



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

TSP용 미세패턴 형성을 위한 감광성
Silver paste의 물성연구



2014년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

정 현 욱

공 학 석 사 학 위 논 문

공 학 석 사 학 위 논 문

TSP용 미세패턴 형성을 위한 감광성
Silver paste의 물성연구

지도교수 남 수 용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2014년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

정 현 욱

정현욱의 공학석사 학위논문을 인준함.

2014년 2월 21일



The logo of Bukyong National University is a circular emblem. It features a central stylized figure resembling a person or a flame, with a blue and grey color scheme. The outer ring of the logo contains the text "BUKYONG NATIONAL UNIVERSITY" in English at the top and "부경대학교" in Korean at the bottom.

주 심 공학박사 안 석 출 (인)

위 원 공학박사 신 동 윤 (인)

위 원 공학박사 남 수 용 (인)

목 차

목차	i
List of figures	iii
List of tables	iv
Abstract	v
I. 서 론	1
II. 이 론	3
1. TSP(Touch Screen Panel)	3
가. TSP 기본 구조	4
나. TSP의 작동원리	4
2. UV(Ultra Violet) 경화 시스템	6
가. UV 시스템의 개요와 반응기구	6
나. UV 경화원리	7
다. UV 시스템의 특징	8
라. UV 경화재료의 조성	10
3. 스크린 인쇄 기술	11
4. 전도성 페이스트	14
가. 전도성 필러	16
나. 바인더	17
다. 전도성 페이스트 분산 기술	18
5. 레올로지	19
가. 동적 점탄성	22

Ⅲ. 실 험	25
1. 시료	25
가. Ag powder	25
(1) 전도성 필러	25
(2) 바인더	26
(3) 광개시제	27
나. Ag 페이스트 제조	29
다. 스크린 인쇄	30
라. 전열 처리 (Pre-heating) 공정	31
마. 노광 공정	31
바. 현상 - 수세 공정	33
사. 후열 처리 (Post-heating) 공정	33
2. 측정 및 분석	33
가. Ag 페이스트의 분산 특성 측정	34
나. Ag 페이스트의 레올로지 특성 측정	34
다. 전도성패턴의 인쇄적성 및 경화특성 측정	35
라. 전도성패턴의 접착성 측정	35
마. 전도성패턴의 전기전도성 측정	36
바. 전도성패턴의 내구성 시험	36
Ⅳ. 결과 및 고찰	37
1. 스크린 망사의 소재와 Mesh 수에 따른 두께 및 비저항	37
2. 전열 처리 공정에 따른 전도성 및 현상성	39
3. UV 노광량에 따른 패턴의 현상성	41
4. 후열 처리 공정에 따른 기재와의 접착성 및 경도	43

V. 결 론 46
참고문헌 49

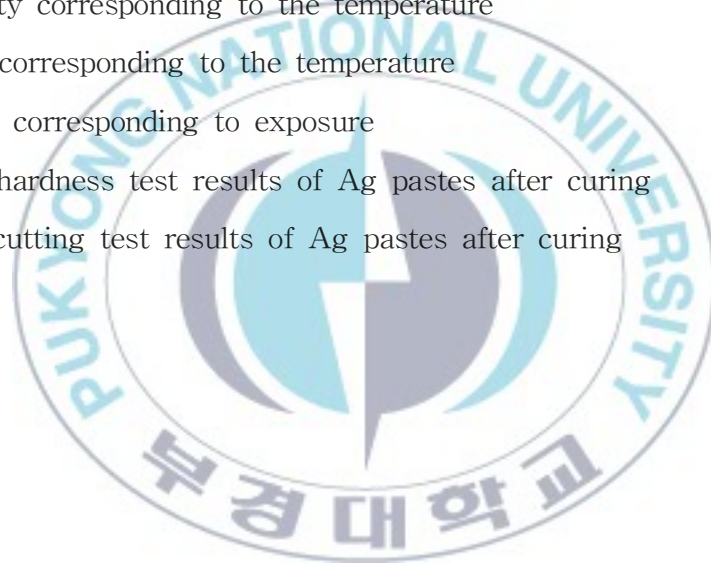


List of figures

- Fig. 1. Base composition of TSP
- Fig. 2. Structure of TSP
- Fig. 3. Group of UV
- Fig. 4. Curing system in multiple patterning method
- Fig. 5. Resist movement during the rolling
- Fig. 6. Mechanism of plate separation
- Fig. 7. Three step of dispersion process
- Fig. 8. Material typical S-S curved line
- Fig. 9. Dynamic viscoelasticity measure((a):amplitude sweep,
(b):frequency sweep)
- Fig. 10. SEM pictures of Ag powder
- Fig. 11. Manufacture process of Ag paste
- Fig. 12. Image of screen plate mesh
- Fig. 13. Image of screen printing machine
- Fig. 14. Image of pre-heating process
- Fig. 15. Image of drying oven
- Fig. 16. Image of UV curing machine and wave-length graph

List of Tables

- Table 1. The type of conductive paste
- Table 2. The properties of conductive Ag powder
- Table 3. The properties of photo-initiator
- Table 4. Formulation of Ag pastes
- Table 5. The specification of UV curing condition
- Table 6. The specification of screen plate
- Table 7. Resistivity of electrode pattern
- Table 8. Resistivity corresponding to the temperature
- Table 9. Pattern corresponding to the temperature
- Table 10. Pattern corresponding to exposure
- Table 11. Pencil hardness test results of Ag pastes after curing
- Table 12. Cross cutting test results of Ag pastes after curing



For the formation of a fine pattern for TSP photosensitive properties of silver paste research

Hyun-Wook Jeong

*Department of Graphic Arts Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

As electronic technology is rapidly evolving, Typified by a liquid crystal display device (LCD), organic light emitting transistor (OLED) Starting with flat panel display panel, Interest in printing electronic devices related to the display element is growing. recently, due to demand large screen, lighter and thinner electronic devices, to form an electrode constituting an electronic element to the area within a certain and it is necessary to form fine patterns, at assembly (packaging) packaging of electronic devices thereof. Therefore, research and development of the conductive paste has been actively conducted.

The conductive paste or conductive ink means that the role of Conductive path so that it is possible circuit current flows. Conductive ink is formed of a conductive filler and polymer binder. And is formed via various methods inkjet printing, gravure printing, roll-to-roll printing, offset printing, and photosensitivity. Among them, a photosensitive pattern forming method is a technique that combines photolithography process and screen printing. If it is desired to form a

pattern by a screen printing method, the operation is simple. but Process characteristics, there is a disadvantage due to a limitation of mesh (mesh). the implementation of the fine pattern of $L / S = 50/50$ or less is difficult. Photolithography process facilitates the implementation of a fine pattern, but the workability and productivity is low, and the pattern formation phenomena that occur in the processing of waste disposal costs, environmental pollution, has the disadvantage of high production costs. When using the gravure printing method and offset printing method, there is a problem that the continuity of the work is reduced.

Using ultraviolet (UV) energy, to complement the disadvantage has the advantage of a fine pattern implementation with relatively simple workability that it is easy, It has the advantage of being able to ensure the continuity of the work.(Increase in the number of wires by of multi-touch, Finer line width due to narrowing of the bejel section, Extension of wiring distance due to the size of the panel, Lighter printing material) In particular, the law etching through the photosensitive pattern formation process can be simplified compared to the number of processes, and the difficulty of a simple screen printing less than $50 \mu\text{m}$, for example, fine patterns of less than $30 \mu\text{m}$ can be implemented.

In this study, by using the Ag powder Spherical form as the conductive filler, to develop a conductive paste suitable for forming a fine pattern, using a photosensitive processes, printability corresponding to the difference in Mesh, Pre-you put the objective in that it examine the optimum conditions and conductivity phenomenon of pattern corresponding temperature of heating, light intensity at the time of curing, the temperature of the Post-heating, adhesion, hardness implementation.

I. 서 론

전자 기술이 급속도로 발전함에 따라, 액정표시 소자 (LCD), 유기 전계 발광트랜지스터 (OLED)로 대표되는 평판디스플레이 패널을 비롯하여 태양전지 (Solar cell)와 같은 표시 소자와 관련된 프린팅 전자 소자에 대한 관심이 커지고 있다. 최근에는 전자 소자의 대화면화, 경량화, 슬림화에 대한 요구로 인하여, 일정한 면적 안에 전자 소자를 구성하는 전극을 형성하거나 이들 전자 소자의 패키징 (Packaging)이나 조립 공정에서 미세한 패턴을 형성하여야 한다. 따라서 금속 입자와 같은 전도성 소재를 수지 조성물에 분산시키는 전도성 페이스트에 대한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

여기서 전도성 잉크 또는 전도성 페이스트라는 것은 회로에서 전기가 흐를 수 있도록 도전 패스 (Conductive path)의 역할을 하는 것을 말한다. 전도성 잉크는 고분자 바인더 (Polymer binder)와 전도성 충전제 (Conductive filler)로 구성되었으며, 인쇄 기술을 이용하여 패턴화하는 인쇄전자 기술이 잉크젯 프린팅, 그라비아인쇄, 롤 투롤 인쇄, 오프셋인쇄, 감광성 등 다양한 방식을 통하여 형성되고 있다.

그중에서도 감광성 패턴 형성법은 기존의 스크린 인쇄 등의 일반적 패턴 형성 공정에 노광 및 현상 등의 포토리소그래피 공정을 접목한 기술이다. 기존의 스크린 인쇄 방법을 통하여 패턴을 형성하고자 하는 경우에는 작업성은 간편하나, 공정 특성상 메쉬 (Mesh)의 한계로 인하여 L/S=50/50 이하의 미세패턴 구현이 어려운 단점을 가지고 있으며, 포토리소그래피 공정은 미세패턴의 구현은 용이하나 작업성이 복잡하며 생산성이 낮고, 패턴 형성 후 현상처리에서 발생하는 폐액의 처리비용, 환경오염, 높은 제조비용의 단점이 있다. 한편, 오프셋 인쇄법이나 그라비아 인쇄법을 이용

하는 경우 작업의 연속성이 떨어지는 문제가 있다.

이런 단점들을 보완하는 감광성 공정의 패턴 형성은 자외선 (UV) 에너지를 이용하여 비교적 간편한 작업성과 미세패턴의 구현이 용이하다는 장점을 가지고 있으며, 작업의 연속성도 확보할 수 있는 이점을 가진다. 이러한 장점을 통하여 i) 멀티 터치화에 의한 배선 수의 증가, ii) 배젤 부의 협소화에 따른 선폭의 미세화, iii) 패널 거대화에 따른 배선거리의 연장, iv) 피인쇄체의 경량화 (Glass → Film으로의 변화라는 터치패널 회로기술 동향)에 부합되는 조건으로서 충분하다. 특히, 감광성 패턴 형성 공정을 통하여 에칭법과 비교하면 공정수를 간소화할 수 있으며 단순 스크린 인쇄법으로는 곤란한 50 μm 이하, 예를 들어 30 μm 이하의 미세 패턴을 구현할 수 있다.

본 연구에서는 전도성 필러로써 Spherical 형태의 Ag powder를 사용하여, 미세패턴 형성에 적합한 전도성 페이스트를 개발하였고 감광성 공정을 이용하여 Mesh 차이에 따른 인쇄 적성, Pre-heating의 온도, 경화 시 광량, Post-heating의 온도에 따른 패턴의 현상성 및 전도성, 접착성, 경도 구현의 최적 조건을 알아보는 것에 그 목적을 두었다.

Ⅱ. 이 론

1. TSP (Touch Screen Panel)

가. TSP의 기본 구조

터치스크린 패널은 하나의 입력장치로서, 키보드나 마우스와 같은 입력 장치를 사용하지 않고, 화면에 나타난 문자나 디스플레이에 표시된 버튼에 사람의 손 또는 물체가 닿으면, 그 위치를 파악하여 특정한 기능을 처리하는 패널이다. 이를 통해서 대화적, 직감적인 조작을 가능하게 하여 누구나 손쉽게 컴퓨터를 조작하는 방법이다.

터치스크린 기술은 적용 디바이스의 범위를 넓혀가면서 은행의 ATM, PDA/PMP, 노트북의 터치패드, 네비게이션 등에서 최근 관심이 집중되고 있는 스마트폰에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다. 터치스크린은 휴대성이 좋고 작동방식이 간편하여 직관적으로 쉽게 사용할 수 있는 장점을 가지고 있지만 정확성, 속도, 문자입력 등에서는 아직 기존 입력장치 대비 보완해야 할 부분이 존재한다.

여기서 용어의 혼동을 일으킬 수 있는 소지가 있다. 일반적으로 터치패널이 모니터 화면에 붙어 있으면 그 구조를 터치스크린이라고 부르며, 터치패널이 마우스를 대신하여 커서를 이동시키는 것에 사용될 때의 구조를 터치패드라고 한다. 즉, 가장 기본이 되는 구조가 터치패널 (Touch panel)이다. 터치패널의 기본구조를 Figure 1에 나타내었다.

