

# Operation Status of a KAHIF for nuclear fusion/fission materials

**2025/05/21**

**Seunghyun Lee\***, Dong Won Lee, Dae-sik Chang,  
Sangbeen Lee, Kihyun Lee, Sung-Ryul Huh, Seok-kwan Lee

**Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)**  
**Nuclear Physics Application Research Division**





KAHIF 소개 & 예약 안내



KAHIF 운영일정 안내

# CONTENTS

- 01 Introduction**
- 02 Overview of a KAHIF**
- 03 Beam-service Summary**
- 04 Major Upgrades of a KAHIF**
- 05 Conclusion**



Hello,

## 중이온빔 조사시험시설(대전)

한국원자력연구원 혁신원자력시스템연구소는 가벼운 헬륨 이온과 더 무거운 중이온을 핵자당 1MeV로 가속 후 표적에 조사할 수 있는 시설을 구축하여, 극한 원자로 및 핵융합로 재료를 포함한 산·학·연 다양한 분야의 재료 조사 시험을 지원하고 있습니다.



이용 문의

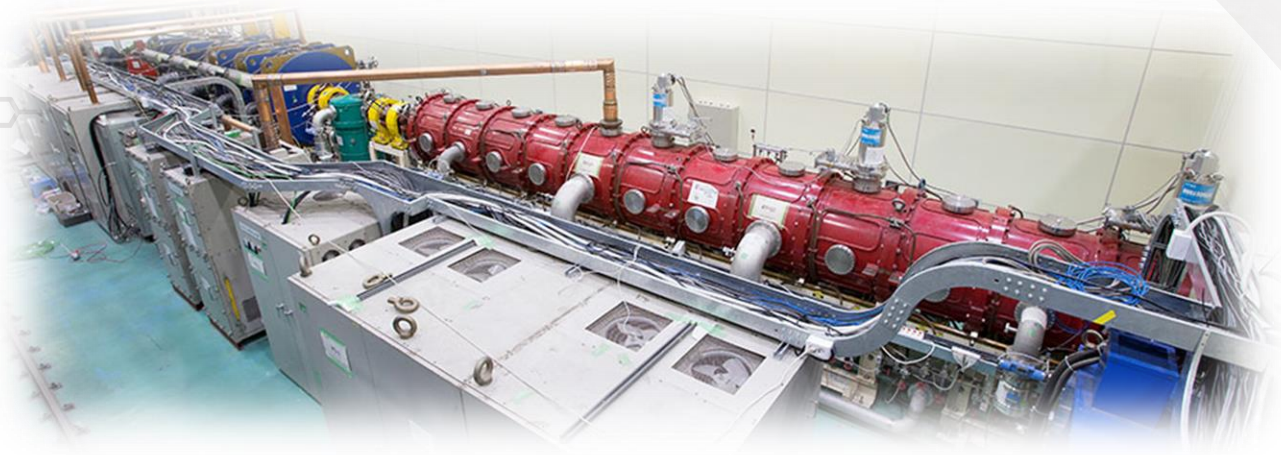
융복합양자과학연구소  
핵물리응용연구부  
이승현 선임연구원

### 이용 문의 \_ More Information

#### 문의 Contact

- 핵물리응용연구부 | 이동원 (Dong Won Lee) E-mail : dwlee@kaeri.re.kr Phone: +82-42-868-4659
- 핵물리응용연구부 | 이승현 (Seunghyun Lee) E-mail : lsh0810@kaeri.re.kr Phone: +82-42-868-8490





*Quantum Engineering and Nuclear Fusion, 2025 KNS*

# Introduction

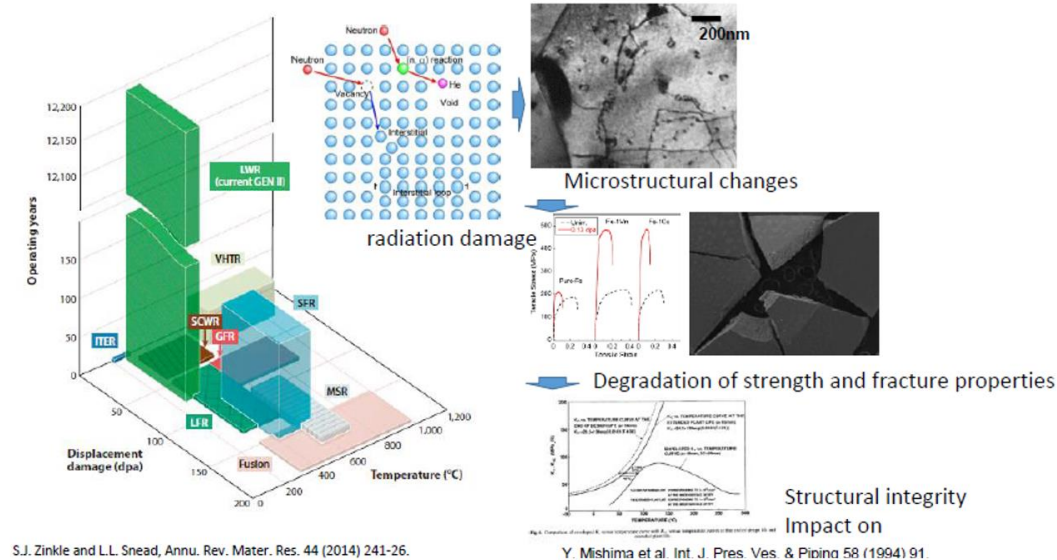
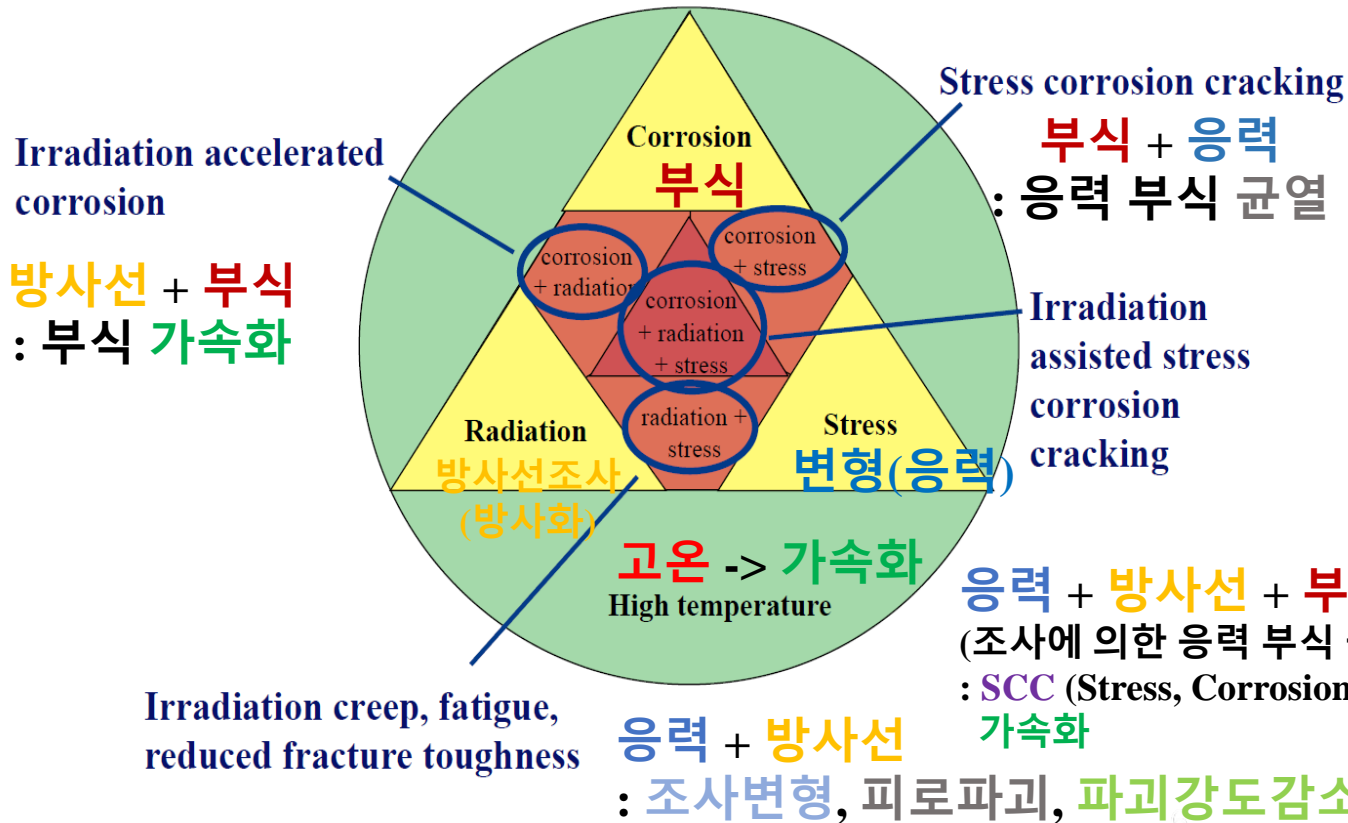
01



# 01 Introduction

## 중성자 조사가 재료에 미치는 영향

- 경화, 불순물 침전, 연성저하, 상불안전성, 변형, 부피팽창, 취화 등 재료 변형과 손상 야기
- 원자로/핵융합로 구조 건전성에 영향 → 설계/제작 위해 검증 해야할 핵심 기술

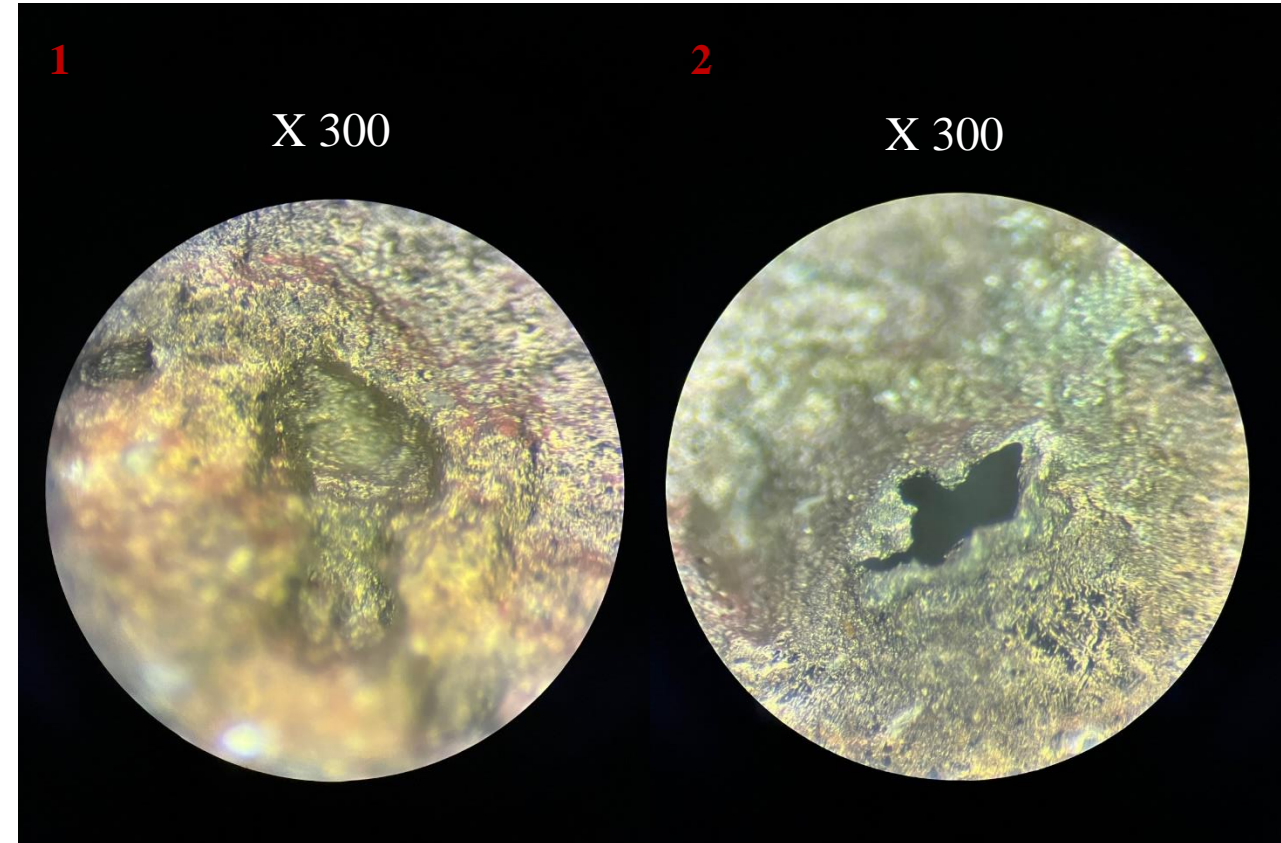
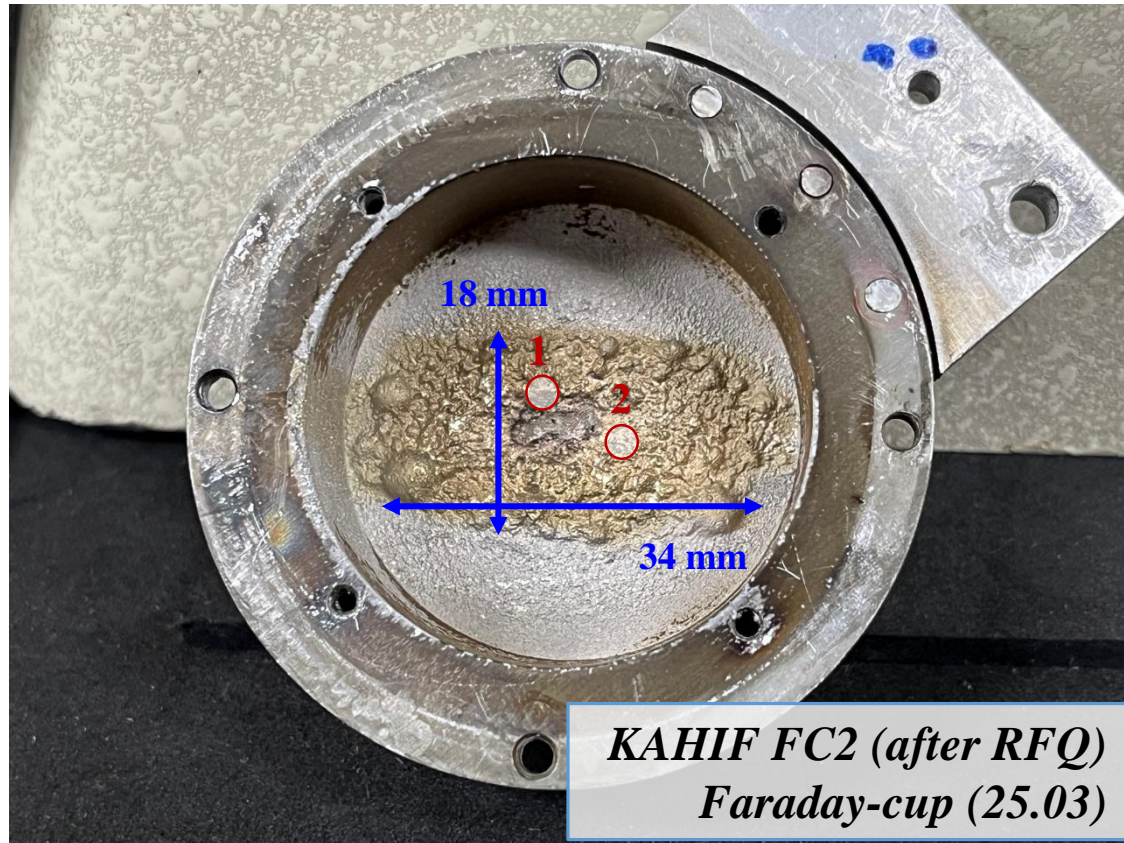


[1] Challenges to the use of ion irradiation for emulating reactor irradiation, Gary S. Was, J. Mater. Res., Vol. 30, No. 0, May 14, 2015.

# 01 Introduction

## 중성자 조사가 재료에 미치는 영향

- 경화, 불순물 침전, 연성저하, 상불안전성, 변형, 부피팽창, 취화 등 재료 변형과 손상 야기
- 원자로/핵융합로 구조 건전성에 영향 → 설계/제작 위해 검증 해야할 핵심 기술



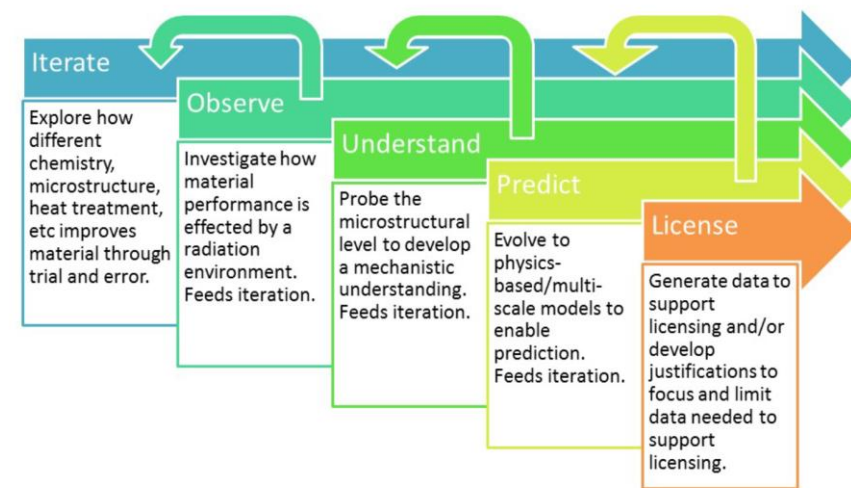
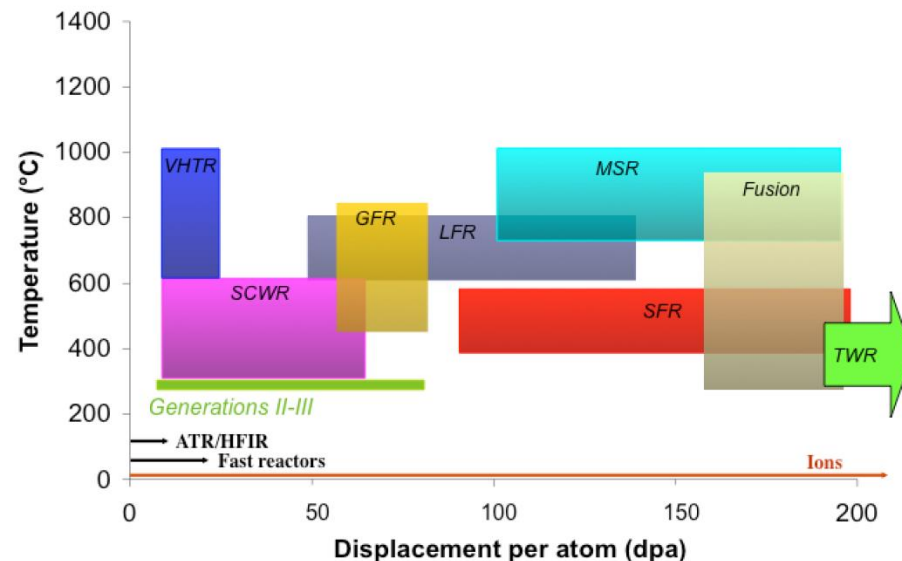


# 01 Introduction

## 원자력/핵융합 재료 이온빔 조사

### 이온빔 이용 원자력발전 기술 로드맵 (2017)

- ✓ Nuclear Science User Facility (NSUF)에서 이온빔을 활용한 원자력에너지기술에 대한 로드맵 제시
- ✓ 원자력 재료시험 평가시험에 이온빔 조사가 가장 **효과적**이며, 추후 **상용화 제품에 사용 가능한 검증 기준으로서 제시 가능함을 확인함**
- ✓ SMR, MSR, 핵융합실증로 등 미래 원자력/핵융합 시스템 개발의 국가 경쟁력 확보를 위해 **핵융합/원자력 재료 (ex. KAERI-ARAA강) 개발을 위한 평가/검증 기관이 절대적으로 필수적임**



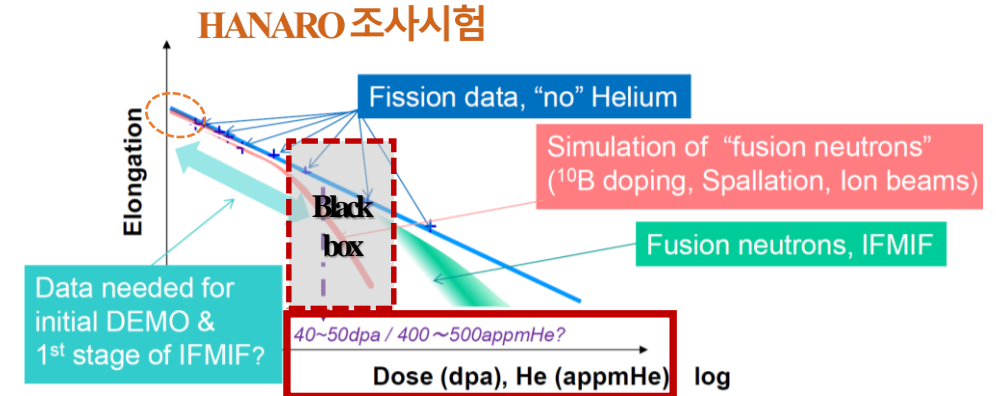
[2] Heidrich, B., Pimblott, S. M., Was, G. S. Zinkle, S. "Roadmap for the application of ion beam technologies to the challenges of nuclear energy technologies", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 441, 41-45, 2019.

