충청권공동발전연구단 세미나

「충청권 국제과학비지니스벨트」의 성공적 구축

◉ 일　　시 : **2008년 4월 15일(화) 14:00~16:00**
◉ 장　　소 : **충청남도청 대회의실**
◉ 주최 · 주관 : **충청권공동발전연구단**
(대전발전연구원, 충북개발연구원, 충남발전연구원)
◉ 후　　원 : **대전광역시, 충청북도, 충청남도**

세 미 나 안 내

♣ 개 요

◆ 주　　제 : 충청권 국제과학비지니스벨트의 성공적 추진
◆ 일　　시 : 2008년 4월 15일(화) 14:00~16:00
◆ 장　　소 : 충청남도청 대회의실
◆ 주최·주관 : 충청권공동발전연구단
(대전발전연구원, 충북개발연구원, 충남발전연구원)
◆ 후　　원 : 대전광역시, 충청북도, 충청남도

♣ 진행 순서

14:00	개　회　사회자
14:00~14:05	개 회 사　충청권공동발전연구단장(육동일 원장)
14:05~14:08	환 영 사　이완구 충청남도지사
14:08~14:10	격 려 사　김문규 충청남도의회의장
14:10~15:00	주제발표 및 토론
	좌　장 : 김용웅 원장 (충남발전연구원) 제1 주제 : 중이온가속기 시설의 세계적 사례 발 표 자 : 최병호 박사 (한국원자력연구원) 토 론 자 : 김선근 교수 (대전대학교) 임호범 기자 (충청투데이) 이필용 의원 (충청북도의회)
15:00~15:10	휴　식
15:10~16:00	제2 주제 : 충청권의 국제과학비지니스벨트 구축 타당성 발 표 자 : 박상철 교수 (한국산업기술대학교/KAIST) 토 론 자 : 김학민 원장 (충남테크노파크) 강병주 교수 (한남대학교) 안성호 교수 (충북대학교)
16:00	정리 및 폐회

목 차

제1주제 중이온가속기 시설의 세계적 사례 (최병호 박사)

1. 만물, 원자, 입자 빔 2
2. 가속기 개요 6
3. 국내 가속기 현황 8
4. 세계적인 중이온가속기 현황 12
5. 중이온가속기 활용분야 16
6. 복합형 중이온가속기(예시) 21
7. 국제과학비지니스벨트와 연계성 24

제2주제 충청권의 국제과학비지니스벨트 구축 타당성 (박상철 교수)

1. 현 황 29
2. 기술선진국 발전전략 33
3. 혁신클러스터의 의미 35
4. 혁신클러스터의 신규경향 36
5. 충청권 과학기술 인프라 및 투자 37
6. 국제과학비지니스벨트 구축 배경 및 이유 40
7. 과학비지니스벨트 추진과제(하드 인프라) 41
8. 과학비지니스벨트 추진과제(소프트 인프라) 43
9. 결 론 44

제 1 주제

중이온가속기 시설의 세계적 사례

좌 장

- 김 용 웅 원장 (중남발전연구원)

발 표 자

- 최 병 호 박사 (한국원자력연구원)

  “중이온가속기 시설의 세계적 사례”

토 론 자

- 김 선 근 교수 (대전대학교)
- 임 호 범 기자 (중청투데이)
- 이 필 용 의원 (중청북도의회)

충청권공동발전연구단 세미나

중이온가속기 시설의 세계적 사례

Introduction to Heavy Ion Accelerators

2008. 4. 15

한국원자력연구원

양성자기반공학기술개발사업단
Proton Engineering Frontier Project
www.komac.re.kr

순서

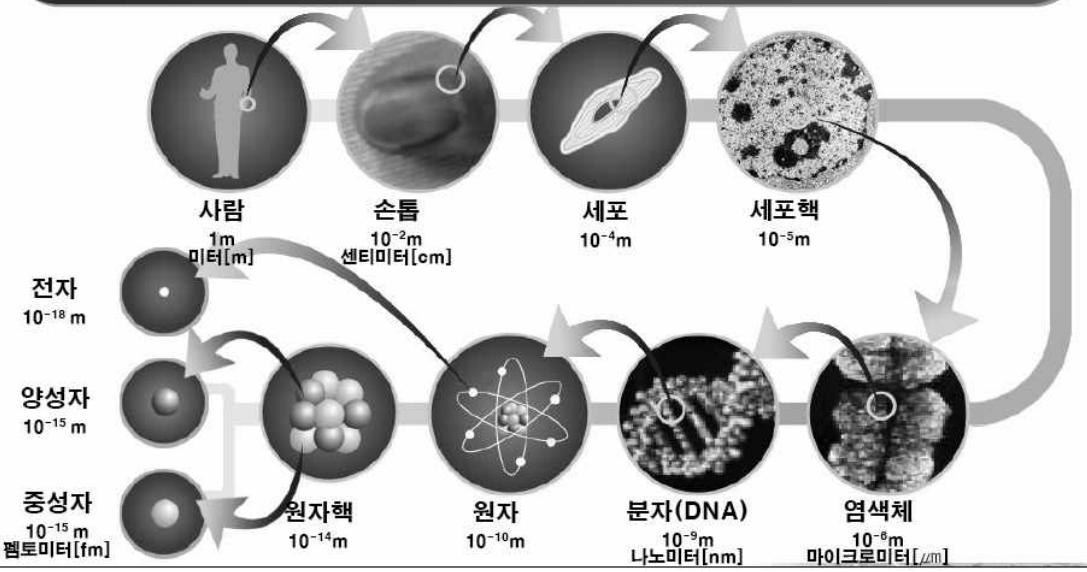
PEFP Proton Engineering Frontier Project

Ⅰ 만물, 원자, 입자 빔
Ⅱ 가속기 개요
Ⅲ 국내 가속기 현황
Ⅳ 세계적인 중이온가속기 현황 – 연구용, 의료용
Ⅴ 중이온가속기 활용분야
Ⅵ 복합형 중이온가속기 (예시)
Ⅶ 국제 과학비지니스벨트와 연계성 (예시)

물질,생명과 원자의 세계

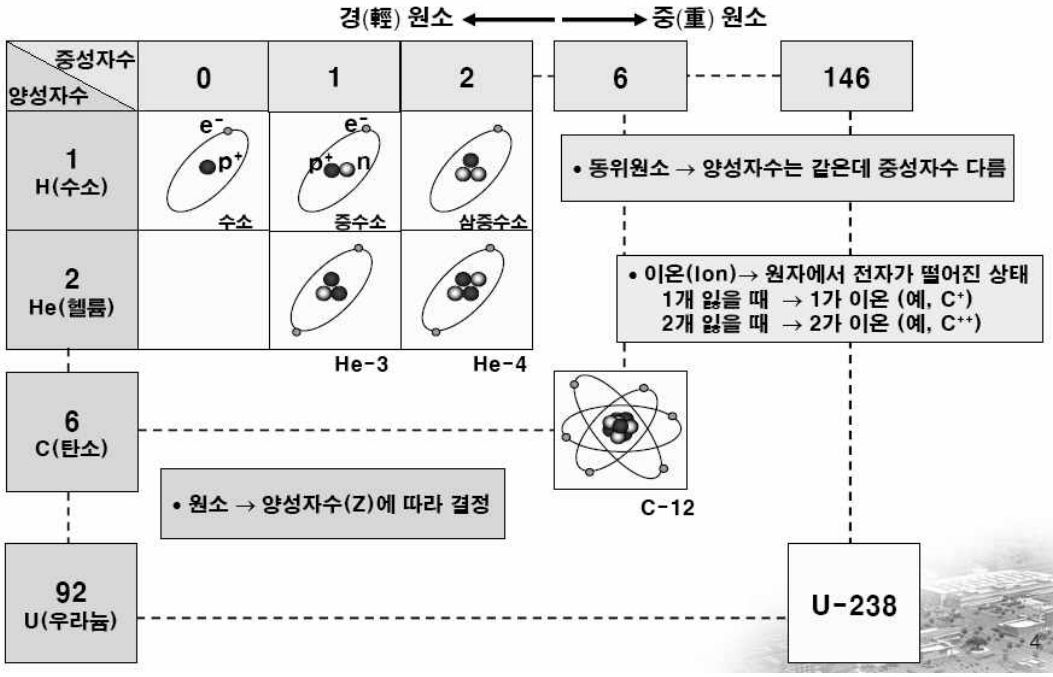
PEFP Proton Engineering Frontier Project

- 모든 물질과 생명체는 여러 종류의 원자(原子)로 구성
- 원자는 양성자(陽性子)와 중성자(中性子)로 이루어진 원자핵(+) 주위를 전자(電子)(-)가 도는 구조



원자의 구성, 원소, 동위원소 및 이온

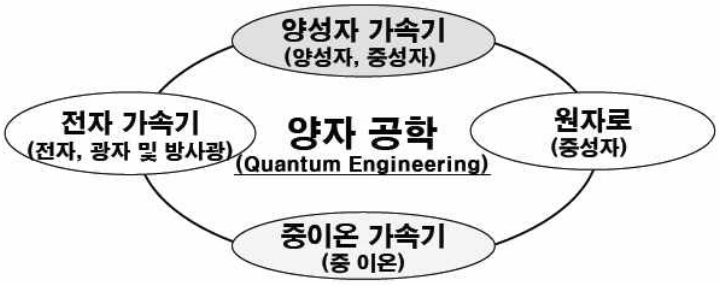
PEFP Proton Engineering Frontier Project



