

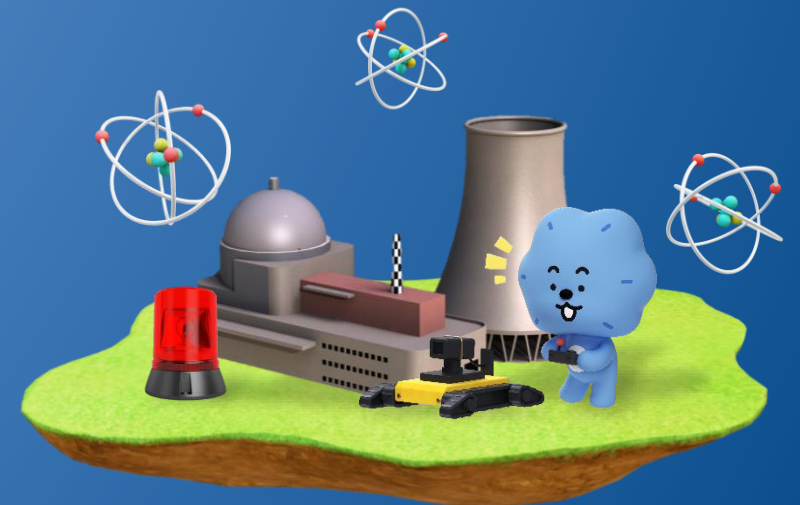
2024 한국원자력학회 춘계 학술발표대회  
제 7분과 방사선방호



# Development and Verification of Calculation Tool of Operational Intervention Levels (OILs) for HANARO Research Reactor

한양대학교 원자력공학과 방사선과학및안전 연구실  
한국원자력연구원 원자력방재실  
신수인  
sooin@kaeri.re.kr

2024/05/09



# CONTENTS

01

## INTRODUCTION

- ▣ 배경 및 필요성

02

## MATERIALS AND METHODS

- ▣  $OIL_{1,\gamma}(t,mix)$  계산식
- ▣ 사고시나리오 및 선원항
- ▣ HANARO에 대한 OILs 계산툴 구조

03

## RESULTS AND DISCUSSIONS

- ▣ HANARO에 대한 OILs 계산툴 및 검증
- ▣  $OIL_{1,\gamma}(t,mix)$  계산 결과

04

## CONCLUSIONS

- ▣ 결론
- ▣ 향후 연구 계획



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



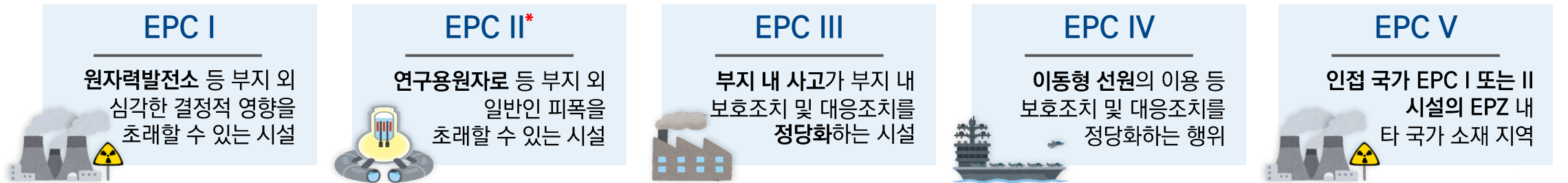
한양대학교  
HANYANG UNIVERSITY



# 01 INTRODUCTION

# 배경 및 필요성

## 비상대비범주 (EPC) Emergency Preparedness Categories



\* : 부지 외에 심각한 결정적 영향을 초래하는 사고는 고려하지 않음

**비상계획구역**  
(EPZ, Emergency Planning Zone)

예방적보호조치구역 (Precautionary Action Zone, PAZ)

긴급보호조치계획구역 (Urgent Protective Action Planning Zone, UPZ)

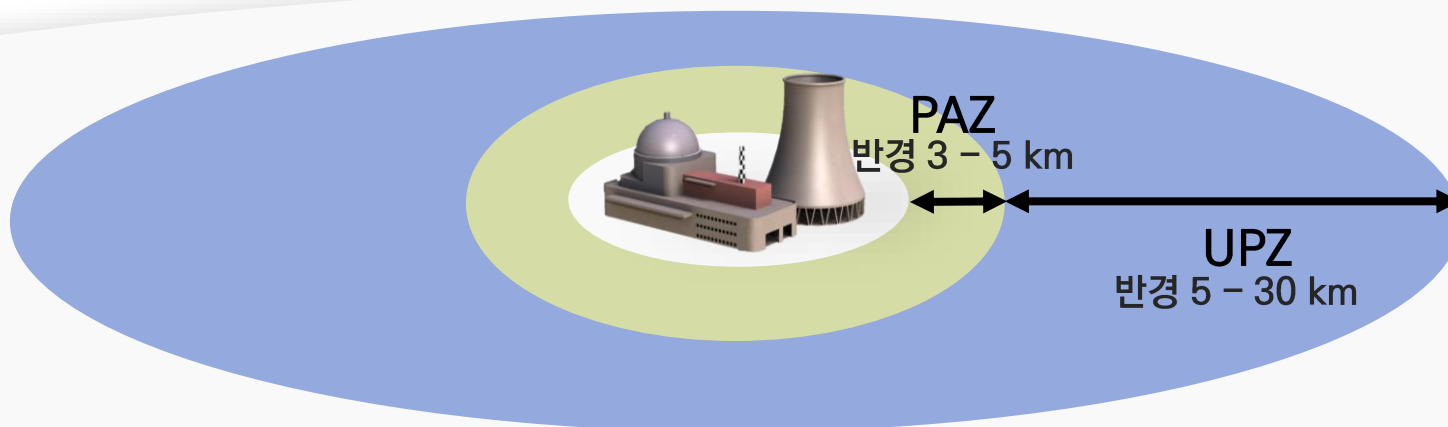


Fig 1. EPC I Reactor (1,000 MW<sub>th</sub> 이상 NPP)의 EPZ 사이즈

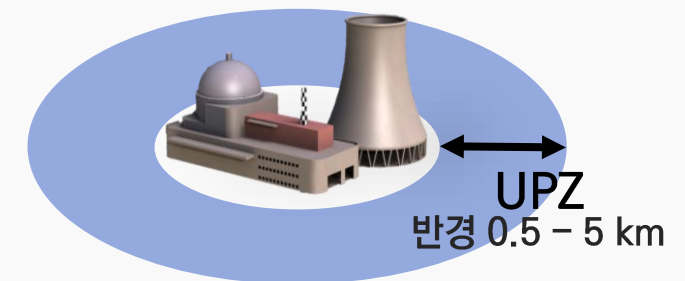


Fig 2. EPC II Reactor (10 MW<sub>th</sub> 이상 RR)의 EPZ 사이즈

# 배경 및 필요성

## 원자력사고시 운영개입준위의 적용

### 운영개입준위 (Operational Intervention Level, OIL)

원자력/방사선 비상 시 **즉시 사용 가능한** 모니터링 결과 기반 적절한 대응조치를 **신속**하게 이행할 수 있는 운영 기준 (Operational Criteria)

### 옥내대피 및 소개조치를 위한 운영개입준위 $OIL1_{\gamma}(t, mix)$

- 목적 : **지표면에 침적된 방사성플룸**으로부터 외부피폭 및 내부피폭으로 인한 영향을 방지하기 위한 **옥내대피 및 소개조치, KI 복용** 등의 긴급보호조치
- 기준 : 섯다운 후 **1일** 이내  
지표면 위 1 m 지점 주변선량당량률  **$1,000 \mu Sv/h$**
- 대표인 : 피폭경로에 따라 1세 영아, 성인

