

마이크로 패턴 성형을 위한 인서트 코어 적용 μ -PIM 표준금형 개발에 관한 연구

박치열¹ · 서찬열¹ · 김용대[†]

원스(주)¹ · 한국생산기술연구원 금형기술그룹[†]

Development of μ -PIM standard mold with exchangable insert core in order to manufacture micro pattern

Chi Yoel Park¹ · Chan-Yoel Seo¹ · Yongdae Kim[†]

Wants Co., Inc.¹

Mold & Die R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology[†]

(Received October 27, 2017 / Revised November 20, 2017 / Accepted November 24, 2017)

Abstract: Increased demand for parts with micro-pattern structure made of metals, ceramics, and composites in various fields such as medical ultrasonic sensors, CT collimators, and ultra-small actuator parts. Micro powder injection molding (PIM) is a technology for manufacturing micro size, high volume, complex, precision, net-shape components from either metal or ceramic powder. In the present study, a standard mold with a variable insert core capable of producing various micro patterns was investigated. An injection molding test was performed on a standard mold using a line type micro-pattern core having an aspect ratio of 2, a slenderness ratio of 70, a pattern size of 200 μ m, and a pattern spacing of 150 μ m. During the filling process, the deformation of the mold with large aspect ratio and slenderness ratio was analyzed by the experiment and the numerical simulation according to the position of the gate. We proposed a mold structure that minimizes mold deformation by gate modification and enables uniform pattern filling behavior.

Key Words: exchangerble insert core, micro pattern, micro PIM, standard mold.

1. 서 론

최근 4차산업 혁명의 물결이 점차 거세지고 있고, 이것의 중심에는 ICBM이라 일컬어지는 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일이 핵심 기술로 자리잡고 있다. 이를 위해 기존의 제품들은 더욱 소형화되고 고기능·다기능화 되어가고 있으며 이를 위한 부품 초소형화, 복잡화 및 복합화가 요구되고 있다. 특히 의료 및 국방 분야 장비의 핵심 부품 중 금속 또는 세라믹 소재의 높은 종횡비가 요구되는 마이크로 패턴 형상의 구조체 부품의 수요가 증가하고 있다. 마이크로 패턴을 형성하는 기술로는 마이크로 기계가공(EDM, 레이저 등), 실리콘 애칭,

마이크로 분말사출성형, 마이크로 엠보싱, 마이크로 전주성형 등이 있으나 기술적 한계로 인하여 응용 범위가 한정적이고 동일한 품질의 부품을 대량생산 하여야 하기에는 생산성, 기술적 안정성 등의 한계에 부딪히고 있는 실정이다. 예를 들어, 마이크로 기계가공의 경우, EDM, 마이크로 롤 가공, 레이저 가공기술 등 다양한 방법으로 미세가공이 이루어지고 있으나, 한정된 가공범위와 가공 정밀도 및 높은 비용과 낮은 생산성으로 고종횡비의 부품 및 대량 생산에는 적용이 어려운 실정이고, 실리콘 애칭, 마이크로 엠보싱, 전주성형기술 등도 적용 소재의 한계 및 높은 비용과 낮은 생산성으로 대량생산에는 경제적인 성형방법이 아니므로 연구목적 등의 소량이 필요한 제품에 매우 제한적으로 적용되고 있다.¹⁾ 이러한 한계를 극복하기 위해 금형 등을 이용한 대량 생산기술인 사출성형기술^{2,3)}, 핫 엠보싱⁴⁾ 및 나노

1. 원스(주)

† 교신저자 : 한국생산기술연구원 금형기술그룹
E-mail: ydkim@kitech.re.kr

임프린트 기술⁵⁾ 등 다양한 성형공정들이 개발되고 있으며 금속 및 세라믹 재료에 적용을 위한 다양한 연구들이^{6,7)} 진행되고 있다. 분말사출성형은 분말야금과 플라스틱 사출성형을 결합한 제조방법으로 금속, 세라믹, 금속 간 화합물 및 복합재료 등 거의 모든 유형의 재료를 적용하여 복잡한 형상의 부품을 최종 형상으로 한번에 제작 할 수 있다.⁸⁾ 특히, 기존의 공정을 적용할 경우 비용이 많이 드는 작은 정밀부품을 일정한 형상과 품질로 대량생산할 수 있어서 초정밀 부품 분야에 경쟁력 있는 제조 공정으로 자리잡고 있다.

