

# 레이저 직접 패터닝에 의한 그라비아 망점 형성

서 정\*, 한유희\*, 강래혁\*

## Gravure Halftone Dots by Laser Direct Patterning

Jeong Suh\*, You Hie Han\*, and Lae Heuck Kang\*

### ABSTRACT

Laser direct patterning of the coated photoresist (PMER-NSG31B) layer was studied to make halftone dots on gravure printing roll. The selective laser hardening of photoresist by Ar-ion laser(wavelength: 333.6~363.8 nm) was controlled by the A/O modulator. The coating thickness in the range of 5~11 $\mu$ m could be obtained by using the up-down directional moving device along the vertically located roll. The width, thickness and hardness of the hardened lines formed under the laser power of 200~260mW and irradiation time of 4.4~6.6  $\mu$ sec/point were investigated after developing. The hardened width increased as the coating thickness increased. Though the hardened thickness was changed due to the effect of the developing solution, the hardened layer showed good resistance to the scratching of 2H pencil. Also, the hardened minimum line widths of 10 $\mu$ m could be obtained. The change of line width was also found after etching, and the minimum line widths of 6 $\mu$ m could be obtained. The hardened lines showed the good resistance to the etching solution. Finally, the experimental data could be applied to make gravure halftone dots using the developed imaging process, successfully.

**Key Words** : Laser direct patterning(레이저 직접 패터닝), photoresist(광경화 수지), gravure printing roll(그라비아 인쇄용 롤), halftone dot(망점), imaging processing(이미지 프로세싱)

### 1. 서론

포토레지스터(photoresist) 코팅층의 미세 패터닝(patterning)기술은 광전자학(Optoelectronics), 기계부품의 미세가공, 전자부품 및 회로 제작, PDP(plasma display panel) 제작 등<sup>1-9)</sup>에 적용되는 중요기술로, 그라비아 인쇄를 제판에도 적용되고 있다.<sup>10-13)</sup> 그라비아 인쇄는 풍부한 색채감(계조)과 광택이 나는

고급 인쇄기술이며, 신문, 잡지 등의 지류, 의류, 금속박, 플라스틱 필름 등의 재료에 인쇄할 수 있는 대량·고속 인쇄 방법이다. 그라비아 인쇄용 롤에는 화상의 계조를 나타내기 위해 오목형의 망점(halftone dot)이 형성되어 있으며, 망점들이 잉크를 전이하여 화상을 피인쇄물에 재현하게 된다.

\* 한국기계연구원 레이저기술연구그룹

일반적인 인쇄를 제판공정에서는 포토레지스터(광경화성 폴리머)가 코팅된 롤에 망점 도안 필름을 감아서 자외선 영역의 빛(예: 수은등)으로 노광하여 패터닝하는 방식을 사용하고 있다. 이 방식에서는 필름을 제작한 후 포토레지스터가 코팅된 롤에 필름을 감을 때 연속 무늬의 경우 이음매 부분의 처리가 어려우므로 숙련된 기술자가 필요하다. 또한, 필름의 제작 공정이 필요하며, 대형 필름의 제작에 한계가 있을 뿐만 아니라, 필름을 반복하여 사용할 시의 필름 손상과 필름을 보관하는 데 따르는 문제점이 많으며, 정밀각인이 어려운 실정이다. 최근에는 필름없이 포토레지스터에 레이저(UV레이저)를 직접조사하여 그라비아 인쇄 망점을 형성시키는 패터닝시스템<sup>12)</sup>이 개발되었다. 그러나, 이 시스템에서는 레이저 노광후 포토레지스터의 색상을 확인하기가 어려워 망점 수정이 불가능하며, 포토레지스터의 코팅을 기존의 필름방식에 사용되는 코팅방법으로 처리하기에 매우 어려운 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 레이저 노광후 색상확인이 가능한 기존의 필름방식의 포토레지스터를 활용한 그라비아 인쇄용 망점의 레이저 직접 패터닝 기술을 연구하였다. 여기에서는 포토레지스터의 레이저 광경화성, 에칭성이 분석되었으며, 화상처리 기법으로 망점을 형성하는 실험을 수행하였다. 또한, 원도로 부터 그라비아 망점 변환 그래픽 데이터는 자체 개발된 망점 변환 프로그램<sup>14)</sup>을 활용하였다.

