

황동단자에 대한 인쇄형 유연촉각센서의 출력 특성

김진동*, 배용환**, 이인환***, 김호찬****, #

*안동대학교 신뢰성교육연구센터, **안동대학교 기계교육과, ***충북대학교 기계공학부,
****안동대학교 기계자동차공학과

Study on Output Characteristics of Printed Flexible Tactile Sensors Connected to Brass Terminals

Jindong Kim*, Yonghwan Bae**, Inhwan Lee***, Hochan Kim****, #

*Andong National University, Education and Research Center for Reliability,

**Department of Mechanical Education, Andong National University,

***School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University,

****Department of Mechanical and Automotive Engineering, Andong National University

(Received 10 February 2020; received in revised form 16 February 2020; accepted 21 February 2020)

ABSTRACT

While the demand for robots in the manufacturing industry has dramatically increased, the industrial robots' functionality is mainly determined by the effector attached to the end of their arms. They need a flexible gripping system that can act as a human hand and easily grasp a variety of objects, which requires resilient sensors. This study clarifies the electrical output characteristics of elastic tactile sensors according to contact terminals because the output characteristics of the tactile sensors vary greatly, depending on the contact material and the method of contact with the conductive wire. Our research considers the Three Roll Mill and Paste Mixer as the dispersion medium, and a nickel- and gold-plated brass electrode as the contact terminal.

Key Words : Flexible Tactile Sensor(유연촉각센서), Pressure Sensitive Ink(압력감응잉크), MWCNTs(다중벽카본나노튜브), Contact Terminal(접촉단자)

1. 서 론

최근 로봇의 산업적 활용이 크게 증가하고 있다. 특히 서비스 로봇과 같이 인간과 함께 작업하거나 인간을 보조하는 작업을 수행하는 로봇의 활용이 크게 증가하고 있다^[1,2]. 이에 로봇이 기존에 사람이 하던 역할을 대신하여 수행할 필요성이 증

대하고 있으며 이를 위하여 사람의 손과 같은 그리퍼(gripper)를 장착한 end effector가 많이 활용되고 있다^[3]. 사람의 작업을 대신하는 로봇의 그리퍼는 인간의 손과 유사한 형태는 물론 일부 탄성이 필요하다. 따라서, 여기에 장착되는 센서도 역시 유사한 수준의 탄성을 갖출 것이 요구된다. 이에 탄성촉각센서가 매우 활발히 연구되고 있다^[4,5]. 그런데, 탄성촉각 센서는 탄성이 없는 도선과 연결될 때 상호 전기적 결합이 좋지 못한 문제가 있다. 따라서 촉각센서와 접촉단자 사이에 적절한

Corresponding Author : hckim@andong.ac.kr

Tel: +82-54-880-5269, Fax: +82-54-810-5044

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <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.

전기적인 결합을 유지하기 위한 연구가 필요하다. 이에 본 논문에서는 촉각센서가 가진 탄성에 의해 연결되는 접촉단자와 촉각센서의 제작 방법에 따른 그 출력 특성을 조사하고자 한다. 본 논문의 탄성촉각센서는 MWCNT(Multi walled carbon nano tube)와 PDMS(poly dimethyl siloxane)를 주요한 소재로 사용하여 센서를 구현하고 있다^{6,7}. 이러한 재료를 이용하여 토출이 가능한 상태의 압력감응재를 제조하기 위해서 3 Roll Mill을 사용한 방법과 Paste Mixer를 이용하여 제작되는 방법이 실험적 연구에 포함되었다. 또한, 접촉단자로는 산업에서 많이 활용되는 황동에 니켈과 금을 도금한 전극이 그 원소별 함유량에 따라 그 센서 저항에 대해 어떠한 특성 변화를 보이는지 실험을 통해 측정하였다. 결과적으로 본 논문은 어떠한 단자가 탄성촉각센서의 접촉단자로 유용한지 실험적 결과를 기반으로 밝히고자 한다.

