

논문

반응고 주조법을 활용한 하이브리드 로어암의 개발

심재기[†] · 김해수 * · 이종현 ** · 문준영 · 김재민 · 정명화 * · 노승강 ** · 김강욱 * · 홍준표

Development of the Hybrid-Lower Arm Using the H-NCM(Hong NanoCast Mehtod) Rheocasting process

J.G.Sim[†], H.S.Kim*, J.H.Lee**, J.Y.Moon, J.M.Kim, M.H.Jung*, S.K.Roh**, K.W.Kim*, and C.P.Hong

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

*Module Research Dept., WIA Corp.

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

Abstract

The Hybrid-Lower Arm, which has been developed for reducing cost and weight, was produced by three kinds of casting methods such as the high-pressure diecasting(HPDC), the squeeze casting(SC), and the H-NCM rheocasting process. The important factors for development of the Hybrid-Lower Arm are the integral feeding in Al casting for heat treatment and the high joining ratio between the steel part and the Al part. In this study, effects of these casting processes on the quality of Hybrid-Lower Arm were investigated. Compared with HPDC and squeeze casting, the rheocasting process using the H-NCM slurry had some advantages in joining different materials of Al and steel pipe without deforming the steel pipe. X-ray analysis also showed the poreless microstructure in semisolid Hybrid-Lower Arm. In the torsion stress test, semisolid Hybrid-Lower Arm was satisfied with the requirements of automobile standard.

Key words : Hybrid-Lower Arm, Semisolid, Rheocasting, H-NCM.

(Received September 29, 2008 ; Accepted November 15, 2008)

1. 서 론

최근 자동차 업계는 연비향상 및 사용자 편의성 증대를 위해 기존의 철계 제품을 알루미늄, 마그네슘 등의 비철계 경량화 소재의 개발에 힘쓰고 있다. 선진국의 경우, 경량화 소재의 개발과 부품적용에 대한 연구가 다양하게 진행되어 이미 엔진 구동부품, 샤시프레임, 각종 하우징 등 차체의 많은 부분에 걸쳐 신공법이 적용되고 있는 추세이다. 특히, 알루미늄은 성형성이 우수하여 다양한 공법의 적용이 용이하고, 기계적 물성치가 다른 비철재질에 비해 우수하여 샤시프레임 등과 같이 고강도를 요구하는 부품군에 사용되고 있다[1].

샤시 부품의 제작의 대표적인 신공법으로는 기존의 열간단조를 대체하는 주단공법, 금형캐비타내의 진공도를 높임으로써 제품의 건전성을 확보하는 초고진공 다이캐스팅 공법, 고액공존 구간에서의 층류층진을 유도하여 내부 품질을 높이는 반응고 공법 등이 알려져 있다. 그러나 비철계의 원자재 가격 상승 및 교역조건 악화에 따른 비용 상승으로 인하여 원가절감을 위한 차기 기술 개발도 지속적으로 요구되고 있다.

하이브리드-암이라는 제작개념은 현재 제기되고 있는 원가 및 경량화 문제를 해결하기 위해 도입된 공법으로써, 북미의 선진업체에서 최초 제안된 이중접합 샤시 프레임 제작 기술이

다. 이 공법은 통상적인 알루미늄 주조법을 탈피하여 국부적으로 철계 프레임파트와 알루미늄 파트를 접합하여 철계 제품의 조립부품수를 획기적으로 절감시키고, 알루미늄의 소재를 최적 비율로 주조함으로써, 경량화 및 제품생산 단가의 절감을 동시에 충족시킬 수 있는 혁신적인 공법이다.

국내에서는 (주)위아와 (주)서진산업에서 하이브리드-암 제작에 대한 아이디어의 기술적인 문제점을 보완하고 구체화하여 제품설계 및 제작에 성공하였으며 국내 특허등록을 완료하였다 [2,3]. 그러나 스틸 파이프와 알루미늄간의 이중접합문제, 알루미늄 파트에서의 물성치 확보 등의 문제는 여전히 하이브리드-암의 개발에 필수적인 기술적 난제로 남아있다. 이 같은 2차 주조문제를 해결하기 위해서는 다이캐스팅 머신을 활용한 가압 주조법이 제시되고 있다. 이 방법은 복잡형상의 이중 재질 접합문제를 해결하고 효과적인 충전성을 가능하게 할 것으로 사료된다.