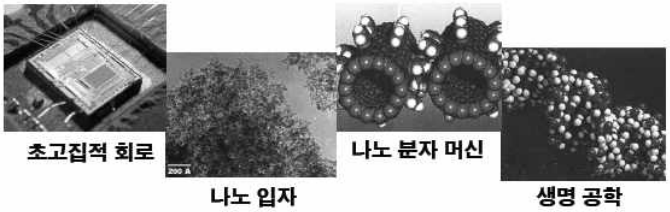
입자 빔 과 양자공학

PEFP Proton Engineering Frontier Project

❑ 입자 빔과 양자공학



❑ 양자공학의 예



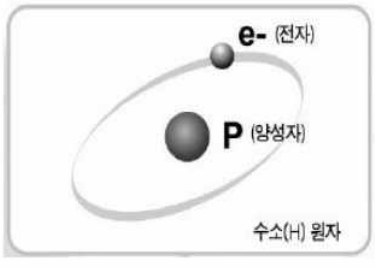
초고집적 회로 | 나노 입자 | 나노 분자 머신 | 생명 공학

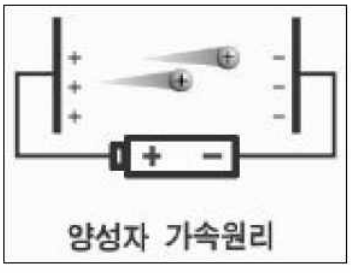
- 21세기에 들어와, 생명과학, 재료과학, 공학 등 대부분 거시계를 다루던 학문분야가 분자 및 원자 차원의 미시세계의 이해와 탐구를 요구하는 수준으로 빠르게 전개
- 미세세계에는 거시세계의 물질과는 완전히 성질이 다른 양자법칙(量子法則)이 지배하는 새로운 세계
- 이러한 연구를 위해서는 미시세계를 관측하고 조작하는 수단이 필요하고, 이 수단으로서 아 원자(亞 原子) 입자인 양성자, 전자, 중성자, 광자, 이온 등이 요구됨
- 가속기는 이러한 각종 입자들을 연구에 알맞은 조건으로 생산하여 제공

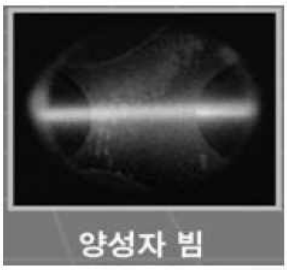
입자 가속기(粒子加速器)의 기본 원리

PEFP Proton Engineering Frontier Project

원자로부터 전자를 떼어낸 양성자, 전자, 이온 등 전기를 띤 입자(荷電粒子)를 전기장을 사용하여 빛의 속도(30만km/초) 가까이로 속도를 높여주는 장치





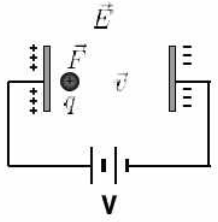


• 양 이온(예, C^{+}, O^{++})도 같은 원리로 가속됨

전기장과 자기장내의 하전 입자의 운동

PEFP Proton Engineering Frontier Project

❑ 전기장 내에서



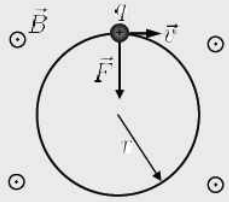
힘: $\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a} \implies a = \frac{qE}{m}$

에너지 이득

$$\mathcal{E} = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int q\vec{E} \cdot d\vec{l} = q \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$
$$= qV$$

하전 입자를 가속함

❑ 자기장 내에서



힘: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

$$qvB = m\frac{v^2}{r} \implies r = \frac{mv}{qB}$$

에너지 이득: (없음)

$$\mathcal{E} = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int q(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$
$$= q \int (\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = 0$$

하전 입자의 운동방향만 바꿈

가속기 관련 단위

PEFP Proton Engineering Frontier Project

❑ 가속기 특성 단위

1) 에너지 : eV, keV(10^3 eV), MeV(10^6 eV), GeV(10^9 eV), TeV (10^{12} eV)
   * 1eV = 11,605 °K, 1억도 = 약 9keV,

2) 빔 전류 : mA(10^{-3} A), μA(10^{-6} A)
   * 1A = 6.25x10^{18} 개/초

3) 빔 파워 (=에너지x빔전류) : W, kW, MW

예) 13MeV Cyclotron
빔전류 : 100 μA
빔파워 : 1,300W

❑ 각국의 양성자가속기 특성 예

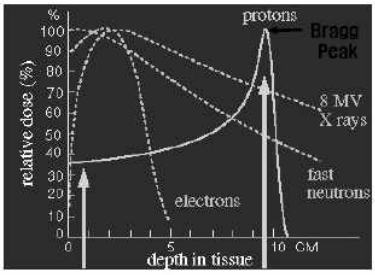
국 명	장 치 명 (연구소)	가속기 종류 (빔 전류)	에 너 지 (100MeV / 1GeV / 10GeV)	비고
미 국	SNS (ORNL)	선형(38mA)	1 GeV	2006 완공
	LANSCE (LANL)	선형(2mA)	800 MeV	
일 본	J-PARC (JAEA)	선형/원형 (30mA/330μA/15μA)	400 MeV / 3 GeV / 50 GeV	2008 예정
유 럽	SINQ (PSI,스)	원형(2mA)	590 MeV	
	ISIS (RAL,영)	원형(0.2mA)	800 MeV	
한 국	PEFP	선형(20mA)	100 MeV	2012 예정
	NCC	원형(0.001mA)	230 MeV	2007 완공

가속에너지 (속도)에 따른 기본반응 – 탄소 이온

~1 keV	125 km/초	스퍼터링 (Sputtering) : 분자, 원자 떼어내기	• 나노 가공 • 빔 가공
~100 keV	1,250 km/초	주입 (Implantation) : 물질 속에 투입됨	• 표면 개질 • 나노 결정 • 반도체 도핑
~100 MeV	4만 km/초	핵반응 (Nuclear Reaction) : 물질의 원자핵과 반응	• 신종 유전자원 • RI 생산 • 방사선 의료기기
~10 GeV	25만 km/초	파쇄 (Spallation) : 무거운 원자핵을 파쇄 가벼운 안정원소 및 중성자 생성	• 중성자 원 • 신종 RI
~100 GeV	29.8만 km/초	소립자 반응 : 원자핵을 구성하는 소립자와의 반응	• 중간자/중성미자과학 • 원자핵/고에너지물리

• 빛의 속도 : 약 30만 km/초

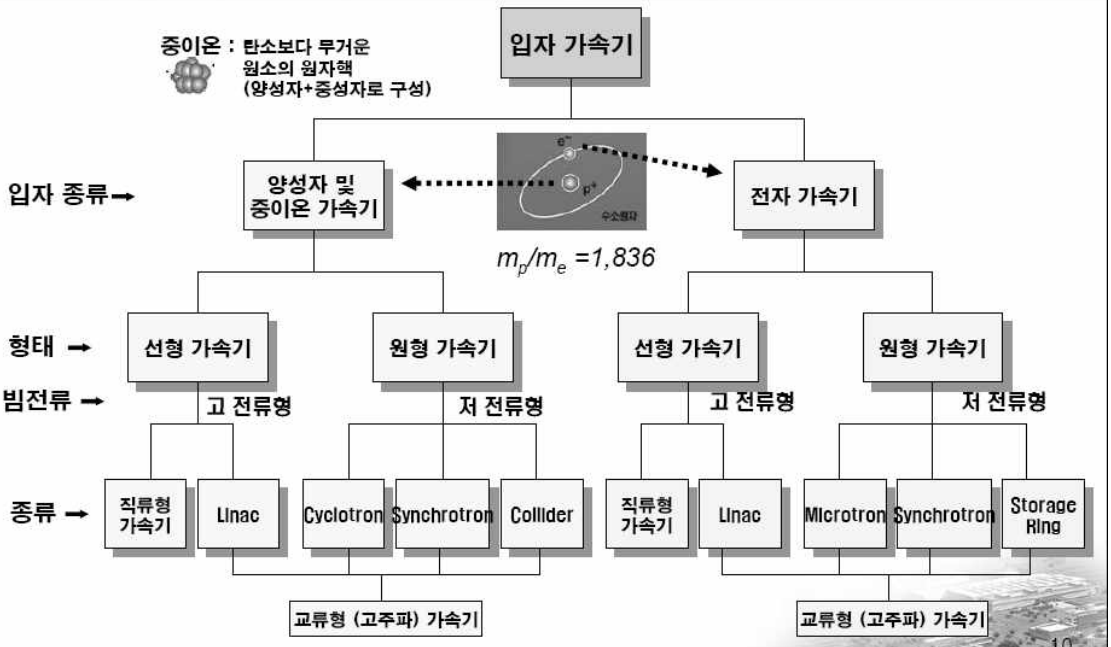
원자 전자 양성자 중성자 소립자



가속기는
물성을 변화시키고
새로운 물질(원소,핵종)을 생성할 수 있는 수단을 제공 ! !