[3] J. Rory Kennedy, et al., "Roadmap for the application of ion beam technologies to challenges for the advancement and implementation of nuclear energy technologies", INL/EXT-17-43130.

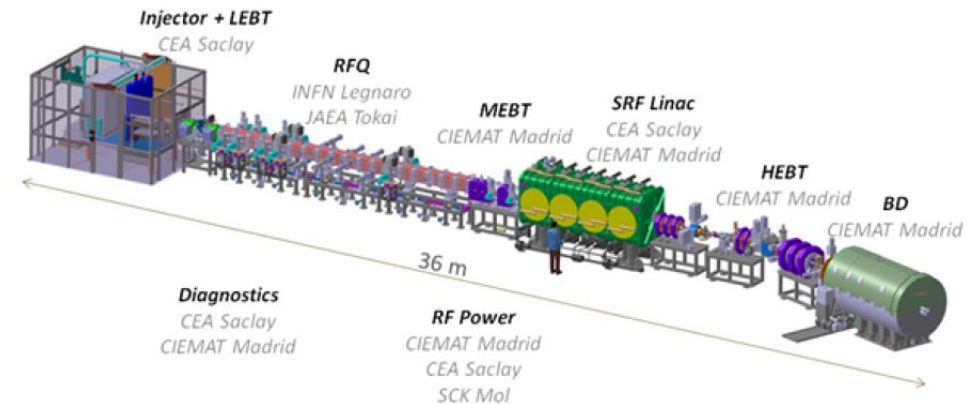
# 01 Introduction

## 중성자조사손상 모사 시험시설 필요성

- 원자로(연구로/경수로/고속로)활용 : **방사화 문제 + 긴 시간**
- 14 MeV D-T 반응 대비, IFMIF 구축 (가속기 기반)  
: 천문학적 구축 비용 소요 + 국가별 구축/운영 어려움
- 이온가속기 활용** : 재료 및 구조재 개발/평가 단계에서 조사성능 검증/보완의 **가속 모사 연구 가능**
  - ✓ 해외 시설의 빔타임 제한, 시험비 등 국내 수요 대응 필요
  - ✓ **핵반응 없이, 별도의 방사능/방사선 관리 필요 없음**
  - ✓ **다양한 이온종을 활용한 조사 손상 및 재료 특성 평가 가능함**



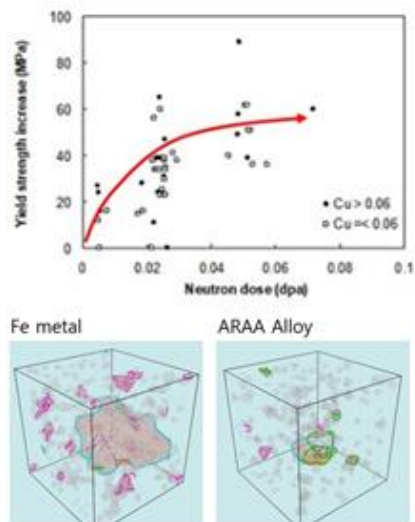
### 이온빔 조사손상 연구의 필요성



### IFMIF-DONES : 핵융합로 재료 연구를 위한 국제핵융합재료조사장치



# 01 Introduction



재료 설계/예측  
전산모사기술

Prediction  
Observation & test



KAHIF 연계  
조사시험/평가체계 구축

Screening  
Test results DB



하나로 조사시험  
/조사후시험평가

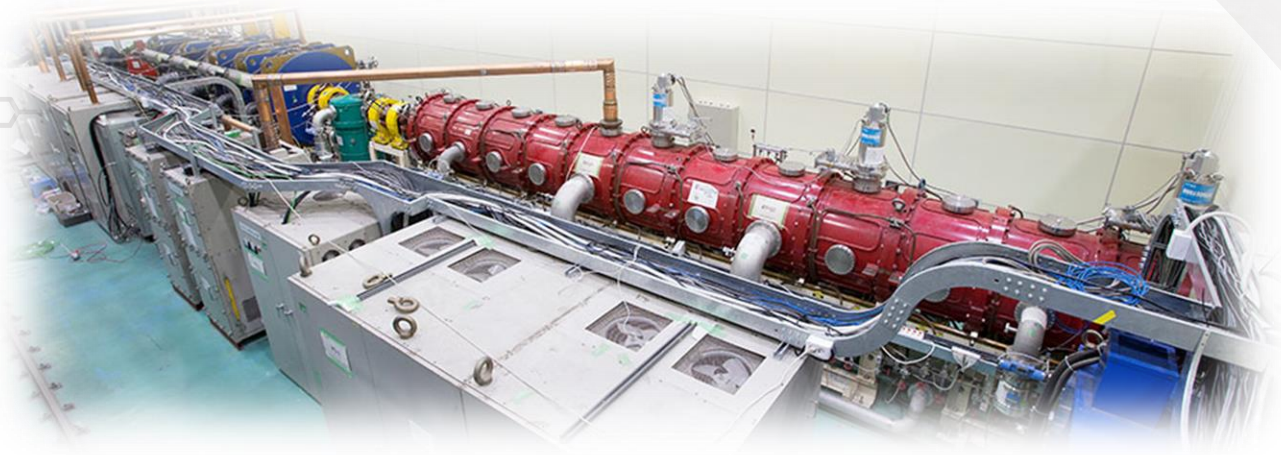
DB/certificate  
Evaluation/  
Certification



평가/검증 DB 기반  
표준인허가 지원

## ■ Main-role of a KAHIF

- 핵융합/원자력 재료 평가 위한 모사시험 (Simulation Screening) **국내 수요 대응**
- 핵융합 재료의 경우, 평가/검증 DB 기반 **표준인허가** 활용 지원



*Quantum Engineering and Nuclear Fusion, 2025 KNS*



02

# Overview of a KAHIF



## 02 Overview of a KAHIF

### KAERI Heavy-ion Irradiation Facility (KAHIF) : 중이온빔 조사시험시설

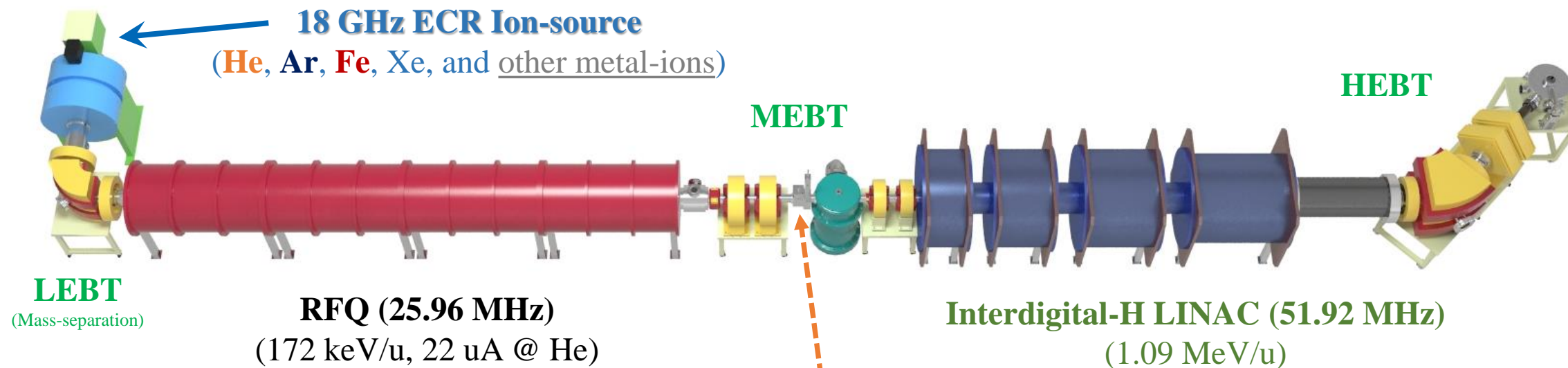
- 최대 1.09 MeV/nucleon stable ion beam 조사 가능 : He, Ar, Fe, Xe 등 4종 KINS 인허가 완료

*Panoramic view of the KAHIF beamline*

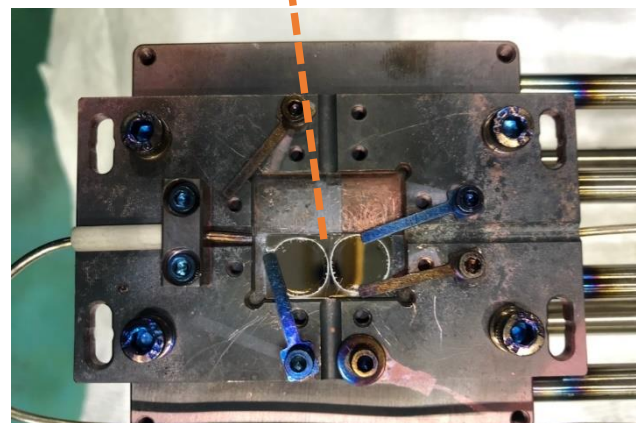




# KAHIF 장치 구성

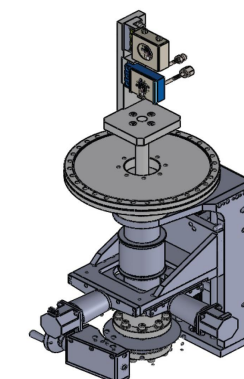
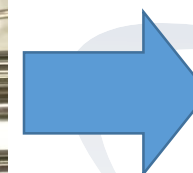


	SC-RFQ	IH
Frequency	25.96 MHz	51.92 MHz
Mass-to-charge ratio (A/q)	$\leq 28$	$\leq 9$
Input energy	2.07 keV/u	178.4 keV/u
Output energy (MAX)	<b>178.4 keV/u</b>	<b>1090 keV/u</b>
Total length	8.6 m	5.6 m
Accelerating field	20.7 keV/u·m	162.9 keV/u·m
Normalized emittance	$0.6\pi$ mm·mrad	$0.6\pi$ mm·mrad
Energy spread	<b>1.03%</b>	$\leq 2.8\%$
Duty factor	<b>30 – 100%</b>	
Pulse-length / Repetition rate	<b>8 ms / 125 Hz</b>	



## 1<sup>st</sup> Target Chamber

- Sample Holder Sizer: 20 X 20 mm<sup>2</sup>
- Heating Temperature : ~ 450°C



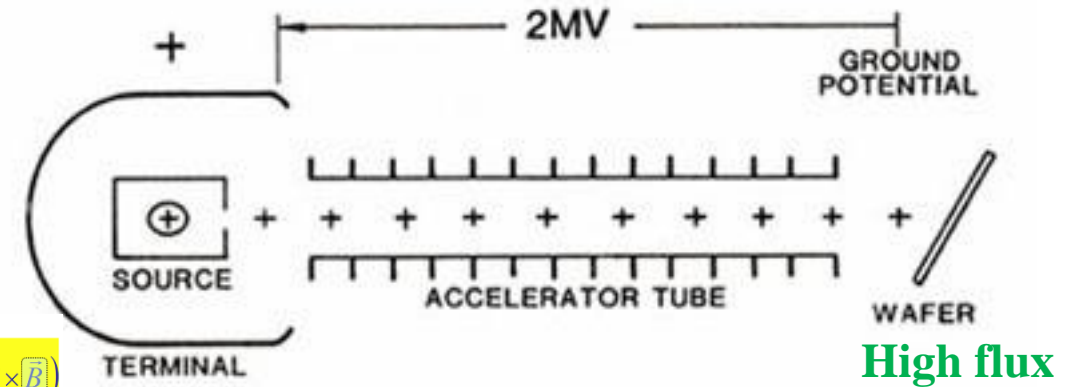
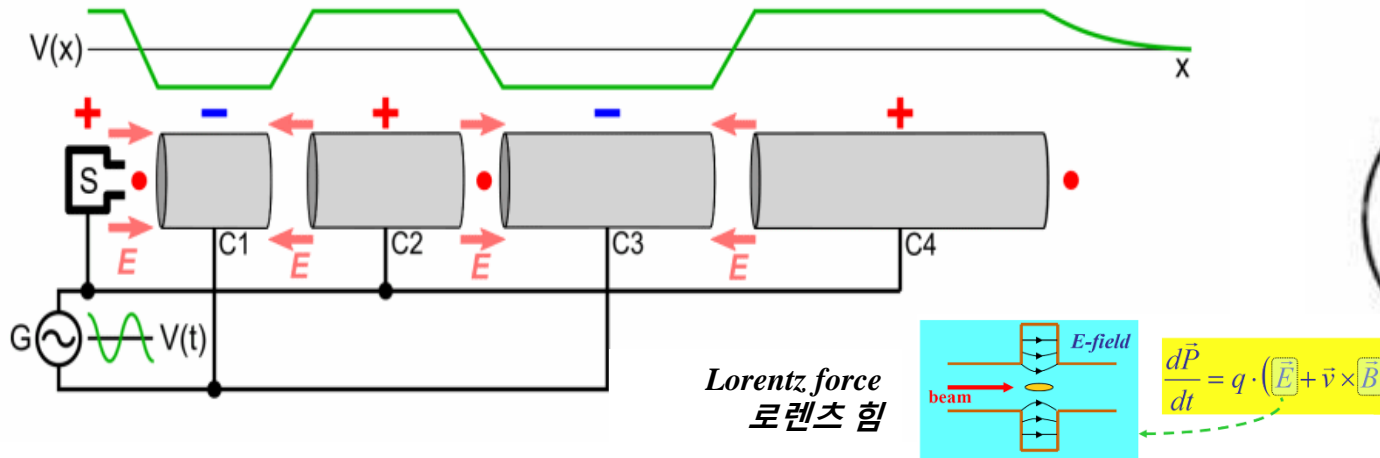
**25.10 ~ 26.04**  
**Upgrade 예정**



## Radio-frequency Linear Accelerator (RF LINAC)

VS

## Electrostatic Particle Accelerator and Tandem Accelerator



$$F(\text{MeV/A}) = q(e/A) \cdot E (\text{MV/m}) \cdot \text{length (m)}$$

A : Atomic mass

e : Number of charge

$$F(\text{MeV}) = q(e) \cdot E(\text{MV})$$

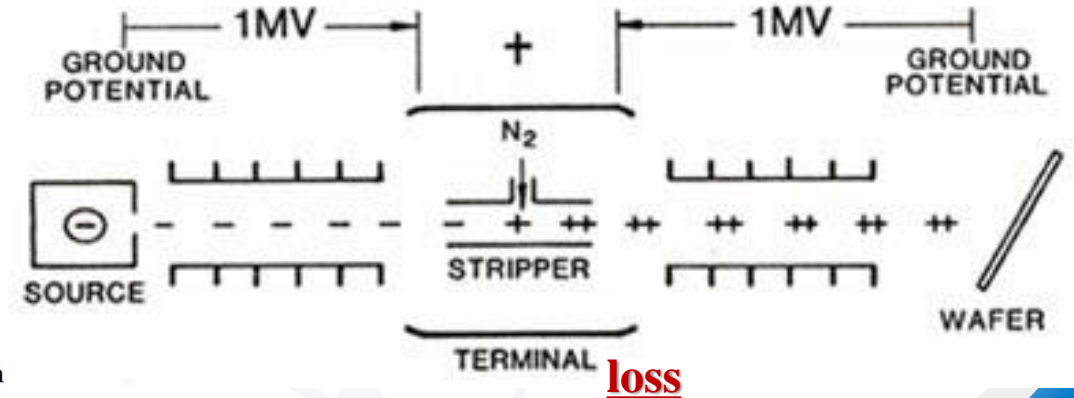
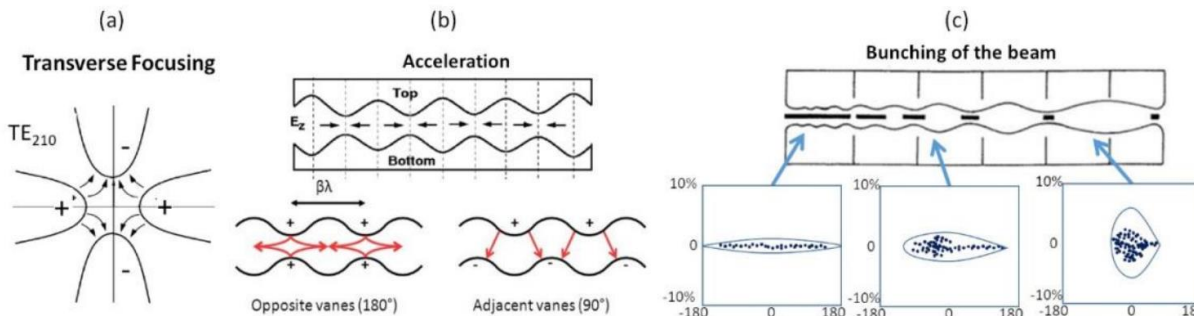


Fig. 22: (a) Quadrupole mode (TE<sub>210</sub>) of the RFQ four vane geometry; (b) Longitudinal modulation of the electrodes with sketched electric field lines; (c) Bunching mechanism in RFQ. [4] LINAC, D. Alesini, *Proceed. of the CERN-Accelerator School*, , 2018.

