

논문

# 레오다이캐스팅을 위한 고강도 Al-Si-Mg 합금설계

박규섭 · 장영수 · 최병희 · 강병근 · 김해수 \*\* · 최상호 \* · 홍준표 †

연세대학교 신소재공학과, \*(주)나노캐스트코리아, \*\*현대위아

## Development of a High Strength Al-Si-Mg Alloy for Rheo-diecasting

Kyu-Sup Park, Young-Soo Jang, Byoung-Hee Choi, Byung-Kuen Kang,

Hae-Soo Kim\*\*, Sang-Ho Choi\*, and Chun-Pyo Hong†

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

\*NanocastKorea CO., Gyeonggi 482-869, Korea, \*\*HYUNDAI WIA CO., Gyeonggi 437-815, Korea

### Abstract

Recently, development of Al-based alloys for high mechanical performance has been an important issue in automotive industry. The present study focused on the design of a high strength Al-based alloy for rheo-diecasting. The research was based on thermodynamic calculation and experimentals to optimize the alloy compositions. Two important considerations were carried out: i) to obtain uniform slurry with fine and globular microstructures for rheo-diecasting, ii) to be strengthened by T6 heat treatment. In order to evaluate the effect of Si content on the slurry microstructure and castability, thermodynamic calculation and fluidity test were carried out. The effects of various alloying components, such as Mg, Cu and Zn, on age hardenability were also investigated. The mechanical properties of the rheo-diecasting products using the newly developed alloy are 324MPa in tensile strength, 289MPa in yield strength, and 11.2% in elongation after T6 heat treatment.

**Key words :** Rheo-diecasting, Semisolid, Alloy design, Slurry, Heat treatment.

(Received March 29, 2011 ; Accepted April 20, 2011)

### 1. 서 론

21세기 자동차 재료와 관련된 연구방향은 소재의 경량화에 집중되어 왔으며 이에 대한 연구로 기존의 철계 재료를 알루미늄 등의 비철계 경량화 소재로 대체하는 것이 연비향상, 엔진 효율 최적화를 위하여 효과적이라고 알려져 있다[1]. 알루미늄 합금 제조를 위한 방법으로 빠른 사이클 타임을 가지며 복잡한 형상 제작에 적용시키기 용이한 다이캐스팅 공법은 대량생산 구조의 대표적인 방법으로서 생산성이 뛰어나 현재 널리 이용되고 있다. 그러나 빠른 사출속도에 따른 기포 혼입과 수축결함으로 열처리시 블리스터 발생 및 치수 변형이 발생하여 높은 강도를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 이에 서스펜션 부품 및 공압부품 등의 고강도 특성을 필요로 하는 부품은 다이캐스팅을 통한 생산이 어려우며 열간단조 등 낮은 생산성을 가지는 공법을 활용한 생산만이 행해지고 있다.

한편, 반응고 가공법 중 레오다이캐스팅은[2-4] 고온의 용탕

에 의한 고속주조와는 달리 층류유동을 가능하게 하여 수축을 절감, 기포혼입 방지, 기계적 강도 향상이 기대되어 기존 다이캐스팅공정의 대안공정으로 적절하다고 판단된다[5,6].

전자기 교반(Electromagnetic Stirring; EMS)을 접목한 레오다이캐스팅은 구조조직의 미세화로 강도, 인성 등이 우수하고, 열처리를 통한 강도의 향상을 도모할 수 있으며, 일반적인 다이캐스팅 합금 전반에 적용이 가능하여 고강도 특성을 필요로 하는 제품 전반에 도입이 가능 할 것으로 기대된다[7,8].

그러나 레오다이캐스팅에 사용되는 알루미늄 합금인 AC4C (JIS) 합금은 7%이상의 Si 첨가량을 가지고 있으며, 공정영역에서의 정출된 Si는 응력집중처로 작용하여 연신의 저하를 유발할 수 있다. 또한 중력주조에 최적화된 합금으로 느린 냉각속도에서 활용되는 석출 및 정출상의 최적화가 이루어 졌기 때문에 다이캐스팅과 같은 빠른 냉각속도를 가지는 공법에서는 상대적으로 낮은 강도특성을 보인다. 이를 해결하기 위하여 고강도를 가지며 낮은 Si를 첨가하고 있는 6061등 단조용 합금을

†Corresponding author: Chun-Pyo Hong  
[Tel: +82-2-2123-2837, E-mail : hong@yonsei.ac.kr]

레오다이캐스팅에 접목하는 연구가 이루어 지고 있으나 낮은 Si함량으로 인하여 유동성이 부족하며 고온 균열 등이 발생하여 활용이 어려운 실정이다[9,10]. 또한 다이캐스팅에 최적화된 ADC10 등의 합금은 공정조성에 가까워 고액공존 구간이 좁아 초기에 충분한 핵생성이 이루어지지 않아 반응고적인 특성을 나타내는 것이 어렵다[11]. 이상의 문제점을 해결하고 높은 기계적 성질을 갖는 레오다이캐스팅 전용 알루미늄 합금에 대한 필요성이 대두되고 있다.

