

KSTAR장치 소개 및 인허가 현황

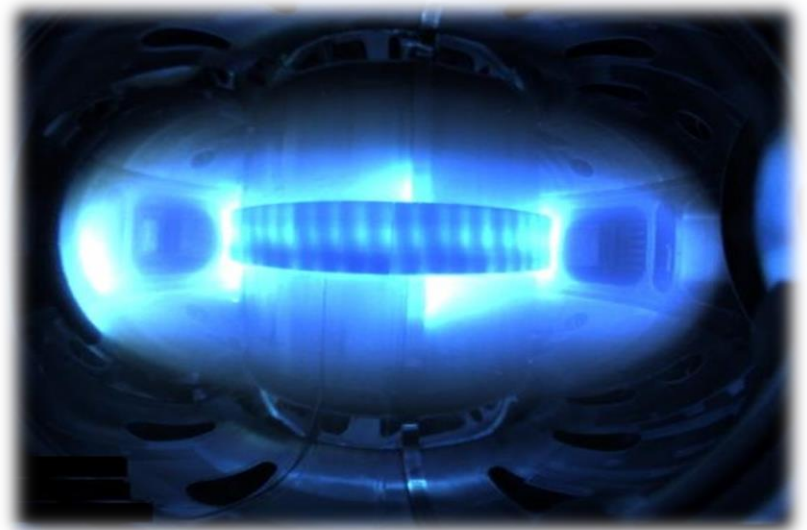
(대형가속기시설 방사선안전 협의회)

