

원전해체 핵심실증시설 작업종사자 피폭 선량평가



신경훈

울산과학기술원 원자력공학과

2022. 10. 19.

OUTLINE

1. 연구 개요 및 추진 체계
2. 해체 폐기물 공정 중 부유 선원항 생성 분석·평가
3. 사고상황 작업종사자 선량평가
4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가
5. 요약 및 결론

1. 연구 개요 및 추진 체계

고리 1호기 영구정지 및 단독 즉시 해체 → 원전해체 핵심실증시설

- 고리 1호기의 영구정지 및 즉시 해체에 따른 방사화 금속 해체 폐기물 발생.
- 방사화 금속 해체폐기물은 불확실한 불순물에 의해 생성된 핵종이 포함되어 있어 방사선원의 불확실성이 매우 높음.
- 불확실성이 높은 폐기물을 취급하는 공정이 수행되는 핵심실증시설의 안전성 평가 및 설계기술 개발이 시급히 요구 되어짐.



- 핵심실증시설의 설계에 앞서 폐기물의 시편의 재료적 특성 분석 공정을 수행하는 과정에서 부유 선원항의 발생 특성에 대한 연구수행
- 불확실성이 높은 폐기물을 취급하는 공정이 수행되는 핵심실증시설 작업자 피폭 선량에 대한 안전성 평가를 위한 연구수행

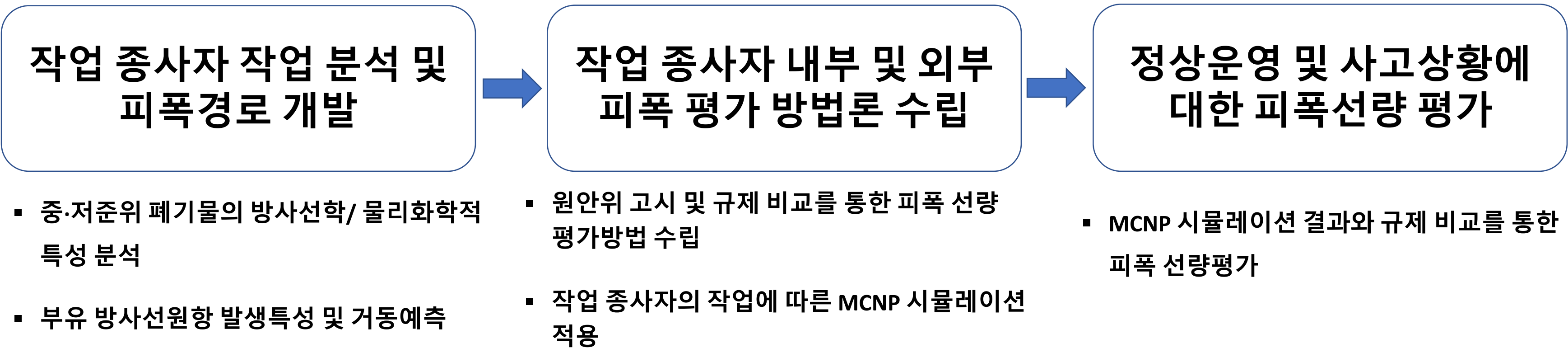


1. 연구 개요 및 추진 체계

■ 연구 개요 및 목표

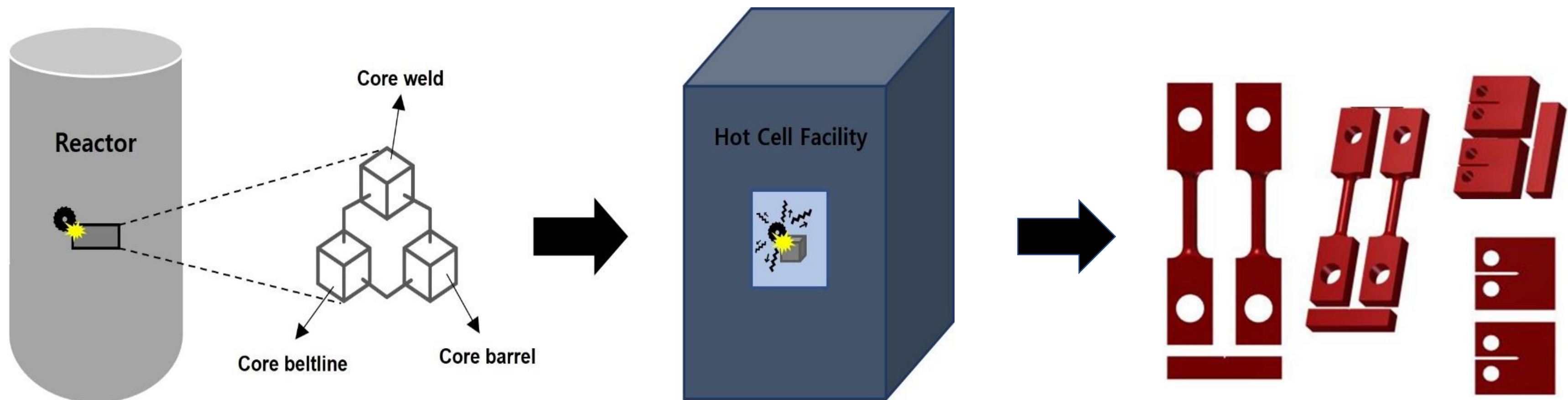
- 연구 목표 : 방사성 재료특성 분석에 따른 **작업자 피폭 선량** 및 주변에 대한 **방사선 영향 평가**
 - 1) 핵심실증시설 공정 중 부유 선원향 평가기술개발
 - 공정 단계별 부유 방사선원향 특성평가 및 거동해석
 - 2) 핵심실증시설 설계기준 사고 영향평가 기술개발
 - 설계기준 사고 발생 시 주요 피폭경로 개발 및 피폭 선량평가
 - 3) 핵심실증시설 운영으로 인한 종사자 피폭선량 평가기술개발
 - 작업종사자 피폭선량 평가를 통한 설계 안전성 검증

