

**논문****신 반응고 슬러리의 개발과 베어링 브라켓에 대한 적용**심재기<sup>†</sup> · 문준영 · 김재민 · 홍준표

연세대학교 신소재 공학과

**Development of New Semi-solid Method and Practical Application to Bearing Bracket**Jae-Gi Sim<sup>†</sup>, Jun-Young Moon, Jae-Min Kim, and Chun-Pyo Hong

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

**Abstract**

The bearing bracket, which has produced by the squeeze casting for the high strength in lightweight part of automobile, was developed by the rheocasting process using the H-NCM slurry. Compared with the squeeze casting, the rheocasting process has some merits such as shortening cycle-time, reducing total weight, and increasing productivity. In this study, partial feeding test was carried out by controlling plunger stroke length and compared with semisolid simulation. Optimal casting parameters such as injection speed and stroke variations were established. Sound products with integral microstructure were obtained by the H-NCM slurry and X-ray analysis also showed the integral condition throughout the entire parts.

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

(Received June 10, 2007 ; Accepted July 19, 2007)

**1. 서 론**

최근 에너지 비용의 절감과 사용자 편의성을 증진시키기 위해 기존의 철계 소재를 경량소재인 알루미늄 합금과 마그네슘 합금 등으로 대체하고자 하는 노력이 지속되고 있다. 특히 알루미늄 합금은 다른 비철 소재에 비해 기계적 성질이 우수하고 용탕 관리가 쉬우며 타 소재에 비해 가격경쟁력이 높아 엔진, 샤시, 브라켓, 하우징 제품군 등 광범위하게 사용되고 있다[1].

알루미늄 합금을 이용한 주조의 가장 대표적인 방법은 다이캐스팅 방법으로써, 생산성이 월등히 뛰어나고, 치수정밀도가 높아 저속적인 발전을 거듭하였다. 그동안 다이캐스팅 기술은 시출 속도 및 증압과 관련된 사출제어기술과 금형 설계 및 온도 제어와 관련된 금형제어기술 등 신기술을 적용하여 그 품질이 많이 향상되었다. 그러나 근원적으로 다이캐스팅 제품은 기포의 혼입 문제 등으로 인해 열처리가 불가능하고, 용탕 수축문제에 의해 후육 제품 생산이 까다롭다는 단점이 있다[2].

고진공 다이캐스팅, 스퀴즈 캐스팅 등은 이와 같은 다이캐스팅의 다양한 문제를 개선하기 위해 고안된 주조법이다[3]. 고진공 다이캐스팅은 박육부의 기포 혼입문제를 해결하기 위해 진공설비가 도입된 주조법이며, 스퀴즈 캐스팅은 후육 제품의 수축문제를 해결하고 기계적 성질을 높이기 위해 도입된 주조법이다. 그러나 생산비용의 상승과 적용 제품의 한계성으로 인해 크게 발전하고 있지는 못하다.

이에 비하여, 지난 30여년간 연구된 반응고 주조법은 다이캐스팅이 가지고 있는 근원적 문제를 해결해줄 수 있는 최적의 주조 기술로 평가되고 있다. 그러나 지금까지 반응고 재용융 기술을 활용한 틱소캐스팅 기법의 우수성은 많이 평가되었으나, 재용융에 따른 비용상승문제와, 반응고 빌렛의 처리문제가 용이하지 않기 때문에 산업화에 성공한 사례는 없었다. 또한, 1990년대 개발된 일본의 NRC기법은 슬러리의 재용융 문제를 해결한 최초의 레오캐스팅 기법임에도 장치가 번거롭고 스퀴즈캐스팅 및 다이캐스팅 보다 높은 생산비용문제 때문에 상용화 되기 힘들었다[4]. 더욱이 국내에서는 외국의 반응고 주조 기술을 도입하여 연구한 사례뿐, 실용화한 사례는 없다.

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 등에서 소개된 H-NCM기법은 이미 몇 가지 양산제품 생산에 적용되고 있다.

