

사출성형의 공정변수에 따른 캐비티 내의 온도와 압력의 변화

김수웅* · 박현철* · 류민영* · 진영준** · 김도***

Variations of Temperature and Pressure in the Cavity for Operational Conditions of Injection Molding

S. W. Kim, H. C. Park, M.-Y. Lyu, Y. J. Jin and D. Kim

Abstract

Pressure and temperature in the cavity of injection molding have been investigated. Special injection mold was designed to install pressure and temperature sensors. The sensors were supplied by KISTLER and the pressure and temperature were measured for various operational conditions, such as injection pressure, holding pressure, cooling time, mold temperature, and injection temperature. As injection pressure increased cavity pressure and temperature increase. There were no big differences in temperatures according to the holding pressures. As mold temperature increased pressure and temperature in the cavity increase. The flowability of resin increases as mold temperature increases subsequently the pressure in the cavity increases since the pressure loss is less in the low viscous medium than high viscous medium. The cavity temperature highly depends upon mold temperature.

Key Words : Cavity Pressure, Cavity Temperature, Injection Pressure, Holding Pressure, Mold Temperature, Injection Temperature

1. 서론

사출성형이란 고분자 용융체를 금형의 Cavity내에 높은 압력으로 Cavity에 채워 넣음으로서 Cavity의 형상과 동일한 형상을 생산하는 공정이다. 플라스틱의 쓰임이 증가함에 따라 사출성형을 이용한 제품들의 범위 또한 증가하여 일상용품과 전기전자 부품은 물론 항공, 자동차, 건축자재 등 많은 분야에 걸쳐서 응용되어지고 있다. 그것은 사출성형이 복잡한 형상의 성형, 자동화용이, 품

질향상을 위한 성형요인의 다양성, 고효율의 대량생산, 다양한 표면상태, 단일공정의 제품생산, 다른 재료와 동시 성형이 가능하다는 점의 장점들이 있기 때문이다. 이와 같이 많은 분야에서 널리 사용되고 생산되는 사출성형 제품들은 금형의 Cavity내에서 그 생산이 이루어지는데, 런너와 게이트를 통해 Cavity에 들어온 용융수지들이 충전, 보압, 냉각, 취출 순의 공정으로 제품을 생산하게 된다. Cavity내에서 이루어지는 충전, 보압, 냉각의 공정은 두 가지 조건에 의해 크게 지배되는데 그것은 압력

* 서울산업대학교 금형설계학과
** 서울산업대학원 정밀기계공학과
*** 삼양사 화성연구소

과 온도이다. 압력은 Cavity내의 수지의 형상유지를 담당하며, 온도는 수지의 점도를 변화시켜 흐름에 영향을 미친다. 따라서 사출성형 중 Cavity내의 압력과 온도의 변화를 관찰하고 이해하는 것은 올바른 사출성형을 위한 기본적인 단계일 것이다.

본 연구에서는 Cavity내 압력과 온도의 직접 측정이 가능한 센서 (1)를 이용하여 Cavity내의 압력과 온도를 측정하고 분석 하였다. 또한 실험으로 얻은 측정 Data와 CAE 해석을 통해 얻은 결과를 비교 검토 하였다.

2. 실험

2.1 측정 순서

Fig. 1에 cavity내의 압력과 온도를 측정하는 방법 및 data가 흐르는 장비들의 연결 상태를 보여주고 있다.

