

〈논 문〉

출력신호 케환을 통한 진동자이로의 선형성 향상에 관한 연구

박 성 욱* · 오 준 호**

(1996년 3월 28일 접수)

A Study on the Linearity Improvement of a Vibrating Gyroscope by Output Feedback

Sung-Wook Park and Jun-Ho Oh

Key Words : Vibrating Gyroscope(진동자이로), Linearity(선형성)

Abstract

Among various gyroscopes, the vibrating gyroscope has advantages such as compact size, mass-productivity and low cost. However this kind of gyroscope usually suffer from low linearity and low signal to noise ratio. Therefore, it is necessary to study on vibrating gyroscope to improve performance. In this paper, triangular cross section is selected in consideration for several points. The existing designs of exciting and sensing have some problems such that small signal size and low linearity. This paper proposes new design of exciting and sensing which is named one period exciting and the other period sensing. This design improves signal size, but it cannot improve linearity. This is because above two designs are the same open-loop type. So, another new design is proposed, which is named rebalancing, is applied to one period exciting and the other period sensing. This design are closed-loop type. It feedbacks the output signal. According to control theory, it can improve linearity. The circuits of each design are realized and used to calibration test. Calibration results show that new design of rebalancing improves linearity and signal size.

1. 서 론

관성계내의 물체의 동적특성을 파악하는데 있어서 각속도는 매우 중요한 요소중의 하나이다. 이러한 각속도를 측정하는 장치를 총칭해서 자이로스코프라고 부른다. 자이로스코프는 회전체의 각운동량 보존법칙을 이용한 회전식 자이로, 레이저나 광섬

유를 사용하여 새그낙(sagnac)효과를 이용한 광학식 자이로 및 선운동량보존법칙을 이용한 진동자이로로 크게 대별된다.⁽¹⁾

진동자이로는 회전식 자이로나 광학식 자이로보다 비교적 정밀도는 떨어지나 값이 싸고, 크기가 작으며, 대량생산이 가능하다는 장점과 함께 긴 수명을 보장해 줄 수 있는 구조를 제공한다.⁽²⁾ 이러한 진동자이로의 장점으로 인하여 현재 많은 응용 분야에 적용되고 있다.

진동자이로는 1950년대에 개발된 "Gyrotron"⁽³⁾에서부터 가진과 측정방식에서 압전소자를 이용한

*한국과학기술원

**회원, 한국과학기술원 기계공학과

1960대의 "VYRO,"⁽⁴⁾ 1980년대에 들어서는 센서 자체가 압전소자로 만들어진 자이로에 대한 연구가 활발히 진행되었다.⁽⁵⁾ 이러한 연구를 바탕으로 하여 현재 여러 개의 진동자이로가 제품화되어 사용되고 있다.

진동자이로는 선운동량보존을 야기할 수 있는 진동기준운동을 도입하여, 외부각속도가 인가되면, 기준운동의 주파수와 동일한 주파수를 가지는 코리올리힘이 발생하고, 이 코리올리힘에 의한 진동을 측정하여 각속도를 검출한다. 큰 진동을 구현하기 위하여, 진동기준운동의 주파수는 자이로 본체의 공진주파수와 일치시켜 주게 된다. 따라서, 진동기준운동 방향의 공진주파수와 코리올리힘이 생기는 방향의 공진주파수는 일치해야 한다. 그러나, 실제로는 이 두 주파수를 일치시키는 것은 굉장히 어려운 일이다. 따라서, 진동자이로의 본체에 두 운동으로 인하여 합진동이 인가되면, 주어진 각속도에 따라서 합진동의 크기와 방향과 위상이 변하게 된다. 위상의 변화가 정류과정을 거치면서 진동자이로의 출력특성곡선에서의 비선형성을 야기한다. 또한 자이로의 본체부분에서는 진동의 크기가 좁은 영역에서만 선형화되어 있으므로 진동의 크기가 달라지면서 비선형성을 나타내게 된다. 이러한 비선형성을 해결하기 위한 방법으로 감도특성을 조사하여 오차보정계수를 이용하는 방법이 제시되었다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 기존의 보정방법과는 달리 출력신호의 제환을 통하여 비선형성의 주원인인 자이로의 본체의 합진동의 방향과 크기를 일정하게 유지하게 하여 비선형 특성을 최소화할 수 있는 가진과 측정방식을 제안하고, 실험을 통하여 제안된 방법의 타당성을 검토하였다.

