

# 전기자동차용 알루미늄 서스펜션 반응고 성형품의 기계적 특성

강병무\* · 박범석\* · 이상용\*

## Mechanical Properties of Thixoformed Aluminum Suspension Parts for Electric Vehicles

B. M. Kang, B. S. Park, and S. Y. Lee

### Abstract

Recently, many automobile parts produced by semi-solid forming(SSF) process has been applied for improved weight reduction, better environmental protection and energy savings. SSF process was well developed for high volume production of light weight aluminum components. In this paper, knuckle has been manufactured with A357 by SSF and then investigated for microstructures and mechanical properties followed by various heat-treatment conditions. It was found that the examined microstructure was equiaxed at the whole cross-section area and as a result, the mechanical properties were satisfied by 100MPa YS, 260MPa UTS and 14% elongation.

**Key Words** : Electric Vehicle, Suspension Components, Thixoforming, Semi-Solid Forming(SSF) Process

### 1. 서 론

전 세계적으로 에너지 절약과 환경보존이 함께 요구되고 있는 가운데 경량 소재인 Al 및 Mg과 같은 소재를 이용한 반응고 성형품 개발 및 응용이 활발히 진행되고 있다. brake master cylinder, fuel rail, 그리고 air-con Compressor housing과 같은 내기밀성이 요구되는 소형 부품은 이미 상업적으로 응용이 활발하나, 구조용 부품, 특히 전륜의 안쪽에 위치하여 전륜으로부터 전달되는 노면하중을 차체에 전달하는 control arm이나 knuckle과 같이 높은 정적 및 동적강도를 필요로 하는 승용차에 사

용되는 것은 개발이 되고있으나 아직 신뢰성이 확보되지 않은 상태이다.

무공해, 저소음, 높은 에너지 효율과 수송에너지의 다변화 등 많은 이점을 갖고 있는 미래형 자동차인 전기 자동차는 무엇보다 경량화가 필수조건이다. 알루미늄은 주철이나 강판에 비해 가볍지만 강도가 떨어지는 단점이 있지만, 전기 자동차는 일반적으로 고속주행을 하는 승용차에 비해 더 낮은 기계적 특성을 요구하므로, steel 부품에서 알루미늄으로 대체함으로써 약 40% 가량의 무게 감소 효과를 이룰 수 있다.

\* 한국기계연구원 재료공정부

본 연구에서는 전기자동차의 고강도 및 경량화를 위하여 반응고 성형법을 이용하여 자동차 샤시 현가장치 부품인 knuckle을 성형했으며, 제조후 열처리에 따른 미세조직과 기계적 성질을 조사했다.

## 2. 실험방법

본 시제품 성형에 사용된 A357 소재의 조성은 Table 1에 나타내었으며, 고액공존구역의 온도범위는 560-613°C이다. 직경 3"의 원소재를 직경 65mm, 길이 100mm가 되도록 가공했다. 그리고 K-Type 열전대를 장착하기 위하여 중심부와 표면부위에 깊이 20mm의 hole을 뚫었다. 용량이 25kW, 1kHz이며, 출력으로 제어되는 수평식 유도가열기를 이용하여 주어진 소재에 대하여 최적의 반응고 가열조건을 구하였다. Fig. 1에서 사용한 장치의 개략도를 나타내었으며 Table 2에 최적가열조건을 나타냈다.

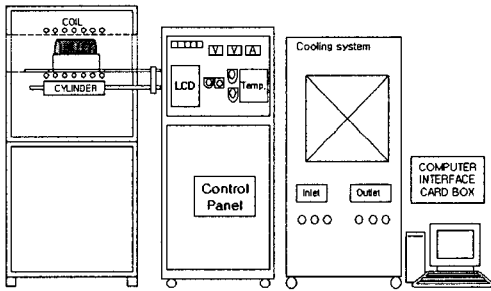


Fig. 1 The schematic diagram of inductive heating system

Table 1 Chemical composition of A357 in wt%

Al	Mg	Si	Fe	Ti	Cu	Zn
rem.	0.5	7.0	0.15	0.15	0.05	0.05

Table 2 Re-heating conditions of A357 MHD billet

Materials	Heating Time(sec)	Temp.(°C)	Billet Size (mm)
A357	450	590	L: 100 Ø: 65

Fig. 2는 반응고성형을 위한 수직식 knuckle 금형을 보여주고 있다. 재 가열된 빌렛이 A위치에 놓여지고 난 후에 피스톤이 수직방향으로 움직여서 단축된 금형을 완전히 채우게 된다. 이때의 ram speed는 약 500-600

