

## 주조/단조 기술을 이용한 알루미늄 타이로드 엔드 제조에 관한 연구

김효량\*, 서명규\*, 유민수\*, 배원병\*\*

### A Study on the Manufacture of Aluminum Tie-Rod End by Casting/Forging Process

Hyo Ryang Kim\*, Myung Kyu Seo\*, Min Su You\* and Won Byong Bae\*\*

#### ABSTRACT

Aluminum casting/forging process is used to produce an aluminum tie-rod end for the steering system of automobiles. Firstly, casting experiments were carried out to get a good preform for forging the tie-rod end. In the casting experiment, the effects of additives, Ti+B, Zr, Sr, and Mg, on the mechanical properties 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 tie-rod end by using the above cast preform.

In the casting experiments, when 0.2% Ti+B and 0.25% Zr were simultaneously added into molten Al-Si alloy, the highest values of tensile strength and elongation of the cast preform were obtained. When 0.04% Sr were added into the molten aluminum alloy, the finest silicon-structure was observed in the cast preform. The highest hardness was obtained when 0.2% Mg was added.

In the forging experiment, It was confirmed that the optimal configuration of a cast preform predicted by FE analysis was very useful. The hardness of a cast/forged product using designed preform was superior to that of required specification.

**Key Words** : Tie-Rod End(타이로드 엔드), Casting/Forging(주조/단조), Preform Design(예비성형체 설계)

#### 1. 서론

최근 자동차 산업 분야에서 에너지 절감, 연비 절감의 필요성이 대두되고 있는 가운데 자동차 부품의 경량화의 중요성이 증대되고 있다. 특히 알루미늄의 경우 경량화 소재로서 많은 관심을 보여왔지만 높은 제조 비용으로 인해 적극적으로 이용되

지 못했다.

따라서 제조비용을 감소시킬 수 있는 새로운 알루미늄 단조공정 중의 하나로서 주조/단조가 대두되고 있다. 주조/단조는 단조에 필요한 예비성형체의 형상을 주조로써 최종형상에 가깝게 만들고 이를 단조하는 공정으로 재료비와 금형비를 절감할 수 있다.<sup>[1]</sup>

††† 2001년 7월 13일 접수

\* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 부산대학교 공과대학 기계공학부

본 연구에서는 주조/단조공정을 이용하여 자동차 조향장치에 쓰이는 알루미늄 타이로드엔드(tie rod end)를 제조하고자 하였다. 주조된 예비성형체의 기계적 성질이 최종제품의 기계적 성질에 큰 영향을 미치므로 예비성형체의 기계적 성질을 향상시키기 위하여 주조시 3단계로 첨가제를 넣어서 기계적 성질을 향상시켰다. 1단계에서는 초정 Al조직을 미세화시키기 위하여 Ti+B과 Zr을 첨가하였으며, 2단계에서는 공정 Si조직을 개량화하기 위하여 Sr을 첨가하였다. 3단계에서는 열처리효과를 개선시키기 위하여 Mg을 첨가하고 적절한 열처리 조건을 찾기 위한 실험을 하였다.

단조제품의 기계적 성질을 향상시키기 위해서는 예비성형체가 균일하면서도 충분한 변형을 받도록 예비성형체를 설계하여야 한다<sup>[2]</sup>. 적절한 예비성형체를 설계하기 위해 DEFORM 3D를 이용한 유한요소해석을 하였다. 제안된 예비성형체를 제조 후 한번의 단조로 최종제품을 제조하였으며, 제안된 열처리를 행한 후 경도 기준치와 비교하였다.

## 2. 주조실험

### 2.1 실험소재

실험소재는 우수한 주조성과 기계적 성질을 가져 많은 자동차부품용 소재로 사용되고 있는 Al-Si계 주조용 소재인 ADC10을 사용하였다. Table 1에 ADC10의 주요성분을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of ADC10

Comp.	Si	Cu	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Al
Mass (wt%)	7.5 ~9.5	2.0 ~4.0	max 0.3	max 1.0	max 1.3	max 0.5	max 0.5	Rem .

### 2.2 주조금형 및 주조조건

주조실험을 위한 주조금형을 Fig. 1에 나타내었다.

