

EUV 가속기 현안보고

홍주호 박사 (산업기술융합센터 EUV 운영팀)

2023.10.12(목)



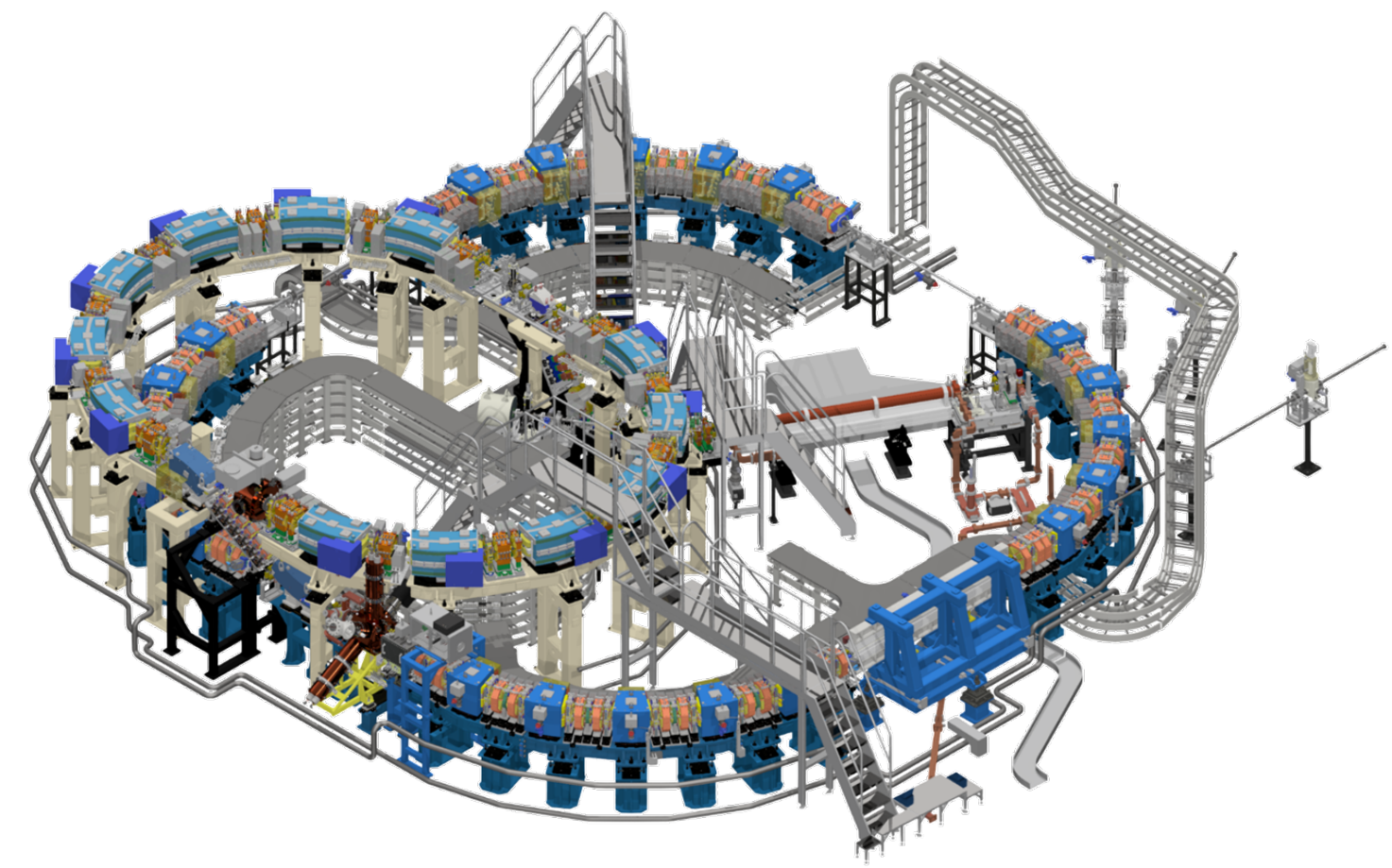
개요

❖ PAL-EUV 광원

- 선형가속기
- 부스터링
- 저장링

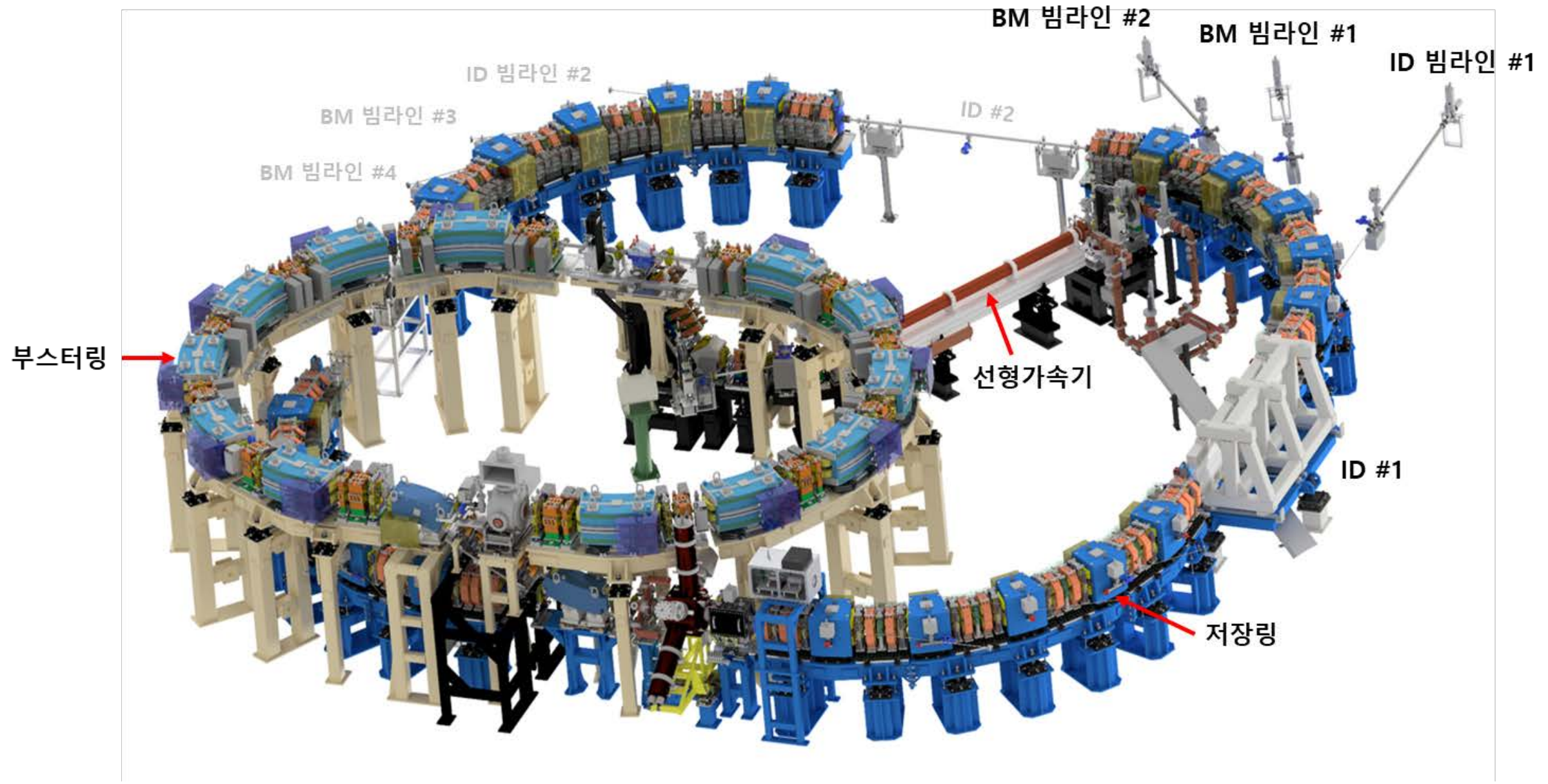
❖ PAL-EUV 광원 시운전

- 전자빔 발생
- 부스터링 입사
- 부스터링 DC 운전
- 부스터링 램핑
- 부스터링 출사
- 해야 할 일



PAL-EUV 광원

❖ 소형 가속기 기반 13.5nm EUV 광원



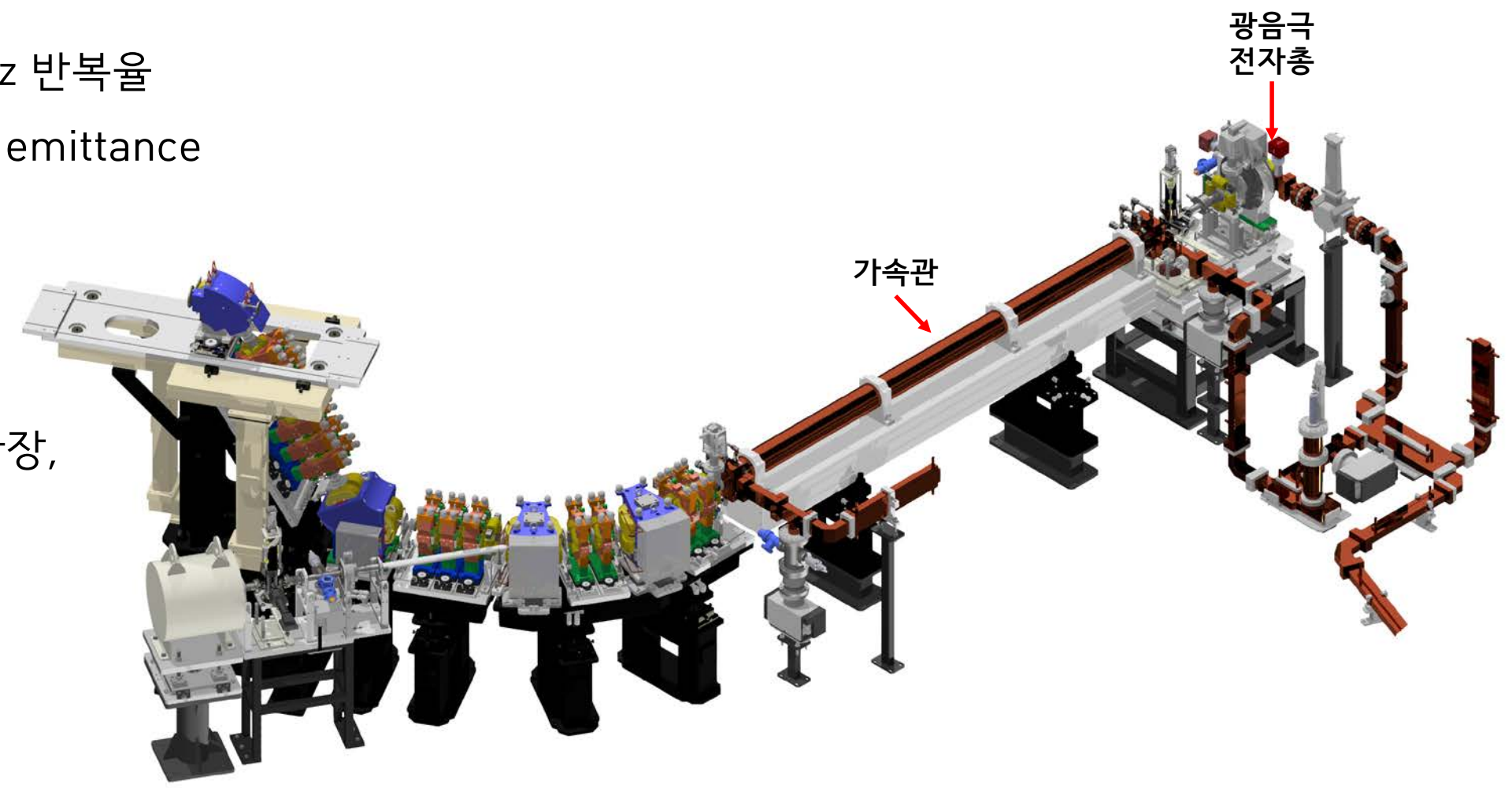
