

|||||||  
技術資料  
|||||||

## 무교반 반고체 금속의 제조기술

엄정필 · 장동훈 · 이수근 · 김득규\* · 윤병은\*\*

### Manufacturing Technology of Non-Stirrer Semi-Solid Metal

J. P. Eom, D. H. Jang, S. G. Lim, D. G. Kim\* and D. E. Yoon\*\*

#### 1. 서 론

반고체 금속 제조법은 금속 소재가 용융 혹은 응고 함으로서 나타나는 금속학적 · 기계적 특성의 변화를 가열, 냉각, 분위기, 가압력의 종류와 방향등의 제어를 통해서 유효하게 이용하여, 고액공존 상태에서 성형 가공하는 것이다. 이 가공법은 1970년대초 미국 M.I.T의 M. C. Flemings에 의해 개발된 레오캐스팅법 (Rheo-casting method)을 시작으로 신뢰성, 품질, 성능, 자동화 등 공업화에 적용을 목적으로, 세계 각국에서 반고체 금속의 제조 및 가공에 관한 연구개발이 추진 되고 있다.

최근의 이러한 기술적 동향은, 주조재가 가지는 가공과 같은 주조결함과 단조재에 있어서의 성형시 높은 응력이 필요하고 복잡한 형상의 부품제조가 힘들다는 두 공정의 단점을 최소화하고 또한, 두 공정의 장점을 극대화 할 수 있기 때문이다.

이러한 반고체금속 가공법을 하기 위해서는 입상의 초정을 가진 금속소재가 필수적이며, 이 소재의 제조 방법은 고체와 액체가 공존하는 영역에서 교반하여 수지상정을 미세한 입상의 조직을 가진 슬러리로 제조하는 기계적인 교반법과 전자기적교반법이 대표적으로 이용되고 있다.

기계적인 교반법은 지금까지의 실험실적인 규모의 작은 실험장치에서 발전하여, 실용적인 장치를 개발하여 점차 실용화하려는 방향으로 전개 되어지고 있다. 그러나, 기계적인 교반법은 간단한 원리로 높은 변형속도에 의한 미세하고 구형화된 조직을 얻을 수 있

다는 장점에도 불구하고 용탕내에서의 교반자의 침식에 의한 용탕의 오염, 공정제어의 어려움 및 경제적인 측면에서의 낮은 생산성이라는 단점을 가지고 있다. 한편 전자기적 교반법은 액상금속과 교반자간의 접촉이 없으므로 불순물의 개입을 방지할 수 있으며, 교반 강도를 용이하게 조절할 수 있고 금속전체가 액상의 흐름을 갖게 되어 고액공존영역(Mushy zone)을 효율적으로 교반할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나, 전자기적인 교반효과가 교반용기안의 용탕내부까지 충분히 미치기 위해서는 막대한 양의 전력소모가 요구되어 반응고 합금의 제조원가가 비싼 점 등의 문제가 제기되었다.

이상과 같이 기존의 반응고 금속 제조법은 교반중의 금속산화를 방지하기 위한 분위기 조절, 덴드라이트를 입상으로 만들기 위한 긴 시간 교반, 고 · 액 공존상태 유지를 위한 온도조절 등 많은 부대장치와 시간이 필요함으로 인한 제조단가가 고가인 단점이 있다.

본 연구에서는 기존의 반고체 금속 제조에 관한 연구개발 동향을 해설하고, 저자들이 1996년부터 수행하고 있는, 교반하지 않고 입상의 초정을 가진 반고체 금속의 제조법, 즉 냉각판을 이용한 반응고 금속 제조법 및 균일 가열법을 이용한 반응용 금속제조법에 대한 연구결과를 중심으로 소개하고자 한다.

#### 2. 반응고 · 반응용 금속의 개념

본 해설에서, 반응고 금속과 반응용 금속을 구별하여 사용하는 것은 제조법 및 사용법이 다르기 때문이

경상대학교 금속재료공학과, 생산기술연구소 (Dept. of Metallurgical & Materials Engineering Gyeong sang National University, Research Institute of Industrial Technology)

\*두레금속(주) (Dooray metal Ltd.)

\*\*현대자동차(주) (Hyundai Motors Ltd.)

다. 즉, 예를들면 반응고 금속은 Rheo-casting의 소재이며, 반응용 금속은 Thixo-casting의 소재로서 사용된다. 그러나, 두 금속의 근본적인 내부 구조의 차이점은 없다고 생각되기 때문에, 제조 및 사용법에 상관없이 고·액 공존상태로 되어 있는 금속을 반고체 금속이라고 지칭하기로 한다.

반응고 금속이란 그림 1과 같이 고·액 공존상태의 용탕에 생긴 초정 dendrite를 교반·파쇄하여, 미 응고의 액체에 분산시킨, 액상과 고상 입자의 혼합상태를 지칭한다. 이것은 냉각 및 교반의 정도에 따라 고상률 및 고상의 크기, 형상이 다르다.

반용용 금속은 반응고 금속 또는 일반의 주괴를 가열하여, 내부의 결정입계가 부분적 용해와 미용해의 결정립(고상입자)이 혼합상태를 이룬 것을 말한다(그림 2참조). 이것은 가열정도에 따라서 액상성분이 결정입계의 한정된 부분에 존재하는 경우(고 고상률 상태),

고상성분이 액상성분 중에 부유하고있는 듯한 경우(저 고상률 상태)가 있다.

### 3. 반고체 금속의 제조법

#### 3.1 반응고 금속 제조법

##### 1) 전자기적 교반법

- Rheo Tech에 있어서 동합금, 철합금의 고용점 금속에 이용
- 턴디쉬 → 교반·냉각조 → 배출노즐 → 슬러리 배출
- 내화물재의 코어를 겸비하여 노즐에서 배출유량 제어
- 고상률 0.3까지 가능

##### 2) 기계교반법

- 낮은 고상률에서 높은 고상률까지 광범위한 제조 가능
- Al, Cu합금에서 고상률 0.5까지 가능
- 슬라이딩·게이트의 개폐로 슬러리의 배출속도를 제어하여 고상률 제어
- Cell의 두께, 추출열속도, 전단변형속도, 고상률의 관계로 적정 작업 조건 설정

