2026.10.14

i-SMR 피동안전계통 신뢰도 평가
SLOCA-IC

PSSs Reliability Evaluation of i-SMR (SLOCA-IC)

학부연구생 남인서

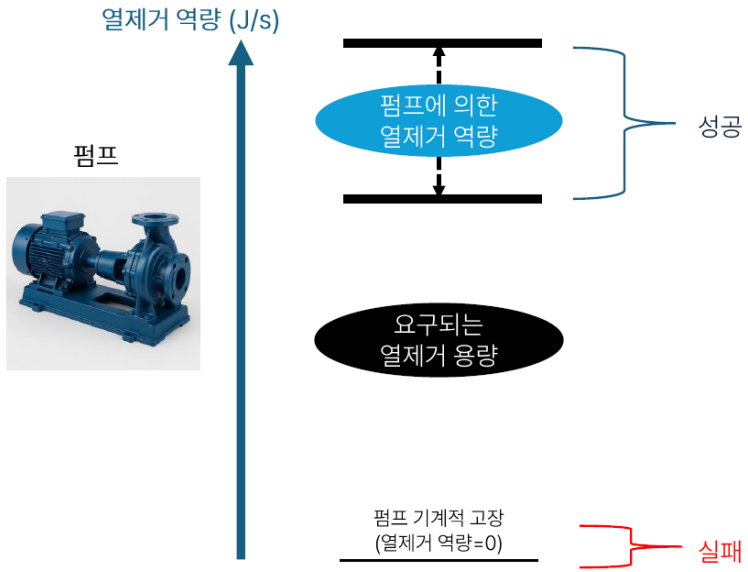
isnam7@cau.ac.kr

CiNEMA
CAU Nuclear LAB

CHUNG-ANG 1916 UNIVERSITY
CAU

능동안전계통과 피동안전계통

Active Safety System

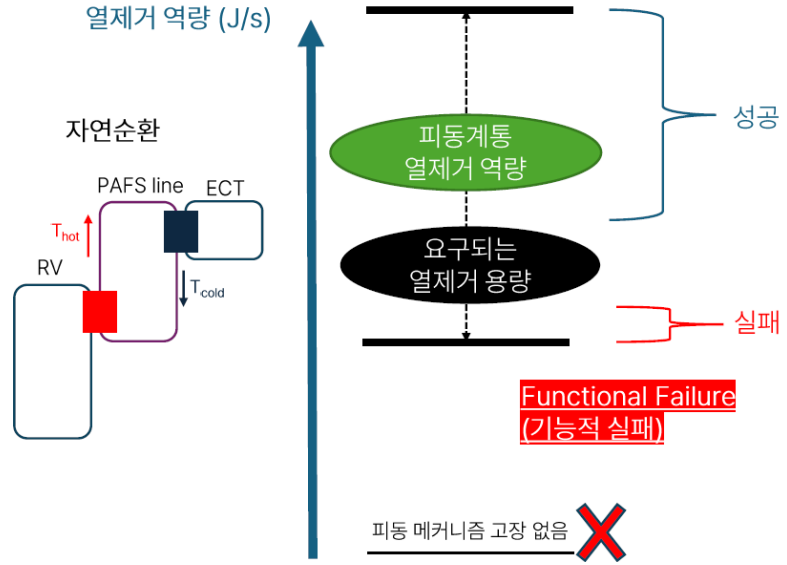


강한 구동력을 바탕으로 안전기능 수행

펌프의 기계적 고장으로 Mission failure 발생

펌프의 신뢰도를 기기의 신뢰도로 사용

Passive Safety System



중력과 자연순환 등 자연력에 의존하여
상대적으로 작은 구동력 형성

여러 물리 변수의 영향으로 계통의 기능적 실패 가능

피동안전계통은 기능적 실패(Functional failure) 가능성을 고려한 신뢰도 평가 필요

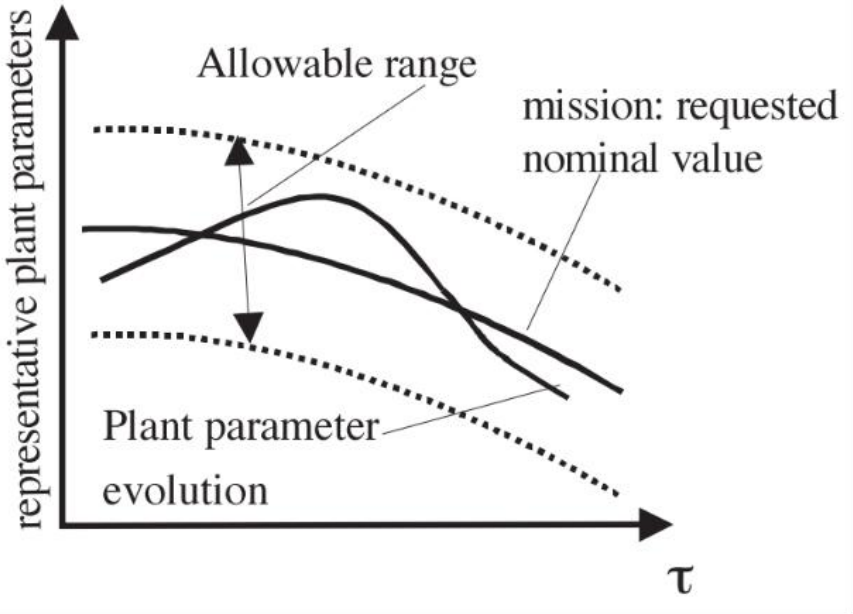
중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

