

## 압전세라믹을 이용한 2축형 회전센서 개발

### Development of a Dual Axial Gyroscope with Piezoelectric Ceramics

류 혜 옥\*, 이 영 진\*, 노 용 래\*\*  
(Hyeok Ryoo\*, Youngjin Lee\*, Yongrae Roh\*\*)

#### 요 약

압전 회전센서(Piezoelectric Gyroscope)는 물체의 회전속도를 감지하기 위한 센서로서 압전효과를 이용해 코리올리스 힘(Coriolis Force)을 측정하는 센서이다. 기존에 사용되고 있는 압전 회전센서는 1축형이 주종을 이루고 있는데 비하여 본 연구에서는 한 차원 발전된 2축형의 회전센서를 고안, 제작하였다. 이러한 새로운 구조에 대한 검토 및 고찰을 위해 유한요소법(Finite Element Method)을 통한 동적 해석을 실시하여 구조의 타당성을 검증하고 각 설계인자 변화에 따른 센서의 특성변화를 조사하였다. 또한 그 결과를 토대로 직접 회전센서를 제작하여 그 성능을 평가, 비교하였다. 나아가 센서의 특성평가를 위한 회전 시뮬레이터를 구성한 후 정량적인 실험을 통해 제작된 센서의 반응을 조사하였으며, 그 결과 본 논문에서 개발된 2축형 센서는 두 방향의 회전력에 대한 우수한 변별도 및 감도를 나타내어 새로운 형태의 회전 센서로서의 사용가능성을 확인할 수 있었다.

#### ABSTRACT

Piezoelectric gyroscopes are the devices to measure angular rotational velocity of a system with respect to an inertial frame of reference means of the Coriolis principle. Most of current piezoelectric gyroscopes detect rotational velocity about a single axis of rotation. This paper describes development of a new dual axial gyroscope made out of the piezoelectric ceramic, PZT, which can overcome the limitation of the current single axial type. The validity of the new structure is checked through finite element analysis. Based on the design, an experimental sample of the sensor is fabricated and its performance is discussed in comparison with the theoretical expectation. The results show that the present gyroscope is capable of measuring the rotational velocity over two orthogonal axes simultaneously with good enough sensitivity and distinction between the two axial components of the rotation.

#### 1. 서 론

1852년 Leon Foucault에 의해 처음으로 발명된 회전센서(Gyroscope)는 관성체의 기준 축에 대한 회전각을 측정하는 장치로서 항공기와 미사일, 자동항법장치 등에 널리 사용되어져 왔다. 이러한 회전센서의 형태는 회전하는 휠에 작용하는 토크를 측정하는 원리를 이용하였다. 이와 같이 기계적 운동을 이용하여 회전각을 감지하는 원리를 이용한 회전센서는 로터 및 베어링이 필요하며 또한 기계적 마모 및 충격에 약한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 광학, 레이저, 초음파, 압전재료 등 여러 가지 형태로 변형된 회전센서가 등장하였다. 특히 압전재료를 사용한 회전센서는 원리는 다른 종류들과 대동소이하지만 작은 크기의 압전소자를 사용

함으로써 별도의 기구적 도움 없이 외부 회전력을 직접 측정할 수 있다는 장점과 생산단가가 저렴하여 대량생산에 적합한 특성으로 인해 현재까지 많은 연구와 실용화가 이루어져 왔다[1].

전동형 회전센서가 처음으로 만들어진 것은 1950년 영국의 Sperry Gyroscope 사에서 만든 금속 튜닝포크(tuning fork)형태의 "Gyrotron"이며[2], 전자기력을 이용하여 지구의 자전속도를 측정할 수 있는 장치였다. 이러한 전자기력의 응용을 압전특성으로 대체한 것이 1960년대에 와서 General Electric 사에서 제작한 "VYRO"가 그 효시다[3]. 이후 1980년대에 이르러, Watson Ind.에서는 PZT 세라믹을 사용하였으며, PTI/Syston Donner사 및 Soderkvist는 단결정 quartz를 사용하여 회전센서를 제작하는 등 많은 발전을 이루었다[4]. 근래에 접어들어 압전재료를 이용하여 상용화되고 있는 제품으로서, 삼각 프리즘 형태에 압전소자를 부착하여 만든 Murata사의 GYRO-STAR가 있고[5], 원동형 형태에 압전물질을 스크린 프린

\*경북대학교 센서공학과

\*\*경북대학교 전자공학과/센서공학과

접수일자: 1997년 5월 9일

닝 기법을 이용하여 부착한 Tokin사의 CERAMICGYRO[6], Matsushita사의 튜닝포크(Tuning fork)형태의 회전센서 등이 있다[7]. 이러한 회전 센서들은 대부분 캡코더의 손 떨림으로 의한 화면의 떨림 보상 장치에 주로 사용되고 있다.

이렇게 제품화 되어 사용되고 있는 압전 회전센서들은 뛰어난 감도를 가지는 장점을 가지고 있으나 외부 회전력 중 특정한 한 축에 대해서만 회전 성분을 감지하는 1축형 센서이며 만약 감지축 이외의 다른 축에 대한 회전 성분을 얻고자 할 경우 추가적인 센서를 사용하여 측정해야 한다. 또한 이러한 센서들은 내부구조상 압전소자들간의 공진주파수를 정확하게 맞추어 배열하여야 하는 정밀작업이 요구되며, 이것은 센서부를 구동하는 회로단에서 이에 상응하는 피드백 형태의 발진회로를 구성해야 하는 문제점을 가진다.