<sup>†</sup>E-mail : laworl@yonsei.ac.kr

한편, 레오캐스팅에 의한 제품의 제작은 기존의 다이캐스팅과 같이 난류흐름에 의한 공기 포집이 없고, 고상율이 높은 상태에서 제품을 성형하기 때문에 수축에 의한 문제도 크게 향상된다[7]. 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[8]. 상기 두 가지 제어기술은 건전한 제품의 양산을 위해 반드시 최적화 되어야 할 부분이지만, 고온 용탕 상황의 다이캐스팅 조건을 반응고 슬러리의 경우에 그대로 적용시키는 것은 무리가 있다.

그러므로 건전한 제품 주조를 위해서는 반응고 슬러리의 품질 뿐만 아니라 슬러리의 물리적 특성에 적합한 다이캐스팅 주조 기술이 병행하여 발전되어야 한다. 그러나 지금까지 반응고 슬러리에 의한 다이캐스팅 사출 거동과 관련된 분석은 매우 미비하였다. 이는 우선적으로 반응고 슬러리의 제작기술이 아직까지 확립되지 못한 영향이 커다고 할 수 있다. H-NCM은 타기술에 비해 미세하고 균일한 이상적인 반응고 슬러리를 간단하게 제조할 수 있기 때문에, 다른 방법에 의한 슬러리보다 레오캐스팅 사출거동을 분석하기가 용이하다. 본 연구에서는 H-NCM에 의한 반응고 슬러리를 이용하여 레오캐스팅시 필요한 최적의 사출조건에 대해 현재 스퀴즈 캐스팅법으로 양산중인 제품을 이용하여 알아보고자 하였다.

베어링 브라켓은 대표적인 후육제품으로써 스퀴즈캐스팅을 통해 양산되는 제품이다. 충류 충진을 위한 저속 사출로 인해 생산성이 떨어지는 제품에 대해 레오캐스팅을 적용시킴으로써, 생산성 향상효과를 기대할 수 있다. 이는 시출속도의 변경을 통해 이루어지므로 사출속도 변화에 따른 레오캐스팅의 충진 패턴에 대해서 분석하였다. 그리고 반응고 슬러리의 사출 거동에 대한 분석을 통해, 향후 레오캐스팅에서 필요한 금형 설계 방안에 대해서도 논의 할 것이다. 또한, 레오캐스팅 충진 패턴과 결합예측은 Carreau 모델을 통해 시뮬레이션하였고, 실험적 결과와 비교하여 반응고 시뮬레이션의 가능성에 대해 검증하였다. 제작된 시편은 X-ray와 광학현미경으로 분석하여 수축공 및 미세조직 분석을 실시하였다.

## 2. 실험방법

실험에 사용된 합금은 A356 합금이며, 현재 스퀴즈 캐스팅으로 사용되는 합금과 동등한 조건을 위해 Sr계열 개량화제로 용탕처리를 하였다. 반응고 슬러리를 제작하기 위해 H-NCM Up-Down Serial No. 200407 모델을 사용하였으며 적절한 냉각속도를 가질 수 있도록 SUS304 재질의 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 불러 630-H 다이캐스팅 머신을 통해 사출되었다. Fig. 2에 본 실험에 사용되는 베어링 브라켓의 CAD그림을 살펴보면 2 cavity구조이며 인게이트부의 두께가 두껍고, 제품 상

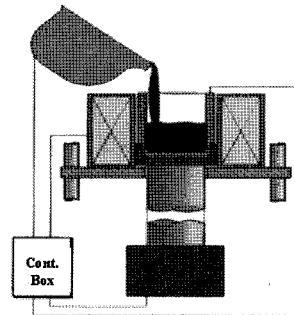


Fig. 1. The equipment of the H-NCM for semisolid.

