300mm폭 롤투롤 핫엠보싱 공정 실험에 관한 연구
Study on the 300mm width Roll-to-roll Hot Embossing Process

*#윤동원[1], 손영수[1], 박희창[1], 김병인[1], 이성휘[1], 유이준[1], 리성걸[1]
*D.Yun(dwyun@kimm.re.kr)[1], Y. Son[1], H. Park[1], B. Kim[1], S. Lee[1], Y. Yu[1], S. Lee[1]
[1]한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실

Key words : Roll-to-roll, Hot embossing

1. 서론

전자 및 디스플레이 산업 관련 부품의 소형화, 고정세화 및 박판화 추세에 따라 정밀한 미세패턴 제작 공정의 성능향상이 더욱 요구되고 있으며, 부품 제조장비에 있어서도 정밀성, 고생산성과 원가절감노력은 필수적 요소가 되었다. 특히, 유연성 기판(종이 또는 플라스틱 등) 위에 패터닝/프린팅 공정을 이용하여, 정밀도 수~수십 μm급의 저가의 기전소자 및 인쇄전자소자 제품을 만들 수 있는 향후 거대시장 형성에 대응할 수 있는 연속 생산 시스템개발과 이에 사용되는 롤 또는 실린더 등의 곡면 기층에 대한 미세 패터닝 기술개발이 더욱 필요하다.

프레스 방식 고온 엠보싱은 작은 작업면적에 균일한 온도와 압력을 부가하기에 용이하나 지속적인 대면적화를 이루는 데에는 한계가 있다. 대면적화를 위한 새로운 방안으로 검토되고 있는 것이 대면적 프린트 공정에 활용되고 있는 롤방식 공정이며 최근 여러 연구가 진행되고 있다[1~2].

본 연구에서는 롤폭 300mm 급 롤투롤 핫엠보싱 공정장비를 개발하고, 이를 활용하여 핫엠보싱 공정 실험을 수행하였다. 특히, 실험계획법을 활용하여 최적 공정조건을 찾기 위한 기초연구를 수행하였다.

2. 롤투롤 핫엠보싱 장비

선행연구[3]에서 Fig.1과 같이 최대 폭 300mm인 폴리머 유연기판에 핫엠보싱 공정을 적용할 수 있는 장비를 소개하였다. 히팅롤의 가열은 유도가열 방식과 히트파이프의 조합을 사용함으로써, 보다 균일한 온도 분포를 얻을 수 있었고, 열매체를 사용하지 않으므로써, 보다 청결한 작업환경을 구현하였다.

패터닝은 가압롤과 백업롤 사이에서 이루어지며, 가압롤은 내부에 유도코일과 히트파이프가 장착되어 열을 발생시키고, 표면에 미세패턴이 각인되어 핫엠보싱 공정에서 몰드로써 작용할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 개발된 롤투롤 핫엠보싱 장비를 이용하여 실제 엠보싱 공정에 대한 실험을 수행하였으며, 특히 실험계획법을 이용하여 최적의 공정 조건을 찾고자 하였다.

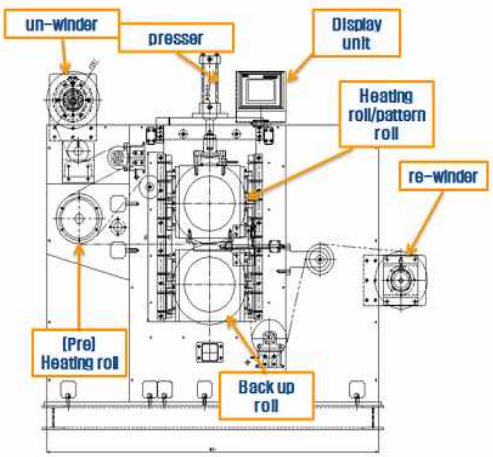


Fig. 1 Drawing of roll-to-roll hot embossing system.

3. 핫엠보싱 공정 실험

본 절에서는 온도, 하중, 롤의 속도의 주요 3가지 파라미터에 대한 패턴 심도의 영향을 알아보기 위하여 실험계획법을 이용한 반응표면법(Response Surface Method)을 이용한 분석을 하기로 하였다. 위에서 말한 3가지의 인자를 RSM을 위한 인자로 설정하였으며, 수준의 허용 범위는 Table 1과 같으며, 이를 이용한 RSM을 위해 설계한 실험 경우의 가짓수가 Table 2에 나와 있다.

