

Family 금형의 충전 균형을 위한 실험적 연구

박형필^{#,2}, 차백순¹, 이병옥²

An Experimental Study for the Filling Balance of the Family Mold

H. P. Park, B. S. Cha, B. O. Rhee

(Received September 9, 2005)

Abstract

It is well known that the family-mold has an advantage to reduce the cost for production and mold. However, defects are frequently occurred by over packing the smaller volume cavity during molding, especially when the family-mold has a volumetric difference between two cavities. In this study, the cavity-filling imbalance was confirmed by the temperature and the pressure sensors, and a variable-runner system was developed for balancing the cavity-filling. Experiments of balancing the cavity filling was carried out in the family-mold with the variable-runner system, and balancing the cavity-filling was confirmed by changing the cross-sectional area of a runner in the variable-runner system with the temperature and pressure sensors. The influence of the injection speed to the balancing-capability of the variable-runner system was also examined in the experiment.

Key Words : Family Mold, Filling Balance, Variable Runner, Cavity Pressure Sensor, Cavity Temperature Sensor, Closed Loop Control, Injection Speed

1. 서 론

패밀리 금형은 최종 제품을 구성하는 각각의 부품을 1 회의 공정으로 한 벌의 금형에서 생산하는 방법으로 다품종 대량생산에 적합한 생산방식이다. 하지만 이 방식은 제품의 형상 및 크기가 다르기 때문에 제품 성형에 있어서 각각의 캐비티에 균일한 압력이 전달되지 않고 상대적으로 체적이 작아 먼저 충전된 캐비티로 높은 압력이 발생하여 제품에 플래쉬(flash) 및 휨(warpage) 등의 불량 발생을 야기하는 문제가 있다. 지금까지는 이러한 문제점들을 개선하기 위해서, 사출 성형 CAE 를 이용하여 충전 불균형을 미리 예측하고,

캐비티의 충전 균형을 위한 각각의 러너(runner) 및 게이트(gate) 크기를 계산하였다[1~2]. 금형 설계자는 사출 성형 CAE 를 통해 계산된 결과를 금형 설계 및 제작에 반영하였으나, 계산된 치수가 소수점 이하의 결과를 가지기 때문에 기계가공을 통한 정확한 가공이 어려웠다. 따라서 금형 설계자들은 사출 성형 CAE 로 계산된 결과에 가장 가까운 표준공구 치수로 러너 및 게이트를 설계하여 왔으며, 금형의 충전불균형은 피할 수 없는 문제로 알려져 있었다.

충전 불균형의 원인은 크게 성형측면과 가공측면 두 가지로 볼 수 있다. 성형측면에서는 실제 금형 내부의 수지 흐름이 수지온도, 사출속도, 금

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

2. 아주대학교 기계공학과

교신저자 : 한국생산기술연구원 정밀금형팀

E-mail : php76@kitech.re.kr

형온도 등의 변화로 인한 유변학적 거동 차이로 발생된다. 이러한 이유로 사출 성형 해석을 통하여 충전 균형을 이루었다 할지라도 캐비티 충전에는 차이가 발생하게 된다. 또한 가공측면에서는 금형가공 시 발생하는 가공오차 및 금형설계 시 주어지는 설계공차로 인하여 실질적인 품질 균형을 확보하기는 어려운 실정이다[3].

캐비티 내부의 충전 불균형 현상을 규명하기 위한 연구는 오래 전부터 이루어 졌지만, 본격적인 연구는 1990 년대 후반부터 시작되었다. 이전까지는 금형 내의 충전 불균형이 금형의 불균일한 온도 분포, 금형 형판의 변형, 게이트 치수 차이 등으로 인하여 발생하는 것으로 알려져 있었다. 그러나 Beaumont 는 기하학적으로 균형을 갖춘 러너 시스템이라 할지라도 사출 성형 중에 항상 발생하는 충전 불균형의 원인 및 해결을 위한 연구를 하였다[4]. 그는 이러한 현상의 원인이 러너 시스템을 흐르는 수지가 각각의 캐비티로 분기 되면서 발생하는 관성 효과와 러너에서의 불균일한 온도 및 전달을 분포로 인한 수지흐름 중심부의 변화 때문에 발생함을 밝혀 내었다. 그는 충전 불균형을 해결하기 위해서 러너 시스템에 Overtum 장치를 적용하여 러너 분기점을 통과한 수지 흐름의 중심부를 재 정렬 시킴으로써 캐비티의 충전 불균형 해소를 위한 장치를 제시하였다.

Coulter 는 러너에 밸브 시스템을 적용하여 실시간으로 캐비티 압력, 온도, 충전시간 등을 측정하고, 멀티 캐비티 내부의 충전 제어 및 제품 품질 향상에 관한 연구를 하였다[5]. 이 시스템은 다양한 형상의 밸브 및 밸브의 회전각도 변화를 이용하여 수지의 유동을 제어하여 최적의 공정 조건을 빠르게 설정하고, 이를 통해 생산비용 절감 및 품질을 향상시키는 방법이지만, 산업현장 적용에는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫 번째는 밸브 시스템 회전으로 수지의 유동을 제어하기 때문에, 수지 유동으로 발생된 높은 압력으로 인하여 조절된 밸브 시스템의 회전각이 쉽게 변화되는 문제와, 두 번째로 제품양상에 있어서 러너부에 설치된 밸브 시스템의 회전이 러너에 노치(notch)를 형성하여 제품 취출 시 성형된 러너가 절단될 수 있는 문제점을 가지고 있어 실제 산업현장 적용에 어려움이 예상된다.

