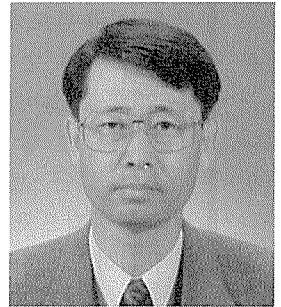


원자력용 다기능 내방사선 로봇



김 승 호

한국원자력연구소
로 보 트 개 발 팀

요 약

컴퓨터기술의 향상과 전자 및 기계기술의 성장을 토양으로 첨단 기술이 비약적으로 발전하게 되자 로봇기술도 급성장하게 되었다. 또한 극한작업 분야에서의 로봇 활용의 필요성이 구체화됨으로써 원자력발전소 및 핵폐기물 처리장과 같은 고방사선 환경에서의 작업, 우주공간이나 심해 등지에서 고도의 난이한 작업에 로봇이 투입되어 활약하고 있다.

한국원자력연구소의 원자력 로봇개발팀에서는 원전 1차계통의 안전성 관련 기기인 증기발생기의 수실 내부 노즐댐 설치작업 무인화와 격납건물 내부와 같이 좁고 복잡하며 장애물이 존재하는 지역내에서 주요기기 감시점검 작업의 자동화를 통하여 원자력시설의 감시점검 및 원격유지보수 작업시 작업자의 방사선피폭을 최소화하고 발전소의 신뢰도를 향상시키기 위하여 '92년부터 원자력용 다기능 내방사선로봇을 개발하였다.

또한 원격작업로봇 제어를 위한 핵심기술 확보를 위하여 조작자에게 현장감있는 시각정보를 제공하고 작업능률을 높일 수 있는

눈과 유사한 기능의 수평이동식 입체카메라를 개발하였으며, 안경식 입체디스플레이의 단점인 안경 착용의 문제점을 해결할 수 있는 무안경식 자동입체 디스플레이시스템을 개발하였다.

1. 서 론

고대로부터 인간들은 자신들의 능력을 극대화하기 위하여 다양한 형태의 편리한 도구들을 만들어 사용했다. 이러한 도구는 단순한 기능의 호미로부터 복잡한 기계장치로 발전을 거듭하여 최근에는 인간의 기능을 모방하여 성능이 보다 고도화된 정교한 기계장치를 고안하게 되었다.

로봇 개발의 역사에서 로봇이 산업현장에 투입되기 시작한 것은 1961년으로서, 미국 제너럴모터스사의 공작물 취급 자동화 공정에 사용된 이후 1970년대까지 산업용 로봇기술은 지속적으로 성장되어 미국의 Unimation, General Electric, Cincinnati Miracron, 일본의 히타치, 후지쯔 등에서 용접과 도색작업 및 비교적 간단한 조립작업에 로봇이 이용되었다.

고정된 환경에서 미리 설정된 작업들만을 수행하도록 프로그램되어 있는 산업용 로봇과는 달리 사람이 하는 일 또는 사람이 하기 어려운 일들을 대신하기 위한 로봇에 대한 연구도 로봇 개발 초기단계인 1950년대부터 이루어져 왔으나 컴퓨터, 제어 및 정밀가공기술의 부재로 개발이 활발하게 이루어지지 못하였다. 그러나 근래에 들어서 로봇의 제조기술이 표준화 및 일반화되고 각 분야에서 로봇의 필요성이 구체적으로 대두되면서 방사능 지역과 같은 위험한 환경이나, 우주공간이나 심해와 같이 인간의 접근이 제한된 극한 지역에서 작업을 수행하는 극한 작업용 로봇의 개발이 시도되고 있다.

원자력은 그 안전성과 오염에 대한 끝없는 논란에도 불구하고 석유를 대체할 미래의 에너지로 꾸준히 성장을 해왔으며 국내에서도 원자력발전소의 지속적인 건설로 석유에너지의 대체효과와 함께 안정적인 전력공급을 위해 지대한 공헌을 하고 있다. 그러나 이와 같은 긍정적인 효과들에도 불구하고 원자력 안전성을 불신하는 회의적인 시선이 끊이지 않고 있으며, 최근에는 3D 현상의 여파로 방사선 구역내에서 작업원들의 작업회피 경향까지 보이고 있다.

