

## FAMILY MOLD 의 유동 밸런스와 금형 내압에 관한 연구

김태철\*, 이대근\*\*, 홍기복\*\*, 김영근\*\*, 박인수\*\*

### A Study on Flow Balance and Cavity Pressure in Family Mold

Tae Cheol Kim\*, Dae Keun Lee\*\*, Ki Bog Hong\*\*, Young Geun Kim\*\*, In Soo Park\*\*

#### ABSTRACT

Cavity pressure is a factor of what is occurring inside the mold and is used as one of the process parameters that control the overall injection molding cycle. The insight of cavity pressure is able to predict part quality and optimum process condition. In this paper, it is adapted ejector pin sensor to measure the cavity pressure and investigates the flow balance and the cavity pressure according to different runner thickness for adjusting the flow balance. Flow balance is very important to have not the poor results such as flash and warpage in the family mold. This paper predicted flow balance and cavity pressure using CAE analysis tool and compared with the test results. The results of analysis and test have a good agreement with the cavity pressure profile and flow pattern of the test.

**Key Words :** Cavity pressure (금형내압), Family mold(패밀리 금형), Ejector pin sensor(이젝터핀 센서), Flow balance(균일유동), Flash(플래시)

#### 1. 서론

최근 플라스틱 제품의 사출성형에 있어서 수지, 성형기, 공정조건 등 여러 요인들의 상호 작용으로 인한 복잡한 공정조건 가운데 발생하는 문제점들의 해결 및 성형품의 품질유지를 위하여 사출성형시의 공정조건을 실시간 모니터링 및 제어하는 시스템들이 적용되고 있다.

금형내압 측정시스템(cavity pressure measuring system)은 금형내에 압력센서를 장치하여 금형내 압력을 측정하고 최적의 성형을 위한 공정조건을 찾아내어 이 때의 금형내압 파형을 기준으로 하여 실시간으로 모니터링 하면서 성형품의 품질을 관리하는 시스템이다.<sup>(1),(2)</sup>

금형내압은 사출성형공정 중에서 금형내의 상태를 가장 잘 나타내어 주는 인자로서 사출성형의 전 공정을 제어하기 위한 변수로서 과거에도 다양한 방법으로 연구되어 왔다.<sup>(3),(5)</sup> Kamal 등은 충전 과정(filling phase)에서의 게이트 압력(cavity gate pressure)과 노즐 압력(nozzle pressure), 보압 과정(packing phase)에서의 peak 압력의 제어에 대하여 연구하였다.<sup>(3),(4)</sup> Natarajan 등은 다수개취 금형(multi-

cavity mold)에서 러너 밸런스에 따른 금형내압의 거동과 성형품의 품질에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.<sup>(5)</sup>

본 논문에서는 자동차 전장 부품인 정션 블록(junction block)의 내부에 조립되어 회로를 절연하는 절연판(insulation plate) 제품의 성형에 있어서 러너 밸런스에 따른 금형내압의 변화와 성형품의 품질에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 절연판 금형은 다수개취(multi cavity)인 동시에 각 성형품의 두께와 형상이 다른 패밀리 금형(family mold)이다. 따라서 러너 밸런스가 매우 중요하며, 유동 불균형에 의한 압력 및 온도 편차에 의한 미성형(short shot), 플래시(flash), 휨(warpage) 등의 품질 불량 발생할 수 있다. 절연판 금형의 시험 사출에서도 유동 불균형에 의해 각 캐비티내의 금형내압이 불균형하여 플래시가 발생하는 문제가 있었다.

본 논문에서는 절연판 금형의 사출성형시의 유동 밸런스와 금형내압과의 관계를 사출성형 소프트웨어인 MOLDFLOW MPI 3.1을 사용하여 유동 양상 및 금형내압을 예측하고, 이젝터핀 센서(ejector pin sensor)를 이용한 금형내압 측정시스템을 사용하여 금형 내에 걸리는 압력파형을 비교 분석하였다.

