

원자력발전소 시뮬레이터 기술규제 고찰

홍진혁^o, 이명수

한전전력연구원 원자력연구실 원전계전그룹
시뮬레이터 개발팀

Investigation of the Regulatory Requirements for Nuclear Power Plant Simulators

Jin Hyuk Hong , Myeong Soo Lee
Nuclear Instrumentation & Control Group
Nuclear Power Laboratory
Korea Electric Power Research Institute

Abstract

원자력 발전소 시뮬레이터는 고도의 안전성과 정밀성을 바탕으로 운전원이 실제 상황과 동일한 환경하에서 실습할 수 있도록 해주는 모의 훈련장치로서 발전소 운전원 운전능력 배양, 운전절차서 검증 및 개발, 제어기법 사전 점검 및 안전도 분석, 운전방법 개선 등을 가능케 하고 있다. TMI 사고이후 원자력발전소 시뮬레이터의 중요성이 강조되어 운전원 훈련의 필수요건으로 추가되고 있으며, NRC 등에 의해 인허가된 시뮬레이터를 운전원 시험 (RO, SRO 시험)에 사용토록 하고 있다. 우리나라에서는 아직 인허가를 요구하고 있지 않지만 조만간 시뮬레이터에 대한 규제가 예상되고 있다. 그러나 현재 시뮬레이터에 대한 규제요건 분석이 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이를 위해 본 논문에서는 시뮬레이터에 대한 미국 등 외국의 규제 방침, 기준 및 요건 등을 분석하고 있으며, 향후 기존 시뮬레이터 개정 및 신규 시뮬레이터 개발시 규제요건 만족에 상당한 도움을 줄 수 있을 것이다.

I. 서론

원자력 발전소 시뮬레이터는 고도의 안전성과 정밀성을 바탕으로 운전원이 실제 상황과 동일한 환경하에서 실습할 수 있도록 해주는 모의 훈련 장치로서 발전소 운전원 운전능력 배양, 운전절차서 검증 및 개발, 제어기법 사전 점검 및 안전도 분석, 운전방법 개선 등을 가능케 하고 있다. TMI 사고이후 원자력발전소 시뮬레이터의 중요성이 강조되어 운전원 훈련의 필수요건으로 추가되고 있다.

NRC에서는 원자력 발전소 운전원의 자격시험에 관

한 규정 10CFR55(1987)이래로 시뮬레이터 성능 요구조건 및 훈련에 관해 여러개의 공식 문건들을 발행해 왔다.

이중에서도 원자력 발전소의 시뮬레이터의 성능 (Performance)에 관해서는 ANS-3.5(1988)에 가장 자세히 나와 있으며 시뮬레이터 인가 (Certificate)를 받기 위해 필수적으로 만족해야 하는 표준규격이다. 그러나 이 규격이 비교적 자세히 각 성능 규격을 규정하고 있다고는 하지만 일반적인 기술에 불과하며 각 시뮬레이터의 여러 가지 특수한 사정을 다 고려하고 있지는 않으며 기본적인 원칙을 응용하여 그때 그때의 특별한

상황에 적용해야 할 것이다.

우리나라에서는 아직 시물레이터의 면허시험 사용에 있어 인허가를 요구하고 있지 않지만 조만간 시물레이터에 대한 규제가 예상되고 있다. 미국의 예를 보면 NRC에서 여러번에 걸쳐서 발행된 규제지침을 특별한 상황(모의 범위 선정, 모의 정도 결정, 성능개선 필요 등)에 적용 시키는데 많은 혼란을 겪어 왔다. 본 논문에서는 시물레이터에 대한 미국 등 외국의 규제 방침, 기준 및 요건 등을 분석하고 여러 가지 비교를 통해, 의사 결정하는 방안(혹은 원칙)을 제시함으로써 향후 기존 시물레이터 개정 및 신규 시물레이터 개발시 규제요건 만족에 상당한 도움을 줄 수 있을 것이다.