2017.10.25

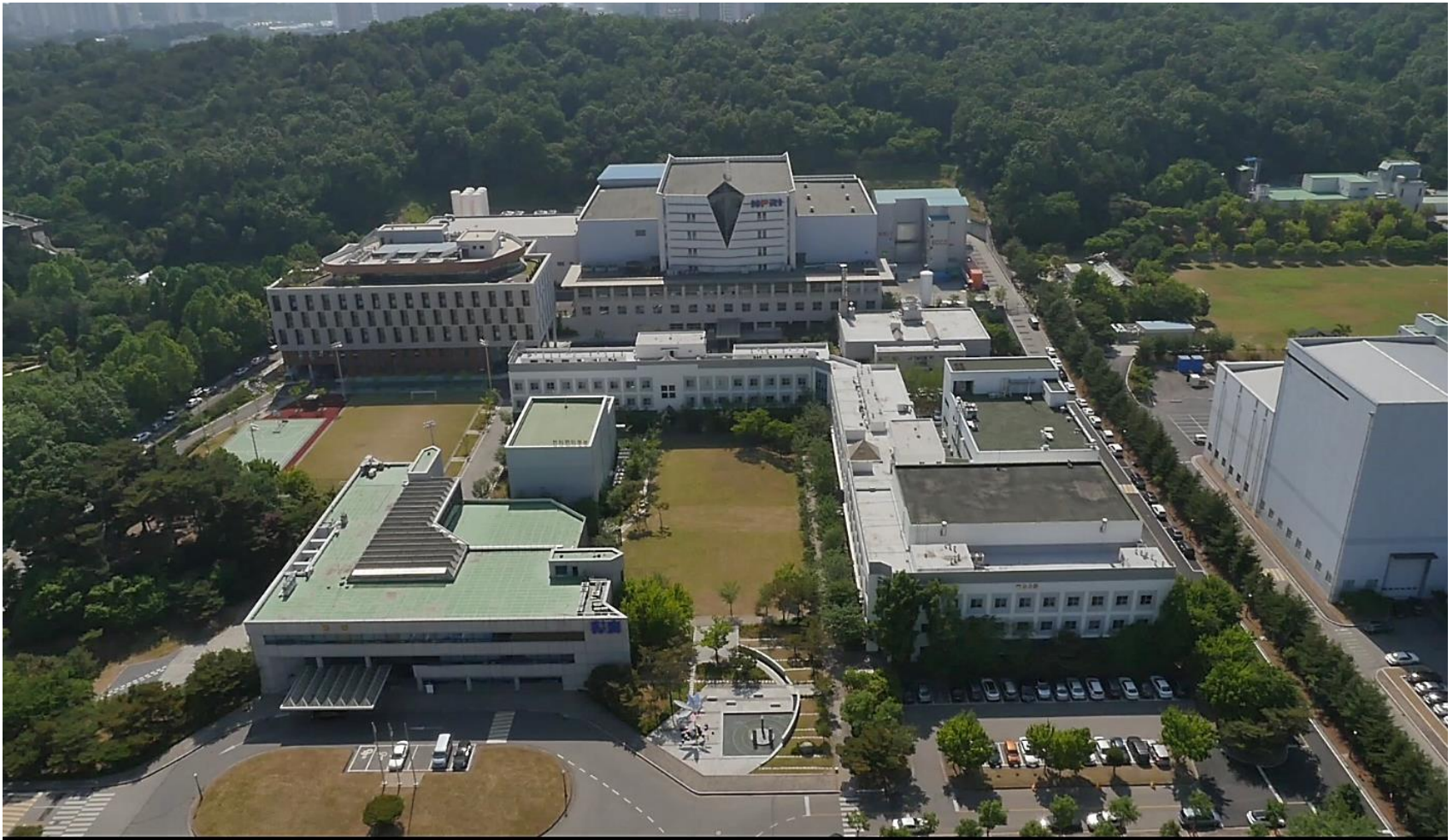
김 희 수
KSTAR연구센터

목 차

- KSTAR 장치의 소개
- KSTAR 장치 인허가 개요
- KSTAR 장치의 방사선원
- 결론



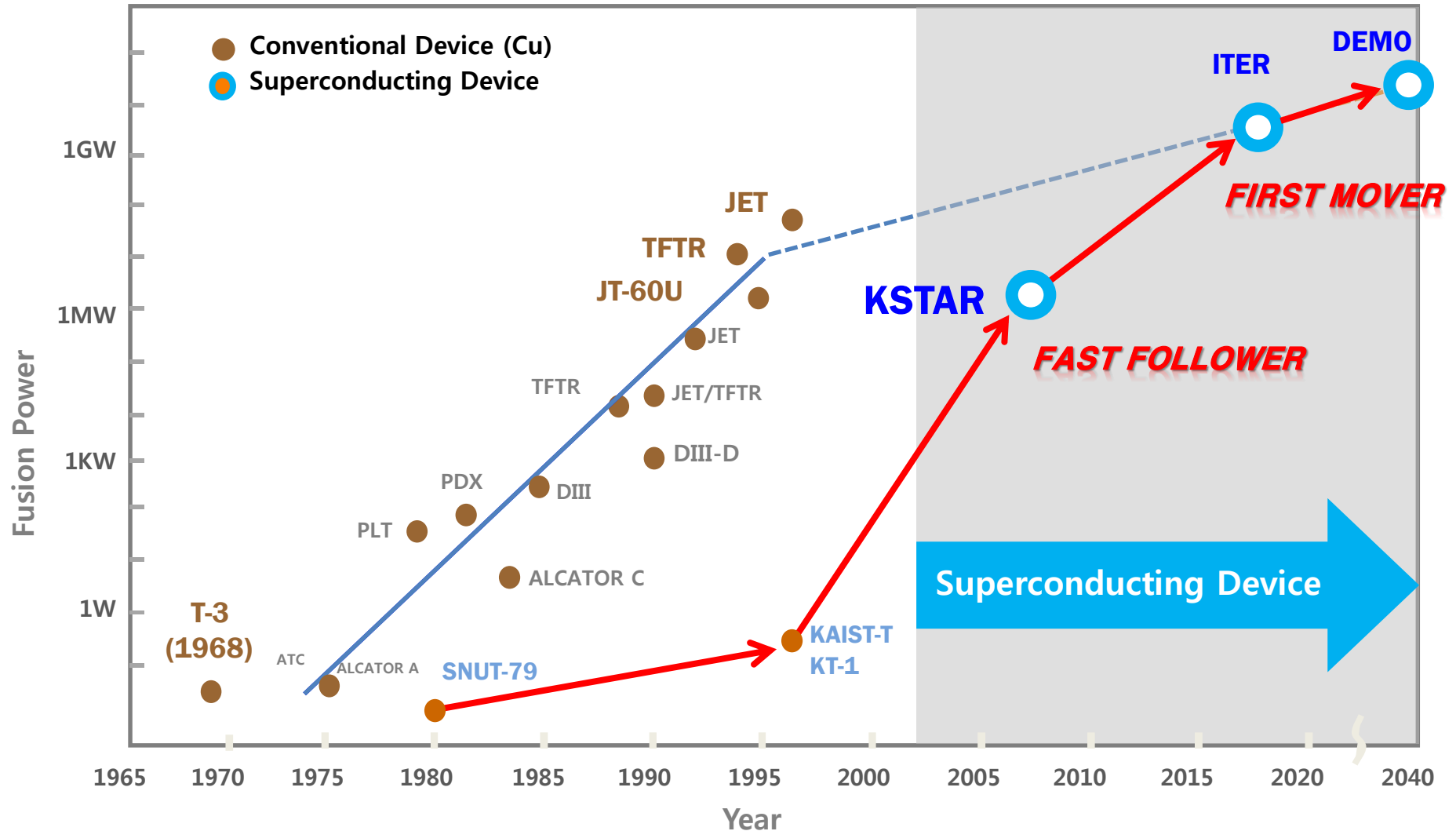
국가핵융합연구소 전경



KSTAR장치 개요



한국의 핵융합에너지 개발전략



원자력안전법 적용

KSTAR 장치는 원자력안전법에 “방사선발생장치”로 규정

- 원자력안전법 제2조 9호 [방사선발생장치 정의]
 - 방사선발생장치라 함은 하전입자를 가속시켜 방사선을 발생시키는 장치로 대통령령이 정하는 것은 말한다.
- 시행령 8조 [방사선발생장치]
 - 13항 기타 원자력안전위원회에서 정하여 고시하는 것
- 원자력안전위원회 고시 제2012-30호 방사선발생장치 추가 적용에 대한 규정
 - 1항 수소를 이용한 핵융합실험장치
 - 2항 중수소를 이용한 핵융합실험장치

방사선안전보고서 작성지침

- 중수소를 이용한 핵융합실험장치의 경우..15개소

항목	기술사항	기술요령
1. 시설개요 가. 사업주체 및 대상	1) 사업주체 2) 사업소의 명칭 및 위치 3) 사업의 목적 및 필요성	○ 등기부등본 또는 사업자등록증에 등재된 방사성동위원소등 사용 또는 판매기관의 명칭, 주소, 대표자명을 기술한다. ○ 사업주체의 방사선사용 경험, 안전관리를 위한 기술인력 보유현황을 기술한다. ○ 방사선을 취급하고자 하는 사업소의 명칭 및 주소를 기술한다. ○ 사업의 개요에 대하여 설명하고 방사선을 사용하는 목적, 필요성 및 기간에 대하여 기술한다. <u>○ 중수소를 이용한 핵융합 실험장치(이하 "핵융합실험장치"라 한다.)의 경우에는 연구목표를 기술한다.</u>
나. 시설개요	1) 시설 설치장소 2) 시설의 배치 3) 시설의 구조 4) 방사선원의 규모 및 용량	○ 사업소를 중심으로 한 지도(별첨1)*를 첨부하고 사업소를 표시한다. ○ 사업소 전체의 평면도(별첨2)*를 첨부하고 방사선 취급 구역과 사용시설. 분배시설. 저장시설. 보관시설 .처리시설 및 배출시설(이하 "사용시설등"이라 한다)의 배치계획을 표시한다. ○ 사용시설등의 세부 구조(상.하층 및 전 .후.좌.우등 인접구역 포함)를 척도가 표시된 도면(별첨3)*과 함께 설명하고, 배수 및 배기설비등 주요설비의 위치, 설치개요, 설치방법 및 재질에 대하여 기술한다. <u>○ 핵융합실험장치의 경우에는 토카막, 가열 및 전류발생장치, 진단장치, 보조장치에 대하여 기술한다.</u> ○ 사용하고자 하는 방사선원의 종류, 수량 및 용량에 대하여 기술한다.

인허가 현황

- 2002. 7 : 방사선발생장치 사용허가 신청서 제출
- 2002. 8 ~ 2007. 4 : 서류 보완 및 질의 답변진행
- 2006. 5 : RI 사용허가 (RMS교정선원)
- 2007. 12 : 원자력 안전위원회 개최
- 2007. 12 : 방사선발생장치 사용허가증 발급
 - ✓ 허가번호 : 21-1023-00호
 - ✓ 허가조건 : 20sec/shot
- 2008. 06 : 1차 시설검사 실시
- 2010. 07 : 2차 시설검사 실시
- 2013. 01 : 변경허가 취득
 - ✓ 허가번호 : 21-1023-01호
 - ✓ 허가조건 : 중성자발생량 $1.5E17/\text{shot}$, $1.2E20/\text{year}$
 - ✓ 2013. 8 : 시설검사 종료
- 2013. 08 : 시설검사 완료
- 2013. 08. 28일 : 사용개시 신고
- 2016. 10. 정기검사