\* 한국단자공업(주) 생산기술본부 금형설계팀

\*\* 한국단자공업(주) 생산기술본부

## 2. 사출 성형 해석

### 2.1 해석 모델링

사출성형 해석을 위한 절연판 금형의 유한요소모델(finite element model)은 Fig. 1 과 같다. 모델링은 Pro/E 에서 3D 모델을 STL 파일 형식으로 변환하여 사출성형해석 소프트웨어인 MOLDFLOW MPI 3.1 에서 FUSION Mesh 로 모델링 하였다. 여기서, A, B, C 각 캐비티는 두께와 형상이 다른 패밀리 금형이다. 게이트 방식은 펀포인트 게이트를 적용하였으며, 각 캐비티마다 4 개소에 배치되어 있다. 또한 캐비티 레이아웃 상태와 각 캐비티간의 두께와 형상의 차이에 따른 유동의 불균형을 개선하기 위하여 "O" 표시부와 같이 러너의 두께(t)를 달리하면서 유동 밸런스를 조정할 수 있도록 하였다.

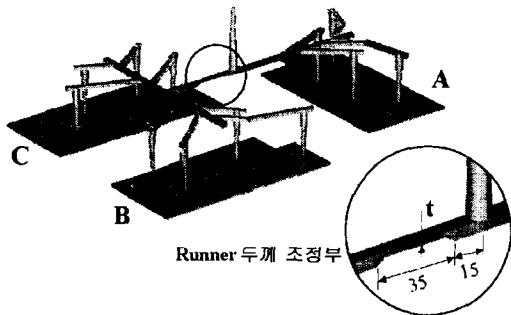


Fig. 1 Finite element model of insulation plate mold

### 2.2 해석 조건

Table 1 은 절연판 금형의 성형조건을 나타낸다. 또한, 유동 밸런스를 맞추기 위한 러너의 두께(t)는  $t = 5.0, 2.5, 1.7$  (mm)의 3 가지 Case 로 하여 각각 유동 및 보압 해석을 실시하였다.

Fig. 2 는 금형내압 측정을 위한 이젝터핀 센서의 위치를 나타낸다. 여기서, 센서의 위치는 수지의 최종 충전부에 위치시켜 각 캐비티 사이의 유동 밸런스 및 최종 충전시의 금형내압을 비교하기 위하여 Fig. 2 와 같이 선정하였다.

Table 1 Process conditions

Machine	ARBURG 200 ton Screw $\Phi = 55$ mm		
Material	PP + Talc 40%		
Melt temperature	230°C		
Mold temperature	40°C		
Injection time	3.5sec		
Cooling time	15sec		
Packing pressure	50 MPa	45 MPa	40 MPa
	1.5sec	1.0sec	0.5sec

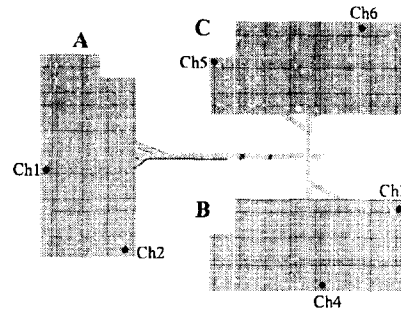


Fig. 2 Measuring points of cavity pressure

### 2.3 해석 결과

Table 1 의 성형조건과 러너의 두께(t)에 따른 성형 해석의 결과는 다음과 같다.

Fig. 3 은 러너의 두께  $t = 1.7$  mm 일 때의 성형 해석에서의 유동 양상과 실제 성형시의 유동 양상을 비교한 것이다. 해석과 실제의 유동 양상이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4 는 러너의 두께(t) 조정에 따른 3 가지 케이스에 대한 유동양상을 나타낸다. Fig. 3 에서도 알 수 있듯이 용융 수지가 캐비티 A 쪽으로 먼저 충전되나, 수지가 최종적으로 충전되는 부분 또한 캐비티 A 의 코너 부위로 나타났다. 이것은 캐비티 A 의 살 두께가 캐비티 B, C 에 비해 상대적으로 얇아 최종 충전부에 이르러 용융수지의 유동정체(hesitation)가 원인으로 나타났다. 따라서 캐비티 B, C 쪽의 러너의 두께(t)를 2.5, 1.7 (mm)로 조정함에 따라 각 캐비티의 유동 밸런스를 맞출 수 있었다.