본 논문의 제2장에서는 진동자이로의 원리를 간단히 언급하고, 단면모양을 선정한다. 제3장에서는 기존의 가진과 측정방식을 소개하고, 새로운 방식을 제안한다. 제4장 및 제5장에서는 실험과 결과에 대해서 설명한 후 결론을 도출하였다.

2. 진동자이로의 작동원리

2.1 압전세라믹

압전성(piezoelectricity)은 외부에서 힘 또는 응력을 가했을 때 전하가 발생하는 현상을 말한다. 일반적으로 극성방향을 3축으로 정의하고, 3축을 기준으로 수직하게 1축과 2축을 각각 정의한다. (Fig. 1)

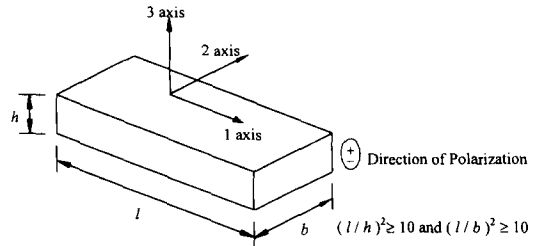


Fig. 1 The axis configuration of a piezoelectric material and transverse mode

이렇게 설정된 좌표를 기준으로 압전현상에 의해 결정되는 응력과 전계의 관계는 다음과 같이 나타낸다.⁽⁷⁾

$$S_p = s_{pq}^E T_a + d_{ip}^T E_i \quad p, q=1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (1)$$

$$D_i = d_{ia} T_a + \epsilon_{ik}^T E_k \quad i, k=1, 2, 3 \quad (2)$$

여기서, S 는 변형률, T 는 응력, D 는 전기변위, E 는 가해진 전계를 나타낸다. s^E 는 전계가 일정할 때 탄성 컴플라이언스(compliance), d 는 압전상수, ϵ^T 는 응력이 일정할 때 유전율을 나타낸다. 분극처리 후에는 탄성 컴플라이언스는 36개의 모든 성분을 가지는 것이 아니라, $s_{11}^E, s_{33}^E, s_{12}^E, s_{13}^E, s_{55}^E$ 5개항만이 독립적이다. 또한 압전계수는 d_{33}, d_{13}, d_{15} 만이 독립적이다.⁽⁷⁾

압전세라믹에 사용되는 진동방식은 여러가지가 있으나, 진동자이로에 사용되는 모드는 횡진동모드이다. 횡진동모드는 두께가 얇아서 분극방향에 수직인 한면의 변형이 지배적인 경우를 말한다. Fig. 1에 나타낸 조건을 만족하는 경우를 횡진동모드로 사용할 수 있다. 횡진동모드에서는 d_{31} 계수가 가장 지배적이기 때문에 길이방향(1축 방향)의 응력과 변위만을 고려하고 다른 항들은 무시할 수 있다. 이에 따라 횡진동모드의 압전세라믹은 다음과 같이 모델링될 수 있다.

$$\Delta l = \Delta l^T + \frac{d_{31} l V_3}{h} \quad (3)$$

$$Q = d_{31} Y_p b \Delta l^T + \frac{\epsilon_{33}^T b l V_3}{h} \quad (4)$$

여기서, Δl^T 은 순수한 외력에 의한 길이방향의 변형을 나타내고, 3축 방향으로 걸리는 전압을 V_3 , 3축 방향으로 부착된 전극판에 모이는 전하량을 Q , Y_p 는 압전세라믹의 영률(Young's modulus)을 나타낸다.

식 (4)를 살펴보면, 전극판에 모이는 전하량은

외력에 의한 변형 Δl 과 가해진 전압 V_3 에 의한 것들의 합으로 구성된다. 첫번째항은 외력에 의한 변형으로 전하량이 생기므로 전하 발생원(charge generator)으로 볼 수 있고, 두번째항은 가해진 전압에 비례하는 전하량이 생기므로 커패시터(Capacitor)로 볼 수 있다. 이렇게 모델링된 압전 세라믹의 보편은 Fig. 2와 같다.

