

사고관리 사례연구를 통한 인간오류분석 방법 비교

김재환, 정원대, 이용희, 하재주
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원자력발전소의 확률론적안전성평가(PSA)의 일부로 수행되어 왔던 인간신뢰도분석(HRA) 방법은 최근 여러가지 결함이 지적되어 왔고, 이를 보완하는 노력들이 계속되어 왔다. 본 연구에서는 기존 HRA 방법의 취약점을 해결할 수 있는 인간오류분석 방법 개발을 목표로, 현재까지 개발되어온 인간오류분석 방법들을 검토하고, 원전 운전원 직무의 분석에 적절하다고 판단되는 HRMS, CREAM, PHECA 등 세가지 방법을 선정하여, 사고관리 운전원 직무중 '원자로공동중수' 직무에 적용하는 사례연구를 수행하였다. 사례연구 결과, PHECA는 원자력발전소 운전원 직무의 오류분석으로는 부적합한 것으로 평가되었고, HRMS나 CREAM은 사고관리 인지도류분석에 기본적인 적합성은 있는 것으로 평가되었다. 각 방법에 대한 장, 단점과 개선점을 제시하였다.

1. 서 론

현재 원자력발전소에서 수행되고 있는 인간신뢰도분석(HRA) 방법은 확률론적안전성평가(PSA)의 일부분으로 활용되고 있으며, 인간의 직무 수행 가능성을 정량적으로 평가한 인간오류확률(HEP)을 제공하는데 목적이 있다. PSA의 HRA에 대한 이러한 정량적 결과에 대한 요구로 말미암아, 기존 PSA에서 주로 사용되어왔던 THERP[1], HCR[2], SLIM[3] 등 대부분의 HRA 방법들은 인간오류 발생의 근본 원인이나 구조를 분석하기보다는 표면적으로 드러나는 외적 인간행위의 정량적인 평가에만 초점이 맞추어져 있었다. HRA 기법들의 이러한 취약성으로 인하여 인간신뢰도 평가가 이루어진 이후에도 구체적인 인간오류 감소 방안을 제시하지 못하였다. 뿐만 아니라, 상세한 오류 분석이 생략된 평가는 오류 발생 가능성을 실제보다 낮게 평가할 수 있고 오류로 인해 시스템에 미치는 영향도 누락할 수 있는 위험이 있다.

이러한 기존 HRA 방법들의 한계를 극복하기 위한 방법으로서 인간오류분석에 대한 연구가 수행되어왔다. Kirwan[4]에 의하면 인간오류분석은 어떤 유형의 오류가 발생하며(external error mode), 오류 발생 원인이 무엇이며(error causes, or performance shaping factors), 어떤 오류구조에 의해서 발생하게 되는지(psychological error mechanisms)를 밝혀내는 것으로 정의하고 있다. 대표적인 HRA 방법인 THERP[1]에서는 오류유형(error type)을 크게 누락오류(error of omission)와 수행오류(error of commission)로 구분하였다. 그러나, 이러한 외적 오류유형의 분류만으로는 오류 행위의 과정, 즉 인간오류의 발생 원인과 구조를 밝혀내기 어려우며, 인간오류 감소를 위한 구체적인 방안을 얻기가 어렵다. 특히, 원자력발전소의 비상운전이나 사고관리 상황에서의 운전원의 주임무는 발전소의 상황 감시 및 진단, 의사결정 등이므로, 운전원의 의사결정 과정중에서 발생하는 인지오류에 대한 분석이 중요하게 요구된다. 또한, Reason[5]은 인간오류를 크게 행위수준의 오류인 slip과 의도형성과 관련된 오류인 mistake로 분류했는데, 대체로 slip은 쉽게 발견되고 복구되는 반면, 인지과정중에 발생한 mistake는 쉽게 발견되지 않으며, 복구되기 어려운 것을 말하고 있다. 이로 인하여 최근에 개발되고 있는 많은 방법들이 인간의 의사결정 과정중에서 발생하는 인지오류의 분석에 초점이 맞추어져 있다.

