

## 미세 패턴을 가진 박판 사출 성형에서의 금형내 압력 온도 측정 및 분석

황은주\*, 유영은, 제태진, 최두선 (한국기계연구원)

### Data Acquisition of Thin-wall Injection Molding Cavity with Micro Pattern

E. J. Hwang, Y. E. Yoo, T. J. Jae, D. S. Choi(KIMM)

#### ABSTRACT

The demand increasing of optical applications like as display devices derives interest for fabrication process. The product development is apt to fabricate numerous thin and wide surfaces with micro pattern. Naturally that needs injection molding fabrication for the mass production. In existing manufacturing, the product quality is controlled by input fabrication condition from the outside. That can be called as a try and error method and not fundamentally solve the troubles; imperfect replication, war page, short shot, etc. To understand the cause and bring a solution, it is needed that check of changing in the cavity. This study can catch them. Data acquisition system about temperature and pressure distribution is settled and can get some data. From this research, other studies related with DAQ in cavity can start on the easier step.

**Key Words** : Temperature (온도), Pressure (압력), Thin-wall (박판), Injection Molding (사출 성형), Cavity (금형), Micro Pattern (미세패턴), Data Acquisition System (데이터 습득 시스템), Fabrication Condition (성형조건)

#### 1. 서론

IT, BT, NT 산업에서 광응용 제품의 사용이 증가하면서 이들 제품에 대해 대면적의 미세 패턴들을 얇은 박판에 다량 성형할 수 있는 기술들이 중요한 과제로 연구되고 있다. 특히 디스플레이 기기등의 IT 적용과 관련하여서는 광학적인 성능이나 표면에서의 다양한 기계적 성능 향상을 목표로 연구가 진행된다. 이는 유리나 플라스틱 소재에 대한 적용 기술 개발로 이어지는데, 경량화가 가능한 플라스틱 소재의 경우 사출 성형 공정을 통해 대량 생산이 가능한 장점이 있어 큰 관심을 모으고 있다.

최근 이러한 제품들에서 요구되는 사양을 살펴보면, 면적은 점차 커지고 있는 반면 제품의 두께나 표면 구조물의 크기가 계속 작아지는 경향을 보이고 있다. 이런 제품의 사출 성형 공정의 경우, 고화층의 영향으로 유동성이 저하되어 미성형이나 변형, 과도한 잔류 응력등의 문제가 발생될 수 있으므로 이를 제어하는 것이 중요하다. 따라서 박형의 대면적 미세 패턴 제품을 사출 제작하는 경우 금형

내부에서 발생하는 용융 수지의 유동에 관한 연구는 필수적이다. 특별히 온도 변화, 압력 변화 등의 다양한 현상등을 측정, 그 영향을 규명한다면 근래의 광응용 제품을 성형하는 공정을 최적화하는 데 크게 도움이 될 수 있다. 일반적인 사출 성형의 경우, 성형 조건을 사출기에 입력하면 결과로 나온 제품을 보며 시행착오를 거쳐 원하는 품질의 제품을 얻는다. 그러나 이는 금형 내부에서 일어나는 문제를 생략한 과정으로, 실제 금형 내부의 온도와 압력 분포를 모르기에 변형, 미성형등의 문제에 대한 원천적인 해결책을 주지 못한다. 따라서 이들 금형 내부에서의 온도 및 압력 측정이 가능하도록 시스템을 구축하고 이를 통해 각 결과를 획득한 본 연구는, 추후 이루어질 다양한 연구에 크게 도움이 되리라 본다.

본 연구는 금형 내 온도 및 압력 분포를 측정키 위해 구성된 시스템을 보이고, 이를 통해 얻은 금형 내 온도, 압력 정보를 제시한다. 이들 데이터는 3 단 금형을 이용하여 사출한 결과로, 사출 후 보압 과정까지 마친 값이다.

