

KRISS/TR--2018-020

# 필름형 힘/압력 센서 성능평가 측정가이드

2017.10

한국표준과학연구원

이 측정가이드는 측정·시험 절차가 없는 신제품(기술)에 대한 신뢰성 제고를 위해 개발되었습니다. 현재까지의 축적된 경험과 과학적 사실에 근거해 해당분야 전문가에 의해 작성되었고 새로운 과학적 타당성이 확인될 경우 언제든지 개정될 수 있습니다.

또한, 이 측정가이드에 기술된 내용은 권고사항으로 법적인 구속력을 갖지 않습니다. 제시된 방법은 최신의 규정과 과학적 근거를 바탕으로 기술한 것으로 추후 관련 규정 개정 및 과학의 발전으로 수정 될 수 있습니다.

이 측정가이드에 대한 의견이나 문의사항이 있을 경우 한국표준과학연구원 중소기업협력센터로 연락주시기 바랍니다.

전화번호: (042) 868-5781

## 측정가이드 제·개정 이력

개정 번호	일 시	개정사유	작 성 자	
			소 속	성 명
0	2017.10.23	최초 제정	한 국 표 준 과 학 연 구 원	우삼용
최종 제·개정 심의위원			휴            텍            스 고    려    대    학    교 ( 주 ) 피 디 케 이 ( 주 ) 피 디 케 이 ( 주 ) 모 비 다 임	양승용 이상길 한무필 현철호 황재용

※ 심의위원 명단은 ‘가나다’ 순서임.

# 목차

1. 개요	1
2. 적용범위	3
3. 인용표준	3
4. 용어 설명	4
5. 필름형 힘/압력 센서 성능평가 항목 및 방법	6
5.1 압저항 특성 평가	6
5.2 반복성 평가	8
5.3 히스테리시스 평가	9
5.4 문턱 힘 평가	9
5.5 단기안정성 평가	9
5.6 온도 감도 평가	10
5.7 응답 특성 평가	11
5.8 극한 온도 내구성 평가	12
5.9 센서 수명 평가	12
6. 참고문헌	12

# 필름형 힘/압력 센서 성능평가 측정가이드

## Performance Evaluation Guide for Film-type Force/Pressure Sensor

### 서 문

이 측정가이드는 필름형 힘/압력 센서의 물리적 특성을 측정하는 방법에 관해 기술한 내용의 가이드이다. 필름형 힘/압력 센서는 얇은 박막형 압저항 소재를 이용하여 필름형으로 제작되며 정적 혹은 동적 힘이나 압력을 측정하는데 사용된다.

### 1. 개요

필름형 힘/압력 센서는 힘 혹은 압력에 따라 전기적 저항의 크기가 달라지는 센서이다. 물리적 정의로 보면 압력은 힘을 단면적으로 나눈 것이므로 동일한 힘을 가하더라도 작용한 면적의 크기가 달라지면 압력의 크기가 달라지게 된다. 따라서 작용한 면적과 힘의 크기가 동시에 표현 되어야만 힘 센서로서의 특성이 올바르게 표현된다. 편의상 본 가이드에서는 필름형 힘/압력 센서를 줄여 필름형 힘센서로 표현하기로 한다. 일반적으로 시중에 사용되는 필름형 힘센서는 센서 전극의 유효감지면적(active sensing area)에 작용하는 힘이 증가할 수록 센서의 저항이 감소하는 특성을 보인다. 대표적인 필름형 힘센서로는 미국의 Interlink사의 FSR<sup>®</sup>(Force Sensing Resistor) 센서와 Tekscan사의 Flixiforce<sup>®</sup> 센서가 있으며 국내에는 PDK사의 PSR<sup>®</sup> 센서가 있다.

