

RFT-30 사이클로트론 시설 및 운영 (현황과 계획)

2015. 10. 28.

허 민 구

한국원자력연구원

Background

- 한국원자력연구원 방사선연구원 설립과 더불어 국가 방사선기술 전문연구기관으로 관련 연구기반의 확립 필요성
 - ✓ “국가 방사선 고도화 기반구축” 과제 도출
- 13MeV 사이클로트론의 개발/실용화 및 사이클로트론 시장의 성장과 기술 발전
- 국산 30MeV 사이클로트론의 개발 및 국산화, 이에 대한 검증 시설 구축 필요
 - ✓ 기반구축사업의 위탁과제로 사이클로트론 도입 결정
 - ✓ 과제명 : 30MeV 사이클로트론 개발
 - 동위원소 생산용 30MeV 사이클로트론 가속기 제작

Development of Cyclotron

Specification of RFT-30 Cyclotron

Ion Source	Ion Source	Multicusp type
	Max. Extracted Beam Current	10 mA@source
	Type of Accelerated Ions	Negative Hydrogen
Injection system		SQQ, Spiral Inflector
Extracted beam		Stripper Carbon Foil
	Type of extracted ions	Proton (H ⁺)
	Extraction Beam Current	Max. 300 μ A
	Extraction Beam Energy	15 MeV ~ 30 MeV
	Number of Beam lines	4
	Beam irradiation	Dual available
RF system	RF frequency	64.05 MHz
	Harmonic number	4
	Amp power	50 kW
Magnet system	Center field	10.50 kG
	radial/vertical tunes	1.1/0.7
Beam Transfer	Length of Beamline	6 m
	Components	Steering Magnet, Faraday Cup Triple Quadruples, AC Magnet

Consist of Cyclotron

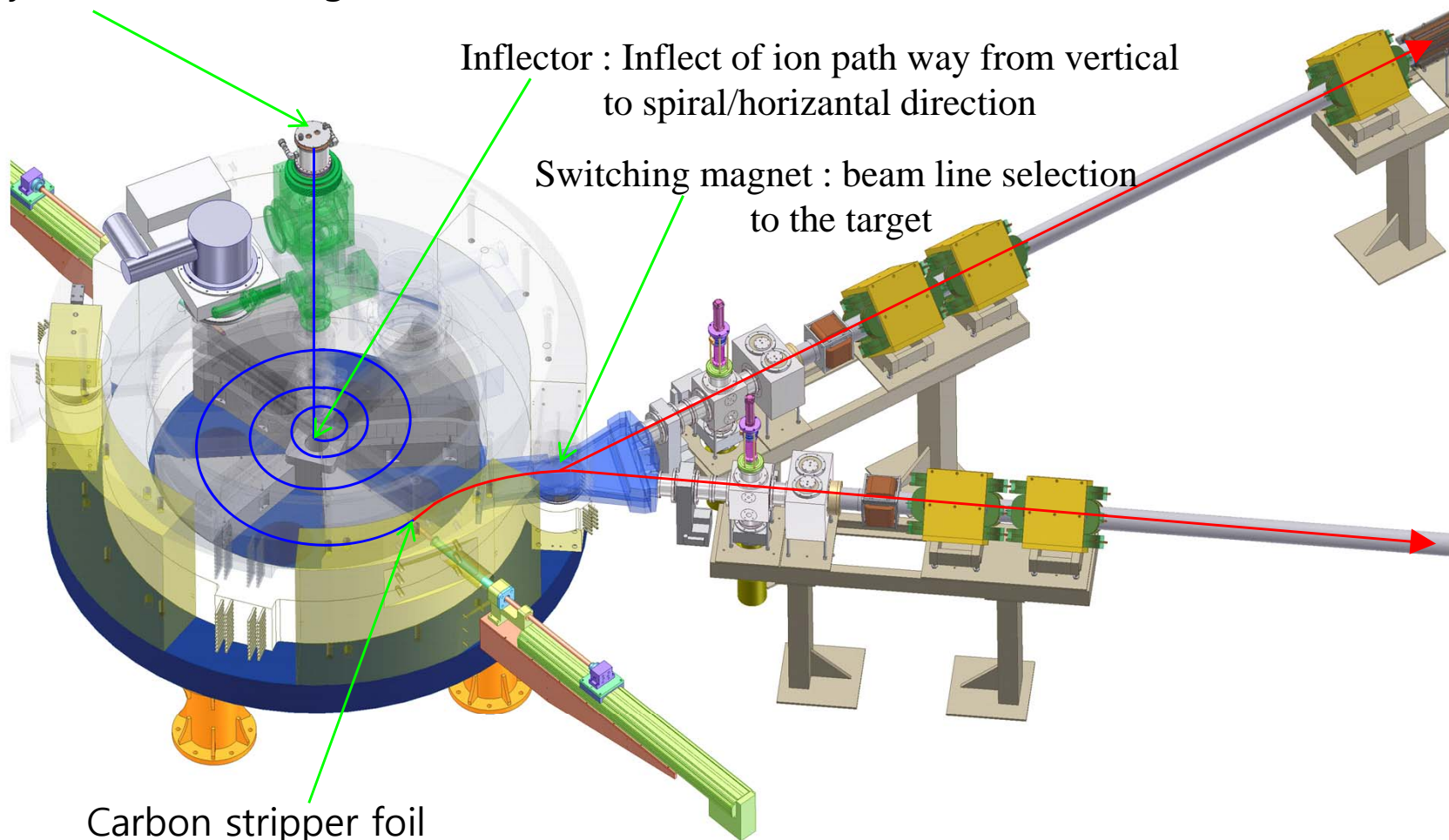
Multicusp ion source

- Produce H^- ion
- Ion supply to the central region

— Path way of hydrogen negative ion (H^-)

- Magnet : maintain pathway of ion to circular direction
- RF system : evaluate energy of ion

— Proton beam path way



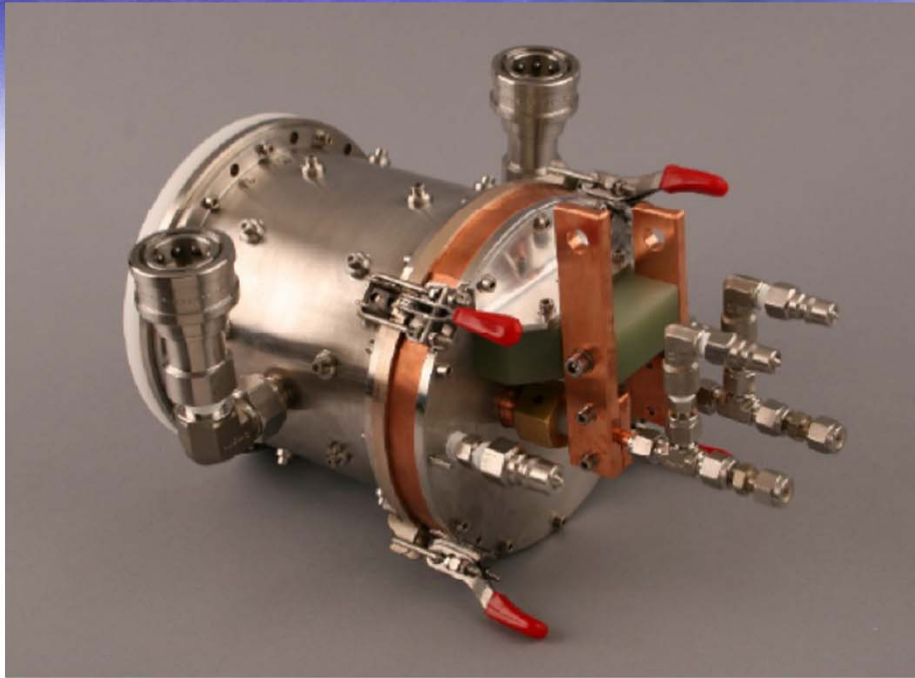
Inflector : Inflect of ion path way from vertical to spiral/horizontal direction

Switching magnet : beam line selection to the target

Carbon stripper foil

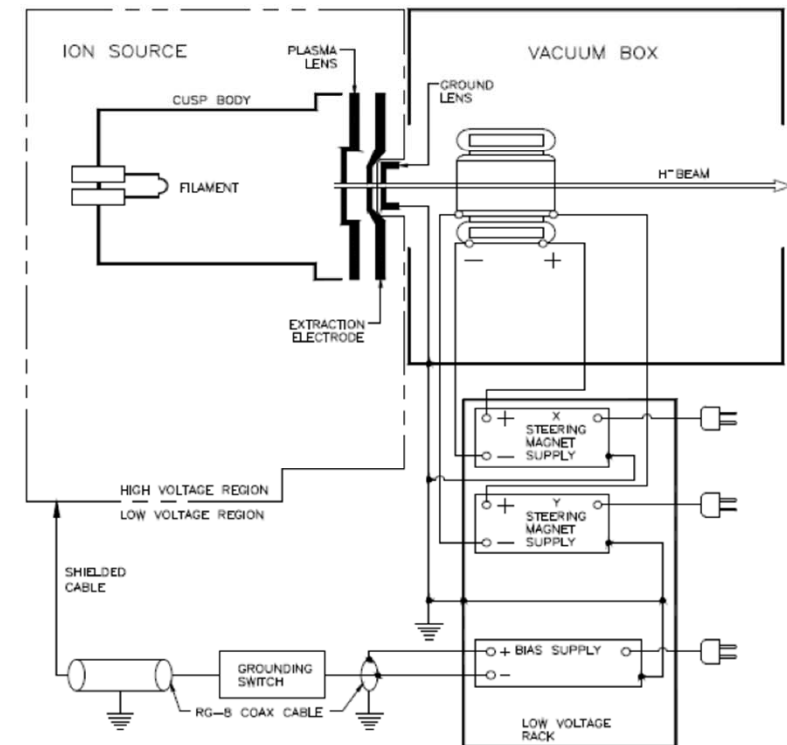
- Hydrogen negative ion lost 2 electrons : H^- change proton
- Beam path will be changed to the outside because of polarity change

Ion Source

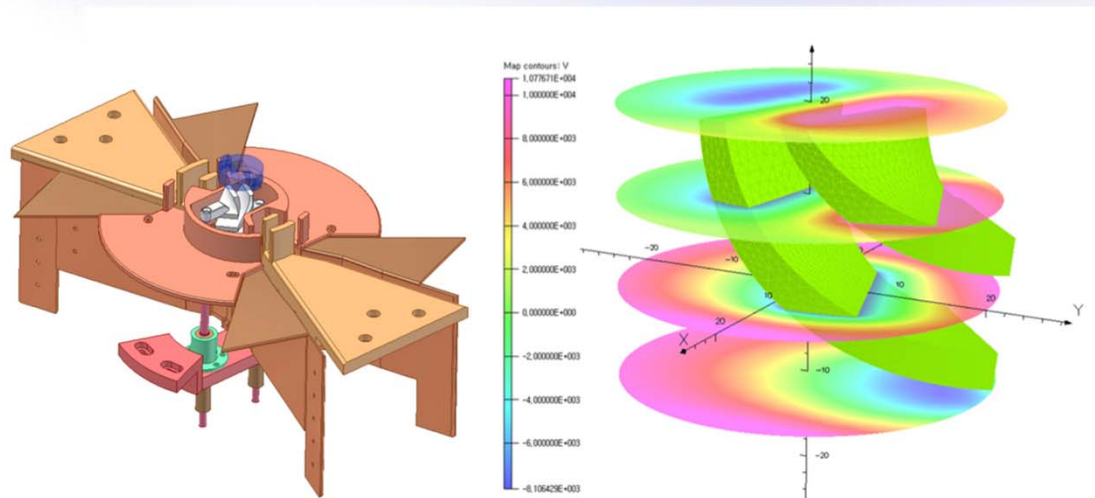
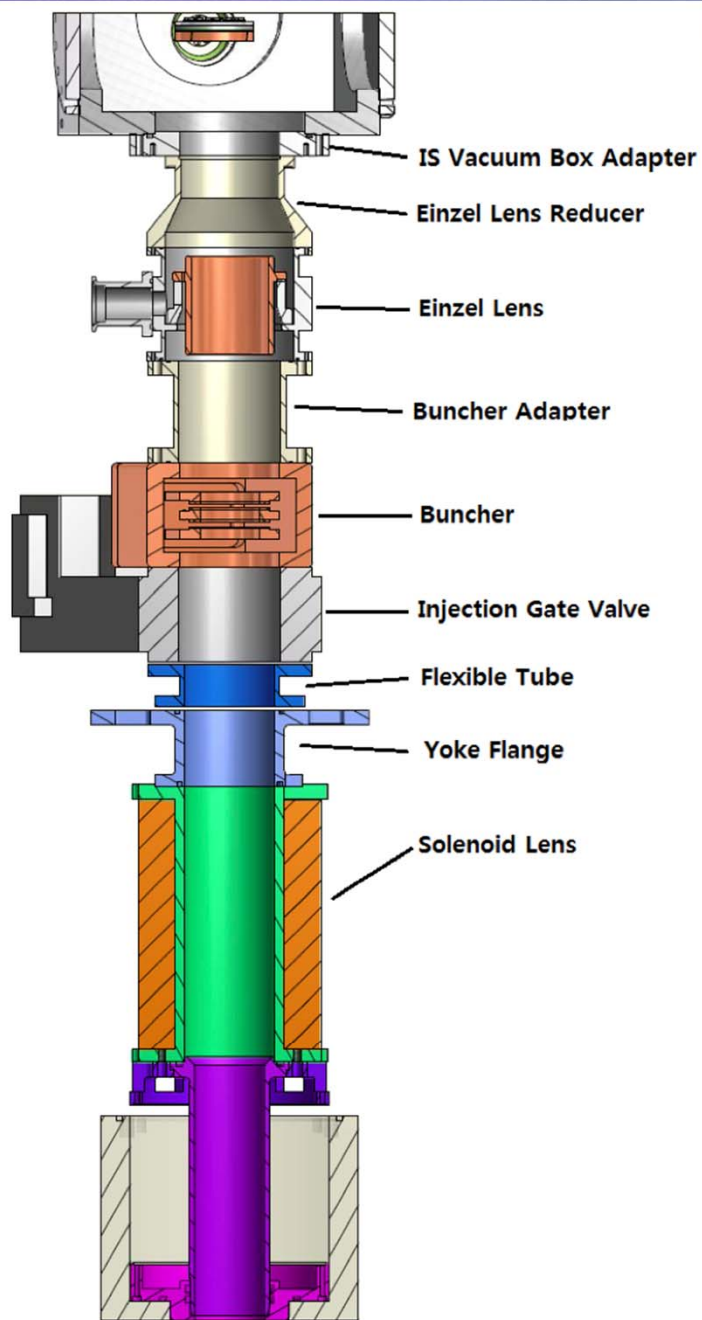


