

## 레이저 빔 궤적을 이용한 자동 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 at 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. The relative position information between the spreader and a container using the laser range finder and tilt sensor is estimated through the geometrical analysis.

**Keywords :** spreader, sway angle, skew angle, laser range finder, tilt sensor

## I. 서론

컨테이너는 선박 자체의 하역기기를 이용하여 하역되는 일반 화물과는 달리 터미널에 설치된 하역장비를 이용하여 선박으로부터 하역을 한다. 또한 화물 자체가 일정한 규격을 가지며 개별 중량도 무겁기 때문에 컨테이너만을 전용으로 운반하는 장비를 이용하게 된다. 컨테이너 전용부두에서 사용되는 주요 하역장비는 선박에서 야드로 혹은 야드에서 선박으로 컨테이너를 나르는 컨테이너 크레인과 야드 내에서 컨테이너를 취급하는 야드 크레인으로 분류된다.

컨테이너 크레인은 선박과 부두 사이로 컨테이너를 하역하는 핵심적인 장비이며, 선박의 취급 속도와 부두 전체 화물의 처리 능력의 한계를 결정하는 중요한 크레인이다. 야드 크레인은 컨테이너를 야드에 적재하거나 이송장치에 실어주는 역할을 하며 크레인 전체를 움직이는 주행뿐만 아니라 트롤리의 횡행과 스프레더의 상하이동을 이용해서 컨테이너를 원하는 목적지까지 이동시키는 작업을 한다. 컨테이너를 목적지까지 이동한 후 원하는 지점에 정확하게 하역 작업을 수행하기 위해서는 스프레더와 목표 컨테이너 사이의 위치를 정확히 알아야 한다[1].

현재 연구 개발되어 운용중인 자동랜딩시스템으로는 CCD 카메라, 레이저 스캐닝 방식을 적용한 시스템이 있다. 하지만 CCD 카메라는 조도, 안개, 비와 같은 외란에 강인하지 못한 단점이 있고 레이저 스캐닝 방식은 시스템의 가격을 높이는 단점이 있다[2-6].

본 논문에서는 크레인의 구성 요소인 스프레더에 Laser Range Finder를 부착하여 스프레더의 흔들림이 목표 컨테이너

와 스프레더 사이의 정확한 위치정보를 부인 크레인의 제어기 혹은 크레인의 조종사에게 전달할 수 있는 시스템을 제시한다. 본론에서는 연구에 사용된 스프레더의 구조, Sway각과 Skew각 측정 방법, 스프레더와 목표컨테이너 사이의 위치를 측정방법을 설명하고 결론에서는 실험 장치를 구성해 측정된 데이터를 비교 분석하였다.

## II. 스프레더의 구성

## 1. 스프레더의 흔들림

트롤리는 크레인 상단에 위치하여 횡행이동을 하는 장치로서 여기에 달린 스프레더는 컨테이너를 들어 올리고 내리는 작업을 수행한다. 스프레더는 목표 지점에 이동한 후에도 관성에 의한 흔들림이 발생하며 항만과 같이 개방된 환경에서는 바람과 같은 자연현상에 의해서 흔들림이 가중된다. 크레인의 흔들림을 제어하는 많은 연구가 진행되고 있지만 스프레더에 발생하는 흔들림을 완벽히 제어하지는 못하고 있다[7]. 트롤리에 달린 스프레더의 움직임은 단진자의 형태로 표현할 수 있으며[8-10] 그림 1은 트롤리와 스프레더 사이의 움직임을 단진자 형태로 모델링하여 그 움직임을 나타낸 것이다.

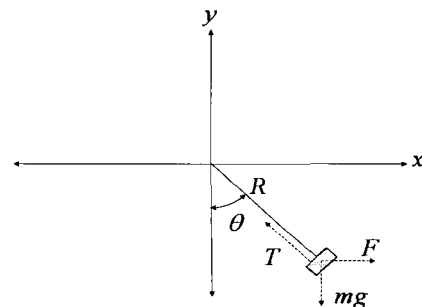


그림 1. 스프레더의 흔들림의 모델링.

Fig. 1. Sway motion of a spreader.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 5. 4., 채택확정 : 2006. 9. 19.

