

B-1

다중 속성 분석에 의한 방화지역의 화재위험 평가

박준현

한국전력공사 전력연구원

Fire Risk Ranking of Fire Areas by Multi-attribute Measurement

Jun-Hyun Park

Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

1. 서론

원자력발전소 화재방호(Fire Protection)에 대한 설계요건에서는 안전에 중요한 설비는 화재와 폭발 가능성이 최소화되도록 설계되어야 하고, 가능한 불연성 및 내열성 물질이 사용되어야 하고, 화재감지 및 진압계통은 안전에 중요한 설비가 화재로부터 피해가 최소화되도록 마련되어야 함을 규정하고 있다¹⁾. 이러한 화재방호 목적을 달성하기 위한 수단 중의 하나가 화재위험도분석(Fire Hazard Analysis)이다. 화재위험도분석이라 함은 화재발생시 원자로의 안전정지 능력을 확보하고 환경으로의 방사성 물질 누출 가능성이 최소화됨을 입증하기 위하여, 각 방화지역별 가상 화재에 대한 위험성을 검토하고 화재예방 및 화재방호 조치가 적합한지 평가하기 위한 정량적 또는 정성적인 분석을 말한다²⁾. 화재위험도분석의 주요 절차는 그림 1과 같다³⁾.

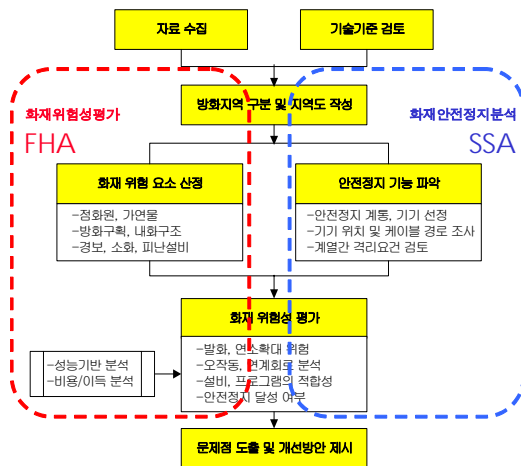


그림 1 화재위험도분석 절차

화재위험도분석에서 생산되는 주요 결과물중의 하나는 방화지역의 화재위험성 평가서이다. 방화지역의 화재위험성평가서에는 가연성물질, 점화원, 화재하중, 방화구획, 화재방호설비, 안전정지영향평가 등 화재방호에 대한 모든 정보를 담고 있다. 또한 화재방호 상태가 요건을 만족하지 못하거나 화재위험이 높은 방화지역에 대한 설비 개선 방안도 기술하고 있다. 화재위험도분석이 완료되면 발전소에서는 이 결과를 활용하여 방화지역별로 가연성물질, 점화원, 화재하중 등을 관리하여 화재위험이 필요 이상으로 높아지지 않도록 한다. 또한 방화지역의 내화방벽이나 화재방호 설비가 미흡한 지역에 대해서는 설비를 보완하여 화재 안전성을 확보하기도 한다.

일반적으로 원자력발전소는 수백 개의 방화지역으로 이루어져 있다. 각 방화지역은 가연성물질, 점화원, 화재하중, 화재방호설비 등 화재방호 요소가 서로 다르므로 화재위험수준도 각각 상이하다. 이처럼 화재위험이 서로 다른 수백 개의 방화지역을 동일한 수준으로 화재방호 관리한다는 것은 바람직하지 못하다. 화재위험이 높은 지역은 관리 수준을 높이고 반대로 화재위험이 낮은 지역은 관리 수준을 낮추는 선택과 집중 전략을 적용하는 것이 효율적인 방안이라 할 수 있다. 이러한 선택과 집중 전략을 화재방호에 적용하기 위해서는 방화지역별로 화재위험 수준을 정량적으로 평가할 수 있어야 하나 현재까지 이러한 방법은 개발되어 있지 않다. 본 논문에서는 방화지역의 화재위험에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 수치화하고 이를 바탕으로 방화지역별 화재위험 수준을 정량화하는 방안에 대해서 기술하고자 한다.