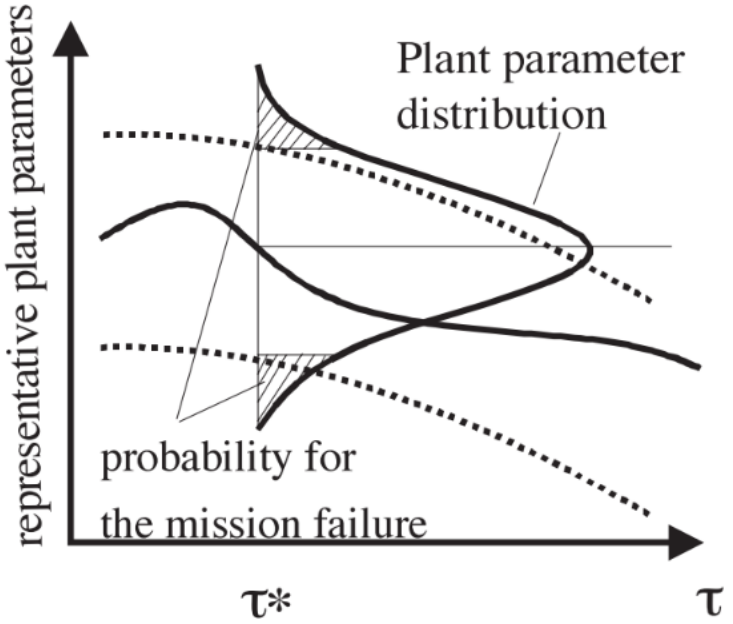
피동안전계통의 기능적 실패

기기나 배관의 파손이 없어도 요구 안전기능을 충분히 수행하지 못할 수 있음

펌프나 외부 전원 대신 중력, 자연순환, 압력차, 증발 및 응축에 의존하므로 열수력 변수의 변화가 계통 성능에 민감하게 작용

계통이 정상적으로 작동하더라도 설계에서 요구하는 열 제거율이나 유량을 충족하지 못할 수 있음





신뢰도 분석에는 여러 열수력 변수의 작용에 의한 기능적 실패 가능성의 평가가 필요

L. BURGAZZI, "Reliability evaluation of passive systems through functional reliability assessment", 2003.

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

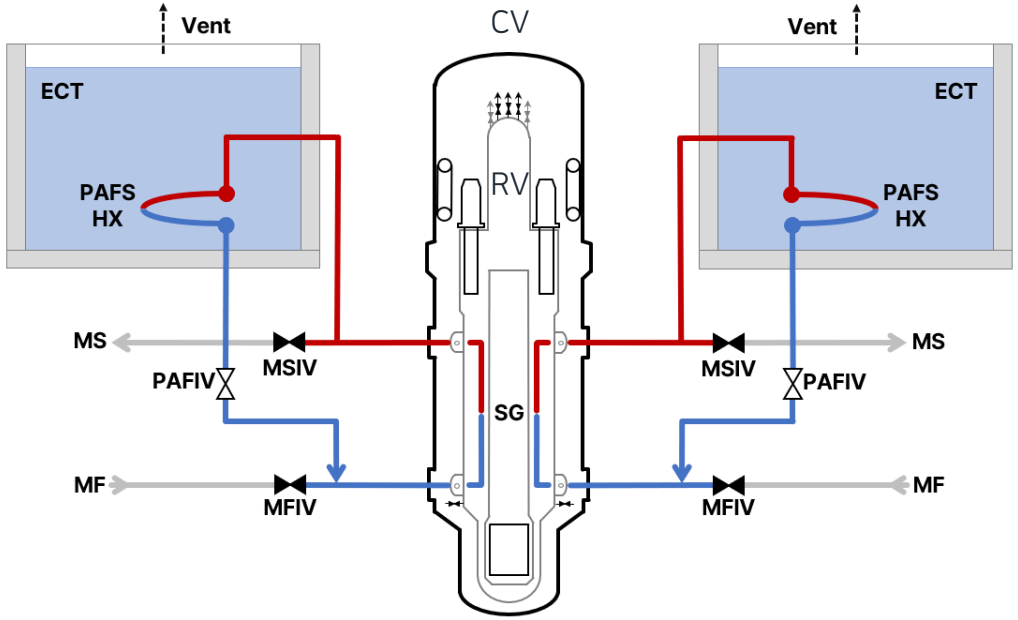
i-SMR 피동안전계통: PAFS와 PCCS

PAFS

Passive Auxiliary Feedwater System

사고 시 주급수 차단 후 PAFIV 개방
SG를 통한 1차측 열 제거

ECT를 열침원으로 사용하며, ECT 내부 PAFS 열교환기를 통해 2차측 열 제거

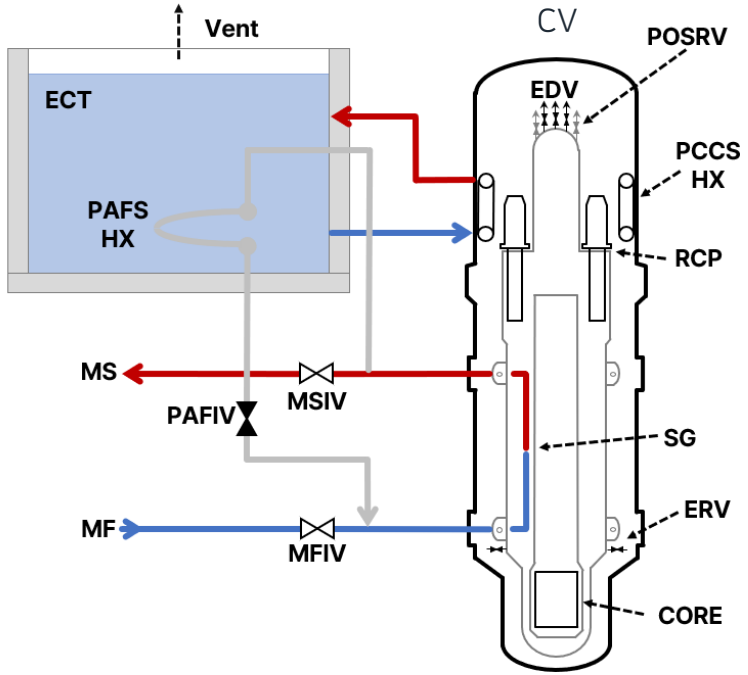


PCCS

Passive Containment Cooling System

CV 상부의 PCCS 열교환기로 CV 내부 열 제거

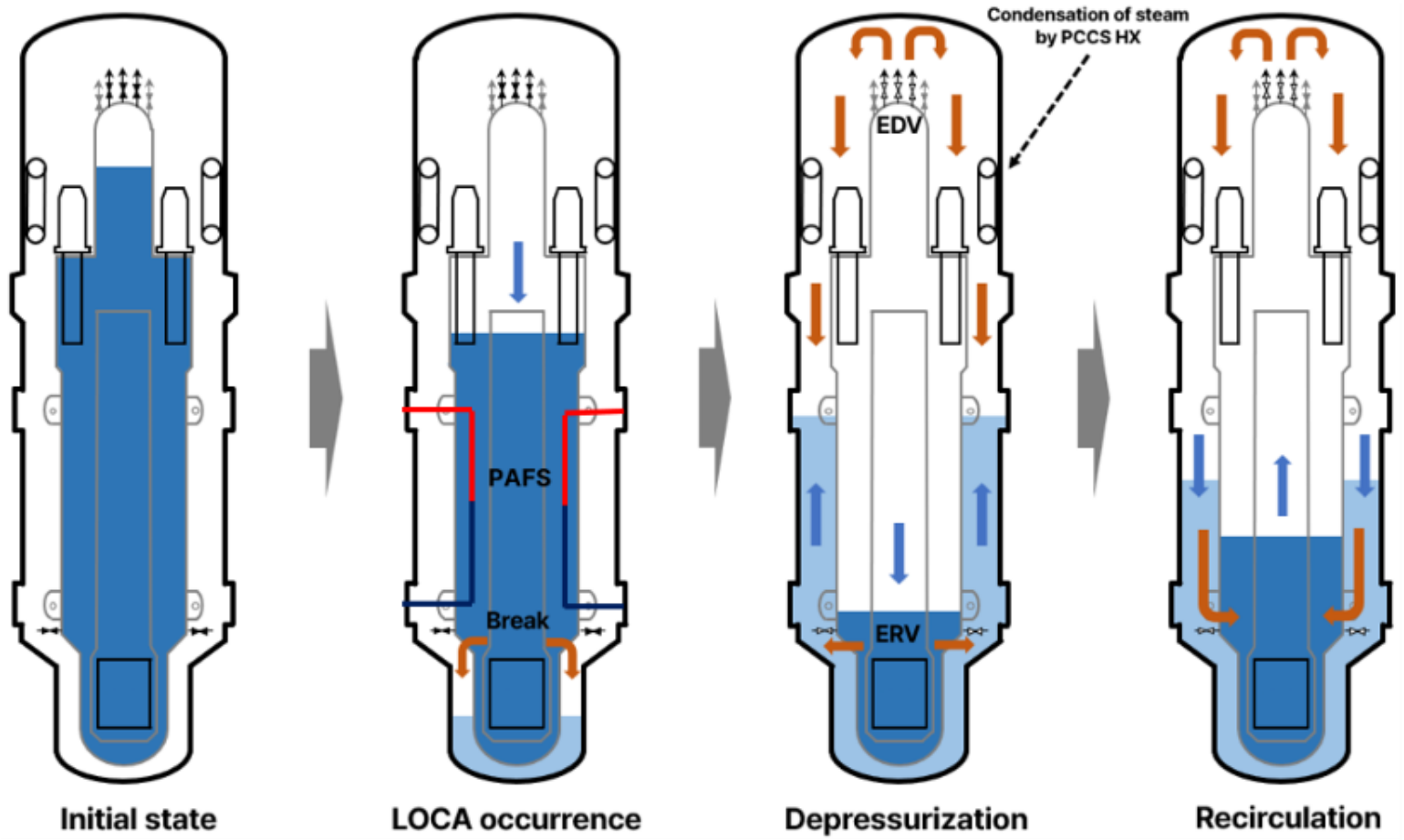
ECT 재고량이 충분한 동안 CV 내부 냉각 지속



중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

i-SMR 피동안전계통: PECCS

PECCS (Passive Emergency Core Cooling System)



EDV

Emergency Depressurization Valve

사고 시 EDV 개방을 통한 1차측 감압 및 열 제거

CV로 방출된 증기는 PCCS에 의해 응축

ERV

Emergency Recirculation Valve

PCCS에서 응축된 물로 CV 내부 수위 증가

CV와 RCS 냉각재 수위 차이에 의해 ERV를 통한 재순환 수행

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

평가 시나리오와 실패 기준

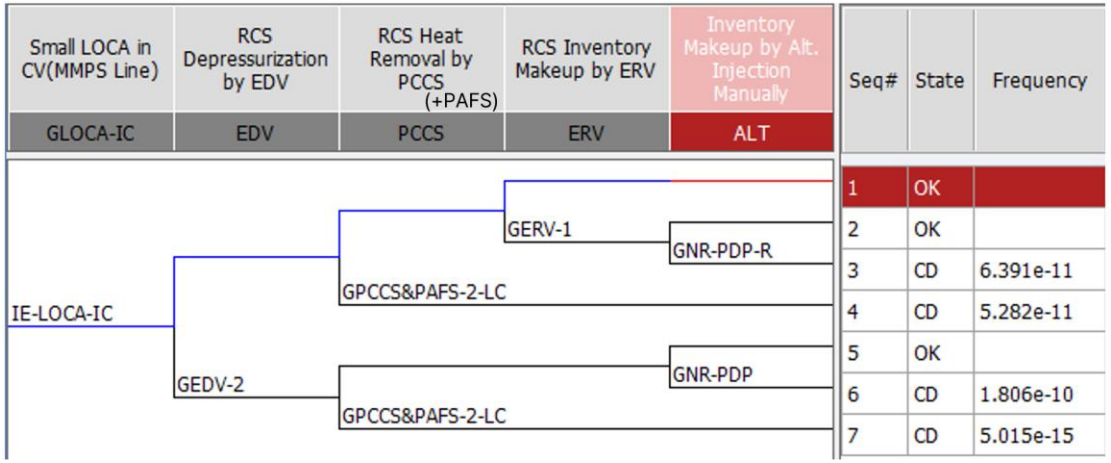
Base case 선정 : SLOCA-IC

SLOCA-IC 시나리오 선정 (MMPS Charging Line 2.0in 파단)

→ Nominal case에서 피동안전계통의 거동을 확인

PAFS와 PCCS/PECCS 등 피동안전계통이 복합적으로 안전기능 수행

선정 사건수목



Seq#	State	Frequency
1	OK	
2	OK	
3	CD	6.391e-11
4	CD	5.282e-11
5	OK	
6	CD	1.806e-10
7	CD	5.015e-15

Failure criteria

「가압경수로의 비상노심냉각계통의 성능에 관한 기준」 제3조 제1호

최대 피복재 온도(PCT)가
1204 °C (1477 K)를 초과하지 않도록 규정

Global failure criteria: PCT > 1477 K

SLOCA-IC에 의한 노심 노출로 PCT가 기준을 초과하는 경우를 기능적 실패로 설정



Relevant parameter 선정

기능적 실패와 관련된 물리 변수 도출

피동안전계통의 사고 완화에 중요하게 작용하는 요소를 네 가지로 구조화하여 관련 변수 선정

Passive system driving force

- **Pressure-driven force**
  - 압력 차이로 인한 구동력
- **Buoyancy & Gravitational force**
  - Heat transfer
    - Heat source와 Heat sink로 발생하는 구동력
- **Pressure drop**
  - Form loss
    - Form loss와 Friction loss에 의한 동력 손실
  - Friction loss

System response

- **Response time**
  - 계통의 반응 시간이 피동안전계통 성능에 미치는 영향

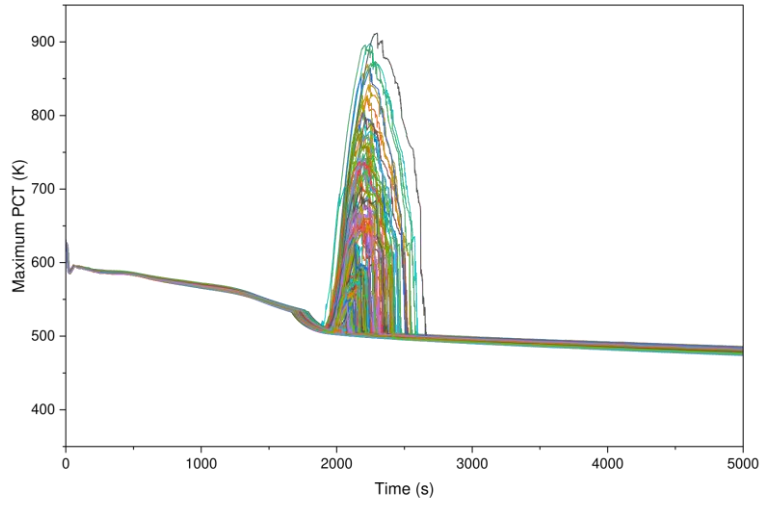
피동안전계통의 구동력 및 응답시간과 관련된 변수들을 불확실성 분석에 반영

불확실성 전파와 기능적 실패 확률 산정

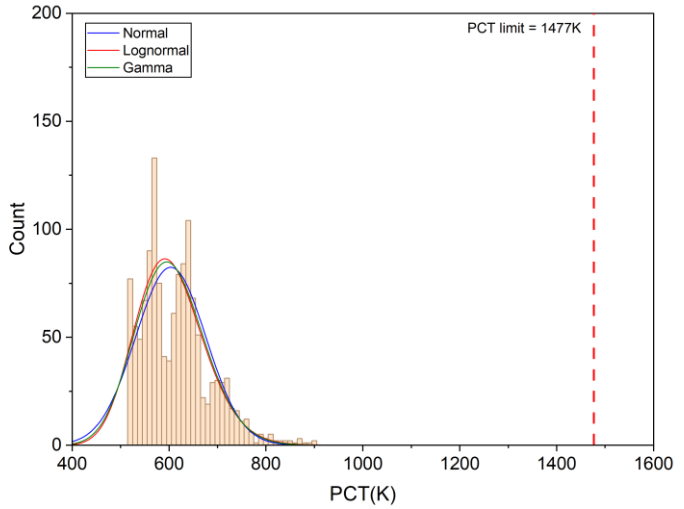
Relevant parameter 불확실성 설정 → MOSAIQUE Random Sampling → MARS-KS 1,500 cases → 분포 fitting 및 초과 확률 계산

불확실성을 반영한 입력값 표본으로 다량의 열수력 해석을 수행하고, 각 해석의 최고 PCT 도출

다량 TH 해석 PCT 시계열



Normal, Lognormal, Gamma 분포 fitting



도출한 최고 PCT 데이터를 이용하여 기능적 실패 확률 P(PCT > 1477 K) 계산

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

Relevant parameter 선정 (1/2)

RV 4개, SG 5개, PAFS 3개

No.	계통	기호	변수	분포	불확실성
1	RV	P_o	Operational Power	Normal	±10 MW
2		T_A	Air Temperature	Normal	±10–20 K
3		t_R	SCRAM Delay Time	Uniform	+10 sec
4		P_RV	Pressurizer Initial Pressure	Normal	±0.2 MPa
5	SG	k_S	Conductivity of SG	Normal	±10.0%
6		A_S	SG Surface Area	Normal	±5.0%
7		th_S	SG Thickness	Normal	±4.0%
8		K_S	SG Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
9		h_SG	Fouling Factor of RCS to SG	Normal	±20.0%
10	PAFS	th_P,Hx	PAFS Hx Thickness	Normal	±4.0%
11		A_P,Hx	PAFS Hx Surface Area	Normal	±5.0%
12		k_P,HX	Conductivity of PAFS	Normal	±10.0%