## 2. 그라비아 망점 각인의 원리

그라비아 망점 각인(engraving) 원리는 Fig. 1과 같이 레이저 직접 조사에 의한 망점 패터닝과 에칭 공정으로 구성된다. Fig.1(a)에서와 같이 구리(copper)가 도금된 롤 표면에 UV(ultraviolet) 광경화성 폴리머인 포토레지스터를 코팅한 후 건조시킨다. 포토레지스터가 코팅된 롤 표면에 UV 광원의 레이저 빔을 (b)와 같이 선별적으로 조사한 후 현상액으로 현상하며, 빔이 조사되어 광경화가 일어난 부분은 (c)와 같이 롤 표면에 남게 된다. 롤을 부식(에칭)시키면 경화된 부분은 부식액에 용해(각인)되지 않고 남게 되어 (d)와 같이 되며, 이 후 박리액으로 세척하여 광경화된 부위를 제거하고 나면 Fig. 1(e)와 같이 망점이 각인된 롤을 얻게 된다.

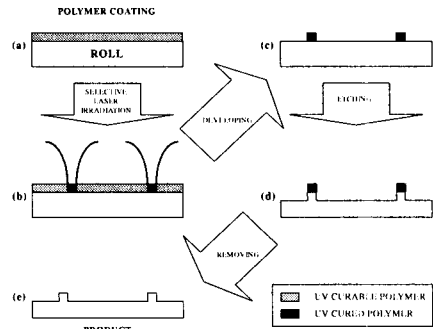


Fig. 1 Principle for engraving of gravure halftone dots

## 3. 실험방법 및 장치

실험에 사용할 광경화 폴리머는 필름방식의 그라비아 인쇄를 제판에 사용되는 네가티브형 포토레지스터인 PMER N-SG 31B이다. 이 재료는 케미칼 밀링용, PCB용, 명판용 및 일렉트로포밍용으로 사용되며, 동경용화공업주식회사(東京応化工業株式會社) 제품으로 용덕산업에서 필름 방식에 사용하고 있다. 기초실험에서 본 포토레지스터는 레이저 광경화후 원래의 색상인 푸른색을 유지함을 확인하였으며, 현상후 망점 확인이 가능하여 수정작업이 가능하다는 것을 알 수 있었다.(참고: Photo. 3~6)

포토레지스터가 도포되는 대상물로는 실제 그라비아 인쇄 롤로 사용되는 구리가 도금된 금속롤이며 동성로라조각으로 부터 구입하였다. 금속롤에 포토레지스터를 도포하기 위한 코팅기는 Photo. 1과 같다. 도포는 위에서 아래로 수행되며, 포토레지스터의 도포막 두께는 코팅기의 헤드를 움직이는 제어기의 속도레벨로 제어가능하다. 코팅기의 코팅속도에 따른 포토레지스터의 도포 두께를 알아보기 위하여, 직경 129.1mm의 롤에 코팅속도를 변화시켜 코팅한 후, 도포된 막의 두께를 측정하였다. 도포막 두께는 한국 다이오 잉크에서 보유하고 있는 표면 거칠기 측정장비를 사용하였다. 포토레지스터의 광경화를 위해 사용된 레이저는 Coherent사의 Innova 328이며, 최대출력 1W, 빔 직경은 빔 허리 (beam waist)에서 약 1.5 mm, 총 발산각은 0.5 mrad 그리고 파장은 멀티라인(multi-line)으로 333.6nm ~

363.8nm에 이른다. 이중 351.1nm와 363.8nm의 파장이 강하며, Mode master로 분석한 결과 Beam quality factor M2가 1.51이며, TEM<sub>00</sub>의 모드를 가진다.