##### 3) 전단냉각 Roll법

- 빠른 냉각속도, 높은 고상률의 반응고금속 제조

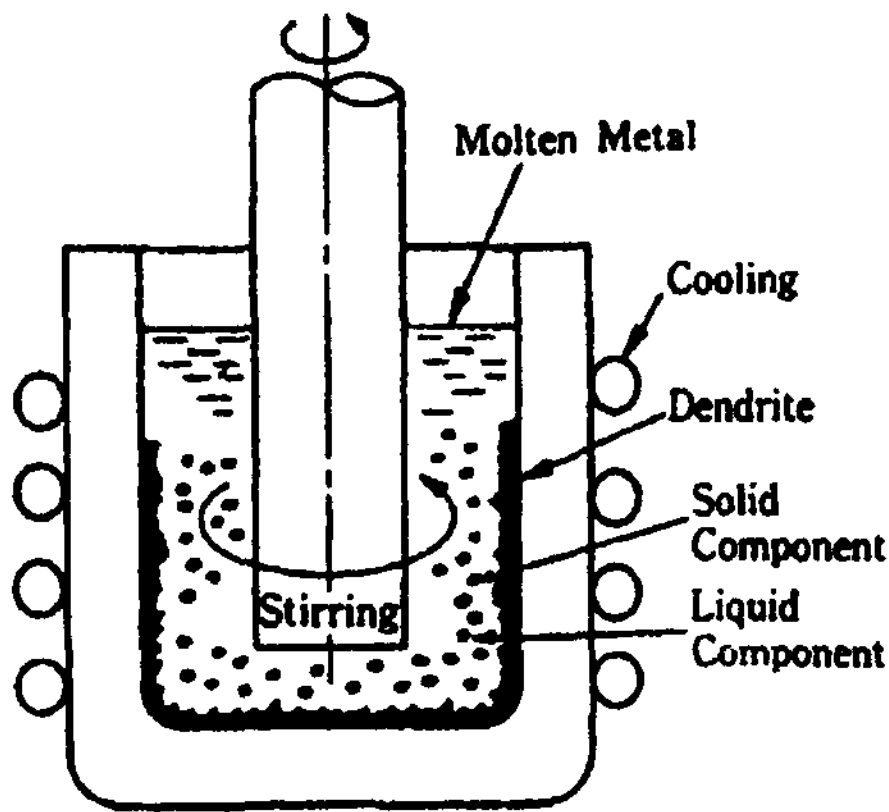


그림 1. 반응고금속의 제조법 개념도

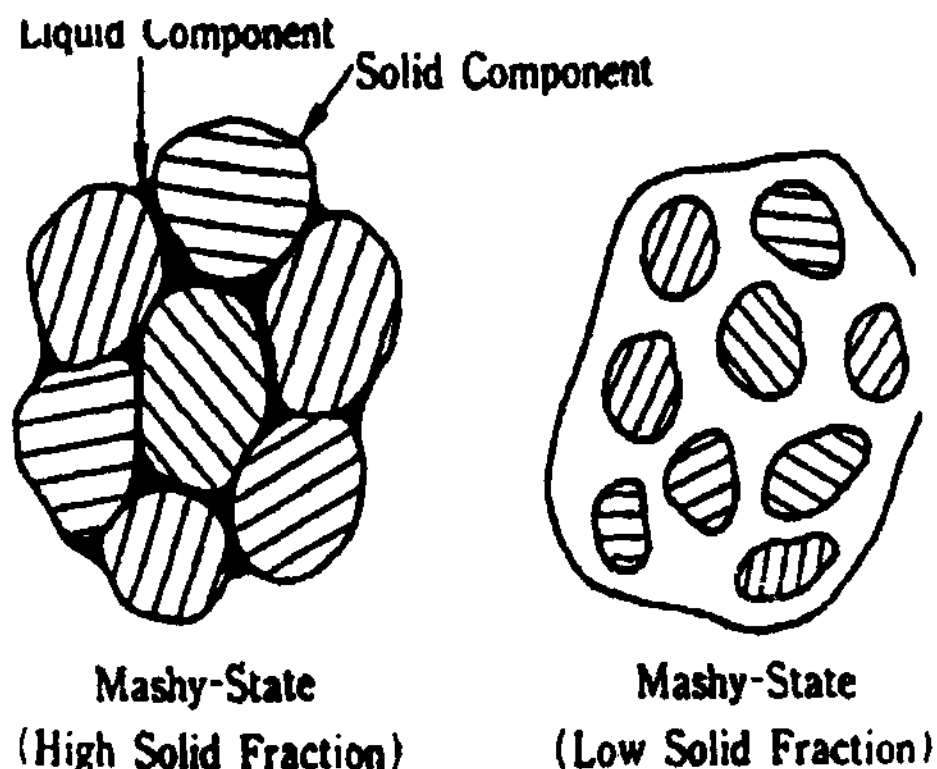


그림 2. 반응용금속의 내부구조개념도

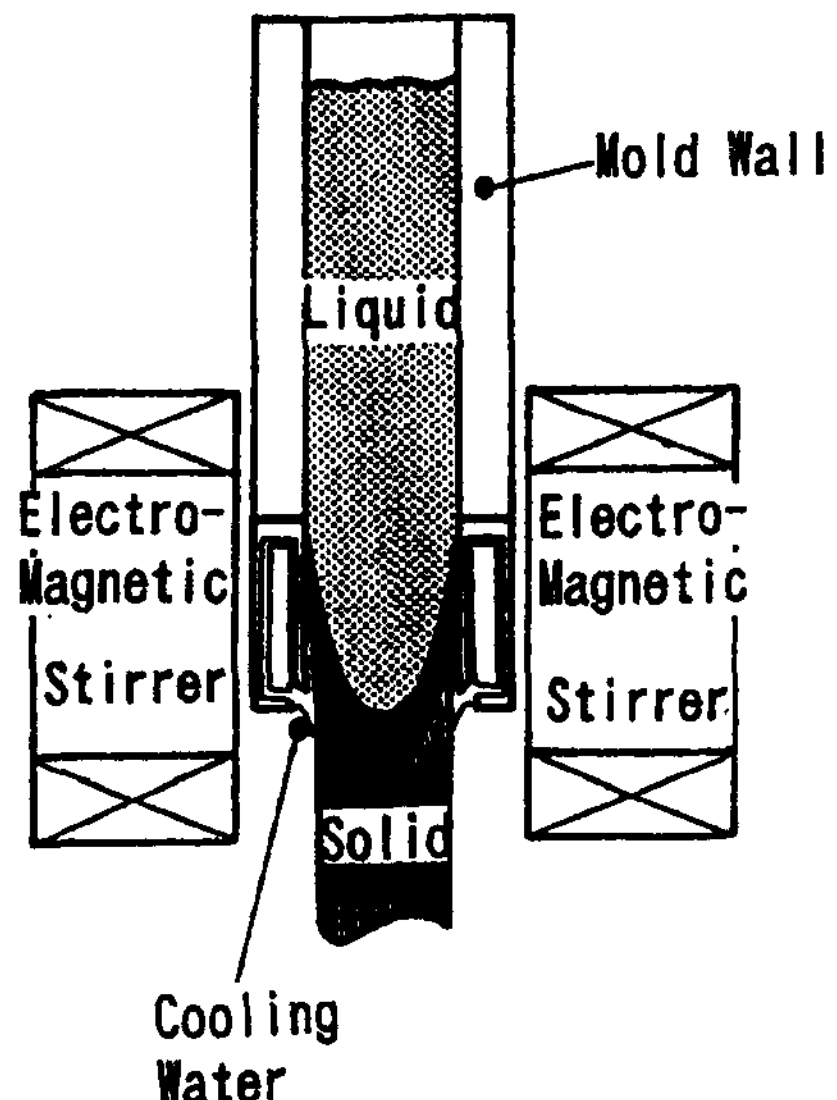


그림 3. 전자기적 교반법

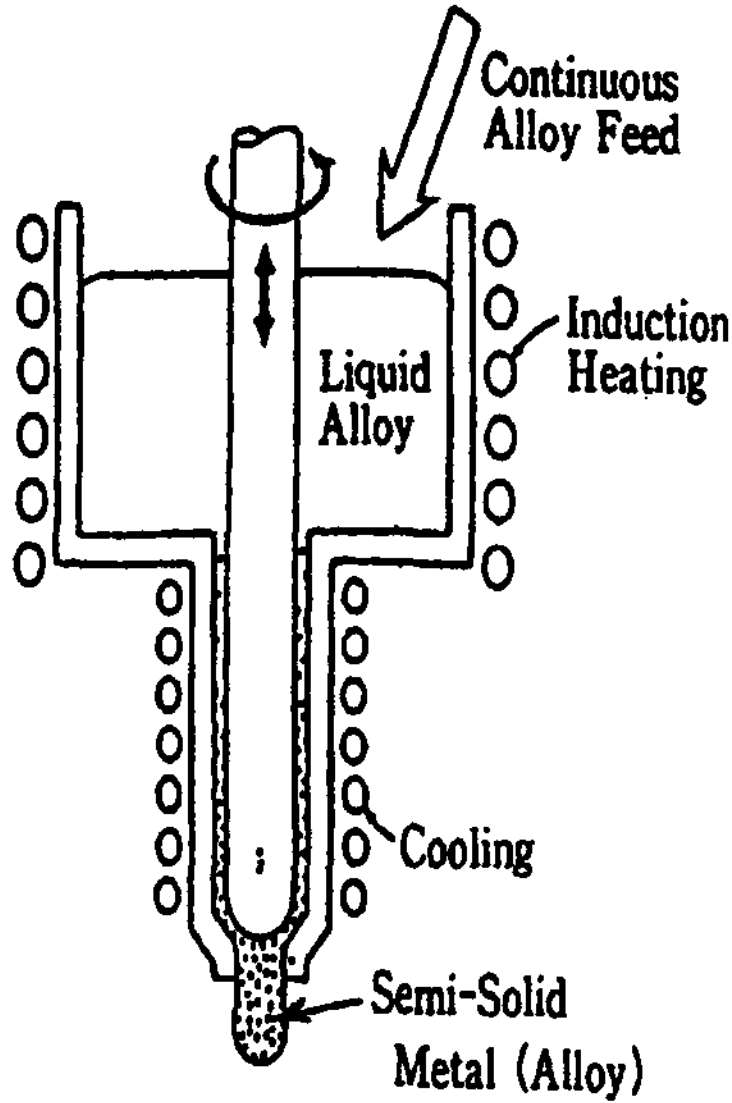


그림 4. 기계적 교반법

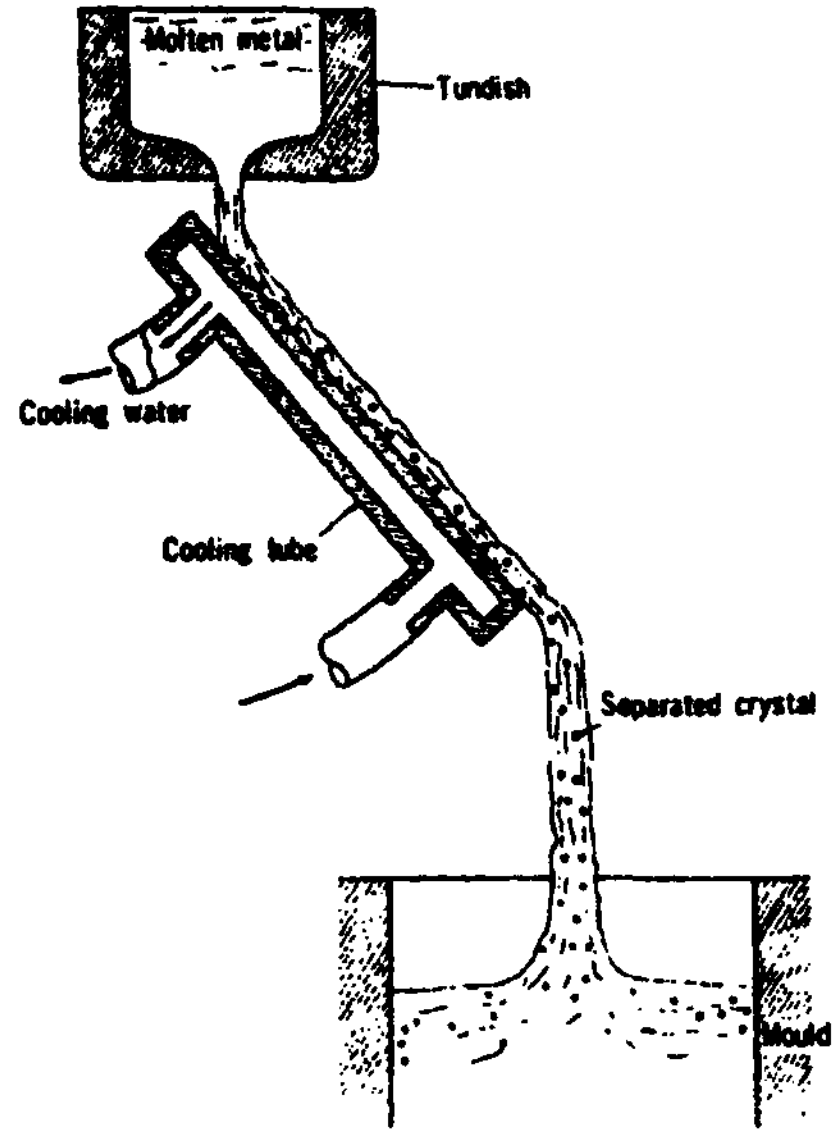


그림 6. 결정유리법

- 냉각 Roll → 고정판 → 슬러리상에서 이송
- Roll 표면에 생성된 응고 Cell의 두께제어기술이 중요
- Roll 회전수를 변화하여 고상률의 조정 · 제어

4) 결정유리법

3.2 반응용 금속 제조법

1) SIMA (Strain Induced Melt Activated) 법

- 고상합금에서 직접 반응고금속을 제조