선형가속기 (Injector Linac)

❖ 선형가속기 종단 전자빔 사양

- 20 MeV에너지, 10~100 pC 전하량, 0.5 Hz 반복율
- 0.5 mm mrad Transverse normalized emittance

❖ 주요 구성품

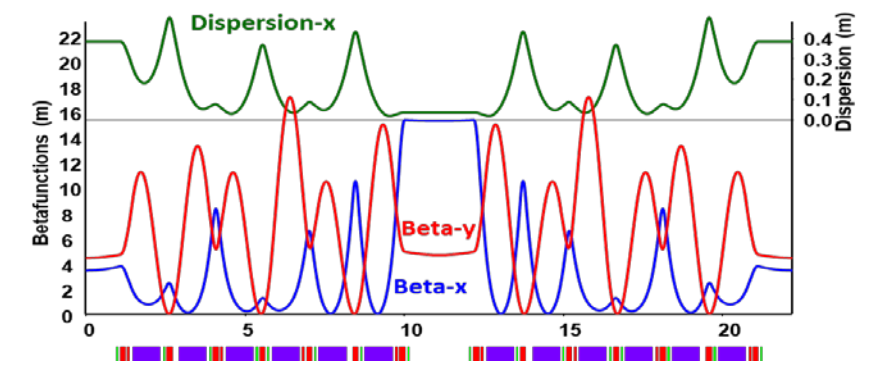
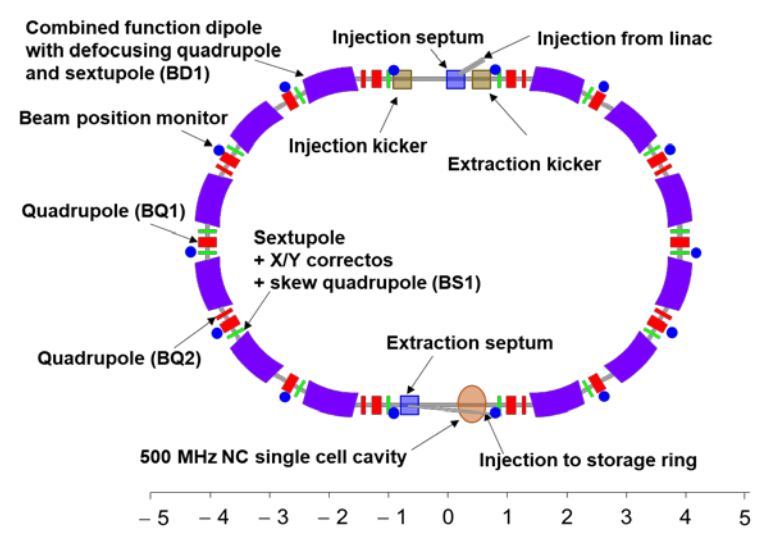
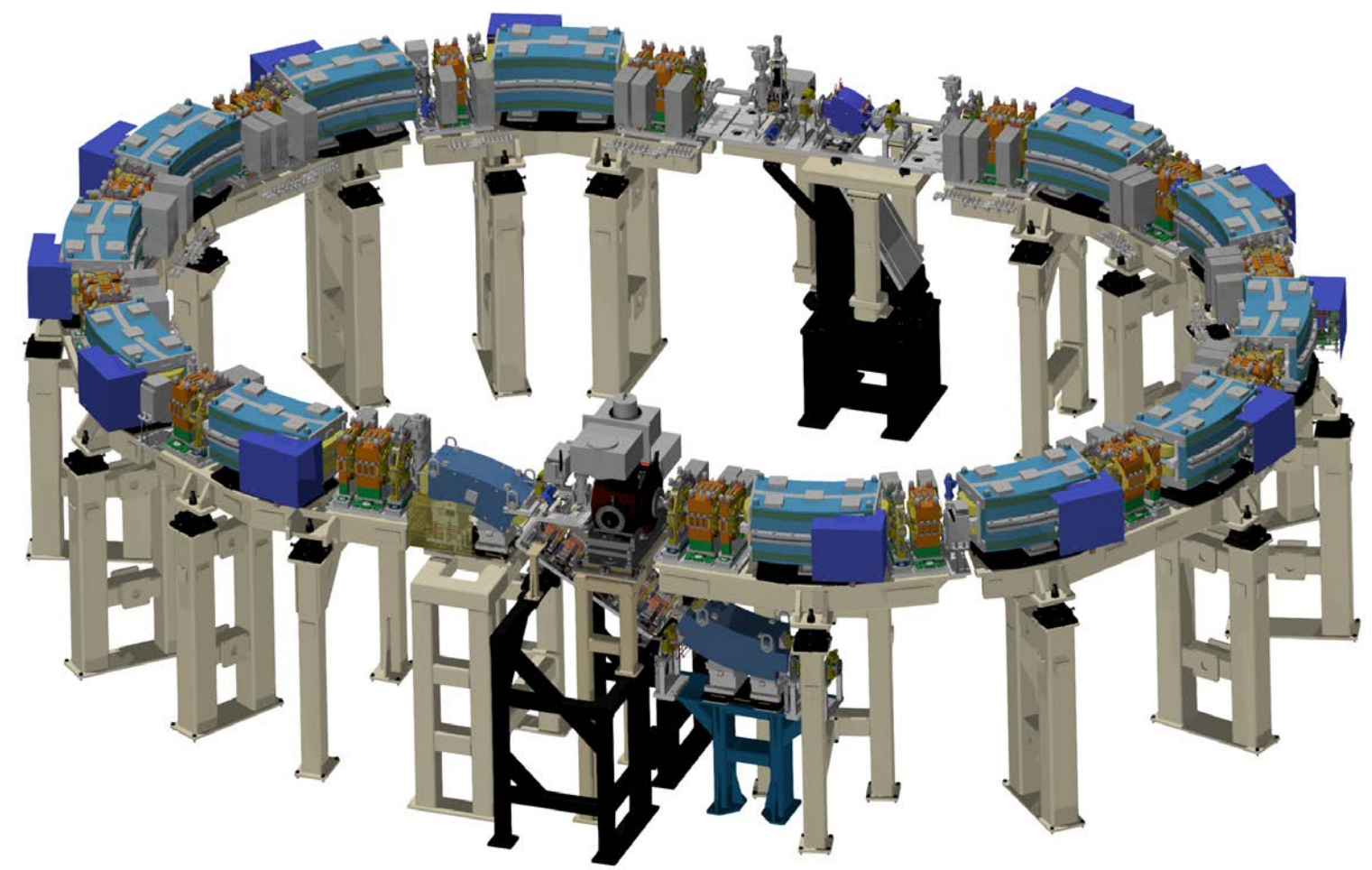
- 광음극전자총 (2856 MHz 주파수, SW)
- 전자총레이저 (150 μ J 에너지, 257 nm 파장, 5 ps FWHM 펄스길이)
- 가속관 (2856 MHz 주파수, TW)



