

원전 이동감시 및 방사선 측정용 원격조종 로봇 개발

Development of a Remote Controlled Mobile Robot System for Monitoring Nuclear Power Plant

구관모*, 이범희*, °우희곤**

*서울대학교 전기공학부 (Tel: 02-880-6485(504); FAX: 02-876-5414; E-mail: paul@robot1.snu.ac.kr)
**전력연구원 전력계통연구실 (Tel: 042-865-5760; FAX: 042-865-5404; E-mail: hgwoo@kepri.re.kr)

Abstracts A remote controlled mobile robot system has been developed and tested to monitor the radiation area in the nuclear power plant. The mobile robot system operates according to car-driving-like commands and is capable of radiation measurement and visual inspection in unmanned situations under radiation. The robot system is equipped with a radiation sensor and two cameras with appropriate illumination set-ups. The camera with auto-focus function and 8-times zoom lens is mounted on the pan/tilt rotational base and the other is mounted on the front panel of the robot system. All commands regarding the motion of the mobile robot and various sensors are given through the monitoring system which is designed to provide an integrated man-machine interface.

Keywords Waste Drum Storage, Small-sized Mobile Robot, Integrated Man-Machine Interface, Remote Radiation Measurement, Remote Visual Inspection

1. 서론

현재 사용되고 있는 대부분의 로봇들은 조립, 용접, 도장 등의 공장자동화를 위한 산업용 로봇들로서 고정된 환경에서 미리 설정된 작업들만을 수행하도록 되어 있다. 근래에는 이러한 산업용 로봇 이외의 다양한 로봇이 목적에 따라 여러 가지 형태와 기능을 가지고 부분적으로 개발되어 사용되고 있으며, 그 범위와 수량이 급격히 증가하고 있다. 그러나, 이동하면서 작업을 수행할 수 있는 서비스 로봇에 대한 연구는 경제성과 기술개발의 어려움 등으로 산업용 로봇에 비해 활발히 연구되지 못하였다. 최근 로봇의 제조기술이 발전되고 다양한 분야에서 로봇의 필요성이 구체적으로 대두되면서 서비스 로봇의 개발이 시도되고 있고, 그 대표적인 분야로는 우주공간, 심해, 고온, 고압, 고방사선 등의 위험한 환경에서 인간을 대신한 로봇들이 있다.

특히, 원자력 발전소에서의 방사선 피폭을 줄이고 효율을 높이기 위한 서비스 로봇의 연구가 원자력 선진국에서는 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 서비스 로봇의 연구개발에 관심이 집중되고 있다. 현재 선진 외국에서는 원자력 발전소 내의 이동감시, 사고처리 및 폐기물 처리 등의 목적을 가진 로봇들이 제작되어 시험운용되거나 일부는 원전현장에서 사용되고 있는 것으로 알려져 있다[1][3][6]. 그러나 원자력 발전소의 고방사선, 고온, 작업공간의 제한 등으로 특수한 구조와 기능, 그리고 다양한 이동방법을 갖는 서비스 로봇의 개발이 요구되어 다양한 활용에는 많은 기술적인 어려움이 있다.

현재 국내 원자력 발전소에서는 연료교체, 증기발생기 세관검사, 폐기물 저장고에서의 드림의 이동 등 고정된 위치에서 특정 작업만을 수행하도록 산업용 로봇을 응용한 시스템이 사용되고 있고, 증기발생기 세관검사용 로봇의 국산화가 수행된 적이 있으나, 원자력 발전이나 전력회사의 환경에 필요한 특수한 상황에 사용할 수 있는 이동형 로봇이나 지능형 로봇의 연구는 아직 초보단계에 머무르고 있다.

본 연구에서는 국내 원자력 발전소의 운영기술의 고도화를 위한 로봇연구의 첫 과제로서 단기간에 활용가능한 기술을 이용하여, 설비를 감시하고 방사선을 측정할 수 있는 이동형 로봇을 개

발하고 현장에 시험적용, 기술적인 문제점을 파악하여, 향후 원자력발전소 및 전력사업에 필요한 로봇의 연구방향을 설정하는 것을 목표로 하였다[8].

