

## 회전 레이저 슬릿 빔을 이용한 AGV 이동위치 검출

김선호\*, 박건국\*\*, 박경택\*, 안중환\*\*\*

### Detection of Moving Position of AGV Using Rotating LSB(Laser Slit Beam)

Sun Ho KIM\*, Kun Kook Park\*\*, Kyoung Taik Park\*, Jung Hwan Ahn\*\*\*

#### ABSTRACT

The major movement blocks of the container are the range between the apron and the designation points on yard in container terminals. The yard tractor driven by operator takes charge of its movement in conventional container terminals. In automated container terminal, AGV(automatic guided vehicle) takes charge of a yard tractor's role and information of navigation path are ordered from upper control system. The automated container terminal facilities must have the docking system that guides landing line to execute high speed travelling and precision positioning. This paper describes the new docking method with the rotating LSB(laser slit beam) generator and two pair of photo receiver. The LSB generator is installed on the fixed ground and the photo receiver is implemented on the moving vehicle such as AGV. The proposed docking system is implemented to confirm its function and accuracy. The accuracy of measured moving position is represented in  $\pm 5\text{mm}$  at 1 data sampling.

**Key Words** : Rotating laser slit beam(회전 레이저 슬릿 빔), AGV, Moving position(이동위치), Docking system(독킹 시스템)

#### 1. 서론

컨테이너 터미널에서 컨테이너의 주된 이동구간은 선박이 위치하고 있는 안벽과 야드 위의 지정된 위치간 이동이 될 것이다. 종래의 터미널에서는 운전자에 의해 동작이 이루어지는 야드 트랙터가 이러한 기능을 수행했다.

자동화된 컨테이너 터미널에서는 야드 트랙터의 기능을 AGV(Automatic Guided Vehicle)가 맡게 되고, 그 주행동작은 상위 시스템의 지시를 받게 된다. 이러

한 시스템에서는 AGV가 빠른 속도로 주행을 하고 정확한 위치에 정지할 수 있도록 하기 위해, 정지위치를 안내해 주는 시스템이 필요하게 되는데 이 기능을 독킹 시스템(Docking System)이라 한다. 이를 조금 더 구체적으로 표현한다면 CC(Container Crane) 또는 ATC(Automatic Transfer Crane)의 스프레더(Spreader)가 컨테이너를 한번에 AGV나 트랙터에 적재시키거나 이재시키기 위해 AGV 혹은 트랙터의 정확한 절대위치를 검출하여 CC나 ATC에 제공해 주는 역할로서 정의할 수 있다.<sup>(1,2)</sup>

\* 2001년 3월 26일 접수  
\* 한국기계연구원 자동화연구부  
\*\* 삼성중합기술원 의료전자 랩  
\*\*\* 부산대학교 기계공학부

컨테이너 터미널에서 독킹 시스템의 장치간 관련 영역을 Fig. 1에 정의하였다. 그림에 보듯이 독킹 시스템은 스프레더의 위치결정 동작인 포지셔닝, 스프레더가 컨테이너를 취급하기 위해 하강하는 동적인 랜딩 그리고 AGV 안내를 위한 네비게이션과 기술적인 관련성을 갖는다. 따라서 독킹 시스템은 독킹을 하는 두 하역장비간의 최종 위치정보를 안내하고 제공을 하는 중요한 역할을 담당하고 있다고 할 수 있다.

독킹 시스템에 대한 초기연구로는 공항 관제를 위한 목적으로 많은 연구가 이루어졌으며, 최근에는 무인자동차 트랙킹을 위한 요소기술로 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>(3,4,5)</sup>

항만용 독킹 시스템의 구현 방법으로는 영상처리법, 적외선을 이용하는 방법, 레이저를 이용하는 방법이 연구되어 왔다.<sup>(6,7,8)</sup> 대표적인 영상처리법으로는 컨테이너 크레인의 교각에 두 대의 카메라를 설치하고, 트랙터에 설치된 짐벌하는 발광체를 인식하여 독킹위치를 안내하는 장치가 제안되었다.<sup>(7)</sup> 이 방법은 고정된 절대위치 안내기구를 사용하지 않고, 두 대의 카메라를 이용한 스테레오 신호를 이용해 위치를 결정한다. 바람이 많고, 장비의 대부분이 많은 진동을 유발하는 구조를 가지는 항만 환경을 고려할 때 카메라만으로 절대위치를 잡는다는 것은 많은 오차를 유발할 수 있는 단점을 가진다.<sup>(11)</sup> 이후, 바람, 진동 등의 외부영향을 극소화하기 위해 절대위치와 이동위치 안내기능을 동시에 제공할 수 있는 기술이 제안되기도 했다.<sup>(9,10,11)</sup>

