

UV 경화 수지 특성의 미세 패턴 이형에 대한 영향 연구: 표면 에너지 및 수축을

A Study on the effect of UV resin on the releasing of the micro-pattern: surface energy and cure shrinkage

*유영은¹, 권기환¹, 제태진¹, #최두선¹, 박영우²

*Y.-E. Yoo¹, K.H. Kwon¹, T.J. Je¹, #D.-S. Choi(choids@kimm.re.kr)¹, Y.W. Park²

¹한국기계연구원 나노공정장비연구실, ²충남대학교 메카트로닉스공학과

Key words : UV curable resin, micro pattern, film, high-aspect-ratio, releasing, surface energy, cure shrinkage

1. 서론

광학 특성의 향상이나 표면의 기능화를 위해 최근 제품의 표면에 다양한 미세 패턴이 응용되고 있으며, 현재 디스플레이 산업을 중심으로하여 다양한 산업으로 그 적용범위를 확장하고 있다. 미세 패턴은 적용 목적에 따라 다양한 형태가 제안되고 있으나, 최근의 패턴의 평면적 크기는 더 작아지는 반면, 이에 대한 높이 비율을 나타내는 형상비는 더욱 커지는 경향을 보이고 있다[1,2]. 이와 같은 패턴의 미세화 및 고형상비화는 특히 기존 미세 패턴의 전형적인 광학적 특성 이외에 자기 세정 효과, 무반사 효과, 시야각 조절 등 새로운 기능의 구현을 가능하게 하며, 이를 기반으로 적용 분야 및 관련 산업 범위 등의 확장이 기대되어 이에 대한 연구가 더욱 많은 관심을 모으고 있다.

미세 패턴이 응용된 플라스틱 제품의 대표적인 생산 공정으로는 사출 성형 및 Roll-to-roll 성형 공정을 들 수가 있는데, Roll-to-roll 공정은 수요가 최근 급증한 필름형 제품의 생산에 매우 적합한 공정이다. 미세 패턴이 응용된 필름 제품의 성형을 위한 Roll-to-roll 공정은 미세 패턴이 가공된 롤 금형 및 UV 경화 수지를 이용하며, 일반적으로 액체 상태의 UV 경화 수지를 롤 금형 표면에 가공된 패턴에 충전시키는 충전, 충전된 수지에 UV광을 조사하여 경화시키는 UV 경화, 경화된 패턴을 금형으로부터 분리하는 이형의 단계로 구성된다. 각 단계에서 패턴의 형상, 크기 및 형상비 혹은 공정 면적 등에 따라 많은 문제가 발생하고 있으나, 패턴의 미세화 및 고형상비화 됨에 따라 특히 이형 과정은 제품의 실용화에 가장 큰 장애 요인이 되고 있다.

본 연구에서는 서로 다른 표면 에너지 및 경화 수축률을 가지는 UV경화 수지 및 공정 조건의 변화에 대한 고형상비 미세 패턴의 이형 특성을 실험적으로 분석하여 고형상비 미세 패턴 필름 제품의 이형성 개선 기술 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다.

2. 실험

고형상비 미세 패턴에 대한 이형 특성 분석을 위해서 Fig. 1과 같은 사각 채널 형상의 패턴을 100mm x 100mm의 평판 황동 기관 및 직경 300mm, 길이 400mm의 동 도금된 롤에 가공하여 패턴 마스터를 제작하였다. 미세 패턴의 크기는 가공된 그루브의 밑부분이 135 μ m, 윗부분이 120 μ m, 깊이 200 μ m이었다.

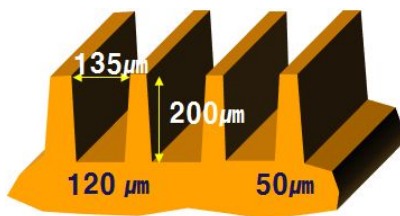


Fig. 1 Configuration of the model micro patterns

Fig. 2에는 가공된 평판 및 롤 금형과 패턴 형상을 나타내었다.

나타낸 바와 같이 성형 공정에서 실시간으로 용융수지 혹은 금형의 압력 및 온도를 측정하기 위해 9 위치에 압력/온도 겸용 센서를 설치하였다.