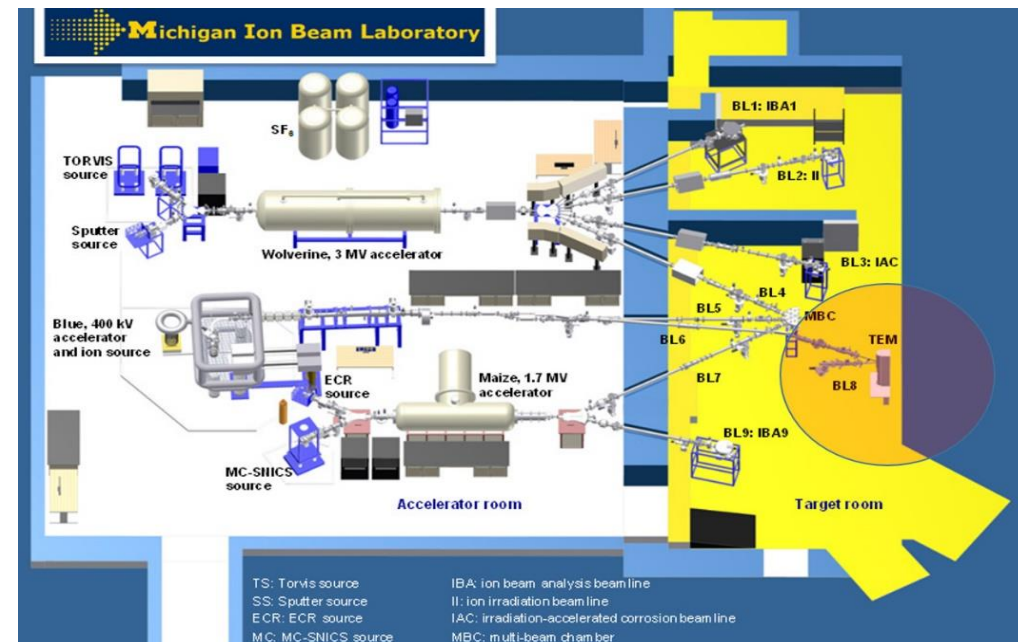
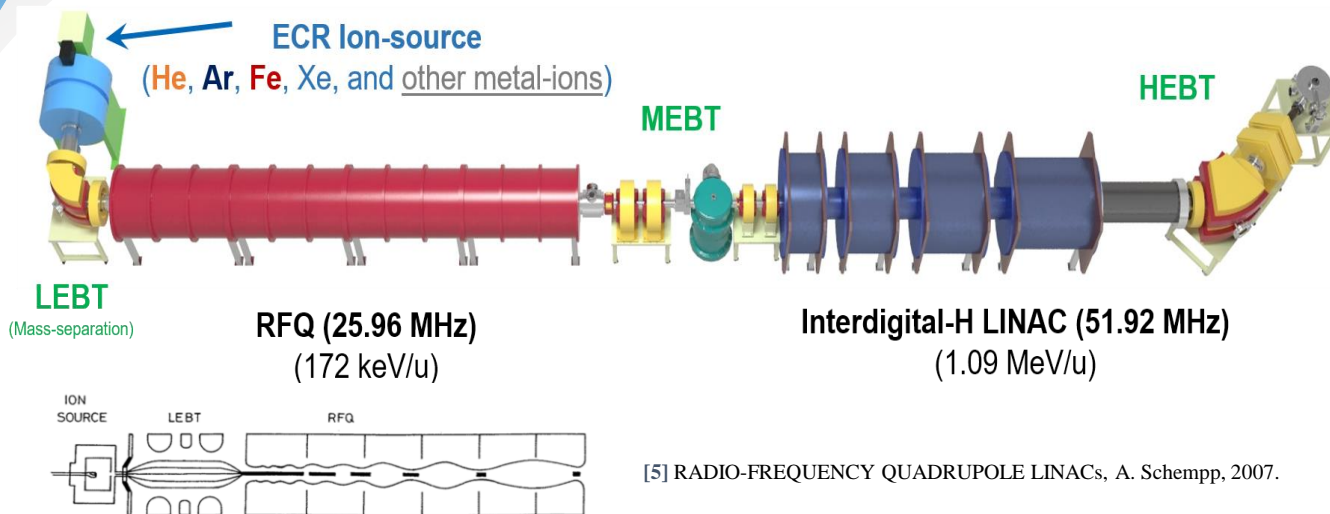


KAHIF

@KAERI VS

MIBL

@Michigan Univ.

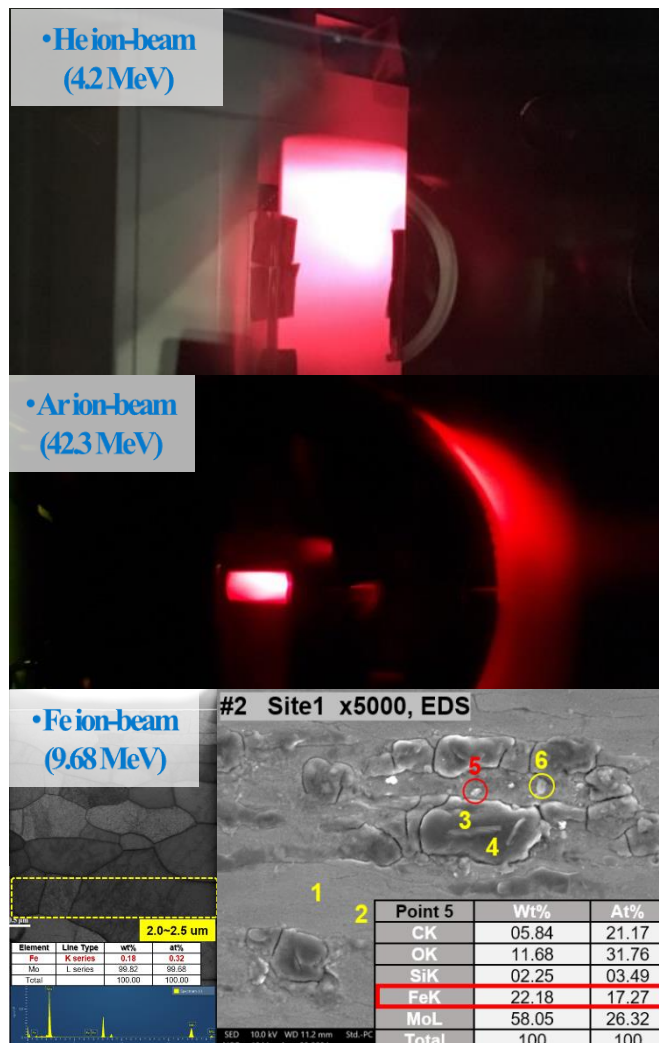


	KAHIF	MIBL
소속/국가	한국원자력연구원, 대한민국	University of Michigan, 미국
Ions	He, Ar, Fe, Xe	proton, He, Ni, Fe, proton
Accelerator Type	RF LINAC	Electrostatic (Tandem)
Acceleration	0.172 MeV/u (nucleon) @RFQ 1.02 MeV/u @ IH-Cavity	3 MV / 1.7 MV / 0.4 MV (implant)
He ions ( <sup>4.002</sup> He <sup>+</sup> )	0.688 MeV He <sup>+</sup> 20 uA @ RFQ 4.008 MeV He <sup>+</sup> 1 uA @ IH-Cavity	<2.9 MeV p <sup>+</sup> 2 μA <4.5 MeV He <sup>2+</sup> 1 μA @ 1.7 MV ESS
Ar ions ( <sup>39.948</sup> Ar <sup>9+</sup> )	6.871 MeV Ar <sup>9+</sup> 15 uA @ RFQ 40.747 MeV Ar <sup>9+</sup> 1 uA @ IH-Cavity	Ion implanter (p, He, Ar, Fe, Cr, O, Cu, Gd, etc. : 42 ions) @ 400 keV
Fe ions ( <sup>55.845</sup> Fe <sup>13+</sup> )	9.605 MeV Fe <sup>13+</sup> 1 uA @ RFQ	9 MeV Fe <sup>3+</sup> 0.5 ~ 1 μA 9 MeV Ni <sup>3+</sup> 0.5 ~ 1 μA @ 3 MV Tandem



# 02 KAHIF Beam-irradiation Conditions

국내 최초·유일 RFLINAC 이용 이온빔 조사시험시설 구축 완료 (18년 12월)



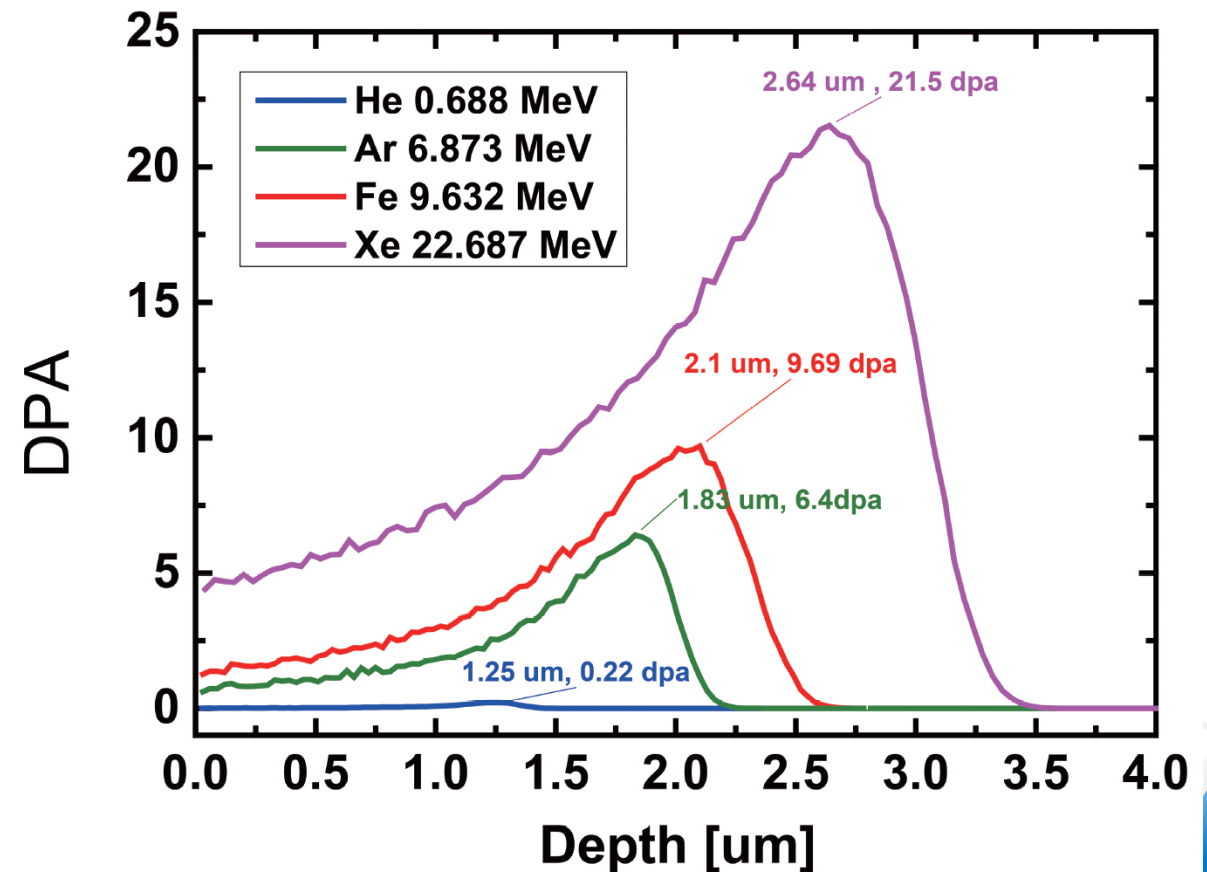
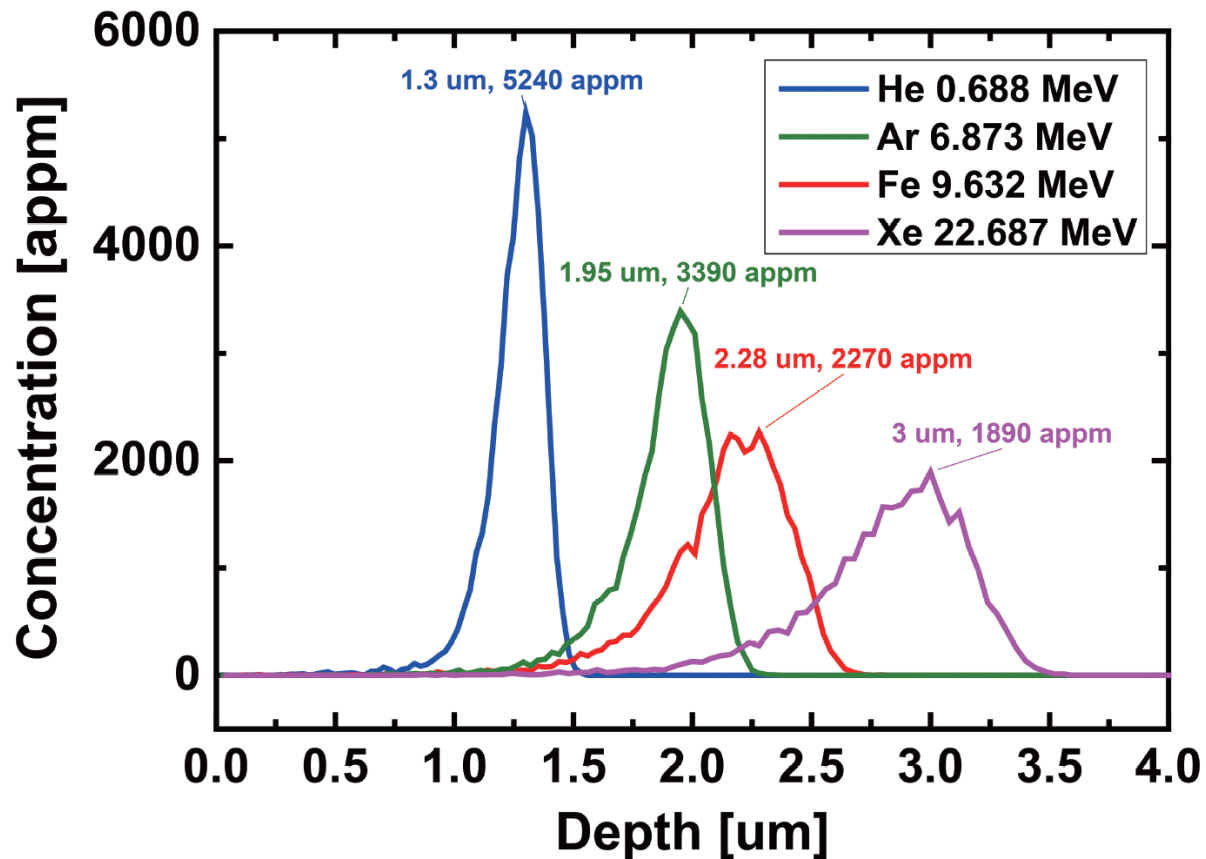
Beam Irradiation Conditions	
Ion Species	He, Ar, Fe
Beam Energy	0.688 MeV (He <sup>+</sup> )
	6.871 MeV (Ar <sup>9+</sup> )
	9.605 MeV (Fe <sup>13+</sup> )
Beam Current	22.5 euA (He <sup>+</sup> )
	1.6 euA (Ar <sup>9+</sup> )
	0.1 euA (Fe <sup>13+</sup> )
Beam Spot Area	< 2.8 cm <sup>2</sup>
Beam Particle Flux	3.98 x 10 <sup>13</sup> ions/cm <sup>2</sup> •s (He <sup>+</sup> )
	3.30 x 10 <sup>12</sup> ions/cm <sup>2</sup> •s (Ar <sup>9+</sup> )
	1.53 x 10 <sup>11</sup> ions/cm <sup>2</sup> •s (Fe <sup>13+</sup> )
Beam Irradiation Time	< 8 Hours (1 day)
Beam Irradiation Condition	In vacuum

Target System	
Target Chamber (Aluminum)	Size : 120 x 150 mm <sup>2</sup>
	Vacuum : < 1.0 x 10 <sup>-5</sup> mbar
Sample Holder (Copper)	Size : 20 x 20 mm <sup>2</sup>
	Number of sample : 1 ~ 4
Heating System	PID control system based on EPICS
	Heat conducting type
	< 450 °C
Heating Speed	< 10 °C/min
Sample Storing	In desiccator
Sample Replacement	N <sub>2</sub> gas purging system

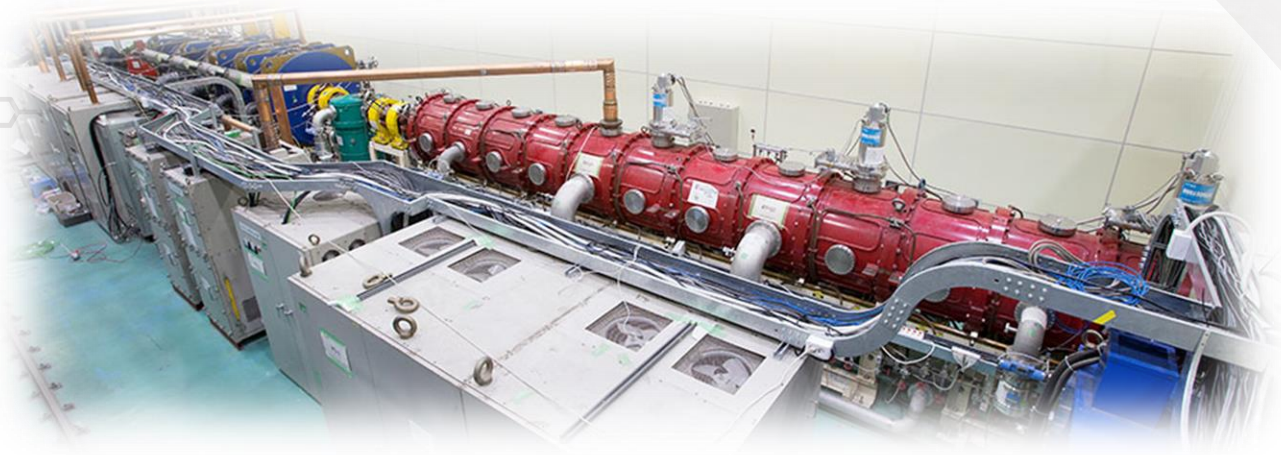
## 02 KAHIF Beam-irradiation Conditions

국내 최초·유일 RFLINAC 이용 이온빔 조사시험시설 구축 완료 (18년 12월)