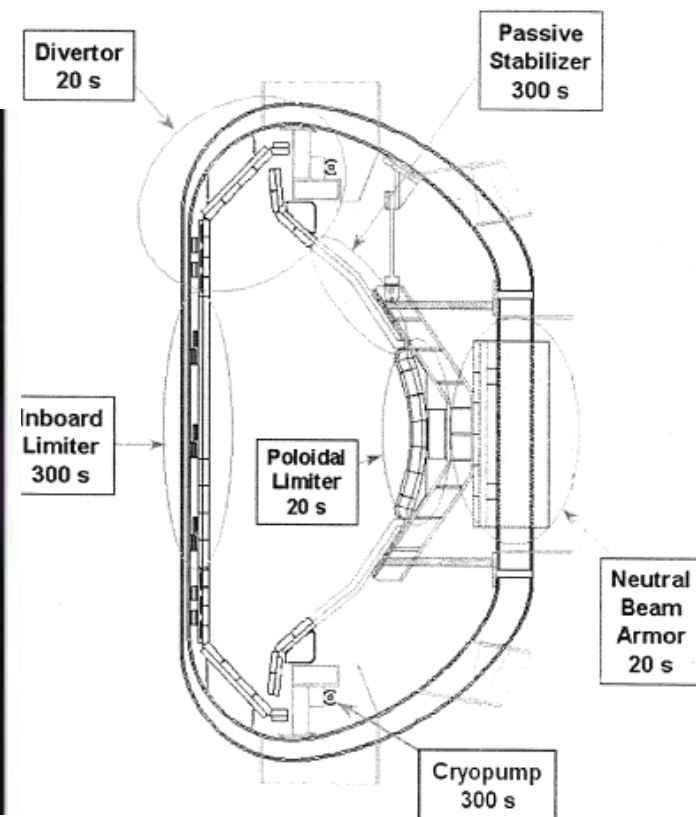
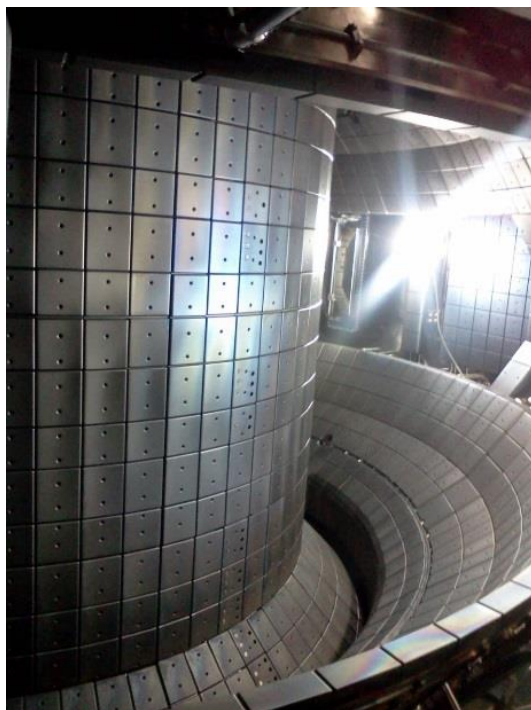
사용허가 심사 분야 [9개 분야]

- ◆ **구조부지 분야**
 - 시설의 부지특성 및 구조물 건전성 평가결과의 타당성을 검토
- ◆ **기계해석 분야**
 - 위험도 평가, 안전에 중요한 기기의 등급분류의 적합성, 주요 기기의 설계 및 해석결과의 타당성, 능동기기의 성능 검증 확보방안 등에 대해 검토
- ◆ **계통평가 분야**
 - 냉각수설비 및 화재방호설비의 적합성에 대하여 검토.
- ◆ **계측제어 분야**
 - 안전과 관련된 계측 및 제어시스템의 적합성을 검토.
- ◆ **전기제어 분야**
 - 전원제어 및 상위전력계통 적합성 검토
- ◆ **금속재료 분야**
 - 구조재의 건전성 평가 및 구조물의 가동 전·중검사에 대하여 검토.
- ◆ **품질보증 분야**
 - 방사선안전보고서 부록 품질보증계획서의 적합성에 대하여 검토.
- ◆ **방사선안전관리 분야**
 - 차폐해석, 방사선 감시 등 방사선안전관리 적합성 검토
- ◆ **안전관리규정 분야**
 - 안전관리 조직, 기록 및 보존 등 안전관규정의 적합성 검토

허가조건

- PFC (Plasma Facing Component)
- 설치목적 : 진공용기 및 각종 시스템 보호
플라즈마 안전성 향상
- 재질 : Graphite
- 열하중조건 : 16MW, 20sec
- 허용온도 : 600 °C

PFC 설계조건



KSTAR장치의 인허가 개요

방사선발생장치 사용허가

[별지 제43호서식] (앞 쪽)
제 21-1023-00 호

방사선발생장치사용허가증

상 호 : 국가핵융합연구소
소 제 지 : 대전광역시 유성구 어은동 52번지
대 표 자 : 소장 생년월일 : 314-82-63574

방사선발생장치의 종류 대수 및 성능 :
(핵융합실험장치) 차세대초전도핵융합연구장치(KSTAR)


사용목적 : 핵융합실험
사용장소 : 핵융합실험동

허가조건 : 가동시간은 중수소 핵융합실험 20sec/shot를 초과할 수 없음

허가일자 : 2007.12.11

위와 같이 원자력법 제65조 및 동법시행규칙 제54조제3항의 규정에 의하여 방사선발생장치 사용을 허가합니다.

2007 년 12 월 11 일

과 학 기 술 부 장 관 

210mm X 297mm (보존용지(1종)120g/m²)

- 허가조건 :
20sec/shot

방사선발생장치 변경허가

제 21-1023-1 호


방사선발생장치사용허가증

상 호 : 국가핵융합연구소
소 제 지 : 대전광역시 유성구 어은동 52번지
대 표 자 : 소장 사업자번호 : 314-82-63574

방사선발생장치의 종류 대수 및 성능 :
(핵융합실험장치) × 1

사용목적 :
핵융합실험

사용장소 :
핵융합실험동


원자력안전위원회
NUCLEAR SAFETY AND SECURITY COMMISSION

허가조건 : 중수소 핵융합실험의 중성자생성률은 1.5×10^{17} 개/shot 및 1.2×10^{20} 개/년을 초과할 수 없음.

