

《기술보고》

발전용원자로 안전규제기술요건 개발

김효정 · 안상규 · 김웅식 · 윤영길 · 방영석 · 설광원

한국원자력안전기술원

(1995. 3. 29 접수)

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 제시하고 있다. 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 제시하고 있다. 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.

1. 안전규제요건 개발 배경

원자력발전을 통한 안정적 에너지 공급의 불가피성과 원전에 대한 국민의 신뢰성 제고를 위하여 원전의 안전성을 혁신적으로 증진시킬 수 있는 새로운 안전개념 도입의 필요성이 강조되어져 왔으며, 이를 반영하기 위한 기술개발 연구와 더불어 신형원자로 개발이 전세계적으로 활발히 수행되고 있다[1]. 그러나 증진된 안전성확보를 위한 혁신적인 새로운 안전개념의 도입은 기존 운전중인 원자로와는 상당히 다른 설계/운전 특성이 예견될 뿐만 아니라, 이에 수반되는 안전성 평가와 성능의 검증에 세심한 고려가 있어야 할 것이다[2].

국가에너지정책의 일환으로 새로운 안전개념의 신형원자로 개발에 박차를 가하고 있는 미국에서는 신규원전에 적용될 새로운 안전규제방향의 제시와 이의 시행을 위한 구체적 규제요건을 설정하여 왔으며[3, 4, 5, 6], 신규원전의 안전규제에 이들을 적용하여 향상된 안전성확보를 위한 노력을 기울이고있다[7, 8, 9, 10]. 미국의 안전규제방향 및 신규 규제요건 등의 주요한 특성

으로서는, 신규원전은 기존의 안전규제요건을 충족시켜야 할 뿐만 아니라 심층방어개념의 강화, 중대사고 예방 및 완화를 위한 대처방안, 계통의 신뢰도 증진, 설계 및 운전에서의 인간공학적 요인 고려, 운전경험반영 및 입증기술활용, 계통의 단순화 및 표준화 등을 통하여 보다 향상된 안전성을 제시하도록 요구하고있으며, 또한 이를 정량화 및 가시화하기 위한 상세요건들이 설정되고 있다는 것이다. 증진된 안전성확보를 위한 노력은 원자력을 통한 에너지 수급에 크게 의존하고 있는 프랑스, 독일, 일본 등의 선진국들에서도 두드러지게 나타나고 있다. 예로써, 독일과 프랑스의 원전설계사업자들이 공동으로 개발하고있는 유럽형원자로(EPR)의 안전규제를 위하여 양국의 규제기관은 공동으로 원칙적인 안전규제방향[11]을 제시하였으며 세부적인 기술요건 설정을 위한 작업을 계속 수행하고 있다. 각 국가들의 원전에 대한 안전성 향상노력과 병행하여 최근 국제원자력기구(IAEA)에서는 원자력에 의한 에너지 수급의 확대 전망에 따라 공공과 환경을 방사선으로부터 보호하기 위하여 향후 개발될 원전에 대한 새로운 안전목표와 안

전원칙[12, 13, 14] 및 안전기술요건 설정을 통한 국제적인 안전수준의 확보에 노력을 기울이고 있다.

원전에 대한 안전성향상 및 위험도감소 노력은 안전 목표, 안전원칙 및 이에 수반되는 안전규제 기술요건 / 지침의 보완 및 재설정을 통하여 가시화되고 있다. 이는 원전의 안전성향상을 위하여 설계 및 운전에 반영 준수하여야 할 사항들을 원전사업자에게 사전에 제공함으로써 원전의 안전성에 대한 조기확인과 인·허가의 안정화를 도모하고자 하는데 있다. 또한, 원자력 사업자 및 설계자들은 제시된 안전규제요건의 충족을 통하여 원전의 기본적인 안전수준을 유지하면서 안전설계 및 운전에서의 충분한 안전여유도 확보와 안전목표치의 상향설정을 통하여 향상된 안전성확보를 위한 노력을 기울이고 있다.

우리나라는 에너지자원이 부족한 여건에서 원자력발전을 통한 안정적 에너지 공급의 불가피성에 따라 원자력산업의 활성화를 국가적인 정책으로 추진하여 왔으나, 원전의 가동기수 증가에 따른 안전성문제는 국민의 원전에 대한 신뢰도 확보와 더불어 새로운 안전개념을 바탕으로 한 원전개발의 당위성을 낳고 있다. 이러한 원전안전에 대한 국내·외적인 여건을 반영하기 위하여, 새로운 안전개념 도입을 통한 획기적인 안전성증진을 위한 차세대원자로 개발사업이 국가선도기술개발사업(G-7 Project)의 일환으로 1992년 부터 시작하여 2001년 까지 10년의 일정으로 수행되고 있다. 차세대원자로

