

특 집

마이크로 관성센서 기술

이 병렬

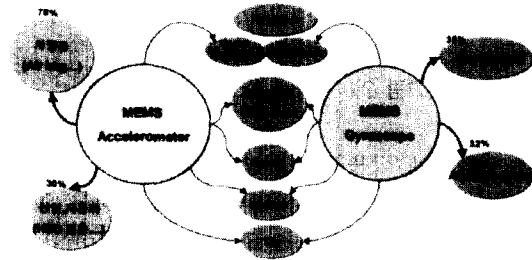
삼성 종합 기술원 MEMS Lab.

I. 서 두

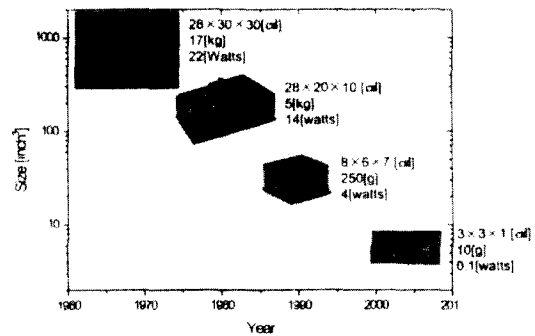
관성 센서는 항체에 부착한 상태로 인가되는 관성력을 검출하여 측정 대상인 움직이는 물체의 가속도, 속도, 방향, 거리 등 다양한 항법 관련 정보를 제공하기 위한 부품이다. 과거 선박이나 항공기 등 대형 항체의 항법을 보조하기 위한 수단으로 사용되던 고가 초정밀 부품이었으나, 현재는 미세 가공기술의 향상에 따른 반도체 일괄 제작 기술을 이용하여 다양한 저가의 관성 센서가 시장에 등장함으로써 우리의 일상생활 응용에까지 큰 변혁을 줄 것으로 예상된다. 즉 과거 군사용 항법기기 등이 주 응용 분야인 반면, 현재 및 향후에는 가상 현실용 입력 장치, 게임기, 개인용 항법 장치, 차량용 블랙박스, 웨어러블 컴퓨터의 입력수단 등 광범위한 응용분야로의 기술 발전이 예상되고 있다.

이와 같은 폭발적인 관성센서의 발전은 소형화 기술의 개발에 힘입은 바 크다 할 수 있다. 과거 초정밀 기계가공에 의한 큰 부피의 관성 센서 모듈(IMU, Inertial Measurement Unit)은 점차 축소되어 하나의 반도체 칩 형태로 발전할 것으로 전망된다. <그림 2>는 연대별로 IMU의 개발 동향을 도식화 한 것으로 크기 및 중량 그리고 소비전력이 감소하는 정도를 설명한 것이다.

관성센서는 크게 가속도계와 각속도계로 구분할 수 있으며 <그림 1>의 응용분야에서 드러나듯이 대부분 2자유도 이상의 소형 소자가 필요하다. 현재 가속도계의 경우 5×5mm 크기의 표면실장형으로 2축의 가속도를 측정할 수 있는 제품



<그림 1> 관성센서 적용 시장 (Source : Cahners In-stat Group, 2001/01)

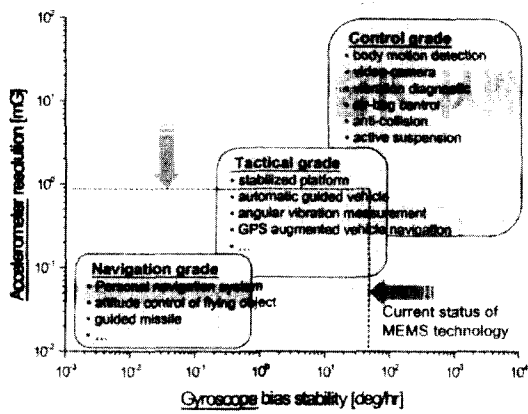


<그림 2> 관성항법 모듈의 소형화 추세

이 출시된 상황이고, Gyro의 경우 여러 업체에서 1축 측정용 제품 출시가 임박한 상황이다. 본지에서는 미세 가공 기술로 개발되고 있는 관성센서 특히 각속도 센서를 중심으로 기술개발 현황과 발전 전망에 대한 소개를 하고자 한다.