이러한 노력에도 불구하고 영상처리 시스템이 갖는 근본적인 문제인 내환경성 등을 해결하기

에는 부족한 점이 많았다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 새로운 방법의 독킹 시스템을 제안하고 이의 실현가능성을 평가하고자 했다. 2장에서는 고정체에 설치되어 일정속도로 회전하는 레이저 슬릿 빔 발생기구와 이동하는 AGV에 설치되어 레이저 신호를 수신하는 기구를 통해 AGV의 위치를 효과적으로 측정할 수 있는 제안된 방법의 원리를 기술한다. 3장에서는 제안된 방법의 실현성을 평가하기 위해 시스템을 구축한 내용을 기술한다. 4장에서는 구축된 시스템을 이용한 실험결과를 설명한다. 5장에서는 설치오차에 따른 측정오차의 영향을 줄이기 위해 보간법을 적용하여 측정정밀도를 향상시키고자 한 연구내용을 정리한다.

## 2. 이동위치 측정원리 및 모델

### 2.1 측정기본 원리

AGV의 주행방향의 위치와 자세를 검출하기 위한 측정원리를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 특정한 높이에 일정한 회전속도로 회전하는 LSB 발생기를 설치하고, 주기적으로 AGV의 표면에 평면광을 주사한다. 만일, AGV의 자세가 틀어지지 않았다고 가정할 때, AGV의 회전중심으로부터 대칭적으로 설치된 두 개의 포토 디텍터에 광이 감지되면, 광이 지나간 시간차를 구할 수 있다. 슬릿 빔 발생장치가 일정하게 회전하고 있기 때문에 이 시간차를 이용해서 슬릿 빔 발생장치와 두 포토 디텍터가 만들어내는 각도를 계산해 낼 수가 있다. 이 각도는 AGV의 각 위치에 대해서 유일한 값을 가지기 때문에 위치를 계산해 낼 수가 있다.

그렇지만 AGV의 자세가 틀어져 있다고 가정하면, 한 쌍의 포토 디텍터들을 이용했을 경우, 구해진 시간차에 의해 계산된 각도는 자세에 따라서 다른 위치에서도 나타날 수 있기 때문에 자세를 구할 수 없다. 이를 해결하기 위해서 AGV의 회전 중심으로 다른 거리에 한 쌍의 포토 디텍터들을 추가로 설치하여 슬릿 빔 발생 장치와 두 포토 디텍터간의 각도를 계산해 낼 수 있다. 이 두 각도의 조합은 AGV의 위치와 자세를 검출할 수 있도록 한다.

### 2.2 위치 및 자세 측정 모델

AGV의 이동위치와 자세를 검출하기 위하여

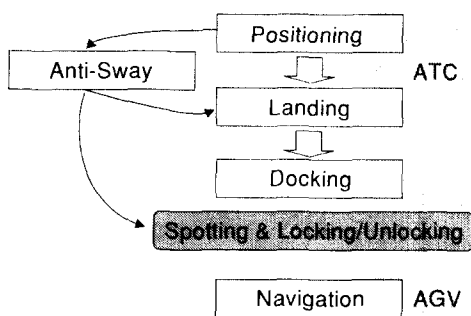


Fig. 1 Technical relationship of docking

AGV 위에 4개의 포토 디텍터를 Fig. 3과 같이 배치했다. PD1과 PD2, PD3와 PD4를 회전 중심점 C를 중심으로 하여 동일한 거리의 원호상에 배치한다. 두 개의 시간 측정장치는 PD1과 PD2를 광이 지나간 시간차와 PD3와 PD4를 지나간 시간차를 검출한다.