Park, S. H. 등⁹⁾은 마이크로 및 나노 스케일의 패턴의 사출성형하기 위해 고분자 필름을 열장벽으로 활용함으로써 수지의 냉각을 지연하여 비성형을 방지하였고, 이봉기 등¹⁰⁾은 마이크로 사출성형시 금형의 온도가 성형에 미치는 영향에 대해 연구하고 유리전이온도 이상의 금형온도 상승이 필요함을 제안하였다.

본 연구는 마이크로 전주성형을 통해 제작된 다양한 마이크로 패턴 금형 코어를 적용하여 마이크로 성형체를 대량으로 전사하기 위해 종횡비와 세장비가 큰 라인형 마이크로 패턴의 전주성형 코어 적용시 케이트 위치에 따른 소재의 충진 거동을 사출해석을 통해 분석하고 높은 세장비로 인하여 사출공정 중 발생하는 금형 변형을 최소화 하고 취출을 용이하게 하는 표준 금형을 제안하였다.

2. 마이크로 패턴 분말사출성형

2.1. 피드스타크 소재

본 연구에서 적용한 최종 성형체의 텅스텐 중합금 조성은 텅스텐(W) 95%를 기본으로 니켈(Ni), 철(Fe)의 분율을 각각 6%와 4%로 구성하였다. Table 1 은 각 분말의 입도분포이다.

Table 1 Particle size distribution of metal powder

	W	Fe	Ni	
Particle size (μm)	D10	2.774	2.625	3.046
	D50	6.644	5.526	16.75
	D90	36.30	45.99	54.07

피드스타크 제조를 위한 바인더 시스템은 파라핀왁스(Paraffin Wax, PW) 55%, 저밀도 폴리에틸렌(Low Density Polyethylene, LDPE) 35%, 스테아릭 산

(Stearic acid, SA) 10%로 구성되어 있으며 텅스텐 중합금 분말을 체적 비중 55%로 충분히 혼합하여 피드스타크를 제조하였다. Table 2는 바인더 성분별 물성을 나타낸 것이다.

Table 2 Thermal properties of binder components

Binder	Density (g/cm ³)	Melting Temp.(°C)	Decomposition(°C)	
			Start	Finish
PW	0.900	49.2 / 65.2	226.6	415.6
LDPE	0.910	111.54	381.8	500.0
SA	0.847	60.01	174.1	326.6

2.2. 금형 코어 제작

Fig. 1은 본 연구의 마이크로 패턴 표준금형이 적용되어 성형체를 생산하는 전 공정을 나타낸 것이다. 표준금형에 인서트형 금형코어를 다양한 패턴 형상으로 제작하여 삽입하고, 바인더와 금속분말이 혼합된 피드스타크를 금형코어의 마이크로 패턴 캐비티로 사출하여 성형한 후 금형으로 분리하여 바인더를 제거하는 탈지공정과 금속 또는 세라믹 분말의 소결공정을 거쳐 최종 마이크로 패턴 성형체를 제작한다.

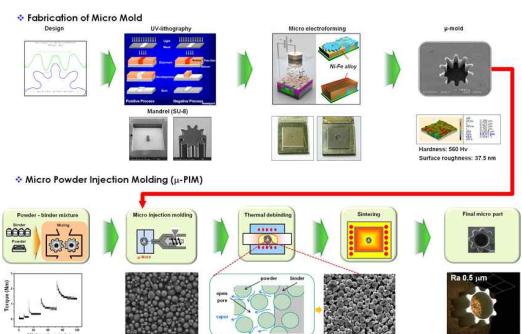


Fig. 1. Process flow diagram of μ -PIM with insert mold core

표준금형의 인서트 코어는 LIGA기술을 통해 제작된다. LIGA기술은 독일어로 Lithographie (lithography 사진), Galvanoformung(electroplating, 전기도금), 그리고 Abformung(molding 금형)의 합성어로 광원에 의한 전사기술, 전기도금기술, 그리고 금형 제조기술로 이루어지는 가공기술을 말한다. X-ray 혹은 UV 등의 광원에 노광시킨 후 현상공정을 거친 폴리머에 전기도금 처리를 거쳐 금속코어를 제작하였다. Fig. 2는 본 연구에서 사용한 전주성형으로 제작한 라인형 마

마이크로 패턴 금형코어를 나타낸 것이다.