레이저 직접 패터닝 장치는 Photo. 2와 같으며, 레이저 빔의 조사량은 빔 출력과 물의 회전수 및 회전당 레이저 빔 펄스 수에 의하여 제어된다. 레이저 빔 펄스는 A/O 모듈레이터로 제어되며, Intra-Action사 장치이고 optical rising time은 최소 약 55ns이다. 레이저 빔은 물 표면에 집속되도록 하였으며, 초점거리 25mm의 렌즈를 사용하였다.

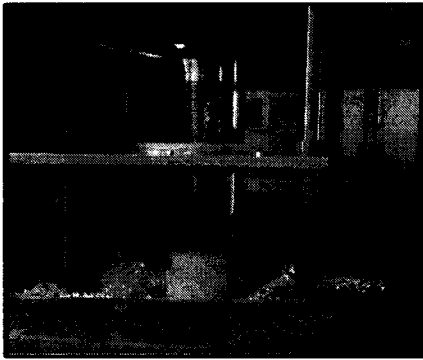


Photo. 1 Photoresist coating system



Photo. 2 Laser direct patterning system

레이저 출력과 조사시간에 따른 포토레지스터의 광경화 특성을 분석하기 위하여 여러 코팅조건

에서의 포토레지스터의 도포막 두께에 대해 레이저 출력과 가공속도를 변화시켰다. 패턴 형상은 Fig. 2와 같으며, 선폭은 레이저 스폿 1점 또는 2점으로 구성되도록 하였다. 물은 직경이 129.1 mm이고, 회전당 22,500 pulse로 레이저가 조사되며 1회전후에는 처음위치에서 길이방향으로 18 $\mu$ m씩 이송되어간다.(raster method). 따라서, 레이저 1펄스의 조사시간은 회전수에 따라 바뀌며 Table 1과 같다.

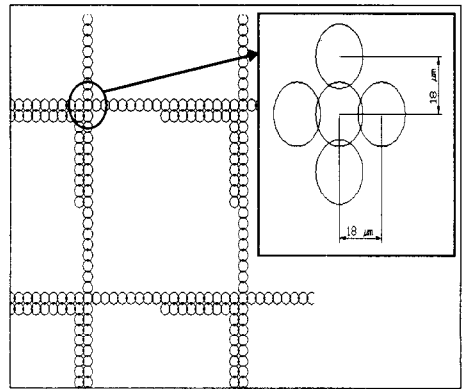


Fig. 2 Pattern for laser hardening of photoresist

Table 1 Laser exposing time/pulse at various rotational velocities under 22,500 pulse/rotation

Rotational velocity [rpm]	Laser exposing time/pulse [ $\mu$ sec]
400	6.6
500	5.3
600	4.4

현상후 포토레지스터의 선폭은 마이크로스코프로 관찰하였으며, 경도는 일본 三菱(株) 연필경도(JIS-5400)로 측정하였다. 또한, 구리 에칭용액을 사용하여 경화된 포토레지스터의 에칭 저항성을 분석하였다. 끝으로, 그라비아 망점변환 소프트웨어를 활용하여 얻어진 데이터를 화상처리 기법을 이용한 망점 형성 실험을 통하여 레이저 직접 패터닝 적용성을 평가하였다.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 코팅 속도에 따른 포토레지스터의 도포막 두께

Photo. 1의 코팅기에서 코팅속도에 따른 포토레지스터의 도포막 두께는 Table 2와 같다. 측정결과 코팅 속도를 빨리 할수록, 도포막 두께가 두꺼워지는 것을 알 수 있다. 이것은 포토레지스터의 자유 흐름 속도보다 코팅기 헤드의 속도가 빠르기 때문에 도포막 두께가 두꺼워짐에 기인되며, 포토레지스터가 아래로 흐르는 속도보다 코팅속도가 일정속도 이하로 느리게 되면 포토레지스터의 자유 흐름 속도에 의해 도포막이 더 이상 두꺼워지지 않음에 기인된다. 따라서, 본 장비를 통하여 얻을 수 있는 도포막의 두께는 5~11 $\mu\text{m}$ 의 영역임을 알 수 있다.

