

시뮬레이터를 이용한 원자로조종면허 실기시험 개선 방안

Development for Reactor Operator Licensing by Using The Simulator

김인환, 권석근, 우성명, 감성천, 임현평,

한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19

손금수, 김창학

한국전력공사(원자력교육원)
울산광역시 울주군 서생면 신암리 991

요 약

원자로조종면허의 시험관련 법적 내용 및 국내에 설치되어 있는 시뮬레이터 현황을 소개하고 실기시험에 대한 개선방안을 제시하였다. 이 논문을 통하여 원자력발전소 현장에 실제적으로 피드백 효과를 기하여 원전의 안전성 증진에 일익을 담당하게 되었으면 좋을 것으로 생각한다.

Abstract

This report was introduced operating tests in the atomic law and simulators of the nuclear power plant. And this report was proposed improvements of simulator examination. If this report makes feedback effect in the nuclear power plant, that will be fairly helpful to maintain safety of the nuclear power plants.

1. 서 론

원자력관계 면허시험 업무는 과학기술부로부터 업무를 위탁받아 한국원자력안전기술원에서 수행하고 있으며, 한국원자력안전기술원에서는 원자력관계 면허시험에 대한 지속적인 연구·개발로 원자력관계 면허시험을 체계적으로 구축하여 원자력관계 면허시험 응시자의 자질과 능력을 향상시켜 원자력발전소의 안전한 운전에 일익을 담당하고 있다. 원자력관계 면허시험은 원자력법 제 91조에서 원자로조종 분야, 방사성동위원소취급 분야, 핵연료물질취급 분야 등 3개 분야로 대별하여 시행하고 있다. 이 중에서 원자로조종 분야는 교육·연구 목적의 교육·연구용원자로와 발전 목적의 발전용원자로로 구분하고 있다. 원자로조종 분야의 면허시험은 1차 필기시험을 치르고 이에 합격한 자에 한하여 시뮬레이터(모의조종 훈련설비)에서 2차 실기시험을 시행하고 있다.

현행 원자력법 제29조 및 제36조의 규정에 의하여 발전용원자로 운영자(연구용원자로 설치자등)

는 원자로조종감독자 (SRO : Senior Reactor Operator) 면허를 받은 자 및 원자로조종사 (RO : Reactor Operator) 면허를 받은 자 각 1인 이상을 주제어실에 상주하여 원자로의 운전 업무에 종사하도록 규정하고 있다.^[1] 본 논문에서는 이와 같이 원자력발전소의 안전한 운전을 도모하는데 최일선에서 근무하게 되는 적절한 원자로조종사 및 원자로조종감독자를 선별, 면허를 부여하기 위하여 실제 운전중인 원자력발전소와 환경, 조건, 운전방법 등이 동일한 조건을 갖춘 시뮬레이터를 이용하여 실시하고 있는 원자로조종분야 실기시험에 대한 개선방안을 연구함을 목적으로 한다.

2. 본 론

가. 시뮬레이터 현황

1) 일반사항

원자로조종사 및 조종감독자 면허 실기시험은 시뮬레이터를 이용하여 고리, 월성, 영광 및 울진 현장에서 운전중인 원자력발전소와 동일한 조작을 유도함으로써 응시자의 발전소 운전능력과 사고나 비상시에 대응할 수 있는 판단력 유무 및 대처능력을 검증하는데 효과적이며 원자력발전소 현장에서 실제적으로 Feedback 효과를 기함으로 원자력발전소 운전의 안전성 증진과 운전원의 질적 향상을 도모함에 있어 커다란 역할을 하고 있다. 세계 최초의 운전원용 시뮬레이터는 1957년 영국의 United Kingdom Atomic Energy에 의해 제작된 Calder Hall Magnox 플랜트의 시뮬레이터와 1958년 Westinghouse에 의해 만들어진 상선 Savannah호의 시뮬레이터로 알려져 있다. 원자력발전소용 시뮬레이터는 1968년 GE사가 Dresden 2호기 (BWR, 800 MWe급)를 기준으로 하여 제작한 것이 최초였으며, 우리나라에서는 1979년 7월 미국 버지니아 전력회사의 Surry 원자력발전소의 시뮬레이터와 동형의 설비를 한국전력공사 원자력교육원에 최초로 설치하였으며 가동중 원자력발전소가 증가함에 따라 5개의 시뮬레이터를 운영하고 있다. 아울러 시뮬레이터는 그 목적과 설비 규모면에 따라 구분되는데, 첫째로, 목적에 따라 구분하면 설계·분석(공학)용 시뮬레이터와 교육·훈련용 시뮬레이터로 나눌 수 있고 둘째로, 설비의 규모 정도에 따라서 전범위(Full scope) 시뮬레이터, 부분범위(축소형) 시뮬레이터, 부분 업무(Part Task) 시뮬레이터 및 마이크로 시뮬레이터로 나눌 수 있다.^[2]

