

研究論文

# 급냉응고 시킨 Al-Pb 합금의 응고조직에 관한 연구

金容吉\* · 金東勳\*\*

A Study on the Solidified Structures of Al-Pb Alloy Solidified by Rapid Cooling

Yong-Kil Kim and Tong-Hoon Kim  
College of Engineering, Seoul National University  
Seoul, Korea

### ABSTRACT

The present investigation was made to obtain a fine distribution of Pb Particles in Al-Pb binary alloys, which have a broad miscibility gap and large specific difference, by means of rapid Cooling of the molten alloys. Al-2.4wt% Pb, Al-5.5wt% Pb and Al-8.0wt% Pb alloy were used.

The rapid cooling operation was performed by free falling of homogeneous liquid Al-Pb alloys into the water-cooled copper mold, and thermal analysis was made. Microstructures were observed, and variations of size and number of Pb particles were analysed by analyzer.

By the result of examination with the varying cooling rates 100 to 210°C/sec fine distributions of Pb particles were obtained with high cooling rate.

Under same cooling condition, the best rapid cooling effect was recognized in Al-5.5wt% Pb alloy.

## 1. 서론

Al 합금을 용융상태로부터 급냉응고시킨 경우 조직과 구조의 현저한 변화가 일어나고 그것들의 변화에 따른 조직미세화강화,<sup>1)</sup> 고용체강화,<sup>2-3)</sup> 분산강화<sup>4)</sup> 등에 의해 기계적성질등이 변화한다. 또한 균일 액상온도로 부터 급냉시켰을때 그 고용량을 증

가시키는 것이 가능하다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 Al에 Pb를 첨가하여 급냉응고시켜 그 Pb입자상의 분산조직을 분석 검토하였다.

공용간극 (共容間隙 · miscibility gap) 을 가지는 합금계들은 대부분 먼저 편정반응을 일으키고 그 다음 그 보다 낮은 온도에서 공정반응을 일으킨

\*서울대학교 대학원생

\*\*서울대학교 공과대학 교수

다.<sup>6)</sup> 공업적으로 이러한 합금계들은 쾌삭합금 및 베아링합금등의 중요한 합금을 이룬다. Al-Pb합금 역시 2액상 분리 영역이 매우 넓고 또한 고온까지 확장되어 있다.

따라서 658.5°C, 1.52 wt % Pb에서 편정반응을 일으키고, 이때 Al중에 Pb가 1.52 wt Pb밖에 고용이 되지 않으므로 편정반응 후 남은 Pb rich한 잔액이 326.8°C에서 공정반응을 일으킨다.<sup>7)</sup>

보통 주조시에는 Al상과 Pb상과의 비중차가 커서 중력편석을 일으키므로 균일한 Pb가 분포되는 합금을 얻기가 곤란하다. 그러나 강판과의 bimetal bearing으로서의 저성능 babbit bearing과, 삼층베아링으로서 babbit층을 얇게 입힌 Cu 또는 Al의 고성능 베아링 사이의 중간하중을 받는 곳에 사용하는 중간 성능의 베아링 재료로서 M.L. Mackey<sup>8)</sup> 등에 의해 근래에 Al-Pb합금 (Al-8.5% Pb - 4.0% Si - 1.5% Ti - 1.0% Cu)이 개발되었다. 이것은 1960년대 초기에 시판되기 시작한 Al-20% Sn합금보다 피로강도, 내마멸성, 내소착성등이 우수하고 같은 정도의 내식성을 생산하기 위하여 공업적으로 사용된 분말야금법보다 공정이 덜 복잡하고 설비면에 있어서도 유리한 방법으로 급냉응고법을 시도하였다. 베아링 재료에서는 국부적인 면압이 반복적으로 가해지므로 높은 내마멸성 및 기계적 성질이 요구된다. 그러기 위해서는 조직이 균일하고 미세한 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 일종의 연속 주조 형태로서 Pb입자상의 미세하고도 균일한 분산을 얻기 위하여 Al-Pb합금의 균일액상으로 부터 급냉응고 시켰다. 이렇게 얻어진 시편의 조직에 대해서 Pb상의 크기 및 분산수가 시편두께, 냉각속도 및 Pb 함유량에 따라 변화되는 양상을 조사하고자 시도하였다.

## 2. 실험방법

공업용 Al(99.5%)에 순수한 Pb(99.99%)를 첨가하여 Al-2.4 wt % Pb, Al-5.5 wt % Pb, Al-8.0 wt % Pb합금으로 하여 봉상의 주괴를 만들었다. 이것을 다시 절단하여 2액상 분리 곡선 위 약 200°C온도까지 가열, 용해하여 완전히 균일한 액상이 되도록 한 다음, 각각의 조성에 따라 950

C, 1000 C, 1050 C에서 용탕을 잘 교반하고 약 5분간 유지시킨 후 stopper (흑연봉)를 열어 열전대가 설치된 주형에 자연낙하, 주입, 응고시켰다.

