論 文

용탕단조 Mg-Zn-Zr 합금의 미세조직 및 강화기구

오상섭 · 황영하 · 김도향 · 홍준표 · 박익민*

Microstructure and Strengthening Behavior in Squeeze Cast Mg-Zn by Addition of Zr

Sang-Sub Oh, Young-Ha Hwang, Do-Hyang Kim, Chun-Pyo Hong and Ik-Min Park*

Abstact

Microstructural characteristics and strengthening behavior in Mg-5wt%Zn-0.6wtZr alloys have been investigated by a combination of optical, secondary electron and transmission electron microscopy, differential thermal analysis, and hardness and tensile, creep property measurements. The result have been compared with those of Mg-5wt%Zn alloys. The as-squeeze cast microstructure consisted of dendrite α-Mg, interdendrite or intergranular Mg_7Zn_3 and fine dispersoids of $ZnZr_2$. The size of secondary solidification phases in Mg-5wt%Zn-0.6wtZr alloys was significantly smaller than that of the Mg-5wt%Zn alloys due to the existence of fine dispersoid of $ZnZr_2$ which also effected the refinement of grain size. TEM study showed that the main cause of age hardening is formation of fine rodlike β_1' precipitates as well as fine $ZnZr_2$ dispersoids. Due to the observed microstructural characteristics mechanical propeties of Mg-5wt%Zn-0.6wtZr alloys was found to be superior to those of Mg-5wt%Zn alloys. (Received June 22, 1998)

1. 서 론

Mg합금은 차량, 항공기등 수송수단과 내구재등의 경량화 대체 소재로서 대두되면서 상업화를 위한 연구를 통해 현재 Mg-Al합금에 Zn를 첨가함으로써 인장강도와 내부식성을 향상시킨 AZ81, AZ91합금 등 AZ계열 합금이 상용화되고 있다[1, 2]. 그러나 자동차 엔진 부품, 항공기용 소재등에서 Al 합금을 대체 하기 위해서는 기계적특성과 내열특성이 향상되고, 내식성을 갖춘 합금개발이 절실히 요구되고 있으며, 최근 이러한 요구를 충족시키기 위한 합금으로 Mg-Zn합금에 Zr, RE등이 첨가된 합금계에 대한 연구가 일부 수행되고 있다[3, 4]. 특히 Zr을 첨가함으로써 Mg-Zn합금의 단점인 열처리후 결정립이 Mg-Al합금에 비해 조대화되는 단점을 보완 할 수 있으며, 또한 Zr 첨가에 의해 결정립이 미세화될 뿐만 아니라, 결정립계에 생성되는 Mg-Zn 혼합물의 양을 감소시켜 Zr, Zn의 고용을 촉진함으로써 연성을 최소화 할 수 있다고 보고되고 있다[5]. 그러나 아직 Mg-Zn-Zr합금의 미세분산상의 형성, 열처리에 따른 상거동 및 기계적특성에 미치는 영향등에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고온특성이 우수한 고강도 Mg-Zr 합금개발을 위한 기초연구로서 용탕단조법으로 주조한 Mg-Zn, Mg-Zn-Zr합금의 미세조직관찰을 통해 미세분산상 형성 및 결정립 미세화에 미치는 Zr 첨가영향과 다양한 열처리를 통해 상거동 및 강화 기구를 분석하였으며, 경도측정 및 인장시험 등을 통해 기계적 특성평가에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 Mg-5wt%Zn와 Mg-5wt%Zn-0.6 wt%Zr합금은 두가지 주조법으로 제조하였다. 응고속도에 따른 결정립크기 변화와 미세조직에 미치는 Zr 첨가효과를 관찰하기 위한 원뿔형태의 금형주조법과 용탕단조법으로 주조한 합금을 제조하였다. 따라서 두가지 주조법으로 제조된 시편에 대해 Zr 첨가효과를 관찰하였고, 다양한 열처리를 통해 상거동 및 강화

연세대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei Univ.)
*부산대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Pusan National Univ.)

기구를 분석하였으며, 기계적 특성평가를 위한 합금은 용탕단조법으로 제조하였다.

합금제조는 순도 99.8%의 Mg 및 순도 99.9%의 Zn와 Mg-32wt%Zr 모합금을 사용하였으며, Mg의 강한 산화성을 억제하고 융점차이가 큰 Zr 첨가원소의 합금을 제조하기 위해 Mg와 Zn를 먼저 도가니에 장입하여 아르곤 분위기로 용해한 후, 용탕온도 780°C에서 Mg-32wt%Zr 모합금을 첨가하였다. 원뿔형태의 금형주조법으로 직경 6 cm, 높이 12.5 cm의 시편을 제조하여 상부위(8 cm), 중간부위(5 cm), 하부위(1 cm)를 절단하여 응고속도 변화에 따른 미세조직을 관찰하였으며, 용탕단조법으로 주조된 시편은 거시편석과 수축공이 제거된 건전한 주조품을 제조하기 위해 750°C의 용탕을 다공질 알루미나 필터가 장착된 주입컵을 통해 200°C로 예열된 금형에 주입한 후, 100 MPa로 60초 동안 가압하였으며[6], 시편은 길이 10 cm, 지름 5 cm 크기로 제조하였다.

그리고 용탕단조법으로 주조된 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금에 대해 다양한 열처리 조건하에서의 미세조직 및 상거동을 관찰하기 위해 Fig. 1의 Mg-Zn 2원계 합금의 평형상태도로부터 용체화조건을 설정하였다. 또한 주조상태의 시편과 315°C 5시간, 320°C 5시간, 320°C 10시간 동안 용체화처리를 행한 시편에 대해 180~380°C까지 10°C/min 로 승온하여 DSC 분석을 통해 상거동을 관찰하였고, 시효조건은 200°C에서 1시간부터 100시간까지 10시간대별로 시효처리를 하였다.

미세조직 관찰은 시편을 2000번 연마지로 연마후, 0.05 μm의 알루미나 분말로 최종 연마하여 시약(10 ml HNO_3+90 ml Etanol)으로 10초간 부식시킨후, 광학현미경(Nikon NFX-35, 일본) 및 주사전자현미경(Hitachi S-2700 scanning electron microscope, 일본)을 사용하였다. 주조상태의 제2응고상들과 미세분산상들의 크기는 영상분석기(Q500MC Image Analyzer, 독일)를 사용하여 측정하였으며, 상 분석은 EDS(Kevex energy dispersive spectrometer) 및 X-선 회절기(Rigaku CN-2301, X-ray diffractometer)를 사용하였다. 또한 시효처리후의 연속석출상을 관찰하고자 전해연마(10% NHO_3 in etanol, ~10°C, ~10V)를 행하였으며, 산화막을 제거하기 위해 1시간(15deg) 동안 이온밀링을 행한 후, 투과전자 현미경(Hitachi H-600, 일본)으로 관찰하였다.

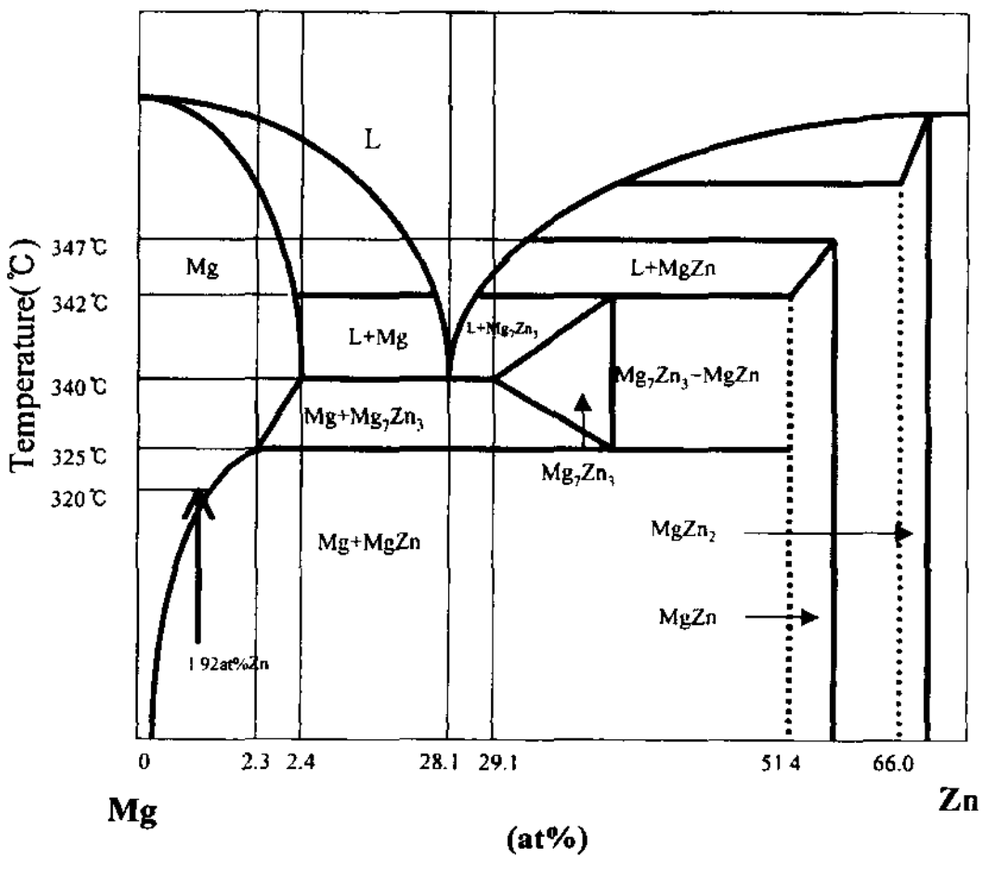


Fig. 1. Phase diagram of the Mg-Zn binary system.

