

위험도정보 · 성능기반 규제 개념 및 적용사례 분석 Analysis of Concept and Application of Risk-Informed Performed-Based Regulation (RI-PBR)

김용식, 성계용, 이창주, 김효정

한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19 (305-338)

요 약

원전 안전규제의 합리화를 위하여 미국의 NRC는 기존의 결정론적 규제방식과 병행하여 위험도 정보의 활용을 기반으로 한 성능기반규제 대안을 추진하고 있다. 본 보고에서는 동 규제대안의 국내 적용성 및 도입방안을 평가하기 위하여 원자력 연구개발 중장기계획사업의 일환으로 추진하고 있는 “위험도정보 · 성능기반규제 제도화 방안 연구” 계획을 소개하였다. 연구 수행 중간결과로서 규제방안별 특성 분석, 국내외 관련 규제사례 및 경험분석 결과를 제시하였으며, 국민이 이해하기 쉬운 위험도정보 · 성능기반 규제 개념 개발, 제도화에 필요한 기술 확보 수준의 평가 등 향후 추진계획을 소개하였다.

Abstract

For improving regulation of nuclear power plants, the USNRC is adopting the risk-informed performance-based regulation (RI-PBR) as an alternative, in parallel with implementing current deterministic regulation. This paper introduces a research plan for "Institutionalization of RI-PBR" that is being conducted by KINS as a national project for evaluating feasibility for application of the alternative to Korean regulation system. Analysis of regulation characteristics, case study and experience on RI-PBR were presented as interim research results. In addition, the future plan of development of RI-PBR concept as understandable to the public and evaluation of level of techniques needed for implementation of RI-PBR was introduced.

1. 서 론

원자력시설에 대하여 보편적으로 채택하고 있는 규제방식은 규제목표를 달성하기 위하여 설계, 건설 및 운전상의 모든 단계와 그 단계에서 기능하는 개별요소들에 대하여 규제기관이 구체적이고 세부적인 요건을 설정하고 이를 준수할 것을 강제하는 규정적 (prescriptive) 방식이다. 이 규제

방식은 사업자의 능동적 안전관리를 방해하고 창의적이고 자발적인 안전성 확보 노력에 저해요인이 될 수도 있다. 이를 개선하기 위해서 안전성 확보를 위한 측정 가능한 성능지표를 규제기관이 설정하고 이의 달성을 위한 수단 및 방법에 대하여는 사업자의 자율에 일임하는 규제방식으로서 성능기반 (performance-based) 규제 개념이 연구되고 있다. 원자력시설의 안전성 확보의 기본인 심층방호개념은 원전 사고진행에 대한 불확실성을 보완하고 경험과 공학적 판단에 따른 충분한 안전여유도의 확보에 초점을 두고 있다. 결정론적 근거 및 공학적 판단에 의한 이 규제개념은 모든 안전관련 설비에 동등한 수준의 규제행위를 요구함으로써 안전 (또는 리스크) 에 중요한 설비에 대하여 규제자원을 집중적이고 효율적으로 투자하지 못하는 요인이 될 수 있으며 또한 원전 사업자에게 상대적으로 과도한 설비비용을 부담하게 하고 보다 저렴한 설계를 고려할 여지를 주지 못하는 등의 비효율적인 측면을 가질 수 있다.

과학기술의 진보와 원전 운영경험의 축적에 토대하여 최근 확률론적 안전성평가기법의 개발 등 원전의 안전성을 총체적으로 평가할 수 있는 능력이 확보됨에 따라, 원전의 궁극적 안전목표인 “공공을 예기치 않는 위험으로부터 적절히 보호함”을 달성하기 위하여 기존의 결정론적인 안전성 확인방법에 추가하여 위험도 관점에서의 안전성 확보 방안이 미국 NRC를 중심으로 추진되고 있다. 최근의 이러한 새로운 규제기법의 추진은 규제의 합리화 및 효율화를 요구하는 산업계 등의 요구를 적극 반영하고, 규제기관 자체에서도 자원의 적절한 배분을 통하여 규제의 효율성을 도모하며, 확률론적 안전성평가방법론의 활용을 통해 원자력시설의 종합안전도의 산출과 이를 바탕으로 하는 사업자 자율의 안전관리를 가능하게 한다. 따라서, 우리나라에서도 원전 안전규제의 합리화 및 효율화를 달성하기 위하여 기존의 심층방호개념에 근거한 결정론적 규제방식과 병행하여 위험도 정보의 활용을 기반으로 한 성능기반규제 방법론의 기술 확보와 함께 이를 시행하는데 필요한 제도적 방안을 강구할 필요가 있다.