## 2. 데이터 습득 시스템

### 2.1 작업 환경

100mm X 100mm X 1mm 박판에 100 탕 이하 크기의 패턴을 갖는 제품을 제작하는 과정 중 온도와 압력을 측정했다. 일반적으로 이런 대면적 박판 제품을 성형하는 과정 중에는, 몇 가지 문제가 발생한다. 용융 수지가 금형에 충전되는 동안 표면으로부터 고화가 진행되어 유동성이 급격히 저하되는 것이 큰 이유이다. 충전 과정에서부터 진행되는 표면으로부터의 고화는 제품의 두께가 얇은 경우, 제품 성형 자체를 보다 어렵게 한다. 이는 표면의 나노/마이크로 크기 구조물의 전사를 어렵게 하여 결국, 미성형, 변형 혹은 과도한 잔류 응력에 의한 기계적, 광학적 특성 저하 등의 문제들을 유발한다.

본 연구를 위해 사용한 사출기는 스미토모사의 전동 사출기 SE50D 이다. 이의 형상은 Fig. 1 과 같으며, 이를 통해 만든 제품은 Fig. 2 와 같다...

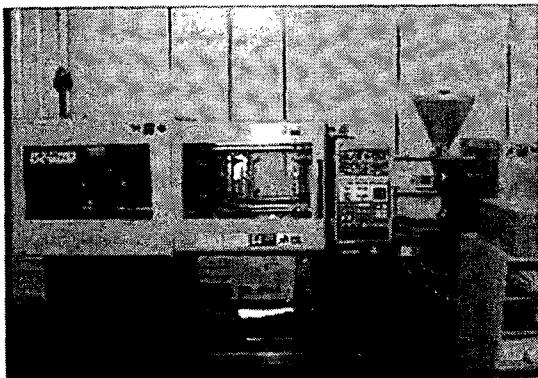


Fig. 1 Micro Injection Molding Machine

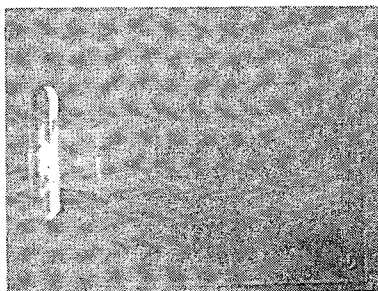


Fig. 2 Result product from injection molding

### 2.2 데이터 습득 환경

본 연구에서는 금형 캐비티에서의 용융 수지 충전 중 변화되는 압력과 온도를 여러 위치에서 실시간 측정했다. 이를 위해 제품을 사출하면서 동시에 압력 및 온도를 측정할 수 있도록 압력 센서 및 온도 센서 등을 부착한 금형을 제작하였다. 금형 내 설치위치는 Fig. 3 과 같다.

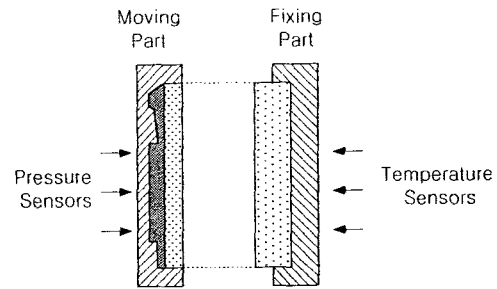


Fig. 3 Sensors in mold

압력 센서는 이송부 측에, 온도 센서는 고정부 쪽에 설치하였다. 온도 센서로는 thermocouple K 타입을, 압력 센서로는 Strain gage 타입의 사출용 압력 센서를 사용했다. 금형 내의 각 위치에 이들 센서를 배치하여 사출과정 중의 온도 및 압력 분포를 확인하였다. 센서의 배치 위치는 Fig. 4 에서 보인다.

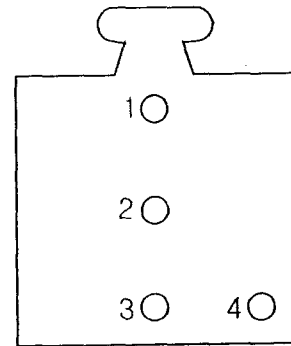


Fig. 4 Position of Sensors

Fig. 4 에서 보듯이 금형 각 부분에 숫자를 부여하였는데 이는 각 센서의 결과를 표시할 때도 일치하는 넘버링이다. 3 단 금형을 사용하였고, 수지의 공급은 1 번 부근에서 시작된다. 각 위치에서의 센서 결과는 다음 장에 제시한다.

