

대차가 있는 무인 운반차의 경로 추종 오차 감소 방법

A Method for Reducing Path Tracking Errors of an AGV with a Trailer

이 지 영* · 성 영 휘†
(Ji Young Lee · Young Whee Sung)

Abstract - The use of AGVs(Automated Guided Vehicles) are increasing in many factories. The most widely used AGV system is that magnetic tapes are attached on the factory floor to make guided path and an AGV equipped with a magnetic sensor follows the path by sensing magnetic flux. In this AGV system, usually a magnetic sensor is attached on the front end of an AGV to detect the guided path and the sensor generates analog voltages proportional to the magnetic flux. The problem is that the AGV in use has rather big tracking errors because the accurate orientation of the AGV can not be detected by using only one magnetic sensor. In this paper, we propose a method to minimize the path tracking errors. In our method, one additional sensor is attached on the rear end of the AGV to estimate the orientation of the AGV and to control more accurately the AGV according to the estimated orientation of the AGV. We performed several experiments and the results successfully show the feasibility of the proposed method.

Key Words : Path tracking error, AGVs, Magnetic sensors, Control

1. 서 론

무인 운반차(Automated Guided Vehicle, AGV)는 차체에 운반물을 적재하거나 대차를 견인하여 자동 주행하여 지시된 장소에서 이적제를 수행하는 용도로 사용된다. 도입 초기에 공장과 같은 제조 현장에서 자재의 운송에 국한되어 사용되었으나 반도체 산업, 디스플레이 산업, 철강 산업 등의 발달에 따라 이들 산업 관련 공장에서 무인 자동화의 요구가 증가하면서 사용이 증가하고 있다.

무인운반차는 유도선을 사용하는 고정 경로식과 유도선을 사용하지 않는 개방 경로식으로 대별할 수 있다. 개방 경로식에서는 엔코더, 자이로 등과 같이 로봇에 부착되거나 작업장에 부착된 다양한 표식점 또는 센서를 활용하여 로봇의 공장 내에서의 위치와 방향을 인식하는 자기위치 인식 기술과 목적지로 이동하기 위한 경로 계획 및 제어에 관한 기술이 중요한 문제이며 이는 현재까지 만족할만한 해결책이 제시되지 못하고 있는 난제로 알려져 있다[1-3].

한편 고정 경로식은 전자유도식, 광학유도식, 자성체유도식 등이 있다[4]. 전자유도식은 로봇이 주행할 바닥면에 전선을 매설하고 저주파 전류를 흘려주어 자기장을 발생시키고, 이 자기장을 로봇에 장착된 자기 센서로 검출하여 주행하는 방식으로 신뢰성이 높으나 설치비용이 많이 들고, 운반경로의 변경이 필요할 때 매설된 전자유도선의 변경이 어렵고 유도파에 의해 다른 기기에 전자기 외란을 발생시킬 수 있다. 반면 자성체 유도식은 바닥면에 자기 테이프를 부착

하고 무인운반차의 밑면에 부착된 자기센서를 이용하여 주행 경로를 검출하는 방식으로 단선의 염려가 없고 경제적인 방식이다. 현재 국내외의 산업 현장에서 많이 사용하는 방식은 자성체 유도 방식의 고정 경로식이다.

무인 운반차의 정확한 경로 추종은 상대적으로 중요성이 덜하였으나 자동화 작업이 다양하고 복잡해짐에 따라 가능한 작은 오차로 경로를 추종하는 것이 필요하게 되었다. 무인 운반차의 경로 추종 오차를 줄이기 위해서는 외부에 표식점을 설치한다든지 레이저, 비전 등과 같은 다양한 외부 센서를 사용하여 무인 운반차의 경로 추종 위치를 줄이는 방안[5-7]이 있을 수 있으나 이러한 방식은 전체 시스템의 비용을 매우 증가시키므로 비효율적이다. 본 연구에서는 자성체 유도 방식의 고정 경로식에서 자기 센서 1개를 추가하여 무인 운반차의 자세를 세밀히 추정하여 각 자세에 맞는 제어를 수행함으로써 무인 운반차의 경로 추종 오차를 줄이는 방안에 대하여 고찰한다.