Relevant parameter 선정 (2/2)

PAFS 5개, PCCS 5개, PECCS 3개, ECT 1개

No.	계통	기호	변수	분포	불확실성
13	PAFS	K_P,in	PAFS inlet Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
14		K_P,Hx	PAFS Hx Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
15		A_P,V	PAFIV Valve Area	Normal	±4.0%
16		t_P	PAFIV Open Delay Time	Uniform	+10 sec
17		h_PAFS	Fouling Factor of PAFS to ECT	Normal	±20.0%
18	PCCS	th_PCCS	PCCS Hx Thickness	Normal	±4.0%
19		A_PCCS	PCCS Hx Surface Area	Normal	±5.0%
20		K_PCCS,in	PCCS Inlet Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
21		K_PCCS,HX	PCCS Hx Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
22		h_PCCS	Fouling Factor of CV to PCCS	Normal	±20.0%
23	PECCS	A_EDV	EDV Area	Normal	±4.0%
24		A_ERV	ERV Area	Normal	±4.0%
25		t_V	EDV Open Delay Time	Uniform	±10sec
26	ECT	T_pool	Pool Initial Temperature	Normal	±10–20 K

각 변수의 불확실성을 반영한 무작위 표본 추출 후 열수력 코드 해석 수행

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

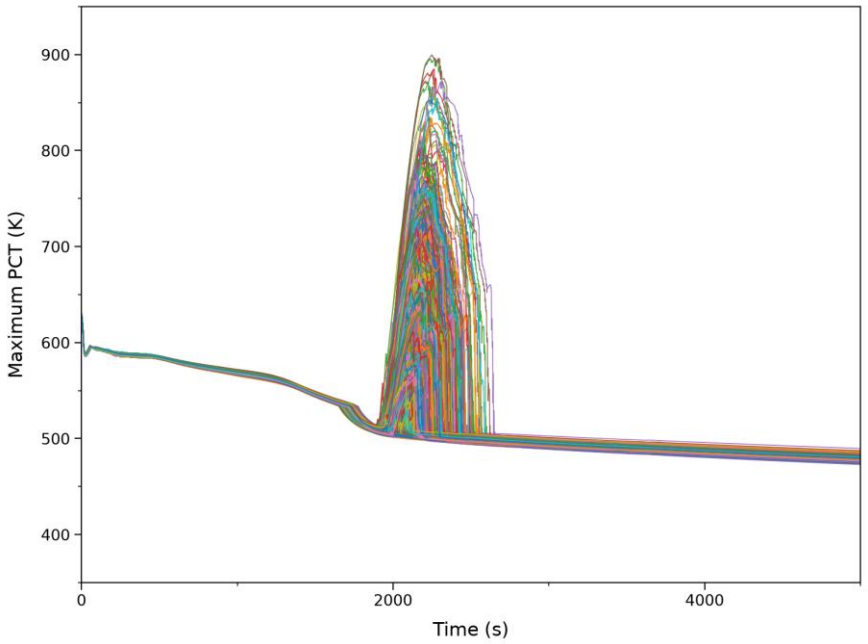
SLOCA-IC 열수력 해석 결과

Peak Cladding Temperature (PCT)

26개 변수의 불확실성을 반영한 MARS-KS 입력 표본

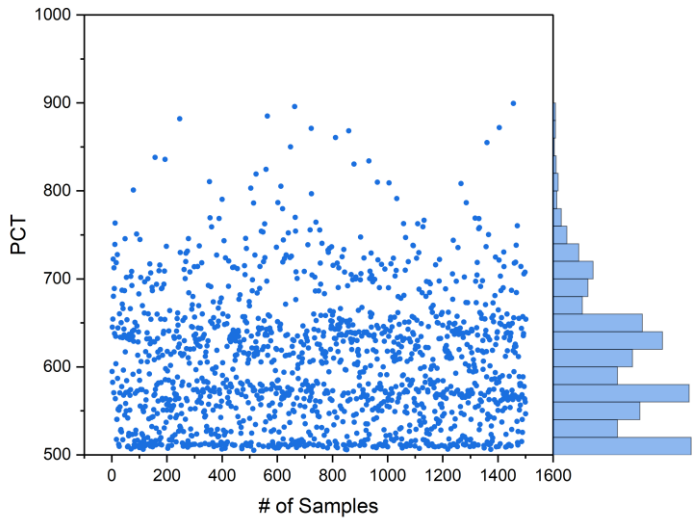
1,500 cases

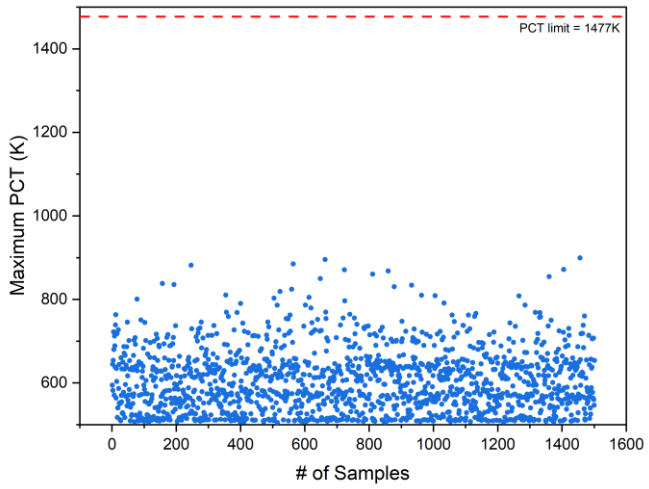
Maximum PCT 899.58 K



Failure criteria인 PCT =1477 K 에 대해 큰 Safety margin 확보

표본별 최고 PCT





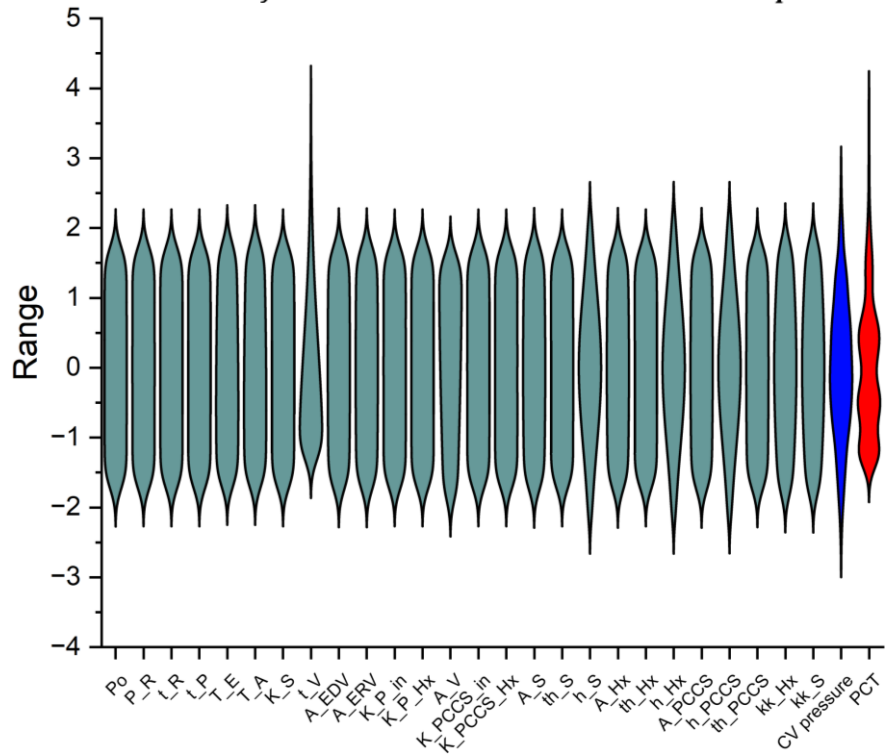
중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

표준화 및 표준화 회귀계수 (SRC)

변수와 결과값 표준화 (Standardization)

Relevant parameter와 CV pressure, PCT를
같은 기준으로 전환하여 SRC·PCC 분석 수행

$$X_{std,ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{s_{X_j}} \qquad Y_{std,i} = \frac{Y_i - \bar{Y}}{s_Y}$$



Standardized Regression Coefficient (SRC)

표준화된 변수들과 결과값 사이의 관계를 다음과 같이 가정한
뒤 Regression을 통해 각 변수의 β값 계산

$$\hat{Y}_{std} = X_{std}\beta$$

$$\beta = \left(X_{std}^T X_{std}\right)^{-1} X_{std}^T Y_{std}$$

개별 변수가 결과값에 미치는 영향을
정량적으로 평가

Relevant parameter 중 PCT에
주요하게 작용하는 변수 확인

표준화 회귀계수 (SRC): PCT

주요 변수와 회귀계수

변수명	β	해석
A_Hx	-0.425836	PAFS 열교환기 열전달 성능 저하 시 PCT 증가
h_PCCS	0.271809	PCCS 성능 저하 시 PCT 최대치 감소
h_Hx	-0.533622	PAFS 열교환기 열전달 성능 저하 시 PCT 증가
kk_Hx	-0.352555	PAFS 열교환기 열전달 성능 저하 시 PCT 증가
T_A	-0.341157	대기 온도 하강 시 PCT 최댓값 증가

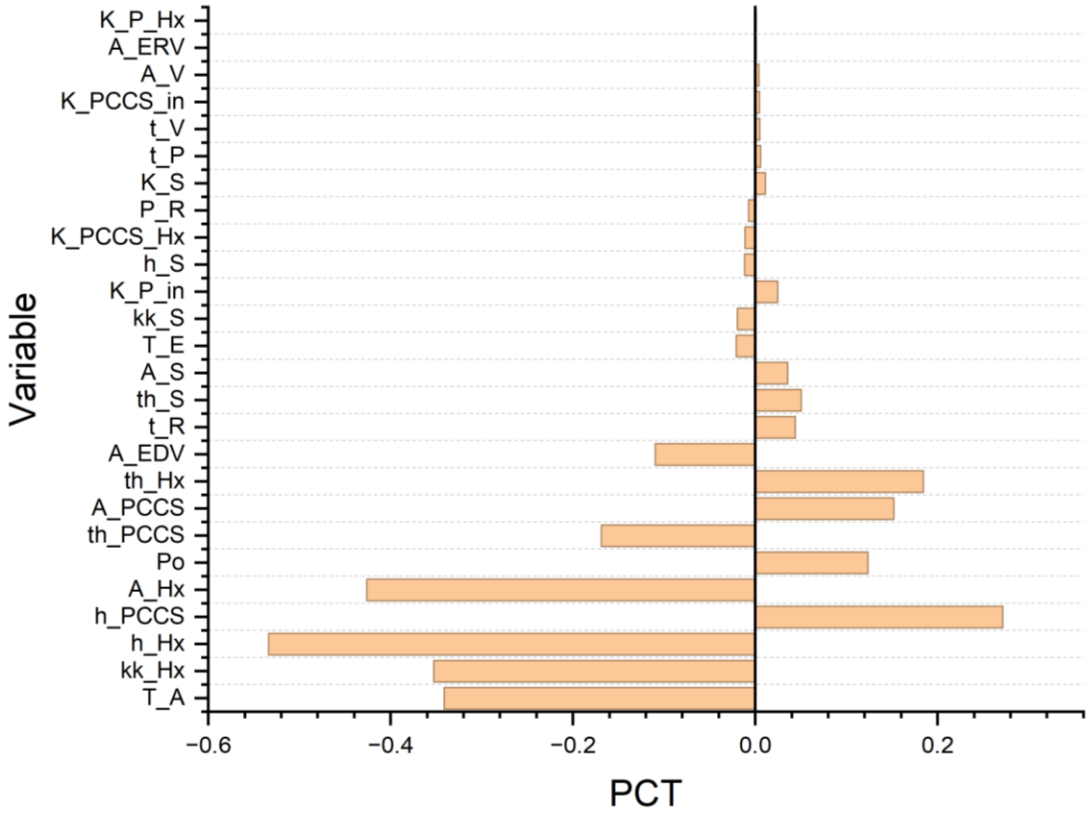
PAFS Hx 열전달 관련 변수가 PCT에 지배적으로 작용

PCCS 열전달 향상과 대기 온도 하강은 PCT 증가 방향으로 작용

CV 감압이 가속됨에 따라 압력차로 인한 1차측 냉각재 방출이 가속, 노심 노출 시간이 길어지는 것으로 추정

그 외 Operational power와 EDV 면적 등이 주요하게 작용

전체 변수별 SRC



부분 상관계수 (PCC)

