

로봇기술을 응용한 원자력발전소에서의 극한 작업 무인 자동화

이재경, 김승호

한국원자력연구소

1. 서 론

전자, 정밀기계 및 최신 제어기술의 급속한 발전과 더불어 가장 혁신적인 성장을 이룩한 분야 중의 하나가 바로 로봇공학 분야이다. 20여년 전까지만 하여도 로봇은 공상과학 이야기나 어린이 잡지에 등장하는 비현실적인 대상이었으며, 또한 응용분야가 제한적이고 개발에 많은 예산과 인력이 소요되기 때문에 적극적인 개발이 이루어지지 않았다. 그러나 최근 산업구조의 다양화, 전문화 등으로 인하여 응용분야가 광범위해졌으며, 특히 원자력발전소에서의 감시점검 및 유지보수 작업에 대한 로봇의 응용 필요성이 높아짐에 따라 개발에 활기를 띠고 있다. 원자력발전소에서의 작업은 고온, 고습, 고방사선 등의 극한 환경하에서의 작업으로서 사람에게 있어서는 극도로 위험한 작업이다. 따라서 이러한 극한 환경하에서의 작업을 로봇이 인간을 대신하여 신속하고 효과적으로 수행할 수 있도록 하는 극한작업 무인 자동화에 대한 연구가 심도있게 원자력 분야에서 추진되고 있다.

2. 원자력발전소에서의 로봇 기술 현황

2.1 일반산업용 로봇과 원자력산업용 로봇

현재 산업현장에서 많이 사용되고 있는 로봇은 주로 공장 내의 일정한 장소에 고정되어 용접, 조립, 운반, 검사, 포장 자동화 등과 같은 비교적 단순하면서도 반복적인 일을 수행하고 있다. 이들 산업용 로봇은 비록 프로그램에 의해 작업 내용을 자유롭게 변경할 수 있다고는 하지만 일반적으로 정형적인 작업을 고속으로 반복하는 것을 목적으로 한다.

이러한 산업용 로봇 분야는 단순한 작업을 하는 시이퀀스 로봇이 주종을 이루어 보급되어 왔으나 첨단기술의 발전과 마이크로프로세서 기술의 향상에 힘입어 점차 지능화하고

있는 추세이므로 앞으로는 산업현장에서도 고기능 로봇이 사용될 전망이다.

로봇 기술의 진보와 현장 적용에 있어서 경제성이 향상됨에 따라 비제조업 분야에서도 로봇이 크게 보급될 전망이다. 로봇 도입이 강력하게 요구되는 비제조업 분야로는 원자력발전소 관련 분야, 해양 관련 분야, 의료복지 관련 분야, 건설광업 관련 분야, 가스 수도 관련 분야, 먼지처리 청소 관련 분야, 소방 및 화재방지 관련 분야 등을 들 수 있다. 이 여러 분야 중에서 개발의 필요성이 가장 높은 원자력발전소 관련 로봇은 원자력발전소 감시 및 점검, 원자로 해체, 폐기물 재처리, 핵연료 취급, 고 오염 기기의 분해조립 및 오염물질 제거, 고압선 세척, 전기활선 등의 작업을 수행하게 된다.

원자력발전소에 응용되는 로봇은 주어진 기능을 단순히 수행하는 로봇과 인공지능을 갖춘 다목적 로봇으로 크게 분류할 수 있다. 전자의 로봇은 배관의 절단, 구조물용접, 증기발생기 전열관 검사 및 수리, 배관 균열 초음파 검사 등에 적용되고 있는데, 현재 이와 관련된 기술은 상당한 수준에도달해 있다. 후자의 로봇은 작업현장을 자유롭게 이동함과 동시에 주어진 환경에 적응하면서 주어진 작업을 수행하여야 하기 때문에 이동 장치와 센서 등을 필수적으로 갖추어야 하며 작업 환경 조건에 적합한 구조로 설계되어야 한다. 그리고 오동작이 원자력발전소에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 로봇의 신뢰도가 매우 높아야 한다. 현재 이러한 로봇의 개발은 시제품이 개발된 정도의 초보 단계로서 실용화가 되려면 많은 시간이 소요될 전망이다.