황진아, 남기군, 이장명 : 부산대학교 전자공학과

(protestant@pusan.ac.kr/lcmda81@hanmail.net/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(차세대물류 IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

$$P=[R\sin\theta \quad -R\cos\theta]^T \tag{1}$$

$$\dot{P}=[R\dot{\theta}\cos\theta \quad R\dot{\theta}\sin\theta]^T \tag{2}$$

$$\ddot{P}=[R\ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}^2\sin\theta \quad R\ddot{\theta}\sin\theta + \dot{\theta}^2\cos\theta]^T \tag{3}$$

(1), (2), (3)에서  $B \cdot B^{-1} \cdot P$ 은 스프레더의 위치벡터, 속도벡터 그리고 가속도 벡터로 나타내며, 스프레더에 작용하는 힘,  $F$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F=[-T\sin\theta \quad (T\cos\theta - mg)]^T \tag{4}$$

뉴턴의 법칙  $F=ma$  를 이용하여 (3)과 (4)를 결합하면  $F$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$F=[mR(\ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}^2\sin\theta) \quad mR(\ddot{\theta}\sin\theta + \dot{\theta}^2\cos\theta)]^T \tag{5}$$

(5)의 인자들을  $x$  축 성분과  $y$  축 성분으로 분리시키면 (6), (7) 과 같이 표현된다.

$$x \text{ axis : } T\sin\theta = -mR(\ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}^2\sin\theta) \tag{6}$$

$$y \text{ axis : } T\cos\theta = mR(\ddot{\theta}\sin\theta + \dot{\theta}^2\cos\theta) + mg \tag{7}$$

장력  $T$  를 소거하기 위해 (6), (7)을 결합하면 단진자의 운동방정식을 구할 수 있다. (8)은 단진자의 운동방정식을 나타낸다.

$$\ddot{\theta} = -\frac{g}{R}\sin\theta \tag{8}$$

여기서  $R$ 은 로프 길이,  $m$ 은 스프레더 무게,  $T$ 는 로프에 작용하는 장력,  $\theta$ 는 흔들린 각,  $g$ 는 중력 가속도를 나타낸다.

2. 스프레더의 구성

자동화 컨테이너 터미널에 사용되는 하역장치는 목표 컨테이너의 위치를 정확히 파악할 수 있는 시스템을 갖추어야 한다. 현재 많은 연구가 된 방법 중에서 CCD 카메라와 레이저 스캐닝을 사용한 방법이 대표적이다. 하지만 위의 두 가지 방법 중 CCD 카메라를 사용한 방법은 외란에 취약하다는 단점이 있고 레이저 스캐닝 방법은 시스템의 가격이 높다는 단점을 가진다.

이러한 단점을 극복하고자 본 연구에서는 레이저 거리 측정기를 스프레더에 부착하여 그림 2와 같은 시스템을 구성하고 스프레더와 컨테이너 사이의 위치를 측정하고자

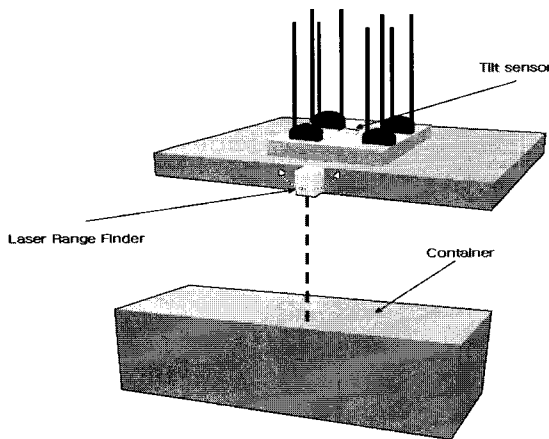


그림 2. 센서가 부착된 스프레더.

Fig. 2. Sensors on the spreader.

하였다.

스프레더의 진행방향 중심부위에 모터가 장착된 레이저 거리 측정기를 설치하고 외란에 의해 스프레더가 흔들릴 때 컨테이너까지의 거리를 측정할 수 있도록 하였다. 장착된 모터에는 인코더를 부착하여 측정기가 회전된 각을 검출할 수 있도록 하였다. 또한 스프레더의 흔들림을 감지하기 위해 기울기 센서를 스프레더의 상단에 설치하여 흔들림을 측정할 수 있도록 하였다.

III. 스프레더와 컨테이너 사이의 위치 측정

1. Skew 각 측정

Skew각은 스프레더와 컨테이너 사이에 정합이 되지 않을 때 발생하는 각으로써 두 물체 사이의 비틀린 정도를 말한다. 스프레더를 사용해 컨테이너의 하역작업을 할 때 둘 사이에 Skew각이 0°가 되어야 한다. 우선 그림 3에서처럼 트롤리가 위치한 곳이 점  $T$ 이고 스프레더는 거리  $R$ 만큼 떨어진 곳 점  $S$ 에 존재한다. 모터에 장착된 레이저 거리 측정기는 회전을 통해 원하는 각도  $\beta$ 만큼 회전 가능하다. 관성이나 바람과 같은 외란에 의해 앞서 설명한 (1)-(8)까지의 단진자 운동 방정식에 의해 스프레더 흔들림은 기술된다. 본 연구에서는 레이저 거리 측정기로부터 발사된 레이저 빔이 바닥에 투사될 때 이 레이저의 궤적을 측정하여 Skew각을 측정한다.

