

국내원전 기술지침서 개선방안

유영우, 류용호, 신원기
한국원자력안전기술원

요 약

설계기준사고에 대한 해석을 기초로 하여 운전중 원전의 운전 제한치 및 조치사항을 규정한 기술지침서 (Tech. Spec.)는 원자력법에 의거 법적 제재의 효력을 가지며 원전 운전자가 이를 준수함으로써 안전성을 확보할 수 있도록 되어 있다. 그러나 국내 원전 기술지침서의 경우는 해당 노형 공급국별로 상이한 체제의 기술지침서를 도입하여 사용하는 과정에서 많은 문제점이 발생하고 있다. 본 연구에서는 국내 원전 기술지침서 개선을 위하여 현행 국내 기술지침서의 사용상 문제점을 조사하고 그 결과에 대한 분석을 실시하였으며, 최근 미국에서 진행되고 있는 기술지침서 개선 작업을 조사하고 그 적용성을 검토하였다. 새로이 제시되고 있는 기술지침서는 운전 요건의 일관성, 사용자 편의성에서 큰 잇점이 예상되므로 기존 기술지침서 요건의 개정 등 인허가 시에 기준으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서 론

우리나라는 미국, 프랑스 및 캐나다 등에서 상이한 노형의 원전을 수입하여 생산국의 기술기준 및 체제를 따라 건설하였고 생산국의 고유한 규제 및 설계 철학에 따라 구성된 기술지침서를 여과없이 국내 원전 운전에 적용하므로 국내 규제체제의 일관된 의지가 전달되지 않고 있으며 운전자의 운전제한 조건 및 조치사항에 형평이 없어 안전운전에 저해요인으로 작용하고 있다. 따라서 국내에서 운영되고 있는 원전 생산국의 규제철학 및 방법, 고유 설계 개념의 재검토, 기술지침서의 기술적 배경에 대한 해석을 심층적으로 수행하고 이를 국내 규제 체제 및 기술 수준을 고려하여 기술지침서의 표준화를 이룩함으로써 국내 원전의 안전성 관리의 효율을 증대시킬 필요가 있다.

본 연구는 기술지침서의 문제점에 대한 종합적 검토를 수행하여 최종적으로는 국내 실정에 맞는 기술지침서의 기준을 정립하기 위해 수행 되었다. 현재 사용되고 있는 국내 원전 기술지침서의 사용상 문제점을 파악하기 위하여 원전 운전조직을 포함한 기술지침서 사용자에게 질의서를 작성 배포하고 그 결과를 분석하였다. 또한 국내 운전중인 원전의 기술지침서 및 설계 요건을 상호 비교하여 그 차이점에 대한 분석을 실시하였다.

기술지침서의 항목선정기준 및 작성양식을 결정하기 위해 국내원전의 주 도입국인 미국의 개선활동과 함께 국내 원전의 기술지침서의 적용상 문제점에 대해 분석을 실시하였다. 이상에서 수행된 작업을 근거로 가동중인 발전소(고리 1,2,3,4/영광 1,2)에 대해 최근 미국에서 발간한 표준기술지침서(NUREG-1431)와 개별 항목별로 그 적용성을 비교 검토하였다. 그리고 기술지침서에 규정되는 항목 선정 또는 기술지침서 이행시, 실제적인 안전성 증진을 위해서 고려되어야 하는 사항을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 국내원전 기술지침서 문제점 조사

본 연구에서는 기술지침서의 문제점을 조사하기 위해 기술지침서 사용자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사되었던 문제점을 분류하여 정리하면 다음 표1과 같다.

표 1. 국내원전 기술지침서 문제점

요 건	내 용
0 기술지침서 항목 보완	- 가압기 압력 방출 밸브 PORV - 주급수 조절밸브 및 주급수 차단밸브 - 2차측 수질 요건
0 운전제한 조건 (설정치) 조정	- 원자로 냉각재 O ₂ 제한 온도 - 주기말 촉방향 중성자속 편차 - 1차 기기 냉각해수 온도
0 점검 주기 조정	- 안전계통 펌프, 밸브 시험주기 - 원자로 냉각재 계통 물보유량 균형유지 시험 - 터빈과속도 보호계통의 시험주기 - 공학적 안전설비 부계전기 시험주기 - 장주기 운전 고려
0 점검 조건 조정	- 비상디젤발전기 시험 - 격납용기 샘플 점검
0 허용정지시간 조정	- 연료 교환용수 저장탱크의 고장 등
0 보고 요건	- 과기처 고시 (92-18)과 기술지침서 보고 요건
0 작성 양식	- 작성 양식 통일 표 활용 확대 - 국문화 및 용어 정리 - 국제 단위의 사용

또한 현 기술지침서 요건내용에 대해 상호 비교조사 실시한 결과 개별요건 항목의 설정 및 그 내용에서 많은 차이가 발견되었다.

