다중 미세 각주 구조물의 사출성형기술 연구

제태진*, 신보성(한국기계연구원), 박순섭(전자부품연구원)

A Study on the Injection Molding Technology by Micro Multi-Square Structure Mold

T.J.Je, B.S.Shin(Precision Machining Group. KIMM), S.S.Park(Micromachine Research Center. KETI)

ABSTRACT

Micro injection molding technology is very important for mass product of micro structures or micro parts. And, it is so difficult that the molding technology of micro pole or thin wall(barrier rib) structures with high aspect ratio.

In this study, we intend to research on the basic technology of micro wall structure parts with high aspect ratio by the injection molding method. The mold for experiments with micro multi-square structures was made by LIGA process. One square pole's size is 157×157㎛, height 500㎛. And the distance of each poles is 50㎛. Thus, molding products will be formed like as the net structure with thin wall of about 50㎛ thickness.(aspect ratio 10)

Through the experiment, we obtained the products of micro multi-square structure with about 37,000 cell per a piece. The micro injection molding process technology for thin wall by multi-square structure mold was analyzed.

Key Words : Micro Injection Molding(미세사출성형), Micro Multi-Square Structure(미세 다중 각주 구조물), LIGA Mold(LIGA 금형), Thin Wall(박막벽), Process Technology(성형공정기술)

1. 서론

미세 성형기술을 이용한 응용제품 예로는 미세 패턴을 성형하는 것(채널, 도파로 등), 미소 형상 부품을 성형하는 것(기어, 렌즈 등), 단일 미소 구조물을 성형하는 것(펌프, 모터 등), 고종횡비(aspect ratio:AR)의 다중 미세 구조물 어레이를 성형하는 것(PZT센서, 필터 등)등이 대표적이다. 이러한 마이크로 형상 부품의 제조에서 가장 난점으로 파악되는 것이 고종횡비의 다중 미세 구조물 제품과 복잡형상의 초소형 부품 성형기술이다.

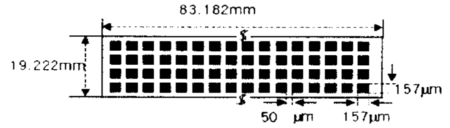
특히 고종횡비 다중 미세 구조물 금형을 이용한 미세 격벽의 사출성형에서는 수십㎛의 좁은 틈새로의 수지유동 문제, 사출압에 의한 금형 및 제품 구조물의 변형 및 파손 등에 의해 성형이 불가능한 경우도 자주 발생한다.

본 연구에서는 고종횡비 미세 구조물 사출성형 공정기술 확립을 목표로 LIGA 공정에 의한 마이크로 사각 각주 구조물 금형을 제작하고, 성형시스템을 구성하여 셀 사이즈 157× 157× 500㎛, 벽두께 50㎛의 다중 미세 셀 구조물을 성형하였다. 이러한 마이크로 셀은 마이크로 유체분석기 등에 직접 활용가능하고, 마이크로 세라믹 센서 구조물 제작을 위한 희생품으로 사용할 수 있다. 또한 이의 성형기술을 응용하여 통신용 커플러, 광도파로 등의 미세 패턴 성형에도 폭넓게 활용될 수 있다.

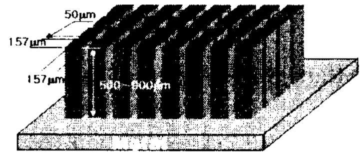
2. 다중 미세 각주 구조물 금형 제작

미세 각주 구조물 성형을 위한 금형은 LIGA 공정을 이용하여 제작하였으며 금형의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)는 위에서 바라본 형태로 전체 외각 치수는 19.222× 83.182㎟(약 37,000셀)이며 내부를 구성하고 있는 단위 미세 각주 구조물은 Fig.1(b)의 형상 및 치수를 가지고 있다. 사출성형에 의해 제작되는 형태는 Fig.1의 반대형상인 각각의 미세 셀 형태를 취할 것이며 이때 단위 구조물의 치수는 수지의 수축을 고려하지 않는다면 157× 157× 500㎛에 벽두께 50㎛의 구조물이 될 것이다. 결국 최종 구조물은 폭 50㎛에 종횡비 1:10(폭:높이)을 가지게 된다.

