

자이로스코프 위치시스템과 지북시스템 The Gyroscope Positioning and North Finding System

박 석 주*
Sok-Chu Park

Key Words : Gyroscope(자이로스코프), Celestial Spherical Coordinate(천구좌표계), 천구의 북극(celestial north pole), 춘분점(vernal equinox point), 중력벡터(gravity vector), 위도(latitude), 경도(longitude)

ABSTRACT

There are many position fixing systems in the world from ancient times. But the principles are to compare the position to want to know with the known position already. The position finding system which is not restricted by weather condition and/or electronic apparatus has been sought. The best system is the GPS as far. But the system has the fatal faults as follows; 1. to depend on satellite's accuracy, 2. not to use underwater. This paper is to investigate theoretically position fixing and north finding by using free gyroscope. This paper introduce a position fixing and north finding method by measuring inclination of 2 free gyroscopes. And this system does not depend on the weather condition and underwater condition. What is more, it could use on the planets, if the gravity exists.

1. 서 론

지구상에서 위치를 측정하는 것을 항법이라고 할 수 있는데 그 방법은 다양하다. 먼저, 인간이 지구상에서 출현한 이후부터 사용되어 온 지리적, 수리적 특성을 이용한 항법, 천체를 이용한 항법, 전자기술에 따른 전파항법, 위성을 이용한 위성항법, 뉴턴 역학을 이용한 관성항법 등이 있다.

항공기, 군함, 선박, 잠수함, 차량, 무기체계 등 우리 주변에서 정확한 위치를 알아야만 제대로 활동할 수 있거나, 작동할 수 있는 시스템은 이루 헤아릴 수 없다. 그러나 이들 시스템의 위치발견에 이용되고 있는 대부분의 장치는 외부의 정보에 의존한다.

GPS의 경우는 미국에서 발사한 위성의 정보에 의존하기 때문에 정확한 위치를 얻기 위하여서는 정확한 GPS 위성 정보를 알아야만 한다. 어떠한 이유로 위성의 정보가 알려지지 않거나 불확실한 정보 또는 부정확한 정보가 주어지면 위치

시스템은 부정확해지거나 심지어 시스템 전체를 흔들려 놓아 커다란 혼란을 야기할 수 있다. 또 다른 치명적인 약점은 GPS 위성 신호는 파장이 아주 짧아 물속에서는 전혀 사용할 수 없다는 것이다.

또 다른 유력 위치시스템인 관성항법장치는 관성만을 이용한 독립위치시스템이므로 GPS와 같은 단점은 없으나, 가속도를 두 번 적분하여 위치를 얻기 때문에 우선 가속도계를 설치할 플랫폼을 항상 수평으로 유지시키면서 x, y, z 세 축에 대한 가속도를 대단히 정밀하게 측정하여야 하고, 또 이 정보를 시간에 대하여 적분하여야 한다. 따라서 1) 가속도계의 정밀도, 2) 플랫폼의 수평도, 3) 적분에 따른 누적 오차 등으로 인하여 시간이 경과할수록 위치의 오차가 커질 가능성이 많다.

이 연구에서는 3축이 자유로운 자이로스코프(free gyroscope)(이하 '자유 자이로스코프'라고 함)를 이용하여 위도와 경도를 구하는 위치결정시스템과 북쪽을 발견하는 지북시스템(컴퍼스)을 제시한다.

2. 자유자이로를 이용한 위치시스템

2.1 적교하는 두 대의 자유자이로스코프를 이용한 위치 결정법

* 한국해양대학교
E-mail : poseidon@mail.hhu.ac.kr
Tel : (051) 403-4305, Fax : (051) 410-4305

좌표계는 지구중심을 원점으로 하고 그림 1과 같은 오른 나사계를 취하고 각 축의 단위 벡터를 i, j, k 로 하는 구면좌표계인 천구좌표계를 쓰기로 한다.

