

지르코니아(ZrO_2)분말을 이용한 시계케이스의 세라믹 사출성형 곽태수* (요업(세라믹)기술원), 신호용 (요업(세라믹)기술원), 임종인(요업(세라믹)기술원)

Ceramic injection molding of the watch case composed by zirconia(ZrO_2) powder

T. S. Kwak(KICET), H. Y. Shin (KICET), J. I. Lim(KICET)

ABSTRACT

This study has focused on manufacturing technique of powder injection molding of watch case which made from zirconia powder. A series of computer simulation process was applied to prediction of the flow pattern in the inside of the mould and defects as weld line. The material properties of melted feedstock inclusive of the PVT graph and thermal viscosity flowage properties were measured for obtaining the input data in computer simulation. Also, molding experiment was conducted and the results of experiment showed that good agreement with simulation results for flow pattern and weld line location. On the other hand, gravity and inertia effect have an influence on velocity of melt front because of high density of ceramic powder particles in powder injection molding against the polymer injection molding process. In the experiment, the position of melt front was compared with upper gate and lower gate position. The gravity and inertia effect could be confirmed in the experimental results.

Key Words : Powder Injection Molding(분말사출성형), Flow Patten(유동패턴), Weld Line(웰드라인), Watch Case(시계케이스)

1. 서론

분말사출성형은 금속이나 세라믹 분말에 적절한 고분자 결합제를 혼합하여 유동성과 성형성을 부여하고, 사출성형공정을 거쳐 원하는 부품형상을 만드는 제조법이다. 고분자 결합제는 열 용매 그리고 모세관 추출법에 기초한 몇 가지 방법을 통하여 성형품의 내부로부터 제거되며, 결합제가 제거된 반제품은 소결 공정을 거쳐 완성 부품이 된다. 따라서, 분말사출성형은 난가공성 재료나 주조로는 불가능한 합금 부품을 제조할 수 있으며, 우수한 정밀도를 갖는 3 차원 복잡형상을 대량으로 생산이 가능한 장점이 있다. 분말사출성형 공정은 고분자 재료의 사출성형에 비해 제팅 또는 웰드와 같은 고점도로 인한 결함이 발생하기 쉽다. 따라서 금형을 설계하기 위해서는 설계 단계에서 발견되지 않았던 문제점들도 성형공정 중이나 이후에 발생할 수 있다. 용융된 수지가 금형 내에서 분류(分流)하였다가 합류(合流)할 때 웰드 결함이 발생하기 쉬우며 점성계수가 높으므로 고압의 사출압력과 체결력이 필요하다. 뿐만 아니라 높은 열전도계수로 인해 열전달 현상에 민감하여 사출온도나 압력, 금형 온도 등 사출 조건을 최적화하는데 많은 어려움이 따른다. 컴퓨터를 이용한 사출성형공정의 시뮬레이션은

결함을 예측하고 충전공정 중에 분말 혼합체의 유동현상을 분석하여 사출성형 조건과 부품의 형상, 게이트 위치와 크기 등을 최적화하는데 필요한 기초데이터로 활용이 가능하다. 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션은 금형을 설계하고 사출성형 조건을 결정할 때 시행착오를 최소화 함으로서 제조기간 단축과 많은 비용절감의 효과를 얻을 수 있으므로 보다 쉽게 부품을 개발, 생산할 수 있다.

본 연구는 시계케이스의 분말사출 성형에 있어서 성형품의 치수정밀도, 잔류응력 및 기계적 특성에 가장 직결되는 사출공정을 상용화된 유동해석 프로그램을 이용하여 사출과정 중 발생하는 유동특성과 웰드라인 결함의 위치 예측 등, 용융상태의 재료거동을 가시화하여 금형의 구조설계를 위한 데이터와 최적 성형조건을 위한 데이터를 확보한다. 또한 해석결과와 비교하기 위해 금형을 제작하고 사출성형 실험을 통해 성형품의 유동 패턴과 웰드라인의 위치 등을 비교 분석하여 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 부여하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 분말사출성형 실험

지르코니아 분말로 사출 성형되는 시계케이스는

외관 불량과 함께 일정한 치수정밀도가 요구되는 한편, 3 차원 형상을 가지고 있으므로 금형 내의 다양한 유변학적 특성을 볼 수 있는 부품이다. 실험에서 사용된 사출성형기는 세라믹 또는 금속 분말을 이용한 혼합체를 전용으로 사용가능한 장비로서 스크류와 실린더는 내마모, 내식 특성을 강화한 NISSEI 사의 NEX500 으로 형체력 490kN, 최대사출압력 255MPa 이다. 사출성형 실험을 위한 성형조건은 시뮬레이션 결과와 비교할 수 있도록 Table 1 과 같이 선정되었다.