이와 같은 추세를 배경으로 하여 원자력 선진국에서는 원자력발전소내의 작업종사자를 방사선 노출로부터 보호하여 안전성을 향상시키고, 각종 자동화 장치를 사용하여 신속한 작업을 수행함으로써 경제성을 높이려는 노력이 활발히 진행되고 있다. 그러나 원자력발전소내의 대부분의 작업들은 다양하고 복잡하므로 로봇의 응용을 위해서는 개발 초기단계에 심도있는 연구가 이루어져야 한다.

현재 연구되고 있거나 활용되고 있는 비제조용 로봇의 용도별 통계를 보면 거의 대부분이 원자력발전소의 감시점검 및 유지보수 작업을 위해 제작되어 사용되고 있다. 이

러한 통계를 통해 원자력발전소가 극한작업용 로봇의 응용이 가장 절실하게 요구되는 분야라고 결론지을 수 있다.

한국원자력연구소에서는 1987년부터 1989년까지 원자력발전소 고방사선 지역에 로봇 기술을 접목시키기 위하여 로봇기술 현황 분석을 수행하였고, 로봇 제어시스템의 핵심기술인 실시간 로봇 제어기의 개발을 수행하였으며, 이를 바탕으로 하여 이동부, 조작기부, 제어 및 센싱부가 통합된 이동형 감시점검 로봇(KAEROT)를 개발하였다. 또한 1992년부터는 원자력 중장기 연구개발의 일환으로서 KAEROT의 다기능화, 실용화, 신뢰성 향상에 대한 연구를 통하여 작업자의 접근이 어려운 고방사선 구역내 효율적 감시점검을 위한 점검감시용 이동로봇 KAEROT/m-1을 개발하여 적용시험중에 있으며, 원자력발전소 증기발생기 수실 내부 노즐담 설치 및 회수 작업을 무인화하여 작업자의 방사선피폭을 최소화하기 위한 노즐담 장/탈착 작업용 원격 로봇시스템을 개발하고 있다. 이러한 무인 자동화 기술은 공장자동화, RI시설, 비파괴검사, 해저, 우주 등 다양한 분야에 활용될 것으로 예상된다.

2. 이동형 경작업 로봇시스템 개발

원자력시설내 주요기기 사이를 자유롭게 이동하며 감시점검 및 유지보수작업을 수행하기 위해서는 이동 기능이 가능한 로봇의 개발이 필수적이다. 원전시설 내부의 주요 시설 주위는 좁고 복잡하며 계단을 포함한 장애물들이 산재해 있기 때문에 이러한 지역에서 자유롭게 이동하며 점검 및 보수작업을 수행할 수 있는 조작기 탑재형 이동로봇을 개발하였다.

원자력발전소 주요 시설의 감시, 점검을 목적으로 개발된 로봇시스템은 이동로봇은 최대 25cm의 장애물을 승월할 수 있으며 최

대 30° 경사의 계단을 승하강 할 수 있도록 설계되었다. 개발된 로보트는 24V 직류축전기에 의하여 작동되며, 평지에서 임의의 방향으로 주행이 가능하고 동시에 계단 및 장애물 승월도 용이하도록 전방향 유성차륜 구조의 승월이동 기구장치를 채택하였다. 전방향 유성차륜에서 부착한 전방향 바퀴는 기본적으로 1986년 카네기멜론의 URANUS에서 사용한 4륜 구조의 차륜구조와 로울러가 45° 각도로 부착되도록 하였으며 등방향성을 향상시키기 위하여 로울러의 갯수를 6개로 하였고 로울러의 부착방식도 중앙지지방식을 채택하였다.

