

工學碩士學位論文

스크린인쇄 시스템의 미세패턴
형성에 관한 연구

指導教授 南壽龍

이 論文을 工学碩士學位 申請을 爲하 提出함



2005年 02月

釜慶大學校産業大學院

印刷工學科

李甲熙

李甲熙의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2004年 12月

主 審 工學博士 具 哲 會



委 員 工學博士 金 廣 泳



委 員 工學博士 南 壽 龍



목 차

목 차	i
List of figures	iii
List of tables	v
Abstract	vi
 1. 서 론	 1
1-1. 개발과제의 개요	1
1-2. 국내외 기술개발 현황	2
 2. 이 론	 4
2-1. XY θ 스테이지 이송시스템 및 영상처리장치	4
2-2. 스퀴지	6
2-2-1. 스퀴지의 이송특성 분석	6
2-3. Mask 장력, Clearance, 인압 관계 특성분석	10
 3. 실 험	 12
3-1. 미세패턴 프린팅 시스템 설계 및 제작	12
3-1-1. 인쇄 Unit 설계 및 제작	12
3-1-2. 패턴 형성기관 위치제어장치 설계 기술	14
3-1-3. Printing Table 설계기술	16
3-1-4. Squeegee Unit 설계기술	17
3-1-5. 기관 Feeding System 설계기술	19
3-1-6. 전기-전자 제어반 설계	20
3-1-7. 정밀 위치제어 시스템 설계 및 제작	21
3-1-8. 위치제어 시스템의 소프트웨어 설계 및 구현	21

3-2. 스퀴지 인압 측정	22
3-3. 미세패턴 프린팅 성능시험 및 평가기술	23
3-3-1. 미세프린팅 스크린인쇄용 제판기술	23
3-3-2. 제작된 미세패턴의 구조와 물성 검토기술	24
4. 결과 및 고찰	25
4-1. 제어실험 결과	25
4-2. 스퀴지 인압 측정 결과	26
4-3. 패턴 형성 결과	27
5. 결 론	37
참고문헌	38

List of figures

Figure 1. Tension measurement of polyester mesh.	9
Figure 2. SS-curve of EX stencil and LE stencil.	9
Figure 3. The flow of paste for squeegee moving.	10
Figure 4. Change of force in squeegee speed and angle.	10
Figure 5. Change of clearance ratio in off-contact.	11
Figure 6. Designs of printing unit.	13
Figure 7. Photographs of printing unit.	14
Figure 8. Designs of position control equipment.	15
Figure 9. Photograph of position control equipment.	15
Figure 10. Photograph and design of printing table.	16
Figure 11. Design of squeegee unit.	17
Figure 12. Photographs of squeegee unit.	18
Figure 13. Design and manufacture of the feeding system.	19
Figure 14. Photographs of the Electrical and Electronic control box. ..	20
Figure 15. Result of screen plate and type of patterns.	23
Figure 16. Manufacturing of ceramic paste.	24
Figure 17. Results with the impression force difference.	26
Figure 18. Fine pattern of Line/Space 100/100 μm	27
Figure 19. Fine pattern of Line/Space 80/80 μm and 60/60 μm	27
Figure 20. Fine pattern of Line/Space 40/40 μm and 20/20 μm	28
Figure 21. The disperse property of Ag particle as the mixture rate and ink-film thickness changes.	29
Figure 22. The disperse property difference of Ag particle as the Ag powder particle property changes.	30
Figure 23. The disperse property difference Ag particle as the printing direction changes. I	31

Figure 24. The disperse property of Ag particle as the printing direction changes.II	32
Figure 25. The disperse property of Ag particle as the printing direction changes.III	33
Figure 26. The surface difference of Ag paste.	34
Figure 27. The disperse property of Ag particle with SUS mesh screen plate.	35

List of tables

Table 1. Design specification of printing table	16
Table 2. Design specification of squeegee unit	17
Table 3. Design specification of feeding system	19
Table 4. Result of position control experiment	25
Table 5. Moment of resistance in mixture ration of Ag and binder	36

Development of Fine Pattern Printing System

Gab-Hee Lee

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

Abstract

Fine pattern printing technology is being widely used for PDP, LCD, EL, semi conductors, and other electrical devices. Although Domestic companies such as Samsung Electronic Co. and LG Electronic Co. are also trying to introduce fine pattern printing technology, competitiveness of Korea is still being at low level, due to the technology transfer avoidance of advanced country and expensiveness of experimental equipments.

Therefore, the presents most opportune for following up this technology, if research institute and academic research center collaborate with industrial company which has key technologies of element parts and factory automation based on mature manufacturing experience.

Productivity improvement decreases time and cost of the fine pattern printing and makes companies have market competitiveness. Domestic development of the fine pattern technology contributes to a small and medium enterprises' manufacturing technology improvement of high value-added products such as advanced electrical parts. Import substitution and export increase can also be expected. Fine pattern printing system can alternate photo lithography equipment and it can be helpful for environmental protection due to the adequate use of paste without binder.

This technology can also make electrical parts and auto-mobile parts smaller, lighter, and more efficient. It leads naturally to enhancement of people life and culture.

1. 서 론

1-1. 개발과제의 개요

최근 전자 및 자동차산업 관련 부품의 소형화, 고정도화, 박판화 추세에 따라 정밀한 미세패턴 형성 장비의 성능 향상이 더욱 요구되며, 전자산업의 제조에 있어서 선진국과의 제품 제조경쟁에 있어서 정밀성, 생산성, 원가절감 노력은 필수적이다.

PDP, LCD, VFD, FED, 유기EL 등 FPD(Flat Panel Display)시장이 점점 증가될 추세이다. 이와 같은 평판 디스플레이 제작에는 스크린인쇄법을 이용한 패턴형상이 많이 이루어지고 있다. 그러나 표시패턴을 더욱 미세화(fine pattern), 고정밀도화 하려면, 현재 사용되고 있는 스크린인쇄 장비만으로는 한계가 있으며, 현재 스크린인쇄 장비만으로는 대량생산 라인에서 깨끗하고 정밀한 패턴형성은 약 80~100 μ m가 한계라고 할 수 있다.¹⁾

80~100 μ m이하의 기능성 미세패턴 형성 방법은 포토리소그래피(photolithography)법을 이용한다. 그러나 이 방법은 장치비(약 10억대)가 비싸고, 불필요한 부분을 용제 또는 알칼리 수용액으로 제거해야 되기 때문에 폐액처리 문제 등 환경적인 문제뿐만 아니라 원재료 비용도 많이 든다. 보다 저렴한 가격으로 기능성 미세패턴을 형성시킬 수 있는 미세패턴 형성 장비의 개발이 절실히 요구되고 있으며, 이 장비에서 정밀도 실현을 위한 미세이송과 위치오차를 조정할 수 있는 핵심장치인 3자유도 정밀 스테이지(stage) 개발 및 제어연구는 필수적인 기술이다. 필요한 부분에만 패턴을 형성하므로 재료의 사용효율이 좋고, 설비투자비, 공정수가 적으며, 생산성이 높고, 동일 프로세스로 여러 가지 재료를 사용할 수 있는 등 많은 장점이 있는 스크린인쇄 미세패턴 형성 장치의 개발이 요구된다.²⁻³⁾

이러한 미세패턴 프린팅 시스템의 국산화 개발은 중소기업의 고부가가치 제품을 생산할 수 있는 생산능력 확보와 첨단 전자 부품의 제조 능력 향상에 기여할 것이다. 또한 국내 전자, 자동차 산업에서의 첨단부품의 수입 대체효과와 기술경쟁력 개선을 기대할 수 있으며, 부품산업의 일류화 및 수출을 안정적으로 확보할 수 있다.

1-2. 국내외 기술개발 현황

미세패턴 프린팅 기술은 선진국을 중심으로 PDP, LCD, EL 등 전자산업과 웨이퍼의 반도체산업, 자동차부품 산업 등에 급속히 확산되고 있으며, 국내에서도 본 기술의 적용을 위해 삼성, LG등 전자 부품업체들이 도입을 하고 있으나, 고가의 장비구매비용, 기술이전 회피 등으로 국제시장에서의 개발 경쟁력이 떨어지고 있다.

미세패턴 프린팅 시스템은 미국의 AMP PRESCO, 일본의 NEW LONG, SERIA, ONO SOKKI 등에서만 생산되고 있으며, PDP, LCD, EL 등 TFT 미세패턴프린팅 기법과 페이스트 장비를 개발하는 연구가 활발하다. 또한 초박막 형성과 후막 형성기술 개발과 기능성 페이스트의 개발 연구를 추진하고 있다.⁴⁾

기계제조분야에서는 미세패턴 프린팅 시스템 개발은 고정밀 3축 Stage, 화상계측 등 첨단 가공 및 얼라이먼트, 조립, 피패터닝물 공압 Table 설계 등 기술과 비용이 많이 들어가며, 기능성 페이스트의 개발, 패턴 프린팅의 최적 작업 조건 설정 등 많은 실험적 기술 데이터가 필요하며, 많은 요소기술과 핵심기술들이 존재하지만 패턴프린팅을 위하여 체계적으로 정리되어 있지 않고 관련 연구자들의 개인적인 자료로 존재하고 있어 기술이전에 어려움이 예상된다.

미세패턴 프린팅 시스템의 연구개발에 선진국들은 기술을 선전하기 위해 많은 투자를 하고 있으며, 기술이전이나 협력은 기피하고 있어 전자 통신 분야의 강국인 국내에서 개발되어야 할 기술과 장비로써 국산화 개발이 절실히 요구된다.

미세패턴 프린팅 시스템의 요소기술들을 정립하고 외국의 사례분석을 통해 국산장비의 개발 방향을 정함으로서 국제시장에서의 점유율을 확보하고 본 기술을 바탕으로 세계 일류화를 지향하며 저가의 고정밀 프린팅 셀을 상품화 할 수 있다.

기술적 측면에서는 국내외에 큰 환경 변화는 없으며, 경제적인 측면에서는 국내의 디스플레이 생산업체에서 평판형 디스플레이(TFT-LCD, PDP)의 사업을 급속하게 신장시키고 있다. 그러나 국내 3대 디스플레이(TFT-LCD, PDP, 유기EL)의 국산화율이 40% 미만으로 집계 되고 있다. 국내 업계에서는 디스플레이

제품의 수출 규모를 현재 74억 달러에서 2010년 315억 달러로 늘려 계획하고 있으며, 장비의 국산화율도 80% 선까지 끌어 올린다는 목표를 세우고 있다.