Table 1 Injection molding conditions for experiment and simulation

Injection Pressure [kgf/cm ²]	Holding Pressure [kgf/cm ²]	Injection Temp. [°C]	Mold Temp. [°C]	Injection time [sec]
900	750	200	40	1.07

Table1 의 사출온도를 비롯한 성형조건은 지르코니아 혼합체의 물성실험을 통해 얻은 데이터를 기초로 하고 있다. Fig.1 과 Fig.2 는 본 연구에서 물성 실험을 통해 얻은 그래프로서 온도에 따른 용융점도의 변화와 혼합체의 PVT 선도를 각각 보여주고 있다.

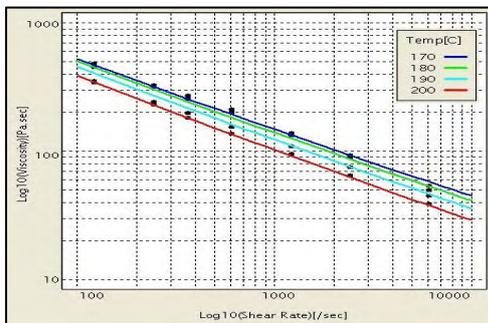


Fig. 1 Viscosity testing results of melted feedstock

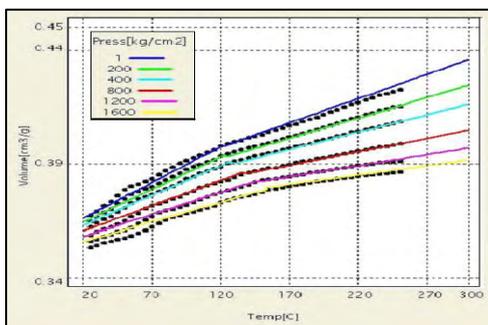


Fig. 2 PVT testing results of melted feedstock

공급원료가 사출성형기의 실린더내 스크류에 의

해 이송되면서 실린더 외부의 가열장치에 의해 용융되고 노즐을 통과하여 금형내의 캐비티로 주입된다. 금형내의 충전과정을 관찰 하는 것은 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 필요한 과정이다. 충전과정을 관찰하기 위한 실험에서는 충전시간에 변화를 주어 캐비티 내의 혼합체가 주입되는 과정을 단계별로 가시화할 수 있으며 웰드 결합의 위치를 실험으로 확인하고자 한다. Fig.3 은 실험을 위해 설계된 시계케이스 금형의 상/하캐비티 사진과 조립도이다.

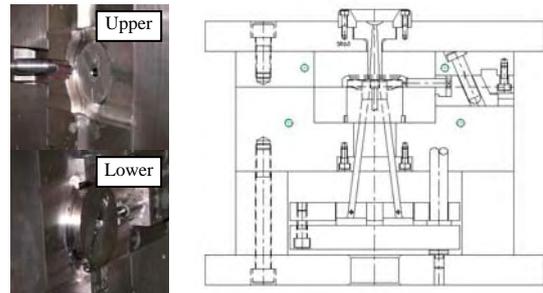


Fig. 3 Pictures and drawing of injection molding mould

2.2 사출성형 시뮬레이션

본 연구에서는 사출성형 시뮬레이션을 수행하기 위해서 상용 프로그램인 Toray 사의 3D-TIMON 을 사용하였다. 요소생성 프로그램을 통해 육면체 형태의 Hexa Mesh 를 작성하고 물성실험을 통해 얻은 입력 값을 이용하여 유동패턴과 보압/냉각, 뒤튤림 해석 등을 수행하였다. 본 프로그램의 해석방정식은 (1)~(4)와 같이 일반적인 유체역학 기초식을 기초로 하고 있으며 지배방정식으로서 연속식, 운동방정식, 에너지방정식을 사용한다. 또한 압축항, 관성항, 중력항을 생략하고 정상 상태로 가정하고 있으며 유속의 각 성분은 압력 구배에 비례한다는 포텐셜 유동을 적용하고 있다. 수치 모사에서 사용되는 점도 관련 수식은 (5)의 6 정수 모델을 사용한다.

$$\rho C_p = \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \mu \gamma^2 \quad (1)$$

$$\gamma^2 = \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

$$U_i = -C_f(\eta, X_i) \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (i=1,2,3) \quad (3)$$

$$C_f = \int_0^H \frac{z}{\eta} dz \quad (4)$$

$$L_n(\eta) = A_1 + A_2 L_n(\gamma) + A_3 T + A_4 \{L_n(\gamma)\}^2 + A_5 L_n(\gamma) T + A_6 T^2 \quad (5)$$

이러한 과정들을 통하여 유동패턴과 보압/냉각 공정에서의 수축, 변형 등의 사출공정 중 발생하는 성형 특성을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 사출 과정 중 가장 큰 영향을 미치는 충전과정을 중심으로 해석된 결과와 성형품을 비교 분석한다.