부스터링 (Booster Ring)

❖ 부스터링 사양

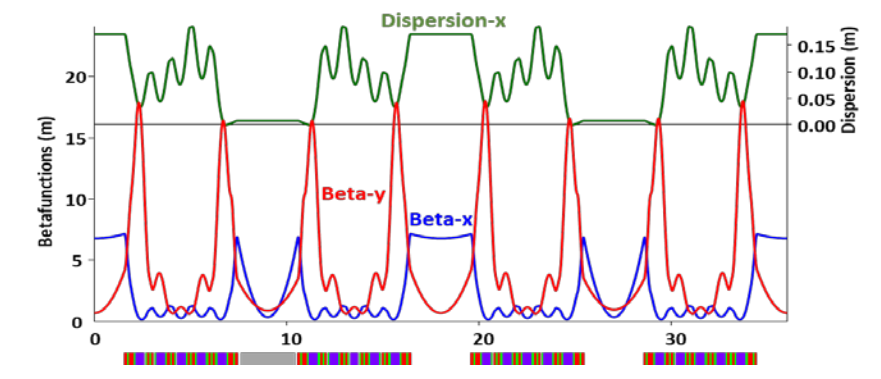
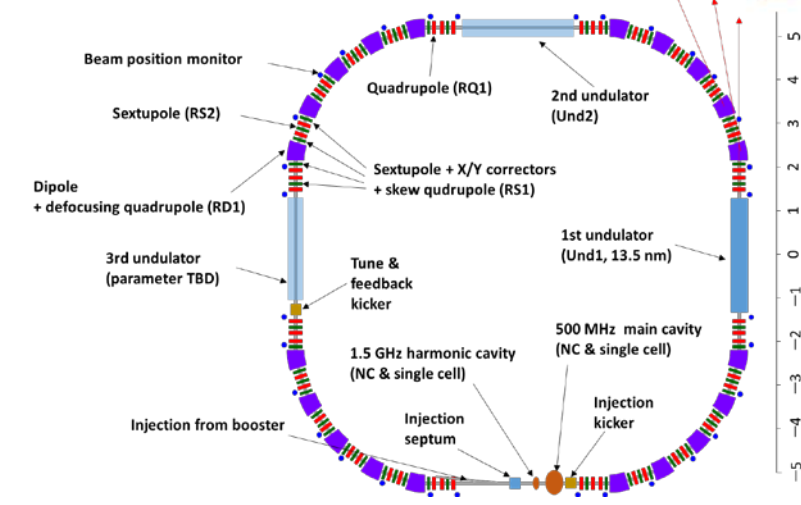
- 20 ~ 400 MeV 에너지 램핑
- 둘레 22.2 m (500 MHz, 37하모닉)
- 4.2 nm Horizontal emittance



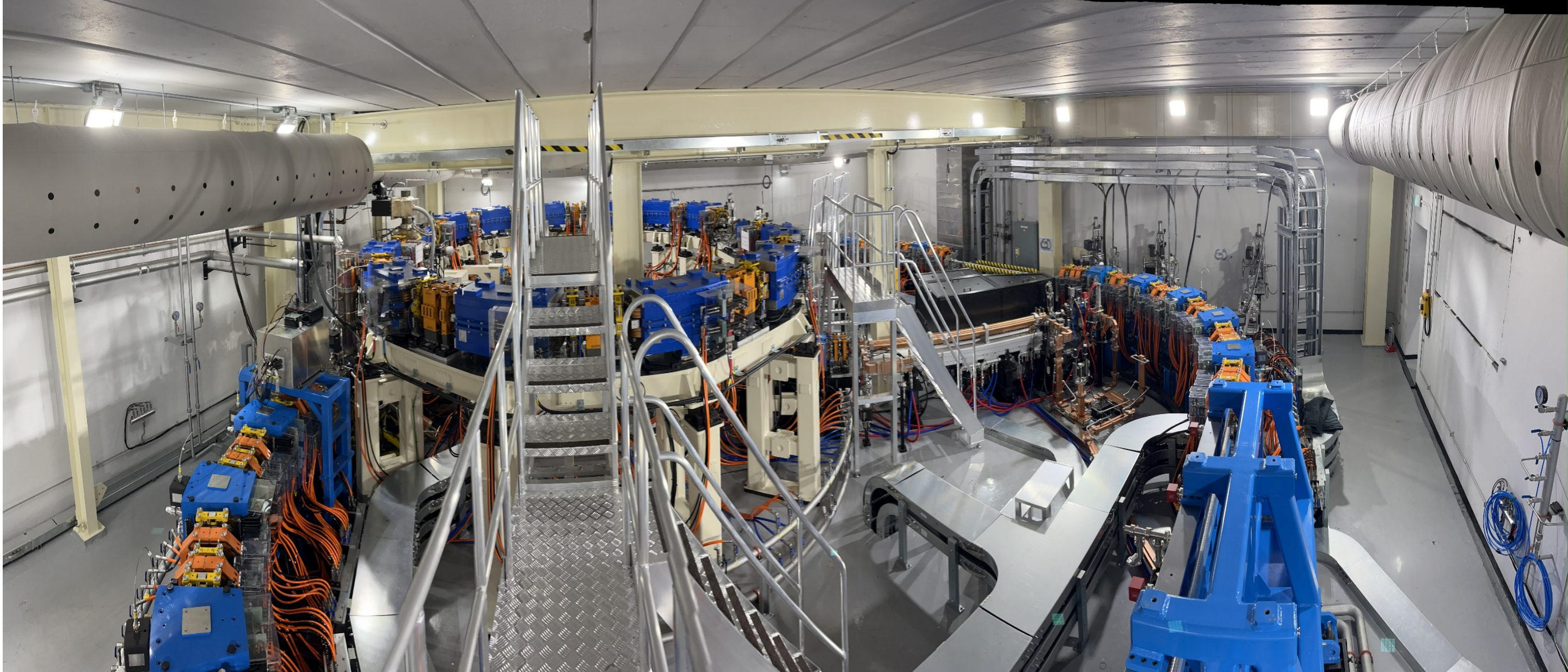
저장링 (Storage Ring)

❖ 저장링 사양

Parameters	Values @ 400 MeV
Circumference	36 m
Harmonic number	60
Beam current	140 mA
Emittance_X (nm)	1.16
Tune_X	7.153
Tune_Y	3.044
Chromaticity X, natural	-10.66
Chromaticity Y, natural	-16.71
Chromaticity X, corrected	1.0
Chromaticity Y, corrected	1.0
Alpha	0.0104
dE/turn (keV)	1.7
Energy spread (E-4)	3.82
Damping time X (ms)	30.7
Damping time Y (ms)	56.7
Damping time S (ms)	49.0



