

論 文

## 2-채널 링-코어 플럭스-게이트 콤파스의 성능평가 시스템 개발

임정빈\* · 김봉석\*\*

\*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, \*\*목포해양대학교 대학원 석사과정

### Performance Evaluation System for Two-Channel Ring-Core Flux-Gate Compass

Jeong-Bin Yim\* · Bong-Seok Kim\*\*

\*Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

\*\* Graduate School of Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약 :** 2-채널 링-코어 플럭스-게이트 콤파스(two-channel ring-core Flux-Gate Compass: FG-Compass)의 성능평가 시스템 설계와 구현방법 및, 다항회귀 모형 기반의 평가 절차와 방법을 기술했다. 성능평가 시스템은 스텝모터 구동 유닛과, 방위정보 전송 유닛, 다항회귀식을 이용한 평가 프로그램 등으로 구성하였다. 성능평가 실험결과, FG-Compass를 전체 잔차  $\pm 4^\circ$ , 고유 잔차  $\pm 2^\circ$ 로 분석하였다. 이 결과는 일반적인 FG-Compass의 고유 잔차  $\pm 4^\circ$ 와 비교하여 정밀한 것으로, 성능이 향상된 새로운 FG-Compass 설계가 가능함을 나타낸다. 또한, 자동으로 잔차를 추정하고 보정할 수 있는 스마트 FG-Compass 콤파스의 설계론에 관해서도 논의하였다.

**핵심용어 :** 2-채널 링-코어 플럭스 게이트 콤파스, 성능평가 시스템, 잔차 분석, 자동 잔차 보정, 스마트 콤파스

**ABSTRACT :** Design and implementation methodologies on the performance evaluation system of two-channel ring-core Flux-Gate Compass (FG-Compass) are described, with evaluation procedures and methods based on the polynomial regression models. Performance evaluation system is consists of a step motor driving unit, a bearing transmitting unit and, evaluation programs using polynomial regression formulae. Through performance evaluation tests, total residual deviation of  $\pm 4^\circ$  and eigen residual deviation of  $\pm 2^\circ$  are obtained from the FG-Compass. The result is more accurate values than the typical FG-Compass with eigen residual deviation of  $\pm 4^\circ$  and is provide a possibility to develop a high performance FG-Compass. In addition, the design methodology of a smart FG-Compass with the self estimation and correction of residual deviations is also discussed.

**KEY WORDS :** two-channel ring-core flux-gate compass, performance evaluation system, residual deviation analysis, self-correction of residuals, smart compass

### 1. 서 론

이 논문에서는, 지구자장 방위를 전자적으로 측정하기 위한 2채널 링-코어 플럭스 게이트 콤파스(two-channel ring-core Flux-Gate Compass: FG-Compass)의 성능평가 시스템 개발에 관하여 기술하였다. 선행 연구로서 FG-Compass의 설계와 구현에 관한 논문[1]을 본 학회지에 게재한 바 있다.

FG-Compass는 2002년 7월 1일부터 발효된 2000 SOLAS 규정의 TMHD(Transmitting Magnetic Heading Devices)를 대신할 수 있는 장치이기 때문에 시급히 개발하여 산업현장에 적용할 필요성이 대두되고 있다[2],[3]. 이 연구는 선박용 FG-Compass 개발을 위한 두 번째 단계로서, 제작한 FG-Compass 성능을 자동으로 평가하기 위한 시스템의 하드웨어와 소프트웨어 및 평가기법 등의 개발에 관한 것이다.

FG-Compass에서 사용되는 2-채널 링-코어 플럭스 게이트 센서는, 도우넛 형태의 플라스틱 밀폐 통에 코어형 자석을 삽입하고 그 주위에 자극 코일(stimulating coil)과 센싱 코일(sensing coil)을 감아서 지구자장의 방향을 측정한다. 이러한 센서로부터 출력되는 신호는 시간 미분형태로 출력되기 때문에 위상검출회로(Phase Detective Circuitry: PSD)를 사용한다. PSD는 기준 신호에 대한 위상차(phase difference) 신호를 지구자장 방향에 대한 방위 신호로서 출력하게 된다.