개발의 주요목표가 설계기술개발에 있다면 설계에 반영 준수되어야 할 안전규제요건의 정립은 선행되어야 할 주요 과제가 아닐 수 없다. 그러나, 우리나라는 현재 원전 9기를 가동하고 있으며, 신규원전 7기의 건설과 신규 원전 2기의 건설허가 심사가 계획중임에도 불구하고 원전 안전성확보의 주요 요소인 안전규제요건의 설정이 상당히 미비되어 있는 실정이다. 이로 인하여 기존의 도입된 원전의 안전규제에서도 공급국의 규제요건을 준용함에 따른 여러가지 문제점이 표출되어져 왔다. 따라서, 차세대원자로 개발사업의 일환으로 수행되고있는 차세대원자로 안전규제요건 개발에서는 기존원전의 안전규제요건의 체계적인 정립과 더불어 향상된 안전성 확보를 위한 주요 안전현안들의 반영을 통하여 향후 개발될 차세대원자로의 안전규제에 적용할 수 있는 종합적이고 완전한 우리나라 안전규제요건이 정립되어야 할 것이다. 이렇게 개발된 안전규제기술요건은 원전설계/사업자 및 안전규제수행자들이 각자의 활동에서 공통적으로 적용함으로써 궁극적으로 차세대원자로의 향상된 안전수준 확보 및 안전성에 대한 조기확인과 인·허가 안정화를 도모하고, 국민의 원전에 대한 신뢰도향상 뿐만 아니라 안전규제의 일관성, 효율성 및 투명성 확보에 크게 기여할 수 있을 것이다.

2. 안전규제기술요건 개발 방향

향후원전의 안전성향상을 위한 제반 노력은 안전규제 절차와 이에 수반되는 서류요건에서의 변화를 포함하고 있으나, 전반적으로 안전규제기술요건의 개선 및 보완에 주안점을 두고있다. 따라서, 본 기술보고에서는 우선적으로 안전규제기술요건에 초점을 두고 이들의 개발방향에 대하여 기술하고자 한다.

원자력선진국들은 나름대로의 체계를 갖춘 기존 안전규제기술요건을 구비하고 있기 때문에 향후원전의 향상된 안전성확보를 위한 주요 추가 고려항목 및 요소들에 대하여 중점 검토하여 이들의 반영을 위한 기존요건의 개선·보완을 통하여 신형원자로 안전규제요건 정립에 상당한 노력을 기울이고 있다. 그림 1은 기존 원자로의 안전규제기술요건으로 부터 신형원자로 안전규제기술요건의 설정방향을 도식화하고있다. 즉, 향후원전의 안전성향상을 위한 주요 관점인 획기적 안전성증진, 방사선위험도 최소화 및 공공의 신뢰도 증진을 위하여 기존요건으로 부터 개선·보완되어야 할 요건들을 도출함으

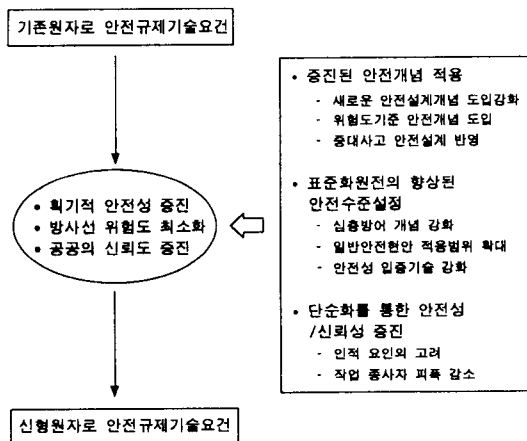


그림 1. 기존과 신형원자로의 안전규제기술요건의 연계성

로써 신형원자로의 안전규제기술요건을 정립하고자 하는 것이다. 개선·보완되어야 할 주요 고려항목으로서 는 증진된 안전개념 적용, 표준화 원전의 향상된 안전수 준 설정 및 계통의 단순화를 통한 안전성/신뢰성 증진 등으로서 구체적 요소들은 그림 1에서 보는 바와 같다. 그러나, 우리나라의 경우 체계적이고 구체적인 안전규 제기술요건이 미정립되어 있는 실정이므로, 향후원전의 안전규제에 있어서 단지 안전성향상 관련항목 및 요소 들만의 고려로서는 체계적이고 일관성 있는 안전규제 업무수행에 계속적인 문제점을 표출하게 될 것이다. 따 라서, 향후원전의 안전규제를 위하여는 완전한 안전규 제기술요건 체계가 필수적으로 설정되어야 할 것이며, 이러한 체계 아래에서 기존규제요건과 더불어 안전성 향상요인을 반영한 각각의 요건들이 병행하여 종합적으 로 개발되어야 할 것이다.

우리나라 실정에 적합한 체계적이고 구체적인 안전규 제기술요건의 개발은 실로 방대하고 장기간의 일정이 소요되는 과제일 것이다. 이의 성취를 위하여는 조직적 이고 체계적인 상세개발방향이 설정되어 지속적이고 일 관성있는 업무수행이 이루어져야 할 것이다. 이러한 개

발방향의 정립을 위하여는 우리나라의 규제요건 및 외 국의 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. 원자력선 진국들이 나름대로 설정하고 있는 기존 안전규제기술요 건의 체계, 구성내용 및 규제관행에 대한 향상된 이해와 안전성증진을 위한 노력들에 대한 심도있는 분석 평가 는 우리나라 안전규제기술요건 체계구축 및 요건의 설 정에 상당한 참조가 될 것이다. 우리나라 규제환경 및 여건을 토대로 외국현황의 종합적인 분석과 규제관행을 적극 반영함으로써 보다 나은 우리의 안전규제기술요건 체계와 합리적인 요건설정을 기할 수 있을 것이다.

