

주조/단조 기술을 이용한 알루미늄 Lower Control Arm 제조에 관한 연구

유민수*, 권오혁*, 배원병**

A Study on the Manufacture of Lower Control Arm by Casting /Forging Process

M. S. You, O. H. Kyun and W. B. Bae

Abstract

In this study, casting/forging process was used to produce an aluminum lower control arm for automobiles. Firstly, casting experiments were carried out to get an enhanced preform for forging the lower control arm. In the casting experiment, the effect of an additive, Sr, on the mechanical properties such as tensile strength and elongation and the microstructure of a cast preform were investigated. And a finite element analysis was performed to determine an optimal configuration of the cast preform. Lastly, a forging experiment was carried out to make the final product of aluminum lower control arm by using the above cast preform.

In the casting experiments, when 0.025% Sr was added into molten A356, the maximum values of tensile strength and elongation of the cast preform were obtained.

In the forging experiment, It was confirmed that the optimal configuration of a cast preform predicted by FE analysis was very useful. The cast/forged product using designed preform was made without any defects.

Key Words : Lower Control Arm(로어 콘트롤 암), Casting/Forging(주조/단조), Preform Design(예비성형체 설계)

1. 서론

최근 자원 및 에너지 절약, 환경문제가 대두되고 있는 가운데 경량화가 가능하고 재활용 비율이 높은 알루미늄 소재가 기존의 철(鐵)계 소재를 대체할 수 있는 재료로서 사용량이 증대되고 있다. 특히 자동차 산업 분야에서

는 에너지 절약, 연비절감을 위한 경량화 소재로서 많은 관심을 보여왔지만 높은 제조비용으로 인해 자동차에의 응용이 적극적으로 이루어지지 못했다[1].

알루미늄 단조품의 비용 절감을 위해서는 생산공정의 단축이 필요하고 이에 주/단조 공정이 부각되고 있다.

* 부산대학교 기계공학부

** 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

주/단조 공정은 최종 제품의 형상과 유사한 예비성형체 (preform)를 주조로 만들고, 이것을 단 한 번의 마무리 단조(finish forging)로서 성형하는 제조공정이다. 현재 경량화의 일환으로 Lower Control Arm은 공정 알루미늄 합금인 A356소재를 사용하여 알루미늄 저압주조 공정으로 제조되고 있으나 철계 제품에 비해서 기계적 성질이 부족하여 경량화 효과를 크게 얻을 수 없었다.

본 연구에서는 기계적 성질을 더욱 향상시키기 위해서 주조조직의 개량화 방안을 제시하고, 3차원 유한요소해석을 통해서 최적 예비성형체를 제안하며 이로서 제품을 주조/단조 공정으로 제조하고자 한다.

2. 주조실험

2.1 실험소재

실험소재는 Al-Si계 주조용 소재인 A356으로서, 우주 조성, 내식성, 내압성이 좋다. Table 1에 A356의 주요성분을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of A356

Comp.	Si	Fe	Cu	Mn	Pb+Sn	Ti	Sr	Al
Mass(%)	6.5	0.03	0.03	0.3	0.03	0.2	0.01	Rem
	~			~			~	
	7.5			0.5			0.05	

2.2 주조조건과 공정Si조직의 개량화[2]

침상형의 공정 Si을 미세한 섬유상의 공정 Si조직으로 바꾸기 위한 Sr의 최적 첨가량을 찾기 위하여 Table 2와 같이 주조조건을 설정하고 조직을 개량화시켰다.

Table 2 Casting Conditions

Mold temperature(°C)		250
Molten temperature(°C)		730
Pouring time(sec)		10
Pouring temperature(°C)		690
Water flow-rate(l/min)		30
Water temperature(°C)		5
Sr 첨가	첨가량 (wt%)	0.0, 0.003, 0.006, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03, 0.035, 0.04, 0.045, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08
	첨가온도 (°C)	700

3. 예비성형체의 설계

3.1 예비성형체 설계

단조제품의 기계적 성질을 높이기 위하여 금형내 충전성과 단조 결함을 피하면서 유효 변형률 0.7이상의 충분한 변형을 받도록 단면적의 비를 조정하여 설계하였으며 약 1.3배의 플래쉬가 끌고루 퍼지도록 하였다. Fig. 1에 3가지 모양을 제안하였고 유한요소해석을 하였다. 해석을 위한 입력 데이터를 Table 3에 나타내었다. Fig. 2(a)에서는 Lower Control Arm의 3개 끝단 부와 리브부분의 체적량을 고려하여 전체 체적의 1.2배로 설계를 하였다. 국부적인 소재 부족으로 인하여 미충만 부위가 발생하였고 Fig. 2(b)에서는 높이를 좀더 높여 전체적인 체적을 1.3배로 하여 미충만 부위는 많이 줄어든 반면 플래쉬가 끌고루 퍼지지 않는 현상이 나타났다.

