

# 광개시제 특성에 따른 터치 패널용 UV 경화형 Ag 페이스트의 물성 연구

남수용,<sup>†</sup> 구용환, 김성빈

부경대학교 공과대학 인쇄정보공학과

(2011년 6월 10일 접수, 2011년 7월 24일 최종 수정본 접수, 2011년 8월 19일 게재 확정)

## A Study on Properties of UV-Curing Silver Paste for Touch Panel by Photoinitiator Characteristic

*Su-Yong Nam,<sup>†</sup> Yong-Hwan Koo, Sung-Bin Kim*

Dept. of Graphic Arts Information, College of Engineering, Pukyong National University,

(Accepted on June 10, 2011, Requisitioned last revision on July 24, 2011,

Publication decision on August 19, 2011)

### Abstract

The recent spotlight on electronic touch-screen display, a rapid breakthrough in the information society is evolving. Touch panel input device such as a keyboard or mouse without the use of, the on-screen character or a specific location or object on the person's hand touches a particular feature to identify the location of a panel is to be handled. The touch screen on the touch panel is used in the Ag paste is used mostly for low-curable paste. The thermal-curing paste according to the drying process of thermal energy consumption and improve the working environment of organic solvents have problems. In this study, Ag paste used in the non-thermal curing friendly and cost-effective UV curable paste was prepared. Current commercially available thermal-curable binder, was used instead of the flow characteristics of UV-curable oligomers and monomers with functional groups to give a single conductive Ag paste with the addition of a pattern could be formed. Ag paste as a result, thermal-curing adhesive, hardness, resistance and excellent

reproduction of fine patterns and was available with screen printing environmentally friendly could see its potential as a patterning technology.

Keyword: touch panel, photoinitiator, UV-curing resin, Ag paste

## 1. 서 론

21세기에 접어들면서 프린팅 전자 소자 산업에 대한 관심이 점점 증폭되고 있다. 프린팅 전자 소자 시장은 디스플레이, 터치 패널, RFID, 전지, 유기 트랜지스터 등 다양하며, 패터닝을 할 수 있는 다른 공법에 비해 대면적, 대량 생산, 저가격, 친환경, 단순 공정 등의 장점을 가지고 있다. 현재는 상용화 단계에 접어들어 새로운 용도의 저가 전자 소자 제작에 이용되어 그 가능성을 넓혀가고 있지만, 가까운 미래에는 오늘날 사용되고 있는 전자 제품의 대부분이 프린팅 소자화되어 생산 원가를 획기적으로 낮추어야 하는 상황이 올 것으로 전망되어진다.<sup>1)</sup> 프린팅 전자 소자 중 최근 각광받고 있는 터치 패널은 키보드나 마우스와 같은 입력 장치를 사용하지 않고, 화면에 나타난 문자나 특정 위치에 사람의 손 또는 물체가 닿으면 그 위치를 파악하여 특정한 기능을 처리하도록 한 패널이다. 터치 패널의 구현 방식에 따라 정전 용량 방식, 저항막 방식, 적외선 방식, 초음파 방식이 있으며, 정전 용량 방식과 저항막 방식이 주로 사용되고 있다.<sup>2)</sup> 저항막 방식은 투명전극이 코팅되어 있는 두 장의 기판을 합착시킨 구조로써 손가락이나 펜으로 압력을 가해 상부와 하부의 전극층이 접촉되면 전기적 신호가 발생되어 위치를 인지하는 방식이며, 정전 용량 방식은 사람의 몸에서 발생하는 정전기를 감지해 구동하는 방식이다.<sup>3)</sup>

본 연구에서는 스크린 인쇄에 적합한 UV 경화형 터치 패널용 전도성 Ag 페이스트를 개발하기 위해 광개시제의 종류와 특성을 달리하여, 전도성 Ag 페이스트를 제조하였으며 ITO 필름과의 인쇄 적성, 접착력 및 전기 전도성이 우수한 전극 패턴을 얻는 것을 목표로 하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 재료

본 연구에서는 스크린 인쇄가 가능한 UV 경화형 전도성 페이스트용 바인더 수지로써 UV 경화형 수지를 사용하였다. 페이스트 물성 및 도막의 특성에 영향을 미치는 올리고머로는 점도 조절이 용이하고 도막 경도와 접착성이 우수한 폴리에스테르계 아크릴레이트 올리고머를 바인더수지로 사용하였으며 수지의 물성은 Table 1과 같다.