Extracted Ions	Negative Hydrogen
Max. Extraction Beam Current	10 mA
Extraction Beam Energy	20~30 keV
Emittance (4rms)	Under 1 mm x mrad
Beam Purification	Over 98%
Filament Replacement Cycle	Over 350 hour
Beam Current Stability	$\pm 3\%$ (1day)

Power Supply	Max. Current	Max. Voltage
Arc	40A	150V
Filament	350A	10V
Plasma lens	20A	10V
Extraction	lens 40 mA	5 kV
Bias	40 mA	30 kV
X Steering Magnet	10 A	
Y Steering Magnet	10 A	



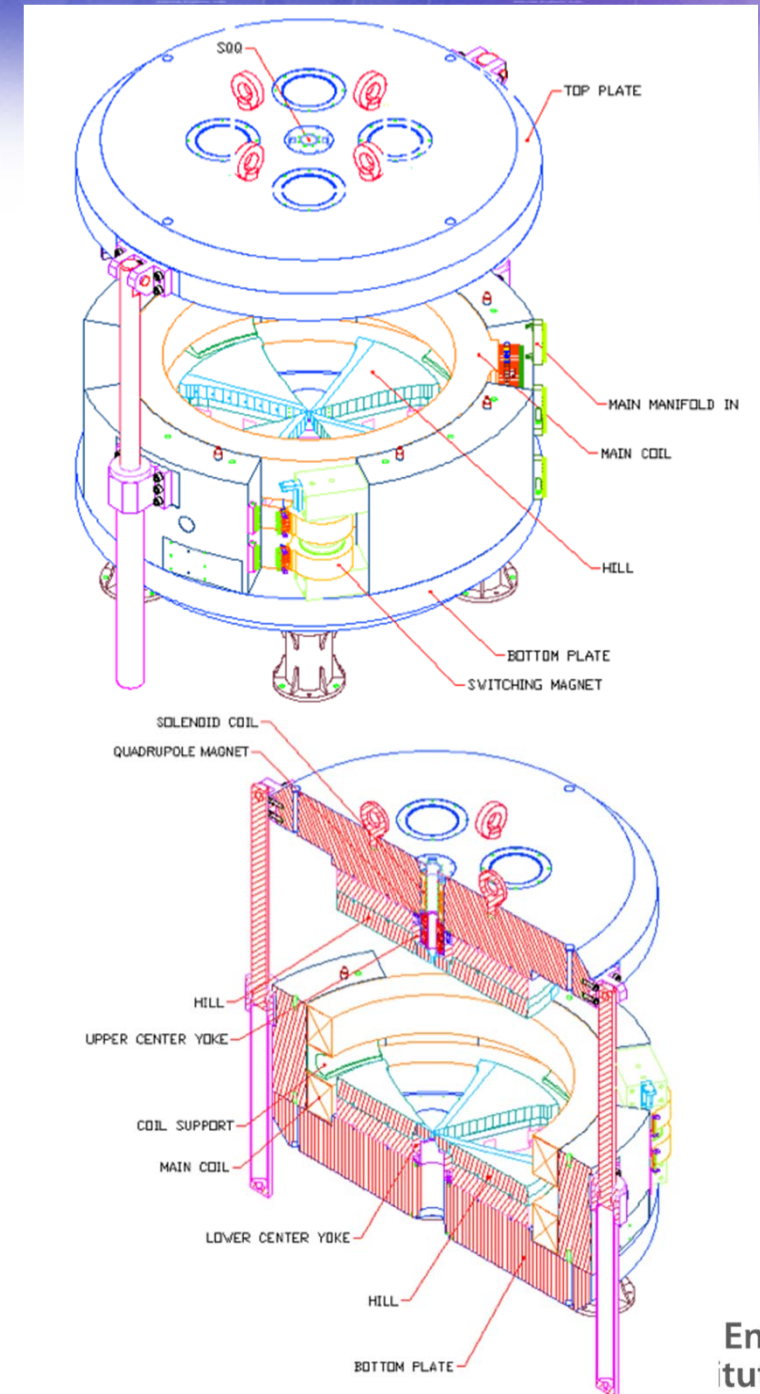
Inflector System



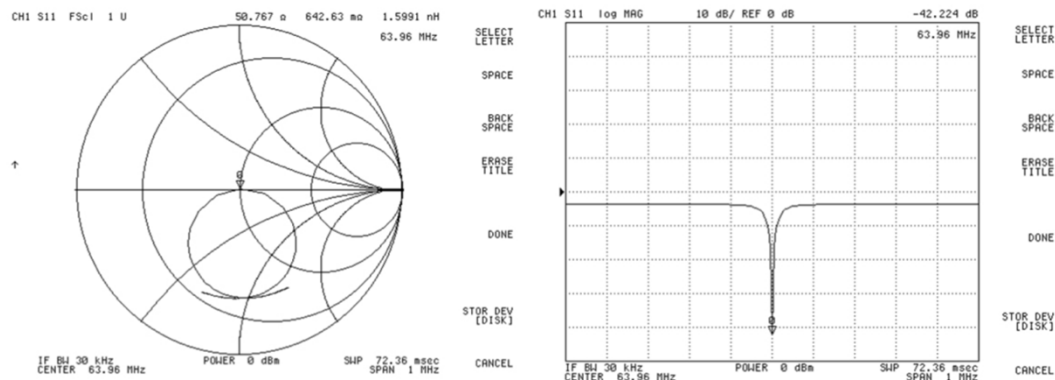
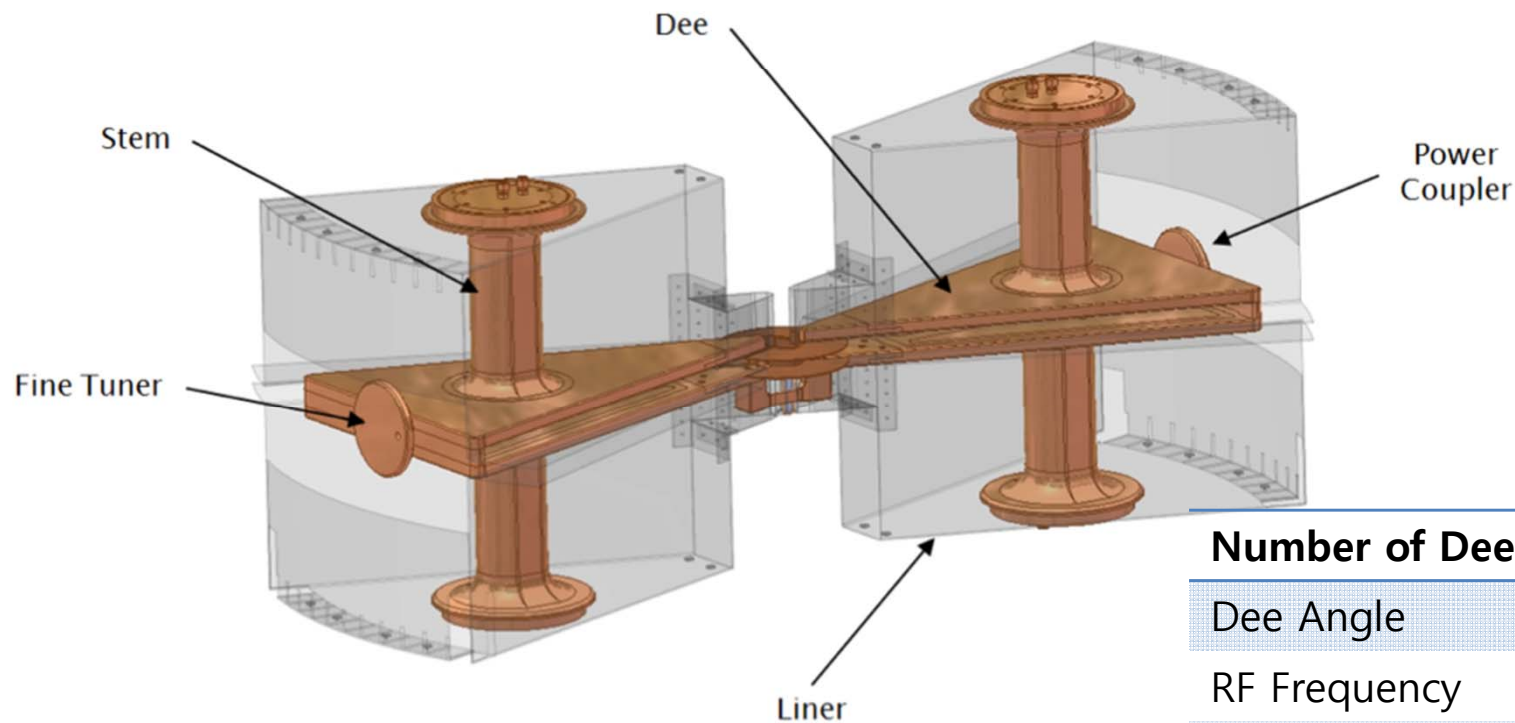
Inflector Height	1.872 cm
Electric Radius	2.0 cm
Electrode spacing and width	8.0 mm / 16.0 mm
Tilt parameter(k')	0

Magnet System

Center Magnetic Field	1.05 T
Pole Radius	0.81 m
Extraction Radius	0.736 m
Hill / Valley Gap	0.03/0.62 m
Hill Angle	Max. 48 degree
Min./Max. Magnetic Field	0.2/1.9 T
Radial/Vertical Tune	1.05~1.1/0.7
Height/Diameter	1.94/2.7 m
Weight	50 ton
Coil Conductor	Hollow conductor(12x12mm)
Turn Number	22x16Turns
Coil Length	2.6 km
Coil Resistance	0.64 Ω
Coil Current	134 A
Power Consumption	12 kW