2.2 로봇 개발 현황 및 원자력발전소용 로봇의 역사적 배경

1958년 MIT 대학에서 컴퓨터로 조정되는 로봇을 발표하

던 당시 진공관으로 제작된 컴퓨터는 높은 가격에 응답속도까지 늦어 로봇을 움직이기에에는 기능적으로 역부족이었다. 그로부터 30여년후인 현재, 초등학교 학생의 책상에서 586급의 개인용 컴퓨터가 게임기로서 사용되고 있음을 보면 엄청난 기술의 격상이 이루어 졌음을 알 수 있다. 로봇의 하드웨어는 일찍부터 개발되어 1959년에 GE사의 Mosher가 유압으로 작동되는 Handy-Man을 제작하였으며, 동년 CCC (Consolidated Control Corp.) 사에서는 디지털 제어방식에 의한 기억재생 극좌표 로봇인 Unimate (Universal Automation)를 완성하였다. 1961년 MIT 대학에서 TXO 컴퓨터 제어방식으로 센서를 장착한 로봇을 개발하였으며, 1962년 AMF사는 로봇이 상하 평행 이동, 좌우 회전 및 전후로 직선운동을 하는 3자유도의 Vessatron을 개발함으로써 산업로봇의 선구자가 되었다. 일본에서는 1960년에 들어 고정시퀀스형의 산업용 로봇을 개발하였고, 플레이 백 로봇은 1967년에 들어 도요다에 도입되었다. 1970년대에 미니 컴퓨터를 로봇에 적용하는 시도가 이루어 졌으나 당시 미니 컴퓨터는 고가였기 때문에 보급이 되지 않았고 마이크로프로세서가 발달되면서 급성장을 시작하였다. 1980년에 이르러 FA(Factory Automation) 시대가 전개되어 산업구조가 대량생산에서 다품종 소량생산으로 변화함에 따라 FA, FMS, CAD, CAM시대가 전개 되었다.

원자력시설에의 로봇 적용은 1945년 미국의 맨해튼 프로젝트에 원격 조작기 “매직 핸드(Magic Hand)”의 적용으로부터 시작된다. ANL (Argonne National Laboratory) 의 Ray Goertz 는 이 분야의 선도적인 로봇 기술자로서 매우 진취적이고도 의욕적으로 과제를 추진하여 1960년에 Goertz 는 양방향 조작기 E3를 개발하였으나 미국에너지부(DOE : Department of Energy)와 미원자력규제위원회(NRC : Nuclear Regulatory Commission)의 이해 부족과 당시의 기계 및 반도체 기술의 낙후로 개발이 중단되었다.

그러나 미국 TMI (Three Mile Island) 발전소 사고 이후 사후처리용 로봇 개발의 필요성이 대두되어 미국 CMU (Carnegie Mellon University)를 필두로 하여 원자력 선진국을 중심으로 비상대응용 이동형 로봇에 대한 연구개발이 활발하게 전개되었으며, 특히 독일의 MF-2,3,4 등은 체르노빌 사고시 현장에 투입되었다. 미국 전력연구소(EPRI : Electric Power Research Institute)에서 개발한 Suvveyor 와 Remotec 의 Surbot는 비상대응을 위하여 많은 실증 시험과 현장 적용에 대한 시도가 이루어졌으며, 프랑스의 Frastar도 시험 가동중인 3개의 원자력발전소에서 실증 시험을 수행하였다. 1981년에 미국 ORNL의 Feldmann과 White 가 개량형 핵연료 재처리 계획에 사용할 목적으로 양방향 원격 조작기를 개발하였다. 1984년 Remotec의 White는 ORNL에서 개발한 조작기를 보완하여 시판에 들어 갔다. 이 RM-10은 단방향 제어장치를 갖추고 있으며 경하중의

부하를 취급하도록 설계되어 있었다. 1986년 일본의 Kashihara는 ORNL에서 개발한 양방향 조작기를 재처리 공장과 미래의 원자력발전소에서 사용할 목적으로 도입하였다. 1988년 Remotec에서 이동장치 ANDROS를 사용하여 크롤러식 SURBOT를 개발하였다.

원자력발전소 운전중에 로봇을 투입하려는 시도는 미국 Consolidated Edison 사에서 ANDROS 를 Indian Point-2 원자력발전소에 처음으로 하였고, 이에 따라 많은 기관들이 운전중 투입을 위한 이동형 로봇 개발을 시도 중에 있거나 개발중에 있다. 최근 전자/기계공학의 급속한 발달에 힘입어 비상대응용이 아닌 정상가동중 특히 운전중에 사람을 대신하여 주요시설을 점검하고, 간단한 보수작업을 수행할 수 있는 이동형 로봇의 개발에 관심이 집중되어 프랑스의 Framatome 사에서 증기발생기의 유지보수 작업 적용을 위하여 ARAMIS 를 개발하였다. 미국의 Brand 사에서는 다목적 제어 입출력 시스템, 로봇 동력 구동 장치, 3 대의 원격제어 카메라 및 유압구동 로봇과 지지대로 구성된 ROMA 로봇 시스템을 개발하였으며, 미국의 Westinghouse에서는 ROSA III 로봇 시스템을 개발하였다.

