

미소 원주의 사출 성형 실험

Injection Molding Experiments for Small Diameter Column

제태진, 이응숙, 김재구

Tae-Jin Je', Eung-Sook Lee, Jae-Gu Kim

한국기계연구원(KIMM)

Abstract

Recently, the micro mold machining technology is developed by means of the mechanical and high energy beam process. It is possible to make the micro structure mold with high aspect ratio by the LIGA technology. This mold is used for mass production of plastic parts by the micro injection molding method. In this study, we intend to research on the basic technology of micro injection molding. As the result, we developed the injection molding technology for small column plastic parts which diameter is $500\mu\text{m}$ and $200\mu\text{m}$ respectively with about aspect ratio 20.

Key Words : micro injection molding, small diameter column, high aspect ratio

1. 서론

최근 밀리머신, 마이크로머신, 미소액츄에이터, 센서, 노즐, 필터 등의 미세 형상을 갖는 미소부품의 수요증가와 더불어 이들의 가공 수단으로 방전가공, LIGA, UV laser 등에 의한 초정밀 미세 가공기술이 활발히 개발되고 있고, 이들에 의해 제작된 미소 플라스틱 부품의 다양생산 수단으로서 3차원 미세 구조물의 초정밀 사출성형기술이 요구되고 있다. 특히 LIGA 기술 등의 발달로 고종횡비를 갖는 미세 형상 금형 구조물의 제작이 가능해짐에 따라 이를 이용한 초정밀 사출성형기술의 개발이 시급하게 필요하게 되었다.

이에따라 본 연구에서는 이러한 미세 3차원 구조물의 초정밀 사출성형을 위한 기초연구의 일환으로 초소형 미세 형상부품에 대한 사출성형실험을 수행하고자 하였으며, 그 첫번째 대상으로 직경 $500\mu\text{m}$ 및 $200\mu\text{m}$ 의 미소 원주에 대한 사출성형실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

1) 금형제작

본 실험을 위해 제작된 금형의 원주부 사이즈는 각각 $\phi 500\mu\text{m} \times L9.8\text{mm}$, $\phi 200\mu\text{m} \times L3.8\text{mm}$ 로서 종횡비는 약 19~20배 정도의 비교적 고종횡비를 갖고 있다. 금형코어의 재질은 낙크80이며, 원주부는 슈퍼방전가공으로 관통작업을 하고 다이아몬드 파우더를 이용한 와이어래핑을 통하여 완성하였다.

2) 사출성형기

본 실험에 사용된 사출성형기는 한국유압기계에서

만든 형체력 10톤급의 초소형 사출성형기로서 실제 모습은 Fig.1과 같으며, 주요사양은 표1과 같다.

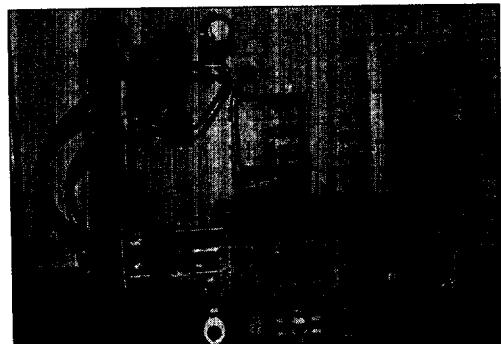


Fig.1 초소형 사출성형기(한국유압기계)

표1. 사출성형기의 주요사양

- | | |
|------------|---------------------------|
| (1) 형체방식 | : 유압, 직압식 |
| (2) 형체결력 | : 10 ton |
| (3) 스크류직경 | : 16 mm |
| (4) 이론사출용량 | : 10 cc |
| (5) 최대사출압력 | : 1900 kgf/cm^2 |

3) 실험조건 및 방법

본 실험에 사용된 수지는 폴리아세탈(POM)로서 용융온도 약 180°C , 수축률 2~2.5%, 강에 대한 마찰계수 0.15 등의 특성을 가지고 있고, 사출성형시의 수지용융을 위한 성형기 실린더온도는 $180\sim 230^\circ\text{C}$ 정도로 추천되고 있다. 본 실험에서는 실린더온도

185°C, 노즐온도 190°C로 설정하였다.