본 연구에서는 이러한 1축형의 문제점을 개선하여, 하나의 소자로서 2축 방향의 회전력을 모두 감지할 수 있는 회전센서를 개발하였다. 코리올리스 원리를 이용하는 센서 구조를 설계한 후, 그 모델에 대한 타당성을 유한요소 해석을 통하여 검증하였으며, 나아가 센서의 형태와 물성변화에 따른 반응특성을 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 최적화된 센서구조를 결정하였다. 설계에 따른 최적구조에 따라 직접 센서를 제작하고 이를 구동할 수 있는 회로 모듈을 설계, 제작하여 실험적 검증을 거쳤으며 회전모터로 구성된 시뮬레이터를 이용하여 외부회전력에 대한 본 센서의 반응성을 평가함으로써 센서의 감도 및 회전방향에 대한 변별도를 정량화 하였다. 2장에서는 개발된 센서의 구조를, 그리고 3장과 4장에서는 유한요소 해석과 실험결과를 각각 설명한다.

## II. 2축형 압전 회전센서의 구조설계

새로 고안된 2축형 압전 회전센서는 코리올리스 힘의 원리를 이용한다. 코리올리스 힘은 관성계 내에서 회전 운동을 하는 물체를 기술하는 운동방정식과 뉴턴의 운동방정식으로부터 유도된다[8]. 코리올리스 힘은 각속도와 선속도로 이루어지는 평면에 수직인 방향으로 나타나며 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$F = 2mW \times v \quad (1)$$

이때  $m$ 은 질량이고,  $W$ 는 각속도,  $v$ 는 선속도를 나타낸다. 이 관계식으로부터 우리가 측정하고자 하는 각속도  $W$ 는, 일정한 값의 질량  $m$ 과 선속도  $v$ 하에서는, 코리올리스 힘  $F$ 에 선형 비례한다. 따라서 코리올리스 힘  $F$ 를 측정함으로써 각속도  $W$ 를 구할 수 있다.

본 센서에서는 이 원리에 입각하여 2축형 회전센서를 설계하였다. 압전재료는 외부에서 전기신호를 가하면 그에 따른 진동에 의한 선속도를 발생시키고, 반대로 외부

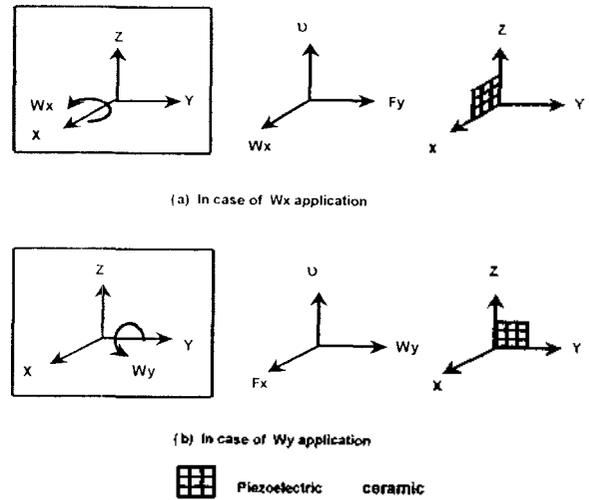


Fig. 1. Operation principle of the dual axial piezoelectric gyroscope

에서 기계적 힘을 가하면 그에 따른 전기적 신호를 발생시킬 수 있다. 따라서 이러한 원리를 이용하여 먼저 코리올리스 힘의 구성 요소 중 선속도를 가하는 방향을 Z축으로 선택하여 선속도  $v$ 를 발생시키는 역할을 하는 압전소자를 Z축 방향으로 배치하였다. 선속도 방향을 Z축으로 선택한 경우에 각속도의 방향은 X축 또는 Y축으로 정해진다. 이때 그림 1의 (a)에 나타난 것과 같이 X축을 중심으로 하는  $W_x$ 가 가해질 경우, 선속도  $v_2$ 와 작용, 벡터적으로 나타나는 코리올리스 힘  $F$ 의 방향은 Y축 방향이 된다. 이 경우 Y축 방향에 수직인 평면인 X-Z 평면에 압전소자를 배치시켜 이 때의 코리올리스 힘,  $F_y$ 를 감지하게 한다. 반대로 그림 1의 (b)에서는 Y축을 중심으로 하는  $W_y$ 가 가해질 경우, 선속도  $v_2$ 와 반응하면, X축 방향의 코리올리스 힘  $F_x$ 을 만들게 된다. 이 힘은 X축 방향과 수직인 평면인 Y-Z 평면에 압전소자를 배치시킴으로써 이 때의 힘을 감지할 수 있게 된다.