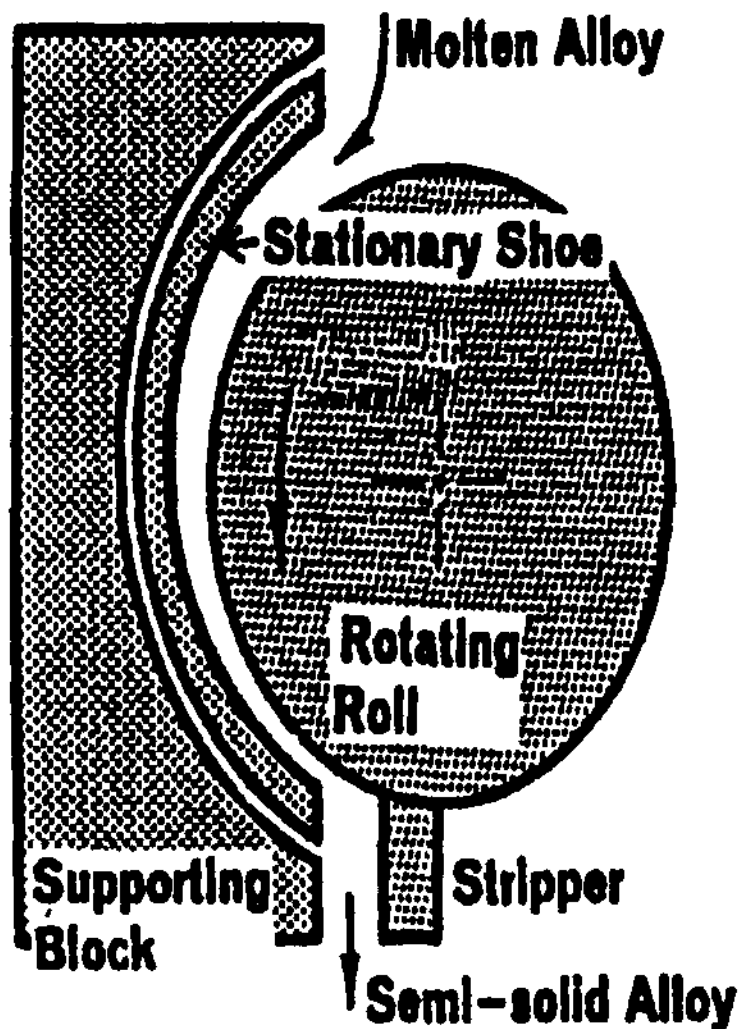


그림 5. 전단냉각 Roll법

- 고상의 합금에 소성변형을 가한 후 고 · 액공존 온도 영역으로 가열 후 덴드라이트 조직을 구형화 함
- Al, Cu 합금의 소형부품제조에 사용

2) 균일가열법

- 반응고금속 혹은 일반주조재를 균일가열하여 평형의 반응용상태
- 다원계 합금에서는 평형상태 유지곤란 → 적용 가능소재 한정
- 피가공재의 균일가열 및 온도분포 유지가 필요
- 용해 → 580°C에서 30~120분간 유지 → 수냉

3) 가열 교반법

- 피가공재를 가열하여 교반 가능한 반응용상태

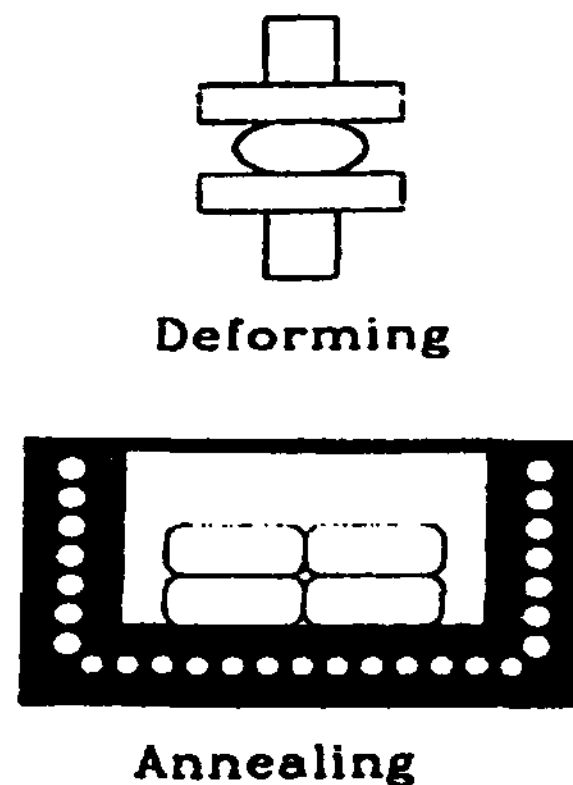


그림 7. SIMA법의 모식도

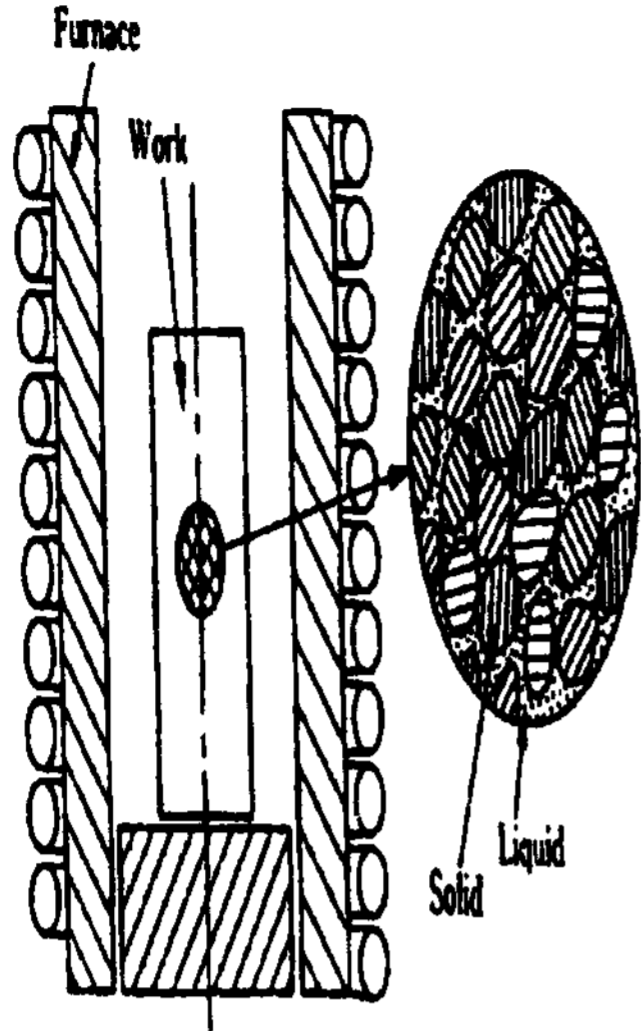


그림 8. 균일가열법

- 약간의 기계적 교반 → 거시적인 평형상태
- 교반(저속의 교반)은 가열온도의 불균일에 기인하는 고상율의 불균일 제거가 목적
- 교반으로 안정한 반 용융상태로 하기 용이 → 광범위의 소재 적용가능
- 높은 고상률이 요구되는 가공법에 적용 불