본 보고에서는 상기의 배경에 근거하여, 규제대안의 적용 타당성 평가 및 국내도입 방안을 수립하기 위하여 현재 원자력연구개발 중장기계획사업의 안전분야 대과제인 “원자력안전의 확인체계 최적화 연구”의 세부과제로 추진중인 “위험도정보·성능기반규제 제도화 방안 연구” 계획과 일부 연구결과, 그리고 향후 추진계획을 소개하고자 한다.

2. 위험도정보·성능기반 규제 제도화 방안 연구의 추진

동 연구는 규제의 합리화에 대한 산업계의 요구에 부응하고 규제기관 자원의 적절한 배분을 통해 규제 효율성을 도모하기 위한 방안으로서, 기존의 규제방식을 보완할 수 있는 위험도 정보를 활용하는 성능기반 규제방법의 제도화 방안을 강구하는 데 목적이 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 본 연구는 1단계 3년 (2002. 3 ~ 2005. 2) 및 2단계 2년 (2005. 3 ~ 2007. 2) 사업으로 구성되어 있으며, 1단계에서는 제도화 방안 수립 및 일반규정 법제화를 목표로 설정하고 있고, 2단계에서는 일반규정을 보조할 수 있는 상세 기술요건 및 지침 개발에 주안점을 두고 있다. 1단계 1차년도에서는 위험도정보·성능기준규제 적용 대상을 도출하는데 목표를 두고 있다.

그 동안 중장기연구 1단계 사업 (1997 - 2001) 을 통해 위험도정보 규제 일반원칙, 위험도정보 적용 허용기준, 모터구동밸브 중요도 선정지침 및 위험도기준 검사지침 등을 개발하여 확보하고 있으며 [1], 원자력안전 정책 성명과 중대사고 정책의 제정을 통해 위험도 정보 활용의 기반을 제공하고 있지만, 원전 안전성 향상 활동에 위험도정보를 보다 능동적으로 활용하기 위한 법적 근거는 마련되어 있지 않으므로, 그림 1에서처럼 동 연구를 통해 얻어지는 결과와 그 동안 축적해 놓은 결과들을 원자력법령체계에 종합적으로 반영하는 것이 제도화 방안 수립 개념이 될 것이다.

표 1. 위험도정보·성능기반규제 제도화 방안 연구 추진 일정 및 주요 예상 결과물

연구내용	2002	2003	2004	2005	2006
A. RI-PBR 규제개념 분석	■				
B. 규제사례 및 경험 분석	■				
C. RI-PBR 적용에 필요한 기술수준 평가	■				
D. RI-PBR 적용 분야 도출		■			
E. 최적 RI-PBR 모델 수립		■	■		
F. 제도화 방안 수립			■	■	
G. 상세 기술요건 및 지침 개발				■	■
예상 성과물 및 생산시기		RI-PBR 적용성	RI-PBR 최적모델	RI-PBR 제도화방안	상세요건 및 지침

※ RI-PBR : Risk-Informed Performance-Based Regulation (위험도정보·성능기반규제)