2. 원전에서의 로봇활용을 위한 연구동향

원전에서의 로봇의 활용에 대한 연구는 선진국들을 중심으로 다른 분야의 서비스 로봇들에 비해 오래 전부터 다양하게 이루어져 왔고, 많은 결과들이 발표되었다. 여기에 다양한 형태와 목표를 가지는 연구결과들 중 대표적인 몇 가지를 소개함으로써 로봇활용의 방향과 그 수준에 대해 간략히 살펴보도록 한다.

원전에서의 사용을 전제로 한 로봇관련의 범용기술로는 주행 성능에 관한 부분과 환경감지성능에 관한 부분, 자율성확보를 위한 지능 구현에 관한 부분 등을 꼽을 수 있다. 원전에서의 로봇의 활용에 대한 가능성들이 최초로 대두되었을 때 가장 큰 장애가 되었던 것은 로봇을 작업장소까지 도달할 수 있게 하는 방법이었다. 원전의 건설시점부터 로봇의 작업을 고려한 설계가 이루어지기 시작한 것은 최근의 일로, 아직도 대부분의 발전소들은 좁은 복도와 계단, 손잡이를 돌려야 하는 출입문들로 구성되어 연결되어 있다. 따라서 주행능력에 있어서는 다양한 이동환경에 대처할 수 있도록 다기능을 가지는 기구적 설계가 중요한 문제가 되고, 주로 계단이나 장애물 등을 만났을 때 주행을 계속할 수 있도록 무한레도 방식에 보행기능을 응용한 구조를 복합시키는 것이 주요 관심분야가 되고 있다. 환경감지성능에 관하여는 센서의 개별적인 성능 향상에 대해서도 연구가 계속되고 있지만 새로운 센서의 활용이나 센서 융합(sensor fusion) 등을 이용하여 미지환경에 대한 파악능력을 향상시키는 것이 더욱 중요한 분야로 인식되고 있다. 또한 이러한 결과들을 바탕으로 작업로봇에 보다 높은 수준의 인공지능을 구현하기 위한 연구가 다방면으로 진행되고 있다[3][4]. 작업로봇의 역학적 환경변수들도 산업용 로봇에 비해 불확실하므로 로봇, 특히 이동체에 탑재되는 매니퓰레이터에 대한 위치제어나 힘제어에 새로운 기법들을 적용하기 위한 연구 역시 활발히 진행되고 있다[3].

원전에서의 로봇의 용도 중 감시용으로 사용되는 로봇은 가장 보편화된 분야로서 PCV(Primary Containment Vessel) 내와 같은 고방사선 지역에 대한 상시 감시용 로봇[6]부터 폐기물 저장소와 같은 자유로운 주행성능이 요구되는 로봇[1][3]에 이르기까지 다양한 형태의 요구가 존재한다. 상시 감시용 로봇의 예로는 PCV 내부 감시 로봇[6]이 대표적으로, 장착된 레일을 따라 이동하며 내부이상을 감시하는 시스템이다. 음향과 시각 및 열 감지 센서를 장착한 여러 대의 로봇이 함께 투입되어 카메라 자세의 제어를 통해 내부 전체를 감시하며, 트롤리 와이어(trolley wire)를 통해 전원, 제어신호 및 데이터를 교환한다. 이 시스템은 발전소의 설계단계부터 로봇의 활용을 고려한 대표적 사례이다.

폐기물 저장소를 위한 감시 로봇 시스템[1]인 IMSS(Intelligent Mobile Sensing System)는 폐기물 저장소내의 고정경로를 따라 순회하며 이상유무를 감시하는 시스템으로 축전지를 동력으로 하고 무선통신을 구현하여 케이블 없이 동작가능한 형태로 구성되어 있다. 카메라 시스템 및 영상축화기와 영상정보 처리 및 분석 시스템을 탑재하여 영상정보를 자체적으로 처리하고, 이상을 검출하도록 하여, 이상이 감지된 경우 이를 통신으로 보고하도록 되어 있다.