시효처리에 따른 Mg-5wt%Zn 합금과 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금의 경도변화를 확인하기 위해 미소경도계(Matzuzawa, microhardness tester, MXT-α)를 사용하였으며, 하중 500 g하에서 10회 측정후 평균값을 취하였다. 인장시험은 만능인장시험기(Instron, Mo del No. 5565)를 사용하여, 상온에서 2 mm/min의 조건하에서 행하였으며, 시편의 미세한 노치로 인한 영향을 줄이기 위해 0.05 μm의 알루미나 분말로 최종 연마하였다. 또한 고온특성을 평가하기 위해 170°C에서 200°C까지의 온도범위와 50 MPa에서 75 MPa의 응력범위에서 크리프 시험기(constant load creep rupture tester)를 사용하여 크리프 시험을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 응고조직

3.1.1 응고상 분석

Fig. 2(a), (b)는 용탕단조법에 의해 주조된 시편에 대한 주조상태의 광학현미경 조직사진을 보여주고 있다. Fig. 2(a)는 Mg-5wt%Zn 합금의 주조상태의 조직사진으로써 응고후 냉각되는 동안 형성된 조대한 입계 수지상들과 입내의 작은 제2응고상들을 관찰할 수 있으며, Fig. 2(b)는 Zr을 첨가한 합금의 조직사진으로써 Mg-5wt%Zn 합금에서 관찰된 제2응고상들의 크기 감소와 입계주위의 미세분산상들을 관찰할 수 있다. Table 1은 Zr을 첨가함으로써 제2응고상 및 미세분산상들에 대한 평균직경을 측정한 결과를 보여주고 있다. 제2응고상들의 평균직경은 약 3.6 μm에서 2.5 μm로 감소하였으며, 미세분산상들의 평균직경은 약 0.4 μm로 조사되었다.

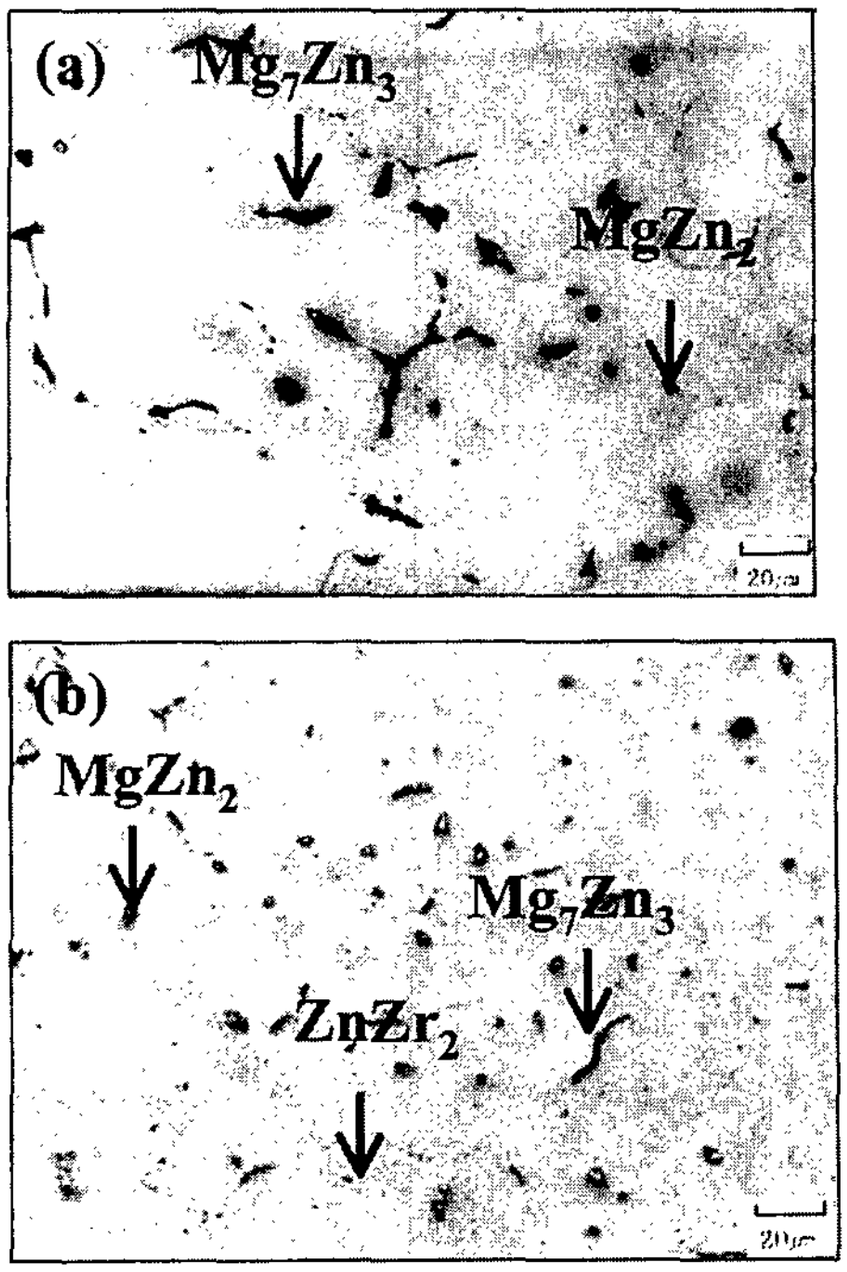


Fig. 2. As-cast optical microstructure obtained from : (a) as-cast Mg-5wt%Zn; and (b) as-cast Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr.

Table 1. Average diameter of Mg_7Zn_3 and $ZnZr_2$ in squeeze cast Mg-5wt%Zn alloy and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy

Alloy	Mg_7Zn_3 average	$ZnZr_2$ average diameter (μm)	Precipitation pattern
Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr	2.5	0.4	
Mg-5wt%Zn	3.6	–	

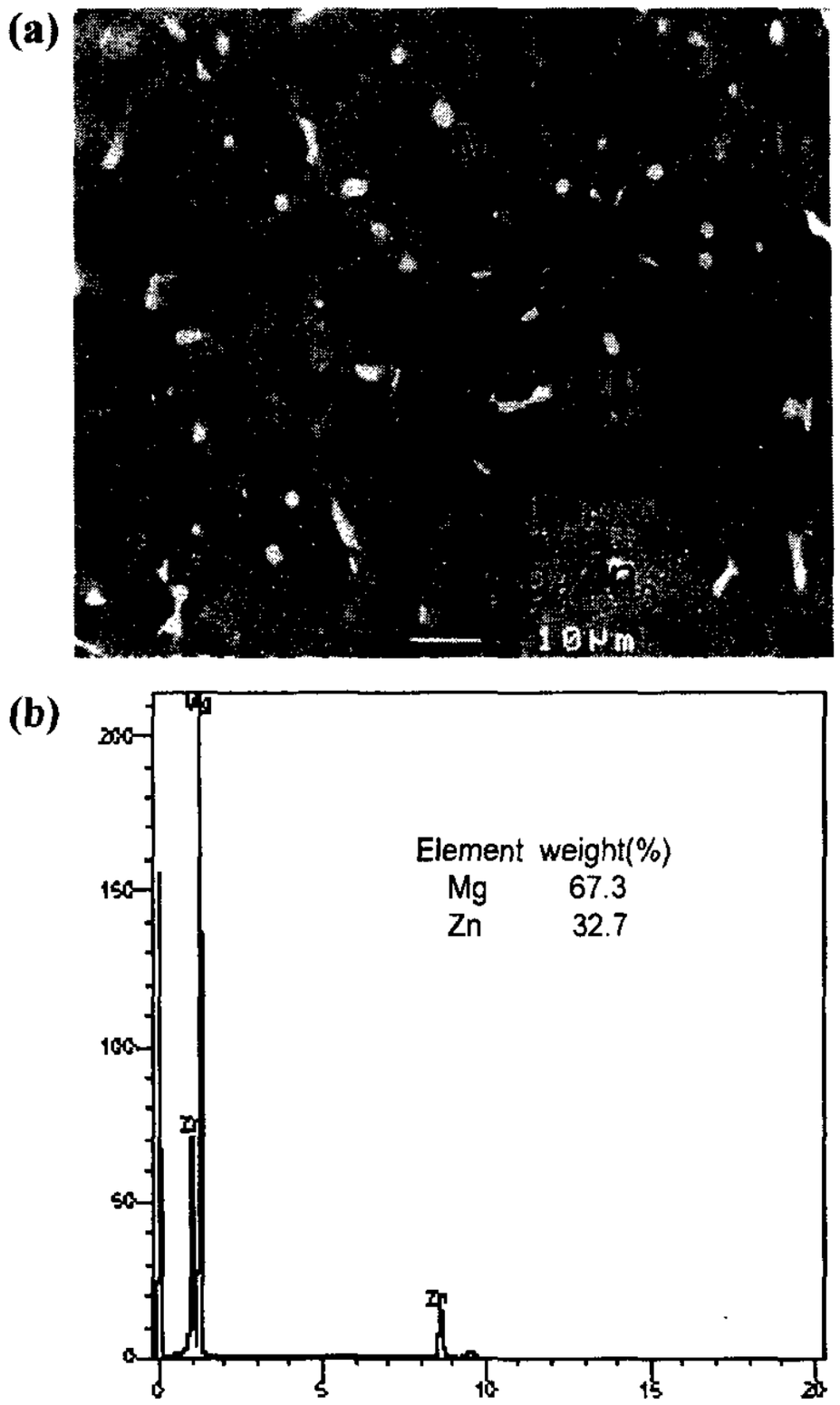


Fig. 3. Phase indentitication by EDS analysis of as-cast Mg-5wt%Zn alloy : (a) secondary electron image; and (b) EDS analysis result.

