

위험도 정보 활용을 위한 격납건물 격리계통 모델링

Modeling of Containment Isolation System
for Risk Informed Application

오해철, 정백순, 서미로, 김명기, 홍승열

한전전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

(CDF) 가 (LERF) 가
LERF 가 CDF 가
PSA Level 2
LERF 가
LERF (3,4) 가

Abstract

CDF(Core Damage Frequency) & LERF(Large Early Release Frequency) are two important values used for evaluation of risk significance for the risk-informed application. In domestic nuclear field, it is expected that LERF as well as CDF has to be evaluated to apply the risk-informed technology. The analysis depth for the containment isolation failure handled in the existing PSA Level 2 model is not enough to evaluate the LERF used in the risk-informed application. Accordingly, the systematical analysis model for the containment isolation system to evaluate the LERF is required. The paper provides the analysis model of containment isolation system based on the reference plant (Ulchin Units 3&4).

1.

가(PSA) Issue NRC 가
(Reg. Guide 1.174) (CDF:
Core Damage Frequency) (LERF: Large Early Release
Frequency) IPE
Simplified LERF LERF

[1] 가 LERF 가 ,

PSA Level 2

(3,4) LERF 가 Simplified LERF

2. Simplified LERF [1]

Simplified LERF , LERF

[1]

1) Large

PSA Application Guide (EPRI TR-105396, page 2-5) "large" "involving the rapid, unscrubbed release of airborne aerosol fission products to the environment"

Large 1

Large

1

Large

Level 3

PSA

Large

가

1

가

2) Large

Large

1

1

volume

3,4

Large

- 3,4 : 57 psig

- : 2.727E6 (ft³)

1. 가

CV broken diameter (in)	2	4	6	8	Remark
Leakage volume (SCFM)	4310.03	17240.11	38790.25	68960.44	-
x 60 min(SCF)	2.586E5	1.034E6	2.327E6	4.138E6	Leakage amount during 60 min

3,4 ()

LERF

Large

6

가

LERF

가

LERF

3) Simplified LERF

가

가

가 LERF (Containment Isolation Failure) Level 1 PSA
 LERF 가 ISLOCA SGTR LERF CDF 6"
 가 가 가 LERF CDF_{otherIE} X ()
 LERF

$$LERF = SGTR_{cdf} + ISLOCA_{cdf} + CDF_{otherIE} \times$$

SGTR_{cdf} : CDF
 ISLOCA_{cdf} : CDF
 CDF_{otherIE} : CDF - SGTR_{cdf} - ISLOCA_{cdf}

3.

(Piping Penetration), Personnel&Equipment Hatch, (Electrical Penetration)

가 Barrier
 3,4 81 (Penetration)가
 6" , 2 34 가 LERF
 34
 Barrier 15 CASE CASE
 Penetration 2 CASE Barrier
 1

가
 1) [1] 6" LERF
 2) 가 24" (Guard Pipe)

Encapsulation Tank 가 LERF
 3)

4)

5) System Dependency
 6) Barrier 가

CASE 1

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 역지밸브 그리고 격납건물 외부에 2개의 전동기구동밸브(정상운전중 개방)가 병렬로 연결된 경우이다.

$$P_{\text{case1}} (\text{격납건물 격리실패}) = (\text{Check V/V fail to close}) \times [(2 \times \text{MOV fail to close}) + (\text{CCF MOV fail to close})]$$

$$= 1.0\text{E-}3 \times [2 \times (4.0\text{E-}3) + 2.0\text{E-}4] = 8.20\text{E-}6$$

CASE 2

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 수동밸브(정상운전중 닫힘) 그리고 격납건물 외부에 1개의 수동밸브(정상운전중 닫힘)로 구성되어있다.

$$P_{\text{case2}} (\text{격납건물 격리실패}) = (\text{Manual V/V transfers open}) \times (\text{Manual V/V transfers open})$$

$$= (1.27\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) \times (1.27\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) = 6.10\text{E-}6$$

CASE 3

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 버티플라이형 전동기구동밸브(정상운전중 개방) 그리고 격납건물 외부에 1개의 버티플라이형 전동기구동밸브(정상운전중 개방)로 구성되어있다.

$$P_{\text{case3}} (\text{격납건물 격리실패}) = (\text{MOV fail to close}) \times (\text{MOV fail to close}) + (\text{CCF MOV fail to close})$$

$$= (4.0\text{E-}3) \times (4.0\text{E-}3) + 2.0\text{E-}4 = 2.16\text{E-}4$$

CASE 4

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 역지밸브 그리고 격납건물 외부에 1개의 버티플라이형 전동기구동밸브(정상운전중 개방)로 구성되어있다.