하지만 이러한 소재에 대한 지금까지의 연구는 채용용된 높은 고상률의 슬러리 빌렛을 이송하는 Thixo-diecasting 공법에 집중되었으며, 고상률 0.3~0.4의 낮은 고상률에서 사출이 이루어지는 레오다이캐스팅에 적합한 합금의 개발에 대한 연구는 몇몇의 연구만이 진행되고 있다[12-14].

따라서 본 연구의 목적은 높은 충전성을 가지며 기계적 성질이 뛰어난 레오다이캐스팅용 합금을 개발하여 기존의 열간단조 공법을 대체 하는 데에 필요한 합금을 개발하는 것에 있다. 우선 우수한 슬러리의 열역학적 조건을 고려하여 최적의 Si 첨가량을 설정하고 유동성을 평가하였으며, 합금의 강도향상을 위하여 Mg, Cu, Zn 등의 첨가량에 따른 시효경화특성을 평가하였고 설정된 합금의 열처리를 최적화하여 기계적 강도 시험 평가를 실시하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 레오다이캐스팅용 슬러리 특성에 중요한 영향을 미치는 Si의 함량을 최적화하기 위해 온도대비 고상률을 예측하고자 Thermo-Calc를 이용한 열역학적 해석을 하였다. 이를 통해 고상률의 민감도, 고액공존구간의 넓이 및 슬러리 컵 내의 고상률 차를 계산하고, 이와 같은 방안을 통해 제안된 합금은 조성에 맞추어 제작되어 반응고 특성을 평가하였다. 합금은 모두 700°C에서 용융된 금속에 탈가스제(N<sub>2</sub>)가 포함된 건조된 아르곤 가스로 탈가스처리하고 주입되기 이전 액상선 대비 40°C 이상으로 유지하였다. 평가시편은 액상 용탕을 슬러리컵에 주입하여 전자기교반을 통해 제작된 슬러리를 다이캐스

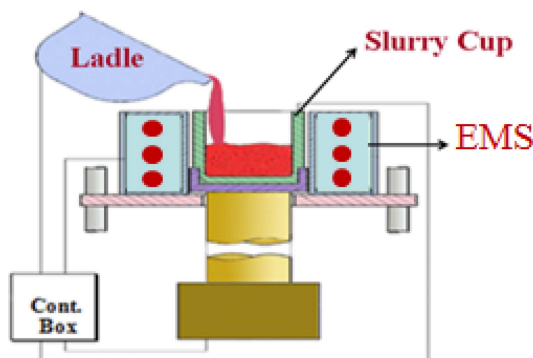


Fig. 1. EMS 교반을 통한 슬러리 제조.

팅 슬리브에 주입하여 사출하였다. 슬러리 제작에 사용된 EMS 교반장치의 간단한 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 사용된 슬러리컵은 직경 Ø50 mm, 길이 80 mm, 두께 1.5 mm의 stainless steel로 제작되었고, 주조되기 전 BN<sub>2</sub> 이형제를 도포하였다. 모든 슬러리 제조 방법에서 주입온도는 액상선 대비 10도 직상으로 실시하였다. 미세조직 분석을 위해 모든 시험편은 SiC로 연마하여 0.04 µm 다이아몬드 서스펜션으로 도포된 천으로 폴리싱되었다. 미세조직은 Image analyzer를 통해 관찰하였다. 재료의 석출물 분석을 위하여 DSC 분석을 실시하였다. 발열반응의 Peak Height를 조사하기 위해 모재를 각각 용해하고 성분검사를 마친 뒤 용해후 액체질소에 급냉하였으며 급냉된 시편을 20 g의 소량으로 절취하여 샘플을 10°C/sec의 승온 조건으로 30°C에서 550°C로 승온시키면서 출입열량을 측정하였다. 유동성을 평가하기 위하여 다이캐스팅에서의 step몰드 충전실험을 실시하였으며, 개발합금의 시효특성평가를 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구의 목적은 레오캐스팅용 고강도 합금의 개발로써 레오캐스팅을 위한 우수한 슬러리의 조건은 미세하고 구상화된 초정 알루미늄 조직의 균일성이다.

