

Direct Write 기술을 이용한 3DCD의 제작

윤해룡*, 김호찬*[#], 이인환**

*안동대학교 기계자동차공학과, **충북대학교 기계공학과

Fabrication of 3D-Printed Circuit Device using Direct-Write Technology

Hae Young Yun*, Ho Chan Kim*[#], In Hwan Lee**

*Department of Mechanical & Automotive Engineering, Andong National Univ.

**School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University

(Received 3 June 2015; accepted 18 August 2015)

ABSTRACT

Generally, electrical circuits are fabricated as Printed Circuit Boards (PCBs) and mounted on the casing of the product. Additionally, this requires many other parts and some labor for assembly. Recently, molding technology has increasingly been applied to embed simple circuits in plastic casing. The technology is called a Molded Interconnected Device (MID). By using this technology, PCB fabrication can be replaced by molding, and much of the corresponding assembly process for PCBs can be eliminated if the circuit is simple enough for molding. Furthermore, as the improvement of conductive materials and printing technologies of simple electric circuits can be printed directly on the casing part, this also reduces the complexity of the product design and production cost. Therefore, this paper introduces a new MID fabrication process using direct 3D printing technology. Additionally, it is applied to an automotive part of a cruise control switch. The methodology and design are shown.

Key Words : 3D Printing (3차원 인쇄), Molded Interconnect Device (성형 상호연결 장치), Silver Paste (실버 페이스트), Direct Writing (직접 인쇄), 3 Dimensionally Printed Circuit Device (3차원 인쇄 회로 장치)

1. 서 론

전자 부품 및 통신 기기, 자동차 등 일렉트로닉스 분야에서는 제품 외관의 케이징(Casing)들은 플라스틱과 같은 소재로 제작을 하고 케이징 안에는 제품이 작동할 수 있는 스위치나 LED와 같은 전자

소자 및 회로가 포함되어 있는 PCB가 장착된다. 그러나 전자 부품에서 주로 사용되는 PCB는 RoHS(유해물질 제한지침)같은 유해물질 사용을 제한하는 지침에 따라 납, 카드뮴 수은, 난연제(PBBs, PBDEs)와 같은 유해물질의 사용이 제한되어 솔더(Solder)로 사용되던 납(Pb)이 빠지면서 접착력이 우수한 패키징 자료를 사용해야 한다. 무연솔더(Lead-Free Solder)로 대체할 수 있지만 기존 납으로 생산하는 것에 비하여 생산 단가가 올라가게 된다. 이러한 환경문제로 인해 새로운 전자회로를 제작하는 공정

Corresponding Author : hckim@andong.ac.kr

Tel: +82-54-820-5269, Fax: +82-54-820-5044

을 필요로 한다. 또 다른 단점으로는 PCB의 제작 시 회로 형성방법은 기본적으로 무전해 및 전해 도금을 하고 이 후 추가적으로 패턴(Pattern)에 도금 후 에칭을 하는 복잡한 공정을 거치게 된다. 그리고 PCB를 제작하더라도 복잡한 형상의 플라스틱 사출품에는 장착하기 어렵다. 예를 들어 굴곡이나 경사면에 PCB를 장착하기 위해서는 고정부를 추가하거나 평면의 PCB 장착부를 제작해야 되기 때문에 제품의 크기가 커지거나 추가적인 부품이 필요하다는 단점이 있다. 그러나 3D-MID(Molded Interconnect Device) 기술은 사출 성형으로 제작한 플라스틱 부품의 표면에 전도성 회로 패턴을 포함시킬 수 있다. 이 기술을 적용하면 기판과 기계 및 전기 부품을 통합시킬 수 있다. 기존의 부품 생산 공정은 사출 성형 후 기판 조립 및 배선을 연결함으로 시간, 비용, 인력이 많이 요구되었지만 이 기술은 이용하게 되면 이러한 단점을 보완할 수가 있다. 3DCD기술의 장점은 전자제품의 복합적인 구조를 단순화 할 수 있고, 스위치 형상 설계에 제한이 작다. 또한 부품 수가 줄어들어 신뢰성, 경제성이 좋은 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 인쇄전자 기술들 중에서 Direct Write 기술을 이용하는 3DCD(3 Dimensionally Printed Circuit Device) 기술을 개발하여 사출성형이나 3D Printer로 제작한 플라스틱 부품의 표면에 전도성 회로 패턴을 포함하는 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치를 제작하는 목적으로 실험 및 연구를 하였다. 현재 차량에 장착되고 있는 크루즈 컨트롤 스위치에 전도성 재료를 사용하여 회로 경로를 생성하고, 기존과 동일한 외형과 기능을 갖고 있는 2.5D 형태의 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치를 제작하였다.

