

이중 랜드마크 인식 기반 AGV 이동 제어

전혜경*, 홍윤식^o

A Moving Control of an Automatic Guided Vehicle Based on the Recognition of Double Landmarks

Hye-Gyeong Jeon*, Youn-Sik Hong^o

요약

본 논문에서는 화장장이란 특수한 실내 공간에서 시신을 최종 목적지인 화장로까지 안전하게 운구할 수 있는 무인이송차량(AGV)의 이동 제어 문제를 다루고자 한다. 바닥에 유도라인을 매립하는 방식은 화장장 환경에 적합하지 않기 때문에, 적외선 센서 기반 AGV 이동 궤적 제어 방식을 제안한다. 이 방식은 AGV가 근적외선을 방사하여 미리 부착된 랜드마크(landmark) 판독을 통해 해당 경로를 따라 주행하게 된다. 이러한 방식이 갖는 문제점은 랜드마크 배열 과정에서 사각 지역(dead zone) 및 중첩 지역(overlap zone)이 존재할 수 있다는 점이다. 이를 해결하기 위해 이중 랜드마크 인식을 통해 센싱 과정에서의 오차 발생 과정을 최소화할 것이다. 또한, 화장로에 진입하기 위한 회전 구간에서는 회전 직후 화장로의 진입로와 일직선을 유지하도록 AGV 안쪽 바퀴와 바깥쪽 바퀴의 가속도 제어를 위한 알고리즘을 제안할 것이다. 본 논문에서 제안한 방식은 모의 차량에 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 실제 국내 화장장에 본 논문에서 개발한 AGV 시스템을 적용하여 오차 범위 내에서 동작함을 확인하였다.

Key words : AGV, Position-Tracking, Crematorium, Infrared ray, landmark, 위치추정, 적외선

ABSTRACT

In this paper the problem of a moving control of an automatic guided vehicle(AGV) which transports a dead body to a designated cinerator safely in a crematorium, an special indoor environment, will be discussed. Since a method of burying guided lines in the floor is not proper to such an environment, a method of moving control of an AGV based on infrared ray sensors is now proposed. With this approach, the AGV emits infrared ray to the landmarks adheres to the ceiling to find a moving direction and then moves that direction by recognizing them. One of the typical problems for this method is that dead zone and/or overlapping zone may exist when the landmarks are deployed. To resolve this problem, an algorithm of recognizing double landmarks at each time is applied to minimize occurrences of sensing error. In addition, at the turning area to entering the designated cinerator, to fit an AGV with the entrance of the designated cinerator, an algorithm of controlling the velocity of both the inner and outer wheel of it. The functional correctness of our proposed algorithm has been verified by using a prototype vehicle. Our real AGV system has been applied to a crematorium and it moves automatically within an allowable range of location error.

* 본 연구는 한국연구재단 일반연구 계속과제(2011년도) 지원에 의하여 연구되었음.

• 주저자 : 인천대학교 컴퓨터공학과 모바일컴퓨팅 연구실, hkjeon@andtechkor.co.kr, 정회원

o 교신저자 : 인천대학교 컴퓨터공학과 모바일컴퓨팅 연구실, yshong@incheon.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-04-210, 접수일자 : 2012년 4년 19일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 11일

I. 서 론

무인이송차량은 레일과 같은 고정 궤도를 설치하고 대차(vehicle)를 주행시키는 RGV(Railway Guided Vehicle)와, 자기(磁氣), 레이저 빔, 초음파, 자이로(Gyro) 유도 등을 이용해 고정 궤도 없이 주행시키는 AGV(Automatic Guided Vehicle)로 구분할 수 있다. 최근에는 USN 기술의 발전으로 상대적으로 비용이 적게 들면서 실적이 용이한 AGV 방식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, AGV를 생산 및 조립 공정에서의 단순 운반 장치가 아니라 자동창고 시스템 등 CIM, FSM(Flexible Manufacturing System) 등과 같이 통합 자동화 시스템의 핵심 구성 요소로 활용하려는 경향이 두드러지고 있다.

국내 장묘문화인식 변화에 따른 화장장 시설 현대화 추세에 맞추어 현재 화장장에서는 시신 운구(運柩)를 위해 대차 운반차를 사용하고 있으나, 이동 과정에서의 소란스러움 등으로 인해 화장장의 정숙하고 엄숙한 분위기를 해치고 있다. 따라서 최근 신설되는 화장장에서는 유인 수동 대차 운반 대신 무인이송차량(AGV)으로 대체하려는 추세이다.

본 논문에서는 화장장이란 특수한 실내 공간에서 무인대차(無人臺車, 무인이송차량, 이하 AGV)에 시신을 실은 위치로부터 최종 목적지인 화장로까지 시신을 안전하게 운구할 수 있는 문제를 다루고자 한다(그림 1). 화장장은 일반 산업 현장에 비해 작업 공간이 매우 협소(회전 반경이 3m 이내)하기 때문에, 장애물과 충돌하지 않고 목표 지점인 화장로까지 주행할 수 있도록 정밀한 주행 제어가 필요하다.

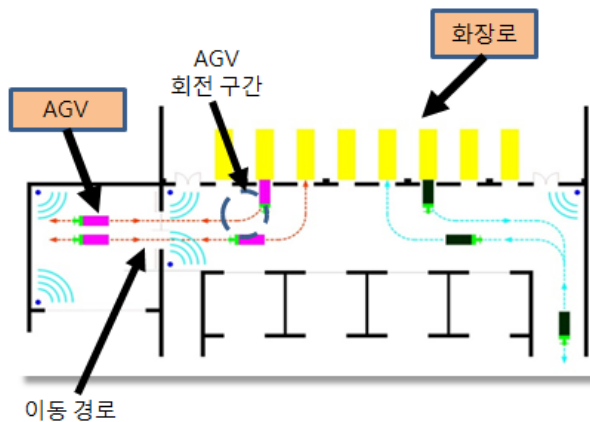


그림 1. 화장장에서 AGV를 이용한 시신 운구
Fig. 1. A cortege headed for cinerator using AGV in a crematorium

특히 그림 1에 나타난 것처럼, AGV가 지정된 로(廬)에 진입하기 위해서는 90도 회전을 통한 방향 전환이 필요하다. AGV는 직선 구간에서는 등속(等速)으로 이동하지만, 회전 구간에서는 가속 또는 감속 이동을 통해 회전 직후 AGV와 화장로가 일직선이 되도록 제어해야 한다.