최근의 국내 업계의 사업 동향을 볼 때 장비의 국산화는 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 미세패턴 형성용 장비를 개발하여 그 성능을 검토하는 것을 연구 목적으로 하였다.

2. 이 론

2-1. XY θ 스테이지 이송시스템 및 영상처리장치

XY θ 스테이지에 사용되는 고속 고정도 이송장치는 일반적으로 회전모터와 볼나사를 조합하여 이송하는 방식과 리니어 모터로 모터와 볼나사를 통합하여 직접 구동하는 방식이 있다.

회전모터와 볼나사를 사용하는 방식의 고속화의 한계는 50m/min 내외이며, 그 이상의 속도를 실현하기 위해서는 리니어 모터를 구동원으로 하는 고속이송계가 요구된다.

직접 구동되는 리니어 모터는 백래쉬, 높은 마찰의 문제를 줄일 수 있고 관성이 작아 높은 속도와 정도를 요구하는 수요에 적합한 방식으로 평가된다. 직선 베어링 안내기구는 그 전동요소의 형상에 따라 Steel Ball, Roller를 사용하는 방식이 있다.

볼스크류는 상대적으로 높은 이송계 강성을 지니고 있고 정밀 이송에 있어서도 서브 마이크론대까지는 용이하게 미소 이송 분해능을 얻을 수 있다. 위치 결정 정도를 고정도화 하기 위하여 로터리 엔코더의 분해능을 높이고 볼스크류의 오차를 보정하는 방법으로 2~5 μ m까지의 위치 결정 정도를 얻고 있다.

이송을 위한 베어링은 최소의 면적으로 레이디얼 하중과 축방향 하중을 동시에 받을 수 있는 것을 선택하여야 한다.

또한 스텝 모터 구동의 정력 XY θ 스테이지는 각축이 독립적으로 구동하지만, 스텝 또는 서보 모터 구동형의 XY θ 스테이지는 동일평면상에서 구동되는 형태이므로 각축이 상관관계를 가지며 구동하게 되어있다. 스텝, 서보 모터 구동형의 XY θ 스테이지의 경우, 모터, 볼스크류와 하중의 관계를 고려하여 위치 이송량을 계산하여야 한다.⁵⁻⁷⁾

① Motor -AC Servo Motor : SGMAH-A5(Yaskawa, 50W)

-Encoder : 2048 Pulse/Revolution

② Ball Screw -Φ10, Lead 2

③ Resolution $Resolution = \frac{BallScrewLead}{EncoderLine} = \frac{2}{2048} = 0.0009765mm$

초기 위치를 원점으로 하고 Carriage Plate를 아래와 X축, Y축 및 θ축으로 동작시킬 경우, 각 축의 이송량은 다음과 같이 구할 수 있다.

- X축 이송 $Pulse = \frac{요구이송량}{BallScrewLead} \times EncoderLine = \frac{1}{2} \times 2048 = 1024$

- Y축 이송 $Pulse = \frac{요구이송량}{BallScrewLead} \times EncoderLine = \frac{0.5}{2} \times 2048 = 512$

XYθ 스테이지의 θ축의 회전각 δθ를 얻기 위한 각 축의 상대 이송량을 구하는 식은 아래와 같다.

X1축 : $\delta X_1 = R \cos(\delta\theta + \theta X_1 + \theta O) - R \cos(\theta X_1 + \theta O)$

X2축 : $\delta X_2 = R \cos(\delta\theta + \theta X_2 + \theta O) - R \cos(\theta X_2 + \theta O)$

Y축 : $\delta Y = R \sin(\delta\theta + \theta Y + \theta O) - R \sin(\theta Y + \theta O)$

δX₁ : X₁축의 상대 이송량(mm)

δX₂ : X₂축의 상대 이송량(mm)

δY : Y축의 상대 이송량(mm)

θX₁ : X₁축에 연결된 Cross Roller Bearing 중심의 각도

θX₂ : X₂축에 연결된 Cross Roller Bearing 중심의 각도

θY : Y축에 연결된 Cross Roller Bearing 중심의 각도

θO : 초기 위치 각도(°)

δθ : 요구 회전각(°)

R : 각 축에 연결된 Cross Roller Bearing 중심 반경

2-2. 스퀴지

스크린인쇄기는 수십 마이크론 이상의 후막 인쇄를 할 수 있다는 특징 때문에 일반 인쇄로는 적용하기 곤란한 PCB, 전도체, 저항체, 유전체 등의 전자제품 생산에 널리 쓰이고 있다.

특히 빛의 밝기 조절을 위해 발광 부위를 조절해야 하는 LCD의 백라이트 부분이나 PDP의 격벽 형성, 상·하 유리의 Seal을 위한 Paste 도포 그리고 전도층, 유전층 및 발광층 등이 후막적층으로 인쇄되어 생산되는 무기 EL램프와 같이 각종 첨단 산업에 적용되고 있다.⁸⁾

2-2-1. 스퀴지의 이송특성 분석

스크린을 통해 잉크를 밀어냄(forcing)의 주요변수는 잉크점도, 잉크 분자 크기, 망사 오프닝 크기, 스피드, 스퀴지 압력, 스퀴지 모양, 경도와 날 끝의 변형 등이고, 스크린을 피인쇄체 당게 유지(keeping)하는 변수로서는 스크린 텐션과 off-contact 거리이며, 피인쇄체의 표면에 적용된 스크린을 안전하게 보장(ensuring)하는데 있어서의 변수는 피인쇄체의 강도와 평탄성, 스퀴지 형태와 경도이고 마지막으로 스크린의 과도한 잉크를 제거(removing)하기 위한 변수로는 잉크점도와 표면 장력, 잉크층의 두께, flood bar의 효과, snap 스피드와 접촉면의 크기를 변수로 한다.

1) 경도

스퀴지의 경도값은 스퀴지를 표면에 정렬시키는 방법에 영향을 주고, 스크린을 통한 잉크의 전이를 얻기 위해 필요한 인쇄힘(printing force)의 수준을 결정한다.

경도가 약할수록 표면에 스퀴지가 더 많이 적용되고 더 작은 인쇄힘이 필요하다.

2) 날의 형태(blade profile)

날의 형태는 잉크 침적 두께에 영향을 주는 스크린을 통해 잉크가 덜 혹은 많이 빠지게 하는데 영향을 미치게 된다. 또한 날의 형태는 인쇄 표면에 대한 스퀴지의 적응성(adaptability)을 결정하며, 잉크 침적의 수준과 인쇄 edge sharpness에 영향을 미친다. 스퀴지의 날이 날카로울수록 잉크는 덜 빠지며 생산성은 좋아진다. 둥근 스퀴지는 잉크를 많이 빠지게 한다.

3) 스퀴지 각도

스퀴지 각도는 인쇄방향 쪽에서 스퀴지와 스크린의 각도를 말한다. 효과각이란, 인쇄중 스퀴지의 실제각도를 말하는데, 스퀴지는 인쇄 스트로크의 힘에 의해서 세트된 스퀴지각을 초과해서 빗나가게 된다. 효과각이 낮을수록 그 각도에서는 인쇄날(스퀴지가 스크린에 닿는 날)의 앞의 스킵을 통해 더 많은 양의 잉크가 밀려나게 되고, 더 적은 양의 잉크가 스크린 표면에서 마찰된다.

즉, 스퀴지각을 줄이면 많은 잉크가 망사 오프닝안으로 들어가게 되고, 작은 양의 잉크가 표면에서 긁어지게 된다. 압력이 큰 상태에서 잉크는 빠른 속도로 많은 양의 잉크를 밀어내고, 잉크의 점도는 낮아지며, 스크린을 통한 많은 양의 잉크 흐름을 허용한다.

스퀴지 형태는 설정각도와 효과각의 균형에 영향을 미친다. 예를 들어 평이나 사각타입의 스퀴지는 중간정도의 적응성과 최대의 힘과 설정각과 근접될 수 있는 효과각을 제공한다. D-cut, S-cut의 스퀴지는 최대의 적응성과 최소의 힘 그리고 설정값보다 작은 효과각을 제공하며, 스크린을 통해 나오는 잉크를 많이 허용한다. 또 설정각은 날의 경도에 따라 달라질 수 있다. 경질의 스퀴지는 좀더 수평쪽으로 설치하는 반면 연질일수록 세워져 설정해야 한다.

일반적인 법칙은 다음과 같다. 만약 스크린이 피인쇄체에 닿았을 때 스퀴지가 거의 휘지 않았다면 스퀴지 설정각을 좀더 밑으로 하고, 그 반대로 망사가 피인

쇄체 당기도 전에 휘었다면 스퀴지 설정각을 올린다.⁹⁻¹⁰⁾

4) 날의 평탄도(Blade flatness)

스퀴지 날의 직선 엣지부분의 편차로 인해 스퀴지 압력이 달라진다. 이로 인해 잉크침적이 달라지고 즉, 잉크가 평탄하게 인쇄되지 않는다.

5) 속도(Speed)

인쇄속도는 스크린을 통해 잉크를 밀어내는 양에 영향을 미친다. 빠른 인쇄 속도는 메쉬안에 잉크가 머무르는 시간이 감소되고 점도에 의해서는 어느 정도 변화는 있겠지만, 스크린을 통해서 흐르는 잉크의 양도 감소된다. 빠른 인쇄 속도는 잉크의 점도를 떨어뜨리고 잉크가 얇은 층을 형성할 수 있도록 잉크가 메쉬를 통해 빠르게 흐르게 한다.

6) 스크린 압력(SQG pressure)

모든 압력은 스퀴지의 인쇄면 날에 직접적으로 전달되어야 한다. 압력이 클수록, 잉크가 번지고 으깨지는 경향이 있는데, 잠재적으로 예기치 못한 점같은 모양이 인쇄될 가능성이 있다. 만일 스퀴지에 대한 압력이 균일하지 못하다면, 압력의 증가에 따라 그런 점이나 색상 변화의 발생이 비례한다. 압력의 변화는 단지 인쇄시 제판의 교체시에만 요구되는 것이다.

우선 어느 경우라도 압력을 증가시키기 전에, 인쇄속도를 느리게 하여야만 한다. 만일 인쇄 품질을 개선시키려면, 압력부분에서는 아주 제한된 조정만이 필요하다.

7) 스퀴지 치수(SQG diemensions)

두께 또는 너비는 전형적으로 5mm부터 10mm까지, 높이는 두께에 직각으로 20mm부터 50mm까지가 일반적이다. 폴리에스테르 메쉬(polyester mesh)의 텐션을 측정할 때, 일본의 STG-75B를 많이 사용한다. 그 측정치는 kgf/mm로 표시하는 fig. 1과 같이 설명할 수 있다.

