

# Dual compasses를 이용한 스프레더의 자세 제어

## Spreader Pose Control Using Dual-electric Compasses

한 순 신, 정 희 석, 이 장 명\*  
 (SunSin Han, HeeSeok Jeong, and JangMyung Lee)

**Abstract :** A spreader pose control system using dual-electric compasses has been implemented by measuring the skew angle of the spreader with dual-electric compasses. In the conventional spreader pose measurement, CCD cameras, laser sensors or tilt sensors are mostly used. However those sensors are not only sensitive to the weather and disturbances but also expensive to build the system. To overcome the shortcomings, an inexpensive and efficient system to control the spreader pose has been implemented using the dual-magnetic compasses. Since the spreader iron-structures are noise sources to the magnetic compass, it is not considered to use the magnetic compass to measure the orientation of the spreader. An algorithm to eliminate the interferences of metal structures to the dual compasses has been developed in this paper. The 10:1 reduction model of a spreader control system is implemented and the control performance is demonstrated to show the effectiveness of the dual-magnetic compasses proposed in this research.

**keyword :** magnetic compass, dual-compass, electronic compass, spreader, skew-angle

### I. 서론

세계 주요 항만들은 인력에 의한 하역방식에서 벗어나 화물을 효율적으로 처리하고자 자동화 항만을 개발하고 있다. 특히, 크레인을 이용한 하역기술은 선박의 정박시간에 결정적인 영향을 미친다. 현재 컨테이너는 20ft와 40ft로 나누어지며 전용 장비를 이용하여 하역을 한다. 주요 하역장비로는 컨테이너 크레인과 야드 크레인이 있다. 컨테이너 크레인은 선박의 취급 속도에 따라 부두 전체의 처리 능력을 결정하는 중요한 크레인이다. 야드 크레인 또한 야드에서 컨테이너를 적재하거나 이송장치에 실어주는 역할을 하며 이 두 크레인의 공통점은 트롤리의 횡행과 스프레더의 상하 이동을 이용하여 컨테이너를 원하는 목적지로 이동시키는 것이다.

컨테이너를 정확하게 적재 혹은 양하 작업을 수행하기 위해서는 스프레더의 뒤틀림 각 측정이 매우 중요하다. 스프레더의 뒤틀림 각 측정은 자동화 항만의 무인 크레인 제어 및 크레인 작업자에게 스프레더의 정보를 제공함으로써 하역 작업 시 작업의 피로도를 감소시킬 수 있다[1,2].

현재 운용되고 있는 자동화 항만의 스프레더의 뒤틀림 각 측정 방법은 CCD카메라와 레이저 및 단일 컴파스를 이용하는 방법이 주를 이룬다[3-5]. 하지만, CCD카메라와 레이저 센서 혹은 단일 컴파스만을 사용하여 스프레더의 뒤틀림 각을 측정하는 데는 한계가 있다. CCD카메라의 경우 영상처리의 과정을 거치므로 프로그램 수행에 많은 시간이 필요하고 기후변화에 취약하다. 레이저 센서를 이용한 방법은 가격이 높고 정밀한 뒤틀림 각의 측정 시 사각이 존재한다.

그리고 단일 컴파스를 이용하여 뒤틀림 각을 측정하는 경우 외부 자기장에 대한 간섭에 민감하게 반응하여 절대방위의 지시에 어려움이 있다.

본 논문에서는 스프레더와 같은 철 구조물로 인한 자기장의 변화에 강인한 듀얼 컴파스를 개발하고 스프레더의 정밀한 뒤틀림 각 제어 방법을 제안한다[6,7]. 2절 및 3절에서는 컴파스의 기본원리를 4절에서는 본 논문에서 제안하는 듀얼 컴파스의 원리를 5절에서는 실험결과를 분석하고 6절에서 결론을 맺으며 향후 연구 방향을 제시한다.

### II. Magnetic compass 의 원리

나침반은 자화된 바늘이 지구 자기장에 반응하여 방위를 검출하는 도구이다. 이에 비해 전자 컴파스는 특수 소자(자기저항 센서)를 이용하여 지구 자기장을 검출한다[8,9]. 자기저항 센서를 사용하여 측정된 지구 자기장 성분  $H_e$ 는 그림 1과 같은 3차원으로 나타낼 수 있다.

