

고온 엠보싱 장비의 연속공정을 위한 스티칭 오차에 관한 연구 A Study on Stitching Error for Continuous Process of Hot-Embossing Machine

*김신호¹, 박수연¹, 이승우¹, #이재종¹

*S. H. Kim¹, S. Y. Park¹, S. W. Lee¹, #J. J. Lee¹(jjlee@kimm.re.kr)

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Flexible Display, Hot-Embossing Machine, Roll and Press (RNP) Process, Stitching Error

1. 서론

플렉서블 디스플레이(Flexible Display)의 유연하고 휘어지는 성질 등을 이용하면 모바일 기기의 응용분야에 널리 적용될 수 있고, 기존의 CRT, LCD PDP 등 평판 디스플레이(Flat Panel Display)를 대체할 수 있는 장점으로 인하여 최근 이에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이와 같이, 모바일 기기의 응용분야 뿐만 아니라 가정용 TV 를 대신한 대형 벽면 TV 로의 대체 등 더욱 다양한 응용분야를 확보하기 위해서는 반드시 원가절감을 통한 저가의 공정기술과 제품기술이 바탕이 되어야 한다.¹

플렉서블 디스플레이는 유연기관 위에 필요한 동작을 하기 위한 나노 단위의 전극을 패터닝할 수 있는 리소그래피(Lithography) 기술을 필요로 한다. 일반적으로 반도체 공정에서 주로 적용되어 온 방법으로써, 포토 리소그래피(Photo Lithography) 기술이 이용되어 왔다. 이후 포토 리소그래피 공정 보다 간소되고 비용을 절감할 수 있는 나노 임프린트 리소그래피(Nano-Imprint Lithography, NIL) 기술이 제안되었으며,² 크게 열 경화방식의 고온 임프린팅 리소그래피(Thermal Imprinting Lithography) 기술과 UV 경화방식의 UV 임프린트 리소그래피(UV-Imprint Lithography) 기술로 구분된다.³

공정시간의 단축은 플렉서블 디스플레이 경쟁력을 확보하기 위한 또 다른 핵심요소이며,¹ 이러한 요구사항을 만족하기 위한 방법으로써, 19 세기 신문산업에서 유래한 롤투롤(roll-to-roll) 기술에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.³⁻¹¹ 그라비아 인쇄(Gravure Printing) 기술과 잉크젯 인쇄(Inkjet Printing) 기술은 잉크를 이용하여 패턴을 새기는 방법으로써 그라비아 인쇄기술은 오탁판 인쇄기법의 한 종류이고 잉크젯 인쇄기술은 평판 인쇄기법의 한 종류이다. 이러한 방법들은 주로 마이크로 단위의 전극을 패터닝하는데 사용되고 있으며, 잉크를 이용함으로써 전처리 및 후처리 과정이 필요하다. 경우에 따라서는 온도 및 장력에 의한 유연기관의 변형을 고려해야 하며,^{4,7} UV 노광(UV-Exposure) 시스템이 필요하다.^{6,7} 또한 원통모양의 롤에 나노 단위의 전극을 패터닝하기에 곤란하며 고가이다.

전술한 바를 토대로, 플렉서블 디스플레이의 가격 경쟁력 및 생산력을 확보하기 위해서 (1) 나노 단위의 형상을 패터닝 할 수 있어야 하고 (2) 가능한 공정이 간소화될 수 있어야 하며, (3) 롤투롤 기술의 장점을 살릴 수 있는 RNP(Roll and Press) 방식의 고온 엠보싱 장비를 채택하였다. 본 논문에서는, RNP 방식의 경우 가장 중요한 연속되는 패턴과 패턴 사이의 스티칭 오차(Stitching Error)를 최소화하는 것을 목표로 설계 및 제작하였으며, 실험적 연구를 통하여 검증하고자 하였다.

2. RNP 방식의 고온 엠보싱 장비

Fig.1 과 fig.2 에는 본 연구를 통하여 설계 및 제작된 RNP 방식의 고온 엠보싱 장비의 사진과 구성 및 동작을 각각 나타내었다. 공정은 롤 단계와 가압단계로 이루어지며, Fig. 2(a)는 PC(Polycarbonate) film 이 이전 연구를 통해서 제작된⁸ 열판(Hot Plates) 사이에 위치한 니켈 스탬프 위로 이송되는 롤 단계를 보여주고 있다. PC film 이 이송되는 동안



Fig. 1 Picture of RNP Type Hot-Embossing Machine (ANT-6T)

