

## 맵 빌딩과 주행 알고리즘 기반의 이동로봇 구현

김중화\* · 김진규\*\* · 임재권\*\*\* · 한승봉\*\*\*\*

\*한국해양대 컴퓨터·제어·전자통신공학부, \*\*대전·충남중소기업청 기술지원과, \*\*\*한국해양대 박사과정, \*\*\*\*삼성전자 DM연구소

# An Implementation of a Mobile Robot based on a Map Building and a Traveling Algorithm

Jong-Hwa Kim\*, Jin-Kyu Kim\*\*, Jae-Kwon Lim\*\*\*, Seong-Bong Han\*\*\*\*

\*Division of Computer, Control and Communications Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*Regional Office of Daejeon-Chungnam, SMBA

\*\*\*Graduate School of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*\*\*DM Research Center, Samsung Electronics Co. Ltd.

**ABSTRACT** : This paper proposes a map building algorithm which can collect environmental information using ultrasonic sensors. And also this paper suggests a traveling algorithm using environmental information which leads to the map building algorithm. In order to accomplish the proposed traveling algorithm, this paper additionally discusses a path amendment algorithm. In this paper, a mobile robot physically designed and for verifying the proposed algorithms, several experiments are executed. The conclusion is that the proposed algorithm is very effective and is applicable to mobile robots especially requiring a low-cost environmental information.

**KEYWORDS** : mobile robot, traveling algorithm, map building algorithm

### 1. 서 론

최근 제어 기술과 컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 이동로봇의 주행기능 및 인공 지능적 기능에 있어서는 놀라운 정도로 기술적 진전을 보이고 있다. 반면 센서융용기술을 바탕으로 하는 환경 인식기능에서는 상대적으로 기술적 발전이 느린 편이다. 따라서 인간과 유사한 기능을 가지는 이동로봇의 개발을 위해서는 인간의 오감에 대응하는 센서의 개발과 센서융용기술의 발전이 보다 가속화 되어야 할 것이다.

우리 주변에서도 센서기술을 바탕으로 한 환경 인식기능을 필요로 하는 이동로봇을 쉽게 찾아볼 수 있다. 그 중 가장 대표적인 것이 바로 요즘 각광받고 있는 청소로봇이다. 청소로봇은 IR 센서, 접촉 센서 등과 같은 센서를 바탕으로 주변 환경에 대한 인식을 수행함으로써 청소 및 주행 기능을 수행하게 되는 이동로봇의 한 형태라고 할 수 있다. 센서를 통하여 주변 환경을 인식하기 때문에 사용자의 도움 없이 청소, 장애물 회피 등의 기능을 수행할

수 있다. 이에 본 논문에서는 맵 빌딩 알고리즘과 주행 알고리즘을 소개하고 이를 바탕으로 초음파 센서, 광 센서, 접촉 센서 등을 사용한 환경 인식 기능을 수행하는 이동로봇의 구현과 실제 주행을 통해 그 타당성을 검증해 보고자 한다.

### 2. 이동로봇의 구성

이동로봇은 구동 방식에 따라 크게 바퀴 구동 이동로봇(Wheeled mobile robot)과 관절 구동 이동로봇(Legged mobile robot)으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는, 안정적인 주행에 중점을 두는 것이 더 중요함으로 바퀴 구동 이동로봇 방식을 채택한다. 그리고 2개의 바퀴를 가지고 있어 좌우 바퀴의 회전 속도 차를 이용하여 로봇의 방향과 속도가 결정되는 형태의 이동로봇을 채택한다.

\* kimjh@hhu.ac.kr

\*\* kimjk74@smba.go.kr

\*\*\* jackson76@dreamwiz.com

\*\*\*\* seungbong.han@samsung.com

## 2.1 이동로봇의 구조

### 2.1.1 기구부

이동로봇의 기구부는 정팔면체 형태로 설계 제작되었으며, 이는 두 바퀴의 속도차를 이용해 회전을 하는 이동로봇의 특성을 고려하여 회전이나 이동시 발생하는 거리 오차를 최소화하기 위한 것이다. Fig. 1은 이동로봇의 실제 외부, 내부 모습이다. 이동로봇의 구조를 살펴보면 정팔각형 형태의 상판과 하판, 그리고 상판과 하판을 연결하는 면으로 구성되어 있다. 정팔면체 형태의 이동로봇에서 전방에 해당하는 3개의 면은 초음파 센서의 동작에 장애를 주지 않기 위해 상판과 하판을 연결하는 면을 따로 구성하지 않았다. 따라서 기구부는 정팔면체 형태의 상판과 하판, 그리고 상판과 하판을 연결하는 5개의 면으로 구성되어 있다.

