

## 반도체 게이지를 이용한 360° 방향의 트랜스듀서 개발

김민석\*, 송후근, 이정태 (한국표준과학연구원)  
김성배, 이명훈 (주) 성진테크윈

### Development of a Transducer for Cursor Control by use of Semiconductor Strain Gages

M.S. Kim, H.K. Song, J.T. Lee (Div. of Phys. Metrology. KRIS),  
S.B. Kim, M.H. Lee (SungJin Techwin Ltd.)

#### ABSTRACT

Transducers, which are incorporated in control devices for fixed wing aircraft, land vehicles, and weapon systems were designed and manufactured by use of semiconductor strain gages. These transducers consist of three parts; flange mounts, sensing rods, and semiconductor strain gages. In this investigation, we designed cylindrical sensing rods with high sensitivity and developed installation procedures of semiconductor strain gages. The semiconductor strain gage has high gage factor such that it can produce high resistance change in spite of low strain, but it is so small and fragile that one should handle carefully and sophisticated installation method is needed for good performances. The prototype transducers are manufactured, and then tested about three important factors: sensitivity, linearity, and hysteresis. We got results of 0.084 V/N sensitivity, 0.2% nonlinearity, and 0.5% hysteresis.

**Key Words** : English Key Word: Transducer (트랜스듀서), Semiconductor strain gage (반도체 게이지), 이력 현상 (Hysteresis)

#### 1. 서론

360° 방향의 트랜스듀서란 일반적으로 조종간에 장착되어 노트북에 장착된 트랙-볼 마우스처럼 손가락의 움직임을 전기적 신호로 변화시켜 스크린상의 커서를 움직이게 하는 장치를 말한다(그림 1)<sup>(1)</sup>. 이 장치의 응용범위에는 항공기 비행 조종, 육상 차량의 운전, 커서 조종, 표적 포착, 터렛(turret) 또는 무기의 위치제어, 망원경 또는 레이더 조준 및 항공 관제 장치센서를 포함하며 이러한 군 장비 이외에도 최근 비행 시뮬레이터와 게임용 조이스틱에도 사용되는 추세이다. 세계적으로 몇몇 업체가 생산하고 있으나 군용으로 사용될 수 있기 때문에 수출 제한 품목으로 지정되어 수입하기도 어려울 뿐더러 매우 고가이다. 최근 국산 고등 훈련기 (T-50) 개발과 관련하여 항공우주 관련 부품의 국산화에 대한 요구가 증가하고 있으며 게임 산업 및 시뮬레이터 시장이 커짐에 따라 트랜스듀서의 개발은 필수라고 할 수 있다.

이러한 요구에 대응하기 위해 한국표준과학연구원은 20 여년간 축적된 로드셀 설계 및 제작 기술을 바탕으로 성진테크윈(주)와 함께 트랜스듀서를 개발하게 되었다.

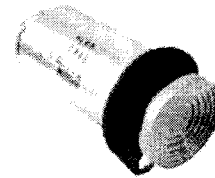


Fig. 1 A commercialized miniature transducer

소형 트랜스듀서는 기본적으로 손가락의 힘을 원형 빔의 끝에 전달하고 이로 인해 발생하는 원형 빔의 변형량을 반도체 스트레인 게이지를 이용하여 변형량에 비례하는 전압으로 변환하여 손가락의 움

직임을 감지하는 원리를 가지고 있다. 트랜스듀서의 성능을 좌우하는 것은 원형 빔과 거기에 부착된 반도체 게이지로 이루어진 감지부인데, 본 연구에서는 원형 빔의 설계 및 제작 그리고 반도체 게이지의 장착 방법을 개발하고 제작된 트랜스듀서를 평가하였다.

## 2. 소형 트랜스듀서의 설계 및 제작

그림 2 는 제작된 시제품을 나타낸다. 서론에서 설명하였듯이 소형 트랜스듀서는 원형 빔과 반도체 게이지로 이루어진 감지부와 감지부를 보호하고 엄지손가락의 힘을 원형 빔에 전달하는 마운트로 구성되어 있다.