가속기의 분류

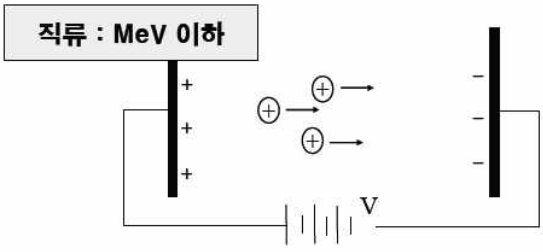
중이온 : 탄소보다 무거운 원소의 원자핵 (양성자+중성자로 구성)



직류형 VS 교류형(고주파) 가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

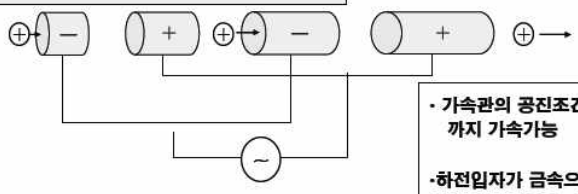
직류 : MeV 이하



·전기를 띤 모든 입자 (양성자, 이온, 전자 등) 가속이 가능

·공학적인 문제로 수 MeV 이하 낮은 에너지 가속만 가능

교류 (고주파) : MeV 이상



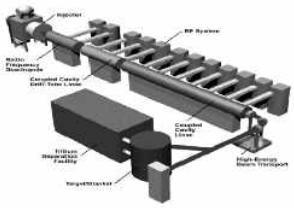
· 가속관의 공진조건에 맞는 특정한 입자(e/m 동일)만 높은 에너지까지 가속가능

·하전입자가 금속으로된 원통(Drift Tube) 사이에 걸려있는 전기장에 의하여 가속, 다음 원통 내부로 들어갈 때에 역(감속)방향의 전기장이 형성되도록 하면, 금속원통 내부에서는 전기장이"0"이므로 감속되지 않음

선형 VS 원형 가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

선형 가속기



- 입자가 직선형으로된 가속관을 지나면서 점차 에너지를 얻음
- MeV 이하에서는 직류형을, MeV 이상에서는 고주파형(Linac)을 사용
- 에너지가 커질수록 가속관 길이가 길어짐
- 같은 하전입자들간의 반발력을 통제하는데 유리해, mA급 이상 대전류 빔 가속에 유리

원형 가속기

- 입자가 원형의 궤적을 돌면서 중간에 설치된 가속관에서 에너지를 얻음
- 고주파형만 사용
- 에너지가 커질수록 지름이 또는 자기장이 커지며, 선형에 비해 공간, 운영측면에서 효율적임
- 입자들이 곡선 운동을 하므로 통제가 어려워 mA 이하의 저전류 빔 가속에 적합

양성자/중이온 vs 전자 가속기

• 전자의 질량은 양성자의 1/1,836 이므로, 수 MeV 정도의 낮은 에너지에서 빛의 속도에 도달하게 되어 가속방법이 간단하나, 양성자의 경우는 속도의 변화를 고려하여 여러 종류의 가속방법을 단계적으로 사용하므로 복잡함. (정지질량 ; 전자 = 0.511MeV, 양성자 = 938.6MeV)

→고주파 전자선형가속기인 경우, 전자는 1-2 가지 가속방법을 사용하나, 양성자는 RFQ, DTL, CCL, SCL 등의 가속방법을 단계적으로 사용

양성자/중이온 가속기 (원형)

- Cyclotron → 에너지가 증가하면서 회전반경도 증가. 수십 MeV 이하의 가속에 사용
- Synchrotron → 회전반경을 일정하게 유지하도록 가속에너지 증가에 따라 이를 잡아주는 자기장의 세기를 증가시켜가면서 가속
- Collider → 전하가 다른 양성자와 반 양성자를 반대 방향으로 회전시키다 서로 충돌시킴

전자 가속기 (원형)

- Microtron → 양성자 Cyclotron과 유사한 원리 (고주파 중에 마이크로파 사용)
- Synchrotron → 양성자 Synchrotron과 같은 원리임
- Collider → 전하가 다른 전자와 양전자를 반대 방향으로 회전시키다 서로 충돌시킴
- Storage Ring → 전자가 회전하면서 잃는 방사에너지를 보충 시킴

국내 대형가속기 현황

국내가속기 현황

❑ 운영 중인 소형 가속기
사이클로트론 : 저에너지(3~50MeV) 소전류(0.1mA이하); 20여기(4기 국내개발)
의료용 동위원소 생산 (양성자)
탄뎀형 가속기 : 저에너지 (1-6 MeV) 4기(도입)
물질 분석용 (중이온)
* 소형 의료용, 산업용 전자가속기 제외

❑ 포항공대, 포항 방사광가속기
2.5 GeV 전자가속기 및 저장링 (방사광원)
1995년 국내 개발 완공, 운영 중
물질구조 분석용

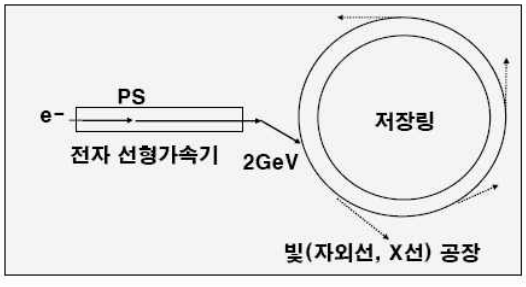
❑ 국립암센터, 양성자치료기
230 MeV 소전류 (0.0003 mA) 사이클로트론 (양성자)
2007년 도입, 운영 중
암 치료 전용 (200여명 치료)

❑ 양성자기반공학기술개발사업단, 경주 양성자가속기
중 에너지 (100 MeV) 대전류 (20 mA) 양성자 선형가속기
2012년 국내 개발 완공, 예정
재료, 나노, 생명, 우주, 의료 등 원천기술 개발 및 생산용

* 국내 방사광가속기와 양성자가속기의 개발 경험을 통한 선형가속기 및 원형가속기 설계 및 개발 능력 보유

방사광 가속기 vs 양성자/중이온 가속기

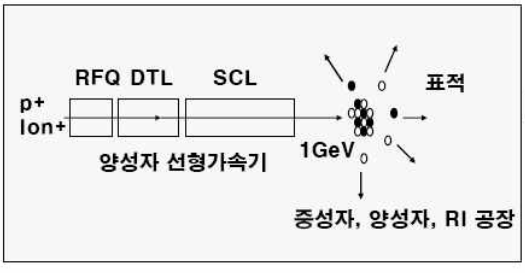
전자가속기



❑ 요소기술
- 전자총
- 가속기구조 단순
- Periodic Structure
- 가속원리: 진행파
- 500, 3000 MHz

❑ 주요 활용분야
- 물질 구조 분석
- 단백질 구조 분석
- 극 미량 원소 분석
- 촉매 연구
- 반도체 식각
- 심장 진단
- 자외선, X-선원

양성자/중이온가속기



❑ 요소기술
- 이온원
- 가속기구조 복잡
- Drift Tube, Cavity
- 가속원리: 정상파
- 350-700 MHz

❑ 주요 활용분야
- 나노 입자 생산 가공
- 표면 개질
- 신종 유전자원
- 암치료(양성자/중이온)
- 항공우주 소자 시험
- 반도체 가공 및 생산
- 방사성동위원소 생산
- 단백질 구조분석
- 양성자원, 중성자원

포항 방사광가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

Synchrotron Light Source – PLS @ Postech, Korea

❑ 연혁: 한국 최초의 대형 가속기 시설
1987년 포스코, 포스텍 건설 시작
1994년 완공
가속기건설 예산 : 약 1,500억원
부지면적: 65만m^2

❑ 구성: 2.5GeV 전자선형가속기
2.5GeV 저장링 (방사광)

❑ 특성: 제3세대 방사광가속기
중형급(2-3GeV)
세계적 우수 가속기 시설

❑ 활용현황:
27기 빔 라인 운영 (자외선, X-선)
이용자 : 약 1,600명/년
광 이용 물질 분석, 단백질 분석 등

❑ 세계 대형 방사광가속기 시설

유럽: ESRF, 6GeV, Grenovl
미국: APS, 7 GeV, ANL, (10억$)
일본: Spring-8, 8 GeV, JASRI

국립암센터 양성자치료기 시설

PEFP Proton Engineering Frontier Project

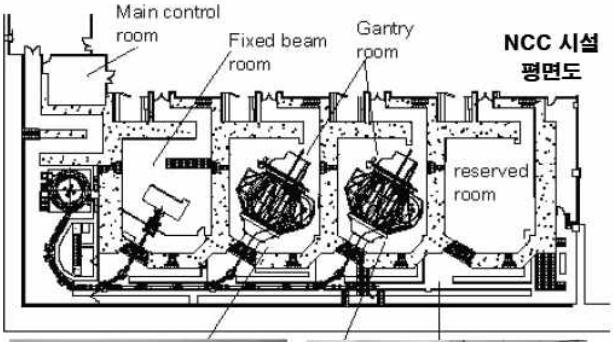
Proton Therapy Facility – National Cancer Center(NCC), Korea

