

사출압축성형을 이용한 자동차용 도어그립 필름인서트성형

이호상*† · 유영길* · 김태안**

* 한국교통대학교 항공기계설계학과, ** (주)동원테크

Film Insert Molding of Automotive Door Grip Using Injection-Compression Molding

Ho Sang Lee*†, Young Gil Yoo* and Tae An Kim**

* Dept. of Aeronautical & Mechanical Design Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation

** Dongwon Tech. Co., Ltd.

(Received March 22, 2014 ; Revised May 9, 2014 ; Accepted May 12, 2014)

Key Words: Film Insert Molding(필름인서트성형), Injection-Compression Molding(사출압축성형), Injection Molding(사출성형), Embossed Film(엠보 필름), Cavity Pressure(캐비티 압력), Mold(금형)

초록: 자동차용 도어그립을 대상으로 하여 3 차원 엠보 패턴이 인쇄된 필름을 적용한 인서트성형을 구현하기 위하여 사출압축성형을 사용하였다. 진공금형을 제작하여 필름 열성형을 하였으며, 필름인서트성형을 위하여 사출압축금형을 개발하였다. 3 개의 압력센서를 설치하여 금형 캐비티압력을 측정하였으며, 다양한 압축스트로크와 토글속도에 대한 사출압축성형 실험을 수행하여, 공정조건이 캐비티 압력과 엠보 패턴의 높이에 미치는 영향을 고찰하였다. 압축스트로크 0.9mm 와 느린 토글속도에서 엠보 패턴의 유지율이 높게 나타났다. 또한 엠보패턴이 최대 높이를 갖기 위한 공정조건은 캐비티 압력의 적분값이 최소가 되는 조건과 거의 동일하였다. 사출압축성형을 사용하여 엠보 패턴이 인쇄된 소프트한 촉감을 갖는 플라스틱 제품을 구현할 수 있다.

Abstract: Injection-compression molding was used for film insert molding of an automotive door grip using films with three-dimensional embossed patterns. A vacuum mold was fabricated for vacuum-assisted thermoforming of the film, and an injection-compression mold was developed for film insert molding. Three pressure transducers were installed inside the mold cavity to measure cavity pressures. Injection-compression molding experiments under various compression strokes and toggle speeds were performed to investigate their effects on the cavity pressure and heights of the embossed patterns. The compression stroke of 0.9mm and low toggle speed resulted in a higher degree of conservation of embossed patterns. Additionally, the processing conditions for the maximum heights of embossed patterns were almost similar to those for minimum integral value of cavity pressures. The injection-compression molding process presents the opportunity to impart a soft-touch feeling of plastic parts printed with embossed patterns.

1. 서론

최근 종래의 IMD (In-Mold Decoration) 공법을 더욱 발전시켜 3 차원 곡면형상을 갖는 플라스틱 제품과 필름을 일체화하는 필름 인서트 성형(Film Insert Molding) 공법이 새로운 플라스틱 장식기술

로 각광을 받고 있다. 필름 인서트 성형 공정은 인쇄, 진공성형, 트리밍, 사출성형 등 크게 4 단계로 구분될 수 있다. 필름 표면에 다양한 색상으로 구성된 도형, 문자, 패턴 등을 인쇄한 이후, 필름에 열과 진공을 적용하여 제품의 표피층에 해당하는 3 차원 곡면형상을 성형한다. 필름의 불필요한 부위를 잘라내고, 필름을 금형에 삽입한 이후, 용융된 수지를 사출하여 필름과 일체화된 플라스틱 제품을 성형한다.

도장, 도금, 수압전사 등 기존의 장식방법에 비

† Corresponding Author, lhs@ut.ac.kr

하여 필름 인서트 성형은 공정이 간단하고, VOC 등 유기화합물질이 배출되지 않는 친환경 제조공법이기에 때문에, 자동차 내장부품, 휴대용 전자기기 등에서 많이 적용되고 있다. 그러나 필름 인서트 성형공정에서 필름의 주름, 필름과 수지의 불완전한 접합, 휨 변형, 불균일한 수축⁽¹⁻⁶⁾ 등 다양한 불량률이 많이 발생한다.

