

## 레이저 빔 궤적을 이용한 강인한 랜딩 시스템

## Automatic Landing System using a Trajectory of Laser Beam

황진아\* · 남기군\*\* · 이장명\*\*\*

Jin-Ah Hwang, Gi-Gun Nam and Jang-Myung Lee

**Abstract** - This paper proposes a method of container position measurement using automatic landing system that is estimated by a laser range finder. In the most of container position measurement methods, CCD cameras or laser scanners have been used to get the source data. However those sensors are not only weak for disturbances, for examples, the light, fog, and rain, but also the system cost is high. When the spreader arrives the goal position, it is still swung by inertia or by wind effect. In this paper, the spreader swung data have been used to find the container position. The laser range finder is equipped in the front side of spreader. It can measure distance and relative position between spreader and container. This laser range finder can be rotated as desired by a motor. And a tilt sensor is equipped on the spreader to measure spreader sway. We estimate the relative position information between the spreader and a container using the laser range finder and tilt sensor through the geometrical analysis.

**Key Words** : Spreader, Sway Angle, Skew Angle, Laser Range Finder, Tilt Sensor

## 1. 서 론

컨테이너 전용부두에서 사용되는 주요 하역장비는 선박에서 야드로 혹은 야드에서 선박으로 컨테이너를 나르는 컨테이너 크레인과 야드 내에서 컨테이너를 취급하는 야드 크레인으로 분류되며 이들의 공통점은 크레인 전체를 움직이는 주행과 트롤리의 횡행과 스프레더의 상하이동을 이용해서 컨테이너를 원하는 목적지로 이동시킨다는 것이다. 목적지로 이동한 후 컨테이너를 원하는 지점에 정확하게 적하 혹은 양하 작업을 수행하기 위해서는 스프레더와 목표 컨테이너 사이의 위치를 정확히 알아야 할 것이다. 현재 연구 개발되어 운용중인 자동랜딩시스템으로는 CCD 카메라는 조도, 안개, 비와 같은 외란에 강인하지 못한 단점이 있고 레이저 스캐닝 방식은 시스템의 가격을 높이는 단점이 있다.[1-2]

본 논문에서는 크레인의 구성 요소인 스프레더에 Laser Range Finder를 부착하여 스프레더의 흔들림이 존재할 때 목표 컨테이너와 스프레더 사이의 정확한 위치정보를 무인 크레인의 제어기 혹은 크레인의 조종사에게 전달할 수 있는 시스템을 제시한다. 본론에서는 연구에 사용된 스프레더의 구조와 Sway각과 Skew각 측정 방법과 스프레더와 목표컨테이너 사이의 위치를 측정방법을 설명하고 결론에서는 실험 장치를 구성해 측정된 데이터를 비교 분석하였다.

## 2. 스프레더의 구성

## 2.1 스프레더의 흔들림

트롤리에 달려 컨테이너를 들어 올리고 내리는 스프레더는 목표 지점에 이동한 후에도 관성에 의해 흔들림이 발생한다. 또한 항만과 같이 개방된 환경에서는 바람과 같은 자연 현상에 의해서도 흔들림이 발생하게 된다. 지금까지 크레인의 흔들림을 제어하는 많은 연구가 되고 있지만 스프레더에 발생하는 흔들림을 완벽히 제어하지는 못하고 있다.[3]

## 2.2 스프레더의 구성

자동화 컨테이너 터미널에 사용되는 하역장치는 목표 컨테이너의 위치를 정확히 파악할 수 있는 시스템을 갖추고 있어야 한다. 현재 많은 연구가 된 방법 중에서 CCD 카메라는 외란에 취약하며 레이저 스캐닝 방법은 고가인 단점을 가진다. 본 연구에서는 비교적 저렴한 1차원 레이저 거리 측정기를 스프레더에 부착하여 그림 1과 같은 시스템을 구성하고 스프레더와 컨테이너 사이의 위치를 측정하고자 하였다.