현재, 다이캐스팅 머신을 이용하는 가압주조방법 중 고품위 주조방법으로는 연세대학교 홍준표 교수 연구팀에서 개발한 H-NCM이라는 반응고 슬러리 주조기술이 있으며, 품질이 우수한 슬러리를 제조할 수 있는 기술로 평가받고 있다. H-NCM 기법은 기존의 수지상 절단을 활용한 입자 미세화 방법과는 달리, 응고 초기 초정 α상의 핵생성을 촉진 시켜 근본적으로

[†]E-mail : laworl@yonsei.ac.kr

수지상의 성장을 억제하는 기법이다. 따라서 기존의 반응고 주조법에 비해 생산성이 월등히 빠르고, 설비가 간단하다는 장점이 있어 부품산업적용에 보다 용이하다[4].

본 연구에서는 하이브리드-암 제작의 핵심공정인 알루미늄 주조공정에서 다이캐스팅 머신을 활용한 주요 공법인 고압주조법, 스퀴즈주조법, 반응고 주조법 등 3가지 공법을 적용하여 성형성 및 이종접합 특성을 분석하였다. 고압주조법과 스퀴즈주조법을 활용한 사출조건은 통상적인 주조 방법을 사용하였으며, 반응고 주조법은 H-NCM 기술을 적용한 반응고 슬러리를 이용하여 주조하였다. 이를 통해 하이브리드-암 개발에 유효한 공법을 검증하고자 하였다. 제작된 시편은 거시사진 분석을 통한 성형성 평가를 실시하였고, X-ray 및 광학현미경 분석을 통해 제품의 건전성을 확인하였다. 또한, 열처리 이후 알루미늄 부의 기계적 성질 및 단품 내구테스트를 실시하였다.

2. 하이브리드 로어암 제작 기술의 개요

본 연구에 앞서 차세대 주조 기술로 평가되는 하이브리드 로어암의 공법별 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 자동차에서 쓰이는 서스펜션 압류 중에서도 로어암은 일반적으로 스틸 제품의 프레스 공법으로 제작되고 있다.

최근 경량화 추세에 힘입어 열간 단조품(제품경량화 - 약 27%)의 생산이 증가하고는 있으나, 원자재비용 상승으로 인해 최근 스틸 제품대비 약 2.5배 이상의 비용이 소요되는 것으로 평가되고 있고, 전체 제품의 단가를 상승시키는 문제가 있다. 이에 비하여 선택적인 주조를 실시한 하이브리드 로어암의 경우, 제품의 경량화를 최대 22%까지 절감시킬 수 있으며 동시에 제품의 단가를 열간 단조품 대비 60%의 수준으로 제작할 수 있을 것으로 평가되었다.

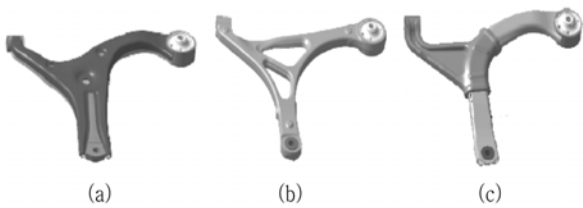


Fig. 1. Comparison of three methods for the Lower-Arm : (a) steel press (b) hot-forging, and (c) hybrid lower arm.

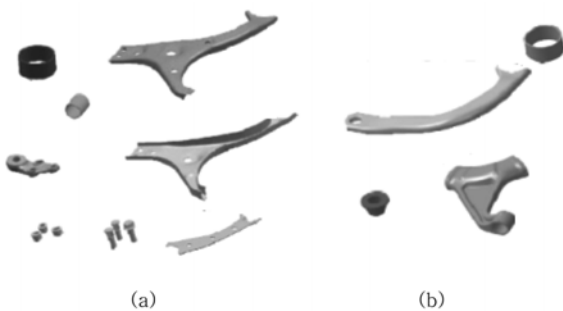


Fig. 2. The parts for assembling the Lower Arm: (a) steel press and (b) hybrid-lower arm.

