

# PCR 압력센서 소자 특성 연구

강영구 · 한상범\*

호서대학교 안전시스템공학과 · \*호서대학교 대학원 안전공학과

## 1. 서 론

압력센서는 외부에서 가해지는 압력 변화를 감지하여 이를 전기적인 신호로 변환시키는 장치로 활용되고 있다.<sup>1)</sup> 특히 미소 압력 측정이 요구되는 산업용 로봇을 비롯하여 의학 진단에서도 관상 동맥 협착증 검출용으로 압력센서 카테터를 삽입하는 등 자동차, 생체공학, 의료기, 항공, 환경 제어기술과 산업장비의 대규모 시스템 제어<sup>2)</sup> 등에 광범위하게 응용되고 있다. 그러나 국내에서는 단순히 일정 부위에 압력이 가해지면 감압 전도성 고무의 저항값이 변화하는 PCR(Pressure Conductive Rubber) 소재를 이용한 on/off식 스위치 개념 키패드, 안전차단기 등에 한정적으로 적용되고 있는 실정이다.<sup>3-4)</sup> 따라서 본 연구에서는 국내에서 상용화되어 있지 않은 PCR 소재를 이용한 안전용 소자로서 압력에 따른 저항값 변화 좌표를 검출하고, 압력 분포와 세기를 효과적으로 detecting 할 수 있는 단일 동작형 센서 소자를 개발하고자 하였다.

## 2. 실 험

원료 물질인 전기전도성 충전제는 교반시 분산 및 성형성을 향상시키기 위해 dry oven에서 100℃, 24hr 동안 건조하여 사용하였다. 각각의 matrix resin 함량을 기준으로 Table 1과 같이 총 무게 10wt%의 비율로 carbon black계 Printex XE-2B를 2wt%, 4wt%, 6wt%, 금속계 전도성 충전제를 4wt%, 6wt%, 8wt%, 10wt%의 함량비로 배합하여 교반하였다. Polyurethane rubber의 경우 2액형으로 구성되어 있어 주제에 전기전도성 충전제를 충전해 교반한 뒤 경화제를 넣고 재교반하여 PCR을 제조하였다. 고점도용 impeller가 부착된 homomixer로 3000rpm에서 1차 교반하였으며, 이후 교반시에 발생한 기포를 탈포하고 filler의 분산성 향상시키기 위해 conditioning mixer(MX-201, THINKY)로 2차 교반하였다. 교반 시간은 matrix resin의 경화 개시 시간을 고려하여 약 3~5분 동안 실시하였으며, 교반이 완료된 시료의 물성 시험 및 전기적 특성 시험을 위해 50℃에서 24시간 동안 경화시켰다.

또한 제조된 PCR 성형체를 직경 6mm로 원형 절단 후, Alumina substrate 센서 기판상에 두께 5t 이하로 conductive adhesive를 사용하여 부착, 전체 16개의 센서 소자 샘플을 제작하였다. 각 PCR 센서의 lead선에 multi tester 양단자를 연결하고, filler 및 resin별 함량 변화, 온도변화 및 반복하중시의 전기전도도를 체적저항으로 환산하였다.

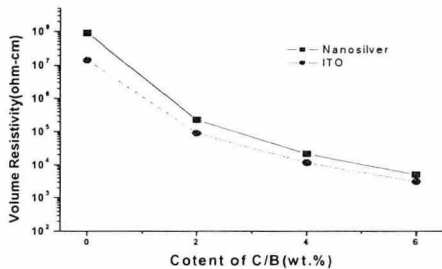
Table 1. Formulation of raw materials for manufacturing PCR sensor