- P1 : LSB 발생장치의 회전중심
- H : LSB 발생장치의 설치 높이(mm)
- PD1, PD2, PD3, PD4 : 포토 디텍터의 위치

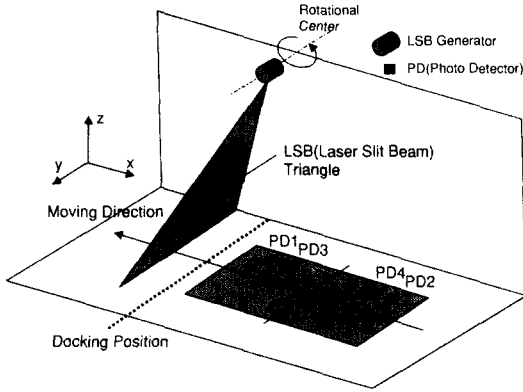


Fig. 2 Basic principle of detection of moving position of AGV

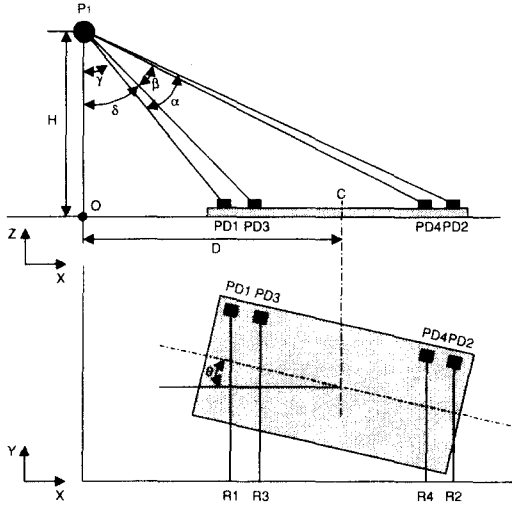


Fig. 3 Model of position and orientation measurement

- R1, R2, R3, R4 : 포토 디텍터를 X축에 투영한 점
- L1 : PD1과 PD2 간의 거리(mm)
- L2 : PD3와 PD4 간의 거리(mm)
- C : PD1과 PD2, PD3와 PD4의 거리 중심점
- D : C와 원점 O사이의 거리(mm)를 나타낸다.
- $\alpha$  : P1을 중심으로 R1과 R2가 이루는 각도(Degree)
- $\beta$  : P1을 중심으로 R3와 R4가 이루는 각도(Degree)
- $\gamma$  : O-P1과 R1간의 각도(Degree)
- $\delta$  : O-P1과 R3간의 각도(Degree)
- $\theta$  : AGV가 X축에 대해 틀어진 각도(Degree)

Fig. 3에서 LSB 발생기에서 만들어진 슬릿 빔이 포토 디텍터가 위치한 PD1, PD2, PD3, PD4 점들을 지나가는 시점은 이 점들을 각각 X축에 대해 투영시킨 점 R1, R2, R3, R4를 지나가는 시점과 같다. AGV가  $\theta$  만큼 틀어져 있다고 할때, R1와 R2를 이용하여 구한 거리 D, R3와 R4를 이용하여 구한 거리 D를 각각  $D_\alpha$ ,  $D_\beta$ 라고 하면 이론적으로 두 값은 같다.

Fig. 3에서 R1, R2를 이용하여 구한 거리  $D_\alpha$ 와 R3와 R4를 이용하여  $D_\beta$ 를 정리하면 식 (1), (2)로 나타낼 수 있다.

$$D_\alpha = \pm \sqrt{\frac{HL_1 \cos \theta}{\tan \alpha} + \frac{L_1^2 \cos^2 \theta}{4} - H^2} \quad (1)$$

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

식 (1)과 식(2)가 같기 때문에 이를 정리하면 틀어짐 각도  $\theta$ 는 (3) 식과 같이 표현이 가능하다.