본 논문은 위에서 언급한 기존 HRA 방법들의 한계를 극복하기 위한 연구의 일환으로서 최근에 개발된 인간오류분석 방법들을 검토하고, 이들중 원자력발전소 사고관리 직무에 적절하다고 판단한

세가지 방법을 선정하여, 원자력발전소 사고관리 운전원 직무중 '원자로공동충수' 직무에 적용하는 사례연구를 수행하였다. 본 사례연구를 통하여, 세 방법의 원전 사고관리 직무에의 적용성과 장, 단점을 각각 비교 평가하였다.

2. 분석 방법 및 직무 선정

1) 분석 방법 선정

사례연구를 위해 우선적으로 최근에 개발된 오류분석 방법들을 비교, 검토하였다. 본 연구를 위해 검토한 인간오류분석 방법은 GEMS, SHERPA, PHECA, Murphy Diagram, CADA, HRMS, COSFAH, CREAM 등이다[6]. 이 중에서 다음과 같은 사고관리 오류분석의 기본 요건을 기준으로 사례연구를 위한 방법을 선정하였다.

- 예견적 방법 : SHERPA, PHECA, CADA, HRMS, CREAM 등.
- 사고관리 인간오류분석에 적절한 분류체계를 갖추고 있는 방법 : GEMS, HRMS, SHERPA, PHECA, COSFAH, CREAM 등.
- 원전 사고관리 영역의 다양한 수준의 직무를 고려할 수 있는 방법 : GEMS, PHECA, Murphy Diagram, CADA, HRMS, CREAM 등.

위의 세 가지 요건을 만족하면서 원자력발전소 인간오류분석에 적절하다고 판단되는 HRMS, CREAM, PHECA 등 세 가지 방법을 본 사례연구를 위하여 최종 선정하였다. 각 방법을 간략히 설명하면 다음과 같다.

HRMS(Human Reliability Management System)[7]

HRMS는 Rasmussen의 사다리꼴 의사결정 모형(Decision Ladder Model)[8]의 8단계 인지과정을 사용하고 있으며, 이를 토대로 각 의사결정 단계별로 발생가능한 외적 오류유형(external error mode)과 내적 오류발생구조(psychological error mechanism)를 각각 45개와 65개로 제시하고 있다. 분석자는 먼저 주어진 직무의 수행 절차를 인지과정 별로 구분하고, 주어진 상황을 고려하여 각 인지과정에서 일어날 수 있는 외적 오류유형을 선택한다. 그 후 선택한 외적 오류유형의 발생원인으로 판단되는 내적 오류발생구조를 각 인지단계별로 제시된 후보 중에서 결정한다.

HRMS는 크게 직무분석 모듈, 직무분류 모듈, 오류분석 모듈 세 개의 모듈로 구성되어 있다. 직무분석 모듈은 운전원에게 요구되는 직무와 상황을 기술하는 모듈로서 HRMS에서는 주로 계층적 직무분석(HTA)기법을 이용한다. 직무분류 모듈은 인지오류의 가능성이 있는 직무를 구분하기 위한 모듈이고, 오류분석 모듈은 주어진 직무 상황을 고려하여 직무 수행시 발생할 수 있는 오류유형과 오류원인을 HRMS가 제시한 분류체계를 이용하여 밝혀내는 모듈이다.

CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method)[9]

CREAM은 기본적으로 두가지 모델을 기반으로하고 있다. 하나는 COCOM(Contextual Control Model)으로서, 인간의 인지과정이 Rasmussen이 제안한 의사결정모형에서와 같이 순차적(sequential)으로 이루어지는 것이 아니라 순환적(recursive)으로 이루어지며, 인지적 제어는 직무 수행 당시의 상황(context)에 의해 결정된다는 것이다. 두번째는 인지모형으로서, Rasmussen의 의사결정모형에서 제시한 8단계 인지과정을 4단계로 간략화한 인지모형인 SMOc(Simple Model of Cognition)을 사용하고 있다.

CREAM은 공통수행조건(CPCs)이라는 이름으로 8개의 상황요인을 제시하고 있다. 분석자는 제시된 상황요인을 고려하여 오류분석을 수행하게 된다. CREAM은 분석을 용이하게 하기 위하여 직무특성에 따라 총 15개의 인지직무유형(cognitive activity type)을 정의하고 각 유형별로 중요한 인지과정을 결정해 놓았다. 그리고, 각 인지과정에서 발생할 수 있는 기본적인 오류유형(cognitive function failure)을 제시하고 있다. 따라서, 분석자는 직무수행 절차에 관련된 인지과정을 파악하고, 인지과정별로 제시된 후보 오류유형 중에서 공통수행조건을 고려하여 가장 가능성 높고 중요한 오류유형을 결정하게 된다.

