

'95 춘계학술발표회 논문집

한국원자력학회

발전용원자로 안전규제기술요건 개발

안상규*, 김웅식, 윤영길, 방영석, 설광원, 김효정

한국원자력안전기술원

요 약

국내·외 안전규제기술요건의 현황 및 기술현황 분석·평가 결과를 토대로 안전목표, 안전원칙, 일반안전요건, 상세기술요건, 안전규제지침 및 안전심사지침 등으로 구성된 안전규제기술요건 체계가 구축되었으며, 궁극적인 안전의 지향목표로부터 구체적인 안전규제방법론에 이르는 일련의 계층을 제시하고있다. 각 계층별 체계설정의 개념, 방법론 및 상세체계도 구성과 이들 구성항목들에 대한 주요 요점 및 참조 국내·외 규제요건 등이 도출되었으며, 이들은 구체적인 안전규제기술요건의 단위요건 설정에 기본 방향을 제공하게 될 것이다. 또한, 안전규제기술요건의 실제적인 설정에 필요한 추진 전략 및 방법을 개략적으로 제시하고있다.

1. 안전규제요건 개발 배경 및 방향

우리나라는 현재 원전 9기를 가동하고있으며, 신규원전 7기의 건설과 신규원전 2기의 건설허가 심사가 계획중임에도 불구하고 원전 안전성확보의 주요 요소인 안전규제요건의 설정이 상당히 미비되어있는 실정이다. 이로 인하여 기존의 도입된 원전의 안전규제에서도 공급국의 규제요건을 준용함에 따른 여러가지 문제점이 표출되어져 왔다. 따라서, 향후원전에 대한 안전규제요건 개발에서는 기존원전의 안전규제요건의 체계적인 정립과 더불어 향상된 안전성 확보를 위한 주요 안전현안들의 반영을 통하여 향후 개발될 원자로의 안전규제에 적용할 수 있는 종합적이고 완전한 우리나라 안전규제요건이 정립되어야 할 것이다. 그림 1은 기존 원자로의 안전규제요건으로 부터 신형원자로 안전규제요건의 설정방향을 도식화하고있다. 즉, 향후원전의 안전성향상을 위한 주요 관점인 획기적 안전성증진, 방사선위험도 최소화 및 공공의 신뢰도 증진을 위하여 기존 규제요건으로 부터 개선·보완되어야 할 요건들을 도출함으로써 신형원자로의 안전규제요건을 정립하고자 하는 것이다. 그러나, 우리나라의 경우 체계적이고 구체적인 안전규제기술요건이 미정립되어있는 실정이므로, 향후원전의 안전규제에 있어서 단지 안전성향상 관련항목 및 요소들만의 고려로서는 체계적이고 일관성 있는 안전규제 업무수행에 계속적인 문제점을 표출하게 될 것이다. 따라서, 향후원전의 안전규제를 위하여는 완전한 안전규제기술요건 체계가 필수적으로 설정되어야 할 것이며, 이러한 체계 아래에서 기존규제요건과 더불어 안전성 향상요인을 반영한 각각의 요건들이 병행하여 종합적으로 개발되어야 할 것이다. 이의 성취를 위하여는 조직적이고 체계적인 상

세계개발방향이 설정되어 지속적이고 일관성있는 업무수행이 이루어져야 할 것이다. 이러한 개발방향의 정립에서는 우리나라의 규제요건 및 외국의 현황들에 대한 상세한 분석·평가가 우선되어야 할 것이며, 이들을 토대로 안전규제기술요건 체계도의 구축, 체계도 구성요소의 구체적인 구조 및 내용 설정과 세부적인 추진방향이 확립되어야 할 것이다. 본 연구에서는 지금까지 수행되어온 국내·외 안전규제요건에 대한 기술현황분석 및 평가 결과[1,2,3,4,5,6]들을 토대로 수립된 안전규제기술요건의 체계적인 개발방향에 대하여 기술하고자 한다.

2. 안전규제기술요건 체계 구축

• 전체 체계도 설정

외국의 안전규제기술요건 체계의 비교·평가와 우리나라의 규제현황 및 여건을 고려하여[7] 원전의 안전성확신을 위한 국제적인 요구에 부응할 수 있는 안전규제기술요건 체계(안)을 구축하였다[8]. 그림 2에 제시된 바와 같이 안전목표, 안전원칙, 일반안전요건, 상세기술요건, 안전규제지침, 안전심사지침 등으로 구성된 안전규제기술요건 체계(안)은 궁극적인 안전의 지향목표로부터 구체적인 안전규제 방법론에 이르는 일련의 계층을 형성하고있다. 또한 공학적 세부사항에 대하여는 필요에 따라 산업기술기준과 연계를 가지도록 구성되어있다. 안전규제기술요건 체계(안)의 구성요소들에 대한 정의는 표 1에 제시되어있으며, 내용상의 상세도는 표 2에 기존의 국내·외 요건체계와 비교·제시되어있다.