단과 하단에 비교적 큰 후육부가 위치하고 있다. 현재 베어링 브라켓은 진공설비를 갖춘 0.08 m/s의 저속 단일사출조건에서 양산품으로 제작되고 있다. 그러나 레오캐스팅 실험에서는 시출 조건에 따른 슬러리 고유의 충진 특성을 확인하고자 진공 설비를 배제하였으며 금형온도는 모두 200°C로 균일하게 실시하였다.

슬러리의 금형 내부 충진 패턴은 다이캐스팅 장비의 스트로크를 제어함으로써 얻었다. 이때의 슬러리 주입중량과 주입속도는 모두 일정하게 제어하였으며 Carreau 모델에 의한 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

일반적으로 스퀴즈 캐스팅의 경우, 고온 용탕의 충류충진을 위해 0.1 m/s이하의 시출 속도를 유지하며 4 kg급의 제품생산시 120초의 사이클 타임을 갖는다고 알려져 있다. 레오캐스팅의 경우 반응고 슬러리의 점도는 스퀴즈 주조시 용탕의 점도 보다 높기 때문에 보다 빠른 속도의 충진으로 충류충진이 가능할 것으로 예상되며 특히, 일반 용탕보다 70~100°C의 낮은 온도에서 주입하기 때문에 수축에 의한 문제가 개선될 것으로 예상된다. 그러므로 높은 시출속도에서의 제품 품질 건전성을 확인하기 위해 다양한 고속조건에 의한 제품 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.

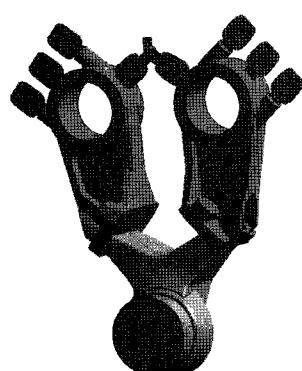


Fig. 2. The 3-D CAD drawing of Fig. 3. The flow patterns of semisolid by partial feeding test: stroke distance is (a) 400mm, (b) 450mm, (c) 470mm, (d) 490mm, and (e) 510mm. the bearing bracket.

### 3. 반응고 시뮬레이션

반응고 슬러리의 충진 거동을 설명하기 위해 지금까지 다양한 방법들이 제시되고 있다. 특히, Koke, Zavalingos, Alexandou, 그리고 Atkinson 등 유럽의 많은 연구자들은 턱소캐스팅과 같은 높은 고상율의 반응고 슬러리의 충진 이론을 제시하였다[9]. 그러나 이들의 방법에서는 단지 전단력과 고상율을 슬러리 점성 평가의 주요 변수로 하고 있기 때문에 슬러리 미세조직적 특성 차이에 기인한 물성치 변화를 고려한 면이 부족하다. 특히 레오캐스팅과 같이 낮은 고상율의 슬러리를 이용하는 경우, 입자의 크기와 형상 그리고 균일성과 같은 미세조직적 변수가 유동패턴에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 슬러리의 특성을 반영하는 유변학적 데이터의 확립이 필수적이다.

또한, 레오캐스팅은 턱소캐스팅보다 유동성이 뛰어나므로 실험적인 데이터를 용용하여 유동성을 간단하게 표현할 수 있는 Power-law에 미세조직적 특성을 접목시키는 방법이 보다 효율적인 것으로 사료된다.[1] 지금까지 Power-law 모델을 이용한 방법 중 미세조직적인 특성을 적용한 사례는 드물다. 따라서 본 연구에서는 레오캐스팅에서의 시뮬레이션 적용 가능성을 평가하기 위해 Power-law를 기반으로 하고 실험적으로 반응고 슬러리를 검증한 Carreau 모델을 채택하였고 이를 통해 제품 불량을 예측하였다. 본 연구에서 활용된 Carreau 모델은 Anycasting(주)에서 개발한 Modified Carreau 모델로써, 아직 반응고 슬러리의 미세조직적 특성을 완벽하게 구현할 수는 없다[10]. 그러나 베어링 브라켓과 같이 cavity 평균두께가 크고 형상이 단순한 제품에서는 Modified Carreau 모델이 유용하게 사용될 수 있다. 다만, 복잡하고 cavity 두께가 얇은 제품에 대해서는 미세조직적 차이에서 비롯되는 유동특성을 확인해야 하므로 Modified Carreau 모델에서 진보된 레오캐스팅 시뮬레이션 모듈에 대한 연구는 현재 진행중이다. 본 연구에서는 Modified Carreau 모델을 통해 레오캐스팅에서의 충진 거동 예측의 유효성을 평가하고 향후 시뮬레이션에서 보완점을 찾는데에 의의가 있다고 사료된다.

### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 반응고 슬러리의 충진 패턴을 보여주고 있다. 이때의 사출 속도는 1 m/s이고 현재 본 베어링 브라켓의 양산용 사출속도인 0.08 m/s 보다 약 12배 빠르다. 이 속도에서 각 위치별 충진 패턴은 모든 위치에서 전형적인 층류충진 모습을 나타내고 있다. 더욱이, 양 제품의 충진 패턴 또한 거의 일치하며 충진의 방향성이 뚜렷한 모습을 보이는데, 이와 같은 충진 패턴은 일반 액상 사출에서는 0.05 m/s 이하의 매우 느린 속도에서만 관찰되는 현상이다. Fig. 4에서 나타낸 Modified Carreau 모델에서의 반응고 충진 패턴은 Fig. 3의 충진 구조와 흡사하게 나타나고 있다. 비록 미세조직적 특성이 고려되지는 못하였으나 후육이며 단순한 제품에 대해서는 Modified Carreau 가 거시적인 충진 패턴에 있어서 실험적 결과와 비교적 일치한다고 할 수 있다. 이와 같은 충진 패턴은 일반 용탕과 비교할 때 반응고 슬러리의 고유의 유동특성으로써, 슬러리의 직진성이 확인되고 있다. 시뮬레이션 상에서도 난류 거동이 나타나지 않으며 충진 패턴이 균일하게 유지되고 있다.

반응고 슬러리는 일반 스퀴즈 캐스팅에 비해 보다 빠른 속도 조건에서도 층류충진이 가능하다는 것이 확인되었다. 그러나 건전한 제품의 양산을 위해서는 층류충진 만으로 해결할 수 없는 문제들이 항상 존재한다. 특히, 최적화 되지 못한 사출제어기술은 제품에 미성형 혹은 mis-run과 같은 주조 불량을 일으킬 수 있다. 이와 같은 문제는 금형제어기술에 의한 극복, 혹은 사출제어기술의 최적설계로 해결될 수 있다. 따라서, 레오캐스팅에서도 이와 같은 두 가지 디아캐스팅 주조변수를 최적화 시켜야 건전한 제품을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서는 현재 양산중인 제품의 금형 변형 없이 현 조건에서의 최적 사출제어방안을 찾고자 하였다. 특히 1 m/s의 고속 조건에서 확인된 원활한 층류 충진 패턴은 사출속도의 자유도를 높여주기 때문에 이와 같은 가능성을 보다 높여줄 수 있다. Table 1은 본 연구에서 사용된 다양한 사출 방안을 보여주고 있다. 이때 Modified Carreau 모델로 예측된 결함 발