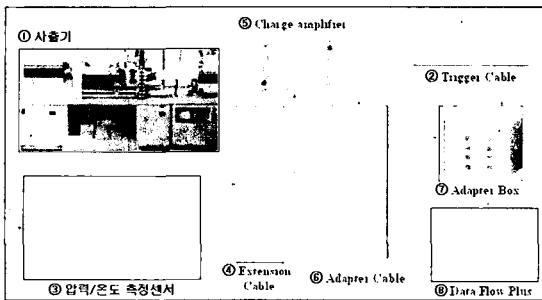


Fig. 1 온도와 압력 측정 순서도

Fig. 1과 같이 ①의 사출기 작동으로 금형이 닫히면 ②의 Trigger Cable 센서에서 형폐 신호를 감지하고, 이 때부터 ③의 압력 센서는 Data를 습득한다. 설정한 Cycle Time 동안 센서는 압력을 전하량 형식으로 산출하고, ④의 Extension Cable을 통해 ⑤의 Charge amplifier에 의해 전하량을 비례전압으로 전환한다. 비례전압 형식의 측정 신호는 ⑥의 Adapter Cable을 거쳐 ⑦의 Adapter Box의 적당한 채널을 거쳐 ⑧의 데이터 습득프로그램인 DATA FLOW plus (KISTLER)로 보내지면, DATA FLOW plus는 이를 수집하여 문서화한 후 그래프 형식으로 컴퓨터 모니터 또는 프린터로 출력한다.

2.2 실험 장비

2.2.1 사출 성형기

본 실험에서 사용한 사출성형기는 LG의 IDE140EN 사출기로 용량은 10oz 이다.

2.2.2 압력 직접 측정 센서 (Type6157BA)

Cavity내의 직접적인 압력의 측정에 사용되고 측정할 수 있는 압력 범위는 0~2000 bar 이다. 작동 가능한 온도 범위가 금형 내에서 센서는 0~200℃, 플러그부분이 0~170℃ 이다. Kistler사의 제품이다.

2.2.3 온도 직접 측정 센서 (Type6192A)

Cavity 내에서 직접적인 온도의 측정에 사용되며 치수 상으로는 압력센서 6157BA와 일치한다. 작동 온도 범위는 금형과 접촉하는 부분의 센서, 케이블, 커넥터가 0~200℃, 용융 수지와 맞닿는 센서의 앞부분은 1250℃까지 사용가능하고 2000 bar의 압력까지 견딜 수 있다. Kistler사의 제품이다.

2.2.4 Charge Amplifier (충전 증폭기)

형폐 신호를 받은 직접 측정센서가 금형 내에서 측정 한 값을 전하량으로 보내면 이를 비례전압으로 변환, 증폭하여 아답터까지 보내는 역할을 담당한다.

2.2.5 Adapter Box (DAS-16 Type 2851z)

직접 측정 센서에서 감지한 데이터들을 받아 들여 DATE FLOW plus로 보내는 역할을 한다. 1~3번 채널은 압력 직접 측정센서를 받아들이고 4~8번 채널은 온도 직접 측정센서를 받아들인다. PC와 포트로 연결되어 수집한 데이터를 PC로 보낸다.

2.2.6 DATA FLOW plus

아답터에서 보내온 신호를 수집하여 그래프로 출력 또는 문서화한다.

2.3. 실험조건

본 연구에서 실행한 실험조건이 Table 1에 나타나 있다. 성형온도, 즉 사출온도는 각각의 실험조건에서 190, 210, 230 ℃로 실험 하였다.

Table 1의 조건은 Short shot 실험에서 얻은 성형이 양호한 범위를 바탕으로 선정 하였다.

본 연구에서의 Filling 압력과 Packing 압력은 같게 하였으며 사출 성형기의 최대 사출 압력 (1520 bar, 1550kg/cm²)의 20% (304bar), 40% (608bar), 60% (912bar)로 하였고 Holding 압력은 Filling 압력의 80%, 95%, 110%로

Table 1 사출실험 조건

사출온도: 190, 210, 230℃

번호	사출압력 (bar)	보압 (bar)	냉각시간 (sec)	금형온도 (℃)	시편번호
1	304	95	5	35	210-1
2	608	95	5	35	210-2
3	912	95	5	35	210-3
4	608	80	5	35	210-4
5	608	95	5	35	210-5
6	608	110	5	35	210-6
7	608	95	2	35	210-7
8	608	95	5	35	210-8
9	608	95	8	35	210-9
10	608	95	5	10	210-10
11	608	95	5	35	210-11
12	608	95	5	60	210-12

나누어 실험 하였다. 금형의 온도는 10℃, 35℃, 60℃로 설정하였고 냉각시간은 2, 5, 8초로 설정 하였다.