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{4H}{L_1^2 - L_2^2} \left( \frac{L_2}{\tan \beta} - \frac{L_1}{\tan \alpha} \right) \right\} \quad (3)$$

본 연구에서 대상으로 하는 AGV는 Fig. 3에서와 같이 주행축을 기준으로  $\theta$  만큼 틀어질 때 AGV 끝단이  $\pm 20\text{mm}$  이내로 제어되어야 한다는 구속조건을 가지고 있다. 이 경우, AGV 위에 설치된 포토 디텍터의 간격을 13m로 한다면 틀어진 각  $\theta$ 는 0.08815 Deg가 되어 영으로 수렴한다. 이러한 환경적인 조건을 적용시킨다면 식 (1), (2)는 (4), (5)로

표현이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 틀어짐량을 고려 대상에서 제외한다.

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

$$D_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{HL_2}{\tan \beta} + \frac{L_2^2}{4} - H^2} \quad (5)$$

상기 식에서 플러스와 마이너스의 부호를 가지는 것은 원점 O를 중심으로 같은 각을 가지는 X축 위의 위치가 두 개가 있음을 나타낸다.

### 2.3 시간 간격을 이용한 $\alpha, \beta$ 의 측정

AGV의 위치와 자세를 검출하기 위해서는  $\alpha, \beta$ 를 먼저 구하여야 한다. 슬릿 빔의 회전 속도를  $V(\text{rpm})$ 이라 할 때 1회전 하는데 걸리는 시간은  $V/60(\text{sec/rev})$ 이다. 예를 들면  $V$ 가 3,000rpm일 때 1회전에 걸리는 시간은 20ms이다. 레이저 슬릿 빔이 PD1과 PD2를 지나는 시간을  $T_{12}$ 라 하고, PD3와 PD4를 지나는 시간을  $T_{34}$ 라 하면  $\alpha, \beta$ 는 식 (6)과 (7)과 같이 표현된다.

$$\alpha = 360 \times \frac{V \times T_{12}}{60} \quad (6)$$

$$\beta = 360 \times \frac{V \times T_{34}}{60} \quad (7)$$

구해진  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 식 (4), (5)에 대입하면 AGV의 위치를 구할수 있게 된다.

## 3. 시스템 구성

시스템에 대한 전체 구성 블록도를 Fig. 4에 나타냈다. 전체 구성은 하드웨어와 소프트웨어로 나누어진다. 하드웨어는 다시 회전 레이저 슬릿 빔 발생기부, 신호전처리기(Layer 1)와 시간차 측정기(Layer 2)로 구성된 신호처리부, 그리고 처리된 신호를 분석하는 신호분석부로 나눌 수 있다.

슬릿 빔 발생기는 슬릿 빔을 만들어 주는 장치이며, 신호전처리기는 포토 디텍터에 수신되는 레이저 광을 증폭하여 트리거 신호를 만들어주는 기능을 한다. 시간차 측정기는 두 개의 신호전처리기

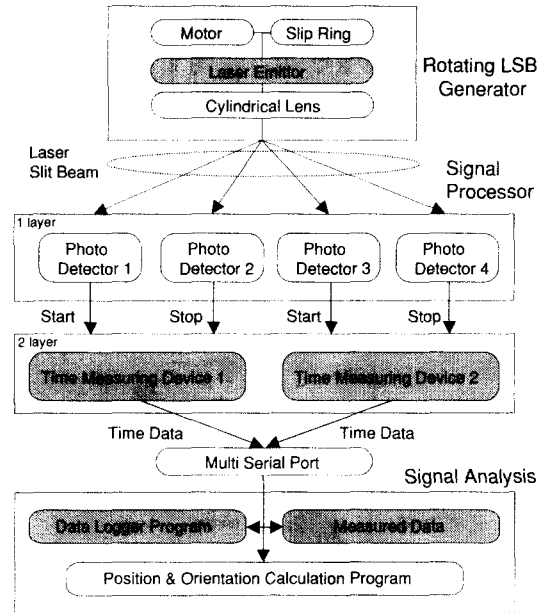


Fig. 4 System configuration

에서 출력된 트리거 신호의 시간차를 검출하는 장치로서 스타트 신호를 검출한 후 스톱 신호가 들어오는 시점까지의 카운트 된 값을 저장하고 RS-422 방식으로 PC에 전달된다.

신호 분석부는 두 개의 시간차 측정기에서 데이터를 수집하기 위한 부분, 보간법에 의해 위치 및 자세 측정을 계산하는 부분으로 나눌 수 있다.