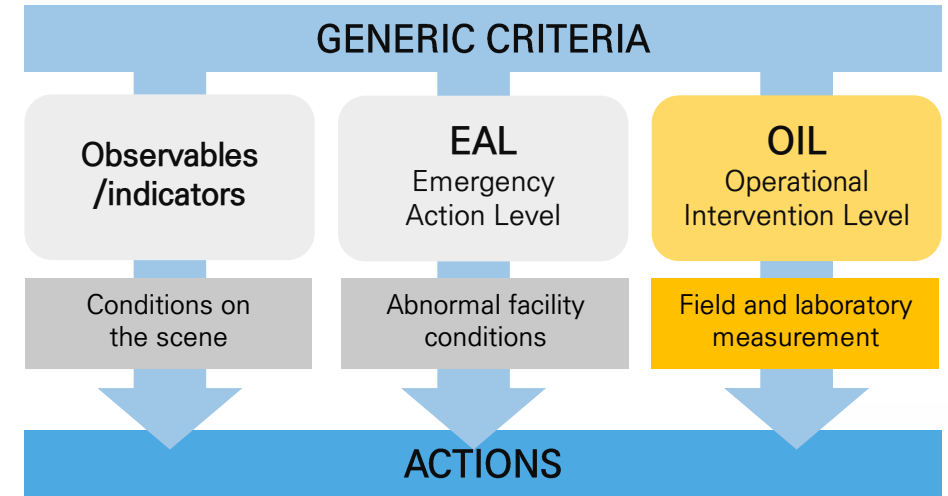


Fig 3. Structure of generic criteria and operational criteria

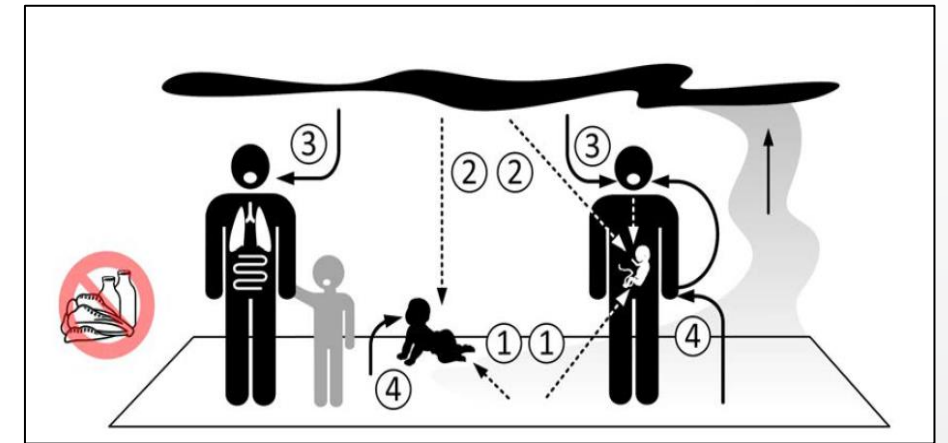


Fig 4. Exposure pathway for the 'Ground' scenario\*

\* : ① Ground shine에 의한 외부피폭(영아), ② 재부유된 물질의 Air shine으로 인한 외부피폭(영아)  
③ 재부유된 물질 흡입으로 인한 내부피폭(성인), ④ 섭취로 인한 내부피폭(성인)

# 배경 및 필요성

- 기존 IAEA OILs 계산툴 : 'OIL CALCULATION' 스프레드시트
  - 기준 시설 : 3,000 MW<sub>th</sub> 경수로 및 사용후핵연료 (EPC I 시설)
  - 구성 : 'Welcome'탭, 'Control'탭, 'Calculation'탭, 'OIL8'탭

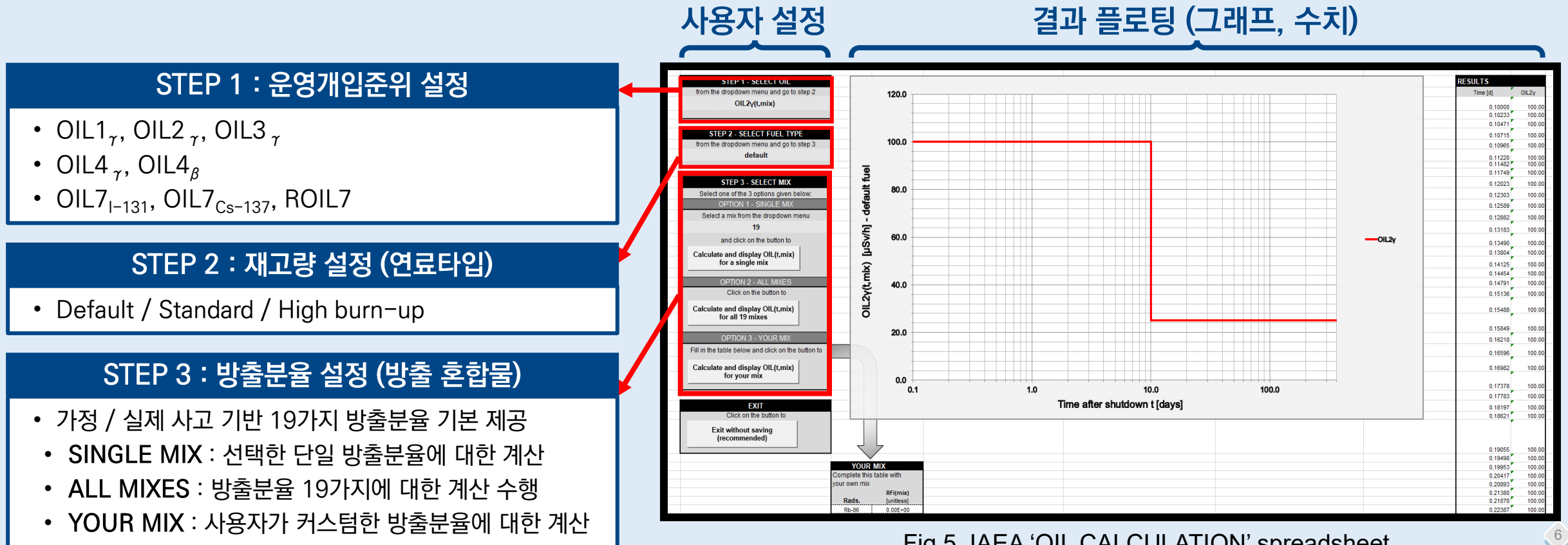


Fig 5. IAEA 'OIL CALCULATION' spreadsheet

# 배경 및 필요성



## 필요성



**EPC I & EPC II 시설의 특성 차이  
고려 보호조치기준 수립**  
IAEA 기존 OIL 계산의 기준 시설  
: EPC I (3,000 MW<sub>th</sub> LWR 등)



**연구용원자로에 대한 OILs 평가  
보다 합리적이고 실용적인  
주민보호조치 수행**



## 목표



**연구용원자로 HANARO에 대한  
선원항 데이터 수집 및 DB구축**



**IAEA 기존 계산툴을 벤치마킹하여  
연구용원자로용 OILs 계산툴 개발·검증**



**엑셀 VBA 코드 기반의 계산툴에  
사용자 편의성을 고려한 기능 추가**



02

# MATERIALS AND METHODS



OIL1<sub>γ</sub>(t,mix)의 계산식

$$OIL1_{\gamma}(t, mix) = \left( \sum_i (RA_i(t, mix) \times H_{grd-sh,i}^*) \right) \times WF_{OIL1_{\gamma}} \times UC \times DA_{OIL1_{\gamma}}(t, mix) \quad \dots (1)$$

특정 방사성핵종 혼합물 내 핵종  $i$ 의 상대 방사능

$$RA_i(t, mix) = \frac{A_i(t, mix)}{\sum_{j=1}^n A_j(t, mix)} = \frac{I_{fuel-type,i}(t_0) \times e^{-\lambda_i \times (t-t_0)} \times RF_i(mix)}{\sum_{j=1}^n A_j(t, mix)}$$

$$= \frac{I_{facility,i}(t_0) \times e^{-\lambda_i \times (t-t_0)} \times RF_i(mix)}{\sum_{j=1}^n A_j(t, mix)} \quad \dots (2)$$

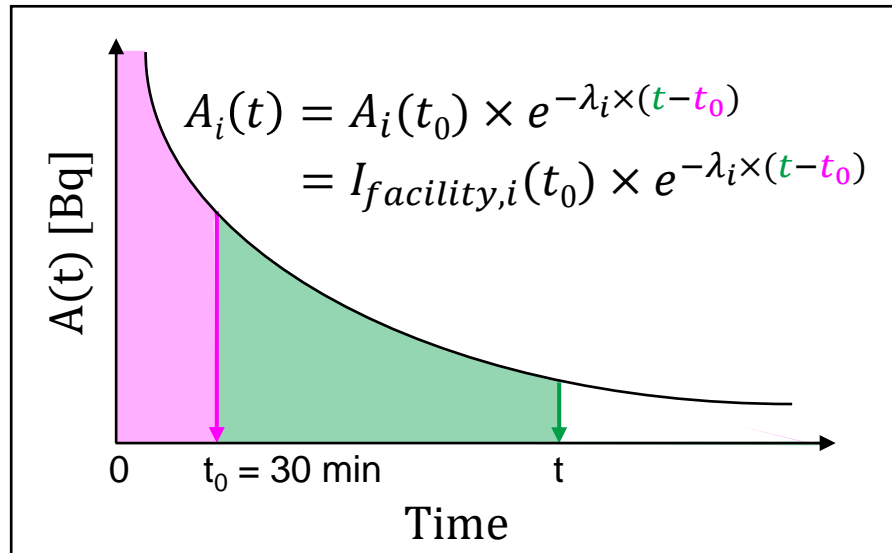


Fig 6. Time-dependent activity of facility

- $A_i(t, mix)$  [Bq] : 특정 방사성핵종 혼합물 내 경과시간  $t$ 일 때, 핵종  $i$ 의 방사능
- $I_{fuel-type,i}(t)$  [Bq] : 경과시간  $t$ 일 때, 연료 내 핵종  $i$ 의 재고량
- $I_{facility,i}(t)$  [Bq] : 경과시간  $t$ 일 때, 시설에 따른 핵종  $i$ 의 재고량
- $RF_i(mix)$  [unitless] : 특정 방사성 핵종 혼합물의 핵종  $i$ 의 방출분율