이렇듯 캐비티의 충전 불균형 해결을 위한 장치들은 사용상에 제약이 따랐으며, 특히 금형구조

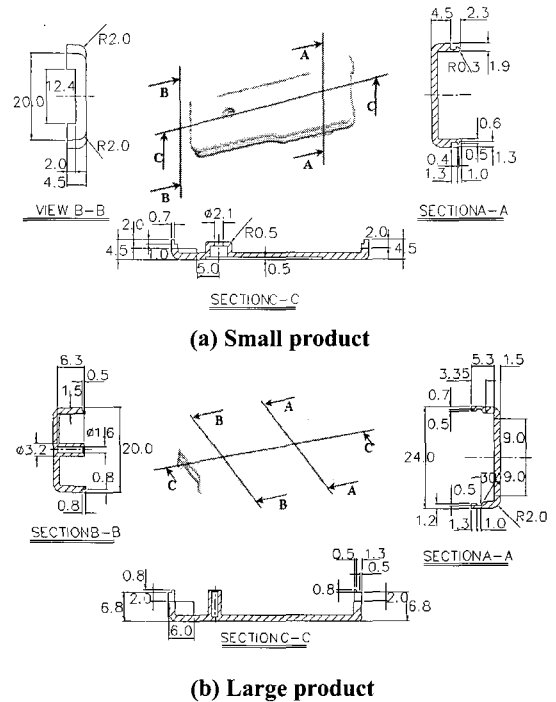


Fig. 1 The shape and dimension of product

가 복잡해지는 문제로 현장에서는 사용하기 어려운 부분이 있었다. 따라서 산업현장에서는 현장경험 및 사출 성형해석을 통한 러너 및 게이트의 적정 크기를 알아본 후에 이를 금형제작에 반영하여 러너 설계를 수행하였다. 이로 인해서 제작된 사출금형에서는 충전 불균형이 항상 발생하여 왔으며 이를 해결하기 위한 방법으로 지금까지는 보통 시행착오를 거쳐 충전 불균형 정도를 확인하고, 그 후에 금형의 러너부위를 추가적으로 가공하여 충전 균형을 이루도록 하여왔다. 이와 같은 이유로 금형 제작에 많은 시간과 비용이 들어갈 수밖에 없었으며, 또한 충전 불균형의 발생이 적을 경우에는 충전 균형을 위한 금형 가공을 무시하는 경우도 있었다.

따라서 본 연구에서는 패밀리 금형에 발생하는 사출 성형 공정 중의 충전 불균형 해소를 위한 가변 러너 시스템을 개발하여, 이 시스템의 적용 가능성을 검증 하고자 하였다. 이를 위한 방법으로 패밀리 금형 내에 설치된 캐비티 압력 및 온도 센서를 이용하여 사출 성형 공정 중의 수지 충전 현상을 측정하였으며, 측정된 결과를 이용하여 성형품의 불량현상을 판단하도록 하였다. 또한 개발된 가변 러너 조절 장치를 패밀리 금형에 적

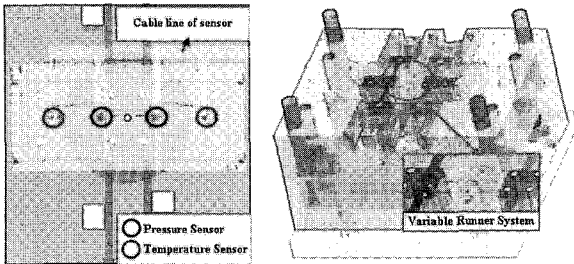


Fig. 2 3D family mold design for installation of pressure and temperature sensor

용하여 가변 러너 시스템 적용에 따른 급형 내부의 충전 현상 및 충전 균형 효과를 확인하여 시스템의 적용 범위를 알아보았다.

2. 실험

2.1 실험급형 및 장비

실험급형은 Fig. 1 과 같이 제품 체적이 각각 1.78cm^3 , 2.47cm^3 인 형상이 다른 2 개의 캐비티를 가지는 패밀리 급형으로 두 제품이 결합하여 하나의 완제품을 구성하는 전형적인 패밀리 급형 구조로 되어있다. 제품에는 나사 체결을 위한 보스(boss)와 후크(hook)를 형성하고 있으며, 성형품의 후처리 공정을 고려하여 서브마린(submarine) 게이트를 적용함으로써 제품과 게이트가 취출 시에 자동적으로 분리되도록 설계되었다. 또한, 성형품 외관에 게이트 절단자국이 남지 않도록 하기 위하여 급형내부에 2 차 러너를 설치하고 서브마린 게이트를 2 차 러너 말단부에 접속시켜 간접주입 시키도록 구성되어 있다[7~8]. 사출성형 중의 캐비티 내부 정보를 얻기 위하여 Priamus 사의 압력 센서(Type 6001B) 및 온도센서(Type 4001A)를 사용하였으며, 이를 위하여 급형 캐비티의 고정측에 센서홀을 가공하였다. 본 실험 급형은 기존에 센서의 위치를 고려하지 않고 급형제작을 하였기 때문에 자동측에는 센서 장착을 위한 공간이 이젝터 핀(ejector pin) 위치로 인하여 제약을 받게 되었다. 따라서 구조상 제약이 없는 고정측으로 센서를 설치하였다. 그러나, 실제 현장 적용에서는 제품의 외관 품질에 영향을 주는 고정측으로의 센서 설치의 피하는 것이 좋다[Fig. 2].

