

광파이버 자이로컴파스 구동시스템에 관한 연구

권용수, 김성진, 이상식, 배정철*, 이석정**, 최우진*
해군사관학교, *삼양무선부설 선박자동화연구소, **한국해양대학교

Driving Systems of the Fiber Optic Gyrocompass

Y.S. Kwon, S.J. Kim, S.S. Lee, J.C. Bae*, S.J. Lee**, W.J. Choi
Naval Academy, *Samyang Radio Co., **Korea Maritime University

Abstract – In this paper, the driving systems of the Fiber Optic Gyrocompass absolutely required a constant speed and a precise position control with fine step angle, are presented. One of the proposed systems is a stepping motor system with microstep driver, another one is a DC servo motor. Experimental results indicate that a low cost and simple FOG driving system using a stepping motor is capable of a satisfactory operation.

1. 서 론

현재까지 사용되어 오고 있는 기계식 자이로는 가격이 고가일 뿐만 아니라 기동시간이 길고 부피가 크며, 전력소모 및 잊은 보수의 측면에서 큰 단점을 지니고 있다. 그러나, Sagnac 효과를 이용한 회전센서인 광파이버 자이로스코프(FOG : Fiber Optic Gyroscope)는 내진동성, 신속한 기동, 저전력 소모 등, 특히 저가격화의 실현 가능성 면에서 선박이나 자동차, 항공기 등의 항법용으로 뛰어나다. 우주·해양개발, 석유탐사, 토목, 위성을 이용한 이동체 통신 등의 산업분야에도 실용화의 요구가 높아지고 있다.

본 논문은 지구자전율(earth angular rate)을 검출하여 지구 방위를 알 수 있는 광파이버 자이로컴파스의 개발 단계중 FOG 센서 구동부에 관한 연구이다. 특히, FOG 센서의 정속 회전은 시스템 전체의 성능을 좌우할 정도로 매우 중요하다. 따라서 여기서는 고감도의 FOG 센서를 안정하게 정속 운전시킬 수 있는 구동모터 선정 및 그에 따른 구동시스템 개발을 목적으로 직류 서보모터 및 스텝평모터에 의한 실험 결과를 비교 검토한다. 각각의 모터시스템으로 구동시의 FOG 출력신호를 이상적인 출력신호와 비교·분석함으로써 광파이버 자이로컴파스에 적합한 구동용 모터 및 구동시스템을 제안한다.

2. 광파이버 자이로컴파스의 원리 및 구조

Sagnac효과를 이용한 FOG는 회전센서의 일종으로 광파이버 자이로컴파스에 사용하기 위해서는 지구의 자전속도($15.04^{\circ}/h$) 까지 검출할 수 있는 고감도 및 저 drift 특성을 가져야 한다.

그림 1(a)에서 FOG의 축을 남북으로 정렬하고 위도가 만큼 수평면에 대해 경사지게 하면 지구의 자전 속도를 감지할 수 있어 FOG의 출력신호가 측정되며, FOG의 축을 동으로 정렬하면 FOG의 광섬유 코일에 지구의 자전속도가 감지되지 않아 FOG의 출력신호는 없게 된다. 이러한 원리를 이용하여 FOG로 부터 얻어진 이상적인 출력신호는 그림 1(b)와 같이 정현파형이 된다.

FOG 센서를 정속으로 회전시켜 얻은 Sine 파형의 출력신호로부터 진북(true north) 방향을 찾아 방위정보를 얻어내는 방법을 동적방식(dynamic scheme)이라 하며, 그림 2에 동적 방식의 광파이버 자이로컴파스의 블록도를 나타냈다.