국내에 있는 시뮬레이터는 모두 전범위 시뮬레이터로서 발전소의 정상, 비정상훈련을 반복 실습할 수 있고 실제로 원자력발전소에서 실시할 수 없는 비상사고 대비훈련은 물론 사고검토를 위한 장치로서 운전원 양성등을 위하여 주로 사용하고 있다. 현재 국내에 설치된 원자력발전소용 시뮬레이터 제원은 <표 1>과 같다.

2) 시뮬레이터 구성 요건

원자력발전소의 훈련설비로서 시뮬레이터가 갖추어야 할 기능요건은 ANSI/ANS-3.5 "Nuclear Power Plant Simulator for use in Operating Training and Examination" 및 Regulatory Guide 1.149 "Nuclear Power Plant Simulator for use in Operating Training"에서 구체적으로 제시하고 있는데 주요 내용은 다음과 같다.

실제 원자력발전소 운전상태와 같은 반응이 보일 수 있는 비정상 및 비상상태가 실시간으로 동작되도록 모의되어야 하며 그 개수는 최소 75종 이상이어야 한다. 시뮬레이터 훈련시 모의제어반에 나타나는 결과가 실제 원자력발전소 최종안전성분석보고서의 결과와 같도록 모의되어야 한다. 각 계통의 고장에 대하여 운전원 조치에 따라 복구 가능하여야 하며 고장 정도(severity)에 따른 결과에 대해서도 실제 발전소와 같도록 모의되어야 한다. 최소 모의되어야 할 사고 범위

는 원자로 냉각재 상실사고, 주증기관 및 주급수관 파열, 급수 상실사고, 비상 급수 상실사고, 소외 및 소내전원 상실사고, 제어봉 구동장치 고장, 제어봉 제어계통 고장, 원자로 냉각재 펌프 고장, 계기용 공기 상실사고, 핵연료 손상, 복수기 진공상실, 기기 냉각해수 상실사고, 원자로 냉각기능 상실사고, 기기냉각수 상실사고, 보호용 계기고장, 터빈 비상정지, 발전기 정지, 반응도 및 노심 붕괴열 제어계통 고장, 원자로 냉각재 압력 및 체적제어 계통 고장, 핵 계측 계통 고장, 제어용 계기/경보/기타 제어계통 고장, 공학적 안전설비의 수동적 고장, 원자로 정지계통 고장 등이다.^[3]

다중호기에 한 대의 시뮬레이터를 설치할 경우, 발전소간의 차이가 모의제어반 설비에 심각한 영향을 주지 않음을 입증하여야 한다. 입증에는 주제어실 요원과 관련된 설비 설계 및 계통, 운영기술지침서, 일차 비정상 및 비상운전절차서, 주제어실 설계 및 계측제어기의 위치, 운전 특성아래의 내용외에 각 원자력발전소와 시뮬레이터간의 차이에 대한 요약 및 분석내용이 포함되어야 한다.^[4]

나. 실기시험 방법·내용 및 시나리오 개발 현황

1) 시험방법

원자력발전소의 운전원들은 근무중인 해당 원자력발전소와 노형 및 각 계통의 운전 특성이 거의 동일한 시뮬레이터를 이용하여 운전변수가 정상운전 제한치를 초과함에 따라 발생하는 경보상태에 대처하는 비정상 운전상태 상황, 운전변수가 이미 원자로 보호계통 설정치를 초과하게 됨에 따라 운전원이 대처하는 상태에서 기기가 대처하는 상태로 바뀌게 되는 비상운전 상황 등에 대한 지속적인 반복 훈련을 통해 원자력발전소의 안전 운전을 달성하는데 기여할 수 있어야 한다.

