

## 전도성 카본 잉크를 이용한 직류 저항형 습도센서 제작 및 평가

안태창<sup>+</sup>

### Evaluation of DC Resistive Humidity Sensors Based on Conductive Carbon Ink

Taechang An<sup>+</sup>

#### Abstract

A DC resistance type humidity sensor using conductive carbon ink was fabricated and its performance was evaluated. The humidity sensor was fabricated using a screen printing technique and have a structure that does not require additional metal electrodes to measure resistance change. To evaluate the performance of the humidity sensor, we measured the DC resistance change under various relative humidity levels. The fabricated humidity sensor showed a resistance change of about 2.5 ~ 50 k $\Omega$  in 11 ~ 95% RH environment. It also shows a linear relationship in the relative humidity versus log DC resistance graph. In comparison with commercial humidity sensor under real environment, it can be confirmed that the resistance of the humidity sensor changes to almost the same level as the measured humidity. These results show that the resistance type humidity sensor can be operated stably in actual environment.

**Keywords:** Humidity Sensors, Conductive Carbon Ink, Screen Printing, Resistive Sensors, IoT Sensors

#### 1. 서 론

사물인터넷 기술의 발달과 함께 간단 구조 및 작동 메커니즘을 가지는 센서의 개발이 요구되고 있다. 특히 습도는 일상생활 뿐만 아니라 다양한 산업현장과 연구분야에서 중요한 영향을 미치는 물리량 이다[1-2]. 따라서 우리 주변의 습도를 정확히 측정하고 관리하는 것은 매우 중요한 일이다. 습도센서의 응용분야는 농업분야의 토양 습도측정, 공학 분야에서 부식 모니터링, 공정 환경 모니터링, 건축분야의 결로 모니터링, 주거환경 모니터링, 문화재 및 미술품 등의 보존을 위한 습도조절 등 매우 광범위 하다[2-3]. 따라서 다양한 응용분야에 적합한 습도센서의 개발과 적용이 필요하다.

현재 개발되고 있는 전자식 습도센서는 측정방식에 따라 크게 광학 측정방식[4], 저항 변화방식[2-5], 정전용량 변화 방식[9-10] 등으로 구분할 수 있다. 광학식 습도센서는 광섬유를 기

반으로 하여 우수한 내화학적, 기계적 안정성 및 신호 안정성을 가지고 있지만 복잡한 광학장비를 필요로 하는 단점이 있다[4]. 정전용량형 습도센서는 낮은 습도의 감지가 가능하고 응답 특성이 우수한 장점을 가지고 있지만 대량 생산이 어렵고 센서부의 관리가 필요한 단점을 가지고 있다[2]. 반면 저항형 습도센서는 온도 보정이 필요하거나 낮은 습도의 측정이 어려운 단점을 가지고 있지만 간단한 구조와 대량생산 및 측정이 용이한 장점을 가지고 있어 사물인터넷 분야에 적용에 매우 유리하다[2]. 저항형 습도센서는 일반적으로 바이트 형태의 전극이 인쇄된 기판에 세라믹, 고분자 및 전해질(염화리튬 등)의 박막을 형성하여 제작한다[7]. 저항형 센서의 감습막 물질은 저항이 크기 때문에 측정용 금속전극을 반드시 형성하여야 하며, 전극의 형태가 습도센서의 성능에 영향을 주기도 한다[7]. 감습막의 도포 공정은 일반적으로 spin coating, dip coating, evaporation, sputtering 및 프린팅 등의 방법이 사용된다[2]. 그러나 기존의 저항형 습도센서는 측정용 금속전극 형성 및 감습막 제조 공정 등의 문제로 사물 일체형 센서의 제작이 어려웠다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 종이 위에 연필을 이용하여 측정용 전극을 직접 그리고 탄소나노튜브를 페인팅 기법으로 도포하여 습도센서를 제작한 연구도 발표되었다 [11].

