

논문

하이브리드 로워암 반응고 사출시 구조변수에 따른 레오캐스팅
충진거동에 대한 연구문준영[†] · 김해수* · 이종현** · 심재기 · 김재민 · 정명화* · 노승강** · 김강욱* · 홍준표Flow Characteristic of Hybrid-Lower Arm
on Casting Parameters in Rheocasting ProcessJun-Young Moon[†], Hae-Soo Kim*, Jong-Hyun Lee**, Jae-Gi Sim, Jae-Min Kim, Myung-Hwa Jung*, Seung-Kang Roh**, Kang-Wuk Kim*, and Chun-Pyo Hong

Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

*Module Research Dept., WIA Corp.

**R&D Center, SEOJIN Industrial Co.Ltd.

Abstract

H-NCM(Hong-Nanocast Method)has several benefits such as a lower porosity defect and high quality casting comparing to conventional die casting. Influence of casting parameters of hybrid-lower arm in rheocasting process on the slurry flow and the amount of porosity defect was investigated using experimental and simulation methods. In the present study, the Carreau model was adopted to simulate the pattern of rheological flow. Optimal casting parameters such as injection speed and stroke variations were established. Sound products with integral microstructure and sound shape of joining different materials of Al and steel pipe without deforming the steel pipe were obtained by the H-NCM slurry and X-ray analysis also showed integral condition throughout the entire parts.

Key words : H-NCM, Semisolid, Rheocasting, Carreau-model.

(Received August 8, 2008 ; Accepted September 19, 2008)

1. 서 론

알루미늄합금 다이캐스팅은 1915년에 미국의 H. H. Doehler 에 의하여 상용화된 이후, 우수한 치수 정밀도, 박육 제품의 제조가능, 주물표면의 건전성 등의 많은 장점과 함께 생산성이 높아 자동차 관련부품을 시작으로 전기기계, 일반기계 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 종래의 부품은 트랜스 미션 케이스, 오일 펌프 케이스, 로커커버 등의 케이스류 및 커버류가 주류를 이루었으나 최근에는 환경과과 및 화석연료의 고갈 등의 문제점이 대두되면서 경량화, 리사이클성 향상 등에 대한 요구로 고강도, 고인성 고연성 등의 특성이 요구되는 차체 및 엔진부품의 다이캐스팅화가 급속도로 진행되고 있다[1].

그동안 다이캐스팅 기술은 사출 속도 및 증압과 관련된 사출제어기술과 금형 설계 및 온도 제어와 관련된 금형제어 기술 등 신기술의 개발과 함께 품질이 많이 향상되었으나 근원적으로 다이캐스팅 제품은 기포의 혼입 문제 등으로 인해서 열처리가 불가능하고, 용탕 수축문제에 의해 후육 제품 생산이 까다롭다는 단점이 있다[2].

저속충전 다이캐스팅, 국부가압법, 진공다이캐스팅법 등은 이와 같은 다이캐스팅의 다양한 문제를 개선하기 위해 고안된 구조법이다.

저속충전 다이캐스팅은 수축결함을 없애기 위해 낮은 사출속도로 충류충전을 시도하고 더블 플런저를 도입한 구조법이며, 국부가압법은 상대적으로 두꺼운 부위의 수축결함을 방지하기 위해 용탕 충전 완료 후에 국부적으로 가압하는 구조법이다. 진공다이캐스팅법은 박육부의 기포 혼입문제를 해결하기 위해 진공설비가 도입된 구조법이다. 그러나 장비가 고가이며 생산비용이 상승하고 적용 제품에 한계가 있어 크게 발전하고 있지는 못하다[3]. 이에 비하여 지난 30여년간 연구된 반응고, 반응용 다이캐스팅 법은 가스의 혼입과 수축공 결함 방지, 기계적 성질의 향상 등 다이캐스팅이 가지고 있는 근원적인 문제를 해결해 줄 수 있는 최적의 구조 기술로 평가되고 있다. 대표적으로 용탕에 진단응력을 주며 냉각시켜 반응고상태에서 구조하는 Rheocast법과 교반 반응용상태의 것을 냉각시켜 Billet으로 만든 다음 반응고상태까지 재가열하여 구조하는 Thixocast 법이 있다. Thixocast법은 재용융에 따른 비용 상승과 반응고 빌렛의 처리문제가 까다로워 산업화에 성공한 사례는 없었다. 또한 일본에서 개발된 일본의 Rheocast법인 NRC법은 장치가 번거롭고 스퀴즈캐스팅 및 다이캐스팅보다 높은 생산비용문제 때문에 상용화 되기 힘들었다[4]. 더욱이 국내에서는 외국의 반응고 구조 기술을 도입하여 연구한 사례는 있으나 실용화된 사례는 없다.