두 대의 자유 자이로스코프를 설치하는데 우선 한 대는 천구의 북극을 향하게 하고, 다른 한 대는 춘분점을 향하도록 설치한다. 따라서 두 대의 자이로스코프의 단위 벡터는

$$g_1 = k \quad (1)$$

$$g_2 = i \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다.

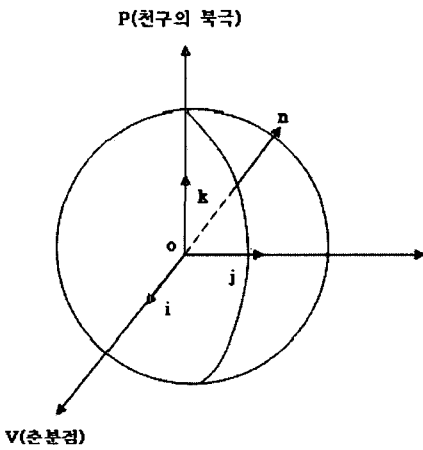


Fig. 1 The celestial spherical coordinate

또, 위도는 $L(-90^\circ \leq L \leq 90^\circ)$ 로, 경도는 $Lo(-180^\circ \leq L \leq 180^\circ)$ 로 표시하기로 한다.

우선 지구가 자전하지 않는 경우를 가정한다. 경도가 0° 이고, 위도가 0° 인 위치벡터가 춘분점과 같은 방향이라 하자. 임의의 위치에서의 지구 중력은 그 위치에서 위치벡터와 방향이 반대가 된다. 임의의 위도 L , 경도 Lo 인 지표면에서의 법선단위벡터를 n (지구가 구라면 지표면에서의 단위법선벡터)이라 하면, 법선단위벡터는

$$n = \cos L \cos L_o i + \cos L \sin L_o j + \sin L k \quad (3)$$

가 된다. 따라서 두 대의 자이로스코프와 위치벡터가 이루는 각은

$$\cos \theta_1 = g_1 \cdot n = \sin L \quad (4)$$

$$\cos \theta_2 = g_2 \cdot n = \cos L \cos L_o \quad (5)$$

가 된다. 즉 두 대의 자이로스코프 벡터가 중력과 이루는 각을 알면 식 (4)에서 위도를 구할 수 있고, 식 (5)에서 경도를 구할 수 있다.

다음으로 지구가 자전하고 있는 경우의 위치발견법에 대하여 생각하자. 지구가 w 의 각속도로 자전하고 있고, $t=0$ 에서 경도 0° 선이 춘분점과 DL_o 의 위상각을 가지고 출발한 경우의 임의의 점에서의 단위법선벡터는

$$n = \cos L \cos(L_o + DL_o + wt) i + \cos L \sin(L_o + DL_o + wt) j + \sin L k \quad (6)$$

가 된다.

또, 중력이 두 대의 자이로스코프와 이루는 각은

$$\cos \theta_3 = g_1 \cdot n = \sin L \quad (7)$$

$$\cos \theta_4 = g_2 \cdot n = \cos L \cos(L_o + DL_o + wt) \quad (8)$$

이 되고, 마찬가지로 중력과 자이로스코프가 이루는 각을 알면 위도와 경도를 구할 수 있다.

2.2 임의의 두 대의 자유자이로스코프를 이용한 위치 결정법

두 대의 자이로스코프가 서로 다른 임의의 방향을 가리키고 있고, 그들의 단위벡터가 다음과 같이 표시된다고 하자.

$$g_1 = a_1 i + a_2 j + a_3 k \quad (9)$$

$$g_2 = b_1 i + b_2 j + b_3 k \quad (10)$$

이 때에는 두 대의 자이로스코프와 중력이 이루는 각은 다음과 같이 된다. 바꾸어 말하면 이 두 개의 벡터는 두 개의 항성과 같은 역할을 하며 그 적위 D (천구상에서 천구의 적도를 기준으로 한 별의 위도)와 적경 R (천구상에서 춘분점을 기준으로 한 별의 경도)은 그림2와 같이 표시할 수 있다.