# 대상 시설에 대한 사고시나리오 및 선원항

## 대상 시설에 대한 사고시나리오 및 선원항 평가 과정

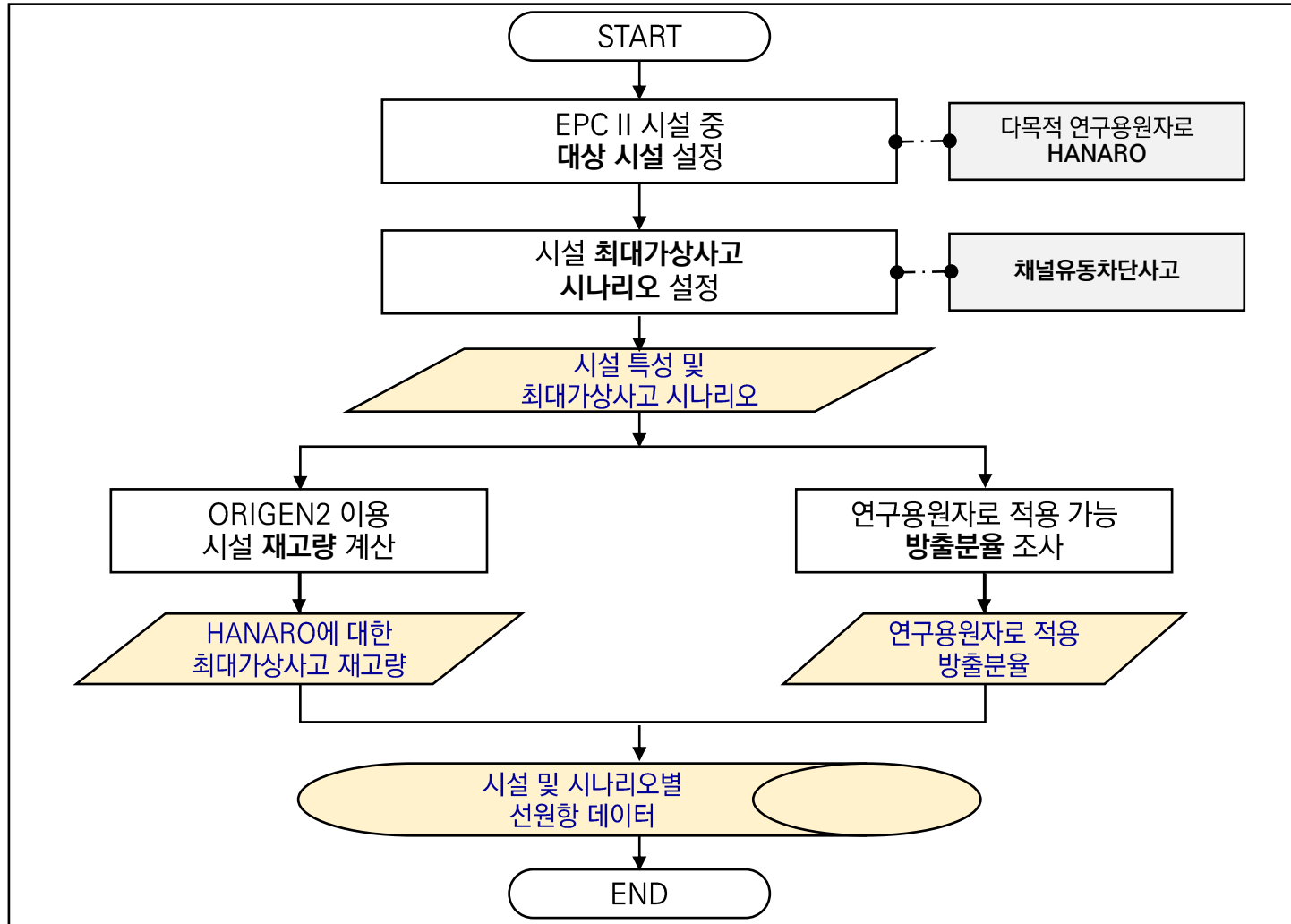


Fig 7. Flowchart of source term evaluation for facility-dependent maximum hypothetical accident

## ① 대상 시설 : 연구용원자로 HANARO

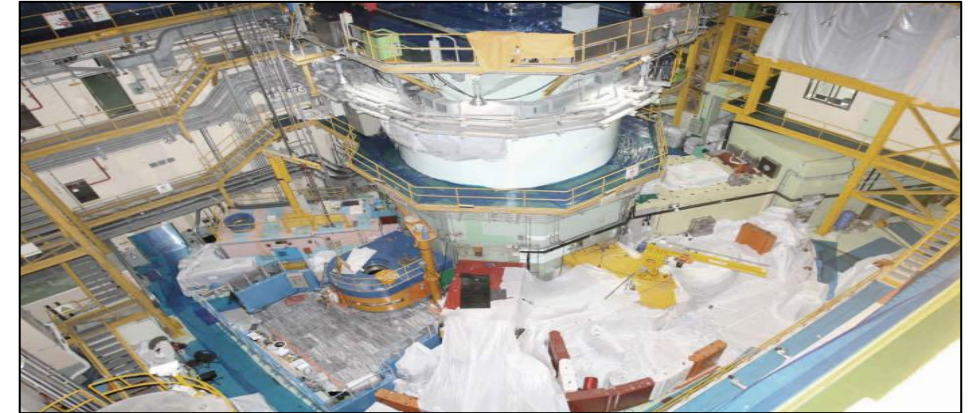


Fig 8. A view of Research Reactor HANARO

Table 1. Design characteristics of HANARO

Reactor type	Open-tank-in-pool
Power	30 MW <sub>th</sub>
Fuel composition	19.75% U-235, U <sub>3</sub> Si-Al
Fuel assembly	20×36-rod hexagonal assembly/ 12×18-rod circular assembly
Core residence time	175 full-power days
Core period (run/shutdown)	27 days / 14 days

# 대상 시설에 대한 사고시나리오 및 선원항

## ② 사고 시나리오

하나로 안전성분석보고서(SAR)에서 고려하는 최대가상사고 : **채널유동차단사고**

Table 2. Maximum hypothetical accident scenario of HANARO

Facility classification	Name	Maximum hypothetical accident	Reference
연구용원자로 Research Reactor	하나로 HANARO	채널 유동 차단 사고 Channel flow blockage accident	KAERI/TR-7594/2019

## ③ - (a) 재고량 $I_{facility,t_0}$

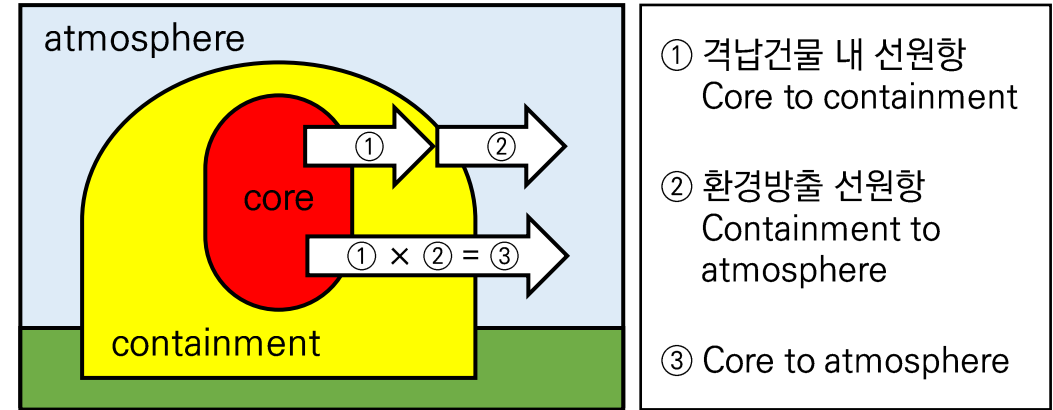
하나로 노심재고량을 ORIGEN2코드로 재산출한 기술보고서 데이터 이용

- Sr-90, Mo-99 등 모핵종과 평형상태의 딸핵종은 별도 고려 X
- 방출 후 인체영향이 미미한 불활성기체, 초단수명 방사성핵종은 고려 X

