

論 文
B 2-5

회전 Laser 슬릿 빔을 이용한 AGV의 위치 및 자세의 검출

박건국* · 김선호** · 박경택** · 안중환***

Detection of AGV's position and orientation using laser slit beam

*K. K. Park** · *S. H. Kim*** · *K. T. Park*** · *J. W. Ahn****

Key Words : 독킹 시스템(Docking System), AGV, Laser, Infra Red, 포토 디텍터(Photo Dectecor), 삼각법(Trigonometry), LSB(Laser Slit Beam)

Abstract

The major movement block of the containers have range between apron and designation points on yard in container terminal. The yard tractor operated by human takes charge of its movement in conventional container terminal. In automated container terminal, AGV(Automated Guided Vehicle) has charge of the yard tractor's role and the navigation path is ordered from upper level control system. The automated container terminal facilities must have the docking system to guide landing line to have high speed travelling and precision positioning. The general method for docking system uses the vision system with CCD camera, infra red, and laser. This paper describes the detection fo AGV's position and orientation using laser slit beam to develop docking system.

* 부산대 지능기계공학과 대학원

** 한국기계연구원 자동화 연구부

*** 부산대 기계공학부

1. 서론

무인 자동화 컨테이너 터미널을 개발하기 위해서는 해측 운영(Sea side operation) 기술, 야드측 운영(Yard operation) 기술, 출입구 운영(Gate operation) 기술의 복합적인 기술이 확보되어야 한다. 해측 선박을 포함한 야드 내 컨테이너 장치간 확인, 검출, 안내 기술 등이 필요하다.

컨테이너 터미널에서 컨테이너의 주된 이동 구간은 선박이 위치되어 있는 안벽과 야드 위의 주어진 위치간 및 야드내에서 주어진 위치간 이동이 될 것이다. 종래의 터미널에서는 운전자에 의해 동작이 이루어지는 야드 트랙터가 이러한 기능을 수행한다.

무인 컨테이너 터미널에서는 야드 트랙터의 기능을 무인 운반차(AGV, Automated Guided Vehicle)가 맡게 되고 그 주행 동작은 상위 시스템의 지시를 받게 된다. 이러한 시스템에 AGV가 빠른 속도로 주행을 하고, 정확한 위치에 정지할 수 있도록, 정지 위치를 안내해주는 시스템이 필요하게 되는데, 이 기능을 Docking 시스템이라 한다¹⁾.

이러한 Docking 시스템을 구성하는 방법으로 수신호에 의한 Docking 시스템, 스프레더에 설치된 발광체를 이용한 Docking 안내 시스템, LSB를 이용한 Docking 안내 시스템, 영상처리법을 이용한 Docking 시스템 등이 있으나 태양광 등에 대한 내환경성, 내충격성(10g), Docking 안내 및 확인 기능을 동시에 만족하는 면에서는 문제점들이 있다.

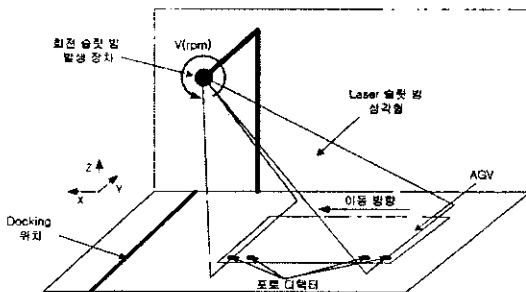


Fig. 1 Docking system using rotating LSB

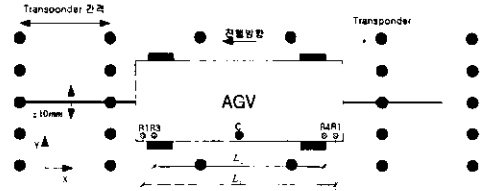


Fig. 2 Assumption about AGV

따라서 본 연구는 기존 Docking System의 문제점들을 해결하기 위하여 Fig. 1에서와 일정 속도로 회전하는 Laser 슬릿 빔을 크레인에 설치하여 진행 방향에 수직으로 Laser 슬릿 빔을 주사하고 AGV 위에 배열된 포토 디텍터를 이용하여 AGV의 위치와 자세를 검출하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

2. 이론

2.1. AGV에 대한 가정

본 연구에서의 사용되는 AGV는 Fig. 2에서와 같이 지면에 부착된 Transponder나 Magnet을 이용한 네비게이션 시스템에 의해 Y방향으로 $\pm 10mm$ 의 오차로 주행하고 있다고 가정한다. 따라서 본 연구에서는 X축 방향으로의 AGV의 위치를 검출한다. Fig. 2와 같이 AGV의 위치와 자세를 알기 위하여 L_1 의 거리로 포토 디텍터 R1과 R2를, L_2 의 거리로 R3와 R4를 중심 점 C에 대칭으로 배치한다.

