

차세대원자로 안전규제요건 개발에의 USNRC 규제개선 프로그램 적용성

김응식, 설광원, 윤영길, 방영석, 안상규, 김효정
한국원자력안전기술원

요 약

국내 차세대원자로 안전규제기술요건 개발방향 설정의 일환으로서 USNRC가 추진중인 각종 규제개선 프로그램의 중요내용들을 분석하고 향후 규제요건 개발시 고려방향을 제시하였다. 안전에 여유가 있는 요건의 완화/제거, 규제평가그룹 권고이행, PRA 실무그룹 권고이행 및 안전심사지침 개정 프로그램 등 USNRC의 주요 규제개선 프로그램 분석을 통해 규제개선 대상 분야를 도출하고 향후 차세대원자로 안전규제기술요건 정립에 활용할 수 있도록 중요 개선항목에 대한 고려방향을 제시하였다.

1. 서 론

국내 차세대원자로 개발과 병행하여 추진중에 있는 안전규제요건 개발의 일환으로서 최근에 안전규제기술요건 체계 및 체계별 구성항목/구성요소에 대한 종합적인 개발방향이 제시된 바 있다 [1]. 안전규제 기술요건 개발방향을 효과적으로 설정하기 위해서는 기존 규제요건 체계 뿐만 아니라 규제요건 변경 및 개선요소의 평가가 요구된다. USNRC는 그 동안의 원전운전 및 규제경험을 토대로 규제요건의 복잡성 개선과 새로운 개념의 원전 설계기술 개발에 따른 신규요건의 개발과 더불어 안전의 중요도에 부합되지 않는 요건의 변경 또는 제거를 통해 규제의 효율성 제고와 사업자의 규제부담 저감등을 성취하는 한편 전체 순수 안전성은 저하되지 않도록 규제방향을 설정하려는 취지하에 각종 규제개선 프로그램을 추진해 오고 있다. USNRC의 규제개선 프로그램 결과는 기술적 요건들 뿐만 아니라 규제지침 및 심사지침에 있어서도 상당한 개정을 가져올 것이므로 규제개선 프로그램에 포함되어 있는 대상항목들을 분석하고 적용성을 평가함으로써 국내 차세대원자로 안전규제기술요건 정립에서 필요한 고려방향을 도출이 가능할 것이다.

2. USNRC 규제개선 프로그램

USNRC는 현재 그림 1 과 같은 규제개선 프로그램을 추진중에 있으며 추진결과에 따라 규정, 규제지침, 심사지침 및 규제관행 등에 상당한 변화가 예상되고 있다. 각 프로그램들은 서로간에 연계성을

가지고 있는데 각 프로그램에서 개선이 논의되고 있는 기술적 내용들을 다음에 논의하였다.

2.1 안전성에 여유가 있는 (Marginal-to-safety : MTS) 요건의 완화/제거

USNRC는 안전성에 대해 여유가 있는 요건의 완화 또는 제거를 위하여, 재평가가 필요한 특정 규제요건 및 규제입장에 대한 사업자의 의견, NRC의 내부평가 및 국립연구소의 연구결과, 공개의견 및 Workshop 결과를 토대로 안전성에 여유가 있거나 규제부담 저감이 가능한 후보항목들을 도출하고 이행계획을 수립하여 추진중에 있다 [2-6]. 이 프로그램하에서 논의되고 있는 요건 완화 및 제거의 특징은 위험도에 근거하여 (Risk-Based) 성능위주 (Performance-Oriented) 의 규제 안전목표 (Regulatory Safety Objective) 를 요건으로서 설정하고 기존의 규정적 요건내용들은 가급적 규제지침 수준에 설정한다는 점이다. 성능에 근거한 규제 (Performance-Based Regulation : PBR)는 규제의 안전목표 및 허용기준은 요건에 제시하나 이를 충족하기 위한 설비나 방법은 사업자가 비용-편익적 방법을 활용하여 개발할 수 있도록 실제에 탄력성을 부여하는 개념의 규제방식이다. 또한, 요건의 개발 또는 개정시 PRA를 통해 얻어진 위험 중요도 순위에 근거하여 안전성 증진관련 규제행위를 함으로써 규제 효율성을 제고할 수 있는 규제방안으로서 위험도기준 규제 (Risk-Based Regulation : RBR) 개념이 도입되고 있다. PBR의 안전목표 및 허용기준은 실질적인 정도까지 위험도에 근거하여 설정된다는 관점에서 PBR과 RBR 은 상호 보완적 관계에 있다. MTS 프로그램하에서 규제개선이 추진되고 있는 주요분야를 표 1 에 나타내었다. 이중 격납용기누설률시험 요건, 화재방호 요건 및 가연성가스 제어계통 요건에 대해서는 현재 구체적인 개정방향이 수립되고 있다 [7-8].

