

2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

위험도 정보를 이용한 기기등급분류의 국내적용방안 연구

Research on the Domestic Application Strategy of
Classification of SSCs with Risk Information

양희창, 임재원, 최성수
(주)엑트

대전광역시 대덕구 신일동 벤처타운 장영실관

서미로, 김명기
한국전력연구원
대전광역시 유성구 문지동

요 약

본 연구에서는 위험도 정보 활용 규제 Option 2와 관련한 해외 동향을 파악하고, 위험도 정보를 이용한 기기등급분류 방법론에 대하여 논의하였다. 또한, 국내에서 가동중인 표준형원전의 안전등급 펌프와 밸브에 대하여 위험도 중요도 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 국내에서 가동 중인 원전을 대상으로 위험도 정보 활용 기기등급분류에 대한 기반연구를 수행하였으며, 해외에서 수행된 Option 2 이행 사례와 경제성 분석결과를 수집하여 도입될 경우의 경제적 영향에 대한 분석의 기반을 도출하였다. 최종적으로 위험도 정보 활용 기기등급분류 방안을 도입하기 위해 제도화 방안을 제시하였으며, 현재 국내 상황에서 가장 타당하다고 판단되는 위험도 정보 활용 기기등급분류 제도화 방안을 제시하였다.

Abstract

In this study, US NRC's regulatory position for risk-informed SSC categorization was reviewed, and the methodology for risk-informed SSC categorization suggested by NEI was reviewed. The importance measure analysis for safety class pumps and valves in KSNP was performed and re-categorization of those pumps and valves was performed. The option 2 implementation experience of US utilities were collected and the cost-benefit analysis result was analyzed. Finally, the institutionalization method for Korea was suggested.

1. 서론

Option 2 기술은 건설 원전 등에서 위험도 정보를 활용해 안전성과 경제성을 극대화할 수 있는 기술로서, 원전설계시 위험도에 따른 재평가를 수행하여 모든 구조물, 계통 및 기기(SSCs)의 품질등급(Q Class 등)을 정하는 방법을 제공해준다. 이를 통해 위험도가 낮은 SSCs를 특별조치(Special Treatment)에서 일반조치(Commercial Treatment) 대상으로 완화하고 설계/운전시 품질보증 요건을 완화할 수 있는 근거를 마련할 수 있다. 현재, 이 방법은 미국 South Texas 원전 등에 시범적용을 한 바 있다. 국내에서도 Option 2 기술을 개발하여 이에 따른 PSA 품질 및 PSA 불확실성 분석기술을 적용한다면, 그동안 부분적으로 적용하던 Option 1 분야에 있어 많은 부분이 기술적으로 해결될 것으로 기대된다. 그러므로 위험도 정보 활용 및 성능기반 규제기술의 효율적인 국내적용을 위해서는 향후 국내에 도입될 Option 2 분야에 대하여 해외 원전 선진국의 기술 동향과 경제성을 파악하고, 국내 적용 방안에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 원전 선진국인 미국에서 이행을 추진하고 있는 위험도 정보 활용 규제 Option 2와 관련한 미국 NRC의 규제현황을 파악하고, 위험도 정보를 이용한 기기등급분류 방법론에 대하여 논의하였다. 또한, 국내에서 가동중인 표준형원전의 안전등급 펌프와 밸브에 대하여 위험도 중요도 분석을 수행하여, 기기등급을 재분류하여 국내에서 가동 중인 원전을 대상으로 위험도 정보 활용 기기등급분류에 대한 기반연구를 수행하였다. 그리고 해외에서 수행된 Option 2 이행 사례와 경제성 분석결과를 수집하여 국내 원전에 위험도 정보 활용 기기등급분류 방안이 이행될 경우의 경제적 영향에 대한 분석의 기반을 도출하였다. 최종적으로 위험도 정보 활용 기기등급분류 방안을 도입하기 위해 필요한 법적 여건을 분석하여 제도화 방안을 제시하였으며, 현재 국내 상황에서 가장 타당하다고 판단되는 위험도 정보 활용 기기등급재분류 제도화 방안을 제시하였다.

2. 위험도 정보를 이용한 기기등급분류 관련 규제현황 일반

위험도 정보를 이용한 기기등급분류는 위험도 정보를 활용하여 10 CFR Part 50 개정 방법으로 제시된 선택사항(Option) 중 두 번째 선택사항으로 제시된 방법이다. 위험도 정보활용 10 CFR Part 50 연구의 시작은 미국 South Texas Project 원전에서 수행하여 1997년 11월 승인된 차등품질보증(GQA : Graded Quality Assurance) 프로그램에서 시작되었으며, PSA 결과에서 도출된 위험도 정보를 품질보증계획에 적용하기 위한 연구에서 시작하였다. 차등품질보증은 원전사업자와 NRC가 구조, 계통 및 기기(SSC : Structure, System, and Component)에 대한 안전중요도(safety significance) 평가에 기반하여 운영 및 규제 이행에 필요한 자원을 우선적으로 안전 중요도가 높은 SSC에 집중하여 안전성을 개선하기 위한 계획이다. 또한, 위험도 정보활용 기법과 성능기반 운전 및 규제 기술이 조합되어 SSC 및 각종 조치에 대하여 일관성 있고, 체계적인 관리계획이 이행되게 되

었다. 즉, 차등품질보증은 위험도 정보를 반영하는 절차를 사용하여 SSC의 작동과 조치들이 규정대로 수행됨을 보장하기 위한 기본적이고 독립적인 감독을 수행하기 위한 프로그램이다.