캐비티 내부 센서 설치 위치를 살펴보면, 압력 센서는 충전 중에 많은 데이터를 얻을 수 있도록 게이트 근처에 설치 하였다. 온도 센서는 급형의

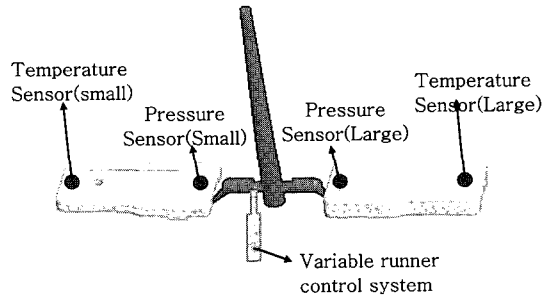


Fig. 3 3D model and positions of cavity sensors and variable runner control

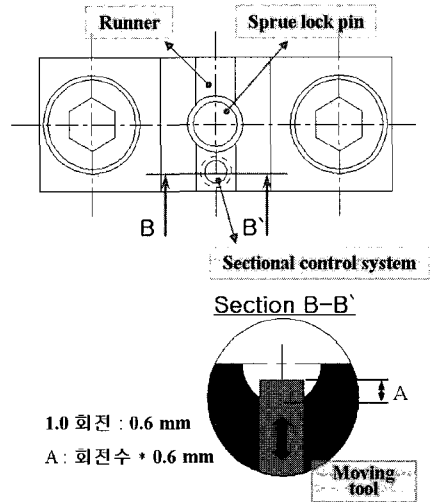


Fig. 4 2D drawing of variable runner system

표면온도 측정, 수지의 충전현상 감지 및 자동보압절환을 위하여 Fig. 3 과 같이 각 캐비티의 충전 말단부에 설치하도록 하였으며 압력 센서 보다 응답속도가 빠르기 때문에, 본 연구에서는 수지도달 시간 측정에 활용하였다[9~12].

2.2 가변 러너 장치

내부에 충전되는 수지흐름을 제어하기 위하여 급형의 일부 러너영역을 포켓(pocket)가공 하고, 가공된 영역을 인서트(insert) 방식의 가변 러너 장치로 대처하였다. Fig. 4 에는 가변 러너 형상과 러너의 단면적을 쉽게 조절할 수 있는 $\text{Ø}2.5\text{mm}$ 의 가변 러너 조절핀이 설치 된 위치 및 단면도를 나타내고 있다. 가변 러너 핀에는 피치(pitch) 0.6mm 의 나사산을 가공하였다. 그 이유는 나사의 원리를 이용하여 회전에 따른 직선운동거리를

Table 1 Relationship between number of revolution and the cross-sectional area of runner

Rotation Cycle No.	Cross – sectional area of Runner (%)
Rotation 0	100
Rotation 0.5	95.1
Rotation 1.0	87.5
Rotation 1.5	79.8
Rotation 2.0	72.2
Rotation 2.5	64.6
Rotation 3.0	56.9
Rotation 3.5	49.3
Rotation 4.0	41.6

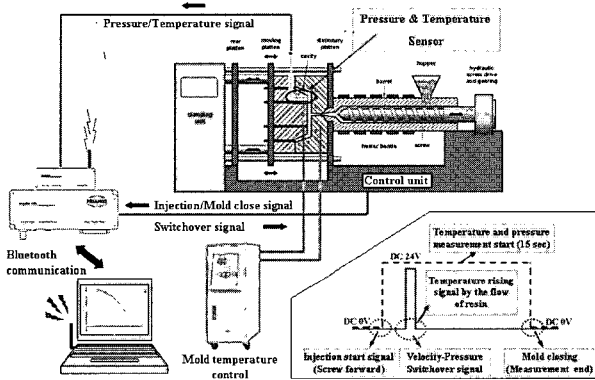


Fig. 5 Schematics of closed loop control system

쉽게 제어 하여, 단면조절에 따른 변화를 쉽게 계산하기 위해서 이다. Table 1 에는 단면조절 변화에 따른 러너 감소율을 나타내었다.

2.3 사출성형실험

사출 성형기 제어부의 전기신호와 Priamus 사의 Multi DAQ(Type 8101B) 장비 연동을 위한 작업을 수행하였다. 이것은 Multi DAQ 장비에 24V 의 전원공급, 센서의 신호수집을 위한 사출시작(trigger) 신호, 그리고 온도센서를 이용한 보압절환 ON/OFF 신호를 얻기 위해서 이다. 이와 같은 작업은 Closed-Loop 제어 시스템 구성을 통한 신뢰성 있는 실험을 진행하기 위함이었다.

압력센서는 사출시작부터 종료까지 신호를 유지한 뒤에는 다음 성형에서 초기상태로 신호 수집을 할 수 있도록 센서의 방전(discharge)이 필요하다. Fig. 5 는 압력센서의 초기상태 유지를 위해

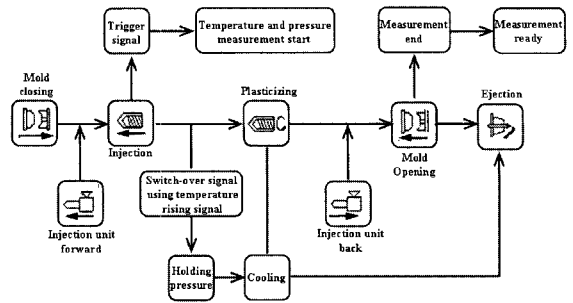


Fig. 6 Flowchart of injection molding and process monitoring

서 사출 성형기 제어부에 설치된 릴레이(relay) 장치 및 자동 신호 체계와 전체 시스템의 구성도 및 실제 실험에 사용된 장비를 보여 주고 있다.