• 안전목표

궁극적으로 성취하고자 하는 안전의 지향목표를 명시하는 안전목표는 안전규제기술요건 체계상의 최상위 요건으로, 하위 기술요건의 일관성있는 설정방향을 제시함으로써 국제적인 수준의 안전성확보를 위한 근간이 될 수 있도록 설정되어있다. 안전목표는 크게 종사자 및 대중보호, 사회시설 및 자연 보호를 위한 일반안전목표와 사고예방 및 완화를 위한 기술적안전목표 등으로 구성되었다. 기술적안전목표는 사고예방, 사고결말의 완화 및 관리의 적절한 조화를 통한 보다 강화된 심층방어개념의 설정을 통하여 구체화 될 것이다.

• 안전원칙

안전원칙은 안전목표를 달성하기 위하여 원칙적으로 다루어져야 할 안전의 주안점으로써 안전규제기술요건을 포괄하는 기본적인 철학을 제공하기 위하여 설정되어있다[8]. IAEA에서 설정하고있는 안전원칙과 국제원자력안전협약에 규정되어있는 기술적 안전원칙을 토대로 설정된 안전원칙은 하위요건인 일반안전요건 및 상세기술요건의 총족을 통하여 입증 가능한 요소들로서, 심층방어, 입증기술, 품질보증, 인적요인, 안전여유도, 안전성 평가 및 검증, 방사선 방호 등 7개의 항목으로 구성되어있다. 안전원칙 각 항목들의 구성요소들은 표 3에서 보는 바와 같다.

• 일반안전요건

안전원칙을 만족시키기 위하여 준수하여야 할 일반적인 기본요건을 제시한 일반안전요건은 안전성확신을 위한 전반적이고 함축적인 개념을 바탕으로 설정되어, 하위요건인 상세기술요건의 기본적인 근간을 제공하게 된다. 일반안전요건은 표 4에서 보는 바와 같이 크게 전체요건, 심층방어요건, 핵연료 및 폐기물 요건, 방사선방호요건 등의 4개 범주로 구별되어있다. 전체요건 범주에서 14개의 단위요건과 심층방어요건 범주에서 13개의 단위요건이 도출되었으며, 단위요건별 주요 요점과 참조요건들을 포함한 단위요건 설정의 기본방향이 제시되었다[8].

- 상세기술요건

안전원칙을 만족시키기 위하여 준수되어야 하는 기술적 세부요건으로서의 상세기술요건은 안전규제에서 요구되는 기술요건의 최종 명시단계로서, 상위요건인 일반안전요건과 직접적인 연계를 가지면서 필요에 따라 안전규제지침 및 산업기술기준과의 연계를 포함하고있다. 상세기술요건 체계는 원자로시설과 부지관련 상세기술요건으로 분리하여 구성되었으며, 본 연구에서는 원자로시설에 국한된 체계만을 제시하고있다. 원자로시설의 상세기술요건 체계는 표 5에서 보는 바와 같이 크게 공통요건과 계통/분야 요건으로 구분되어있으며, 13개의 공통요건과 17개의 계통/분야 요건으로 구성되어있다. 상세기술요건 체계의 각 구성요소들에 대하여는 각 구성요소별 세부체계를 구성하였으며, 이들 구성에 따른 단위요건별 주요 요점과 참조요건들을 포함한 향후 단위요건 설정의 기본방향이 제시되었다[8].

- 안전규제지침

필수적인 안전규제요건(일반안전요건, 상세기술요건)을 반영하기 위하여 선택적으로 제시되는 허용가능한 방법론 및 사양들을 명시하는 안전규제지침은 필수적인 요건으로 명시하기 보다는 지침으로 제시하여 어느정도의 유연성을 두거나 설계자/사업자에게 선택권을 주는 것이 바람직한 사항들로 구성되어진다. 안전규제지침은 미국의 Reg. Guide를 기초로 하여 기존의 Reg. Guide에서 개선 및 보완되어야 할 내용들을 반영하여 설정될 것이다.

