



# NUREG/CR-6850 방법론을 적용한 화재점화빈도

## 계산 프로그램 개발

호명수 · 이장연 · 강대일\*

(주)파워빌트씨앤이, 한국원자력연구원\*

## Development of Fire Ignition Frequency Calculation program Using NUREG/CR-6850 Method

Myoung Soo Ho · Jang Youn Lee · Dae Il Kang\*

Power Built Consulting & Engineering, PBCNE

Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI\*

### 요 약

원자력발전소는 타 산업시설에 비해 화재발생 가능성이 낮으나 방사성물질 누출가능성을 최소화하기 위하여 심층방어와 다중방호 설계를 통한 안전성확보가 매우 중요하다. 이를 위해 국내에서는 화재위험도분석(FHA)과 안전정지능력분석(SSA) 및 화재 확률론적안전성분석(Fire PSA)을 수행하고 있으며, 이 중 화재 PSA는 주요 화재구역 선별, 구역별 화재발생빈도 및 기기손상확률 계산, 화재사고 경위분석 및 화재취약성 파악 등을 분석한다. 본 논문에서는 미국 원자력규제위원회(USNRC)와 전력연구소(EPRI)가 공동 연구개발한 화재 PSA 방법론인 NUREG/CR-6850 기법을 적용하여, 화재 PSA에 필요한 화재점화빈도(Fire Ignition Frequency)를 정량적으로 계산하였다. 정확한 결과값을 도출하기 위해 매크로를 이용한 프로그램인 FIFA(Fire Ignition Frequency Analyzer)를 개발하였으며, 향후 국내 원전 화재 PSA 분석업무에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서 론

원자력발전소 화재 PSA는 주요 화재구역 선별, 구역별 화재발생빈도 및 기기손상확률 계산, 화재사고 경위분석 및 화재취약성 파악 등을 분석한다. 본 논문에서는 미국 원자력규제위원회(USNRC)와 전력연구소(EPRI)가 공동 연구개발한 화재 PSA 방법론인 NUREG/CR-6850 기법을 적용하여 방화지역별 화재점화빈도(Fire Ignition Frequency)를 정량적으로 계산하였으며, 정확한 결과값을 도출하기 위해 매크로를 이용한 계산 프로그램(FIFA - Fire Ignition Frequency Analyzer)을 개발하였다.

### 2. 적용 방법론 및 프로그램 개발

## 2.1 적용 공식

NUREG/CR-6850에 제시된 화재점화빈도 계산방법은 다음과 같다.

$$\lambda_{J,L} = \sum \lambda_{IS} W_L W_{IS,J,L} \quad (1)$$

여기에서

$\lambda_{J,L}$  = 구역 L내 격실 J에 위치한 화재빈도

$\lambda_{IS}$  = 점화원 IS와 관련된 발전소 수준 화재빈도

$W_L$  = 구역 L에 대한 가중인자(weighting factor)

$W_{IS,J,L}$  = 구역 L 내 격실 J에 위치한 점화원 IS의 양을 고려한 가중인자

### 2.1.1 발전소 수준 화재빈도, $\lambda_{IS}$

발전소 수준 화재빈도  $\lambda_{IS}$ 는 발전소의 위치와 기기형태에 따른 점화원 빈도값을 37개의 ID로 분류하여 표로 제공되며, 별도의 계산과정이 필요하지 않다.  $\lambda_{IS}$ 는 해당 표의 빈(Bin) 값을 사용할 수도 있고 발전소 고유의 화재 경험데이터를 반영한 수정값을 사용할 수도 있다.

### 2.1.2 구역(격실) 가중인자, $W_L$

구역 가중인자( $W_L$ )는 다중호기에서만 고려하며, 단일호기인 경우는  $W_L=1.0$ 을 적용한다. 예를 들어 2개 호기가 1개의 주제어실(MCR)을 공유하고 주제어실에 각 호기에 대한 주 제어반(MCB)이 2대(호기당 1개) 설치되어 있는 경우  $W_L=2.0$ 이 된다.