PHECA(Potential Human Error Cause Analysis)[10]

PHECA의 궁극적 목적은 시스템 설계시 고려해야 할 중요한 인간오류 관련 설계요소 목록을 제공하는 데 있다. PHECA는 이것을 수행영향인자(PSFs)로 표현하고 있다. 이를 위하여 먼저 주어진 직무절차에 대하여 직무유형(task type), 반응유형(response type), 오류유형(error type) 등을 결정하고, 그 후 이들과 PSFs간의 연결체계를 이용하여 설계요소인 PSFs 목록을 얻는다.

PHECA는 7개의 직무유형과 7개의 반응유형, 10개의 오류유형을 제시하고 있다. 인간오류분석을 위해서는 반응유형과 관련된 오류유형 후보 중 직무분석을 통하여 얻은 정보를 바탕으로 분석자가 가장 가능성 높고 중요한 오류유형을 결정한다.

2) 직무 설명

본 사례연구에서 선택한 직무는 '원자로공동충수'로서, 원자로 정지후 비상운전절차서를 이용한 대응조치가 실패하여 노심손상(core damage) 상태까지 이르게 된 상황에서 원자로용기 파손 방지 혹은 파손시기를 지연시키기 위한 사고관리 전략으로 제안된 것이다. 이와 관련한 직무는 WOG SAMG(Westinghouse Owners Group, Severe Accident Management Guidance)[11]를 기본 토대로하고 국내 참조 발전소의 설계 특성을 고려하여 일부 수정, 보완하였다. 사례연구에서 선택한 직무는 중대사고 지침서인 8개의 SAGs중 4번째인 SAG-4 "INJECT INTO CONTAINMENT"(원자로공동충수) 전략에 대한 참여부를 결정하는 DFC에서부터 SAG-4중 공동충수 전략을 수행할 것인지를 결정하는 지침까지를 선택했다. 사례연구에서는 관련 직무를 크게 세 직무로 나누어 적용하였다. 본 논문에서는 이들 세 직무중 직무 3의 일부 수행절차에 대한 세 방법의 적용결과를 보여주고자 한다. 전체 직무에 대한 적용결과는 참고문헌[12]을 참고하기 바란다. 직무 3은 크게 다음과 같은 절차로 구성되어 있다.

직무 3의 수행절차

1. 충수 전략과 관련된 부작용(adverse effects) 평가
2. 부작용에 대한 완화 방안 평가
3. 충수 전략을 수행하지 않을 경우에 발전소의 안전에 미치는 영향 평가
4. 부작용과 비수행시 발전소 영향을 비교하여 전략 수행 여부 결정

3. 사고관리 사례 적용

직무 3의 일부 수행절차에 대한 세 방법의 적용결과를 각각 표1, 표2, 표3에 정리하였다. 적용결과에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다.

HRMS 분석 결과

표 1은 '원자로공동충수' 직무에 대한 HRMS 적용결과를 보여준다. 수행절차 1은 충수 전략과 관련하여 평가하여야 할 부작용으로서, '주입 수위 불충분 상태'와 '수소 연소로 인한 격납건물 파손 위험 여부'를 평가하는 절차이다. 두 작업 모두 '정보수집'과 '상태파악' 단계로 이루어지며, 나타날 수 있는 외적 오류유형 및 내적 오류발생구조는 각각 "confusing information gathered", "incorrect-state identification" 과 "integration failure" 등이다. 절차 1의 '1.1-1) 노심 재충수 확인'에서 운전원은 노심 재충수에 대한 사실을 자신의 기억으로부터 얻어낸다. 이것은 중대사고 상황에서 운전원이 혼동할 가능성이 있으므로 운전원이 기억에만 의존하지 않도록 다른 지원 도구가 요구된다.