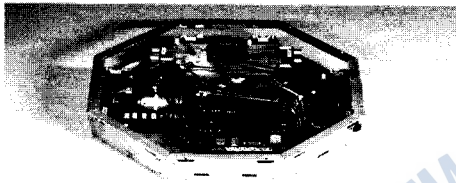


Fig. 1 Internal configuration of the mobile robot

### 2.1.2 센서부

본 연구에서는 광센서, 초음파 센서, 접촉 센서를 사용하였다. 근거리의 장애물을 인식하기 위해서, 광센서를 사용하였다. 정팔면체 형태의 이동로봇의 각 면에 광센서 1조씩을 배치하였다.

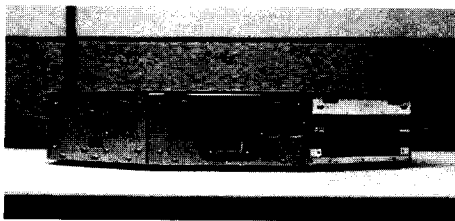


Fig. 2 Photo sensors arranged on each cotton

높은 전류로부터 광센서를 보호하기 위해 펄스 구동방식을 채택하여 사용하였으며 이는 지속적으로 전류를 흘려 광센서를 동작시키는 것이 아니라 일정한 주파수의 펄스를 구동하여 그 주파수에 해당하는 주기마다 환경 정보를 획득하는 방법이다. 그리고 광센서를 단순 On/Off 제어 방식이 아닌 A/D 변환을 통한 데이터 검출 방식을 사용함으로써 그 활용성과 효율성을 높이고자 하였다. Fig. 2는 이러한 광센서의 모습을 보여주고 있다. 원거리의 장애물을 인식하거나 맵 빌딩을 수행할 때 벽이나 장애물까지의 거리를 측정하기 위해서 초음파 센서를 사용하였다. 초음파 센서는 Fig. 3에서

보는 바와 같이 전방에 4조와 좌우측면에 각 2조, 총 8조가 사용되었다. 초음파 센서는 발신부와 수신부가 하나의 모듈로 구성된 형태를 사용하였으며, 인터럽트 구동방식으로 동작을 수행하게 된다. 마지막 센서부의 구성으로, 이동로봇이 주행 중 예상치 못한 장애물과의 충돌을 예방하기 위해서 접촉 센서를 사용하였다. 접촉 센서는 스위치 형태의 모습을 하고 있다.

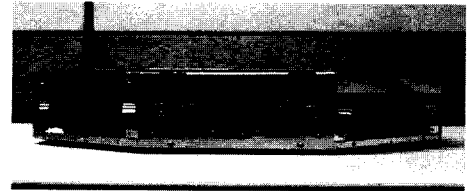


Fig. 3 Ultrasonic sensors

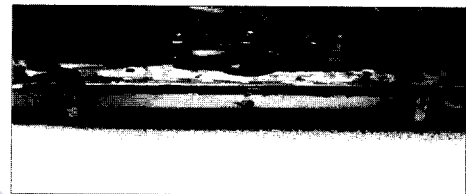


Fig. 4 Limit switches

이는 정팔면체 형태의 이동로봇에서 전면에 해당하는 3면에 각각 2조씩, 총 6조가 사용되었다. 접촉 센서의 위치는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 하단에 설치함으로써 크기가 작은 물체에도 빠르게 감지하여 반응할 수 있도록 하였고, 각 면에 배치된 2조의 접촉 센서 사이를 알루미늄 막대로 연결해 둬으로써 센서의 감지 범위를 넓히고자 하였다. 접촉 센서의 구동은 일종의 스위치를 다루는 형태로 구성하였고, 외부 인터럽트를 통해 구동함으로써 어떠한 상황에서도 감지 여부를 확인할 수 있도록 구성하였다.