그림 3에서 레이저로부터 발사된 레이저 빔이  $\beta$ 만큼 회전 하였을 때 레이저의 빔  $L_1$ 은  $x, y$ 평면에 있는 점  $LB_1$ 으로 투사된다. 이점의 좌표는 (9)로 표시된다.

$$LB_1(x, y): \begin{cases} x = (S + h) \cdot \tan\alpha \\ y = -L_1 \cdot \sin\beta \end{cases} \tag{9}$$

레이저 거리 측정기로부터 발사되는 레이저 빔은 각각의 위치에 따라 거리가 달라지는데 위치에 따른 레이저 빔의 길이 변화는 (10)으로 표시된다.

$$L_1 = \frac{L_0}{\cos\beta} \tag{10}$$

(11)은  $x, z$  평면상에서 위치에 따른 레이저빔의 길이를 나타낸다.

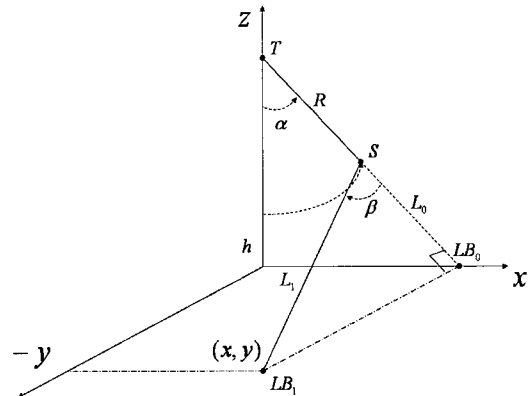


그림 3. 레이저빔의 궤적.

Fig. 3. Trajectory of a laser beam.

$$L_0 = \frac{(S+h) - S \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha} \quad (11)$$

(12)는 3차원 공간상의 레이저 빔의 길이를 나타내는 값으로 (10)에 (11)을 대입함으로써 구할 수 있다.

$$L_1 = \frac{(S+h) - S \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha \cdot \cos \beta} \quad (12)$$

여기서  $\alpha$ 는 트롤리와 스프레더 사이의 흔들림 각,  $\beta$ 는 모터에 부착된 레이저 거리 측정기가 회전한 각,  $L_0$ 는 레이저 거리 측정기를 회전하지 않았을 때 초기 거리,  $L_1$ 은 레이저 거리 측정기를  $\beta$ 만큼 회전을 시켰을 때 거리 측정기에서 바닥까지의 거리를 나타낸다.

따라서 (10)에서  $x$  축의 좌표는 스프레더의 초기위치 값으로 알 수 있고  $y$  축의 좌표는 (9)에 (12)를 대입하면 다음과 같이 구해진다.

$$y = \frac{S \cdot \cos \alpha - (S+h)}{\cos \alpha} \cdot \tan \beta \quad (13)$$

앞에서 언급한 스프레더의 운동방정식을 이용해 컨테이너가 놓여져 있는 바닥에 투사되는 레이저 빔의 궤적을 (9)-(13)을 이용하여 그리면 그림 4와 같다.

Skew각은 스프레더에 달린 레이저 거리 측정기를 회전을 시킬 때 발생하는 컨테이너에 투사되는 레이저 빔의 거리 차이로 구할 수 있다. 그림 4(a)처럼 Skew각이 존재하지 않을 때 점  $B_0$ 와 점  $C_0$ 의  $x$  축 좌표는 동일하다. 하지만 (b)처럼 스프레더와 컨테이너 사이에 Skew각이 존재할 때 점  $B_1$ 과 점  $C_1$ 의  $x$  축은 동일하지 않다. 이때 점  $B_1$ 과 점  $C_1$ 이 이용해 직각 삼각형을 만든 후 점  $C_1$ 에 위치한 예각을 측정하면 Skew각을 구할 수 있다.

그림 5에서 목표 컨테이너에 도달한 스프레더는 트롤리로부터 거리  $R$ 만큼 떨어진 곳에서 정확한 위치를 파악하기 위해 정지한 후 바람이나 관성의 영향에 의해 스프레더의 흔들림을 발생한다. 이 흔들림은 레이저 거리 측정기의 빔을 컨테이너위로 지나갈 때 진입전의 거리는  $L_5$ 이고 최초 진입 시 컨테이너의 모서리 부분에서의 거리는  $L_2$ 로 나

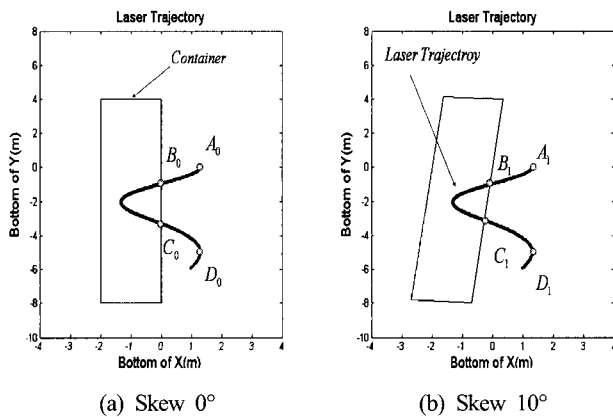


그림 4. 스프레더의 흔들림에 의한 레이저 빔의 궤적.  
Fig. 4. Trajectory of a laser beam with spreader.