$H_{eh}$ 는  $H_{ex}$ ,  $H_{ey}$  성분으로 나누어져 측정되며 지구자기장의 수평 성분을 나타낸다. 또한,  $\lambda$ ,  $\delta$ 는 자북과 진북 사이의 각과 센서의 기울기 각을 각각 나타낸다. 자북의 방위각  $\alpha$ 는 컴파스의 출력  $H_{ex}$ ,  $H_{ey}$ 를 이용하여 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{H_{ey}}{H_{ex}} \tag{1}$$

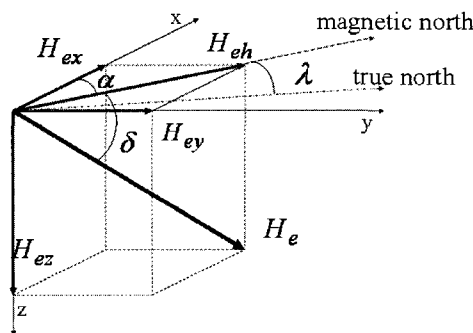


그림 1. 지구 자기장 벡터.  
 Fig. 1. Earth magnetism analysis.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 11. 29., 채택확정 : 2007. 6. 25.

한순신, 정희석, 이장명 : 부산대학교 전자공학과

(ranger112@pusan.ac.kr/heeseok@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

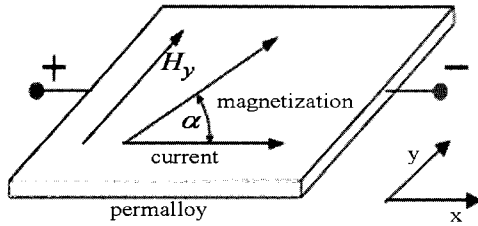


그림 2. Permalloy 내에서 자기저항 효과.  
Fig. 2. Magnetic resistor effect in Permalloy.

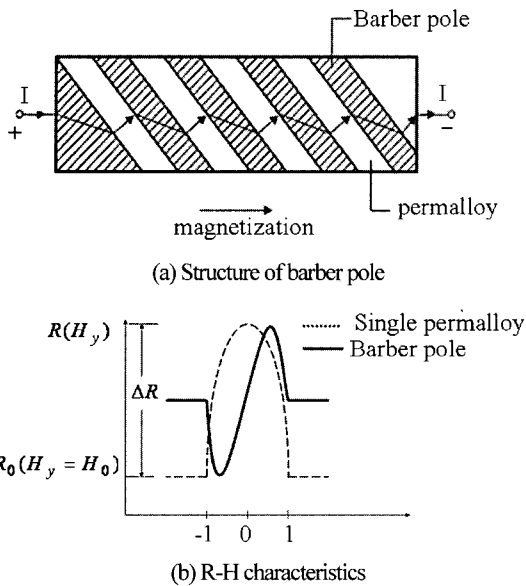


그림 3. Barber pole의 구조와 특성.  
Fig. 3. Structure and characteristics of barber pole.

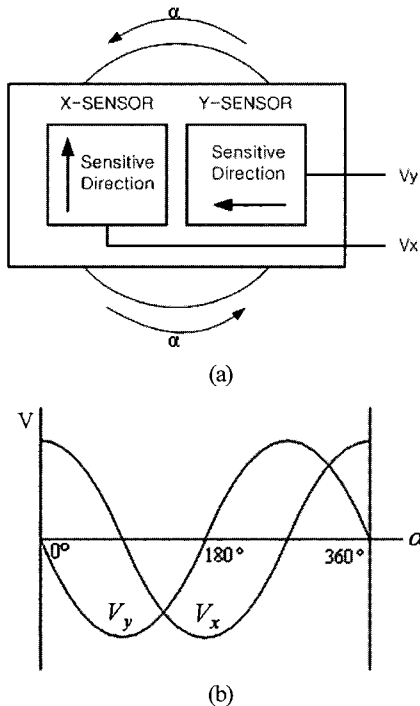


그림 4. (a) 센서의 구조 (b) 출력 특징.  
Fig. 4. (a) Structure of the sensor (b) Output characteristics.

자기저항 소자에 대하여 살펴보면 그림 2에서 permalloy인 철과 니켈의 합금(Fe 19%, Ni 81%)으로 이루어진 소자에 흐르는 전류가 자기장  $H_{ey}$ 에 의해 방향이 변화되는 것을 나타낸다. 그리고 그림 2의  $\alpha$ 는 (1)에 의해 측정된 방위각을 나타낸다.

측정된 방위각  $\alpha$ 는 자기저항 소자에서 측정되는 저항 값으로 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = R_0 + \Delta R \cos^2 \alpha \quad (2)$$

즉, 저항 값의 최대와 최소는 방위각  $\alpha$ 에 따라 결정된다.  $\Delta R$ 는 자기장 변화에 따른 저항의 변화를 나타낸다. 여기서,  $\Delta R$ 의 측정, 즉,  $H_{ey}$ 의 방향을 측정하기 위하여 그림 3(a)와 같이 barber pole 형태로 구성된 자기저항 소자를 사용한다. 그림 3(b)는 두 센서의 R-H특성을 나타낸다.

연구에 사용된 센서는 barber pole 형태의 소자가 90°로 직교된 것을 사용하여 x 축과 y 축을 동시에 측정하도록 하여 (1)에 의해 360°의 전 방위를 검출할 수 있다. 그림 4는 자기 센서의 구조(a)와 출력 특성(b)을 나타낸다.