Fig. 4 Element model and delivery system for watch case simulation

3. 결과 및 고찰

본 절에서는 시뮬레이션과 실험에 의한 유동패턴의 일치 여부, 웰드 결합 및 전단응력 분포 등을 예측하고 유동실험 결과에 대해서 비교하는 한편, 게이트의 상/하 위치에 따라 유동 선단에 미치는 중력의 영향에 대해 실험을 통해 확인한다.

3.1 유동실험 및 해석결과

시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 금형내 지르코니아 혼합체의 유동패턴을 시뮬레이션하고 실험과 비교하였다. 실험에서는 사출성형기에서 충전완료 시간을 체크하고 속도/압력 전환 위치를 변경하여 사출 시간을 단계별로 조정할 수 있었다. Fig.5는 시뮬레이션에 의한 전단응력 분포를 계산한 결과이다. 금형내 유동 중 전단응력이 높아지면 표면 불량이 나타나게 된다. 시뮬레이션 결과에 따르면 캐비티 내부는 0.4MPa 이하로 나타나므로 표면은 양호 할 것으로 예상된다.

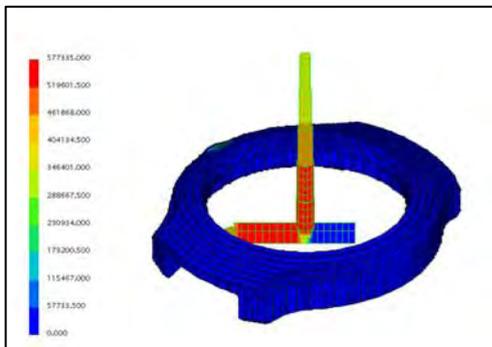


Fig. 5 Element model and delivery system for watch case simulation

시뮬레이션 결과를 확인하기 위해서 시계의 시침과 날짜를 조정하는 핀이 삽입되는 홀 부위에 대해서 실험 결과와 비교 하였다. 실험 및 시뮬레이션 결과에 따르면 핀주위를 돌아서 합류할 때 하부의 폭이 좁은 곳에서 유동이 늦고 상대적으로 상부는 유량이 많고 유동선단의 진행이 빠른 것을 확인할 수 있었다(Fig.6, Fig.7).



Fig. 6 The flow pattern around pin in experiment.

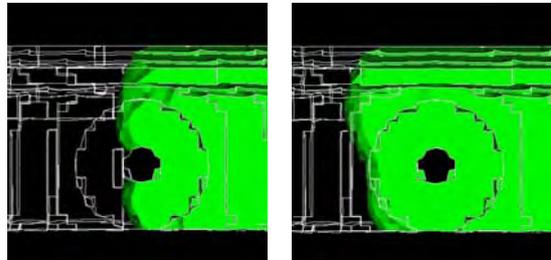


Fig. 7 The result of around pin in numerical simulation

3.2 웰드라인

성형품은 충전과정 중 온도, 압력 및 체적수축 등 다양한 성형조건에 의해 영향을 받고 있다. 웰드는 상대적으로 낮은 온도의 유동선단이 합류하는 과정에서 발생한다. Fig. 8(a)는 사출성형 직후 나타나는 웰드 결합 부위를 찍은 SEM 사진이며 Fig.8 (b)는 탈지/소결 후에 웰드가 결합으로 나타나는 것을 찍은 사진이다. 웰드는 완성품에 노치효과를 유발하여 강도저하와 외관불량의 주요한 원인이 된다.

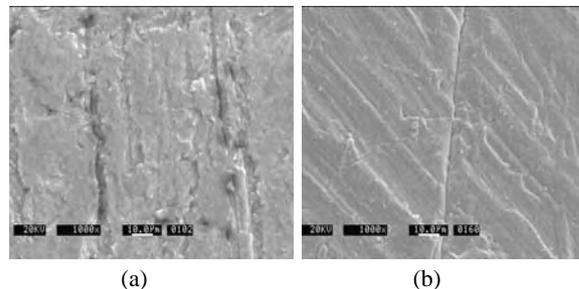


Fig. 8 SEM picture after(a) injection molding and after(b) sintering for created weld line

이러한 웰드 결합은 성형변수인 금형의 온도를 높이고 압력강하, 게이트의 크기조정, 유동선단이

넓고 충전 속도가 일정하도록 유동밸런스를 맞추어서 제거 할 수 있다. Fig.9 는 웰드 생성에 있어서 실험과 시뮬레이션결과를 비교한 것이다. 시뮬레이션에서 예측한 웰드의 위치는 실험 결과와 정확하게 일치하는 것을 확인하였다.