■ 연구 추진 체계



2. 해체 폐기물 공정 중 부유 선원항 생성 분석·평가

■ 해체 방사성 폐기물 가공

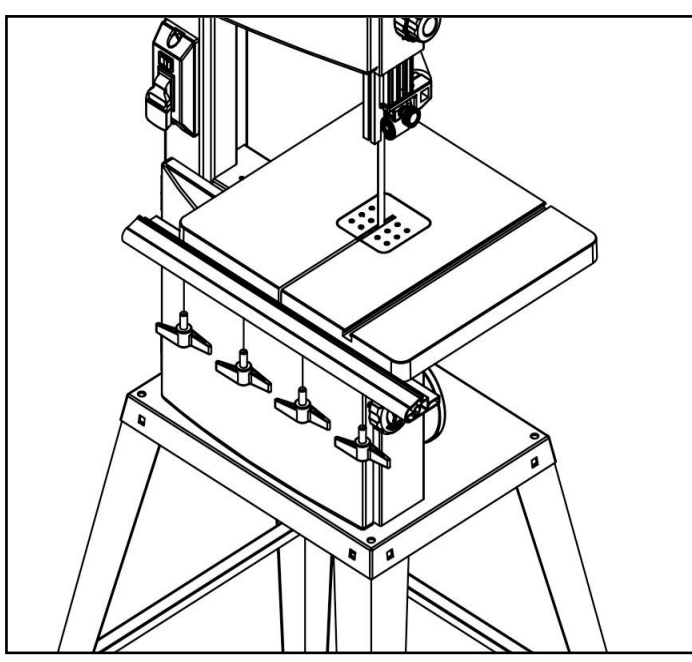


해체 방사성 폐기물 시료채취

반입된 해체 방사성 폐기물의 기계적 가공

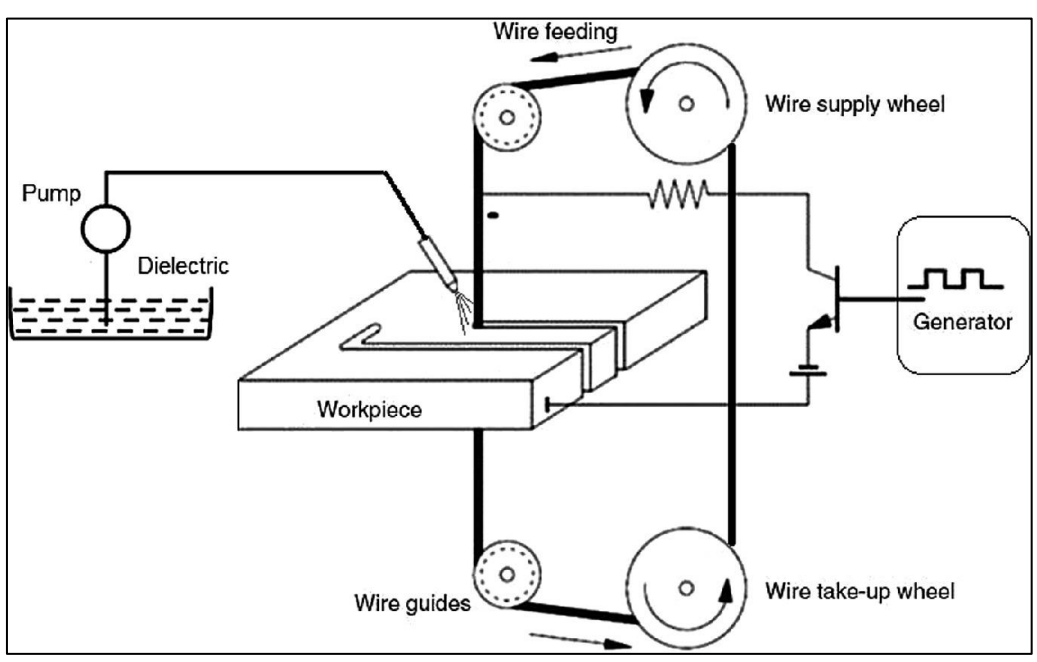
재료 물성 측정 및 분석

■ 해체 폐기물 가공 기기



Band saw

- 반입된 방사성 폐기물 시료의 1차 가공
- 핫셀 내 시료 및 시편을 시험 및 검사 특성에 맞게 절단

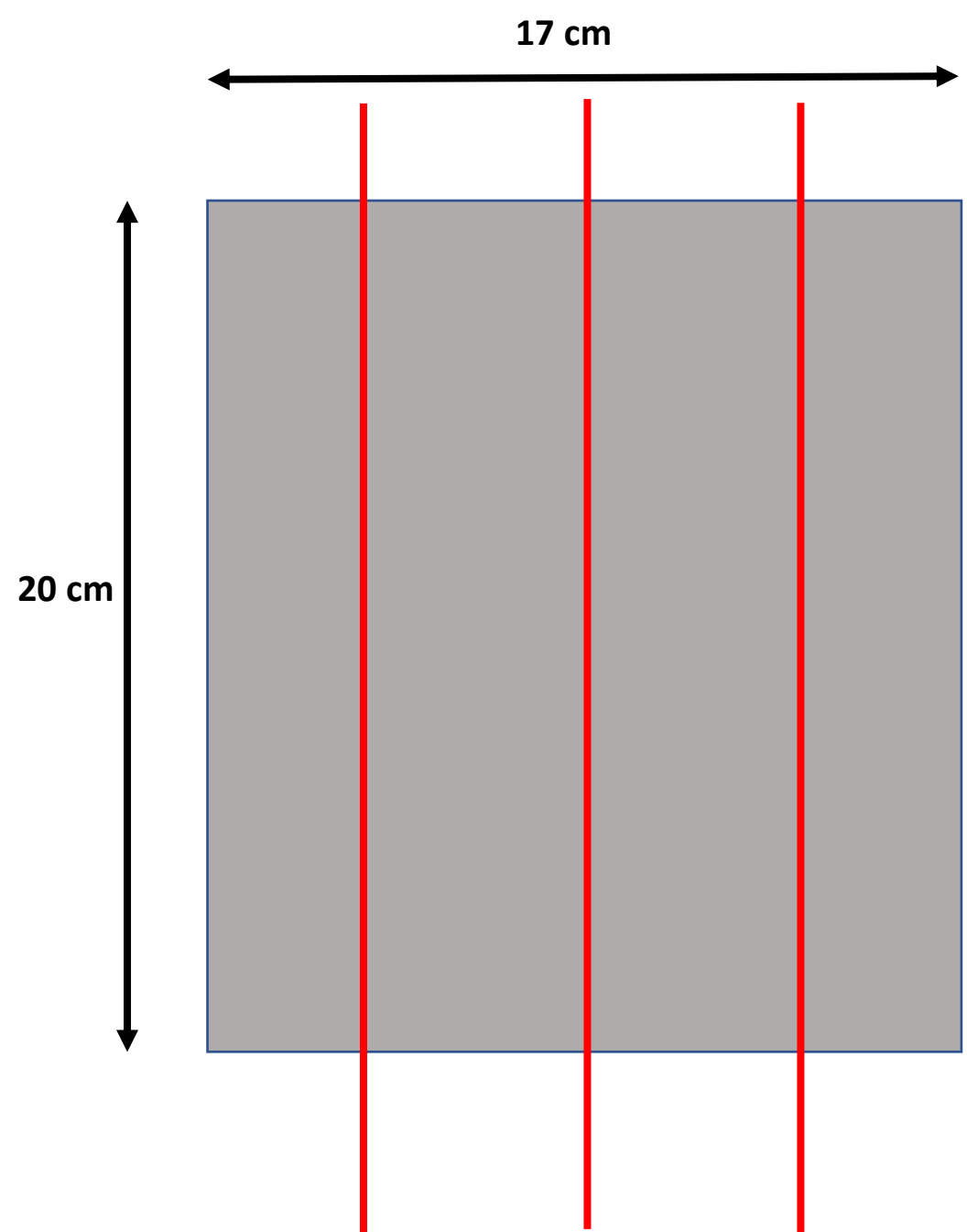


와이어 컷 방전 가공기

- (Wire Electrical Discharge Machining, W-EDM)
- 1차 가공된 시료를 시험 목적에 맞는 분석 시편으로 제작하기 위한 정밀가공
 - 가공 형상이 복잡하거나 불규칙한 형상도 가공이 용이

2. 해체 폐기물 공정 중 부유 선원항 생성 분석·평가

■ 원자로 압력용기 가공 시나리오



Band saw(두께 1.6 mm) 사용

-> 절단 손실 부피 산출 시 보수적 평가를 위해 두께 0.2 cm 적용

노심대 모재 : 깊이 방향으로 4등분

- 절단 후 각 시료당 부피 : $20 \times 22 \times 4 \text{ cm}^3$
- 절단 손실 부피 : $20 \times 22 \times 0.2$ (톱날 두께) $\times 3$ (회) = **264 cm^3**

노심대 용접부 : 깊이 방향으로 4등분

- 절단 후 각 시료당 부피 : $20 \times 12 \times 4 \text{ cm}^3$
- 절단 손실 부피 : $20 \times 12 \times 0.2$ (톱날 두께) $\times 3$ (회) = **144 cm^3**

➡ 절단 시, 톱날의 두께 만큼 절단 손실 부피 발생

- 손실 시료 중에 부유하는 물질이 차지하는 비율(%)을 ARF (Airborne Release Fraction)로 정의.
- 어떠한 **환경**에서 절단하는지, 어떤 **시료 절단 도구**를 활용하여 절단하는지, 시료를 **절단하는 속도**에 따라서 ARF 값이 변동가능.

2. 해체 폐기물 공정 중 부유 선원항 생성 분석·평가

■ 부유 선원항 질량 도출

부유 선원항 질량(g)
= 절단손실부피(cm³) × 시료 밀도(g/cm³) × ARF(%)

- 탄소강 밀도=> 7.82 (g/cm³) 적용
- 탄소강 ARF => 0.0149 % 적용
(실제 환경과 유사한 환경의 ARF를 적용)

부유 선원항의 질량을 이용하여 시료 가공셀 내 부유 방사능 도출
-> 단위 질량당 방사능(Bq/g) × 부유 선원항 질량(g) = 시료 가공셀 내 부유 방사능 (Bq)