그림 2에는 안전규제기술요건 개발방향 수립을 위하 여 설정된 6개의 Task에 대한 업무의 흐름도를 보이고 있다. 신행로개발 및 안전규제에 관한 일반적인 현황을 다룬 Task 1의 결과를 토대로 국내·외 기존 안전규제 요건 현황 분석·평가와 더불어 향후원전의 안전성 증 진을 위한 외국의 현황파악, 설계반영 현황파악 및 기존 규제요건과의 비교 등을 포함한 구체적이고 심도 깊은

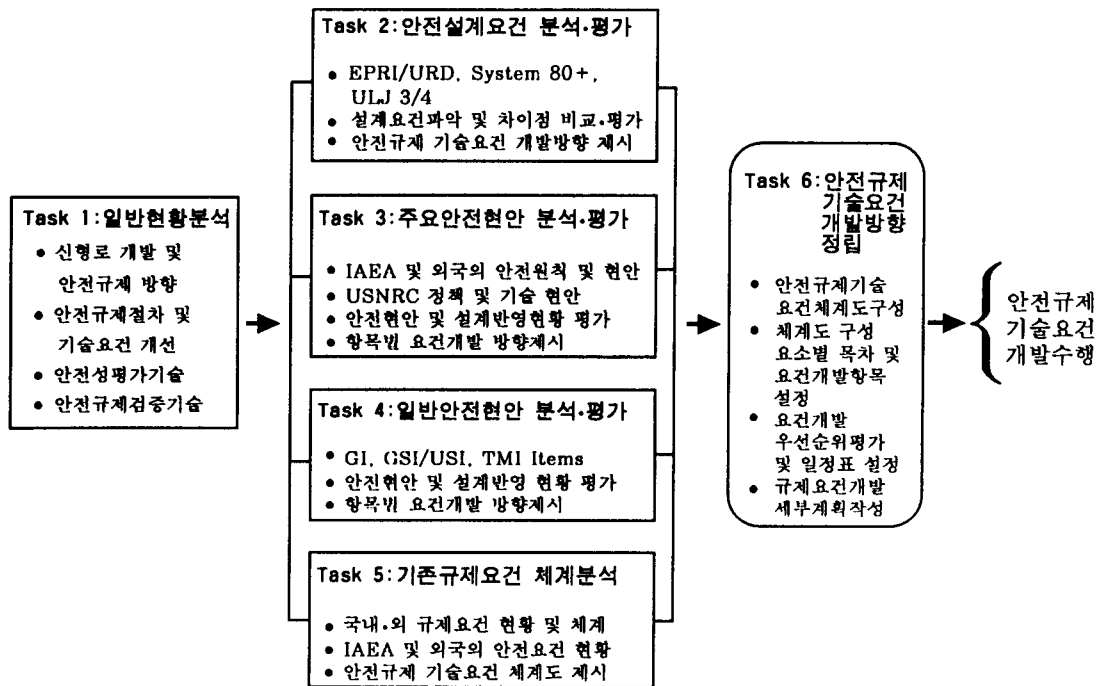


그림 2. 안전규제기술요건 개발방향수립 업무흐름도

기술현황 분석·평가의 필요성이 도출되었으며, 이에 따라 4개의 Task가 설정되어 있다. 각 Task에서의 결과들은 안전규제기술요건 개발방향정립(Task 6)에 직접적으로 활용되며, 또한 세부 개발방향정립 후 수행되어질 기술요건개발의 단위항목들에 대한 기본적인 방향을 제시하게 될 것이다.

본 기술보고에서는 지금까지 단계적으로 수행되어온 기술현황분석 및 평가 결과들을 간략하게 정리하고, 이들을 토대로 수립된 안전규제기술요건의 개발방향에 대하여 기술하고자 한다.

3. 기술현황 분석 및 평가

신형원자로의 일반현황분석을 다룬 Task 1[1]에서는 국외의 신형원자로 개발현황 및 안전규제방향 파악, 국외의 신형원자로 안전규제절차 및 안전규제기술요건 개선·보완 현황 평가와 국내 현황과의 비교 평가, 국외에서 개발되고있는 신형원자로 설계요건 및 안전특성 파악과 신형원자로의 주요 안전쟁점현안 평가 등이 포함되어있다. Task 1의 결과는 안전규제기술요건 개발방향 정립을 위하여 우선적으로 다루어져야 할 주요 Task들의 설정에 대한 근거를 제공하고 있다.

신형원자로의 안전설계요건 분석·평가를 다룬 Task 2[15, 16, 17, 18]에서는 신형원자로의 각 계통 및 분야에 관한 미국 사업자설계요건(EPRI/URD) [9, 19]의 현황을 파악하고, EPRI/URD요건을 근간으로 개량형원자로인 System 80+ CESSAR [10, 20] 및 기존 국내원전인 울진 3/4 PSAR 설계현황을 비교·평가하였다. 또한 이들을 토대로 안전규제기술요건 개발에 반영하여야 할 주요 고려항목 및 안전성 증진 항목의 도출, 그리고 안전규제기술요건 체계도상의 구성요소들에 대한 방향도출 등 안전규제 기술요건의 개발방향을 제시하고 있다.