따라서 본 연구에서는 초기 핵생성 단계에서부터 우수한 슬러리를 제조하고, 제품의 기계적 성질을 저해하는 요소를 제어하고자 응고 시뮬레이션을 통해 합금의 개발조건을 설정하였다.

### 3.1 고강도 레오다이캐스팅용 Al합금의 Si 함량 설정

우수한 유동특성과 높은 강도특성을 동시에 가지는 양질의

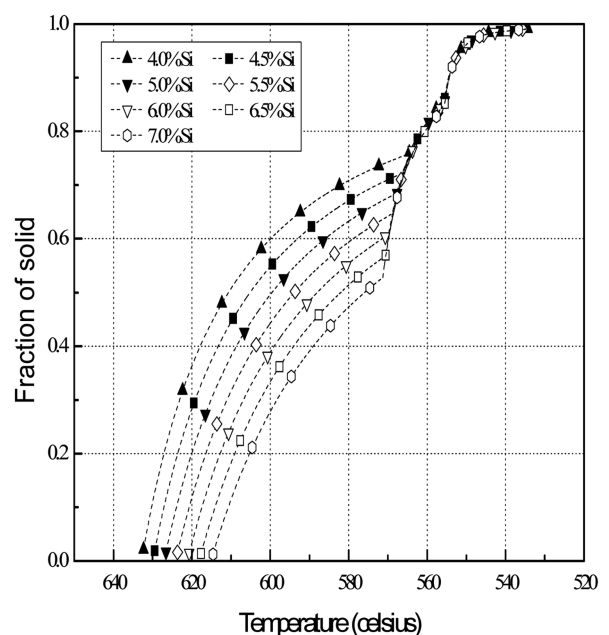


Fig. 2. 고상률에 따른 온도변화 graph.

슬러리를 제작하기 위해서는 슬러리 내부에서의 위치에 따른 고상률이 균일하여야 한다.

Al-Si-Mg합금에서 Si의 함량에 따라 온도에 따른 고상률의 변화가 크기 때문에 Si의 함량에 따른 응고이력곡선을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 실시하였다. Thermocalc 응고 시뮬레이션의 Sheil-Gulliver module을 이용하여 시뮬레이션 분석한 결과, 고액공존구간은 Si 첨가량이 4.0wt.%에서 7.0wt.%로 증가할수록 점점 좁아지는 것을 Fig. 2의 온도에 따른 고상률의 변화 그래프를 통해 확인 할 수 있었다. 본 실험에서의 Si의 첨가량은 4.0~7.0wt.% 까지 0.5wt.%단위로 조절하였다. 다이캐스팅 공법에서 Si의 함량이 3.0wt.% 이하인 경우 고온균열이 발생하므로[15] 본 연구에서의 최소 범위를 4.0wt.%로 설정하였다. 또한, 본 연구의 목적이 기존의 레오다이캐스팅용 합금인 AC4C 합금보다 고강도 Al-Si-Mg계 합금을 설계하는 것이므로 Si의 조성을 7.0wt.%이하로 조절하였다. 또 다른 첨가원소인 Mg은 잠열이 적고 고상률의 변화에 큰 영향을 가지지 않으므로 일반적으로 레오다이캐스팅에 적용되는 AC4C 합금과 동일한 0.3wt.%의 함량으로 설정하였다.

본 연구에 사용된 합금에 대하여, 온도에 따른 고상률의 변화를 기반으로 고상률 변화의 온도 민감성과 슬러리의 고상률 균일성을 평가하였다.