이러한 방식으로 한 방향의 선속도에 두방향의 각속도를 동시에 적용시킴으로써, 두방향의 코리올리스 힘이 나오게 되며, 각 방향에 대한 압전소자를 배치시켜 두방향의 각속도를 모두 감지하게 하였다. X축 및 Y축에 배치된 압전소자는 직교성에 의해 서로간의 간섭효과가 미미할 것으로 추정된다. 이와 같이 설계된 센서의 구조는 그림 2에 나타내었다. 그림에서 점선으로 된 화살표는 압전소자의 분극방향을 나타내며 a, b는  $W_y$ 에 대한 코리올리스 힘을 감지하는 압전소자이고, c와 d는  $W_x$ 에 대한 감지소자(detector)이다. e는 접지를 위한 금속판이고, f는 센서에 Z 방향의 선속도를 주는 역할을 하는 구동용 압전소자(exciter)이다. g는 본 센서의 지지대 역할을 하는 베이스로서 접지용 금속판과 같은 재질을 사용하였다. T는 감지소자의 두께를 나타내며, L은 감지소자의 길이이고, H는 감지소자의 높이를 나타낸다.

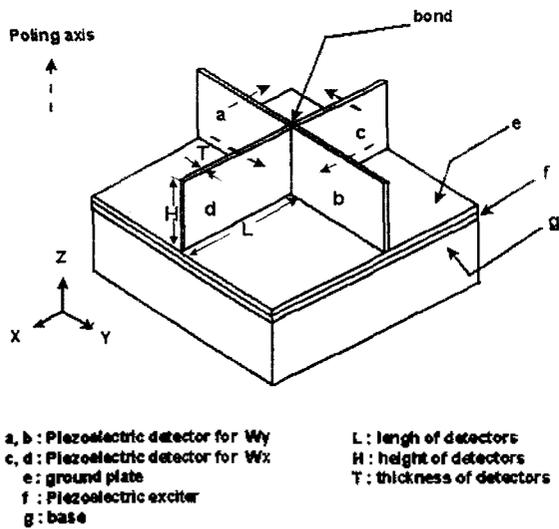


Fig. 2. Schematic structure of the dual axis piezoelectric gyroscope

압전재료는 재료자체의 성질에 의해 압전특성과 더불어 초전특성도 항상 같이 나타난다[9]. 초전특성에 의한 신호는 본 센서에서 원하지 않는 잡음 성분으로서 나타나기 때문에 이에 대한 보상이 필요하다. 이러한 초전효과와 보상을 위해 본 센서는 그림 2에서 보이듯 각 코리올리스 힘 감지방향에 대해 분극 방향을 반대로 처리한 감지소자를 쌍으로 배치시킨 구조를 취하였다. 예로,  $W_y$ 의 가속도가 인가될 경우에 코리올리스 힘  $F_x$ 가 발생하게 되고, 따라서 감지소자 a 에서는 출력전압  $V_a$ 가, b 에서는 출력전압  $V_b$ 가 발생한다. 이때  $V_a$ 와  $V_b$ 는 초전특성에 의한  $V_{pyro}$ 와  $F_x$ 에 의한  $V_{piezo}$ 로 구성이 되는데,  $V_{pyro}$ 는 두 소자에 동일한 크기로 나타나는 반면,  $V_{piezo}$ 는 분극방향이 서로 반대이므로 양과 음의 신호로 구분되어 발생한다. 이를 식으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} V_a &= V_{piezo} + V_{pyro} \\ V_b &= -V_{piezo} + V_{pyro} \\ dV_{ab} &= V_a - V_b = 2 V_{piezo} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 두 출력간의 차이 즉,  $dV_{ab}$ 는 순수하게 압전효과만을 반영한 출력값이고, 이는  $F_x$ 에 비례하는 출력전압을 나타낸다.

### III. 유한요소 해석 및 최적구조 선정

고안된 모델의 타당성 검증 및 구조의 최적화를 위해 유한요소해석을 수행하였다. 상용 해석 도구인 ANSYS 5.3을 이용하여 본 센서를 모델링 하였으며 그 모델을 그림 3에 나타내었다.

