

# 자율이동로봇의 국부 초음파지도를 이용한 길잡이지도 선택 방법

강 승 균\* · 임 중 환\*\*

## Landmark Selection of an Autonomous Mobile Robot based on Local Sonar Map

Seung-Kyun Kang\* and Jong-Hwan Lim\*\*

### ABSTRACT

Conventional position estimation has been performed by placing landmarks or giving the entire environmental information in advance. Unlikely to the conventional ones, the study addresses a new method that the robot itself can select distinctive features in the environment and save them as landmarks without any a priori knowledge, which can maximize the autonomous behavior of the robot. First, an orientation probability model using sonar sensors is applied to construct a local map of robot's surrounding. The feature of the object in the map is then extracted and the map is saved as landmark. The usefulness of all these approaches are illustrated with the results produced by a real robot equipped with ultrasonic sensors.

**Key Words** : Mobile robot, local map, sonar sensor, landmark

### 1. 서 론

자율 이동 로봇(Autonomous Mobile Robot)은 주어진 환경에 대한 사전지식이 없는 상태에서 스스로 그 환경에 적응하여 과업을 수행할 수 있는 능력

을 가진 로봇을 의미한다. 이동로봇이 자율적인 행동을 하기 위해서는 환경인식, 경로계획 및 주행제어, 그리고 위치인식 및 보정 등의 3가지 기본적인 능력을 갖추어야 한다. 환경인식과 경로계획은 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔으며, 그 결과 어느 정도 실용적인 단계에 와 있으나, 위치인식 및 보정에 관한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 실제 자율이동로봇의 주행에는 지면과 바퀴사이의 미끄럼, 지면의 요철, 그리고 엔코더 회로의 전기적 잡음 및 엔코더 자체의 해상도 등에 의한 랜덤(random)한 오차가 필연

\* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

\*\* 제주대학교 기계공학과, 산업기술연구소

Dept. of Mechanical Eng., Res. Inst. Ind. Tech.,  
Cheju Nat'l Univ.

적으로 개입된다. 뿐만 아니라, 로봇에 부착된 바퀴들의 형상은 동일하며, 각 바퀴는 이상적인 원형을 이룬다고 가정하지만, 실제 바퀴들의 형상은 동일하지 않으며, 이상적인 원형이 아님에 의해 발생하는 계통오차도 이동로봇의 위치오차에 큰 비중을 차지한다.

이와 같은 요인들에 의해 발생하는 오차는 Dead Reckoning 시스템(바퀴에 부착된 엔코더 정보만을 이용하여 위치를 결정하는 시스템)만으로는 보정할 수 없는 것이며, 따라서 많은 연구자들이 안내선(Guide Line)이나 안내표식(Landmark, Guide Mark)등을 이용해 왔다<sup>1)~5)</sup>. 안내선 방법은 비교적 정확하고 쉽게 위치정보를 얻을 수 있는 반면에 작업영역이 극히 제한되므로 자율이동로봇 시스템에는 부적합하며, 주로 AGV(무인반송차)에 적용되고 있다.

기존의 위치보정방법이 갖는 공통적인 단점은, 사전에 안내표식을 설치해야 하거나 기준모델을 입력해 줄 필요가 있을 뿐만 아니라, 이로 인해 로봇의 작업영역이 제한되므로 환경변화가 심한 곳이나 해저탐사, 우주탐사 및 미지영역에서의 작업과 같이 사전정보가 없거나 안내표식의 설치가 어려운 곳에서는 적용될 수 없다는 점이다.

미지환경에 적용할 수 있는 위치보정방법에 대한 연구가 거의 이루어지지 못한 이유중의 하나는, 센서의 정보만에 의존해야하는 환경인식방법이, 비록 간단한 작업에는 이용될 수 있을 정도이지만, 아직 위치보정에 쓰여질 수 있을 만큼의 단계로 발전되어 있지 못하기 때문이다. 비전시스템에서는 영상이미지로부터 물체의 윤곽을 추출하여, 두 영상을 매칭(Matching)하는 방법을 연구하고 있으나 아직은 단순한 형상이나 제한된 환경에서만 적용될 수 있는 단계이다. 또한, 초음파센서는 장치가 간단하며 직접적인 정보를 얻을 수 있어 자율이동 로봇의 센서로 많이 쓰이지만 정보의 불확실성이 크고 거울효과가 발생하기 때문에 형성된 초음파 지도의 질이 낮아 위치보정에 쓰여질 수 없었다<sup>6)</sup>. 그러나, 최근 초음파센서의 문제점인 거울효과를 해결하는 연구가 이루어져 초음파 지도를 이용한 위치보정의 가능성이 제시되었다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 로봇이 미지환경을 탐사할 때 초음파센서의 정보를 이용하여 지도를 형성하며, 이 지도