II. 관성센서 개발 현황

관성 센서는 기본적으로 인가되는 가속도에 의



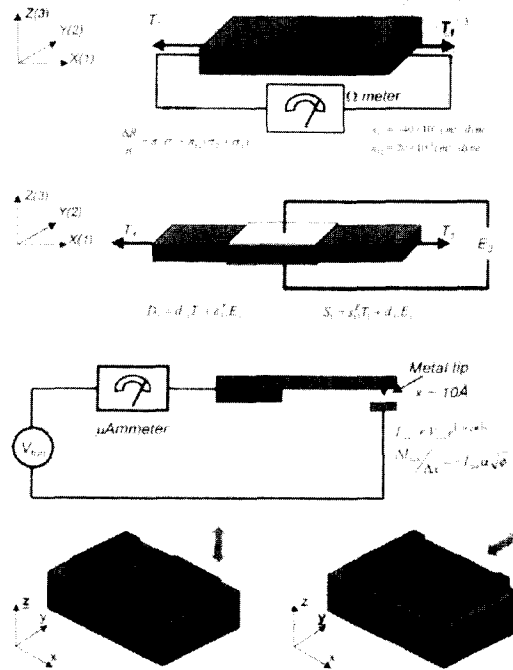
〈그림 3〉 성능별 관성 센서 분류도

해 관성체에 작용하는 관성력을 검출하는 원리를 사용하고 있다. 따라서 입력으로 작용하는 물리량은 크게 선형, 각 또는 코리올리(Coriolis) 가속도이며, 통상 선형 또는 각가속도를 검출하는 가속도계와 코리올리 가속도를 검출하는 각가속도계(Gyroscope)크게 분류된다.

관성센서는 정밀도에 따라 크게 control grade, tactical grade, navigation grade로 나눌 수 있는데, 현재는 항법용 보다는 중급 정밀도를 갖는 센서를 저가 소형화하기 위한 노력이 집중되고 있다.

1. 가속도 센서

가속도계는 동작 영역에 따라 고정밀의 분해능을 요하는 항법용 센서와 차량의 충돌 또는 현가장치로 사용되는 중급 가속도계, 그리고 수천~수만G 이상의 입력범위를 요하는 smart bomb 등 다양한 응용분야를 갖고 있다. 일반적인 가속도계의 동작 원리는 인가 가속도에 의해 현수되어 있는 관성질량에 작용하는 관성력을 검출하는 형태로, 관성력을 변환하는 방식에 따라 압전, 압저항, 용량, 터널링형, 공진형등으로 구별된다. 〈그림 4〉는 관성력 검출 방식에 따른 센서의 구분을 보인 것이다. 일반적으로 압저항형은 신호 검출은 간단하지만 온도변화에 따른 특성을 보정해야 하며, 압전형은 감도는 높지만 저역에서의 주파수 특성이 나쁜 단점이 있다. 이밖에 고성능의



〈그림 4〉 관성력 검출 방식에 따른 분류(위로부터 압저항, 압전, 터널링, 용량형 가속도계)

가속도계를 구현하기 위한 방법으로 미세한 거리 변화에 따른 전류량의 변화를 측정하는 터널링형도 있는데 현재 알려진 방법중 가장 고도의 성능을 보일 수는 있지만, 복잡한 제어가 필요하고, 충격에 매우 약하며 열화현상에 의한 특성변화가 큰 장애로 지적되고 있다.

현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 형식은 용량의 변화를 감지하는 방식으로, 이는 기생용량에 의한 감도의 저하를 막기 위한 복잡한 신호처리가 필요하지만, 제작이 간단하고, 응답성과 온도특성이 우수하며, 재평형 제어를 이용하여 비교적 균일한 성능을 얻을 수 있고 디지털 출력이 가능하다는 등의 이유로 대부분의 가속도계가 채용하고 있다. 특히 반도체 제조와 거의 유사한 일괄 공정으로 만들어 낼 수 있기 때문에 신호처리가 내장된 형태의 가속도계도 가능하다.