Fig. 5 는 금형내압을 예측한 그래프이다. Fig. 5(a) 는 러너 두께( $t = 5.0$  mm)일 때, 캐비티 A 의 압력이 캐비티 B, C 의 압력에 비해 적게 걸림을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급했듯이 캐비티 A 가 상대적으로 살두께가 얇은데다가 유동정체로 인한 원인으로 판단된다.

반면에 러너 두께( $t = 2.5, 1.7$  mm)일 때, 캐비티 A 의 압력에 비해 캐비티 B, C 에 걸리는 압력이 감소하면서 각 캐비티의 압력편차가 줄어드는 것을 예측할 수 있다.

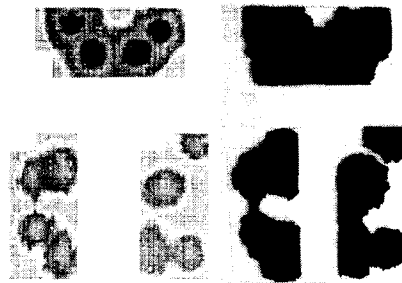


Fig. 3 Fill pattern of analysis and test

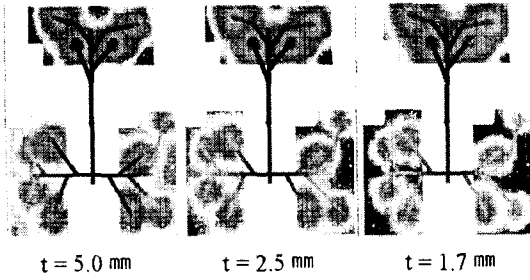
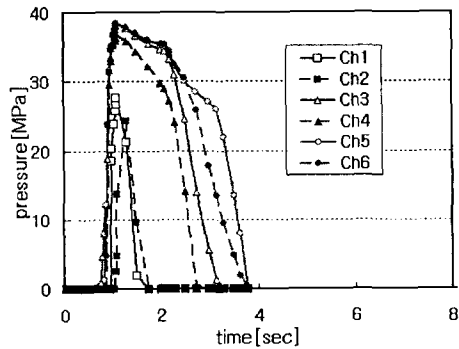
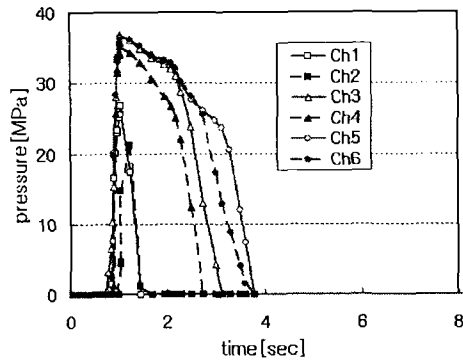


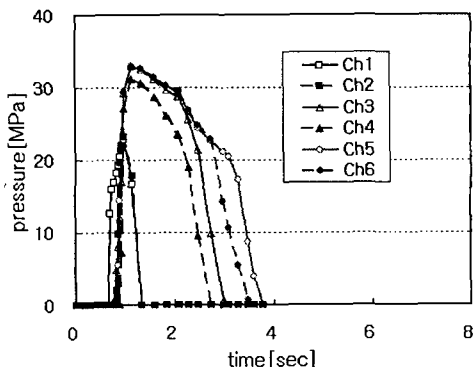
Fig. 4 Fill pattern according to runner thickness



(a) at runner thickness(t) = 5.0 mm



(b) at runner thickness(t) = 2.5 mm



(c) at runner thickness(t) = 1.7 mm

Fig. 5 Analysis results of cavity pressure profiles

### 3. 금형 내압 테스트

#### 3.1 내압측정 방법

금형내압 측정원리는 캐비티 내로 주입된 용융수지가 이젝터핀 센서가 장착된 곳을 지나면서 압력을 가하면, 압력은 이젝터핀 센서의 머리 부분에 내장되어 있는 압력감지 소자로 전달되고, 증폭기(EP AMP)를 통해 데이터가 단말기에 그래프로 출력되고, 기록장치에 저장된다.