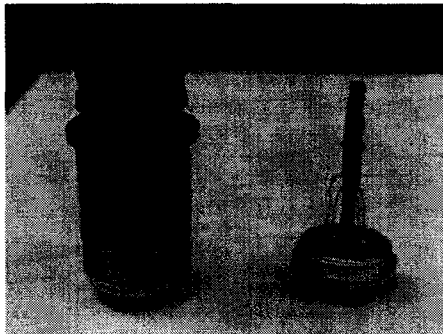


Fig. 2 A prototype miniature transducers. The right one showing the inside of a miniature transducer

### 2.1 원형 빔의 설계 및 제작

원형 빔은 손가락의 힘에 의해 변형을 일으키는 부분으로 원형 빔의 끝부분은 손가락이 닿는 손잡이 부분과 연결이 되어 있어 손가락에 힘을 주어 손잡이를 밀면 빔의 끝단은 전단력을 받으므로 빔은 휘게 된다. 빔의 스프링 상수를 끝단에 가해진 전단력의 크기와 끝단의 변형량으로 정의할 때, 스프링 상수가 지나치게 크면 손가락에 힘을 주어도 끝단이 움직이는 느낌이 나지 않으므로 더 큰 힘을 가하게 되어 장시간 사용 시 손가락에 피로가 올 수 있다. 실제로 조종사들은 작은 힘을 가해도 많이 움직이는 느낌이 나는 트랜스듀서를 선호하고 있다. 하지만 스프링 상수를 너무 작게 할 경우, 빔의 고정단에서 소성변형이 일어날 수 있으므로 주의해야 한다. 본 연구에서는 빔의 끝단에 가해지는 최대 힘이 15 N일 때, 끝단의 변형량이 약 1.2 mm 정도 되도록 (빔의 스프링상수 12500 N/m 에 해당) 빔의 형상을 설계하였다. 그림 3 은 빔의 형상을 나타낸다. 기본적으로 빔은 지름이 다른 여러 개의

원형 단면으로 이루어져 있으며 게이지가 부착되는 부분의 단면은 정팔각형인데 이는 게이지 부착을 편리하게 하기 위해서 이다. 원형으로 할 경우 게이지 부착면에 굴곡이 있으므로 게이지가 표면에 밀착되어 붙기 어렵다.

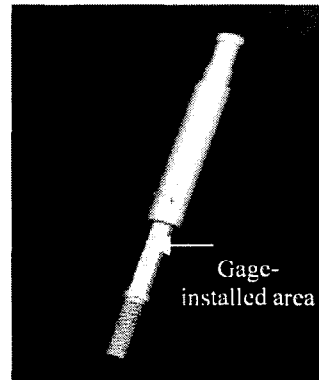


Fig. 3 Shape of a sensing rod. A cross section of the gage-installed area is a regular octagon in shape

빔의 형상뿐만 아니라 재료선정도 매우 중요하다. 최대 하중을 빔에 가하더라도 하중 제거 후에는 제자리로 돌아올 만큼 탄성을 가지고 있어야 하며, 장기간에 걸쳐 반복적으로 하중을 받으므로 피로특성 또한 우수해야 한다. 이러한 요구를 만족하기 위하여 빔의 재료로는 탄성계수에 대한 항복응력의 비가 높은 재료가 바람직하며<sup>2)</sup>, 스프링강, 티탄합금, 베릴리움동 등을 고려할 수 있으나, 본 연구에서는 스프링 재료로 널리 사용되며, 국내에서도 구하기 쉬우며, 가공 후 경화처리도 용이한 고강도 베릴리움동(C17200 HRc 40~42)을 사용하기로 하였다.

## 3. 반도체 게이지의 부착

반도체 게이지는 실리콘에 붕소를 약간 주입하여 만든 저항체로 게이지 계수(gage factor)가 약 100 ~ 200 사이의 값을 갖는다. 따라서 작은 변형량에 대해 높은 출력을 낼 수 있지만 얇은 필름 형태에 정밀 스트레인 게이지에 비하여 온도 특성, 선형성 등이 떨어져 정밀 로드셀 제작에는 일반적으로 쓰이지 않는다. 반면 반도체 게이지의 크기가 2 mm × 1.2 mm 정도이어서 접촉면적이 작은 곳에도 장착이 가능하므로 소형 트랜스듀서의 개발에 적합하다고 할 수 있다. 그림 4 는 반도체 게이지의 사인을 나타낸 것이다. 얇은 금속 선은 게이지에서 나온 리드(lead)선을 나타낸다.