2.2 미국의 기술지침서 개선 현황

NRC는 1984년 12월 기술지침서 개선사업(TSIP)을 시작하였고 사업자들도 AIF(Atomic Industrial Forum)을 통해 참여하였으며 1985년 개선사업은 기술지침서의 범위를 규정하는 설정기준을 제시하여 이 기준에 맞는 새로운 표준 기술지침서를 작성토록 권고하였다. 이와 함께 기존의 기술지침서의 범위와 내용에 대한 단기 개선 계획의 착수를 권고하였으며 이러한 2가지 제안에 따라 1987년 2월 발표된 임시 정책성명(52 FR 3788)과 1993년 7월에 발표된 최종 정책성명(58 FR 39132)을 통해 표준기술지침서의 목적과 운전제한조건(LCO)의 설정기준을 제시하였다. 제시된 설정기준은 다음과 같다.

- 기준 1 : 원자로 압력경계 감시 제기
- 기준 2 : 설계기준사고나 과도상태 분석시의 초기 조건
- 기준 3 : 설계기준사고나 과도상태의 완화에 사용되는 설비
- 기준 4 : 운전 경험이나 확률론적 안전성 분석 결과 안전성 설비

이러한 기준에 따른 새로운 표준 기술지침서가 NUREG-1431, 1432, 1433, 1434로 1992년 9월에 발간되었으며 1992년 Crystal River 3호기를 선두로 전환작업이 추진되어 현재 5개 발전소는 이미 시행되고 있고 8개 발전소는 NRC의 검토과정에 있는 등 점차 그 적용이 확대되고 있다. 표준기술지침서의 요건내용 작성시 기존의 분석 결과를 이용할 수 있도록 함으로써 새로운 분석이나 계산이 요구되지 않도록 하였으며, 발전소 개조작업을 전제로 하지 않고 있다. 또한 상기 조건에 부합되지 않는 운전제한조건들은 기술지침서에서 삭제되어 사업자의 통제하에 있는 지침서(Licensee Controlled Specifications: LCS)로 이전 가능하도록 하였다. 새로운 표준 기술지침서는 그 동안의 운전 및 규제경험을 토대로 정량적인 기술적 타당성이 있게 작성되었으며 요건이 단순화되고 운전원 위주의 형식과 일관성이 유지되어 NRC에서 기술지침서 인허가시에 기준으로 사용하면서 그 활용이 더욱 확대될 것으로 예상된다.

NRC에서는 표준 기술지침서의 개발 및 변경허가 심사과정에서 일부 교체도 안전성에 유익한 것으로 결정하여 Generic Letter 발표를 통한 항목별 개선과정 즉 "line item" 개선이라고 알려진 단기 개선계획을 개발하였다. 관련된 주요 Generic Letter의 종류와 관련 기술지침서 내용은 다음과 같다.

- GL 87-09 : 기술지침서 3.0/4.0 요건 완화
- GL 88-06 : 조직표 삭제
- GL 88-12 : 화재방호계통 요건 삭제
- GL 88-16 : 주기 고유변수 제한치 삭제
- GL 89-01 : 방사성 유출물 기술지침서 재배치
- GL 89-14 : 점검주기 3.25배에 제한치 제거
- GL 90-02 : 핵연료 재조립 허용
- GL 91-08 : 부품목록 삭제
- GL 91-09 : 원자로보호계통 전력공급장치의 점검주기 수정
- GL 91-04 : 24개월 장주기 운전을 위한 내용 변경
- GL 91-01 : 원자로용기 재료시편 회수계획의 삭제
- GL 93-05 : 출력운전중 시험을 위한 점검요건 축소
- GL 93-07 : 비상 및 보안계획 관련 기술지침서 행정관리 개정
- GL 93-08 : 계기응답시간 제한치 표 재배치

상기 GL의 내용은 이미 새로운 표준기술지침서 요건에 반영되어 있다.

2.3 국내원전 기술지침서 개선방안

기술지침서에 규정되는 항목 선정 또는 기술지침서 이행시, 실제적인 안전성 증진을 위해서 충분히 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 사고 발생의 예방을 위한 노력
- 2) 계통 이용 불능도의 최소화
- 3) 안전성에 중요한 계통 및 부품 선정
- 4) 불필요한 항목의 배제
- 5) 점검 주기 및 허용정지시간의 최적화
- 6) 중요하지 않은 요건들의 완화

이러한 고려 사항들이 기술 지침서 작성 및 평가시 충분히 반영된다면, 발전소 안전성을 극대화할 수 있는 동시에, 운전시 불필요한 부담을 줄이면서 운전성을 향상시킬 수 있을 것이다.