### 3.1 회전 레이저 슬릿 빔 발생기

회전 레이저 슬릿 빔 발생기는 슬릿 빔을 일정한 회전속도로 회전시키기 위한 모터 제어부, 회전체에 전원을 공급하기 위한 슬립링, 레이저 슬릿빔을 발생시키는 광학계로 구성되어 있다. 개발된 회전 LSB 발생기를 Fig. 5에 나타내었다.

실린더형 렌즈는 한 방향으로의 빛은 굽지만 그에 수직인 방향으로로는 굽하지 않는 성질을 가지므로 슬릿 빔을 만들기 위하여 사용되었다. 포커스형 렌즈는 평형광을 만들어 타겟에서 최대의 광 에너지를 형성시키기 위해 사용되었다. 본 연구에서 사용된 실린더형 렌즈는 F.A.(Fan Angle)가 약 25°를 이루도록 설계했다. 레이저 이미터에서의 기하학적 특성을 Fig. 6에 나타내었다. 레이저 슬릿

빔을 6m의 거리에 주사하였을 때 슬릿빔의 길이는 약 5.6m를 가지며 그 폭은 7mm 정도로 측정되었다. 사용된 레이저 소스는 120mW의 출력과 850nm의 파장을 가진다.

LSB 발생기를 회전시키기 위한 모터는 정격회전수 3,000rpm의 AC 서보 모터가 사용되었으며, 회전하는 LSB 발생장치에 전원을 공급하기 위한 장치로는 슬립링이 사용되었다.

### 3.2 광 수신기

광 수신기는 광을 수신하여 시간차 측정기의 입력이 되는 Start/Stop 트리거 신호를 출력하는 신호전처리기와, 이 신호들을 이용하여 시간차를 측정하는 시간차 측정기로 구성된다. 신호전처리기 동작은 광을 수신하기 위해 먼저 포토 다이오드를 이용하여 광신호를 검출하여 이것을 증폭한다. 증폭된 신호는 외란을 제거하기 위해 고대역 필터링을 한다. 필터링된 신호는 미분회로를 거쳐 제로-크로싱(Zero-Crossing)을 통해 정확한 타이밍 신호를

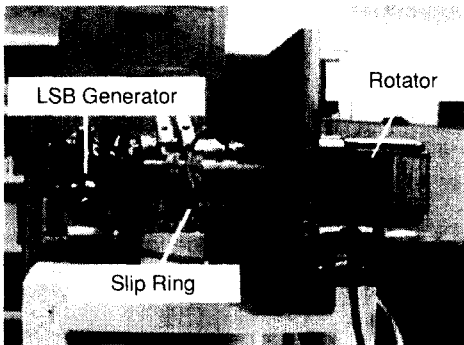


Fig. 5 Rotating LSB generator

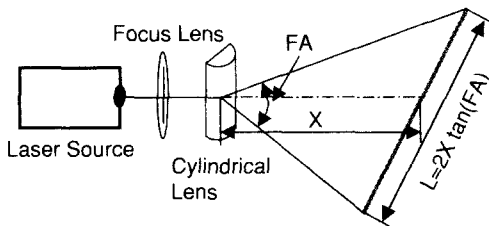


Fig. 6 Geometry of LASER slit beam generator

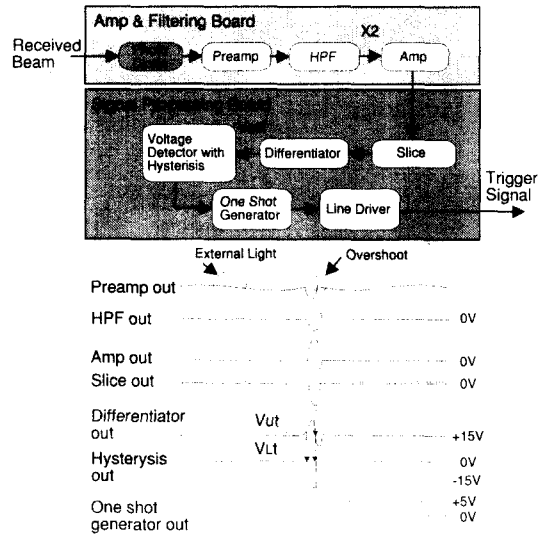


Fig. 7 Timing diagram of the signal processing of photo detector

만든 후, 트리거 신호를 만들어 낸다. 세부적인 구성도를 Fig. 7에 나타내었다. 이렇게 만들어진 트리거 신호는 시간차 측정기의 입력신호로 사용된다. 시간차 측정기는 0.5μs 카운터를 이용해 구성했다.