mm/sec으로 제어했으며, 금형의 온도는 200°C로 유지하였다. 성형된 knuckle은 약 2-3분정도 경과후 금형에서 꺼내어졌으며 상온에서 공냉되어졌다. Fig. 3은 반응고 성형직후 overflow가 제거된 knuckle의 사진이며, 외관상으로 큰 결함은 발견되지 않았다. knuckle의 미세조직 관찰을 위해 중앙 단면을 절단한 후 광학현미경으로 분석했다. 또한 성형직후와 T6열처리한 시편의 기계적 특성을 알아보기 위해 Instron Series IX 인장시험기를 사용하였다.

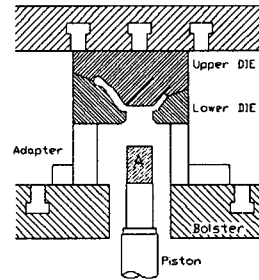
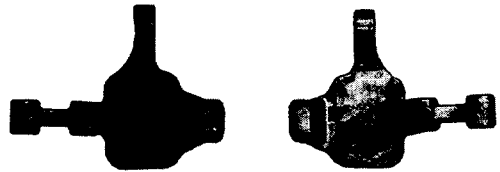


Fig. 2 The schematic diagram of die concept



(a) knuckle right (b) Knuckle left

Fig. 3 As thixoformed knuckles

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 미세조직

Fig. 4 (a)의 왼쪽은 절단된 knuckle의 단면의 매크로 조직을 나타냈으며 Fig. 4의 (a)~(i)는 (a)의 왼쪽의 그림에 표시된 부위에서 미세조직을 나타낸 것이다. 그림에서 같은 위치에서 있는 미세조직에서 표면부위에는 고상입자가 상대적으로 중앙보다 적고 불규칙적이었으며 중앙으로 갈수록 고상입자들의 양이 많고 또한 균일하게 분포되어있었다. 충전 거리에 따라 고상 입자들의 분포율의 차이가 남을 알 수 있다. 특히 양쪽 끝단부와 중앙부위에서 고상의 입자들의 분포가 뚜렷한 차이를 나타낼 수 있다. 이는 충전되는 압력이 소재가 공급되는 중심부에서 가장 높고 양쪽 끝부위로 갈수록 금형표면과