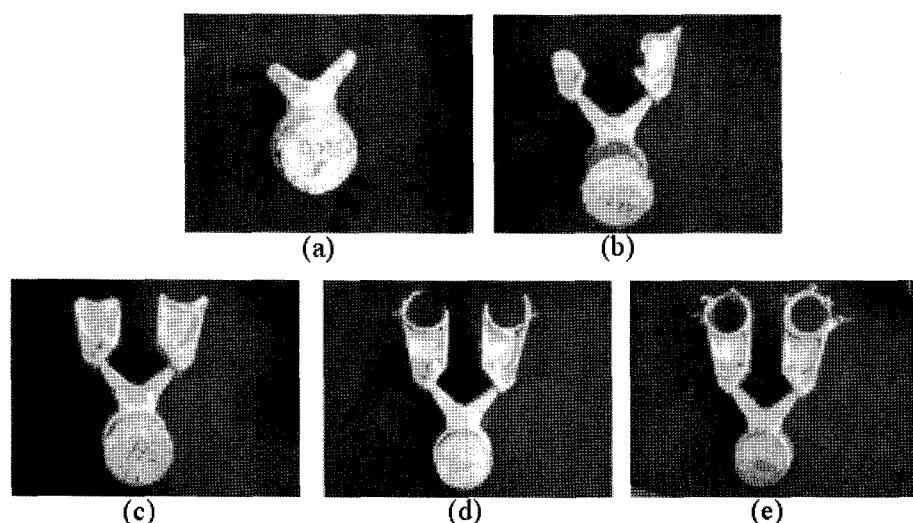


Fig. 3. The patterns of semisolid by partial feeding test: stoke distance is (a) 400 mm, (b) 450 mm, (c) 470 mm, (d) 490 mm, and (e) 510 mm.

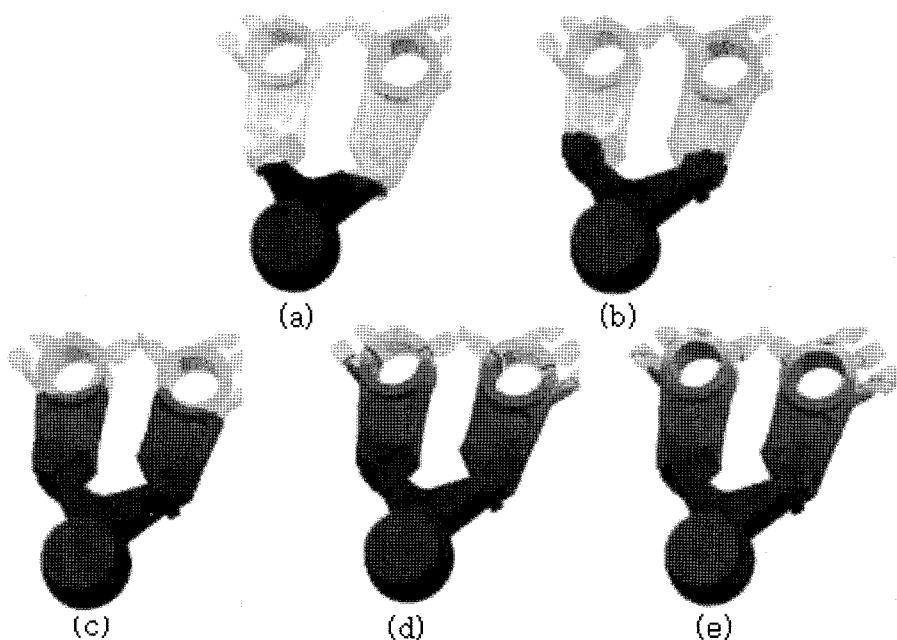


Fig. 4. The predictions of filling sequences for semisolid by Carreau -Model: stroke distance is (a) 400mm, (b) 450mm, (c) 470mm, (d) 490mm, and (e) 510mm.

Table 1. The various injection velocity systems.

Condition	Initial velocity (m/s)	Velocity in the cavity (m/s)
1	1.0	0.08
2	1.0	0.1
3	1.0	0.3
4	1.0	0.6
5	0.5	0.08

생 지역과 실제 제품에서의 결합을 비교해보고 평가하였다.