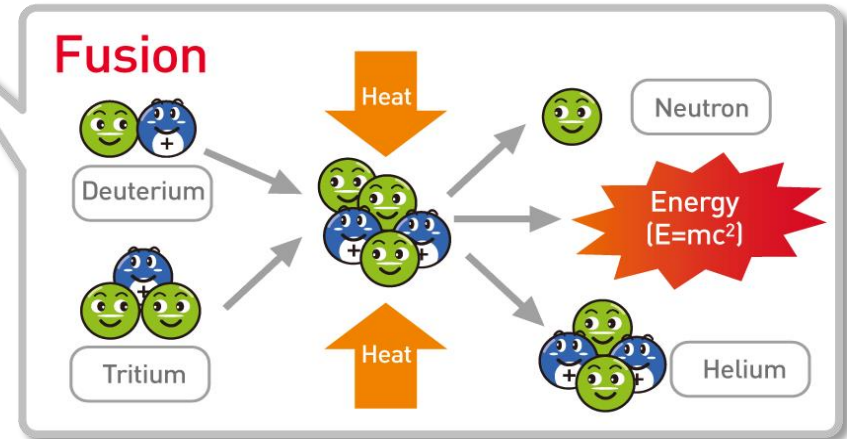
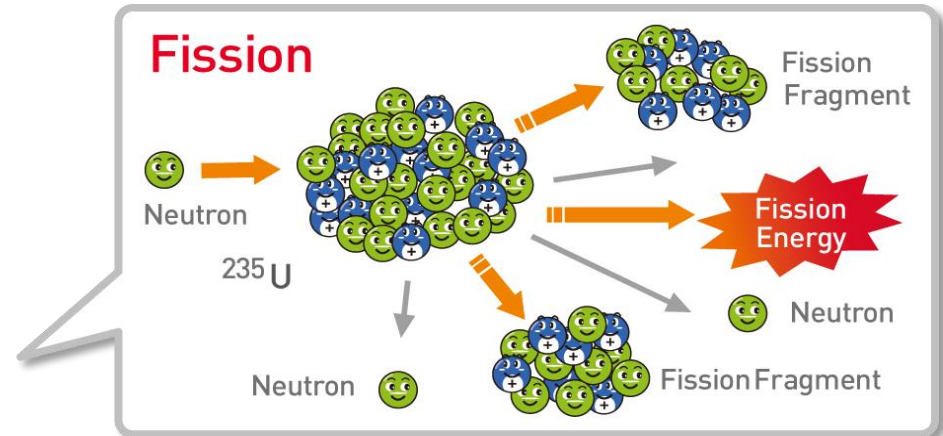
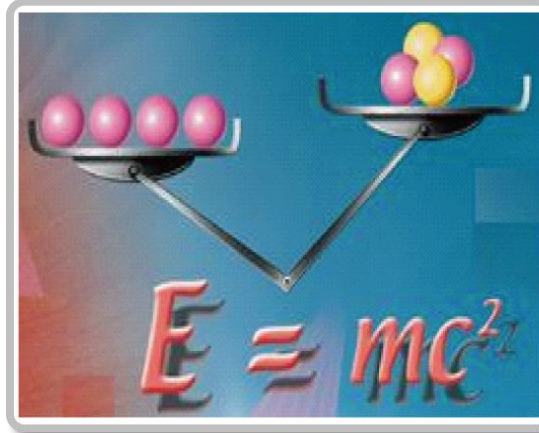
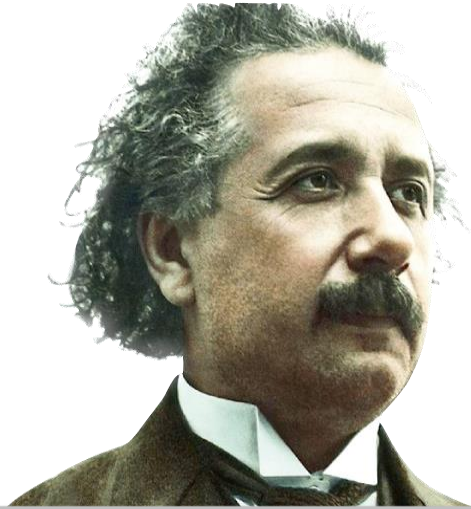
허가일자 : 2007.12.11

위와 같이 원자력안전법 제53조 및 동법시행규칙 제63조제3항의 규정에 의하여 방사선발생장치 사용을 허가합니다.

2013년 1월 8일

원 자 력 안 전 위 원 회 

- 허가조건 :
1.2E20 개/year
1.5E17 개/shot

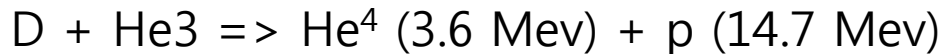


KSTAR장치의 핵융합반응에 따른 방사선발생



* 위 반응은 50:50으로 발생함

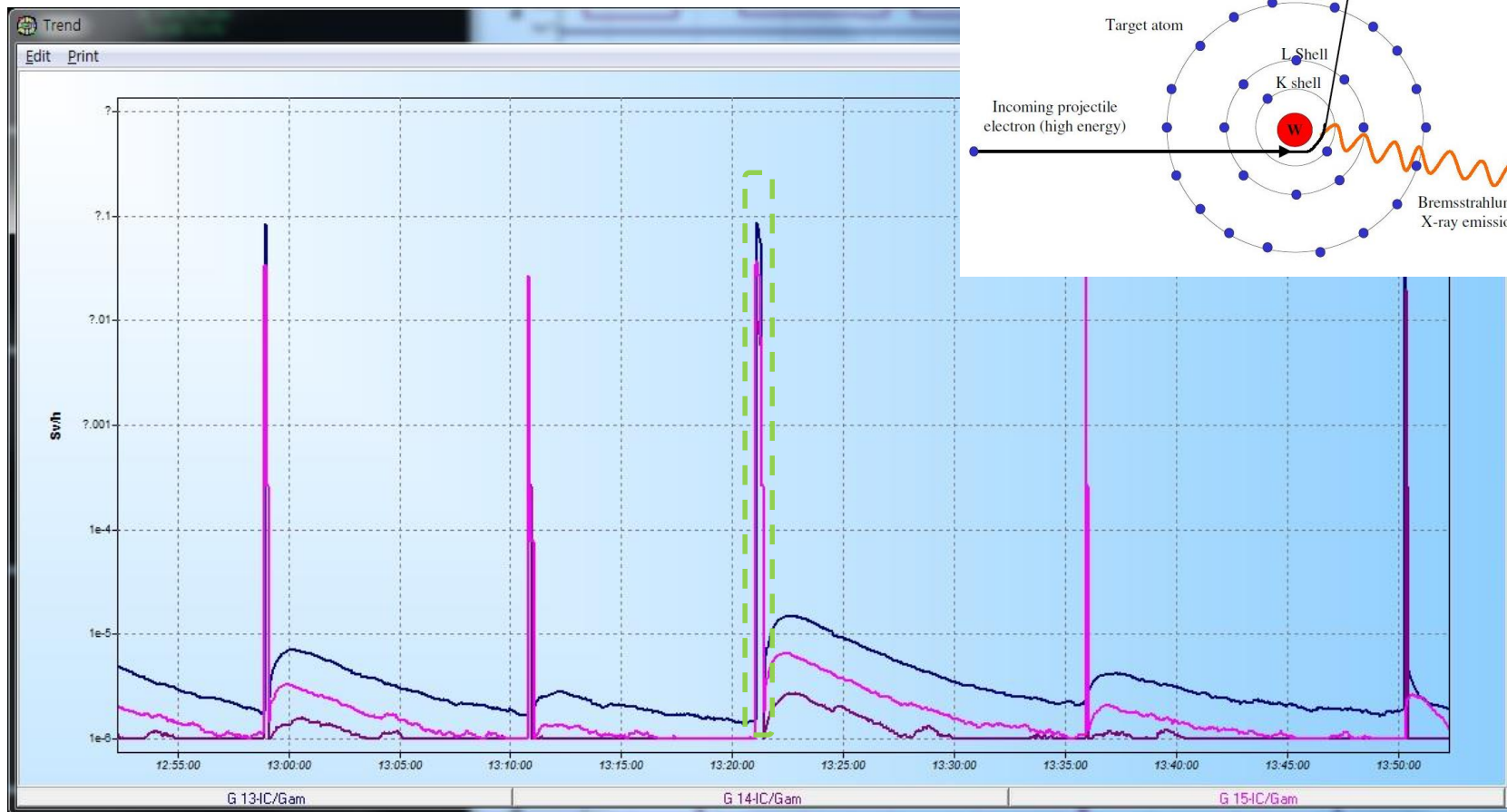
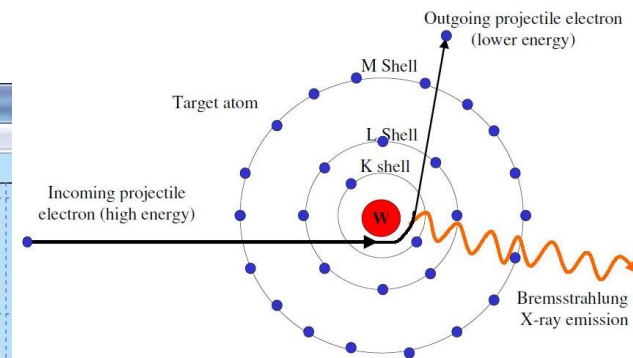
* 아래 반응은 2차 반응임.



