포토 마스크가 필요없는 스크린 제판 기술 개발

구용환†, 안석출, 김성빈, 남수용
†부경대학교 대학원 인쇄공학과, 부경대학교 공과대학 인쇄정보공학과
(2010년 6월 3일 접수, 2010년 7월 2일 최종 수정본 접수)

A Development on the Non-Photomask Plate Making Technology for Screen Printing

Yong-Hwan Koo†, Ahn-Suk Chul, Sung-Bin Kim, Su-Yong Nam
†Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University,
Dept. of Graphic Arts Information, College of Engineering, Pukyong National University
(Received 3 June 2010, in final from 2 July 2010)

Abstract

Environmentally friendly, stencil and screen printing for cost-effective for maskless In this study, UV-LED light source for the dispersion characteristics and high competence photoresist coating was prepared. Wavelength of 365nm UV-LED exposure device using the maskless lithography, 1.7kgf/cm^2 2600mmH_2O the injection pressure and the suction pressure by using a dry photoconductor symptoms were dry emulsion on the market as a result, curing properties and adhesion, hardness, solvent resistance and excellent reproduction of fine patterns and ecological stencil technology was available and could be confirmed as a possibility.

Keywords : maskless, screen printing, plate making

1. 서 론

스크린 인쇄는 현재 태양 전지, 터치스크린과 같은 차세대 핵심 기술과, LCD, PDP, 유기 EL 등 display 관련 전기, 전자 부품 제조의 모든 분야에 활발히 적용되고 있으며,

전기, 전자 산업의 핵심 기술로 자리 잡고 있다.[1] 현재 전자 산업 분야에서의 인쇄 기술은 cost down 면에서나 공정의 단순화 또는 환경적인 면에서 기존의 에칭 기술을 점점 밀어낼 만큼 이미 획기적이고 절대적인 위치를 차지하고 있으며 그 중에서 스크린 인쇄는 타 인쇄 기술에 비해 인쇄 메커니즘이 간단하고 제판에의 비용 등이 적게 드는 등 여러 장점을 가지고 있기 때문이다.[2)~11)]

이러한 스크린 인쇄의 공정은 크게 원고 준비, 제판, 인쇄로 이뤄지는데, 이 중 제판은 다시 PC 원고 입력 → mask 제작 → 망사 견장 → photoresist 도포 → mask 노광 → 습식 현상의 공정을 거쳐 완료하게 된다. 제판 공정에서 maskless 노광 시스템과 건식 현상 공정을 개발한다면, 기존 공정에서 발생하는 다량의 폐액 및 폐수, 필름 폐기물들이 발생하지 않으므로 보다 친환경적일 뿐만 아니라 mask 필름의 위치 맞춤과 밀착에서의 불량을 없앨 수 있고, 제판기의 controller에 입력된 원고를 mask 제작 공정 없이 바로 패턴 노광에 이용함으로써 in-line system에 의한 제판 공정 시간의 단축 및 생산성 향상이 가능할 것으로 기대된다.

그리하여 선행 연구에서 노광 장치 및 현상 장치를 제작하고 photoresist의 물성을 보완하였으나 광원의 직진성, 흡입 배출 장치와 photoresist와의 현상 적성 등의 부족으로 50um이하의 미세 패턴 재현에는 어려움이 있었다. 따라서 광원의 직진성 보완으로 패턴의 샤프니스와 경화 특성을 검토하였고 흡입 배출장치의 압력과 photoresist의 물성 조절로 비노광부의 빠짐성을 보완하였다.

본 연구에서는 선행 연구에서 문제점으로 제기 되었던 UV-LED(super cool light) 노광 시스템에서 발생된 치수 오차와 건식 현상 공정에서 발생된 현상 특성을 보완하여 노광 및 흡입 장치의 최적화 및 photoresist의 물성을 최적화 하여 미세 패턴의 구현과 photomask 없는 제판 기술로서의 가능성을 알아보았다.

2. 실 험

2-1. Maskless용 photoresist 제조

본 연구에서는 photoresist용 바인더 수지로써 UV 경화형 수지를 사용하였고, 높은 해상력과 경도 그리고 우수한 접착력을 갖춘 에폭시계 아크릴레이트 수지와 접착력 및 내약품성이 우수한 우레탄계 아크릴레이트 수지를 혼합하여 바인더 수지로 사용하였으며 각 수지의 물성은 Table 1과 같다.