2.2 진동자이로의 원리와 단면 모양의 선정

Fig. 3에 나타낸 것과 같은 축설정에서 y축 방향에 부착된 압전세라믹을 통해서 교류신호를 가하면, 보에 y축 방향으로의 진동이 생긴다. 이 y축 방향의 진동이 있을때, x축 방향의 각속도가 보에 인가되면, 각속도에 비례하는 코리올리힘이 z축 방향으로 발생하게 되고, 이에 따라 보에 z축 방향으로도 진동이 생기게 된다. 이 진동을 z축 방향에 부착되어 있는 압전세라믹으로 측정하여 인가된 각속도를 알아낼 수 있게 된다. z축 방향의 공진주파수를 가지는 가진신호를 y축 방향으로 가진했을 때, y축 방향의 기준진동은 $A_y \cos(\omega_z t)$ 라고 나타나게 되고, 인가된 각속도를 $\Omega(t)$ 라고 하면, 코리올리힘에 의한 z축 방향의 진동 $\eta(t)$ 는 아래와 같

이 나타낼 수 있다.

$$j(t) + 2\zeta_z \omega_z \dot{\eta}(t) + \omega_z^2 \eta(t) = A_z A_y \Omega(t) \sin(\omega_z t) \tag{5}$$

여기서, ζ_z 는 z축 방향 댐핑계수, ω_z 는 z축 방향 공진주파수이고, A_y 는 입력신호의 크기와 보의 y축의 공진주파수와 가진주파수인 ω_z 에 의해 결정되고, 두 주파수가 일치할수록 큰 값을 가지게 된다. A_z 는 보의 z축의 공진주파수와 가진주파수로 결정되는 상수이다. $\Omega(t) = \cos(\omega_a t)$ 라고 하여 정상상태 해를 구하여, $\omega_z \gg \omega_a$ 을 이용하여 간략화하면 다음과 같다.

$$\eta(t) = \frac{A_z A_y}{2\omega_z \sqrt{\omega_a^2 + (\zeta_z \omega_z)^2}} \cdot \cos(\omega_a t - \tan^{-1}(\frac{\omega_a}{\zeta_z \omega_z})) \sin(\omega_z t - 90^\circ) \tag{6}$$

즉, 고유진동수 ω_z 으로 진폭변조된 각속도신호가 시상수 $\frac{1}{\zeta_z \omega_z}$ 을 가지는 일차 시스템 응답특성을 나타낸다.

이상의 기본원리에서는 진동기준운동의 주파수가 z축 방향의 공진주파수가 일치한다는 조건으로 식을 계산했지만, 실제로는 큰 진동을 얻으려면, y축으로는 보의 일차 공진주파수의 교류신호로 가진을 시켜주어야 한다. 이때 발생하는 코리올리힘에 의한 z축 방향의 진동도 y축 가진주파수와 동일한 주파수를 가지므로, y축 방향과 z축 방향의 공진주파수가 동일해야지만 큰 z축 진동신호를 얻을 수 있다. 또한, 보의 댐핑계수는 매우 작으므로 주파수가 조금만 달라져도 진폭의 크기가 매우 달라지게 된다. 즉, Q 값($=\frac{1}{2\zeta_z}$)이 매우 크기 때문에 가진신호의 크기와 주파수를 잘 유지해야 한다. 따라서, 보의 단면은 y축과 z축의 공진주파수가 일치될 수 있는 모양이 되어야 한다. 위의 설명은 단면이 사각형인 경우였지만, 그 외에도 단면이 삼각형, 원형인 경우에도 동일하게 적용된다. 하지만, 공진주파수에 미세한 차이가 날 경우에는 보를 절삭하면서 공진주파수를 맞추어 나가기에 용이한 구조가 되어야 하는데, 정삼각형의 경우에는 각 모서리부분을 절삭하면서 공진주파수를 맞추어 나가기 쉽다.

또한, 가진신호의 크기나 위상이 틀려짐으로 인한 잘못된 측정을 예방하기 위해서 가진과 측정을 동시에 할 수 있어야 한다. 한면에 붙은 압전세라

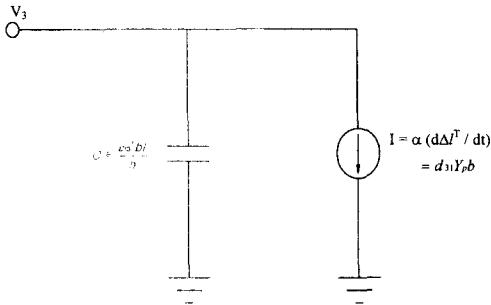


Fig. 2 The equivalent model of a piezoelectric material composed of a charge generator and a capacitor

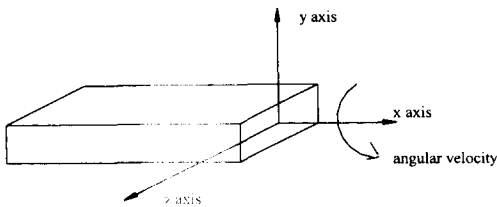


Fig. 3 Principle of a square beam type vibrating gyroscope

믹으로는 정사각보의 경우에는 가진과 측정을 동시에 할 수 없게 된다. 반면에 정삼각형의 경우에는 가능하다. 따라서 단면의 모양은 정삼각형이 가장 적합하다.