실험변수로는 금형온도, 사출압력, 사출속도를 설정하고 이들값을 변화시켜 성형실험을 수행한 뒤, 성형된 원기둥(원주)의 길이를 비교측정하여 데이터 및 그래프화하였다.

직경 500 μm 원주의 경우 금형온도는 25, 40, 60°C, 사출압력은 600, 680, 760kgf/cm², 사출속도는 30, 60, 120mm/sec로 설정되었다.

직경 200 μm 원주의 경우 금형온도는 25, 80, 100°C, 사출압력은 1050, 1350, 1800kgf/cm², 사출속도는 30, 60, 120mm/sec로 설정하였다.

3. 실험결과 및 토의

본 사출성형 실험을 통하여 제작된 미소 원주 구조물의 실제모습은 Fig.2와 같다.

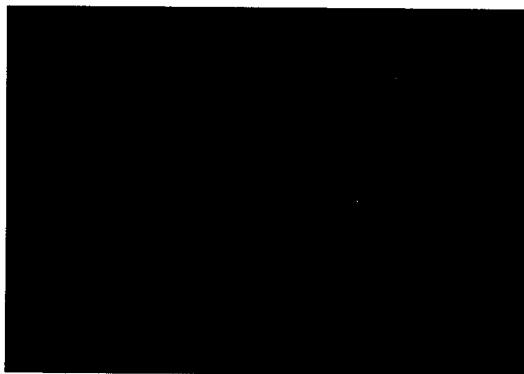


Fig.2 미소 원주 구조물 사출성형품

이들의 성형조건에 따른 변화와 미세 원주 구조물 사출성형시의 문제점에 대하여 알아본다.

1) 사출압력의 영향

Fig.3 및 Fig.4에 원주 성형시의 사출압력과의 관계를 비교하여 나타내었다. 본 실험에서는 Fig.3, Fig.4의 그래프에 나타낸 최저사출압력 이하에서는 사출속도, 금형온도를 어떻게 변화시켜도 정상적인 원주의 성형이 이루어 지지 않았다. 따라서 본 실험에서의 최소 설정압력은 직경 500 μm 의 경우 600kgf/cm², 직경 200 μm 의 경우 1050kgf/cm²로 설정되었다. 또 직경 500 μm 의 경우에는 그래프의 증가추세로 보아 본실험에서의 최대 설정압력 760kgf/cm²보다 높은 800~1000kgf/cm²의 범위까지 사출압력을 높여도 되는 것으로 나타나고 있고, 직경 200 μm 의 경우에는 1400kgf/cm² 정도에서부터 변화가 감소되어 1800 kgf/cm² 정도에서 안정화 되고 있으므로 이 범위까지 압력을 높이는것이 좋은것으로 나타나고 있다.

