

# RFID/IMU/Encoder/근접센서를 활용한 무인지게차의 복합센서 시스템 연구

† 신희영 · 최형식\* · 김환성\*\* · 정성훈\*\*\*

† 한국해양대학교 기계·에너지 시스템 공학과 대학원, \* 한국해양대학교 기계·에너지 시스템 공학과 교수  
\*\* 한국해양대학교 물류시스템 공학과 교수, \*\*\* 한국해양대학교 산업기술연구소 교수

## Technology Development for Composite Sensor System of Automatic Guided Vehicle(AGV) Using RFID/IMU/Encoder/Proximity Sensor

† Hee-Young Shin · Hyeung-Sik Choi\* · Hwan-Seong Kim\*\* · Sung-Hun Jung\*\*\*

† Division of Mechanical and Energy systems Engineering, Korea Maritime University, Korea 606-791, Busan

\* Division of Mechanical and Energy systems Engineering, Korea Maritime University

\*\* Department of Logistics System Engineering, Korea Maritime University

\*\*\* Research Institute of Industrial Technology, Korea Maritime University

**요약** : 본 연구는 복합센서를 활용한 무인지게차의 주행 시스템에 대한 것이다. 무인지게차가 화물 이 적재를 위해 랙에 진입할 시 필요한 주행기술로 무인지게차의 위치 및 방향을 정확하게 파악하기 위해 RFID, IMU센서 및 근접센서로 구성된 복합센서 시스템을 이용하였고, 각 센서의 성능실험을 통해 특성을 파악한다. 이를 직접 설계/제작한 실험용 차량에 부착하여 복합센서 시스템을 적용하는 실험을 수행하고 이를 통해 개발된 시스템의 성능을 검증하였다.

**핵심용어** : 복합센서 시스템, IMU 센서, RFID, 근접센서, 무인지게차

**Abstract** : This paper is about a complex sensor system of an automatic guided vehicle(AGV) for loading and unloading payloads. For the AGV to approach to the target rack for loading and unloading the payload, a way to identify the position and orientation was studied. To identify the position and orientation of the AGV accurately, a complex sensor system composed of RFID, IMU, and limit sensors was developed, and the performance of each sensor was undertaken. A model AGV was constructed, and the good performance of the developed complex sensor system was verified through performance experiments.

**Key words** : composite navigation system, IMU sensor, RFID, proximity sensor, automatic guided vehicle

### 1. 서론

저탄소 녹색성장을 견인하는 녹색물류 강국 실현을 위해 저탄소형 및 고효율의 하역장비와 지능형 물류센터 개발에 대한 연구가 활발하다.(Lee, 2011) 기후변화협약을 기점으로 물류시설의 자동화 기술, 물류 IT의 지능화, 물류시스템 운영기술, 인터모달 기술 등 첨단 물류기술분야에서의 R&D 개발에 노력하며, 주요 물류 기업에서는 글로벌화 및 녹색물류로의 전환 등으로 새로운 패러다임으로 전환을 시도 중이다.(Lee, 2010; KIPO, 2011) 본 연구에서는 교통체계효율화 사업을 통해 물류센터내의 주된 작업시간과

비용이 요구되는 화물 하역 및 이송 처리 시 요구되는 자동화기술에 대한 연구개발로 랙에 화물 이 적재를 위해 진입할 시에 필요한 무인지게차의 복합센서에 관해 연구한다.

무인지게차(이하 AGV)를 이용한 공장 물류자동화 시스템에서 운반차의 이동경로를 설정하는 방법은 운반차에 대한 경로할당 추종방식이 주로 사용되나 돌발장애물 또는 다른 차량과의 조우 시 회피동작에 제약을 받아 운송이 어려워진다는 단점이 있다.(Jung, 2010a, b, c) 위성항법(GPS) 기반의 주행방법(Yun, 2007)은 지상 시설의 설치 없이 위성항법 기반의 위치 정보를 이용하여 주행경로를 설정하므로 기존에 비해 효율적이거나 주변 여건에 따라 위

† 교신저자 : 연희원, vakarin@naver.com 051)410-4969

\* 연희원, hchoi@hhu.ac.kr 051)410-4297

\*\* 종신회원, kimhs@hhu.ac.kr 051)410-4334

\*\*\* 종신회원, director@hhu.ac.kr 051)850-1225

성향법 정보에 오차가 발생하거나 실내에서는 사용이 불가능한 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 부가적인 센서를 이용할 경우 시스템이 복잡해지고 비용을 증가시키는 단점이 있다.

