

회수율 극대화를 위한 금형성형 연구

Casting Moulding Study for the Recovery Ration Maximize in the Parts Processes

* # 김인주¹, 강병용¹, 심백섭²

*I. J. Kim¹ (k9inju@kitech.re.kr), B. Y. Kang¹, B. S. Sung²

¹ 한국생산기술연구원, ² 조선대학교 금속재료공학과

Key words : Molding Analysis, Casting plan, Solidification process, Recovery ratio, Overflow, Inner gate

1. 서론

초기에 선진국의 알루미늄 다이캐스팅 기술은 주조 조건에 따라 품질 차이가 크게 나타났다. 특히 기포 및 수축공에 의한 제품의 신뢰도가 낮기 때문에 케이스와 하우징과 같은 구조용 재료로만 사용되어 왔으나 최근 진공다이캐스팅, 산소분위기 다이캐스팅, 저속충진 및 고압 충진법을 개발하여 자동변속용 밸브, 몸체, LPG용 기화기, 분사펌프, 자동차 에어컨용 컴프레서, 실린더 블록과 같은 기밀성 및 내압이 요구되는 고급 기능부품 소재까지 개발되고 있다⁽¹⁻³⁾. 또한 열처리 및 용접까지 가능하며 기존의 주철 부품의 상당수를 대체하여 경량화에 크게 이바지하고 있다. 다이캐스팅 제품에서 수축공 및 가스기포 결함 제어를 위해서는 금형설계와 용탕의 탈가스가 필히 수행되어야 한다. 최근에는 금형설계를 위해 응고현상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수축공 및 기포결함 발생을 미리 예측하여 방지할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 알루미늄 용탕의 탈가스와 산화물, 질화물 등의 비금속 개재물(inclusion)은 불활성인 아르곤 가스를 알루미늄 용탕에 주입하여 수소 및 비금속 개재물을 부상 분리하여 제거한다. 약품에 의한 탈가스 처리는 처리기간이 장시간 소요되어 알루미늄 회수율이 낮으며 매연에 의한 심한 공해를 유발시킨다.

다이캐스팅 공정은 정밀한 금형에 용탕을 압입시켜 고정도의 주조표면을 갖는 주물을 대량 생산하는 가공방식이라고 정의되며, 성형체의 정밀성과 주조 후처리 과정의 간소화, 자동화의 용이성 등의 장점으로 인해 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되어 왔다. 그러나 용탕의 단시간 충전, 이형체의 열분해에 따른 증발 가스의 발생 및 응고조직의 불균일성 등의 주조결함이 발생하고, 사출 응고시 탕도부가 선행 응고되어 응고 수축에 대한 용탕 보충이 어렵기 때문에 다량의 수축결함이 발생하는 문제점 또한 지적되었다.

다이캐스팅법과 저속 다이캐스팅법의 차이점을 비교하면 게이트의 치수를 정하는 공식은 없으나, 일반적으로 제품의 가장 두꺼운 부분에 게이트를 설치하고, 용탕이 조용하게 금형의 내부에 충전 되도록 하고, 충전 완료 후에는 제품의 두꺼운 부분에 내부 플런저로 용탕을 보급한다. 또한 제품의 하부로 부터 순서대로 충진을 하고 캐비티 내부의 공기 및 가스를 빼도록 한다.

캐비티 충전 속도는 제품의 형상, 치수에 따라 다르며, 작은 부품에서 0.3초 큰 부품에서는 2.5초 정도이다. 이와 같이 사출시간은 다이캐스팅법 보다 길지만, 비스켓 부분에 기포가 포함되어 있고, 이것이 형개 후, 파열할 위험이 없으므로 비스켓 부분이 60~70% 응고한 후에 형개 할 수 있다. 따라서 동일 중량이면 냉각시간은 다이캐스팅법 보다 단축되고, 사이클 전체로서는 다이캐스팅법과 비슷하다고 볼 수 있다.

저속 방법의 구조를 Fig. 1에서 나타냈으며 그 조작순서는 플런저를 2개로 구분하여 먼저 제1플런저 전진, 고화 개시, 제2플런저 전진, 형개시 전에 제2플런저 후진 후 형개하여 제2플런저를 윤활제로 조작하게 된다.

따라서 최적의 캐스팅 성형조건을 선정하고, 결함이 없는 부품 생산을 위하여 승용차에 사용되고 있는 부품에 대하여 해석을 실시하였으며, 생산비용을 줄이기 위하여 연구를 수행하였다.

