

COINS-I: 가상발전소 개념에 따른 원자력 극한작업을 위한
지능형 상호협조 훈련시스템의 모델링

Kyungho Cha
韓國原子力研究所

要約

本論文에서는 高温, 高壓, 그리고 放射能 준위가 높은 원자력발전소 구조물의 극한 환경(Hazardous Environments)에서의 점검 및 보수에 대한 작업자의 훈련을 위해 지능형 상호협조 훈련시스템(COINS-I: COoperative INtelligent training System-I)의 개념모형을 제안하였다. 비교적 방사능준위가 높은 격납용기 구조물과 보조(Auxiliary) 빌딩을 一次的 극한작업 환경으로 설정하였다. 격납용기 구조물과 보조빌딩에 대한 가상발전소 환경(Virtual Plant Environments)을 모델링하여, 극한환경에서의 점검 및 보수훈련 Pilot 연구를 COINS-I의 개발목적으로 하였다. COINS-I은 점검, 보수훈련을 위한 가상발전소 환경을 갖는 극한작업 시뮬레이터, 지능형 Tutoring 기능을 갖는 극한작업 훈련프로그램, 3次元 가상인터페이스 등의 훈련장비를 갖는 훈련설비로 구성된다. COINS-I을 통한 교육 및 훈련은 궁극적으로 작업자가 경험치 못한 극한작업(예를들면, 원자로해체, 중대사고, Life-extension 등)의 가상 시뮬레이션을 통한 훈련이 가능하여 방사능 피폭량을 低減하며, 극한작업 자동화를 위한 연구에의 활용이라 하겠다.

1. 서론

원자력발전소 점검(Test and Inspection) 및 보수(maintenance)는 주기적이거나 비주기적으로 작업자, 작업로봇, 작업 manipulator에 의해 수행되며, 작업자의 방사능 피폭량 저감을 위한 연구로서 점검 및 작업로봇에 의한 극한작업 자동화 연구가 활발히 진행되어 왔다[3, 9-14]. TMI 사고나 체르노빌 사고를 예로 들지 않더라도 점검 및 보수작업 시간의 최소화 -즉, 보수기간 최소화-에 대한 연구를 필요로 한다. 본 논문에서는 방사능 준위가 높거나 복잡한 구조물에서의 점검 및 보수, 그리고 작업환경이 열악한 고온의 구조물 등에서의 점검 및 보수를 극한작업으로 개념화하여 사용하였다. 이러한 극한작업은 작업자의 방사능 피폭량 저감 및 극한작업 자동화로 보수비용 절감 및 운전효율 최대화를 위한 연구과제로 간주된다. 극한환경에서의 극한작업은 점검 및 보수계획에서부터 극한작업 검증까지 최대의 작업성능을 유지하여 수행되어야 하며, COINS-I은 비교적 열악한 작업환경인 격납용기 구조물과 보조빌딩을 대상으로 극한작업 시간의 최소화 및 작업성능 최대화에 대한 Pilot 연구를 목적으로 제안되었다. 로봇에 의한 극한작업 자동화에도 극한환경에서의 작업로봇 설치, 철거 등의 훈련이 필요하며, 교육 및 훈련이 작업시간 최소화를 위한 하나의 방책이라 간주되어, COINS-I에 구현될 원자력발전소의 극한작업 환경을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 假象발전소 모델링을 한다. 제 2장에서 COINS-I 개발을 위한 극한작업 시나리오 및 가상발전소 모델링에 관하여 기술하고, 제 3장에서 COINS-I의 기능적 모델링에 관하여 기술하였다. 그리고, 제 4장에서 훈련을 위한 COINS-I 기능을 고찰하고 제 5장에서 결어하였다.