Table 3. Radionuclide of interest in the OIL calculation for HANARO

Radionuclide group	Radionuclide
Halogens	Br-80m, Br-82, Br-83, Br-84, I-131, I-133, I-134, I-135
Alkali metals	Rb-86, Cs-134, Cs-136, Cs-137
Transition metals	Ru-103, Ru-105, Ru-106
Tellurium group	Te-127, Te-127m, Te-129m, Te-131m, Te-132

## ③ - (b) 방출분율 $RF(mix)$



- ① 격납건물 내 선원항  
Core to containment
- ② 환경방출 선원항  
Containment to atmosphere
- ③ Core to atmosphere

Fig 9. Scheme of release fraction

Table 4. HANARO release fraction

핵종 그룹 \ 방출분율	TID-14844 기반	NUREG-1465 기반	SRS No. 53 기반 (ASTRA 연구로)
Halogens	5.0E-02	4.0E-05	1.0E-04
Alkali Metal	1.0E-03	3.0E-05	1.0E-06
Transition metals	1.0E-03	2.5E-07	1.0E-06
Tellurium Group	1.0E-03	5.0E-06	1.0E-06

# 연구용원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴의 구조

## 연구용원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴의 구조

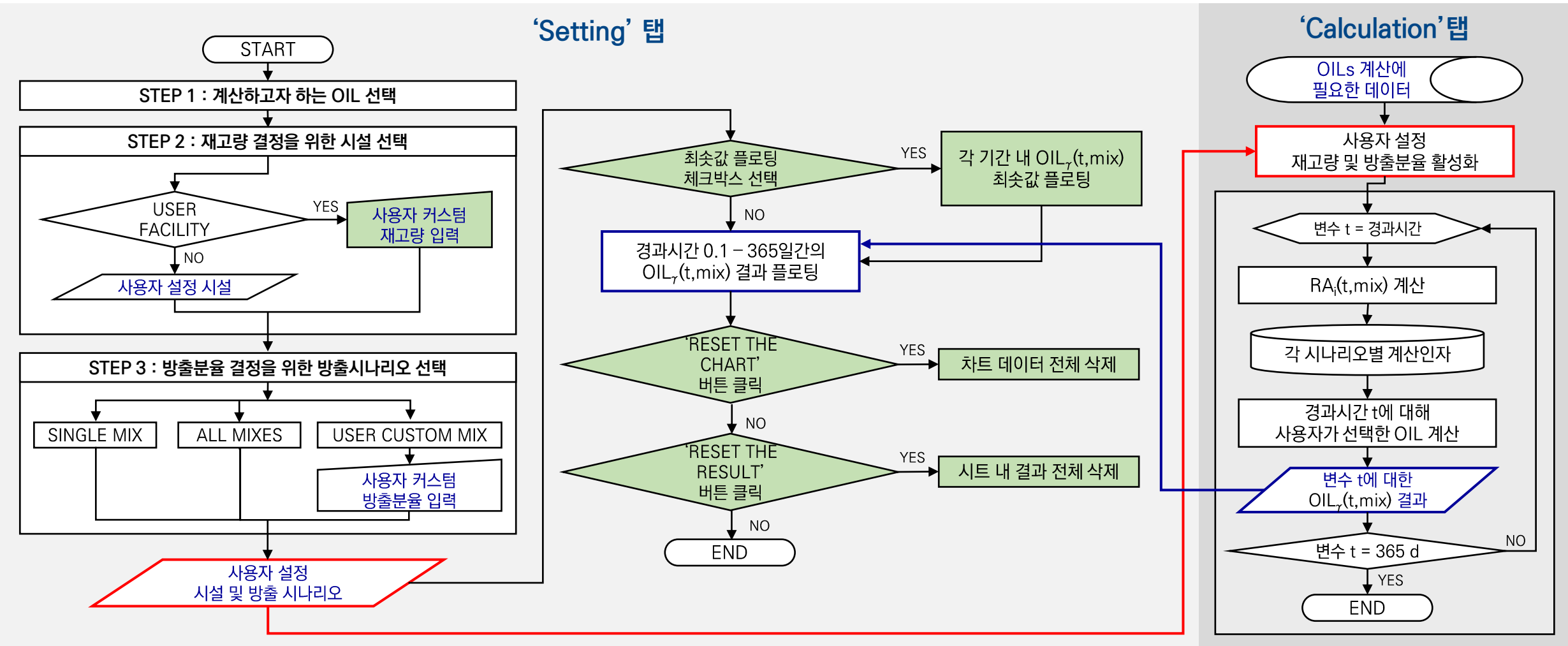


Fig 10. Flowchart of OILs calculation tool for HANARO



# 03 RESULTS AND DISCUSSIONS

# 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴

## 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴 구조 및 기능

### Setting 탭

### Calculation 탭

### Term 탭

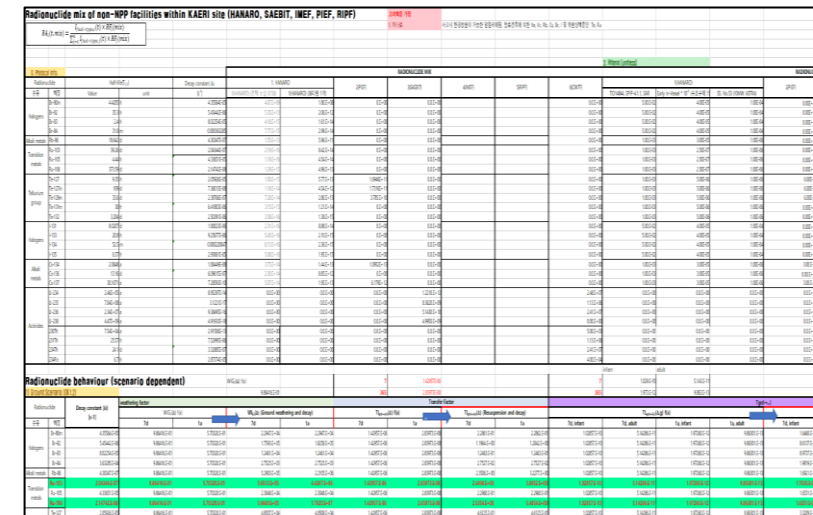
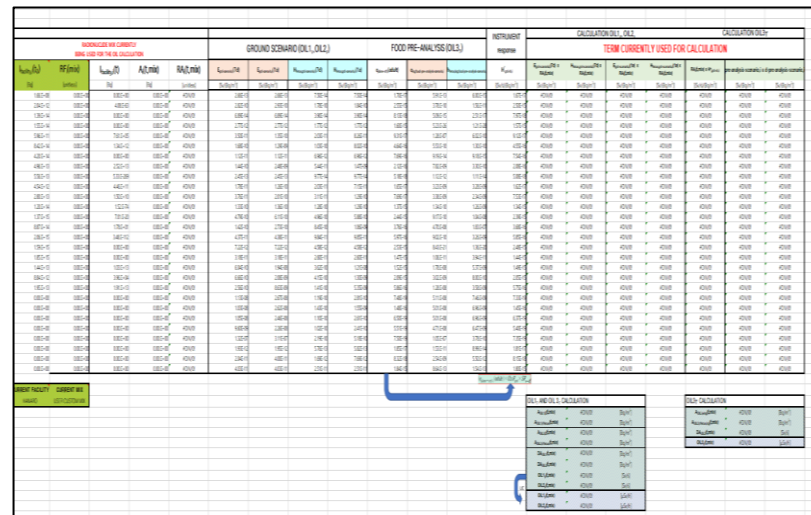
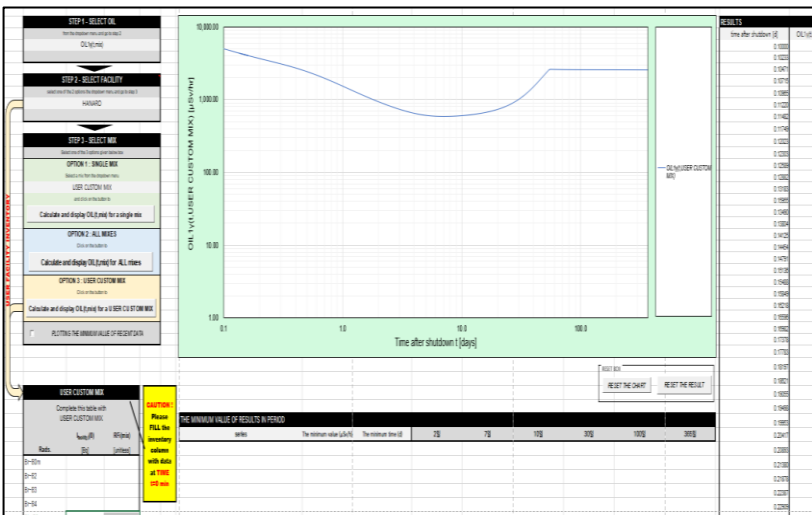