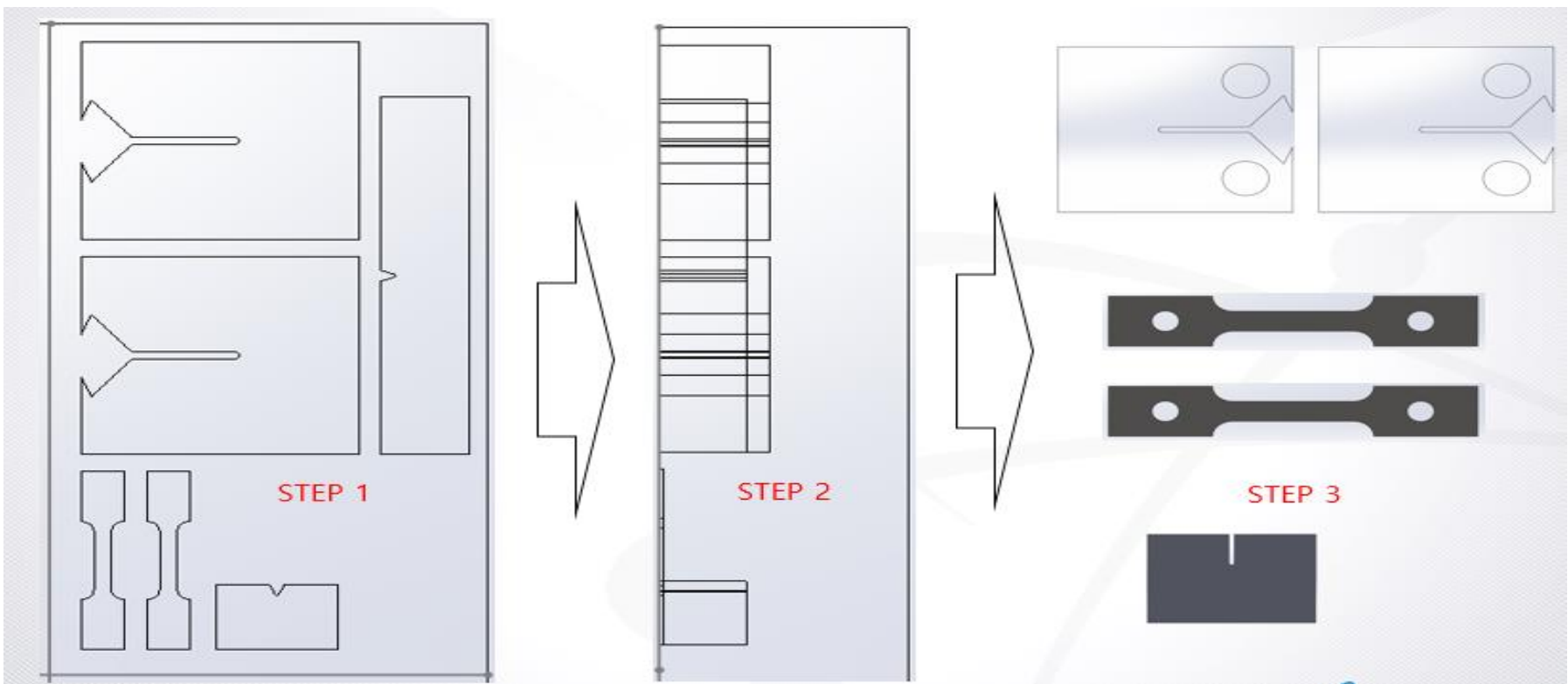
활용 기기	시료 채취 위치	시료 크기 (L×W×H, cm³)	시료재질	Band saw	
				절단 손실부피 (cm³)	에어로졸 질량 (g)
원자로 압력 용기	노심대 모재	20×22×17	carbon steel (7.82 g/cm³)	264	0.308
	노심대 용접부	20×12×17		144	0.168

20 cm

17 cm

2. 해체 폐기물 공정 중 부유 선원항 생성 분석·평가

- 원자로 내부 구조물 가공 시나리오
 - Baffle plate 가공 시나리오



- Wire Electirc Discharge Machining(W-EDM) 사용 및 **톱날 두께 0.05 cm** 적용
- 총 **절단 면적 1100 cm²** 도출 및 적용



절단손실부피 **55 cm³** 도출



부유 선원항 **4.37 x 10⁻³ g** 도출



부유 선원항의 질량을 이용하여 시료 가공셀 내
부유 방사능 도출

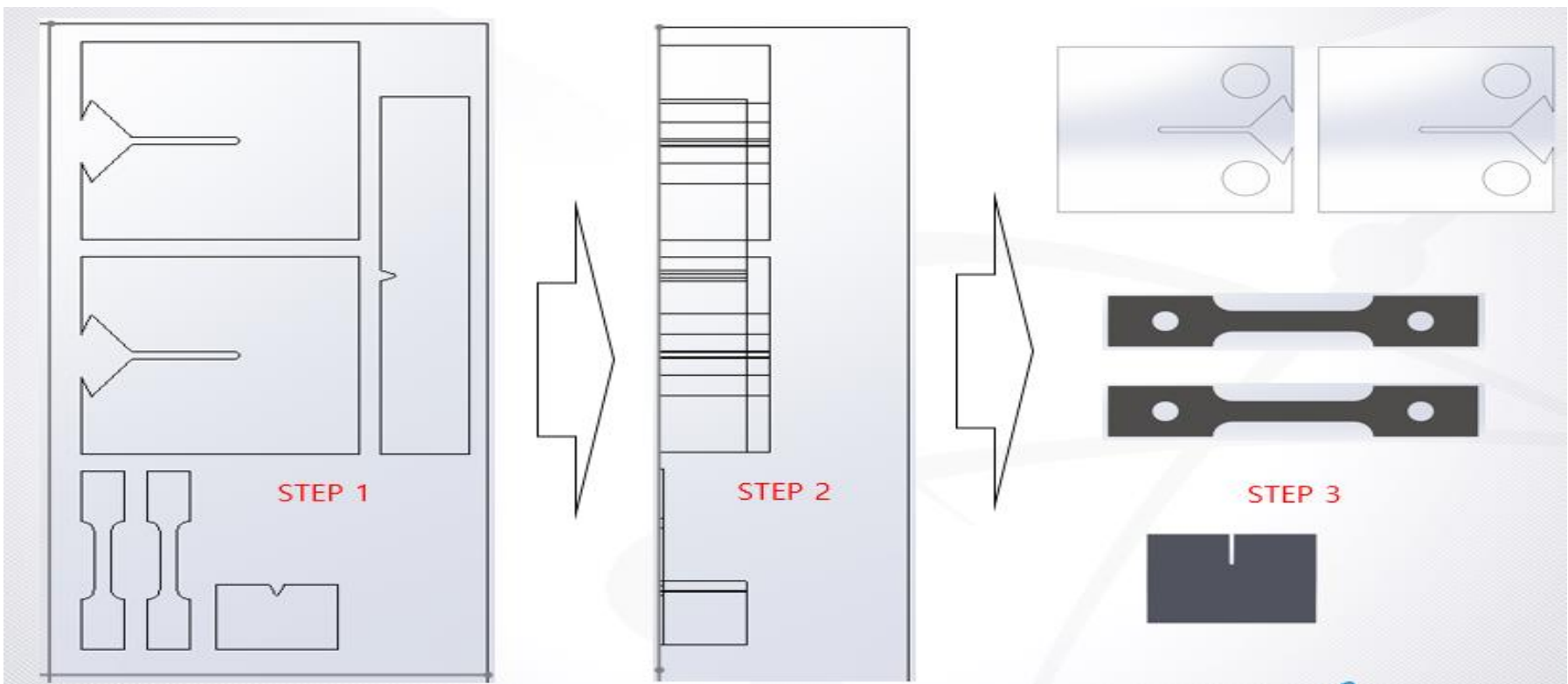
-> 단위 질량당 방사능 재고량(Bq/g) × 부유 선원항 질량(g)
= 시료 가공셀 내 부유 방사능 (Bq)

부유 선원항 질량(g)
= 절단손실부피(cm³) × 시료 밀도(g/cm³) × ARF(%)

- Type304 Stainless steel 밀도=> 7.94 (g/cm³) 적용
- Type304 Stainless steel ARF => 0.001 % 적용
(실제 환경과 유사한 환경의 ARF를 적용)

2. 해체 폐기물 공정 중 부유 선원항 생성 분석·평가

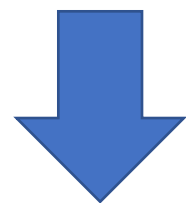
- 원자로 내부 구조물 가공 시나리오
 - Core barrel 가공 시나리오



- Wire Electirc Discharge Machining(W-EDM) 사용 및 **톱날 두께 0.05 cm** 적용
- 총 **절단 면적 1500 cm²** 도출 및 적용



절단손실부피 **75 cm³** 도출



부유 선원항 **5.96 x 10⁻³ g** 도출



부유 선원항의 질량을 이용하여 시료 가공셀 내
부유 방사능 도출

-> 단위 질량당 방사능 재고량(Bq/g) × 부유 선원항 질량(g)
= 시료 가공셀 내 부유 방사능 (Bq)

부유 선원항 질량(g)
= 절단손실부피(cm³) × 시료 밀도(g/cm³) × ARF(%)

