한국금형공학회지, 제15권 제2호, 2021
J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.15 No.2 2021 ISSN 2092-9692

중력주조 공법에서 주조해석 시뮬레이션을 이용한 압탕설계 사례 연구

고상배[1] · 한기원[2] · 김형준[3] · 한태수[4] · 한성렬[5] · 김경아[5] · 최계광[5] · 윤재웅[5] · 이춘규[†]
㈜신영유니크[1] · (주)신성미크론[2] · (주)한국기능공사[3] · (주)BMC[4] · 공주대학교 금형공학과[5,†]

Case study of riser design using casting simulation in gravity cast method

Sang-Bae Ko[1] · Ki-Won Han[2] · Hyung-Jun Kim[3] · Tae-Soo Han[4] · Seong-Ryeol Han[5] · kyung-A Kim[5] · Kye-Kwang Choi[5] · Jae-Woong Yun[5] · Chun-Kyu Lee[†]
Shinyoung Unique Co., Ltd.[1] · Sinsung Micron Co., Ltd.[2] · HKC Co., Ltd.[3] · BMC Co., Ltd.[4]
Department of Metalmold Design Engineering, Kongju National University[5,†]
(Received June 14, 2021 / Revised June 28, 2021 / Accepted June 30, 2021)

Abstract: The casting method uses a mold to solidify a liquid metal to make a solid metal. Since it uses a liquid metal with the least deformation resistance, it has the characteristic that it can easily manufacture even a complex shape. However, the process of solidifying a liquid metal into a solid metal inevitably involves a volume change and contains internal defects such as shrinkage holes. Therefore, in the design of the casting plan, an excess volume called a pressurization compensates for the volume shrinkage. in the product, and it induces the shrinkage hole defects to occur in parts other than the product[1]. In this study, casting analysis was performed using casting analysis software (anycasting) in order to optimize the design of the tilting gravity casting method for automobile brackets. In particular, the filling and solidification analysis according to the shape and volume of the pressurized metal was conducted, and applied to the actual product to study the effect of the pressurized metal on the shrinkage defect. Through this study, it is possible to understand the effect of the pressure metal on shrinkage defects in the actual product and propose a design of the pressure metal that improves reliability and productivity.

Key Words: Aluminum Casting Plan Design, Gravity Die Casting, Mold Design, Sand Casting, Simulation

1. 서 론

주물제조공정에서 응고에 의한 수축과 잔류응력 등에 기인하는 결함 및 용탕의 충진 과정에서 기인하는 각종 주조결함의 제어는 매우 중요하다[1,2].

용탕이 주입되는 과정에서 불안정한 탕류의 흐름에 의한 표면 산화막의 혼입이나 공기의 혼입[3] 등은 주물 성능에 심각한 문제를 유발할 수 있으며, 특히 알루미늄 합금과 같이 산화막을 형성하는 경금속 합금의 경우에서는 가벼운 비중 때문에 탕류 내부에서 난류 발생에 의한 공기 혼입 현상이 증가할 수 있으며, 주물 내부로 표면 난류가 발생하여 산화막이 혼입되는 불량을 제어하기도 어렵다[4]. 따라서 경금속 합금의 경우 용탕을 안정적으로 주입하기 위한 노력이 매우 중요하며, 중력주조법에서 용탕을 안정적으로 주입하기 위해서는 주형의 형태와 크기에 따라 복잡하고 다양한 형태의 탕구계를 채택해야 하며, 많은 부가적인 노력을 해야 한다[5].

그중에서 경동식 중력주조법은 용탕이 지면과 수평을 유지하고 주형 내부로 안정적이면서 연속적으로 주입되기 때문에 간단한 탕구계만으로 경동속도와 경동 각도를 조절하여 용탕 주입속도를 제어할 수 있으므로 탕류에서 난류가 발생하는 것을

1. ㈜신영유니크
† 교신저자: 공주대학교 금형설계공학과
E-mail: ckt1230@kongju.ac.kr

억제할 수 있다. 또한, 용탕의 흐름이 주형의 바닥 면으로부터 점진적으로 충진되므로 주형의 바닥 면에서부터 탕구 방향으로 지향성 응고를 유도할 수 있다. 따라서 주입구 쪽에 최종 응고가 일어나도록 하여, 주물 내부에 수축공이 발생하는 것을 방지할 수도 있다[5].