최적 첨가제량을 찾기 위하여 Table 2와 같이 주조조건을 설정한 후 각각의 첨가제를 첨가하여 실험하였다.

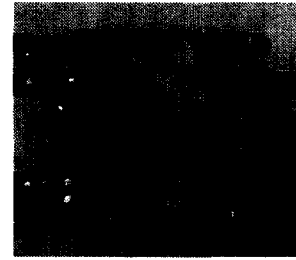


Fig. 1 Mold for the casting

Table 2 Casting conditions

Mold temperature(℃)	220
Molten metal temperature(℃)	750
Pouring time(sec)	10
Pouring temperature(℃)	660
Water flow-rate(l/min)	30
Water temperature(℃)	5

### 2.3 초정 Al조직의 미세화

주조시편에서 초정 Al조직의 미세화는 주조/단조제품의 기계적 성질을 향상시킨다. 따라서 초정 Al조직을 미세화시킬 수 있는 Ti+B과 Zr을 알루미늄 용탕에 첨가하여 그들의 영향을 파악하였다<sup>[3]</sup>. 결정립의 크기는 Jeffrie법<sup>[4]</sup>을 사용하여 직경을 측정하였다.

### 2.4 공정 Si조직의 개량화

조대한 침상형의 공정 Si는 입계의 응력하에서 응력집중 효과를 발생시켜 파괴의 시작점이 된다. 조대한 침상형의 공정 Si을 미세한 섬유상의 공정 Si조직으로 바꾸기 위하여 Sr을 첨가하여 조직을 개량화시켰다<sup>[5]</sup>.

### 2.5 열처리 효과 개선

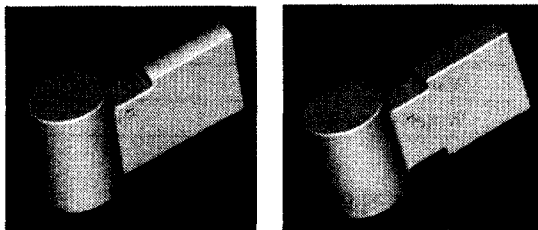
일반적으로 Al-Cu-Mg, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Mg계 합금에는 Mg이 포함되어 있기 때문에 열처리를 하면 현저한 석출경화효과를 얻을 수 있다<sup>[6]</sup>. 그런데 본 연구에 사용된 Al-Si계 소재는 Mg성분이 포함되어 있지 않으므로 Mg을 첨가하여 열처리 효과를 향상시켰다.

### 3. 예비성형체 설계 및 단조실험

#### 3.1 예비성형체 설계

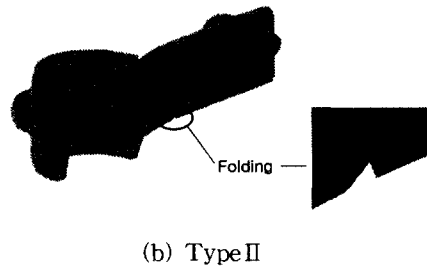
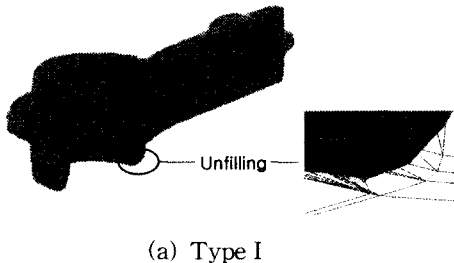
단조제품의 기계적 성질을 높이기 위하여 예비성형체가 충분한 변형을 받으면서 금형내에 잘 충전되고 단조 결합의 발생을 피하고자 타이로드 엔드의 예비성형체를 제안하였다.

예비성형체의 체적은 최종제품의 1.25~1.3배가 되도록 설계하였으며 제안된 초기 예비성형체를 Fig. 2에 나타내었다. 제안된 예비성형체의 형상이 유용한가를 확인하기 위하여 상용 FEM 코드인 DEFORM-3D를 이용하여 등온으로 해석하였다. 소재는 ADC10, 소재온도는 450℃, 금형과 재료사이의 마찰상수는 0.3으로 하였다.



