

## 논문

## 알루미늄-규소 합금의 용탕단조시 유동도에 미치는 규소 함량 및 용탕 처리의 영향

이학주 · 권해욱\*

부산시 남구 용당동 535 동명대학교 조선공학과  
\*경북 경산시 대동 214-1 영남대학교 신소재공학부

### Effects of Si Content and Melt Treatment on the Fluidity of Al-Si Alloy during Squeeze Casting

Hagju Lee and Hae-Wook Kwon\*<sup>†</sup>

Dept. of Naval Architecture, Tongyoung University, 535 Yougdang-Dong, Nam-Gu, Busan, 608-711  
\*School of Mat. Sci. & Eng., Yeungnam University, 214-1 Dae-Dong, Gyeongsan, Gyeongbuk, 712-749

#### Abstract

The effects of silicon content and melt treatment on the fluidity of Al-Si alloys during squeeze casting were investigated. The fluidity of Al-3.0 wt%Si alloy was found to be lower than that of Al-1.0 wt%Si and the fluidity of the alloy with more than 3.0 wt%Si increased with the silicon content upto 13.0 wt% and rather decreased with 15.0 wt%. The fluidity was also increased by the separated treatment of grain refinement or eutectic modification, and even more by the simultaneous treatment of both. The fluidity of hypereutectic alloy was increased by the refinement of primary silicon particle.

**Key words :** Fluidity, Fluidity of Al-alloy, Al-Si alloy, Squeeze Casting, Squeeze Casting of Al-alloy.

(Received November 3, 2006 ; Accepted December 10, 2006)

#### 1. 서 론

알루미늄 합금 주조품은 중력 주조법, 저압 주조법 및 다이 캐스팅 등 다양한 방법으로 주조하고 있으며 모양, 크기, 품질 및 경제성 등을 고려하여 주조법이 선택된다. 이러한 주조법으로는 다양한 제품을 생산할 수 있으나 만족스러운 기계적 성질이나 품질을 얻을 수 없는 경우도 많다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 특수 주조 기술로는 급속응고 기술, 반응용 가공, 그리고 용탕 단조법 등이 있다. 용탕 단조법은 가압 응고법이라 불리기도 하며, 용탕을 하부 금형에 주입하고 유압 프레스를 이용하여 플런저(plunger)를 하강시켜 압력을 직접 용탕에 가하여 금형 공간으로 용탕을 공급하고 압력 하에서 응고가 일어나게 하는 방법이다[1]. 용탕 단조품은 치수 정밀도가 매우 우수하여 기계 가공을 최소화 할 수 있다. 금속의 종류에 따라서 다르지만 상당한 압력의 작용하에서 용탕의 응고가 일어난다. 최적의 공정 조건에서 용탕 단조하여 얻은 제품은 내부 기포가 거의 없다. 그리고 보통의 단조 부품과 비슷한 성질을 가질 정도로 미세한 응고 조직을 가진다. 용탕 단조용 금형은 보통의 단조용 금형과 마찬가지로 사형 또는 중력 주조시 필요한 게이팅계와 압탕이 없다. 따라서 회수율이 90%

이상으로 매우 높다. 더욱이 상당히 큰 제품을 제조할 수 있어서 원가 절감 효과가 매우 크다. 또한 알루미늄 합금을 용탕 단조할 경우에는 피스톤, 허브류, 플랜지, 부싱, 베어링 벨브 바디 등과 같이 복잡한 모양의 부품을 생산할 수 있다[2].

급속 용탕의 유동도는 주형 또는 금형 공간을 응고가 일어나기 전에 채울 수 있는 능력이다. 그리고 용탕 단조시 유동도는 건전한 얇은 제품을 얻는데 중요하다. 복잡한 용탕 단조품을 제조하기 위하여 용탕 단조용 합금의 유동도를 규명할 필요가 있다. 용탕 단조시 금형 내의 긴 채널을 따라 응고가 일어나기 전에 흘러간 거리를 측정하여 유동도를 비교할 수 있다[3]. 알루미늄-규소 합금은 상업적으로 중요한 주조뿐만 아니라 용탕 단조용 합금이다. 사형 또는 중력 주조시 알루미늄-규소 합금 용탕의 유동도에 관한 연구 결과는 있으나[4] 용탕 단조시 여러 가지 공정 변수의 유동도에 미치는 영향에 관한 연구 결과 또는 자료는 없는 실정이다.

주조용 알루미늄-규소 합금을 용해한 후 최종 주조품의 미세 조직과 기계적 성질을 개선하기 위하여 용탕 처리를 한다[5]. 규소의 함량이 알루미늄 중 규소의 최대 고용도를 넘지 않아 공정 조직이 형성하지 않는 합금의 경우에는 결정립 미세화 처리, 공정 조직의 개량 처리 그리고 이 두 가지의 동시

<sup>†</sup>E-mail : hwkwon@yu.ac.kr

처리 그리고 과공정 합금의 경우에는 초정 규소 미세화 처리 또는 공정 조직 개량 처리를 한다[5,6]. 그러나 주조용 알루미늄 합금을 용탕 단조할 때 용탕 유동도에 미치는 이들 용탕 처리의 영향을 연구한 사례와 자료는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 일정한 금형 온도, 압력 및 과열 조건에서 알루미늄-규소 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 규소 함량과 용탕 처리의 영향을 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 용탕 단조 장치 및 금형

40 ton 용량의 용탕 단조 장치를 이용하여 알루미늄 합금의 용탕 단조시 유동도를 시험하였다. 용탕 단조 장치는 Fig. 1, (a)에서 보이는 바와 같다. 하강 속도는 260~2,250 mm/min이며, 지름과 높이가 각각 50 및 110 mm인 플런저(plunger)로 220 MPa까지 압력을 가할 수 있다. 유동도를 시험하기 위한 금형은 평판인 상부 금형 및 하부 금형으로 구성되며 상부 금형의 위에 부착된 원주형의 플런징 실린더로 용탕을 주입할