현재까지 경동식 중력 주조법에 대해서는 동합금 위주로 한 미성형 실험[6]과 유동관찰을 위한 수모델 실험[7] 등 극히 제한적인 연구만이 진행되어 왔으며, 최근에는 컴퓨터 시뮬레이션을[8] 통한 용탕의 유동해석 등 실제 주조 조건에 대한 연구 등이 진행되고 있다[9]. 그러나 컴퓨터 시뮬레이션 해석을 통한 압탕 설계 적용에 대한 체계적인 연구는 부족한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 자동차용 브래킷 제품의 경동식 중력주조 시 미충진 및 내부결함이 발생하는 현상에 대하여 해석 시뮬레이션을 이용하여 주조해석을 진행하여 압탕의 형상 및 부피가 내부결함에 미치는 영향을 분석하고, 충진/응고 해석을 진행하여 내부결함의 경향성을 파악하고 신뢰성과 생산성을 높이는 압탕의 디자인을 제시하여 제품의 품질을 향상시키고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1. 해석 시뮬레이션 장치

본 연구에 사용된 중력주조 해석 시뮬레이션 프로그램은 Any Casting을 사용하였다.

상, 하금형(Mold), 제품(Cavity), 코어(Insert), 런너(Runner), 베이진(Bazin), 주입 컵으로 구성된 모델을 설계하고 Stl 모델로 변환하여, 해석 프로그램으로 불러들여 실제 주조 방식과 같은 조건을 유지하여 해석을 실시하였으며, 연구에 사용된 Stl 모델은 Fig. 1에 나타내었고, 해석 설정 조건은 Table 1에 나타내었다.

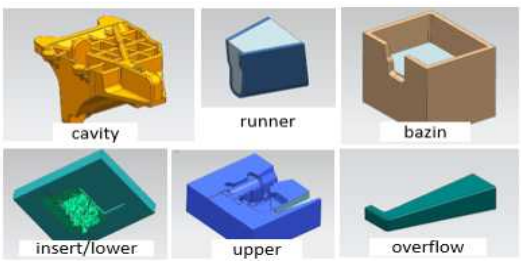

Fig. 1 Stl model used in the experiment

2.2. 해석 시뮬레이션 방법

해석 시뮬레이션에서는 AC4C 합금을 용탕 온도 730℃로 설정하고, 금형온도를 300℃로 설정하였으며, 압탕 방법을 주조변수로 하여, 이들 조건에 따른 영향을 관찰하였다.

Table 1 Analysis condition setting

Division	Setting item	Setting value
Product	material	AL AC4C
	Melt temperature(℃)	730
Mold	material	STD61
	mold temperature(℃)	300
Mesh number		8,457,900
Filling rate(%)		100

연구에 사용된 주조방식은 경동식 주조방식(Tilt casting method)으로 주입컵에 용탕이 보급되면, 금형과 같이 회전시켜 중력에 의해 용탕을 금형 내부로 주입하도록 하였다.

금형의 회전각이 0°인 지면과 평행을 유지한 상태에서 용탕을 주입하여 90°로 금형을 회전시켜 용탕이 금형 내부로 주입하게 된다. 경동식 주조방식은 Fig. 2에 나타내었다.

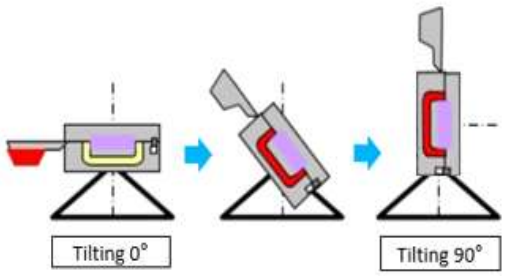

Fig. 2 Tilt casting method

1차 해석조건은 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 경동식 중력주조에 주물 주입 위치를 상측 금형(Upper Mold)에 두고 주조하는 기본 압탕 구조로 적용하여 내부의 결함 발생과 주물의 흐름을 분석하였다.

2차 해석 조건은 Fig.4에 나타낸 것과 같이 주물 주입 위치를 하측 금형(Lower Mold)에 위치하였고, 내부의 결함 발생현상과 주물의 흐름상태 분석을 위하여 압탕 두께를 20% 증대하였다.

3차 해석 조건은 Fig. 5에 나타내었고, 2차 해석 조건과 동일하게 주물의 주입 위치를 하측 금형(Lower Mold)에 설치하고, 내부 결함의 발생과 주물

의 흐름을 개선시키기 위한 변수로서 오버플로우(Overflow) 1개소를 제품의 측면에 추가 설치하였다.