### 2.1.3 구동부

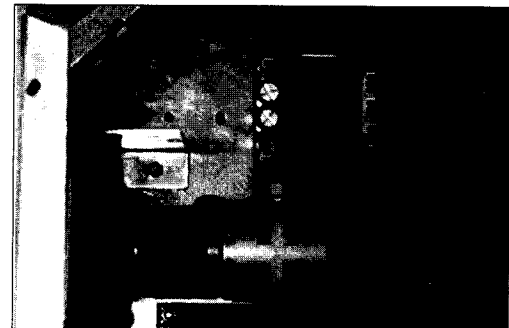


Fig. 5 Actuator and motor driver

구동부에는 Fig. 5와 같이 DC 기어 모터(DC geared motor)를 사용하였고 모터의 동작 상태를 피드백 받기 위해서 27

pulse/rad의 분해능을 가지는 DC 모터와 일체형의 내장형 엔코더를 사용하였다. 그리고 맵 빌딩을 수행하기 위해서 이동로봇은 속도보다는 정확성과 안정성이 요구되기 때문에 1 : 100이라는 비교적 높은 비율의 감속 기어를 사용하여 슬립 현상을 줄이고 제어의 정밀성을 높이고자 하였으며 구동방식은 PWM 제어방식을 사용하였다.

### 2.1.4 제어부

제어부에서는 1조의 주제어기와 2조의 보조제어기를 사용하였다. 주제어기로는 ARM 9 Core를 기반으로 한 32비트 프로세서인 ESTK2440A Board를 사용하였고, 보조 제어기로는 Atmel사의 8비트 프로세서인 ATmega128을 사용하였다. 2조의 보조 제어기는 각각 광센서, 초음파 센서, 접촉 센서, 엔코더 등의 센서를 통해 주기적으로 주변 환경 정보를 수집하는 역할과 주제어기로부터 받은 데이터를 그래픽 LCD, DC 모터를 통해 출력하는 역할을 담당한다. 주제어기는 2조의 보조 제어기를 통해 수집한 정보를 바탕으로 연산을 수행하게 되며 연산을 통해 나온 결과 값은 보조 제어기를 통해 출력하게 된다. 그리고 사용자의 편의를 위해 구성된 UI 프로그램을 호스트(Host) PC상에서 구동시키기 위해 필요한 통신도 주제어기가 수행하는 역할 중 하나이다. 1조의 주제어기와 2조의 보조제어기 사이에는 원활한 데이터의 교환을 위해서 RS485 통신을 사용하였다. RS485 통신 기법은 프로세서 간 통신에서 많이 사용되는 RS232 통신 기법에 비해 전송 거리도 길고 외란에도 비교적 강한 특성을 갖고 있다.

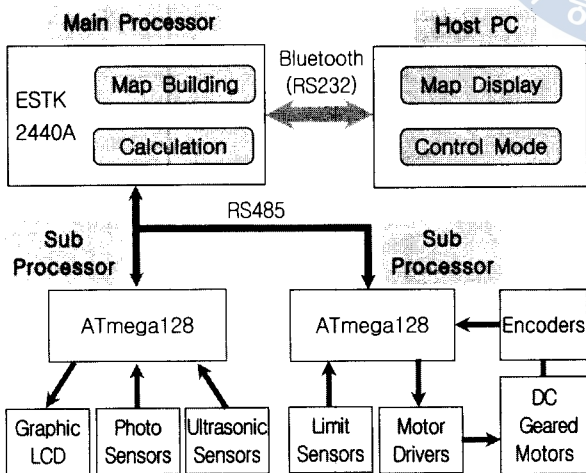


Fig. 6 Block diagram of the control part

특히 일대일 통신만을 지원하는 RS232 통신에 비해 다대다 통신이 가능하다는 장점이 있어 사용하게 되었다. 그리고 주제어기와 호스트 PC간의 통신기법으로는 RS232 통신 기법을 기반으로 한 블루투스(Bluetooth)를 사용함으로써 무선통신환경을 구성하였다. Fig. 6은 제어기를 중심으로 한 제어

부의 블록 다이어그램을 나타낸 것이고, Fig. 7은 실제로 구현한 제어기의 실물사진이다.