(a) Type I (b) Type II  
Fig. 2 Initial configurations of the cast preforms

초기 예비성형체의 변형양상에 대한 해석결과를 Fig. 3에 나타내었다. Type I의 경우 밀면이 수평으로 설계된 경우이며 단조해석 결과 금형내 미충만 현상이 발생하였다. Type II의 경우 미충만 현상을 없애기 위해 밀면에 직각의 단을 준 경우로써 이 경우 단조해석 결과 폴딩(folding)이 발생하였다. Fig. 4는 단을 경사지게 한 예비성형체의 형상이며 이 경우 Fig. 5에서 보듯이 단조해석결과 결함이 발생하지 않았으며, 플래쉬량이 전 부위에서 고르게 나타났다.



(b) Type II  
Fig. 3 Results of FE analysis for initial cast preforms

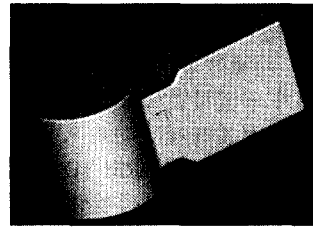


Fig. 4 Modified configuration of the cast preform

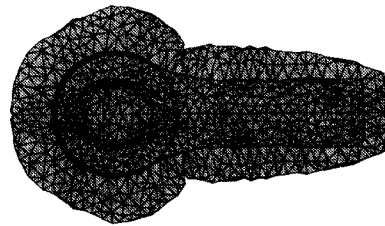
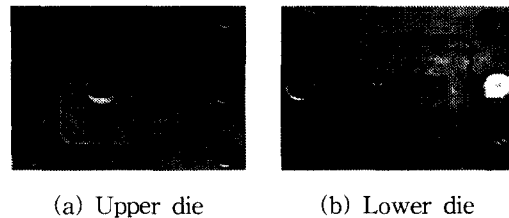


Fig. 5 Results of FE analysis for the modified cast preform

#### 3.2 단조실험

단조실험에 사용한 금형은 Fig. 6과 같으며 200톤 유압프레스에서 실험하였다. 단조시 소재온도는 450℃, 금형의 온도는 250℃로 설정하였다.



(a) Upper die (b) Lower die  
Fig. 6 Die-set for tie-rod end forging

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 주조실험 결과

첨가제의 양에 따른 조직의 변화 및 기계적성질의 변화를 알기 위하여 조직크기 관찰 및 인장시험을 수행하였다.

##### 4.1.1 초정 Al조직의 미세화실험 결과

Fig. 7은 결정립 크기에 대한 첨가제에 대한 영향을 나타낸다. Ti+B만을 0.2% 첨가하였을 때는 가장 작은 입자의 크기가 95.5 $\mu\text{m}$ 로 측정되었으며, Ti+B 0.2%와 Zr 0.25%을 같이 첨가하였을 때는 입자의 89.2 $\mu\text{m}$ 로 더욱 미세화 된 것을 알 수 있었다. Ti+B 0.2%에 Zr을 0.3%이상 첨가할 경우 입자의 크기는 더 이상 작아지지 않는 것을 알 수 있었다.

Fig. 8과 Fig. 9는 인장강도와 연신율에 대한 첨가제의 영향을 나타낸다. 인장강도와 연신율의 경우에도 Ti+B 0.2%를 단독 첨가하는 것보다 Ti+B 0.2%와 Zr 0.25%(혹은 0.2%)를 같이 첨가할 때에 더 좋은 결과를 나타내었다.