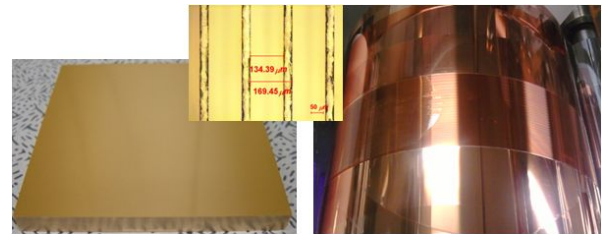


Fig. 2 A machined planar, roll master and the patterns

적용된 UV경화 수지는 광학 필름에 사용되는 아크릴계 수지를 기반으로 폴리머 체인의 기능기 및 구조를 변화시켜 표면에너지 및 수축률을 제어하여 사용하였다. 기본 소재(resin A)로 사용된 수지의 접착각은 87°, 경화 수축율은 17% 이었으며, 표면에너지 변형 소재(resin B)의 표면에너지는 109°, 수축률 변형 소재(Resin C)의 수축율은 9%가 되도록 합성 되었다.

평판 패턴 마스터를 이용한 이형 실험을 위하여 Fig. 3과 같은 평판 coater를 이용하여 UV resin을 충전, 경화시킨 후 분리하지 않은 상태로 제작하였다. 이렇게 제작된 패턴 마스터/필름 접착 시편을 두 층이 분리될 때 필요한 힘을 분석하기 위해 Fig. 4와 같은 인장력 시험기를 이용하여 측정하였다. 이 때 이형 과정에서 작용되는 힘의 방향을 일정하게 유지하기 위해, 측정 시편을 종 방향으로 움직이는 로드셀과 동기화 시킬 수 있도록 횡 방향으로 움직일 수 있게 하였다.

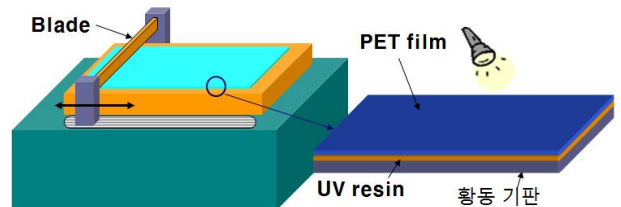


Fig. 3 Schematic of planar coating machine and film/pattern master sample for measuring releasing force

패턴 롤 마스터를 이용한 이형 실험을 위하여 최대 성형 폭 400mm, 적용 롤 마스터 직경 300mm 인 롤 성형 장치를 이용하였다. 롤 성형 장치를 이용하여 연속 성형 공정에서 발생하는 이형 현상 및 문제점에 대한 실험적 분석을 수행하였으며, 특히 초기 이형 및 기포 혹은 미충전부분에서의 이형 특성에 대하여 분석을 하였다.

3. 결과 및 토의

Fig. 5는 평판 패턴 마스터를 이용하여 Resin A 및 Resin B를 각각 적용하여 이형한 후의 패턴 형상이다. Resin A의 경우 경화된 미세 패턴이 패턴 마스터로부터 제대로 분리가 되지 않고 베이스 필름과 UV 경화 수지 패턴 층에서 박리가 발생하여 이형이 불가 하였으나, 표면에너지를 낮춘 Resin B의 경우 원활한 이형이 가능하였다.

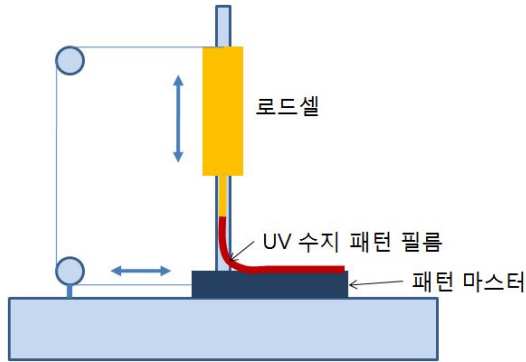


Fig. 4 Schematic of pulling test machine to measure releasing force

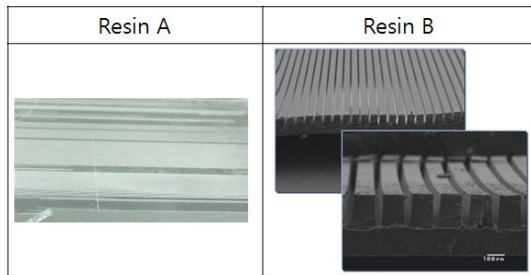


Fig. 5 Results of released surface micro-features for two different UV curable resin