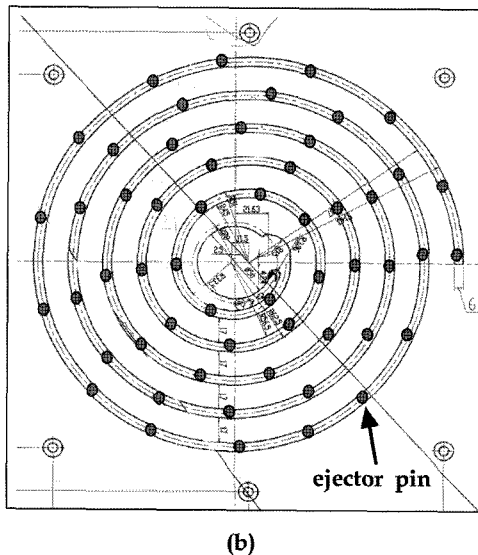
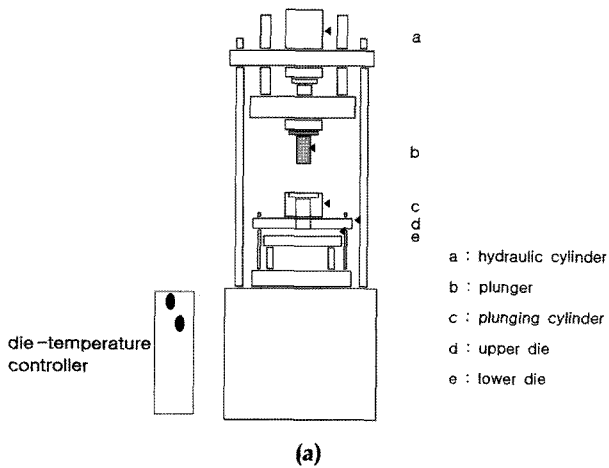


Fig. 1. Squeeze casting machine, (a), and permanent mold for fluidity test, (b).

수 있다. 하부 금형은 단면의 밀면과 높이가 각각 6 mm인 나선형 채널이 놓이도록 설계 및 제작되었으며 50 mm 간격으로 방출용 핀(ejector pin)이 설치되어 있다. 유동도 시험용 스프라이탈 금형은 Fig. 1(b)에서 보이는 바와 같다. 상부 금형 및 플런저는 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 각각의 내부에 공간을 설치하여 열매체유가 흐를 수 있게 하였다. 열매체유를 순환시켜 금형의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 제작 금형 온도 조절 장치를 부착시켰으며 이 조절 장치로 금형 온도를 270°C까지 조절할 수 있다.

### 2.2 용해, 용탕처리 및 용탕 단조

#### 2.2.1 용해

알루미늄-규소 합금을 용해하기 위하여 린드버그사 제작 3.5 kW 용량의 박스로와 지름과 높이가 각각 85 및 105 mm인 흑연 도가니를 이용하였다. 흑연 도가니에 각 조건 별로 500 g의 장입물을 지름 및 높이가 각각 85, 105 mm인 흑연도 가니에 장입물을 장입하고, 같은 각 조성별 액상선 온도를 근거로 과열 온도 100°C인 온도에 도달하도록 승온시킨 후 흑연 도가니를 박스로에 넣어 1 시간 동안 유지하며 용해하였다. 장입물로는 공업적으로 순수한 알루미늄, 10 및 20%의 규소가 함유된 인코트를 밴드쏘(band saw)로 절단하여 사용하였다. 공업적으로 순수한 알루미늄과 장입물로 사용한 합금의 화학적 조성은 Table 2에서 보이는 바와 같다.

#### 2.2.2 용탕 단조

먼저 금형 온도 조절기를 가동하여 플런저와 하부 금형에 열매체유를 순환시켜 금형 온도를 200°C로 유지시켰다. 용탕 처리를 하지 않은 2 원계 합금의 경우에는 장입물이 용해된 도가니를 박스로로부터 방출시켜 용탕의 온도를 측정 후 금형에 바로 주입하였다. 그리고 용탕 처리를 하는 경우에는 장입물이 용해된 도가니를 박스로로부터 방출시키고 용탕 처리제를 첨가한 후 용탕을 스티어링(stirring)하고 용탕의 온도를 측정하고 주입하였다. 이때 결정립 미세화제와 공정 규소 개량처리제는 모합금 인코트를 필요한 중량만큼 절단하여 첨가하였으며 과공정 합금의 초정 규소 미세화제는 일반 시약 등급의 미세한 분말을 알루미늄 포일에 싸서 직경 및 길이가 각각 10 및 300 mm인 봉재 끝에 부착된 가로와 세로가 각각 35 mm 그리고 깊이가 54 mm인 내부 공간이 있는 플런저에 삽입하여 용탕에 플런징하였다. 이때 각 조성별로 액상선 온도보다 100°C 높은 온도에서 주입하였다[7]. 용탕을 금형에 주입한 후 즉시 용탕 단조 장치를 가동하여 플런저를 하강시켜 용탕에 압력을 가하였다. 플런저는 2,250 mm/min의 속도로 하강하여 용탕과 접촉하는 순간부터 260 mm/min의 속도로 하강하여 60 MPa의 압력을 가하여 30초 동안 유지시켜 용탕 단조하였다. 플런저를 상승시킨 후 금형을 분리하여 방출핀을 가동하여 시편을 얻었다.

### 2.3 용탕 단조시 유동도 시험

#### 2.3.1 규소 함량의 영향

알루미늄-규소 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 규소 함량의 영향을 조사하고 용탕 처리한 용탕의 유동도 시험 결

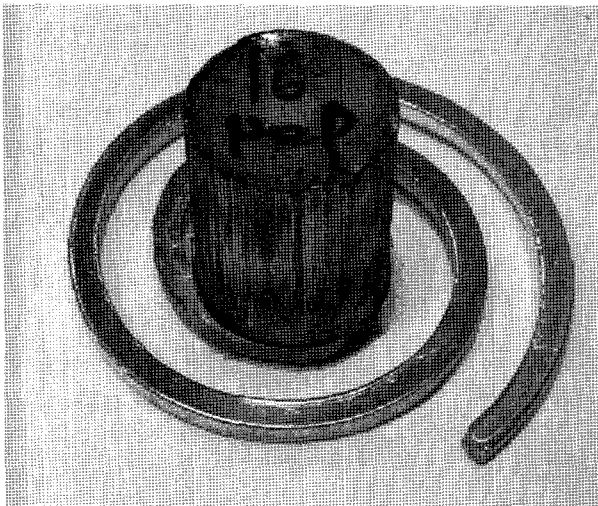


Fig. 2. Squeeze cast specimen for measuring fluidity.