- Type304 Stainless steel 밀도=> 7.94 (g/cm³) 적용
- Type304 Stainless steel ARF => 0.001 % 적용
(실제 환경과 유사한 환경의 ARF를 적용)

3. 사고상황 작업종사자 선량평가

- 시료 가공셀 내 부유 방사능 농도 도출
 - 부유 선원항의 질량을 이용한 **시료 가공셀 내 부유 방사능 도출**
-> **시료 가공셀 내 부유 방사능 (Bq)** = 단위 질량당 방사능농도 재고량(Bq/g) × 부유 선원항 질량(g)
 - 전원상실사고
 - 가공 시 발생하는 **부유 선원항**이 전원상실로 부압이 유지되지 않아 모두 **운전구역으로 누설되는 것**으로 가정
 - 환기시스템 실패 -> **시료 가공셀 내 부유 방사능 (Bq) = 누설 방사능 (Bq)**
- 시료 가공셀 체적 : 493.5 m³**
(23.5m x 3.5 m x 6 m)

부유 선원항 100% 누설

운전구역 체적: 599.25 m³

 - 시료 가공셀 앞 운전구역을 밀폐된 격실로 가정
 - 핫셀 내 부유물질의 대부분을 차지할 것으로 예상되는 **“시료 가공셀” 앞 운전구역만 고려**

3. 사고상황 작업종사자 선량평가

■ 사고 발생시, 작업자의 주요 피폭경로

- 누설된 **부유 선원향**은 운전구역에 **균질하게 분포**하는 것으로 가정.
- 오염된 공기에 노출 시 **흡입에 의한 선량이 지배적**이므로 **내부피폭 선량만 고려**하였음.
- ICRP68의 흡입에 의한 **유효 선량 환산계수**를 적용.
- 작업자의 **호흡률(1.2 m³/hr)**, 사고 시 **노출 시간(2시간)** 고려.

■ 사고 발생시, 작업자 피폭 평가 방법론

- 누설된 방사능과 운전구역의 체적을 고려한 피폭선량을 평가
 --> 누설 방사능(Bq) / 운전구역 체적(599.25 m³) = 운전구역 농도(Bq/m³)
- 작업자의 피폭선량 (mSv)
 = 운전구역 농도(Bq/m³) * ICRP68 선량 환산계수(Sv/Bq) * 호흡률(1.2 m³/hr) * 노출시간(2hr) * 1000(mSv/Sv)

- **원자력안전위원회 고시 제2019-10호**

“사고의 진압 등 피해의 확대를 방지하기 위하여 불가피한 직업에 참여하는 자에 대하여 **유효선량은 0.5 sv 허용**”

3. 사고상황 작업종사자 선량평가

- 사고 발생시 작업자 피폭선량
- 원자로 압력용기

노심대 모재	누설 방사능	운전구역농도	선량	노심대 용접부	누설 방사능	운전구역농도	선량
핵종	Bq	Bq/m3	mSv	핵종	Bq	Bq/m3	mSv
Co-60	1.78E+06	2.98E+03	1.21E-01	Co-60	9.73E+05	1.62E+03	6.63E-02
H-3	6.64E+04	1.11E+02	1.09E-05	H-3	3.62E+04	6.05E+01	5.95E-06
Ni-63	5.57E+04	9.29E+01	1.16E-04	Ni-63	3.04E+04	5.07E+01	6.32E-05
Eu-152	9.32E+03	1.56E+01	1.01E-03	Eu-152	5.08E+03	8.48E+00	5.50E-04
Nb-93m	3.66E+03	6.11E+00	1.26E-05	Nb-93m	2.00E+03	3.33E+00	6.88E-06
C-14	2.07E+03	3.46E+00	4.82E-06	C-14	1.13E+03	1.89E+00	2.63E-06
Total	1.92E+06	3.21E+03	1.23E-01	Total	1.05E+06	1.75E+03	6.69E-02

- Co-60 비율 : 99.06%
- 작업자 피폭 선량률 : 6.13E-02 mSv/h
- 사고진압 허용시간 : 8.15E+03 hr

- Co-60 비율 : 99.06%
- 작업자 피폭 선량률 : 3.34E-02 mSv/h
- 사고진압 허용시간 : 1.50E+03 hr

3. 사고상황 작업종사자 선량평가

- 사고 발생시 작업자 피폭선량
- 원자로 내부 구조물

Baffle plate	누설 방사능	운전구역농도	선량	Core barrel	누설 방사능	운전구역농도	선량
핵종	Bq	Bq/m3	mSv	핵종	Bq	Bq/m3	mSv
Co-60	9.52E+06	1.59E+04	6.48E-01	Co-60	5.70E+06	9.51E+03	3.88E-01
Ni-63	2.43E+06	4.05E+03	5.06E-03	Ni-63	1.74E+06	2.90E+03	3.62E-03
Fe-55	2.07E+06	3.46E+03	7.64E-03	Fe-55	1.44E+06	2.39E+03	5.29E-03
Ni-59	1.75E+04	2.91E+01	1.54E-05	Ni-59	1.48E+04	2.47E+01	1.31E-05
Nb-93m	6.68E+03	1.11E+01	2.30E-05	H-3	4.00E+03	6.68E+00	6.57E-07
C-14	4.14E+03	6.92E+00	9.63E-06	C-14	2.63E+03	4.38E+00	6.10E-06
H-3	4.35E+03	7.27E+00	7.15E-07	Total	8.89E+06	1.48E+04	3.97E-01
Total	1.41E+07	2.35E+04	6.61E-01				

- Co-60 비율 : 98.07%
- 작업자 피폭 선량률 : 3.30E-01 mSv/h
- 사고진압 허용시간 : 1.51E+03 hr

- Co-60 비율 : 97.75%
- 작업자 피폭 선량률 : 1.98E-01 mSv/h
- 사고진압 허용시간 : 2.52E+03 hr

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

- 환기시스템을 통한 시료 가공셀 및 운전구역 내 부유 방사능
 - 시료가공셀 체적 493.5 m³, 시간당 환기횟수 20회, 환기율 9870 m³/hr 고려
 - 운전구역 체적 599.25 m³, 시간당 환기횟수 1회, 환기율 599.25 m³/hr 고려
- 부유 선원항의 질량을 이용한 **시료 가공셀 내 부유 방사능 도출**
 - 시료 가공셀 내 부유 방사능 (Bq) = 단위 질량당 방사능농도 재고량(Bq/g) × **부유 선원항 질량(g)**
- 해체 방사성 폐기물 가공

활용 기기	시료 채취 위치	시료 크기 (L×W×H, cm ³)	시료재질	Band saw	
				절단 손실부피 (cm ³)	에어로졸 질량 (g)
원자로 압력 용기	노심대 모재	20×22×17	carbon steel (7.82 g/cm ³)	264	0.308
	노심대 용접부	20×12×17		144	0.168
원자로 내부 구조물	Baffle plate	10×20×2.86	Type304 stainless steel (7.94 g/cm ³)	55	0.004
	Core barrel	10×20×4.445		75	0.006

