

## 온도 감지용 연필 선 종이 센서 최적화 연구

권동준 · 신평수 · 김종현 · 백영민 · 박하승 · 박종만<sup>†</sup>

경상대학교 나노·신소재융합공학과, 공학연구원  
(2017년 2월 10일 접수, 2017년 2월 27일 수정, 2017년 3월 9일 채택)

### Optimum Condition of Pencil Drawing Paper Sensor(PDPS) for Temperature Detecting

Dong-Jun Kwon, Pyeong-Su Shin, Jong-Hyun Kim, Young-Min Beak, Ha-Sung Park, and Joung-Man Park<sup>†</sup>

Department of Materials Engineering and Convergence Technology,  
Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, Engineering Research Institute  
(Received February 10, 2017; Revised February 27, 2016; Accepted March 9, 2017)

**요약:** 본 연구는 연필을 이용하여 연필 선 종이 센서(pencil drawing paper sensor, PDPS)를 제작하였을 경우 센서로 활용하기 위한 기초연구를 실시하였다. PDPS를 제작하기 위한 기초 연구로 4B 조건이 최적이며, 연필 선의 길이는 20 mm 폭은 3 mm 조건이 적절하였다. 또한 종이는 A4조건이 최적이었으며, 접점의 안정화를 위해 스카치 테이프와 실버페이스트가 반드시 사용해야 데이터의 노이즈가 감소하였다. PDPS를 이용할 경우 온도에 대한 감지가 가능하였으며, 경험식으로 PDPS의 전기저항 변화도 결과와 온도 결과가 반비례 관계임을 확인하였다. 온도에 대한 PDPS 경험식을 바탕으로 복합재료의 성형단계에서의 확인한 PDPS의 전기저항 변화를 관찰하여 복합재료의 물성과의 상관관계를 확인하였다. 비교적 PDPS를 이용하여 복합재료의 기계적 및 계면 물성을 예측해 볼 수 있었다.

**Abstract:** This study is about basic sensor experiment using PDPS by common pencil. 20 mm length, 3 mm thickness of line using 4B pencil is optimum condition. In order to be stable at point of contact between pencil line and copper wire, silver paste is needed. At using the PDPS, thermal detecting is able and thermal properties is inversely proportional to electrical resistance in the based on empirical formula. The sensor can be also used in the composites mold via the empirical formula by the relationship between thermal impact and electrical resistance. The change of electrical resistance relates the interfacial property of composites. It leads to expectation of properties.

**Keywords:** electrical resistance method, interfacial, pencil drawing, paper sensor

### 1. 서 론

일반적으로 센서라 하면 외부응력이나 외부 환경에 대한 감지를 전기적 신호로 감지하여 수치화 할 수 있는 소재를 의미한다[1,2]. 전도성을 지닌 소재가 센서의 주된 소재로 사용되며, 경우에 따라 수분 또는 온도, 특정 기체에 대한 감지능을 가진 소재를 이용하여 최적의 형태로 소형 센서로 사용하는 것이 일반적이다 [3-5].

전도성 소재라 하면, 일반적으로 많이 사용되는 것이 CNT, graphene과 같은 탄소계 나노입자를 사용하거나

[6,7], 은, 금, 백금과 같은 금속계 나노입자가 일반적으로 많이 사용된다[8,9]. Graphene은 흑연에서 생성되는 흑연의 한층을 의미하며, 높은 전도성과 열전도성을 가지기에 많은 센서 부품으로 사용하기 위해 연구되고 있는 상황이다[10]. 전도성 입자만 있다고 센서가 되기는 어렵다. 입자를 강하게 잡고 있을 수 있는 기지재료가 필요하며, 일반적으로 고분자소재가 많이 사용된다. 특히 촉각센서와 같은 역할을 할 센서 연구에서는 PDMS와 같은 실리콘계 고분자가 많이 이용된다[11,12].

