

원자력발전소 화재방호 기준 검토와 성능위주 화재 모델링 적용성 조사

Review on the New Fire Protection Standard for Nuclear Power Plants and Investigation for Applicability of the Performance-Based Fire Modeling

지 문 학, 홍 승 열, 성 창 경, 김 인 환

한국전력 전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

요약문

원자력 발전소에 적용되어 온 기존의 화재방호 기준인 NFPA-803¹⁾은 소위 결정론적인 방법론에 의한 규범적 규제를 위주로 하였다. 한편, 원자력발전소 고유의 안전성 확보와 동시에 정량적인 화재방호 기준을 수립하기 위한 규제기관과 산업계의 공동 노력에 의하여 성능위주의 화재방호 기준인 NFPA-805²⁾가 제정되었으며, 미국 표준 위원회가 2001년 2월 이를 공포함에 따라 미국의 공식적인 표준 화재방호 기준이 되었다.

본 소고에서는 새로운 화재방호 기준에서 제시된 컴퓨터 화재 모델링을 이용한 화재 시뮬레이션에서 실내의 열적 상태를 계산하고 분석하였다. 이에 따라 컴퓨터 화재 모델링의 적용성을 평가할 수 있게됨에 따라 향후 원전의 각종 방호설비의 설계나 소화계통의 실용성 평가 및 구획 화재에서의 열적 거동 분석 등 정량적인 접근이 가능함을 제시하였다.

Abstract

NFPA-803 has been the Fire Protection Standard for the existing PWR and its major tenet has required the prescriptive regulation with deterministic methodology. With cumulative efforts by NRC and Utilities to establish a new standard including a quantitative evaluation methodology, the performance-based standard, NFPA-805, was issued by the Standards Council on Jan. 13 and approved as an American National Standard on Feb. 9, 2001.

This paper introduces the simulation result of computer fire model for the fire dynamics and its applicability. Hence we present our idea that this approach can be available to the design of fire prevention and protection equipment, an evaluation for the fire suppression systems with a quantitative analysis for the thermal behaviors within a fire compartment in NPP.

1) National Fire Protection Association-803 : Standard for Fire Protection for Light Water Nuclear Power Plants

2) Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants

1. 서론

원자력 발전소의 방화에 대한 기본 규제지침은 GDC(General Design Criteria)-3이며 안전 관련 계통, 기기 및 구조물의 설계에 적용되어 왔다. 1975년 1월, AEC(Atomic Energy Commission)에서 NRC(Nuclear Regulatory Commission)로 바뀐 미국의 원자력 정책 규제기관은 그 해 3월 Browns Perry 발전소 화재에서 케이블과 안전관련 기기의 손상으로 안전정지기능에 위협적인 사고를 경험하게 되면서, 기존 원전에 대한 방재 프로그램과 방화시설을 면밀히 조사하고 취약한 분야에 대하여 강화된 규제방침을 주도하여 왔다.

주요 규제지침들을 보면, 1976년 제시된 BTP 9.5.1과 이의 Appendix A, 1979년에는 Appendix R(10CFR50)에 이어 방화계획과 규정을 집약한 10CFR50.48이 제정되었으며 계속하여 10CFR50.12, 10CFR50.59 및 다수의 Generic Letter 등 과거의 화재 사례와 운전 경험, 기술적인 판단과 산술적 자료 등을 이용한 소위 결정론적인 방법에 의하여 규범적인 규제를 하여 왔다.