[†]E-mail : shizoid@yonsei.ac.kr

최근, 레오캐스팅 기법에 주목하여 2002년 홍준표, 김재민 등은 H-NCM이라는 새로운 개념의 반응고 슬러리 제조법을 개발하였다[5]. H-NCM은 기존의 수지상 절단에 의한 구형 입자 생성의 방법과는 달리, 응고 초기 핵생성을 극대화 시키는 기술을 적용, 초기에 핵생성된 입자를 소멸시키지 않고 반응고 상태까지 이르게 하는 방법으로써, 기존의 다른 레오캐스팅 방법에 비해 입자의 크기가 작고 장치가 간단하다는 장점이 있다[6]. 이 기술은 기존의 NRC로 대표되는 레오캐스팅용 슬러리 제작기술보다 공정이 간단하고 미세조직 제어가 용이하며, 초기 장치 투자비가 매우 저렴하다는 장점이 있다. 일본 유럽 등에 소개된 H-NCM기법은 이미 몇 가지 양산제품 생산에 적용되고 있다.

한편, 레오캐스팅에 의한 제품의 제작은 기존의 다이캐스팅과 같이 난류흐름에 의한 공기 포집이 없고, 고상율이 높은 상태에서 제품을 성형하기 때문에 수축에 의한 문제도 최소화한다[5]. 그러나 반응고 슬러리 고유의 유동특성을 명확하게 고려하지 않고, 기존의 다이캐스팅 기법으로 주조하는 것은 바람직한 방법이 아니다. 다이캐스팅 주조법에서는 이미 고온의 용탕 사출 거동에 적합한 사출제어기술 및 금형제어기술이 다양하게 연구되어있다[6]. 건전한 제품의 양산을 위해 위 두가지 기술은 최적화되어야 할 부분이며 아울러 고온용탕 상환의 다이캐스팅 조건을 반응고 슬러리의 경우에 그대로 적용시키는 데에는 무리가 있다.

나아가 하이브리드 암의 반응고 사출시 사출제어 및 금형제어를 통한 유동의 측면고려뿐 아니라 이종재질간의 접합성과 철제파이프의 형상변형을 가압상황에서 컨트롤해야하는 측면도 해결되어야하는 부분이다.

이러한 부분의 해결은 슬러리의 품질과 함께 슬러리의 특성에 맞는 다이캐스팅 주조 기술이 병행하여 발전되어야 함을 의미한다. 그러나, 반응고 슬러리를 이종접합체에 사출하는 과정에서 발생하는 사출거동에 관련된 분석은 전무하였다. H-NCM은 타기술에 비해 균일 구형화한 초정입자를 지닌 슬러리를 간단하게 제조할 수 있으므로, 다른 방법에 의한 슬러리보다 레오캐스팅 사출 거동을 분석하기가 매우 용이하다.

본 연구에서는 하이브리드 암의 반응고 사출시 미충진 시편을 통한 슬러리 충전 특성분석을 위해 레오캐스팅 충전 패턴과 결합예측은 Carreau 모델을 통해 시뮬레이션하였고, 실험결과와 비교하여 반응고 시뮬레이션의 가능성에 대해 검증하였다.

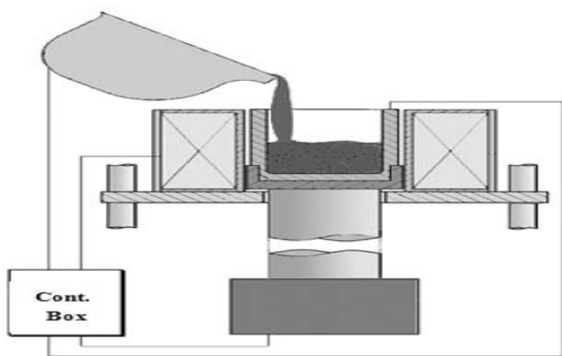


Fig. 1. The equipment of the H-NCM for semisolid.