Fig. 6 은 공정 흐름도를 나타낸 것으로 사출 성형기의 노즐 전진 및 형폐가 완료된 뒤에는 스크류 전진이 시작되면 사출이 시작된다. 이때 스크류 전진이 의한 사출시작 신호를 Multi DAQ 장비로 보내어 캐비티 내에 설치된 센서로부터 측정 데이터를 읽어 들이기 시작한다. 측정에 사용된 센서의 응답속도는 온도센서의 경우 4-10ms 의 응답시간을 보이며, 압력센서는 이보다는 늦은 응답시간을 보인다. 수집되는 데이터는 A/D Converter 를 통하여 Analog 에서 Digital 데이터로 변환하고 블루투스(bluetooth) 장치를 통하여 컴퓨터와 무선 통신(radio communication)을 하게 된다. 또한 실시간으로 컴퓨터를 통하여 측정값을 모니터링 및 저장하고, 이때 온도 센서에서 캐비티 내부의 수지 유입을 감지 하게 되면 발생된 신호는 사출 성형기의 제어부에 설치된 릴레이 장치를 작동시킨다. 릴레이 장치를 통해서 전해지는 전기신호는 사출 성형기 제어부의 보압절환을 강제적으로 작동 시키게 된다. 따라서 캐비티 내부의 온도 센서 장착은 보압이 작용하는 시점을 일정하게 유지할 수 있고, 변화 요인에 능동적으로 대처 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 보압공정이 끝난 뒤에는 계량과 냉각이 동시에 이루어지며, 그 후에 제품 취출을 위한 형개가 이루어지면 측정은 종료 되도록 구성되어 있으며, 이때 압력 센서는 다음 공정의 측정을 초기상태에서 할 수 있도록 방전이 이루어지게 된다.

실험에 사용된 수지는 LG 화학의 ABS HI-121H 수지를 사용하였으며, 금형온도 조절기는 부여 템

Ⓢ : Small product (1.78 cm³)
 Ⓛ : Large product (2.47 cm³)

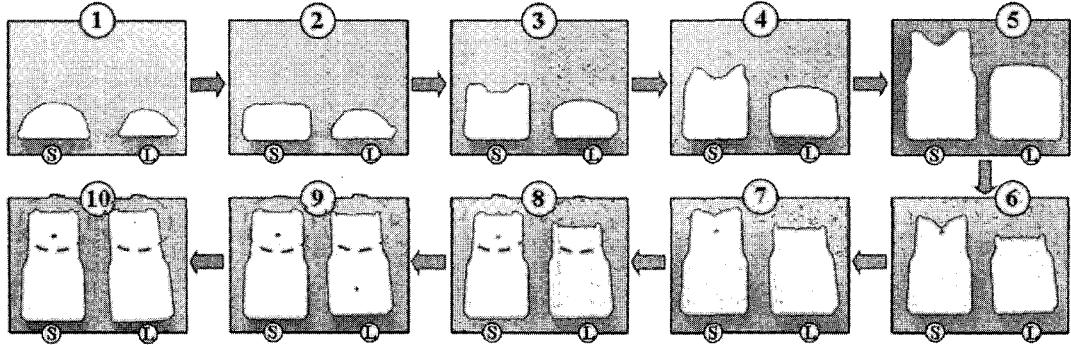


Fig. 7 Short shot experiment of family mold product using ABS without the variable runner control

Table 2 Injection molding conditions

Factor	Unit	Molding condition
Melt temp.	(°C)	220
Mold temp.	(°C)	40
Injection speed	(%)	20/50/70/90
Hold pressure	(bar)	45
Holding Time	(sec)	3.0
Cooling Time	(sec)	12.0

프콘의 BYTC-101S(semi mold type)를 사용하여 금형온도를 40도로 유지 하였다. 사출성형기는 최대 사출압력 2,520kg/cm², 사출률 75cm³/sec, 형체력 50ton 인 자동보압절환 기능이 장착된 우진 세렉스의 Selex s50을 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 패밀리 금형의 가변 러너 조절 전의 충전 불균형을 알아 보기 위해서 미성형 실험을 진행 하였으며, Fig. 7 에 실험 결과를 나타내었다. Fig. 7 의 ⑧, ⑨, ⑩ 사진을 보면 ⑧의 점선 표시부와 같이 제품의 체적이 작은 성형품이 먼저 충전이 완료되고, 체적이 큰 성형품의 경우는 아직 충전이 진행되고 있어 ⑩의 최종 충전이 완료 될 때까지 체적이 작은 성형품에는 과충전이 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 미성형 실험에서 나타난 충전 불균형을 해소하기 위하여 과충전이 발생하는 체적이 작은 성형품의 러너 단면적을 가변 러너 조절을 통한 수지 유입 유량을 제어 함으로써, 각 캐비티의 충전 균형을 위한 실험을 Table 2 의 성형조건으로 진행 하였다.

또한 가변 러너 조절을 통하여 두 캐비티의 충전 균형 시점을 캐비티 센서를 통하여 판단하고, 충전 균형을 이룬 시점에서 사출속도 만을 변화시키며 실험을 진행하도록 하였다. 이를 위하여 사출속도를 20%, 50%, 70%, 90%로 변화하며 실험을 진행하였다.