#### 4. 반고체금속 가공의 특징 및 가능성

##### 4.1 특징

- ① 내부결함, 편석 등의 주조결함 제거가 가능하다.
- ② 미세한 조직을 얻을 수 있다.
- ③ 종래의 주조법으로 제조 불가능한 합금을 제조

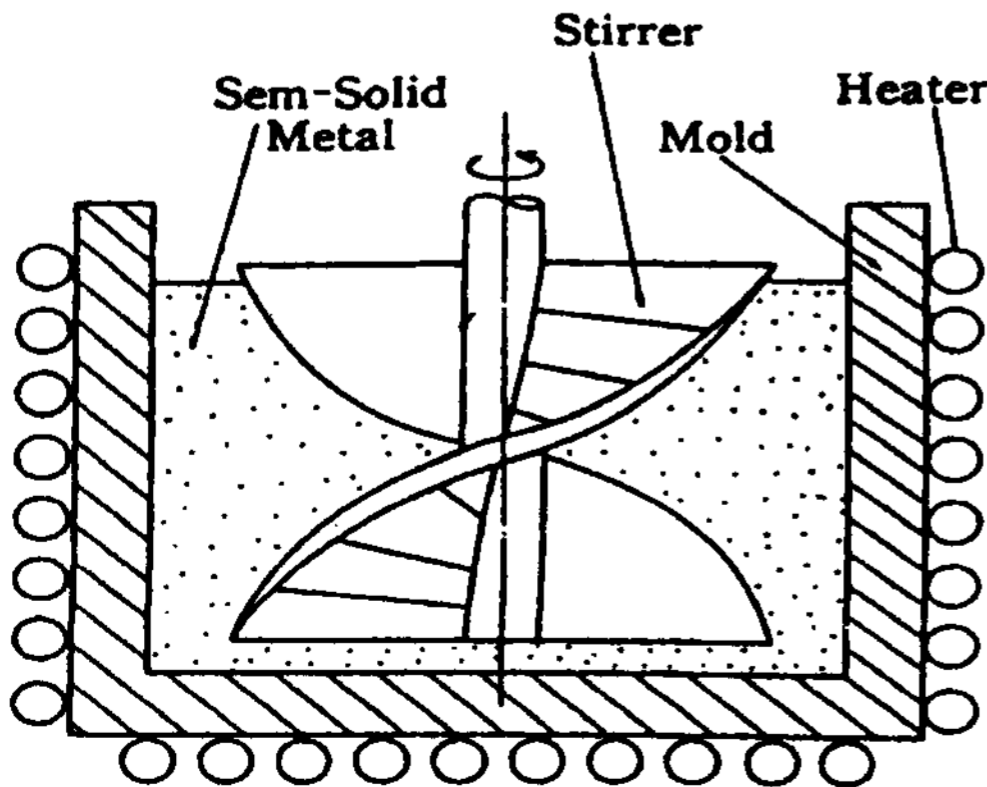


그림 9. 가열교반법

가능하다.

- ④ Net shape 또는 near net shape로 제조 가능하다.
- ⑤ 장치의 수명이 증대된다.

##### 4.2 가능성

- ① 변형저항이 대단히 낮기 때문에 작은 가공력으로 큰 가공율을 달성.
  - 가공기계 및 설비의 소형화 · 간단화 → 가공의 고효율화 · 에너지 절약.
- ② Near net shape 부품의 제조가 가능.
  - 가공공정의 단축, 소재 회수율 향상 → 에너지 및 자원의 절약
- ③ 난 가공재의 길고, 박육 소형재의 대량생산.
  - 신 기능 · 고기능 제품 또는 부품 개발,
  - 후가공 공정 절감, 소재 절약, 회수율 향상
- ④ 기계적 성질 개선 및 내부 결함 억제 → 부품의 고성능화 및 수명 향상.
- ⑤ 금속가공 시의 가열과 냉각에 의한 열 에너지의 절감.
- ⑥ 열간 및 냉간가공성이 우수한 소형재의 제조 가능.

#### 5. 무교반법에 의한 반고체금속 제조법 및 조직

##### 5.1 냉각판을 이용한 반응고 금속 제조

그림 10은 저자들이 이용한 실험장치를 나타낸 것으로서 크게 용탕 주조부, 입상조정 생성장치, 연속주조부의 세부분으로 구분되어 있다.

그림 11은 입상조정 생성장치의 개략도와 함께 용탕을 주조하는 부분을 나타낸 그림으로서, 본 연구에서는 (a) 윗부분 및 (b) 중간부분에서 주조하였으며, 그림 12는 예비실험시와 연속주조시의 시험편의 크기를 그림으로 나타낸 것이다. 예비실험시에는 길이가 100 mm, 직경이 78 mm인 원추형의 주괴를 제조하였으며, 연속주조시에는 길이가 400 mm, 직경이 53 mm인 원추형의 주괴를 제조하여 각각의 미세조직을 관찰하였다.

그림 13은 외국에서 수입한 A356 Al합금의 미세조직을 관찰한 그림으로 이 그림에서는 여전히 수지상정이 상당히 존재하고 있음을 알 수 있다. 조정 α상의 크기는 약 30~40 μm 정도임을 알 수 있다.

