

원전 화재방호를 위한 성능위주기준의 이행

Implementation of a Performance-Based Standard for Fire Protection of Nuclear Power Plants

Harold T. Barrett

□ 도입

원자력 에너지는 현재 미국에서 소비되는 전기에너지의 약 20%를 공급하고 있다. 원자력 발전소를 가동하기 위해서 전력 공급 회사들은 이러한 발전소를 화재로 인한 위험으로부터 효과적으로 관리하여야 한다.

원자력 발전소에서 화재위험을 관리하는 것은 여러 가지 이유로 간단한 문제가 아니다. 발전소는 원래 다뤄야 할 많은 화재위험성을 가지고 있는데, 특히 핵발전소는 원자력이라는 추가적인 위험을 안고 있다. 발전소 자체가 복잡함은 물론 설계도 다양하다. 심지어 반응로를 차단해 핵 연쇄반응이 끝난 후에도 핵연료 안의 방사능 분열 물질이 계속해서 붕괴열을 발생시킨다. 핵발전소는 필수 시스템이 계속해서 붕괴열을 제거할 수 있도록 설계되고 가동되어야 한다.

핵발전소를 효과적이고 경제적으로 가동하기 위해서 대부분의 플랜트 기능을 중앙 통제실에서 원격으로 제어할 수 있도록 설계한다. 이로 인해 발전소 내 상대적으로 좁은 지역에는 초고밀도 제어 케이블을 필요로 하게 된다. 이들이 화재에 노출되면 손상되어 기능을 하지 못하거나 바라지 않는 동작을 하게 된다. 제어와 반응로 냉각 모두에 필요한 필수 시스템의 제어 유지는 화재 발생시와 그 이후에 있어 어려운 과제이다.

NFPA 805¹⁾는 원자력 발전소에서 능률적이고 효과적으로 화재위험을 관리하기 위해 개발된 기준이다. 이 기준은 핵발전소 인가자가 화재를 분석하고 관리하기 위한 규정위주의 방법과 성능위주의 방법 모두의 복합 수행을 통해 유연성을 제공해준다. 핵규제 위원회(NRC)는 NFPA 805의 자발적 적용을 허용할 수 있도록 연방규정을 개정하였다.

□ 배경

1975년 3월 22일, 브라운 페리 원자력 발전소²⁾에서 화재가 발생하였다. 케이블이 깔려 있는 방에서 작업자들은 반응로 벽체에 설치된 전기 관통 밀폐제의 누설시험을 하고 있었다. 누설시험은 밀폐제를 통과하는 공기의 누설을 관찰하기 위해 촛불을 사용하였다.

초의 불꽃이 폼을 착화하였고, 밀폐제의 틈새를 통한 공기누설 때문에 화재는 더욱 성장하였다. 화염은 또한 관통부를 통과하는 전기 케이블 위의 단열재에 착화하였다. 화재

는 케이블룸과 원자로 빌딩의 전기 케이블에 광범위한 손상을 일으켰다.

케이블의 화재 손상은 원자로를 차단하는데 사용하는 장비와 사고를 줄이는데 사용되는 거의 모든 장비의 기능적인 손상을 야기하였다. 게다가 화재는 전압이 인가되지 않은 전선들이 전압이 인가된 다른 전선들과 접촉하게 만들어 수많은 장비들의 불필요한 작동을 야기하였다.

이 사고에 대한 조사에서 발전소 설계와 사고 경감 절차 모두에 있어 문제점이 있음을 확인하였다. 또한 화재방호 프로그램(FPPs)의 화재시 안전정지 능력 유지 여부를 적절히 다루지 못하였다. 1970년대 후반 핵규제 위원회(NRC)가 브라운 페리 원전에서 확인된 문제점을 다루는 화재방호 프로그램에 대한 향상된 가이드라인을 개발하였다. 그 가이드라인은 포괄적인 기술적 지위로서 발간되었는데 표준 리뷰 플랜 - NUREG 0800³⁾과 부차적 기술지위(BTP) 9.5-14⁴⁾, 그리고 관련 부록 A 안에 있다.

1981년 NRC는 원자력 발전소를 안전하게 정지할 수 있는 능력에 대해 화재가 가질 수 있는 영향력을 다루는 가이드라인을 개발하였다. 이 가이드라인들은 이미 규정 10FCR50.48⁵⁾의 출판에 따라 가동중인 모든 원자력 발전소와 10CFR50 부록 R⁶⁾의 기술적 요구사항에 대해 만들어졌다.

