

# 직물 기반의 인쇄전자 사례연구

## (Printed Electronics on Textiles: A Case Study)

이형선\*, 선우준, 김배선, 조일연

(Hyung Sun Lee, John Sunwoo, Baesun Kim, Il-Yeon Cho)

**Abstract:** Shape of wearable computers have evolved from hand-held to body-mounted type. Recently, attempts have been made to embed sensing and computing functionalities into garment itself. However, studies on flexible electronic chips and textile-based conductive medium are still at early stages. Most research topics on e-textiles include weaving conductive yarns with metal filament core or embroidering metal-coated nylon yarns. On the other hand, printed-electronics techniques use conductive ink to print electronic circuits. Most of its techniques are targeted for flat and rigid panels, however, screen printing technique is similar to traditional textile coloring process and can be used to print electronic circuits on textiles. This paper presents a case study on implementing textile circuits using a printed-electronics technique. Effects of ink types and screen printing process parameters on their electrical properties will be introduced and applicability to wearable computing will be analysed.

**Keywords :** printed electronics, textile, fabric, screen printing, conductive ink

### 1. 서 론

웨어러블 컴퓨터는 PDA와 같이 손에 들고 사용하는 핸드헬드 형태로 시장에 널리 보편화 되었으며, 근래는 손목시계나 목걸이와 같이 착용하는 액세서리 형태의 제품들이 시장에 모습을 드러내고 있다[1]. 하지만 향후 미래에 나타나게 될 웨어러블 컴퓨터는 일상 생활에 항상 착용하며 착용성이 보다 높은 의류 형태로 발전할 것으로 예상되며 이러한 형태의 컴퓨팅 기기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

의류 내장형 웨어러블 컴퓨터는 신체 각 부위로부터 착용자에 대한 보다 많은 정보를 취득하기 용이한 점을 비롯한 여러 장점을 가지지만, 전자소자나 구리선이 착용감에는 악영향을 미치게 된다. 이러한 점을 극복하기 위해 섬유사와 동일한 물리적

특성을 갖는 전도성 실에 대한 연구가 이루어져 왔으며, 금속필라멘트사를 이용한 통신 실험과, 여러 금속 코팅사를 이용한 제품들이 일부 시장에 모습을 드러낸바 있다[3]. 독일의 프라운호퍼 연구소 역시 직물에 전도성 실을 자수하거나, 플렉서블 회로를 접합하는 등의 다양한 방법을 이용하여 직물회로의 구현을 시도한 바 있다[4]. 하지만 이런 전도성사들은 각기 단점들을 가지고 있어, 아직 보편화 되기에 어려움이 있으며, 후속연구가 절실한 상황이다.

한편 전도성 잉크를 이용하여 평판에 도선 및 전자소자를 인쇄하는 인쇄전자 기법은 저렴한 생산비용과 대형 소자 제작 가능성으로 태양광 발전이나 대형 디스플레이 분야에서 널리 사용되고 있다[5]. 인쇄전자 기법은  $\mu\text{m}$ 대의 미세한 도선 인쇄가 가능한 잉크젯 인쇄 기법을 비롯하여 대량 인쇄가 가능한 플렉소 인쇄 기법 등 여러 기법들이 존재하는데, 이 중 스크린프린팅 기법은 전통 섬유 산업에서 염색을 위해 사용하는 기법과 유사하여 직물기반 전자회로에의 적용 가능성을 보여주고 있다. [5]에서는 금성분을 가지는 전도성 잉크를 잉크젯 프린팅 기법을 사용하여  $20\mu\text{m}$  이상의 선폭에서  $10^5\text{S/cm}$ 이상의 전도도를 얻은 바 있으며, [6]에서는 스크린프린팅을 이용하여 직물에 간단한 전자소

\* 교신저자(Corresponding Author)

이형선, 선우준, 김배선, 조일연: 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구팀

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F048-01, u-컴퓨팅 공간 협업을 위한 Wearable Personal Companion 기술 개발]

자를 면저항 44mΩ/□ 정도로 구현한 바가 있다.