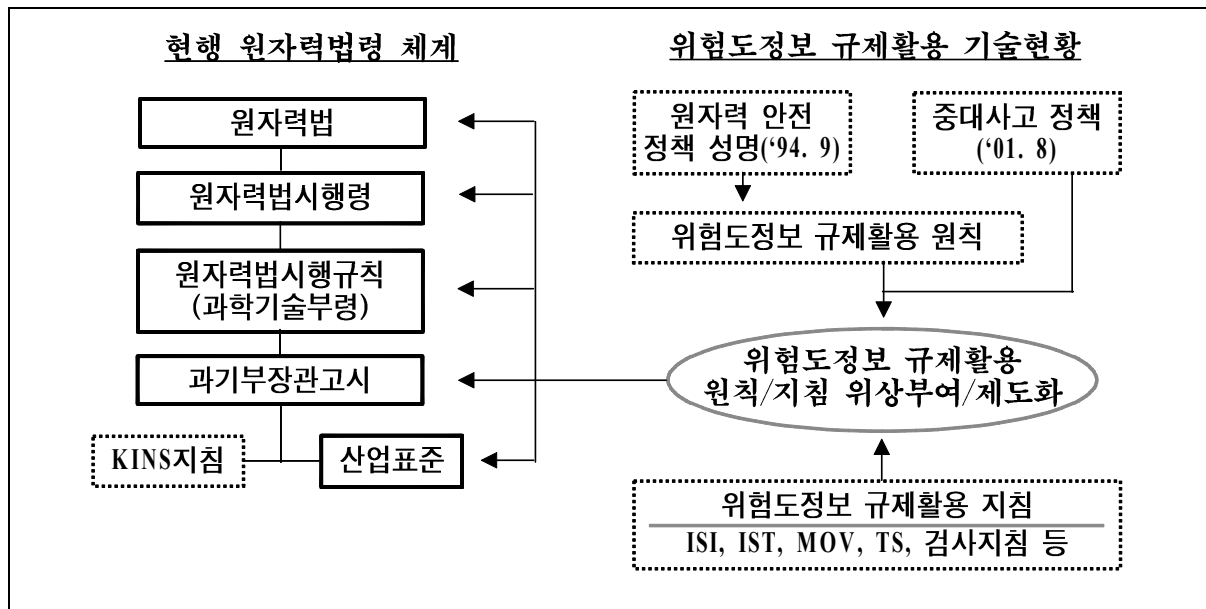


그림 1 위험도정보·성능기반규제 제도화 방안 수립 개념

3. 위험도정보 · 성능기반 규제 개념과 사례 분석

1) 위험도정보 · 성능기반규제 (RI-PBR) 개념 [2,3]

규정적 (prescriptive) 규제와 성능기반 (performance-based) 규제

규정적 규제는 과정을 중심으로 (process-oriented) 상세요건 및 지침을 설정하여 피규자가 따르도록 하는 규제방안으로서 상세한 요건의 설정으로 규제의 이행이 용이하고, 피규제자는 요건 이행에 필요한 행위를 명확히 인지할 수 있으며, 규제자는 무엇을 확인해야 하는지를 알 수 있는 장점이 있다. 반면에 요건이 탄력적이지 못함으로 인해 요건 이행에 가장 효율적인 (또는 비용-편익적인) 방법의 선택을 방해할 수 있다는 단점을 가진다. 성능기반규제는 결과 중심으로 (result-oriented) 요건 또는 지침이 설정되고, 이 결과의 달성을 위한 방법은 피규제자가 선택하게 하는 유연성을 가진다. 요건 충족을 위해 피규제자는 안전성 또는 위험에의 중요도를 고려할 수도 있다. 한편, 이 규제방안은 규정적 규제에 비해 요건의 내용이 상대적으로 덜 명확할 수 있으므로 이행에 어려움이 존재할 수 있다.

결정론적 (deterministic) 규제와 위험도기반 (risk-based) 규제

결정론적인 규제는 전통적인 규제방식으로서 심층방어, 공학적 여유도 및 품질보증 등 보수성을 고려하는 방안으로 일률적 규제라는 단순성 때문에 규제 이행이 용이할 수 있으나, 과도한 보수성이 개입되는 경우 피규제자에 대한 규제부담이 크게 나타나는 단점을 가진다. 위험도기반 규제는 정량적 위험도평가 결과를 규제 의사결정에 활용하는 방안으로, 과도한 보수성을 제거하여 설비투자를 절약할 수 있고, 위험도 영향이 큰 설비 또는 활동에 규제를 집중함으로써 규제자원의 활용 효율을 제고할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 확률론적 안전성 평가의 이용에 따른 불확실성이라는 단점을 갖고 있다.

위험도정보 · 성능기반 (risk-informed performance-based) 규제

위험도기준 규제와 결정론적 규제의 중간단계인 위험도정보 (risk-informed) 규제는 인허가 및 규제의 관심을 안전성의 중요도에 따른 현안에 집중하기 위하여 결정론적/공학적 해석결과와 더불어 위험도평가를 활용하는 규제로 정의된다. 기존의 심층방어 및 안전여유도 등 핵심적 안전철학을 유지하면서 결정론적 및 규정적 규제를 개선하는 대안적 규제로서 위험도정보 · 성능기반 규제방안이 현재 미국 NRC를 중심으로 추구하고 있다. 이 규제방안에서는 안전에의 영향이 큰 활동에 규제를 집중하며, 성능평가를 위한 객관적 기준을 수립하게 된다. 원전 성능 및 사업자의 안전이행 능력을 감시하기 위해 측정가능한 인자를 개발 · 적용하며 수립된 성능기준의 충족에 있어서 개선된 결과를 고무하거나, 보상하는 방향으로 규제 유연성을 부여하게 된다. 이 규제 방안에서의 규제 의사결정은 1차적 증거로서 과정 (process) 보다는 결과 (result)에 중점을 둔다. 이 규제방안이 규제 효과성 및 효율성을 개선하는 장점을 갖고 있지만, 미국과 우리나라간의 규제환경 간에 상당한 차이가 있고, 적용시 기존 규제에 미치는 영향이 상당히 크기 때문에, 국내 적용을 위해서는 우리의 고유한 규제환경을 고려하고, 현행 규제에 미치는 영향을 포함하는 다각적인 영향을 평가할 필요가 있다. 그림 2는 이상의 다양한 규제방안들의 상호관계를 나타내고 있다. 동 규제방안의 이행을 위해서는 심층방어, 안전여유도 및 ALARA 등 기존의 전통적인 안전철학들은

