

사출성형시 미세패턴 전사성 차이에 관한 연구

김태훈[†] · 유영은 · 제대진 · 박영우 · 노승환 · 최두선[#]

에이테크솔루션(주) · 한국기계연구원 나노융합기계연구본부 · 충남대학교 메카트로닉스공학과
(2008. 5. 20. 접수 / 2008. 7. 25. 채택)

A study on the micro pattern replication difference in injection molding

Tae-Hoon Kim[†] · Yeong-Eun Yoo · Tae-Jin Je · Yeong-Woo Park · Seung-Hwan Roh · Doo-Sun Choi[#]

Atech-solution Co.,Ltd

Division of Nano Mechanical Systems, KIMM

Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

(Received May 20, 2008 / Accepted July 25, 2008)

Abstract : We injection molded a thin type of plate and wedge type of plate with micro prizm patterns on its surface and investigated the fidelity of replication of the micro pattern depending on the process parameter such as mold temperature, melt temperature, injection rate or packing pressure. The size of the 90° prizm pattern is 50 μ m and the size of the plate is about 335mm \times 213mm and 400mm \times 400mm. The thicknesses are 2.6mm and 0.7mm at each edge of the wedge type of plate and 1mm at each edge of the thin type of plate. The fidelity of the replication turned out quite different according to the process parameters and location of the patterns on the plate. We measured the cavity pressure and temperature in real-time during the molding to analyze the effect of the local melt pressure and temperature on the micro pattern replication.

Key Words : Injection Molding, Micro Pattern, Replication

1. 서 론

IT 산업과 같은 첨단 핵심 산업 부분에서의 제품은 고성능 및 고기능화를 통한 고부가가치화를 위해 대면적화, 구조의 미세화, 고정밀화의 경향을 보이고 있다. 이와 더불어 많은 응용 제품이 좋은 광학적인 특성을 필요로 하거나, 이용하고 있어 유리나 플라스틱 소재 적용에 대한 요구가 커지고 있다. LCD의 도광판을 포함한 많은 광 응용 제품은 그 표면에 다양한 형태의 미세 패턴이 설계되어 있고 이러한 패턴의 형상 및 크기는 제품의 특성을 결정하는 매우 중요한 인자가 된다. 이와 같이 형상의 크기가 더욱 미세화 되고 구조물의 형상비가 상대적으로 커지며, 기판의 두께가 얇아지고 대면적화 되

는 경우 플라스틱 소재의 성형성은 급격히 감소하게 되어 미세 패턴을 원하는 형상 및 치수로 균일하게 성형하기가 매우 어려울 뿐만 아니라 기판의 미성형이나 사출에서의 과도한 압력 및 고화로 인한 사출 변형 등의 문제도 해결해야 할 큰 문제이다. 특히, 충전과정에서 금형으로 주입된 뜨거운 고분자 용융물은 차가운 금형에 접촉하는 순간부터 매우 빠르게 고화가 진행되어 유동성이 급격히 저하되고 소재의 불균일한 고화 및 수축의 진행으로 제품의 두께가 얇을수록 성형이 매우 어려워지며, 표면으로부터의 고화는 미세패턴 등과 같이 미세 표면 구조물의 전사를 매우 어렵게 하여 사출 성형 공정의 적용을 어렵게 하는 가장 큰 장애 요인이 되고 있다.

본 논문에서는 표면에 미세패턴이 존재하는 미세패턴이 존재하는 제품을 성형하기 위해서 사출성형 해석 프로그램의 해석을 통하여 성형 중 발생하는 압력을 예측하고, 제품 성형 중 발생하는 금형 내부

[†] 에이테크솔루션(주)

E-mail : kim4425@atechsolution.co.kr

[#] 교신저자 : 한국기계연구원 나노기계연구본부

E-mail : dschoi@kimm.re.kr

의 압력을 위치에 따라 실시간 측정하고, 비교하여 미세패턴의 전사성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

2. 실험대상 및 장비

2.1. 실험대상

본 논문에서 진행하고자 하는 미세패턴 제품은 크기 335mm×213mm 가지고 2.6mm에서 0.7mm를 불균일한 두께 가지는 엷지 형상의 도광판과 크기 400mm×400mm 가지고, 두께 1mm 가지는 평판 형상의 도광판이다. 두 제품 모두 표면에는 간격 50 μ m에 깊이 25 μ m를 가지는 프리즘 패턴이 존재한다. Fig. 1.과 Fig. 2. 각각의 제품의 형상과 패턴의 크기 및 분포 위치를 나타낸 것이다.