이 논문에서는 의류 내장형 웨어러블 컴퓨팅 장치를 구성하는데 있어 모듈간의 연결을 위해 필요한 직물기반의 도선을 인쇄전자 기법을 이용하여 구현한 사례를 소개하고자 한다. 먼저 직물기반 인쇄전자를 위해 고려해야할 요소들을 소개한 후, 시험적으로 제작된 도선의 전기적 특성 측정 결과를 제시하려 한다.

## II. 직물기반 인쇄전자 회로 설계

직물위에 인쇄전자 기법을 이용하여 전자회로를 구현하기 위해서는 먼저 고려해야 할 요인들이 있다. 각 요인들을 살펴보고 이번 사례 연구를 위해 사용된 값들을 살펴보겠다.

### 1. 인쇄전자 기법

대표적인 인쇄 기법들 중 하나로써 컷제 잉크젯(Inkjet) 기법이 있다[5]. 이 기법은 비접촉식이기 때문에 기관의 손상을 줄일 수 있고, 간단한 공정을 바탕으로 작은 체적에 복잡도가 높은 디자인을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 또, 잉크의 낭비가 적어 제조비용이 낮다는 장점이 있으나 대면적화가 힘들고, 전도성 잉크와 같이 입자가 일반 잉크에 비해 크고 점성을 가질 경우 일반적인 노즐을 이용하기 어렵다는 단점이 있다.

둘째는 그라비아(Gravure) 및 그라비아-오프셋(Gravure-offset) 기법으로 미세한 패턴의 구현이 가능하고 잉크 도포 두께 제어가 용의하여 소자 제조시 유리하다는 장점이 있으나 그라비아의 경우 해상도가 낮고 생산성이 떨어진다는 단점이 있다.

셋째로 플렉소(Flexography) 인쇄법은 플렉서블 기관을 이용할 수 있고 인쇄시 균일한 박막을 형성할 수 있다는 장점이 있다. 플렉소 기법은 그라비아에 비해 좋은 생산성을 가지나 구현 가능한 해상도는 같다.

마지막으로 스크린프린팅 기법은 잉크젯 기법과 함께 재료의 손실이 적다는 장점이 있으며 원래 천에 인쇄하기 위한 용도로 쓰였다. 그러나 잉크는 적당한 점도와 두께를 필요로 하기 때문에 잉크젯과 같이 얇은 인쇄 박막을 형성하기에는 어렵다.

본 사례 연구에서는 전도성 잉크가 일반 잉크에 비해 높은 점도를 가진 점과 직물소재가 탄성을 갖기 때문에 롤러의 사용이 적합하지 못하다는 점을 고려하여, 잉크 도포량 조절이 용이하고 매끈하지

않은 직물을 기관으로 사용 가능한 스크린프린팅 기법을 이용하였다[5].

### 2. 전도성 잉크

본 사례 연구에서는 고분자기반의 전도성잉크나 다른 금속들(금, 구리, 동 등)에 비하여 전기전도성이 뛰어난 Ag(銀) 기반의 나노 실버 잉크를 채택하였다[3]. 잉크는 (주)잉크테크에서 개발한 제품으로 상업적으로 판매되고 있으며 5분@140도의 비교적 낮은 소결 온도와 시간 조건에서 높은 전도성을 나타내는 TEC-PO10 제품이 사용되었다[7].

### 3. 스텐실

스크린프린팅에 사용된 스텐실은 스테인리스 스틸로 된 메쉬를 사용하였다. 직물의 경우, 잉크를 흡수하는 특징을 가지기 때문에, 일반적인 평판에서 보다 많은 양의 잉크를 도포할 수 있도록 적은 수의 메쉬를 사용하였다.

### 4. 직물

인쇄대상인 직물은 재질, 편직 및 방직방법, 나염여부, 실의 굵기에 따라 무수히 많은 종류가 존재하며 추후 새로운 직물종류가 출시될 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 직물의 선정은 매우 어려우며, 직물인쇄전자 기법이 활성화되기 위해서는 인쇄에 적합한 직물 종류에 대한 연구도 필히 진행될 필요가 있다.