로부터 로봇 스스로가 특정 있는 부분을 판단하여 안내표식으로 기억하는 방법을 제시한다. 이를 위해 초음파센서를 장착한 이동로봇이 물체의 표면을 따라 주행하는 제어 알고리즘도 연구되었다. 또한 위치를 평가하기 위한 기준이 되는 지도를 즉, 길잡이지도로 선택하는 방법을 제시하였다.

## II. 주행제어

### 2.1. 국부지도

정밀한 주행제어가 이루어지기 위해서는 고해상도의 초음파 지도가 요구된다. 그러나 PC는 기억용량과 처리속도의 한계가 있어 넓은 영역 전체를 하나의 지도로 표현할 경우 그 해상도가 상당히 떨어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 전체 작업공간에 대한 지도보다는 로봇의 현재 위치를 중심으로 일정한 원도우내만을 대상으로 하여 고해상도의 지도를 형성할 수 있는 국부지도(Fig. 1) 형성방법을 제시한다. 국부지도의 크기는  $48 \times 48$ 개의 셀로 구성되어 있으며 각 셀의 크기는  $0.05 \times 0.05 \text{ m}^2$ 이다. 지도의 중심은 로봇의 중심과 일치한다.

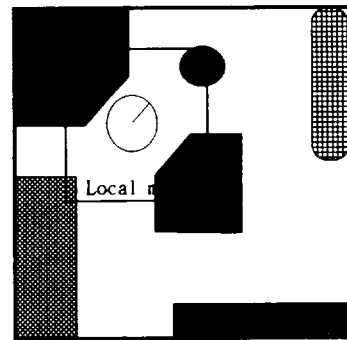


Fig. 1 Configuration of a local map

국부지도는 기준 좌표계에 대해서 회전은 하지 않고 로봇이 국부지도에 대해 상대적인 회전을 한다. 매 주행 사이클마다 로봇은 먼저 전 위치에서의 지도를 현 위치로 이동시킨 다음, 현 위치에서 센서로부터 거리정보를 입수하고 이동된 국부지도를 갱신시킨

다. 이와 같은 과정을 연속적으로 수행함으로써 전체 작업영역에 대한 고해상도의 초음파 지도를 확보할 수 있다.

국부지도는 단순화된 MBM모델을 이용하여 작성되는데, 이것은 원래의 모델에서 비점령영역에 대한 확률계산을 생략한 것으로서 짧은 시간 내에 물체의 개략적인 윤곽의 표현이 가능한 모델이다.<sup>8,9)</sup>

### 2.2. 주행제어

로봇의 주행제어는 크게 두 가지 형태로 나누어진다. 첫째는 정해진 목표점을 향해 주행하는 제어이고, 두 번째는 주행 중에 장애물이 나타났을 경우에 필요한 물체 표면 추적제어이다. 정해진 목표점을 찾아가는 주행제어는 기본적인 경로추적제어방식을 이용한다.

물체 표면을 추적하는 제어는 물체윤곽에 대한 사전 정보가 없으므로 매 순간 획득되는 센서의 정보에 의존한다. 그러나 센서의 정보는 불확실성이 커 효율적인 제어가 어렵다. 따라서 정보의 불확실성을 최소화하고 현재까지 누적된 정보를 최대한 이용할 수 있는 국부지도에 근거한 제어방법을 제시한다. 물체 표면 추적제어는 국부지도내에 로봇을 중심으로 한 작은 명령지도를 기준으로 수행된다. 명령지도의 크기는 24×30 셀이며 한 셀의 크기는 0.05×0.05m<sup>2</sup>이다. 명령지도의 모든 셀들은 기준 좌표계에 대하여 로봇의 회전각만큼 반대로 회전시켜 로봇이 항상 지

도 내에서 일정한 방향(y방향)을 유지하게 한다. 로봇의 진행 속력은 일정하며, 명령지도내의 물체의 형상에 따라 단지 조향만을 제어한다. 본 연구에서 사용한 로봇은 단면이 원형이지만 가상힘제어방식을 적용하기 위해 Fig. 2와 같이 로봇의 단면을 원형을 포함하는 사각단면으로 가정한다. 명령지도는 2개의 영역(좌방, 전방)으로 나누어지며 각 셀들은 로봇에 대해 가상의 힘( $f_i$ )을 발생한다.  $f_i$ 의 크기는 Fig. 2와 같이 셀과 로봇 외곽 사이의 수직거리와 셀의 확률값에 따라 달라진다.