- 안전심사지침

안전심사지침은 원전에 대한 안전규제를 수행함에 있어서 심사과정의 일관성과 효율성을 유지하기 위하여 심사자에게 심사범위, 관련허용기준 및 연계성, 심사 절차 및 방법, 심사결과의 문안 작성 예시 및 참고문헌 등을 제시하는 지침이다. 이 지침은 미국의 SRP와는 달리 추가적인 규제기술요건을 포함하지는 않으며, 다만 심사에 있어서 심사자의 주관에 따라 발생할 수도 있는 안전규제상의 균형상실 및 일관성결여 문제를 해소하기 위한 규제기관 내부 지침의 성격을 갖게 될 것이다.

3. 요건개발 주요 추진전략

- 산업기술기준과의 연계

원전의 계통, 기기 및 구조물의 설계, 제작, 설치, 시험 및 검사에 적용되는 공학적 관행은 각 나라마다 다양한 산업표준 및 규격의 형태로 정형화되어 있다. 우리나라는 원자력분야 산업기술기준이 미비되어 있어 원자력기술공급국의 산업기술기준을 현재까지도 준용하고 있는 실정이다. 그런데, 최근 원자력산업계 주관으로 원전 산업기술기준 개발사업이 착수되어 주요 산업기술기준이 개발될 예정인 바, 원자력산업계 및 안전규제기관이 함께 우리나라 산업기술기준과 안전규제기술요건의 연계성을 모색해야 할 단계에 이르렀다고 본다. 이를 통하여 안전규제기술요건의 종합적인 체계의 완비는 물론 개발된 산업기술기준의 위상을 정립할 수 있을 것이다.

- 주요 기술요건의 기술보고서 작성

안전규제기술요건의 설정시에 고려된 제반 기술적 내용들은 기술보고서로 발간되어 실제 안전규제 적용시에 규제자 뿐만 아니라 피규제자에게도 주요 기술요건에 대한 기술적인 배경을 제공할 수 있어야 한다. 또한 기술보고서에는 설정된 요건의 실제적인 적용가능성을 입증하는 기술적 자료 및 요건의 적용에 따른 효과분석 결과와 향후 규제요건 개정 및 보완시에도 이용될 수 있도록 추적가능한 주요 기술요건의 기술적 배경 등을 포함하여야 한다.

- 예비설정 요건(안)의 의견수렴

안전규제기술요건(안)에 대한 의견수렴은 기술요건의 개발 및 최종 확정단계에서 필수적으로 거쳐야 할 과정으로, 안전규제의 공개성 및 명확성 유지와 효율성의 확인 그리고 신뢰성 확보에 불가결한 요소이다. 이를 위하여 기술요건 개발과정에서 각계 각층의 의견수렴과 함께 일정단계 별로 규제기관, 원자력산업계, 학계의 다수 전문가들로부터의 공식적인 견해를 수렴하고 함께 논의하는 절차가 확립되어야 할 것이다.

- 안전규제기술요건의 규제위상 정립

안전규제기술요건 체계의 각 계층을 이루는 기술요건들은 그 적용범위, 상세성 및 특성 등이 고려되어 적절히 법제화되거나 규제기관의 지침화 등의 과정을 거쳐 규제위상이 정립될 때 비로소 안전규제업무와 안전설계업무에 효과적으로 적용이 가능할 것이다. 규제위상정립에서는 기존의 규제요건에 따라 건설·운영되고 있는 원전의 안전수준에 대한 영향을 고려하면서, 기설정되어 있는 안전규제법령체계와의 조화를 이루어야 할 것이다. 또한, 원자력규제기관인 과학기술처의 안전규제기술요건 확보 및 위상정립에 대한 확고한 의지와 더불어 추진방향설정 등을 포함한 적극적인 역할이 수반되어야 할 것이다.

4. 결론

국내·외 안전규제기술요건의 현황 및 기술현황 분석·평가 결과를 토대로 안전목표, 안전원칙, 일반안전요건, 상세기술요건, 안전규제지침 및 안전심사지침 등으로 구성된 안전규제기술요건 체계가 구축되었으며, 궁극적인 안전의 지향목표로부터 구체적인 안전규제방법론에 이르는 일련의