이 연구에서는, 이러한 PSD의 위상차 신호를 데이터 수집장치를 이용하여 PC 하드디스크에 저장하고, 분석 프로그램을 이용하여  $000^\circ \sim 360^\circ$ 의 방위각으로 변환시킨 후, FG-Compass의 성능을 분석하였다. 성능평가 시스템은 검출된 위상신호를 방위신호로 변환하기 위한 유닛과, FG-Compass를 자동으로 일

정한 스텝각도로 회전시키는 스텝모터 구동 유닛 및, 측정을 자동으로 수행하는 구동 프로그램과 분석용 프로그램으로 구성하였다.

FG-Compass의 분석 및 평가방법은, 000°~360°로 변환시킨 방위정보에 제1차 다항회귀모형에 의한 곡선근사를 적용하여 전체 잔차(total residuals)를 축출한 후, 제4차 다항회귀모형을 이용하여 고유 잔차(eigen residuals)를 축출하여 성능을 평가하였다. 선행 연구에서 개발한 FG-Compass 평가결과, 고유 잔차가 일반적인 FG-Compass의 허용 잔차인 ±4°보다 작은 ±2°도를 나타내어 개발한 FG-Compass의 성능을 확인할 수 있었다.

## 2. 평가 시스템의 구성

### 2.1 신호처리 절차

Fig.1은, 이 연구에 적용한 2-체널 링-코어 프릭스 게이트 콤파스(FG-Compass)의 위상검출회로(Phase Sensitive Detector: PSD)에서 출력되는 신호를 처리하여 PC로 방위정보 데이터를 전송하기 위한 데이터 처리 타이밍도(timing diagram)를 나타낸다. Fig.2는 Fig.1에 나타난 신호처리 절차에 의거하여 구성된 하드웨어의 블록도를 나타낸다.

Fig. 1에서, FG-Compass의 PSD에서는 Y-축에 나타낸 A와 C1~C5 형태의 신호가 출력된다. A 신호는 FG-Compass 내부 발진회로에서 만들어진 7.5KHz의 참조신호(reference signal)를 나타낸다. C1~C5는 FG-Compass를 회전시킬 때 PSD에서 출력되는 위상차 신호로서, C1은 FG-Compass가 자북(magnetic north)에 대해서 000°인 상태를 나타내고, C2는 180°, C3는 360°, C4는 540°, C5는 720°인 상태를 각각 나타낸다.

Fig.1의 D1은 7.5KHz의 참조신호 A와 위상차 신호 C1과의 OR 연산에 의해서 출력된 신호이다. D2~D5 역시 A 신호와 위상차 신호 C2~C5까지의 OR 연산에 의한 출력을 나타낸다. D1~D5까지의 신호특성을 보면, FG-Compass가 000°부터 360°까지 1회전하는 경우, D1에서 D3까지의 시간간격  $\tau$ 가 점차 감소하여 제로가 되고, FG-Compass가 360°부터 720°까지 2회전하는 경우는, D3에서 D5까지의 시간간격  $\tau$ 가 역으로 점차 증가하는 형태를 나타내고 있다. 이와 같은 신호 출력특성은 FG-Compass에 사용된 Flux-Gate 센서의 특성에 기인한 것이다.

Fig. 2에 이러한 FG-Compass 회전에 따른 시간간격  $\tau$ 특성을 나타냈다. 시간간격  $\tau$ 는 방위각도에 비례하기 때문에  $\tau$ 를 측정하여 방위각을 계산하게 된다. 이러한 경우, T1 구간에서 계산된 방위각은 역으로 360°부터 000°로 계산되며, T2 구간에서는 000°부터 360°로 바르게 계산된다. 따라서, 현재 FG-Compass에서 출력된 위상차 신호가 Fig.2의 T1 구간인지, T2 구간인지 판별하는 기능이 필요하다. 이 연구에서는 Fig.1의 B 신호(A 신호에 대한 상승 엣지 펄스)를 발생시켜서 이러한 문제를 해결하였다.

Fig.3는 지금까지 논의한 내용을 근거로 구축한 하드웨어의 회로 구성도를 나타낸다.