좌측영역에 속해있는  $i$  번째 행에서 셀들에 의한 힘( $f_i$ )는 다음과 같이 정의된다.

$$f_i = \begin{cases} -(d-d_{cs})^2 \times P(o), & \text{if } (d < d_{cs}) \\ (d-d_{cs})^2 \times P(o), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서,

- $d$  : 로봇외곽에서 수평 방향으로 가장 가까운 점령셀까지의 거리
- $d_{cs}$  : 좌방영역의 임계거리
- $P(o)$  : 최근접 점령셀의 확률값

임계거리는 로봇이 물체를 추적할 때 유지하도록 설정된 물체로부터 로봇표면까지의 거리이다. 로봇으로부터 물체까지의 거리가 좌방 임계거리보다 가까울 때  $f_i$ 는 척력(음의 힘)으로 작용하여 로봇이 물체로부터 멀어지게되며, 그 반대의 경우는  $f_i$ 는 인력(양의 힘)으로 작용하여 로봇을 물체쪽으로 끌어 좌방 임계거리가 유지되도록 한다. 만약 수직 방향으로 점령셀이 존재하지 않을 경우의  $f_i$ 는 최대인력인  $-d_{cs}^2$ 이 된다. 반면에 전방영역에서의  $f_i$ 는 다음과 같이 척력만으로 정의된다.

$$f_i = \begin{cases} -(d-d_{d})^2 \times P(o), & \text{if } (d < d_d) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서,

- $d$  : 로봇외곽에서 수평 방향으로 가장 가까운 점령셀까지의 거리

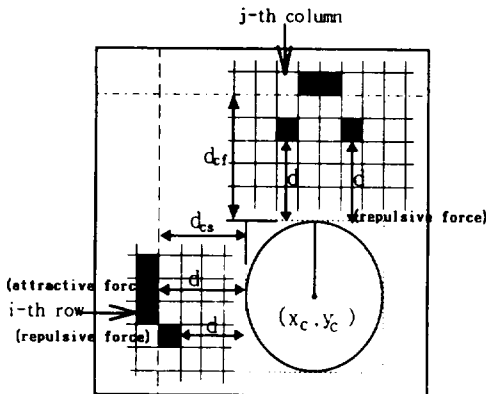


Fig. 2 Illustration of distance forces in a command window

$d_{cf}$  : 전방영역의 임계거리  
 $P(o)$  : 최근접 점령셀의 확률값

즉, 로봇이 물체 외곽을 추적하는 제어는 좌방영역의 셀들에 의해 수행되며, 전방영역은 단지 물체와의 충돌을 피하기 위한 보조적인 역할을 담당하므로 이 영역의 셀들은 로봇에 대하여 척력만 발생하며 인력을 발생하지는 않는다.

명령지도내의 셀들에 의해 발생하는 가상힘은 로봇의 회전 중심에 대해 다음과 같은 모멘트( $M_c$ )를 발생시킨다.

$$M_c = k_s \times F_s + k_f \times F_f \quad (3)$$

여기서,  $F_s$ 는 좌측 영역의 힘들의 합,  $F_f$ 는 전방 영역의 힘들의 합이며  $k_s$ 와  $k_f$ 는 설계변수이다. 이 모멘트로부터 로봇에 가해질 조항명령, 즉 로봇이 수행하여야 할 조항속도( $\Omega_c$ )가 다음 식으로 계산된다.

$$\Omega_c = -k_p M_c \quad (4)$$

여기서,  $k_p$ 는 제어기의 이득이다. Fig. 3은 물체추적 제어시스템의 블록선도를 나타낸다. 기준입력모멘트( $M_{ref}$ )는 0으로서, 로봇이 정해진 임계거리를 유지하는 상태를 의미하며  $M_c$  자체가 전체시스템의 오차 신호 역할을 한다. 결국 로봇은 일정한 속력으로 진행하면서 조항명령에 따라 단지 주행방향만 연속적으로 바꾸게 된다.