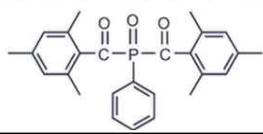
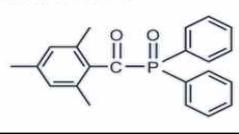
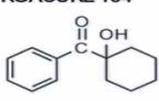
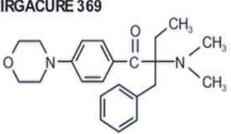
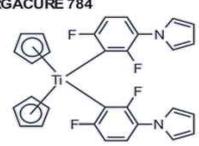
Table 1. The Properties of UV Curing Oligomer

| Composition        | Molecular Weight(Mw) | Tg Temperature(°C) | Viscosity(mPa.s) | Solid(N.V%) |
|--------------------|----------------------|--------------------|------------------|-------------|
| Polyester Acrylate | 1,500                | 40                 | 10,000           | 100         |

그리고 도막의 경화성, 현상 특성, 가교밀도 등에 영향을 미치는 모노머는 바인더 수지와의 상용성이 양호하며 체적수축이 적어 접착력이 우수한 단관능 모노머인 ODA를 사용하였으며 용해력이 우수한 solvent인  $\gamma$ -butyrolacton에 분말상태인 광개시제를 용해시켜서 사용하였다.

본 연구에서 사용한 UV 램프는 광원의 파장 영역이 200~400nm이므로 UV 경화형 바인더 수지에 첨가한 광개시제는 200~400nm 근처에서 광 흡수 능력이 우수하고 바인더 수지와의 상용성이 양호한 광개시제를 사용하였으며 종류와 물성은 Table 2와 같다.

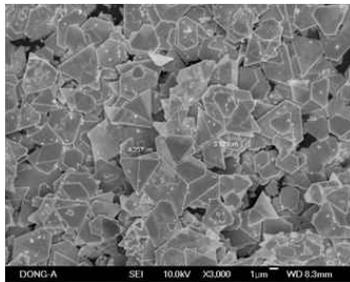
Table 2. The Structures and Properties of Photoinitiators

| Photo-initiator   |   |   |
|---|---|---|
| Composition   | I-819   | TPO   |
| Melting Point(°C)   | 127~133   | 88~92   |
| UV/VIS Absorption Peak(nm)  | 295, 370  | 295, 368, 380, 393  |
| Appearance  | Powder  | Powder  |
| Structural Formula  | <p>IRGACURE 819 and IRGACURE 819 DW</p>  | <p>DAROCUR TPO</p>   |
| I-184   | I-369   | I-784   |
| 45~49   | 110~114   | 160~170   |
| 246, 280, 333   | 233, 324  | 398, 470  |
| Powder  | Powder  | Powder  |
| <p>IRGACURE 184</p>  | <p>IRGACURE 369</p>                      | <p>IRGACURE 784</p>  |

또한 스크린 인쇄가 가능한 UV 경화형 전도성 페이스트를 제조하기 위해 전도성 필러로서 크기와 형상이 다른 flake type Ag 파우더와 spherical type Ag 파우더를 혼합하여 사용하였으며 Ag 파우더의 크기 및 형상을 Table 3과 Figure 1에 나타내었다.

Table 3. The Specification of Ag Powders

| Type        | Particle Size Distribution | Specific Surface Area    | Tap Density              |
|-------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Flake A     | 1.0~4.0 $\mu$ m            | 1.0~1.5m <sup>2</sup> /g | 2.5~3.5g/cm <sup>3</sup> |
| Spherical E | 1.6~6.0 $\mu$ m            | 0.8~1.0m <sup>2</sup> /g | 3.8g/cm <sup>3</sup>     |



(a) Flake A



(b) Flake B

Figure 1. The SEM image of Ag powder.