또한 바인더 수지와의 상용성 및 광경화성이 우수한 6관능 모노머 DPHA와 3관능 모노머 TMP3EOTA가 각각 사용되었다. 본 실험에서 제작된 maskless용 photoresist의 formulation은 Table 2와 같다.

본 연구의 maskless용 super cool light 노광 시스템은 파장의 변화가 적고 광량의 변화가 적으며, 광원의 발광 파장 영역이 365nm이므로 photoresist에 사용되는 광중합개시제는 365nm 근처에서 흡수 능력이 우수한 Irgacure 369를 사용하였고, 광개시제가 분말 상태이므로 용해력이 우수한 용제 (NMP)에 녹여 사용하였다. 그리고 photoresist의 도포적성을 위해 바인더 수지 및 모노머와 상용성이 좋은 PGMEA를 용제로 사용하였고, 소포성, 분산성을 위해 BYK사의 소포제 및 분산제를 각각 사용하였다. 또한 커플링제를 첨가하여 망사와 도막의 접착력을 증대시켰다.

Table 1. The Properties of Binder Resins for Photoresist

Items	UV Curing Resin	
	EB 9695	APU 1000
Composition	Epoxy Acrylate (BPA Type)	Urethane Acrylate
Molecular Weight(Mw)	3,000 -5,000	5,000 -10,000
Tg Temperature(℃)	55.2	32.6
Viscosity(mpa·s)	32,000	80,000
Base Solvent	PGMEA	BA
Solid(N·V, %)	65	60

(BPA : Bisphenol A, BA : Butyl Acetate, PGMEA : Propylene Glycol Monomethyl Acetate)

Table 2. The Formulation of Photoresist

	Solvent	Monomer		Pigment	Dispersant
Millbase	PGMEA	DPHA	TMP3EOTA	K-Blue	BYK-163
	10%	7.5%	7.5%	2%	0.5%

	Oligomer		Photoinitiator	Solvent	Coupling Agent	Defoamer
Color Resist	EB-9695	APU-1000	I-369	NMP	SCA-1	BYK-A535
	40%	25%	1.0%	5.0%	0.5%	1%

본 실험에서 제작된 maskless용 photoresist의 제조 공정은 Figure 1에 도식화하여 나타내었다. Millbase와 clear resist를 각각 2000rpm-90min, 500rpm-30min mixing하여 제조한 후, 이들을 500rpm, 30min mixing하는 것으로 maskless용 photoresist를 제조하였다.

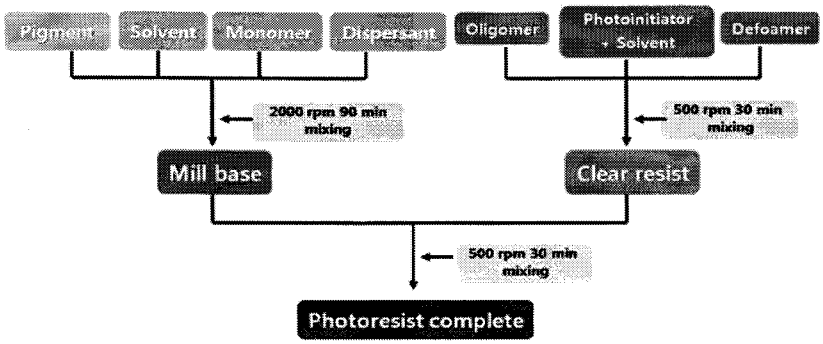


Figure 1. Manufacture process of photoresist.

2-2. Maskless용 스크린 제판 공정

Table 3에 현재 일반적으로 사용되고 있는 스크린 인쇄의 제판 공정과 본 실험에서 실행한 제판 공정을 비교 설명하였다. 현재 상용화된 공정에서는 film 또는 glass를 지지체로 하는 mask가 제작되고 이를 이용한 패턴 노광 및 현상액(주로 물)을 이용한 습식 현상을 통해 스크린 제판이 완료된다.

본 실험에서는 mask 제작 공정 없이 controller에 직접 패턴 정보를 입력하고, 입력된 정보를 통해 UV-LED 노광 시스템으로 경화부에만 선택적으로 직접 패턴 노광을 함으로써 maskless 노광이 가능하게 되었다. 또한 현상액을 사용하지 않고 air spray를 이용하여 건식 현상을 함으로서 제판을 완료하였다.