2. 시편제작

유연한 촉각센서는 여러 종류가 있지만 본 논문은 인쇄가 가능한 센서를 대상으로 한다^{6, 8}. 이때의 소재는 제작 후에는 압력의 감지가 가능하면서 제작 시 Direct draw 등의 기술로 인쇄가 가능해야 한다. Fig. 1에는 이러한 촉각센서와 터미널에 대한 실험을 수행할 시편을 보였다. 시편의 제작 순서는 다음과 같다.

- 1) 3D 프린터로 제작된 베이스 출력
- 2) 베이스에 PDMS를 한층 도포 후 경화
- 3) 단자설치
- 4) 압력감응재 제작
- 5) Direct draw기술로 촉각센서의 도포 후 경화

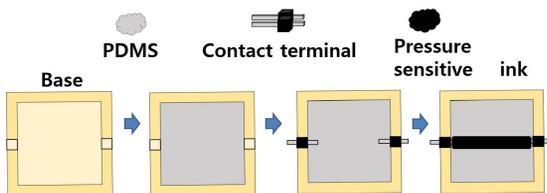


Fig. 1 Specimen fabrication

시편의 베이스는 일반적인 보급형 재료압출 (Material extrusion) 방식인 CUBICON사의 single 3D 프린터를 이용하여 후경화시에 내열성이 비교적 우수한 ABS(Acrylonitrile Butadiene, Styrene) 소재로 제작하였다. 이후 PDMS의 도포에는 DOW CORNING사의 sylgard 184 A, B제를 질량비 100:6의 비율로 혼합하여 사용하였다. 이후 60도의 온도에서 2시간 이상 충분히 경화하였다. 이후 접촉단자를 설치하고 압력감응재를 제작하고, 도포하여 경화하였다.

2.1 Direct draw system

Fig.2에는 시편을 제작하기 위해 압력감응재를 도포한 Direct draw 시스템의 구성을 보였다. 이 장치는 G-Code에 의해서 토출 헤드의 위치를 제어하며, 토출이 있는 이동과 없는 이동을 구분하여 실시할 수 있도록 설계되었다. 실험에서 소재의 토출은 공압으로 주사기에 담긴 소재를 압출하는 IWASHITA의 Accura 8dx를 이용하였다. 사용된 주사기팁은 MUSASHI사의 tpnd-22g이다.

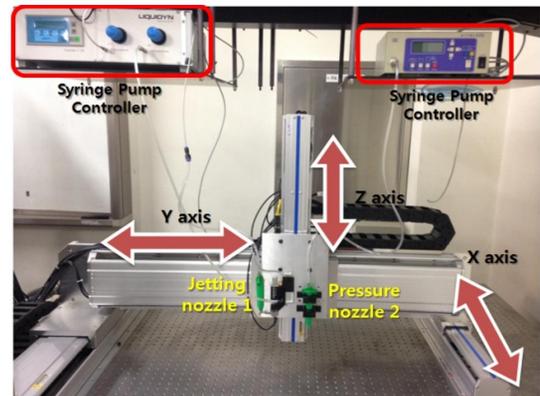
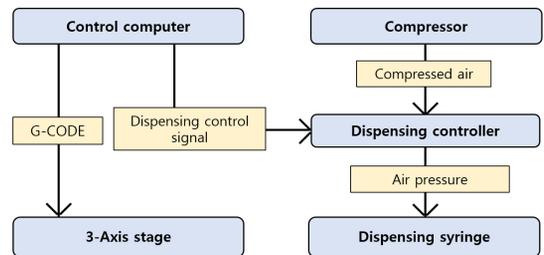