### 2.1.3 점화원 가중인자, $W_{IS,J,L}$

점화원 가중인자를 산정하기 위해서는 고정점화원과 임시가연물을 분류하여 계산한다. 고정 점화원의 경우, 기기 개수 산정이 가능한 점화원은 발전소 전체의 기기 개수와 해당 격실내의 기기 개수에 의해 가중인자가 결정된다. 예를 들어 보조급수 펌프실에 2대의 펌프가 설치되어 있고 발전소 전체에 50대의 펌프가 있다면 가중인자  $W_{IS,J,L}$ 은  $2/50=0.04$ 가 된다. 임시가연물의 경우는 정비활동(Maintenance), 점유정도(Occupancy), 가연성 및 인화성 물질의 저장(Storage) 요소에 근거를 두고 별도 계산이 이루어지며, 각 항목에 대해 NO=0, LOW=1, MEDIUM=3, HIGH=10, VERY HIGH=50으로 분류하여 평가한다. 37개의 빈값 중 일반 임시가연물(빈 3, 7, 25, 37)은 세 가지 요소를 모두 고려하여 평가하고, 임시가연물 화재(빈 6, 24, 36)와 케이블화재(빈 5, 11, 31)는 단지 정비 요소만 고려하여 평가한다. 그 외의 빈 12, 18의 경우는 각 지역별 해당되는 비율에 따라 계수값을 별도로 고려한다.

## 2.2 계산 프로그램 개발

위의 방법론을 적용하여 매크로를 이용한 화재점화빈도 계산 프로그램을 개발하였다. 크게 고정점화원에 필요한 기기 개수 산정, 고정점화원 및 임시가연물 빈도 계산, 그리고 방화지역별 전체 빈도값을 산출하는 스위트로 구분할 수 있으며, Figure 1은 고정 점화원의 기기 개수를 산정하기 위한 스위트이다. 입력해야 할 데이터는 분석하고자 하는 원전의 격

실과 기기 개수, 기기 타입 및 그에 해당하는 빈값이다.

EQUIP	BLDG	ID	FIS	Fire Area No.	계산	Fire Area Name	IGNITION SOURCE	분류	QTY
E	AUX	15	PW	A201A	계산	CLASS 1E SWGR RM	480V CLASS 1E LOAD CENTER	LVSG	3
E	AUX	15	PW	A201A	계산	CLASS 1E SWGR RM	4.16kV CLASS 1E SWGR	MVSG	12
E	AUX	16	PW	A201A	계산	CLASS 1E SWGR RM	480V CLASS 1E LOAD CENTER	HEAF	3
E	AUX	16	PW	A201A	계산	CLASS 1E SWGR RM	4.16kV CLASS 1E SWGR	HEAF	12
E	AUX	23b	PW	A201B	계산	CLASS 1E SWGR RM	LOAD CENTER TRANSFORMER	LXCFMR	1
E	AUX	15	PW	A201B	계산	CLASS 1E SWGR RM	480V CLASS 1E LOAD CENTER	LVSG	3
E	AUX	15	PW	A201B	계산	CLASS 1E SWGR RM	4.16kV CLASS 1E SWGR	MVSG	12
E	AUX	16	PW	A201B	계산	CLASS 1E SWGR RM	480V CLASS 1E LOAD CENTER	HEAF	3
E	AUX	16	PW	A201B	계산	CLASS 1E SWGR RM	4.16kV CLASS 1E SWGR	HEAF	12
E	AUX	15	PW	A202A	계산	CLASS 1E MCC RM	120V AC CLASS 1E INVERTERS	EP	1
E	AUX	10	PW	A202A	계산	CLASS 1E MCC RM	125V DC CLASS 1E BATTERY CHARGERS	BC	1
E	AUX	23b	PW	A202A	계산	CLASS 1E MCC RM	REGULATING TRANSFORMERS	XPFR	1
E	AUX	15	PW	A202A	계산	CLASS 1E MCC RM	51 INVERTER	EP	1
E	AUX	15	PW	A202A	계산	CLASS 1E MCC RM	125V DC CONTROL CENTERS	MCC	3
E	AUX	15	PW	A202A	계산	CLASS 1E MCC RM	480V CLASS 1E MCC	MCC	9
E	AUX	15	PW	A202B	계산	CLASS 1E MCC RM	120V AC CLASS 1E INVERTERS	EP	1
E	AUX	10	PW	A202B	계산	CLASS 1E MCC RM	125V DC CLASS 1E BATTERY CHARGERS	BC	1
E	AUX	23b	PW	A202B	계산	CLASS 1E MCC RM	REGULATING TRANSFORMERS	XPFR	1
E	AUX	15	PW	A202B	계산	CLASS 1E MCC RM	51 INVERTER	EP	1
E	AUX	15	PW	A202B	계산	CLASS 1E MCC RM	125V DC CONTROL CENTERS	MCC	3
E	AUX	15	PW	A202B	계산	CLASS 1E MCC RM	480V CLASS 1E MCC	MCC	9
J	AUX	15	PW	A203A	계산	MUX A RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203A	계산	MUX A RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203A	계산	MUX A RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203A	계산	MUX A RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203B	계산	MUX B RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203B	계산	MUX B RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203B	계산	MUX B RM	LX	EP	1
J	AUX	15	PW	A203B	계산	MUX B RM	LX	EP	1