Fig. 3 및 Fig. 4는 주조조직에서 관찰된 존재상들에 대한 SEM 및 EDS 분석 결과를 보여주고 있다. Fig. 3(a)는 Mg-5wt%Zn합금의 주조상태 SEM 조직사진이며, Fig. 3(b)는 제2응고상에 대한 EDS 분석결과로써 입계 수지상들은 66.7%의 Mg와 Zn가 33.3%인 금속간 화합물로 분석되었고, 이러한 상들은 325°C에서 317°C의 온도범위에서 상의 분해반응이 일어나는 Mg_7Zn_3상인 것으로 보고된바 있으며, 입내의 작은 상들은 84.7%의 Mg와 Zn가 15.3%인 금속간 화합물로 분석되었고, 이러한 상들은 Mg_7Zn_3상이 α(Mg)와 MgZn상으로 분해되는 초기 분해과정을 거쳐 315°C 이하 및 상온에서 열적으로 안정한 $MgZn_2$상인 것으로 보고 보고된 바 있다[3]. Fig. 4(a)는 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금의 주조상태 SEM 조직사진이며, Fig. 4(b)는 입계석출상에 대한 EDS 분석결과로써 존재상은 7.5%의 Zn와 Zr이 5.7%인 금속간화합물로 분석되었으며, 이러한 상들은 입계주위에 미세하게 분포되어 있음을 관찰할 수 있다. Fig. 5(a), (b), (c)는 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금의 주조상태 시편에 대한 투과전자현미경으로부터 얻은 명시야상과 제한시야 회절도형을 보여주고 있다. Fig. 5(a)는 입계의 조대한 제2응고상으로서 [321]존의 Mg_7Zn_3상으로 확인되었으며, Fig. 5(b)는 그 주위의 작은 구형상으로서 [301]존을 갖는 $MgZn_2$상으로 조사되었다. 그리고 Fig. 5(c)는 입계주위의 미세분산상으로 [110]존을 갖는 $ZnZr_2$상으로 조사되었다.

3.1.2 응고속도 영향

Fig. 6은 응고속도를 변화시켜 Mg-5wt%Zn 합금과

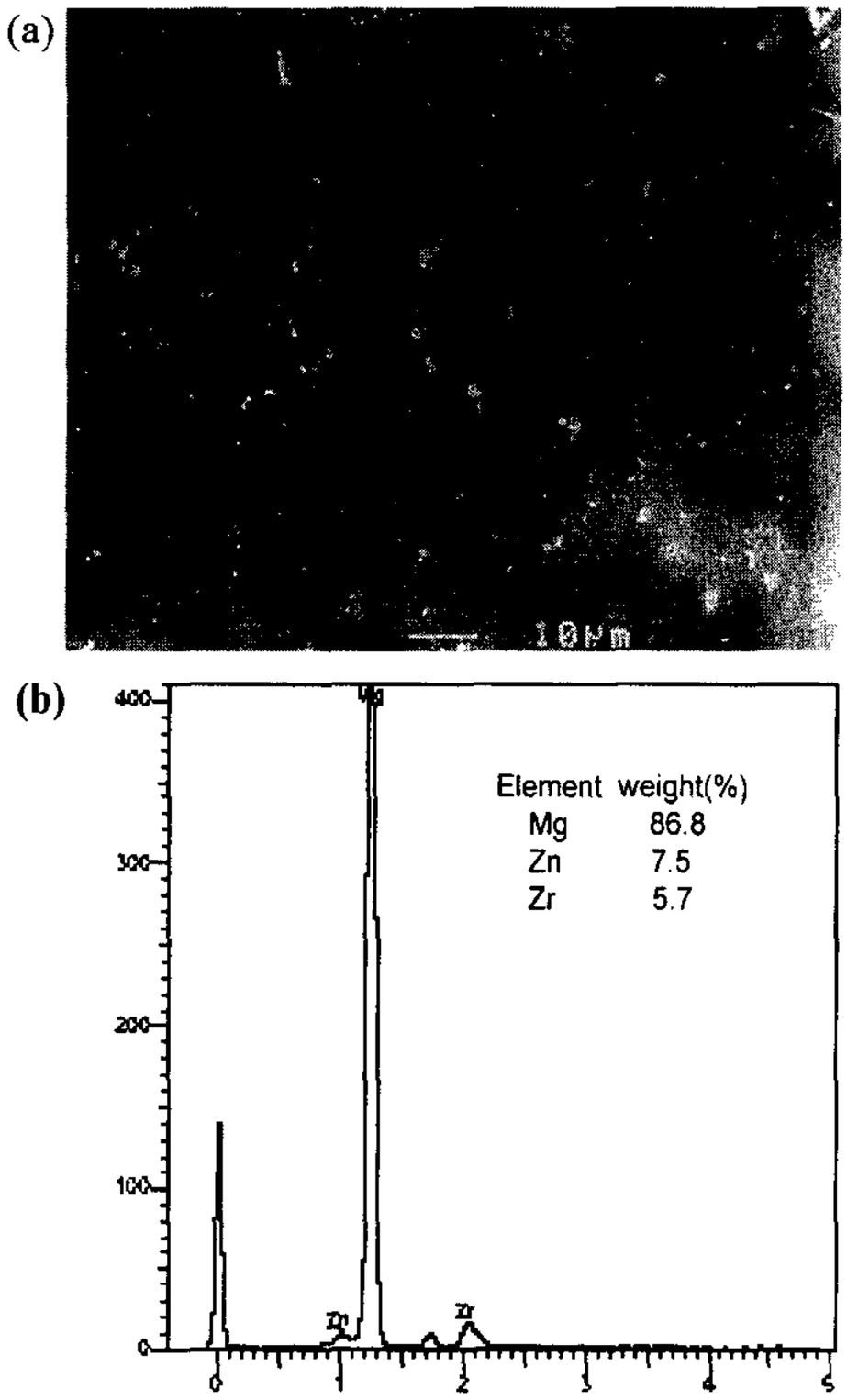


Fig. 4. Phase indentitication by EDS analysis of as-cast Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy : (a) secondary electron image; and (b) EDS analysis result.

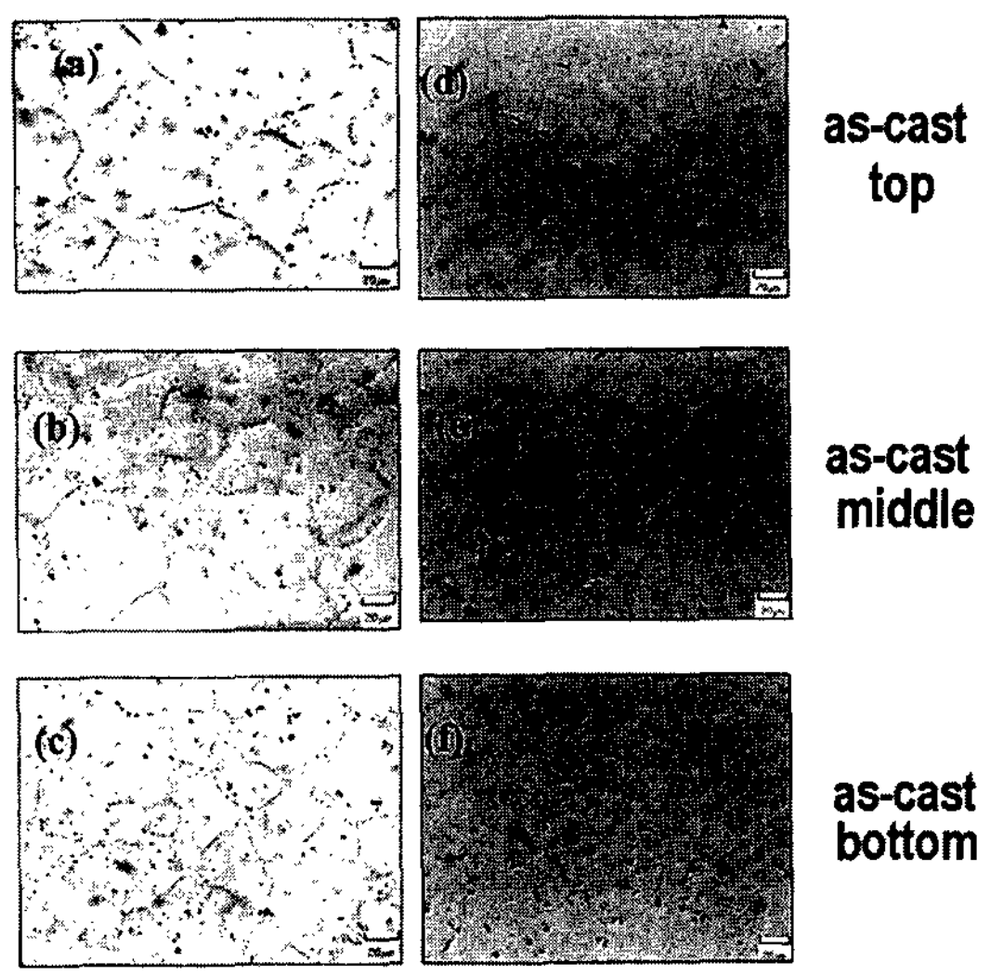


Fig. 6. Optical micrographs obtained from wedge-type-cast Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloys : (a), (b) and (c) top, middle, bottom part of wedge-type-cast Mg-5wt%Zn alloy ; and (d), (e) and (f) top, middle, bottom part of wedge-type-cast Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy.