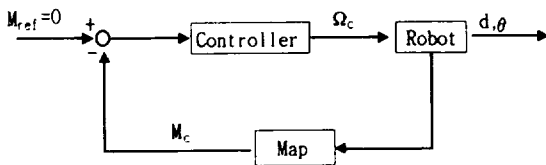


Fig. 3 Block diagram of the wall following control system

### III. 길잡이지도(Landmark map)

#### 3.1. 국부지도내의 물체의 형상

평면 내에서 로봇의 위치는 기준 좌표계에 대한 로봇의 방향( $\theta$ ) 및 위치( $x,y$ )로 결정된다. 따라서 로봇의 위치를 인식한다는 것은 로봇의 방향 및 위치 좌표를 인식한다는 의미가 된다. 형성된 국부지도는 그 내부의 물체형상에 따라 각각 상이한 위치정보를 제공한다. 예를 들어, 직선벽 형상의 물체는 로봇에 대해 단지 각도 정보만 제공할 뿐 위치 정보( $x,y$ )는 줄 수 없다. 또한 둥근 형상의 물체는 ( $x,y$ )정보만을 주며, 그 이외 형상의 물체는 각도 및 위치정보를 동시에 제공한다.

따라서 물체의 형상은 로봇으로 하여금 잘못된 위치정보를 추출하는 위험을 예방하기 위해서 필수적이다. 물체의 형상은 국부지도 형성 시에 동시에 평가되는 방향정보로부터 추출한다. 즉, 지도형성 시 각 셀에는 물체가 있을 확률과 아울러 물체 표면의 방향확률도 동시에 평가되므로 각 셀의 방향을 분류함으로써 그 물체를 구성하고 있는 면의 수를 판단할 수 있으며, 이것으로부터 물체의 형상을 판단할 수 있다.

#### 3.2. 길잡이지도 선택방법

본 연구에서는 로봇의 자율성을 극대화하기 위해 초기에 미지영역을 탐사하는 도중 형성되는 국부지도 중에서 특징이 있는 부분을 로봇 스스로 선택하여 길잡이지도로 사용한다. 길잡이지도는 로봇의 위치와 방향에 대한 최대한의 정보를 줄 수 있는 것이어야 하며 그 선택방법은 실시간 적용이 가능해야 한다. 따라서 다음과 같은 선택기준을 설정하였다.

1. 벽 모서리 부근의 지도와 같이 특징이 있는 국부 지도를 선택한다. 직선벽은 벽에 대한 로봇의 상대적인 각도 정보는 줄 수 있지만 위치정보는 주지 못한다. 그러나 긴 직선 벽 부근에서의 작업시는 로봇의 작은 각도오차가 주행거리의 증가에 따라 큰 위치오차를 유발시킬 수 있으므로, 일정 거리( $D_{max}$ )마다 직선형상의 지도도 선택을 한다.
2. 가능한 한 점령 셀의 갯수가 많은 지도를 선택한다. 점령셀 수가 많다는 것은 지도내의 물체 윤곽에 대한 정보가 풍부하다는 의미가 되므로 차후의 위치보정을 위한 매칭에 유리하다.

3. 인접한 길잡이지도 사이에는 가능한 한 유사성이 적어야한다. 이것은 실제 작업공간에는 동일한 형상의 물체들이 여러 개 존재할 수 있으므로 매칭시에 로봇이 현재 지도와 대응되는 길잡이지도를 선택하는 과정에서 문제를 야기 시키기 때문이다.
4. 길잡이지도 사이에는 일정거리( $D_{min}$ )를 유지시킨다. 3항에서 언급된 바와 같이 동일 형상의 여러 개의 길잡이지도가 존재할 수 있으므로 한 위치에서 그때의 최대 오차 범위 내에는 하나 이하의 길잡이지도만이 존재하는 것이 바람직하다.

이와 같은 기준에 따라 길잡이지도를 선택하는 방법은 다음과 같다.

먼저 이미 선택된 길잡이지도 중 현재 국부지도와 최 근접 길잡이지도 사이의 거리( $D$ )가  $D_{max}$  이상이면 현재의 국부지도가 직선 형상일지라도 길잡이지도로 선택한다.  $D_{min} < D < D_{max}$  인 경우에는, 현 국부지도의 형상이 직선이 아니면 길잡이지도로 선택한다. 만약  $D < D_{min}$  인 경우에는 현재 국부지도의 셀갯수나 물체를 형성하는 선분갯수가 최인접 길잡이지도의 그것들보다 많은 경우에만 길잡이지도를 선택하되 기존의 최인접 길잡이지도는 삭제시킴으로써 유리한 지도를 확보한다.