Figure 1. Fixed fire ignition source counts and Bins input data sheet

필요한 데이터를 입력 후 “계산” 버튼을 누르면, 고정점화원 빈도계산 스위트에 각 빈 별 전체 개수(B)와 해당 격실의 기기 개수(A)가 자동 산정되어 빈도값을 계산한다(Figure 2 참조). 이 스위트에서 입력할 데이터는 분석하고자 하는 원전의 구역 가중인자( $W_L$ )이며, 본문에서는 단일 호기인 원전을 기준으로 하였으므로,  $W_L=1.0$ 을 적용하였다.

2. Calculation

돌아가기

NUREG/CR-6850 적용									
ID	Location	Ignition Source	$W_L$	(A)	(B)	$WFIS=(A)/(B)$	(F)	(FISF)	비고
1	Battery Room	Batteries	1.00E+00		10	0.00E+00	7.50E-04		
2	Containment	Reactor Coolant Pump	1.00E+00				6.10E-03		
4	Control Room	Main Control Board	1.00E+00		8	0.00E+00	2.50E-03		
8	Diesel Generator Room	Diesel Generators	1.00E+00		4	0.00E+00	2.10E-02		
9	PlantWide	Air Compressors	1.00E+00		2	0.00E+00	2.40E-03		
10	PlantWide	Battery Chargers	1.00E+00		10	0.00E+00	1.80E-03		
13	PlantWide	Dryers	1.00E+00		4	0.00E+00	2.60E-03		
14	PlantWide	Electric Motors	1.00E+00		4	0.00E+00	4.60E-03		
15	PlantWide	Electrical Cabinets	1.00E+00	15	1860	8.06E-03	4.50E-02	3.63E-04	
16	PlantWide	High Energy Arcing Faults	1.00E+00	15	205	7.32E-02	1.50E-03	1.10E-04	
17	PlantWide	Hydrogen Tanks	1.00E+00				1.70E-03		
19	PlantWide	Misc. Hydrogen Fires	1.00E+00		2	0.00E+00	2.50E-03		
20	PlantWide	Off-gas/H2 Recombiner (BWR)	1.00E+00		2	0.00E+00	4.40E-02		
21	PlantWide	Pumps	1.00E+00		40	0.00E+00	2.10E-02		
22	PlantWide	RPS MG Sets	1.00E+00		2	0.00E+00	1.60E-03		
23a	PlantWide	Transformers (oil filled)	1.00E+00				9.90E-03		
23b	PlantWide	Transformers (dry)	1.00E+00	1	55	1.82E-02	9.90E-03	1.60E-04	
25	PlantWide	Ventilation Subsystems	1.00E+00		104	0.00E+00	7.40E-03		
27	Transformer Yard	Transformer-Catastrophic	1.00E+00		11	0.00E+00	6.00E-03		
28	Transformer Yard	Transformer-Non Catastrophic	1.00E+00				1.20E-02		
29	Transformer Yard	Yard Transformers(Other)	1.00E+00				2.20E-03		
30	Turbine Building	Boiler	1.00E+00				1.10E-03		
32	Turbine Building	Main Feedwater Pumps	1.00E+00		4	0.00E+00	1.30E-02		
33	Turbine Building	Turbine Generator Excitor	1.00E+00		1	0.00E+00	3.90E-03		
34	Turbine Building	Turbine Generator Hydrogen	1.00E+00		1	0.00E+00	6.50E-03		
35	Turbine Building	Turbine Generator Oil	1.00E+00		1	0.00E+00	9.50E-03		

\* Location Weighting Factor :  $W_L$

Figure 2. Fixed fire frequency evaluation

임시가연물의 빈도계산은 빈값에서 제시하는 해당지역(PWR, CAR, PW, TB 등)에 맞게 적용하여야 하며 그에 따른 격실을 분류해야 한다. 필요한 입력 데이터는 케이블, 운환 유, 일반 가연물 등 해당 원전의 정보와 정비활동, 점유정도, 저장의 등급에 따라 평가된 값이다.(Figure 3 참조). 이렇게 입력된 데이터를 이용하여 일반 임시가연물, 임시가연물 화재, 케이블화재별 값을 공식에 맞게 계산한 후 “계산” 버튼을 누르면 Figure 2와 비슷한 유형의 스위트로 이동하여 격실별 빈도값을 계산한다. 이러한 계산 과정은 세부적으로 데이터를 확인하고 격실별 화재점화빈도를 얻기 위한 것이며, 결과적으로는 Figure 4와 같이

