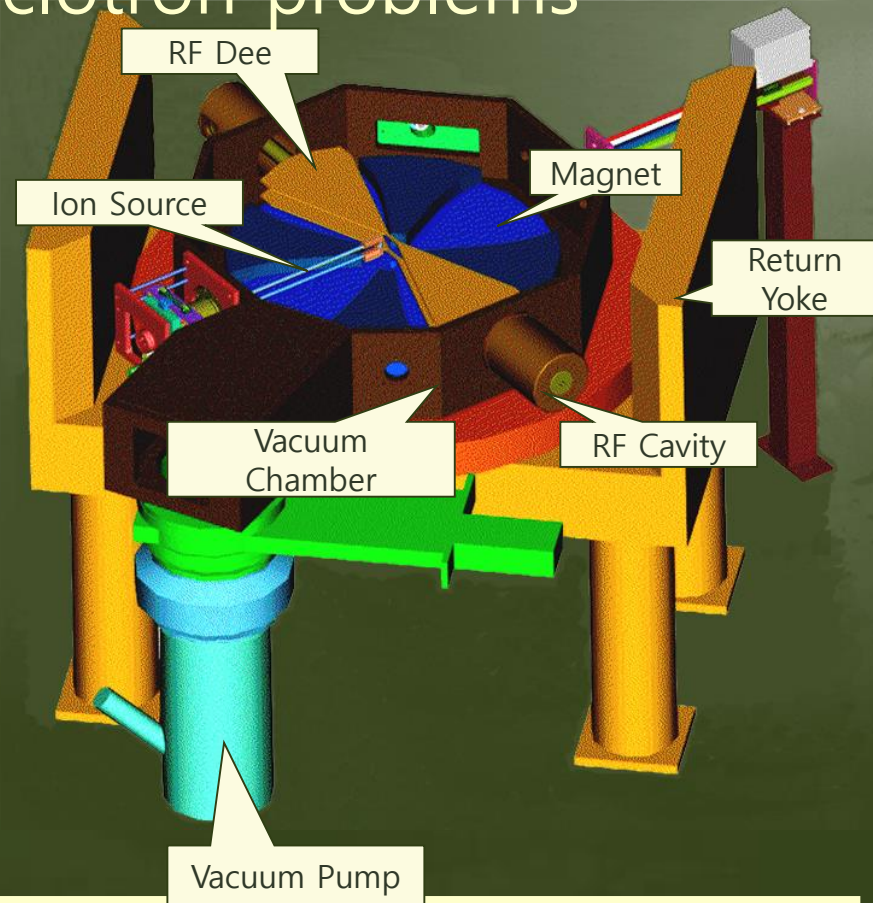
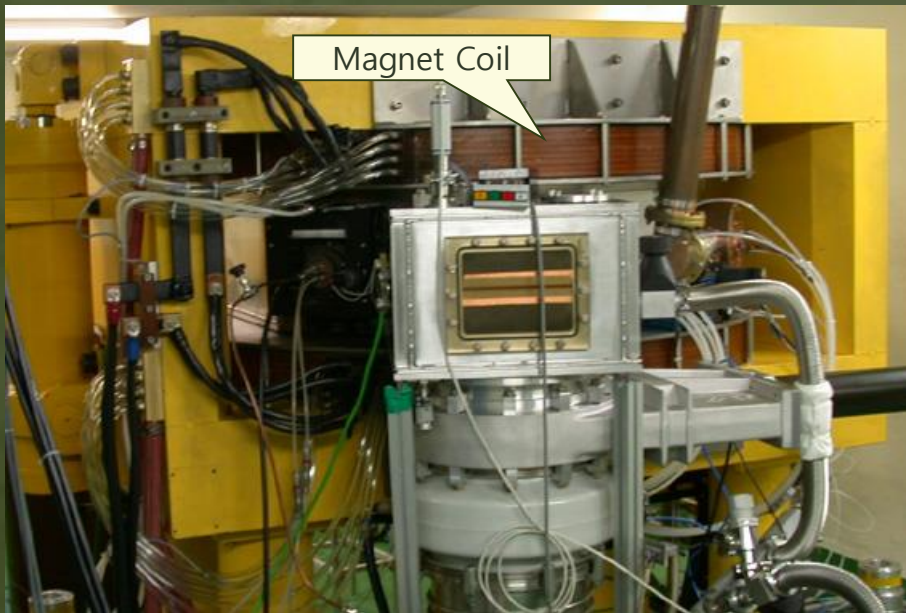
Cyclone30 :Tl-201,I-123,Ga-67



KIRAMS-13:F-18, C-11

Why the KIRAMS-13 Cyclotron

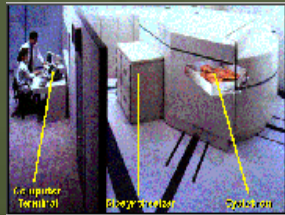
Cyclotron user has developed with consideration of existed cyclotron problems



KIRAMS-13 Specifications

Characteristic Beams	ions	protons, deuterons
	energy / current	13 MeV / 50 μ A (proton)
Magnet	type	H
	number of sectors	4
	pole diameter	0.96 m
	hill / valley gap	5 cm / 14 cm
	v_r / v_z	1.022 / 0.25~0.3
	$B_{\max}(\text{hill}) / B_{\max}(\text{valley})$	1.92 T / 0.84 T
	coil current	135 A
	power	12 kW
	RF	frequency
harmonic number		4
number of dees		2
dee angular width		43.5 deg
dee voltage		40 kV
Extraction	Charge Exchange Carbon Foil	
Ion Source	Internal Cold Cathode PIG	