계층을 제시하고있다. 각 계층별 체계설정의 개념, 방법론 및 상세체계도 구성과 이들 구성항목들에 대한 주요 요점 및 참조 국내·외 규제요건 등이 도출되었으며, 이들은 구체적인 안전규제기술요건의 단위요건 설정에 기본 방향을 제공하게 될 것이다. 또한 안전규제기술요건의 실제적인 설정에 필요한 추진 전략을 개략적으로 제시하고있다. 특히 개발될 안전규제기술요건의 규제위상 정립 및 유관기관의 의견수렴 방안 등은 신중히 고려되어야 할 것이며, 산업기준과의 연계방안은 국내에서 개발하고있는 산업기준의 위상을 정립할 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

최근 IAEA에서 추진하고있는 국제원자력안전협약과 우리나라 원자력규제기관인 과학기술처의 원자력안전정책성명에서 표명하고있는 바와 같이, 안전규제기술요건은 원전의 안전성확신을 위하여 우선적으로 확보하여야 할 기본 요소임을 알 수 있다. 이제 우리나라도 나름대로의 체계를 갖춘 종합적이고 완전한 안전규제기술요건을 확보하여야 할 시점에 있다. 본 연구는 이러한 안전규제기술요건 설정의 초석을 제공하고있으며, 구체적인 단위요건의 설정을 위하여 원자력관련 기관들은 다함께 노력을 경주하여야 할 것이다. 궁극적으로 안전규제기술요건의 설정을 통하여 향후 원전의 향상된 안전수준확보 및 안전성에 대한 조기 확신과 인·허가 안정화를 도모하고, 국민의 원전에 대한 신뢰도향상 뿐만아니라 안전규제의 일관성·효율성·투명성 확보에 만전을 기하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김효정 등, “개량형원자로 공학적안전계통의 안전성”, KINS/GR-069, 한국원자력안전기술원, 1994. 3. 1.
2. 김효정 등, “개량형원자로 원자로계통의 안전성”, KINS/GR-070, 한국원자력안전기술원, 1994. 3. 1.
3. 김효정 등, “개량형원자로 냉각계통의 안전성”, KINS/GR-071, 한국원자력안전기술원, 1994. 3. 1.
4. 김효정 등, “개량형원자로 구조설계 안전성”, KINS/GR-072, 한국원자력안전기술원, 1994. 3. 1.
5. 김효정 등, “신형원자로 안전현안평가”, KINS/GR-073, 한국원자력안전기술원, 1994. 5. 16.
6. 김효정 등, “일반안전현안의 신형로 적용타당성 평가”, KINS/GR-075, 한국원자력안전기술원, 1994. 6. 10.
7. 김효정 등, “발전용원자로 안전규제기술요건의 현황 및 체계 평가”, KINS/GR-087, 한국원자력안전기술원, 1994. 9. 15.
8. 김효정 등, “차세대원자로 안전규제기술요건 개발방향”, KINS/GR-090, 한국원자력안전기술원, 1994. 12. 24.

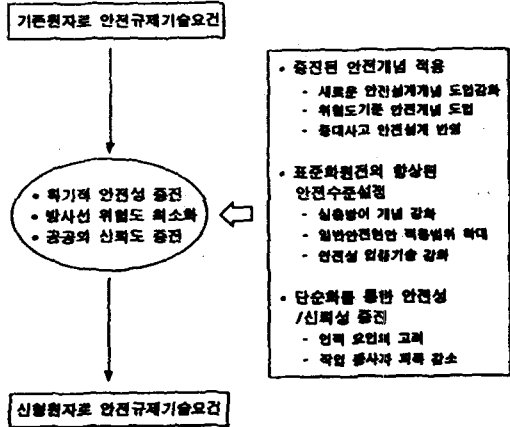


표 1. 안전규제기술요건 체계(안) 구성요소의 정의

요 소	정 의
• 안전 목표	- 궁극적으로 성취하고자 하는 안전의 지향 목표
• 안전 원칙	- 안전목표를 달성하기 위하여 원칙적으로 다루어져야 하는 안전의 주요점
• 일반안전요건	- 안전원칙을 만족시키기 위하여 준수되어야 하는 일반적인 기본요건
• 상세기술요건	- 안전원칙을 만족시키기 위하여 준수되어야 하는 기술적 상세요건
• 안전규제지침	- 필수적인 규제요건 (일반안전요건, 상세기술요건)을 반영하기 위하여 선택적으로 제시되는 허용 가능한 방법론 및 사항
• 안전심사지침	- 안전규제심사의 일관성 및 효율성을 위한 심사 범위, 심사방법 및 연계성에 관한 내부 지침