Fig. 2에는 LIGA 공정을 통하여 제작된 Ni 금형의 전체형상(a)과 다중 미세 각주 구조물이 배열된 금형 내부의 형상을 확대(b)하여 나타내었다.

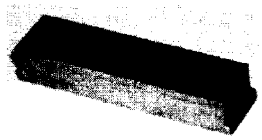


(a) Top view



(b) Three dimensional view

Fig. 1 Dimension of micro multi-square pole mold



(a) Ni mold

(b)View of large scale

Fig. 2 View of Ni mold and large scale surface

3. 사출성형 시스템 구성 및 성형공정 확립

Fig. 3에 본 실험에 사용된 사출성형시스템의 구성 개략도를, Fig. 4에 실제 시스템의 모습을, Table 1에 시스템의 개략적인 특성을 나타내었다.

본 시스템은 형체력 10톤, 사출용량 10cc급의 초소형 사출성형기로서 사출실린더의 교환에 의해 열가소성 수지 및 열경화성 수지를 한 대의 성형기에서 성형할 수 있다. 본 실험에서는 PMMA 수지를 사용하므로 가소성 사출실린더를 사용하였다. 나아가 고종횡비 미세 구조물의 성형인 점을 고려하여 진공금형을 사용하고자 이를 위한 진공설비를 설치하였고, 예비 실험에 의해 금형 냉각 시간이 중요한 요소가 되는 것을 확인하고 자동으로 공급시간을 조절할 수 있는 공기냉각시스템을 부착하였다.

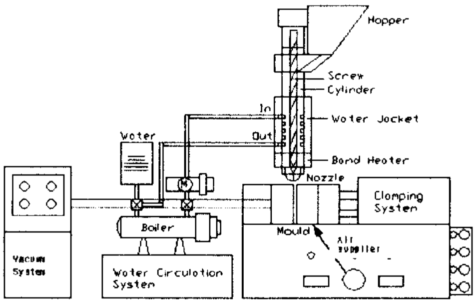


Fig. 3 Schematic of injection molding system

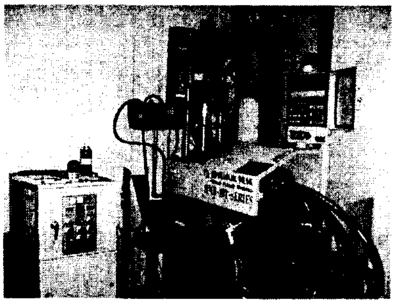
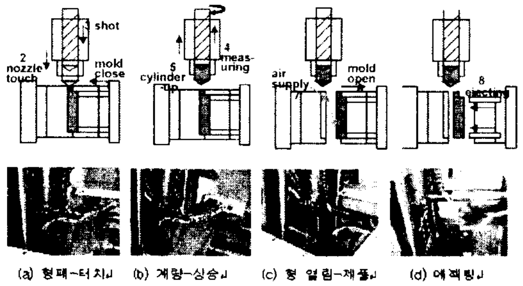


Fig. 4 Small size injection molding system

Table 1. Specifications of injection molding system

-형체결 력	: 10 ton
-최대사출용량	: 10 cc
-최대사출압력	: 1800 kgf/cm^2(회로압 140)
-사용금형형식	: 사이드게이트 주입 금형
-금 형 가 열	: 플레이트 히터 사용
-금 형 냉 각	: 자동 에어 공급 방식
-진공 시스템	: 760mmHg
-온수/온유 가열장치	: 가소성/경화성전환

Fig. 5에 본 실험에 적용된 성형공정을 공정순서대로 모식도와 실제 실험사진을 통하여 나타내었다. 전체적인 공정은 일반 사출성형과 유사하지만 특이한 공정이 다소 있다. 먼저 사출장치는 수직형이므로 파팅라인을 이용하여 수지를 주입하는 사이드게이트방식의 금형을 사용하고 있다. 금형을 닫고 진공상태에서 사출하여 충진하며 몇 초간의 보압을 유지하는 공정은 유사하나 노즐상승 후 지연시간을 갖는 것과 형 열림 후 공기에 의한 냉각공정을 갖는 것은 특이하다. 또 일반 PMMA 사출성형시보다 금형온도를 높게 설정하여 성형한다. 수많은 실험결과 사출온도, 사출압력 등의 기본조건과 더불어 이들 공정조건이 고종횡비 구조물 성형의 매우 주요한 요소가 되고 있음을 확인하였다.