Table 2 Coating thickness under various coating velocities

Coating velocity	Coating thickness
0.09 cm/s	5 $\mu\text{m}$
0.27 cm/s	5 $\mu\text{m}$
0.42 cm/s	5 $\mu\text{m}$
0.52 cm/s	5 $\mu\text{m}$
0.70 cm/s	7 $\mu\text{m}$
0.83 cm/s	7 $\mu\text{m}$
0.96 cm/s	7 $\mu\text{m}$
1.04 cm/s	11 $\mu\text{m}$
1.19 cm/s	11 $\mu\text{m}$

##### 4.2 레이저 빔 출력과 조사시간에 따른 광경화 특성

Table 2의 조건으로 도포된 포토레지스터층에 Fig. 2의 형상과 Table 1의 조건으로 레이저 경화한 후 현상하면 Photo. 3과 같은 패턴을 얻게 된다. 경화폭을 마이크로스코프로 측정한 결과는 Table 3~5에 정리되어 있다. Table 3, 4와 5의 경화전 포토레지스터의 도포막 두께가 각각 11 $\mu\text{m}$ , 7 $\mu\text{m}$  및 5 $\mu\text{m}$ 로부터 도포막이 두꺼울수록 경화폭이 넓어지는 것을 알 수 있다. 또한, Table 4와 5로부터 레이저 1스팟의 선폭이 이송량인 18 $\mu\text{m}$  보다 작은 경우 선들이 중첩되지 않음을 알 수 있다.

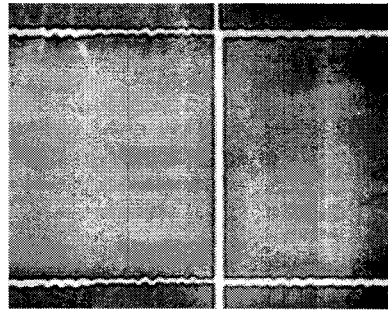


Photo. 3 Example of laser hardened pattern( $\times 50$ )

Table 3 Hardened line width under various rotational velocities and laser powers at the coating thickness of 11 $\mu\text{m}$ .

[unit: $\mu\text{m}$ ]

laser power rotation velocity	200 mW		230 mW		260 mW		overlapping
	1 spot line width	2 spots line width	1 spot line width	2 spots line width	1 spot line width	2 spots line width	
400 rpm	29	51	32	49	37	55	○
500 rpm	29	51	32	47	33	53	○
600 rpm	29	48	32	46	30	51	○

Table 4 Hardened line width under various rotational velocities and laser powers at the coating thickness of 7 $\mu\text{m}$ .

[unit: $\mu\text{m}$ ]

laser power rotation velocity	200 mW		230 mW		260 mW		overlapping
	1 spot line width	2 spots line width	1 spot line width	2 spots line width	1 spot line width	2 spots line width	
400 rpm	14	32	20	42	20	39	○
500 rpm	14	31	18	35	17	38	○
600 rpm	14	29	16	33	15	33	○

Table 5 Hardened line width under various rotational velocities and laser powers at the coating thickness of 5 $\mu$ m.

[unit:  $\mu$ m]

laser power \ rotation velocity	200 mW		230 mW		260 mW		overlapping
	1 spot line width	2 spots line width	1 spot line width	2 spots line width	1 spot line width	2 spots line width	
400 rpm	11	28	14	36	14	31	×
500 rpm	11	27	12	36	12	26	×
600 rpm	11	27	10	32	11	28	×

Fig. 3은 Table 3~5의 1 스폿 선의 경우의 결과를 정리한 것이며, 레이저 출력 및 포토레지스터 도포막 두께의 변화에 따른 포토레지스터의 경화 선폭을 나타내고 있다. 경화전 포토레지스터 도포층 두께가 5 $\mu$ m와 7 $\mu$ m인 경우 레이저 출력이 230mW 이상이 되어도 더이상 경화폭이 증가하지 않으나, 도포층의 두께가 11 $\mu$ m인 경우 경화폭이 증가함을 알 수 있다. 또한, 같은 레이저 출력 및 회전속도에서 도포층이 두꺼울수록 경화 선폭이 증가함을 알 수 있다. 따라서, 도포막이 두꺼울수록 도포층을 통하여 열전달에 의한 경화폭이 넓어지며, 레이저 출력 200~260mW, 빔 펄스 조사시간 4.4~6.6 $\mu$  sec 하에서 최소 10 $\mu$ m의 선폭을 얻을 수 있었다.