2. 3DCD 시스템의 구성

2.1 제어부

제어부는 스테이지 제어와 디스펜싱 밸브 제어로 나뉜다. 제어는 Visual c++으로 개발한 소프트웨어로 3축 스테이지와 디스펜싱 밸브를 제어한다. 개발된 소프트웨어로 서보 모터의 현재 위치, 속도

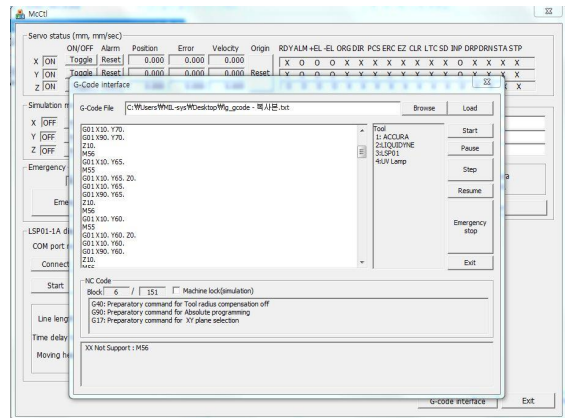


Fig. 1 Development stage and dispensing valve control software

등을 알 수 있고, 사용자 임의로 스테이지를 제어할 수 있다. 그리고 기본적으로 서보 모터의 온/오프, X-Y-Z축의 조그(Jog) 기능, X-Y-Z축의 이송 값에 따른 동시보간 기능, 가공경로 생성에 따른 속도조절, 디스펜싱 밸브의 토출 속도 조절, 디스펜싱 밸브의 토출온/오프, 각종 센서의 모니터링, 사용자 컨트롤 기능 등을 추가하여 효과적으로 스테이지를 제어할 수 있도록 프로그래밍을 하였다. 그리고 회로 경로를 입력하게 되면 자동으로 경로를 따라 3축이 움직일 수 있도록 하였다.

2.2 토출부

Direct Write에 사용되는 장비는 주로 디스펜서(Dispensers)를 이용한다. 본 연구에서는 ACCURA 8DX 디스펜서(Dispensers, Iwashita Engineering, Japan)를 사용하였다. ACCURA 8DX는 배럴내 재료의 잔량 레벨의 표시가 가능하고, UV에 반응하지 않는 UV 배럴이나 온도조절 블록을 사용할 경우 배럴 내부가 보이지 않더라도 잔량을 검지할 수 있는 기능이 있다. 컴퓨터와 RS-232C로 연결하여 전용 소프트웨어를 사용하여 디스펜서를 미세하게 조정이 가능하며, 토출 압력 조절은 최소 5kPa에서 최대 490kPa까지 가능하며 다양한 재료와 점도에 맞게 대응할 수 있고, 토출 시간은 최소 0.015sec에서 최대 99.999sec까지 조절이 되어 토출량도 제어할 수 있다.