3. 가진과 측정방식

3.1 기존의 방식

기존의 가진과 측정방식으로는 1개의 가진과 2개의 측정방식(Fig. 4)과 2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방식(Fig. 5)이 있다. 1개의 가진과 2개의 측정방식은 간단하게 구현할 수 있는 장점이 있으나, 가진부와 측정부가 분리되어 있음으로 인해서 가진의 크기나 위상이 달라지거나 어느 한쪽의 이득이 틀려지면 측정값이 틀려지는 큰 단점을 지닌다. 즉, 가진신호의 변화를 알아낼 수 없기 때문에, 가진신호의 변화에 의한 출력과 외부각속도에 의한 출력을 구별해 낼 수 없다. 2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방식은 가진부와 측정부가 일치되어 있기 때문에 다른면으로 가진에 의한 진동을 궤환시켜서 가진이 항상 정확히 되어주도록 보상해 줄 수 있다. 즉, 가진의 크기나 위상이 틀려짐으로 인하여 나오는 잘못된 출력신호를 없애준다. 이 점이 이 구조의 가장 큰 장점이다. 이러한 장점때문에 이 측정방식이 널리 이용되고 있다.⁽⁸⁾ 이 방식

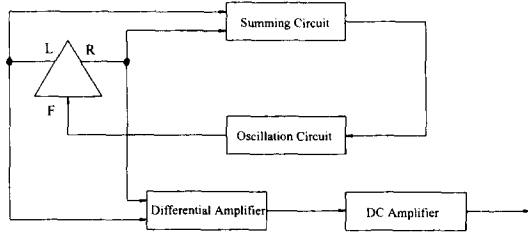


Fig. 4 The Circuit configuration of one vibrator and two detectors

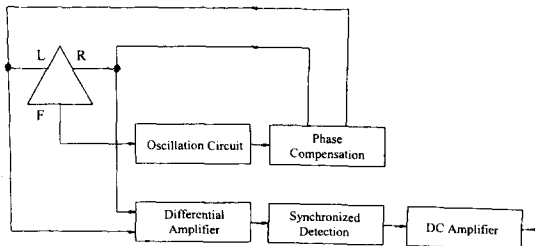


Fig. 5 The circuit configuration of two simultaneous vibrator and detector

의 측정신호를 구해보자.

이러한 방식의 측정 모델링은 Fig. 6(a)와 같게 된다. 여기서, 첨가되는 저항 R 은 가진과 측정을 동시에 하기 위한 것으로, 이러한 저항을 첨가하지 않으면, 가진과 측정을 동시에 할 수 없다. 가진 전압은 V_3 가 되고, 측정전압은 e_0 가 된다. 외력에 의한 변형이 없었을 경우 측정되는 전압 e_0 와 변형 Δl^e 는 아래와 같다.

$$e_0(S) = \frac{1}{RCS+1} V_3(S) \quad (7)$$

$$\Delta l^e = \frac{d_{31} l V_3(S)}{h} = \frac{d_{31} l}{h(RCS+1)} V_3(S) \quad (8)$$

코리올리힘에 의한 진동 Δl^T 는 Δl^e 의 미분과 각속도 Ω 에 비례하게 나타나므로, 아래의 식 (9)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta l^T = \kappa \Omega \frac{d\Delta l^e}{dt} = \frac{d_{31} l \kappa \Omega S}{h(RCS+1)} V_3(S) \quad (9)$$

여기서, κ 는 비례상수이다.