본 연구는 연필을 이용한 센서 개발의 기초연구이다. 연필은 흑연을 응축시켜 둔 필기용 소재이다. 연필로 종이에 선을 그을 경우 흑연이 종이에 흡착되어 선이 형성된다[13-16]. 연필 선을 종이에 형성시키는 조

<sup>†</sup> Corresponding author: Joung-Man Park (hmpark@gnu.ac.kr)

건을 최적화하여, 연필을 이용하여 흑연의 선을 이용한 센서(Pencil drawing paper sensor, PDPS)의 최적화 연구를 시도하였다. 연필의 종류, 연필 선의 두께에 따라 변화되는 PDPS의 전기저항 변화를 확인하였고, 연필을 이용해 선을 그을 때 종이에 전달되는 응력을 측정하였다. 선을 긋는 횟수에 따른 PDPS의 전기저항 변화를 확인하였다. PDPS의 점점 형성에 대한 안정화를 위해 실버페이스트와 스카치 테이프를 이용하는 최적 조건을 확인하였다. PDPS의 온도 감지능을 확인하기 위해 오븐에서 승온 조건에서의 PDPS 전기저항 변화도 결과와 하온 조건에서의 결과를 정리하였다. PDPS의 온도에 따른 전기저항 변화도 결과를 경험식으로 정리하여 온도에 따른 PDPS의 변화 정도를 확인하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 재료

PDPS를 제조하기 위해서 사용한 연필은 Tombou Mono사의 제품을 사용하였다. 4B, 3B, 2B, B, H, 2H, 3H를 사용하였다. 종이는 더블에이사의 A4를 사용하였고, 연필 선을 종이에 긋기 위해서 자를 이용하여 선을 그었다. 선 위에 전극을 형성시켜야 하기 때문에 구리선을 실버페이스트와 스카치테이프로 고정시켰다. PDPS 제작을 설명하는 모식도는 Figure 1과 같다.

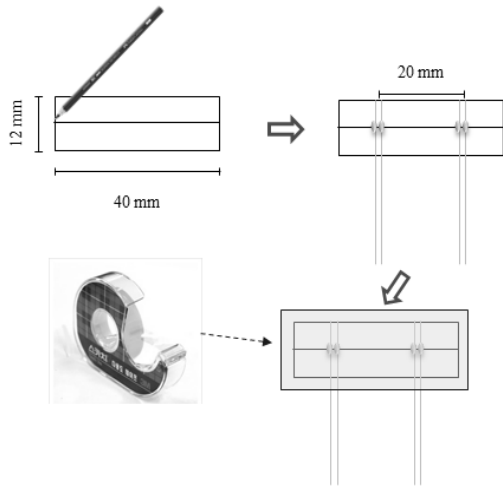


Figure 1. Model of fabrication step of PDPS.

### 2.2. PDPS의 온도 감지능 평가

PDPS 센서를 이용하여 온도감지능을 확인해 보았다. 건조오븐에 PDPS 센서를 넣고 승온 조건에서의 온도에 따른 전기저항 변화도 변화와 하온조건에서의 변

화를 경험식으로 확인하였다.

PDPS의 특성 최적화를 위해 다양한 변수를 주어 온도감지능의 차이를 확인하였다. 구리선을 고정시키는 최적화 연구를 위해 다양한 종류(투명 스카치테이프, 반투명 스카치테이프, 택배용 테이프, PI테이프)의 테이프를 활용하였고, 실버페이스트 사용여부에 따른 전기저항의 변화, 2점법, 4점법으로 전기저항을 측정했을 때 나타나는 전기저항의 신호를 비교 평가하였다. 종이의 차이에 따른 센서의 영향을 확인하기 위해 마분지, A4지, 과자포장지(PET가 코팅된 종이)에 따른 PDPS 특성 차이를 관찰하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1. PDPS의 최적화 연구

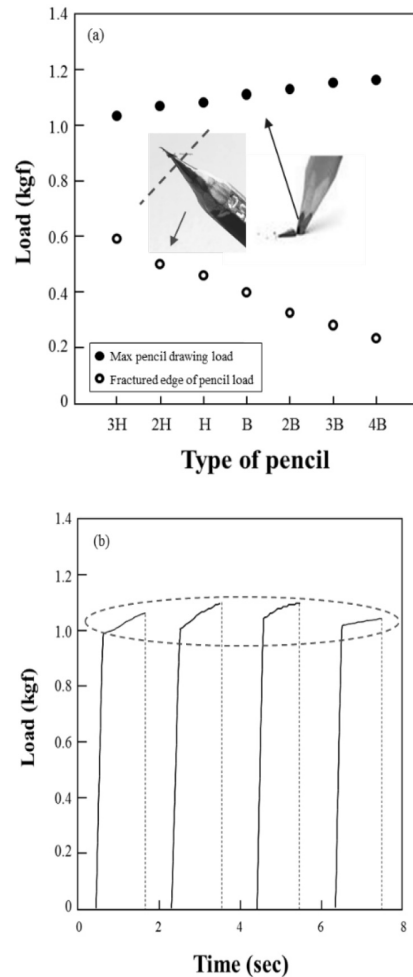


Figure 2. Load detection during pencil drawing on paper: (a) with different pencil type; (b) normal drawing load on paper (H type pencil).