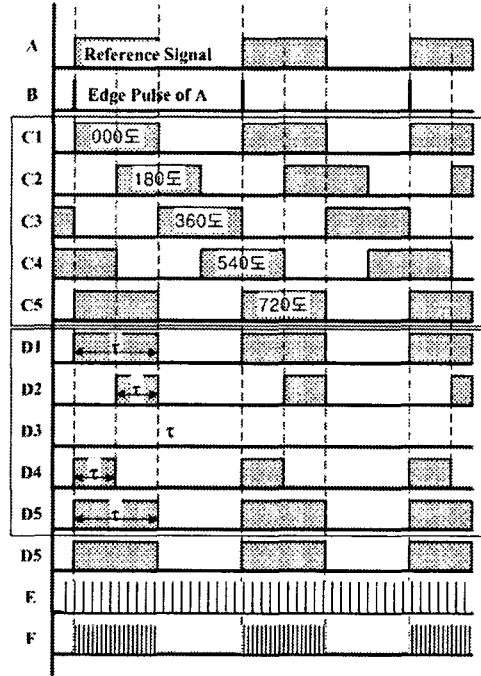


Fig. 1. Timing diagram for the signal processing procedures of Performance Evaluation System of FG-Compass

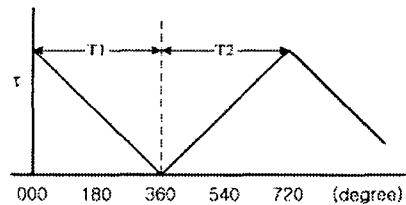


Fig. 2. Signal features of time duration  $\tau$ (D1~D5) between 7.5KHz reference signal A and phase difference signal of C1~C5

한편, 위상차 신호 C1~C5와 같은 시간간격  $\tau$ 는 극히 폭이 좁은 임펄스 형태로 출력되는데, 이러한 신호를 수집하기 위해서는 수 MHz 샘플링이 가능한 고가의 A/D 컨버터와 디지털 I/O 장치가 필요하다. 여기서, FG-Compass를 단위각도로 회전시킨 후 Flux-Gate 센서가 안정될 때까지는 수 ms(millisecond)의 안정상태를 유지해야 정밀측정이 가능하기 때문에 고속 측정의 의미가 없다. 이 연구에서는 저가로 측정장치를 구성하면서 데이터 손실이 없는 데이터 수집 방법으로, 4MHz의 펄스신호를 D1~D5 신호에 대한 카운팅(counting) 신호로 이

용하여 시간간격  $\tau$ 에 해당하는 펄스의 수를 대신 측정하는 방법을 적용하였다. 이러한 방법은 선박용 EM-Log에서의 속도 측정 회로에 적용하는 방법으로서, 잡음에 강하고 정확한 시간간격을 측정할 수 있는 장점이 있다[2]. Fig.2의 E 신호는 4MHz의 펄스신호를 의미하고, F 신호는 D5 신호를 예로 들어 그 때의 출력을 나타낸 것이다.

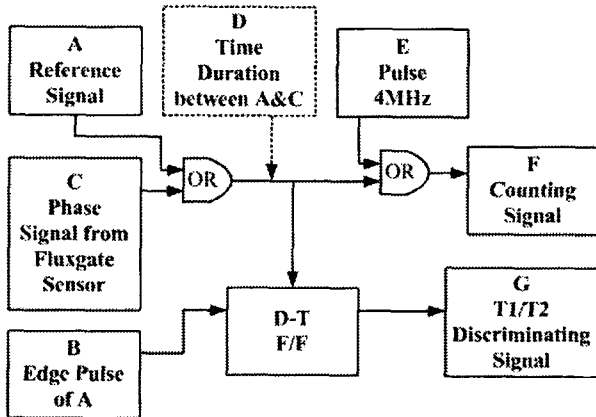


Fig. 3. Hardware configuration of the Performance Evaluation System

2.2 평가 시스템의 소프트웨어

Fig.4는 평가 시스템의 프로그램 작동 흐름도를 나타낸다. 이 프로그램은, 스텝모터의 스텝각도를 초기 값으로 입력하면 측정이 완료될 때까지 모든 절차가 자동으로 수행되면서, 시간 간격  $\tau$ 에 비례하는 펄스의 수(Fig.3에서 F 신호)가 하드디스크에 저장된다. 다음에는 분석 프로그램을 이용하여 펄스 수에 비례하는 000°~360°의 방위각을 계산한 후, FG-Compass의 오차를 분석하고 정밀도를 평가하여 그 결과를 모니터에 표시하거나, 인쇄하게 된다.