절차 3은 충수 전략을 수행하지 않을 경우에 발전소가 입게 될 손상 가능성에 대한 평가이다. 이들 손상의 정도는 중대사고 현상에 대한 지식의 부족과 주어진 계측 정보에 대한 불확실성 등으로 인하여 정량적인 평가가 어렵다. 본 직무는 주로 영향 평가이므로 "interpretation" 단계에서 주로 이루어지며 지식부족(inadequate mental model)으로 인한 부정확 혹은 불완전한 평가(incorrect or incomplete interpretation)로 나타날 수 있다. 마지막으로, 절차 4는 위의 평가 결과를 토대로하여 충수 전략을 수행할 것인지 않을 것인지를 결정하는 절차이다. 이 절차는 시나리오에 따라 의사결정이 난해할 수

있다. 이런 경우에서의 오류는 판단 오류(judgement error)로 나타날 수 있으며 위와 마찬가지로 현상에 대한 지식의 불확실성(inadequate mental model)에 기인한다고 볼 수 있다.

표 1. '원자로공동충수' 직무에 대한 HRMS 적용 예

직무 수행절차	인지과정	외적 오류유형	내적 오류발생구조
1. 다음 절차를 이용하여 충수 전략과 관련된 부작용(불충분한 주입 수위, 수소 폭발 등)을 평가한다. 1.1 다음 두 조건을 확인하여 두 조건이 만족되면 '주입 수위 불충분 상태' 이다. 1) 노심을 재충수 하지 않았음. 2) RWST 수위 < (L09) %.	System state identification Observation / System state identification Observation / System state identification	Incorrect-state identification Confusing information gathered Incorrect-state identification	Integration failure Inaccurate recall Integration failure
3. 충수 전략을 수행하지 않을 경우의 발전소의 안전에 미치는 다음과 같은 영향을 평가하라. (Basemat Meltthrough, 압력용기 조기 파손, 노외 Core Debris로부터의 핵분열 생성물, HPME, CCI, 재순환 문제)	Interpretation	Incorrect or Incomplete interpretation	Inadequate mental model
4. 전략 수행시 발생하는 부작용과 수행하지 않을 시에 발전소에 미칠 영향을 상호 비교하여 전략 수행 여부를 결정한다.	Evaluation	Judgement error	Incomplete mental model

CREAM 분석 결과

표 2는 '원자로공동충수' 직무에 대한 CREAM 적용결과를 보여준다. 절차 1은 '정보수집' 및 '상태파악'으로 이루어져 있으므로, 인지직무유형은 "observe", "compare", "identify" 등이며, 오류유형은 주로 상태파악과 관련된 "I2. decision error"로 결정하였다. 절차 3과 4는 상황 평가 및 의사결정으로 이루어져 있으므로 "evaluate" 유형과 "I2. decision error"로 결정하였다.

표 2. '원자로공동충수' 직무에 대한 CREAM 적용 예

직무 수행절차	인지직무유형	COCOM function												
		Observation			Interpretation			Planning		Execution				
		O1	O2	O3	I1	I2	I3	P1	P2	E1	E2	E3		
1. 다음 절차를 이용하여 충수 전략과 관련된 부작용(불충분한 주입 수위, 수소 폭발 등)을 평가한다. 1.1 다음 두 조건을 확인하여 두 조건이 만족되면 '주입 수위 불충분 상태' 이다. 1) 노심을 재충수 하지 않았음. 2) RWST 수위 < (L09) %.	Identify Observe/ Identify Observe/ Compare		◆			◆								
3. 충수 전략을 수행하지 않을 경우의 발전소의 안전에 미치는 다음과 같은 영향을 평가하라. (Basemat Meltthrough, 압력용기 조기 파손, 노외 Core Debris로부터의 핵분열 생성물, HPME, CCI, 재순환 문제)	Evaluate					◆								
4. 전략 수행시 발생하는 부작용과 수행하지 않을 시에 발전소에 미칠 영향을 상호 비교하여 전략 수행 여부를 결정한다.	Compare/ Evaluate					◆								

(*O2: Wrong identification made, I2: Decision error, making a wrong or incomplete decision)

PHECA 분석 결과

표 3은 '원자로공동충수' 직무에 대한 PHECA 적용결과를 보여준다. 수행절차 1은 '정보수집'과 '상태파악'으로 이루어져 있으며, 정보수집과 관련된 직무유형은 "requirement"이며, 상태파악과 관련된 것들은 "integration"으로 볼 수 있다. 여러 정보를 필요로 하는 작업에서는 일부정보만 다룰 수 있으므로, 오류유형으로 "other than" 혹은 "part of"를 선택했다. 절차 3과 4는 운전원들의 경험과

지식을 필요로하는 상위수준의 인지단계를 요구하는 내용들이므로 직무유형은 "interpretation"으로 볼 수 있으며, 현상에 대한 불확실성과 지식 부족 등으로 인하여 불완전한 평가가 이루어질 수 있다.