표 2. 조사된 문제점과 NUREG-1431 내용 비교

문 제 점	NUREG-1431
<p><항목 추가/보완></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ PORV 운전제한조건 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1,2 : 요건없음. - 고리 3,4, 영광 1,2 : 안전 관련 작동 고려안됨. ○ 주급수 조절밸브, 주급수 차단밸브 요건 <ul style="list-style-type: none"> - 전 발전소 : 요건없음. ○ 2차측 수질요건 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1,2,3,4 영광 1,2 : 없음. - 울진 1,2 : 있음. ○ 최종열침원 (해수) 온도 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1,2, 울진 1,2 : 없음. ○ 원자로냉각재 O₂ 제한온도 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1,2, 영광 1,2 : 82℃ - 고리 1,2, 울진 1,2 : 120℃ ○ 축방향 증성자속 편차 허용범위 완화 <p>< 점검주기 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ASME 코드등급 안전 관련 기기 가동중시험 주기 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1 : 31일 - 고리 2,3,4 영광 1,2 : 3개월 ○ 원자로 냉각수재고 평형시험 조건 <ul style="list-style-type: none"> - 72시간 주기 ○ 터빈과속도 보호계통 시험주기 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1 : 없음. - 고리 2, 영광 1,2 : 31일 ○ 공학적 안전설비 부계전기 운전중시험 (3개월 주기) <ul style="list-style-type: none"> - 발전소 과도현상 유발기기 시험 조건 완화 ○ 장주기 운전에 따른 고려 <p>< 점검조건 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 비상디젤발전기 점검조건 <ul style="list-style-type: none"> - 급속기동요건 (10초 이내 정격 전압/주파수) - 재기동 시험요건 : 24시간 운전후 5분 이내 재기동 - 고장시 점검주기 단축 (100회 누적시험 기준 고장횟수 1회 초과시 시험주기 단축) ○ 격납용기 셉프 점검 <ul style="list-style-type: none"> - 고리 1호기 운전중 (1개월주기) 점검 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3.4.11에서 반영 ○ 3.7.3에서 반영 ○ 3.7.18에서 비방사능값 제한 5.7에서 감시 프로그램 작성 요건 부과 ○ 3.7.9에서 반영 ○ 요건에서 제외 ○ 3.2.3에서 RAOC 요건 ○ 5.7.2에서 코드 요건 준수 부과 ○ 3.4.13에서 정상상태시 수행 하도록 명시 ○ 요건에서 제외 ○ 3.3.2에서 요건 유지 <ul style="list-style-type: none"> - 과도현상 유발기기, 원자로 저온정지시 수행허용 ○ 18개월 주기 기준으로 작성 - 3.8.1.12에서 급속기동요건 유지, 엔진 예비 운할 조치 허용 - 3.8.1.15에서 2시간 운전후 5분내 재기동으로 완화 - 25회 누적시험 고장횟수 3회 초과시 시험주기 단축 ○ 3.5.2.8에서 18개월 주기 점검

기술지침서의 항목 선정기준 및 기술 양식의 개선을 위해 외국의 사례 특히 미국의 최근 작업을 조사하였다. 국내 원전 기술지침서의 표준화 작업과 관련하여 우선 가동중인 Westinghouse형 원전을 대상으로 NUREG-1431을 기준으로 관련 항목 및 각 요건에 대해서 그 적용성을 검토하였다. 먼저 2.1절에서 조사된 현행 국내원전 기술지침서 사용상의 문제점을 미국의 새로운 표준기술지침서(NUREG-1431)의 요건체제를 적용하는 경우 어떻게 반영될 수 있는가를 조사한 내용이 표 2에 나타나 있으며, 국내원전중 Westinghouse형 발전소(고리 1,2,3,4/영광 1,2)의 기술지침서와 미국 표준기술지침서(NUREG-1431)를 각 항목에 대해 비교한 결과 유지되는 항목수와 재배치되는 항목수를 비교한 결과가 표 3에 나타나 있다. Westinghouse 원전의 표준기술지침서는 기존 기술지침서와 비교할 때 다음과 같은 차이점이 있다.