반도체 게이지의 부착은 다른 일반 게이지 부착

보다 더 많은 주의와 기술이 요구된다. 먼저 반도체 게이지에 작은 힘이라도 가하면 안되므로 리드선으로만 핸들링을 해야 하며 리드선이 무척 가늘기 때문에 결선(wiring) 할 때 인두의 온도조절이 필요하다.

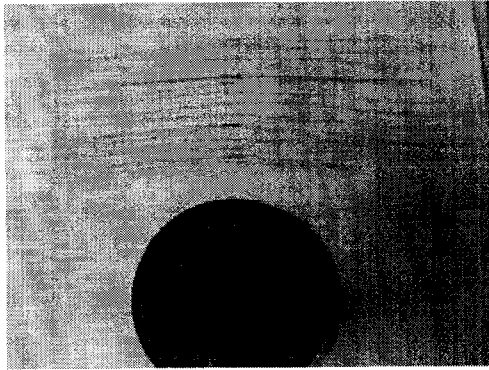


Fig. 4 A photograph of semiconductor strain gages

부착하는 면이 금속일 때에는 절연층 형성을 위해 먼저 본드를 부착면에 얇게 발라야 한다. 부착 본드는 일반 스트레인 게이지 접착제로 많이 쓰이고 있는 Micro Measurement 사의 M-610 을 사용하였다. 게이지 부착할 때 가장 중요한 두 가지는 접착제의 두께와 경화 정도이다. 반도체 게이지와 접착면 사이에 접착제가 있게 되는데 접착층이 두꺼우면 반응이 늦게 되며 크립 및 이력 현상이 나타나게 된다. 또한 접착제가 완전히 경화되지 않아도 위와 같은 현상이 나타나므로 주의가 요구된다.

그림 5 는 게이지 부착 위치에서의 빔 단면을 나타낸 것으로 X-Y 방향으로 각각 half-bridge 를 구성할 수 있도록 2 개씩 반대편에 부착하였다. 사용한 반도체 게이지의 저항은 500 Ω 정도이고(±20% 편차를 가짐) 게이지 계수가 150 이었다.

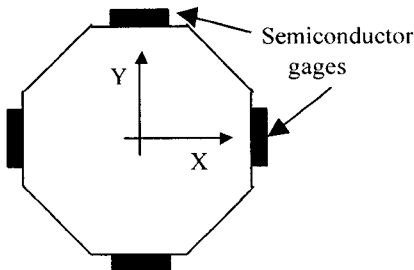


Fig. 5 Schematic diagram of the cross section of a sensing rod, where gages are attached

반도체 게이지를 빔에 붙여 완전히 경화시킨 후 Micro Measurement 사의 M-Coat D 를 게이지 주위에

발라 습기나 외부의 충격에 게이지를 보호하도록 하였다.

#### 4. 트랜스듀서의 특성 실험

트랜스듀서의 특성을 평가하기 위하여 그림 6 과 같이 트랜스듀서를 고정시키고 빔의 끝단에 분동을 올려놓아 진단력을 가한 후 출력을 측정하였다. 출력을 얻기 위해 반 브릿지 회로를 구성하였다. 브릿지 회로에 있어 전압과 터미 저항은 회로의 출력 크기와 반도체 게이지의 정격 와트수를 고려하여 결정해야 한다. 브릿지 회로에 가하는 전압이 클수록 출력이 커지므로 증폭기나 디지털izer 필요 없이 회로에서 직접 사용할 수 있으나 낮은 출력을 사용할수록 수명은 더 길게 된다.

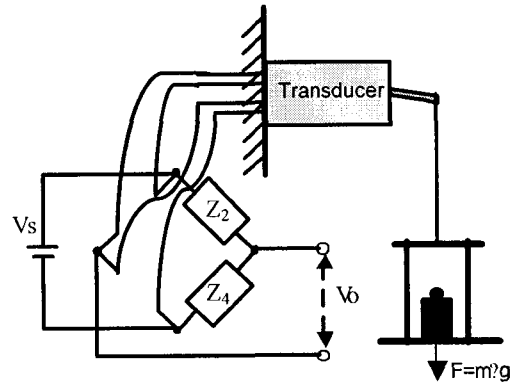


Fig. 6 Schematic diagram of the experimental setup

본 실험에서는 10 V의 전압을 가하였으며 터미 저항은 1000 Ω 을 사용하였다. 출력 전압은 고정밀 전압측정기(분해능 0.0001 V)를 이용하여 측정하였다. 분동을 100g 단위로 1000g 까지 올리고 내리면서 트랜스듀서의 민감도, 선형성, 그리고 이력 특성을 관찰하였다.

