

미소부품용 미세사출성형기 시작품 개발

제태진, 신보성, 최두선, 이응숙(한국기계연구원), 김영민, 강신일(연세대학교)

Development of Micro Injection Molding Machine for Micro Parts

T.J. Je, B.S. Shin, D.S. Choi, E.S. Lee (KIMM), Y. Kim, and S. Kang (Yonsei university)

ABSTRACT

In these day, micro systems have gained attention with development of advance technologies. Researches about the fabrication of micro parts are actively made in the whole world. Among the researches, technology for micro injection molding machine is one of the key issues for fabrication of micro parts.

In this study, we developed a micro injection molding machine for micro parts. To achieve this, injection unit was constructed using a screw with diameter of 12 mm. Clamping unit with clamping force of 1.75 kgf/cm² was constructed. Also verification test for fabrication of micro parts was performed. It was performed that the micro injection molding machine can fabricate micro parts based on the result..

Key Words : Micro injection molding machine (미세사출성형기), Micro parts (미소부품), Injection unit (사출부), Clamping unit (형채부)

1. 서론

최근들어 마이크로 센서, 마이크로 모터, lab-on-a-chip 같은 마이크로 시스템에 대한 필요성이 대두됨에 따라 미세기어, 팽크넥터, 마이크로렌즈어레이 같은 초소형 정밀 광, 통신, 전자, 기계부품의 중요성이 급증하고 있다. 이에 따라 미세부품들을 효과적으로 성형할 수 있는 시스템의 개발에 대한 요구가 증대되었고 미국, 일본, 유럽 등 기술선진국들에서는 이미 이에 대한 연구들이 활발히 진행중에 있다.

미세부품을 성형하기 위한 성형시스템들은 다양하게 개발되었는데, 그 중에서 hot embossing 공정과 미세사출성형 공정은 산업적으로 가장 관심을 받고 있고 활발히 개발, 연구되고 있는 성형공정이다. 이 중에서 미세사출성형 공정은 기존의 사출성형기술을 기반으로 하여 미세부품을 성형하기 위한 공정을 구축한 것으로 대량생산의 측면에서 다른 미세부품 성형공정에 비해 생산성이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 미세사출공정에 있어서 가장 기반이 되는 기술 중의 하나가 초소형 미세사출성형기의 구축과 관련된 기술이다. 일반 사출성형기와는 달리

미세사출성형기는 한 쇼트당 사출량이 수 g에서 수십 g정도의 매우 작은 값을 가지고 1~10 ton 정도의 형체력을 가지기 때문에 일반 사출성형기에 비해 더욱 정밀한 공정제어가 요구된다.

초소형 미세사출성형기는 1982년 동경에서 열린 JAPANPLAS에서 일본제철소가 개발한 형체력 1톤의 사출성형기를 발표한 이후로 현재까지 여러 기술 선진국에서 활발하게 개발되어왔다. 미국 Murray사에서 개발한 Sesame nanomolding machine은 pre-plunger와 핫러너를 이용하여 사출부를 구성하고 있으며 서보모터를 이용한 전동식 구동장치를 채택하고 있다. 주요 기계사양으로는 형체력이 0.4~1.7톤이며 사출압력이 29,700~58,000 psi이다. 또한, 사출량제어가 0.1 mg까지 제어가 가능하고 사출중량은 0.08~0.58 g이다. 장착 가능한 금형의 크기는 최대 90×95 mm, 전체 기계의 크기는 1219×735×533 mm이다. Nexsys사에서 제작한 Micro-molder MX-1290의 경우는 pre-plunger와 핫러너를 이용하여 사출부를 구성하고 있으며, 토글식의 형체기구를 채택하고 있다. 기계의 주요사양으로 형체력은 9톤이며 사출압은 752 bar이다. 또한 사출중량은 12 g, 스크류경과 플런저경은 각각 16, 13 mm이다. 장착 가

