

압저항식 압력센서에서 온도가 Offset과 Span에 미치는 영향

이성재, 박하용, 김정기, 민남기  
 대림대학, 삼척대학교, 그린센서(주), 고려대학교

Temperature Compensation Approach of Offset and Span for Piezo Type Pressure Sensor

Seong-Jae Lee, Ha-Young Park, Jung-Ki Kim, Nam Ki-Min  
 Daelim College, Samchuk National Univ., Green Sensor Co.,Ltd, Korea Univ.

**Abstract** - 압력센서는 몇 가지 센싱 메카니즘을 가지고 있으므로 종류가 다양하고 크기 면에서도 여러 가지가 이용되고 있다. 최근에는 센싱 부분이 작으며 제어부분도 포함되는 ASIC화된 센서 시스템이 개발되고 있다. 여기에 이용되는 대부분의 탄성물질은 힘을 받았을 때 물질 내부의 벌크에서 저항 값이 변화하는 특성을 갖고 있다. 이러한 특성은 피에조 저항률(piezoresistivity)로 언급되며 스트레인 게이지의 감도에 영향을 주는 중요한 요소로 작용한다. 다이어프램으로 금속대신 세라믹을 사용하면 안정성이 우수한 특성을 가질 수 있으며, 부식성 가스 류 및 화학성분에 대해서 내성이 강하고 환경변화에 따른 변형과 공정의 단순화 등 우수한 특성을 갖고 있는 것이 큰 장점이다. 센싱부는 산화 루세니움(RuO<sub>2</sub>)을 주 성분으로 하는 분말을 Paste화 하여 다이어프램 위에 스크린 프린팅을 하여 기판성능을 나타내었으며 특히, 상품화에서 중요한 일반성능에서는 온도 특성에 대한 Span과 Offset 그리고 공정의 단순화에 대해서 고찰을 하였다.

1. 서 론

세라믹 다이어프램을 이용한 후막 압력센서(Thick Film Pressure Sensor fabricated on Ceramic Diaphragm)에서 온도에 대한 특성을 제안한다. 수압부로 사용되는 세라믹 다이어프램(ceramic diaphragm)위에 RuO<sub>2</sub>를 주 성분으로 하는 후막 저항(thick film resistor : DIIR7313)을 형성시키고, 다이어프램 이면에 압력을 인가시킴으로써 다이어프램의 미소 변형을 후막의 저항 변화로 검출하는 piezoresistive 효과를 이용하는 방식이다.

후막저항 기술은 1970년 초에 처음으로 소개되었고 1973년 Holmes에 의해서 발표되기 시작하였으며, HIC(hybrid circuits) 기술의 발전과 함께 1970년 중반부터 많은 관심을 불러일으켰다. HIC는 반도체 소자와 후막저항 소자, 아날로그 IC 그리고 다른 소자들로 구성되어 있다. 후막저항의 접착(deposition)은 여러 가지 방식에 따라 특성이 다르게 나타나는 데, 그 중에서 스크린 프린팅은 실크 인쇄(주조 광고 판넬, 셔츠, 연필 등에 사용됨)라고 불리는 그래픽 기술의 양산 과정에서 사용되고 있으며 오래된 기술 중의 하나이다.

압력센서에서 온도에 대한 출력 특성 관계는 매우 중요한 파라미터로 설명되고 있으며 보상을 하기 위한 여러 가지 중에서 이상적인 값을 얻기 위한 4가지 파라미터의 보상이 필요하다고 생각되며 다음과 같은 종류의 온도 특성을 가지고 있다.

- ① Zero(영점)
- ② TC(Temperature Coefficient) of Zero
- ③ Sensitivity(감도)
- ④ TC(Temperature Coefficient) of Sensitivity

한편, 전형적인 압 저항 압력센서는 압력에 따른 비직선성을 가지며, 영점과 감도 사이의 TC(Temperature

Coefficient)는 온도 의존성을 가진다. 대부분이 압력에 대한 비직선성은 무시될 수 있으나 온도에 의한 영향은 영향을 미칠 수 있다.

응용 분야에 따라서는 TC에 대한 보상을 무시할 수 있다. 또, 압력 센서는 몇 가지 방법으로 보상될 수 있으며 각각 장단점이 있는 데 가장 간단한 방법은 정전류 방식이라고 생각된다. 그리고 정전압 방식도 많이 이용하고 있으며 써미스터를 이용하는 것과 같이 다이오드를 이용하여 반도체의 온도 특성을 이용하여 온도에 대한 출력 특성의 보상을 해 주는 방식도 이용되고 있다.

