

# 수평식 전자교반을 이용한 A356 합금의 결정립 제어

고재홍\* · 서판기\* · 최우식\* · 강충길\*\*

## The Grain Size Control of A356 Aluminum Alloy by Electromagnetic Stirring

J. H. Ko, P. K. Seo, W. S. Choi, and C. G. Kang

### Abstract

It is many devices to obtain the globular structure because the globularity of the structure is the key to the low apparent viscosity and also to good rheological properties. In this study, the morphology of the change of primary Al phase in A356 alloy by electro magnetic stirrer was investigated to obtain the globular structure. The parameters are the current, stirring time, pouring temperature individually. The greater current and longer stirring time was to get the finer the primary however in case of over the 80A of current and 60sec of stirring time, the primary Al was merged together and was increased. The effect of pouring temperature has an important effect on the size of primary phase. About the 675°C, the primary Al was very fined.

**Key Words :** Electromagnetic Stirring(EMS), Microstructure, Mean Equivalent Diameter, Image Analysis

### 1. 서론

최근 부품의 경량화에 따른 연비 향상 및 환경 개선을 위하여 자동차 및 산업용부품을 주철에서 알루미늄으로 전환하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 제품 성형공정에서 발생되는 수지상정조직 및 액상편석 등으로 인한 균일하지 못한 기계적 물성치로 고기능성 부품 개발에 많은 어려움이 있다.<sup>(1)</sup> 따라서 이러한 낮은 기계적성질을 해결하기 위하여 전자교반시스템을 이용한 반응고성형법에 관한 연구를 하고자 한다. 액상과 고상이 공존하는 반응고성형은 순수액상에서 성형하는 방법보다 응고시간이 짧아서 수축결함을 줄일 수 있고, 제품의 응고시간이 감소하므로 내부기공을 획기적으로 개선할 수 있다. 또한 반응고성형 온도에서 점성이 액체상태 보다

더 높으므로 충전 시 유동형태가 난류로 발달하지 않기 때문에 충전 시 용탕의 흐름에 기인하는 유동불량이 적어지는 등 여러 가지 장점이 있다.<sup>(2)</sup>

이러한 레올로지 소재 성형을 위한 반응고성형법은 현재 많은 연구가 이루어지고 있으며 대표적인 방법으로는 임펠러를 이용한 기계식교반법<sup>(3)</sup>, 용탕을 냉각수가 흐르는 곳에 흘러 용탕의 온도를 제어하는 Simple Rheocasting Process<sup>(4)</sup>, 냉각과 가열을 동시에 조절하여 성형에 적합한 온도를 만드는 New Rheocasting Process<sup>(5)</sup> 전자기력에 의한 전자교반기<sup>(6)</sup> Single & Double Screw Rheomolding System<sup>(7)</sup> 방법들이 있다. 이러한 레올로지 소재를 만들기 위한 방법들은 수지상정 조직을 미세하고 구형화된 고상입자로 만들어 이를 용탕에 분산시킨다는 기본적인 고찰의 방향은 동일한 것이다.

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부

본 연구에서는 현재 산업용으로 많이 사용되고 있는 Al-Si 합금계 중 A356 합금을 3상 3극의 수평형 전자교반시스템을 이용하여 교반 중에 초정입자에 미치는 영향을 관찰하며 그 결과를 바탕으로 최적의 교반조건을 찾고자 하였다.

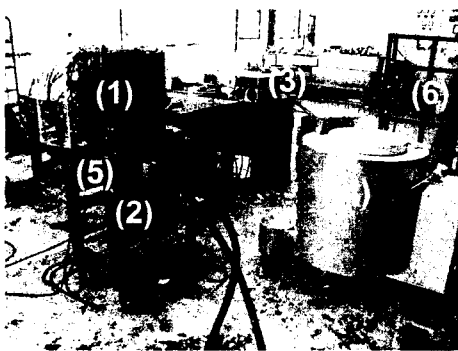
## 2. 실험

Fig. 1은 3상 3극의 수평형 전자교반장치(electro magnetic stirrer)의 사진이다.