Fig. 2는 로어암 제작에 필요한 부품 수를 나타내고 있다. 하이브리드 로어암의 경우 스틸 프레스 제품 대비 부품수를 현저히 줄일 수 있다. 따라서 하이브리드 로어암은 공정이 단순하면서도 관리가 용이하고, 기존의 열간단조품의 고가의 양산 단가문제를 해결할 수 있는 차세대 공법으로 사료된다.

그러나 하이브리드 로어암 개발의 선택적인 주조에서 반드시 요구되는 것은 이종재질간의 접합성과 사시부품에 적합한 높은 기계적 물성치이다. 알루미늄 소재 엔진블럭의 실린더라이너 접합 등 이종접합 사례는 보고되고 있으나 대부분 고압주조 환경에서 이루어지고 있다. 따라서 다이캐스팅을 활용한 고압주조법이 1차적으로 고려될 수 있으며 열처리 이후의 높은 물성치의 확보를 위해서는 제품내 결함을 최소화시키는 스퀴즈 공법이 고려될 수 있다. 그러나 스퀴즈 공법은 생산성이 떨어지는 문제가 있으므로 생산성이 뛰어나고 열처리가 가능한 반응고 주조법이 대안으로 제시되고 있다.

3. 실험 방법

본 실험에 사용된 합금은 A356합금이며, 각 실험에 앞서 질소계열 플럭스를 이용한 탈가스 처리를 실시하였다. 실험에 사용된 스틸 Tube는 Hydro-Forming 업체에 제작을 의뢰하여 완성된 제품을 이용하였다. 그림 3에 하이드로 포밍 파이프의 기본 제작공정을 도시하였다. 파이프를 제품설계에 맞게 벤딩하고 2차적으로 하이드로포밍 공정을 거쳐 로어암의 기본적인 프레임을 완성한다. 다이캐스팅용 금형은 로어암 프레임이 체결될 수 있도록 설계하였고, 각 금형은 3가지 주조법에 따라 약간의 게이트 및 오버플로우 수정을 실시하였다.

본 연구에서 확인하고자 하는 3가지 주조법의 개요는 Table 1에 나타내었다. 기본적으로 다이캐스팅 공법은 인게이트 부에서의 고속사출을 채택하고 있으며[5], 스퀴즈 캐스팅은 725 °C의 고온 용탕을 플러저속도 약 0.15 m/s 이하로 관리하였다. Fig. 4는 본 연구에 사용된 H-NCM 반응고 슬러리 장치의 개

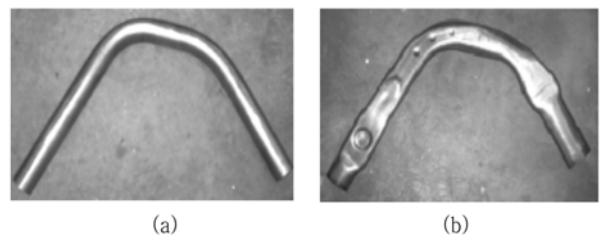


Fig. 3. Preparation of steel part for hybrid lower arm: (a) The bended steel tube and (b) The finished steel part by hydro-forming process.

Table 1. Casting parameters for each process.