0.6wt%Zr을 첨가한 합금에 대한 결정립 미세화와 입계주위의 미세분산상 형성에 관한 미세조직을 관찰하기 위해 원뿔형태의 금형주조법으로 주조된 시편의 주조상태를 광학현미경실험으로부터 얻은 조직사진을 보여주고 있다. Mg-5wt%Zn 합금은 Fig. 6 (a)~(c)에, Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금은 Fig. 6 (d)~(f)에 나타내었다. 두 합금의 원뿔 하단부위 시편의 조직사진을 나타낸 Fig. 6 (c)와 (f)를 관찰시 결정립은 상부위와 중간부위보다 더 미세화되었음을 관찰할 수 있으

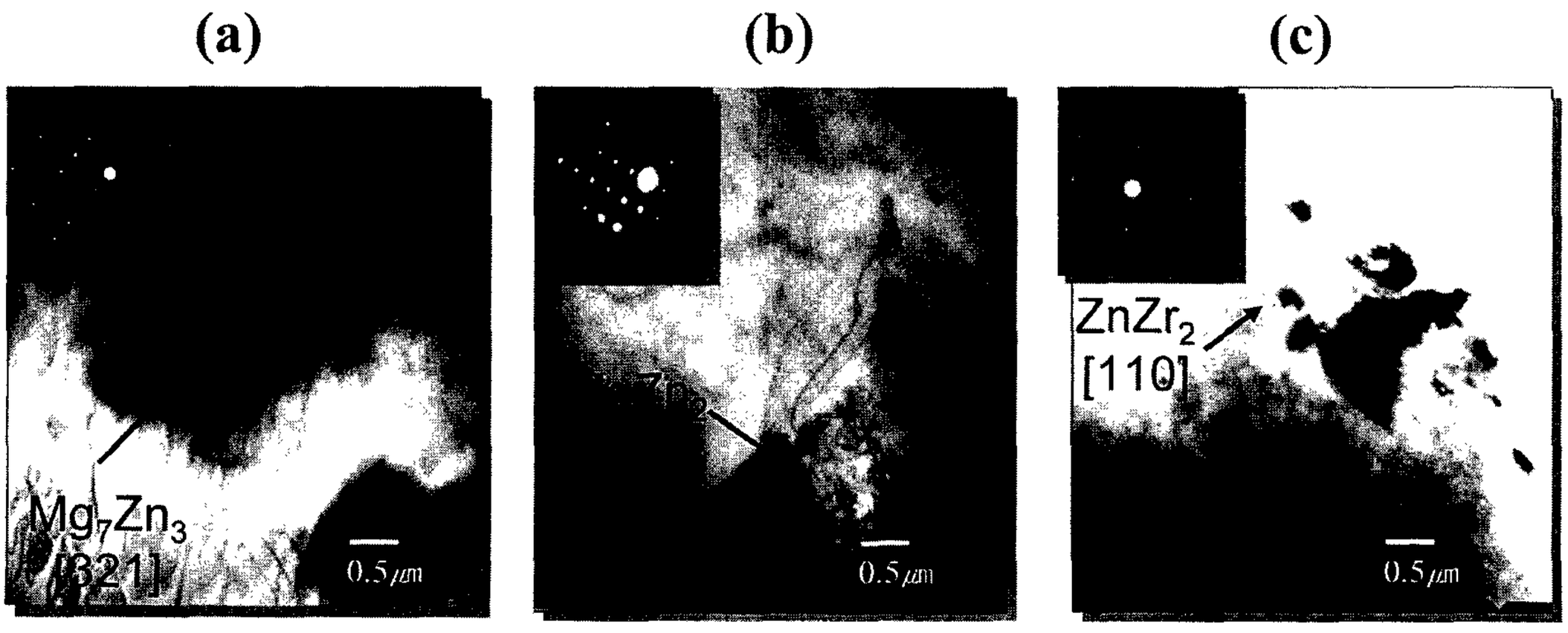


Fig. 5. Bright field TEM micrographs and corresponding selected area electron patterns for squeeze-cast Mg-5wt%Zn-0.6wtZr alloy.

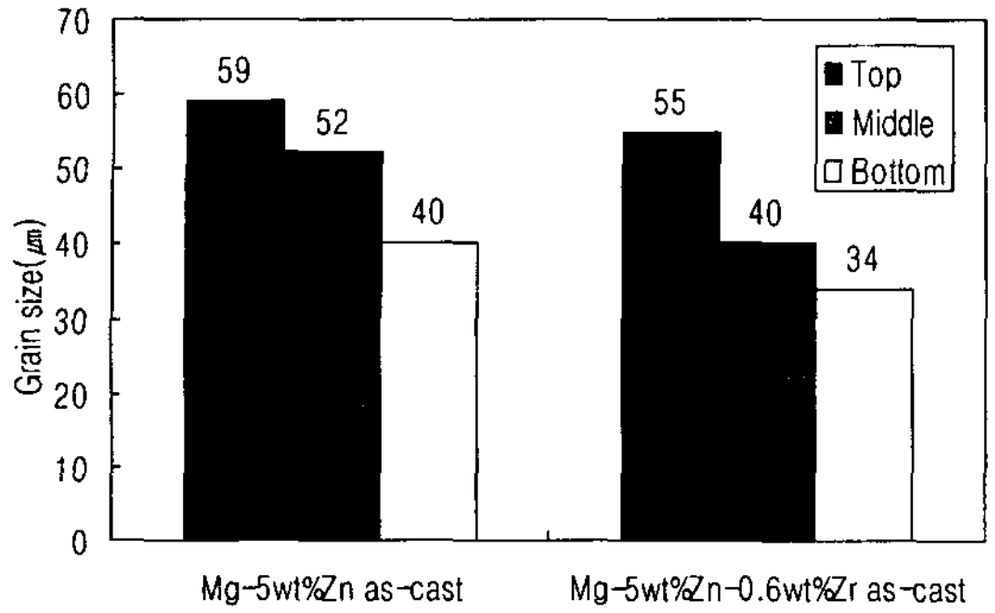


Fig. 7. Result of grain size measurement in wedge-type cast Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloys.

며, 0.6wt%Zr을 첨가한 합금의 경우에는 Mg-5wt%Zn 합금보다 결정립이 더 미세화되었다. Fig. 7은 원뿔형태의 금형주조법에 의한 주조상태의 결정립크기를 측정한 결과를 보여주고 있다. 시편 상부위와 하부위의 평균 결정립크기는 Mg-5wt%Zn 합금의 경우, 59 μm에서 40 μm로 감소되었으며, Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금의 경우에는 55 μm에서 34 μm로 현저하게 감소하였다. 이는 Zr이 Mg의 결정립 생성을 위한 핵 생성처로 작용한 것으로 판단된다.

3.2 열처리 조직

Fig. 8은 용탕단조법에 의해 주조된 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr합금의 주조상태 시편과 315°C에서 5시간, 320°C에서 5시간, 10시간 동안 용체화처리를 행한 시편에 대한 DSC 결과를 보여주고 있다. 주조상태 시편의 경우, 승온시 약 337°C에서 흡열피크가 나타났고 냉각시에는 약 327°C에서 발열피크가 나타났으며, 이들 피크는 320°C에서 5시간 동안 용체화처리시 사라짐을 관찰하였다. 이러한 반응들은 다음과 같다.

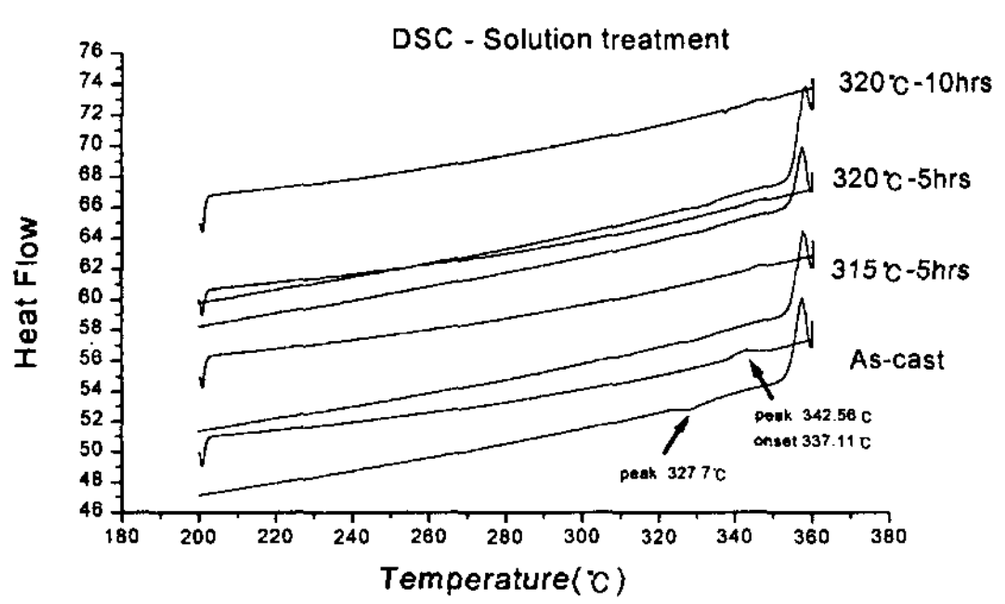


Fig. 8. DSC spectra obtained from Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy.