이러한 필름형 힘센서는 보통 0.5 mm 미만의 두께로 매우 얇으며 가볍고 유연하며 충격에 강한 특징을 갖고 있어 로봇의 손이나 휴먼 인터페이스용 장갑 혹은 고체의 표면압을 측정하는 분야에 많이 사용된다. 하지만 측정 불확도가 보통 10 % 이상으로 크므로 정확한 측정에는 사용할 수가 없는 한계가 있다. 따라서 지금까지는 힘 감지 스위치나 소리를 증폭하기 위한 전자악기 등에 사용하는 경우가 많았으며 최근에는 정확도 향상과 더불어 로봇, 웨어러블 디바이스, 의료용 촉각 센서 등으로 점차 그 응용 분야가 확대되고 있는 추세이다. 역사적으로는 1977년 미국의 Franklin Eventoff가 처음으로 필름형 힘센서를 발명하여 FSR이란 이름으로 상표 등록을 하였고 1985년 인터링크사를 설립하면서 제품화 및 상용화를 실시하였다. 그림 1은 시중에서 사용중인 대표적인 필름형 센서들의 외관을 보여주고 있다.



그림 1. 시중에 많이 사용되는 대표적인 필름형 힘센서들 (좌측부터, FSR, Flexiforce, PSR)

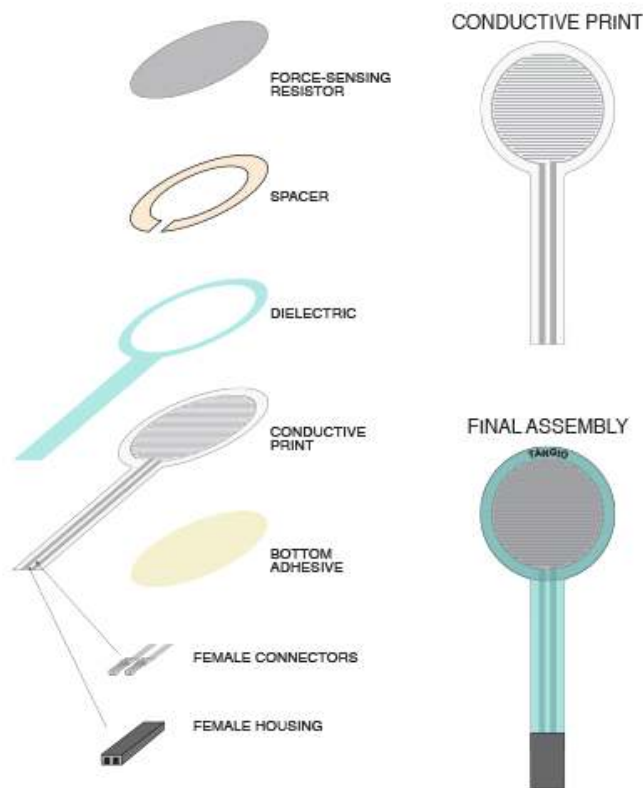


그림 2. 미국 Interlink 사의 FSR 센서의 구조

필름형 힘센서를 실제로 사용하기 위하여서는 적당한 전자 회로가 필요하다. 그림 3은 Tekscan사에서 제공한 Flexiforce<sup>®</sup> 센서에 대한 힘-전압 변환 회로의 한 예를 보여주고 있다. 입력 전압으로는 보통 직류 5 V가 많이 사용되고, 감도를 조정하기 위해 사용되는 기준(reference) 저항  $R_F$ 는 1 k $\Omega$ 에서 100 k $\Omega$ 이 많이 사용된다. 필름형 힘센서에 흐르는 전류는 보통 2.5 mA 이하로 제한된다. 또한 출력 전압은 A/D 컨버터를 통해 디지털 출력으로 바꾸어 많이 사용된다.