지하의 방사선 물질 저장창고 위의 지표면에서 누설 방사선량을 측정하기 위한 목적으로 개발된 PEDESCO RMI-3[3]는 원격 조종 이동로봇으로 방사선량 데이터의 무선통신이 가능하고 평탄한 지표면에서의 측정을 목표로 한 만큼 주행성능이나 환경감지 능력보다는 조작성의 편의성에 더욱 중점을 둔 시스템이다.

감시용 이외로는, 방사능 누출 발생시 혹은 누적방사선량이 높아진 지역의 방사능을 제거하는 작업이 로봇의 필요성이 가장 절실한 부분이다. 이러한 작업을 하는 기계들은 로봇이라 지칭되기 어려운 간단한 형태부터 존재하여 왔으며 진공청소기와 같은 개념으로 주변물질을 흡입하는 것이 일반적이다. 이동로봇과 로봇 매니플레이터에 관련된 기술들이 발전하면서 이러한 일을 하는 로봇들의 효율이나 안전성에서도 큰 발전이 이루어졌다[3].

방사선 구역내의 작업 후 발생하는 장갑이나 피복, 친조각 등은 일정기준에 의해 폐기되도록 규정되어 있다. 이 폐기작업을 하는 작업원들이 작업중에 당하는 방사능 피폭은 인간에 대한 방사능 피폭의 가장 큰 비중을 차지하여 왔다. 따라서 이 분야에서 많은 로봇들이 개발되어 활용되고 있으며, 종류도 매우 다양하다. 구체적인 예로는, 매니플레이터를 이용한 폐기물의 수집, 수집된 폐기물들을 폐기용 드럼 내에 집적하는 작업, 폐기용 드럼을 이송수단에 싣고 내리는 작업 및 이송수단이 모두 대상이 되고 작업의 특성에 따라 각각 별도의 로봇이 사용된다.

이상의 예에서 살펴본 바와 같이 원자력 발전소에서의 작업로봇은 요구되는 작업과 환경상의 조건이 서로 많은 차이를 지니므로 형태나 기능상의 공통적인 요건이나 특징 등을 정리하는 것은 어려운 일이며, 주어진 상황에 따라 시스템이 갖추어야 할 조건들을 각론으로 연구할 수밖에 없다.

3. 원격조종 이동로봇 시스템의 구성

3.1 원격조종 이동로봇 시스템의 구조 및 제원

이동로봇 시스템은 이동로봇 차체와 원격지에서의 제어와 이동로봇의 상태를 모니터링 하는 모니터링 시스템으로 구성된다. 이동로봇은 유선으로 공급되는 전원에 의해 동작하는 2 대의 모터로 구동되고 2 대의 카메라, 각각의 카메라를 위한 조명, 방사선 센서 및 전망화장기가 탑재된다. 모니터링 시스템은 이동로봇으로부터 받은 영상신호와 방사선 센서 측정치를 표시하는 모니터와 이동로봇을 제어하기 위한 제어판으로 구성되고, 제어판에는 자동차의 운전과 같이 핸들을 이용하여 이동로봇의 주행방향을 지시하는 조종핸들과 이동로봇 및 탑재 시스템을 제어하기 위한

제어키들이 장착되어 있다. 다음은 이동로봇 시스템의 주요제원이다.

- 이동로봇 본체 및 탑재 시스템
 - 조종방식 : 조작자가 조종간 형태의 조작기구를 이용하여 지칭하는 방향으로 이동.
 - 구동방식 : 2 motor 전륜구동, Skid steering
 - 크기 : W 430 mm × L 680 mm × H 720 mm
 - 무게 : 약 67 Kg
 - 저조도 CCD TV camera 2 sets
(지면감시용 고정 카메라 1, 시각감시용 회전이동 카메라 1)
 - 원격 zoom, focus 조정 (AF ON/OFF), 역광 보정 기능
 - 원격 카메라 자세 조종 : 좌우 ±120도, 상 40도, 하 20도
 - 조명 2 sets
 - 80486 산업용 PC 시스템
- 모니터링 시스템 및 케이블
 - 영상신호와 센서정보를 표시하는 14" 컬러 모니터
 - 제어키에 의한 이동로봇 전 기능 제어
 - 이동로봇 원격운전용 조종핸들
 - 조작자를 위한 GUI(graphic user interface)
 - 80486 탑재 PC 시스템
 - 데이터 저장을 위한 플로피 디스크 드라이브(FDD)
 - 전원, 영상신호, 통신용 케이블 및 커넥터