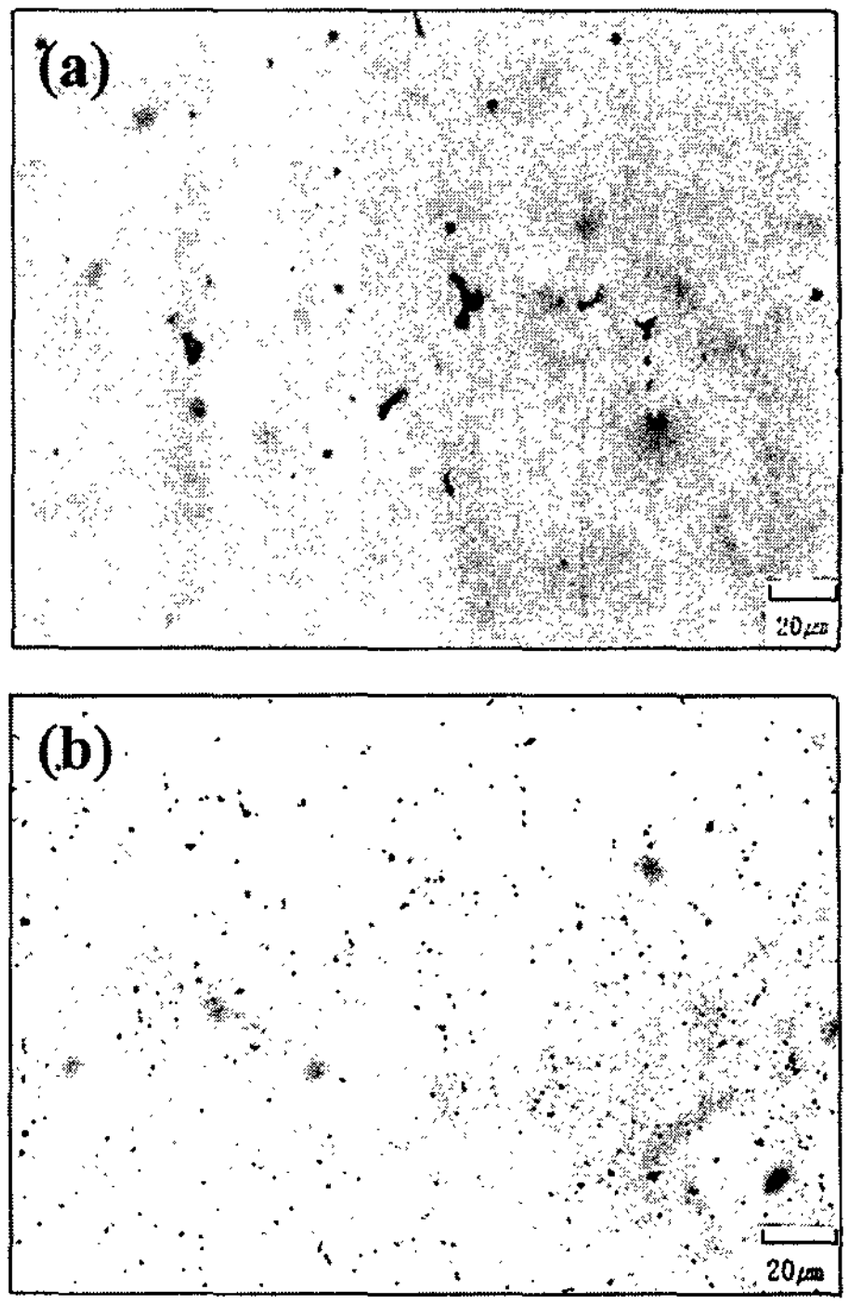


Fig. 9. (a), (b) Optical micrographs obtained from squeeze cast Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy after solution treatment at 320°C for 5 hours.

- $L \leftrightarrow \alpha(Mg) + Mg_7Zn_3$: 340±1°C
- $Mg_7Zn_3 \leftrightarrow \alpha(Mg) + MgZn$: 325±0.5°C

Fig. 9(a), (b)는 Mg-5wt%Zn합금과 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr합금의 시편을 320°C에서 5시간 동안 용체화처리후의 광학현미경 조직사진을 보여주고 있다. 결정립계에 존재하던 수지상정과 기지내에 존재하는 제2응고상들이 고용되어 양과 크기가 현저히 감소하였음을 관찰하였다. 이러한 결과로부터 흡열 및 발열반응이 나타나지 않는 320°C에서 5시간 동안 용체화 처리가 시효처리를 위한 최적조건으로 판단하였다.

Fig. 10은 응고속도를 변화시킴으로써 Mg-5wt%Zn 합금에 0.6wt%Zr을 첨가하여 입계주위에 미세분산상의 형성과 결정립 미세화를 관찰하기 위해 원뿔형태의 금형주조법으로 주조된 시편을 320°C에서 5시간 동안 용체화처리를 행한후, 200°C에서 20시간 동안 시효처리후의 광학현미경 조직사진을 보여주고 있다. Mg-5wt%Zn 합금은 Fig. 10 (a)~(c)에, Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금은 Fig. 10 (d)~(f)에 나타내었다. Fig. 6에서 관찰한 바와 같이 Zr 첨가 합금의 경우에 결정립이

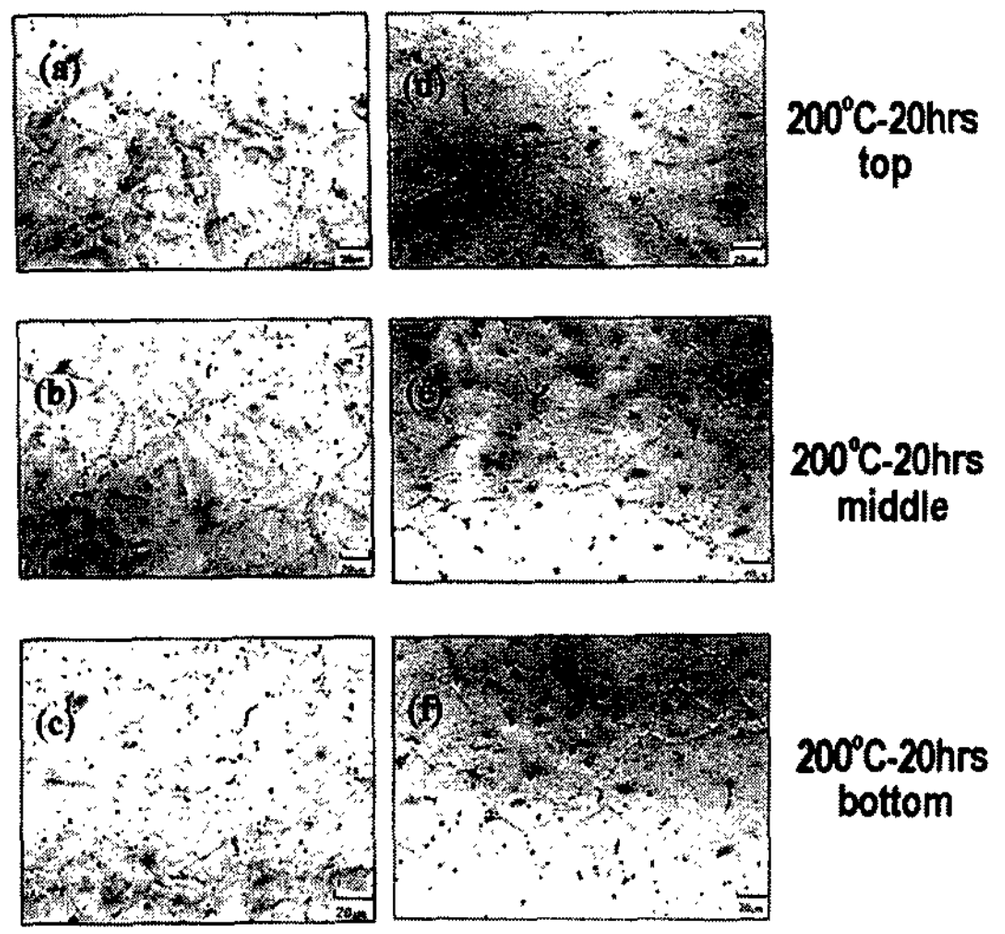


Fig. 10. Optical micrographs obtained from wedge-type-cast Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6Zr alloys after solution treatment at 320°C for 5 hours followed by aging treatment at 200°C for 20 hours : (a), (b) and (c) top, middle, bottom part of wedge-type-cast Mg-5wt%Zn alloy ; (a) and (d), (e) and (f) top, middle, bottom part of wedge-type-cast Mg-5wt% Zn-0.6wt%Zr alloy.

더 미세화되었음을 관찰하였으며, 이는 시효처리시 입계주위의 미세분산상인 Zn_2Zr상이 결정립 조대화를 지연시킨 것으로 판단된다.