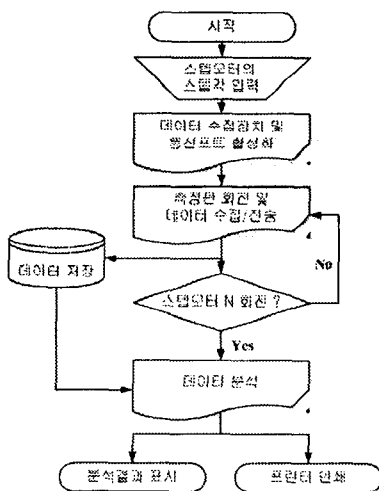


Fig. 4. Flow chart of operating and evaluation programs of the Performance Evaluation System

스텝모터 각도 제어와 데이터 수집 등 전체 시스템 제어용 프로그램에는 Microsoft 사의 Visual Basic을 이용하였고, 데이터 분석은 Mathwork 사의 Matlab 6.1을 이용하였다[3].

2.3 오차분석 이론

종속변수  $y$ 가  $k$ 개의 독립변수  $x_i (i=1, 2, \dots, k)$ 에 관련되어 있는 다중선형회귀모형(multiple linear regression model)은 다음 식(1)과 같다[4],[5].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (1)$$

여기서,

$\beta_j$  = 회귀계수(regression coefficient) ( $j=0, 1, \dots, k$ )

$\epsilon$  = 오차(error)

프릭스 게이트와 같은 마그네틱 센서를 360° 회전시키는 경우, 그 오차 형태는 일반적으로 삼각함수 형태의 곡선으로 나타내며[6], 센서로부터 출력되는 측정방위만을 고려하는 경우(즉,  $k=1$ 의 독립변수  $x_1$ ), 다음 식(2)와 같은 다항회귀모형(polynomial regression model)으로 대표할 수 있다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \dots + \beta_k x_1^k + \epsilon \quad (2)$$

만일,  $x_1 = x_1, x_2 = x_1^2, \dots, x_k = x_1^k$  로 고려하면, 위의 식(2)는 위의 식(1)과 동일한 형태로 나타낼 수 있고,  $n > k$  인 관측치를 얻을 수 있다고 가정하고,  $x_{ij}$ 를 변수  $x_i$ 의  $i$ 번째 관측치라 하면, 위의 식(2)는 다음 식 (3)으로 나타낸다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i$$

$$= \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \epsilon_i \quad (i=0, 1, \dots, n) \quad (3)$$

위의 식(3)을 행렬로 나타내면 다음 식 (4)와 같다.

$$Y = X\beta + e \quad (4)$$

여기서,

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix},$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad e = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

그리고, 최소제곱함수  $L$ 은 다음 식(5)로 나타낼 수 있고,

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = e' e = (Y - X\beta)'(Y - X\beta) \quad (5)$$

위의 식(5)를 전개하면,

$$L = Y'Y - 2\beta'X'Y + \beta'X'X\beta \quad (6)$$

이 된다.  $L$ 을  $\beta$ 에 대해서 최소화시키기 위한 최소제곱 추정량은 다음 식(7)을 만족해야한다.

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta} \right|_{\beta} = -2X'Y + 2X'X\beta = 0 \quad (7)$$

위 식(7)을 간단히 하면,  $X'X\beta = X'Y$ 가 되고, 따라서,  $\beta$ 의 최소제곱 추정량은 다음 식(8)로 나타난다.

$$\beta = (X'X)^{-1}X'Y \quad (8)$$

따라서, 추정된 회귀모형은 다음 식(9)이 되고,

$$\hat{Y} = X\beta \quad (9)$$

관측치  $Y$ 와 추정치  $\hat{Y}$  사이의 잔차(residuals)는 다음 식(10)이 된다.

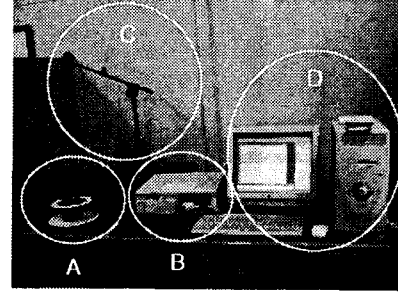
$$\varepsilon = Y - \hat{Y} \quad (10)$$

이 연구에서는, FG-Compass에서 수집한 방위 데이터에 대해서 위의 식(10)이 최소가 되는 제1차부터 제4차까지의 다항 회귀모형을 이용하여 다항회귀계수  $\beta$ 를 구한후, 최적의 다항 회귀식을 구하였다. 이 회귀식을 이용하여 최종 잔차를 분석하였다.