현재 산업현장에서의 AGV는 각 공장 특성에 맞게 커스터마이징되어 운용되고 있으나, 대부분 유도 라인을 따라 주행하는 방식이다. 따라서 이동방향 탐색 등과 같은 기술 개발보다는 주로 AGV 본체를 포함, 주행장치, 제어장치, 전원공급장치 등 주요 부품 개발에 주력하고 있는 실정이다. 특히 화장장용 AGV는 실외에서 실내로 진입하기 때문에, 실내외에서 AGV 이동 궤적을 정확하게 제어할 수 있어야만 하는데, 현재 설치되어 있는 화장장의 유도 라인 방식은 (특히 실내에서) 차량 하중으로 인한 유도라인 손상 등으로 안전성 문제가 발생할 가능성이 높다. 또한, 초음파 센서에 의한 장애물 탐지 및 실내 위치 추적 방식은 화장장 바닥재가 대리석인 점을 고려할 때 정확도가 크게 떨어진다.

최근에는 유도라인 방식 대신 이동 궤적 추적이 가능한 위치인식 센서 기반 AGV 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 본 논문에서는 적외선 센서를 이용하여 이동 경로 상에 부착한 랜드마크(landmark) 판독을 통해 AGV가 해당 경로를 따라 움직이도록 구현하고자 한다. 이러한 방식이 갖는 문제점 중 하나는 랜드마크 배열 과정에서 사각 지역(dead zone) 및 중첩 지역(overlap zone)이 존재할 수 있다는 점이다. 이로 인해, AGV가 랜드마크를 제대로 인식하지 못할 수 있으며, 위치 추정 오차가 커져 자신의 절대 위치를 부정확하게 인지하게 된다. 위치 추정 오차가 크면, AGV 주행 시 흔들림이나 심각한 경로 이탈이 발생할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 AGV 주행 시 인식된 랜드마크의 자료와 구동부의 주행정보를 분석한 값을 상호 보정하여 계산하도록 할 것이다. 이를 토대로 임계값(threshold)을 구하고, 임계값 범위에서 벗어나는 위치 추정 결과는 AGV 제어 과정에 반영하지 않음으로써 위치 추정 오차를 감소시키고자 한다. 즉, AGV의 현재 위치 정보를 확인한 직후, AGV 운행 중 구동부의 바퀴 회전 정보를 전달받아 이동 거리를 계산한다. 이를 AGV의 현재 좌표와 비교하여 그 차이가 일정 범위를 벗어나면 임계값을 초과한 것으로 판단한다.

또한 적외선 카메라가 한 개의 랜드마크만을 판

독하던 것을 동시에 2개의 랜드마크를 판독하도록 하여 센싱 과정에서의 오차 발생 가능성을 감소시키고자 한다.

한편, 외부 환경 변화에 따른 적외선 카메라의 센싱 오차를 줄일 수 있는 방안도 제시할 것이다. 특정 시간대(11:00~15:00)에 빛이 강하게 투과되는 현상을 없애기 위해 일정 적외선만 통과되는 적외선 필터 및 색유리를 카메라 안쪽과 바깥쪽에 설치할 것이다.

위에서 언급한 방법들을 적용하여 AGV의 위치 추정 오차를 최소화하여, 화장장의 AGV 특성에 맞게 흔들림 없이 이동 궤적을 주행할 수 있도록 할 것이다. 특히 화장장의 바닥이 대리석으로 되어 있기 때문에, 시신 탑재 또는 미 탑재에 따른 AGV의 하중 변화를 고려하여 AGV가 미끄러지지 않도록 주행 속도를 제어할 것이다.

기존 방식 중 RFID 기반 위치 인식 기법[8]의 경우 고정된 위치에 리더기와 참조 태그가 배치된 환경에서 태그가 부착된 이동 객체의 위치 정보를 연산하는 방식이다. 태그에 비해 고가인 리더기의 수를 최소화하기 위해 참조 태그 방식을 도입했으나, 리더기의 위치가 고정되어 있어 리더기의 인식 범위를 벗어난 이동 객체는 인식되지 못하는 단점이 있다. 반면, 본 논문에서 제안하는 방식은 이동 객체에 적외선 센서가 장착되어 있어, 이동 객체가 직접 랜드마크를 인식해 자신의 위치를 파악하는 방식이다. 뿐만 아니라 적외선 센서 기반 인식 방식에 비해 RFID 방식이 태그 인식 거리가 훨씬 짧은 단점이 있다.

바코드(bar code)를 랜드마크로 사용하여 모바일 로봇의 위치를 인식하는 방식[9]도 제안되었다. 그러나 이 방법은 인식 기기의 성능 한계로 인해 위치 인식 오차 가 최소 cm 단위에서 최대 m 단위 까지 발생할 가능성이 있다. 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 인식에 관한 연구 [10]는 상대 위치 인식 및 절대 위치 인식 모두 정밀하지만, 제한된 작업 공간 내에서만 위치 인식이 가능하다는 점과 모바일 로봇이 반드시 랜드마크를 인식할 수 있는 위치에 놓여있어야 한다는 한계점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 화장장용 AGV의 구동 및 센싱 모듈 구현에 대해 설명할 것이다. 3장에서는 제안한 방법들의 적용 타당성을 검증하기 위해 실험실 수준에서 진행된 시뮬레이션 및 테스트 결과를 제시할 것이다. 또한 이를

토대로 실제 화장장에 적용한 AGV 구현 결과를 설명할 것이다. 4장에서는 현장 적용 결과에 근거한 본 논문에서 제안한 방법의 효용성 및 향후 활용 방안에 대해 논의할 것이다.

II. 본 론

2.1. 시스템 개요

AGV는 그림 2에 보인 것처럼 모터부, 제어부, 센서부로 나눌 수 있다. 센서부는 랜드마크를 검출하는 역할을 한다. 즉, 발광부에서 적외선을 발광시키면 수광센서가 이 빛을 받아들이는 방식이다. 센싱 과정에서의 오차 발생 가능성을 줄이기 위해, 한번에 2개의 랜드마크를 인식할 수 있도록 구현하였다.

