

사출성형조건에 따른 캐비티의 압력분포

김준민¹, 전재후¹, 류민영², 황한섭³, 이증원³, 이상훈³

Pressure distributions in the cavity in injection molding for various operational conditions

J. M. Kim, J. H. Jun, M.-Y. Lyu, H. S. Hwang, J. W. Lee, and S. H. Lee

Abstract

Pressure distribution in the cavity during injection molding affects part quality. In this study pressure distributions in the runner, near gate in the cavity, and end of fill in the cavity have been measured using direct pressure sensors for various molding conditions. Molding conditions were injection speed, injection pressure, packing time from filling stage, and packing pressure. Through experiments it was realized that the packing time from filling stage and packing pressure are the dominant factors on the part quality such as part shrinkage. Experimental results have been compared with computer simulations.

Key Words : Injection Molding, Part Shrinkage, Pressure Distribution, Filling, Packing, CAE.

1. 서론

사출성형은 복잡한 형상의 성형, 자동화 용이, 단일 공정의 제품생산, 성형요인의 제어를 통한 제품의 품질향상가능, 고효율 대량 생산등의 장점이 있기 때문에 일상용품을 비롯해 항공, 자동차, 건축자재 등 많은 분야에 널리 사용되고 있다. 이러한 장점을 가진 사출성형 공정은 기본적으로 고체나 분말 상태의 수지를 용융시키는 가소화 단계 (Plasticization), 용융된 수지를 높은 압력으로 스프루, 런너, 게이트를 통하여 Cavity 에 채우는 과정인 충전단계 (Filling Phase), Cavity 에 충전된 수지의 수축을 보상하기 위한 보압단계 (Packing Phase), 냉각 단계 (Cooling Phase), 마지막으로 취

출 단계 (Ejection Phase)로 나뉜다. 이러한 여러 단계 중에서 성형품의 품질에 큰 영향을 주는 단계는 충전과 보압 단계로써 여기서 속도와 압력은 매우 중요한 요소이다 [1~5].

충진 단계에서는 사출 속도에 지배적인 영향을 받고 보압 단계에서는 압력에 의해 지배된다. 충전 단계에서의 압력은 정해진 사출 속도를 내기 위한 근원으로써 간접적으로 압력의 지배를 받는다. 사출압력이 높으면 Flash, Flow mark 가 발생하고 사출압력이 낮으면 미 성형 (Short shot)이 발생한다 [3]. 보압크기가 작으면 제품에 수축이 발생하여 싱크마크가 생긴다. 제품의 품질 위해서 적절한 사출압력과 보압의 선정이 필요하다. 본 논문에서는 Cavity 내의 압력 측정을 통해 Cavity 내

1. 서울 산업대학교 대학원
2. 서울 산업대학교 금형설계학과
3. 삼성전자 디지털미디어총괄 메카그룹

에서 일어나는 현상을 분석하고 압력이 품질에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였다. 또한 실험으로 얻은 측정 Data 와 CAE 해석을 통한 결과를 비교 검토 하였다.

2. 실험 및 CAE 해석

2.1 실험

2.1.1 실험 모델 및 측정방법

Fig. 1 은 본 연구에 실험 모델로 사용된 19 인치 LCD Monitor Front Cover 제품과 딜리버리 시스템 (Delivery system)모양을 나타낸 것이다.

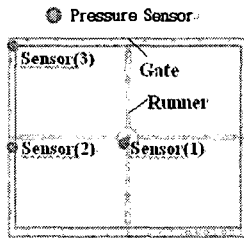


Fig. 1 Experimental model and locations of pressure sensors

제품의 외곽치수는 407.6mm x 335mm, 두께는 2.0mm 이다.

압력측정을 위해 Kistler 사의 직접압력측정 센서 (Type6157BA)를 사용 하였으며 압력측정 위치는 런너가 시작되는 곳, 게이트 근처, 그리고 흐름의 말단인 모서리부분으로 Fig.1 에 나타나 있다.

2.1.2 사출 성형기 및 실험조건

우진의 SELEX NE-480 사출기를 사용하였다.사출압력 실린더의 최대압력은 140bar 이고 스크류 직경은 70mm 이며 형체력은 480ton 이다.

