 논문

유동 및 응고 시뮬레이션을 활용한 회전자 패밀리 금형의 오버플로우 설계 방안

정재민 · 김창완 · TamNguyen Van · 이경민 · 국중민 * · 진현기 * · 홍성길 †

전남대학교 신소재공학과, *(주)보스텍

Overflow Design Methods of Family Mold for Rotor Using the Flow and Solidification Simulation

J.M. Jung, C.W. Kim, V.T. Nguyen, K.M. Lee, J.M. Kuk*, H.G. Jin* and S.K. Hong†

School of Materials Science & Engineering, Chonnam National Univ., *Bostech Co., Ltd.

Abstract

The family mold casting have advantages which are able to make products with different shapes and dimensions simultaneously in a single mold. In this study, the design of the 4 cavity rotor family mold was used by “Anycasting” software, the defects occurred during die casting were predicted and suggested the best optimization conditions for sound products. The result of the experiment were that the optimum overflow design was needed for gas emission and control of residual oxides. It was clear that the defects positions formed by diecasting were agreed with nearly them predicted by simulation.

Key words: Family mold, Die casting, Filling aspect, Solidification aspect, Oxide distribution

1. 서 론

패밀리 금형은 하나의 금형에서 다양한 형상과 치수를 가진 제품을 생산할 수 있는 금형으로 다품종 소량 생산 방식에 적합하다. 현재 가전 및 산업분야에서 사용되는 모터 회전자(Rotor)는 대부분 다이캐스팅 공정으로 생산되며[1], 크기가 작은 회전자 생산의 경우 다품종 소량 생산을 위한 패밀리 금형의 다이캐스팅 기술이 요구되고 있다. 그러나 다이캐스팅 공정에서 용탕에 의해 슬리브(Sleeve)가 완전히 충전되지 않은 상태로 가스 및 함께 캐비티(Cavity)에 주입되기 때문에 주물 내에 기공과 산화물이 형성되어 불량률의 원인이 되고 있다[2]. 이러한 현상은 가스와 산화물 배출을 원활하게 할 수 있는 오버플로우(Overflow) 및 가스 벤트의 설계 등을 통해 제어하여야 한다[3].

이러한 문제들을 개선하기 위해 CAE (Computer Aided

Engineering)기술을 다이캐스팅 금형 설계 분야에 적용함으로써 금형 내에 용탕이 충전, 응고되는 과정에서 발생하는 유동 및 응고 현상을 시뮬레이션을 통해 예측하여 금형 설계에 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[4-9].

따라서 본 연구에서는 4 캐비티 회전자 패밀리 금형의 오버플로우 설계를 위해 2가지 오버플로우 타입을 적용하였고, 다이캐스팅 시 유동 및 응고 양상, 산화물 분포 등의 시뮬레이션 분석을 통해 결함을 예측하고 해석 결과를 바탕으로 오버플로우 설계 방안을 도출하였다. 또한 충전을 계산과 X-Ray CT 촬영을 통해 시뮬레이션에서 예측한 결과와 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 응고 시뮬레이션

상용 주조 해석 소프트웨어인 Anycasting은 주조공정 중 용

Received: Aug. 23, 2013 ; Revised: Sep. 30, 2013 ; Accepted: Oct. 17, 2013

†Corresponding author: S.K. Hong (Chonnam National Univ.)

Tel: +82-62-530-1691, Fax: +82-62-530-1699

E-mail: skhong@jnu.ac.kr

Journal of Korea Foundry Society

2013. Vol. 33 No. 5, pp. 204~209

<http://dx.doi.org/10.7777/jkfs.2013.33.5.204>

ISSN 1598-706X

© Korea Foundry Society, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Upper ending
Skew				
Lower ending				
	Cavity1	Cavity2	Cavity3	Cavity4
Size(cm)	3*3*1.724	3*3*1.644	3*3*1.402	3*3*1.412
Volume(cm ³)	6.42766	6.04524	4.62541	4.54854

Fig. 1. Sizes and shapes of the blank cores for family rotor.