Sample No.	Matrix Resin	Filler Content vs. Matrix Resin			Sample No.	Matrix Resin	Filler Content vs. Matrix Resin		
		Printex XE-2B	Silver	ITO			Printex XE-2B	Silver	ITO
Sample 1	Silicone	○	●10	○	Sample 9	Urethane	○	●10	○
Sample 2		●2	●8	○	Sample10		●2	●8	○
Sample 3		●4	●6	○	Sample11		●4	●6	○
Sample 4		●6	●4	○	Sample12		●6	●4	○
Sample 5		○	○	●10	Sample13		○	○	●10
Sample 6		●2		●8	Sample14		●2		●8
Sample 7		●4		●6	Sample15		●4		●6
Sample 8		●6		●4	Sample16		●6		●4

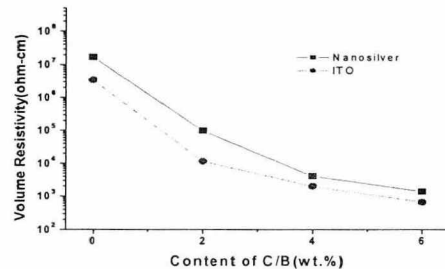
### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. Conductive filler에 따른 전기전도도

전도성 충전제의 함량변화 및 formulation 조건에 따른 전기전도도를 측정한 결과, 모든 시편에서 금속계 충전제 함량이 높아짐에 따라 낮은 전기 저항값을 나타내었다. 또한 금속계 충전제 함량이 높아짐에 따라 matrix resin과 filler 계면간 blending 특성 향상에 따른 점도 저하로 인해 가공상 용이성을 보였다. 금속계 충전제의 함량이 높아지면 가공 단가가 상승되어 resin 기준으로 10wt% 이하로 filler를 충전한 formulation 조건을 도출하였다.



(a) Urethane rubber matrix



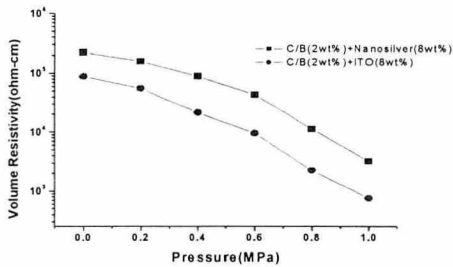
(b) Silicone rubber matrix

Fig. 1. Volume resistivity results of PCR sensor as the conductive fillers

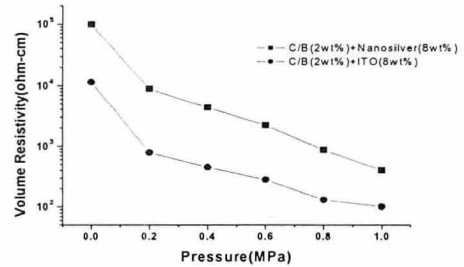
#### 3-2. F-R(Force-Resistance) test

Carbon계 충전제의 함량 변화 및 금속계 충전제 도입 여부에 따라 서로 다른 초기 저항값을 나타내었으며, 가압에 따라 전기 저항값이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 silicone rubber 성형체가 urethane rubber보다 초기 전기 저항값이 낮게 측정되었다. Silicone rubber의 경우 초기 저항값이 높고 압력 부가시 급격한 전기 저항 변화와 고

하중에서 압력에 따른 저항값 변화가 urethane rubber에 비해 상대적으로 적기 때문에 전기적 신호의 detecting시 오동작 가능성이 있으므로 on/off 개념의 switching 소자로 적합한 것으로 사료된다. 그러나 urethane rubber 센서 소자는 압력에 따른 전기 저항값이 일정한 변화를 나타내어 데이터 측정 센서 소자로 적합할 것으로 사료된다.