능한 금형의 최대크기는 100×130 mm이며 전체 기계의 크기는 920×700×400 mm이다. 일본 FANUC사에서 제작한 ROBOSHOT α-15C의 경우는 서보모터를 이용한 전동식 구동방식을 채택하였으며, 형체방식으로는 더블토글식을 이용하였다. 주요사양으로는 형체력이 15 톤, 사출중량이 13 g이며 스크류경과 사출압이 각각 16 mm, 1900 bar이다. 또한 전체 사출기의 크기는 1985×1458×678 mm이다. 그리고 일본 NISSEI사에서 개발한 PS8E2ASE의 경우, 사출방식으로 인라인스크류방식을 이용하여 형체력 8 ton, 사출중량 17 g, 스크류경 19 mm, 사출압 1900 bar, 전체 크기 2280×1458×678 mm을 가지는 성형시스템을 구성하였다. 유럽의 경우는 스위스의 Dr. Boy, 영국의 Engel, 독일의 Arburg, Battenfeld사 등에서 초소형 미세사출성형기를 제작하고 있는데, 형체력이 10 톤급 이상이 많으며 스크류를 이용한 가소화와 플런저를 이용한 사출을 적용한 성형시스템이 널리 제작되는 실정이다.

현재, 미세부품의 성형을 위한 미세사출성형기를 개발하는 데 있어서 몇가지 문제점들이 있다. 사출장치, 형체장치, 모터, 제어밸브, 히터 등 요소부품의 소형화에 한계가 있으며 초정밀 공정제어를 위한 제어장치 및 모니터링 장치의 개발에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 다양한 사출시스템이 개발되고 있으며, 사출장치, 형체장치, 에젝팅장치의 초정밀 제어를 위한 전동식 구동장치와 공압보조식이나 공정의 효율향상 및 소형화를 위해 파팅라인 주입방식, 핫런너, 런너레스 금형등 다양한 방법들이 제시되고 있다.

기술선진국과는 달리 국내에서는 아직 많은 핵심기술의 개발이 부족한 실정이며 더욱 초소형 미세사출성형기의 개발은 시급한 실정이다. 이에 본 연구에서는 미세성형품의 정밀성형을 위한 초소형 미세사출성형기를 개발하였고 제작된 성형기를 이용하여 미세부품에 대한 성형실험을 수행하였다. 이를 통해 초소형 미세사출성형기 개발과 관련된 몇가지 기술의 한계를 확인할 수 있었고 기술선진국 수준의 초소형 미세사출성형시스템의 구축 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 설계, 제작된 초소형 미세사출성형기를 통해 더욱 향상된 성능을 가지는 미세부품 성형을 위한 성형시스템 개발하는 데 있어서 많은 자료를 제시할 수 있으리라 사료된다.

2. 초소형 미세사출성형기 설계 및 제작

2.1 개요

본 연구에서 설계, 제작된 초소형 미세사출성형기는 초미세 성형품의 제작을 위해 기존에 구축되었던 10톤급 소형 사출성형기를 기반으로 하여 더욱

소형화된 형태로 개발되었다. 전체적인 구조는 사출부를 수직으로 세우고 형체부는 수평을 유지하는 수직-수평 혼합식의 구조로 제작되었으며 이에 따라 수지의 cavity 주입방식은 파팅라인 주입식이 적용되었다. 또한, 작업자의 편의를 위해 앉은 자세로 용이하게 공정을 수행할 수 있도록 설계하였다. Fig. 1은 이번 연구에서 제작된 미세사출성형기의 전체 도면과 실제 제작된 모습을 나타내고 있다. 동력장치는 유압식을 채택하였는데 이는 전동식으로 설계할 경우 서보모터 등이 소형화에 문제가 있으며 요소부품이 고가라는 단점이 있고, 아직 전동식 동력장치에 대한 국내 기술이 부족하여 제작이 용이하지 않은 상황이어서 시작품 개발단계에서는 유압식을 적용하는 것이 가장 효율적이라고 판단했기 때문이다. 이에 2.2 kW 유압모터를 이용하는 유압식을 채택하였으며 향후 2단계 연구과제로 전동식 구동장치를 이용하는 미세사출성형기의 개발을 계획하고 있다. 이번에 제작된 미세사출성형기의 기계사양은 table 1에 정리하였다.