## 2-2. Ag 페이스트 제조

본 실험에서는 Table 4와 같은 조합비로 스크린 인쇄가 가능한 UV 경화형 전도성 Ag 페이스트 8종류를 제조하였다. 시료 제조의 방법은 Ag 파우더의 함량 및 용제의 비율은 일정하게 하고, 광 경화 개시제의 종류와 함량을 달리함으로써, Ag 페이스트의 분산성, 레올로지 특성, 접착력, 전기 전도성 및 표면과 경화성을 검토하였으며, 그 제조 순서는 Figure 2와 같다. 먼저 UV 경화형 Oligomer/Monomer 바인더 수지와 소량의 용제를 pre-mixing하고, 그 용액에 Ag 파우더를 넣어 교반시킨 다음 3-roll-mill (TRM-6.5, 경용기계)를 이용하여 Ag 파우더를 분산시킨다. 분산된 액에 광경화 개시제를 용해성이 높은 용제에 녹인 광경화 액을 넣어 교반함으로써 전도성 Ag 페이스트를 완성하였다.

Table 4. Blends System of Monomer/Oligomer/Ag Powder

| Material            |              | Weight(%) |   |   |   |   |     |     |     |
|---------------------|--------------|-----------|---|---|---|---|-----|-----|-----|
| Paste No.           |              | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6   | 7   | 8   |
| Ag Powder           |              | 75        |   |   |   |   |     |     |     |
| Oligomer(Polyester) |              | 14        |   |   |   |   |     |     |     |
| Monomer             | ODA          | 5         |   |   |   |   |     |     |     |
| Solvent             | Butyrolacton | 2         |   |   |   |   |     |     |     |
|                     | ECA          | 2         |   |   |   |   |     |     |     |
| Photo-initiator     | I-819        | 1         |   |   |   |   |     |     |     |
|                     | TPO          |           | 1 |   |   |   | 0.5 |     |     |
|                     | I-184        |           |   | 1 |   |   | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
|                     | I-369        |           |   |   | 1 |   |     | 0.5 |     |
|                     | I-784        |           |   |   |   | 1 |     |     | 0.5 |

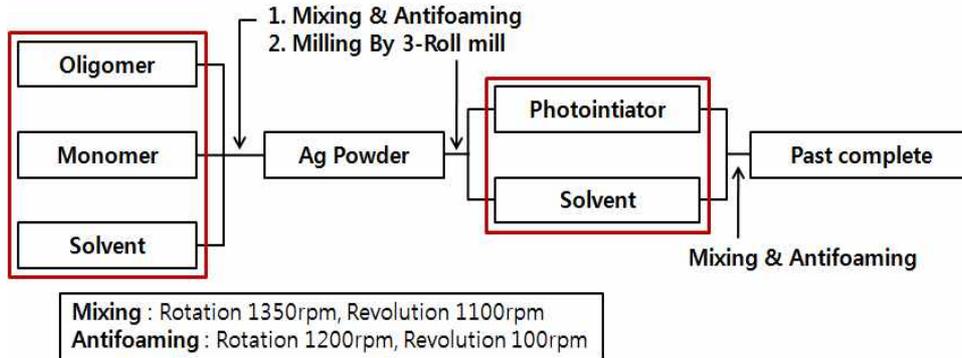


Figure 2. The manufacture process of Ag paste.

### 2-3. 스크린 패턴 인쇄 & 인쇄 조건

Table 3의 조합비로 제조된 8종류의 전도성 Ag 페이스트를 스크린 인쇄(screen printing)법을 이용하여 ITO 필름에 250메쉬 SUS 재질의 스크린 판을 사용하였고, 스크린 인쇄기(BS-150ATC)로 패터닝을 하였고, 120℃에서 20초간 용제를 증발시키는 preheating 공정을 거친 후, UV 경화를 하였다. 인쇄에 사용된 제판 사양 및 인쇄 조건을 각각 Table 5와 6에 나타내었고, UV 경화 조건을 Table 7에 나타내었다.