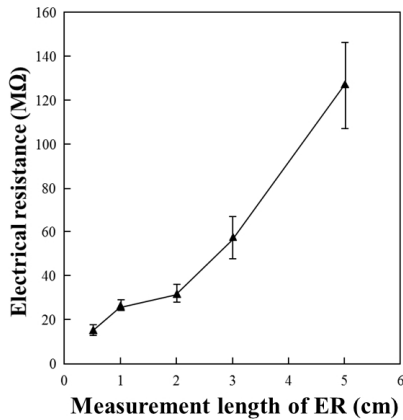


Figure 3. Electrical resistance of PDPS with different drawing length (3H pencil, 4<sup>th</sup> drawing, 5mm width).

Figure 2는 연필을 종이에 그을 때 감지되는 응력을 확인한 결과이다. Figure 2(a)는 연필 심의 종류에 따라 선을 그을 때 가해지는 응력의 차이를 정리한 결과이다. 연필깎이를 이용하여 초기 연필심을 원뿔형태로 만들어내면, 연필심의 종류에 따라 쉽게 앞부분이 부서지게 된다. 3H 심의 경우 4B보다 더 강하게 연필심이 제작되어있음을 확인할 수 있다. 연필 심의 끝부분이 파손되는 정도가 더 높다. 이는 연필 심을 제작할 때 사용된 흑연 이외의 점토의 함량과 연관이 있으며, 순수 흑연 심일 수록 쉽게 연필 심이 파괴됨을 확인하였다. 연필 심의 앞부분이 파괴될 경우 전체 종이에 가해지는 힘은 커질 수 있었다. 따라서 연필 심을 이용하여 종이에 선을 그을 경우 B 계열이 H 계열에 비해 높은 힘으로 연필 선이 형성될 수 있음을 검증하였다.

또한 Figure 2(b)의 결과와 같이 일반적으로 사람이 선을 그을 때 확인되는 힘을 분석해보면, 통상적으로 1~1.1 kgf 정도의 힘으로 선을 긋는다. 따라서 연필 심의 상태에 따라 가해지는 힘의 차이는 있지만, 연필 심의 끝부분이 마모되거나 파괴되었을 경우 연필 선을 종이에 그을 때 발생하는 힘은 비교적 일정하기 때문에 사람이 선을 긋는 차이에 따른 영향보다 사람이 선을 그을 때 어떤 종류의 연필을 사용했는지가 PDPS 센서를 제작할 때 특성의 차이를 나타낸다고 설명할 수 있다.

Figure 3의 경우 PDPS를 제작할 때 연필 선의 길이에 따른 전기저항의 변화를 확인한 결과이다. 일반적으로 옴의 법칙을 따르면 전기저항을 측정하는 길이가 길어질수록 전기저항은 증가된다.

PDPS를 제작하여 사용할 때도 이러한 법칙에 영향을 받기 때문에 너무 긴 형태의 센서를 제작하기 보다

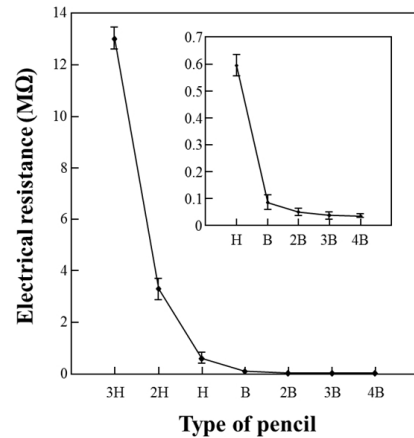


Figure 4. Electrical resistance of PDPS with different pencil type (10<sup>th</sup> drawing, 10mm width).