본 논문에서는 AGV가 화물 이 적재를 위해 랙과 랙 사이에 진입할 때 가장 효율적인 주행 센서인 RFID, IMU 및 근접센서를 활용한 복합센서를 설계하고 실험을 통해 이를 확인한다.

## 2. 복합센서 시스템의 구성

물류창고에서 무인으로 운영되고 있는 AGV는 여러 가지 제어 기술의 집합체이다. 그중에서도 우리가 목표로 하는 기술은 기존의 주행기술인 라인 트래킹 기법(Jung, 2010b), 경로추적 방식 기술(Jung, 2010c), GPS 및 레이저 네비게이션 이용한 방식 등과 달리 랙에 진입하는 경우에 필요한 주행기술만을 고려한다. 올바른 진입에 실패할 경우 랙의 기둥에 부딪히거나 잘못된 진입으로 인해 랙과 AGV에 모두 피해를 줄 우려가 있기 때문이다. 이러한 랙 진입기술을 구현하기 위해서는 여러 가지 센서들을 이용한 AGV의 위치정보 및 방향정보의 파악이 필요하다. 랙 정보의 파악 및 정지위치 인식을 위한 RFID 모듈, AGV의 Heading 제어를 위한 IMU센서, 랙 면과의 수평거리 인식을 위한 근접센서로 구성된 복합센서 시스템 모듈을 구성하여 직접 제작한 실험용 차량에 설치한다. Fig. 1과 같이 랙에 진입하기 전 IMU센서로 AGV의 현 자세를 파악하고 Heading 제어를 통해 진입을 시도한다. 진입과 동시에 두개의 근접센서의 거리정보를 통해 수평을 유지하면서 직선주행하게 된다. RFID를 이용해 목표 랙을 찾게 되면 tag의 가장 가까운 인식 시점부터 정해진 거리만큼 이동하여 이 적재 명령이 할당된 목표 랙 위치에 정확하게 도달하게 된다. 본 연구에서는 이러한 복합센서 시스템을 구성하고 주행실험을 통해 이를 검증한다. 본 실험에 앞서 각 센서의 특성을 파악하기 위한 실험이 선행된다.

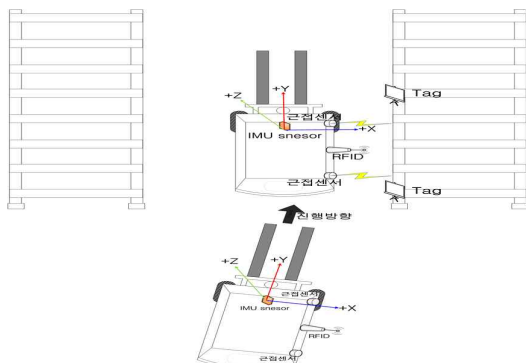


Fig. 1 Rack surrounding and AGV approaching algorithm

### 2.1 RFID 모듈을 이용한 Tag인식 실험

물류창고의 랙을 인식하는 방법으로 물체 위치추적 기술인 RTLS(Real Time Location System)와 송수신기를 이용한 방법 등이 있다.(Choi, 2009) 하지만 RTLS기법은 높은 설비비용과 전파방해에 약한 점들로 인해 상용화에 어려움이 따른다. 이에 본 연구에서는 저가의 비용으로 설치가 단순하면서 랙 정보의 파악이 용이한 RFID module을 이용한다. 이러한 RFID module을 이용할 경우 거리에 따른 RFID tag의 인식범위와 인식율을 고려할 필요가 있다. 너무 광범위한 영역을 인식하는 경우에는 정확한 tag의 위치파악에 혼잡을 야기하고 인식범위가 좁다면 원하는 정보를 얻지 못하기 때문이다. 이에 RFID 리더기의 출력 주파수대역에 따른 인식범위를 파악하는 실험을 수행한다.

