

# 스퀴즈 캐스팅 제조법에 의한 자동차 엔진 마운틴 브래킷 개발에 관한 연구

## A Study on the Development for the Vehicle Engine Mounition Bracket Using Squeeze Casting

김순호

S. H. Kim

**Key Words** : Squeeze Casting(스퀴즈 캐스팅), AC4C Alloy(AC4C 알루미늄합금), Mg<sub>2</sub>Si Precipitates(중간상 석출물), Aging Hardening Effect (시효경화 효과)

**Abstract** : Alumium alloys casting are gaining increased acceptance in the automotive and electronic industries and squeeze casting is the most efficient method of manufacturing such mass produced parts. This study has been investigated the microstructures and mechanical properties of Al-7.0Si-0.4Mg(AC4C)alloy fabricated by squeeze casting process for development of Engine Mountain Bracket. The microstructure of squeeze casted specimen were composed of eutectic structure Alumimim solid solution and Mg<sub>2</sub>Si precipitates. The tensile strength of as-solid solution treatment Al-7.0Si-0.4Mg alloy revealed 298.5MPa. It was found that Al-7.0Si-0.4Mg alloy have good aging hardening effect.results are presented to show the validity of the control method.

### 1. 서 론

지구 온난화 문제는 CO<sub>2</sub>저감 효과가 있는 경량화, 고연비 차량개발 및 엔진의 Downsizing 등의 자동차 부품 제작기술의 업그레이드화를 불러오고 있다. 특히, 현재 국내 및 세계적인 자동차 산업은 커다란 반혁기를 맞이하고 있는 바, 자동차 기계부품 산업의 경우 세계적인 글로벌 소싱, 모듈화 추진 등으로 기술개발의 중요성이 그 어느 때보다도 중요한 시점이라 하겠다. 따라서 우리나라 자동차 산업도 이러한 기준을 만족시키기 위해 다양한 방법으로 기술개발에 박차를 가하고 있다. 그러한 개발 기술 중에서도 자동차 전체 중량의 경량화는, 자동차 엔진 효율 향상, 연비증가로 인한 에너지 문제 접근, 배출가스 저감 등으로 인한 환경오염 감소, 그리고 차량구조 대책 및 충돌 완화가 목적인 인장성 문제 등에 크게 기여할 수 있다. 이러한 자동차 부품의 경량화에는 주철 및 철강소재 부품을 알루미늄(Al) 및 마그네슘(Mg)으로 대체하거나 또는 플라스틱 소재로의 대체가 활

발히 이루어지고 있는 실정이다<sup>1,2)</sup>. 이와 같이 자동차 경량화와 관련된 연구방향은 소재의 경량화에 집중되어 있다 해도 과언이 아니다. 그 이유는 자동차 소재의 경량화는 엔진효율을 높일 수 있는 최적의 방법이며, 궁극적으로 자동차의 연비 향상을 도모할 수 있기 때문이다. 최근 소재 경량화의 주 연구대상으로는 Al 및 Mg 합금 등과 같은 소재들을 들 수 있는데, 그 중에서도 Al합금은 강도 및 주조성이 우수하며, 기계가공성, 용접성 및 용력 부식균일 저항성도 우수하여 많은 자동차 부품 제조에 적용되고 있다. 그리고 Al주물 합금재의 경우, Al-Si-Mg계 합금(AC4C, AC4A, AC4CH 등)은 주조성이 좋은 Al-6~10%Si계 합금에 소량의 Mg를 첨가해 Mg<sub>2</sub>Si 중간상의 석출에 의한 열처리 효과를 부여하므로서, 기계적 성질과 피삭성을 개선한 합금이다. 그 중에서도 AC4C합금은 Si에 의한 시효석출상 뿐 아니라 주조성 개선 및 내마모성 증대효과와 Mg에 의해 연성을 저하시키지 않으면서도 내식성 및 용접성의 향상에 기여하고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 Si의 입계 원인으로 인하여 체결정시 입계 취성파괴의 원인이 되는 것으로 알려져 Mn을 미량원소로 첨가하고 있다. 또한, 용제화 및 시효치리에 의해 면심입방정 구조의 금속간 화합물인 Mg<sub>2</sub>Si가 형성되어 석출강화되

접수일 : 2003년 9월 8일  
김순호(책임저자) : 신리대학교 공과대학 첨단기술공학부  
E-mail : skim@silla.ac.kr, Tel : 051-309-5623

