

## 사출성형에 대한 충전과 보압과정의 영향에 관한 연구

김현필(창원기능대학), 김용조(경남대학교)

### A Study on the Effects of Filling and Packing Phases on the Injection Molding

#### Abstract

Injection molding process factors such as molding temperature, injection pressure, flow rate and flow velocity, must be controlled properly in filling and packing phases in the injection molding process. In this study, effects of these factors on the injection molding were investigated through the flow analysis for the filling and packing phases. Molding troubles like flow mark, weld line, sink mark, short shot and warpage can be caused by these injection molding process factors. Among them, the short shot was caused by that the packing pressure could not reach properly to the filling end part in the packing phase and hence the flow rate could not be supplied to the full. In addition, as the flow rate for the volumetric shrinkage during the frozen phase could not be supplied properly by the packing pressure, the short shot appeared. Here, the volumetric shrinkage reduced with increasing the packing pressure and also the warpage of molded part increased with increasing the packing pressure.

**Key Words :** Injection molding process(사출성형공정), Filling phase(충전과정), Packing phase(보압과정)

#### 1. 서론

사출성형의 주요 공정으로 캐비티(cavity)내에 용융수지를 가압충전하는 충전과정과 충전완료 후 보압(packing pressure)을 주어 유지시키는 보압과정, 보압 후 냉각과정을 거치며 성형품을 취출하는 이젝팅(ejecting)과정으로 구성되며 사출성형 사이클(injection molding cycle)을 이루고 있다.<sup>(1,2)</sup> 이들 각 과정에서 충전과정과 냉각을 포함한 보압과정이 사출성형에 많은 영향을 주고 있다. Louis Tredous<sup>(3)</sup> 등은 성형온도 및 유동속도에 따라 플로우 마크(flow mark) 발생에 대해 발표하였으며, H. G. Fritz<sup>(4)</sup>, Garrett P. Gardner<sup>(5)</sup> 는 사출

성형에서 발생한 웰드라인 강도(weld line strength) 의 영향을 제시하였다. 사출성형에서 나타나는 결함으로는 휨(warpage), 웰드라인(weld line), 수축마크(sink mark), 플로우마크(flow mark), 미충전(short shot), 플래시(flash), 타버림자국(burn mark), 제팅(jetting) 등은 충전 및 보압과정에서 온도, 압력, 유동속도, 시간, 수축 등 성형공정변수에 그 의존성이 매우 높다. 또한 유동을 고려한 제품설계, 밸런스를 고려한 유동기구설계, 금형의 정도(accuracy) 등 복합적으로 사출성형의 결함에 영향을 미치게 된다<sup>(6,7)</sup>. 본 연구에서는 이러한 관점에서 사출성형 품질을 향상시키며 결함을 최소화할 수 있는 유동기구인 러너(runner) 배치, 게이트(gate)를 결정하고 충전과정(filling phase)과 보압과정(packing phase)에 있어서 성형공정변수가 사출성형에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

#### 2. 서브머린 게이트와 러너 배치

게이트는 충전과정에서 용융수지를 캐비티에 유입시키고 보압과정에서 게이트 실(gate seal)을 유도하여 성형압력을 게이트에서 차단하며, 유입된 수지가 성형압력 영향에서 벗어나 고화시키는 역할을 하게 된다. 게이트는 제품과 사용목적에 따라 매우 다양하며 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 서브머린 게이트(submarine gate)를 선택하였다. 서브머린 게이트는 사출성형제품의 측면 또는 내부에 터널(tunnel)을 파고 들어 위치시킬 수 있어 외관에 전혀 게이트 흔적이 나타나지 않으며, 성형완료 후 게이트와 성형품이 자동으로 분리되는 특징을 지니고 있다.

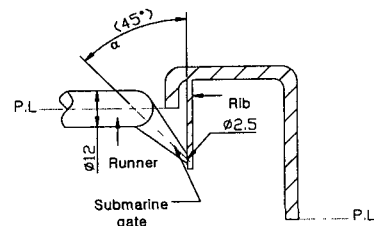


Fig. 1 Geometry of a submarine gate

한편, Fig. 1에서와 같이 게이트 끝단의 직경( $\phi$  0.7-2.5mm)을 크게 할 수 없고 일정한 각도  $\alpha$  (20-50°)를 유지하여야 함으로 게이트에서 압력강하가 큰 단점을 갖고 있으나<sup>(6,8)</sup>, Fig. 2와 같이 충전 밸런스를 고려한 멀티 러너 배치 방법으로 각각의 유동거리를 줄려 큰 성형품에 적용 사용한다.