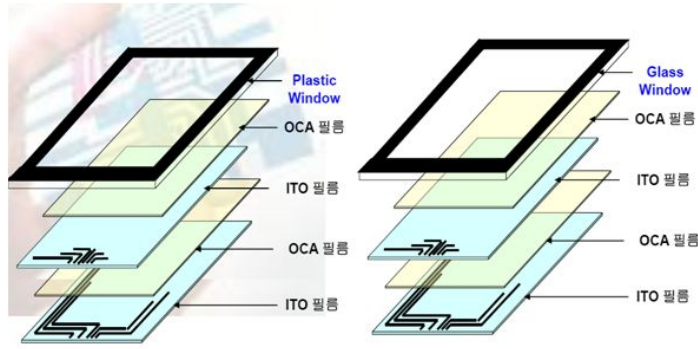


Figure 1. Base composition of TSP^[1]

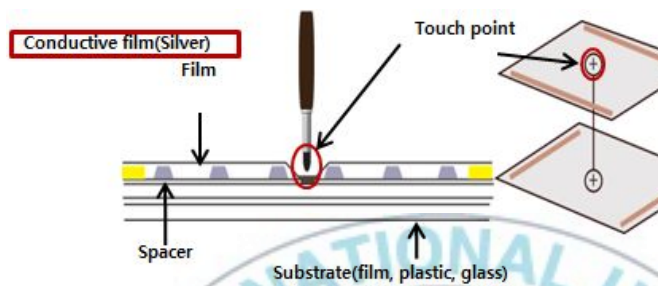
나. TSP의 작동원리

터치스크린의 작동원리는 여러 가지가 있다. 크게 분류를 하면 터치스크린 표면에서 직접 입력을 받을 수 있는 방식과 터치스크린 외곽에 적외선 발광소자 설치한 후 적외선 중간의 신호가 외부에 의해 간섭을 받는지를 측정하는 방식 등 두 개로 나눌 수 있다. 전자가 대부분의 소형 디스플레이 장치 (PDA, PMP, 휴대폰 등등)에서 사용되는 반면 후자는 좀 더 큰 디스플레이 장치(모니터급 이상)에서 많이 사용된다.

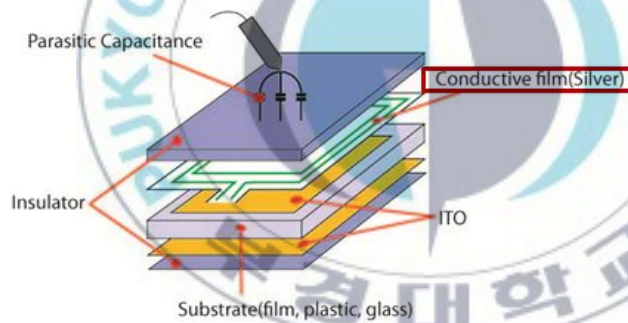
터치스크린을 직접 입력하는 방식에서는 크게 저항막 (Resistive) 방식과 정전용량 (Capacitive) 방식으로 나눌 수 있다. 저항막 방식은 터치스크린을 누르는 순간 발생하는 압력에 의해 전압이 발생하게 되고 그 전압차이로 입력을 감지하는 방식이다. 이 저항막 방식의 장점은 입력할 수 있는 도구의 특성을 가리지 않는다는 것인데 이는 터치스크린 표면에 압력을 줄 수 있는 것이라면 모두 입력할 수 있는 도구로 쓰일 수 있기 때문이다. 따라서 이 방식으로 만들어진 터치스크린은 손톱으로도 동작을 시킬 수 있다.

다른 방식인 정전용량 방식은 작동원리가 다르다. 정전용량 방식은 표면

에 전류가 흐를 수 있는 물질 (전도체)이 닿을 경우 그 전류가 전도체를 통해 빠져나가는 정도를 측정하여 입력한 위치를 판단하고 입력 처리하는 방식이다. 당연히 전류가 새나갈 수 없는 손톱으로는 입력한 위치를 측정할 수 없다는 문제가 있다. 하지만 반응속도가 빠르고 멀티터치 구현 및 내구성에 유리하여 현재는 저항막 방식보다 폭넓게 사용된다. Figure 2에 저항막 방식과 정전용량 방식의 구동원리를 나타내었다.^[2]



(a) Resistive Touch screen



(b) Capacitive Touch screen

Figure 2. Structure of TSP

2. UV (Ultra-Violet) 경화 시스템

가. UV 시스템의 개요와 반응기구

UV 경화 시스템은 도료, 잉크, 접착제 등에 자외선을 조사하여 경화시키는 것을 목적으로 한다. 자외선을 파장에 따라서 분류하면 Figure 3과 같다.

자외선은 전자파 중의 하나로서 파장이 200 ~ 400 nm까지의 영역을 가졌으며, 근적외선과 원적외선으로 나눌 수 있다. 100 ~ 200 nm 파장 범위의 자외선을 진공 자외선이라고 하는데, 이것은 자신이 가지고 있는 에너지를 산소에 부여하여 오존 (O₃)을 형성시키는 작용을 한다. 따라서 이 파장영역의 자외선은 진공 상태가 아닌 공기 중에서 그 에너지가 소실되어 사용할 수 없으므로 진공 자외선이라고 부르는 것이다. 실제로 자외선으로 UV 경화에 가장 유효한 파장역은 100 ~ 400 nm의 파장영역이다.

주로 석영관 내부에 수은과 알콘 등의 불활성 가스를 넣은 고압수은등과 메탈할라이드 램프로 나눌 수 있는데, 메탈할라이드 램프는 250 ~ 450 nm의 영역에 연속적으로 넓은 범위의 에너지를 지니고 있어, 자외선 영역에서의 에너지 교환율이 약 28 %로 수은램프의 에너지 교환율 23%의 약 1.2배에 달한다. UV 잉크에 사용되고 있는 안료가 365 nm 가까이에서 최대 투과율을 나타내는 것이 많으므로 장파장의 발광량이 많은 메탈할라이드 램프가 비교적 두꺼운 도막이나 균일한 경화가 가능해 내부경화성에 유리하다.

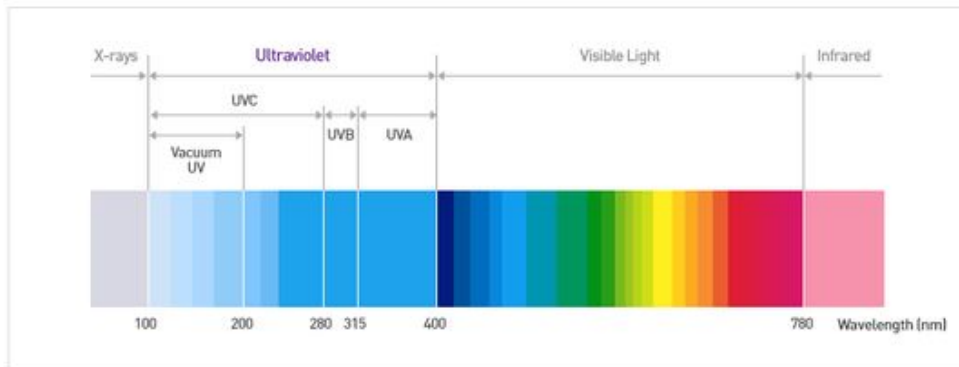
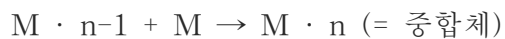
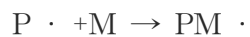
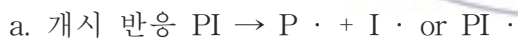
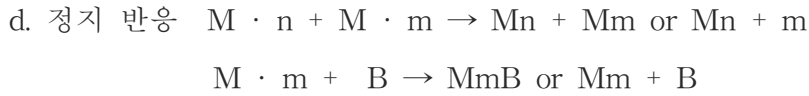
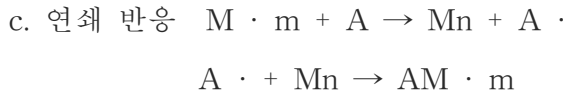


Figure 3. Group of UV

나. UV 경화원리

UV는 장파장의 전자파의 일종으로 에너지 레벨이 높아 (70 ~ 143 kcal/mol) 광화학 반응을 일으키는데 충분한 에너지를 가진다. UV 경화 수지의 반응은 먼저 광 경화 개시제가 자외선의 에너지를 흡수해 프리라디칼을 생성하고 이 라디칼이 모노머의 반응기에 작용하여 중합을 개시하여 성장반응과 연쇄 이동반응을 연쇄적으로 되풀이하면서 정지반응으로 종결한다. 이것이 순간적으로 행해져 3차원 망목구조의 경화 피막을 형성한다.





PI : 광중합개시제

P · : 일차 (초기) 라디칼

M : 모노머, 일등부가중합성화합물

A : 연쇄이동제

B : 중합반응 정지성 화합물

UV 경화 반응에는 광 개시제를 필요로 하는 라디칼 반응과 주로 디아조 화합물이 사용되는 이온 반응이 있다. 라디칼 반응에는 때때로 증감제를 첨가하는 경우도 있다.^[3]

다. UV 시스템의 특징

이와 같은 자외선 경화 시스템의 특징은 간편하고 실용적인 에너지원인 UV 광이 조사된 부분에만 순간적으로 경화된다는 것이다. 예를 들면 표면 코팅에 이용되는 UV 경화형 수지 (UV-curing resins)의 경우에서 보면, 액체 단량체를 용제 없이 그대로 사용하므로 공해문제가 해결되며 원료의 손실도 없으므로 원가가 절감된다. 또 이런 광 경화 (Photo curing) 방식은 종래의 열경화성에 비하여 에너지가 1/20까지 절감된다. 따라서

자외선 경화 시스템의 특징으로는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 경화시간이 상당히 짧기 때문에 생산성을 높일 수 있다.
- ② 열 경화 시스템에 비해서 소비에너지가 작기 때문에 효율적인 시스템이다.
- ③ 비 가열 방식이므로 종이나 플라스틱과 같이 열에 약한 소재에도 적용 가능하다.
- ④ 경화 설비가 소형이므로 공간절약이 가능하다.
- ⑤ 용제를 사용하지 않는 도료나 잉크를 제조할 수 있으므로 공해 문제가 발생하지 않는다.

상기와 같은 특징을 가지고 있기 때문에 자외선 경화 시스템은 표면 코팅제, 잉크, 접착제, 기타 기능성 재료분야 등에 이용되고 있다. 또한, 광경화 및 광분해 반응이 빛이 조사된 부분에만 순간적으로 발생하므로, 화상 형성작업 (Image making) 즉 포토레지스트로써 반도체용 미세 패턴, 형광체 미세 패턴 등 전자정보재료 분야에도 널리 이용되고 있다.

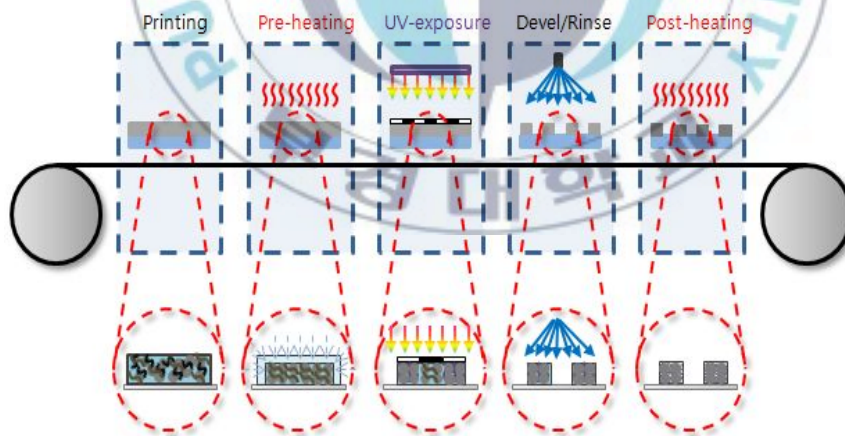


Figure 4. Curing system in multiple patterning method

라. UV 경화재료의 조성

자외선 경화 수지는 자외선의 화학적 작용으로 비교적 짧은 시간에 경화되는 수지 조성물이다. 즉 자외선 조사 초기에 자외선의 화학적 작용으로 액상조성물이 최종적으로 중합 및 가교 결합하여 경화 수지로 진행된다. 이러한 경화 과정에 필요한 시간은 통상 수초에서 수분 미만이 되어야 자외선 경화 수지의 효율적 실례를 달성할 수 있다.

일반적으로 자외선 경화 조성물은 모노머 (Monomer), 프리폴리머 (Prepolymer), 중합 개시제 (Photo initiator), 중합 촉진제 (증감제), 기타 첨가제로 이루어져 있으며, 잉크나 도료의 경우에는 안료가 첨가된다. 그리고 용도에 따라서 이들 성분은 적당한 비율로 혼합되어 사용된다.