는데 석출과정에 관한 연구는 상당수 보고되어 있다<sup>34)</sup>. 이와 같은 AC4C 합금은 자동차 휠(Wheel)을 비롯한 유압부품, 미션케이스(Mission case), 플라이 휠 하우스링(Flywheel housing), 브래킷(Bracket), 수냉 실린더 블록(Water cylinder block), 펌프 본체와 부품(Pump body and accessory) 및 핸들(Handle) 등 대단히 많이 적용되고 있는 자동차 부품소재이다. 한편, 경량화 자동차 부품에 대한 제조기술도 다양화 및 급격한 진보를 거듭하고 있다. 이러한 제조 기술들은 경량화에 의한 연비향상 필요성이 대두되면서 기존 저압주조외의 주조기술을 보완한 방법들을 적용하고 있는 바, 특수 다이캐스팅인 PF 다이캐스팅, 용탕단조법(Squeeze casting) 및 반응용 가압성형법(SSF)등을 들 수 있다. 아울러 이러한 주조법에 의해 제작된 주조품은 자동차의 경우, 전체 중량의 약 15% 이상을 점유하고 있으며, 특히, 주행성능에 관련된 엔진, 미션, 사시계 등의 부품은 약 80% 이상이 주물로 제조되고 있는 실정이다. 여기서, 본 연구에 적용할 스퀴즈 캐스팅 제조법은 기존 저압 또는 금형주조시보다 20%정도의 경량화 효과를 얻을 수 있는데, 이유는 스퀴즈 캐스팅시 급속한 냉각효과, 치밀한 내부조직 및 기공의 제거 등으로 우수한 주조품질을 확보할 수 있기 때문이다<sup>36)</sup>. 이와 같이 경량화 및 제조공법이 개선된 자동차 엔진 마운틴 브래킷 개발에 관한 연구는 상당히 관심이 가는 부분이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 AC4C합금의 미세조직 및 기계적 성질을 조사하고, 시효경화 특성 등의 조사를 행한 후, 이 합금을 이용하여 스퀴즈 캐스팅 방법으로 경량화 자동차 엔진 마운틴 브래킷을 개발하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 소재선정 및 시편제조

본 연구의 소재는 주물용 Al합금 중 Al-Si-Mg합금계를 선정하였는데, 이 합금소재는 Al합금계 중 자동차 부품 제작용 소재로 많이 사용되고 있는 것 중 하나로, 주조상태(F), T4 및 T6 열처리하여 사용되고 있다. 이러한 Al-Si-Mg 합금계 중 AC4A는 Si를 8~10% 함유하고 있어, 용탕 유동성이 양호하지만 α(Al)상의 정출량이 적기 때문에 수축공상의 수축결함을 일으키기 쉬운 결점이 있어, 본 연구에서는 AC4A에 비해 Si(7.0%)와 Mg(0.4%)량을 직계해 인성을 부여한 AC4C합금(Al-7.0%Si-0.4%Mg)을 소재로 선정하

였다. 아울러 사용된 용해로는 모합금의 용해 중 발생하는 산화를 최대한 억제하기 위하여 급속 용해로를 사용하였으며, 용해로 및 보온로를 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 용해시 사용된 도가니는 연강계 도가니를 이용하여 미리 예열된 AC4C Ingot를 용해하였으며, 스퀴즈 캐스팅(Maker: Japan UBE Co., 모델명: HVSC 800)으로 제조된 시편의 화학적 조성은 Table 1에 나타낸 것과 같으며, 인장강도, 연신률 및 충격치 등에 큰 영향을 미치는 Fe의 함량을 최대한 억제하였다.

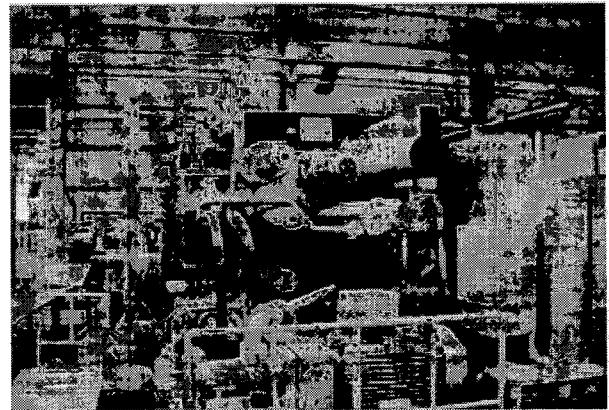


Fig. 1 Schematic of HVSC for melting

Table 1 Chemical composition of Al-7.0Si-0.4Mg alloy

elements specimen	Si (%)	Mg (%)	Cu (%) (max)	Zn (%) (max)	Fe (%) (max)	Mn (%) (max)	Other (%)	Al (%)
JIS <sup>7)</sup> specimen	6.5 -7.5	0.20 -0.45	0.25	0.35	0.55	0.35	0.45	bal.
Test specimen	7.01	0.40	0.23	0.35	0.32	0.36	0.30	bal.