그림 1. 기본과 신형원자로의 안전규제기술요건의 연계성

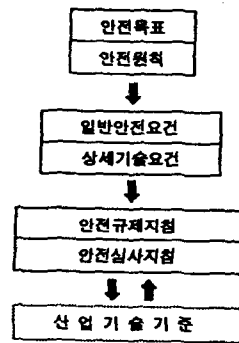


표 2. 안전규제기술요건 체계(안) 비교·평가

항 목	기 본 체 계					
	우리나라	미 국	일 본	독 일	프 랑스	IAEA
안전목표/원칙	원자법, 원자력법 시행령	원자법, 원자력법	원자력기본법, 원자력통규제법	원자법, 방사선 방호법	Loi, Decree, Arrête	Safety Fund, INSAG-3, TECDOC(Draft)
일반안전요건	원자법 시행령	10CFR(GDC)	통상산업법, 원자력안전위원회 지침	BMI 실행	Decree, Arrête	Safety Standard (GDC)
상세기술요건	장관고시	10CFR(Standard, SRP(Criteria))	원자력안전위원회의 지침 (통상산업법 고시)	RSK 지침, (KTA 기준)	RFS, RCC-Series	Safety Standard (Specific), Safety Guide
안전규제지침		Regulatory Guide	원자력안전위원회 지침	RSK 지침	Circulaire (Instruction)	Safety Practice
안전심사지침		SRP(Review Method, Procedure)	원자력안전위원회 지침	BMJ 지침		

그림 2. 안전규제기술요건 체계(안)

표 3. 안전원칙 구성체계(안)

- ① 심층방어
 - 사고예방 및 완화를 위한 신뢰성있는 다중방호 요소조치 강구
 - 방사성물질 누출저감을 위한 신뢰성있는 다중방벽 요소조치 강구
- ② 인공기술
 - 운전경향, 시험, 해석을 통한 인공기술 사용
- ③ 품질보증
 - 안전성비교 품질 확보 및 유지 보장
- ④ 신뢰요인
 - 안전성수 예방 및 완화를 위한 인간공학적 고려
- ⑤ 안전여유도
 - 운전원조치 감소
 - 사고여유 및 운전원 대응시간 확보
- ⑥ 안전성 평가 및 검증
 - 종합적이고 체계적인 안전성평가
 - 안전성평가 보장을 위한 해석, 검사, 시험 또는 검사를 통한 검증
- ⑦ 방사선방호
 - 방사선 및 주변방 방사선 피폭 저감(KALARA)

표 4. 일반안전요건 구성체계(안)

- | I. 전체요건 | II. 심층방어 |
|------------------|-----------------|
| 1. 안전기술 | 15. 원자로 설계 |
| 2. 원전조건 설계기준 | 16. 노심의 건전성 |
| 3. 중대사고 | 17. 원자로 고유보호 |
| 4. 품질보증 | 18. 원자로출력제한 억제 |
| 5. 신뢰요인 설계기준 | 19. 계속 할 제어 |
| 6. 화재방호 | 20. 원자로냉각재 임계경계 |
| 7. 원장리 및 출력 설계기준 | 21. 원자로냉각재계를 설계 |
| 8. 삼차의 공유 | 22. 격납용기 설계 |
| 9. 운전원 조치 | 23. 비상정지기 |
| 10. 신뢰도 | 24. 비상정지기 |
| 11. 기동/정지/재출력운전 | 25. 최종정지원으로 열수송 |
| 12. 시험/검사/보수성 | 26. 전핵공급 |
| 13. 비상조치 | 27. 제어실 |
| 14. 원자로 폐쇄 | |
| III. 핵연료 및 폐기물 | IV. 방사선 방호 |

표 5. 상세기술요건 구성체계(안)

공 통	계통/분야
제1장 공통요건	제2장 구조설계
1.1 등급분류	제3장 원자로실
1.2 적용규격 및 기준	제4장 원자로냉각재계통
1.3 원전조건 분류	제5장 공학적안전계통
1.4 외부요인	제6장 격납계통
1.5 기기검증	제7장 계속제어계통
1.6 신뢰성	제8장 전력계통
1.7 시험, 검사 및 보수	제9장 보조계통
1.8 재질	제10장 동력연동계통
1.9 계통간 냉각재상설사고	제11장 방사선폐기물계통
1.10 원전 진원상설사고	제12장 방사선방호
1.11 저출력 및 정지운전	제13장 인간공학
1.12 화재방호	제14장 사고해석
1.13 품질보증	제15장 중대사고 평가
• 상세세계도 구성 및 단위요소 기입명 항목	제16장 운전
	제17장 폐쇄