타낸다. 또한 컨테이너의 상단에 레이저 빔이 진입 후 레이저 거리 측정기가  $\beta$ 만큼 회전되어 컨테이너를 벗어나는 순간 컨테이너의 모서리와 스프레더까지의 거리는  $L_4$ 이 된다. 이 때 스프레더의 흔들림 각도 ( $\alpha_1, \alpha_2$ )은 스프레더에 달린 기울기 센서로부터 측정할 수 있다.

선분  $L_0, L_1, L_2$ 는 직각 삼각형을 이루고 레이저 거리 측정기가 회전한 각  $\beta$ 는 인코더로 파악할 수 있으므로  $L_0, L_3$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} L_0 &= L_1 \cdot \cos \beta \\ L_3 &= L_1 \cdot \sin \beta \end{aligned} \quad (14)$$

$L_3, L_4$ 로 이루어지는 직각 삼각형은 Skew각을 포함하며  $L_4$ 의 길이는

$$L_4 = \sqrt{(R+L_2)^2 + (R+L_0)^2 - 2(R+L_2)(R+L_0)\cos \alpha_1} \quad (15)$$

따라서 구하고자 하는 Skew각  $Q_{skew}$ 는 (16)으로 구해진다.

$$Q_{skew} = \tan^{-1} \left( \frac{L_4}{L_3} \right) \quad (16)$$

2. 위치측정

외란이 존재하는 상황에서 스프레더와 컨테이너 사이의 위치를 측정하기 위해서는 둘 사이의 거리와 Skew각 그리고 스프레더의 중심점과 컨테이너의 중심점과의 오차인 중심오차가 필요하다.

본 연구에서 제안하는 스프레더의 흔들림을 이용하여 컨테이너의 위치를 측정하기 위해서는 최소 2회 이상의 흔들림이 필요하다. 첫 번째 흔들림에서 스프레더와 컨테이너 사이의 Skew각을 파악하고 두 번째 흔들림에서 Skew각을 바탕으로 하여 그 위치를 측정한다. 그림 6(a)에서 Skew각을 구하기 위해 반대방향으로 컨테이너의 가장자리가 검출될 때까지 최대한 회전을 시킨다. 그림 6(b)는 스프레더에서 컨테이너를 바라본 모습이다.

직선  $L_4$ 는 레이저 거리 측정기가 회전 되지 않고 흔들렸을 때의 궤적을 나타낸다. (17)은 (11)과 유사한 형태로 표현된다.

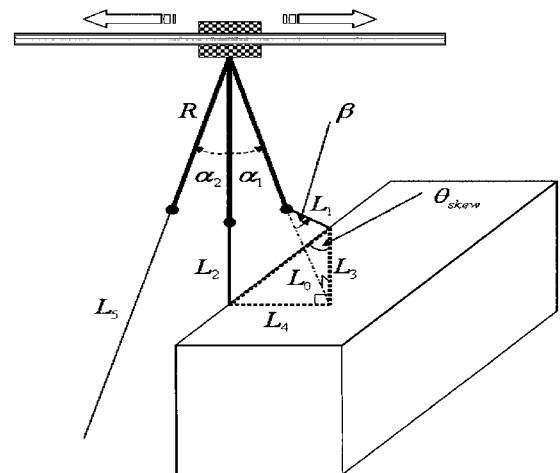
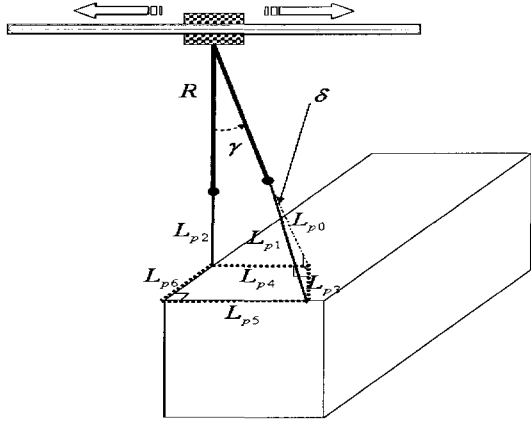
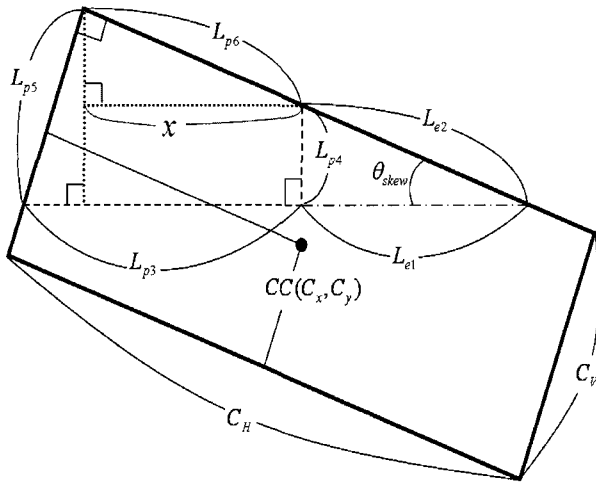