2.4. 시편 형상 및 센서 위치

Cavity내 압력, 온도 측정 실험에는 특별히 정해진 시편 규격은 없다. 센서를 가지고 측정하려는 목적에 따라 다양한 형상의 시편을 사용하는 것을 국,내외의 논문들에서 볼 수 있다 (2-6). Fig. 2는 본 연구에서 사용한 사출품의 형상과 치수 그리고 온도와 압력의 측정위치를 나타내고 있다.

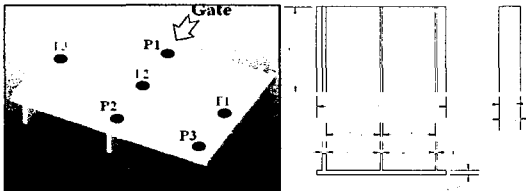


Fig. 2 시편의 모양 및 온도 (T1, T2, T3)와 압력 (P1, P2, P3) 측정 위치

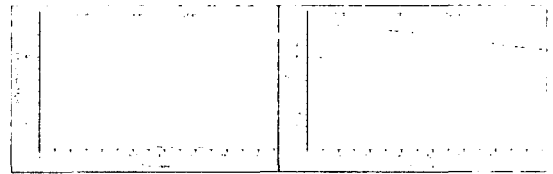
캐비티 내의 압력과 온도를 직접 측정하여 사출기에서 설정한 압력, 온도가 캐비티 내에서는 어떤 변화를 보이는지 그 추이를 관찰하기 위해 Fig. 2와 같은 위치에 센서를 설치하였다. T1, T2, T3는 온도측정 센서의 위치이고 P1, P2, P3는 압력측정 센서의 위치이다. 센서의 위치는 압력센서가 게이트 중심 방향에서 가까운 곳과 먼 곳 그리고 두꺼운 리브의 먼 곳으로 결정하였고, 온도센

서는 시편 중심을 기준으로 좌, 우측 리브 부분에 설치하였다.

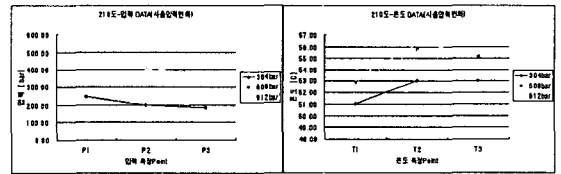
3. 실험결과 및 고찰

3.1 사출 압력 변화에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

Fig. 3은 사출온도 210℃에서 실험조건 1, 2, 3 (Table 1)에 따른 압력과 온도의 측정결과 이다. Fig. 3 (a)의 그래프에서 x축은 시간으로 표시하고 있는데 1초에 150번의 측정을 하기 때문에 엄밀히 말하면 시간이 아니라 측정횟수 이다. 그러나 300의 숫자를 2초로 환산하면 시간으로 환산 할 수 있다. 이는 이후의 측정 시간에 해당되는 모든 그래프에 동일하게 적용된다.



(a) 시간에 따른 압력과 온도곡선



(b) 측정 위치별 압력과 온도의 최대 값
Fig. 3 사출 압력의 증가에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

측정된 cavity내 압력의 경우 사출기에서 입력한 압력보다 작은 압력을 보여주고 있다. 낮은 압력 즉 304 bar 일 때 유동저항에 의해 Screw의 전진속도가 느려져서 Filling Time이 증가하였다.(Fig. 3 (a)의 왼쪽 그림) 측정된 캐비티의 온도는 사출이 되면서 센서에 고온의 수지가 접촉되어 급격히 온도가 증가하고 시간이 지남에 따라 서서히 감소하고 있다.(Fig. 3 (a)의 오른쪽 그림) 수지가 cavity내에 흐르면서 유동선단은 차가운 공기와 접촉되므로 쉽게 온도가 하강하며 이 유동선단이 캐비티에 접촉되며 충진을 하기 때문에 측정된 온도는 사출온도보다 매우 낮다. 각 측정 위치별로 최대 압력과 온도의 값을 보면 (Fig. 3 (b)) 압력의 경우 게이트 부위의 압력이 가장 높고 게이트에서 가장 먼 곳의 압력이 가장