II. 본론

1. 규제배경

시물레이터에 대한 NRC의 입장은 운전원 인허가 시험용으로 발전소 기준 (혹은 그와 동등한) 시물레이터를 제공하라는 것이다. 품질보증된 시물레이터 개발 및 유지보수는 사업자에 달린 것이다.

본 절의 목적은 시물레이터 규제관련 문헌을 조사하여 요약하고, 문헌간의 관계를 개략적으로 서술하기 위함이다.

1.1 10CFR55

10CFR55는 사업자에게 법으로서 요건을 부과하는 유일한 문서로 시물레이터 요건의 근간은 55.45(a)의 13개 영역의 운전시험이다. 시물레이터 승인 혹은 인증시 도출되는 임의의 문제영역에 대해서는 13개 영역을 어떻게 보조하는가의 측면에서 검토가 이루어져야 한다.

1.2 Regulatory Guide 1.149 (RG 1.149)

RG 1.149의 목적은 10CFR55 규정에 부합하기 위해 ANSI/ANS-3.5-1998 (이하 "표준서"라 한

다.)를 인증함으로 규제기관이 허용하는 방안을 제시하기 위함이다. 본 규제지침은 표준서와 더불어 다음과 같은 몇 가지의 주요한 지침을 부과하고 있다.

- 표준서에서 제시된 Malfunction중 1년에 25%정도는 시험을 할 것.

- 표준서의 부록을 필수 부분으로 고려할 것.

또한, 본 규제지침에서는 단일 시물레이터의 다수호기에서의 인증 지침을 제공하고 있다.

1.3 ANSI/ANS-3.5-1998

본 표준서는 시물레이터에 대한 가장 상세한 요건 및 기준을 제시하고 있는 문서이다. 특히, 운전원 훈련 및 시험을 위한 원자력 발전소 시물레이터의 기능적 요건의 모든 분야를 언급하고 있다. 본 표준서에서 제공되는 상당수의 요건 및 기준이 다양한 원전설계에 적절히 적용되도록 훈련 필요성 평가(Training Needs Assessment)를 통한 분석으로 조정할 여분을 가지게 하고 있다. 본 표준서를 적용함에 있어서 몇 가지 주의점은 다음과 같다.

첫째, 표준서는 훈련에 초점이 맞추어서 개발된 것이지만 규제기관은 인허가 시험에 적용할 수 있다는 것이다. 둘째, 표준서는 RG 1.149 및 10CFR55에서 변경된 문서로 규정의 용어나 내용이 재해석되었다. 따라서, 시물레이터 요건을 결정할 때 여러 문서를 함께 고려하는 것이 바람직하다. 셋째, 표준서에서 제공되는 요건 및 기준은 10CFR55에서 언급된 운전시험의 13개 항목측면에서 평가해야 한다는 것이다.

1.4 NRC Form 474

NRC Form 474는 시물레이터를 인증하는데 사용되는 NRC 형식이다. 보조문서와 더불어 본 형식을 제출하는 것이 시물레이터를 운전원 인허가 시험용으로 사용하기 위한 필수사항이다. 사업자는 다음 사항을 도출해야 한다.

- 규정 예외사항들

- 인증을 받기위한 성능검사

- 다음 4년동안 수행될 성능검사 일정
- 전번 인증시 수행되었던 성능검사에서의 변경 사항들
- (필요시) 재인증(Re-certification)을 위한 조치 사항들

1.5 NUREG-1262

NUREG-1262는 NRC가 주최한 10CFR55에 관한 공청회에서 제기되었던 질의에 대한 답변서이다. 본 문서에서 인증, 승인, 다수호기 인증, 예외 및 면제사항들, 검사 등에 대한 다양한 현안을 다루고 있어 규정에 대한 복잡하고 오해하기 쉬운 여러 분야에 대한 부가적인 정보를 제공해 주고 있다.