이와같이 원자력 선진국에서는 원자력시설 작업 종사자의 작업 기피 현상 증가에 적극적으로 대처하고, 작업자의 방사선 피폭선량을 저감화하기 위한 로봇 기술 확보를 위하여 지속적인 연구개발을 국가 주도 및 산업체 주도로 수행중에 있다. 선진국에서 개발되고 있는 로봇의 종류는 '96 년 현재 약 200 여종에 달하며 특히 일본의 경우 실용화를 목표로 개발중인 로봇만도 50 여종에 달하고 있다.

현재 국내에서는 산업용 로봇 개발에 관한 연구는 기업을 중심으로 활발히 추진이 되어왔으나 극한작업 로봇에 대한 연구는 대학에서 학술적인 차원에서 수행되었을 뿐 본격적인 시스템의 개발은 없었다. 한국과학기술연구원에서는 2010 년대에 실용화를 목표로 지능을 가지고 이동하며 작업하는 자율형 로봇인 휴먼로봇을 개발중에 있으며, 한국기계연구원에서는 해저 탐사/작업용 로봇 개발을 연구 추진중에 있다.

3. 한국원자력연구소의 극한작업 로봇 개발 현황

3.1 극한작업 로봇의 개발경위

1978년 4월 29 일 경상남도 고리에서 58.7 만 KW 급 가압경수형 원자력발전소가 국내 최초로 상업 발전을 개시한 이래 현재 10여기가 가동중에 있고 2002년 6월 까지 8기가 건설 및 계획 중에 있으며 2040년 까지 40 여기를 추가적으로 건설될 계획이다. 이에따라 원자력발전소의 운전기간이 늘어감에 따라 안전성관련 기기들의 방사화 정도가 더욱 심화되며 동시에 노후화됨에 따라 유지보수 작업의 빈도는

더욱 높아지게 되었다. 따라서 작업자의 피폭선량 저감과 안전성 차원에서 고방사선 지역 점검보수 로봇 시스템의 개발과 투입이 시급히 요구되고 있으며 특히 원자력발전소의 원자로냉각재계통(RCS: Reactor Coolant System) 내의 이상상태를 조기에 발견하기 위하여 원전 무인 감시 및 점검용 로봇의 개발이 시급히 요구되었다.

이러한 필요성에 따라 시대적인 변화에 능동적으로 대처하고 원자력 에너지분야에 획기적인 발전 도약의 전환점을 마련하기 위하여 정부에서는 1992년을 “첨단 기술 구축”의 원년으로 설정하여 “원자력 연구개발 중장기계획”을 의욕적으로 추진하기에 이르렀다. 이와 같이 범국가적으로 추진하고 있는 원자력 중장기 계획은 미래지향적인 기술 연구 부분과 현장적용을 목표로 하고 있는 실용화 기술개발 부분으로 이루어져 있다.

국가의 정책에 부응하여 한국원자력연구소의 로봇개발팀에서는 중장기 연구개발과제를 수행하기 이전인 1987년부터 원자력 기초/기반기술 확립의 한 분야로서 원격조작 기술, 고기능 로봇 기술을 기본과제 형태로 추진해 핵심요소 기술을 구축하였고, 1992년부터는 중장기 연구개발과제와 연계하여 사람의 접근이 제한된 고방사선 지역에서의 감시 및 점검 작업 로봇 분야를 집중 연구개발하여 현재 1단계 연구의 마무리 단계에 있다.

개발 대상인 원격제어 로봇 시스템은 원자력발전소에서의 점검 및 감시 작업을 무인 자동화하여 사람이 접근하기 어려운 고방사선 환경하에서 감시, 점검, 유지 및 보수 작업을 로봇으로 대체함으로써 작업의 안전성 및 신뢰성을 향상시키며, 원자력 관련 시설에서 이루어지는 각종 작업의 효율을 극대화시킬 수 있을 뿐만아니라 방사선 관련 종사자의 방사선 피폭을 최소화 할 수 있다.