2.2 규제평가그룹 (Regulatory Review Group : RRG) 권고이행

1993년 1월에 USNRC는 상용원자로에 대한 규정, 관련 규제과정, 규제관행 및 규제프로그램 등을 평가하여 개선책을 마련하기 위한 규제평가그룹 (RRG)을 구성하였고, 여기서 도출한 권고내용에 근거하여 구체적인 이행계획을 추진중에 있다 [9-11]. 규제평가그룹 권고내용들의 이행계획에는 MTS 프로그램에서 논의되는 내용외에 규제개선을 위해 검토가 필요한 내용들이 종합적으로 다루어지고 있으므로 향후 이행결과들은 USNRC의 규제방향에 상당한 영향을 줄 것으로 보인다. RRG 권고 이행계획의 중요한 기술적 내용들은 표 2 와 같다.

2.3 PRA Working 그룹 (PRA Working Group : PRAWG) 권고이행

USNRC는 규제과정에서의 PRA 활용경험을 토대로 규제기관이 PRA 를 규제과정에 보다 효율적이고 일관성 있게 활용할 수 있는 지침의 개발이 우선되어야 한다는 인식하에 PRA Working 그룹을 구성하여 도출한 권고내용에 근거하여 구체적 이행계획을 수립하여 추진중에 있다 [12-13]. 이와 함께 PRA를 규제과정에 효율적으로 활용할 수 있도록 방향을 제시하는 정책성명(안) 및 이행계획(안) [14-15] 이 개발되어 원전 안전규제 전반에 걸친 PRA 활용이 구체화되고 있는데 표 3 과 같은 규제

업무 전반에 걸쳐 PRA 를 확대적용하는데 있어서 개선이 필요한 분야로서 기술적/절차적 업무 수행을 위한 PRA 지침개발, USNRC 직원의 교육훈련 개선 및 PRA 방법론/데이터베이스 개발 등이 도출되어 개선방향을 찾고 있다. 이행계획(안)에 포함되어 향후 RBR 관점에서 개선이 필요한 표 4 와 같은 분야에 대하여 USNRC의 입장을 정립하기 위한 Pilot 프로그램이 추진중에 있다.

2.4 SRP 개정/개발 프로그램 (SRP Update and Development Program : SRP UDP)

USNRC의 SRP 는 1981년 대폭적인 개정이 된 후 규제요건 및 산업계의 기술변화를 수용할 수 있는 개정이 이루어지지 않아 원전 안전심사에 효율적으로 활용되지 못한 현실과 신형원자로의 심사에 대비한다는 측면에서 SRP 개정 및 개발을 위한 프로그램에 착수하였고 SRP 개정, 개발 및 유지를 위한 전반적인 접근방법, 상세절차 등 종합적인 지침을 제공하는 이행절차서를 수립하여 [16] 1995년 말 까지 최종개정 작업의 종료를 목표로 추진중에 있다. SRP UDP 프로그램은 특히 신형원자로 심사 관점에서 신형원자로의 신규계통 설계개념/인허가 경험 및 일반적 인허가/안전현안 (PRA, 증대사고, 사고관리, 인간공학, 환경영향, 계통 상호작용, 유지보수, 저출력/정지운전 안전성 및 경년열화 등) 에 근거한 신규의 SRP Section 도출을 통해 현저한 개선이 이루어질 예정이다.

3. 차세대원자로 안전규제요건 개발에의 적용성

이상에서 논의한 USNRC의 각종 규제개선 프로그램에서 보는 바와 같이 프로그램들의 결과에 따라 미국의 원전 안전규제에 상당한 변화가 있을 것으로 예상된다. 각 프로그램에서 개선대상으로 선정하여 추진중에 있는 중요내용들을 표 5 에 종합적으로 나타내었다.