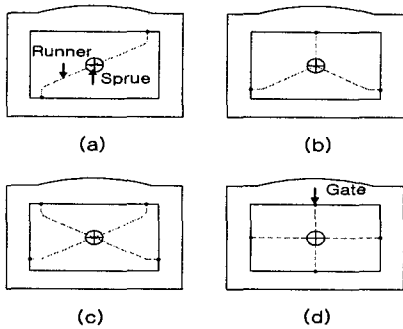


Fig. 2 Examples of the filling balance of a multi-runner system

Fig. 2는 하나의 캐비티(one cavity)에서 충전 밸런스를 고려하여 서브머린 게이트의 적용 가능한 러너 배치를 나타내고 있다. Fig. 2 (a-d)는 각각의 러너 배치에 따라 최종 충전위치가 달라지며 스프루로부터 최종 충전위치까지 유동거리를 짧게 하기 위해서는 Fig. 2의(a),(b) 보다(c),(d)가 러너수가 많아 유리하다. 그러나, Fig. 2(d)는 게이트 위치가 정면 중앙에 위치하여 사출압에 가장 큰 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구는 Fig. 2의(c)와 같이 러너를 배치하고 Fig. 1의 서브머린 게이트를 위치시켰다.

### 3. 충전과정과 보압과정의 결정

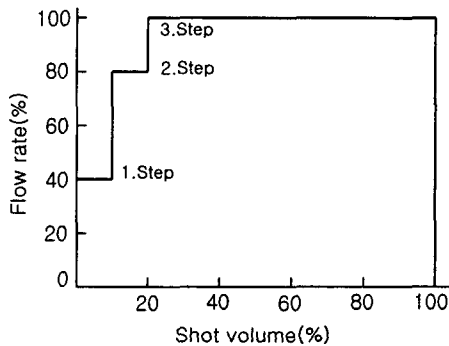


Fig. 3 Filling profile for the flow rate according to the shot volume

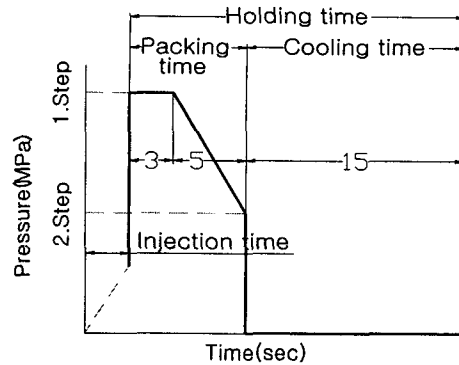


Fig. 4 Packing profile for the packing pressure according to time

가소화된 용융수지는 성형기 노즐(nozzle), 스프루, 러너, 게이트를 거쳐 캐비티에 유입된다. 충전시 초기 사출속도 혹은 사출량을 높게 하면 유동에 불균형을 초래하여 금형이 차가운 상태에서 제팅(jetting)을 유발할 수 있고, 게이트에서 가까운 보스(boss), 리브(rib)등의 끝단에 미충전이 발생할 우려가 높다.<sup>9</sup> 따라서 충전과정을 3단으로 설정하여 서서히 증가시켜 캐비티에 유입 되도록 하였으며 Fig. 3에서 충전 프로파일(filling profile)을 나타내고 있다. Fig. 4는 2단 보압 프로파일(packing profile)을 나타낸 것이며, 수축에 따른 유동량을 보충하고 캐비티 내의 수지가 역류(back flow)하는 것을 방지한다. 본 연구에서는 Fig. 3과 Fig. 4에서 나타낸 프로파일을 적용하여 유동해석을 하였다.

### 4. 사출성형해석 조건

사출성형해석은 3D CAD에서 모델을 완성하고 트랜스레이터(translator)를 통해 데이터로부터 유한요소 모델을 완성하였다. 본 연구의 프론트 커버(front cover) 크기는 가로×세로×최대높이가 405×393×40(mm)이며 Fig. 1의 서브머린 게이트와 Fig. 2(c)와 같이 러너를 배치였다.