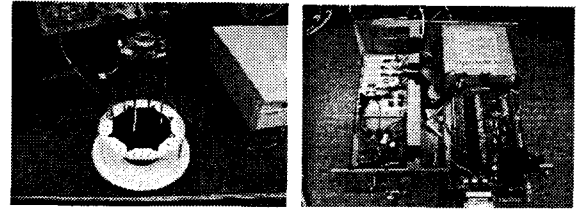
#### 2.4 평가 시스템 구성 결과

Fig.5(a)는 제작한 FG-Compass 평가 시스템 사진이다. 원으로 나타낸 A부분이 스텝모터 구동장치로서, 이 장치 위에

FG-Compass를 올려놓았다. 원B는 측정 시스템 본체, 원 C는 데이터 전송 케이블 지지대, 원 D는 PC를 나타낸다.



(a)



(b)

(c)

Fig. 5. Developed Performance Evaluation System. Front view of the system(a), FG-Compass installing on the step motor driving unit apart by 60cm(b) and, inside view of the system control unit with data transfer and transmitting circuits(c)

여기서, 스텝모터 구동장치 바로 위에 FG-Compass를 올려놓을 경우, 스텝모터와 구동장치 등에 의해서 자기적 외란이 발생하여 FG-Compass에 영향을 미치게된다. 이를 방지하기 위하여 Fig5(b)와 같이 FG-Compass를 알루미늄으로 제작된 붐을 이용하여 스텝모터 구동장치로부터 60cm이상 상승시켜 설치하였다. 그 결과, 자기적 외란을 방지할 수 있었다. Fig5(c)는 시스템 제어 유닛의 본체 내부를 촬영한 사진으로, 데이터 변환 장치와 및 전송장치가 내장되어 있다. 산업 현장에서 사용하기 편리하도록 철제 케이스에 회로장치를 장착하여 잡음과 충격을 방지를 하였다.

### 3. 프릭스 게이트 콤파스 평가 결과

#### 3.1 신호처리 결과

Fig.6는 Fig.5의 평가 시스템을 이용하여 FG-Compass 출력 신호를 처리한 결과 중 일부분을 예로 나타낸 것이다. Fig.6(a)는 Fig.1에 나타낸 신호 중, A와 C1 신호를 나타내고, Fig.6(b)는 A와 C2 신호, Fig.6(c)는 A와 C3 신호, Fig.6(b)는 D5와 F 신호를 각각 나타낸다. Fig.1에서 의도한 바와 같이 신호가 처리되었음을 알 수 있다.

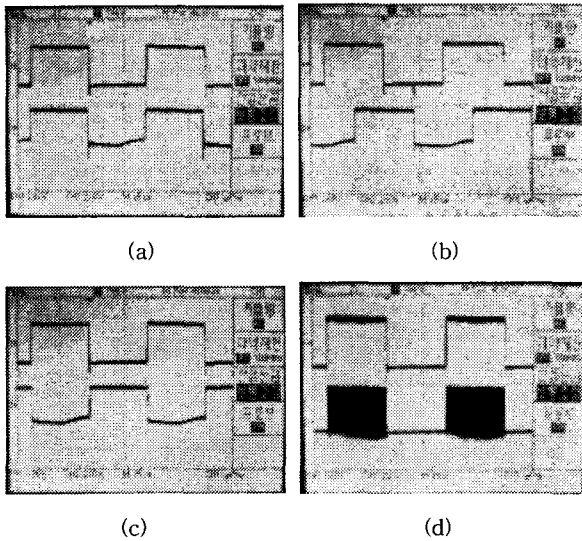


Fig. 6. Examples of the signal processing results to be measured in the Performance Evaluation System

3.2 분석 및 평가

Fig.7은 평가 시스템을 이용하여 수집한 FG-Compass의 방위 데이터 분석결과이다. 실험 조건은 다음과 같다.

- (1) 측정장소는 일반회사 실험실로서, 주위에 각종 실험장치가 설치되어 있으나 충분히 격리된 상태.
- (2) FG-Compass를 Fig.5(b)와 같이 스텝모터 구동장치로부터 60cm 올려서 설치.
- (3) FG-Compass를 시계방향으로, 스텝각도 2°간격으로 360°까지 회전. 여기서, 일반적으로 Flux-Gate 센서는 오차범위가 ±4°로 정해져 있다[7],[8]. 그래서 이 연구에서는 측정시간을 단축하기 위하여 스텝각도를 2°로 정하여 측정하였다.