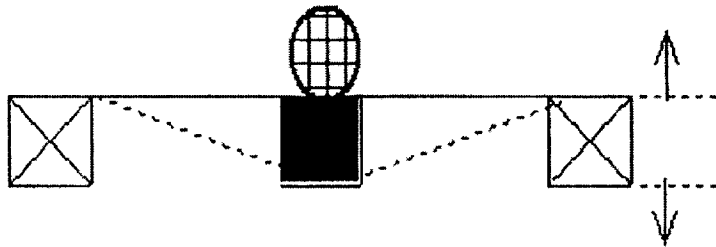


Fig. 1. Tension measurement of polyester mesh.

만약 그 치수가 1.0이라면 1.0mm로 나타낸다.

EX와 LE망사의 구별이 쉽게 될 수 있고, 일반적으로 저신장, 고장력 망사가 아닌 경우, 시간이 경과됨에 따라 warp 부분의 경우, tension loss가 더 심하다. 분명히 건장했을 때는 tension 편차(X, Y)가 거의 없었는데 시간이 지남에 따라 텐션 편차가 발생하는 씨줄과 날줄의 SS-커브 특성은 fig. 2와 같다. 메쉬 두께의 편차, 에러 포인트의 개수 등도 메쉬의 품질을 결정한다.

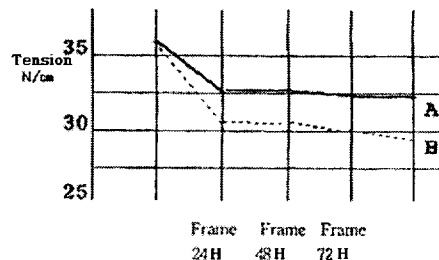
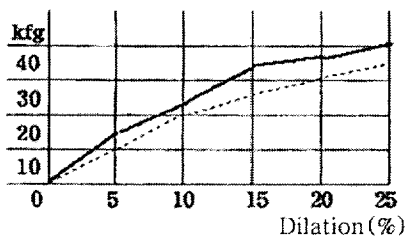


Fig. 2. SS-curve of EX stencil and LE stencil.

2-3. Mask 장력, Clearance, 인압 관계 특성분석

스퀴지 속도는 압력을 가하는 시간에 관계하고, 밀어내는데 영향을 미친다. 늦은 스퀴지 속도는 오랫동안 압력을 가하기 때문에 밀어내는 힘이 증가하게 된다. 이러한 밀어내는 힘과 스퀴지 각도, 속도의 관계는 fig. 3, fig. 4와 같다.

스크린 인쇄의 인쇄조건 설정이라는 것은 이와 같이 밀어내는 힘을 증감 조정하는 것을 말한다. 또한 스퀴지 인압은 페이스트를 밀어내는 데에는 직접 관계가 없고 스크린 상의 페이스트를 균일하게 끌어 모아 기판과 접촉시키는 역할만 한다.

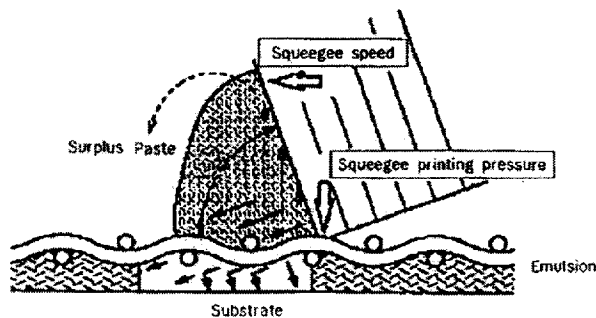


Fig. 3. The flow of paste for squeegee moving.

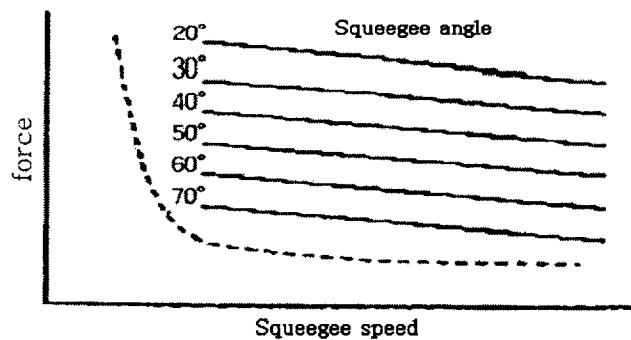


Fig. 4. Change of force in squeegee speed and angle.

스퀴지 이동에 맞추어서 페이스트를 밀어낸 후 스크린이 스스로의 장력에 의해 기관에서 분리되기 때문에, 기관에 도달된 페이스트가 스크린과 분리되어 기관상에 남게 된다. 이것을 판분리라고 한다. 이것은 스크린 인쇄가 균일한 막두께로 분산없이 연속적으로 실현할 수 있는 기본적인 메커니즘이다. 이 판분리는 스크린의 장력과 페이스트의 점탄성 관계로 이루어지는 것이며, 균일한 인쇄를 하기 위해서는 양호한 판분리성이 절대적인 전제조건이다.

스퀴지의 이동에 맞추어서 스크린 틀의 뒷부분이 들려지는 기구에 의한 판강제 분리는, 막의 균일성과, 치수 정밀도에 치명적인 문제를 일으킬 가능성이 있기 때문에 절대로 사용해서는 안 된다. fig. 5는 오프 콘택트(off-contact) 기구를 이용한 클리어런스양 변화를 설명한다. 클리어런스양이 증가하면 인쇄화상이 선명하지 못하고 퍼지게 된다.

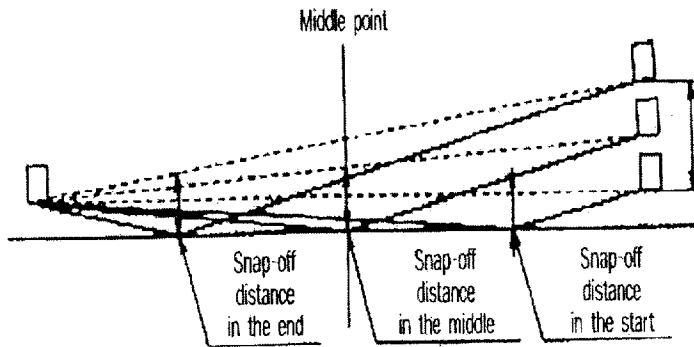


Fig. 5. Change of clearance ratio in off-contact.

판분리 후, 기관상에 남은 페이스트는 스스로의 성질로 인쇄표면의 메쉬 자국을 없애거나, 기관상에서 페이스트의 분리를 방지하여 형상을 유지한다. 이것은 페이스트 자체가 가진 특성 즉, 레올로지의 문제이고, 인쇄조건에 대응하는 것은 아니다. 100메쉬 이하의 스크린으로 인쇄해도 메쉬 자국이 남지 않는 유전체 페이스트 또는 점도가 떨어지지 않고 평탄성이 좋은 페이스트가 실제 사용되고 있다.

3. 실 험

3-1. 미세패턴 프린팅 시스템 설계 및 제작

본 연구의 개발 기술을 크게 5가지로 나누면, Vision System 설계기술, XYθ Table 설계기술, Printing Table 설계기술, Printing Unit 설계기술과 Electric Control Unit 설계기술이다.

미세패턴 프린팅 시스템 설계 및 제작기술에서는 인쇄 Unit 설계기술, Pattern 형성기판 위치제어 장치 설계기술, Printing Table 설계기술, Squeegee Unit 설계기술, 기판 Feeding System 설계기술과 기판 Holding System 설계기술을 수행하였다.

미세패턴 프린팅 시스템은 정렬부(Alignment Sector), 인쇄부(Printing Sector), 배출부(Out Sector), 이송장치(Carrier Stage), 조정판넬(Control Panel), 화상처리장치(Picture Processing Box)와 알람 라이트(Alarm Light)로 구성된다.

미세패턴 프린팅 시스템 처리과정은 투입된 기판을 반입(Feeding)장치에 의하여 정합 테이블로 이송되고, XY Pusher와 Stopper로 대략적인 위치가 결정된다. CCD 카메라와 위치 정렬이 끝난 기판을 인쇄 테이블까지 이송한다. 스크린 판과 스퀴지로 기판인쇄를 수행하고, 이송장치에 의하여 인쇄가 종료된 기판을 반송 테이블까지 이송한다.

3-1-1. 인쇄 Unit 설계 및 제작

인쇄 유니트의 Pattern 크기는 500×600mm, 기판 두께는 0.5~3mm, 기판중량은 최대 3Kg, Mask 크기는 1000~850×1000~850, Mask 높이는 30~50mm와 Off Contact는 0~15mm를 고려하여 인쇄 프레임(frame)을 설계하였다. 기판에 인쇄할 때 스크린을 기판에 접촉시키거나 떼어놓기 위하여 프레임은 상하운동을 한다.

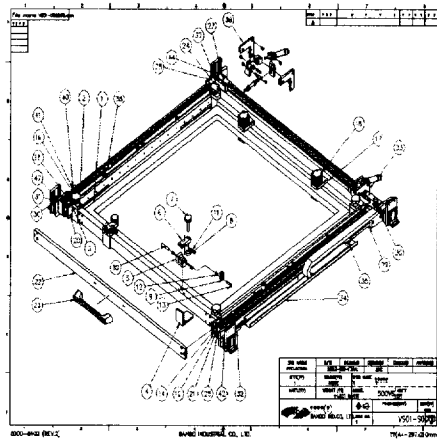
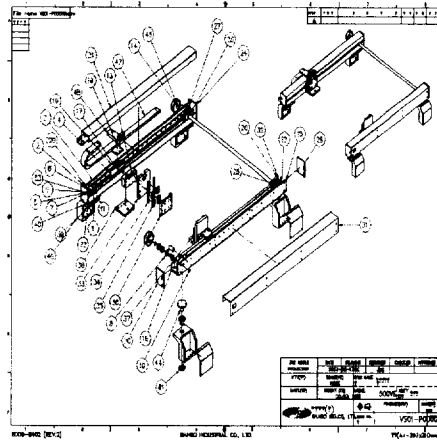


Fig. 6. Designs of printing unit.