1997년 11월에 완료된 STP의 차등품질보증 프로그램은 기존 규제요건과 상충하였고, RI 10 CFR Part 50 Option 2 연구와의 일관성 유지 등의 문제점이 발생하여, 1999년 5월 “위험도가 심각하지 않은 안전관련 기기는 현행 규제요건에 만족함을 보장하면서, 50.59 절차를 사용하는 이전의 NRC 승인 없이 재분류할 수 있다”라는 NRC의 결정이 이루어진 이후 2001년 8월 Special Treatment Requirement 요건을 면제 받았다. NRC는 98년 SECY-98-300^[1]에서 RI Part 50 수행방안 중 Option 1은 지속하고, 품질측면에서 특별한 조치를 필요로 하는 SSC에 대해서 위험도 정보를 반영한 기기등급 정의, 재분류 절차, 적용 범위 변경안 개발을 추진하는 내용을 골자로 하는 Option 2 방안을 제시하였다. NRC는 1999년 발간된 SECY-99-256, “Rulemaking Plan for Risk-Informing Special Treatment Requirements”^[2]에서 위험도 정보를 활용하여 재분류된 안전중요 SSC에 대한 규제를 목적으로 하는 범규인 10 CFR 50.69 신설을 제안하였으며, 기존 안전/비안전 관련으로 구분되고 있는 SSC를 위험도 평가를 통해 도출된 안전중요도에 따라 다시 세분화하여 각각의 영역에 맞는 규제요건을 설정하는 것을 목적으로 하였다. 2000년 9월에 발간된 SECY-00-0194, “Risk-Informing Special Treatment Requirements”^[3]에서는 안전관련 저안전중요 SSC(RISC-3)의 기능요건을 유지하기 위한 요건을 기술하고 있으며, ASME에서는 Code Case N-658, N-660을 개발하여 SSC 등급재분류를 위한 기준개발 및 지침개발을 지원하고 있다. 이러한 규제기관의 규제정책에 대응하여 NEI에서는 2002년 6월 NEO-00-04 Rev. C “10 CFR 50.69 SSC Categorization Guideline”^[4]를 발표하여, 안전중요도에 따른 SSC 재분류 절차를 제시하였으며, NRC는 NEI-00-04 Rev. C에 대한 검토의견을 DG-1121, “Guidelines for Categorizing Structures, Systems, and Components in Nuclear Power Plants According to Their Safety Significance”^[5]를 발간하였으며, 현재까지 Draft Regulatory Guide의 단계이다.

3. 10 CFR 50.69 SSC 등급분류 방법론 개요

NEI의 “10 CFR 50.69 SSC Categorization Guideline”은 NRC Reg. Guide 1.174, An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis에서 제시한 다음 원칙을 준수하는 것이 목적이다.

- (1) 심층방어철학과 일관성을 유지하는 변경조치
- (2) 충분한 안전여유도를 유지할 수 있는 변경조치
- (3) 변경조치를 감시하기 위한 성능감시 전략

- (4) 50.69 이행으로 인해 위험도 증가 최소화
- (5) NRC의 안전목표 정책성명을 준수하여 위험도 관리

상기 원칙을 준수함과 동시에 현행 안전관련/비안전관련 SSC의 위험도 중요도를 재평가 하여 SSC를 분류하는 방법론을 제공하는 것이 동 지침의 목적이다. 동 지침은 구조, 계통 및 기기를 분류하는 유일한 방법론이며, 기타 위험도 정보를 고려한 기기대분류 방법론은 NRC의 검토와 승인을 받은 후 확정될 예정이다.

현행 NRC 규제요건에서는 결정론적 규제기준을 만족해야하는 설비를 “안전등급”으로 정의하여, 해당 설비는 특별조치요건(Special Treatment Requirement)을 준수하여야 하며, 기타 설비는 “비안전등급”으로 분류하여 특별조치요건 적용을 면제받고 있다. 또한, 비안전등급 설비 중 일부는 특별조치요건 또는 그 하위 요건을 적용해야하며, 이들 설비를 “안전중요(important-to-safety)”라 분류한다.