Fig. 11은 원뿔형태의 금형주조법으로 주조된 시편에 대해 200°C에서 20시간 동안 시효처리후, 원뿔형태의 시편 상부위와 하부위의 평균 결정립 크기를 측정한 결과를 보여주고 있다. Mg-5wt%Zn 합금의 경우는 79 μm에서 54 μm로, Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금

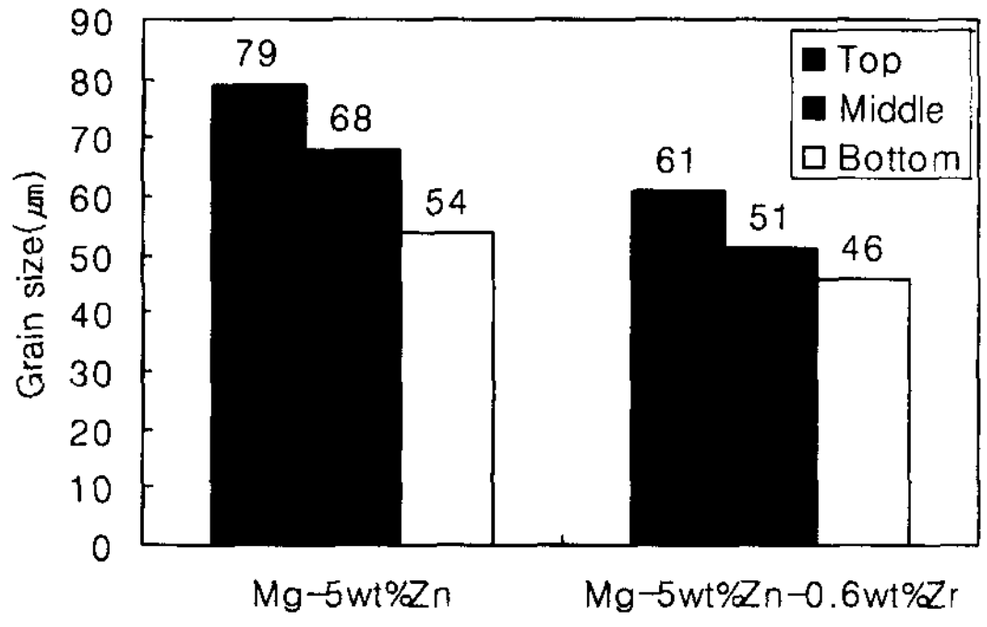


Fig. 11. Result of grain size measurement in wedge-type cast Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloys after solution treatment at 320°C for 5 hours followed by aging treatment at 200°C for 20 hours.

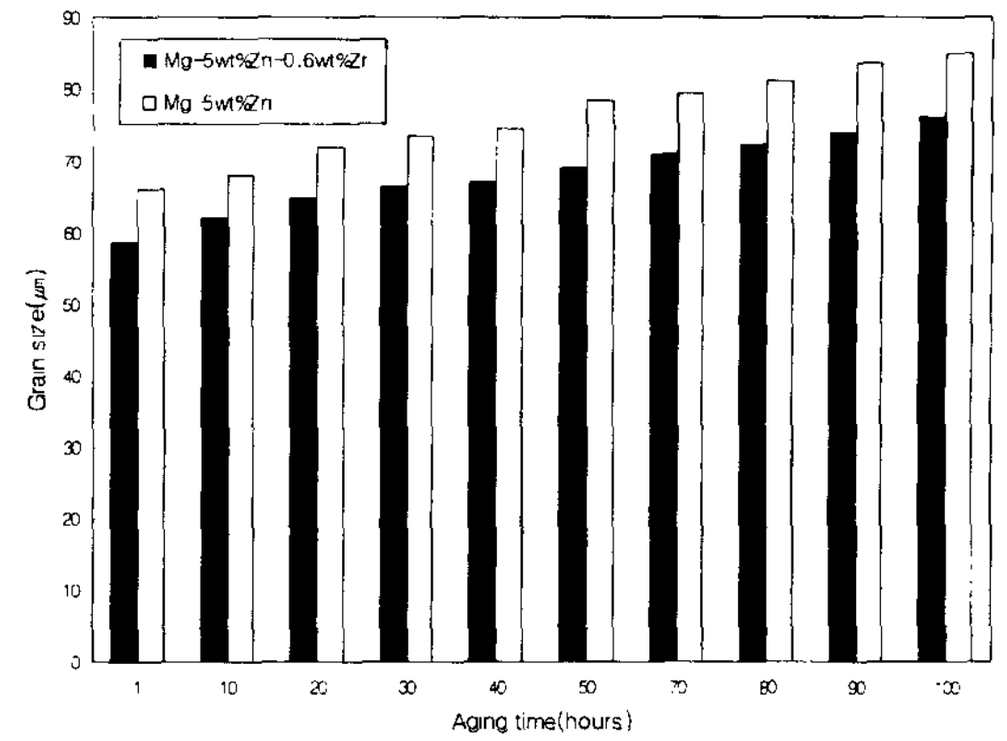


Fig. 12. Result of mesurement of grain size in squeeze cast Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloys after solution treatment at 320°C for 5 hours followed by aging treatment at 200°C for up to 100 hours.

의 경우에는 61 μm에서 46 μm로 감소하였으며, 이는 입계주위에 Zn_2Zr상이 미세하게 분포함에 따라 결정립 미세화에 영향을 미친 것으로 판단된다. Fig. 12는 용탕단조법으로 주조된 시편에 대해 시효조건을 200°C에서 1시간부터 100시간까지 10시간 간격으로 시효처리를 행한후, 결정립 크기를 측정한 결과를 보여주고 있다. 시효시간이 증가함에 따라 두 합금 모두 결정립 크기가 조대화되고 있으나 0.6wt%Zr을 첨가한 합금이 Mg-5wt%Zn합금에 비해 결정립 크기가 미세화되었음을 관찰할 수 있었으며, 이는 시효처리시 입계주위의 미세분산상인 Zn_2Zr상이 결정립 조대화를 지연시킨 것으로 판단된다. Fig. 13 (a), (b)는 용탕단조법으로 주조한 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금을 320°C에서 5시간 동안 용체화처리를 행한후, 200°C에서 20시간 동안 시효처리를 행한 시편을 투과전자현

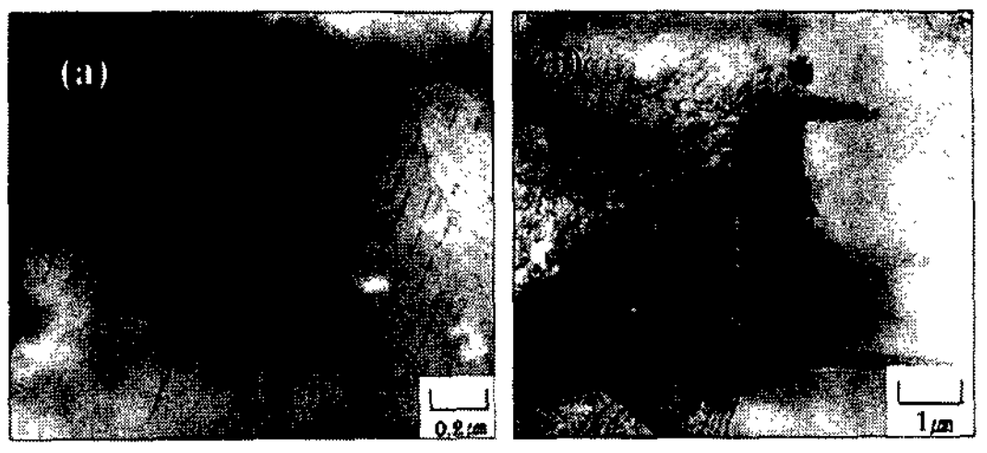


Fig. 13. Bright field TEM micrographs of squeeze cast Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy after solution treatment at 320°C for 5 hours followed by aging treatment at 200°C for 20 hours.

미경 실험으로부터 얻어진 명시야상을 보여주고 있다. Fig. 13(a)는 시효강화상으로 보고된 MgZn'(β_1') 상들이 동일한 방향성을 갖는 막대모양의 연속석출물을 보여주고 있으며[4], 이들의 평균길이는 약 0.2~0.4 μm로 조사되었다. Fig. 13(b)는 입계주위의 미세분산상인 Zn_2Zr상을 보여주고 있으며, 이들의 평균직경은 약 0.4 μm로 조사되었다.

3.3 기계적 특성

Fig. 14는 용탕단조법으로 주조한 Mg-5wt%Zn 합금과 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금을 320°C에서 5시간 동안 용체화처리를 행한후, 200°C에서 1시간부터 100시간까지 10시간대별로 시효처리를 행한후의 미소경도를 측정한 결과를 보여주고 있다. Mg-5wt%Zn 합금의 경우에는 200°C에서 20시간 동안 시효처리시에 최적시효를 나타냈으며, Zr을 첨가한 합금의 경우에는 200°C에서 35시간 동안 시효처리시에 최적시효를 나타냈다. 그리고 시효경도값도 약 63에서 70으로 증가하였음을 관찰하였다. 또한 Mg-5wt%Zn 합금에 Zr을 첨가함으로써 과시효현상이 지연됨을 관찰하였는데, 이는 Zr 첨가에 의해 입계주위에 미세분산상인 Zn_2Zr 상들이 형성됨에 따라 시효강화상인 MgZn'(β_1')상의 상대적 양의 감소에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 15는 용탕단조법으로 주조한 Mg-5wt%Zn 합금과 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금을 320°C에서 5시간 동안 용체화처리를 행한후, 각각 최적시효 조건에서 시효처리를 행한 후의 인장시험 결과를 보여주고 있다. Zr첨가에 의해 항복강도 및 최대 인장강도는 증가한 반면, 연신율은 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 고온안정상인 Zn_2Zr상들이 입계주위에 미세하게 분포됨으로써 결정립 조대화를 지연시킴으로써 합금의 강도가