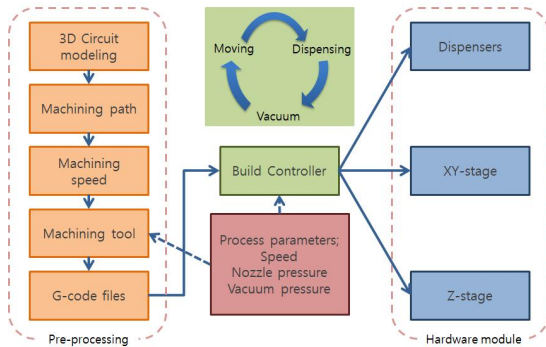


Fig. 2 3DCD system configuration

디스펜서(Dispenser)와 배럴(Barrel)은 어댑터 어셈블리(Adapter Assembly)로 연결되며, 컴프레서(Compressor)에서 만들어진 공기압을 배럴에 공급하는 역할을 한다. 본 연구에서는 실버 페이스트가 자외선에 반응을 할 수 있기 때문에 UV 차단용 배럴(PS10SUV, Iwashita Engineering, Japan)을 사용하였다. 이들의 경우 배럴에 연결이 가능한 MG-25G -13(Iwashita Engineering, Japan)을 사용하였다. MN-25G-13은 내경이 0.26mm, 외경은 0.51mm이다. 이들의 외경은 0.18mm부터 2.16mm까지 다양하게 있기 때문에 그리고자 하는 선포에 맞춰 선택하면 된다. 그러나 재료 토출 시 이들의 외경만 아니라 재료의 점도나 토출 압력과 같은 변수가 존재하므로 시뮬레이션 및 실험을 통하여 최적의 파라미터를 찾아 MID 부품을 제작 하였다.

2.3 구동부

스테이지(Stage)는 다소 크기가 큰 부품에도 3DCD 기술의 활용이 가능하도록 X축은 700mm, Y축은 1300mm, Z축은 250mm의 이송거리를 갖도록 Fig. 3과 같이 제작하였다. X축과 Y축의 구동 방식은 리니어 서보 모터(Linear Servo Motor)방식을 채택하여 장비를 개발 하였다. 리니어 서보 모터는 직접 구동식이라 회전형 모터를 적용한 시스템에 비해 구조가 간단하여 차지하는 공간이 적고, 비접촉식의 구동 방식이라 소음 및 마모가 상대적으로 다른 모터들의 방식보다 적다. 성능에서도 빠른 이동속도와 강한 추진력, 정밀한 위치제어가 가능하다는 장점이 있다. 리니어 서보 모터방식은 볼 스

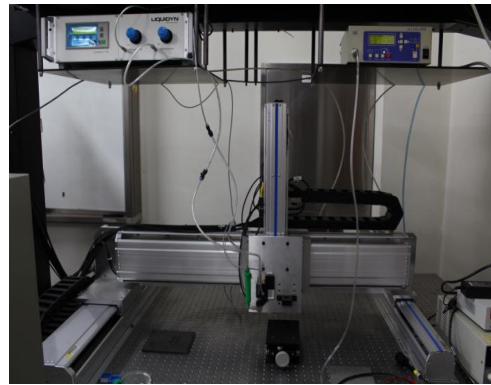


Fig. 3 Fabrication of 3-axis stage

크류방식과 달리 비접촉 식이기 때문에 높은 전동 효율을 얻을 수 있다. 스크류 방식 보다 밀도의 불안정이나 크랙(Crack)등의 현상이 적기 때문에 장시간 사용에도 안정적이다. Z축 구동부는 X, Y축과 달리 AC서보 모터를 사용하였다. 그 이유는 리니어 서보 모터를 사용할 경우 별도의 브레이크 장치의 장착이 필요하여 차지하는 공간이 커지고, 브레이크 장치가 오작동 했을 경우 Z축에 장착하고 있는 디스펜서의 토출부가 파손될 우려가 있기 때문에 AC 서보 모터를 사용하였다. 스테이지의 구조는 하단에 세로로 X축이 배치되어 있고 좌측에는 X축 구동부가 위치하고 우측에는 X축의 구동을 지지해주는 리니어지지 브라켓으로 구성되어 있다. X축 구동부 상단에는 가로로 2개의 브라켓(Bracket)으로 Y축 구동부와 결합된다. Y축 구동부에는 Z축이 브라켓으로 연결되어 있고 Z축에는 디스펜서의 배럴과 니들이 장착된다.

