

압력센서를 위한 ceramic diaphragm의 변위에 관한 고찰

이성재 대림대학 자동화과 조교수
 민남기 고려대학교 제어계측공학과 교수

A Study of Deflection of Ceramic Diaphragm for a Pressure Sensor

Seong-Jae Lee Dept. of Automatic and Control Eng., Daelim College
 Nam-Ki Min Dept. of Instrumentation and Control Eng., Korea University

Abstract - 본 논문에서는 세라믹 다이어프램식 압력 센서를 설계하기 전에 세라믹 다이어프램의 변위에 대한 최적 조건을 확립하기 위해 세라믹의 기계적 특성, 다이어프램의 두께와 직경 등을 변화시키면서 중심부와 변곡점 부근에서 압력에 대한 다이어프램의 변위를 시뮬레이션 하였다.

1. 서 론

오늘날 압력센서는 유량, 온도센서와 함께 공정 자동화를 주도하는 매우 중요한 변위량 센서이며 산업용뿐만 아니라 민생용분야 까지 그 응용범위가 확대되고 있는 실정이다

압력센서의 연구 개발은 여러 각도에서 매우 활발하게 진행되고 있고, 현재까지 다이어프램식 압력센서의 센싱 요소로는 금속 박 게이지, 박막 게이지, 후막 게이지 등이 사용되고 있다^[1,2].

후막 게이지를 사용한 세라믹 다이어프램 압력센서의 장점은 접착제를 사용하지 않으므로 크리프 현상이 적고, 안정성이 뛰어나며, 고감도, 고저항과 같이 특수 목적에 적합한 압력센서의 제작이 가능하다는 점이다. 이와 같은 장점 때문에 현재 후막 게이지를 이용한 세라믹 다이어프램 압력센서에 관한 새로운 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 세라믹의 기계적 특성을 고려하여 후막 압력센서용 세라믹 다이어프램의 변형에 관한 특성을 중심으로 고찰하였다.

2. 세라믹 다이어프램 압력센서의 기본구조

그림 1은 세라믹 다이어프램 압력센서의 단면도를 나타낸 것이다. 세라믹 다이어프램 위에 후막으로 4개의 스트레인 게이지를 형성한 후 세라믹 지지대 위에 접착제를 사용해 게이지를 완전히 밀봉한다. 또, 압력이 누설되지 않도록 O-ring을 설치한다.

판상 다이어프램의 한쪽에 균일한 압력이 작용하면 그 표면에 변위가 생긴다. 다이어프램의 스트레인 분포는 다이어프램의 중앙에서 원주방향(tangential) 성분과 반경방향(radial) 성분이 동일하고 이점에서 최대치로 된다. 한편, 반경방향은 위

치에 따른 변화가 커서 특성 위치에서 극성이 바뀌는 변

곡점이 생기므로 그 주변에서는 (-)로 되어 원주방향 변화보다 크게 된다. 이와 같이 인가압력에 의해 다이어프램의 표면에 인장응력과 압축응력이 동시에 발생하기 때문에 변위를 효과적으로 검출하기 위하여 원주방향과 반경방향으로 2종류의 후막 게이지를 만든다. 이때 후막의 크기는 1.2mm×2.8mm정도로 한다. 인가 압력에 의해서 내측저항은 증가하지만, 외측저항은 감소하기 때문에 4개의 스트레인 게이지로 휘스톤 브리지를 구성하면 적절한 출력을 얻을 수 있다.

또, 스트레인 게이지를 다이어프램과 전기적으로 절연 시켜야 되는 중요한 문제점을 해결하는 것도 장점이다.

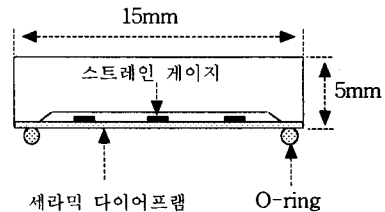


그림 1 세라믹 다이어프램 압력센서의 단면도

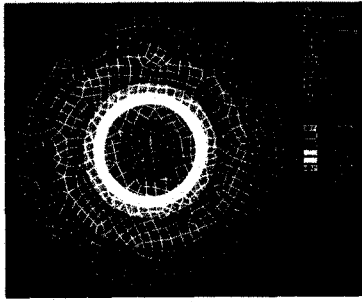
3. 시뮬레이션에 의한 세라믹 다이어프램의 변형

표 1은 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 세라믹 다이어프램의 기계적, 물리적 특성을 나타낸 것이다.