Table 1 Properties of plastic (ABS AF303)

Suggested melt temperature	200.0℃
Suggested mold temperature	60.0℃
Generic shear stress (Max.)	0.3 MPa
Generic shear rate (Max.)	50000.0 1/s
Specific heat	1564.999 J/kg/℃
Melt density	1078.000 kg/cu.m
Viscosity (temperature 200℃)	3488.289 Pa.s
No flow temperature	122.900℃

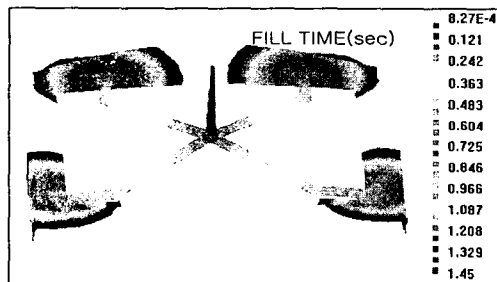
Table 2 Conditions for the packing process

Conditions for packing process					
CASE	1.Step (MPa)	Time (sec)	2.Step (MPa)	Time (sec)	Cooling (sec)
CASE I	20	3	10	5	15
CASE II	40		20		
CASE III	60		40		
CASE IV	80		60		

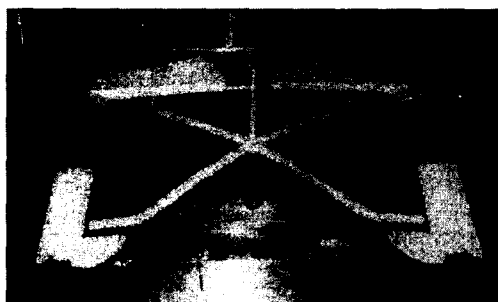
Table 2는 Fig. 4의 보압 프로파일에 따른 보압해석을 Table 2에 나타낸 CASE I, II, III, IV의 조건으로 변경하여 실시하고 보압이 사출성형에 미치는 결과를 검토하고자 하였다.

### 5. 성형해석 결과와 고찰

사출성형해석은 충전해석(filling analysis)과 동시에 냉각시간을 포함한 보압해석(packing analysis)을 실시하였으며, MOLD FLOW INSIGHT2.0 모듈을 사용하였다.



(a) Flow patterns obtained by the flow analysis for the cavity filling

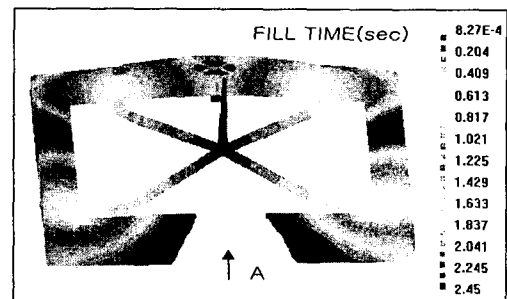


(b) Flow patterns by the test shot for the cavity filling

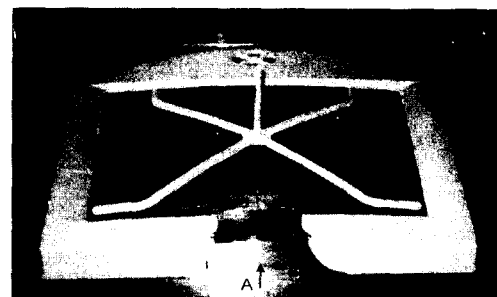
Fig. 6 Flow patterns at the filling time of 1.45 sec. obtained by the cavity filling analysis and the test shot for the injection molding

충전해석은 Fig. 3의 충전 프로파일로 설정하였고, 보압은 해석결과가 가장 좋은 Table 2의 CASE II 조건으로 설정하였다. 러너배치는 Fig. 2(a-d)에 제시된 방법으로 배치하여 사전에 충전해석을 실시한 후 결과가 가장 좋은 (c)의 러너배치 방법을 선택하였고, 1.45sec. 동안 해석된 3차원 유동패턴(flow pattern)의 결과를 Fig. 6(a)에 나타내었다.

Fig. 6(b)는 사출 성형기(TW - 450SL)을 사용하여 충전해석의 유동패턴 결과와 실제 유동패턴을 비교하기 위해 시험사출(test shot)을 실시한 결과이며 각 러너를 따라 분류된 유동패턴은 Fig. 6(a)의 유동해석결과와 잘 일치하고 있을 확인할 수 있다.