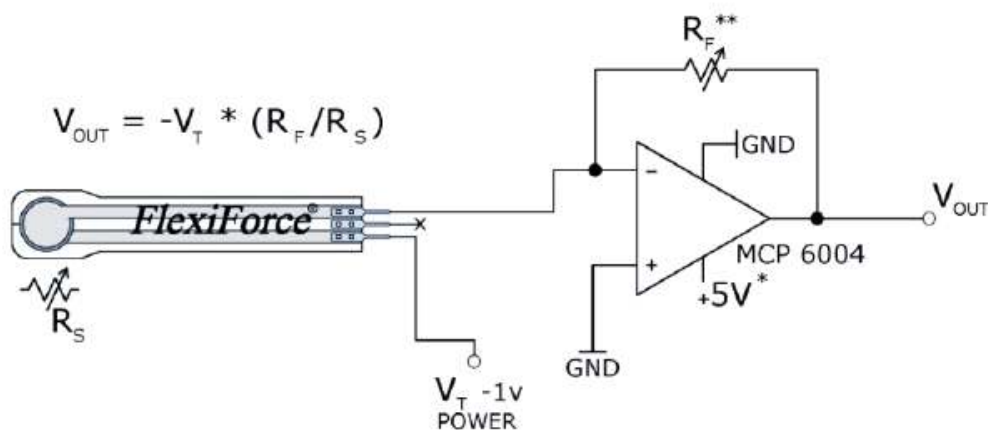


그림 3. Flexiforce 센서용 힘-전압 변환 회로

## 2. 적용 범위

본 측정 가이드는 압저항 방식의 필름형 힘센서와 이와 유사한 기구적, 물리적 특성을 가진 다양한 센서의 특성 평가에 적용할 수 있다. 구체적으로는 시중에 있는 FSR<sup>®</sup> (Interlink, USA), Flexiforce<sup>®</sup> (Tekscan, USA), PSR<sup>®</sup> (PDK, Korea) 등에 적용할 수 있다.

## 3. 인용 표준

ISO/IEC 17025:2017 GENERAL REQUIREMENTS FOR THE COMPETENCE OF TESTING AND CALIBRATION LABORATORIES.

EA-4/02 REV01, EXPRESSION OF THE UNCERTAINTY OF MEASUREMENT INCALIBRATION, 1999

EURAMET/cg-17/v.01, EA GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF ELECTROMECHANICAL MANOMETERS, 2002

#### 4. 용어 설명

- 교정 (calibration)

필름형 힘센서의 출력값과 인가한 표준 힘과의 관계를 확립하는 과정을 말한다.

- 힘 감지 범위

의미 있는 출력을 갖는 힘 감지하는 범위를 말한다.

ex) 0.2 N ~ 20 N

- 사용 온도 범위

필름형 힘센서의 측정학적 물리 특성이 유지되는 온도구간을 말한다.

ex) -30 °C ~ 70 °C

- 반복성 (repeatability)

동일한 힘을 같은 방식으로 반복적으로 가했을 때 나타나는 센서 특성을 말한다. 최대하중의 110 % 정도를 4~5 회 인가한 다음 최대 하중의 80 %에서 반복성을 측정한다.

ex) Repeatability:  $\pm 2.5$  %

- 선형성 (linearity)

센서의 전체 측정 범위에 걸쳐 인가한 하중에 대한 센서의 선형 특성을 말한다. 최대 눈금값 (Full Scale)에 대한 백분율로 표시할 수 있다.

ex) Linearity <  $\pm 3$  % of full scale

- 히스테리시스 (hysteresis)

동일한 힘에 대하여 하중을 인가하면서 측정한 값과 내리면서 측정한 값의 차이를 말한다. 최대 하중의 80 %에서 측정한다.

ex) Hysteresis < 5 %

- 단기 안정성 (Short-term stability)

센서에 일정한 하중을 일정한 시간 (보통 24 시간) 동안 가할 때 센서 출력에 나타나는 변화를 말한다. 최대 하중의 90 %에서 측정한다. 필름형 힘센서의 경우 일반적으로 일정한 하중 하에서 점차 저항이 감소하는 경향을 보인다.

ex) Short-term stability < 5 %

- 장기 안정성 (Long-term stability)