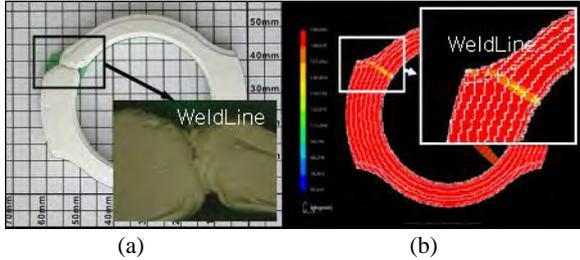


Fig. 9 Weld line location by experiment(a) and weld line location predicted by simulation(b)

3.3 중력의 영향

세라믹 분말사출성형은 성형조건에 따른 영향 외에 고밀도의 금속 또는 세라믹 입자로 인해 성형 재료의 금형 내 주입 시 중력 및 관성력의 영향이 상대적으로 크다. 본 절에서는 게이트의 위치를 상하로 전환시켜 유동선단을 예측하고 비교 함으로서 가압 주입 시 성형재료의 충전과정 가시화를 통해 그 효과를 확인하고 수치모사를 통한 유동해석 결과와 비교하였다.

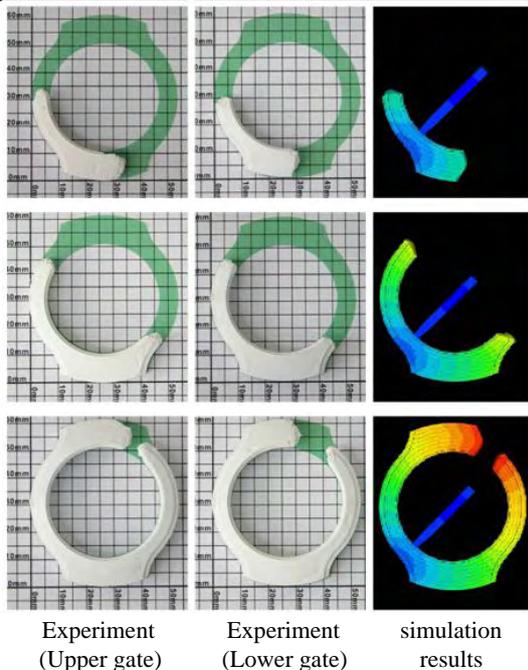


Fig . 10 Flow experiment and simulation results

Fig.10 은 게이트의 위치에 따른 유동선단을 비교하고 시뮬레이션 결과와 비교한 것이다. 하부 게이트에서 상부로 충전되는 경우 유동 선단은 상부 게이트에 비해 느리게 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 사용한 프로그램은 중력과 관성력항을 무시하고 있으므로 게이트 위치에 따른 유동선단을 예측하는데 한계가 있었으나 웰드의 위치를 예측하는데 있어서 중력 및 관성력에 의한 영향은 확인하기 어려웠다.

4. 결론

본 연구는 지르코니아 분말사출성형에 있어서 시뮬레이션을 활용하여 금형 설계 및 성형조건을 예측하고 실험을 통해 재료의 유변학적 특성을 검증 하므로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)지르코니아 혼합체의 사출성형 공정을 시뮬레이션 하기 위해 재료의 물성실험을 수행하고 시뮬레이션과 실험결과를 비교한 결과, 금형 내 주입시 재료의 유동선단은 시뮬레이션과 잘 일치하는 것을 확인하였다.

2)시뮬레이션을 통해 웰드결함 발생이 예상되는 위치를 계산하고 실험을 통해 검증 함으로서 결함 부위를 정확하게 계산이 가능함을 알 수 있었다.

3)분말사출성형에 있어서 중력항의 영향을 확인 하기 위해 게이트의 위치를 상하로 전환시켜 실험한 결과, 지르코니아 분말과 같이 고밀도의 재료는 중력항을 고려할 필요가 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해 확보한 재료물성으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 결함 부위를 예측하고 금형의 구조설계 및 성형조건을 선정하는데 유용하게 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 하태권, 성환진, 안상호, 장영원, "분말 사출 성형 기술," 한국소성가공학회 논문집, Vol.12. No.6, pp. 521-528, 2003
2. 권태현, 강태곤, "분말사출성형 충전공정에 대한 수치모사 모델," 한국분말야금학회지, Vol.9, No.4, pp. 1225-7591, 2002
3. 김현필, 김용조, "효과적인 웰드라인 제어를 위한 사출성형 유동해석," 한국공작기계학회 논문집, Vol.10, No.2, pp.64-72, 2001