Fig. 2 Direct draw system

2.2 인쇄형 압력감응재의 제작

본 논문의 압력감응재는 전도성이 높은 MWCNT가 비전도체 탄성폴리머 내에 분산된 상태에서 압력에 따라 MWCNT간의 연결 상태가 변화함으로써 압력을 측정할 수 있는 소재이다^[7]. 이러한 압력감응재의 감도에는 MWCNT의 분산 정도가 매우 큰 영향을 미치며, CNT의 분산에 대해서는 최근 많은 연구가 이루어지고 있다^[9,10]. 본 논문에서는 매우 높은 점도에서도 분산이 가능한 3 Roll Mill과 특별한 희석제 없이 분산이 가능한 Paste Mixer를 이용한 결과를 비교하였다. Fig. 3은 비교될 2가지 분산방법에 따라 재료를 준비하는 과정을 그림으로 설명한 것이다. 압력감응재의 제작을 위하여 단계에서 사용되는 소재의 량과 사용되는 장비 등은 도식에서 설명되었으며, Fig 3(a)의 3 Roll Mill 을 이용하는 방법은 사전연구를 참

조하기 바란다^[7]. Fig 3(b)에 나타낸 Paste Mixer를 이용할 경우에는 희석제와 계면활성제가 필요하지 않다. Paste Mixer는 공전 1700RPM 자전 850RPM 으로 5분간 혼합하는 것으로 설정되었으며, MWCNT의 분산시에는 3회 반복하였으며, PDMS 경화제 투입시에는 1회 혼합을 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 황동 접촉단자

접촉단자는 Fig. 1에 보인 바와 같이 금속 막대형상이며, 중앙부에 절연체가 있다. 이 절연체를 접착제를 이용 PDMS가 한층 코팅된 베이스에 고정한다. 접촉단자는 일반적으로 구리(Cu) 합금이 주로 사용되며, 본 논문에서는 Table 1과 같이 산업적으로 많이 사용되면서 전도도가 높은 것으로 알려진 황동에 금이 도금된 부품을 사용하였다.

표 1의 단자 3종은 모두 같은 구리(Cu)와 아연(Zn) 합금의 황동이며 니켈(Ni)을 이용해 금(Au)을 도금하였지만 실제 전도성 시험에서는 상당한 차이를 보였기 때문에 이들의 성분을 정확히 분석하여 Fig. 4와 Fig. 5와 같이 비교하였다. Fig. 4에서 전극으로 직접 사용되는 황동에서 아연의 중량비는 40~55 %로 차이를 보였다. 아연의 함량이 많

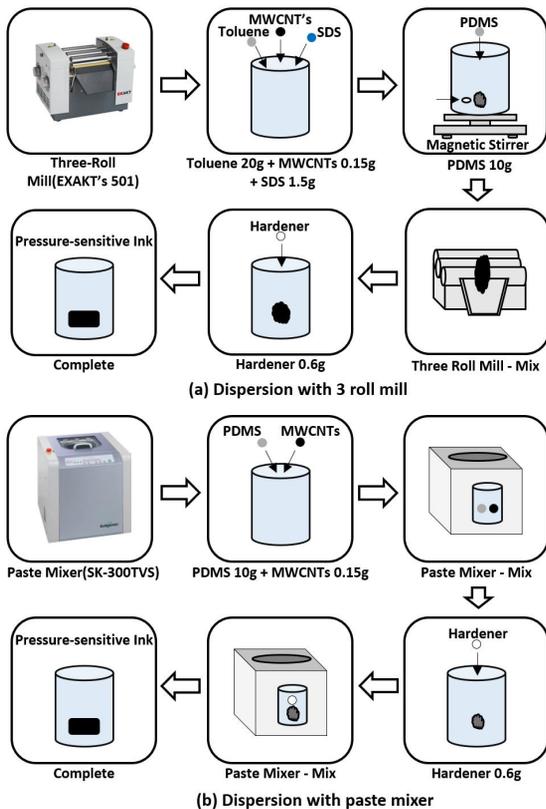
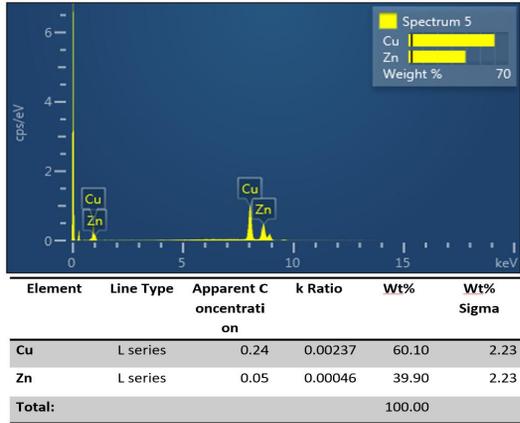


