

대면적 미세패턴 성형기술 및 응용제품 동향

최 두 선 · 한국기계연구원 나노기계연구본부, 책임연구원
유 영 은 · 한국기계연구원 나노기계연구본부, 책임연구원
제 태 진 · 한국기계연구원 나노기계연구본부, 책임연구원
윤 재 성 · 한국기계연구원 나노기계연구본부, 선임연구원

_e-mail : choids@kimm.re.kr
_e-mail : yeyoo@kimm.re.kr
_e-mail : jtj@kimm.re.kr
_e-mail : jaesyoons@kimm.re.kr

이 글에서는 수십 마이크로미터 단위의 미세형상을 가진 대면적 제품을 제작하기 위한 대면적 미세패턴 성형기술과 응용제품의 개발 동향에 대해 소개하고자 한다.

정보산업과 같은 첨단핵심 산업에서의 제품은 성능 및 기능 고급화에 대한 요구와 함께 이와 상반되는 가격 인하에 대한 요구도 높아지고 있다. 정보 산업 분야에서 대표적인 제품군이라 할 수 있는 TV의 경우를 보면 크기는 지속적으로 대형화되고 있으며, 고화질의 구현을 위해 구현되는 휘도나 명암비, 균일성 등에 관한 제품 사양은 계속해서 향상되고 있다^{1,2)}. 이러한 디스플레이 기기 부품이나, 도로 안전 표시판 등은 제품의 광학적 특성 등을 개선하기 위해 미세패턴 구조를 적용하고 있는 대표적인 제품이라 할 수 있다^{3,4)}. 이러한 제품들 중 많은 경우는 최종 수요 제품의 대형화나 생산성 향상의 목적으로 보다 넓은

면적에 미세 패턴을 구현하는 것이 요구되고 있다. 이러한 대형화 경향과 함께, 요구되는 패턴의 크기는 더욱 작아지고 정밀해지고 있으며, 최근 패턴들의 평면 방향 크기에 대한 높이 방향의 크기의 비율을 나타내는 구조물 혹은 패턴의 세장비는 증가하고 있는 추세이다. 또한 이러한 제품이나 부품의 많은 경우 우수한 광학적 특성과 함께 대량 생산이 요구되어 플라스틱 소재의 적용이 일반화되고 있다. 이러한 플라스틱 소재를 이용한 공정인 경우 제품의 크기나 형태, 혹은 생산량 등에 의해 결정되어야 하나, 필름 형태의 제품 생산을 위한 롤성형 및 기판 형태의 제품 생산을 위한 사출성형이 가장 일반적인 공정이라 할 수 있다.

그러나 이와 같은 롤성형이나 사출성형의 경우 성형 장비, 금형, 공정 기술, 소재 등 아직도 많은 부분을 일본 등 외국 기술에 크게 의존하고 있으며, 특히 앞에서 언급한 대형화, 미세화, 고 세장비화, 박판화 등 롤투롤 연속 성형 및 주기적 성형 공정인 사출 혹은 사출/압축 성형 공정의 적용을 매우 어렵게 하는 제품 개발 경향에 대응할 수 있는 성형 기술은 국외 일부 기업을 제외하고는 기술 자립도가 매우 낮은 상황이다. 따라서 연구 단계에 머무르고 있는 새로운 고성능 제품의 제품화나 양산화를 위한 성형 분야에서의 원천 기술 개발은 첨단 핵심 산업분야에서의 기술개발력 확보와 관련 신제품의 조기 실용화를 통한 경쟁력