초기 조건 1 m/s의 속도는 기존의 스퀴즈 제품의 생산성을 크게 높여줄 수 있는 고속의 사출 조건이다. 그러나 Fig. 5에 나타난 결함과 같이 1번~4번 조건에서는 모두 미충진 현상이 발생하였다. 이는 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 반응고 슬러리의 직진성 때문에 발생하는 것으로 사료된다. 즉, 고속 충진조건에서, 충진 방향에 수직인 Fig. 5의 국부적인 직각 부분에서

는 반응고 슬러리가 수직 부위의 공기가 미처 빠져나가기도 전에 금형을 채우고 지나갈 수 있다. 이때 국부적인 위치에서 채워지지 않은 영역의 공기 배압문제가 발생할 수 있는 것이다. 이는 시뮬레이션 모델의 충진 패턴 예측 모습에서도 동일하게 나타난다. 주 진행방향의 슬러리가 직각 부위를 미처 채우지 못하고 지나는 충진 패턴을 보여주고 있다. 이와 같은 문제는 금형, 러너 디자인 혹은 오버플로우 설치 등, 구조적인 방법으로 극복할 수도 있지만, 본 실험에서는 시출속도 측면에서 보다 저속 시출을 통해 이와 같은 공기의 배압현상이 발생하지 않게 하였다.

다이캐스팅 공정시 후육부는 금형표면의 접촉부에 비해 냉각 속도가 느리므로 최종응고 지역으로 남을 확률이 높다. 일반 스퀴즈 캐스팅에서는 용탕 충진과 함께 100 Mpa 이상의 강력한 압력을 유지하기 때문에 내부 수축발생을 방지한다. 그러나 레오캐스팅 공정은 고상율 0.3~0.4에서 슬러리가 슬리브에 투입되기 때문에 수축에 의한 결함량이 그와 동일하게 줄어들고, 스퀴즈 캐스팅과 같은 강력한 가압 없이도 견전한 제품을 얻

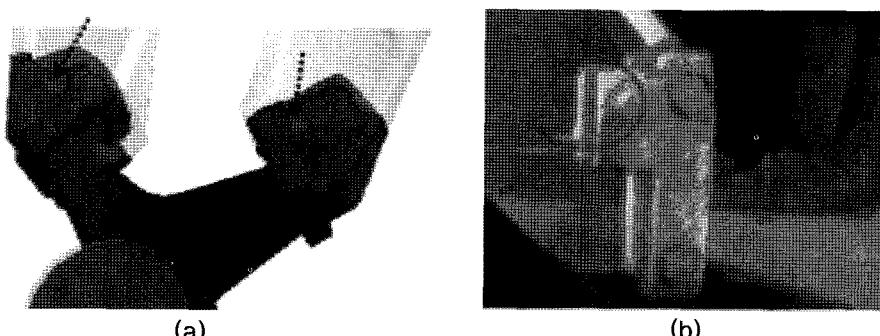


Fig. 5. The defect generated on fast feeding condition: (a) the prediction by the simulation and (b) the cold-shut defect in the experimental results.

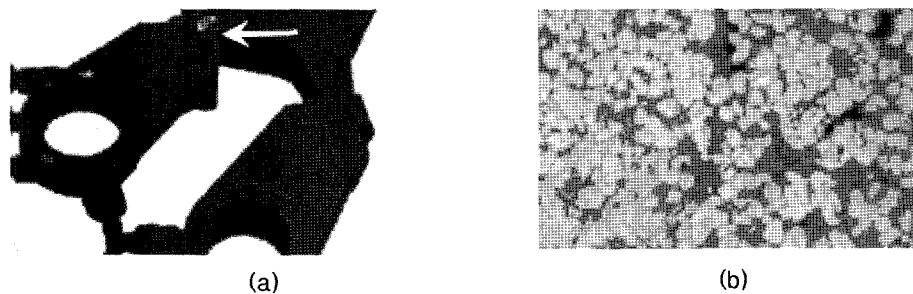


Fig. 6. The shrinkage defect in thick parts: (a) the simulated result and (b) the microstructure of shrinkage porosity in the arrow of (a).

을 수 있는 장점이 있다.