한편 본 사례연구에서는 인쇄된 대상물들이 고온의 소결 과정을 거쳐야 하기 때문에 열에 약한 직물 소재는 사용이 불가능하며, 비교적 열에 강한 면 혹은 혼방면직물만을 대상으로 하였다. 또 인쇄 결과물을 눈으로 확인하기 쉽도록 염색되지 않았거나 열은 단일색의 직물을 대상으로 하였다. 이렇게 선정된 직물들은 과 같다.

표 1. 인쇄 대상 직물

구분	재질	수	기타
A	면혼방	30	면60%, 열은 녹색
B	면무지	40	면100%, 열은 꽃무늬
C	면무지	40	면100%, 흰색
D	면아사	60	면100%, 흰색
E	청스판	20	청마지용 원단

### 5. 선폭 및 길이

인쇄된 도선의 선폭은 도선의 저항치에 큰 영향을 미친다. 이상적으로는 도선의 면저항에는 영향을

미치지 않아야 하지만, 직물에 인쇄된 도선은 경계선이 매끄럽지 않을 것이 예상되기 때문에 0.5mm, 1mm, 2mm의 세 종류의 선을 대상으로 하였다. 스크린프린팅에 사용된 장비는 0.1mm의 가는 선도 인쇄가 가능하지만, 사용된 직물의 실 두께가 0.2mm가 넘는 점을 고려할 때에 이 이하의 가는다란 도선은 직물 상에서 좋은 결과를 기대하기 어렵다.

스크린프린팅을 위해 제작된 스텐실의 패턴은 그림1과 같다.

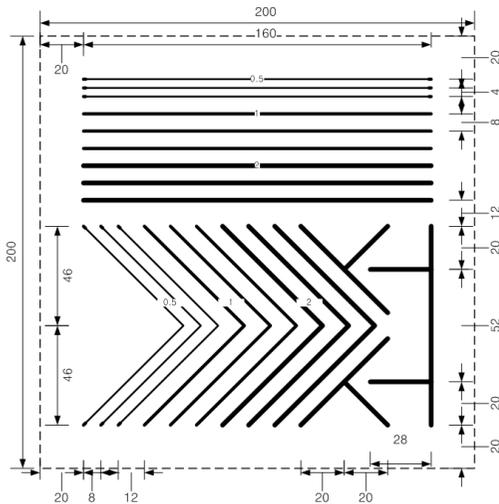


그림 1. 스크린프린트 스텐실 패턴(단위: mm)

6. 소성(燒成) 방법

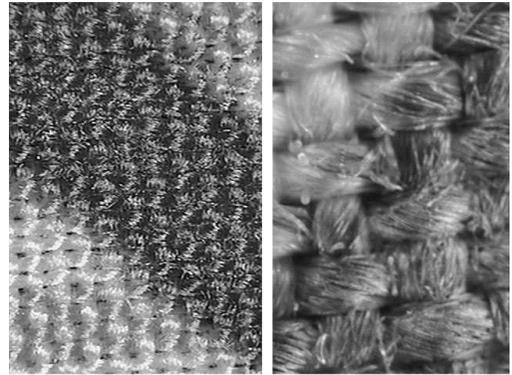
사용된 전도성 잉크가 전도성을 가지기 위해서는 소성과정을 통해 은 나노입자 사이의 용제를 제거해 주어야 한다. 소성방법은 140°C까지 온도를 높일 수 있는 오븐이면 사용이 가능하며, 다만 인쇄 결과물 전체를 고르게 가열할 수 있어야 한다. 본 사례연구에서는 전자회로기판의 제조 공정에 사용되는 열풍순환오븐을 사용하였다.

III. 인쇄 결과

1. 인쇄 결과물

직물에 인쇄된 도선을 40배 및 150배 확대한 모습은 그림2와 같다. 전도성 잉크가 직물표면을 고르게 덮고 있는 것처럼 보이나, 실과 실 사이의 골이 깊어 직물에 따라 전도도에 큰 차이를 보일 것으로 예상된다.