표 1 세라믹의 물리적, 기계적 특성

| Young's modules N/m ² | Temperature 상수 ppk/K | Density kg/m ³ | Poisson's ratio | Max. Working Temperature |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 7.6E10 | 7~ 11 | 7.7E3 | 0.3 | 400℃ |

다이어프램 두께는 100μm~300μm, 직경은 5mm~25mm로 정하고 프로그램 ANSYS 5.3을 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. Mesh는 900포인트 이상으로 하였고 가장자리에서의 변위 dx, dy, dz를 모두 0으로 하여 고정시켰다. 중앙에서 일정하게 인가시킨 압력은 0.5kgf/mm²이다. 그림 2는 대표적인 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.



(a) 평면 변위 분포도



(b) 측면 변위 분포도



(c) 변위 벡터도

그림 2. 시뮬레이션 결과의 대표적인 예
(두께: 150 μ m, 직경: 15mm, Mesh: 900포인트)

변위에 대한 이론치^(3,4)는 식(1),(2)와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 중앙부의 변위(y_p)가 판의 두께(t)에 비해서 충분히 작을 때 임의의 위치에서 다이어프램의 변위는

$$y_p = \frac{3P(1-\nu^2)(r^2-x^2)}{16Et^3} \quad (1)$$

이고, 중심에서의 변위는

$$y_c = \frac{3P(1-\nu^2)r^4}{16Et^3} P \quad (2)$$

으로 표현된다. 위 식의 이론적 해석을 시뮬레이션 결과와 비교해 본다면, 그림 3과 같이 변위는 중심에서 최대로 되고 가장자리의 고정축으로 가면서 작아짐을 알 수 있다. 이러한 변위 현상은 식(1),(2)와 잘 일치됨을 알 수 있다.

그림 4는 다이어프램의 물리적 상수를 동일하게 인가시키고 압력을 0.5kgf/mm²에서 0.1kgf/mm²씩 감소하거나 증가시킬 때 변위를 관찰한 것으로 선형적인 변위로 비례하였다. 이것은 압력센서에서 출력 전압 안정화를 위한 회로 설계시 활용할 수 있다고 본다.

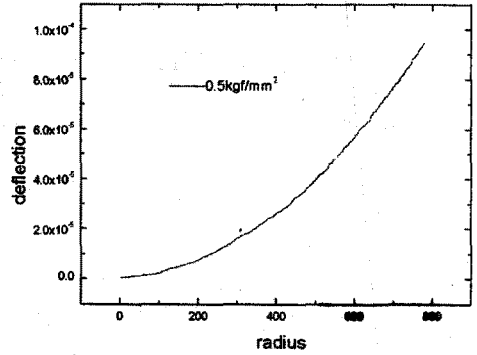


그림 3 고정부에서 중심으로의 변위 곡선

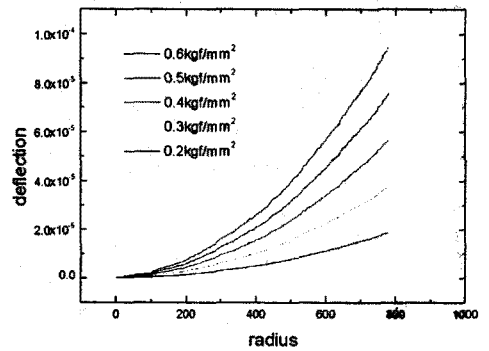


그림 4 압력변화에 따른 변위 곡선

한편, 그림 5는 두께 변화에 대한 변위를 시뮬레이션한 것으로 다이어프램의 두께를 0.10mm로 하여 50 μ m씩 증가시키면서 일정 압력(0.5kgf/mm²)에 대한 변형을 나타낸 것이다. 또, 그림 6은 넓이 변화에 대한 변위를 시뮬레이션한 것으로, 다이어프램의 지름을 10mm부터 25mm까지 5mm씩 증가시킬 때 변위를 나타낸 것이다. 그림 5와 6에서 알 수 있듯이 일정한 압력(0.5kgf/mm²)에 대하여 세라믹 다이어프램의 변위는 두께와 크기에 따라서 비선형적인 변화를 보이고 있다.

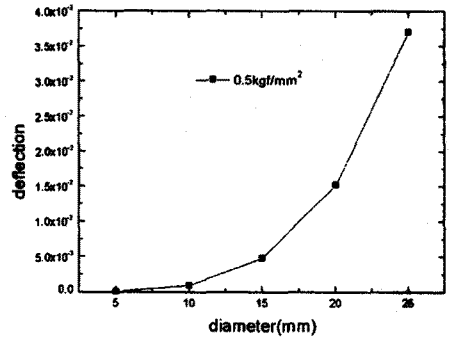


그림 5 다이어프램 두께에 따른 변위 곡선

4. 결론

세라믹 다이어프램을 사용한 후막 압력센서는 다이어프램과 게이지 사이에 전기적 절연이 불필요하고 접착제를 사용하지 않으므로 크리프 현상이 적고, 안정성이 뛰어나며, 고저항, 고감도와 같이 특수한 목적에 적합하다.