2. 대차 방식 무인운반차의 경로 추종 오차 감소 방법

2.1 기존 시스템 및 문제점

현재 A사에서 사용하고 있는 무인운반차는 자기유도방식을 사용한다. 이 방식은 바닥에 부착된 자기테이프로부터 발생하는 자계를 이용하여 무인운반차를 유도하는 방식으로 유도선의 변경 및 증설이 용이하고 작업장 내에서 발생하는 오염에도 강한 장점이 있다. 이 방식에서는 그림 1에서와 같이 자기테이프에서 발생하는 자계를 자기 센서로 감지하여 무인운반차의 중심이 자기 테이프에서 벗어나지 않도록 제어 한다. 여기에서 사용되는 자기 센서는 자기 테이프로부터 벗어남에 따라 좌우 대칭적인 아날로그 전압 또는 디지털 전압 출력을 발생하게 되어 있다.

† Corresponding Author : School of Electronic Engineering,
Kumoh National Institute of Technology, Korea
E-mail : ywsung@kumoh.ac.kr

* School of Electronic Engineering, Kumoh National
Institute of Technology, Korea

Received : October 20, 2013; Accepted : December 3, 2013

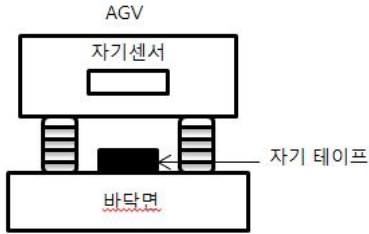


그림 1 자기테이프 경로선과 무인운반차의 자기센서
Fig. 1 Magnetic tape path and magnetic sensor attached on an AGV

사용되고 있는 무인운반차는 그림 2에서와 같이 차체의 앞부분에 부착된 하나의 자기센서를 사용하여 유도선을 인식한다. 또한 무인운반차는 차체의 뒤쪽에 좌우 1개씩의 DC 모터를 구동하여 차체를 제어하고 있다.

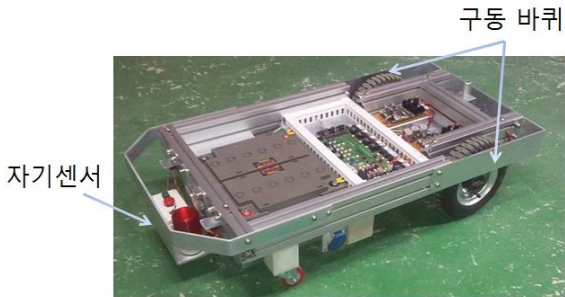


그림 2 무인운반차
Fig. 2 AGV

현재 사용되고 있는 시스템에서의 문제점은 유도선 추종에서의 오차가 크다는 것이다. 그림 3은 무인운반차가 곡선 경로를 주행 후 무인운반차의 후미부가 유도선으로부터 많이 벗어나 있는 상황을 보이고 있다. 특히 이 무인운반차는 그림 4와 같이 적재물을 실은 화차를 뒤쪽에 연결하여 끌고 가는 대차 방식이어서 뒤로 갈수록 유도선으로부터의 이탈 정도는 더 심해지게 된다.



그림 3 곡선 주행에서의 경로 이탈
Fig. 3 Deivation from the curved path

이와 같이 무인운반차의 몸체 일부가 유도선을 과도하게 벗어나는 경우에는 이웃하는 유도선에서 운행하는 무인운반차 또는 벽과 같은 작업 공간 내의 주변 물체와의 충돌이 발생할 위험이 크다. 따라서 무인운반차가 작업장의 바닥에 설치되어 있는 유도 경로선을 충실히 그리고 빠르게 추종할



그림 4 대차 방식의 무인운반차
Fig. 4 AGV with a trailer

수 있도록 해야 한다.

2.2 경로추종 오차 감소 방법

현재 사용되고 있는 무인운반차에서는 그림 2에 나타낸 바와 같이 로봇의 전면부에 하나의 가이드 센서 만을 사용하고 있다. 이와 같이 하나의 센서 만을 사용할 경우에는 유도선의 형태를 정확하게 파악하기 어렵고, 따라서 유도선을 추종하도록 제어하는데 있어서도 한계를 가질 수밖에 없다. 이를 설명하기 위하여 그림 5와 같은 무인운반차를 고려해 보자. 그림 5에서는 간략한 설명을 위하여 무인운반차의 전면부에 유도선을 감지하는 광센서 3조를 부착한 것으로 생각한다. 검은색 원은 그 센서의 하단에 유도선이 감지되었음을 나타내고, 흰 색 원은 그 센서의 하단에 유도선이 감지되지 않았음을 나타낸다.



