전자력을 이용한 평면 진동형 자이로스코프의 제작

이 상 훈⁰, 김 용 권
서울대학교 전기공학과

Fabrication of Planar Vibratory Gyroscope Using Electromagnetic Force

Sang-Hun Lee⁰ , Yong-Kweon Kim
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

In this paper, a planar vibratory gyroscope is designed and fabricated in macro model. Elementary experiment and test are done for micro model. This gyroscope has a double gimbal structure with an active dimension 80 × 120 × 1 mm³. Outer gimbal vibration is generated by electromagnetic force using ferrite E-core wounded by coil. Inner gimbal vibration is detected by inductive sensor. It is demonstrated that mechanical and electrical symmetries are important for improvement of vibratory gyroscope.

1. 서론

최근의 미소기구를 만드는 기술을 이용하여 여러가지 기기와 센서들을 소형화 하고 있으며, 센서 중에서는 Rate 자이로스코프 또한 미소가공기술을 이용하여 제작하는 연구가 진행되고 있다. Rate 자이로스코프란 각속도를 측정하는 관성센서를 말한다. 자이로스코프의 종류에는 회전 운동량 보존을 이용한 회전 방식과 선형 운동량 보존을 이용한 진동방식이 있다. 기존의 Macro모델에서는 모터를 이용한 회전방식 자이로스코프가 많이 사용되어지고 있다. 그러나, Micro모델에서는 회전을 이용한 3차원 구조보다는 2차원 평면구조를 제작하는 것이 용이하기 때문에 진동 방식을 이용한 평면 구조가 Micro모델에서는 사용되고 있다. 진동형 자이로스코프[1]에는 Tuning Fork방식과 두개의 김볼(Gimbal)을 가지는 방식등 몇가지가 있다. 본 논문에서는 두개의 김볼을 가지는 구조를 Micro한 모델로 제작하여 진동형 자이로스코프를 이해하고 Micro모델을 위한 기초 실험을 행한다.

2. 진동형 자이로스코프의 구조와 원리

그림 1은 평면 진동형 Rate 자이로스코프[2]이다. 비틀림 플렉셔(Torsional Flexure)에 지지되는 2개의 김볼구조를 가지고 있다. 관성요소가 내부 김볼위에 놓여져 있다. 회전식 자이로스코프와 비교하면 외부 김볼은 회전자

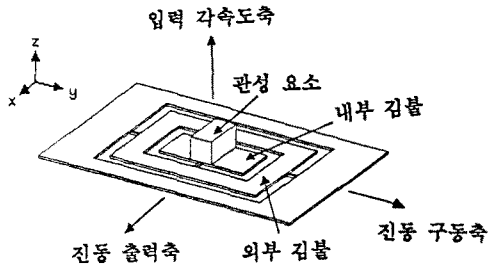


그림 1 진동형 자이로스코프의 구조

에 해당되고, 내부 김볼은 센서 구조물에 해당된다. 비틀림 플렉셔는 비틀리는 방향에는 유연하고 다른 방향으로는 잘 움직이지 않는다.

원리를 살펴보면 일정주파수(내부 김볼의 공진주파수)의 정전력 또는 전자력으로 외부 플렉셔를 진동시킨다. 이때 진동의 중심축은 외부 플렉셔이다. 이러한 진동은 내부 플렉셔를 통하여 내부 김볼에 전달되어 관성요소가 진동하는 운동량을 가지게 된다. 평면에 수직인 방향으로 각속도가 입력되면 Coriolis 힘에 의해 내부 김볼은 외부 김볼의 구동주파수로 진동하게 되며 그 진동의 중심축은 내부플렉셔이다. 내부 김볼의 변위각 θ는 식 (1)과 같다.[3]

$$\theta = I\frac{\phi_0 \Omega Q}{\omega_n} \qquad (1)$$

$$I = \frac{I_x + I_y - I_z}{I_x} \qquad (2)$$

여기서,

I : 관성비
ϕ_0 : 구동 변위각
Q : 선택도 (Q-factor)
Ω : 입력각속도
ω_n : 구동주파수

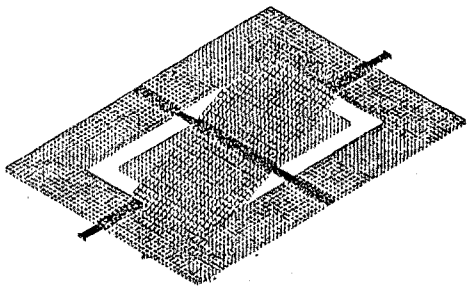
내부 김볼의 진동에 따른 정전용량 또는 인덕턴스의 변화를 감지함으로서 입력 각속도를 측정할 수 있다. 최대 해상도를 얻기 위해서 외부 김볼의 구동주파수를 내부 김볼의 공진주파수로 한다.