탕 충전과 응고현상, 산화물 분포 등을 예측할 수 있다. CAD 프로그램을 이용하여 모델링을 한 각 캐비티 형상 및 크기와 2가지 타입에서의 오버플로우 위치와 크기 차이를 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 각 캐비티는 엔드링(endring)의 높이 차이가 있으며 Type1의 오버플로우는 기본적인 설계이고 Type2의 오버플로우는 Type1의 해석 결과를 바탕으로 오버플로우의 위치를 캐비티의 최종 충전부로 이동시키고 산화물의 배출이 용이하게 하기 위해 오버플로우의 크기를 키운 설계이다. 격자 생성은 비등간격 격자(Variable Mesh) 생성 방법을 이용하였고 2 타입의 전체 격자 수는 26,244,400개로 동일하게 생성하였다.

2.2 다이캐스팅

시뮬레이션 해석 조건 및 다이캐스팅 주조 조건을 Table 1에 나타내었다. 주조 재료는 99.5% Al인 1050 Al, 금형 재료는 STD61을 사용하였고, 금형 초기 온도는 200°C, 용탕의 주입 온도는 720°C를 적용하였다. 다이캐스팅 머신에서 슬리브 길이 245 mm, 슬리브 직경 45 mm, 비스켓의 두께는 20 mm 이고, 사출 조건은 0.3 m/s의 저속으로 120 mm, 1.8 m/s의 고속으로 105 mm를 충전하게 설정하였다. 최종적으로 설계된 금형에 대해 다이캐스팅은 총 10 shot을 실행하였고 생산된 회전자에 대해서 아르키메데스 법을 이용하여 회전자의 충전율을 계산하였다.

Table 1. Conditions for simulation and die casting.

Classification		Condition
Cast	Material	1050(99.5% AL)
	Liquidus	657°C
	Solidus	645°C
	Shrinkage	7.14%
	Pouring temperature	720°C
Mold	Material	STD61
	Initial temperature	200°C
Sleeve	Length	245 mm
	Diameter	45 mm
Biscuit	Thickness	20 mm
Low speed injection conditions	Length	120 mm
	Speed	0.3 m/s
High speed injection conditions	Length	105 mm
	Speed	1.8 m/s

2.3 X-Ray CT scan

X-Ray 측정 장비는 225 kV의 Microfocus X-Ray CT 장비로 전압과 전류는 각각 150 V와 40 μ A로 설정하였으며, 계산된 충전율을 바탕으로 평균값에 가장 근접한 회전자를 선택하여 2D 단층 분석을 실행하였다. X-Ray 스캔은 상부 엔드링부터 하부 엔드링까지 연속적으로 촬영하였고, 상하부 엔드링의 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 면을 선택하여 회전자의 기공 및 수축공의 분포를 시뮬레이션의 결과와 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 충전 양상

오버플로우의 2가지 타입 모델링에 대한 충전 양상을 Fig.

Fig. 2. Difference of size and position of the overflow between type1 and type2.

Fig. 3. Overall filling aspects : (a) Type1 (b) Type2.

Fig. 4. Local filling aspects : (a) Type1 (b) Type2.

3과 Fig. 4에 나타내었다. 전체적인 충전 양상 시뮬레이션 결과, Fig. 3에 표시한 바와 같이 숫자는 충전순서를 의미하며, 화살표는 유동방향을 나타낸다. 결과를 보면, 2타입 모두 슬리브를 통하여 빠른 속도로 주입된 용탕이 런너에서 직선 거동을 보이며(1), 런너의 끝부분에 도달하고 다시 되돌아온 용탕이(2) 상단의 캐비티를 먼저 충전하고(3), 하단의 캐비티를 나중에 충전하는(4) 불균형 충전의 양상을 보였다. 한편 상단 캐비티의 국부적인 충전 양상 시뮬레이션 결과는 Fig. 4와 같이 2타입 모두 인게이트(Ingate)가 상부 엔드링 쪽에 설치되어 있기 때문에 용탕이 상부 엔드링을 감싸면서 양쪽으로 충전된 후(1, 2), 스큐(Skew)를 타고 내려가(3) 하부 엔드링을 충전하므로 최종 충전부가 인게이트 앞 스큐 부분과 오버플로우 양쪽부분이 되는 충전 양상은 동일함을 보인다(4). 한편 캐비티내에서 배출되지 못하고 고립된 가스는 최종 충전부에 모이게 되어 기공을 유발하므로 제품 취출 후 가공 시 크랙을 유발할 수 있다. 기공은 Type1에서 더 심하게 발생될 것으로 보이는