과와 비교하기 위하여 아공정 조성인 규소 함량 1.0, 3.0, 7.0 및 10.0 wt% 조성의 합금과 과공정 조성인 규소 함량 13.0 및 15.0 wt% 조성의 합금의 유동도를 측정하였다. 아공정 조성의 경우 공업적으로 순수한 알루미늄과 Al-10 wt%Si 조성의 모합금을 그리고 과공정 조성의 경우에는 전자와 Al-20 wt%Si 조성의 모합금을 사용하여 용해하였다. 각 작업 재료의 화학 조성은 Table 1에서 보이는 바와 같다. 각 조성별로 3회 시험하여 유동도 스파이럴 길이의 평균 값을 얻었다.

2.3.2 용탕 처리의 영향

규소 함량이 1.0, 3.0, 및 10.0 wt%인 아공정 합금의 경우 초정 상은 α-알루미늄 결정이며 용탕 단조시 유동도에 미치는 결정립 미세화 처리의 영향을 시험하기 위하여 이 조성의 용탕을 얻은 후 각각 용탕 중량의 0.15 wt%의 티타늄을 첨가하였다. 규소 함량 7.0 및 10.0 wt% 조성의 합금과 과공정 조성인 규소 함량 13.0 및 15.0 wt% 조성의 합금의 경우에 유동도에 미치는 공정 규소 개량 처리의 영향을 시험하기 위하여 용탕 중량의 0.02 wt%의 스트론튬을 첨가하였다. 그리고 Al-7.0 및 10.0 wt%Si 합금의 경우 결정립 미세화 및 공정 규소 개량 처리의 동시 처리의 영향을 시험하기 위하여 용해한 후 용탕 중량의 0.15 wt%의 티타늄과 0.02 wt%의 스트론튬을 동시에 첨가하였다. 규소 함량이 13.0 및 15.0 wt%인 과공정 합금의 경우 유동도에 미치는 초정 규소 미세화의 영향을 시험하기 위하여 용탕 중량의 0.2 wt%의 인을 첨가하였다. 결정

립 미세화제, 공정 규소 개량 처리제 및 초정 규소 미세화제로는 Al-5 wt%Ti-1 wt%B 및 Al-10 wt%Sr 모합금 그리고 일반 시약 등급의 적인을 사용하였으며 각각의 화학적 조성도 Table 1에서 보이는 바와 같다. 각 조건별로 3회 시험하여 유동도 스파이럴 길이의 평균값을 얻었다.

2.4 화학적 성분 분석 및 조직 관찰

2.4.1 화학적 성분 분석

각 조성별 알루미늄-규소 합금의 화학 조성과 용탕 처리 원소의 잔류 함량을 확인하기 위하여 화학 조성을 분석하였다. 용탕 단조하여 얻은 유동도 시험 주조품의 플런징 실린더의 가운데 부분을 횡단면으로 절단하여 화학 성분 분석용 시편을 얻어 밀면을 연마한 후 방출 스펙트럼 분석 장치로 화학적 성분을 분석하였다.

2.4.2 조직 관찰

알루미늄-규소 합금 용탕의 공정 개량 처리 및 초정 규소 미세화 처리 결과를 확인하고 유동도에 미치는 규소 함량과 이들 용탕 처리의 영향의 원인을 규명하기 위하여 미세 조직을 관찰하였다. 용탕 단조하여 유동도 시험 후 얻은 압탕을 절단하여 횡단면의 중앙부에서 미세 조직 관찰용 시편을 얻었다. 압력, 과열 및 조성 변화의 각각의 유동도 시험 조건 별로 시편을 얻어 보통의 방법으로 조연마하고, 1 μm 등급까지의 다이아몬드 페이스트로 세연마하였다. 아세톤과 에탄올로 세척한 후 0.5% 불화수소산으로 부식시켰으며 100 배의 배율에서 광학 현미경으로 관찰하였다.

결정립 미세화 처리 결과를 확인하기 위하여 결정립 미세화 처리만 하였거나 공정 규소 개량 처리와 동시 처리한 Al-10 wt%Si 합금의 거시 조직을 관찰하였다. 용탕 단조하여 유동도 시험 후 얻은 플런징 실린더 부분을 절단하여 종단면을 관찰하였다. 유동도 시험 조건별로 시편을 얻어 보통의 방법으로 2,000번까지 조연마하고, 아세톤과 에탄올로 세척한 후 TUCKER 부식액으로 부식시켜 거시 조직을 관찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 화학적 성분 분석

알루미늄-규소 합금을 용탕 단조할 때 유동도에 미치는 각 인자, 즉, 규소 함량, 공정 조직이 없거나 그 분율이 매우 낮은 합금의 경우 결정립 미세화 처리, Al-7.0 및 10.0 wt%Si

Table 1. Chemical compositions of materials for charging and melt treatment.

element	Al	Si	Fe	Ni	Cr	Ti	Sr	B	P	Cu	Mg	remark
pure Al	99.70	0.060	0.130	-	-	-	-	-	-	-	-	commercial pure
Al-10%Si	89.47	10.16	0.145	0.011	0.001	0.003	-	-	-	-	-	
Al-20%Si	79.97	19.73	0.19	0.02	0.007	0.016	0.002	-	-	-	-	
Al-5%Ti-1%B	bal.	0.06	0.17	-	-	4.90	-	0.96	-	-	-	
Al-10%Sr	bal.	0.13	0.20	-	-	-	10.20	-	-	-	-	
Red P	-	-	-	-	-	-	-	-	99.70	-	-	general reagent