Leong 등⁽¹⁾은 사출성형 조건이 필름 인서트 성형된 디스크의 기계적, 형태학적 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였으며, 폴리프로필렌 필름과 기재 사이의 접합특성은 배럴온도, 보압크기, 사출속도에 의해 크게 영향을 받음을 설명하였다. Back 등⁽⁴⁾은 필름인서트 성형 시편의 휨 변형이 사출속도의 증가에 따라 감소하며, 보압유지시간에 의한 영향은 없는 것으로 보고하였다. Kim 등⁽⁶⁾은 열처리하지 않은 필름을 사용하여 인서트 성형한 시편이 필름 반대쪽으로 휨 변형이 발생하고 있음을 보고하였다. Chen 등⁽⁷⁾은 필름이 사출성형 공정에서 온도장에 미치는 영향을 고찰하였으며, 필름의 열전달 지연이 금형-수지, 필름-수지 간의 온도차이를 유발하며, 필름 두께가 증가함에 따라 열전달 지연에 의한 온도차이가 증가함을 보고하였다.

최근 플라스틱 제품의 표면은 고풍택, 내스크래치성 등 고품질의 외관 뿐만 아니라 소프트 터치감이 요구되고 있다. 그러나 아직까지 필름 인서트 성형은 3 차원 패턴 형상을 갖는 인쇄 필름에는 적용하지 못하고 있는 상황이다. 왜냐하면 사출성형 공정에서 발생하는 높은 캐비티 압력에 의하여 필름 표면에 인쇄된 3 차원 엠보 패턴들이 심하게 눌러 패턴 형상이 제대로 유지되지 못하기 때문이다. Miura⁽⁸⁾는 별도로 제작된 진공금형 및 장비를 기반으로 하여, 압축 공기압을 작용시켜 인쇄된 필름을 사출성형된 제품 표면에 부착하는 TOM(three-dimensional overlay) 공법을 개발하였다. 이 방법은 낮은 압력을 사용하여 필름 표면에 인쇄된 3 차원 패턴형상을 유지시키고, 촉감이 있는 제품표면을 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 사출성형과 필름을 붙이는 작업이 분리되어 있고, 대부분 접착제를 도포하는 문제가 있다.

본 논문에서는 사출압축성형을 적용하여 3 차원 입체패턴을 갖는 필름의 인서트 성형에 대하여 연구하였다. 사출압축성형은 기존 사출성형과 압축성형의 장점을 조합한 공법이다. 사출단계 전에 금형 캐비티의 두께를 제품의 평균두께보다 약간 더 크게 설정하고, 두꺼운 캐비티로 인하여 낮은

사출압력으로 용융된 수지를 금형 캐비티 안으로 주입할 수 있도록 한다.⁽⁹⁾ 캐비티를 부분 충전시킨 후 가동측 금형을 닫으면서 수지 압축이 이루어지며, 금형 캐비티 두께는 최종 제품두께로 감소하게 된다. 기존 사출성형에 비하여 사출압축성형은 사출압력 및 잔류응력을 감소시키며, 치수 정밀도가 높은 장점이 있다.

그동안 사출압축성형 공법은 렌즈, CD, 도광판 및 광학부품에 많이 적용되어왔다.⁽¹⁰⁻¹⁵⁾ Klepek⁽¹⁰⁾은 사출압축성형을 두꺼운 광학렌즈에 적용하였으며, Yang 등⁽¹¹⁻¹³⁾은 사출압축성형을 적용하여 디스크의 광학특성 변화를 실험적으로 연구하고, 사출압축성형이 치수 정밀도에 매우 효과적임을 보고하였다. Michaeli 과 Wielpuetz⁽¹⁴⁾은 실험계획법을 사용하여 광학제품의 품질에 영향을 미치는 사출압축성형 공정조건에 대하여 고찰하였다. 그들은 사출속도, 보압크기 뿐만 아니라 압축속도가 중요한 공정조건임을 보고하였다. 본 연구진⁽¹⁵⁾은 13 메가급 고해상도 스마트폰 렌즈를 개발하기 위하여 사출압축성형을 적용하였으며, 기존 사출성형에서 발생하는 웰드라인을 제거하고 복굴절을 크게 감소시킬 수 있었다.