(a) Flow patterns obtained by the flow analysis for the cavity filling

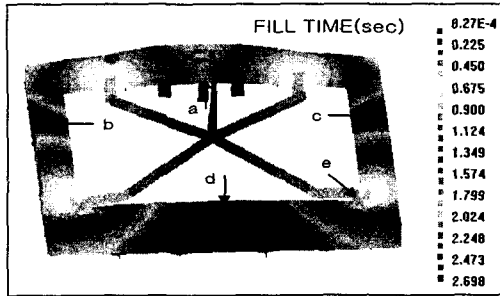


(b) Flow patterns obtained by the test shot for the cavity filling

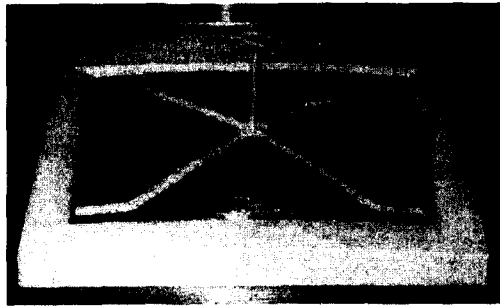
Fig. 7 Flow patterns at filling time of 2.45 sec. obtained by the cavity filling analysis and the test shot for the injection molding

Fig. 7(a),(b) 역시 같은 방법으로 충전해석한 결과와 시험사출한 결과를 비교하였으며, 충전완료 전 2.45sec. 동안의 해석결과는 러너 배치에 따라 게이트에서 분류된 수지가 합류되고 최종 합류되는 Fig. 7(a),(b)의 A부분으로 실제와 잘 일치하고 있다. Fig. 8(a),(b)는 약 2.7sec.에서 100% 충전 완료된 결과이다.

캐비티 전체에 미충전 현상(short shot)이 발생하지 않았으며 충전해석 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있다.



(a) Flow patterns obtained by the flow analysis for the cavity filling



(b) Flow patterns obtained by the test shot for the cavity filling

Fig. 8 Flow patterns at filling time of 2.69 sec. obtained by the cavity filling analysis and the test shot for the injection molding

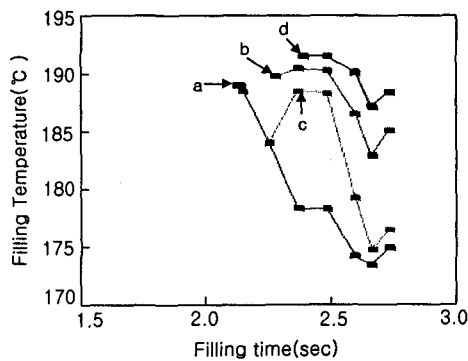


Fig. 9 Change in the filling temperature vs. the filling time obtained by the cavity filling analysis (corresponding to Fig. 8(a))

한편, 여러 가지 성형 트러블(trouble) 중에서 웰드 라인, 미충전, 에어트랩(air trap)등은 주로 유동의 합류

부분에서 발생되어 지므로 캐비티 내의 유동 합류위치 파악은 매우 중요하다.<sup>(6)</sup> 따라서, 러너와 게이트 배치에 따라 각각 분류된 유동은 Fig. 7, 8 및 9의 충전해석 결과와 시험사출을 통하여 정확히 최종 합류되는 지점은 Fig. 8 (a)에서 a,b,c,d 위치임을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 8(a)의 충전해석 결과에 따른 합류부분 a,b,c,d 위치의 절점(nodes)에 있어서 유동이 합류되는 시점으로부터 충전이 완료되는 2.7sec.까지 온도의 변화를 나타내었다. 유동이 합류되는 a,b,c,d 위치는 설정된 사출온도 200°C보다 약간 낮은 약 190~192.5°C를 나타내며 충전이 완료되는 2.7sec.에서 최저 173°C를 나타내고 있다. Table 2와 같이 유동정지온도(no flow temperature)는 122.90°C이므로 충전이 완료되는 동안 유동성이 좋은 유동온도를 유지하고 있으며 유동 합류위치인 a,b,c,d에 온도전달이 잘 이루어지는 결과를 알 수 있다.

