

## 광케도를 이용한 이동로봇의 절대위치 보정 시스템

박용택#, 정효용\*, 국금환\*\*

### Absolute Positioning System of Mobile Robot using Light Navigation Path

Yong Taek Park#, Hyo Young Jeoung\*, Kum Hoan Kuk\*\*

#### ABSTRACT

This paper represents an absolute positioning system using a light navigation path for mobile robot. The absolute positioning system is composed of the projector unit which generates a laser beam using laser diode and mobile robot with the optical detector which has some optical sensors. The projector unit is fixed over the navigating plane of mobile robot to generate the light navigation path, and the optical detector located upper part of mobile robot detects the generated laser beam from the projector. The navigation of mobile robot is controlled by the micro-processor which compares the detected present position from the detector with the previously programmed navigation path. And experimental results show that our sensor system can be used for the absolute positioning system of the mobile robot.

**Key Words** : Mobile Robot(이동로봇), Absolute Positioning System(절대위치 보정 시스템), Laser Diode(레이저 다이오드), Optical Sensor(광센서)

#### 1. 서론

산업계에서는 생산성을 향상시키기 위하여 생산공정의 자동화에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다. 산업현장의 작업장내에서는 각종 작업물, 부품 및 공구의 이동이 다양해지고 또한 복잡해지고 있는 추세이므로 콘베이어, 벨트, 로울러등과 같은 기존 이송 수단으로는 수시로 변화하는 반송 수요에 효과적으로 대처할 수 없는 형편이다. 이를 해결하기 위한 수단으로 작업장내에서의 물류 흐름의 제어 및 관리를 실시간으로 효율적으로 처리할 수 있는 무인 반송 시스템(automated guided vehicle : AGV)이 개발되어 실용화되고 있다.<sup>1,2,3</sup>

현재 산업계에서 실용적으로 적용되고 있는 대부분의 이동로봇(mobile robot)이나 AGV 들은 작업장 바닥에 설치된 자기 유도선이나 광학 테이프와 같은 연속적인 고정궤도를 따라 운행되고 있다.<sup>4,5</sup> 이러한 방식의 이동로봇 또는 AGV 들은 항상 고정궤도를 감지하면서 주행하므로 위치제어 특성은 우수하나 공정 라인의 변화에 따른 작업물 이송 회로망의 재편성 작업의 유연성이 현저하게 낮고, 작업장 바닥의 조건상 고정궤도 설치가 불가능한 경우에는 적용할 수 없다는 단점이 있다. 그리고 광학 테이프를 바닥 위에 직접 부착하는 경우 미관상의 문제와, 바닥면의 마찰이 수반되는 경우 테이프가 쉽게 손상되는 문제가 발생한다.

접수일: 2003 년 4 월 14 일; 게재승인일: 2003 년 7 월 11 일

# 교신저자: 경상대학교 제어계측공학과  
E-mail: maestro93@hanmail.net, Tel: (055) 751-5367  
\* 경상대학교 대학원 제어계측공학과  
\*\* 경상대학교 제어계측공학과, 공학연구원 연구원

그리고 자기 유도선은 유도선의 매설을 위하여 바닥을 절개해야하는 문제와 가구나 집기의 배치를 바꿀 때 자기 유도선 궤도를 수정해야하는 점 그리고 자기 유도선 주위에 대한 자기장의 인체 유해 문제 등이 발생한다.

이와 같은 고정 궤도 방식의 단점들을 극복하고, 다품종 소량 생산 체계에 적합할 수 있도록 작업장내에서의 각종 물류의 흐름에 적기에 제어할 수 있는 새로운 형태의 무궤도 방식 AGV(free-ranging AGV)의 개발이 필요하게 되었고, 최근 컴퓨터 기술의 발달과 비교적 저렴하면서 성능이 뛰어난 센서 개발에 의하여 고정궤도 방식의 위치제어를 벗어난 자유롭게 주행할 수 있는 새로운 형태의 이동로봇이 출현하게 되었다. 하지만 이동로봇이 상용화되기 위하여 해결되어야 할 가장 큰 제약조건은 이동로봇의 위치보정에 대한 것이다. 이는 이동로봇이 자신에 대한 위치 및 방향을 정확하게 모르는 경우에는 주어진 임무를 수행할 수 없기 때문이다.