Fig.7(a)는 PC 하드디스크에 저장된 원시 데이터 (raw data)를 나타낸다. X-축은 주어진 스텝 각도이고, Y-축은 Fig.1에 나타냈던 F 신호와 같은 펄스의 수를 나타낸다. Fig.2의 T2 부분 이후가 측정되었음을 알 수 있다.

Fig.7(b)는 Fig.7(a)의 데이터를 이용하여 360° 방위각으로 변환한 결과이다. 스텝각도 000°부터 방위가 증가하다가 360° 이후에 다시 000°부터 시작되고 있다. 앞에서 토의한 바와 같이 방위각은, 시계방향으로 증가하는 경우 359° 다음에 000°로 돌아가야 된다. 따라서, 구축한 프로그램이 Fig.2의 T1과 T2 구역을 정확하게 판별하고 있음을 알 수 있다. 그리고, 스텝각도 000°일 때 초기 방위각이 50° 근처를 나타낸 이유는, 스텝모터 구동장치 위에 올려진 FG-Compass를 자북(magnetic north)과 상관없이 임의의 방향으로 설치했기 때문이다. 여기서, 일반 회사 실험실의 경우 자북을 정확하게 측정하는 것은 사실상 불가능하고, 자북을 초기 값으로 설정하는 것은 의미가 없다. 그 이유는 주변의 실험장치와 전원 변동에 의한 자기 간섭이 심하게 발생하기 때문에 표준 마그네틱 콤파스를 이용하더라도 방위변화가 심하여 자북을 구할 수 없기 때문이다. 따라

서, 전자 차폐가 되어 있는 특수 실험실이나, Helmholtz Coil에 의한 강제 자장형성 장치를 이용하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다. 이러한 특수환경에서의 실험에 대해서는 향후 연구 과제로 둔다.

Fig.7(c)는 주어진 스텝각도에 대해서 FG-Compass의 방위 측정이 비례하는지를 평가한 결과이다. 이 결과는, 000°부터 360°까지의 범위 내에서 나타난 Fig.7(b)의 방위값을 360°+α의 연속방위로 변환시킨 후, 제1차 다항회귀모형을 이용하여 곡선 근사한 결과를 나타낸다. 측정된 방위각도는 '+' 심볼로 나타냈고, 근사결과는 '-' 심볼로 나타냈다. Fig. 7(d)는 측정 방위값과 근사결과 사이의 차만을 구한 결과로서, FG-Compass의 전체 잔차(total residuals)를 나타낸다. 이 전체 잔차에는 실험실 주위 영향에 의한 자기 간섭과 FG-Compass 자체의 고유오차가 포함되어 있다. Fig.7(d)의 전체 잔차를 보면, ±4°이내에 분포하고 있기 때문에 일반적인 Flux-Gate 센서의 허용오차 ±4°를 만족하는 것으로 보인다. 이와 같은 외부의 자기간섭을 제외한 고유 잔차는 다음과 같이 측정하였다.

Fig.7(e)는 Fig. 7(d)의 전체 잔차 중에서 고유 잔차(eigen residuals)를 구하기 위하여 제1차부터 제4차까지의 다항회귀모형을 적용한 결과이다. 제1차 다항회귀모형에 의한 근사결과는 '1st order'로 표시되어 있고, 제2차는 '2nd order', 제3차는 '3rd order', 제4차는 '4th order'로 표시했다. 제1차 근사결과는 제1차 다항회귀모형으로 구한 전체 잔차에 대한 근사결과이기 때문에 당연히 고유잔차 0° 부근에 직선으로 나타나고, 제2차부터 제4차의 다항회귀근사로 진행할 수록 복잡한 곡선근사를 나타내고 있다. 여기서, 다항회귀모형에 의한 고유오차 축출시 과도한 차수의 증가는 오히려 잔존오차를 증가시킬 우려가 있다. 따라서, 다항회귀모형을 적용한 후의 고유잔차를 구하여, 이 잔차의 표준편차(STD)가 제일 작은 차수를 선택하는 것이 일반적이다[9].