Table 3. Comparative Conventional and Novel Plate Making Processes of Screen Printing

Conventional Process	Novel Process
Inputting a Copy into PC ↓ Manufacturing a Mask ↓ Stretching Screen and Attaching It to Frame ↓ Applying Photoresist & Drying ↓ Exposing with Mask ↓ Wet-Developing & Drying ↓ Completing Plate Making	Inputting a Copy into Controller ↓ Stretching Screen and Attaching It to Frame ↓ Applying Photoresist ↓ Exposing without Mask ↓ Dry-Developing ↓ Completing Plate Making

2-3. Maskless용 노광 및 건식 현상 시스템

본 실험에서의 노광 현상 시스템의 기본 concept는 Figure 2에서와 같이 controller에 직접 입력된 패턴 정보를 통해 조사 헤드가 움직이고 점등되어 레지스트가 도포된 판에 UV-LED 광원을 노광하게 된다. 광원의 주 파장은 365nm로서 직진성이 매우 우수하다. 광원이 실제 조사되는 조사 헤드부의 구조는 Figure 3과 같으며 광원의 위치 정밀도는 ±1㎛이고 이는 로봇에 의해 조정된다. 조사 면적의 직경은 슬릿을 이용하여 5㎛ 단위로 조절 가능하며 이러한 슬릿에 의해 광원의 직경 조절뿐만 아니라 광 확산 현상을 최소화 한다. 조사 헤드와 제판될 판과의 거리는 20~200㎛로 조절 가능하며, 실제 열이 발생하는 광원과 분리된 구조로 노광 시에 열에 의한 영향을 근본적으로 없애 따로 냉각(cooling) 장치가 필요하지 않게 설계하였다.

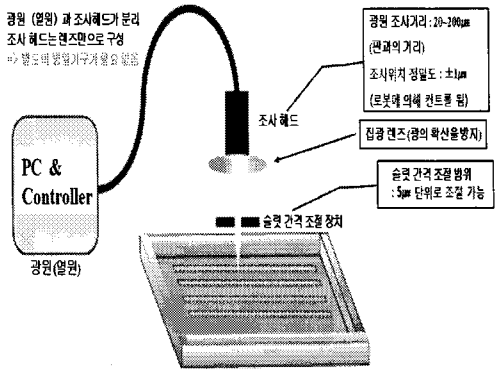


Figure 2. The concept of UV-LED exposure system.

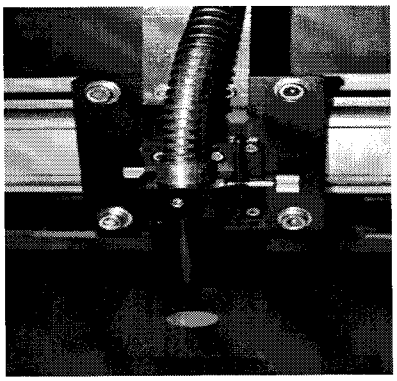


Figure 3. The exposing head of the exposure system.

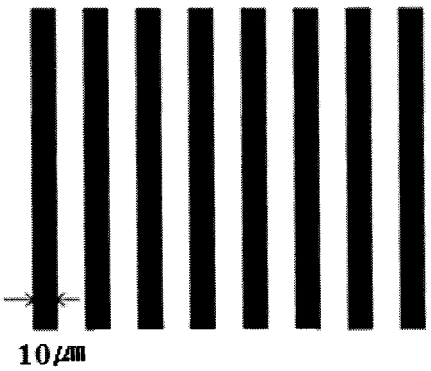


Figure 4. The pattern image of copy for maskless screen plate making.

본 실험에서 제조된 photoresist를 버킷을 이용하여 스크린 망사 위에 도포하였고, 별도의 건조 공정 없이 바로 maskless 노광을 하였다. 먼저 maskless 제판기의 controller에 Figure 4와 같이 100㎛/100㎛의 stripe형 패턴을 입력한 후 노광을 실시하였다. 제판 면적은 320×320mm, 노광 거리와 광량은 패턴의 샤프니스 및 현상성을 고려하여 노광 거리 100um, 광량 1000mJ/cm^{2}으로 설정하였다.