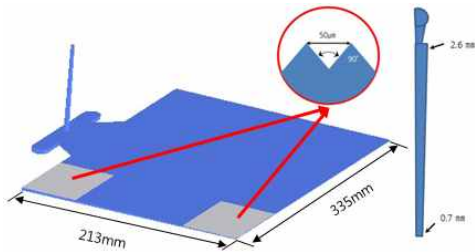


Fig. 1. 335mm×213mm Shape of micro patterns

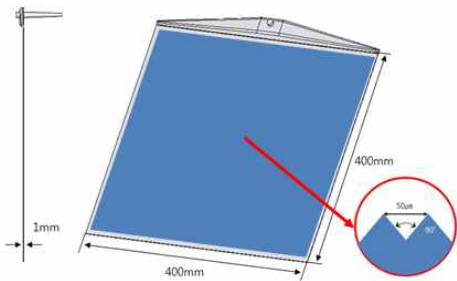


Fig. 2. 400mm×400mm Shape of micro patterns

2.2. 실험 및 측정 장비

본 논문에서 제품을 성형하기 위해서 사용된 장비는 Sumitomo사의 전동식 사출성형기 SE550S를 사용하였으며, 성형에 사용한 수지는 Asahi사의 Polymethyl methacrylate(PMMA) grade 800NH를 사

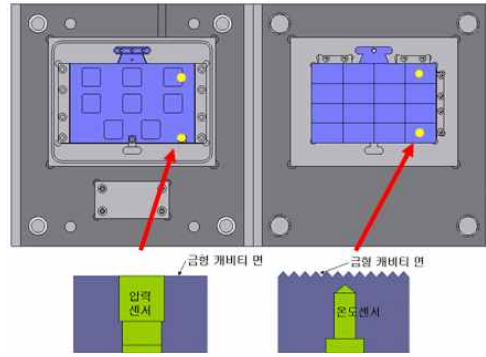


Fig. 3. 335mm×213mm Mold in sensors

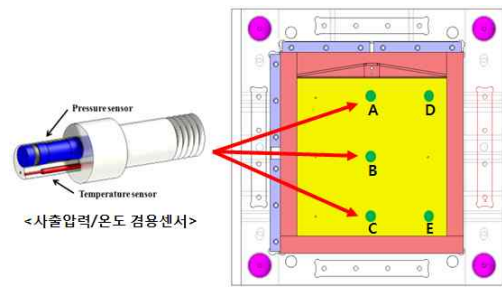


Fig. 4. 400mm×400mm Mold in sensors

용하였다. 또한 각각 제품의 금형 내부에 압력센서와 온도센서를 삽입하여 충전 중 발생하는 압력과 온도를 측정·비교 분석하였다. Fig. 3.은 335mm×213mm 제품 금형을 나타낸 것이며, 금형 코어와 캐비티 내부에 삽입 되어 있는 센서의 위치를 나타낸 것이다. 압력센서는 Strain gage 타입의 사출용 센서를 사용하였으며, 금형 하형(Moving part)에 삽입하였고, 온도센서는 Termocouple K 타입을 사용하였으며, 금형 상형(Fixing part)에 삽입하였다. Fig. 4.는 400mm×400mm 제품 금형을 나타 낸 것이며, 금형 캐비티 내부에 삽입 되어 있는 센서의 위치를 나타낸 것이다. 사용된 압력 및 온도 센서는 Kisler사의 압력·온도 검출센서인 6190A를 사용하였으며, 금형 하형에 삽입하였다. 각각 제품을 사출 성형 과정에서 압력과 온도 데이터는 제품 충전 과정 중에 실시간으로 측정하였으며, 압력과 온도에 따른 미세패턴의 전사성과의 연관성을 비교·분석 하였다.

3. 사출성형해석 및 성형실험

3.1. 사출성형해석

본 논문에서 제품을 사출 성형하기 전에 성형 중 발생하는 압력을 위치별로 예측하기 위하여 Simcoe SAS사의 Simcoe-Mold 사출성형해석 프로그램을 사용하였다. Fig. 5.와 Fig. 6.은 사출성형해석 결과를 나타낸 것이며, 335mm×213mm 제품의 충전시간과 충전압력을 나타낸 것이다.