금형내압을 측정하기 위한 시스템의 장착은 Fig. 6 과 같이 금형을 열어 이젝터핀 센서를 장착하고, 조립하여 성형기에 셋팅한 후, 증폭기와 컴퓨터를 연결하여 성형과정에서의 압력을 측정하면 된다. 이때, 가장 주의해야 할 점은 이젝터핀 센서가 이젝터 구멍과 부드럽게 슬립하여야 한다는 것이다. 따라서 이젝터핀 센서와 이젝터 구멍 사이에는 적절한 공차를 유지하여야 한다. Table 2 는 절연판 금형의 이젝터핀 센서와 이젝터 구멍 사이의 공차를 나타낸다.

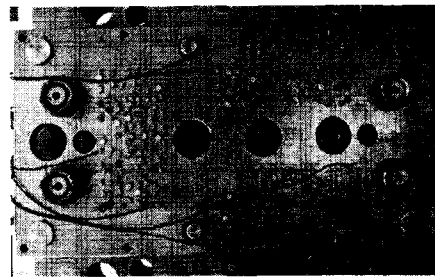


Fig. 6 Set-up of ejector pin sensor

Table. 2 Clearances of Ejector Pin and Ejector Hole

	Dimension	Clearance
Ejector Pin	2.996 mm	0.009 mm
Ejector Hole	3.005 mm	

#### 3.2 내압측정 결과

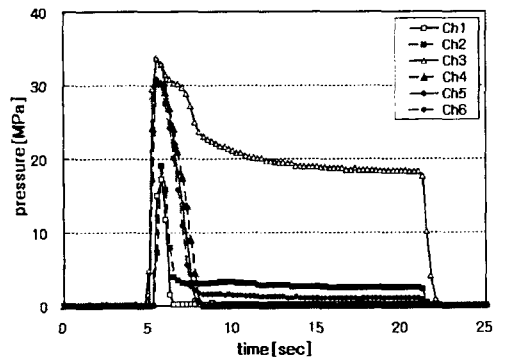
사출성형 해석과 마찬가지로 성형 조건 Table 1 과 러너의 두께(t)의 3 가지 케이스에 대하여 금형내압 테스트를 각각 실시하였다. 각각의 케이스에 대한 금형내압 측정결과는 Fig. 7 과 같다.

Fig. 7 (a), (b)의 그래프 알 수 있듯이 캐비티 A 와 캐비티 B, C 사이에 압력편차가 발생하고 있음을 알 수 있다.

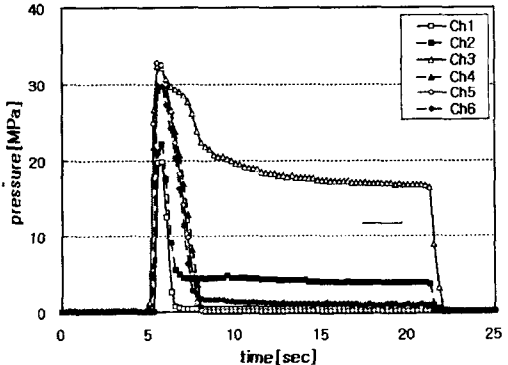
러너의 두께(t)에 따른 금형내압 과정을 살펴보면 t = 5.0 mm, 2.5 mm일 때, 캐비티 A의 압력이 캐비티 B, C의 압력보다 약 10 MPa 정도 적게 작용하고 있음을 알 수 있다. 이것은 유동이 불균형하기 때문이

며, 캐비티 A가 충전되는 동안, 캐비티 B, C에서는 계속해서 압력을 받게 됨에 따라 압력편차가 발생하는 것이다. 또한, 압력 편차에 의해 캐비티 B, C에서 성형품에 플래시가 발생하였다.