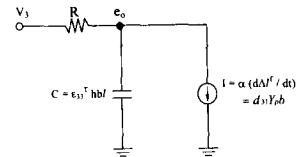
따라서 가진과 측정이 동시에 될 경우에는 측정식이 아래와 같게 된다.

$$e_0 = \frac{1}{RCS+1} V_3(S) - \frac{R}{RCS+1} l(S) \quad (10)$$

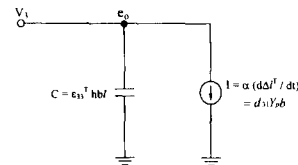
$$l(S) = \alpha \frac{d\Delta l^T}{dt} = \frac{d_{31} l \kappa \alpha \Omega S^2}{h(RCS+1)} V_3(S) \quad (11)$$

$$e_0(S) = \frac{1}{RCS+1} V_3(S) - \frac{d_{31} l \kappa \alpha R \Omega S^2}{h(RCS+1)^2} V_3(S) \quad (12)$$

여기서, α 는 2장에서 유도한 것 같이 $\frac{\epsilon_{33}^T b l}{h}$ 이다. 정삼각형의 양쪽변에서 측정되는 코리올리힘에



(a) 2-simultaneous vibrator and detector



(b) One period exciting and the other period detecting

Fig. 6 The model of a piezoelectric material

의한 진동은 각변에서 서로 다른 방향으로의 영향을 미치므로, 식 (12)에서 정삼각형의 양쪽변에서는 두번째항의 부호가 서로 다르게 나타나게 된다. 따라서, 차동(differential) 측정을 하면 아래와 같은 측정신호를 얻을 수 있다.

$$e_{at} = \frac{2d_{31}lkaRQ_2S^2}{h(RCS+1)^2} V_3(S) \quad (13)$$

여기서, 가진전압의 주파수는 일정($S=j\omega$)하므로 최대 크기의 신호를 측정하기 위해서는 저항 R 의 값이 $R = \frac{1}{C\omega}$ 가 되도록 선택하여야 하며, 이때의 위상은 90° 가 된다. 위의 두가지 방식은 모두 개회로 방식의 측정이 이루어지므로 자이로의 본체의 합진동에 의한 비선형성이 그대로 나타난다는 단점이 존재한다.

3.2 폐회로방식

3.1절의 2가지 가진과 측정방식은 모두 개회로 방식으로 비선형성을 야기시키는 합진동에 대한 보상을 해줄 수 없다. 이러한 비선형성을 보완해 주기 위하여 출력신호를 케환시켜서 출력신호를 일정하게 만드는 폐회로방식을 도입하도록 한다.

일반적으로 y 축과 z 축 방향의 공진주파수가 완벽하게 일치하기 힘들다. (Fig. 7) 이런 경우 가진에 의한 진동(y 축 방향)과 일정한 입력 각속도에 의해서 생성되는 코리올리힘에 의한 진동(z 축 방향)을 합친 합진동의 크기와 방향과 위상이 변하게 된다. 이러한 크기와 방향과 위상의 변화는 측정면에서도 나타나게 되어 측정신호의 위상도 변하게

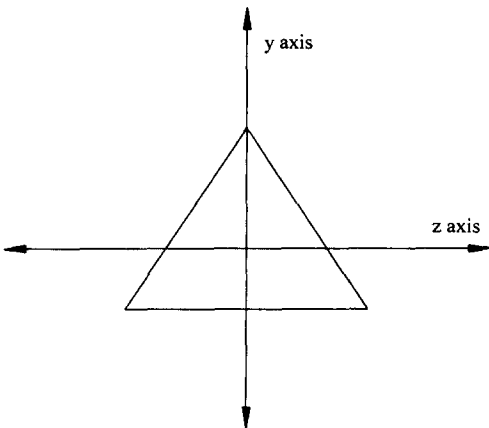


Fig. 7 The axis configuration of triangular corss section

된다. 또한, 위상의 변화는 측정신호를 정류시킬 때 신호의 크기에 영향을 미치게 된다. 즉, 일정한 간격으로 정류시켜 주는데 있어서 위상의 변화로 정확한 위치에서 정류시켜 줄수 없게 된다. 그리고, 본체의 진동의 크기는 좁은 영역에서만 선형화되어 있으므로, 외부각속도 입력에 의해서 진동의 크기가 매우 커지면, 비선형성이 나타나게 된다. 이러한 요소가 진동자이로의 선형성에 영향을 미치게 된다. 이 요소를 최대한 줄여서 선형성을 향상시키기 위해서는 진동의 방향과 크기를 일정하게 만들어 주어야 한다. 즉, 외부각속도 입력에 의해서 코리올리힘에 의한 진동이 생길때, 이 진동을 상쇄시켜 줄 수 있도록 가진전압의 크기를 조정해 주어야 한다. 즉, 가진전압의 크기를 조정해 주기 위해서 케환루프를 설치하여 제어를 해준다. 이러한 폐회로방식은 Fig. 8에 나타내었다. F면에서 y 축 방향의 진동을 측정하여 진동회로를 통하여 R면과 L면으로 삼각보의 공진주파수를 가지는 주기신호로 가진을 시켜주게 된다. 이때의 가진과 측정방식은 한주기 가진, 한주기 측정방식으로 한다. 가진은 보의 공진주파수와 동일한 주파수 성분을 가지는 교류신호로 해주고, 측정시에는 가진신호 부분을 전자적인 스위치로 결선시켜 준다. 한 주기