그림 5 무인운반차 전면부에만 가이드 센서가 존재하는 경우
Fig. 5 The case that only one set of guide sensors are attached on the front of an AGV

그림 5에서와 같이 센서가 전면부에만 부착되어 있을 경우에 왼쪽 센서가 유도선을 감지했다고 하자. 이 때 무인운반차는 그림 6의 (a)와 같이 유도선이 놓여있을 것으로 추정하게 된다. 하지만 실제로는 무인운반차와 유도선과의 상대적인 위치는 그림 6의 (b), (c) 등과 같이 다양한 자세로

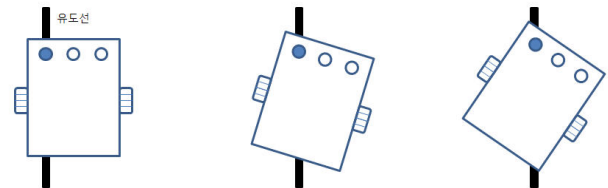


그림 6 가이드 센서 출력과 가능한 무인운반차 자세
Fig. 6 Possible different configurations of an AGV for the same output of a guide sensor

놓여있을 수도 있다. 그림 6의 (a)와 같은 상태와 (b), (c)와 같은 상태에서는 당연히 로봇의 제어 방식도 달라져야만 무인운반차를 정확하고 안정되게 주행시킬 수 있게 된다.

그림 6에서와 같이 같은 센서 출력에 대해서 무인운반차의 자세가 다양하게 달라지는 것을 감지하기 위한 방법으로 무인운반차의 후면부에도 가이드 센서를 부착하는 것을 제안한다. 즉 전면부와 후면부에 한쌍의 가이드 센서를 사용하는 것이다. 이 경우에는 그림 7과 같이 다양한 형태의 무인운반차 자세에 따라 무인운반차와 유도선과의 상대적인 위치를 파악할 수 있게 되고, 각 경우에 따라 적합한 제어 알고리즘의 적용이 가능하게 된다.

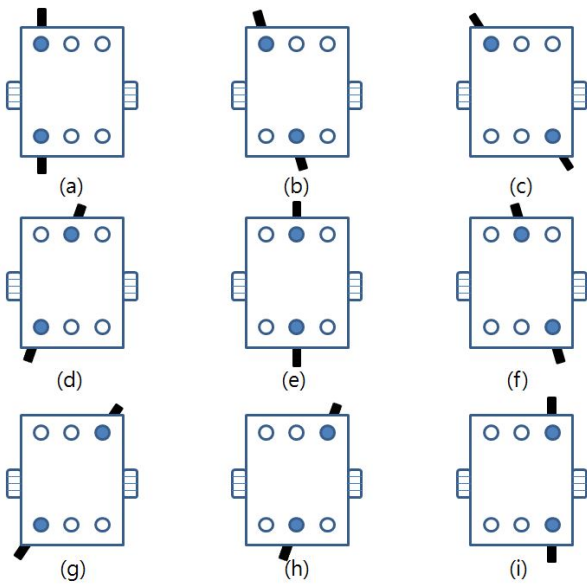


그림 7 전면부와 후면부에 설치된 가이드센서와 효율적인 유도경로선 인식

Fig. 7 Sensors attached both on the front and rear of an AGV for efficient detection of the guide line

무인운반차의 전면부에만 센서를 부착한 경우에는 유도경로선을 감지한 센서가 좌측 센서일 때는 좌회전, 중간 센서일 때는 직진, 우측 센서일 때는 우회전과 같이 제어하게 되는 반면 전면부와 후면부에 모두 센서를 부착한 경우에는 유도경로선에 대한 무인운반차의 상대적인 방향까지 고려하여 좀 더 세밀하게 제어할 수 있다. 표 1은 그림 7과 같은 센서의 감지 상태에 따른 제어 방법의 예를 보인 것이다. 그림 7의 행, 열 위치와 표 1의 행, 열 위치는 같다. 표에서 1, 2, 3과 같은 숫자는 회전할 양의 크기를 나타낸다. 즉, 숫자가 클수록 회전할 양의 크기가 크다.