본 연구에서는 상용으로 판매되고 있는 전도성 카본 잉크의 습도에 따른 저항특성을 분석하고 인쇄기반 저항형 습도센서를 제작하였다. 전도성 카본 잉크는 우수한 전기적 특성(낮은 저항)을 가지고 있으며, 습도 반응성이 뛰어나 습도센서 감응 물질로

국립안동대학교 기계설계공학과(Department of Mechanical Design Engineering, Andong National University)  
Andong National University, 1375 Gyeongdong-ro, Andong 36729, Korea  
<sup>+</sup>Corresponding author: tcmarias@anu.ac.kr  
(Received: Sep. 4, 2017, Revised: Nov. 8, 2017, Accepted: Nov. 16, 2017)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적합하다. 또한 스크린 프린팅 기법을 사용하여 제작 가능하고 별도의 측정용 금속 전극의 제작이 필요하지 않기 때문에 다양한 표면에 일체형으로 손쉽게 제작할 수 있어 사물인터넷 분야의 적용에 매우 유리하다. 제작된 센서는 최대 수십  $k\Omega$  수준의 낮은 저항을 가지고 있으며, DC 저항변화로 습도 측정이 가능할 뿐만 아니라 높은 감도를 나타내었다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 전도성 카본잉크를 이용한 습도센서 제작

전도성 카본잉크는 상용제품인 Electric Paint(Bare Conductive, 영국)를 사용하였다. Electric Paint 제품은 카본 입자를 기반으로 한 전도성 잉크 제품으로 물을 용매로 사용하여 독성이 없는 제품이다. 전도성 카본 필름의 두께가  $50 \mu\text{m}$  일 때 약  $55\Omega/\text{sq}$ 의 면저항을 가지고 있어 습도센서 제작 시 우수한 전기적 특성을 부여할 수 있다. 전도성 카본잉크는 용매인 물, 전도성 카본입자, 습윤제 및 천연수지로 이루어져있다[12]. 첨가된 습윤제 및 천연수지의 종류는 영업비밀로 밝혀져 있지 않지만, 주변의 상대습도에 반응하여 전도성 카본 필름의 전기저항의 변화를 유발한다.

본 연구에서는 Fig. 1에서 보는 것과 같이, 저항형 습도센서 패턴을 제작하기 위해 스크린 프린팅 기법을 사용하였다. 탈부착이 용이한 웨이퍼 다이싱 필름을 원하는 패턴으로 절단하여 제작한 Shadow Mask를 기판에 부착하고, 전도성 카본 잉크를 유리기판에 선택적으로 도포하여 패턴을 제작하였다. 전도성 카본 잉크가 도포된 기판은  $60^\circ\text{C}$  대류오븐에서 10분간 건조하였다. 습도센서의 형상은 습도 반응 영역이 폭 1 mm, 길이 15 mm로 구성되고 측정을 위한 전극 패드가 가로 10 mm, 세로 10 mm로 구성되어 있다. 전도성 카본 필름의 두께는 센서의 저항이 약 수  $k\Omega$  수준을 유지하도록 조절하였다.

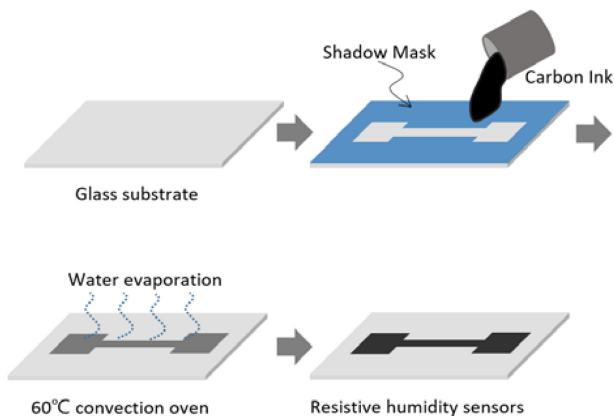


Fig. 1. Fabrication process of resistive humidity sensor using conductive carbon inks



Fig. 2. Experimental setup of humidity sensing.

