

분말사출성형의 수치모사 (CAE in PIM)

포항공과대학교 기계공학과 권태헌, *강태곤

1. 서 론

분말사출성형(Powder Injection Molding, PIM)은 분말과 고분자 결합체를 혼합하여 사출 성형 공정을 이용하여 성형체를 생산한 후 결합체 제거와 소결공정을 거쳐 최종 제품을 생산하는 기술이다[1]. 일련의 공정 중에서 사출성형 공정은 최종 소결품의 품질을 결정하는 중요한 공정이 된다. 특히 용융상태의 혼합체가 금형 내부의 빈 공간을 채우는 충전공정이 분말사출성형에서는 특히 중요하다. 따라서 이러한 과정에 대한 이해를 위해서는 공정 중 발생하는 열유동현상에 대한 이해는 필수적이며 이를 가능하게 하는 것이 바로 CAE 시스템이라고 할 수 있다.

분말사출성형에 사용되는 재료는 일반적인 열가소성 수지와는 다르게 항복 응력이나 미끄러짐 현상과 같은 독특한 유변학적 특성을 보인다고 알려져 있다[2]. 따라서 유한요소법을 이용한 CAE 시스템에도 이와 같은 재료의 특성이 반영되어야만 실제 현상에 가까운 수치모사가 가능하다[3]. 본 연구에서는 이러한 유변학적 특성들을 반영한 해석시스템의 개발과 적용사례에 대해서 소개하고자 한다.

2. 수학적 모델

분말사출성형 충전공정 해석 시스템은 해석의 대상이 되는 성형품의 기하학적 형상에 따라서 2.5D와 3D 해석을 선택적으로 적용한다. 우선 두께에 비해 길이의 비가 큰 얇은 3차원 형상에 대해서는 Hele-Shaw 가정을 도입한 2.5D 해석이 효과적으로 적용될 수 있다. 하지만 두꺼운 3차원 형상의 제품은 위에서 언급한 Hele-Shaw 가정이 적용되지 않으므로 3D 유동해석을 수행하여야만 한다. 충전시 유동에 의한 불균일한 분말 분포는 소결 공정에서 제품의 변형을 초래한다. 이러한 현상에 대한 이해를 위해서는 충전시 분말의 이동과 최종 분말 분포에 대한 해석 시스템이 필요하다.

분말사출성형 충전공정에서의 유동현상을 지배하는 질량보존 방정식과 운동량 보존 방정식은 식 (1), (2)와 같이 표현되며 충전공정에서 발생하는 온도 변화를 나타내는 에너지 보존 방정식은 식(3)과 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} + \Phi \quad (3)$$

$$\frac{D\phi}{Dt} + \frac{\partial}{\partial x_i} (N_{c_i} + N_{\eta_i} + N_{b_i}) = 0 \quad (4)$$

그리고 유동 중 전단 변형률에 의한 분말의 이동현상을 표현하는 식은 (4)와 같이 표현된다. 유동장에 대한 경계조건으로 벽면에서는 No-slip 경계조건, 입구에서는 사출속도가 주어지며, 온도장에 대해서는 벽면에서는 금형온도, 입구에서는 사출온도가 온도에 대한 경계조건으로 주어지게 된다. 이러한 지배 방정식과 경계조건들을 이용하여 유한요소 수식화 작업을 수행하게 된다.

3. 적용 사례

개발된 해석시스템을 적용한 사례로서 3차원 충전공정 대한 유동선단의 시간에 따른 전진과 이때의 유동 선단의 형태를 그림 1에서 보여주고 있다.

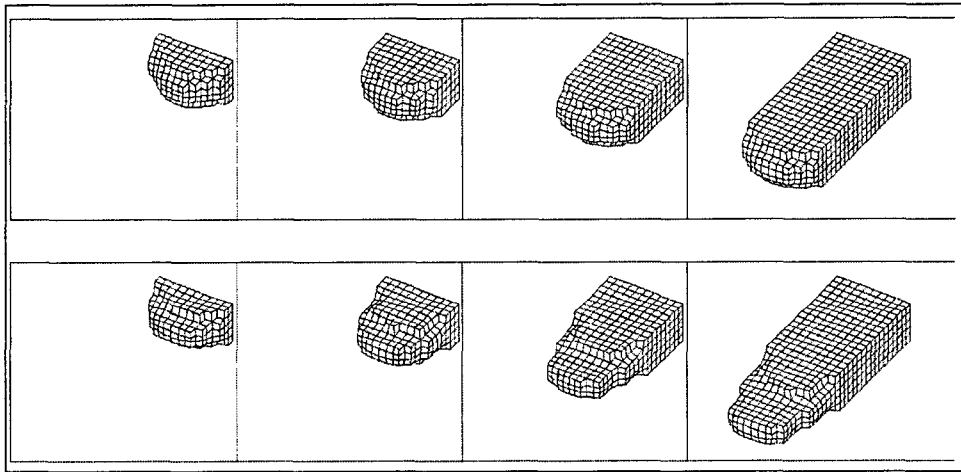


Fig. 1. Melt front advancement in duct filling simulation

4. 결론

분말혼합체의 유변학적 특성을 반영한 사출성형 충전공정 해석 시스템이 성공적으로 개발되어 적용이 되었다. 신뢰성 있는 해석 시스템을 이용하여 공정이나 금형 설계를 할 경우 시행착오에 의한 시간이나 비용의 손실을 최소화할 수 있고 과학적이고 체계적인 설계가 가능하도록 한다. 또한 이를 위해서 해석 시스템 자체의 정확성을 높이고 계산시간을 줄이는 노력도 함께 계속되어야 한다고 생각된다.

5. 참고문헌

- [1] R. M. German and A. Bose, Powder Injection Molding, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1997
- [2] T. H. Kwon and S. Y. Ahn, Powder Technology, 85, 45, 1995
- [3] C. J. Hwang and T. H. Kwon, Polymer Engineering and Science, 42, 33, 2002