10 CFR 50.69에서는 기존 “안전등급” 및 “비안전등급” 분류를 완전 대체하는 것이 아니라, 각 분류 등급을 안전 중요도에 따라 두 가지의 하위 분류등급으로 재분류하는 것이다. 10 CFR 50.69 SSC 등급분류절차는 위험도 정보 및 신기술 정보, 운전경험이 풍부한 사업자측이 선정한 전문가로부터 제공되는 운전정보를 사용하는 종합의사결정과정이다. 이 전문가 그룹은 종합의사결정패널 (Integrated Decision-making Panel, IDP)이라 한다. 10 CFR 50.69 위험도기준 안전 분류(Risk-informed Safety Classification, RISC) 체계는 그림 1과 같다.

10 CFR 50.69 기기등급분류 절차에 따라 안전성에 미치는 영향이 작거나 없는(low or no risk-significance) 안전등급 기기는 RISC-3으로 분류되며, 그외 안전성에 미치는 영향이 큰 것으로 확인되는 안전등급 SSC는 RISC-1로 분류된다. 이와 유사하게 안전성에 미치는 영향이 큰 것으로 확인되는 비안전등급 SSC는 RISC-2로 재분류되며, 그 외 SSC는 비안전등급에 잔류되어 RISC-4로 재분류된다. 10CFR50.69 이행 목적에 따라서 “안전중요(important-to-safety)” SSC는 “비안전등급“ SSC로 분류되어 50.69 등급분류절차에 따르게 되므로, “안전등급“ SSC는 RISC-1 또는 RISC-3으로만 분류되며, “안전중요“ SSC를 포함하는 “비안전등급“ SSC는 RISC-2 또는 RISC-4로 분류된다. 발전사업자가 50.69 기기등급분류 절차에 따라 재평가하지 않기로 결정한 SSC는 안전등급, 비안전등급, 안전중요 SSC로 잔류한다.

4. NEI 00-04 Revision D 기기등급분류 절차

10 CFR 50.69에 따른 특별조치요건 변경을 위한 SSC 기기등급분류 절차는 그림 2와 같으며, 다음과 같은 여덟 단계로 구성된다.

- 발전소 고유 입력자료 수집 (Assembly of Plant Specific Inputs)

- 공학적 계통 평가 (System Engineering Assessment)
- 기기 안전중요도 평가 (Component Safety Significance Assessment)
- 심층방어 평가 (Defense-In-Depth Assessment)
- 예비 기능 분류 (Preliminary Engineering Categorization of Functions)
- 위험도 민감도 분석 (Risk Sensitivity Study)
- 종합의사결정패널 검토 및 승인 (IDP Review and Approval)
- 구조, 계통 및 기기등급분류 (SSC Categorization)

4. 위험도 정보를 활용한 기기등급분류 중요도 분석

본 연구에서는 울진 3, 4호기 안전등급 펌프 및 밸브에 대하여 2장에서 논의한 NEI 00-04 Rev. D의 기기등급분류 절차 중 내부사건 위험도 평가 방법을 적용하여 위험도 평가를 수행하였다. 또한, 해외 원전의 Option 2 적용으로 인한 비용-이익 분석결과에 대하여 논의하였으며, Westinghouse Owner Group(WOG)에서 Option 2 시범적용계획을 적용한 결과를 바탕으로 분석한 비용-이익 분석 결과를 요약하였다. 이러한 해외 원전에서의 Option 2 적용시 예상 비용-이익 분석 결과를 국내 원전에 적용하여 경제성 분석을 수행하였다.

기기등급분류를 위한 위험도 중요도 평가는 NEI 00-04 Rev. D “10 CFR 50.69 SSCs Categorization Guideline”에 제시된 중요도 평가방법을 사용하였으며, 동 지침에 제시된 민감도 분석을 공통원인고장 및 인적오류에 대하여 수행하였다. 기기등급 분류를 위해 울진 3호기 1단계 내부사건 PSA 결과를 사용하였다. 그리고 본 연구에서 사용한 중요도 분석 척도와 기준치, 민감도 분석 항목은 다음과 같다.

4.1 중요도 분석 척도

노심손상 빈도(Core Damage Frequency: CDF)나 조기대량누출빈도(Large Early Release Frequency: LERF)에 대한 기기들의 중요도 척도로 많이 사용되는 것은 Fussell- Vesely(FV) 중요도와 위험도 달성가치(Risk Achievement Worth: RAW)이다. 위험도 감소가치(Risk Reduction Worth: RRW)도 보조적으로 사용되고 있다.

4.2 중요도 분석 척도 기준치

NEI 00-04 Rev. D에서 제시한 중요도 분석시 기준치는 다음과 같다.