센서에 일정한 하중을 일정한 시간 (보통 한달, 30일) 동안 가할 때 센서 출력에 나타나는 변화를 말한다. 최대 하중의 90 %에서 측정한다.

ex) Long-term stability < 5 %

- 응답 시간 (responce time)

순간적인 힘을 가한 후 센서의 응답 특성을 관찰한다. 입력 힘 크기가 10 %에서 90



%로 변할 때 센서 출력의 변화 시간을 오실로스코프 등으로 측정한다.

ex) Responce time <  $\pm 5 \mu\text{s}$

- 온도 감도 (temperature sensitivity)

사용하는 온도 환경이 교정 온도와 다르면 온도 영향을 보정하여야한다. 혹은 사용 조건과 부합되는 온도에서 센서를 교정하여야만 정확도가 보장 될 수 있다.

Reading change:  $\pm 0.4 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$

- 센서 수명 (sensor life)

보통 센서가 사용되는 최대 힘을 백 만번 정도 인가함으로 사용 수명을 평가한다.

- 감지 면적 (sensing area)

센서에 실제로 하중이 접촉하여 작용하는 유효단면적을 말한다. 가끔 직경으로 대표하여 표현하기도 하지만 면적으로 표시하여야 한다.

- 동작 구역 (active area)

작용하는 힘에 따라 저항이 변하는 압저항 특성을 갖는 구역. 보통 전극 아래에 있는 스페이서의 안쪽 에지 0.5 mm부터 중앙 부분이 해당된다.

- 문턱 힘 (break force, activation force)

센서가 동작을 시작하는 시작 힘

- 초기 저항 (stand-off resistance)

힘이 작용하기 전의 초기 저항

- 포화 압력 (saturation pressure)

센서의 압저항 특성이 잘 나타나지 않는 압력 값. 힘이 증가해도 저항 변화가 매우 작거나 미미하다.

## 5. 필름형 힘 센서 성능평가 항목 및 방법

### 5.1 압저항 특성 평가

필름형 센서의 압저항 특성을 올바르게 평가하기 위해서는 센서 면에 힘을 균일하게 가하여야 한다. 일부 회사에서는 이를 위해 얇은 디스크(puck)를 사용하기도 한다. 이 위에 분동이나 힘발생기를 접촉시켜 힘의 변화에 따른 저항 변화를 측정한다. 하지만 동일한 센서 면적에 반복적인 힘을 정확히 가하는 것이 쉽지 않다. 본 측정 가이드에서는 이를 해결하기 위하여 다음과 같은 측정방식을 개발하였다.

일정한 단면적을 갖는 피스톤이 항상 수직 방향으로 운동하면서 센서에 일정한 힘이 가해지도록 피스톤 주위에는 연직 운동을 안내해 주는 원통형 실린더를 제작하였다. 센서는 실린더에 의해 외곽이 고정되며 피스톤에 의한 압축면은 항상 일정하게 유지된다. 피스톤 위에는 적당한 분동을 올려 일정한 하중이 센서에 작용하도록 한다. 측정 전에 피스톤과 분동을 제외한 나머지 부분들을 저울에 올리고 이 값은 저울의 Tare 기능을 이용하여 0으로 만든다. 이를 통해 실제 센서에 가해진 하중을 전자식 저울을 이용하여 손쉽게 확인할 수 있다. 이때 센서에 작용하는 힘은 근사적으로  $F = mg$  이고 표면 압력은  $P = mg/A$  이다. 여기서  $m$ 은 분동의 질량,  $g$ 는 중력가속도,  $A$ 는 피스톤의 단면적이다. 원래 공기 부력 보정을 통한 힘 산출이 필요하지만 필름형 힘센서의 경우 불확도가 수 % 이므로 생략하였다. 부력 보정량은 보통 힘 크기의 0.015 % 수준이다. 같은 논리로 피스톤 단면적의 온도 보정도 생략하였다.