광중합성 모노머의 역할은 프리폴리머의 점도를 낮추어 작업성을 좋게 하고, 경화시에는 가교 중합하여 경화물 구조 일부가 되어 유연성을 부여해 주기도 하고, 피인쇄체면과의 밀착성을 향상해 주기도 한다. 광중합성 모노머에는 반응성 관능기 (Acrylate기)가 1개인 단 관능 모노머와 관능기가 2개 이상인 다 관능 모노머가 있다. 관능기가 많을수록 일반적으로 점도가 높고 경화 속도가 빠르며 내열성이 우수한 피막이 형성된다. 이것은 관능기가 많아질수록 조밀한 망목 구조가 얻어지기 때문이다.

그러나 관능기가 많을수록 프리폴리머에 대한 용해성이 떨어지므로 점도를 저하하는 효과는 떨어진다. 경화물의 밀착성과 유연성은 관능기수가 적을수록 양호하나, 경도는 관능기수가 많을수록 커진다. 그리고 관능기수가 같은 경우에는 관능기간 거리가 가까울수록 점도는 낮고, 경화 속도가 빠르며, 밀착성은 더욱 양호한 피막이 얻어진다. 반대로 관능기간 거리가 멀수록 유연성이 풍부한 피막이 얻어지지만, 경도는 떨어진다.

또한, 제조된 필름 두께가 얇을수록, 자외선 세기가 강할수록 경화시간이

줄어들고, 개시제 농도의 증가에 따라서 대체로 경화시간의 감소 효과가 나타난다.^[4]

3. 스크린 인쇄 기술

스크린 인쇄는 스크린 판의 오프닝을 통해서 판상의 잉크를 스퀴지로 밀어내어 피인쇄체에 잉크를 전이시키는 방식이다. 단지 스크린 판의 오프닝을 통과하는 것이기 때문에 저점도 페이스트부터 고점도 페이스트 까지 다양한 잉크의 종류를 적용할 수 있다. 제판 면에서는 기본적으로 유연성이 있는 망사와 감광성 유제로 구성되어있고 인쇄는 고무 스퀴지에 의해 행해지기 때문에 변형하기 쉽고 깨지기 쉬운 피인쇄체에도 인쇄가 가능한, 매우 융통성 있는 기법이라 말할 수 있다.

오늘날, 스크린 인쇄 기술이 전기, 전자 등의 타 산업에서 활발하게 이용되고 있는 최대의 이유는, 도전성 잉크나 레지스터 잉크 등의 기능성 잉크가 평면, 곡면은 물론이고, 비교적 간단하게 인쇄할 수 있는 방식이기 때문이다. 최근, 급속히 개발이 진행되고 있는 태양전지나 연료전지의 분야에서도 스크린 인쇄 기술의 이용이 주목되고, 전자 산업에서 스크린 인쇄 기술은 계속 발전하게 될 것이다.^[5]

스크린 인쇄의 메커니즘은 크게 롤링과 토출, 판분리, 레벨링의 4단계로 나누어진다. Figure 5는 롤링 시의 페이스트의 궤적을 나타낸 것이다. 스퀴지가 A의 위치에 있을 때의 Resist ③은 스퀴지의 이동 B-E와 함께 ④-⑥로 스크린 상에서는 완만한 커브로 움직인다.

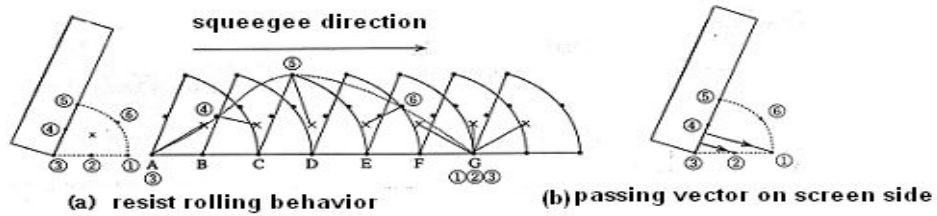


Figure 5. Resist movement during the rolling

스크린 상에서 ① 위치의 Resist는 스퀴지가 E에서 G로 이동하는 동안은 같은 위치에 정지하고 있다. 또, × 주위의 페이스트는 ×를 회전축으로써 세로로 움직이면서 스크린 위를 수평으로 이동하고 있는 것을 알 수 있다.

이렇게 페이스트의 롤링이란, 롤링하는 페이스트의 표면 부분이 스퀴지와 의 계면에서의 전단력에 의해, 항상 일정한 점도로 안정시키는 기능을 하는 것이다.

토출의 단계에서는 페이스트가 스퀴지 면에서 수직 방향으로 힘을 받아 이 힘이 앞으로 전달되고 압력을 받은 페이스트는 스크린 망사의 오프닝을 통해 기판에 도달하게 된다. 페이스트 토출량은 스퀴지 각도와 함께 스퀴지 속도에 의해서도 영향을 받는다. 즉 느린 속도에서는 힘을 긴 시간 주기 때문에 토출되는 페이스트의 양도 많아진다고 생각할 수 있다.

스quee지의 이동에 따라 페이스트를 토출한 후 스크린은 스스로 장력에 의해서 기판으로부터 분리된다. 해상성과 연속 인쇄성의 면에서 스크린 인쇄에서 중요한 과정이다. 스크린 마스크의 개구부를 통과하여 기판 표면에 도달한 페이스트는 그 상태에서는 시간과 함께 점도가 상승하고, 또한, 기판과 마스크와의 사이에서의 변질을 일으키게 된다. 페이스트는 기판 표면에 도달한 후, 곧바로 스크린 마스크와 분리되는 것이 이상적이다.

판분리 후 기판 위의 페이스트는 본래의 물성에 의해 레벨링 되거나 형

상을 보존한다. 레벨링 후 패턴 형상은 페이스트의 레올로지와 기판과의 젖음성으로 결정된다. 예를 들어, 저점도라도 인쇄 후에 메쉬 자국이 남는 페이스트는 판분리 후의 점도 상승이 빠르다고 생각할 수 있다. 스크린인쇄 프로세스의 최적화를 위하여 다음의 4가지 조건을 고려하여야 한다.

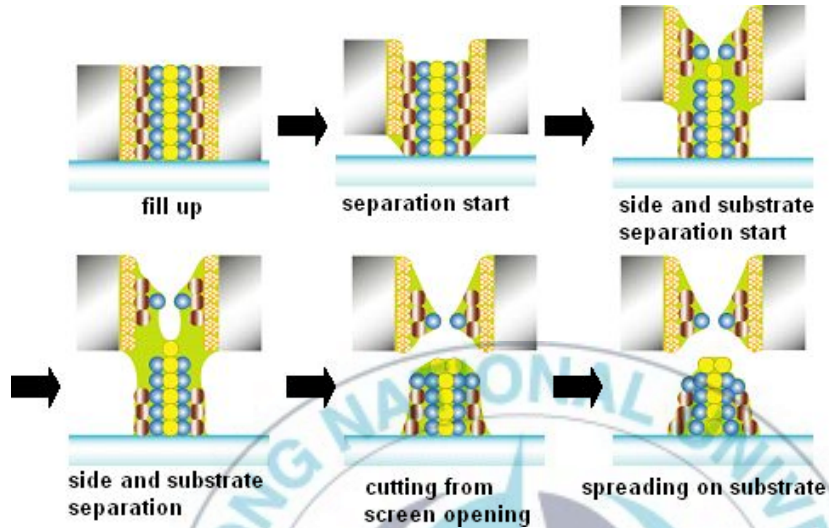


Figure 6. Mechanism of plate separation

첫 번째로 판 분리를 위하여 판과 피인쇄체의 적절한 간격이 필요하다. 이것을 이격거리라고 한다. 이격거리가 매우 높을 경우 스크린 메쉬의 장력이 감소하여 적절한 판분리가 어려우므로 적절한 조절이 필요하다. 두 번째, 스퀴지 압력은 기판 전체에 압력을 가하고 스크린 위의 페이스트를 균일하게 흐르게 하는 정도가 좋다.

세 번째, 스퀴지 각도는 페이스트의 토출량에 큰 영향을 주기 때문에 원하는 토출량을 고려하여 설정해야 한다. 스퀴지 각도가 낮을수록 힘이 가해지는 면적이 증가하여 페이스트 토출량이 많아지게 된다.

네 번째, 인쇄속도 또한, 토출량에 영향을 주므로 페이스트의 토출이 불

량할 경우 인쇄속도를 낮추어 페이스트가 충분한 힘을 받아 토출될 수 있도록 조절해야 한다.^[6]

4. 전도성 페이스트

전자 디바이스의 회로를 구성하는 전도 통로 (Conductive path)를 만드는 방법은 증착법, 에칭법 등이 있지만, 고비용, 낮은 생산성, 공정의 복잡함 공정상에서 발생하는 잔여물로 인한 폐기처리에 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 직접 인쇄방식을 이용하여 한 번의 공정으로 전도 통로를 형성하는 방법이 이용되고 있다.

전도성 페이스트 또는 전도성 잉크라고 말하는 것은 전기가 흐르는 전도성 필러를 인쇄할 수 있도록 유동성이 있는 바인더에 혼합한 것을 말한다. 전도성 페이스트는 고분자 바인더 (Polymer binder)와 전도성 충전제 (Conductive filler)로 구성되어 있고 아래와 같이 2종류로 구분할 수 있다.

첫 번째는 고온소성형 페이스트이다. 이 페이스트는 보통 전도성 필러와 글라스 플릿 (Glass flit)을 고분자 바인더에 혼합하여 만들어진다. 이렇게 만들어진 페이스트를 인쇄과정을 거쳐 도막을 형성하고 건조한 후 고온으로 처리하면 폴리머가 그 과정에서 휘발하면서 금속 필러간에 유착이 일어나고 최종 도막에는 전도성 필러와 글라스플릿만 남게 된다. 글라스 성분은 필러가 유착할 때 기체 쪽으로 압축되어 기체 계면으로 편재, 밀착성을 유지하는 역할을 한다. 전도성 필러는 입자들끼리 유착하여 하나의 큰 금속 덩어리로 일체화된 상태이다. 따라서 도전성 면에서는 상당히 고성능이 발휘될 수 있는 장점이 있지만, 고온에서 견디는 기재를 사용해야 하는 단점이 있다.

Table 1. The type of conductive paste

	Polymer type	High temperature firing type
Curing temperature	Room temperature ~ 200 °C	500~1200 °C
Conductive filler	Ag, Cu, graphite, carbon black	Ag, Pd, Au, Pt, Cu, W, Ni, RuO ₂
Binder	Synthetic polymer Thermoplastic : Acrylic, Polyester Thermosetting : Urethane, Phenol, Epoxy	Primary binder : Acrylic, Cellulose Binder : Glass flit
Extra component	Organic solvent, Dispering agent etc.	Organic solvent, Oxidized metal
Substrate	Organic matter, Metal, Aluminium, Silicon	Alumina, Ceramic, Glass

두 번째로 고분자형 페이스트이다. 도전성 필러로는 금속, 금속산화물, 카본블랙 (Carbon black), 그래파이트 (Graphite)등이 사용된다. 바인더에 도전성 필러를 분산하여 페이스트를 제조하는데 내부에 분산된 필러는 바인더의 경화(또는 건조)와 함께 3차원적으로 연속구조를 띄고 이를 통해 전류가 흐르게 된다. 바인더는 기재와 밀착함과 동시에 필러를 고정시키는 역할을 한다. 최종도막에는 유기물이 남게 되고 경화온도는 상온에서 150 °C 정도로 낮은 온도에서 성막이 가능하므로 기재를 선정할 수 있는 범위가 넓어지는 것이 장점이라고 할 수 있다.

전도성 필러는 페이스트의 구성 중에서 전체 페이스트의 체적의 70 ~ 80 % 정도로 배합되기 때문에 전도성 도막이 형성될 때에 입자 간에 접촉이 일어나 도체와 같이 전기가 흐르는 것이 가능하다. 하지만 필러 입자 간에 전기저항이 존재하기 때문에 실현할 수 있는 전도성에는 한계가

있다.

이처럼 도전성 잉크에서는 경화 온도와 도전성이 서로 상충관계에 있기 때문에 이를 해결하기 위하여 금속의 나노 입자를 활용해서 저온에서도 금속이 유착된 도막을 형성하는 것, 유기 금속화합물의 분야에서 발생하는 활성금속을 이용하여 도막을 만드는 것, 산화은을 이용하는 것, 저용점의 합금을 이용하는 것 등이 개발 되고 있다.^[7,8]

가. 전도성 필러 (Conductive filler)

전도성 필러는 전도성 페이스트를 구성하는 가장 중요한 구성 재료로써 전도성 잉크의 도막 특성은 전도성 필러가 차지하는 부분이 크다. 전기가 흐르는 것이 가능한 금속은 모두 전도성 필러로 될 수 있지만, 금속 덩어리에서 미립자로 가공된 표면적이 증가하게 되면 금속은 산화되기 쉬워진다. 필러의 표면이 산화되면 입계의 접촉저항이 높아지기 때문에 전도성이 발현될 수 없게 된다. 이런 이유로 사용이 가능한 전도성 필러는 귀금속이 중심이 된다.