2. 본 론

2.1 Zero error

영점 오차는 몇 가지 원인이 있다. 그중에 가장 간단하게 설계할 수 있는 방법이 4개의 게이지에 트리밍 저항 4개를 병렬로 설치하여 배선하는 방법이다. 그림 1에서는 중앙부에 있는 센싱 부분의 후막저항에 외곽으로 설치된 더미저항을 추가시켜서 설계한 그림이다. 배치된 4개의 저항은 동시에 같은 공정에서 만들어져도 약간의 변화가 발생된다. 더미저항을 설치하지 않고 5V를 인가할 경우, offset 전압은 최대 ±75mV 정도를 발생된다. 이 값은 5V에서 ±0.55% 저항값의 미스 매치를 가진다고 볼 수 있다. 그리고 공정에서는 폭 1.5mm 범위에서 0.1mm이상의 차이를 가지고 있다고 생각되며 이 값이 오차를 유발시키고 있다고 볼 수 있다. 그러나 각각의 저항 미스 매칭에서 정확하게 만든다고 할 때 최대 5V 인가 시 25mV 정도의 오차를 나타낼 수 있다고 보며 설계시 더 낮출 수 있다고 생각된다.

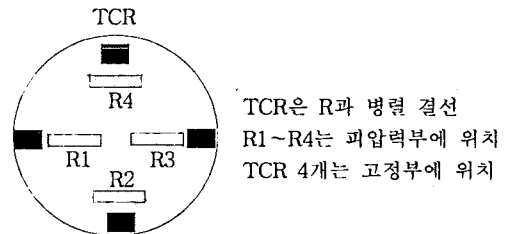


그림 1 센싱요소와 더미저항의 위치

◆ TC(Temperature Coefficient) of Zero

TC Zero(TCZ) 오차는 몇 가지 원인에서 발생된다. 즉, 4개의 저항을 일정한 압력으로 동시에 프린팅 하면서 제작하였다고 가정할 때 휘스톤 브리지에서는 같은 저항의 온도계수를 가지고 변화되므로 미소변화에 대한 출력은 일정하다. 그러나 시료를 만들 때 이론상 이론치와는 상이한 값을 가진다. 그중 주된 원인으로 보면 Die의 접착, 다이어프램 위에 저항 코팅 또는 프린팅 시 발생하는 잔류 stress, 다이어프램의 저항 값, 저항의 형

상 등을 원인으로 들 수 있다. 고 성능의 die를 제작하여 후막저항을 제작한다고 할 때 면 TCZ는 일정하다고 할 수 있다. 그리고 TCZ가 발생되는 원인이 없다고 가정하면 즉, 이상적인 경우는 온도변화에 따른 출력값은 변화가 없다. 후막 저항 게이지는 오래전부터 상대압 또는 절대압을 측정하는 압력 센서에 이용되어 왔다. 세라믹 기관에서 저항은 piezoresistive 특성을 갖는 저항으로 RuO<sub>2</sub>를 주성분으로 하는 저항체로써 Ru(Ruthenium)는 전극재료로 많이 사용되는 원소이다. 백금계의 원소로써 매우 견고하고 흰색을 띄고 있으며 글래스 성분과 조합으로 저항체를 구성할 수 있다. 이렇게 만든 저항체는 piezoresistive 특성을 갖고 압저항으로 이용되는 데 이러한 특성을 스트레인 게이지의 제작에 이용한다면 압력에 비례하는 저항 변화 특성을 만들 수 있다. 후막 저항 게이지는 저항 재료(RuO<sub>2</sub>를 주성분)를 프린팅하여 고온(850℃)에서 10분 소결하여 4개의 저항을 만들고 이 저항을 휘스톤을 브리지로 연결하여 사용하는 것이 가장 일반적으로 사용되는 것인데, 본 논문에서도 후막 저항 게이지를 제작하는 데 이러한 방식을 활용하였다. 후막 저항값의 크기는 일반적으로 1~10kΩ정도를 사용하는데 여기서는 3.5kΩ을 설계하였다.

그림 2에서 보는 바와 같이 그림 1의 각저항마다 더미를 이용하여 온도 변화에 따른 영점변화를 측정한 결과 영점은 -20℃에서 +80℃까지 변화시킬 때 5V 인가시 약 4mV의 변화를 보이고 있다. 즉, 출력 전압 150mV의 풀 스케일 압력센서에서 TCZ의 오차는 2.0% 이하를 보이고 있으므로 일반적으로 +0.8%이하로 볼 수 있다.