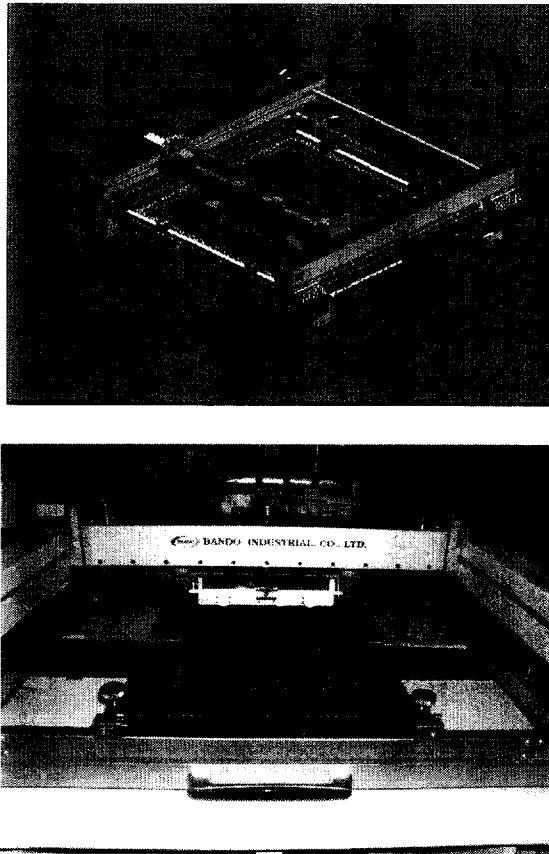


Fig. 7. Photographs of printing unit.

3-1-2. 패턴 형성기판 위치제어장치 설계기술

패턴형성기판 위치제어장치는 투입된 기판을 XY Pusher 및 Stopper에 이용하여 대략적인 위치결정을 수행하며, 설계사양은 제어가능 기판크기는 $500 \times 600 \text{ mm} \sim 250 \times 250 \text{ mm}$, Stopper의 위치는 기판의 크기에 따라 바꿀 수 있으며, 서로 다른 크기의 기판을 사용할 경우, Pusher와 Stopper의 위치 변경은 눈금판을 보면서 수동으로 조정하도록 하였으며, 근접 스위치와 타이머로 동작을 수행하도록 설계하였다.

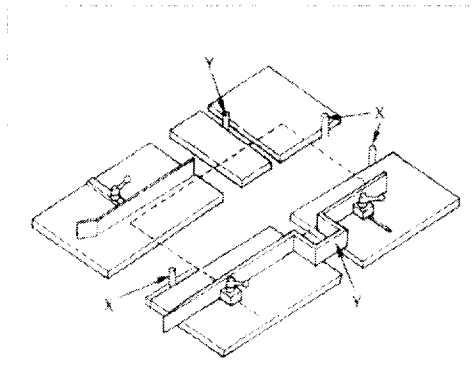
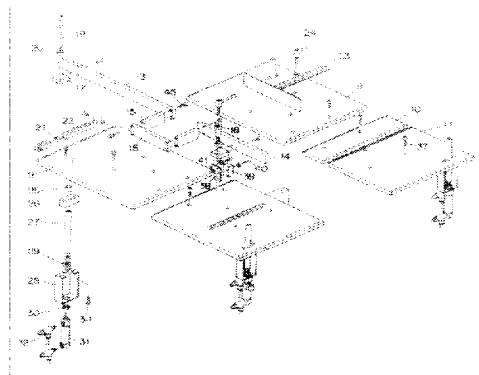


Fig. 8. Designs of Position Control equipment.

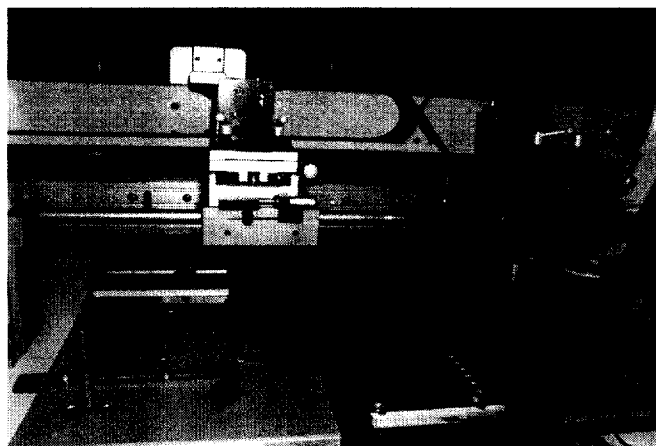


Fig. 9. Photograph of Position Control equipment.

3-1-3. Printing Table 설계기술

인쇄 테이블은 인쇄를 실시할 때, 기판의 어긋남을 방지하기 위하여 기판을 유지하는 테이블이며, 안쪽과 바로 앞 쪽의 2개의 테이블로 나누어져 있으며, 그 사이에 이송장치가 들어가서 테이블을 형성한다.

흡착 구멍으로 공기를 흡인함으로써 기판을 고정하고, 흡착 구멍은 열 개 단위로 개폐(On/Off) 할 수 있도록 설계하였다. 다수의 구멍이 뚫려 있는 기판을 인쇄하는 경우에는 구멍이 있는 부분의 흡착열은 Off로 하고, 구멍이 없는 기판부분의 흡착열은 On을 함으로써 기판을 고정한다.

인쇄 테이블의 설계사양은 다음과 같다.

Table 1. Design specification of printing table

Table flatness	$\pm 25\mu\text{m}$
Table size	660×800mm
Table material	AL + Rubber Sheet
Substrate fixing method	Vacuum
Vacuum Hole	$\varnothing 2.5\text{mm}$

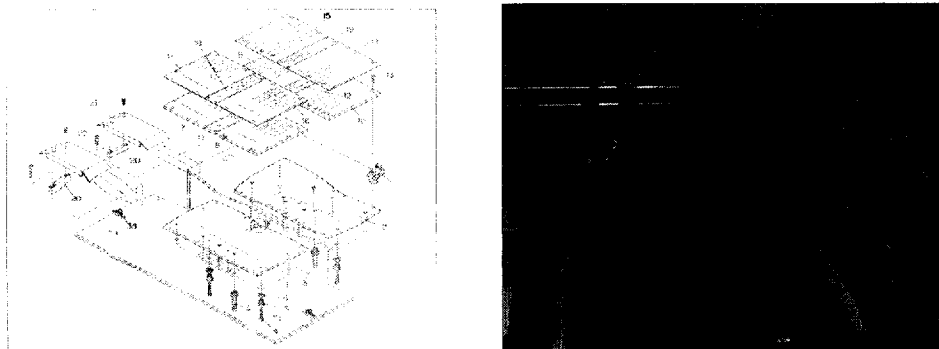


Fig. 10. Photograph and design of printing table

3-1-4. Squeegee Unit 설계 기술

스퀴지 유닛의 인쇄압력 설계사양은 다음과 같다.

Table 2. Design specification of squeegee unit

Printing pressure control range	0 ~ 25mm
Squeegee movement	AC Servo Motor
Printing stroke	0 ~ 640mm
Printing speed	0 ~ 600mm/sec
Squeegee angle	60° ~ 80°
Squeegee thickness	9 ~ 10mm
Squeegee high	35 ~ 55mm

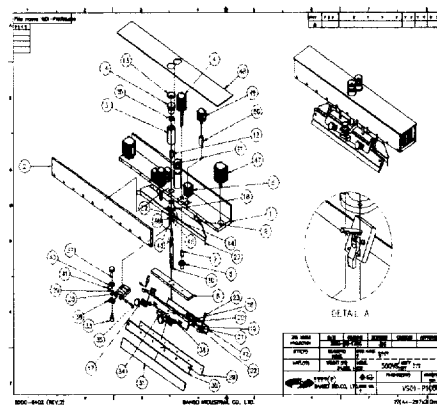


Fig. 11. Design of squeegee unit.

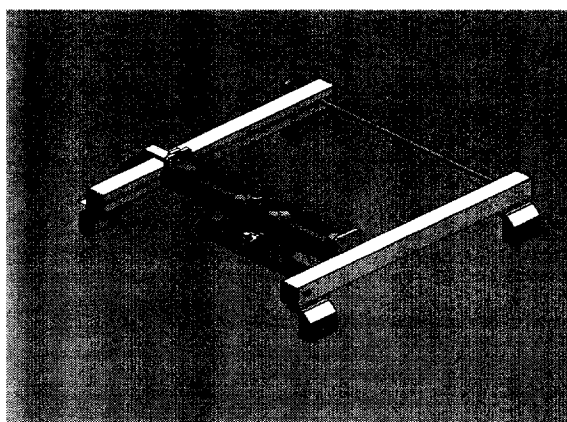
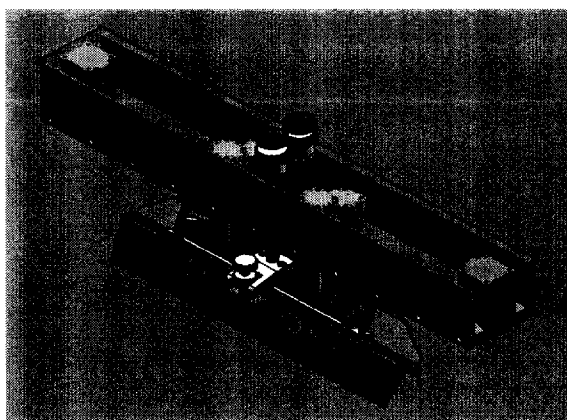


Fig. 12. Photographs of squeegee unit.

3-1-5. 기판 Feeding System 설계기술

이송장치는 서브 모터에 의하여 전진과 후진을 반복하며 기판을 이송한다. 이송 장치에는 기판을 고정하는 반입 테이블과 반출 테이블 두 곳이 있다.

이송시 기판의 고정방법은 이송장치의 흡착 구멍으로부터 공기를 흡인함으로써 기판을 고정하고 이송중인 기판의 위치가 어긋나지 않도록 설계하였다.

이송장치의 동작은 상승, 하강, 중립으로 나눌 수 있으며, 상승(Up) 위치에서는 기판을 흡착하여 이송 동작을 수행하고, 하강(Down) 위치는 기판을 흡착하지 않고, 이송동작만 하며, 중립(Normal) 위치에서는 인쇄와 위치정렬 등 이송이 대기 중의 상태이다. 설계사양은 table 3과 같다.