Fig. 1에 급냉응고 장치를 나타낸다. 장치는 전기저항로 안에 stopper가 장치된 흑연도가니를 놓고 그 밑에 약 30 cm 되는 위치에 주형이 설치된

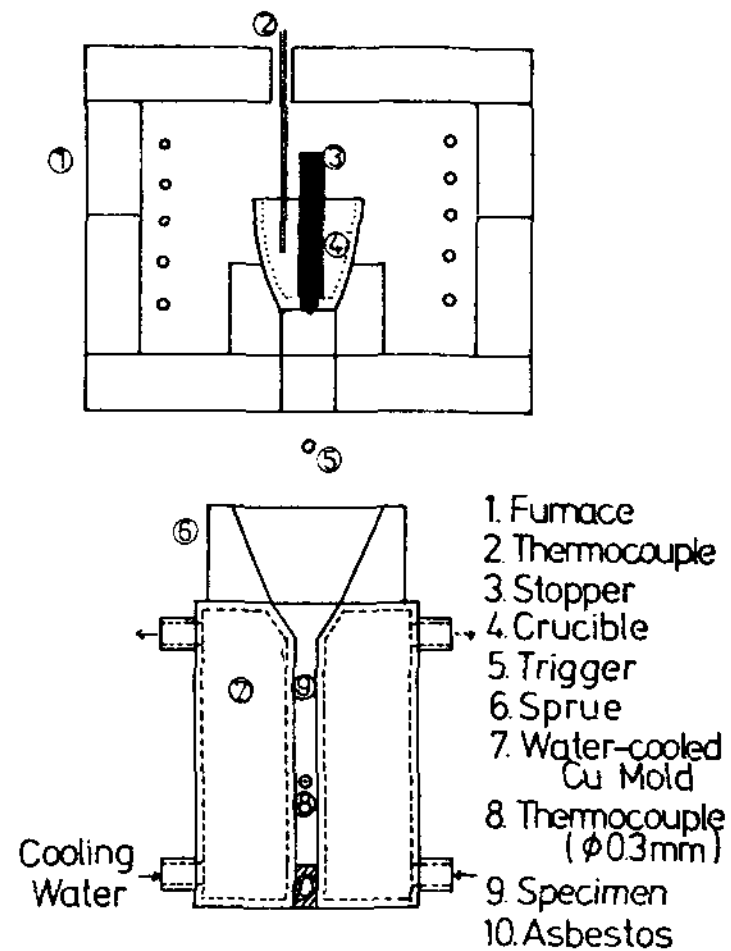


Fig. 1. Schematic Diagram of the Apparatus for Rapid Cooling.

것으로 이루어져 있다. 주형은 두께 1 mm의 구리판을 용접하여 만든 것으로 두개로 분할되어 있으며 냉각수가 순환하게 되어 있다. 그리고 시편두께를 조절하였다. 열전대는 지름 0.3 mm의 알루미늄-크로멜선으로 두 주형 사이에 옆으로 평행하게 설치하여 시편과 함께 응고 되도록 하고 미리 전류(약 6A)를 흘려 주어<sup>10)</sup> 예열시킴으로써 용탕이 낙하 주입되었을 때 온도변화를 민감하게 기록하도록 하였다. 이때 relay 회로<sup>9)</sup> (Fig. 2)를 설치하여 용탕이 떨어지면 trigger에 의해 열전대로의 예열 전류가 차단되고 열전대로부터의 기전력이 전자 오실로그래프 (rapicorder RMV-500 series)에 기록되도록 장치하여 냉각곡선을 얻었다.

시편의 형상을 폭 15 mm, 길이 65 mm로 두께는 2 mm ~ 11 mm까지 변화시켰으며 각 시편들의 열전대 부근을 chill면에 수직한 방향으로 절단하여 연마를 한 후 두께거리비율 [표면으로 부터의 거리 / (시편두께 12)]이 0 (표층부), 0.5, 1 (시편 중