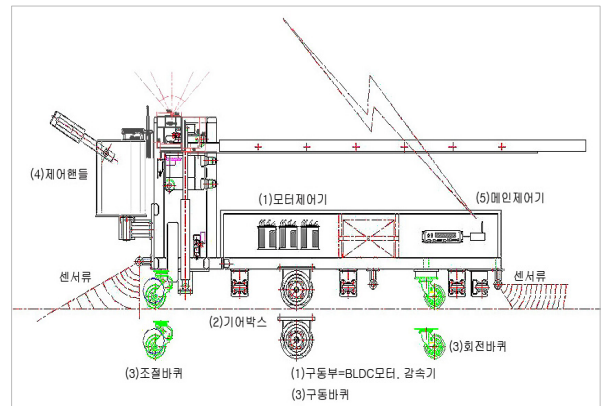


그림 2. AGV 설계도
Fig. 2. The blueprint of an AGV

제어부는 AGV 주변 온도가 300도가 넘는 상황을 고려하여 PLC로 구현하였으며(그림 3), 센서부에서 입력받은 데이터(즉 3차원 위치 좌표)를 분석하여 모터부의 바퀴 회전을 제어하도록 하였다.

그림 3에 보인 것처럼 AGV는 자신의 실내 위치 정보 및 이동 궤적에 대한 정보를 무선 LAN을 통해 통합 관제 시스템에 전송한다. 또한 이동 중에 충돌 가능성을 최소화하기 위해 초음파센서(충돌방지), 포토센서(정밀 유도) 등의 추가 센서를 장착하고 있다.

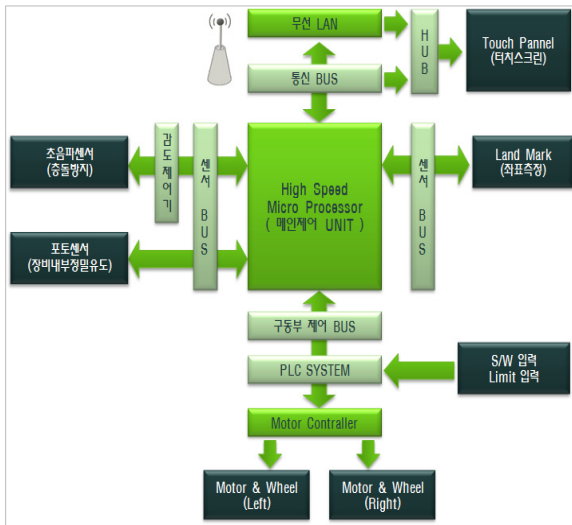


그림 3. AGV 시스템 전체 동작 개요
Fig. 3. A behavioral overview of the AGV system

2.1.1. 바퀴 이동 궤적 제어

AGV는 좌측과 우측 바퀴에 부착된 모터의 회전으로 전진 및 후진 할 수 있으며, 좌우 바퀴의 회전량의 차를 이용하여 좌회전 및 우회전 할 수 있다. AGV가 지정된 화장로에 진입하기 위해서는 90도 회전을 통한 방향 전환이 필요하다. AGV는 직선 구간에서는 등속(等速)으로 이동하지만, 회전 구간에서는 가속 또는 감속 이동을 통해 회전 직후 AGV와 화장로가 일직선이 되도록 제어해야 한다. 그러나 AGV가 회전 할 때 가속도가 반영된 경우 회전 중심이 이동하기 때문에 회전 위치가 달라진다.

그림 4에서 가속도 a로 회전할 경우 바퀴의 이동 궤적은 삼각형으로 표시되어 있다. 그림 4에 나타난 것처럼 AGV가 가속도 a로 회전할 경우 회전 중심이 점차 안쪽에서 바깥쪽으로 이동함을 알 수 있다. 반면, AGV가 등속 운동으로 회전할 경우 회전 중심은 일정하다. 등속 회전할 경우 바퀴의 이동 궤적은 사각형으로 표시되어 있다(그림 4).

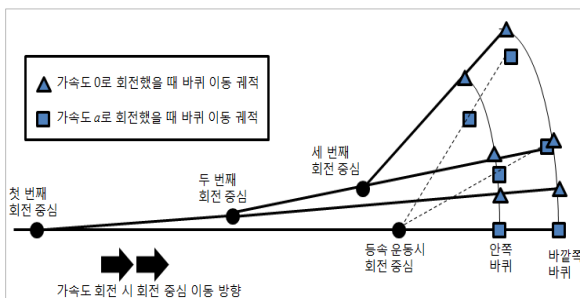


그림 4. AGV 회전에 따른 바퀴 이동 궤적 추적
Fig. 4. A trace of its wheels while the AGV turns

(가) 바퀴의 이동 궤적 추적 알고리즘

반지름이 r이고, 호(arc)의 각도가 A radian 일 때, 호의 길이는 Ar이다(그림 5). 회전 원점으로부터 안쪽 바퀴와 바깥쪽 바퀴의 거리가 각각 r1, r2 일 때, 회전 반지름의 비는 호의 길이와 비례한다(식(1)).

$$r1 : r2 = Ar1 : Ar2 \quad (1)$$

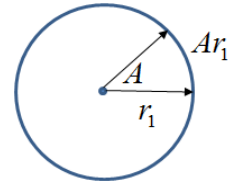


그림 5. 바퀴 이동 거리 계산
Fig. 5. Calculation of moving distance of a wheel

바퀴 간 간격을 d 라고 하면,

$$r1 : (r1 + d) = Ar1 : Ar2 \quad (1)$$

식(1)로부터 반지름 r1에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$r1 = \frac{d \times Ar1}{Ar2 - Ar1} \quad (2)$$

회전 상대각 및 절대각을 구하여 회전 후의 바퀴의 좌표를 계산한다. 가속도(가속/감속)가 있는 경우 단위 회전식에 대해 단위 회전각을 점점 작게 하여 미분(또는 극한값)으로 구할 수 있다. 그러나 계산 복잡도와 계산 시간 등을 고려할 때 이 방식은 비효율적이다. 따라서 가속도가 있을 경우에는 n개의 등속 구간으로 분할해서 반복 계산하는 방법을 적용할 것이다.