이동로봇을 위한 위치 보정 시스템에 대한 많은 연구가 수행되고 있으며 크게 상대 위치 보정(relative position system)과 절대 위치 보정(absolute position system)으로 구분할 수 있다. 상대 위치 보정은 기준 위치로부터 주어진 시간동안 이동한 거리, 속도 및 각속도를 계산하여 현재 위치를 결정하는 방법(dead reckoning)이다.<sup>6,7</sup> 상대 위치 보정은 이동로봇에 설치된 센서로부터 주위환경에 관계없이 항상 위치정보를 얻을 수 있다는 장점이 있지만 사용되는 센서의 오차에 의하여 이동 거리나 이동 시간에 따라서 오차가 계속 누적되는 단점이 있으며, 이러한 누적오차를 보정하기 위해서는 주기적으로 절대 위치 결정을 해야 한다. 절대 위치 보정은 위치표식 또는 주어진 환경정보를 이용하여 이미 알고 있는 기준 위치로부터의 거리 혹은 각도를 측정하여 기하학적으로 이동로봇의 위치를 결정하는 방법이다.<sup>8,9</sup> 지도(map)를 이용한 절대 위치 보정은 기준 위치를 인위적으로 설치하지 않고, 주어진 지도의 환경 요소들을 기준 위치로 사용하여 위치를 결정하는 방법이다.<sup>10</sup> 절대 위치 보정 방법은 오차가 누적되지 않는다는 장점이 있으나 위치표식에 대한 시야방해 등 위치정보가 항상 제공될 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이동로봇의 절대 위치 보정 시스템에 대하여 제안한다. 절대 위치 보정 시스템

은 이동로봇의 주행면에 광궤도를 투영하는 광궤도 발생기와 투영된 광궤도상의 광을 검출하여 처리하는 센서 시스템을 구비한 이동로봇으로 구성된다. 빛의 직진성이 우수한 레이저 다이오드(laser diode : LD)를 광원으로 사용한 광궤도 발생기는 이동로봇의 주행면 상부에 설치되어 이동로봇 주행면에 격자 형태를 가지는 음양무늬의 광주행 궤도를 투영하여 주행면상에 전체 지도를 형성하게 된다. 그리고 전체 지도를 바탕으로 주행경로(navigation path)를 미리 작성하여 이동로봇에 기억시키고, 작성한 경로를 따라 이동로봇이 주행하도록 한다. 주행 중 이동로봇은 센서 시스템의 신호로부터 현재 위치와 방향을 인식하고 미리 저장된 주행경로와 전체 지도를 비교하여 주어진 임무를 수행한다. 본 논문에서 제안한 절대 위치 보정 시스템은 프로토타입으로 제작된 광궤도 발생기와 센서 시스템을 구비한 이동로봇의 주행 실험을 수행한 결과로 평가한다.

## 2. 본론

### 2.1 기본 원리

Fig. 1 은 제안된 이동로봇의 절대 위치 보정 시스템의 개략적인 구성을 나타내고 있다. 이동로봇의 주행면 상부에 위치한 광궤도발생기는 이동로봇의 주행면에 격자무늬의 형태를 가지는 광궤도를 투영시키고, 투영된 격자무늬 형태의 레이저 광으로부터 전체 지도를 형성하여 이동로봇에 주행경로를 기억시킨다. 그리고 투영된 레이저광을 검출하기 위한 센서 시스템을 이동로봇의 상부면에 부착시켜 주행 중 검출된 광신호로부터 미리 기

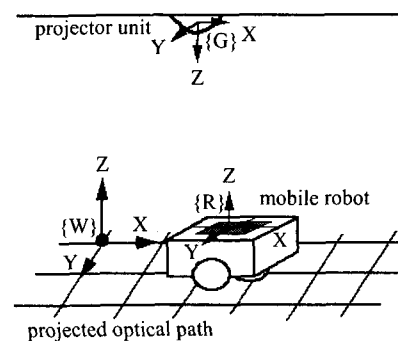


Fig. 1 Schematic of the absolute positioning system

역시킨 주행경로와 현재의 위치를 비교하여 이동 로봇의 절대 위치를 보정하도록 한다.