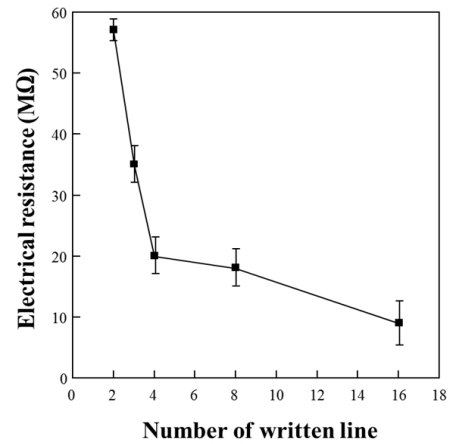
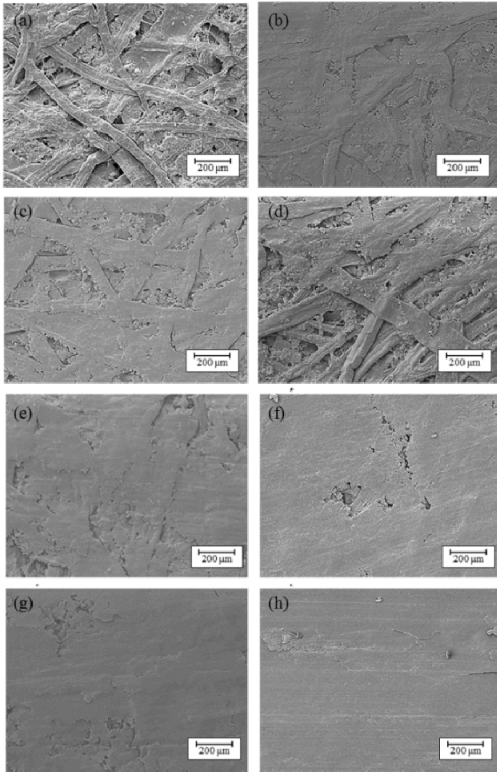


Figure 5. Electrical resistance of PDPS with different pencil type (3H, 5mm width).

는 적절한 연필 선의 길이가 존재함을 확인할 수 있었다. 특히 Figure 3에서 그래프에 변곡점이 확인되며, 2 cm 길이로 PDPS를 제작하는 것이 가장 효과적인 전기저항 상태를 가진다고 예상해 볼 수 있었다.

Figure 4는 연필 종류에 따라 2 cm 간격으로 PDPS를 제작하였을 때 전기저항의 정도를 분석한 결과이다. H 타입의 연필심과 B 타입의 연필심에 차이가 극명하게 나타남을 확인할 수 있었다. H 타입의 연필심을 사용할 경우 대부분 메가 옴 단위의 매우 큰 전기저항이 측정되지만, B 타입의 연필심을 사용할 경우 킬로 옴 단위의 저항을 측정할 수 있기 때문에 매우 안정적인 신호를 가진다고 설명할 수 있다. 또한 4B와 같이 연필 심의 숫자가 커짐에 따라 전기저항은 지속적으로 낮아졌으며, 4B 연필심까지는 일상에서 쉽게 구할 수 있기

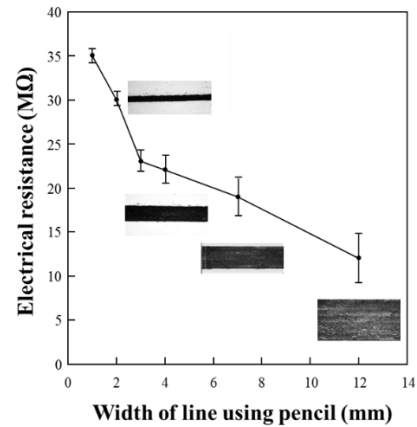


**Figure 6.** FE-SEM of PDPS with different pencil type: (a) neat A4 surface; (b) H; (c) 2H; (d) 3H; (e) B; (f) 2B; (g) 3B; and (h) 4B (4<sup>th</sup> drawing, 2mm width).

때문에 최적의 연필 심임을 확인하였다.

Figure 5는 연필 선을 몇 번 긋는 것이 적절한지 확인하기 위해 측정한 전기저항 정리 결과이다. 그림과 같이 연필 선을 많이 그을수록 더 진한 전도성을 가지기 때문에, 최대한 많이 선을 긋는 것이 효과적이라고 설명할 수 있지만, 그래프에서 변곡점을 확인할 수 있듯이, 4회 정도 선을 긋는 것이 적절하다고 생각해볼 수 있다.