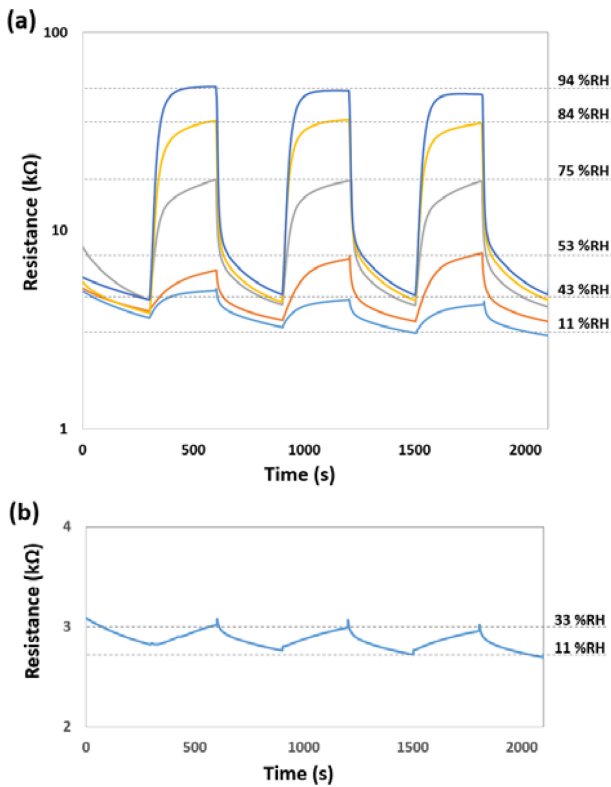
### 2.2 습도센서의 성능 평가

제작된 습도센서는 다양한 상대습도에서 DC 저항변화를 측정하였다. DC 저항을 측정하기 위해 FLUKE 289 TRUE RMS MULTIMETER를 사용하였다(Fig. 2). 다양한 상대습도 환경을 조성하기 위하여 염의 과포화 수용액을 이용하였다. 밀폐된 용기에 LiCl,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , NaCl, KCl,  $\text{KNO}_3$  과포화 용액을 넣어 각각 11, 33, 43, 53, 75, 84, 94 %RH의 습도환경을 조성하였다[8,11]. 모든 염화합물은 대정화급에서 구매하였다. 실제 환경에서 습도 변화를 측정하기 위해 Testo 605-H1 온습도계를 사용하여 비교 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 습도측정 및 성능평가

전도성 카본 필름의 습도 반응성을 확인하기 위하여 다양한 상대습도를 가지는 과포화 염 수용액 환경에서 DC 저항변화를 관찰하였다. Fig. 3은 온도  $25^\circ\text{C}$ , 습도 11 %RH (과포화 LiCl 수용액) 환경을 기준으로 94, 84, 75, 53, 43, 33 %RH 환경으로 각각 변화할 때 5분간격으로 3회 사이클 변화를 측정된 결과를 나타낸다. 전도성 카본 필름의 습도 반응성은 3회의 습도 변화 사이클 동안 반복적으로 동일한 저항변화 패턴을 보이며 안정적으로 동작하는 것을 볼 수 있다. 제작된 습도 센서의 민감도를 평가하기 위해 11 %RH에서의 저항( $R_0$ , 약  $2.7 k\Omega$ )을 기준으로 각각의 습도에 따른 저항변화율( $\Delta R/R_0$ )을 계산하였다. 상대습도 94 %RH에서 저항변화율이 약 1700% 이상으로 매우 높게 나타났으며, 33 %RH의 낮은 상대습도에서도 약 10%의 저항변화율을 나타내었다. 이는 기존에 발표된 폴리머 기반에 센서가  $M\Omega$  수준에 저항 수준과 수십 %의 저항변화율을 가