Fig 11. 'Setting' tab of OILs calculation tool for HANARO

Fig 12. 'Calculation' tab of OILs calculation tool for HANARO

Fig 13. 'Term' tab of OILs calculation tool for HANARO

### 사용자 설정

OILs(t,mix), 시설에 따른 재고량, 사고 시나리오에 따른 방출분율

### OILs 결과값, 그래프 및 최솟값 플로팅

- 시간 t (0.1 - 365일)의 계산과정 확인
- 각 시설에 대한 재고량과 시나리오에 대한 방출분율 데이터 확인

- 계산에 이용된 인자의 유도과정 확인
- 핵종별 데이터 확인  
물리적 데이터, 시나리오별 핵종 거동 데이터, 선량환산인자 데이터 등

# 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴

## ④ 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴 구조 및 기능 ('Setting' 탭)

## ④ 계산 결과 확인

**STEP 1 - SELECT OIL**  
from the dropdown menu and go to step 2  
OIL1y(Lmix)

**STEP 2 - SELECT FACILITY**  
select one of the 2 options: the dropdown menu and go to step 3  
HANARO

**STEP 3 - SELECT MIX**  
Select one of the 3 options given below box  
**OPTION 1 : SINGLE MIX**  
Select a mix from the dropdown menu  
HANARO\_TID14844  
and click on the button to  
**Calculate and display OIL(t,mix) for a single mix**

**OPTION 2 : ALL MIXES**  
Click on the button to  
**Calculate and display OIL(t,mix) for ALL mixes**

**OPTION 3 : USER CUSTOM MIX**  
Click on the button to  
**Calculate and display OIL(t,mix) for a USER CUSTOM MIX**

PLOTTING THE MINIMUM VALUE OF RECENT DATA

---

**USER CUSTOM MIX**  
Complete this table with USER CUSTOM MIX

Rads.	$I_{activity}(0)$	RF(mix)
	[Bq]	[unitless]
Br-80m		
Br-82		
Br-83		
Br-84		
Rb-86		

**CAUTION!**  
Please **FILL** the inventory column with data at **TIME t=0 min**

**③ 그래프 플로팅**

그래프 및 결과 리셋 버튼 RESET THE CHART    RESET THE RESULT

THE MINIMUM VALUE OF RESULTS IN PERIOD

series	The minimum value (uSv/h)	The minimum time (d)
2일		7일
7일		10일
10일		30일
30일		100일
100일		365일

**② 시간 t에 대한 OIL(t,mix) 계산**      **각 설정 기간내 최솟값 플로팅창**

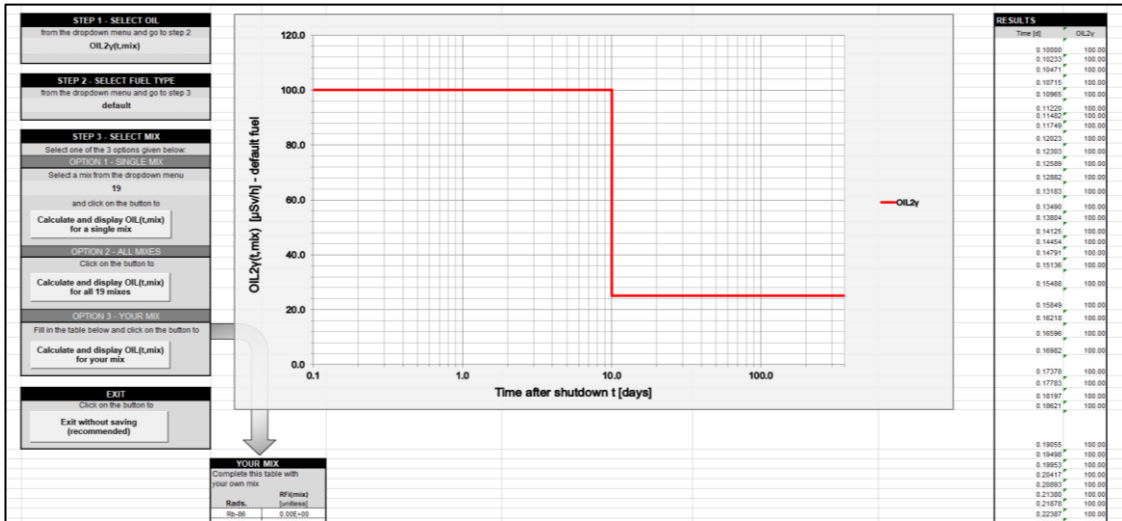
**RESULTS**

time after shutdown [d]	OIL1y(t,HANARO_TID14844)
0.10000	5030.75257
0.10233	4975.65986
0.10471	4921.21382
0.10715	4867.43606
0.10965	4814.34198
0.11220	4761.94670
0.11482	4710.26380
0.11748	4659.30527
0.12023	4609.08142
0.12303	4559.60086
0.12588	4510.87047
0.12882	4462.89533
0.13183	4415.67871
0.13495	4369.23601
0.13804	4323.52490
0.14125	4278.58502
0.14454	4234.39626
0.14791	4190.95984
0.15136	4148.25835
0.15489	4106.28777
0.15849	4065.03551
0.16218	4024.48847
0.16596	3984.63197
0.16982	3945.44932
0.17378	3906.92289
0.17783	3869.03322
0.18197	3831.75955
0.18621	3795.07984
0.19055	3758.97091
0.19498	3723.40947
0.19953	3688.36731
0.20417	3653.82138
0.20893	3619.74392
0.21380	3586.10761
0.21878	3552.98466
0.22387	3520.34699
0.22909	3488.16633
0.23442	3456.41438

**① 사용자 설정탭**      **'Calculation' 탭**

# 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴

## IAEA OILs Calculation tool for NPP



- **재고량** 고려 시 NPP에 적합한 분류 이용  
: 연료 타입에 따라 Default fuel, standard fuel, High burn-up
- **방출분율** 고려 시 다양한 방출 시나리오를 병합하여 고려 (19개)  
: Core to containment, Core to atmosphere 방출 시나리오 등

- ① OILs 계산 시 3가지 옵션에 따라 계산 수행 가능  
: SINGLE MIX, ALL MIXES, YOUR MIX
- ② YOUR MIX 기능  
: 방출분율 커스텀 기능
- ③ 그래프 내 모든 결과에 대한 그래프 플로팅 기능

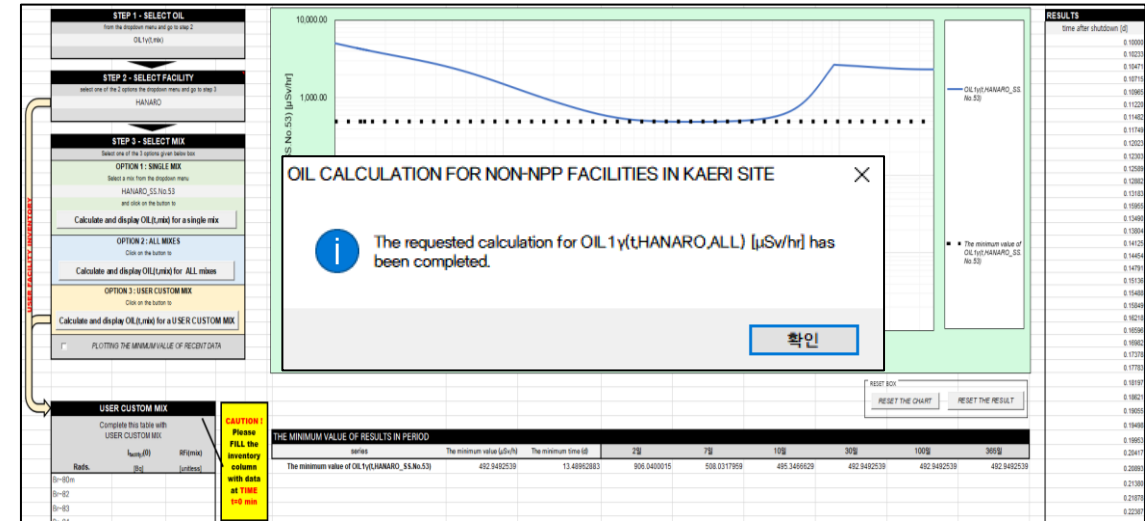
## 분류

## 실행 화면

## 선원항

## 계산 툴 기능

## Developed OILs Calculation tool for HANARO



- **재고량** 고려 시 비원전시설에 적합한 분류 이용  
: 시설 타입에 따라 HANARO (단일 재고량)
- **방출분율** 고려 시 다양한 문헌의 방출 시나리오를 고려 (3개)  
: TID-14844, NUREG-1465, SRS No.35 문서 참고