Ag powder는 금속 중 비저항 (Specific resistance, ρ)이 $1.62 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 낮고, $0.1 \mu\text{m}$ 정도의 미세한 파우더로 가공하더라도 입자의 표면 산화가 일어나지 않으며 귀금속 중에서도 단가가 낮으므로 전도성 필러로 가장 일반적으로 사용되고 있다. 그 제조 방법은 Ag 이온을 포함한 수용액을 적절한 방법으로 환원하여 미세한 입자를 석출시킴으로써 환원 Ag powder를 제조하는 것이 일반적이다. 환원 공정 조건을 조절함에 따라 입도나 입도 분포를 제어하는 것이 가능하고, 제조된 형상에는 구형 (Sphere)과 구형을 가공한 플레이크 (Flake) 상 있다. 구형의 경우에는 필러 간의 접촉이 점 접촉인 것에 의해 고온 소결 형에는 문제가 없으나 저

은 경화형에는 전도성에서 한계가 있다는 문제점이 있지만, 플레이크 상의 Ag powder는 필러 간의 면 접촉이 가능하여 도막의 전기 전도성은 높여 주나, 미세 패턴 형성에는 전도성 필러의 입경이 커서 어렵다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 나노 크기의 Ag powder를 사용한 나노 Ag 페이스트나 나노와 마이크론 크기의 Ag powder를 혼합하여 사용한 하이브리드 (Hybrid) Ag 페이스트가 연구 개발되어 미세 패턴 형성 및 고전도성이 동시에 가능한 재료로써 주목을 받고 있다.^[9~11]

나. 바인더 (Binder)

전도성 페이스트에 있어서 바인더의 역할은 전도성 필러를 고착시켜서 삼차원 연쇄구조를 만들면서 기재에 밀착하는 것이다. 전도성 페이스트 도막의 내구성, 내약품성, 접착력 등의 특성은 모두 바인더의 특성에 의해 좌우된다.

바인더의 특성은 전도성에도 영향을 미친다. 예를 들어 바인더가 Ag 입자와 친화력이 매우 클 경우에 바인더가 Ag 입자를 모두 감싸서 입자간의 접촉을 막기 때문에 저항이 커지게 된다. Ag 분말은 가공할 때 입자간의 응집을 막기 위하여 표면을 지방산으로 처리한다. 지방산은 탄소와 산소로 구성된 소수성이기 때문에 소수성이 큰 바인더의 경우에는 Ag 입자와의 친화력이 커서 Ag 입자를 효과적으로 감싸게 되고 더 나은 도막 특성을 가질 수 있지만, 전도성의 면에서는 높은 저항을 띤다.

다. 전도성 페이스트 분산 기술

전도성 필러의 분산은 상술한 대로 전도성 페이스트의 물성을 결정짓는

매우 중요한 요소이다. 즉, 전도성 페이스트의 분산 특성이 좋지 못하면 페이스트의 유동성과 안정성뿐만 아니라 인쇄된 전극의 전기 전도성 및 패턴 형성에도 좋지 않은 결과를 초래한다. 그러나 전도성 필러는 일반적인 안료와는 달리 표면에 활성을 띄고 있어 입자 간의 상호작용이 강하고, 분산 특성을 향상하기 위해 첨가되는 계면 활성제 (분산제)가 전도성 필러 간의 도전 패스 형성에 오히려 장애가 되어 전도성을 감소시키는 요인이 된다. 또한, 분산 공정에서 분쇄 시에 기계적 힘으로 전도성 필러 표면에 손상을 입게 되면 그 또한, 전도성을 감소시키는 요인이 될 수 있어 우수한 분산 특성과 전기 전도성을 동시에 갖기 위해서는 전도성 필러 마다의 적절한 분산 기술이 요구된다.

Ag powder는 파우더 간의 상호작용으로 쉽게 응집하려 하고, 그로 인해 바인더 속에 필러들을 일차 입자 형태로 분산시키는 것은 상당히 어렵게 된다. 일반적으로 바인더 속의 필러들을 미세 입자 크기로 분산시키기 위해서는 바인더와 상용성이 좋은 그룹과 필러 표면과 친화력을 갖는 그룹을 모두 갖춘 분산제가 사용되지만, Ag 페이스트의 경우에는 첨가된 분산제 성분이 전극의 전도성을 감소시키는 마이너스 작용을 할 수 있어 분산제 사용이 쉽지 않게 된다. 따라서 고분자량의 분산제를 페이스트에 첨가하는 대신 Ag powder 표면과 흡착력이 우수한 Head 부와 유기 바인더와의 친화력이 높은 Tail 부를 갖는 저분자량의 계면활성제를 전도성 필러 표면에 소량 코팅시킴으로써 전도성의 감소 없이 유기 바인더 속에 필러들을 일차 입자 형태로 분산시키는 것이 가능하게 된다. Figure 7에 일반적인 분산 공정을 나타내었다.^[12]

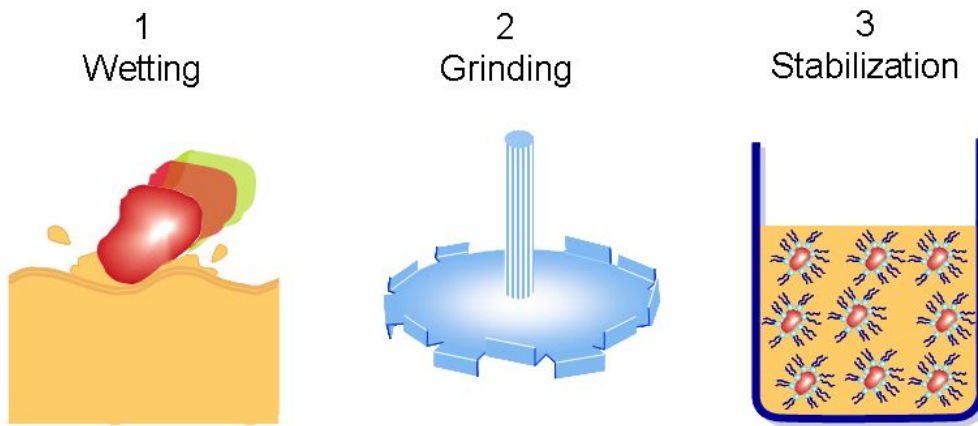


Figure 7. Three step of dispersion process

5. 레올로지 (Rheology)

레올로지란 물질의 변형 (Deformation)과 흐름 (Flow)에 관한 학문으로 그 기본은 응력 (Stress)에 대한 변형 즉, 외력에 대한 변형의 정도에서부터 시작한다. Figure 8은 전단응력 (Shear stress, τ)에 대한 전단 속도 (Shear rate, $\dot{\gamma}$)의 관계를 나타낸 그래프이다. 이 곡선을 S-S (Stress-strain) Curve라고 하며, 모든 재료의 유동물성을 파악하기 위한 가장 기본적인 곡선으로 알려졌다. S-S 곡선에서 기울기는 전단응력/전단 속도, 즉 점도 (Viscosity, η)가 되고 그 기울기의 특성에 따라 다음 4가지의 유형으로 구분될 수 있다. 물론 곡선이 나오는 것은 탄성도 포함될 수 있다는 증거이다.

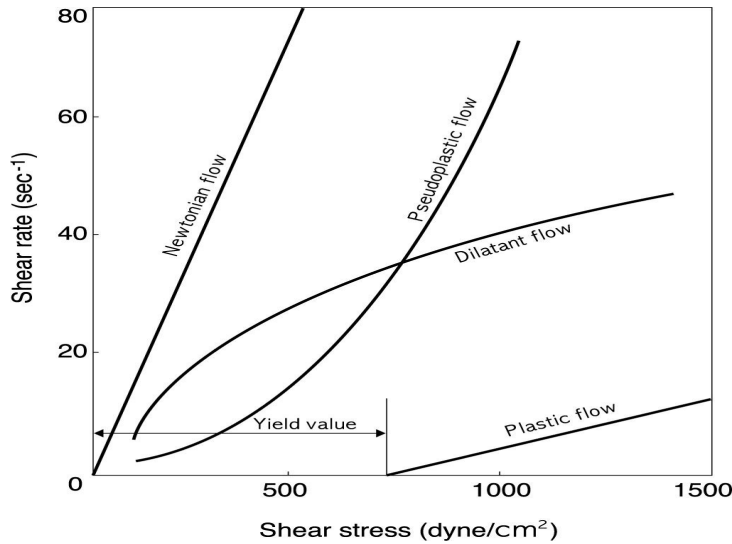


Figure 8. Material typical S-S curved line

첫 번째로 뉴턴 유동 (Newtonian flow)은 전단응력/전단 속도의 비가 일정한 유동 즉, 외력에 대해서 정비례하는 유동을 말한다. 모든 유체는 점도를 가지고 있지만 물, 알코올, 아세톤 등과 같은 저분자 물질의 용액들은 뉴턴성 유체 (Newtonian fluid)이며 Figure 8에서 보는 바와 같이 직선으로 나타난다. 뉴턴 유동에 대하여 곡선으로 나타나는 모든 유체는 비뉴턴성 유체 (Non-Newtonian fluid)라고 하며, 인쇄 잉크, 고분자 수지, 현탁액, 고분자 혼합 용액 등이 이에 속한다. 이들의 특징은 곡선의 기울기 값이 고정되지 않으므로 일정한 점도를 갖지 않는다. 여기서 일정하지 않다는 의미는 그 점도의 변화가 어떤 성향의 규칙성은 가지고 있지만, 점도 자체가 하나가 아니라는 것을 뜻한다. 물은 20 °C에서 1 cps (Centipoise)로 일정한데 반하여, 어떤 비뉴턴 유체는 같은 온도에서 20, 40, 60, 80 등과 같이 여러 가지 점도 값을 가질 수 있다는 뜻이다.

두 번째, 의사성 유동 (Pseudo plastic flow)은 낮은 전단 속도에서 뉴턴 유동을 하고, 높은 전단 속도에서는 소성 유동과 비슷한 경향을 보이

는 곡선이다. 그 경향의 변화가 곡선적으로, 점진적으로 되기 때문에 이 곡선을 나타내기 위하여 많은 복잡한 식들이 있다. 플렉소 잉크나 그라비아 잉크 등이 주로 이 범주에 속한다.

또한, 의소성 유동을 Shear - thinning 유동이라고 하는데, 요즘에는 후자의 용어를 더 많이 사용한다. 플렉소 잉크나 스크린 잉크, 페인트 등이 대표적인 예이다.

잉크나 겔과 같은 입자나 분자들끼리 화학적 결합이나 상호 작용력이 있는 혼합계 물질은 Shear-thinning 거동을 한다. 분산액에서 전단력은 입자들이 흐름 방향과 전단 구배 방향으로 배열되게 되며, 응집구조를 파괴하거나 입자의 형태를 바꿀 수도 있다. 또한, 전단이 가해지는 동안에 입자끼리의 상호 작용력이 감소하며, 흐름 저항을 낮출 수 있다.

세 번째, 다일레이턴트 유동 (Dilatant flow)은 Pseudo plastic 유동과 반대의 경향을 나타내는 유동을 다일레이턴트 유동이라고 하며, Pseudo plastic 유동은 전단 속도가 증가하면 액체의 점도가 낮아지지만 다일레이턴트 유동은 전단 속도가 증가하면 액체의 점도가 증가한다. 다일레이턴트 유동을 하는 잉크는 거의 볼 수 없으나 비닐 플라스틱 줄 등이 이 범주에 든다. 이와 같은 여러 가지 점도곡선은 인쇄 잉크의 경우 안료 입자와 바인더 간의 분산특성 및 혼합 특성 등을 알게 하며, 낮은 응력에서 높은 응력까지 변하는 동안 점도의 변화를 보고, 인쇄기계 내에서 잉크의 안정성 또는 잉크의 적정한 조건 등을 알 수 있게 한다.

마지막으로 소성 유동 (Plastic flow)은 일명 Bingham flow라고 하며 Figure 8의 비뉴턴성 유체 중에서 고점도의 오프셋 인쇄 잉크와 같이, 일정한 스트레스 이상을 가해야 유동을 시작하는 흐름의 형태를 소성 유동이라고 한다.^[13,14] 소성 유동에서 전단응력에 대한 전단 속도는 직선이 되는데 전단응력 축 상에 절편을 항복점이라고 하고, 이 점도 값을 항복 가

(Yield value)라고 하여 최초의 흐름에 필요한 최소한의 전단응력을 나타낸다. 윤전인쇄기의 잉크 집이나 고점도 스크린 잉크는 인쇄 기계가 정지 상태에서는 잉크에 응력을 가하지 않았기 때문에 유동하지 않는다. 그러나 인쇄 속도가 빨라질수록 어느 시점을 기준으로 하여 유동하기 시작하는데 이 이유는 바로 소성 유동을 하기 때문이다.