Fig. 2 는 이동로봇의 주행면에 광케도를 투영시키는 광케도 발생기의 구조와 원리를 대략적으로 보여주고 있다. 광케도 발생기는 일정한 속도로 회전하는 회전다면경(polygon mirror)과 광원으로 사용되는 선발생 레이저 그리고 격자무늬의 형태를 가지는 슬라이드로 구성되어 있다. 광원으로부터 발생한 선형태의 레이저광은 일정한 속도로 회전하고 있는 회전다면경에 조사된다. 그리고 조사된 선레이저광은 회전다면경의 1 면에 의해 같은 방향에 면형태의 레이저광으로 반사된다. 반사된 레이저광은 레이저광이 투과되는 격자형태의 무늬를 가지는 슬라이드를 거쳐 이동로봇의 주행면에 격자무늬 형태의 광케도로 투영된다.

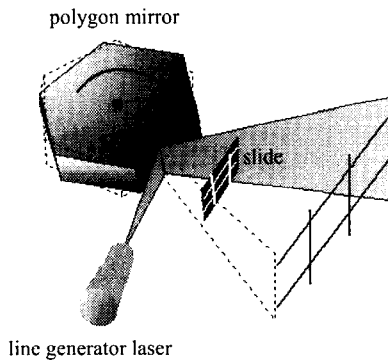


Fig. 2 Schematic of the projector unit

## 2.2 주행 제어

Fig. 3 은 개발된 절대 위치 보정 시스템의 구성을 보여주고 있다. 전체 시스템은 크게 광케도 발생기와 이동로봇으로 나누어진다. 광케도 발생기는 앞 절에서와 같이 이동로봇의 주행면에 광케도를 투영한다. 그리고 이동로봇은 투영된 광케도에 의해 형성된 전체 지도를 바탕으로 주행경로를 기억시키는 교시부와 투영된 레이저광을 검출하고 검출된 신호를 처리하는 광신호 수신부와 처리된 신호로부터 이동로봇의 위치와 방향을 판단하는 이동로봇 제어기 그리고 이동로봇의 위치와 자세를 보정하고 이동로봇을 구동시키는 모터 구동부로 구성된다.

광케도 발생기로부터 투영된 격자무늬 형태의 광케도는 이동로봇의 주행면에 작업 영역의 지도

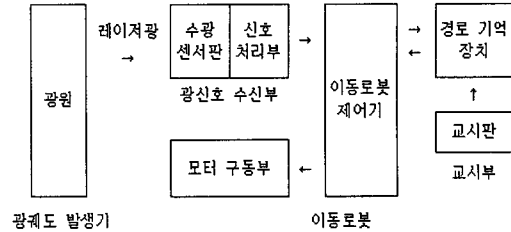


Fig. 3 Structure of the absolute positioning system

를 형성하게 된다. 지도는 자유 공간에서 목표점에 다가가는 경로 계획의 원천이 되며, 로봇의 위치와 방향을 확인하는 근거가 된다. 그리고 이동로봇은 지도를 참조하여 공간상에서 목표점까지 최상의 경로를 선택할 수 있게 된다. 따라서 이동로봇의 주행경로는 투영된 격자무늬 형태의 작업 공간상에서 X-Y 좌표의 연속된 좌표점들로 정의되고, 로봇의 유도(guidance)는 사전에 정의된 경로를 따라 가도록 교시부를 통해 이동로봇 경로 기억장치에 미리 작성하여 기억하도록 한다. 이동로봇 제어기는 주행 중 검출된 광신호 수신부의 정보로부터 미리 저장된 주행경로와 전체 지도를 비교하여 현재의 위치와 방향을 판단하고 수정하여 미리 작성된 경로에 의해 이동로봇이 주행하도록 모터 제어부에 신호를 보낸다.