2. 가상발전소 모델링

2.1 배경

원자력발전소의 극한작업은 점검 및 보수에서의 자동화만이 작업자 피폭저감을 위한 해결책이나 국내 실정은 대부분 외국기술에 의해 개발된 작업로봇이나 Manipulator를 현장에서 이용하고 있으며, 최근 증기발생기 및 원자로 내부점검, Pipe 내부에서의 점검, Bolts-nuts 작업 및 Surveillance를 위한 로봇 개발이 아직도 초기단계라 하겠다[13, 14]. 이러한 자동화된 원자력발전소의 극한환경에서의 점검 및 보수작업에도 로봇 설치 및 철거에 대한 훈련은 요구되며, 안전지역(safe area)에서의 훈련을 위해 Mockup을 주로 이용하여 왔다. 운전원 훈련을 위한 일본의 MITI 프로젝트, Oak Ridge National Lab.의 극한환경(Hazardous Environment)에서의 원자로 해체를 위한 Mockup-기반 로봇 훈련[15] 등 교육 및 훈련을 위한 연구들이 진행되고 있다. 교육 및 훈련에 멀티미디어 기술과 가상현실 기술을 이용하려는 범 세계적인 연구 및 시스템 개발이 컴퓨터 관련 연구에서 기술개발이 급속도로 진전되어 현재는 산업에 응용하려는 연구가 급속도로 진행되고 있다[1-4, 6-8]. COINS-I 개발을 위한 요소기술은 멀티미디어 및 실시간 데이터베이스 모델링, 가상현실 인터페이스 기술, Rendered 3D Solid Modeling, 그리고 지능형 Tutoring 시스템 구현 기술로 간주되며, 이러한 요소기술의 연구 및 응용시스템 개발에 관한 현황을 문헌을 통한 자료조사 결과를 [표 1]에 간략히 요약하였다.

연구기관	시스템/프로젝트	요소기술	응용영역
MIT	- The MIT Navigation Project - The Aspen Movie Map Project	- Multimedia ODB - Virtual Environments	교육
NASA	- VIEW (Interactive Virtual Interface Environment Workstation)	- Virtual auditory and stereoscopic image surround	훈련
Detroit VR Center	- 가상현실기반 작업환경 - 가상현실기반 원격작업 프로젝트 - 원격작업환경을 연구해 33개 산업현장 시범	- Glove-like devices - 3D 영상원 및 시뮬레이션	산업
IBM Watson Research Center	- Education Project	- Multimedia - CD-ROM	교육, 병행
AT&T Bell Lab.	- 원격내보형시스템	- 3D Graphic Interface Control	Navigation, 원격내보형

기타, Washington 대학 HITL의 가상 Device 연구, Northwestern 대학의 교육을 위한 CAI 시스템 개발 등 훈련, 교육용 위한 Multimedia, VR 연구기관 및 프로젝트 다수

미국에서의 교육, 훈련을 위한 Multimedia, VR 연구

연구기관	시스템/프로젝트	요소기술	응용영역
Matsushita	- System Kitchen	- DB (3만여 개의 부품)	유형설정, 생산 자동
신일본제철	- 철강의 정확성 및 높은 인식률 - 안전	- Tele-existence - Tele-robotics	자동화
통산성	- MITI Project	- Multimedia	훈련 훈련

기타, 카지마 전설 NTT 등 훈련, 교육용 위한 Multimedia, VR 연구기관 및 프로젝트 다수

일본에서의 교육, 훈련을 위한 Multimedia, VR 연구

연구기관	시스템/프로젝트	요소기술	응용영역
한국표준 연구소	- VR 기초기술 개발	- VR - 감각센서 등	인간공학, 산업
KIST	- 건물 내부 보형 - 로봇스 케어 등	- VR	건축, 자동화 등
교육개발 연구원	- 전문가시스템으로서의 지능형 CAI 시스템 개발	- 전문가 시스템 - Tutoring System	교육
ETRI 인공지능 연구실	- 교육용 CD-ROM	- Multimedia - 인공지능	교육
AIST 인공지능 연구실	- 지능형 CAI 시스템	- 인공지능	교육
서울대 자동화연구센터	- 공장자동화 연구	- 실시간 데이터베이스, 시뮬레이션, CAD/CAM, VR	공장자동화