1.6 NUREG-1258

NUREG-1258은 인증된 시뮬레이터에 대한 검사 절차서에 대해 다루고 있다. 본 문서에서 부가적인 요건은 없으며, 규정서, 규제지침서 및 표준서를 참고하고 있다. 검사는 시뮬레이터 설계 및 문서에 대한 소외 (off-site) 검토와 성능검사를 포함한 소내 (on-site) 검토로 이루어져 있다. 또한 불일치사항 도출시 검사팀이 취해야 할 조치사항에 대한 지침을 제공한다. 불일치사항의 심각도에 따라 다음과 같은 4가지의 기본적인 조치사항이 있다.

- 정정 권고 (시험은 계속됨)
- 정규 개정 일정에 따른 정정 요구 (시험은 계속됨)
- 촉박한 정정 요구 (관련 절차서, 계통 혹은 사고에 대한 검사는 행하지 않음)
- 인증 상실

본 문서는 규제기관에서 가장 촘촘있게 다루어질 시뮬레이터 자료 및 특성에 대한 안목을 제공해 준다.

1.7 ES-301, ES-302 (Examiner Standards)

시험관 표준서(Examiner Standards)는 명백히

요건으로서 부과되지는 않지만 시뮬레이터에 간접적으로 영향을 미친다. 본 문서들은 시뮬레이터에 대한 성능검사 개발지침을 제공해주고 있다.

1.8 INPO 86-026

INPO 86-026은 요건으로 부과되지는 않지만, 훈련 프로그램 승인요건을 제공한다. 따라서, 시뮬레이터 개발, 유지보수 과정에 영향을 끼친다.

1.9 국내법

과기부고시 46은 원자로조종 감독자 면허 및 원자로조종자 면허 소지자에 대한 보수 교육 규정으로서 보수교육 내용중 모의제어반 실습을 요구하고 있다.

2. 요건 및 기준

본 절의 목적은 1절의 규제관련 문헌상에 제시된 시뮬레이터 적용 요건 및 기준을 5개의 범주로 분류하고, 각 범주별로 요건 및 기준을 제시하고 분석하기 위함이다.

요건 및 기준은 다음과 같은 5개의 범주로 나눌 수 있다.

- 기능적 정확도
- 물리적 정확도
- 시뮬레이터 제어능력
- 형상관리
- 인증

2.1 기능적 정확도

2.1.1 범위

모의 운전 및 사고를 선정하기 위해서는 4가지 주요인자가 있다.

- 표준서

- 기준발전소 운전 절차서
 - 기준발전소 운전이력 (History)
 - 훈련 프로그램
- 규제자와 사업자의 관점이 틀리기 때문에 우선순위는 각자가 다를 수 있다. 모의 범위를 결정하기 위해 다음 지침을 따라야 할 것이다.
- 모의 범위를 결정하는데 있어 훈련 요건이 주된 요소로 작용해야 한다. 먼저 훈련요건이 수립된 이후에 규제요건에 의거한 모의범위 확장이 이루어져야 할 것이다.
 - 표준서 3.1.3 및 3.1.4에 제시된 모든 운전 및 Malfunction이 포함되어져야 할 것이다.
 - 표준서가 어느정도 허용을 가지는 운전 및 사건들 (즉, 감시, 단일/순차/동시 Malfunction)의 경우 운전원 시험 수단이 강구되어야 할 것이다.
 - 시뮬레이터가 운전원이 절차서를 수행하는데 필요한 판단을 하기에 충분한 지시를 할 수 있을 정도까지 발전소 절차서에서 모의 범위를 정의해 주어야 한다.
 - 모든 발전소 이력사건이 검토되어야 한다. 특정 사고를 모의범위로 선정할 것인가에 대한 판단시 다음 현안들을 고려해야 한다. 먼저, 사건과 훈련/시험과의 관련정도가 평가되어야 한다. 만일 사건이 관련된다고 할 때, 발전소 자료가 평가되어야 한다. 만일 그 사건을 복제하기에 충분한 자료가 있다면, 그 사건에 대한 유일성이 평가되어야 한다. 유사한 사건이 없다면, 새로운 사고로 포함되어져야 한다.