과거 25년간 원자력산업은 규범적이고 고정적인 규정을 처리하는데 전력해왔다. BTP 9.5-1과 부록 R을 따르는 화재방호 프로그램의 수행은 비용도 많이 들고 어려운 일로 입증되었다. 원자력 발전소의 현재의 전력생산이 애초부터 규정을 만족하기 위한 필수 분할과 구획화를 다루도록 설계되지 않았기 때문에 부록 R은 특별히 어려운 문제로 인식되어 왔다. 원전은 부록 R의 요구사항을 만족하기 위하여 수정되어야 했다. 부록 R 규정의 비유연성 때문에 대략 900개의 문서가 각각의 경우에 따라 승인되었다.

성능위주·위험정보기반(PB/RI) 화재방호 프로그램(FPP)의 수행은 원전 인가자가 그들의 화재 위험도를 정량화하는 것을 가능케 할 것이고, 핵안전에 대해 가장 큰 영향을 미치지만 효과적이고 경제적으로 위험도를 관리할 수 있는 측정을 수행하는데 집중하도록 해줄 것이다.

□ NFPA 805 기준

NFPA 805는 기존의 규정위주의 화재방호 프로그램 인가방식에서 성능위주 위험정보기반(PB/RI) 인가방식으로 전환하는 효과적인 방법을 제공하기 위해 작성되었다. NFPA 805로 전환하는 동안에 인가자는 기존의 화재방호 프로그램을 NFPA 805의 기준과 비교해 볼 필요가 있다. 화재방호 프로그램이 NFPA 805의 요구사항을 충분히 만족하지 않는다고 판단될 때 인가자는 성능위주의 평가를 수행하도록 허용되고 또한 그 기준에서 제공된 목표, 목적, 성능기준을 사용할 수 있다. 만약 성능위주의 평가가 목표, 목적, 성능기준이 모두 충족된다고 판단되면 추가적인 수정이나 변화 없이 조건이 수용될 수 있다.

NFPA 805를 수행하는데 이용하는 규정 체제는 자발적인 것이다. 인가자는 새 기준을 수행하도록 강요받지 않는다. 그러나 산업계와 NRC는 상용 원자력 발전소의 화재방호를

다루는 최선의 종합 해결책인 NFPA 805에 따른 PB/RI FPP로의 전환을 강력히 추진해 왔다. 원자력 발전소의 인가자들이 NFPA 805를 채택하도록 독려하기 위하여 NRC는 전환 기간 동안 강제 결정을 인정해왔다. 이것은 확인된 문제들을 위반으로 여기지 않는 것을 의미하며, 그것들이 확실한 기준을 만족하고 있고 그 전환의 일부로서 수정될 것임을 제공하였다. 이것은 인가자가 불복종 항목을 NFPA 805 전환의 일부로서 확인하고 수정하도록 용기를 주는데 도움이 될 것이다.