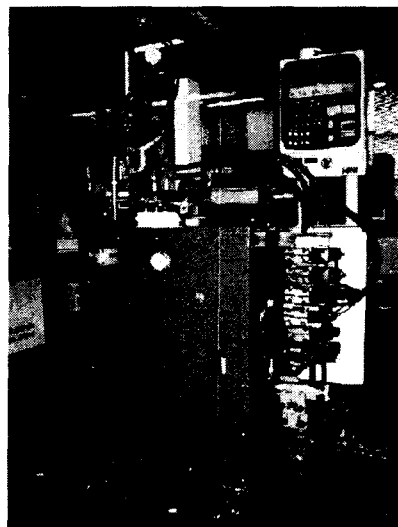
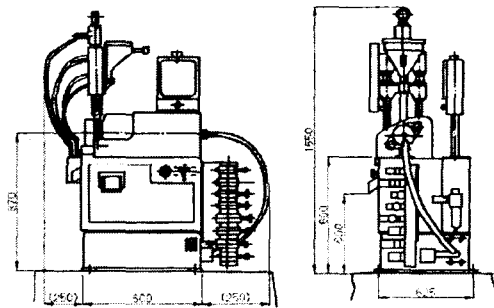


Fig. 1 Micro injection molding machine

Table 1 Specifications of micro injection molding machine

Injection unit	max. stroke volume	2.8 cc
	injection pressure	max. 1545 kgf/cm ²
	screw diameter	12 mm
	nozzle stroke	25 mm
	plasticizing capacity	24 kg/hr
Clamping unit	screw drive	50~200 rpm
	clamping force	1.75 ton
	mold dimension	70×70 mm
	mold opening stroke	100 mm
Hydraulic unit	ejector stroke	15 mm
	capacity of pump	2.2 kW(3 hp)
Machine dimension	max. circuit pressure	140 kgf/cm ²
		L850×H1550×W625mm

2.2 사출부

사출방식은 유압실린더를 이용한 in-line screw식을 채택하였고 실린더부의 효과적인 온도제어를 위해 히터를 실린더부에 두 개, 노즐에 하나를 설치하였다. 이렇게 제작된 사출부의 사출압은 1545 kgf/cm²이며 2.8 cc의 사출용량을 가진다. 그리고 유압실린더 2개를 설치하여 사출실린더의 상승과 하강을 구동하도록 설계하였다. 그리고 Table 1에서 정리한 것처럼 사출스트로크와 최대 스크류회전속도, 가소화 능력은 각각 25 mm, 200 rpm, 2.4 kg/hr이다. Fig. 2는 사출부의 조립도를 나타내고 있다. 그리고 Fig. 3은 실제 제작되어 성형기에 조립된 사출부의 모습을 나타내고 있다.

스크류설계에 있어서는 사출량의 조정밀 제어를 위해 스크류의 직경을 가능한 작게 제작하고자 하였으며 그 결과 12 mm의 직경을 가지는 스크류를 제작하였다. 스크류의 피치와 유효길이는 각각 12, 153 mm로 설계되었으며 스크류의 피드부, 압축부, 계량부가 각각 79, 36, 38 mm의 구간을 가지고 있다. 그

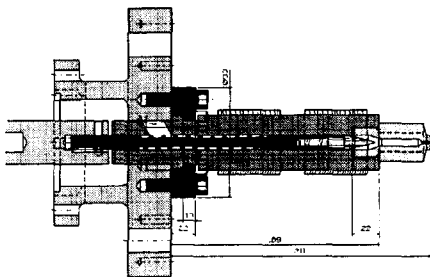


Fig. 2 Assembly drawing of injection unit for micro injection molding machine

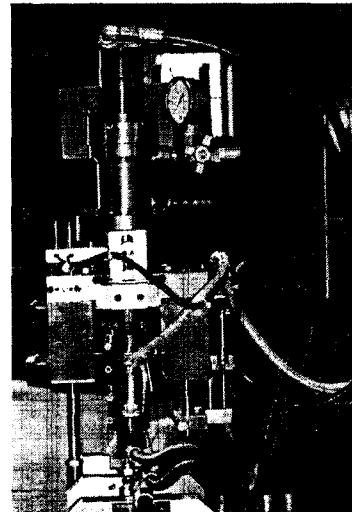


Fig. 3 Real image of injection unit for micro injection molding machine

리고 계량부의 홈깊이와 공급부의 홈깊이는 각각 1.0, 2.5 mm로 설계하였다. 그 결과 스크류의 압축비, ϵ 는 2.16으로 계산된다.