이번 연구에서는 자동차용 도어그립을 적용 대상으로 3 차원 엠보패턴을 갖는 필름 인서트 성형을 구현하고자 하였다. 도어그립의 3 차원 곡면형상을 만족하는 필름성형을 위하여 진공금형을 제작하고, 사출압축 방식의 금형을 개발하였다. 엠보패턴을 갖는 필름을 진공성형한 후에, 트리밍된 필름을 사출압축금형의 고정측 캐비티에 설치하였으며, 최종적으로 사출압축성형 실험을 수행하였다. 특히, 압축 스트로크와 토글속도가 캐비티 압력 및 엠보패턴의 높이에 미치는 영향을 고찰하였으며, 기존 사출성형에 의한 결과와 비교하였다.

2. 금형설계 및 실험방법

2.1 필름 진공성형

도어그립에 사용된 필름은 독일의 Kurz 에서 생산하는 두께 0.5mm 의 적층필름이며, ABS 백킹시트와 PUR 코팅층으로 구성되어 있다. 일본 주조화학에서 생산하는 UV 경화형 잉크(RC47)를 적용한 스크린 인쇄 방법을 통하여 필름 표면에 60 μ m 높이를 갖는 엠보 패턴을 생성하였다.

도어그립 표면과 일치하는 3 차원 곡면형상을 갖도록 필름을 성형하기 위하여, 진공성형 금형을 제작하였다. 또한 열진공성형 해석을 수행하여 필름의 두께변화를 예측하고 실험결과와 비교하였으

며, 관련된 자세한 내용은 참고문헌⁽¹⁶⁾에 나타나있다.

2.2 사출압축금형

1 차로 수지를 사출한 이후 압축단계에서 수지의 역류를 방지하고, 최종적으로 성형품만 취출할 수 있도록 2 개의 밸브게이트를 갖는 핫러너 시스템을 고정측 금형에 설계하였다. 또한 사출성형 냉각단계에서 제품의 불균일한 온도분포로 인한 휨 변형을 줄이기 위하여 상측과 하측에 각각 4 개의 직선형 냉각채널을 구성하고, 냉각효과를 높이기 위하여 성형품 주변을 따라 냉각채널을 추가하여 설계하였다.

금형을 일정거리만큼 개방한 상태에서 1 차 사출을 하고, 이어서 금형을 압축할 수 있도록 하였으며, 이때 Fig. 1 과 같이 금형을 일정거리 만큼 개방한 상태에서 밀폐구조가 유지되도록 설계하였다. 특히, 최대 3mm 범위에서 금형을 개방하고 사출할 때 수지의 누설이 발생하지 않도록 스프링을 사용하여 캐비티를 둘러싼 가동측 평판(core B)이 고정측 평판(cavity plate)에 완전히 접촉되도록 하였다. 수지의 충전이 완료되면 가동측 평판(core B)이 사전에 설정된 토글속도로 후진하면서 수지 압축이 이루어지도록 하였다. 금형이 완전히 닫히게 되면 유압유니트의 신호에 의해 양단의 박형실린더에 압력이 가해지고 Fig. 1 에서 도시된 core A 에 core B 가 고정되도록 하였다.

사출성형 및 압축성형의 조건 변화에 따른 금형 캐비티 압력 및 온도를 측정하기 위하여 금형에 3 개의 압력센서(Priamus 6003A)와 2 개의 온도센서(Priamus 6581A)를 설치하였다. Fig. 2 는 3 개의 압력센서 위치(P1, P2, P3)와 2 개의 온도센서 위치(T1, T2)를 나타내고 있으며, Fig. 3 은 제작된 가동측 및 고정측 금형을 나타낸다.

2.3 실험방법

사출압축성형 실험을 위하여 Engel사에서 제조한 180 톤 전동식 사출성형기(e-max180)를 사용하였다. 또한 필름 인서트 사출성형의 최적조건을 도출하기 위하여 PRIAMUS 장비를 사용하여 캐비티 압력을 모니터링 하였다. 사출압축성형 공정에 대하여 압축스트로크 및 토글속도의 변화에 따른 실험을 수행하고 캐비티 압력을 최소화 시킬 수 있는 공정조건을 도출하고자 하였다.