2. 화재위험 평가 항목 선정

방화구획은 화재방호를 위해 대상 건축물을 방화지역(Fire Area)으로 구분하는 것을 말한다. 방화지역은 일정시간 동안 화재 전파를 방지하기 위해 다른 지역으로부터 내화방벽(벽, 기둥, 방화문 등)으로 격리된 건물의 일부분을 말한다. 일반적으로 안전성관련 설비가 있는 지역은 1.5~3시간 등급 내화방벽으로 격리된다. 분석 대상으로 선정된 KU원자력발전소의 경우에는 약 260개의 방화지역으로 나누어진다. 그림 2는 방화구획의 예를 보여주고 있다.

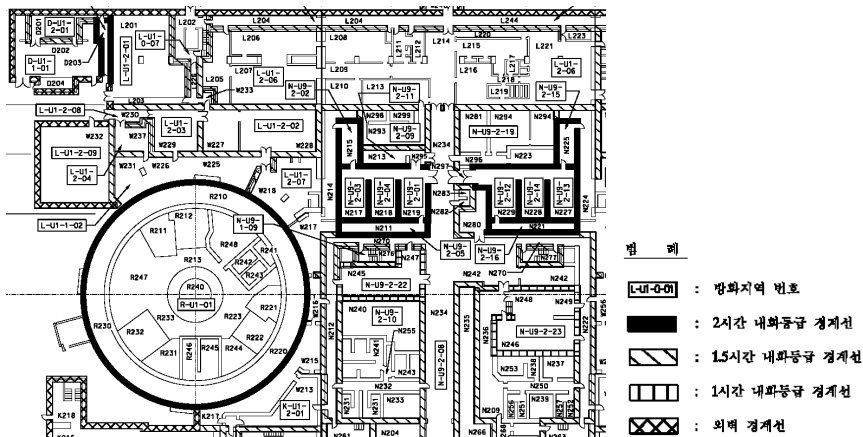


그림 2 발전소 방화구획의 예

화재위험도분석의 방화지역별 화재위험성평가서에서 다루어지는 항목은 다음과 같다.

- 설계기준화재 정의
- 방화구획 평가
- 화재방호설비 평가
- 안전정지 영향 평가
- 화재방호 프로그램 평가
- 화재방호설비 작동으로 인한 설비 오작동 및 악영향
- 화재로 인한 방사성 물질 유출 가능성

이러한 다양한 평가 항목이 방화지역의 【화재위험】 1)에 미치는 영향은 표 1에 정리하였다. 예를 들어, 방화지역의 화재위험은 화재하중과 직접적인 관련이 있다. 어떤 방화지역에 가연성물질이 많이 저장되어 화재하중이 크다면 그 지역의 화재위험은 높은 것으로 간주할 수 있다. 화재위험 평가 항목으로는 대/중/소분류 항목중에서 방화지역 단위로 평가가 가능한 것을 선별하였고 이 중에서 화재위험에 미치는 영향이 “중” 이상인 항목만을 선정하였다.

표 1 화재위험성평가 항목이 방화지역의 화재위험에 미치는 영향

화재위험성평가 항목			화재위험에 미치는 영향			선정 여부
대분류	중분류	소분류	대	중	소	
설계기준화재 정의	화재특성	가연성물질 및 접화원 확인	○			○
	화재하중	화재하중, 화재심각도 산출	○			○
방화구획 평가	내화방벽	방화벽, 바닥	○			○
		방화문, 방화담뽀, 관통부 밀봉재		○		○
화재방호설비 평가	강구조물	내화처리		○		○
		감지 및 경보설비		○		X
	진압설비	소화수공급설비		○		X
		자동진압설비 수동진압설비		○		X
기타 설비	배수, 제연, 방폭, 비상조명/통신, 출입/대피, 유도등			○	X	
안전정지 영향평가	다중계열 격리		○			○
		연계회로		○		X
	오작동	공동전원		○		X
		공동배선함-이차발화, 화재전파, 변류기		○		X
다중 고압피던스			○		X	
화재방호 프로그램 평가	화재방호계획	화재방호계획서, 화재진압계획서, 초동소방대 교육/훈련			○	X
		절차서	기술행정, 비상운전, 운전 및 점검			○
화재방호설비 작동으로 인한 설비 오작동 및 악영향				○		X
화재로 인한 방사성 물질 유출 가능성			○			○