표 1 센서 감지 상태에 따른 제어 방법

Table 1 Control method according to the detected guide line

후면 센서 \ 전면 센서	좌측 감지	중간 감지	우측 감지
좌측 감지	좌회전 1	좌회전 2	좌회전 3
중간 감지	우회전 1	직진	좌회전 1
우측 감지	우회전 3	우회전 2	우회전 1

2.3 실험 및 결과

전 절에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위해서 직선 경로와 곡선 경로에서 무인운반차의 모의 주행 실험을 수행한다. 그림 8은 실험 세트를 보이고 있다. 무인운반차를 대신하여 2개의 DC 모터로 구동되는 2개의 바퀴를 가지고 전면부와 후면부에 유도경로선을 감지하는 적외선 센서가 부착되어 있는 라인 트레이서를 제작하였다. 라인트레이서의 이동 경로는 라인트레이서의 상단에 특징점을 부착하고 비전 센서로 이 특징점의 경로를 감지하는 방식으로 실험하였다.

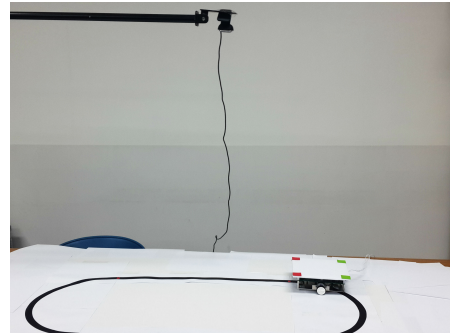


그림 8 무인운반차의 유도선 경로 추종을 위한 실험 세트
Fig. 8 Experimental setup for path tracking of an AGV

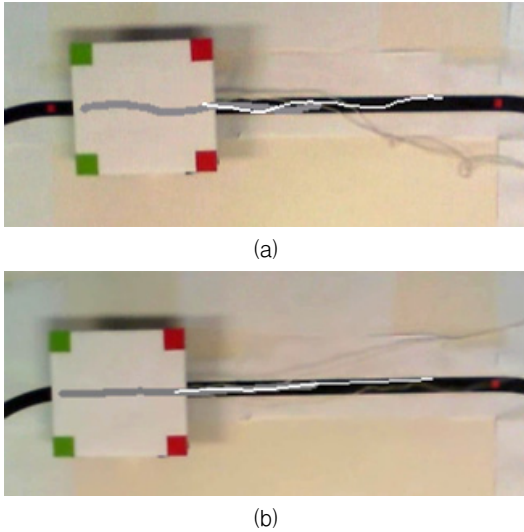
첫 번째 실험에서는 전면부 센서만 존재할 경우와 전면부 센서와 후면부 센서가 모두 존재할 경우에 같은 초기 자세에서 출발하여 직선 경로를 추종하는 오차가 어떻게 달라지는지 실험하였다. 그림 9는 라인트레이서의 초기 자세를 나타낸다. 이는 그림 7의 (e)에 해당하며 라인트레이서가 유도경로선의 중앙에 방향 오차 없이 잘 놓여 있는 경우이다.



그림 9 첫 번째 실험에서의 라인트레이서의 초기 자세
Fig. 9 Initial configuration of the line tracer for the first experiment

그림 10은 첫 번째 실험의 결과를 나타낸다. 그림 10의 (a)는 전면부 센서만 존재하는 경우, (b)는 후면부 센서도 존재하는 경우에 라인트레이서의 진행 경로를 나타낸다. 그림에서 굵은 선은 라인트레이서의 전면부 중심의 주행 경로를, 가는 선은 라인트레이서의 후면부 중심의 주행 경로를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 경우 모두 유도경로선을 잘 추종하지만, 후면부 센서도 존재할 경우에 라인트레이서의 주행 경로가 좌우 흔들림이 적어서 좀 더 잘 추종함을 알 수 있다.