직물별로 인쇄된 모습을 살펴보면, 30수의 면혼방직물(A)에서는 번짐현상이 나타나지 않은 반면, 높은 수의 다른 직물에서는 다소 번짐 현상이 발생하여 도포된 전도성 잉크의 양이 다소 과했음을 볼 수 있었다. 이것은 인쇄 대상 직물에 따라 스텐실의 설계가 달리 이루어져야 함을 의미한다.



(a) 40배 (b) 150배

그림 2. 직물에 인쇄된 도선(어두운 부분)의 모습

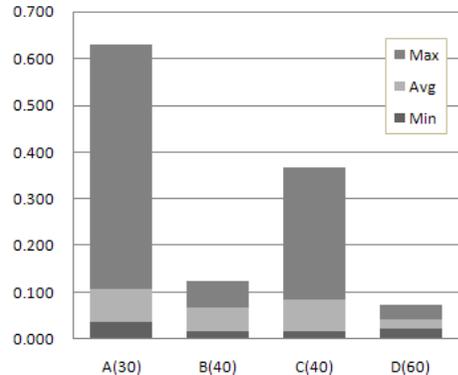


그림 3. 직물 종류에 따른 면저항(단위:Ω)

2. 전도도 측정 결과

스크린프린팅을 이용하여 각 직물당 7장씩 총 35장의 인쇄 결과물이 제작되었다. 각 인쇄물마다 동일한 형태의 도선이 세 개씩 존재하므로 각 도선은 직물마다 21개씩 총 126개의 도선들을 얻을 수 있었다.

이 중, 실의 두께가 가장 두꺼운 청스판(D)의 경우, 모든 인쇄 결과물이 측정 불가능한 저항치를 나타내었다. 비교적 안정적인 저항치를 보인 다른 직물들의 경우, 직물의 종류에 따른 면저항은 그림3과

같이 나타났다. 방직물의 경우, 일반적으로 수가 높을수록 실의 두께가 가늘다. 그림3에 나타난 결과를 살펴보면, 60수의 면아사(D)가 최소 24mΩ/□, 평균 43mΩ/□으로 가장 좋은 전도도를 보임을 알 수 있다.

같은 측정 결과를 이용하여 도선의 두께에 따른 면저항을 구해보면, 그림4와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이상적으로는 면저항은 도선의 폭과 길이에 무관한 수치이므로 모든 경우에 면저항이 같게 나와야 한다. 하지만 그림2에서도 나타나듯이 직물의 표면이 평판과 같이 고르지 못한 관계로 인쇄된 도선의 경계면은 매끄럽지 못하다. 이 때문에 얇은 도선일수록 매끄럽지 못한 부분이 전체 두께에서 차지하는 비중이 커지게 되므로 더욱 큰 면저항의 편차를 보이게 되고 이러한 편차가 평균을 증가시키는 요인으로 작용하게 된다.

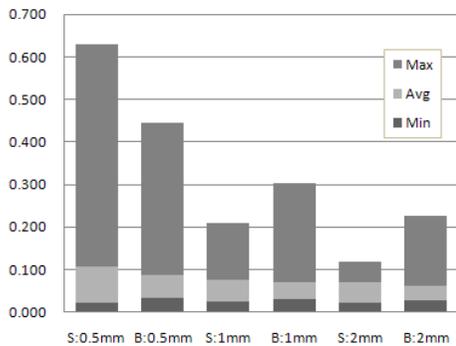


그림 4. 선의 두께에 따른 면저항(단위: Ω)

#### IV. 결 론

본 논문에서는 의복 내장형 웨어러블 컴퓨터를 구현함에 있어 인쇄전자 기법의 타당성 및 가능성을 제시하고자 하였다. 스크린프린팅에 사용된 전도성 잉크는 점도, 전도도 및 소성온도를 고려하여 선정하였고, 직물 표면의 매끄러움과 전기적 특성간의 영향을 보기 위해 다양한 직물을 선정하였다.