합금 그리고 과공정 합금의 경우 공정 개량 처리, Al-7.0 및 10.0 wt%Si 합금 및 과공정 합금의 경우 공정 조직 개량 처리, Al-7.0 및 10.0 wt%Si 합금의 경우 결정립 미세화와 공정 규소 개량 처리의 동시 처리 그리고 과공정 합금의 경우 초정 규소 미세화 처리 등의 용탕 처리, 의 영향을 시험한 유동도 시험용 용탕 단조품의 규소 함량 또는 규소 함량과 용탕 처리 원소의 함량을 확인하기 위하여 화학 성분을 분석하였다. 모든 경우에 규소 함량은 그 허용 범위를 벗어나지 않았다. 결정립 미세화 처리를 하기 위하여 Al-5 wt%Ti-1 wt%B 모합금을 사용하여 용탕 중량의 0.15 wt%의 티타늄을 첨가한 경우에는 티타늄 함량이 0.148~0.155 wt% 범위인 것으로 나타났다. 공정 규소를 개량 처리하기 위하여 Al-10 wt%Sr 모합금을 사용하여 0.02%의 스트론튬을 첨가한 경우 스트론튬의 함량은 0.025 및 0.023 wt%로 나타났다. 이와 같이 알루미늄-규소 함량을 용해한 후 용탕 처리한 경우에도 각 용탕 처리 원소의 잔류 함량은 허용 범위 내인 것으로 판단되었다.

**3.2 조직 관찰**

2 원계 알루미늄-규소 합금의 규소 함량과 이에 따른 미세 조직의 변화를 확인하고 유동도에 미치는 규소 함량의 영향을 규명하기 위하여 미세 조직을 관찰하였으며 그 결과는 Fig. 3에서 보이는 바와 같다. 규소 함량이 알루미늄 중 최대 고용도인 약 1.65 wt%를 넘지 않은 1.0 wt%조성의 합금은 α-알루미늄 상만이 존재하고 아공정 합금의 경우에는 초정 α-알루미늄 덴드라이트와 공정 조직으로 이루어졌으며 규소의 함량이 증가함에 따라 공정 조직의 부피 분율이 증가하는 전형적인 경향을 보였다.

과공정 조성인 Al-13 및 15 wt%Si 합금의 경우에는 초정

규소가 공정 조직의 기지 내에 분산되어 있으며 초정 규소 주위의 기지에서는 규소가 고갈되어 작은 량의 미세한 덴드라이트 형태의 α-알루미늄 상이 존재하는 전형적인 과냉 조직인 것으로 나타났다. 규소 함량이 더 많은 Al-15 wt%Si 합금의 경우 Al-13 wt%Si 합금에 비하여 초정 규소가 더 조대하고 그 부피 분율이 더 컸다.

용탕 단조시 유동도에 미치는 결정립 미세화 처리의 영향을 시험하기 위한 규소 함량이 1.0, 3.0, 7.0 및 10.0 wt% 조성의 합금의 결정립 미세화 처리 결과를 확인하기 위하여 이들 합금의 거시 조직을 관찰하였으며 대표적인 Al-7.0 wt%Si 합금에 관한 결과는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다. Al-5 wt%Ti-1 wt%B 모합금을 사용하여 용탕 중량의 0.15 wt%의 티타늄을 첨가하여 초정 α-알루미늄 상의 결정립은 모든 경우에 미세화가 잘 되었으며 알루미늄-규소 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 결정립 미세화 처리 및 공정 규소 개량 처리와의 동시 처리의 영향을 조사하는 데에는 문제가 없는 것으로 생각되었다.

또한 아공정 조성인 Al-7.0 및 10.0 wt%Si 합금의 경우 공정 규소 개량 처리만 한 경우와 결정립 미세화 처리와의 동시 처리한 경우의 공정 규소 개량 처리 결과를 확인하기 위하여 미세 조직을 관찰하였으며 Al-7.0 wt%Si 합금에 대한 결과는 Fig. 5에서 보이는 바와 같다. 그리고 과공정 조성인 Al-13.0 및 15.0 wt%Si 합금의 경우 공정 조직 개량 처리와 초정 규소 미세화 처리 결과를 확인하기 위하여 미세 조직 관찰을 하였으며 Al-13.0 wt%Si 합금에 대한 결과는 Fig. 6에서 보이는 바와 같다. 이들 경우에도 용탕 단조시 유동도에 미치는 용탕 처리의 영향을 조사하는 데에는 별 문제가 없는 것으로 나타났다.

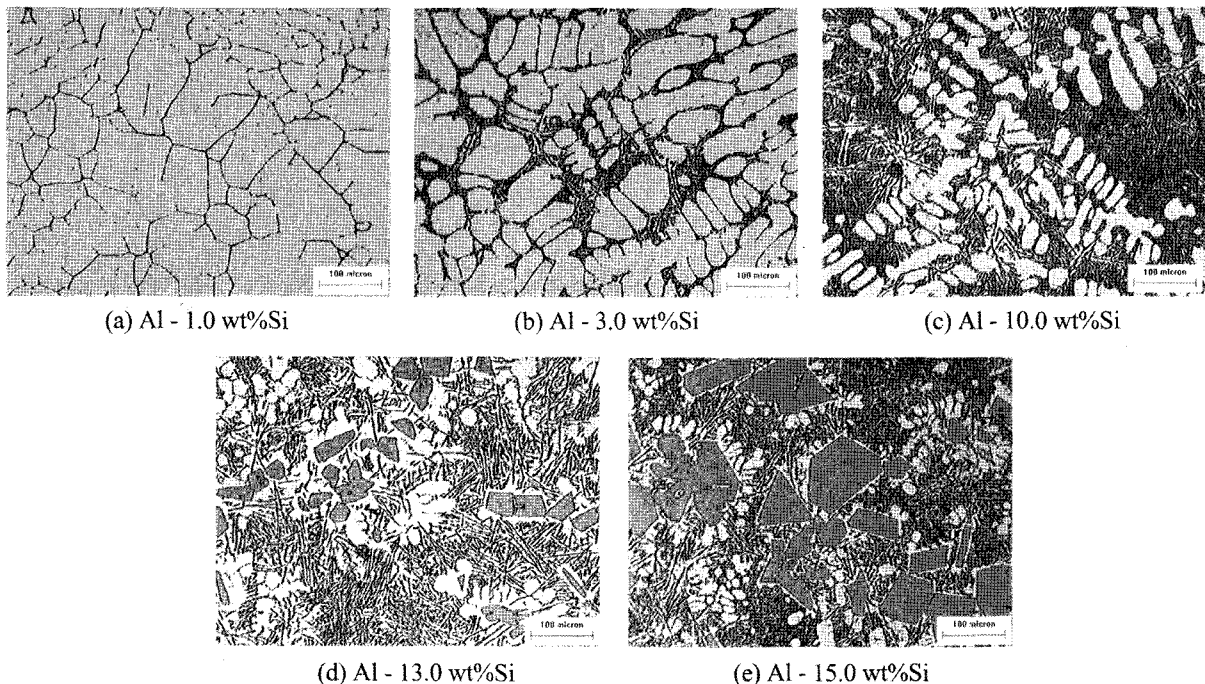


Fig. 3. Variation of optical microstructure of squeeze casted Al-Si alloy with silicon content.