두 번째는 초기 자세가 그림 7의 (d)와 같은 경우에 대하여 실험하였다. 그림 11은 라인트레이서의 초기 자세를 나



(a)

(b)

그림 10 첫 번째 실험에서의 라인트레이서의 추종오차
(a) 전면부 센서만 있는 경우 (b) 후면부 센서도 있는 경우

Fig. 10 Tracking errors of the line tracer for the first experiment (a) The case that only front sensors are attached (b) The case that front and rear sensors are attached

타낸다. 이 자세는 유도경로선에 대하여 라인트레이서의 방향이 기울어져 있지만 전면부에만 센서가 부착된 경우에는 이를 감지하지 못하고 라인트레이서가 유도경로선 위에 제대로 놓여 있다고 판단하게 된다.

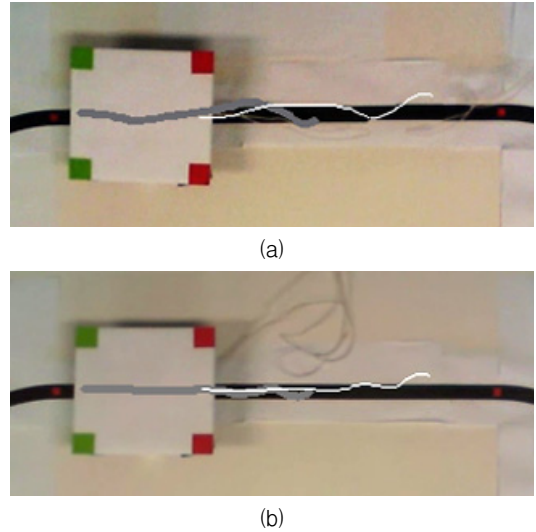


그림 11 두 번째 실험에서의 라인트레이서의 초기 자세
Fig. 11 Initial configuration of the line tracer for the second experiment

그림 12의 (a)는 전면부 센서만 존재하는 경우, 그리고 (b)는 후면부 센서도 존재하는 경우에 라인트레이서의 진행 경로를 나타낸다. 그림에서 후면부에 센서를 추가로 부착한 경우에 경로 추종 오차가 더 작음을 알 수 있다. 전체 경로에 대한 누적 오차 및 최대 오차는 표 2에 나타난 바와 같다.

세 번째 실험에서는 그림 13에서와 같은 곡선 경로에서의 추종 오차를 비교하였다. 초기 라인 트레이서는 직선 경로에서 그림 7의 (e)와 같이 방향 오차 없이 놓여 있는 상태에서 출발하여 곡선 경로로 진입한 후 다시 직선 경로를 주행하도록 하였다.

그림 14의 (a), (b)는 각각 전면부 센서만 존재하는 경우 라인트레이서의 전면부 중심과 후면부 중심의 주행 경로를,



(a)

(b)

그림 12 두 번째 실험에서의 라인트레이서의 추종오차 (a) 전면부 센서만 있는 경우 (b) 후면부 센서도 있는 경우

Fig. 12 Tracking errors of the line tracer for the second experiment (a) The case that only front sensors are attached (b) The case that front and rear sensors are attached

표 2 직선 경로에서의 누적 오차와 최대 오차(단위 : cm)
Table 2 Accumulated tracking errors and the maximum errors for a straight guide line(unit : cm)

센서 부착 위치	라인트레이서	누적오차평균	최대 오차
센서가 전면부만 있는 경우	전면부	0.78	1.85
	후면부	0.89	1.65
센서가 후면부도 있는 경우	전면부	0.22	0.38
	후면부	0.61	0.90

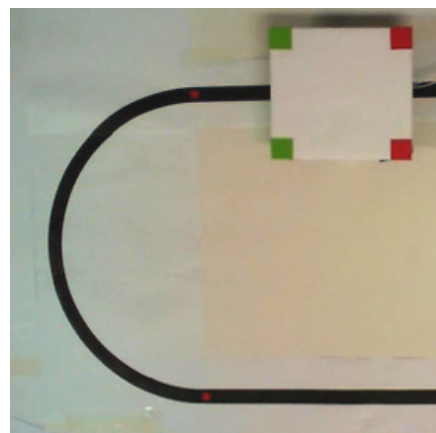


그림 13 세 번째 실험에서의 라인트레이서의 초기 자세
Fig. 13 Initial configuration of the line tracer for the third experiment