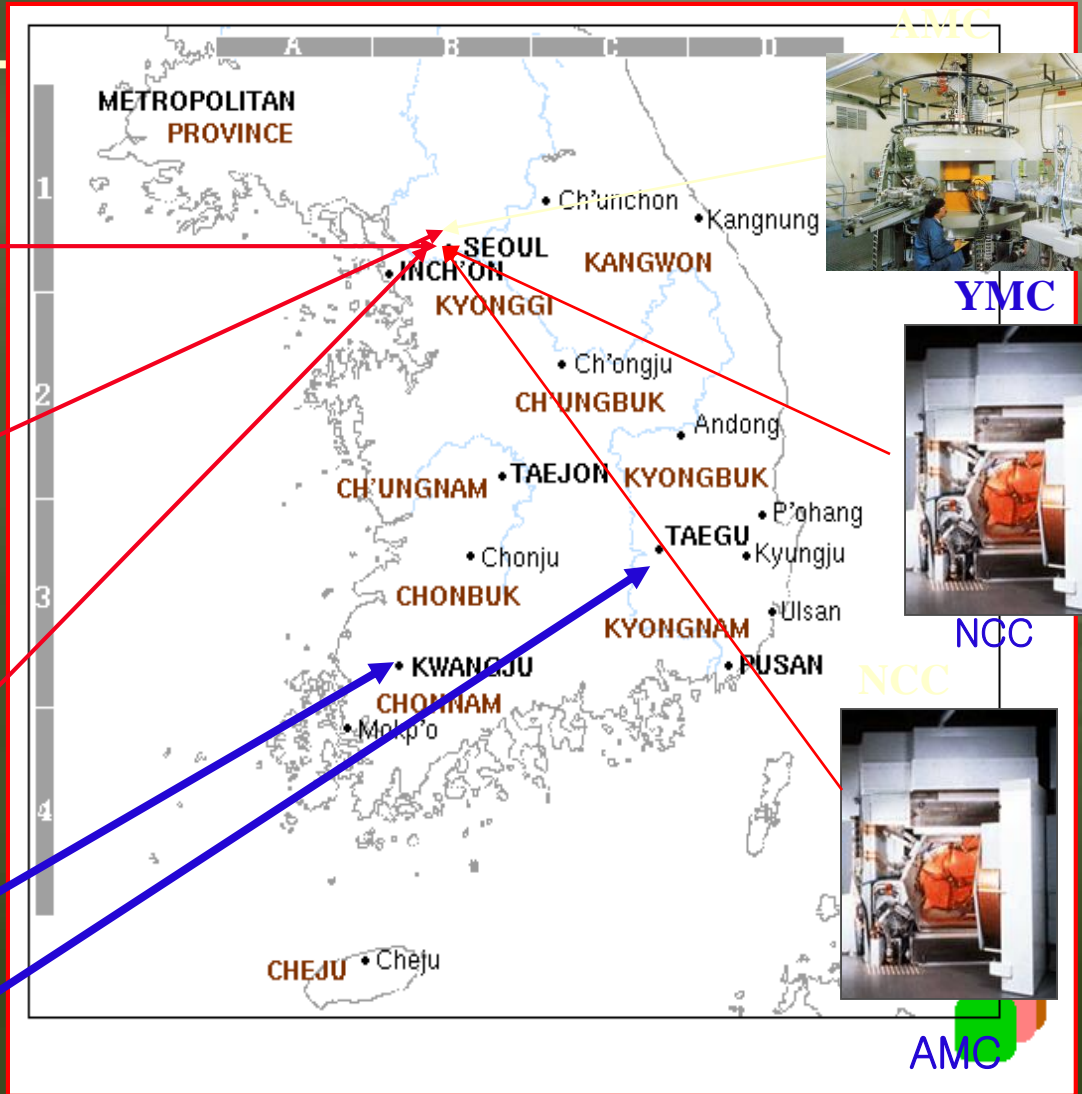
Cyclotron Facilities in KOREA



SNU



SMC

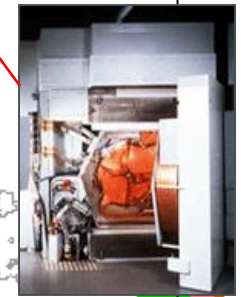


AMC

YMC



NCC



NCC

AMC

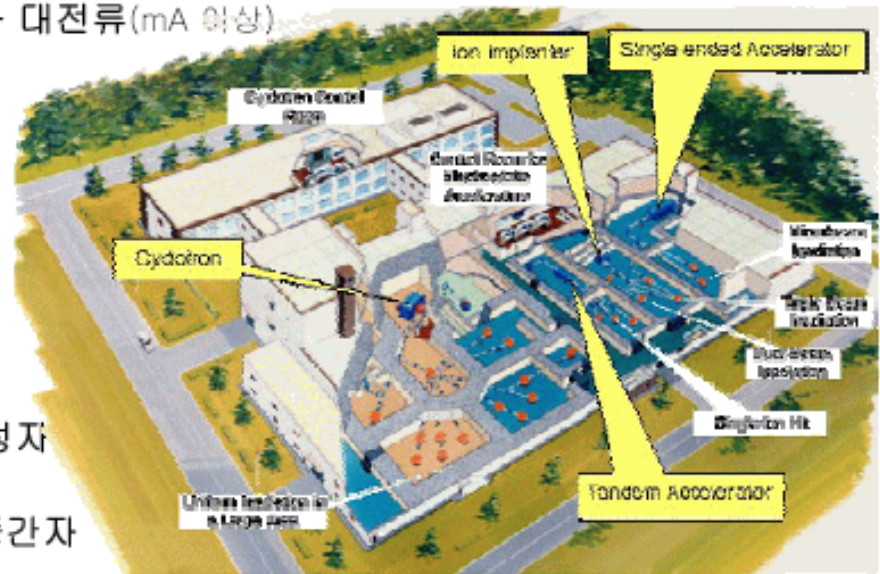
중입자 가속기란?

□ 중입자 (중이온)가속기(Heavy Ion Accelerator) 란?

- He, C, N, O --- U 등 원소의 이온을 가속하는 장치
- 중입자 가속기 종류 :
 - 의료용 : Cyclotron, Synchrotron - 소전류 (μA 이하)
 - 분석용 : Tandem, Van de Graaff - 소전류 (μA 이하)
 - 산업용 : 선형가속기, 직류형가속기 - 대전류(mA 이상)