♣ NFPA 805의 주요 항목

제1장 도입

제2장 방법론

제3장 기초 화재방호 프로그램과 설계요소

제4장 화재방호 시스템과 특징의 결정

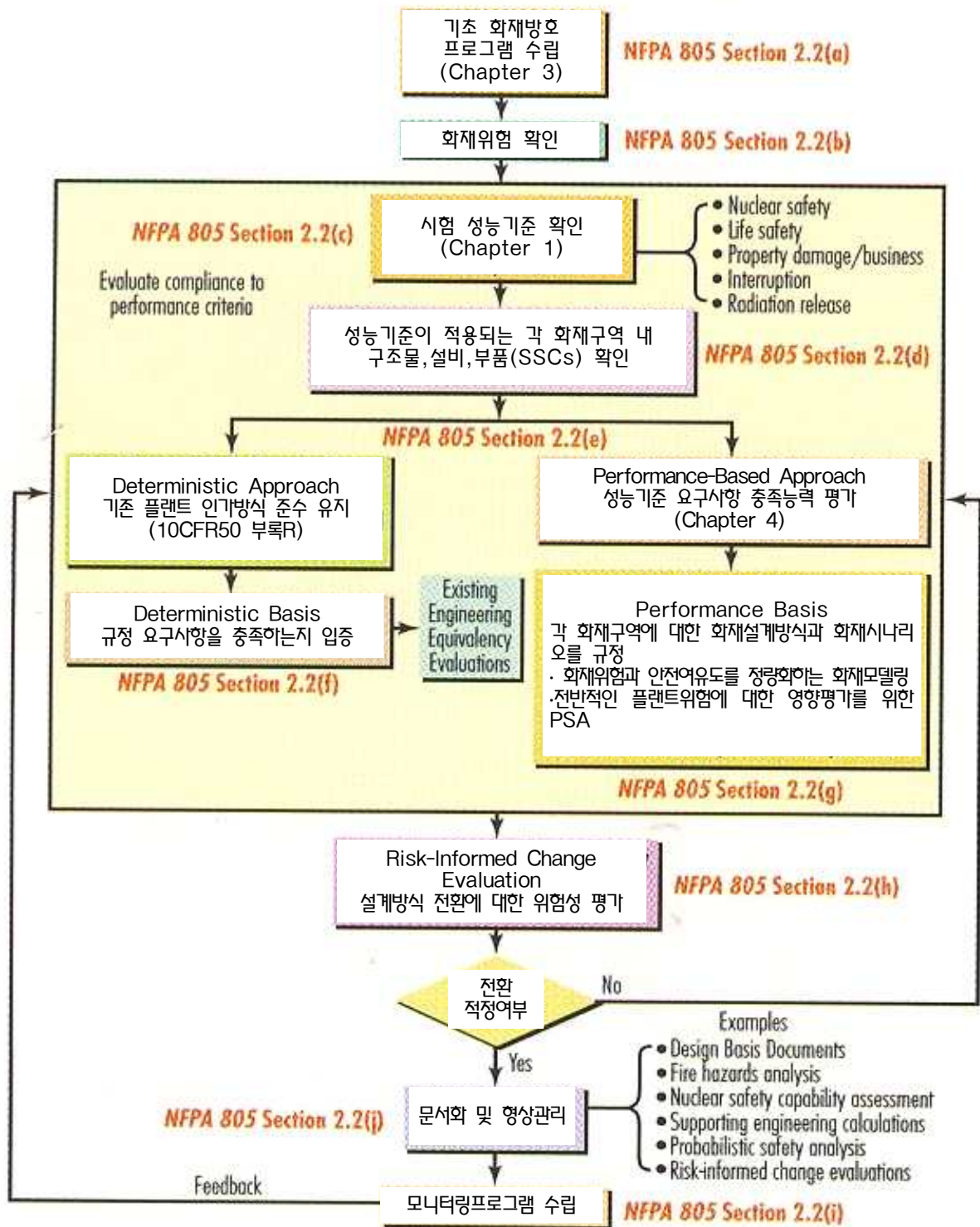
제5장 사용중지 및 영구정지 동안의 화재방호

제6장 참고문헌

부록 A 설명자료

NFPA 805는 또한 NRC 규정에 없었던 몇 가지 새로운 요구사항을 가지고 있다. 화재 위험은 가연물이 어떠한 작동 모드에서도 안전하고 안정된 조건에서 유지되는 적절한 보장이 제공되도록 통제되어야 한다. 게다가 방사능 유출은 비제한 지역으로의 유출이 허용치 이하(ALARA) 또는 10CFR20 제한치⁸⁾ 이하로 유지되도록 관리되어야 한다.

NFPA 805로의 전환의 일부로서 수행되고 있는 몇 가지 새로운 과정이 있다. NFPA 805 하의 유용한 PB/RI 방법론은 최신 기술의 화재 확률론적 위험성평가(PRA)의 개발과 이용을 필요로 한다. PRA는 변화 평가 과정과 연계하여 사용된다. 이 새로운 과정은 인가자 수행변화에 대해 자체 입증된 변화과정인 10CFR50.59⁹⁾와 매우 유사하다. 변화 평가는 자체승인 면제나 또는 화재 후 안전정지 요구사항에 대한 회피수단으로 이용될 수 있다. 그것은 또한 화재방호 프로그램, 기초 프로그램, 설계요소에 대해 NRC에게 PB/RI 인가 개정 요구사항을 문서화하고 정당화 하는데 이용될 수 있다. 변화 평가 과정의 일부로서 수행되고 있는 새로운 특징은 각 변화 평가에서 화재위험, 방어의 정도, 안정 여유 등을 고려해야 하는 점이다.