낮다. 온도의 경우 중심 리브에서 온도가 가장 높고 가장 자리의 리브 중 두께가 두꺼운 부분의 온도가 가장 낮게 측정 되었다. 또한 사출 압력이 높을수록 온도가 높게 측정 되었다.

3.2 보압 증가에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

Fig. 4는 사출온도 210℃에서 실험조건 4, 5, 6 (Table 1)에 따른 압력과 온도의 측정결과 이다.

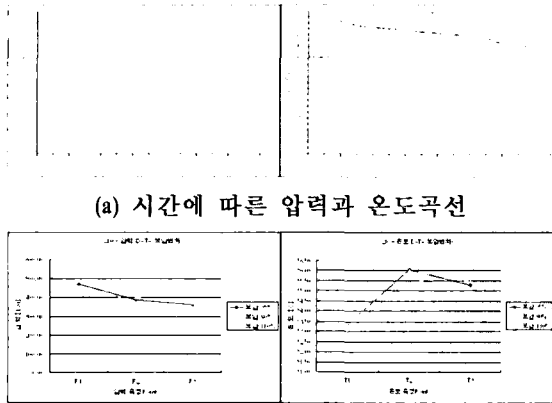


Fig. 4 보압의 증가에 따른 캐비티 내 압력

보압에 따른 캐비티의 압력은 보압구간에서 압력의 차이를 보이고 있으나 온도는 크게 변함이 없다. 압력의 최대값은 다소 차이가 있긴 하지만 이는 최대 사출압에서 보압으로 넘어갈 때 압력의 차이가 있기 때문인 것으로 판단 된다.

3.3 냉각시간에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

Fig. 5는 사출온도 190℃에서 실험조건 7, 8, 9 (Table 1)에 따른 압력과 온도의 측정결과 이다.

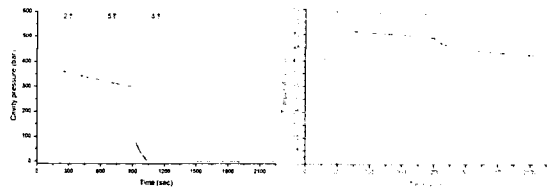


Fig. 5 냉각시간에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

냉각시간의 차이에 따라서 충전에서 보압완료까지 Cavity내 압력은 변화가 없다. 냉각 시간은 캐비티내의 압력과 직접적인 관련이 없으므로 당연한 결과라 생각된다.

다. 온도의 변화를 보면 보압이 완료될 때까지 약간의 차이가 있는데 이는 사출 시작 전 초기의 온도부터 차이가 있는 것을 보면 사출된 수지의 온도의 차이 때문이 아니라 초기 센서가 감지한 온도의 차이 때문인 것으로 판단 된다.

3.4 금형온도에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

Fig. 6은 사출온도 230℃에서 실험조건 10, 11, 12 (Table 1)에 따른 압력과 온도의 측정결과 이다.