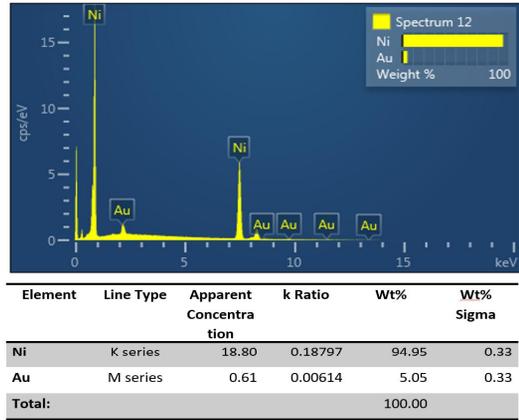
Fig. 3 Fabrication of pressure sensitive ink

Table 1 Specifications of the terminals

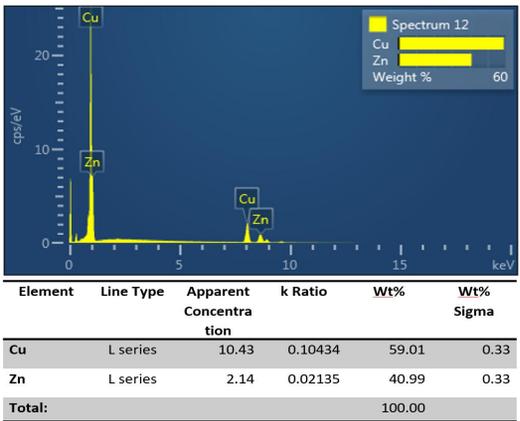
	A type	B type	C type
Manufacturer	Suuny wish technology	ShenZhen nestech Electronics	Connfly electronics
Cross section	Square	Square	Circle
Terminal width or diameter(mm)	0.64	0.64	0.41
Maximum contact resistance(mΩ)	-	20	20
Material	Brass	Brass	Brass
Insulator	Polyester	Polyester	Polyester
Plating	Gold	Gold	Gold
Current rating(A)	3	3	-
Insulation resistance(GΩ)	5	1	1



