

# 원자력시설내의 원격 제어 로봇 시스템 개발 ( Development of the Remote Controlled Robotic System in Nuclear Facilities )

° 황 석용 , 손 석원 , 김 승호 , 이 종민  
(S.Y. Hwang, S.W. Shon, S.H. Kim, J.M. Lee)

한국 에너지 연구소 핵전자 연구실 (KAERI, Nucl. Elec. Dept.)

This paper presents the design of a prototype robot and architecture of a distributed control system. The robot, named as KAEROT, has been developed for the purpose of the reduction of personal radiation exposure and the remote maintenance tasks in nuclear facilities.

The mobile system with robotic manipulator has been designed to go up and down stairs. For the dextrous handling, this manipulator will be designed as a redundant type to act like a human arm. Manipulator control system is to be extended easily for further usage with a modular architecture to get independancy and reliability by minimizing EMI effects.

## 1. 서론

원자력에 의한 발전 수급량이 국내 총 발전량의 60 % 를 점유함에 따라 원자력 에너지가 국내의 중요한 에너지원으로 인식되었고, 원자력발전소의 가동률 향상과 안전성 문제가 시급히 해결해야 할 절실한 당면과제로 대두되었다. 따라서 원자력시설의 운전상태 감시, 점검을 통한 이상상태의 조기 발견과 효율적인 유지 보수를 위하여 선진 각국에서는 감시 점검 및 유지 보수용 로봇을 개발하기 위하여 집중적인 연구와 막대한 자금을 투자하여 단순 작업 로봇은 실용화의 단계에 이르고 있다. 그러나 이들 로봇은 공간적 효율성, 기기의 중복성, 다양한 기능 대처가 곤란하여 그 한계성을 드러내게 되었다.[1] 혁신적인 마이크로 프로세스 기술향상, 제어 기술의 급속한 발달과 함께 정밀 가공 기술의 향상으로 현재의 로봇 기술은 지능화의 추세에 이르고 있어 표 1에서와 같은 고 기능 이동 로봇의 출현이 이루어지게 되었다.[2]

원자력시설에서의 로봇 응용분야는 폐원자로 해체, 점검 및 보수, 방사선 폐기물 운반, 저장, 제염, 재처리등으로 원자력 종사자를 고 방사능으로

부터의 피폭에서 보호함으로써 안전성을 제고시킬 것으로 기대된다.

본 연구에서는 원자력시설에의 적용을 목적으로 로봇의 제어부를 관리제어부와 원격제어부로 이루어진 분산처리 시스템으로 구성하였고, 보수 점검용 이동 로봇 시스템을 구현하였다.

표 1. 개발된 로봇 현황

분 류	조작기	이동부	제어부
Manipulator Robot	Bilateral Arm (RM10A)	ANDROS TRACK	68000 Multibus I
AMOOHY	9축 다관절	특수 차륜식	z80, 8086 분산제어
MF-3	EMSM II	2대의 크로라	
Robin	Telemanipulator	6 Leg	분산제어 6 Subsystem
Frastar	6축 다관절	2대의 크로라	
C/V Robot	M/S Manipulator(7 DOF)	Locomotor Wheel : 2 Leg : 2	

## 2. 원자력 로봇의 특징

원자력발전소내에서 사용되는 로봇은 고온, 고압 특히 고방사능 등의 극한환경에서 인간을 대신하여 작업을 수행하여야 하므로 고정된 장소에서 정형적인 일을 반복적으로 수행하는 일반산업용 로봇과는 다른 기능이 요구된다.

- 신뢰도 : 로봇 자체 부품 및 시스템의 안정된 동작
- 내방사성 : 전송 신호 및 각종 센서의 방사선으로 부터 영향 최소화
- 이동기능 : 협소한 통로에서의 선회기능, 장애물 및 계단의 승월
- 조작기능 : 복잡한 공간내에서 작업을 원활하게 수행하기 위한 기구학적인 여유 자유도를 통한 충돌회피
- Man-Machine Interface 기능 : 음성입출력, 터치 스크린, 3 차원 그래픽, 입체 텔레비전등에 의한 현장감
- 원격제어 기능 : 쌍방향 조작기와 시각 장치에 의한 원격제어
- 경량화 : 경량 재료의 재질을 사용
- 신호전송기능 : 광섬유에 의한 신호 전송( 전자파 노이즈로부터 보호)