2.2. 위치 및 자세의 측정 모델

Fig. 3(b)에서 회전 슬릿 빔이 X축에 수직인 방향으로 물체 위의 포토 디텍터 R1, R2, R3, R4를 지나가는 시점은 각각 X축에 투영된 점 R1', R2', R3', R4'을 지날 때와 같다.

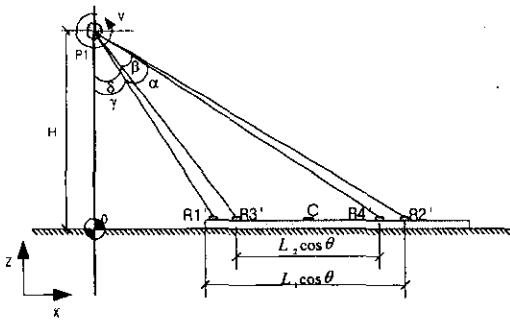
AGV의 중심 C와 원점 O와의 거리 D와 X축에

대해서 AGV의 틀어진 각도 θ 를 구하기 위해서 R1'와 R2', R3'와 R4'를 이용하여 두 개의 식을 유도할 수 있다. Fig. 2(a)에서 R1'와 R2'에 대해서 삼각법을 이용하여 식 (1)을 얻을 수 있다.

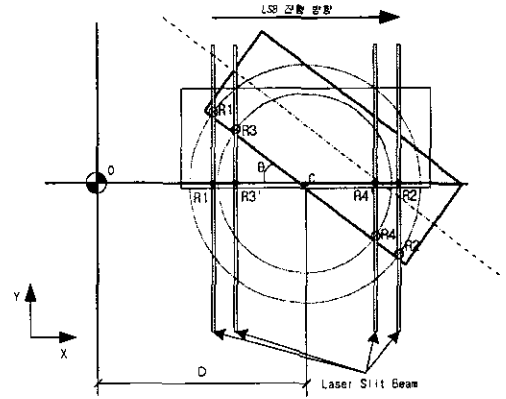
$$\tan \gamma = \frac{D - (L_1 \cos \theta) / 2}{H} \quad (1)$$

탄젠트 정리를 이용하여 식 (2)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tan(\alpha + \gamma) &= \frac{\tan \alpha + \tan \gamma}{1 - \tan \alpha \times \tan \gamma} \\ &= \frac{D + (L_1 \cos \theta) / 2}{H} \end{aligned} \quad (2)$$



(a) X-Z plane



(b) X-Y plane

Fig. 3 Distance and orientation measuring scheme

식 (1)을 식 (2)에 대입하여 거리 D에 대해서 정리하면 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$D = \pm \sqrt{\frac{HL_1 \cos \theta}{\tan \alpha} + \frac{L_1^2 \cos^2 \theta}{4} - H^2} \quad (3)$$

마찬가지로 R3'와 R4'를 이용하여 거리 D를 구하면 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$D = \pm \sqrt{\frac{HL_2 \cos \theta}{\tan \beta} + \frac{L_2^2 \cos^2 \theta}{4} - H^2} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)를 연립으로 풀면 틀어진 각 θ 는 식 (5)와 같이 얻어진다.

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{4H}{L_1^2 - L_2^2} \left(\frac{L_2}{\tan \beta} - \frac{L_1}{\tan \alpha} \right) \right\} \quad (5)$$

따라서 거리 D는 식 (5)를 식 (3) 또는 (4)에 대입하여 구할 수 있다.