특성평가 절차는 다음과 같다. 트랜스듀서의 특성을 안정화 시키기 위하여 최대 하중 1000g 을 일시에 가하는 사전부하 실험을 3 회 실시하였다. 각 사전부하 실험에서 얻은 최대 출력 값을 3 회 평균하여 민감도를 산출하였다. 제작된 트랜스듀서마다 민감도가 약간씩 차이를 보였지만 모두 10% 이내였으며 민감도의 명목 값은 0.084 V/N 이다. 선형성은 분동의 질량을 100g 씩 증가시켜가며 얻은 출력 값을 사전부하에서 얻은 민감도를 이용한 일차직선식에 하중을 대입하여 나오는 출력값과 비교해 상대오차를 산출해 봄으로써 알 수 있다. 또한 최대 하중까지 분동을 올려놓은 상태에서 차례로 100g 씩 질량을 감소하여 얻은 출력값과 증가순서에 있

던 같은 하중점에서의 출력값을 비교함으로써 이력을 측정할 수 있다.

본 실험에서는 트랜스듀서의 한 축에 대하여, 1차(증가 순), 2차(증가 순, 방향은 반대), 3차(증가/감소 순), 4차(증가/감소 순, 방향은 반대)에 걸쳐 측정하였으며, 하나의 축에 대해 빔이 휘는 방향은 두 방향이 있으므로 2차와 4차 측정을 할 때, 트랜스듀서의 방향을 1차와 3차 측정할 때와 달리 180° 돌려 측정하였다.

그림 7은 측정 결과를 나타낸 것으로 트랜스듀서의 비선형성 및 이력을 보여주고 있다.

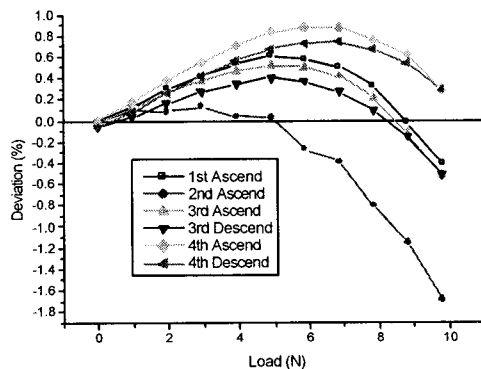


Fig. 7 Non-linearity and hysteresis curve of a transducer.

3차의 증가와 감소 그리고 4차의 증가와 감소의 그래프 곡선의 차이가 전 하중점에 대해 모두 0.5% 이내에 있음 알 수 있고, 최대 비선형 오차는 전 하중점에서 모두 2.0% 이내의 결과를 얻었다. 2차 증가 측정에서 오차가 큰 이유는 트랜스듀서를 완전하게 180° 회전하지 못했기 때문이다. 결국 중력방향이 게이지 장착 방향과 어긋나 오차가 한 쪽 방향으로만 계속 커지게 되었다.

이렇게 발생한 오차도 모두 2.0% 미만으로 트랜스듀서에서 요구하는 성능 비선형성 5.0% 이내를 만족시킨다.

## 5. 결론

반도체 스트레인 게이지를 이용하여 소형 트랜스듀서를 제작하고 평가하였다. 조정자의 느낌에 맞도록 원형 빔을 설계하고 제작하였으며 반도체 스트레인 게이지를 부착하여 특성 실험을 한 결과, 비선형성 2.0% 이내, 이력 0.5% 이내, 민감도 0.084V/N의 값을 얻었다. 앞으로 군용 부품으로 쓰일 수 있도록 관련 군사 규격(MIL-S-81619, MIL-STD-810)에 따라 온도 계수 감도, 널 온도 계수, 절연 저항, 피로 테스트 등을 수행할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 부품소재통합연구단의 지원을 받아 수행되었다.

## 참고문헌

1. Mason Corporation, San Fernando, CA (2003); <http://www.mason-electric.com>
2. 김정엽, 송지호, “중양균열 피로시험편용 변위게이지의 설계, 제작과 활용,” 대한기계학회 논문집 A 권, 제 26 권, 제 3 호, pp. 415-427, 2002.