광신호 수신부의 수광센서판에는 다수개의 수광센서가 구비되고, 각각의 센서 또는 센서의 조합에 의해 발생된 신호는 이동로봇 제어기가 현재의 위치와 방향을 판단하는 근거가 된다. Fig. 4 는 수광센서판에 구비된 수광센서들의 위치를 보여주고 있다. Fig. 4 에서 점선은 수광센서판에 투영된 광케도의 일부를 도시한 것으로서, 세로 점선이 현재 주행 중인 이동로봇의 주행경로 방향의 광케도이다. 주행경로 방향의 광케도로부터 일정 거리만큼 떨어져 위치한 센서 ①은 주행 중 Fig. 4 에서 가로 방향의 점선, 즉 주행 경로의 광케도와 직각인 광케도를 인식하도록 하여 현재의 위치 정보를 확인 할 수 있도록 격자의 수를 카운터한다. 센서 ③과 ④는 주행 중 이동로봇의 좌·우 경로 이탈여부를 확인하여 이동로봇이 주행경로를 벗어나지 않게 하는 역할을 한다. 그리고 센서 ②, ⑤, ⑥의 조합은 주행 중 경로상에서 방향 전환을 확인하는 역할을 한다. 여기서 센서 ⑤의 위치는 이동로봇의 회전의 중심에 있고, 센서 ②의 위치는 이동로봇의 현재 주행 방향과 일치한다고 가정한다.

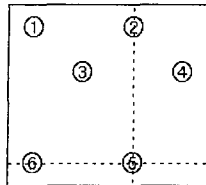


Fig. 4 Location of optical sensors

### 3. 실험 및 결과

Fig. 5 는 실험을 위해 개발된 광궤도를 이용한 이동로봇의 절대위치 보정시스템을 보여주고 있다. 그리고 앞 절에서 기술된 원리를 구현하기 위해 제작된 광궤도 발생기의 사진은 Fig. 6 에 표시되어 있다. 광궤도 발생기는 레이저광을 반사시키는 회전다면경과 회전다면경을 일정한 속도로 회전시키기 위한 DC 모터와 모터 구동드라이브 그리고 광원으로 사용되는 선발생 레이저 및 격자무늬 형상의 슬라이드로 구성하였다. 여기서 회전다면경은 4 면의 반사면을 가지고 있으며, 실험에서는 11.4[rad/sec]로 등속 회전하도록 하였다. 광원으로 사용된 선발생 레이저는 150mW 의 에너지를 가지며, 813nm 파장의 레이저 다이오드를 사용하였다. 그리고 이동로봇의 주행면에 지도를 형성하기 위한 격자무늬 형태를 가지는 슬라이드에서 하얀 부분만이 레이저광이 투과되는 영역이다. Fig. 7 은 광궤도 발생기로부터 투영된 광궤적을 CCD 카메라로 획득한 영상의 일부분이다.

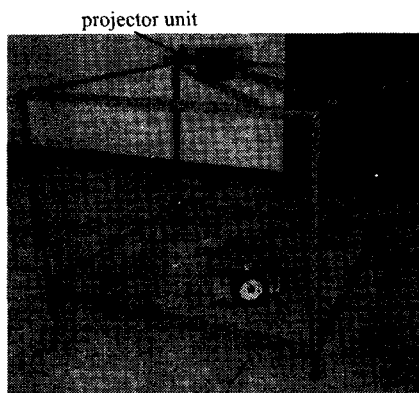


Fig. 5 Photograph of an absolute positioning system of mobile robot

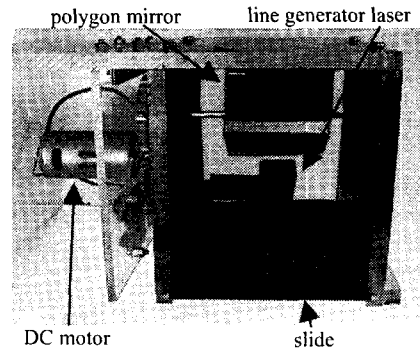


Fig. 6 Photograph of the projector unit

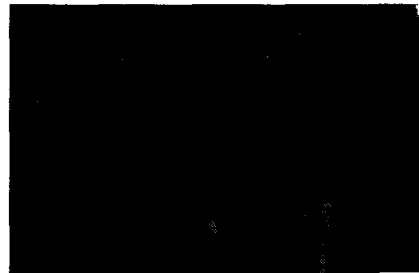


Fig. 7 Captured image of gratings

Fig. 8 은 개발된 이동로봇의 외관을 보여주고 있다. 이동로봇은 투영된 레이저광을 검출하는 수광센서판과 수광센서의 검출된 신호를 처리하는 신호처리부와 이동로봇의 동작을 제어하는 제어기 및 이동로봇의 경로계획을 위한 교시부로 구성하였다. 실험에서 수광센서는 포토다이오드(photo diode)를 사용하였고, 이동로봇 제어기와 교시부의 경로 기억장치는 PIC-BASIC 마이크로 프로세스 모듈을 사용하였다. 교시부에는 4×4 키패드(key-pad)를 사용하여 경로의 좌표값을 입력하여 교시하고 LCD 모듈을 설치하여 교시 내용을 확인할 수 있게 하였다. 그리고 이동로봇은 2 대의 DC 모터에 의해 이동하도록 하였다.