## 3. 데이터 습득 결과

### 3.1 온도 분포

온도를 낮은 상태에서 압력만의 조절로 충분히 원하는 성능의 사출품을 얻을 수 있었기에 본 연구에서 획득한 사출 온도 결과는 상온과 유사하다. 사출과정을 거듭하면서 온도는 점차 상승되는데, 상승폭은 점차 안정되는 경향을 보였다. 전체 온도 센서들의 결과를 확인하면 Fig. 5 와 같다. 여기서 각 피크간의 시간 간격이 일정치 않은데, 이는 제품 성형 후 금형으로부터 제품을 분리하는 이젝션 과정이 규칙적으로 이루어지지 못한 데서 기인한다.

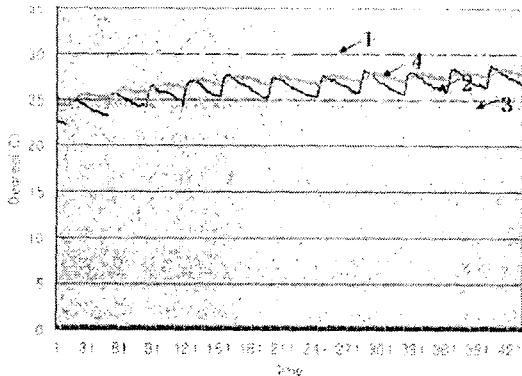


Fig. 5 Result of temperature distribution

Fig. 5 는, 용융수지를 공급하는 게이트로부터 멀어질수록 점차 금형 내 온도가 낮아지는 경향을 가짐을 보인다. 이는 1, 2, 3 번의 온도 센서의 결과로 확인할 수 있다. 여기서 4 번 위치 온도 센서의 결과 이해를 위해, 성형품의 쇼트 샷들을 비교, 참고 하도록 Fig. 6 과 Fig. 7 에 보인다.

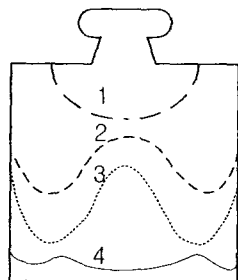


Fig. 6 Drawing of short shot

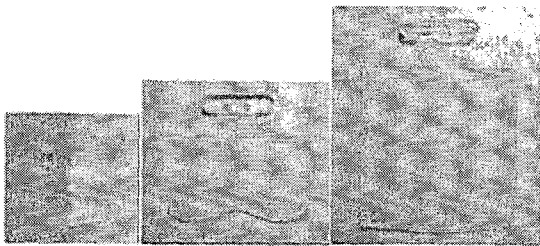


Fig. 7 Picture of short-shot

Fig. 6, 7 의 경우, 일반적인 충전과정과 다소 차이를 보이는데, 그 이유로 크게 두가지를 예상할 수 있다. 첫째, 사출 온도가 전반적으로 낮아 압력으로만 밀어내지는 본 연구 조건상, 충전 프로파일 이 달라질 수 있다. 게이트 입구부터 방사형 충전 되다가, 중앙부를 제외한 부분으로 밀려 채워지고, 거의 모든 부분이 충전되어질 때에야 중앙부의 충전이 완성된다고 볼 경우, 4 번 온도 센서가 3 번에서 읽은 값보다 높은 것과 2 번 위치 온도와 유사한 온도 분포를 가짐을 설명할 수 있다. 둘째, 센서 주변 환경의 영향을 받았을 수 있다. 금형 내 센서가 안정적으로 설치되지 못했을 수 있다.

### 3.2 압력 분포

압력 센서의 경우, 스트레인 게이지 타입의 센서로 그 출력값이 mV/V 로 상당히 작은 값을 제시하시에 이를 증폭시켜 결과 처리해야 한다. 또한 각 센서마다의 민감도가 다르므로 이에 따라 재처리하는 과정이 필요하다.