이동로봇의 외형은 다양한 장소에 접근이 가능하도록 소형, 경량이어야 하고, 방사선 지역에서 작업을 수행하므로 내방사선 특성을 가져야 하며, 제염처리가 쉬워야 한다. 차체는 중량을 최소화할 수 있도록 비중이 낮고 자체 하중 및 충격에 견딜 수 있도록 강하며, 가공이 용이한 재질을 선정해야 한다. 또한, 재질 자체가 내방사선 성능이 있어야 한다. 이러한 사항들을 고려하여 철계열의 합금에 비해 부식에 강하고 내방사선 성능이 우수한 알루미늄 합금의 일종인 두랄루민(비중 2.7)을 차체의 재질로 사용하였고, 제염처리를 위한 방수를 고려하여 용접으로 차체를 조립하였다. 그림 1은 이동로봇과 모니터링 시스템의 사진이고, 그림 2는 전체 시스템의 구성도이다.

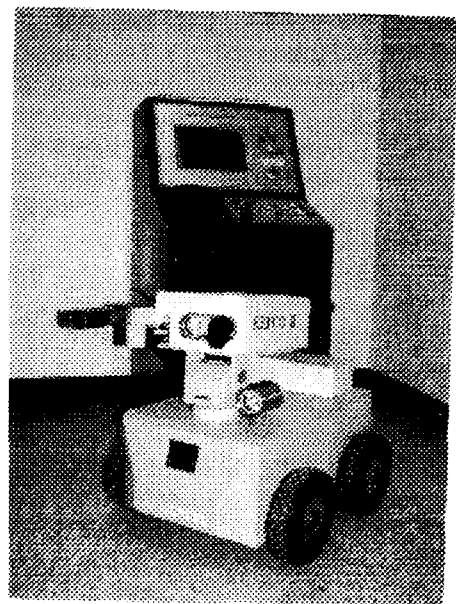


그림 1 이동로봇과 모니터링 시스템
Figure 1 The Mobile Robot and Monitoring System

이동로봇은 두 대의 AC 서보 모터로 구동되며, 전륜구동 및 스키드 스티어링(skid steering) 조향방식을 채택하였다. 이동로봇에서 필요한 모든 기능들을 제어하기 위한 하드웨어는 신뢰성이 높은 산업용 80486 PC 시스템에 AT-BUS 방식의 인터페이스[5] 카드 두 장을 장착하여 각각 구동모터와 탑재 시스템을 제

어하도록 하였다. 이동로봇의 전원은 모니터링 시스템으로부터 공급받고, RS-422를 이용한 직렬통신으로 제어신호를 받거나 방사선 측정치를 모니터링 시스템으로 전송한다. 그림 3은 이동로봇의 하드웨어 구조이다.