### 2.2 미세조직 관찰

주조조직 및 용체화 처리에 따른 미세조직 변화를 조사하기 위하여, 시편의 중간 횡면 부위를 채취한 후, Keller-용액(2ml-48%HF, 3mlHCl, 20mlHNO<sub>3</sub>, 175ml H<sub>2</sub>O)으로 부식시켜 광학현미경 및 주사전자현미경으로 관찰하였다.

### 2.3 인장성질 측정

인장시험(시험편 규격: ASTM B567-94)은, 시편의 주조상태에서 단면적 28±0.5mm<sup>2</sup>, 표점거리 6±0.1mm의 봉상형태의 인장시험편을 사용하였으며, 게이 지 레인지는 50mm, 크로스 헤드 스피드를 0.5mm/min으로 하여 인장시험을 행하였다. 인장시험에 사용

된 인장시편의 갯수는 3개 또는 4개를 사용하여 이를 산술평균하였다.

#### 2.4 시효경화 특성조사

시효경화 특성을 조사하기 위하여, AC4C합금의 편석이나 계재물 등 화학적 불균일부의 효과적인 제거를 위해 540℃에서 30분 동안 용체화 처리 한 후, 20℃의 물에 급냉하여 과포화시켰다. 그리고, ±1℃의 오차를 가지는 실리콘 오일 베스를 사용하여 160, 170, 180℃에서 각각 0~28시간 동안 시효 열처리하여 경도 변화를 마이크로비커스(Microvickers)경도기로 하중 500g, 부하시간 10초로 하여 10~15회 측정, 산술평균하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직 관찰

Fig. 2는 Al-7.0Si-0.4Mg 합금의 광학 현미경 조직을 나타낸 것으로서, (a)는 주조조직이며, (b)는 용체화처리 후의 조직이다. 우선 주조조직 (a)에서 입계를 따라 나타나 있는 침상입자들은 주조과정에서 형성되는 2상입자 또는 금속간 화합물들 ((Fe, Mn)Al<sub>3</sub>, FeAl<sub>3</sub>, α-Al (Fe, Mn, Si), Al<sub>7</sub>Cr<sub>2</sub>Fe)로 판단된다. 그리고 (b)는 540℃에서 30분 동안 용체화 처리하여 수냉한 조직으로 주조과정에서 형성된 화학적 불균질부는 많이 제거되었으나, 고용집을 가지는 2상 입자 또는 금속간 화합물들은 용체화 처리 이후에도 여전히 잔존하고 있음을 알 수 있다. 그러나 대체적으로 두 조직사진 모두에서 건전화된 조직상태를 나타내었으며, 특히, (a)의 주조조직보다 (b)의 용체화 처리 조직에서 더욱 미세화 및 건전화되어 있음을 알 수 있는데, 이는 용체화 과정에서 조직결합의 원인이 되는 불순물 및 미소기공(Microporosity) 등<sup>8)</sup>의 화학적 불균질부가 효과적으로 제거되었기 때문으로 판단된다. 또한 Fig. 3은 Al-7.0Si-0.4Mg합금의 용체화 처리 후의 주사식 전자현미경 사진과 EDS분석결과를 나타낸 것이다. (a)의 조직사진에서 화합물로 관찰되는 상들은 대부분 결정립 경계부분에 존재하였으나, 일부는 결정립내에서도 관찰되었다. 그리고 (b)의 EDS분석 결과에서는 Mg과 Si의 피크가 같이 나타난 것으로 보아, 결정립계 영역들은 β상 (용체화 처리과정에서 석출된 중간상 : Mg<sub>2</sub>Si)석출영역이며, 결정립내 영역은 α상 (Al 고용체)석출영역으로 판단된다.