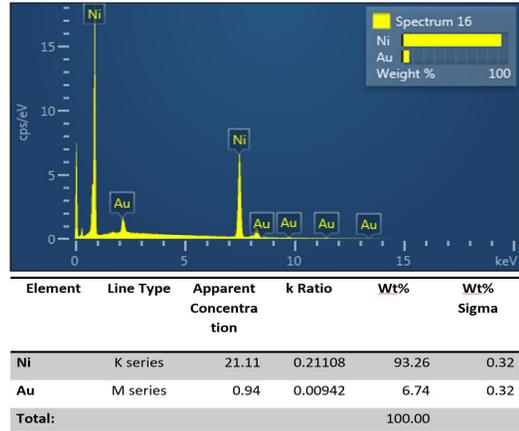
(a) A type



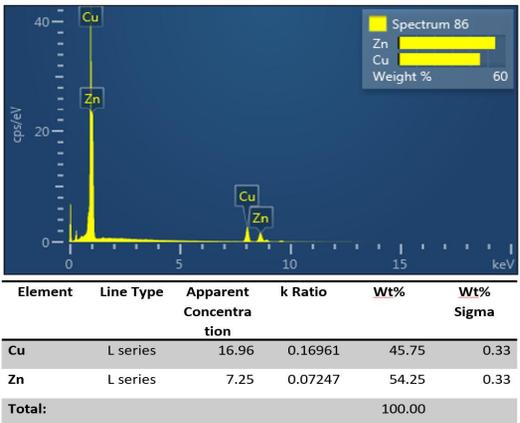
(a) A type



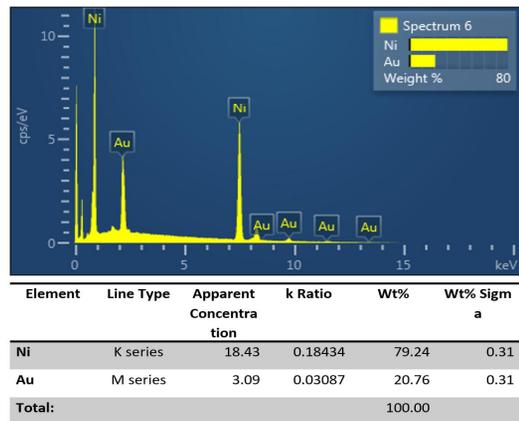
(b) B type



(b) B type



(c) C Type



(c) C Type

Fig. 4 EDS analysis on terminal brass

Fig. 5 EDS analysis on plated gold

을수록 경도가 높아지고 취성이 증가하게 되며, 전기 전도도는 낮아지게 된다. Fig. 5는 도금에서 금의 중량비이며 5.5~20.7 %이며, 이의 접촉저항에 대한 효과는 다음절에 실험으로 제시하였다.

3.2 단자별 압력감응재와의 접촉저항

단자와 압력감응재의 접촉 저항은 단자의 재질 및 압력감응재의 제조 방법에 모두의 영향을 받을 것으로 예상되어 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 표1의 단자별로 압력감응재를 3 roll mill로 만든 경우 paste mixer로 제작한 경우에 대하여 시험하였다. Fig. 8에 보인 바와 같이 3 roll mill로 제작된 탄성압력 감응재 보다 paste mixer로 제작된 잉크가 모든 종류의 단자에 대하여 더 낮은 저항을 보임을 알 수 있다. 또한 모든 종류의 소재에 대하여

	A-type	B-type	C-type
Picture			
Resistance (KQ-cm) Specimen 1	3.16	3.45	2.65
Resistance (KQ-cm) Specimen 2	2.35	2.95	2.59
Resistance (KQ-cm) Specimen 3	3.53	2.60	2.49

Fig. 6 Flexible sensor specimens made with pressure sensitive ink by 3 roll mill

	A-type	B-type	C-type
Picture			
Resistance (KQ-cm) Specimen 1	2.26	2.27	2.27
Resistance (KQ-cm) Specimen 2	3.34	2.87	2.39
Resistance (KQ-cm) Specimen 3	3.13	2.99	2.24

Fig. 7 Flexible sensor specimens made with pressure sensitive ink by paste mixer

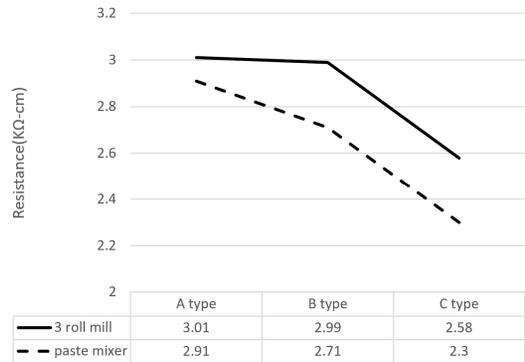


Fig. 8 Resistance by terminal types

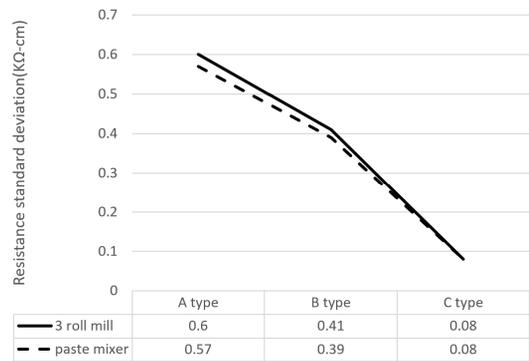


Fig. 9 Standard deviation of resistance by terminal types

A type보다는 B type이, B type보다는 C type이 저항이 낮음을 확인 할 수 있다. 이는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 단자 소재의 아연 함유 비율이 높음에도 불구하고 Fig. 5에 나타난 바와 같이 단자의 도금에서 금의 함유량이 높을 수록 접촉저항이 낮아진 결과로 볼 수 있다. 또한 Fig. 9에 나타난 바와 같이 제작된 시편들의 저항값 표준 편차에서도 저항값과 동일하게 C type의 단자가 가장 작은 표준편차를 갖는 것으로 나타났다. 이것은 금이 MWCNT와의 접촉저항 저감에 크게 기여하기 때문인 것으로 사료된다.