Fig. 2(c)에서는 균일한 변형을 고려하여 미충만 부위의 리브살을 늘리고 과도한 플래쉬부위의 체적을 줄여 전체적으로 균일한 단조형상이 나오도록 결함이 발생하지 않음을 알 수 있었다.

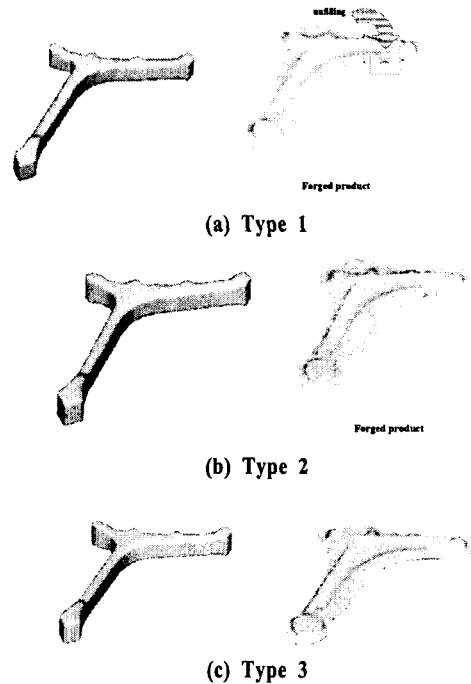


Fig. 1 Preform and simulation result

Table 3 Casting Conditions for simulation

Material	A356
Temperature of material	450 °C
Stress-strain rate relation	$\bar{\sigma} = 112 \bar{\epsilon}^{-0.16}$
Punch velocity(mm/sec)	10
Simulation mode	Isothermal
Friction factor(m)	0.3

4. 제품의 제조

4.1 주조

유동 및 응고해석을 하기 위하여 주물의 초기온도는 680°C 그리고 금형의 초기예열 온도는 상부금형이 380°C, 하부금형이 480°C로 설정하였으며 주물-금형, 금형-금형, 금형-대기 등 이물질간의 열저항을 고려하여 경계조건을 설정하였다.

저압주조시 용탕에 압력을 가하여 제품하부에 설치된 stalk를 통하여 용탕이 두 단계의 충전압력(P1, P2)을 받아 제품내로 주입된다. 충전 완료후 압력(P3)으로 보압하여 응고를 강화시키며 또한 냉각 채널에 의한 냉각으로 제품의 적정 강도가 얻어진다. P1, P2, P3의 값이 Table3에 나타나 있다.

Table 4 Specification for each process in low pressure die casting

Classification	250
Material	A356.2
Pouring Temp	680 ± 10 °C
Initial Mold Temp	380(Upper) ~ 480(Lower)
Pressure	P1 = 0.15 kg/cm ²
	P2 = 0.25 kg/cm ²
	P3 = 0.60 kg/cm ²
Mold Material	Upper, Lower SKD61
	Side FCD55/SCM4

4.2 단조

예비성형체를 정밀단조용 단조금형에서 작업하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 주조실험

Fig. 2,3는 Sr 첨가량에 대한 인장강도 및 연신율을 나타낸다. 인장강도는 Sr 첨가량이 0.025%일 때 189Mpa로

첨가하지 않았을 경우의 144Mpa보다 23.8% 향상되었고 연신율은 Sr을 첨가하지 않았을 경우 3.6%에서 Sr 첨가량이 0.025%일 때 6.02%로 67.2%정도 향상됨을 알 수 있었다. Fig.4 에 개량처리 조건에 따른 주조조직을 나타내었다.