3.2 이동형 극한작업 로봇 시스템 개발

한편 국내에서 건설 및 운전중인 원전의 수가 증가함에 따라 안전성 향상이 중요한 문제로 부상되어 조기 감시점검 체제 구축이 시급하게 되었다. 이에 따라 한국원자력연구소에서는 1987년부터 1989년까지 원자력발전소 고방사선 지역에서의 로봇 적용을 위한 기술현황을 분석한 후, 로봇 제어 시스템의 핵심기술인 멀티프로세서 실시간 로봇 제어기의 개발을 완료하였다. 로봇 핵심 기반기술 구축을 바탕으로 1990년부터 1992년까지는 이동부, 조작기부, 제어 및 센싱부가 통합된 이동형 감시점검 로봇인 KAEROT을 개발하였다. 1992년 9월부터는 원자력 연구개발 중장기과제로서 “원자력 산업용 첨단 로봇 기술개발”을 중점연구로 추진하고 있다. 이에 따라, 기 개발된 점검감시 로봇의 적용 대상과 범위를 확대하기 위하여 KAEROT의 기능 다양화, 실용화, 신뢰성 향상을 연구 목표로 설정하여 연구를 수행하고 있다.

가) 이동부

원자력시설내 주요기기 사이를 자유롭게 이동하며 감시점검 및 유지보수 작업을 수행하기 위해서는 이동이 가능한 로봇의 개발이 필수적이다. 원자력발전소의 내부 구조는 매우 좁고 복잡하며 계단 등의 장애물이 많기 때문에 이동부는 이러한 환경하에서 자유롭게 움직일 수 있도록 설계되어야 한다. 그림 1은 원자력발전소 감시점검 로봇의 구성도로서 이동형 로봇은 각종 센서를 탑재고 있으며 원격지의 작업자에 의해 원격조작으로 제어된다. 이동형 로봇은 작업현장을 작업자에게 생생하게 전달하기 위해 입체영상 및 그래픽 시뮬레이터 기능을 포함하는 가상현실 원격제어 기능을 갖추고 있으며, 센서 모듈로 열영상 관측장치 및 방사선 준위 분포 측정 장치가 탑재되도록 설계되어 있다.

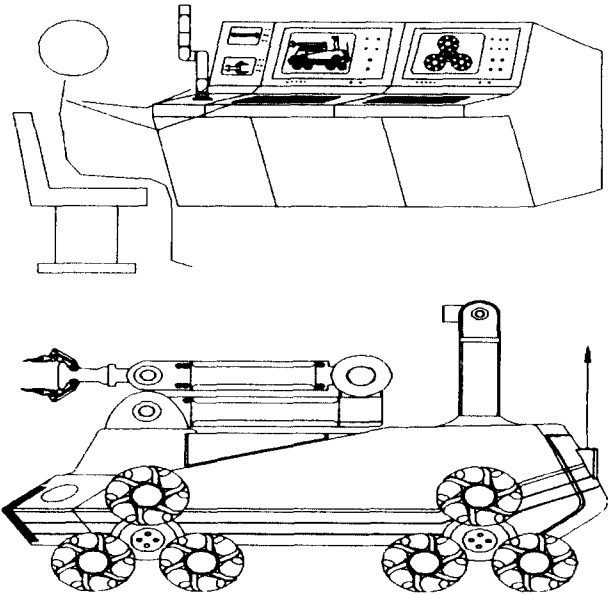


그림 1. 원자력발전소 감시점검 로봇의 구성도.

그림 2는 원자력연구소 로봇개발팀에서 초기 모델로 자체 개발한 이동형 로봇인 KAEROT으로서 계단 승월이 가능하도록 유성차륜 형태의 3륜식 특수바퀴를 사용하였다. 표 1은 KAEROT의 주요 제원을 나타내고 있다. 그림 3은 KAEROT의 성능을 보완시킨 KAEROT/m-1으로서, 평지에서 전방향 주행기능을 갖도록한 4륜식 이동형 로봇 시스템이다. KAEROT/m-1은 경량화를 위하여 몸체의 재질로

표 1. KAEROT의 주요 제원.

항 목	내 용
기능	원전 시설 점검 및 감시
몸체크기	길이: 1060mm, 폭: 730mm, 높이: 700mm
주행속도	1.26Km/h
최대주행경사각	30°
조작기	전장: 1060mm
계단승월	최대높이: 180mm, 최소길이: 300mm

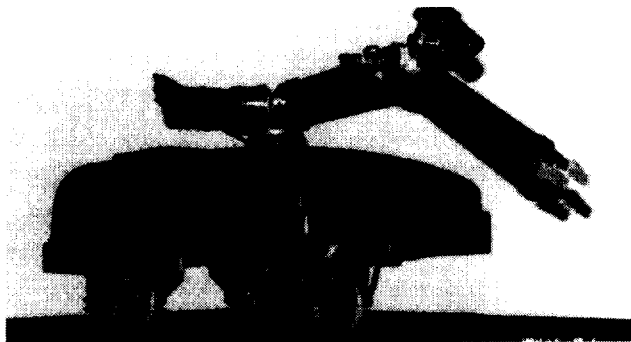


그림 2. KAERI 에서 개발한 KAEROT.