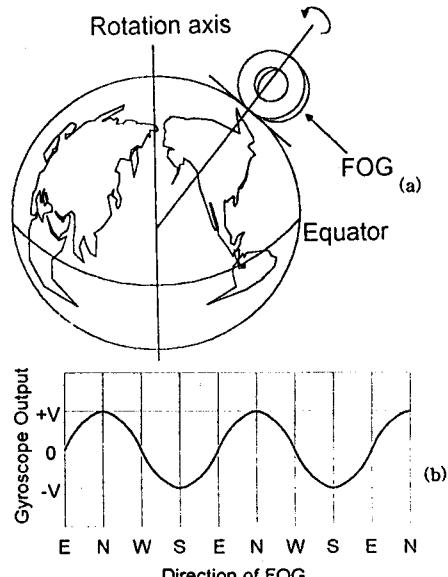


그림 1. 광파이버 자이로컴파스의 원리

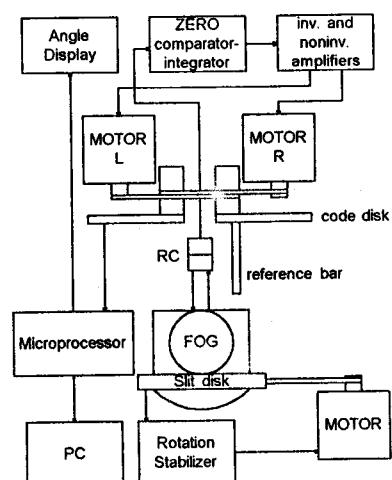


그림 2. 동적 광파이버 자이로컴파스의 블록도

3. 광파이버 자이로콤파스의 구동시스템

본 연구는 지구자전율을 검출하여 지구의 방위정보를 알 수 있는 광파이버 자이로콤파스의 개발 단계중 FOG센서 구동부에 관한 것으로, 센서의 특성상 저속구동, 위치제어의 정확성 및 정속운전의 필요성이 절대적으로 요구된다. 따라서 스텝핑모터와 직류 서보모터를 선정하여 비교·검토한 후 광파이버 자이로콤파스에 적합한 구동시스템을 제안한다.

3.1 스텝핑모터 제어시스템

스텝핑모터는 개루프제어로서 만족스런 운전특성을 얻을 수 있다. 그러나 저속의 공진주파수 부근에서 발생하는 공진은 회전 불균일과 진동을 야기시킴으로써 FOG센서 구동원으로서의 문제점을 지닌다. 그러나 미세스텝 구동에 의해 모터를 운전하는 경우에는 스텝핑모터의 여자권선에 흐르는 전류를 미세스텝으로 제어하므로, 스템과 크기 자체가 크게 축소되어 연속적인 운전이 가능하다. 그러므로 이러한 구동방식을 사용하는 경우 미세각도까지 정확히 위치제어가 가능하며, 특히 저속운전영역에서 진동 및 소음이 크게 감소됨으로 시스템 자체의 안정성이나 진동적인 측면에서 크게 유리하다.

3.1.1 미세스텝 제어

미세스텝 구동방식은 1개의 펄스 주기를 다시 미세 분할한 것으로 펄스의 미세 변화에 따라 상전류가 제어된다. α 를 전기 각으로 나타낸 미세스텝 회전각이라 하면 두 상에 대한 전류는

$$\begin{aligned} i_{\alpha c} &= I_M \cos \alpha \\ i_{\alpha d} &= I_M \sin \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, I_M 은 기본 스템시의 상전류이다. 그러므로 전발생토크 T 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= K_T (-I_M \cos \alpha \sin N_r \theta + I_M \sin \alpha \cos N_r \theta) \\ &= K_T I_M \sin (\alpha - N_r \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

또한 기계적인 회전각 θ 는 α 와 다음 관계식이 성립된다.

$$\theta_s = \alpha / N_r \quad (3)$$

따라서 식(2)는

$$T = K_T I_M \sin N_r (\theta_s - \theta) \quad (4)$$

가 되며, 스템핑모터는 위치오차가 매우 적은 안정영역에서 운전이 가능함으로 식(4)는 다음과 같이 된다.

$$T \approx K_T I_M N_r (\theta_s - \theta) \quad (5)$$

단, θ_s : 회전자의 미세스텝 설정위치 회전각

θ : 회전자의 실제 위치 회전각

3.1.2 시스템 구성 및 실험

일반적인 미세스텝 제어회로는 그림 3과 같이 Up/Down counter, ROM 및 D/A counter로 구성된다. 32비트스텝 제어인 경우, ROM A 와 ROM B의 상위 7비트에는 $127|\cos \alpha|$ 와 $127|\sin \alpha|$ 의 7비트 디지털신호를, 최하위 1비트에는 극성 신호를 메모리시킨다. 상전류의 전류level을 제어하는데 사용되는 $I_M \cos \alpha$ 와 $I_M \sin \alpha$ 의 기준신호와 여자상을 지정하는 극성신호의 결합에 의해 스템핑모터는 각 상이 AB→BC→CD→DA→AB…의 순서로 여자됨에 따라 구동된다.