현재 원자로조종분야면허 실기시험은 운전중인 원자력발전소와 동일 모형인 시뮬레이터에서 실시함으로 응시자가 해당 절차서에 따라 어떠한 행위를 행할 때 원자력발전소에서 취하는 행위와 동일한 조치가 이루어지는지를 중점적으로 확인하고 있다. 원자로조종사면허 실기시험은 원자력발전소의 정상 및 비정상 운전을 위주로 운전의 숙련도 및 정확도 등을 평가하고 있는 반면에 원자로조종감독자면허 실기시험에서는 원자력발전소의 비정상 및 비상운전을 위주로 하여 사고 및 비상시에 대처할 수 있는 판단력 유무 등의 실무 능력을 검비하고 있는가 등을 검증하고 있다.

2) 시험내용

원자로조종분야면허 실기시험에서는 원자로조종사 또는 원자로조종감독자로서 갖추어야 할 원자로의 운전 절차 및 그 운전 조작, 지시 신호의 판별 및 그 대책, 계측시설의 이용 및 그 판독 방법, 원자로 시설의 동특성 및 운전, 방사능 감시시설의 기능 및 사용법, 방사선 장애방어, 비상시의 대책 등에 대하여 실무 능력을 검증하고 있다.

3) 시나리오 개발현황

실기시험용 시나리오는 실제 운전시 발생이 예상되는 내용 및 그동안 발생하였던 국내·외 고장사례 등을 고려하여 새로운 시나리오를 개발하며, 새로 개발한 시나리오는 [그림 1]과 같은 국내·외 고장사례 적용 흐름도에 나타난 바와 같이 검증, 확인 후 실기시험(안)으로 채택한다.^[5]

아울러, 시나리오 내용에는 실제 발생하였던 고장사례를 적용함으로써 원자로조종 면허 시험시 몸소 경험하였던 사항들이 원자력발전소 운전시 발생할 경우 운전원의 인적 실수를 최대한으로 방지하고, 동일한 고장사례를 미리 방지할 수 있어 원자력발전소 안전 운전에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각한다. 해당 원자력발전소의 시뮬레이터를 이용하여 실기시험을 실시할 수 있

도록 개발한 문제 확보현황은 2000년 12월말 현재 가압 경수로형의 경우 정상운전, 비정상운전 및 비상운전 에 대하여 각각 87문제/302문제/108문제 등 총 497문제로 노형, 용량급, 공급자별로 구분하면 평균 120문제를 확보하고 있고 가압 중수로형의 경우 정상운전, 비정상운전 및 비상운전 관련 내용으로 각각 30문제/95문제/35문제 등 총 160문제를 확보한 상태에서 실기시험을 행하고 있는 상태이며 앞으로 가압 경수로형의 실기 문제를 더 확보하여 실기시험시 활용하여야 할 것으로 생각한다.

다. 실기시험의 개선

시뮬레이터를 이용한 원자로조종분야면허 실기시험을 위하여 시험안에 대한 모의 시나리오를 개발하여 온 결과 면허실기시험의 질적 향상에 보탬이 된 것은 사실이다. 그러나 현 시점에서 원자로조종분야면허 실기시험에 대한 질적 향상 및 효과적인 실기시험을 위하여 도출한 사항을 일부 제시하여 보면 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