더불어 주조변수에 따른 제품의 성형성과 열처리 이후의 블리스터 발생의 평가 및 이종접합특성을 분석하였고 X-ray와 광학현미경으로 분석하여 수축공 및 미세조직 분석을 실시하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 합금은 A356 합금이며 각 실험에 앞서 질소 계열 플럭스를 이용한 탈가스를 실시하였다. 실험에 사용된 프레임은 하이드로포밍 파이프 소재를 이용하였다. 반응고 슬러리를 제작하기 위해 H-NCM Up-Down Serial No. 200407 모델을 사용하였으며 적절한 냉각속도를 가질 수 있도록 2.7 Kg 급 전용 컵을 제작하였다. 슬러리 제작시, 주입 온도와 유지 시간 등의 주조변수를 통해 슬러리입자의 크기 및 분포가 다양하게 결정될 수 있으나 본 연구에서는 주입온도를 625 °C로 하고, 유지시간을 45초로 하여 슬러리를 모두 균일하게 제작하였다. 제작된 반응고 슬러리는 Toyo 500톤 다이캐스팅 머신을 통해 사출되었다. Fig. 2에 본 실험에 사용되는 하이브리드 로워암의 CAD그림을 실었다. 1 cavity구조이며 인게이트부의 두께가 두껍고, A점(Ground Bush)의 목부분과 G점(Ground Bush)과 B점(Ball Joint)을 이어주는 파이프를 잡아주는 부분이 후육이다. 레오캐스팅 실험에서는 사출조건에 따른 슬러리 고유의 충전 특성을 확인하고자 진공 설비를 배제하였으며 금형온도는 모두 200 °C로 균일하게 실시하였다.

슬러리의 금형 내부 충전 패턴은 다이캐스팅 장비의 스트로크를 제어함으로써 얻었다. 이때의 슬러리 주입중량과 주입속도는 모두 일정하게 제어하였으며 Carreau 모델에 의한 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 일반적으로 다이캐스팅의 경우 용탕의 고속 사출로 캐비티를 빠른 속도로 채우고 기포와 산화막을 오버플로우로 빼내게 되는데 레오캐스팅의 경우 반응고 슬러리의 점도가 액상에 비해 높고 층류충진의 이점을 살리기 위해 보다 낮은 충전 속도로 사출하게 된다. 이와 같은 저속 충전의 특징과 함께 또한 고려할 것은, 일반 용탕보다 70~100 °C의 낮은 온도에서 주입하기 때문에 수축에 의한 문제가 개선될 것으로 예상된다. 그러므로 낮은 사출속도에서의 제품 품질 건전성을 확인하기 위해 다양한 속도조건에 의한 제품

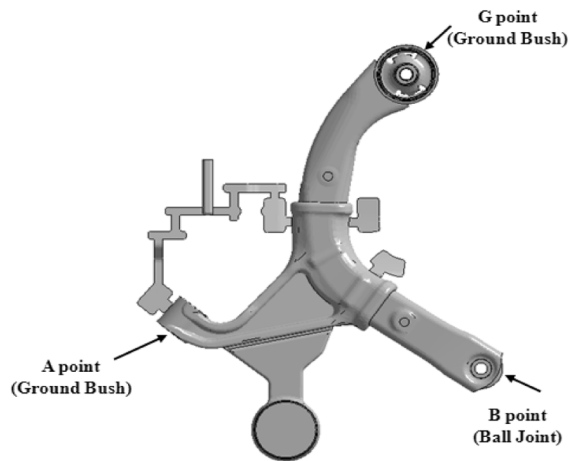


Fig. 2. The 3-D CAD drawing of the hybrid-lower arm.

생산을 실시하였다. 이때, 결합발생지역을 시뮬레이션 모델로 예측하였으며, 실험적인 방법으로 검증하였다. 제작된 모든 시편은 X-ray 분석을 실시하였으며 미세조직은 연마후 광학현미경이 장착된 LAIKA-image analyzer로 관찰하였다.

3. 반응고 시뮬레이션

Koke, Zavalingos, Alexandou, 그리고 Atkinson 등은 틱소캐스팅의 슬러리제조기법인 반응용 슬러리의 충전 이론을 제시하였다[9]. 이들이 제시한 점성평가의 주요항목으로는 전단력과 고상율이다. 이와 같은 점성평가는 레오캐스팅과 같이 연속적인 온도저하에 따른 미세조직 변화에 기인한 점도변화에 적용하기 어렵다. 입자의 크기와 형상 그리고 균일도는 유동패턴에 매우 큰 영향을 미치게 되므로 슬러리의 특성을 반영하는 유변학적 데이터의 확립이 절실하다.

또한 틱소캐스팅은 고상의 빌렛을 재가열하여 사출하는 방식이나 레오캐스팅은 액상의 용탕을 고액공존상태로 응고하는 도중에 사출하는 방식의 근원적인 차이로 인해 유동성이 뛰어나므로 이를 위한 점성표현으로는 Power-law의 활용이 보다 효율적일 것으로 판단된다. Power-law 모델에 미세조직적인 변수를 고려한 사례는 드물기 때문에 본 연구에서는 Power-law 모델을 이용하며 실험적으로 반응고 슬러리를 검토한 Carreau 모델을 채택하였다. 본 연구에서 활용된 Carreau 모델은 Any-casting(주)에서 개발된 Modified Carreau 모델이며 반응고 슬러리의 미세조직적 특성을 구현하기 위해 보다 많은 실험과의

연계작업이 필요한 것으로 보인다[10].