스프레더의 진행 방향 중심부위에 모터가 장착된 레이저 거리 측정기를 설치하여 외란에 의해 스프레더가 흔들릴 때 컨테이너까지의 거리를 측정할 수 있게 하였고 인코더를 부착하여 측정기의 회전각을 검출하였다. 또한 기울기 센서를 스프레더의 상단에 설치하여 흔들림을 측정 할 수 있도록 하였다.

## 3. 스프레더와 컨테이너 사이의 위치 측정

## 3.1 Skew 각 측정

Skew각은 스프레더와 컨테이너 사이에 정합이 되지 않을 때 발생하는 각으로써 두 물체 사이의 비틀린 정도를 말한다. 레이저 거리 측정기로부터 발사된 레이저 빔이 바닥에 투사

저자 소개

- \* 황진아:釜山大學 電子工學科 碩士課程
- \*\* 남기군:釜山大學 電子工學科 博士卒業
- \*\*\* 이장명:釜山大學 電子工學科 教授·工博

될 때 궤적을 통하여 skew각을 측정한다.  $L_0$ 는 레이저 거리 측정기를 회전하지 않았을 때 초기 거리,  $L_1$ 는 레이저 거리 측정기를  $\beta$ 만큼 회전을 시켰을 때 거리 측정기에서 바닥까지의 거리를 나타낸다.

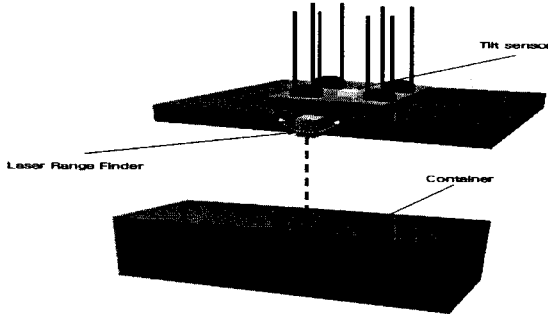


그림 1. 센서가 부착된 스프레더  
Fig. 1. Sensors on the spreader.

위치에 따른 레이저 빔의 길이 변화는  $L_1 = L_0 / \cos\beta$  (1) (1)로 표시된다. 투사된 레이저빔의 길이,  $L_0$ 는

$$L_0 = ((S+h) - S \cdot \cos\alpha) / \cos\alpha \quad (2)$$

(1)을 위 식에 대입하면 3차원 공간상의 레이저 빔의 길이  $L_1 = ((S+h) - S \cdot \cos\alpha) / \cos\alpha \cdot \cos\beta$  (3)

이다.  $x$ 축의 좌표는 스프레더의 초기위치 값으로 알 수 있고  $y$ 축의 좌표는 (1)에 (3)를 대입하면 다음과 같이 구해진다.

$$y = \frac{S \cdot \cos\alpha - (S+h)}{\cos\alpha} \cdot \tan\beta \quad (4)$$

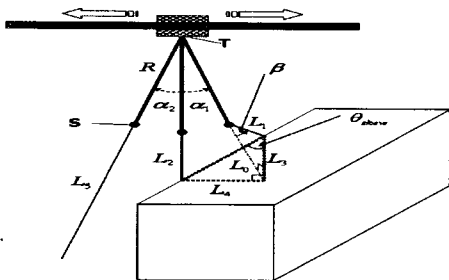


그림 3. Skew각 측정

Fig. 3. Measurement to the skew angle.

그림3에서는 목표 컨테이너에 도달한 스프레더는 트롤리로 부터 거리  $R$ 만큼 떨어진 곳에서 정확한 위치를 파악하기 위해 정지한 후 바람이나 관성의 영향에 의해 스프레더의 흔들림을 발생하는 경우를 나타낸다. 레이저 거리 측정기의 빔이 컨테이너위로 지나갈 때 진입전의 거리는  $L_5$ 이고 최초 진입시 컨테이너의 모서리 부분에서의 거리는  $L_2$ 로 나타낸다. 또한 컨테이너의 상단에 레이저 빔이 진입 후 레이저 거리 측정기가  $\beta$ 만큼 회전되어 컨테이너를 벗어나는 순간 컨테이너의 모서리와 스프레더까지의 거리는  $L_1$ 이 된다. 이 때 스프레더의 흔들림 각도( $\alpha_1, \alpha_2$ )은 스프레더에 부착된 기울기 센서로부터 측정할 수 있다.  $L_0, L_3, L_4$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$L_0 = L_1 \cdot \cos\beta, L_3 = L_1 \cdot \sin\beta \quad (5)$$