- 공통원인고장사건을 포함한 모든 기본사건에 대한 FV 합 > 0.005

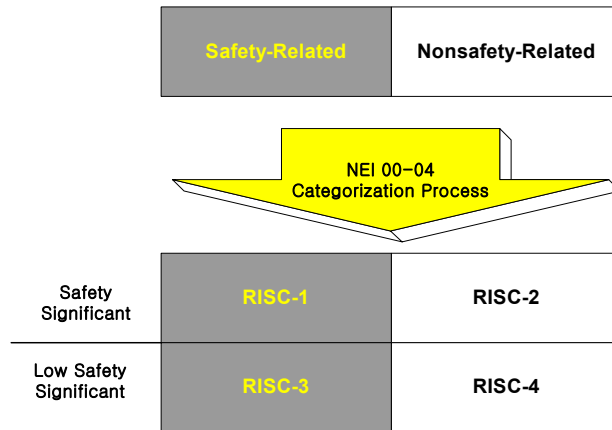


그림 1. 위험도 기준 안전 분류(Risk-informed Safety Classification)

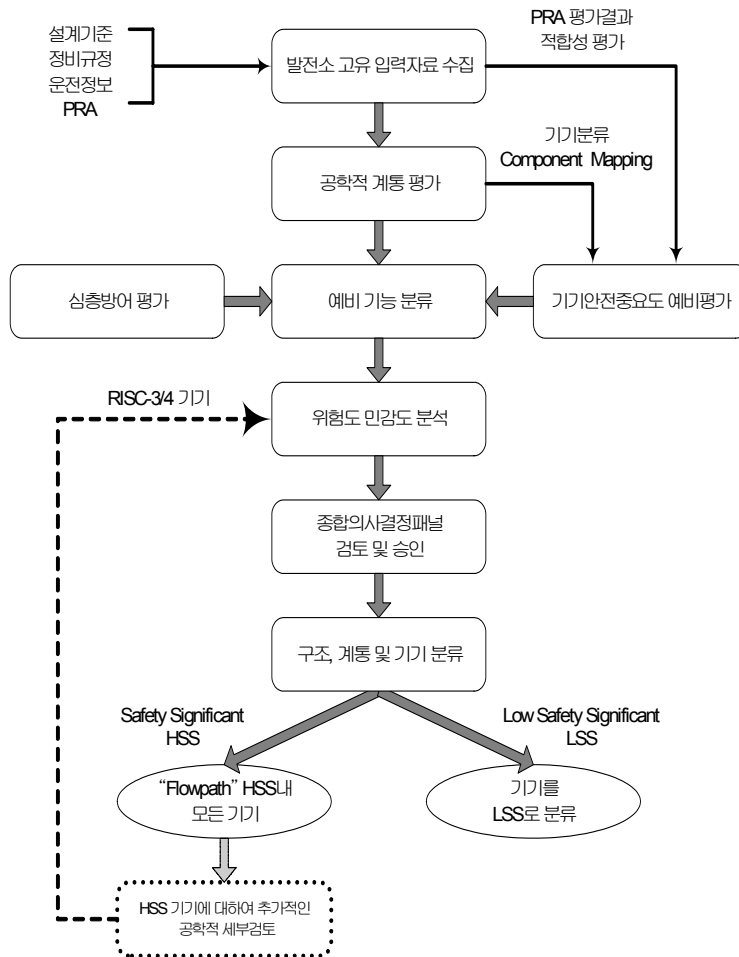


그림 2. 10 CFR 50.69 SSC 기기등급분류절차

- 기기 기본사건 RAW 최대값 > 2
- 적용 가능한 공통원인 기본사건 RAW 최대값 > 20
- 상기 기준 중 하나라도 기준을 초과할 경우 안전 중요도 SSC 후보군으로 선정

4.3 민감도 분석

중요도 기준을 초과하는 경우 해당 SSC는 안전중요 SSC 후보군으로 분류되지만, 중요도 기준 미만인 기기들은 자동적으로 저안전 중요도 SSC로 분류되는 것이 아니라 모든 위험도 기여 인자에 대한 저안전중요 SSC인지를 확인하기 위한 몇 가지 민감도 분석을 거쳐야한다. 이를 위해 수행한 민감도 분석을 아래와 같다.

- 모든 인간오류 기본사건 확률을 95% 값으로 증가시킨 후 분석
- 모든 인간오류 기본사건 확률을 5% 값으로 감소시킨 후 분석
- 모든 공통원인 기본사건 확률을 95% 값으로 증가시킨 후 분석
- 모든 공통원인 기본사건 확률을 5% 값으로 감소시킨 후 분석

본 연구에서는 울진 3,4호기 안전등급 펌프 및 밸브를 대상으로 PSA 중요도 분석을 수행하였으며, 분석결과를 요약하여 제시하였다. 상세한 중요도 평가결과는 부록 1에 수록하였다. 본 절에서 수행한 안전등급 펌프 및 밸브 중요도 평가는 원자력연구소에서 수행한 울진 3,4호기 펌프 및 밸브 중요도 평가연구^[6]를 참조하였다.