데, 그 이유는 오버플로우의 위치가 상부 엔드링에서 용탕이 최종적으로 만나는 위치에서 벗어나 있어 캐비티 내의 가스가 어느 정도 배출되기 전에 오버플로우가 일부 막히는 시간(0.0172 s)이 Type2에 비해(0.0173 s) 빠르고, 오버플로우의 부피 또한 Type2에 비해 작아 가스의 배출이 상대적으로 원활하지 못하기 때문으로 판단된다. 이러한 시뮬레이션 결과에 의해 Type2가 Type1보다 가스 배출성이 더 우수하여 제품 내에 기공이 줄어들고 가공 시 크랙이 감소할 것으로 예측된다.

3.2 응고 양상

마찬가지로 오버플로우의 2가지 타입 모델링에 대한 응고 양상을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 응고 양상 시뮬레이션 결과, 2타입 모두 캐비티의 스큐부터 시작하여 캐비티 내에서 완료되는 양상을 보이며, 3.1에서 보인 충전양상과는 다르게 2개 타입에서 동일하게 하부 캐비티가 먼저 응고되고 상부 캐비티가 나중에 응고되는 양상을 보이는데, 이는 하부 캐비티에

Fig. 5. Overall solidification aspects : (a) Type1 (b) Type2.

Fig. 6. Local solidification aspects : (a) Type1 (b) Type2.

Fig. 7. Oxide distribution : (a) Type1 (b) Type2.

비해서 상부 캐비티의 부피가 더 크고, 용탕이 상부에 먼저 충전되기 때문에 공기와 반응하여 생성되는 산화물의 양이 집중되며, 그로 인해 고립된 가스의 양이 하부캐비티보다 더 많기 때문에 열 방출이 느려져 응고에 걸리는 시간이 길어진 것

Fig. 8. The results of X-ray CT scan of diecast rotors : (a) Upper ending (b) Lower ending.

으로 판단된다. 이러한 양상은 Fig. 7에 나타난 산화물 분포량에서 볼 수 있듯이 상부 캐비티가 하부 캐비티보다 산화물이 더 많이 존재하는 것과, Fig. 8, 9에 나타난 X-Ray CT 촬영 결과에서 하부 캐비티에 비해 상부 캐비티에 다량의 기공이 존재하는 것으로 확인 할 수 있다. 한편 최종 응고부는 엔드 링 중심부분으로 나타났으며, 기공과 수축이 이 최종 응고부에서 발생할 것으로 예측된다.

Fig. 9. The comparison results of the simulation and the X-ray CT scans.

3.3 산화물 분포

산화물의 경우 오버플로우를 통해 대부분 배출이 되지만 제품 내에 잔류하게 되면 후가공이나 제품 자체의 성능에 영향을 줄 수 있기 때문에 효과적인 배출이 필요하다. Fig. 7에 오버플로우의 2가지 타입 모델링에 대한 산화물 분포 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과 상단 캐비티에 잔류 산화물이 많은데, 이것은 산화물이 집중된 용탕의 선단 부분에 의해 상단이 충전되고, 오버플로우가 하단 캐비티에 비해 먼저 차단되어 산화물의 배출이 용이하지 않기 때문으로 판단된다. Type2의 오버플로우 위치와 부피는 산화물의 배출을 용이하게 할 것으로 예상됐고, 시뮬레이션 결과도 마찬가지로 나타났다기 때문에 Type2가 Type1보다 산화물 배출성이 더 우수한 것으로 판단된다.