신형원자로의 주요안전현안 분석·평가의 일환으로 수행된 Task 3[21]에서는 IAEA 및 외국에서 신형원자로의 안전성증진을 목적으로 보완·개선하고 있는 안전목표/원칙[3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 22] 및 주요 안전요건 등의 현황을 평가하고, 신형원자로의 설계 및 안전심사에서 도출된 주요 정책 및 안전현안[7, 8, 9, 10]들에 대한 평가를 다루고 있다. 또한 주요안전요건 및 정책현안들에 대한 신형원자로 안전규제방향과 설계(EPRI/URD, System 80+)에의 반영현황을 파악하

고 국내 기존원자로(울진 3/4호기)와의 비교·평가가 수행되었다. 본 Task에서 다루는 주요 안전요건 및 정책현안은 기존의 규제요건에서 상당한 개선·보완 내용을 포함하고있어 우리나라의 안전규제기술요건 설정에서 중점적으로 다루어져야 할 현안들이며, 이들의 상세한 현황평가에는 우리나라 안전규제기술요건 개발에서의 개개항목별 개발방향을 포함하고 있다.

신형원자로의 일반안전현안 분석·평가의 일환으로 수행된 Task 4[23]에서는 USNRC에서 지금까지 운전경험, 규제심사 및 규제기술개발 등의 다양한 경로로서 도출하여 해결방안의 설정을 통해 가동중 및 향후원전에 적용하고 있거나 혹은 해결방안을 모색하고 있는 TMI Action Items, Task Action Plan Items, New Generic Issues, Human Factor Issues, Chernobyl Issues 등으로 구성된 일반현안[24] 전체에 대하여 5개의 선택기준을 설정하여 우리나라의 안전규제요건 개발에 반영되어야 할 일반안전현안을 도출하였다. 도출된 일반안전현안들은 개개현안별로 안전현안의 배경 및 내용 파악, USNRC 규제입장 및 해결방안 평가, 신형원자로 설계(EPRI/URD, System 80+)에의 반영현황 평가[9, 10] 및 국내 기존원전인 울진 3/4호기와의 비교 평가 등이 수행되었다. 이러한 결과들을 토대로 우리나라의 안전규제기술요건 개발에의 반영 및 개개 현안별 기술요건 개발의 방향을 제시하고 있다.

발전용원자로의 기존규제요건 체계 분석·평가의 일환으로 수행된 Task 5[25]에서는 우리나라, 미국, 일본, 독일 및 프랑스의 5개국과 IAEA의 발전용 경수형 원자로에 적용되고있는 안전규제기술요건의 구성체계와 현황을 파악하고 이들 상호간의 비교·평가를 수행하였다. 본 Task에서 다루어진 미국, 일본, 독일 및 프랑스의 안전규제기술요건 평가에는 일반요건에서부터 상세기술요건의 구성체계 뿐만 아니라 구성항목의 주요 내용까지 포함하고 있어 우리나라 안전규제기술요건 설정에서 필수적으로 고려되어야 할 기술요건의 구성요소들을 도출하는데 많은 도움이 된다.

4. 안전규제기술요건 체계 구축

4.1. 전체 체계도 설정

우리나라, 미국, 일본, 독일, 프랑스의 안전규제기술요건 체계의 비교·평가에서 안전규제기술요건은 각각

의 인·허가 제도의 특성에 따라 다양한 법적 제정형태 및 위상을 갖추고 있음을 알 수 있다. 그러나, 유사한 법적 위상 및 효력을 갖는 각국의 기술요건 및 지침들을 분석한 결과 동일한 수준의 항목들이 다수 공통적으로 존재함을 확인할 수 있다. 안전규제요건의 설정에서 우선적으로는 궁극적으로 성취하고자 하는 안전목표와 이의 달성을 위하여 원칙적으로 다루어져야 하는 안전의 주안점을 명시한 안전원칙이 제시되고 있음을 알 수 있다. 제시된 안전목표와 안전원칙을 토대로 이들을 만족시키기 위하여 준수되어야 할 규제요건들이 설정되어 있으며, 설정된 규제요건들도 그 성격에 따라 상위요건과 하위요건 등으로 구분되어 있다. 상위의 기술요건일수록 포괄적이고 일반적인데 반하여, 하위의 기술요건일수록 구체적이고 상대적으로 상세한 기술요건으로 구성되어 있으며 개정절차가 비교적 용이한 형태를 취하고 있음을 알 수 있다. 또한, 원전의 계통, 기기 및 구조물의 설계, 제작, 시험 및 검사 등에 관한 보다 상세한 기술요건에 대해서는 대부분의 국가가 자국의 산업계에 의해서 개발된 산업기술기준을 규제기관의 사전 검토를 통하여 준용하고 있음이 파악되었다.

외국의 안전규제기술요건 체계의 비교·평가와 우리나라의 규제현황 및 여건을 고려하여 원전의 안전성확신을 위한 국제적인 요구에 부응할 수 있는 안전규제기

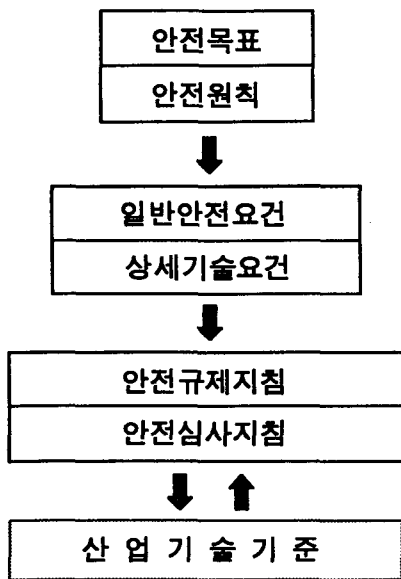


그림 3. 안전규제기술요건 체계(안)