그러나 시뮬레이션 분석을 통해 베어링 브라켓의 온도 분포에 의한 수축공 예상 지역을 확인해 본 결과 Fig. 6과 같이 후육부에 지속적인 수축공 발생이 예상되었다. 특히 4번 조건에서의 제품에서는 이와 동일한 위치에서 수축공이 존재함이 실험적으로도 확인 되었다(Fig. 6(b)). 이와 같은 결과는 높은 고상율의 주입에도 불구하고, 고속조건의 충진 시간이 짧아 표면과 후육내부의 온도 구배가 크게 되어 국부적으로 슬러리내의 액상이 고립되기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 본 베어링 브라켓의 레오캐스팅 사출의 경우 충진 패턴은 1 m/s의 고속 주입에서도 충류 흐름은 유지되지만, 미충진, mis-run 등과 같은 충진 결함 및 수축 결함의 발생을 줄이기 위해 일정한 저속 충진이 필요함을 확인할 수 있었다. 그러므로 제품 생산성을 향상시키며 동시에 결함이 없도록 하기 위한 최적의 사출조건은 5번 조건으로서, 양품의 사진을 Fig. 7에 실었다.

이와 같은 결과는 금형조건 등의 구조적 변화없이 사출조건 변경만으로 레오캐스팅 제품을 제작하는 데 무리가 없음을 확인시켜주고 있다. 또한, 5번 사출조건은 0.08 m/s의 단일충진을 하는 경우보다 생산성이 높으며 더욱이 제품의 금형내 보존시간(curing time)이 단축되는 레오캐스팅 공정을 통해 전체 생산성을 약 20% 향상시키는 결과를 나타낼 것으로 기대된다.

그리고 반응고 슬러리의 충진 특성을 고려한 금형 디자인과 에어벤트 설치 등의 구조적 변경이 가능하다면, 5번 조건보다 빠른 충진 속도로 제품 양산이 가능할 것이 충분히 기대되는 바, 레오캐스팅 공법의 우수성을 확인할 수 있었다.

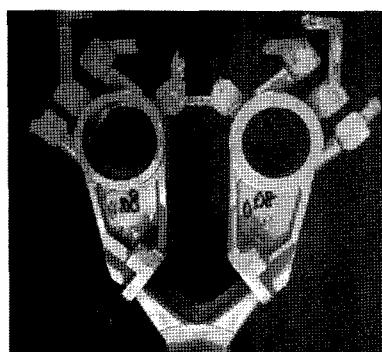


Fig. 7. The sound product of the bearing bracket on the condition of 5.

Fig. 8은 베어링 브라켓의 대표적인 미세조직사진이다. 입자의 크기와 구상화율 그리고 균일성 등은 슬러리의 품질을 평가하는 중요한 지표이며 입자의 크기가 작고 구형일수록 제품의 충류총진 능력이 향상되고 기계적 성질을 높일 수 있다 [11]. H-NCM에 의한 반응고 슬러리는 Fig. 8에서 보이는 바와 같이 평균 60  $\mu\text{m}$ 의 입자 크기를 가지며 구상화율의 척도인 Form factor가 0.8 이상으로 우수한 품질 상태를 보이고 있다. 특히 약간의 외관 결함이 있었던 1~4번 조건에서도 미세조직의 양상은 비슷하였으며, Fig. 9의 X-ray 분석은 외관 결함과 미세한 수축공 이외에 내부가 치밀한 조직을 나타내주고 있다. 이와 같은 결과는 H-NCM을 이용한 슬러리가 현장 조업에 적합한 넓은 프로세싱 윈도우를 가진다는 것을 보여주는 것으로써, 사출제어기술과 금형제어기술이 슬러리의 물리적 특성에 맞게 최적화 된다면, 레오캐스팅제품의 양산화가 가능할 것이라는 사실을 의미하고 있다.