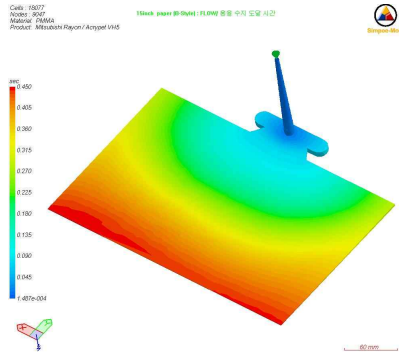


Fig. 5. 335mm×213mm Result of fill time

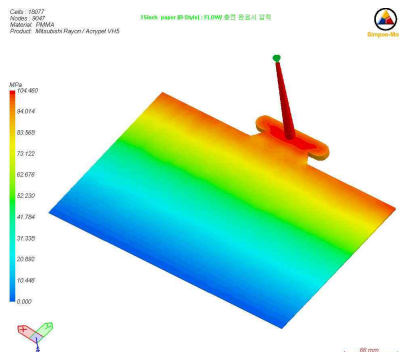


Fig. 6. 335mm×213mm Result of pressure

사출성형해석으로 예측된 결과 중에 335mm×213mm 제품의 성형 할 때의 충전시간은 Fig.5.에서 보듯이 0.42초에서 충전이 완료되는 것으로 나타났으며, 제품을 성형하는데 필요한 형체력은 244.20 Ton으로 예측 할 수 있었다. 또한 Fig. 6.에서 보듯이 성형 중 발생하는 충전압력은 104.46 Mpa로 나타났으며, 제품의 성형 중 발생하는 압력의 분포가 확인이 차이를 보이고 있는 것으로 예측 할 수 있었으며, 이는 표면에 분포되어 있는 미세패턴의 전사성에 영향을 미쳐 균일도의 차이를 보일 것이라고 판단 할

수 있었다.

Fig. 7.와 Fig. 8.은 사출성형해석 결과를 나타낸 것이며, 400mm×400mm 제품의 충전시간과 충전압력을 나타낸 것이다.

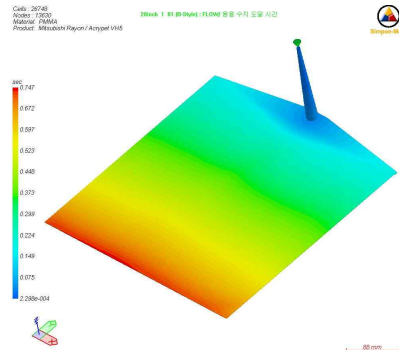


Fig. 7. 400mm×400mm Result of fill time

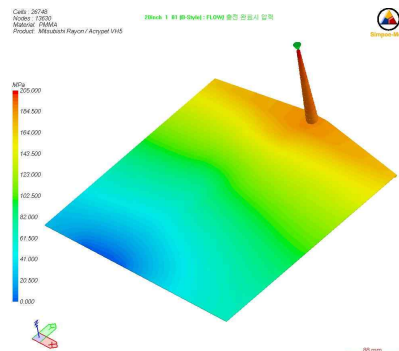


Fig. 8. 400mm×400mm Result of pressure

사출성형해석으로 예측된 결과 중에 400mm×400mm 제품의 성형 할 때의 충전시간은 Fig.7.에서 보듯이 0.747초에서 충전이 완료되는 것으로 나타났으며, 제품을 성형하는데 필요한 형체력은 2130.04 Ton으로 예측 할 수 있었다. 또한 Fig. 8.에서 보듯이 성형 중 발생하는 충전압력은 205 Mpa로 나타났으며, 이 제품 역시 제품의 성형 중 발생하는 압력의 분포가 확인이 차이를 보이고 있는 것으로 예측 할 수 있었으며, 압력의 차이로 인한 미세패턴 전사성의 균일도에 영향을 미칠 것으로 판단 할 수 있었다.

3.2. 사출성형실험

본 연구에서 성형 실험을 진행한 제품의 성형 조건은 Table 1.과 Table 2.에 나타내었다. Table 3.은 각각의 제품 성형 중 발생하는 최초 제품 성형에서의 공정변수들 중 피크압과 충전시간을 나타낸 것이다.