최종적으로 성형품의 엠보 높이를 측정하기 위하여 일본의 Kosaka Laboratory 에서 제작한 ET-3000i 모델인 표면프로파일러를 이용하였다. 사출성형을 위하여 ABS(LG Chemical HF-380) 수지를 사용하였으며, 유동지수(Melt Flow Index)는 35 g/10min 이다. 실험에 적용된 기본적인 공정조건은 Table 1 과 같다. 또한 압축스트로크에 따라 스크류의 압축전환 위치를 미세 조정하면서 성형품의 중량이 항상 일정하도록 하였다. 그리고 토글속도를 변경하면서 금형의 압축속도가 캐비티 압력 및 엠보 패턴의 높이에 미치는 영향을 고찰하였다.

3. 성형조건이 캐비티압력에 미치는 영향

캐비티에서 좌, 우 동시 충전조건을 만족시키기 위하여 Fig. 2 에서 표시된 2 번 밸브 게이트(Gate

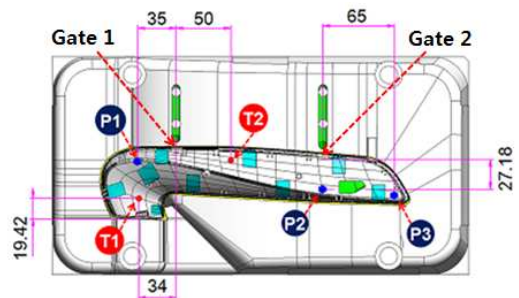


Fig. 2 Schematic of cavity with locations of transducers

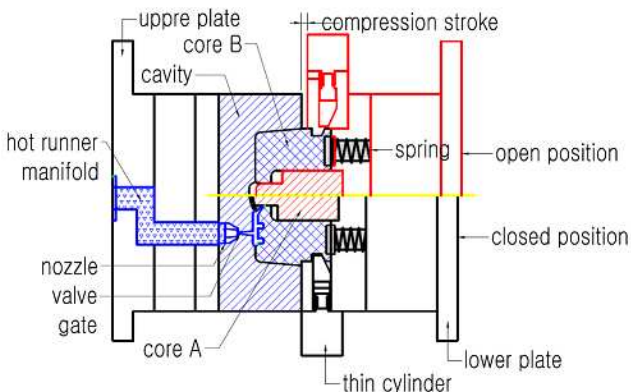


Fig. 1 Schematic of injection-compression mold

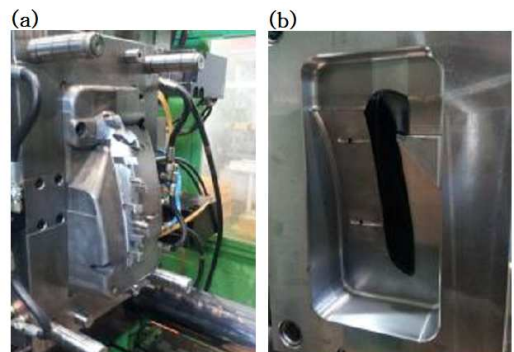


Fig. 3 Photographs of (a) movable mold, and (b) stationary mold

2)에 1.15sec의 지연시간을 적용하여 일반적인 사출성형 실험을 수행하였다. Fig. 4는 압력센서 위치 P1, P2, P3 지점에서의 캐비티압력 추이를 나타내고 있다. 최대압력은 P1 지점에서 440bar, P2 지점에서 409bar, 414bar로 높은 압력이 발생하고 있음을 알 수 있다.

사출압축성형에서 압축스트로크가 캐비티 압력에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 0.3mm 부터 1.2mm 까지 0.3mm 간격으로 압축스트로크를 변화시켰으며, 이때 토글속도를 3mm/sec 로 고정하였다. Fig. 5는 압축스트로크에 따른 캐비티압력 최대값과 캐비티압력의 시간에 따른 적분값을 나타낸 것이다. 압축스트로크가 증가함에 따라 최대 캐비티 압력이 감소하고 있으며, 압축스트로크가 0.9mm 를 초과하면 최대 캐비티 압력이 다시 증가하고 있음을 볼 수 있다. 압축스트로크가 클 경우 두께가 증가하여 1 차 사출단계에서 유동 저항이 감소하고 충전압력이 감소하게 된다. 그러나 0.9mm 이상으로 압축스트로크가 커지면, 수지를 압축하면서 발생하는 압축력의 증가로 인하여 반대로 캐비티 압력이 증가하게 되는 것으로 판단된다. 한편 선행연구⁽¹⁷⁾를 통해 고찰한 바와 같이 캐비티 압력의 시간에 따른 적분값은 성형 후 필름의 엠보 형상 유지에 중요한 영향을 미친다. 필름에 인쇄된 엠보 형상의 유지율을 최대화하기 위하여 캐비티 압력 적분값이 가장 작은 압축스트로크 0.9mm 를 최적의 성형조건으로 선정하였다.