인쇄에서 레오로지는 매우 중요한 부분이며 레오로지의 특성을 잘 파악하여야 좋은 인쇄물을 얻을 수 있다. 레벨링을 예로 들면 인쇄 후 오렌지 필이나 메쉬자국, 분화구 현상 등 도막 표면에서 생기는 결함이 있다. 이들 발생의 원인은 건조과정 중 발생하는 용제증발, 고분자량화에 따른 점성의 변화, 표면장력의 변화가 원인이다. 그중에서도 도료의 흐름성을 생각하면 도료는 점성이 낮은 뉴턴유체로 건조가 늦고 피도물에 습윤이 쉬운 도료일수록 레벨링이 좋다.^[15]

가. 동적 점탄성 (Dynamic viscoelasticity)

일정한 정하중 (Static weight)가 아니라 진동적 변형이나 진동적 외력에 대한 점탄성을 동적 점탄성이라고 한다. 응력 또는 변형이 주기적으로 변하는 가장 간단한 모델을 보면, 다음 식과 같다.

$$\text{Input} \Rightarrow \text{Strain} : \gamma = \gamma_0 \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

$$\text{Output} \Rightarrow \text{Stress} : \tau = G\gamma_0 \sin(\omega t) \quad (2.2)$$

즉, 어떤 유체에 γ 만큼의 변형을 sin 형태로 주었을 때 느끼는 응력 τ 가 식 2.1과 같다. 여기서 G는 강성률 (Rigidity)이고, G'은 에너지를 잠시 저장했다가 방출하는 상태이므로 저장 탄성률 (Storage modulus)이라고

부르고, 일정한 위상에서 어긋나는 위상 비율 G'' 는 에너지를 즉시 방출하는 성질을 가진다고 하여 손실 탄성률 (Loss modulus)이라고 부른다. δ 와 G' , G'' 의 관계를 식 2.3에 나타내었다.

$$\tan\delta = G''/G' \quad (2.3)$$

실제로 G' 는 에너지 보관의 탄성과 관련이 있고, G'' 은 에너지를 그때 그때 소모해 버리므로 점성과 관련이 있는 계수이다. 따라서 $\tan \delta$ 의 값은 그 물질이 얼마나 점성과 탄성과 관련 있는지를 나타낸다. $\tan \delta$ 값이 크면 물질이 점성을 많이 가지고 있어 저분자 물질 또는 뉴턴 유동에 가깝다고 볼 수 있고, $\tan \delta$ 값이 작으면 분자 간에 엉킴 현상이 심하고 분자들이 스프링처럼 꼬여 있어서 탄성을 많이 가지고 있는 고분자 물질 또는 분자량이 큰 물질이라고 판단할 수 있다.

또한, 이 동적 점탄성 거동을 통해 페이스트 속의 안료와 분산제 그리고 수지 간의 상호작용을 간접적으로 분석할 수 있고, 스크린 인쇄 시의 스크린 인쇄 적성도 예측할 수 있다. 일반적으로 페이스트 속의 안료와 분산제 그리고 수지 간의 상호작용이 강할수록 탄성을 나타내는 G' 이 점성을 나타내는 G'' 보다 크고, Amplitude sweep에서는 낮은 응력 하에서 G' 과 G'' 의 평탄역이 길며, 더욱 높은 응력에 의해 G' 과 G'' 이 감소하기 시작한다. 또한, Frequency sweep에서는 더 높은 각 주파수에서 G' 과 G'' 이 교차하며, 상호작용이 매우 강할 때에는 각 주파수 전 구간에서 G' 이 G'' 보다 크게 나타난다.^[16,17]

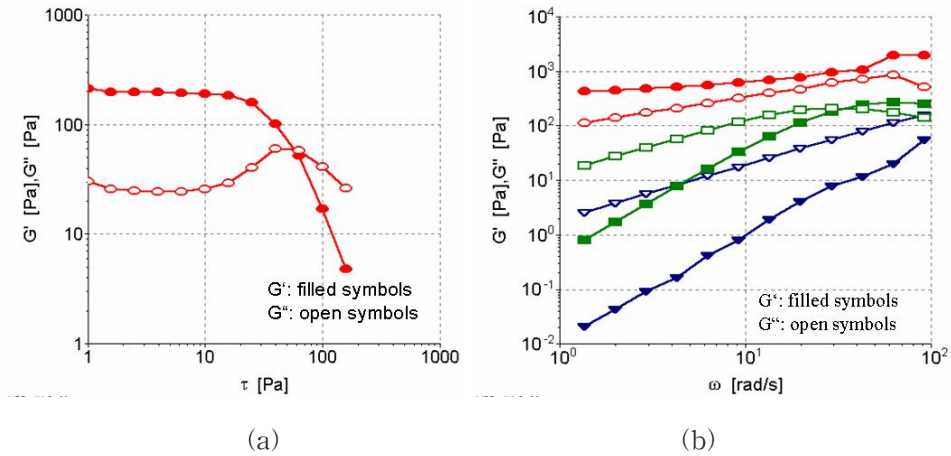


Figure 9. Dynamic viscoelasticity measure((a):amplitude sweep, (b):frequency sweep)

이렇게 페이스트의 레올로지를 측정함으로써 단순한 페이스트의 유동 특성뿐만 아니라 스크린 인쇄 각 공정에서의 페이스트의 거동을 통해 스크린 인쇄 적성을 예측할 수 있다. 또한, 페이스트 내의 각 성분의 상호작용을 간접적으로 평가함으로써 응집 구조를 판단할 수 있고, 본 연구와 같이 전도성 필러를 사용하여 페이스트를 제조할 경우, 필러 간의 응집 구조를 통한 도전 패스 형성도 평가할 수 있게 된다.

Ⅲ. 실험

1. 시료

가. Ag powder

(1) 전도성 필러

본 연구에서는 Ag powder의 입자 크기가 0.5 ~ 1.0 μm 의 것을 사용하였다. 입자 크기가 커질수록 입자의 계면 저항이 줄고 입자 간 접촉 면적이 늘어나 전도성에서는 유리하지만 미세 패턴의 구현을 목적으로 할 경우에는 Ag powder의 입자가 클수록 인쇄성이 저하될 수 있다. 반면 입자가 작은 경우에는 전체 피막에서 Ag powder가 차지하는 부피가 감소하여 패턴 불량이나 패킹 불량이 발생하여 전도도가 저하될 수 있다.

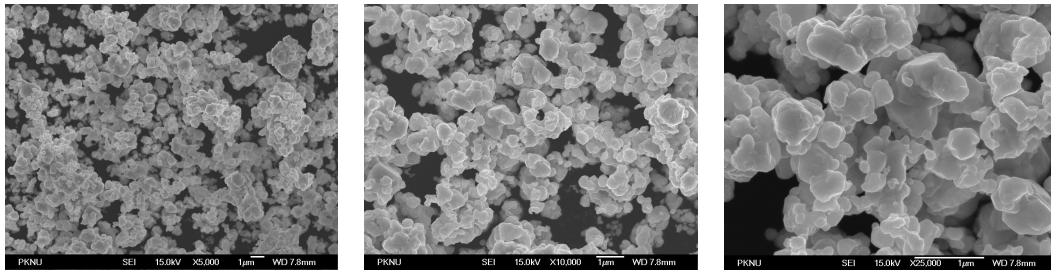
한편, 전도성 파우더는 판형 (Flake), 구형 (Spherical), 응집형 (Agglomerate)와 같은 입자의 형태를 보이는 전도성 파우더를 사용할 수 있지만, 미세 패턴을 제조하고 자외선 경화를 잘 시키기 위해서는 상대적으로 균일한 입경을 갖는 구형의 전도성 파우더를 사용할 수 있다.

구형 입자는 점 접촉을 하는 데 반하여 판형 입자는 면 접촉을 하므로 도전 패스 형성에 유리하여 전도성을 향상할 수 있지만, 예를 들어 감광성 공정을 통한 패턴 형성 중의 자외선 차단으로 인한 경화 부족으로 현상 및 수세 공정에서 상대적으로 균일하지 못한 판형 입자로 인하여 패턴의 유실이 생길 수 있다.

Ag powder의 특징을 Table 2에 나타내었고, 형상을 SEM 촬영하여 Figure 10에 나타내었다.

Table 2. The properties of conductive Ag powder

구분	형태	입자 크기(D50) (μm)	입자 크기 분산(μm)	비표면적 (m^2/g)	겉보기 밀도 (g/cc)
Ag A	구형	0.5 ~ 1.0	0.6 ~ 1.8	≤ 2.76	4.1 ~ 4.3



(a) Spherical A

Figure 10. SEM pictures of Ag powder

(2) 바인더

일반적으로 분말 상태인 전도성 필러에 유동성 및 인쇄적성 그리고 피인쇄체에 대한 접착성을 부여할 도막 형성 재료로써 폴리에스테르, 우레탄, 아크릴, 에폭시 등 합성수지를 이용하여 용제에 용해함으로써 바인더를 사용할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 UV에 대한 광 반응성을 부여하기 위해 광에 반응하는 반응성기가 있는 광 중합성 올리고머를 선택하였으며, 그중에서도 점도 조절이 쉽고 도막 경도와 전도성, 접착성, 내용제성이 우수하며 인쇄 작업성이 우수한 아크릴레이트계 올리고머를 사용하였다. 또한, 광을 받은 부분은 적은 자외선 광량에도 경화될 수 있도록 감도가 있어야 하며, 광을 받지 못한 비경화부는 잘 씻겨 나갈 수 있도록 현상성이 쉬워야 하므로 올리고머의 관능기 중 일부를 현상에 쉬운 -COOH기로 치환한 형태의 올리고머를 선택하였다.

바인더 조성물을 구성하는 고형분 중에서 단위 유닛당 상대적으로 많은

카르복시산을 갖는 아크릴레이트계 모노머와 상대적으로 적은 카르복시산을 갖는 올리고머 바인더를 적절히 배합하여 페이스트의 경화성과 현상성을 향상함으로써, 미세한 패턴을 형성할 수 있다.

즉, 예시적으로 감광성 Ag 페이스트에 사용되는 올리고머 바인더는 인쇄 후 기관과의 부착성을 부여하는 역할을 하는 재료이다. 경화 과정에서 카르복시산을 함유하는 모노머가 올리고머 바인더로 가교결합을 하는데, 이때 가교 반응이 일어나는 반응기 (관능기) 일부가 카르복시산 (-COOH)으로 치환된다. 이에 따라 현상 공정에서 비경화부는 현상액에 함유된 염기 (예를 들어 KOH)와 반응하여 염을 형성하는데, 이 염은 물에 잘 녹기 때문에 현상 단계에서 쉽게 제거할 수 있으므로 현상성을 개선할 수 있다.

(3) 광개시제

올리고머와 모노머는 광에 의한 반응을 개시하는 광 경화 개시제 또는 광 개시제라고 하는 경화제가 필요하다. 광 개시제는 대부분 분말상태 즉 파우더상태로 존재하며 각 광 개시제 마다 용해력이 나타나는 Solvent 및 용해되는 온도와 반응하는 UV 광의 파장이 다르다. 본 연구에서는 gamma - butyrolactone에 잘 용해되면서 메탈할라이드 램프의 파장영역과 광 개시제의 파장영역이 중첩되는 분말상태인 광 개시제를 용해해서 사용하였다. 이러한 광 개시제 중에서 후술하는 자외선 경화 과정에서 사용되는 광원의 파장 영역을 고려하여 적절한 활성 파장 영역의 광 경화 개시제가 선택될 수 있는데, 예를 들어 경화를 위해 사용한 UV 램프 광원의 파장 영역이 200 ~ 500 nm인 경우, 이 근방에서 광 흡수 능력이 우수한 Irgacure - 369, 819, 184이나, 자외선 경화형 페이스트가 인쇄된 패턴에서 전도성 파우더의 비율이 높아 내부 정화가 어려운 점을 고려하여

장파장 영역의 흡수영역을 가지는 단분자 형태의 OXE 01, OXE 02를 사용하여 용해성이 우수한 용제 (예를 들어 감마 부틸락톤이나 ECA 등)에 사용할 수 있다. 선택적으로, 광 반응에 의한 경화 반응을 촉진해줄 수 있는 증감제로 ITX 또는 TPO (2, 3, 6-trimethyl benzoyl diphenylphosphine oxide) 등을 사용할 수 있으며 종류와 물성은 Table 3 과 같다.

또한, 감광성 Ag 페이스트의 스크린 인쇄적성을 향상하기 위해 희석 용제로써 바인더 수지에 대해 용해력이 우수하며 고비점 용제인 gamma - butyrolactone (Samchun Chemical, b.p 204 °C)을 사용하였다.