5 결론

본 논문은 탄성촉각 센서의 제조공정과 그 접촉

단자의 소재의 차이에 의한 전기적 연결의 특성을 밝히기 위하여 작성되었다. 탄성촉각센서를 제작하는데 3 roll mill을 사용하는 방안과 paste mixer를 사용하는 2가지 방법에 따른 단자접속시의 특성을 고려하였다. 또한 접속단자로 황동과 금 도금에서의 각 원소의 함유율에 따른 접속 특성의 차이를 실험적 방법으로 검토하였다. 결과적으로 본 논문은 paste mixer로 제작된 압력감응형 탄성 잉크에 높은 비율로 금이 도금된 황동 단자를 이용할 때 그 접속저항이 최소화됨을 확인하였다. 이 연구는 향후 더 많은 접속 단자의 소재에 대해 실시될 계획이다.

후 기

“이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017R1A2B4009386).”

REFERENCES

1. Jo, H. M., Chung, W. J., Bae, S. M., Choi, J. K., Kim, D. Y., Ahn, Y. J. and Ahn, H. S., “Optimal Wrist Design of Wrist-hollow Type 6-axis Articulated Robot using Genetic Algorithm,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 1, pp. 109-115, 2019.
2. Lee, D. S., Lee, H. S., Pyo, S. H., Yoon, J. W. and Lyu, S. K., “Study on Design of Heavy Payload Robot Considering Design Factor of Gravity Compensator,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 5, pp. 23-28, 2019.
3. Jo, K. S., Lee, D. H. and Kim, G. S., “Design of High Performance Manipulator for Small EOD Robot System,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 36, No. 12, pp. 1125-1133, 2019.
4. Choi, S. J., Bae, Y. H., Lee, I. H. and Kim, H. C., “Latest Research Trends of 3D Printing in Korea,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 35, No. 9, pp. 829-834, 2018.
5. Lee, I. H., Choi, Y. S. and Kim, H. C., “Additive Fabrication of Flexible Tactile Sensor using Improved Pressure Sensitive Material,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 35, No. 9, pp. 841-845, 2018.
6. Park, S. C., Kim, H. C., Kim, S. Y., Lee, I. H., Lim, S. K. and Yun, H. Y., “Development of Flexible Tactile Sensor using Direct Draw Method and Improvement of Stability,” *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 42, No. 8, pp. 701-708, 2018.
7. Park, S. C., Lee, I. H., Bae, Y. H. and Kim, H. C., “Optimization of Manufacturing Conditions of Pressure-Sensitive Ink Based on MWCNTs,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 8, pp. 1-7, 2019.
8. Kang, I. P., Choi, B. G. and Kim, S. Y., “Human robot interaction using flexible tactile sensor technology,” *Journal of the KSME*, Vol. 59, No. 9, pp. 24-27, 2019.
9. Kim, C. M., Seo, J. W., Yoo, Y. E., Choi, D. S., Kim, S. K. and Jung, C. Y., “Study of dispersion of Multi-Walled Carbon Nanotubes with Injection Molding Process Condition,” *Proceedings of KSPE 2011 spring*, pp. 487-488, 2011.
10. Hwang, B. Y., Kim, J. H., Kim, D. J. and Lee, H. J., “A study on electromechanical properties of CNT conductive film deposited on flexible substrate depending on the dispersion conditions,” *Proceedings of The KSME 2011 autumn*, pp. 2929-2932, 2011.