

# 수동 RFID Tag 를 기반으로 한 이동 로봇의 경로 계획 알고리즘

## The Navigation Algorithm of Mobile Robot based on Passive RFID Tag

지용관<sup>1</sup>, 박장현<sup>1,✉</sup>

Yong Kwan Ji<sup>1</sup> and Jahng-Hyon Park<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 한양대학교 자동차공학과 (Department of Automotive Engineering, Hanyang Univ.)

✉ Corresponding author: jpark@hanyang.ac.kr, Tel: 02-2220-0448

Manuscript received: 2008.10.21 / Accepted: 2009.1.16

*In this paper, a navigation algorithm is proposed using RFID tags in indoor environments. Firstly, a stochastic sensor model of RFID is derived and the design factors including the maximum identifiable distance, the identification direction and the read success rate are obtained through experiments. The obstacle avoidance algorithm is developed with consideration of those factors for a variety of RFID antenna configurations and different indoor environments. The algorithm is tested by computer simulations and implemented on a mobile robot.*

Key Words: RFID Tag (RFID 태그), Obstacle Avoidance (장애물 회피), Mobile Robot (이동 로봇)

### 1. 서론

RFID 를 기반으로 한 이동 로봇의 항법 기술에 대한 연구는 아직 초기단계에 있다. 최근에 이르러 RFID 기술이 이동로봇의 위치인식이나 지도 작성을 위해 적용되기 시작하였으며 대표적인 연구사례로 D.Hahnel, W.Burgard, D.Fox 의 확률적 센서모델을 이용한 "Mapping and Localization"에 대한 연구를 들 수 있다. 그러나 항법이나 주행기술에 적용하기 위한 연구는 아직까지 많이 보고 되지 않고 있다. D.Hahnel 에 의해서 수행된 연구에서는 RFID 리더기의 인식확률 모델을 정의하고 SLAM 기법을 적용하여 환경지도를 작성하였다. 예측된 태그의 위치를 이용하여 로봇의 위치인식 성능이 향상됨을 보여 주었다. 한편, V.Kulyukin 는 시각 장애인을 위한 도우미 로봇에 RFID 기술을 적용하여 경로 추종에 대한 연구를 수행하였다.<sup>1</sup>

현재 항법 기술을 위해 사용되고 있는 여러 가

지 센서들과 비교해 볼 때, RFID 기술은 상대적으로 많은 장점을 가지고 있다. 먼저, 고유의 식별자를 통하여 대상이 무엇인지 즉각적으로 인식할 수 있다. 이점은 입력 정보를 분류하고 대상의 특징을 추출하여 인식하는 기존의 여러 센서들에 비하여 처리 시간과 노력을 줄일 수 있도록 한다.<sup>3</sup> 다음으로, RFID 태그는 동적인 장애물이 존재하거나 복잡한 구조를 가지고 있는 실내 환경에서도 전파 투과성에 의하여 인식될 수 있다.<sup>4</sup> 마지막으로 RFID 의 태그에는 소량의 메모리가 내장되어 있으므로 데이터를 저장할 수 있다. 김원이 연구한 RFID 환경 기반 이동 로봇 시스템에서는 RFID 를 바닥에 바둑판 형식으로 배치하여 로봇의 위치를 추정하도록 하였다.<sup>7</sup> 본 연구에서는 벽면에 RFID 를 부착하거나 각 제품에 바코드 대신 부착되어 있는 RFID Tag 를 이용하였다. 원대회의 확률적 접근 연구에서는 Markov Localization 과 Kalman Filter Localization 알고리즘을 적용하였다.<sup>8</sup>

태그의 종류에 따라 약간의 차이가 있지만 이

동로봇의 경로 설정이나 선택, 주행에 필요한 추가적인 정보들을 제공해 줄 수 있다. 이러한 장점들은 이동로봇의 항법 기술에 효율성을 극대화하고 지능적으로 구현이 가능하게 한다.<sup>2</sup>

본 논문에서는 RFID 의 장점을 이용한 경로 탐색 및 장애물 회피 알고리즘을 제안하고자 한다. 제 2 장에서는 RFID 태그의 위치 추정 기법에 대하여 설명하고, 제 3 장에서는 RFID 를 이용한 경로 계획과 장애물 회피에 대해 설명한다. 제 4 장에서는 시뮬레이션 및 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증한다.