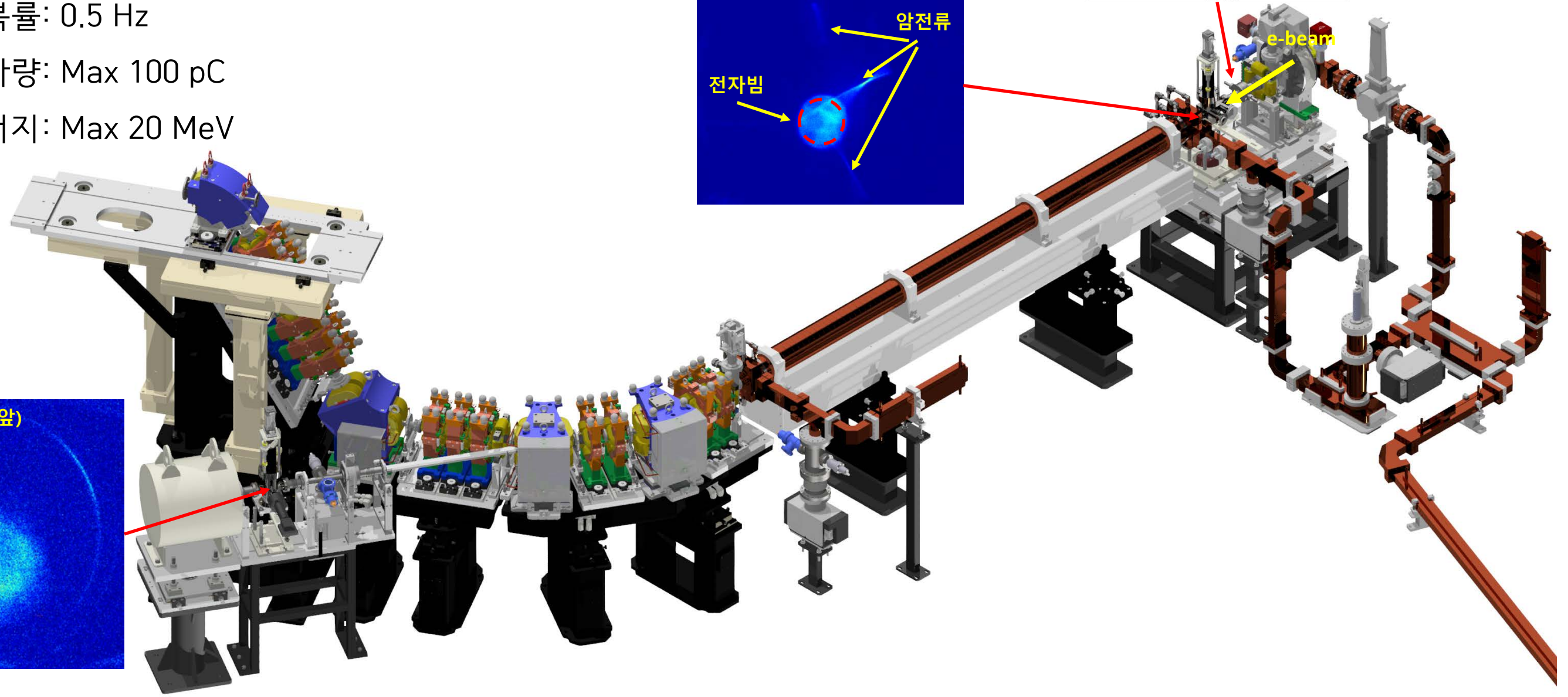
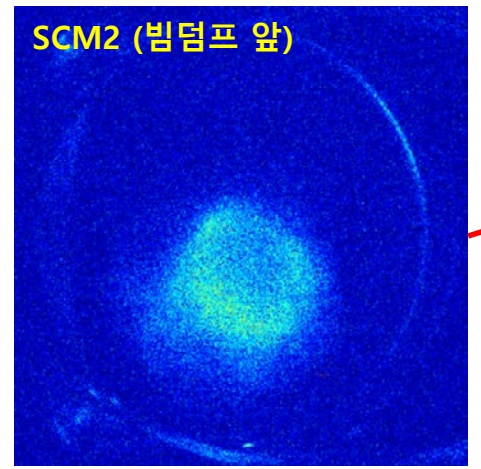
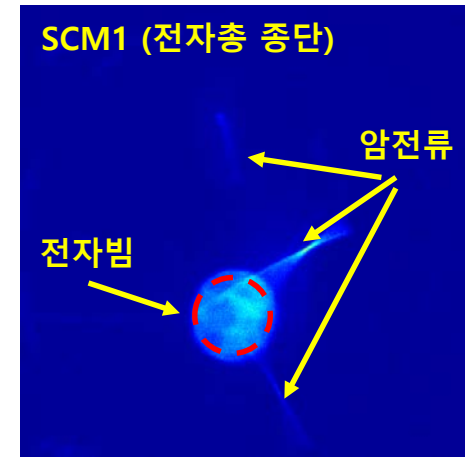
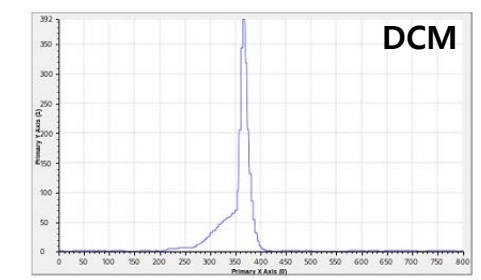
PAL-EUV 광원 설치 (22. 5~11월)



전자빔 발생

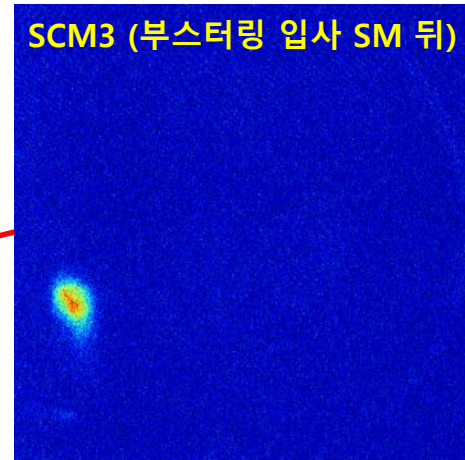
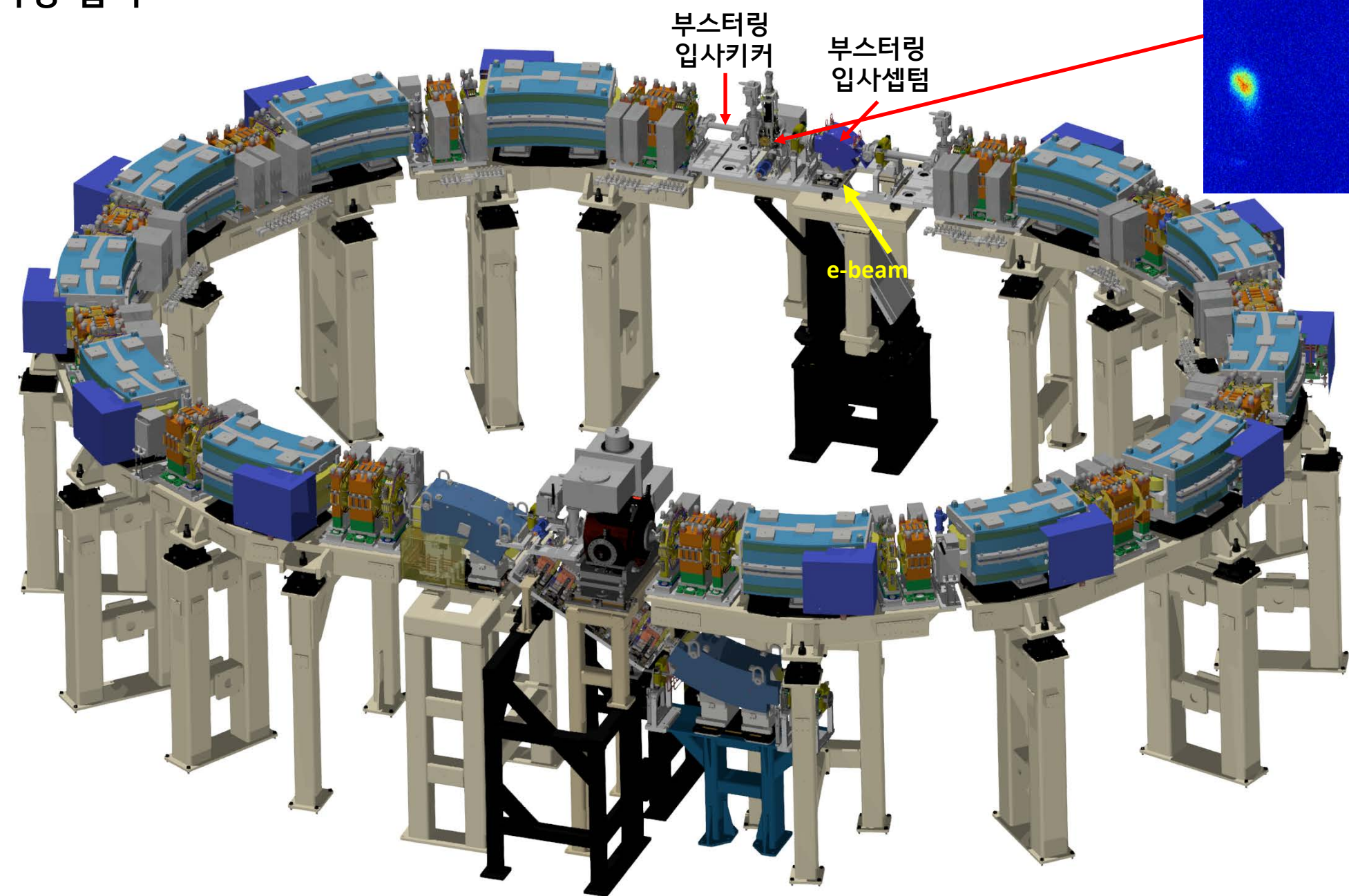
❖ 23. 2월 초 전자빔 발생