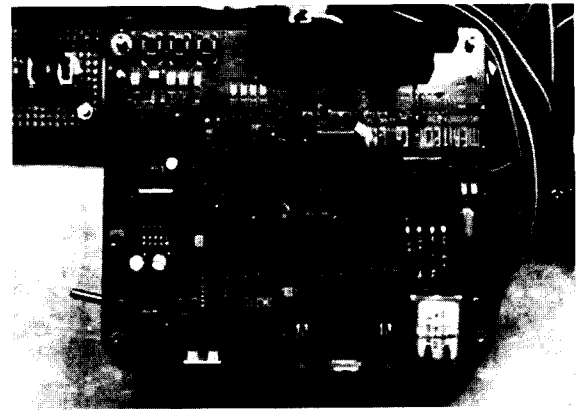


Fig. 7 Control part

### 2.2 이동로봇의 기구학

좌우 바퀴의 회전 속도 차가 주어지면 로봇의 회전 중심 O가 Fig. 8과 같이 결정되므로 어떤 공간에서든 회전을 자유롭게 할 수 있어 임의로 방향 전환이 가능하게 된다.

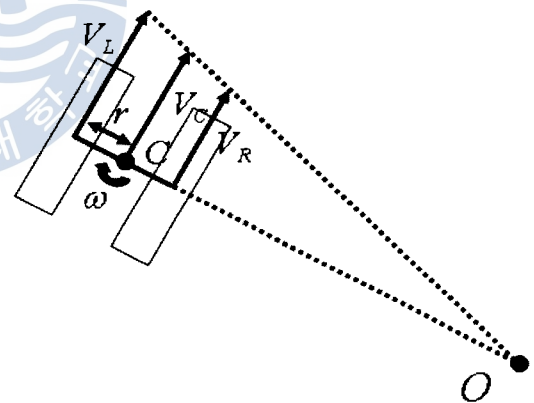


Fig. 8 Kinematics of the mobile robot

Fig. 8과 같이 로봇의 중심에서 속도를 구하기 위해서 이동로봇의 우측 바퀴의 속도를  $V_R$ 이라고 하고 좌측 바퀴의 속도를  $V_L$ 이라고 하면 로봇의 형태가 좌우 대칭이므로 로봇의 중심은 양쪽 바퀴의 가운데에 있게 된다. 이때 로봇의 중심에서의 속도를  $V_C$ 라 두면  $V_C$ 는 양쪽 바퀴의 평균 속도와 같으므로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 또한, 로봇의 각 속도  $\omega$ 는 로봇의 중심에서 바퀴까지의 거리를  $r$ 로 두면, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_C = \frac{V_R + V_L}{2} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{1}{r} (V_R - V_L) \quad (2)$$

### 3. 최적 주행 알고리즘

#### 3.1 맵 빌딩 알고리즘

기존의 이동로봇의 환경 지도 작성 방법에는 특징 추출법과 격자식 방법으로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 환경지도인 맵 빌딩을 수행하기 위하여 두 방법의 장점을 응용하였다. 환경인식 수단으로는 이동로봇에 환경정보 획득용으로 부착한 초음파센서를 사용하였다[6]-[8]. 최초 이동로봇에 부착되어 있는 초음파 센서를 통해 획득되는 거리 및 방향 정보를 바탕으로 평면, 구석, 모서리 등을 검출하고 이를 특징 추출법처럼 단순히 트리 등과 같은 저장 공간에 저장하는 것이 아니라 격자식 방법처럼 환경을 2차원 격자 형태로 나누고 그 2차원 격자의 각 셀에 가중치를 주어 저장하는 것이다.