❑ 연혁: 한국 최초의 양성자빔 치료 시설
2002년 보건복지부 사업으로
착수, 2007년 완공, 치료 시작
건설예산: 총 480억원 (장치360억)
건물 : 90x55m (120억원)

❑ 구성: 230MeV(1uA) 사이클로트론
2개 Gantry + 1개 고정빔 치료기

❑ 특성: 세계 수준급의 양성자치료시설
IBA(벨기에) Turn Key 도입 설치

❑ 활용현황:
2007년 임상 연구 및 치료 시작
이용자 : 약 200명 ('08.3 현재)
각종 암, 종양 치료 및 관련 연구



NCC 시설 평면도

❑ 세계 입자빔 치료시설 현황 ('07.12 현재)

양성자 치료시설: 26기 운영, 11기 건설 확정
중이온 치료시설: 2기 운영, 3기 건설 확정
복 합 치료시설: 1기 운영, 4기 건설 확정

Cyclotron

Gantry

경주 양성자가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

High Power Proton Accelerator – PEFP @ KAERI, Korea

❑ 연혁: 한국 최초의 대형 양성자가속기
2002년 과기부 21세기 프론티어 연구개발 사업으로 시작
경주시 부지 및 부대시설 제공
2012년 완공, 예정
건설 예산: 약 3,000억원
부지 면적: 44만 m^2

❑ 구성:100MeV, 20mA 대용량 선형 양성자가속기 +10개 빔 라인

❑ 특성: 차세대 대용량 양성자가속기
중에너지 대전류 빔 이용 시설

❑ 개발 현황:
20MeV(RFQ, DTL) 완성, 빔 제공
나노, 우주, 생명, 반도체, 재료분야 기술개발

❑ 세계 대용량 양성자가속기 시설

미국: SNS, 1GeV, ORNL (14억$)
일본: J-PARC, 3GeV, JAEA(1,400억엔)
유럽: ISIS(RAL, 영국), SIN(PSI, 스위스)

양성자가속기사업 장기 비전

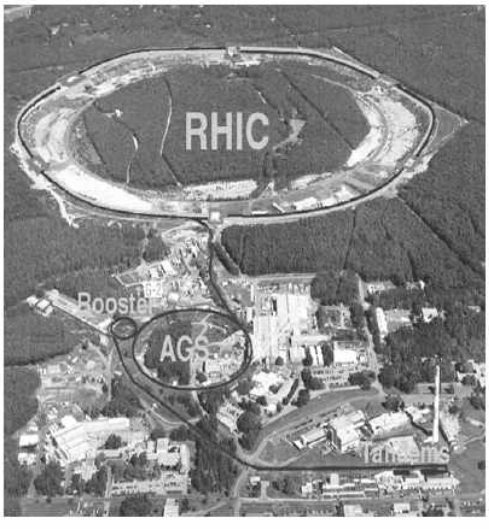
PEFP Proton Engineering Frontier Project

❑ 양성자가속기 연구센터는 미래원천기술을 개발하는 국가 기반연구시설로 운영
❑ 궁극적으로는, 이를 중심으로 연구시설, 산업단지, 교육 및 의료시설 등이 접목되는 과학기술 단지를 구현하여, 지역발전에 기여할 수 있는 중심 역할을 담당

세계적 중이온가속기 현황
(학술 연구용)

미국 - 중이온가속기

RHIC @ BNL. 소재지: 미국 뉴욕



❑ 연혁
- 1958년 완성 후 계속 Upgrade (50년간 사용 중)
- AGS - 세계 최초의 AG형 가속기
- 고에너지 물리 연구시설로 혁혁한 연구 성과
- 1997년 RHIC (Relativistic Heavy Ion Collier) 증설

❑ 구성
- 200 MeV Linac(양성자 입사기)
- 10 MV Tandem(중이온 입사기)
- 3 GeV Booster Synchrotron
- 30 GeV AGS
- 100 GeV/n RHIC Synchrotron(직경 1.2km)

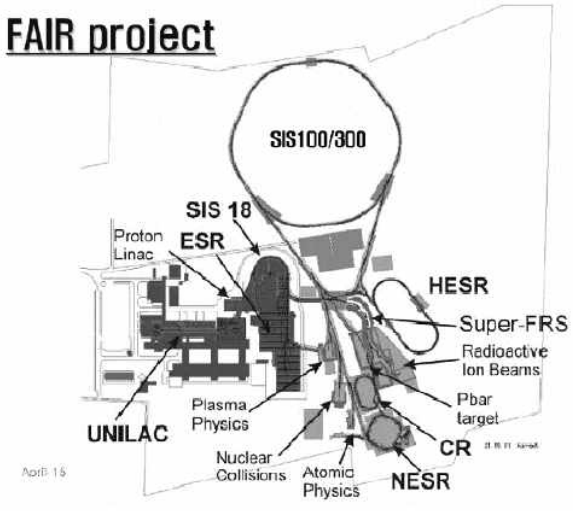
❑ 활용 현황
- 세계 최대의 중입자 충돌형 Synchrotron
- 고에너지 물리 연구 ; J/ψ 입자 발견 등
- 노벨 물리학상 3건 수상
- Quark-Gluon Plasma 연구 등 핵물리 연구에 사용

❑ 참고
- 이용자; 약 1,100명/년
- RHIC 건설비(운영비); 약 1.1조원 (약 1,300억원/년)

독일 - 중이온가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

FAIR @ GSI　　소재지: 독일, 다름슈타트



❑ 연혁
1991년 SIS18(1.5 GeV/n) 완성 운영
2007년 확장 건설(FAIR 프로젝트)착공,2015년 완공 목표
(SIS100/300 + 2차빔 이용시설)

❑ 구성
20 MeV/n 중이온 UNILAC
SIS18 + SIS100 + SIS300 (직경 350m)
최대 에너지: 양성자 90 GeV, U 35 GeV/n

❑ 특성
핵물리, 고에너지물리 및 암치료용 복합장치
1차 입자빔: U: 35 GeV/n, 양성자: 90 GeV
2차 입자빔: 휘귀동위원소 – 1~2 GeV/n
중이온 암치료 시설

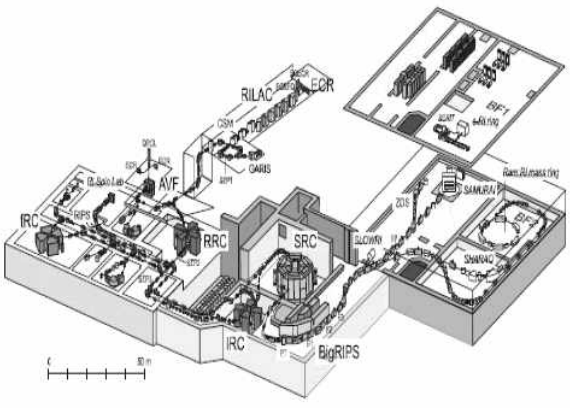
❑ 활용 분야
신 원소 6종 합성; 107번(Bh), 108번(Hs), 109번(Mt)
110번(Ds), 111번(Rg), 112번(Uub)
핵구조 및 휘귀원소 생성 연구
우주의 진화과정 탐구
중이온 암치료 ('97-'07, 316명)

❑ 참고
독일 중심으로 15개국 국제 공동 개발
이용자; 약 3,000명/년
SIS 건설비(운영비); 약 1.5조원 (약 1,500억원/년)
* 치료용 중이온가속기 제작 보급 중 (Heidelberg대 병원)

일본 - 중이온가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

RI Beam Factory @ RIKEN,　　소재지: 일본, 토쿄



❑ 연혁
1986년 RRC 완성
1997년 건설 착수, 순차적으로 대형시설 구축

❑ 구성
RILAC: (2.7 MeV/n)
K540 RRC (11 MeV/n)
K510 fRC (51 MeV/n)
K980 IRC (114 MeV/n)
K2500 SRC (440 MeV/n)
2차빔 이용시설

❑ 특성
1차입자빔: 최대 440 MeV/n, 편극 양성자빔
On-/Off-line 2차입자빔 이용시설

❑ 활용 분야
핵물리: 원소의 기원 연구,113번(Uut)원소 발견
환경/화학: 추적자 동위원소
재료: 물질 구조 해석
생물학 응용: 신품종 개발(화헤류), 분자생물학

❑ 참고
이용자; 약 600명/년
건설비(운영비); 약 4000억원 (약 400억원/년)

세계적 중이온가속기 현황 (의료용)