Table 3. The properties of photo - initiator

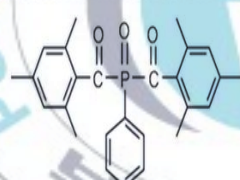
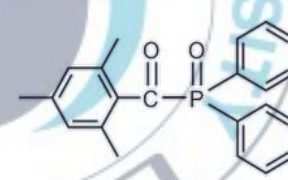
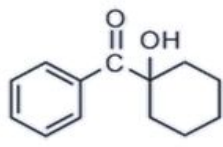
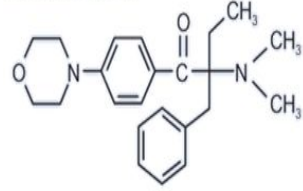
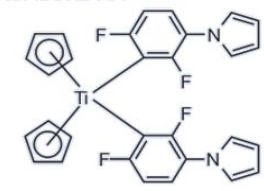
	Photo - initiator	
Material	I - 819	TPO
Melting point(°C)	127 ~ 133	88 ~ 92
UV/VIS absorption peak(nm)	295, 370	295, 368, 380, 393
Apperance	Powder	Powder
Composition	<p>IRGACURE 819 and IRGACURE 819 DW</p> 	<p>DAROCUR TPO</p> 

Photo - initiator		
I - 184	I - 369	I - 784
45 ~ 49	110 ~ 114	160 ~ 170
246, 280, 333	233, 324	398, 470
Powder	Powder	Powder
IRGACURE 184 	IRGACURE 369 	IRGACURE 784 

나. 감광성 Ag 페이스트 제조

터치패널 전극용 페이스트로써 감광성 Ag 페이스트를 제조하기 위해 바인더 수지의 올리고머와 모노머, 광개시제의 농도를 달리하여 Table 4와 같이 한 종류의 페이스트를 제조하였고, 전도성 및 페이스트 유동성, 기재와의 접착력 등 터치패널용 전극에 요구되는 특성을 검토하였다.

Table 4. Formulation of Ag pastes

Paste	Ag	Oligomer	Monomer	Additive	Solvent	P.I
	75 %	9 %	4 %	5.5 %	3 %	3.5 %

본 연구에서는 Table 4와 같은 조합비로 스크린 인쇄가 가능한 감광성 Ag 페이스트를 제조하였다. 시료제조의 방법은 Ag powder의 함량 및 Solvent의 비율, UV 경화형 올리고머 및 모노머의 종류와 함량을 일정하게 함으로써, 감광성 Ag 페이스트에 적합한 바인더를 판단하였다. 기초실험의 결과로서 Solvent와 광 경화 개시제의 종류와 비율을 찾았고 본 연

구에 적용한 결과 감광성 Ag 페이스트의 분산성, 레올로지 특성, 접착력, 전기전도성 및 표면과 광에 대한 경화성을 검토할 수 있었으며, 그 제조 순서는 Figure 11과 같다. 먼저 UV 경화형 Oligomer / Monomer 바인더 수지와 소량의 용제를 Pre-mixing하고, 그 용액에 Ag powder를 넣어 교반시킨 다음 3-roll-mill (TRM - 6.5, 경용기계)을 이용하여 Ag powder를 분산시킨다. 분산된 액에 광경화 개시제를 용해성이 높은 Solvent에 녹인 광경화 액을 넣어 교반함으로써 감광성 Ag 페이스트를 완성하였다.

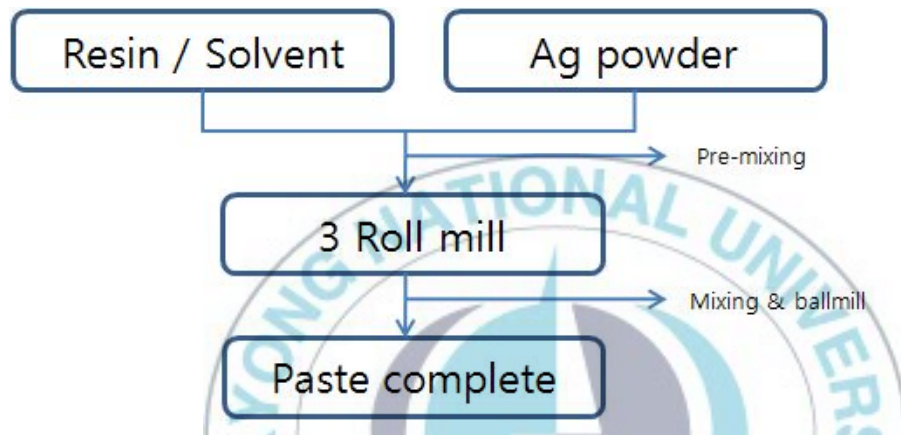


Figure 11. Manufacture process of Ag paste

다. 스크린 인쇄

본 연구에서는 스크린 인쇄를 통해 터치패널용 전극패턴을 제작하기 위해 (주)무라가미의 스테인리스 (SUS) 망사로 제판된 스크린 인쇄판을 사용하였으며, 550 × 550 mm 프레임에 380, 420 Mesh의 폴리 망사와 400, 500 mesh의 스테인리스 망사를 사용하였다. 스크린 인쇄기는 SW-2525 (MINO, Japan)를 사용하였다.

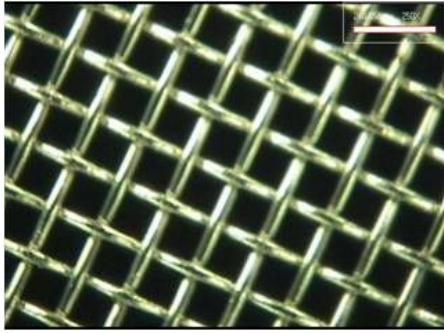


Figure 12. Image of screen plate mesh



Figure 13. Image of screen printing machine

라. 전열 처리 (Pre-heating) 공정

노광 전 전열 처리 공정을 거치는데, 페이스트 조성물의 고형분은 열 분해되지 않지만 대부분의 용제 성분은 증발되어 용매의 농도가 최소화 될 수 있다.

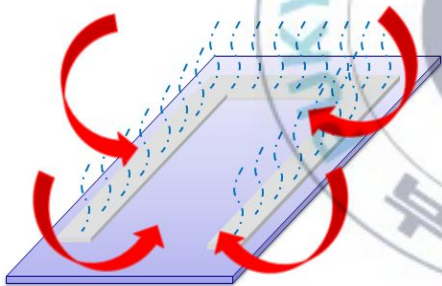


Figure 14. Image of pre-heating process



Figure 15. Image of drying oven

마. 노광 공정

전열 처리를 수행한 뒤, 바인더를 경화시키는 노광 공정을 진행한다. 노광 공정을 수행하기 위하여, 포토레지스트 층 상부에 노광 마스크 (포토 마스크)를 개재, 배치하여, 포토레지스트 층은 광이 조사되는 노광 영역과, 광이 조사되지 않는 비-노광 영역으로 구분된다.

UV 조사장치는 (MDA-400S, (주)마이더시스템, Korea)를 통해 경화를 하였다. UV 경화 조건을 Table 5에 나타내었다.

Table 5. The specification of UV curing condition

Type	UV exposure light source	Photo energy	Soft contact	Intensity
UV curing system	350 ~ 500 W	150 ~ 500 mJ/cm ²	2 μm	20 mW/cm ²

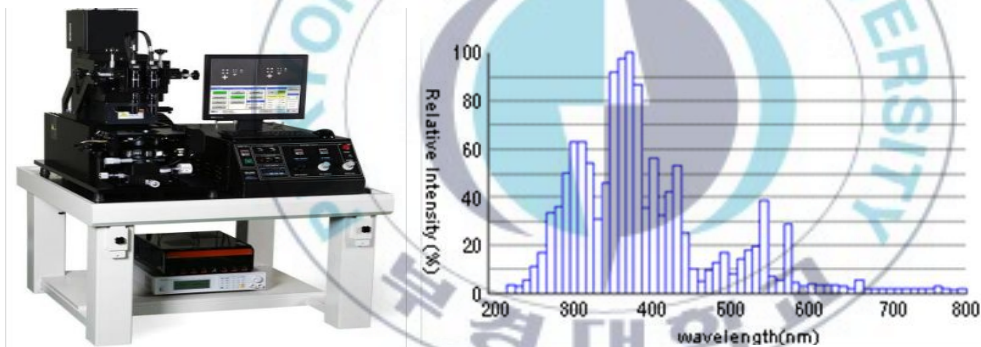


Figure 16. Image of UV curing machine and wave-length graph

이때, 전도성 페이스트 조성물에 의하여 피인쇄체 상에 형성되는 포토레지스트는 이른바 네거티브 타입일 수 있다. 이 경우, 노광 영역에 대응되는 포토레지스트는 광에 의하여 반응하는 중합 개시제에 의하여 모노머

가 라디칼 반응을 통하여 중합되는 반면, 비-노광 영역에 대응되는 포토 레지스트로는 광이 조사되지 않기 때문에 아무런 반응이 일어나지 않고, 이에 따라 이 영역의 모노머는 중합되지 못하고 모노머의 형태로 남아 있다.

즉, 노광 영역에 대응되는 포토레지스트 층에서는 광의 조사로 감광성 페이스트 조성물 중에 함유된 중합 개시제가 활성화되어 라디칼 분자가 형성되고, 이 라디칼 분자가 광중합을 개시한다. 이에 따라 페이스트 조성물 중에 함유된 모노머에 의한 중합 반응이 개시되어 광중합체를 형성할 수 있다.

노광 공정을 통하여 적절한 파장대의 광에 의하여 반응하는 중합 개시제에 의하여 모노머가 라디칼 반응을 통하여 올리고머 바인더에 가교 하여 중합체가 얻어진다. 노광 단계에서 광원은 300 ~ 400 nm 파장 대역의 자외선 (UV)을 조사한다.

바. 현상 - 수세 공정

노광 공정이 완료되면, 경화된 포토레지스트 층을 현상액으로 처리한다. 현상 공정을 통하여, 광에 반응하지 않아 그대로 남아 있는 모노머나 올리고머는 현상액과 반응하여 염화물을 형성하면서 현상액에 용해된다. 특히, 올리고머 바인더 또는 모노머의 관능기의 일부를 카르복시산기로 치환하였으므로, 광을 받지 못한 비경화부에는 카르복시산기가 현상액 중의 염기와 반응하여 염을 형성하므로 현상 공정에서 쉽게 씻겨 나갈 수 있다.

예를 들어 현상액 (Developer)으로는 수산화나트륨 (NaOH), 수산화칼륨 (KOH), 탄산나트륨 (Na_2CO_3) 수용액을 사용할 수 있다. 필요에 따라 현

상액에 메탄올, 에탄올 등의 수용성 유기 용매나 계면활성제를 첨가할 수 있다. 현상 처리법으로는 샤워현상법, 분무현상법, DIP 현상법, 패들 현상법 등을 예로 들 수 있으며, 현상 공정은 약 5 ~ 40초가량 진행될 수 있다. 아울러, 노광 및 현상 공정 후, 패턴 상에 잔류하는 현상액을 씻어내기 위한 린스 (Rinsing, 수세) 공정을 진행한다.

사. 후열 처리 (Post-heating) 공정

현상-수세 공정이 완료되면 핫-플레이트 또는 오븐 등의 가열장치를 사용하여 소정의 온도에서 완전히 경화시키는 후열 처리 공정을 진행한다. 이에 따라, 감광성 페이스트 조성물을 사용하여 형성된 감광성 패턴의 내크랙성 및 내용제성 등을 더욱 향상할 수 있다. 후열 처리 공정은 130 ~ 150 °C의 온도에서 10 ~ 60분 정도 진행한다.

2. 측정 및 분석

가. 감광성 Ag 페이스트의 분산 특성 측정

스크린 인쇄가 가능한 감광성 Ag 페이스트의 분산 특성은 KS M 5463 (도료의 연화도 시험방법)에 따라, 흠의 깊이가 0 ~ 25 μm 까지 측정할 수 있는 입도계와 스크래퍼로 되어 있는 Grindometer (BYK Gardner, Germany)를 사용하여 측정하였다. 분산되지 않을 경우 스크래퍼에 의해 긁힘이 나타나는데, 이를 비디오마이크로스코프 (Alphasystec, SV35 - 06G - 019, Korea)를 사용하여 촬영하였다.

나. 감광성 Ag 페이스트의 레올로지 특성 측정

감광성 Ag 페이스트의 분산, 유동성 및 스크린 인쇄 시 페이스트의 유변학적 성질을 검토하기 위해 HAAKE사의 Rheoscope 1 (Germany)를 사용하여 페이스트의 레올로지를 측정하였다. 측정 항목은 $0.1 \sim 100 \text{ s}^{-1}$ 범위의 전단속도에 따른 점도 변화를 측정하는 Viscosity profile과 $0.1 \sim 1000 \text{ Pa}$ 범위의 전단응력에 따른 저장 탄성률 (G')과 손실 탄성률 (G'') 변화를 측정하는 Amplitude sweep을 사용하였다. 시료대는 지름이 35 mm의 평행 판이고, 시료간격은 0.8 mm로 설정하였으며, 이 때 측정온도는 23°C 로 하였다.

다. 전도성 패턴의 인쇄적성 및 경화특성

제조된 감광성 Ag 페이스트는 스크린 인쇄기 SW-2525 (MINO, Japan)를 사용하여 패터닝을 한 후 인쇄기계와 기판 (Substrate)과의 인쇄적성을 검토하였으며 UV를 조사시킨 후 경화된 패턴의 경화 특성을 알기 위해 비디오 마이크로스코프 (Alphasystec, SV35 - 06G - 019, Korea)를 사용하여 촬영하였다. 비디오 마이크로스코프를 이용하여 인쇄된 도막의 표면상태와 패턴 재현성을 측정하였으며 경도는 연필경도 측정법 (KS M ISO15184)에 따라 측정하였다. 연필경도란 규정된 크기와 모양 및 규정된 경도를 갖는 연필심으로 표면을 눌러 그었을 때 도막 표면에 자국이 생기거나 어떤 결함이 생기는 것에 대한 저항성, 연필심에 의하여 생성되는 자국을 의미한다.