### 4. 실험결과 및 고찰

컨테이너 터미널의 환경을 고려하면 LSB 발생기는 15m 정도의 높이에 설치되며, AGV 위에 설치되는 포토 디텍터 PD1과 PD2의 설치거리는 13m 정도가 된다. 본 연구에서는 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 1/3 크기의 모델을 구축하고 실험을 수행했다.

PD1과 PD2의 거리는 3,800mm, PD3와 PD4의 거리는 3,764mm로 하였다. 실험장면을 Fig. 8에 나타내었다. 실험에서는 AGV를 대신할 수 있는 특수한 바 게이지(Bar gauge)를 제작하여 실험을 하였다.

식 (4), (5)를 이용하여 이론적으로 구한 위치값과 실험 시스템으로 부터 측정된 위치값의 차이를 비교하기 위한 실험을 수행했다. 포토 디텍터가 설치된 바 게이지를 일정거리 씩 증가시키면서 포토 디텍터간의 레이저 빔의 응답 시간차를 구하였다.

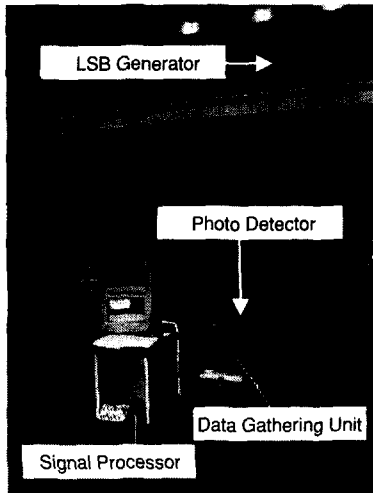


Fig. 8 Experimental system

실험에서의 측정범위는 D값을 기준으로 1,200mm에서 13,500mm로 설정했으며 100mm씩 이동시키면서 측정하였다. 측정은 하나의 위치에 대해 500회 씩 측정하여 그 평균값을 데이터로 사용했다. 측정위치에 영향을 주는 자세는  $\theta$ 를 영으로 하여 실험하였다.

Fig. 9는 D의 변화에 따른 이론적인  $\alpha$ 와 실험을 통해 측정된  $\alpha$ 를 나타내었다. D 값이 멀어질수록  $\alpha$  값은 tangent 함수로 적어짐을 보이고 있다.

Fig. 10은 Fig. 9에서 구한  $\alpha$ 의 차이값을 나타내었다. 1,200mm구간에서 2,500mm 구간까지는 오차가 증가하고 있으며 2,500mm에서 4,700mm까지는 비교적 일정한 차이를 유지하고 있다. 4,700mm 이후 구간에서는 오차가 감소함을 알 수 있다.

이러한 현상은 위치에 따라 유사한 측정오차값을 가진다고 하더라도 위치 D에 따라  $\alpha$ 의 민감도가 다르기 때문에 이것이 측정치에 반영된 결과로서 나타난다. D 값에 대한  $\alpha$ 의 민감도를 Fig 11에 나타내었다.

Fig. 10에서 3,000mm 부근에서 오차가 큰 것은 Fig. 11에서 나타난 시뮬레이션 결과와 같이 그 부분에서 민감도가 크기 때문이다.

측정으로부터 얻어진  $\alpha$ 값을 식 (4)에 대입하면  $D_\alpha$ 를 구할 수 있다.