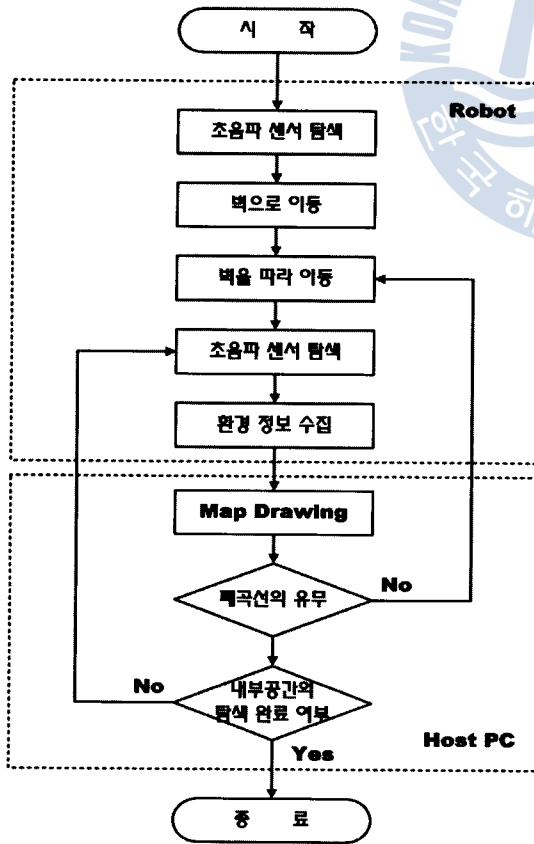


Fig. 9 Flowchart of the map building algorithm

이렇게 함으로써 평면, 구석, 모서리 등을 상세히 표현할 수 있다는 장점을 유지하면서 2차원 격자 형태로 그 정보를 저장함으로써 특징 추출법에서 단점으로 지적되었던 장애물 회피, 경로설정 등의 문제를 해결할 수 있다. 그리고 2차원 격자에서 단점으로 지적되었던 셀의 크기로 인한 한계점 등은 셀의 크기를 충분히 작게 설정함으로써 정밀성을 높여 극복하고자 하였다. Fig. 9는 초음파센서를 이용한 맵 빌딩 알고리즘을 나타낸 순서도이다.

#### 3.2 이동로봇의 최적 주행 알고리즘

##### 3.2.1 A\* 알고리즘

A\* 알고리즘은 상당히 범용적인 특성상 많은 분야에 적용시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 맵 빌딩을 통해 생성된 환경 정보를 바탕으로 최단 경로를 계산하는데 사용하였다. Fig. 10은 A\* 알고리즘을 수행하는 순서도를 나타낸 것이다.

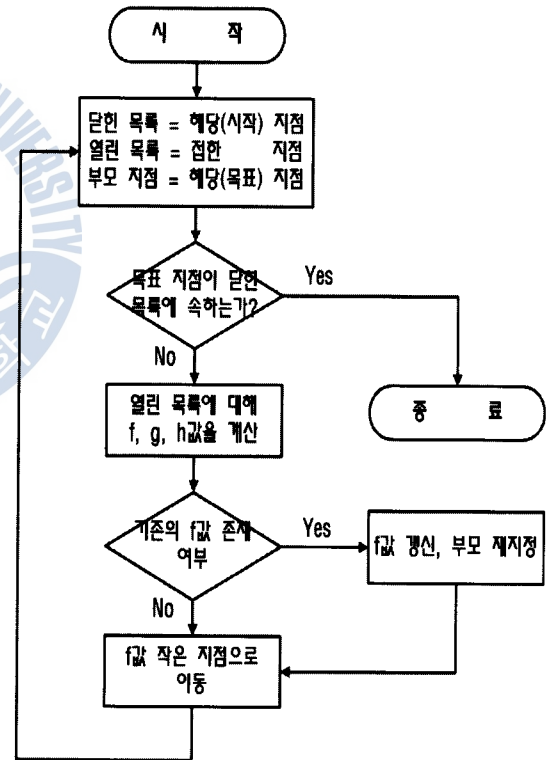


Fig. 10 Flowchart of the A\* algorithm

##### 3.2.2 경로수정 알고리즘

A\* 알고리즘을 통해 최단 경로를 생성하였다고 하여 주행을 위한 최단 경로 생성이 완료된 것은 아니다. A\* 알고리즘만을 활용하여 거리만을 고려한 최단 경로를 생성한 후, 경로 수정 알고리즘을 통해 시간과 거리를 모두 고려한 최단 경로를 생성함으로써, A\* 알고리즘의 단점을 보완하는 최단 경로를 생성하게 된다. Fig. 11은 경로수정 알고리즘이

수행되는 과정을 나타낸 것이다.