### III. Single-compass 보정

컴퍼스는 기본적인 3가지의 보정은 영점 보정, 소자 출력 감도 차이, 비 직교 오차이다. 이런 오차를 단일 컴퍼스에서 보정을 실행 하고 듀얼 컴퍼스를 이용하여 외란에 대한 보정 기법을 살펴본다.

#### 1. 영점 보정

컴퍼스의 출력 오프셋은 소자 자체의 오프셋과 신호의 증폭에 의해 발생한다. 그리고 센서의 허용오차와 온도에 따라 달라지므로 이에 대한 보정은 다음과 같이 행해진다.

$$V_{offset} = (V_{x,y \max} - V_{x,y \min}) / 2 \quad (3a)$$

이 값은 외란이 존재하지 않고 소자의 오차가 없을 경우 0이 되어야 한다(그림 5 참조).

이 계산된 오프셋 값으로 보정하면,

$$V_{x,y \text{ corrected}} = V_{x,y \text{ output}} - V_{offset} \quad (3b)$$

로 정확한 값을 구할 수 있다.

#### 2. 소자출력 감도차이 보정

소자의 감도에 의한 편차와 증폭기의 증폭률에 대한 편차로 인해 발생하는 오차를 크기 벡터를 사용하여 보정한다.

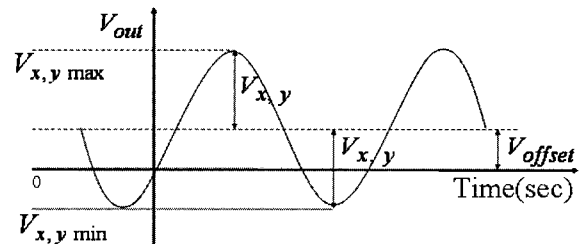


그림 5. 출력 오프셋 보정.  
Fig. 5. Zero-offset compensation.

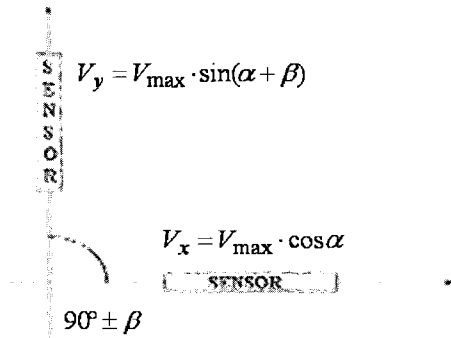


그림 6. 비 직교 오차.  
Fig. 6. Non-orthogonal error.

즉, x 축의 출력의 크기 값의 크기 벡터,  $S_{V_x} = 1$  로 두면 y 축의 크기 벡터,  $S_{V_y}$  는 다음과 같이 구해진다.

$$S_{V_y} = \frac{V_{y \max} - V_{y \min}}{V_{x \max} - V_{x \min}} \quad (4)$$

즉, y 축의 출력 값에 크기 벡터를 곱해서 구해주면 x 축과 같은 크기로 맞추어진다.

3. 비 직교 오차 보정

이 오차는 센서 제작 시 발생하는 오차로 최대 2°의 오차가 발생할 수 있다. 오차 보정은 아래와 같이 한다.

$$V_y = V_{\max} \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (5a)$$

$$V_x = V_{\max} \cdot \cos \alpha \quad (5b)$$

(1)에 의한 방위각  $\alpha$  와 (5a)와 (5b)로부터 오차  $\beta$  를 구하여, 보정된 y 축은 다음과 같다.

$$V_{y \text{ corrected}} = \frac{V_y}{\cos \beta} - V_x \cdot \tan \beta \quad (5c)$$

IV. 듀얼 컴퍼스 보정

컴퍼스는 자성체로 인한 간섭에 민감하다. 이를 해결하고자 그림 7과 같이 2개의 컴퍼스를 180°의 위상을 가지도록 구성하여 스프레더의 뒤틀림 각을 측정하는 방법을 제시한다.

1. 출력 위상 오차

180°의 위상 차로 설치된 듀얼 컴퍼스에 자기장이 미치는 영향은 그림 7과 같다.

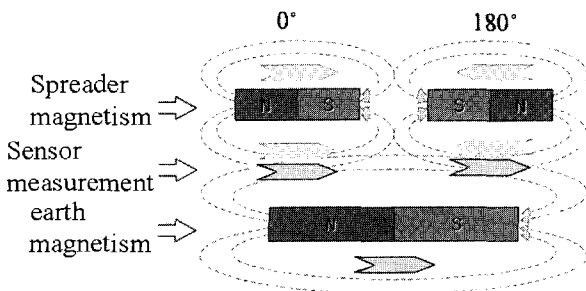


그림 7. 지구자기장과 간섭자기장 관계.  
Fig. 7. Relation between earth magnetism and the interference.