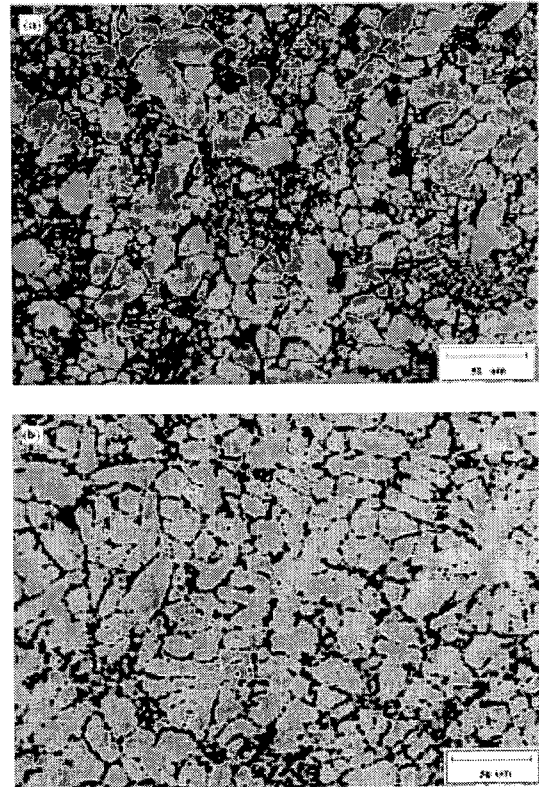


Fig. 2 Optical microstructures as fabricated (a) and solid solution treatment (b) of Al-7.0Si-0.4Mg alloy

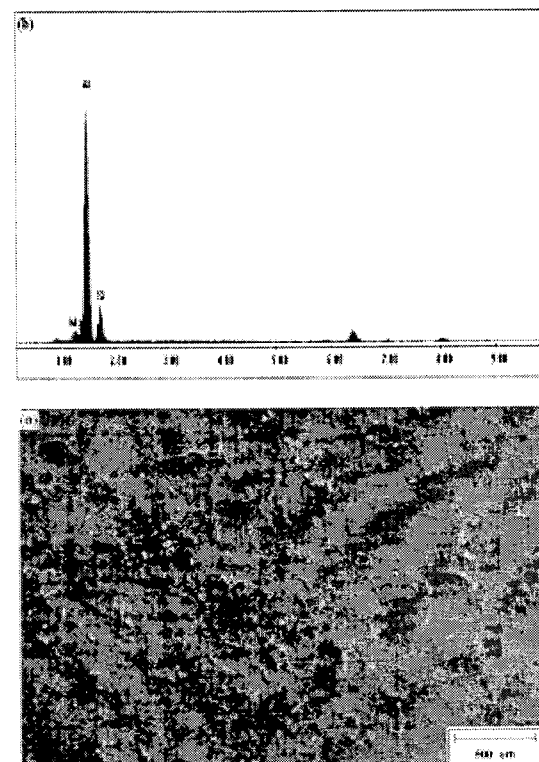


Fig. 3 SEM micrographs (a) and EDS analyses (b) of Al-7.0Si-0.4Mg alloy as solid solution treatment

그리고 이러한  $\alpha$ 상과  $Mg_2Si$ 의 공정상 형성은 비평형 응고의 결과로 볼 수 있는데, 즉, 응고시 계면전방에 축적된 용질에 의하여 응고전면의 액상은 평형 응고 온도 아래서도 액상으로 존재하는 조성적 과냉 상태가 되며, 이에 의해 고/액 계면이 불안정하게 되어 수지상이 생기게 되는데, 이러한 수지상들이 성장함에 따라 용질을 액상쪽으로 내놓음으로써, 서로 만나 고립된 액상을 형성하게 되는 최종 응고부에서의 과포화된 공정조직으로 볼 수 있다.

3.2 기계적 특성

본 연구에 사용된 AC4C 합금의 기계적 특성을 JIS 기준, AC4C 합금과 비교<sup>9)</sup>하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Mechanical Properties of Al-7Si-0.4Mg alloy as solid solution treatment

Alloy	UTS (Mpa)	YS (MPa)	Elongation (%)	Heating Treatment
JIS <sup>9)</sup>	285.0	225.0	7.3	T6
Test specimen	298.5	231.4	6.2	T6

즉, 용제화 처리를 실시한 시편의 기계적 특성 시험결과, 표 2에서와 같이 최대 인장강도와 항복강도는 각각 298.5MPa, 231.4MPa를 나타내어 JIS기준치인 285MPa, 225MPa보다 높은 값을 나타내었다. 그리고 연신율의 경우, 규정값보다 다소 낮은 6.2% 정도로 나타났는데, 조밀육방정으로서 슬립시스템이 작은 중간상인  $\beta(Mg_2Si)$ 상의 석출 분률이 용제화 처리 후에 높아졌기 때문으로 해석할 수 있다.