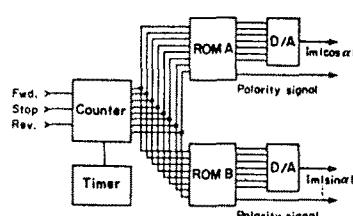


그림 3. 미세스텝 제어회로의 복록선도

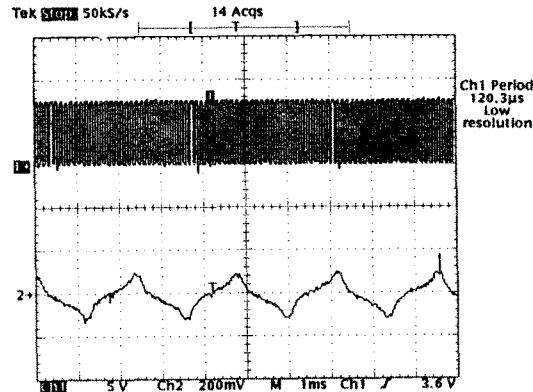


그림 4. 입력스텝주파수(상)와 상전류파형(하) ; 10미세스텝

구동용모터는 4상 하이브리드형 스템핑모터를 선정했다. 저속에서의 전동 감소 및 토크의 증대, 특히 미세각 감지라는 관점에서 미세스텝 제어를택했으며, 상권선을 bipolar 구동방식으로 여자시켜 진부주증을 위한 신호를 FOG 센서로부터 검출했다. 그럼 4는 제안된 구동시스템을 사용하여 831p[기본스텝]에서 운전시 각각 측정한 상전류(하측)와 FOG 출력파형이다. FOG 센서가 매우 민감함을 알 수 있다. FOG 출력은 모터의 운전 불안정에 의한 회전판과 FOG 면과의 경사도, 전체시스템에 관련된 고유진동 그리고 random walk 신호의 합을 등에 의해 영향을 크게 받는다. Low-pass filter를 통과시킨 후의 파형(그림 5 ; 상측파형)이 FOG 센서의 이상적인 출력파형(그림 1(b))과 잘 일치함을 알 수 있다. 이러한 결과는 미세스텝제어에 의한 스템핑모터의 구동이 광파이버 자이로콤파스의 구동시스템으로서 적합함을 알 수 있다. 일반 모터를 사용하는 경우 편연적으로 따르는 서보 개념의 제어없이 간단한 미세스텝 구동회로에 의해 만족스런 운전성능을 얻을 수 있기 때문에 특히, 가격과 성능적인 면에서 주목된다.

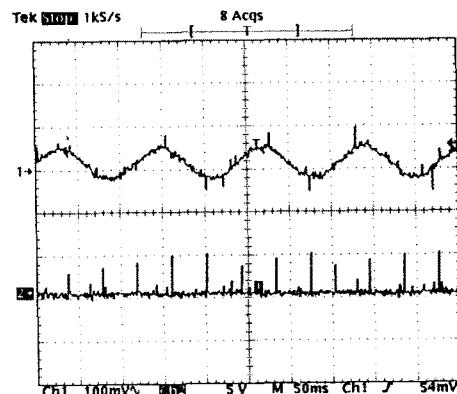


그림 5. FOG 센서 출력 파형

3.2 직류서보모터 제어

3.2.1 속도제어 시스템

외부 외란에 강인한 제어를 행하기 위해 퍼지 제어에 의한 직류서보모터의 속도제어를 실현하였다. 여기서, 제어 주기를 0.1[msec]로 하였으며, 엔코더의 주파수 변자에 따라 퍼지 추론을 행하여 속도형으로 조작량을 결정하도록 하였다. 목표치는 엔코더신호를 기준으로하여 10000[Hz] 즉, 1000[p/r]의 엔코더를 사용하였으므로, 모터를 10[Hz]로 회전하도록 하였다. 그럼 6은 속도제어 시스템의 구성도를 나타내며, 제안된 시스템에 의한 FOG 센서의 신호 출력파형은 그림 7과 같다.