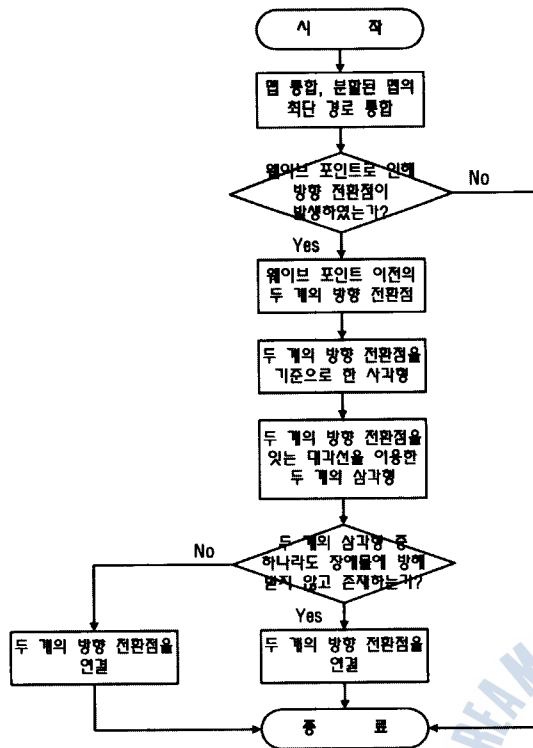


Fig. 11 Flowchart of the path amendment algorithm

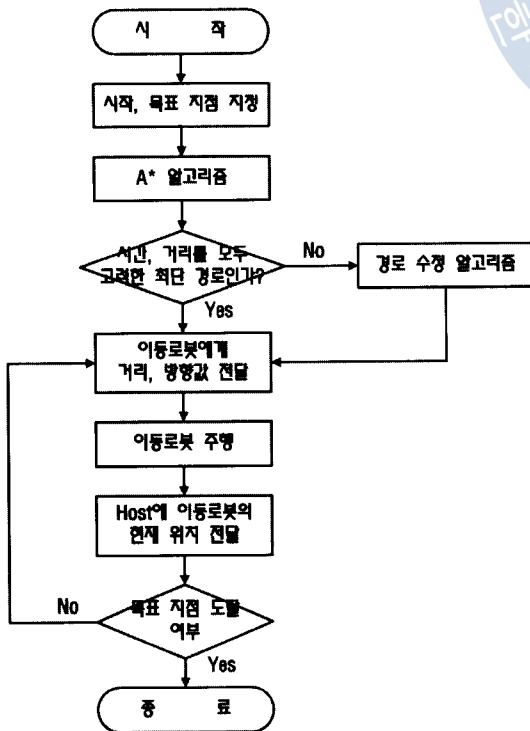


Fig. 12 Flowchart of the traveling algorithm

### 3.2.3 최적 경로 주행 알고리즘

사용자에 의하여 혹은 이동로봇의 스스로의 필요성에 의하여 시작 지점과 목표 지점이 지정되고 나면 이 두 지점을 가지고서 A\* 알고리즘을 통해 최단 경로를 생성하게 된다. 최단 경로를 생성한 후에는 생성된 경로가 시간과 거리를 모두 고려한 최단 경로인지를 점검한 뒤 그렇지 않다면 경로 수정 알고리즘을 수행하여 시간과 거리를 모두 고려한 경로로 수정하게 된다[9]. 경로가 완성되고 나면 이동로봇은 방향전환점이 있는 지점까지의 거리 및 방향값을 반복적으로 전달받아 이동하게 되고 방향전환점에 도착할 때마다 목표 지점 도달 여부를 확인시켜주게 된다. Fig. 12는 이를 통해 주행 알고리즘이 수행되는 과정을 도식화한 것이다.

## 4. 주행 실험 및 고찰

### 4.1 실제주행

#### 4.1.1 실제주행 환경의 구성

이동로봇의 실제 주행은 인위적으로 구성된 맵에서 실행되었다. 맵은 250cm × 250cm 크기이고 벽은 50cm의 높이로 구성하였다. 구성한 맵의 전체적인 모양은 정사각형으로 45°, 90° 등의 방향전환점을 가지고 있고 내부에는 직육면체 모양의 장애물도 포함하고 있다. 이동로봇의 실제 주행 시 블루투스를 통한 무선 통신을 통해 호스트 PC에게 환경 정보를 전송해주고 이를 바탕으로 맵 빌딩과 완료된 맵을 기반으로 최단경로를 통한 주행이 가능하게 된다.