4.4 울진 3, 4 호기 안전등급 펌프 중요도 평가

울진 3호기 내부사건 1단계 PSA에 모델링된 펌프 수는 28개이며, PSA 중요도분석 결과는 표 1에 제시하였다. 안전중요(HSS) SSC로 판명된 펌프는 10개, 저안전중요도(LSS) SSC로 판명된 펌프는 18개이다. 즉, PSA에 모델링된 28개 펌프 가운데 10개가 중요 펌프로 판명되었다. 표 2는 펌프에 대한 민감도 분석 결과가 나타나 있다. 민감도분석 결과 고안전중요도 SSC로 판명된 펌프는 10개, 저안전중요도 SSC로 판명된 펌프는 18개이며, 중요도 기준치 변화가 없는 것으로 확인되었다.

4.5 울진 3, 4 호기 안전등급 밸브 중요도 평가

울진 3호기 내부사건 1단계 PSA에 모델링된 밸브 수는 195개이며, PSA 중요도분석 결과는 표 3에 나타나있다. 고안전중요도 SSC로 판명된 밸브는 78개, 저안전중요도 SSC로 판명된 밸브는 117개로 판명되었다. 즉, PSA에 모델링된 195개 밸브 가운데 78개가 중요 밸브로 판명되었다. 표 4는 밸브에 대한 민감도 분석 결과가 나타나 있다. 민감도분석 결과 고안전중요도 SSC로 판명된 밸브는 96개, 저안전중요도 SSC 펌프는 99개로 판명되었다. 민감도 분석 중 공통고장 기본사건의 확률을 5%로 감소시켰을 경우 2개의 밸브가 고안전중요도 SSC 밸브로 추가되었으며, 인간오류 기본사건 5%로 감소시켰을 경우 16개의 밸브가 고안전중요도 SSC 밸브로 추가되었다.

4.6 울진 3, 4 호기 펌프 및 밸브 기기등급분류 결과

울진 3, 4호기 가동 중 시험계획서 분류기준에 따라 울진 3호기 내부사건 1단계 PSA에 모델링된 펌프 28개 모두 안전등급 펌프로 판명되었으며, 이 중 18개의 펌프가 저안전중요도 후보군으로 분류되었다. 그림 3에는 펌프 등급분류 결과가 나타나 있다.

울진 3, 4호기 가동 중 시험계획서 분류기준에 따라 울진 3호기 내부사건 1단계 PSA에 모델링된 밸브 195개 모두 안전등급 밸브로 판명되었으며, 이 중 99개의 밸브가 저안전중요도 후보군으로 분류되었다. 그림 4에는 밸브 등급분류 결과가 나타나 있다.

표 1. 중요도 분석 기준치에 따른 펌프 중요도 분석결과

RAW Ranking			FV Ranking	
			FV SUM \geq 0.005	FV SUM $<$ 0.005
CCF RAW	\geq 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	5	3
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	-	2
	$<$ 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	-	-
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	-	18

표 2. 민감도분석에 따른 펌프 중요도 분석결과

RAW Ranking			FV Ranking	
			FV SUM \geq 0.005	FV SUM $<$ 0.005
CCF RAW	\geq 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	5	3
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	-	2
	$<$ 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	-	-
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	-	18

표 3. 중요도 분석 기준치에 따른 밸브 중요도 분석결과

RAW Ranking			FV Ranking	
			FV SUM \geq 0.005	FV SUM $<$ 0.005
CCF RAW	\geq 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	8	8
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	10	39
	$<$ 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	-	9
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	4	117

표 4. 민감도 분석에 따른 밸브 중요도 분석결과

RAW Ranking			FV Ranking	
			FV SUM \geq 0.005	FV SUM $<$ 0.005
CCF RAW	\geq 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	8	8
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	10	55
	$<$ 20	BASIC EVENT RAW \geq 2	-	11
		BASIC EVENT RAW $<$ 2	4	99

RISC-1 (10)	RISC-2
RISC-3 (18)	RISC-4

18개 이동

그림 3. 울진 3, 4호기 안전등급 펌프 등급분류 결과

RISC-1 (96)	RISC-2
RISC-3 (99)	RISC-4

99개 이동

그림 4. 울진 3, 4호기 안전등급 밸브 등급분류 결과

5. 해외 원전 기기등급분류 경제성 분석

5.1 South Texas Project 원전 사례

위험도 정보 활용 기기등급분류는 South Texas Project(STP) 원전에서 최초로 수행되었다. 1997년 11월, STP에서는 차등품질규제 방안을 수행하였으나, ASME Code, Seismic, Class 1E, EQ 등의 기존 규제요건과 상충하는 부분이 발견되어 1999년 7월 특별조치요건(Special Treatment Requirement) 면제를 미국 NRC에 요청하였다. 기존의 위험도 정보 활용 규제요건이 각 세부분야별로 진행이 되어, 기존 결정론적 관점의 원자력 안전규제 요건과 일관성이 유지되지 않는 부분이 존재함을 파악하고 있던 NRC는 STP의 특별조치 면제신청을 계기로 위험도 정보 활용 규제방안을 확대 실시하되, 일관적인 법체계하에서 일관성을 유지하며 시행하기로 결정하고 10 CFR 50의 개정예 착수하였다. NRC는 SECY-98-0300에서 위험도 정보 활용 규제적용 방안을 선택사항의 형태인 Option으로 제시하였으며, 제시한 선택사항은 Option 1, 2, 3의 세 가지 형태로 제시하였다. 이 중 STP의 GQA와 관련되는 사항은 Option 2이며, STP에서는 기존의 GQA 이행계

획을 확대시켜 Option 2를 이행하였다.