Table 1 Injection molding operational conditions(335mm×213mm)

보압조건		성형조건					
4	sec	3.5	6	14	24	34	mm
80	kgf/c	120	120	125	125	130	mm/s

Table 2 Injection molding operational conditions(400mm×400mm)

보압조건		성형조건					
4	sec	5	17	33	49	65	mm
170	kgf/c	120	120	125	125	130	mm/s

Table 3 Peak press and Filling time

	Peak press.		Filling time	
335mm×213mm	805	kgf/c	0.45	sec
400mm×400mm	1750	kgf/c	0.64	sec

Table 1.과 Table 2.에서의 각각의 성형조건에서 보듯이 두 조건 모두 스크류의 위치는 성형해석을 참고하여 설정하였고, 사출속도는 사출성형기 최대 속도의 100% 미만으로 설정하였으며, 보압조건은 두 조건 모두 각각의 최초성형 피크압을 기준으로 설정하였다. 유지시간 역시 각각의 성형 조건에 따라 4초로 설정하여 균일한 조건을 부여하였다. 성형 중 발생하는 압력은 제품의 상단과 하단의 두 곳에서 측정을 하였으며, 실시간으로 측정을 실행하였다. Table 3.에서 나타낸 바와 같이 성형 중 충전시간은 각각 0.45초와 0.64초로 나타났으며, 해석으로 예측된 결과와 비슷한 결과를 보이고 있으며, 성형 중 발생하는 피크압은 805 kgf/c와 1750 kgf/c로 나타나는 것을 알 수가 있었다. Fig. 9.와 Fig. 10.은 각각의 제품에 분포되어있는 미세패턴의 형상을 측정

하여 나타낸 것이다.

Fig.9.와 Fig.10.에서 보듯이 각각의 제품 표면에 존재하는 미세패턴은 균일한 전사성을 보이지 않고 있으며, 각각의 제품에 따른 상단과 하단의 미세패턴 전사성의 균일도가 다르게 나타나고 있음을 알 수가 있었다. 이는 성형 중 발생하는 압력의 차이가 제품 표면에 존재하는 미세패턴의 전사성에 영향을 주는 것에 대한 예측 결과와 동일한 결과를 보이고 있으며, 제품 형상에 따라서 성형 중 발생하는 압력이 다르게 나타나고 있다는 것을 예측 할 수 있었다.

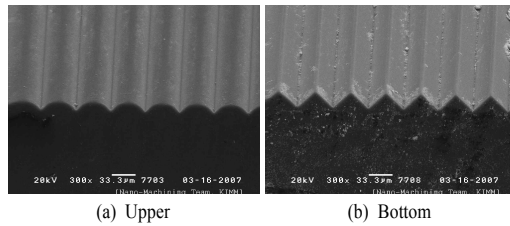


Fig. 9. Variations of micro patterns according to processing conditions (335mm×213mm)

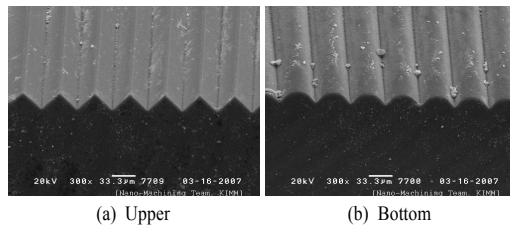


Fig. 10. Variations of micro patterns according to processing conditions (400mm×400mm)

4. 압력측정 - 비교 결과

성형 중 발생하는 압력의 차이가 제품 표면에 존재하는 미세패턴의 전사성에 미치는 영향과 제품 형상에 따른 압력 분포를 알아보기 위하여 사출성형해석 결과에서 나온 압력 분포도와 성형 중 발생하는 압력의 분포를 측정하여 비교·분석 하였다.

Fig. 11.은 335mm×213mm 제품에 대한 사출성형해석 결과에서 충전 과정 중 발생하는 압력에 대한 그래프를 나타낸 것이며, Fig. 12.은 해석 결과에서 나온 압력 그래프의 초기 압력을 측정 위치를 기준으

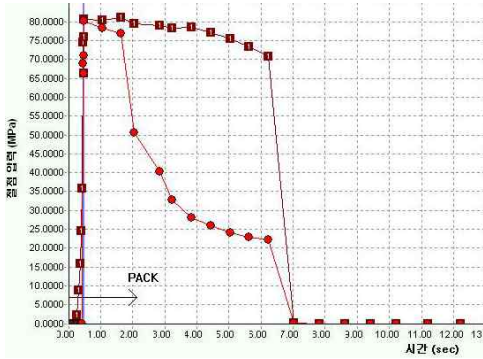


Fig. 11. Result of pressure distribution (CAE)