술요건 체계(안)을 구축하였다[26]. 그림 3에 제시된 바와 같이 안전목표, 안전원칙, 일반안전요건, 상세기술요건, 안전규제지침, 안전심사지침 등으로 구성된 안전규제기술요건 체계(안)은 궁극적인 안전의 지향목표로부터 구체적인 안전규제 방법론에 이르는 일련의 계층을 형성하고 있다. 또한 공학적 세부사항에 대하여는 필요에 따라 산업기술기준과 연계를 가지도록 구성되어 있다. 안전규제기술요건 체계(안)의 구성요소들에 대한 정의는 표 1에 제시되어 있으며, 내용상의 상세도는 표 2에 기존의 국내·외 요건체계와 비교·제시되어 있다. 즉, 안전목표/원칙은 상세수준에서는 우리나라 원자력법 및 원자력법시행령과 미국의 원자력법 및 정책성명에 상응하며 내용에 있어서는 안전의 지향목표 및 안전의 주안점을 제시하게 된다. 일반안전요건은 상세수준에서는 우리나라 원자력법시행령 및 미국의 10CFR50 App. A의 GDC에 상응하며 내용에서는 일반적이고 포괄적인 기술요건을 제시하게 된다. 상세기술요건은 상세수준에서 우리나라 과학기술처고시와 미국 10CFR50의 기술요건 및 SRP(Standard Review Plan)의 허

표 1. 안전규제기술요건 체계(안) 구성요소의 정의

| 요 소 | 정 의 |
|----------|---|
| • 안전 목표 | - 궁극적으로 성취하고자 하는 안전의 지향 목표 |
| • 안전원칙 | - 안전목표를 달성하기 위하여 원칙적으로 다루어져야 하는 안전의 주안점 |
| • 일반안전요건 | - 안전원칙을 만족시키기 위하여 준수되어야 하는 일반적 기본요건 |
| • 상세기술요건 | - 안전원칙을 만족시키기 위하여 준수되어야 하는 기술적 상세요건 |
| • 안전규제지침 | - 필수적인 규제요건(일반안전요건, 상세기술요건)을 반영하기 위하여 선택적으로 제시되는 허용가능한 방법론 및 사양 |
| • 안전심사지침 | - 안전규제심사의 일관성 및 효율성을 위한 심사 범위, 심사방법 및 연에 관한 내부 지침 |

표 2. 안전규제기술요건 체계(안) 비교·평가

| 항 목 | 기 존 체 계 | | | | | |
|---------|----------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|--|
| | 우리나라 | 미 국 | 일 본 | 독 일 | 프 랑 스 | IAEA |
| 안전목표/원칙 | 원자력법, 원자력법 시행령 | 원자력법, 정책성명 | 원자력기본법, 원자로등 규제법 | 원자력법, 방사선 방호령 | Loi, Decree, Arrete | Safety Fund., INSAG-3, TECDOC(Draft) |
| 일반안전요건 | 원자력법 시행령 | 10CFR(GDC) | 통상산업성령, 원자력안전위원회 지침 | BMI 성령 | Decree, Arrete | Safety Standard (GDC) |
| 상세기술요건 | 장관고시 | 10CFR(Standard), SRP(Criteria) | 원자력안전위원회 지침, 통상산업성 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 | BMU 지침 | | |

용기준에 상응하며 내용에서는 구체적인 기술요건을 제시하게 된다. 안전규제지침은 미국의 Reg. Guide와 동일한 성격을 갖고 있으며 선택적인 허용방법론 및 사양을 제시하게 된다. 안전심사지침은 미국의 SRP와 같이 원전 안전규제심사자를 위한 심사범위, 심사 절차 및 방법론에 대한 지침을 제공해 줄 것이다. 그러나, 우리나라 안전심사지침은 미국 SRP와는 달리 기술요건을 명시하지 않으며 단지 규제기관의 심사자를 위한 내부지침으로서의 성격을 갖게 된다.

4.2. 안전목표

궁극적으로 성취하고자 하는 안전의 지향목표를 명시하는 안전목표는 안전규제기술요건 체계상의 최상위 요건으로, 하위 기술요건의 일관성 있는 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. 일반안전목표는 방사선 재해로부터 원전 종사자와 인근의 주민들을 보호하고 또한 사회공공의 시설물과 자연환경을 보호하는 것으로서 우리나라 원자력법에서 허가기준의 형태로 규정되어있는 안전목표를 수

용하고 또한 국제방사선방호위원회(ICRP)가 제안한 것과 같이 방사선의 피폭과 누출을 경제적 사회적 여건을 고려하여 “합리적으로 달성가능한 한 낮게(ALARA-A)”개념을 함축적으로 반영하고 있다. 기술적안전목표는 원전에서 발생가능한 모든 사고에 대한 예방조치와 사고결말에 대한 완화 및 관리조치에 대해 보다 완벽성을 기하고자 하는 것이다. 즉, 기술적으로 그 발생이 예상되는 사고는 물론 발생가능성은 희박하지만 발생했을 경우 그 사고결말이 심각한 방사선결말을 수반하는 중대한 사고를 포함한 모든 사고의 발생을 방지하기 위하여 고도의 신뢰성을 갖는 사고예방조치가 원자력발전소의 설계단계에서부터 고려되어야 할 것이다. 이러한 사전예방조치에도 불구하고 모든 사고의 잠재적인 가능성을 가정하여 각각의 사고에 대한 예상 방사선결말이 최소화되도록 최선의 완화 및 관리조치가 설계에 고려되어야 할 것이다. 기술적안전목표는 사고예방, 사고결말의 완화 및 관리의 적절한 조화를 통한 보다 강화된 심층방어개념의 설정을 통하여 구체화 될 것이다.