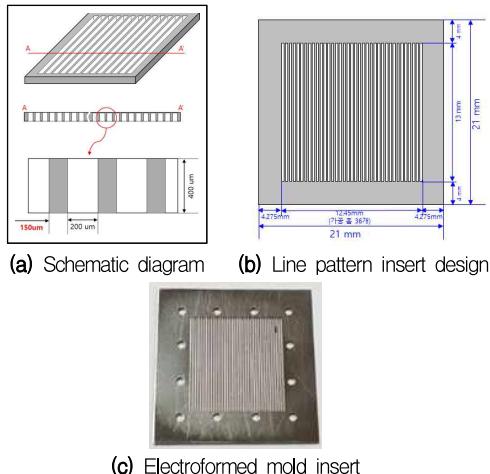


Fig. 2 Fabrication of Ni-Fe mold insert with line type micro pattern structure

3. 결과 및 토의

3.1. 금형의 설계 및 제작

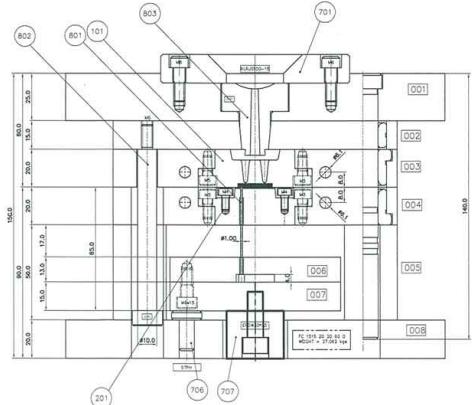


Fig. 3 Drawing of Standard mold

마이크로 패턴 구조체 금형은 가변형 인서트 코어를 적용하였으며, 인서트 코어에서 성형체가 관통형 구조를 가지고 있어 별도의 가스 배출은 고려하지 않았다. 케이트 위치는 최적의 성형 공정 구현을 위해 온도, 압력 분포를 고려하여 케이트 위치를 선정하였으며, 사출금형 온도 조절을 통해 ① 성형품의 강도 개선, ② 성형 사이클 시간 단축, ③ 성형품의 성형성 증진, ④ 성형품의 표면 상태 개선, ⑤ 성형품의 치수 정밀도 향상 등을 달성할 수 있다. 금

형 형식은 ① 표준 케이트 ② 밀어내기식 원형 밀핀 적용 ③ 일체식 부시형 케비티코어 ④ 일체식 부시형 하코아 등 기본 형식에 따라 구체적인 설계하였고, 금형구조는 고정축 설치판, 고정축 형판, 가동축 형판, 받침판, 스페이스 블록, 가동축 설치판이 있는 3단 금형 (3 PLATE MOULD)으로 제작하였다.

마이크로 패턴 성형을 위한 표준금형은 LIGA를 통해 제작된 다양한 형태의 패턴 코어를 적용하여 제품을 성형할 수 있도록 마이크로 패턴 코어 호환형 표준 금형으로 제작하였다. UV-lithography 기반 마이크로 패턴 맨드렐 제작과 전주도금을 통한 고내구성 마이크로 패턴 맨드렐 제작하여 인서트코어만 제작하여 금형 호환을 위한 표준 금형을 가지고도록 설계하였다. 마이크로 패턴의 핵심기술은 완전한 마이크로 패턴의 취출공정에 있으며, 호환용 표준 금형을 제작하여 인서트 코어를 바꾸어 다양한 마이크로 패턴의 성형이 가능하다. 제품의 파손을 방지하기 위한 이ჯ터 설계 및 밀핀 위치를 선정하였고, 패턴 하부 substrate의 두께는 2~3mm 수준으로 설계하였다. 금형 케이트($\varnothing 0.6 \times 4$ 개소) chamber를 통한 가스 방출로 제품 파손을 최소화 할 수 있고, 마이크로 패턴 사출체 취출을 위해 이ჯ터 밀핀 ($\varnothing 1.0 \times 12$ 개)을 적용하였다. Fig. 3과 4는 각각 표준 금형의 상세 설계도면과 제작된 표준 금형이다.