Fig. 12는 구해진 D의 이론값과 실제값의 차이를 나타내었다. Fig. 12에 보이듯이 1,200mm구간에서 8,000mm 구간까지는 비교적 일정한 차이를 나타내고 있으나, 13,500mm 구간까지는 지속적인

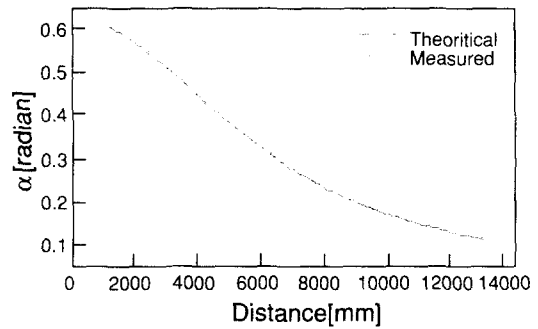


Fig. 9 Theoretical and Measured  $\alpha$  with variations of D

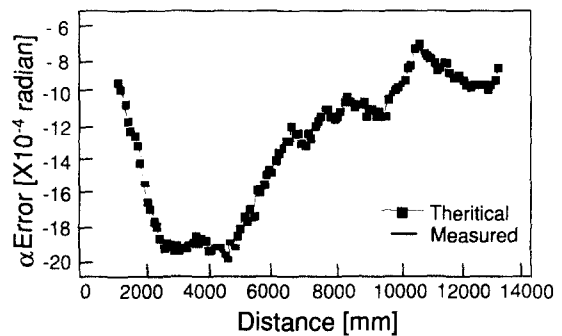


Fig. 10  $\alpha$  errors with variations of D

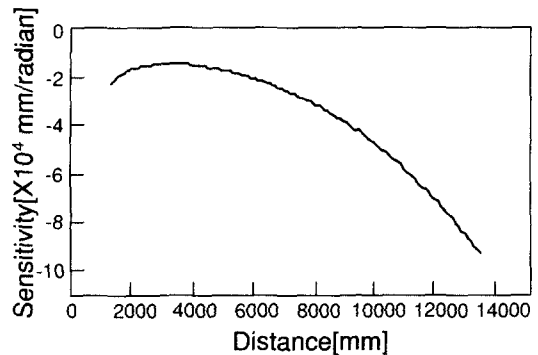


Fig. 11 Sensitivity of  $\alpha$  with variations of D

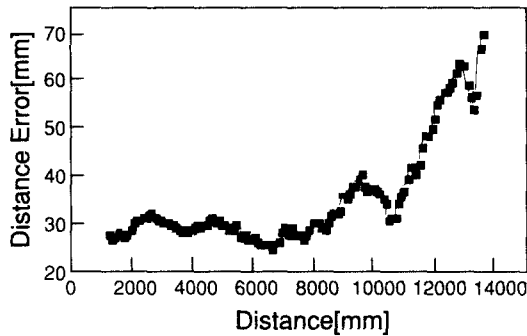


Fig. 12 Measured D errors with variations of D

로 차이가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 8,000mm 영역까지는 레이저 광이 포토디텍터에 직각에 가까운 각도를 유지하면서 반응시키지만 게이지 바의 위치가 멀어질수록 반응각도가 적어지면서 발생하는 오차로 판단된다.

실제 시스템에 독킹 시스템을 적용하고자 하는 경우, 독킹 라인의 설정은 8,000mm 이내의 위치에 설정함으로써 측정정확도를 높일수 있다는 것을 보여주고 있다.

### 5. 측정 정밀도 향상

Fig. 12에서 D 값이 약 25mm의 오프셋 값을 가지는 것은 실험장치를 구성할 때 생기는 설치오차로부터 기인한다. 설치오차에 영향을 주는 변수로는 LSB 발생기의 설치높이 H, LSB 발생기의 설치각도, 포토 디텍터의 설치 간격 L 등이 될 수 있다. 설치오차를 줄이기 위한 방법으로는 각 장치들을 정확한 위치에 설치하는 방법과 설치된 장치의 위치오차를 역으로 보정하는 방법이 있을 수 있다. 그러나 후자의 방법이 현실적으로 판단된다. 본 연구에서는 알고 있는 게이지 바의 절대위치를 이용해 역으로 H, L 등의 상수값을 보정시키는 보정법을 적용함으로써 측정 오프셋은 0로 설정이 가능했다.

게이지 바를 이용해 측정 데이터를 보정하는 과정에서 측정위치의 중간값은 직선보간법을 적용했다.