각 센서를 이용해 위치별 압력을 측정된 결과를 Table 1 에 제시한다. Fig. 8 과 같은 압력 분포 그래프에서 30 번이상 측정하여 그 평균값들을 얻었다. Table 1 에서 휴지압이라 함은 사출과 사출 사이의 휴지기에 나타나는 압력값을 평균한 값을 말한다. 사출과정으로 인한 압력 상승분도 함께 제시한다.

Table 1 Distribution of pressure

Position	1	2	3	4
Injection pressure (kPa)	353	113	62	85
Rest pressure(kPa)	51	42	23	41
Different of pressures(kPa)	302	71	39	44

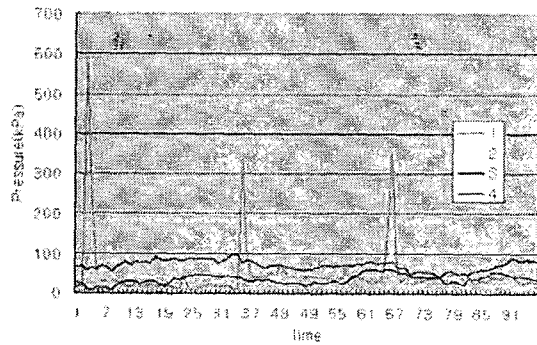
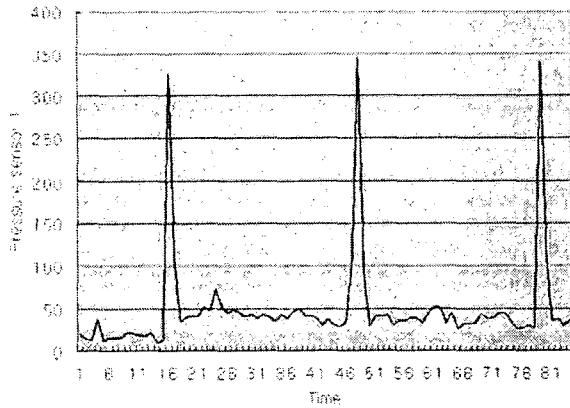


Fig. 8 Result of Pressure distribution

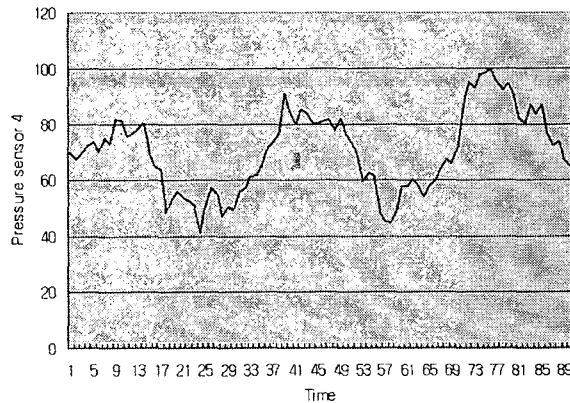
Table 1 의 사출압을 기준으로 비교하면, 4 위치와 2 위치에서의 사출압이 거의 유사한 값을 갖는다. 이는 Fig. 6, 7 과 관련하여 설명한 충전과정의 영향으로 해석될 수 있다. 사출 간격이 같지 않은 이유 또한, 온도 분포 그래프와 마찬가지로 사이클로 성형품을 제작하지 않았기 때문이다.

또한 Fig. 8 을 보면, 사출압을 분명하게 갖는 1, 2 번 위치의 압력 분포와 전반적으로 고른 압을 보이는 3, 4 번 위치에서의 압력 분포 그래프에는 차이가 있다. 이들의 경향 차이를 확인하기 위해 1 번과 4 번 위치의 압력 분포를 Fig. 9 에 제시하였다.

