

기능성 고분자소재 성형용 마이크로 금형 시스템

허영무* · 신광호* · 윤길상* · 정우철*

Micro Mold System for Functional Polymer

Y. M. Heo, K. H. Shin, G. S. Yoon and W. C. Jung

Abstract

In Micro injection process, it is needed to the technique of making micro die, Rapid Thermal Pressing (RTP) and other techniques. Those techniques are independent. But the mutual connected system of techniques is needed. The target of this paper is the design of micro mold and the development of the entire micro injection techniques for functional polymer.

Key Words : Functional Polymer(기능성 고분자소재), Micro Injection(미세사출), RTP(Rapid Thermal Pressing)

1. 서론

제품 생산에 있어서 금형의 필수성은 제품의 경쟁력, 재현성, 정밀도, 고객의 요구, 기능제품의 생산 등의 면에 있어서 현재 사용되고 있는 기술 중에서 가장 뛰어난 기술이라 할 수 있다. 대량생산용 틀로서의 금형 기술 발전은 관련 산업의 발전과 함께 관련 수요 제품 산업의 발전과 연결된다 할 수 있으며, 국가경쟁력 쟁취의 필수 요소로 인식되고 있어 생산기반기술이라 불리운다. 또한 기존의 기계·항공 부품이 주류를 이루던 전통적 부품 산업에서는 금속 소재가 각광을 받았지만 IT, BT, NT 가 새로운 산업으로 떠오르고 있는 현대 부품 산업에서는 고분자 소재 및 유리 소재가 각광을 받고 있다. 즉 광학적 특성이 중요한 IT, BT, NT 산업에서 금속소재는 불투명한 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 마이크로 성형 공정으로 가공하기에는 많은 어려움이 따르므로 상대적으로 광

학적 특성이 좋고 가공성이 좋은 고분자 소재가 각광을 받고 있는 것이다. 일반적으로 금형에 의하여 생산 되어지는 제품이나, 주변에서 볼 수 있는 제품의 형상을 살펴보면 3 차원 형상을 보유하고 있으며, 특히 고분자 소재의 경우 성형 특성으로 인하여 대부분 3 차원 형상을 가는 것이 일반적이다. 이러한 제품의 생산기술을 확립하기 위하여 필요한 기술로는 고분자소재용 마이크로 금형 제작기술, 미세형상제품용 미세사출압축성형기술 및 미세패턴 형상을 갖는 제품의 성형을 위한 Rapid Thermal Pressing(RTP)기술이 필요하다 할 수 있으며, 동 기술들은 각기 독립적인 특성을 보이고 있으나, 성형 특성을 고려한 마이크로 금형 제작기술, 제작된 마이크로 금형을 활용한 성형 기초 및 응용기술 확보, 활용한 성형 기초 및 응용 기술 확보, 그리고 새로운 개념의 RTP 성형 특성 기술, RTP 성형 공정에 대한 확립 등이 중요한 요소가 되며, 이러한 기술들은 서로 상호 연관 관계

* 한국 생산기술 연구원 정밀 금형팀

를 가지며 개발 되어야 한다.

본 연구의 최종 목표는 다음과 같이 정리 할 수 있다.

- ◇ 고분자소재 성형용 마이크로 금형 제작 기술 개발
- ◇ 고분자소재 초소형 부품의 미세사출압축성형 기술개발
- ◇ 마이크로 고분자 부품 생산용 RTP(Rapid Thermal Pressing) 시스템 개발
- ◇ 각 목표별 연계 및 적용을 통한 통합적 마이크로금형 시스템 개발

2. 마이크로 금형 제작

2.1 초정밀 마이크로 금형 설계인자 연구

사출 마이크로 금형을 설계 및 제작하기 위해 관련기술을 조사 및 분석하여, 이를 기반으로 사출 성형 테스트를 위한 Spiral 형태의 미세 패턴을 가지고 있는 인서트 형 마이크로 금형과 몰드 베이스를 설계 및 제작 하였으며, 제작된 금형은 성형시 용융수지의 유동을 고려하여 heating channel, 절연판을 추가하였으며, 미세 성형물의 취출을 쉽게하기 위하여 spring halter 를 설계 및 제작 하였다. 마이크로 금형 제작은 고속가공기를 이용한 절삭 가공 방법으로 제작하였으며, 금형 형상의 정밀도는 5.336 μm 까지 얻을 수 있었다. 표면 조도는 베이스 면이 29.73 nm, 미세 형상부는 43.66 nm 정도의 수치를 얻을 수 있어 마이크로 금형 제작에 절삭가공을 적용할 수 있는 관련 기술을 확보 하였다.