연구에서 사출한 하이브리드 압은 평균두께가 크고 형상이 단순하여 Modified Carreau 모델이 적용될 수 있을 것으로 보이나 박육의 제품에서의 반응고 특성을 구현하기 위해서는 미세조직적인 특성이 보다크게 작용할 것이므로 보다 진보된 레오캐스팅 시뮬레이션 모듈의 개발이 필요할 것이다. 하이브리드 압에 적용된 Modified Carreau 모델의 실험결과와의 비교는 레오캐스팅의 충전 거동 예측의 유효성을 평가하는데 의의가 있을 것으로 보인다. 결과에서의 차이점은 향후 시뮬레이션의 모델수정을 위한 좋은 자료가 될 것으로 판단된다.

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3에서 반응고 슬러리의 충전패턴을 보이고 있다. 사출속도는 0.2 m/s이며, 인게이트 전까지의 속도는 0.8 m/s이다. 슬리브 내에서의 응고층 생성을 막기 위해 인게이트 이전까지의 속도는 캐비티에서의 속도보다 빠르게 유지하였다. 저속의 속도는 다이캐스팅의 속도에서는 일반적으로 3 m/s의 속도임에 비해 다소 낮게 설정하였다. 하이브리드 로워암의 그라운드 부위 부를 제외한 나머지 부분은 철제 파이프로 되어 있어 부분사출시 파이프를 휘감는 부분은 완충이 아닐 경우 떨어져 나가게 되므로 완충시편을 제외하고는 모두 알루미늄 파트만 볼 수 있다. 이 속도에서 각 위치별 충전 패턴은 층류충진을 보여주고 있다. (a) 사진에서 보는 바와 같이 인게이트를 지나서 층류충진의 선단이 0.2 m/s의 저속에서 그라운드 부위부와 파

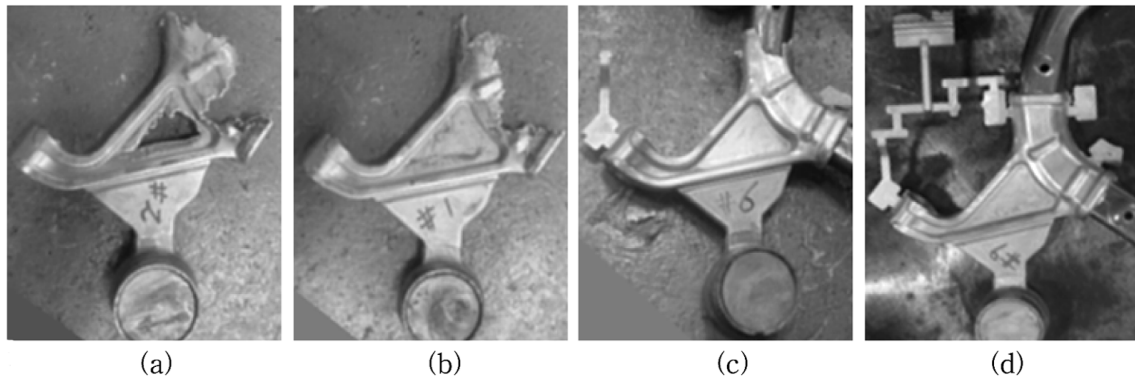


Fig. 3. The flow patterns of semisolid by partial feeding test: stroke distance is (a)400 mm, (b)420 mm, (c)440 mm, and (d)480 mm.

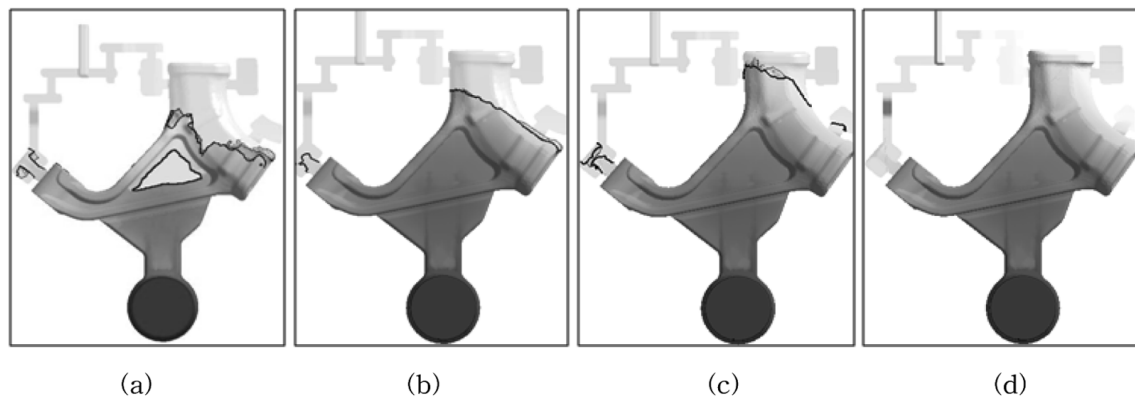


Fig. 4. The predictions of filling sequences for semisolid by Carreau-model: stroke distance is (a)400 mm, (b)420 mm, (c)440 mm, and (d)480 mm.