Fig. 9 (a)에서 1 번과 2 번 위치의 경우 그 압력 분포 그래프가 사출과정과 휴지 기간이 분명히 구분된다. 하지만 Fig. 9 의 (b)에서 보듯이, 3 번과 4 번 위치에서는 그 구분이 명확치 않았다. 이는 게이트 근처에서는 용융수지를 밀어주는 사출압이 그대로 전달되지만, 금형 내의 다른 곳에서는 용융수지의 충전 및 보압과정에서의 압력이 크게 전달되지 않아 휴지기와 차이가 크지 않다고 볼 수 있다. Fig. 9 의 (b)의 경우, 전체적으로 압력이 높게 측정되는 것으로 보아 금형 내 센서 마운팅 시 예압이 걸려 있다고 예상할 수 있다. 하지만, 예압이 있을 경우라도 압력 상승분에 대해서는 그대로 보여준다.



(a) Pressure sensor 1



(b) Pressure sensor 4

Fig. 9 Individual pressure graph

#### 4. 토론

온도 및 압력 센서를 이용해 획득한 온도, 압력 정보들은 각 위치에서의 해당 정보들을 제공하는 동시에, 충전 과정을 예측할 수 있는 가능성을 제시했다. 본 연구에서는 해석을 위해 사용하였지만, 이를 거꾸로 예측에 이용할 수도 있을 것이다.

각 온도 압력 그래프를 획득할 때에, 충전 시작 점과 보압의 순간, 이젝션 시작 순간 등을 분리하여 정보를 획득하는 연구가 요구된다. 본 연구에서는 시행하지 못했지만 추후 연구를 통해, 사출의 각 단계마다 압력, 온도 그래프를 얻는다면, 각 과정이 압력 및 온도 변화에 미치는 영향을 밝힐 수 있다.

또한, 본 연구에서 나아가, 더 많은 위치에 센서를 설치하여 각 정보를 획득한다면, 온도, 압력 분포를 보다 정확히 얻을 수 있다. 이를 통해 충전되는 과정을 예측할 수 있고, 해석 프로그램 결과와 비교 검증하는 연구가 가능하다고 생각한다. 더불어, 미세 패턴을 대면적에 가공하는 경우 발생할 수 있는 미완성, 전사성 등의 문제점과의 상관관계 파악이 가능해 이를 제거하는 데 도움이 될 것이다.

#### 5. 결론

미세 패턴을 얇고 넓은 면적에 전사하는 사출 공정의 경우, 미성형, 잔류응력, 변형등의 문제점들이 발생한다. 원인을 알고 이를 해결하기 위해서는 사출 과정 중에 일어나는 금형 내의 운동에 대해 알 필요가 있다. 본 연구는 금형 내에서 일어나는 용융 수지의 운동을 파악하는 데 기초되는, 캐버티 내 온도 및 압력 정보 획득 시스템에 관해 다루었다. 시스템을 구축하고 이를 이용하여 실제 금형각 부분에서의 온도, 압력 그래프를 얻어 위치에 대한 온도 및 압력 분포를 얻었다. 본 연구를 바탕으로 해당 정보들을 보다 다양하게 획득한다면 이는 미세 사출 성형 과정을 이해하는 데 큰 도움이 될 것이라 생각한다.

#### 후기

본 연구는 핵심 연구개발 사업인 대면적 미세 형상의 초정밀/지능화 가공 원천 기술 개발 사업의 지원으로 이루어진 것입니다.

#### 참고문헌

1. Imihezri, S. S. S., Sapuan, S. M., Ahmad, M. M. H. M., and Sulaiman, S., *뿔 study of the comparison of 뿔 and 뿔?ribbing in a composite pedal using mold flow analysis software,* Materials and Design, Vol. 26, pp. 157-166, 2005.
2. Doosun, C., Taejin, J., Eunjoo, H., and Yeongeun. Y., *뿔 study of Mold Fabrication Technologies on Large Surface by Shaping,* KSME-JSME workshop, 2005.
3. Fu, G., Loh, N. H., Tor, S. B., Murakoshi, Y., and Maeda, R., *뿔eplication of metal microstructures by micro powder injection molding,* Materials and Design, Vol, 25, pp. 729-733, 2004.
4. Ruprecht, F., Gietzelt, T., Muller, K., Piotter, V., and Haubelt, J., *뿔hjection molding of microstructured components from plastics, metals and ceramics,* Microsystem Technol, Vol. 8, pp. 351-358, 2002.