3.1 가변 러너 조절에 따른 온도변화

Table 1의 조건으로 러너의 단면을 점차 줄여가며 캐비티 내부 온도변화를 관찰 하였다. Fig. 8 (a), (b), (c)는 러너의 단면 감소에 따른 캐비티 내부의 온도변화를 보여 주고 있다. 각 캐비티 초기온도 차이는 Fig. 1에서 보듯이 성형품의 높이가 다르기 때문에, 성형품 표면과 금형에 가공된 냉각채널과의 높이 차이로 인하여 나타난 것이다. Fig. 8 (a)는 가변 러너 조절 전(R 0)으로 각 캐비티의 온도센서 감지시기가 다른 것을 보여 주고 있다. 캐비티 말단부에 설치된 온도센서에서 감지되는 두 캐비티의 충전시간 차이는 0.03초로, 이것은 제품의 충전완료시간인 약 0.52초 대비 5.7%를 차지 한다 따라서, 이 시간 차이 동안 체적이 작은 캐비티에 과충전이 발생하게 되는 것이다.

캐비티의 충전 균형을 맞추기 위하여 러너의 단면적을 순차적으로 줄여가며 온도센서에서의 수지유입 감지를 동시에 맞추기 위한 충전 균형 실험을 진행 하였다. Fig. 8 (b)는 가변 러너 조절을 통한 러너 단면적 56.9%(R 3.0)에서 캐비티의 충전이 0.52초에서 충전 균형이 효과적으로 이루어 졌음을 보여준다. Fig. 8 (c)는 충전 균형이 이루어진 후에 단면 조절을 계속하여 러너 단면적 41.6%(R 4.0)일 때의 온도변화를 보여주고 있다.

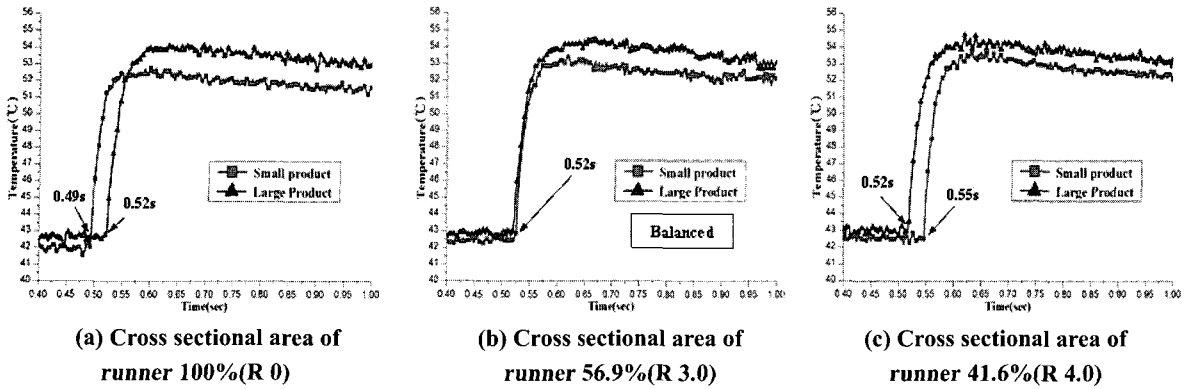


Fig. 8 Cavity temperature change according to the variable runner control

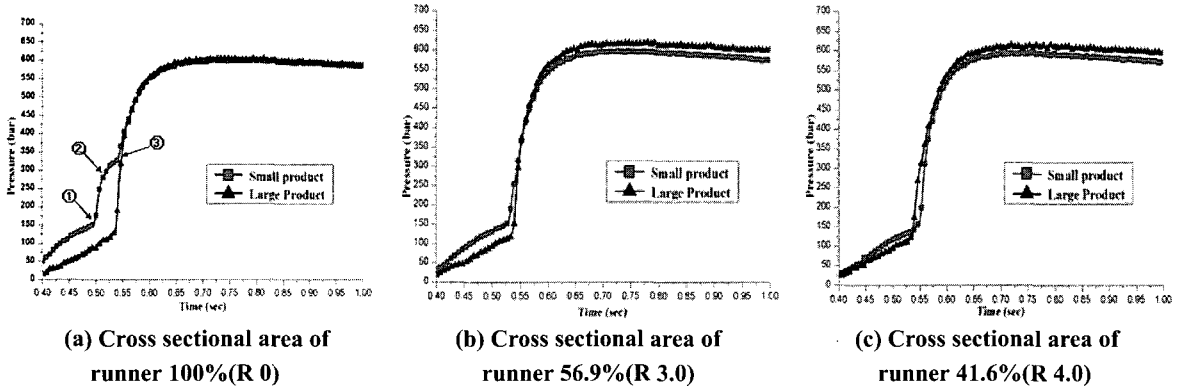


Fig. 9 Cavity pressure change according to the variable runner control

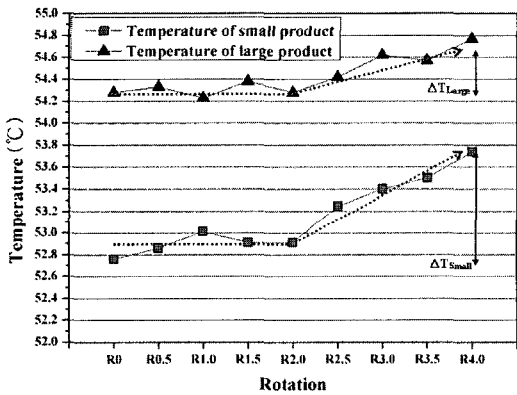


Fig.10 Maximum temperatures in each cavity according to variable runner control

충진 균형 전에는 체적이 작은 성형품의 온도가 먼저 감지 되었지만, 이 후에는 오히려 체적이 큰 성형품의 온도가 먼저 감지 되는 것을 알 수 있었다. 이 현상은 단면 조절을 통하여 체적이 작