[그림 5] NFPA 805 개요

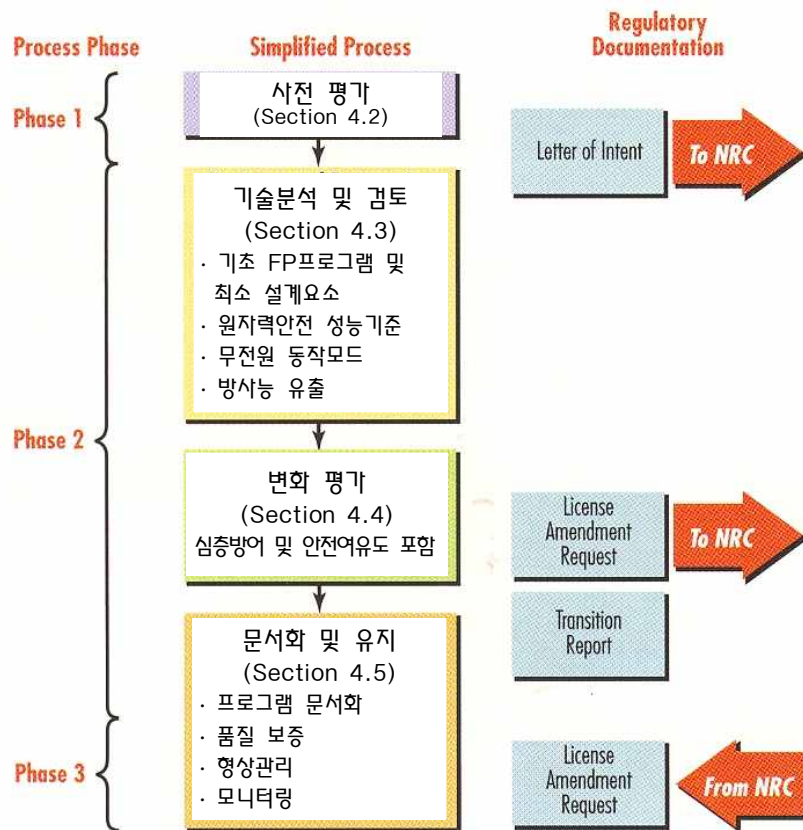
□ 수행 지침

원자력 산업은 NFPA 805 전환을 수행하는데 이용되도록 지침 문서를 개발하는데 상당한 자원을 투자해왔다. 핵에너지위원회(NEI) 문서 NEI 04-02⁷⁾가 전환 과정을 수행하는데 필요한 정보를 제공하기 위하여 개발되었다.

지침 NEI 04-02를 이용한 전환은 아래 3단계로 구분된다.

1. 사전평가(초기 비용 이익 해석, 사전평가, NRC에 문서 제출)
2. 분석 및 인가 개정 요구(LAR) (화재 PRA를 포함한 공학적 해석, 변화평가, 무전원 동작 확인과 방사능 유출 확인)
3. 전환 완료(프로그램 수행 완료)

[그림 2]는 전환 과정의 도식자료를 나타낸다.



[그림 6] NFPA 805 전환의 각 단계

NFPA 805로의 전환에 대한 노력의 대부분이 공학적 해석을 많이 수행하는 2단계에서 소비된다. [그림 3]은 변화과정의 개략도이다.