$$L_4 = \sqrt{(R+L_2)^2 + (R+L_0)^2 - 2(R+L_2)(R+L_0)\cos\alpha_1} \quad (6)$$

따라서 skew각은  $Q_{skew} = \tan^{-1}(L_4/L_3)$  (7) (7)이다.

### 3.2 위치측정

외란이 존재하는 상황에서 스프레더와 컨테이너 사이의 위치를 측정하기 위해서는 둘 사이의 거리, skew각, 스프레더의 중심점과 컨테이너의 중심점과의 오차인 중심차가 필요하다. 스프레더의 흔들림을 이용하여 컨테이너의 위치를 측정하기 위해서는 최소 2회 이상의 흔들림이 필요하다. 첫 번째 흔들림에는 스프레더와 컨테이너 사이의 skew각을 파악하고 두 번째는 skew각을 바탕으로 하여 위치를 측정한다. 직선  $L_{p1}$ 는 레이저 거리 측정기가 회전 되지 않고 흔들렸을 때의 궤적을 나타낸다. skew각을 구한 방법과 유사하게 위치를 측정하는데 필요한 요소들을 아래와 같이 구한다.

$$L_{p0} = L_{p1}\cos\delta, L_{p3} = L_{p1}\sin\delta \quad (8)$$

$$L_{p4} = \sqrt{(R+L_{p2})^2 + (R+L_{p0})^2 - 2(R+L_{p2})(R+L_{p0})\cos\gamma} \quad (9)$$

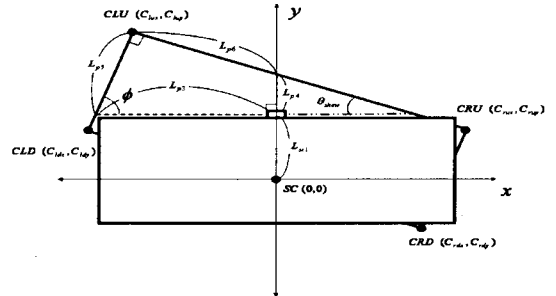


그림 4. 스프레더와 컨테이너 사이의 상대 위치

Fig. 4. Relative position of container w.r.t the spreader.

그림 4는 스프레더와 아래에 놓여진 컨테이너를 좌표상으로 표시한 것이다. 스프레더의 중심점  $SC(0,0,0)$ 을 원점으로 하는 좌표를 설정하고 컨테이너의 중심점  $CC(C_x, C_y)$ 에서  $x$ 축으로  $C_{ux}$ ,  $y$ 축으로  $C_{uy}$ 만큼 떨어진 좌표  $CLU(C_{ux}, C_{uy})$ 는 (8)과 (9)에서 구한  $L_{p3}, L_{p4}$ 를 이용하여 찾을 수 있다. 스프레더에 달린 레이저를 축으로 거리  $L_{sc1}$ 만큼 이동하면 레이저 거리측정기를 중심으로 하는 좌표는  $SC(0, L_{sc1})$ 로 표현될 수 있다. 선분  $L_{p5}$ 와  $L_{p6}$ 을 확장하여 직선의 방정식으로 나타내면 (10.a), (10.b)와 같다. 레이저측정기의 중심좌표  $SC(0, L_{sc1})$ 에서  $x$ 축으로 거리  $L_{p3}$ 만큼 떨어진 곳에 컨테이너의 모서리를 선분으로 한 선분  $L_{p5}$ 가 존재하는 것을 알 수 있다.