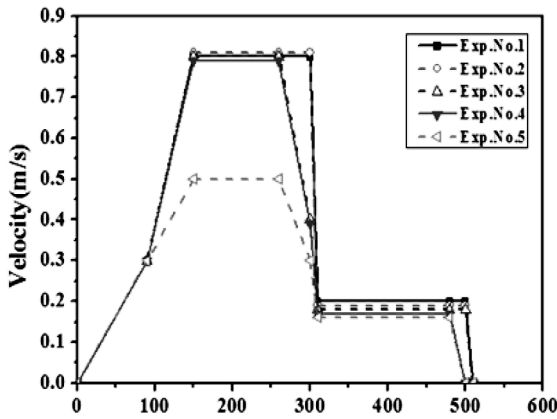


Fig. 5. Injection curve for die casting.

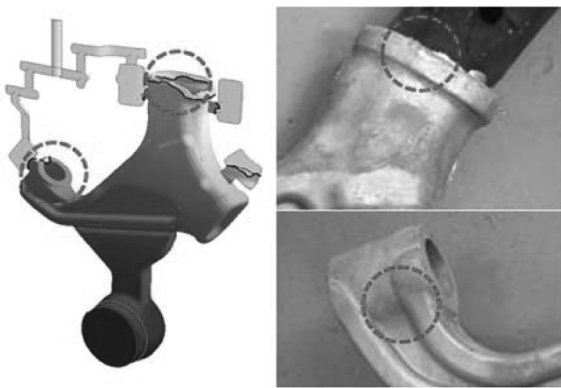


Fig. 6. Simulation and photos of specimen fabricated by semisolid die casting under the condition Exp. No. 2

이프쪽의 후육부위로 슬러리가 먼저 유입되어 유동하는 것을 관찰할 수 있다. 충전의 방향성은 나머지도 유사하며 이러한 특성은 액상사출에서는 볼 수 없는 현상이다. 액상과는 다른 점도를 유지하는 슬러리의 이러한 충전 패턴은 금형설계에서 매우 중요한 설계요소로 작용할 수 있다.

Fig. 4에서 나타낸 Modified Carreau 모델에서의 반응고 충전 패턴은 Fig. 3의 충전양상과 유사하다. 철제파이프와 맞닿는 면의 충전양상은 접촉면의 열전달과 표면상태에 대한 명확한 데이터가 없어서 차이를 보이나 거시적 양상과 충전패턴은 실험적 결과와 일치하는 모습을 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 단순하고 후육인 제품에서는 Modified Carreau모델의 적용이 가능하다고 판단된다. 이와 같은 충전 양상은 반응고 슬러리의 고유특성으로써 슬러리의 직진성을 의미하며 시뮬레이션 상에서도 난류는 나타나지 않으며 충전 패턴이 균일하게 유지되고 있다.

실험과 시뮬레이션 모두 589 °C의 주입조건에서 완전 충전이 가능하였다. 시뮬레이션 상에서 파이프의 온도가 300 °C로 설정되어 있고, 실험에서도 250~300 °C를 유지하고있으므로 상대적으로 박육에 해당하는 파이프 연결구간에 완전 충전이 가능한 것은 반응고 슬러리가 충류충진을 이루면서 콜드셋 없이 제품에 접합이 가능하다는 것을 의미한다.

하이브리드 로워압은 접합의 강도와 알루미늄의 기계적 성질

이 매우 중요한 요소이다. 또한 제품이 열처리를 하게 되므로 제품 내의 기포나 수축공은 피로강도를 저하시키는 위험요소로서 작용한다.

주조변수로서 고려될 수 있는 저속속도, 고속속도, 절환위치, 증압위치, 주입온도 등의 다양한 변수들은 각기 금형의 형상 및 금형온도와 맞물려 다양한 주조결합의 원인으로 작용한다. 최적화되지 못한 사출제어기술은 제품에 미성형 혹은 mis-run 과 같은 주조불량을 일으킬 수 있다. 이와 같은 문제는 금형 제어기술과 사출제어기술의 최적설계로 해결될 수 있다. 그러므로 하이브리드 로워압의 반응고 사출시에도 이와 같은 두가지 다이캐스팅 설계를 최적화시켜야 건전한 제품을 얻는 것이 가능하다.