- 1) 펄스형태의 2.45 MeV 중성자
- 2) 펄스형태의 14.06 MeV 중성자
- 3) 펄스형태의 Bremsstrahlung X-선
- 4) 펄스형태의 즉발방사선
- 5) 삼중수소(T)
- 6) 방사화된 Graphite 및 핵융합장치 구조물
- 7) 공기중 방사성 기체
- 8) 냉각수중 방사성물질

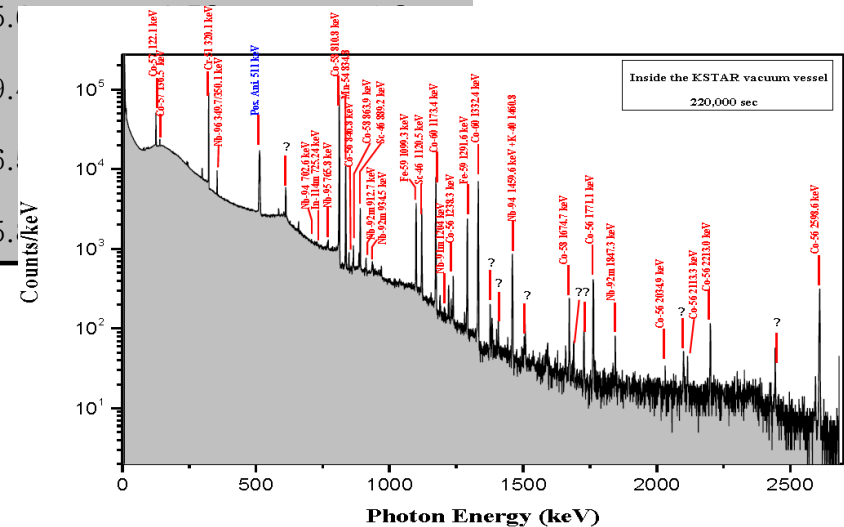
펄스형태의 Bremsstrahlung X-선

Continuous (Bremsstrahlung) X-Ray Production



핵융합실험장치 구조물에 가능한 주요 핵반응

Reactions	T _{1/2}	Mev	I _γ (%)	σ(barn)	E _{th} (MeV)
$Mn^{55} (n, r) Mn^{56}$	2.58h	0.847	98.90	13.3	thermal
$Co^{59} (n, r) Co^{60}$	5.3y	1.17	99.90	17.0	thermal
		1.33	99.98		
$Cr^{50} (n, r) Cr^{51}$	27.7d	0.32	9.83	15.9	thermal
$Mn^{55} (n, 2n) Mn^{54}$	312.5d	0.835	99.98	0.785	14.6
$Ni^{58} (n, np) Co^{57}$	271d	0.122	85.		
$Ni^{58} (n, p) Co^{58}$	70.8d	0.811	99.		
$Fe^{58} (n, r) Mn^{59}$	44.6d	1.099	56.		
$Cu^{63} (n, r) Cu^{64}$	12.7h	0.511	35.		



삼중수소 발생량

$D + D \Rightarrow He^3 (0.82\text{Mev}) + n (2.45 \text{ Mev})$

$D + D \Rightarrow T (1.01 \text{ Mev}) + p (3.02 \text{ Mev})$

* 위 반응은 50:50으로 발생함.

⇒ 이때의 중성자 발생량으로 삼중수소 발생량 계산

⇒ 약 220 GBq로 계산됨

(년간 중성자발생량 기준, **1.3E3Bq/m³**, 1/30,000)

⇒ 일부는 D+T 반응으로 소모됨.



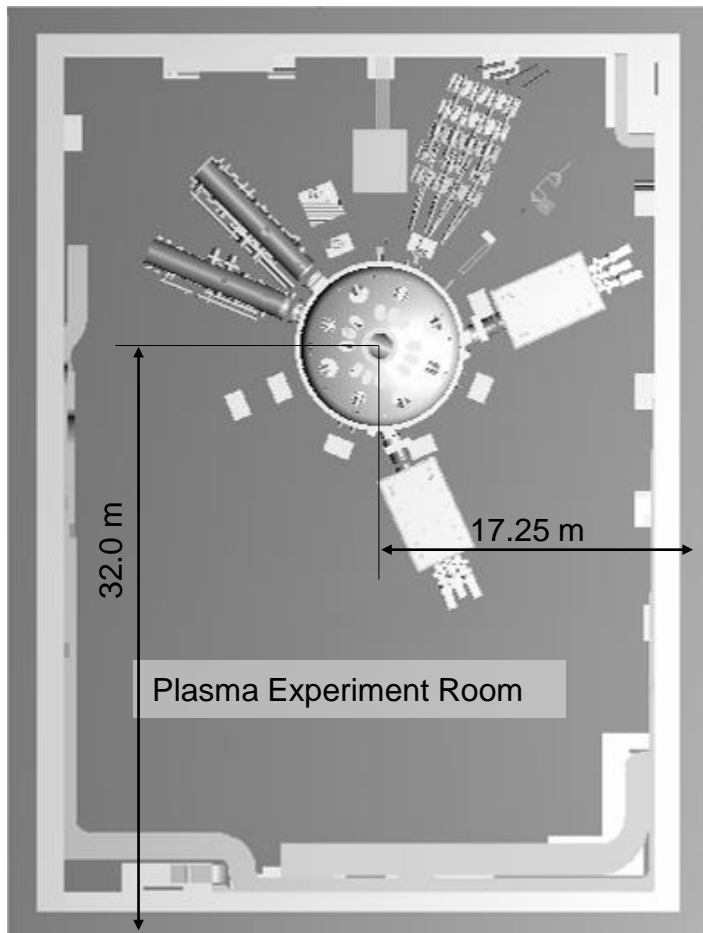
Air Sampler 통한 삼중수소 시료수집



삼중수소 모니터

KSTAR장치의 안전설비

시설 차폐 해석



KSTAR 방사선 차폐설계

구 분	출입금지 지역 (A)	상시 출입 지역 (B)	일반인 출입구역 (C)	부지경계
기준 [원자력법]	50 mSv/y (5rem/y)	20 mSv/y (2rem/y)	1 mSv/y (100mrem/y)	0.25mSv/y (25mrem/y)
KSTAR	운전 중 10^3Sv/y	0.55mSv/y	0.19 mSv/y	0.07mSv/y