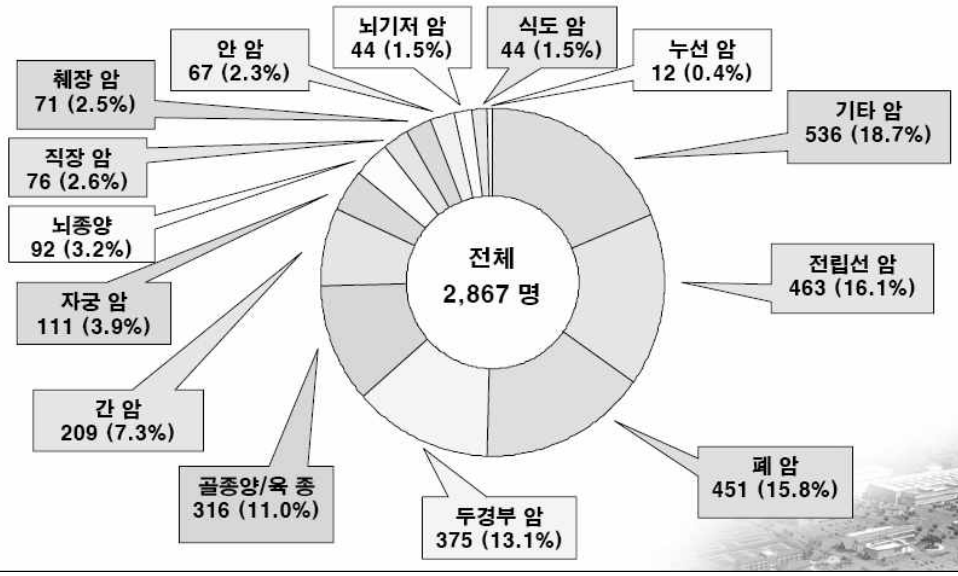
의료용 중이온가속기 현황

시설 명, 소재지	국명	입자	가속기 최대 에너지(MeV)	빔 방향	치료 개시년도	치료 환자수 (통계 일자)	비고
HIMAC, Chiba	일본	탄소	Synchrotron, 800/n	수평,수직	1994	2,867('06.8)	운영
GSI, Darmstardt	독일	탄소	Synchrotron, 430/n	수평	1997	316('06.7)	
HIBMC, Hyogo	일본	양성자 탄소	Synchrotron, 230/n 320/n	Gantry 수평, 수직	2001 2002	1,099('06.9) 131('06.9)	
Heidelberg U, GSI	독일	양성자 탄소	Synchrotron, 430/n	1 Gantry 2 Fixed	2008		건설 완료
CNAO, Pavia	이태리	양성자 탄소	Synchrotron, 430/n	1 Gantry 3수평,1수직	2009		건설중
PCT, Maburg	독일	양성자 탄소	Synchrotron, 430/n	3 수평 1 45도	2010		
Med-AUSTRON	오스트리아	양성자 탄소	Synchrotron	2 Gantry 2 수평	2011		
SPTC, Karoilnska	스위덴	양성자 탄소			2011		계획
Lyon	프랑스	양성자 탄소			2011		

중이온 암치료 예

PEFP Proton Engineering Frontier Project

탄소 빔 암 치료 건수 (일본, HIMAC, '94.6-'06.8)



입자빔 치료용 가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

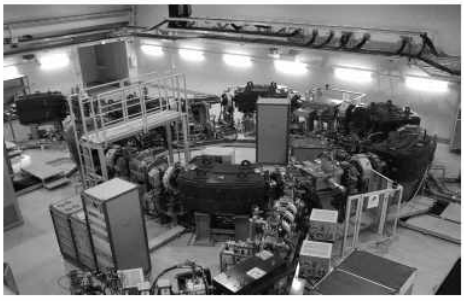
Cyclotron과 Synchrotron 비교

❑ 사이클로트론

❑ 특성: 연속 빔, 에너지 변동이 곤란(△)
가속장치 치료기의 크기, 무게 작음(○)
장치 시설 가격 저렴(○)
양성자 가속에만 적합(△)
단순한 빔 조사 가능(△)
치료 효과(○)

❑ 제작사: IBA (벨기에),
Accel/Verian (미국)

❑ 싱크로트론



❑ 특성: 펄스 빔, 에너지 가변이 용이(○)
가속장치, 치료기의 크기, 무게 큼(△)
장치 시설 가격 고가(△)
양성자, 탄소 빔 모두 적합(○)
다양한 빔 조사 가능(○)
치료 효과 (○)

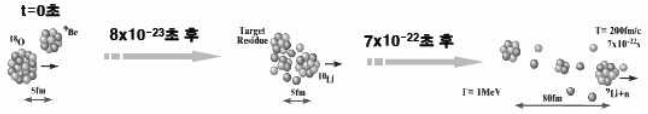
❑ 제작사: Mitsubishi, Hitachi (일본)
Siemens(독일)

중이온가속기의 활용분야

기초과학의 진흥 : 핵, 입자, 천체물리 연구

- ❑ 중이온 가속기는 핵, 입자, 천체물리 연구의 핵심시설로서, 인류 공동의 지식 향상에 기여하고, 이를 통한 미래 원천기술 기발에 중요한 수단
- ❑ 세계적으로 중요 연구테마; 원자핵의 구조 및 특성 연구, 중 원소 생성 규명, 우주초기 진화과정 탐구 등
- ❑ 국내 관련분야 연구자 (잠재적 이용자): 약 150명

❑ **원자핵과 원자핵을 충돌:** 반응과정, 결과를 관찰 및 분석

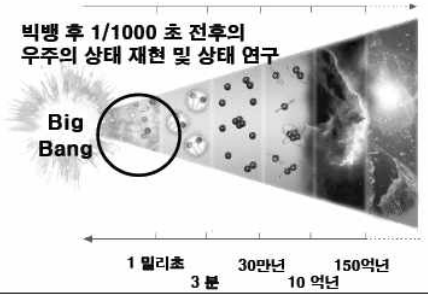


❑ **별의 진화 과정과 중(重)원소의 기원**

초신성 폭발 원인 및 과정

무거운 원소의 기원 (Fe ~ U)

❑ **우주 초기 진화과정 탐구**



별 내부의 핵융합 반응 및 별의 진화 과정

가속기와 노벨상

PEFP Proton Engineering Frontier Project

년 도	수상자	업 적	관련 가속기 시설
2002	Koshiba Masatoshi (일)	중성미자 검출	빔이용분야
1995	M.L.Perl (미)	τ 입자 발견	SLAC e+e- Collider (SPEAR)
1994	B.M.Brockhouse (캐) C.G.Shull (미)	중성자 산란 실험장치개발	가속기빔 이용분야
1992	G.Charpak (프)	입자검출기 개발	가속기빔 이용분야
1990	J.I.Friedman (미) H.W.Kendall (미) R.E.Taylor (미)	쿼크 존재 확인	SLAC 전자 선형가속기 (Two Mile Accelerator)
1988	L.M.Lederman (미) M.Schwartz (미) J.Steinberger (미)	뮤온뉴트리노 발견	BNL Synchrotron 양성자가속기 (AGS)
1984	C.Rubbia (이태리) S.Van der Meer (네)	W, Z 입자 발견과 가속기기술 부문 공헌	CERN ppbar Collider (SPS)
1980	J.W.Cronin (미) V.L.Fitch (미)	CP violation 검증	BNL Synchrotron 양성자가속기 (AGS)
1976	B.Richter (미) S.C.C.Ting (미)	J/Ψ 입자 발견	SLAC e+e- Collider (SPEAR) BNL Synchrotron 양성자가속기 (AGS)
1968	L.W.Alvarez (미)	Resonance states의 많은 입자들 발견과 RF 양성자가속기 기술개발 공헌	버클리 Synchrotron 양성자가속기 (Bevatron)
1961	R. Hofstadter (미)	핵구조 조사	SLAC 전자 선형가속기
1959	E.G.Segre (미) O.Chamberlain (미)	반양성자 발견	버클리 Synchrotron 양성자가속기 (Bevatron)
1951	S.J.D.Cockcroft (영) E.T.S.Walton (아일랜드)	가속입자에 의한 최초 핵종변환 실현	DC 양성자가속기 자체 개발 사용
1939	E.O.Lawrence (미)	Cyclotron 양성자 가속기 발명과 인공 동위원소 합성	Cyclotron 자체 제작 (MIT)

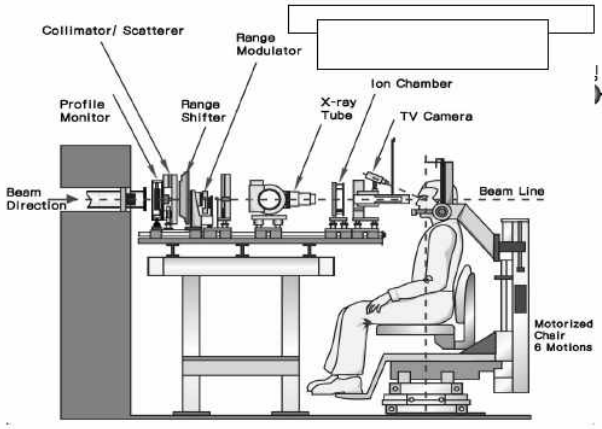
참고 : 1939 – 2002 년 동안의 노벨 물리학상 수상자 109 명 중 23 명이 가속기 및 빔 이용 관련 수상

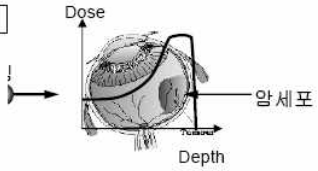
의료분야의 이용

PEFP Proton Engineering Frontier Project

중이온 암 치료

- ❑ 암의 3대 핵심 치료법으로 성별,연령, 부위에 따른 제한이 없고, 수술 또는 약물 금기인 환자에도 적용
- ❑ 고령화 사회를 맞이하여 고 령암 환자 비율 증가, 수술 없는 무 고통 치료. 다양한 종류의 암 치료에 효능
- ❑ 국내 중이온 치료 적용 환자수(추정치): 3,000명('07), 5,000-6,000명('12)
- ❑ 관련 가속기 및 치료장치 기초기술 개발 (원자력의학원/양성자사업단)