3. 설계

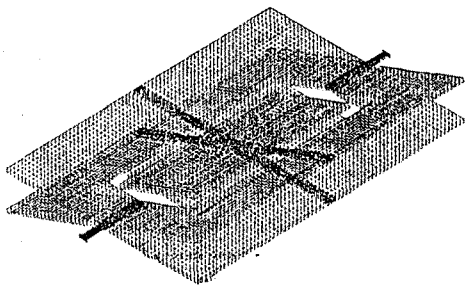
평면 진동형 Rate 자이로스코프는 김블과 플렉셔, 관성요소로 이루어진 자이로 요소와 외부 김블의 진동을 발생시키는 구동부, 입력 각속도가 있을 때 내부 김블의 진동을 감지하는 감지부로 구성된다.

1) 자이로 요소

큰 출력 변위를 얻기위한 플렉셔와 관성요소의 설계가 필요하다. 플렉셔는 높은 공진주파수와 선택도를 가지는 얇고 긴 막대 구조를 이룬다. 전체 구조물은 1mm, 2.3mm두께의 철판을 사용하고, 플렉셔는 폭 1mm, 길이 5mm의 크기로 설계했다. 또 두 김블과의 연결부에는 500μm의 곡률을 유지하였다. 이런 구조를 가지는 내부 김블과 외부 김블의 공진주파수를 기계해석 프로그램 ABAQUS를 이용하여 계산하였다. 그림 2는 ABAQUS



(a) 내부 김블



(b) 외부 김블

그림 2 ABAQUS를 이용한 공진 해석

에서 해석된 공진 상태에서의 변위를 나타내고 있다. 내부 김블은 300Hz, 외부 김블은 160Hz의 공진주파수를 가지고 있다.

관성 요소는 관성비를 크게하는 구조가 필요하다. 주어진 내부 김블의 면적에서 최대의 관성비를 가지도록 관성 요소를 제작해야 한다.

2) 구동부

구동부는 외부 김블 양쪽을 플렉셔를 중심으로 진동시켜주는 역할을 한다. 본 논문에서는 전자력을 이용하여 진동을 발생시킨다. 외부 김블아래에 코일을 감은 페라이트 E-core를 놓고 코일 양단에 전압을 인가한다. 인가된 전압에 의해 자이로 요소와 페라이트 E-core사이에는 서로 끌어 당기는 인력이 발생한다. 따라서 김블양쪽에 180^0위상차 나는 전압을 인가함으로서 김블을 진동시킨다. 그림 3은 전자장 해석 프로그램인 MAXWELL을 이용하여 자속밀도분포와 힘을 계산하였다. 공극은 1mm, 전압은 10V로 했을 때 정적인 상태의 힘은 13.7N으로 계산되었다.

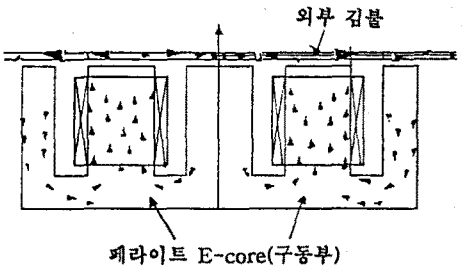
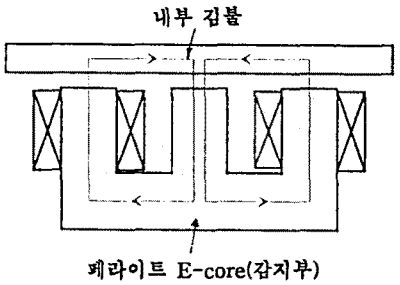