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

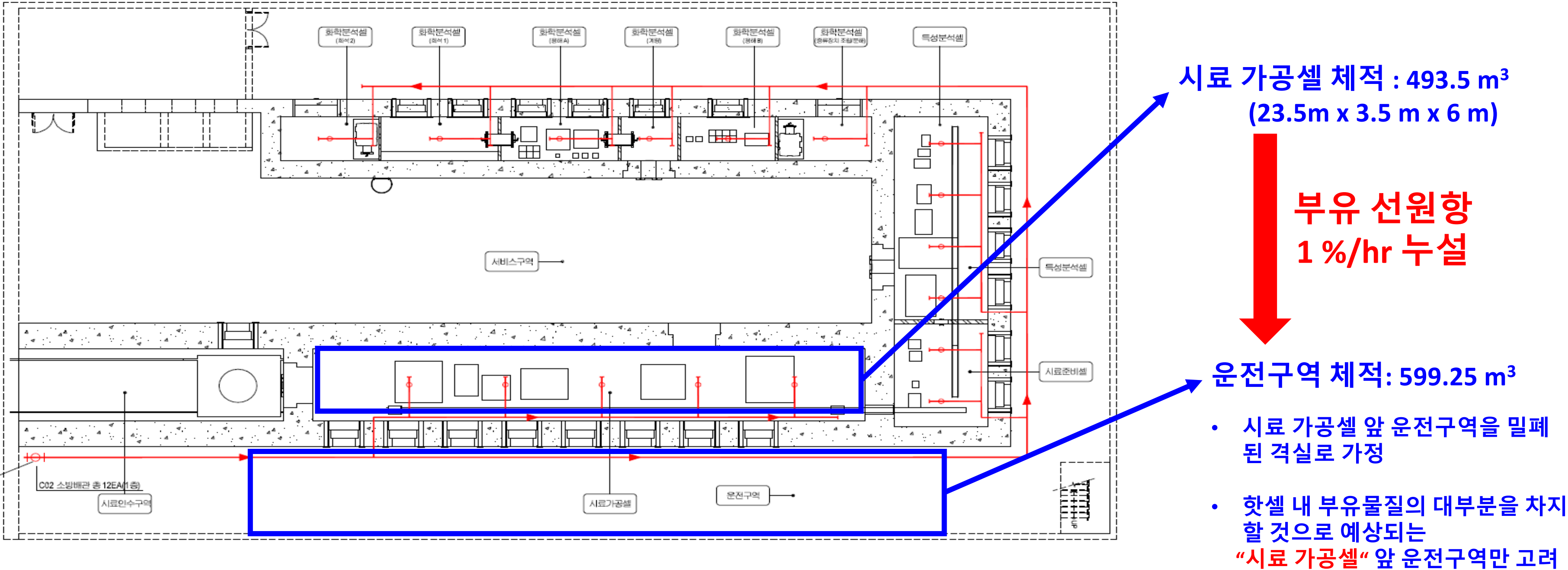
■ 정상 운영시, 작업자의 주요 피폭 경로

■ ISO 10648-2 Class3 (양압 무균상태)

- 영구적으로 작업자 공간의 공기중에 누출이 있다는 가정
- 시료 가공셀에서 운전구역으로 1 %/hr의 누설률을 기준으로 작업자의 피폭 선량평가

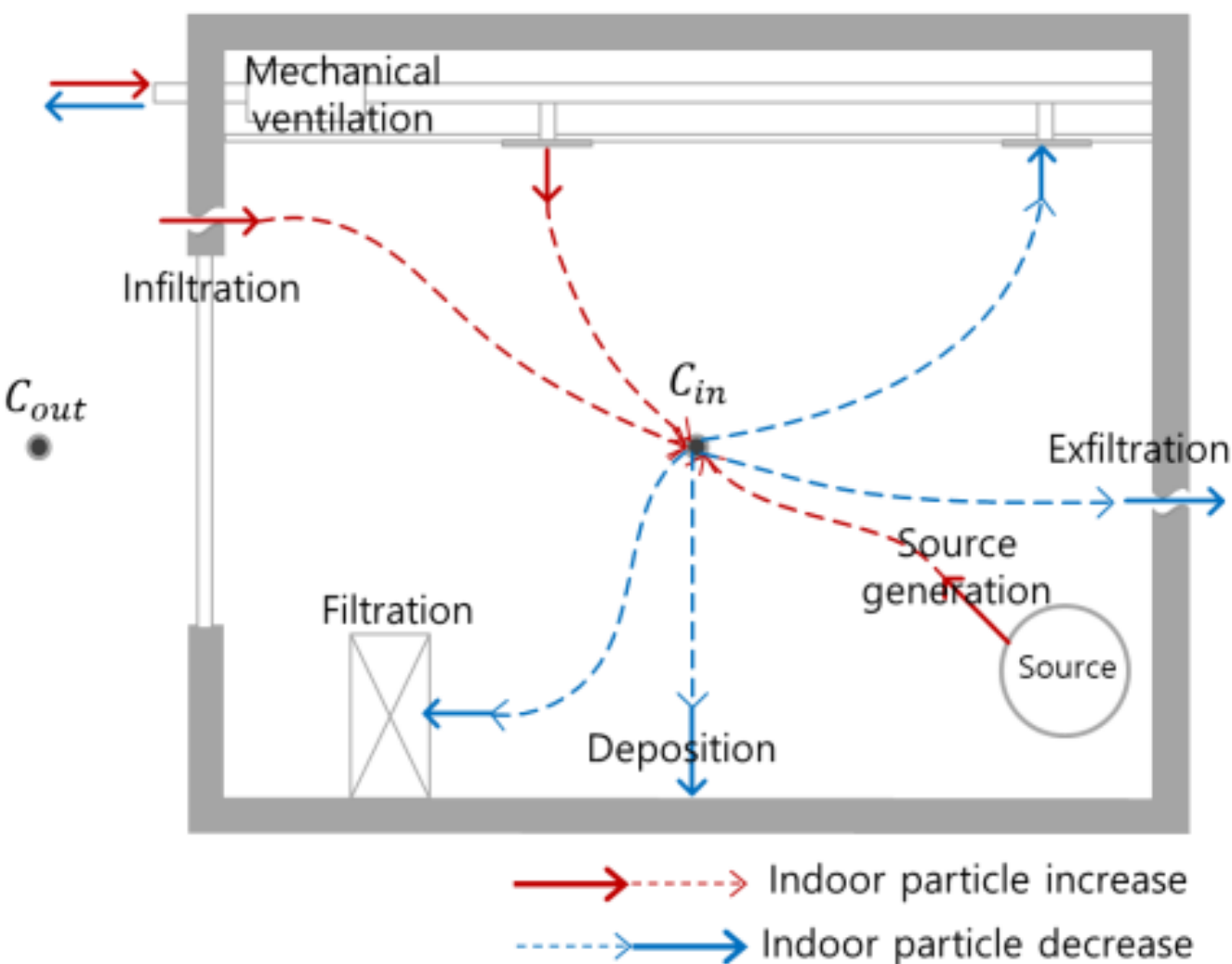
■ 작업자 피폭경로 분석

- 누설 방사능(Bq/hr) = 시료 가공셀 내 부유 방사능 농도(Bq/m³) * 시료 가공셀 체적(493.5m³) * 시간당 누설율 (1%/hr)
- 작업자 연간작업시간 2000시간, 호흡률 1.2 m³/hr 적용



4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

■ 환기 시스템(HVAC)



- C_{in} : 시료 가공셀 부유선원항 방사능 농도 (Bq/m³)
- C_{out} : 운전구역 농도 (Bq/m³)
- λ : 누설비율 (h⁻¹)
- P : 침투 계수 (-)
- η_v : 환기시스템 입자 제거 효율 (-)
- η_f : 여과 시스템의 입자제거 효율 (-)
- Q_v : 환기율 (m³ /h)
- Q_f : 여과 환기율 (m³ /h)
- G : 부유선원항 방사능 (Bq)
- K : 증착률 (h⁻¹)
- V : 시료 가공셀 체적 (m³)
- T : 가공시간 (h)

- 환기 횟수 (Air change rate [/hr])
 - 특정한 대상 공간에서 1시간 동안 이루어지는 공기의 교환 횟수.
 - 1시간 동안 공급되는 공기량을 해당 공간의 체적으로 나누어 계산.
- 환기량 (Amount of ventilation, [m³/hr])
 - 환기에 의해서 실내에 공급되거나 실외에 배출되는 공기량.
 - 단위 시간 동안 환기에 의해서 실내에 공급되거나 실외에 배출되는 공기량.

■ Mass-Balance Model

$$\frac{dC_{in}}{dt} = P\lambda C_{out} + (1 - \eta_v) \frac{Q_v}{V} C_{out} + \frac{G}{V} - \lambda C_{in} - \frac{Q_v}{V} C_{in} - kC_{in} - \eta_f \frac{Q_f}{V} C_{in}$$