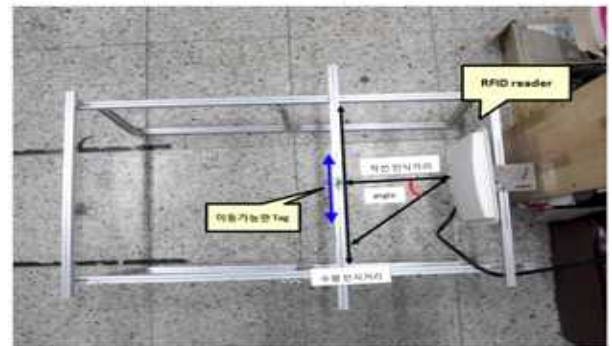


Fig. 2 Experimental setup for RFID module

RFID 리더기의 정확한 인식범위 파악을 위해 Fig. 2와 같이 눈금이 그려진 측정 장치에 직선 및 수평 이동이 가능하도록 tag를 부착하여 구성하였다. 구성된 장치는 직선 거리 10cm - 100cm, 수평거리  $\pm 30$ cm까지 측정이 가능하다. RFID 리더기의 출력 주파수대역 조정과 tag에 정보입력을 위해 C언어 기반의 Microsoft Visual studio 2008을 이용해 프로그램을 제작하였고 RS-232통신을 이용해 PC로 계측한다. 제작한 프로그램을 이용해 RFID 리더기의 출력 주파수를 실시간으로 변경하여 각 거리영역에서 100번의 인식 시도 중 인식 성공 횟수를 기반으로 인식율을 측정하고 각 거리 정보를 이용해 인식 각도를 산출하여 실험결과를 도출하였고 이는 Table 1과 같다.

Table 1 Recognition distance according to output

출력 1dBm(1.23mW)			
직선 인식거리	인식율(%)	수평 최대 인식거리(mm)	각도(°)
100mm	100	±140	54.46
110mm	100	±130	49.76
120mm	100	±100	39.85
130mm	100	±70	28.30
140mm	100	±60	23.19
150mm	53	±40	14.93
160mm	37	±20	07.12
출력 2dBm(1.59mW)			
직선 인식거리	인식율(%)	수평 최대 인식거리(mm)	각도(°)
160mm	100	±130	39.09
170mm	100	±130	37.41
180mm	100	±120	35.83
190mm	100	±120	32.28
200mm	100	±120	30.96
210mm	100	±110	27.64
220mm	100	±110	26.56
230mm	100	±100	23.50
240mm	100	±90	20.56
250mm	100	±90	19.80

출력이 1dBm(1.23mW) 일 때, 직선 인식거리를 살펴보면 RFID 리더기와 tag가 140mm이상으로 멀어지면 인식율이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이 때 RFID 와 tag간의 수평 인식거리는 ±60mm로 실험용 차량이 tag위치에서 약 20°도 앞선 시점부터 인식하는 것을 알 수 있지만 1dBm의 출력 주파수로는 약 140mm 이상 떨어진 지점의 tag인식에는 한계가 있기 때문에 출력 주파수의 증가가 필요하다. 출력이 2dBm(1.59mW)일 때 직선 인식거리의 변화를 살펴보면 200mm이상까지도 인식율이 변함없이 100%임을 확인할 수 있다. 실험용 차량의 RFID 리더기와 모형 랙에 부착된 tag의 간격이 약 200mm - 250mm임을 고려하여 최대 250mm까지 직선거리를 가변하며 실험하였다. 현 실험에서의 최대 직선 인식거리인 250mm일 때 수평으로의 최대 인식거리는 90mm이고 이때의 각도는 약 20°로 실험용 차량이 tag의 약 20°앞선 시점부터 인식이 가능한 것을 확인하였다.