$$P_{\text{case4}} (\text{격납건물 격리실패}) = (\text{Check V/V fail to close}) \times (\text{MOV fail to close})$$

$$= (1.0\text{E-}3) \times (4.0\text{E-}3) = 4.0\text{E-}6$$

CASE 5

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 저온과압방지 기능을 갖는 릴리프밸브(정상운전중 닫힘)과 전동기구동밸브 (정상운전중 닫힘) 그리고 격납건물 외부에 병렬로2개의 전동기구동밸브(정상운전중 닫힘)가 구성되어있다. 이 경우 LTOP 릴리프밸브의 개방고착을 통한 격납건물 격리실패 가능성도 고려하였다.

$$P_{\text{case5}} (\text{격납건물 격리실패}) = [(\text{Relief V/V fail to reclose}) + (\text{MOV fail to close})] \times [2 (\text{MOV fail to close})] + (\text{CCF MOV fail to close})$$

$$= (6.0\text{E-}3 + 4.0\text{E-}3) \times (2 \times 4.0\text{E-}3) + 2.0\text{E-}4 = 2.8\text{E-}4$$

CASE 6

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 버티플라이형 전동기구동밸브 또는 공기구동밸브 (정상운전중 닫힘) 그리고 격납건물 외부에 1개의 공기구동밸브 또는 유압구동밸브(정상운전중 닫힘)로 구성되어있다. 아래와 같이 밸브구성에 따라 두가지 경우로 나누어 고려하였다. 격납건물 내외부 격리밸브들은 격납건물격리신호(CIAS)를 받는다.

$$P_{\text{case6}} (\text{격납건물 격리실패}) = (\text{HOV transfers open}) \times (\text{MOV transfers open})$$

$$= (1.85\text{E-}6/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) \times (1.4\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) = 1.49\text{E-}10$$

또는

$$P_{\text{case6}} (\text{격납건물 격리실패}) = (\text{AOV transfers open}) \times (\text{AOV transfers open})$$

$$= (1.6\text{E-}6/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) \times (1.6\text{E-}6/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) = 1.47\text{E-}9$$

CASE 7

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부는 Blind Flange로 막혀있고, 격납건물 외부에 1개의 수동밸브(정상운전중 닫힘)로 구성되어있다.

$$P_{\text{case7}}(\text{격납건물 격리실패}) = (\text{Manual V/V transfers open}) \times (\text{Seal Failure}) \\ = (1.27\text{E-}7/\text{hr} * 24 \text{ hrs}) \times 6.48\text{E-}3 = 1.97\text{E-}8$$

CASE 8

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 역지밸브 그리고 격납건물 외부에 1개의 전동기구동밸브(정상운전중 닫힘)로 구성되어있다.

$$P_{\text{case8}}(\text{격납건물 격리실패}) = (\text{Check V/V fail to close}) \times (\text{MOV transfer open}) \\ = (1.0\text{E-}3) \times (1.4\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) = 3.36\text{E-}9$$

CASE 9

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에는 병렬로 1개의 전동기구동밸브(정상운전중 개방), 1개의 전동기구동밸브(정상운전중 닫힘), 1개의 수동밸브(정상운전중 닫힘)으로 구성되어 있고 격납건물 외부에 1개의 공기구동밸브(정상운전중 열림)로 구성되어있다. 격납건물 외부의 공기구동밸브는 격납건물 격리신호(CIAS) 또는 주증기격리신호(MSIS)에 의해 격리된다.

$$P_{\text{case9}}(\text{격납건물 격리실패}) = (\text{AOV fail to close} + \text{CIAS fail}) \times [(\text{MOV fail to close}) + \\ (\text{MOV transfer open}) + (\text{Manual V/V transfer open})] \\ = (2.0\text{E-}3+2.78\text{E-}5) \times (4.0\text{E-}3+1.40\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}+1.27\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) = 8.12\text{E-}6$$

CASE 10

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 역지밸브 그리고 격납건물 외부에도 1개의 역지밸브로 구성되어있다.

$$P_{\text{case10}}(\text{격납건물 격리실패}) = (\text{Check V/V fail to close}) \times (\text{Check V/V fail to close}) + \\ (\text{CCF Check V/V fail to close}) \\ = (1.0\text{E-}3) \times (1.0\text{E-}3) + 1.04\text{E-}5 = 1.14\text{E-}5$$