USNRC 규제개선 프로그램의 중요한 부분은 사업자에게 실제 탄력성을 부여하는 한편 위험도를 고려하여 위험에 큰 영향을 끼치는 구조물, 기기 및 계통들을 대상으로 규제행위를 강화하고 그렇지 않은 부분에 대해서는 규제행위의 강도를 조정함으로써 규제 효율성 및 안전성 확신을 성취코자 한다는 것이다. 개선 프로그램의 이행을 위해서는 요건에 설정되는 규제의 안전목표 및 성능기준이 PRA 고찰결과를 이용하여 개발되어야 한다. 또, 개발되는 요건들은 사업자와 규제기관이 공통인식을 가질 수 있는 것이어야 하며 향후 규제행위 과정에서 객관적으로 규제 안전목표 달성여부가 판단될 수 있도록 설정되어야 한다. 규제요건의 일관성 및 객관성 유지 측면에서 우리나라 차세대원자로 안전규제요건 개발에 PBR/RBR 개념의 적용이 가능할 것으로 판단되는데 현재 격납용기 누설률시험, 화재방호 및 가연성가스 제어계통에 대해 PBR 개념의 요건을 고려하고 있다. 격납용기 누설률시험 요건에 압력유지 또는 누설제한 경계 설비의 성능이력에 근거한 시험 수행 및 격납용기 격리보증을 위한 연속감시 등의 항목이 고려되고 있고, 화재방호요건에는 비교적 일반화 되어 있는 IAEA 안전지침의 내용과 USNRC 의 개선방향을 동시에 고려하고 있다. 가연성가스제어계통 요건에 대해서는 특정 수소 제어수단을 요구하는 대신 격납용기 건전성 유지 관점의 최소한의 성능표준만을 요건에 설정하고 제어되어야 할 수소량 및 성능표준 충족 방법은 규제지침화하는 방안이 고려되고 있다. RBR 개념의 적용은 확률론적 안전성 평가 기반이 마련되고 규제 의사결정 수단이 확보되어야 가능하므로 PRA 관

런 연구를 통해 신중히 검토되어야 할 것으로 본다. 그림 2 에서 보는 바와 같이 안전규제기술요건 설정에 있어서 상세한 분석·평가를 거치지 않고는 요건화 방안을 마련하기 힘든 내용들을 핵심기술 현안으로 분류하여 심층적 평가를 수행하고 있는데 그림은 종합적인 차세대원자로 안전규제기술요건 개발 체제내에서 USNRC 규제개선 프로그램의 분석·평가 내용이 어떻게 반영되는지를 보여주고 있다. 이상에서 논의된 USNRC 규제개선 프로그램 대상 항목들의 기술적 내용들에 대해서는 향후 규제요건 개발과정에서 구체적인 적용방안이 설정될 예정이며 필요에 따라 핵심기술현안으로 분류하여 심층분석이 이루어질 것이다.

4. 결 론

차세대원자로 안전규제기술요건 개발방향 정립의 일환으로서 USNRC가 추진중인 규제개선 프로그램을 분석·평가하였고 중요개선 분야의 도출 및 종합적 적용성 평가를 통해 향후 조치방향을 제시하였다. 차세대 안전규제기술요건 정립에 USNRC의 PBR 규제개념에 근거한 격납용기 누설률시험, 화재방호 및 가연성가스제어계통 요건 개발방향이 논의되고 있으며 확률론적 안전성평가 기반의 확립과 연계하여 RBR 개념의 적용이 신중하게 검토되고 있다. 제시된 개선 대상항목들은 향후 구체적인 적용방안의 설정과 아울러 핵심기술현안 범주에서의 안전연구 방안이 마련될 예정이며 그 결과는 차세대원자로 안전규제기술요건 정립에 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김효경 등, "차세대원자로 안전규제기술요건 개발방향," KINS/GR-090, 1994. 12., 한국원자력안전기술원
- [2] Elimination of Requirements Marginal to Safety-Solicitation of Public Comments, 57 FR 4166, 1992. 2., USNRC
- [3] Staff Plans for Elimination of Requirements Marginal to Safety, SECY-92-263, 1992. 7., USNRC
- [4] NRC Program for Elimination of Requirements Marginal to Safety-Notice of Public Workshop, 57 FR 55156, 1992. 11., USNRC
- [5] Elimination of Requirements Marginal to Safety, SECY-93-028, 1993. 2., USNRC
- [6] Workshop on Program for Elimination of Requirements Marginal to Safety, NUREG/CP-0129, 1993. 12., USNRC
- [7] Staff Plans for Revising 10 CFR 50, Appendix J, "Containment Leakage Testing and for Handling Exemption Requests, SECY-94-036, 1994. 2., USNRC
- [8] Institutionalization of Continuing Program for Regulatory Improvement, SECY-94-090, 1994. 3., USNRC
- [9] Regulatory Review Group Final Report, Volume 2 - Regulations, 1993. 8., USNRC
- [10] Plan for Implementing Regulatory Review Group Recommendations, SECY-94-003, 1994. 1., USNRC
- [11] Status of Implementation Regulatory Review Group Recommendations, SECY-94-243, 1994. 8., USNRC
- [12] Staff Use of Probabilistic Risk Assessment, SECY-92-273, 1992. 8., USNRC
- [13] Final Report of the PRA Working Group, SECY-93-330, 1993. 12., USNRC
- [14] Proposed Policy Statement on the Use of Probabilistic Risk Assessment, SECY-94-218, 1994. 8., USNRC
- [15] Proposed Agency-Wide Implementation Plan for Probabilistic Risk Assessment, SECY-94-218, 1994. 8., USNRC
- [16] Standard Review Plan Update and Development Program, Implementing Procedures Document, NUREG-1447, 1992. 5., USNRC