Fig. 4 Standard Mold and important parts

3.2. 마이크로 패턴 시사출

표준 금형에 라인형 마이크로 패턴 금형을 적용하고 텅스텐 중합금 피드스탁의 시사출을 수행하였다. Fig. 5는 본 연구에 사용한 수직형 마이크로 사출기 및 시사출 공정이다. 사출압 2.5MPa, 사출온도 120°C, 금형온도 40°C에서 수행되었다.

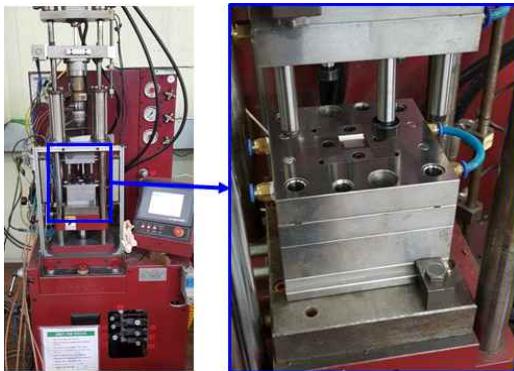


Fig. 5 Vertical type injection molding machine

Fig. 6은 시사출로 얻어진 사출성형체(Green body)이다. 4개의 핀 포인트 게이트를 적용하여 사출을 수행하였으며, 4개의 빨간색 점이 게이트 위치를 나타낸다. 피드스탁 수지의 흐름은 (b)의 흐름도에 나타낸 바와 같이 게이트 바로 밑의 라인 패턴을 먼저 채우게 된다. 적용된 인서트 코어의 패턴 성형부가 관통형의 구조를 가지고 있기 때문에 패턴과 패턴 사이의 금형부는 양끝이 고정된 얇은 외팔보의 형태를 띠게 되며 충진 불균형으로 인해 금형이 변형되고 결과적으로 사출성형체의 변형이 발생한다.

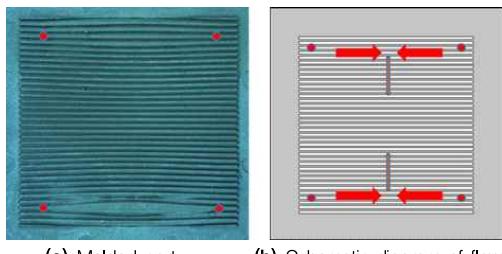


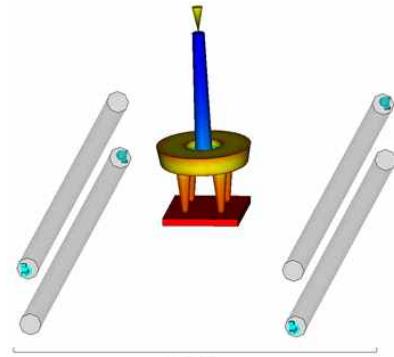
Fig. 6 Molded part of line type micro pattern

Fig. 6(a)의 게이트 바로 아래에 위치한 라인 패턴의 두께가 일정하지 않고 중심부가 매우 두꺼워지고, 반대로 주위의 라인패턴은 중심부가 현저히 얇아진 것을 확인할 수 있는데 이것이 충전 불균일로 인한 금형 변형에 기인한 결과이다.