2.2 고강도 고정밀 전주기술

Ni-X 합금도금의 경도는 피막내 X 원소의 함량이 약 30wt%까지는 함량이 증가함에 따라 증가하나 최적치를 보인 후 다시 감소 하였다. 이는 피막의 잔류응력 증가에 기인한 것으로 판단된다. 특히, 합금전주의 경우 Ni 과 X 의 전착속도가 서로 다르고 전류밀도의 영향을 받으므로 동일한 두께 및 조성의 합금 전주피막을 얻기 위해서는 pH, 온도 및 전류밀도 등 도금 변수의 정밀한 조절이 필수적임을 알 수 있다. 또한 균일 물성 및 치수안정성이 높은 Ni-X 합금전주 피막을 얻기 위해서는 피막의 잔류응력, pit 방지, 표면특성 조절이 필수적이고 이를 위한 각종 유기첨가제의

첨가가 필요하며, 본 연구의 경우에는 sulfate 계열 응력완화제, alcohol 계열의 제 2 광택제가 탁월한 효과를 보였다. 이를 토대로 목표치를 만족하는 전주 피막의 제조가 가능하다.

2.3 미세부품 성형용 Rapid Thermal Response 기술 개발

미세사출 성능시험장치는 선정된 공기냉각튜브를 이용하여 설계된 미세사출 성형 시험기에 공기를 순환시켜 몰드 표면의 온도 분포 및 열교환되는 공기의 온도차를 비교할 수 있도록 하였으며, 여러 가지 고분자 화합물 및 용융수지 등에 적용이 가능하도록 설계 하였다. 장치의 구성은 크게 압축공기 공급부, 데이터 측정 및 수집부, 전원 공급부로 구성된다.

2.4 마이크로 금형 제작을 위한 3 차원 노광 및 현상기술

미세 사출 성형용 몰드 제작을 위한 X-선 식각시 노광량과 다양한 현상조건에 따른 PMMA 의 1~8 kJ/cm^2 에너지별 현상율을 바탕으로, 두꺼운 PMMA 의 X-선 식각에 따른 현상율 및 현상 예상 시간에 대한 데이터를 구축하였다. 500 μm PMMA 구조물은 X-선 마스크 흡광체 두께를 15 μm 로 제작시 표면 광량 DT 를 3.6 kJ/cm^2 이하로 설정하여야 한다. 광학 소자로의 응용시 흡광체 두께가 15 μm 일 경우, 벽면조도 향상을 위해 흡광체 아래 표면 광량을 40~50 J/cm^2 로 제안하였다. 또한 미세 구조물과 기관간의 밀착력을 고려한 35 $^{\circ}\text{C}$ 현상액에서 음압진동(1MHz, 3.67W/cm 2)환경이 담금 조건이나 현상액 교반 조건에 비해서 2 배 더 높은 현상 속도를 보였다.

3. 고분자소재 초소형 부품의 미세 사출압축 성형기술

3.1 초소형 부품용 고분자 소재 유연학적 물성 확보 및 시성형

현재 미세사출성형에 적그적으로 활용되고 있는 고분자 소재로는 비교적 최근에 활발하게 개발되고 있는 COC(Cyclo-Olefin Copolymer)를 대표적으로 꼽을 수 있으며, 초소형 부품 성형용 마이크로 부품용 고분자 소재로 적용되고 있음을 파악했다.