CASE 11

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 병렬로 2개의 역지밸브 그리고 격납건물 외부에 1개의 역지밸브로 구성되어있다.

$$P_{\text{case11}}(\text{격납건물 격리실패}) = [(2 \times \text{Check V/V fail to close})+ (\text{CCF Check V/V fail to close})] \\ \times (\text{Check V/V fail to close}) \\ = [(2 \times 1.0\text{E-}3)+(1.04\text{E-}5)] \times (1.0\text{E-}3) = 2.01\text{E-}6$$

CASE 12

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 전동기구동밸브 (정상운전중 개방) 그리고 격납건물 외부에 1개의 공기구동밸브(정상운전중 개방)로 구성되어있다. 격납건물 내외부 격리밸브들은 격납건물격리신호(CIAS)를 받아 격리된다.

$$P_{\text{case12}}(\text{격납건물 격리실패}) = (\text{AOV fail to close}) \times (\text{MOV fail to close}) + \text{CIAS fail} \\ = (2.0\text{E-}3) \times (4.0\text{E-}3) + 2.78\text{E-}5 = 3.58\text{E-}5$$

CASE 13

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부는 직접 증기발생기에 연결된 Closed System이고 격납건물 외부에 1개의 주증기격리밸브(MSIV) (정상운전중 개방) 그리고 터빈구동보조급수펌프로 공급되는 증기배관을 격리하는 전동기구동밸브(정상운전중 닫힘)로 구성되어있다. 또한 증기발생기 이차측 증기방출을 통한 열제거 목적으로 4개의 주증기안전밸브, 아래에 전동기구동블록밸브가 달린 1개의 주증기대기덤프밸브가 있다. MSIV는 주증기격리신호(MSIS)에 의해 격리된다. 이 경우에 대한 격납건물 격리실패확률은 다음과 같이 세가지 경우로 고려된다.

첫 번째 경우, LSSB를 제외한 모든 초기사건에 대해서 격납건물 내부는 Closed System으로

$$P_{\text{case13}}(\text{격납건물 격리실패}) = 0$$

두 번째 경우, 파단부위가 격납건물외부인 이차측대형파단사고(LSSB) 사고에 대해서

$$P_{\text{case13}}(\text{격납건물 격리실패}) = 1$$

세 번째 경우, 파단부위가 격납건물내부인 이차측대형파단사고(LSSB)에 대해서

$$\begin{aligned} P_{\text{case13}}(\text{격납건물 격리실패}) &= (\text{MSIV fail to close}) + (\text{MOV transfer open}) + \text{MSIS fail} \\ &= (5.01\text{E-}3) + (1.40\text{E-}7/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) + 2.78\text{E-}5 = 5.04\text{E-}3 \end{aligned}$$

CASE 14

격납건물 격리 Barrier 구성은 CASE 13과 마찬가지로 격납건물 내부는 직접 증기발생기에 연결된 Closed System이고 격납건물 외부에 1개의 주증기격리밸브(MSIV) (정상운전중 개방)로 구성되어있다. 또한 증기발생기 이차측 증기방출을 통한 열제거 목적으로 4개의 주증기안전밸브, 아래에 전동구동블록밸브가 달린 1개의 주증기대기덤프밸브가 있다. MSIV는 주증기격리신호(MSIS)에 의해 격리된다. 이 경우에 대한 격납건물 격리실패확률은 CASE 13과 마찬가지로 세 가지 경우로 고려된다.

첫 번째 경우, LSSB를 제외한 모든 초기사건에 대해서 격납건물 내부는 Closed System으로

$$P_{\text{case14}}(\text{격납건물 격리실패}) = 0$$

두 번째 경우, 파단부위가 격납건물외부인 이차측대형파단사고(LSSB) 사고에 대해서

$$P_{\text{case14}}(\text{격납건물 격리실패}) = 1$$

세 번째 경우, 파단부위가 격납건물내부인 이차측대형파단사고(LSSB)에 대해서

$$\begin{aligned} P_{\text{case14}}(\text{격납건물 격리실패}) &= (\text{MSIV fail to close}) + \text{MSIS fail} \\ &= (5.01\text{E-}3) + 2.78\text{E-}5 = 5.29\text{E-}3 \end{aligned}$$