침입, 누설 x 부유 선원항 방사능
시료 가공셀 체적
시료 가공셀 환기율
가공시간

$$\frac{C_{in}}{dt} = \frac{G}{V} - \frac{Q_v}{V} C_{in}$$

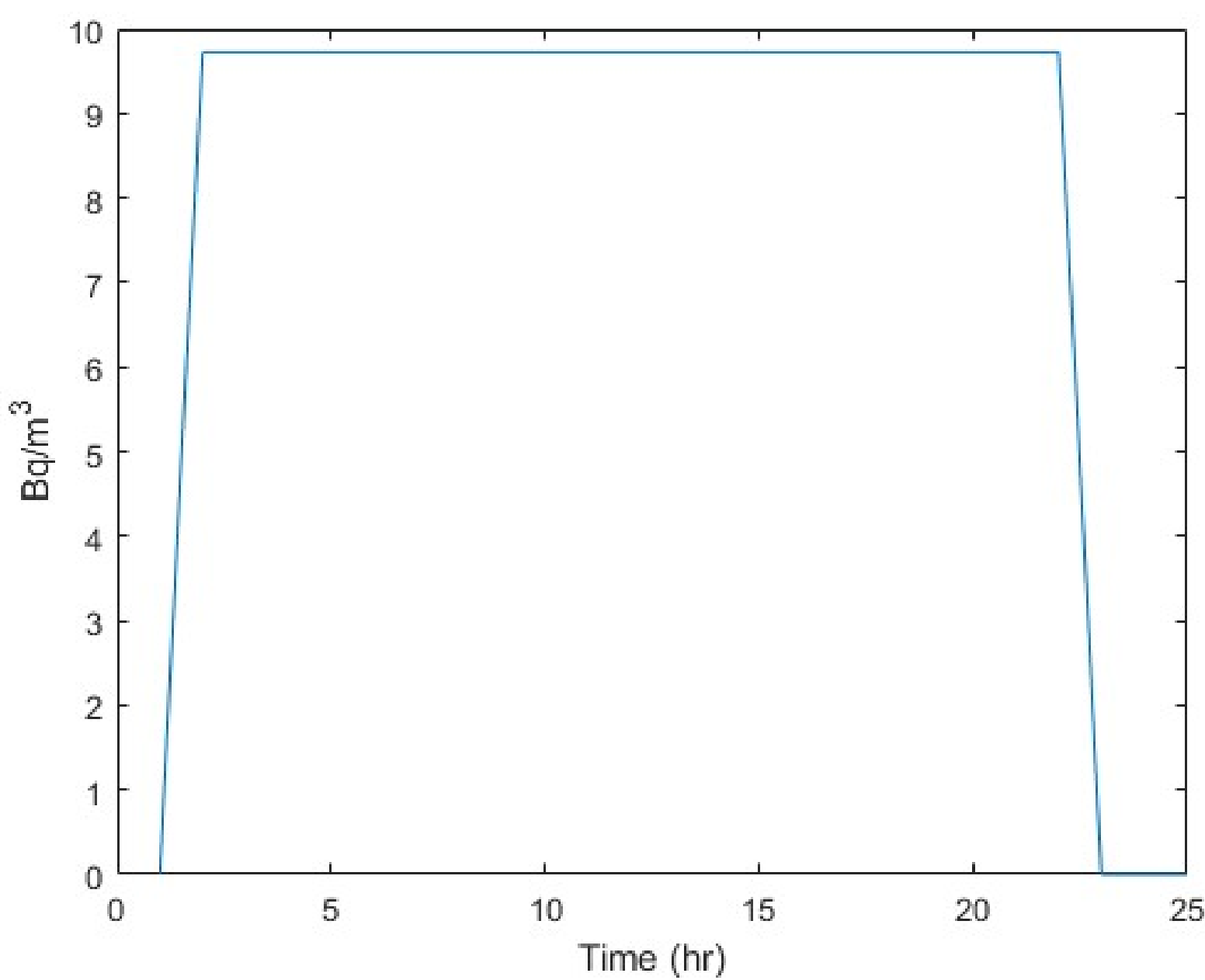
- 시료 가공셀 부유선원항 방사능 농도 (Bq/m³)

시료 가공셀 방사능 농도 산출

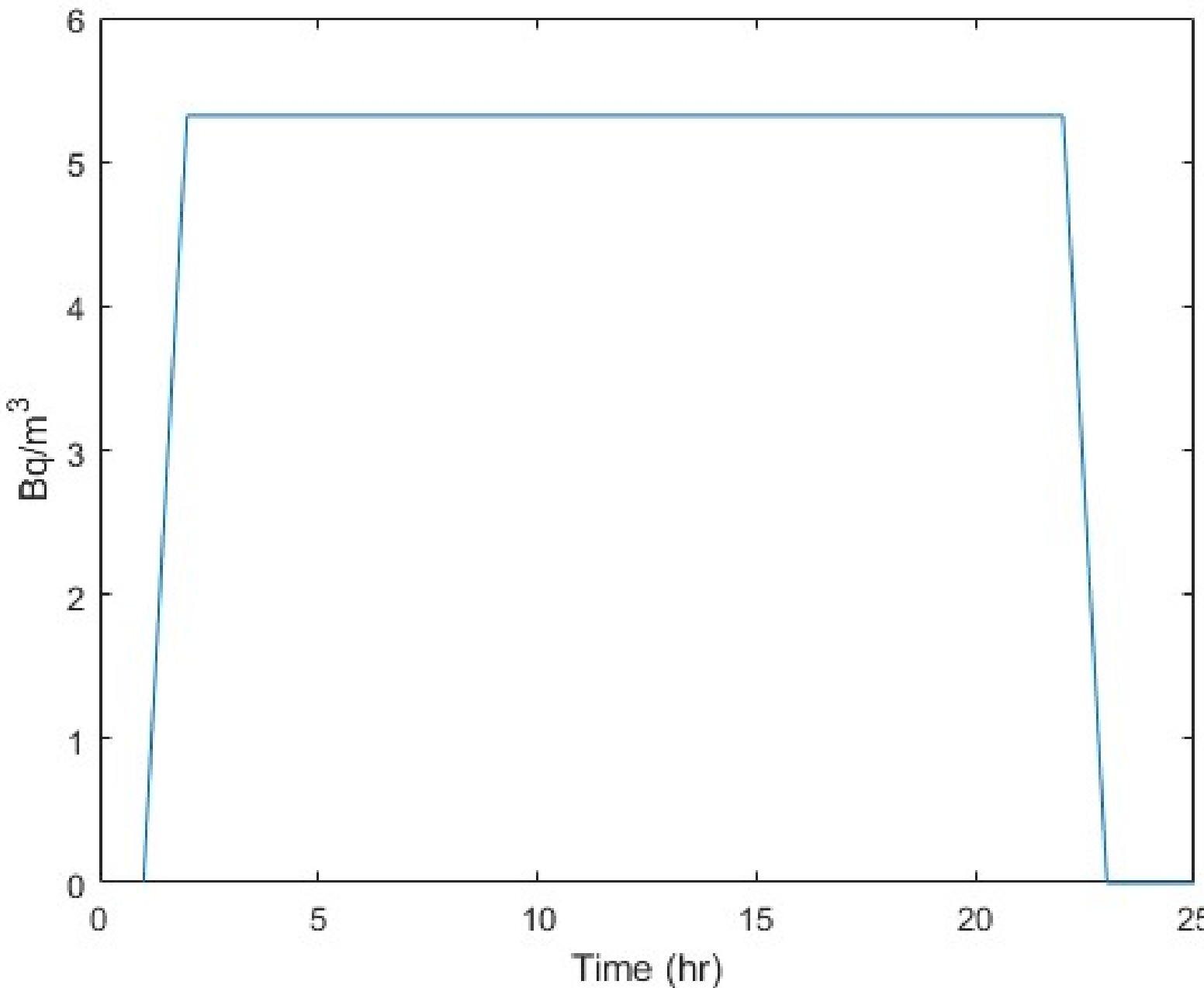
$$C_{in} = \frac{G}{Q} \left[1 - \exp \left(- \frac{Q}{V} t \right) \right]$$

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

- 시료가공셀 부유입자수 변화
 - 원자로 압력용기 가공시 부유 입자수 변화
 - 시료가공셀 체적 493.5 m³, 시간당 환기횟수 20회, 환기율 9870 m³/hr, 시료 가공시간 20시간 적용
 - 일정시간 이후 시료 가공셀 내 부유 입자수 평형상태에 도달