고정 빔라인을 사용한 안구 암의 치료

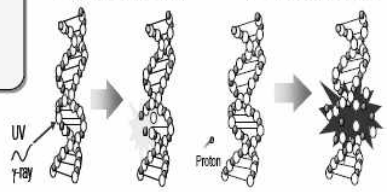
생명과학분야의 이용 (1)

PEFP Proton Engineering Frontier Project

미생물 유전자원 개발 예

- ❑ 양성자/중이온 빔을 미생물에 조사, DNA 변형 유도에 의한 유용 돌연변이 균주 개발
- ❑ 예, 생분해성 플라스틱(PHB) 생산 균주 확보 및 생산공정 개발 (KAERI/양성자사업단)
  최종 60~70g/L의 PHB 생산성 확보 => 기존 기술에 비해 80~95배 이상 향상
- ❑ 산업적 규모의 대량 생산 공정 개발 중
- ❑ 적용 시장: 1회용 플라스틱 세계 시장 (약 100조원/년)
  2020년 기준, 국내시장 840억원/년 점유 예상
- ❑ 적용 분야: 알코올 발효 균주 등 각종 식품용 및 산업용 균주 개량에 적용

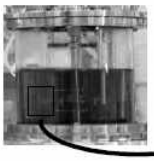
❑ 저 LET 공정 (자외선, 감마선) ❑ 고 LET 공정 (양성자, 중이온)



배양 전과정에서 *E. coli* mutant에서 PHB 축적

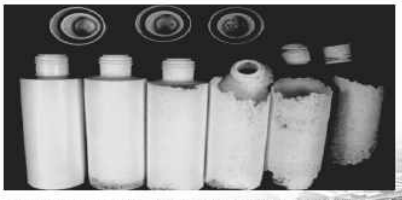
배양 전

배양 후



Fermentation !!

Yield : 60-70g/L PHB



생 분해성 플라스틱 용기의 시간에 따른 분해

➢ 원자력의학원 MC-50 가속기 사용

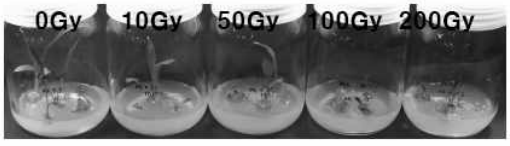
생명과학분야의 이용 (2)

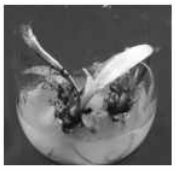
PEFP Proton Engineering Frontier Project

고부가가치 화훼류, 채소류 개발 예

- ❑ 양성자/중이온 빔을 식물에 조사, DNA 변형 유도에 의한 유용 유전자 변이체 선발
- ❑ 화훼류, 채소류 신 품종 개발: 무, 배추 130여종 우수 유전자원 확보,
  배추 2개 품종 등록 신청 (종묘회사/양성자사업단)
- ❑ 적용 시장: 국내 약 1,500억원/년, 국외 약 3,200만$/년
- ❑ 적용 분야: 화훼류, 채소류, 유채류 등 각종 식물 품종 개량에 적용

❑ 양성자빔 이용 화훼류 신품종 (무늬종나리) 선발





[나리(조지아) 인편]

❑ 양성자빔 이용 채소류(배추, 무) 우수 품종 개량

여름철 고냉지 재배용 품종 | 가을용 품종 | 봄배추용 품종 | 속이 노란 품종 | 내서성 및 내한성 품종

무 (M3 세대)

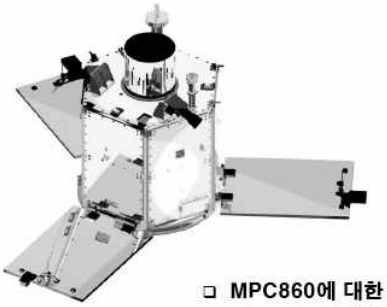
➢ 일본 RIKEN 중이온 및 양성자 가속기 사용

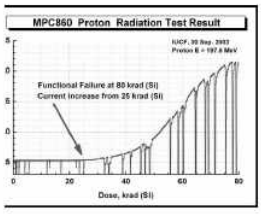
우주항공 분야에 이용

PEFP Proton Engineering Frontier Project

우주부품 내방사선 특성 평가기술 개발 예

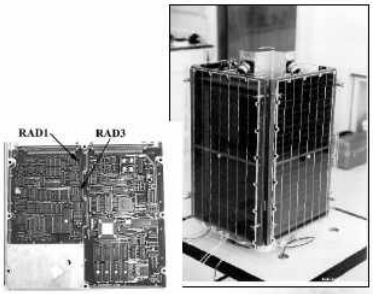
- ❑ 국내 자력 위성 및 발사체 개발 시대를 맞이하여, 위성의 우주방사선 예민 부품의 특성시험
- ❑ 우주 부품(마이크로 프로세서, 메모리 칩, 태양전지 등)의 적합성 평가
- ❑ 평가 항목: SEE, TIE 효과 특성 평가 (세트렉아이/KAIST/양성자사업단)
- ❑ 적용 시장: 국내 약 120억원/년 (2015년까지 14기 발사 계획 반영)





❑ MPC860에 대한 양성자 조사 시험
MACSAT(말레이지아 수출 위성)의 우주환경 분석
(고도 685km, 궤도 경사각 9°, 수명 3년)

➢ 미국 IUCF, UC-Davis 및 스위스 PSI 양성자가속기 사용



❑ 우리별 1호의 우주환경 분석
(고도 1330km, 궤도 경사각 66°)

장치산업에의 활용 (1)

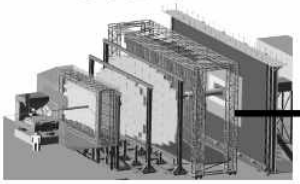
PEFP Proton Engineering Frontier Project

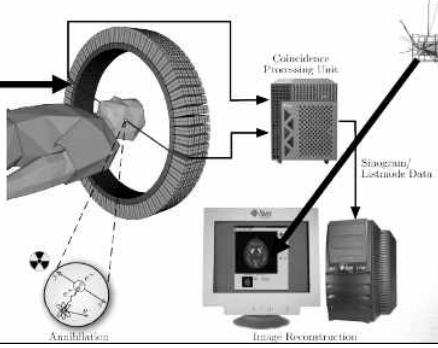
입자검출기 기술 개발 및 응용

- ❑ 핵, 입자물리 실험에서 충돌시 생성되는 2차 입자의 특성 측정을 위해서는 고정밀도 검출기 개발 사용
- ❑ 검출기 기술의 다양한 응용: 첨단 의료진단 장비, 공항 항만 검색장비, 각종 비파괴 진단 장비
- ❑ 적용 시장: 국내 약 1,000억원/년

❑ 입자검출기
입자-입자 충돌시 생성되는 2차입자의 종류, 에너지, 운동량, 전하 등을 측정
⇒ 반응과정을 연구

❑ 입자-입자 반응 모사
입자- 입자 충돌시 생성되는 2차 입자의 궤적 모사





❑ 검출기 Data 처리 기술
실시간 의학영상 HW/SW에 응용

❑ 첨단 의료 진단 장비
PET, CT, pQCT 등에 응용

❑ 폭발물, 마약 검사/검색 장비
X-ray 검색기, Muon-검색기

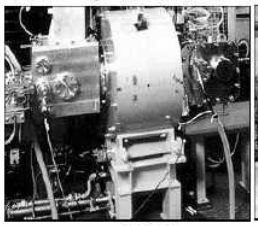
장치산업에의 활용 (2)

PEFP Proton Engineering Frontier Project

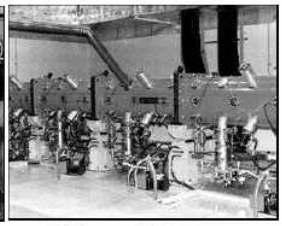
중이온 치료용 가속장치 및 치료기 개발

- ❑ 중이온 암치료의 우수한 치료효과의 입증으로 중이온치료기 시장의 점차적인 확대
- ❑ 중이온치료기 가속장치, 빔라인, 치료기 장치 부분 개발 여지 많음
- ❑ 세계적으로 개발 초기로서 후발 주자로서 추월 가능성 많음
- ❑ 적용 세계시장 (2012년 기준) : 3,000억원/년 이상

❑ 치료용 가속장치

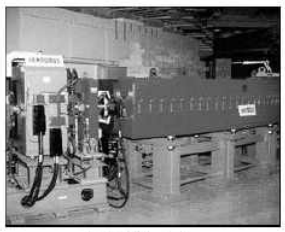


ECR 이온원



RFQ

DTL



싱크로트론

❑ 치료기 (Gantry)

21C 신 산업기술과 Global Issues

PEFP Proton Engineering Frontier Project

New Technology

- IT (Information Technology)
- BT (Bio Technology)
- NT (Nano Technology)
- ET (Energy & Environment Technology)