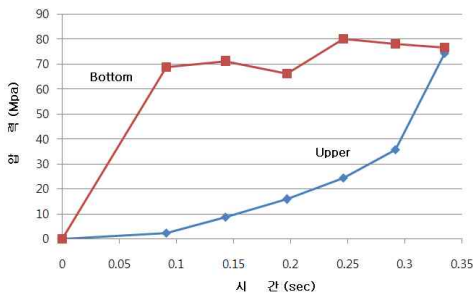


Fig. 12. Result of pressure distribution

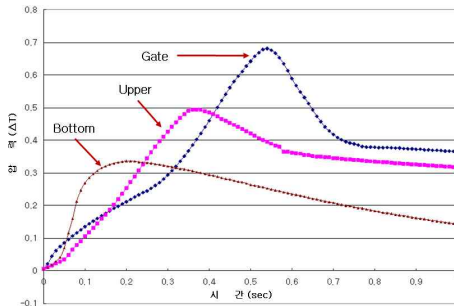


Fig. 13. Result of pressure distribution

로 설정한 그래프를 나타낸 것이다.

Fig. 13.은 제품 성형 중 발생하는 압력을 실시간으로 측정하여 나타낸 그래프이며, 이 성형 압력 그래프 역시 충전 과정 중 발생하는 성형 압력 중 초기 압력 부분에 해당하는 그래프를 측정 위치를 기준으로 설정하여 나타낸 그래프이다. 압력 그래프를 측정 위치를 기준으로 설정한 것은 성형 초기의 압력 상승분에 대한 미세패턴 전사성에 대한 영향을 알아보기 위함이다.

Fig. 11과 Fig. 12.에서의 성형해석 결과에서 보듯이 제품 성형 중 발생하는 전반적인 압력은 제품 상단의 압력이 비교적 높게 나타는 것을 알 수가 있었다. 하지만, 초기 압력 구간인 0.2초 범위의 압력 상승 곡선은 제품 하단 압력이 상단에 비해 가파르게 상승되는 것을 볼 수가 있었다.

또한 Fig. 13에서 나타낸 제품 성형 중 발생하는 압력그래프 역시 초기 압력구간인 0.2초 범위의 압력은 제품 하단 압력이 상단에 비해 비교적 가파르게 상승하는 것을 볼 수가 있었다. 이는 앞에서의 성형 실험 결과에서 예측 한 것과 일치하며, 제품 형상이 불균일한 옛찌 형태의 제품에서는 하단의 초기 압력이 상단에 비해 높게 발생하며, 제품 하단의 미세패턴의 전사성이 높게 측정되는 것과 일치하여 설명 할 수 있다.

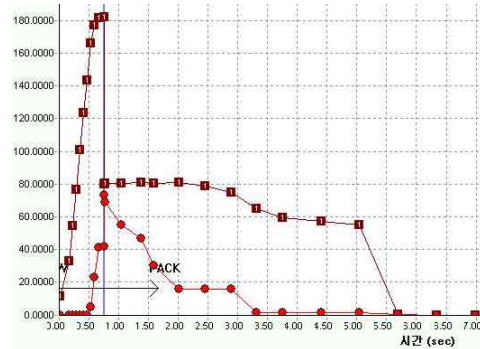


Fig. 14. Result of pressure distribution

Fig. 14.는 400mm×400mm 제품에 대한 사출성형해석 결과에서 충전 과정 중 발생하는 압력에 대한 그래프를 나타낸 것이며, Fig. 15.은 해석 결과에서 나온 압력 그래프의 초기 압력을 앞에서의 비교 방법과 마찬가지로 측정 위치를 기준한 그래프로 나타낸 것이다. 또한 Fig. 16.은 제품 성형 중 발생하는 압력을 실시간으로 측정하여 나타낸 그래프이며, 이 성형 압력 그래프 역시 충전 과정 중 발생하는 성형 압력 중 초기 압력 부분에 해당하는 그래프를 측정 위치를 기준으로 설정하여 나타낸 그래프이다.