## 2. RFID 태그 기반의 위치추정

RFID 가 설치되어 있는 실내 공간에서 로봇이 원하는 목적지점까지 이동 중에 있을 때, 로봇의 잦은 방향 전환과 많은 이동량은 오도메트리(Odometry) 정보의 오차 누적이 발생된다. 또한, 바퀴의 슬립(slip), 사람이나 물체와의 충돌 등으로 인해 로봇이 알고 있는 오도메트리 정보와 절대 위치 정보와 큰 차이가 발생하는 경우가 발생될 수 있다. 이러한 경우에 이동 로봇은 원하는 목적지까지 정확하게 가기 위하여 오도메트리 정보를 보정하여야 한다. RFID 태그는 부착된 지점에 대한 절대 위치 정보를 저장하고 있으므로 RFID 에 대한 확률 센서 모델과 상대 위치 추정 기법을 통하여 이동 로봇의 현재 위치를 추정해 누적된 오차를 보정한다.

### 2.1 확률 센서 모델

실험을 통하여 리더기와 태그의 상대거리 및 방향 변화에 따라 인식되는 2-Dimension 확률분포를 조사하였다. 리더기를 고정시킨 상태에서 태그를 한 위치에서 10(deg) 단위로 회전시키면서 36 번 회전된 방향에 대한 인식횟수를 알아보고 이를 통해 인식률을 구한다. Fig. 1 은 실험결과를 보여주고 있으며 실험을 통해 원점을 중심으로 확률분포가 대칭인 것을 확인할 수 있다.

실험을 통한 인식에 대한 확률분포를 Discrete-Simplified Sensor Model 로 근사화 시키면 Table 1 과 같다.

Discrete-Simplified Sensor Model 은 실험결과를 10(deg) 단위로 샘플 포인트 (d) 간격으로 나누어 인식확률을 다음의 Fig. 2 와 같은 방법으로 이산화한다.

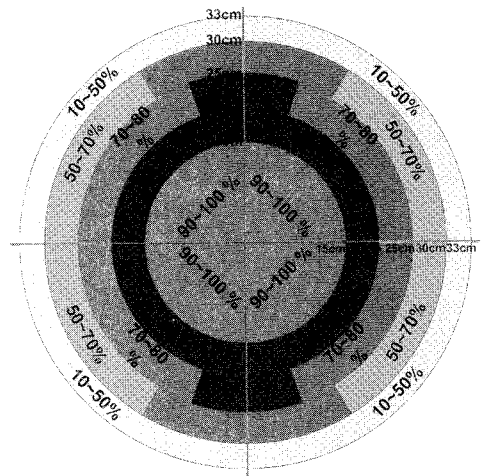
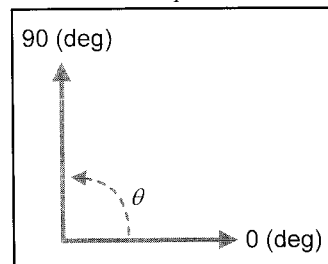


Fig. 1 RFID Stochastic Sensor Model

Table 1 Discrete-Simplified Sensor Model



Deg dist	0	10	20	30	40
d	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
2d	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
3d	0.95	0.95	0.95	0.95	0.85
4d	0.85	0.85	0.85	0.85	0.75
5d	0.75	0.75	0.75	0.6	0.6
6d	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3
7d	0	0	0	0	0
Deg dist	50	60	70	80	90
d	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
2d	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
3d	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95
4d	0.75	0.75	0.82	0.85	0.85
5d	0.6	0.6	0.6	0.85	0.85
6d	0.3	0.3	0.3	0.75	0.75
7d	0	0	0	0	0