그림 14는 본 연구에서 제조한 잉곳트의 미세조직 사진으로 그림 11의 (a)부분에서 용융금속을 흘려 제

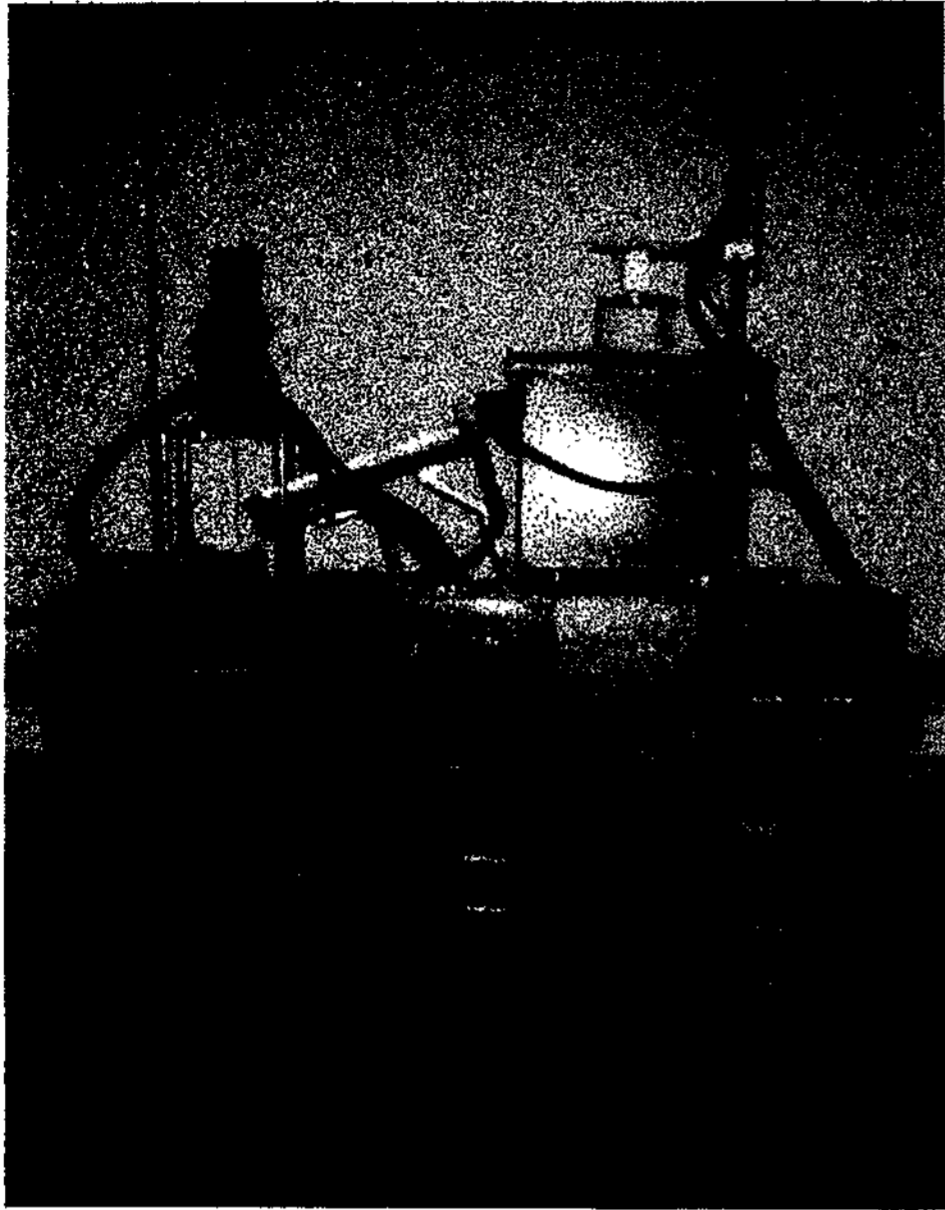


그림 10. SSM 실험장치

조한 것으로 초정  $\alpha$ 상의 크기는 약  $50 \mu\text{m}$ 로서 그림 13에 비하여 다소 크지만 전체적으로 구형의 미세한 초정  $\alpha$ 상을 관찰 할 수 있다. 그림 15는 그림 11의 (b) 부분에서 용융금속을 흘려 제조한 것으로 초정  $\alpha$ 상의 크기는 약  $53 \mu\text{m}$ 이며, 여기서도 구형의 미세한 초정  $\alpha$ 상을 얻을 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 전자기적 교반법이나 기계적교반법과는 달리 교반을 하지 않고도 미세한 입상의 초정  $\alpha$ 상을 얻을 수 있음을 관찰 할 수 있었다.

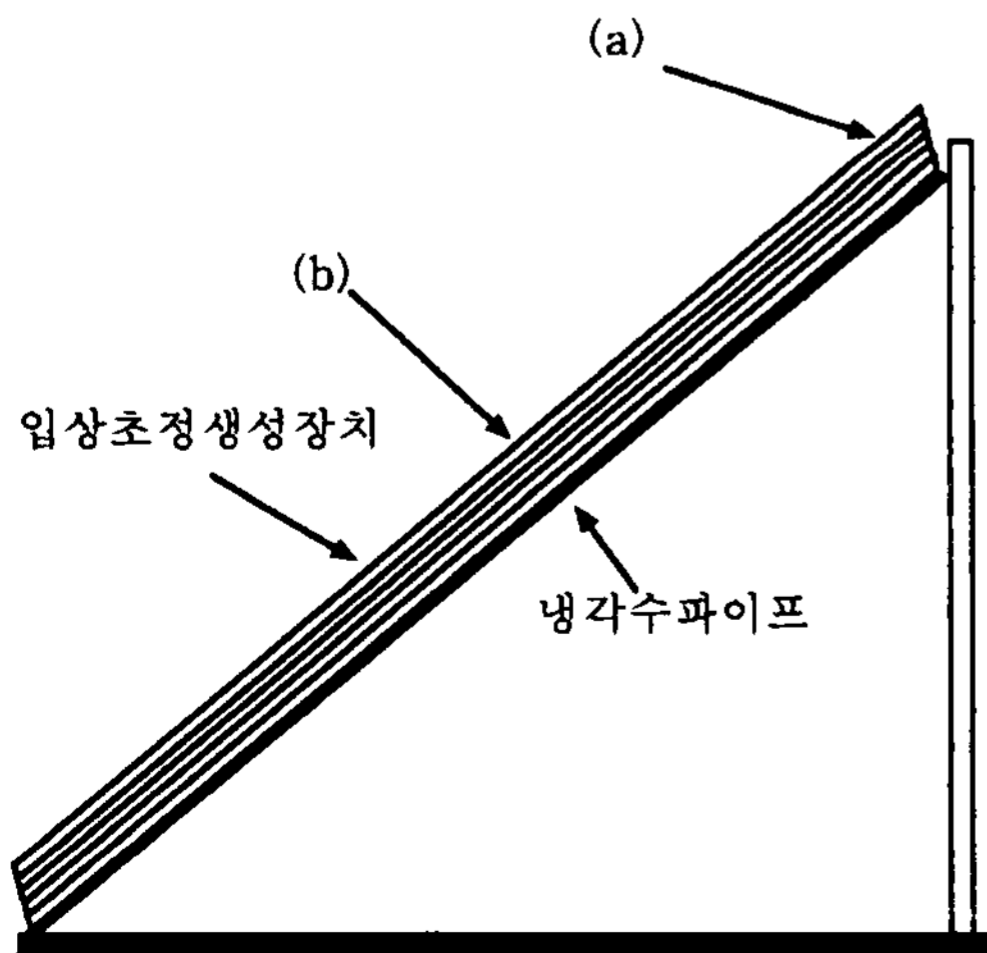


그림 11. 냉각판의 개략도

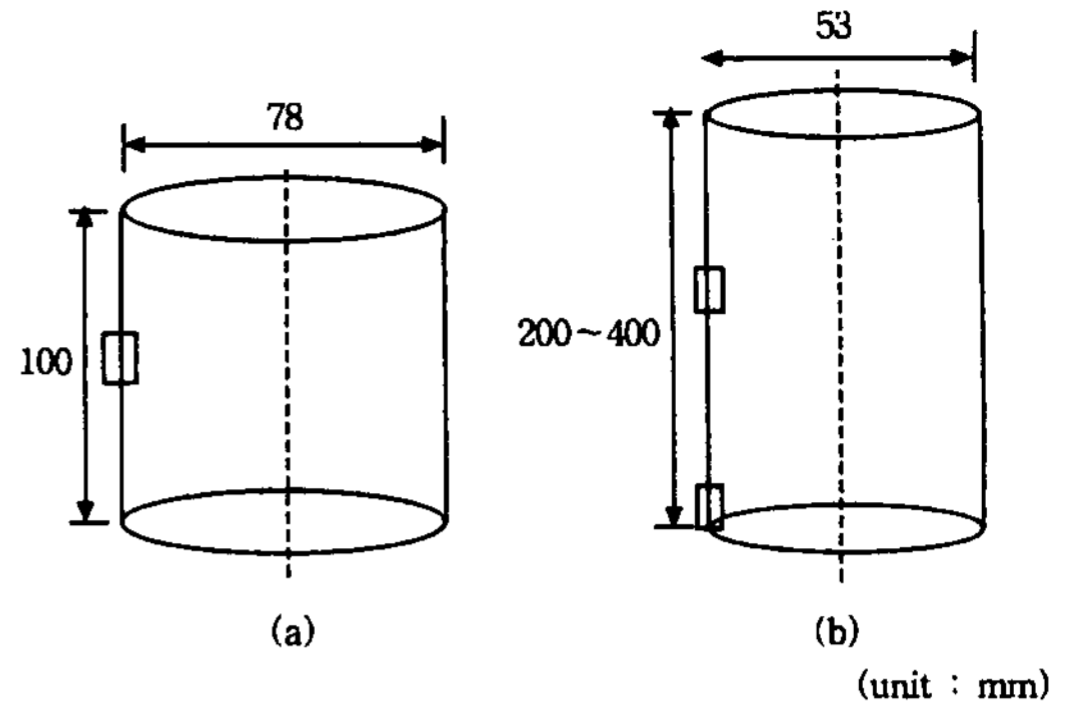


그림 12. 시편채취부

### 5.2 균일 가열법을 이용한 반응용 금속

균일 가열법은 모재를 가능한 균일하게 가열하여 그 내부에 일정한 형태의 반응용 상태를 만들려고 하는 것인데 금속학적 등으로 일정한 형태의 고상을 분포를 만들어 내는 것이 용이하지 않다. 즉 모재의 균일한 가열상태 또는 균일한 고상을 분포를 실현하기 위해 가열로의 형상, 치수, 가열방법, 승온제어방식, 모재의 장입 및 유지방법 등에 대해서 적정조건을 선택해야 한다.