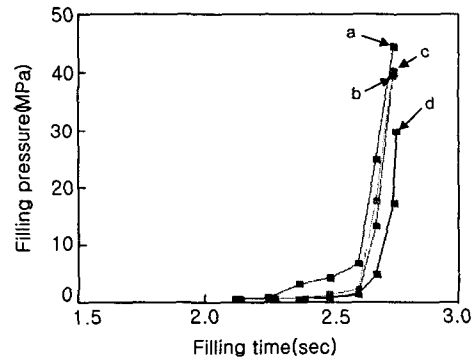


Fig. 10 Change in the filling pressure vs. the filling time obtained by the cavity filling analysis (corresponding to Fig. 8(a))

Fig. 10은 Fig. 8(a)의 충전해석 결과에 따른 합류부분 a,b,c,d 위치의 절점(nodes)에 있어서 유동이 합류되는 시점으로부터 충전이 완료되는 2.7sec.까지 압력의 변화를 나타내었다. Fig. 8의 a,b,c,d 각 위치는 큰 편차 없이 압력이 증가하여 충전이 완료되는 2.7sec.에서 최대 약 30~42MPa의 충전압력이 작용하고 있어 유동이 합류되는 a,b,c,d 각 위치에 압력전달이 잘 이루어진 결과를 알 수 있다.

Fig. 11은 Fig. 8(a)에서 충전해석을 한 후 동시에 보압해석을 실시한 경우의 결과이다. 보압은 Table 2에서 CASE II 조건의 최대 40MPa로 설정하였으며 유동 합류위치 a,b,c 지점에서 최대 약 27MPa의 보압이 작용하고 약 9sec.이상에서 더 이상 보압이 작용하지 못하는 결과를 확인할 수 있다.

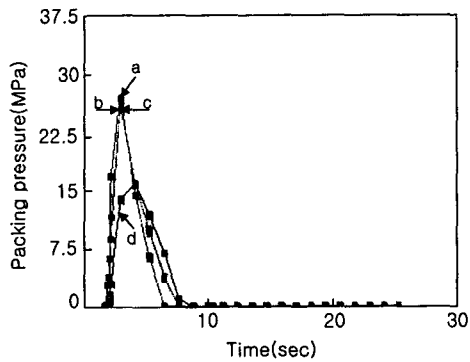


Fig. 11 Change in the packing pressure vs. the packing time obtained by the cavity packing analysis with CASE II (corresponding to Fig. 8(a))

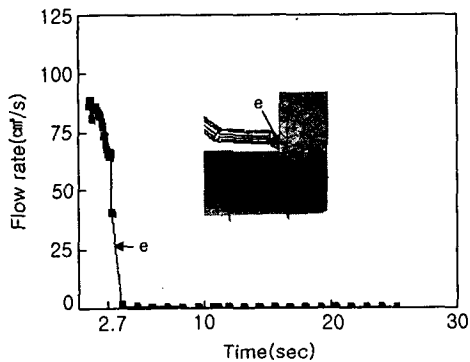


Fig. 12 Change in the flow rate vs. the filling and packing time obtained by the cavity packing analysis with CASE II (corresponding to Fig. 8(a))

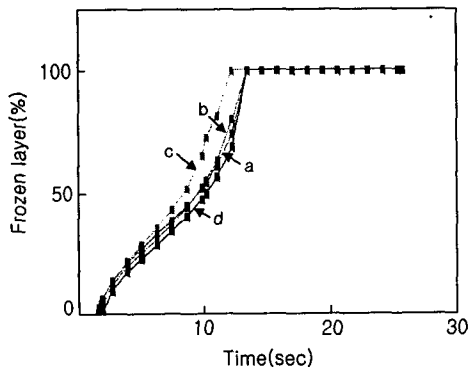


Fig. 13 Change in the frozen layer vs. the filling and packing time obtained by the cavity packing analysis with CASE II (corresponding to Fig. 8(a))

Fig. 12는 Fig. 11과 같은 조건에서 해석된 결과이다. Fig. 12에서 e로 표시된 한쪽 게이트 위치의 절점에 있어 캐비티에 유입되는 유동량을 나타내고 있다.