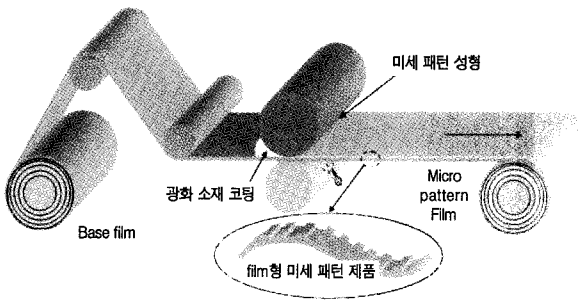


그림 1 마이크로 패턴의 롤투롤 연속 성형공정 개략도

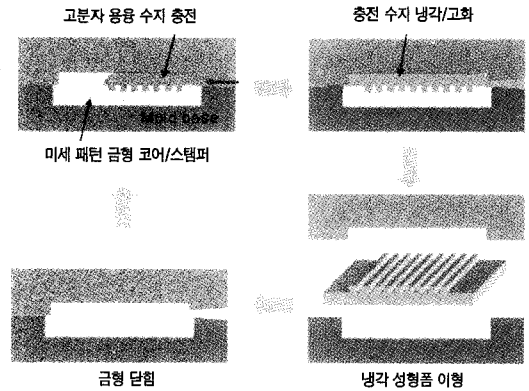


그림 2 마이크로 패턴 제품의 사출성형 공정 개략도

확보를 위해 필수적인 기술이며, 핵심기술 확보가 매우 시급한 실정이다.

이와 같은 대면적 미세정밀가공 및 성형 기술은 디스플레이 산업, 태양열 집광판, 연료전지용 분리판 등 IT, NT, BT로 대표되는 첨단 산업에서 미세 패턴이 존재하는 대면적 제품의 대량 생산을 위해 수요가 증가하고 있으며, 최근 이러한 요구는 더욱 커지고 있다. 그러나 아직 미세 패턴 및 대면적에 대한 성형 기술은 성형성, 전사성이나 변형, 복굴절 등 많은 문제점을 가지고 있어 양산 적용은 매우 더딘 상황이다. 이러한 성형에서의 문제점을 해결하고 기능성 광학필름, 고휘도 도광판 등과 같은 제품에 신속한 적용을 위해서는 보다 신속한 공정연구와 산업화를 위한 연구가 더욱 필요한 실정이다.

미세성형 공정 및 시스템

미세성형공정

대면적 미세형상 제품을 성형하기 위한 공정으로 필름형 제품을 생산하기 위한 롤투롤 공정과 기판형 제품을 생산하기 위한 주기적 성형공정인 사출, 사출/압축 성형 공정으로 나눌 수 있다. 그림 1에서는 롤투롤 성형공정에 대한 개략도를 나타내고 있으며 기본필름에 UV경화 광학소재를 일정한 두께로 코팅한 후 미세패턴 롤 금형 사이로 코팅된 필름을 통과시켜 패턴을 형성한 후 성형된 패턴을 UV로 경화시켜 필름형 마이크로 패턴 제품을 제작하는 공정이다. 연속성형공정은 하드롤 성형공정과 소프트롤 성형공정으로 구분되며, 미세패턴 성형 시 사용되는 롤 금형이 미세가공에 의해 직접 제작된 금형을 사용할 경우 하드롤 성형이라고 하고, 하드롤 금형을 이용하여 베이스 필름에 UV경화 광학소재를 코팅하여 필름형금형을 제작하고 이를 미세패턴 성형 금형으로 사

용하는 것을 소프트롤 성형공정이라 한다.

기판형 제품을 제작하는 주기적 성형공정인 사출 성형공정에 대한 개략도를 그림 2에 나타내었다. 사출성형 공정으로 제작할 수 있는 현실적인 기판형 제품의 최대크기는 30인치 이하로 판단되고 있다. 성형 소재로는 다양한 열가소성 수지가 적용될 수 있으나, 최근 미세 패턴이 응용된 대표적인 응용 제품인 광학 부품의 경우 우수한 투과성이 요구되어 PMMA, PC 등의 소재가 많이 사용되고 있다.

성형시스템

미세성형시스템은 일본의 경우 스미토모, 니세이, 파낙 등에서 정밀 사출성형 및 금형 기술개발을 진행하고 있다. 특히 광학 부품 성형 등 정밀 사출에 대한 필요성이 증가함에 따라 초박형 및 초미세 패턴 제품의 초정밀 성형이 가능한 전통식 고속 사출기

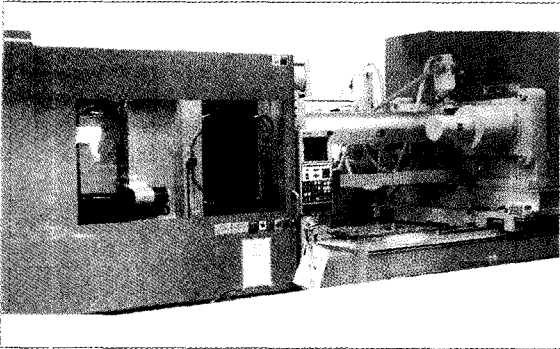


그림 3 전동식 정밀 사출기(clamping force : 550ton, Sumitomo)