본 연구에서는 균일 가열법에 의한 적용가능성을 탐색하기 위하여, 반응용 Al-Si과공정 합금의 재가열

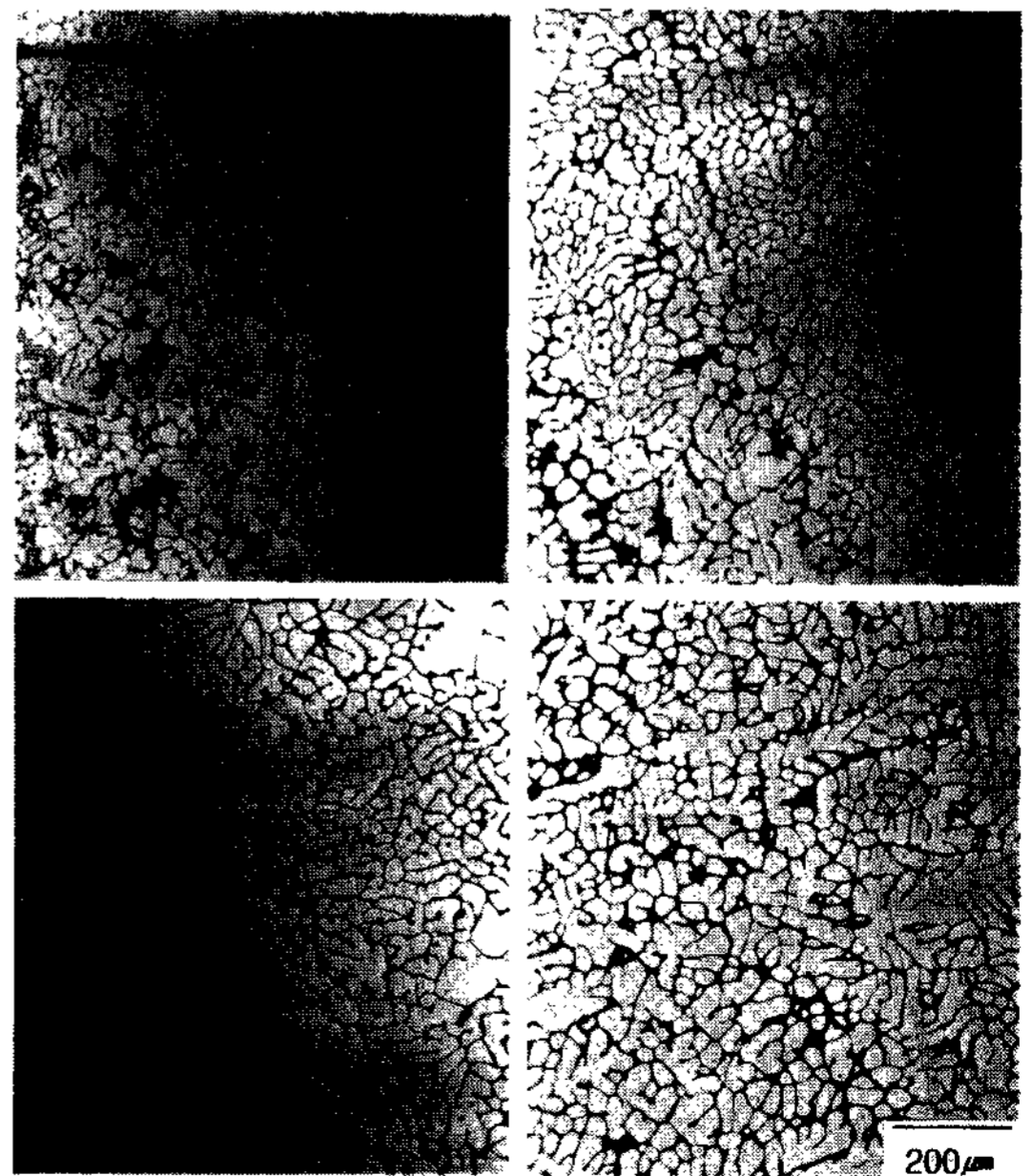


그림 13. 수입한 A356 Al합금의 미세조직

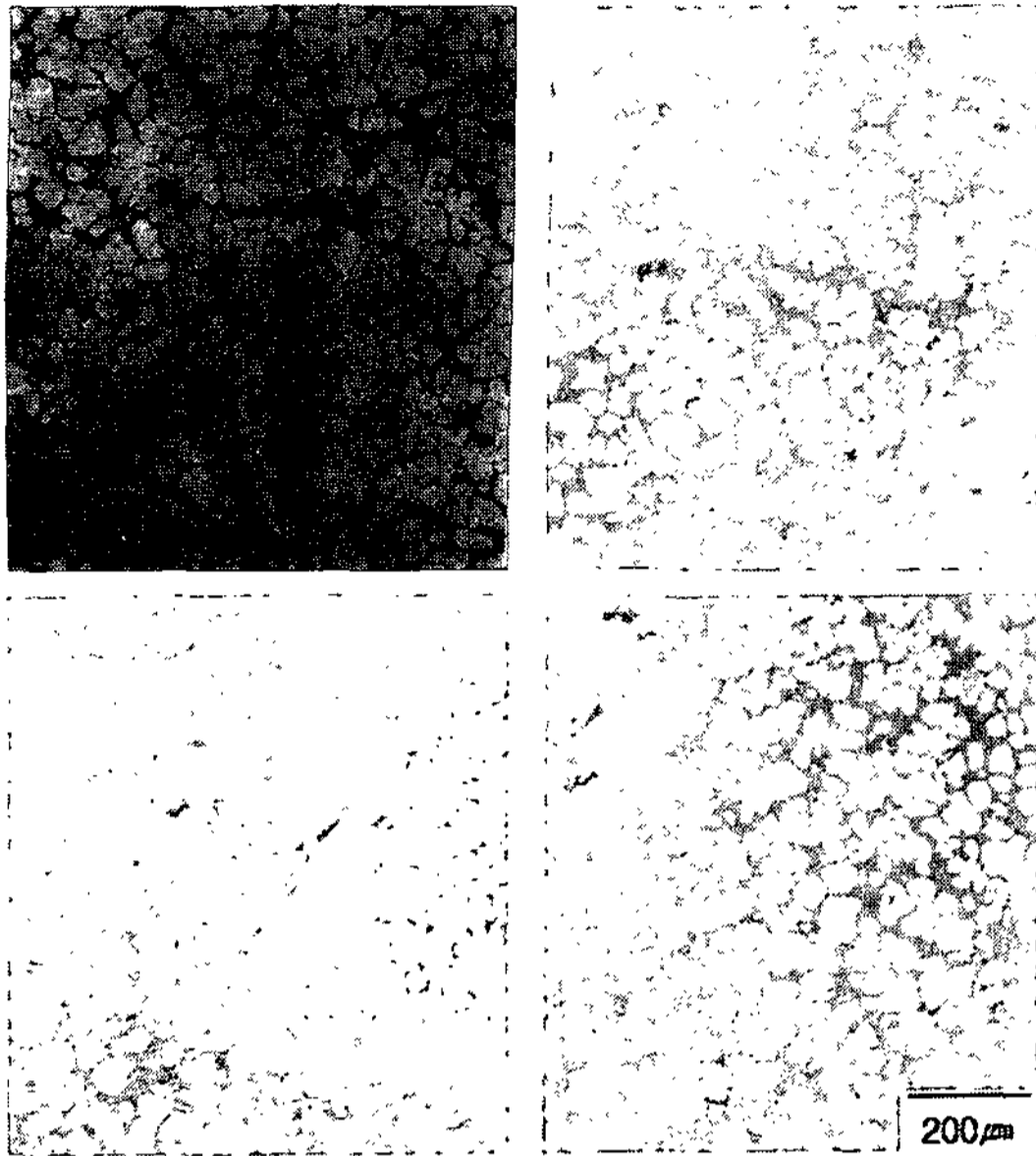


그림 14. 냉각판으로 주조 후 수냉한 A356 Al합금의 미세조직

에 따른 미세조직변화를 관찰하고 유동성을 조사하고 잉고트를 용해하여 급속 응고로 미세한 덴드라이트를 갖는 빌레트를 제조한 다음 고액 공존 온도로 재가열하여 구형의 α상을 형성 시키고 재가열 온도와 재가