며 충전이 완료되는 2.7sec까지 88~65cm³/s로 충전되어지고 있음을 알 수 있다. 보압이 작용하는 2.7~3sec.사이에서 캐비티에 유입되는 유동량은 약 44cm³/s에서 급격히 감소되어지고 3~9sec.까지 거의 0(zero)되는 결과를 나타내고 있으므로 보압이 시작되는 2.7sec. 이후 보압에 의해 계속해서 캐비티에 유동량을 보충하고 있는 결과를 알 수 있다.

Fig. 13은 Fig. 11과 같은 보압조건으로 해석된 결과이다. 유동의 최종 합류위치인 Fig. 8의 a,b,c,d 각 위치에서 고화층(forzen layer)은 성형 후 약 10sec.에서 급격히 증가되어지고 있으며 약 14sec.에서는 100% 고화되는 결과를 나타낸다. 따라서 보압은 고화가 급격히 증가되는 10sec.전에 캐비티에 작용되어야 하며 아직 미충전된 최종 충전위치에서 고화로 인한 수축량을 보충할 수 있어야 한다.

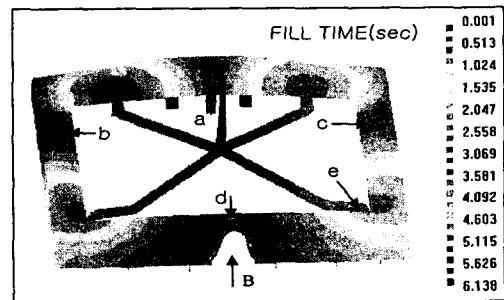


Fig. 14 Flow patterns obtained by the flow analysis for the cavity filling and packing phases with CASE I (corresponding to Fig. 8(a))

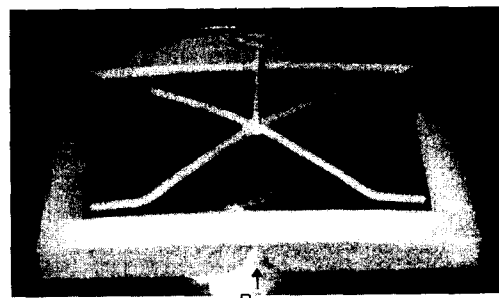


Fig. 15 Flow patterns obtained by the test shot for the cavity filling in the injection molding with the packing condition of CASE I

Fig. 14는 Fig. 8(a)과 같은 조건으로 충전해석과 동시에 보압해석을 Table 2의 CASE II보다 50% 압력이 낮은 CASE I 조건으로 설정하여 실시한 결과이다. 충

전해석결과 약 6.13sec.에서 최종 합류되는 B부분에서 미충전이 발생하였다. 동일한 조건에서 시험사출한 결과를 Fig. 15에 나타내었으며 유동해석결과와 같이 B지점에서 미충전이 확인되었다. 따라서, 보압조건인 Table 2의 CASE II보다 50% 보압이 낮은 CASE I의 조건 변화에 따라 미충전을 유발시키는 결과임을 확인할 수 있다.

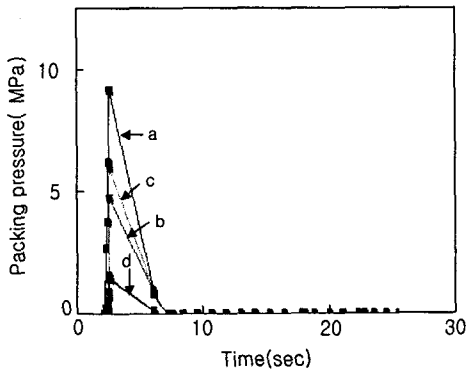


Fig. 16 Change in the packing pressure vs. the packing time obtained by the cavity packing analysis with the condition of CASE I (corresponding to Fig. 14)

Fig. 16은 Fig. 14와 같은 해석조건에서 작용된 보압의 상태를 나타낸 것이다. Fig. 8(a) 및 Fig. 14에서 표시된 a,b,c,d의 각 위치에 작용되는 보압은 최대 9~1.3MPa를 나타내고 있다. Fig. 11에서 나타난 27~17MPa와 비교하면 매우 낮은 보압이 작용함을 알 수 있으며, 약 7sec에서 더 이상 캐비티에 보압의 영향을 미치지 못하고 있는 결과를 알 수 있다.