### 3.1.1 고상률의 온도 민감성

레오다이캐스팅의 연속적인 작업환경에서 주어지는 짧은 시간의 슬러리 제작과정 중 적정한 고상률인 0.3~0.4를 유지하기 위해서는 고상률의 온도에 대한 민감성이 낮아야 한다. 이에 Si 함량에 따른 고상률의 온도 민감성 변화를 Fig. 3에 비교하였다. 일반적으로 고상률의 민감도는 합금의 냉각곡선에서 온도 감소 대비 고상률의 기울기(dfs/dT)로 정의되며 0.015이하로 유지되어야 한다고 보고되고 있다[12-14]. 온도가 감소할수록 고상률은 증가하여 dfs/dT값은 음수의 값을 가지게 된다. 이 값이 0에 가까울수록 합금의 민감도는 낮으므로 고상률의 유지

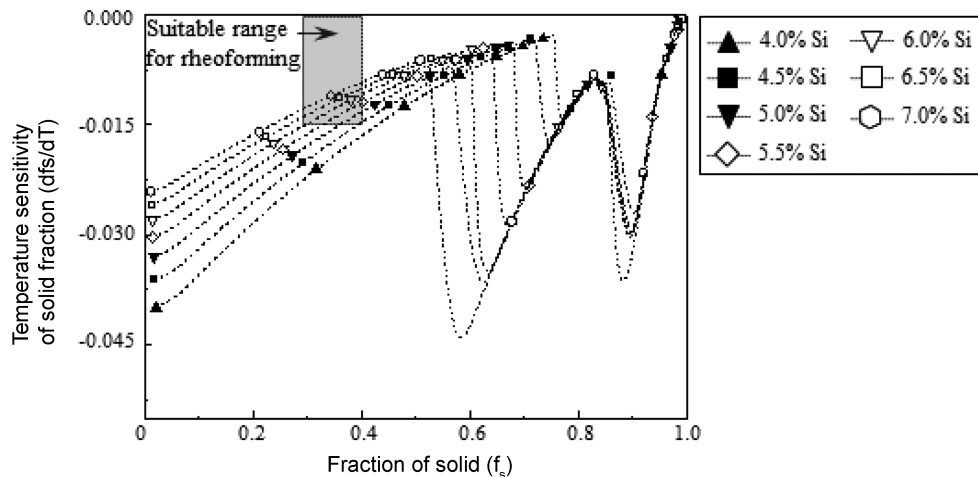


Fig. 3. Si함량에 따른 고상률의 온도 민감성.

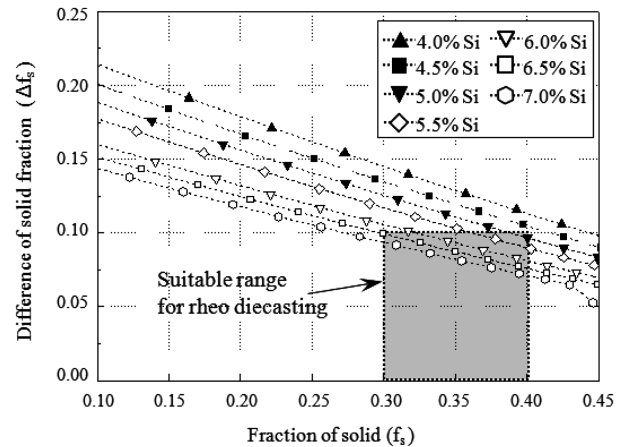


Fig. 4. Si함량에 따른 컵 내 고상률 균일성 평가.

가 용이하다. 온도 민감성은 고상률이 증가할수록 점차 감소하는 양상을 가지며 고액공존구간이 종료되고 공정응고가 시작될 때 민감도의 재증가가 발생한다. 따라서 레오다이캐스팅 공법에서는 고상률 유지가 중요함에 따라 사출시 고상률 0.3~0.4의 유지를 위한 합금의 최소 민감도를 확보해야 하기 때문에, Si의 조성이 5.0~7.0wt.%에서 온도 민감성(dfs/dT) 0.015이하를 만족하는 결과를 얻을 수 있다.

### 3.1.2 슬러리 균일성 평가

본 연구에서 사용된 전자기 교반을 이용한 슬러리 제작시, 응고 초기 슬러리컵 벽면으로부터의 빠른 냉각이 일어나 불균일핵생성 기구에 의해 초기 핵성장이 발생하고 전자기 교반을 통하여 슬러리내에 온도장 및 용질장이 균일화되어 건전한 슬러리를 얻을 수 있다[8]. 용탕을 슬러리 컵에 주입시 슬러리컵 벽면에 비해 슬러리의 중심부에서 온도저하가 늦게 일어나게 되므로, 중심부와 벽면의 고상률차이가 적을수록 슬러리 제작에 유리하다.