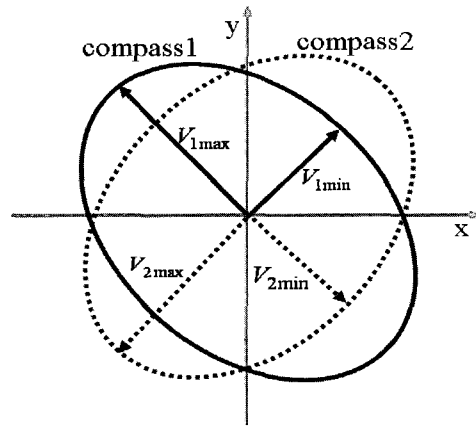


그림 8. 철 구조물에 의한 자화원 변화.  
Fig. 8. Change of magnetized circles with iron structures.

스프레더 자기장은 스프레더가 지구자기장에 의해 자화되어 나타내는 자기장을 말한다. 이때 180°의 위상으로 설치된 컴퍼스의 출력은 그림 8에서와 같이 하나는 외란이 더해진 형태로 하나는 감소된 형태로 나타나게 된다. 이에 대한 보정은 뒤의 외란에 대한 오차 보정에서 다룬다.

2. 출력 크기 보정

듀얼 컴퍼스를 철 구조물 위에 장착한 후 360° 회전을 하게 되면 컴퍼스의 출력 벡터의 궤적은 그림 8과 같이 두 개의 원으로 나타난다. 컴퍼스가 방향 값을 읽도록 사용하기 위해서는 이를 보정하여 같은 크기로 맞추어주어야 한다.

같은 크기의 자화원을 가지고 외란에 대한 오차 보정을 위해 두 컴퍼스의 출력 크기를 (6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$V_{1r} = |V_{1\max} - V_{1\text{offset}}| \quad (6a)$$

$$V_{2r} = |V_{2\max} - V_{2\text{offset}}| \quad (6b)$$

그리고 컴퍼스의 크기 요소는 (7)을 통해 균등하게 만들 수 있고

$$V_{1sf} = 1 \quad (7a)$$

$$V_{2sf} = \frac{V_{1r}}{V_{2r}} \quad (7b)$$

(8)을 통해 보정된 최종 출력을 구할 수 있다.

$$V_{x1 \text{ corrected}} = (V_{x1} - V_{x1 \text{ offset}}) \cdot V_{1sf} \quad (8a)$$

$$V_{y1 \text{ corrected}} = (V_{y1} - V_{y1 \text{ offset}}) \cdot S_{V_{y1}} \cdot V_{1sf} \quad (8b)$$

$$V_{x2 \text{ corrected}} = (V_{x2} - V_{x2 \text{ offset}}) \cdot V_{2sf} \quad (8c)$$

$$V_{y2 \text{ corrected}} = (V_{y2} - V_{y2 \text{ offset}}) \cdot S_{V_{y2}} \cdot V_{2sf} \quad (8d)$$

위의 과정을 통해 두 자화원의 크기값을 같게 맞추고 각각의 최종 출력을 나타낼 수 있다.

3. 외란에 대한 보상

일반적으로 컴퍼스는 지구자기장을 이용하여 절대 방위를 지시하게 되므로 자기장의 변화에 민감하게 반응한다. 이에 대하여 단일 컴퍼스를 사용하는 경우 일반적으로 스프레더 위에서 연속적인 회전을 이용하여 현재 측정값과 180° 회전

후의 값을 측정하여 그에 대한 평균값을 이용하여 위상 값을 측정한다. 그러나 실제 스프레더 위에서 실시간적으로 180° 회전을 이용하여 그 값을 취하는 방법은 활용할 수가 없다. 또한 불규칙적인 외란에 대하여 보정할 방법이 없다. 따라서 듀얼 컴파스를 이용하여 외부 간섭 자기장을 제거하는 방법을 이 절에서 제시한다.

컴파스에 대한 외부 외란의 요소는 크게 두 가지로 정리할 수 있다. 스프레더와 같이 컴파스가 철 구조물에 설치된 경우 그 철 구조물에 의한 정적 장애물에 대한 외란의 요소와 설치된 컴파스에 대하여 그 주변에 다른 철 구조물이 이동하는 경우 동적 장애물에 대한 외란의 요소로 나눌 수 있다.

3.1 센서 주변의 정적인 외란에 대한 보정

센서를 설치하는 스프레더 자체가 센서에는 외란으로 작용한다. 이 외란 요소가 듀얼 컴파스에 대한 영향을 나타낸 것이 그림 9와 같다.