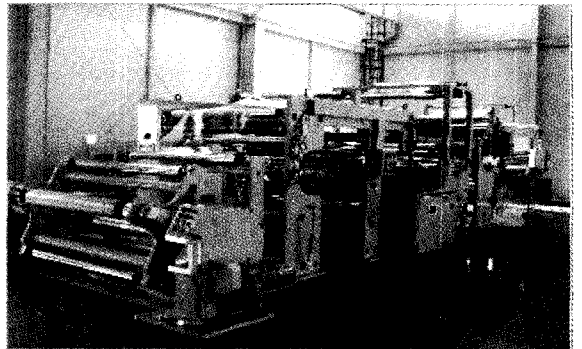


그림 4 마이크로 패턴 필름용 롤투롤 연속 성형 시스템

개발이 활발히 진행되고 있으며, 스미토모 등에서는 성형 속도 1,000mm/sec급 성능의 형체력 100톤급의 전동식 사출기를 상용화하고 있는 등 시장 역시 크게 증가하고 있다.

유럽 연합(EU) 내에서는 Batternfeld, Arburg, Nestal 등 전통적인 사출성형시스템 제작기업을 중심으로 나노사출을 위한 미세사출 성형시스템의 개발이 이루어지고 있으며 Nestal 등에서는 CD, DVD 등 광학저장 매체 전용 미세성형시스템을 상용화하였다. 또한 미세패턴을 성형하는 데 있어서 매우 중요한 금형급속가열 및 냉각기술이 University of Massachusetts at Amherst에서 개발되었으며 이를 이용한 고세장비의 미세패턴 혹은 표면 구조물이 있는 제품 성형에 관한 연구를 진행 중에 있다.

롤투롤 연속성형시스템은 사출성형시스템과는 달리 생산하고자 하는 제품의 특성에 따라 성형시

스템의 특성이 결정되므로 최종 제품생산업체에서 주문생산에 의해 제작되는 것이 보편적이다. 현재 국내에서는 피엔티(주) 등을 포함한 일부 기업에서 롤투롤 성형시스템을 제작 판매하고 있다.

대면적 성형 시스템의 사례로 현재 한국기계연구원에서 보유 중인 사출성형 시스템과 연속성형 시스템을 그림 3과 4에 나타내었다. 그림 3은 스미토모사의 전동식 사출성형시스템으로 최대 성형 압력 및 형체력은 약 2,000 기압 및 550톤이며, 성형 가능 면적은 600mm x 600mm 정도이다.(타이바 간격 900mm x 900mm). 그림 4는 미세패턴이 응용된 필름형 제품의 연속성형시스템으로 성형 가능한 필름의 너비는 1,350mm이다. 하드롤 금형과 소프트 롤 금형 사용이 모두 가능하도록 설계 제작되었으며 기계적 최대 성형 속도는 20m/min으로 제작하였다.

국내외 연구 동향

국외 동향

롤투롤 성형시스템을 이용한 대면적 연속성형기술은 디스플레이에 적용되는 고휘도 광학필름 등 기능성 필름을 제작하는 데 사용되고 있으며 이러한 미세패턴 광학필름은 최근 LCD산업의 비약적인 발전과 함께 그 수요가 폭발적으로 증가하여 3M의 프리즘 필름 및 관련 파생 필름이 전세계 광학 필름 시장의 대부분을 차지하고 있다. 3M의 경우 LCD 시장에서 100um 이하의 프리즘 필름을 광폭 필름을 통해 생산하고 있으며, 원천 특허 뿐만 아니라, 제품 성형 공정의 높은 수율 등으로 확고한 기술적 기반을 바탕으로 시장을 독점하고 있다. 이에 대응하고자 일본에서는 미쯔비시사에서 3M의 프리즘 필름에 대응하기 위한 역프리즘 필름을 출시하여 일본 전자회사들의 전폭적인 수용으로 일정규모 시장을 점유하고 있으나 휘도 향상을