2.3 형체부

금형의 개폐와 에젝팅을 위해 두 개의 유압실린더를 설치하여 형체부를 구성하였다. 유압실린더에 의해 발생하는 형체결력은 1750 kgf/cm²이며 형체 스트로크와 에젝터 스트로크는 각각 100 mm, 15 mm이다. 고정판과 이동판의 최대 간격(max. open daylight)은 240 mm, 두 개의 타이바 사이의 간격은 112 mm로서 사용가능한 금형의 크기는 70×70 mm이다. 이는 식(1)의 관계식을 고려했을 때 5.83 cm²의 최대 성형면적을 가짐을 알 수 있고 이는 한번이 24.2 mm의 정사각형의 면적에 해당하는 값이다.

$$(\text{형체력}) \geq (\text{캐비티 내 평균압력}) \times (\text{성형면적}) \quad (1)$$

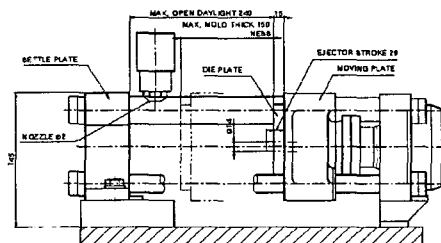


Fig. 4 Assembly drawing of clamping unit for micro injection molding machine

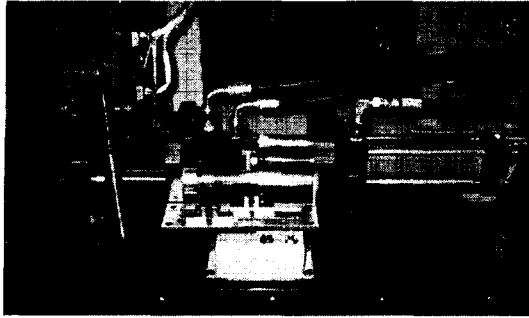


Fig. 5 Real image of clamping unit for micro injection molding machine

여기서, 형체력은 앞에서 언급한 것처럼 1750 kgf/cm²이고 캐비티내 평균압력은 인라인 스크류 방식의 경우 일반적으로 200 ~ 300 kgf/cm² 정도이다. Fig. 4와 5는 각각 제작된 형체부의 전체 도면과 실제 제작된 모습을 나타내고 있다.

2.4 동력장치

이번에 제작된 미세사출성형기의 동력장치로는 유압모터를 채택하였다. 유압모터의 용량은 2.2 kW이며 최대 회로압력은 140kgf/cm²이다. 그림 3.25에서 볼 수 있듯이 초소형 미세사출성형기의 구동을 위해 총 6개의 유압밸브를 이용하였다. Fig. 6은 유압밸브의 구성도를 나타내고 있다. 유압밸브 #1은 에젝터를 제어하는 부분으로 에젝터의 속도를 조절할 수 있다. 유압밸브 #2와 #3은 사출실린더의 상승과 하강을 제어하는 부분으로 사출실린더의 속도와 압력을 조절한다. 유압밸브 #4는 사출압력과 실린더의 강제후퇴 속도를 조절한다. 유압밸브 #5는 금형의 개폐를 제어하고 유압밸브 #6은 금형이 닫힐 때