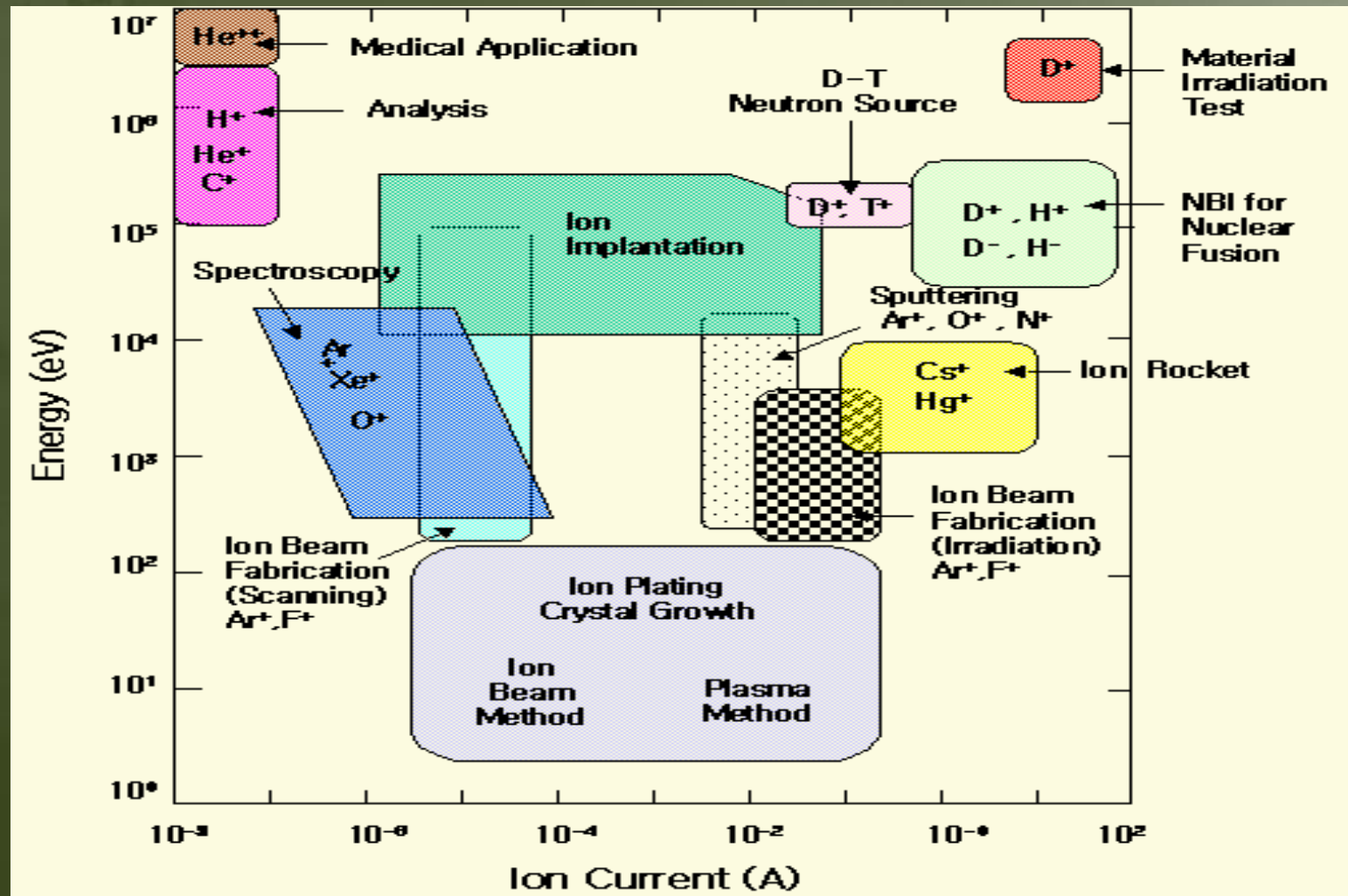
□ 중입자 가속기의 역할

- RT 분야의 방사선 발생장치로서 중요한 부분 담당
- 방사선 발생장치의 분류
 - 방사성 동위원소 : 감마선, 전자, 알파선(He^{++}), 중성자
 - 전자가속기 : 전자, X-선
 - 양성자가속기 : 양성자, 중성자, 중간자 (핵자 이하의 입자)
 - 중입자가속기 : He, C, N, O --- U

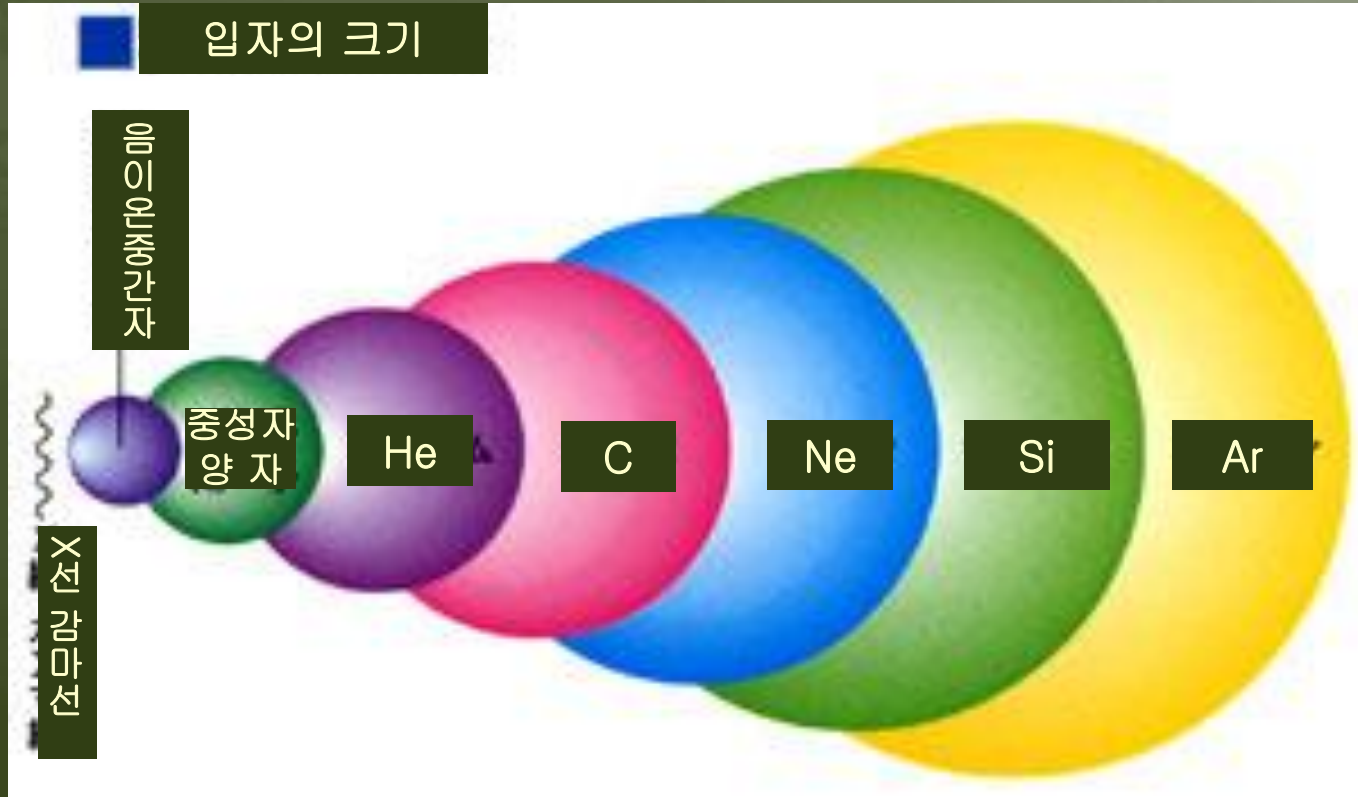


JAERI의 중입자가속기 종합시설

중입자 가속기의 응용



각종 입자의 크기 비교



암의 치료 방법

- 수술(surgical operation)
- 화학요법 (항암제, 약물치료) (anti-cancer medicine)
- 면역요법 (암에 대한 신체의 저항력을 증가) (immunotherapy)
- 방사선 치료 (Radiotherapy)

X-선, 감마선 (전자기파의 일종인 파동형태의 방사선)

전자선

중성자선

양성자선(R. Wilson 제창)

중입자선(R. Wilson 제창) He^4 , C^{12} , Ne^{20} , Si^{28} , Ar^{40}

각종 방사선 치료의 역사

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		
1955	Cyclotron	50 -60
1975	Deuterium-tritium accelerator	14
1968	Californium-252	
PROTON & Heavy Ion THERAPY		
1988	Proton Cyclotron & synchrotron	60-250
1994	Heavy Ion ; Synchrotron	300 -800 MeV/u

기존 방사선 치료의 문제 점

감마선과 X-선의 한계

- (1) 선량분포의 한계 : 에너지가 큰 광자선으로 암의 표적 부위에 X선이 도달하기 까지는 도중의 정상조직에 상당한 양의 선량이 흡수.
- (2) 생물효과의 한계 : 암세포에 대한 X선의 에너지 부여 산소부족의 환경에서 x선을 조사하면 세포에 미치는 생물효과는 산소가 충분한 조건보다도 줄어든다.