그리고 (c), (d)는 후면부 센서도 존재하는 경우에 라인트레이서의 전면부 중심과 후면부 중심의 주행 경로를 나타낸

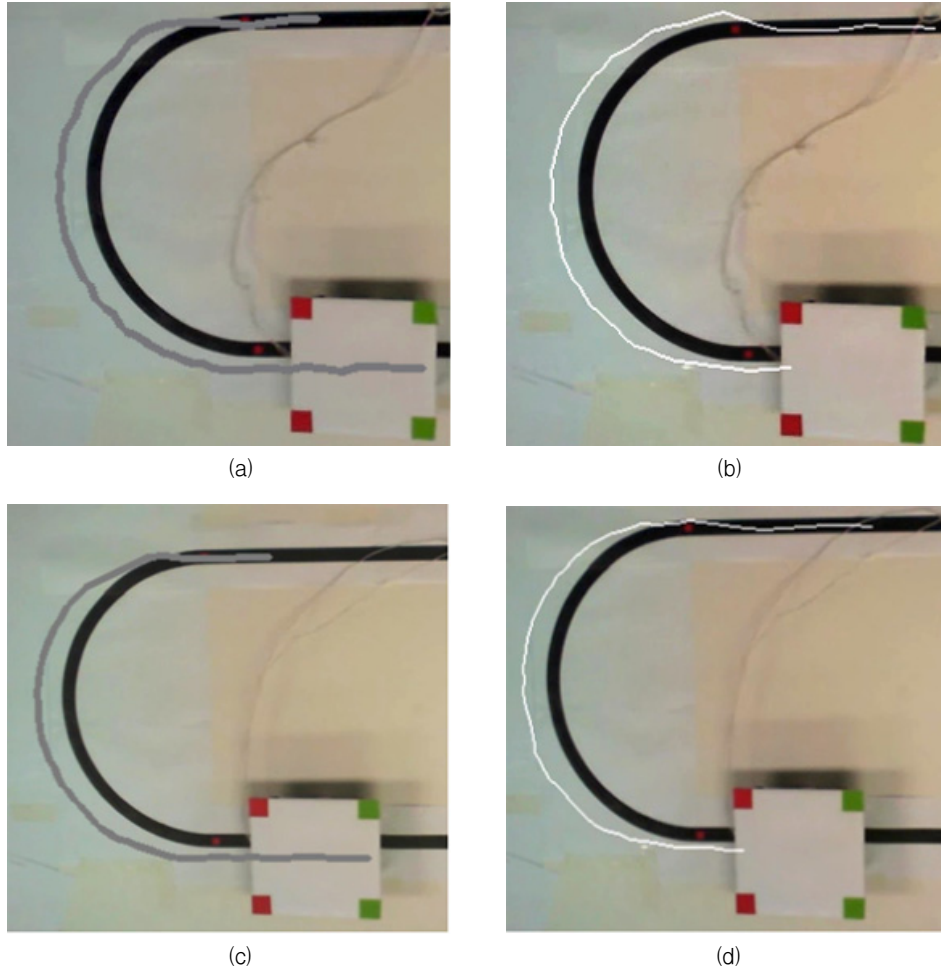


그림 14 세 번째 실험에서의 라인트레이서의 추종오차

(a) 전면부 센서만 있는 경우의 전면부 중심의 주행 경로, (b) 전면부 센서만 있는 경우의 후면부 중심의 주행 경로, (c) 후면부 센서도 있는 경우의 전면부 중심의 주행 경로, (d) 후면부 센서도 있는 경우의 후면부 중심의 주행 경로

Fig. 14 Tracking errors of the line tracer for the third experiment

(a) Front center point when only front sensor is attached, (b) Rear center point when only front sensor is attached, (c) Front center point when additional rear sensor is attached, (d) Rear center point when additional rear sensor is attached

다. 그림에서 후면부에 센서를 추가로 부착한 경우에 경로 추종 오차가 더 작고 부드러운 주행을 하는 것을 알 수 있다. 전체 경로에 대한 누적 오차 평균 및 최대 오차는 표 3에 나타낸 바와 같다. 표에서 후면부의 최대 오차는 센서가 전면부에만 있는 경우에는 5.06cm, 센서가 후면부에도 있는 경우에는 4.38cm로 최대 오차의 차이는 약 0.7cm 정도로 후

면부에도 센서를 장착한 경우가 오차가 작음을 알 수 있다.