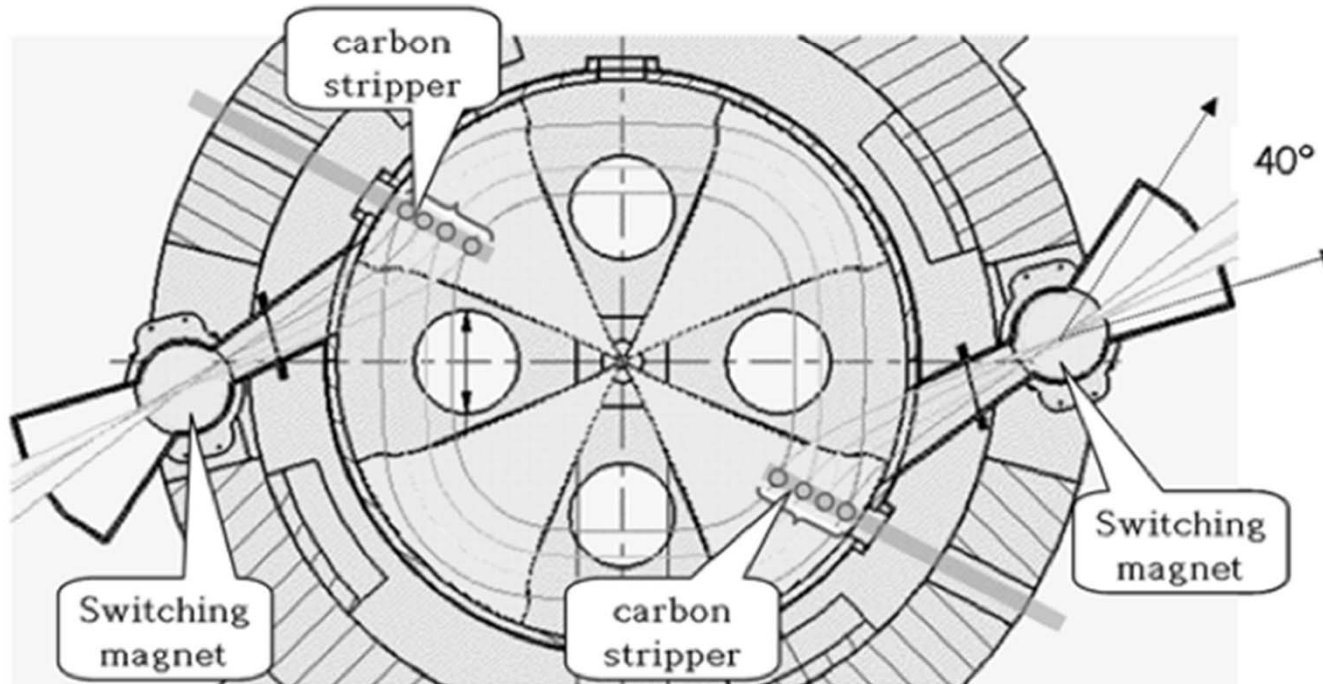


RF System



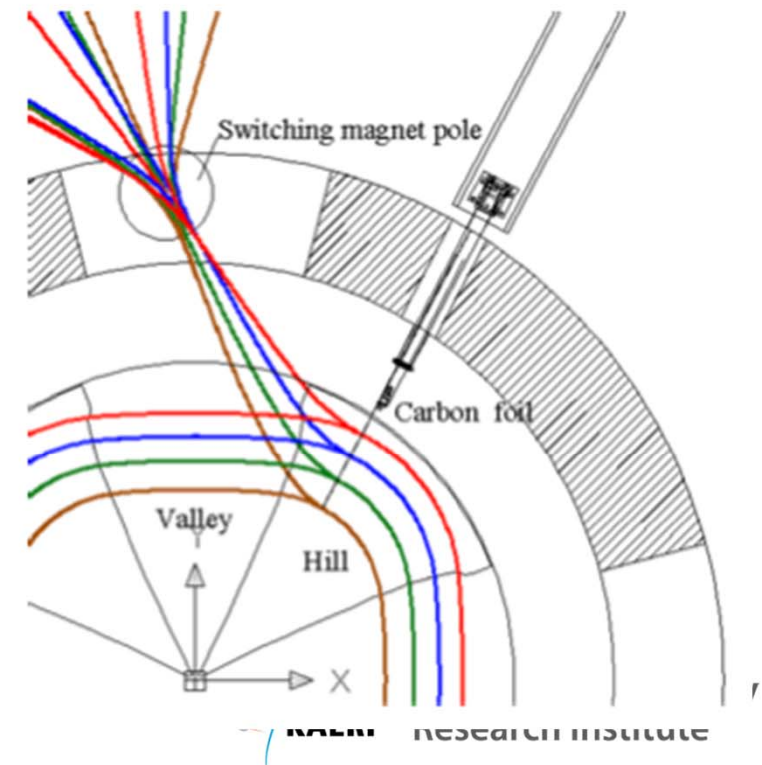
Number of Dees	2
Dee Angle	39 degree
RF Frequency	63.96 MHz
Harmonic Number	4th
Resonant Mode	$\lambda/2$ mode
Coupling Type	Capacitive
Q Value	7525
Dee Voltage	58 kV
RF Amp Output	50 kW
Characteristic Impedance	50 Ω

Beam Extraction System

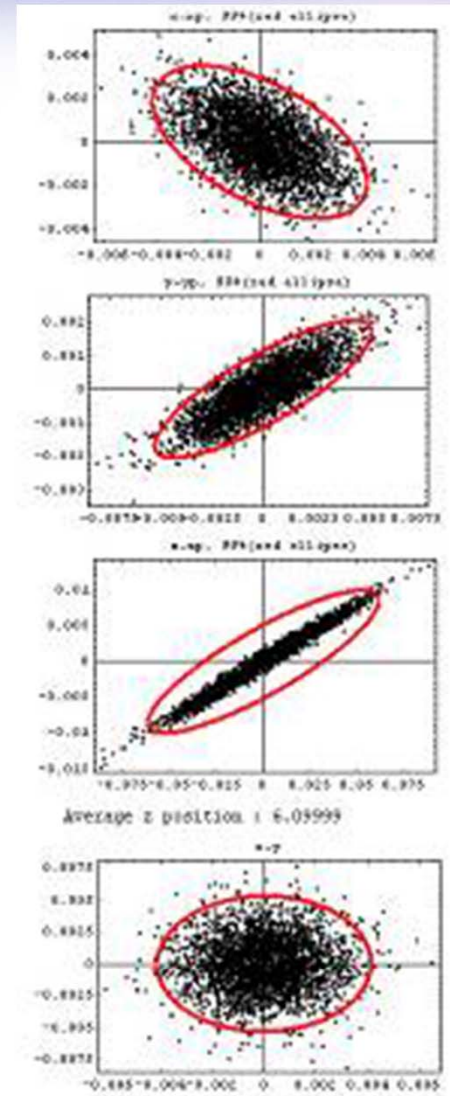
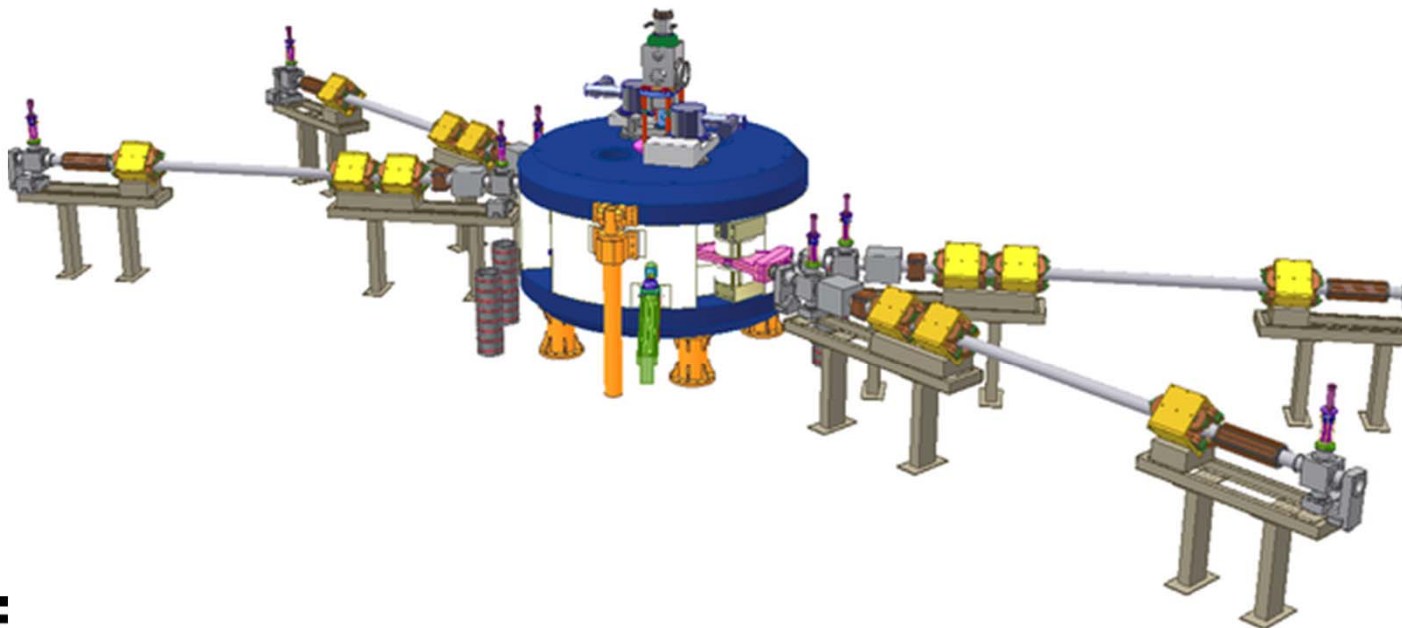
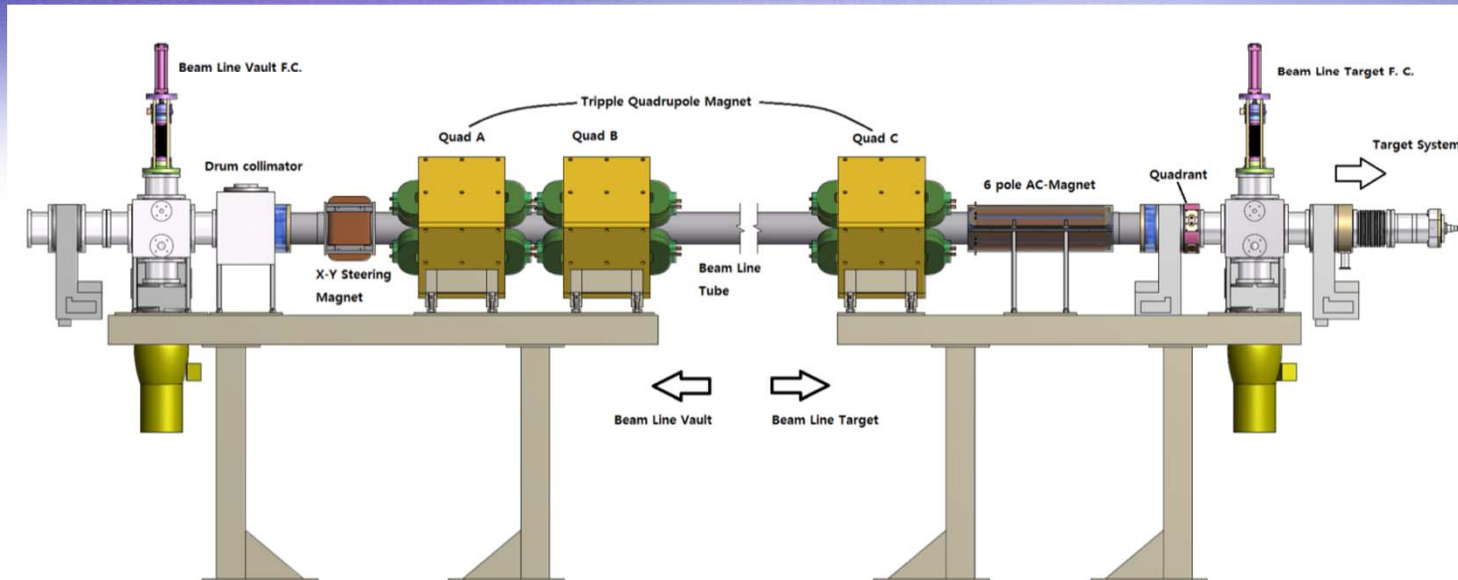


Carbon Striper	50 ug/cm ²
No. of Extraction Ports	2
No. of Beam Lines	4

Energy(MeV)	15	20	25	30
Extraction Radius(cm)	54.73	62.93	69.85	76.06
Extraction Angle(degree)	52.5	53.4	54.3	55.5