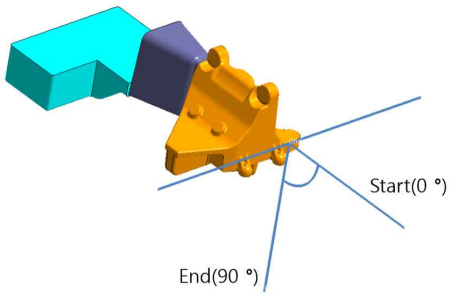

Fig. 3 1'st order analysis model (Basic tilt casting method)

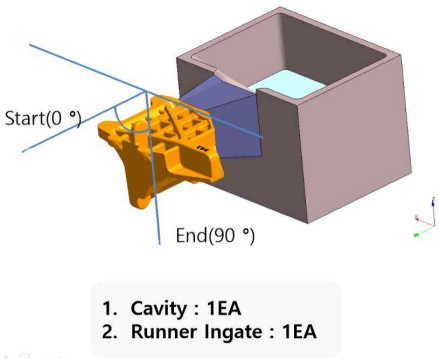

Fig. 4 2'nd analysis model (20% increase in thickness)

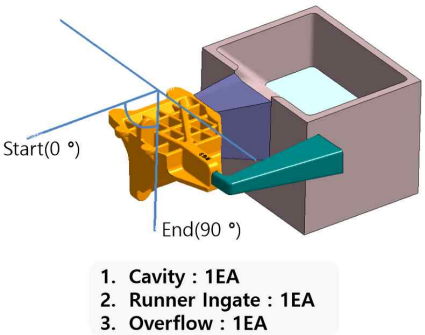

Fig. 5 3'rd order analysis model (1 overflow installed)

3. 해석 결과 및 분석

3.1. 충전양상(Filling Sequence)고찰

Fig. 6은 AC4C 알루미늄 합금의 경동 주조 시 초기 용탕 선단이 주형 벽면을 따라 이동하여 바닥부터 충진이 되며, 이때의 각도별 충전율을 나타내었다. 용탕 주입 후 충전율 60%(54°)에서 CAVITY 충전이 완료되었으며, 충진이 완료된 이후에 응고가 진행되는 것으로 나타났다.

해석결과 압탕 방법의 주조 변수에 의한 충전율의 차이는 발생하지 않았으며, 모든 조건에서 100% 충전이 완료되는 것으로 고찰되었다.

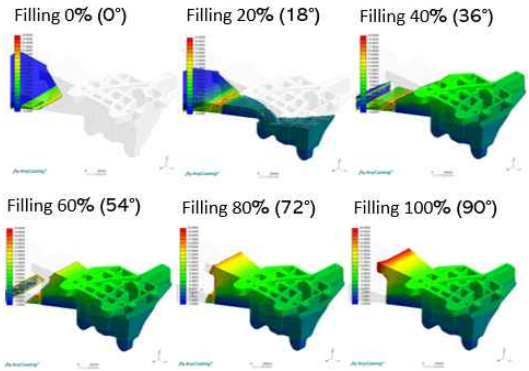

Fig. 6 Filling pattern analysis

3.2. 기포 고립

각종 기공(Porosity) 및 산화 게제물 등과 같은 주물 결함은 주로 용탕이 주입되는 동안에 용탕 흐름에서의 난류 발생과 함께 용탕 흐름이 연속적이지 못하고 단절되어 용탕 내부로 공기의 혼입과 깨어진 표면 산화막의 혼입이 증가하기 때문에 발생하게 된다.

Fig. 7은 주조 변수에 따른 기포 고립 분포를 나타내었다.

1차 해석조건에 의한 기본 압탕 구조를 적용하여 실험한 결과 용탕 내부로 공기의 포집과 표면 산화막의 혼입이 상대적으로 증가하여 에어트랩(Air trap)에 의한 미세한 가스 포켓(Gas pocket)이 발생하는 구간이 증가하였고, 2차 해석조건으로 리브 두께를 20% 증가시키고 실험한 결과 리브 두께 증가에 의해 에어트랩이나 가스포켓에 의한 내부 결함이 1차 해석 결과에 비해 20 % 감소하는 결과로 고찰되었다.

3차 해석조건으로 2차 해석과 동일하게 리브의 두께를 20% 증가시킨 그대로를 적용한 상태에서 Overflow를 제품의 측면에 설치하여 실험한 결과 Overflow 추가로 기포 고립에 의한 수축 결함의 발

생이 1차 해석조건의 경우보다 50% 작게 감소하는 것으로 고찰되었다.