2.1.2 정상상태 운전

정상상태 운전에 대한 요건은 표준서 4.1.3절, B1.1절, B3.1절에서 다루고 있으며, 3개의 다른 출력에서의 열평형시험을 기초로 하고 있다. 표준서에서는 기록해야 할 변수집합을 규정하고 있으며, 필수 변수에 대해서는 1% 혹은 2%의 편차를, 비필수 변수에 대해서는 10%의 편차를 허용하고 있다. 또한 발전소 자료가 가용한 출력을 선정할 것을 요구하고 있으며, 25%, 75%, 100%

출력을 하기를 권고하고 있다.

상기 요건이외에 다음 요건도 만족해야 한다.

- 질량 및 에너지 보존법칙이 만족되어야 한다.
- 시뮬레이터 계측기 오차는 참조발전소에서의 계측기, 기록계 및 관련 계측시스템의 것보다 크지 않아야 한다.
- 변수차이로 인한 훈련장애는 없어야 한다.
- 제어실외부 계통에 대한 운전원 연계는 기준발전소의 경우와 유사해야 한다.

2.1.3 과도운전

과도운전에 대한 요건은 표준서 4.2절, B1.2절, B3.2절에서 나타난다. 표준서 3.1.3절 및 3.1.4절에서 도출된 정상운전 및 Malfunction중 정상상태가 아닌 것에는 모두 과도운전에 대한 기준이 적용된다. 더욱이, 매년 운전성 시험을 해야하는 표준서 부록 B의 Benchmark 과도상태에서도 적용이 된다.

과도상태는 고유의 기준이 있는 다음의 서로 다른 3개의 종류가 있다.

- 시운전 시험절차 허용기준이 존재하는 과도상태 (여기에서는 시운전 시험 기준을 사용하여 평가한다.)
- 표준서에서 정상운전 및 Malfunction으로 도출된 것 중 적절한 시운전 시험절차 허용기준을 가지고 있지 않은 과도상태 (이들에 대한 기준은 다음과 같다.)
 - 변수 변화가 올바른 방향인가?
 - 물리법칙에 위배되지 않는가?
 - 발생해야만 하는 경보 및 자동 조치가 발생하는가?
 - 발생하지 말아야 하는 경보 및 자동 조치가 발생하지 않는가?
- 상기 2가지 범주에 들어가지 않는 과도상태 (이들에 대한 기준은 다음과 같다.)
 - 변수 변화가 올바른 방향인가?
 - 물리법칙에 위배되지 않는가?
 - 계통간의 상호작용이 종합 계통반응으로 되는가?
 - 제어실외부의 계통에 대한 운전원 연계는 기준발전소의 경우와 유사한가?

2.1.4 실시간 성능

모의되는 모든 운전 및 Malfunction은 실시간으로 발생해야 한다. 그러나, 실시간이라는 것은 가장 평가하기 힘든 것 중의 하나이다. 모의결과에 영향을 끼치는 요소들이 너무 많기 때문이다. 또한, 제어판 주시만으로는 시물레이터가 실시간을 벗어났다는 것을 발견하기도 어렵다. 통상적으로 실시간 성능평가를 위해서 컴퓨터 부하 및 변수 그래프에 대한 분석이 요구된다.

실시간 성능평가를 위한 하나의 해답은 Benchmark 과도상태를 기초로 평가를 하는 것이다.