Beam Transport System

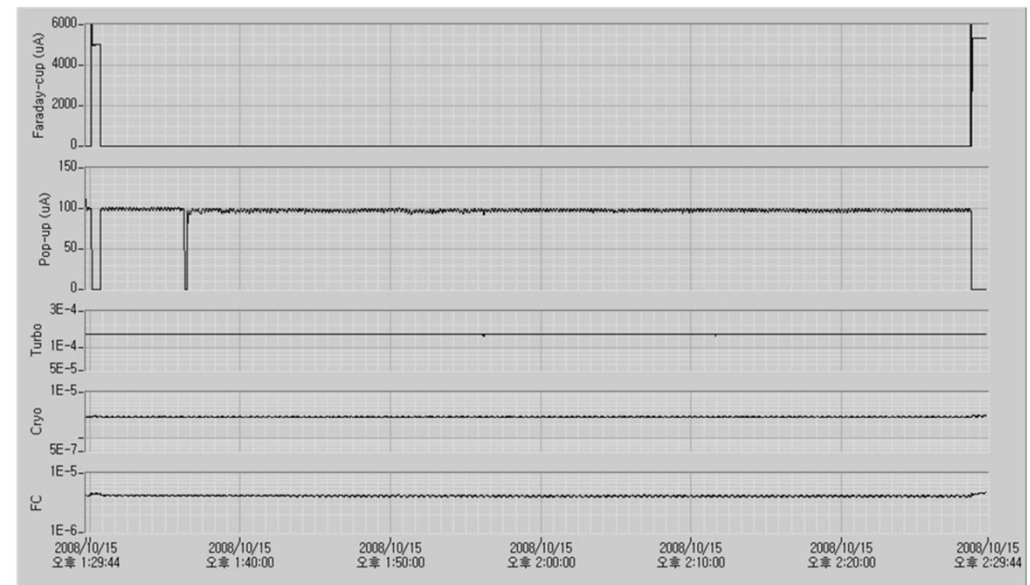
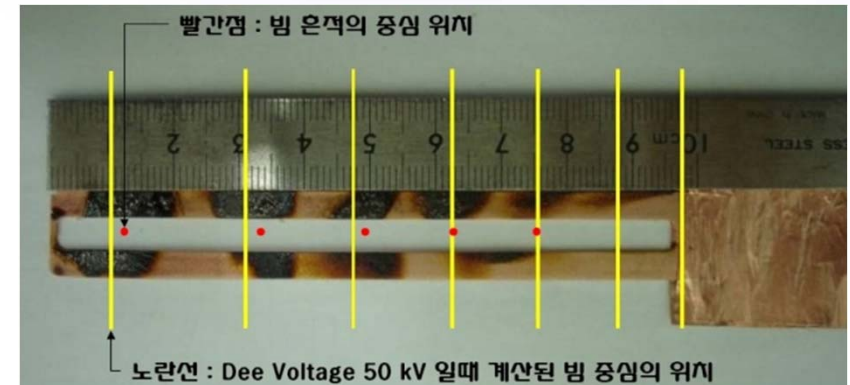


Assembled in temporary building



Test in temporary building

- Ion source test
- LEBT(Low energy beam transport)
- Center region test
- RF test
- 1.5MeV test : Pop-up probe
 - ✓ 100uA 1hr test ->
 - ✓ Max : ~630 uA

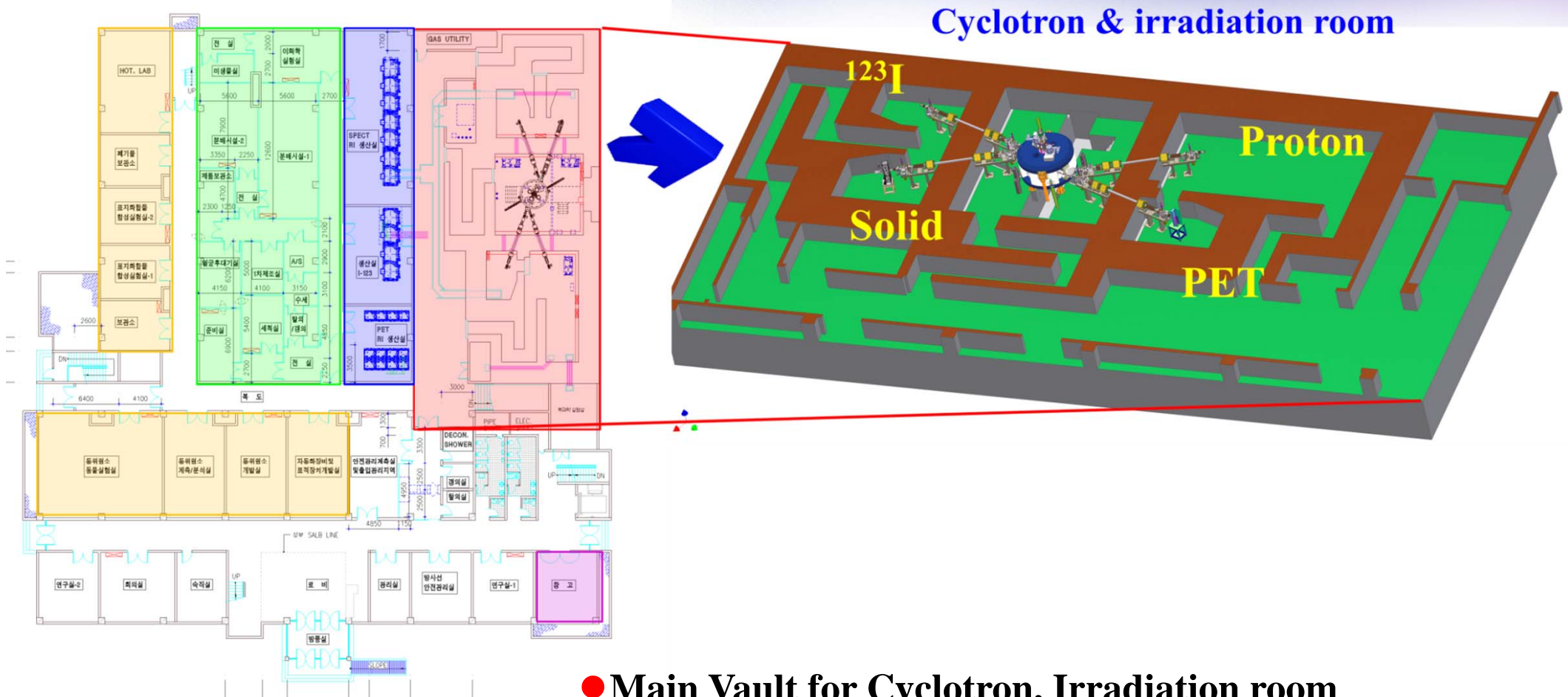


Cyclotron Research Facility



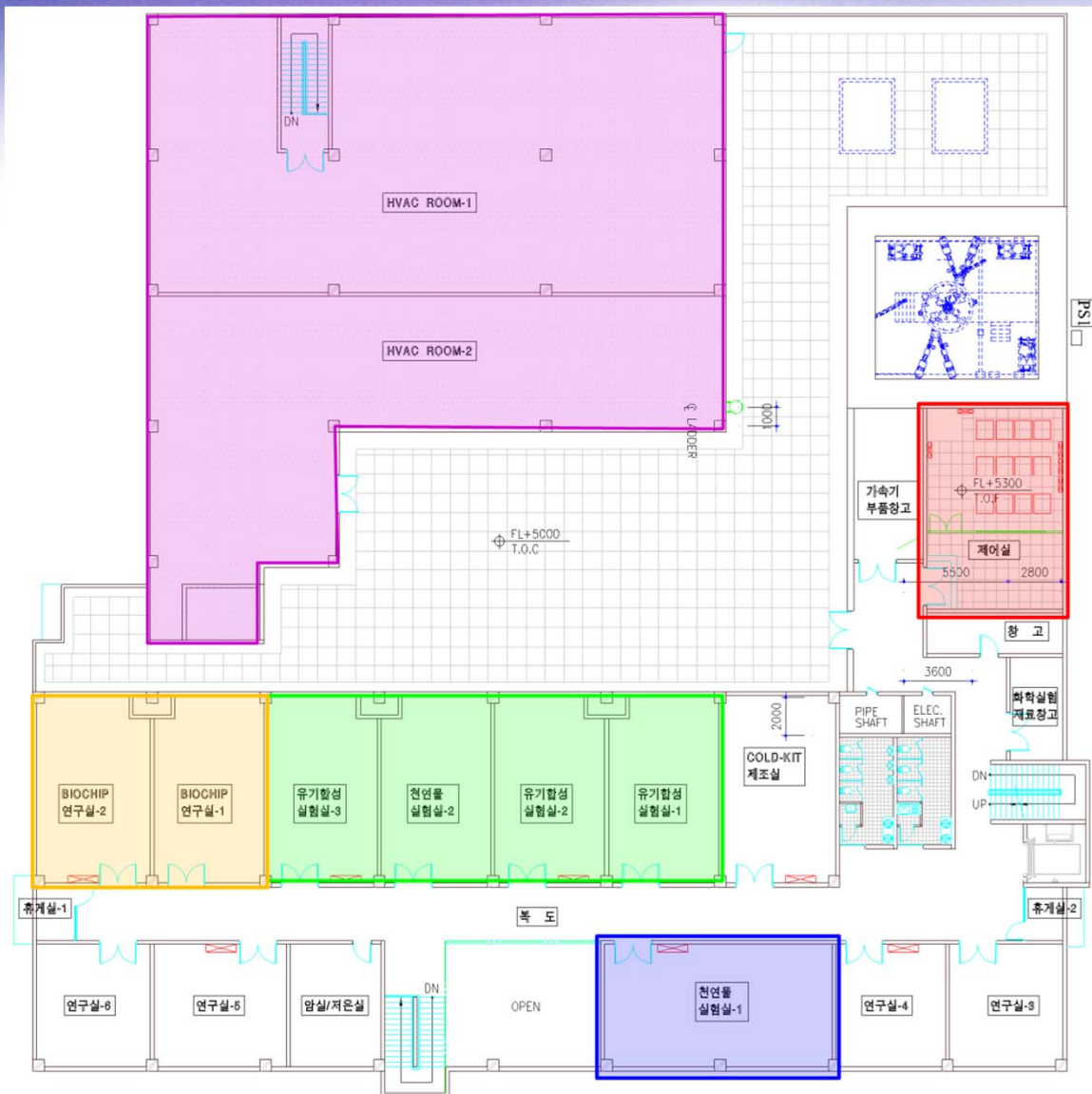
범 례		
① 본관동 및 연구시설	⑮ 정문 및 부대시설	⑳ RI-BIOMICS 연구동
② RFT 실용화연구동	⑭ 가 압 펌 프 장	㉔ 반대그라프(제1연구동)
③ 식당 및 편의시설	⑮ 농사준비 및 종자창고	㉕ 반대그라프(제2연구동)
④ 기숙사 1 (서래관)	⑯ 유 리 온 실 1	㉘ 수 목 포 장
⑤ 체 육 시 설	⑰ 방사선돌연변이 육종센터	㉙ 방사선기기공동연구시설
⑥ 부품소재제조평가센터	⑱ 유 리 온 실 2	㉚ 오 폐 수 처 리 시 설
⑦ 위험물 저장소	⑲ 우 주 바 이 오 돔	㉛ 첨 단 과 학 관
⑧ 방사선연구조사시설	㉔ 방사선방역시험연구시설	㉜ 전자선/X선가속기시설
⑨ 방사선기기연구동	㉕ 유 티 리 티 시 설	㉝ 방사선기기예비시험동
⑩ 중 앙 창 고	㉖ 감 마 파 이 토 트 론	㉞ 기 숙 사 2
⑪ 방사선국제협력관숙소동	㉗ 연 구 동	㉟
⑫ 방사선 국제협력관	㉘ 사이크로트론종합연구동	㊱

Layout of 1st floor



- Main Vault for Cyclotron, Irradiation room
- Hot cell zone : RI & target handling
- GMP zone : Radiopharmaceutical production & QC
- Hot lab & Animal Lab : RI labeled compound research

Layout of 2nd floor



- Cyclotron control room
- Cold Lab
- Sensor Lab
- HVAC

Construction

- 입자빔 및 동위원소 이용 연구
- 건면적 : 5,565.15 m²
- 지하 1층, 지상 2 층
- 공사기간: 2006~2009
- 투입예산 : 183억



Cyclotron research facility

◆ Hot cell

- ◆ SPECT hot cell : 7 set
- ◆ PET hot cell include research hot cell : 4 set
- ◆ I-123 hot cell : 2 set