## 3. 제어 시스템

### 1) 제어 시스템의 구성

로봇의 전체 제어 시스템은 분산 제어 시스템으로 구성되어 있으며 관리 제어부와 원격 제어부로 나누어 진다. 관리 제어부와 원격제어부는 SDLC 멀티드롭 통신 프로토콜을 사용한 인텔의 비트버스로 연결되고 7-20 바이트 까지의 데이터를 한 프레임으로 전송한다. RS 485 데이터 링크를 사용하며 2.4 Mbits까지의 전송이

가능한 고속 시리얼 방식이다. 전자파 노이즈로부터의 데이터 전송의 안전성 및 통신선로의 경량화를 위하여 광섬유를 사용하였다. 그림 1 은 로봇 제어 시스템의 전체 구성도이며 표 2 는 비트버스의 메시지 포맷이다.

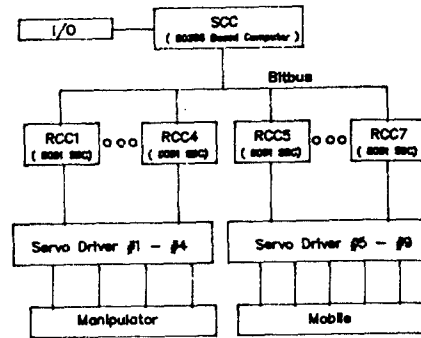


그림 1 로봇 제어 시스템

표 2 비트버스 메시지 포맷

Message link high byte
Message link low byte
Message length
MT SE DE TR
Source task Destination task
Command / Response
Message data ( 1 to 13)

### 2) 관리 제어부

관리 제어부의 주 기능은 작업자에게 편리한 작업 환경을 제공하고 주어진 명령에 대한 로봇의 경로 결정을 행한후 원격제어부로 모타 제어 명령, 센서 데이터 처리명령등을 하달하고 원격제어부의 상태를 감시하는 것이며 32비트의 마이크로컴퓨터에 원격제어부와 통신을 담당하는 비트 버스 네트워크

워크의 마스트 노드, Teach Pendant 의 Key Scan을 위한 PIO 회로, 마스터 조작기의 위치를 검출하기 위한 A/D 컨버터 회로가 연결되어 있다.

본 로봇의 오퍼레이팅 모드는 칼라 모니터상의 메뉴 선택 방법에 의해 결정되는 키 보드, Teach Pendant, 마스터 슬레이브 모드로 구성되어 작업 조건에 따라 적합한 모드에서 로봇을 구동할 수 있게 하였다.

- 키 보드 모드 : 이동장치의 전후, 회전, 장애물 승월 명령, 조작기의 각 링크의 조인터 레벨 명령, 직교 좌표축 레벨 명령, 로봇 손의 개폐 명령

- Teach Pendant 모드 : 이동 장치 및 조작기의 각 관절 제어, Hard home, Soft home, Learning, Teaching.

- 마스터/슬레이브 모드 : 일반 산업용 로봇의 적용과는 달리 다양한 환경에서 상이한 작업을 원격지에서 원활히 수행하기 위해서는 마스터 조작기에 의한 슬레이브 조작기의 Replica 제어가 필수적이다. 마스터 조작기는 실제 작업을 수행하는 슬레이브 조작기를 2:1로 축소 하였으며 각 관절에는 포텐시오메타를 부착하여 위치를 검출한다. 그림 2는 관리 제어부의 주 제어 프로그램의 흐름도를 나타낸다.

### 3) 원격 제어부

원격 제어부는 고속 직렬 시리얼 데이터 전송 방식인 SDLC 프로토콜을 기본으로 하는 비트버스 네트워크에 조작기의 모타 제어와 이동장치의 모타 및 센서 데이터 처리용 원격 제어 컴퓨터들을 연결시켜 기능 제어부의 부담을 줄여 전체 제어 시스템의 분산 처리에 의한 제어를 가능하게 하며 네트워크에 연결된 SBC들은 다음과 같은 기능들을 수행한다.