2.2 IMU센서의 특성 파악

제어 가능한 지게차의 경우는 육안으로 지게차의 자세를 제어할 수 있지만 무인으로 구동되는 AGV의 경우는 차량의 위치 인식 및 자세제어는 매우 중요하다. 이러한

차량의 위치정보는 IMU 센서와 AGV 구동모터에 설치된 엔코더를 이용해 얻을 수 있다. 본 연구에서는 IMU 센서(자이로센서)와 엔코더 값을 이용해 목표점까지의 이동 위치 및 방향을 파악한다. 하지만 이러한 IMU센서는 외부 영향에 의한 누적 오차가 발생되고 이의 정도를 파악하기 위한 특성파악이 필요하다. 현재 사용 중인 IMU센서는 16bit ADC를 통해 디지털 변환하여 필터링된 관성 데이터를 다중모드 확장 칼만필터(Extended Kalman filter)를 통해 노이즈를 최소화한 roll, pitch, yaw각도 출력 값을 얻도록 알고리즘되어 있다. 구성된 센서의 정밀성을 위해 노이즈의 영향을 파악하였다. Fig. 3의 그래프는 각 roll, pitch, yaw값을 서로 다르게 두고 한 시간 동안 정지시켜 두고 측정한 결과를 나타낸다.

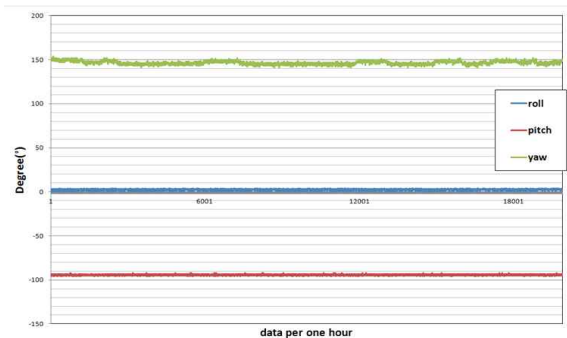


Fig. 3 Measurement of IMU sensor

정지 상태에서 roll각도 값은 기준 0.2°에서 ±0.1°오차, pitch각도 값은 -9.40°에서 ±0.1°오차, Yaw값은 -14.90°에서 ±0.2°오차를 보이는 것을 확인할 수 있다. Heading(yaw)값이 약간의 오차를 가지는데 이는 실험용 차량의 구동부 모터의 자기장에 의한 왜곡현상에 의한 것으로 추정되지만 영구적 발산은 일어나지 않아 제어에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

2.3 근접센서를 통한 랙 감지거리 파악

자동 물류창고 환경에서 AGV가 랙에 진입하여 화물 이적재를 위해 이동할 때 랙과 수평을 유지하면서 주행하고 tag까지의 거리를 측정해야 한다. 관련 기술로는 비전시스템을 응용하는 방법, 라인트래킹 등의 방법이 있지만 가장 효율적인 기술로는 근접센서를 활용하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 근접센서의 한 종류인 초음파 센서를 이용해 tag까지의 거리정보를 파악하고 랙과 수평을 유지하면서 주행하는 방법을 사용하였다.

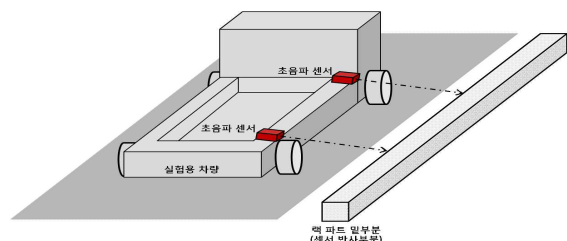


Fig. 4 Application of ultrasonic sensor

Fig. 4와 같이 실험용 차량에 두 개의 초음파 센서를 1m 간격으로 부착하고 모형 랙의 밑 부분을 감지하도록 하여 수평을 유지하면서 주행할 수 있는 장치를 구현한다. 이 경우 초음파 센서가 정확하게 랙의 밑 부분을 감지하지 못하면 수평을 유지하면서 주행하는 시스템이 구현되지 못하므로 초음파 센서의 감지범위 파악이 필요하다. 이를 위해 초음파 센서의 정적특성을 파악하였다.