본 연구에서는 내구설계를 마친 캐비티에 일반적인 다이캐스팅 설계에서 저속충전을 고려한 확장된 인게이트 및 충류충진된 슬러리의 교차점 및 최종충진구역에 오버플로우를 설치한 금형에서 최적방안을 찾고자 하였다.

Modified Carreau Model로 해석한 제품내 기포량에 대한 평가와 속도 및 절환위치에 따른 기포량의 평가를 위해 Fig. 5의 사출조건으로 실험을 진행하였다. Exp.No. 1은주입온도를 일반적인 다이캐스팅 주입온도인 700 °C로 설정하고 최대한의 충류충진을 위해 슬리브구간에서 0.8 m/s, 인게이트 전후로 0.2 m/s로 저속충진시킨 경우이다. Exp.No. 2는 동일한 조건에서 반응고 슬러리 사출을 실시한 경우이며 Exp.No. 3는 고속 저속절환위치를 20 mm당겨서 사출한 경우이다. Exp.No. 4는 Exp.No. 3와 달리 저속구간에서 정지구간까지의 속도를 완만하게 낮춘 경우이며 Exp.No. 5는 Exp.No. 4와 같으나 슬리브에서의 속도를 줄인 경우이다

Fig. 6에서 보는 바와 같이 Exp.No. 2의 사출조건에서의 반응고 시뮬레이션 결과에 따르면 최종충진부위인 A 그라운드 부위와 G 그라운드 부위방향의 파이프 접합부 근방에 기포가 잔류할 가능성이 있다. 같은 조건으로 반응고 사출을 한 결과에서의 기포량을 평가하기 위해 T6열처리한 시편의 표면 블리스터를 관찰하였다. T6열처리 조건은 530 °C, 7시간의 용체화 및 170 °C, 6시간의 시효처리로 구성하였다. 블리스터의 위치를 표시한 사진에서 2~5 mm의 표면기포가 관찰되는데, 이러한 블리스터는 표면 블리스터로 금형의 온도저하에 따른 영향과 사출조건의 변화에 따른 표면응고층의 깨어짐 혹은 미세분포하는 기포의 오버플로우 배출 및 충분한 가압효과가 발생하지 않을 경우 나타날 수 있다.

일반적으로 다이캐스팅 제품은 용체화처리시 기공혼입에 의한 블리스터 발생이 빈번하나 반응고 사출의 경우 일정량의 고상율로 점도를 갖고 저속충진되기 때문에 기공혼입이 적고 저온 주입에 따른 가스포화도가 낮아 블리스터 발생양을 획기적으로 줄이는 것이 가능하다.

Table 1은 Exp.No.1~5의 기포발생량을 비교평가하기 위해 각각의 표면기포의 크기 및 빈도수를 각각의 주조조건에 따라 사출된 제품의 평균을 측정해본 결과이다.

Exp.No.1의 경우가 발생빈도가 가장 컸으며 표면 블리스터 뿐만 아니라 내부의 기포 발생량도 상당량 있었고 표면 육안 관찰만 한 경우로 실제로 제품내에 상당량의 기포가 존재할

Table 1. Comparison of defect depending on the injection condition.

Condition	Avg. Size of Blister (mm)	Avg. Num. of Blister
Exp.No.1	9.5	23.2
Exp.No.2	2.5	9.6
Exp.No.3	1.2	5.9
Exp.No.4	2.3	4.8
Exp.No.5	1.7	1.3

것으로 판단된다. Exp.No. 2의 경우 Exp.No. 1에 비해 블리스터의 크기는 줄었으나 발생빈도는 반정도이며 이에 고속구간을 줄여 캐비티 내의 슬러리의 관성에 따른 속도를 더욱 낮춘 Exp.No. 3와 Exp.No. 4는 기포의 숫자가 더욱 줄어든 것을 볼 수 있다. 상대적으로 고속으로 설정되어있던 슬리브내의 플런저 이동속도를 0.5m/s로 낮춘 Exp.No.5의 경우 가장 빈도가 낮은 것을 볼 수 있다.