한편 강제성을 띤 이러한 강력한 규범의 적용에 반하여 원전의 인허가 요건을 충족시키면서 고유의 안전 목표와 목적을 달성하기 위한 새로운 접근이 시작되었다. 이러한 움직임은 규제기관과 원전 사업자간의 공동된 인식과 필요에 의하여 상호 보완적으로 진행되어 왔으며 1992년 SECY 92-263에 이어 1993년 RRG(Regulatory Review Group)의 구성으로 기존의 규범적인 규제에서 성능 위주의 규제 방안이 본격적으로 거론되기 시작하였다. 이후 SECY 94-090, SECY 96-134의 발표에 이어 1996년 10월에는 위험정보를 활용하는 성능위주의 규제방안을 수용하기 위하여 Appendix R의 일부 내용에 대한 삭제와 수정 및 10CFR50.48의 개정예 착수하게 되었으며 SECY 97-127의 발표로 성능기준의 구조를 갖춘 화재방화 규제지침이 본격적으로 논의되게 되었다.

원자력 규제기관 및 사업자의 이러한 노력에 의하여 1997년 NEI(Nuclear Energy Institute)를 중심으로 Task Force Team이 구성되어 원전 사업장의 실태를 조사, 분석하고 EPRI에 의하여 개발된 방호기법, 방화 프로그램 및 사업자의 수행을 지원하는 각종 방안과 지침을 만들기 위한 업무에 착수하였다. 이에 따라 수많은 화재시험과 운전경험의 분석, 파이롯트 실험 연구, IPEEE(Individual Plant Examination for External Events) 수행 결과의 분석에 이어 화재 모델링 개발 등 실용화를 위한 작업이 진행되었으며 드디어 성능위주의 방호지침이며 기술기준인 NFPA-805가 2001년 1월 제정, 2월 공포되기에 이르렀다.

한편, NRC의 지원과 산업계 및 학계의 많은 노력과 인력이 투입되어 결실을 맺게된 NFPA-805는 원전의 화재방호 기준으로 자리잡게 되었지만 미국 원자력 정책의 규제기관인 NRC는 아직까지 공식적인 입장 표명이 없으며 공인된 실행지침과 실무용 프로그램의 개발 과정도 남겨놓고 있다. 이는 새롭게 제정된 기준의 본문 내용중 일부에 대하여 산업계의 주장과 규제기관의 입장 차이가 주요 원인의 하나로 추정되지만, 위험정보를 이용한 성능위주 규제에 대한 지지와 SECY 97-287³⁾에서 나타난 규제기관의 기본입장을 참고할 때 NFPA-805의 규제 내용에 대한 변경은 없을 것이며 향후 이를 공식적 규제기준으로 결정하는 정책의 표명과 후속조치가 이어질 것으로 예상된다.

3) 1997년 12월 NRC는 다음의 5개 원칙을 유지하면서 기존 규제에서 위험정보를 이용한 규제로 전환하기 위한 입장을 표명하였다 : ① Meet current regulations ② Maintain defense-in-depth ③ Maintain sufficient safety margin ④ Ensure that the increases in risk do not result in violation of CDF or LERF goals ⑤ Ensure that the performance-based implementation and monitoring process address uncertainties and include corrective actions

2. 원전에 대한 컴퓨터 화재 모델링 적용성 조사

2.1 화재방호 기준에 대한 예외조치 승인건수

미국 원전에 대한 포괄적 규제지침인 Appendix R to 10CFR50은 1980년 제정, 적용된 이래 원전 사업자들은 화재방호 분야의 안전 요건에 대하여 수많은 예외적 조치를 요구하였다. 규제기관은 사업자의 요구가 타당할 경우 이를 예외적 사항으로 수용하였다. 이 때 사업자가 제출한 근거와 타당성을 입증하는 자료는 대부분 공학적 판단에 근거한 정성적 분석이었으며 화재 모델을 이용한 정량적 분석은 소수에 불과하였다.

1998년 발간된 NUREG 보고서에 의하면 사업자의 요구에 의하여 승인된 예외조치사항(exemption) 및 규정위반(deviation) 항목에 대한 허용건수는 모두 1,351건에 이른다. 이 중 Appendix R의 요건에 대한 예외조치 승인건수의 대부분은 화재에 따른 안전정지 확보를 위한 요건인 III.G에 해당한다(아래 표 1 참조).