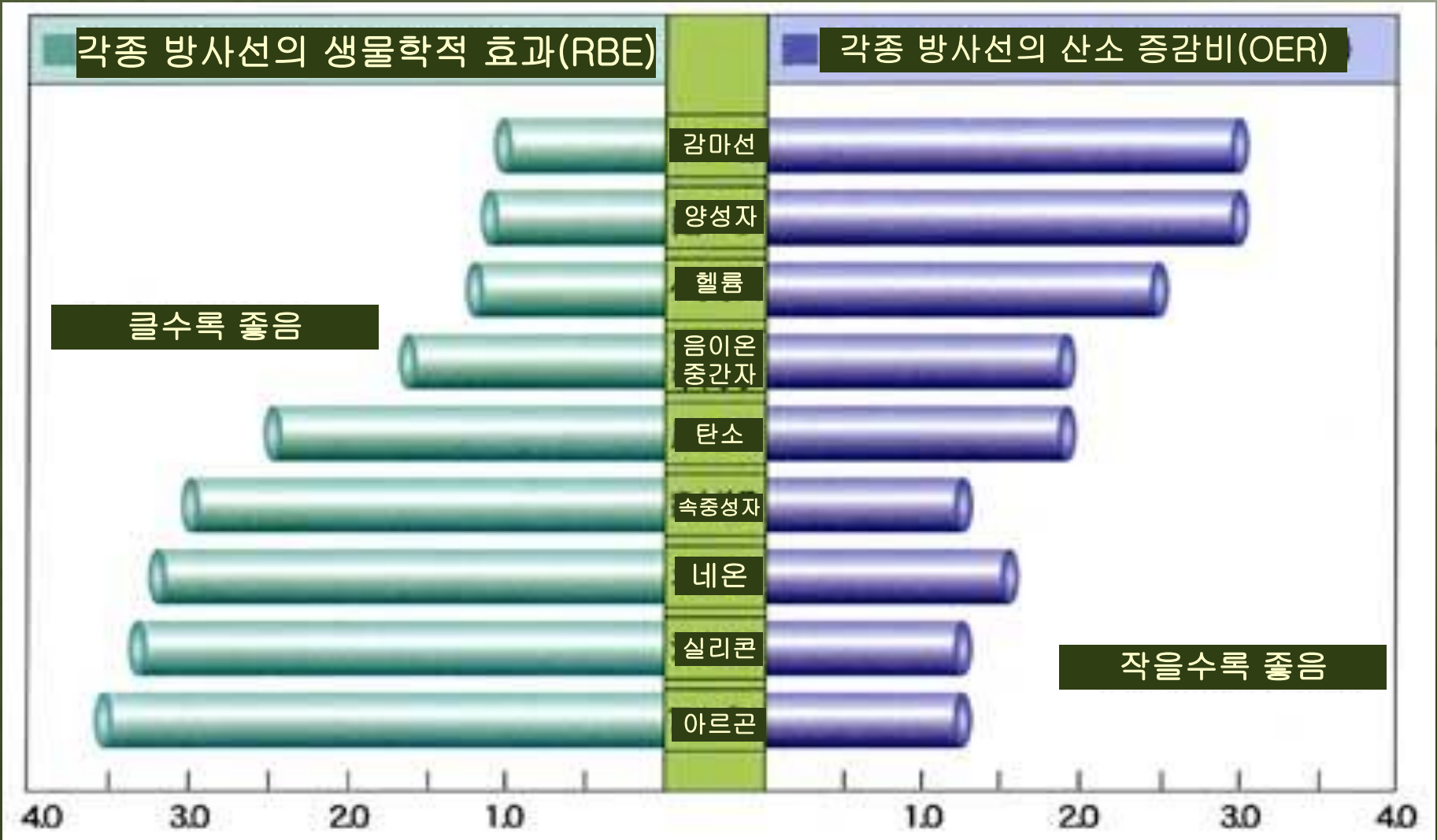
양성자및 중입자선 치료

- (1) 방사선을 병소에 집중
- (2) 국소 제어율(치료 효과)의 향상

왜 중입자인가

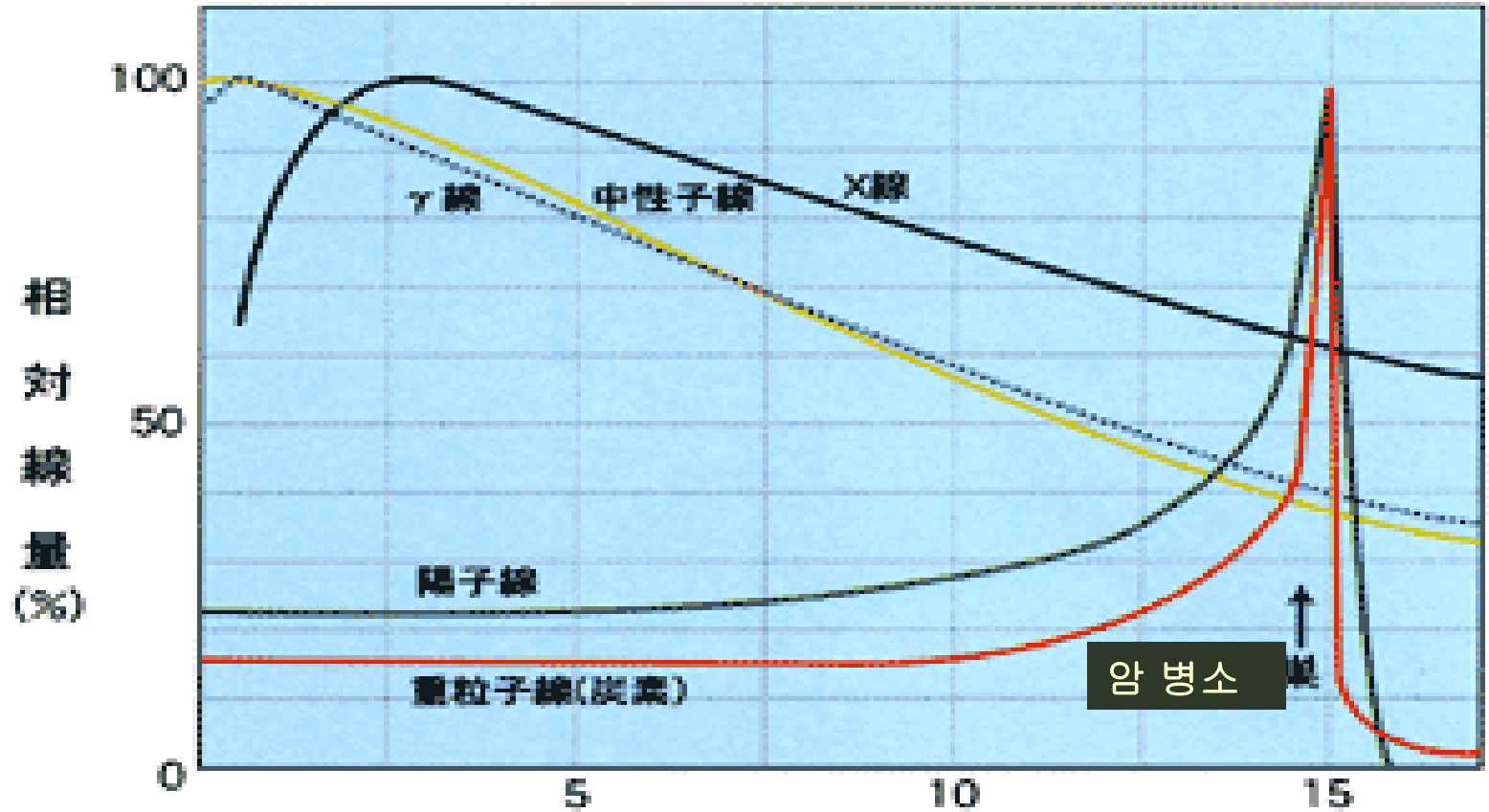
- 높은 정밀도의 선량분포로 정상조직의 손상 극소화
- 높은 생물학적 효과로 치료의 극대화
- 산소 증감비가 낮아 모든 종양의 세포에 치료효과 극대화
- 암세포의 DNA 직접 절단
- 모든 세포주기에 치사효과
- 수술과 같은 고통으로 부터 해방