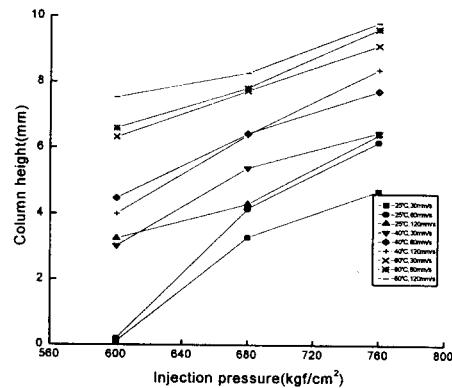


Fig.3 직경 500 μm 원주성형시의 사출압력

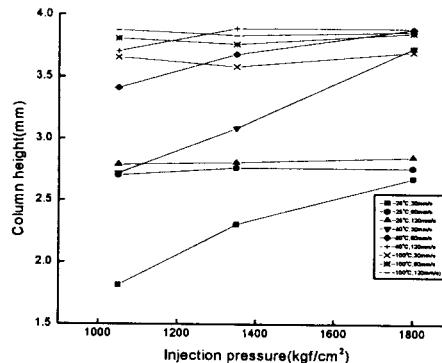


Fig.4 직경 200 μm 원주성형시의 사출압력

나아가 직경 200 μm 의 경우 직경 500 μm 에 비하여 2배 정도 높은 고압하에서 성형되고 있음에도 불구하고 성형되는 원주의 높이는 절반정도에 머무르고 있다. 이것은 직경이 작아질수록 더욱 높은 사출압력이 요구된다는 것을 의미하며, 따라서 고종횡비를 갖는 미세 구조물의 사출성형을 위해서는 일반 사출성형에서 보다 높은 고압사출이 요구됨을 알수 있다. 그러나 압력을 너무 높게 설정하면 플래시가 발생하거나 금형을 파손시킬 우려가 있고 압력이 낮으면 미성형, 변형등이 일어나기 때문에 금형의 여건, 제품특성, 수지특성, 온도조건 등의 변수에 따른 적절한 압력설정이 필요하다.

2) 사출속도의 영향

사출속도는 금형내에서 흐르는 용융수지의 속도를 좌우하는 것으로 충진속도를 높이기 위하여 가능하면 고속사출이 요구된다. 그러나 사출속도가 너

무 빠르면 젯팅마크, 에어마크, 가스탄자국, 플래시 등이 발생하고, 사출속도가 느리면 충진부족, 금형면의 전사불량, 플로우마크 등의 문제점이 나타나므로 적절한 사출속도의 설정이 필요하다.

Fig.5 및 Fig.6에는 원주 성형시의 사출속도와의 관계를 나타내었다. 그래프를 비교해 보면 사출속도의 영향은 $500\mu\text{m}$, $200\mu\text{m}$ 모두 비슷한 형태로 나타나고 있으며, 60mm/sec 에서부터 120mm/sec 사이에서 일정한 형태가 나타나는 것으로 보아 본 실험에서의 최적 사출속도는 이 범위 정도에 있을 것으로 추정된다. 나아가 이 구간 그래프에서는 사출압력이나 금형의 온도가 다소 낮은 경우라도 사출속도를 높이면 어느정도 성형성을 높일수 있는 것으로 나타난다. 그러나 최상단 그래프와 같은 완전한 성형품을 만들기 위해서는 결국 금형온도와 사출압력이 뒷받침되어야 한다는 것을 보여주고 있다.