- 반복률: 0.5 Hz
- 전하량: Max 100 pC
- 에너지: Max 20 MeV



부스터링 입사

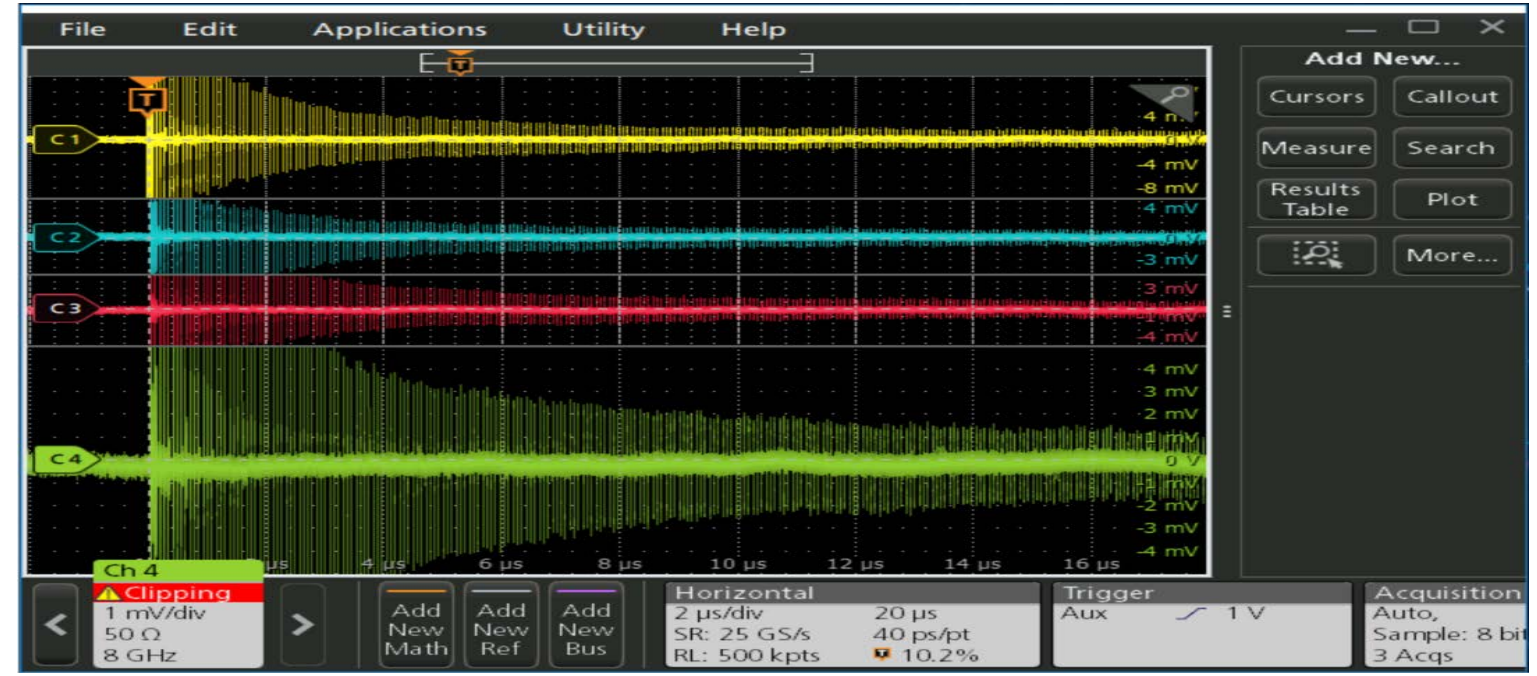
❖ 23. 2월 초 부스터링 입사



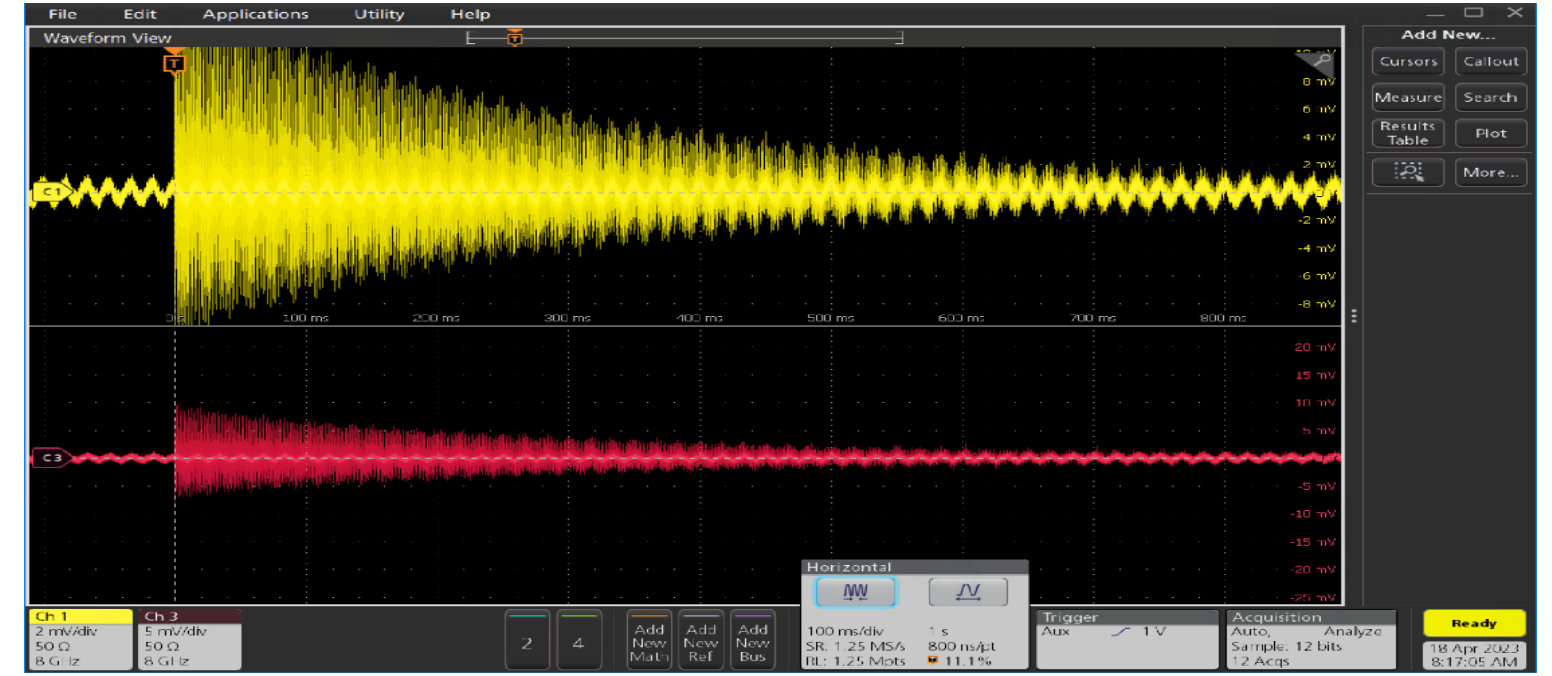
부스터링 DC 운전

- ❖ 23. 2~3월 주요 장치 EPICS IOC/CSS GUI 프로그램 적용하며 빔저장이 쉬운 Lattice 적용하여 DC 운전 시작
- ❖ 전자석 램핑 (ramping) 없이 DC (20 MeV) 에서 전자빔을 부스터링에서 회전 → DC 상태에서 ~800 ms 진행
- ❖ 반도체 모듈레이터 아킹, 전자총 레이저 고장/수리 등 다운타임 다수 발생

부스터링 RF OFF 상태에서 전자 빔 1~2 ms 진행

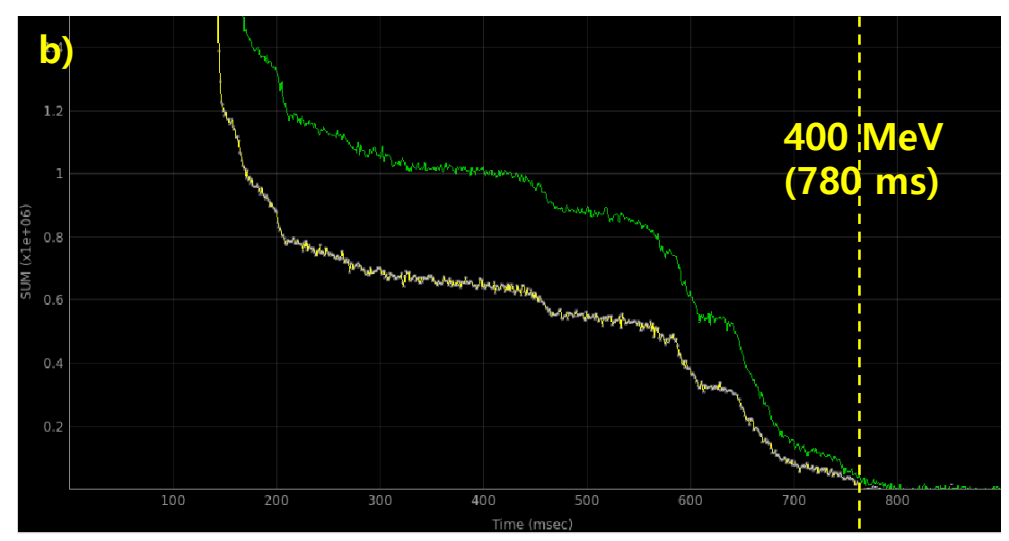
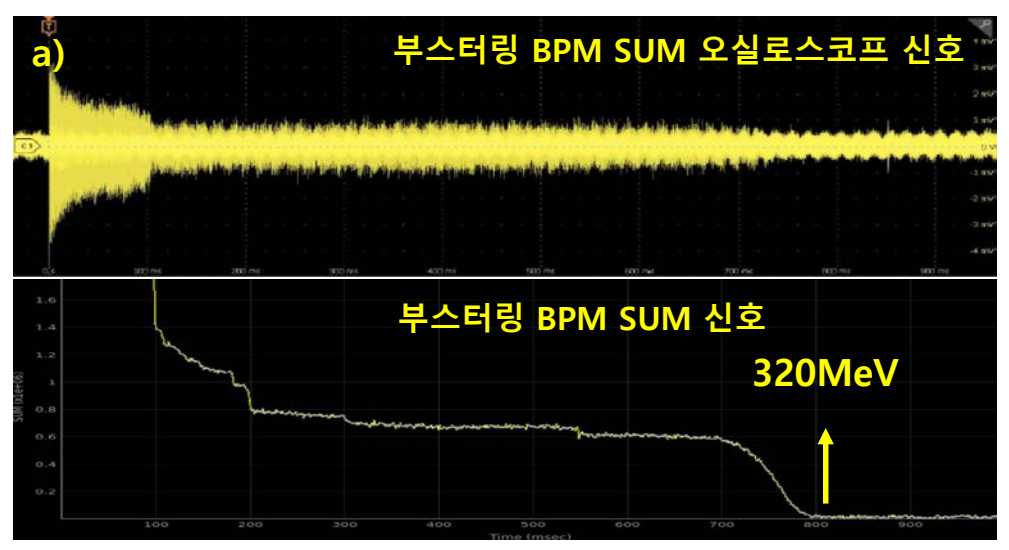