Table 1 Processing conditions

Parameters		Value
Mold temperature	Stationary	50°C
	Movable	45°C
Nozzle temperature		230°C
Injection speed		25 mm/sec
Packing pressure		750 MPa
Holding time		10 sec

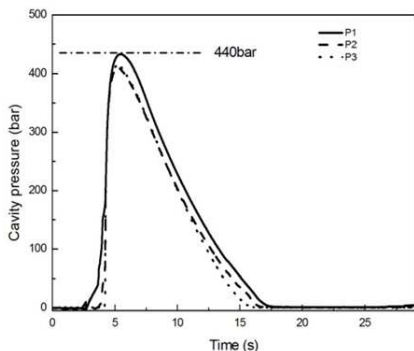


Fig. 4 Cavity pressure traces during injection molding

사출압축성형에서 압축속도에 의한 영향을 고찰하기 위하여 3mm/sec 부터 12mm/sec 까지 3mm/sec 간격으로 토글속도를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 이때 압축스트로크는 0.9mm 로 고정하였다. Fig. 6은 토글속도에 따른 캐비티 압력 최대값과 캐비티 압력의 시간에 따른 적분값을 나타낸 것이다. 토글속도가 빠를수록 최대 캐비티 압력이 급격하게 증가하고 있으며, 반면에 캐비티 압력의 적분값은 상대적으로 완만하게 증가하고 있음을 볼 수 있다. 토글속도가 빠를수록 2 차 압축단계에서 압축력이 크게 증가하기 때문에 캐비티에서 받는 압력이 급격히 증가하게 되는 것으로 판단된다. 한편 토글속도가 빠를수록 캐비티 압력은 크게 발생하지만, 금형압축이 이루어지는 시간이 짧기 때문에 캐비티 압력이 유지되는 시간이 짧아지게 되고, 결국 캐비티 압력의 시간에 따른 적분값이 증가하는 기울기는 캐비티 압력의 기울기에 비하여 작은 것으로 판단된다. 본 연구에서는 엠보 형상 유지율을 높이기 위한 토글속도로서 3mm/sec 를 선정하였다.

앞에서 최적 공정조건으로 선정한 압축스트로크 0.9mm, 토글속도 3mm/sec 를 적용하였을 때 압력센서 P1 지점에서 발생하는 캐비티압력은 Fig. 7과 같다. 1 차 사출이후 캐비티압력이 순간적으로 감소하는 경향이 나타나고 있는데, 이는 토글속도가 느리기 때문에 금형의 관성효과에 의해 압축력이 발생하는데 시간지연이 나타났기 때문인 것으로 판단된다. P1 지점에서의 최대압력은 128bar 로서 기존 사출성형의 경우인 Fig. 4와 비교할 때 약 30%수준에 해당하는 매우 낮은 캐비티 압력으로 성형이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

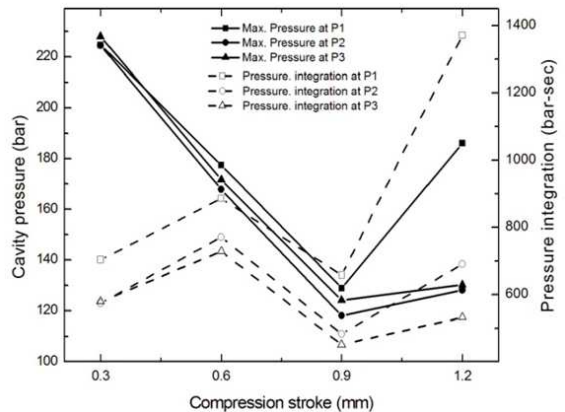


Fig. 5 Maximum cavity pressure and integration of cavity pressure along the time at various sensor positions as a function of the compression stroke