(나) 회전원점 계산

안쪽 바퀴와 바깥쪽 바퀴의 이동거리인 호의 길이 L1과 L2는 운행 속도(회전수) 및 운행 시간에 따라 정해진다. r1, r2 및 이동거리 L1, L2를 모두 구하면, 2차원 평면 좌표계에서 이동 전 바퀴의 좌표(x1, y1)와 이동 후 바퀴의 좌표(x2, y2)의 비율 관계를 고려(식(3))하여 원점의 좌표(x0, y0)를 구할 수 있다.

$$(y1 - y0) : (y2 - y0) = r1 : r2 \quad (3)$$

식(3)으로부터 y0를 구하면 식(4)와 같다.

$$y0 = \frac{r2 \times y1 - r1 \times y2}{r2 - r1} \quad (4)$$

마찬가지 방법에 의해 x_0 를 구할 수 있다(식(5)).

$$x_0 = \frac{r_2 \times x_1 - r_1 \times x_2}{r_2 - r_1} \quad (5)$$

2.1.2. 센싱 오차를 최소화한 이중 랜드마크 인식

적외선 센서 기반 위치 추정 방식은 1개의 랜드마크를 인식하여 ID, 각도 및 3차원 위치 좌표를 추정한다. 그러나 랜드마크(그림 6)는 checksum 기능을 제공하지 않아, 랜드마크로부터 읽어 온 데이터가 정상인지 오류가 포함된 것인지 확인할 수 없다. 따라서 랜드마크 인식 직후부터 다음 랜드마크에 도달할 때까지 신뢰성이 보장되지 않은 정보를 계속 사용하게 된다.



그림 6. 4x4 랜드마크
Fig. 6. A 4x4 landmark

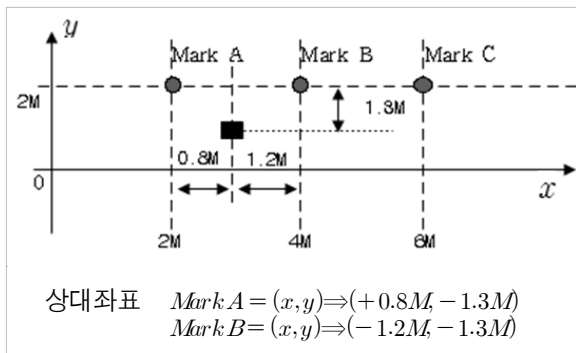


그림 7. AGV 현재 위치 계산
Fig. 7. Calculation of a current position of the AGV

이러한 문제를 해결하기 위해, 2개의 랜드마크를 인식하도록 하였다. 즉 직전 위치 좌표를 checksum을 위한 기준 값으로 사용하고, 이를 2개의 랜드마크에서 보내 온 위치 좌표와 비교함으로써 위치 추정 오차 발생 가능성을 줄이고자 하였다. 예를 들면, 그림 7에 보인 것처럼 2개의 랜드마크 A 및 B와 AGV(사각형 표시)와의 상대 위치 정보를 구한다. 2개의 랜드마크와 AGV간 y축의 상대 위치가 -1.3m로 같으므로, 인식 오류는 없는 것으로 판단하게 된다.

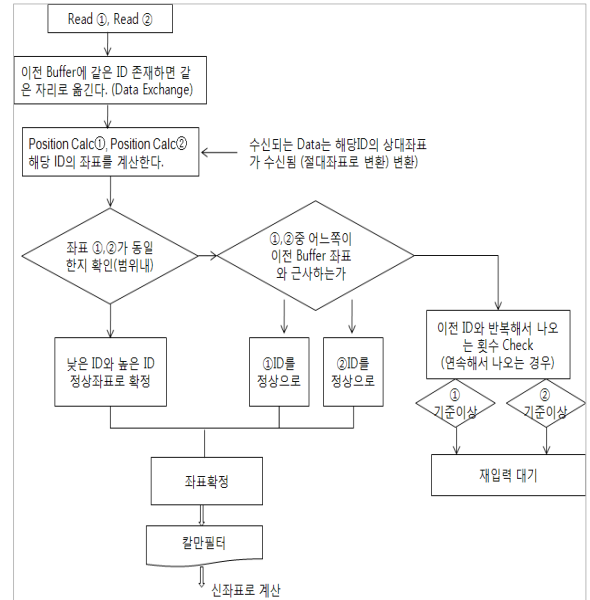


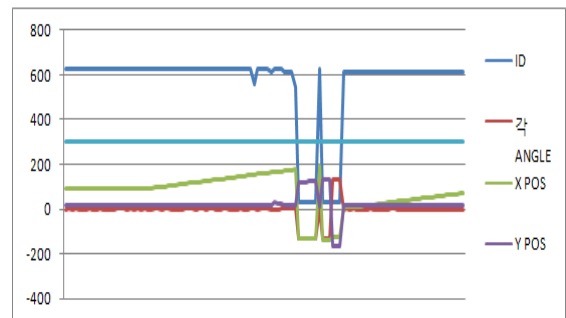
그림 8. 이중 랜드마크 기반 위치 추정 알고리즘
Fig. 8. A position estimation algorithm based on double landmarks

그러나 각 랜드마크와 AGV 간 x축 또는 y축 좌표가 다를 경우, AGV가 이전에 갖고 있던 좌표 정보(버퍼에 저장)를 기준으로 선택하게 된다.

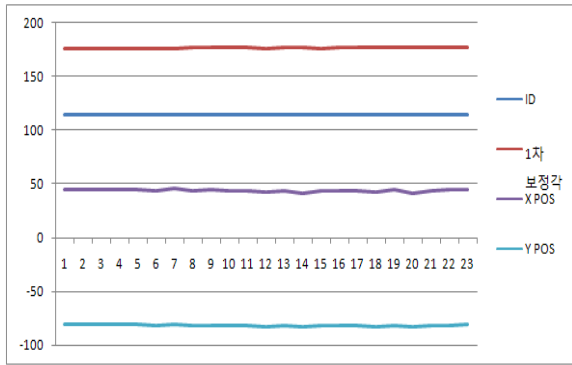
그림 9(a)에 보인 것처럼 1개의 랜드마크만을 사용할 경우 부정확한 데이터가 빈번하게 수신(1회 주행 시 최소 3번 이상)됨을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 보정 방식을 적용할 경우 위치 및 ID 정보를 안정적으로 수신함(그림 9(b))을 알 수 있다.

그림 8에 나타낸 것과 같이 이중 랜드마크 알고리즘 적용 직후에, 잡음 등 간섭 신호를 제거하는 칼만 필터를 통해 필터링 한다

실제로 필터링은 기본필터링 작업 외에 좌표 센서의 기본 오류특성을 분석하여 보정 시 추가한다. (그림 9).