수축율 차이에 의한 이형 특성 분석을 위해서 Resin B 및 Resin C를 적용하여 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 이형력을 측정하였다. 수축율이 다른 두 소재에 대한 이형력은 이형 과정 중 큰 차이를 보이고 있으며, 수축율이 작게 제어된 소재의 이형력이 크게 측정되는 결과를 보인다. 그러나 이는 실제 연속적인 이형 과정에서의 이형 안정성 등에 대한 실험자의 정성적인 결과와 상반되고 있어 소재의 기계적 물성 등에 대한 추가적인 비교 분석이 필요하다.

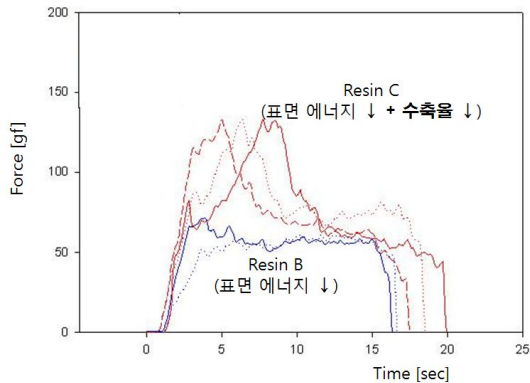


Fig. 6 Releasing force measured for resins with different cure shrinkage rate

Resin A 및 B를 적용하여 롤 성형 공정에서의 성형 및 이형 실험을 수행한 결과, Resin A의 경우 이형이 불가 하였으며,

Resin B의 경우 비교적 양호한 이형 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 7). 또한 Resin B의 경우 이형 안정성도 롤 성형 공정의 경우 양호한 것으로 판단되나 초기 이형 상태 및 성형 공정 중 기포나 패턴 미성형에 의한 패턴 부분의 결함 등이 전체적인 이형 공정 안정성에 큰 영향을 미치는 것으로 분석 되었다.

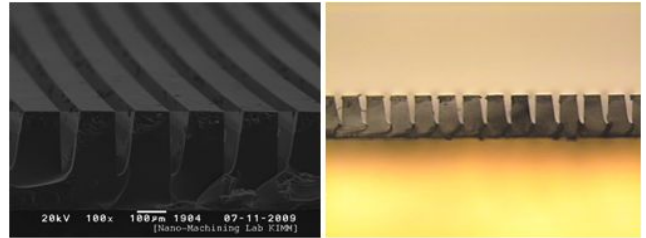


Fig. 7 Surface micro-structures released roll master with low surface energy resin(Resin B)

4. 결론

본 실험을 통해 UV 경화 수지를 이용한 고휘상비 미세 패턴의 성형 공정에서 주요 문제로 인식되고 있는 이형 과정에 미치는 소재 특성에 대하여 분석하였다. 이를 위하여 소재의 표면 에너지 및 경화 수축율을 다르게 제어하였으며 각각의 소재에 대한 최적 공정 조건을 적용, 실험을 수행하여 이형성에 대한 영향을 분석하였다. 소재의 표면 에너지를 낮게 제어한 경우 평판 및 롤 공정 모두 상당히 개선된 이형 특성을 보여 주었다. 또한 이형 공정 중 발생하는 이형 불안정성에 대한 기초적인 현상 분석을 수행하여 초기 이형 상태 및 미세 패턴에서의 결함 등이 이형 불안정성에 영향을 미침을 규명하였다. 향후 수축율 제어 소재의 이형 특성에 대한 소재의 기계적 물성 및 공정 특성을 종합적으로 고려한 이형 특성에 대한 분석이 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세 가공 시스템 기술 개발 과제의 지원으로 수행되었습니다. 관계자의 노고에 감사드립니다.

참고문헌

1. Funamoto, A. and Aoyama, S., "LED backlight system with double-prism pattern," J. the SID 14/11, 1045-1051, 2006
2. Li, C.-J., Fang, Y.-C., Chu, W.-T. and Cheng, M.-C., "Design of a prism light-guide plate for an LCD backlight module," J. the SID 16/4, 545-550, 2008