Fig. 14.과 Fig. 15.에서의 성형해석 결과에서 보듯이 이 제품에 발생하는 전반적인 압력은 상단과 하단의 압력이 확연히 차이를 보이는 것을 알 수가 있었으며, Fig. 15에서 나타낸 그래프에서 보듯이 초기 압력 구간인 0.2초 내의 압력 상승 곡선은 상단이

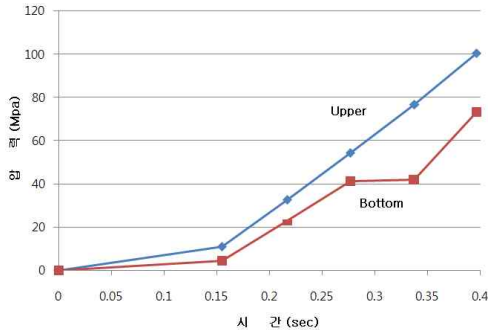


Fig. 15. Result of pressure distribution

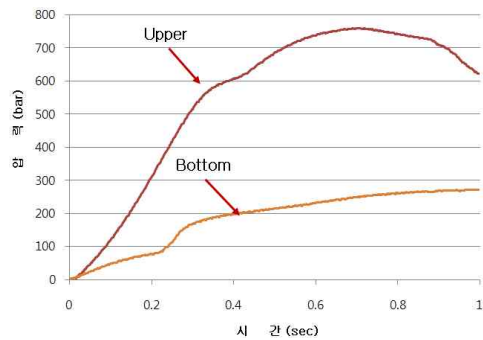


Fig. 16. Result of pressure distribution

하단에 비해 가파르게 상승되는 것을 볼 수가 있었으며, Fig. 16에서 나타낸 제품 성형 중 발생하는 압력그래프 역시 초기 압력구간인 0.2초 범위의 압력은 제품 상단 압력이 하단에 비해 비교적 가파르게 상승하는 것을 볼 수가 있었다.

이는 앞에서의 성형 실험 결과에서 예측 한 것과 일치하며, 제품 형상이 균일한 평판 형태의 제품에서는 상단의 초기 압력이 하단에 비해 높게 발생하며, 제품 상단의 미세패턴의 전사성이 높게 측정되는 것과 일치하여 설명 할 수 있다.

5. 결론 및 토의

본 연구에서 진행한 미세패턴 제품들은 형상에 따라 성형 중 발생하는 금형 내부 압력이 차이를 보이며 형성되는 것을 알 수가 있었으며, 이러한 압력의 차이가 제품 표면에 존재하는 미세패턴 전사성에 영향을 미치는 것으로 판단 할 수 있었다. 또한 제품 성형 전, 사출성형해석을 통하여 제품 형상에

따른 압력 분포 차이를 알 수 있었으며, 미세패턴의 전사성 차이를 예측 할 수 있는 기본적 구조를 구현하여 제품 성형시 발생하는 압력과 비교·분석함으로써 명확한 데이터를 얻을 수가 있었다.

이러한 실험을 바탕으로 미세패턴 제품의 최적화된 공정조건을 이끌어 내기 위해서는 보다 더 많은 실험적 연구를 바탕으로 성형 중 발생하는 압력 및 온도 분포에 대한 데이터를 측정하고, 사출성형해석에 대한 데이터와 비교·분석이 진행된다면 미세패턴 제품에 대한 사출 성형 과정을 이해하는데 큰 도움이 될 것이라고 생각한다.

또한 연구적 실험 데이터 베이스를 구축하고 보다 다양한 데이터를 획득한다면, 사출 성형 기술에 보다 더 많은 토대가 마련될 것으로 생각한다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세 가공 시스템 기술 개발 과제 의 지원으로 수행되었습니다. 관계자의 노고에 감사 드립니다.

참고문헌

- 1) K. Kintaka, J. Nishii, A. Mizutani, H. Kikuta and H. Nakano : Optics letters, 26(2001), 1642
- 2) J C Martinez-Anton : J. Opt. A : Pure Appl. Opt. 8(2006) S213
- 3) KM Baker : Applied optics, 38(1999), 352
- 4) W Lee, M-K Jin, W-C Yoo and J-K Lee : Langmuir, 20(2004), 7665
- 5) K, Kim and C. J. Kim : Proceedings of the IEEE Conerence on MEMS, Las Vegas, NV, Jan. 2002, pp. 479-482.
- 6) 유영은, 서영호, 제태진, 최두선, 2005, 미세패턴 사출 성형 기술, 한국정밀공학회지, Vol. 22, No. 2, pp. 23~29.
- 7) 김준민, 전재후, 류민영, 황한섭, 이종원, 이상훈, 2005, 사출성형조건에 따른 캐비티의 압력분포, 한국소성공학회 추계학술대회 논문집, pp. 214~219.
- 8) 황은주, 유영은, 제태진, 최두선, 2005, 미세패턴을 가진 박판 사출 성형에서의 금형내 압력 측정 및 분석, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp 1601~1604.