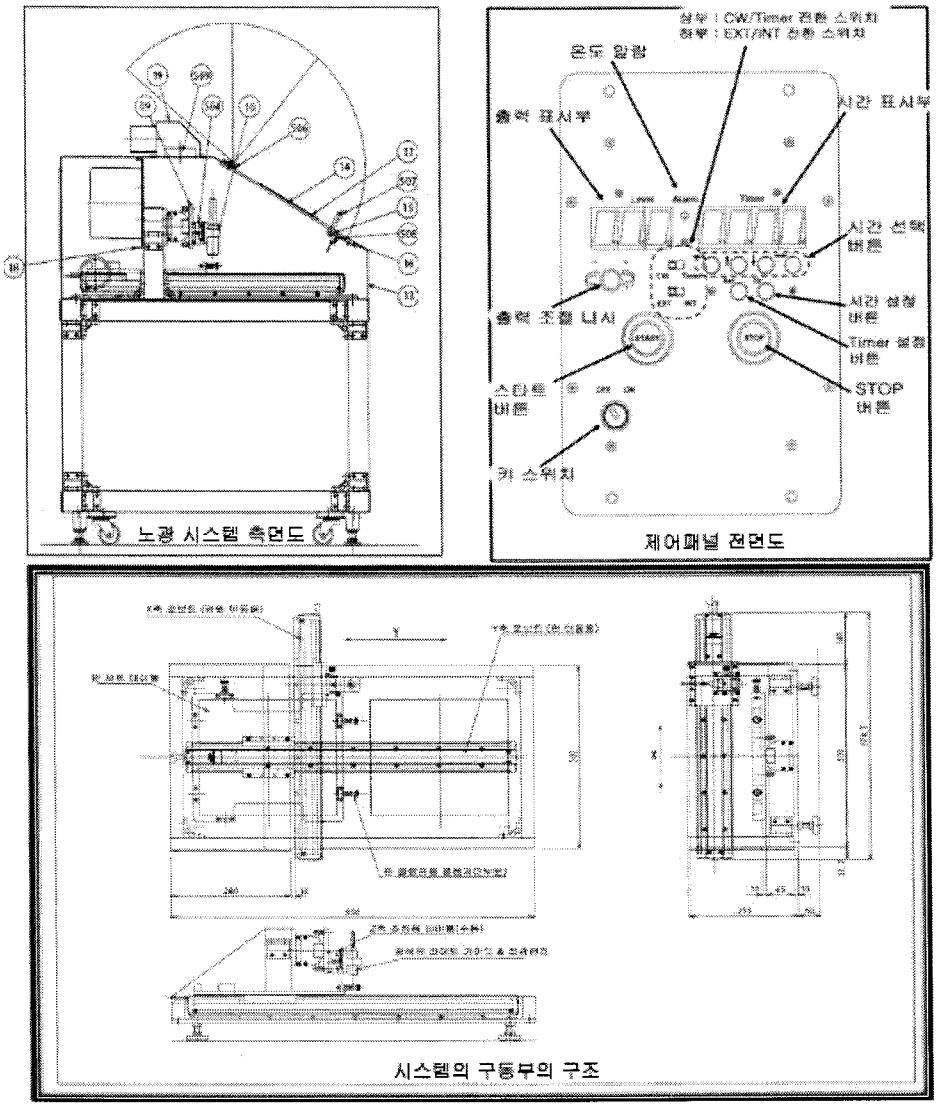


Figure 5. General drawings of the UV-LED exposure system.

노광 시스템의 기본적인 동작 원리는 기본적으로 Figure 5의 시스템 구동부의 구조도면에 나타낸 바와 같이 입력된 X, Y축 정보에 의해 움직이게 된다. 즉 입력된 거리만큼 X축을 따라 조사 헤드가 움직이고, Y축으로는 판을 고정시킨 테이블이 이동하여 전체적인 움직임이 결정되는 것이다. 설정 가능한 패턴은 stripe형 및 dot형으로 기본적으로 설정 가능한 패턴 형태에서 광량 조정 및 노광 속도 및 거리, 시간은 자유자재로 설정할 수 있으나 곡선 패턴 입력은 아직 무리가 있다. 이동 거리와 시간은 제어 패널을 통해 입력하며 이에 의해 조사 헤드의 이동 속도가 결정된다. 노광 광량은 시스템의 최대 광량 1500 mW/cm^{2}에 대해 몇 %를 조사할 것인가를 설정하게 된다.