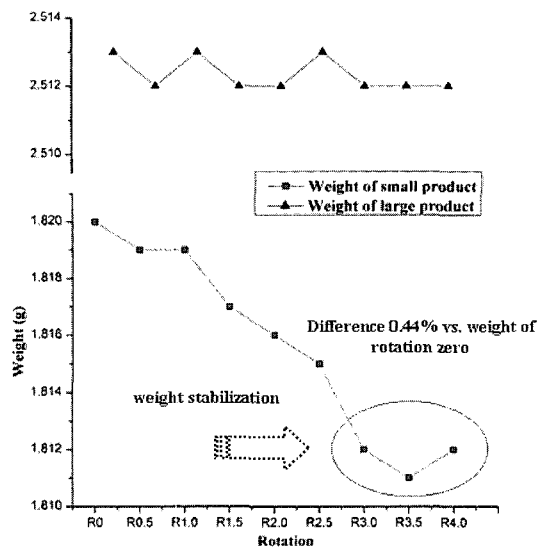


Fig.11 Product weights in each cavity according to variable runner control

은 성형품의 유량이 급격히 줄어들어 일어난 현상으로 판단 된다.

캐비티 온도 측정 결과 체적이 작은 성형품의 단면 조절이 진행 될수록 점차 유량이 줄어들어 충전 시간이 길어졌으며, 체적이 큰 성형품의 온도 그래프에서는 체적이 작은 성형품에서의 가변 러너 조절 영향이 크게 나타나지 않았다.

3.2 가변 러너 조절에 따른 압력변화

러너 단면 조절에 따른 압력변화를 Fig. 9 (a), (b), (c)에 나타내었다. Fig. 9 (a)는 가변 러너 조절 전(R 0)으로써 압력변화가 이단으로 켜지며 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 압력변화는 체적이 작은 성형품 내부의 수지 흐름현상을 잘 보여주고 있으며 1, 2, 3 차의 기울기 변화가 발생함을 알 수 있다. 1 차 기울기 변화는 성형품 단면적의 변화로 유동 저항이 발생하여 급격하게 압력이 증가됨을 알 수 있으며, 2 차는 체적이 작은 성형품의 충전이 완료되어 체적이 작은 성형품에 설치된 온도 센서에 의해서 자동보압절환이 일어났음을 알 수 있다. 체적이 작은 성형품의 2 차 기울기 변화는 보압이 형성되고 있는 시점에서 체적이 큰 성형품에 미충전이 발생하였기 때문에 보압의 영향이 체적이 큰 성형품으로 전달되어 그래프의 파형이 보압 절환 형태의 그래프로 나타나지 않고 사출이 계속되는 선형적 증가 형태로 나타남을 알 수 있다. 따라서 이러한 그래프를 통하여 체적이 작은 성형품에 과충전이 형성되고 있음을 알 수 있었다. 또한, 3 차 기울기 변화는 체적이 큰 성형품의 충전이 완료되고, 두 캐비티에 보압이 같이 작용하여 그래프가 서로 유사한 기울기를 가지며 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 8 (a)의 온도센서가 수지를 감지한 시점과 Fig. 9 (a)의 수지 유입의 감지 후 보압절환 시점을 비교해보면 두 센서의 초기 감지 신호 시간이 차이를 보이는데, 이 현상은 캐비티 충전시에 압력센서로의 압력 전달이 댐핑(damping) 효과로 인하여 감소되었기 때문이다. Fig. 9 (b)는 가변 러너 조절을 통한 러너 단면적 56.9%(R 3.0)으로 이루어짐에 따라 압력 그래프가 선형적으로 증가하여 1 차 기울기 변화만을 보임을 확인하였다. 이것은 체적이 작은 성형품에 형성되던 과보압이 점차 해소되어 캐비티 내부의 수지 유동저항이 일정하게 형성되고 있음을 의미하며, 또한 두 캐비티의 압력 증가 시점이 동일해지는 것을 볼 수 있었다. 가변 러너

조절을 통한 러너 단면적 41.6%(R 4.0)에서는 Fig. 9 (c)에 보듯이 체적이 큰 성형품에 압력이 먼저 작용하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 온도센서에서 감지된 신호와 마찬가지로 체적이 큰 성형품이 먼저 충전되었기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

캐비티 압력 측정 결과 온도 측정결과 마찬가지로 체적이 큰 성형품 압력 변화가 거의 없었으며, 체적이 작은 성형품의 압력 변화가 발생함을 확인하였다. 따라서 가변 러너 조절의 영향이 조절이 없는 다른 캐비티에 큰 영향을 미치지 않고 개별적인 충전 제어가 가능함을 확인하였다.

캐비티 온도 및 압력 센서를 통하여 가변 러너 조절이 캐비티의 충전 균형을 효과적으로 이룰 수 있음을 확인 할 수 있었으며, 센서를 통해 측정된 러너 단면적 56.9%(R 3.0)에서의 충전 균형 결과를 미성형 실험을 통하여 확인하도록 하였다. Fig. 12 에 미성형 결과를 보여주고 있으며, 이 결과를 통하여 캐비티의 충전 균형이 이루어졌음을 확인하였다.