기타, 숭실대, 포항공과대 등 교육용 위한 Multimedia, VR 연구 및 프로젝트 다수

한국에서의 교육, 훈련을 위한 Multimedia, VR 연구

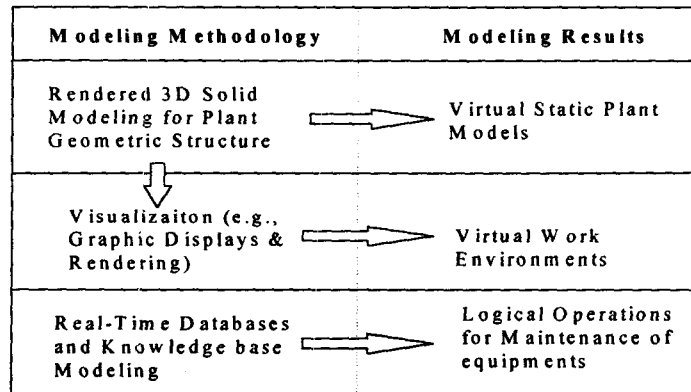
그림 1. 교육 및 훈련시스템 개발을 위한 요소기술 연구현황

2. 2 극한작업 시나리오

원자력발전소의 점검 및 보수는 계기, 기기의 점검으로부터 부품교체, 수리 등에 이르는 다수다종으로 구성되며, 단순작업자에서부터 Licensed 작업자, 로봇에 의해 수행된다. 현재 현장에서 사용되는 점검 및 보수절차를 분석하여 전산화하고, 전산화된 점검 및 보수절차를 COINS-I 개발에 이용한다. 그리고, 가동 중의 점검 및 보수는 앞으로 개발될 첨단주제어실 개념에 따른 발전소를 고려하여 정보관리시스템(Information Management System)과 Plant Personell과의 상호협조, 발전소 정지 중에 이뤄지는 점검 및 보수를 위한 작업자와 로봇의 상호협조를 고려하여 발전소 효율 최대화 및 Life-extension 연구에 활용할 수 있도록 시나리오를 구성한다. 점검 및 보수작업의 오류에 의한 작업성능 저하도 발전소 성능에 영향을 미치는데, 점검 및 보수작업에 대한 훈련미숙 및 숙련작업자의 확보가 쉽지 않다는 것이 보수의 현실적인 문제점 중의 하나로 간주된다. 방사능 준위가 높은 격납용기 구조물에 대한 대부분의 점검 및 보수는 발전소 정지 중에 수행되는 것으로써 작업자 수, 작업자에게 허용된 피폭량, 작업자의 점검 및 보수에 대한 숙련도, 그리고 보수작업 자동화 정도가 보수기간의 최적화, 발전소의 성능 및 신뢰도에 미치는 요인이라 여겨된다. COINS-I 개발을 위한 극한작업 시나리오는 구조물에서의 Navigation, 점검 및 보수를 위한 주요 발전소 parameters 및 계측값에 대한 Surveillance, Test 및 Inspection, equipment repair, 그리고 로봇 설치 및 철거 절차를 대상으로 하였다.

2. 3 가상발전소 개념의 구현기술 및 주요 Tasks

점검 및 보수 훈련을 위한 가상발전소 모델은 발전소의 Geometric 구조(e.g., spatial static structure) 및 equipments에 대한 Rendered 3차원 Solid Model 및 실시간 데이터베이스 모델로 구현하고, 초보자 훈련을 위한 밸브 등의 주요 점검 및 보수대상 equipments의 Multimedia representation 및 지식기반 Tutoring modeling, 발전소 가동 중 점검 및 보수 훈련을 위한 주요 점검 및 보수대상 equipments의 多樣한 사고 시뮬레이션 및 실시간 발전소 사건 시뮬레이션, 발전소 빌딩내의 보행 및 로봇 mission을 위한 실시간 시뮬레이션, 그리고 가상 극한작업 환경의 현실감을 제공하기 위한 3차원 가시화(visualization)를 가상발전소 모델로 정의한다. 이러한 가상발전소 모델은 다음과 같은 3가지 주요기술에 의해 구성된다.



이러한 가상발전소 개념을 이용한 극한작업 상호협조 훈련시스템의 개발을 위해 [그림2]와 같은 주요 Tasks를 수행해야 한다.