일정한 속도로 회전하는 회전다면경에 반사되어 투영된 광궤도, 즉 광궤도 발생기로부터 발생되는 광신호는 일정한 주기를 가지는 펄스 신호이다. 따라서 수광센서의 출력 신호는 광궤도 발생기로부터의 일정한 주기를 가지는 펄스 신호와 주기를 가지지 않는 외란광(자연광, 형광등 등) 그리고 고주파 성분의 잡음 신호를 가진다. 또한 검출

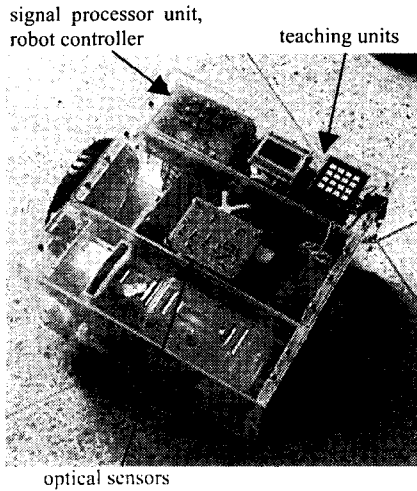


Fig. 8 Mobile robot

된 신호의 크기는 제어기가 처리하기에 적은 신호이므로 출력 신호는 적합한 방법으로 신호를 조절할 필요가 있다. Fig. 9는 광신호 수신부의 신호처리 과정을 보여주고 있다. 크기가 미약한 수광센서의 출력신호는 고역통과 능동필터에 의해 일정한 주기를 가지는 신호들만이 분리되고 크기도 일정비율로 증폭된다. 그리고 이렇게 처리된 신호는 다시 비교기를 거쳐 기준전압보다 큰 신호만으로 분리된다. Fig. 10, Fig. 11 그리고 Fig. 12는 처리된 신호의 결과를 오실로스코프로 획득한 영상의 일부분으로써 각각 수광센서의 출력신호, 고역통과 능동필터의 출력신호 그리고 비교기에 의해 처리된 신호를 보여주고 있다. Fig. 12와 같이 수광센서의 출력 신호로부터 반전된 펄스신호만이 분리됨이 확인할 수 있다. 하지만 실제 이동로봇 제어기는 Fig. 12의 신호에서 OFF 되는 구간의 신호를 인식하여야 하므로 Fig. 12의 신호에서 트리거되었을 때 타이머 555의 ON 출력신호를 내줌으로써 이동로봇 제어기, 즉 마이크로 프로세스가 신호를 처리하는데 충분한 듀티비(Duty Ratio)를 가지는 신호로 조절하였다. Fig. 13은 신호 지연된 결과를 획득한 영상이다.