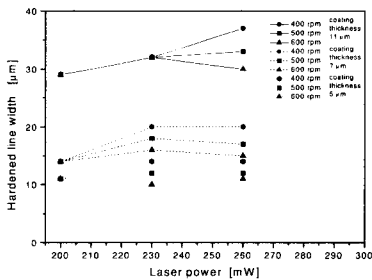


Fig. 3 Relation between hardened line width under various laser powers, rotational velocities and coating thicknesses.

포토레지스터 도포, 광경화 및 현상을 거치면서 포토레지스터의 도포막의 두께도 변화하는데 현상 후의 도포막 두께 및 경도 측정결과가 Table 6에 정리되어 있다. 레이저 광경화된 포토레지스터를 현상할 시 현상액에 의해 도포막 두께가 감소함을 알 수 있다. 현상 후의 도포막 두께는 에칭공정에 영향을 주게 된다. 즉, 현상후 도포막 두께가 너무 얇을 시에는 경도가 낮아서 에칭 공정시 에칭액에 녹기 때문에 에칭 깊이를 제한해야만 한다. 현상 후 포토레지스터층의 연필 경도값은 2H로서 일반적으로 업체에서 사용하는 에칭 공정에 필요한 경도기준에 적합함을 알 수 있었다. 따라서, 본 실험에서 획득한 포토레지스터의 도포막 두께의 범위는 레이저 광경화 패터닝에 적합한 조건임을 알 수 있다.

### 4.3 광경화 포토레지스터층의 에칭 특성

그라비아 인쇄물에서 현상 후 형성되는 망점 패턴에서 오목하게 되는 망점부는 레이저 광경화가 일어나지 않은 부위이므로 현상후 포토레지스터가 완전히 제거된다. 따라서, 망점부는 에칭공정에서 오목하게 부식되며, 이에 비해 망점과 망점사이의 둑(돛데)은 포토레지스터가 레이저 광경화된 부위이며 부식에 저항하게 된다. 그러나, 광경화된 포토레지스터 선폭도 에칭과정에서 변화하게 된다. Fig. 4는 Fig. 3의 레이저 출력 260mW에서 도포막 두께 11 $\mu$ m과 5 $\mu$ m의 경화된 선폭을 에칭후에 측정하여 비교한 것이다. 도포막 두께가 얇은 경우에는 약간의 측정오차가 보이나, 최소 선폭은 6 $\mu$ m임을 알 수 있다.

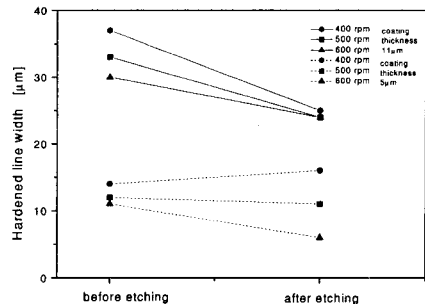


Fig. 4 Comparison of hardened line width after/before etching.

#### 4.4 망점 패터닝 실험 및 평가

망점 데이터를 실험장치에 보내면서 레이저 빔 조사가 이루어 지도록 실시간 공정을 위한 실험장치의 구성도는 Fig. 5와 같다. 망점 데이터는 그림 윈도로부터 망점 변환 소프트웨어를 통하여 생성되며, 이 데이터 신호와 레이저 빔을 on/off 제어하는 A/O 모듈레이터가 동기됨으로써 레이저 빔 조사에 의한 직접 패터닝 작업이 이루어진다.