다른 변수의 영향을 제거한 연관성

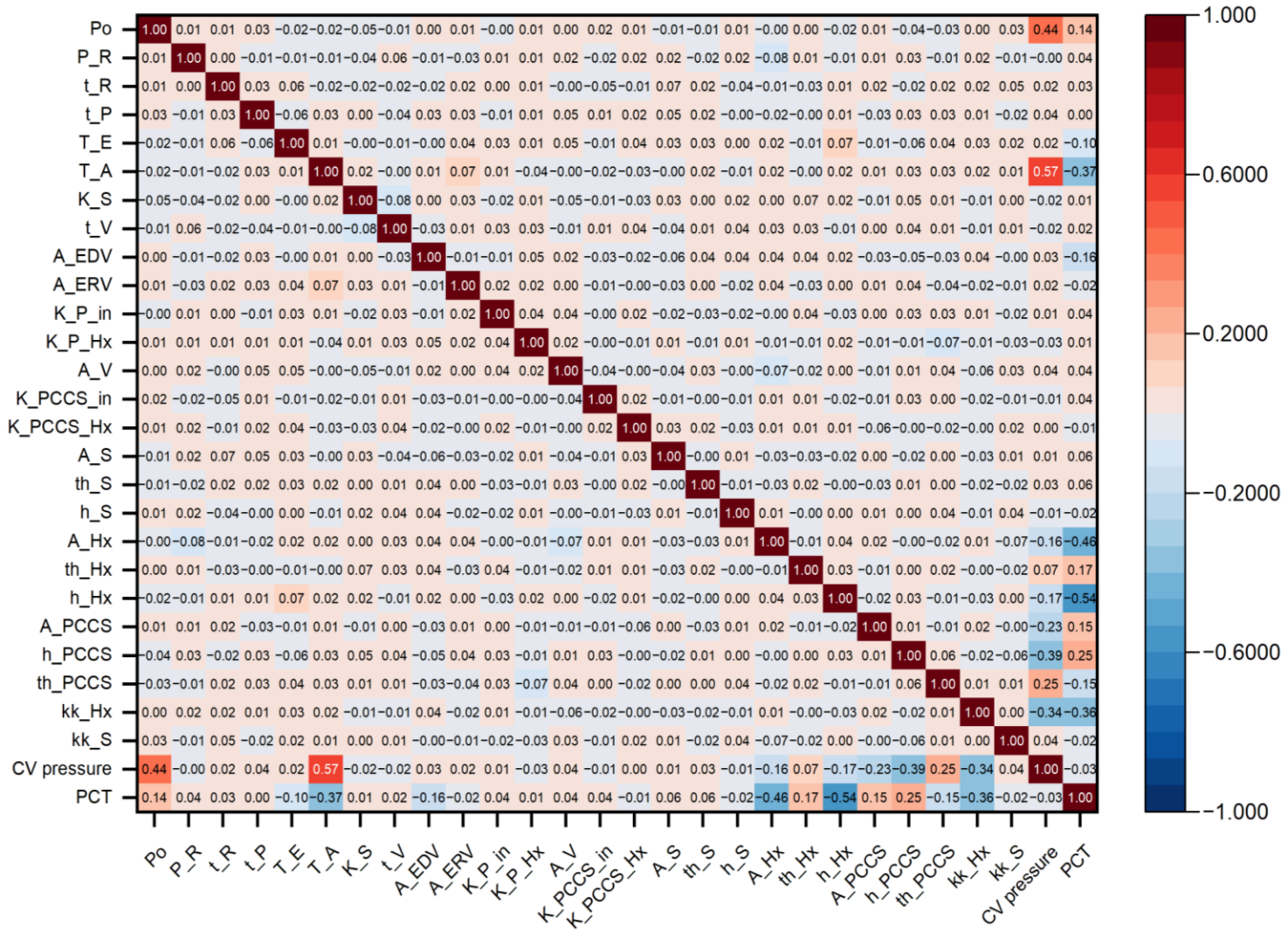
Partial Correlation Coefficient로
변수 사이의 종속성을 정량화

$$PCC_j = \frac{cov(R_{X_j}, R_Y)}{s_{R_{X_j}} s_{R_Y}}$$

$$R_{X_j} = X^j_{std} - \hat{X}^j_{std}$$

$$R_Y = Y_{std} - \hat{Y}_{std}$$

SRC와 마찬가지로
PAFS 관련 변수와 PCT의
높은 상관성을 확인



중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

노심 노출 거동에 따른 PCT 데이터 분류

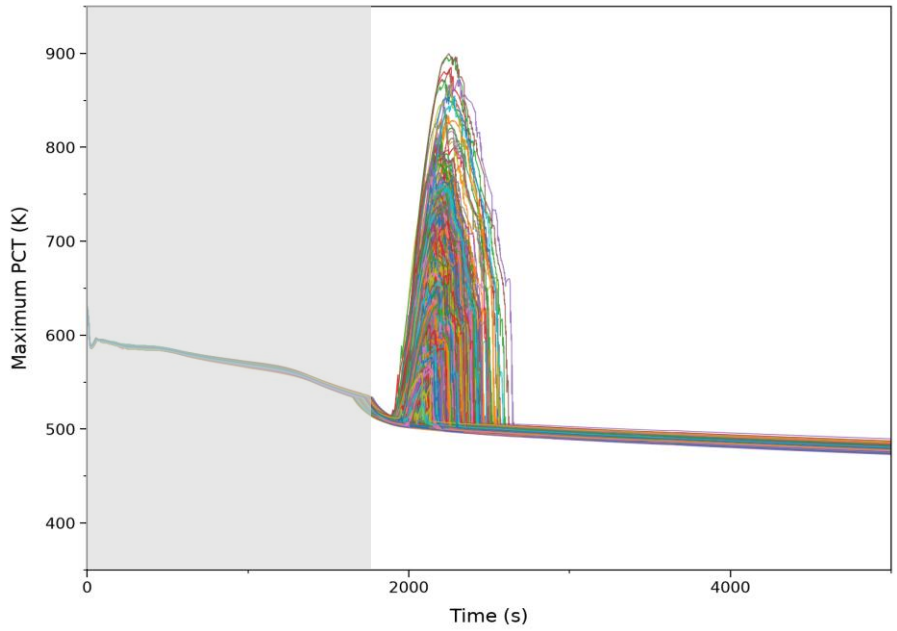
1700~3000s 사이에 노심 노출로 인한 PCT 상승 거동 → 해당 구간에서 (PCT > 1477 K) 위험이 있을 것으로 예상

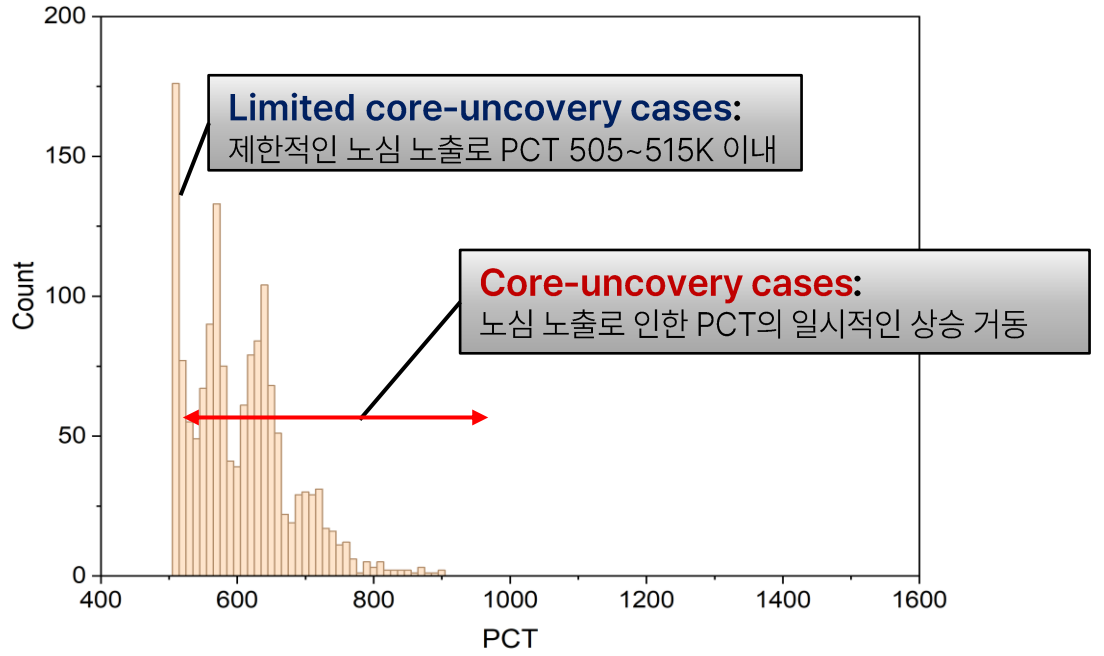
Core-uncovery cases :

노심 노출이 일어나 PCT가 일시적으로 상승

Limited core-uncovery cases :

노심 노출이 제한적이며 최고 PCT가 505~515 K 이내





P(PCT > 1477 K) = P(Core-uncovery) × P(PCT > 1477 K | Core-uncovery)

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

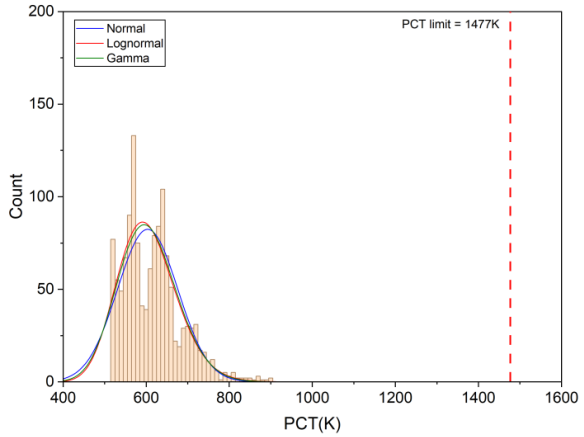
통합 평가의 분포 적합 및 실패 확률

Core-uncovery 확률

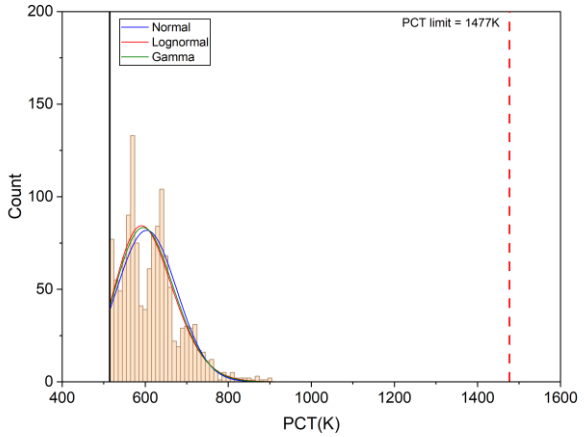
1324 / 1500 = 0.88267

Core-uncovery case 데이터들에 분포를 fitting하고, 하한 515 K에서 절단하여 조건부 초과 확률 계산

분포 적합



하한 515 K 절단



항목	Normal	Lognormal	Gamma
분포 모수	μ=615.93807 σ=68.486981	μ_log=6.4173 σ_log=0.10741	Shape: 85.0151 Scale: 7.2450
P(PCT>1477)	1.417397E-36	1.141885E-16	1.359630E-21