Fig. 1 Electro magnetic stirrer (horizontal type)

전자기장을 이용한 A356 소재의 교반실험장치는 용해 및 보온할 수 있는 로, 교반기, 공압실린더, 냉각장치, 전류컨트롤러, 탈가스장치, 용해된 용탕을 담을 수 있는 비자성체 컵으로 구성되어 있으며 Fig. 2는 본 실험에 대한 장치에 대한 사진이다.



(1) Horizontal Electromagnetic Stirrer (2) Structure (3) Current controller (4) Holding & melting furnace (5) Air cylinder (6) A.D.F

Fig. 2 General overview of the electro magnetic stirrer

본 실험에서는 전자교반력이 초정입자에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 A356 소재를 도가니

로에 용해시킨다. 이때 로 내부에 열전대를 부착하여 온도를 측정하고 ON/OFF 제어에 의하여 목표 온도에 도달할 수 있게 한다. 목표온도에 도달한 후 교반기 안에 용탕을 넣는다. 이때 알루미늄 용탕을 받을 수 있는 비자성체 용기를 제작하여 교반기 안에 넣어 교반을 실시하였다.

교반을 위한 용기는 전자기력에 영향을 받지 않게 하기 위하여 비자성체 소재로 내경이 80mm가 되도록 제작하였다. 전자기교반 실험이 일어나는 동안 용탕의 복사열과 코일에 흐르는 전류의 전도열이 발생되어 전자기코일에는 많은 열을 발생하게 된다. 따라서 급속히 온도가 상승하여 전자기코일이 타버리는 현상을 방지하기 위하여 코일 내부로 흐르는 물에 의하여 냉각수를 흘려 교반기의 과열을 방지한다. 또한 교반하는 동안 용탕의 온도 및 냉각 속도를 측정하기 위하여 K-type의 열전대를 설치하였다. 교반기 코일에 전류가 흐르게 하기 위하여 코어의 코일은 사각형상의 단면으로 되어 있으며 소정의 길이를 가지며 A356소재의 성분을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of A356

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti
7.0	0.13	0.01	0.01	0.33	0.03	0.01	0.01

본 실험에서는 전자 교반력에 의하여 초정입자의 미세조직의 변화를 관찰 하기위해 용탕온도, 입력전류, 교반시간, 유지시간을 변화시켜서 각각의 조건에 대한 조직들을 비교 관찰하였다. 각 조건에 따라 교반한 후 교반된 빌렛을 급냉 시켜 각 Fig. 3의 부위별로 절단하여 조직을 상분석(image analysis) 하였다.

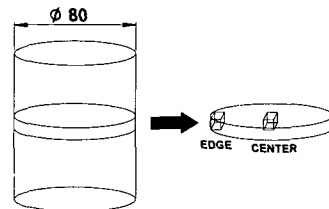


Fig. 3 The position for observing the microstructure

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 가우스메타(Gauss meter)를 이용하여 교

반기 내부의 각각의 위치에 따라서 입력전류에 따른 자속밀도와와의 관계를 나타낸 결과값이다. 실험결과 전류에 따라 자속밀도가 증가하는 것이 관찰되었으며 100 A 일때 1500 Gauss 값이 측정되었다. 이 실험에서 전류가 증가 할수록 자속 밀도가 증가하였고 이것은  $B=\mu IR$  ( $\mu$ : induction coefficient, R: induction distance, I: current) 와 일치하는 결과가 나타났다.

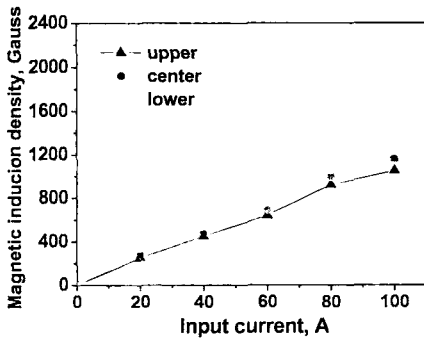


Fig. 4 Measured magnetic flux density

Fig. 5 는 A356 원소재를 광학현미경을 이용하여 조직을 관찰한 사진이다. 모든 부위에서 수지상정 조직이 관찰됨을 알 수 있었다.