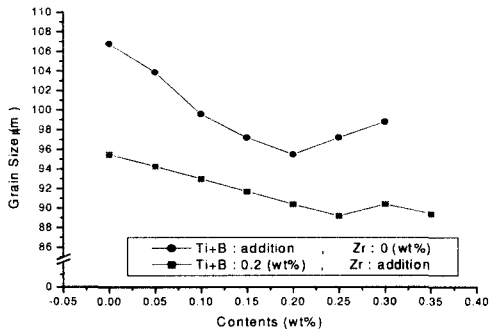


Fig. 7 Effect of Ti+B and Zr contents on the grain size of the cast specimen

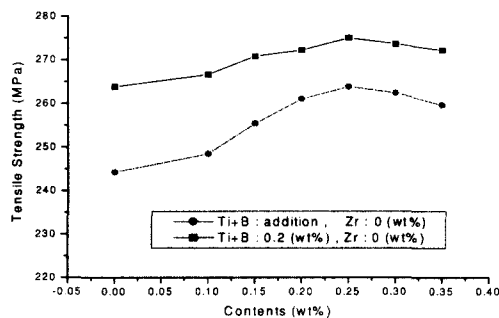


Fig. 8 Effect of Ti+B and Zr contents on the tensile strength of the cast specimen

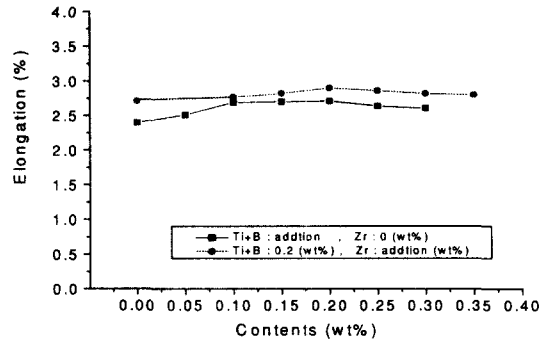


Fig. 9 Effect of Ti+B and Zr contents on the elongation of the cast specimen

##### 4.1.2 공정 Si조직의 개량화

Ti+B 0.2%, Zr 0.25%첨가 후, Sr을 첨가하여 공정 Si조직을 개량처리하였다.

Fig. 10은 Sr첨가량에 따른 인장강도와 연신율의 변화를 나타낸다. Sr첨가 후 유지시간을 20분으로 하였다. Sr이 0.04%일 경우 인장강도가 275MPa에서 315MPa로 증가하였으며 연신율 또한 2.9%에서 5.2%로 크게 증가하였다. 하지만 Sr첨가량이 0.04%이상일 경우에는 오히려 지나치게 개량되어 인장강도와 연신율이 나빠졌다.

Fig. 11은 Sr첨가량에 대한 공정 Si의 조직사진이다. Sr이 첨가되지 않았을 경우 공정 Si조직이 거대한 침상조직을 나타내었으나 Sr이 0.04%첨가되었을 경우 공정 Si조직이 미세한 섬유상의 조직으로 변화하였다.

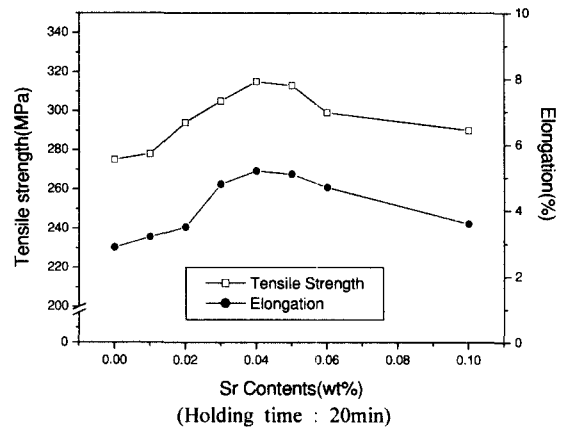


Fig. 10 Effect of Sr contents on the tensile properties and elongation of the cast specimen

