

# 지구자기마당속에서 벡토르자력계의 개선된 교정방법

김주혁, 류성혁, 리지은

자력계는 위성의 자세평가와 자세유지를 비롯하여 없어서는 안될 지구자기마당측정장치이다.[1-5] 그러나 자력계는 리용되기 전에 교정되어야 한다. 대표적인 교정방법은 지구자기마당의 스칼라값(지구자기마당벡토르의 크기)을 리용하는 스칼라교정방법이다.[1, 3, 5]

우리는 자기마당벡토르의 크기만을 교정하는 스칼라교정방법과 달리 지구자기마당의 벡토르성분들에 의한 교정을 실현하는 벡토르교정방법을 논의하고 모의계산을 통하여 그 정확성을 고찰하였다.

## 1. 벡토르교정방법

논의되는 자력계는 자기마당벡토르를 측정할수 있는 벡토르자력계이다. 일반적으로 3축자기수감부들의 오차들에는 척도인자오차, 배치편차오차 등 여러가지 형태의 오차들이 있다. 모든 오차들을 고려하여 교정전의 자기마당측정값( $\hat{B}$ )과 교정후의 자기마당값( $B$ )들사이의 관계는 행렬형식으로 다음과 같이 쓸수 있다.[2]

$$\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{B}_x \\ \hat{B}_y \\ \hat{B}_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

이로부터 교정파라미터들인 행렬  $a$  와  $b$  를 결정하는것이 자력계의 교정을 실현하는 것이라는것을 알수 있다.

위성의 자세유지와 조종분야 등에서는 자기마당벡토르의 크기뿐만아니라 매 성분들도 정확히 측정하는것이 중요하다. 스칼라교정방법은 자력계를 지구자기마당속에서 회전시킬 때 측정되는 자기마당벡토르의 노름(크기)이 일정한 값을 가져야 한다는 원리에 기초하고있다. 그러나 이 방법을 리용하면 자기마당의 크기는 교정된다고 볼수 있지만 벡토르의 매 성분들도 교정된다고는 볼수 없다. 이 결함을 극복하기 위하여 벡토르교정방법이라고 부르는 개선된 교정방법을 제안하였다. 이 방법은 어떤 장소에서 자기마당성분값들을 정확히 안다면 자기마당성분들의 측정값이 예견되는 자기마당성분값과 일치하여야 한다는 원리에 기초하고있다.

교정파라미터들을 결정하기 위하여 다음의 식들이 최소로 되도록  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$  과  $b_1, b_2, b_3$  을 구하는 최소제곱법을 리용하였다.

$$f_1(a_{11}, a_{12}, a_{13}, b_1) = \sum_{i=1}^n (a_{11}\hat{B}_{x_i} + a_{12}\hat{B}_{y_i} + a_{13}\hat{B}_{z_i} + b_1 - B_{0x_i})^2 \quad (2)$$

$$f_2(a_{21}, a_{22}, a_{23}, b_2) = \sum_{i=1}^n (a_{21}\hat{B}_{x_i} + a_{22}\hat{B}_{y_i} + a_{23}\hat{B}_{z_i} + b_2 - B_{0y_i})^2 \quad (3)$$

$$f_3(a_{31}, a_{32}, a_{33}, b_3) = \sum_{i=1}^n (a_{31}\hat{B}_{x_i} + a_{32}\hat{B}_{y_i} + a_{33}\hat{B}_{z_i} + b_3 - B_{0z_i})^2 \quad (4)$$

여기서  $B_{0x_i}, B_{0y_i}, B_{0z_i}$  는  $i$  번째 측정에서 자기마당벡토르  $B_0$  (예측값)의 자력계축들에 대한 성분들로서 자력계의 자세에 따라 달라지는 값이다. 이 방법으로 교정파라미터들을 결정하여 측정값들을 교정하면 자기마당벡토르의 매 성분들이 교정되게 되며 따라서 자기마당의 크기도 교정되게 될것이다.

## 2. 벡토르교정방법에 의한 교정파라미터결정

여러가지 오차들을 포함하는 자력계측정값을 얻기 위하여 ANSYS프로그램을 리용하여 간단한 위성모형을 작성하고 그것을 지구자기마당( $50\mu T$ )속에서 각이한 방향으로 회전시켰다. 이때 자력계가 설치되어있다고 가정한 위치들(위성본체의 중심과 어느 한 모서리)에서 계산된 자기마당값들은 측정값들로 된다. 이 값들로부터 앞에서 논의된 교정방법들을 리용하여 자력계교정파라미터들을 결정할수 있다.