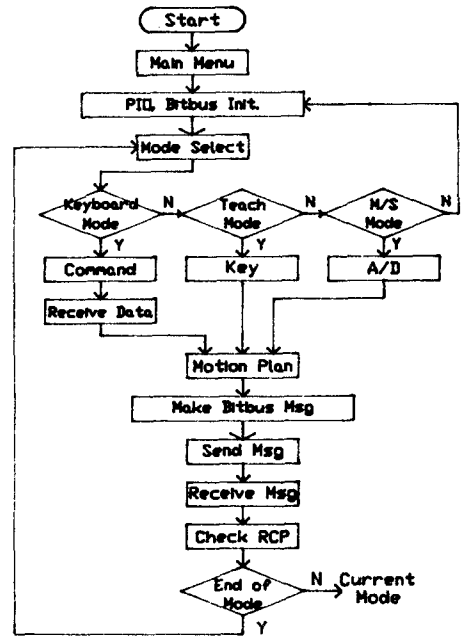


그림 2. 관리제어부의 주프로그램 흐름도

- 상위 관리제어부와 20 바이트 까지의 메시지 교환
- 각 모타의 위치 값에 따른 위치 제어
- 시스템의 초기화시 조작기와 이동장치의 초기화
- 센서 데이터 처리
- 이상 상태 등의 외부 인터럽트에 실 시간 응답, 처리
- 상위 제어부에 현재의 상태 및 데이터 전달.

조작기 제어를 위하여 4 개의 SBC와 이동장치의 제어를 위하여 3 개의 SBC 가 사용되며 각 SBC 들은 8044 CPU를 기본으로한다. 8044 는 8051 원 칩 마이콤과 시리얼 인터페이스 유닛의 두 콘트롤러로 구성되어 분산 네트워크하의 복잡한 일의 동시 처리가 가능하다. 각 SBC 상의 제어 프로그램은 기본 구성상 동일하며 비트버스 메시지전송, 멀티태스킹, 인터럽트 핸들링이 용이한 iDCX 51 을 사용하였다. 그림 3 은 각 SBC의 전체 소프트웨어를 나타낸다.

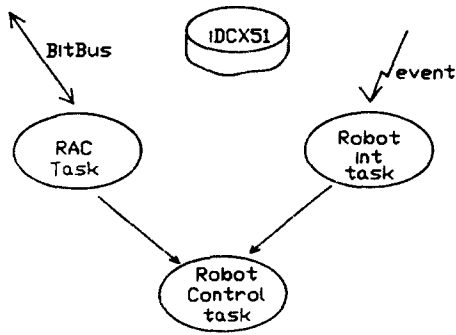


그림 3. 원격제어부의 소프트웨어

#### 4. KAEROT 의 하드웨어

본 로봇트는 크게 이동부와 조작기부로 구성되고 이동부는 계단 승하강 및 장애물 승월이 가능한 유성차륜을 이용한 삼륜식 차륜으로 제작되었다. 조작기는 향후 여유 자유도에 의한 조작기의 충돌회피 및 Manipulability 향상을 위하여 Shoulder Roll 기능을 가능하게 한 Base, Shoulder Pitch, Shoulder Roll, Elbow pitch의 4 D.O.F 로 제작하고 안정된 동작을 위하여 Parallel 매카니즘 방식의 로봇트 손틀 부착하였다.

개발된 로봇트의 개략도는 그림 4과 같고 상세한 제원은 아래 표 3 에 명시되어 있다. 그림 5는 개발된 KAEROT 의 외형이다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 원자력시설에서의 응용을 목적으로 Prototype 로봇트의 기구부와 제어 시스템을 구현 하였다. 원자력시설의 특수 상황을 고려하여 계단 및 장애물 승월이 가능하도록 이동 장치를 유성 차륜식으로 설계, 제작하였으며 4 D.O.F의 Master/Slave 조작기를 개발하였다. 또한 본 로봇트의 원격 제어를 가능하게 하기 위하여