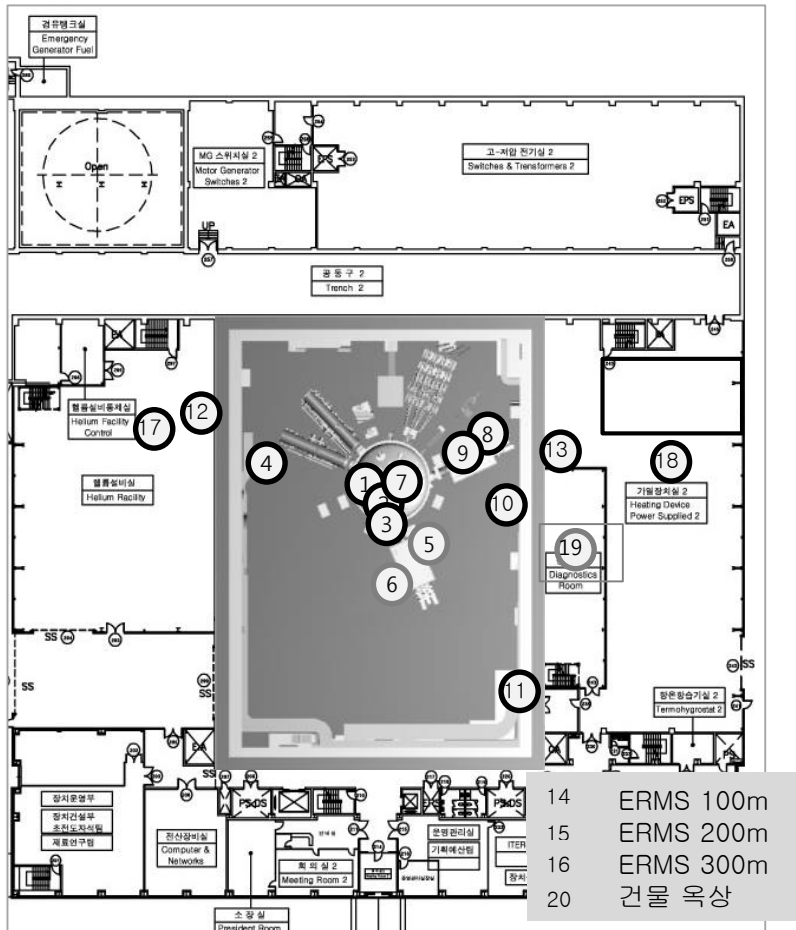
“방사선방호등에 관한 기준, 방사선안전관리등 기술기준에 의한 규칙”
핵융합특수실험동 중성자/이차감마선 차폐해석 (최종보고서), KOPEC/삼성물산,
2000.7

KSTAR 배기 중 농도[Tritium]

구 분	배출량	비고
기준 [원자력법]	4E7Bq/m ³	
KSTAR	1.3E3Bq/m ³	1/30,000

◆ 운전조건 : D-D 반응, 20 sec/shot, 1,000 shot/year

시설 차폐 성능 모니터링



Surface of Cryostat)



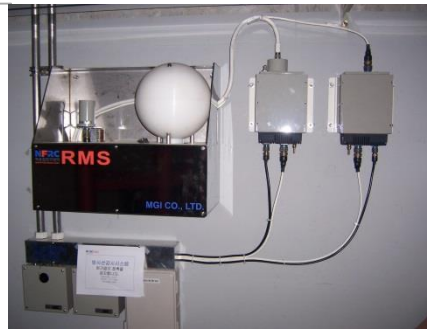
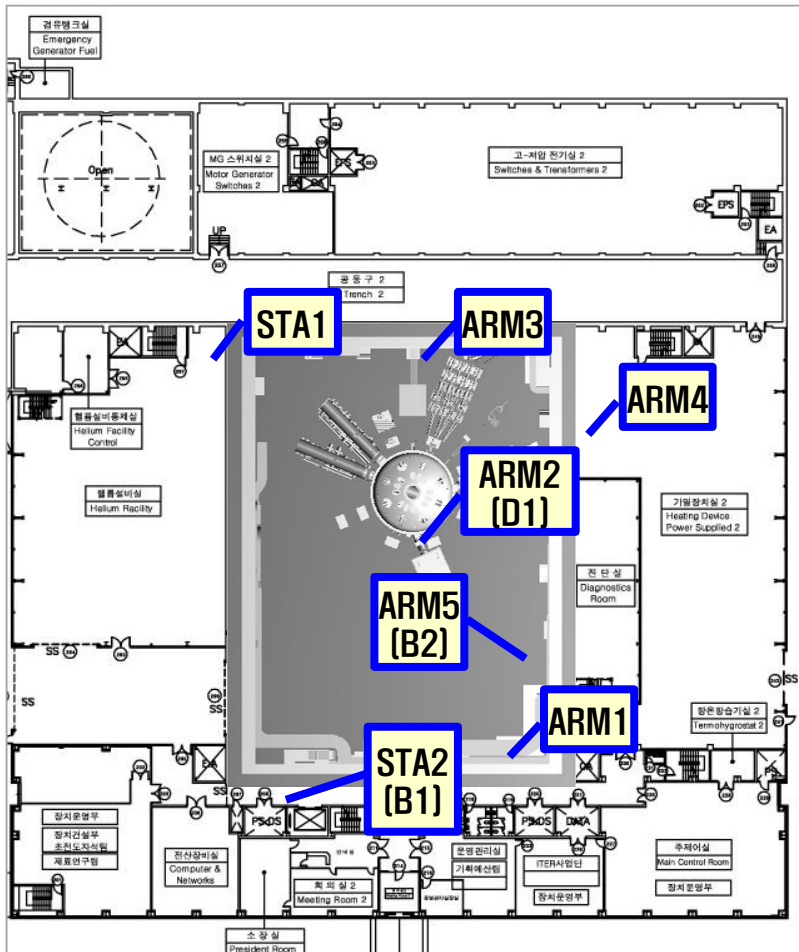
Helium facility room