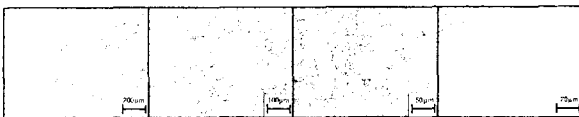


Fig. 5 Microstructure of the As-cast

Fig. 6 은 전류의 세기에 따른 용탕의 유동의 형상을 나타낸 사진이다. 사진과 같이 용탕을 움직이는 힘은 로렌쯔힘(Lorentz force)으로 설명할 수 있으며 이 힘은 플레밍 왼손법칙에 의하여 힘의 작용방향이 정하여지고 이 힘에 의해서 전도금속인 알루미늄합금 용탕은 회전하게 되어 교반을 하게 된다.

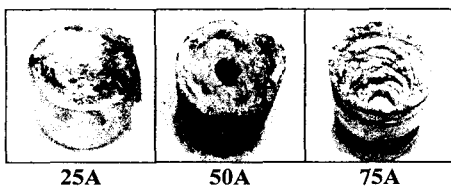


Fig. 6 The shape of the billet according each current

Fig. 7 은 각각의 입력전류에 따른 조직사진을

비교한 것이다. 입력전류가 80 A 이상으로 교반한 경우 초정입자들이 상호 충돌하여 고상 입자들간의 응집이 일어나 조직이 조대화 되는 것을 알 수 있었다. 그러나 60 A 로 교반한 경우 교반하지 않은 조직에 비하여 대부분의 수지상정조직이 파괴되는 것을 알 수 있었다.

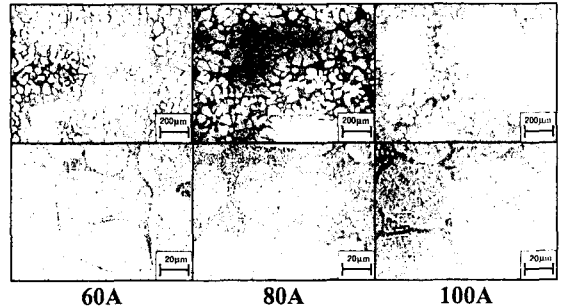


Fig. 7 Pouring temperature: 655°C; pouring weight: 2.0Kg; frequency: 60Hz; stirring time: 60sec)

Fig. 8 은 용탕온도에 따른 실험결과를 비교한 것이다. A356 의 액상온도는 609 °C이고 고상온도는 554 °C이다. 용탕온도 655 °C에서는 교반시작점이 이미 액상온도 609 °C 이하의 온도에서 교반이 이루어져 조직들이 이미 수지상정으로 성장한 것을 알 수 있었다. 그리고 용탕온도 715 °C에서는 교반되는 시작점이 A356 의 액상온도 609 °C 이상에서 교반이 시작되어 조직이 조대화되는 것을 알 수 있었다.

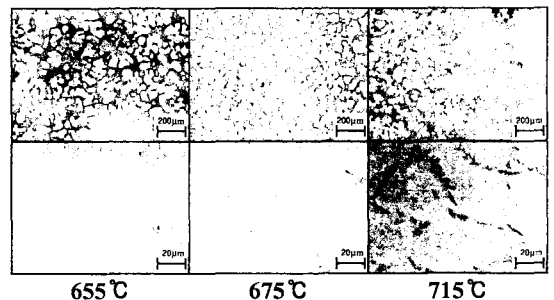


Fig. 8 Pouring weight: 2.0Kg; frequency: 60Hz; current: 80A; stirring time: 60sec)

Fig. 9 는 교반시간에 따른 조직 사진을 비교한 것이다. 교반전류 60 A 에서 30 초 동안 교반한 경우는 수지상정 조직들이 조금씩 파괴되는 것이 관찰 되었으나 여전히 수지상정 조직이 많이 존재하는 것을 관찰되었으며 60 초 동안 교반한 경

우는 조직들이 구상화된 것으로 교반시간이 길수록 조직들이 구상화됨을 알 수 있었다. 그러나 90 초 동안 교반한 경우 파쇄된 수지상정 들이 충돌, 결합하여 조직이 조대화되는 것을 알게 되었다.