(a) 위치 추정 보정 전 데이터



(b) 위치 추정 보정 후 데이터

그림 9. 이중 랜드마크 인식 기술 적용 전후 비교
Fig. 9. A comparison of the experimental results without and with applying the double landmarks techniques

III. 실험

3.1. 실험 1: AGV 90도 방향 회전 시뮬레이션

회전 구간에서 AGV의 바퀴 이동궤적 제어를 위한 수식의 타당성 검증 실험을 진행하였다. 그림 10에서 알 수 있는 것처럼, AGV의 안쪽 바퀴와 바깥쪽 바퀴 간 간격은 750mm로 설계되었다. AGV의 안쪽 바퀴 및 바깥쪽 바퀴와 회전 중심과의 거리는 각각 500mm, 1,250mm이다.

따라서 AGV가 회전하기 직전 안쪽 바퀴 및 바깥쪽 바퀴의 좌표를 각각 (500,0), (1250,0)으로 설정하였다(그림 11, 그림 12).

AGV가 시계방향으로 회전하는 상황을 가정하였으며, 정밀한 값을 구하기 위해서 각도 1도 단위로 실험을 진행하였다.

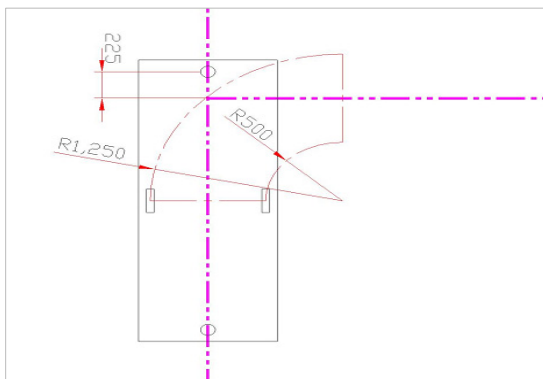


그림 10. AGV 바퀴회전 도면
Fig. 10. A blueprint of traces of the AGV wheels

| | A | B | C | D |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 1 | x1 | y1 | x2 | y2 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 500 | 0 | 1250 | 0 |
| 4 | 499.924 | 8.72178 | 1249.81 | 21.8045 |
| 5 | 499.696 | 17.4409 | 1249.24 | 43.6023 |
| 6 | 499.315 | 26.1547 | 1248.29 | 65.3868 |
| 7 | 498.783 | 34.8606 | 1246.96 | 87.1515 |
| 8 | 498.099 | 43.5558 | 1245.25 | 108.89 |
| 9 | 497.264 | 52.2378 | 1243.16 | 130.595 |
| ⋮ | | | | |
| 89 | 35.2578 | 498.755 | 88.1444 | 1246.89 |
| 90 | 26.5523 | 499.294 | 66.3808 | 1248.24 |
| 91 | 17.8388 | 499.682 | 44.5971 | 1249.2 |
| 92 | 9.11988 | 499.917 | 22.7997 | 1249.79 |

그림 11. 90도 방향 회전 시 AGV 바퀴 좌표 변화
Fig. 11. A trace of the coordinates of the wheels when the AGV turns 90 degrees

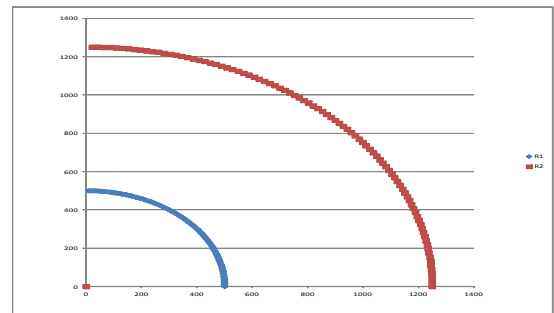


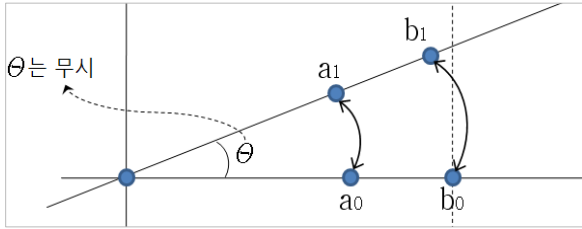
그림 12. 90도 방향 회전 시 AGV 바퀴의 이동 궤적
Fig. 12. A trace of its wheels when the AGV turns 90 degrees

90도 회전 직후 AGV 바퀴의 기대 좌표는 (0, 500), (0, 1250)이지만, 시뮬레이션 결과 AGV 바퀴의 최종 좌표는 (9.11988, 499.917), (22.7997, 1249.79)(그림 11 아래쪽)로 나타났다. 회전 직후 직선 궤도로 진입했을 때 AGV의 바퀴를 보정하는 2개의 기준점의 오차는 각각 0.083mm, 0.21mm로써 허용 오차 범위 1Cm 이내이다. 따라서 90도 방향 회전 직후에 절대오차가 최대 -2.3Cm 발생하지만, 직선 궤도로 진입하면서 보정이 가능한 범위의 오차로 볼 수 있다. 실제 90도 방향 회전 시 AGV 바퀴의 이동 궤적을 그리면 그림 12에 보인 것처럼 완벽한 부채꼴로 나타난다.

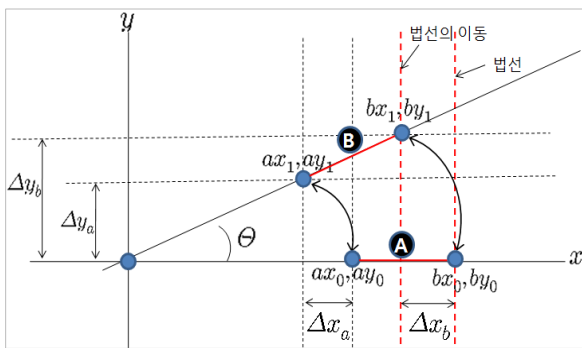
3.2. 실험 2 : 구현 가능한 유사 함수로의 변환

AGV가 이동한 지점과 회전 중심과의 각도를 구하기 위해 역삼각함수인 arcsin 및 arccos 함수를 사용하여 계산한다. 그러나 이 함수들은 별도의 FPU(floating point unit)가 내장되지 않은 단일 프로세서에서는 처리 속도 면에서 문제가 될 수 있다.

즉 AGV에 내장되는 8비트 AVR 프로세서의 경우 arcsin 함수를 계산하는 데 상대적으로 많은 연산 시간이 필요하며, 이로 인해 다른 연산 처리를 지연시킬 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 arcsin 함수 대신, 직선 및 법선을 사용하여 계산하였다.