2.3. 사이각의 측정

AGV의 위치와 자세를 알기 위해서는 먼저 슬릿

빔이 R1과 R2를 지나간 시간차 ΔT_{12} 와 R3와 R4를 지나간 시간차 ΔT_{34} 를 구하여야 한다. Laser 슬릿 빔의 회전 속도를 $V(\text{rpm})$ 라고 할 때 사이각 α, β 는 다음 식으로 구해진다. 슬릿 빔의 1회전에 걸리는 시간은 $60/V$ (s/rev)이다. 따라서 사이각은 식 (6)과 (7)로 표현된다.

$$\alpha = 360(^{\circ}) \times \frac{V(\text{rpm}) \times \Delta T_{12}(\text{s})}{60(\text{s})} \quad (6)$$

$$\beta = 360(^{\circ}) \times \frac{V(\text{rpm}) \times \Delta T_{34}(\text{s})}{60(\text{s})} \quad (7)$$

본 연구에서 사이각의 정확간 측정은 AGV의 자세와 위치를 바로 구하는 데 쓰이기 때문에 전체 시스템의 측정 성능에 가장 중요하다. 사이각은 레이저빔의 폭의 변화, 시간 측정 모듈의 측정 지연 등의 원인에 의해서 오차를 가지게 되는 데, 이 값들은 보정 함수를 구하여 보상해 주어야 한다.

사이각 보정 함수를 구하기 위해서 AGV가 틀어지지 않은 자세에서 중심 C가 거리 $D=0$ 일 때부터 일정한 거리 간격으로 증가시키면서 ΔT_{12} , ΔT_{34} 를 측정한다. 이것을 식 (6), (7)에 대입하여 사이각 α_M , β_M 를 구한다. 거리에 대한 이론적인 사이각 α , β 를 시뮬레이션에 의해 구하면 시뮬레이션된 값과 측정된 값의 오차를 표현하는 보정함수 f 를 각각 구할 수 있다.

$$\alpha = \alpha_M + f(\alpha_M) \quad (8)$$

$$\beta = \beta_M + f(\beta_M) \quad (9)$$

보정된 α , β 를 식 (3), (4)에 대입하여 거리 D 를 구할 수 있고, 식 (5)에 대입하여 틀어진 각을 구할 수 있다.

3. 회전 슬릿 빔 발생 장치의 제작

3.1. 레이저 송신 광학계의 제작

120mW의 출력과, 830nm의 파장을 가지는 Near-Infrared 다이오드(비가시광)를 레이저 소스로 사용하였다. 여기에서 출력된 빛은 포커스 렌즈를 지나 실린더 렌즈를 통과하면 슬릿 빔 형태로 출력된다. 슬릿 빔은 Fan Angle(F.A.)을 가지면서 출력되는 데 이것은 Fig. 4에 나타내었다. 레이저 이미터에서 거리 X 만큼 떨어진 곳에 맺힌 레이저 슬릿 빔은 길이 L 은 $2X \tan(F.A.)$ 로 계산된다. 제작된 광학계의 Fan Angle은 5° 이다. 15m거리에서 약 L 은 2.65m이다.

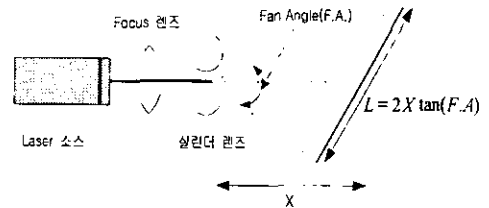


Fig. 4 Laser emitter and Fan angle geometry

3.2. 회전체 전원의 공급

회전하고 있는 Laser 슬릿 빔에 전원을 공급하기 위해서 슬립링(Slip Ring)을 사용하였다. 레이저 소스는 +5V의 전원 전압과 그라운드 선이 입력되는데 4개의 접점을 가진 슬립 링을 제작하여 전원을 공급하였다.