KAHIF 빔 조사 특성 결과 (SRIM 전산모사)  
: 입자당  $1.0 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup> 조사







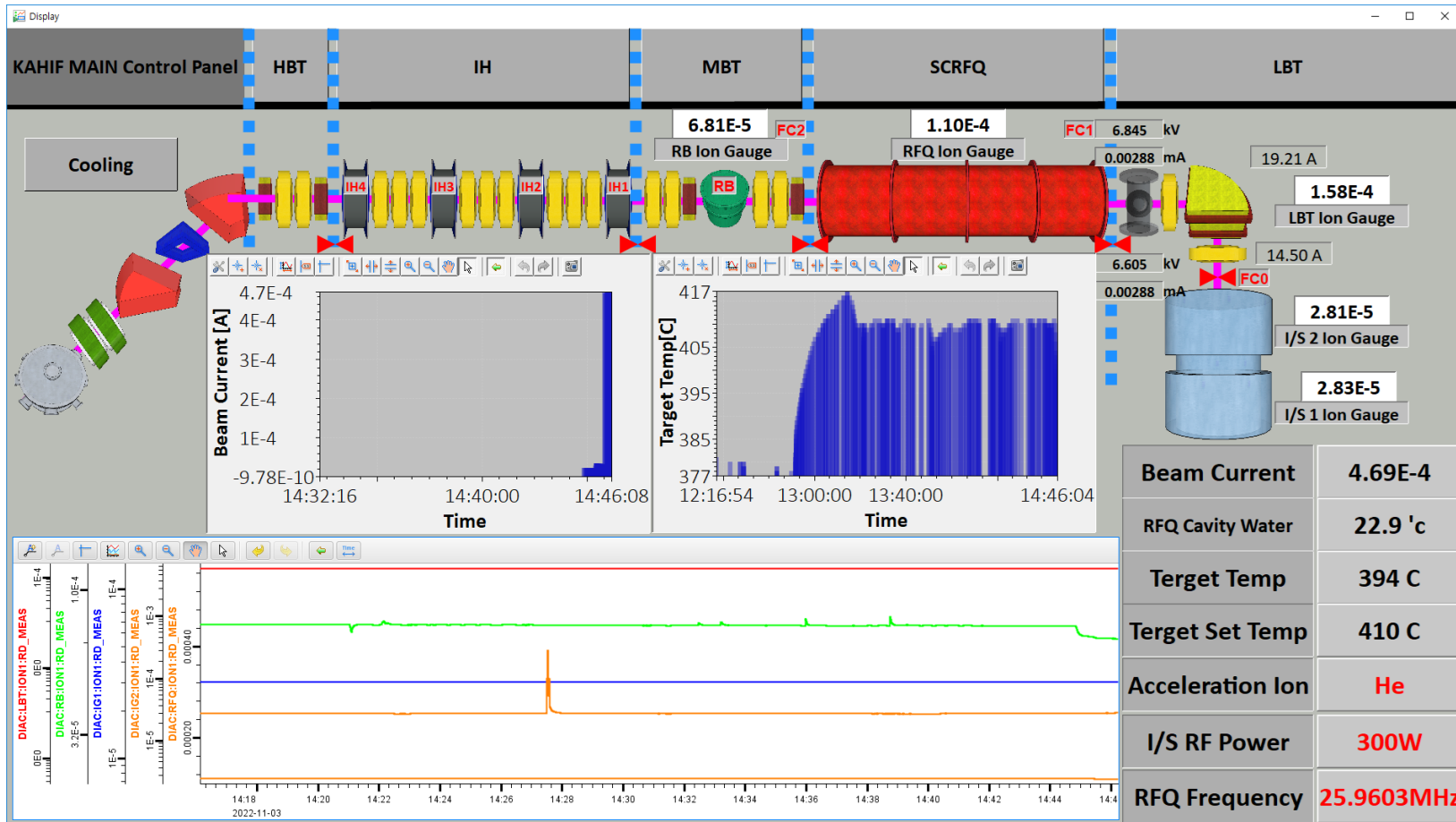
*Quantum Engineering and Nuclear Fusion, 2025 KNS*

03

# Beam-service Summary

# 03 Public user-services

## 22년부터 원내/외부 사용자 빔 서비스 시행 중



Korea Atomic Energy Research Institute Heavy Ion Irradiation Facility



### TEST REPORT

1 Test Date 2023-04-19

2 Client 김정민 / 원내  
Korea Atomic Energy Research Institute

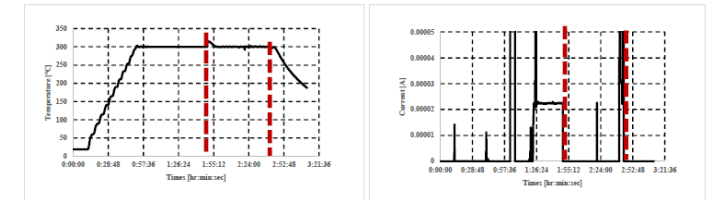
3 Ion-beam Time on 1:15 PM Time off 2:05 PM

4 Heat on 11:20 AM Heat off 3:20 PM

5 Operators 장대식, 이상빈

6 Experiment 316L Stainless steel He irradiation  
Beam energy (keV) 688.00  
Sample current [uA] 22.4 uA  
Sample temperature [°C] 300  
Fluence  $5 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>

#### 7 Results



Report Date 2023-04-21

Complied by 핵물리응용연구부 이상빈 (signature)

Approved by 핵물리응용연구부 이승현 (signature)

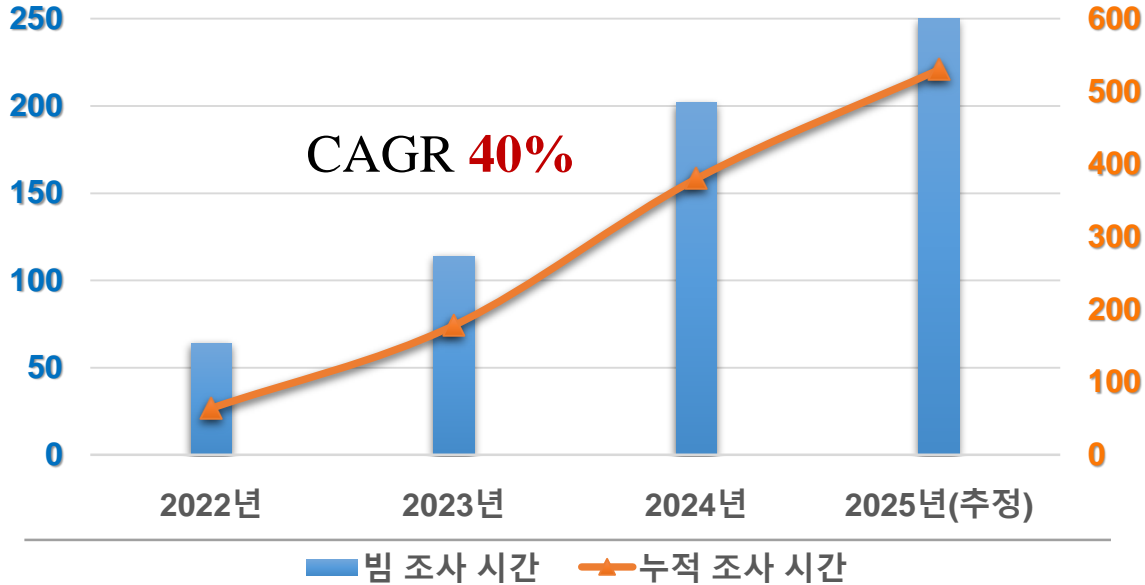
Testing Laboratory Name 하나로양자과학연구소 핵물리응용연구부  
Address KAERI 중합ENG동 (C26) 104-1호 (사무실)  
KAERI 중합ENG동 (C26) 208호 (실험/제어실)





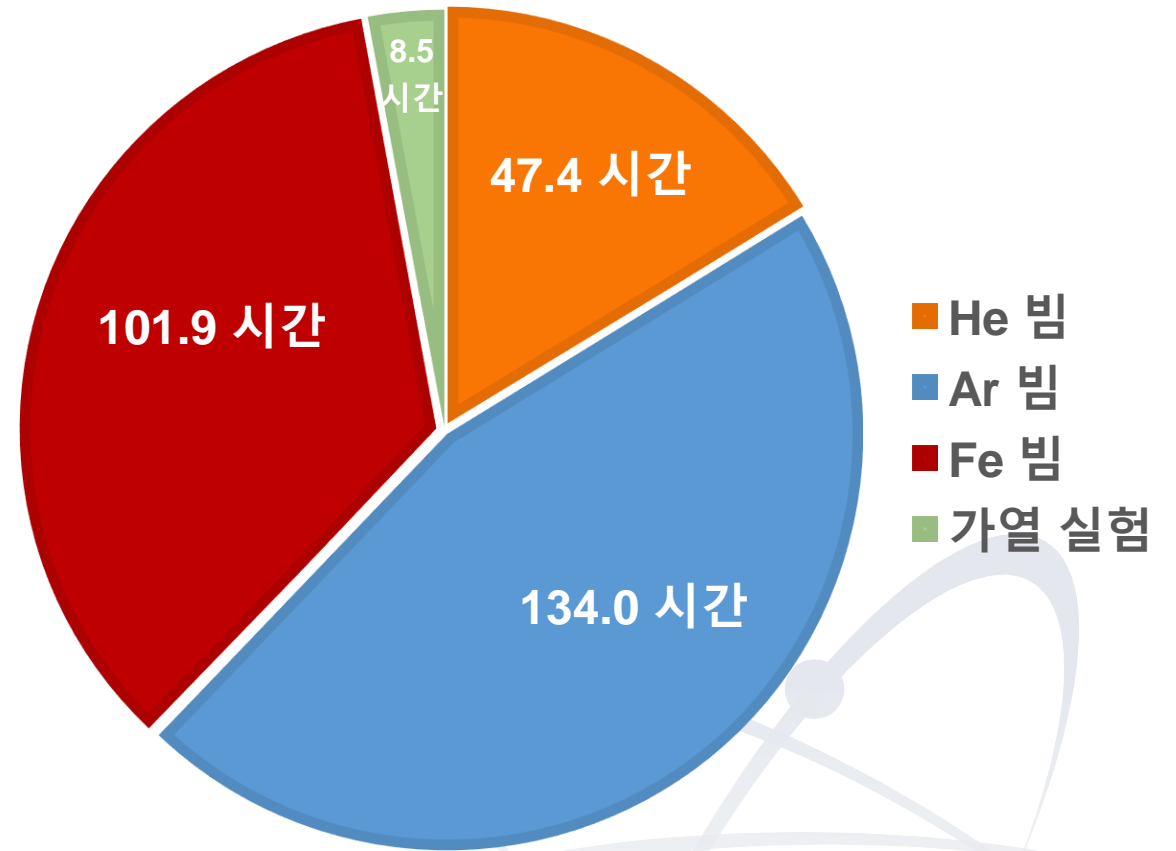
# KAHIF 빔 이용자 통계 (2022~2025년)

## 22-25" KAHIF 빔 운전시간 통계



KAHIF	2022 yr	2023	2024	~202505	2025 (expected)
빔 조사 시간	64 hrs.	114 hrs.	202 hrs.	56 hrs.	250 hrs.
누적 조사 시간	64 hrs.	178 hrs.	380 hrs.	435 hrs.	530 hrs.
장비 이용률*	50%	80%	87% (60 days continuous)	93%	> 90%

## 22-25" KAHIF 빔 운전시간 통계

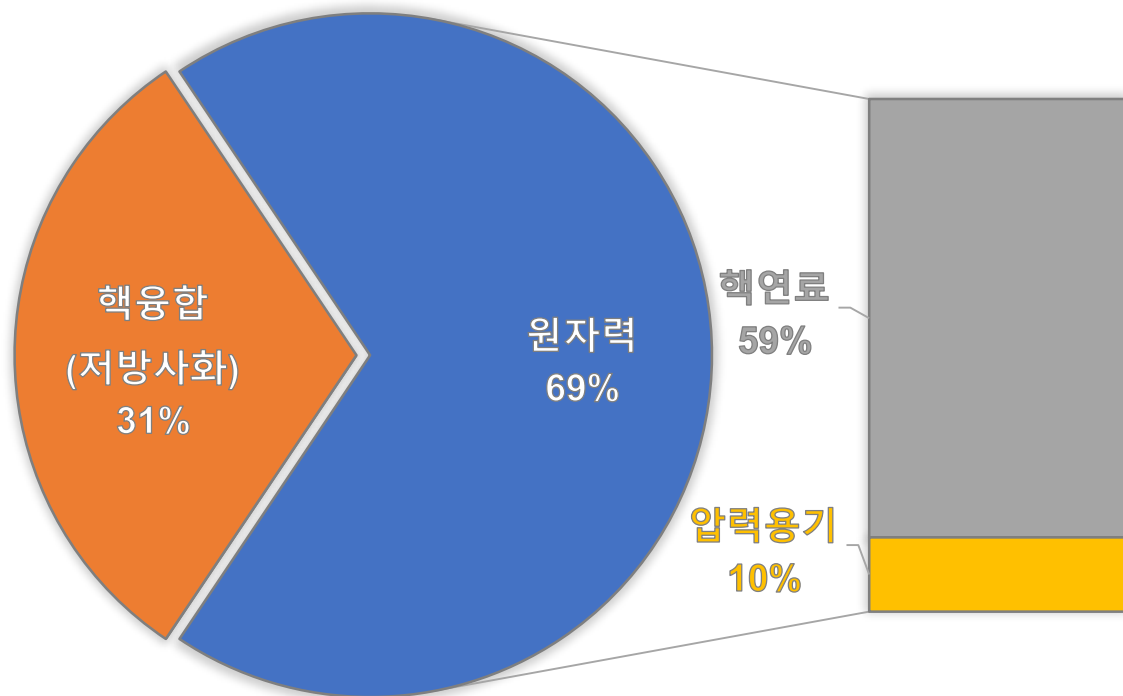


\*산정 기준

: 장비이용률 (%) =  $\frac{\text{빔 조사시간 (가열시간 포함, hr)}}{\text{시설 운영 요구 시간}} \times \frac{\text{장비 운영일수 (day)}}{\text{장비 운용 가능일수}}$

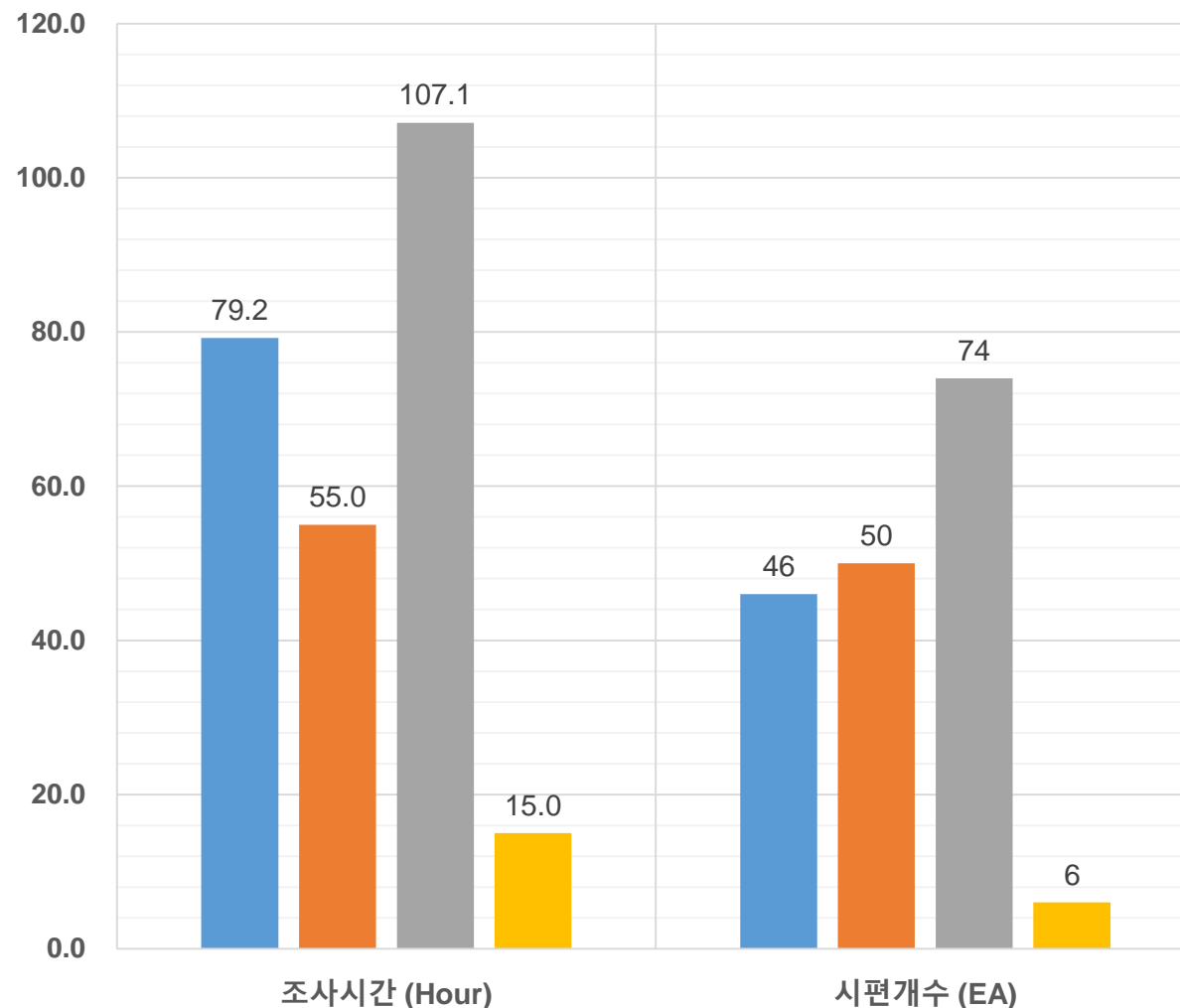
\*\*주말 및 휴일 포함, 진공 및 냉각수 등 시설유지 위한 시설 운전 포함

## KAHIF 이온빔 종류에 따른 누적 조사 시간



	2022	2023	2024	2025/05
원자력 조사/시편	8 / 48	19 / 47	25 / 68	20 / 106
핵융합 조사/시편	12 / 18	10 / 10	13 / 14	
KAHIF 자체 수입 (천원)	4,950	22,990	23,000	20,580