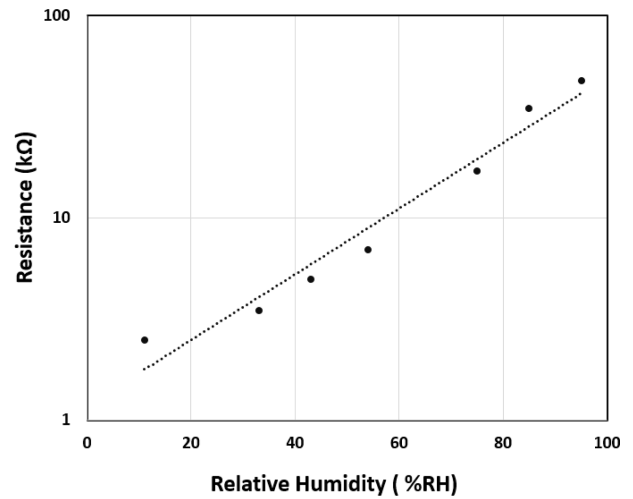
**Fig. 3.** Humidity sensing response of sensors based on conductive carbon inks of glass substrate. (a) Three circles dynamic sensing response of the sensors to 43, 53, 75, 84 and 94 %RH from 11 %RH, respectively. (b) Three circles dynamic sensing response of the sensors to 33 %RH from 11%RH.

지는 것에 비해 매우 우수한 성능을 나타낸다[6-7].

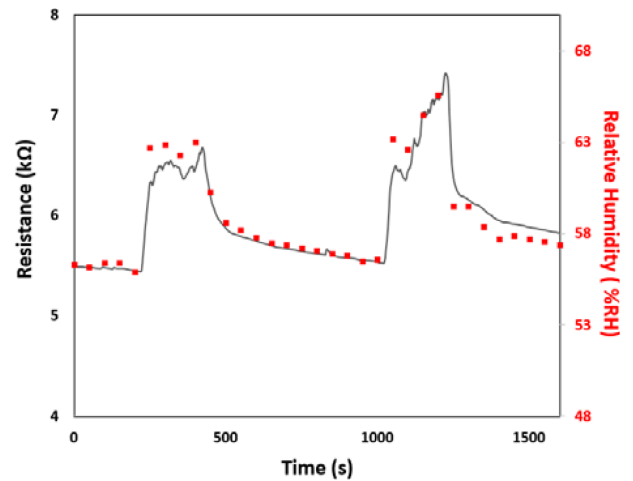
다만, 상대습도가 낮아질수록 센서의 안정화 시간이 길어지고, 습도에 따른 반복 특성이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 특성은 주로 폴리머 기반 습도센서에서 나타나는 특성으로[2], 본 연구에서 사용된 상용 카본 잉크에 첨가된 습윤제 및 천연수지가 습도에 반응하여 폴리머 기반 센서와 같은 특성을 나타내는 것을 보여준다.

제작된 센서의 반응속도는 습도가 감소하는 구간 보다 증가하는 구간에서 더 빠르게 나타났다. 특히 상대습도가 약 50% 이하로 감소하는 구간에서는 그래프의 기울기가 급격히 감소하면서 반응 시간이 길어졌다. 이러한 특성은 폴리머 기반의 습도 센서가 낮은 습도에서 흡착된 물 분자가 탈습되는 속도가 현저히 감소하면서 나타나는 현상으로 볼 수 있다[2]. Fig. 3 (b) 에서 보는 것과 같이 33 %RH의 낮은 습도에서 센서의 저항 변화의 기울기가 현저히 작아진 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 4는 각각의 습도에서 안정화된 저항을 측정하여 상대습도에 따른 저항변화를 나타내었다. 제작된 센서 저항의 대수 (logarithm)값이 상대습도 증가에 따라 선형적으로 증가하는 결과를 보였다. 습도변화에 따른 저항 추세선의 R<sup>2</sup> 값 (coefficient of determination)이 0.9613으로 1에 근접한 선형성을 가지고 있



**Fig. 4.** Sensitivity of resistive humidity sensor



**Fig. 5.** Humidity sensing response of sensor based on conductive carbon inks and reference humidity sensor at the real environment.

다. 비록 습도에 따라 저항이 지수적으로 변화하여 대수 변환과정이 필요하지만, 높은 습도에서 큰 저항변화는 적용 분야에 따라 활용도가 높다고 할 수 있다.