방사선 치료 효과의 비교 - 생물효과, 산소효과



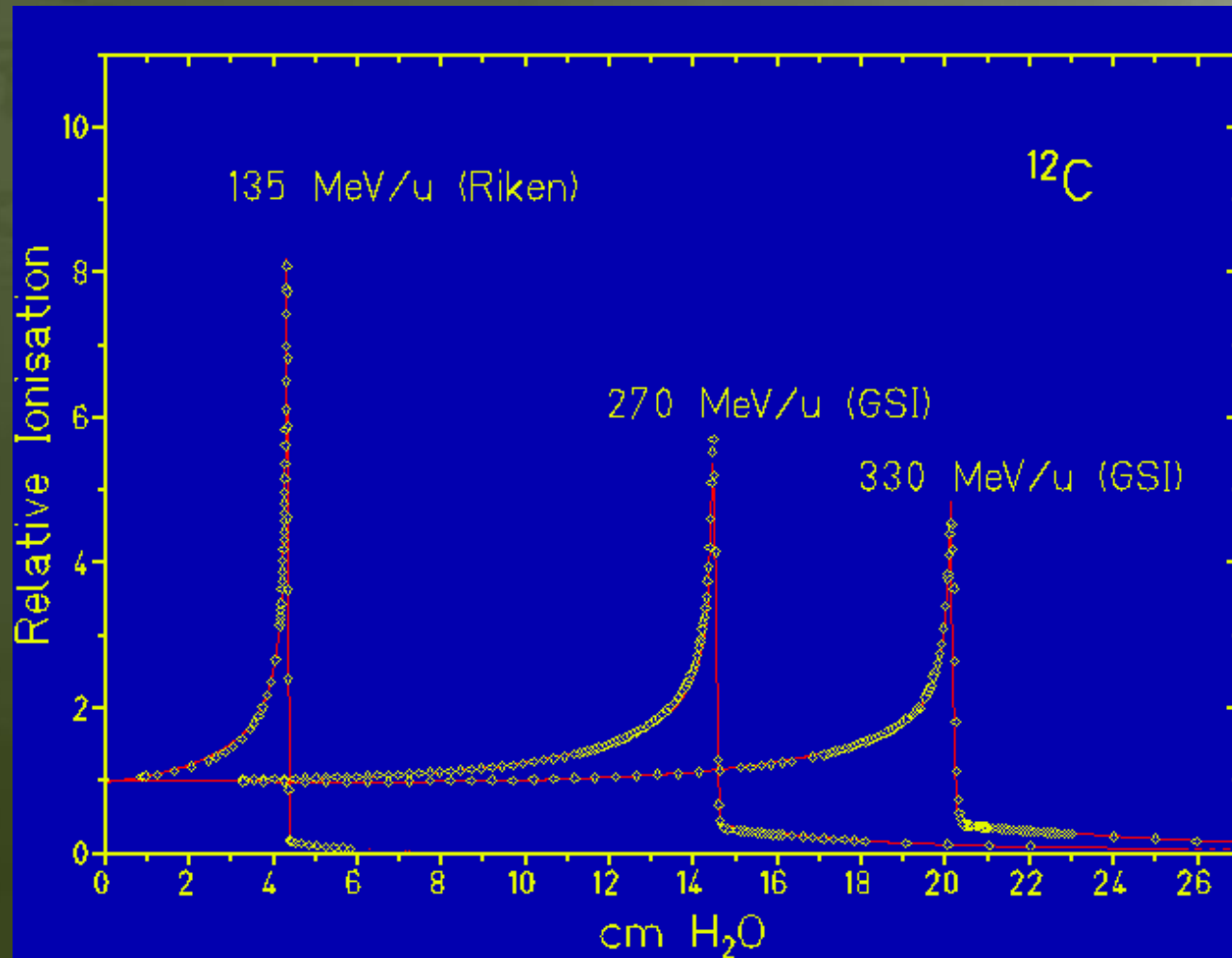
■ 높은 정밀도의 선량분포로 정상조직의 손상 극소화

각종방사선의 생체내 선량 분포

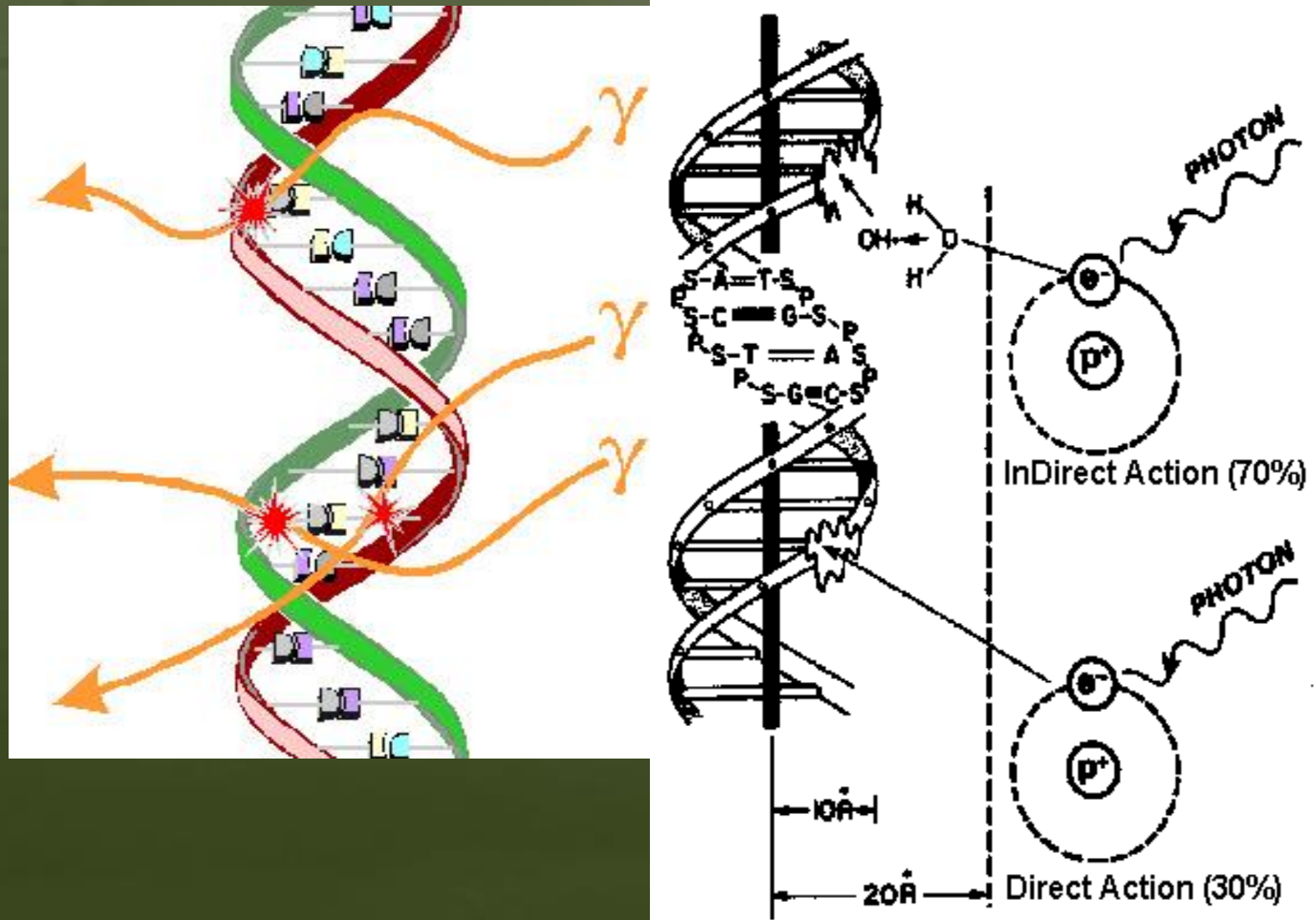


신체 표피부터의 깊이

탄소-12 이온의 에너지에 따른 Bragg Peak



방사선 치료의 원리



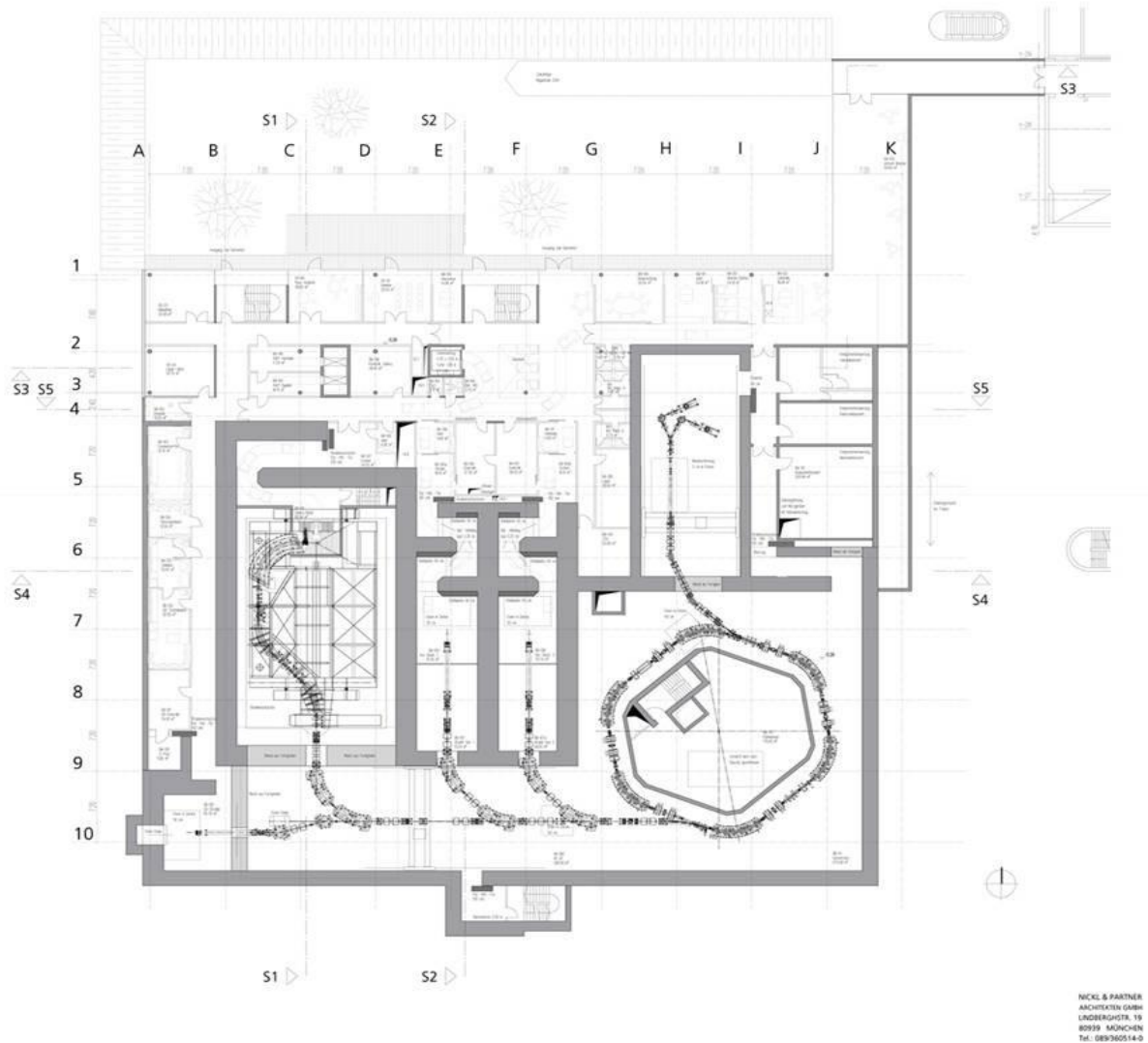
ENLIGHT and the European projects

- TERA project for CNAO in Pavia
- GSI project for the University of Heidelberg Clinics
- Med–Austron for Wiener Neustadt
- ETOILE in Lyon
- Nordic Centre in Stockholm

HICAT – University of Heidelberg Clinics

Heavy Ion Therapy Unit at the University of Heidelberg Clinics

floor plan level 99 scale 1:100



Financed with 72 MEuro:
[Federal State grant 36
Investment by HC 36]