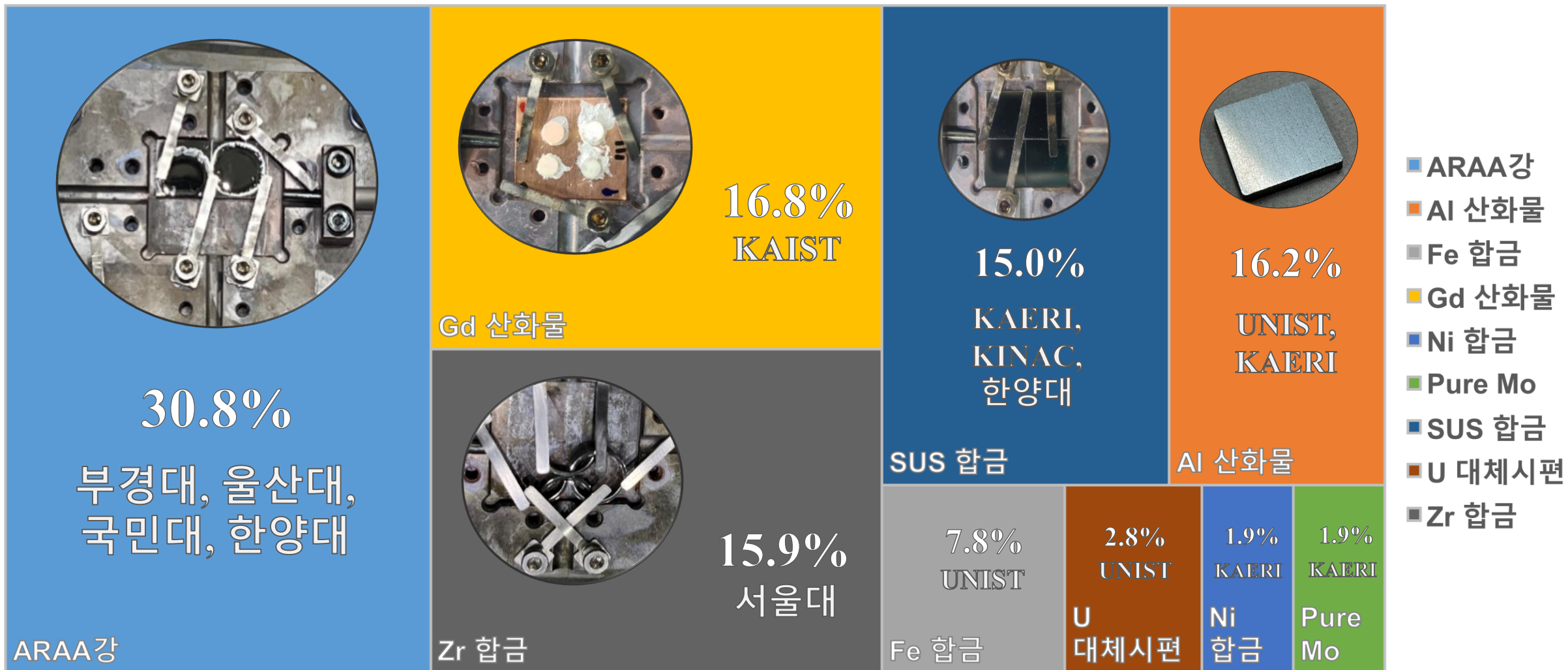
## 원자력/핵연료 연구 분야 상세



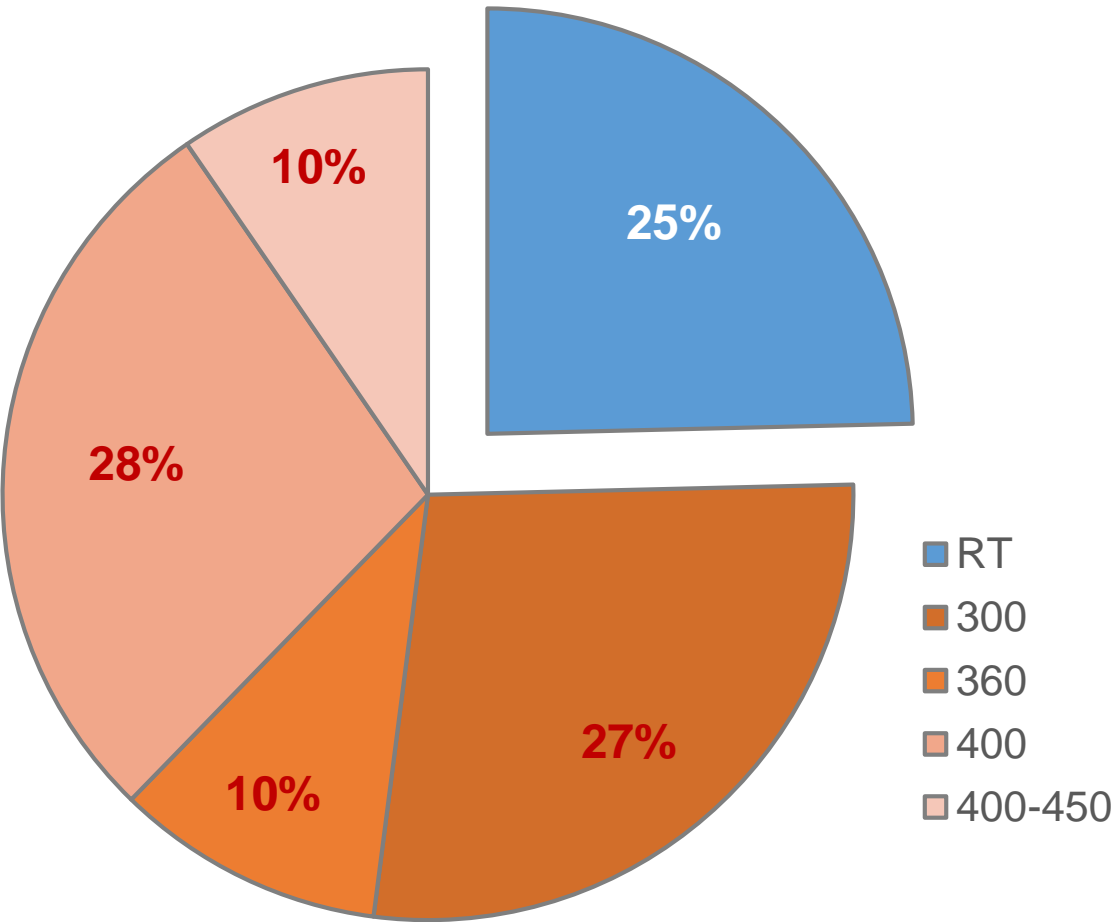
■ 가연성흡수재 ■ 중성자흡수재 ■ 피복관소재 ■ 핵연료대체재



## 22-25" KAHIF 이온빔 시편 종류 분석



## 22-25” KAHIF 시편 가열온도 정리



시편 가열 실험 분포 **75.4%**

## 참고. KAHIF 이용자 DB 구축 수행

KAHIF 운전															
연번	실험번호	기관	실험기관	부서	연번	실험번호	실험기관	부서	연번	실험번호	실험기관	부서	연번	실험번호	실험기관
2022-01	1	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-01	1	KAHIF	KAHIF	2022-01	1	KAHIF	KAHIF	2022-01	1	KAHIF
2022-02	2	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-02	2	KAHIF	KAHIF	2022-02	2	KAHIF	KAHIF	2022-02	2	KAHIF
2022-03	3	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-03	3	KAHIF	KAHIF	2022-03	3	KAHIF	KAHIF	2022-03	3	KAHIF
2022-04	4	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-04	4	KAHIF	KAHIF	2022-04	4	KAHIF	KAHIF	2022-04	4	KAHIF
2022-05	5	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-05	5	KAHIF	KAHIF	2022-05	5	KAHIF	KAHIF	2022-05	5	KAHIF
2022-06	6	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-06	6	KAHIF	KAHIF	2022-06	6	KAHIF	KAHIF	2022-06	6	KAHIF
2022-07	7	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-07	7	KAHIF	KAHIF	2022-07	7	KAHIF	KAHIF	2022-07	7	KAHIF
2022-08	8	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-08	8	KAHIF	KAHIF	2022-08	8	KAHIF	KAHIF	2022-08	8	KAHIF
2022-09	9	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-09	9	KAHIF	KAHIF	2022-09	9	KAHIF	KAHIF	2022-09	9	KAHIF
2022-10	10	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-10	10	KAHIF	KAHIF	2022-10	10	KAHIF	KAHIF	2022-10	10	KAHIF
2022-11	11	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-11	11	KAHIF	KAHIF	2022-11	11	KAHIF	KAHIF	2022-11	11	KAHIF
2022-12	12	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2022-12	12	KAHIF	KAHIF	2022-12	12	KAHIF	KAHIF	2022-12	12	KAHIF
2023-01	13	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-01	13	KAHIF	KAHIF	2023-01	13	KAHIF	KAHIF	2023-01	13	KAHIF
2023-02	14	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-02	14	KAHIF	KAHIF	2023-02	14	KAHIF	KAHIF	2023-02	14	KAHIF
2023-03	15	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-03	15	KAHIF	KAHIF	2023-03	15	KAHIF	KAHIF	2023-03	15	KAHIF
2023-04	16	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-04	16	KAHIF	KAHIF	2023-04	16	KAHIF	KAHIF	2023-04	16	KAHIF
2023-05	17	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-05	17	KAHIF	KAHIF	2023-05	17	KAHIF	KAHIF	2023-05	17	KAHIF
2023-06	18	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-06	18	KAHIF	KAHIF	2023-06	18	KAHIF	KAHIF	2023-06	18	KAHIF
2023-07	19	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-07	19	KAHIF	KAHIF	2023-07	19	KAHIF	KAHIF	2023-07	19	KAHIF
2023-08	20	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-08	20	KAHIF	KAHIF	2023-08	20	KAHIF	KAHIF	2023-08	20	KAHIF
2023-09	21	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-09	21	KAHIF	KAHIF	2023-09	21	KAHIF	KAHIF	2023-09	21	KAHIF
2023-10	22	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-10	22	KAHIF	KAHIF	2023-10	22	KAHIF	KAHIF	2023-10	22	KAHIF
2023-11	23	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-11	23	KAHIF	KAHIF	2023-11	23	KAHIF	KAHIF	2023-11	23	KAHIF
2023-12	24	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2023-12	24	KAHIF	KAHIF	2023-12	24	KAHIF	KAHIF	2023-12	24	KAHIF
2024-01	25	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-01	25	KAHIF	KAHIF	2024-01	25	KAHIF	KAHIF	2024-01	25	KAHIF
2024-02	26	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-02	26	KAHIF	KAHIF	2024-02	26	KAHIF	KAHIF	2024-02	26	KAHIF
2024-03	27	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-03	27	KAHIF	KAHIF	2024-03	27	KAHIF	KAHIF	2024-03	27	KAHIF
2024-04	28	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-04	28	KAHIF	KAHIF	2024-04	28	KAHIF	KAHIF	2024-04	28	KAHIF
2024-05	29	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-05	29	KAHIF	KAHIF	2024-05	29	KAHIF	KAHIF	2024-05	29	KAHIF
2024-06	30	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-06	30	KAHIF	KAHIF	2024-06	30	KAHIF	KAHIF	2024-06	30	KAHIF
2024-07	31	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-07	31	KAHIF	KAHIF	2024-07	31	KAHIF	KAHIF	2024-07	31	KAHIF
2024-08	32	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-08	32	KAHIF	KAHIF	2024-08	32	KAHIF	KAHIF	2024-08	32	KAHIF
2024-09	33	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-09	33	KAHIF	KAHIF	2024-09	33	KAHIF	KAHIF	2024-09	33	KAHIF
2024-10	34	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-10	34	KAHIF	KAHIF	2024-10	34	KAHIF	KAHIF	2024-10	34	KAHIF
2024-11	35	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-11	35	KAHIF	KAHIF	2024-11	35	KAHIF	KAHIF	2024-11	35	KAHIF
2024-12	36	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2024-12	36	KAHIF	KAHIF	2024-12	36	KAHIF	KAHIF	2024-12	36	KAHIF
2025-01	37	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-01	37	KAHIF	KAHIF	2025-01	37	KAHIF	KAHIF	2025-01	37	KAHIF
2025-02	38	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-02	38	KAHIF	KAHIF	2025-02	38	KAHIF	KAHIF	2025-02	38	KAHIF
2025-03	39	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-03	39	KAHIF	KAHIF	2025-03	39	KAHIF	KAHIF	2025-03	39	KAHIF
2025-04	40	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-04	40	KAHIF	KAHIF	2025-04	40	KAHIF	KAHIF	2025-04	40	KAHIF
2025-05	41	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-05	41	KAHIF	KAHIF	2025-05	41	KAHIF	KAHIF	2025-05	41	KAHIF
2025-06	42	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-06	42	KAHIF	KAHIF	2025-06	42	KAHIF	KAHIF	2025-06	42	KAHIF
2025-07	43	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-07	43	KAHIF	KAHIF	2025-07	43	KAHIF	KAHIF	2025-07	43	KAHIF
2025-08	44	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-08	44	KAHIF	KAHIF	2025-08	44	KAHIF	KAHIF	2025-08	44	KAHIF
2025-09	45	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-09	45	KAHIF	KAHIF	2025-09	45	KAHIF	KAHIF	2025-09	45	KAHIF
2025-10	46	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-10	46	KAHIF	KAHIF	2025-10	46	KAHIF	KAHIF	2025-10	46	KAHIF
2025-11	47	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-11	47	KAHIF	KAHIF	2025-11	47	KAHIF	KAHIF	2025-11	47	KAHIF
2025-12	48	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2025-12	48	KAHIF	KAHIF	2025-12	48	KAHIF	KAHIF	2025-12	48	KAHIF
2026-01	49	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-01	49	KAHIF	KAHIF	2026-01	49	KAHIF	KAHIF	2026-01	49	KAHIF
2026-02	50	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-02	50	KAHIF	KAHIF	2026-02	50	KAHIF	KAHIF	2026-02	50	KAHIF
2026-03	51	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-03	51	KAHIF	KAHIF	2026-03	51	KAHIF	KAHIF	2026-03	51	KAHIF
2026-04	52	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-04	52	KAHIF	KAHIF	2026-04	52	KAHIF	KAHIF	2026-04	52	KAHIF
2026-05	53	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-05	53	KAHIF	KAHIF	2026-05	53	KAHIF	KAHIF	2026-05	53	KAHIF
2026-06	54	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-06	54	KAHIF	KAHIF	2026-06	54	KAHIF	KAHIF	2026-06	54	KAHIF
2026-07	55	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-07	55	KAHIF	KAHIF	2026-07	55	KAHIF	KAHIF	2026-07	55	KAHIF
2026-08	56	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-08	56	KAHIF	KAHIF	2026-08	56	KAHIF	KAHIF	2026-08	56	KAHIF
2026-09	57	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-09	57	KAHIF	KAHIF	2026-09	57	KAHIF	KAHIF	2026-09	57	KAHIF
2026-10	58	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-10	58	KAHIF	KAHIF	2026-10	58	KAHIF	KAHIF	2026-10	58	KAHIF
2026-11	59	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-11	59	KAHIF	KAHIF	2026-11	59	KAHIF	KAHIF	2026-11	59	KAHIF
2026-12	60	KAHIF	KAHIF	KAHIF	2026-12	60	KAHIF	KAHIF	2026-12	60	KAHIF	KAHIF	2026-12	60	KAHIF



# • KNS 워크숍 개최 (24.05.08. 14:00~18:00) : 제1차 핵융합/원자력 재료 이온빔 조사 시험 및 평가 워크숍

## Workshops



## 제1차 핵융합/원자력 재료 이온빔 조사 시험 및 평가 워크숍 1st Workshop of the Ion Beam Irradiation Test and Evaluation on Nuclear Fusion/Fission Materials

| 일시 · 장소 2024. 5. 8(Wed) 14:00~18:00 · 제주국제컨벤션센터, 401A(Room 401A, 4F)  
| 주최 한국원자력학회 양자공학 및 핵융합기술 연구부회

일정	내용
14:00 ~ 14:15	인사말(정영욱, KAERI), 사회(이동원, KAERI) Opening Address
14:10 ~ 14:35	핵융합/원자력 재료 연구용 KAHRF 시설 현황 (이승현, 한국원자력연구원) Current Status and Plans of KAHRF for nuclear fusion/fission material research (Seunghyun Lee, KAERI)
14:35 ~ 15:00	원자력 재료연구를 위한 KOMAC의 복합빔 조사시설 구축 계획 (김한성, 한국원자력연구원) Strategy of the dual and triple beam irradiation facility for nuclear material test at KOMAC (Han-Sung Kim, KAERI)
15:00 ~ 15:25	미래 원자력/핵융합 구조재료 개발을 위한 예비연구와 국내외 이온조사 시험시설 활용 (노상훈, 부경대학교) Preliminary research for advanced nuclear/fusion structural materials and utilization of ion irradiation test facilities (Sanghoon Noh, Pukyong National University)
15:25 ~ 15:50	핵융합 재료 이온조사시험 시설 (KAHRF)을 활용한 이온조사에 따른 극한표면 물성 변화 분석 (전은채, 울산대학교) Analysis of extreme surface properties after He ion radiation using KAHRF (Eun-chae Jeon, University of Ulsan)
15:50 ~ 16:10	기념촬영 및 휴식 Break Time
16:10 ~ 16:35	159 dpa 이온조사된 가연성 흡수체 복합핵연료를 가돌리나 소결체의 상 안정성 분석 (류호진, 한국과학기술원) Phase Stability Analysis of Gadolinia for Burnable Absorber Composite Fuel by Ion-irradiated up to 159 dpa (Ho Jin Ryu, KAIST)
16:35 ~ 17:00	국내 중이온가속기 시설을 활용한 무붕산 SMR용 $UO_2/Gd_2O_3$ 핵연료 고온 조사 하 반응층 특성 연구 (안상준, 울산과학기술원) Characterization of interaction layer in $UO_2/Gd_2O_3$ nuclear fuel for soluble boron free SMR utilizing domestic heavy-ion accelerator facilities (Sangjoon Ahn, UNIST)
17:00 ~ 17:25	철계합금 중에너지 양성자 조사실험에 따른 방사화평가 결과 및 철이온 조사 실험 계획 (류진호, 한국원자력통계기술원) Predictive Modeling of Radioisotope Production in Intermediate Energy Proton Irradiation of Iron-based alloy and Fe-ion Irradiation Plan (Jinho Ryu, KINAC)
17:25 ~ 17:50	용융염원자로용 (MSR) 구조재 연구 (윤영수, 가천대학교) Research on structural materials for molten salt reactors (Young Soo Yoon, Gachon University)
17:50 ~ 18:00	마무리 (이동원, 한국원자력연구원) Closing

| 기타사항 - 등록비: 무료, 석식제공 없음  
- 문의처: 이승현 / 한국원자력연구원 / 010-3455-9070 / lsh0810@kaeri.re.kr  
이동원 / 한국원자력연구원 / 010-6403-0655 / dwlee@kaeri.re.kr



- **재료조사 시험 교육 참가 (24.08.28.~24.08.29.)**  
: 제1회 하나로-IMEF 및 KAHIF를 활용한 조사(후)시험 교육