노광을 실시한 후에는 빛을 받지 않은 즉, 경화되지 않은 비노광부의 photoresist를 제거하는 현상 공정을 하였는데, 본 실험에서는 air spray를 통한 건식 현상을 하였다. 이때 air spray의 노즐 직경은 3㎜이고, 분사 시의 압력은 1.7kgf/㎠, spray와 스크린 판과의 거리는 3㎝, 분사 시간은 50~60sec로 하였다. 노광 조건의 양호 여부는 건식 현상을 통해 판단하게 되며 광량이 과다할 경우 비노광부까지 경화되어 패턴의 치수 정밀도가 떨어지고, 반대로 광량이 부족할 경우 노광부의 resist가 벗겨지는 등의 현상을 보였다.

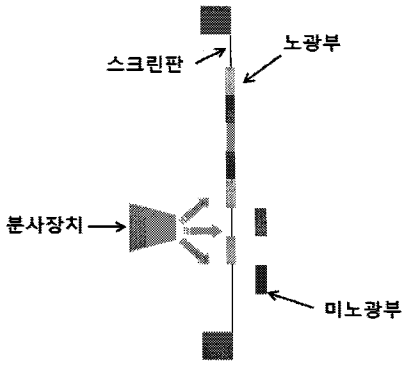


Figure 6. The dry development system of maskless plate making.

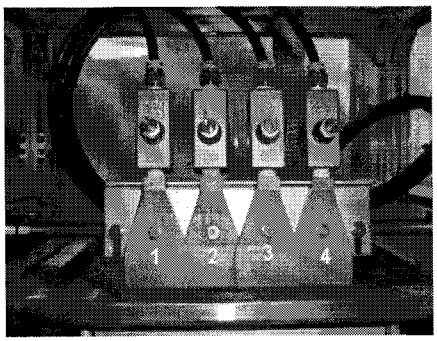


Figure 7. The dry head of the dry development system

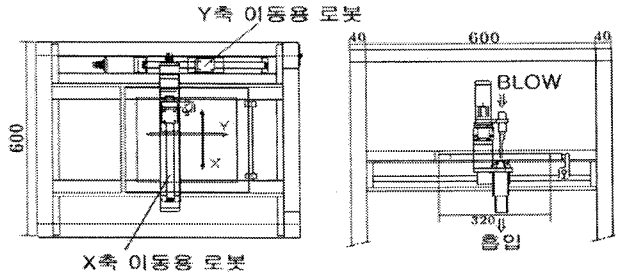


Figure 8. General drawings of the dry development system.

건식 현상 공정 이후에는 post baking을 하여 도막 내의 잔류 용제를 완전히 제거하여 maskless 제판법에 의한 스크린 판을 완성시킨다.

3. 결과 및 고찰

3-1. Photoresist 도막의 물성 측정 결과

망사 위에 photoresist를 도포한 후, 노광 및 현상 공정을 통해 경화되어 남겨진 감광막은 스크린 판의 비화선부 역할을 하게 된다. 이 비화선부는 스크린 판의 우수한 내쇄력을 위해 스크린 인쇄시 스퀴지의 마찰에 견디는 경도와 잉크 속에 들어 있는 용제 및 세정 용제에 견디는 내용제성을 갖춰야 한다.

3-1-1. 도막의 경도

도막의 경도의 평가는 KS M ISO 15184에 의한 연필 경도계 측정법으로 측정하였으며, 현재 시판 중인 디아조 수지-PVA계 감광 유제(Dirasol 22, Fuji film) 경화막의 경도와 비교하여 검토하였다. 본 실험에서 제작된 maskless 스크린 제판용 photoresist의 경도는 Figure 9에서와 같이 현재 시판중인 photoresist처럼 4H에서도 긁히지 않는 우수한 경도를 확인할 수 있었다.

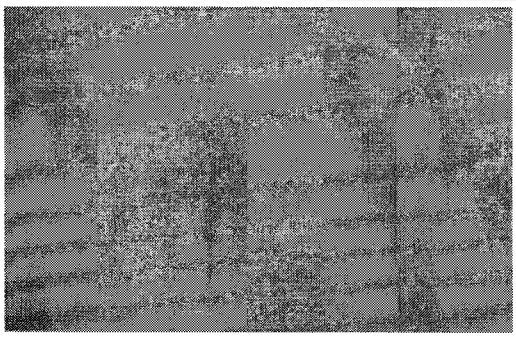
본 실험에서 개발된 Photoresist	현재 시판중인 Photoresist
	
4H Clear	4H Clear

Figure 9. The hardness of maskless photoresist.