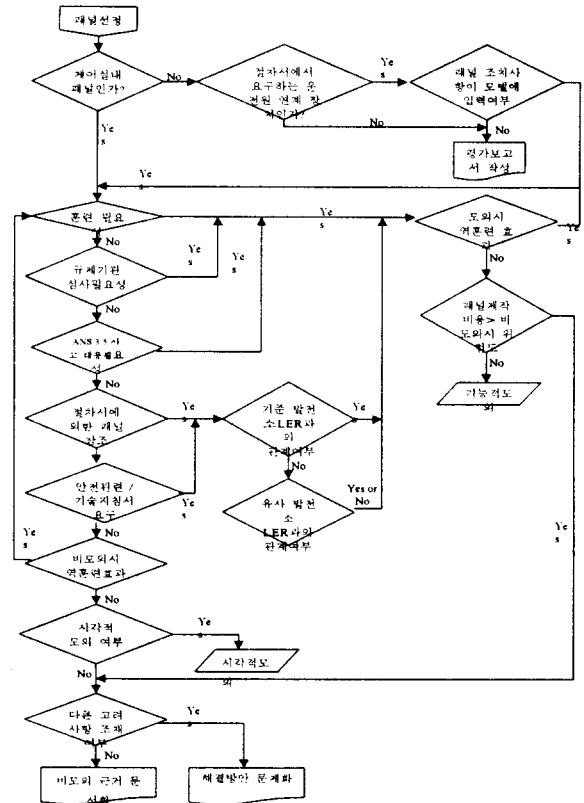
2.2 물리적 정확도

2.2.1 범위

물리적 정확도의 범위는 기능적 정확도 범위에 최대한 기초하고 있다. 패널, 계측장치, 모의환경들은 최소한 기능적 정확도 범위에서 정의되는 모든 운전 및 Malfunction의 성능을 지원하기에 충분해야 한다. 이상적으로는 기준 발전소 제어실을 완전히 복제하는 것이 좋다. 또한 기준발전소와 차이가 나는 것은 문서로 남겨야 한다. 주요 차이점은 그 타당성을 입증해야 하며, 인증예외사항으로 도출되어야 한다.

편차가 훈련목적에서 벗어나지 않는 범위라면 표준서는 편차를 허용한다는 점에 주의해야 할 것이다. 따라서, 훈련필요성평가를 통해 편차에 대한 정당성을 입증해야 할 것이다. 물리적 정확도에 대한 규제기관의 주요 관심사항은 1) 편차가 시험 수행 및 평가에 영향을 미치지 않는지, 2) 그러한 편차가 도출되었는지, 3) 그 편차가 평가되었는지이다.

<그림 1>은 시물레이터 패널의 모의 범위를 결정을 돕기 위해 개발된 순서도이다. 본 순서도를 통하여 해당 패널이 시각적으로만 모의될 것인가 기능적으로 모의될 것인지를 결정하는 데 많은 도움을 줄 것으로 예상된다.



<그림 1> 시물레이터 패널 모의범위 선정과정

2.2.2 제어패널

적어도 기능적 정확도 범위내의 절차를 수행하는데 필요한 제어실 패널은 크기, 모양, 색깔 및 구성에 있어서 기준발전소의 것을 복제하여야 한다. 문서화가 된다면 편차가 생기는 것도 허용하지만 표준서에서 제공되는 기준에 부합되도록 훈련필요성평가를 수행하였음을 보증해야 한다.

2.2.3 계측장비

적어도 기능적 정확도 범위내의 절차를 수행하는데 필요한 계측장비는 기준발전소의 것과 크기, 모양, 색깔, 구성, 느낌 및 동적기능까지 복제했음을 비교해야 한다. 기능적으로 모의되지 않는 계측장비에 대한 물리적 모의여부에 대한 고려도 이루어져야 한다. 문서화가 된다면 편차가 생기는 것도 허용하지만 표준서에서 제공되는 기준에 부합되도록 훈련필요성평가를 수행하였음을 보증해야 한다.

2.2.4 주제어실 환경

정상, 비정상, 비상상태를 지원하는 기준발전소 주제어실의 환경특성들이 모의되어야 한다. 여기에는 조명, 청각신호, 장애물 및 통신 계통과 같은 분야도 포함된다. 규제기관의 관심사항은 운전원이 모의된 환경에서 기준발전소와 동일한 환경으로 받아들이는가 하는 것이다.