STP PSA에서는 약 1200개 SSC가 포함되어 있기 때문에, 대부분의 SSC를 결정론적 관점과 심층방어의 관점에서 중요도를 평가하여, 46개 계통, 56,000개 기기를 재분류하였다. 그 결과 전체 평가대상 기기의 6.9%에 해당하는 3,856개의 SSC가 RISC-1 등급으로 분류되어 특별조치와 50.69요건을 준수해야하는 것으로 평가되었으며, 0.7%인 402개의 SSC가 RISC-2 등급으로 분류되어 기존에는 적용요건이 아니었던 50.69 요건을 적용받게 되었다. 또한 24.1%의 13,477개의 SSC가 특별조치를 면제받아 기존안전등급요건만을 적용받게 되었다. 68.3%의 SSC는 저안전중요로 평가되어 기존 비안전등급 요건을 유지하게 되었다.

위와 같은 기기등급재분류 결과에 따라 STP에서는 상당수의 시험 및 검사가 감소되었고, 계획예방정비 기간 및 빈도가 단축되어 상당한 경제적 이익을 발생시킬 수 있게 되었다. 기기등급분류로 인한 비용절감 대표사례는 다음과 같다.

Local Leak-Rate Testing

원자로건물격리밸브 시험 57% 감소

Maintenance Rule

15개 계통 MR 적용 대상에서 제외, 3개 계통 추가 검토중
예방정비

예방정비대상 및 빈도 조정으로 5 man-year 절약 (60,000 \$ per year)

Valve Stroke Time Testing

25% 시험 감소

Intrusive Check Valve Inspection

IST 대상에서 3개 밸브 그룹 제외

Relief Valve Testing

IST 추가대상 180개 밸브 중 162개(90%) 제외

부품 구매

기존 적용 코드를 ASME 코드에서 ANSI 상업코드로 전환.

기기냉각펌프의 경우, 기존 펌프 가격이 \$5500이었으나, 펌프 구매비용이 \$1500으로 저렴해져 연간 \$40,000을 절약할 수 있게 되었음.

사용후핵연료 저장조 열교환기 출구밸브 flow guide를 동일한 형태의 대체품으로 변경하여 \$34,000에서 \$842로 구매비용이 절감됨.

배기 및 배출 밸브의 경우, 기존 \$2400이던 구매비용이 \$500로 절감되어, 100개 구매시 \$190,000을 절감하였음.

5.2 Westing House Owner Group Option 2 시범적용

Westinghouse Owner Group(WOG)에서는 STP의 Option 2 이행 사례를 토대로 하여

Surry-1과 Wolf Creek 원전을 대상으로 위험도 정보 활용 기기등급분류 시범적용을 수행하였다. 동 시범적용을 통해 규제기관과의 의견조율을 시도하였고, 규제기관의 승인을 받기 위한 제출문서 및 승인신청 체계를 구축하고자 하였다. 또한, 동 시범적용의 결과로서 발생한 경제적 이익을 이행 프로그램 개발에 소용된 비용과 비교분석하여 비용-이익 분석을 수행하여 그 결과를 제시하였다.

주요 12개 계통만을 기기등급분류 대상으로 제한하여 수행한 동 분석에서는 위험도 정보 활용 기기등급분류 이행 프로그램 개발에 소요되는 비용요소를 다음과 같이 도출하여 제시하였다.

위험도 정보 활용 기기등급분류 시범적용 이행 프로그램 개발 비용 요소

프로그램 개발 비용	\$1,856,000
- 기기등급분류	
- 적용조치 요건 평가	
- 제출 기술문서 작성 및 규제기관 승인	
프로그램 이행 비용	\$540,000
- 절차서 개정	
- 운영기술지침서 개정	
- 교육 및 훈련	
프로그램 유지보수 비용	최소비용계상
총 프로그램 소요비용(1개 호기)	\$2,390,000
총 프로그램 소요비용(2개 호기)	\$3,380,000

위험도 정보 활용 기기등급분류 시범적용으로 인한 이익요소는 다음과 같이 제시하였다.