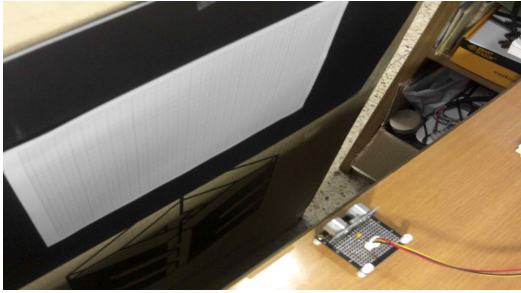


Fig. 5 static test of ultrasonic sensor

Fig. 5와 같이 초음파 센서의 감지범위를 확인하기 위해 초음파 센서가 부착된 센서부, A4용지 크기의 좌표계 그리고 초음파 센서의 거리정보를 계측하는 PC로 실험환경을 구성한다. 정적실험은 초음파 센서를 지면에 두고 센서의 중심부에서 200mm - 250mm사이 거리에서 센서의 감지범위를 파악한다. 큰 차이를 보이지는 않지만 가로, 세로 약 100mm의 타원형 형상을 가진 인식범위를 가지는 것을 확인하였다.

### 3. 복합센서 기반의 AGV 구성

RFID/IMU/근접센서로 구성된 복합센서 시스템을 실제 AGV에 구현하기 위해 실험용 차량을 직접 설계·제작하였다. 본 연구에 사용된 실험용 차량은 DC24V 전원과 평균전력 150W를 낼 수 있는 두 개의 maxon motor를 구동부로 사용하였고 주행제어를 쉽게 하기 위해 두 개의 바퀴가 독립적으로 구동되도록 제작하였다. 기구부의 후면에는 볼 캐스터를 이용해 회전 중심을 앞쪽으로 가져오면서 기구부의 회전중심을 전면에 있는 두 개의 바퀴축의 속도 비에 의해 결정되도록 하였다. Fig. 6은 실험용 차량의 회전운동을 보여준다.

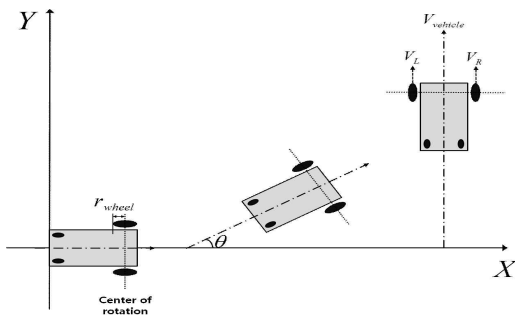


Fig. 6 Rotation performance test of AGV

위와 같이 구성된 실험용 차량에 제안한 시스템의 성능 실험을 위해 제어시스템을 구축하였다. 차량이 주행하는 동안 구동모터에 부착된 엔코더를 이용해 이동거리를 측정하고, 구동축의 전면부에 부착된 IMU센서로 차량의 회전관성을 제어한다. RFID 리더기는 랙에 진입하여 tag를 인식하여 정지시점을 제공하고, 초음파 센서는 차량과 tag 간의 거리파악과 수평유지 주행을 위해 사용된다. 각 센서의 계측 및 제어를 위해 ATmega128과 DSP28335 및 노트북이 사용되었다. 초음파 센서의 거리정보는 ATmega128을 이용하여 PC로 거리정보를 송신하도록 구성하였고, IMU센서 및 RFID module은 RS-232통신을 이용해 PC로 계측한다. 계측된 정보들을 이용해 메인 제어기인 DSP28335를 통해 제어알고리즘이 수행된다. 수행된 제어 알고리즘에 따라 모터 드라이버로 PWM 펄스가 발생하고 차량에 부착된 엔코더의 펄스값과 IMU센서의 yaw각도를 이용한 차량 회전, RFID의 tag정보 획득 및 초음파 센서를 이용한 정지시점 제공 등의 상호 피드백을 통한 주행이 이루어진다.