항 목	Technical Area	승인 Exemption 건수
III.	Specific Requirements	-
III. A	Water Supplies	1
III. E	Hose Testing	1
III. F	Automatic Fire Detection	14
III. G	Safe - Shutdown Capability	780
III. H	Fire Brigade	1
III. J	Emergency Lighting	39
III. L	Alternative and Dedicated Shutdown Capability	36
III. M	Penetration Seals	4
III. O	Reactor Coolant Pump Oil Collection	24
	합 계 건 수	900

표 1. Appendix R 요건에 대한 예외조치 승인 건수

2.2 컴퓨터 화재 모델 접근 방법

상기와 같은 통계는 당시의 정성적 분석방법이나 공학적 판단에 의하여 제출된 자료가 규제기관의 엄격한 검토와 평가를 거친 후 타당성이 인정되어 예외조치사항으로 승인되었다는 점에서 큰 의미를 갖는다. 즉, 규제기관에서 인정한 대부분의 예외조치사항들은 원전의 안전정지기능과 관련된 위험 중요도가 높은 분야이며, 만일 정량적인 성능위주의 분석방법을 사용할 경우 보다 명확하고 과학적으로 타당성을 입증할 수 있을 것으로 판단되기 때문이다. 이러한 성능위주의 접근 방법은 신규 건설 또는 증설 발전소뿐만 아니라 기존 원전의 화재방호설비에 대한 타당성 분석과 검증, 설비의 변경 또는 개선으로 인한 화재 위험성 분석, 과다 규제 및 설계 결함 등 방호 성능에 대한 전반적 분야에 대하여도 적용할 수 있다.

아래에는 오늘날 원전 및 일반 산업계에서 활용되고 있는 컴퓨터를 이용한 화재 모델링 코드 중에서 미 상무성의 국립표준기술기관(NIST)에 의하여 지속적인 개발과 개선을 하여온 FPEtool(V 3.2)과 FAST(V3.1.6)의 특성을 간단히 살펴보고 이 프로그램을 이용하여 EPRI의 정량적 화재분석 방법⁴⁾과 실증시험에 사용된 화재샘플의 결과치와 비교 검토하여 성능위주 화재 모델링의 적용성을 확인하고자 한다.

4) EPRI TR-100443, "Methods of Quantitative Fire Hazard Analysis"의 Appendix D

2.3 FPEtool과 FAST Program의 개요

FPEtool은 화재 구역을 2개 또는 3개의 Zone으로 구분하고 정상상태에 대한 열적 환경이나 결과를 계산한다. 이 프로그램은 벽체를 통한 열손실이나 실내의 다른 가연물에 의한 추가 연소를 고려하지 않으며 실내 거주자의 거동 모델이나 인적 신뢰도가 반영되지 않지만, 연기층의 확산 거동을 시간함수로 평가할 수 있으며 열적인 영향과 독성가스로 인한 실내 거주자의 생존 가능성을 추정할 수 있다. 또한 스프링클러 작동에 따른 연기층의 온도 및 높이, 가스 농도의 변화, 열방출율, 질량 유동을 등의 추세를 시간대별로 확인할 수 있다. FPEtool은 크게 5개의 Program인 Fireform, Makefire, Fire Simulator, Corridor, Third Room과 각 Program의 하부 모듈로 구성되어있다.

FAST는 화재 위험분석에 사용된 HAZARD I과 FASTLite의 후속 프로그램으로서 Fireform의 공학적 계산 프로그램들인 각종 Subprogram을 포함하고 있으며 화재 모델인 CFAST의 최신 버전을 GUI 방식으로 구현하여 화재 거동에 대한 예측과 분석을 한다. CFAST의 특징은 화재 발생후 미소 시간에 대한 엔탈피 및 질량 유량 변동치를 예측하고, 연기층의 확산과 유동, 연소가스 농도, 온도 및 압력 등의 변수를 계산하며 사용자에게 의하여 임의로 열 발생률이나 질량유량 및 독성가스의 제한치를 입력하여 그 결과를 평가할 수 있다. FAST의 하부 모듈은 FPEtool의 Fireform에 담겨있는 모듈과 동일한 개념과 수식을 사용하였으며 입력자료 및 출력결과도 동일하다.