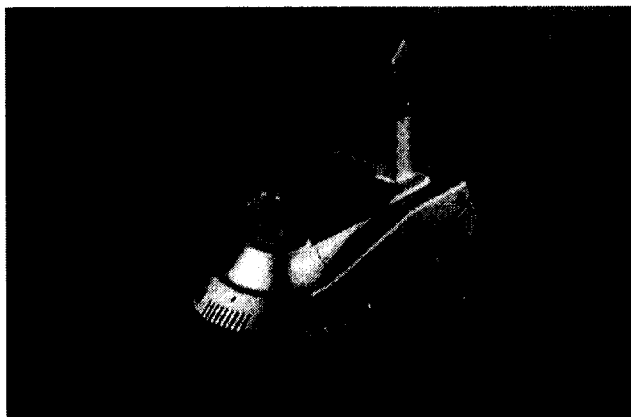


그림 3. KAERI 에서 개발중인 KAEROT/m-1.

FRP 를 사용하였으며, 사용후의 제염처리를 위해 방수가 가능하도록 설계하였다.

로봇에 탑재되어 환경감시 및 감시대상물의 이상상태의 점검 및 판단에 활용될 센서부로서 CCD 카메라 및 관련 센싱 모듈을 탑재한 이동형 로봇은 중수로형 원자력발전소의 칼란드리아 전면부 압력관 육안 검사, 지발성 중성자 시료 채취, 배관 누수 및 부식 검사, 기체 및 액체 누수 감시점검 등의 작업에 활용될 수 있다. 로봇에 탑재되어 있는 각종 센서 모듈을 통해 측정된 정보들은 원격지 제어실에 전달되어 실시간 정보 분석을 통해 원전 안전성 관련기기의 이상동작을 진단하게 된다. 또한 방사능으로 오염된 지역이나, 오염 가능성이 있는 지역에 투입하여 구역 방사선원을 측정/분석하여 방사능 오염 예상지역의 방사선원 분포도를 작성하여 효과적인 제염작업을 할 수 있게 한다.

감시점검용 이동형 로봇은 원자력발전소에서 고방사선 구역뿐만 아니라 상시 감시가 요구되는 곳에서도 작업자를 대신하여 주어진 임무를 수행할 수 있다. 현재 개발중인 KAEROT/m-1 은 고방사선 구역내의 시설물 실증시험 및 Mock-up 시험을 통하여 적합성과 타당성을 검증한 후 원자력발전소 1차 계통의 이상상태 진단 및 조기 발견에 활용될 예정이다.

나) 관측부

고방사선 환경하에서 원격제어를 효율적으로 하기 위해서는 작업자가 실제로 작업현장에 있는것 처럼 느낄 수 있어야 한다. 사람의 오감 중 시각 정보는 원격지의 상황을 작업자에게 전달하기 위한 가장 효과적인 방법이므로 입체 영상 기술을 이용하면 작업자에게 원격지의 상황을 생생하게 전달하여 작업 효율을 높일 수 있다. 본 개발팀에서는 편광방식 디스플레이 및 수평식 입체영상 카메라를 개발하여 감시 점검 로봇의 시각장치로 사용하고 있다.

열영상 센서는 전자파 스펙트럼에서 가시광 영역 외부에 존재하는 적외선 영역의 파장을 감지하기 때문에 사람의 눈으로는 관측이 불가능한 관측체의 온도를 측정할 수 있다. 사람의 눈으로 관측하기 힘든 적외선 영역의 파장을 영상정보로 변환하여 관측을 용이하게 하고 접촉식으로 측정하는 온도 계측기와 달리 비접촉식으로 관측 영역 전체의 온도 분포를 관측할 수 있기 때문에 감시 시스템의 관측 범위를 넓힐 수 있다. 이동형 로봇에 탑재된 열영상 관측 장치는 물체의 응력 분석, 전기선로 및 전기애자의 상태 이상유무 확인, 물체의 균열 및 내부 결함 감지, 암실의 물체식별 그리고 각종 배관의 누수상태 점검 등에 사용될 수 있다.

그리고 방사선 준위 분포 측정 센서 모듈은 원하는 장소의 방사선 준위 분포 측정하고, 이를 2차원 영상화 할 수 있기 때문에 작업자에게 방사선 피폭에 대한 부담을 줄여주고, 방사선 준위 분포를 쉽게 감지 할 수 있게 한다. KAEROT에 탑재되는 방사선 준위 분포 관측 장치는 collimator, 감지센서부, scanner, 방사선 신호처리기, 제어용 인터페이스부 및 소프트웨어로 구성된다.