3. 화재위험 평가 상세 기준⁴⁾

앞에서 검토한 방화지역의 화재위험에 영향을 미치는 주요 항목들의 상세 평가 기준은 아래와 같이 설정하였다. 화재위험 평가 항목의 배점 기준은 표 2와 같다.

1) 화재위험이라 함은 다수 방화지역의 화재위험 수준을 수치화하여 순위를 매긴 상대적인 지표로 정의한다.

표 2 화재위험 평가 항목의 배점 기준

화재위험 평가 항목	상세 평가 내용	배점
A. 화재 유형	소규모 전기화재(#1), 기타 화재	2
	기계설비 화재(#6), 임시가연물 화재(#3), 전기패널/설비 화재(#5)	4
	케이블트레이 화재(#2)	6
	소규모 유류 화재와 상존 가연물 화재	8
	대형 유류 화재(#4)	10
B. 화재심각도 1	30분 이하	2
	30~60분	4
	60~90분	6
	90~120분	8
	120분 이상	10
C. 화재심각도 2	설계내화등급의 80% 이하	0
	설계내화등급의 80%~120%	2
	설계내화등급의 120% 이상	4
D. 내화방벽의 건전성(화재 전파 가능성)	내화방벽이 완벽함	0
	내화방벽 일부 보완(방화문/방화담퍼 신설, 밀봉재 보수, 강구조물 부분 보호)	5
E. 안전정지기기 설치	없는 지역	0
	설치된 지역	5
F. 다중 안전제열 기기/케이블 공존 여부	없는 지역	0
	공존하지만 화재방호체로 격리된 지역 다중제열 격리요건 불만족하여 화재 방호체 시공 필요	5 10
G. 방사성물질 유출 가능성	일반지역	0
	화재오염지역	5
H. 자동진압설비 설치 여부	전역 진압설비가 있는 지역	0
	부분적인 진압설비가 있는 지역	3
	없는 지역	5

- 화재 유형(A)
가연성물질의 화재 확산속도가 얼마나 빠른지를 나타냄. 화재 확산속도가 높으면(예; 유류 화재) 화재위험이 높은 것으로 판단. 확산속도가 낮거나 제한적이면(예; 소규모 전기화재) 화재위험이 낮은 것으로 판단
- 화재심각도(B)
단위면적당 화재하중이 크고 작음을 나타냄. 화재심각도가 크면 화재위험이 높은 것으로 판단
- 화재심각도와 설계내화등급의 관계(C)
화재심각도가 설계내화등급을 초과하면 내화방벽의 건전성 상실 가능성이 있으므로 화재진압설비 보완, 화재진압대책 수립 등이 필요함. 따라서 화재심각도가 설계내화등급을 초과하면 화재위험이 높은 것으로 판단
- 내화방벽의 건전성(화재 전파 가능성)(D)
인접한 방화지역으로 화재 전파 위험이 있는지를 나타냄. 내화방벽이 건전하면 화재 전파 위험이 낮음. 방화문, 방화담퍼, 관통부 밀봉재 등은 개선이 용이하므로 보완이 필요하다더라도 화재위험에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단
- 안전정지기기 설치 유무(E)
안전정지기기가 설치된 지역은 설치되지 않은 지역보다 화재방호 측면에서 중요하므로 화재위험이 높은 것으로 판단
- 다중제열 기기/케이블 공존 여부(F)
다중제열이 동일지역에 있으면 안전정지 달성에 불리하므로 화재위험이 높은