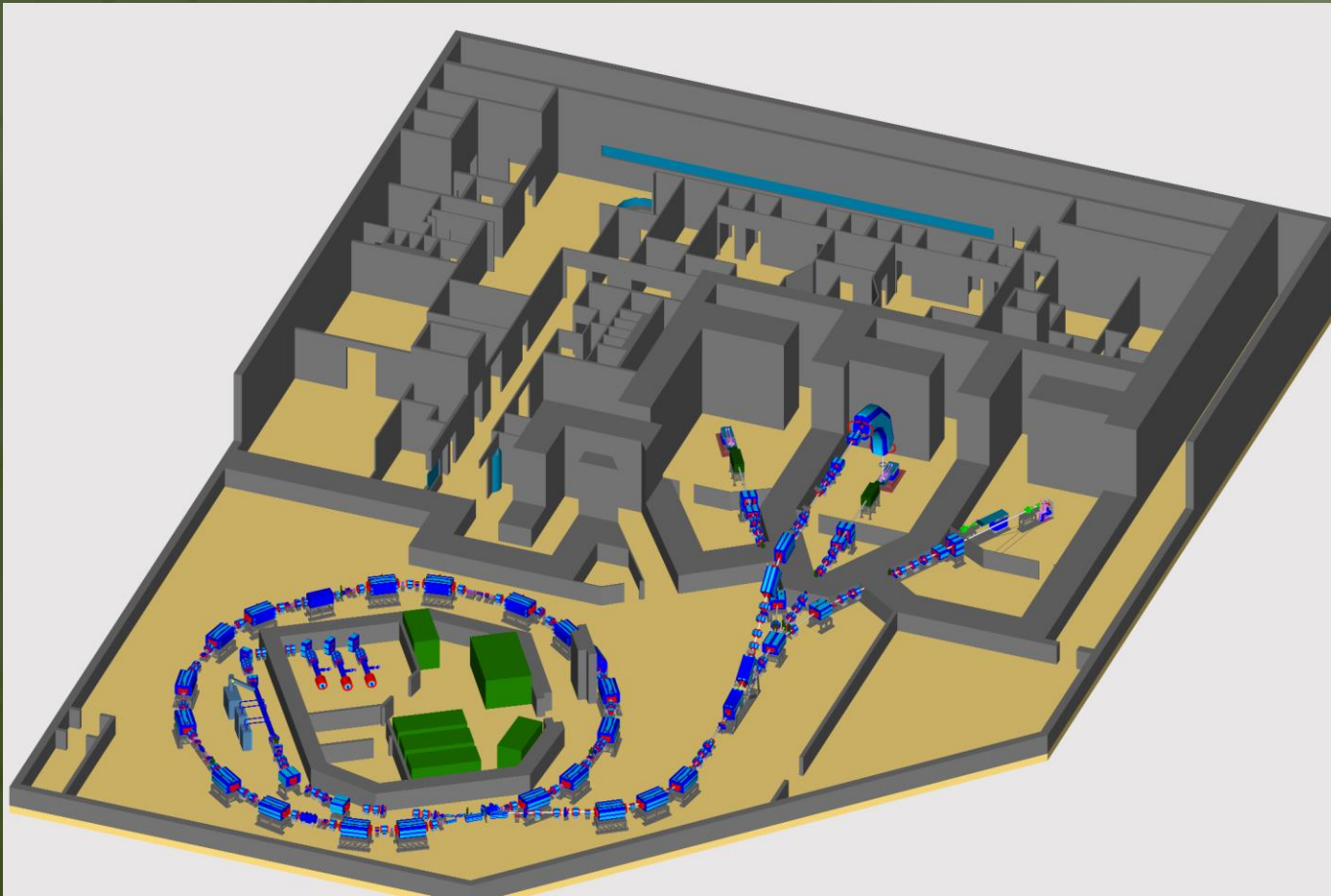
Heidelberg: J. Debus
U. Weber

GSI: H. Eickhoff
Th. Haberer

Cyclotron Application Laboratory

KIRAMS-13

TERA project for CNAO in Pavia



70 M€

Phase 1: No gantry
[PET on-line
and local diagnostics
on other funds]

Med-Austron for Wiener Neustadt

PIMMS/TERA

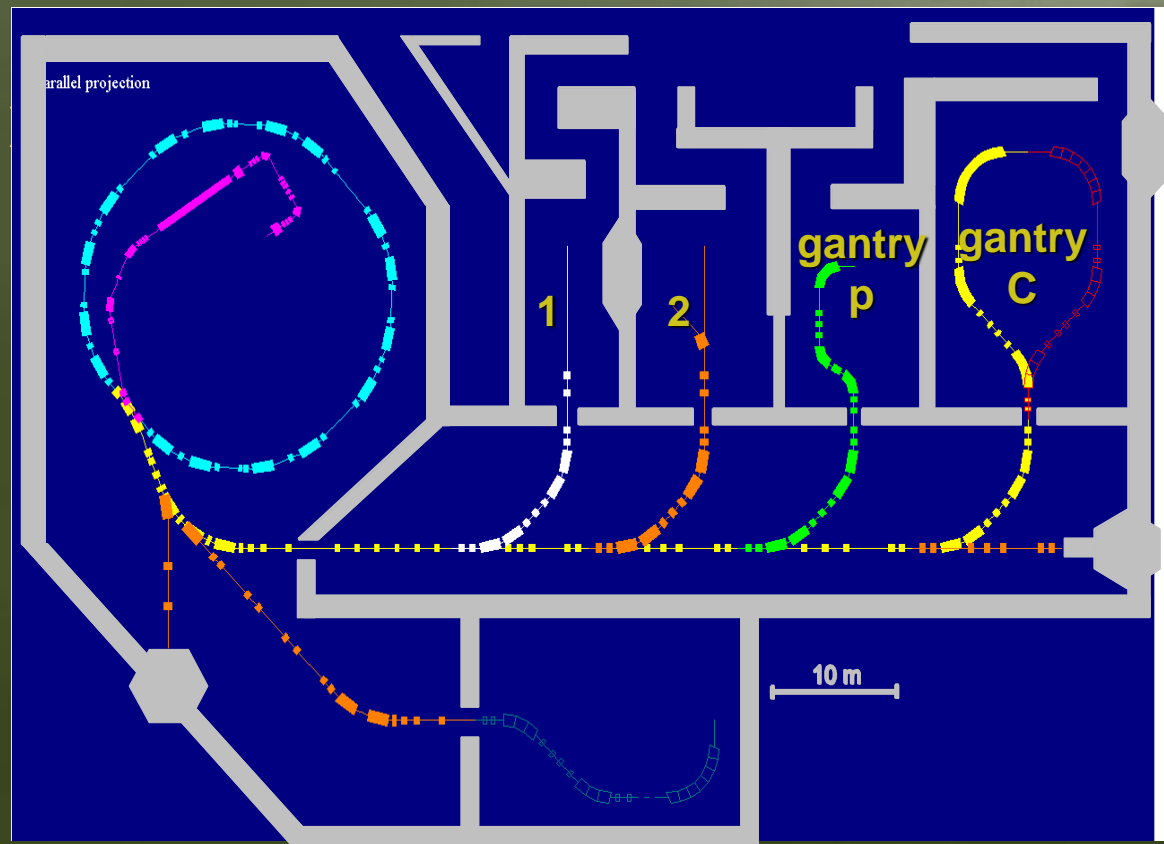
Accelerator: 75 M€
(two gantries + exp. Area)