기존의 저항형 습도센서들이 대부분 AC 임피던스 변화를 측정하여 복잡한 측정장비 및 회로를 필요로 한 것에 비해, 전도성 카본 필름의 경우 습도 변화에 따라 안정적인 DC 저항 변화를 보임으로써 센서시스템의 간편화를 기할 수 있을 것이다. 또한 페인팅을 통해 표면에 직접 습도센서를 형성할 수 있기 때문에 사물인터넷 기반에 습도센서 제작에 매우 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

제작된 센서의 실제 환경에서의 반응특성 및 성능을 평가하기 위하여, 약 6평의 사무실 공간에서 가습기를 사용하여 습도 환경을 변화시키면서 상용 습도센서(Testo 605-H, 정전용량형 습도센서)와 비교 측정하였다. Fig. 5는 제작된 센서의 저항 변

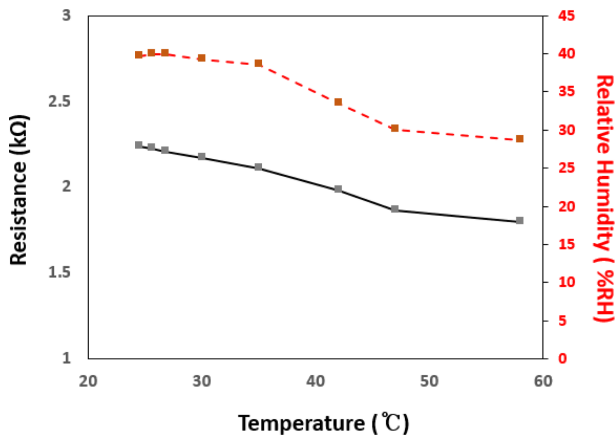


Fig. 6. Temperature response of sensor based on conductive carbon inks.

화(실선)와 상용 습도센서로 측정된 습도변화(점, 50초간격으로 측정)를 보여준다. 상용 습도센서로 측정된 실내 공간의 습도는 가습기의 작동여부에 따라 약 55%에서부터 65%까지 10% 내외에서 변화하였다.

이때, 제작된 센서의 저항변화는 측정된 습도와 거의 동일한 양상과 변화 속도를 가지고 변화한 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 제작된 저항형 습도센서가 실제 사용 환경에서도 안정적으로 작동 가능함을 보여준다.

다만, 일반적으로 저항형 습도센서의 경우 온도 민감성을 가지기 때문에 온도에 따른 영향을 평가할 필요가 있다. 상대습도는 온도에 따라 민감하게 변화하기 때문에 순수하게 온도가 습도센서의 성능에 미치는 영향을 평가하기는 어렵다. 본 연구에서는 온도와 습도가 함께 변화하는 환경에서 제작된 습도센서의 저항변화를 관찰하였다. Fig. 5는 온도 변화에 따른 상대습도의 변화(점선)와 제작된 습도센서의 저항 변화(실선)를 나타낸다. 상대습도의 변화가 거의 없는 약 20°C에서 30°C 구간에서 센서의 저항이 온도 증가와 함께 다소 감소하여 온도 영향이 존재하는 것을 확인 할 수 있지만, 그 변화율이 습도에 의한 변화를 보다 미미한 수준을 보인다. 따라서, 향후 온도에 의한 습도센서의 저항변화를 보정하기 위하여 차동모드(difference mode)의 측정이 필요하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 상용 전도성 카본 잉크를 이용하여 습도센서를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 스크린 기법을 이용하여 별도의 측정전극(금속전극) 없이 전도성 카본 필름을 제작하였으며, 과포화 염 수용액과 실제 환경에서 습도에 따른 저항변화를 측정하였다. 전도성 카본 필름은 건조상태에서 약 수 kΩ의 저항값을 가지도록 디자인 하였으며, 습도에 따라 최대 수십 kΩ