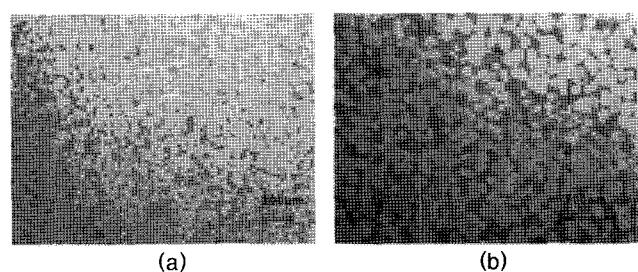


Fig. 8. The Microstructures of the bearing bracket by the rheocasting: (a) X50 and (b) X100 magnification, respectively.

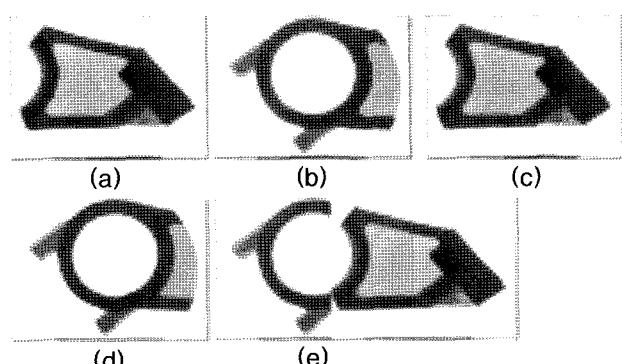


Fig. 9. The X-ray analysis of various injection velocity systems: the condition of (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, and (e) 5.

## 5. 결 론

다이캐스팅 머신을 이용하는 제품 성형은 종력주조와 비교할 수 없을 만큼 매우 빠른 충진을 요구하기 때문에 사출제어기술과 금형제어기술 등이 확립되어야 최적의 양산품을 제작할 수 있다. 더욱이, 레오캐스팅의 경우 고상율이 높은 반응고 슬러리를 이용하기 때문에 기존의 다이캐스팅 제작방법과는 다른 접근이 필요하다. 즉, 슬러리의 품질, 사출조건, 금형조건 등의 3가지 기술요소가 제품 성형에 충족되었을 때, 비로소 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본연구를 통해, H-NCM을 이용한 고품질의 슬러리를 이용하여 사출조건이 제품성형에 미치는 영향에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. H-NCM에 의해 평균입자크기 60  $\mu\text{m}$ , 구상화율 0.8이상의 4 kg급 반응고 슬러리를 얻었으며 현장 환경에서도 균일한 품질상태를 유지할 수 있었다.

2. 레오캐스팅시, 1 m/s의 고속 플런저 속도에서도 층류충진을 유지 하였으며, 미충진 실험을 통해 충진의 직진성을 확인할 수 있었다.

3. 레오캐스팅의 충진 패턴과 결함예측은 Modified Carreau 모델을 통해 수행하였으며, 비교적 충진 패턴과 결함예측이 실험 결과와 일치하였다.

4. 금형수정없이, 레오캐스팅에서의 시출조건 변경으로 기존의 스queeze 캐스팅제품을 생산할 수 있었으며, 생산성이 20%가량 증가할 것으로 기대된다.

## 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., "Begavior of Metal Alloys in the Semisolid State", 22A(1991) 957.
- [3] M. R. Ghomashchi, A. Vikhrov: J. Mater. Proc., "Squeeze casting": an Overview:, Tech., 101(2000) 3.
- [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 Procesing of Alloys and Composites, Korea, "Development of an Advanced Rheocasting Process and Its Applications", (2006) 44.
- [7] M. C. Flemings and W. L. Johnson: Proc. Of the 65th World Foundry Congress, "High Viscosity Liquid and Semisolid Metal Casting: Processes and Products", Korea, (2002) 3.
- [8] S. Sulaiman and A. M. S. Hamouda and D.T. Gethin: J. Mater. Proc. Tech., "Experimental investigation for metal-filling system of pressure diecasting process on a cold chamber machine", 119(2001) 268.
- [9] H. V. Atkinson: Prog. Mater. Sci., "Modelling the semisolid processing of metallic alloys", 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), "Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoformed high performance aluminium alloys", 361, (2003)213.