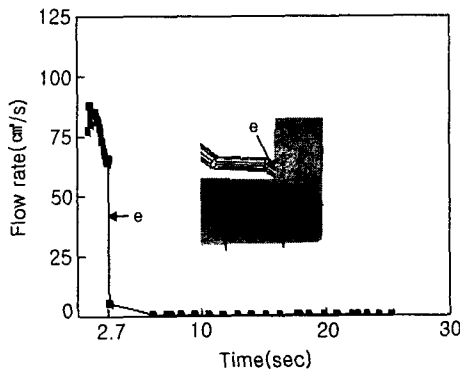


Fig. 17 Change in the flow rate vs. the filling and packing time obtained by the cavity packing analysis with the condition of CASE I (corresponding to Fig. 14)

Fig. 17은 Fig. 16과 같은 조건으로 Fig. 14에 표시

된 게이트 위치 e에서 캐비티에 유입되는 유동량을 나타낸 결과이며, Fig. 12와 비교하여 충전이 완료되는 2.7sec.까지 88~64cm³/s로 거의 동일하게 캐비티에 유입 충전되어지고 있다. 한편 보압이 작용하는 2.7~6sec.사이에서 캐비티에 유입되는 유동량은 약 6cm³/s로 급격히 감소되어 Fig. 12에 나타난 결과와 비교할 때 매우 낮게 작용함을 알 수 있다. 그러나 6sec.에서 유동량은 0(zero)되어 더 이상 캐비티에 영향을 끼치지 못하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 캐비티의 충전과정에서 보압과정으로 전환할 때 Fig. 16과 같이 보압이 매우 낮아 미충전된 최종 충전위치에 유동량을 전달시키지 못하게 되어 미충전(short shot)이 발생하는 결과라 할 수 있다.

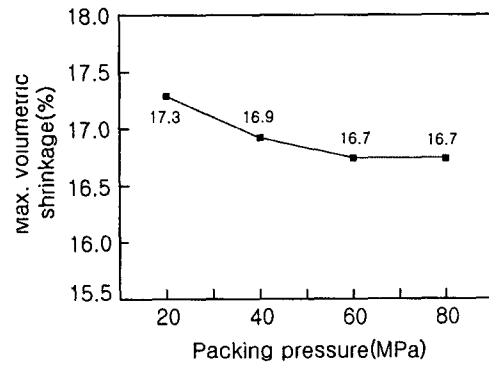


Fig. 18 Change in the max. volumetric shrinkage vs. the packing pressure estimated by the flow analysis for the filling and packing phases with the condition of CASE I, II, III, IV (corresponding to Fig. 8)

Fig. 18은 Fig. 8과 같은 조건으로 충전해석을 한 후 동시에 보압해석을 Table 2의 CASE I, II, III, IV 조건으로 각각 실시하고 보압에 따른 체적수축 결과를 나타낸 것이며, 보압의 증가에 따라 최대 체적수축은 감소하는 결과를 알 수 있다. 따라서 낮은 보압에서 체적수축이 크게 되어 고화에 따른 체적수축(volumetric shrinkage)량 만큼 계속해서 보압으로 보충시키지 못하여 미충전을 발생시키며 캐비티 내에서 체적수축이 미충전을 유발시키는 원인으로 작용함을 알 수 있다.

Fig. 19은 Fig. 18과 같은 조건으로 충전 및 보압 해석을 한 후 변형해석을 한 결과이다. 변형해석은 Fig. 19에서와 같이 성형품의 높이를 Z축으로 결정하고 보압조건 CASE I, II, III, IV에서 각각 Z축 방향의 변형을 해석하였다. Z축 방향의 변형량이 가장 적은 보압 조건인 CASE II에 의한 변형해석 결과를 나타내었다.

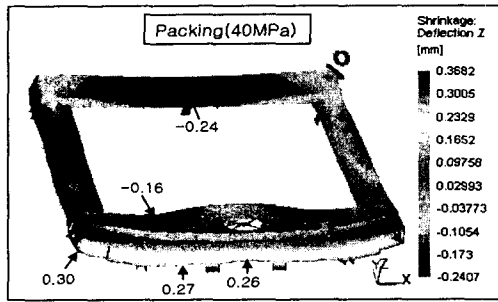


Fig. 19 Deflection estimated by the warpage analysis with the condition of CASE II (corresponding to Fig. 8)

밀면은 Z축 방향의 4모서리 부분에서 위쪽으로 상면은 게이트 부근과 최종 충전위치에서 아래쪽으로 변형되는 결과를 보여 주고 있다. 따라서 성형 후 변형은 온도의 영향을 크게 받는 게이트 부근, 유동이 변경되는 코너부분, 유동이 합류되는 위치에서 크게 나타나는 결과를 확인할 수 있다.