본 연구의 실험 조건이 Table 1 에 나타나 있다. 실험에서 계량거리는 54mm, 사출온도는 240℃, 금형 온도는 44℃로 모든 실험에서 동일하다. 1~3 은 Ram speed 의 'F1'구간 (Gate 부분에서의 속도) 을 최대 사출 속도 (114mm/sec)의 50%, 60%, 70% 로 변화하며 실험하였다. 4~7 은 보압을 하지 않고 Ram speed Profile 을 3 단계로 하였다. 7~10 은 보압을 하지 않고 3 단계의 압력을 변화하며 실험을 하였다. 11 은 보압 속도를,12~13 은 보압의 크기를 변화하며 실험 하였다. 14~16 은 보압전환 Timming 의 변화를 준 것으로 보압 시작 Stroke 를 변화하

며 실험 하였다.

Table 1 Injection molding operational conditions

No.	Ram speed (%) (F4/F3/F2/F1)	Pressure (bar)	Stroke (mm)	Packing Speed (%)	Packing Pressure (bar)
1	30/60/70/50	40/80/90/50	10/15/25/45	5	90
2	30/60/70/60	40/80/90/50	10/15/25/45	5	90
3	30/60/70/70	40/80/90/50	10/15/25/45	5	90
4	20/50/60	60/90/50	5/20/30	-	-
5	30/50/60	60/90/50	5/20/30	-	-
6	40/50/60	60/90/50	5/20/30	-	-
7	50/50/60	60/90/50	5/20/30	-	-
8	50/50/60	50/90/50	5/20/30	-	-
9	50/50/60	40/90/50	5/20/30	-	-
10	50/50/60	30/90/50	5/20/30	-	-
11	30/60/70/50	40/80/90/50	10/15/25/45	10	90
12	30/60/70/50	40/80/90/50	10/15/25/45	5	70
13	30/60/70/50	40/80/90/50	10/15/25/45	5	50
14	30/60/70/50	40/80/90/50	8/15/25/45	5	90
15	30/60/70/50	40/80/90/50	5/15/25/45	5	90
16	30/60/70/50	40/80/90/50	2/15/25/45	5	90

실험에서 수행한 Short shot 실험과 압력측정 실험을 Simulation 과 비교 검토하기 위하여 Moldflow 를 이용하여 해석 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Stroke (mm)에 따른 제품의 충전패턴

Fig.4 의 (a)는 실제 Short shot 실험 (사출속도 60%)이고 (b)는 실험 1 (사출속도 50/70/60/30%)을 Moldflow 로 성형해석한 충전 패턴을 나타낸 것이다. Short shot 실험은 Stroke 를 변화하며 실험하였다. 실제 실험과 Simulation 의 충전 패턴이 유사한 경향을 보였다.

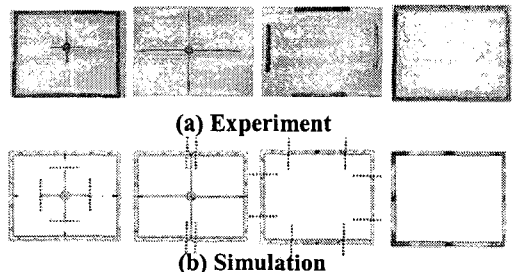
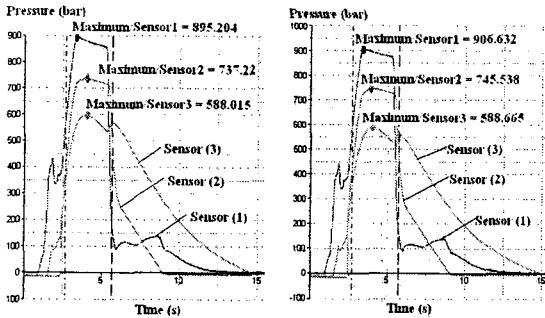


Fig4. Comparison of filling pattern

실제 실험과 Simulation 의 충전 패턴이 유사한 경향을 보였다.