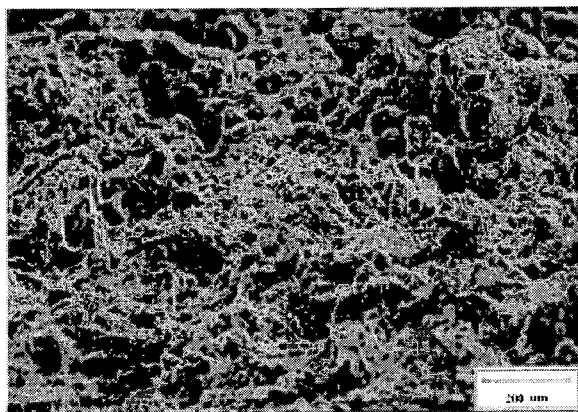


Fig. 4 SEM fractograph of Al-7.0Si-0.4Mg alloy

Fig. 4는 Al-7.0Si-0.4Mg합금의 주사식 전자현미경 조직사진이다. 이것은 용제화 처리된 시편의 인장시험 후의 파단면 조직사진으로서, 주된 파괴형태는 결정입계에서 일어나는 취성파괴 형태를 나타내고 있다. 즉 결정입계 주변에 입자들이 모여 있는 것으로 보아 결정입계를 따라 파괴가 일어났음을 알 수 있으며, 결정입내는 일부 dimple이 관찰되고 있다.

3.3 시효경화 특성

Fig. 5는 AC4C 합금을 용제화 처리한 후 160, 170, 180°C에서 시효 열처리하였을 때 시효시간에 따른 미소경도 변화를 나타낸 것이다.

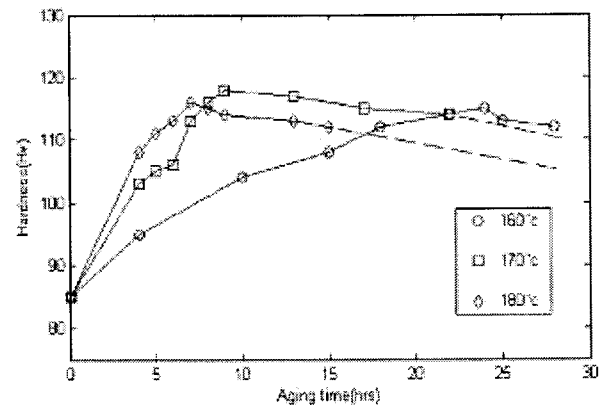


Fig. 5 Aging curves of AC4C Al alloy aged at 160, 170, and 180°C

그림에서와 같이, 모든 온도에서 초기 시효시간의 증가에 따라 급격한 경도값의 상승을 보이고 있으며, 160°C에서는 24시간, 170°C에서는 9시간, 180°C에서는 7시간 시효 처리시 최고 경도값을 나타내었다. 또한 그림에서 최대 경도값은 170°C에서 9시간 시효 처리한 경우로서, 그 때의 경도값은 118.3HV이었으며, 이는 JIS 규정의 AC4C 주물소재인 경우 170°C, 12시간 시효조건시의 값<sup>10)</sup>인 118HV에匹칭한 값이며, 세 시효온도 모두에서 최고경도 이후의 경도값은 완만하게 감소하였다. 아울러 이러한 시효열처리에 따른 경도 변화는 석출물의 석출거동과 밀접한 관련을 가지는 것<sup>11)</sup>으로서, 시효 초기에 경도가 급격히 상승하는 것은 Al기지에 석출한 침상 석출물에 의한 내부에너지의 증가에 기인한 것으로 판단되며, 각 시효온도에서 최고 경도값은 침상 석출물과 정합 석출물( $\beta$ 상)의 석출에 의한 것으로 판단된다. 또한 최고 경도 이후의 경도값이 완만하게 감소하는 이유는 정합 석출물이 평형상으로서의 변태속도가 느리거나 평형 석출상의