먼저 회전속도에 대한 센서의 반응을 알아보기 위한 Transient 해석을 실시하였다. 그림 2의 구동소자에 임의

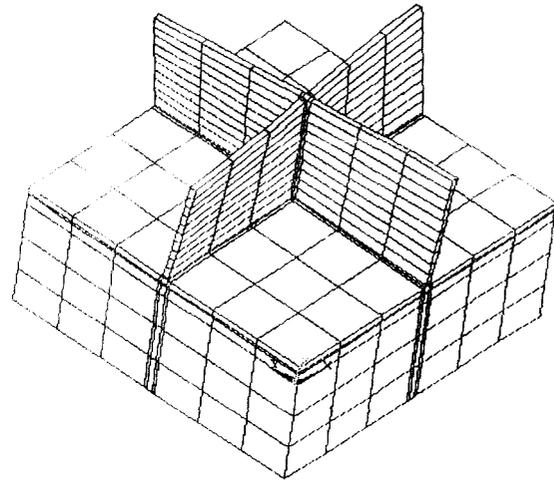


Fig. 3. The mesh configuration of the dual axial gyroscope

의 가진주파수 1kHz의 정현파를 인가하여 Z방향의 선속도  $v_z$ 를 발생시켰다. 선속도  $v_z$ 가 발생된 상태에서 그림 4에 나타난 임의의 구간  $t_1 \sim t_2$  동안에는 회전속도  $W_y$ 가 인가된 상태이고 그 외 구간동안은 외부 회전력이 전혀 없는 상태를 만들어서 시뮬레이션을 실시한 결과, 그림 4와 같이 회전력이 없는 구간동안은 각각의 회전속도에 대한 출력을 나타내는  $dV_{ab}$ ,  $dV_{cd}$  모두 반응을 보이지 않았으나, 회전력이 있는 구간에서는  $dV_{ab}$ 은 크게,  $dV_{cd}$ 는 작게 반응하였다. 여기서  $dV_{ab}$ 는 식 (2)와 같이  $W_y$ 에 비례하여 소자 a와 b에 나타난 출력전압의 차를 의미하고,  $dV_{cd}$ 는  $W_x$ 에 의해 소자 c와 d에 나타나는 출력전압의 차를 나타낸다. 원칙적으로  $dV_{cd}$ 는 전혀 나타나지 않아야 한다. 그러나, 그림 2에 보인 바와 같이 4개의 감지소자들은 바닥의 접지금속판과 중심의 본드층에 의해 서로 견고하게 접합되어 있기 때문에 어느 정도의 상호간

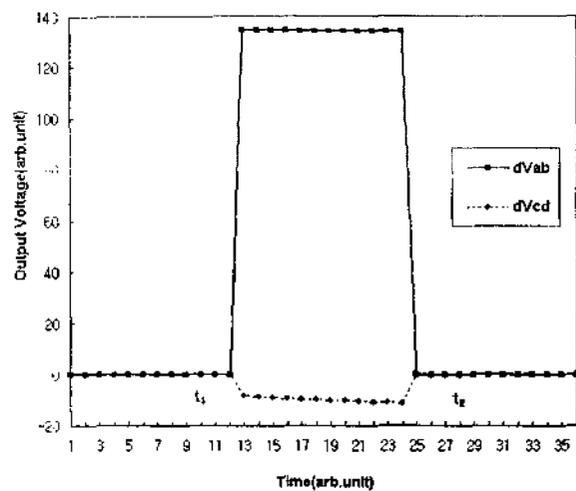


Fig. 4. Output voltage of the gyroscope with application of external rotational velocity (theoretical result)

쉽은 불가피하다. 그러나, 그 간섭 정도는 그림 4에 나타난 것처럼 측정값에 비해 매우 작으므로 충분한 S/N비를 확보하고 있어서 센서의 충실한 작동에는 문제가 되지 않음을 알 수 있다. 또한 외부 각속도  $\omega_v$ 를 1Hz에서 5Hz 까지 변화시키면서 감지소자에서 발생하는 출력전압의 특성을 해석하였다. 그 결과 그림 5에서 나타난 것과 같이 Y축의 회전속도를 감지하는 a, b 소자에서 발생된 전압의 차는 회전 속도의 크기에 비례하여 선형적으로 증가함을 보였다.

다음으로는 센서 구조의 최적화를 위해 여러 가지 변수 중 큰 영향을 미치는 변수를 선정한 다음, 그 변수에 따른 센서의 반응도를 해석하였다. 이 때 센서의 반응도란 각 조건들을 변화시켰을 때 감지소자에서 나타나는 출력전압의 변화를 나타내는데 첫 번째로 센서의 주를 이루는 압전세라믹의 종류를 바꾸어 가며 각 물성에 대한 센서의 반응도를 알아보고, 두 번째로 센서의 감도를 좌우하는 감지용 압전소자의 두께(T) 변화에 따른 반응도를 알아보았다. 그리고 감지소자의 높이(H)와 길이(L)의 변화에 따른 반응도와 센서의 기본 공진주파수의 변화를 알아보았다. 각 요소들의 변화조건을 표 1에 나타내었다.

각각의 변수들에 대한 해석에서는 센서에  $\omega_v$ 를 인가 하였을 때의 경우를 나타내며, 해석에 사용된 각 세라믹들의 물성은 참고문헌 [10]에서 이용하였다. 해석 결과 압전세라믹 PZT5A에 의한 센서의 반응도가 가장 높았고(그림 6). 감지소자의 두께는 두꺼울수록 센서의 반응성이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다(그림 7). 그러나 0.2mm이상부터 반응성이 증가함에 따라 잡음도 함께 증가하는 것을 보이고 있다. 감지소자의 높이는 될수록 좋으나, 길이에 대한 반응은 높이의 변화만큼 큰 차이를 나타내는 변수가 아니었음을 알 수 있었다(그림 8).

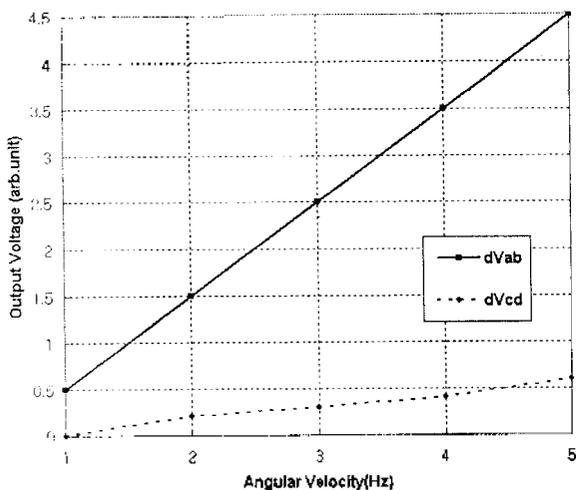


Fig. 5. Rotational velocity vs. output voltage (theoretical result)