### 교육 프로그램(안) - 1일차

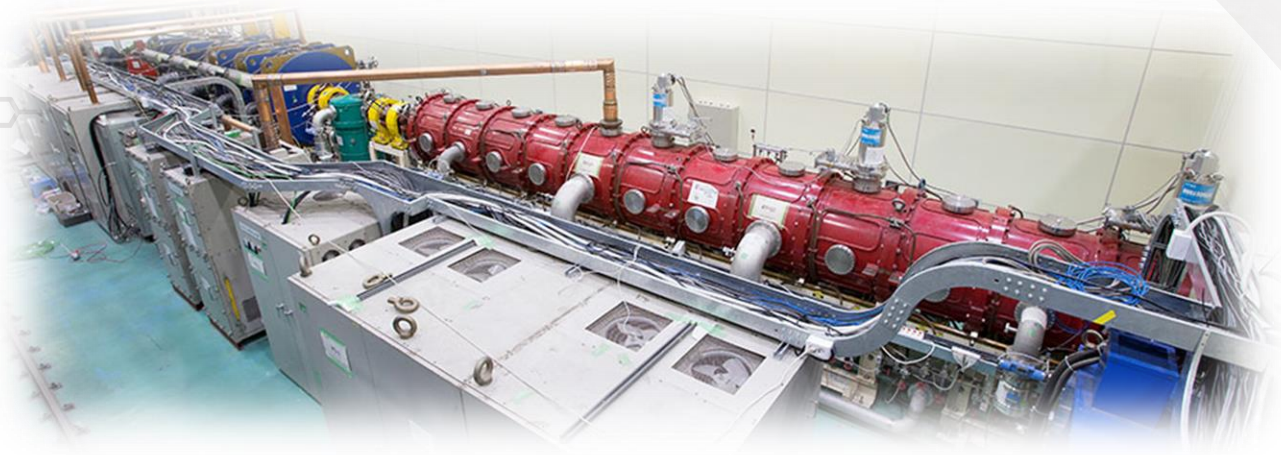
날 짜	시 간	강 사	주 제
8월 28일 (수)	9:30 ~ 10:00		등 록
	10:00 ~ 10:10		인사말
	10:10 ~ 11:00	류호진 (KAIST)	조사시험 연구 동향 및 발전방향
	11:00 ~ 11:40	양성우 (KAERI)	하나로 조사시험 시설 소개 및 시험 절차
	11:40 ~ 13:00		중 식 (KAERI 본관동 구내식당 1층)
	13:00 ~ 13:40	진영관 (KAERI)	조사재시험시설(IMEF) 소개 및 시험 절차
	13:40 ~ 14:20	이승현 (KAERI)	KAHIF 소개 및 시험 절차
	14:30 ~ 18:00		시설방문*: (1) KAHIF, (2) IMEF, (3) 하나로 *IMEF-하나로는 조별 이동 예정, (하나로 출입 게이트까지 버스로 이동, 돌아오는 편은 도보로 이동)
	18:30 ~		석 식 (관평동 띠울석갈비)

### 교육 프로그램(안) - 2일차

날 짜	시 간	강 사	주 제
8월 29일 (목)	09:30 ~ 10:00	김종민 (KAERI)	하나로-IMEF 조사시험 활용 사례 : 원자로 용기
	10:00 ~ 10:30	탁영욱 (KAERI)	하나로-IMEF 조사시험 활용 사례 : 연구로핵연료
	10:30 ~ 11:00	류호진 (KAIST)	KAHIF 이온빔 시험 사례 : 가돌리니아
	11:00 ~ 12:00		주제 토론: 재료 조사시설을 활용한 연구 활성화를 위해 필요한 것은?

\* 교육 종료 후 간편식(샌드위치) 제공 예정





*Quantum Engineering and Nuclear Fusion, 2025 KNS*



04

# Major Upgrades of a KAHIF

## Fe ion-beam irradiation simulation (SRIM/TRIM)

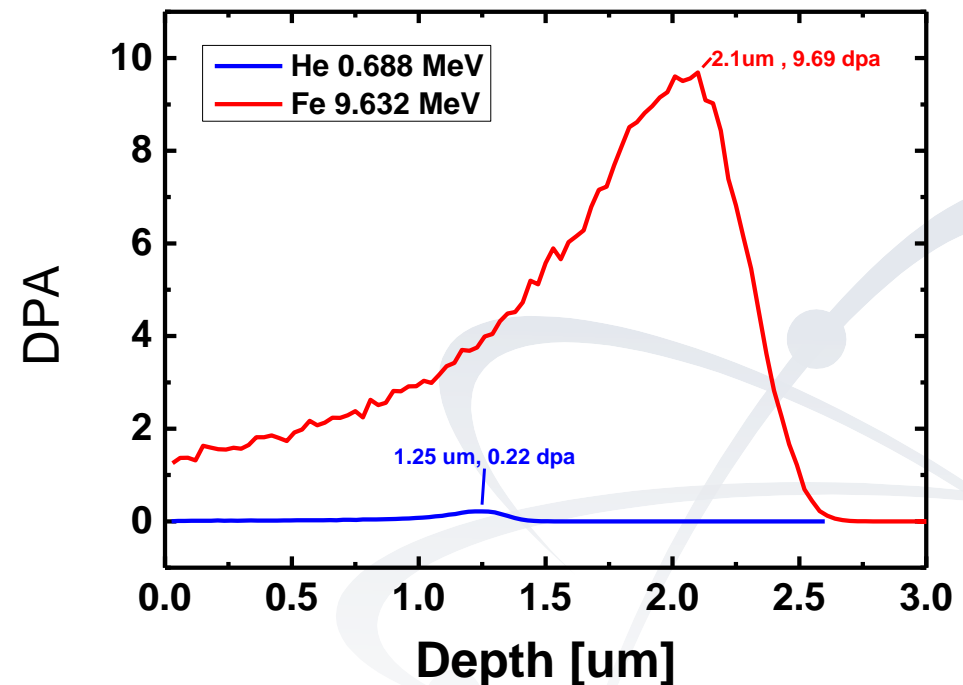
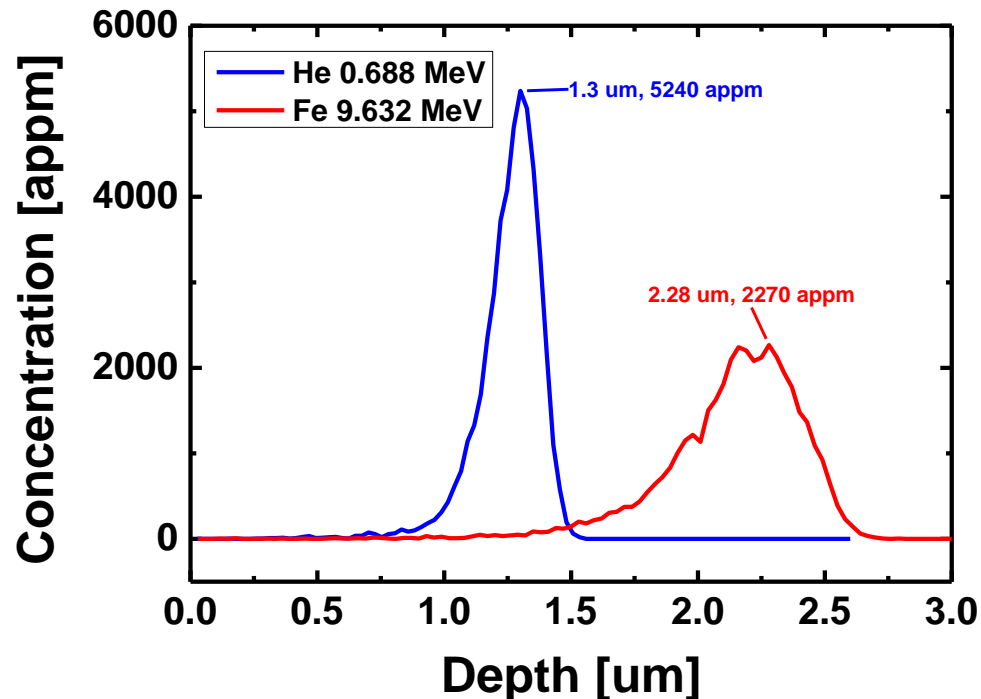
### Comparison He vs Fe

- Same fluence of  $1e16$  [# / cm<sup>2</sup>]

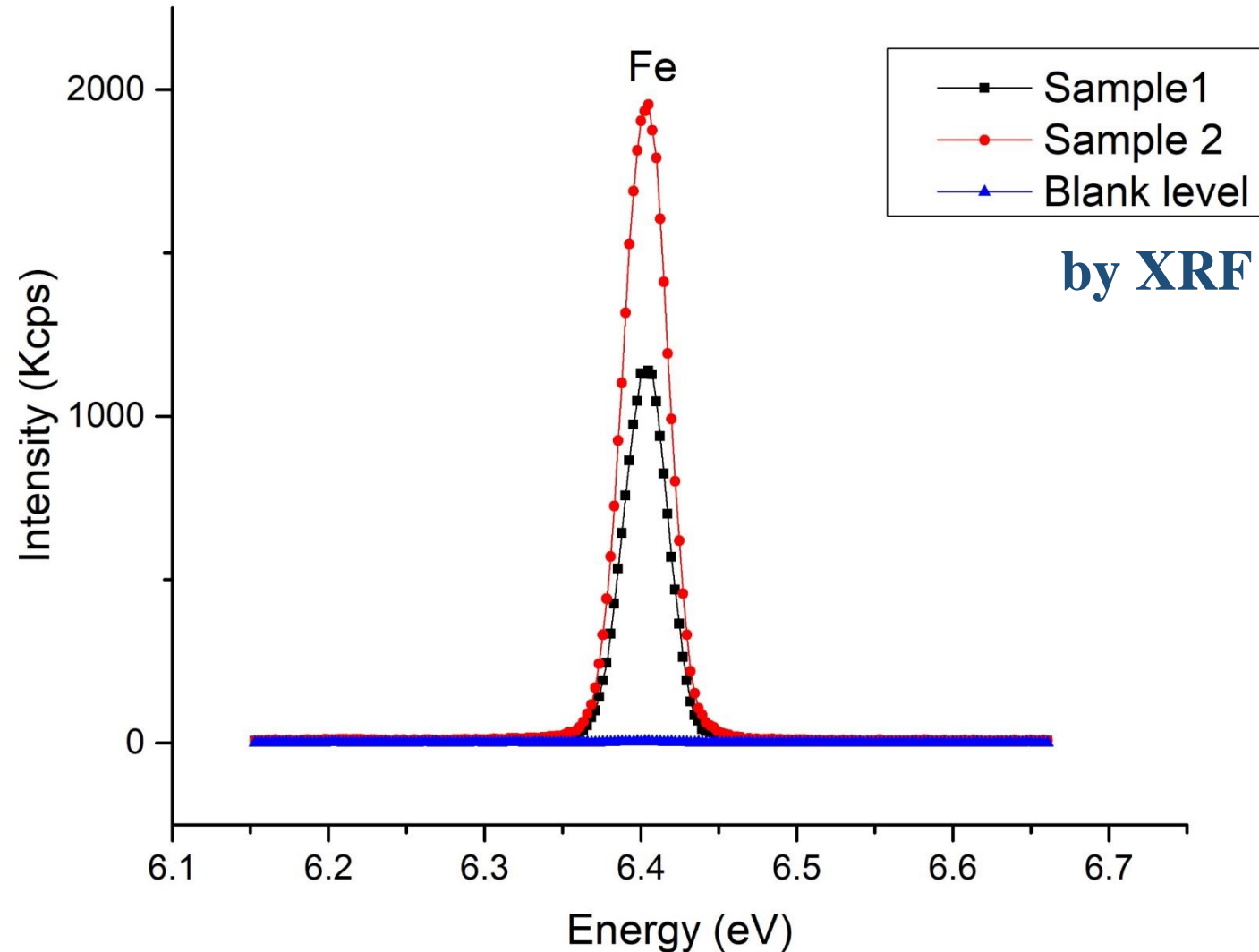
: He<sup>+</sup>, 0.688 MeV, 20 uA, 6 min, 5,000 appm @ 1.3um

Fe<sup>13+</sup>, 9.632 MeV, 0.5uA, 1,090 min, 9.69 dpa @ 2.12um

Fe: 0.9 dpa/hr @ 0.5 uA (24~26)  
-> 9 dpa/hr @ 5 uA (2027~)



# Fe ion-beam irradiation-test result (1<sup>st</sup>, draft), 24.07.17.



## Sample 1 (Test 1)

- **Fe<sup>13+</sup>** irradiation test  
(target sample : Pure Ni)
- **9.6 MeV (0.174 keV/u)**
- **Test1: 0.6 uA,**  
**Irradiation hour : 6 h 20 m**  
**[24.07.15. 07:40~14:00]**
- **Beam Fluence:  $\sim 1.59 \times 10^{15}$  #/cm<sup>2</sup>**

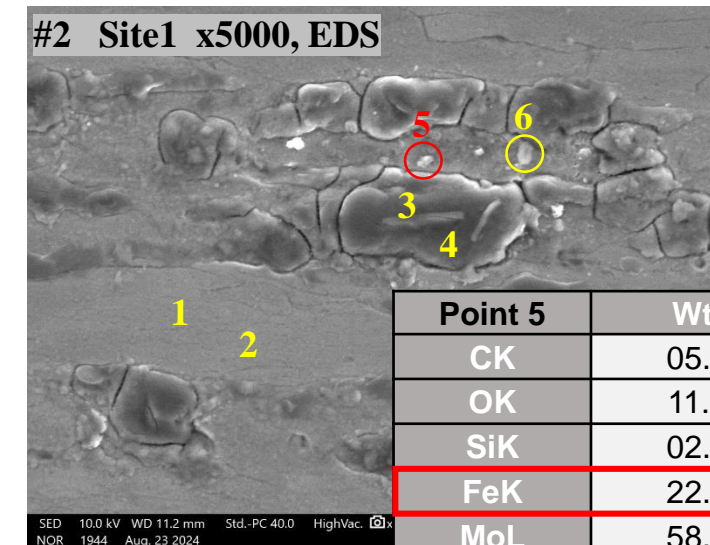
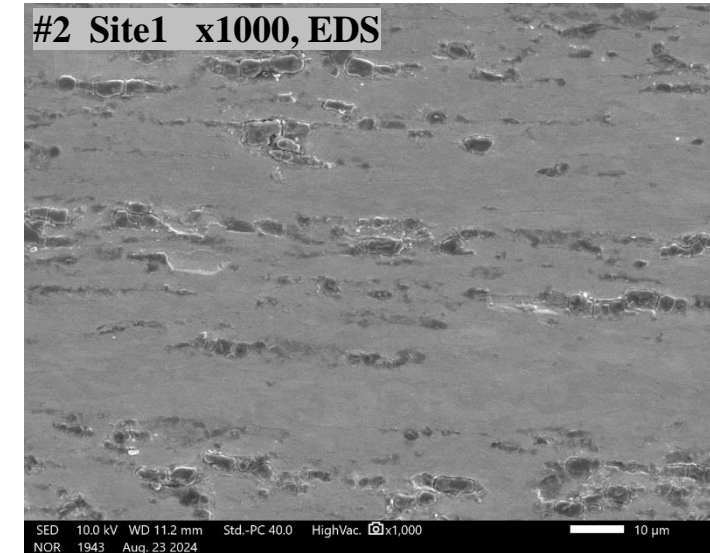
## Sample 2 (Test 2)

- **Fe<sup>13+</sup>** irradiation test  
(target sample : Pure Ni)
- **9.6 MeV (0.174 keV/u)**
- **Test1: 1.1 uA,**  
**Irradiation hour : 8 h**  
**[24.07.12. 07:40~16:15]**
- **Beam Fluence:  $\sim 3.74 \times 10^{15}$  #/cm<sup>2</sup>**
- **Sample1 대비 2.35배**



# Fe ion-beam irradiation-test result (2<sup>nd</sup>), 24.07.29.-07.30.

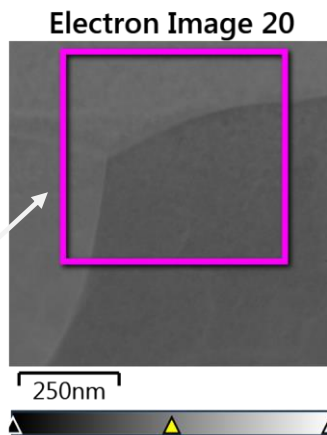
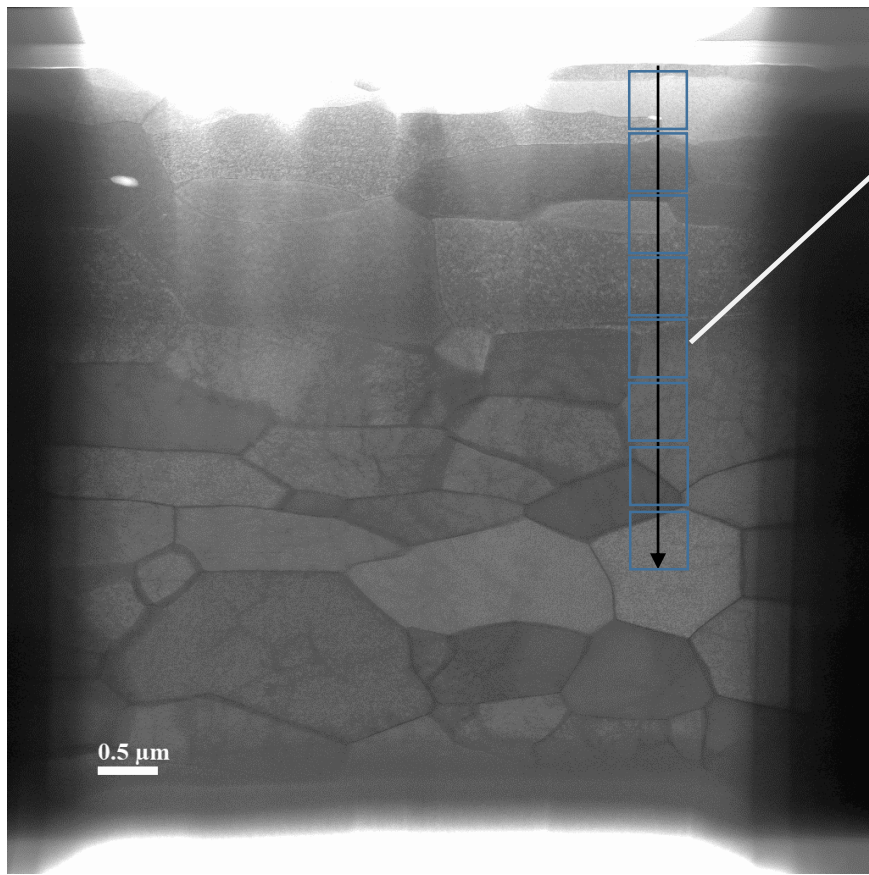
	시편 Size	Ions	Energy (MeV)	Beam current (μA)	Fluence (ions/cm <sup>2</sup> )	Temp. (°C)	Time (min)
#1	19x19mm <sup>2</sup>	Fe <sup>13+</sup>	9.6	0.56	1.45x10 <sup>15</sup>	RT	345
#2	19x19mm <sup>2</sup>	Fe <sup>13+</sup>	9.6	0.99	3.37x10 <sup>15</sup>	RT	330



Point 5	Wt%	At%
CK	05.84	21.17
OK	11.68	31.76
SiK	02.25	03.49
FeK	22.18	17.27
MoL	58.05	26.32
Total	100	100

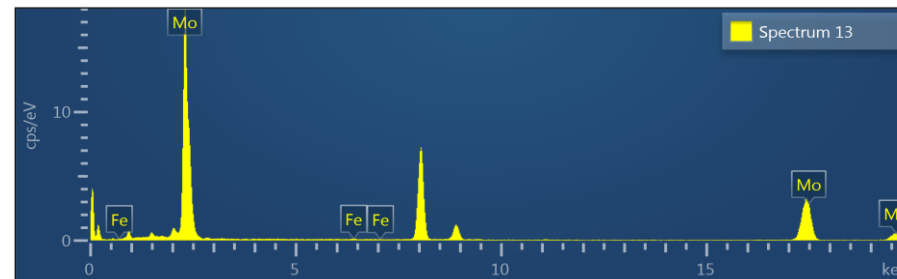
# Fe ion-beam irradiation-test result (2<sup>nd</sup>), 24.07.29.-07.30.