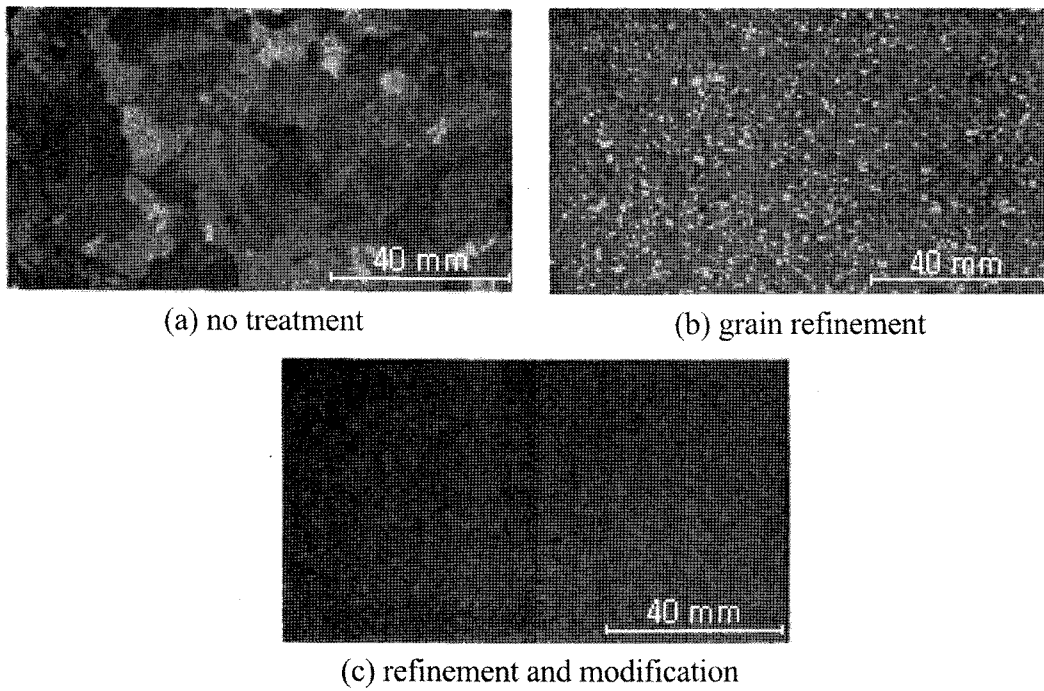


Fig. 4. Variation of macrostructure of squeeze casted Al-7.0 wt%Si with melt treatment.

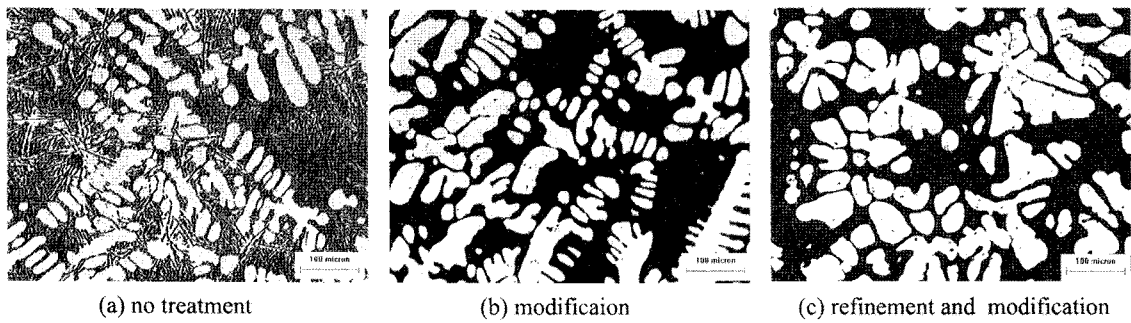


Fig. 5. Variation of the eutectic structure of squeeze-casted Al-10 wt%Si alloy with modification.

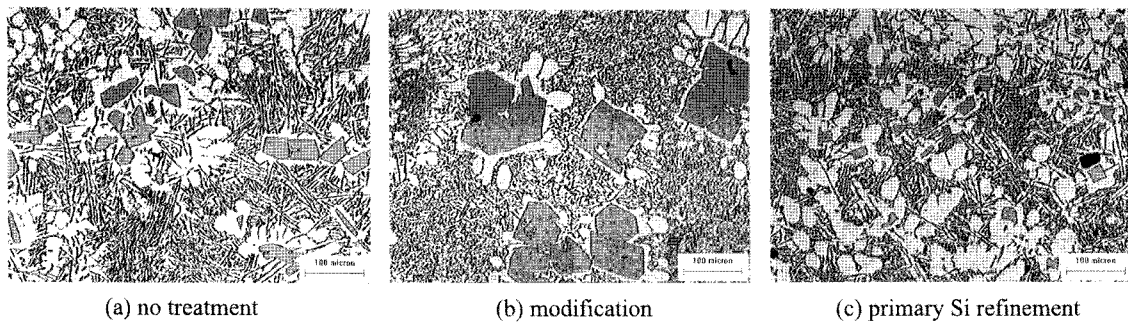


Fig. 6. Variation of the microstructure of squeeze-casted Al-13.0 wt%Si alloy with melt treatment.