### 4. 복합센서 시스템의 성능시험

제안한 복합센서 시스템의 성능 분석을 위해 Fig. 7과 같은 공간에서 실험을 하였다. 물류창고의 랙과 유사하게 구현하기 위해 프로파일용을 이용해 가로, 세로, 높이가 각각 3300mm, 1200mm, 1000mm로 모형 랙을 제작하였다. 모형 랙의 첫 번째 기둥 넓이는 100mm, 밑 기둥부의 길이는 1500mm, 두 번째 기둥 넓이는 100mm, 두 번째 밑 기둥부의 길이는 1500mm이다.



Fig. 7 Experimental environment

이동한 경로는 ① ~ ③ 구간으로 총 주행 길이는 6m이다. 실험 방법은 평균 0.1m/s의 속도로 ①구간을 3m 이동 후 ②구간에서 IMU센서 heading(yaw)값을 이용해 90°회전하여 ③구간(모형 랙)으로 진입한다. ② - ③구간에서 첫 번째 RFID tag를 인식함과 동시에 초음파 센서로 계측된 차량과 tag간의 거리정보와 앞서 실험했던 tag의 직선 거리에 따른 수평 인식거리 실험값을 토대로 진입 시 tag 인식시점부터 수평으로 이동할 거리정보를 제공받게 된다. 제공된 정보와 제어 알고리즘을 통해 차량이 화물을 이적시키기 위한 곳까지 두 개의 초음파 센서를 이용한 수평유지 주행 후 정지하게 된다. 위의 주행시험을 5회 반복 수행하여 Table. 2의 결과를 얻었다. Table. 2는 복합센서 시

시스템을 이용한 자율주행의 결과 값으로 ① - ③ 구간을 이동해 목표지점인 첫 번째 랙의 중심부까지의 주행결과를 보여준다. 가장 이상적인 주행결과로는 화물을 이적제하기 위한 랙의 중심부 즉, 첫 번째 tag와의 거리가 800mm(랙 중심부)인 지점에서 멈추는 것이다. 실험 1은 랙 중심부와 위치오차가 31.6mm로 실험결과 중 가장 큰 오차를 보였고 실험 2는 23.5mm로 매우 작은 오차를 보이는데 이러한 오차는 아주 미소한 tag의 인식시점의 차이로 예상된다. tag의 인식시점이 주변 환경이나 노이즈에 의해 10 - 50mm정도의 변화를 보이면서 이로 인한 정지시점 제공에 오차가 생겨 최종적으로 AGV의 정지위치 또한 오차를 가지게 된다. 위의 반복실험 결과 평균 약 27mm의 오차를 가지는 것을 확인하였다. Fig. 8은 실제 주행실험으로 시작점부터 정지시점까지의 이동과정을 보여준다.

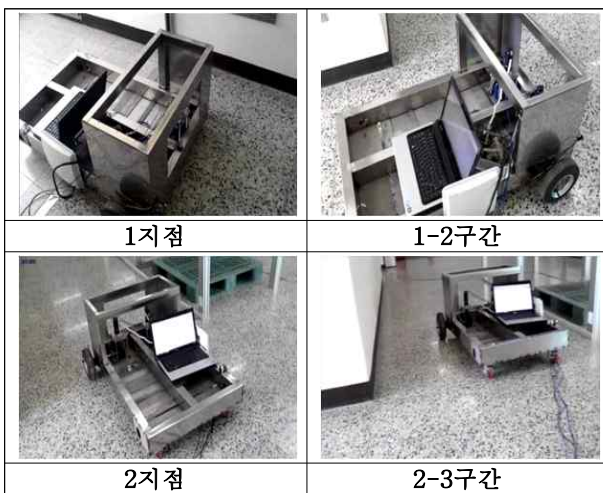


Fig. 8 Performance test

Table 2 result of the performance test

	초음파 센서1	초음파 센서2	첫 번째 tag와의 거리	랙 중심부와의 오차율
1	232.3mm	233.1mm	831.6mm	31.6mm
2	233.7mm	234.3mm	823.5mm	23.5mm
3	240.4mm	241.1mm	826.7mm	26.7mm
4	237.5mm	236.0mm	825.6mm	25.6mm
5	239.4mm	238.8mm	827.4mm	27.4mm