Methods	Pouring Temperature	Initial velocity (m/s)	Velocity in the cavity (m/s)
HPDC	650 °C	0.2	2.0
Squeeze casting	725 °C	0.15	0.15
Semisolid Casting	586 °C	0.8	0.2

략도이다. 초기 핵생성을 유도하는 핵성장장치와 특수설계된 1.7 kg급 슬러리 전용 컵을 활용하여 반응고 슬러리를 제작하였다. 사출 방식은 일반적인 스퀴즈 방식과 동일하게 저속사출을 하나, 슬리브에서의 응고층 생성을 방지하기 위하여 초기 속도는 0.8 m/s로 관리하였다. 생산된 제품은 외관 분석 및 절단 분석을 실시하였고, 외관이 건전한 제품에 대해서는 T6열처리를 실시하여 기계적 물성치를 평가하였다. 제품의 미세조직을 평가하기 위해 LEIKA-image analyzer를 활용하였고 X-ray 분석을 통해 내부건전성을 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 일반 고압다이캐스팅의 사출 결과를 거시분석한 사진이다. 금형내 주조조건에는 크게 문제가 없었으나, 용탕의 유입시 발생하는 압력에 의해 철제 프레임이 변형되는 문제가 발생하였다. 특히 튜브의 변형으로 제품의 접합 끝단으로부터 용

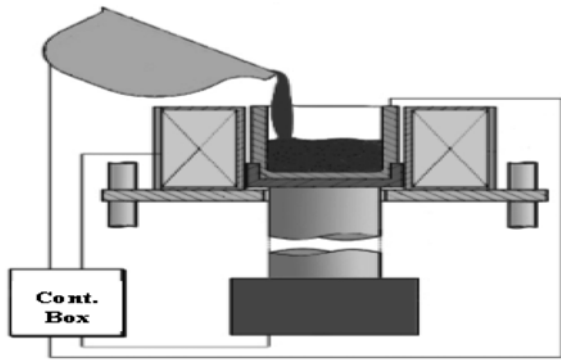


Fig. 4. The schematic drawing of H-NCM slurry maker.

탕이 비산되는 결과를 나타내었다. 그러나 더욱 문제가 되는 것은 튜브 함몰부로 유입되는 용탕 등에 의해 적정한 증압절환 위치설정을 유지시킬 수 없다는 데에 있다. 용탕량의 변화로 인한 비스켓 두께의 불규칙성은 제품내 증압효과를 양산시스템에 맞추어 줄 수 없기 때문에 Fig. 5(c)와 같은 거시결함이 발생하였다. 이와 같은 주조불량으로 인하여 열처리를 적용할 수가 없고 따라서 단조품에 상응하는 기계적 물성치를 얻을 수 없기 때문에 고압다이캐스팅 주조법은 하이브리드 로어암개발의 주조법으로 가능하지 않는 것으로 사료된다.

하이브리드 로어암의 개발의 핵심은 튜브-알루미늄간의 접합 유무 및 내부 품질의 건전성이나 고속사출시 발생하는 높은 유동압력은 파이프의 변형을 야기 시켜 제품의 건전성을 훼손시킨다는 사실을 얻을 수 있었다. 그러나 저속사출이 가능하여 제품의 주조시 유동저항이 크지 않은 스퀴즈 제품의 경우에도 이와 동일한 현상이 나타났으며, Fig. 6은 스퀴즈 주조품에서의 이중 접합면 절단부를 나타내고 있다. 저속 사출임에도 이와 같은 현상이 나타나는 중요한 원인은 스퀴즈 캐스팅 공법시 초기 용탕의 주입온도가 700 °C이상으로 유지되어야 하기 때문이다. 따라서 스퀴즈 캐스팅에서는 고압다이캐스팅의 유동저항에 의한 철제 프레임 변형보다 온도저항으로 인한 철제프레임의 급격한 강도 저하가 원인이 된 것으로 사료된다. 특히 일반 스퀴즈 제품의 경우, 일반적으로 X-ray 1등급의 제품을 얻을 수 있는 주조 조건에서도 알루미늄 주조부의 X-ray 등급이 2등급으로 판정되었으며, 이는 파이프내 용탕 침투에 의한 스퀴즈 가압력 저하에 기인한 것으로 사료된다.