2.4 가상 화재시나리오 설정과 분석 및 실증 실험 자료와의 비교

가. Case 1 : 기계환기(10회/시간)에 의한 밀폐공간의 화재(2,000kW) 분석

- 1) Thermal and Environmental Condition
 - o Room Size : $18.3^L * 12.2^W * 6.1^H$ [m]
 - o Fire Location : Center on Floor (Correction Factor = 1.0)
 - o 환기 상태 : 제3종 기계식 강제환기, 10회/시간
 - o Nominal Fire Heat Release Rate : 2,000kW
 - o 연소상태 및 외기조건 : Steady State(10분 연소), 20℃(101.3 KPa)
 - o 실증 자료 : PM/SNL Test Series(NUREG/CR-4681, CR-5384 참조)
- 2) EPRI FHA(Fire Hazard Analysis) 방법론에 의한 분석 및 실증 자료와의 비교
 - o Confined / Unconfined condition 확인
 - $L/W = 18.3/12.2 = 1.5 > 1/2$, $H/W = 6.1/12.2 = 0.5 < 2.5$
 - 따라서, Unconfined condition
 - o 기계 환기량 : $3.8\text{m}^3/\text{sec}$
 - o 가스의 팽창에 의한 유발 환기량
 - $$V'_{\text{expansion}} = \frac{Q'_{\text{net}}}{\frac{Q_o}{V}} = \frac{(1-0.7)*2000}{353} = 1.7 \text{ m}^3/\text{sec}$$
 - 기계 환기량이 가스 팽창량에 의한 환기량을 초과
 - 따라서 밀폐공간에 대한 해석 적용
 - o $\Delta T_{\text{avg}} = Q'_{\text{net}} / (\rho V' C_p) = 132 \text{ K}$
 - o $\Delta T_{\text{plume}} = 25(Q'^{2/3} / Z^{5/3}) = 195 \text{ K}$

$$\Delta T_{\text{ceiling jet}} = \Delta T_{\text{plume}} \frac{0.3}{\left(\frac{r}{H}\right)^{2/3}} = \frac{58.5}{\left(\frac{r}{H}\right)^{2/3}}$$

o EPRI FHA 방법론에 의한 결과 (비교 : FM/SNL test)

r/H	ΔT_{avg} (K)	$\Delta T_{\text{ceiling jet}}$ (K)	T(K)	FM/SNL Test (#3)
0	132	195	620	Peak 온도 : 641 K - 차이 : 21K - 실온 : 293K
0.5	132	93	518	
1.0	132	59	484	
1.5	132	45	470	
2.0	132	37	462	

표 2. 2,000kW, 기계환기조건에서의 결과치

3) FPEtool 및 FAST의 결과 및 비교

o FPEtool과 FAST의 프로그램 특성은 다르지만 에너지, 질량유동, 운동량 보존법칙에 의하여 유사하게 모델링 되므로 계산식은 동일하다. 따라서 Plume 온도 및 Ceiling Jet 온도 계산식은 두 프로그램 모두 고정변수가 동일하므로 상수값도 동일한 공식을 갖는다.

o FPEtool Program 결과값과 EPRI FHA 결과와의 비교(비교 : FM/SNL test)

r/H	$T_{\text{ceilingjet}}$ (K/°C) : FPEtool	$T_{\text{ceilingjet}}$ (K) : EPRI	비 고
0	598K (325°C)	620	FM/SNL Test의 최대 값(Serial #3) : 641K
0.5	509 (236)	518	
1.0	478 (205)	484	
1.5	466 (193)	470	
2.0	458 (185)	462	