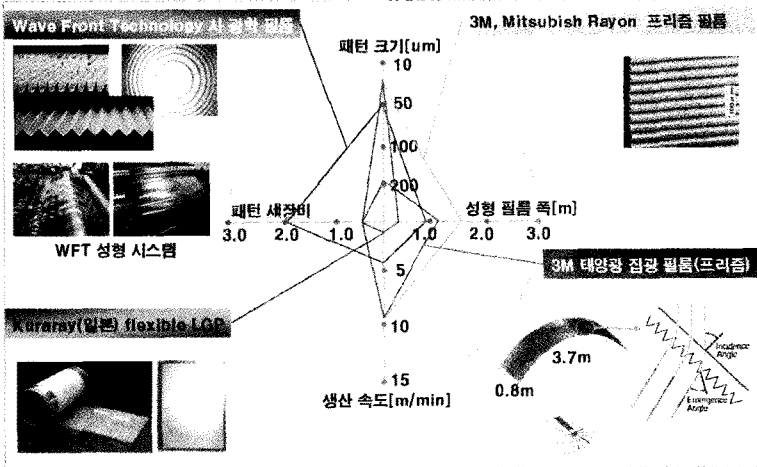


그림 5 미세패턴용 롤투를 공정의 세계 연구동향 현황도

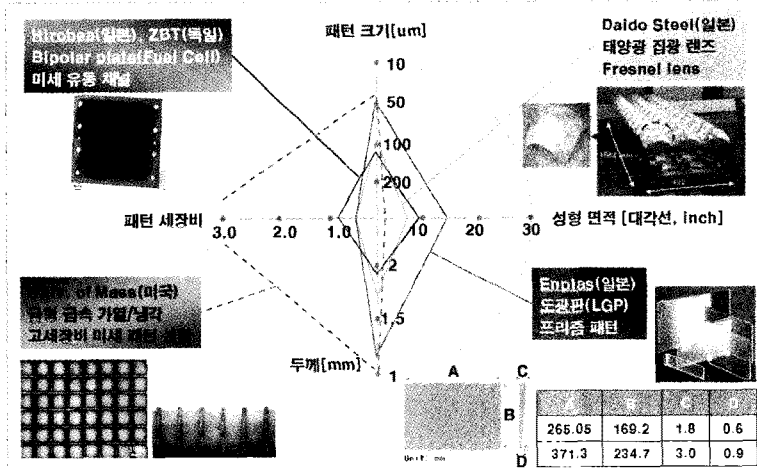


그림 6 미세패턴용 사출성형 공정의 세계 연구동향 현황도

위하여 도광판과의 패턴조합이 필요하는 등 시장확대에 한계를 보이고 있다.

대면적 미세 사출성형기술은 디스플레이 산업의 발전과 더불어 마이크로 패턴이 적용된 제품들의 수요가 증가함에 따라 급속히 발전하게 되었다. 일본의 ENPLAS사는 마이크로패턴 적용 고휘도 고광판의 금형 및 사출성

형기술을 개발하여 양산화에 성공하여 국내외 LCD패널제조업체에 공급하고 있으며 초정밀 광학부품을 위한 나노정밀도의 자유곡면 제품성형기술을 개발하여 시장에 공급하고 있다. 또한 Daido Steel사는 효율적인 태양에너지 활용의 한 방법으로 태양광 집광프레넬 렌즈를 사출성형 공정으로 제작하는 공급하고 있

다.

바이오산업의 발전과 더불어 바이오칩을 이용한 진단 및 분석 기술의 발전으로 수요가 증가하여 바이오칩 디바이스를 경제성 있게 생산하기 위한 공정기술 개발이 미국, 일본에서 활발히 연구되고 있다. 또한 앞에서 언급된 응용 제품에서의 패턴 크기에 비해서 다소 큰 채널이 응용되는 연료전지의 바이폴라플레이트 성형 기술도 소재의 난 성형성으로 인해, 대면적 미세 패턴 성형 기술의 범주에 있는 성형 기술이라 할 수 있으며, 연료전지의 실용화 단계에서의 핵심 기술이 될 것으로 판단되고 있다.

미세 패턴의 또 다른 영역인 나노급 패턴의 대표적인 응용 제품인 광학 저장 매체의 경우, CD, DVD에 이어 차세대 저장매체인 Blu-ray 디스크가 개발되어 상용화되었으며, 이러한 제품의 대량 생산을 위한 나노사출성형 기술은 네덜란드 필립스, Twente University, 독일의 IKV, Fraunhofer, 스위스 CSEM, PSI, Ao Research Institute, 덴마크 Technical University of Denmark 등에서 활발히 이루어지고 있다. 그림 5는 롤투를 연속성형에서 미세패턴의 크기, 연속 롤투를 성형 생산속도, 성형필름폭 및 패턴의 세장비로 나누어 미세패턴이 적용된 제품에 대한 연구동향을 분석한 결과를 도식화하였다.