$$L_{p5}: \frac{1}{\tan(180 - \theta_{skew})}x + y_2 - \frac{1}{\tan(180 - \theta_{skew})}L_{p3} = 0 \quad (10.a)$$

$$L_{p6}: \tan(180 - \theta_{skew})x - y_1 + L_{p4} = 0 \quad (10.b)$$

선분  $L_{p6}$ 과  $L_{p5}$ 를 확장하여 직선의 방정식으로 나타내면  $x = (L_{p3} - \tan(180 - \theta_{skew})L_{p4}) / (\tan^2(180 - \theta_{skew}) + 1)$  (10.c)

(10.c)는 (10.a) 및 (10.b)식이 만나는 점의  $x$ 축 좌표와 같다. 두 선분이 만나는 점  $CLU(C_{ux}, C_{uy})$ 는 컨테이너의 좌측 상단의 모서리를 나타낸다. 점  $CLU(C_{ux}, C_{uy})$ 를 이용하여 컨테이너의 나머지 3개의 모서리와 중심점을 구하면 (11)과 같다.

$$CRU: \begin{pmatrix} C_{ux} \\ C_{uy} \end{pmatrix} = C_H \begin{pmatrix} \cos(\theta_{skew}) \\ \sin(\theta_{skew}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{lux} \\ C_{liy} \end{pmatrix} \quad (11.a)$$

$$CLD: \begin{pmatrix} C_{dx} \\ C_{dy} \end{pmatrix} = C_V \begin{pmatrix} \cos(\theta_{skew} - 90) \\ \sin(\theta_{skew} - 90) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{lvx} \\ C_{lvy} \end{pmatrix} \quad (11.b)$$

$$CRD: \begin{pmatrix} C_{dx} \\ C_{dy} \end{pmatrix} = \sqrt{C_H^2 + C_V^2} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\theta_{skew} - \tan^{-1}(C_V/C_H)) \\ \sin(\theta_{skew} - \tan^{-1}(C_V/C_H)) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{lvx} \\ C_{lvy} \end{pmatrix} \quad (11.c)$$

$$CC: \left( \frac{C_x}{C_y} \right) = \frac{\sqrt{C_H^2 + C_V^2}}{2} \cdot \left( \frac{\cos(\theta_{skew} - \tan^{-1}(C_V/C_H))}{\sin(\theta_{skew} - \tan^{-1}(C_V/C_H))} \right) + \left( \frac{C_{Hx}}{C_{Hx}} \right) \quad (11.d)$$

$C_H$ 는 컨테이너의 가로 길이를 나타내고  $C_V$ 는 세로 길이를 나타내며 컨테이너의 중심점  $CC$ 와 스프레더의 중심 점  $SC$ 는 레이저 거리 측정기가 부착된 위치  $(0, L_{sc})$ 만큼의 거리 차이를 가진다.

#### 4. 실험 및 결과

목표 컨테이너와 스프레더 사이의 위치를 검출하는 실험을 하기 위해 레이저 거리 측정기는 DLS-A15, 기울기 센서는 SA-1을 사용하였다. 거리 측정기의 응답속도는 0.3ms이고 정밀도는 ±1.5mm의 오차를 가지며 기울기 센서의 측정 범위는 ±60°, 정밀도는 ±0.1°이다. DSP320LF2407를 사용하여 센서로부터 들어오는 컨테이너와 스프레더 사이의 거리 정보와 기울기 센서로부터 기울기 정보를 분석하였다. 실제 시스템과 유사한 스프레더의 흔들림을 발생시키는 모터와 레이저 거리 측정기를 회전시키는 모터를 각각 제어하고 엔코더를 사용하여 회전각을 검출하였다. 실험에는 20ft 컨테이너를 15.7:1로 축소된 모형 컨테이너를 사용하였다.

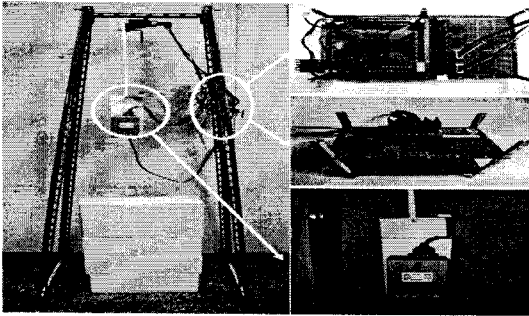


그림 5. 위치 측정을 위한 실험장치  
Fig. 5. Experimental system for position measurement.