다) 원격제어부

조작자가 이동형 로봇에 탑승하고 작업현장에 직접 투입되어 작업하는 것과 같은 현장감을 가지고 작업하기 위해서는 작업현장을 현실감 있게 묘사하는 가상현실 개념에 입각한 로봇 제어기술이 필요하다. 본 개발 팀에서는 현장감 확보를 위해 입체영상 장치, 작업현장의 컴퓨터 그래픽 모델링 환경을 기반으로 하는 시각장치, 힘반향 조이스틱을 이용하는 촉각장치, 열영상, 방사선 영상 등 각종 센싱기능을 통합하는 다중 센싱장치를 이용하여 로봇을 원격제어하고 있다. 가상환경 원격 조작 기능에는 실시간 그래픽환경에서의 로봇제어 뿐만 아니라 시뮬레이터 기능이 포함되어 있어 로봇의 실제 현장 사용에 앞서 발생될 가능성이 있는 문제점들을 사전에 점검할 수 있다. 이러한 시뮬레이터 기능은 로봇 조작에 있어 안전성 및 신뢰성을 향상시켜 준다.

극한환경에서 로봇이 복잡한 작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 여러가지 제어 알고리즘을 단시간에 수행할 수 있어야 하며 경사각 센서, 방위각 센서, 근접센서등의 여러가지 센서들을 사용하여 변화하는 환경에 신속히 대처하여야

한다. 이러한 사항들을 만족시키기 위해서는 무엇보다도 먼저 제어기의 계산 능력이 뛰어나야 한다. 그리고 원자력 시설내의 전자파 등에 의한 간섭으로 인하여 제어기가 오동작을 하지 말아야 하며 만일 오동작을 일으킨 경우에는 신속한 대처가 뒤따라야 한다. 이를 위하여 전체시스템을 관리 제어부와 원격제어부로 구성하여, 복잡한 작업을 2 단계로 나누어 처리할 수 있도록 하였기 때문에 계산능력을 향상함과 동시에 신뢰성을 높였다.

일반 산업용 로봇은 초기위치로부터 목표 위치까지의 궤적을 생성하고 생성된 궤적에 대한 각 샘플링 주기마다의 연속적인 위치, 속도, 가속도를 계산하여 움직이고 있다. 그러나 사람이 로봇의 동작을 감시하면서 원격으로 제어할 경우에는 로봇의 궤적계획에 많은 어려움에 따르게 된다. 즉, 마스터 조작기의 위치를 슬레이브 조작기가 충실히 따라가기 위해서는 조작자의 미세한 움직임과 불연속적인 움직임에 대해서도 슬레이브 조작기가 추종하여야 한다. 이에 따라 슬레이브 조작기가 급격하게 작동함으로 인하여 기구부의 손상 및 수명을 단축시킬 수 있으며 오동작의 원인이 되기도 한다. 이와 반대로 슬레이브 조작기의 급격한 동작을 방지하기 위해서는 어느 정도의 지연 시간을 가지고 슬레이브 조작기가 마스터 조작기의 동작을 추종하여야 하는데 이럴 경우에는 마스터 조작기와 슬레이브 조작기간의 지연시간으로 인하여 동작간의 일치감이 없어져 작업자가 현장감을 가지고 로봇을 조작하기가 매우 어려워지게 된다. 상기와 같은 두가지 상반된 조건을 만족시키기 위하여 슬레이브 조작기를 제어하기 위한 샘플링 시간과 마스터 조작기의 조인트 위치를 제어하는 샘플링 시간을 서로 다르게 함으로써 마스터 조작기와 슬레이브 조작기 사이의 동작 일치감을 만족시키면서 슬레이브 조작기의 부드러운 움직임이 가능하도록 하였다.