Table 5. The Specification of Screen Plate

| Type                               | Frame<br>(mm) | Mesh   | Angle<br>( ° ) | Tension<br>(mm) |     | Mesh<br>Thickness<br>( $\mu$ m) | Emulsion<br>Thickness<br>( $\mu$ m) | Plate<br>Thickness<br>( $\mu$ m) |
|------------------------------------|---------------|--------|----------------|-----------------|-----|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                    |               |        |                | x               | y   |                                 |                                     |                                  |
| Pattern Printing<br>(1.5mm, 110mm) | 320×320       | SUS400 | 34             | 0.8             | 0.8 | 59                              | 10                                  | 69                               |

Table 6. The Specification of Printing Condition

| Type                               | Squeeze Speed<br>(mm/s) | Air Pressure<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | Squeeze Angle<br>( ° ) | Contact Off Gap<br>(mm) |
|------------------------------------|-------------------------|--|------------------------|-------------------------|
| Pattern Printing<br>(1.5mm, 110mm) | 100                     | 6                                      | 80                     | 2.5mm                   |

Table 7. The Specification of UV-Curing Condition

| Type                | Belt Speed<br>(m/s) | Intensity of<br>Radiation(J/cm <sup>2</sup> ) | Temperature<br>( °C ) | Time<br>(1/sec) |
|---------------------|---------------------|---|-----------------------|-----------------|
| UV Curing<br>System | 1.6                 | 1000  | 80                    | 20              |

## 2-4. 측 정

### 2-4-1. 전도성 페이스트의 레올로지 특성

스크린 인쇄가 가능한 저온 경화형 전도성 페이스트의 레올로지 특성은 RheoScope 1(Haake, Germany)을 이용하여 측정하였다. 시료대는 직경이 35mm의 평행판이고, 시료 간격은 0.8mm로 설정하였으며, 이 때 측정 온도는 23°C로 하였다.

### 2-4-2. 전도성 페이스트의 분산 특성

스크린 인쇄가 가능한 UV 경화형 Ag 페이스트의 분산 특성은 KS M 5463법으로 흙의 깊이가 0~25 $\mu$ m까지 측정할 수 있는 입도계와 스크래퍼로 되어 있는 Grindometer (BYK Gardner, Germany)를 사용하여 측정하였다. 분산이 되지 않을 경우 스크래퍼에 의해 긁힘이 나타나는데, 이를 비디오 마이크로 스코프(Alphasystec, Korea, SV35-06G-019)를 사용하여 촬영하였다.

### 2-4-3. 전도성 패턴의 접착력

형성된 터치 패널 전극용 전도성 패턴의 접착성은 KS M ISO 2409 도료의 밀착성 시험 방법에 의거하여 형성된 전도성 패턴을 십자가 모양으로 cross-cutting한 후, 3M 테이프로 부착한 뒤 전도성 패턴 셀이 떨어지는 개수로써 양호한지 아닌지를 판단하였다.

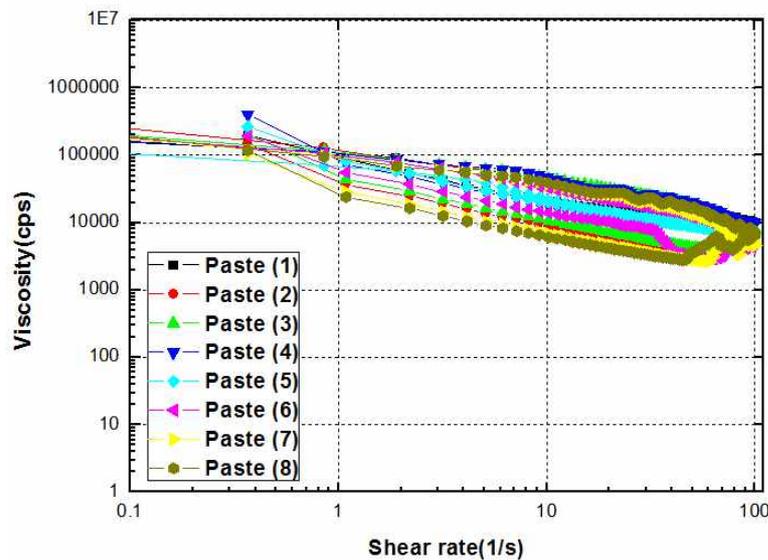
### 2-4-4. 전도성 패턴의 전기 전도성

전기 전도성 측정은 Keithley 2002 Multimeter를 사용하여 4-point probe 방식에 의해 면저항을 측정하였고, 전도성 패턴의 두께는 표면 조도계(Mitutoyo, Japan)로 측정하여 전도성 패턴의 비저항을 계산하였다.