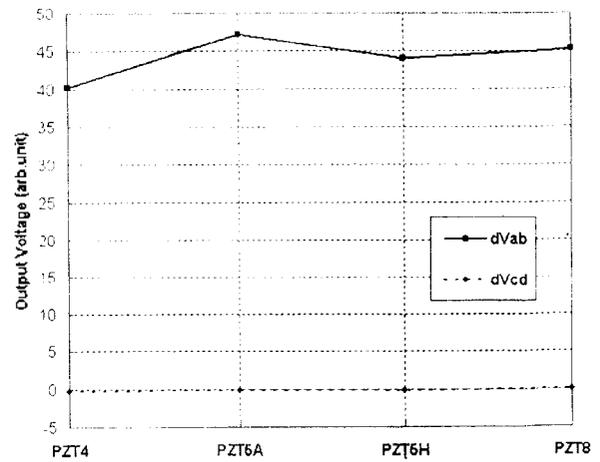


Fig. 6. Gyroscope output voltage for various kinds of PZT ceramics

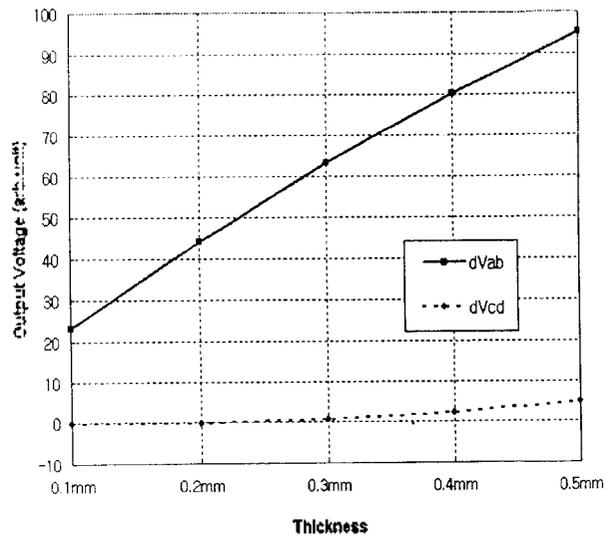


Fig. 7. Relationship between gyroscope output voltage and thickness of the detector

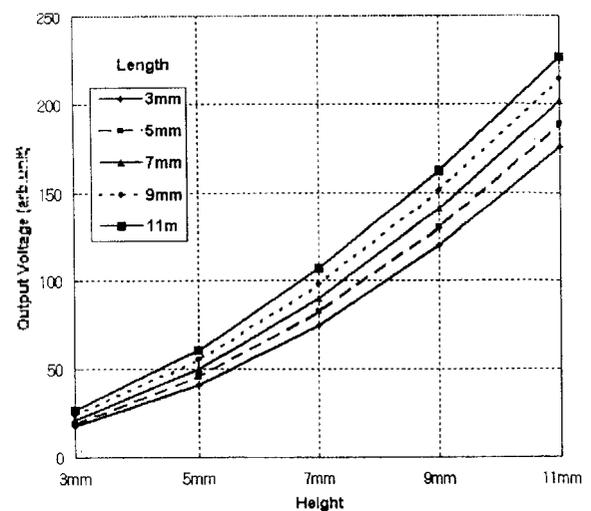


Fig. 8. Relationship between gyroscope output voltage (dVab) and height & length of the detector

Table 1. Design factors for structural optimization of the gyroscope

Design factors	Values
Piezoelectric ceramic	PZT4, PZT5A, PZT5H, PZT8
Thickness of the detector	0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm
Height H and length L of the detector	3mm, 5mm, 7mm, 9mm, 11mm

모드해석 결과, 감지소자의 각각의 크기에 대한 센서의 기본 공진주파수는 그림 9와 같이 나타났다. 센서의 크기가 커질수록 1차 공진주파수가 지수 함수적으로 낮아짐을 알 수 있었다.

이상과 같은 시뮬레이션 결과로부터 2축형 회전 센서는 크기가 클수록 출력도 크게 나올 것을 예상할 수 있다. 그러나 공진주파수의 저하를 초래하며 이것은 곧 사용주파수 대역의 제한을 초래하는 결과를 가져온다. 또한 실질적으로 회전 센서는 다른 부품들과 함께 시스템을 구성하기 때문에 센서의 규격은 무한정 클 수 없고 공간상의 제한을 받을 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 회전 센서를 제작하기 위해서 회전 센서의 사용 주파수 대역을 1 kHz까지로 제한하였다. 회전센서와 같은 비공진형 센서의 경우, 작동주파수는 기본 공진주파수의 20~30%로 설정함으로써 충분히 평탄한 응답특성을 확보함이 일반적임을 고려하면 이 경우에는 기본 공진주파수가 최소한 4kHz 이상이며 이 조건을 만족시키는 범위 내에서 센서가 최대의 크기를 가져야함을 뜻한다. 이러한 조건에 의해 센서의 규격은 그림 7, 8, 9로부터 감지소자의 크기는 5mm × 5mm, 압전세라믹 소자는 PZT5A, 두께는 얇음이 거의 발생하지 않는 0.2mm로 결정하였다. 만약 주어진 조건, 즉 사용 주파수 대역 등이 달라진다면 센서 규격도 그에 따라 달라질 것이다.