(a) θ 값 무시



(b) 함수 내부 계산

그림 13. 직선, 법선을 이용한 계산
Fig. 13. A calculation of trace of the AGV wheels using both a straight line and a perpendicular lines

3.2.1. 직선, 법선 사용

그림 13(a)처럼 이동 거리 계산을 위해, 현재 θ 를 구하지 않고 매번 원점에서 이동한 것처럼 동일 함수를 구한다.

3.2.2. 함수 내부 계산 (그림 13(b))

한번 회전 후 $\Delta x_a \Delta y_a, \Delta x_b \Delta y_b$ 를 구한다. 여기서 실제 $(ax_0, ay_0), (bx_0, by_0)$ 는 원점이 아니라 임의의 위치였기 때문에 식(6)을 얻을 수 있다.

$$\overline{(ax_0, ay_0) \cdot (bx_0, by_0)} = \overline{(ax_n, ay_n) \cdot (bx_n, by_n)} \quad (6)$$

직선 방정식 식(7)에 의해, n이 증가할 때 n+1의 좌표, 즉 이동 후의 좌표는 접선 및 법선이 평행 이동한 좌표로 계산된다.

$$(y - ay_n) = \frac{by_n - ay_n}{bx_n - ax_n} \cdot (x - ax_n) \quad (7)$$

3.3. 실험 3 : 모의 차량을 이용한 AGV 회전 테스트 모의 주행에 사용한 차량은 실제 AGV 구동 방식과 거의 동일한 기능을 갖고 있다. 즉, 모의 차량은 8비트 마이크로프로세서인 ATmega128L이 장착되어 있으며, DC 모터를 통한 구동부 제어가 가능하다.

실제 AGV에서는 차체 하중 및 정밀 제어를 위해 각각의 바퀴에 연결된 모터에 PID를 이용하여 모터 속도를 제어한다. 전진이나 후진을 하기 위해서는 좌우 모터의 제어 방향을 반대로 한다. 이는 동일한 모터 2개가 마주보며 있기 때문이다. PID를 이용한 90도 회전 제어 과정 절차는 아래와 같다.

- 1) 일정한 PID값을 주고 각 바퀴의 모터 제어 방향을 반대로 해서 직선 주행을 한다.
- 2) 회전구간은 등감속·등속·등가속의 총 세 구간으로 나뉘며, 안쪽바퀴의 속도를 변화시킨다.
- 3) 회전을 해야 하는 위치(회전의 첫 번째 구간)가 되면 안쪽바퀴에 가속도 a를 지정한다(직선 주행 구간에서 AGV의 평균속도는 1Km/h이하로 유지). AGV 주행 속도를 감속시키기 위해 안쪽바퀴의 PID를 감소시킨다. AGV가 지정 속도 v에 도달할 때까지 일정 시간마다 인터럽트를 발생시켜 등가속도를 유지하도록 한다.
- 4) AGV가 가속도 a로 등감속 운동을 하다가 지정 속도v가 되면 회전부의 두 번째 구간이 시작된다. 이 구간에서는 AGV가 안정적으로 회전할 수 있도록 PID값을 변경하지 않는다. PID값이 일정할 때는 차량이 등속도 운동을 한다.
- 5) 세 번째 구간에서는 안쪽 바퀴의 속도를 바깥쪽 바퀴의 속도와 맞추기 위해 다시 가속한다.
- 6) 등감속 할 때와 마찬가지로 속도를 가속하기 위해 PID값을 증가시킨다. 바깥쪽 바퀴 속도에 이를 때까지 일정 시간 간격으로 인터럽트를 발생시켜 안쪽 바퀴를 등가속도로 이동하도록 제어한다.
- 7) 양 바퀴의 속도가 일정해지면 가속을 중단하고 일정 속도를 유지한다. 이때가 처음 출발한 위치를 기준으로 AGV가 90도 회전을 막 끝낸 시점이다.
- 8) 양 바퀴의 PID 수치가 같게 되어 직선 주행을 한다.

3.4. 실험 4 : 제어 오차에 대한 분석

주행 구간에서 AGV 제어량을 구해 모터를 구동시킬 때, AGV 제어 과정은 하드웨어 특성에 따른

구간과 소프트웨어 특성에 따른 구간 등 두 개의 부분으로 나뉜다.

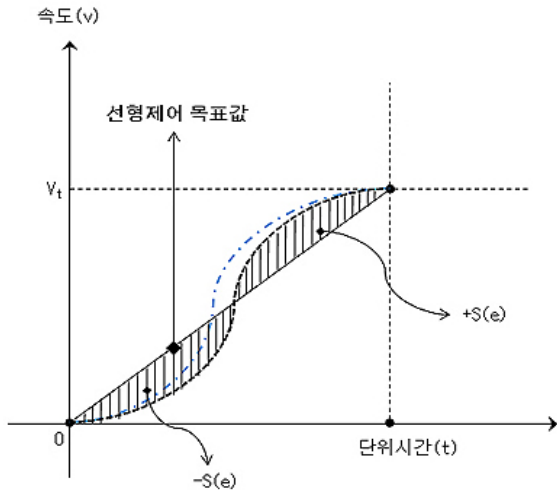


그림 14. 단위구간에서 하드웨어 선형제어
Fig. 14. A linear control of hardware in a unit range

- 1) 하드웨어 특성에 따른 구간 : 구동부의 제어기, 모터, 감속기, 체인스프라켓, 바퀴 순으로 동력이 전달되는 과정에서 AGV의 실제 이동거리는 계산을 통해 구한 선형제어 목표값과 다를 수 있다. 따라서 모터 제어기가 단위구간별 주행속도 명령을 받게 되면, 그림 14에 보인 것처럼 선형제어 목표값을 유지하도록 하드웨어 제어가 필요하다. 즉 모터로부터 수신된 각속도 값을 전달(feedback) 받아 PID 제어 이상의 수준으로 모터의 속도를 제어한다.
- 2) 소프트웨어 특성에 따른 구간 : 먼저 모터에 연결된 하드웨어 제어기가 이상적인 선형제어를 구현한다고 가정한다. 그림 15에 보인 것처럼 소프트웨어 구간에서는 (계산을 통해 구한) 비선형제어 목표값을 단위구간 별 등속구간으로 미분하여 제어한다.

$$S(e) = \frac{t}{2n} (v_1 \cdot + \sum_{k=2}^n (v_k - v_{k-1})) \quad (8)$$

다만 이 경우 구동부의 선형운동에 의한 목표값 도달이 제어량 출력보다 한 구간 뒤에 이루어지므로 이론 목표량 보다 결과량(이동거리)이 적게 나타난다. 이 편차는 제어구간에서 구간 분할 수가 작으면 크게 나타나고 분할 구간이 충분히 많으면 그 값은 무시할 정도로 작아진다.