네 번째 실험에서는 그림 15와 같이 라인트레이서에 대차를 연결하였을 때 대차의 곡선 경로 추종 오차를 비교하였다. 대차의 추종 오차를 측정하기 위해 특징점을 라인트레이서가 아닌 대차에 부착하였고, 세 번째 실험과 같은 경로를 주행하도록 하였다.

그림 16의 (a)는 라인트레이서에 전면부 센서만 존재하는 경우의 대차의 전면부 중심과 후면부 중심의 주행경로를, (b)는 라인트레이서에 후면부 센서도 존재하는 경우의 대차의 전면부 중심과 후면부 중심의 주행경로를 나타낸다. 그림에서 후면부에 센서를 추가로 부착한 경우에 대차의 경로 추종 오차가 더 작고 부드러운 주행을 함을 알 수 있다. 전체 경로에 대한 누적 오차 평균 및 최대 오차는 표 4에 나타낸 바와 같다. 표에서 전면부와 후면부 모두 세서를 후면부에도 부착한 경우에 누적오차의 평균과 최대 오차 모두 작아지는 것을 알 수 있다.

표 3 곡선 경로에서의 누적 오차와 최대 오차(단위:cm)

Table 3 Accumulated tracking errors and the maximum errors for a curved guide line(unit:cm)

센서 부착 위치	라인 트레이서	누적오차 평균	최대 오차
센서가 전면부만 있는 경우	전면부	2.92	4.82
	후면부	3.21	5.06
센서가 후면부도 있는 경우	전면부	2.56	4.32
	후면부	2.72	4.38

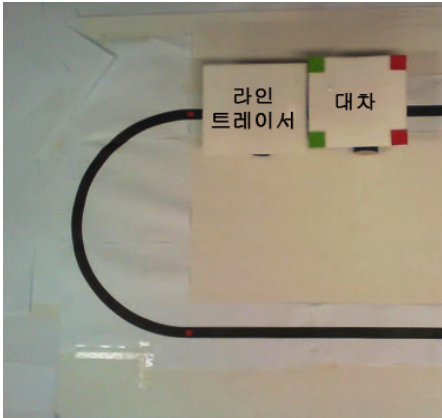
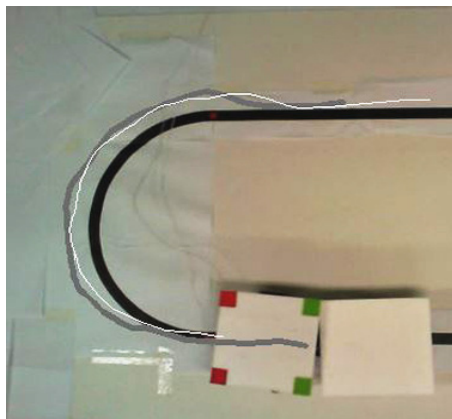
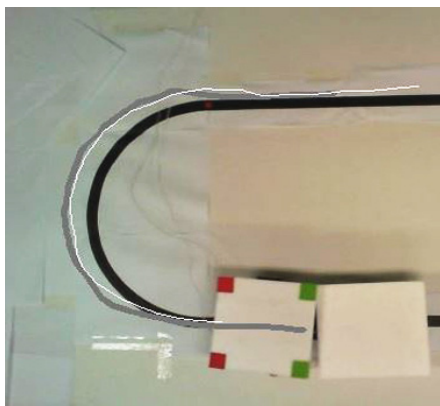


그림 15 네 번째 실험에서의 라인트레이서와 대차의 초기 자세

Fig. 15 Initial configuration of the line tracer and trailer for the fourth experiment



(a)



(b)

그림 16 네 번째 실험에서의 대차의 추종오차

- (a) 전면부 센서만 있는 경우
- (b) 후면부 센서도 있는 경우

Fig. 16 Tracking errors of the trailer for the fourth experiment

- (a) The case that only front sensors are attached
- (b) The case that front and rear sensors are attached

표 4 대차가 연결된 경우 곡선 경로에서의 누적 오차와 최대 오차(단위 : cm)

Table 4 Accumulated tracking errors and the maximum errors for a curved guide line(unit : cm)

센서 부착 위치	대차	누적오차평균	최대 오차
센서가 전면부만 있는 경우	전면부	3.39	5.33
	후면부	2.76	3.81
센서가 후면부도 있는 경우	전면부	2.92	4.57
	후면부	2.40	3.77