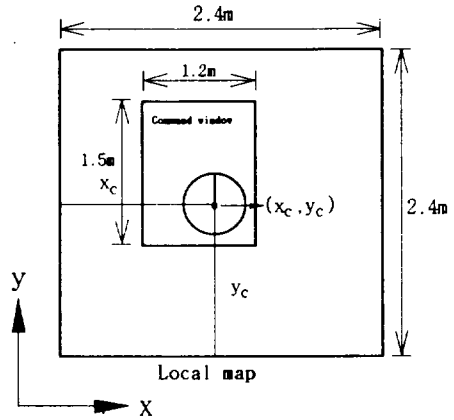
$D_{max}$ 와  $D_{min}$ 은 실제 로봇의 이동특성에 따라 결정되어질 상수이다.  $D_{max}$ 는 로봇의 위치오차가 최대 허용오차 범위내에 들어갈 수 있는 최대 이동거리를 의미한다. 반면에  $D_{min}$ 은 임의의 값이 될 수 있으나 너무 크면 선택되는 길잡이지도의 수가 부족하여 위치오차 보정 효율이 떨어지며 너무 작으면 필요이상의 길잡이지도가 선택됨과 동시에 로봇의 현재 위치오차 범위 내에 여러 개의 길잡이지도의 존재가 문제다. 지도형상은 지도 내에 형성된 물체의 선분 수와 각 선분사이의 각도로서 정의되며, 점령 셀들의 방향을 분류함으로써 이들 정보를 추출한다

#### IV. 실험 및 결과

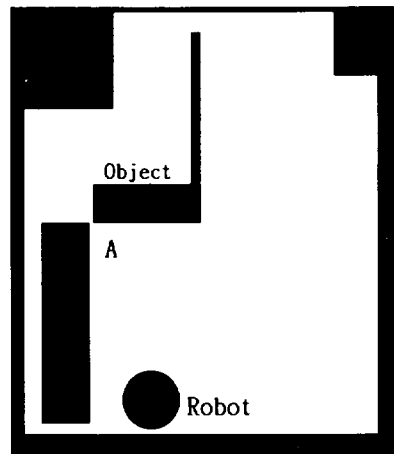
##### 4.1. 로봇의 주행제어 실험

제안된 물체표면 추적제어 방법을 실제 로봇에 적

용하여 그 유용성을 검증하였다. Fig. 4(a)는 국부지도와 명령 지도(command window)의 형상을 나타내며, 명령지도 크기는  $1.2 \times 1.5m^2$ 이고 셀 크기는  $0.05 \times 0.05m^2$  이다. 또한 Fig. 4(b)는 주행제어의 실험환경이다.



(a) Command window



(b) Experimental environment

Fig. 4 Configurations of the command window and the experimental environment

초음파 센서는 로봇 주위에 24개의 원 형태로 장착되어 물체를 감지하며, 최대 감지거리는 4m정도이다. 정상상태에서의 로봇의 최대 속력은 0.02m/sec

이며, 조향 비율은 4단계로 나누어 양쪽 바퀴에 조향 속력을 조정하였다.

샘플링 시간은 0.1초이며, 각 샘플링 시간당 2개의 초음파 센서 데이터와 dead reckoning에 의한 거리 정보를 받아들인다. Fig. 5는 Fig. 4(b)의 A지점에서의 국부지도와 명령지도를 예로 나타낸 것이다. 그림에서 좌측은 명령지도를 나타내고 우측은 국부지도를 나타낸다. 원은 로봇을 표시하며 직선이 가리키는 방향이 로봇의 전진 방향이다. 국부지도의 셀들은 translation 만하고 로봇이 회전하는 반면에, 명령지도에서는 로봇의 방향은 고정되어있고 점령셀들이 로봇이 회전한 반대 방향으로 회전한다. Fig. 6은 물체표면 추적제어를 행한 로봇의 이동경로를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)는 임계거리와 같은 위치에서 출발한 후 곡선벽을 이동한 것이고, Fig. 6(b)는 임계거리 이내에서 출발한 경우의 로봇의 이동경로를 나타낸다.