Table 3. Design specification of feeding system

Substrate movement method	AC Servo Motor
Substrate fixing method	Vacuum
Vacuum Hole	$\varnothing 2.5$ mm
Feeding method	Belt Conveyor
Conveyor speed	4.2 ~ 42m/min
Feeding time	0 ~ 1sec

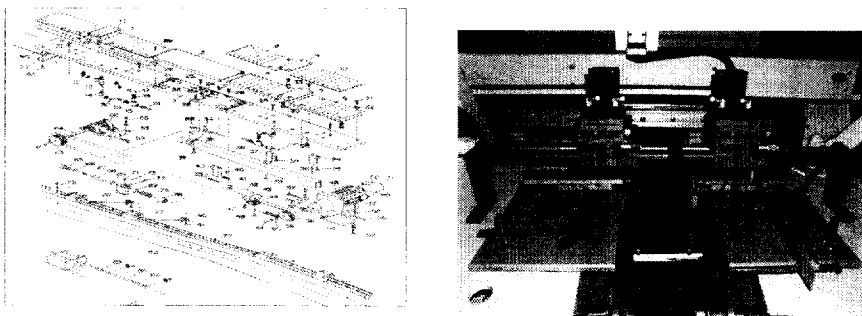


Fig. 13. Design and manufacture of the feeding system

3-1-6. 전기-전자 제어반 설계

Servo Motor 구동부 회로 및 PLC 시스템 구성도는 다음과 같다.

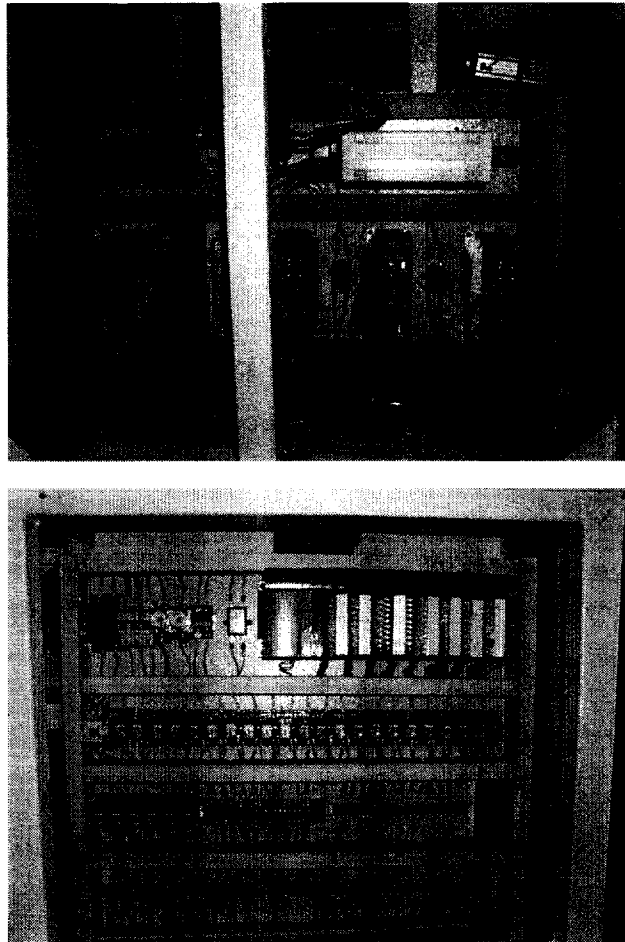


Fig. 14. Photographs of the Electrical and Electronic control box.

3-1-7. 정밀 위치제어 시스템 설계 및 제작

고정도 위치제어 시스템에 요구되는 정밀도가 마이크로미터 단위의 고정도이므로 고정도의 하드웨어와 고도로 튜닝된 건설한 제어 알고리즘이 필요하게 된다.

본 연구에서는 고정도 위치제어 시스템의 상황 관리를 위해 모니터링 시스템을 두고 고해상도의 카메라를 사용하여 획득한 정렬마크의 영상을 비전 시스템으로 처리한 다음 위치 편차를 계산한 후, 계산된 위치 편차를 3축 스테이지 제어기에 전달하여 구동 시스템을 동작하는 구조를 기반으로 전체 시스템을 설계 및 제작하였다.

자동 위치 정렬장치의 전체 시스템은 제어 알고리즘을 실행하여 3축의 $XY\theta$ 테이블을 실시간으로 구동하는 3축 스테이지 제어기, PCB 기판상의 두 지점을 카메라가 인식하여 자동 위치 정렬을 할 수 있는 비전 시스템, 평판과 마스크의 정렬상태의 영상을 카메라를 통해 얻는 DAQ 시스템, 모터의 현재 상태와 비전 시스템으로부터 얻은 영상을 표시하고 적절한 명령 지시를 받아 실행하는 마스터 보드와 3축 스테이지 제어기에서 실행되는 소프트웨어로 구성하였다.

3-1-8. 위치제어 시스템의 소프트웨어 설계 및 구현

정밀위치 제어시스템은 평판의 위치오차에 대한 정보를 획득하기 위한 2개의 1차원 CCD 카메라와 획득한 영상 데이터를 처리하는 영상 캡처보드, 평판의 위치 오차를 계산하는 산업용 컴퓨터, 평판의 위치 오차를 계산하여 위치오차를 보정하는 정렬소프트(alignment software)로 구성된다.

정밀위치 제어시스템을 이용하여 CCD 카메라 인터페이스 및 모니터링 제어 S/W 설계, 영상 데이터 인식과 분석 알고리즘 개발 등의 고정도 영상 처리 제어 기술을 구현하였다.

영상 데이터 처리는 평판마크와 마스크의 마크가 결합된 두 쌍의 영상, 즉 X축에 대한 1차원 영상과 Y축에 대한 1차원 영상이 필요하다. 카메라는 영상정보를 Beam splitter를 사용해서 X축과 Y축의 CCD 이미지 센서에 영상 정보를 전달하도록 설계하였다.

영상 캡처보드는 카메라에서 읽어 들인 평판의 위치정보를 A/D변환기에서 디지털 신호로 변환하여 메모리에 저장하고, 이 메모리에 저장된 데이터를 이용해서 평판의 정렬 오차를 계산하였다.

이런 일련의 과정이 빠르게 처리되어야 하기 때문에 산업용 컴퓨터를 이용하여 정렬오차를 계산하고 2개의 카메라가 동시에 평판의 위치정보를 읽어 들여서 처리하는 병렬처리 방식을 사용하였다.

정렬 소프트웨어에서 정렬 오차를 계산하기 위해서는 CCD 카메라에서 획득한 영상 데이터의 필터링, 유효라인 검출, 그리고 임계치를 추정하는 과정을 먼저 거쳐야 한다. 데이터 필터링은 CCD 카메라에서 획득한 잡음이 섞인 데이터를 깨끗하게 만들기 위한 과정이며, 기준 데이터에서 전, 후 적당한 개수의 데이터를 평균하는 방법을 사용했다.

3-2. 스퀴지 인압 측정

정확한 인쇄압 측정을 위하여 $\pm 50\text{kgf}$ 용량의 압축용 Load Cell을 Max Pressure 9.9kgf/cm^2 , 직경 ϕ 30mm의 Air Cylinder와 상하위치, 수평자세, 각도 등을 조절할 수 있는 폴리 우레탄 재질의 Squeegee 사이에 장착하였다.

Load Cell로부터 신호를 받아 힘을 표시하는 Indicator는 0.01의 분해능을 갖는 파이메카트로닉스사의 FS1020A 제품을 사용하였다.

Squeegee와 Scraper 그리고 인쇄 및 도포에 적용되는 시스템은 정확한 직선운동이 되도록 볼부쉬에 의한 가이드 시스템을 적용하였다.

도포 및 인쇄를 위한 이송에 사용되는 시스템은 A.C Servo Motor와 Ball Screw를 이용하여 저속 인쇄에도 무리가 없고, 기계적 진동과 소음이 적도록 제작하였다.

3-3. 미세패턴 프린팅 성능시험 및 평가기술

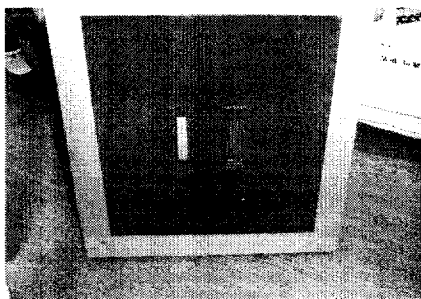
전자 디스플레이 패널제작에는 원가절감을 위해서 스크린인쇄 기법이 많이 적용되고 있다. 이와 같은 스크린인쇄법에는 페이스트가 필수적으로 사용되고 있다. 따라서 우수한 기능성 미세패턴을 형성시키기 위해서는 페이스트의 제조기술 및 평가기술이 무엇보다도 중요하다.

본 연구에서는 스크린인쇄에 사용되는 미세패턴용 프린팅의 성능시험 및 평가기술에 대해서 검토하였다.

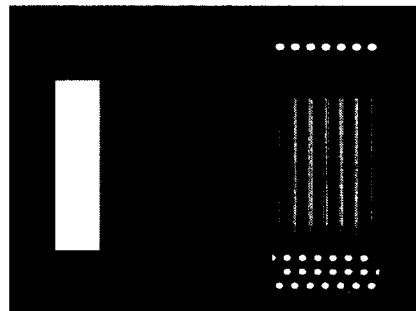
3-3-1. 미세프린팅 스크린인쇄용 제판기술

미세패턴 제판용 감광성 유제를 사용하여 얻어진 스크린판과 패턴의 형태를 fig. 15에 나타냈다. 500메쉬 SUS(금속)망사를 이용하여 제판한 결과이다.

스크린판의 패턴형태는 중앙부분이 Line/Space가 100/100 μm , 80/80 μm , 60/60 μm , 40/40 μm , 20/20 μm 의 순서로 이루어져 있다.



(a) A precision screen plate



(b) Type of patterns.

Fig. 15. Result of screen plate and type of patterns.

이와 같은 결과로부터 지금까지는 스크린인쇄판의 제작은 80~100 μm 이 한계라고 알려졌던 것이 본 연구의 결과로부터 감광유제의 선택과 노광시간을 정밀하게 컨트롤함으로써 20 μm 까지 제판이 가능함을 알 수 있었다.

3-3-2. 제작된 미세패턴의 구조와 물성 검토기술

1회 인쇄로 전기 저항치를 $10^{-4}\Omega\text{cm}$ 이하로 얻을 수 있는 도전성 막을 얻는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에 사용한 나노 은입자(Ag-XF301)의 밀도는 $0.5(\text{g}/\text{cm}^3)$, 비표면적은 $2.6(\text{m}^2/\text{g})$, 평균입경은 $4(\mu\text{m})$ 이다. fig. 16에 Ag페이스트 제조공정을 나타냈다.