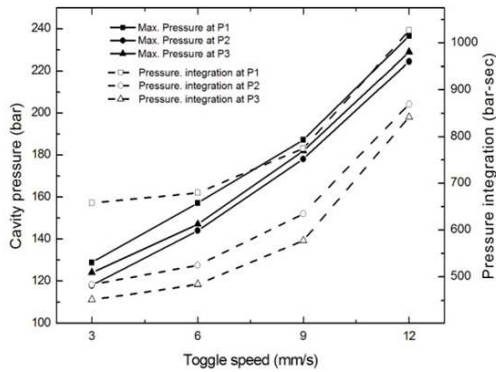


Fig. 6 Maximum cavity pressure and integration of cavity pressure along the time at various sensor positions as a function of toggle speed

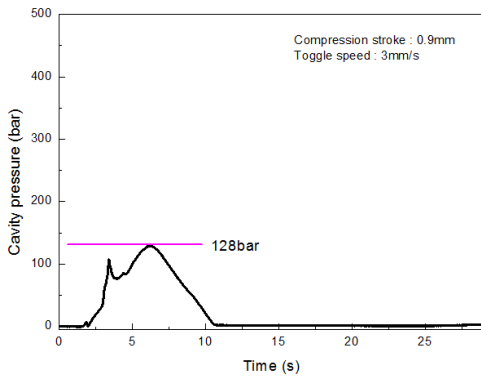


Fig. 7 Cavity pressure traces during injection-compression molding

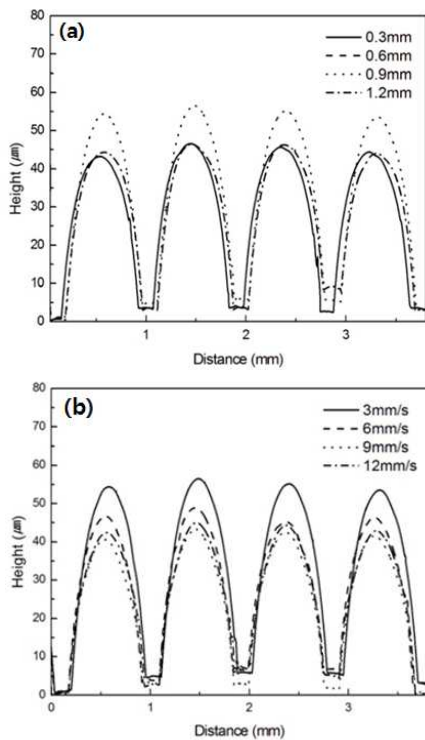


Fig. 8 Surface profiles of embossed patterns by injection-compression molding under various (a) compression strokes, and (b) toggle speeds

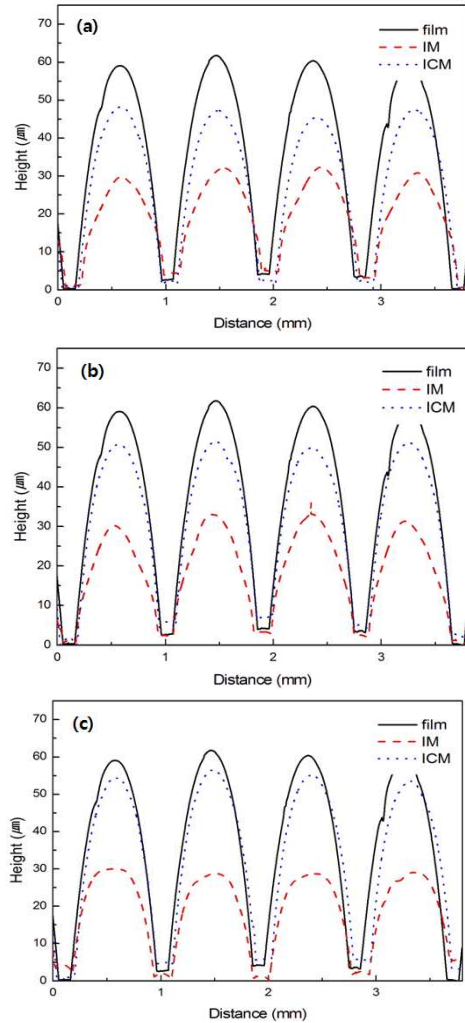


Fig. 9 Comparisons of surface profiles of embossed patterns by ICM(injection-compression molding) with those by IM(injection molding): (a) Position P1, (b) Position P2, (c) Position P3