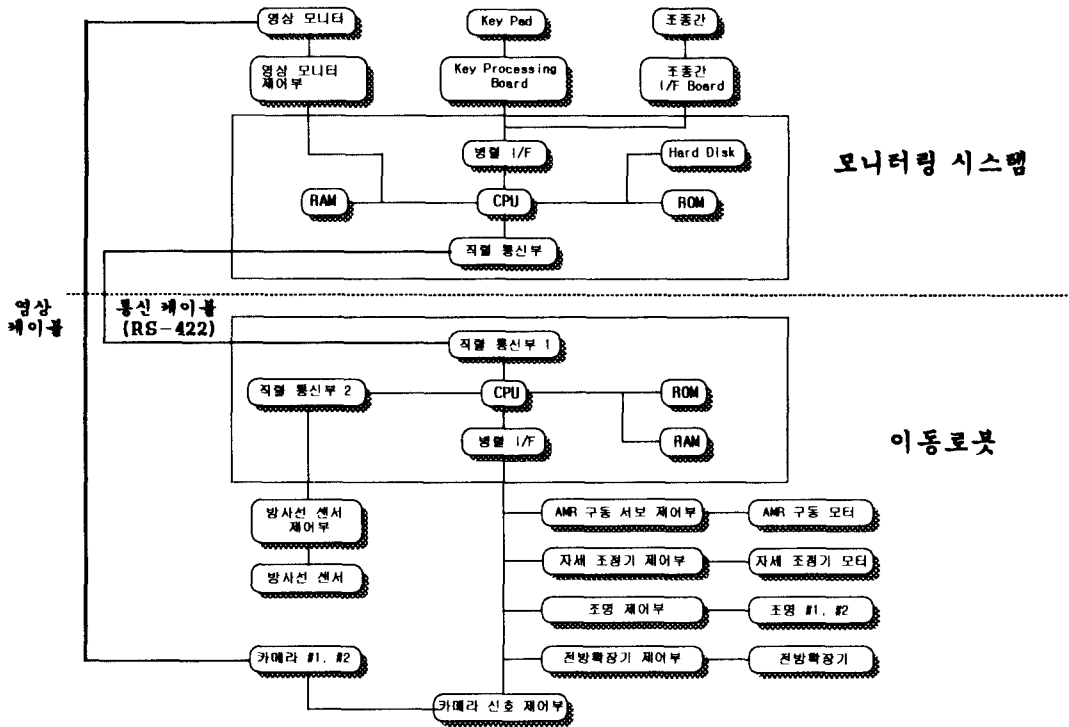


그림 2 전체 시스템의 구성
Figure 2 Structure of the Whole System

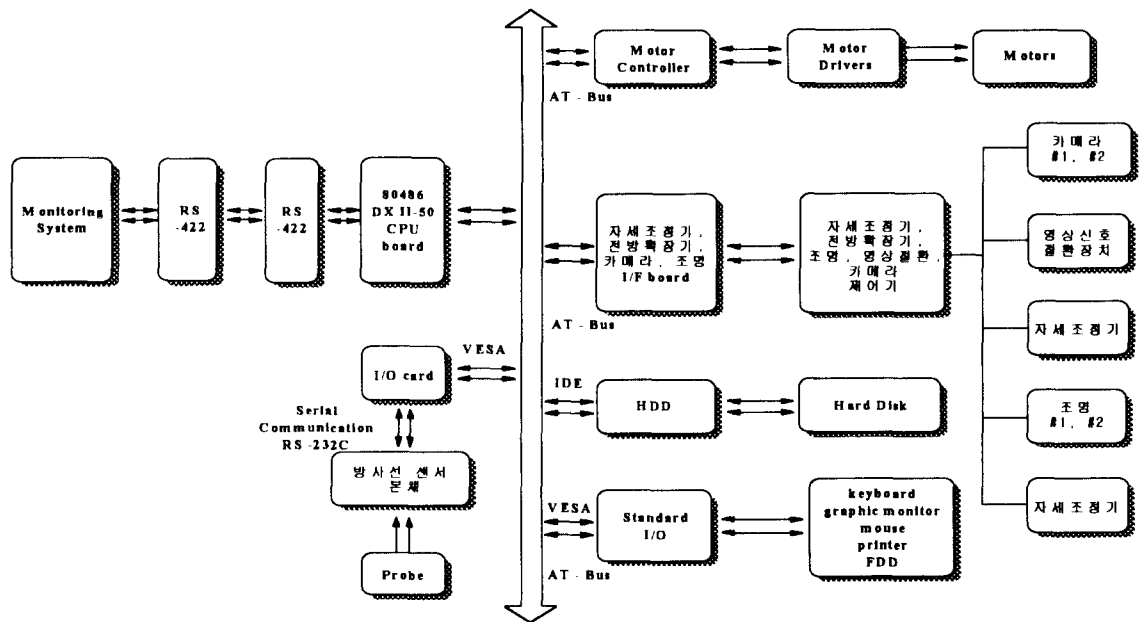


그림 3 이동로봇의 하드웨어 구조
Figure 3 H/W Structure of the Mobile Robot

모니터링 시스템은 조종핸들, 제어키, 80486 PC 시스템, 인터페이스 보드 및 모니터로 구성된다. 조종핸들과 제어키에서 발생한 제어신호는 인터페이스 보드를 거쳐 80486 PC에서 처리되어 직렬통신 포트를 통해 이동로봇으로 전달된다. 카메라의 영상신호와 방사선 센서 측정치, 그리고 이동로봇의 상태는 각각 영상신호 케이블과 직렬통신 포트를 통해 모니터링 시스템으로 전송되어 모니터의 화면을 분할하여 동시에 모니터에 표시된다. 그림 4는 모니터링 시스템의 실행화면이다.