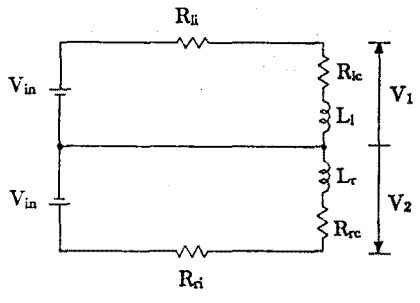
그림 3 MAXWELL을 이용한 자장 해석

3) 감지부

감지부는 내부 김블이 입력각속도에의해 내부 플렉셔를 축으로 진동할 때 공극변화에 따른 인덕턴스의 변화를 측정한다. 구동부와 같이 내부 김블아래에 코일을 감은 페라이트 E-core를 놓고 코일 양단에 DC전압을 인가한다. 인가된 전압에 의해 자속이 발생하고 진동이 발생할 경우 공극 변화에 따라서 자속이 변하게 되어 코일 양단에 전압이 유기된다. 양쪽에 유기되는 전압은 크기는 같고 180^0위상차가 생기게 된다. 그림 4와 같이 양쪽 코일 양단의 V_1과 V_2를 검출하여 차를 증폭함으로서 출력값을 얻는다.



(a) 감지부 구조



(b) 등가 회로

그림 4 감지부의 구조

4. 제작 및 검토

설계한 진동형 자이로스코프를 제작하여 실험장치를 구성했다. 자이로 요소를 ㄷ-형태의 고정대에 고정시킨다. 자이로 요소와 구동, 감지부와의 위치와 간격을 조절하기 위해 XYZ stage를 이용하였다. 구동부와 감지부의 E-core를 접착한 고정대를 XYZ stage에 연결하여 ㄷ-형태고정대의 열려진 부분으로 넣고, Z방향으로 10 μm 단위로 간격을 바꿀 수 있다.

구동부의 페라이트 E-core에는 0.26mm코일을 400턴 권선하였다. 각각의 저항과 인덕턴스는 아래 표1과 같다.

표 1 구동부의 저항과 인덕턴스 비교

	RIGHT		LEFT	
	#1	#2	#1	#2
저 항 [ohm]	7.34	7.41	7.41	7.41
인덕턴스 [mH]	13.92	13.69	13.95	13.58

각각의 코일양단에 0V, 10V의 구형파 전압을 인가하여 외부 김벌을 진동시켰다.

감지부의 페라이트 E-core에는 0.26mm코일을 300턴 권선하였다. 자속을 발생시키기 위해 전압은 DC 5V 를 인가한다. 각각의 저항과 인덕턴스는 표 2와 같다.

표 2 감지부의 저항과 인덕턴스 비교

	RIGHT	LEFT
저항 [ohm]	3.70	3.76
인덕턴스 [mH]	6.04	6.27

표 2에서와 같이 감지부 양쪽의 인덕턴스 값이 정확히 일치되지 못해서 V_1과 V_2의 차가 입력 각속도가 없을때 0이 되지를 못한다. 따라서 각속도가 입력될 때의 출력 전압에서 그 전압을 빼서 실제의 출력 전압을 구한다.

5. 결론

평면 구조를 가지는 진동형 Rate 자이로스코프를 설계하고 제작하였다. 진동형은 회전형에 비해 구조가 간단하고 3차원 구조를 제작하기 힘든 Micro모델에서는 많이 이용되고 있다. 본 논문은 Micro모델의 제작 및 검토에 앞서 Macro모델의 자이로스코프를 설계, 제작하여 진동형 자이로스코프의 성능을 조사하였다. 그 결과 제작의 정밀성 특히 대칭적인 구조의 정밀성과 전기적인 회로 특성의 정밀성이 진동형 자이로스코프의 특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

[1] Jan Söderkvist, "Micromachined Gyroscopes", Digest of Technical Papers, The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, 1993, pp. 638-641

[2] P. Greiff, B. Boxenhorn, T. King and L. Niles, "Silicon Monolithic Micromechanical Gyroscope", International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Digest of Technical Papers, 1991, pp. 966-968

[3] P. Greiff, B. Boxenhorn, "A Vibratory Micromechanical Gyroscope", AIAA Guidance and Controls Conference, Minneapolis, Minnesota, August 15-17, 1988, pp.1033-1040