그림 5. Skew각 측정.  
Fig. 5. Measurement of the skew angle.



(a) Container edge detection.



(b) Container view from the spreader.

그림 6. 위치 측정.

Fig. 6. Position measurement.

$$\begin{aligned} L_{\beta} &= L_{\mu} \cos \delta \\ L_{\mu} &= L_{\beta} / \sin \delta \end{aligned} \quad (17)$$

(17)을 이용해서  $L_{\mu}$ 을 구하면 (18)과 같다.

$$L_{\mu} = \sqrt{(R+L_{\beta})^2 + (R+L_{\beta})^2 - 2(R+L_{\beta})(R+L_{\beta}) \cos \gamma} \quad (18)$$

$C_H$ 는 컨테이너의 가로 길이를 나타내고  $C_V$ 는 세로 길이를 나타낸다.

그림 7은 스프레더와 아래에 놓여진 컨테이너를 좌표상에 표시한 것이다. 스프레더의 중심점  $SC(0,0)$ 을 원점으로 하는 좌표를 설정하고 목표 컨테이너의 왼쪽 상단의 모서리 좌표를  $CLU(C_{lux}, C_{luy})$ 라 한다. 컨테이너의 중심점  $CC(C_x, C_y)$ 에서  $x$ 축으로  $C_{lux}$ ,  $y$ 축으로  $C_{luy}$ 만큼 떨어진 좌표  $CLU(C_{lux}, C_{luy})$ 는 (16)과 (17)에서 구한  $L_{\beta}$ ,  $L_{\mu}$ 를 이용하여 찾을 수 있다. 스프레더에 달린 레이저를  $y$ 축으로 거리  $L_{sc}$ 만큼 이동하면 레이저 거리 측정기를 중심으로 하는 좌표는  $SC(0, L_{sc})$ 로 표현 될 수 있다. 이 점으로부터  $y$ 축으로 거리  $L_{\mu}$ 만큼 떨어진 곳에 컨테이너의 모서리를 선분으로 한 선분  $L_{\beta}$ 이 지난다. 레이저 측정기의 중심 좌표

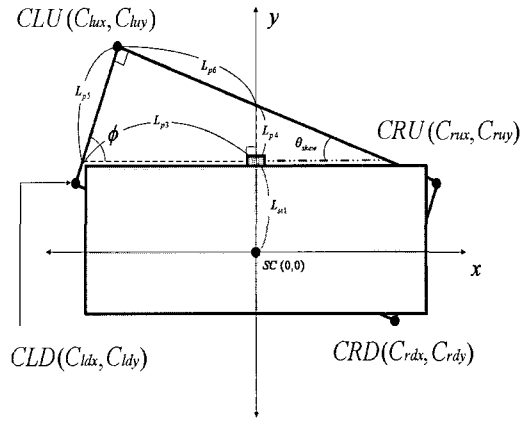


그림 7. 스프레더와 컨테이너 사이의 상대 위치.

Fig. 7. Relative position of container w.r.t the spreader.

$SC(0, L_{sc})$ 에서  $x$ 축으로 거리  $L_{\beta}$ 만큼 떨어진 곳에 컨테이너의 모서리를 선분으로 한 선분  $L_{\beta}$ 가 존재하는 것을 알 수 있다.

$L_{\beta}$ 를 빗변으로 하고  $x$ 를 밑변으로 하는 직각삼각형을 통해(19a)와 같은 식을 표현한다.

$$L_{\beta} : (y + L_{\mu}) \div x = \tan \theta_{skew} \quad (19a)$$

$L_{\beta}$ 를 빗변으로 하고  $(L_{\beta} - x)$ 를 밑변으로 하는 직각삼각형을 통해(19b)와 같은 식을 표현한다.

$$L_{\beta} : y \div (L_{\beta} - x) = \tan(180^\circ - \theta_{skew}) \quad (19b)$$

(19a)와 (19b)를 통하여  $x$ 를 구할 수 있다.

$$x = \frac{L_{\mu} - L_{\beta} \tan(90^\circ - \theta_{skew})}{\tan(\theta_{skew}) + \tan(90^\circ - \theta_{skew})} \quad (19c)$$