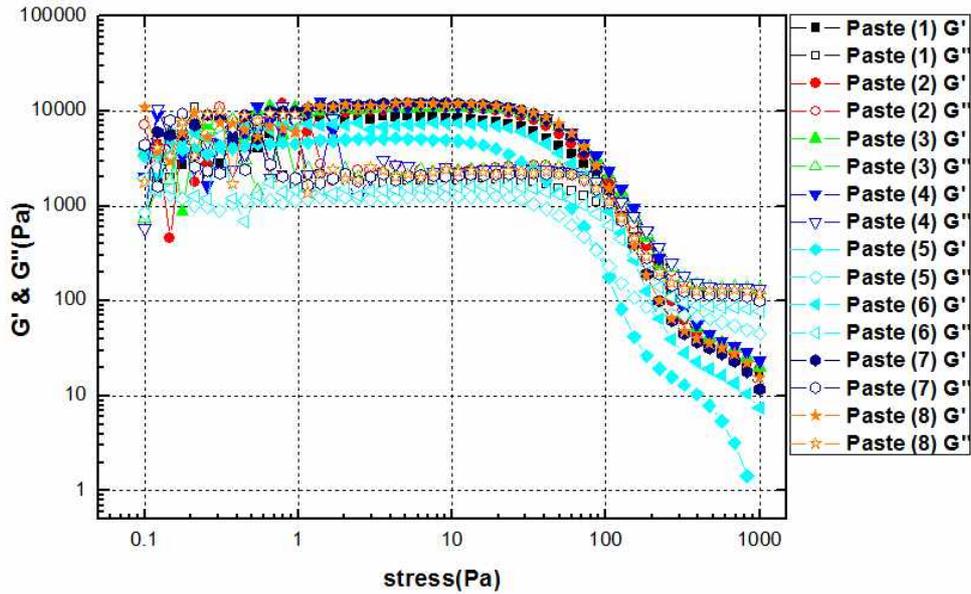
## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 전도성 페이스트의 레올로지 특성

본 실험에서 제조한 스크린 인쇄용 UV 경화형 전도성 페이스트의 레올로지 특성을 Figure 3에 나타내었다. Figure 3의 (a)는 전도성 페이스트의 전단 속도(shear rate)에 따른 점도 그래프로써, 본 연구에서는 바인더 수지의 올리고머의 종류와 특성에 따라 전도성 페이스트의 스크린 인쇄 적성 및 전도성 패턴 물성을 검토하기 위해 전도성 페이스트의 점도는 전단 속도가 100rpm로 나타내었다.



(a) The shear rate dependence of viscosity for Ag pastes.



(b) The angular frequency dependence of storage& loss modules for Ag pastes.

Figure 3. The rheology characteristics of Ag pastes.

제조된 Ag 페이스트의 전단 속도에 따른 점도의 특성을 보면 모든 Ag 페이스트가 낮은 전단 속도에서 높은 전단 속도로 갈수록 점도가 감소하는 shear thinning 거동을 함을 알 수 있다. 이것을 인쇄성과 관련하여 생각했을 때 낮은 전단 속도 영역은 인쇄가 끝난 후 중력의 힘에 의해서만 퍼지게 되는 때에 해당한다고 하면  $0.01 \sim 0.1s^{-1}$ 에서 점도가 높을수록 레벨링 불량으로 인하여 표면 거칠기가 나빠질 것을 예상할 수 있다. 높은 전단 속도 영역에서는 페이스트가 스크리의 힘을 받아서 스크린 메쉬 오픈을 통과하는 때에 해당하게 되며 그에 해당하는  $10 \sim 100s^{-1}$ 영역에서는 점도가 낮아서 유동성이 좋은 페이스트가 토출성이 우수하게 된다.