Figure 6은 FE-SEM을 이용해 확인한 PDPS의 표면을 측정한 결과이다. 연필 종류에 따라서 매우 크게 표면이 달라진다. H 계열의 연필 심은 종이에 흑연이 제대로 흡착되지 않았고, 3H의 경우 연필 심 입자들이 일부분 종이에 묻어있을 뿐 하나도 묻지 않는 구간이 발생되었다. 반면 B 계열의 연필은 종이 표면에 쉽게 흑연 층이 형성됨을 확인할 수 있었고, 4B 연필의 경우 흑연 층이 종이 위에 확실하게 형성되어 종이의 거친 표면을 흑연이 덮고 있는 표면을 형성시켰다. 이러한 4B 연필로 만든 PDPS의 경우 전기저항의 안정성을 가지기 때문에 적절한 연필 조성은 4B임을 확인할 수 있었다.

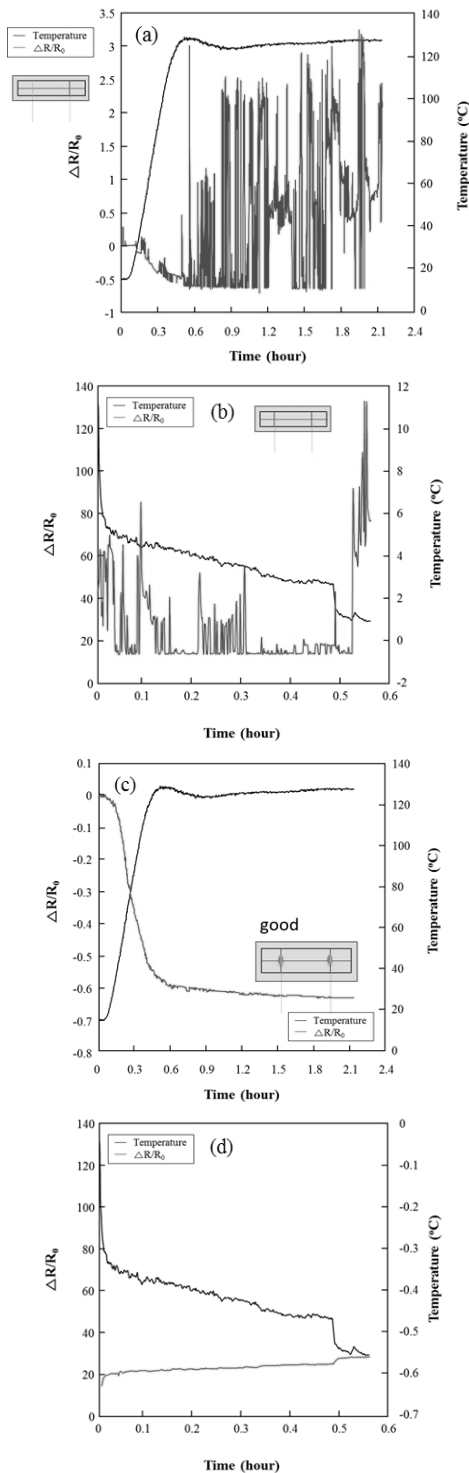


**Figure 7.** Electrical resistance of PDPS with different drawing line width (3H, 4<sup>th</sup> drawing).

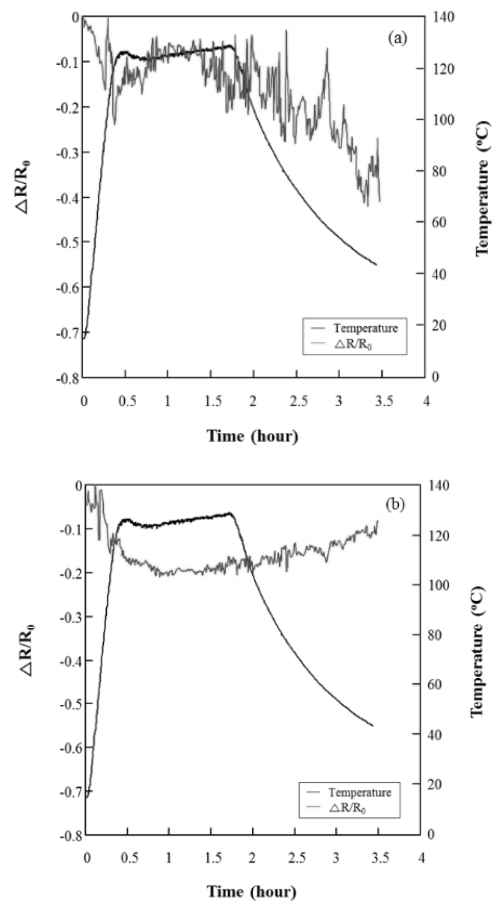
마지막으로 연필 선의 두께 선정을 위한 PDPS의 전기저항 결과를 정리한 것은 Figure 7과 같다. 연필 선의 폭을 키우면 전기저항 특성은 내려갈 수 있다. 하지만 선의 균질성은 떨어지게 되었다. Figure 7에 사진과 같이 선의 선명도가 떨어지는 현상을 볼 수 있고, 이러한 문제는 전기저항 측정 결과의 표준편차의 증가 결과를 나타내었다. 따라서 적절한 PDPS 내 연필 선의 폭은 3 mm 정도로 하는 것이 적절하였다.