실험 결과를 분석해보면, 직물의 표면이 고르지 못할수록 전도도가 저하되고 수가 높을수록 좋은 전도도를 보였으며 최소 24mΩ/□의 면저항을 얻을 수 있었다. 또 결과를 수록하지 않은 일부 편직물의 경우, 표면이 매끄러워도 실과 실 사이에 골이 깊어 전도도를 얻을 수 없는 경우가 관찰되어 편직물보다는 방직물이 인쇄전자에 더욱 적합함을 알 수 있

었다. 선폭의 경우, 가늘수록 면저항의 편차가 커짐을 알 수 있었다.

계속 되는 연구는 직물회로 제작 과정에 쓰인 전도성 잉크 및 직물 소재를 다양화 하여 정리하는데 초점을 두고 있다. 더 나아가, 일상생활에서 발생하는 구김이나, 세탁, 다림질과 같이 의류에 적용되는 물리적 요인이 도선의 전기적 특성에 미치는 영향에 대한 연구도 진행될 예정이다.

#### Acknowledgements

본 연구를 위한 스크린프린팅과 나노실버잉크 사용에 도움을 준 한국화학연구원의 임종선박사님과 임현석연구원께 감사의 말을 전합니다.

#### 참고문헌

- [1] 손미숙, 박준석, 한동원, 조일연, “웨어러블 시스템 사용자 상호작용 시장 분석 및 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제21권 제2호, 2006년 4월, pp. 184-191.
- [2] Diana Marculescu 외, “Electronic Textiles: A Platform for Pervasive Computing”, in Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 12, December 2003, pp. 1995-2018.
- [3] 정기수, “유비쿼터스 시대의 디지털 가먼트 개발 동향”, 한국염색가공학회 염색가공, vol. 1, no. 1, 2006, pp. 55-63
- [4] Torsten Linz, “Tutorial on Integration Technologies for Wearable Computing”, in Proceedings of ISWC 2005(Tutorial note), Osaka Japan, 2005
- [5] 윤성철, 임종선, 이창진, “인쇄전자소자: 고해상도 인쇄공정기술의 현황 및 전망”, 고분자과학기술, 제18권 제3호, 2007년 6월, pp. 238-245.
- [6] Hyejung Kim, et al. “A 1.12mW Continuous Healthcare Monitor Chip Integrated on a Planar-Fashionable Circuit Board”, in Proceedings of the 2008 IEEE International Solid-State Circuits Conference, San Francisco, Feb. 3-7, 2008, pp. 150-151.
- [7] InkTec Co., Ltd., *Conductive Nano Silver Paste TEC-P010*, Technical Data Sheet. <http://www.inktec.com>

<b>저 자 소 개</b>
----------------

**이 형 선**(Hyung Sun Lee)

2000년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 학사  
 2002년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 석사  
 2007년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과 박사  
 2007년~현재 : 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구팀

관심분야 : 임베디드시스템, 실시간 제어시스템  
 Email : hslee77@etri.re.kr

**선우 존**(John Sunwoo)

2003년 9월 : Auburn 대학교 전자공학과 학사  
 2005년 9월 : Auburn 대학교 전자공학과 석사  
 2005년~현재 : 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구팀

관심분야 : 웨어러블컴퓨터, Built-In Self-Test  
 Email : bisdude@etri.re.kr

**김 배 선**(Baesun Kim)

1998년 2월 전북대 물리학과 학사  
 2000년 8월 전북대 제어계측학과 석사  
 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구팀

관심분야 : 임베디드 시스템  
 Email: bskim72@etri.re.kr

**조 일 연**(Il-Yeon Cho)

1991년 2월 : 성균관대학교 산업공학과 학사  
 1993년 2월 : 성균관대학교 산업공학과 석사  
 2007년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
 1993년~현재 : 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구팀 팀장

관심분야 : 웨어러블컴퓨터, 임베디드시스템  
 Email : iycho@etri.re.kr