3.4 충전율

시뮬레이션 해석 결과 Type2의 조건으로 금형을 설계하였고, 다이캐스팅 공정을 통해 회전자를 생산하였다. 생산된 회전자에 대해 아르키메데스 법을 이용하여 충전율을 계산한 결과를 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 사용한 회전자의 경우 90% 이상의 충전율일 경우 제품으로 사용했을 경우 충분한 전기 전도도를 나타내기 때문에 미성형이 없는 것으로 판단할

수 있는데, 캐비티1 회전자의 경우만 평균 86.73%의 충전율으로 미성형이 발생한 것을 확인할 수 있다. 이 결과는 금형 제작 시 캐비티1의 오버플로우에 문제가 있었던 것으로 보인다.

3.5 X-Ray CT

각 캐비티에서 생산된 회전자의 X-Ray CT 촬영 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 상부 캐비티인 캐비티1과 2의 경우 하부 캐비티인 캐비티3과 4에 비해 결함이 많은 것을 확인할 수 있는데, 시뮬레이션에서 충전 양상의 결과로 예측한 결함의 위치와 동일하다. 또한 상하부 엔드링의 중심부로 갈수록 기공 및 수축공이 두드러지게 나타나는데, 마찬가지로 응고 양상의 시뮬레이션 결과로 예측한 결함의 위치와 동일함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

유동 및 응고 시뮬레이션을 통해 4 캐비티 회전자의 해석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유동 및 응고 시뮬레이션을 이용하여 다이캐스팅 시 유동 및 응고 양상, 산화물 분포의 결과를 통해 기공과 산화물 등의 결함을 예측하였고, 해석 결과를 바탕으로 적합한 오버플로우의 설계를 통해 결함을 제어할 수 있었다.
- 2) 충전 및 산화물 해석 결과 가스 배출의 용이성과 잔류 산화물 제어를 위해 제품의 최종 충전부에 산화물이 배출되기 용이한 오버플로우의 설계가 필요함을 알 수 있었다.
- 3) 유동 및 응고 시뮬레이션을 통해 예측한 기공 및 수축의 위치는 최종 응고부인 엔드링 중심부분이었으며, 이는 실제 다이캐스팅 공정으로 생산한 제품의 X-Ray CT를 촬영한 결과에서 기공 및 수축의 위치와 대략적으로 일치함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임 (No. 2013-1295).

참고문헌

- [1] LEE JH, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, "Detectibility of Internal Defects in Aluminum Die-casted Rotor Using Ultrasonic Technique", **18** (2001) 185-191.
- [2] Lee YC, KAIS "Development of Auto Casting Machine for Rotor Molding of Electric Motor" (2010) 824-827.
- [3] Kim YC, J.KFS, "Optimization of the Thin-walled Aluminum Die Casting Die Design by Solidification Simulation", **28** (2008) 190-194.
- [4] ZHANG Weishan, XIONG Shoumei and LIU Baicheng, Journal of Materials Processing Technology, "Study on a

Table 2. Filling rates of the cavities.

	Filling rate(%)			
	Cavity1	Cavity2	Cavity3	Cavity4
1	85.35	92.89	92.15	92.33
2	87.48	89.04	91.27	92.33
3	85.12	91.67	91.51	90.70
4	86.79	92.46	90.87	91.68
5	86.90	93.20	91.83	91.84
6	85.64	92.65	91.59	90.87
7	87.88	92.77	92.63	92.00
8	86.96	93.01	91.19	92.74
9	87.31	91.73	91.51	93.30
10	87.37	93.38	91.99	92.82
Average	86.73	92.55	91.63	92.08

-
- CADICAE System of Die Casting”, **63** (1997) 707-711.
- [5] Dennis L. Fritz: Die Casting Engineer, “CAD/CAE: Fantasy or Fact”, **30** (1986) 34-35.
- [6] Jack R. Vann and Ying Shen, Die Casting Engineer, “Computer-Integrated Information/Control Systems for Improved Quality and Profits(Part 1)”, **32** (1988) 18-26.
- [7] Jack R. Vann and Ying Shen, Die Casting Engineer, “Computer-Integrated Information/Control Systems for Improved Quality and Profits(Part2)”, **32** (1988) 36-46.
- [8] J. Szekely and A. S. Jassal, Metall. Trans, **9B** (1978) 389.
- [9] J. Cambell, Mat. Sci. & tech, **17** (1991) 885.