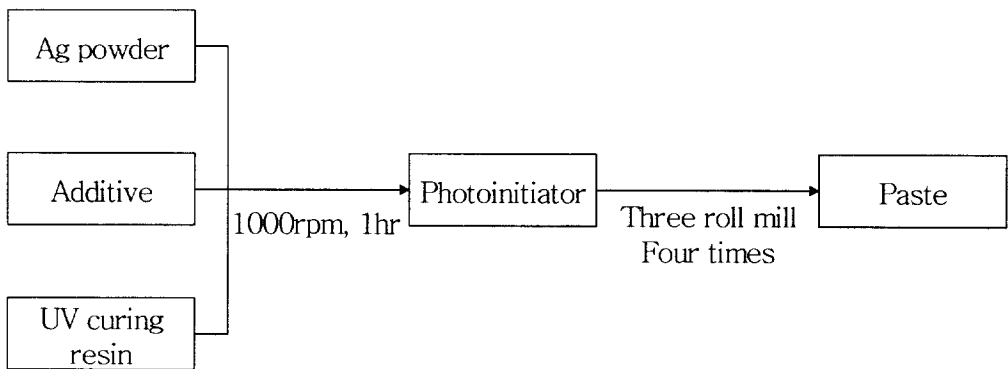


Fig. 16. Manufacturing of Ceramic paste.

제판결과를 이용하여 실제로 인쇄가 $20\mu\text{m}$ 까지 가능한가를 검토하기 위해서 Nano Ag 미립자와 UV경화성수지로 페이스트를 제조하여 미세패턴 프린팅 시험을 하여 얻어진 결과를 나타냈다. 여기에 사용한 Nano Ag 미립자는 주로 도전성 재료로 사용되는 것이다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 제어실험 결과

구현된 제어기를 3축 스테이지 시스템에 적용하여 구동 특성과 미세 위치 제어 시험을 수행하였으며, 위치 제어 시험을 통하여 성능과 안정성을 확인하였다. X, Y와 θ 축은 입력 펄스수와 주파수에 대한 위치 제어 시험의 결과를 table 4에 나타내었다.

X, Y와 θ 축 시험에 대한 선형성이 매우 우수하였으며, 오차범위가 X축 시험에서는 $1.901 \times 10^{-5} \text{mm}$, Y축 시험에서는 $2.11 \times 10^{-5} \text{mm}$ 이고, θ 축 시험에서는 $4.7538 \times 10^{-7} \text{mm}$ 를 나타내었다.

Table 4. Result of Position Control experiment

Item	Spec	Resultant	Note
Axis & drive	X, Y, θ 3-axis, Pulse	X, Y, θ 3-axis, Pulse	
Resolution	0.0025mm/pulse	0.0025mm/pulse	
Alinement precision	$\pm 0.01 \text{mm}$	X축 : $1.901 \times 10^{-5} \text{mm}$ Y축 : $2.11 \times 10^{-5} \text{mm}$ θ 축 : $4.7538 \times 10^{-7} \text{mm}$	
Position control precision	$\pm 5 \mu\text{m}$	$\pm 5 \mu\text{m}$	Vision System
Alinement time	about 1sec	1sec	X, Y = 1mm when $\theta = 0^\circ$

4-2. 스쿼지 인압 측정 결과

자동 인쇄기의 Air Cylinder에 공급되는 공기압을 3~6kgf/cm²까지 1kgf/cm²씩 증가시키며 측정한 데이터를 fig. 17에 나타내었다.

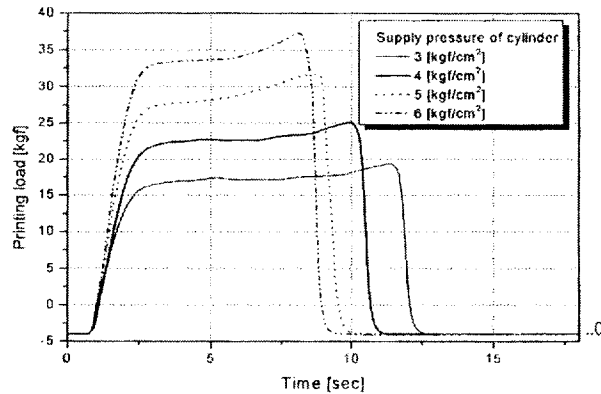


Fig. 17. Results with the impression force difference.

로드셀에 의해 측정된 인쇄압이 Squeegee의 자중에 의해 초기 -4kgf/cm²정도에 서부터 측정되어 6kgf/cm²의 공압을 가했을 때 최대 약 37kgf까지 측정된 것을 알 수 있었다.

인쇄기의 인쇄압은 정확히 측정된 것으로 보이며, 각각의 그래프에서 볼 때 인쇄압이 인쇄 뒷부분에서 증가된 것은 본 장비의 특성상 인쇄 초기에는 Squeegee가 Screen을 눌러 소재와 접촉되면 장비 하중보다 Air Cylinder에 의해 누르는 힘이 더 커서 Screen이 상승되므로 실제 가해주는 힘이 전부 인쇄압에 적용되지 못하고 인쇄 끝 부분에 도달해서야 자중이 인쇄압보다 커져서 Air Cylinder에서 가해주는 모든 힘이 그대로 인쇄에 적용되므로 측정 데이터 값도 크게 나오게 된다. 이처럼 측정된 데이터로부터 인쇄압 파형이 관측가능하다. 인쇄압의 증가에 따른 인쇄압 파형을 관측해 보면 인쇄압의 증가에 따라 인쇄 속도가 빨라진다는 것도 알 수 있었다.

4-3. 패턴 형성 결과

Nano Ag 미립자와 UV 경화성 수지로 페이스트를 제조하여 미세패턴 프린팅 시험을 하여 얻어진 결과를 fig. 18 ~ 20에 나타냈다.

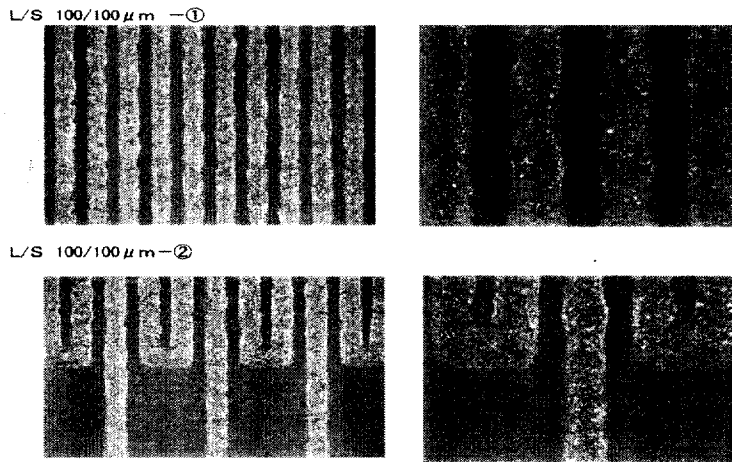


Fig. 18. Fine pattern of Line/Space 100/100 μm .

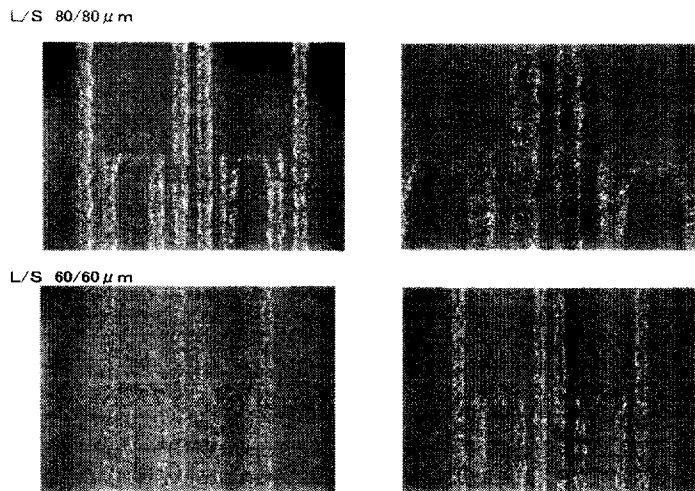


Fig. 19. Fine pattern of Line/Space 80/80 μm and 60/60 μm .

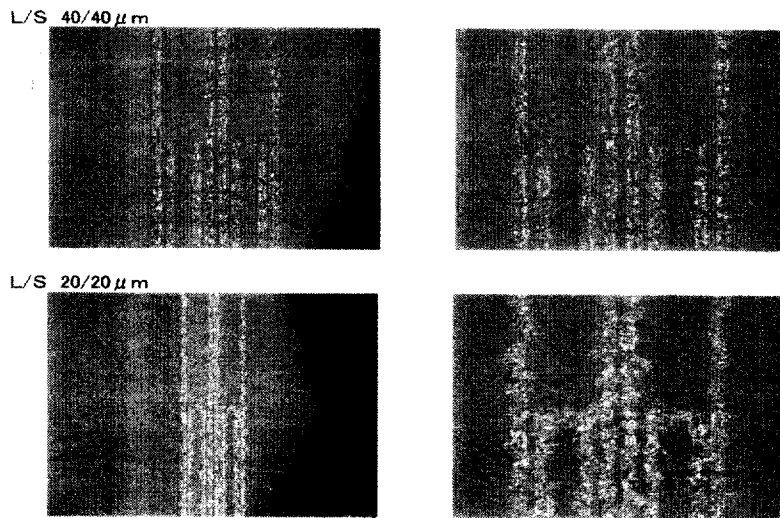


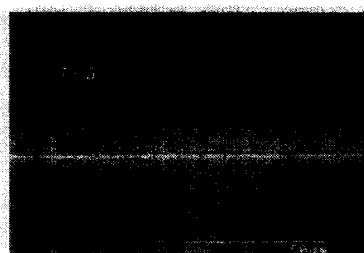
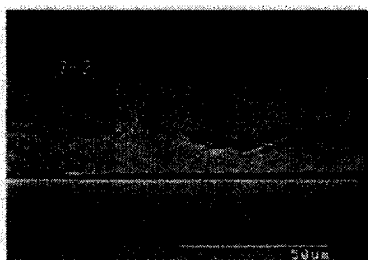
Fig. 20. Fine pattern of Line/Space 40/40 μm and 20/20 μm .

이상의 결과로부터 20 μm 의 스크린판을 사용하고, Nano Ag미립자 페이스트를 이용함으로써 20 μm 까지 미세패턴 제작이 가능함을 알 수 있었다.

미세패턴의 저항율은 약 $3.4 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 정도였기 때문에 도전성 페이스트로 사용이 가능함을 알 수 있었다.