점  $CLU(C_{lux}, C_{luy})$ 는 컨테이너의 좌측 상단의 모서리를 나타낸다. 점  $CLU(C_{lux}, C_{luy})$ 를 이용하여 컨테이너의 나머지 3모서리와 중심점을 구하면 (20)과 같다.

$$CLD : \begin{pmatrix} C_{ldx} \\ C_{ldy} \end{pmatrix} = -C_V \begin{pmatrix} \sin(\theta_{skew}) \\ \cos(\theta_{skew}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{lux} \\ C_{luy} \end{pmatrix} \quad (20a)$$

$$CRU : \begin{pmatrix} C_{rux} \\ C_{ruy} \end{pmatrix} = C_H \begin{pmatrix} \cos(\theta_{skew}) \\ -\sin(\theta_{skew}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{lux} \\ C_{luy} \end{pmatrix} \quad (20b)$$

$$CRD : \begin{pmatrix} C_{rdx} \\ C_{rdy} \end{pmatrix} = -C_V \begin{pmatrix} \sin(\theta_{skew}) \\ \cos(\theta_{skew}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{rux} \\ C_{ruy} \end{pmatrix} \quad (20c)$$

$$CC : \begin{pmatrix} C_x \\ C_y \end{pmatrix} = (CLU + CRD) \div 2 = \left( \begin{pmatrix} C_{lux} \\ C_{luy} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{rdx} \\ C_{rdy} \end{pmatrix} \right) \div 2 \quad (20d)$$

$CLU(C_{lux}, C_{luy})$ 를 이용하여 먼저 (20a), (20b)와 같이  $CLD$ ,  $CRU$ 를 구하고  $CRU$ 를 바탕으로  $CRD$ 를 구한다. (20a)는  $CLU$ 를 통과하며  $y$ 축과 평행하는 직선과  $CLD$ 를 통과하며  $x$ 축과 평행한 직선의 교점으로 인해 생기는 직각 삼각형을 통하여 도출 되는 식이다. 컨테이너의 중심점  $CC$ 는  $CLU, CRD$ 의 중심점으로  $CRU, CLD$ 의 중심점과 일치한다.

#### IV. 실험 및 결과

목표 컨테이너와 스프레더 사이의 위치를 검출하는 실험

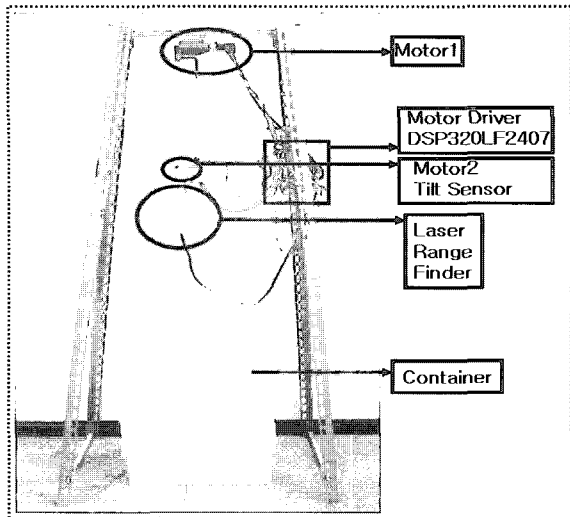


그림 8. 위치 측정을 위한 실험장치.  
Fig. 8. Experimental system for position measurement.

을 하기 위해 그림 8과 같은 실험 장치를 제작하였다. 레이저 거리 측정기는 DIMETIX사의 DLS-A 15, 기울기 센서는 SA-1를 사용하였다. 거리 측정기의 응답속도는 0.3ms이고 정밀도는  $\pm 1.5\text{mm}$ 의 오차를 가진다. 기울기 센서로는 측정 범위는  $\pm 60^\circ$ , 정밀도는  $\pm 0.1^\circ$ 이다.

전체 시스템의 제어는 DSP320LF2407를 사용하였다. 센서로부터 들어오는 컨테이너와 스프레더 사이의 거리 정보와 기울기 센서로부터 기울기 정보를 분석하였다. 실제 시스템과 유사한 스프레더의 흔들림을 발생시키는 Motor1과 레이저 거리 측정기를 회전시키는 Motor2를 각각 제어하고 인코더를 사용하여 회전각을 검출하였다. 인코더를 통해 측정된 데이터와 기울기 sensor의 데이터를 비교하여 skew각 측정에 이용하였고, 20ft컨테이너를 15.7:1로 축소된 모형 컨테이너를 실험에 사용하여 실험에 사용하였다.