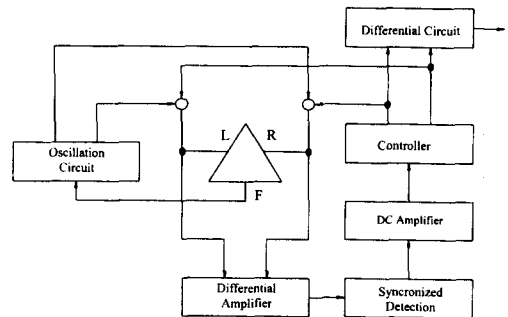


Fig. 8 Vibrating and detecting in closed loop type

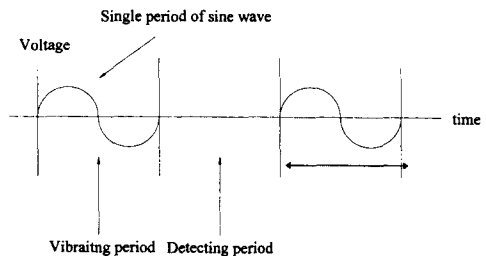


Fig. 9 Vibrating and detecting in alternating period

동안에는 가진을 하고, 다른 한주기 동안에는 측정을 하도록 한다. 이런 경우 보의 공진주파수에 해당하는 주파수 성분은 남아있게 되어 보를 공진주파수로 가진할 수 있게 되고, 가진을 멈추고 받은 측정신호를 변환하여 각속도를 알아낼 수 있게 된다. (Fig. 9)

이러한 한주기 가진, 한주기 측정에서는 가진과 측정의 시간이 분할되므로, 첨가되는 저항이 없어서, Fig. 6(b)와 같은 모델을 사용할 수 있다. 가진 주기에 있어서의 가진에 의한 변형 Δl^e 는 아래와 같다.

$$\Delta l^e = \frac{d_{31} l V_3}{h} \quad (14)$$

이때 코리올리힘에 의한 진동은 아래와 같다.

$$\Delta l^T = \frac{d_{31} l \kappa \Omega S V_3(S)}{h} \quad (15)$$

따라서 측정주기의 진동은 가진에 의한 진동과 측정에 의한 진동의 합이 된다.

$$\Delta l = \Delta l^T + \Delta l^e = \frac{d_{31} l (1 + \kappa \Omega S) V_3(S)}{h} \quad (16)$$

측정주기에서의 측정되는 전압 e_o 는 아래와 같다.

$$e_o = \frac{1}{CS} l(S) = \frac{d_{31} l \alpha}{hC} (1 + \kappa \Omega S) V_3(S) \quad (17)$$

차동(differential) 측정을 하면 아래와 같은 신호를 얻을 수 있다.

$$e_{a2} = \frac{d_{31} l \alpha \kappa \Omega S}{hC} V_3(S) \quad (18)$$

여기서, 가진전압의 주파수는 일정하게 고정되므로 각속도에 따라서 일정한 위상을 가지는 전압이 나오게 된다.

이제 2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방식에서의 신호의 크기와 한주기 가진, 한주기 측정의 신호의 크기를 비교해 보자. 가진신호의 주파수는 일정($S=j\omega$)하므로 2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방식에서의 신호의 크기는 아래와 같다.

$$\text{Mag}(e_{a1}) = \frac{2d_{31} l \alpha R \Omega \omega^2}{h[1+(RC\omega)^2]} \quad (19)$$

한주기 가진, 한주기 측정의 신호의 크기는 아래와 같다.

$$\text{Mag}(e_{a2}) = \frac{2d_{31} l \alpha \kappa \Omega \omega}{hC} \quad (20)$$

이제 두 신호의 크기의 차이를 구해보면,

$$\begin{aligned} & \text{Mag}(e_{a1}) - \text{Mag}(e_{a2}) \\ &= \frac{2d_{31} l \alpha \kappa \Omega \omega (RC\omega - 1 - (RC\omega)^2)}{hC(1+(RC\omega)^2)} < 0 \text{ for all } R > 0 \end{aligned} \quad (21)$$

따라서 한주기 가진, 한주기 측정의 신호가 더 크다는 장점을 가진다. 또한 첨가되는 저항이 없으므로 항상 일정한 위상의 신호를 얻을 수 있다.