전자기 교반시 슬러리컵내의 온도를 측정하고, 이를 고상률로 변경하여 중심부에서의 고상률 변화에 따른 중심과 외벽에서의 고상률 차이를 Fig. 4에 그래프로 나타내었다. 용탕 주입 직후 중심과 외벽의 고상률의 차이는 크게 나타난다. 그러나 응고가 진행될수록 중심부와 벽면의 고상률의 차이는 감소한다. 슬러리 중심부의 고상률이 0.3~0.4에 도달하였을 때 중심과 외벽의 고상률 차이가 0.1을 초과할 경우 사출시 제품에서 균일한 물성을 얻기 어렵다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 Si의 조성이 5.0wt.% 이상인 경우, 중심과 외벽의 고상률차이가 0.1이하로 건전한 슬러리를 얻을 수 있을것으로 예상된다. 그러므로 본 연구에서 최소의 Si 함량의 조성을 5.0wt.% 이상으로 한정한다.

앞에서 얻은 합금설계 기준으로 평가하였을 때 가능한 최소 Si 첨가량은 5.0wt%이다. Si함량이 증가할수록 반응고적 유동 특성은 향상 될 수 있으나 Mg<sub>2</sub>Si를 생성하고 잔류하는 Si이 공정영역에서 침상으로 정출, 응력집중처로 작용하기 때문에 기계적 성질이 저하될 수 있다. 이에 본 연구에서는 레오캐스팅이 가능한 조성에서 최소의 Si함량인 5.0wt.%Si을 기본조성으로 설정하였다.

### 3.2 슬러리 유동성 평가

균일성의 확보가 가능한 5wt.%Si 첨가합금의 슬러리를 사출하여 일반적으로 레오다이캐스팅에 이용되는 AC4C합금과의 비교를 실시하였다. 실제 다이캐스팅 공정에서의 충전특성을 평가하기 위하여 다단 금형에서의 다이캐스팅 충전실험을 설계하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. AC4C와 개발합금 모두 0.35 이하의 고상률에서 주탕 불량이나 발생하지 않았으며 고상률이 증가할수록 미충진 결함 발생이 크게 나타났다. 또한 제품의 표면부는 난류의 흔적이 존재하지 않았으며 층류충진하여 최종충진부가 생성되는 흐름을 나타낸다. 또한 개발합금과 AC4C 모두 표면부에 크랙발생이 거의 없으며 이는 반응고 층류충진시 수축에 의한 크랙발생이 현저히 저감되는 우수한 레오캐스팅 특성을 보인다. 그러나 5% wt.Si 첨가된 개발합금의 경우, 고상률이 증가하는 속도가 AC4C에 비해 빠르기 때문에 충전성의 감소가 일찍 발생하므로 실제 다이캐스팅 공정시 70초 이내에 사출을 실시하여야 금형 충전에 충분한 유동









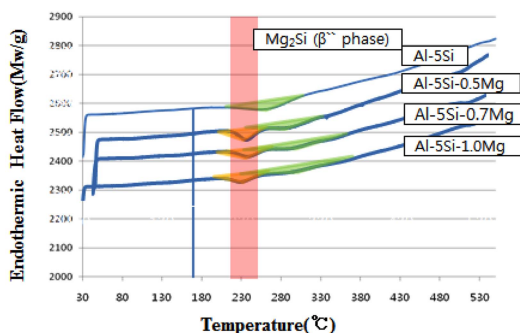
	60sec	70sec	80sec	90sec
AC4C				
	완충			
Weight(g)	183.7	183.5	182.1	172.1
Fs(Scheil)	0.315	0.33	0.35	0.37
Al-5.0Si-0.3Mg				
	완충			
Weight(g)	184.0	175.5	168.0	157.4
Fs(Scheil)	0.355	0.372	0.39	0.4

Fig. 5. 고상률에 따른 주조성 평가.

성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 일반적인 소형 부품에 대해서 다이캐스팅 공법의 사이클 타임이 1분 이내인 것을 감안할 경우, 레오다이캐스팅 공법에 적용이 가능할 것으로 보인다. 제품의 표면부는 난류의 흔적이 존재하지 않았으며 층류충진하여 최종충진부가 생성되는 흐름을 나타낸다. 또한 Al-5.0Si-0.3Mg 합금과 AC4C 모두 표면부에 크랙발생이 거의 없으며 이는 반응고 층류충진시 수축에 의한 크랙발생이 현저히 저감된다는 것을 알 수 있다. 또한 AC4C에 견주어 동등한 수준의 금형충진성 확보가 가능한 것으로 사료된다.