규제기관의 관심분야는 다음과 같다.

- 주제어실에서 발생하는 모든 경보 및 청각적 신호가 있는가 하는 것이다. 경보 및 신호들의 주파수 및 소음도는 기준발전소의 것과 거의 동일해야 한다.
- Glare 및 비상조명은 기준발전소의 것과 거의 동일해야 한다.
- 통신계통의 수량과 형태는 동일하게 모의해야 한다.
- 주제어실 접근을 제한하는 장애물은 그대로 모의되어야 한다.

문서화가 된다면 편차가 생기는 것도 허용하지만 표준서에서 제공되는 기준에 부합되도록 훈련필요성평가를 수행하였음을 보증해야 한다.

2.3 시물레이터 제어능력

시물레이터 제어능력이란 운전원이 훈련과 시험에서 요구하는대로 모의 과정을 제어할 수 능력을 의미한다. 표준서에서 요구하는 기본적인 능력으로는 다음과 같다.

- 기능적 정확도에서 제시한 운전을 지원하기에 충분한 수의 초기조건을 저장할 수 있어야 한다. (다양한 운전조건 및 상태 포함)
- 일시정지, Run, 스냅샷, 백트랙, 제어실 패널 하드웨어 오버라이드 및 초기조건 재설정이 가능해야 한다.
- 시물레이터는 동시 및 순차적 Malfunction을 추가할 수 있어야 한다. Malfunction을 추가 및 필요시 삭제할 수 있는 능력도 갖추어야 한다.
- Time-Triggered Malfunction 및 Event-Triggered Malfunction이 포함되어야 한다.

- 임의의 Malfunction을 도입함으로써 참조발전소에서 발생하는 것과 다른 식으로 운전원에게 임박한 사고를 경고시키지 않아야 한다.
- 기능적 정확도에서 제시한 운전 및 Malfunction을 지원하기 위해 주제어실 밖에서 개별적으로 수행되는 현장조치를 조작할 수 있도록 해야 한다.
- 시물레이터를 이용하여 발전소 사고상황을 모의시 변수들이 시물레이션 범위 또는 발전소의 동작범위를 넘어섰을 때 부정적 교육의 가능성을 줄이기 위해 강사의 주의를 환기시키기 위한 행정적 통제 또는 수단이 있어야 한다.
- 기능적 정확도에서 제시한 운전 및 Malfunction 동안에 선정된 모의변수를 전기적으로 포획하고 요구된 참조발전소 변수에 대해 하드카피 자료를 제공할 능력을 가지고 있어야 한다.

여기에서 중점사항은 초기조건 정도, Malfunction 형태, 보조운전원 조치사항, 시물레이터 및 발전소 설계 제한치를 정의하는 것이다. 많은 부분들이 모의범위 결정시 정의되어야 한다.

EPRI 보고서 NP-6179-M은 시물레이터 및 발전소 설계제한치를 결정하기 위한 절차를 제공해주고 있다.

2.4 형상관리

2.4.1 범위

시물레이터 성능을 보증하고 표준서 3절 "일반요건"의 요건에 부합됨을 증명하는 수단으로 형상관리를 수립해야 한다. 형상관리에서는 다음이 포함되어 있어야 한다.

- 시물레이터 설계 기선 (Baseline)을 설정하고 보존하는 수단
- 시물레이터와 참조발전소 사이의 차이점 및 그 해결방안을 도출하고 문서화하는 추적시스템
- 시물레이터 검사 및 유지보수를 위한 문서화

2.4.2 설계자료

여러 기선자료가 가용하므로 시물레이터 정확도

를 보증하기 위한 우선순위는 다음과 같아야 한다.

- 참조발전소로부터 직접 취득한 자료
- 정확한 이론적 근거가 있는 공학적 분석을 통해 얻어진 자료
- 참조발전소와 유사하게 설계/운전되는 발전소로부터 취득한 자료
- 분야 전문가가 예상하는 자료
- 그외 다른 자료

참조발전소가 아닌 다른 출처로부터 취득한 자료의 경우, 자료출처를 명백히 명시해야 하고, 시물레이터로의 적용가능성을 보여야 한다.