2.4 전도성 페이스트

전도성 회로 경로 생성에 쓰이는 재료는 우수한 전도성과 낮은 저항을 갖고 있는 실버 페이스트(ELCOAT P-100, CANS)를 사용하였다. ELCOATP-100의 특징은 플레이크(Flake) 형태의 은 분말을 필러로 하여 아크릴계수지와 저비점의 유기용제가 혼합된 속건성 전도성 수지이다. 실버 페이스트 내의 유기용제가 증발하면서 도전막이 형성되어 전도성이 발생하게 된다. 실버 페이스트는 공기 건조(Air Drying)나 열 건조(Heat Drying) 그리고 열

경화(Heat Curing) 방법 중에서 사용하면 된다. ELCOAT P-100의 체적 저항은 $10-4\Omega\bullet\text{cm}$ 으로 체적 저항이 낮기 때문에 전류가 흐를 때 손실이 적어 기관에 사용할 때 열의 방출량도 적은 편이다. 그리고 접착제 성분이 포함되어 있어서 플라스틱 재질과 유리, 목재 등 다양한 재료에 접착이 가능하다.

3. 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치 설계

3.1 PCB 역설계 및 회로도 작성

3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 2차원 회로를 설계하기 위해서 먼저 기존의 크루즈 컨트롤 스위치에 장착되는 PCB(Printed Circuit Board)의 형상을 3D CAD 프로그램인 CATIA의 Sketch Tracer 기능을 사용하여 2D 도면으로 역설계를 하였다. PCB는 PCB를 고정하는 하단 케이징(Casing)과 스위치를 조작하는 상단 케이징이 조립이 되기 때문에 조작시 간섭이 생기지 않도록 PCB의 형상과 외형 크기, 각각의 부품 크기와 위치를 기존과 동일하게 역설계를 하였다. Fig. 4처럼 PCB에 장착되어 있는 LED, 스위치, 저항 등의 전자소자와 회로 경로들은 양면으로 구성되어 있기 때문에 3DCD회로를 실장시 제작의 어려움과 공정이 복잡해진다. 이러한 이유로 기존에 사용되는 양면 PCB의 회로와 부품들을 통합화하여 단면으로 전자 소자들이 구성되어 있는 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 2D 도면을 설계하였고, 이것을 토대로 Gerber Data를 설계하였다. 있는 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 2D 도면을 설계하였고, 이것을 토대로 Gerber Data를 설계하였다. Gerber Data는 PCB를 제작할 때 자동화 장비를 사용할 수 있도록 한 산업표준으로 선 패턴(Line Pattern)의 두께, 층(Layer) 각각에 대한 선 패턴의 형상에 대한 데이터 등을 가지고 있는 파일 형식이다. Fig. 5는 설계한 Gerber Data로 2D 도면에서 설계한 것을 토대로 부품들이 위치한 자리는 남겨놓고 사용하지 않는 부품은 제거하고 저항에 따라 회로의 선 굵기를 $300\mu\text{m}$ 와 $500\mu\text{m}$ 로 구성하여 회로경로를 생성하였다. Fig. 5에 표시되어 있는 각각의 도형을 설명하자면 빨간색의 큰 원은 스위치에 해