이와는 달리 반응고 주조법의 경우, Fig. 7(a),(b)에 나타낸 거시 분석 사진과 같이 스틸 튜브의 변형을 발생시키지 않았으며, 용탕량의 변화가 거의 없이 안정적인 충전 결과를 나타

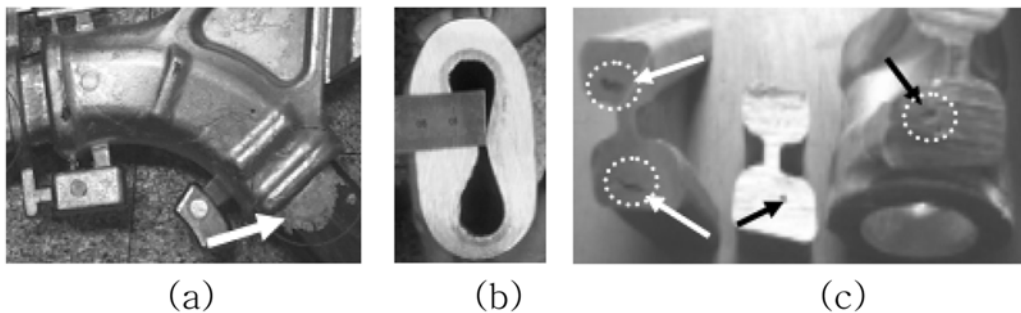


Fig. 5. The various defects in HPDC process: (a) the leakage of molten liquid, (b) the deformation of the steel tube, and (c) some casting defects.

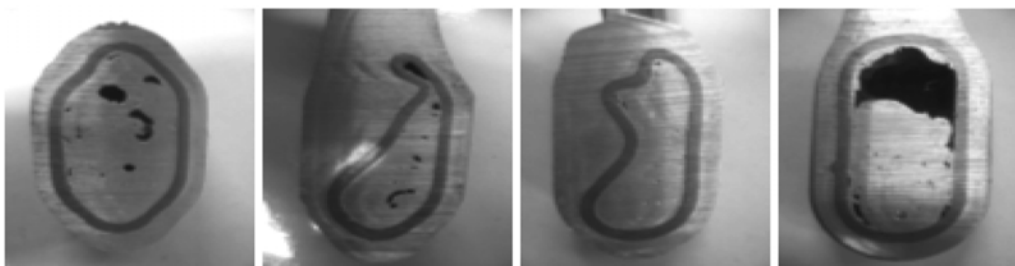


Fig. 6. The defects of the molten liquid leakage in the squeeze casting process.

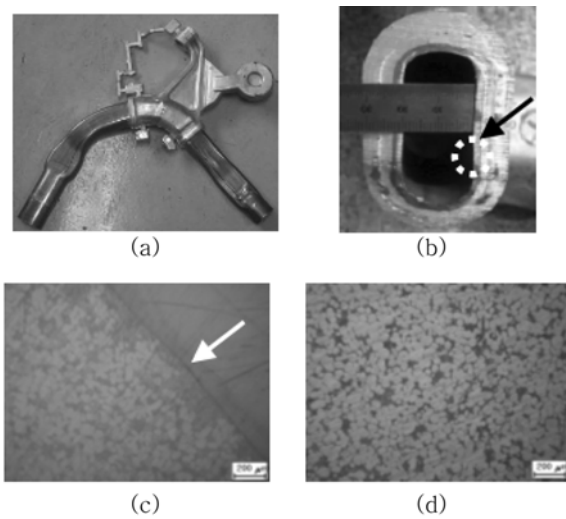


Fig. 7. The analysis of semisolid hybrid lower arm using H-NCM slurry: (a) the complete product, (b) the picture of vertical section in joint region, (c) the picture of the joint interface by a metallographic microscope, (d) the microstructure of aluminum part by casting of semisolid slurry.



Fig. 8. The analysis of the complete product: (a) the blister test after heat treatment processing and (b) the result of X-ray test.