### 3-2. 전도성 Ag 페이스트의 분산 특성

본 실험에서 제조한 스크린 인쇄용 UV 경화형 전도성 Ag 페이스트의 분산 특성을 검토한 결과를 Figure 4에 나타내었다. Grind gauge를 이용하여 측정하였고 페이스트의 굵힌 위치의 수치가 작을수록 분산이 잘된 페이스트라고 할 수 있다. Ag 페이스트의 분산성을 측정된 결과 올리고머의 종류 및 분자량, 구조적 특성에 따라 Ag 파우더 입자간 인력의 차이에 따라 응집의 정도를 볼 수 있었고 그에 따라 분산 특성이 다름을 알 수

있었다. Figure 4에 각각의 Ag 페이스트가 긁히기 시작한 지점과 이미지를 나타내었다. 선행 실험에서 Ag 페이스트의 분산성 및 전극으로서의 전도성을 만족시켜주는 Ag 파우더의 최적 함량은 75~80%이었으며, 본 연구에서는 Ag 파우더의 함량을 75%로 고정하고, 올리고머의 종류를 달리하여 Ag 페이스트를 제조하였다. Figure 4에 각각의 Ag 페이스트가 5~8 $\mu$ m 범위에서 긁힘이 발생하였다. Ag 파우더의 평균 입경이 2~4 $\mu$ m임을 감안하였을 때 Ag 페이스트의 분산성은 모두 우수함을 알 수 있다.

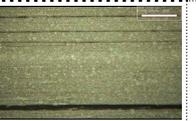
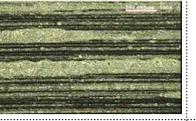
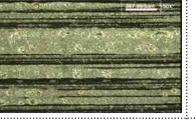
| Paste No. | Grind Measurement Scratch Position  |   |  | Dispersibility Result      |
|-----------|---|---|--|----------------------------|
|           | 10 $\mu$ m  | 7~8 $\mu$ m   | 5 $\mu$ m  |                            |
| Paste (1) |    |    |    | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (2) |   |   |   | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (3) |  |  |  | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (4) |  |  |  | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (5) |  |  |  | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (6) |  |  |  | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (7) |  |  |  | ○<br>(Good Dispersibility) |
| Paste (8) |  |  |  | ○<br>(Good Dispersibility) |

Figure 4. The dispersibility results of Ag pastes.

### 3-3. 전도성 패턴의 물성

본 실험에서 제조한 UV 경화형 전도성 Ag 페이스트를 스크린 인쇄를 통해 전도성 패턴을 형성하였다. 또한 전도성 패턴의 접착성, 경화성, 표면 특성, 전기 전도성의 물성을 검토하였다.

전도성 패턴의 접착성은 인쇄 패턴을 십자가 모양의 cell 형태로 잘라 테이프를 박리 테스트하는 cross-cutting(ISO: KS M ISO 2409) 테스트와 도트 모양으로 인쇄된 패턴에 테이프를 박리 테스트를 동시에 진행하였으며 결과는 Table 8과 Figure 5에 나타내었다. 모든 페이스트가 박리 테스트에 대해서 우수한 결과를 보였지만 연필 경도 테스트 및 분당 테스트 결과 페이스트 (2), (3), (6), (7)을 제외한 페이스트 (1), (4), (5), (8)로 형성한 전도성 패턴은 1H 이하의 경도를 가져 Ag 페이스트의 내부 응집력 및 경화도가 약함을 알 수 있었다. 일반적으로 피인쇄체와의 접착력과 경도에 가장 큰 영향을 주는 것은 바인더 수지이지만 올리고머의 분자량이나 사슬의 구조와 관능기의 위치에 따라 반응성이 틀려 경화성 및 접착력에서 차이가 날 수 있다. 본 실험의 UV 경화형 전도성 Ag 페이스트의 경우 광에 의한 반응성은 곧 광개시제와 올리고머, 모노머와의 반응성을 말 하며 이는 광개시제의 흡광 영역이나 수지와의 상용성에 의해 차이가 날 수 있다.