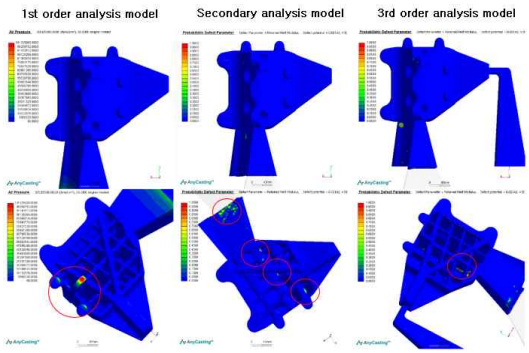

Fig. 7 Air pressure

3.3. 응고 간 잔류 액상

Fig. 8은 응고 시 잔류 액상의 분포를 나타내었다. 주입구 쪽에 최종 응고가 발생하도록 하여 내부 수축공이 발생하는 것을 방지할 수 있다.

실험결과 1차 해석조건, 2차 해석조건에서 응고 단절로 인한 잔류 액상 잔존이 높게 나타나고 있으며, 3차 해석조건에서는 잔류 액상 잔존이 감소되는 결과로 나타났다.

1차 실험대비 2차 해석결과 응고 간 잔류 액상이 20%감소하는 것으로 나타났으며, 3차 해석결과 60%까지 감소하였다.

응고 단절 실험 분석은 수축 결함 발생 가능성을 예측할 수 있으며, 해석 결과 1차 해석조건에서 2차, 3차 해석조건으로 변경하면서 리브의 두께 증가와 Overflow의 설치로 인하여 응고 단절이 감소하는 경향을 나타내었다.

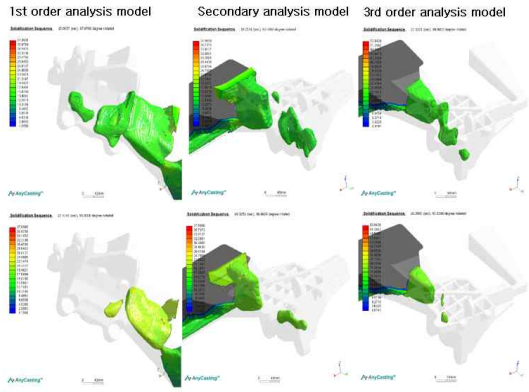

Fig. 8 Residual liquid phase between solidification

4. 결론

AC4C 합금의 경동식 중력주조에 있어서 압탕의 크기, 주입 방향, 구조 등의 주조 변수가 주물 결함 및 중전, 응고에 미치는 영향을 해석 시뮬레이션을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1) AC4C 합금의 경동식 중력주조에 있어서 정치식 주조 방식보다 탕류에서의 난류 발생에 의한 공기 혼입과 산화막 혼입 등이 감소하여 주물 결함이 감소됨을 해석 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

2) Cavity 내 용탕 충전 간 Air 고립 발생으로 인한 결함 발생을 확인하였고, 압탕 두께 증대 및 Overflow 추가 설치로 수축 결함이 2차 실험조건에서 20%, 3차 실험조건에서 50% 감소되는 것을 확인 할 수 있었다.

3) 용탕을 안정적으로 주입한 후 응고 시 응고 간 잔류 액상 잔존을 확인하였고 주입구 쪽으로의 지향성 응고를 보다 안정적으로 유도할 수 있게 되어 내부에 결함 발생을 최대한 억제할 수 있었다.

4) 응고 간 잔류 액상을 분석한 결과 1차 실험 대비 2차 실험에서는 20%, 3차 실험에서는 60%의 잔류 액상이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

5) 해석 시뮬레이션을 통한 압탕의 크기 및 주조 변수가 충진 및 결함 발생에 미치는 영향을 분석하였으며, 최적의 탕구 방안 설계의 적용 조건으로 리브의 두께를 20% 정도 증가시키고, Overflow를 설치하는 것이 제품의 내부 결함발생을 방지하는데 효과적임을 확인하였다.

본 연구에서는 경동식 주조방식의 대한 내부결함의 경향성에 대해 연구하였지만, 이 연구를 기초로 하여 경동속도, 경동각도, 용탕과 주형의 온도차에 관한 추후 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1) Sung-hwan Cho, Jeong-min Yun, Jong-ju Yun, Mahesh Morab, Kwang-jin Han, “Case Study for Riser Design using Casting Simulation Program in Gravity Die Cast Method”, The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 144-144, 2016.