Buildings: 41 M€

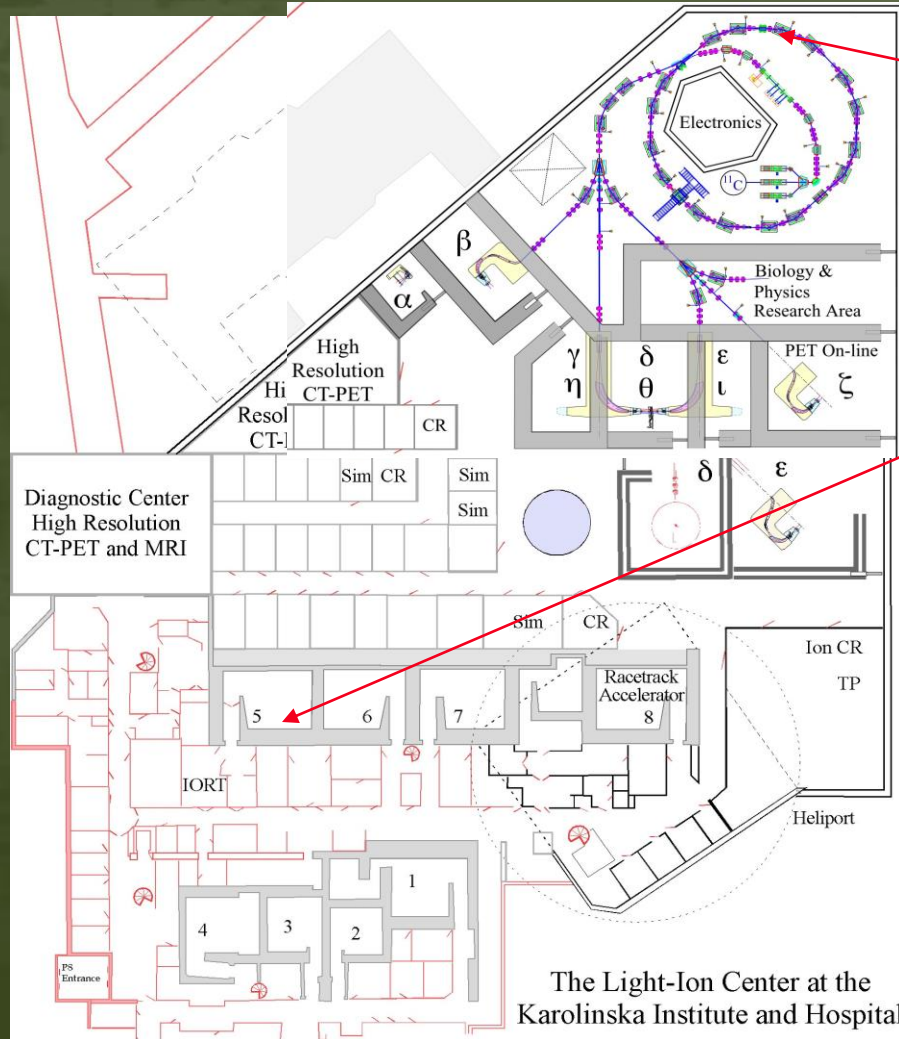
Project management

Med. Dir.: T. Auburger

Tech. Dir: E. Griesmeyer



Nordic Centre in Stockholm

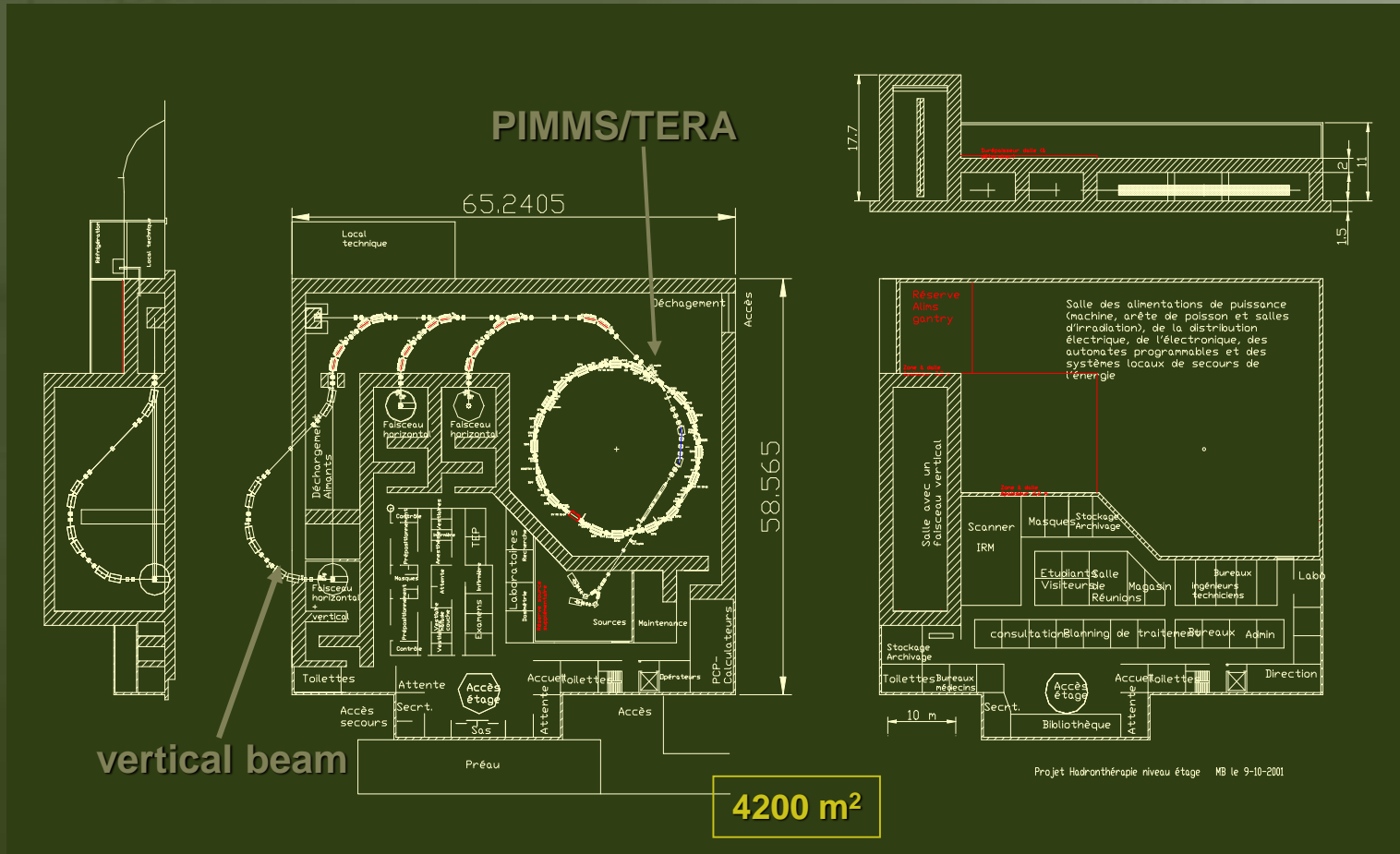


PIMMS/TERA

**Karolinska RT Department
with
7 linacs and 1 microtron (50 MeV)**

**First design: Karolinska – TERA
NIM B184 (2001) 569**

ETOILE in Lyon



의료용 중입자 가속기 개발

•최종 목표

암치료용 중이온 가속기 및 치료 핵심장치 개발

•세부 내용

400 MeV 급 중이온 싱크로트론 개발

중이온빔 수송계 및 진단계 개발

환자치료용 갠트리 및 노즐 개발

•개발 방향

국내 가속기 기술 개발 경험 및 인력 인프라를 활용한 핵심
기술 개발

상용장치로서의 고신뢰성 사용자친화성 고려한 개발

양성자 치료기와의 역할 분담 및 협력

•연구개발기간/소요예산/소요인력

개발기간 6년/ 소요예산 3000억원/소요인력 40 MY

시장성 및 파급 효과

•시장성

전세계 중입자 가속기 증가 추세로 볼때 향후급격 증가 예상
최근에 치료효과가 입증된 탄소 이온빔 시설 위주로 건설
시설비 1000억원을 기주로 할때 연간 1 조원이상의 세계시장
형성

•파급효과

원자력 및 가속기 사업의 국민 보건 증진
선진국과 대등한 기술력으로 향후 형성 될 대형 암치료기 시장
경쟁 가능
대규모 가속기 산업의 활성화