4.3. 안전원칙

안전원칙은 안전목표를 달성하기 위하여 원칙적으로 다루어져야 할 안전의 주안점으로써 안전규제기술요건

을 포괄하는 기본적인 철학을 제공하기 위하여 설정되어 있다[26]. 안전원칙은 IAEA에서 설정하고있는 안전원칙과 국제원자력안전협약에 규정되어있는 기술적 안전원칙을 토대로 국제적인 안전수준을 반영하도록 설정되어있다. 설정된 안전원칙은 하위요건인 일반안전요건 및 상세기술요건의 충족을 통하여 입증가능한 요소들로서, 심층방어, 입증기술, 품질보증, 인적요인, 안전여유도, 안전성 평가 및 검증, 방사선 방호 등 7개의 항목으로 구성되어있다. 안전원칙 각 항목들의 구성요소들은 아래에서 보는 바와 같다.

① 심층방어

- 사고예방 및 완화를 위한 신뢰성 있는 다중방호 보호 조치 강구
- 방사성물질 누출차단을 위한 신뢰성있는 다중방벽 보호조치 강구

② 입증기술

- 운전경험, 시험, 해석을 통한 입증기술 사용

③ 품질보증

- 안전설비의 품질 확보 및 유지 보장

④ 인적요인

- 인간실수 예방 및 완화를 위한 인간공학적 고려

⑤ 안전여유도

- 운전원조치 감소
- 사고억제 및 운전원 대응시간 확보

⑥ 안전성 평가 및 검증

- 종합적이고 체계적인 안전성평가
- 안전운전 보장을 위한 해석, 감시, 시험 또는 검사를 통한 검증

⑦ 방사선방호

- 종사자 및 주민의 방사선 피폭 저감(ALARA)

4.4. 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 3에서 보는 바와 같이 크게 전체

표 3. 일반안전요건 구성체계(안)

| I. 전체요건 | II. 심층방어 |
|------------------|-----------------|
| 1. 안전기능 | 15. 원자로 설계 |
| 2. 원전조건 설계기준 | 16. 노심의 건전성 |
| 3. 중대사고 | 17. 원자로 고유보호 |
| 4. 품질보증 | 18. 원자로출력진동 억제 |
| 5. 외적요인 설계기준 | 19. 계측 및 제어 |
| 6. 화재방호 | 20. 원자로냉각재 압력경계 |
| 7. 환경적 및 동적 설계기준 | 21. 원자로냉각재계통 설계 |
| 8. 설비의 공유 | 22. 격납용기 설계 |
| 9. 운전원 조치 | 23. 정상열제거 |
| 10. 신뢰도 | 24. 비상열제거 |
| 11. 기동/정지/저출력운전 | 25. 최종열침원으로 열수송 |
| 12. 시험성/점사성/보수성 | 26. 전력공급 |
| 13. 비상조치 | 27. 제어실 |
| 14. 원자로 해체 | |
| III. 핵연료 및 폐기물 | IV. 방사선 방호 |

요건, 심층방어요건, 핵연료 및 폐기물 요건, 방사선방호요건 등의 4개 범주로 구별되어있다. 전체요건 범주에서 14개의 단위요건과 심층방어요건 범주에서 13개의 단위요건이 도출되었으며, 단위요건별 주요 요점과 참조조건들을 포함한 단위요건 설정의 기본방향이 제시되었다[26]. 전체요건은 원전의 안전성에 중요한 모든 설비 또는 다수의 설비에 적용되어야 할 것들로 구성되어 있는데 특히 중대사고, 기동/정지/저출력운전 및 원자로해체 등의 항목들은 신중히 고려되어야 할 신규항목들이다. 심층방어요건은 원전의 안전성확보에 있어서 필수적인 요소로서 기존의 심층방어전략이 유지되어야 함은 물론 보다 더 강화된 원전의 심층방어설계를 통해서 기존보다 향상된 안전수준의 확보가 요구되고 있다. 심층방어의 구성항목은 심층방어 안전원칙에서 이미 제시된 신뢰성 있는 다중방벽 및 다중방호의 구축 및 유지의 관점에서 설정되어 있다. 핵연료 및 폐기물과 방사선 방호 요건의 경우 방사선으로부터 환경 및 인체보호와 직결된 부분으로서 방사성물질에 의한 오염과 방사선피폭을 현재의 과학기술능력과 경제적 고려하에 달성 가능한 한 극소화시켜야 한다는 안전목표의 실제적 이행을 반영한 요소들이 수용되어질 것이다.