유지되고, 동 규제방안을 강제적 또는 자발적으로 이행토록 할 것인지와 전체 규제방안 또는 일부를 선택적으로 이행토록 할 것인지에 대한 정책적 결정이 필요하며, 규제방안의 이행 합리화를 위한 면밀한 규제영향분석이 뒷받침되어야 한다.

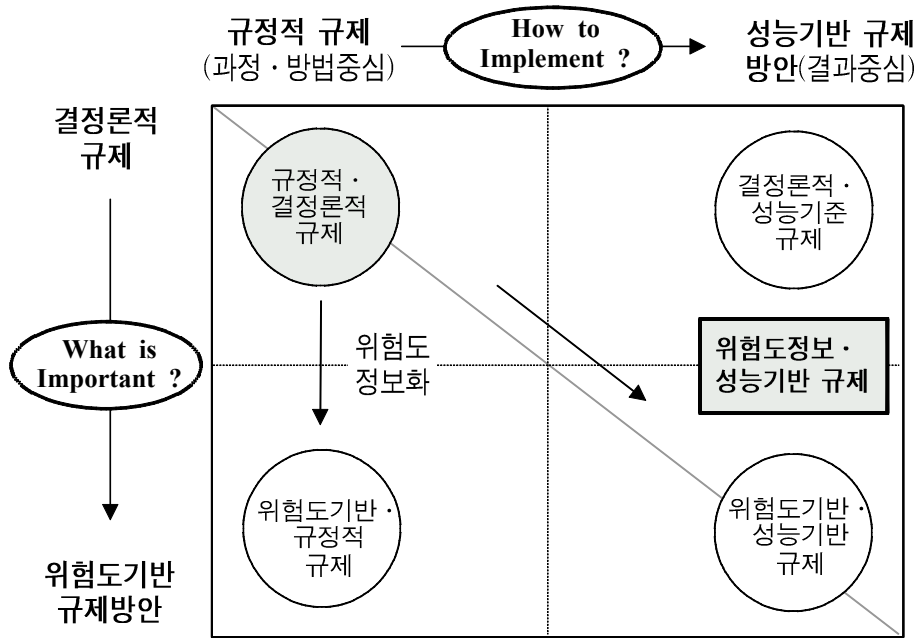


그림 2 규제방안의 상호관계 및 위험도정보·성능기반 규제

2) 위험도정보·성능기반규제 경험 및 적용사례 분석

국외사례

미국 NRC는 PRA에 관한 정책성명을 발행하여 규제에 PRA 결과의 활용확대를 천명하였으며, PRA 이행계획을 확대한 위험도정보 활용규제 이행계획 (RIRIP)을 수립하여 규제검사 및 감독, 위험도정보 운전성능 평가지표 개발, 위험도정보 활용을 위한 규제지침 개발 및 규정 개정 등 규제 전반에 대하여 위험도정보 활용 규제를 종합적이고 체계적으로 추진하고 있다. 위험도정보를 이용한 규정 개정은 표 2에서 보는 바와 같이 3가지 대안을 추진하고 있다 [4]. 규정개정 없이 규제지침 및 안전심사지침의 개정만으로 위험도정보를 규제에 활용토록 하는 Option 1에 추가하여, 품질보증, 환경검증, 가동중시험 및 검사 등 안전관련 설비에 특수하게 적용하는 요건을 위험도의 중요도에 근거하여 설비를 분류 (RISC; Risk-informed Safety Categorization) 하여 적용토록 하는 규정을 신설 (10 CFR 50.69) 하는 Option 2를 추진하고 있으며, 기술적인 요건을 위험도 정보화 하는 Option 3 의 일환으로서 10 CFR 50.44 (가연성기체 제어계통 표준) 와 10 CFR 50.46 (ECCS 허용기준)의 개정을 추진중이다 [5, 6].