표 3. 2,000kW, 기계환기조건에서의 결과치 비교

나. Case 2 : 자연환기 조건의 밀폐공간의 화재(1,000kW) 분석

1) Thermal and Environmental Condition : 아래를 제외한 나머지 조건은 Case1과 동일

o 환기 상태 : 제3종 기계식 강제환기, 단 1회/시간

o Nominal Fire Heat Release Rate : 1,000kW

2) EPRI FHA Methodology에 의한 분석 및 실증 자료와의 비교

o Unconfined condition

o 기계 환기량 : $0.38\text{m}^3/\text{sec}$

o 가스의 팽창에 의한 유발 환기량 : $0.85\text{m}^3/\text{sec}$

- 따라서 자연환기 공간에 대한 해석(an unventilated space analysis)이 타당함

$$\Delta T_{\text{avg}} = 293 \left[\exp\left(\frac{Q_{\text{net}}}{Q_0}\right) - 1 \right] = 98 \text{ K}$$

- Q_{net} : 138.3 [MJ] (열손실계수 0.7, 연소효율 0.77 적용)

- $Q_0 = 353\text{KJ}/\text{m}^3 * 1,362\text{m}^3 = 480.7 \text{ [MJ]}$

$$\Delta T_{\text{plume}} = 25(Q^{2/3} / Z^{5/3}) = 123 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{ceiling jet}} = \Delta T_{\text{plume}} \frac{0.3}{\left(\frac{r}{H}\right)^{2/3}} = \frac{36.9}{\left(\frac{r}{H}\right)^{2/3}}$$

o EPRI FHA 방법론에 의한 결과 (비교 : FM/SNL test)

r/H	$\Delta T_{avg}(K)$	$\Delta T_{ceiling_jet}(K)$	T(K)	FM/SNL Test (#8)
0	97	123	513	Peak 온도 : 566 K - 차이 : 53K - 실온 : 293K
0.5	97	58	448	
1.0	97	37	427	
1.5	97	28	418	
2.0	97	23	413	

표 4. 1,000kW, 자연환기조건에서의 결과치

3) FPEtool Program 결과값과 EPRI FHA 결과와의 비교(비교 : FM/SNL test)

r/H	$T_{ceilingjet}(K/^{\circ}C)$: FPEtool	$T_{ceilingjet}(K)$: EPRI	비 고
0	500K (227 $^{\circ}C$)	513	FM/SNL Test의 최대 값(Serial #8) : 566K
0.5	444 (171)	448	
1.0	424 (152)	427	
1.5	417 (144)	418	
2.0	412 (139)	413	

표 5. 1,000kW, 자연환기조건에서의 결과치 비교

다. 분석 결과

1) 각 프로그램의 온도 산정 식

	EPRI 적용 공식	FPEtool/FAST 적용식	비 고
Plume 온도	$\Delta T_{plume} = 25 \frac{(Q)^{2/3}}{H^{5/3}}$	$T_{plume} = T_{\infty} + 22.2 \frac{(Q)^{2/3}}{H^{5/3}}$	r/H \leq 0.2
Ceiling 온도	$\Delta T_{ceiling} = \Delta T_{plume} \frac{0.3}{(r/H)^{2/3}}$ $= 7.5 \frac{(Q/r)^{2/3}}{H}$	$T_{ceiling} = T_{\infty} + 6.81 \frac{(Q/r)^{2/3}}{H}$	r/H > 0.2