이처럼 반도체 제작 기술을 이용하여 가속도 센서를 제작함에 따라 가격 및 성능의 개선과 함께 소형화가 크게 진전되고 있다. 최근에는 과거

에 여러 방향의 가속도를 계측하기 위해 동일한 센서를 공간상에 배치하는 대신, 단일 기판상에 구현한 제품이 출시되어 소형화와 함께 다기능화 그리고 다양한 응용 분야로의 전개가 활성화되는 추세이다.

2. 각속도 센서

자이로스코프는 1852년 프랑스의 물리학자 Leon Foucault에 의해 발명된 이래 선박, 항공기 등의 이동체의 자세와 각속도를 검출하는 센서로서 중요한 위치를 차지하여왔다. 종래에는 검출방식이 로터를 고속 회전시켜 일정한 각운동량을 주었을 때 외부에서 가해지는 각회전력에 의해 일어나는 로터 축과 직각방향의 회전을 검출하는 기계적 자이로가 주류를 이루었고, 이의 성능 향상이나 소형화, 경량화에 치중한 연구가 진행되어 왔다.

그러나 최근 들어 기존의 기계식 자이로와는 동작원리 자체가 전혀 다른 레이저를 이용한 자이로, 진동을 이용한 자이로등 구동모터를 갖지 않는 방식이 개발되어 실용화 단계에 접어들고 있다. 이는 새로운 원리에 입각하여 초정밀 구동요소를 없애거나 간단하게 함으로써 기계식 자이로가 갖는 제작의 어려움이나 마모성, 나아가서는 성능의 한계를 극복할 수 있다는 점과 제작에 드는 비용을 대폭 절감할 수 있다는 점이 주목되어 미국을 비롯한 선진국에서는 치열한 연구경쟁이 진행되고 있다.

자이로가 이와 같이 치열한 연구경쟁이 되는

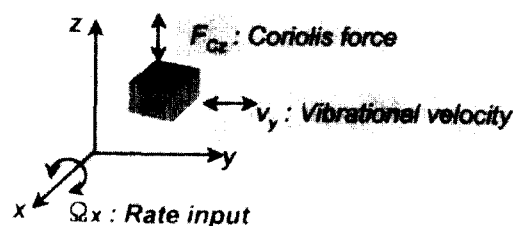
배경으로는 자이로센서에 대한 엄청난 잠재수요가 예상되고 있기 때문이다. 자이로는 항공, 선박, 우주분야는 물론 터널굴착기, 안테나 안정대, 정밀계측기와 같은 산업분야에 응용이 확대되고 있으며 최근에는 손떨림 보정용 캠코더 카메라, 3차원 마우스를 채용한 TV를 비롯한 가전제품에도 적용되는 등 수요가 급증하고있다. 또한, 자이로를 이용한 자동차 주행 안정화장치도 최근에 실용화 되는 등 우리 생활에 밀접한 다양한 응용분야가 도출되고 있는 상황이다.

이와 같은 산업/가전용 자이로는 소형, 저가격화가 필수적이며 대량생산에 적합해야 한다. 이러한 측면에서 볼 때 기계식이나 레이저방식은 성능은 뛰어난 반면, 가격이 비싸서 응용성이 낮은 이유로 구조가 간단하고 소형이며 저가격의 실리콘 진동형 자이로가 주목되어 진다. 실리콘 진동형 자이로는 성능, 입력각속도의 범위와 정밀도로 볼 때 Rate Gyro Group에 속하는 데, 동작원리는 정전기적인 힘에 의해 구조물을 진동시킨 상태에서 외부에서 각회전이 주어지면 진동과 회전방향의 직각방향에 나타나는 코리올리 힘을 검출하도록 되어있다.