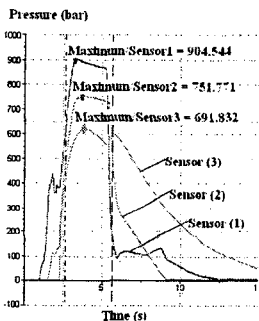
3.2 런너, 게이트의 속도 변화에 따른 압력

Fig.3 은 런너와 게이트 부분의 충전 속도변화 (실험 1,2,3)에 대한 압력 곡선을 보여주고 있다. X 축 시간단위는 Sec 이고 Y 축 압력 단위는 bar 이다. 각 Graph 의 맨위 곡선은 런너 부분, 중간 곡선은 게이트 부분, 맨 아래 곡선은 충전 말단부의 압력을 나타낸다.



(a) Speed : 50%

(b) Speed : 60%



(c) Speed : 70%

Fig. 3 Pressure profile for injection speed at runner and gate

런너와 게이트 부분의 속도가 증가할수록 그 부분의 Cavity 내 게이트 부근의 압력은 737, 745, 751bar 로 증가 하는 것을 볼 수 있다. 그러나 런너 부분에서의 압력은 895, 906.6, 904bar 로 증가하다 감소하고 충전 끝 단의 압력은 598, 588, 619bar 로 감소하다 증가되고 있다. Table2 는 런너와 게이트부 속도 변화에 따른 제품의 무게와 치수를 나타낸 것이다. 제품의 규격은 가로: 407.6mm, 세로: 335mm 이다. 속도가 50%일 때 가장 규격 치수에 근접하나 제품무게와 수축을 고려하면 게이트 속도가 70%일 때 제품의 품질이 더 양호하다고 볼 수 있다.

Table 2 Dimension and weight of part for injection speed at runner and gate

Speed (%)	Frame weight (g)	Horizontal length (mm)	Vertical length (mm)
50	84.20	407.99	335.00
60	84.40	408.00	335.02
70	84.44	408.08	335.05

Table 3 Evaluation of part shrinkage for injection speed at runner and gate

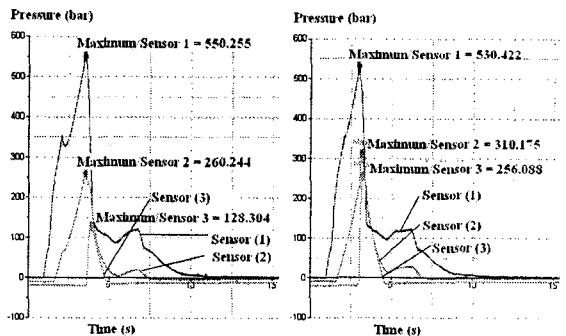
Location	Speed		
	70(%)	60(%)	50(%)
Frame front	△	△	△
Frame surface at Rib	△	△	△
Sink mark at Gate	□	□	□
Corner (End of filling)	□	□	□
Frame front	□	□	△

○ : 수축없음, △ : 수축적음 □ : 수축다소있음 x : 수축많음

3.3 사출 속도 변화에 따른 캐비티의 압력

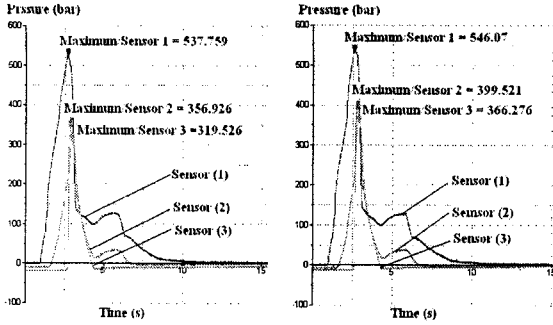
Fig.4 는 충전 3 차의 속도(F3)를 변화하여 실험 (실험 4~7)한 압력측정 결과 보여 주고 있다.

속도 (F3)가 클 수록 최대압이 나타나는 시간이 빨라지고 충전 시간도 빨라지고 있다. 런너 시작부분의 압력은 큰 차이가 발생하지 않지만 게이트 근처와 캐비티 말단 부위에서는 에서는 큰 차이가 나타난다. 런너가 시작되는 부분 (Sensor 1)의 압력을 비교해보면 최종속도 (F3)가 너무 낮으면 국부적인 압력강하가 생기는 것을 볼 수 있다. 이 실험들에서는 보압을 하지 않았기 때문에 캐비티 내의 압력이 Peak 를 이룬 뒤 곧바로 떨어짐을 알 수 있다.