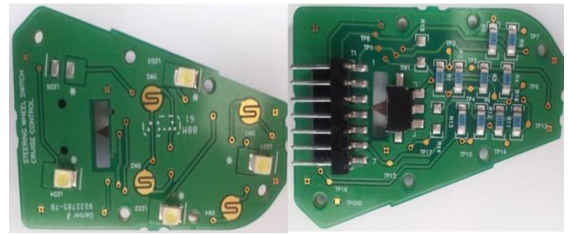


Fig. 4 PCB of existing cruise control switch

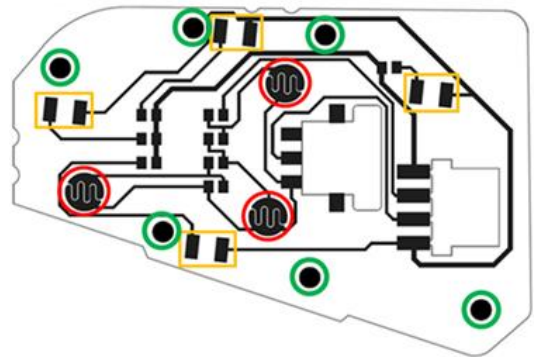


Fig.5 Gerber data design

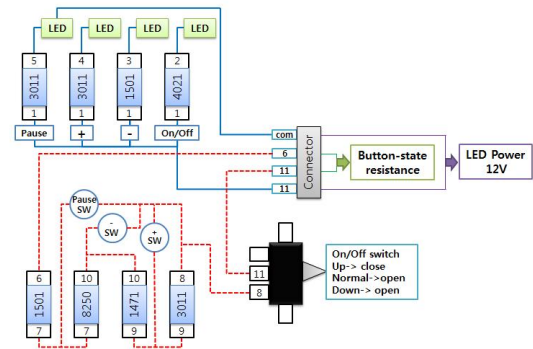


Fig. 6 Diagram of 3DCD Part

당되고, 노란색 사각형은 led에 해당된다. 초록색의 작은 원은 PCB를 고정하기 위해 사용되는 구멍이다. fig. 6은 새로 설계한 3DCD 부품의 회로도이다. 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치는 단면으로 2차원 회로로 새로 구성을 하였기 때문에 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치에 맞게 각각의 소자를 연결할 수 있는 회로도를 작성하였다.

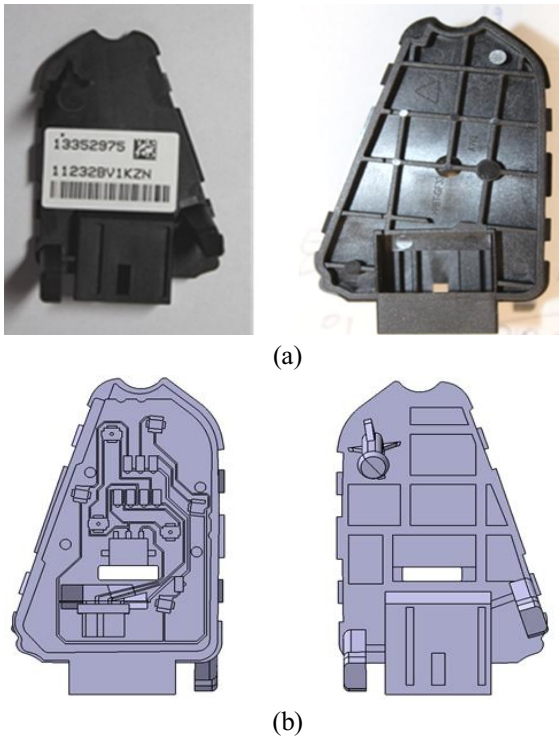


Fig. 7 Design of cruise control switch casing; (a) Existing cruise control switch, (b) 3D design

3.2 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치 설계

2.5D 크루즈 컨트롤 스위치는 기존 크루즈 컨트롤 스위치의 형상을 동일하게 유지하기 위해 3DCAD 프로그램인 CATIA에서 Sketch tracer 기능을 이용하여 기존 크루즈 컨트롤 스위치의 하단 케이징을 역설계하였다. 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치 케이징은 단순히 평평한 가공면에 전도성 회로 경로를 포함하는 것이 아닌 경사가 있는 면에도 2.5D 형태의 회로 가공 경로를 설계에 추가하여 경사면에도 Direct write를 구현하고자 하였다. Fig. 7 처럼 케이징의 외형은 기존에 차량에 장착되는 하단 케이징과 동일하게 역설계를 하였고, 3DCD를 구현하기 위해 기존 하단 케이징과 PCB가 결합된 형상으로 3D 모델링을 하였다. 그 이유는 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 케이징과 전자소자들을 기존 크루즈 컨트롤 스위치의 PCB에 장착되어있는 동일