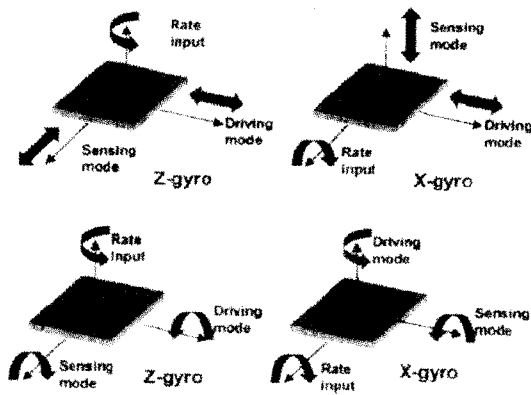
초소형 자이로도 다양한 검지 방식을 생각할 수 있는데, 앞서 기술한 가속도계와 같은 이유로 용량형이 주류를 이루고 있다. 용량형 자이로도 각속도 검출 방향이 기판에 평행한 x-Gyro(또는 y-Gyro)와 기판에 수직인 z-Gyro로 구분할 수 있으며, 응용제품의 장착위치에 따라 다양한 형태의 2축 Gyro로 확장할 수 있다. 일반적으로 단일 기판상에 일괄 제작이 가능하도록 x-Gyro 2개를 직교하게 배치하여 2축의 각속도를 검출하는 방식이 선호되고 있다.

<표 1> 사양에 따른 자이로스코프의 분류

Parameter	Rate Grade	Tactical Grade	Inertial Grade
Angle Gandom Walk, °/h	>0.5	0.5-0.05	<0.001
Bias Drift, °/h	10-1000	0.1-10	<0.01
Scale Factor Accuracy, %	0.1-1	0.01-0.1	<0.001
Full Scale Range(°/sec)	50-1000	>500	>400
Max. Shock in 1msec, g's	10 ³	10 ³ -10 ⁴	10 ³
Bandwidth, Hz	>70	-100	-100



<그림 5> 진동형 자이로의 동작 원리

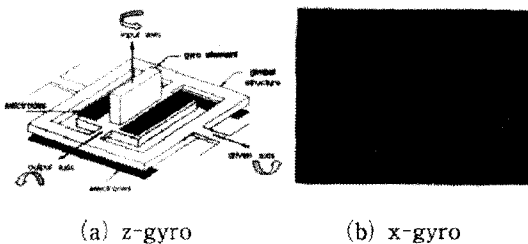


〈그림 6〉 진동 구조 방식에 따른 자이로 구분
(상: 선형 진동형, 하: 회전 진동형)

또한 진동형 자이로는 〈그림 6〉에 도시한 바와 같이 진동 구조의 배치 방식에 따라 크게 선형 진동형과 회전 진동형으로 구분할 수 있다.

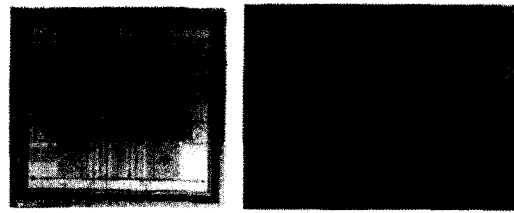
〈그림 7〉은 회전진동 Gyro의 일례를 보인 것이다. 〈그림 7(a)〉의 경우 CSDL(Charles Stark Draper Lab.)에서 1989년에 개발한 내용으로, 반도체 가공기술을 이용한 최초의 회전 진동형 z-Gyro이다. 동작 원리는 기판에 평행한 한 축을 중심으로 회전 진동 운동을 하는 상태에서 기판에 수직인 방향의 회전 각속도가 인가되면 제3의 축, 즉 내부 김블을 중심으로 코리올리 힘에 의한 운동이 발생하는 것을 이용하였다. 원리적으로 회전부 없이 진동을 이용하기 때문에 마모나 제작의 난점을 배제한 것이 특징이다. 〈그림 7(b)〉의 경우 회전 진동형이지만 입력 축이 기판에 평행한 x-Gyro를 보인 것이다.