3.3 가변 러너 조절에 따른 전달가열 현상

가변 러너 조절이 진행됨에 따라 Fig. 10에서 보듯이 온도센서로 감지된 수지온도가 체적이 큰 성형품의 경우에는 온도 증가가 크게 나타나지 않지만, 체적이 작은 성형품에서 점차 커짐을 알 수 있었다. 그러나, 수지온도가 고온임에도 불구하고 최대온도가 이에 비해 낮은 이유는 수지가 유입되며 금형의 벽면과 접촉하여 빠르게 온도를 잃었기 때문에 나타나는 현상이다.

따라서 이를 통하여 수지온도가 증가하는 원인이 러너 단면 조절에 따른 수지의 유입되는 유량 변화뿐만 아니라 전달율(shear rate) 증가로 인한 전달 가열(shear heating)이 발생하여 수지 점도에 영향을 주어 나타난 현상으로 판단하였다.

3.4 가변 러너 조절에 따른 중량변화

가변 러너 조절에 따른 성형품의 과충전 현상을 확인 하기 위하여 성형품 중량을 측정하였다. Fig.11 에는 각 조건 당 총 10 개의 성형품 중에 5 개의 성형품에 대하여 중량을 측정한 뒤에 이를 중량평균값 그래프로 나타내었다. 충전 균형이 이루어진 러너 단면 56.9%(R 3.0) 이후에는 성형품 중량이 안정적으로 형성됨을 알 수 있으며, 충전 균형 전에는 체적이 작은 캐비티의 과충전 영향

Ⓢ : Small product (1.78 cm³)
 Ⓛ : Large product (2.47 cm³)

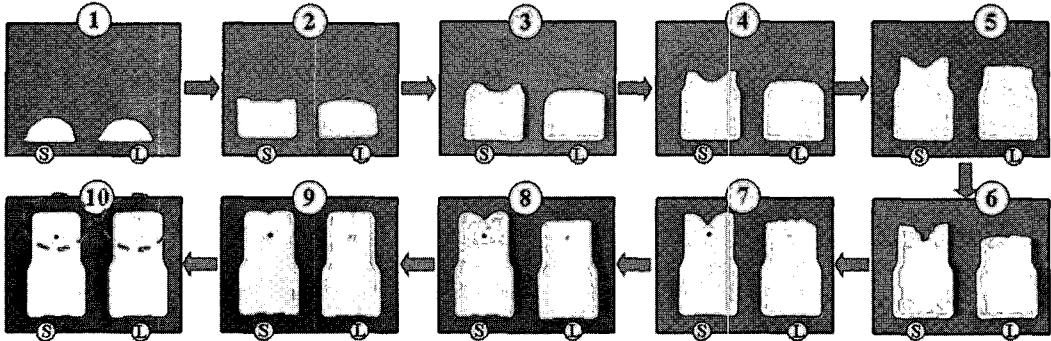


Fig.12 Short shot experiment of family mold product using ABS when filling balance was achieved with the variable runner control

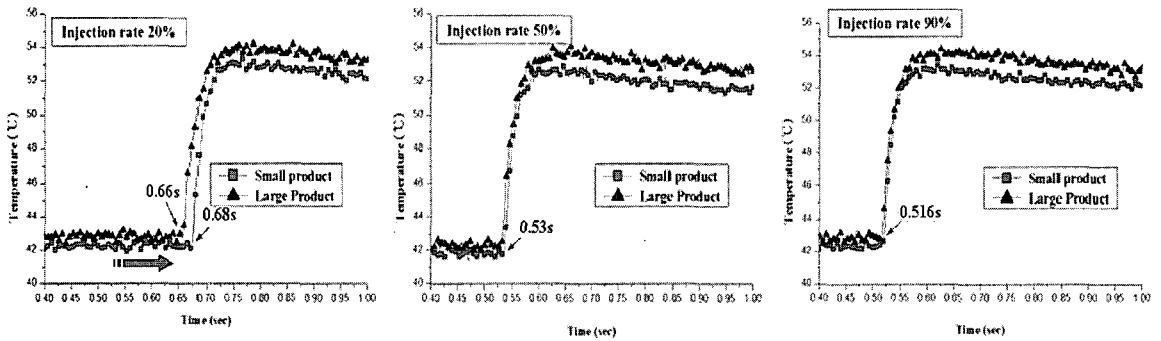


Fig.13 The cavity temperature change according to various injection rates

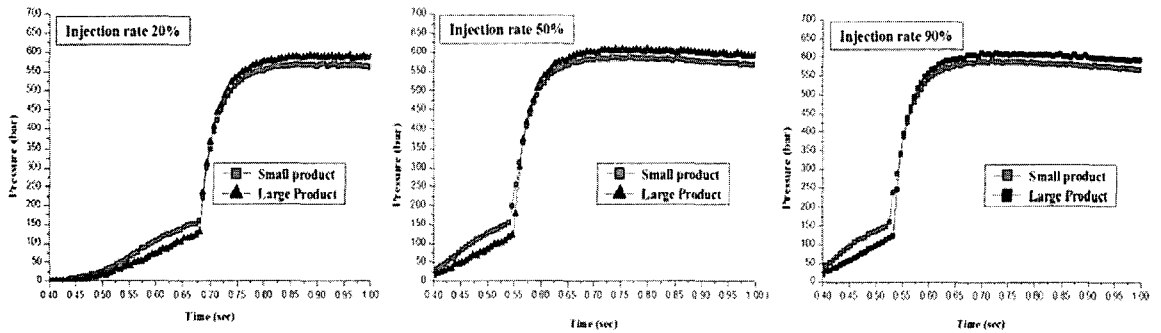


Fig.14 The cavity pressure change according to various injection rates

으로 중량이 높게 형성되고 있음을 확인하였다. 가변 러너 조절 전인 러너 단면 100%와 조절 후 충전 균형을 이룬 러너 단면 56.9%(R 3.0)의 중량 관계를 나타내면 중량 대비 약 0.44%의 차이가 있다.