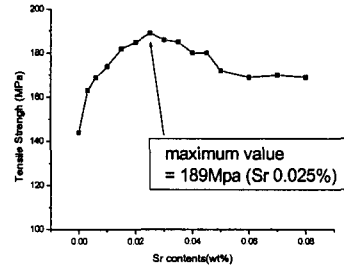


Fig. 2 Effect of Sr contents on the tensile strength of a cast specimen

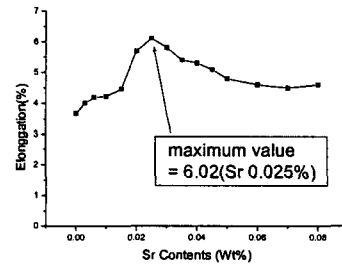


Fig. 3 Effect of Sr contents on the elongation of a cast specimen

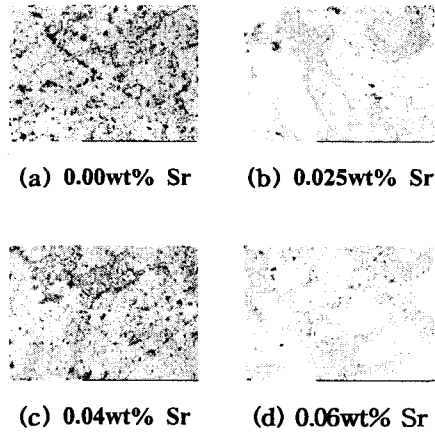


Fig. 4 Microstructure of cast preforms according to quantity of Sr (× 500, holding time : 20min)

5.2 제품제조[3]

첨가제들의 최적첨가량을 첨가하여 저압주조하였다.

용탕이 stalk를 지나 hub에 도달하기전 충전압력이 P1에서 P2로 증가된다.

응고는 제품의 외곽부위에서 시작되어 서서히 안쪽으로 응고되어지고 최종적으로 주입구 및 preform의 내부가 응고됨을 알 수 있다.

Fig. 5에 전체적인 응고 시간을 나타내었다.

현재의 응고 형태로 볼 때 preform 내부에 수축공이 생길 가능성이 있으며 냉각 라인에 변화를 주던지 preform으로 향하는 gate 부위의 단면을 늘려서 충전속도를 늘릴 필요가 있다

저압주조한 예비성형체를 해머 프레스로 단조 하였다 .

해머 프레스로 단조를 하였기에 여러번 타격으로 제품을 제조 하였고 그 결과 해석결과치보다는 실험결과가 flash가 훨씬 많이 퍼져 있음을 알 수 있었다.

Table 5에 인장강도 및 연신율을 나타내었다. 인장강도는 유압프레스로 단조했을 경우보다 그 수치가 약 60Mpa에 정도 낮게 나오는데 이는 해머 프레스로 여러 번에 걸쳐 단조하다보니 충분한 변형을 받지 못한 것으로 보이며 따라서 주/단조 공정에서는 해머프레스가 적합하지 않다는 것을 알 수 있었다.



Fig. 5 Solidification time of lower control arm in lower pressure casting

Table 5 The tensile strength and elongation of forging lower control arm according to areas after T6

	Tensile strength(Mpa)	Elongation(%)
1	-	-
2	216	-
3	237	-
4	241	15.8
5	243	18
6	218	11
7	217	10.4

5. 결론

본 연구에서 주조/단조 공정에서의 주조조직의 미세화 방안을 제시하였고, 3차원 유한요소해석을 통해서 자동차 Lower Control Arm의 최적 예비성형체를 제안할 수 있었다. 시편형상의 주조금형을 만들어 최적의 주조조건을 찾고, 공정 Si의 개량치리를 위해서 Sr을 첨가하였다.

최적 예비성형체를 DEFORM 3D를 이용한 유한요소 해석을 통해 제안하였다. 주조실험을 통해 획득한 최적 주조조건을 기초로 하여 저압주조하였다. 저압주조의 유동 및 응고해석을 Procast soft를 이용하여 수행하였으며 저압주조한 예비성형체를 해머프레스 단조로 최종제품을 제조할 수 있었다.

(1) 공정 Si을 개량처리하기 위한 최적의 Sr량은 0.025% 이고, 최적 유지시간은 20분이었다. Sr을 0.025%첨가함으로써 인장강도23.8%, 연신율을 67.2% 향상시킬 수 있었다.

(2) 3차원 유한요소해석을 통해 단조했을 때 균일한 변형률을 가지며 단조결합이 발생하지 않는 예비성형체를 제안할 수 있었다.

(3) 3차원 유한요소해석을 통해 제안된 예비성형체의 형상이 제품 실험 결과 적절함을 알 수 있었다.

(4) 응고해석을 통하여 예측된 주물의 수축결합은 금형내의 온도차이에 기인하고 있음을 확인 할 수 있었으며 냉각채널의 변경 및 게이트의 변경에 의해 제어가 가능할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- (1) 이정환, 자동차부품 정밀단조기술, 98한독기술테크노마트 부산, pp.273-288, 1998.
- (2) 김원배, 김지훈, 예병준, "합금의 응고(IV) - 아공정 Al-Si 합금의 개량화 특성", 주조, 제18권 제6호, pp.604-612, 1998. 12
- (3) 추인호, 류성곤, 최정길, 저압주조 의한 자동차 Al Wheel의 제조(I) : 유동 및 응고해석, Journal of Korean Foundrymen's Society, pp.578-585, Vol. 18, No. 6