<I-123>

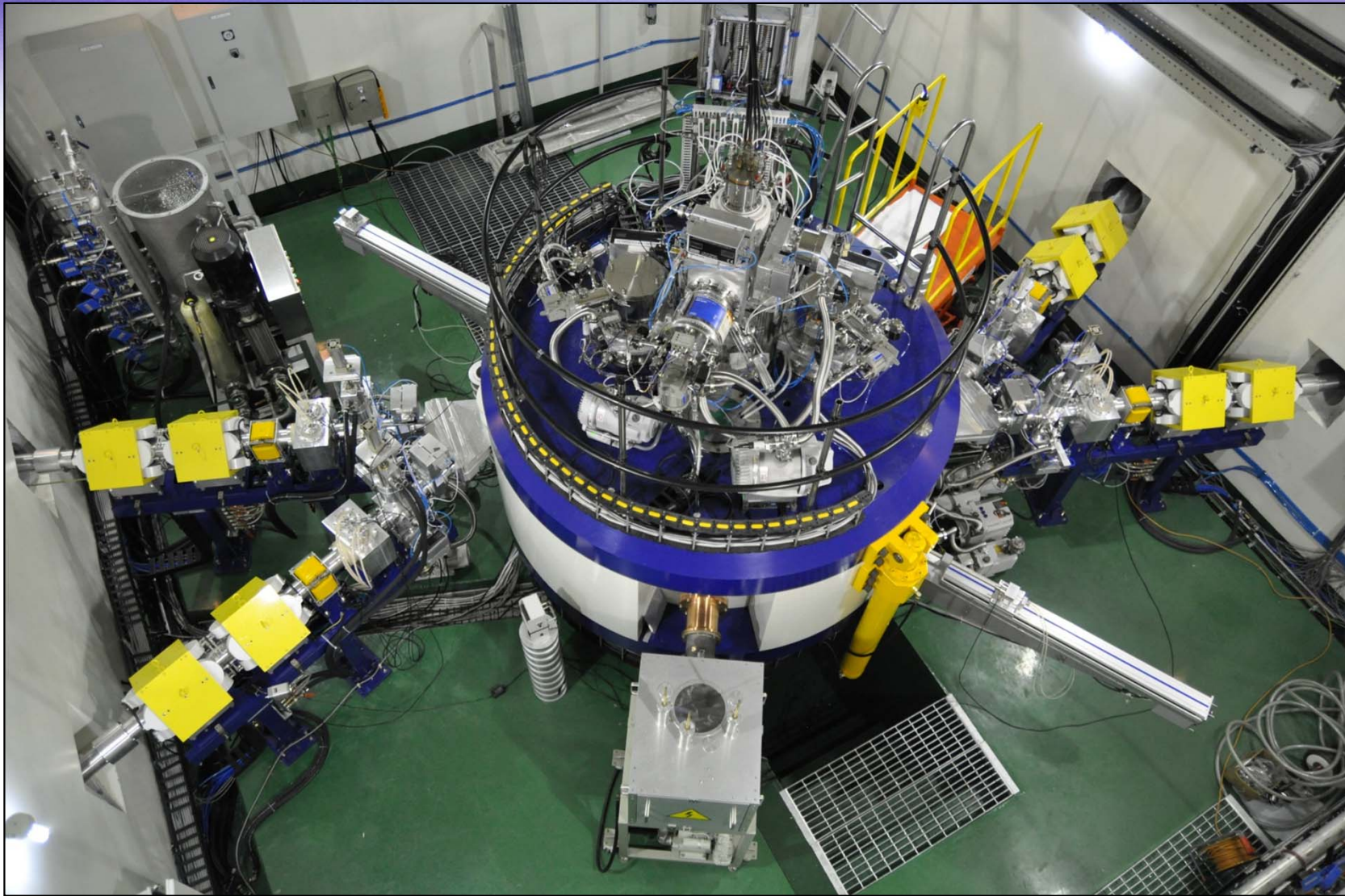


<SPECT>



<PET>

Cyclotron research facility



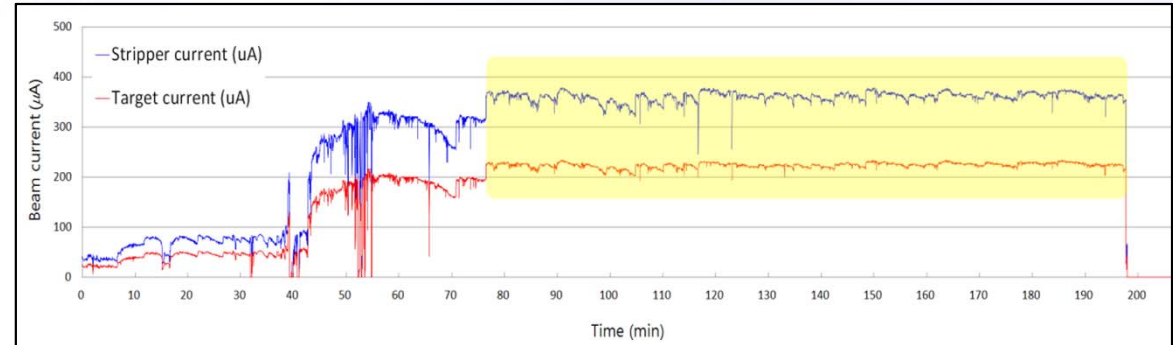
Installation of cyclotron

기 간	주 요 내 용
‘05.06 ~ ‘07.03	30MeV 사이클로트론 개발/제작
‘07.04 ~ ‘08.10	조립 및 1.5MeV 조사 실험 (가건물, 600 μ A)
‘07.07 ~ ‘09.04	사이클로트론 종합연구동 건설
‘08.11 ~ ‘09.03	사이클로트론 해체/이전
‘09.04 ~ ‘09.10	사이클로트론 조립 및 빔 수송 라인 설치
‘09.11 ~ ‘10.05	1.5 MeV 빔 가속 (가속기 내부)
‘10.06 ~ ‘10.11	15~30MeV 빔 인출 (빔라인 종단, max. 20 μ A)
‘10.12 ~ ‘12.05	자기장 보정 및 빔인출 (max. 100 μ A)
‘12.09 ~ ‘13.03	사이클로트론 정상화 TFT 구성 및 성능 개선
‘13.02	30MeV, 260 μ A 인출
‘13.03	200 μ A, 2시간 이상 빔인출 시험 2회

Cyclotron status

- 사이클로트론 출력 정상화 [2013.03.]

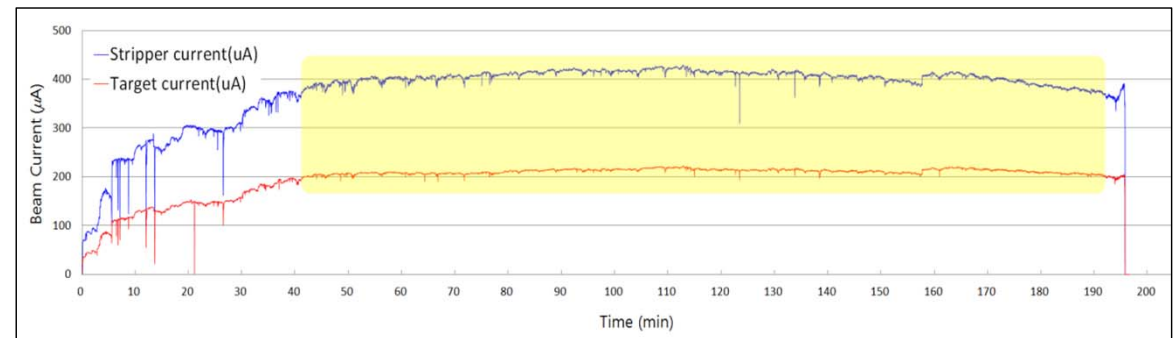
- 안정적 30 MeV 빔 인출
- RF Amp CW에서 출력 13~14kW
- 30 MeV, 200 μ A, 2시간 이상 인출



이온원 인출전류 1.5 mA, 평균인출전류 217 μ A, 2시간

- RI 생산 조사 : 2014~현재

- F-18 : 주 1회 (필요시)
- C-11, N-13 : 2015.11.~ 계획
- Ge-68 생산 조사 : 저전류, 48시간 수행



이온원 인출전류 1.5 mA, 평균인출전류 212 μ A, 2.5시간

Permission

방사성동위원소등 시설검사 결과서

(밀봉되지 아니한 방사성동위원소 사용 등 시설)

기관명	한국원자력연구원-첨단방사선연구소			
대표자	원장	허가증번호	15-39-00	
소재지	전라북도 정읍시 신정동 1266	최초허가일자	2013.10.15	
관련공문	문서번호-201306037	검사일자	2013.11.26	
검사자	송민철			
수검자	부서	방사선기기연구부	전화	063-570-3572
	직위	책임연구원	성명	허민구
방사선 안전관리자	부서	방사선안전·방호팀	전화	063-570-3271
	직위	선임연구원	성명	이진우
	면허번호	제583호	보수교육일	2013.07.22~2013.07.23
검사대상	변경허가일자	해당없음 (최초 시설검사)		
	선원	F-18 외 19개 핵종(총 20개 선원)		
	시설	생산시설 (사이클로트론 및 핫셀 등)		
검사결과	<p>* 결과 요약</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시설의 차폐성능은 양호함 (상세내용은 별첨 참조) - 핫셀의 차압 및 각종 기능은 시설운영에 적합함. - 고체 폐기물 저장시설, 액체폐기물 저장, 기체유출물 감시 설비가 적합함. - 배기설비 성능시험 및 사용 필터가 적합함. - 시설 운영에 필요한 안전관리 인력이 적합함. <p>■ 합격 □ 불합격</p>			
검사원의견	<p>○ 원자력안전관계 법령의 생산시설 기준에 부합함.</p> <p>○ 생산검사는 생산되는 방사성핵종이 비밀봉선원 및 연구목적 이므로 별도로 요구되지 않음 [정기검사시 각 핵종의 생산관련 내용(생산절차 및 방법)을 확인할 예정임]</p>			

[별지 제43호서식]

(앞 쪽)

제 15-39-00 호

방사성동위원소생산허가증

상 호 : 한국원자력연구원-첨단방사선연구소

소 재 지 : 전라북도 정읍시 신정동 1266

대 표 자 : 원장

사업자번호 : 314-82-00813

방사성동위원소의 종류 및 수량 :
상세내역 별첨

생산장소 :
상세내역 별첨

저장시설의 저장능력 :
상세내역 별첨

허가조건 :
생산된 동위원소는 연구목적으로만 사용할 것.

허가일자 : 2013.10.15

위와 같이 「원자력안전법」 제53조 및 같은 법 시행규칙 제58조제7항에 따라
방사성동위원소의 생산을 허가합니다.

2013년 10월 15일

원 자 력 안 전 위 원 회



210mm × 297mm (표준공서(국) 1250(㎡))

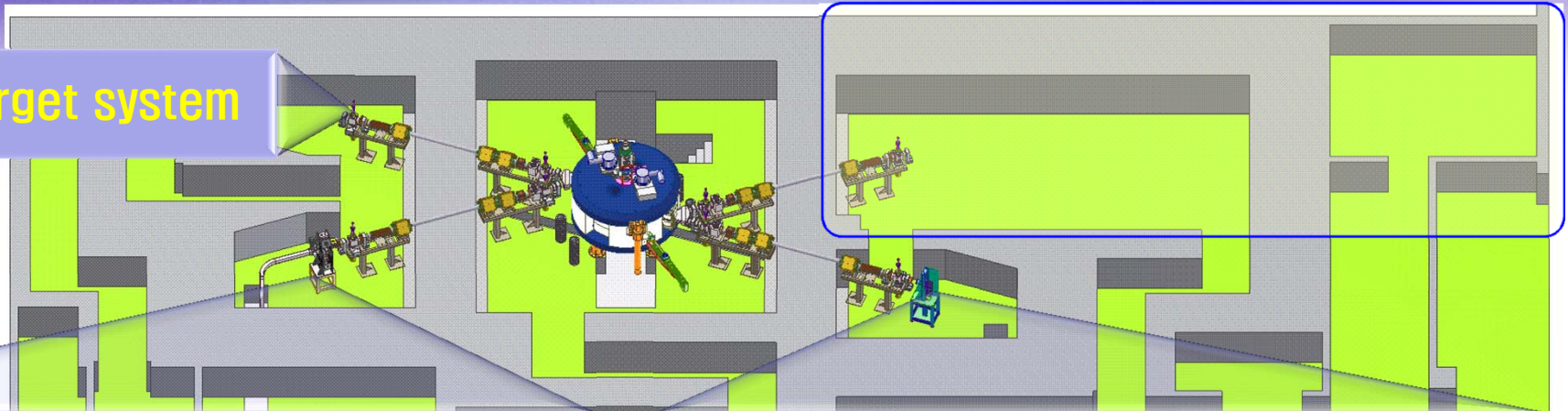
Cyclotron Facility

Applications of the cyclotron

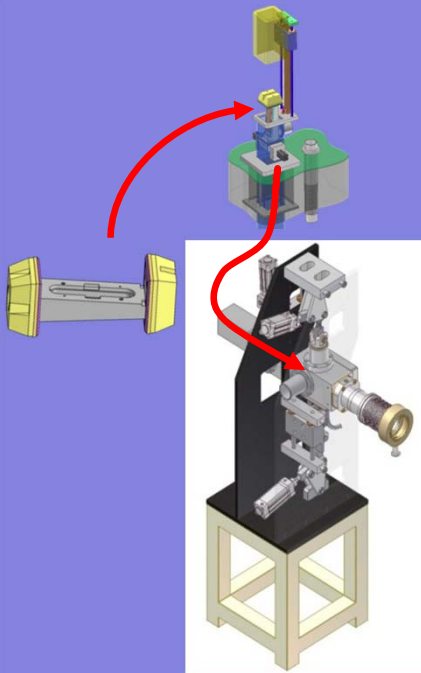
- Isotope production
- Nuclear physics
- Material physics based on ion beam
- Radiation effects facility : radiation hardness,
single event effects in semiconductor
- Radiotherapy for tumor
- Microbeam technique
- Elemental analysis : PIXE, PIGE, Activation Analysis
- Radiation Breeding
- Positron Emission Tomography
- Atomic Mass Spectrometry