본 논문에서는 후막 게이지를 압력 센서로 이용한 세라믹 다이어프램의 변위 특성을 시뮬레이션 한 것으로 압력센서 등 여러 가지 변위센서에 응용될 수 있다. 압력에 대한 변위 특성은 다이어프램의 중심부와 변곡점 부근(약 $x/r=2/3$ 점)에서 변위의 직선성을 보인다. 이것은 여기에 위치한 스트레인 게이지의 압력에 따른 저항 변화율($\Delta R/R$)이 직선성으로 됨을 간접적으로 알 수 있다. 따라서 다이어프램의 두께($100\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$)와 크기(직경: $5\text{mm}\sim 25\text{mm}$) 등을 사용목적에 맞게 선택하면 측정범위를 넓힐 수 있음과 동시에 고감도의 출력을 얻을 수 있다고 판단된다.

[참고 문헌]

- [1] K.Rajanna, S. Mohan, M.M Nayak and N.Gunasekaran, "Thin-film pressure transducer with manganese film as the strain gage," Sensors and Actuators A, vol.24, pp.35~39,1990.
- [2] K.Rajanna, S. Mohan, M.M Nayak and N.Gunasekaran, and A.E. Muthunayagam, "Pressure transducer with Au-Ni thin film strain gages," IEEE Trans. Electron Devices, vol.40,no.3,pp.521~524,1993.
- [3] 大倉 征, "壓力 變換機," 計測技術, vol.1, pp.54~59,1987.
- [4] 민남기, "고정밀급 전자식 압력센서의 개발" 통산산업부, pp.11~37, 1997.

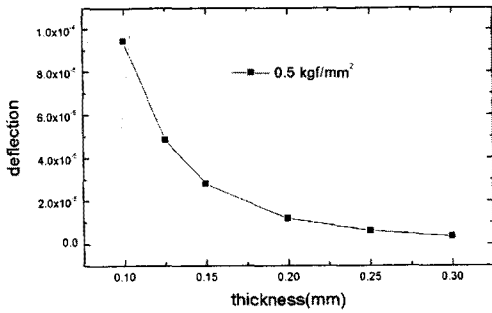


그림 6 다이어프램 넓이에 따른 변위 곡선

그림 7은 두께와 넓이를 일정하게 하고 압력 증가에 대한 다이어프램의 변위를 나타낸 것으로 다이어프램의 중심부와 변곡점 부근(약 $x/r=2/3$ 점)에서 직선성으로 변화함을 알 수 있다. 이것은 여기에 위치한 스트레인 게이지의 압력에 따른 저항 변화율($\Delta R/R$)이 직선적으로 됨을 간접적으로 나타낸 것이다. 그림 8은 영률의 차이에 의한 변위의 변화를 나타낸 것이다. 본 논문의 시뮬레이션에서 사용된 세라믹 재료의 영률은 9×10^{10} 으로 비교적 큰 경우이고, 작을수록 변위가 크게 나타남을 알 수 있다. 이 결과는 다이어프램으로 사용되는 세라믹의 종류를 선택하는 데 주요한 정보로 이용될 수 있을 것이다.

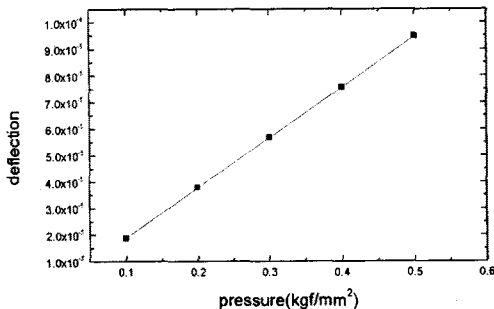


그림 7 압력변화에 따른 변위 특성

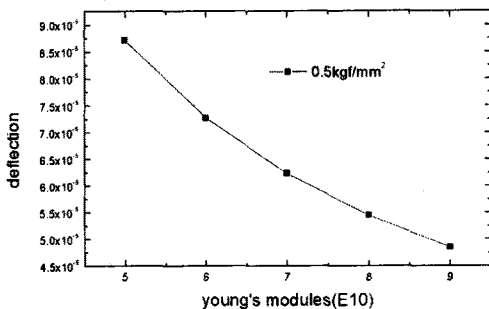


그림 8 영률에 따른 변위 특성