- ① 기존 IAEA OILs 계산툴의 기능 반영
- ② 설정기간 내 최솟값 (단일값) 플로팅 기능 추가
- ③ USER CUSTOM MIX\* 기능 확장 : 재고량 커스텀 기능 추가
- ④ 명령 수행 후 메시지박스 표출 기능 추가
- ⑤ 리셋 기능 추가

\* : 기존 IAEA OILs 계산툴의 YOUR MIX 명칭 수정



# 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴 검증

## 동일 핵종 재고량 및 방출분율에 대한 계산결과 비교

방법 : 동일 핵종(교차 핵종 16개)에 대해 두가지 계산툴에서의 동일 재고량 및 방출분율에 대해 **경과시간 0.1 - 10일  $OIL_1(t, mix)$  값 비교**

- IAEA OILs 계산툴 내 핵종 수정 후 ALL MIXES 계산 기능 이용
- 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴 내 USER CUSTOM MIX 계산 기능 이용

## 대상

핵종 :

Halogens	I-131, I-133, I-134, I-135
Alkali metals	Rb-86, Cs-134, Cs-136, Cs-137
Transition metals	Ru-103, Ru-105, Ru-106
Tellurium group	Te-127, Te-127m, Te-129m, Te-131m, Te-132

- 재고량 (연료타입) : Standard fuel type
- 방출분율 (핵종 믹스) : Mix 1 - 19

USER CUSTOM MIX			YOUR MIX	
Complete this table with USER CUSTOM MIX			Complete this table with your own mix	
Rads.	$I_{activity}(0)$ [Bq]	RFi(mix) [unitless]	Rads.	RFi(mix) [unitless]
Br-80m			Rb-86	0.00E+00
Br-82			Sr-89	1.98E-03
Br-83			Sr-90+	5.23E-04
Br-84			Sr-91	0.00E+00
Rb-86			Y-91	0.00E+00
Ru-103			Zr-95+	3.20E-06
Ru-105			Zr-97+	0.00E+00
Ru-106			Mo-99+	4.08E-11
Te-127			Ru-103+	1.03E-08
Te-127m			Ru-105	0.00E+00
Te-129m			Ru-106+	2.29E-09
Te-131m			Rh-105	0.00E+00
Te-132			Te-127m+	0.00E+00
I-131			Te-127	0.00E+00
I-133			Te-129m+	4.29E-01
I-134			Te-131m	0.00E+00
I-135			Te-132+	4.35E-01
Cs-134			I-131	1.12E-01
Cs-136			I-133	5.86E-01
Cs-137			I-134	0.00E+00
U-234			I-135	0.00E+00
U-235			Cs-134	1.05E-01
U-236			Cs-136	0.00E+00
U-238			Cs-137+	1.07E-01
Th-230			Ba-140+	2.21E-03
Th-231			Ce-141	3.53E-06
Th-234			Ce-143	0.00E+00
Pa-234			Ce-144+	3.53E-06
			Pr-143	0.00E+00
			Nd-147	0.00E+00
			Np-239	4.16E-06
			Pu-238	5.07E-06
			Pu-239	2.32E-06
			Pu-240	2.39E-06
			Pu-241	4.77E-06
			Am-241	0.00E+00
			Cm-242	3.02E-06
			Cm-244	0.00E+00

Fig 14. Cross radionuclide list of Research Reactor OILs calculation tool (left); IAEA OILs calculation tool (right)

# 연구용 원자로 HANARO에 대한 OILs 계산툴 검증

## 동일 핵종 재고량 및 방출분율에 대한 계산결과 비교

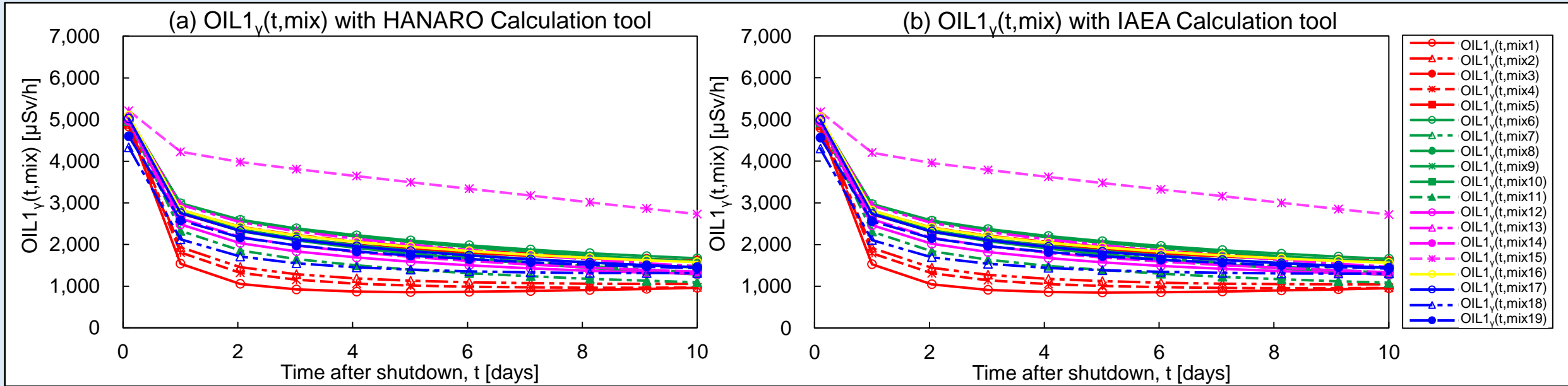


Fig 15. Results of OIL<sub>1γ</sub>(t, mix) using (a) HANARO OIL calculation tool and (b) the IAEA OIL calculation tool

Table 5. Relative deviation (%) of OIL<sub>1γ</sub> value using HANARO calculation tool to OIL<sub>1γ</sub> value using IAEA calculation tool

RELATIVE DEVIATION (%)	mix1	mix2	mix3	mix4	mix5	mix6	mix7	mix8	mix9	mix10	mix11	mix12	mix13	mix14	mix15	mix16	mix17	mix18	mix19
MIN	-0.80	-0.77	-0.67	-0.78	-0.67	-0.66	-0.70	-0.70	-0.67	-0.69	-0.74	-0.72	-0.68	-0.70	-0.33	-0.68	-0.69	-0.76	-0.74
MAX	-0.83	-0.81	-0.70	-0.83	-0.71	-0.69	-0.76	-0.77	-0.69	-0.72	-0.81	-0.76	-0.71	-0.75	-0.55	-0.71	-0.72	-0.79	-0.78