표 2. USNRC의 위험도정보 규정 개정 현황

구분	Option 1	Option 2	Option 3
정책성명/ 이행계획	Policy Statement on the Regulatory Use of PRA - PRA Implementation Plan (SECY-94-219, Aug.19, 1994) - Risk-Informed Regulation Implementation Plan (SECY-02-131, Jul. 12, 2002) - Options for Risk-Informed Revisions to 10CFR50 (SECY-98-300, Dec. 23, 1998)		
GDC			- GDC 35 (for 10CFR50.46)
10CFR Standards	규정 제·개정 없음	- 10 CFR 50.69 (신설) - 10 CFR50 Appendix T (신설)	※ Revision of All Possible 10CFR - 10CFR50.44 - 10CFR50.46 - 10CFR50.48 , etc.
Reg. Guide	RG 1.174 (일반지침), RG 1.175 (RI-IST) RG 1.176 (GQA), RG 1.177 (RI-TS), RG 1.178 (RI-ISI)		- DG-1117 (for 10CFR50.44)
산업표준/ 지침	- NEI 00-02 (Rev.B) - PSA Peer Review Guidance - ASME RA-S-2002 : ('02.4) Level 1 & simplified Level 2 - ANS Standards : 외부사건, 저출력/정지운전, 내부화재	- NEI 00-04 (Draft B)	- NFPA 805 (for Fire Protection)
SRP	- Chap 19.0 - 3.9.7 (IST), 3.9.8 (ISI), 16.1 (Tech. Spec.)		- 6.2.5 (for 10CFR50.44) - STS LCO 3.6 & 3.3 (for 10CFR50.44)

국내사례

1994년 9월 과학기술부는 원자력안전 정책성명의 발행을 통하여 확률론적 안전성평가 (PSA : Probabilistic Safety Assessment) 를 이용한 원전 종합 안전성 평가 및 비용효과를 고려한 합리적 안전규제의 실시를 선언하였다 [7]. 2001년 8월 원자력안전위원회는 원전 중대사고정책 [8] 의 의결을 통해 국내 전 원전에 대하여 종합적 안전성 평가를 실시하고 중대사고 대처능력을 구비토록 함에 따라, 2006년까지 원전 종합안전성평가의 완료에 의하여 전 원전에 대한 상세한 위험도 정보의 확보가 가능하게 되었다. 위험도정보의 확보는 위험도정보를 활용한 규제의 적용이 가능함을 의미한다.

1999년 한수원 (주) 는 고리원전 3/4호기 및 영광원전 1/2호기에 대하여 관련 신뢰도 분석결과와 발전소 위험도 영향 평가결과의 제시를 통해 RPS/ESFAS 계통 정기점검 및 허용정지시간 연장 허가를 신청한 바 있다. 규제기관은 점검주기 연장 신청서류를 평가하고, 주기 연장에 따른 위험도 (노심손상빈도) 의 미미한 영향을 근거로 관련 점검주기를 1개월에서 3개월로 연장하는 방안을 승인하였다 [9]. 2001년 12월에 “원자로격납건물 누설률시험에 관한 기준” 이 과학기술부장관 고시로서 신설되었다 [10]. 동 고시 제3조 제③항에서는 안전성 영향 평가, 최근 2회의 종합누설률시험 결과, 동 기간 국부누설률시험 결과 및 격납건물 누설 관련 이력을 제출하여 타당성을 인정받는 경우 시험주기를 10년으로 연장할 수 있도록 하고 있다. 즉, 이 조항은 위험도정보 및 성능기준을 근거로 시험주기의 연장을 허용하고 있다. 2001년 7월 전문개정된 “원자로시설등의 기술기준에 관한 규칙” [11] 제2조에서는 “안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기“를 ”원자로시설중에서 안전에 중요한 설비로서 필수 안전기능을 수행하는 안전관련 설비와 고장시 안전관련 설비의 기능

수행에 직접 영향을 미칠 수 있는 비-안전관련 설비를 말한다”라고 정의하고 있다. 또, 동 규칙 제12조 (안전등급 및 규격), 제13조 (외적요인에 관한 설계기준), 제14조 (화재방호에 관한 설계기준), 제15조 (환경영향 등에 관한 설계기준), 제41조 (시험, 감시, 검사, 보수) 등의 조항에서 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기를 언급하고 있다. 이는 상기 규칙에 어느 정도 위험도 정보를 이용한 안전관리 개념이 반영되어 있는 것으로 볼 수 있다.