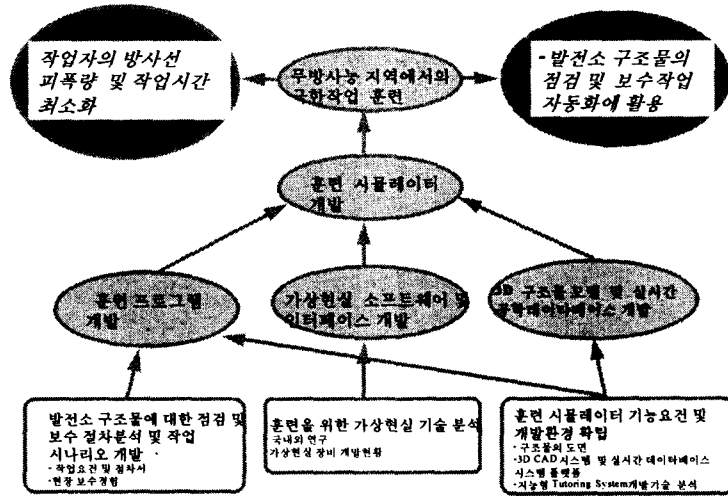


그림 2. 상호협조 훈련시스템 개발을 위한 주요 Tasks

3. COINS-I 모델

COINS-I 개발을 위해서 극한환경에서의 점검 및 보수절차를 분석하여 극한작업 시뮬레이터의 기능요건 개발에 활용하며, 극한작업 시뮬레이터의 극한작업 시나리오로 전산화한다. 극한작업 시뮬레이터는 2.2의 가상발전소 개념을 기반으로 하며, 로봇 시뮬레이션, 가동 중 점검 및 보수를 위한 발전소 실시간 시뮬레이션, 발전소 Life-extension 및 주요 발전소 해체절차에 대한 시뮬레이션 확장을 위한 기능을 갖도록 모델링 한다. 그리고 교육 및 훈련제어, 시뮬레이터 조작, 훈련데이터 관리를 위한 슈퍼바이저 기능, 점검 및 보수절차에 대한 지능형 Tutoring 프로그램, COINS-I을 이용한 점검 및 보수훈련 프로그램이 주요 구성요소이다. [그림 3]은 COINS-I의 기능적 모델을 나타낸다.

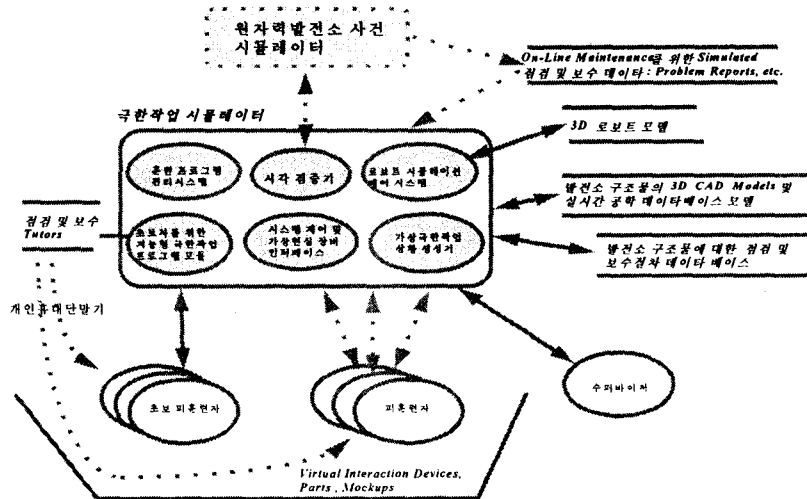


그림 3. COINS-I 모델

4. 가상발전소 환경을 이용한 훈련

4. 1 원자력발전소 점검에 대한 훈련

점검은 대부분 센서(sensors)를 포함한 계기, 밸브와 같은 제어 equipments들을 대상으로 수행되며, 이들 equipment들에 대한 기능, 점검절차, 진단에 대한 교육 및 훈련이 포함된다. 이러한 점검은 발전소 주요변수의 surveillance, 계기나 부품의 조작, 최소의 시간에 해당 계기나 부품에의 assessment 및 navigation, 그리고 점검 후 검증기능이 포함되어야 한다. COINS-I에서는 점검을 위한 고가의 보수기구나 Mockup을 이용한 훈련이 어려운 점검작업에 대한 훈련 프로그램의 개발에 초점을 둔다.

4. 2 원자력발전소 보수에 대한 훈련

RCS와 같은 격납용기 구조물에 대한 보수절차를 COINS-I을 통한 Pilot 연구에 훈련 프로그램으로 모델링 한다. 보수절차는 equipments에 대한 기존 절차를 Procedural Knowledge로 구조화하여 임의의 보수단계 참조, instructor를 위한 제어기능, 그리고 피 훈련자의 interaction 및 보수작업에 대한 responses를 요건으로 하여 개발한다. 보수훈련 프로그램은 발전소 equipments 및 구조물의 구조에 대한 Rendered 3D Solid Model 및 데이터베이스 모델링에 의한 가상 발전소 환경을 이용하여 기능(function) 및 설명(explanation)을 위한 대화형(interactive) 멀티미디어 표현, 초보자를 위한 지식기반 실시간 Tutoring 시스템으로 개발한다. 훈련 각 단계의 검증 및 평가를 위한 지식기반 및 Visual 추론, 발전소 사전 시뮬레이션의 인터페이스에 의한 보수훈련 결과의 평가 및 영향(즉, Erroneous maintenance의 시각적 검증 등) 평가, 그리고 평가기능 및 평가데이터의 관리기능이 필요하다.