부스터링 RF ON 상태에서 전자 빔 ~1s 진행

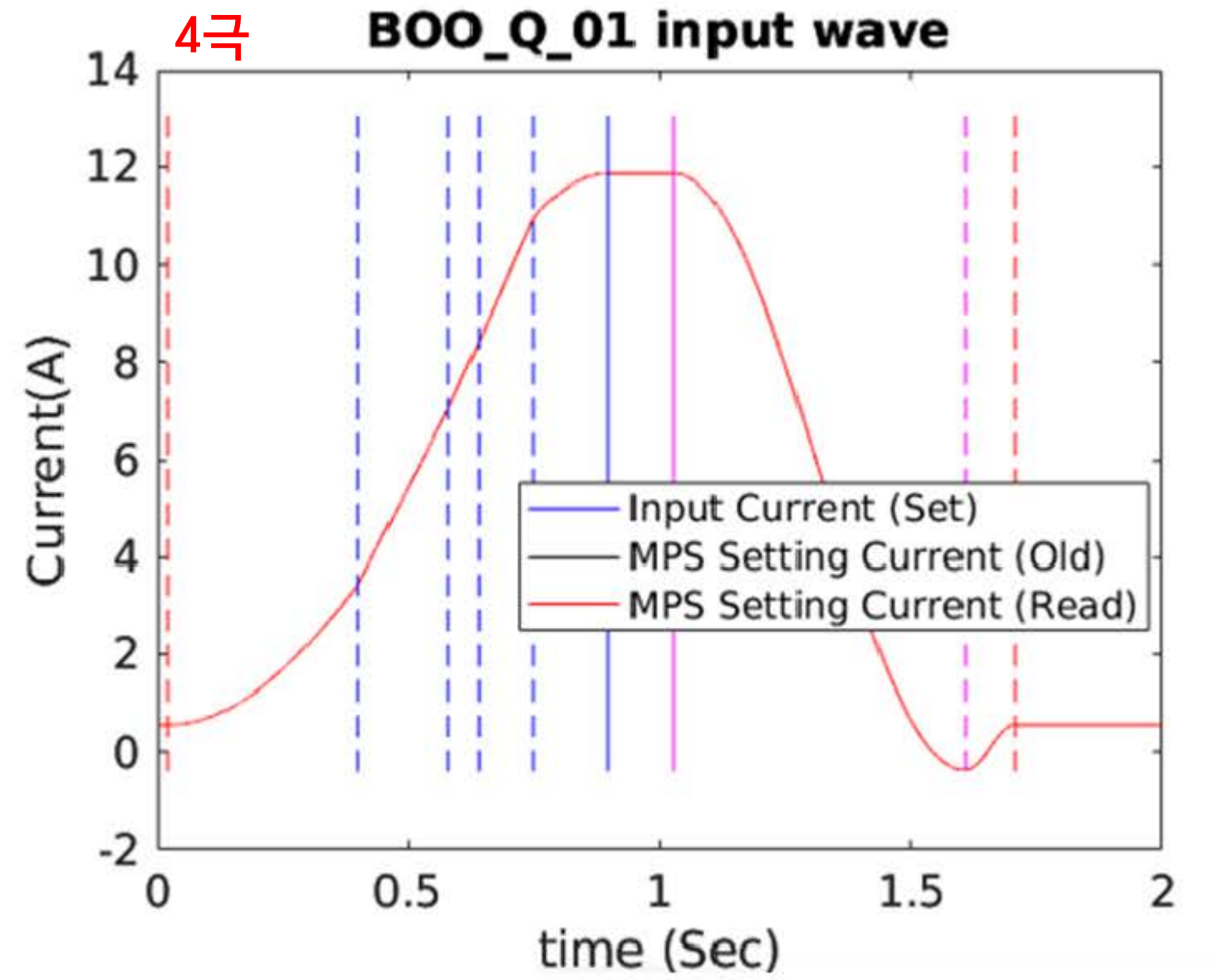
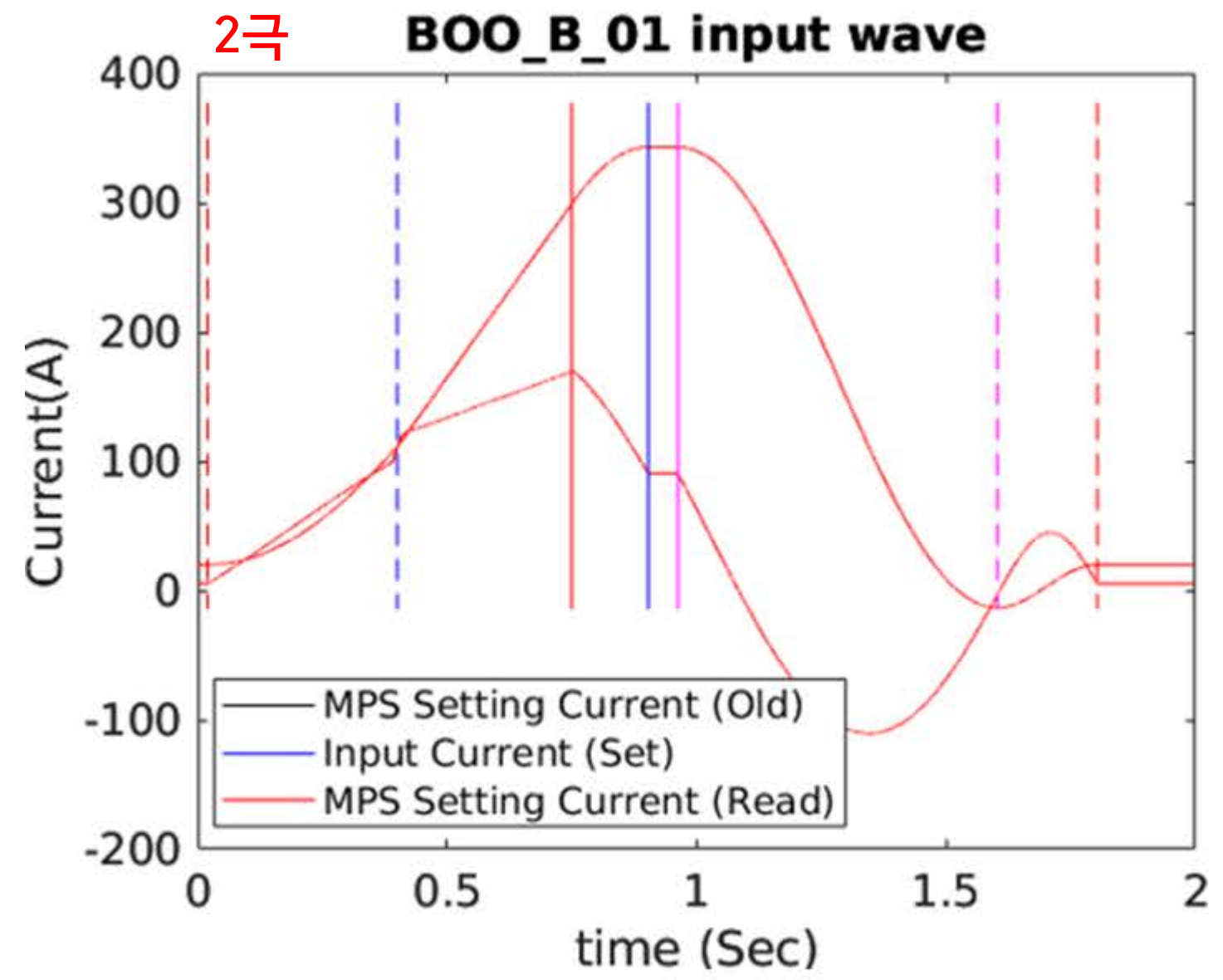


부스터링 전자석 램핑 (Ramping)

- ❖ 23. 4월 부스터링 전자석 램핑 시도
 - MPS waveform EPICS화, 내부 오실로스코프 신호 확인 Python 프로그램 적용, MPS 램핑 적용 Matlab 프로그램 적용
 - BPM electronics 60 Hz waveform 적용
- ❖ 23. 5월 전자빔 출사를 위해 Tune을 조정한 레티스 변경 후 전자석 램핑 계속 → 23. 7월 초 320 MeV 확인 (그림 a)
 - BPM electronics 모드 변경으로 1024 point waveform 확인 가능
- ❖ 23. 7월 램핑 시간을 줄여 램핑 → 400 MeV (~1 pC) 확인 (그림 b)