폐회로방식은 가진을 멈추고 받은 R면과 L면에서의 신호를 차동(differential) 증폭을 시켜주고, 차동증폭이 된 신호를 정류과정과 직류증폭을 하여서 외부각속도 입력에 의한 진동을 크기를 알 수 있게 된다. 폐회로방식의 목적은 이 직류신호를 일정하게 유지하는 것이므로, 출력신호를 제어부를 거쳐서 가진주기에서의 R면과 L면의 가진신호의 크기를 조정해 준다. 궁극적으로는 외부각속도에 의한 코리올리힘이 생기더라도 일정한 진동의 크기와 방향과 위상을 유지시켜 주려는 것이 목적으로 제어기를 설치한다.

4. 실험 및 결과

4.1 진동자이로의 구성 및 가진방법

실험에서 사용된 진동자이로의 본체부분(gyro head)은 삼각 프리즘형태로 단면은 한변의 길이가 2 mm인 정삼각형이고, 높이는 17 mm이다. 본체의 지지는 이상적인 지지조건인 자유-자유조건에 가장 가까운 방법으로 지지하여야 하므로 일차 진동모드

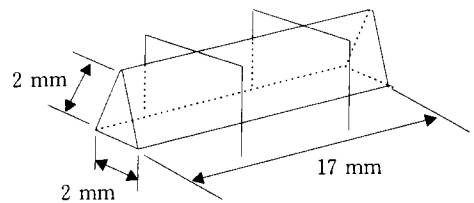


Fig. 10 Gyro head

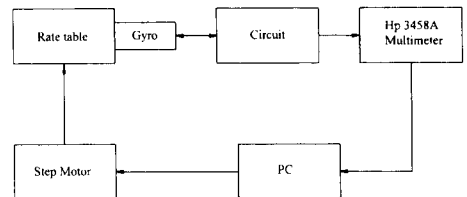
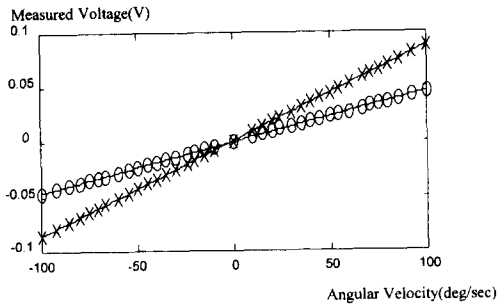
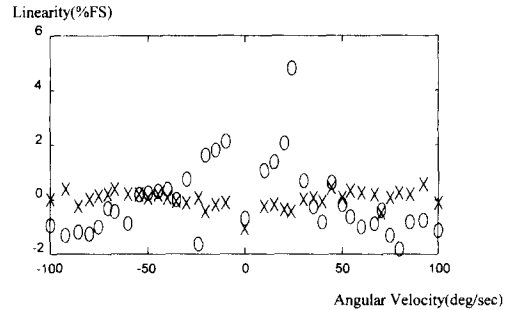


Fig. 11 The functional diagram of test instrument



(a) 37-data points and the line of least square approximation



(b) The deviations of full scale from the line of least square approximation

Fig. 12 The results of experiment ('o' for two simultaneous vibrator & detector 'x' for closed loop type)

Table 1 The results of experiment

	Two simultaneous exciting and detecting	Closed loop type
Scale factor (mV/deg/sec)	0.459	0.869
Linearity (%FS)	4.83	1.01

절감에 강건한 철선으로 점용접 (spot welding) 되어 있다. 세면에 부착된 압전소자는 두께가 0.2 mm이고, 길이는 10 mm, 폭은 1.5 mm이다. (Fig. 10)

진동자이로의 가진 신호는 PLL (Phase Lock Loop) 를 사용하여 만들었다.