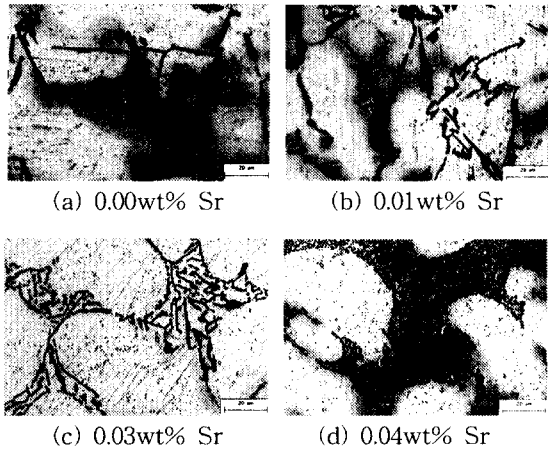


Fig. 11 Microstructures of cast preforms with respect to amount of Sr

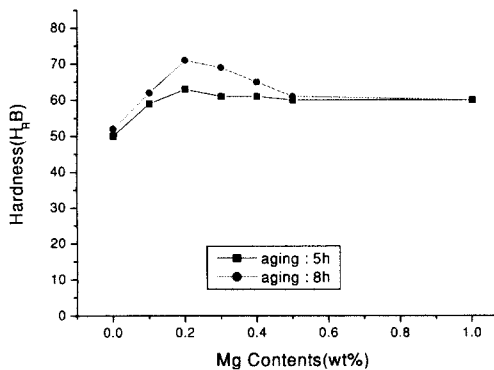
4.1.3 열처리실험 결과

제품의 경도를 향상시키기 위하여 용체화처리와 인공시효를 하는 T6열처리를 하였다. 용체화 처리 후 급냉온도는 15℃로 하였다.

Fig. 12는 열처리시 Mg첨가에 따른 경도변화를 나타낸다. 용체화처리 500℃-3h, 시효처리온도 160℃에서 5h와 8h유지 후 경도값을 측정한 결과 모두 Mg첨가량이 0.2%일 경우 경도값이 가장 높았다.

Fig. 13은 용체화처리조건에 따른 경도변화를 나타내며, 용체화처리 520℃-4h일 경우 가장 높은 경도값을 얻을 수 있었다.

Fig. 14는 시효처리조건에 따른 경도변화를 나타내며, 시효처리 180℃-6h일 경우 경도가 가장 높음을 알 수 있었다.



(Solution treatment condition : 500℃-3h, Aging temp : 160℃)

Fig. 12 Effect of Mg contents on hardness

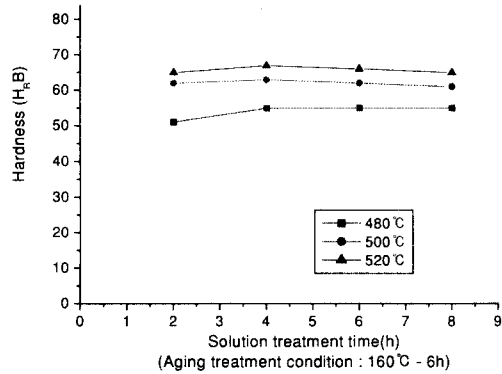


Fig. 13 Effect of solution treatment condition on hardness

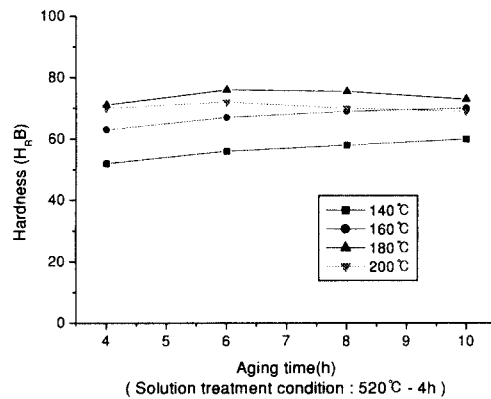


Fig. 14 Effect of aging treatment condition on hardness

4.2 단조실험 결과

제안된 최종형상의 예비성형체를 주조하여 단조실험을 한 결과, 단조결함이 발생하지 않아 제안된 예비성형체의 형상이 적절함을 알 수 있었다.

Fig. 15는 예비성형체와 주조/단조품의 외관사진을 나타내며, Fig. 16은 제품의 부위별 조직사진으로 단조 후 예비성형체의 주조조직이 치밀한 단조조직으로 변한 것을 알 수 있다.