Fig. 13은 보간법을 이용하여 구한 위치오차를 나타낸 것이다. 오프셋이 제거되었음을 알 수 있다.

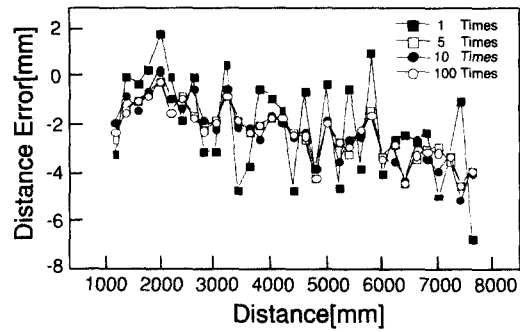


Fig. 13 Compensated D errors with variations of D and sampling number

측정 데이터는 D 값을 1,200mm에서 7,600mm 까지 200mm의 간격으로 샘플링 개수를 달리하며 D 값을 구하였다. 각 측정점에서 매 측정시마다 1회, 5회, 10회, 100회 씩 데이터를 수집하였다. 회전 LSB의 회전속도가 3,000rpm이므로 각각의 측정주기는 20msec, 100msec, 200msec, 2sec가 된다.

Fig. 13에 보이듯이 1개의 데이터를 이용해 위치를 구하는 경우, 위치에 따라 +2mm에서 -5mm 정도까지의 오차를 나타내고 있으며, 샘플링 개수가 늘어날수록 오차가 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 실험결과로부터 측정 주파수를 낮추면 측정정밀도가 크게 향상됨을 알 수 있다. Fig. 13에서 측정위치가 증가할수록 음의 크기로 오차가 증가하는 것은 전술한 민감도의 영향으로 판단된다.

### 6. 결론

본 연구에서는 자동화 항만의 독킹 시스템에 적용할 목적으로 회전 슬릿 빔을 이용한 AGV 이동위치 검출에 관한 연구를 수행했다. 이러한 연구를 통해 다음과 같은 몇가지 결론을 얻었다.

1) AGV의 위치를 검출하기 위한 새로운 방법으로서 회전 레이저 슬릿 빔을 이용한 방법을 제안하고 실증 시스템 구축을 통해 그 가능성을 입증했다.

2) 주행방향 위치정밀도는 1회 샘플링으로 ±5mm의 정밀도를 나타냈으며, 샘플링 수를 증가

시키면 더 좋은 측정성능을 얻을 수 있다.

3) 측정정밀도는 위치에 따라 측정오차가 변하는 구간이 있음을 확인하였으며, 이는 독킹 위치를 설정하는데 중요한 참고자료가 될 수 있다.

### 참고문헌

1. A cargo systems report, Development in container handling technology, pp. 87-120, 1997.
2. Verschoof, J., "Automation at the quayside," 2nd annual development in container handling automation & technologies, pp. 92-102, 2000.
3. Ho, C. J., McClamroch, H. H., "Guidance and control of a computer vision based spacecraft docking system," ACC/TP4, pp. 2302-2306, 1992.
4. Kuc, R., Viard, V. B., "A physically based navigation strategy for sonar-guided vehicles," In'tl J. of robotics research, Vol. 10, No. 2, pp. 75-87, 1991.
5. Trassoudaine, L., Jouannin, S., Gallice, J., "Tracking systems for intelligent road vehicles," In'tl J. of systems science, Vol. 27, No. 8, pp. 731-743, 1996.
6. Tadiran report / Automatic Port System, AGV management and operation system, 1996.
7. Sholes, T., Stocker, D., New technology for container crane automation Part 3, Port technology international, 1997.
8. 三陵重工業, 샤프 위치검출장치, 일본공개특허 特開平5-71914
9. 김선호, 박경택 외, 독킹위치 안내방법 및 그 장치, 특허출원 1999-0030228, 1999.
10. 김선호, 박경택, 슬릿 광을 이용한 이동물체의 위치, 자세 검출기술 및 장치, 특허출원 2000-0042250, 2000.
11. 김선호, 박경택, 최성락, 변성태, 이영석, "LSB를 이용한 Docking System 개발," 한국항만학회 '99 추계학술대회논문집, pp. 309-314, 1999.