조대화속도가 느리기 때문이라고 판단되며, 시효온도가 증가할수록 최고 정도값에 이르는 시간은 단시간적으로 이동하였는데, 이는 핵생성속도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다<sup>12)</sup>. 이러한 실험결과 및 고찰 등을 거친 후, 스퀴즈 캐스팅 제조방법으로 Al-7.0Si-0.4Mg (AC4C)합금을 사용하여 Fig. 6과 같이 두께 2.1mm, 중량 123.1g, 길이 288mm의 자동차 엔진 마운틴 브래킷 시작품을 제작하였다. 아울러, 이러한 시작품에 대한 성능 테스트는 사양이 적합한 실차에 장착한 후 실시하고자 한다.

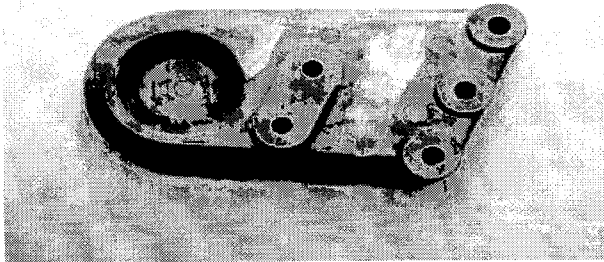


Fig. 6 Photo of Engine Mountain Bracket trial manufacture

#### 4. 결 론

자동차 소재 경량화의 일환으로 Al-7.0Si-0.4Mg 합금에 대하여 미세조직 관찰, 기계적 특성 및 시효 경화 특성 등을 수행한 후, 다음의 결론을 얻었으며, 이 합금을 이용하여 스퀴즈 캐스팅 제조법으로 자동차 엔진 마운틴 브래킷 시작품을 제작하였다.

1. 미세조직은 Al 고용체인  $\alpha$ 상 및  $\beta$ (Mg<sub>2</sub>Si)상의 공정조직 (Eutectic structure)으로 구성되어 있었다.
2. 인장시험 결과 최대 인장강도와 항복강도는 각각 298.5MPa, 231.4MPa를 나타내어, JIS 기준치인 285MPa, 225MPa보다 높은 값을 나타내었다.
3. 최대정도값은 170°C에서 9시간 시효처리한 경우로서, 그 때의 정도값은 118.3Hv이었으며, 이는 JIS 기준치인 118Hv에 적정한 값이었다.
4. 스퀴즈 캐스팅 제조방법으로 AC4C합금을 사용하여 두께 2.1mm, 중량 123.1g, 길이 288mm의 자동차 엔진 마운틴 브래킷 시작품 제작이 가능하였다.

#### 후 기

이 연구는 2002년도 신라대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. G. A. Chadwick and Bloyce, 1992, "Magnesium Alloys and Their Applications", DGM Conf., pp. 93~95.
2. T. J. Ruden, SAE Technical paper No. 900793
3. J. P. Lynch, L. M. Brown and M. H. Jacobs, 1982, "Microanalysis of age-hardening precipitates in Aluminium alloys", Acta Metallurgica, 30, pp. 1389~1401.
4. R. E. Spear and G. R. Gardner, 1972, "Effect of Applied Pressure on Mechanical Properties of Squeeze Cast Al alloys" Cast. Prod., pp. 1988~1991.
5. G. A. Chadwick, 1986, "Proceeding of Conf. on Magnesium Technology", Inst. Metal, London, pp. 75~80.
6. M. C. Flemings, 1974, "Solidification Processing", McGraw-Hill Book Company, pp. 207~211.
7. JIS H5202, 1997, Al 合金鑄物, 日本規格協會, pp. 825~831.
8. J. P. Lynch, L. M. Brown and M. H. Jacobs, 1982, "Microanalysis of age-hardening precipitates in Aluminium alloys", Acta Metallurgica, Vol. 30, pp. 1389~1395
9. JIS H5202, 1997, Al 合金鑄物, 日本規格協會, pp. 826~830.
10. JIS H5202, 1997, Al 合金鑄物, 日本規格協會, pp. 827~835.
11. I. Dutta and S. M. Allen, 1991, "Precipitation hardening of Al-Si-Mg alloy", J. Mat. Sci. letter, 10(6), pp. 323~330.
12. D. A. Porter and K. E. Easterling, 1992, "Phase Transformations in Metals and Alloys", 2nd ed., Chapman & Hall, pp. 307~312.