1. Sway 각 측정

실제 항만의 크레인에서 스프레더에 발생하는 흔들림을 발생시키기 위해 그림 8과 같이 모터를 사용하여 흔들림을 인위적으로 발생시켜 모터에 회전한 각과 이때 스프레더의 흔들림을 감지한 기울기 센서로부터 들어오는 기울기 정보를 A/D 변환하여 그림 9와 같이 나타내었다. 실험에서 스프레더를 5주기 동안 회전 시켰을 때 그림 9와 같은 데이터를 얻을 수 있었다. 이때 기울기 센서로부터 측정된 데이터를 모터가 흔들린 각과 비교 하였을 때 상승과 하강의 기울기 값에서 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 실험에서는 기울기센서의 흔들림을 측정하여 lookup table방식을 사용하여 정확한 기울기를 측정하였다.

그림 9에 기울기 센서로부터 측정된 데이터를 모터가 흔들린 각과 비교하였을 때 상승과 하강의 기울기 값에서 오차가 발생하는 것을 알 수 있었다. 표 1에서 스프레더의 흔들림에 따른 기울기 센서의 기울기의 A/D값은 상승과 하강 모두  $1^\circ$ 에 5.21씩 변화 되는 것을 알 수 있다. Step error는 tilt sensor 대신 자이로 센서를 사용하면 감소될 것이라 예상된다.

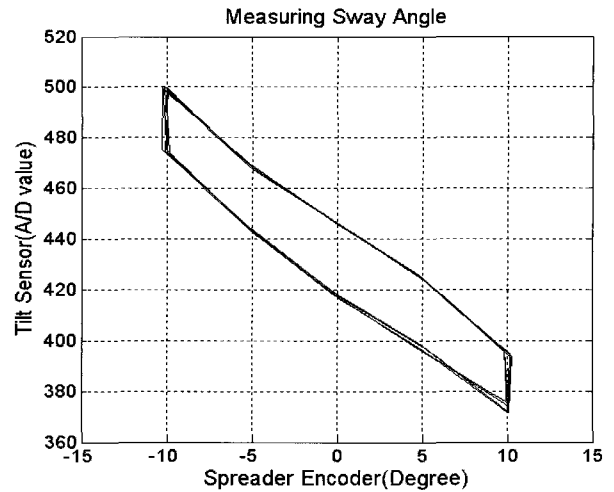
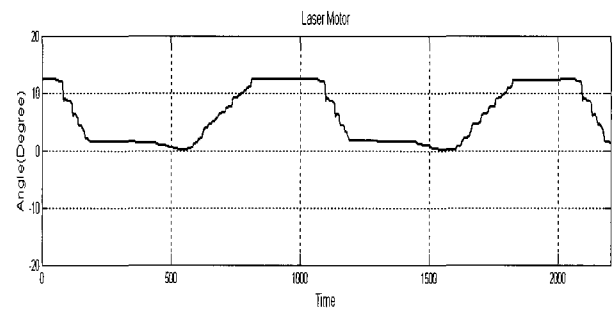


그림 9. Sway각 측정.  
Fig. 9. Measurement of skew angle.

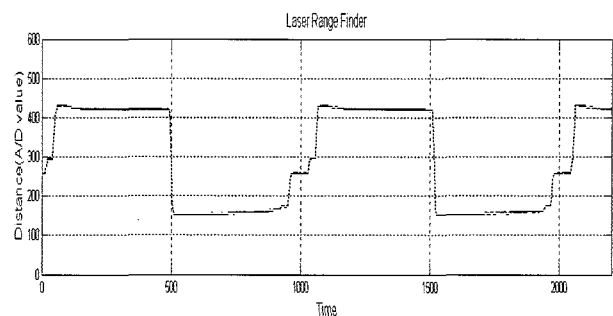
표 1. Sway각 측정.

Table 1. 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



(a) Measurement of motor skew angle.



(b) Distance measurement of laser range finder.

그림 10. 스쿼각 측정.  
Fig. 10. Measurement of skew angle.

2. Skew 각 측정

그림 10에서는 레이저 거리 측정기의 회전각과 레이저 거리 측정기에서 컨테이너 사이의 거리 정보 그리고 기울기 센서로부터 들어오는 스프레더의 흔들림 정보를 나타내

표 2. 스큐각 측정 오차.

Table2. 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

표 3. 위치 측정 오차.

Table3. Position measurement error.

Position	Real Position	Measured Position Error
$CLU(C_{lx}, C_{ly})$	(-30.27, -7.12)	(-28.30, -7.67)
$CLU(C_{lx}, C_{ly})$	(-11.46, -58.80)	(-7.97, -58.77)
$CLU(C_{rx}, C_{ry})$	(101.28, 40.77)	(101.78, 44.08)
$CLU(C_{rx}, C_{ry})$	(120.09, -10.92)	(122.11, -7.02)
$CC(C_x, C_y)$	(44.91, -9.92)	(46.90, -7.35)

고 있다. 실험에서는 스프레더가 흔들릴 때 레이저 거리 측정기의 레이저 빔이 컨테이너에 닿는 순간 일정한 각으로 회전을 시켰다.