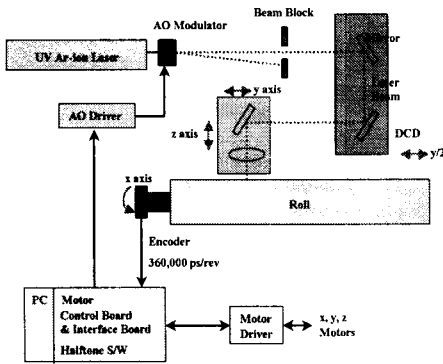


Fig. 5 System schematic diagram for laser direct patterning.

윈도로부터 연속계조의 망점을 만드는 망점 변환 소프트웨어들은 adobe photoshop을 비롯하여 다수가 있으나, 이들은 대부분 평판 오프셋 인쇄용 망점화 프로세싱에 적합하고, 그라비아 제판용으로 사용하기 위해서는 프로그램의 수정이 필요하다. 또한, 그 출력상태가 그라비아 인쇄 메커니즘에서 원하는 기능을 충족해주기 어렵다. 한편, 대부분의 망점화를 위한 상업용 인쇄 소프트웨어들은 패키지로 판매되고 있으며, 그 원시프로그램들을 비공개로 되어 있기 때문에 망점 변환 소프트웨어<sup>14)</sup>를 개발하여 사용하였다. Fig. 6은 망점 변환 소프트웨어를 보여주고 있으며, 망점 변환된 데이터를 패터닝 시스템으로 보내면서 작업이 되도록 하는 제어부와 인터페이스되어 하나의 운영소프트웨어로 구성되어 PC에서 작업이 가능하다. 망점 패터닝 실험을 통해 레이저 광경화 및 현상한 후의 CMYK(Cyan, Magenta, Yellow, black)의 망점형상의 예가 Photo. 4에 나타나 있다.

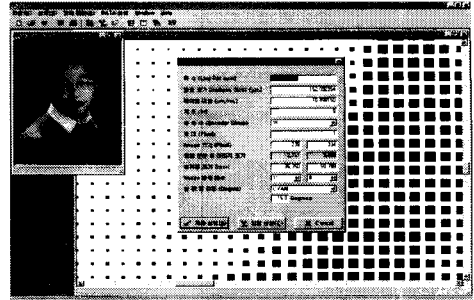


Fig. 6 Gravure software.

컬러 그라비아 인쇄방식으로 인쇄물을 만들기 위해서는 기본적으로 CMYK 즉, Cyan(푸른색,  $-15^\circ$ ), Magenta(붉은색,  $15^\circ$ ), Yellow(노란색,  $0^\circ$ ), black(검정색,  $45^\circ$ )의 4판이 분판되어 잉크가 전이되어야 하며, 모아레 현상을 방지하기 위해 일정각도를 가지고 있다.<sup>15,16)</sup> 일반적으로 오목판 인쇄방식인 그라비아는 잉크의 포켓 즉, 망점이 마름모 또는 정사각형인 것이 잉크를 긁어내기(doctoring)하는데 가장 바람직하다. 따라서, 실시간 직접 패터닝 실험을 한 결과, CMYK 분판에 따른 망점 구현이 가능함을 알 수 있다.

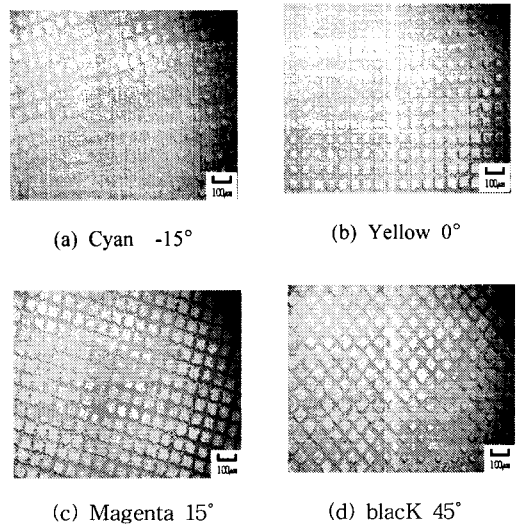
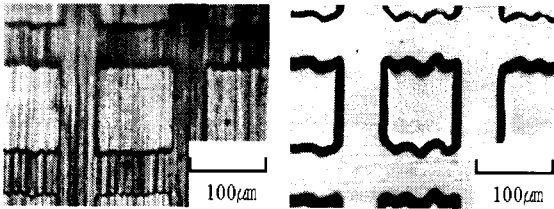