### 3.2 PDPS의 온도감지능 분석

Figure 8은 전기저항 측정법을 이용하여 PDPS의 온도감지능을 관찰한 결과이다. 2 점법을 이용하여 PDPS를 제작하였을 때 실버페이스트를 도포하고 안하고의 차이를 확인할 수 있는 결과이다. Figure 8 (a)와 (c)는 승온 단계에서 PDPS가 감지하는 전기저항 변화도의 결과를 나타낸다. 실버페이스트가 구리선과 연필 선의 접점에 존재할 경우 접촉저항을 낮춰주기 때문에 온도에 대한 감지능이 우수해질 수 있다. 이러한 이유로 실버페이스트를 도포하지 않았을 경우 접점이 불안정하여 전기적 노이즈가 크게 형성되었다. 실버페이스트를 도포할 경우 전기저항 측정에 노이즈가 크게 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 PDPS 센서를 제작할 때 실버페이스트를 도포하여 점점부위에서의 접촉저항을 낮춰주어야 최적 조건으로 센서를 제작할 수 있다. 또한 PDPS 센서는 승온 단계에서는 비교적 전기저항이 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 전도성을 지니는 입자의 도핑 현상으로 설명할 수 있다. 온도가 높아짐에 따라 전도성 입자의 전자가 도핑하기 원활한 환경이 만들어지면서, 전자이동이 빨라져 전기저항이 떨어지는 것이다. 하지만 문제는 승온하였던 온도를 내



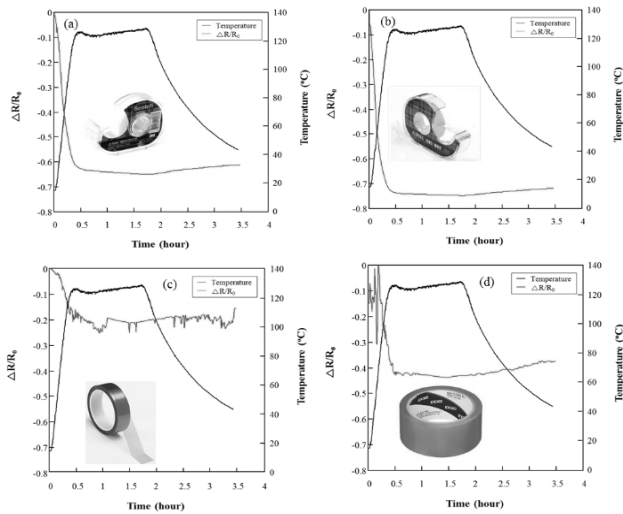
**Figure 8.** Temperature detecting of PDPS using electrical resistance: (a) increasing temperature (without silver paste); (b) decreasing temperature (without silver paste); (c) increasing temperature (with silver paste); and (d) decreasing temperature (with silver paste), (4B, 4<sup>th</sup> drawing, 3mm width, 2 probe PDPS).