(a) 형폐-터치-진공-사출 (b) 계량-상승-형내고화(냉각) (c) 형 열림-제품냉각(에어분사) (d) 에젝팅(제품취출)

Fig. 5 Injection molding process

4. 사출성형 실험 및 성형특성 분석

본 실험은 총 3단계로 진행되었다. 1차는 전체 외각 치수 19.222 × 83.182㎟의 완전 금형을 이용하여 개략적인 성형특성 및 문제점을 분석하는 형태로 진행되었으며, 2차는 10 × 10㎟ 정도의 소형 간이 금형을 이용하여 보다 상세한 문제점을 분석하였고, 최종 3차에서는 다시 19.222 × 83.182㎟의 완전 금형을 사용하여 시제품을 성형하고 전반적인 성형 문제점을 분석하는 형태로 진행하였다.

4.1 대면적 예비 성형 실험

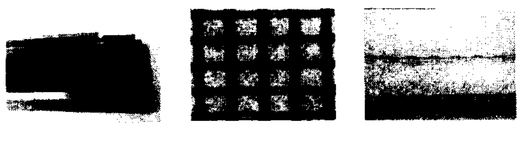
본 실험은 1차 성형실험으로서 19.222 × 83.182 ㎟의 완전 금형을 이용하였고, 이와같은 구조물의 성형경험이 없기 때문에 Table 2와 같이 통상적으로 적용되는 PMMA 수지의 성형조건을 적용하였다.

Table 2. Injection molding conditions

호퍼 (℃)	실린더 (℃)	노즐 (℃)	금형 (℃)	사출속도 유량 (ℓ/min)	사출압 (kg/㎠)/ 사출시간 (sec)	보압 (kg/㎠)/ 유지시간 (sec)	제품 냉각 시간 (sec)
80	210	220	65	60	52/2.5	60/1.2	20

Table 2와 같은 조건으로 실험한 결과 매우 많은 문제점이 발견되었다. Fig. 6에 대표적 성형 문제점의 예를 나타내었다. 그림 (a)는 성형품이 금형에 부착된 상태로서 미세 벽면에서 유입된 수지가 냉각되면서 금형구조물을 붙잡아 제품 취출이 안되는 형태이다. 이는 고종횡비 구조물 성형시 가장 유의해야할 문제로서 금형과 수지의 접촉표면적 과대, 사출압력, 냉각온도 및 시간의 영향이 크다. (b)는 성형품의 윗면을, (c)는 성형품의 단면을 나타낸 것이다. 완전성형이 되면 측면에서 본 구조물의 높이가 500㎛이 되어야 하나 실험결과는 24~30㎛ 정도에 불과하다. 수십 회의 실험에서도 이러한 현상은 계속되었고 금형만 파손되었다.

결과적으로 Table 2와 같은 일반 PMMA 수지 성형조건으로는 금형 파손, 미성형, 에젝팅등의 문제만 발생하므로 새로운 성형조건의 확립이 필요하다.



(a) Adhesion of mold & product (b) Upper view of product (c) Side view of product

Fig. 6 Trouble examples of molding parts

4.2 소면적 간이 성형실험

대면적 성형실험에서의 문제점을 보완하기 위하여 10 × 10㎟ (약 2,300셀)정도의 소형 간이 금형을 이용하여 성형실험을 하였다. Fig. 7에 실험에 사용된 금형의 모습을 전개하여 나타내었으며, 성형한 제품형상을 Fig. 8에, 이때의 개략적인 성형조건을 Table 3에 나타내었다. 본 실험을 통하여 그림 (b)의 표면에서 보는 것과 같이 구조물 높이 500㎛이 완전히 성형된 양호한 성형품을 얻을 수 있었다.