한 그대로 사용하기 위해서이다. 기존 크루즈 컨트롤 스위치는 PCB가 하단 케이징에 장착이 되는 방식과 다르게 3DCD 케이징은 PCB를 대체할 수 있고 케이징 하나만으로도 크루즈 컨트롤 시스템이 작동될 수 있는 것을 보이기 위해서이다. 추가적으로 Gerber data로 설계한 회로경로와 전자소자가 부착되는 위치 역시 3DCD 케이징 상단에 모델링을 하였다. 추가적으로 Gerber data로 설계한 회로 경로와 전자소자가 부착되는 위치 역시 3DCD 케이징 상단에 모델링을 하였다

4. 제작 및 실험적 검증

4.1 제작 및 성능 실험

3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 설계에서 중요한 요소인 기존 스위치를 대체할 수 있으면서 케이징의 내부는 일정한 두께를 가지고 동일한 외부의 형상 및 조립부를 갖고 있는지를 확인하기 위해 쾌속 조형기(Projet HD3500 Plus, 3D Systems)를 사용하여 시제품을 제작하였다. Projet HD3500 Plus는 MJP(MultiJet Printing) 방식으로 UV Curable Acrylic Plastic의 광경화성 수지를 분출하면서 UV Light로 수지를 굳히면서 3차원 물체를 제작한다. HD(High Definition), UHD(Ultra High Definition), XHD(Xtreme High Definition) 3가지의 출력 모드(해상도)가 있으며 본 연구에서는 UHD 모드($750 \times 750 \times 890$ DPI(xyz) - $29\mu\text{m}$ layers)로 기존과 동일한 외형과 크기의 케이징을 제작하였다. 제작된 케이징은 기존 상부 케이징과 조립이 가능하고, 상부 케이징의 스위치 동작에 영향을 끼치는 요소가 없다. 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 특징은 기존 차량에 장착되는 하단 케이징과 동일한 크기와 형상으로 제작이 되었고, 기존 스위치 상부 케이징과 조립이 가능하여 제작된 3DCD 케이징으로 교체를 하게 되면 크루즈 컨트롤 시스템의 작동이 가능하다. 제작된 형태는 기존 케이징과 PCB가 장착되어 있는 형태로 PCB 부품이 조립이 되는 것이 아닌 사출품 표면 전도성 회로와 전자 소자가 부착되어 있다. 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 제작 방법은 3D Printer로 제작된 케이징과 마찬가지로 3D Printer로



Fig. 8 Fabrication of 3DCD cruise control switch

제작한 케이징 홀더에 고정을 한 뒤, 회로 경로 정보가 있는 G-Code를 개발한 프로그램에 입력을 하면 스테이지가 G-Code에 따라 이동이 되면서 디스펜싱 밸브에서는 실버 페이스트가 토출되면서 전도성 회로 경로를 생성하게 된다. 이후 각각에 위치에 LED, 칩 저항, 커넥터, 택트 스위치(Tact Switch)와 레버 스위치(Lever Switch) 부품을 장착한다. 부품의 고정 방법은 부품과 케이징의 접촉면은 접착제를 사용하고 부품에 떨어질 우려가 있기 때문에 부품의 외곽은 광경화성 수지를 사용하여 고정시킨다. Fig. 8은 제작되어진 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치이다. 제작한 스위치는 기존 차량의 스위치와 동일하게 On/Off, 가속(RES/+), 감속(SET/-), 일시정지 이렇게 4개의 스위치로 구성되어있다. 실제 차량에서는 각각의 스위치를 눌렀을 때 나오는 저항값을 검출하여 차량의 제어 모듈로 신호를 보내게 되고 저항값에 따라 브레이크 및 엔진이 작동되게 된다. 이와 같은 이유로 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치도 각각의 스위치를 작동할 때 동일한 저항이 나오는지 측정하여 보았다. 측정은 디지털 멀티미터로 각각의 스위치를 눌렀을 때 검출되는 전기 저항을 측정하였다. Table 1에 측정된 결과가 나왔고 결과는 칩 저항으로 인한 오차값($\pm 1\%$)을 고려하였을 때 정상적인 결과가 나온 것을 확인할 수 있다.