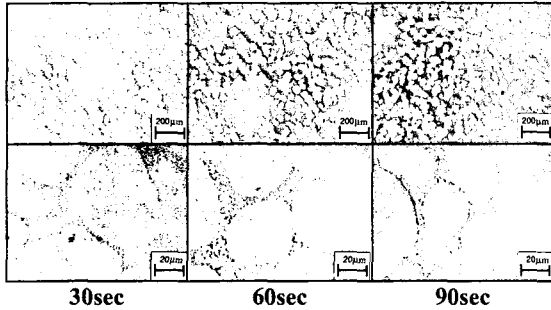


Fig. 9 Pouring temp.: 655 °C; pouring weight: 2.0Kg; frequency: 60Hz; current: 60A

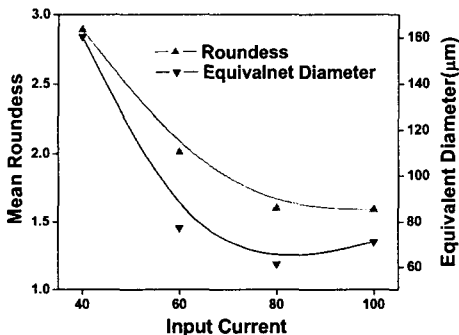


Fig. 10 The comparison of mean roundness and mean equivalent diameter according to current

#### 4. 결론

설계, 제작된 전자교반 장치를 이용하여 레올로지 소재 제조 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 교반전류가 미세조직에 미치는 영향을 파악한 결과 교반전류가 60 A 인 경우 수지상정 조직이 미세하게 파쇄되었으나 80 A 이상에서는 인접 고상입자들간의 응집으로 인하여 고상입자가 조대화되었다.

(2) 초기 용탕온도가 미세조직에 미치는 영향을 파악한 결과 675 °C 이상의 용탕온도에서는 액상 상태에서의 교반으로 인하여 조직이 조대화하였다. 그러나 655 °C 의 용탕의 온도에서는 미세하고 구상화된 조직을 얻을 수 있었다.

(3) 교반시간에 따른 미세조직의 변화를 관찰한 결과 교반시간이 길수록 조직이 미세화됨을 알 수 있으나 60 초 이상으로 교반한 경우 파쇄된 조직들이 서로 결합하여 조직이 점점 조대화됨을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 지원하의 메카노 21 중기 저점사업 과제에 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) G. Chirmetta and L. Zanardi, 1996, "Production of Structural Components by Thixoforming Aluminum Alloys", Proc. of the 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 235~244.
- (2) 강충길, 서관기, 손영익, 2002, "반용융 다이캐스팅공정에 있어서 속도 제어방법이 제품의 특성에 미치는 영향", 대한기계학회논문집 A, 제 26 권, 제 10 호, pp. 2034~2043.
- (3) K. Sukumaran, B. C. Pai and M. Chakraborty, 2004, "The Effect of Isothermal Mechanical Stirring on an Al-Si Alloy in the Semisolid Condition", Mater. Sci. Eng. Vol. 369, pp. 275~283.
- (4) T. Haga and P. Kapranos, 2002, "Simple Rheocasting Process", J. of Mater. Proc. Tech. Vol. 130~131, pp. 594~598.
- (5) M. Adachi, S. Sato, H. sasaki, Y. Harasa, T. Maeda, and N. Ishibash, 2002, "The Effect of Casting Condition for Mechanical Properties of Cast Alloys made with New Rheocasting Process", Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 629~634.
- (6) 임성철, 윤의박, 1992, "전자교반시 Al-7wt%Si 합금의 초정입자에 미치는 유동의 영향" 한국주조공학회 제 16 권, 제 6 호 pp. 565~575.
- (7) S. Ji, Z. Fan and M. J. Bevis, 2001, "Semi-Solid Processing of Engineering Alloys by a Twin-Screw Rheomoulding Process", Mater. Sci. Eng. A, Vol. 299, pp. 210~217.