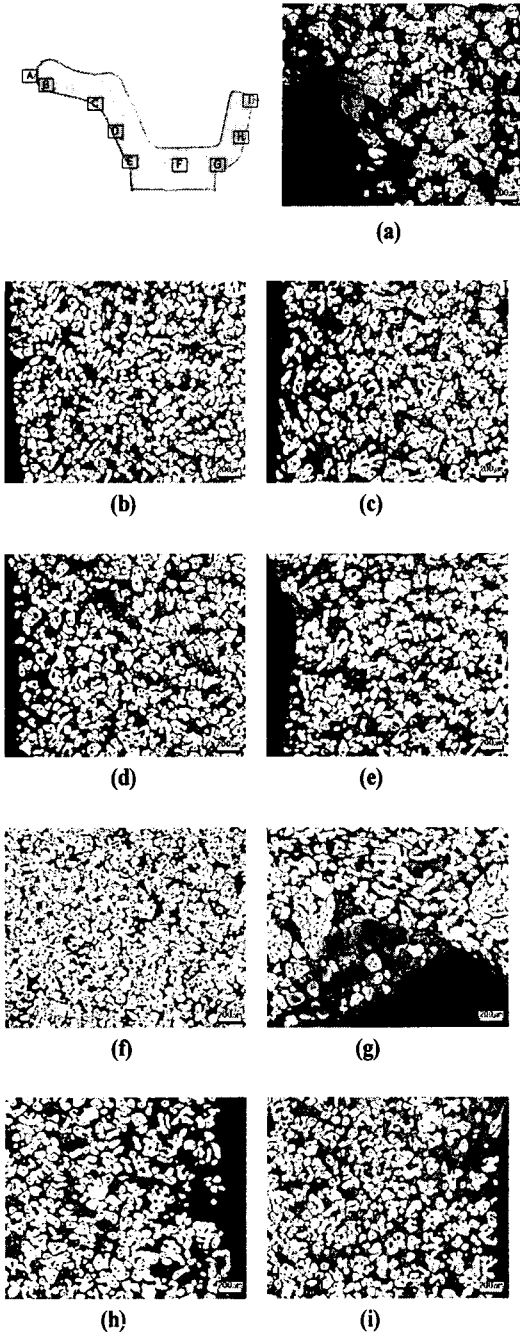


Fig. 4 Microstructure of different position of as thixoformed knuckle

의 마찰뿐만 아니라 온도가 낮은 금형으로부터 열이 상당수 빼앗기기 때문에 (a)나 (i)부위에서 제대로 압력이 전달되지 못한 것으로 여겨진다. 따라서 가장 압력을 많이 받는 (f)부위는 반응고 상태에서 액상부분이 쉽게 다

른 부위로 이동하여서 거의 액상영역이 작은 조직이 얻어진 반면, 상대적으로 양쪽 끝단 부위로 갈수록 액상영역의 크기가 중앙부위보다 컸으며 전체적으로 입자의 구상화 정도가 불균일하였다. (g)와 같이 기하학적 형상이 급격히 변하는 부위에서는 액상의 유동에 의해 대부분 액상영역으로 형성되어 조직이 다른 곳에 비해 양호하지 않았으며, 비교적 큰 균열이 존재하였다. 이런 것을 방지하기 위해서는 ram speed를 감소할 필요가 있다.

### 3.2 기계적 특성분석

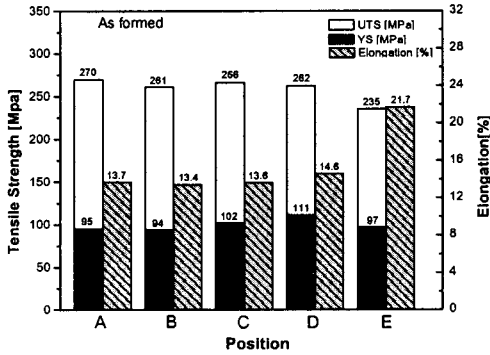
부품의 성형 직후와 T6열처리 후의 인장시험 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 인장시험편은 knuckle의 각각의 부분에서 채취하였으며 그 위치를 Fig. 5(a)에 표시하였으며, 각 위치에서 항복강도, 최대인장강도 및 연신율을 그래프(b)와 (c)로 나타내었다. 반응고성형 직후의 항복강도는 94~110MPa로 거의 비슷한 수치를 나타내었다. 인장강도는 A-D가 260~270MPa인데 반하여 E는 235MPa로써 다른 위치에서 보다 떨어졌다. 한편 연신율은 A-D부분이 13~15%로 거의 일정한 반면, E는 22%로 다른 부위보다 높게 나타났다. Fig.4에서 다른 부위보다 항복강도는 낮고 연신율이 높게 나타난 부위가 (f)로써 조직상으로 다른 부위에 비해 고상의 입자들을 많이 함유하고 있다. 고상영역들은 액상영역보다 합금성분을 덜 함유하고 있으므로 연신율은 높은 반면, 강도는 떨어진 것으로 보인다.

Fig. 5(b)는 T6 열처리 후의 기계적 특성을 나타낸 것으로 항복강도는 A-D부위는 260~280MPa으로 거의 비슷하게 나타나나 E부위는 220MPa으로 다소 낮게 나타났다. 인장강도는 E부위가 약간 낮으나 대체적으로 340~350MPa로 비슷한 수치를 보이고 있다. 한편 연신율은 열처리에 따라 3~7%를 보이고 있다. Fig. 5(b)와 비교했을 때 항복강도는 T6열처리를 함으로 약150% 증가하였으며, 인장강도는 T6열처리를 함에 따라 약 30%증가하였다.