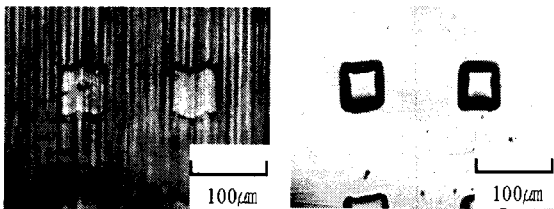
Photo. 4 Examples of laser hardened halftone cell ( $\times 50$ )

Photo. 5는 100LPI(line/inch) 스크린 선수 즉, 한번의 길이가 최대 254 $\mu$ m까지의 망점을 형성할 수 있는 정밀도에서 형성된 6 × 6 픽셀(한번의 길이: 50 $\mu$ m)의 경화된 망점형상(a)과 에칭후의 망점의 형상(b)을 나타내고 있다. Photo. 6은 100LPI 스크린 선수에서 10 × 10 픽셀(한번의 길이: 83 $\mu$ m)의 경화된 망점형상(a)과 에칭후의 망점의 형상(b)을 나타내고 있다. Photo. 5와 6에서 정사각형 망점 내부에 잉크가 담기게 되므로 Photo. 5는 Photo. 6에 비해 밝은 부분이다. Photo. 6에서와 같이 80 $\mu$ m 이상의 크기를 갖는 망점에서는 세로방향(롤의 길이 방향)으로 약간의 흔들림이 보이나 이는 회전 엔코더의 Z 상을 이용한 선긋기를 행한 결과 엔코더의 반펄스 오차에 기인한 것이며, 길이방향 진동을 억제하기 위해서는 엔코더의 회전당 펄스수를 크게, 즉 펄스의 길이를 짧게 하여야 함을 알 수 있었다.



(a) after laser hardening (b) after etching

Photo. 5 Halftone cell of 6 × 6 pixel (× 200)



(a) after laser hardening (b) after etching

Photo. 6 Halftone cell of 10 × 10 pixel (× 200)

## 5. 결 론

본 논문에서는 레이저 노광 후 색상확인이 가능

한 기존의 필름방식의 포토레지스터를 사용하여 그라비아 인쇄용 망점의 레이저 직접 패터닝 기술을 연구하였다. 포토레지스터의 레이저 광경화성, 에칭성이 분석되었으며, 원도로 부터 그라비아 망점 변환 그래픽 데이터를 생성하는 개발된 망점 변환 프로그램을 활용한 화상처리 기법으로 망점을 형성하는 실험을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 기존의 필름감광법에 사용되는 네가티브형 포토레지스터인 PMER N-SG 31B를 사용한 아르곤 이온 레이저 광경화 실험에서 현상후 망점 확인과 수정작업이 가능함을 알 수 있었다.

(2) 위에서 아래로의 도포막 코팅에서 얻어진 포토레지스터의 도포막 두께는 5~11 $\mu$ m 영역을 가지며, 도포막이 두꺼울수록 레이저 경화후 경화폭이 넓어지는 것을 알 수 있었으며, 이는 도포층을 통한 열전달에 기인함을 알 수 있었다.

(3) 레이저 출력 200~260mW, 빔 펄스 조사시간 4.4~6.6 $\mu$  sec하에서 최소 경화 선폭은 10 $\mu$ m이었으며, 현상시 포토레지스터 도포막 두께변화가 있었으나, 연필경도값은 2H로서 일반적으로 업체에서 사용하는 에칭 공정에 필요한 경도기준에 적합함을 알 수 있었다. 또한, 에칭후의 최소 선폭은 6 $\mu$ m임을 알 수 있었다.