### 3.3 삼원계합금의 석출과정 최적화

Al-Si-Mg를 기본적인 삼원계 원소로 하는 합금은 Mg<sub>2</sub>Si의 열처리에 의한 석출강 화를 주강화기구로 활용한다. Al-Si-Mg 삼원계에서 Mg<sub>2</sub>Si의 석출량을 평가하기 위한 효과적인 방법으로 DSC (Differential Scanning Calorimeter) 분석을 통한 발열반응의 Peak Height를 조사하였다. Fig. 6에서와 같이 0~1.0 wt.%범위에서 다양한 Mg함량을 가진 합금을 각각 용해하고 출입열량을 측정된 결과를 나타내었다. DSC 분석에서 출입열



Composition	Peak height of β'' (mW/g)	Temperature of peak (°C)
Al-5Si	None	None
Al-5Si-0.5Mg	30.45	232.00
Al-5Si-0.7Mg	34.54	231.63
Al-5Si-1.0Mg	34.68	232.03

Fig. 6. DSC 평가에 의한 합금별 peak β'' 비교.

량의 그래프를 도시하였을 때 230~250°C 근방에서 발생하는 Peak는 Mg<sub>2</sub>Si의 중간상으로 초정 내에 고용되어 강도향상에 효과가 있다고 알려진 β" 상의 석출량을 나타낸다[16]. 이의 Peak height를 비교하여 Fig. 6의 표에 나타내었다. β"의 Peak height는 Mg의 첨가되었을 때 나타나며 Mg의 함량이 0.5wt.%에서 0.7wt.%로 증가하였을 때에 비하여 0.7wt.%에서 1.0wt.%로 증가시켰을 경우 그 peak height증가폭이 현저히 감소되었음을 알 수 있다. 이는 Mg양이 0.7wt.%이상 첨가되었을 때에 초정 내 최대고용가능한 Mg<sub>2</sub>Si 이상의 금속간 화합물을 생성하였을 것으로 보인다. 고용되지 않고 공정영역에서 정출된 Mg<sub>2</sub>Si는 강도향상에 기여하기 어려우며 이에 Mg의 첨가량을 0.7wt.%로 설정한다.

### 3.4 미세원소 함량 설정

주조용 합금의 강도확보를 위한 목적으로 Al-Mg-Si계의 합금은 Cu, Zn등의 고용강화 및 석출강화 원소를 첨가한다. Cu는 Al<sub>2</sub>Cu의 석출 및 고용에 의한 강화효과를 가지나 최근의 연구에 의하면 Cu를 0.5wt.%이상 첨가하면 내식성에 좋지 않은 효과를 나타내고 2wt.%이상 첨가할 경우 연신율의 저하를 나타낸다는 보고가 있다[17]. Zn은 Mg과 MgZn<sub>2</sub> 상을 생성하여 석출강화에 이용되고 있으나 이러한 강화효과는 Si을 첨가할 경우 옹고시 MgZn<sub>2</sub> 보다 우선하여 발생하는 Mg<sub>2</sub>Si상에 의해 강화효과가 상쇄된다. Al-5.0wt.%Si-0.7wt.%Mg를 기본 삼원계로 한 합금에서의 Cu, Zn첨가량에 따른 강화효과를 확인하기 위하여 Cu, Zn 함량을 달리한 합금을 반응고 주조하고 열처리후 경도를 측정하였다. Cu, Zn에 대한 물성향상을 확인하기 위하여 Cu의 함량을 0.3wt.%, 0.5wt.%, 1.0 wt.%, Zn의 함량을 0.1wt.%, 0.3wt.%, 0.5wt.%으로 설정하였다. 용체화 처리를 520°C에서 6시간, 시효처리를 160°C에서 6시간 실시한 후 Rockwell 경도 평가 결과를 Table 1에 나타내었다. 원소별 첨가량에 따른 경도결과는 Cu의 함량이 0.3wt.% 첨가시보다 0.5wt.%에서 두드러진 강도향상이 나타났으나 1.0wt.% 첨가시에는 0.5wt.%에 비해 강도향상이 거의 발생하지 않았다. Zn의 경우 0.1wt.%보다 0.3wt.%에서 강도향상이 확연히 나타났으며,

Table 1. 원소 첨가량에 따른 최대 경도.

composition	Contents(wt.%)	Hardness(HRB)
Cu	0.3	59
	0.5	70
	1.0	71
zn	0.1	60
	0.3	69
	0.5	70