표 6. EPRI 및 FPEtool/FAST의 적용식

2) Plume 및 Ceiling Jet 온도 계산

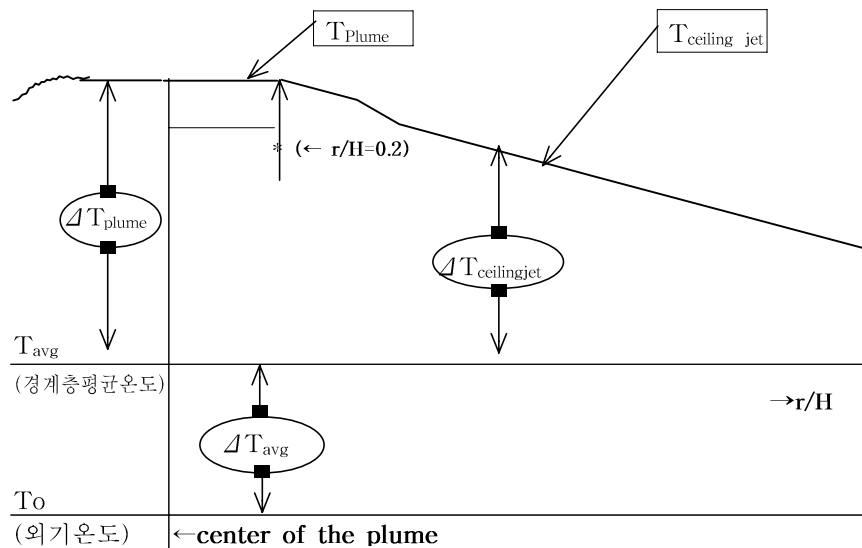


그림 1. 실내 화염축을 중심한 온도 분포와 Interface Layer 구분

3) FPEtool 결과 검토 및 EPRI FHA 분석치, FM/SNL 실증값과의 비교

① $r/H \leq 0.2$ 인 범위에서 FPEtool을 이용한 Tceiling jet 결과값 검토

· 이 범위는 Ceiling Jet Plume 영역이므로 Tceiling jet과 Tplume이 동일하여야 한다. 한편, FPEtool Technical Reference Guide 3.5항이나 컴퓨터 Program 화면에서 요구하는 실내(room/ambient)온도, T_{∞} 에 20℃를 2,000kW의 열발생률 환경에 적용할 경우 193℃(466K)의 Plume 온도를 얻게된다. 이 값은 인접 영역인 $r/H=0.5$ 에서의 Tceiling jet 온도인 236℃보다 낮으므로 온도구배 및 열분포 개념상 모순이 발생한다.

· 이에 따라 EPRI FHA의 적용식, $\Delta T_{plume} = 25 \frac{(Q)^{2/3}}{H^{5/3}}$ 와 Plume 및 Ceiling Jet

온도 계산 도표를 참조하면 T_{∞} 은 초기 실내온도가 아니라 화재가 발생한 이후 일정시점에서 Interface Layer의 평균온도가 되어야 하며, $T_{\infty} = T_o + \Delta T_{avg}$ 로 표시된다. Case 1과 2의 경우 이 온도를 계산하면 2,000kW의 열발생률 환경에서는 $T_{\infty} = T_o + \Delta T_{avg} = 20 + 132 = 152^{\circ}\text{C}(425\text{K})$ 를, 1,000kW의 상태에서는 $T_{\infty} = T_o + \Delta T_{avg} = 20 + 98 = 118^{\circ}\text{C}(391\text{K})$ 를 얻는다. 이에 따라 $r/H \leq 0.2$ 영역에서 Tceiling jet은 각각 325℃(598K) 및 227℃(520K)를 얻는다.

② 열발생률 2,000kW의 기계환기 상태 및 열발생률 1,000kW의 자연환기 상태에서의 FPEtool, EPRI FHA 및 FM/SNL 결과 비교는 그림 2와 그림 3에서 보여주고 있다.