표 1 USNRC MTS 프로그램 관련 요건 완화/제거 대상

완화/제거 구분	완화/제거 대상 항목	해당요건/지침
규정적 요건의 성능기준 요건화 대상	<ul style="list-style-type: none"> • 격납용기 누설률시험 • 화재방호 • 가연성가스 제어 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 CFR 50 Appendix J • 10 CFR 50 Appendix R • 10 CFR 50.34(f), 50.44
비용/편익에 근거한 제거 또는 완화 대상	<ul style="list-style-type: none"> • BWR MSIV 누설제어계통 요건 제거 • 격납용기 허용누설률 	<ul style="list-style-type: none"> • RG 1.96 • 10 CFR 50 Appendix J, RG 1.3/1.4
추가적 평가 대상	<ul style="list-style-type: none"> • 품질보증 • 안전에 중요한 전기설비의 환경검증 • 발전소 보안요건 • 사고후 시료채취계통 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 CFR 50 Appendix B • 10 CFR 50.49 • 10 CFR 73.55 • RG 1.97, NUREG-0737

표 2 USNRC RRG 권고이행 프로그램 관련 개선 대상

개선분야	개선 주요 항목
품질보증	<ul style="list-style-type: none"> • Graded QA 지침 개발 • 10 CFR 21 개정 • 10 CFR 50.54(a) 에 최소 표준 설정 • 관련 RG (1.26, 1.28, 1.29, 1.30, 1.33, 1.37, 1.38, 1.39)
화재방호	<ul style="list-style-type: none"> • 사업자의 Graded QA 준용허용 • 10 CFR 50.54 에 최소 표준 설정 • RG 1.120 개정 및 대안 허용 • 10 CFR 50 Appendix R의 성능기준 규정화
PRA 분야	<ul style="list-style-type: none"> • PRA 관련 지침 개발 • PRA를 이용한 Tech. Spec. 최적화 • Pilot 프로그램 시행
가동중시험	<ul style="list-style-type: none"> • 위험에 근거한 ISI/IST 요건 개정 • IST 지침 개발 • NRC 검사지침 개정

표 3 USNRC 안전규제에의 PRA 활용분야

<ul style="list-style-type: none"> • 신행로심사 및 발전소인 허가조치 • 운전감시 (검사) • 운전관련사건, GSI 등 현안선정/분석 • 운전자료 추적/분석 및 중대사고연구 • 원자로시설 분석 (IPE, 기타 USNRC연구) • 규제조치 분석

표 4 USNRC PRAWG 권고이행을 RBR Pilot 프로그램

개선분야
<ul style="list-style-type: none"> • 모터구동 밸브 운전가능성 요건 (USNRC GL 89-10) • ISI/IST 요건 • Graded QA 요건 개발 • 격납용기 누설률시험 요건 (시험주기) • 화재방호 요건 • Maintenance 규정 • Tech. Spec. 의 STI 및 AOT

표 5 USNRC 규제개선 프로그램 대상항목 및 개선내용

개선 대상항목	개선예상 내용
<ul style="list-style-type: none"> • 격납용기 누설률시험 • 화재방호 • 가연성가스제어 • 품질보증 • ISI/IST (MOV 포함) • PRA • 기타 PBR/RBR 고려 대상 	<ul style="list-style-type: none"> - PBR 규정화, RBR에 근거한 시험주기 개선 및 허용누설률 완화 - PBR 규정화 및 화재방호설비 설계에서의 RBR 접근방법 허용 - PBR 에 근거한 10 CFR 50.34(f) 및 50.44 개정 - RBR 에 근거한 Graded QA 지침 개발 및 기존 규제지침 개선 - RBR 에 근거한 ASME XI 및 10 CFR 50.55a 개정, 지침 개발 - PRA 방법론 및 데이터베이스, 관련 절차/의사결정 기준지침 개발, RBR 관점에서 Pilot 프로그램 시행 - 전기설비 환경검증, 발전소 보안요건, 시료채취계통, Maintenance 규정, Tech. Spec. STI 및 AOT