최대 추정값: Lognormal 분포의 P(PCT > 1477 K) = 1.141885E-16

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

개별 계통의 기능적 실패

- 이전 과정은 모든 변수에 Uncertainty를 부여하여 기능적 실패 확률 계산 → 개별 계통의 신뢰도 평가 어려움

No.	계통	기호	변수	분포
1	RV	P_o	Operational Power	Uncertainty
2		T_A	Air Temperature	Uncertainty
3		t_R	SCRAM Delay Time	Uncertainty
4		P_RV	Pressurizer Initial Pressure	Uncertainty
5	SG	k_S	Conductivity of SG	Uncertainty
6		A_S	SG Surface Area	Uncertainty
7		th_S	SG Thickness	Uncertainty
8		K_S	SG Form-Loss Coefficient	Uncertainty
9		h_SG	Fouling Factor of RCS to SG	Uncertainty
10	PAFS	th_P,Hx	PAFS Hx Thickness	Uncertainty
11		A_P,Hx	PAFS Hx Surface Area	Uncertainty
12		k_P,HX	Conductivity of PAFS	Uncertainty

No.	계통	기호	변수	분포
13	PAFS	K_P,in	PAFS inlet Form-Loss Coefficient	Uncertainty
14		K_P,Hx	PAFS Hx Form-Loss Coefficient	Uncertainty
15		A_P,V	PAFIV Valve Area	Uncertainty
16		t_P	PAFIV Open Delay Time	Uncertainty
17		h_PAFS	Fouling Factor of PAFS to ECT	Uncertainty
18	PCCS	th_PCCS	PCCS Hx Thickness	Uncertainty
19		A_PCCS	PCCS Hx Surface Area	Uncertainty
20		K_PCCS,in	PCCS Inlet Form-Loss Coefficient	Uncertainty
21		K_PCCS,HX	PCCS Hx Form-Loss Coefficient	Uncertainty
22		h_PCCS	Fouling Factor of CV to PCCS	Uncertainty
23	PECCS	A_EDV	EDV Area	Uncertainty
24		A_ERV	ERV Area	Uncertainty
25		t_V	EDV Open Delay Time	Uncertainty
26	ECT	T_pool	Pool Initial Temperature	Uncertainty

개별 계통의 기능적 실패

- 개별 계통에 한정되는 변수들에만 Uncertainty를 주어 기능적 실패 확률을 계산

No.	계통	기호	변수	분포
1	RV	P_o	Operational Power	Nominal
2		T_A	Air Temperature	Nominal
3		t_R	SCRAM Delay Time	Nominal
4		P_RV	Pressurizer Initial Pressure	Nominal
5	SG	k_S	Conductivity of SG	Uncertainty
6		A_S	SG Surface Area	Uncertainty
7		th_S	SG Thickness	Uncertainty
8		K_S	SG Form-Loss Coefficient	Uncertainty
9		h_SG	Fouling Factor of RCS to SG	Uncertainty
10	PAFS	th_P,Hx	PAFS Hx Thickness	Uncertainty
11		A_P,Hx	PAFS Hx Surface Area	Uncertainty
12		k_P,HX	Conductivity of PAFS	Uncertainty

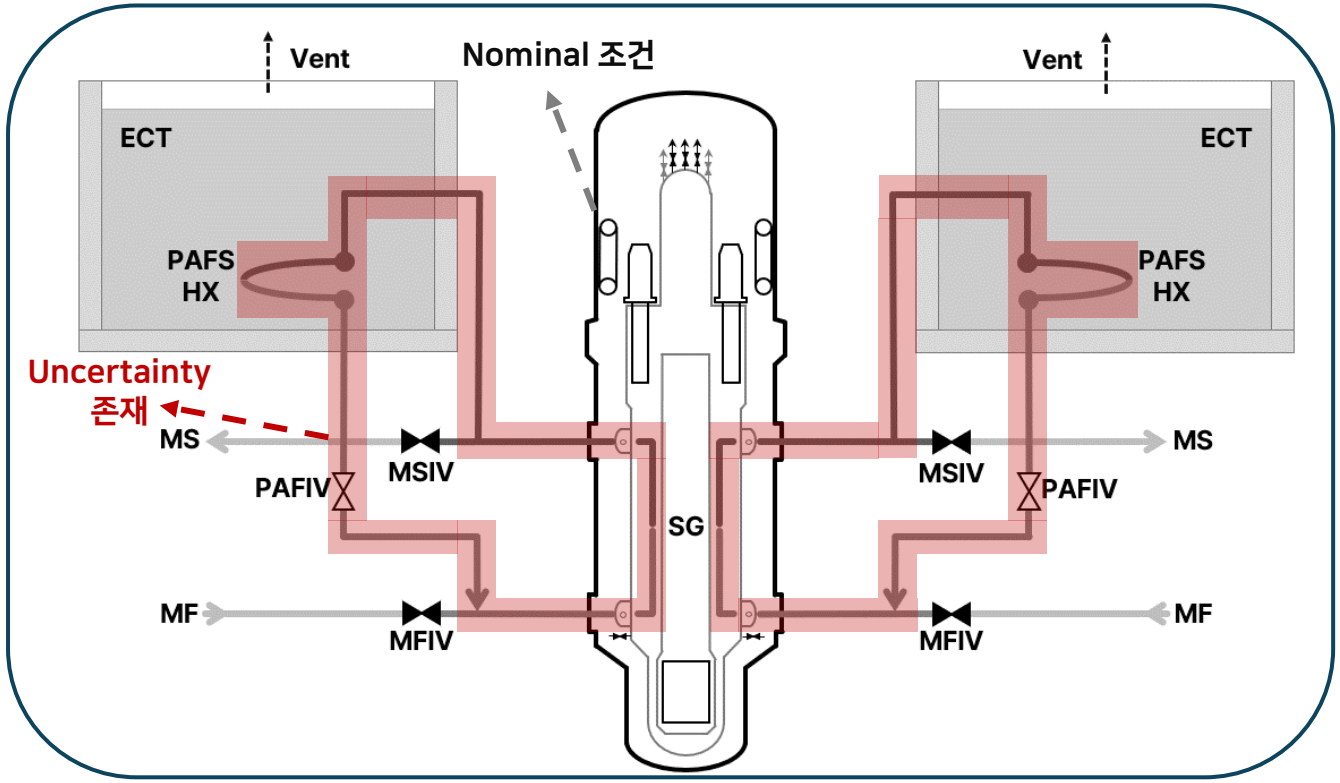
No.	계통	기호	변수	분포
13	PAFS	K_P,in	PAFS inlet Form-Loss Coefficient	Uncertainty
14		K_P,Hx	PAFS Hx Form-Loss Coefficient	Uncertainty
15		A_P,V	PAFIV Valve Area	Uncertainty
16		t_P	PAFIV Open Delay Time	Uncertainty
17		h_PAFS	Fouling Factor of PAFS to ECT	Uncertainty
18	PCCS	th_PCCS	PCCS Hx Thickness	Nominal
19		A_PCCS	PCCS Hx Surface Area	Nominal
20		K_PCCS,in	PCCS Inlet Form-Loss Coefficient	Nominal
21		K_PCCS,HX	PCCS Hx Form-Loss Coefficient	Nominal
22		h_PCCS	Fouling Factor of CV to PCCS	Nominal
23	PECCS	A_EDV	EDV Area	Nominal
24		A_ERV	ERV Area	Nominal
25		t_V	EDV Open Delay Time	Nominal
26	ECT	T_pool	Pool Initial Temperature	Nominal

개별 계통의 기능적 실패

여러 피동안전계통이 함께 작용하는 SLOCA-IC에서 계통별 신뢰도 구분

정상적인 계통 운전 조건 하 특정 계통의 변수 불확실성으로 인해 계통이 Failure criteria를 넘는 경우를 해당 **개별적인 계통의 기능적 실패**로 정의

Nominal condition 하 특정 계통의 Relevant parameter Uncertainty로 인한 Failure criteria 초과 확률 계산



특정 계통에만 uncertainty가 존재할 때 기능적 실패가 발생할 확률을 해당 계통의 개별적인 신뢰도로 정의

Functional Failure (PCT > 1477K)

Global parameter와 System parameter

- Relevant parameter characterization

- Global parameters : 사고 상황을 정의하는 변수들

- System parameters : 특정 계통의 성능을 정의하는 변수들

- System parameter들은 특정 계통의 성능을 정의하는 변수들이며, 물리적 경계가 명확하게 정의되며 직관적으로 변수의 영향이 특정 계통에 한정되는 반면, Global parameter들은 해당 변수의 영향이 특정 계통에 한정되지 않으며, 사고 상황을 정의하는 변수로 작용한다.

Global parameter 설정값

1	SLOCA-IC	P_o	Operational Power	510MW	520MW	530MW
2		T_E	Pool Initial Temperature	293.15K	303.15K	313.15K
3		t_R	SCRAM Delay Time	0s		2s
4		P_RV	Pressurizer Initial Pressure	15.3MPa	15.5MPa	15.7MPa
5		T_A	Air Temperature	293.15K	303.15K	313.15K

PAFS 및 SG의 System parameter

PAFS

1	PAFS	th_P,Hx	PAFS Hx Thickness	Normal	±4.0%
2		A_P,Hx	PAFS Hx Surface Area	Normal	±5.0%
3		k_P,HX	Conductivity of PAFS	Normal	±10.0%
4		K_P,in	PAFS inlet Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
5		K_P,Hx	PAFS Hx Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
6		A_P,V	PAFIV Valve Area	Normal	±4.0%
7		t_P	PAFIV Open Delay Time	Uniform	+10 sec
8		h_PAFS	Fouling Factor of PAFS to ECT	Normal	±20.0%