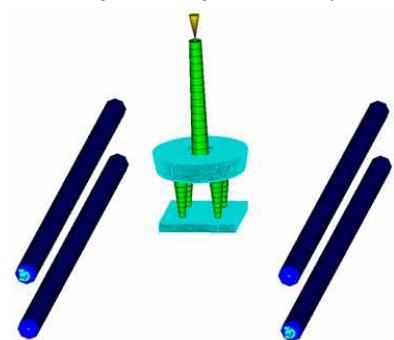
3.3. 게이트 위치의 개선

게이트 위치를 개선하기 위해 Moldflow를 이용하여 사출해석을 수행하였다. Fig. 7은 사출해석을 위한 해석 모델 및 생성된 계산 격자를 나타낸 것이다. 성형체와 cold slug well은 3차원 격자를 생성하

고 냉각라인과 스프루 및 런너부는 계산 부하를 줄이기 위해 빔 격자를 적용하였다. 본 연구에서 사용하고 있는 텡스텐 중합금 분말과 저밀도 폴리에틸렌 및 파라핀 왁스 기반의 바인더로 이루어진 피드스탁의 물성값에 대한 정보가 부족하여 가장 유사한 SUS 316L 기반의 피드스탁 소재를 적용하여 해석을 수행하였다. 소재의 차이로 인해 해석결과와 실험결과가 다소 차이가 날 것으로 예상되나, 정성적 분석은 가능할 것으로 판단된다.



(a) Design of cooling and runner system



(b) Mesh generated model for simulation

Fig. 7 3D model and mesh for injection molding analysis

Fig. 8은 기존 4개의 핀 포인트 게이트 시스템에서 라인형 마이크로 패턴 구조체 성형시 충진거동에 대한 해석결과와 실험결과를 비교한 것이다. 사출해석과 실험결과가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 사출성형체의 패턴 형상 불균일의 원인이 패턴간 불균일한 충진거동에 기인함을 확인하였다. 라인 패턴 형상의 균질화를 위해 게이트 위치를 변화시키면서 사출공정 중 모든 라인 패턴이 편차없이 균일하게 충진될 수 있도록 해석을 통해 충진결과를 분석하였다.

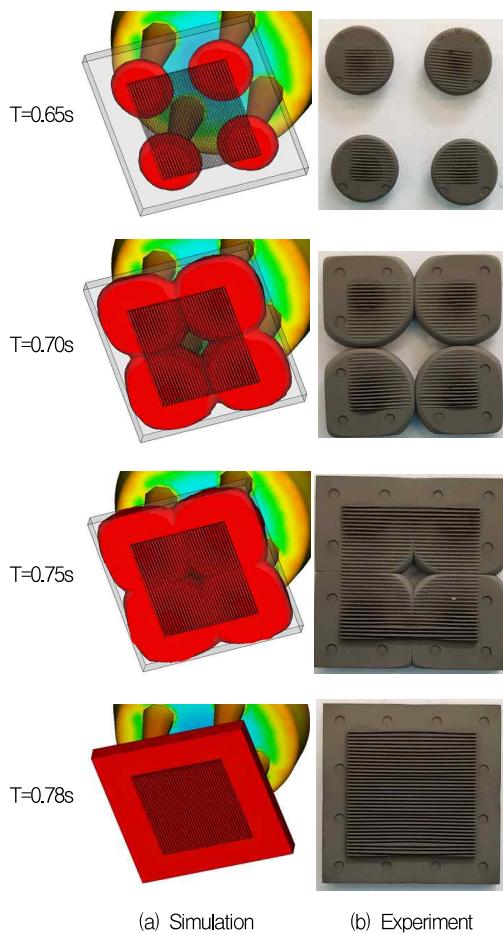


Fig. 8 Filling pattern as function of time

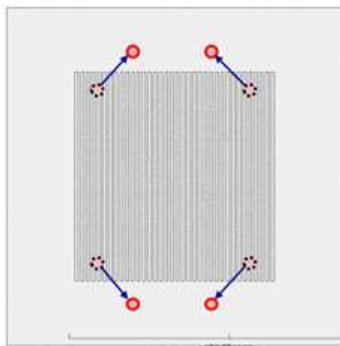


Fig. 9 Improved gate location

충진거동의 개선을 위하여 게이트의 위치를 라인 패턴방향의 양측 패턴이 존재하지 않는 곳으로 이

동하였다. Fig. 9는 이동한 게이트의 위치를 나타낸 것이다.