회전형 z-Gyro의 경우 구동/진동 검출 모드가 모두 torsion beam에 의해 결정 되기 때문



(a) z-gyro (b) x-gyro

〈그림 7〉 회전 진동형 Gyro



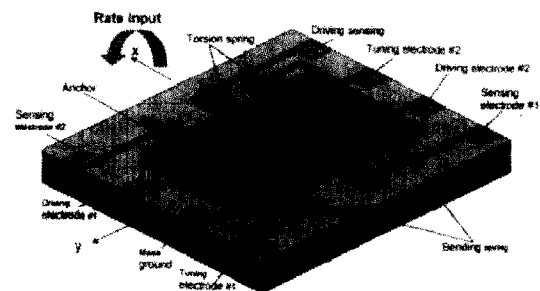
(a) z-Gyro (b) x-Gyro

〈그림 8〉 선형 진동형 Gyro

에 구조가 두꺼울 경우 두께 방향의 가공오차 영향을 적게 받는다는 장점이 있다. 이와 마찬가지로 회전형 x-Gyro의 경우는 구동은 bending, 검출은 torsion mode를 이용하게 되므로 모두 두께 방향의 가공오차에 둔감한 설계가 가능하다.

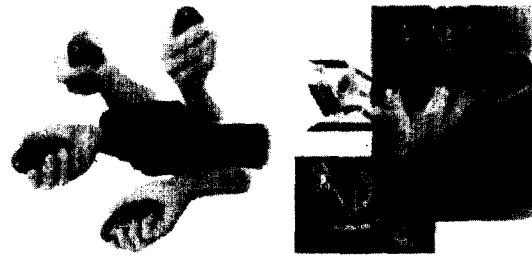
이와 반대로 선형 진동 자이로의 경우 bending beam에 의한 구동과 검출 모드를 모두 이용하지만 x-Gyro의 경우 검출 모드가 기판 수직 방향이기 때문에, 센서 성능 향상을 위해 두꺼운 구조물을 사용하는 최근의 추세에 비추어 볼 때 긴 형태의 beam 구조를 가져가야 하고 가공 오차 영향을 많이 받기 때문에 실제 구현 면에서 어려움이 있다.

전술한 난점을 극복하기 위해 선형 진동 x-Gyro의 경우 가공 오차를 고려한 최적 강건 설계에 대한 연구와 함께, 구조적으로 수직 bending mode를 사용하지 않는 진동 Gyro를 구성하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 〈그림 9〉는 선형 진동 x-Gyro의 검출 mode를 torsion으로 변형한 일례를 보인 것이다.



〈그림 9〉 torsion 검출 mode를 이용하는 선형 진동형 x-Gyro

가공 오차에 의한 특성 변화 이외에 마이크로 Gyro의 가장 큰 기술적 난제는 진공 실장 기술을 들 수 있다. 최근에는 이를 극복하기 위해 상압에서 작동하는 Gyro를 개발하려는 시도가 일부 진행되고 있으나 전체 크기와 동작 전압을 줄이기 어렵기 때문에 MEMS Gyro의 장점을 충분히 살리기에 어려움이 있다.



〈그림 11〉 3차원 마우스 및 충돌 센서 응용례

III. 향후 발전 전망

관성센서의 궁극적인 발전 방향은 외부의 도움 없이 다자유도 관성센서로 측정되는 항체의 선형 가속도와 각속도를 이용하여 항체의 위치, 속도 및 자세에 대한 정보를 계산하여 항법에 사용하는 1 chip 형태의 IMU(Inertial Measurement Unit)이다.

IMU는 앞서 〈그림 2〉에 보인 바와 같이 점차 소형화되고 있는 추세이며, 궁극적으로는 〈그림 10〉에 보인 예와 같이 단일 소자 형태로 6자유도의 관성력을 검출하는 방식으로서의 구현이 주류를 이룰 전망이다.

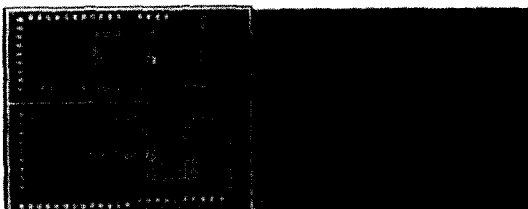
응용 분야의 확대 측면에서 살펴보면 서두에서 언급한 바와 같이 항법용으로 사용되던 관성센서는 반도체 가공기술과 접목하여 중급 성능을 가지는 초소형 핵심부품으로 응용분야가 확대되고 있다. 대표적인 예로는 차량의 에어백 작동을 결정하기 위한 충돌 감지용 가속도계와 능동형 현가장치에 이용되는 진동 측정용 가속도계를 들 수 있다. 이외에도 디지털 TV 등 internet 기능이 부가되는 가전 제품에 필요한 3D 마우스나

고배율 캠코더에서 사용자의 손떨림을 계측하여 화상을 보정하기 위한 2축 자이로스코프는 현재에도 큰 시장을 형성하고 있는 부품이다.