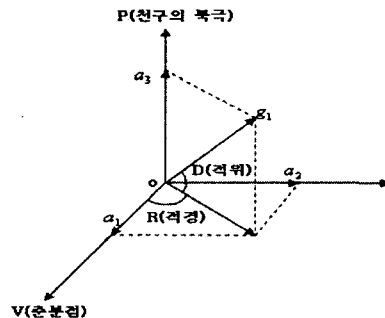


Fig. 2 The vector of gyroscope

$$D = \tan^{-1} \frac{a_3}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}} \quad (11)$$

$$R = \tan^{-1} \frac{a_2}{a_1} \quad (12)$$

$$\cos\theta_7 = \mathbf{g}_1 \cdot \mathbf{p} = a_3 \quad (16)$$

$$\cos\theta_8 = \mathbf{g}_2 \cdot \mathbf{p} = b_3 \quad (17)$$

위에서와 마찬가지로 두 대의 자이로와 중력이 이루는 각은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \cos\theta_5 &= \mathbf{g}_1 \cdot \mathbf{n} \\ &= a_1 \cos L \cos(L_o + DL_o + wt) + \quad (13) \\ &\quad a_2 \cos L \sin(L_o + DL_o + wt) + a_3 \sin L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos\theta_6 &= \mathbf{g}_2 \cdot \mathbf{n} \\ &= b_1 \cos L \cos(L_o + DL_o + wt) \quad (14) \\ &\quad + b_2 \cos L \sin(L_o + DL_o + wt) + b_3 \sin L \end{aligned}$$

비록 비선형방정식이지만 두 개의 식 (13), (14)에서 두 개의 미지수 위도 L과 경도 L_o를 구할 수 있다.

다음으로 자이로스코프의 방향 벡터를 구하는 방법을 살펴보자. 알고 있는 위치에서 자이로스코프를 기동시킨다고 하면, 식 (13), (14)에서 시간차를 두고 세 번 두 대의 자이로스코프가 중력과 이루는 교각을 측정하여 a₁, a₂, a₃, b₁, b₂, b₃를 구할 수 있다.

2.3 북쪽 발견법

천구의 북극을 가리키는 벡터는

$$\mathbf{p} = \mathbf{k} \quad (15)$$

으로 표시되고, 이는 두 대의 자이로스코프와 다음의 각도를 이루므로 천구의 북극 방향을 알 수 있다. 그리고 이 방향은 불변이다.

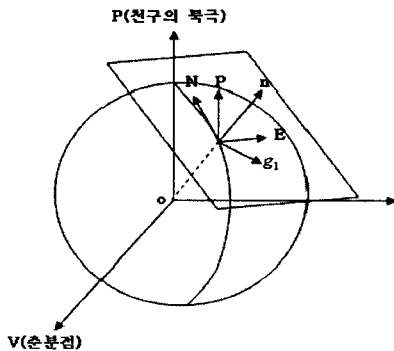


Fig 3 The vectors on the surface

또 이 천구의 북극 방향을 수평면에 투영한 방향이 우리가 말하는 북쪽이다. 북쪽 단위벡터를 N이라 하면

$$\begin{aligned} \mathbf{N} &= (\mathbf{k} - \mathbf{k} \cdot \mathbf{nn}) / \text{abs}(\mathbf{k} - \mathbf{k} \cdot \mathbf{nn}) \\ &= (\mathbf{k} - \sin L \mathbf{n}) / \text{abs}(\mathbf{k} - \sin L \mathbf{n}) \quad (18) \end{aligned}$$

이 되고, 두 대의 자이로스코프가 수평면상의 북쪽과 이루는 각을 알 수 있다.

$$\cos\theta_9 = \mathbf{g}_1 \cdot \mathbf{N} \quad (19)$$

$$\cos\theta_{10} = \mathbf{g}_2 \cdot \mathbf{N} \quad (20)$$

즉, 두 개의 원뿔이 만나는 선이 북쪽 방향이 된다. 그러나 이것은 작도하기 쉽지 않다. 여기에서 두 대의 자이로스코프의 수평면 방향 단위벡터를 구하기로 한다.