#### IV. 실험

##### 1. 센서의 제작 및 임피던스 측정

유한요소해석의 결과를 토대로 하여 센서를 직접 제작하였다. 먼저 그림 2에서와 같이 지지대(g) 위에 구동용 압전소자(f), 접지판(e)을 각각 순서대로 도전용 접착제를 사용하여 접착하였다. 그리고 접지판 위에 4개의 감지용 압전소자 a, b, c, d를 서로 직각이 되도록 배열하여 접착시켰다. 이 때 지지대와 접지판은 열팽창 계수가 작고 탄성영역이 큰 퍼멀로이(permalloy)를 사용하였고, 구동용 압전소자는 해석결과에서 나온 PZT5A로 사용하였다. 구동소자는 감지소자와 달리 액츄에이터 역할을 하기 때문에 감지소자보다 두께가 좀 더 두꺼운 0.5mm를 사용하여 강한 진동을 가할 수 있게 하였다. 또한 규격을 감지소자와 다르게 함으로써 상호 진동의 유도로 인한 잡음성분을 줄일 수 있는 장점이 있다.

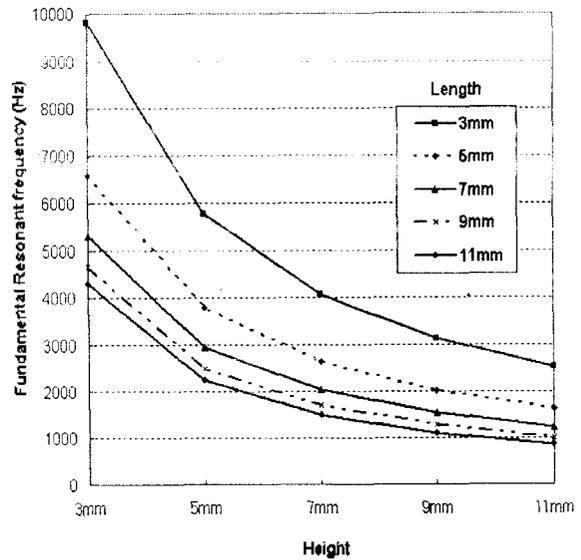


Fig. 9. Variation of the fundamental resonant frequency of the gyroscope with height & length of the detector

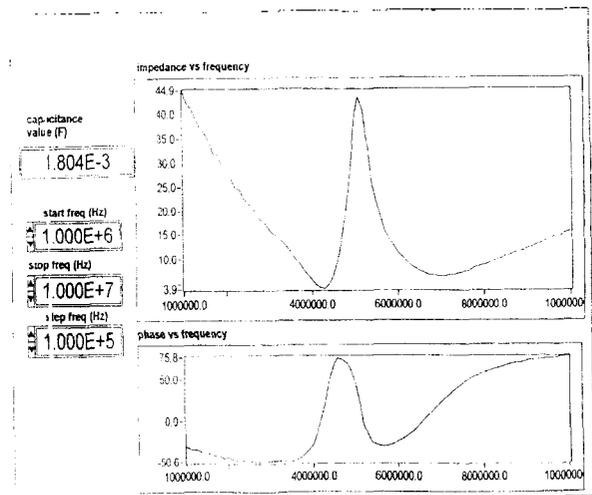


Fig. 10. The Resonant characteristics of the exciter

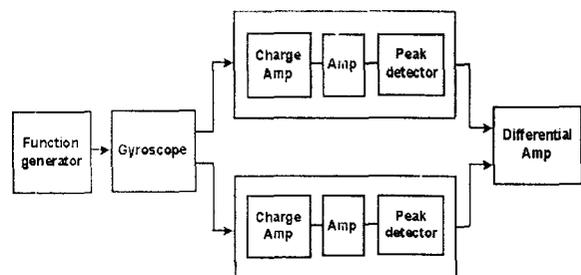


Fig. 11. Configuration of the electronic circuit for the dual axial gyroscope

제작된 센서의 주파수특성을 알아보기 위해 HP4192A 임피던스 analyzer를 이용하였다. 구동용 압전소자에 의한 공진율은 약 4.2 MHz, 그리고 감지용 압전소자에 의한 공진율은 약 7 MHz 에서 나타났다. 그림 10은 일례로 구동소자의 공진특성을 보이는 임피던스 측정결과이다. 단 감지소자를 제작함에 있어서 감지용 압전소자 4편의 임피던스 특성은 모두 같이 맞추어서, 동일한 코리올리스 힘에 대한 각 감지소자의 감도를 동일하게 맞추도록 하여 정확한 회전각을 검출해 낼 수 있도록 하였다.