Table 2의 실험 순서에 따라 롤투롤 핫엠보싱 실험을 수행하였으며, 찍힌 패턴의 심도는 Table 2의 마지막 열에 표시하였다. 실제 폴리머 기판위에 각인된 미세패턴의 현미경사진이 Fig. 2에 나와 있다.

설계된 실험계획절차와 그에 따른 실험결과를 이용하여 미니탭을 이용하여 반응표면을

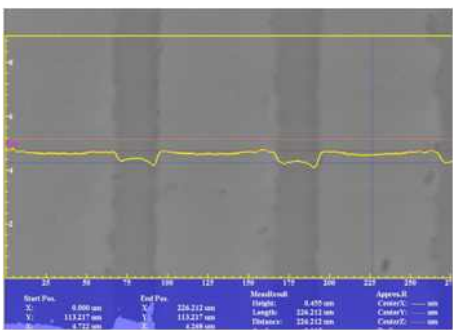
구해보았다. 구해진 반응표면에 대한 식이 식 (1)에 나타나 있다.

Table 1 Factors for RSM.

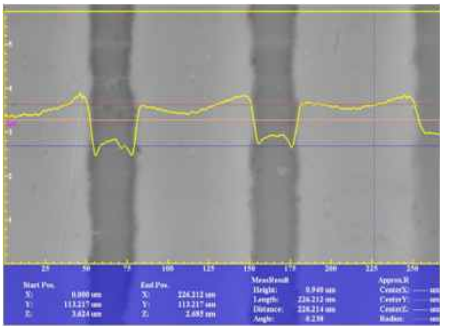
Factors	Allowable Range			unit
	Low	Mid	High	
Temp.	60	90	120	℃
Load	2.5	3.0	3.5	ton
Rool Speed	0.5	1.0	1.5	m/min

Table 2 Design of experiment.

Run	point	block	Temp	Press	Rollspeed	Height(um)
1	-1	1	140.454	3	1	0.45
2	1	1	120	3.5	1.5	0.237
3	0	1	90	3	1	0.16
4	0	1	90	3	1	0.092
5	-1	1	90	3	1.84	0
6	1	1	120	2.5	0.5	0.58
7	1	1	120	3.5	0.5	0.12
8	0	1	90	3	1	0.16
9	1	1	60	3.5	1.5	0.094
10	-1	1	90	3.84	1	0.2
11	1	1	60	2.5	0.5	0.09
12	0	1	90	3	1	0.041
13	1	1	60	2.5	1.5	0.086
14	-1	1	90	2.1591	1	0.124
15	0	1	90	3	1	0.099
16	1	1	60	3.5	0.5	0.133
17	1	1	120	2.5	1.5	0.452
18	-1	1	90	3	0.1591	0.288
19	0	1	90	3	1	0.148
20	-1	1	39.546	3	1	0



(a) No. 1 : 140 deg, 3 ton, 1m/s



(b) No. 6 : 120deg, 2.5 ton, 0.5 m/s

Fig. 2 Experimental results of hot embossing.

$$y = 0.1276\,T - 0.0363P - 0.0394S + 0.0475\,T^2 + 0.0252P^2 + 0.0188S^2 - 0.091\,TP + 0.0263PS \quad (1)$$

따라서, 식(1)을 통해서 각 인자에 의한 출력 패턴의 심도에 대한 관계를 유추할 수 있었다. 따라서, 본 반응표면을 이용하면 공정의 변화와 최적 조건을 구할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 300mm 폭을 가지는 롤투롤 핫엠보싱 공정을 사용하여 핫엠보싱 공정 실험을 수행하였으며, 실험계획법 기법을 사용하여 정해진 여러 인자에 대해 반응표면을 구하였다. 구해진 반응표면식을 이용하여 향후 연구에서 공정의 최적화에 대한 연구를 수행할 것이다.

후기

본 연구는 한국기계연구원의 주요사업에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. Ahn, Se Hyun; Guo, L. Jay (2008). "High-Speed Roll-to-Roll Nanoimprint Lithography on Flexible Plastic Substrates," Advanced Materials **20,** 2044-2049, 2008
2. Tusty, J., Smith, S. and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," Annals of the CIRP, **39**, 517-521, 1990.
3. 윤동원, 손영수, 경진호, 박희창, 이성휘, 김병인, “롤투롤 핫엠보싱 공정에 관한 연구,” 한국정밀공학회 2012년도 춘계학술대회, 2012