• 신 산업 공통으로 다루는 대상이 분자 및 원자 수준 으로 ⟶ 초 고집적화, 초 정밀화, 극 소형화 추세로 발전

Global Issues

- Energy Issue
  - 각국의 공업화, 경제발전
  - 인류의 삶의 질 향상

⟶ 에너지 수요량의 급격한 증가 (개발도상국 중국, 인도 등)

- Environmental Issue
  - 지구의 온난화 , 오존층 파괴
  - 환경 폐기물

[예시]
복합형 중이온가속기

중형 중이온가속기 (예시)

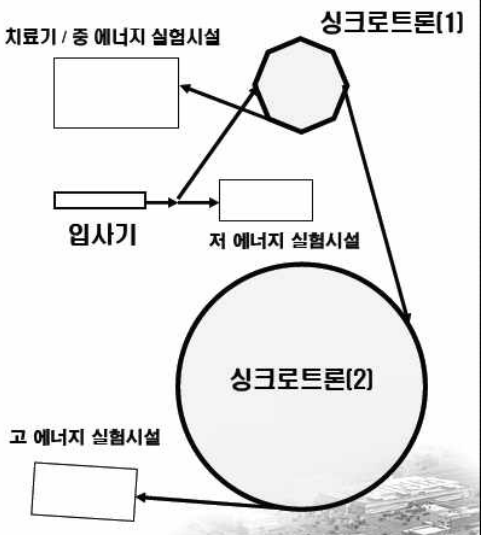
연구용, 의료용 복합형

❑ 가속기 제원
- 가속 이온; 탄소(C) – 우라늄(U) 이온
- 빔 에너지(최종); 약 5GeV/n
- 빔 전류(최종); 약 10^{12}개/펄스 (0.2puA/pulse),1Hz
- 빔 에너지(중간); 약 400MeV/n (C 이온 기준)

❑ 가속기 구성 및 크기
- 입 사 기 ; 이온원+RFQ+DTL(20MeV/n, 길이 20m)
- 부 가속기; 싱크로트론(1)(400MeV/n, 직경 30m)
- 주 가속기; 싱크로트론(2)(5GeV/n, 직경 130m)

❑ 특성
- 아시아권의 선도 중이온가속기
- 기초과학+의료용 겸용시설
- 입사기 빔; 저 에너지 실험
- 1차 가속빔; 암치료, 중에너지 실험
- 2차 가속빔; 핵물리 실험

❑ 이용 분야:
- 핵구조 및 희귀원소 생성 연구
- 원소의 생성 및 우주의 진화과정 탐구
- 중이온 암치료
- 생명과학, 항공우주 이용



중형 중이온가속기 – 기타 고려사항

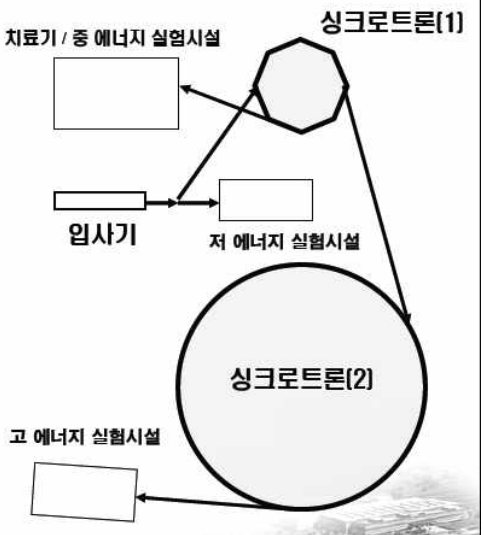
❑ 부지 조건
- 최소 부지 면적; 200mX400m
- 부지 지질학적 조건; 매립지 불가
- 교통 및 접근성; 고속도로, 철도 및 국제공항 인접지역

❑ 건설 비용 (추정)
- 가속기; 3,500억원
- 검출기 및 실험 시설; 1,000억원
- 치료기; 300억원
- 부대시설(건물 포함); 2,000억원

❑ 건설 기간 및 방법
- 개념설계; 1년
- 상세설계 및 R&D; 1년
- 장치제작 시험; 3년
- 설치 및 시험; 2년
- 건설 공사(가속기개발과 병행) ; 3년

❑ 이용자 수 (운영 초기 추정)
- 핵물리 분야; 200명/년
- 암치료 분야(환자수); 500명/년
- 기타분야 (생명과학 등); 300명/년

❑ 운영인력 및 운영비
- 운영 인력; 약 180 명
- 운영비; 약 350 억원/년



타 기관의 협조 및 연계성

각국의 가속기연구소 현황

PEFP Proton Engineering Frontier Project

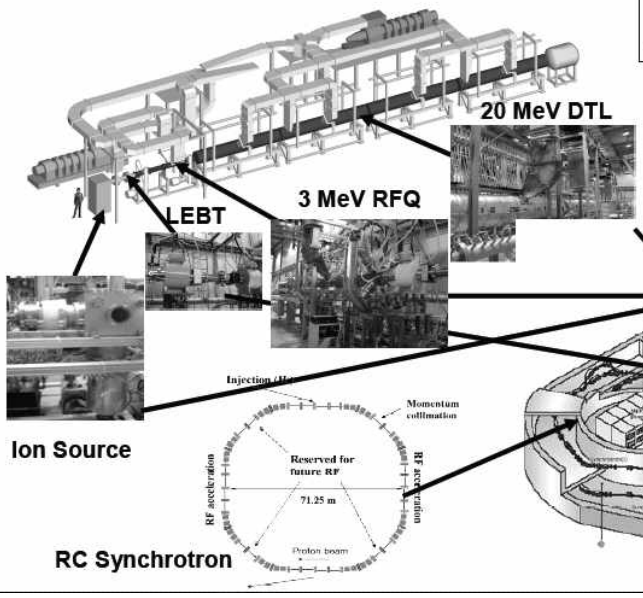
가속기 종류	활용 입자	용도	각국의 가속기 관련 연구소 (의료기관 제외)						비고
			미국	일본	독일	프랑스	중국	한국	
중이온	이온 (He-U)	핵, 입자 물리 천체물리 RI 빔 유전자원 우주소자 암 치료	BNL	RIKEN	GSI	Ganil	INP (Lanjou)	없 음	
양성자	양성자(P) 중성자(n)	고에너지 물리 파쇄 중성자원 RI 생산 물질구조분석 반도체 가공 암 치료	ORNL FANL LANL	JAEA	COSY	Saclay	IHEP (CSNS)	KAERI	
전자	전자(e) 광자	고에너지 물리 방사광 물질구조분석 단백질분석	SLAC J-Lab ANL	KEK JASRI	DESY	Grenoble Orsay	IHEP (Beijing) SSRF (Shanghai)	PAL	

중이온가속기와 양성자가속기 기술

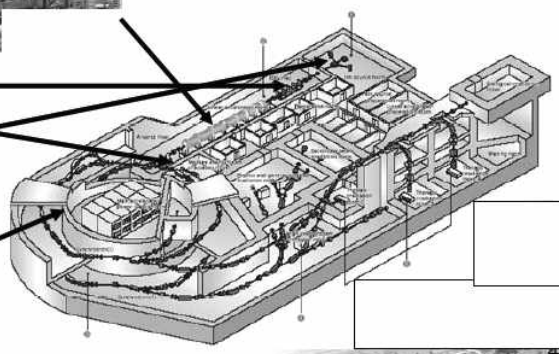
PEFP Proton Engineering Frontier Project

❑ 양성자 선형가속기: PEFP, 한국

양 가속기의 핵심 요소기술인 이온원, LEBT, RFQ 및 DTL은 공통이며, 양성자가속기사업을 통하여 국내에서 관련 모든 기술이 개발 확보됨



❑ 중이온 싱크로트론: HIMAC, 일본



〔예시〕
중이온가속기 사업의
국제과학비지니스벨트와의 연계성

국제과학비지니스도시-기본 방향 설정

❑ 요건1: 세계적 선도연구단지

세계과학을 따라가는 수준이 아니라 기초과학에서부터 응용과학까지 세계를 선도할 수 있는 대형연구시설 필요

(사례) 대덕연구개발특구

- 국내 최대의 연구기관 집적
  (연구기관 70개, KAIST 등 7개대)
- 정부 R&D 투자의 30.5%
- 풍부한 연구인력
  국내 박사급 연구인력의 10.2%
  국·내외 등록 특허의 6%

❑ 요건2: 고부가 산업단지

개발기술을 신속히 산업화할 수 있는 비즈니스개념에 입각

(사례) 오창, 오송 과학산업단지

- 충청권 최초의 국가산업단지
- 벤처산업의 기반 구축 완료
  (바이오분야, IT분야)
- 관련 분야 학교 유치 및
  해외기업 유치 중
- KTX 호남/경부선 분기점

❑ 요건 3: 명품 배후도시

세계 일류 과학자 유치와 저명 예술인 및 지역 주민이 함께하는 거주

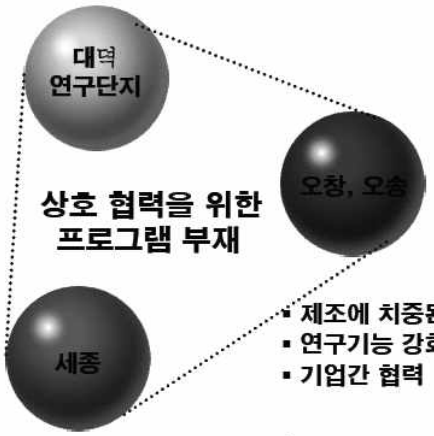
(사례) 세종 행정복합도시

- 세계 톱클래스의 명품도시
- 거주 교육 등 정주여건이 완비된
  웰빙형 행정 도시
- 기존도시의 개량이 아니므로
  신개념에 의한 도시개발의 최적지