4.5. 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 4에서 보는 바와 같이 크게 공통요건과 계통/분야 요건으로 구분되어있으며, 13개의 공통요건과 17개의 계통/분야 요건으로 구성되어있다. 공통요건은 원전 설계전반에 공통적으로 적용되어야 할 상세요건들 중에서 요건의 체계가 방대하지 않은 항목(예 : 등급분류, 적용 규격 및 기준, 원전조건 분류 등)과, 여러 계통과 접속관계를 갖고있는 주요 항목 중에서 각 계통에 분산하여 명시하기 보다는 종합적으로 명시하는 것이 바람직하다고 판단되는 항목들(예 : 계통간 냉각재상실사고, 완전 전원상실사고, 저출력 및 정지운전 등)로 구성되어있다. 계통/분야 요건은 계통관련 요건들(예 : 원자로냉각재계통, 공학적안전계통 등)과, 원전 설계 전반에 공통적으로 적용되어야 할 요건들 중에서 그 체계가 방대한 항목들(예 : 구조설계,

방사선 방호, 중대사고 평가 등)로서 구성되어있다. 상세기술요건 체계의 각 구성요소들에 대하여는 각 구성요소별 세부체계를 구성하였으며, 이들 구성에 따른 단위요건별 주요 요점과 참조요건들을 포함한 향후 단위요건 설정의 기본방향이 제시되었다[26].

4.6. 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. 특히, 지나치게 세분화되어있는 기존의 Reg. Guide는 통합될 것이며, 안전성 향상을 위하여 고려하고 있는 주요 규제요건 개선항목 및 안전현안들과 관련된 항목들에 대해서는 신규 지침이 설정될 것이다.

4.7. 안전심사지침

안전심사지침은 원전에 대한 안전규제를 수행함에 있어서 심사과정의 일관성과 효율성을 유지하기 위하여 심사자에게 심사범위, 관련허용기준 및 연계성, 심사 절차 및 방법, 심사결과와 문안작성 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. 또한, 심사자에게 심사에 적용되어야 할 분야별 관련 안전규제기술요건과 검토항목 목록을 제시함으로써 심사의 효율성을 높이게 될 것이다. 따라서, 안전심사지침은 기본적으로 사업자들이 인·허가를 위해서 제출하게 될 안전성분석보고서의 체계에 따라서 구성될 것이다.

표 4. 상세기술요건 구성체계(안)

| 공 통 | 계통/ 분야 |
|------------------|---------------|
| 제1장 공통요건 | 제2장 구조설계* |
| 1.1 등급분류* | 제3장 원자로심* |
| 1.2 적용규격 및 기준* | 제4장 원자로냉각재계통* |
| 1.3 원전조건 분류* | 제5장 공학적안전계통* |
| 1.4 외부요인* | 제6장 격납계통* |
| 1.5 기기검증* | 제7장 계측제어계통 |
| 1.6 신뢰성* | 제8장 전력계통 |
| 1.7 시험, 검사 및 보수* | 제9장 보조계통 |
| 1.8 재질 | 제10장 동력변환계통 |
| 1.9 계통간 냉각재상실사고* | 제11장 방사성폐기물계통 |
| 1.10 완전 전원상실사고* | 제12장 방사선방호 |
| 1.11 저출력 및 정지운전* | 제13장 인간공학 |
| 1.12 화재방호* | 제14장 사고해석* |
| 1.13 품질보증 | 제15장 중대사고 평가* |
| * 상세체계 구성 및 단위요소 | 제16장 운전 |
| 기설정 항목 | 제17장 해체 |

5. 요건개발 추진전략

5.1. 핵심기술현안 도출 및 해결방안 강구

안전성 증진요소 및 개선된 규제요건들을 규제기술요건 체계내에 반영하고자 할 때 대상 요건의 수용 타당성 및 타 요건들에 미치는 영향들에 대하여 심층적 평가를 거치지 않고서는 반영방향을 설정하기 어려운 핵심기술 현안들이 많이 있다. 이러한 현안들은 안전규제기술요건의 개발일정을 고려하여 상세한 추진계획을 수립하고 해결방안을 강구함으로써 규제기술요건 체계에 효율적으로 반영할 수 있다.

5.2. 요건개발 우선순위 평가 및 일정구축

개발된 안전규제기술요건 체계를 바탕으로 구체적인 상세개발일정이 구축되어야 한다. 차세대원자로 설계개발일정, 국외의 규제요건개선 추진일정 및 도출된 핵심기술현안의 추진일정 등을 고려하여 요건체계별 및 구성요소별 요건개발의 우선순위를 설정함으로써, 각 분야별 및 계통별 개발일정의 균형을 유지하고 상호 연계되는 요건들의 일관성을 확보하여야 할 것이다.

5.3. 산업기술기준과의 연계

원전의 계통, 기기 및 구조물의 설계, 제작, 설치, 시험 및 검사에 적용되는 공학적 관행은 각 나라마다 다양한 산업표준 및 규격의 형태로 정형화되어있다. 우리나라는 원자력분야 산업기술기준이 미비되어있어 원자력 기술공급국의 산업기술기준을 현재까지도 준용하고있는 실정이다. 그런데, 최근 원자력산업계 주관으로 원전 산업기술기준 개발사업이 착수되어 주요 산업기술기준이 개발될 예정인 바, 원자력산업계 및 안전규제기관이 함께 우리나라 산업기술기준과 안전규제기술요건과의 연계를 모색해야 할 단계에 이르렀다고 본다. 연계의 대상이 되는 산업기술기준은 유관기관의 협의를 거쳐야 하고 국제적인 안전수준을 제공할 수 있어야 한다. 또한, 가동중 원전의 운전경험과 산업기술의 발달에 따른 최신 기술이 적기에 반영될 수 있는 제도적 장치가 구비되어야 한다. 궁극적으로, 우리나라 산업기술기준을 안전규제기술요건과 연계시킴으로써 안전규제기술요건의

종합적인 체계의 완비는 물론 개발된 산업기술기준의 위상을 정립할 수 있을 것이다.