제1차부터 제4차까지의 곡선근사 후 발생한 고유잔차에 대해서 STD를 계산한 결과, 제1차의 경우 STD=1.4493°, 제2차의 경우 STD=1.1607°, 제3차의 경우 STD=1.1300°, 제4차의 경우 STD=1.0757°로 나타났다. 따라서, 제4차 다항회귀모형을 적용하는 것이 타당하다. Fig.7(f)는 제2차 다항회귀모형을 적용했을 때의 고유 잔차를 나타내고, Fig. 7(g)는 제4차의 다항회귀모형을 적용했을 때의 고유 잔차를 예로 나타낸 것이다. 시각적으로 제4차에 의한 곡선근사 결과가 잔차가 작음을 알 수 있고, 고유 잔차의 범위가 ±2°범위내에 분포하고 있음을 알 수 있다. 이 값은 스텝각도 2°로 측정된 방위 데이터에 대한 고유잔차임을 고려하면, 모든 바이어스 성분이 제4차 다항회귀모형을 적용한 결과 모두 축출되었음을 알 수 있다.

이러한 다항회귀모형에 의한 회귀식은 향후 FG-Compass의 오차보정 회로에 삽입함으로써 자동으로 오차를 보정할 수 있는 FG-Compass를 개발할 수 있을 것으로 고려된다.

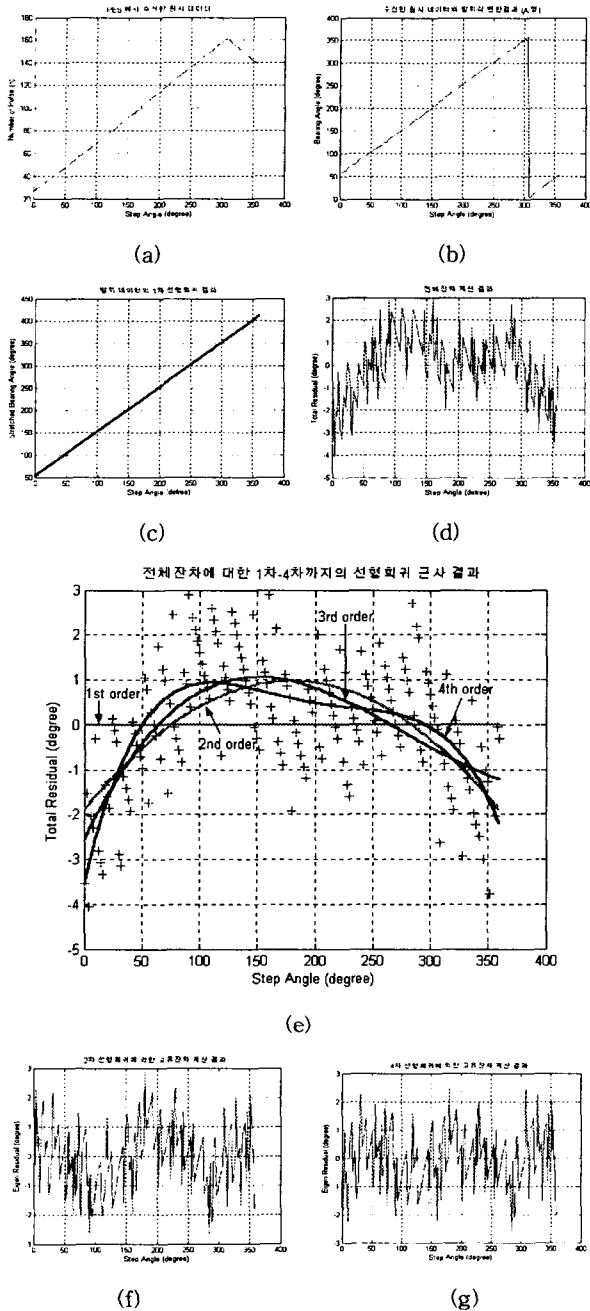


Fig. 7. Performance evaluation results of FG-Compass. Simple plotting of the raw bearing data received from Performance Evaluation System(a), translating results of raw bearing data into true bearing value of  $360^\circ$ (b), 1st order(linear) curve fitting to the bearing value of the figure b (c), total residuals calculated from the figure c (d), curve fitting results by 1st~4th polynomial regressions to the total residuals of the figure d (e), eigen residuals in case of 2nd order curve fitting (f) and, eigen residuals in case of 4th order curve fitting (g)

### 3.3 검토

이 논문에 기술한 실험은, 각종 계측장비가 주위에 설치되어 있으나 가급적 FG-Compass로부터 멀리 격리시킨 상태에서 측정된 결과들이다. 상업화를 고려하여 자동차 내부나, 선박의 외판에 근접한 경우 및 다른 전자장치에 삽입시킨 경우 등, 열악한 환경하에서의 실험도 필요할 것으로 보여진다. 한편, 정확한 자북을 기준으로할 때의 방위오차 분석도 필요한데, 현재 Helmholtz Coil을 제작 중에 있으며, 이 장치 내부에 FG-Compass를 설치하여 기존 자장 내에서의 실험을 진행할 예정이다.