그리고 효율적으로 로봇에 작업을 가르치기 위하여 오프-라인 프로그래밍에 의한 제어를 하였다. 오프-라인 프로그래밍에 의한 제어 방식은 실제의 작업현장을 떠나서 이루어지기 때문에 작업자가 가정한 로봇의 작업 공간이 실제로는 기하학적으로 불가능하거나 비효율적일 수 있다. 즉 가정된 작업 공간내의 여러 물체들이 실제로는 중첩되거나 비효율적으로 배치되어 있을 수 있으며 특히 두 대 이상의 로봇이 동일한 공간에서 작업을 할 경우에는 각 로봇 간의 충돌이나 비효율적인 작업순서 등에 의해서 여러가지 문제가 발생할 수 있다. 또한 작업자가 교시한 로봇의 경로가 불가능하거나 비효율적일 수 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 본 개발팀에서는 실제작업상황과 유사한 환경을 컴퓨터 그래픽을 이용하여 시각화하였다. 그림 4는 개발된 오프-라인 프로그래밍의 전체 구성을 나타낸다. 그림에서, 사용자 인터페이스부는 사용자가 작업을 수행하는 동안 여러 부프로그램을 용이하게 제어하도록 하기 위하여 메뉴조작에

의하여 전체 프로그램을 제어하도록 하였다. 전체 기하학적 모델러는 실제의 로봇과 작업장을 구성하는 기본 물체들을 모델링하여 데이터베이스화하여 저장하는 기능을 가지고 있다. 로봇 기하학 모델러는 전체 기하학적 모델러에서 생성된 기본 물체들을 결합하여 복잡한 형태의 링크, 그리퍼, 이동부, 작업물 등의 대상물을 완성한다. 기구학 모델러는 로봇을 구성하는 각 링크 길이 및 링크간의 거리, 조인트의 비틀림 각도, 조인트의 동작범위, 작업공간 등의 설계변수를 이용하여 로봇 자세의 변화에 대한 기구학적 해를 구한다. 궤적생성계획기는 로봇에게 지정된 작업을 수행시킬 수 있도록 하기 위하여 각 조인트가 움직여야 할 경로를 직교좌표계에서 주어진 작업의 시작점과 종점의 위치/방향으로부터 궤적계획법에 따라 생성하는 기능을 수행한다. 그리고 동작 시뮬레이터는 작업자가 지시한 로봇의 동작명령을 해석하여 로봇의 동작의 변화를 화면상에서 연속적으로 보여준다.

그림 5는 KAEROT의 계단 승월에 대한 그래픽 시뮬레이션 결과로서 주행용차륜들이 계단면에 접촉하면서 승월하는 모습을 보여준다. 사용된 계단은 총길이 350 cm, 높이 52 cm, 경사도 25° 이고 크기가 일정하지 않은 계단이다.

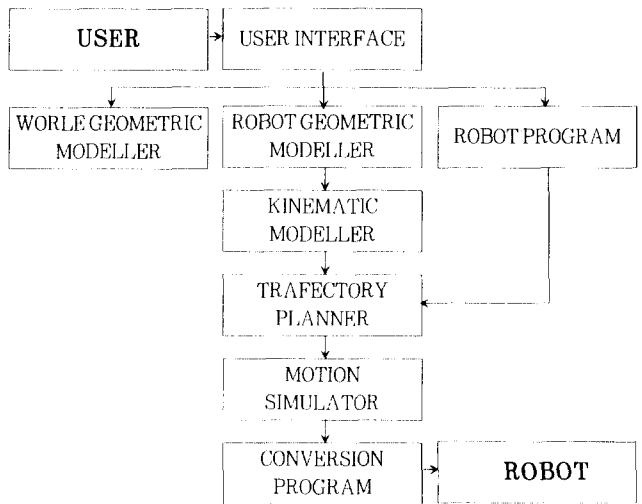


그림 4. 오프-라인 프로그래밍 시스템 구성.

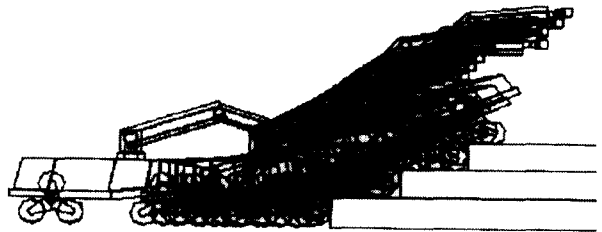


그림 5. KAEROT의 계단 승월 시뮬레이션 결과.