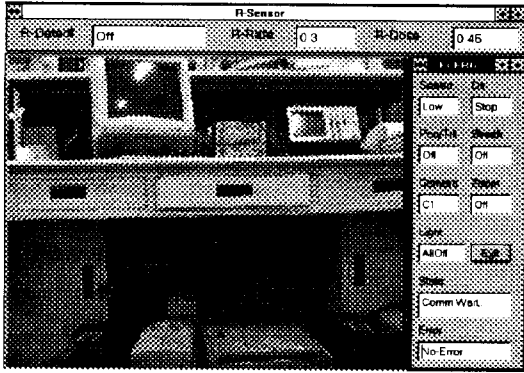


그림 4 모니터링 시스템의 실행화면
Figure 4 Display of the Monitoring System

3.2 이동로봇의 구동부 설계

이동로봇의 구동동력원으로는 AC 서보 모터 2대를 사용하였다. 모터의 용량은 자동차의 적정 엔진출력을 계산하는 방식을 사용하여 추정하였다[2],[7]. 이 방법은 차량의 구동 및 주행에 필요한 토크(torque)를 주행저항이라는 개념으로 계산하여 구동력을 산출하는 것이다. 차량이 주행 또는 기동할 때 작용하는 전주행저항 R은 차량의 진행방향과 역방향으로 작용하는 힘의 합력으로 다음의 식에 의해 계산된다.

$$R = R_r + R_i + R_a + R_s \quad (1)$$

(R_r : 구름저항, R_i : 공기저항, R_a : 가속저항, R_s : 구배저항)

이 중 구름저항(rolling resistance)은 차량이 수평노면을 따라 구를 때 일어나는 저항으로 타이어의 단성변형에 의한 저항, 노면의 단성, 차륜 베어링부에서의 마찰저항, 노면의 요철에 의해 발생하는 충격저항등의 요소로 이루어지며, 차량속도가 낮은 경우는 다음과 같이 간단하게 근사가능하다.

$$R_r = \mu_r * m * g \quad (2)$$

(μ_r : 구름저항계수, 타이어의 내압 및 자체하중, 노면상태등의 함수, m : 차체 질량, g : 중력가속도)

공기저항(air resistance)은 차량의 주행속도, 차체형상, 풍향각 등에 의해 결정되며 차량의 전면과 후면사이의 압력차에 의해 발생하는 압력저항, 차체표면에 흐르는 공기와 차체와의 마찰저항, 공기의 출입에 의한 환기저항, 고속주행시 발생하는 양력에 의한 유도저항 등의 요소로 구성되며, 일반적으로 본 이동로봇과 같이 저속으로만 주행하는 경우는 무시가능하다.

가속저항(acceleration resistance or inertia resistance)은 차량의 가속시 저항력으로 작용하는 관성저항이며 회전관성저항과 직진관성저항으로 구성된다. 일반적으로 차량의 가속저항은 회전관성저항을 질량으로 환산하여 다음 식으로 계산한다.

$$R_a = a * (m + \Delta m) \quad (3)$$

(a : 차량의 가속도, Δm : 회전부분의 가속저항의 환산질량)

구배저항(등판저항, grade resistance)은 차량이 경사진 노면을

상행주행할 때 발생하는 중력에 의한 저항력이며, 다음의 식에 의해 계산된다.

$$R_g = m * g * \sin\theta \quad (4)$$

(θ : 등판각)

본 이동로봇의 경우에는 속도가 저속이므로 공기저항은 무시하였고, 구름저항계수는 자동차의 일반적인 타이어상태와 양호한 노면을 가정한 실험근사치를 사용하였다[7]. 계산결과는

$$R = 112.1 \text{ kgm/sec}^2 \quad (5)$$

이 되고 다음 식에 의해 필요 토크를 산출하였다.