4.2 기술 개발 평가

기술 개발 평가는 Table 2와 같이 4개의 평가항

Table 1 Switch resistance experiments

Switch	PCB Resistance	MID Resistance
On/Off	6.805 Ω	6.829 Ω
RES/+	3.7971 Ω	3.8246 Ω
SET/-	2.328 Ω	2.3491 Ω
Pause	1.5138 Ω	1.5263 Ω

Table 2 Comparison of measured roughness data

Evaluation items	Units	Development Objectives
Line width resolution	μm	Less than 500 μm
Line width tolerance	μm	Less than 10 μm of line width
Resistance measurement	Ω/mm^2	More than 80% of ink-resistant
Processing speed	mm/s	50mm/s

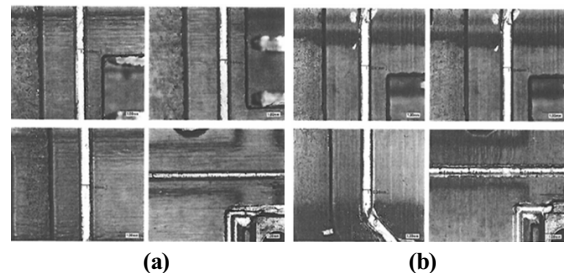


Fig. 9 Test of line width resolution and tolerance; (a) Sample 1, (b)Sample 2

목을 자체적으로 평가지표를 만들었다. 평가 기준은 각 항목 중 세계 최고 수준의 보유기업이 갖고 있는 정량적 값으로 정하였다. 선폭 해상도는 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치의 회로 경로의 선폭을 의미하며, 최대 선폭이 500 μm 이하일 경우 만족할 수 있다. 선폭 공차는 샘플 시료에서 같은 위치의 회로 경로를 측정하였을 때 선폭의 공차값이 $\pm 10\%$ 이내이면 된다. 두 시험평가는 디지털 마이크로스코프(VHX-1000, KETENCE)를 이용하였다. Fig. 9와 같이 500 μm 와 300 μm 의 선폭을 가지는 회로

Table 3 Result of line width resolution and tolerance

Sample	Point 1	Point 2	Point 3	Average
1	420	440	440	433
2	410	400	390	400
1	190	190	160	180
2	180	180	160	173.3

Table 4 Result of 4-point probe

Sample	Sheet Resistance	Average
1	0.10121Ω/mm ²	0.07395Ω/mm ²
2	0.06751Ω/mm ²	
3	0.06315Ω/mm ²	
4	0.06392Ω/mm ²	

Table 5 Result of IV-CV-PIV

Sample	Result	Unit	Remark
0.3mm-1	226.5026e-3	Ω	Resistance
0.3mm-2	84.4731e-3		
0.5mm-1	670.0329e-3		
0.5mm-2	432.6342e-3		
0.3mm-1	4.5301e-3	Ω/cm	Resistivity
0.3mm-2	2.5342e-3		
0.5mm-1	134.0066e-3		
0.5mm-2	129.7903e-3		

Table 6 Result of processing speed

Axis	Processing speed (mm/s)		Remark
	Forward	Reverse	
X	82.4	82.9	5 times average
Y	60.0	60.0	5 times average

의 경로에서 측정을 하였고 Table 3의 결과와 같이 개발 목표에 충족되는 결과가 나왔다. 다음으로 저항 측정은 회로 경로의 저항을 측정하는 것을 의미하는데 3DCD에 사용된 잉크 재료인 ELCOAT P-100(10.4Ω/mm)의 저항의 80% 이상을 충족하면 된다. 시험은 4-Point probe(CMT-SR3000S,AIT)로 면저항을 측정한 것과 IV-CV-PIV(IV/CV/PIV Test System,KEITHLEY/LUFT)로 선저항을 측정한 것 2가지로 시험하였다. 4-Point probe로 측정할 경우 3DCD의 회로 선폭이 좁기 때문에 가로1cm, 세로