(4) 망점 변환 소프트웨어를 활용한 실시간 직접 패터닝 실험을 한 결과, CMYK 분판에 따른 망점 구현이 가능함을 알 수 있었다. 80 $\mu$ m 이상의 크기를 갖는 망점에서는 세로방향(롤의 길이 방향)으로 약간의 흔들림이 보이나 이는 회전 엔코더의 Z 상을 이용한 선긋기를 행한 결과 엔코더의 반펄스 오차에 기인한 것이며, 길이방향 진동을 억제하기 위해서는 엔코더의 회전당 펄스수를 크게, 즉 펄스의 길이를 짧게 하여야 함을 알 수 있었다.

본 논문에서 도출된 결과를 활용하여 “정밀 인쇄용 레이저 제판 시스템 국산화”를 추진할 예정이며, 상품화를 계획하고 있다.

## 참 고 문 헌

1. Chan Y. C., Lam Y. L., Zhou Y, Xu F. L., Liaw C. Y. Jiang W. and Ahn J. S, "Development and Application of Laser Writing Lithography System

- for Maskless Patterning," *Optical Engineering*, Vol. 37, No. 9, pp. 2521-2530, 1998.
2. Schaper C. D., Kailath T., EL-Awady K. and Tay A., "Application of Control and Signal Processing to the Microlithography Process," *Proceeding of the 1999 IEEE 25th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society*, Vol. 1 V.1, 1999.
  3. Äyräs P., Jabbour G. E., Honkanen S. and Peyghambarian N, "Self-aligned Photoresist Patterning for Integrated Optics," *Optical Engineering*, Vol. 39, No. 2, pp. 575-576, 2000.
  4. Baumann B. and Bargon J., "Conducting polymer pattern via Laser Processing," *Applied Surface Science* 106 pp. 287-292, 1996.
  5. Witzgall G., Vrijen R. and Yablonovitch E., "Single-shot Two-photon exposure of Commercial Photoresist for the production of Three-dimensional Structures," *Optics Letters*, Vol. 23, No. 22, pp. 1745-1747, 1998.
  6. Saint Christophe E., Frémont H. N'kaoua G. and Danto Y., Application of the Theoretical Model for Line Width Control in Photoresists Sensitized by a Laser Beam," *Electronics Letters*, Vol. 33, No. 12, pp. 1049-1051, 1997.
  7. Arnone C, "The Laser-plotter : A Versatile Lithographic Tool for Integrated Optics and Microelectronics," *Microelectronic Engineering*, Vol. 17, pp. 483-486, 1992.
  8. von Gutfeld R. J., Gelchinski M. H. and Romankiw L. T., "Maskless Laser Patterning for Gold Plating of Microelectronic Materials," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 130, No. 9, pp. 1840-1844, 1983.
  9. Hirayuki O., "Photoresist for PDP," *Electronic Parts and Materials*, Vol. 37, No. 2, pp. 45-48, 1998.
  10. Ahn B. Y., "Printing Engineering," *Sejinsa*, Korea, 1997.
  11. Shin J. S., "Gravure Printing & Flexible Packaging," *Insoegaesa*, Korea, 1989.
  12. Xiao H. H., "Laser Technology Application in Gravure Printing," *Proc. SPIE* Vol. 2118, pp. 209-212, 1994.
  13. "Gravure Process and Technology," *Gravure Association of America*, 1991.
  14. Suh J., Bae S. H. and Han Y. H., "Gravure 1.2," *S/W Registration No. 99-01-12-6264* (Korea), 1999.
  15. Delabastita P. A., "Screening techniques, moire in four color printing," *Proc. TAGA*, pp. 44-65, 1992.
  16. Ihrig S and Ihrig Emil, "Preparing digital image for print," *McGraw-Hill book Co.*, Singapore, 1996.