따라서 러너 단면 조절이 과충진의 영향과 밀접한 관계를 보이는 불량현상인 플래쉬, 잔류응력 중량편차, 등을 해소 할 수 있으며, 금형 수명 또한 연장 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3.5 사출속도 변화가 충전 균형에 미치는 영향

충전 균형이 이루어진 조건에서 사출 성형 조건이 충전 균형에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 2의 사출속도 조건으로 실험을 진행하였다. Fig. 13에서 보듯이 사출속도 변화에 따라 충전 균형에 변화가 발생함을 알 수 있었다. 사출속도가 기준조건인 70% Fig. 8 (b)보다 빠른 90%일 때와 기준보다 느린 50%에서는 사출속도가 충전 균형에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 사출속도가 20%로 느릴 때는 충전이 불균형하게 형성됨을 알 수 있었다.

Fig. 14의 압력 변화의 경우 사출속도 50%이상 일 때는 온도변화와 마찬가지로 충전 불균형 현상이 거의 나타나지 않았지만, 사출속도 20%로 낮아질 때는 온도변화와 다른 결과를 나타내었다. 이것은 낮은 사출 속도로 인해서 고화가 진행되는 수지가 느리게 충전되어, 캐비티 충전 뒤에 발생하는 압력이 댐핑(damping) 효과로 인해 압력센서로 원활히 전달되지 못하여 발생한 것으로 판단된다.

사출속도의 영향으로 충전 불균형이 발생한 원인은 수지 흐름이 가변 러너를 통과하며 발생하는 전단율(shear rate) 증가로 인하여 전단 가열(shear heating)이 발생되어 가변 러너의 수지 유입 저항 감소 및 점도저하를 일으킨 것으로 사료된다. 이러한 이유로 사출속도가 50%이상인 조건에서는 충전 불균형에 미치는 효과가 미약하지만, 사출속도가 50%이하인 경우에는 가변 러너 구간에서의 수지가 점도 및 마찰열에 의한 저항효과를 크게 받지 않게 되어 두 캐비티 간의 충전 불균형이 크게 나타나는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 사출금형의 공정 중에 항상 발생하는 충전 불균형 문제를 해소하기 위해서 산업 현장에 적용이 가능한 가변 러너 시스템을 개발하였다. 개발된 가변 러너 시스템의 성능을 평가하기 위한 방법으로 충전 불균형 문제를 항상 가지고 있는 패밀리 금형에 온도 및 압력 센서를 설치하여, 이를 통해 충전 불균형을 분석하고, 가변 러너 시스템이 금형 내부에 발생하는 충전 불균형 해소에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 사출 성형의 공정조건 변화에 따라 발생하는 충전

불균형을 분석하여, 가변 러너 시스템 적용에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 패밀리 금형에서 발생하는 충전 불균형을 가변 러너 시스템을 이용하여 해소하였으며, 이를 통해 가변 러너 시스템의 효과를 확인하였다.

(2) 캐비티 온도 및 압력 센서를 이용한 사출 성형 모니터링을 통해 충전 균형 효과를 명확히 판단 할 수 있었다.

(3) 사출속도의 변화가 충전 불균형에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었으며, 개발된 가변 러너 시스템이 사출속도가 느린 경우에 더욱 효과적이며 빠른 경우에는 그 효과가 둔감함을 알 수 있었다.

(4) 사출속도의 영향에 대해 조사한 결과, 가변 러너 시스템의 충전 균형 조절 능력이 사출속도가 빠른 경우 보다는 느린 경우에 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

(5) 가변 러너 조절 및 사출속도 변화로 인하여 발생하는 전단가열(shear heating)현상이 성형품 충전에 영향을 주는 것을 캐비티의 최대 온도측정을 통해 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Moldflow™ software, trademark of Moldflow Pty, Ltd., Victoria, Australia.
- [2] 권태헌, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 2001, 사출성형 CAE 설계지침, 문운당.
- [3] 정영득, 구분홍, 2005, 사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계, 인티비전.
- [4] J. Beaumont & J. Young, 1997, Mold filling imbalances in geometrically balanced runner systems, Journal of Injection Molding Technology, Vol.1, No.3, pp. 133~135.
- [5] J. P. Coulter, 2003, Cavity specific control of melt flow during injection molding processes, Conference proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Washington, D.C., Vol. 3.
- [6] 이성출, 2001, 플라스틱사출 성형 조건 control 법, 기전연구사.
- [7] 조웅식, 1997, 사출성형 금형설계기술, 기전연구사.
- [8] Tim A. Osswald et al., 2001, Injection molding handbook, HANSER.

- [9] M. R. Kamal, et al., 1987, Dynamics and control of pressure in the injection molding of thermoplastics, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 27, pp. 1403~1410.
- [10] D. Ksmer & P. Barkan, 1997, The process capability of multi-cavity pressure control for the injection molding process, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 37, No. 11, pp. 1880~1895.
- [11] S. Orzechowski, et al., 1998, A Process Monitoring and Control System for Injection Molding using Nozzle-based Pressure and Temperature Sensors, *SPE ANTEC*, Vol. 1.
- [12] W. I. Patterson, 1990, Mold temperature measurement and control, *SPE ANTEC*, pp. 227~232.
- [13] 강철민, 정영득, 한규택, 2004, 다수캐비티 사출금형에서 성형 인자가 충전 불균형에 미치는 영향, 한국소성가공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 54~57.