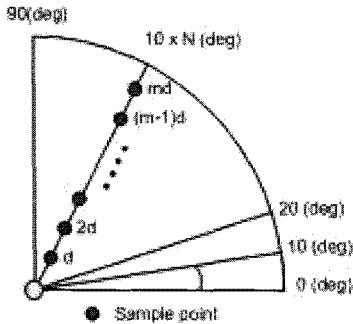


Fig. 2 Probability sensor model of the RFID reader

2.2 위치 추정 기법

위치 추정 기법은 선행 연구에서 제안된 기법인 위치 추정 기법을 이용한다. RFID 안테나의 인식된 태그의 개수에 따라 태그를 이용한 위치 추정 방법을 달리한다. 1 개의 태그가 인식이 되는 경우와 다수의 태그가 인식이 되었을 때 각각 위치 추정 기법[1], [2]의 방법을 이용한다.

위치 추정 기법[1]은 이동 로봇이 이동 중에 1 개의 태그를 인식하였을 경우에 사용 되는 기법이다. 이 기법은 확률 센서 모델을 이용하여 적은 연산량으로 로봇에 상대적인 위치와 방위를 추정할 수 있다. 좌표계는 이동 로봇이 태그가 인식되는 시작 위치를 원점으로 하는 좌표계이며 매 측정순간마다 인식의 방향성과 인식률을 이용하여 확률 센서 모델로부터 태그와의 상대거리와 상대방향을 추정하게 된다.<sup>6</sup>

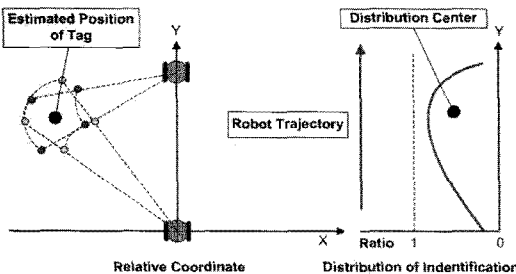


Fig. 3 The method [1] for estimation the relation

추정된 태그의 추정점과 방위각은 좌표 변환 과정을 통해 로봇의 위치를 추정할 수 있다.

위치 추정 기법[2]은 이동 로봇이 이동 중에 다수의 RFID 태그를 인식하였을 경우에 사용되는 기법이다. 이 기법에서는 공통 영역을 도출한다. 공통 영역은 최대 인식 거리를 이용하여 인식된 태그와 태그 사이에서 생성된다. 공통영역을 도출

하기 위하여 격자 영역의 크기를 결정하고, 최대 인식 거리에 따른 원방정식을 사용하여 공통영역을 도출한다. Fig. 4 는 두 개의 태그가 인식되었을 때 공통영역을 나타낸다.

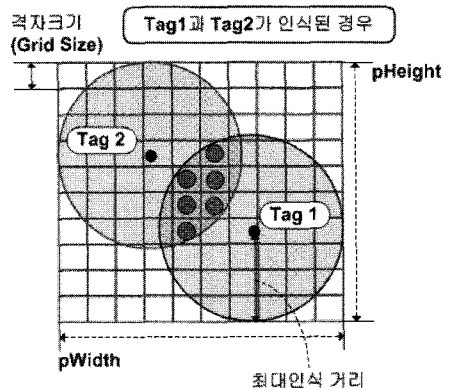


Fig. 4 The Common-area

RFID 리더기를 로봇의 중심에서 회전시켜 인식 방향성과 회전 인식률 인자를 추출한다. 추출된 인자를 사용하여 이동 로봇의 절대 좌표를 결정한다.<sup>5</sup>

2.3 RFID 태그의 종류

태그의 저장 내용은 부착지점의 절대 위치 좌표와 부착 물체의 크기 정보이다. 태그는 지표 태그(Landmark tag), 고정 장애물 태그(Fixed obstacle tag), 이동 장애물 태그(Removable obstacle tag)의 3 가지로 분류를 한다.

지표 태그와 고정 장애물 태그에는 절대 위치와 크기 정보를 저장한다. 이동 장애물 태그는 위치가 수시로 변화될 수 있기 때문에 장애물의 크기 정보만을 갖도록 한다.