반응고 슬러리는 내부 잔존 가스의 양이 다이캐스팅에 비해 적고, 금형표면의 이형제와 피스톤 이형제의 도포에 기인한 가스의 양은 온조기에 의해 예열된 금형의 표면이 건조된 후에 합형하였으므로 무시하는 것이 가능하다. 따라서 제품내 혹은 제품 표면의 가스는 사출시 슬러리의 충전과정에서 슬리브 상부 및 금형 캐비티 내에 존재하는 가스의 인트랩 혹은 인게이트를 지나 상대적으로 박육인 부위를 지나며 충류층의 파단이 발생하는 경우로 볼 수 있다. 적절한 인게이트 속도는 슬러리의 전단특성에 기인하여 결정되는 것이 바람직하다. MIT의 M.C.Flemings는 적절한 인게이트 속도가 내부 기포량과 표면 특성을 좌우한다고 보았으며 인게이트 속도가 느릴 경우 인게이트 전후로 응고가 발생하여 미충진이 발생하고 인게이트 속도가 빠를 경우 충류선 단이 파쇄되어 내부에 잔존가스가 많아진다고 보았다.

Fig. 7는 Exp.No. 1과 Exp.No. 5의 파이프와 알루미늄과의 이종접합면을 관찰하기 위해 수직 절단하고 접합면을 50배율로 관찰한 사진이다. (a)와 같이 저속사출임에도 접합면의 절단부에 프레임 변형이 관찰되는 이유는 주입온도가 700 °C이상으로 유지되어 철제프레임의 급격한 강도저하로 인한 것으로 보인다. 이외는 달리 (b)의 반응고 주조법의 경우 파이프 프레임의 변형이 거의 없으며 안정적인 충전결과를 나타낸다. 접합부를 광학현미경으로 확인된 바와 같이 접합력이 우수함을 볼 수 있다. Exp.No. 2, Exp.No. 3, Exp.No. 4도 모두 접합율이 98 %이상 [제품의 접합율(%)=(충접합길이-결합길이)/충접합길이]의 접합율을 나타내었다.

따라서 본 하이브리드 로워암의 레오캐스팅 사출의 경우 충전 패턴은 0.5 m/s의 인게이트 직전의 사출속도 감소와 함께 충전결합의 발생을 줄이기 위해 일정한 저속 충전이 필요함을 알 수 있다. 그러므로 하이브리드 로워암의 이종접합특성을 유지하면서 제품 내 기포량을 최소화할 수 있는 최적의 사출 조건은 Exp.No. 5로서, 양품의 사진과 X-ray 분석 사진을 Fig. 8에 실었다.

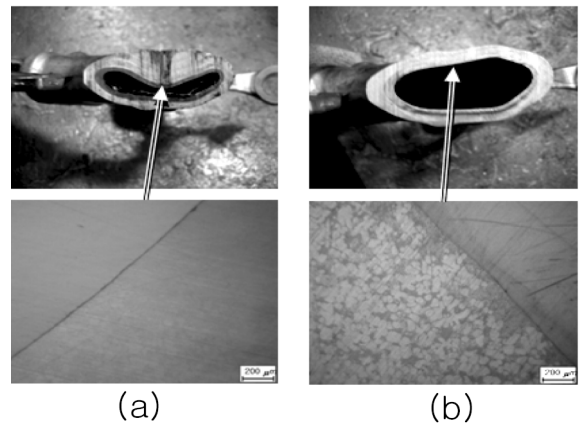


Fig. 7. The photos and microstructure of joining: the injection condition is (a)Exp.No.1 and (b)Exp.No.2.

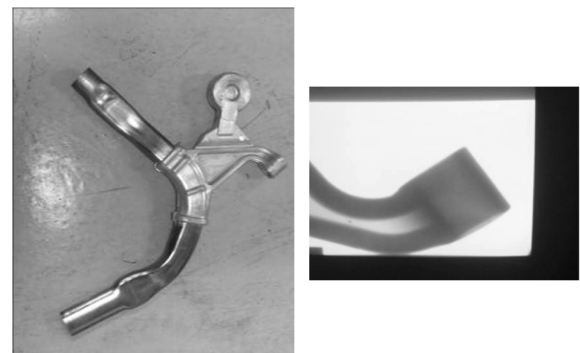


Fig. 8. The sound product of the hybrid-lower arm on the condition Exp.No.5.

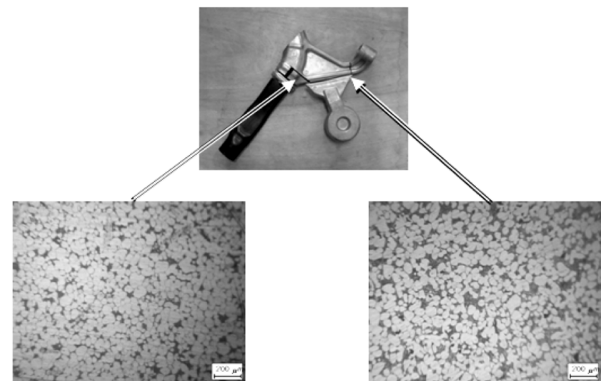


Fig. 9. The microstructure of the hybrid-lower arm by rheocasting.