SG

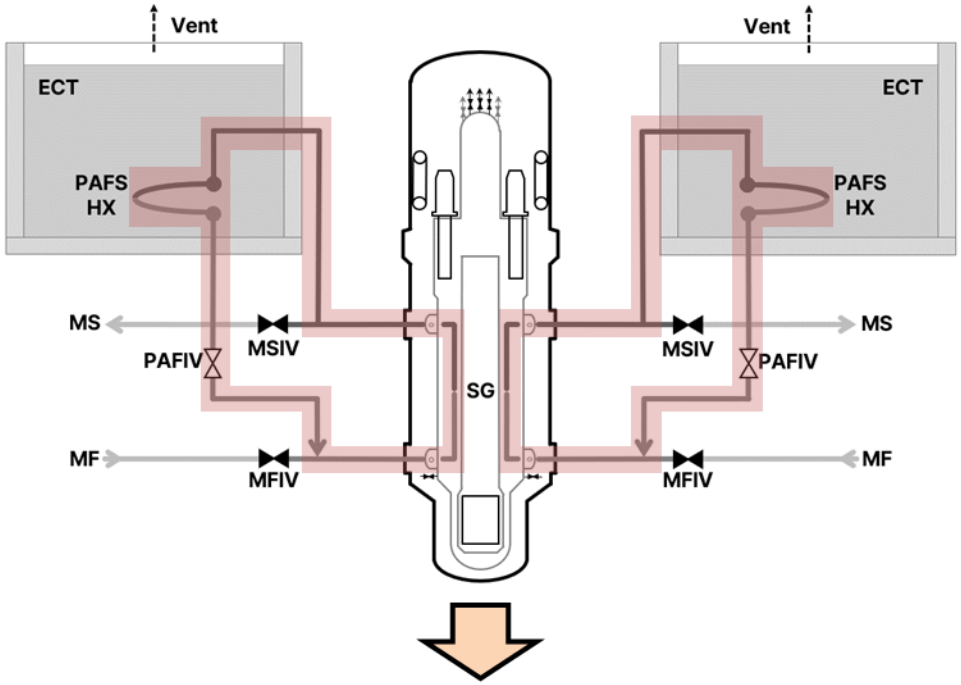
1	SG	k_S	Conductivity of SG	Normal	±10.0%
2		A_S	SG Surface Area	Normal	±5.0%
3		th_S	SG Thickness	Normal	±4.0%
4		K_S	SG Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
5		h_SG	Fouling Factor of RCS to SG	Normal	±20.0%

전역조건별 PAFS 기능적 실패 평가

- System parameter의 uncertainty를 고려함과 동시에 SLOCA-IC 발생 시의 global parameter 또한 고려 필요

Condition 1 :
P_o : Nominal T_E : Nominal t_R : Nominal t_R : Nominal P_RV : Nominal

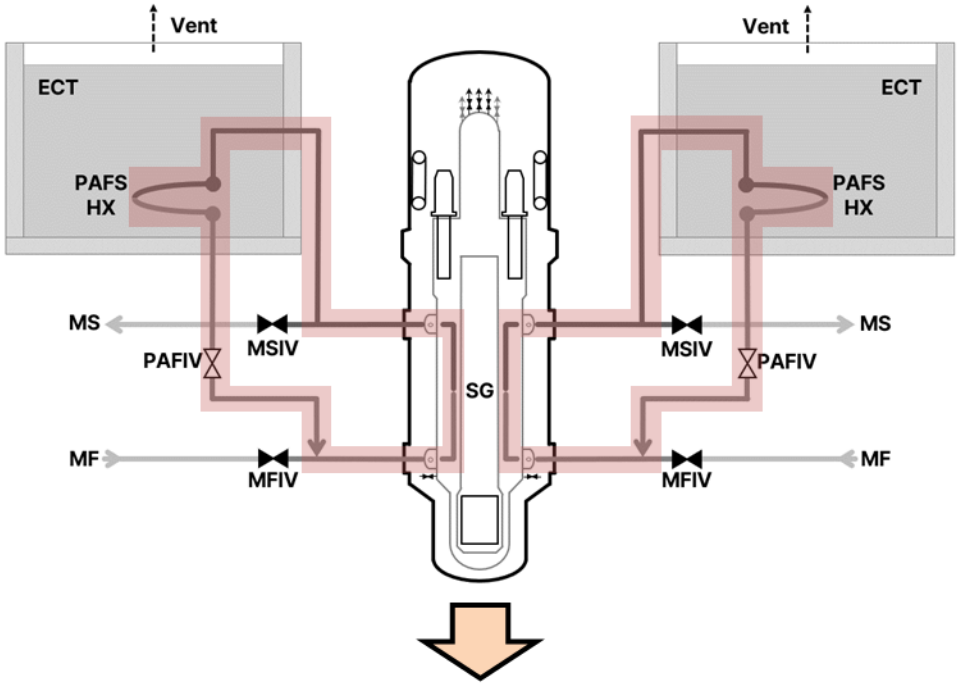
PAFS의 System parameter random sampling을 통한
Failure criteria 초과 확률 P(PCT>1477) 계산



Condition 1에서 PAFS로 인한
Functional failure가 발생할 확률

Condition 2 :
P_o : 530MW T_E : Nominal t_R : Nominal t_R : 2s P_RV : Nominal

다양한 조합의 global parameter 에서 SLOCA-IC가 발생 가능하므로,
다양한 조합에서 PAFS의 기능적 실패 확률 계산



Condition 2에서 PAFS로 인한
Functional failure가 발생할 확률

Global Parameter Combination Selection

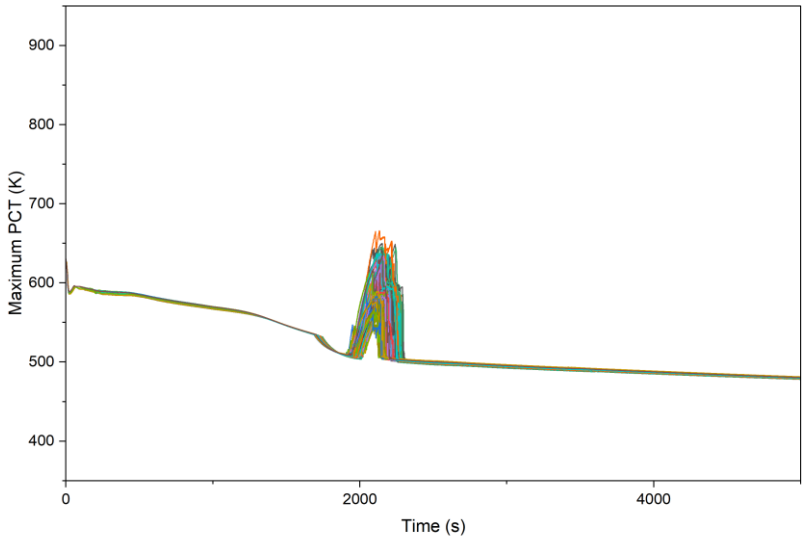
Global parameter 조합 선정

모든 global parameter 조합 162가지에 대해 열수력 분석 수행 (최고 PCT = 666 K)

그 중 PCT가 높게 나타난 9가지 global parameter 조합 도출

	Global parameter			
P_o	Operational Power	510MW	520MW	530MW
T_E	Pool Initial Temperature	293.15K	303.15K	313.15K
t_R	SCRAM Delay Time	0s		2s
P_RV	Pressurizer Initial Pressure	15.3MPa	15.5MPa	15.7MPa
T_A	Air Temperature	293.15K	303.15K	313.15K

162개 조건의 PCT 시계열



후속 분석 대상: PCT 상위 9개 global parameter 조건 하에서 개별 계통 신뢰도 평가 수행

중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

Global Parameter Combination Selection

PCT 상위 9개 global parameter 조건

Condition	P_o (MW)	P_R (MPa)	t_R (s)	T_E (K)	T_A (K)	PCT (K)
1	530	15.3	2	293.15	293.15	666
2	530	15.7	2	293.15	293.15	662.05
3	530	15.5	2	313.15	293.15	657.33
4	530	15.5	2	303.15	293.15	657.31
5	530	15.5	2	293.15	303.15	656.15
6	520	15.5	2	293.15	293.15	652.98
7	520	15.3	2	313.15	293.15	652.34
8	530	15.3	2	303.15	293.15	650.21
9	510	15.3	2	303.15	293.15	649.05

각 조건에서 PAFS (및 SG) system parameter에 불확실성을 부여하여 무작위 표본 추출

조건별 500 cases에 대한 열수력 분석 수행

해석 시간: SLOCA-IC에서 PCT 상승 거동이 나타나는 10000 s까지

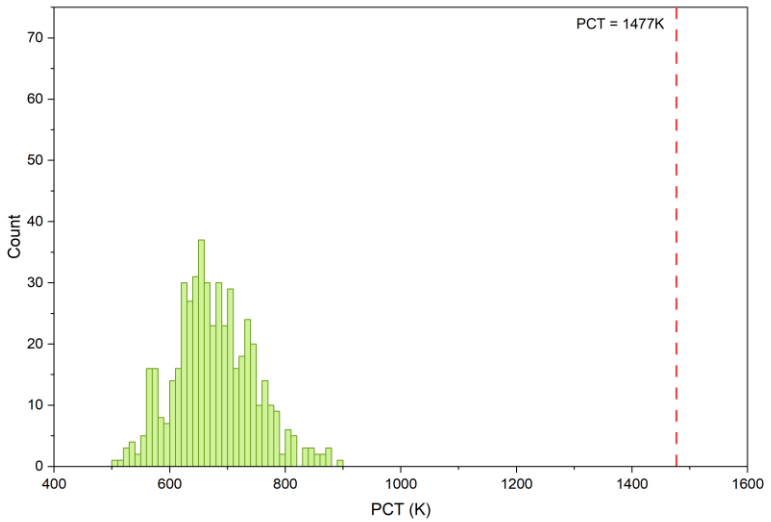
SLOCA-IC TH Code Analysis (PAFS)

Condition 1

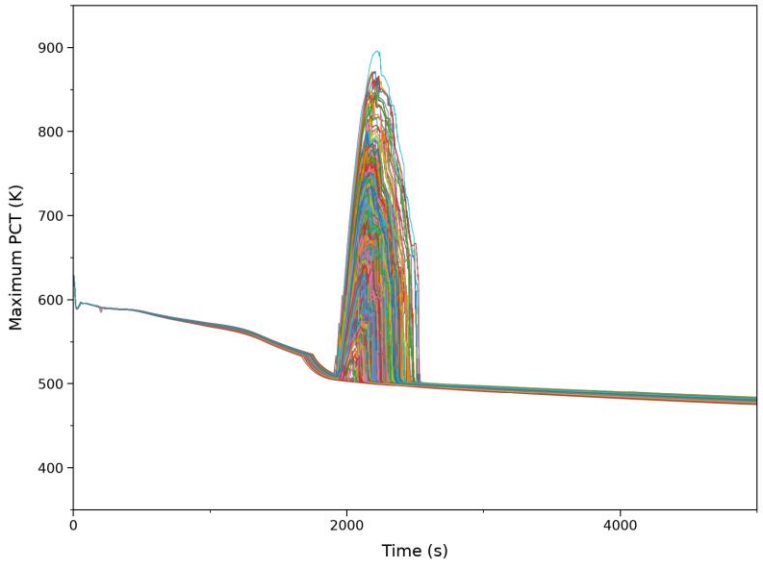
PAFS (및 SG) system parameter에 불확실성을 부여하여 500 cases 무작위 표본 추출

Condition	P_o (MW)	P_R (MPa)	t_R (s)	T_E (K)	T_A (K)
1	530	15.3	2	293.15	293.15

PCT 데이터 분포



PCT 시계열



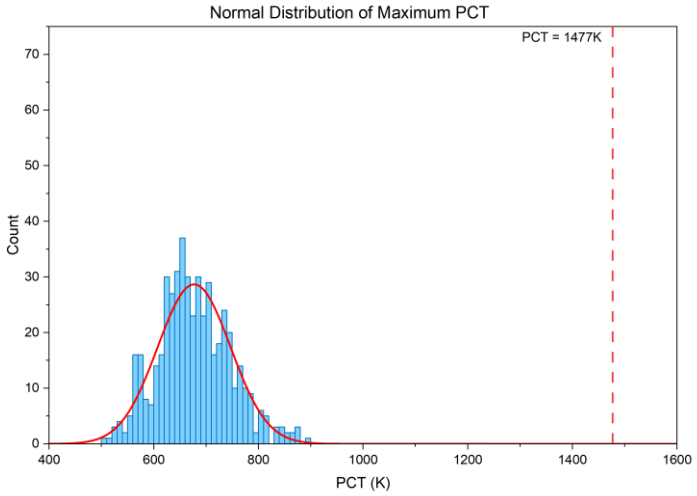
500개 case의 최고 PCT = 896.1 K, PCT 상승 구간에서 P(PCT > 1477 K) 계산