4. 향후 추진 계획

동 연구의 1단계 1차년도 잔여기간동안 RI-PBR 적용 가능분야 선정을 위하여 다음의 연구를 중점적으로 추진할 예정이다.

- 국민이 이해하기 쉬운 RI-PBR 개념 수립
- RI-PBR 적용상의 문제 도출 및 해결방안 모색
- 규제자 및 피규제자 기술수준 평가 및 부족기술 완성 방안
- RI-PBR 적용 가능분야/범위 선정 및 기존규제에의 영향 평가

위험도정보·성능기준 제도화 과정에 공청회 등 일반국민의 참여에 대비하여 기 분석된 RI-PBR 개념을 일반국민들이 이해할 수 있도록 쉬운 용어로 쓰여진 해설서를 개발할 계획이며, 상기 관련 규제사례 및 경험 분석 결과를 토대로 국내 적용상의 문제와 해결방안을 모색하게 된다. 제도 도입의 선행조건으로서의 기술수준 평가에는 규제요건, 지침 및 관련 산업표준의 이용 가능성이 평가될 예정이며, 아울러 적용특성별 PSA 기술 확보 상태와 모델, 해석/평가코드 확보 상태를 평가하게 된다. 사건발생빈도, 기기/인간신뢰도 및 공통원인고장 데이터베이스 확보 실태 조사를 수행할 예정이며, 전문인력 확보 및 교육훈련 현황, 규제기관, 사업자, 국민들의 인식도 등을 조사할 예정이다.

동 연구를 통해 위험도정보·성능기반 규제 제도의 국내 적용 타당성이 입증되고, 적합한 모델이 제시되는 경우, 동 제도의 구현을 통해 규제자원의 효율적 배분과 함께 위험도 관점의 안전규제로 인하여 실질적인 안전성 증진에 기여할 것이며, 사업자 자율규제 범위의 확대에 의한 운영경비절감 효과가 예상되어 에너지산업분야에서의 경쟁력 강화에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 종전의 안전심사 및 규제검사 체계와 방법에 있어서 효율성 및 효과성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

약어 설명

- NRC : US Nuclear Regulatory Commission
- RI-PBR : Risk-Informed Performance-Based Regulation
- ALARA : As Low As Reasonably Achievable
- RIRIP : USNRC Risk-Informed Regulation Implementation Plan
- PRA : Probabilistic Risk Analysis
- PSA : Probabilistic Safety Assessment
- ECCS : Emergency Core Cooling System
- RPS : Reactor Protection System
- ESFAS : Engineering Safety Feature Actuation System

참고문헌

- [1] 성계용 외, “위험도기준 규제기술개발”, KINS/GR-239, 2002. 3, 한국원자력안전기술원
- [2] 김웅식 외, “규제효율성 제고를 위한 성능기준규제 및 위험도기준규제의 적용 방안에 관한 연구“, KINS/AR-367, 1995. 12, 한국원자력안전기술원
- [3] SECY-98-144, Risk-Informed and Performance-Based Regulation, June 22, 1998, USNRC
- [4] SECY-98-300, Options for Risk-Informed Revisions to 10 CFR part 50, Dec. 28, 1998, USNRC
- [5] SECY-02-080, Proposed Rulemaking - Risk-Informed 10 CFR 50.44, "Combustible Gas Control in Containment", May 13, 2002, USNRC
- [6] SECY-02-057, Update to SECY-01-133, "Fourth Status Report on Study of Risk-Informed Changes to the Technical Requirements of 10 CFR 50 (Option 3) and Recommendation on Risk-Informed Changes to 10 CFR 50.46 (ECCS Acceptance Criteria), March 29, 2002, USNRC
- [7] 원자력안전 정책성명, 1994. 9, 과학기술부
- [8] 중대사고 정책, 2001. 8, 원자력안전위원회
- [9] 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기 RPS/ESFAS 점검주기 연장관련 운영변경허가 신청건에 대한 기술검토보고서, 1999. 7, 한국원자력안전기술원
- [10] 과학기술부장관고시 제01-42호, 원자로격납건물 누설률시험에 관한 기준, 2001. 12. 1, 과학기술부
- [11] 과학기술부령 제31호, 원자로시설등의 기술기준에 관한 규칙, 2001. 7. 28, 과학기술부