(a) Urethane rubber matrix

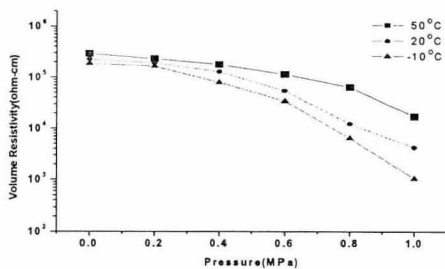


(b) Silicone rubber matrix

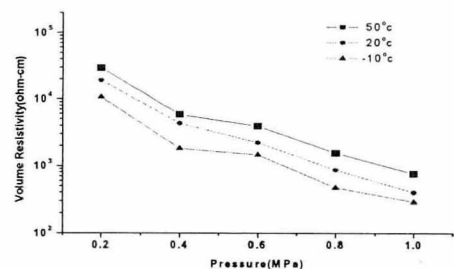
Fig. 2. F-R test results of PCR sensor

### 3-3. Temperature effect test

제조된 센서 소자의 온도 변화에 따른 F-R test를 실시한 결과 Fig. 3과 같은 결과 값을 얻을 수 있었다. Silicone rubber의 경우 PTC(Positive Temperature Coefficient) 효과에 따른 탄성 변화가 저온과 상온에서 뚜렷하여 전기 저항값 변화에서 큰 차이를 나타내었으며, 가압에 따라 일정한 변화 양상을 보였다. 그러나 urethane rubber sample의 경우 0.2MPa까지의 저 가압시에는 온도에 의한 영향이 미소하였으나, 0.4MPa이상의 고 가압시에는 온도에 따라 급격한 체적 저항 변화를 보였다.



(a) Urethane rubber matrix



(b) Silicone rubber matrix

Fig. 3. Temperature effect results of PCR sensor

### 3-4. Chemical resistance test

PCR 압력 센서 소자의 내화학성 안전성 시험을 위해 KS M3407에 의거한 침지 시험법에 따라 NaOH 40%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 30%, HNO<sub>3</sub> 40%, NaCl 10% 수용액에 60±5℃ 온도 조건하에 5시간 동안 시편을 침지시킨 결과 변색, 변형, 균열, 부풀음 등의 현상이 관찰되지 않았다.

## 4. 결론

본 연구에서 제조한 PCR 압력센서 소자의 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 유기계 carbon black과 무기계 silver 또는 ITO 분말의 복합화에 따른 PCR sensor 소자를 제조하여 가압에 따른 전기전도 특성을 측정하였다. carbon black의 함량이 높아지고 nano silver를 도입한 경우 체적 저항값이 현저히 감소하였으며, 내화학시험에서도 안전성을 나타내어 센서 소자로서 유효한 동작 특성을 나타내었다.
- 2) Matrix resin별 전기 전도도 특성은 탄성이 좋은 silicone rubber가 가압에 따라 급격한 저항값 감소를 보여 urethane rubber보다 우수한 양상을 나타내었으며, 이것은 혼합가공특성과 분산성 향상에 의해 탄성을 변화가 센서 소자에 도전 경로를 형성, 가압시 체적 저항값 감소를 나타낸 것으로 사료된다.
- 3) 온도에 따른 전기 전도도 영향은 urethane rubber는 가압에 따라 고저온 특성에 큰 차이를 보였으나 silicone rubber는 온도에 따라 일정한 저항값 변화 양상을 나타내었다.

## 참고문헌

1. S. P. Lacour, H. Prahlad, R. Pelrine and S. Wagner, "Mechatronic system of dielectric elastomer actuators addressed by thin film photoconductors on plastic", Sensors and Actuators, Vol. 111, pp. 288-292, 2004.
2. T. Abe, N. Gu, Y. Iriyama and Z. Ogumi, "Lithium-ion-conductive polyethylene oxide based polymer electrolytes containing tris(pentafluorophenyl)borane", Journal of Fluorine Chemistry, Vol. 123, pp. 279-282, 2003.
3. A. E. Job, F. A. Oliveira, N. Alves, J. A. Giacometti and L. H. C. Mattoso, "Conductive composites of natural rubber and carbon black for pressure sensors", Synthetic Metals, Vol. 135-136, pp. 99-100, 2003.
4. M. Knite, V. Teteris, A. Kiploka and J. Kaupuzs, "Polyisoprene-carbon black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials", Sensors and Actuators, Vol. 110, pp. 142-149, 2004.