- 1) 안전성 요건에 초점이 맞추어져 기존 기술지침서 요건 항목 중 40%의 항목이 타문서로 재배치됨.
- 2) 안전계통의 동작기회를 감소시키기 위해 조치사항(Action)이 완화됨.
- 3) 운전원 사용성 관점에서 요건서술에 있어 인간공학적 관점에서 보기 쉽도록 표 이용이 확대되고 복잡성과 분량이 줄어듦.
- 4) Westinghouse 발전소의 경우 Tech. Spec.Optimizing Programs(TOPS) 결과가 반영되어 요건이 완화됨
- 5) 기준(Bases) 설명이 확대, 개선됨.
- 6) 기존 기술지침서 요건사항에서 누락되는 부분은 별도 관리됨.

표 3. 각 호기별로 Relocated된 운전제한조건 항목 수

절 \ 호기	고리 1		고리 2		고리3,4/영광1,2	
	Existing	Relocated	Existing	Relocated	Existing	Relocated
3.1 Reactivity Control System	17	7	16	7	16	7
3.2 Power Distribution Limits	5	0	5	0	5	0
3.3 Instrumentation	11	6	13	7	14	10
3.4 Reactor Coolant System	13	6	14	6	18	5
3.5 ECCS	6	1	6	1	6	1
3.6 Containment System	11	2	19	5	13	2
3.7 Plant System	10	2	24	13	19	9
3.8 Electrical Power System	6	0	7	2	8	2
3.9 Refueling Operation	11	3	12	4	13	4
3.10 Special Test Exceptions	4	0	5	1	5	1
3.11 Radioactive Effluents	3	3	4	4	10	10
3.12 Radiological Environment Monitoring	4	4	4	4	2	2
총 계	101	34	129	54	124	53

이상에서 국내원전의 기술지침서 개선 작업의 기본방향을 제시하면 다음과 같다.

- 가. 미국의 신규 표준기술지침서 요건을 적용
- 나. 국내 원전의 운전경험 및 PSA 결과를 충분히 반영
- 다. 국문화 및 용어통일, 국제단위 사용단위(Unit) 사용
- 라. 재배치 항목의 별도 관리문서 체계 수립

가동중인 국내 원전의 기술지침서를 보면 미국의 Westinghouse 와 CE 발전소의 경우 기존 양식의 NUREG-0452 를 기준으로 하여 작성되었고, 프라마툼사의 경우도 웨스팅하우스의 기존 표준기술지침서를 바탕으로 하였기 때문에 그 요건 항목의 조정은 큰 무리없이 가능하다고 판단된다. 새로운 기술지침서를 작성하는데 있어 Westinghouse형 발전소에 대해서는 NUREG-1431, Combustion Engineering형 발전소에 대해서는 NUREG -1432를 기준이 될 수 있다. 그러나 Framatome형 발전소는 미국 산 원전과는 운전형태의 구분이나 운전절차에서 차이가 있으므로 세부 내용의 전환 작업에는 어려움이 예상된다. 발전소마다의 구체적인 정기점검 및 시험항목의 선정과 시험주기 그리고 그에 따른 조치사항 등은 일괄 적용할 수 있는 부분이 아니며 그 설계특성과 운전경험이 반영되어 결정될 수 있다. CANDU 원전의 경우 PWR과는 설계 특성이나 재원이 전혀 달라 기술지침서의 요건을 표준화하는데 많은 어려움이 예상된다. 그러나 이미 발전소 인허가 서류인 운영 기술지침서에서 가압경수로 형식이 일부 채택되어 작성되어 있으므로 이를 보완하는 작업으로 개선작업이 가능할 것으로 생각된다.

3. 결론

현재 사용되고 있는 국내 원전 기술지침서의 사용상 문제점을 조사한 결과 요건 설정 근거의 불확실성, 요건 정도의 불명명, 요건 해석의 오류 등이 발견되었다. 국내 원전의 기술지침서 개선작업을 위해 최근 미국에서 새로이 발간되어 시행되고 있는 표준기술지침서(NUREG-1431 등)의 적용방안을 조사하였다. 조사 결과 새로운 표준 기술지침서의 적용은 안전성 관리항목의 단순화와 일관성 유지로 안전성 중요 항목에 대한 관리 집중을 가능하게 하여 안전성 향상 및 안전관리 효율화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 신 원기 외, "원자력 규제기술 개발 - 국내 원전 기술지침서 표준화연구", 최종 보고서, KINS/GR-104, 1995.7
2. US NRC, "Standard Technical Specifications - Westinghouse Plants" NUREG-1431, 1992.9
3. 고리 1,2,3,4 및 영광 1,2 최종안전성분석보고서, 한국전력공사