(a) SUS 250mesh

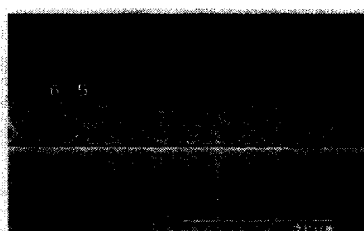
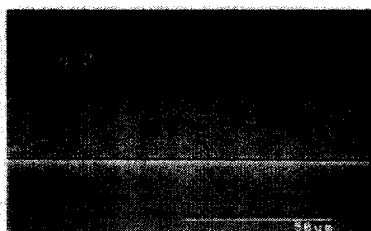
(b) SUS 500mesh



Thickness : $23\mu\text{m}$

Thickness : $12\mu\text{m}$

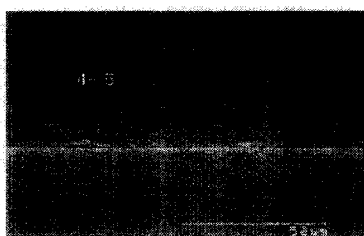
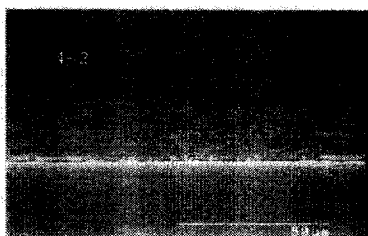
(Ag : Binder = 7 : 3)



Thickness : $26\mu\text{m}$

Thickness : $15\mu\text{m}$

(Ag : Binder = 6 : 4)



Thickness : $20\mu\text{m}$

Thickness : $9\mu\text{m}$

(Ag : Binder = 4 : 6)

Fig. 21. The disperse property of Ag particle as the mixture rate and ink-film thickness changes.

(a) Ag-XF301



(b) AgC-209XF2

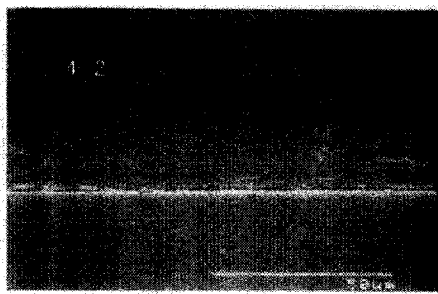
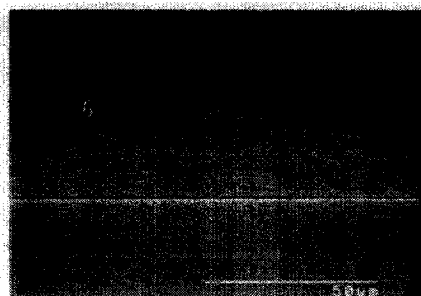
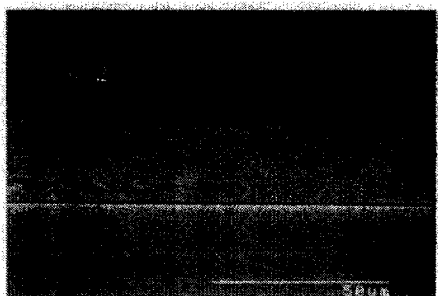
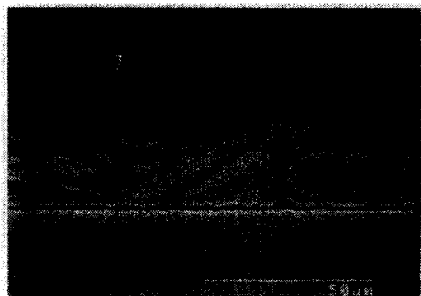


Fig. 22. The disperse property difference of Ag particle as the Ag powder particle property changes.

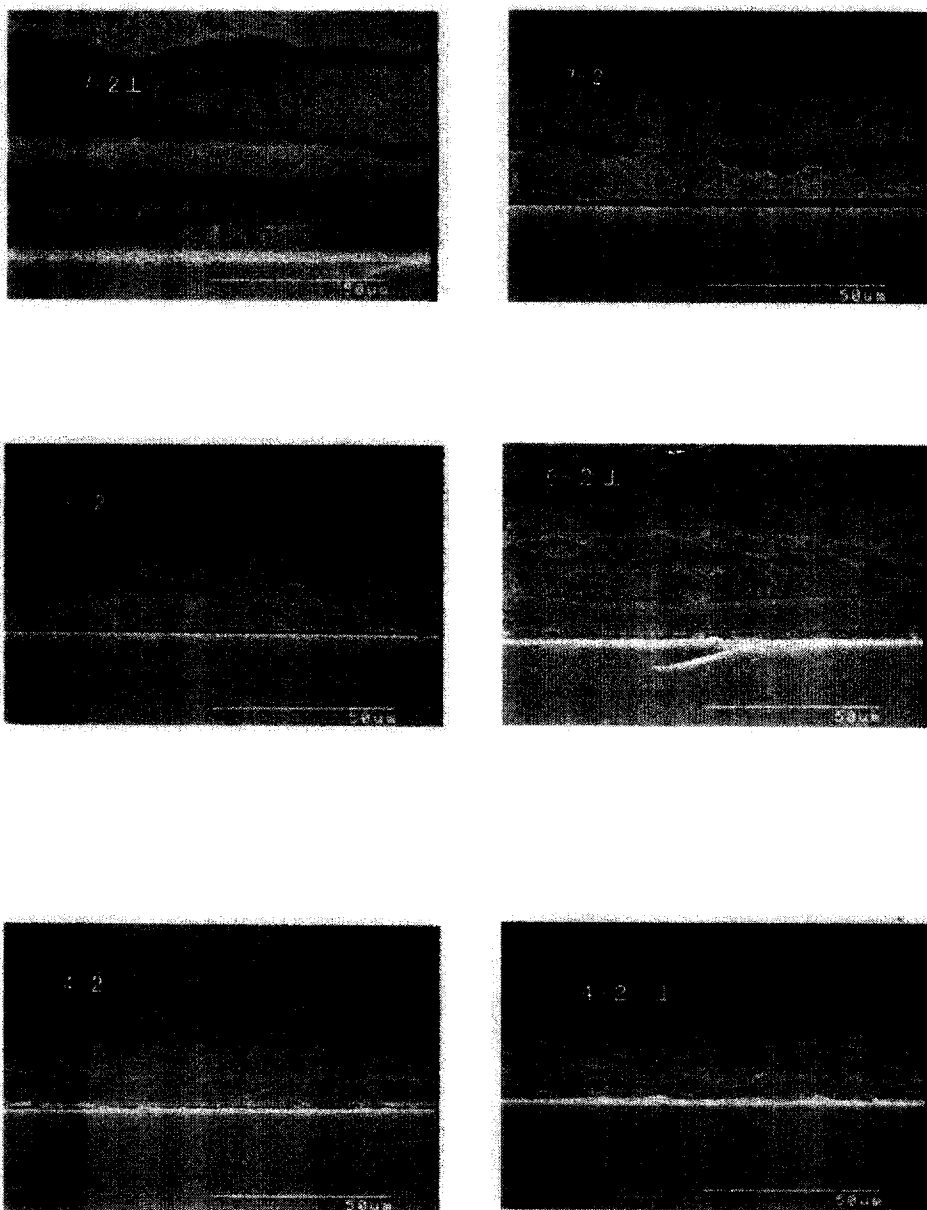


Fig. 23. The disperse property difference Ag particle as the printing direction changes. I

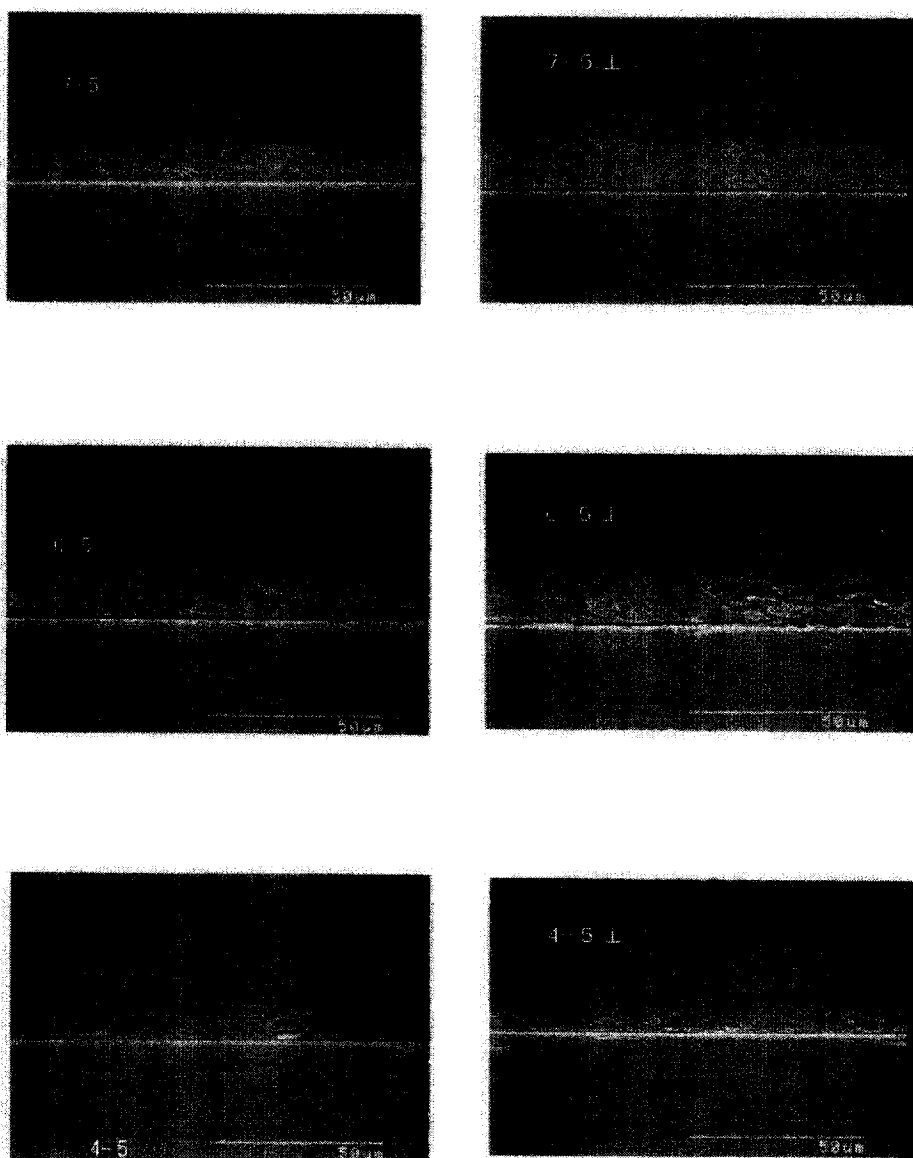


Fig. 24. The disperse property of Ag particle as the printing direction changes. II