그림 6은 미세사출성형기술에 대하여 제품별로 성형면적, 패턴 크기, 패턴의 세장비 및 성형두께로 나누어 해외 연구동향을 분석한 결과이며 그림에서 알 수 있듯이 패턴의 세장비가 낮음을 알 수 있다.

국내 동향

마이크로패턴 및 나노패턴이 적용된 성형공정은 LCD의 주요 부품인 기능성 광학필름을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다. 3M이 독점하던 광학필름 시장에는 국내 대기업을 중심으로 확산 필름 개발에 집중되어 있으며 일부 가시적인 성과를 거두고 있으나 아직 생산성이나 수율 측면에서 개선해야 할 부분이 많이 있으며 특히 대형화 및 패턴 미세화를 위해 집중적인 연구개발이 필요한 실정이다. 그림 7은 국내 롤투를 연속성형공정에 대하여 패턴크기, 필름성형폭, 생산속도 및 패턴세장비로 LCD 휘도향상 및 확산필름을 분석한 결과를 도식화하였다.

최근의 미세 패턴 응용 제품의 주기적 성형 공정인 몰딩 공정 관련 연구 동향을 보면 나노메카트로닉스 사업을 통해서 JMI, 한국기계연구원, 연세대 등의 공동 연구로 150nm급 패턴의 사출 성형 기술을 기반으로 하는 Blu-ray 디스크를 개발하여 상용화 과정에 있으며, 현재 50nm급의 패턴 성형 기술 개발을 진행 중

이다. 또한 한국기계연구원에서는 고세장비 나노 구조물을 사출 성형을 통해서 제작하였으며, 프론티어 사업 등을 통해서 플라스틱 MEMS 디바이스 및 Bio-chip 제작 기술 등을 개발 중에 있다. 또한 대형 제품에 응용하기 위한 미세 패턴 대면적 성형 기술의 개발을 병행하고 있다. 이러한 성형 기술을 기반으로 나노 및 마

이크로 패턴이 응용된 응용 제품의 개발과 생산 기술 개발을 추진 중이다. 연세대학교에서는 하드디스크의 저장 용량을 크게 증가시키기 위한 규칙적으로 배열된 나노 패턴 기판의 성형 기술을 개발 중이며, 이를 위해 패턴 스탬퍼를 급속하게 가열 냉각시킬 수 있는 금형 기술에 대한 특허를 보유하고 있다. 포항공과대