#### 4.1.2 실제주행 결과

실제 맵 빌딩을 수행함에 있어 초음파 센서는 맵 빌딩을 수행하기에 충분한 데이터를 확보할 수 있지만, 시뮬레이션과는 달리 실제 주행에서는 외란 등에 의해 센서 값 등이 많은 영향을 받기 때문에 시뮬레이션과는 차이를 보인다. 그래서 이동로봇의 실제 주행에서는 빛과 같은 외란 등으로 인해 초음파 센서의 신뢰할 수 있는 유효 거리를 시뮬레이션 때보다 축소시킨 후 실제 주행을 실시하였다. 이동로봇이 맵 빌딩을 시작하게 되면 초음파 센서를 통한 탐색을 바탕으로 가장 가까운 벽으로 이동하게 된다. 벽으로 이동한 후에는 이동로봇의 측면과 벽을 수평으로 한 채 벽을 따라 이동하면서 맵을 탐색하게 된다. 이동하는 과정 중에 45° 각도를 가진 벽을 통과하는 과정에서 초음파 센서의 유효 거리 유지를 위해 벽과의 거리를 조정하기 위해서 위치 보정 알고리즘을 사용하는 과정도 확인할 수 있다. 이렇게 벽을 따라 이동하는 과정 중에 인덱스를 확인하여 최초의 출발 위치에 도달하게 되면 잠시 정지하여 폐곡선의 생성 유무를 확인하게 된다. 출발지 인덱스 값의 확인 및 폐곡선의 생성이 확인되고 나면 내부의 공간에 대한 탐색 유무를 확인하

게 된다. 탐색이 이루어지지 않은 공간이 존재한다면 내부 공간에 대한 탐색도 추가적으로 이루어진다.

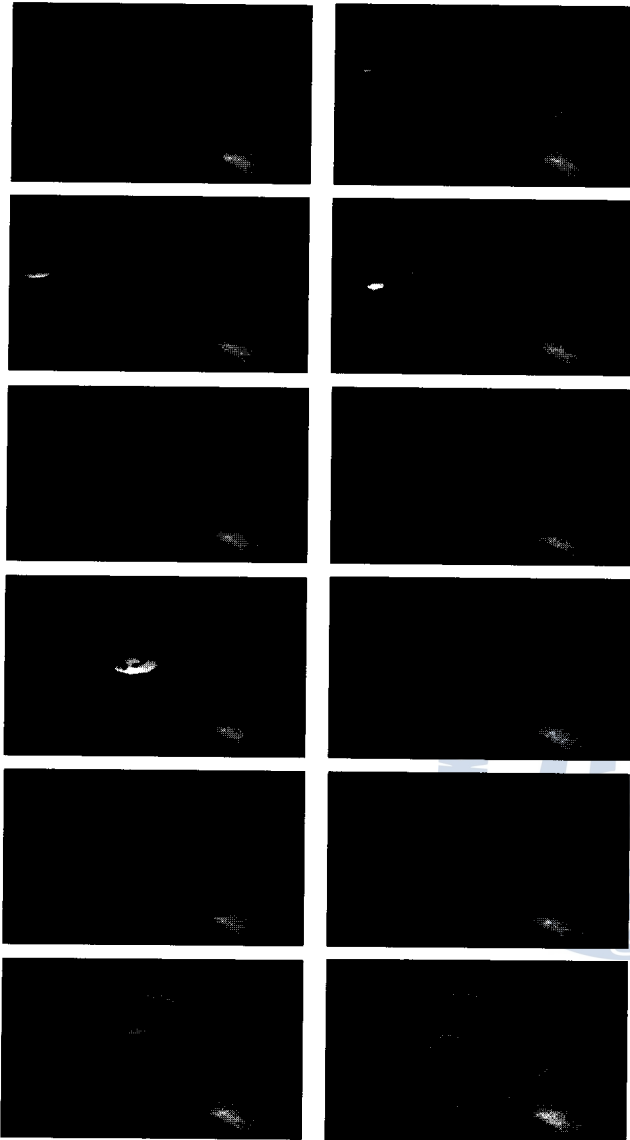


Fig. 13 The traveling procedure in the actual traveling environment

내부 공간을 탐색하는 과정에서 장애물을 발견하게 되면 장애물에 대한 폐곡선 생성을 위해 벽을 따라 이동하는 것과 동일하게 장애물을 따라 움직이면서 탐색을 계속 수행하게 된다. 이렇게 맵이 완성된 후에는 완성된 맵을 바탕으로 하여 주행을 실시해 보았다. 주행은 단순히 시작 지점과 목표 지점을 지정한 상태에서 최단 경로를 생성하여 이동하는 방식이 아니라 맵 빌딩 과정을 통해 획득한 환경 정보를 바탕으로 이동로봇의 응용 분야 중 하나인 청소로봇에 적용시켜 보는 형태의 주행을 실시해 보았다. 즉 맵의 모든 부분을 한번씩만 이동하면서도 청소를 완료할 수 있는 최단 경로를