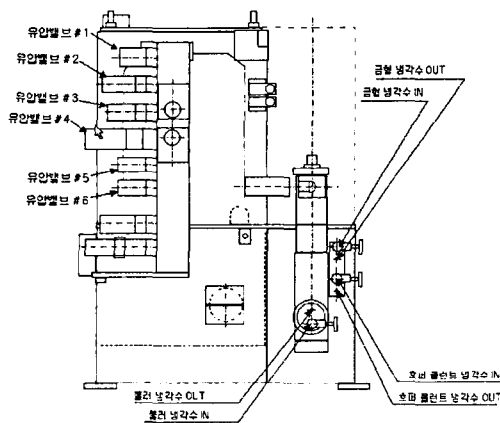


Fig. 6 Schematic of hydraulic system for micro injection molding machine

압력을 조절해서 금형을 보호해주는 기능을 한다.

3. 시운전 및 시사출

3.1 시운전 및 성능시험

본 연구에서 제작된 미세사출성형기의 설계된 사양값들이 실제로 나오는지 확인하기 위해 몇가지 값들을 시험하였다. 먼저, 제작된 미세사출성형기의 최대 회로압력은 140 kg/cm²인데, 압력을 최대로 높여 본 결과 회로압력이 140 kg/cm²까지 올라감을 확인하였다. 사출용량은 2.8 cc로 설계되었는데, 이를 확인하기 위해 폴리스티렌을 충전하고 완전 사출한 결과 2.79 cc로 측정되었다. 가소화능력은 24 kg/hr로 설계되었는데 이를 확인하기 위해 폴리스티렌을 호퍼에 충전하고 한시간 동안 스크류 회전수를 최대치인 200 rpm으로 설정한 후 사출실린더를 계량하였다. 그 결과 가소화된 수지의 양은 시간당 23.8 kg으로 측정되었다. 그리고 히터는 노즐에 하나 실린더에 두개가 설치되어 있는데 이 히터는 각각의 온도 콘트롤러에 의해 제어되는데 시운전해 본 결과 ± 1 . C의 범위에서 설정온도를 유지했다. 그리고 사출 스트로크, 형체 스트로크, 에젝터 스트로크는 각각 25, 100, 15 mm로 설계되었는데 측정결과 각각 24.7, 98.6, 14.8 mm의 값을 가지는 것으로 나타났다.

3.2 시사출

제작된 미세사출 성형기의 성형능력 평가를 위해 시사출을 수행하였다. 이를 위해 먼저, 마이크로 렌즈와 micro pole의 형상이 가공된 몰드인서트를 제작하였고, 이를 삽입한 금형을 제작하였다. 시사출에 사용된 몰드인서트는 미세가공시스템을 이용하여 제작된 것이다. Fig. 7은 시사출을 위해 제작된 금형을 나타내고 있다. 앞에서 언급한 것처럼 사출실린더가 수직으로 설치되어 있어서 금형은 파팅라인 주입식으로 제작되었으며 미세가공에 의해 제작된 몰드인서트 하나가 삽입되어 캐비티를 형성한다. 캐비티의 두께는 0.5 mm이고 미세부품의 효율적인 취출을 위해 몰드인서트의 네 모서리 부분에 에젝터를 설치하였다. 그리고 제작된 몰드인서트를 금형의 고정부에 삽입하였다. 그리고 전체 금형크기는 60×60 mm로 제작되었다. 시사출에 사용된 수지로 마이크로 렌즈의 성형에 PMMA, micro pole 성형에 폴리프로필렌

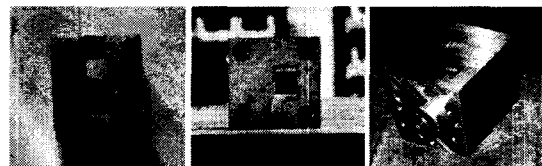


Fig. 7 mold for verification test

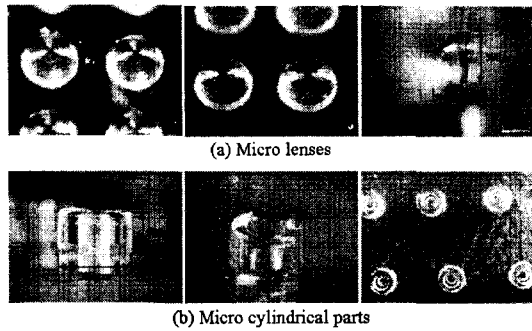


Fig. 8 Micro parts fabricated by micro injection molding machine

을 이용하였다. PMMA의 유리전이 온도는 105°C 이며 밀도는 1.18 g/cm^3 이다. 폴리프로필렌의 경우는 용융온도가 175°C 이며 밀도는 0.90 g/cm^3 이다. 또한 수지의 최대 가공온도는 PMMA는 230°C , 폴리프로필렌은 300°C 이다.