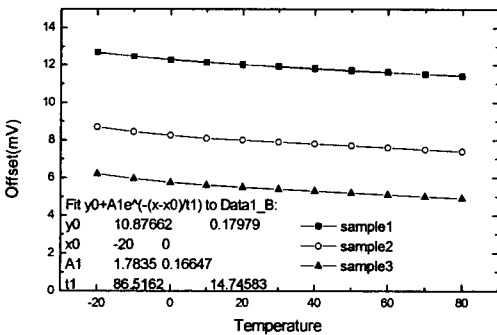


그림 2. Zero 즉 Offset(mV) vs Temp.

## 2.2 Sensitivity(감도)

감도는 다이어프램의 두께에 의해서 정해진다. 감도는 mV/V/pressure unit으로 주어지며 평균 stress에 정비례한다. 이론상으로 기구학적인 모델을 이용하면 stress는  $\frac{1}{diaphragm\ thickness}$ 의 제곱에 비례한다는 것이다. 10%의 다이어프램 두께 오차는 감도에서 보면 20%의 변화를 발생시킬 수 있다. 일반적으로 센서 업계에서는 nominal값의 +33%까지 감도를 명기하고 있다. 이를 15%이상 정확도를 높이기 위해서는 실리콘 칩을 이용하여 다이어프램을 제작할 경우, 실리콘 웨이퍼와 대접 웨이퍼(cross wafer)사이를 정교하게 제어해야 한다. 한편, 세라믹을 다이어프램으로 이용할 경우

정전류 보상에서는 절대 저항치로 표현되며, 이것은 mV/mA/psi 등으로 계산될 때 정격 감도로 나타낸다.

시제품에서 사용된 저항치의 저항 값은 3.5kΩ±20%를 가지며 저항값의 조절에는 선폭과 높이를 조절한다. 정전류원으로 이용되는 전체 감도의 변화는 각 저항의 부분에서 측정되는 감도 변화의 합이다.

### ◆ TC(Temperature Coefficient) of Sensitivity

온도 특성에서 영향을 크게 미치는 것은 다음에 설명하는 바와 같이 TC(Temperature Coefficient) of Sensitivity 보상에서 가장 영향을 미칠 수 있는 파라미터이다. 정전압 원을 인가시킬 때 감도(mV/V/압력unit)는 온도에 따라서 감소한다. 이러한 현상은 압저항에서 전자의 이동도가 직접 의존하기 때문이라고 생각한다. 그림 3은 이러한 현상을 보여주고 있다. -20℃~80℃ 범위에서 TCS 파라미터의 기울기는 완만하게 나타나고 있다(-2280ppm/℃).

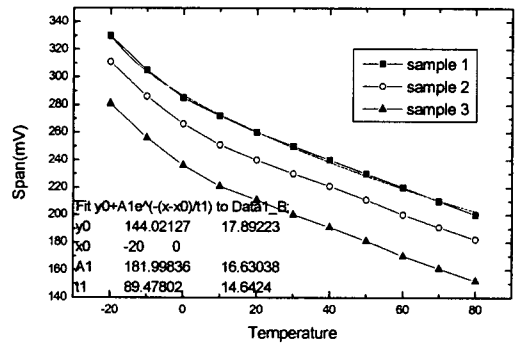


그림 3. 감도 또는 Span vs Temp.

정전류를 인가했을 때 감도(sensitivity) 출력은

$$V_{out} = I \times R(Temperature) \times Sensitivity(Temperature)$$

따라서 출력은 온도에 대해서 브리지 저항 × 감도에 비례한다. 그림 4는 온도가 저항에 영향을 미치는 것을 보여주고 있다.

TCR(Temperature Coefficient of Resistance)은 압저항의 조립과정에서 정확한 공정 관리에 기초하여 변화된다고 볼 수 있다. 이는 시료에서 잘 나타나 있다고 볼 수 있다. 시료1/2/3은 온도를 10도씩 상승시키면서 공정을 진행시킨 것이다. 계산결과를 보면 온도차에 따른 저항의 변화는 ±10%정도 나타나고 있다.