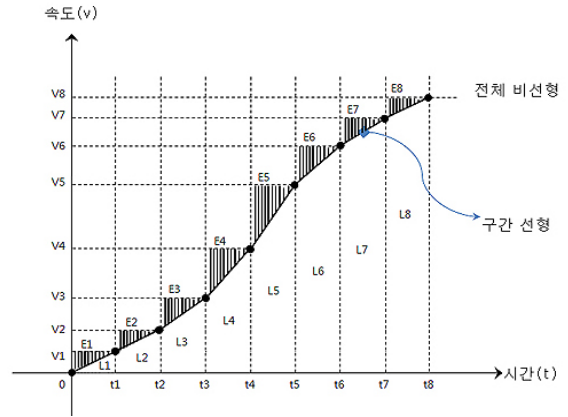


그림 15. 단위구간에서 소프트웨어 선형제어
Fig. 15. A linear control of software in a unit range

실제 구동부 제어 시에는 이 값을 마지막 구간 동작에서 보정하여 제어하거나 측정된 절대 좌표에 의하여 보정하도록 하는 두 가지 방법을 사용한다. 그 이유는 AGV가 목표 지점을 지나치는 오버런(overrun)이 오히려 심각한 문제를 일으킬 수 있기 때문이다. 다시 말해 실제 제어량 보다 덜 이동한 언더런(underrun)의 경우 목표 위치에 도달 할 때까지 서서히 주행하게 함으로서 AGV의 안전성을 확보할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 절대좌표 센서를 사용한 보정 방법으로 구현하였다.

3.5. 모의 테스트 및 실제 구현

그림 16에서는 실험실에서 모의 차량을 이용한 테스트 과정을 보여주고 있다. 그림 17은 C시의 화장장에 실제 설치된 AGV가 이중 랜드마크 기반 이동 궤적 제어를 통해 최종적으로 화장장에 진입하는 과정을 보여주고 있다. AGV가 화장로 진입시 허용 오차 범위는 10Cm이내이지만, 실제로는 그 이하로 유지됨을 확인할 수 있었다.

그림 18은 AGV가 방향 전환을 위한 회전 과정에서 AGV의 이동 궤적 데이터를 보여주고 있다. 그림 16의 계산 후 절대좌표 변화를 통해 알 수 있듯이, 비선형 제어를 통해 필터링 보정을 수행하는 것을 확인할 수 있다.

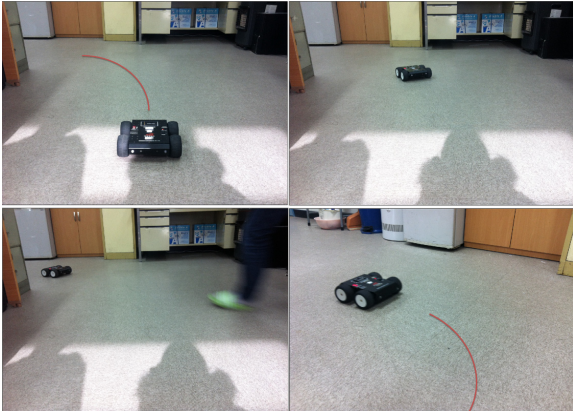


그림 16. 모의 차량을 이용한 회전 테스트
Fig. 16. A test of traces of wheels using a miniature AGV



그림 17. 화장장에 적용된 AGV
Fig. 17. A working model of AGV in a crematorium

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|-----|--------|------------|------------|-----------|-----|--------|------------|------------|-----------|---|
| 1 | ID | Angle | X pos 상대좌표 | Y pos 상대좌표 | 계산 후 절대좌표 | ID | Angle | X pos 상대좌표 | Y pos 상대좌표 | 계산 후 절대좌표 | |
| 2 | | | | | | 578 | 121.79 | -26.82 | 15.81 | 1,973.18 | |
| 3 | 578 | 179.48 | 143.77 | -10.55 | 2,143.77 | 578 | 120.41 | -32.30 | 13.17 | 1,967.70 | |
| 4 | 578 | 179.28 | 140.86 | -10.35 | 2,140.86 | 578 | 118.63 | -37.66 | 9.81 | 1,962.34 | |
| 5 | 578 | 178.41 | 139.38 | -8.49 | 2,139.38 | 578 | 116.75 | -42.83 | 6.33 | 1,957.17 | |
| 6 | 578 | 178.70 | 137.14 | -9.40 | 2,137.14 | 578 | 115.06 | -49.88 | 1.87 | 1,950.12 | |
| 7 | 578 | 178.17 | 132.20 | -8.76 | 2,132.20 | 578 | 112.75 | -56.34 | -3.73 | 1,943.66 | |
| 8 | 578 | 175.17 | 120.08 | -4.14 | 2,120.08 | 578 | 110.90 | -60.71 | -8.12 | 1,939.29 | |
| 9 | 578 | 172.33 | 113.91 | 0.64 | 2,113.91 | 578 | 109.99 | -65.20 | -11.79 | 1,934.89 | |
| 10 | 578 | 169.91 | 107.69 | 4.10 | 2,107.69 | 578 | 108.77 | -69.24 | -15.93 | 1,930.76 | |
| 11 | 578 | 167.54 | 101.58 | 7.39 | 2,101.58 | 578 | 107.45 | -73.54 | -20.00 | 1,926.46 | |
| 12 | 578 | 165.20 | 95.88 | 10.54 | 2,095.88 | 578 | 105.45 | -77.41 | -25.06 | 1,922.59 | |
| 13 | 578 | 163.34 | 89.98 | 12.42 | 2,089.98 | 578 | 104.50 | -81.35 | -28.87 | 1,918.65 | |
| 14 | 578 | 161.42 | 84.56 | 14.46 | 2,084.56 | 578 | 103.89 | -85.40 | -32.16 | 1,914.60 | |
| 15 | 578 | 159.26 | 78.82 | 16.88 | 2,078.82 | 578 | 101.71 | -88.45 | -38.16 | 1,911.55 | |
| 16 | 578 | 157.02 | 73.11 | 19.18 | 2,073.11 | 578 | 100.04 | -91.77 | -43.60 | 1,908.23 | |
| 17 | 578 | 154.41 | 66.94 | 21.57 | 2,066.94 | 578 | 98.81 | -95.05 | -48.15 | 1,904.95 | |
| 18 | 578 | 152.38 | 60.92 | 23.11 | 2,060.92 | 578 | 97.81 | -98.95 | -52.42 | 1,901.05 | |
| 19 | 578 | 149.83 | 54.63 | 25.04 | 2,054.63 | 578 | 95.81 | -101.57 | -58.50 | 1,898.43 | |
| 20 | 578 | 147.40 | 48.42 | 26.57 | 2,048.42 | 578 | 95.14 | -105.40 | -61.97 | 1,894.60 | |
| 21 | 578 | 142.59 | 36.16 | 28.73 | 2,036.16 | 578 | 93.32 | -107.78 | -68.04 | 1,892.22 | |
| 22 | 578 | 138.44 | 23.84 | 29.36 | 2,023.84 | 578 | 92.65 | -111.39 | -71.53 | 1,888.61 | |
| 23 | 578 | 133.58 | 10.06 | 28.79 | 2,010.06 | 578 | 90.66 | -112.74 | -77.68 | 1,887.26 | |
| 24 | 578 | 129.14 | -2.88 | 26.43 | 1,997.12 | 578 | 90.15 | -113.46 | -79.69 | 1,886.54 | |
| 25 | 578 | 126.41 | -11.18 | 23.46 | 1,988.82 | 578 | 89.48 | -113.92 | -81.70 | 1,886.08 | |
| 26 | 578 | 125.40 | -16.09 | 21.40 | 1,983.91 | 578 | 89.65 | -115.21 | -81.67 | 1,884.79 | |
| 27 | 576 | 124.80 | 184.57 | 18.11 | 1,984.57 | | | | | | |