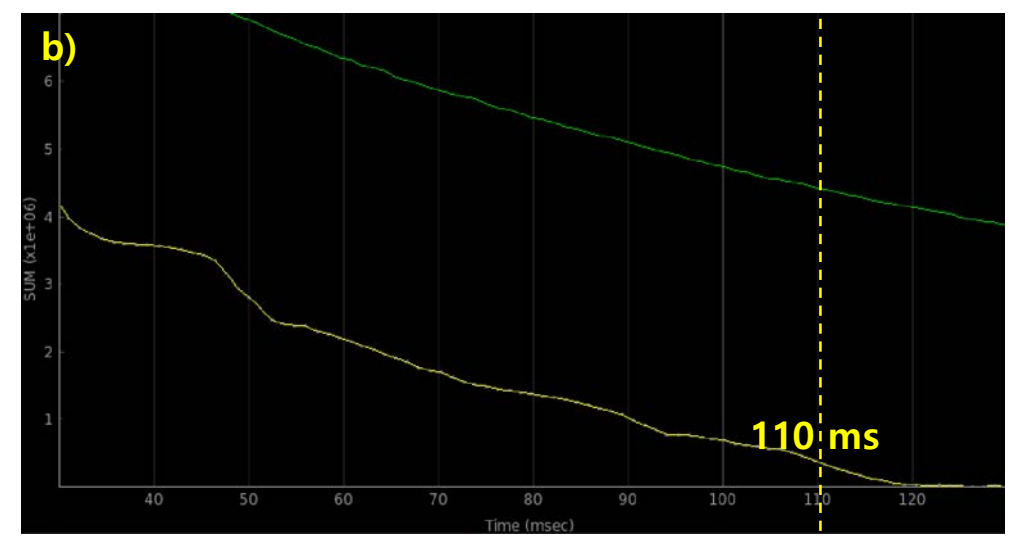
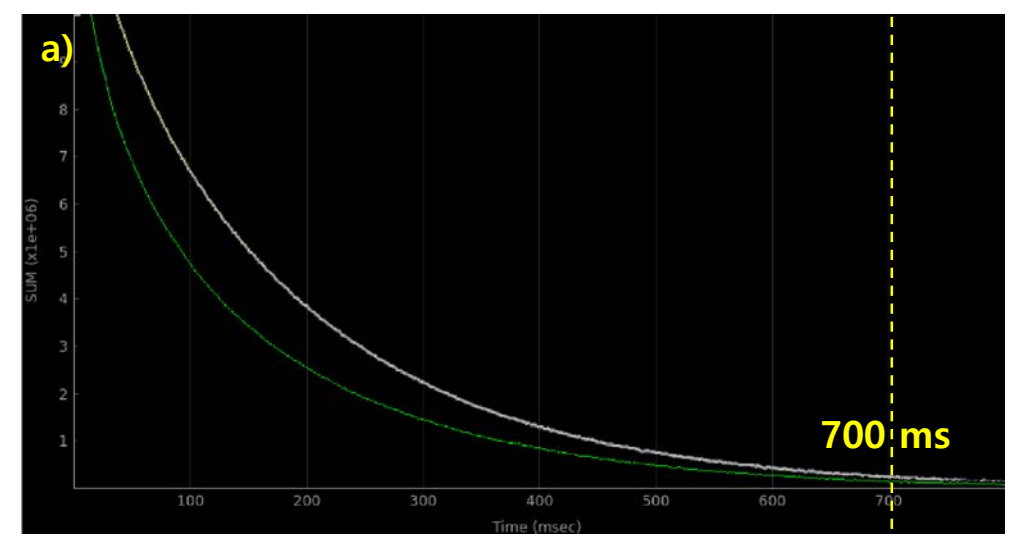
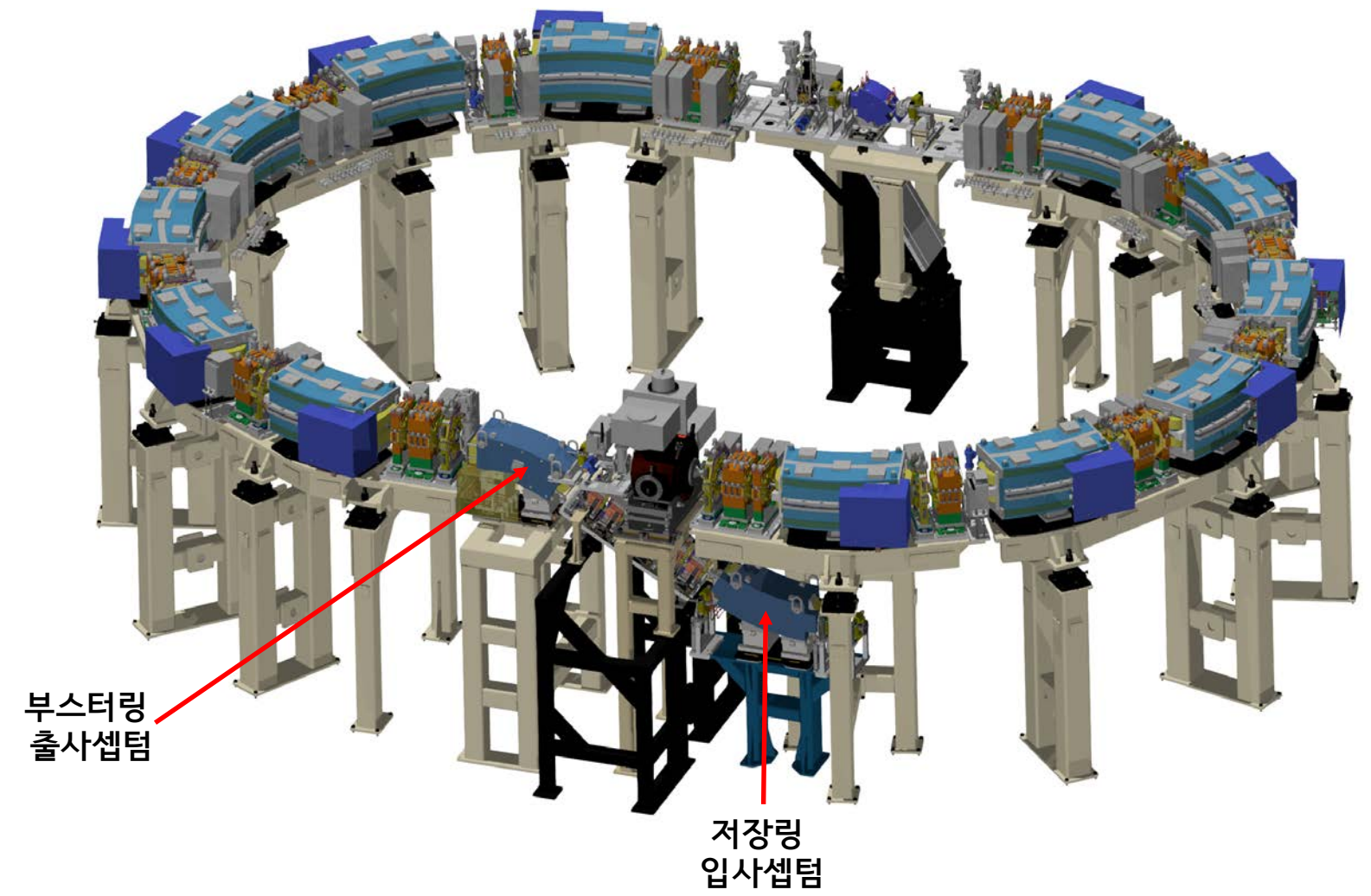


예) 부스터링 전자석 Ramping Waveform



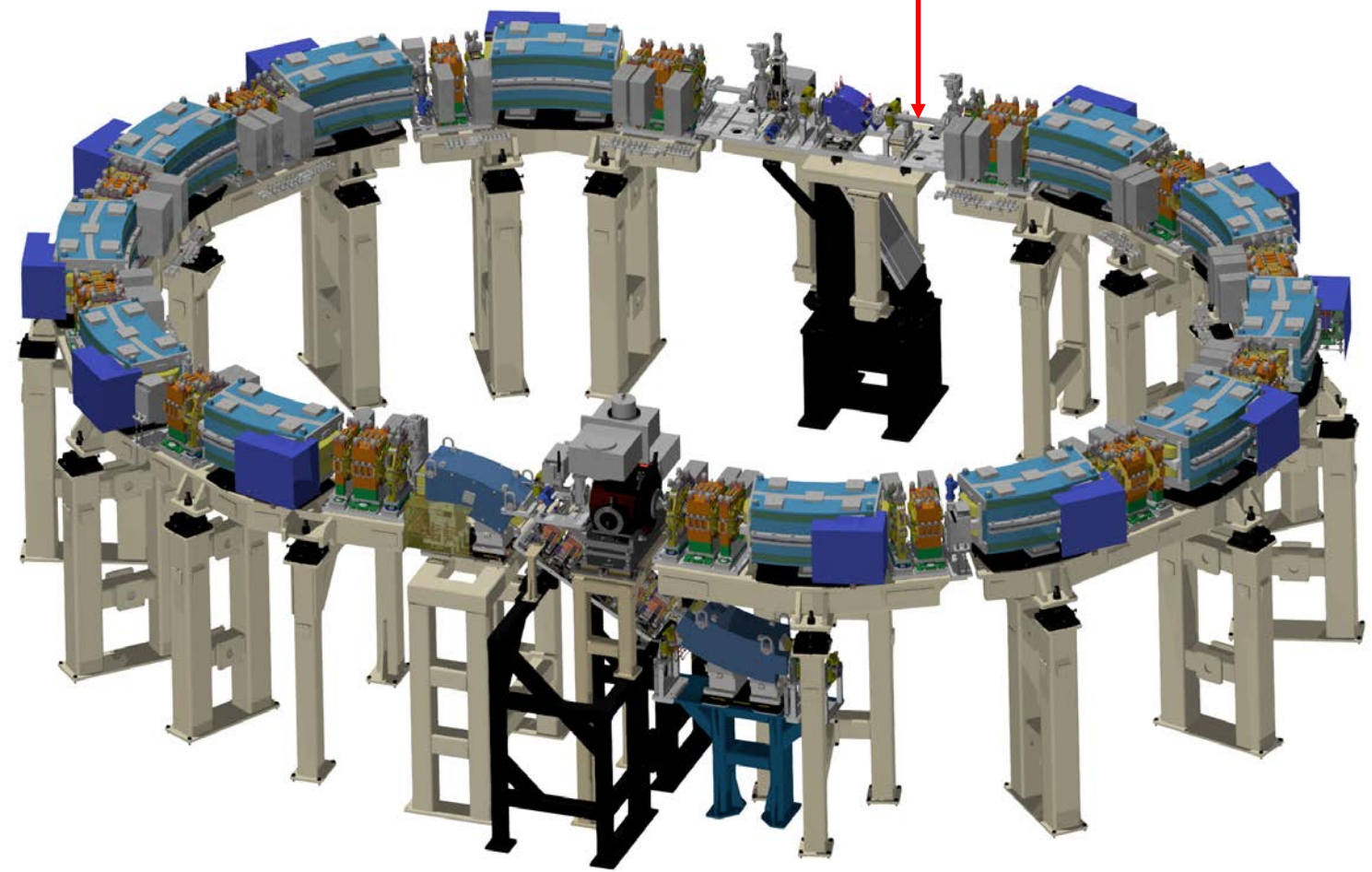
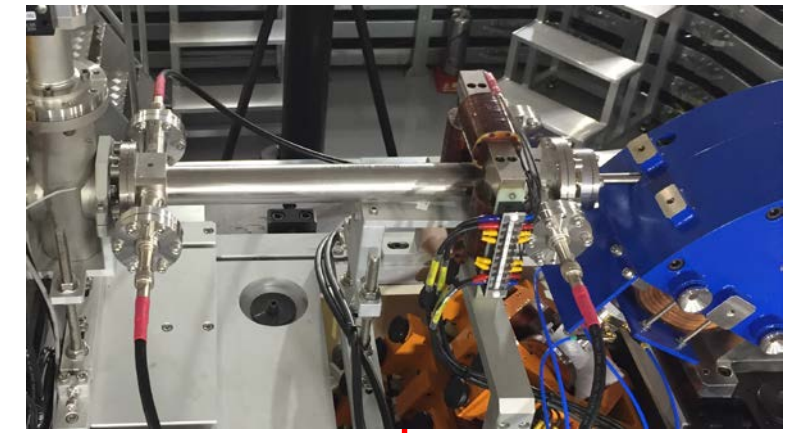
부스터링 출사