2.4.3 갱신

시물레이터 설계 데이터베이스는, 새로운 자료로 정기적으로 갱신되어야 한다.

최초갱신의 경우 새로운 자료는 기준발전소 상업 운전일 혹은 시물레이터 가동일자중 나중의 것에서 18개월이내에 적용가능성 검토와 시물레이터 변경 필요성을 위한 검토가 이루어져야 한다. 최초갱신에 이어, 1년에 한번씩 새로운 자료를 검토하고, 시물레이터 설계 데이터베이스를 적절히 개정해야 한다. 기준발전소에서 변경사항이 있을 시, 12개월 내에 시물레이터 변경 필요성 결정을 위한 검토가 이루어져야 한다.

2.4.4 변경

시물레이터 변경사항은 두 가지 주된 범주로 나눈다.

- 기준발전소 변경사항에 기초한 변경
- 기준발전소의 개정된 성능자료, 학습피드백, LERs 및 시물레이터 성능검사항목에 기초한 변경

각 범주내의 변경사항은 훈련필요성평가를 근거로 참조발전소의 실제변경 (예: 제어반 변경, 신연료 장전 등)으로 진행될 수도 있다.

기준발전소 변경사항에 기초한 변경의 경우, 최초갱신은 참조발전소 상업운전일 혹은 시물레이터 가동일자중 나중의 것에서 30개월이내에 시물

레이터상에 적용되어야 한다. 최초 갱신에 이어, 훈련프로그램과 관계가 있다고 결정된 참조발전소 변경사항은 참조발전소 In-Service Data (혹은 훈련필요성평가에서 보증한다면 더 일찍 될 수도 있음)에서 24개월 이내에 시물레이터상에 적용되어야 한다.

또한 훈련효과 평가의 결과 훈련프로그램에 관계가 있다고 결정된 참조발전소 개정성능자료, 학습피드백, 시물레이터 성능검사, LERs와 같은 항목에 기초한 시물레이터 변경은 각각의 훈련영향에 근거하여 구현되어야 한다.

2.5 인증

인증요건은 Form 474를 완성하고, 보조문서가 완비되어야 한다는 것이다. 그러나 Form 474를 완성하는 공식적인 지침은 나와있지 않다. 본절에서는 Form 474를 완성하는 한가지 방안을 제시하고자 한다. 여기서는 초기인증과 관계된 것 (예: 예외사항, 성능시험, 시험일정)들만 여기에서 언급한다.

2.5.1 규정 예외사항

규정에서는 예외를 인정하고 있다. 규정을 적용할 수 없거나, 만족하지 못할 때 혹은 시설면허소지자에 의해 규정이 변경되었을 때 예외를 신청할 수 있다.

예외신청 자료에는 다음의 것이 포함되어야 한다.

- 표준서에서 예외사항을 서술한 절 및 특정용어
- 표준서에서 삭제, 변경 혹은 첨가될 특정용어
- 예외사항과 관계된 특정 계통, 절차 혹은 기기
- 예외사항에 대한 이유

2.5.2 성능시험 개요

성능시험 개요를 제출하는데 있어 문제점은 규정 중에 성능시험에 포함되어야 할 모든 것을 망라한 곳이 없다는 것이다. 다음은 시험에서 요구되는 항목을 규정과 함께 개략적으로 나타낸 것이다.