것으로 판단. 다중계열 격리요건을 만족하면 위험이 낮아지는 것으로 판단. 다중계열이 화재방호체로 시공되어 있더라도 화재로 인한 손상 가능성이 있는 것으로 봄

- 방사성물질 유출 가능성(G)
화재오염지역에 화재가 발생하더라도 방사성물질이 누출되지 않도록 보호조치가 이루어져 있으나 화재오염지역의 화재가 일반지역보다 위험이 높은 것으로 판단.
- 자동진압설비 설치 유무(H)
자동진압설비에 의해 조기 화재진압이 가능하면 화재위험이 낮은 것으로 판단. 부분적인 진압설비보다 전역 진압설비가 설치된 지역의 화재위험이 낮은 것으로 판단. 자동진압설비 설치 필요성은 평가에 반영하지 않음.

4. 방화지역 화재위험 평가 결과

KU 원자력발전소의 260여개 방화지역중에서 무작위로 21개 방화지역을 선정하여 화재위험 수준을 평가하였으며 그 결과는 표 3에 나타내었다.

표 3 방화지역의 화재위험 수준 평가 결과

방화지역 명	화재심각도 (분)	설계내화등급 (시간)	화재위험 평가 항목별 획득 점수								계	위험수준(%) ²⁾
			A	B	C	D	E	F	G	H		
ANALOG CONTROL CABINETS	105	1.5	6	6	4	5	5	10	0	5	41	69
TBN LUBE OIL STATION(EAST)	446	1.5	10	10	4	0	5	10	0	0	39	66
CORRIDOR	94	1.5	6	8	4	0	5	10	0	5	38	64
D/G FUEL OIL STORAGE LINE A	5,373	2	10	10	4	5	5	0	0	0	34	58
REACTOR BUILDING	16	1.5	8	2	0	0	5	10	5	3	33	56
RX. PROTEC. ANALOG CABINET V	63	1.5	6	6	0	5	5	10	0	0	32	54
RX. PROTEC. ANALOG CABINET IV	34	1.5	6	4	0	0	5	10	0	5	30	51
GFR실	420	1.5	10	10	4	0	0	0	0	5	29	49
RX. PROTEC. ANALOG CABINET III	28	1.5	6	2	0	0	5	10	0	5	28	47
DIESEL GENERATOR A	27	1.5	10	2	0	10	5	0	0	0	27	46
CHARGING PUMP	18	2	10	2	0	5	5	0	5	0	27	46
AUX. FW TURBO PUMP	84	1.5	2	6	2	0	5	10	0	0	25	42
GGR실	1,226	1.5	10	10	4	0	0	0	0	0	24	41
AUX. FW CONTROL VALVE(ASG)	12	1.5	6	2	0	5	5	0	0	5	23	39
CRF 001PO PUMPING STATION	43	1.5	6	4	0	0	5	0	0	5	20	34
FUEL TRANSFER CANAL	22	1.5	2	2	0	0	0	10	0	5	19	32
HOT LAB.	49	1.5	4	4	0	5	0	0	0	5	18	31
SEC 001PO PUMP	5	1.5	6	2	0	0	5	0	0	5	18	31
MOTOR GENERATOR SET	17	2	4	2	0	0	0	0	5	5	16	27
터빈홀	7	1.5	10	2	0	0	0	0	0	3	15	25
배터리실	21	1.5	2	2	0	5	0	0	0	5	14	24
터빈건물 동쪽계단	0	1.5	2	2	0	0	0	0	0	5	9	15

평가 결과, 화재하중이 높은 지역, 다량의 유류 저장지역, 안전정지요건 불만족 지역 등이 상대적으로 화재위험이 높은 지역으로 선정되었으며 계단실과 같이 화재하중이 낮거나 특별한 기기가 설치되지 않은 지역은 화재위험이 낮은 것으로 나타났다. 예를 들어, 화재위험 수준이 제일 높은 Analog Control Cabinet 지