5.4. 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.

5.5. 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 일정단계별로 규제기관, 원자력산업계, 학계의 다수 전문가들로부터의 공식적인 견해를 수렴하고 함께 논의하는 절차가 확립되어야 할 것이다. 효과적인 수행 방법으로써 전문분야별 그룹을 구성하여 심도있게 일정 기간 검토를 수행하는 방법이 고려될 수 있을 것이며, 기존의 원자력안전기술원에 구성되어있는 원자력안전심의회 등의 자문위원회를 적극 활용하여야 할 것이다. 또한 종합적인 안전규제기술요건에 대하여 원자력위원회 산하의 안전전문분과위원회 상정을 통한 정책적 검토도 고려되어야 할 것이다.

5.6. 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 안전설계 업무에 효과적으로 적용이 가능할 것이다. 규제위상정립에서는 기존의 규제요건에 따라 건설 운영되고 있는 원전의 안전수준에 대한 영향을 고려하면서, 기설정된

어 있는 안전규제법령체계와의 조화를 이루어야 할 것이다. 또한, 원자력규제기관인 과학기술처의 안전규제 기술요건 확보 및 위상정립에 대한 확고한 의지와 더불어 추진방향설정 등을 포함한 적극적인 역할이 수반되어야 할 것이다.

6. 결 론

국내·외 안전규제기술요건의 현황 및 기술현황 분석 평가 결과를 토대로 안전목표, 안전원칙, 일반안전요건, 상세기술요건, 안전규제지침 및 안전심사지침 등으로 구성된 안전규제기술요건 체계가 구축되었으며, 궁극적인 안전의 지향목표로 부터 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 연계 방안은 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 향후원전의 향상된 안전수준확보 및 안전성에 대한 조기 확신과 인·허가 안정화를 도모하고, 국민의 원전에 대한 신뢰도향상 뿐만 아니라 안전규제의 일관성·효율성·투명성 확보에 만전을 기하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 김효정 등, "차세대원자로 안전규제 기술개발-1차년도 기술현황 보고서", KINS/GR-052, 한국원자력안전기술원 (1993)
2. 김효정 등, "신형안전로 안전특성 및 규제방안 고찰", KINS/GR-038, 한국원자력안전기술원 (1992)
3. "Regulation of Advanced Nuclear Power Plants : Statement of Policy : Final Policy Statement", 51 FR 24643, USNRC, July 8 (1986)
4. "Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plants : Policy Statement : Correction & Republication", 51 FR 30028, USNRC, Aug. 21 (1986)
5. "Policy Statement on Severe Reactor Accidents Regarding Future Designs & Existing Plants", 50 FR 32138, USNRC, August 8 (1985)
6. "Interim Guidance on Staff Implementation of the Commission's Safety Goal Policy", SECY-91-270, USNRC (1991)
7. "Evolutionary LWR Certification Issues & Their Relationship to Current Regulatory Requirements", SECY-90-016, USNRC (1990)
8. "Policy, Technical & Licensing Issues Pertaining to Evolutionary & ALWR Designs", SECY-93-087, USNRC (1993)
9. "NRC Review of Electric Power Research Institute's Advanced Light Water Reactor Utility Requirements Document", NUREG-1242, USNRC, August (1992)
10. "Final Safety Evaluation Report Related to the Certification of the System 80+ Design", NUREG-1462, USNRC, August (1994)
11. "GPR/RSK Proposal for a Common Safety Approach for Future Pressurized Water Reactors", adopted during the GPR/RSK common meeting, May (1993)

12. "Safety Fundamental : The Safety of Nuclear Installations", Safety Series, No. 110, IAEA, May (1992)
13. "Safety Principles for the Design of Future NPPs", Draft of TECDOC, IAEA, Oct. 21 (1993)
14. "The Safety of Nuclear Power", Safety Series, No. 75-INSAG-5, IAEA (1991)
15. 김효정 등, "개량형원자로 공학적안전계통의 안전성", KINS /GR-069, 한국원자력안전기술원 (1994)
16. 김효정 등, "개량형원자로 원자로계통의 안전성", KINS /GR-070, 한국원자력안전기술원 (1994)
17. 김효정 등, "개량형원자로 냉각재계통의 안전성", KINS /GR-071, 한국원자력안전기술원 (1994)
18. 김효정 등, "개량형원자로 구조설계 안전성", KINS /GR-072, 한국원자력안전기술원 (1994)
19. "EPRI ALWR Utility Requirements Document", EPRI (1989)
20. "ABB-CE System 80+ Standard Safety Analyses Report(CESSAR)", ABB-CE (1988)
21. 김효정 등, "신형원자로 안전현안평가", KINS /GR-073, 한국원자력안전기술원 (1994)
22. "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants", Safety Series, No. 75-INSAG-3, IAEA (1988)
23. 김효정 등, "일반안전현안의 신형로 적용타당성 평가", KINS /GR-075, 한국원자력안전기술원 (1994)
24. R. Emrit, et al., "A Prioritization of Generic Safety Issues", NUREG-0933, Supplements 1-15, USNRC, April 30 (1993)
25. 김효정 등, "발전용원자로 안전규제기술요건의 현황 및 체계 평가", KINS /GR-087, 한국원자력안전기술원, (1994)
26. 김효정 등, "차세대원자로 안전규제기술요건 개발 방향", KINS /GR-090, 한국원자력안전기술원 (1994)