(a) Speed : 20%

(b) Speed : 30%



(c) Speed : 40%

(c) Speed : 50%

Fig. 4 Pressure profile for injection speed at 3rd region in filling stage

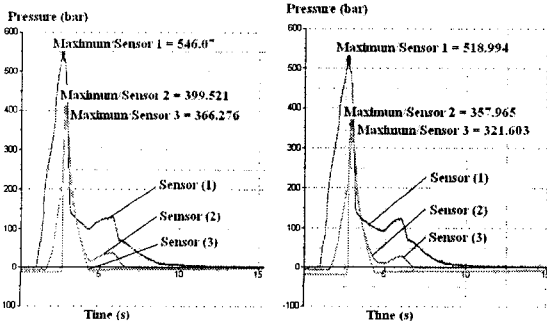
3.4 사출 압력에 따른 압력변화

Fig.5 는 3 차의 압력을 변화하여 실험 (실험 7~10)한 캐비티내 압력이고 Table 4 는 각 실험에서 Sensor 위치 별 최고 압력을 나타낸 것이다.

사출 압력 (3 차)이 높을수록 캐비티 내의 Peak 압력이 나타나는 시간이 빨라진다. Table 4 을 보면 사출압력 (3 차)이 낮아 질수록 각 Sensor 의 압력이 낮아지고 런너 시작 부위에서 캐비티 말단부 위까지 압력 강하량이 커진다. 이 실험에서는 보압이 없기 때문에 캐비티 내의 압력이 오랜시간 지속되지 못하고 있음을 보여준다.

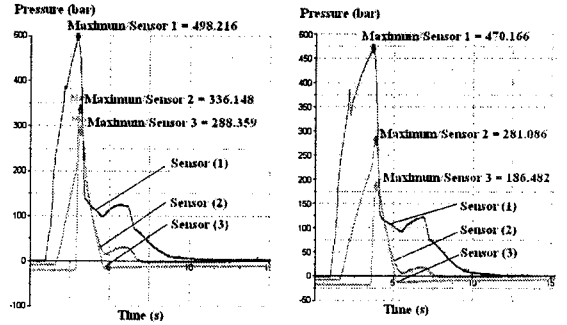
Table 4 Maximum pressure at each sensor for experiments 7, 8, 9, and 10.

Sensor \ exp.	exp.7	exp.8	exp.9	exp.10
Sensor(1)(bar)	546.07	518.99	498.22	470.17
Sensor(2)(bar)	339.52	326.93	336.148	281.058
Sensor(3)(bar)	366.276	321.603	288.359	186.48



(a) Pressure : 60bar

(b) Pressure : 50bar



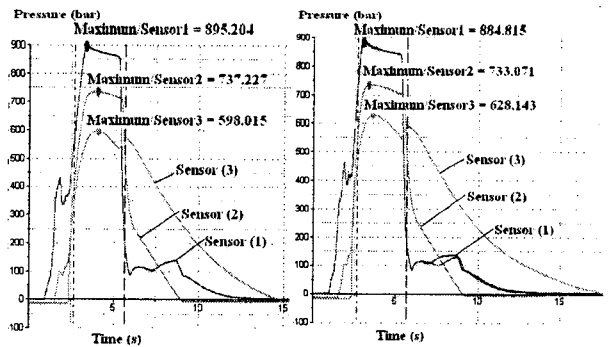
(c) Pressure : 40bar

(d) Pressure : 30bar

Fig. 5 Pressure profile for injection pressure at 3rd region in filling stage

3.5 보압 속도에 따른 Cavity 내의 압력변화

Fig.8 은 보압과 보압 시간을 고정하고 보압 속도에 변화를 주어 실험한 실험 1 과 11 의 압력분포이다.