2.4 상황 판단 처리기

RFID 를 이용하여 이동 로봇이 목적지까지 이동할 때, 이동하는 순간마다 RFID 안테나를 회전하여 위치를 추정하는 것은 로봇의 이동 속도를 느리게 하여 비효율적이다. 이동 로봇이 목적지까지 정확하고 빠르게 이동을 하기 위하여 본 논문에서는 상황 판단 처리기를 제안한다.

상황 판단 처리기는 안테나에 인식된 태그의 개수, 장애물의 종류(고정/이동 장애물)를 이용하여 구현된다.

우선 RFID 안테나에 인식된 태그의 개수에 따

라 1 개의 태그가 인식되었는지 복수개의 태그가 인식되었는지에 따라 위치 추정 기법[1], [2]를 적용한다.

두 기법을 통해서 얻어진 이동 로봇의 추정 위치와 각 태그에 저장되어 있는 절대 위치 정보를 이용하여 이동 로봇의 오도메트리 정보를 보정한다.

로봇의 이동 중에 유동 장애물 태그나 누락된 고정 장애물 태그가 인식되었을 경우에는 태그의 개수에 따라 위치 추정 기법[1], [2], 태그 정보를 이용한다. 유동 장애물의 경우에는 태그에 절대 위치 정보가 수록되어 있지 않으므로 위치 추정 기법[1], [2]로 추정된 정보만을 이용한다.

상황 판단 처리기는 Fig. 5 에 도식화한 과정으로 구현된다.

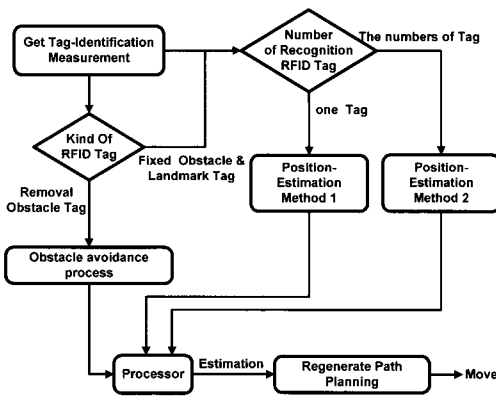


Fig. 5 Flow chart of the Decision-processor

### 3. RFID 를 이용한 경로 계획

이동 로봇이 임의의 실내 환경하에서 시작점으로부터 목적지점에 이르는 최적 경로를 통해 충돌 없이 이동을 하기 위해서는 지도(map)를 작성해야 한다. 지도를 작성하기 전에 선행되어야 할 과제는 로봇이 이동을 하고자 하는 환경을 정확하게 인지하는 것이다. 본 논문에서는 RFID 태그의 인식을 통한 위치 추정과 태그에 저장되어 있는 정보를 이용하여 환경을 인지 하고자 한다.

알려진 환경에서는 2.3 절에서 설명한 3 가지 종류의 태그 정보와 사전에 입력된 환경 정보를 분석해서 최적 경로를 결정하고 로봇이 그 경로를 따라 이동한다. 이동 중에 유동 장애물이나 사전에 입력되지 않은 고정 장애물의 태그가 인지가

되었을 경우에는 장애물 회피를 통해 회피를 하고 환경 정보를 재구축한다. 재구축된 환경을 분석해서 최적 이동 경로를 결정해 이동을 한다.<sup>7</sup>

### 3.1 경로 계획 및 지도 작성

본 논문에서는 지도를 작성하기 위하여 거리 변환법(Distance Transform)을 적용하고 RFID 태그 인식 및 태그 정보를 이용하여 최적 경로를 찾는다.