2. 구동 및 검출회로

구동 및 검출회로는 그림 11에서와 같이 크게 회전 센서의 구동소자에 정현파를 인가하는 부분과 감지소자에서 발생하는 전하를 검출하는 회로부로 구성되어 있는데, 본 센서가 두 가지의 회전성분에 대해 반응하기 때문에 검출회로는 두 개의 채널로 형성하였다. 파형 발생부에서는 비안정 발진기를 이용하여 정현파를 발생시키며 주파수를 가변할 수 있도록 하여 구동용 압전체가 가지는 공진점에서 정확히 구동시킬 수 있도록 하였으며 구동압전소자에 연결되어 Z축 방향의 선속도  $\omega_z$ 를 발생시키는 데 사용된다. 외부회전력에 의한 코리올리스 힘이 발생하면 감지소자에서는 그 힘에 비례하는 전하가 발생하게 되고 이것은 전하증폭기에서 전압의 형태로 선형 변환 증폭된다. 이 때 증폭된 신호는 그 신호가 미약하므로 나시 제 2의 증폭단을 거친다. 극성이 반대로 처리된 두 개의 소자로부터 구해진 각각의 신호는 차동 증폭기 단을 거쳐 차이값을 유도함으로써 출력전압의 크기를 두 배로 높이며 또한 외부 잡음성분을 제거하게 된다.

3. 회전속도 반응특성 분석

본 연구에서 제작한 2축형 회전 센서의 반응특성 평가를 위해 그림 12와 같은 회전 시뮬레이터를 구성하였다. 컴퓨터로 회전 속도조절이 가능한 서보 모터의 중심축에 센서를 고정한 다음, 모터의 회전 속도를 변화시키면서 출력전압의 변화를 오실로스코프로 측정하였다. 그림 12와 같이 모터의 축을 회전각의 중심 축으로 잡고 센서의 구동소자 부분을 Z축 방향으로 배치시킬 경우, Y-Z 면에 배치된 감지소자(a, b)에서 코리올리스 힘에 비례하는 전압을 출력하게 된다. 그림 13에서 보이듯 두 개의 출력중에  $dV_{ab}$  신호는 크게 반응을 하고  $dV_{cd}$  신호는 상대적으로 매우 작은 크기를 보임을 알 수 있다. 실험에 사용된 센서는 기존의 상용화된 제품과 달리 실험실 제작 모델인 만큼, 패키징이 되지 않은 상태이다. 따라서 외부로부터의 전자파 차폐가 이루어지지 않았으며, 센서와 PC를 포함한 계측기 간의 연결 또한 동축선으로 이루어져서 실험중 모터가 돌아가면 동축선이 따라서 흔들리고, 이 흔들림이 다른 축 방향의 소자에 전달되는 등의 문제점들을 가지고 있다. 이러한 문제점들은 본 센서의 회로부

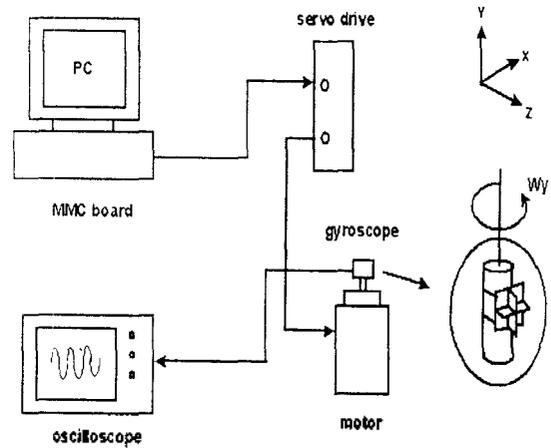


Fig 12. Schematic diagram of the experimental setup to characterize the gyroscope

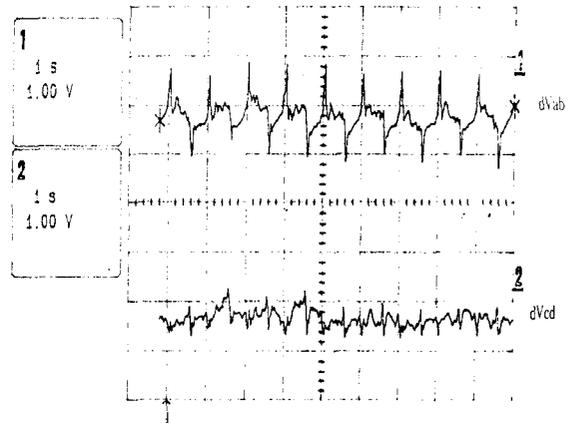


Fig. 13. Experimental response of the gyroscope when subject to rotation around one horizontal axis

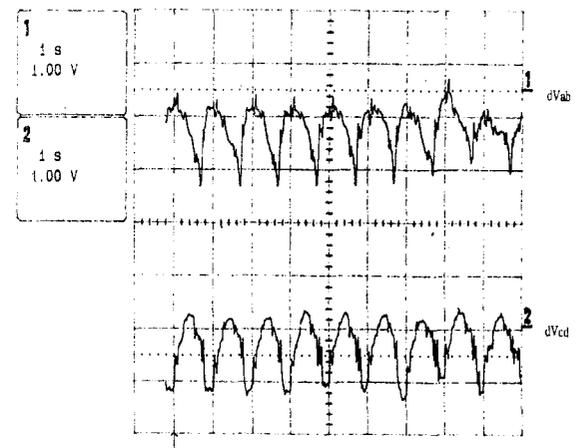


Fig. 14. Experimental response of the gyroscope when subjected to rotation inclined 45° from the vertical

가 ASIC화 되어 소자부와 일체형 패키지가 되면 자연스럽게 해결이 될 수 있는 것들이다. 그림 13에서  $dV_{cd}$ 로 나타나는 신호들은 거의 대부분 이상의 문제점들로 인해 발생된 것으로 판단된다. 그림 14에서는 회전 센서를 45° 기울여서 회전시켰을 경우를 나타내는데 두 쌍의 감지소자는 모두 반응하고 있음을 나타낸다. 또한 회전속도의 변화에 따른 실험으로부터 회전속도가 증가할수록 센서에서 나오는 출력 파형의 진폭도 커졌으며 외부회전력과 센서출력간의 관계가 그림 15에서와 같이 선형성을 나타내었다. 이것은 유한요소 해석에서의 결과인 그림 5와 동일한 경향을 보임을 알 수 있다.