CASE 15

격납건물 격리 Barrier 구성은 격납건물 내부에 1개의 역지밸브 그리고 격납건물 외부에 1개의 공기구동밸브(정상운전중 닫힘)로 구성되어있다. 이 밸브는 격납건물 격리신호에 의해 격리된다.

$$\begin{aligned} P_{\text{case15}}(\text{격납건물 격리실패}) &= (\text{Check V/V fail to close}) \times (\text{AOV transfers open}) \\ &= (1.0\text{E-}3) \times (1.6\text{E-}6/\text{hr} \times 24 \text{ hrs}) = 3.84\text{E-}8 \end{aligned}$$

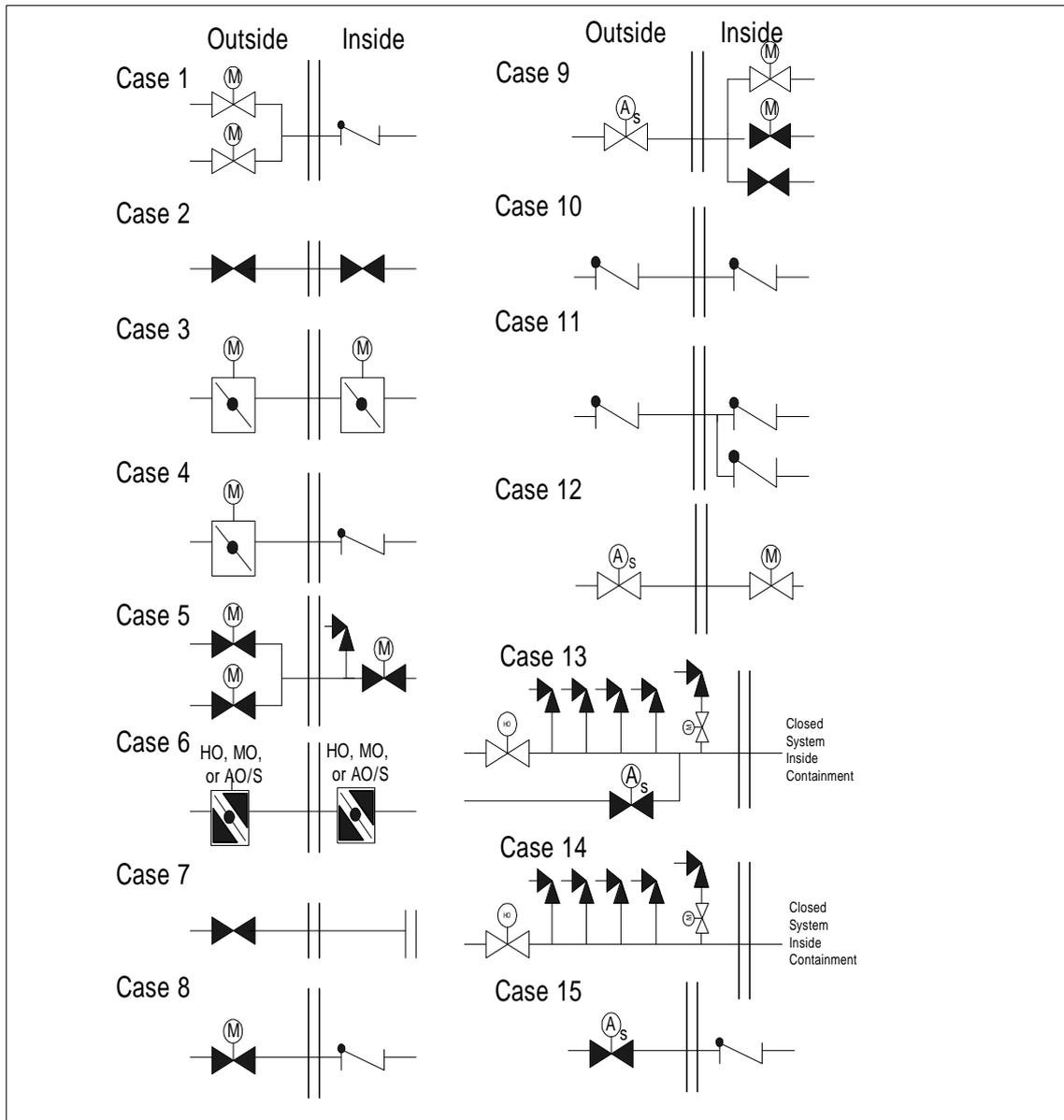
따라서, SGTR과 LSSB 사고를 제외한 LOCA 등 기타사고에 대한 격납건물격리실패 이용불능도는 다음과 같이 계산된다.

$$P(\text{격납건물 격리실패}) = \sum_{1}^{15} P_{\text{case-x}} = 5.72\text{E-}4$$

5.