모의측정자료로부터 벡토르교정방법으로 결정된 교정파라미터행렬들은 각각 다음과 같다.

$$a = \begin{pmatrix} 0.411 & 6 & 0.005 & 6 & 0.000 & 2 \\ -0.000 & 4 & 1.012 & 9 & 0.000 & 4 \\ 0.000 & 5 & -0.000 & 1 & 1.182 & 3 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} -4.216 & 1 \\ -8.472 & 2 \\ 1.246 & 9 \end{pmatrix}$$

분석결과 벡토르의 크기는 리상적인 값과 평균적으로  $0.0494\mu T$ 의 편차를 가지고 자기마당의  $x, y, z$ 성분은 각각  $0.1988, 0.0524, 0.0197\mu T$ 의 편차를 가진다. 이것은 자력계가 벡토르성분교정방법으로 교정된 후에는 자기마당벡토르의 절대값뿐아니라 매 성분들에 해당하는 값도 거의 정확한 값으로 교정된다는것을 의미한다.

자력계가  $35\mu T$ 의 지구자기마당(공간자리표계의  $z$ 축으로 향한다고 가정)속에 놓일 때 벡토르교정방법과 스칼라교정방법에 의하여 교정된 값들을 비교해보자.(표)

자력계축들이 공간자리표축들에 놓인다면 리상적인 측정값이  $x, y$ 성분은 0이고  $z$ 성분이  $35\mu T$ 가 되어야 한다.

표. 교정방법을 리용한 자기마당교정값

	리상적인 값/ $\mu T$	측정값/ $\mu T$	교정값/ $\mu T$	
			벡토르교정	스칼라교정
$B_x$	0	10.050 0	-0.027 0	1.200 7
$B_y$	0	8.361 6	0.004 7	3.213 1
$B_z$	35	28.545 0	35.000 0	34.841 0
$B$	35	31.396 0	35.000 0	35.010 0

표에서 보는바와 같이 벡토르교정방법에 의한 교정값들은 스칼라교정방법에 의한 교정값들보다 리상적인 값에 더 가깝다. 이로부터 벡토르교정방법을 리용하면 자력계의 교정을 비교적 정확하게 할수 있다는것을 알수 있다.

자력계가 위성본체의 어느 한 모서리위치에 있다고 가정하고 벡토르교정방법을 적용

하는 경우에도 교정된 자기마당의 크기와 자기마당성분들의 크기는 위성본체중심의 경우와는 약간 차이나지만 리상적인 값과 거의 같다는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 벡토르 성분교정방법이 위성의 임의의 위치에 탑재되는 자력계의 교정에도 리용될수 있다는것을 보여준다.

## 맺 는 말

지구자기마당속에서 회전하는 자력계에 의하여 측정된 자기마당성분들이 리상적으로 지구자기마당의 성분들과 일치하여야 한다는 견해로부터 벡토르교정방법을 확립하고 모의계산을 통하여 벡토르교정방법이 전통적인 스칼라교정방법에 비하여 더 정확한 교정방법이라는것을 확증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] E. Bekir; Introduction to Modern Navigation Systems, World Scientific, 152~166, 2007.
- [2] D. Gebre-Egziabher et al.; Journal of Aerospace Engineering, 19, 87, 2006.
- [3] W. Feng et al.; Journal of Information & Computational Science, 10, 6, 1551, 2013.
- [4] K. Mohamadabadi et al.; IEEE Sensors Journal, 14, 9, 3076, 2014.
- [5] W. Yan et al.; The 6th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, China, 19~22, 2016.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

## **An Advanced Calibration Method of a Vector Magnetometer in the Geomagnetic Field Domain**

*Kim Ju Hyok, Ryu Song Hyok and Ri Ji Un*

We established a vector calibration method from the point of view that the components of the magnetic field measured by the magnetometer rotating in the geomagnetic field domain had to be ideally identical with the corresponding components of the geomagnetic field. It has been verified via simulation that this method was more advanced than the traditional scalar calibration approach.

Key words: magnetometer, calibration, scalar calibration method, vector calibration method