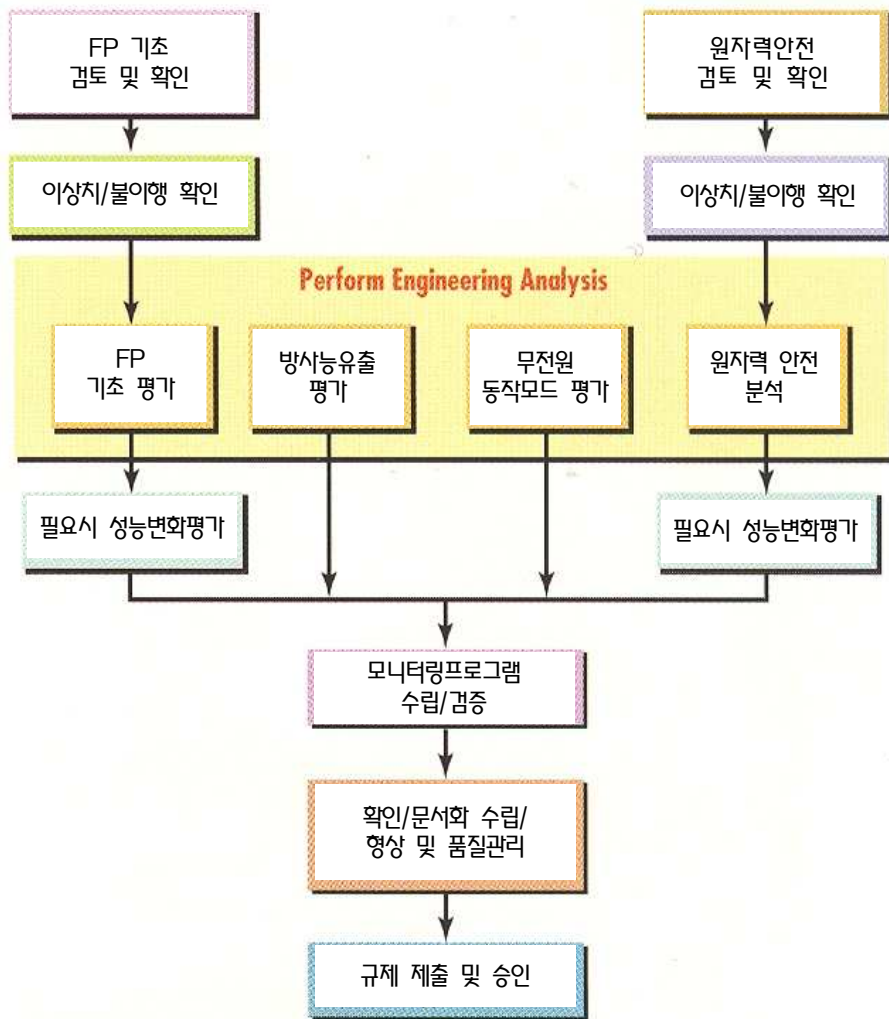
이러한 해석은 기존의 FPP 특성에서 NFPA 805 기준으로의 전환과 함께 시작된다. 이 과정은 새 기준에 대한 현재 특성의 매핑(寫像)이라 불린다. 매핑은 표 형태로 대부분 효

과적으로 문서화된다. NEI 04-02는 이 전환의 일부를 수행하기 위한 가이드라인 표를 제공해 준다. 이 매핑의 목적은 새로운 NFPA 805 요구사항에 대해 현재의 응낙상태로 결정하기 위함이다.

FPP 속성이 NFPA 805 요구사항에 들어맞지 않을 때 상황은 변화평가 방식을 이용해 평가될 수도 있다. 변화평가 방식의 결과에 근거하여, 만일 상황의 위험도가 수용할 만큼 낮지 않다면 인가자는 필수 시스템과 구조 또는 NFPA 805 요구사항을 따르는 구성성분을 수정하거나 NRC로부터 NFPA 805 요구사항의 도움을 요청하는 선택을 한다.

NEI 04-02는 이 변화평가를 어떻게 수행하고 적절히 문서화할까에 대한 상세한 안내를 제공해준다. 부록 I와 J는 성공적인 적격심사를 수행하는데 이용되도록 상세한 점검항목을 제시해 주는데 이는 정확도를 검증하는데 어떤 수준의 리뷰(실제 전인원은 물론 기능 세트)가 필요한지를 결정하기 위함이다. 부록 D는 NFPA 805 과정의 일부로서 이용될 때 화재 모델링을 수행하고 적절히 문서화하는 방법에 대한 상세한 안내를 제공한다.

NEI 04-02는 또한 모든 필요한 인증 문서를 개발하기 위한 세부 지침을 제공해주며, 계획서, 전환 보고서, 인가 개정요구서와 같은 모든 제출물에 대한 템플릿을 포함한다.