거리 변환법은 목적 지점으로부터 시작지점에 이르는 통과 가능한 경로를 검색하여 경로 계획을 한다. 경로 계획은 로봇이 도착하여야 하는 목표 지점을 초기 위치로 설정하고 시작 지점에서 목적 지점까지의 구간을 장애물이 있는 구간과 없는 구간으로 분류한다. Fig. 6 과 같이 각 구간은 정사각형의 격자로 구성되며 각각의 격자들은 거리정보를 갖게 된다. 각 격자의 거리 정보를 부여하는 작업은 목적지점에서 시작하여 로봇의 시작지점까지 진행된다. 거리정보 부여는 목적지점과 인접해 있는 격자에 격자의 수를 증가 시키는 방법으로 거리정보를 부여한다.<sup>2</sup>

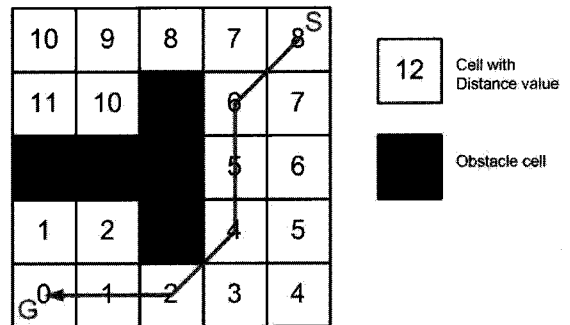


Fig. 6 Distance Transform and resulting path

시작지점에서 목적지점까지의 최적 경로는 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 각 격자의 거리 정보를 탐색하여 최소의 거리를 갖는 격자를 검색하여 경로를 계획한다.

### 3.2 유동 장애물 회피

알려져 있는 환경하에서는 사전에 입력된 정보와 지표 태그 및 고정 장애물 태그의 정보를 분석한다. Fig. 7-A 처럼 로봇의 이동 경로는 앞에서 설명한 거리변환법을 이용하여 경로를 계획한다. 그러나 의자, 박스와 같이 위치가 수시로 변하는 유

동 장애물은 Fig. 7-B 처럼 로봇의 최적 경로에 위치하게 되면 로봇의 이동에 방해가 된다.

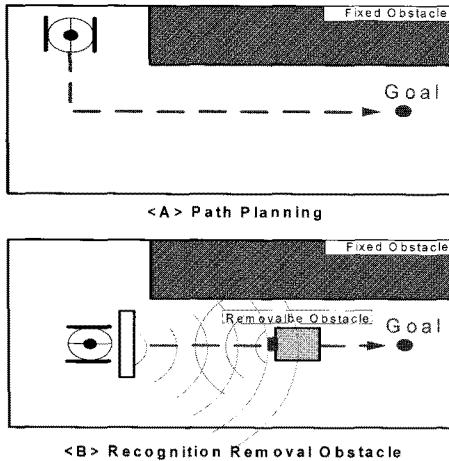
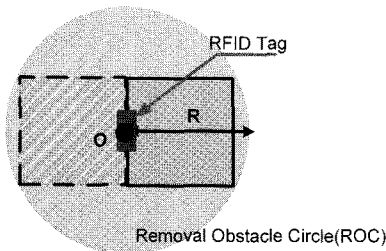
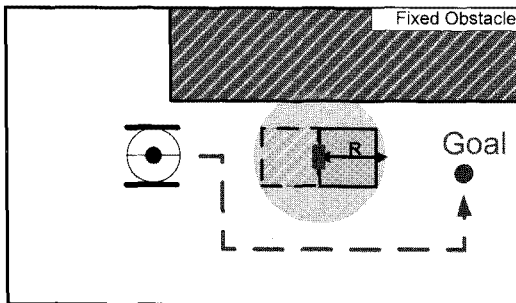


Fig. 7 Recognition Removal Obstacle



<A> Create Removal Obstacle Circle



<B> Regenerate Path Planning

Fig. 8 Obstacle Avoidance using RFID Tag

이와 같이 위치 정보를 특정 지을 수 없는 유동 장애물이 감지가 되었을 경우에 이동 로봇은 유동 장애물에 부착되어 있는 태그의 물체 크기 정보를 이용한다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이, 우선 RFID 안테나를 회전하여 주변에 배치되어 있는 태그를 검색한다. 인식된 태그의 개수에 따라 위

치 추정 기법[1], [2]를 적용하여 로봇이 위치한 위치를 추정하도록 한다. 추정한 위치를 생성할 원의 중심점(O)으로 잡는다. 원의 반지름(R)은 태그에 수록되어 있는 물체의 크기 정보중에서 길이, 폭중에서 큰 값을 지정한다. 추정 위치 값(O), 물체의 크기(R)를 이용하여 Removal Obstacle Circle(ROC)을 생성한다.