4.2 실험장치의 구성 및 방법

실험장치의 구성은 Fig. 11에 나타내었다. PC에서 스텝모터로 신호를 보내어 분할테이블 (rate table) 을 일정한 각속도로 회전시키게 된다. 그리고 검출신호는 HP3458A Multimeter를 이용하여 측정하여 PC로 데이터를 전송하게 된다. HP 3458A Multimeter는 20 bit 측정을 할 수 있고, 실험에서 분해능은 0.01 mV로 하였다. 측정주기는 50 msec로 하였다. 최대 각속도는 100 deg/sec로 정하였고, 실험의 입력각속도는 모두 37개로 하였다. 각각의 각속도 입력에서 측정은 모두 2바퀴 회전까지의 신호를 측정하였으며 이를 평균내어 그 각속도의 대표값으로 하였다. 이 37개의 대표값을 가지고 최소자승법으로 직선을 얻어낸 후에 전체 구간 (full scale) 에 대한 최대 편차 (maximum deviation) 를 가지고 선형성을 평가하였다. 이러한 실험을 모두 40번 반복하여 각각의 실험에서 구한 최대 편차중에서 최대치로 선형성을 나타내었다.

환산율 (scale factor) 은 구한 직선의 기울기로 하였다.

4.3 실험결과

2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방식과 폐회로 방식의 신호에 대한 실험을 하였다. 같은 PLL 회로를 사용하였고, 양쪽변의 신호를 10배로 차동증폭하였다. 그리고, 정류를 실행하였다. 이렇게 얻은 신호를 저역대 통과필터를 통하여 직류값으로 만들었다. 폐회로방식에서는 비례-적분제어기를 설치하였다. 40번의 실험중에서 최대 오차가 나타난 실험을 결과로 Fig. 12에 나타내었고, 정리하면, 아래의 Table 1과 같다. 실험결과에서 알 수 있듯이, 폐회로방식은 개회로 방식인 2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방식에 비해서 선형성을 5배 향상시키고, 내부 이득의 증대로 인하여 환산율 (scale factor) 도 증가되었음을 알 수 있다. 이러한 면들은 폐회로방식 자체가 가지는 특성으로 자이로의 본체부분에서의 합진동의 크기와 방향을 일정하게 유지시켜 주었음에 기인한다.

5. 결론

본 연구에서는 진동자이로의 기본원리에 의한 단

면 모양의 선정에 있어서의 고려할 사항인 측정면의 각도, 공진주파수 일치율의 용이성, 차동으로 검출할 수 있는가 등을 고려하여 단면 모양으로는 정삼각형을 채택하였다.

기존의 가진과 측정방식에 대한 분석에 의해 새로운 가진과 측정방식을 구현하였다. 기존의 가장 널리 사용되는 방식인 2개의 가진과 측정을 동시에 하는 방법은 개회로방식으로 비선형성의 원인이 되는 자이로 본체의 합진동에서의 크기와 방향과 위상의 변화를 보정해줄 수 없다. 따라서 본 연구에서는 진동자이로의 선형성을 향상시키기 위해 합진동의 크기와 방향을 일정하게 유지시켜 줄 수 있는 폐회로방식을 제시하고, 구현하였다. 성능평가 실험결과 본 연구에서 제시한 폐회로방식의 측정이 개회로방식에 비해 선형성이 5배 개선된 결과를 보였다.

참고문헌

- (1) 정인성, 이기형, 1994, "자이로 원리를 응용한 관성센서에 의한 비행체의 안정성 향상," 대한기계학회지, 제34권, 제7호, pp. 546~557.
- (2) Jan Soderkvist, 1994, "Micromachined Gyroscopes," *Sensors and Actuators A*, Vol. 43, pp. 65~71.
- (3) Barnaby, R. E., Chatterton, J. B. and Gerning, F.H., 1953, "General Theory and Operational Characteristics of the Gyrotron Angular Rate Tachometer," *Aeronaut. Eng. Rev.*, Vol. 12, No. 11, pp. 31~36.
- (4) Gate, W.D., 1968, "Vibrating Angular Rate Sensor May Threaten the Gyroscopes," *Electronics*, Vol. 41, No. 10, pp. 130~134.
- (5) Jan Soderkvist, 1991, "Piezoelectric Beams and Vibrating Angular Rate Sensors," *IEEE Trans on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 38, No. 3, pp. 271~280.
- (6) 정준영, 1994, "자율이동체의 위치인식을 위하여 적용된 자이로스코프의 오차보정에 관한 연구," *The 5th Conf on Sensor Technology*, pp. 370~377.
- (7) Lee, C. K., 1990, "Theory of Laminated Piezoelectric Plates for the Design of Distributed Sensors/Actuators-Part I: Governing Equations and Reciprocal Relationships," *J. Acoust. Soc. Am.*, 87(3), pp. 1144~1158.
- (8) Takeshi Nakamura, 1990, "Vibration Gyroscope Employs Piezoelectric Vibrator," *JEE*, pp. 99~104.