까지 저항이 증가하였다. 제작된 센서는 습도변화에 따라 지수적으로 선형적인 저항변화 특성을 가지며, 실제 환경에서도 상용 습도센서와 대등한 성능을 나타냈다. 비록 낮은 습도영역에서 반복 측정 특성이 일정하지 않았으나 50% 이상의 습도영역에서는 반복 측정에서도 안정적 특성을 나타내었다. 이러한 습도센서는 특정 사물 또는 표면에 일체형으로 제작가능하며, DC 저항변화를 이용한 간단한 측정방식 및 저전력, 실시간 습도를 모니터링 할 수 있기 때문에 사물인터넷 분야에 적용할 수 있다. 특히 높은 습도에서 우수한 특성을 가지고 있어, 스크린 페인팅 기법으로 사물의 표면에 직접 습도 센서를 제작하여 건축물 벽면의 결로 모니터링, 목조 문화재의 습도 관리, 고미술품 및 서적의 습도관리 등의 분야에 매우 유용할 것으로 기대된다. 다만 상용 전도성 카본 잉크를 사용하여 경제적으로 일정한 특성과 안정적인 습도센서의 제작이 가능하지만, 향후 첨가된 습윤제 및 천연수지의 규명을 통해 습도 반응 원리 및 최적화 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 2016년도 안동대학교 연구비를 지원받아 수행하였습니다.

#### REFERENCES

- [1] Z. M. Rittersma, "Recent achievements in miniaturised humidity sensors—a review of transduction techniques," *Sens. Actuator A-Phys.*, Vol. 96, No. 2, pp. 196-210, 2002.
- [2] H. Farahani, R. Wagiran, and M. Hamidon, "Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review," *Sensors*, Vol. 14, No. 5, pp. 7881-7939, 2014.
- [3] T. A. Blank, L. P. Eksperiandova, and K. N. Belikov, "Recent trends of ceramic humidity sensors development: A review," *Sens. Actuator B-Chem.*, Vol. 228, pp. 416-442, 2016.
- [4] J. Ascorbe, J. Corres, F. Arregui, and I. Matias, "Recent Developments in Fiber Optics Humidity Sensors," *Sensors*, Vol. 17, No. 4, p. 893, 2017.
- [5] K.-J. Park and M.-S. Gong, "A water durable resistive humidity sensor based on rigid sulfonated polybenzimidazole and their properties," *Sens. Actuator B-Chem.*, Vol. 246, pp. 53-60, 2017.
- [6] H. B. Kim, M. Sajid, K. T. Kim, K. H. Na, and K. H. Choi, "Linear humidity sensor fabrication using bi-layered active region of transition metal carbide and polymer thin films," *Sens. Actuator B-Chem.*, Vol. 252, pp. 725-734, 2017.
- [7] Ahn, Hee-Yong and Gong, Myoung-seon, "The effect of electrode pattern on the humidity-sensing properties of the resistive humidity sensor based on all-printing process," *polymer(Korea)*, Vol. 36, No. 2, pp. 169-176, 2012.

- [8] H. Ryu, B. Kim, H. J. Kwon, J. Heo, and G. Lim, "Evaluation of Electrospun TiO<sub>2</sub>/PVP/LiCl Nanofiber Array for Humidity Sensing," *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 23, no. 1, pp. 42-45, 2014.
- [9] J.-N. Schönberg, V. Kondrashov, A. Prokhorov, and J. Rühle, "Capacitive humidity and dew-point sensing: Influence of wetting of surface-attached polymer monolayers on the sensor response," *Sens. Actuator B-Chem.*, Vol. 222, pp. 87-94, 2016.
- [10] Z. Zhao, J. Zhang, J. Zhang, C. Li, Y. Li, and X. Wang, "Capacitance-type MWCNTs/SiO<sub>2</sub> humidity sensor based on capillary condensation and percolation theory," *Sens. Actuator A-Phys.*, Vol. 263, pp. 648-653, 2017.
- [11] H. Zhao, T. Zhang, R. Qi, J. Dai, S. Liu, and T. Fei, "Drawn on Paper: A Reproducible Humidity Sensitive Device by Handwriting," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, Vol. 9, pp. 28002-28009, 2017.
- [12] <https://www.bareconductive.com/> (retrieved on Sep. 1, 2017)