현재 상황 – 외형적 성장의 한계성 측면

PEFP Proton Engineering Frontier Project

- 대기업 부재
- 개발기술의 실용화 미흡
- 기관간 네트워크 부족(융합기술 미흡)



- 제조에 치중된 기업들
- 연구기능 강화 필요성
- 기업간 협력

- 행정기능만으로는 독자 생존 한계
- 광역권과의 연계 추진을 통해
  역할 분담과 협력이 요구

현 단계: 단순 군집 단계

⇩

네트워크 역량 강화 필요

⇩

자발적 네트워크 형성위해
유인책이 필요

⇩

융합형 기술개발이 가능한 기반연구시설과 연구인력의 확보	정책지원 (세액 감면, 분양가 할인 등)
⇩	⇩
기술 유인책	단기적 조치에 불과

협력 네트워크 구심체로서의 – 중이온가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

가속기 주요 활용분야

❑ **저 에너지 중이온빔의 활용**
- 저 에너지 핵반응 연구
- 별의 생성 등 천체물리 연구
- ET 분야: 연료전지용 멤브레인 개발 등

❑ **의료적 이용, 중 에너지 활용**
- 중이온 암치료 (Heavy Ion Therapy)
- BT 분야: 생명공학 이용 (미생물 유전자원 등)
- 핵의 구조 및 희귀원소 생성 연구
- ST 분야: 우주 부품 우주 방사선 내구성 시험

❑ **고 에너지 중이온빔의 활용**
- 우주의 진화 및 원소의 생성 연구
- 쿼크 글루온 플라즈마 연구
- 고 에너지 물리 연구

지역간 역할 분담

❑ **대덕연구단지:**
연구기관 등 연구기능 및 인프라 제공

❑ **대전시:**
대규모 의료수요를 바탕으로 진단, 치료
첨단 의료산업 육성 담당

❑ **세종시:**
일류명품도시 구축으로 우수 인재 유치

❑ **오송, 오창:**
BT, IT 등 기 육성된 벤처단지 통한
신속한 기술산업화

❑ **청주시:** 공항 및 배후도시로 활용

기초과학 육성 및 인재 양성
첨단 의료 및 관련산업 단지 육성
BT, ET, ST, NT 등 다 분야로 기술혁신 확대

미래상 – 국내유일의 기술융합 클러스터

PEFP Proton Engineering Frontier Project

1단계: 기반조성 단계

- ❑ 실버타운, 웰빙타운 건립
  대전권의 기본적인 의료수요를 바탕으로 국내 및 국외의 고급의료수요를 흡수
- ❑ 진단 및 치료센터의 설립
  광역권내 의과대학 및 대형병원이 주도
- ❑ 인프라 구축
  중앙정부 및 지방정부의 협력 추진. 특히 운영프로그램의 구축이 핵심
- ❑ 융합기술 기초연구
  국책연구기관, 민간연구소, 대학 등이 공동참여하고 관련 연구인력을 육성

2단계: 기술 산업화 단계

- ❑ 기술의 이전을 통한 산업화 가속단계

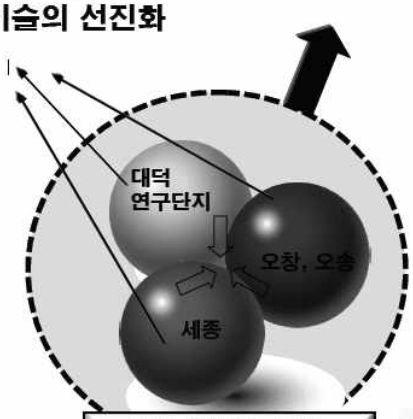
3 단계: 기술 융복합화 단계

- ❑ 연구기관, 의료산업, 진단 및 치료센터, 실버타운/웰빙타운 등이 상호 발전 선 순환 고리 형성 → 민간 주도형 발전체제 정착

기술융합형 클러스터 단계

〈테마 1〉
고유기술의 선진화

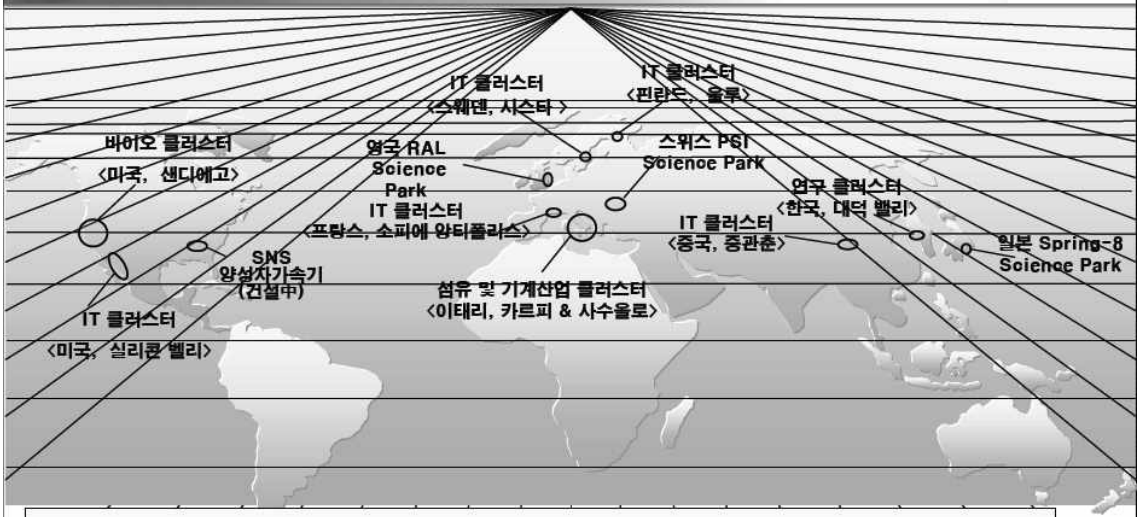
〈테마 2〉
융합형 기술개발



〈상호 협력의 구심체〉
중이온가속기 등
국가기반연구시설 공동 활용

사례 1 – 세계적인 키워드는 "차별화"

PEFP Proton Engineering Frontier Project



- ❑ 1~3세대 혁신클러스터(전통적): 단일(또는 2개 내외) 전략 산업내 기술혁신 촉진 네트워크
- ❑ 혁신 클러스터의 버블현상 발생: 미국 2006년 UCSD CONNECT방문결과 컨설팅
- ❑ 4세대 클러스터(최근 10여년) : 다 분야 융합형 기술개발 촉진 네트워크
- ❑ 차별화된 혁신 클러스터가 필요 : 가속기 중심의 기술융합 혁신 클러스터 → 블루오션

사례 2 – 국내 넘쳐나는 클러스터, 유인책은?

PEFP Proton Engineering Frontier Project

❑ 국내 주요 클러스터의 시사점

	중점산업 분류	구성주체간 협력형태(대-중소기업)	클러스터 유형
창원	기계	생산 위주 수직적 체계	전문공급자형 – 자본 생산집적지
구미	전자부품 (디스플레이)	생산 위주 수직적 체계	규모집약형 - 생산협력집적지
울산	자동차부품	생산 위주 수직적 체계	규모집약형 - 생산협력집적지
반월 시화	부품소재 (기계산업)	수직적 체계의 영세 하청업체 비중 높음. 단, 부품개발능력을 가진 선도 중소기업도 상당수 존재	규모집약형 - 부품개발집적지
광주	광산업	선도기업 없음. 기업별 자체 R&D 및 생산 체계	과학기반형 - 연구기반구축지역
원주	의료기기	의료기기 업체 기술적 한계 존재 (기업 자체 R&D 역량 부족)	과학기반형 - 연구기반구축지역
군산	자동차부품	생산 위주 수직적 체계	규모집약형 - 생산협력집적지

❑ 문제점

- 기존 국내 클러스터는 연구보다는 생산 중심형
- 기술혁신이 잘 일어나지 않는 태생적 한계

❑ 시사점

- 최고의 기술을 유인책으로 활용
- 유치된 기업 및 연구기관을 네트워크에 추가하여 신기술개발 가속화 추진
- 이를 위해 세계적 수준의 기반 연구시설이 필요
  → 예, 중이온 가속기

PEFP Proton Engineering Frontier Project

좋은 연구시설 → 좋은 연구인력 → 좋은 연구결과 → 좋은 산업체 → 좋은 과학기술산업단지

감사합니다

제2주제

충청권의 국제과학비지니스벨트 구축 타당성

좌 장
- 김 용 웅 원장 (충남발전연구원)

발 표 자
- 박 상 철 교수 (한국산업기술대학교/KAIST)
  “충청권의 국제과학비지니스벨트 구축 타당성”

토 론 자
- 김 학 민 원장 (충남테크노파크)
- 강 병 주 교수 (한남대학교)
- 안 성 호 교수 (축북대학교)