X-ray 분해능의 상한값인 1 mm 이상의 기포는 관찰되지 않았으며 시편 모두 1등급의 분석결과로 볼 때 반응고 시편모두 내부기포가 거의 존재하지 않는 것을 알 수 있다.

반응고 충전 특성을 고려한 금형디자인과 에어벤트의 설치 등의 구조적 변경이 이루어진다면 Exp.No. 5의 조건보다 빠른 충전 속도로 제품 양산이 가능할 것으로 보이며 하이브리드 로워암의 반응고 사출을 통한 이종접합 구현이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 9은 하이브리드 로워암의 부위별 대표적인 미세조직 사진이다. 입자의 크기와 구상화를 그리고 균일성은 슬러리의 품질을 평가하는 지표이다. 입자가 작고 구형일수록 제품의 충류

충진 능력이 향상되고 기계적 성질을 높일 수 있다[11]. 반응고 슬러리는 Fig. 8에 보는 바와 같이 평균 60 μm의 입자 크기를 가지며 구상화율의 척도인 Formfactor가 0.8이상으로 우수한 품질 상태를 보이고 있다. Exp.No. 2, Exp.No. 3, Exp.No. 4에서도 미세조직은 비슷하였으며 내부가 치밀한 조직을 나타내고 있다. 이러한 결과로 보아 H-NCM반응고 슬러리는 넓은 작업 윈도우 프로세스를 가지는 것을 알 수 있으며 양산 적용한 기술임을 알 수 있다.

5. 결 론

다이캐스팅 조건에서 확립된 사출제어기술과 금형제어기술은 하이브리드 로워암과 같은 이종접합재의 반응고 사출을 위한 사출조건과는 다르다. 이는 슬러리의 특성과 접합효율 및 열처리 이후의 건전성에 대한 평가를 통해 개선되었다. 특히 몇가지 주조변수가 미치는 영향을 통해 향후 H-NCM을 이용한 고품질 슬러리를 이용하여 사출조건이 제품성형에 미치는 영향에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) H-NCM에 의해 평균입자크기 60 μm, 구상화율 0.8이상의 2.7 kg급 반응고 슬러리를 얻었으며 현장 환경에서도 균일한 품질상태를 유지할 수 있었다.
- 2) 레오캐스팅시, 0.2 m/s의 플런저 속도에서 층류충진을 유지하였으며, 미충진 실험을 통해 충전의 직진성 및 후육부의 우선충진 양상을 확인할 수 있었다.
- 3) 레오캐스팅의 충전 패턴과 결함예측은 Modified Carreau 모델을 통해 수행하였으며, 비교적 충전 패턴과 결함예측이 실험 결과와 일치하였다.
- 4) 철제파이프와의 연결구간에서 슬러리는 콜드셋없이 제품에 접합이 가능하였고 열처리시 발생하는 기포의 분포는 액상과는

달리 주조변수의 제어를 통해 발생빈도를 최소화할 수 있었다.

- 5) 알루미늄과 철제파이프사이의 접합율은 98%이상을 나타내며 내부기포가 거의 존재하지 않았다.

감사의 글

본 연구는 위아(주) 모듈연구부 및 (주)서진산업 기술연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] T. Chikada : J. of Japan institute of light metals, Vol. 40, No. 12 (1990) 944.
- [2] M.C Flemings: Met. Trans. 22A (1991) 957.
- [3] N. Nishi: Japan Foudrymen's Society 76 (2004) 266.
- [4] T. Kaneuchi, R. Shibata and T. Itamura: J. Jpn. Foundrymen's Soc., 74 (2002) 595.
- [5] C. P. Hong, J. M. Kim, M. S. Kim: JP Patent No.3496833 (2003).
- [6] C. P. Hong and J. M. Kim : Proc. Of the 9th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Korea, (2006) 44.
- [7] M. C. Flemings and W. L. Johnson : Proc. Of the 65th World Foundry Congress, Korea, (2002) 3.
- [8] S. Sulaiman and T. : J. Mater. Proc. Tech., 63 (1997) 690.
- [9] H. V. Atkinson : Prog. Mater. Sci. 50 (2005) 341
- [10] J.Mun, K. Kim, H. Seok, S. Kim, and Y. Kim : Proc. of the 2nd Japan-Korea Conference for Young Foundry Engineers, Korea (2004) 82
- [11] D.Liu, H.V.Atkinson, P. Kapranos, W. Jirattiticharoean and H. Jones : Mater. Sci. Eng. (A) 361, (2003) 213.