4. 3 로봇과의 협조훈련

발전소 구조물에서의 로봇과 관련된 점검 및 보수작업은 주로 Navigation, 점검(inspection & test)으로써 COINS-I에서는 작업로봇의 Simulated 3D Solid Model 및 로봇 설치, 철거훈련을 위한 프로그램이 필요하다. 이러한 기능은 현재 사람에 의해 수행되는 점검 및 보수작업을 로봇에 의해 자동화할 때 Mockup을 이용한 로봇 설치 및 철거훈련에서의 경비절감 및 작업로봇의 개발을 위한 시뮬레이션 환경으로 활용이 가능하다. 가상발전소 환경에서 Virtual Mockup을 모델링하여 초보자의 로봇 설치 및 철거훈련, 복잡한 구조물의 로봇-작업자간의 협조 극한작업 절차에 대한 훈련프로그램, 그리고 로봇-작업자간의 협조 극한작업 시간의 최소화(Optimization) 연구를 위한 시뮬레이션 기능을 갖도록 한다. 궁극적으로 로봇에 의한 극한작업 대행을 위해서는 로봇의 원격제어뿐 아니라 물체인식, 진단, 극한작업 수행을 위한 개발이 필요하며, 로봇 개발에 따라 로봇-작업자간의 훈련프로그램의 내용도 변경이 가능하도록 Flexibility를 갖도록 개발한다.

4. 4 점검 및 보수작업 지원기기를 이용한 훈련

개인휴대단말기를 원자력발전소 점검에 활용한 일본의 연구사례로부터 발전소 점검 및 보수를 위한 작업보조기기의 개발을 시도해볼 수 있다. 비록 사람에 의한 극한작업이 수십 초에 걸쳐 수행된다고 해도 5감에 의한 진단에 의존적이며, 작업대상이 미세한 부품인 경우 육안판단이 정확할 수 없으며 한번에 여러 개의 계기에 대한 점검 등에는 사람의 기억한계로 인하여 극한작업의 성능에 제한을 받을 수 있다. 현재 훈련을 위한 점검 및 보수지원 기기의 개발은 개인휴대단말기의 모형 및 데이터기록, Head-mounted 보수기기(육안검사가 힘든 부품), 작업지도정보를 이용한 작업자의 위치안내, 절차 조회가 가능한 프로토타입, 개인휴대단말기와의 On-line 소형 카메라(예, 소형 디지털 카메라)를 이용한 극소형 부품의 확대된 image 취득 및 작업장에서의 진단 기능을 위한 프로토타입 등이다. 이러한 훈련을 위한 지원기기들의 프로토타입 개발은 점검 대상

부품의 facts 데이터(예, 부품수명, 작은 고장부위 및 고장상태의 photograph 등)을 분석하여 개발하며, 훈련에는 인형과 같은 Virtual Mockup(static mockups 및 prototypes)을 이용한다. 점검 및 보수작업을 위한 지원기기를 사용할 때의 편의성 및 작업성능, 그리고 보수작업 최적화를 위한 실험을 수행하여 작업성능을 향상시키는 프로토타입 기기는 극한작업 훈련시뮬레이터를 통한 간단한 훈련으로 현장에 활용이 가능한 장점을 갖는다. 이러한 극한작업 지원기기의 활용가능성에 따라 점검 및 보수작업 절차의 수정, 보완, 개발이 필요하며, 훈련설비 및 훈련프로그램은 이러한 응용을 고려하여 Flexibility를 갖도록 개발한다.