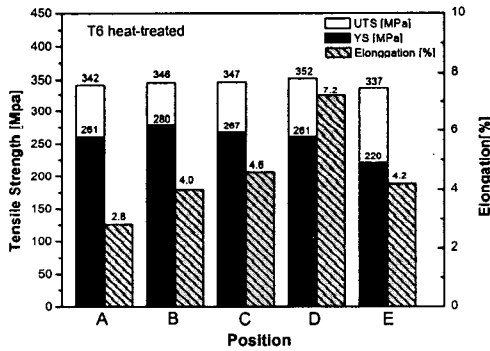
Squeeze cast, 단조 및 반응고 성형법을 이용한 공정에서의 기계적 성질을 Table 3에 나타내었다[4][5]. 본 연구에서 인장시험 자료와 비교해 볼 때 반응고 성형의 경우 성형직후는 항복값은 약간 떨어지나 인장강도는 15~40MPa정도 높게 나타났다. T6 열처리 후에는 항복 및 인장값이 20MPa정도 높게 나타났다. 다른 자료에는 T6열처리 후에 항복강도 290MPa, 인장강도 345MPa, 연신율 10%로 보고된 것도 있다[6]. 반응고 성형된 부품의 인장강도는 squeeze casting에 비해 약간 우수하며, 단조에 비해 약간 떨어졌다.



(a)



(b) As formed



(c) T6 heat-treated

Fig. 5 Tensile strength and elongation of thixoformed knuckle

Table 3 Comparison with various processes in T6 heat-treatment

Process	Temper	YS [MPa]	UTS [MPa]	Elongation %
SSF*	As Formed	110 [110]	220[220]	14 [13]
SSF**	As Formed	100	260	15
SSF*	T6	240 [276]	320 [345]	12 [8-12]
SSF**	T6	260	345	4
Sqz***	T6	250	330	5
Forged*	T6	280	340	9

주) \* : Chiametta data(1996)[4]  
bracketed, [ ] - AEMP data

\*\* : KIMM data

\*\*\* : John L. Jorstad, Formcast Inc.[5]

#### 4. 결론

Knuckle 반용고 성형품에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 소재의 공급된 거리에 따라 미세조직은 피스톤과 부딪히는 부분을 제외하고는 거의 비슷한 구상의 조직을 갖고 있었으며, 중심부위는 고상입자의 분율이 다른 부위보다 높았으며 양쪽 끝단부위에는 다른 곳보다 조직의 치밀도가 떨어졌다. 따라서 성형중 소재의 유동 및 압력 제어를 통해 조직의 균일성을 확보하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

(2) 반용고성형 후의 knuckle은 평균 항복강도는 100MPa, 인장강도는 260MPa, 연신율은 15%(중심부위 22%)를 나타냈다.

(3) T6열처리를 함으로써 중심부위를 제외하면 항복강도는 260MPa, 인장강도는 345MPa로 증가하였으나, 연신율은 4%로 크게 낮아졌다.

#### 참고 문헌

- (1) 김채원, 2000, "차세대 자동차의 경량화 기술", 대한 금속재료학회, 제7회 철강기술심포지엄 논문집. p. 3
- (2) 임성기의, 1992, "전기자동차 개발현황 및 전망", 대한기계학회지, 제32권, 제9권. p. 765
- (3) 조세형, 2000, "알루미늄을 적용한 경량 샤시 부품 개발", 대한금속·재료학회, 제7회 철강기술심포지엄 논문집, p.333
- (4) W. L. Winterbottom, "Semi-solid Forming Applications : High Volume Automotive Products", Semi-solid Processing of Alloys and Composites, 6th International Conference, p. 73.
- (5) John L. Jorstad, "Semi-solid Metal Processing : A Cost-competitive Approach for High Integrity Aluminum Components", Semi-solid Processing of Alloys and Composites, 6th International Conference, p. 227.
- (6) M. Garat, "State of the Art of Thixocasting", Semi-solid Processing of Alloys and Composites, 6th International Conference, p. 187