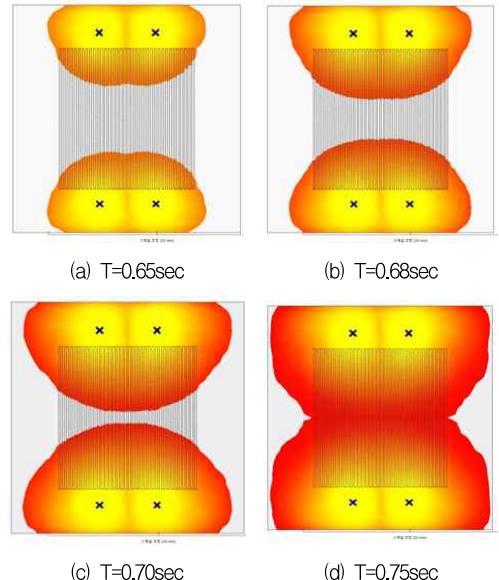


Fig. 10 Filling pattern of improved gate location mold

Fig. 10은 개선된 게이트 위치를 적용한 금형에서 패턴 시작부 단면의 피드스탁 충진거동을 나타낸 것이다. 패턴위치에 따른 충진량의 편차가 현저히 감소되었음을 확인할 수 있으므로 기존 게이트 위치에서 발생하는 충진 불균일에 의한 금형 변형 및 사출체 패턴 불균일은 발생하지 않을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 다양한 마이크로 패턴 구조체를 제작할 수 있는 가변형 인서트 코어 표준금형을 제안하였다.
- 2) 마이크로 패턴의 종횡비, 세장비가 클 경우 게이트 형태, 위치, 개수 등으로 인하여 충진거동의 변화와 이로 인한 금형 변형 및 사출체 불량을 야기할 수 있음을 확인하였다.
- 3) 특히, 높은 세장비와 작은 피치를 갖는 마이크로 패턴은 불균일하게 충진이 이루어질 경우 피드스탁 충진압에 기인한 금형 변형과 사출체 불량을

야기함을 확인하였고 이를 개선하기 위한 최적의 게이트 위치를 제안하였다.

후기

본 연구는 산업통상자원부의 산업핵심기술개발 사업으로 진행 중인 “금속 및 세라믹 마이크로 구조체 부품 제조를 위한 패턴 폭 150 μm 이하 고종횡비 분말사출 금형 및 성형기술개발”과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Nishiyabu, K., “Some Critical Issues for Injection Molding”, IntechOpen, 2012.
- 2) Piotter, V., Bauer, W., Benzler, T. and Emde, A., “Injection Molding of Components for Microsystems”, Microsystem Technologies, Vol. 7, No. 3, pp. 99-102, 2001.
- 3) Yoo, Y.-E., et. al., “Injection Molding Technology for Micro/Nano Pattern”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 23-29, 2005.
- 4) Hecke, M., Bacher, W. and Müller, K. D., “Hot Embossing - The Molding Technique for Plastic Microstructures”, Microsystem Technologies, Vol. 4, No. 3, pp. 122-124, 1998.
- 5) Chou, S. Y., Krauss, P. R. and Renstrom, P. J., “Imprint of Sub-25nm Vias and Trenches in Polymers”, Applied Physics Letters, Vol. 67, No. 21, pp. 3114-3116, 1995.
- 6) Merz, L., et. al., “Powder Injection Molding of Metallic and Ceramic Microparts”, Microsystem Technologies, Vol. 10, No. 3, pp. 202-204, 2004.
- 7) Löwe, D. and Haußelt, J., “Microengineering of Metals and Ceramics”, Wiley-VCH, 2005.
- 8) German, R. M., Bose, A., “Injection molding of metals and ceramics”, Metal Powder Industrial Federation, Princeton, NJ, 1997.
- 9) Park, S. H., et. al., “Injection molding micro patterns with high aspect ratio using a polymeric flexible stamper”, eXPRESS Polymer Letters, Vol. 5., No. 11, pp. 950-958, 2011
- 10) 이봉기, 김영배, 권태현, “초소형사출성형 공정을 이용한 마이크로 구조 표면의 성형”, 한국정밀공학회지, 제 26권 9호, pp. 135-142, 2009.