이동로봇 부착형 경작업조작기는 원자력 발전소내의 각종 작업을 성공적으로 수행하도록 주어진 작업에 따라 조작기의 링크 및 조인트를 재구성할 수 있도록 모듈화 설계를 기본으로 하여 여러 형태로 설계된 각 관절들이 필요에 따라 조합이 가능하도록 설계하였다. 개발된 조작기는 각 링크가 용이하게 분리될 수 있는 구조를 갖도록 하였으며 로봇 손도 용이하게 교환이 가능하도록 제작하였다. 사진 1은 개발된 전방향 유성차륜형 이동로봇을 보여준다.

이동로봇을 원격제어시 주행성능 향상을 위하여 장애물과의 접근거리에 따라 조작자가 힘을 느낄 수 있도록 하기 위하여 힘반향

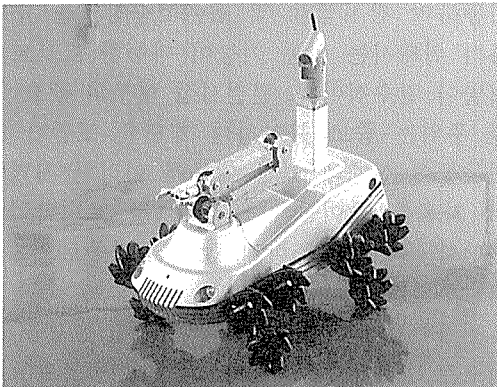


사진 1. 전방향 유성차륜형 이동로봇

조이스틱을 사용한 알고리즘을 개발하여 주행 실험을 완료하였으며, 이동로봇이 안정된 자세를 유지하며 계단을 자동으로 승월하기 위한 기법을 개발하여 시뮬레이션과 실험실내의 모의시험계단에서 승월시험을 통하여 개발된 이동로봇사용의 효율성을 검증하였다.

3. 노즐담 장/탈착작업용 원격로봇 시스템 개발

극한작업환경인 원자력발전소 증기발생기 수실내의 노즐담 설치 및 회수작업을 무인화하여 고방사선 환경에 대한 작업자의 부담을 감소시키고, 작업비용을 줄이기 위하여 증기발생기 수실 내부의 형태 및 작업환경과 노즐담의 형상을 종합적으로 고려한 고하중용 원격작업 로봇시스템을 개발하였다.

증기발생기 수실 내부의 작업환경과 노즐담의 크기, 무게 및 제작 등을 고려하여 조작기는 전장을 1.9m로 제작하였으며 손목부는 피치-요-롤 구조로 하였다. 증기발생기 수실 내부에서 20kg 이상의 하중을 취급할 수 있도록 하기 위하여 구동방식은 유압구동방식을 채택하였으며 작업현장으로의 운반과 설치가 용이하도록 분리형으로 제작하였다. 또한 조작기를 수실 내부로 자동으로 입실시켜 로봇의 플랫폼 역할을 담당하고, 작업완료 후 조작기를 수실 외부로 회수하는 기능을 가진 입/퇴실 장치를 개발하였다. 사진 2는 증기발생기 수실 목업에 설치된 입/퇴실 장치와 로봇시스템이다.

전체 제어시스템은 원격지의 로봇을 제어하는 원격제어시스템과 로봇의 자세 및 작업정보를 실시간으로 시각화하여 작업자에게 제공하고 조작자의 작업명령을 원격제어시스템으로 전달하는 관리제어시스템으로 구성된다. 관리제어시스템은 그래픽 워크스테이션, 모니터링 장치, 스페이스 볼 및 다이얼 박스 등의 입력장치들로 구성되며 원격제어

시스템과 Ethernet을 통하여 연결된다. 사진 3은 관리제어시스템을 보여준다. 개발된 시스템은 실크기 목업 실험을 통하여 통합시스템의 성능과 신뢰도를 검증하였다.