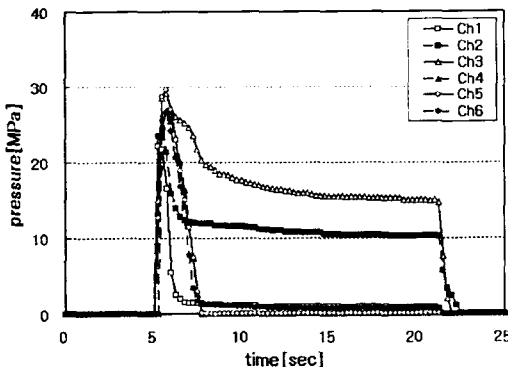
t = 1.7 mm 일 때, 캐비티 A와 캐비티 B, C 사이의 압력 편차가 상당히 감소하였다. 또한, (a), (b)와 비교해 볼 때, 캐비티 A의 압력은 증가하고, 캐비티 B, C의 압력은 감소하여 압력의 균형을 맞춰가는 것을 알 수 있다. 또한, 이 때의 성형품에서는 플래시가 발생하지 않았다.



(a) at runner thickness(t) = 5.0 mm



(b) at runner thickness(t) = 2.5 mm



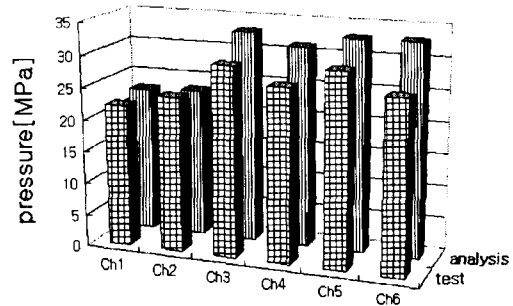
(c) at runner thickness(t) = 1.7 mm

Fig. 7 Test results of cavity pressure profiles

### 3.3 해석 및 테스트 결과의 비교

해석과 테스트의 금형내압 그래프를 비교하여 보면, 해석과 테스트에서 러너 두께(t)에 따른 금형내압의 결과가 유사하였다. 그러나 해석에서는 게이트의 고화시점 이후 압력이 "0"으로 떨어지는데, 테스트에서는 게이트가 고화된 이후에도 잔압이 남아 있었다. 그 원인은 수지의 응고수축에 의한 이완작용이 거의 없기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 8은 러너의 두께(t)가 1.7 mm일 때의 해석결과와 테스트의 피크압력(peak pressure)을 비교한 것이다. 해석과 테스트의 피크압력이 거의 유사함을 알 수 있다.



	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6
test	22.2	24.1	29.5	26.9	29.9	26.7
analysis	22.8	23.2	33.0	31.2	33.0	33.0

Fig. 8 Comparison analysis with test on peak pressure

### 4. 결론

패밀리 금형의 사출성형에 있어서 유동 밸런스와 금형내압의 거동 및 성형품에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 성형해석과 테스트를 통하여 절연판 금형의 러너 두께(t)를 조정하였을 때, 유동 밸런스와 금형내압 파형을 비교, 분석하였다. 이를 통하여 적절한 유동 밸런스와 금형내압 파형을 나타내는 러너의 두께(t)를 찾을 수 있었다.

2) 러너의 두께(t)를 조정함으로써 유동 밸런스를 맞출 수 있었고, 유동 불균형 및 금형내압 편차에 의해 발생하던 플래시 불량률 제거할 수 있었다

3) 해석과 테스트의 결과를 비교함으로써 해석의 신뢰성을 검토하였고, 본 제품과 유사한 제품의 적용시 유효한 결과를 도출할 수 있다고 사료된다.

### 참고문헌

1. Mold Marshalling System Manual

2. Isiwata, Y., "금형내압 센서에 의한 성형공정의 감시", *Plastics Science*, pp. 151-154, 2000.
3. D. Abu Fara, W.I. Patterson, M.R. Kamal, "Cavity Pressure Control in Injection Molding During Filling, Packing, and Holding", *ANTEC'87*, pp. 221 - 224, 1987.
4. F. Gao, W.I. Patterson, M.R. Kamal, "Adaptive Control of Cavity Pressure During Filling", *ANTEC'93*, pp. 565 - 569, 1993.
5. V. Natarajan, C.H. Chien, F.S. Lai, " Investigation of Cavity-to-Cavity Variations in Multi-Cavity Tools", *ANTEC'99*, pp. 641 - 645, 1999.