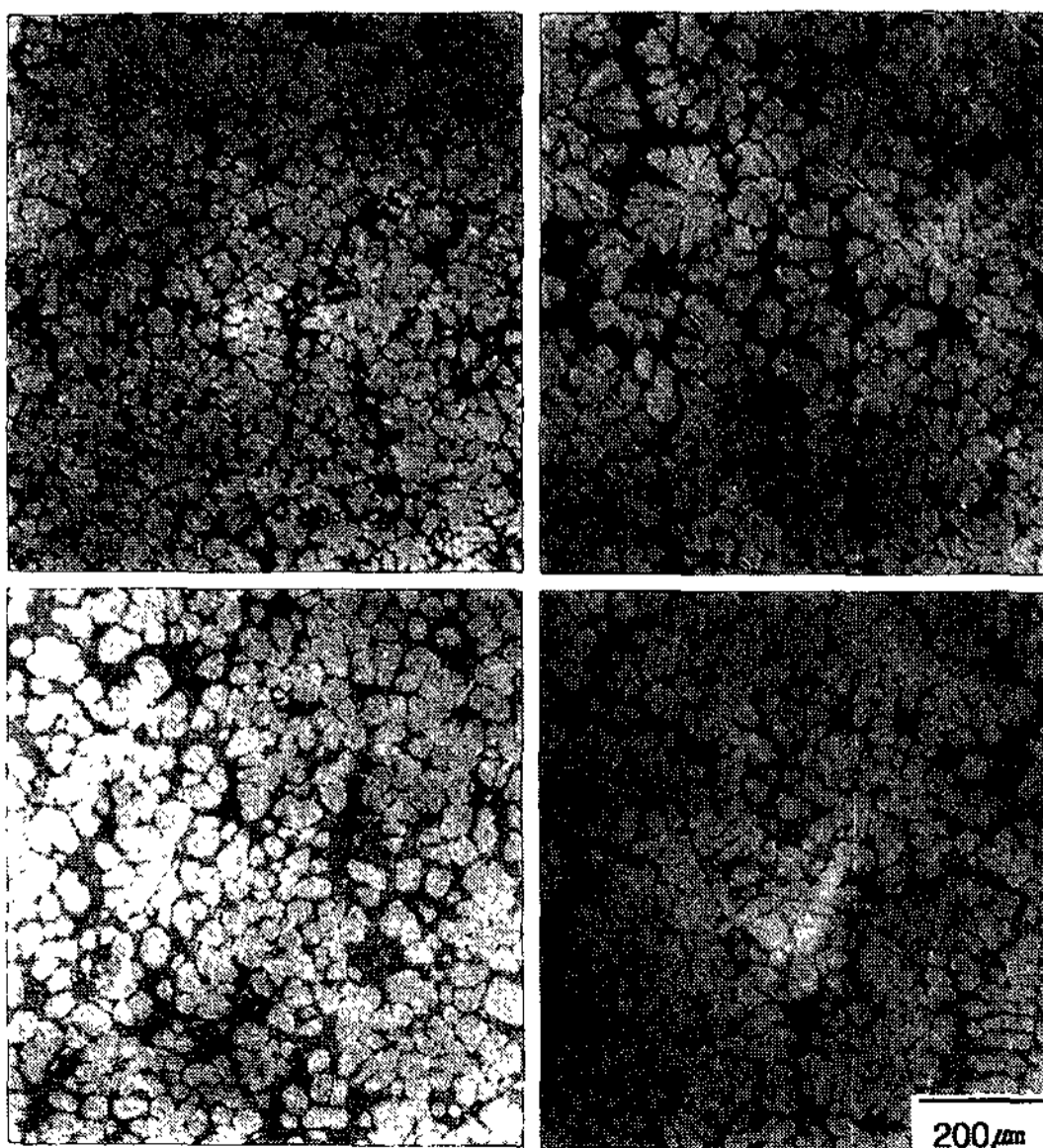


그림 15. 냉각판으로 주조 후 수냉한 A356 Al합금의 미세조직

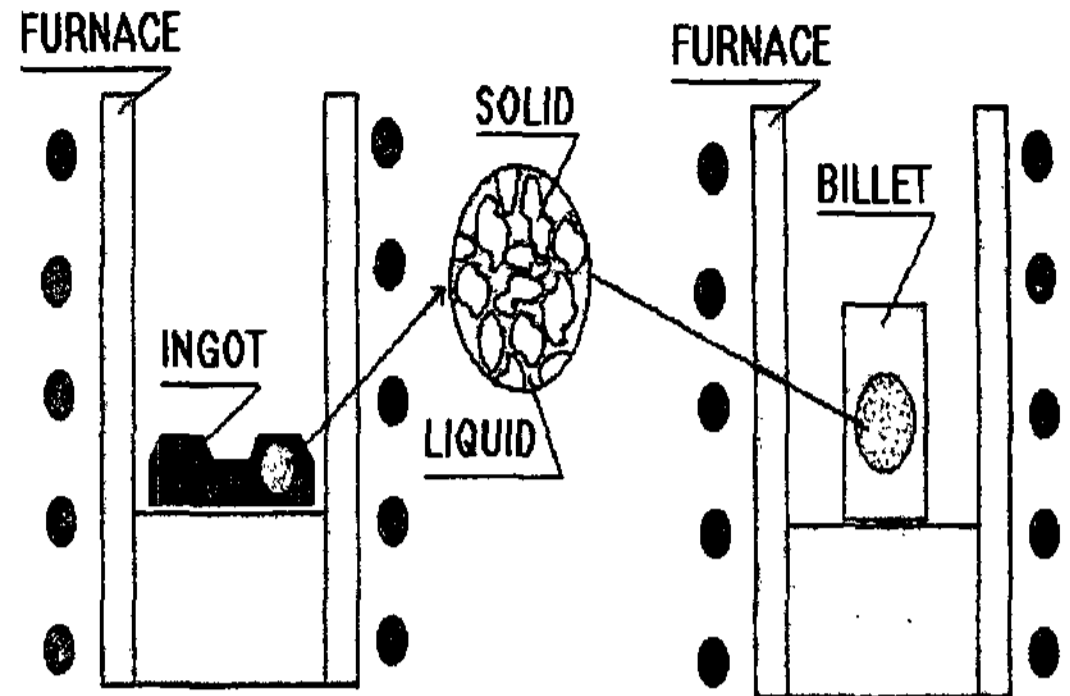


그림 16. A390 Al합금의 균일가열.

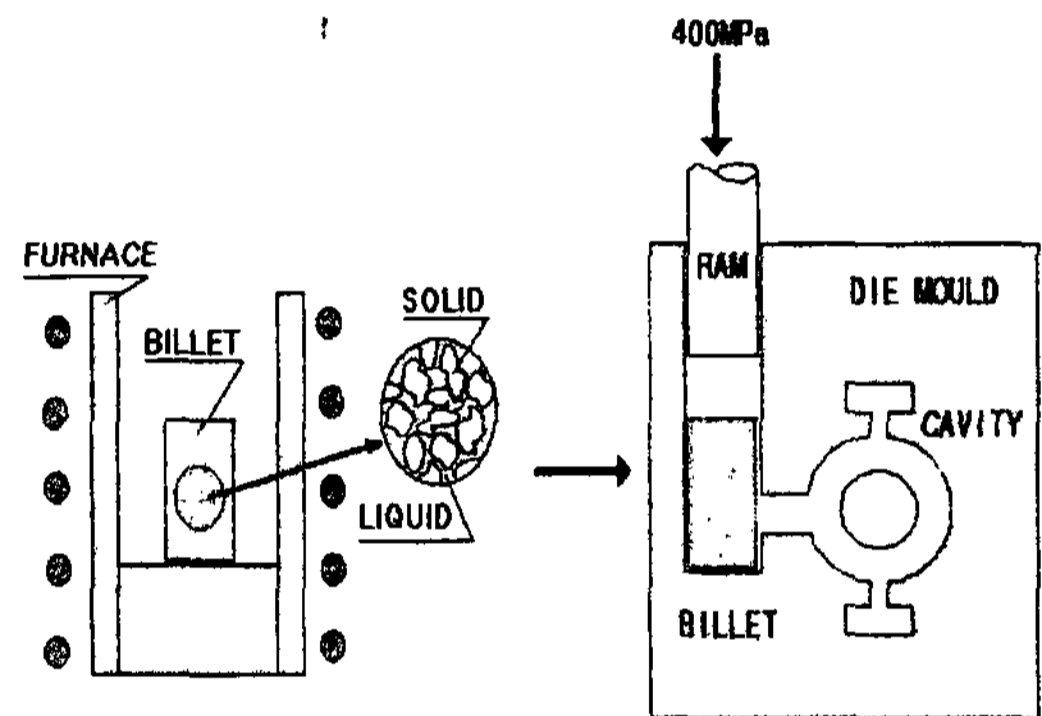


그림 17. Swash plate의 반응용가공 개략도.