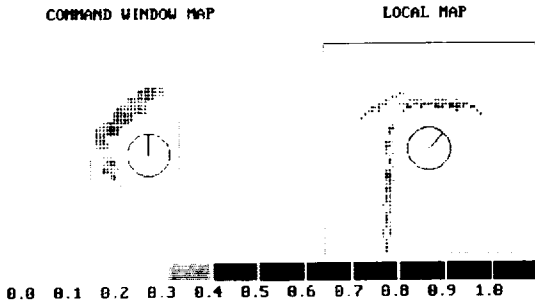
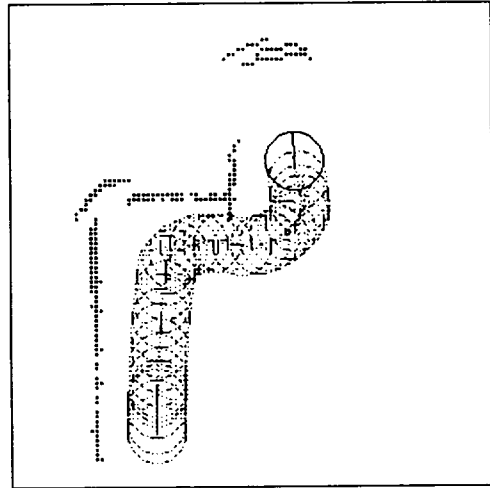


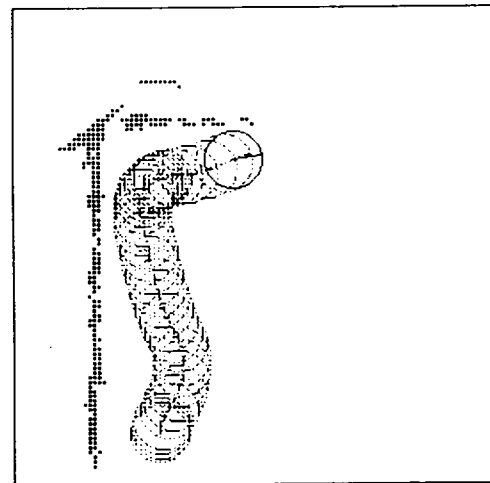
Fig. 5 Example of the local map and the command window at position A

#### 4.2. 길잡이지도 선택

길잡이지도선택 방법에서 설명된 내용들을 토대로 Fig. 7과 같은 작업영역에 대해 길잡이지도 선택실험을 수행하였다. 그림에서 S는 로봇의 출발지점을 나타내며, 초기 주행시에 길잡이지도(base map)가 저장된 부분은 일련번호와 사각형으로 표시되어있다. 길잡이지도의 크기는 48×48셀(2.4m×2.4m)이며 길잡이지도 사이의 최소거리( $D_{min}$ )는 1.8m, 최대거리( $D_{max}$ )는 5.0m로 주었다. 로봇이 작업영역의 벽을 따라 이동하는 도중 4개의 길잡이지도가 선택되어 저장되었으며 이를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서



(a) Results for a cornered wall



(b) The robot was started near the wall

Fig. 6 Experimental results of boundary following control

국부지도는 주행 중 연속적으로 형성된 것으로서 로봇의 중심과 지도의 중심이 일치하며, 이 국부지도상의 점령 셀들이 이루는 도심이 길잡이지도의 중심이 된다.

선택된 길잡이지도와 실제 실험환경을 비교해보면 벽의 모서리 부분들이 길잡이지도로 선택되었으며, 거리기준에 의해 선택되어지는 직선벽 형태는 각 길

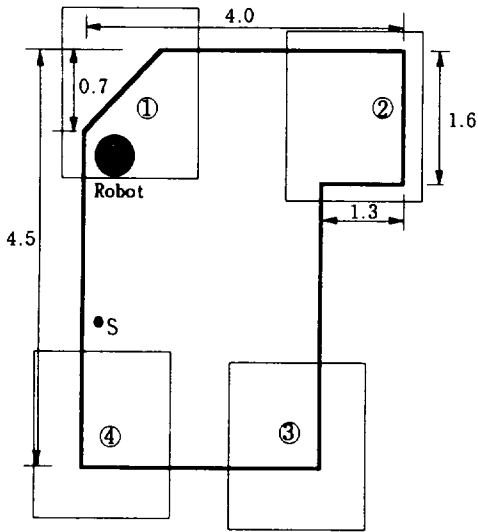


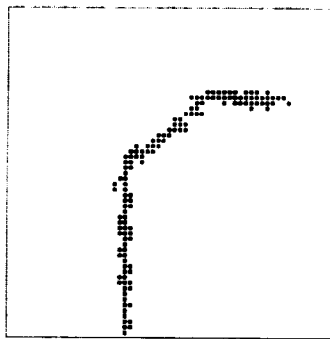
Fig. 7 Experimental environment for position estimation (unit : m)