컴파스1의 출력  $\rho$  와 컴파스2의 출력  $\sigma$  는 외란이 없는 경우 서로 180°의 위상차를 가지므로 그 합은 0이 되어야 한다. 그러나 실제 자기장의 왜곡이 일어나므로 그 값은 오차를 가진다. 그 오차를  $\varepsilon$  로 나타내고  $\varepsilon$  은 컴파스1의 출력  $\rho$  와 컴파스2의 출력의 180° 위상인  $\sigma'$  의 합에 대하여 이분주한 값으로 구할 수 있다. 이를 센서값에 대하여 나타내게 되면 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$error_x = \frac{V_{x1} + V_{x2}}{2} \tag{9a}$$

$$error_y = \frac{V_{y1} + V_{y2}}{2} \tag{9b}$$

여기서  $V_{x1}, V_{x2}, V_{y1}$  및  $V_{y2}$  는 두 개의 컴파스에 의한 x축 및 y축 방향의 출력 값으로 첨자 1과 2는 첫 번째와 두 번째 컴파스를 구분 짓는다. 컴파스1과 컴파스2의 출력은 180°의 위상차를 가지므로 같은 위치에 두 개의 컴파스가 설치되어 있는 경우 크기 값은 같고 방향은 반대로 나타나게 된다. 그리고 자화원의 크기와 위상을 나타내는 식이 다음과 같다.

$$R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}, \theta = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x} \tag{10}$$

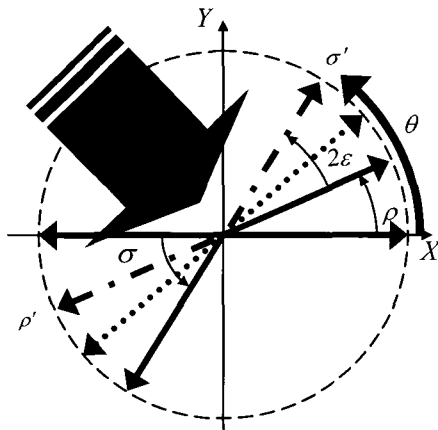


그림 9. 간섭 자기장.  
Fig. 9. Magnetic field interference.

(10)에서 R은 자화원의 크기값을 나타내고  $\theta$  는  $\alpha$  와 같은 방위각을 나타낸다. 컴파스의 출력은 cos과 sin의 특성을 나타내며, 출력값은 크기 벡터를 이용하여 0~1로 평균화를 취하였으므로 자화원의 크기값은 항상 1이다. 그러나 외란의 영향으로 인하여 자화원의 크기요소의 값은 1이 아닌 다른 값을 나타낸다. 이로 인하여 자화원은 타원을 나타내게 되고 자화원이 타원을 나타내는 것은 측정값이 특정 부분에서 강하게 나타남을 의미하므로 이로 인한 출력 위상은 특정 각도 영역에 치중하여 나타나게 된다. 즉, 자화원과 출력의 위상차에 대한 보상을 통하여 외란을 보정하게 된다. 자화원의 크기 값 R을 1로 하여 (10)에 의해 구해진  $\theta$  의 값을 이용하여 극좌표의 값을 다시 직각 좌표계로 변환을 하는 식은 다음과 같다.

$$x = R \cdot \cos(\theta) \tag{11a}$$

$$y = R \cdot \sin(\theta) \tag{11b}$$

(11)에 의한 결과를 다시 (10)에 의해 구함으로써 최종 자화원의 크기와 각도 값을 구할 수 있다.

3.2 주변 동적 장애물에 대한 보정

스프레더에 부착된 컴파스에 대하여 앞 절의 보상 과정을 거치고 나면 센서는 정상 동작상태에 있다고 볼 수 있다. 이 스프레더가 정지해 있는 상태에서 주변에 컨테이너나 혹은 AGV가 이동하는 상황에 대하여 즉, 동적인 외란 요소에 대한 보정은 단일 컴파스의 경우 지역 통과 필터를 이용하여 어느 정도의 보상을 취하지만 그것만으로 완벽한 보상은 어렵다. 그러나 듀얼 컴파스를 사용하면 필터에 의한 보정뿐만 아니라 불규칙한 외부 간섭에 대하여 외란의 존재 여부를 판별하여 보정할 수 있다.

외란의 존재 여부에 대한 판별은 현재의 센서값과 예측된 센서값의 편차에 의해 판별할 수 있다. 센서값의 예측은 센서값의 범위를 알고 연속되는 센서값이 급격히 변화하지 않는다고 가정할 경우 이전의 센서의 값에서 현재의 센서값의 범위를 구할 수 있다. 그 방법은 FIFO에 저장되어 있는 이전의 값들을 활용하여 센서값들의 편차의 평균값을 마지막 센서값과 합하여 얻는 방법을 사용하였다.

$$\hat{V}_n = V_{n-1} + \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta V_k \tag{12}$$