내었다. 특히, Fig. 7(c)의 접합부의 50배율 광학사진 분석에서 확인된 바와 같이 알루미늄-프레임 간의 이중접합력이 우수함을 확인할 수 있었다. 제품의 접합율(%)은 < (충접합길이 - 결함길이) / 총접합길이 >의 방식으로 도출하였으며 완충된 5개의 시편은 모두 98%이상의 접합율을 나타내었다. 또한 H-NCM이 적용된 반응고 슬러리는 미세조직적으로도 우수한 입자 특성을 나타내었으며 평균 입자 크기 60 μm내외의 구형 입자가 고르게 분포되어 있었다. 이와 같은 미세조직 특성은 기계적 물성치를 향상시킬 것으로 기대되며 특히 공정상이 편석없이 균일하게 분포하였기 때문에 제품의 건전성을 크게 향상시킬 것으로 사료된다.

Fig. 8(a)는 완충된 반응고 하이브리드 로어암 시제품을 T6 열처리 한 결과이다. T6열처리 조건은 530 °C, 7시간의 용체화 및 170 °C, 6시간의 시효처리로 구성하였다. 일반적으로 다이캐스팅제품은 기포의 함량이 높고 난류혼입에 의한 블로우홀등의 결함이 있기 때문에 용체화 처리가 불가능하다. 그러나 반응고 다이캐스팅의 경우 저속 충류충진을 유도하므로 기공혼입이 적고 특히 저온주입을 위한 용탕관리 온도가 낮기 때문에, 초기 용탕주입시 가스포화도가 기타 주조법의 경우보다 유리하다[6]. 이번 반응고 하이브리드 로어암 제품에서도 T6열처



Fig. 9. The final product of the semisolid hybrid lower arm.

Table 2. The mechanical properties of aluminum part of semisolid hybrid lower arm.

	YS(0.2%offset) (MPa)	UTS (MPa)	Elongation (%)
the average value	237	296	12.10
the lowest value	221	284	10.30

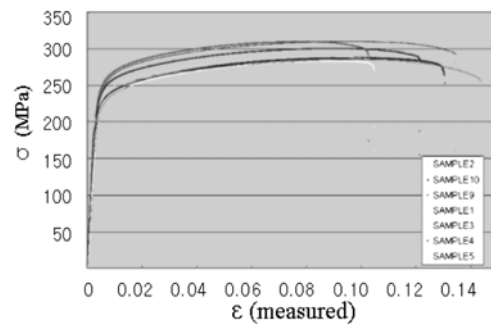


Fig. 10. Stress-strain curve for aluminum part of semisolid hybrid lower arm.

리 이후 금형 표면온도 저하에 기인한 작은 블리스터 발생 이외에는 거의 없었다. Fig. 8(b)는 제품의 내부건전성을 평가하는 X-ray 분석 결과이며 완충시편 모두 X-ray 분해능 상한값인 1 mm 이상의 기포가 관찰되지 않았다.

반응고 주조법은 고압주조다이캐스팅 및 스퀴즈 성형법과는 대조적으로, 저속 사출에 의한 충류충진 및 고액 공존상태의 저온주입이 특징으로 하기 때문에 상기 두 일반적인 두 공법보다는 하이브리드 로어암의 구조에 보다 적절한 공법으로 확인이 되었다. 특히, 고액 공존상에서도 이중재질간의 접합율이 우수하고 스틸 튜브의 변형을 최소화시켜 제품의 안정적인 양산에 적합한 것으로 사료된다. Fig. 9는 완성된 반응고 하이브리드 로어암의 도장후 사진이다.

로어암은 타이어에서 들어오는 하중을 차체에 직접 전달하는 사시 부품으로서, 차량 자체의 하중을 지지하고 승차감을 유지하며 승객의 안전과 직결되는 보완 부품이다. 차량 운행중 불규칙적으로 발생하는 충돌하중 및 대하중에 충분히 견딜 수 있어야 한다. 본 시험에서 제작된 하이브리드 로어암은 서진산업 기술연구소에서 실시한 단품내구 및 좌굴시험에서 기존 양

산품 대비 우수함을 확인할 수 있었다.