이상의 실험의 결과로 볼 때 새롭게 설계, 제작된 2축형 압전 회전 센서는 설계 및 실험 결과와 같이 두 축의 회전에 대해 뛰어난 선형성을 가지는 감응성 및 우수한 변별력을 가짐을 알 수 있다.

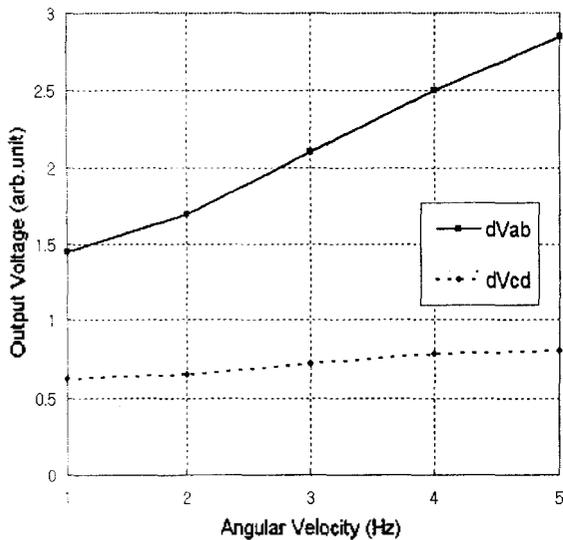


Fig. 15. Rotational velocity vs. output voltage(experimental result)

V. 결 론

기존에 사용되고 있는 압전 회전센서는 1축형이 주종을 이루고 있는데 비하여 본 연구에서는 새로운 형태의 2축형의 회전센서를 고안, 제작하였다. 코리올리스 원리를 이용하는 본 센서는 하나의 소자로서 기존의 회전센서 두 개에 해당하는 효과를 얻을 수 있다.

새로운 구조에 대한 검토 및 고찰을 위해 유한요소 해석을 통하여 센서 구조의 타당성을 검증하였고, 센서 구조의 변화에 따른 특성변화를 조사함으로써 실제 적용시 각각의 사양에 맞는 규격을 구할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 직접 센서를 제작하고, 회전센서의 특성을 평가할 수 있는 구동회로를 설계, 제작하였으며 센서의 회전속도에 대한 특성을 정량적으로 조사하였다.

회전실험 결과 각 방향의 회전력에 대해 우수한 감도를 나타내었으며 회전속도 변화에 대하여 센서의 출력은 선형적인 관계를 나타내었다. 또한 각 회전방향에 대하여 뛰어난 변별력을 나타냄으로써 새로운 2축형 압전 회전센서로서 사용성을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. J. Soderkvist, 1968, "Michromachined gyroscope," Sensors and Actuators A 43, pp. 65-71, 1968.
2. R.E. Barnaby, J.B. Chatterton and F.H.Gerring, "General Theory and Operational Characteristics of the Gyrotron angular rate tacho meter," Aeronaut. Eng. Rev.,12(11), pp. 31-36, 1953.
3. W.D. Gates, "Vibrating angular rate sensor may threaten the gyroscope," Electronics, 41(10), pp. 130-134, 1968.
4. J. Soderkvist, "A sensor element intended for a gyro," Swed. Patent No. SE 8 900 666, 1992.
5. T. Nakamura and Y. Kawai, "Designing 17mm equilateral triangular prism vibrator for piezoelectric gyroscope", Nikkei Electronics Asis, pp. 60, 1992.
6. Y. Shuta and H. Abe, "Compact Vibratory Gyroscope," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, part 1, No.5B pp. 2601-2603, 1995.
7. Matsushita Electric Industrial Co., "Angular rate sensor," U.S. Patent No.5 014 554, 1991.
8. A.P. Arya, *Introduction to Classical Mechanics*, Prentice-Hall, 1990, p.211.
9. A.J. Moulson and J.M. Herbert, *Electroceramics*, Chapman & Hall, London 1991, p.265.
10. V.M. Ristic, *Principles of Acoustic Devices*, John Wiley & Sons, 1983, p.175.

▲류 혜 옥(Hyeok Ryoo)



1993년 2월:경북대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 3월~현재:경북대학교 대학원 센서공학과 석사과정

▲이 영 진(Youngjin Lee)



1995년 2월:경북대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월:경북대학교 대학원 센서공학과(공학석사)

1997년 3월~현재:경북대학교 대학원 센서공학과 박사과정

▲노 용 래(Yongrae Roh)

한국음향학회지 15권 5호 참조