4. 입체영상시스템

고방사선의 원자력시설은 작업자의 접근이 어려운 특수환경으로서 이러한 환경에서의 로봇 원격제어를 원활하게 하기 위해서는 작업자에게 원격지의 상황을 실감나게 전달하는 ‘현장감제공’이 필수적이다. 사람의 오감 중에서 시각 정보는 전체 감각정보의 70% 이상을 차지하기 때문에 원격지의 상황을 작업자에게 전달하기 위한 가장 효율적인 방법이다. 특히 사람의 눈과 같은 기능을 갖는 스테레오 카메라를 이용한 입체영상을 이용하면 작업자에게 원격지의 상황을 현장감있게 전달하여 작업 효율을 극대화시킬 수 있다.

인간의 시각기능을 대신하는 입체카메라를 개발하기 위하여 현재까지 개발된 입체영상

획득 방식의 입체영상의 재현성을 비교 검토하였으며, 이를 기초로 인간이 느끼는 실감입체영상을 충실히 재현할 수 있는 수평이동식 입체카메라(KASS-M2)를 개발하였다. 개발된 입체카메라는 카메라의 초점과 주시각을 동시에 제어할 수 있어 입체영상 관측 효율을 향상시킨다. 또한 소형으로 제작이 가능하며, 수중용으로 사용할 시 기존의 입체카메라에서 나타나는 물과 공기의 굴절을 차에 의한 왜곡 현상을 제거할 수 있다. 사진 4는 개발된 수평이동식 입체카메라이다.

또한 안경식 입체디스플레이의 단점인 특수안경 착용에 따른 거부감과 부자연스러움을 극복하기 위하여 Parallax Barrier를 이용한 무안경식 자동입체 디스플레이를 개발하였다. 개발된 무안경식 입체영상 디스플레이는 줄무늬형 핀홀 렌즈를 이용하여 입체영상을 구현하는 방식으로 렌티큘라(Lenticular) 렌즈를 사용하는 방식에 비해 렌즈 구현이 간단하고 가격이 저렴하며, 디스플레이 모니터의 화소 크기에 따른 적용성이 높다는 장점이 있다. 개발된 입체 디스플레이부는 자연

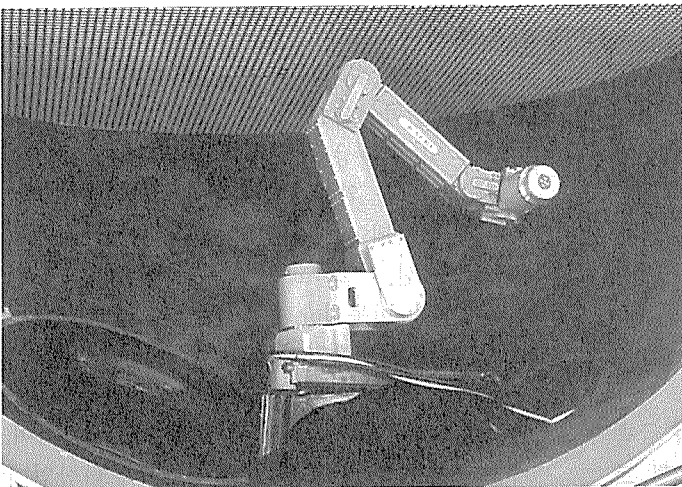


사진 2. 증기발생기 수실 목업에 설치된 로봇



사진 3. 관리제어시스템

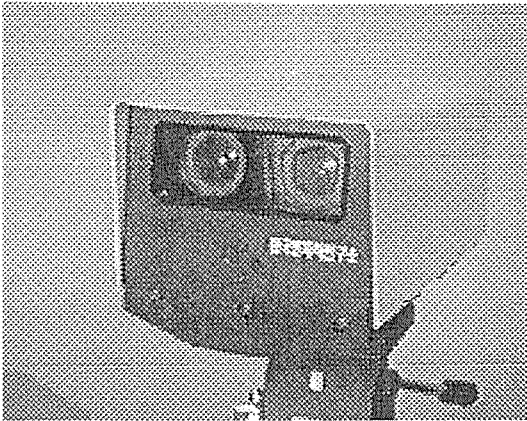


사진 4. 수평이동식 입체카메라(KASS-M2)