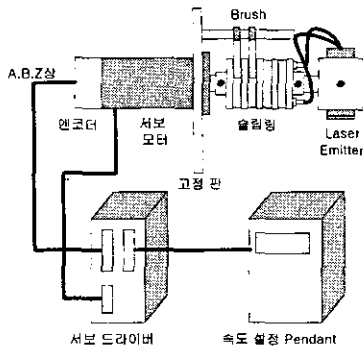


Fig. 5 Diagram of velocity control

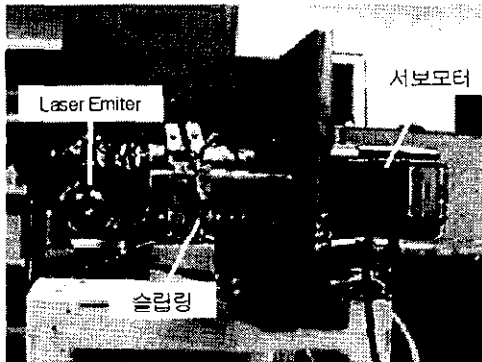


Fig. 6 Rotating LSB using servo motor

3.3 회전 속도의 설정

슬릿 빔을 회전 시키기 위해서 삼성전자의 정격 회전속도 3000rpm, 출력200W의 CSM시리즈 서보모터를 사용하였고 서보 드라이버는 CSDJ 시리즈를 사용하였다. 속도 설정은 디지털 조그를 사용하여 속도를 제어하였다. 모터 회전 속도 3000rpm에서 속도 에러의 측정 결과(HT-4100)는 약0.0003%로 양호하였다. Fig. 5에 슬립링과 서보모터를 이용한 속도 제어 구성도를 나타내었다. Fig. 6은 그 사진은 나타내었다.

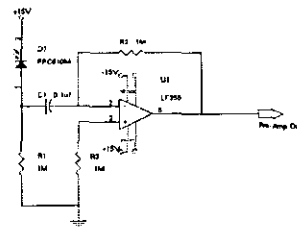
4. 포토 디텍터부의 설계 및 제작

4.1. 포토 다이오드의 선정

포토 다이오드의 선정은 응답 시간, 지향 각도, 최대 감도 파장등에서 본 연구에 알맞는 것을 선택하여야 한다. 본 연구에서는 PPC510M을 선택하였다. PPC510M은 PIN 형의 포토 다이오드로서 PN형의 포토 다이오드에 비해 고속, 원거리의 응용에 적합하다. 그 특성은 최대감도파장 850nm, 지향각도는 $\pm 60^\circ$ 이고, 응답 시간은 60ns이다.

4.2. 프리-앰프(Pre-amp)부의 설계

프리 앰프부는 포토 다이오드에서 검출된 미소한 전류를 1차적으로 증폭시켜주는 부분이다. 반동속도가 빨라야 되고, 태양광등의 왜란에 강해야 하며 암전류등의 영향을 적게 받도록 하여야 한다. 응답속도를 빠르게 하기 위하여 포토 다이오드에 역바이어스 전압을 인가하여 접합 용량을 감소시켜 고속화하였고, 암전류의 영향을 최소화하고 직류성분을 증폭하지 못하도록 콘덴서 결합을 하였다. Fig. 7은 설계된 프리-앰프부의 회로도를 나타내었다. 증폭저항은 실험에 의해서 1M옴으로 정하였다. 이보다 더 커지면 응답성을 좋아지나 신호에 잡음이 증가하게 된다.



4

Fig. 7 Pre-amp schematic

4.3. 신호 처리부의 설계

슬릿 빔을 3000rpm으로 회전시켰을 때 프리-앰

프의 출력 펄스의 폭은 거리에 따라 수십 μs 로 측정되었다. 펄스의 피크값에서 포토 디텍터의 수신 트리거 신호로 사용하는 것이 가장 좋다. 하지만 수십 μs 의 좁은 폭을 가지고 또한 가변적인 펄스의 피크값에서의 시간을 측정하기 위해서는 아날로그-디지털 변환하는 방법으로 피크값을 검출하고 이를 연산하여 출력하는 것은 어렵다. 본 연구에서는 하드웨어 연산에 의해 피크값을 검출하고 이 신호를 외부의 시간 측정 장치에 전달하는 신호 처리부를 개발하였다. Fig. 8은 이 신호 처리부의 블록도를 나타내었다.

프리-앰프에서 출력된 신호는 밴드 패스 필터를 지나서 노이즈로 간주되는 저주파와 고주파를 필터링하게 되며 슬라이스 회로는 미분회로에 입력하기 전에 0V 이상의 신호를 클램프시킨다. 미분 회로는 이 신호를 받아서 미분하게 되며 피크에서 제로-크로싱이 일어난다. 이것을 히스테리시스 있는 비