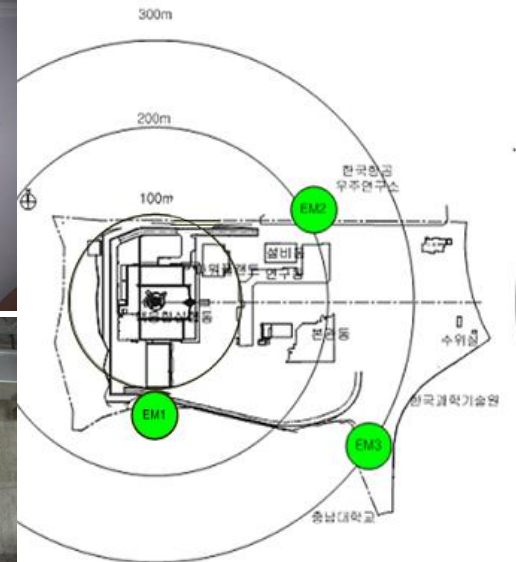
ERMS post

방사선모니터링시스템

- 중성자측정기 : 6기, 감마선측정기 : 7기, 배기감시기 : 2 세트



환경 감시 시스템



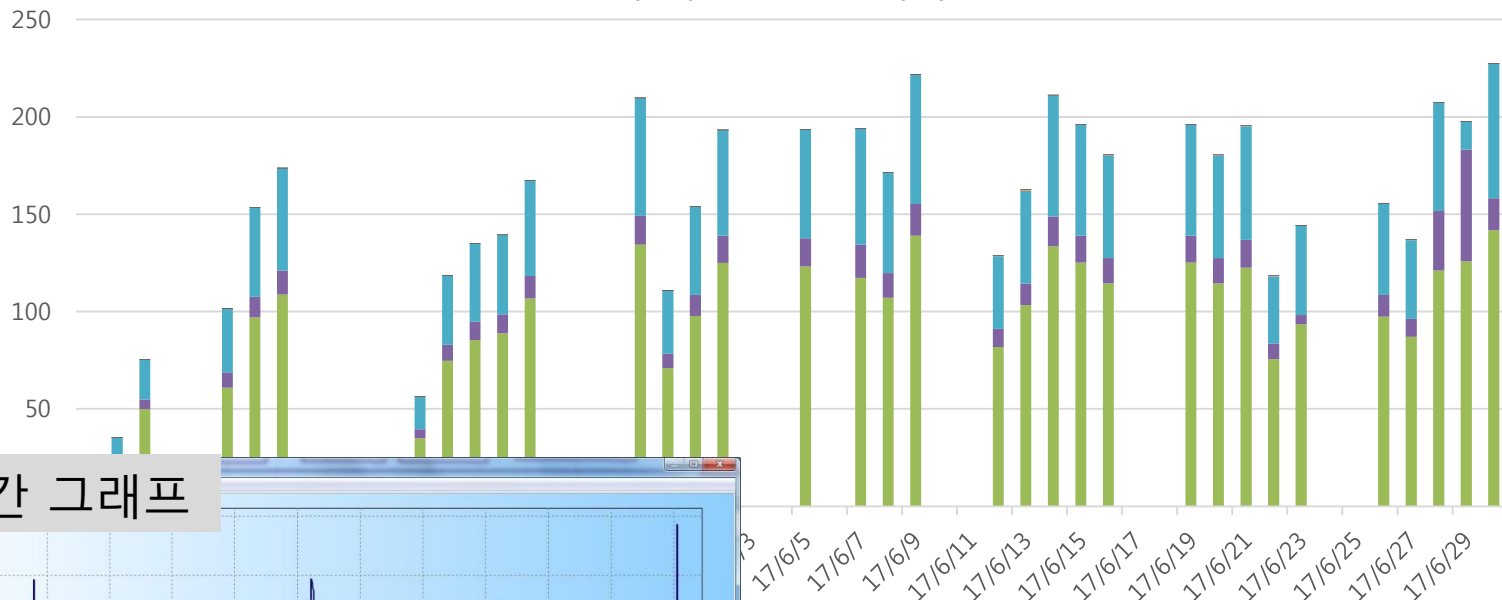
KSTAR장치의 안전설비

방사선모니터링시스템

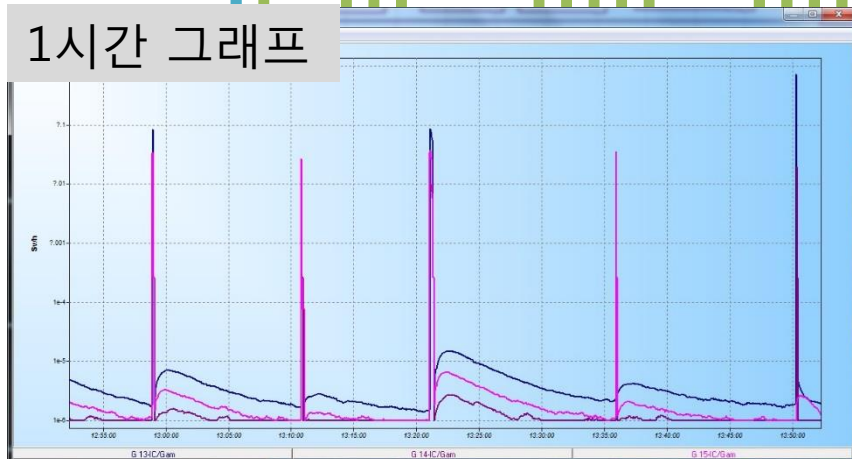
Maximum dose rate	Year	Photon	neutron
	2014	408mSv/h	374mSv/h
	2015	402mSv/h	471mSv/h
	2016	933mSv/h	312mSv/h
	2017	141mSv/h	527mSv/h
	remark		

방사선모니터링시스템_감마,엑스선 [일 최대값]