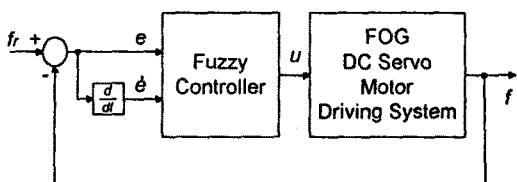


그림 6. 직류서보모터를 이용한 퍼지 속도 제어기의 구성도

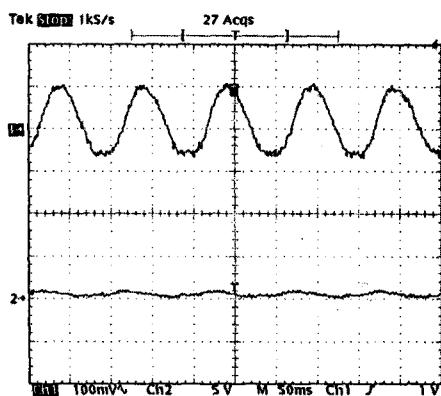


그림 7. 직류서보모터 시스템을 이용한 FOG 출력 과정

3.2.2 속도 제어 알고리즘

직류서보모터의 목표속도, 출력속도, 속도오차 및 조작량을 각각 f_r , f , $e = f_r - f$ 및 u 라고 할 때, 정속도 제어를 하기 위한 간단한 방법을 'If-then'의 언어적인 규칙으로 쓰면 다음과 같다.

```

If e is PB and ē is ZO, then u is PB
If e is ZO and ē is NB, then u is NB
If e is NB and ē is ZO, then u is NB
If e is ZO and ē is PB, then u is PB
If e is PM and ē is ZO, then u is PM
If e is ZO and ē is NM, then u is NM
If e is NM and ē is ZO, then u is NM
If e is ZO and ē is PM, then u is PM
If e is PS and ē is ZO, then u is PS
If e is ZO and ē is NM, then u is NM
If e is NS and ē is ZO, then u is NS
If e is ZO and ē is PS, then u is PS
If e is ZO and ē is ZO, then u is ZO

```

4. 결론

광파이버 자이로콤파스의 개발 단계 중 고감도의 광파이버 자이로스코프를 안정하게 정속 운전시킬 수 있는 구동모터 선정 및 그에 따른 구동시스템 개발을 목적으로 스텝평모터와 직류서보모터의 구동시스템에 관한 연구를 했다. 각각의 모터시스템으로 구동시의 FOG 출력신호를 이상적인 출력신호와 비교 분석한 결과, 미세스텝 제어에 의한 스텝평모터의 구동이 광파이버 자이로콤파스의 구동시스템으로서 적합함을 입증했다. 반면, 직류서보모터를 사용하는 경우 서보개념에 의한 제어에 의해 정속운전의 특성을 얻을 수 있으나, 미세위치 제어에 어려움이 있을 뿐만 아니라 제어회로 자체가 복잡해지고 경제적인 측면에서 부적합하다.

스텝평모터를 구동시스템으로 선정시에는 운전 속도 영역에 따라 진동특성이 크게 달라지므로 적절 구동속도의 선택을 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

5. 참고 문헌

- R. B. Dyott and D. E. Allen, : "A Fiber Optic Gyroscope North Finder", Proc. 10th International Conference on Optical Fiber Sensors, Glasgow, Scotland, pp. 442-448, 1994.
- T. Kumagai, N. Ashizuka and H. Najioka, "Development of an Optical Gyrocompass using a High-sensitivity Fiber Optic Gyroscope", Proc. SPIE Vol. 1795, pp.105-117, 1992.
- I.E.D. Pickup, A.P. Russell and Y. Kwon : " Analysis of Current Waveforms in Permanent-magnet Synchronous /Stepping Motors and Synthesis of Stabilising Signal", IEE Proc. B, 139(6), pp. 534-548, Nov. 1992.

이 논문은 통상산업부 중기기전 기술개발 사업연구비에 의하여 연구되었음.