식에서 n은 FIFO의 크기를 나타내고,  $V_n$  은 현재 측정값이며  $\hat{V}_n$  은 예측한 값이다.  $\Delta V_k$  는 FIFO에 저장된 데이터들의 차이 값이며  $V_n - V_{n-1}$  로 나타낼 수 있다. (12)에서 얻은 예측값을 이용하여 뒤틀림 각을 보정하는데 측정값과 예측값의 차이가 문턱값보다 작으면 측정값을 이용하고 차이가 문턱값보다 크면 외부 간섭에 의한 영향으로 판단하여 예측값을 사용한다.

$$\begin{cases} V_{n, angle} & |V_n - \hat{V}_n| < \varepsilon \\ \hat{V}_{n, angle} & otherwise \end{cases} \tag{13}$$

여기서  $V_{n, angle}$  는 현재 측정값을 이용하여 구해진 뒤틀림 각을 의미하고  $\hat{V}_{n, angle}$  은 예측값을 이용하여 구해진 뒤틀림 각이다.

**V. 실험 및 결과**

이 절에서는 실험 장비의 구성과 외란에 대한 실험 결과 그리고 뒤틀림 각 측정에 대한 실험을 보인다. 실험은 듀얼 컴파스를 이용하여 진행하며 플리퍼의 허용오차 내에서의 뒤틀림 각 측정이 가능함을 실험을 통하여 보인다.

**1. 실험 장치의 구성**

실험 장치는 스프레더의 10:1의 크기로 제작하여 진행하였다. 컴파스는 두개의 KMZ52 자기 센서를 이용하여 12bit A/D 변환한 값을 취하여 구성되었다. 또한 실험 장치의 하단부에는 모터를 설치하여 실험 장비의 회전을 가능하게 하며 인코더 값을 읽어 컴파스의 오차를 확인하였다.

**2. 오차 보정 실험**

실험으로 외란에 대한 보정전의 상태와 보정후의 상태를 자화원을 통하여 확인한다. 그림 11은 컴파스의 출력을 보정

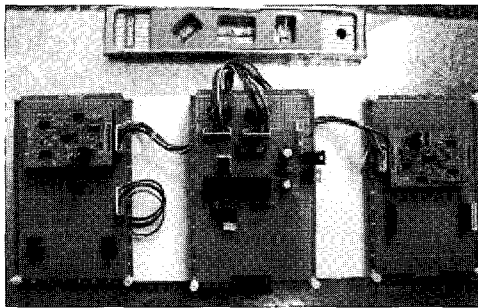
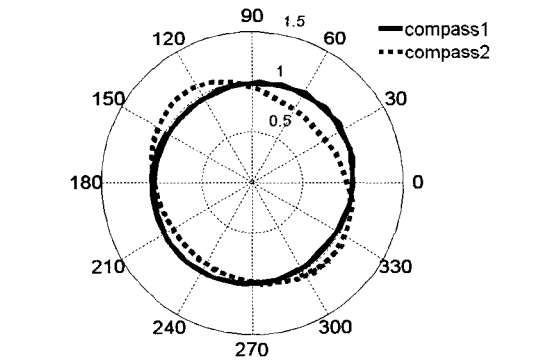
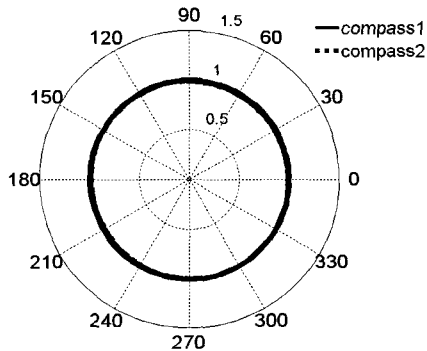


그림 10. 실험 장치의 구성.  
Fig. 10. Structure of test bed.



(a) Dual compasses output (before interference compensation)



(b) Dual compasses output (after interference compensation)

그림 11. 듀얼 컴파스 출력.  
Fig. 11. Dual compasses output.

표 1. 컴파스1과 컴파스2의 보정 계수값.

Table 1. Compensation coefficient of compasses.

항목	Compass1	Compass2	비고
$V_{x,max}$	695	696	
$V_{x,min}$	359	360	
$V_{y,max}$	680	656	
$V_{y,min}$	339	336	
$V_{x,offset}$	527	527	
$V_{y,offset}$	509.5	496	
$S_{vy}$	0.985	1.05	축간의 크기 비교
$V_{sf}$	1	1	센서간의 크기비교
FIFO	50	50	

전과 보정후의 자화원을 보여준다.