즉 본 실험에서의 UV-LED 노광 시스템이 maskless 스크린 제판용 photoresist에 대해 충분한 경화 조건을 갖추었음이 확인되었다.

3-1-2. 도막의 내용제성

도막의 내용제성 평가는 본 실험의 maskless 스크린 제판용 photoresist를 경화한 후 IPA(Isopropylalchol), EA(Ethylacetate), Terpineol, Acetone, NMP(N-methylpyrrolidone) 각각의 용제에 1시간 동안 dipping한 후 표면의 상태를 관찰함으로서 내용제성을 평가하였다.

Photoresist 도막의 내용제성은 판의 내쇄력과도 밀접한 관련이 있으며 본 실험에서 사용된 용제의 선정 기준은 인쇄 잉크 및 paste에 많이 사용되는 용제나 세정용으로 주로 사용되는 용제들로 하였다.

본 연구에서 개발된 maskless 스크린 제판용 photoresist의 내용제성은 Figure 10과 같이 현재 시판중인 photoresist의 내용제성 만큼 우수한 특성을 보임을 알 수 있다.

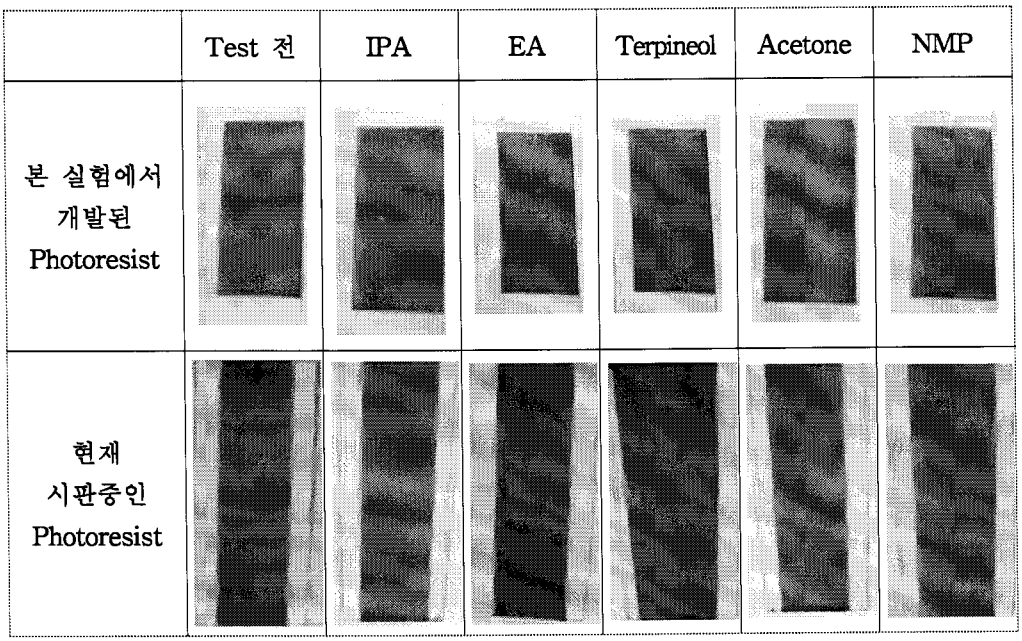


Figure 10 The resistability of maskless photoresist to solvent.

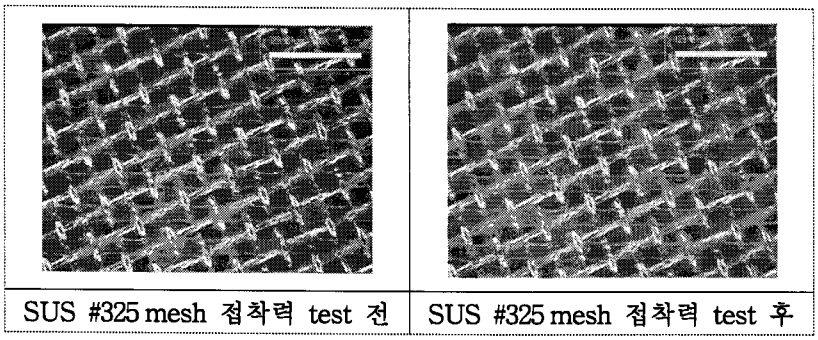
3-2. Maskless 스크린 제판의 패턴 형상 및 접착력

스크린용 판의 내쇄력을 결정짓는 요소중 중요한 요인중 하나가 용제에의 내성과 함께 photoresist의 판과의 접착력을 들 수 있다.