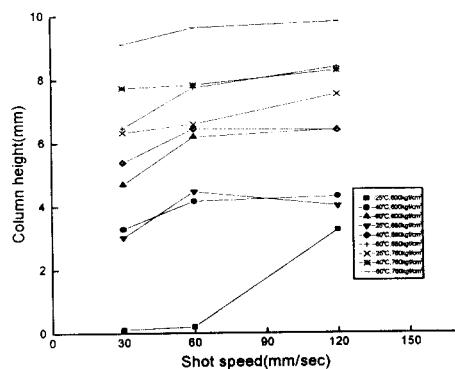


Fig.5 직경 $500\mu\text{m}$ 원주성형시의 사출속도

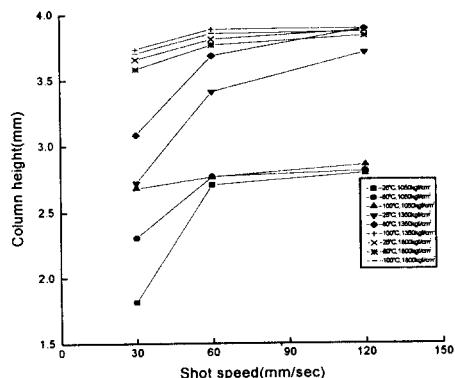


Fig.6 직경 $200\mu\text{m}$ 원주성형시의 사출속도

3) 금형온도의 영향

Fig.7 및 Fig.8에 원주 성형시의 금형온도와의 관계를 나타내었다. $500\mu\text{m}$ 원주의 경우 금형설정온도가 60°C 정도로 다소 낮아도 무난히 성형되는 것을 볼수 있으나 실제로는 좀더 높은 온도가 필요함을 보여주고 있다. $200\mu\text{m}$ 원주의 경우에는 금형설정온도가 100°C 정도로 상대적으로 높으며, 이 온도 부근에서 안정된 성형이 이루어 지는 것으로 보아 본 실험에서의 금형온도는 이 정도가 적절한 것으로 볼수 있다. 또 두 그림의 비교에서 직경이 작을수록 금형온도를 충분히 올려 용융수지의 흐름성을 좋게 해야 된다는 것을 알수 있다. 그러나 금형설정온도가 너무 높게 설정되면 성형품의 고화 및 냉각에 따른 사이클타임이나 성형불량측면에서의 여러 가지 문제점이 발생하기 쉽다. 따라서 금형온도는 수지의 용융온도, 사출압력, 사출속도에 따라 적절하게 설정하는것이 필요하다.

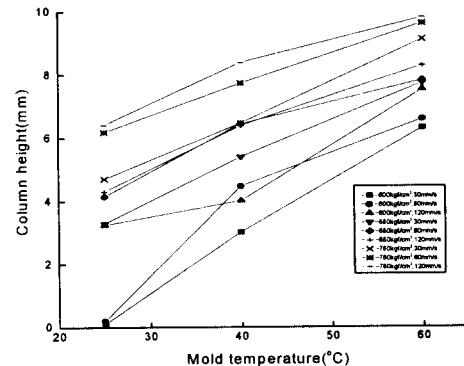


Fig.7 직경 $500\mu\text{m}$ 원주성형시의 금형온도

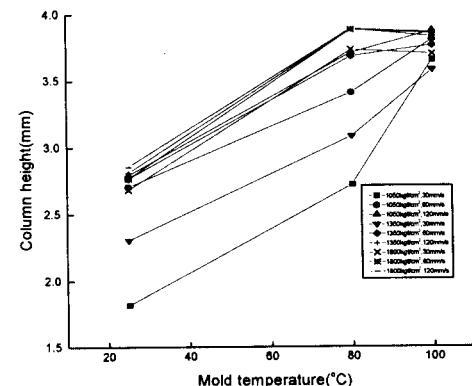


Fig.8 직경 $200\mu\text{m}$ 원주성형시의 금형온도

4) 성형품의 상태비교

Fig.9 와 Fig.10에 $500\mu\text{m}$ 및 $200\mu\text{m}$ 원주 구조물의 조건에 따른 성형과정을 알수 있도록 현미경 촬영한 사진 모습을 각각 3단계로 구분하여 나타내었다. 먼저, Fig.9(가)의 경우에는 일부 성형된 원주 부분과 완전 미성형된 부분이 혼재하고 있는데, 이것은 크게 두가지 이유로 볼수 있다. 그 첫 번째는 금형 내 원주부의 표면상태가 불균일하거나 부분적인 진공형성 등을 들수 있고, 두 번째는 성형기술적인 문제로 사출압력, 속도, 금형온도 등의 조건이 미달한 때문이다. (나)의 경우는 (가)의 조건에서 사출압력만을 다소 높인것으로서 전체적으로 균일한 성형이 이루어지고 있다. 따라서 사출압력의 영향이 매우 크다는 것을 알수 있다. (다)는 완전히 성형된 구조물의 끝단모습으로서 주어진 조건에서 양호한 상태로 성형되었다.

Fig.10의 $200\mu\text{m}$ 원주 경우에도 $500\mu\text{m}$ 원주 성형시와 경향은 비슷하며, (가)의 경우는 성형조건의 미달로 미성형 상태를 나타내고 있다. (나)의 경우에는 구조물의 끝단부가 완성된 것, 미완성된 것, 끊어진것 등이 혼합되어 있는데 이것은 사출공정후 냉각-고화가 덜진행되었거나 금형변면과의 붙음, 취출과정에서의 마찰, 진동 등에 의한것으로 보인다. 또 기저부의 플래시(flash) 자국은 사출압이 과도하거나 용융온도가 높다는것을 나타낸다. 또한 (다)의 경우에는 구조물의 굽힘현상이 나타나고 있다. 이와같은 다양한 문제점들을 종합해 보면 구조물이 직경이 미세화될수록 또한 종횡비가 크질수록 정밀한 사출성형은 어려워진다는것을 알수 있다.