잡이지도 사이의 거리가 최대거리보다 짧기 때문에 길잡이지도로서 저장이 되지 않았다. 이것은 길잡이 지도를 판단할 때 형상기준이 거리기준보다 우선하기 때문이다.

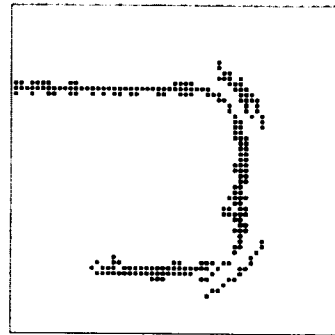
### V. 결 론

본 논문에서는 로봇 스스로가 작업영역내의 특징 있는 부분을 길잡이로 선택하는 알고리즘을 개발하였다. 이를 위해 물체 추적제어 방법도 아울러 연구하였다. 실제 실험을 통하여 개발된 방법의 유용성을 검증하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

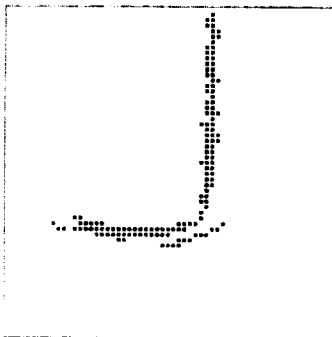
1. 로봇 주위에 대한 국부지도를 형성하여 작업영역에 대한 제한을 극복할 수 있었으며, 형성된 지도의 해상도를 증가시킬 수 있었다.



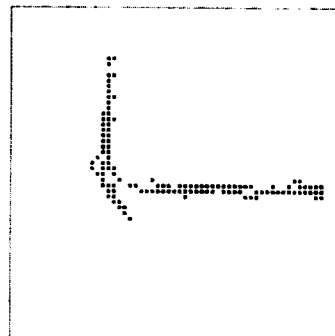
(a) at position ①



(b) at position ②



(c) at position ③



(d) at position ④

Fig. 8 The resulting landmark maps

2. 물체 추적제어에 있어서 불확실성이 큰 센서정보의 신뢰성을 증대시키는 방법으로 국부지도를 이용함으로써 효과적인 제어가 가능하였다.

3. 제안된 길잡이지도 선택 알고리즘을 이용함으로써 작업환경내의 특징 있는 부분의 지도를 효과적으로 선택할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) Leonard, J. and H. Durrant-Whyte, 1991, Mobile Robot Localization by Tracking Geometric Beacons, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp. 367-382.
- 2) Kleeman, L., 1989, Ultrasonic Autonomous Robot Localization System, IEEE/IROS, '89 Tsukuba, Japan, pp. 212-219.
- 3) Hyppa, K., 1989, Lulea Turbo Turtle (LTT), IEEE/IROS, '89 Tsukuba, Japan, pp. 620-623.
- 4) Crowley, J., 1986, Representation and Maintenance of a Composite Surface Model, IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA, USA, pp. 1455-1462.
- 5) Chatila, R. and J. Laumond, 1992, Position Referencing and Consistent World Modeling for Mobile Robots, IEEE International Conference on Robotics and Automation, St. Louis, MO, USA, pp. 138-145.
- 6) Cho, D. W., 1990, Certainty Grid Representation for Robot Navigation by a Bayesian Method, ROBOTICA, Vol.8, pp. 159-165.
- 7) Lim, J. H. and D. W. Cho, 1992, Physically Based Sensor Modeling for a Sonar Map in a Specular Environment, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, pp. 1714-1719.
- 8) 임종환, 조동우, 황진성, 1992, 국부지도를 이용한 자율이동로봇의 실시간 지도형성 및 위치평가, '92대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 614-618
- 9) Lim, J. H. and D. W. Cho, 1994, Real Time Map Construction and Position Estimation for an Autonomous Mobile Robot using Sonar Sensors, ISCA, Vol. 1, No. 2, pp. 171-124.