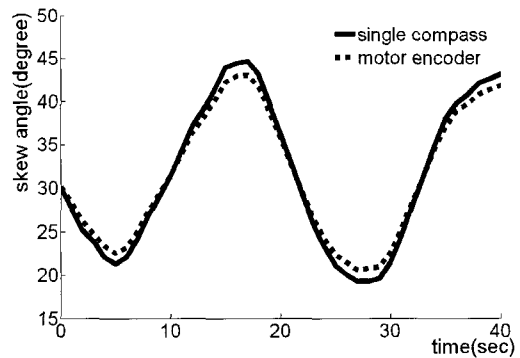
그림 11(a)에서는 외란의 영향으로 각도구간에서 외란이 더해지거나 감소함으로 자화원의 형태가 타원형으로 나타난다. 그리고 보상된 결과의 자화원이 그림 11(b)와 같다. 아래 표에 컴파스의 초기 보정 계수값을 나타내었다.

**3. Skew-angle 측정 실험**

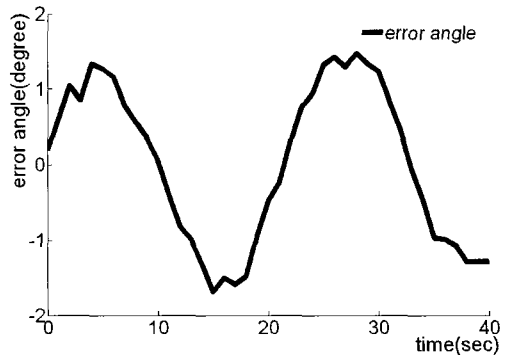
실제 항만에서 사용되는 스프레더는 하역작업 중  $\pm 15^\circ$ 의 회전이 발생할 수 있으며 20ft와 40ft의 컨테이너에 대하여 flipper의 허용오차가  $1^\circ$  이하이다. 실험은 단일 컴파스와 듀얼 컴파스의 두 가지 경우로 나누어서 진행을 하였다.

**3.1 정적 외란에 대한 실험**

스프레더는 실제  $15^\circ$  전후의 회전이 가능하다. 따라서 이



(a) Measurement of skew angle



(b) Angle error

그림 12. 뒤틀림 각 실험.  
Fig. 12. Experiment of skew angle.

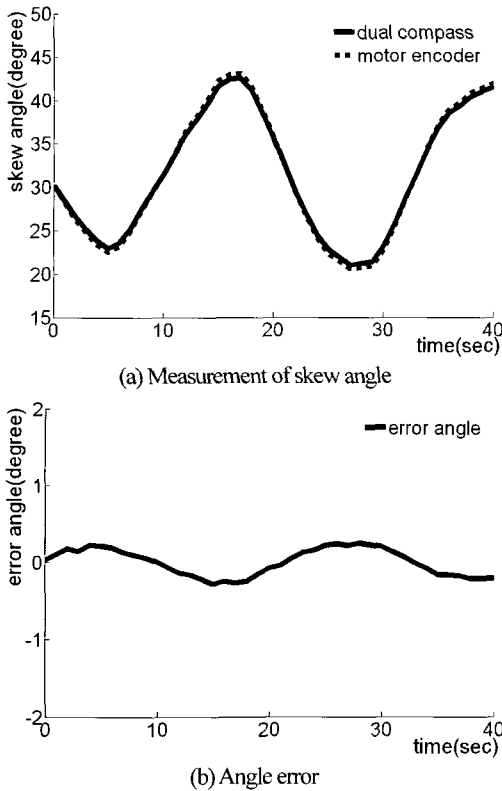


그림 13. 뒤틀림 각 실험.  
Fig. 13. Experiment of skew angle.

본 실험에서는 컴파스를 스프레더에 장착한 후 15°의 회전을 통한 뒤틀림 각 측정값과 오차값을 나타낸다.

3.1.1 Single-compass 사용시

단일 컴파스를 사용하여 15° 전후의 회전을 통하여 실험한 결과이다. 측정값에 대하여 단일 컴퍼스오차 보정을 실행하고 외란에 대하여 측정값의 출력 특성을 이용한 필터 처리를 하였다.

앞의 그림 12에서와 같이 단일 컴파스의 측정 각도는 최대 4°의 오차를 가지게 되어 플리퍼의 허용오차 범위를 넘어서므로 실제 스프레더의 뒤틀림 각 측정에 활용할 수 없다.

3.1.2 Dual-compass 사용시

듀얼 컴파스를 사용하여 단일 컴퍼스와 같은 환경에서 스프레더의 뒤틀림 각을 측정한 결과와 그 오차를 그림 13에 보여준다. 그림 13(a)는 측정된 뒤틀림 각을 그리고 13(b)는 회전한 모터의 인코더와 비교하여 오차 값을 나타내었다.

이번 실험에서 나타난 오차는 최대값이 0.5°보다 작았다. 따라서, 실제 스프레더에 적용하여 스프레더 자세제어에 사용하기에 충분한 정도를 가짐을 알 수 있다.