4. 결론

- 1)고종횡비를 갖는 미세 구조물의 초정밀 사출성형 기술개발을 위한 기초연구로 직경 $500\mu\text{m}$ 및 $200\mu\text{m}$, 종횡비 약 20의 미소 원주에 대한 사출성형실험을 실시하고 관련기술을 개발하였다.
- 2)고종횡비의 미소원주 및 미세형상 구조물의 안정성형을 위해서는 사출압력, 사출속도, 금형온도등의 최적조건설정이 중요하며, 이들 조건은 직경과 종횡비에 따라 민감하게 작용하므로 여기에 대응하는 성형기 및 금형기술, 성형기술의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

1. W. Ehrfeld 외 4, Materials for LIGA Products, Proc. for 7th IEE International Workshop, Japan, 1994
2. 廣惠章利, 最新射出成形技術, 成安堂, 1990

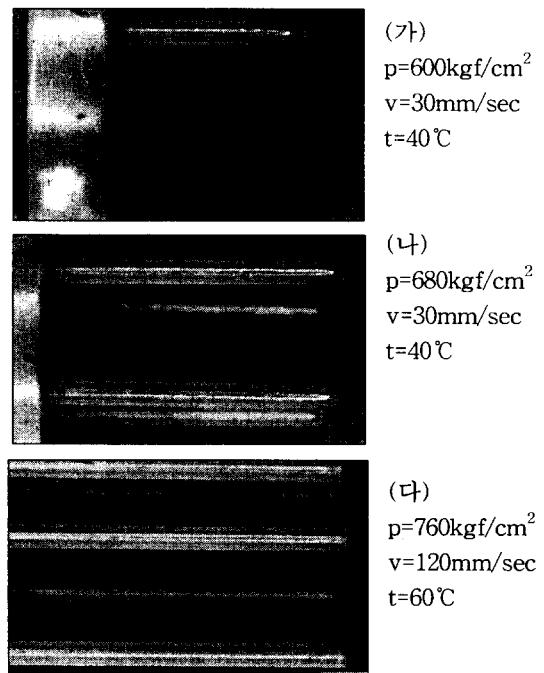


Fig.9 직경 $500\mu\text{m}$ 원주 구조물의 형성 과정

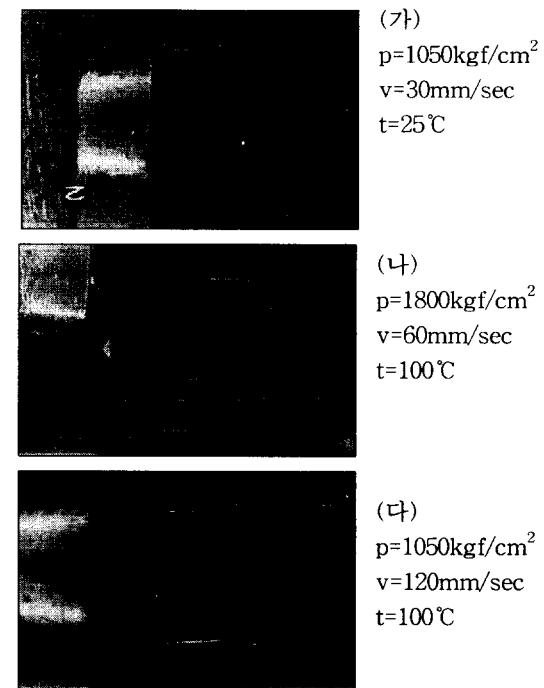


Fig.10 직경 $200\mu\text{m}$ 원주 구조물의 성형 결함