열 유지시간에 따른 고상율을 측정하고 그 때의 성형성을 조사하였다. 그림 16은 본 연구에 사용한 전기로

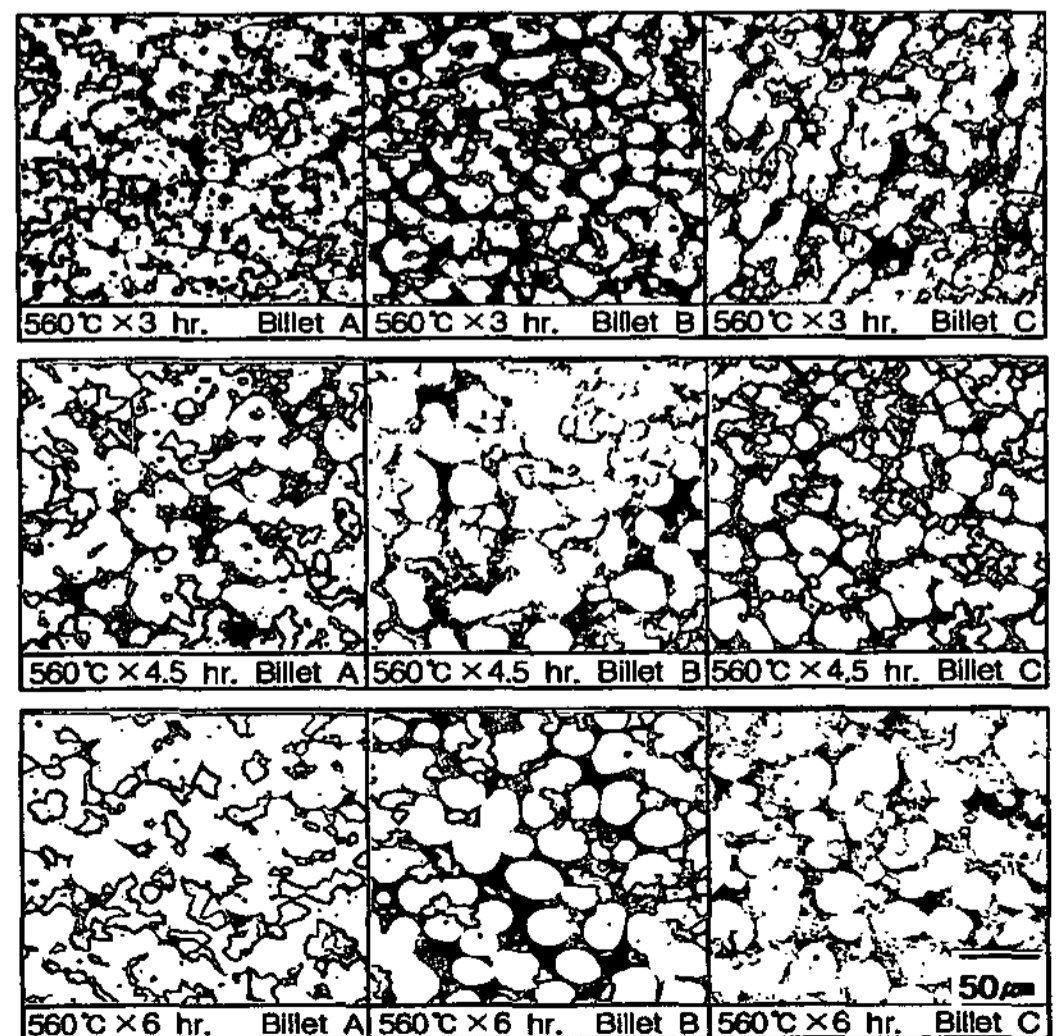


그림 18. A390 Al합금 빌렛의조직(560°C에서 3, 4.5, 6시간)

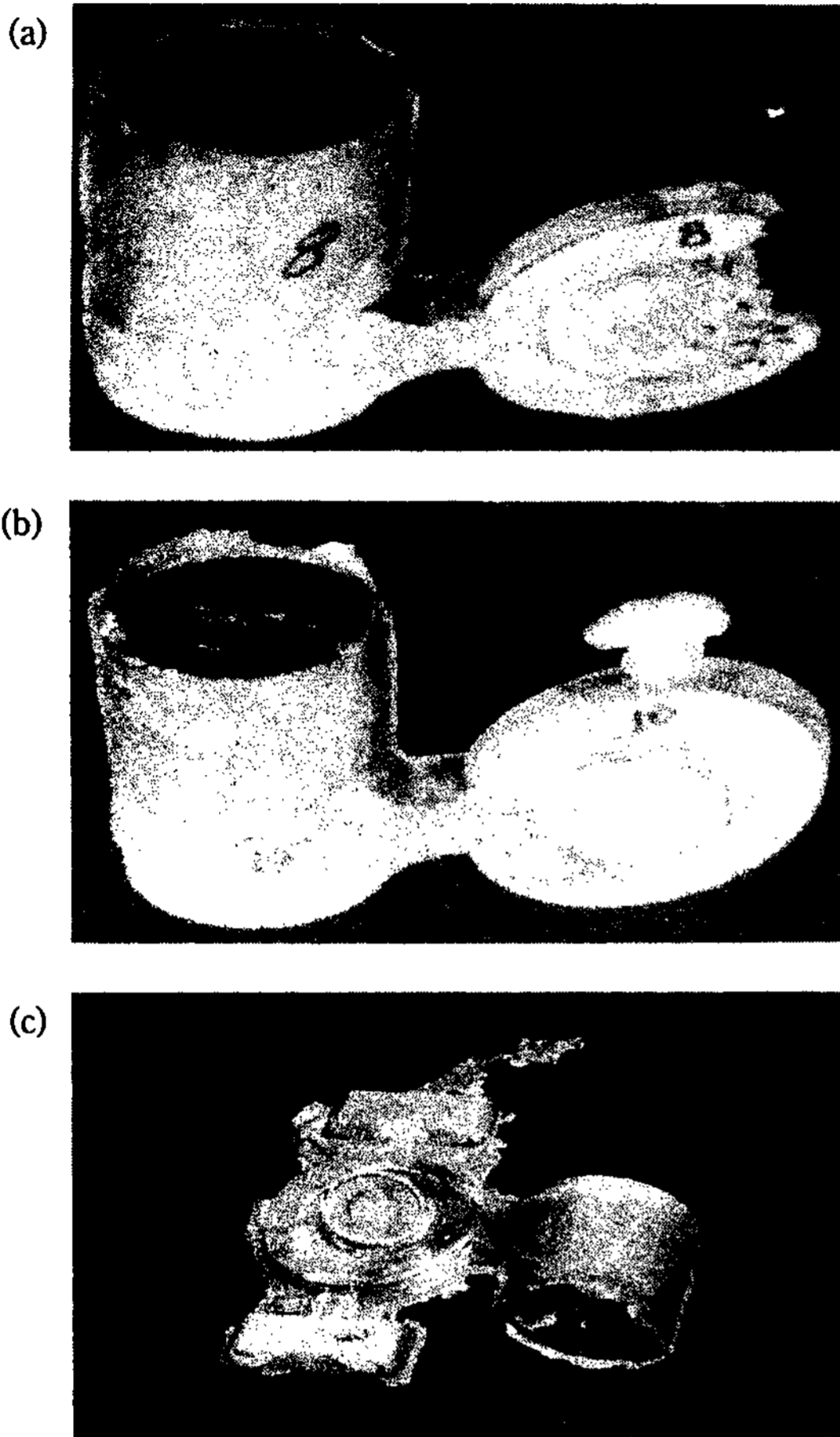


그림 19. 금형온도에 따른 Swash plate의 충전성 (a) 280°C, (b) 290°C, (c) 300°C

를 나타낸 것으로 제조한 빌렛트를 560°C~600°C사이의 구간으로 가열하여 10분~6시간 유지시키면서 이때의 고상률, α상의 형상, 초정 실리콘 입자의 크기 등을 금속현미경으로 관찰하였으며, Swash plate성형 실험에 사용한 소재는 균일 가열후 그림 17과 같이 가압 주조 장치를 이용하여 주조 성형하였다.

그림 18은 다른 조건에서 제조한 세 종류의 빌렛을

사용하여 560°C에서 각각 3시간, 4.5시간, 6시간 가열했을 때의 조직을 나타낸 것이다. 세 시편 모두 시간이 증가함에 따라 고액계면에서 상호 작용이 일어나고, 고액간의 용해가 점점 진행되어 액상영역이 증가하고 있으며, 초정 α상의 크기는 평균 50μm정도로 세 경우에 있어서 비슷하였다. 그림 19는 금형의 예열온도에 따른 충전거동 실험의 결과로서 300°C이하인 280°C와 290°C에서 성형한 경우 충전 부족이 발생하였고 300°C에서 충분한 충진이 이루어졌으며 300°C이상의 온도에서 완전충진이 예상된다.

### 6. 결 언

반응고 용융금속에 관한 기존의 제조법, 현황, 장래 가능성, 문제점 등을 개략적으로 기술하였으나 실제 공업화하기 위해서는, 온도·분위기 제어기술, 공구재료기술, 큰 빌렛의 급열·급냉기술, 유동성 제어기술 등 여러면으로 연구개발이 이루어져야 할 것이다.

이 기술은 현재 Al, Mg합금의 다이캐스팅에 응용하려는 연구개발이 주된 것이나, 추후 연구개발의 성과에 따라서는 주물 및 주강업계에도 변화를 가져올 가능성이 있다. 현재 이 기술은 실용화를 위한 움직임이 세계적으로 고조되어, 경쟁체제에 돌입되어 있다. 고품질·고생산성등의 가능성이 큰 이 기술의 국산화를 위해서는 각국의 특허 내용을 충분히 검토하여 분쟁의 여지를 없게 하기위한 기술 및 정보교류화의 활성화가 필요할 것으로 생각한다.

### 후 기

본 기술자료는 경상남도, 중소기업청 경남사무소 두레금속(주), 경상대학교가 공동지원한 산학연 컨소시엄 공동기술 연구의 결과 일부입니다.