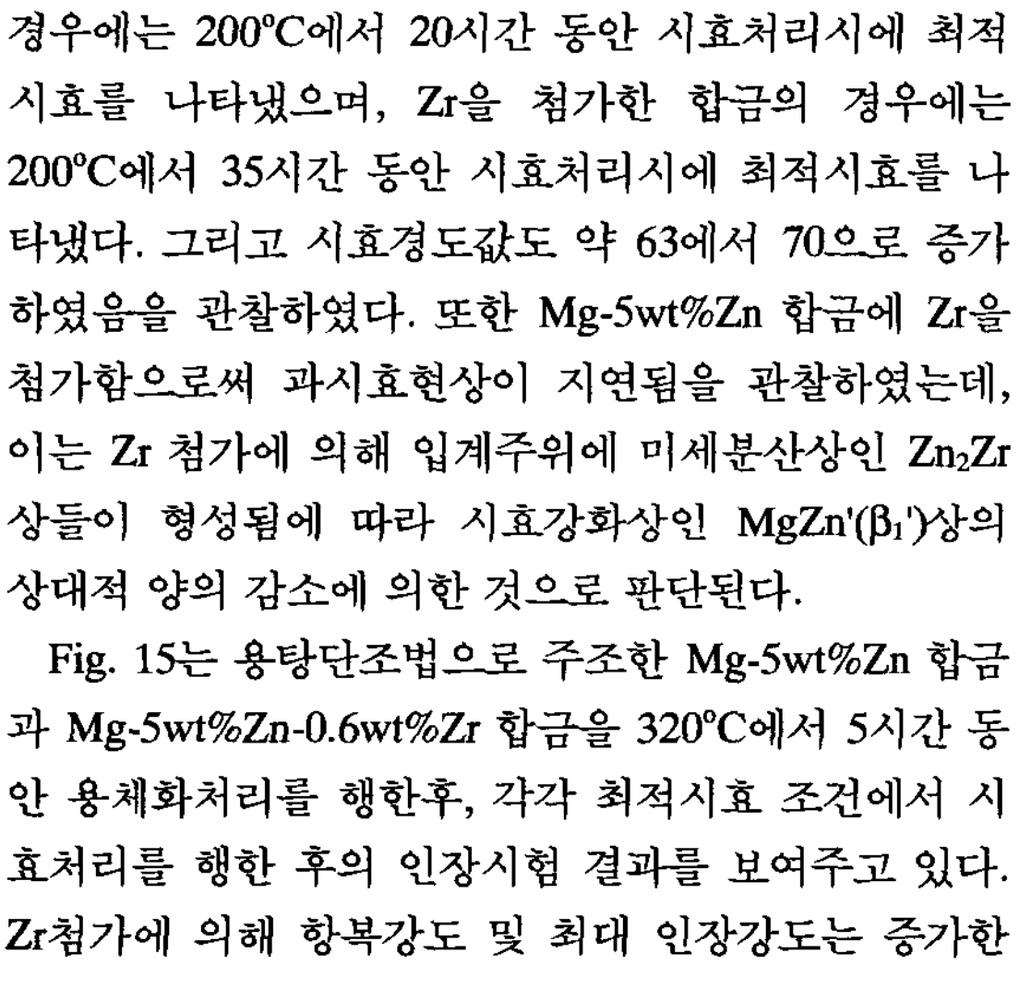


Fig. 14. Micro-vikers hardness of Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloys after solution treatment at 320°C for 5 hours followed by aging treatment at 200°C for up to 100 hours.

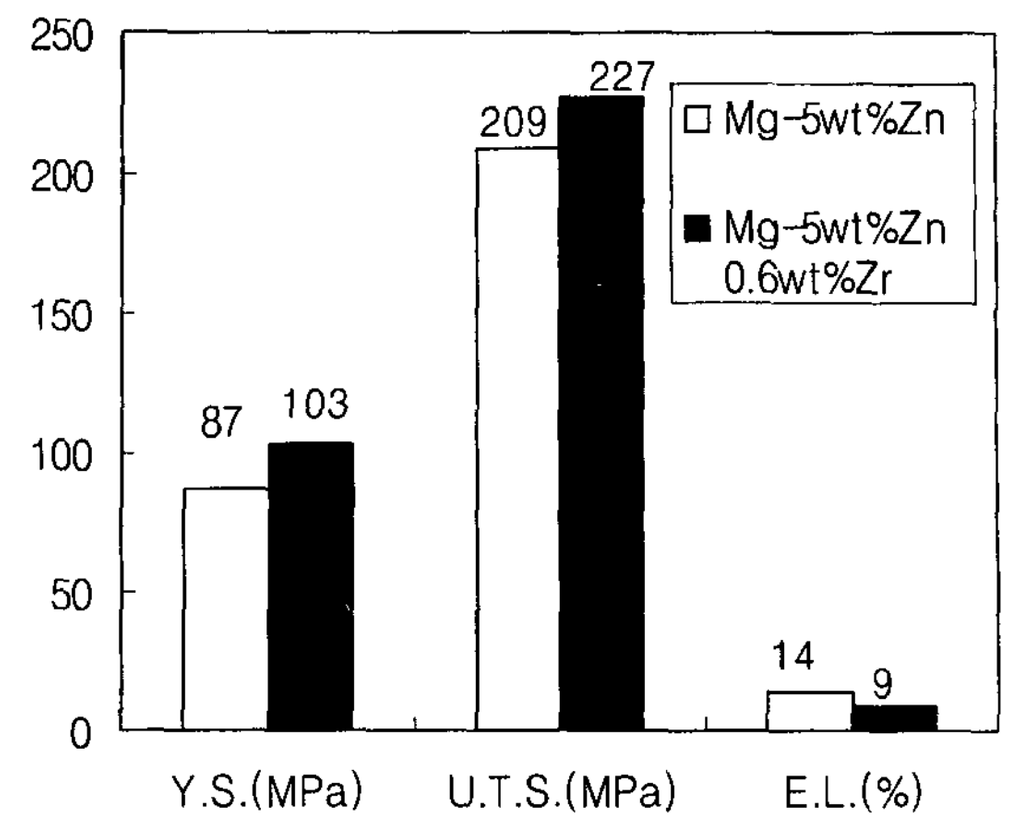
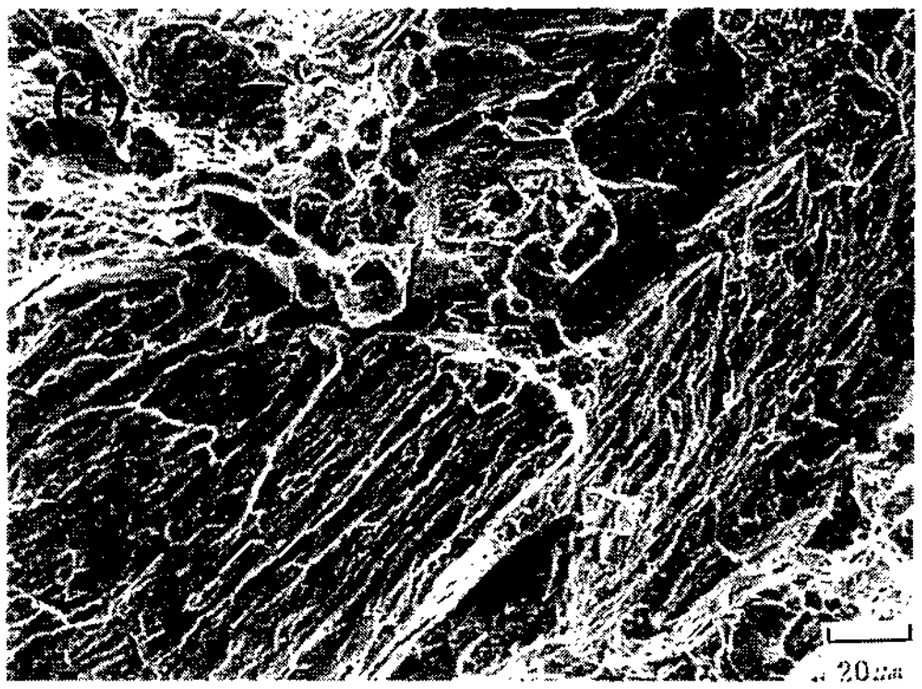


Fig. 15. Mechanical properties of Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy after solution treatment at 320°C for 5 hours followed by aging treatmentat at 200°C.



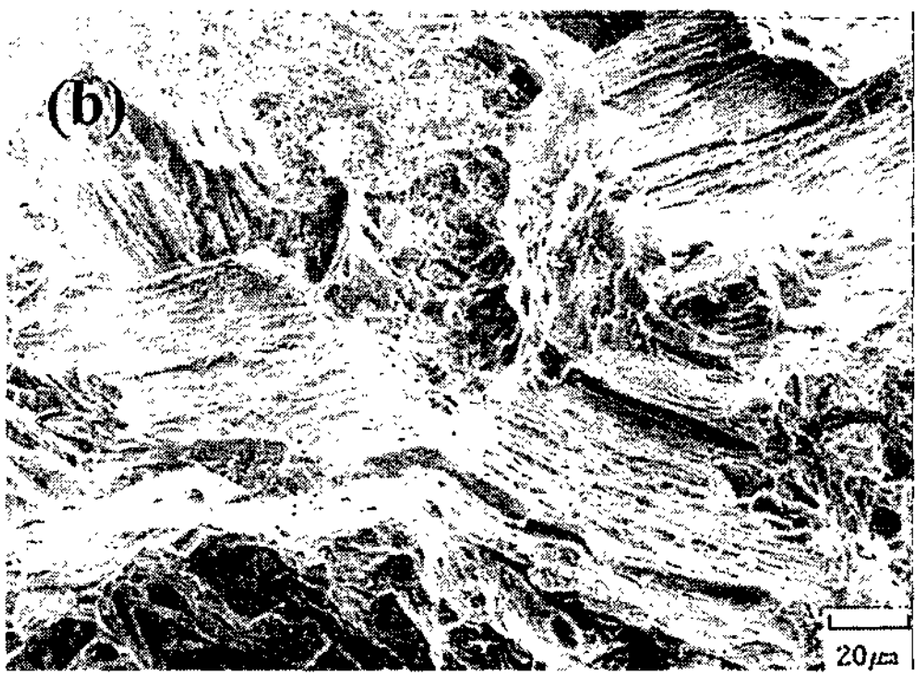


Fig. 16. SEM fractographs obtained from. (a) Mg-5wt%Zn alloy, and (b) Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr alloy.