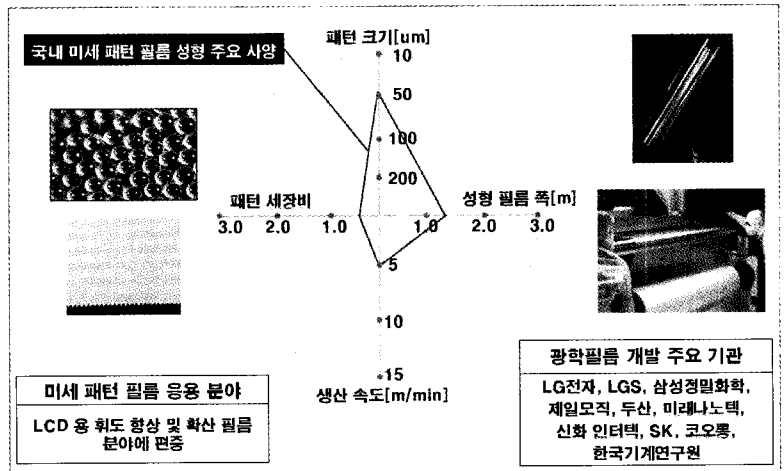


그림 7 미세패턴용 롤투를 공정의 국내 연구동향 현황도

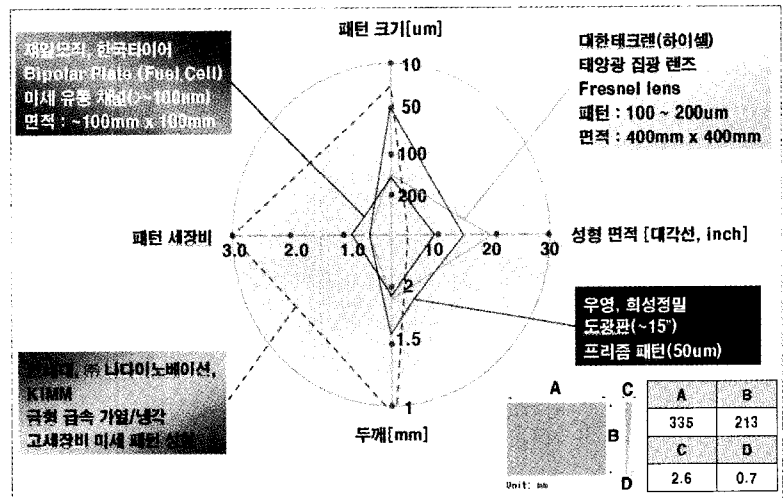


그림 8 미세패턴용 사출성형 공정의 국내 연구동향 현황도

학의 경우 정밀 광학 부품의 기초 성형 기술 및 해석 기술 등을 지속적으로 개발하고 있으며, LIGA 기술 등을 이용하여 초정밀 광학 부품, MEMS 디바이스 등의 개발을 진행 중이다.

나노 및 마이크로 성형 기술에 중요한 금형 온도 제어 기술은 KIMM, 연세대학교, 순천향대학교 등의 연구 기관 및 마상기공, (주)나다이노베이션, 제일모직 등 산업체에서 진행 중이며^[5-8], 일부 양산 제품의 생산에 적용된 사례가 있으나, 아직 광범위한 적용에는 추가적인 연구 개발이 필요하다. 그림 8은 주기적 성형공정인 사출성형기술에 대하여 패턴크기, 성형면적, 성형두께 및 패턴 세장비를 기준으로 국내 연구동향을 분석한 결과를 도식화하였다.

맺음말

최근 많은 분야에서 수요가 증가하고 있는 미세 패턴 응용 대형 제품의 사출 성형 및 roll-to-roll 연속 성형 공정 기술의 주요 성능 지표인 패턴 크기, 형상비, 성형 면적, 두께 및 성형 속도 등을 중심으로 성형 기술 및 응용 제품에 대한 동향을 살펴해보았으며, 이를 기반으로 향후 국내에서 대면적 미세 패턴 응용 제품 성형을 위한 기술 개발 방향에 대한 분석을 수행하였다.

후 기

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

참고문헌

- (1) 2004, "Report on Technology/Market of Backlight unit for LCD," Market Report 2004-6, Valuadd.
- (2) Cha-Yeon Kim, 2005, "The Trend of Technology and Market for LCD Backlight" Seminar on next generation lighting source and backlight applied technology (Tech4U).
- (3) Y.E. Yoo, Y.H. Seo, T.J. Je, D.S. Choi, 2005, "Injection molding technology for micro/ nano pattern," J Kor. Soc. Precision Engng., Vol. 22, pp. 23~29.
- (4) J.S. Kim, Y.B. Ko, I.K. Min, J.W. Yu, Y.M. Heo, K.H. Yoon, C.J. Hwang, 2006, "A Study on the Fabrication method of Mold for 7 inch LCD-BLU by continuous

microlens(200um)," Transactions of Materials Processing, Vol. 16, No. 1, pp. 42~47.

- (5) O.K. Kwon, J.H. Yun and K. Park, 2007, "Improvement of moldability for ultra thin-wall molding with micro-patterns," Trans. of the KSME(A), Vol. 31, No. 5, pp. 556~561.
- (6) Yao, D. and Kim, B., 2002, "Development of Rapid Heating and Cooling Systems for Injection Molding Applications, Polym. Eng. Sci., Vol. 42, pp. 2471-2481.
- (7) Yao, D. and Kim, B., 2002, "Injection Molding High Aspect Ratio Micro-feature," J Injection Molding Tech., Vol. 6, pp. 11-17.
- (8) Dong-hak Kim, Myung-ho Kang, Y.H. Chun, 2001, "Development of a New Injection Molding Technology : Momentary Mold Surface Heating Process," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 5, No. 4, pp.229~232.