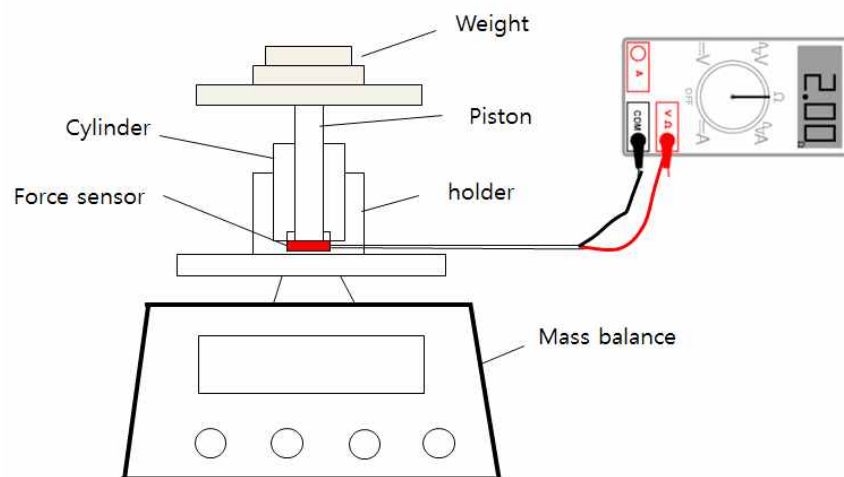


그림 4. 필름형 힘센서 압저항 특성 측정 장치 배치도



그림 5. 필름형 힘센서 압저항 특성 측정 장치 예

다음은 본 장치로 실제 힘센서 (FSR-402)를 측정한 결과를 보여주고 있다. 이 센서는 힘 감지 범위가 0.2 N ~ 20 N 이다. 문턱 힘은 약 0.2 N이고 이 값은 전극이 인쇄된 소재의 재질에 주로 영향을 받는다. 사용한 피스톤의 직경은 약 9.5 mm이며 단면적은  $7.08 \times 10^{-5}$  mm<sup>2</sup> 이다. 저항값은 디지털 멀티메타 (Agilent 34401A)로 측정하였다. 컨덕턴스는 저항의 역수로 계산되며 시멘스 (S) 단위로 표현된다. 그림 6은 센서에 가한 힘 증가에 따른 저항과 컨덕턴스의 변화를 나타낸 것이다.

분동값 (g)	발생 힘 (N)	발생 압력 (kPa)	저항 ( $\Omega$ )	컨덕턴스 (S)
50	0.5	7	$1.9 \times 10^4$	$5.2 \times 10^{-5}$
100	1.0	14	$6.1 \times 10^3$	$1.6 \times 10^{-4}$
200	2.0	28	$2.6 \times 10^3$	$3.8 \times 10^{-4}$
500	4.9	69	$1.4 \times 10^3$	$7.1 \times 10^{-4}$
1000	9.8	138	$1.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$
1500	14.7	207	$8.8 \times 10^2$	$1.1 \times 10^{-3}$
2000	19.6	277	$8.0 \times 10^2$	$1.3 \times 10^{-3}$