그림 18. 단위구간에서 Hardware 선형제어 구현
Fig. 18. An implementation of linear control of hardware in a unit range

IV. 결 론

본 논문에서는 기존 유도라인 방식에 비해 보다 정밀한 실내 위치 추적 및 제어가 가능한 AGV 시

스템을 개발했다. 미리 부착된 랜드마크 판독을 통해 AGV가 해당 경로를 따라 주행하는 방식으로써, 랜드마크 배치 과정에서 발생하는 인식 오류를 최소화하기 위해 이중 랜드마크 인식 기법을 적용하였다. 이중 랜드마크 방식을 적용할 경우, 단일 랜드마크 방식에 비해 위치 추정 오차 발생 가능성을 30% 이상 감소시킴을 확인하였다. 위치 추정 오차 발생 가능성이 감소하면서, AGV 주행 시에 흔들리는 현상이 전혀 발생하지 않게 되었다. 이를 통해 AGV가 시신을 안전하게 화장로까지 운구할 수 있게 되었다.

특히 AGV가 90도 회전을 통해 화장로에 진입하는 과정에서 화장로와 일직선을 유지하도록 2축 제어 알고리즘을 적용하였다. 회전 구간에서 등감속, 등속 및 등가속의 3단계에 걸쳐 안쪽 바퀴 및 바깥쪽 바퀴의 회전수를 제어하였다. 화장장 설계 시 최대 허용 오차 범위는 10Cm이지만, 90도 회전 직후 AGV의 최대 오차는 2.3Cm 이내였다. 또한 발생 오차는 직선 주행 직후 충분히 보정 가능한 오차 범위 이내이다. 실제 AGV와 기능면에서 거의 유사한 모의 차량에 대해 적용하여 타당성을 사전 검증하였다.

본 논문에서 개발한 AGV 이동 기능 제어 방식은 범용 컨트롤러로 구현하였으며, 이를 유인이송차량에 부착함으로써 기존 유인차량도 AGV로 대체 가능하다. 이에 따른 경제성을 확보하였을 뿐만 아니라, 무선 필드 기반 기술 적용에 따른 구현 편의성 및 실시간 관제 등으로 인해 향후 관리 및 유지보수에도 효율적이다. 개발 완료된 AGV는 C시에 완공된 화장장에 설치되었다.

무선 필드 기반 AGV 시스템은 향후 공장자동화 분야에서의 장비 및 자재 이동현황 파악, 운반차량관리, 작업인력배치, 학교 내 학생관리, 공공건물 외부 출입자관리, 각 건물 관리 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] Y. S. Song, et. al., "IT convergence location awareness technology", KICS Journal, pp.3-9, Vol.28, No.5, April, 2011.
[2] Jeffrey. H and Gaetano. B., "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*, pp. 57~66, 2001
[3] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An

In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *IEEE Infocom 2000*, pp. 775~784, 2000.

[4] A. Smith, H. Balakrishnan, M. Goraczko and N. Priyantha, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System," *Proc. 2nd USENIX/ACM MOBISYS Conf.*, 2004.

[5] Wade H. Foy, "Position-location solution by Taylor-series estimation", *IEEE Trans Aerospace and Electronic Svstems*, pp. 187-194, vol. 12, March 1976.

[6] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. The Active Badge Location System. *In ACM Transactions on Information Systems*, January 1992.

[7] S. M. Jung, et. al, "Infrared-based User Location Tracking System for Indoor Environments", *IEEK Journal*, pp.9-20, Vol. 41, No.5, 2005.

[8] K. S. Bok, et. al, "An Effective Location Acquisition Method Based on RFID for Location Based Services", *KIISE Journal*, pp.34-43, Vol.37, No.1, 2010.

[9] Huh, J., Chung, W. S., Nam, S. Y., and Chung, W. K., "Mobile Robot Exploration in Indoor Environment Using Topological Structure with Invisible Barcodes," *ETRI Journal*, pp.189-200, vol.29, no.2, Apr., 2007.

[10] W.S.You et. al, "Development of Self-localization technique for Mobile Robots using Characteristics of Magnetic Landmarks", *Proceedings of KSME*, pp.304-309, 2011.

전혜경 (Hye-Gyeong Jeon)



2010년 8월 인천대 컴퓨터공학과 석사
2010년 9월~현재 인천대학교 컴퓨터공학과 박사과정
1987년~1994 대우자동차 MIS 프로그래머
2007년 11월~현재 엔택코리아

(주) 대표

<관심분야> 통신공학, 위치추정, AGV, 로봇공학

홍윤식 (Youn-Sik Hong)



1983년 2월 한양대학교 전자공학과(공학사)
1985년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
1989년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학박사)
1991년 8월~현재 인천대학교

컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)