[그림 7] 전환 과정

NFPA 805는 PB/RI 기준이기 때문에 화재에 대한 위험도 분석을 개발하는데 있어 중대한 노력이 확장되고 있다. 산업분야 전문가와 NRC 연구원들 간의 공동 노력이 전환을 지지하는 화재 PRA의 개발에 대한 지침을 만들어냈다. EPRI/NRC 공동연구 문서인 EPRI1008239/NRC-RES NUREG/CR 6850¹⁰⁾이 NFPA 805의 지지 속에 최신기술의 화재 PRA를 개발하기 위해 필요한 세부 지침을 제공하기 위해 개발되었다. 이 지침은 현재 NFPA 805로의 전환을 수행하는 모든 발전소에서 화재 PRA를 개발하는데 이용되고 있다.

□ 파일럿 과정

NFPA 805로의 전환이 시도된 적이 없었기 때문에 전환 과정에 참여한 자들은 파일럿 과정을 수행하고 있다. 파일럿 과정의 목적은 세 가지로 구분될 수 있다.

- 1) 기준의 개념을 증명하기 위해
- 2) 인가자가 어떻게 NFPA 805로의 전환을 수행할 것인가에 관한 세부사항을 도출하기 위해
- 3) 파일럿 과정에서 학습된 다양한 교훈을 원자력 산업의 다른 분야에 의사소통하기 위해

파일럿 과정은 또한 NRC 기술 리뷰팀과 지역 조사관 모니터링과 전환 승인 모두에 대한 지침을 개발하기 위해 사용된다.

두 개의 원전 지역이 파일럿 지역으로 지정되었다. 사우스 캐롤라이나에 있는 듀크 에너지 3단위 Oconee Nuclear Station과 노스 캐롤라이나에 있는 프로그레스 에너지 1단위 Shearon Harris 원자력 발전소이다.(양쪽 파일럿 시설에서 전환 과정이 현재 진행 중이다. 전환 활동은 2005년 여름에 시작되었고, 양 파일럿 지역은 2008년 여름에 LAR을 제출할 것으로 기대된다.)

파일럿 발전소 인가자들은 대략 분기에 한 번 꼴로 수차례 NRC 파일럿 사찰 방문을 주최하였다. 이러한 각 미팅은 파일럿 팀의 진행과정으로부터의 정보 공유와, 전환 세부사항에 익숙케 하고 잘 이해하기 위한 조절자와의 작업, 파일럿 과정 동안 확인된 행동 항목을 분류하는 데에 관련되어 왔다. 파일럿 발전소는 NFPA 805 기반의 FPP로의 공식 전환에 대한 인가 개정 요구사항은 물론 그들의 전환 보고서를 제출할 것으로 기대된다. 분석 및 인가 개정 요구사항을 수령함에 따라 NRC 직원은 새로이 개발된 표준 리뷰 플랜(SRP) 지침의 이용과 이에 따른 LAR의 승인을 통하여 파일럿 과정을 계속할 것이다. 파일럿 과정은 또한 파일럿 지역의 NRC 조사지침의 개발과 조종을 포함한다.

현재까지 전부 42개의 원자력 발전소(파일럿 4, 추가 38)가 NFPA 805로의 전환을 자원하였다. 이들 추가 인가자들은 파일럿 과정에서 얻어진 정보들을 NFPA 805로의 전환을 수행하기 위해 또한 이용하고 있다. 교차 계획이 2008년 중순에서 대략 2016년 까지 분석과 인가 개정 요구사항의 제출과 함께 이용되고 있다.

□ References

1. NFPA 805, "Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants," National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2001.
2. NUREG 0050, "Recommendations Related to Browns Ferry Fire, Report by Special Review Group," Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1976.
3. NUREG 0800, "Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants," Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2007.
4. Branch Technical Position(BTP) SPLB 9.5-1 Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants," Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2003.
5. Title 10, Code of Federal Regulations, Section 50.48, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2007.
6. Title 10, Code of Federal Regulations, Section 50, Appendix R, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2007.
7. NEI 04-02, "Guidance for Implementing a Risk-Informed, Performance-Based Fire Protection Program Under 10CFR50.48(c)," Nuclear Energy Institute, Washington, DC, September 2005.
8. Title 10, Code of Federal Regulations, Section 20, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2007.
9. Title 10, Code of Federal Regulations, Section 50.59, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2007.
10. EPRI 1008239/NRC-RES NUREG/CR 6850, "Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities," Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2005.

출처 : Fire Protection Engineer (2007 Fall)

번역 및 편집 : 소화연소팀 공학박사 곽지현