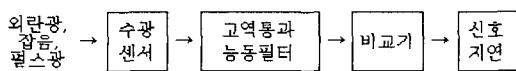


Fig. 9 Procedure of the processing signal

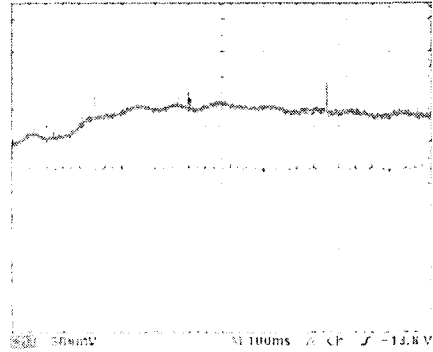


Fig. 10 Output signal of optical sensor

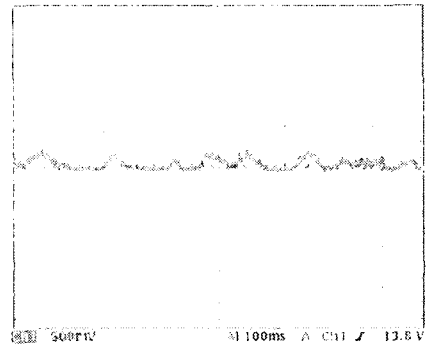


Fig. 11 Output signal of active filter

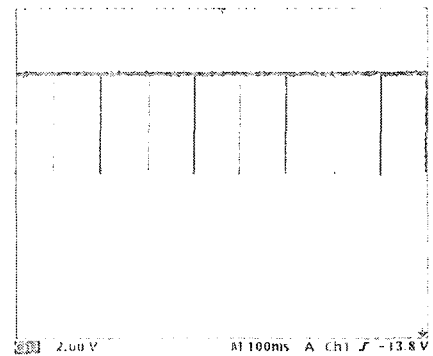


Fig. 12 Output signal of comparator

제안된 시스템의 유용성을 보이기 위하여 Fig. 14와 같이 광케도 발생기로부터 투영된 격자의 형상을 대략적으로 그리고 주행 경로는 동일한 경로를 반복 주행하도록 선정하였다. 이동로봇의 초기 위치는 좌표 (0,0)으로 하고, 좌표간의 간격이 0.36m인 직선경로를 따라 주행한 후 좌표 (2,2)에서 다시 초기 위치로 주행한 후 초기 위치에서 정

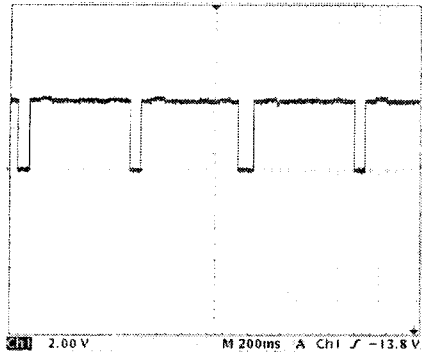


Fig. 13 Output signal of time delay

지 없이 90° 회전하여 처음 주행경로를 반복하여 주행하도록 프로그램 하였다. 실험에서 초기 위치 정확도를 위하여 Fig. 4의 센서 ⑤의 위치는 좌표 (0,0)과 일치하고 센서 ②는 Y 축과 일치하며 센서 ⑥은 X 축과 일치하도록 이동로봇을 위치시켰다. 그리고 이동 로봇의 속도 제어는 펄스폭 변조 (pulse width modulation : PWM) 방식을 사용하여 이동로봇이 직선주행과 회전 시 적절한 속도를 가지도록 하였다. 실험 조건에서 광원과 주행면과의 거리는 1.5m 이다.

실험에서 이동로봇이 직선 주행 중 주행경로를 벗어나는 경우, Fig. 4의 센서 ③과 ④의 신호와 미리 작성되어 있는 프로그램에 의해 직선경로를 추종해 가는 것을 확인하여 적절한 위치 보정이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 또한 주행 중 위치 보정 효과를 관찰하기 위하여 이동로봇에 설치된 LCD 모듈에 현재의 위치 좌표와 미리 입력된 다음 경로의 위치 좌표를 표시하도록 하여 이동로봇의 위치제어가 가능함을 확인 할 수 있었다.