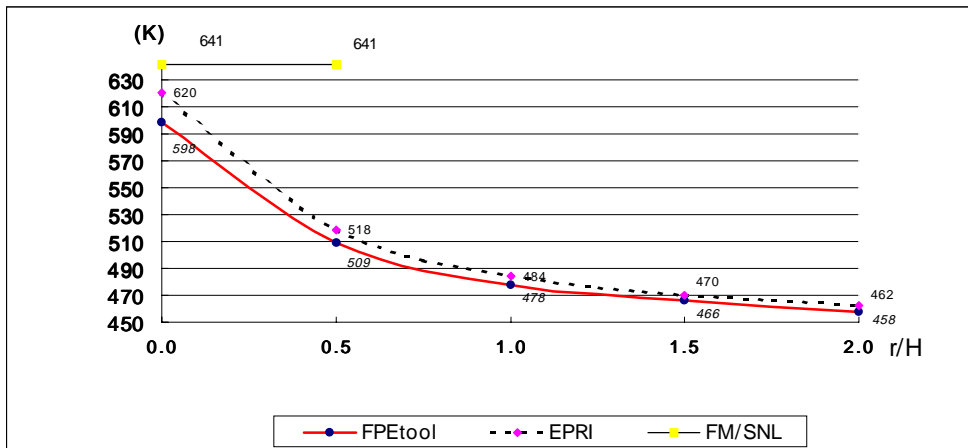


그림 2. 열발생률 2,000kW 및 기계환기 상태에서 화원 중심을 기준한 온도분포

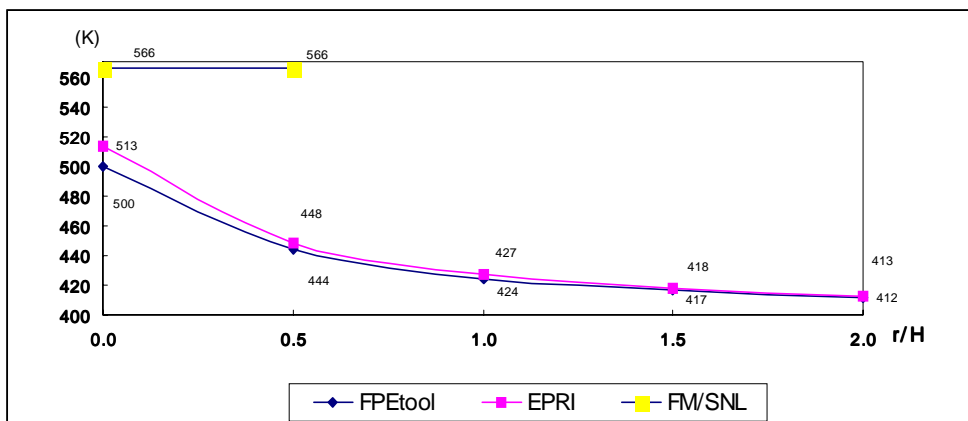


그림 3. 열발생률 1,000kW 및 자연환기 상태에서 화원 중심을 기준한 온도분포

상기 그림과 분석결과에서 다음 사항을 도출할 수 있다.

- Plume 온도는 FM/SNL의 실측값이 상대적으로 높으며 EPRI FHA의 평균값 대비 약 6.3%, FPEtool의 결과치 대비 약 9.2% 정도 차이를 보이지만, 이는 아래에서 검토된 바와 같이 실측값이 지나치게 높게 평가된 것으로 FPEtool 및 EPRI FHA를 이용한 값이 적절한 것으로 평가된다.
- FPEtool과 EPRI FHA의 결과값을 비교해 보면, 전반적으로 FHA 방법론에 의한 값이 높지만 약 1.3%의 미소한 차이를 보여 FPEtool의 적용성이 인정된다.
- 상기 그래프의 추세를 보면 FPEtool의 적용식은 FHA에서 사용된 식과 다소 차이가 있음에도 불구하고 거의 유사한 결과를 보여 그 타당성이 입증된다.