제작한 마이크로 spiral 금형을 활용하여 실제

미세 사출성형기와 금형 간의 작동이 원활함을 확인하고, 필요한 금형 수정부분을 찾기 위한 시성형을 하였다. 일차적인 금형 장착을 성공적으로 수행한 후, 일반적인 고분자 재료인 polystyrene (PS), polyethylene(PE)등으로 통상적인 사출성형기에서 활용되고 있는 성형 조건에서 시성형을 시도 하였다. 시성형결과 cavity 내부를 다 채우지 못하는 형상(short shot)을 볼 수 있는데, 마이크로 spiral 금형은 이렇게 의도적으로 short shot 이 되는 정도를 실험하여 고분자 재료의 성형성을 검토하기 위한 금형이다.

3.2 마이크로 금형 시스템의 LCD 고광판 적용

LIGA-reflow 공정을 활용한 마이크로 렌즈 형상으로 부식(erosion)을 통한 dot 패턴 대신 마이크로 금형 시스템을 활용하면, 가공된 금형의 표면 조도 및 전사성이 우수해질 수 있음을 착안하여, LCD 도광판 패턴에 마이크로 금형 시스템의 적용을 시도 하였다. LIGA-reflow 공정은 deep X-ray LIGA, UV-LIGA 의 변형으로 실린더 모양의 PR(Photo Resist)구조물을 Photo Lithography 공정으로 제작한 후 오븐에 넣어 온도를 높이게 되면 반구형태의 micro-lens 모양 reflow 되는 공정을 일컫는 말이다. 이렇게 제작된 PR 구조물을 이용해 반대 면을 도금해서 금형을 제작하게 된다. 제작된 금형을 이용해 사출성형하게 되면 최초 reflow 된 PR 구조물의 반대 형상의 마이크로 패턴도 성형이 가능하게 된다.

3.3 미세사출성형품의 복굴절 측정

현재 사용되고 있는 복굴절 측정기법들은 크게 3 가지의 방법으로 이루어지고 있다, 첫 번째로 복굴절에 의해 laser 가 측정물을 통과할 때 발생하는 위상차를 이용한 레이저 위상 변조법으로 point by point measurement method 가 있으며, 두 번째로 phase-shifting 과 fast fourier transform 을 이용한 full-field polariscope method, 마지막으로 최근 관심을 모으고 있는 polariscope RGB method 가 있다.

본 연구에서는 레이저 위상변조법으로 point by point measurement method 의 테스트를 완료 하였으며, 이미지 처리를 이용한 polariscope RGB method 의 개발을 위해 기본 테스트로 복굴절 이미지의 저장 및 RGB 분해, 2-D 복굴절 측정 프로그램의 기초 개발을 수행하였다.

3.4 얇은 마이크로 형상에 대한 미세사출성형 CAE 해석

미세형상을 가지는 사출성형 제품에 대한 공정 해석을 위하여 그 형상적 특성을 이용한 모델링을 성공적으로 개발하였으며, 개발된 해석 기초시스템을 간단한 형상의 미세성형품에 적용하여, 금형 온도에 따른 성형성을 확인하였고, 미세형상 부분에서의 높은 압력의 중요성을 확인하였다.

4. 마이크로 고분자부품 생산용 RTP 시스템 개발

4.1 마이크로 고분자 소재의 물성 측정연구

고분자 소재의 기초 정적,동적 물성 측정실험을 수행하였다. 이는 PMMA 의 RTP 공정을 기반으로 한 실험으로 정적 물성을 통하여 재료의 특성을 파악하였다. 또한 실험의 결과를 통하여 고분자의 점소성 해석식의 개발과, 나아가 공정의 시뮬레이션을 수행하고자 한다. 동적 물성 측정실험에서는 RTP 성형온도에서 PMMA 의 물성 및 특성을 파악하고, 이로부터 응력 완화 함수를 구하여 점탄성 해석의 기초 모델로 사용하였다. 또한 이러한 해석을 통하여 RTP 공정의 최적의 상태를 구하고자 한다. 정적 실험 결과 변형률이 증가함에 따라 금속속에서와 같은 양상을 보인다는 사실을 알 수 있다. 따라서 RTP 공정에서 변형률을 달리하면, PMMA 재료의 형상 변형 과정이 달라진다는 사실을 예측 할 수 있다. 또한, 변형률과의 응력 변이 선도와의 관계에서 점소성 해석을 위한 자료를 획득 하였다. 이를 기본으로 하여 점소성에 대한 유한요소 해석식을 개발하였으며, RTP 공정에 대한 해석을 수행하였다.