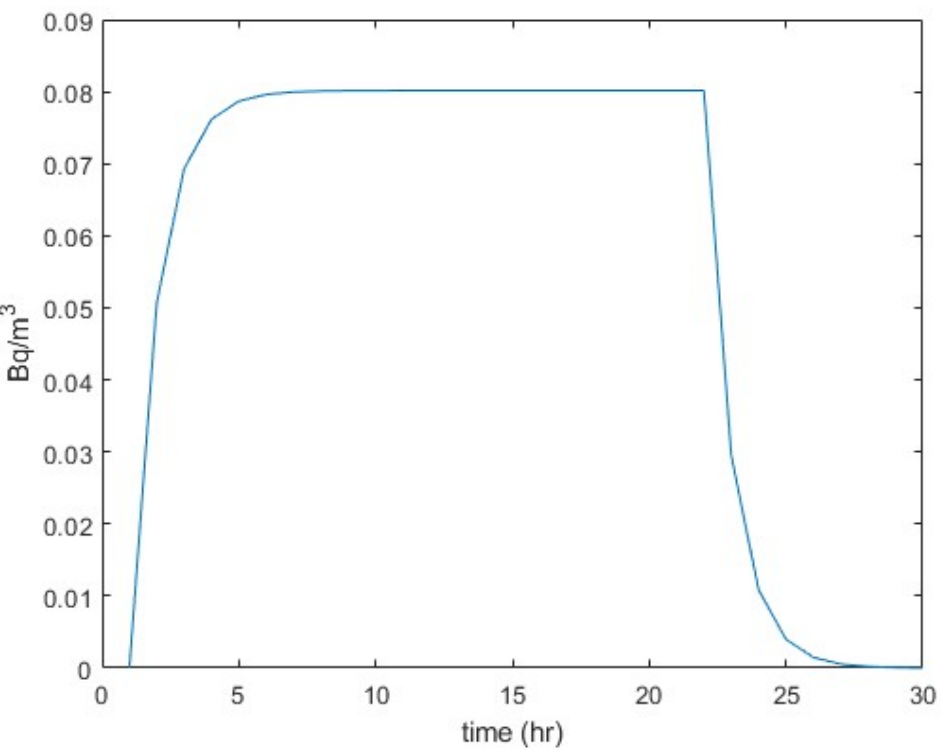
노심대 모재 가공시



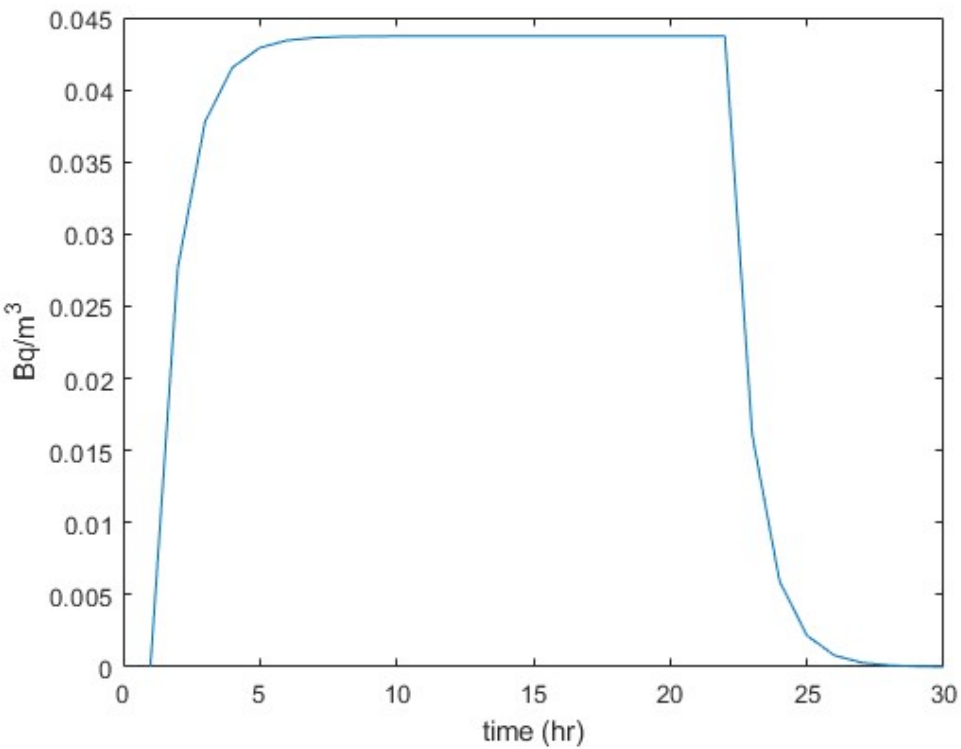
노심대 용접부 가공시

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

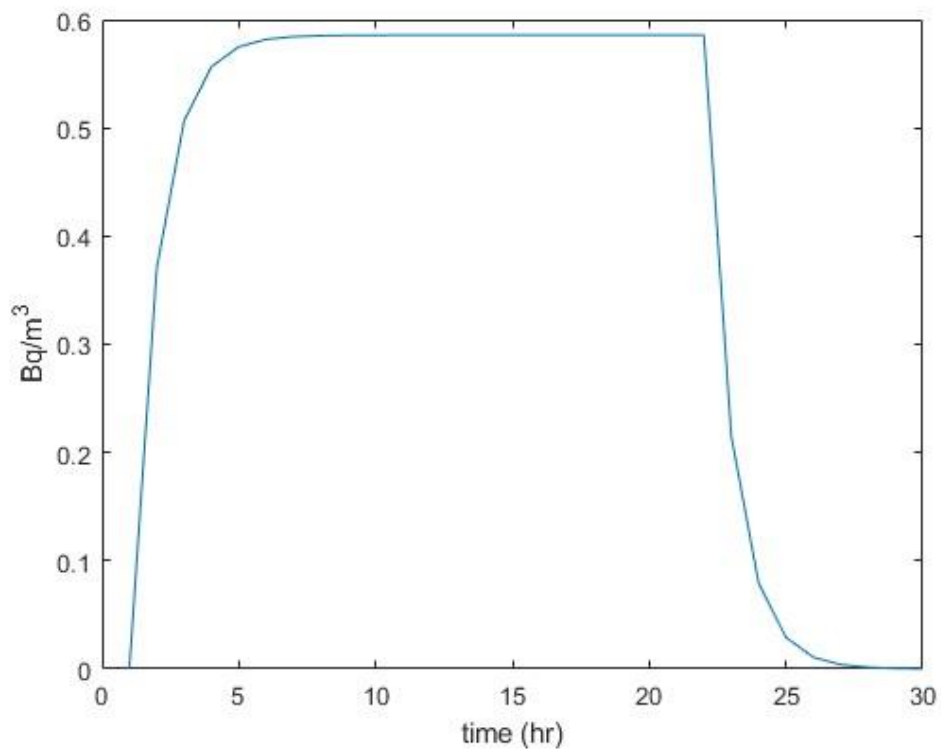
- 운전구역 내 부유 방사능 농도
 - 누설 방사능
 - -> 시료가공셀 내 부유 방사능 농도(Bq/hr) * 시료가공셀 체적(493.5m^3) * 시간당 누설율 ($1\%/hr$)
 - 운전구역 환기 고려 시, 운전구역 방사능 농도 -> **Mass Balance Model 적용**
 - 운전구역 체적 599.25 m^3 , 시간당 환기횟수 1회, 환기율 $599.25\text{ m}^3/hr$ 적용



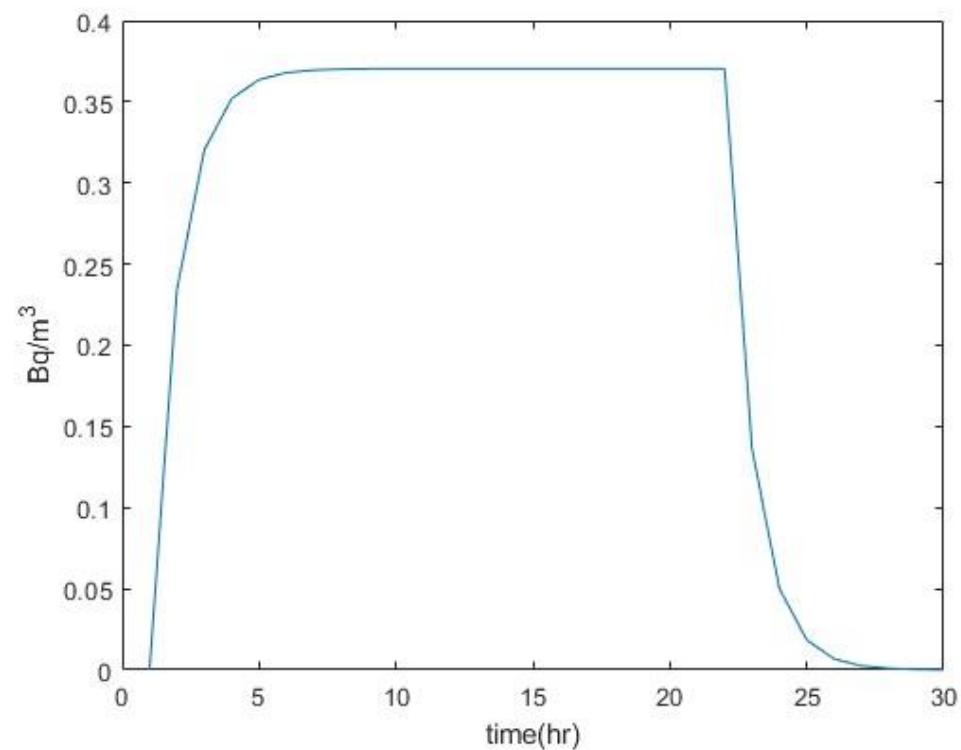
노심대 모재 가공시 운전구역 방사능 농도



노심대 용접부 가공시 운전구역 방사능 농도



Baffle plate 가공시 운전구역 방사능 농도



Core barrel가공시 운전구역 방사능 농도

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

- 정상 운영 시 작업자 외부피폭 평가
 - LANL(Los Alamos National Laboratory)의 MCNP 6.2 (Monte Carlo N-Particle® Transport Code) 코드를 활용
 - 외부 피폭선량을 도출하기 위해서 각 핵종의 에너지와 운전구역 내 부유 방사능 농도, 작업자의 연간 작업시간 적용
 - γ 방출 핵종 (^{60}Co , ^{55}Fe , ^{59}Ni , $^{93\text{m}}\text{Nb}$) 및 β 방출 핵종(^{63}Ni , ^3H , ^{14}C) 에 따른 선량환산 계수를 MCNP6.2 코드 적용
 - 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙(제3조) – 외부 방사선량률: 1주당 400 μSv -> 20 mSv/yr 기준치 이하