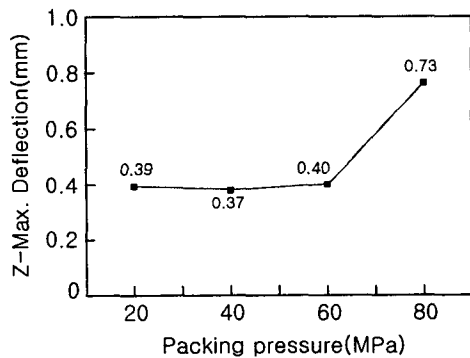


Fig. 20 Change in the max. deflection vs. the packing pressure estimated by the warpage analysis with the condition of CASE I, II, III, IV (corresponding to Fig. 8)

Fig. 20 은 Fig. 19에서 나타낸 Z축 방향의 변형 해석 결과이며, 40MPa로 설정된 CASE II가 가장 적은 변형을 나타내고 있다. 그러나 80MPa로 설정된 CASE IV 조건에서 변형량은 급격히 증가되는 현상을 볼 수 있고 보압의 증가에 따라 변형량은 증가함을 알 수 있다. 따라서 체적수축에 따른 미충전을 해소하기 위해 보압을 높게 설정하게 되면 성형변형은 보압에 의해 매우 증가되므로 보압은 사출성형공정에 많은 영향을 미치게 될 것이다.

## 6. 결론

사출성형에서 충전과정과 보압과정에 따른 성형 유동해석을 실시하고 온도와 압력에 의한 유동패턴

을 시험사출한 결과와 비교하였으며 보압과정에서 보압이 사출성형에 미치는 영향에 관해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 충전 완료위치에서 미충전 발생은 보압과정에서 미충전 위치에 낮은 보압 작용으로 캐비티에 유입되는 유동량이 매우 적으며, 고화가 진행되면서 체적수축에 대한 유동량을 보충시키지 못하여 발생되고 있음을 알 수 있었다.
- (2) 충전완료 후 고화가 진행되는 보압과정에서 발생하는 체적수축은 낮은 보압에서 크게 증가하며, 보압의 증가에 따라 체적수축은 감소되어지나 성형변형을 증가시키는 결과를 알 수 있었다.
- (3) 미충전을 해소하고 체적수축과 변형이 적은 사출성형은 보압과정에서 고화가 급격히 증가되기 전에 적정 보압(CASE II)이 전달되어 유동량을 보충시켜야 함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- (1) Gerd Pötsh, Walter Michaeli, "Injection Molding", Hanser/ Gardner, pp. 1~9, 1995.
- (2) Herbert Rees, "Injection Molding Technology", Hanser/ Gardner, pp. 13~25, 1994.
- (3) Louis Tredous, Yasuo Kurosaki, Isao Satoh, "Investigation of flow mark generation in polymer injection molding from a thermal engineering viewpoint", Thermal Science and Process Engineering, pp.713~718, 1997.
- (4) H.G Fritz, "Prediction of weld line strength in injection molded parts "Die Angewandte Makromolekulare Chemie 265, pp.75~81, 1999.
- (5) Garrett P. Gardner, Robert A. Malloy, "Use of the moving boundary molding technique to strengthen weld lines", pp. 685~691, ANTEC '96
- (6) Menges/Mohren, "How to Make Injection Molds", Carl Hanser Verlag Munich, pp. 131~165, 1993.
- (7) Gastrow, "Injection Molds", Carl Hanser Verlag Munich, pp. 1~16, 1993.
- (8) Klaus Stoeckert, "Mold-Making Handbook", Carl Hanser Verlag München Wien, pp. 23~40, 1983.
- (9) 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, "사출성형 CAE설계지침", 문운당, pp.173~219, 2001.
- (10) Perter Kennedy, "Flow Analysis of Injection Molds", Carl Hanser Verlag Munich Vienna New York, pp.41~108, 1995.