4. 성형조건이 엠보패턴에 미치는 영향

성형조건에 따른 엠보의 유지율을 고찰하기 위하여 필름 인서트 성형 이후 표면프로파일러 (Surface Profiler)를 이용하여 엠보 패턴의 높이를 측정하였다. 압축스트로크 및 토글속도의 변화에 따라 사출압축성형한 이후 P3 지점에서 측정한 엠보패턴의 형상이 Fig. 8 에 나타나 있다. 압축스트로크 0.9mm 에서 엠보높이가 가장 높고, 토글속도가 느릴수록 엠보높이가 가장 높음을 알 수 있다. 특히, 엠보패턴이 가장 높은 공정조건은 Fig. 5~6 에서 고찰한 바와 같이 캐비티 압력 적분값이 가장 작은 경우의 공정조건과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

최적의 공정조건으로서 압축스트로크 0.9mm,

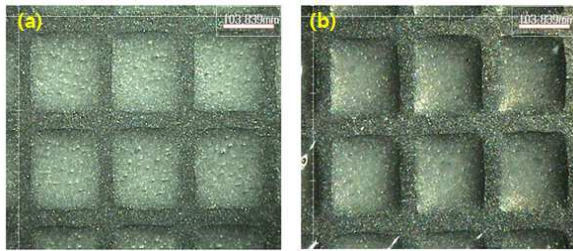


Fig. 10 Photographs of embossed patterns at position P3 after (a) injection molding and (b) injection-compression molding

토글속도 3mm/sec 를 적용한 사출압축성형과 기존 사출성형을 각각 수행한 이후 성형품의 P1, P2, P3 지점에서 측정된 엠보패턴 형상은 Fig. 9 와 같다. 기존 사출성형의 경우 P1, P2, P3 지점에서의 엠보 높이는 각각 30, 33, 32 μm 이었으며, 성형 이전의 엠보 높이가 60 μm 를 기준으로 엠보형상 유지율을 계산하면, 각각 50, 55, 53%인 것으로 나타났다. 반면에 사출압축성형을 적용한 경우 P1, P2, P3 지점에서의 엠보 높이는 각각 48, 52, 55 μm 이었으며, 엠보형상 유지율은 각각 80, 86, 91%인 것으로 나타났다. 결국 기존 사출성형을 적용할 경우 엠보유지율이 50~55% 범위였으나, 사출압축성형을 적용하여 80~91% 수준으로 엠보 유지율을 크게 높일 수 있었다.

Fig. 10 은 공구현미경(STV-C-2010, SOMETEC Co.)을 사용하여 Fig. 2 의 P3 지점에서 기존 사출성형과 사출압축성형에 의한 엠보패턴 형상을 측정하여 100 배로 확대한 사진이다. 기존 사출성형에 비하여 사출압축성형의 적용을 통해 3 차원 엠보 형상이 크게 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 자동차용 도어그립을 대상으로 하여 3 차원 엠보 패턴이 인쇄된 필름이 적용된 필름인서트성형을 구현하기 위하여 사출압축성형에 대하여 연구하였으며, 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 사출압축금형 개발 및 실험을 통해 압축스트로크가 증가할수록 캐비티 압력이 감소하며, 압축스트로크 0.9mm 이상에서는 반대로 압력이 증가하고 있음을 알 수 있었다. 또한 금형을 압축하는 단계에서 토글속도가 증가함에 따라 캐비티 압력은 지속적으로 증가하였다.

(2) 사출압축성형을 적용하여 기존 사출성형에서 발생하는 캐비티 압력의 크기를 30%수준으로 크게 낮출 수 있었다.

(3) 엠보 패턴의 높이를 가장 크게 유지할 수 있도록 하는 사출압축성형 조건은 캐비티 압력을 시간에 따라 적분한 값이 최소화되는 공정조건과 일치하였다.

(4) 기존 사출성형을 적용할 경우 엠보유지율이 50~55%이었으나, 사출압축성형을 적용할 경우에는 80~91% 수준으로 엠보유지율을 크게 높일 수 있었다.