표 2는 실험 장치를 통해 측정한 skew각과 실제 skew각을 나타내고 있다. 표에서 보는 것처럼 측정된 각과 실제 각 사이에는 오차가 존재한다.

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

본 모의실험에 의한 위치측정 오차를 표 3에 나타내었다. 측정정도가 ±3cm 이내로 우수함을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 하역 장비에 사용되고 있는 CCD 카메라와 레이저 센서 방식의 단점을 개선 하고자 기울기 센서와 레이저 거리 측정기를 사용하여 스프레더와 목표 컨테이너의 위치를 측정하는 방법을 제시하였다. CCD 카메라보다 자연현상에 의한 잡음에 강인한 레이저 센서를 사용하여 시스템을 구성함으로써 크레인 조종자 혹은 자동화 크레인 제어기 시스템에 정확한 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 또 고가의 2차원 혹은 3차원 레이저 센서가 아닌 1차원 거리 측정기를 사용하여 시스템을 구성함으로써 상품화를 위한 경쟁력을 고려하였다. 본 시스템이 실제 항만에 적용되기 위해서는 실험에 사용한 레이저 거리측정기보다

는 빠른 응답속도와 정밀도를 가지는 센서와 정밀한 기울기 측정 센서가 적용되어야 할 것으로 판단된다. 정밀한 위치 측정이 가능한 시스템으로 개선된다면, 본 연구에서 제안한 방법은 자동화 터미널의 크레인 제어기나 크레인 조종자에게 정확한 위치 정보를 제공함으로써 정밀한 자동랜딩시스템의 구현이 가능하게 될 것으로 기대된다.

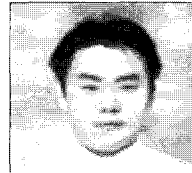
참고문헌

- [1] S. U. Choi, J. W. Lee, C. H. Lee, Y. J. Lee, and K. S. Lee, "A development of ATCS for automatic transfer crane," *Industrial Electronics, ISIE 2002*, vol. 2, pp. 661-665, July 2002.
- [2] J. J. Lee, G. G. Nam, B. K. Lee, and J. M. Lee, "Measurement of 3D Spreader Position Information using the CCD Cameras and a Laser Distance Measuring Unit," *International Journal of Navigation and Port Research*, vol. 28, no. 4, pp. 323-331, June 2004.
- [3] J. R. Holmquist, "Laser guided loading system," *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 38, no. 3, pp. 752-757, May 2002.
- [4] K. Obata, K. Uchida, T. Chikura, H. Yoshikawa, and T. Monzen, "Automated transfer crane," *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, vol. 40, pp. 1-5, no. 2, Jan. 2003.
- [5] H. Yoshikawa, S. Kunimitsu, H. Hoshina, N. Mitata, and M. Kobayashi, "Development of hoisting load position sensor for container handing cranes," *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, vol. 38, no. 3, pp. 67-72, June 2001.
- [6] K. Obata, N. Miyata, M. Kobayashi, M. Nishioka, and H. Yoshikawa, "Development of automatic container yard crane," *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, vol. 38, no.2, pp. 62-66, Jun. 2001.
- [7] Y.-S. Kim, H. Yoshihara, N. Fujioka, H. Kasahara, H. B. Shim, and S.-K. Seul, "A new vision-sensorless anti-sway control system for container cranes," *Industry Applications Conference*, vol. 1, pp. 262-269, Oct. 2003.
- [8] 정승현, 박정일, "피지제어기를 이용한 크레인 진동억제 및 위치 제어," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, vol. 3, no. 5, pp. 435-442, Oct. 1997.
- [9] 박경택, 박찬훈, 김두형, 신영재, "자동화 컨테이너 터미널을 위한 컨테이너 트랜스퍼 크레인의 안티 스웨이 시스템 : Part I- 기본 구조, 모델링, 제어," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, vol. 10, no. 11, pp. 1112-1118, Nov., 2004.
- [10] E. Arnold, O. Awodny, A. Hildebrandt, and K. Schneider, "Anti-sway system for boom cranes based on an optimal control approach," *American Control Conference*, vol. 4, pp. 3166-3171, June 2003.



**황진아**

2006년 부산대 전자공학과 졸업. 2006년~현재 동 대학원 석사과정. 관심분야는 다중센서적용, 자동 하역장치.



**남기군**

2004년 동서대 정보통신공학과 졸업. 2006년 부산대 전자공학과 대학원 졸업. 관심분야는 마이크로프로세서 응용설계, 자동 하역장치.



**이장명**

1980년 서울대 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 석사. 1990년 University of Southern California 공학 박사. 1992년~현재 부산대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 다관절 로봇 시스템 설계 및 제어, 협동 제어, 이동 물체의 위치 추적, 마이크로 프로세서 응용 시스템 설계.