## TEM-EDS 분석 결과 by 울산대학교



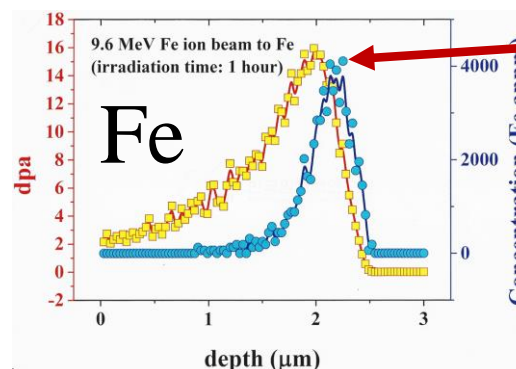
Element	Line Type	wt%	at%
Fe	K series	0.18	0.32
Mo	L series	99.82	99.68
Total		100.00	100.00

Peak 부분의 EDS 분석 결과

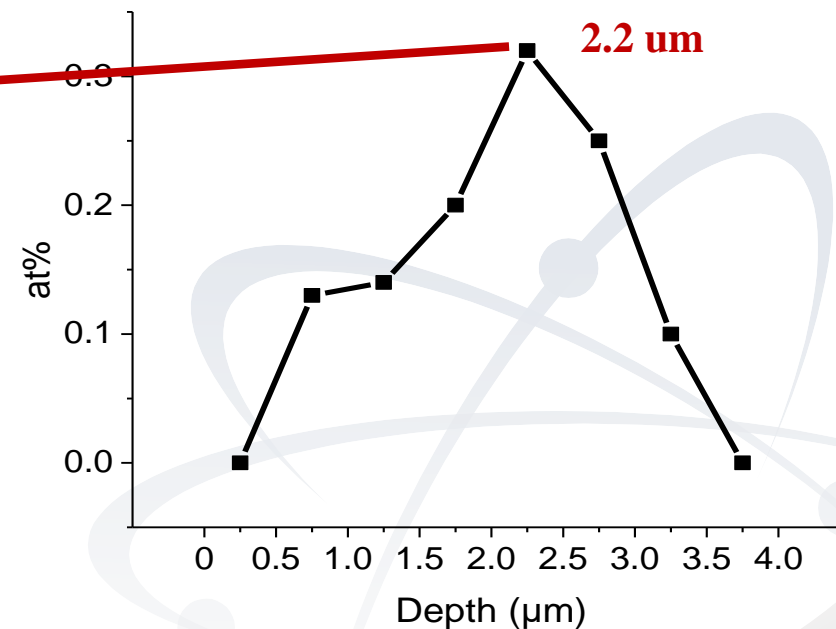


깊이에 따른 Fe의 함량 (실험결과)

—■— at%



Cf.SRIM/TRIM  
전산모사 결과



표면부에서부터 0.5μm 간격 TEM-EDS 분석



## "차세대 원자로 재료 연구" 원자력연구, 철 이온빔 서비스 개시

입력 2025.02.19. 오전 10:42 - 수정 2025.02.19. 오전 10:42

국내 최초...중성자 대신 재료에 쏘여 부품 손상 평가



원자력연구, 철 이온빔 조사 서비스 개시  
[한국원자력연구원 제공. 재판매 및 DB 금지]

## 원자력연구, 철 이온빔 조사 원전·핵융합로 손상 살펴

내달부터 국내 최초 서비스  
초당 1000억개 추출·조사

한국원자력연구원이 국내 최초로 3월부터 원자력 및 핵융합 재료 연구를 위한 철 이온빔 조사 서비스를 제공한다고 19일 밝혔다.

원자로·핵융합로에서 방출되는 고에너지 중성자는 핵연료 피복관과 구조재료 등에 손상을 줄 수 있어 재료의 손상 정도 관련 연구가 필요하다.

다만 연구용 원자로나 중성자 발생장치로 중성자를 직접 조사하는 시험은 상당한 시간·비용이 소요돼 중성자와 특성이 유사한 이온 조사 연구가 활발하다.

다음 달 서비스를 시작하는 철 이온빔 조사는 가동 중 원전과 차세대 원자로, 핵융합로 및 응용산업에서 널리 사용되는 철강 재료 손상을 신속·정밀하게 평가할 수 있는 방법이다.

불필요한 물리·화학 반응이 없

어 순수한 조사 손상 영향 평가가 가능하다. 이 때문에 원자력·핵융합 분야에서 철 이온빔 수요가 꾸준히 증가했지만, 철은 기체화하기 어렵고 이온 추출이 까다로워 기술 구현이 쉽지 않았다.

원자력연구는 금속 원소를 이온화해 가속할 수 있는 금속이온원장비를 구축해 국내 최초로 철 이온빔 가속 및 조사 기술을 확보했다. 철 화합물을 기체 상태로 이온화한 후, 전자기장으로 원하는 이온만 선별할 수 있는 이극전자석을 활용해 철 이온( $Fe^{13+}$ )을 초당 1000억개 추출·조사하는 데 성공했다.

가속된 철 이온 에너지와 재료 손상 정도를 확인한 결과, 경수형 원자로가 전 주기 운전했을 때 발생하는 손상 수준인 3dpa(방사선 손상 표시 단위)를 하루 만에 실험할 수 있음을 확인했다. 이는 여타 중성자조사시설과 비교 시 국내 최고 수준이다.

김영준기자 kyj85@etnews.com

1분  
5초

원자력·핵융합 재료  
철 이온빔 조사 개시!

국내 최초!

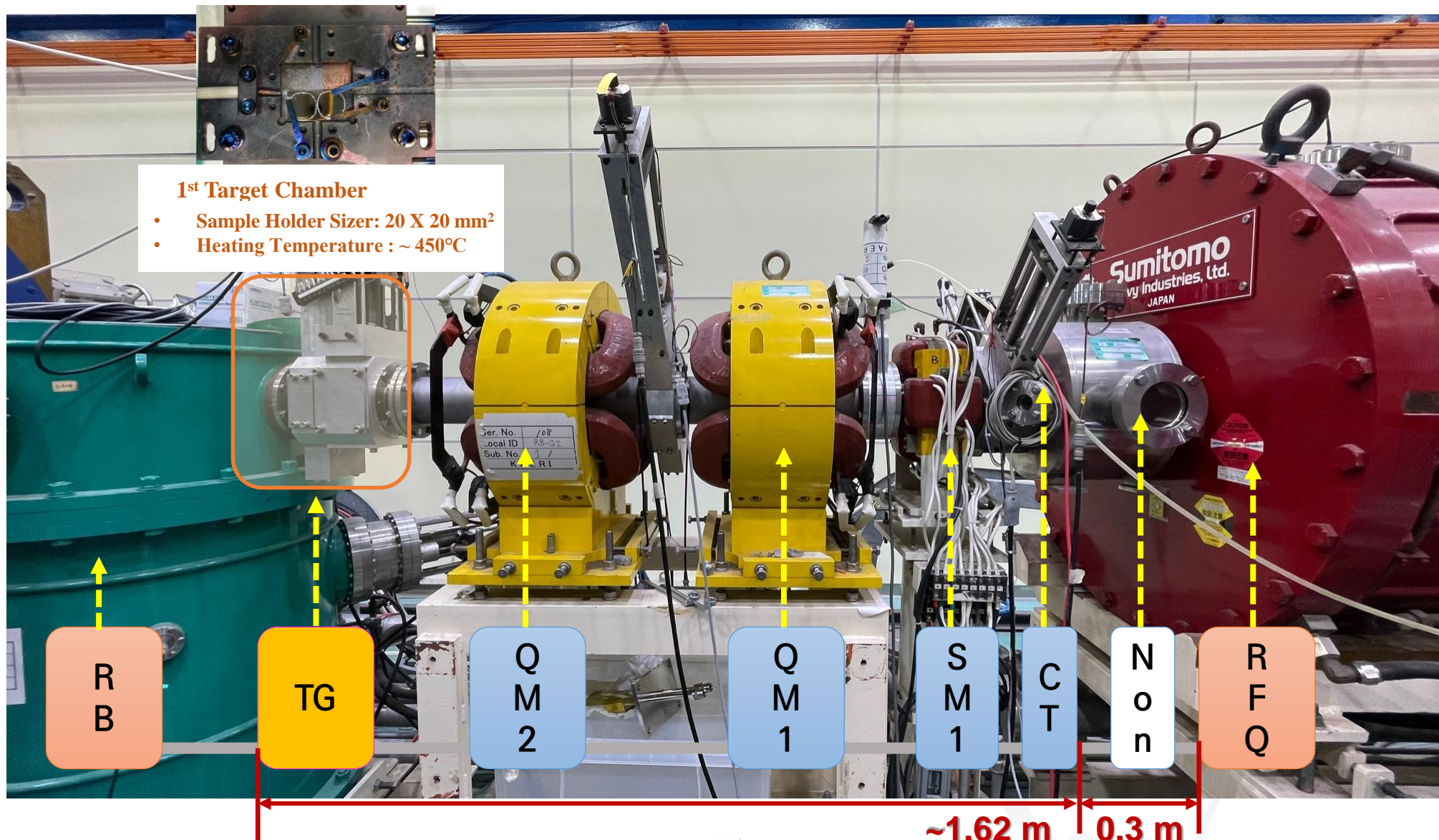


한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute

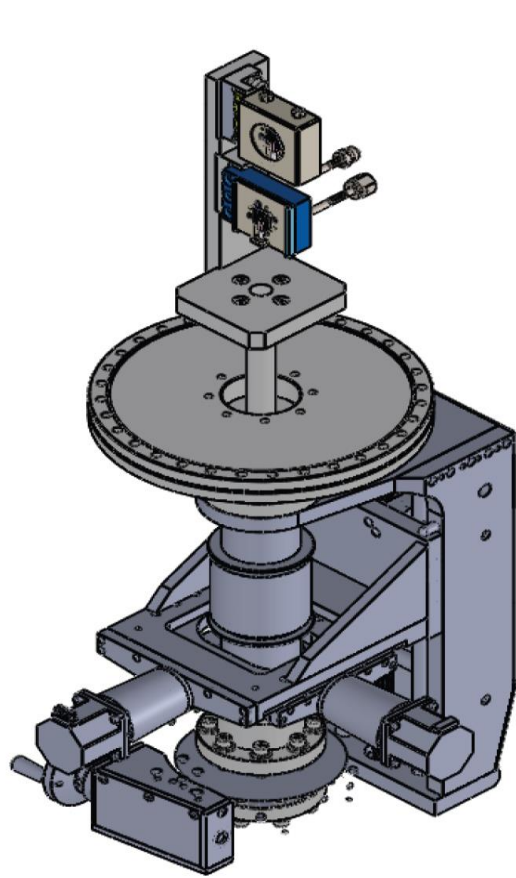




## MEBT beamline re-building : 25.10. ~ 26.04.

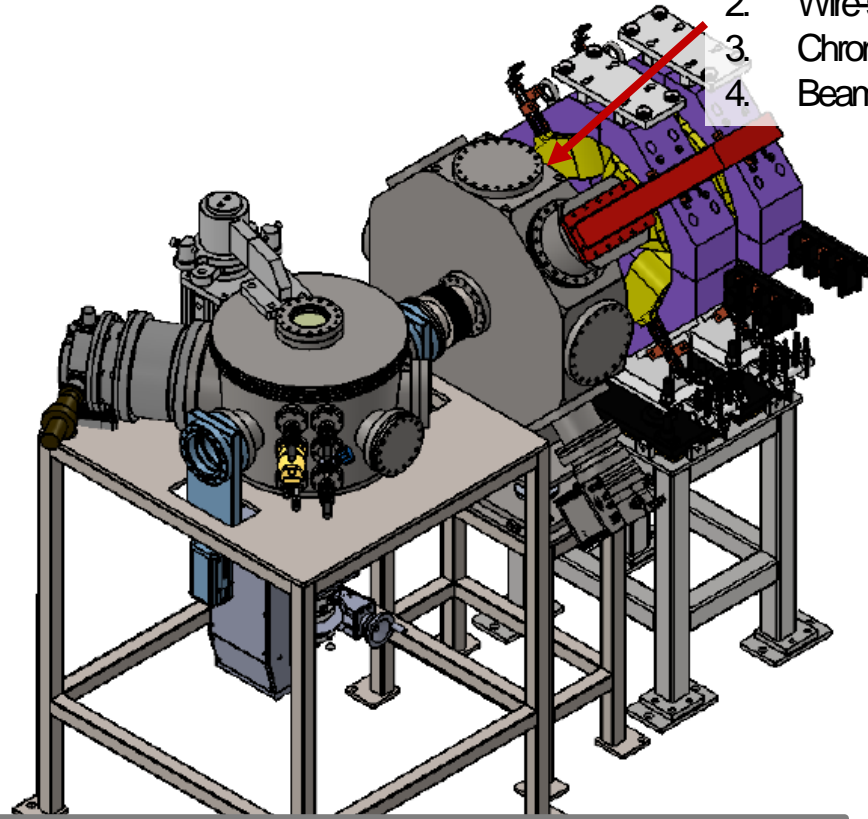
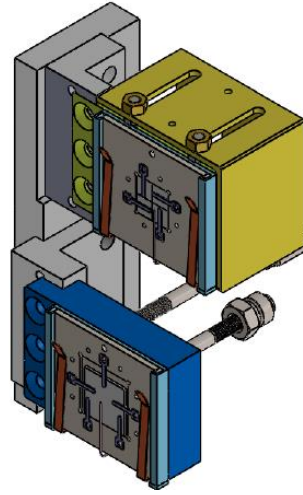


## 25.03. 설계 최종본



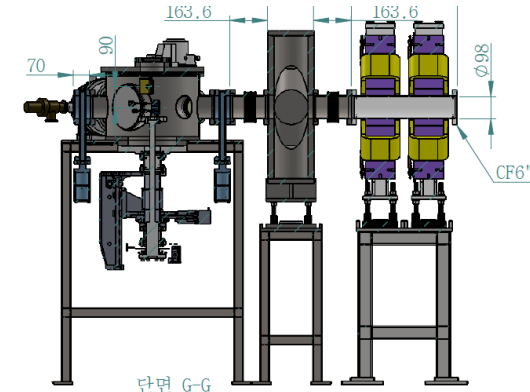
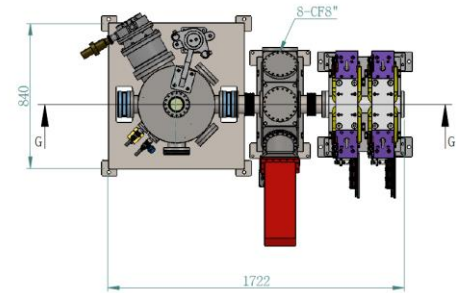
### Target Chamber 기능

1. **900°C max temperature**
2. X-Y Moving Stage
3. Rotating & tilting
4. Real-time Temp. Tracking
5. Beam-Spot tracking (IR Cam.)



### 진단용 Chamber 추가예정

1. Faraday cup (ICT): **빔 전류**
2. Wire-scanner (Beam profile): **빔 분포**
3. Chromox Screen – CCD (Beam size): **빔 크기**
4. Beam position (BPM): **빔 위치**

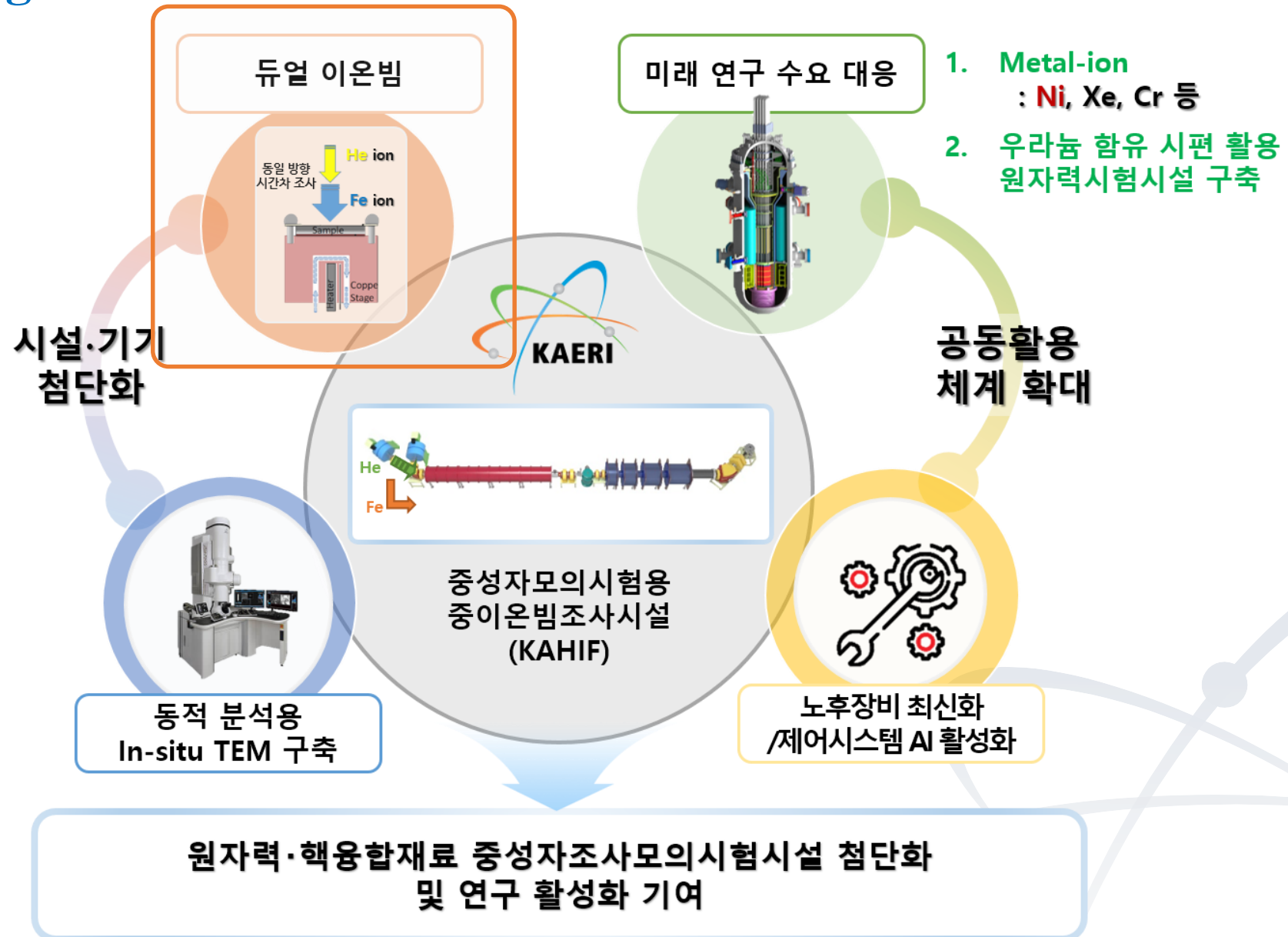


2024.11. Doublet (QM 2 set) 구매 완료  
2025.02. 진단챔버 제작설계 완료  
2025.03. 타겟챔버 제작설계 완료  
2025.05. 진단챔버 구매진행 중  
2025.08. 타겟챔버 구매진행 예정  
2025.11.~2026.05. MEBT re-building