(Solid-solution treatment condition : 520°C / 6hour and aging treatment condition : 160°C / 5hour)

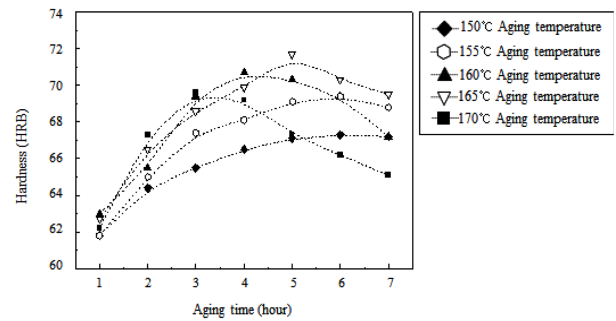


Fig. 7. 시간별 시효 열처리 경도 평가.

0.5wt.%에서는 0.3wt.% 대비 최대 경도가 거의 증가하지 않았다. 이는 Mg<sub>2</sub>Si의 석출이 나타나기 전에 우선적으로 정출되는 Al<sub>2</sub>Cu 및 MgZn<sub>2</sub>은 초정내에서 제한적으로 강도향상에 기여하기 때문이다. 초정내 석출되지 못한 상은 공정내에서의 정출로 냉각속도에 따라 불균일한 분포를 가지게 되어 인성을 감소시키는 것으로 사료된다. 위의 결과를 토대로 강도확보를 위한 최적의 합금을Al-5.0wt.%Si-0.7wt.%Mg-0.5wt.%Cu-0.3wt.%Zn으로 제시하였다.

### 3.5 개발합금의 열처리와 기계적 성질 적용 평가

본 연구에서 개발된 합금의 시효처리 조건에 대한 강화상의 발생을 최적화 하기 위하여 열처리 조건에 따른 기계적 물성치를 평가하였다. 용체화 조건은 520°C에서 6시간으로 동일하게 설정하였으며 시효조건은 온도 변위를 5°C으로 150~170°C 사이에서, 시간조건은 1~7시간동안 1시간의 변위차를 두고 평가를 진행하여 그 결과를 Fig. 7의 그래프에 나타내었다. 모든 온도조건에서 일정시간 이상 시효열처리시 경도가 하강하는 과시효 현상을 나타내었다. 각 온도별 경도 최대치를 나타내는 peak point는 조건에 따라 상이하였는데 이는 온도가 증가할수록 짧은시간에 나타난다. 합금의 최고경도를 나타내는 열처리 조건에서 최대 인장특성을 얻을 수 있을것으로 사료되며 이에 고연신, 고강도 특성이 동시에 필요한 본 연구의 경우 160°C/5Hr에서 열처리를 실시하는 것이 최적의 기계적 성질을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다.

개발합금의 레오다이캐스팅 적용결과 미세조직 사진을 Fig. 8에 첨부하였다. Fig. 8(a)에서 확인 할 수 있듯이 레오다이캐스팅 특성 발현이 잘 이루어진 미세하고 구상화된 초정을 확인 할 수 있었으며, 기공 및 수축공 등의 결함이 발견되지 않았다. 또한 Fig. 8(b)에서 볼 수 있듯이 공정 Si이 미세화 되어, 응력집중처가 되는 금속간 화합물이 없는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 고강도 기계적 특성을 만족시키기 위한 미세조직의 조건을 갖추었다고 사료되며, KDK85ton을 이용한 레오다이캐스팅 실시 후 물성평가 결과 인장강도는 324MPa, 항복강도 289MPa, 연신률 11.2%의 특성을 나타냄으로써 고강도 고연신 특성을 확인하였다.

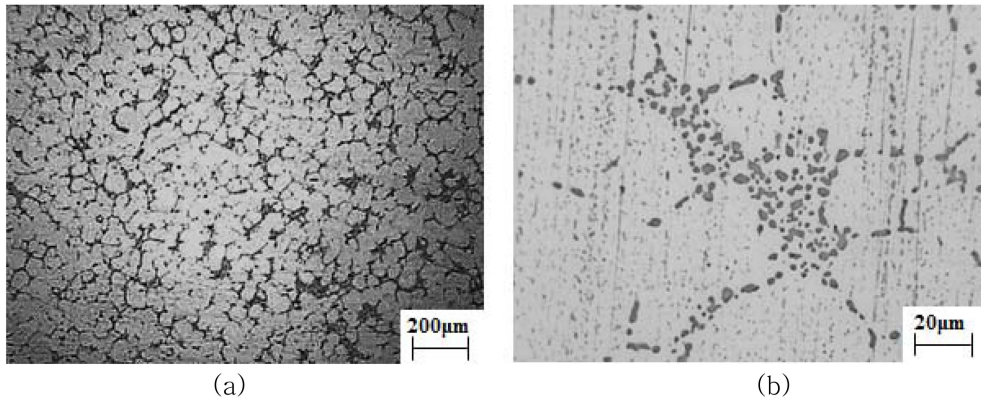


Fig. 8. 개발합금의 미세조직 관찰.