Table 8. The Adhesive/Pencil Hardness Results of Conductive Pattern

| Paste No. | Adhesive Results<br>(after Cross-cutting Cell Count/<br>before Cross-cutting Cell Count) | Pencil Hardness Results |
|-----------|--|-------------------------|
| Paste (1) | Good(100/100)  | 1H                      |
| Paste (2) | Good(100/100)  | 2H                      |
| Paste (3) | Good(100/100)  | 2H                      |
| Paste (4) | Good(100/100)  | 1H                      |
| Paste (5) | Good(100/100)  | HB                      |
| Paste (6) | Good(100/100)  | 4H                      |
| Paste (7) | Good(100/100)  | 4H                      |
| Paste (8) | Good(100/100)  | HB                      |

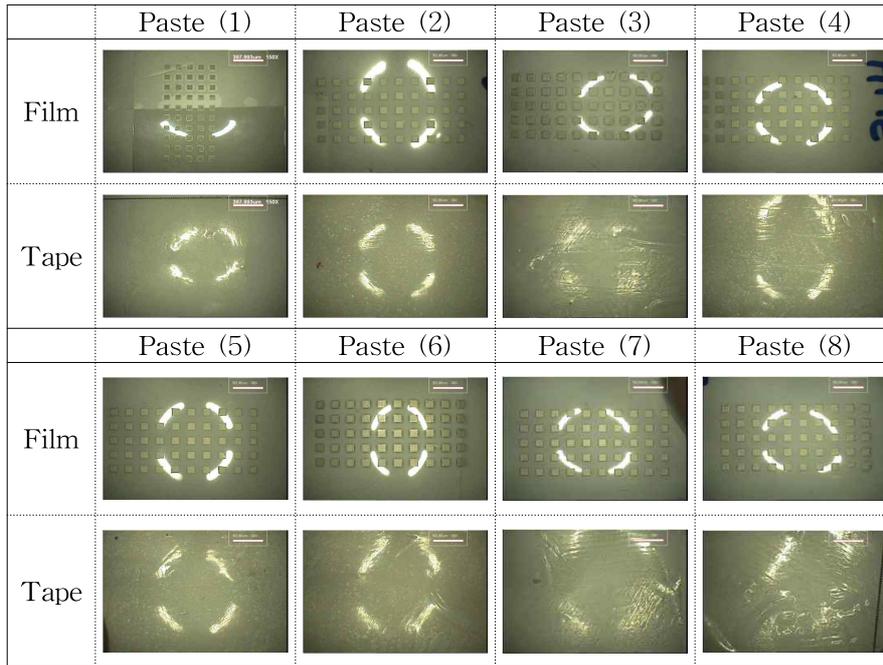


Figure 5. The adhesive strength of touch panel pattern.

Figure 6에 전도성 패턴의 표면 특성의 결과를 나타내었으며, 인쇄 후 건조와 경화 공정을 거친 후 인쇄 표면의 이미지를 비디오 마이크로 스코프(Alphasystec, Korea, SV35 - 06G - 019)를 사용하여 촬영하였다.

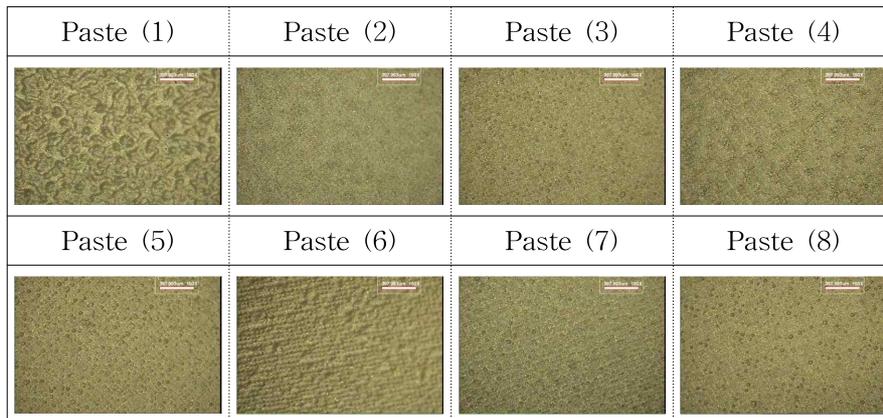


Figure 6. The surface property of touch panel pattern.