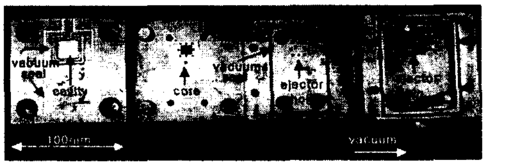


Fig. 7 View of small size mold for experiments

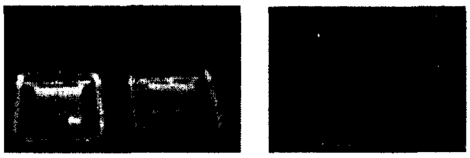


Fig. 8 Molding parts & large scale surface profile

Table. 3 Molding conditions by small size mold

호퍼 (℃)	실린더 상/하 (℃)	노즐 (℃)	금형 가열/ 냉각 (℃)	사출압 (kg/㎠)/ 사출시간 (sec)	보압 (kg/㎠)/ 유지시간 (sec)	형내고화 시간 (sec)	제품냉각 시간 (sec)
80	170 /235	240	140/ 80	50~70 /2	45~60 /16	180	60~130

본 실험에서는 고종횡비 구조물 성형에 요구되는 필수적 주의 사항들에 대하여 확인할 수 있었다. 그 중 대표적인 것을 Fig. 9에 나타내었다. 맨 좌측 그림은 금형표면에 수지가 부착되어 있고 금형 구조물이 밀려 있는 모습이며, 다음은 이것이 진전되어 구조물 금형이 파열되는 모습을 보여 준다. 마지막 그림은 금형 코너로 구조물이 밀려 모인 형상이다. 금형이 이러한 손상을 입는 이유는 여러 가지가 있을 수 있으나 대표적인 것으로는 수지의 용융온도, 사출압력, 금형 온도를 들 수 있다. 이것은 미용융된 수지를 고사출압으로 냉각 금형에 주입한다고 생각해보면 이해가 용이하다. 결과적으로 취약한 구조물 틈사이로 수지를 용이하게 주입하는 대책이 필요하다.

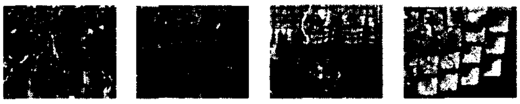
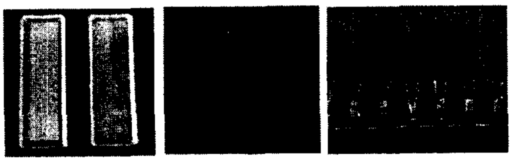


Fig. 9 Damage of micro mold structures

4.3 대면적 시제품 성형실험

앞의 2가지 예비실험을 바탕으로 최종적으로 Fig.10과 같은 완전 미세 각주 구조물 금형(19.222 × 83.182㎟)을 이용한 시제품을 성형하였다. 여기까지 이르는 동안 실제로는 수 많은 시스템 및 공정에 대한 보완연구가 있었으나 일일이 언급하기는 어렵다. 대표적으로는 금형에서 진공 실링 부의 보완, 시스템에서는 금형 내에서의 고화와 금형 열림 후의 냉각을 위하여 자동 공기냉각장치 등이 보완되었다. Fig.10(b), (c)에는 성형 시제품의 표면과 성형 단면형상을 확대하여 나타내었다. 전체 구조물이 완전하고 양호하게 성형되었음을 알 수 있다. Table 4에는 본 실험을 통하여 확립된 적정사출성형조건을 나타내었다. 이 성형조건은 상호간 다소의 변동이 있기 때문에 적정조건으로 표현하였다.