위험도 정보 활용 기기등급분류 시범적용 이익요소

구매절감 비용	\$932,000
보수/교체대상 감소	\$27,200
가동중 검사	\$5,500
가동중 시험	\$123,500
- 기존 시험 감소	
- 시험 실패 감소	
- SOER 역지밸브 프로그램 대상 감소	
- 추가 대상 축소	
- 준비가 어려운 시험 감소	
감시시험	\$21,700
Appendix J-Option B : Type C ILRT	\$2,700
정비규정	\$52,000

Appendix B \$247,500

- QA 감소
- 발전소 정비 감소
- 자재 창고, 부품, 재고관리 비용 감소

품질보증 \$167,500

호기당 연간 절감비용 \$1,580,000 이상

상기와 같은 비용, 이익을 고려하였을 경우, 위험도 정보 활용 기기등급분류 프로그램 이행에 소요된 투자비용 환수 예상 기간은 다음과 같이 평가하였다.

단일호기의 경우

$\$2,360,000(\text{투자비용})/\$1,140,000 \text{ 이상(연간 이익비용)} = 1.5\text{년 미만}$

2개 호기의 경우

$\$3,340,000(\text{투자비용})/\$2,280,000 \text{ 이상(연간 이익비용)} = 1.1\text{년 미만}$

위 결과를 고려해 보면, 단일호기에 대한 Option 2 프로그램 적용으로 인한 이익보다, 동일한 설계로 건설, 운전 중인 2개 호기 이상 발전소의 경우에 발생하는 이익이 더 크다. 그러나 프로그램 개발 비용은 2개 호기의 경우에 호기당 비용이 적게 소요됨으로써, 투자비용 환수기간이 더 짧은 것을 알 수 있다. 이와 같은 비용-이익 분석 결과는 2개 호기로 운영되는 국내 발전소의 경우에 더욱 유리한 조건임을 의미한다. WOG는 상기와 같은 연간 비용-이익분석 결과를 바탕으로, 원전의 수명기간 및 수명연장기간에 대한 비용-이익 분석을 이자율 8%, 물가인상을 3%로 가정하여 평가하였으며, 그 결과는 표 5와 같다.

표 5. 위험도 정보 활용 기기등급분류 적용 예상이익

평균 WOG 발전소	단일호기 예상이익	2개호기 예상이익
인허가 수명 (2020)	\$10,210,000	\$21,550,000
연장 수명 (2040)	\$16,240,000	\$33,600,000

6. 국내 Option 2 제도화 방안

Option 2를 포함한 위험도 정보·성능 기반 규제의 국내 원전 도입 방법으로서 법제화를 통한 방법, 규제기관의 행정명령 혹은 권고에 의한 방법, 운영허가 조건사항으로 부과하는 방법, 사업자의 자발적 수행에 의존하는 방법이 있을 수 있다. 이 중 법제화를 통한 방법을 제시하고자 하며, 그 이유는 다음과 같다. 국내 원전의 안전하고 효율적인 운영을 위해서는 규제자와 사업자의 법적 책임과 의무가 명백히 표명되어야 하며, 이로서 행정규제의 기본 원칙인 규제법정주의와 일치하여야 한다. 또한, 우리나라의 원자력안전 규제를 담당하고 있는 정부기관은 과기부이며, 원자력발전사업을 주무담당기관은 산업자원부로, 두 기관의 조직 및 업무가 상호 독립적이고 견제의 기능을 가지고 있어 원자력안전에 관한 사항은 법적 제도화가 필요하다. 그리고 위험도 기반·성능 기반 규제의 Option 2 분야는 가동원전 뿐만 아니라 신규원전에도 적용이 될 수 있기 때문에 신규원전의 설계·건설·운영 인허가 사항과 직접 연계가 되므로 기존 법적 체계와의 일관성 및 연계성을 유지하기 위해서는 법적 제도화가 필요하다. 또한, 해외의 경우 미국을 보면, 10CFR 법체계 하에서 Option 2를 포함한 위험도 정보·성능 기반 규제를 다루고 있어 국내에서도 위험도 기반·성능 기반 규제를 도입하려면 법제화가 필요하다. 미국의 경우에는 Option 1인 경우는 기존의 10CFR 체계에서 규제지침을 적용하고 있으며, Option 2와 Option 3는 10CFR 법을 변경하여 적용하려고 중장기적으로 추진 중에 있다.

이상과 같이 Option 2를 포함한 위험도 정보·성능 기반 규제는 원자력발전소의 안전성을 확보하면서 원전 설계·건설·운영의 포괄적 적용을 위하여 법적 제도화를 통하여 시행됨이 바람직하다 하겠다. 그러나 이런 방법은 과도기적인 특징이 있으므로 어느 정도 위험도 기반·성능 기반 규제가 활성화가 되고, Option 2와 Option 3의 기술이 개발이 되면 장기적으로 원자력법 개정을 통한 추진화가 바람직하다 할 수 있다. 국내 법체계하에서 Option 2를 포함한 위험도 정보·성능 기반 규제의 제도화는 두 가지 접근방법을 고려할 수 있다.