표 3. '원자로공동충수' 직무에 대한 PHECA 적용 예

직무 수행절차	직무유형	인지과정	반응유형	오류유형
1. 다음 절차를 이용하여 충수 전략과 관련된 부작용(불충분한 주입 수위, 수소 폭발 등)을 평가한다. 1.1 다음 두 조건을 확인하여 두 조건이 만족되면 '주입 수위 불충분 상태'이다. 1) 노심을 재충수 하지 않았음. 2) RWST 수위 < (LO9) %.	Integration Requirement Requirement	11,12,13,16 13,15,16 13,15,16	Sequence/Action Sequence/Get information Sequence/Get information	OTHER THAN, PART OF NOT DONE. OTHER THAN NOT DONE, OTHER THAN
3. 충수 전략을 수행하지 않을 경우의 발전소의 안전에 미치는 다음과 같은 영향을 평가하라. (Basemat Melthrough, 압력용기 조기 파손, 노의 Core Debris로부터의 핵분열 생성물, HPME, CCI, 재순환 문제)	Interpretation	11,12,13,14, 15,16	Sequence/Get information	NOT DONE, OTHER THAN, PART OF
4. 전략 수행시 발생하는 부작용과 수행하지 않을 시에 발전소에 미칠 영향을 상호 비교하여 전략 수행 여부를 결정한다.	Interpretation	11,12,13,14, 15,16	Sequence/Action	OTHER THAN, PART OF

4. 결과 및 방법론 비교

각 방법들의 분석결과를 보면 HRMS는 다른 방법들보다 좀 더 구체적인 오류유형을 제시하고 있는 것을 볼 수 있으며, CREAM은 HRMS보다 좀 더 포괄적인 오류유형을, 그리고, PHECA는 직무와 연결시키지 않으면 바로 그 의미를 파악하기 힘든 오류유형을 제시하고 있는 것을 볼 수 있다. 그리고, HRMS와 CREAM은 사용하는 용어만 차이가 있을 뿐, 대체로 유사한 오류유형을 제시하고 있다.

각 분석 방법의 특징과 한계점에 대해서 정리하면 다음과 같다.

HRMS는 Rasmussen의 8단계 인지과정을 그대로 수용하고 있는 데, 이로 인하여 주어진 직무의 인지단계 결정시 인지단계간의 구분이 모호한 경우가 발생한다. 예를 들면, 인지단계중 "identification of system state", "interpretation", "evaluation", "goal selection" 등의 인지단계는 실제 직무에의 적용시 상호간의 인지단계간 구분이 분명하지 않은 경우가 많다. HRMS의 두번째 한계점은 직무 상황을 오류분석에 반영할 지침을 제시하지 못하고 있다는 것이다. 이로 인하여 분석자는 분석자 나름대로 직무상황을 묵시적으로 반영하여 오류분석을 수행하게 되고, 결과적으로는 분석자마다 오류분석 결과에 차이를 낳게 되는 요인이 된다.

PHECA 방법은 시스템 설계 지원을 목적으로 개발된 오류분석 방법이며, 이를 위하여 고유의 접근방법을 가지고 있다. 한편으로는 본 방법이 설계지원에 주 목적이 있어서 주어진 시스템에서의 직무 수행시의 오류발생 예측으로는 한계점을 가지고 있다. PHECA는 분석을 용이하게 하기 위하여 직무유형, 반응유형, 오류유형 등과 오류원인간에 개발자가 미리 만들어 놓은 연결체계가 있다. 분석자는 이 세가지 유형만 결정하면 미리 작성해놓은 연결체계를 이용하여 자동적으로 직무와 관련있는 오류원인과 수행영향인자를 얻어낼 수 있다. 한편, 이러한 연결체계는 오류분석은 용이하게 하지만, 연결체계에 대한 이론적 혹은 실험적인 배경 설명이 결여되어 있고, 이에 대한 검증도 이루어지지 않았다. 이로 인하여 분석결과에 대한 신뢰성이 떨어진다. 다른 한편으로는 연결체계의 내부적인 구조를 알수 없는 것으로 인하여 분석 과정에서의 insight를 얻지 못하게 된다.