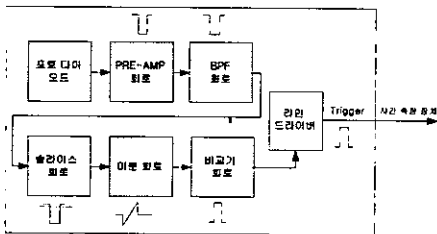


Fig. 8 Diagram of signal processing board



Fig. 9 Signal processing board

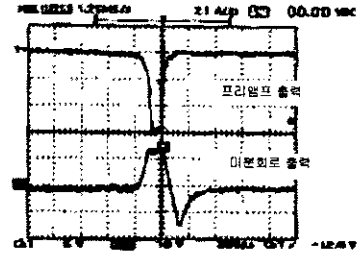


Fig. 10 Wave of pre-amp and differentiator circuit output

교기 회로에 입력하여 트리거 신호를 만든후 RS-422 라인 드라이버를 이용하여 멀리 떨어져 있는 시간 측정 장치에 레이저가 검출되었다는 것을 알려준다. 신호 처리부는 하나의 기판에 신호 처리부를 2개를 두었다. Fig. 9은 신호 처리부의 사진을 나타내었고, Fig. 10은 프리-앰프 부의 출력과 미분 회로의 출력을 나타내었다.

5. 시간 측정 장치의 설계 및 제작

Fig. 11에 시간 측정 장치의 하드웨어 블록도를 나타내었다. 시간 측정 장치는 두 개의 포토 디텍터로부터 출력된 트리거 신호의 시간차를 계산하는 기능을 2 채널 가지고 있으며 그 계산 결과를 RS-232c를 이용하여 PC로 전송하는 기능을 가지고 있다.

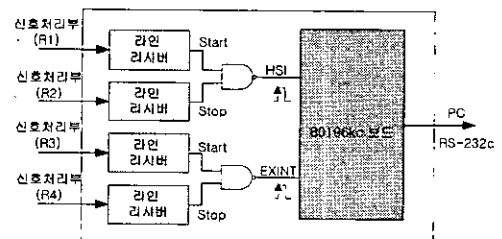


Fig. 11 Diagram of time measuring equipment

시간 측정 방법은 80916kc CPU에 공급되는 클

력이 20MHz일 때 CPU의 내부 타이머1은 $0.8 \mu s$ 마다 증가하는데 이것은 카운트하여 두 개의 신호의 시간차를 구하였다. 정확한 트리거 타이밍을 잡기 위하여 인터럽트 HSL0와 EXTINT 인터럽트를 사용하였다. 라인 리시버를 통해 Start 신호를 검출하였을 때의 타이머1의 값을 저장하고, Stop 신호가 검출되었을 때의 타이머1의 값의 차를 PC에 보내게 된다. Fig. 12는 시간측정장치의 사진을 나타내었다.

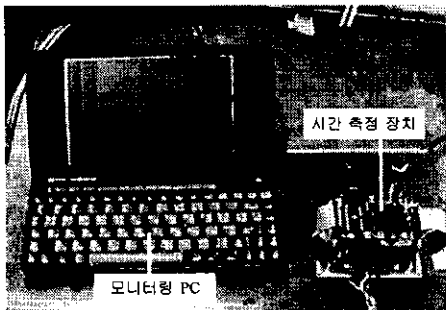


Fig. 12 Time measuring equipment

6. 결론 및 향후 연구 내용

무인 컨테이너 터미널을 개발하기 위한 요소 기수로서 Docking 시스템을 개발하고자 했다. 이를 위하여 회전 Laser 슬릿 빔을 이용한 AGV의 위치 및 자세 검출 알고리즘을 제안하였고, 시스템을 구축하였다. 향후 축소 모형을 이용하여 시스템의 성능을 평가한 후 실제 모형에 적용할 계획이며 태양과 등의 외란에 따른 출력 변화, 감도 변화, 작동 범위 등에 대한 실험을 수행할 계획이다.

본 연구는 해양수산부 및 과학기술부에서 시행하는 연구개발사업인 중점국가과제 내용의 일부 분입니다.

참고 문헌

- 1) 김선호, 박경택, 최성락, 변성태, 이영석 LSB를 이용한 Docking System 개발 한국항만학회 추계학술대회논문집, pp. 309~314, 1999
- 2) "광소자 응용 Knowhow", 도서출판 세운, p. 42, 1992
- 3) 황용하, "펄스 레이저를 이용한 1차원 레인지 파인더의 개발", 한국과학기술원 석사학위논문, pp. 45~59, 1995
- 4) Automatic Port System, Tadiran, 1996
- 5) New technology for container crane automation, GE Motors & Industrial Systems Technical Library