터치 패널 전극 패턴을 형성한 후 전기 전도성을 측정된 결과를 Table 9에 나타내었다. 폴리에스테르 타입의 올리고머와 TPO와 I-184를 사용하여 제조한 페이스트 (6)이  $1.8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항을 가져 다른 종류의 광개시제를 사용한 Ag 페이스트에 비해 페이스트 전기 전도성이 우수하게 나타났다. 이러한 결과는 올리고머와 모노머와의 상용성, 올리고머의 사슬 구조와 관능기에 따라 필러와 바인더의 가교밀도, 광경화 개시제의 작용, 가 건조시 용제의 휘발성 등 여러 요인에 따라 전기 전도성이 다르게 나타난 것으로 판단된다.

Table 9. Resistivity of Electrode Pattern

| Paste No. | Conductivity                                | Paste No. | Conductivity                                |
|-----------|---|-----------|---|
| 1         | $3.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ | 5         | $4.2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ |
| 2         | $2.6 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ | 6         | $1.8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ |
| 3         | $2.2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ | 7         | $2.8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ |
| 4         | $4.6 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ | 8         | $3.3 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ |

## 4. 결 론

본 실험에서 스크린 인쇄법을 이용하여 UV 경화형 전도성 패턴 물성에 대해 연구, 검토해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Ag 페이스트의 분산성을 검토한 결과, 폴리에스테르, 에폭시, 우레탄, 아실(Acyl) 등 올리고머의 종류에 따른 분산성은  $5 \sim 8 \mu\text{m}$  정도의 분산성을 나타내었고 Ag 파우더의 평균 입경을 고려할 때 1차 입자 단위로 고르게 분산되었음을 알 수 있었다.
- 2) Ag 페이스트의 점도 및 점탄성을 측정된 결과 수지 고형분의 함량은 모두 같으나 Ag 입자와의 관계, 올리고머의 분자량, 모노머와의 관계에 따라 페이스트의 점탄성적인 성질이 다를 수 있지만 건조 및 경화 조건이 모두 동일했을 때 광개시제에 따라 내부 응집 및 경화도가 모두 달랐고 이에 상응하는 결과로서 표면 특성 및 경화 특성에서도 그 특성을 찾을 수 있었다.
- 3) 광개시제의 종류에 따른 스크린 인쇄 후 전극 패턴의 접착성 및 경도를 검토한 결과 페이스트 (6)의 경우 가장 양호한 결과를 나타내었고, 이 결과는 내부 경화성과도 관계가 있음을 알 수 있었다.

4) 광개시제의 구조 및 흡광 영역에 따라서 가 건조시 용제의 휘발성, UV 경화 후 경화력, 표면 특성, 접착성 등 특성이 달라짐을 알 수 있었다.

위의 4가지 결론으로부터 페이스트 (1)이 분산성, 레올로지 특성, 접착성, 전도성, UV 경화형 Ag Paste 특성에서 가장 우수함을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

1. Gregory P. Crawford, "Flexible Flat Panel Displays", John Wiley & Sons Ltd, pp. 495~520(2005).
2. 권지인, 임순옥, "터치스크린 패널 시장 현황 및 국내 업체에 대한 시사점", 정보통신 정책, Vol. 20, No. 13, pp. 2~3(2008).
3. 김지수, 오태현, 남수용, "A Study on the Pattern Characteristics of Photo-sensitive Electrode Paste by Monomer", pp. 2(2008).
4. 이미영, 김성현, 남수용, "A study on The Rheology and the Pattern Manufacture of Contacts for OTFT by screen Printing Method", pp. 4~6(2005).
5. 김지수, "A Study on Properties of Low Temperature Curing Silver Paste for Spherical Silicone Solar Cell", pp. 35(2009).
6. R. Mehnert, A. Pincus, I. Janorsky, R. Stowe&A. Berejka, "UV&EB Curing Technology Ltd.", pp. 220(1998).
7. Technonet社, "광경화 기술 Data Book", pp. 38(2000).