$$T_M = R * D / (\eta_t * N) = 0.97 \text{ kgm}^2/\text{sec}^2 = 0.97 \text{ Nm} \quad (6)$$

(T_M : 최소 필요 토크, R : 전주행저항, D : 타이어 직경,

η_t : 동력전달장치의 기계효율, N : 전체감속비)

이에 따라 요구되는 모터의 출력은 다음과 같이 계산되었다.

$$P_{rated} = T_M * W_M / 60 = 48.5 \text{ W} \quad (7)$$

(W_M : 모터축의 정격 기계출력속도, 2상일 경우)

계산결과에 따르면 50W급의 출력을 구비하면 필요한 토크를 낼 수 있으나, 계산과정의 추정치 사용에 따라 실제상황과 다른 값이 사용된 부분이 있을 수 있어 토크가 부족한 상황에 대비한 여유도가 필요하므로 120W급의 모터를 사용하였다.

이동로봇의 조향방식은 스키드 스티어링 방식으로 두 구동륜의 추진력의 차를 이용하여 속도가 느린 쪽을 축으로 피복회전을 하는 방식이다. 이 방식은 조향특성이 차륜과 노면의 마찰특성에 크게 의존하므로 정확한 제어가 어려운 단점이 있으나 요구되는 회전반경이 매우 작아 좁은 환경에서의 운전이 유리하다.

3.3 방사선량 측정 시스템

이동로봇에 탑재한 방사선량 측정기는 휴대용으로 개발된 미국 NRC사의 ADM-300X 모델을 선정하였으며, 이 측정기는 감마선이나 베타선의 누적방사선량과 방사선량을 측정하고, 측정 데이터를 표시할 수 있으며, 측정부, 표시부와 제어부로 구성된다. 측정기의 주요특징은 다음과 같다.

- 작동중 자기 시험(self testing)
- 자동 측정범위 조정(Autoranging)
- 측정 범위
 - 방사선량률
 - 저준위 측정기 10 μ R/h ~ 800 mR/h
 - 고준위 측정기 600 mR/h ~ 10,000 R/h
 - 누적방사선량
 - 저준위 측정기 10 μ R ~ 10,000 R
 - 고준위 측정기 100 μ R ~ 10,000 R
- RS-232 직렬 통신 기능
- 전원(power): 9VDC 건전지 2개
수명: 60h (standard batteries)
- 반응 시간(Response time): 2 ~ 5 초

이 측정기는 본래 사람이 휴대하여 이동하면서 낚싯대를 사용하듯이 조작함으로써 위치를 결정하도록 되어 있다. 그러나 본 이동로봇 시스템에서는 이와 같은 동작이 자동으로 이루어져야 하므로 별도의 기구부를 제작하여 원격조종이 가능하도록 하였으며, 이 부분을 전방확장기라 호칭하였다.

측정부에서 측정된 방사선 관련 신호는 표시/제어부에 보내져 해독된다. 해독된 데이터는 제어부로부터 RS-232 포트를 통해 이동로봇 제어부에 보내진다. 수집된 데이터는 다시 RS-422 직렬통신으로 모니터링 시스템에 보내진다. 제어신호(측정 명령 등)는 반대 방향으로 측정 제어부에 보내진다. 방사선량 측정

시스템의 데이터 전송구조는 그림 5와 같다.

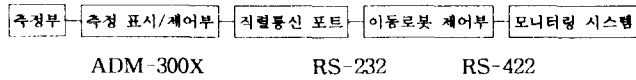


그림 5 방사선량 측정 시스템의 데이터 전송구조
Figure 5. Data Transfer in Radiation Measurement System

3.4 시각감시 시스템

방사선량의 측정과 함께 작업환경의 상태를 시각적으로 감시하기 위해 이동로봇 시스템에는 2대의 CCD 카메라와 각각의 카메라를 위한 조명장치, 그리고 이 장치들을 원격제어할 수 있도록 하는 제어부가 장착된다. 이상의 장치들을 통칭하여 시각감시 시스템이라 명하였다.