Cyclotron facility

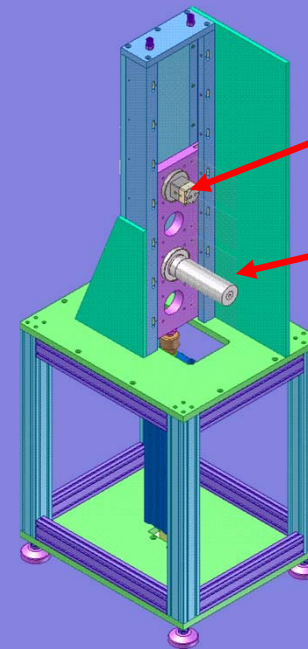
Xe-124 target system



Solid target system



PET target system



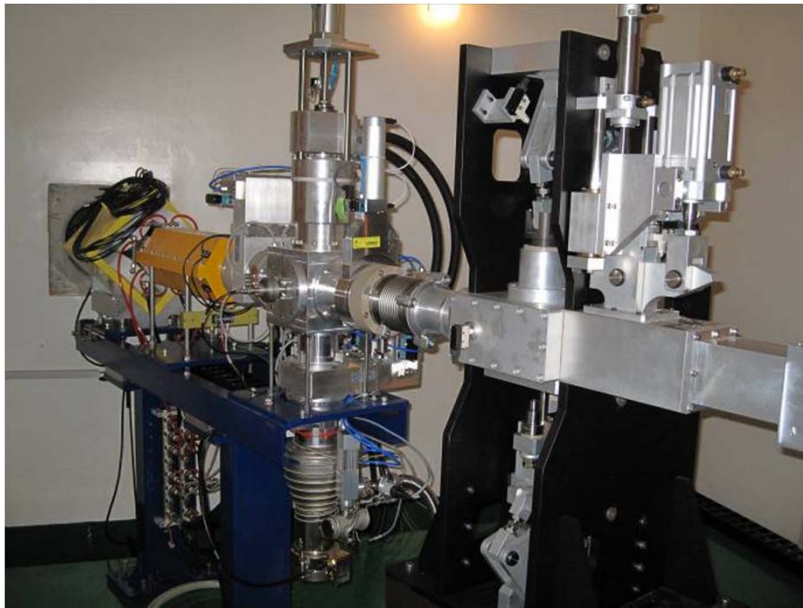
Liquid target

Gas target



Targetry for RI Production

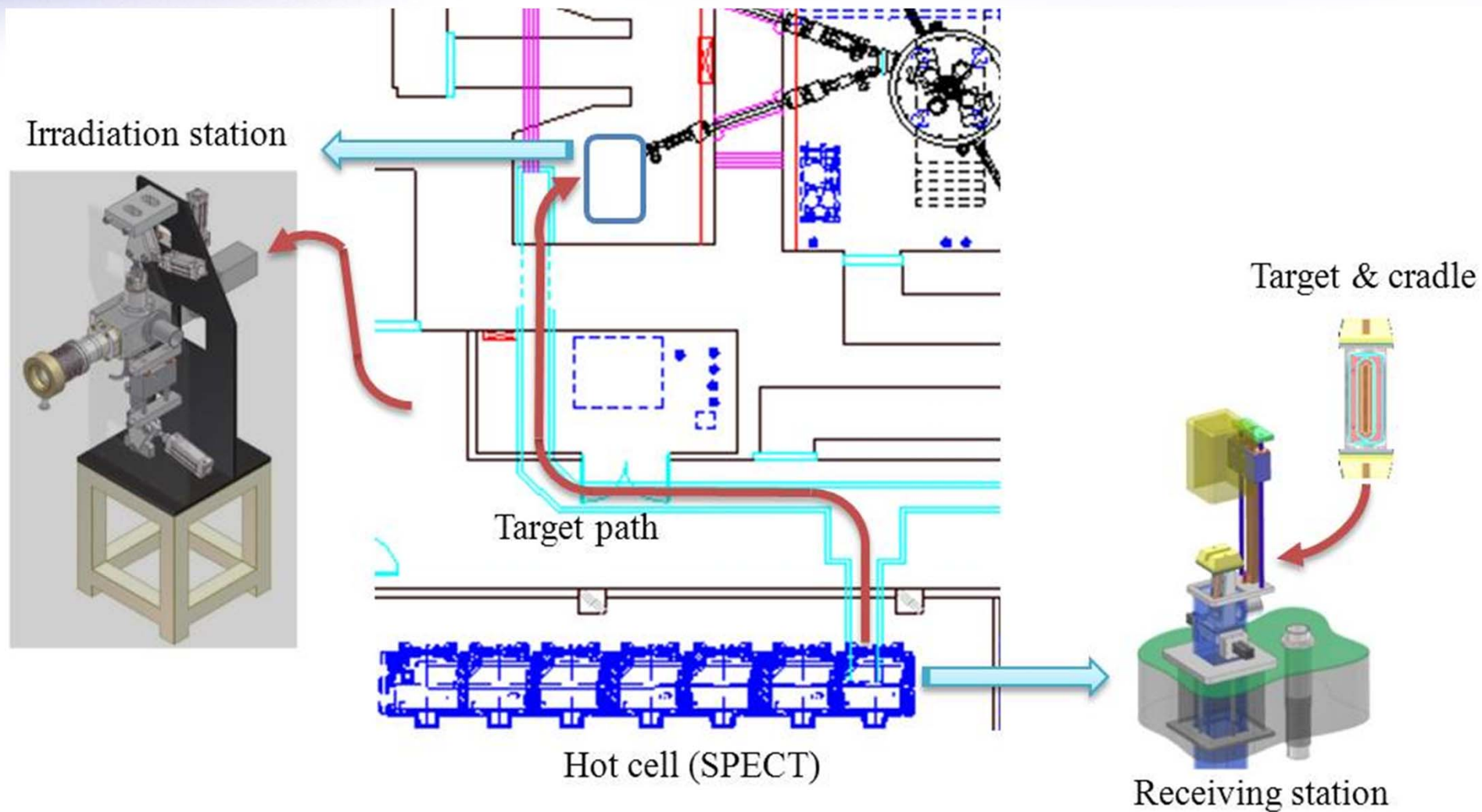
- ◆ Solid target irradiation station



- ◆ **TI-201**, Ga-67, I-124, In-111, Pd-103, Ge-68, etc

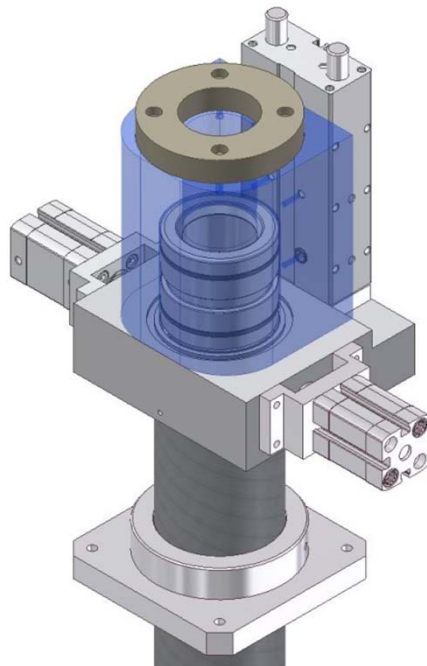
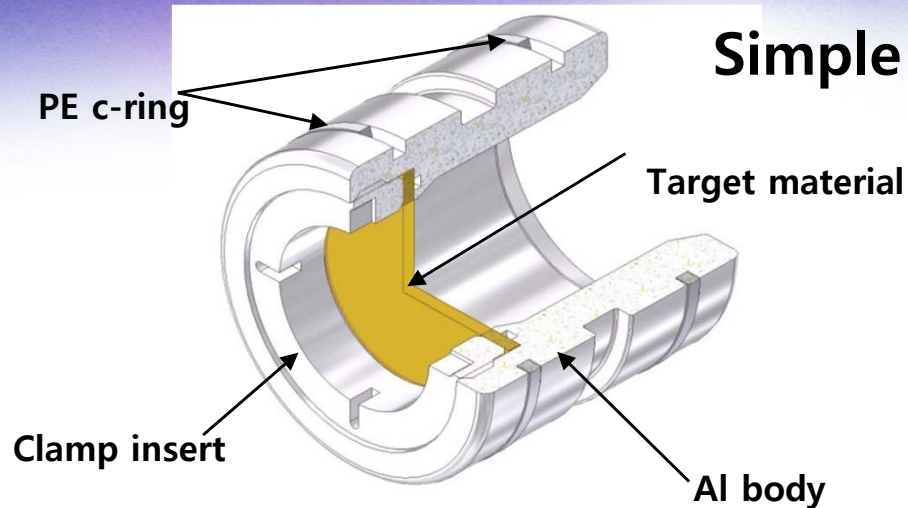
Targetry for RI Production

◆ Solid target system

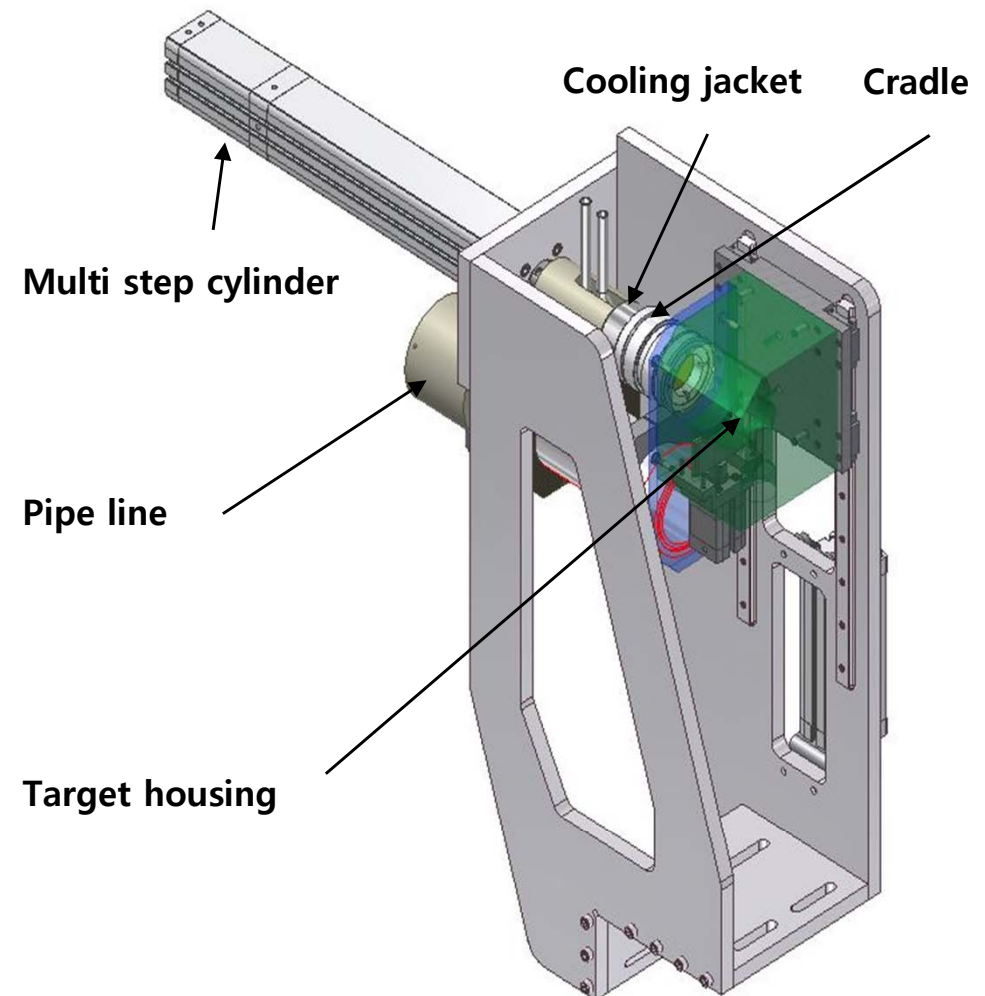


Targetry for RI Production

Simple Solid Target system



Receiving Station in Hot-cell



Irradiation Station

Targetry for RI Production



Multi-target irradiation station(Liquid and gas target)