공정조건은 PMMA의 경우 노즐부의 온도 210°C , 금형온도 100°C , 사출압 750 kgf/cm^2 , 폴리프로필렌의 경우, 노즐부의 온도 215°C , 금형온도 94°C , 사출압 550 kgf/cm^2 로 설정하였다.

Fig. 8은 시사출 결과 성형된 미세부품들을 나타내고 있다. 마이크로 렌즈의 경우 직경이 $300\text{ }\mu\text{m}$ 이며, 미소 원주구조물의 경우 높이 $500\text{ }\mu\text{m}$, 외경과 내경이 각각 $900, 500\text{ }\mu\text{m}$ 이다. 이와 같은 성형결과를 통해 이번 연구에서 설계, 제작된 미세사출성형기의 미소소자 성형성을 검증할 수 있었다.

4. 결론

이번 연구에서는 미세부품의 성형을 위한 초소형 미세사출성형기를 설계, 제작하였다. 구동장치는 유압모터를 이용하여 1.75 ton 의 형체력을 가지고 수평-수직 혼합식의 구조를 가지는 사출기를 구현하였고, 작업자의 편의를 위해 앉은 자세로 작업이 가능하도록 전체 성형기의 크기와 계기판의 위치 등을 조정하였다. 제작된 성형기의 성능평가를 위해 마이크로 렌즈, 마이크로 샤프트 몰드인서트를 이용한 미소 중공 부품을 성형하였고 이를 통해 본 연구에서 개발된 성형기가 미세부품에 대해 충분한 성형능력을 보유하고 있음을 알 수 있었다.

앞으로 미세사출성형기에 대한 다양한 성형실험을 통해 좀 더 구체적인 성형능력에 대한 평가가 필요할 것으로 사료된다. 그리고, 이러한 성형실험 결과를 바탕으로 좀 더 향상된 성형능력을 가지는 미세사출성형기의 개발을 위한 기초자료가 제시될 수 있으리라 판단된다. 또한, 미세사출성형기의 더욱 정밀한 공정제어를 위해서는 수지의 가소화를 위한 스

크류와 사출을 위한 플러저의 방식의 적용과 전동식 구동장치의 적용이 필요할 것으로 판단된다. 이는 차후 진행될 연구에 의해 개발될 계획이다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부 과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. R. Wimberger-Friedl, "Injection Molding of Sub- μm Grating Optical Elements", ANTEC'99, pp. 476-480, 1999.
2. J. Fahrenberg, W. Bier, D. Mass, W. Menz, R. Ruprecht, and W. K. Schomburg, "A Microvalve System Fabricated by Thermoplastic Molding", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 5, pp. 169-171, 1995.
3. C. Goll, W. Bacher, B. Büstgens, D. Mass, R. Ruprecht, and W. K. Schomburg, "An Electrostatically Actuated Polymer Microvalve Equipped with a Movable Membrane Electrode", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 7, pp. 224-226, 1997.
4. Karlheinz Dunkel, Hans-Dieter Bauer, Wolfgang Ehrfeld, Jens Hoßfeld, Lutz Weber, Günter Hörcher, and Gottfried Müller, "Injection-moulded Fibre Ribbon Connectors for Parallel Optical Links Fabricated by the LIGA Technique" Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 8, pp. 301-306, 1998.
5. 제태진, 신보성, 박순섭, "다중 미세 각주 구조물의 사출성형기술 연구", 한국정밀공학회 2001년도 추계학술대회, pp. 1061-1064, 2001.