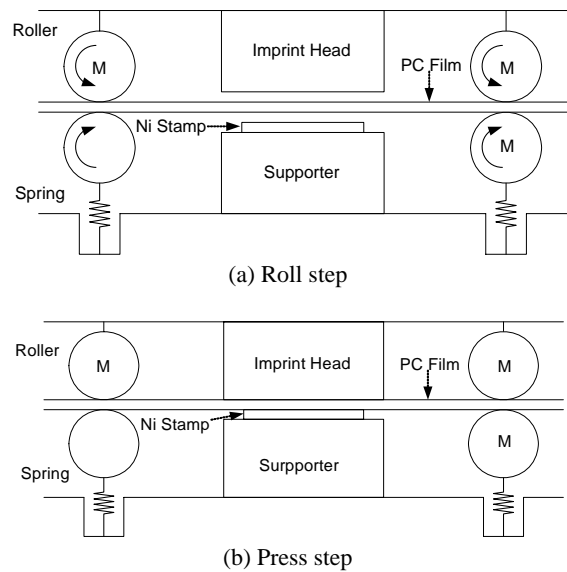


Fig. 2 Conceptual Description of RNP Type Hot-Embossing Machine

에는 열판 사이에서 하중이 전달되지 되지 않으며, 롤과 PC film 사이의 마찰력을 유지할 수 있도록 하부 롤에는 스프링을 이용하여 지지하였다. 또한 3 개의 모터를 동기화함으로써 롤을 구동하는 모터의 운동특성에 의한 스티칭 오차가 최소화될 수 있도록 하였다. Fig. 2(b)에 나타낸 가압 단계에서는 PC film 의 연성을 크게 하여 패턴을 새기기 위해 열판을 가열하고 가압한 다음, 패턴이 완전히 형성되도록 어닐링(Annealing)하여 경화시키는 단계이다. 이때 PC film 이 롤 사이에서 받는 하중변화가 롤 단계에서와 가압 단계에서 큰 차이가 없고 이송 메커니즘에 의한 변형을 방지할 수 있도록, 스프링 상수 및 변위는 주의 깊게 선정되어야 한다.

3. 실험결과

Fig. 3 에 롤&프레스 방식의 고온 나노 임프린트 장비를 이용하여 PC film 에 실험한 결과를 나타내었다. 롤 단계에서는 70[mm] 폭의 PC film 을 10[kgf] 내외의 롤 사이의 하중을



(a) Continuously arranged pattern on the PC film



(b) Continuously arranged pattern without stitching error



(c) Pattern with stitching error caused by deformation of the PC film

Fig. 3 Experimental results using RNP Type Hot-Embossing Machine (25[μm] line width, 30[μm] stitching error)

유지하면서 약 18.85[m/s]의 속도로 이송하고, 가압 단계에서는 가압 전 미리 열판을 100[$^{\circ}\text{C}$]에서 10 분 가량 예열하였다. 이후 온도조건 150[$^{\circ}\text{C}$] 그리고 하중조건 4000[kgf]에서 10 분 동안 압력을 가하고, 압력을 유지한 채 약 5~6 분간 50[$^{\circ}\text{C}$]까지 어닐링하여 경화시킨 다음 압력을 해제하였다. 열판의 예열과정은 배제하고 롤 단계 및 가압 단계를 반복한 연속공정으로 얻어진 결과를 fig. 3(a)에 나타내었고, Fig. 3(b)에는 스티칭 오차없이 잘 이어진 패턴을 나타내었 본 연구에서의 접근방법의 가능성을 보여준다. 한편, fig. 3(c)에는 이전 연구들에서 보여지는 바와 같이 유연기관의 변형에 의해서 스티칭 오차가 발생하는 경우를 나타내었다. 변형의 주원인으로는 롤 단계 이후에서 발생하는 PC film의 열적 거동에 의한 위치변화 및 어닐링 이후에 발생하는 PC film의 길이변화에 따른 잔류응력이 가장 큰 것으로 생각되며, 관찰되지 않은 이송 메카니즘의 거동 또한 스티칭 오차에 기한 것으로 생각된다.

4. 결론

기존의 평판 디스플레이와 비교하여 우수한 성질을 가지는 플렉서블 디스플레이의 상용화를 위해서는 가격 경쟁력 및 생산력 확보가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 공정의 간소화를 위해 장비의 구성 및 동작이 간단해질 수 있는 RNP 방식의 고온 엠보싱 장비를 설계 및 제작하고,

패턴의 연속성을 위해 실현되어야 할 스티칭 오차의 최소화에 관한 연구를 하였으며, 실험을 통하여 본 연구의 접근방법의 가능성을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는, 유연기관의 열적 거동 및 이송 메커니즘의 거동에 관한 더욱 심도있는 고찰을 통해 스티칭 오차를 최소화하면, 지속적이고 연속된 나노 단위의 전극을 패터닝할 수 있을 것으로 기대된다. 더불어 몰투몰 방식으로의 진보에도 기여할 수 있을 것이다.

후기

This research was supported by Center for Nanoscale Mechatronics & Manufacturing (CNMM) which is supported by Ministry of Science and Technology, KOREA.

참고문헌

1. 홍성화, 노현숙, 구영덕, “플렉서블 디스플레이 - 시장 진입을 위한 분야별 기술적 이슈”, KISTI, 2005
2. Chou S. Y., Krauss P. R. and Restrom P. J., “Nanoimprint Lithography”, J. Vac. Sci. Tech. B, Vol. 14, No. 6, pp. 4219, 1996
3. 최방립, “Poly(vinyl alcohol) 전사층을 이용한 나노 임프린트 리소그래피에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교, 2006
4. James R. Sheats, “Roll-to-roll manufacturing of thin film electronics”, Proc. of SPIE, Vol. 4688, pp. 240-248, 2002
5. 최병오, 김충환, “Roll-to-Roll 프린팅 공정 및 장비 기술”, 대한기계학회지, Vol. 46, No. 12, pp. 67-73, 2006
6. Jain. K., Klosner. M., Zemel. M. and Raghunandan. S., “Flexible Electronics and Displays : High-Resolution, Roll-to-Roll, Projection Lithography and Photoablation Processing Technologies for High-Throughput Production”, Proc. of the IEEE, Vol. 93, No. 8, pp. 1500-1510, August 2006
7. Strohhöfer. C., Klink. G., Feil. M., Drost. A., Bollmann. D., Hemmetzberger D. and Bock. K., “Roll-to-roll microfabrication of polymer Microsystems”, Meas. and Control, Vol. 40, No. 3, pp. 80-83,
8. 박규진, 곽호상, 심동원, 이재중, “고온 나노임프린트 장비용 핫플레이트의 열제어에 대한 수치모사”, 한국전산유체공학회 07 춘계학술대회 논문집, pp. 153-158, 2007