계산결과 간 상대편차 최대 약 +0.8% 이내 → 새 계산툴의 구조 검증

# 연구용 원자로 HANARO에 대한 $OIL1_{\gamma}(t, mix)$

## 연구용 원자로 HANARO에 대한 $OIL1_{\gamma}(t, mix)$ 결과

### EPC II 시설 (30 MW<sub>th</sub> 연구용 원자로)의 $OIL1_{\gamma}(t, mix)$

### EPC I 시설 (3,000 MW<sub>th</sub> 발전용 원자로)의 $OIL1_{\gamma}(t, mix)$

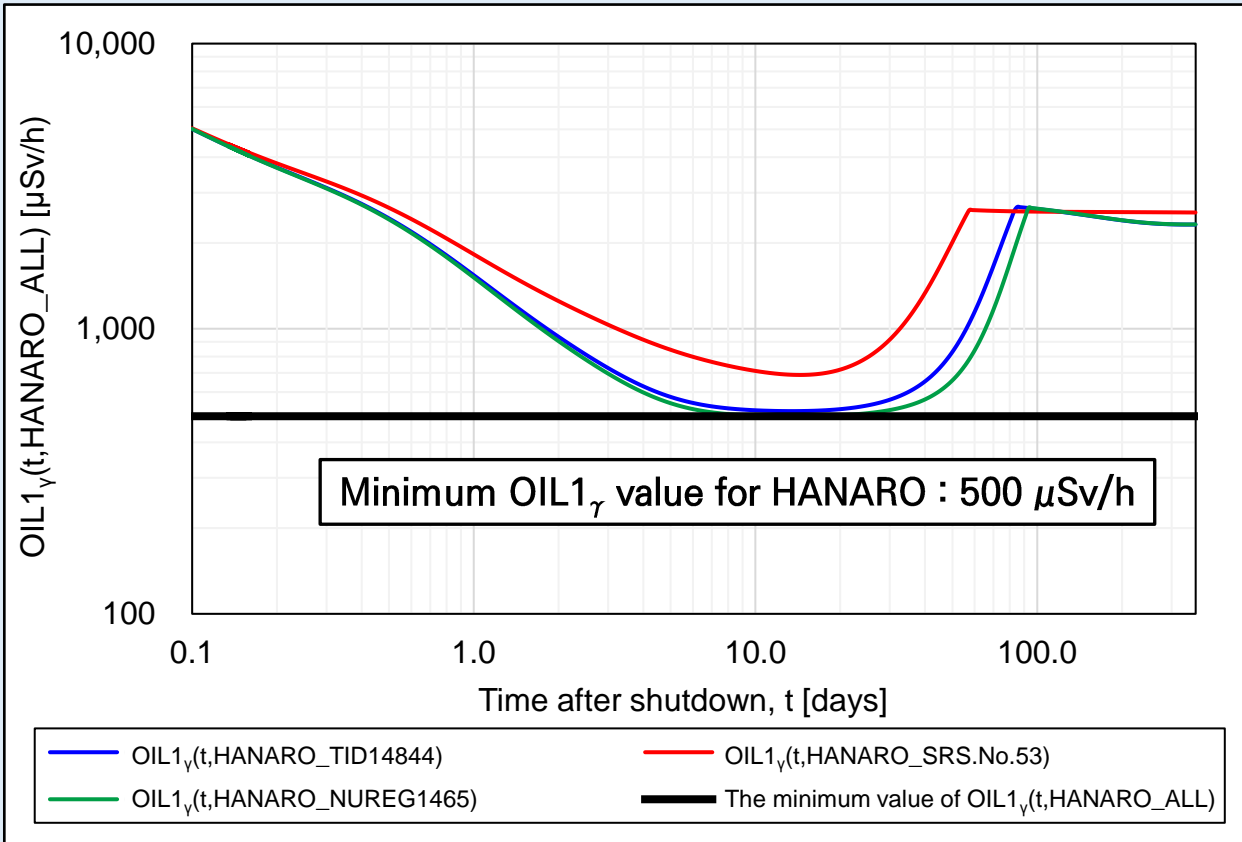


Fig 16.  $OIL1_{\gamma}(t, mix)$  for HANARO

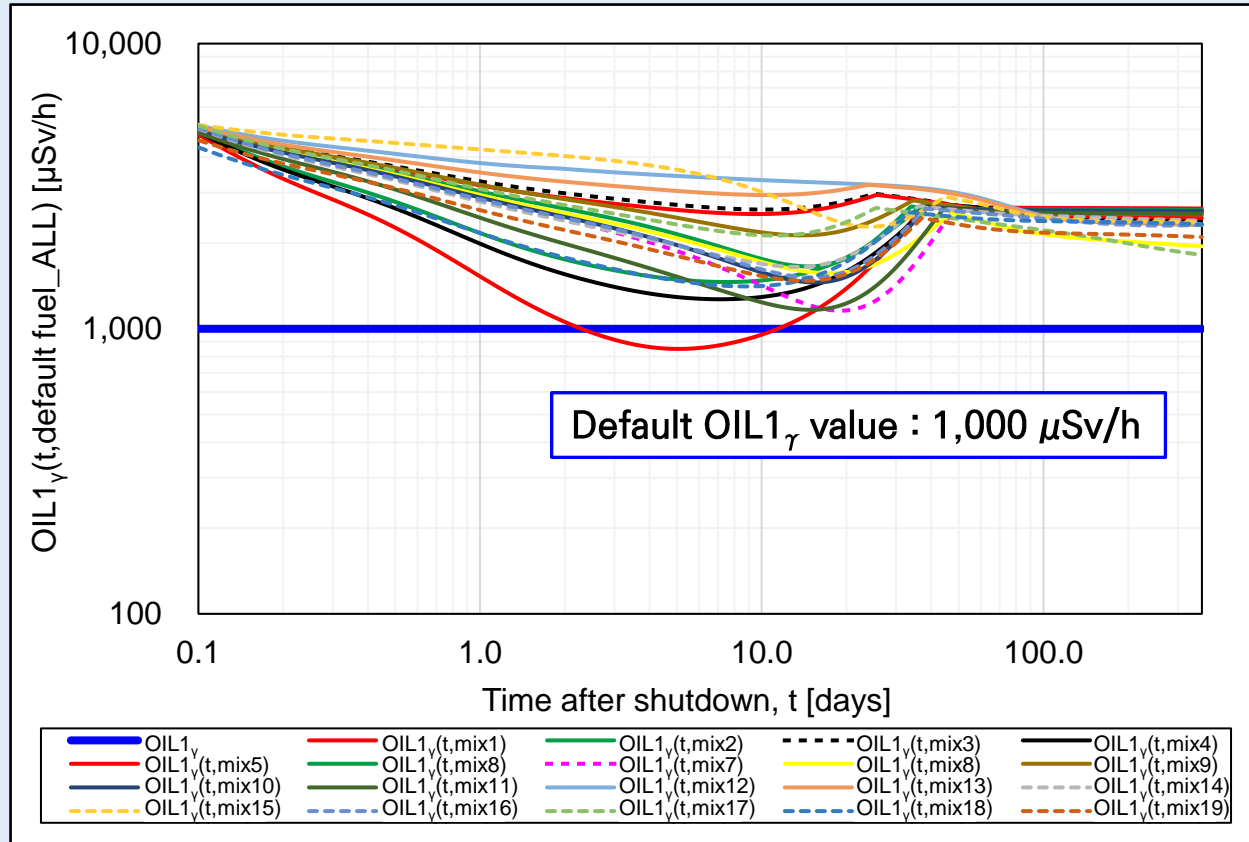


Fig 17.  $OIL1_{\gamma}(t, mix)$  for NPP

연구용 원자로의 경우, 보다 낮은 수준의 **운영개입준위 적용 필요**

# 연구용 원자로 HANARO에 대한 $OIL1_{\gamma}(t, mix)$

## 🔗 OILs 계산결과에서의 그래프 꺾임 형태

The reason that some of the  $OIL(t, mix)$  functions are not smooth is the **'min' function** used in the calculation of the  $DA(t, mix)$

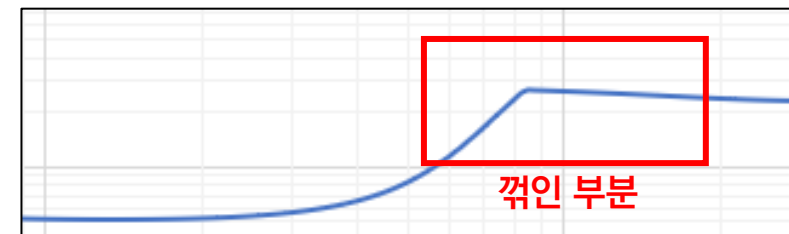


Fig 18. A not smooth part of  $OIL1_{\gamma}(t, mix)$  for HANARO

$$DA_{OIL1_{\gamma}}(t, mix) = \min \left\{ \left( \frac{GC(Urgent, E, 7d)}{\sum_i (E_{grd-scenario, i}(7d) \times RA_i(t, mix))} \right), \left( \frac{GC(Urgent, H_{fetus}, 7d)}{\sum_i (H_{fetus, grd-scenario, i}(7d) \times RA_i(t, mix))} \right) \right\} \dots (3)$$