증가한 것으로 조사되었다. Fig. 16 (a), (b)는 인장시험후의 시편 파단면을 주사전자현미경 실험으로부터 얻은 조직사진을 보여주고 있다. 두 합금 모두 벽계면 방향으로 취성파괴가 일어났음을 관찰할 수 있으며, Zr 첨가합금에서는 부분적으로 결정립 미세화와 미세 분산상들의 존재도 관찰되었다.

Fig. 17 (a), (b), (c), (d)는 170°C에서 200°C까지의 온도범위와 50 MPa에서 75 MPa의 응력범위에서 크리프 시험결과로부터 얻은 크리프 변형곡선과 Lason-Miller parameter와의 관계를 보여주고 있다. Fig. 17 (a), (b), (c)에서 보는 바와 같이 Mg-5wt%Zn 합금에 0.6wt%Zr을 첨가함으로써 파단시간은 상당히 지연되었고, 크리프 최소변형율은 감소하였으며, 두 합금의 변형율은 약 7~10%까지의 변형을 나타냈다. 그리고

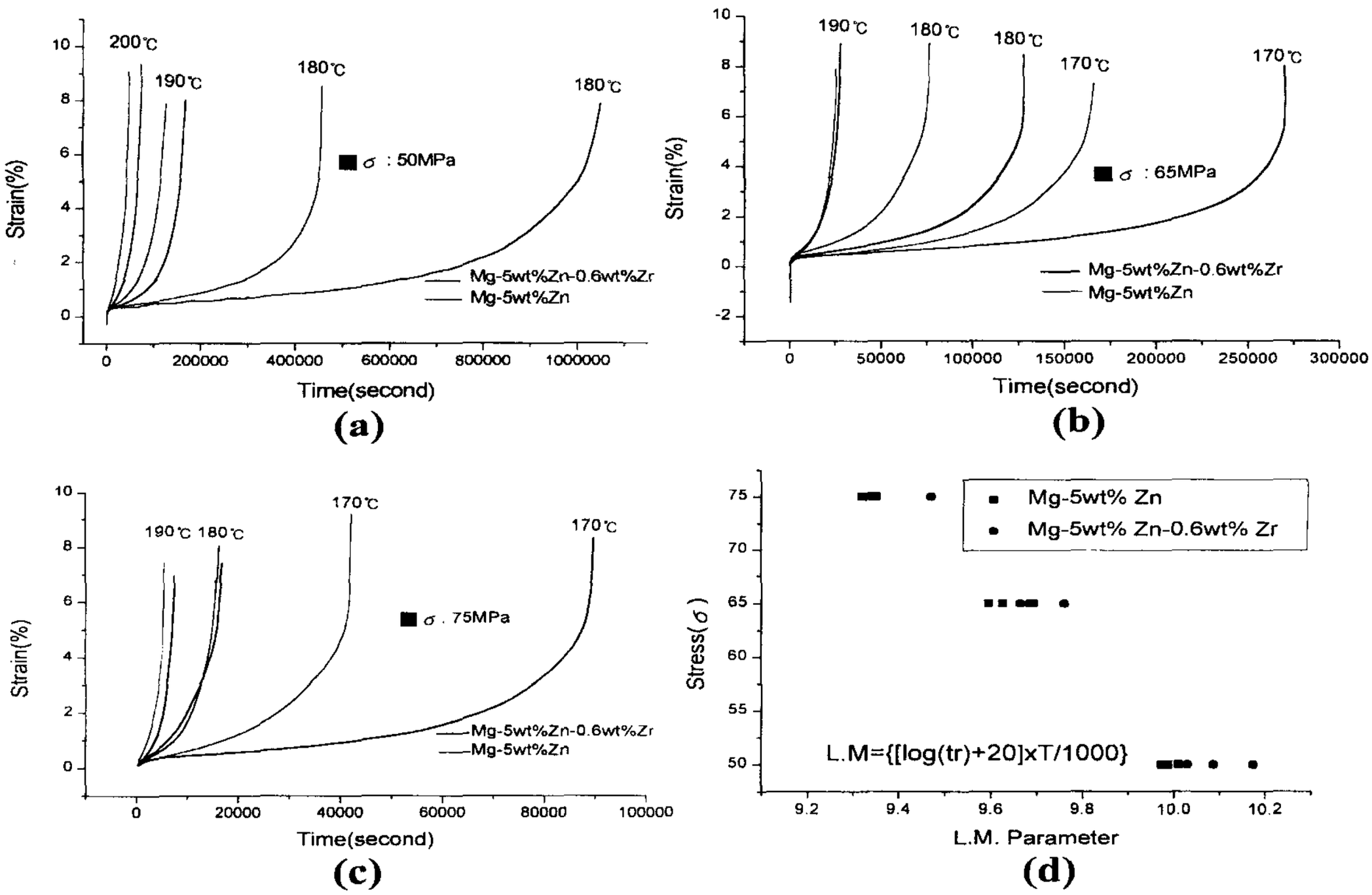


Fig. 17. (a), (b), (c) Creep curve of Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr at 170°C, 180°C, 190°C and 200°C under 50 MPa, 65 MPa, 75 MPa and (d) Master rupture curve of Mg-5wt%Zn and Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr.

Table 2. Results of creep test

Temperature (°C)	Load (Mpa)	Rupture time		Strain		*Min. creep rate	
		Mg-5wt%Zn	Mg-5wt%Zr-0.6wt%Zr	Mg-5wt%Zn	Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr	Mg-5wt%Zn	Mg-5wt%Zn-0.5wt%Zr
200°C	50	13.2	21.3	9	9.3	9.7×10^{-5}	5.5×10^{-5}
190°C	50	35	46.3	9.9	7.9	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-5}
180°C	50	126.2	290.2	8.6	7.9	9.8×10^{-6}	1.8×10^{-6}
190°C	65	6.2	7.5	7.9	8.9	9.8×10^{-5}	9.2×10^{-5}
180°C	65	25.1	35.3	8.9	8.5	4.1×10^{-5}	2.6×10^{-5}
170°C	65	46	73.1	7.5	8	1.6×10^{-5}	1.1×10^{-5}
190°C	75	1.4	1.5	7.5	7	4.2×10^{-5}	2.9×10^{-5}
180°C	75	4.3	4.4	7.4	8.1	2.6×10^{-5}	1.3×10^{-5}
170°C	75	11.4	24	9.1	8.3	9.1×10^{-5}	4.9×10^{-5}

Fig. 17(d)는 두 합금의 크리프 특성을 비교, 분석하기 위해 공업적으로 널리 사용되고 있는 Lason - Miller parameter($L.M = \{[\log(tr) + 20] \times T / 1000\}$)와 응력과의 관계를 보여주고 있으며, 이러한 결과로부터 Mg-5wt%Zn 합금보다 0.6wt%Zr을 첨가한 합금의 크리프 수명이 더 우수한 것으로 조사되었으며, Table 2는 크리프 시험후의 파단시간 및 크리프 변형율 그리고 크리프 최소변형율에 대한 시험결과를 보여주고 있다.

5. 결 론

1) Mg-5wt%Zn에 0.6wt%Zr을 첨가함으로써 결정립 크기는 원뿔형태의 금형주조법으로 제조된 시편의 경우, 67 μm에서 52 μm로 감소하였고 용탕단조법으로 제조된 시편의 경우, 74 μm에서 66.5 μm로 감소됨을 관찰하였다. 또한 $MgZn_2$상의 평균직경은 약 3.6 μm에서 2.5 μm로 감소하였고, 입계주위에 평균직경이 약 0.4 μm 크기의 미세분산상인 Zn_2Zr상들을 관찰하였다.

2) Mg-5wt%Zn 합금과 Mg-5wt%Zn-0.6wt%Zr 합금의 경우에 시효강화 현상은 막대모양의 $MgZn'(\beta_1')$상인 연속석출물에 의한 것으로 관찰되었으며, Mg-5wt%Zn합금의 경우에는 200°C에서 20시간 동안 시효처리시에 최적시효를 나타냈으며, 0.6wt%Zr을 첨가한 합금의 경우에는 200°C에서 35시간 동안 시효처리시에 최적시효를 나타냈다. 또한 과시효현상도 200°C 20시간에서 35시간으로 지연되었으며, 시효경도값도 약 63에서 70으로 증가하였음을 관찰하였다.

3) Mg-5wt%Zn에 0.6wt%Zr을 첨가함으로써 인장시험결과 항복강도는 87 MPa에서 103 MPa로 증가하였으며, 최대인장강도는 209 MPa에서 227 MPa로 증가하였으나 연신율은 14%에서 9%로 감소하였다.

후 기

본 연구는 과학재단 특정연구기초 연구비(과제번호 : 96-0300-09-01-3)지원에 의해 수행된 연구결과의 일부분으로서 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] F. Holligl Rosta, E. Just, J. kohler and H. J. Melzer : Light metal Age 38(7~8), 1980, p. 122.
[2] B. B, Clow, McLean : Magnesium Alloys and Their Application, 1996, p. 13.
[3] L. Y. Wei G. L. Dunlop and H.Westengen : Metall. Mater. Trans. A, vol. 26A, August 1995, p. 1947.
[4] L. Y. Wei G. L. Dunlop and H. Westengen : Metall. Mater. Trans.A, vol. 26A, July 1995, p. 1705.
[5] E. F. Emley : Principles of Mgnesium Technology, 1996, p. 250.
[6] 한창화, 황영하, 김영우, 김도향, 홍준표 : J. of the Korean Foundrymen's Society, vol. 17, No. 3 (1997) p. 207.