원자로조종사와 원자로조종감독자 면허 실기시험의 경우 <표2>의 보직에 대한 실기시험 진행 흐름도에서와 같이 한 보직에 각각 30~40분 동안 두세 보직에 대하여 시행되는바 시험평가자의 입장에서는 평가시간동안 원하는 측정항목을 평가하기에는 대부분 시간이 충분치 않을 것이고, 응시자 또한 제한된 시간에 능력을 발휘하기가 쉽지 않을 것으로 생각한다. 이는 실제 원자력 발전소와 같이 시뮬레이터가 100% 구현한다는 것은 쉽지 않은 반면 단순한 고장에 대하여는 대다수가 시나리오화 하는 것이 단조롭기 때문에 실기가 간단히 수행되므로 시험안에 반영하기에는 큰 효과를 기대할 수 없다. 그러므로 우선적으로 실현 가능한 시나리오 소재를 지속적으로 개발할 필요가 있다고 생각된다. 실기시험 평가위원, 응시자등에 따라 실기시험 평가에 있어서 배경이나 상황 판단, 예측 등 전체적인 운전 전개사항에 대하여는 응시자의 팀워크와 표현력 및 개성에 따라 실기시험 평가에 영향을 미칠 수 있을 것이다.

이러한 실기시험 시간, 실기시험 시나리오의 구현성 및 응시자의 이해도와 표현력등은 실기시험을 시행하는데 있어서 독립적이고 개별적으로 적용되기보다는 서로 어느정도 연관성을 내포하고 있을 것이다. 이러한 상기사항들에 대한 개선방안을 제시하여 보면 다음과 같이 기술할 수 있다.

기존 시나리오에 대하여 매년 일정비율로 재검토하여 시험안을 보완하고 재검증한다. 또한 국내 및 국외에서 발생된 고장사례를 매년 검토하여 시험안에 추가하고 현재의 실기시험안을 더욱 늘려 다양화하여 평가의 보편적인 변별력을 높여야 한다. 심도 있는 검토와 운전방향을 쉽게 결정내릴 수 없는 시나리오를 시험안에 채택하여 기술적 운전능력을 검증하기에는 다소 시간이 짧다. 그러므로 현재의 40분에서 10분~15분 정도 연장하여 평가한다면 더욱 효과적일 것이며, 또한 시뮬레이터의 조작 완료 후 응시자들에 대해 전반적으로 원자로조종사 또는 원자로조종감독자로서 최소한 알고 있어야 하는 일반적인 사항 및 해당 원자력발전소에 대한 특이사항을 인지하고 있는지의 여부 및 정신자세 등을 확인하기 위하여 개인별 구술시험을 확대시행할 필요가 있을 것 같다. 실기시험 실시 때 개인 위주가 주 평가 요소이기는 하나 응시자의 구성 면모를 현장 경력이 많은 응시자와 경력이 적은 응시자를 적절한 비율로 조합하여 시행하면 좋을 것 같다. 이것은 원자력발전소의 운전은 개인에 의해 이루어지지 않기 때문에 시험 때부터 응시자들의 팀워크 중시 여기는 풍토를 만들 수 있도록 하여야 할 것이다. 즉, 응시자들이 실기시험 실시 과정 즉, 밸브, 펌프 등의 작동을 행할 시 항상 팀원간에 의사소통이 이루어져 관련 정보를 교환하여 오류를 방지할 수 있는 습관이 정착되도록 유도되어야 한다. 이로 인해 원자력발전소 운전원의 인적 실수 저감 효과로 발전소 안전성 향상에 기여할 것이다.

3. 결 론

원자력발전소의 안전성 향상에 도구로 사용되고 있는 시뮬레이터에 대해 이를 이용한 원자로 조종분야면허 실기시험의 개선방향을 도출하였다. 이 중에서도 우선적으로 개선되어야 할 사항은 원자로조종사 및 원자로조종감독자로서의 응시자의 자질등을 파악할 수 있는 실기시험 시간의 연장이 필요할 것이고, 실기시험 시나리오의 추가 개발에 따른 문제의 다양화하는 것이다. 이로 인하여 원자력발전소 운전시 주로 발생하는 고장사례를 줄이는 Feedback 효과를 기하고, 최종적으로 양질의 면허자를 선별하여 원자력발전소 운전의 안전성 향상에 크게 기여할 수 있으면 좋을 것으로 생각한다.