(a) Packing speed: 5%

(b) Packing speed: 10%

Fig. 6 Pressure profile for packing speed

Table 5 Evaluation of part shrinkage for packing speed

Location \ Speed(%)	5 (%)	10 (%)
Frame front	△	△
Frame surface at Rib	△	△
Sink mark at Gate	□	△
Corner (End of filling)	□	□
Edge	□	□

○ : 수축없음, △ : 수축적음 □ : 수축다소있음 x : 수축많음

보압 속도가 클수록 충전 말단의 최고 압력이

증가되고 있다(598bar→628bar). 보압 속도를 크게 함으로써 수지의 냉각이 되기 전에 캐비티 내로 압력전달이 용이함을 보여주고 있다. 따라서 성형품의 수축이 줄어들었다 (Table5).

3.6 보압 크기에 따른 압력변화

Fig.7 은 보압 크기에 따른 실험 1,12,13 의 압력을 나타내고 있다. 보압이 클수록 각 Sensor 의 압력이 증가되고 있고 Peak 를 보이는 시간이 런너, 게이트부위, 충전 말단 순으로 나타나는 것이 반대로 나타나고 있다. 이는 보압이 작은 경우에는 캐비티 말단까지 압력 전달이 되고 있지 않음을 의미한다. 따라서 Table 7 에 나타난 바와 같이 성형품에 수축이 많이 보였다. Fig.8 은 CAE 해석 결과를 보여주고 있는데 실험과 경향이 매우 유사하다. 다만 캐비티 말단의 압력이 실험보다 크게 나타나고 있다.

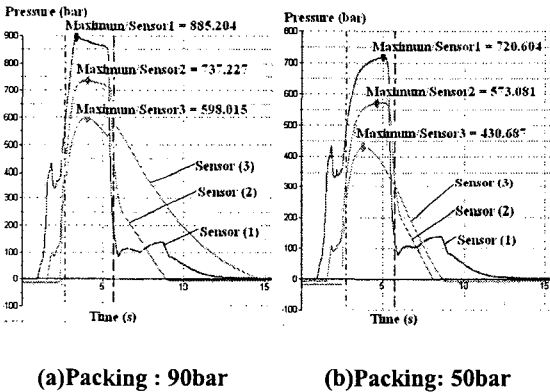


Fig. 7 Pressure profile for packing pressure

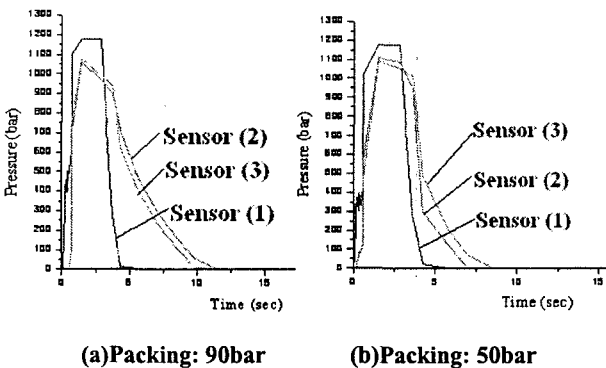


Fig. 8 Result of computer simulation for packing pressure

Table 6 Evaluation of part shrinkage for packing pressure

Location	90(bar)	70(bar)	50(bar)
Frame front	△	□	□
Frame surface at Rib	△	△	□
Sink mark at Gate	□	△	□
Corner (End of filling)	□	x	x
Edge	□	□	x

○ : 수축없음, △ : 수축적음 □ : 수축다소있음 x : 수축많음

3.7 보압 전환 시간에 따른 압력

Fig.9 는 보압 전환 시간에 따른 1, 14, 15, 16 의 캐비티 내의 압력이다. 보압 전환 시간은 Stroke 를 조절하여 수행하였다. 따라서 충전 과정의 최종단계의 Stroke 가 큰 것은 보압 전환 시간이 빠르고 Stroke 가 작은 것은 보압 전환 시간이 늦은 것을 의미한다.