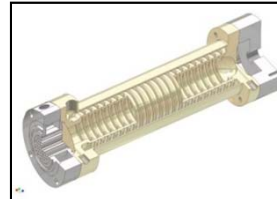
- ◆ C-11, F-18, O-15, N-13.....
- ◆ Ge-68, Ti-44



Research for Isotope production

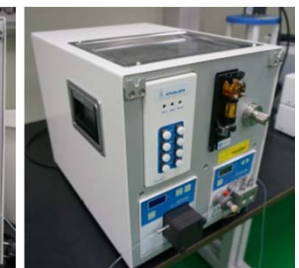
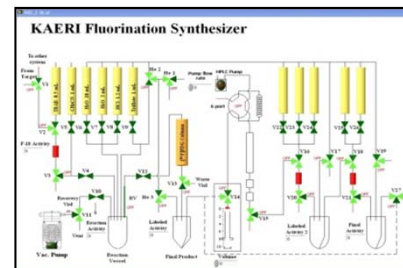
Target and Targetry

- High current targetry for RFT-30 cyclotron : Solid & PET target
- High yield C-11 gas target : 99%
- High current solid target
- Large volume/high yield liquid target for F-18 production

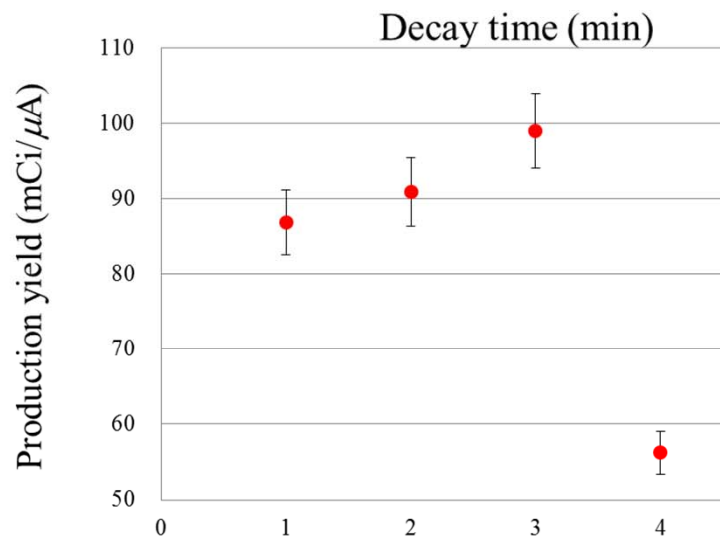
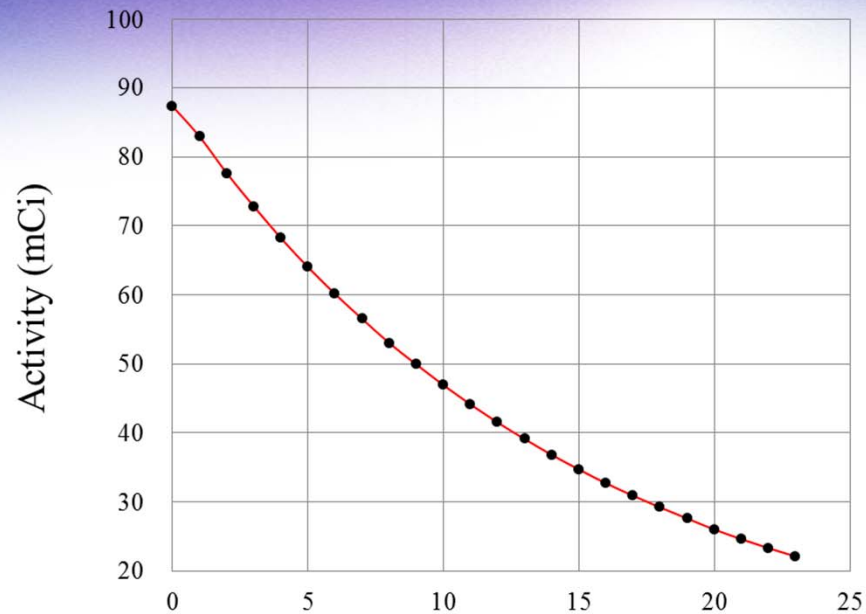


Automation

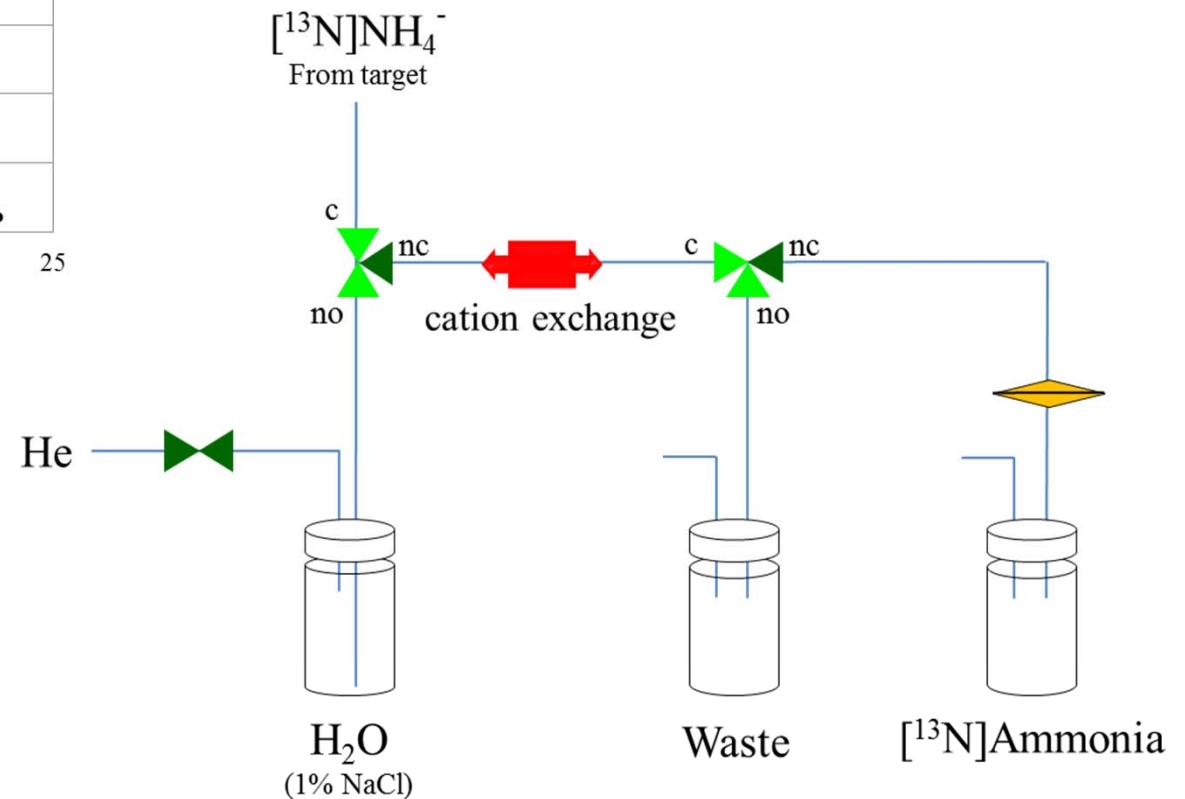
- FDG synthesizer with TCP/IP communication
- FDG/FLT synthesizer with purification system
- Acetate synthesizer
- Purification unit
- Target control system



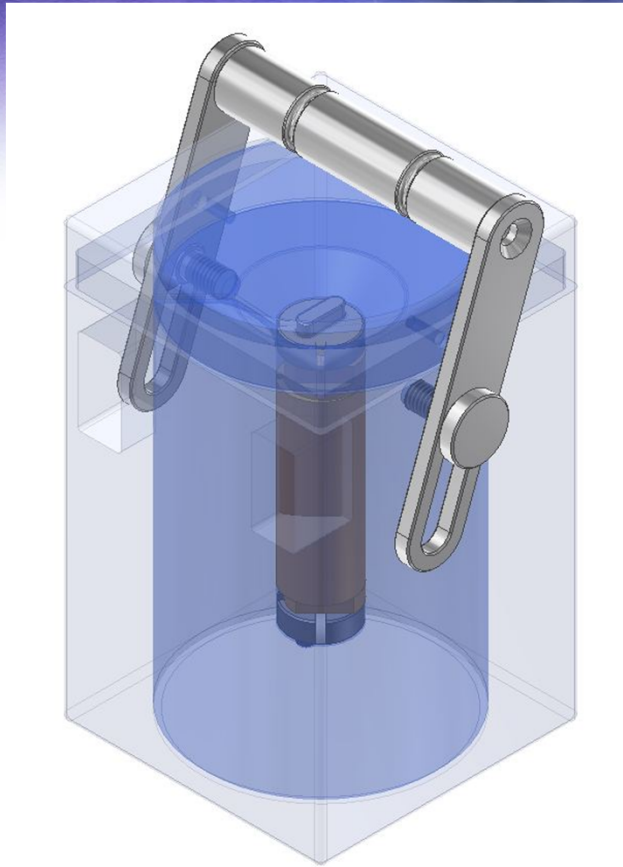
N-13 production



- Irradiation energy to target water : 12 MeV
- Target volume : 1.8 ml or cc
- Recovery of [^{13}N]Ammonia : >90%



$^{68}\text{Ge}/\text{Ga}$ generator : under develop



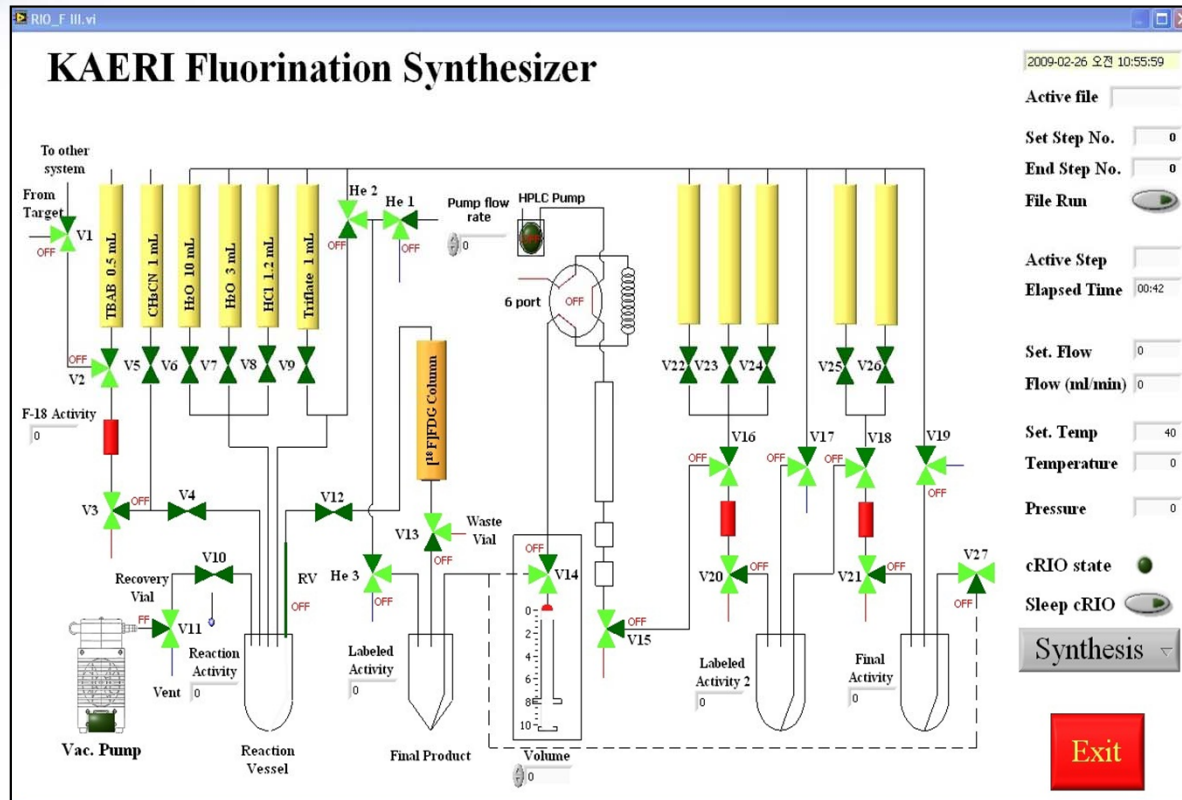
Parts	Material
Shield	Tungsten
Case	Al (Hard Anodize)
Column body	PEEK