CREAM은 다른 방법에 비해 상대적으로 체계적인 분석 체계를 갖고 있는 것으로 평가된다. CREAM은 다른 방법과 달리 먼저 상황에 대한 평가부터 수행한 후, 이를 오류분석에 참조할 수 있게 한다. 이것은 HRMS에서와 같이 직무 상황에 대해 묵시적인 고려단으로 오류분석을 수행하는 것이 아니라, 구체적인 상황요소를 참조할 수 있게 하는 데 의미가 있다. 그러나, 상황인지인 공동수행조건과 오류유형 사이에

체계적인 연관 관계는 제시하지 못하고 있다. CREAM은 인지직무유형의 정의와 단순화한 인지과정을 통하여 HRMS이나 PHECA에서 나타났던 인지단계간 구분의 어려움을 해소시켜 주고 있다. 반면, 오류유형이 너무 단순하여 원자력발전소 사고관리 영역의 오류분석에는 미흡함이 있으며, 오류발생 원인 혹은 발생 구조에 대한 분석은 하지 못하는 단점이 파악되었다.

5. 결 론

본 사례연구를 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 전반적인(접근방법, 분석체계, 분류체계) 평가 결과 CREAM이 다른 방법들에 비해 우수한 것으로 평가되었다. 다만, CREAM의 오류유형이 원자력발전소 사고관리 분석으로 사용되기 위해서는 보다 상세한 분류 체계를 갖추어야 하며, 오류원인 및 오류 발생구조에 대한 보강이 필요한 것으로 밝혀졌다.

둘째, HRMS도 원자력발전소 사고관리 인지요류분석에 기본적인 적합성은 있는 것으로 평가되었다. 그러나, 상황분석에 대한 고려가 추가적으로 필요한 것으로 밝혀졌다.

셋째, PHECA는 HRMS나 CREAM에 비해 원자력발전소 운전원 직무의 예견적 인지요류분석 방법으로는 부적합한 것으로 평가되었다.

본 사례연구를 통하여 향후 개발하게 될 사고관리 인간오류분석 방법의 기본 요건을 확립할 수 있었으며, 기존에 개발된 HRMS나 CREAM의 일부 모듈이 향후의 분석 체계에 기본적으로 활용될 수 있음을 확인하였다. 또한, 사고관리 직무 상황에 맞추어 보강되거나 추가되어야 할 사항이 있음을 파악하였다.

[참고문헌]

1. Swain, A. and Guttman, H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, US NRC, USA, 1983.
2. Hannaman, G.W., et al., Human Cognitive Reliability Model for PRA Analysis, NUS- 4531, Nuclear Utility Service Corp., 1984.
3. Embrey, D., SLIM-MAUD: An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgement, NUREG/CR-3518, 1984.
4. Kirwan, B., A Guide to Practical Human Reliability Assessment, Taylor & Francis, 1994.
5. Reason, J., Human Error, Cambridge University Press, 1992.
6. 김계환 외, "인간신뢰도분석을 위한 인적오류분석 기법 검토", 한국원자력학회 '97 추계학술발표회 논문집, pp. 753-758, 1997.
7. Kirwan, B., "The Development of A Nuclear Chemical Plant Human Reliability Management Approach: HRMS and JHEDI", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 56, pp. 107-133, 1997.
8. Rasmussen, J., Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering, New York: North-Holland, 1986.
9. Hollnagel, E., Cognitive Reliability Assessment Methodology, Academic Press, London, 1997.
10. Whalley, S.P., Factors affecting Human Reliability in the Chemical Process Industry, PhD thesis, Aston University, 1987.
11. WOG SAMG, Vol. 2, Guidelines, Westinghouse Electric Corporation, 1994.
12. 정원대 외, 인간오류분석 방법 검토 및 사고관리 사례연구, KAERI/TR-998/98, 한국원자력연구소, 1998.