5. 결론

COINS-I은 작업자 교육 및 훈련, 로봇과의 설치 및 철거훈련, 극한작업 시간의 최소화, 극한작업 지원기기의 개발, 극한작업 자동화, 시뮬레이션에 의한 발전소 해체 및 Life-extension에 대한 Pilot 연구를 목적으로 모델링되었다. 3차원 상호작용 인터페이스 및 훈련을 위한 원자력 보수작업 환경에 대한 실시간 현실감을 제공하는 데는 아직 부분적인 기술제한이 있으나, 요소기술 개발속도에 비추어볼 때 1-2년 후에는 실용기술로 정착되리라 간주된다. 훈련 프로그램 개발은 극한작업 절차서의 데이터베이스 및 지식기반 모델링을 통해 지능형 Tutoring 시스템으로 개발하여 실시간 발전소 시뮬레이션과의 인터페이스를 통해 On-Line Maintenance System 기능을 갖도록 구현한다. COINS-I은 최소한의 훈련공간 확보로 대부분의 극한작업에 대한 교육 및 훈련이 가능한 장점을 가지며, COINS-I을 이용한 교육 및 훈련으로 점검 및 보수에 대한 숙련도를 증진시킬 수 있다. 극한작업 자동화를 위한 시뮬레이션 환경으로 활용이 가능하고, 발전소 수명연장을 위한 극한환경에서의 보수작업, 그리고 발전소 해체에 대한 경험이 부족한 국내여건에 따라 극한환경에서의 발전소 해체과정시 발생할 Unknown Problems 연구[15] 및 보수 절차서 개발에의 활용이 부수적인 효과로 기대된다.

알림

본 연구는 한국원자력연구소 응용연구그룹에서 과학기술처 '삶의 질' 과제제안시 제출한 요약물 보완한 것이며, 응용연구그룹의 NuIDEAS 및 ITF(Integrated human factors Test Facility)의 활용을 위해 수행되었음. 논문준비에 시간을 할애해주신 인간공학연구팀의 심봉식 박사님, 그리고 자료 및 논문교정에 격려해주신 응용연구그룹 첨단계측제어팀의 권 기준, 박 재창 님의 노고에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] 한국정보과학회, "특집: 주기억장치 데이터베이스" 한국정보과학회지 제 11권 제 6호(통권 제56호), 1993년 12월.
- [2] 한국과학기술연구원 인공지능연구센터, "해외석학 초청 New Database Technology Workshop," Summary, 한국과학기술원 전산학동, 대전, pp.56-73, 1992년 6월 20일.
- [3] 한국정보과학회, "특집: 가상현실," 한국정보과학회지 제 11권 제 6호(통권 제 56호), 1993년 2월.
- [4] 박찬모, 김영태, 정기원, "소프트웨어 기술과 산업(3): 멀티미디어 분야" 한국정보과학회지 제 14권 제 3호(통권 제 82호), pp.61-71, 1996년 3월.
- [5] W. Kim and F.H. Lochovsky (editors), "Object-Oriented Concepts, Databases, and Applications," ACM Press, 1989.
- [6] IEEE, "Virtual Environments," IEEE Computer (Special Issue), Vol 28, No.7, July 1995.
- [7] IEEE, "Computer-Supported Cooperative Work," IEEE COMPUTER (special issue), May 1994.
- [8] R.B. Thompson and D. Kopec (editors), "Artificial Intelligence and Intelligent Tutoring System," Ellis Horward, 1992.
- [9] G.A. Boy, "Intelligent Assistant Systems: Knowledge-Based System (Vol.6)," Academic Press, 1991.
- [10] W.A. Wheeler and A.D. Chockie, "A Human Factors Approach to Maintenance Improvement," -.
- [11] W. Walls, et al., "Development of the Compact Computer Aid for Maintenance(CCAM)," -.
- [12] M. Maser and M. Wilikens, "An On-Line Supervisory System Extended for Supporting Maintenance Management," -.
- [13] 김 재희 외, "원전 지능형 제어 및 자동화 기술연구", 한국원자력연구소 연구보고서 KAERI/RR-1192/92, 1992년 12월.
- [14] 이 종민 외, "로봇트 제어용 멀티프로세스 개발, 한국원자력연구소 연구보고서 KAERI/RR-617/87, 1988년 2월.
- [15] J. Charles, Rosie: a Worker for the Nuclear Age," IEEE Expert, February 1996, pp.82-83.
- [16] 한국원자력연구소, NuIDEAS 팜플렛, 한국원자력연구소 응용연구그룹 NuIDEAS Project Team, 1995.
- [17] P. Livrall, "Simulated Maintenance: a Virtual Reality," Nuclear News, October 1995, pp.32-34.
- [18] 이 남식 외, "VR 기술동향 및 산업정책에 관한연구," 한국표준과학연구소 연구보고서 KRIS-93-087-1R, 1993년 5월. (142 pages)