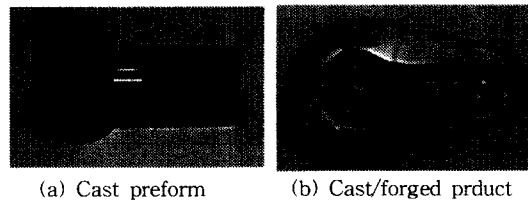


Fig. 15 The Cast preform and the cast/forged product of tie-rod end

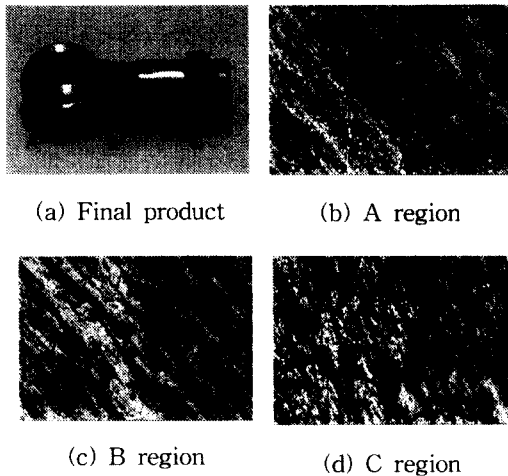


Fig. 16 The final configuration and the microstructures of a tie-rod end

Fig. 17은 주조/단조된 제품에 본 연구에서 가장 적합한 열처리조건인 용체화처리 520℃-4h, 시효처리 180℃-6h에서 열처리한 후 경도값을 나타낸다. 기존의 제품에 요구되는 경도값은 80H<sub>R</sub>B이며, T6 열처리 후 주조/단조된 제품의 경도값은 82H<sub>R</sub>B로 기존제품의 규격을 만족하는 것을 알 수 있었다.

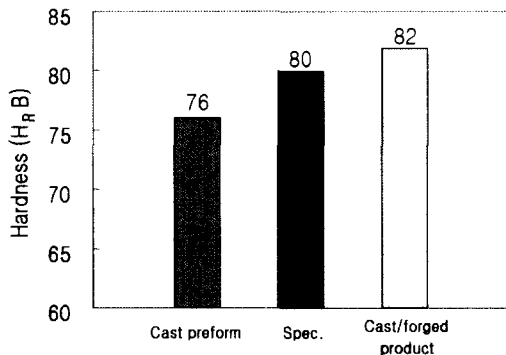


Fig. 17 Comparison of hardness of cast preform, spec., and cast/forged product

### 5. 결론

타이로드 엔드를 알루미늄 주조/단조 공정으로 제조하기 위하여 주조조직의 미세화 및 개량화를 위한 주조실험과 적절한 열처리조건, 단조에 적합한 예비성형체의 형상설계, 주조된 예비성형체의 단조실험

를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 초정 Al조직을 미세화하기 위한 첨가제는 Ti+B 0.2%, Zr 0.25%가 적절하였다.
2. 공정 Si조직을 개량화하기 위한 적절한 Sr첨가량은 0.04%가 적절하였으며, 유지시간은 20분이 적절하였다.
3. 3차원 유한요소해석을 통해 타이로드 엔드의 예비성형체를 제안할 수 있었으며 단조실험 결과 제안된 예비성형체가 적절함을 알 수 있었다.
4. 본 연구에 사용된 소재의 열처리에는 Mg 0.2% 첨가 후 용체화처리 520℃-4h, 시효처리 180℃-6h가 적절함을 알 수 있었으며, 열처리 후 제품의 경도가 규격에 만족되는 것을 알 수 있었다.

### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 김정하, "알루미늄/철의 주조단조," 열조형기술, pp. 95-105, 3, 1995.
2. 김대용, 윤성만, 오수익, "알루미늄 주물을 이용한 단조 공정 연구," 한국소성가공학회, 97추계 학술대회 논문집 pp. 138-141, 1997.
3. 주대현, 김명호, "Sr에 의한 아공정 Al-Si 합금의 개량처리," 주조, 제15권 제3호, pp. 209-219, 1995
4. 배원병, 김영호, 알루미늄의 주조/단조 기술 개발 (I), ERC/NSDM 연구보고서, 부산대학교, 1998.
5. Samuel, F.H., Samuel, A.M. and Liu, H. "Effect of magnesium content on the aging behaviour of water-chilled Al-Si-Cu-Mg-Fe-Mn(380) alloy castings," J. Materials Science., Vol. 30, 1995.
6. 이승평, 금속재료, 철호, pp. 468~484, 1998.