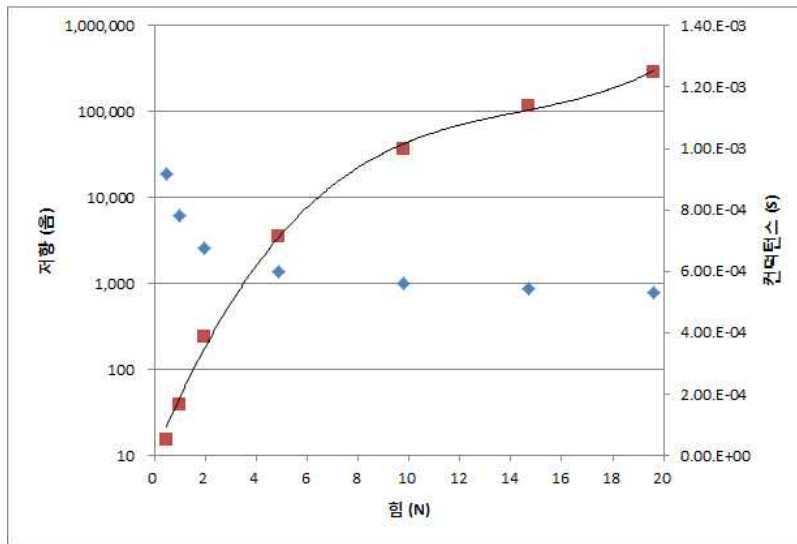


그림 6. FSR-402 필름형 힘센서 힘-저항 특성

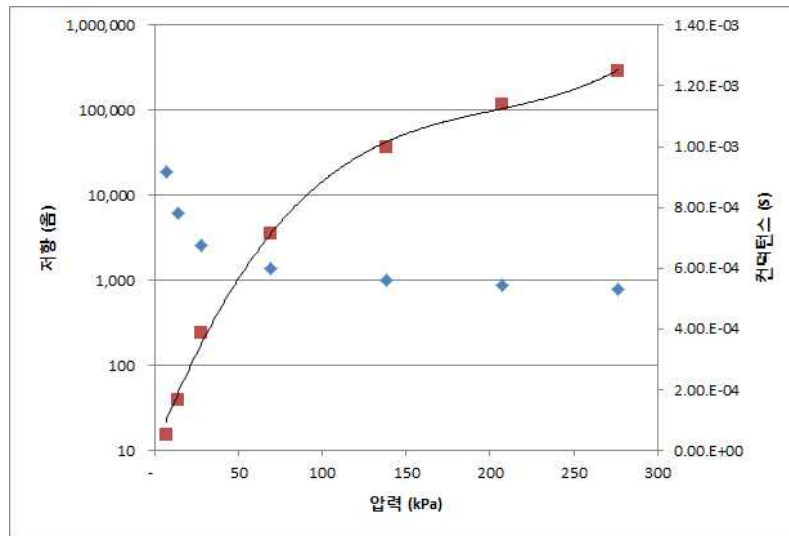


그림 7. FSR-402 필름형 힘센서 압력-저항 특성

## 5.2 반복성 평가

최대 힘의 80 %에 대한 반복도 평가를 실시 한다. 동일한 힘을 5회 반복 가하면서 저항값을 측정한다. 측정은 힘을 가한 후 1 분 후에 측정한다. 일반적으로 필름형 힘 센서는 힘이 증가할수록 저항값이 포화되므로 센서의 반복성 특성은 좋아지게 된다. 최대값과 최소값의 차이를 2로 나눈 후 평균값에 대한 상대값으로 반복성 불확도를 표시한다.

예)

힘 (N)	저항 ( $\Omega$ )	컨덕턴스 (S)
16	$1.42 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$
	$1.29 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$
	$1.24 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$
	$1.33 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$
	$1.31 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$

힘 16 N에서 FSR 시료의 평균값은  $1.32 \times 10^3 \Omega$ 이고 상대불확도는 7 % 이다.

### 5.3 히스테리시스 평가

최대 힘의 80 %에 대해 히스테리시스 평가를 실시 한다. 힘을 증가시키면서 측정점에서 측정하고 그 다음 최대 하중을 인가한 후 내리면서 측정한다. 동일한 과정을 3회 반복한다. 측정은 힘을 가한 후 1 분 후에 측정한다. 히스테리시스는 3개의 측정 자료를 평균하여 계산한다.

예)

상태	발생 힘 (N)	저항 ( $\Omega$ )	컨덕턴스 (S)
Up	16	$1.32 \times 10^3$	$7.6 \times 10^{-4}$
Down	16	$1.05 \times 10^3$	$9.5 \times 10^{-4}$
Up	16	$1.17 \times 10^3$	$8.5 \times 10^{-4}$
Down	16	$1.12 \times 10^3$	$8.9 \times 10^{-4}$
Up	16	$1.33 \times 10^3$	$7.6 \times 10^{-4}$
Down	16	$1.28 \times 10^3$	$7.8 \times 10^{-4}$

힘 16 N에서 FSR 시료의 히스테리시스 크기는 10 % 이다.