기계적 성질 또한 사시부품을 평가하는데 중요한 평가 항목이다. 일반적으로 알루미늄 열간 단조품의 경우 제품의 조직이 치밀하고 기계적 물성치 확보가 용이하지만 단가가 비싸다는 단점이 있고, 일반 다이캐스팅 주조법의 경우, 조직 치밀성이 떨어져 사시제품과 같은 보인부품에는 적용할 수가 없다. 그러나 반응고 주조는 기존의 다이캐스팅 설비를 활용하면서 제품의 건전성 및 비용의 절감효과를 동시에 주기 때문에 향후 사시부품의 주요 공법 중 하나로 기대되고 있다. Table 2는 각 샘플에서 채취한 기계적 성질의 결과를 나타내고 있고, 그림 10은 각 시험편의 인장 응력 그래프를 나타내고 있다. 일반적으로 선진 업체의 경우 하이브리드 서스펜션 물성치를 항복강도 200Mpa, 인장강도 250Map, 연신율 8% 정도로 관리하고 있는데 비하여 반응고 하이브리드 로어암의 경우 각 시험편 모두 이와 같은 물성치 값을 모두 상회 하고 있다.

반응고 주조의 대표적인 특성인 층류 충전 거동은 제품내 기포의 혼입을 저감시키고 국부결함을 최소화시킬 수 있다[7]. 또한, 미세조직적으로는 독립적인 초정이 구형화 되어 그레인 크기의 감소 효과가 크고, 전체적으로 균일한 초정분포에 기인한 편석의 발생을 방지하여 기계적 물성치를 높이는데 기여한다. 특히 H-NCM의 경우 슬러리의 초정 a 크기가 NRC, SSR등 일본 미국등의 반응고 슬러리 제작 기법보다 작고 균일하기 때문에 제품의 물성치 또한 안정적이고, 높게 나타날 수 있었다[8].

5. 결 론

경량화 및 원가절감을 위한 신공법인 하이브리드 로어암 개발을 위해 다이캐스팅 금형을 활용한 가압주조법의 적용가능성을 연구하였다. 하이브리드 로어암의 개발은 스틸 튜브 및 알루미늄 주조품과의 이종접합특성이 우수해야하고, 알루미늄 부의 건전한 주조특성 및 기계적 물성치가 뒷받침이 되어야 가

능하다. 고압다이캐스팅, 스퀴즈 캐스팅, 그리고 반응고 다이캐스팅의 주조법을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고압다이캐스팅 사출은 인게이트 고속충진방식에 의한 유동저항이 매우 크기 때문에 스틸 튜브의 변형이 나타났으며 주입용탕량의 변화에 따라 안정적인 증압절환이 불가능하였다.
2. 스퀴즈캐스팅 사출시, 고온의 용탕유입으로 인한 튜브의 변형 및 용탕손실 등의 결함으로 인해 스퀴즈 가압력이 떨어지는 현상이 나타나 주조품 내부에 미세 결함이 나타났다.
3. H-NCM을 활용한 반응고 주조법을 통해 저온의 슬러리를 저속으로 충전시킬 수 있었고 스틸 튜브의 변형 없이 내부 품질이 우수한 하이브리드 로어암을 제작할 수 있었다.
4. 제작된 반응고 하이브리드 로어암은 T6열처리 이후 296 Mpa 및 12.1 %의 연신율을 나타내어 기존 로어암을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Kim, I. S. Jung : "Aluminum Diecasting Technology", (1994).
- [2] H. S. Kim : Korea Patent No. 10-0822544-000 "Light weight lower arm reinforcing intensity and reducing welding region", (2007).
- [3] H. S. Kim : Korea Patent No. 10-0834249-0000 "Light weight lower arm reinforced intensity", (2007).
- [4] C. P. Hong, J. M. Kim, M. S. Kim : KP Patent no. 03-03250 (2003).
- [5] C. H. Jang : "Casting Methods in the Diecasting" , Journal of the Korean Foundrymen's Society, (1994), 14~20.
- [6] K. P. Young : Symp. Nature and Properties of Semisolid Materials, TMS, (1992), 45~52.
- [7] William G. Workington : "Diecasting Defects : Cause and Solution", NADCA, (2002).
- [8] M. Itamura, C. P. Hong, and J. M. Kim : J. JFS. 77, (2005), 537~541.