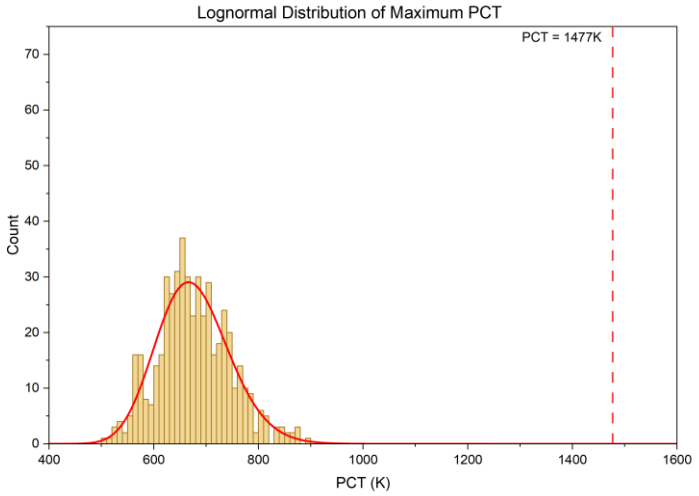
중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

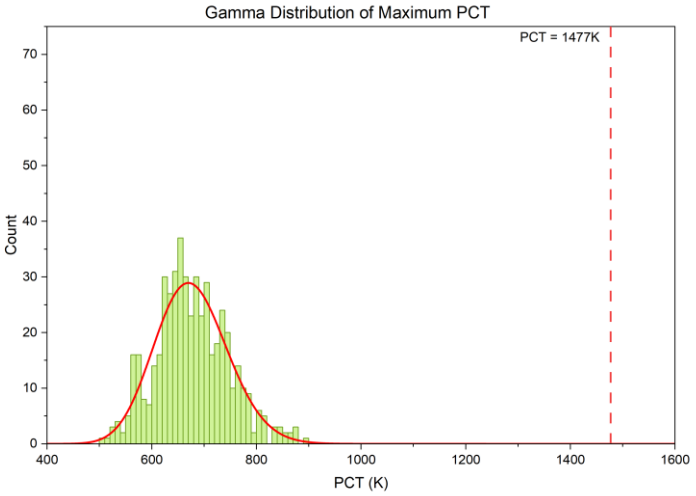
SLOCA-IC TH Code Analysis (PAFS)

Condition 1 기능적 실패 확률

PCT 데이터에 Normal, Lognormal, Gamma 분포를 적합하여 P(PCT > 1477 K) 계산







분포	Normal distribution	Lognormal distribution	Gamma distribution
매개변수	μ=677.0606 σ=69.671583	μ_log=6.5124975 σ_log=0.10257201	Shape: 95.163694 Scale: 7.1146944
P(PCT > 1477 K)	8.16407236E-31	9.60563658E-15	8.69176006E-19

Lognormal distribution: P(PCT > 1477 K) = 9.60563658E-15

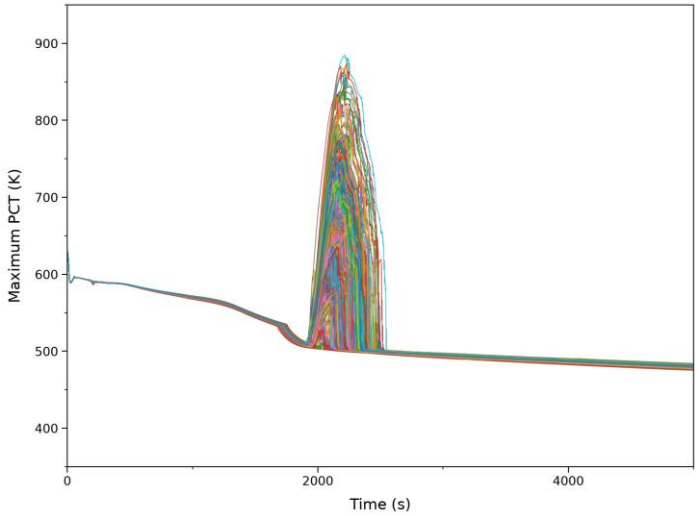
SLOCA-IC TH Code Analysis (PAFS)

Condition 2, 3

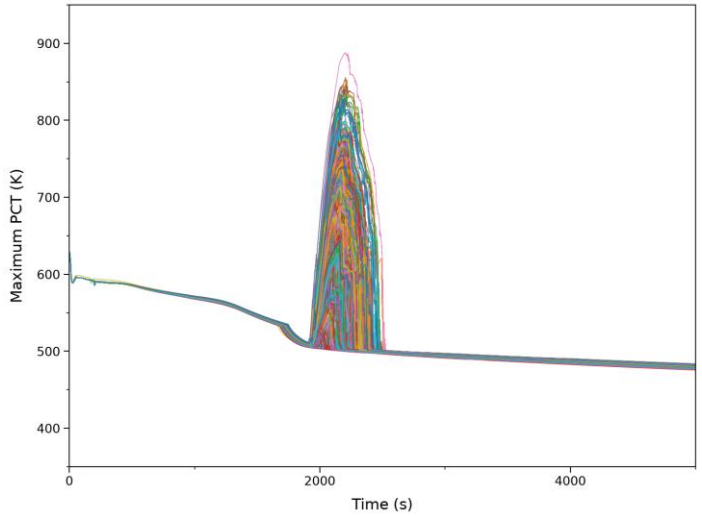
PAFS 및 SG system parameter에 불확실성을 부여하여 각 500 cases 분석

Condition	P_o (MW)	P_R (MPa)	t_R (s)	T_E (K)	T_A (K)
2	530	15.7	2	293.15	293.15
3	530	15.5	2	313.15	293.15

Condition 2



Condition 3

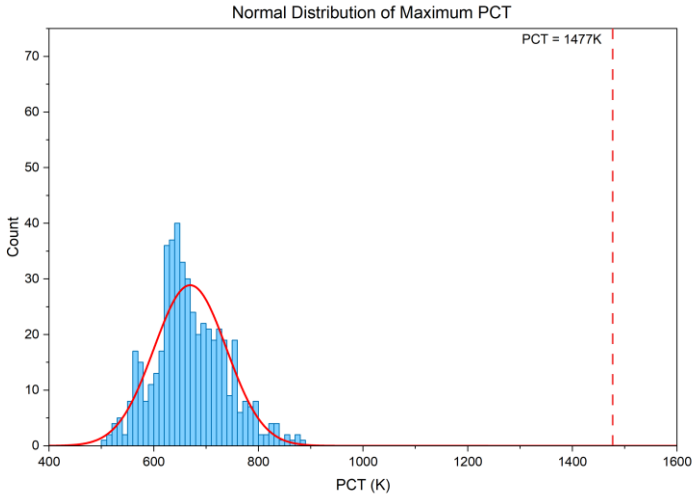


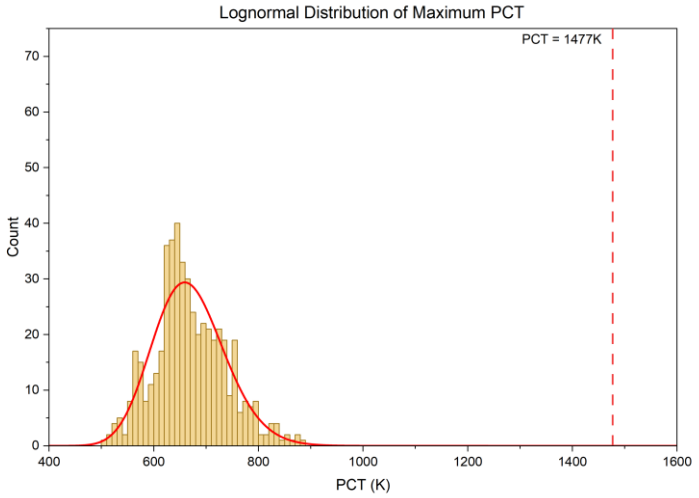
각 조건의 PCT 상승 구간에서 P(PCT > 1477 K) 계산

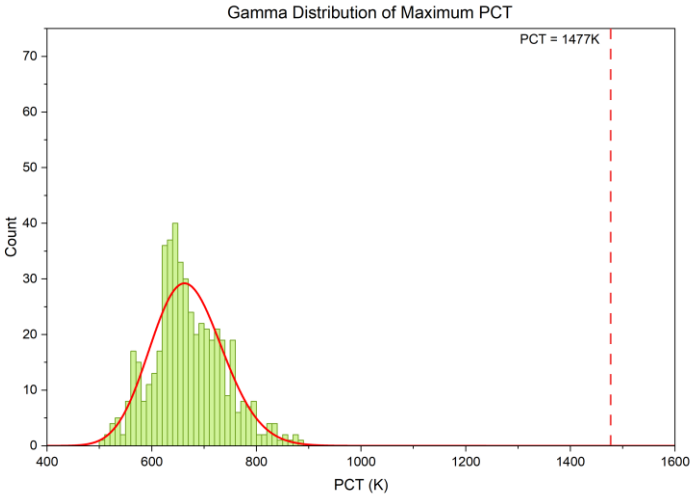
SLOCA-IC TH Code Analysis (PAFS)

Condition 2 기능적 실패 확률

PCT 데이터에 Normal, Lognormal, Gamma 분포를 적합하여 P(PCT > 1477 K) 계산







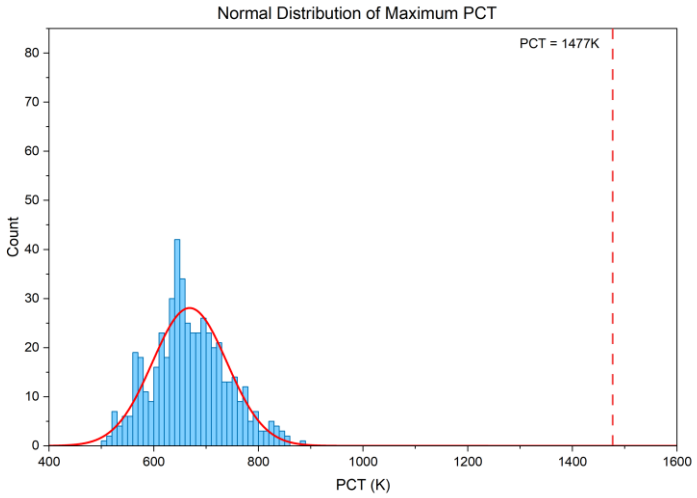
분포	Normal distribution	Lognormal distribution	Gamma distribution
매개변수	μ=669.57295 σ=69.140421	μ_log=6.5013643 σ_log=0.10257651	Shape: 94.749721 Scale: 7.0673179
P(PCT > 1477 K)	8.24945749E-32	4.11460728E-15	2.64810024E-19