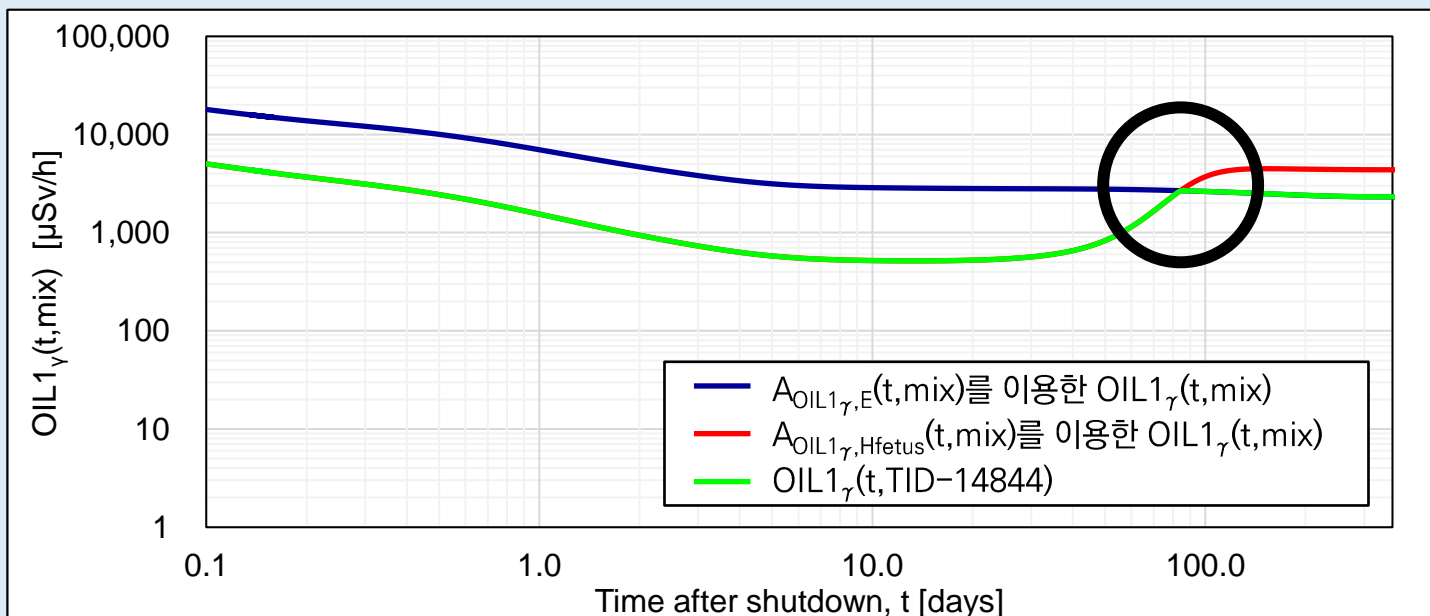


Fig 19. Comparison of  $OIL1_{\gamma}(t, mix)$

from GC-based on effective dose and from GC-based on fetus equivalent dose

- 경과시간 0.1 – 85.1일의 최솟값  
 $A_{OIL1_{\gamma}, H_{fetus}}(t, mix)$  이용  
 $OIL1_{\gamma}(t, HANARO\_TID14844)$  (-)
- 경과시간 85.1 – 365.0일의 최솟값  
 $A_{OIL1_{\gamma}, E}(t, mix)$  이용  
 $OIL1_{\gamma}(t, HANARO\_TID14844)$  (-)

∴ 'min'함수 이용으로 인한 꺾임 확인



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



한양대학교  
HANYANG UNIVERSITY



# 04 CONCLUSIONS

## 01

## HANARO 최대가상사고 시나리오 기반 선원항 구축

- 한국원자력연구원 부지내 다목적 **연구용원자로 HANARO** 최대가상사고 시나리오 기반 (채널유동차단사고) **재고량 및 방출분율** 데이터 구축

## 02

## 비원전시설(연구용원자로)의 OILs 계산툴 개발

- EPC I 기준의 기존 IAEA OILs 계산툴 구조 벤치마킹 : **기존 IAEA 계산툴 기능 확장**
- 원자력시설별 재고량 커스텀 기능 등 추가

## 03

## 개발된 계산툴 구조 검증

- **동일 핵종 재고량 및 방출분율에** 대한 기존 계산툴과 개발된 계산툴을 이용한  $OIL_{1\gamma}(t,mix)$  계산
- 상대편차 **최대 +0.8%** 이내 → 계산툴 구조 검증

## 04

연구용원자로 HANARO에 대한  $OIL_{1\gamma}(t,mix)$ 

- HANARO에 대한 최소  $OIL_{1\gamma}(t,mix)$  : **약 500  $\mu Sv/h$**
- EPC II 연구용원자로인 HANARO의 경우, EPC I 기준  $OIL_{1\gamma}$ 보다 낮은 수준의  $OIL_{1\gamma}$  적용 필요

## EPC II 시설인 연구용원자로 HANARO에 대한 운영개입준위 계산틀 개발 및 검증

### 01 EPC II 연구용원자로의 다양한 유형의 선원항 평가 및 운영개입준위 계산



- 연구용원자로에 대한 다양한 재고량 데이터 추가 목적에 따라 다양한 연료 특성, 열출력의 연구용원자로  
→ 연구용원자로 운영개입준위 계산틀 적용 범위 확대

- 연구용원자로에 대한 다양한 방출분율 데이터 추가 연구용원자로의 실제 사고 데이터 기반 방출분율 추가  
: Idaho Falls USA (1961), Chalk River Canada (1958) 등

### 02 원자로 외 EPC II 및 EPC III 시설의 선원항 평가 및 운영개입준위 계산



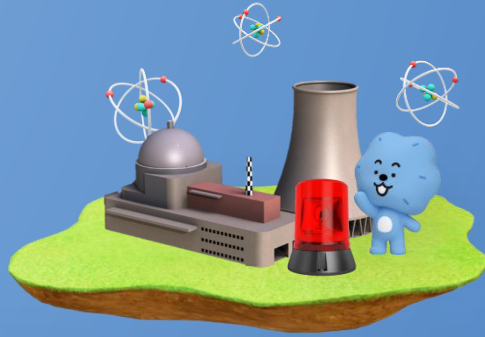
- 원자로 외 다양한 원자력시설의 선원항 평가 핵주기시설 및 산업용 대단위 조사 시설 등에 대한 최대가상사고 시나리오 선원항 평가

- 원자로 외 다양한 원자력시설의 운영개입준위 계산 다양한 원자력시설의 운영개입준위 계산을 통해 실질적으로 이용가능한 운영개입준위 단일 기준 제안

# REFERENCES

- 1) International Atomic Energy Agency. (1997). Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions During a Reactor Accident. IAEA-TECDOC-955. IAEA. Vienna.
- 2) International Atomic Energy Agency. (2007). Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1. IAEA. Vienna.
- 3) International Atomic Energy Agency. (2008). Derivation of the Source Term and Analysis of the Radiological Consequences of Research Reactor Accidents. Safety Reports Series No. 53. IAEA. Vienna.
- 4) International Atomic Energy Agency. (2015). Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7. IAEA. Vienna.
- 5) International Atomic Energy Agency. (2017). Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies. Emergency Preparedness and Response. IAEA. Vienna.
- 6) Korea Atomic Energy Research Institute. (1996). Safety Analysis Report for Hanaro (Vol. 4). (Report No. KAERI/TR-710/96/V4).
- 7) Lee, K Y. (2019). Review of radionuclide release factors for radiation source term in the event of nuclear research facility accidents. Korea Atomic Energy Research Institute. (Report No. KAERI/TR-7594/2019).
- 8) DiNunno, J. J. (1962). Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites: Technical Information Document (Vol. 14844). United States Atomic Energy Commission, Division of Technical Information.
- 9) L. Soffers et al., (1995). Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants. NUREG-1465, Final Report, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- 10) K. Y. Lee, H. C. Lee, B. S. Kim, J. S. Kim, M. J. Kang, & P. G. Choi. (2016). Study on the radioactive material removal strategy of the reactor room in case of HANARO maximum hypothetical accident. Proceedings of the Korean Association for Radiation Protection, 484-485.
- 11) Chae, H., Lee, C. S., Park, J. M., Kim, H., & Kim, Y. S. (2018). Performance of U3Si–Al dispersion fuel at HANARO full-power condition. *Nuclear Engineering and Technology*, 50(6), 899-906.

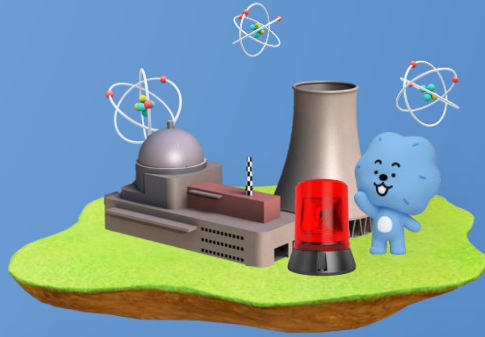




# 감사합니다



한양대학교  
HANYANG UNIVERSITY



# 질의응답



한양대학교  
HANYANG UNIVERSITY