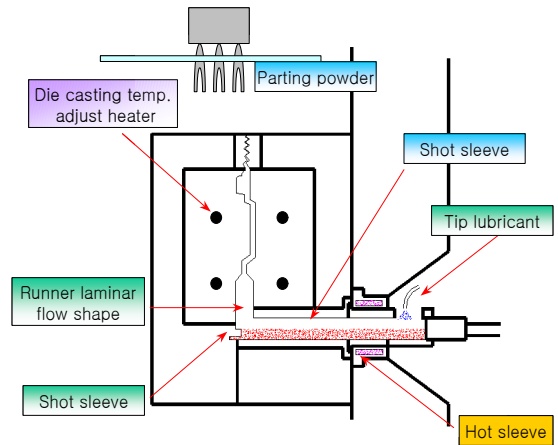


Fig. 1 Rotation direction of slow shot die casting

2. 유동해석의 지배방정식

모든 비선형 항을 포함시킨 완전한 Navier-stokes 방정식을 원시변수의 형태(Primitive value form)로 유도하여 사용한다. MAC, SMAC 및 SOLA-VOF법은 지배방정식을 원시변수의 형태로 사용함으로써 속도 및 압력을 직접 계산할 수 있다⁽⁴⁻⁵⁾. 계산의 정밀성과 수치해의 안정성을 높이기 위해 대류항의 계산에 있어서, 보통 중심 차분법과 풍상 차분법(UPWIND, scheme or donor cell schem)을 복합한 형태를 사용한다. 유체 영역에서는 운동량 보존과 질량보존의 원리를 이용하여 속도 및 압력분포를 계산할 수 있으나 자유표면 영역에서는 유체가 단위 셀을 부분적으로 채우고 있기 때문에 더 이상 질량 보존의 원리를 사용할 수 없다. 자유표면 영역은 유체영역과 빈공간 영역의 경계, 즉 용탕과 대기의 경계를 포함하고 있기 때문에 자유표면 경계조건을 만족해야 한다. 따라서 이러한 자유표면 경계조건을 이용하여 속도와 압력을 계산할 수 있다.

3. 해석결과분석

Fig. 2는 충전거동을 해석한 그림으로 최적화된 다이캐스팅 조건을 설정하여 충전해석 결과로부터 용탕의 충전 거동물을 나타내었다. 2단 사출속도에 의해 게이팅부가 모두 채워지는 시점을 기준으로 저속사출에서 고속사출로의 전환이 시작된다. 최적 다이캐스팅 주조방안에서 용탕의 비산(scattering flow)현상, 캐비티내에서의 용탕속도가 떨어지는 현상을 해결 하였다. 또한, 용탕의 유동성과 인게이트에서의 사출압력이 저하되어 용탕의 비산현상(scattering flow)을 보이는 것을 알 수 있다. 약 60% 충전시의 상부 오버플로우(overflow)부근에서의 용탕흐름이 서로 만나는 부분, 즉 탕회불량(whirling flow)으로 인한 결함의 발생 가능성이 높은 부분이 발생하였다. 이러한 원인은 인게이트의 각도로 인해 용탕이 제품의 외각을 우선적으로 충전함으로써 발생하는 것으로 보인다. 이 탕회불량은 인게이트의 외각을 더 넓혀주거나 각도를 좀더 완만하게 보정해 주는 방법으로 용탕의 유동을 개선시킬 수 있다. 최적의 주조방안의 충전해석 결과를 통해서 용탕 유동에 있어서 오버플로우의 위치를 수정함으로써

속도, 온도 등이 균일하도록 유동을 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

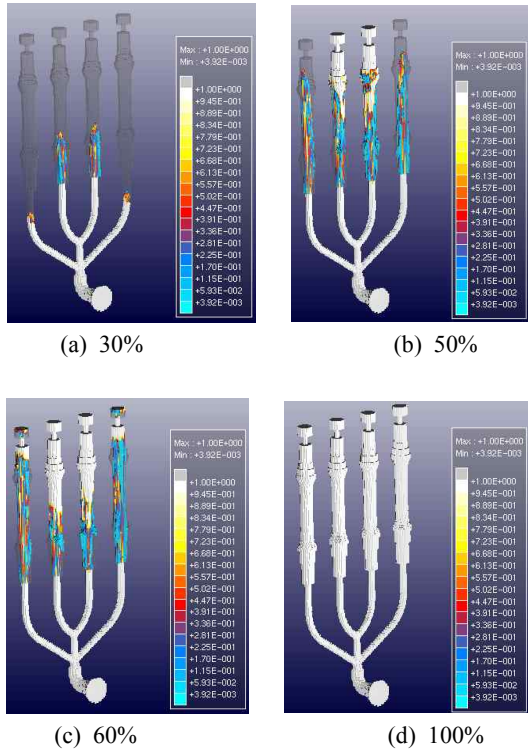


Fig. 2 Filling analysis results

Fig 3의 해석결과에서 알 수 있듯이 러너에서 게이트로 연결되는 부위의 단면적 변화가 급격하여 소용돌이 형태의 흐름이 나타났으나, 개선한 후에는 이러한 현상이 발생되지 않았으며, 이로 인해 제품 중에 기포가 혼입될 가능성을 상당히 줄일 수 있었다. 안정적으로 캐비티가 충전되어 가는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 상단에 설치된 오버플로우를 통하여 충전 중에 충분히 배기가 가능할 것으로 판단되었으며, 충진을 50~60% 진행시 중앙에 배치된 단품에서 충진이 완료되고, 좌우 양쪽 단품에서는 다소 낮은 속도로 충진이 늦게 충전됨을 관찰할 수 있었다.