		LERF	Simplified		'SGTR _{cdf}
	ISLOCA _{cdf}	CDF _{otherIE} X		"	.
[1]	LERF			6"	가
,		3,4			LERF
가					.
	LERF				.

1. , , "LERF 가" 2001
2. USNRC, "Use of Probabilistic Risk Assessment methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement," Federal Register: Volume 60, Number 158, August 16, 1995
3. USNRC, "An Approach for Estimating the Frequencies fo Various Containment Failure Modes and Bypass Events," NUREG/CR-6595, January 1999
4. EPRI, "PSA Application Guide," TR-105396
5. , " 3,4 가 " 1996.



1 . CASE

Barrier

-)
- M = Motor Operated
 - AO/S = Air Operated with Solenoid Accessory
 - HO = Hydraulic Operated

2. LERF

(1/2)

Case	Penetration Number	System	Size (in)	Isolation Inside Containment	Isolation Outside Containment	Isolation Signal
1	PC0011	Aux Feed Water	6	1 Check V/V	2 MOVs (parallel) (Normally Open)	N/A
	PC0021	Aux Feed Water	6			
2	PC0202	Spent Fuel Pool Cleanup	6	1 Manual V/V (Normally Closed)	1 Manual V/V (Normally Closed)	N/A
	PC0206	S/G Blowdown	6			
	PC0208	S/G Blowdown	6			
3	PC0125	Component Cooling Water	8	1 MOV ((Normally Open)	1 MOV (Normally Open)	CSAS
4	PC0133	Component Cooling Water	8	1 Check V/V	1 MOV (Normally Open)	CSAS
5	PC0012	Shutdown Cooling	16	1 Relief V/V, 1 MOV (Normally Closed)	2 MOVs (parallel) (Normally Closed)	N/A
	PC0022	Shutdown Cooling	16			
6	PC0913	Containment Purge	43	1 MOV (Normally Closed)	1 HOV (Normally Closed)	CIAS
	PC0914	Containment Purge	8	1 AOV (Normally Closed)	1 AOV (Normally Closed)	CIAS
	PC0923	Containment Purge	43	1 MOV (Normally Closed)	1 HOV (Normally Closed)	CIAS
	PC0924	Containment Purge	8	1 AOV (Normally Closed)	1 AOV (Normally Closed)	CIAS
7	PC0109	Containment Purge	6	Blind Flange	1 Manual V/V (Normally Closed)	N/A
8	PC0129	Containment Spray	10	1 Check V/V	1 MOV (Normally Closed)	N/A
	PC0229	Containment Spray	10			
	PC0245	Safety Injection	10			
	PC0139	Safety Injection	10			
	PC0145	Safety Injection	10			
	PC0239	Safety Injection	10			
	PC0114	Condenser Vacuum	6			

2. LERF

(2/2)

Case	Penetration Number	System	Size (in)	Isolation Inside Containment	Isolation Outside Containment	Isolation Signal
9	PC0911	S/G Blowdown	6	1 MOV (Normally Open), 1 MOV (Normally Closed), 1 Manual V/V (Normally Closed)	1 AOV(Normally Open)	CIAS
	PC0921	S/G Blowdown	6			
10	PC0512	Main Feed Water	8	1 Check V/V	1 Check V/V	N/A
	PC0522	Main Feed Water	8			
11	PC0511	Main Feed Water	20	2 Check V/V (Parallel)	1 Check V/V	N/A
	PC0521	Main Feed Water	20			
12	PC0218	Plant Chilled Water	12	1 MOV (Normally Open)	1 AOV(Normally Open)	CIAS
	PC0219	Plant Chilled Water	12			
13	PC0611	Main Steam	27	Closed System	1 MSIV (Normally Open), 1 AOV (Normally Closed), 4 MSSV (Normally Closed), 1 MSADV(Normally Closed) with 1 MOV (Normally Open)	MSIS
	PC0621	Main Steam	27			
14	PC0612	Main Steam	27	Closed System	1 MSIV (Normally Open), 4 MSSV (Normally Closed), 1 MSADV(Normally Closed) with 1 MOV (Normally Open)	MSIS
	PC0622	Main Steam	27			
15	PC0144	Fire Protection	6	1 Check V/V	1 AOV (Normally Closed)	CIAS