**3.3 용탕 단조시 유동도에 미치는 규소 함량의 영향**

알루미늄-규소 합금을 용탕 단조할 때 유동도에 미치는 규소 함량의 영향을 시험하고 용탕 처리한 용탕의 유동도 시험

결과와 비교하기 위하여 아공정 조성인 Al-1.0, 3.0, 7.0, 및 10 wt%Si 합금과 과공정 조성인 Al-13.0 및 15.0 wt%Si 합금의 유동도를 측정하였다. 유동도 측정을 위한 용탕 단조시

압력과 과열은 각각 60 MPa 및 100°C였다. 규소 함량의 변화에 따른 유동도의 변화는 Table 2 및 Fig. 7에서 보이는 바와 같다. Al-3.0 wt%Si 합금의 용탕 단조시 유동도는 Al-1.0 wt%Si 합금의 유동도보다 작았으며 규소 함량이 13.0 wt%까지 증가함에 따라 유동도는 증가하였다. 그리고 규소 함량이 15.0 wt%로 증가하면 유동도는 오히려 감소하였다.

Al-1.0 wt%Si 합금의 경우에는 공정 조직이 존재하지 않는 α-알루미늄 상만으로 이루어져 있으나 규소 함량이 3.0, 7.0 및 10.0 wt%인 아공정 합금의 경우의 응고 조직은 α-알루미늄 덴드라이트와 공정 조직으로 이루어지며 규소 함량이 많을수록 초정 α-알루미늄 덴드라이트의 부피 분율이 적다. 규소 함량이 1.0 wt%인 합금보다 3.0 wt%인 합금의 응고 범위가 더 커서 유동도는 더 낮으며 규소 함량이 10.0 wt%로 증가함에 따라 응고 범위가 감소하여 유동도는 더 증가하였다. 아공정 합금의 경우 초정 α-알루미늄 덴드라이트의 부피 분율과 응고 범위에 따라서 유동도가 달라지며 이들 인자가 감소할수록 유동도는 증가할 것이다.

과공정 조성의 합금은 아공정 조성의 합금과 응고 기구가 다르다. 초정 상은 아공정 조성 합금의 경우와 달리 규소 상

이며 그 모양은 모서리가 비교적 날카로운 입자 형태이다. 과공정 조성의 경우 초정 상의 모양이 덴드라이트 형태가 아니기 때문에 초정 규소 상이 용탕의 흐름을 방해하는 효과가 적고 초정 규소 상의 응고 잠열이 크기 때문에 응고가 일어날 때 방출되는 열량이 커서 응고를 지연시켜 유동도가 증가한 것으로 생각된다[4]. 그러나 규소의 함량이 15.0 wt%로 증가하면 Fig. 8에서 보이는 바와 같이 응고가 일어나는 동안 정출하는 초정 규소상의 수와 크기가 증가하여 용탕의 흐름을 방해할 것이다[7]. 따라서 규소 함량이 13.0에서 15.0 wt%로 증

Table 2. Variation of the fluidity spiral length with silicon content and melt treatment during the squeeze casting of Al-Si alloy (mm)

Alloy	melt treatment					remark
	NT	GR	EM	RM	PSR	
Al-1.0wt%Si	255	261	-	-	-	
Al-3.0wt%Si	193	230	-	-	-	
Al-7.0wt%Si	219	235	243	255	-	
Al-10.0wt%Si	242	237	252	261	-	
Al-13.0wt%Si	513	-	580	-	558	
Al-15.0wt%Si	470	-	566	-	523	

NT : no treatment  
 GR : grain refinement  
 EM : eutectic modification  
 RM : grain refinement and eutectic modification  
 PSR : primary silicon refinement

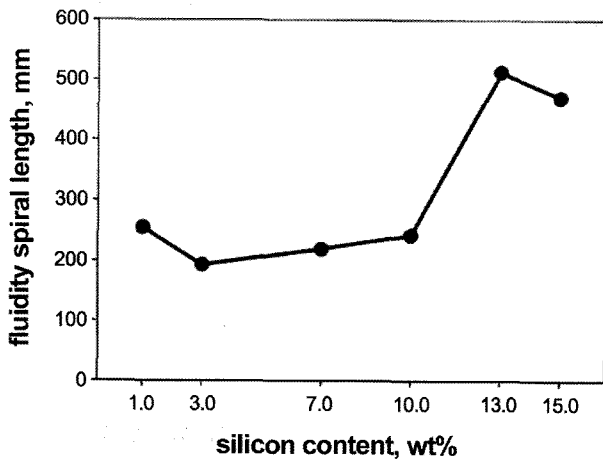
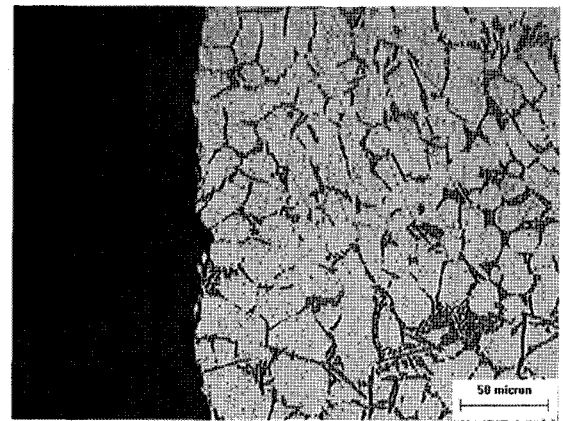
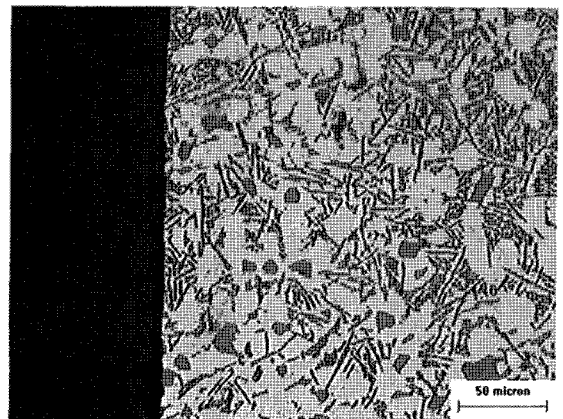


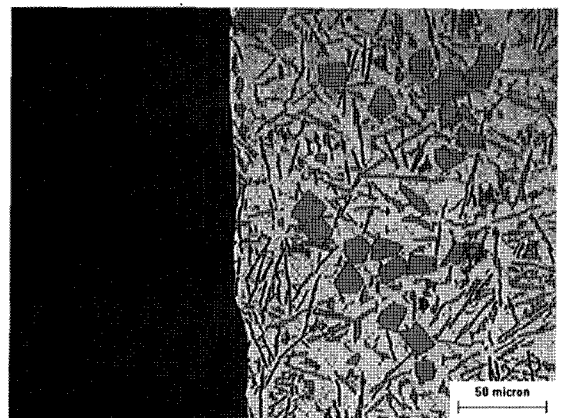
Fig. 7. Effect of silicon content on the fluidity during squeeze casting of Al-Si alloy.