원자로압력용기			
노심대 모재		노심대 용접부	
핵종	연간 외부피폭 선량률	핵종	연간 외부피폭 선량률
	mSv/yr		mSv/yr
Co-60	1.69E-06	Co-60	9.02E-07
H-3	9.85E-14	H-3	5.38E-14
Ni-63	4.41E-12	Ni-63	2.70E-12
Eu-152	3.35E-08	Eu-152	1.83E-08
Nb-93m	9.03E-11	Nb-93m	4.93E-11
C-14	2.46E-12	C-14	1.34E-12
Total	1.72E-06	Total	9.21E-07

원자로 내부 구조물			
Baffle plate		Core barrel	
핵종	연간 외부피폭 선량률	핵종	연간 외부피폭 선량률
	mSv/yr		mSv/yr
Co-60	8.83E-06	Co-60	5.28E-06
Ni-63	1.93E-10	Ni-63	1.38E-10
Fe-55	2.28E-07	Fe-55	1.58E-07
Ni-59	8.21E-09	Ni-59	6.97E-09
C-14	4.92E-12	C-14	3.12E-12
H-3	6.47E-15	H-3	5.94E-15
Nb-93m	1.65E-10	Nb-93m	-
Total	9.06E-06	Total	5.45E-06

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

- 정상 운영 시 작업자 내부피폭 평가
 - 운전구역 부유 방사능 농도, 호흡률, 연간 작업시간, 선량환산계수 적용
 - 선량환산계수는 ICRP Publication 68의 흡입에 의한 유효선량환산계수를 나타내며, 보수적 평가를 위해 5μm의 AMAD*(Activity Median Aerodynamic Diameter)를 가정하여 선량평가를 진행
 - 에어로졸의 공기역학적 직경 값*
 - 연간 내부 피폭선량(mSv/yr)
 - = 운전구역 부유 방사능농도(Bq/m³) × 호흡률(1.2 m³/hr) × 연간작업시간(2000 hr/yr) × EDC(Sv/Bq) × (1000 mSv/Sv)

원자로압력용기			
노심대 모재		노심대 용접부	
핵종	연간 내부피폭 선량률	핵종	연간 내부피폭 선량률
	mSv/yr		mSv/yr
Co-60	3.04E-03	Co-60	1.66E-03
H-3	2.73E-07	H-3	1.49E-07
Ni-63	2.90E-06	Ni-63	1.58E-06
Eu-152	2.52E-05	Eu-152	1.37E-05
Nb-93m	3.15E-07	Nb-93m	1.72E-07
C-14	1.20E-07	C-14	6.57E-08
Total	3.07E-03	Total	1.67E-03

원자로 내부 구조물			
Baffle plate		Core barrel	
핵종	연간 내부피폭 선량률	핵종	연간 내부피폭 선량률
	mSv/yr		mSv/yr
Co-60	1.62E-02	Co-60	9.70E-03
Ni-63	1.26E-04	Ni-63	9.05E-05
Fe-55	1.91E-04	Fe-55	1.32E-04
Ni-59	3.85E-07	Ni-59	3.27E-07
C-14	2.41E-07	C-14	1.53E-07
H-3	1.79E-08	H-3	1.64E-08
Nb-93m	5.75E-07	Nb-93m	-
Total	1.65E-02	Total	9.92E-03

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

- 정상 운영 및 원자로 압력용기 가공 시 작업자 피폭 선량평가
 - 운전구역 부유 방사능 농도, 호흡률, 연간 작업시간, 선량환산계수 적용
 - 원자력 안전법 시행령 [별표1]에 따라 기준치 이하의 값을 가짐

원자로압력용기						
노심대 모재				노심대 용접부		
핵종	연간 내부피폭 선량률	연간 외부피폭 선량률	연간 총 피폭 선량률	연간 내부피폭 선량률	연간 외부피폭 선량률	연간 총 피폭선량률
	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr
Co-60	3.04E-03	1.69E-06	3.04E-03	1.66E-03	9.02E-07	1.66E-03
H-3	2.73E-07	9.85E-14	2.73E-07	1.49E-07	5.38E-14	1.49E-07
Ni-63	2.90E-06	4.41E-12	2.90E-06	1.58E-06	2.70E-12	1.58E-06
Eu-152	2.52E-05	3.35E-08	2.52E-05	1.37E-05	1.83E-08	1.38E-05
Nb-93m	3.15E-07	9.03E-11	3.15E-07	1.72E-07	4.93E-11	1.72E-07
C-14	1.20E-07	2.46E-12	1.20E-07	6.57E-08	1.34E-12	6.57E-08
Total	3.07E-03	1.72E-06	3.07E-03	1.67E-03	9.21E-07	1.67E-03

4. 핵심실증시설 운전구역 방사선 영향평가

- 정상 운영 및 원자로 내부 구조물 가공 시 작업자 피폭 선량평가
 - 운전구역 부유 방사능 농도, 호흡률, 연간 작업시간, 선량환산계수 적용
 - 원자력 안전법 시행령 [별표1]에 따라 기준치 이하의 값을 가짐

원자로 내부 구조물						
Baffle plate				Core barrel		
핵종	연간 내부피폭 선량률	연간 외부피폭 선량률	연간 총 피폭 선량률	연간 내부피폭 선량률	연간 외부피폭 선량률	연간 총 피폭선량률
	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr	mSv/yr
Co-60	1.62E-02	8.83E-06	1.62E-02	9.70E-03	5.28E-06	9.71E-03
Ni-63	1.26E-04	1.93E-10	1.26E-04	9.05E-05	1.38E-10	9.05E-05
Fe-55	1.91E-04	2.28E-07	1.91E-04	1.32E-04	1.58E-07	1.32E-04
Ni-59	3.85E-07	8.21E-09	3.93E-07	3.27E-07	6.97E-09	3.34E-07
C-14	2.41E-07	4.92E-12	2.41E-07	1.53E-07	3.12E-12	1.53E-07
H-3	1.79E-08	6.47E-15	1.79E-08	1.64E-08	5.94E-15	1.64E-08
Nb-93m	5.75E-07	1.65E-10	5.75E-07	-	-	-
Total	1.65E-02	9.06E-06	1.65E-02	9.92E-03	5.45E-06	9.93E-03

5. 요약 및 결론

- 정상 운영 및 사고 발생 시 전체 핵종 중 ^{60}Co 가 대부분의 비율을 차지하고 있으며, 핵종 중 내·외부 선량 환산 계수 값이 상대적으로 크기 때문에 ^{60}Co 의 선량이 가장 큼
- 정상 운영 시, 정확한 계산은
'콘크리트 차폐벽에 의한 감쇠 후에 잔여 선량율+부유물질의 1% 서비스구역으로의 누출에 의한 피폭 선량율'을 동시에 고려해야할 것으로 판단됨
- 시료 가공셀 체적 및 환기 고려 시, 부유 선원항 방사능 농도는 평형상태를 유지
- 피폭 선량평가 시, 호흡에 의한 내부피폭이 작업종사자에 영향이 가장 큼
- 핵심실증시설 사고상황 발생 시, 사고진압을 위한 허용시간은 충분할 것으로 판단됨
- 핵심실증시설 정상 운영 시, 방사선 관리구역 선량한도와 작업자의 피폭선량의 선량한도 기준치 이하의 선량이 나타남

FIRST IN CHANGE



THANK YOU