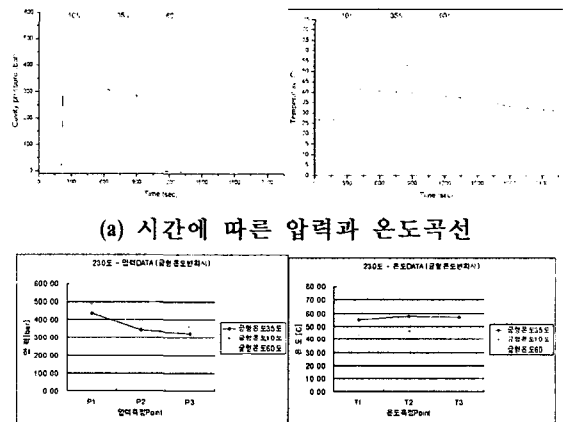


Fig. 6 금형온도에 따른 캐비티 내 압력 및 온도

높은 금형의 온도에서는 수지의 점도가 낮아지고 유동성이 증가되어 흐름성이 좋아지고 Cavity내에서 압력전달이 잘 이뤄진다. 따라서 금형온도가 높을수록 캐비티 내의 압력은 증가 하고 있다. Cavity 내 온도는 금형온도의 증가에 따라 매우 큰 폭으로 증가한다. 사출이 시작되기 전 센서가 측정된 온도는 금형의 온도에 따라 다르게 나타나고 있다. 금형의 냉각온도에 정확히 일치하지는 않지만 그에 비례하는 온도를 보이고 있고 수지가 캐비티에 들어오면서 온도는 급격히 증가 한다. 측정된 온도는 용융 수지의 온도보다 금형 온도의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 사출 금형 Cavity 내에 압력과 온도 센서를 설치하여 여러 성형 조건에 따른 Cavity내의 압력과 온도를 관찰하였다. 이를 위해 리브를 포함하는 시편

을 사출할 수 있는 금형을 설계하여 세 개의 압력 센서와 세 개의 온도센서를 각각 설치하고 실험 하였다.

사출압력의 증가에 따라 캐비티의 압력은 증가하였고 온도 역시 증가 하였다. 보압의 변화에 따른 캐비티내의 온도는 변화가 없으나 압력은 보압의 크기에 따라 변화가 있었다. 냉각 시간에 따른 캐비티의 압력은 변화가 없었고 사실상 온도의 변화도 없었다. 금형 온도에 따른 압력과 온도의 변화에서는 금형의 온도가 높을수록 수지의 유동성이 커 압력의 전달이 용이하여 캐비티내의 압력이 높았다. 또한 캐비티내의 온도도 금형의 온도에 따라 이에 비례하는 현저한 차이를 보였다. 결국 캐비티내의 온도는 금형의 온도설정에 가장 민감하게 나타났다. 이는 온도센서가 수지 흐름의 중간층의 온도를 측정하는 게 아니라 금형의 표면층을 측정하기 때문에 나타나는 현상이라 판단된다.

본 연구를 통하여 여러 성형 조건에 따른 캐비티내의 온도와 압력의 변화에 대해서 분석을 하였고 이는 사출 성형을 이해하고 불량률의 해소를 위해 중요한 역할을 하며 성형품의 품질을 향상 시키는데 응용될 수 있다.

참고문헌

- (1) 이옥성, "Cavity 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산", Kistler Korea Co., Ltd, 2002.
- (2) 유중학, 김희송, "사출성형에서 캐비티압력과 인장강도에 관한 연구", 한국 자동차공학회 논문집 제 2 권 제 6 호, pp. 110~116, 1994.
- (3) F. Manero, M. R. Kamal, R. A. Lai-Fook, A. E. Varela and W. I. Patterson, "Measurement and Prediction of Temperature Distribution in an Injection Molding Cavity," Intern. Polymer Processing 18, pp. 185~193, 2003.
- (4) C. A. Hieber, L. S. Socha, S. F. Shen, K. K. Wang and A. I. Isayev, "Filling Thin Cavities of Variable Gap Thickness: A Numerical and Experimental Investigation", Polymer Engineering and Science, Vol. 23, 20~26, 1983.
- (5) W. L. Krueger and Zehev Tedmor, "Injection Molding into a Rectangular Cavity with Inserts", Polymer Engineering and Science, Vol.20, pp. 426~431, 1980.
- (6) H. H. Chiang, C. A. Hieber, and K. K. Wang, "A Unifide Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding. Part II: Experimental Verification", Polymer Engineering and Science, Vol. 31, pp. 125~139, 1991.