위의 네 가지 실험에서 살펴본 바와 같이 라인트레이서의 후면부에도 센서를 부착하여 라인트레이서와 유도경로선과의 상대적인 방향을 파악하여 제어할 경우에 전면부 센서만 사용한 경우와 비교하여 보다 부드러운 주행을 하며 경로 추종 오차를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 자동화 공장에서 가장 많이 사용되고 있는 형태인 고정경로식 무인운반차 시스템에서의 유도경로선 추종 오차를 줄이는 방법에 대하여 고찰하였다. 이 무인운반차 시스템에서는 공장 바닥에 자기테이프를 부착하여 유도경로선을 구성하고 무인운반차는 전면부의 하단에 하나의 자기 센서를 장착하여 유도경로선에서 발생하는 자기장을 감지하여 유도경로선으로부터의 이탈 여부를 판단하게 된다.

현재와 같은 방식의 무인운반차에서는 무인운반차의 전면부가 유도경로선 위에 위치하여 있지만 후면부는 유도경로선으로부터 벗어나 있는 경우와 같이 무인운반차의 방향이 유도경로선과 어긋나 있는 경우 이를 감지하지 못하기 때문에 경로추종 오차가 크게 발생하게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 경로 추종 오차를 줄이기 위하여 전면부의 센서 외에 부가적으로 후면부에도 자기 센서를 부착하여 무인운반차와 유도경로선의 상대적인 방향까지 감지하고 이를 바탕으로 보다 정밀하게 무인운반차를 제어함으로써 경로추종 오차를 줄이는 방법을 제시하였다. 라인트레이서를 사용한 모의 실험 결과 제시한 방법의 타당성을 검증할 수 있었다. 따라서 무인운반차의 설계를 변경하여 무인운반차의 후면부에도 센서를 장착한다면 보다 효율적이고 경로 추종 오차가 작은 주행이 가능할 것이다.

감사의 글

이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

References

[1] Jungje Park, Jungmin Kim, Joocheol Do, Sungshin Kim, Sunil Bae, "Path Tracking for AGV using

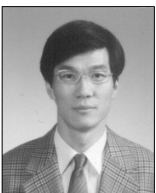
- Laser guidance system," The Journal of Korea Robotics Society, Volume 5, No.2, pp.120-126, 2010.
- [2] Kyunghoon Jung, Jungmin Kim, Jungje Park, Sungshin Kim, Sunil Bae, "Line Tracking Method of AGV using Sensor Fusion," Journal of The Korean Institute of Intelligent Systems, Volume 20, No 1, pp.54-59, 2010.
- [3] Joocheol Do, Jungmin Kim, Kyunghoon Jung, Seungbeom Woo, Sungshin Kim, "Path Planning for AGVs with Path Tracking," The Journal of Korea Robotics Society, Volume 5, No 4, pp.332-337, 2010.
- [4] 정도희, 이국도, 박종연, 유창호, 무인운반개론, Sejinbook, 2001.
- [5] R. Rajagopalan, R.M.H.Cheng, S.Lequoc, "A Guidance Control for Accurate Track Following of AGVs", International Conference on Robotics and Automation, pp.188-193, 1992
- [6] Xing Wu, Peihuang Lou, Dunbing Tang Jun Yu "An Intelligent-Optimal Predictive Controller for Path Tracking of Vision-based Automated Guided Vehicle", International Conference on Information and Automation, pp.844-849, 2008
- [7] Enxiu Shi, Junjie Guo, Changlin He, Tao Cai, "Experiment Study of Multi-Step Predictive Control in AGV Path Tracking", International Conference on Automation and Logistics, pp.531-535, 2007

저 자 소 개



이 지 영 (李知映)

1990년 10월 9일생. 2013년 금오공과대학교 전자공학부 졸업. 2013년 3월~현재 금오공과대학교 전자공학과 석사
주관심분야 : 지능로봇, 임베디드 시스템



성 영 휘 (成永輝)

1962년 5월 20일생. 1988년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1996년 KAIST 전기및 전자공학과 졸업(공학). 1995년 9월~1996년 8월 영국 Oxford university 박사 후 연구원. 1996년~1998년 LG산전 선임 연구원. 1998~현재 국립 금오공과대학교 전자공학부 교수
주관심분야 : Walking robot, Redundant manipulator