4.2 마이크로 고분자 소재의 RTP 성형 해석 전용 CAE 시스템 개발

점소성 변형은 탄성 영역 내에서는 발생하지 않고 항복면을 통과하면서 소성 변형과 유사하게 이어난다. 응력 경로가 항복면을 통과하면, 점소성 변형을 하는데, 이때 변형률의 시간 변화량은 탄성과 점소성 변형률 속도의 합으로 나타낼 수 있다. 이것을 기본 이론으로 하여 Perzyna Model 을 사용하여 점소성 재료에 대한 유한 요소 해석에 대한 식을 정립하였다.

4.3 RTP 성형기 부품 설계, 구조 해석 및 공정 최적화

RTP 성형기 개발을 위해 먼저 유사 기술에 대한 조사 및 분석을 선행 하였다. RTP 성형기는 Jenoptic 사의 HEX03 와 EVG 사의 EVG520HE, SUSS Microtec 사의 Substrate Bonder 의 3 종류에 대해서 기능 및 특징에 대해서 조사 하였으며 이를 바탕으로 하여 본 연구에서 제작할 RTP 성형기의 기본 기능 및 성능을 결정하였다.

RTP 성형기의 기능은 첫째, 고분자 소재인 sheet 를 마이크로 금형을 장착한 RTP 성형기로 thermal pressing 하여 마이크로 금형의 패턴을 그대로 전사시켜 원하는 형상을 성형하는 기능과, 둘째, 다양한 공정으로 성형된 고분자 소재의 sheet 들을 RTP 성형기에 적층하여 접착하는 기능이다. 선행된 조사를 통하여 RTP 성형기를 이용하여 고분자 소재의 sheet 를 성형시 RTP 성형기의 성능에 크게 영향을 미치는 주된 요인들의 항목을 파악할 수 있었고, 이를 통해 가압기구부와 정렬기구부에 대하여 성능평가 및 설계를 하였다.

4.4 마이크로 고분자 부품 가공용 RTP 성형기 설계 및 제작

선행 조사된 국외 장비들의 자료와 개발목표를 바탕으로 최종적인 RTP 성형기의 포괄적인 전체 사양과 주요 핵심 모듈의 세부 사양을 결정하였으며, 전체적인 Layout 은 Fig.1 과 같다. 실제로 RTP 공정의 stamp 를 제작하고, 기존의 hot embossing 장비인 HEX 03 모델을 이용하여, 기초 실험을 수행하였다. 먼저, 다양한 형태의 몰드를 자체로 제작하였으며, 이를 이용하여 다양한 형태의 채널의 형상으로 RTP 공정을 수행하였다

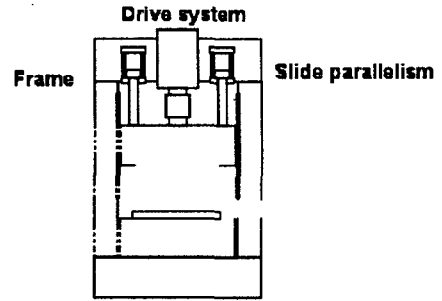


Fig.1 Layout

5. 결론

초미세 형상 제품의 미세사출성형 기술과 광학 부품의 미세사출압축성형 기술이 개발 되어서, 마이크로 부품의 금형 설계와 생산 기술의 혁신적 발전이 가능하게 된다. 또한 미세 유동의 효과를 고려한 CAE 시스템의 개발을 통한 금형 설계가 가능하게 되었고, 이를 통해서 초미세 마이크로 부품 생산을 위한 금형 설계 및 미세사출압축성형 공정의 과학적인 체계 구축에 이바지 할 수 있을 것이라 사료된다.

후 기

본 내용은 “생산기반기술개발사업”의 1차년도 수행 결과를 중심으로 각 세부과제를 총괄한 것입니다.