감마 엑스선 일일 최대값

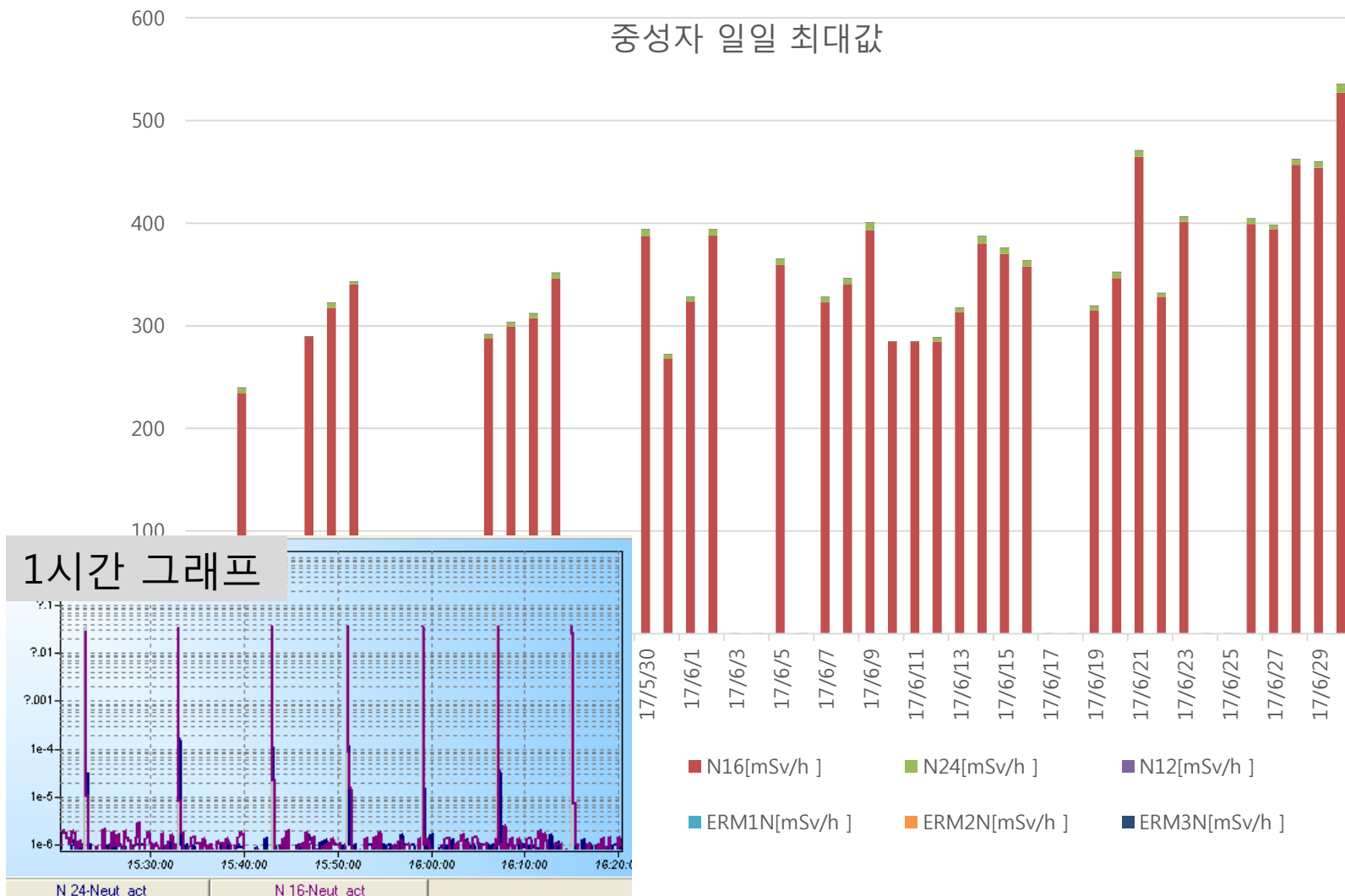


1시간 그래프



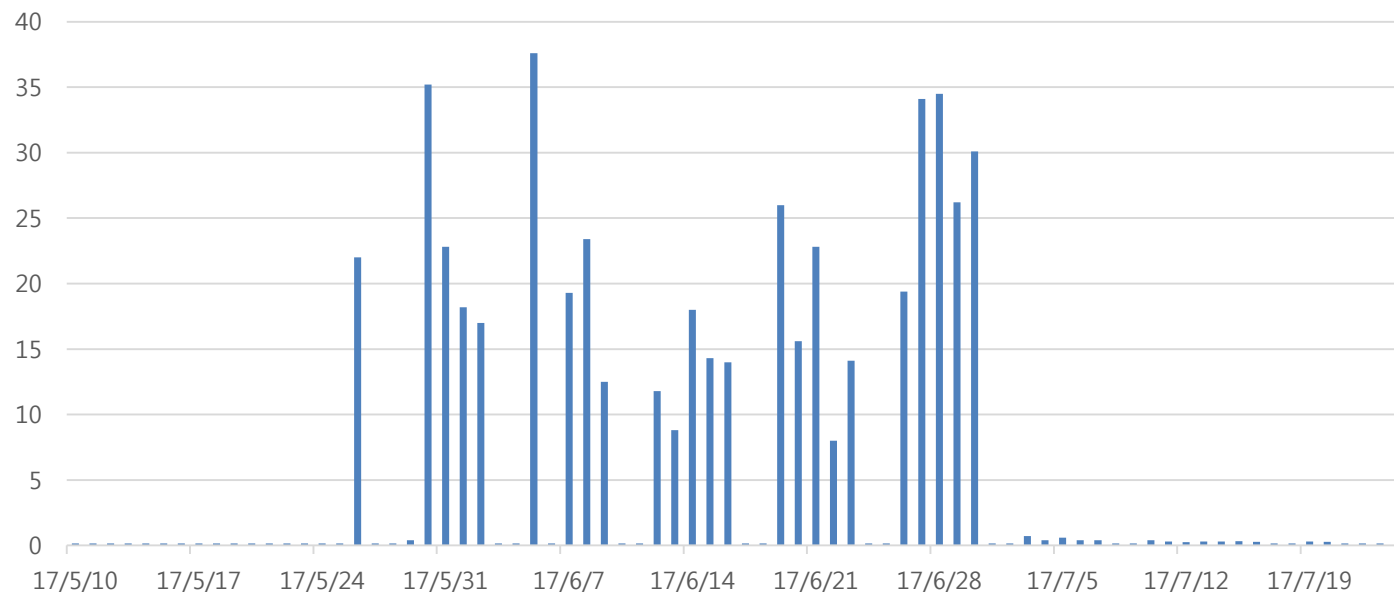
- 최대 측정 선량[mSv/h]
- G13[mSv/h]
- G14[mSv/h]
- G23[mSv/h]
- ERM1G[mSv/h]
- G15[mSv/h]
- G11[mSv/h]
- ERM2G[mSv/h]

방사선모니터링시스템_중성자선[일 최대값]



방사선모니터링시스템_잔류방사선(운전 종료 30분 후)

운전 종료 후 잔류방사선 J-port



방사선관리구역 안전수칙

방사선 관리구역



허가없이 접근함을 금함

1. 이 구역은 초전도핵융합실험장치(KSTAR)를 사용하는 **방사선관리구역 및 자기장관리구역**임.
2. 이 구역의 출입은 사전 허가자에 한한다. 허가자 이외의 자가 출입을 하고자 할 때에는 해당구역의 책임자를 경유하여 방사선안전관리부서의 허가를 받은 후 관계자의 안내하에 출입할 수 있다.
3. 출입자는 개인선량계나 보조선량계를 반드시 착용해야 하며 방사선안전관리부서에서 지정하는 방호용품을 착용해야 한다.
4. 심장 **pacemaker** 사용자 및 신체에 금속재 또는 자기장에 예민한 기구를 장착하고 있는 자는 출입을 금한다.
5. 이 구역 안에서 흡연을 하거나, 음식물 및 음료수를 섭취해서는 않된다.
6. 무단으로 타인의 기기 및 장치 등에 손을 대서는 않된다.
7. 방사선안전관리부서의 구두 또는 서면 권고사항을 절대 준수하여야 한다.
8. 사고등 이상이 발생하였을 때에는 즉시 방사선안전관리부서로 연락하여야 한다.(전화 : 5272)

- **장치고유의 규제지침이 필요**
 - ✓ 가속기 고유의 안전성 인정 필요
 - ✓ 장치의 구분은 방사선발생장치이나 규제 수준은 그 이상
 - ✓ 심사원들의 심 · 검사의 통일화 필요
 - ✓ 삼중수소를 이용한 핵융합장치의 규제요건 필요
 - ✓ 안전보고서 작성지침(세부사항) 변경 필요



감사합니다.