유동 장애물에 부착된 RFID 태그의 위치는 각 장애물에 따라 다를 수 있다. 태그의 부착 위치는 규정된 규약에 따라 부착되는 것이 아니고, 유동 장애물의 위치도 추정된 값이다. 이러한 이유로 이동 로봇이 주어진 공간 상에서 이동이 가능하도록 물체의 크기 정보를 이용하여 ROC 를 생성하였다.

이동 로봇은 유동 장애물이 인식된 시점에서 생성된 ROC 를 적용하여 경로를 재탐색하여 최적의 경로를 찾는다.

#### 4. 실험

본 논문에서 제안한 경로 계획 및 장애물 회피 알고리즘을 검증하기 위하여 13.56MHz 의 RFID 를 사용하였다. RFID 안테나의 확률 센서 모델과 위치 추정 기법 [1], 위치 추정 기법 [2], 상황 판단 처리기를 이용하여 실험을 수행하였다.

본 논문에서 사용한 13.56MHz 의 RFID 안테나의 최대 인식 거리는 30cm 이며, 4.2mx7.5m 의 공간상에서 벽과 고정 장애물에는 10cm 간격으로 태그를 배치하였다. 거리변환법에 사용된 격자의 크기는 30cmx30cm 의 격자로 구성하였다. 배치된 태그는 배치된 지점의 절대 위치 정보 및 부착 물체의 크기 정보를 저장하고 있다. 유동 장애물의 경우에는 물체 크기 정보만을 저장하고 있다. 이동 로봇이 주행하는 공간은 사전에 입력된 공간이며 두 가지 경우에 대해서 실험을 수행하였다.

첫 번째, Fig. 9 는 고정장애물만 존재하는 환경에서 로봇이 이동하는 실험 결과이다. 이 결과는 사전에 입력된 환경 정보를 바탕으로 거리변환법을 이용하여 최적 경로(빨간색 실선)을 생성한다. 파란색 실선은 생성된 경로를 따라 이동 로봇이 이동한 궤적으로서 생성된 최적 경로에서 크게 벗어나지 않고 이동함을 보여주고 있다. 각 방향 전환 구간에서는 RFID 태그의 인식을 통해서 생성된 최적 경로를 벗어나지 않으며 고정 장애물과 충돌하지 않고서 이동함을 보여주고 있다. 시작점

과 목적지점을 직선으로 한 이동 경로도 있을 수 있으나, 격자의 거리 정보와 RFID Tag 에 의해서 Fig. 9 의 이동 경로가 보다 효과적인 경로로 판단 되어 실험을 수행하였다.

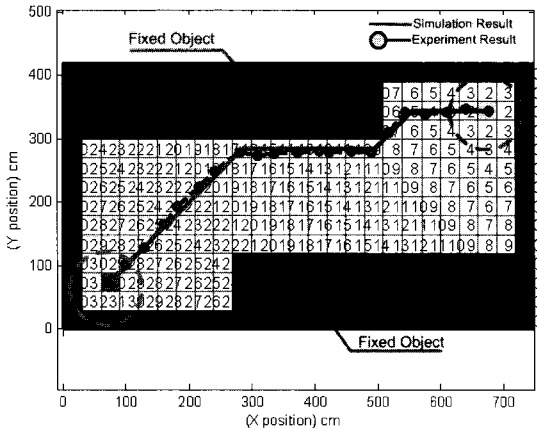


Fig. 9 Simulation & Experiment result in fixed obstacle environment

두 번째, Fig. 10 은 앞의 실험 환경에서 유동 장애물이 로봇의 최적 경로에 위치하여 로봇이 유동 장애물을 회피하여 이동하는 실험 결과이다. 로봇이 거리변환법에 의해서 생성된 최적 경로를 따라 이동 중에 사전에 입력되지 않은 유동 장애물의 RFID 태그를 감지하였다. 감지된 태그의 저장 정보 중에서 물체 크기 정보와 위치 추정기법을 적용하여 유동 장애물의 위치를 추정하였다. 추정된 정보를 바탕으로 유동 장애물이 인식된 위치에서