라. 전도성 패턴의 접착성 측정

제조한 감광성 Ag 페이스트로 형성한 전도성 패턴의 접착성 측정은 KS M ISO 2409 (도료의 밀착성 시험방법)에 따라 전도성 패턴을 십자가 모양으로 Cross-cutting 하여 100개의 셀을 만든 후 셀로판테이프 (3M)로 부착한 뒤 전도성 패턴 셀이 떨어지는 개수로써 양호한지 아닌지를 판단하였다. 또한, Cutting시 칼날에 의한 도막에 손상이 발생하여 접착성의 저하가 나타날 수 있기 때문에 도트형식으로 제판하여 인쇄 후 셀로판테이프 (3M)로 접착성을 판단하였다.

마. 전도성패턴의 전기전도성 측정

제조한 감광성 Ag 페이스트로 형성한 전도성 패턴의 전기전도성 측정은 전도성 패턴의 표면을 표면저항 측정기 (KEITHLEY, 2002 Multi meter)를 이용하여 4-Point probe 방식에 의해 표면저항을 측정하고, 전도성 패턴 막의 두께 등은 표면조도계 (Mitutoyo, SJ100, Japan)로 측정하여 전도성 패턴의 비저항을 계산하였다.

바. 전도성 패턴의 내구성 시험

터치패널에 사용되는 전도성 패턴의 경우 필름 위에 형성되며 이러한 터치패널은 주로 휴대용 기기에 적용된다. 따라서 매우 더운 지역 또는 추운 지방 등에 휴대 되거나 설치되기도 하므로 불규칙한 환경조건의 변화에 대해서 특성의 열화가 발생하지 않는 신뢰성이 필요하다. 전도성 패턴이 형성된 필름을 $-40 \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 분당 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도변화를 주어 내구성 시험 전과 시험 후의 전도성패턴의 특성변화를 관찰하였다. (표준 규격 KSC IEC 61215) 위의 온도 범위를 1 Cycle로 하여 총 27회 반복 시험하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 스크린 망사의 소재와 Mesh 수에 따른 두께 및 비저항

스크린 망사의 선택은 일반적으로 피인쇄체의 품질에 따라 해상도가 높으면 폴리에스테르 사, 인쇄 수량과 정밀도가 높을 경우 스테인리스 스크린사를 선택적으로 사용할 수 있다. 폴리에스테르 사는 스크린사의 늘어남이 적고 탄성이 강한 것으로 인쇄제품에 주로 사용되고 인장강도, 절점강도, 탄성 회복이 우수하고 내구력이 강한 특징을, 스테인리스 망사는 신축이 없어 치수 정밀도가 엄격히 요구되는 인쇄 및 오프닝이 크고 섬세한 화선에 적합하며, 잉크의 통과성이 가장 우수한 특징을 가진다.

인쇄되는 막의 두께의 70% 이상은 주로 스크린의 메쉬 두께와 개구율의 곱인 토출량으로 결정되므로 선택적으로 사용 가능하며, 또한, 페이스트의 점도에 따라 판단할 수도 있다.

스크린 망사의 소재 및 Mesh 수에 따라 막의 두께가 차이가 있으며, 큰 수치의 Mesh일수록 망목의 크기가 작아지므로 토출되는 페이스트의 양이 작아져 얇은 도막이 형성된다. 막의 두께는 전기 전도성의 영향을 주는 요인이 되므로 평가의 측정 기준으로 하였다. 인쇄된 도막의 두께는 도막 측정기 (Elcometer)를 통해 측정할 수 있다.

제조한 감광성 페이스트를 스크린 인쇄 방법을 이용하여 다음의 Table 6과 같은 조건으로 PET 필름에 전면 인쇄하였다.

Table 6. The specification of screen plate

Type	Frame (mm)	Mesh	Angle (°)	Tension (mm)		Mesh thickness (μm)	Emulsion thickness (μm)
				x	y		
Pattern printing	550 × 550	POLY380	22.5	1.27	1.28	46	5
		POLY420		1.26	1.29	41	5
		SUS400		1.13	1.12	34	6
		SUS500		1.0	1.03	22	8

인쇄 조건에서 Contact off gap은 2.8 mm, Squeegee angle은 80 °, Squeegee/Scraper speed는 50 mm/sec으로 같이 진행하였으며, 전열 처리 공정은 90 °C 10분, 노광량 (적산광량) 300 mJ/cm², 후열 처리 공정은 140 °C 30분으로 고정하여 진행하였다.

패턴의 전기 전도성은 비저항으로 나타내었다. 비저항 값은 표면저항 (4-Point probe)을 두께로 환산한 값이며 환산하기 위해서는 규정된 도막의 크기와 보정계수가 필요하다. 즉 Ag 페이스트가 인쇄된 고유저항 값이다. 페이스트는 10⁻⁴ ~ 10⁻⁵ 범위의 값을 나타내었으며 터치패널 전극 패턴을 형성한 후 전기 전도성을 측정한 결과를 Table 7과 같이 나타내었다.

Table 7. Resistivity of electrode pattern

재질	Mesh의 수	Thickness (μm)	Resistivity
Poly	380	4.6	6.1 × 10 ⁻⁵ Ω.cm
Poly	420	4	6.5 × 10 ⁻⁵ Ω.cm
SUS	400	3.4	6.0 × 10 ⁻⁵ Ω.cm
SUS	500	2.7	6.3 × 10 ⁻⁵ Ω.cm

도막의 두께가 두꺼울수록, 재질이 폴리에스테르보다 스테인리스의 경우 전기 전도성이 우수하게 나타났다. 그러나 도막이 두꺼울수록 내부경화에 불리하여 막의 강도 및 현상성, 접착력에 영향을 끼치므로 전기 전도성도 우수하며 막의 두께가 얇은 SUS 500 Mesh의 채판이 가장 양호하다.

2. 전열 처리 공정에 따른 전도성 및 현상성.

전열 처리 공정은 전기 전도성 및 현상성에 큰 영향을 미치는데, 이는 페이스트 조성물의 용제 성분이 잔류하게 되면 UV 경화에 방해가 되기 때문이다. 또한, 잔류 용제로 인한 노광 설비 및 마스크 오염을 방지하고 반응 특성을 일정하게 유지하기 위하여 필수적이다. 본 연구에서는 SUS500 Mesh를 사용하여 인쇄하고 전열 처리 공정을 각 10분씩 온도별로 90, 100, 110, 120 °C로 변화를 주었다. 또한 노광량 300 mJ/cm², 후열 처리 공정은 140 °C 30분으로 고정하여 그에 따른 현상성, 전도성을 측정하였다.

Table 8. Resistivity corresponding to the temperature

Pre-heating temperature (°C)	Resistivity (Ω.cm)
90	$6.2 \times 10^{-5} \Omega.cm$
100	$8.1 \times 10^{-5} \Omega.cm$
110	$1.7 \times 10^{-4} \Omega.cm$
120	$3.5 \times 10^{-4} \Omega.cm$

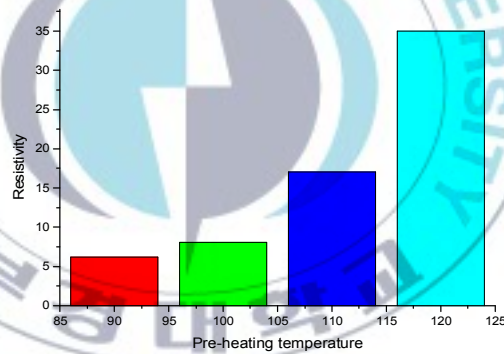
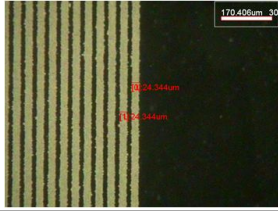
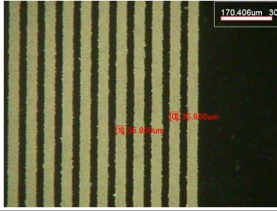
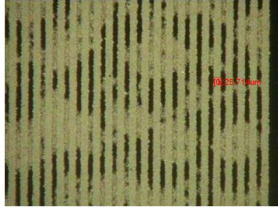
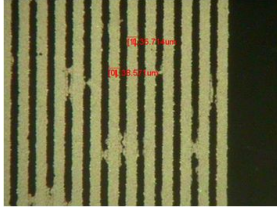
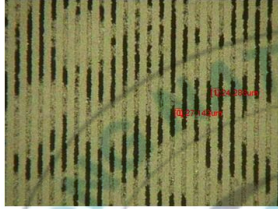
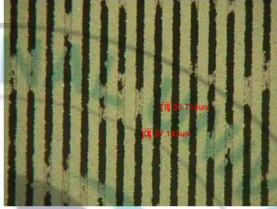
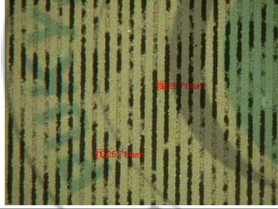
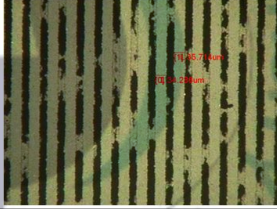


Table 9. Pattern corresponding to the temperature

	20 μm	30 μm
90 $^{\circ}\text{C}$		
	24 ~ 25 μm	35 μm
100 $^{\circ}\text{C}$		
	25 μm	35 ~ 38 μm
110 $^{\circ}\text{C}$		
	24 ~ 27 μm	35 ~ 37 μm
120 $^{\circ}\text{C}$		
	25 μm	34 ~ 35 μm

비저항의 경우 90 $^{\circ}\text{C}$ 조건이 $6.2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 좋았으며, 건조 온도가 높아질수록 저항이 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 현상성의 경우 90 $^{\circ}\text{C}$ 의 조건에서 미 현상부 없이 가장 깨끗하게 현상된 것을 확인할 수 있다. 또한, 온도가 높을수록 페이스트의 열 경화가 진행되어, 현상에 방해되고 경화된 도막으로 인해 저항이 오르게 되어 전도성이 좋지 못하게 된다.

3. UV 노광량에 따른 패턴의 현상성

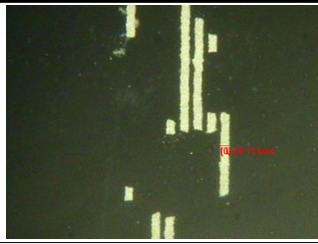
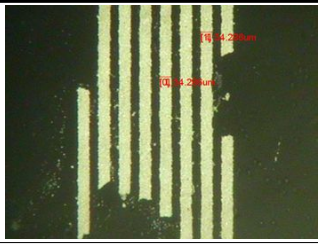
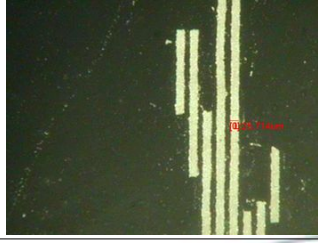
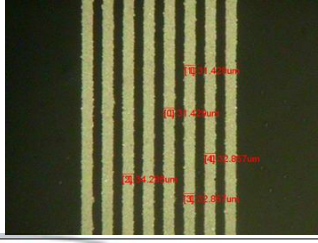
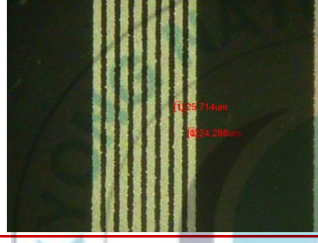
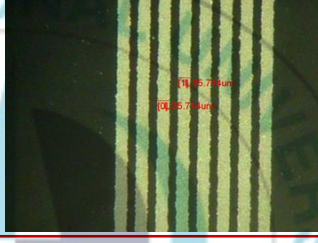
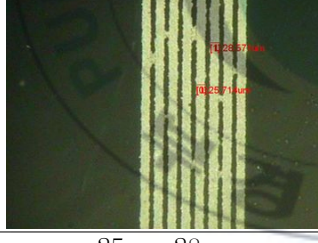
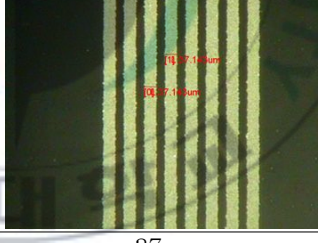
UV 노광량이란 단위면적당 받는 UV 조사 에너지로, 표면에 도달하는 빛의 총량이다. J/cm^2 또는 mJ/cm^2 로 표시된다. 노광량은 광원 아래를 통과하는 속도에 반비례하고, 조사 횟수, 램프 열수에 비례한다. UV 노광량은 조도와 조사시간의 누적이며, 조도를 높이거나, 조사시간을 변화시킴으로서 조절가능하다. 즉, 노광량은 조도 x 시간으로 나타낼 수 있다.