$$\mathbf{g}_{1p} = (\mathbf{g}_1 - \mathbf{g}_1 \cdot \mathbf{nn}) / \text{abs}(\mathbf{g}_1 - \mathbf{g}_1 \cdot \mathbf{nn}) \quad (21)$$

$$\mathbf{g}_{2p} = (\mathbf{g}_2 - \mathbf{g}_2 \cdot \mathbf{nn}) / \text{abs}(\mathbf{g}_2 - \mathbf{g}_2 \cdot \mathbf{nn}) \quad (22)$$

그러면 북쪽과 자이로스코프의 수평방향벡터와 이루는 각은 다음과 같이 되어 쉽게 북쪽을 알 수 있다.

$$\cos\theta_{11} = \mathbf{g}_{1p} \cdot \mathbf{N} \quad (23)$$

$$\cos\theta_{12} = \mathbf{g}_{2p} \cdot \mathbf{N} \quad (24)$$

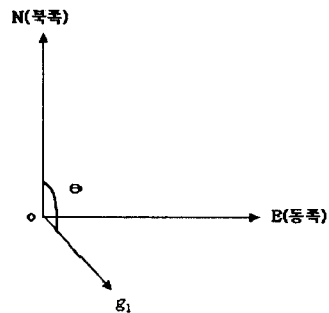


Fig. 4 The projection of gyroscope vector

3. 결론

이 연구에서는 두 대의 자유 자이로스코프의 경사각을 이용하여 위치를 측정하는 방법을 제시하였다.

1. 가동중인 임의의 두 자이로스코프 회전축의 벡터는 식 (13)과 식 (14)으로부터 구할 수 있다.
2. 일단 자이로 회전축 벡터가 구해지면 자이로스코프의 경사각을 재서 식 (13)과 식 (14)로부터 경도와 위도를 구할 수 있다.
3. 다른 위치 발견시스템과는 달리 기상, 밤낮, 위성, 통신설비 등 외부 장치에 전혀 의존하지 아니하기 때문에 전천후 시간 장소에 관계없이 항상 위치를 구 수 있다.
4. 북극방향을 찾을 수 있는 컴퍼스로서의 역할도 하여 자이로컴퍼스의 대응으로도 사용할 수 있다.
5. 이 시스템은 중력과 자이로스코프와의 교각을 구함으로써 위치를 발견하는 방법이기 때문에 지상, 공중, 수중은 물론 달, 화성 등 중력이 작용하는 범위라면 어디에서든 구면좌표상의 위치(지구에서는 경도와 위도)와 극방향(지구상에서는 북쪽)을 발견할 수 있다.

이 시스템은 단지 중력과 자이로스코프와 이루는 각도 또는 수평면과 자이로스코프와 이루는 각도만 측정하면 되므

로 오차의 유입 가능성이 관성항법장치에 비하여 훨씬 적다. 또 이미 관성항법장치에서 이미 구현한 기술을 그대로 이용할 수 있어 개발에도 어려움이 거의 없을 것으로 사료된다. 여기에다 가속도계를 쓰지 않아도 되므로 관성항법장치보다 훨씬싼 가격으로 생산할 수 있을 것이다.

과제는 이상화한 자이로스코프의 구현이다. 항상 절대방향만 가리키는 자이로스코프를 만들고, 또 자이로스코프의 양각을 정확히 측정하는 기술을 개발해야 한다. 어느 정도의 오차는 수학적 기법과 신호처리 기법으로 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) A. Frost, 1982, Marine Gyro Compasses for Ships' Officers, Brown, Son & Ferguson Ltd, p.10.
- (2) George B. Thomas & Ross L. Finey, 1983, Calculus and Analytic Geometry, Addison-Wesley, p.644.
- [3] James B. Scarborough(1958), The Gyroscope Theory and Applications, University Press, Cambridge, p124. Bullbrier Press, Ithaca, New York.