1cm의 샘플을 제작하여 면저항을 측정하였다. 저항 측정 결과는 Table 4에 나와 있는 것처럼 준비한 4개의 시료에서 0.10121, 0.06751, 0.06315, 0.06392(Ω/mm²)로 측정되었고, 시료 4개의 평균값은 0.07395Ω/mm²이고 Table 5는 선저항을 측정한 결과로 회로의 큰 영향을 끼치지 않고 개발 목표에 충족하다는 것을 확인하였다. 생산성 및 가공 속도는 MID 제품을 생산할 수 있게 제작된 3축 스테이지의 이송 속도를 측정하는 것으로 초당 50mm/s 이상 이송되어야 한다. 측정기기는 Laser Interferometer(Agilent 5530 Dynamic Calibrator)를 사용하였고 Table 6과 같은 결과가 나왔다

5. 결론

본 연구의 목표는 기존에 차량에 장착되고 있는 크루즈 컨트롤 스위치를 3D Printer기술과 Direct Write기술을 적용하여 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치를 제작하는 것이다. 이를 위하여 3D CAD 프로그램인 CATIA의 Sketch Tracer 기능을 이용하여 기존 크루즈 컨트롤 스위치의 케이징과 PCB를 역설계를 하였고, 3D Printer로 설계된 도면으로 3DCD케이징의 시제품을 제작하였다. 그리고 전도성 재료인 Silver Paste로 전도성 회로를 생성하였고 2.5D의 경사가 있는 곳에도 Direct Write를 실현하였다. 제작된 3DCD 크루즈 컨트롤 스위치는 LED와 스위치의 작동과 스위치를 눌렀을 때 저항 변화를 확인하여 제품의 성능을 검증하였다. 본 연구를 통하여 기존에 사용되는 PCB를 대체 가능할 수 있는 3DCD를 실현하였으므로 회로기판이 포함된 사출품의 생산 기술을 진보시킬 것으로 예상된다.

5. 후 기

이 논문은 2014년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원-사업화연계기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임

REFERENCES

1. J. Hast, VTT Technical Research Centre of Finland, <http://www.ee.oulu.fi/research/opintotoimisto/WikinLiitetiedostot/Liitetiedostot/PrintEl2012.pdf> (accessed 1 Oct., 2015)
2. Yang. Y. S., You. I. K., Yun. H. K., Hong. S. H., Park. J. H., Jang. M. K. and Lee. J. H., "Technology Trend of Printed Electronics," Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 28, No. 5, pp. 1-11, 2013.
3. LPKF Laser & Electronics AG, <http://www.lpkf.com>
4. Paik. B. M., Lee. J. H., Shin. D. S. and Lee. K. S., "Development of Three Dimensions Laser Direct Patterning System," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 21, No. 1, pp. 116-122. 2012.
5. Kim. J. H., Lee. C. Y. and Kim. J. R., "Technical Trends of Direct Printing Electronics," Journal of Engineering and Technology, Vol. 17, pp. 77-87. 2008.
6. Vignesh, R., Suganthan, R. and Prakasan, K., "Development of CAD Models from Sketches: a Case Study for Automotive Applications," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 221, pp. 41-47, 2007.
7. Kim. N. S., Han. K. N. and Church. K. H., "Direct Writing Technology for 21st Century Industries -Focus on Micro-Dispensing Deposition Write Technology," Proceeding of the Korean Society of Machine Tool Engineers Spring Conference, pp. 511-515, 2007.
8. Rao, R. B., Krafcik, K. L., Morales, A. M. and Lewis, J. A.. "Micro fabricated Deposition Nozzles for Direct-Write Assembly of Three-Dimensional Periodic Structures," Advanced Materials, Vol. 17 No. 3, pp. 289-293. 2005.