(a) Product (b) Surface (c) Cross section

Fig. 10 Molding product and structure's form

Table. 4 Injection molding conditions by full size mold

호퍼 (℃)	실린더 상/하 (℃)	노즐 (℃)	금형 (℃)	사출속도 유량 (ℓ /min)	사출압 (kg/㎠)/ 사출시간 (sec)	보압 (kg/㎠)/ 유지시간 (sec)	형내 고화 시간 (sec)	제품 냉각 시간 (sec)
80	170 /220	230	120	17.5	53/4	46/16	250 ~ 400	150

본 실험에서 대부분의 양호한 성형품들은 Table 4의 성형조건에서 금형의 열 공급을 차단한 상태로 형내 고화시간 350sec, 제품냉각시간 150sec 정도에서 만들어 졌다. 이것은 금형의 온도유지와 형내 고화 시간 유지가 고 종횡비 미세 구조물성형에서 매우 중요한 인자가 되고 있음을 의미한다.

이러한 결과는 Fig.11에 나타낸 미성형 제품 각부의 관찰을 통해서 확인할 수 있다. 좌측 그림은 성형 후 금형 내 고화 냉각시간을 150sec로 했을 때 성형품이며, 우측 그림은 250sec로 했을 때의 성형결과 이다. 그림에서 게이트에 가까운 지점이 양호하게 성형되고 측면 가장자리는 미세하게 성형되며 중앙 하단부는 미성형 부분이 많은 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 적절한 금형 온도를 유지해야 완전성형이 가능하다는 것을 보여주며, 금형 내에서의 수지 유동 및 성형과정을 예측할 수 있게 하므로 향후의 해석 대상이 되고 있다.

또, Fig. 11에서는 성형품 상단부 및 하단부의 구조물이 중첩되어 격벽이 손상되어 성형된 것을 볼 수 있다. 이는 빈번한 성형과정 중에 금형이 손상된 것으로서 주의가 필요한 부분이다.

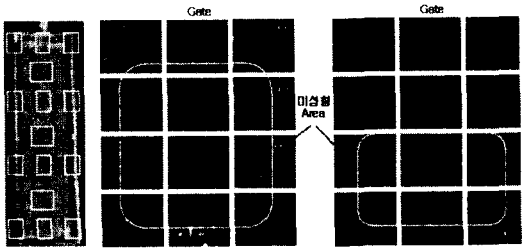


Fig. 11 Variations of unfilled area by mold conditions

한편, 본 실험을 통하여 대면적 미세 구조물의 사출성형에서는 시스템, 성형공정, 성형조건 등에 따라 다양한 문제가 발생되는 것이 확인되었다.

특히 최종 에젝팅 공정에서 성형품의 파손, 찢어짐, 길이 방향으로의 휨(bending) 등이 빈번하게 발생하였는데, 성형품의 파손과 찢어짐은 주로 성형품의 냉각이 부족할 때 발생하였고 휨 현상은 완성품 대부분에서 공통적으로 발생하였다. 이러한 문제점은 대면적 박판형 미소 구조물 성형시에 충분히 발생할 수 있는 현상으로서 고종횡비의 미세 구조물 성형을 위해서는 계속적인 보완 연구가 필요한 것으로 보여진다.

4. 결론

LIGA 공정으로 제작된 미세 각주 구조물 금형을 이용하여 벽두께 50㎛, 높이 500㎛(종횡비 10), 셀수 약 37,000개의 미세 격벽 구조물을 성형하는데 성공하였으며, 이 과정을 통하여 대면적 고종횡비 구조물 성형에 필요한 성형시스템 및 금형기술, 공정기술, 성형조건 등의 주요기술을 축적하였다.

후기

본 연구는 산업자원부주관의 차세대신기술사업인 Milli-structure 사업의 세부과제로 진행된 미세 사출성형기술개발과제의 일부임을 밝혀둡니다..

참고문헌

1. 박순섭, 권태헌, 제태진 외 ,"미세 사출성형기술 개발," 2nd Workshop on Milli-Structure Forming Technology, pp. 135-171, 2001.8.
2. 박순섭, 제태진 외, "차세대신기술개발사업-미세 사출성형기술개발,"산자부 연구보고서, 2001.8.