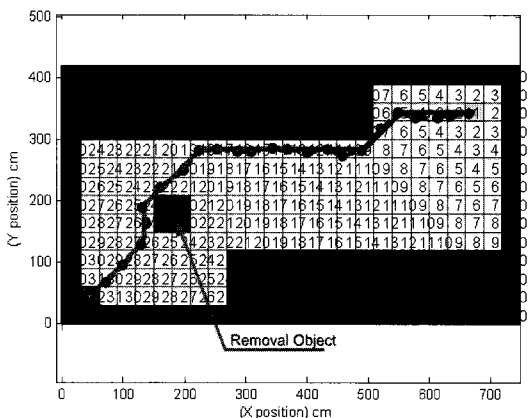


Fig. 10 Simulation & Experiment result in unfixed obstacle environment

유동 장애물과 충돌하지 않고 이동하기 위한 새로운 최적 경로(빨간색 실선)을 생성한 후에 생성된 경로를 따라 이동로봇이 이동함(파란색 실선)을 보여주고 있다. 실험결과에서 보는 바와 같이 생성된 최적 경로에서 크게 벗어나지 않고 이동함을 볼 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 Passive RFID 태그를 이용하여 이동 로봇의 경로 계획 및 장애물 회피 알고리즘과 각 상황을 고려한 상황 판단 처리기를 제안하였다. 거리변환법 및 장애물 회피 알고리즘을 통해 주어진 환경에서 목적하는 위치로 이동하기 위한 경로 계획을 수행한다. 수행된 경로를 따라 이동 로봇이 이동을 할 때 위치 추정 기법과 상황 판단 처리기를 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하고 보정함을 실험을 통하여 검증하였다.

그러나 본 논문에서 사용된 13.56MHz 의 RFID 장비는 인식 거리가 짧아 많은 양의 태그를 배치하여야 한다. 또한, 유동 장애물에 1 개의 태그가 부착되어 있고 크기가 큰 경우에는 짧은 인식 거리로 인해 충돌의 위험이 존재한다.

짧은 인식 거리를 보완하기 위하여 향후 연구 과제로는 초음파 센서, 적외선 센서, 비전 카메라와 같은 센서들과 RFID 기술을 융합하여 로봇이 자유롭게 이동할 수 있도록 하는 연구가 요구된다.

### 후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 선도연구자 지원으로 수행되었음(과제번호: 2005-000-0000-1990 ).

### 참고문헌

1. Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. and Philipose, M., "Mapping and Localization with RFID Technology," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 1015-1020, 2004.
2. Siegwart, R. and Nourbakhsh, I. R., "Introduction to Autonomous Mobile Robots," The MIT Press, pp. 272-290, 2004.
3. Kulyukin, V. V., Gharpure, C., Nicholson, J. and Pavithran, S., "RFID in Robot-Assisted Indoor Navigation for the

- Visually Impaired,” Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp. 1979-1984, 2004.
4. Finkenzeller, K., “Radio-Frequency Identification Fundamentals and Application,” John Wiley & Sons Ltd., pp. 150-161, 2000.
  5. Moon, S.-W., Ji, Y.-K. and Park, J.-H., “An Intelligent Estimation Method of Robot-location based on Passive RFID Tags in Static Position,” Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 9-14, 2006.
  6. Won, J.-U. and Lee, K.-S., “Obstacle Avoidance of an Autonomous Mobile Robot,” IEEK(The Institute of Electronics Engineers of Korea) Automatic Control Spring Conference, Vol. 1, pp. 777-781, 1994.
  7. Kim, W., “A Mobile Robot System Based on RFID Environment,” Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 5, No. 4, pp. 25-30, 2007.
  8. Won, D., Yang, G.-W., Choi, N.-S., Park, S.-D. and Lee H., “A Probabilistic Approach for Mobile Robot Localization under RFID Tag Infrastructures,” Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1034-1039, 2005.