후 기

이 논문은 2012 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(한국연구재단-2012-0004698)과, 중소기업청 기술혁신개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌 (References)

- (1) Leong, Y. W., Yamaguchi, S., Mizoguchi, M., Hamada, H., Ishiaku, U. S. and Tsujii, T., 2004, "The Effect of Molding Conditions on Mechanical and Morphological Properties at the Interface of Film Insert Injection Molded Polypropylene-Film/Polypropylene Matrix," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 44, No. 12, pp. 2327~2334.
- (2) Leong, Y. W., Umemura, T. and Hamada, H., 2008, "Film Insert Molding as a Novel Weld-Line Inhibition and Strengthening Technique," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 48, No. 11, pp. 2147~2158.
- (3) Oh, H. J., Song, Y. S., Lee, S. H. and Youn, J. R., 2009, "Development of Warpage and Residual Stresses in Film Insert Molded Parts," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 49, No. 7, pp. 1389~1399.
- (4) Baek, S. J., Kim, S. Y., Lee, S. H., Youn, J. R. and Lee, S. H., 2008, "Effect of Processing Conditions on Warpage of Film Insert Molded Parts," *Fiber. Polym.*, Vol. 9, No. 6, pp. 747~754.
- (5) Kim, S. Y., Oh, H. J., Kim, S. H., Kim, C. H., Lee, S. H. and Youn, J. R., 2008, "Prediction of Residual Stress and Viscoelastic Deformation of Film Insert Molded Parts," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 48, No. 9, pp. 1840~1847.
- (6) Kim, S. Y., Kim, S. H., Oh, H. J., Lee, S. H., Baek, S. J., Youn, J. R., Lee, S. H. and Kim, S. W., 2008, "Molded Geometry and Viscoelastic Behavior of Film Insert Molded Parts," *J. Appl. Polym.*, Vol. 111, No. 2, pp. 642~650.
- (7) Chen, S.-C., Li, H.-M., Huang, S.-T. and Wang, Y.-C., 2010, "Effect of Decoration Film on Mold Surface Temperature During In-Mold Decoration Injection

- Molding Process,” *Int. Comm. Heat Mass Trans.*, Vol. 37, No. 5, pp. 501~505.
- (8) Miura, T., 2009, “The Development and Progress of the Three-Dimensional Overlay Method(TOM),” *J. Imaging Soc. Japan*, Vol. 48, No.4, pp. 277~284.
- (9) Isayev, A. I., 2000, Molding Processes in Handbook of Industrial Automation. Shell, R.L., Hall, E.L. (Eds.), Marcel Dekker, New York, pp. 573~606.
- (10) Klepek, G., 1987, “Manufacturing Optical Lens by Injection Compression Molding,” *Kunststoffe*, Vol. 77, p. 13.
- (11) Yang, S. Y. and Chen, Y. C., 1998, “Experimental Study of Injection-Charged Compression Molding of Thermoplastic,” *Advances in Polymer Technology*, Vol. 17, No. 4, pp. 353~360.
- (12) Yang, Y. and Ke, M. Z., 1993, “Experimental Study of Injection Compression Molding,” *SPE ANTEC’93*, pp. 2182~2187.
- (13) Yang, S. Y. and Ke, M. Z., 1995, “Experimental Study on the Effects of Adding Compression to Injection Molding Process,” *Advances in Polymer Technology*, Vol. 14, pp. 15~24.
- (14) Michaeli, W. and Wielpuetz, M., 2000, “Optimization of the Optical Quality of Polymer Glasses in the Injection Compression Molding Process,” *Macromol. Mater. Eng.*, Vol. 284/285, pp. 8~13.
- (15) Lee, H. S., Jeon, W. T. and Kim, S. W., 2013, “Development of Plastic Lenses for High-Resolution Phone Camera by Injection-Compression Molding,” *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 37, No. 1, pp.39~46.
- (16) Lee, H.-S. and Yoo, Y.-G., 2013, “Numerical and Experimental Analysis of Laminated-Film Thickness Variation in Vacuum-Assisted Thermoforming,” *Trans. Mater. Process.*, Vol.22, No.3, pp.171~177.
- (17) Lee, H.-S. and Yoo, Y.-G., 2014, “Experimental Study of Injection-Compression Molding of Film Insert Molded Plates,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 15, No. 3, pp. 455~461.