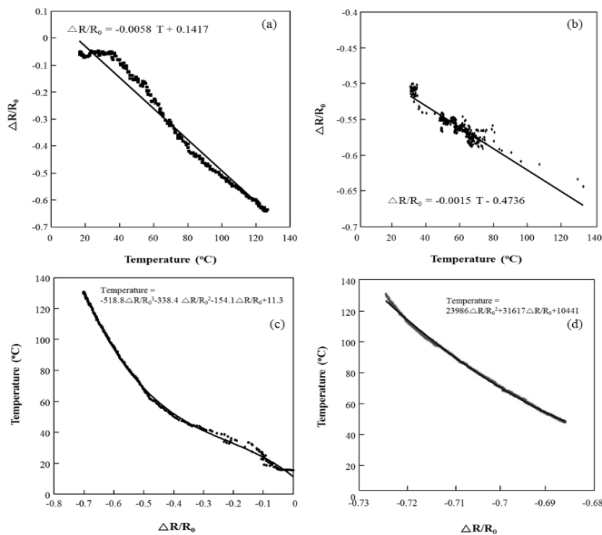
**Figure 9.** Temperature detecting of PDPS using electrical resistance with different paper type (4B, 4<sup>th</sup> drawing, 3mm width, 2 probe PDPS): (a) mabunji; (b) PET coated paper.

릴 때 발생된다. 종이센서에 존재하는 미세 수분이 승온단계에서 대부분 제거되며, PDPS의 형상이 변형된다. 이러한 과정에서 초기상태로 PDPS는 복구되지 못하고 열적 손상을 받게되며, 따라서 상온으로 온도가 내려온다 하여도 복원하지 못하게 된다. 즉 PDPS의 내구성이 부족하다는 점을 확인할 수 있었다.

Figure 9는 PDPS 센서의 종이를 달리하여 온도감지능을 분석한 결과이다. A4에 비해 두께가 2배 정도 두꺼운 마분지의 결과는 Figure 9(a)와 같이 확인할 수 있다. 온도에 대한 감지가 원활하게 되지 못하는 조건이 되고 전기적 접촉에 대한 고정이 승온에 따라 변화되는 종이의 거동 때문에 문제가 되었다. 또한 PET가 코팅된 종이의 경우 Figure 9(b)와 같은 결과를 나타내며, 온도에 대한 감지능 전기저항 변화도 그래프의 형태는 A4와 유사했지만, PET 표면에 제대로 연필 선이 형성되지 못하기 때문에 전기저항 노이즈의 발생이 크게 나타났다. 따라서 종이의 조건은 A4 조건이 최적이며,



**Figure 10.** Temperature detecting of PDPS using electrical resistance with different paper type (4B, 4<sup>th</sup> drawing, 3mm width, 2 probe PDPS): (a) Scotch 810; (b) Scotch 550; (c) PI tape; and (d) Yuri tape.



**Figure 11.** Trend line of temperature detecting of PDPS using electrical resistance: (a) increasing temperature (2 probe); (b) decreasing temperature (2 probe); (c) increasing temperature (4 probe); and (d) decreasing temperature (4 probe), (4B, 4<sup>th</sup> drawing, 3mm width, 2 probe PDPS).

두께가 두꺼운 종이는 PDPS로 사용하기에 문제가 있음을 확인하였다.

Figure 10은 테이프의 종류에 따른 PDPS의 온도감지능 차이를 분석한 결과이다. 일단 스카치 테이프를 이용했을 경우 온도감지능은 비교적 양호하였다. 하지

만 PI 테이프나 유리테이프 같은 경우 테이프의 두께도 두껍고 열전도가 잘 되지 않아 노이즈 발생이 대두되었다. 따라서 적절한 테이프는 스카치테이프 계열이지만, 810 타입과 550 타입에 대한 비교를 해볼 때 810 타입보다 550 타입이 더 넓은 전기저항 변화 상태를 나타내었다. 즉 PDPS 센서가 외부 온도를 감지하는데 있어 더 정밀하게 나타낼 수 있는 경우는 스카치 테이프 550 조건이라고 설명할 수 있다.

마지막으로 온도감지능에 대해 2 프루브로 PDPS를 제작한 경우와 4 프루브로 제작한 경우에 대한 경험식을 도출한 결과가 Figure 11이다. 2 프루브로 PDPS를 제작할 경우 비교적 제작이 간단하는 장점은 있으나 전기적 노이즈가 발생될 경우가 많으며, 경험식에서도 볼 수 있듯이 추세선에서 벗어나는 데이터들이 있어 문제가 된다.