(a) Al-7.0wt%Si



(b) Al-13.0wt%Si



(c) Al-15.0wt%Si

Fig. 8. Microstructure obtained from the tip of fluidity spiral[7].

가함에 따라 용탕 단조시 유동도는 감소한 것으로 생각된다.

**3.4 용탕 단조시 유동도에 미치는 용탕 처리의 영향**

**3.4.1 결정립 미세화 처리의 영향**

조정 상이  $\alpha$ -알루미늄 규소 함량이 1.0, 3.0, 7.0 및 10.0 wt% 조성의 합금에 대하여 용탕 단조시 유동도에 미치는 결정립 미세화 처리의 영향을 시험하였으며 그 결과는 Table 2 및 Fig. 9에서 보이는 바와 같다. 공정 조직이 없거나 부피 분율이 낮은 규소 함량 1.0 및 3.0 wt% 조성의 합금의 경우에는 결정립 미세화 처리로 유동도가 증가하였다. 조정 상이  $\alpha$ -알루미늄인 아공정 합금의 경우 결정립 미세화 처리를 하면 조정 상이 과냉이 일어나지 않거나 과냉이 매우 작은 상태에서 응고하기 시작하여 응고 범위가 증가하였을 것이므로 유동도는 다소 감소할 것으로 예측하였다. 그러나 결정립 미세화 처리하여 유동도는 오히려 증가하였다. 조정상이 주상정의 형태로 성장하는 경우에 비하여 등축정 형태로 성장하는 경우에 몇 개의 미세한 결정립이 유동도 채널을 따라 흐를 때 끝 부분으로 이동되어 이 결정들이 성장하여 흐름을 막을 수 있어서 유동도는 감소하는 것으로 알려져 있다[8]. 그러나 나선형 채널이 있는 금형으로 용탕 단조하여 유동도 시험을 하는 경우에는 높은 압력이 걸리고 냉각 속도가 증가하여 등축정 조직이 형성한다. 이 경우에 결정립 미세화 처리를 하면 핵생성 자리가 증가하며 평균 결정립 크기가 감소하여 많은 수의 작은 결정립이 유동도 채널의 응고가 완전히 일어나기 전에 용탕의 흐름과 함께 더 많이 흐를 수 있었을 것이다. 그리고, 공정조직이 형성하는 합금의 경우 그 효과는 규소 함량이 증가하여 공정조직의 부피 분율이 증가 할수록 감소하는 것으로 생각되었다.

**3.4.2 공정 개량 처리 및 결정립 미세화 처리와 동시 처리의 영향**

아공정 조성인 Al-7.0 및 10.0 wt%Si 합금을 사용하여 용탕 단조시 유동도에 미치는 공정 규소 개량 처리와 결정립 미세화 처리 및 공정 규소 개량 처리의 동시 처리의 영향을 시험하였다. 공정 규소 개량 처리를 하기 위해서는 Al-10 wt%Sr

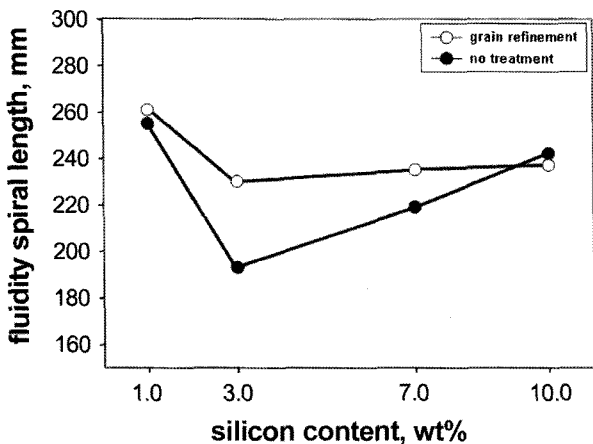


Fig. 9. Effect of grain refinement on the fluidity of Al-Si alloy during squeeze casting.

모합금을 사용하여 용탕 중량의 0.02 wt% 스트론튬을 첨가하였으며 이 용탕 처리와 결정립 미세화 처리의 두 가지를 동시에 하는 경우에는 스트론튬과 함께 Al-5 wt%Ti-1 wt%B 모합금을 사용하여 용탕 중량의 0.15 wt%의 티타늄을 첨가하였다.

유동도 스파이럴 금형을 이용한 유동도 시험 결과는 Table 2 및 Fig. 10에서 보이는 바와 같다. 아공정 조성인 Al-7.0 및 10.0 wt%Si 합금과 과공정 조성인 Al-13.0 및 15.0 wt%Si 합금의 모든 경우에 공정 규소 개량 처리로 용탕 단조시 유동도는 증가하였다. 그러나 스트론튬 개량 처리에 의하여 액상의 표면 장력은 감소하는 것으로 보고된 바 있다[9]. 따라서 개량 처리하지 않은 합금에 비하여 개량 처리한 합금 중 공정 조성의 액상의 유동도가 개선될 것으로 기대된다. 이 효과가 스트론튬이 과냉을 야기시켜 증가된 응고 범위에 의한 유동도 감소 효과보다 더 큰 것으로 생각된다.