또한, FM/SNL test series에 적용된 방법론 및 보수성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- FM/SNL test series에서는 단순화된 화재모델의 위험도 분석을 위하여 Five의 Basic Screening Methodology를 이용한다.
- 이 방법에 대한 보수성을 확인하기 위하여 Case 1(열발생률 2,000kW 및 기계환기 상태)의 열발생률을 제외한 나머지 조건을 동일하게 가정한 상태에서 FPEtool의 ASHTBX를 이용하여 열발생률을 계산하였다. 이의 결과, 325℃의 Plume 온도에도달하기 위해서는 열손실계수를 0.7로 가정할 경우 7,463kW의 열이 필요하며 열손실계수를 0.8로 가정시 9,942kW의 열이 공급되어야 한다. 이는 2,000kW의 열발생률 상태에서 325℃의 Plume 온도를 얻는 FM/SNL의 평가 방법은 상당히 보수적 경향을 갖는 것으로 평가된다.

3. 결론

경수로 원자력발전소의 기존 화재방호 기준인 NFPA-803을 대체하는 NFPA-805가 미국 표준위원회(the Standards Council)에 의하여 2001년 1월 13일 공포되고 2001년 2월 9일부터 유효한 미국의 공식적 기준이 되었다. 이에 따라 성능위주의 화재 방호기준이 향후 원전의 각종 방호설비의 설계나 소화계통의 실용성 평가 및 구획 화재에서의 열적 거동 등 정량적인 분석에 사용될 것으로 전망된다.

이러한 측면에서 원자력발전소의 성능위주 화재방호 기준에서 제시된 컴퓨터 화재 모델링의 적용성을 평가하기 위하여, 가상의 화재 조건을 설정한 다음 실내의 온도 변화를 계산하였고 그 결과를 EPRI의 분석방법과 FM/SNL의 실증 실험자료와 비교하고 평가하였다. 이러한 결과 화재 모델링에 의한 평가 방법이 향후 원전의 각종 방호설비의 설계나 소화계통의 실용성 평가 및 구획 화재에서의 열적 특성 거동 등 정량적인 분석과 함께 그 결과를 이용하여 새로운 개선책을 제공할 수 있으며 원전의 운영기술지침서 개선 작업과 관련한 화재 위험도 분석에도 활용할 수 있다고 생각한다. 반면, 화재 모델링 방법론을 적용함에 있어 입력자료와 변수에 대한 신뢰도 평가, 불확실성 개선 방안, 공인 프로그램 개발 및 PRA 등 기존 방법론과의 상호 연계성 등은 향후 지속적으로 연구하여야 할 분야로 판단된다.

참 고 문 헌

1. NFPA 805, Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants. (2001 Edition)
2. NFPA 803, Standard for Fire Protection for Light Water Nuclear Power Plants. ('93 edition)
3. NISTIR 5486-1, "Technical Reference Guide for FPEtool Version 3.2", U.S. Department of Commerce, Technology Administration, NIST
4. "A User's Guide for FAST : Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport('20 edition)", U.S. Department of Commerce, Technology Administration, NIST
5. NUREG-1521, "Technical Review of Risk-Informed, Performance-Based Methods for Nuclear Power Plant Fire Protection Analysis(Draft for Comment)
6. Regulatory Guide 1.174, "An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decision on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis"
7. Regulatory Guide 1.189, "Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants", April, 2001
8. SRP 9.5-1 ; Standard Review Plan(NUREG-0800)
9. Appendix A to BTP 9.5-1 ; Branch Technical Position APCS 9.5-1 "Guidelines for fire protection for nuclear power plants docketed prior to July 1, 1976"
10. Appendix R to 10 CFR 50 ; Fire Protection Program for Nuclear Power Facilities Operating Prior to Jan. 1, 1979
11. 10 CFR 50.48 ; Fire Protection
12. EPRI TR-108799, "Planning for Risk-Informed and Performance-Based Fire Protection at Nuclear Power Plant", Final Report, December, 1997
13. EPRI TR-105928, "Fire PRA Implementation Guide", Final Report, December, 1995
14. EPRI TR-100443, "Methods of Quantitative Fire Hazard Analysis", Final Report, May, 1992
15. Fire Protection Handbook(18 edition), NFPA
16. SFPE Fire Protection Engineering(2nd Edition), SFPE