##### 4.1 Skew 각 측정

실험에서는 스프레더가 흔들릴 때 레이저 거리 측정기의 레이저 빔이 컨테이너에 닿는 순간 일정한 각으로 회전을 시켰다. 표 1은 실험 장치를 통해 측정된 skew각과 실제 skew각을 나타내고 있다. 표에서 보는 것처럼 측정된 각과 실제 각 사이에는 오차가 존재한다.

표 1. 스류각 측정 오차

Table 1. Measurement error of skew angle.

Real Skew Angle(Deg)	Measuring Skew Angle(Deg)	Error (Deg)
0	0.8	0.8
10	9.31	0.69
20	21.69	1.69

##### 4.2 Sway각 측정

실제 항만의 크레인에서 스프레더에 발생하는 흔들림을 발생시키기 위해 그림 5와 같이 모터를 사용하여 흔들림을 인위적으로 발생시켜 모터에 회전한 각과 이때 스프레더의 흔들림을 감지한 기울기 센서로부터 들어오는 기울기 정보를 A/D 변환한다. 기울기 센서로부터 측정된 데이터를 모터가 흔들린 각과 비교 하였을 때 상승과 하강의 기울기 값에서 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 실험에서는 기울기 센서의

흔들림을 측정하여 Lookup Table방식을 사용하여 정확한 기울기를 측정하였다. 표 2에서 스프레더의 흔들림에 따른 기울기 센서의 기울기의 A/D 값은 상승과 하강 모두 1도에 5.21씩 변화 되는 것을 알 수 있다.

표 2. Sway각 측정

Table 2. Measurement of sway angle

Tilt Sensor Angle(Deg)	Sway Up	Sway Down	Step Error
-10	474.05	499.96	25.91
-5	444.03	468.33	24.3
0	418.25	446.29	28.04
5	398.39	423.88	25.49
10	371.80	393.63	21.82
Average	25.56	26.5	25.11

이는 레이저 거리 측정기의 응답시간 및 정밀도, 기울기 센서의 정확도에 기인한 것이기 때문에 거리 측정기의 응답시간, 정밀도 그리고 기울기 센서의 정밀도를 높인다면 좀 더 향상된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 CCD카메라보다 자연현상에 의한 잡음에 강한 레이저 센서를 사용하여 시스템을 구성함으로써 크레인 조종자 혹은 자동화 크레인 제어기 시스템에 정확한 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 또 고가의 레이저 센서가 아닌 1차원 거리 측정기를 사용하여 시스템을 구성함으로써 상용화를 위한 경쟁력을 고려하였다. 본 시스템이 실제 항만에 적용되어 지기 위해서는 실험에 사용한 레이저 거리 측정기보다는 빠른 응답속도와 정밀도를 가지는 센서와 정밀한 기울기 측정 센서가 적용되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안한 방법은 자동화 터미널의 크레인 제어기나 크레인 조종자에게 정확한 위치 정보를 제공함으로써 정밀한 자동화 시스템의 구현이 가능하게 될 것으로 기대된다.

\*본 연구는 교육부에서 주관하는 "차세대 물류IT 기술 연구 사업단"에 의해 지원 받은 연구임.

#### 참 고 문 헌

- [1] John R.Holmquist, "Laser Guided Loading System," IEEE Trans. Industry Applications, vol. 38, no. 3, pp. 752-757, May, 2002.
- [2] Hirofumi Yoshikawa, Satoshi Kunimitsu, Hiromitsu Hoshina, Noriaki Mitata, Masato Kobayashi, "Development of Hoisting Load Position Sensor for Container Handling Cranes," Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, vol. 38, no. 3, pp. 67-72, June, 2001.
- [3] Yong-Seok Kim, Yoshihara, H. Fujioka, N. Kasahara, H. Hyungbo Shim, Seung Ki Seul, "A new vision sensorless anti-sway control system for container cranes," Industry Applications Conference, vol. 1, pp. 262-269, Oct., 2003.