### 5.4 문턱 힘 평가

힘을 0에서 점차 증가시키면서 의미있는 저항 값이 나타나는 최초 힘을 측정한다.

예)

분동값 (g)	발생 힘 (N)	발생 압력 (kPa)	저항 ( $\Omega$ )	컨덕턴스 (S)
20	0.2	3	$4.3 \times 10^3$	$2.3 \times 10^{-6}$

FSR 시료의 문턱 힘 크기는 0.2 N 이다.

### 5.5 단기 안정성 평가

최대 힘의 80 %를 인가한 후 저항 변화를 측정한다. 24 시간 동안 저항의 상대 변화를 측정한다.

예)

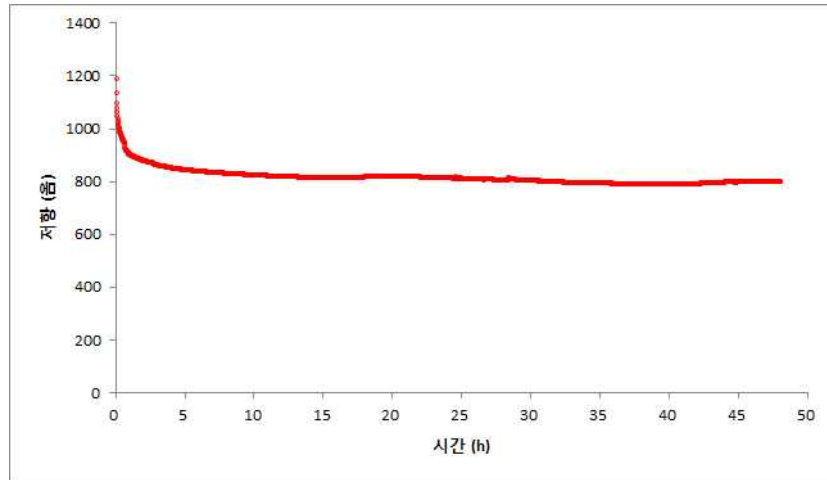


그림 8. FSR-402 필름형 힘센서의 단기안정성

힘 16 N에서 FSR 시료의 단기안정성은 10 % 이다.

### 5.6 온도 감도 평가

최대 힘의 80 %를 인가한 후 온도 변화에 따른 저항 변화를 측정한다. 온도는 -30 °C ~ 70 °C 구간에서 측정한다.

예)

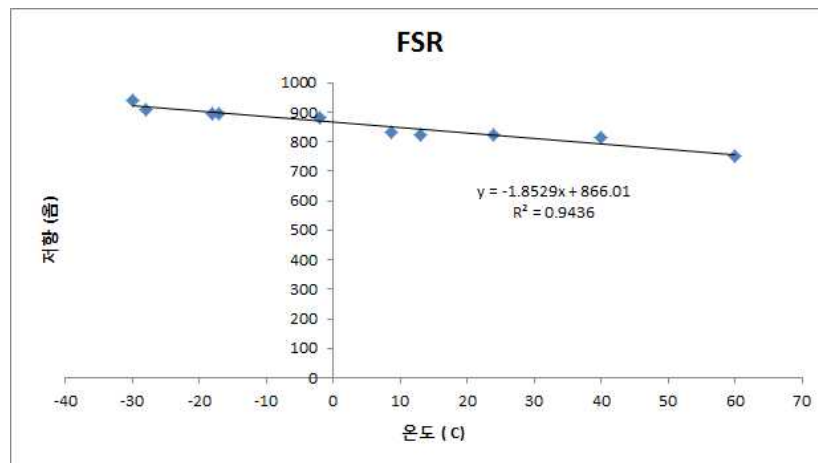


그림 9. FSR-402 필름형 힘센서의 온도 특성

힘 16 N에서 FSR 시료의 온도 감도 변화는 0.2%/°C 이다.