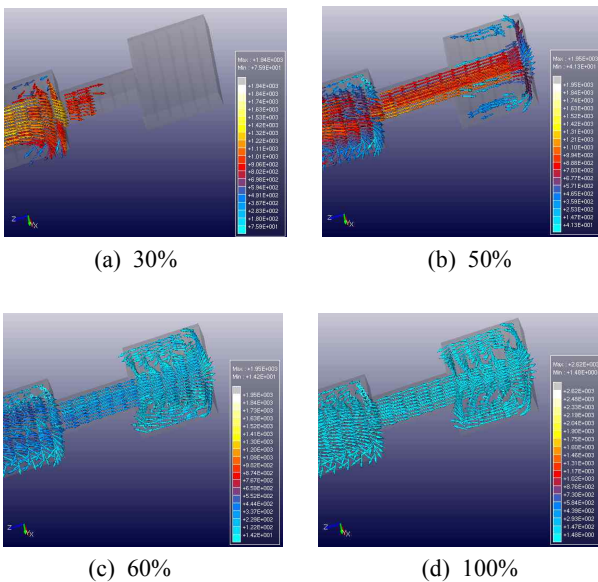


Fig. 3 Flow speed vector in the overflow

Fig. 4는 충진이 완료된 직후부터의 응고과정을 나타내며 치수

가 얇은 외각부위에서부터 응고가 진행되어 후속부인 제품 중심부가 최종적으로 응고되는 양상을 보여주며, 응고 개시 온도는 650℃에서 시작 되었다. 그림에서 알 수 있듯이 오버플로우, 중간 지점 및 게이트부를 집중 적으로 분석한 결과 최종 응고부에서는 두께가 큰 부위의 중심에서 등온선이 페루프를 이루며 응고가 진행되는 것을 볼 수 있다.

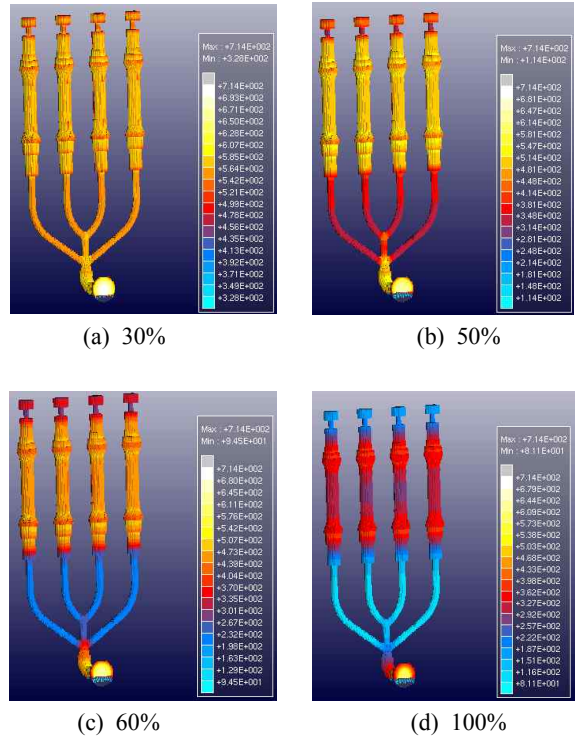


Fig. 4 simulation results of the solidification time

4. 결론

본 연구는 저속 다이캐스팅방법을 이용하여 승용차 샤프트 축에 대하여 다이캐스팅 주조과정에서의 유동 및 응고 과정에 따르는 제현상들을 예측하고, 주조방안 최적화를 통하여 생산성 및 품질의 극대화를 얻고자 하였다.

최적 조건에 따라 충진이 완료되어 응고시까지의 시간이 4초였으며, 응고 개시온도는 660℃~650℃에서 시작 되었다. 또한 회수율을 극대화하기 위하여 캐스팅 제품의 품질 등급에 지장을 주지 않으면서 버, 게이트 및 오버플로우를 최소화하여생산비용을 낮출 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. C. P. Hong, H. F. Shen and S. M. Lee, "Prevention of Macrodefects in Squeeze Casting of an Al-7Wt Pct Si Alloy", Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 31B, Iss. 2, pp. 297, 2000.
2. J. Campbell, "The concept of net shape for casting", Materials and Deign, Vol. 21, pp. 373, 2000.
3. C. C. Tai, J. C. Lin, "A runner - optimization design study of a die-casting die", Journal of materials processing technology, Vol. 84, pp. 1, 1998.
4. Zhang Weishan, Xiong Shoumei, Liu Baicheng, "Numerical simulation of fluid flow in horizontal cold chamber die casting shot sleeves", Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes, pp. 341, 1996.