이러한 노광량은 감광성 Ag 페이스트의 미세 패턴 구현에서 매우 중요한 인자가 되는데 노광량이 부족할 경우 표면 및 내부경화가 충분하지 못하여 패턴 형성 시 탈막 및 과현상의 주원인이 되고 과할 경우, 과경화로 인해 패턴의 퍼짐 및 도막의 현상성의 저하를 가져오기 때문이다.

같은 노광량이라도 UV 강도가 강한 것이 내부 침투가 유리하여 경화가 잘되고, 경화 속도가 빠르다. 강도는 단위면적당 갖는 UV 조사 강도로, W/cm^2 또는 mW/cm^2 로 표시할 수 있다. 또한, 패턴의 Sharpness를 증가시키기 위해서 외부로부터 들어오는 빛을 최대한 차단하는 것이 좋으며 외부로부터 빛이 삼입되면 불필요한 부분에 경화가 되어 패턴이 깔끔하게 형성되지 않을 가능성이 있다.

본 연구에서 조사 강도는 $20 mW/cm^2$ 이며, 150, 200, 300, 500 mJ/cm^2 의 조건으로 실험하였고, SUS500 Mesh의 제판사용, 전열 처리 공정은 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 10분, 후열 처리 공정은 $140\text{ }^\circ\text{C}$ 30분으로 고정하여 진행하였다.

Table 10. Pattern corresponding to exposure

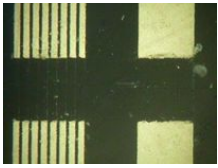
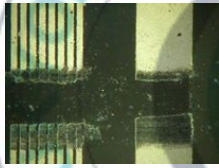
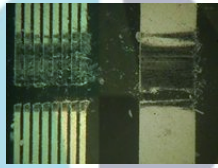
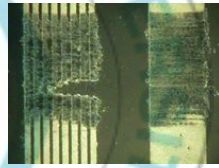
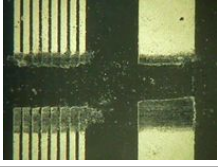
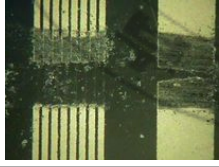

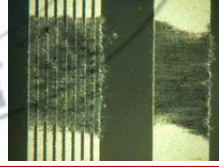
	20 μm	30 μm
150 mJ/cm^2		
	21 μm	32 μm
200 mJ/cm^2		
	22 ~ 24 μm	32 μm
300 mJ/cm^2		
	24 ~ 25 μm	35 μm
500 mJ/cm^2		
	25 ~ 28 μm	37 μm

300 mJ/cm^2 이하에서는 내부경화가 충분하지 못하여 20 μm 경우 과현상이 나타나 패턴 구현의 어려움이 있다. 반대로 300 mJ/cm^2 이상일 경우, 20 μm 까지 패턴 구현은 가능하나 과경화로 인해 패턴이 미 현상 되거나, 막의 퍼짐성이 증가한다.

4. 후열 처리 공정에 따른 기재와의 접착성 및 경도

경화 - 현상 - 수세에 의해서 잔류 된 도막은 현상액 및 수세액으로 인하여 막이 팽윤 된 상태이므로 후열 처리로 남아 있는 현상액, 수세액을 강하게 증발시켜 막을 강하게 시킴과 동시에 열 경화를 한 번 더 시킴으로써 기재와의 접착성을 높일 수 있다. 본 연구에서는 후열 처리의 조건에 따른 접착성 및 경도의 변화를 알기 위하여, 선행 실험에서의 최적조건인 SUS500 Mesh 제판사용, 전열 처리 공정은 90 °C 10분, UV 조사 강도 20 mW/cm²에서 300 mJ/cm²의 노광량을 고정하여 진행하였고, 후열 처리의 조건은 각 30분씩 120, 130, 140, 150 °C의 변화를 주었다.

Table 11. Pencil hardness test results of Ag pastes after curing

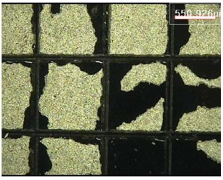
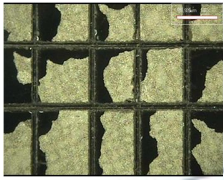
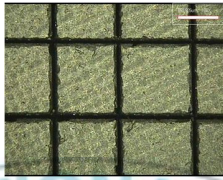
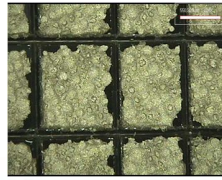
120 °C	130 °C	140 °C	150 °C
			
2H	2H	2H	2H
			
H	H	H	H

일반적으로 경도는 바인더 수지, 올리고머의 분자량이나 사슬의 구조에 따라 경화성 및 접착력에서 영향을 미치는 요소가 되기도 하지만, 후열 처리의 온도에 따라서도 효과를 얻을 수 있다. 형성된 도막에 연필경도

테스트 결과 형성된 전도성 패턴은 2H ~ H의 경도를 가지고 그중 140, 150 °C의 조건에서는 H까지 견디는 것으로 확인하였다.

다음으로 감광성 Ag 페이스트로 패터닝 후 접착성을 검토하였다. 패턴 도막을 100개의 셀로 나눈 뒤 셀로판테이프로 떼어내어 셀이 하나도 떨어져 나가지 않으면 접착력이 우수한 것으로 판단하였다.

Table 12. Cross cutting test results of Ag pastes after curing

120 °C	130 °C	140 °C	150 °C
			
55/100	72/100	100/100	91/100

각 온도의 조건에서 140 °C 이하의 경우 충분히 열 경화가 이루어지지 않아 접착력이 약해 기준치 이하의 결과를 나타냈다. 140 °C의 접착력 테스트에 대해서 우수한 결과를 보였고 오히려 150 °C에서는 과경화로 인해 경계 부분의 바스러짐과 함께 접착력이 양호하지 않았다. 기재와의 접착성 테스트 결과와 연필경도 테스트 결과는 크게 다르지 않은 결과가 나타났고, H 이하의 경도를 가진 도막들은 Ag 페이스트의 내부 응집력 및 경화도가 약함을 알 수 있다.

V. 결 론

미세패턴 형성을 위한 감광성 Ag paste를 각 조건에 상대비교 하기 위해 바인더 수지의 조성 및 함량을 고정하여 감광성 Ag 페이스트를 제조하였으며, 스크린 망사의 소재와 Mesh 수, 전열 처리 공정, UV 노광량, 후열 처리 공정의 조건을 각각 변화시키고 그에 따른 특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 작은 수치의 Mesh일수록 망목의 크기가 커지므로 토출되는 페이스트의 양이 많아져 두꺼운 도막이 형성된다. 도막의 두께가 두꺼울수록 비저항이 양호하며, 비슷한 Mesh의 경우 폴리에스테르보다 스테인리스가 막의 두께가 얇아 비저항이 우수하다. 그러나 도막이 두꺼울수록 내부경화에 불리하여 막의 강도 및 현상성, 접착력이 양호하지 못하므로 비저항이 $6.3 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 우수하며 막의 두께가 얇아 내부경화에 유리한 SUS 500 Mesh의 제판이 가장 양호하는 것을 알 수 있다.
2. 감광성 Ag 페이스트 조성물의 용제 성분이 잔류하게 되면 UV 경화에 방해가 되기 때문에 전기 전도성 및 현상성에 큰 영향을 미친다. 그러므로 전열 처리 과정에서 잔류 용제를 완전히 건조하는 것이 매우 중요하다. 90 °C 10분 조건의 경우 $6.2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 비저항이 가장 좋았으며, 미 현상부가 없이 가장 깨끗하게 패턴이 형성된 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 전열 처리 온도가 높을수록 오히려 감광성 Ag 페이스트의 열경화가 진행되어, 현상에 방해되고 경화된 도막으로 인해 저항이 오르게 되어 전도성이 양호하지 못하다는 것을 알 수 있다.

3. 노광량은 감광성 Ag 페이스트의 미세 패턴 구현에 있어서 매우 중요한 인자가 되는데, 이는 노광량이 부족할 경우 표면 및 내부경화가 충분하지 못하여 패턴 형성 시 탈막 및 과현상의 주원인이 되고 과할 경우, 과경화로 인해 패턴의 퍼짐 및 도막의 현상성의 저하를 가져오기 때문이다. 실험결과, 300 mJ/cm^2 이하에서는 내부경화가 충분하지 못하여 현상/수세 공정에서 과 현상으로 막이 탈락이 발생하여 $20 \mu\text{m}$ 의 미세 패턴 구현의 어려움이 발생하고 300 mJ/cm^2 이상일 경우, $20 \mu\text{m}$ 까지 패턴 구현은 가능하나 과 경화로 인해 패턴이 미 현상 되거나, 막의 퍼짐성이 증가한다. 따라서 최적 노광량은 300 mJ/cm^2 이며 패턴의 구현이 가장 양호함을 알 수 있다.

4. 현상 - 수세 공정 이후 패턴 도막이 팽윤 된 상태이므로 후열 처리로 남아있는 현상액, 수세액을 강하게 증발시키는 것이 중요하다. 이는 막을 단단하게 만듦과 동시에 열 경화를 한 번 더 시킴으로써 기재와의 접착성을 향상할 수 있다. 접착력 테스트 결과 140°C 이하의 조건은 충분히 열경화가 이루어지지 않아 접착력이 기준치 이하의 결과를 나타냈고 오히려 150°C 조건에서는 과경화로 인해 경계 부분의 바스러짐과 함께 접착력이 양호하지 않았다. 형성된 도막의 연필경도 테스트 결과는 $140, 150^\circ\text{C}$ 의 조건에서 H 경도를 가지는 것으로 확인되었으며 H 이하의 경도를 가진 도막들은 감광성 Ag 페이스트의 내부 응집력 및 경화도가 약함을 알 수 있다. 연필경도 테스트와 접착력 테스트를 종합적으로 고려해 볼 때 140°C 가 가장 양호함을 알 수 있다.

위의 4가지 결론으로부터 제판 SUS 500 Mesh, 전열 처리 공정 90°C 10분, 노광량 300 mJ/cm^2 , 후열 처리 공정 140°C 30분의 조건이 인쇄 및 현상성, 경

화성, 접착성, 전도성에서 가장 우수함을 알 수 있었다.



참 고 문 헌

- [1] 이상윤, 장아람, and 남수용. "Gravure Offset 인쇄에 의한 미세 전극용 Ag Paste 개발." 한국인쇄학회지 30.3 (2012): 45-56.
- [2] 남수용, 구용환, and 김성빈. "Oligomer 특성에 따른 Touch Panel 용 UV 경화형 Ag paste 의 물성연구." 한국화상학회지 16.3 (2010): 53-63.
- [3] 위인전, et al. "광경화성 고분자의 경화 조건에 따른 반응속도 및 광학특성 변화 연구." 348.
- [4] 문명재, et al. "개환중합성 모노머 첨가에 따른 양이온 자외선 경화 수지의 물성 및 경화성 연구." 119.
- [5] Yoichi ITO, "Present status and future of functional screen printing technology." 日本印刷學會誌, 40.1 (2003).
- [6] 황보혁, "미세패턴 형성을 위한 그라비아 오프셋용 Ag Paste의 제조와 물성 연구." 부경대학교 (2012): 6-9.
- [7] 佐野 康, "スクリーン印刷技術-Electronic parts an materials." 電子材料, 43.1 (2004): 31-33
- [8] Toshiyuki Honda, "Application of the electrically conductive ink for electronics componets." 日本印刷學會誌, 40.1 (2004): 24-32
- [9] Widoniak, Johanna, Stefanie Eiden-Assmann, and Georg Maret. "Silver particles tailoring of shapes and sizes." Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 270 (2005): 340-344.
- [10] 김태현. "RFID 용 전도성 잉크." 고분자과학과 기술 19.1 (2008): 35.
- [11] Merilampi, Sari, T. Laine-Ma, and Pekka Ruuskanen. "The characterization of electrically conductive silver ink patterns on flexible substrates." Microelectronics Reliability 49.7 (2009): 782-790.

- [12] 김상헌. "나노 페이스트의 설계 및 응용 기술." Journal of KWJS 26.2 (2008).
- [13] Mezger, Thomas G. The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers. Vincentz Network GmbH & Co KG, 2006.
- [14] 차국현, et al. "이동현상/고분자유변학: 블록 공중합체의 미셀 형성에 관한 연구." 화학공학의 이론과 응용 1.2 (1995): 1103-1106.
- [15] Gilleo, K. B. "Rheology and surface chemistry." Coatings Technology Handbook 2 (2006): 13-17.
- [16] 村野俊次, "ディスプレイ・精密電子部品におけるスクリーン印刷の技術革新—大面積化・高精細化とトラブル対策—", 技術情報協會, (2005): 62-86.
- [17] Garwood, Michael, and Lance DelaBarre. "The return of the frequency sweep: designing adiabatic pulses for contemporary NMR." Journal of Magnetic Resonance 153.2 (2001): 155-177.