### 5.7 응답 특성 평가

필름형 힘 센서를 그림 10과 같이 전압 분할기에 연결한 후 출력 단자를 오실로스코프에 연결한다. 힘 센서에 동적 힘(예: 강철 구를 낙하)을 가한 후 오실로스코프로 센서의 응답 시간을 측정한다. 20 N 범위의 힘센서의 경우 그림 11과 같이 최대 힘의 10 %인 2 N에서 90 %인 18 N까지 출력 신호가 상승하는 시간을 측정한다.

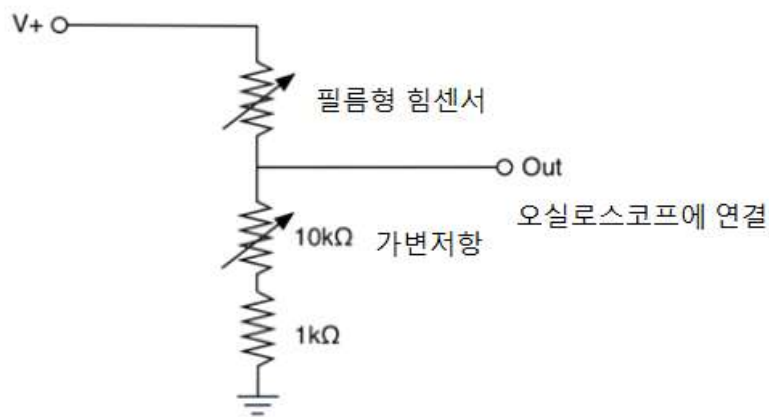


그림 10. 필름형 힘센서 응답 시간 측정 회로

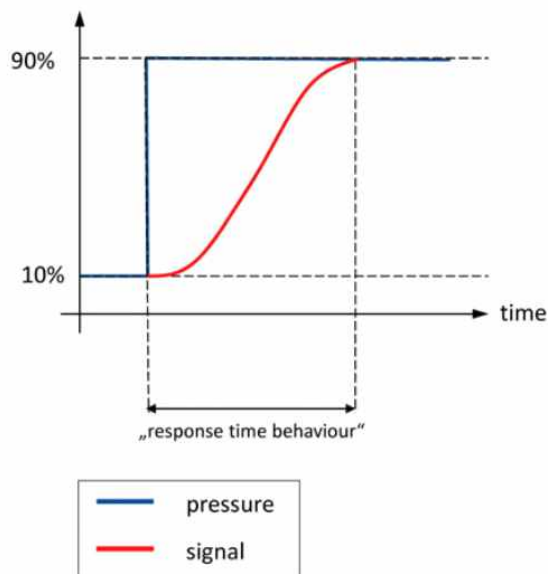


그림 11. 이상적인 응답 시간 측정 예

### 5.8 극한 온도 내구성 평가

접시 영하 30도 및 영상 70도의 환경에서 72 시간을 존치시킨 후 꺼내어 힘-저항 특성 변화를 측정한다.

### 5.9 센서 수명 평가

- Tap testing

센서에 백 만번의 반복하중을 가하여 센서의 이상 유무를 평가한다. 이를 위해 아래와 같은 반복 하중 인가장치 등을 사용한다.

예)



### 참고문헌

- [1] "FlexiForce Integration Guides, Tekscan Inc." [Online]. Available: <http://www.tekscan.com/>
- [2] "FSR Integration Guide, Interlink Electronics." [Online]. Available: <http://www.interlinkelectronics.com/>
- [3] "The response time behavior of pressure sensors, WIKA" [Online]. Available: <http://blog.wika.com/knowhow/response-time-behaviour-rise-tim/>