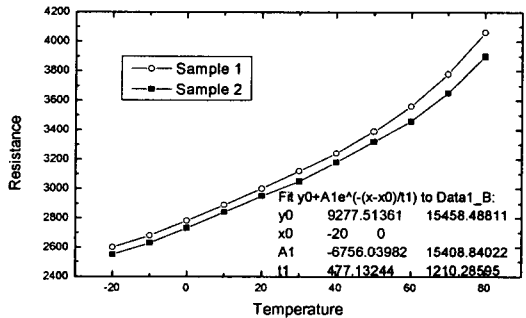


그림 4. 온도 변화에 따른 저항 변화

온도센서의 많은 응용분야에서 중요한 내용은 센싱 부분에서 온도 특성이다. 한편, 온도와 독립된 각각의 Zero error, sensitivity error 는 A/D변환 시스템을 가지고 있는 마이크로프로세서 등을 이용하여 모두 제어할 수 있다. 또 다른 면의 응용분야에서는 정확성이 매우 중요하므로 앞에서 언급한 Zero error는 입력 부분에서 가능한 빨리 제거시키는 것이 바람직하다. 그러기 위해서는 더미저항을 각 센싱 소자마다 설치하는 것도 좋지만 생산성을 제고하기 위해서 여러 가지 방안이 제시되고 있다. 이 경우 회로는 그림 5와 같이 다소 간편해질 수 있다.

응용분야에서 매우 정확성을 요구하고 있으면 각 부분의 저항을 독립적으로 특성화시키면 된다. 만약, 사용온도 전체 범위에 대해서 1%이하로 요구하면 센서의 브리지 저항 각각에 대해서 세밀하게 보정해 주면된다. 각각의 저항마다 측정을 하지 않고 저항을 고정하는 것은 2~5%의 오차를 나타내고 있으나 브리지 저항과 TCR에 기초하여 고정저항을 잘 조절함으로써 점차적으로 좋은 성능을 가질 수 있다고 본다.

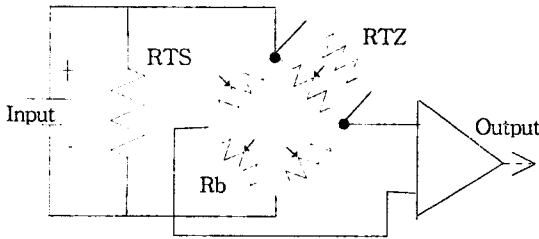


그림 5 TCZ와 TCS 조절용 회로

영점 조절은 여러 가지 전자 회로를 이용하여 다룰 수 있는데 간편한 방법으로 그림 6과 같이 온도 보상 부분이 이용되고 있다. 이 경우 Sensitivity의 TC와 Zero의 TC가 실제로 조절된다. 단지 Zero와 Sensitivity 자체는 다른 회로를 이용하여 조절되며 Offset(영점조절) 조절용으로 사용된 2개의 저항은 Rtz저항이 회로에 추가된 후에 계산된다.

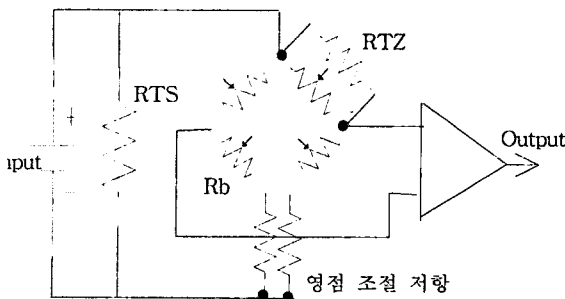


그림 6 영점 조절을 간편하게 하기 위한 회로

이 경우 정확한 Trimming의 조절 계수는 중요하지 않다. 그리고 다른 분야에 증대한 영향을 미치지 않고 TCZ나 TCS를 조절할 수 있다.

TC of Zero에서 Rtz 저항은 Zero의 TC를 교정하는데 이용된다. 효과적으로 만든 것은 임의로 shunt 저항 Rtz로써 TC를 강제로 낮추고 있다. 완벽한 4개의 저항을 갖는 균형의 브리지 회로에서는 온도의 상승에 따라서 4개의 저항 값도 동시에 증가하므로 실제로 온도 증가에 따른 출력 값은 변화되지 않는다. 그림과 같이 브리지 회로의 한쪽에 shunt 저항을 설치함으로써 브리지 회로는 의도적으로 unbalance가 된다.