결정립 미세화 처리와 공정 규소 개량 처리를 동시에 한 경우에는 Table 2 및 Fig. 11에서 보이는 바와 같이 공정 규소 개량 처리만 한 경우보다 용탕 단조시 유동도가 더욱 증가하

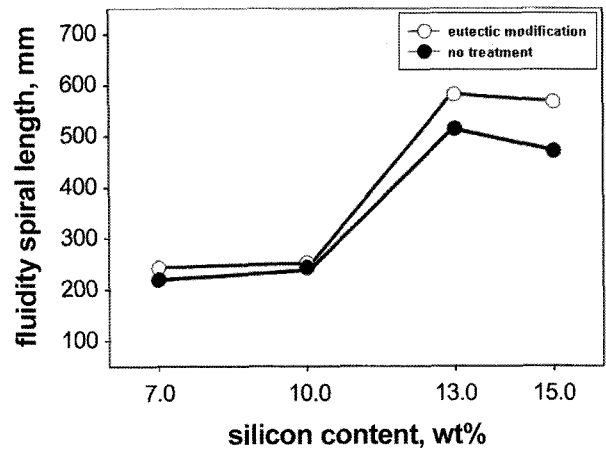


Fig. 10. Effect of eutectic modification on the fluidity of Al-Si alloy during squeeze casting.

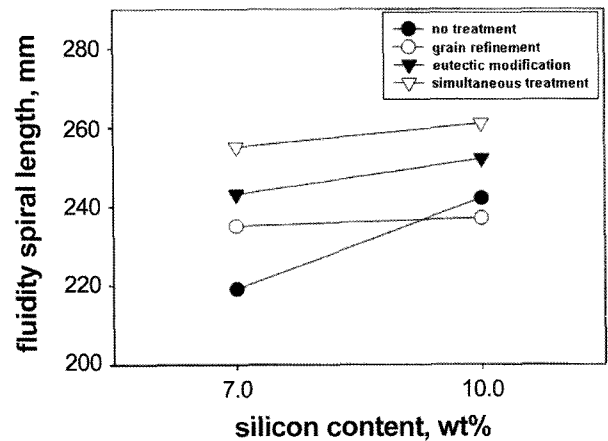


Fig. 11. Effect of grain refinement, eutectic modification and the simultaneous treatment of both on the fluidity of hypoeutectic Al-Si alloy during squeeze casting.

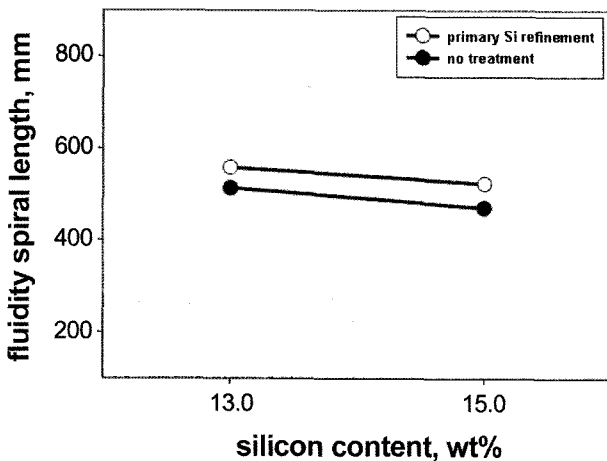


Fig. 12. Effect of primary Si refinement on the fluidity of hyper-eutectic Al-Si alloy during squeeze casting.

였다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 결정립 미세화와 공정 개량의 동시 처리 효과로 유동도가 더욱 증가한 것으로 생각된다.

#### 3.4.3 과공정 합금 중 초정 규소 미세화 처리의 영향

과공정 조성인 Al-13.0 및 15.0 wt%Si 합금을 사용하여 용탕 단조시 유동도에 미치는 초정 규소 미세화 처리의 영향을 조사하였다. 박스로를 이용하여 용탕을 얻은 후 용탕 중량의 0.2 wt%의 적인을 첨가한 후 유동도 스파이럴 금형에 주입하고 용탕 단조하여 유동도를 측정하였으며 그 결과는 Table 2 및 Fig. 12에서 보이는 바와 같다. 두 가지 서로 다른 조성의 과공정 합금 모두 초정 규소 미세화 처리로 그 정도는 차이가 있으나 유동도는 증가하였다.

초정 규소 미세화 처리를 하지 않는 합금의 경우에는 응고 마지막 단계에서 조대한 초정 규소 입자가 용탕 흐름을 막아 유동도가 감소하고 인을 첨가하여 결정립을 미세화하면 매우 더 미세한 초정 규소 입자로 인하여 용탕 흐름을 막는 경향이 감소할 것이므로 초정 규소 미세화 처리로 유동도가 증가할

것이다[5].

## 4. 결 론

알루미늄-규소 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 규소의 함량 및 용탕 처리의 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Al-3.0 wt%Si 합금의 유동도는 Al-1.0 wt%Si 합금보다 작았으며 규소 함량이 13.0 wt%까지 증가함에 따라 증가하였다가 15.0 wt%로 증가하면 오히려 감소하였다.

2) 결정립 미세화 처리와 공정 개량 처리에 의하여 유동도가 각각 증가하였다.

3) 알루미늄-규소 합금의 유동도는 결정립 미세화와 공정 개량의 동시 처리에 의하여 더욱 증가하였다.

4) 과공정 합금의 경우 초정 규소 미세화 처리에 의하여 유동도는 증가하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Nishida and M. Matsubara : Z. Metallk. 71 (1989) 189.
- [2] E. L. Kotzin : "Metalcasting & Molding Processes", AFS, (1981) 214-217.
- [3] B. Chalmers : "Principles of Solidification", R. E. Krieger Pub. Co., (1977) 234-235.
- [4] J. M. Kim : "Effect of Solidification Mechanism on the Fluidity of Al-Si Casting Alloy", M. S. Thesis, Univ. of WI-Madison, (1993).
- [5] J. E. Gruleski and B. M. Closset : "The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloy", AFS, (1990).
- [6] K. J. Bowman : "The Effect of Simultaneous Primary Silicon Refinement and Eutectic Silicon Modification on an Aluminum-23%Silicon Alloy", M. S. Thesis, C. W. R. U., (1983).
- [7] H. Lee, K. Jung and H. Kwon : J. KFS, 26(3) (2006) 133-139.
- [8] M. C. Flemings : Brit. Foundryman, 57 (1964) 312.
- [9] D. Emadi, J. E. Gruzleski and J. M. Toguri : Met. Trans. B, 24B (1993) 1055-1063.