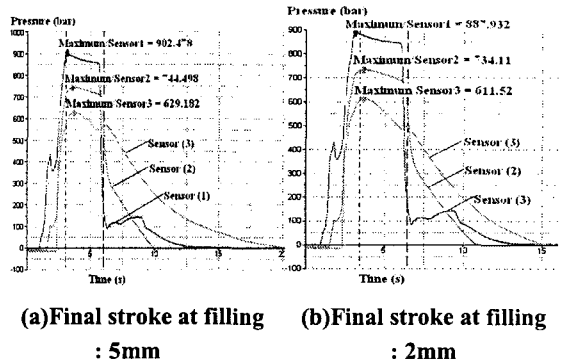
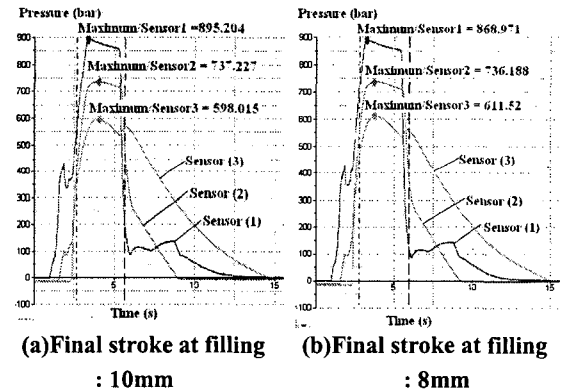


Fig. 9 Pressure profile for packing timing from filling stage

캐비티 말단 부위에 압력변화 현상은 4 차 압력 (40bar)과 보압 (90bar)의 압력차가 너무커서 생기는 것으로 판단된다. 그리고 보압이 말단까지 완전히 전달되지 않아 뒤의 Peak 압이 앞의 Peak 압 보다 작다. 보압이 빠르면 (10mm) 캐비티 내의 압력전달이크지 않고 보압이 너무 늦으면 (2mm)수지가 고화되기 때문에 역시 압력이 충분히 전달 되지 않는다. 충분한 압력 전달을 위한 적절한 보압 전환 시간이 존재한다.

4. 결론

사출 성형 조건에 따라서 캐비티에서 일어나는 압력을 관찰하고 그 압력이 제품 품질에 어떠한 영향을 주는지 파악하기 위하여 런너의 시작부분, 게이트 근처, 충전 말단인 모서리 부분에 압력 센서를 설치하여 압력을 관찰 하였다. 그리고 실험조건과 동일한 조건으로 Moldflow 를 이용한 성형 해석을 통하여 실험과 비교 검토 하였다.

사출 속도, 압력이 증가하면 캐비티 내의 압력이 증가하고 충전 말단 부까지 압력이 용이하게 전달 된다. 보압 속도가 증가하면 제품의 치수는 같으나 제품의 수축이 줄어든다. 보압 크기를 변화시킨 실험에서는 보압이 증가함에 따라 충전 말단부에 압력 전달이 확실히 나타나기 때문에 제품에 수축 발생이 적다.

보압 전환 시간이 너무 빠르거나 느리면 캐비티 말단 부에 적정 압력이 전달 되지 않는다. 따라서 수축과 관련된 제품의 품질을 향상시키려면 캐비티 말단 부까지 압력이 확실히 전달되어야 하는데 실험결과 제품의 수축이나 치수 품질에 가장 큰 영향을 미치는 성형 요인은 보압 크기다.

참 고 문 헌

- [1] 이육성, 2002, Cavity 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산, Kistler Korea Co., Ltd.
- [2] 모정혁, 김현진, 류민영, 2003, 성형조건과 수지의 종류에 따른 사출 성형품의 성형 수축, 한국소성가공학회 03 춘계학술대회 논문집, pp.363~370.
- [3] 김수용, 박현철, 류민영, 진영준, 김도, 2004, 사출성형 공정에서 캐비티 내의 압력과 온도 변화에 관한 연구, 한국소성가공학회 04 추계학술대회 논문집, pp. 70~74.
- [4] 문영대, 2004, LCD Monitor 사출금형에 대한 연구, 한국소성가공학회 04 추계학술 대회 논문집, pp. 48~53.
- [5] D. V. Rosato, 1995, INJECTION MOLDING HANDBOOK Second Edition, pp. 30, 31, 79, 85, 98, 227.