#### 4. 결 론

전자기 교반을 통한 레오다이캐스팅시 첨가원소의 조절을 통하여 반응고 특성을 최적화 시키면서 높은 기계적 성질을 가지는 합금을 개발하였다. 이에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 레오다이캐스팅 공법 적용을 위해서는 기존 전신재나 주조재 합금으로는 특성발현이 어려우며, 이에 주조성과 기계적 물성을 동시에 만족시키는 레오다이캐스팅 전용 합금을 개발하였다.

2) 시뮬레이션과 실험을 통하여 슬러리 내 균일성 및 합금의 응고민감도를 고려한 후 최적의 Si함유량을 설정하였고 5% 이상의 첨가시 슬러리 균일성과 우수한 유동성을 나타내었다.

3) 기계적 성질의 최적화를 위한 고용, 석출강화 원소의 성분함량을 조정하였고, 석출상의 정량적인 평가를 통하여 Mg, Cu, Zn의 함량을 설정하였다.

4) 개발된 합금을 활용한 레오캐스팅시 미세하고 균일한 구상 초정조직을 얻을 수 있었으며 내부 수축공 및 기공결함이 발견되지 않았다.

5) 레오캐스팅을 적용한 물성평가지 인장강도 324MPa, 항복강도 289MPa, 연신률 11.2%의 고강도, 고인성의 기계적 특성을 나타내었다.

#### 참고문헌

[1] J. R. Davis: Aluminum and Aluminum Alloys, ASM international, OH, USA, (1993) 3

[2] M. C. Flemings: Metall. Sci. Technol., 18 (2000) 3  
 [3] Z. Fan: Int. Mater. Rev., 41 (2002) 49  
 [4] C. P. Hong, K. D. Kim: Solid State Phenom. 116-117 (2006) 44  
 [5] Y. Birol: J. Alloys Comp., 470 (2009) 183  
 [6] J. G. Sim, J. Y. Moon, J. M. Kim, C. P. Hong: Solid State Phenom. 116-117 (2006) 509  
 [7] J. M. Kim, J. G. Sim, J. Y. Moon, M. S. Kim, J. M. Kim, K. H. Min C. P. Hong: Proc. of the 9th Int. Conf. on Semisolid Processing of Alloys and Composites, Trans Tech Publication Ltd., Korea, (2006) 128  
 [8] J. G. Sim, B. H. Choi, Y. S. Jang, J. M. Kim, C. P. Hong : ISIJ Int. 50 (2010) 1165-1174  
 [9] D .Liu, H.V.Atkinson, H.Jones : Acta Materialia 53 (2005) 3807-3819  
 [10] A. Maciel Camacho, H. V. Atkinson, P. Kapranos, B. B. Argent : Acta Materialia 51 (2003) 2319-2330  
 [11] J. G. Sim, Y. S. Jang, J. Y. Moon, J. M. Kim, K. H. Min, C. P. Hong : ISIJ Int.49 (2009) 1700-1709  
 [12] Alexander A.Kazakov : Advanced Materials & Processes ,157 (2000) 3  
 [13] J. B. Patel, Y. Q. Liu, G. Shao, Z. Fan : Materials Science and Engineering A 476 (2008) 341-349  
 [14] Bengt Hallstedt, Evgueni Balitchev, Hideki Shimahara, Dieter Neuschutz : ISIJ Int. 46 (2006) 1852-1857  
 [15] Shan lin, "A study of hot tearing in wrought aluminum alloys", PhD thesis. University of Quebec in Chicoutimi, the Canada, (1999)  
 [16] G. A. Edward, K. Stiller, G. L. Dunlop, M. J. Couper :Acta mater. 46 (1998) 3893-3904  
 [17] J. R. David :Corrosion of aluminum and aluminum alloys, ASM international, OH, USA, (1999) 4