또한 게임기의 헤드셋에 관성센서를 장착하거나 VR용 HMD(Head mount display)사용 또는 사람의 제스처를 이용하여 정보를 입력하거나 전자 상거래용 서명 확인에 사용하는 등 인간과 기계 사이의 자연스러운 인터페이스를 통해 다양한 응용 제품군을 도출하는 방향으로 크게 발전할 것이 예상되는 분야이다.

정보통신 분야에서는 휴대전화 사용자의 현 위치를 파악할 것을 규정하고 있는 E-911 규제에 대응하기 위해 관성센서 장착이 급속히 늘어날 전망이다. 현재 휴대전화 사용자의 무선위치 확인은 GPS나 근처 기지국의 발신 정보로부터 일부 가능하지만, 정밀도나 상시 수신에 불가하다는 제약으로 인해 초소형 관성센서의 장착은 불가피할 것으로 예상된다.

또한 소형의 비행체를 이용 무인으로 근거리를 정찰하기 위한 MAV(Micro Ariel Vehicle) 등에 장착하기 위한 소형화 및 저전력화에 대한 연구도 활발히 전개되는 중이다.



〈그림 10〉 단일 기관형 Micro IMU

IV. 결 언

기존에 사용되던 고가의 초정밀 관성센서는 반도체 가공기술의 발달과 함께 저가 소형 핵심부품으로 일상에서의 이용이 날로 증가하고 있다.

현재까지 형성된 응용 분야 외에도 다양한 정보를 요하는 고도의 첨단 사회에서는 보다 작고 정밀한 관성센서에 대한 요구가 늘어날 것이다. 현재의 추이로 볼 때 이러한 관성센서를 이용한 다양한 응용제품의 소형화와 다기능화는 인간의 일상에 큰 혜택을 줄 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] "U.S. MEMS-Based Inertial Sensor Markets" in *FROST & Sullivan Report*, 1998
- [2] "A market analysis for microsystem," in *NEXUS task force report*, October 1998
- [3] "Microstructures and Microsystem technology applications and Market 1997-2002" in *Microsystems Industry Report*, 1999
- [4] N. Yazdi, F. Ayazi, K. Najafi, "Micromachined inertial sensors," *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 8, August 1998.
- [5] C. Song, B. Ha, and S. Lee, "Micromachined inertial sensors," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, Kyungju, Korea, 1999, pp. 1049-1056.
- [6] R. Hulsing, "MEMS inertial rate and acceleration sensor," *IEEE AES Systems Magazine*, pp. 17-23, November 1998.
- [7] N. Barbour and G. Schmidt, "Inertial sensors technology trends," in *Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS'98)*, Heidelberg, Germany, February 1998, pp. 55-62.
- [8] D. J. Murphy, "Characteristics of a small low cost inertial measurement unit," in *Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS'98)*, Heidelberg, Germany, February 1998, pp. 75-87.
- [9] M. Weinberg, J. Connelly, A. Kourepenis, and D. Sargent, "Microelectromechanical instrument and systems development at the Charles Stark Draper Laboratory, INC.," in *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference (16th DASC.)*, vol.2, pp. 33-40, 1997.
- [10] N. Barbour, E. Brown, J. Connelly, and J. Dowdie, G. Brand, J. Nelson, and J. O'Bannon, "Micromachined inertial sensors for vehicles," in *Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS'98)*, Heidelberg, Germany, February 1998, pp. 1058-1063.

저 자 소개



李秉烈

1966년생, 1989년 한양대학교 전자공학과 학사, 1991년 한국과학기술원 전기전자과 석사, 1991~현재 : 삼성종합기술원 재직 MEMS Inertial Sensor 개발 업무 담당, 1998~현재 : 서울대학교 전기공학부 박사과정 재학, <주관심 분야 : 마이크로 시스템 설계, 마이크로 머시닝, 센서 인터페이스 개발>