<표 1> 국내 원자력발전소용 시뮬레이터 제원

(2001. 2. 28.현재)

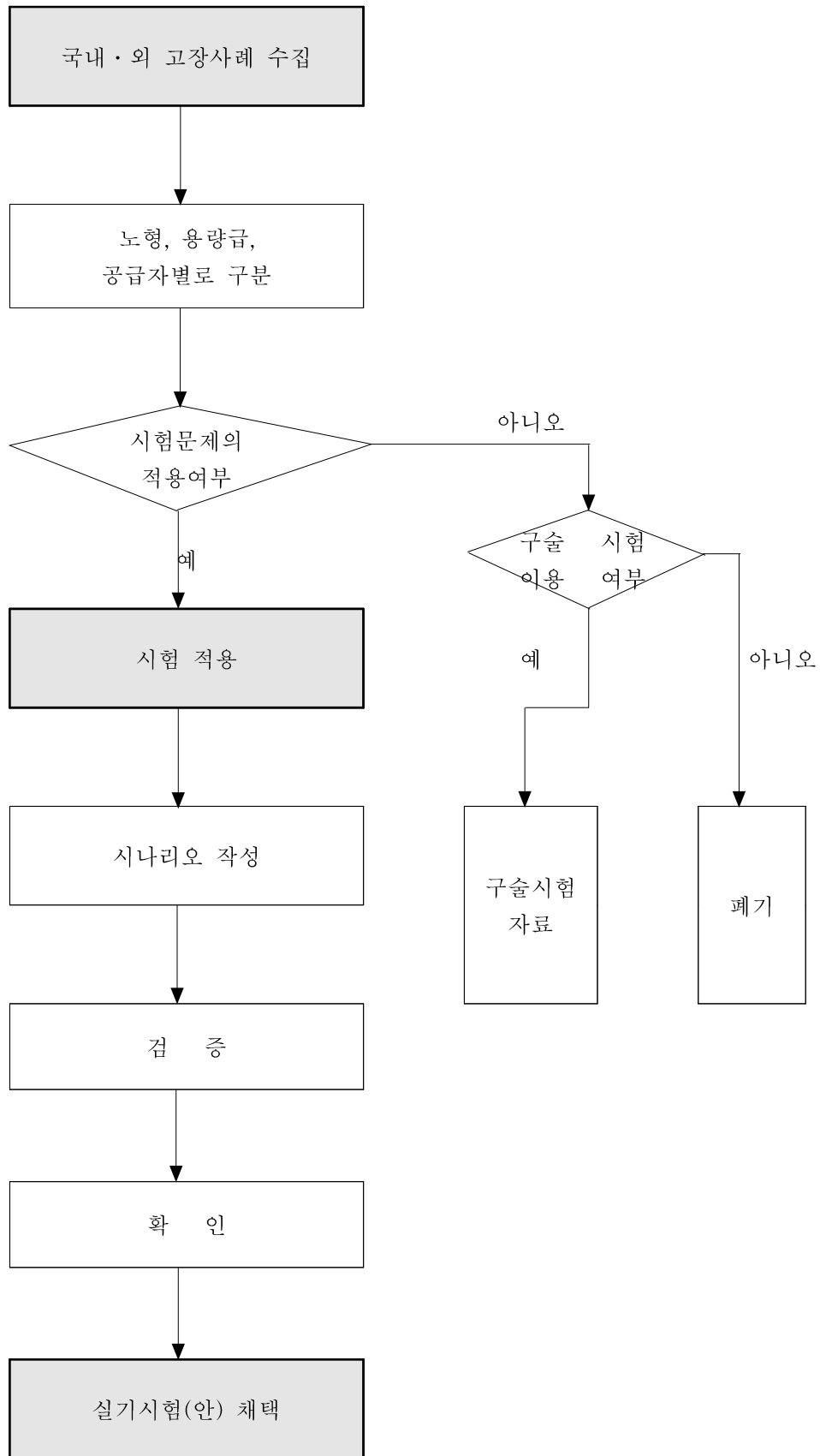
Simulator 구분	원자력교육원		월성 훈련센터	영광 훈련센터	울진훈련센터	
	# 1	# 2			# 1	# 2
원자로형	PWR	PWR	PHWR	PWR	PWR	PWR
위 치	고리	고리	월성	영광	울진	울진
기기공급자	삼성전자(SW) 현대전자(HW)	미국 W/H	캐나다 CAE	삼성전자(SW) 현대전자(HW)	프랑스 THOMSON -CSF	삼성전자(SW) KOPEC(HW)
도입금액	약 42억원	\$ 837만 (약 76억원)	\$ 998만 (약 80억)	약 58억원	\$ 1,200만 (약 100억원)	약 120억원
준 공 일	1998. 7	1986. 12	1996. 9	1997. 3	1990. 1	2001. 10
기준발전소	고리 2호기	영광 1호기	월성 2호기	영광 3호기	울진 1호기	울진 3호기
훈련대상 발전소	고리1,2호기	영광1,2호기, 고리3,4호기	월성 1, 2, 3, 4호기	영광3,4호기	울진1,2호기	울진3,4호기
용 량	600 MWe	900 MWe	600 MWe	1000 MWe	900 MWe	1000 MWe
Loop 형태	2 Loop	3 Loop	2 Loop	2 Loop	3 Loop	2 Loop