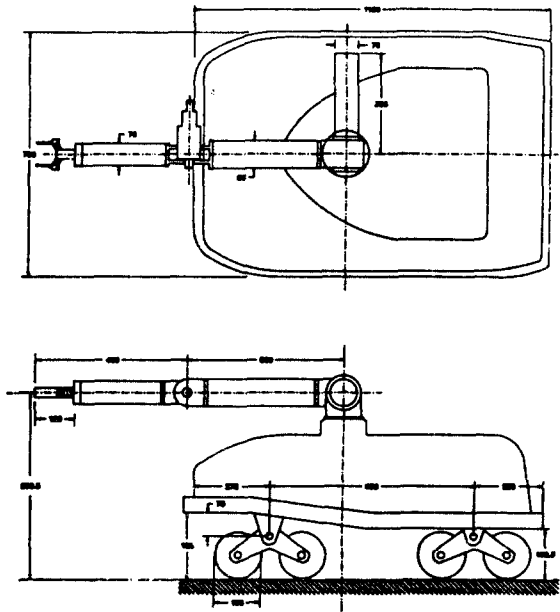


그림 4. 로봇트의 개략도

표 3. 로봇트의 제원

항 목	제 원
형 식	이동 로봇트/원격 조작/원격 제어 장치
기 능	점검, 보수, 해체 작업
과표계	관절형 (Articulated Type)
자유도	4 축 ( $\alpha, \beta, \theta, \Omega$ )
동작범위	$\alpha$ Axis Rotation ; 360° $\beta$ Axis Rotation ; 180° $\theta$ Axis Rotation ; 180° $\Omega$ Axis Rotation ; 180°
손	평행 구동 방식 (Opening Size 100 mm)
몸체길이	1100 mm
폭	730 mm
높 이	589 mm
조작기 길이	900 mm
1 차 링크	500 mm
2 차 링크	400 mm
주행속도	0.4 m/sec
주행 경사각	30°
계단높이	180 mm (최대 승월 가능 높이)
폭	200 mm
통신방식	RS 485

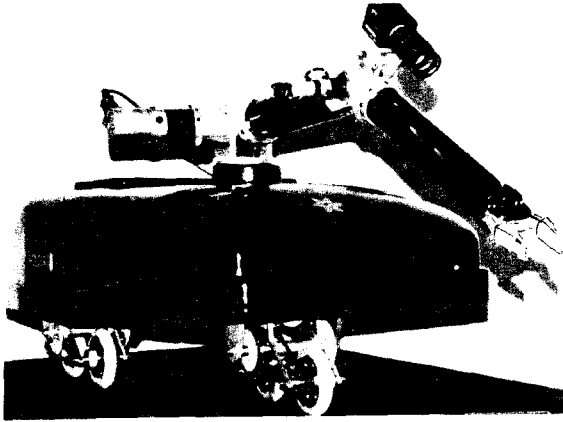


그림 5 KAEROT 의 외관

관리제어부와 원격제어부로 구성되는 분산 제어 시스템을 제작 하였다.

개발된 분산 제어시스템을 이용하여 이동장치와 조작기를 구성하여 제어한 결과 장애물 승월 및 조작기능이 원활히 실행되었고, 특히 마스터 조작기에 의한 슬레이브 조작기의 위치 제어 결과 만족할만 한 결과를 얻을 수 있었다.

앞으로 거리, 경사도, 벽면 감지에 의한 이동 장치의 지능화와 Force Reflection 에 의한 마스터/슬레이브 조작기의 제어가 보완되면 본 로봇의 원자력 시설에의 실용화가 가능할 것으로 사료된다.

## 6. 참고문헌

- (1) Harvey B. et al., " Mobile robots rain momentum, " Nuclear Engineering, pp.34-52, 1984
- (2) 연구보고서 , " 로봇트 제어용 멀티프로세서 개발, " 한국에너지연구소, KAERI /RR-617/87
- (3) 연구보고서 , " 로봇트 제어용 멀티프로세서 개발, " 한국에너지연구소, KAERI /RR-728/88
- (4) 손석원, 황석용, 김승호, 이종민, " 분산처리 구조의 로봇트 제어시스템 설계, " 1988 전자 공학회 추계종합학술대회

- (5) Distributed Control Module Databook, INTEL Corp., 1988
- (6) iDCX51 Distributed Control Executive User's Guide, INTEL Corp., 1988
- (7) Larry Health, " Fundamental of Robotics, " Reston Publishing Company, 1985
- (8) Nuclear Engineering International: remote Technology, 1988