생성하여 주행을 실시하였다. Fig. 13과 같이 맵의 외곽에서 중심으로 좁혀 들어가는 모양의 궤적을 그리는 형태로 최단 경로를 생성하여 주행을 실시하였다. 맵 빌딩 과정에서 획득한 환경 정보를 바탕으로 하기 때문에 맵 내에 존재하는 45° 각도의 벽, 방향 전환점, 내부 장애물 등을 미리 인지한 상태에서 이동로봇은 안정적 주행을 수행할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 DC모터에 의해 구동되고 초음파 센서, 광 센서, 접촉 센서 등을 이용하여 스스로 환경 정보를 획득할 수 있는 이동로봇을 구현하였다. 또한 이동로봇에 적용할 수 있는 맵 빌딩 알고리즘을 구체화하였고, A\* 알고리즘과 경로 수정 알고리즘을 이용한 최단 경로 생성을 통해 이동로봇의 주행 효율성을 높일 수 있는 주행 알고리즘을 실제 구현하였다. 구현된 로봇을 이용하여 실제의 주행실험을 수행함으로써 맵 빌딩 알고리즘과 최적 경로 주행알고리즘의 타당성을 입증하였다. 결론적으로 실제 로봇이 알려지지 않은 환경에서 자율적으로 환경을 인식하고 원활하게 동작함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 맵 빌딩 알고리즘과 주행 알고리즘은 저비용의 초음파 센서를 바탕으로 하고 있기 때문에 이동로봇의 경로계획, 자율이동제어 및 장애물 회피 등의 다양한 연구에 응용을 기대해 볼 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 경제적 측면을 고려하여 초음파 센서만을 사용하였지만, 경제적 측면을 고려할 필요가 없는 경우에는 비전센서나 레이저 레인지 파인더 센서 등 다른 센서를 추가하여 초음파 센서와 함께 사용할 수 있음으로써 좀 더 정확한 환경 정보의 수집과 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] I. Nakutani, H. Satio, T. Kubot, et al., "Micro Scanning Laser Range Sensor for Planetary Exploration", Proc. of Int. Conf. on Integrated Micro/Nanotechnology for Space Application, 1995.
- [2] Borenstein, J and Koren Y, "Error Eliminating Rapid Ultrasonic Firing for Mobile Robot Obstacle Avoidance", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 11, No. 1, pp. 132-138, Feb. 1995.
- [3] J. M. Manyika and H. F. Durrant-Whyte, "A Tracking Sonar Sensor For Vehicle Guidance", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 424-429, 1993.
- [4] Roman kuc and M.W.siegel, "Physically Based Simulation Model for Acoustic Sensor Robot

- Navigation”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, No. 6, Nov. 1987.
- [5] 김현희, “적외선 레이저파인더 센서를 이용한 이동로봇용 환경지도 작성”, 한국해양대학교 碩士論文, 2002.
- [6] 최창혁, 송재복, 김문상, “초음파센서를 이용한 자율 이동로봇의 위치추적”, 한국정밀공학회, 학술대회지, pp. 666-669, 2000.
- [7] H. Moravec and A. Elfes, “High Resolution Maps from Wide Angle Sonar” Proc. IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, pp. 116-121, 1985.
- [8] A. Howard and L. Kitchen, “Generating Sonar Maps in Highly Specular Environments” Proc. of the 4th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 1996.
- [9] 박상필, 최병재, 류석환, “자율이동로봇의 경로계획과 주행에 관한 연구”, 한국퍼지및지능시스템학회 논문지, Vol. 15, No. 2, pp. 427-430, 2005.

---

원고접수일 : 2007년 12월 28일

원고채택일 : 2008년 1월 23일