### 5. 결 론

본 연구에서는 RFID/IMU/근접센서로 구성된 복합센서의 융합을 통해 물류창고에서 AGV가 랙에 진입 시 필요한 주행기술을 구현하였다. 실제 자동화 창고에서 운행되는 AGV의 주행기술과는 차이가 있으므로 랙에 진입할 경우를 타깃으로 하여 복합센서 시스템을 구현하였다. 제안된 복합센서 시스템을 설계하기 위해 각 센서들의 특성을 파악하였고 이의 결과 데이터를 기반으로 복합센서 시스템의 성능을 평가하였다. 가장 이상적인 결과는 첫 번째 모형 랙 기둥에 부착된 tag위치에서 800mm 떨어진 랙의

중심부에 정지하는 것이다. 하지만 성능시험 결과 평균 27mm의 거리 오차를 가지는 것을 확인하였다. 이는 주변 환경이나 노이즈로 인한 RFID의 인식시점의 차이로 인한 것으로 예상된다. 하지만 이는 목표 랙의 길이에 대해 4%에 해당하는 오차 값으로 목표 랙의 길이에 비교하면 매우 적은 오차 값이다. 또한 RFID의 인식거리에 대한 보정 알고리즘을 통해 오차율을 개선할 수 있을 것으로 예상된다. 이는 실제 상황에서 매우 적은 오차를 갖는 결과로 제안된 복합센서 시스템으로 화물 이적제의 주행기술 적용에 매우 적합함을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 교통체계효율화연구개발 사업의 연구비지원(11교통체계-물류02)에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Lee, M. Y.(2011), The Implications Based on Review to Foreign Green Logistics Industry, KRIHS, pp. 5-103.
- [2] Lee, S. Y., Kim, G. S. and Song, J. M.(2010), A Study on Advancement of Logistics Industry in Korea, Korea Maritime Institute, pp. 21-111.
- [3] Korean Intellectual Property Office(2011), Patent Survey Report for Development of Loading & Unloading and Transfer System Technology for Intelligent Logistics Center, pp. 39-45.
- [4] Jung, K. H.(2010a), Kim, J. M., Do, J. C. and Kim, S. S., "Sensor Fusion of AGV using Extended Kalman Filter", Proceedings of KIIS Fall Conference, Vol. 20, No. 2, pp. 287-288.
- [5] Jung, K. H.(2010b), Kim, J. M., Park, J. J., Kim, S. S. and Bae, S. I., "Line Tracking Method of AGV using Sensor Fusion", KIIS, Vol. 20, No. 1, pp. 54-59.
- [6] Jung, K. H.(2010c), Kim, J. M., Kim, S. D. and Kim, S. S., "Traffic Control Method for AGVs using Path Tracking", Proceedings of KIIS spring conference, Vol. 20, No. 1, pp. 391-393.
- [7] Yun, D. S.(2007) and Yu, H. S., "Extended Kalman Filter Design for Autonomous Navigation with GPS and INS Sensor System Fusion", J. of the Korean Sensors Society, Vol. 16, No. 4, pp. 294-300.
- [8] Choi, M. K.(2009), Kim, G. H. and Hong, B. H., "Location Identification Technique for Freight in Warehouse Environment Based on RFID Tag" Proceedings of Korea computer congress, Vol. 36, No. 1, pp. 91-95.

원고접수일 : 2013년 4월 25일  
 심사완료일 : 2013년 6월 13일  
 원고채택일 : 2013년 6월 18일