(주1) CSF : Communication Sans Fil(Communication without Wireless)社

(주2) CAE : Canada Aviation Engineering社

※ 원자력교육원 #1 시뮬레이터는 미국 Surry 원자력발전소를 기준으로 설치(1979. 9.) 되었으나 폐지하고 고리 2호기를 기준으로 한 시뮬레이터로 새로 교체되었음.

※ 원자력교육원 #2 시뮬레이터는 하드웨어 및 소프트웨어 일부 프로그램을 성능 개선을 실시 중이며 2001. 5월 완료 예정임.(추진 : 한전 원자력연구원, 원자력연구소, 삼성)



[그림 1] 국내·외 고장사례 적용 흐름도

<표 2> 보직에 대한 실기시험 진행 흐름도

시 간	내 용	진 행 사 항		비 고
		수 험 자	평 가 자	
00:00~ 00:04	○시험장 입실 ○시험 준비 ○초기조건 설정	○유의사항 청취 ○초기조건 파악 ○보직간 의견 교환	○시험안 접수 ○유의사항 공지	-관계자의 출입제한
00:05	시작방송	초기조건 보고	평가 착수	
00:06~ 00:20	○정상(RO 면허) ○비정상 (SRO면허)	○운전변수 파악 능력 ○운전조작 능력 ○운전조치 능력 ○돌발 상황 대응능력 ○신속성, 정확성	○직무 수행능력 ○절차서 및 자료 이용 능력 ○발전소 상태 파악 능력 ○경보 이해능력 ○증상파악 및 예측 ○기술지침서 활용도 ○운전능력(정상, 비정상, 비상)	-절차서 -보고 -정보교환 -운영기술지 침서 -도면
00:20~ 00:34	○비정상 (RO면허) ○비상(SRO면허)	○비상대응 조치 능력 ○후속 조치 능력 ○사고 분석 능력 ○복구 능력	○기기 조작능력 ○방사선 장해방어 ○전력계통 이해력	
00:35	시험 완료방송	구두시험 준비	구두평가 준비	-
00:35~ 00:39	구두평가	구두답변	○실기내용 수험자와 의견 교환 ○보충질문	-
00:40	퇴실방송	퇴실	다음 시험 준비	-

4. 참고자료

- [1] 원자력관계법령집, 한국원자력안전기술원, 2000
- [2] 2000년도 교수연구발표문 선집, 한국전력공사 원자력교육원, 2000
- [3] Nuclear Power Plant Simulator for use in Operating Training and Examination, ANSI/ANS-3.5, 1993
- [4] Nuclear Power Plant Simulator for use in Operating Training, Regulatory Guide 1.149, 1996
- [5] 원자로조종면허시험개발, 한국원자력안전기술원, 1997