- 컴퓨터 실시간 시험 (표준서 4.1.1)
- 정상상태 시험 (표준서 부록 B)
 - 25%, 50% 및 100% 출력 (혹은 발전소 자료가 가용한 3가지 다른 출력준위)에서의 열평형 시험 (표준서 4.1.3)
- 정상운전 시험 (표준서 4.1.3 및 부록 B)
 - 표준서 3.1.3절에서 도출된 운전
- 과도상태 시험 (표준서 4.4.3 및 부록 B)
 - 적용가능한 실제 발전소 과도상태
 - 분석 혹은 설계자료에 근거하여 적용가능한 과도상태
 - 적용가능한 유사발전소 과도상태
 - 최적화 자료에 근거하여 적용가능한 자료
 - 표준서 부록 B에 제시된 적용가능한 Benchmark 과도상태
- Malfunction 시험 (표준서 4.1.4 및 부록 B)
 - 표준서 3.1.4절에서 도출된 Malfunctions
 - 그외의 적용가능한 Malfunctions

각각의 시험에서 다음의 정보가 포함된 개요가 제공되어야 한다.

- 시험명 및 시험요건
- 초기조건, 사건순서, 시험기간 및 시험종료시 조건에 대한 간략한 서술
- Malfunction 발생을 및 심각도와 관련한 정보
- 비교용으로 사용하는 기저 (baseline) 자료의 성질
- 시험 날짜

2.5.3 시험일정

기본적으로 다음과 같은 4가지 다른 경우가 있다.

- 초기 인증 (필요시험 : 상기의 성능시험에서 서술된 모든 시험)
- 심각한 설계변경 (필요시험 : 상기의 성능시험에서 서술된 모든 시험)
- 제한된 설계변경 (필요시험 : 영향받는 계통에 대한 시험)
- 매년 (필요시험 : 매년의 운전성 시험 : 정상상태 시험, 표준서 부록B의 모든 적용가능한 Benchmark 과도상태 (표준서 5.1.2절 및 부

록 B))

III. 결론

운영중인 원자력 발전소가 모두 시뮬레이터를 보유하고 있지 않고 또 있다고 하더라도 모의범위 (Full Scope, Part Task, Compact 등), 모델의 정밀도, 하드웨어 설비 개선, 성능개선 등 여러 가지 특수한 상황에 일관된 규제 원칙 하에 사업자가 대응할 수 있도록 시뮬레이터에 대한 미국의 NRC가 공식적으로 발행한 여러 문서(규제 방침, 기준 및 요건 등)을 분석하고 여러 가지 비교를 통해, 의사 결정하는 방안(혹은 원칙)을 제시하였다.

비록 우리나라에서는 아직 시뮬레이터에 대한 규제가 명문화된 규정으로 고시되고 있지 않지만 추후 예상되는 전범위 시뮬레이터의 신규 개발, 기존 시뮬레이터 성능개선 등에 사업자가 예상되는 규제요건 대응에 상당한 도움을 줄 수 있을 것이다.

IV. References

- [1] 10CFR55, "Operator Licenses," Federal Register, Vol. 52, No. 57, January 1, 1997.
- [2] Regulatory Guide 1.149, "Nuclear Power Plant Simulation Facilities for Use in Operator License Examinations," Rev. 1, April 1987.
- [3] ANSI/ANS-3.5, "Nuclear Power Plant Simulators for Use in Operator Training," April 15, 1998.
- [4] NRC Form 474, "Simulation Facility Certification."
- [5] NUREG-1262, "Answers to Questions at Public Meetings Regarding Implementation of Title 10, Code of Federal Regulations, Part 55 on Operator Licenses," November 1987.
- [6] NUREG-1258, "Evaluation Procedure for Simulation Facilities Certified under 10 CFR 55," December 1987.

- [7] Examiner Standard ES-301, "*Administration of Operating Examinations to Reactor Operators and Senior Reactor Operators - Power Reactors,*" Rev. 4, May 1987.
- [8] Examiner Standard ES-302, "*Content and Documentation Guidelines for Operating Tests,*" Rev. 4, May 1987.
- [9] INPO 86-026, "*Guidelines for Simulator Training.*"
- [10] 과학기술부 고시 제 96-1호, "46. 원자로조종감독자 면허 및 원자로조종자면허 소지자에 대한 보수교육 규정," January 1, 1996.