그리고, 2000 SOLAS 규정에 따른 THMD 성능을 만족하기 위해서는 외부 자장의 영향을 FG-Compass에서 자동으로 수정할 수 있도록 잔존 잔차와 고유 잔차를 자동으로 측정하고, 그 결과를 저장할 수 있도록, 소형 마이크로프로세서와 메모리를 내장한 스마트 FG-Compass에 대해서 연구를 계속할 필요가 있다.

## 4. 결론

이 논문에서는 선행 연구로 수행된 '2채널 링-코어 프릭스-게이트 센서를 이용한 Flux-Gate Compass'의 성능을 분석하기 위한 시스템 개발에 관해서 기술하였다.

개발한 시스템을 작동시킨 결과, 스텝 모터가 자동으로 회전되면서 FG-Compass의 PDS(phase Sensitive Detector)회로에서 출력되는 방위신호를 PC로 전송할 수 있었고, 분석 프로그램을 이용하여 FG-Compass의 전체 잔차와 고유 잔차를 분석할 수 있었다. 분석에 의한 FG-Compass 평가결과는 다음과 같다.

(1) 일반적으로 Flux-Gate 센서를 이용한 전자 콤파스의 고유 잔차가  $\pm 4^\circ$ 인 반면, 선행연구에서 개발한 FG-Compass는  $\pm 2^\circ$ 이내의 잔차를 나타내어 개발한 시스템이 FG-Compass를 정밀하게 분석할 수 있음을 확인하였다.

(2) 자동으로 데이터를 수집하면서 고정밀도로 FG-Compass의 잔차를 분석할 수 있는 FG-Compass 평가 시스템을 개발하였다.

(3) Flux-Gate 센서를 이용한 전자 콤파스 제작 시, 다항회귀모형을 이용하여 고유 잔차를 추출하고 평가할 수 있는 기술을 개발하였다.

향후, 선박에 적용할 수 있는 Flux-Gate Compass를 개발하기 위하여 이 연구에서 개발된 하드웨어와 프로그램이 탑재된 스마트 FG-Compass를 개발해 나갈 예정이다.

## 후 기

연구와 실험에 도움을 주신 NEXEN(주) 관계자분들께 지면을 통하여 감사드립니다.

참고문헌

- [1]. 임정빈, "2-채널 링-코어 플럭스-게이트 콤파스의 위상검출 회로설계와 구현에 관한 연구," 한국항해항만학회지, 제26권(제1호), pp.127~136, 2002.3.
- [2]. 한국선급 정부대행접사부, 2000년 SOLAS 개정에 대한 소개, URL://www.krs.kr/sta /kukje.
- [3]. 임정빈, 윤명오, 선박자동화, 목포해양대학교, 목포, 2002, Ch. 9, pp.25~26.
- [4]. 김영휘, 이영해, 최신 공업수학, 청문각, 서울, 1993, pp.374~407.
- [5]. Mathwork's guide book, Using MATLAB Version 6, MA, USA, Nov. 2000, Ch.13, pp.17~31.
- [6]. 이상집, 기본항해기기, 아성출판사, 부산, 1982, pp.120~226.
- [7]. Department of the USA Navy, Technical Manual for SONOBUOYS, Basic Introduction to Air ASW coustic Systems, NAVAIR 28-SSQ-500-4, Direction of Commander, Naval Air Systems Command, Jan. 15, 1994.
- [8]. Lauro Ojeda and Johann Borenstein, "Experimental Results with the KVH C-100 Fluxgate Compass in Mobile Robots," Proc. of the IASTED International Conference Robotics and Applications 2000, Aug. 14-16, 2000, Honolulu, Hawaii, USA.
- [9] 윤상은, 이태섭, EXCEL을 이용한 실용통계학 입문, 자유아카데미, 서울, 2000.3, pp.291~340.

---

원고접수일 : 2002년 월 일

원고채택일 : 2002년 월 일