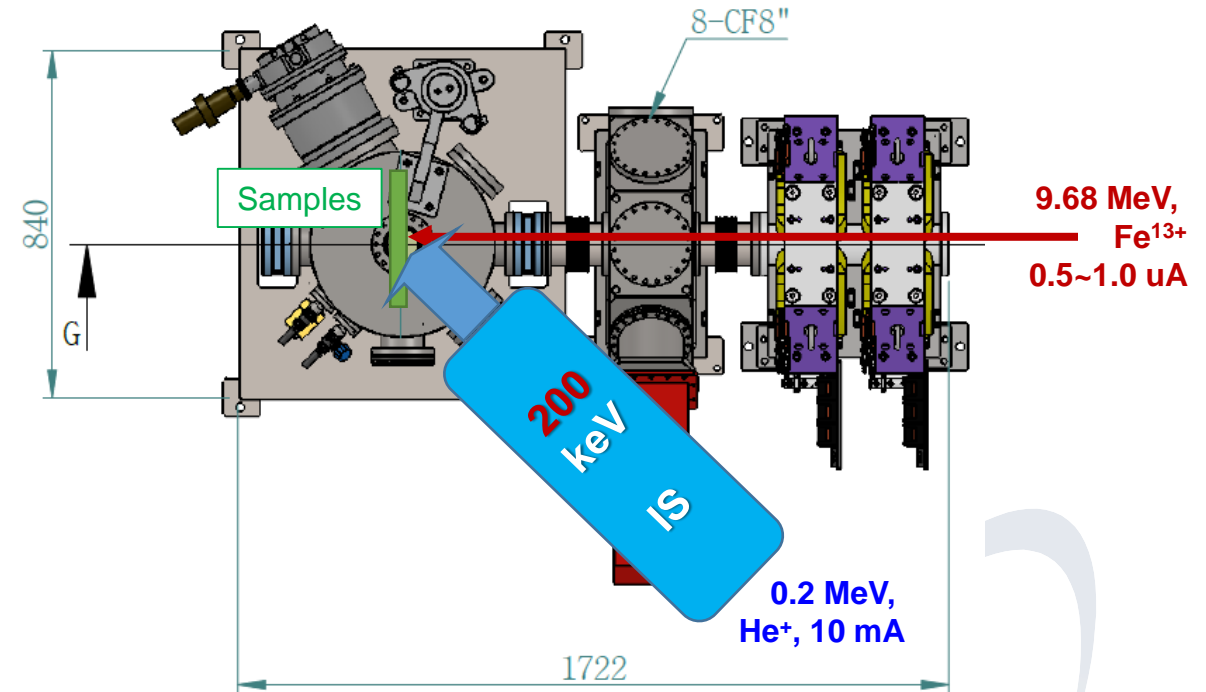
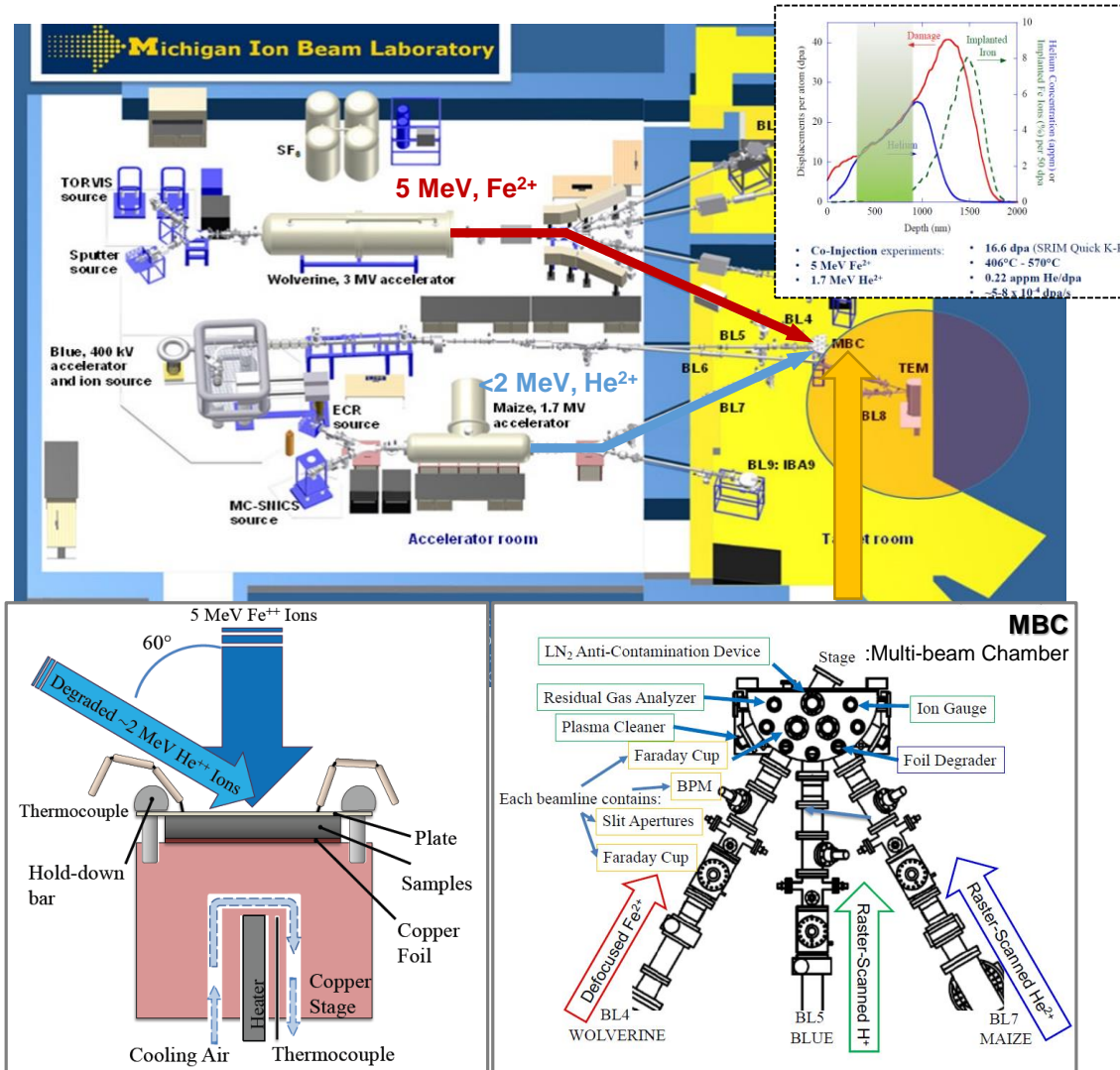
## To do things





04-1

# Dual-beam irradiation with low-energy He ions / high-energy Fe ions



- Temporary dual-ion beam test-bench
- 핵융합듀얼빔 구조재료 영향평가 일부 수행

# 04-2

## Dual-beam irradiation in one-RFQ (Cocktailed-beam irradiation)

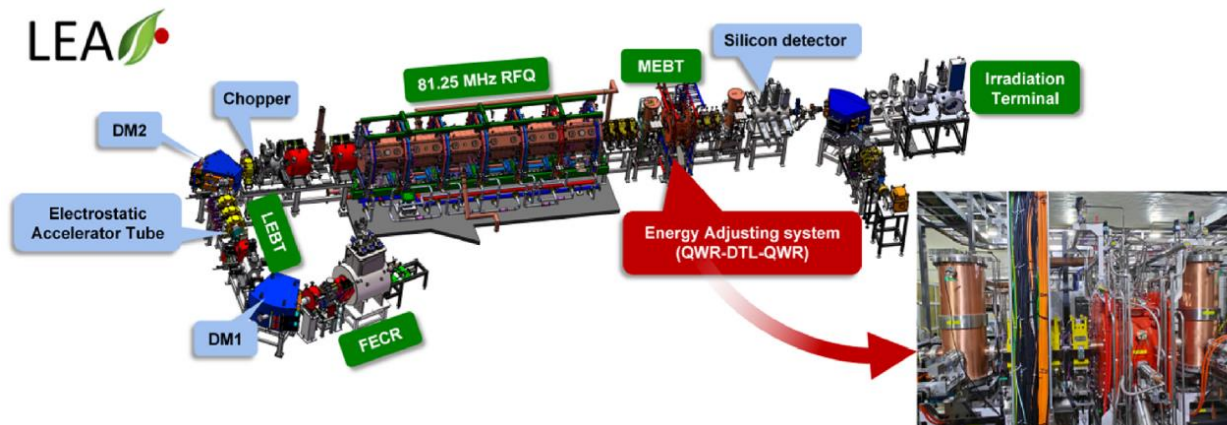
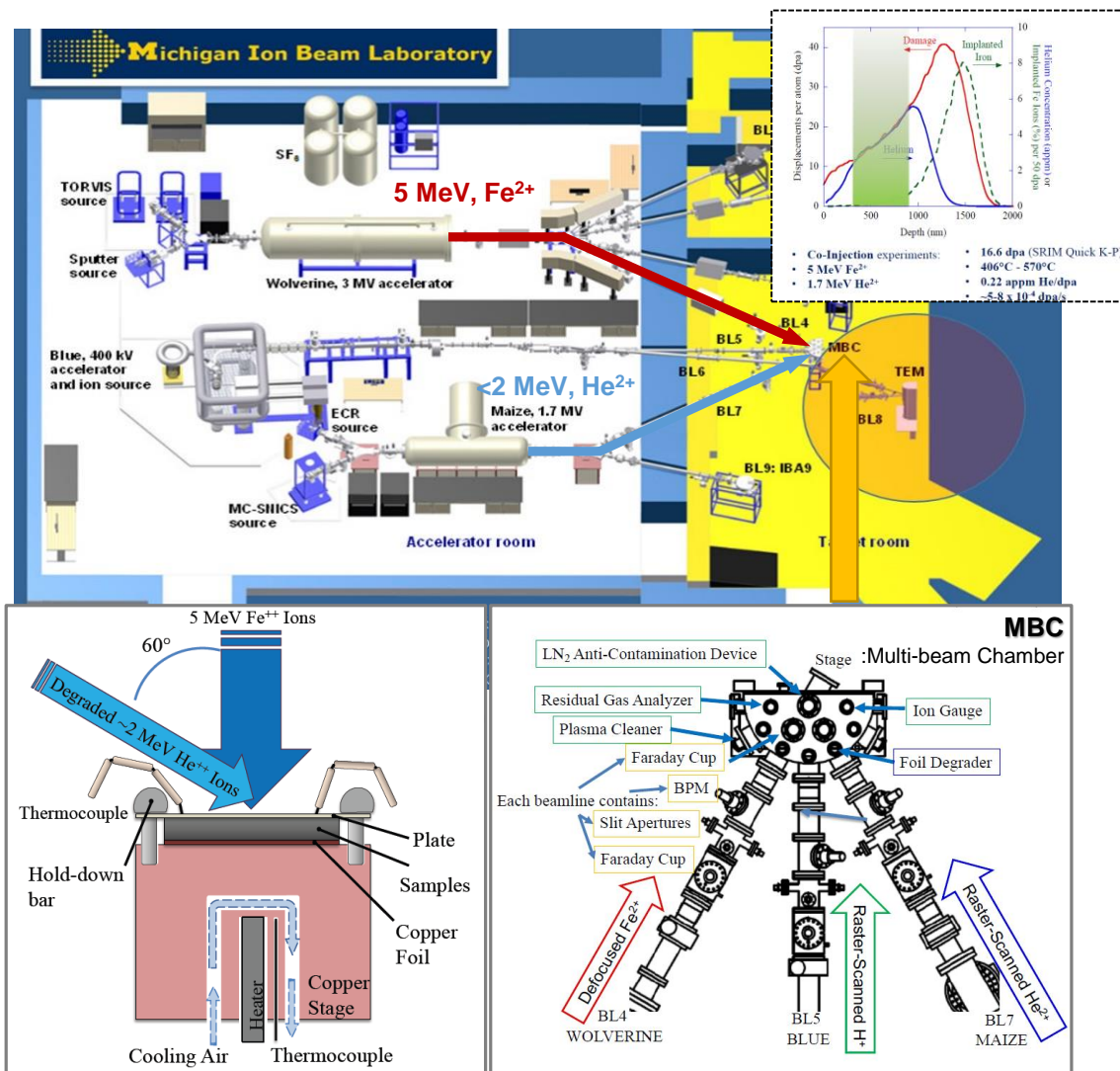


Fig. 1. Layout of the upgraded LEAF platform.

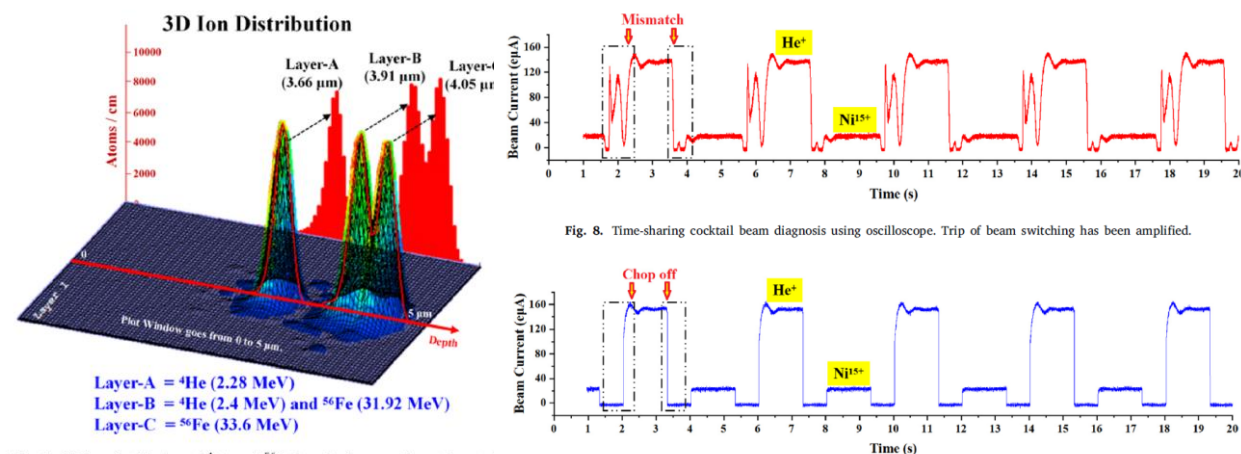
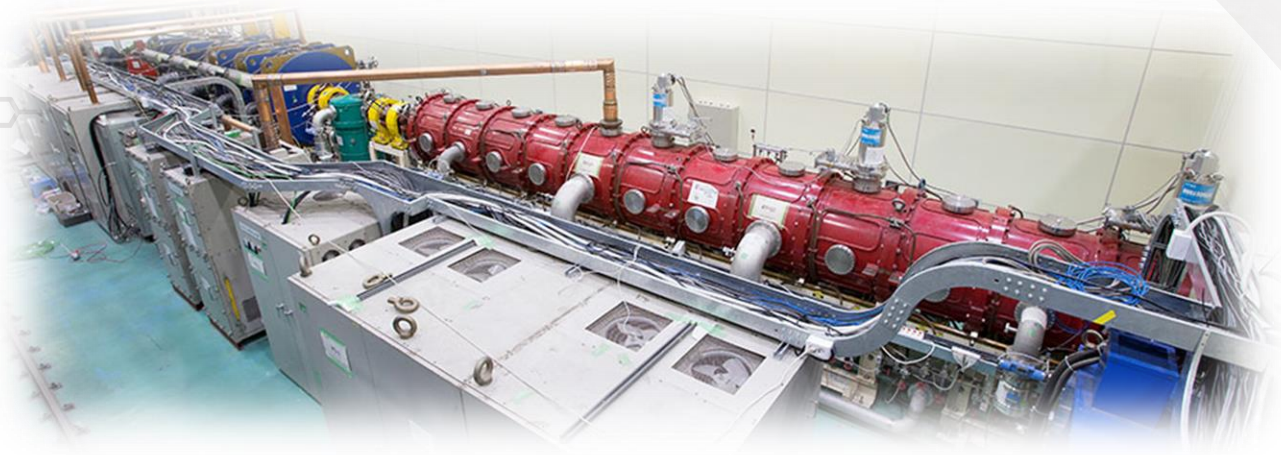


Fig. 6. 3D ion distribution of <sup>4</sup>He and <sup>56</sup>Fe ions in the experimental material under the mono-nuclear energy of 0.57 and 0.60 MeV/u.

Fig. 9. Modulated with a chopper.

- [6] Y.H.Zhai, et. al., Variable-energy cocktail beam technology for investigating synergistic damage in nuclear materials on LEAF platform, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A, 1069, 2024.
- [7] Y.H.Zhai, et. al., Production of high intensity highly charged cocktail beams at LEAF, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A, 1027, 2022.





*Quantum Engineering and Nuclear Fusion, 2025 KNS*



05

# Conclusion



# 05 Conclusion

- 2022년부터 일반이용자 대상,  
원자력/핵융합재료용 **He, Ar, Fe** 이온빔 조사시험 빔 서비스 제공중
- 이온빔 활용하여, 중성자조사손상모의 실험 포함,  
핵융합/원자력 대면재/구조재/디버터 재료 영향평가 수행할 수 있음
- 2025년 상반기 (3월~7월) KAHIF 이용자 빔 서비스 절찬리 수행중  
: 고온 타겟챔버 업그레이드 **약 6개월 (25.10.~26.04.) Shut-down 예정**
- 듀얼-이온빔 (He / Fe) 조사시설 업그레이드  
: 2025~2026년 설계 수행예정 -> 이용자 검토 후, 구축 예정

**많은 관심 부탁드립니다!**

# THANK YOU