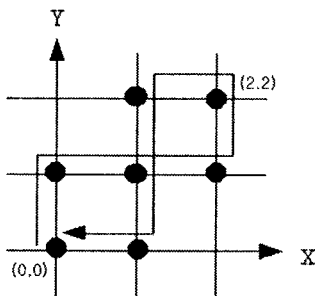


Fig. 14 Navigation path

#### 4. 결론

본 논문에서는 광케도를 이용한 이동로봇의 절대 위치 보정을 위한 시스템을 제안하였다. 먼저 레이저 다이오드를 광원으로 사용한 광케도 발생기를 이동로봇의 상부에 설치하여 이동로봇 주행면상에 격자무늬 형태의 광케도를 투영하여 전체 지도를 형성하게 하였고, 전체 지도를 기초로 하여 미리 작성한 주행경로를 따라 이동로봇이 주행하도록 하였다. 그리고 주행 중 투영된 레이저 광을 검출하는 센서시스템의 신호로부터 현재의 위치와 방향 정보를 확인하여 이동로봇의 절대 위치를 보정하도록 하였다. 그리고 제안된 절대 위치 보정 시스템의 프로토타입을 개발하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 주행 중 LCD 모듈에 지도 상에서 현재의 위치 좌표와 다음 이동할 위치 좌표를 표시하게 하여 제안된 시스템에 의해 이동로봇의 위치제어가 가능함을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 시스템은 설치가 용이하고, 광케도 발생기의 슬라이드에 형성된 케도의 수정만으로 경제성 있게 주행경로를 수정할 수 있어 기존 고정 케도 방식의 큰 결점인 높은 주행 케도 수정 비용을 크게 낮추는 이동로봇 주행 제어방식을 제공한다. 그리고 실시간 위치 측정이 가능하므로 이동로봇의 실내 작업 예컨대 청소 및 산업현장, 사무실, 병원 등 다양한 환경에서 이동로봇의 위치측정용으로 활용이 기대된다.

그러나 주행면상에 투영되는 광케도는 상부에 설치된 광케도 발생기로부터 레이저광을 이용하여 발생되므로 레이저광의 직진 경로상에 장애물이 존재하는 경우 장애물에 의한 음영영역에는 부분적으로 광케도가 투영되지 못하는 영역이 존재할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법을 실용적으로 적용하기 위해서는 이동로봇의 주행영역에 레이저 광 직진 장애물이 없어야 하고, 장애물이 크거나 주행영역이 큰 경우에는 전체 주행영역을 몇 개의 영역으로 분할 후 각 개별 영역의 전용 광케도 발생기를 별도로 설치해 주어야 한다. 미래의 연구는 로봇 주행영역 위에 생성된 광케도상의 원하는 로봇 주행경로를 PC 상에서 off-line으로 프로그래밍 하여 로봇에 직접 입력시켜주는 연구와 광케도가 존재하는 영역으로부터 장애물로 인하여 광케도가 생성되지 못하는 비교적 작은 영역으로 진입하여 원하는 주행을 수행한 후 다시

광케도가 존재하는 영역으로 복귀하는 작업을 반복적으로 수행하기 위한 저가의 보조 센서 시스템을 개발하는 일이다. 이러한 저가의 보조 센서 시스템이 개발되는 경우 비교적 작은 로봇 주행영역상의 레이저 광 직진 장애물의 영향은 제거될 수 있다.

### 참고문헌

1. Boldrin, B., "Application and Procurement of Automatic Guided Vehicle Systems," Robotics Engineering, pp. 10-14, Feb., 1986.
2. Lasecki, R. R., "AGV System Criteria," Robots 10 Conf. Proc. pp. 9-29-9-46, April 1986.
3. Knasel, T. M., "Mobile Robotics - State of the Art Review," Robotics 2, pp. 149-155, 1986.
4. Schuler, J., "Tool Supply for Machining Centres with an Inductively Guided Mobile Robot," Int. Conf. on Advanced Robotics, pp. 123-134, 1985.
5. Drake, K. C., et al., "Sensing Error for a Mobile Robot Using Line Navigation," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-7 (4), pp. 485-490, 1985.
6. Fan, Z., Borenstein, J., Wehe, D. and Koren, Y., "Experimental Evaluation of an Encoder Trailer for Dead-Reckoning in Tracked Mobile Robots," Proceedings of 10th IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, pp. 571-576, 1995.
7. Park, K., Chung, H. and Lee, J., "Dead Reckoning Navigation for Autonomous Mobile Robots," Preeding of Intelligent Autonomous Vehicle, Madrid, Spain, pp. 441-446, March 25-28, 1998.
8. Holenstein, A. A., Muller, M. A., Badreddin, E., "Mobile Robot Localization in a Structured Environment Cluttered with Obstacles," IEEE Conference on Robotics and Automation, Nice, France, pp. 2576-2581, May 1992.
9. John J. Leonard and Hugh F. Durrant-Whyte, "Direct Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation," Kluwer Academic Publishers.
10. Gonzalez, J., Ollero, A. and Hurtado, P., "Local Map Building for Mobile Robot Autonomous Navigation by using a 2D Laser Range Sensor," IFAC World Congress, Pergamon Press, Sydney Australia, 1993.