- ❖ 23. 8월 부스터링 출사샤프트 ON 후 DC 운전 (그림 a)
- ❖ 23. 9월 부스터링 출사샤프트 ON 후 전자석 램핑 진행중 → 110 ms (9.25, 목표 780 ms) (그림 b)



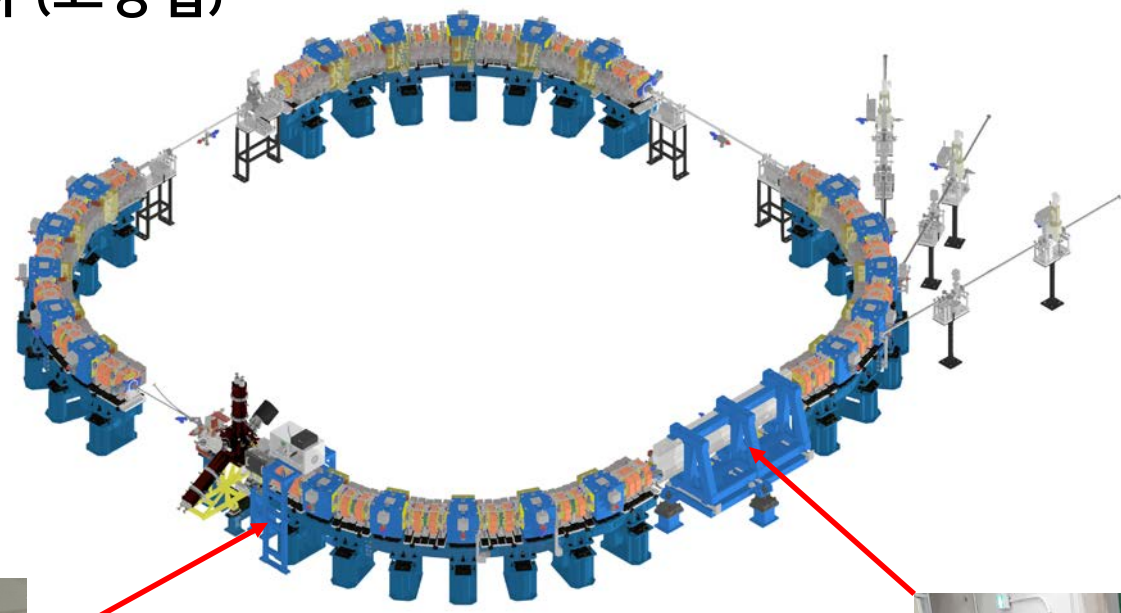
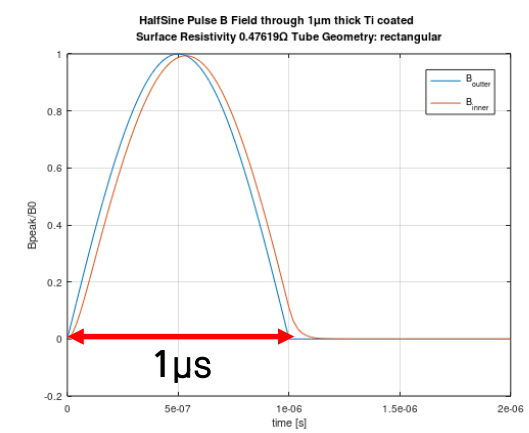
해야 할 일 - 부스터링 출사

- ❖ 부스터링 출사 - 부스터링 출사키커 (스트립라인형) → 부스터링 입사키커 사용 경험을 있음
- ❖ 고려점
 - 부스터링 출사 어려울 경우 새로운 레티스를 적용하고 다시 램핑을 해야할 수도 있음

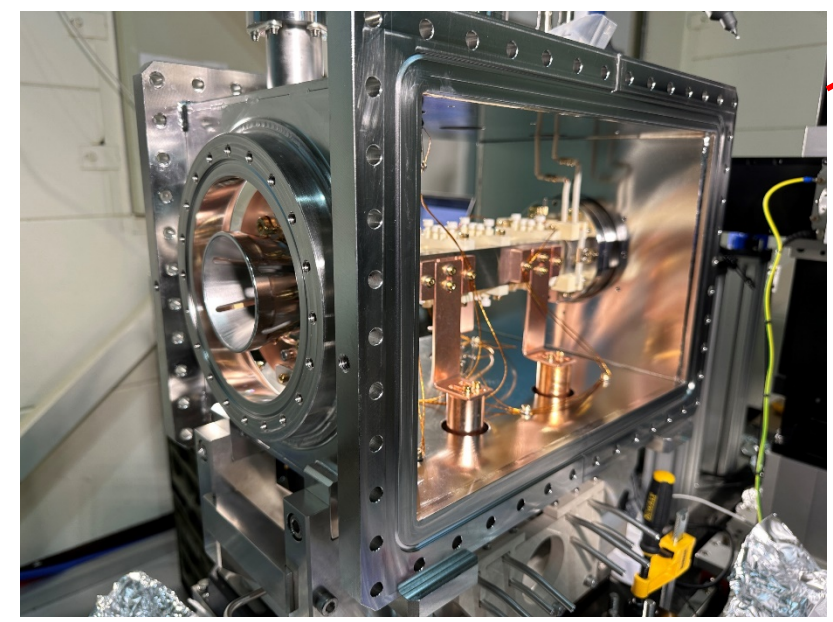


해야 할 일 - 저장링 입사/저장/EUV 발생

- ❖ 저장링 입사 - 저장링 입사키커
- ❖ 저장링 저장 EUV 발생 - 언듈레이터 (고정갭)



Hybrid, out-vacuum undulator
Period length : 14.6 mm
Total magnetic length : 2.7 m, 183(+2) periods
Magnetic gap : 8.8 mm
K-value : 0.502
Peak field : 0.368 T
Phase error < 10°
Magnetic material : NdFeB 47HN
Pole material : Vanadium Permendur



시운전 예상 일정

구분	23					24											
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
일정	시운전 (데모실험 포함) 및 장비 안정화													이용자 지원			

- 23. 11 : 부스터링 전자빔 출사, 저장링 전자빔 입사
- 23. 12 : 저장링 1번치 전자빔 저장
- 24. 1 : 저장링 전자빔 저장
- 24. 2 : 광자빔(EUV) 발생
- 24. 3~4 : 빔전류 증강
- 24. 5 : 유지보수
- 24. 6 : 최종 점검
- 24. 7~8 : 데모실험
- 24. 9~ : 이용자 지원

*** 당초 계획 (23년 9월 이용자 지원) 대비 일정 지연으로 운영계획 조정**

- 극자외선 가속기 시운전 일정을 현실화하고, 시운전 과정에 다목적 가속기 지원 인력도 함께 참여하여 노하우 공유 추진
- 다목적 가속기의 선행연구장비 / 테스트베드의 역할도 겸하고 있어, 충분한 시운전 기간 확보를 통해 관련 기술 확보 추진

경청해 주셔서 감사합니다.