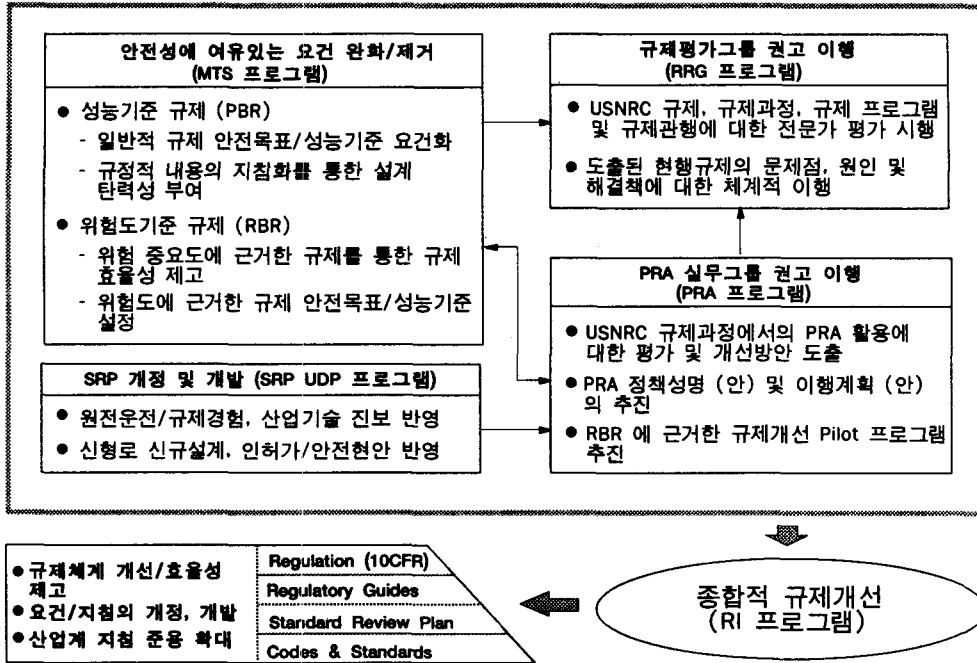


그림 1 USNRC 규제개선 프로그램의 이행체계 및 규제요건 개선

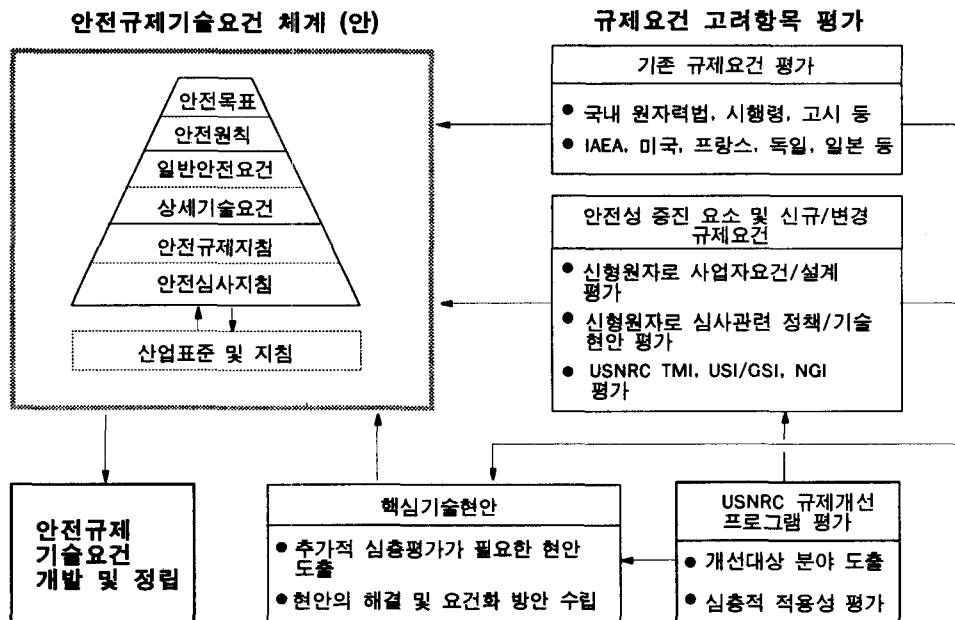


그림 2 차세대 원자로 안전규제기술요건 개발 체계 및 USNRC 규제개선 프로그램 고려 방향