2) 위험수준(%) = 획득점수/(모든 평가 항목에서 최대 값을 획득한 점수의 합 59점)×100

역은 많은 케이블이 설치되어 화재하중이 높으며 화재심각도가 설계내화등급을 초과하고 있으며 다중 안전계열이 격리요건을 만족하지 못하며 자동화재진압설비도 갖추어지지 않은 지역이다. Reactor Protection Analog Cabinet Group V 지역은 Analog Control Cabinet 지역과 유사한 조건이나 화재하중이 낮고 자동화재진압설비가 갖추어져 있어 화재위험이 상대적으로 낮은 것으로 평가되었다.

21개 방화지역중 터빈홀지역의 화재위험이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 원인을 파악해본 결과, 터빈홀 화재하중 계산에 오류가 있어 화재심각도(B), 화재심각도와 설계내화등급의 관계(C), 내화방벽의 건전성(D) 등에서 낮은 배점을 받은 것으로 나타났다. 화재하중 계산의 오류를 바로잡는다면 터빈홀의 화재위험 수준은 중간정도를 유지할 것으로 예상된다.

이와 같이 방화지역의 화재위험 평가는 수백 개 방화지역의 상대적인 화재위험 수준을 나타내는데 유용한 도구일 뿐 아니라 발전소에서 효과적인 화재방호 관리가 이루어지는데 도움이 될 것으로 판단된다. 즉, 화재위험이 높은 지역은 화재방호 설비를 보완하는 등 개선을 통하여 화재위험을 낮추도록 동기 부여를 할 수 있다. 또한 방화지역의 화재위험 등급을 “매우 높음, 높음, 중간, 낮음, 매우 낮음”과 같은 5단계 수준으로 구분하여 등급별로 화재방호 관리 수준을 달리 적용하는 방안도 생각해 볼 수 있다.

5. 결론

현재까지 방화지역의 화재위험성평가서에는 결정론적 방법에 따라 화재방호 평가 인자별로 기준치를 만족하는지 여부를 판단하여 이를 기술하는 절차를 사용하여 왔다. 이러한 방법은 개별 방화지역의 화재위험을 정성적으로 나타내는데에는 유용하지만 다수의 방화지역중에서 어떤 방화지역의 화재위험이 높고 낮은 수준인지를 나타내지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 방화지역의 상대적인 화재위험 수준을 정량적으로 나타내는 다중 속성 분석 방법을 KU발전소에 시범적으로 적용하였다. 21개 방화지역에 대한 평가 결과, 화재위험 수준의 높고 낮음이 비교적 적절하게 나타났다.

동 방법론을 KU발전소의 260여개 방화지역에 전면 적용한다면 발전소 전 방화지역의 화재위험 수준을 서열화할 수 있으며, 발전소에서는 이 결과를 활용하여 화재위험이 높은 지역에 가용자원을 집중 투입함으로써 효율적인 화재방호 관리가 이루어질 수 있을 것으로 전망된다.

본 방법론을 발전시키고 이를 실무에 활용하기 위해서는 다음 내용에 대한 추가적인 연구개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

- 선정된 화재위험 평가 항목의 적절성 검토(예; 전문가 판단 항목 도입)
- 화재위험 평가 항목에 대한 가중치의 적정성 검토
- 발전소 활용 방안 마련
- 화재위험 수준을 나타낸 방화지역도 개발

6. 참고문헌

1. USNRC, Regulatory Guide 1.189, Fire Protection for Operating Nuclear

Power Plants, USNRC, 2001

2. 교육과학기술부 고시 제2008-26호, 화재위험도분석에 관한 기술기준, 2008
3. 한수원(주), KU원자력발전소 화재위험도분석 최종보고서, 2008
4. 전력연구원, 중수로형 원자력발전소 수명관리 대상 주요 기기 선정 방법론, TM.00NJ15.P2001.370, 2001