2) Sung-Gon Ryu, Jae-hyun Lee, Yong-Tae Lee, “Computerized Coagulation Analysis for Prediction of Coagulation Contraction Defects”, Machines and Materials, Vol. 8, No. 1, pp. 132-141, 1996.
3) Ki-Dong Yeom, Chun-Pyo Hong, “Control of the Casting Defects in the Gravity Tilt Pour Casting Proces”, Journal of the Korean Foundrymen’s Society, Vol. 18, No. 3, pp. 262-270, 1998.
4) Ki-Young Kim, Min-Soo Yi, “Quantitave Predicton of Gas Evolved by Shell Core in Permanent Mold Casting of Aluminum Alloy”, Korea Foundry Society, Vol. 18, No. 5, pp. 481-487, 1998.
5) Ig-Tae Im, Woo-Seung Kim, “Three Dimensional Thermal and Fluid Flow Analysis on the Gravity Casting Process”, Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 2, No. 2, pp. 252-257, 1998.
6) Sung-bin Kim, Jun-Pyo Hong, “Heat and Fluid Analyses and It's Application to the Design of the Casting Process”, Korea Casting Engineering Society, Vol. 13, No. 2, pp. 131-145, 1993.
7) Jeong-Gil Choi, “Computer Aided Casting Design”, Korea Casting Engineering Society, Vol. 10, No. 6, pp. 477-484, 1990.
8) Carl R. Loper, “Riser Design An Analysis of the Iiterature”, Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 8, No. 4, pp. 43-48, 1968.
9) Jae-Seung Choi, “Casting Expert Analysis Program, AnyCasting”, Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 56, No. 6, pp. 22-24, 2016.

저자 소개

고 상 배(Sang-Bae Ko) [정회원]

- 2019년 1월~현재: ㈜신영유니크 근무중
- 2020년 3월~현재: 공주대학교 재학 중

< 관심분야 >
중력주조 금형설계

한 기 원(Ki-Won Han)

- 2017년 2월~현재: ㈜신성미크론 근무중
- 2020년 3월~현재: 공주대학교 재학 중

< 관심분야 >
프레스 금형

김 형 준(Hyung-Jun Kim)

- 2018년 10월~현재: ㈜한국기능공사 근무중
- 2020년 3월~현재: 공주대학교 재학 중

< 관심분야 >
프레스 금형설계

한 태 수(Tae-Soo Han)

- 2013년 08월~현재: ㈜B.M.C 근무중
- 2018년 3월~현재: 공주대학교 재학 중

< 관심분야 >
프레스 금형

한 성 렬(Seong-Ryeol Han) [정회원]

- 2007년 2월: 부경대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 5월 ~ 2014년 2월: ㈜화승알엔에이 성능평가팀 팀장
- 2014년 3월 ~ 현재: 국립공주대학교 금형설계공학과 부교수

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, 유동해석

김 경 아(Kyung a. Kim) [정회원]

- 2015년 3월: 홍익대학교 제품디자인 전공/디자인·공예학과(미술학박사)
- 2015년 0월~2019년 2월: 젠디자인(주) 디자인부서, 과장
- 2019년 3월~현재: 국립공주대학교 금형설계공학과 조교수

< 관심분야 >
제품디자인, Additive Manufacturing(3D printing), 사출성형

윤 재 웅(Jae-Woong Yun) [정회원]

- 2005년 2월 : 독일 하노버대학 기계공학부 프레스성형과 (공학박사)
- 2005년 8월 ~ 2013년 1월: LG전자 금형기술센터장
- 2013년 2월 ~ 2018년 8월: OPS-INGERSOLL KOREA 대표이사
- 2018년 8월~현재: 공주대학교 금형설계공학과 교수

< 관심분야 >
프레스 성형 및 금형

최 계 광(Kye-Kwang Choi) [정회원]

- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계공학과(공학박사)
- 2005년 8월 : ㈜현대배관 기술부장
- 2006년 4월~현재 : 공주대학교 금형설계공학과 교수
- 2013년 2월~현재 : 공주대학교 글로벌금형기술연구소 소장

< 관심분야 >
3D CAD, CAM Programing, Reverse Engineering

이 춘 규(Chun-Kyu Lee) [정회원]

- 2014년 8월 : 공주대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 3월~2016년 12월 : 유한대학교 금형설계공학과 교수
- 2018년 4월~현재: 공주대학교 금형설계공학과 교수

< 관심분야 >
프레스 성형 및 금형