Specification	
Shield thickness	Tungsten 30 mm
Case	90 x 90 x 155
Max. Activity	50 mCi

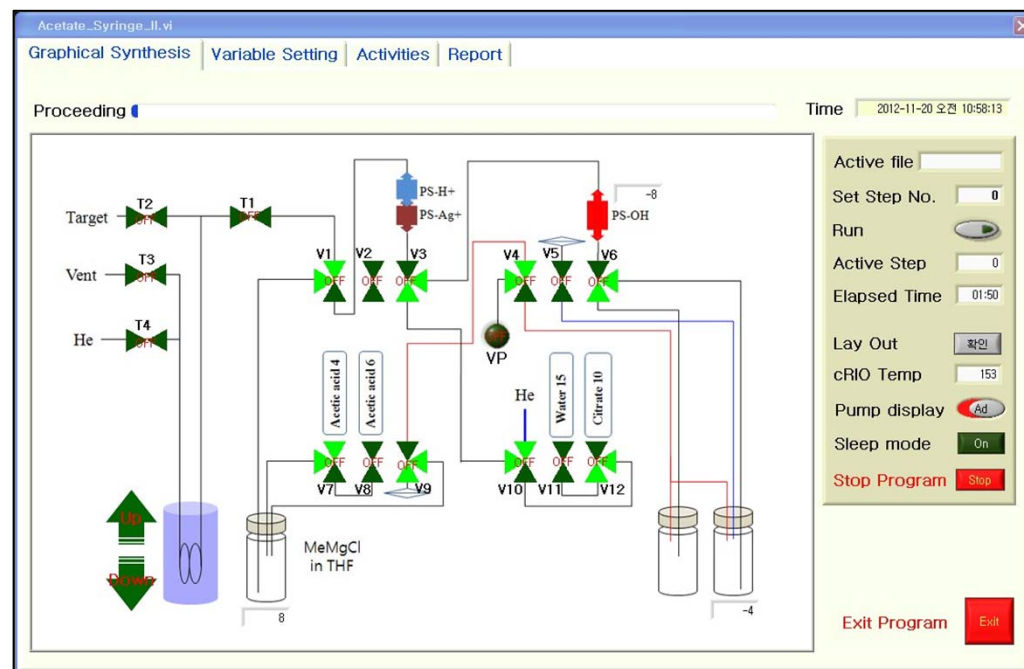
Development of Synthesizer

[¹⁸F]Fluorination Synthesis Module



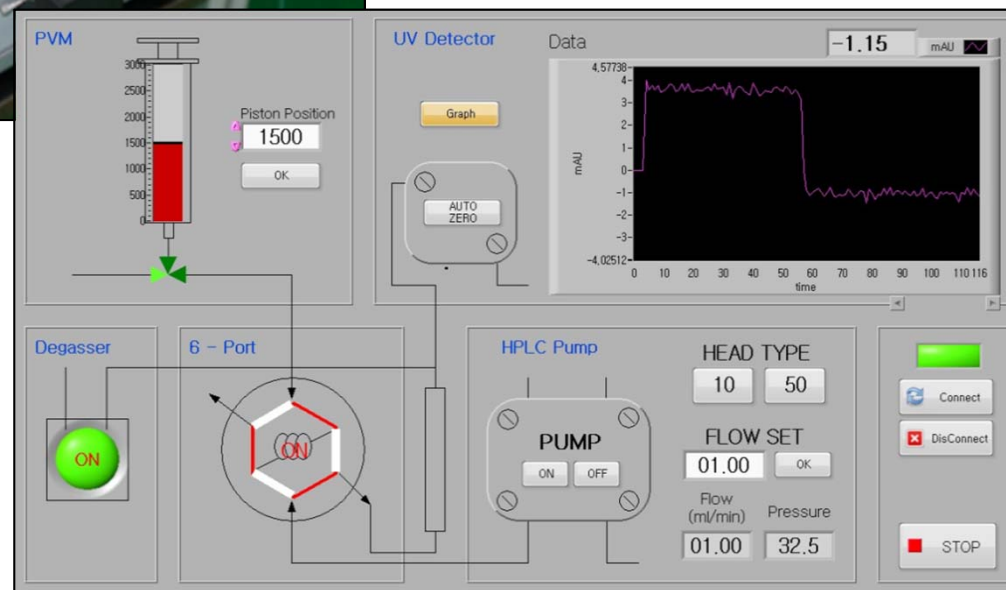
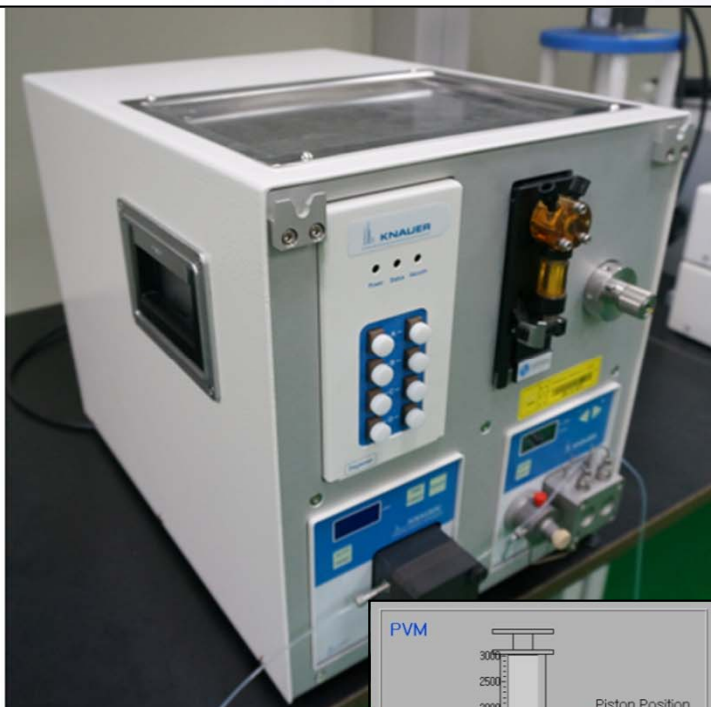
Development of Synthesizer

[^{11}C]Acetate Synthesis Module



Development of Synthesizer

Purification Module



Research facility



Iodine 표지 전용



PET용 핵종 전용



Chromatography
(LC/GC/IC)



형광분석장비

Research facility



동물부검실



사육캐비닛



세포배양실



PET/X-ray

Future plan

Upgrade of cyclotron

➤ 30MeV 사이클로트론의 취약점

✓ 사용자편의성 :

- 프로그램 이원화 : 2명 이상의 운전인력 필요
- 비정상 상태에서 복구에 장시간 소요 : 정비편의성 개선 필요

✓ 빔전류 안정성 :

- 정전류 유지 문제 : 운영자의 지속적인 관찰과 조절 필요
- 신호/잡음비 등으로 인하여 저전류($1\mu\text{A}$ 이하) 인출 불가능

✓ 빔 인출 효율

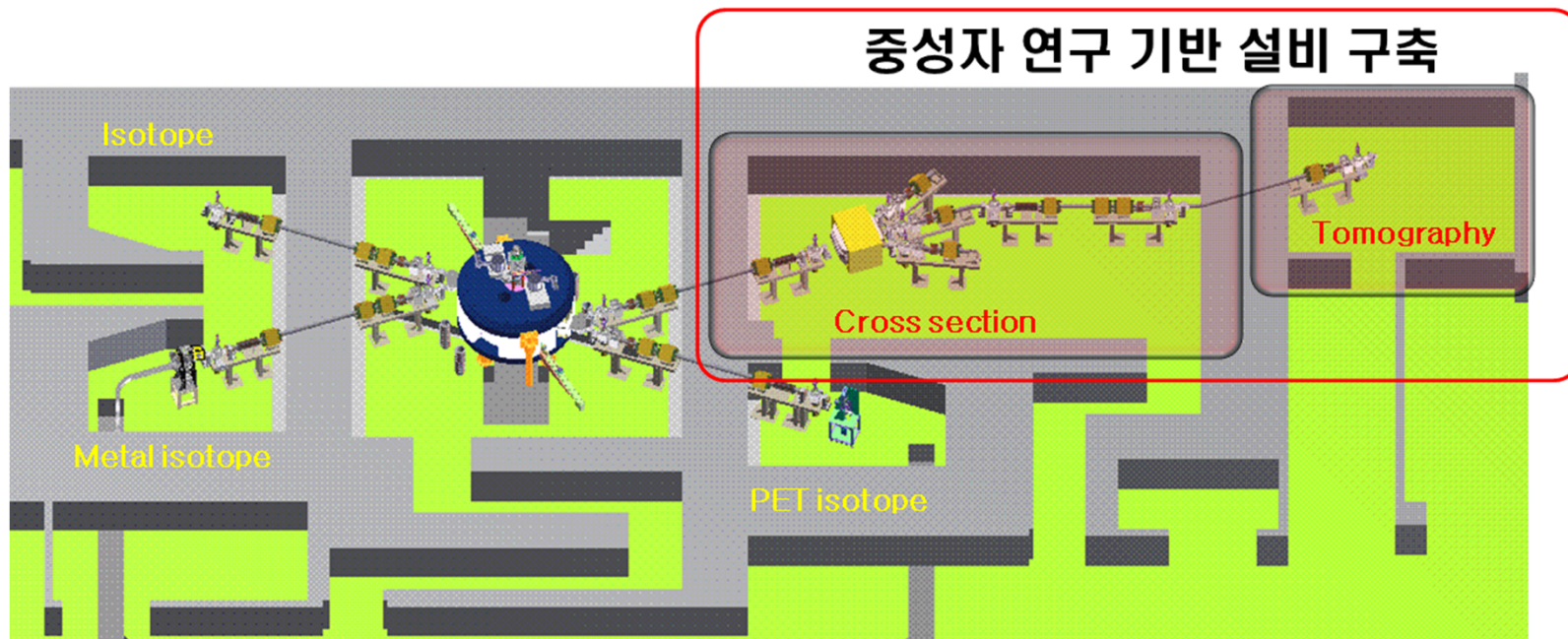
- 이온원 출력 대비 최종 빔인출 효율 : 설계값의 70%

Upgrade of cyclotron

- 제어시스템 개선 및 통합제어프로그램 구축
- 이온원 및 LEBT(low energy beam transport) 개선/최적화
- 고주파시스템(RF system) 개선 및 빔 인출 성능 개선
- 최고 출력 peak current $300\mu\text{A} \rightarrow 500\mu\text{A}$
- Auto tune mode : 2시간 평균 $300\mu\text{A}$, 10시간 평균 $200\mu\text{A}$ 빔 인출
- 양방향 동시 빔 인출 (dual beam extraction) : 양방향 동시 $>100\mu\text{A}$

Upgrade of beam line facility

- Planning of the expansion of facility for the basic research using proton beam
 - ✓ Beam line for high current experiment
 - ✓ Isolated room and beam line for beam experiment
 - ✓ Beam line for neutron generation and neutron beam research





*Thank you
for your attention*

Prof. Chai Jong Seo, Kim Sang Wook, Kim Yu Seok

Dr. Yang Seung Dae, Park Jeong Hoon, Kong Young Bae, Lee Eun Je

KIRAMS cyclotron members