3.2 동적 외란에 대한 실험

스프레더가 정확한 뒤틀림 각을 찾은 상태에서 스프레더 주위에 AGV 이동 혹은 컨테이너에 접근에 하는 경우 AGV와 컨테이너가 철로 구성되어 있기에 외란을 일으킬 수 있다. 이에 대하여 단일 컴퍼스와 듀얼 컴퍼스를 비교하여 나타내었다.

이 실험은 정지 상태의 스프레더에 동적인 외란이 가해졌을 경우를 나타낸다. 상위가 그래프가 단일 컴퍼스이고 하위

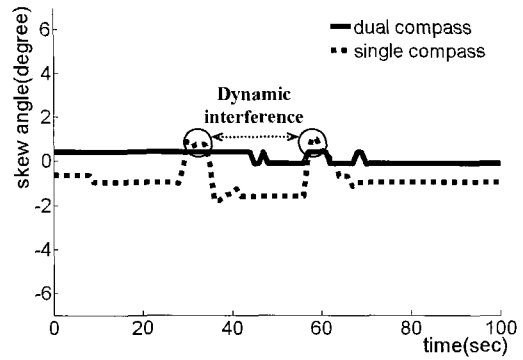


그림 14. 동적 외란에 대한 뒤틀림 각.  
Fig. 14. Skew-angle by dynamic interference.

는 듀얼 컴퍼스이다. 최초 단일 컴퍼스가 스프레더에 설치되면서부터 스프레더에 의한 외란으로 인하여 3°의 오차를 가진다. 이후 정지 상태의 스프레더에 주변으로 철 구조물이 이동하였을 경우 단일 컴퍼스의 경우 변화각이 1°~2°로 그 폭이 크게 변하지만 듀얼 컴퍼스의 경우 예측값을 이용한 외란 감지를 통해 스프레더에 의한 정적인 외란뿐만 아니라 주변의 동적 외란에 대하여도 안정함을 확인하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 듀얼 컴퍼스를 이용하여 실시간으로 스프레더의 간섭 자기장을 제거하는 기법을 고안하였다. 이 듀얼 컴퍼스를 스프레더의 뒤틀림 각 측정에 활용하여 양하 작업에서 가장 어려운 문제로 남아있던 스프레더의 뒤틀림 각 제어를 구현하였다. 기존에 제시된 스프레더의 자세 측정 방법과 비교하여 듀얼 컴퍼스를 이용한 방법은 항만과 같이 기후의 영향을 심각하게 받는 상황에서도 강인하고 저렴한 시스템으로 평가되어 그 활용도가 높을 것으로 판단된다. 실제 스프레더를 조절하는 모터와 연동하여 정밀도를 높이고 뒤틀림 각 측정 시 발생하는 미세한 히스테리시스 현상을 보정하면 더욱 정밀한 시스템이 구현될 수 있으며 이에 대한 연구를 향후 과제로 남겨두고 있다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] H. Yoshikawa, S. Kunimitsu, H. Hoshina, N. Mitata, and M. 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.
- [4] 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, Jun., 2004.
- [5] J. R. Holmquist, "Laser guided loading system," *IEEE Trans.*

Industry Applications, vol. 38, no. 3, pp. 752-757, May, 2002.

[6] K.-M. Lee, Y.-H. Kim, J.-M. Yun, and J.-M. Lee, *Magnetic-Interference-Free Dual-Electric Compass*, Sensors and Actuators A120, pp. 441-450, Jan, 2005.

[7] J.-P. Ko, W.-K. Kang, Y.-H. Kim, and J.-M. Lee, "Robust electric compass to dynamic magnetic field interference," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, vol.

11, no. 1, pp. 27-33, Jan, 2005.

[8] J. E. Lenz, "A review of magnetic sensors," *Proceedings of the IEEE*, vol. 78, Issue 6, pp. 973-989, Jun, 1990.

[9] R. Racz, C. Schott, and S. Huber, "Electronic compass sensor," Sensors, 2004. *Proceedings of IEEE*, vol. 3, pp. 1446-1449, Oct, 2004.



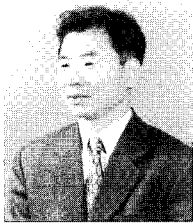
**한순신**

2004년 동서대학교 전자공학과 졸업. 2007년 부산대학교 대학원 메카트로닉스협동과정 석사졸업. 2007년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 마이크로프로세서 응용설계, 센서 네트워크.



**정희석**

2006년 동서대학교 전자공학과 졸업. 2006년~현재 부산대학교 대학원 메카트로닉스협동과정 석사과정 재학중. 관심분야는 마이크로프로세서 응용설계, 자동 하역장치.



**이장명**

1980년 서울대학교 전자공학과 공학사. 1982년 서울대학교 전자공학과 공학석사. 1990년 University of Southern California 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 다관절 로봇 시스템 설계 및 제어, 협동 제어, 이동 물체의 위치 추적, 마이크로 프로세서 응용 시스템 설계, 자동화 항만.