방법 1 : 원자력법 신설

먼저 기존의 원자력법에 위험도 정보·성능 기반 규제 항목을 신설하거나 기존 항목을 수정하여 추진하는 방법으로 위험도 정보·성능 기반 규제의 향후 적용범위 및 비중을 고려할 때 타당성이 있다고 할 수 있다. 이는 위험도 정보·성능 기반 제도의 범위를 Option 1, Option 2, Option 3까지 포함한 전 범위로 한다면 위험도 정보 규제는 가동 중 원전뿐만 아니라 신규원전의 설계·건설·운영에 직접적으로 영향을 미치고 그 영향 또한 매우 크기 때문에 원자력법을 신설하여 추진함이 타당하다는 의미이다. 이럴 경우 원자력법에 위험도 기반·성능 기반 규제의 목적, 정의, 내용, 기준에 대한 규정을 신설하여야 하며, 이와 관련된 원자력법시행령, 원자력법시행규칙, 과학기술부고시를 만들어야 하겠다.

방법 2 : 과학기술부고시 신설 및 수정

위험도 기반·성능 기반 규제를 Option2에 국한하여 협의적으로 적용한다면 기존의 원자력법, 원자력법시행령 하에서 이를 구현할 수 있다. 즉, 원자력법과 원자력법시행령에서는 일반적인 안전관리의 기본사항과 일반적인 사항을 규정하고 있기에, 제한적으로 Option 2를 적용한다면 기존 법체계 하에 수정 없이 적용할 수 있다. 이런 관점에서 본다면 Option 2에 한정된 위험도 기반·성능 기반 규제화는 고시 2001-21(원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정)에 연관하여 법제화를 추진할 수 있다. 고시 2001-21은 “원자로 시설 등의 기술기준에 관한 규칙” 제12조 제1항의 규정에 의한 안전에 중요한 구조물·계통 및 기기에 관한 안전등급과 등급별 규격을 정함을 목적으로 하고 있어 Option 2의 기술기준이 이와 연계되어야 한다. 고시 2001-21에서는 안전등급을 안전등급 1, 안전등급 2, 안전등급 3, 비안전 등급을 결정론적 방법으로 설정하고 있으나, 이를 Option 2의 위험도 정보를 이용하여 등급화 하는 기술을 적용할 수 있도록, 즉, 대체적용이 가능하도록 수정하면 기존 법체계 하에서 Option 2를 이행할 수 있다. 그러나 여기서 추가로 고려하여야 할 사항으로는 고시의 변경으로 상위법인 원자력법, 원자력법시행령, 원자력법시행규칙의 다른 부분에 영향을 미쳐서는 안 된다는 것이다. 따라서 만약 검토과정에서 다른 부분에 영향을 미친다는 것이 발견되면 이에 대한 영향이 없도록 Option 2의 적용범위를 제한적으로 규정하여 추진한다. 예를 들어 Option 2의 적용범위를 신규원전에는 제외한 가동원전으로 제한한다든지, 혹은 가동원전의 주기적안전성평가 시 기기검증 대상기기 선정시에 적용한다든지 하는 Option 2의 범위를 제한한다.

7. 결론

본 연구에서는 위험도 정보 활용 규제 Option 2와 관련한 미국 NRC의 규제현황을 파악하고, 위험도 정보를 이용한 기기등급분류 방법론에 대하여 논의하였다. 또한, 국내에서 가동 중인 표준형원전의 안전등급 펌프와 밸브에 대하여 위험도 중요도 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 기기등급을 재분류하여 국내에서 가동 중인 원전을 대상으로 위험도 정보 활용 기기등급분류에 대한 기반연구를 수행하였다. 그리고 해외에서 수행된 Option 2 이행 사례와 경제성 분석결과를 수집하여 국내 원전에 위험도 정보 활용 기기등급분류 방안이 이행될 경우의 경제적 영향에 대한 분석의 기반을 도출하였다. 최종적으로 위험도 정보 활용 기기등급분류 방안을 도입하기 위해 필요한 법적 여건을 분석하여 제도화 방안을 제시하였으며, 현재 국내 상황에서 가장 타당하다고 판단되는 위험도 정보 활용 기기등급분류 제도화 방안을 제시하였다.

참고문헌

1. USNRC, "Options for Risk-Informed Deviations to 10 CFR 50 - "Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities," SECY-98-300, 1998.12
2. USNRC, "Rulemaking Plan for Risk-Informing Special Treatment Requirements," SECY-99-256, 1999.10
3. USNRC, "Risk-Informing Special Treatment Requirements," SECY-00-0194, 2000.9
4. NEI, "10 CFR 50.69 SSC Categorization Guideline," NEI-00-04 Rev. C, 2002.6
5. USNRC, "Guidelines for Categorizing Structures, Systems, and Components in Nuclear Power Plants According to Their Safety Significance," DG-1121, 2003. 5
6. 한국원자력연구소, "울진 3호기 가동중시험 대상 기기의 위험도 정보를 이용한 중요도 분석," KAERI/TR-1927/2001, 2001.10