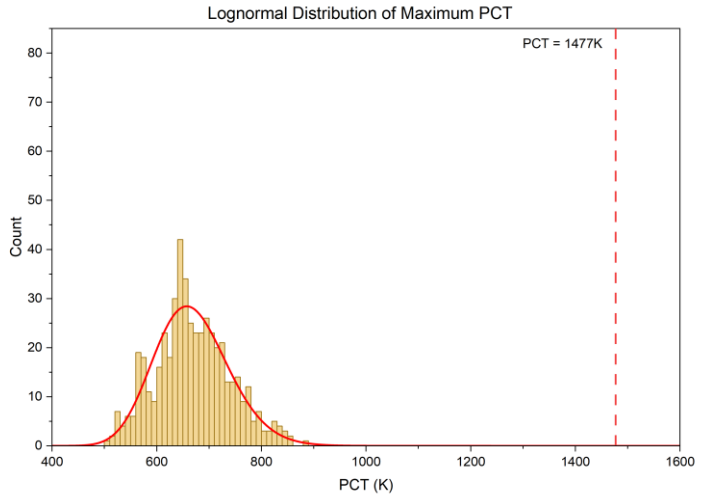
Lognormal distribution: P(PCT > 1477 K) = 4.11460728E-15

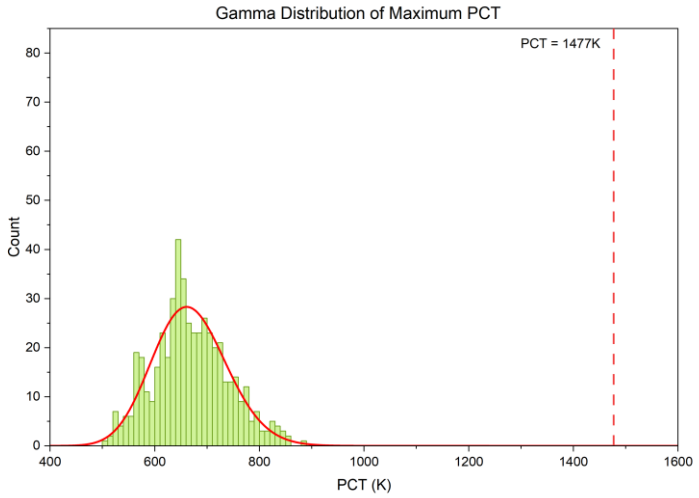
SLOCA-IC TH Code Analysis (PAFS)

Condition 3 기능적 실패 확률

PCT 데이터에 Normal, Lognormal, Gamma 분포를 적합하여 P(PCT > 1477 K) 계산







분포	Normal distribution	Lognormal distribution	Gamma distribution
매개변수	μ=668.53106 σ=71.107244	μ_log=6.4994425 σ_log=0.10625699	Shape: 88.813602 Scale: 7.5273499
P(PCT > 1477 K)	2.95909755E-30	2.88584946E-14	2.92677557E-18

Lognormal distribution: P(PCT > 1477 K) = 2.88584946E-14

PAFS 기능적 실패 확률

PCT 상위 9개 global parameter 조건의 분석 결과

Condition	Normal distribution	Lognormal distribution	Gamma distribution
1	8.16407236E-31	9.60563658E-15	8.69176006E-19
2	8.24945749E-32	4.11460728E-15	2.64810024E-19
3	2.95909755E-30	2.88584946E-14	2.92677557E-18
4	4.42779165E-33	9.31156445E-16	4.07949776E-20
5	3.99910415E-36	2.05585727E-16	2.77334025E-21
6	1.66834970E-31	8.70546615E-15	5.84525404E-19
7	3.11039662E-30	3.25458974E-14	3.23273987E-18
8	6.02803077E-33	1.41244719E-15	6.23925349E-20
9	8.00040789E-38	7.07556748E-17	5.24699362E-22

PCT가 높게 나타난 9개 global parameter 조합에서 PAFS 신뢰도 계산

보수적인 관점에서 최대값을 PAFS 기능적 실패 확률로 사용
P(PCT > 1477 K) = 3.25458974E-14

PSSs Reliability Assessment (PCCS/PECCS)

Global parameters (SLOCA-IC)

1	SLOCA-IC	P_o	Operational Power	510MW	520MW	530MW
2		T_E	Pool Initial Temperature	293.15K	303.15K	313.15K
3		t_R	SCRAM Delay Time	0s		2s
4		P_RV	Pressurizer Initial Pressure	15.3MPa	15.5MPa	15.7MPa
5		T_A	Air Temperature	293.15K	303.15K	313.15K

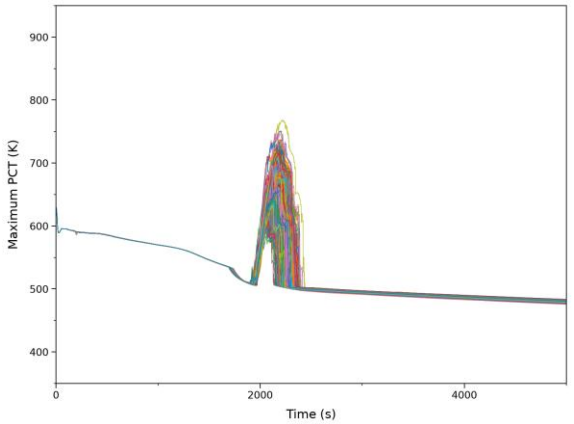
System parameters

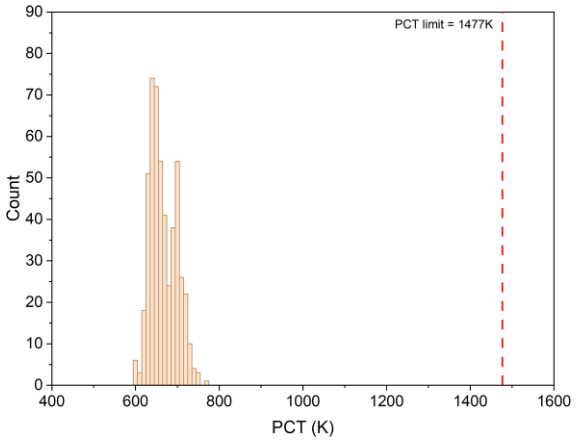
1	PCCS	th_PCCS	PCCS Hx Thickness	Normal	±4.0%
2		A_PCCS	PCCS Hx Surface Area	Normal	±5.0%
3		K_PCCS,in	PCCS Inlet Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
4		K_PCCS,HX	PCCS Hx Form-Loss Coefficient	Uniform	±50.0%
5		h_PCCS	Fouling Factor of CV to PCCS	Normal	±20.0%
1	PECCS	A_EDV	EDV Area	Normal	±4.0%
2		A_ERV	ERV Area	Normal	±4.0%
3		t_V	EDV Open Delay Time	Uniform	±10sec

SLOCA-IC TH Code Analysis (PCCS/PECCS)

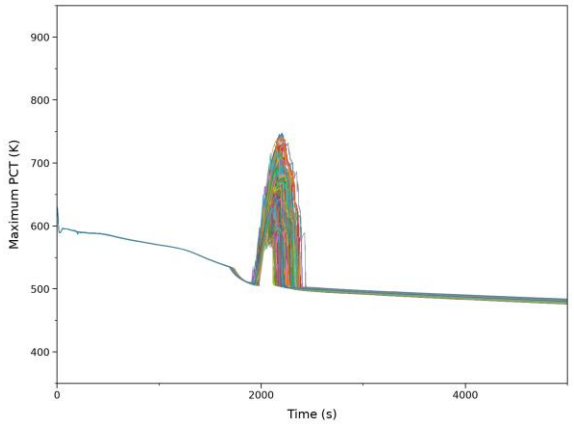
PCT가 높게 나타난 9개 global parameter 조건에 대해 각 500 cases 열수력 해석

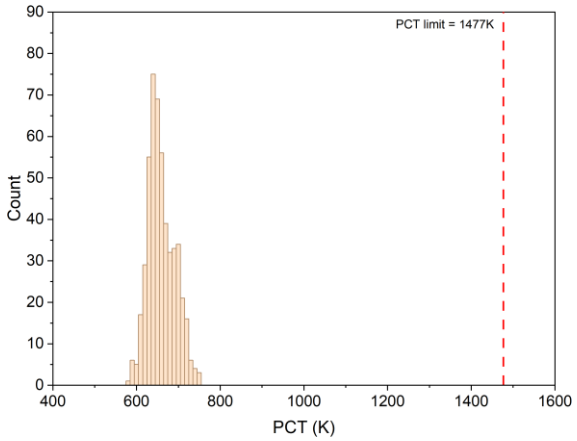
Condition 1



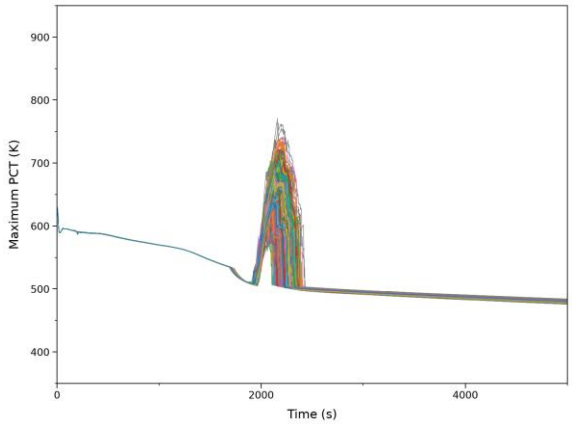


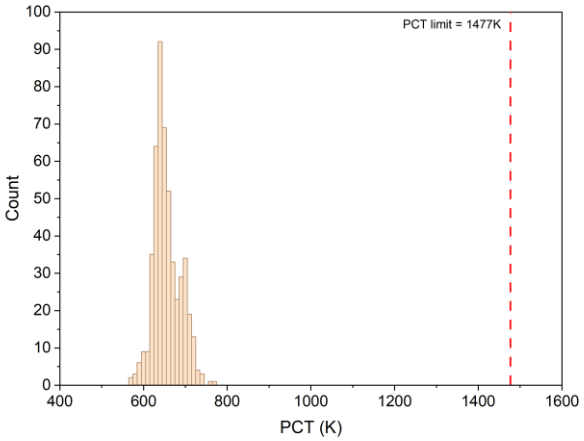
Condition 2





Condition 3





중앙대학교 CHUNG-ANG UNIVERSITY

PCCS/PECCS 기능적 실패 확률

PCT 상위 9개 global parameter 조건의 분석 결과

Condition	Normal distribution	Lognormal distribution	Gamma distribution
1	3.926378E-143	9.161195E-64	2.015149E-83
2	2.595345E-145	7.656602E-64	6.432931E-84
3	9.241024E-145	2.441553E-63	2.230597E-83
4	2.134835E-142	1.801609E-62	3.670144E-82
5	3.769673E-174	8.090747E-72	1.962596E-96
6	4.054637E-149	1.196188E-62	1.367013E-83
7	8.973236E-188	3.807044E-79	1.609850E-105
8	7.847144E-122	4.215483E-54	7.466475E-71
9	1.977130E-156	1.995686E-63	1.229911E-85

9가지 조건에서 모두 매우 낮은 값 도출

PCCS/PECCS보다 PAFS가 기능적 실패에 더 취약한 것으로 판단

Conclusion

SLOCA-IC 피동안전계통 신뢰도 평가

모든 relevant parameter에 현실적인 범위의 불확실성을 부과하여 시스템 전체의 기능적 실패 확률 평가

보수적인 global parameter 조건에서 계통별 기능적 실패 확률 산정

분석 범위	P(PCT > 1477 K)
Integrated Analysis	1.141885E-16
PAFS	3.25458974E-14
PCCS/PECCS	4.215483E-54

SLOCA-IC에서 PAFS가 PCCS/PECCS보다 기능적 실패에 더 취약한 것으로 판단