하지만 4 점법으로 제작한 PDPS를 이용할 경우 비교적 온도에 대한 변화가 안정적이며, 추세선으로 데이터를 정리할 때 경향을 벗어나는 경우가 적어 비교적 안정적이며, 정확한 온도 감지가 가능할 것으로 예상할 수 있다. 따라서 PDPS를 이용하여 온도감지를 할 경우 4 점법으로 센서를 제작하여야 한다. PDPS의 최대 문제인 승온 후 하온에 따른 온도감지능은 비교적 많은 개선이 있어야 하기 때문에 승온에 대한 경우에만 PDPS를 사용하는 것이 적합하였다.

## 4. 결 론

본 연구는 PDPS를 제작하는 방법에 대한 최적화 연구와 온도감지능에 대한 가능성을 확인한 것이다. PDPS 센서는 연필을 이용한 연필 선을 전도성 감지 물체로 사용하며, A4 표면에 선을 긋는 힘의 정도, 선의 폭, 선의 길이, 연필 종류에 대한 최적화 연구 결과를 도출하였다. 온도감지능에 대해서는 흑연의 전도성을 이용하여 PDPS가 전기저항으로 외부 온도감지가 가능하였으며, 비교적 종이는 두껍지 않고, 연필 심이 잘 흡착될 수 있는 조건의 소재를 사용해야하며, 테이프 역시 스카치 테이프 550 조건이 가장 최적임을 확인하였다. 온도감지를 위해 사용한 PDPS는 승온 조건에 대해서는 비교적 감지가 용이하였지만, 하온 조건에서는 종이 기지에 수분이 없어지면서 발생하는 변형에 의해 온도감지능이 많이 떨어지는 경향을 나타내었다. 궁극적으로 PDPS를 온도감지능 승온조건에서 사용할 수 있다. 4 점법으로 PDPS를 제작할 경우, PDPS의 전기저항 변화도가 경험식으로 정리 될 만큼 안정적인 온도감지 센서로 활용할 수 있음을 확인하였다.

## 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MOE) (No. 2016R1D1A1B01012620), 2016-2022.

## References

1. D. J. Kwon, Z. J. Wang, J. J. Kim, K. W. Jang, and J. M. Park, *Journal of Adhesion and Interface*, **14**, 75 (2013).
2. D. J. Kwon, Z. J. Wang, G. Y. Gu, and J. M. Park, *Journal of Adhesion and Interface*, **13**, 58 (2001).
3. Z. J. Wang, D. J. Kwon, G. Y. Gu, J. K. Park, W. I. Lee, and J. M. Park, *Journal of Adhesion and Interface*, **12**, 88 (2011).
4. H. Erismis, D. Nemeč, M. Geiss, V. Skakalova, U. Ritter, I. Kolaric, and S. Roth, *Microelectronic Engineering*, **88**, 2513 (2011).
5. X. Niu, H. Zhao, C. Chen, and M. Lan, *Electrochimica Acta*, **65**, 97 (2012).
6. K. Han, Z. Liu, H. Ye, and F. Dai, *Journal of Power Sources*, **263**, 85 (2014).
7. Y. T. Lai, Y. M. Chen, T. Liu, and Y. J. Yang, *Sensor and Actuators A: Physical*, **177**, 48 (2012).
8. M. I. Tiwana, S. J. Redmond, and N. H. Lovell, *Sensor and Actuators: Physical*, **179**, 17 (2012).
9. K. H. Wong, D. S. Mohammed, S. J. Pickering, and R. Brooks, *Composites Science and Technology*, **72**, 835 (2012).
10. N. G. Karsli, A. Aytac, M. Akbulut, V. Deniz, and O. Guven, *Radiation Physics and Chemistry*, **84**, 74 (2013).
11. X. Sun, H. Kharbas, J. Peng, and L. S. Turng, *Polymer*, **56**, 102 (2015).
12. K. P. Yoo, L. T. Lim, N. K. Min, M. J. Lee, C. J. Lee, and C. W. Park, *Sensor and Actuator B: Chemical*, **145**, 120 (2010).
13. N. Kumar and R. R. N. Goyal *Sensor and Actuators B: Chemical*, **239**, 1060 (2017).
14. W. Li, D. Qian, Q. Wang, Y. Li, N. Bao, H. Gu, and C. Yu, *Sensor and Actuators B: Chemical*, **231**, 230 (2016).
15. H. Heydari, M. B. Gholivand, and A. Abdolmaleki, *Materials Science and Engineering C*, **66**, 16 (2016).
16. O. Saglam, D. G. Dilgin, B. Ertek, and Y. Dilgin, *Materials Science and Engineering C*, **60**, 156 (2016).