카메라 #1은 작업환경을 직접적으로 감시하기 위한 카메라이며, 카메라 #2는 충돌회피를 위하여 지면을 감시하는 카메라이다. 조명 #1과 조명 #2는 각각의 카메라를 위해 독립적으로 장착하였으며 조도가 강하고 지향성이 우수한 상용의 할로겐 램프를 사용하였다. 다음은 카메라 #1, 카메라 #2의 주요제원이다.

- 카메라 #1의 주요제원
 - 컬러 CCD 카메라
 - 카메라와 렌즈 일체형
 - 최저조도 : 5 Lux
 - 초점거리 : 8 - 64 mm (8배 zoom)
 - 자동초점조절(Auto Focus) 기능
 - 자동노출조절(Auto Iris) 기능
 - 역광보정(BackLight Compensation) 기능
- 카메라 #2의 주요제원
 - 흑백 CCD 카메라
 - 초점거리 : 16mm

카메라 #1의 기능 중에서 자동초점조절 기능, 자동노출조절 기능, 역광보정 기능과 주밍(Zooming) 기능 등은 컬러 카메라로서의 장점과 함께 작업환경의 정확한 영상을 제공하는 데에 중요한 기능으로 작용한다. 카메라 #1과 조명 #1은 최대한 넓은 범위의 환경을 감시할 수 있도록 자세조정기와 결합되어 사용된다. 자세조정기에는 이 외에도 방사선 측정기 전방확장기가 함께 탑재되어 원하는 방위를 지향할 수 있도록 한다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 방사선 지역 내에 투입되어 시각정보와 방사선 정보를 원격지로 전송하는 원격조종 이동로봇 시스템을 개발하였다. 또한 이 시스템의 정상동작을 시험하고 향후 감시측정용 이동형 로봇을 실용화할 경우의 문제점을 파악하고자, 고리 원자력 발전소의 방사선 관리구역인 중저준위 폐기물 저장고에서 주행, 원격조종, 드림상태 시각감시, 방사선 측정, 제염처리 등에 대한 시험을 수행하였다.

현재까지의 연구결과와 현장의 요구, 그리고 시험적용결과를 토대로 다음과 같이 향후 연구방향이 설정되었다. 우선 현장의 다양한 환경에서 이동과 작업수행이 가능하도록 더욱 소형화하고 다양한 주행방법을 구현하는 연구가 선행되어야 하고, 실용화를 위하여 충돌회피와 고방사선 지역에서의 신뢰도 확보에 대한 연구가 추진되어야 할 것이다. 장기적으로는 원자력 발전소 설계단계에서 이동형 로봇의 작업공간이 고려되어야 할 것으로

판단된다. 그리고, 이동로봇의 자율성 확보 및 원격제어방법의 개선, 영상인식 등과 같은 다양한 서비스 기능에 대한 연구도 병행하여 감시측정용 이동형 로봇을 실용화하고, 더 나아가 유지보수 작업 수행이 가능한 이동형 로봇을 개발하여 원자력 발전소 운영의 안전성과 효율성을 높이고, 작업자의 방사선 피폭을 줄이는 효과를 기대한다. 또한 고전압 등의 위험성이 많은 전력설비의 운영에도 로봇을 활용하는 연구를 추진하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] E. Byler, W. Chun, W. Hoff, D. Layne, "Autonomous Hazardous Waste Drum Inspection Vehicle", *IEEE Robotics and Automation Magazine*, March 1995.
- [2] T. D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE(Society of Automotive Engineers), 1992.
- [3] M. Jamshidi & P. J. Eicker, "Robotics and Remote Systems for Hazardous Environments", Prentice Hall, 1993.
- [4] A. Meystel, "Autonomous Mobile Robots : Vehicles with Cognitive Control", World Scientific, 1991.
- [5] W. J. Tompkins & J. G. Webster, "Interfacing Sensors to the IBM PC", Prentice Hall, 1988.
- [6] S. Yamamoto, "Development of Inspection robot for Nuclear Power Plant", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 1992.
- [7] 이 재순, "차륜공학", 동명사, 1981.
- [8] 한국전력공사 전력연구원, "원전 이동감시 및 방사선 측정용 원격조종 로봇 개발 최종보고서", 1996.