4. 결 론

원자력발전소의 안전성 향상을 위해서는 새로 개발되는 각종 신기술들이 적극 활용되어야 하며, 이러한 노력의 일환으로 현재 로봇기술을 원자력분야에 접합시키려는 노력이 고조되고 있다. 한국원자력연구소에서는 작업자의 접근이 제한된 고방사선 구역에서의 효율적인 감시점검을 위한 원자력시설 감시점검용 이동형 로봇을 개발하였다. 환경감시 및 감시대상물의 이상상태의 점검 및 판단에 활용하기 위하여 열영상 감시장치, 방사선 준위 분포 관측장치 및 물체인식/추적장치가 탑재되도록 하였으며, 로봇의 주행 및 감시점검 작업의 원활한 제어를 위하여 입체 영상장치, 가상현실 원격조작장치를 개발하였다. 이동형 로봇에 탑재되어 사용되는 센싱장치들은 로봇에의 탑재 및 분리 사용이 가능하도록 독립 시스템 형태로 설계되어 있기 때문에 이동 장치 없이도 단독적으로 사용이 가능하다. 또한 개발된 이동형 로봇은 원자력시설의 감시점검 뿐만 아니라 실제 사고 발생시의 비상사태에 대응하여 사태진압 및 사후처리 작업에 활용이 가능하며 아울러 비원자력 분야의 극한환경에서의 응용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] Taro Iwamoto and Hiroshi Yamamoto, "Stairway Travel of a Mobile Robot with Terrain-Adaptable Crawler Mechanism," *Journal of Robotic System* 2 (1) 125-134, 1985.
- [2] Omer MERCIER and Jean Louis OLLIER, "A Strategic Vision in Nuclear Robotics," *Framatome 3N91 D-30* pp.1-11 October, 1991.
- [3] J. Ncider *Open GL Programming Guide*, Addison Wesley, 1993.
- [4] *Nuclear Power Plant Availability, Maintenance and Operation*, IAEA, Vienna, 1985.
- [5] J.R.White, "Testing of Mobile Surveillance Robot at a Nuclear Power Plant," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol.3, pp.714-719, 1987.
- [6] J.R.White, "A Mobile Robot for Power Plant Surveillance and Inspection," *Proc. 36th Conf. on Remote Syst. Tech.*, Vol.2, pp.35-38, 1988.
- [7] Wayne S. Thayer, "A Remote Control System for SURVEYOR," *SPIE Proc. Mobile Robots*, Vol.727, pp.17-24, 1986.
- [8] T.L.Irving, "Experience with the SURVEYOR Mobile Robot in Radioactive Work Environments," *Proc. 34th Conf. on Remote Syst. Tech.*, pp.109-114, 1986.

- [9] G. Brudermuller, "The Nuclear Emergency Service Company in the Federal Republic of Germany," *IAEA-SM-316/43*, pp.541-551.
- [10] W. Drotning, B. Chistensen and S. Thunborg "Graphical Model Based Control of Intelligent Robot Systems," *IEEE Control Systems*, pp.13-18 Aug., 1992.
- [11] Byung-Soo Kim, Chang-Hoi Kim, Suk-Yong Hwang, Seung-Ho Kim, Jong-Min Lee, "Teleoperated Mobile Robot (KAEROT) for Inspection in Nuclear Facilities," *Proc. of Specialists' Meeting on Application of Artificial Intelligence and Robotics to Nuclear Plants*, pp.369-379, May 30, 1994.
- [12] C.Chen and M.M. Trivedi, "Mobile Robots with Articulated Tracks and Manipulators : Intelligent Control and Graphical Interface for Teleoperation," *Proc. SPIE Conf. on Intelligent Robotics and Computer Vision, Mobile Robots VII*, Boston, MA, Nov., 1992
- [13] C.Chen and M.M. Trivedi, "A Simulation, Visualization and Interactive Control Environment for Mobile Robots," *Interational Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol.7, 1993
- [14] C. Chen, M. M. Trivedi, and C. R. Bidlack, "Simulation and Graphical Interface for Programming and Operation of Sensor-based Robots," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Nice, France, May, 1992.
- [15] Takenori Matsubara, Kakeo Ohmichi and Shigetage Hosaka, "Deveiopment of Mobile Manipulator for Maintenance and Inspection in Containment Vessel of Nuclear Power plants" *Remote Handling in Nuclear Facilities*, OCDE, 1985.



이 재 경

1980년 서울대 기계공학과(학사)
1982년 KAIST 생산공학과(석사)
1996년 KAIST 기계공학과(박사)
1982년~1986년 대우중공업 기술연구소 근무
1989년~1990년 독일 SIEMENS 연구원
1987년~현재 한국 원자력연구소 원자력산업용 로봇기술개발팀 선임연구원
(305-600) 대전시 유성우체국 사서함 105.
TEL, 042) 868-8838 / FAX, 042) 868-8833.



김 승 호

1979년 연세대 기계공학과 (학사)
1982년 연세대 기계공학과 (석사)
1988년 연세대 기계공학과 (박사)
1980년~현재 한국원자력연구소 원자력산업용 로봇기술개발팀장 책임연구원
(305-600) 대전시 유성우체국 사서함 105.
TEL. 042) 868-2928 / FAX. 042) 868-8833.