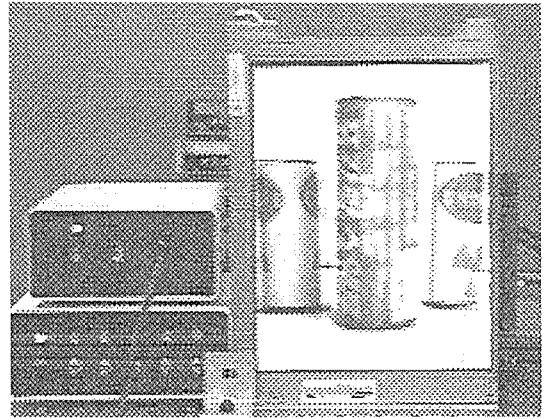


사진 5. 입체디스플레이 장치

환경에 대한 적응성과 이동성을 높일 수 있도록 디스플레이 면의 화소 크기가 균일한 박막 액정디스플레이를 사용하여 개발하였다. 개발된 Parallax Barrier 자동입체 디스플레이는 A/D 변환부, 입체영상신호 합성부, 비디오 신호변환부, 영상 수직회전부, LCD 디스플레이 구동부로 구성되어 있으며, 각 부는 소형 모듈화되어 있어 취급이 용이하다. 사진 5는 개발된 무안경식 입체디스플레이 장치를 보여 준다.

5. 결 론

원자력발전소는 고온, 고압 및 고방사능, 협소통로 등의 극한 환경조건이기 때문에 작업자의 방사선피폭선량 감소, 주요 안전성 관련 시설의 신뢰성 향상 및 안전성 제고 측면에서 원자력용 로봇의 개발이 요청되어져 왔다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 개발이 추진된 원자력용 다기능 내방사선 로봇은 원자력산업 분야외에도 인간의 접근이 제한되어 있는 고온, 고압, 심해저, 우주와 같은 극한 작업환경에서 감시, 점검, 작업자를 대신한 어려운 작업에의 활용이 가능하다.

최근에는 전자, 기계 및 컴퓨터 분야의 급속한 발전을 바탕으로 범용성이 있는 지능형 로봇이 복잡하고 다양한 작업을 수행하고 있는

추세이다. 따라서 인간의 오감중 시각과 촉각을 로봇시스템에 부과하여 원격지에서 로봇이 작업을 수행할 때 경험하는 환경을 조작자에게 실시간으로 전달함으로써 주어진 임무를 보다 신속하고 정확하게 수행할 수 있다. 사람이 가지는 감각과 지능을 로봇에 부여하여 사람을 대신하여 위험한 작업을 수행하려는 연구가 선진국을 중심으로 경쟁적으로 이루어지고 있다. 이와 같은 원자력산업용 극한작업 로봇을 개발하기 위하여 미국, 프랑스, 영국 등 원자력 선진국에서는 정부의 적극적인 지원하에 산학연의 연계로 활발한 연구가 추진되고 있다.

국내에서도 원자력시설의 유지보수 기술 향상을 위하여 고도의 기술이 요구되는 보수정비 로봇기술을 확립하고 향후 기술적으로 어렵고 다양한 작업들을 할 수 있는 고도의 지능, 조작성 및 이동성을 구비한 고지능 다기능 로봇의 개발을 위하여 산학연이 연계된 중장기 계획이 수립되어 추진되고 있다. 수립된 계획은 내방사선 기술, 고장 극복기능, 원격조작기술, 지능형 이동기술 등의 핵심 요소 기술에 대한 연구가 포함되어 있으며, 이러한 첨단기술들이 국내에서 자력으로 구축되면 원전의 안전성 확보에 일익을 담당할 것으로 예상되며, 기술의 과급성과 첨단성으로 인하여 타산업에 새로운 기술발전의 전기를 마련할 것이다.