그림 2에서 보인 바와 같이 offset의 정격(공칭) 변화는  $-2 \text{ mV}/100^\circ\text{C}$ 이다. 브리지 회로의 정격  $3.3\text{k}\Omega$  회로에서 출력은 (Rtz가  $0.5\text{M}\Omega$ 이고 TCR이  $2700\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이면)  $-2.2 \text{ mV}$ 까지 변화될 것이다.

따라서 브리지 회로의 각각을 측정하지 않고 offset error를 줄이고자 하는 알고리즘은 그림 5와 같이 Rtz에  $0.5\text{M}\Omega$ 의 저항을 사용한다. 이는 브리지 회로의 각 부분을 측정하지 않고  $-20 \sim +80^\circ\text{C}$  범위 내에서  $\pm 0.5\text{mV}$ 의 TC offset error가 나타날 것이다. 이 저항을 추가시킴으로써 약  $8\text{mV}$  이상의 offset이 생길 것이고 그 이상의 잔류 offset은 항상 센서에 존재한다.

이 결과는 웨이퍼 자체의 정해진 TCR과 브리지 저항을 정제화 할 수 있다. 그러나 테이블에서 보는 바와 같이  $2.0\text{mV}$ 의 정격 변화는 TCR이  $2600 \sim 2800\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이며 저항에서는 약 10%의 변화를 보이고 있다. 예를 들면 일정한 어떤 온도( $5 \sim 80^\circ\text{C}$ )에서 offset 변화의 slope을 낮추기 위해서 Rtz는 2~4배 높아질 수 있다는 것이다.

### 3. 결 론

센서의 출력변화는 이론치와 상이한 값을 갖는데 그중 주된 원인으로 보면 Die의 집착, 다이어프램 위에 저항 코팅 또는 프린팅 시 발생하는 잔류 stress, 다이어프램의 저항 값, 저항의 형상 등을 원인으로 들 수 있다. 생산과정에서는 고정능의 die를 제작하여 후막저항을 제작한다고 할 때 TCZ는 일정하다고 할 수 있다.

센싱저항마다 더미를 이용하여 온도 변화에 따른 영점 변화를 측정할 결과 영점은  $-20^\circ\text{C}$ 에서  $+80^\circ\text{C}$ 까지 변화시킬 때( $5\text{V}$  인가시) 약  $4\text{mV}$ 의 변화를 보이고 있다. 즉, 출력 전압  $150\text{mV}$ 의 풀 스케일 압력센서에서 TCZ의 오차는 2.0%이하를 보이고 있으므로 일반적으로  $+0.8\%$ 이하로 분수 있었다.

응용분야에 따라서는 매우 정확성을 요구하고 있으므로 각 부분의 저항을 독립적으로 특성화시키면 된다. 만약, 사용온도 전체 범위에 대해서 1%이하로 요구하면 센서의 브리지 저항 각각에 대해서 세밀하게 보정해 주면된다. 각각의 저항마다 측정을 하지 않고 저항을 고정하는 것은 2~5%의 오차를 나타내고 있으나 브리지 저항과 TCR에 기초하여 고정저항을 잘 조절함으로써 점차적으로 좋은 성능을 가질 수 있다고 본다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Affronte, M.;Campani,M.;Morten,B."Magneto-resistance of  $\text{RuO}_2$  based thick film resistors"journal of low temperature Physics Vol.112, Issue5 6, Sep., 1998, pp355~371
- [2] Yi,Kang Myung; Lee,Ki-Woong; Lee,In-Shik, "Conductive powder preparation and electrical properties of  $\text{RuO}_2$  thick film resistors"Journal of Material Science Vol.8, Issue 4, Aug.(1997) pp247~251
- [3] L.Fraigi, L.Malatto,"Thick film weldable strain gages"Sensors and Actuators, A60, 1997, pp37~39
- [4] D.G.Collins, K.I.Arshak,"A study of composite  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{In}_2\text{O}_3$  and  $\text{RuO}_2$  planar thick film piezoresistive gauges"Microelectronics Journal 27, 1996, pp59~65
- [5] M.Tamborin,S. Piccinini,M. Prudenziati, B.Morten,"Piezoresistive properties of  $\text{RuO}_2$  based thick film resistors:the effect of  $\text{RuO}_2$  grain size"Sensors and Actuators, A58, 1997, pp159~164
- [6]H.A.Nielsen,Jr "The Thick Film Strain Gage"Experimental Technique Altadena, CA, 1988, pp19~22
- [7] N.M.White,J.D.Turner,"Thick film sensors:past, present and future"Meas. Sci.Technol, 8, 1997, pp1~20