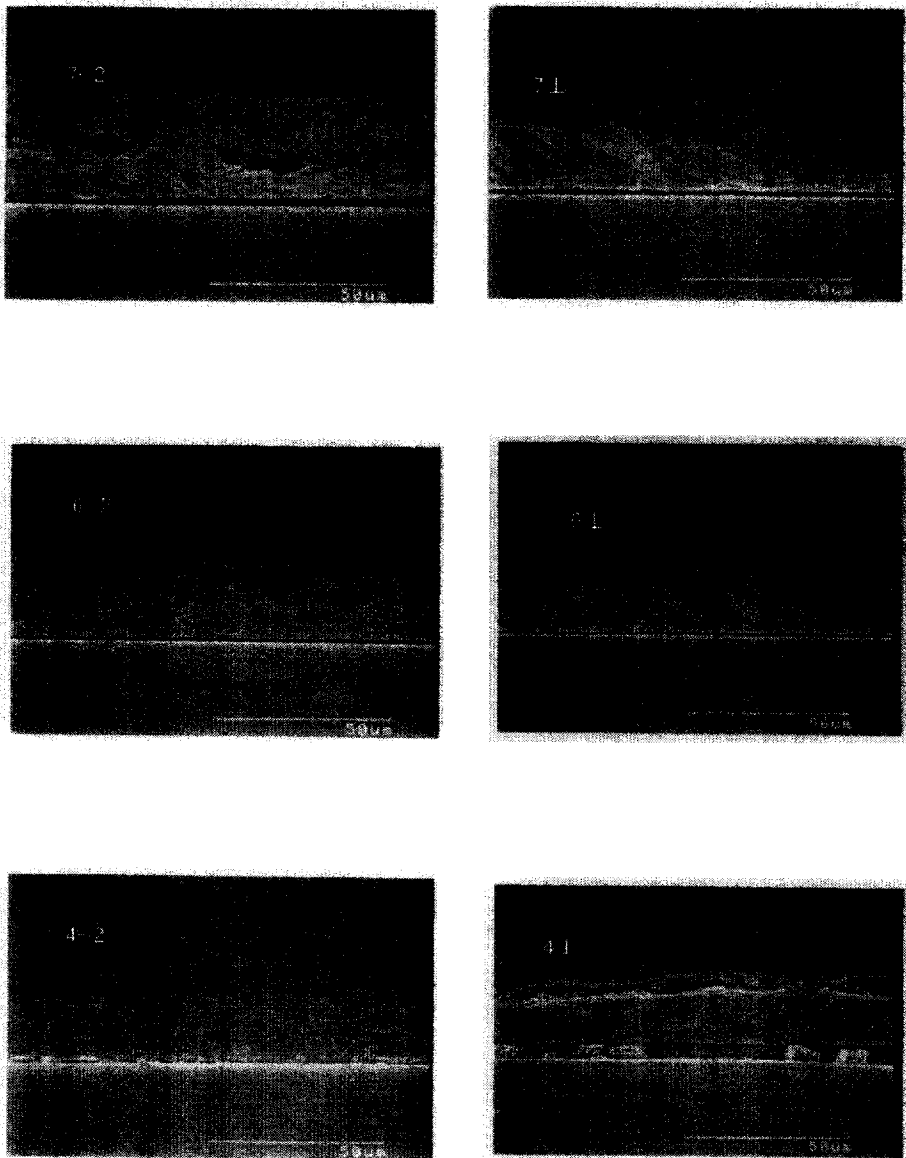


Fig. 25. The disperse property of Ag particle as the printing direction changes.III

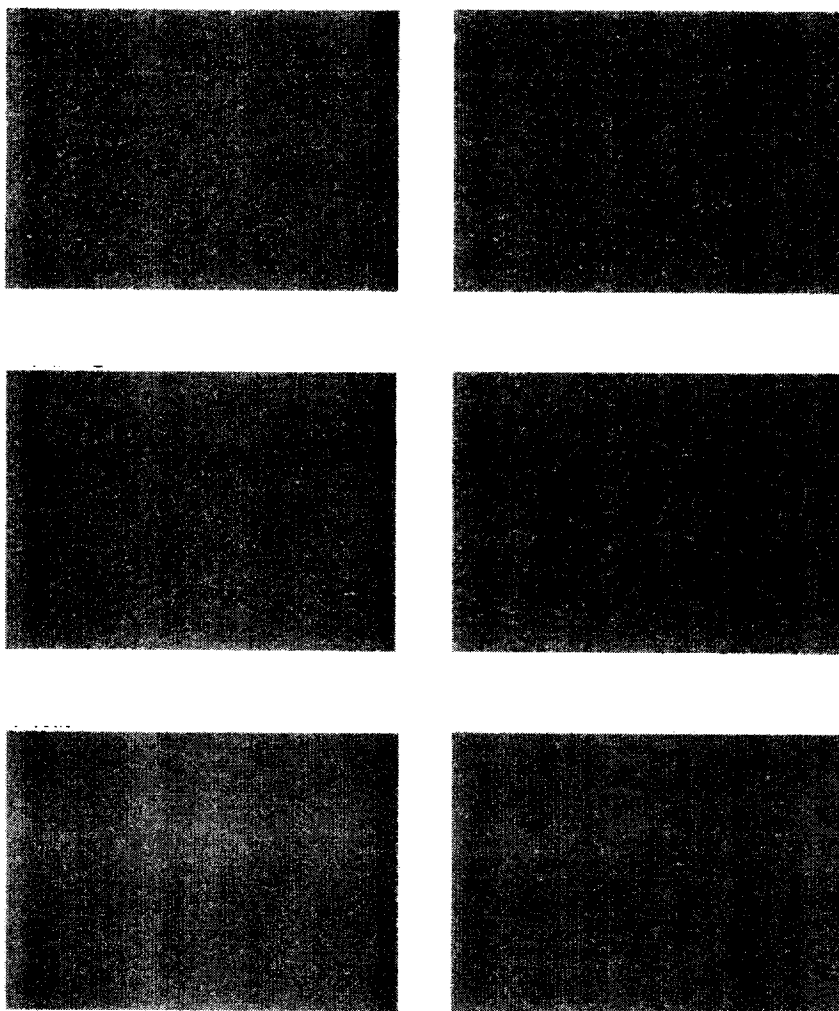
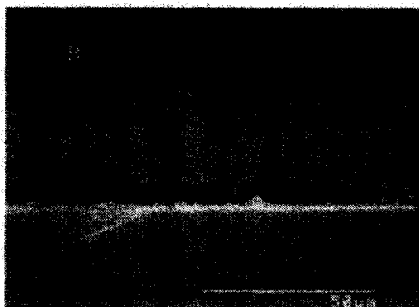


Fig. 26. The surface difference of Ag paste.

(a) Disperse states with
squeegee direction.



(b) Disperse states with vertical
squeegee direction.

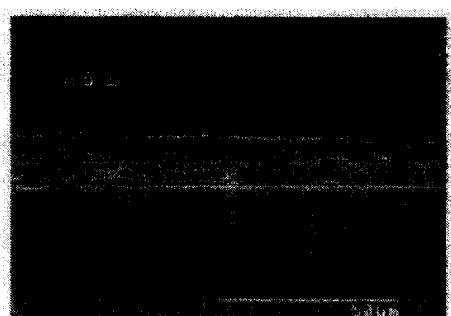


Fig. 27. The disperse property of Ag particle with SUS mesh screen plate.

Nano Ag입자를 이용한 전도성 미세패턴의 결과를 Ag와 binder의 혼합비율, 스크린판의 메쉬, 노광량, 두께에 따른 저항율을 정리해 보면 table 5와 같다.

Table 5. Moment of Resistance in mixture ratio of Ag and binder

mixture ratio (wt%)	Mesh	Moment of Resistance ($1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$)	UV (mJ/cm ²)	thickness (μm)	resolution (L/S μm)
8 : 2	500	1.1	2000	12	60 / 60
7 : 3	500	1.8	2000	15	80 / 80
6 : 4	200	4.4	2000	23	40 / 40
4 : 6	200	120	2000	26	20 / 20

이상과 같이 인쇄 후에 소성과정을 거치지 않아도 Ag가 가지고 있는 원 저항치 $1.59(1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm})$ 와 유사한 저항율을 나타내기 때문에 태양전지와 같은 전도성 패턴으로서 사용이 가능함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 500메쉬 금속망사를 사용함으로써 $20\mu\text{m}$ 까지 깨끗한 제판이 가능함을 알 수 있었다.
- 2) 미세패턴 인쇄를 해 본 결과 제판에서 얻어진 $20\mu\text{m}$ 을 인쇄가 가능하였다.
따라서 본 연구에서 목표로 했던 $50\mu\text{m}$ 패턴 인쇄를 성공하였다.
- 3) 인쇄압의 증가에 따라 인쇄 속도가 빨라진다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 소성과정 없이도 은입자의 전도성과 유사한 전도성을 가지고 있기 때문에,
도전성 페이스트로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.
- 5) 위치제어 시험 결과, 오차범위가 X축 $1.901\times 10^{-5}\text{mm}$, Y축 $2.11\times 10^{-5}\text{mm}$ 이고,
θ축 $4.7538\times 10^{-7}\text{mm}$ 를 나타내어 선형성이 우수함을 알 수 있었다.

페이스트제조 기술 및 제판기술이 정립되었기 때문에 스크린인쇄의 한계로 알려졌던 $80\mu\text{m}$ 패턴 인쇄는 $20\mu\text{m}$ 패턴 인쇄가 가능함을 본 연구를 통해서 확인되었다.

참고문헌

- 1) 南寿竜, 李賢哲, 大坪泰文, 日本印刷学会誌, 39, 6, 28(2002)
- 2) 在野 康, 月刊 ディスプレ, 2月号, 29(2000, 2)
- 3) 남수용, SERI-GRAPH, 53(2003. 1)
- 4) 田近 弘, 機能性インキの開発と応用, シエムシ, p27-37(1997)
- 5) "Fully Automatic Screen Printing Machine Instruction Manual", ONO SOKKI Co. Ltd(1998)
- 6) "Image Processing Alignment System Instruction Manual", ONO SOKKI Co. Ltd(1998)
- 7) "Intel 386EX Embedded Microprocessor User's Manual", Intel(1996)
- 8) 양봉석, 新스크린印刷技術, 부림출판사, p141-147(1991)
- 9) 日本スクリーン印刷技術協会編集委員会, 新版スクリーン印刷ハンドブック, 日本スクリーン印刷技術協会編集委員会, p156-223(1998)
- 10) 남수용 편저, 스크린인쇄, 부경대학교 인쇄정보공학과, p57-100(2004)