접착력 테스트 방식은 OPP tape 박리 시험을 통해 테스트 전, 후의 표면 상태를 관찰하여 경화된 photoresist가 얼마나 떨어져 나갔는냐를 기준으로 접착력을 판단하였다.

본 실험의 maskless용 노광 시스템 및 air spray를 이용한 건식 현상에 의해 제판된

스크린 인쇄판을 접착력 테스트 하였으며, 그 결과를 Figure 11에 나타내었다. OPP tape 박리 test 이후에도 표면의 뜯김이나 변화가 일어나지 않은 것으로 보아 photoresist의 충분한 광경화가 일어났으며 망사와의 접착력이 우수함을 확인할 수 있었다.



SUS #325 mesh 접착력 test 전	SUS #325 mesh 접착력 test 후

Figure 11. The adhesive strength of maskless screen plate.

그러나 형성된 패턴의 가장자리가 샤프하지 않음을 확인할 수 있었는데, 이는 직진성이 우수한 UV-LED 광원을 사용한다 할지라도 mask 없이 노광하기에는 광의 확산을 충분히 컨트롤할 수 없었다고 판단된다. 그러므로 슬릿 조정만으로는 광의 확산을 제거하기 힘들기 때문에 광을 효과적으로 제어하기 위한 장치가 필요함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 실험에서는 UV-LED 광원을 가진 maskless 스크린 제판용 노광 시스템을 구현하였으며 maskless용 photoresist와의 최적화 및 air spray 를 이용한 건식 현상을 하였다. 실험 결과 최대 20㎛ 패턴 형성이 가능하고 내용제성 및 접착성이 우수한 특성을 보여 maskless 노광 시스템 및 건식 현상에 의한 제판의 가능성이 확인되었다. 이러한 maskless용 스크린 제판 기술에 의해 폐액, 폐수 그리고 필름 폐기물이 발생하지 않고 제판 공정이 단축되며 in-line system이 가능한 경제적이고 친환경적인 스크린 인쇄 제판을 완성할 수 있었다. 그러나 비록 광원 자체는 직진광이라 할지라도 제판된 화선부의 가장자리가 샤프하지 않은 것으로 보아 광확산 현상이 발생하는 것을 알 수 있었으며 고정세 인쇄용 스크린 제판 기술로는 미흡한 결과를 보였다. 그러나 이러한 문제점은 광원을 집광시킨다면 충분히 해결할 수 있을 것이라 판단된다. 차후에는 이러한 광확산 문제를 최소화시키기 위해 집광 렌즈의 사용에 따른 광확산 현상과 슬릿의 두께에 따른 광 확산 현상에 대한 연구를 실시할 것이다. 또한 건식 현상 시스템을 도입하여 in-line

system에 의한 maskless 스크린 인쇄 제판 공정 시스템을 확립할 계획이다.

참고문헌

1) 남수용, 알기 쉬운 스크린 인쇄 공학, pp. 1~4 (2005).
2) F. C. Krebs, H. Spanggard, T. Kjaer, M. Biancardo, and J. Alstrup, *Mater. Sci. Eng. B*, **138**, 106 (2007).
3) F-G Zeng, C-C Zhu, W. Liu, and X. Liu, J. Microelectronics, **37**, 495 (2006).
4) D. A. Pardo, G. E. Jabbour, and N. Peyghambarian, *Adv. Mater*, **12**, 1249 (2000).
5) S. E. Shaheen, R. Radspinner, N. Peyghambarian, and G. E. Jabbour, *App. Phys. Lett.*, **79**, 2996 (2001).
6) 在野 康, 月刊 ディスプレ, 2月号, 29 (2000).
7) 二村 浩, 日本印刷學會誌, **40**, 10 (2003).
8) 日口洋一, 日本印刷學會誌, **40**, 33 (2003).
9) Z. Bao, Y. Feng, A. Dodabalapur, V. R. Raju, and A. Lovinger, *Chem. Mater.*, **9**, 1299 (1997).
10) Y. Wu, Y. Li, B. S. Ong, P. Liu, S. Gardner, and B. Chiang, *Adv. Mater.*, **17**, 184 (2005).
11) E. J. Brandon, W. West, and E. Wesseling, *App. Phys. Lett.*, **83**, 3945 (2003).