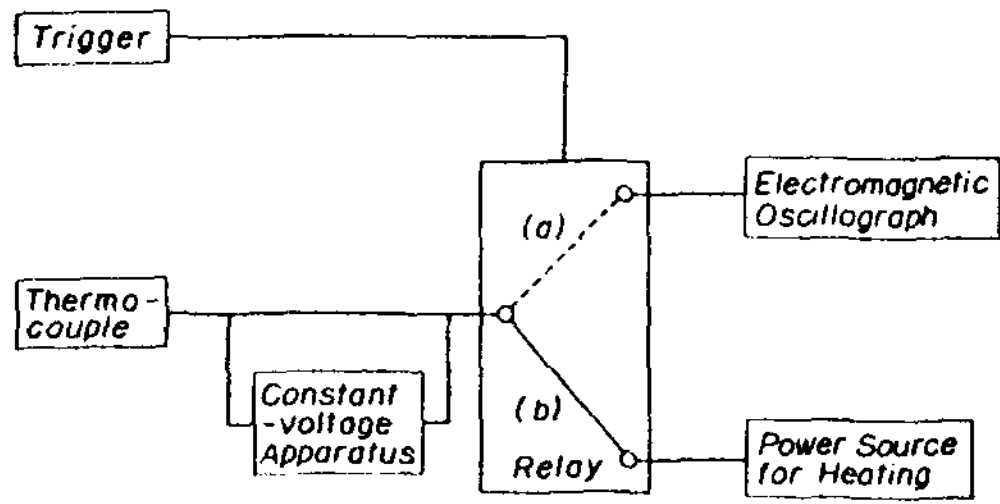


Fig. 2 Thermal analysis circuit of rapid cooling. (a) after the trigger is short-circuited by the molten metal, and (b) before short-circuited

양부) 되는 지점에서 분산조직에 대해 Pb 입자상의 크기 및  $0.005 \text{ mm}^2$  당 Pb 입자상의 분산수를 Nireco 제 particle analyzer 로서 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 급냉 열분석 결과와 냉각속도

Photo. 1은 Al-5.5 wt % Pb 합금의 두께 2.5 mm 시편을 만들었을 때 얻어진 냉각곡선으로서 예시적으로 나타낸 것이다. 여기에 나타난 온도정지부는 대부분의 Al이 응고하는 온도 즉 편정반응이 일어나는 부분이며 모든 조성에서 시편의 두께가 두꺼워짐에 따라 온도정지부가 길어졌다. Pb rich 한 잔액이 응고하는 공정반응에서의 온도정지부는 Pb의 양이 적음으로 인해 거의 나타나지 않았다.

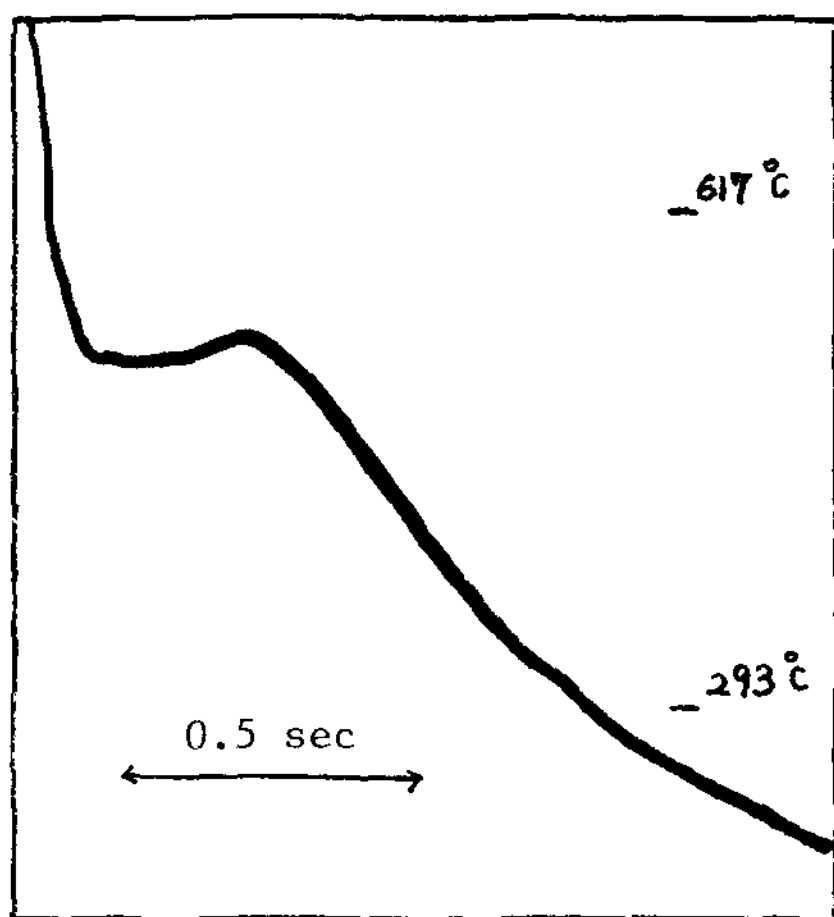


Photo. 1. Typical Cooling Curve Obtained by the Electromagnetic Oscillograph for Al-5.5 Wt % Pb Alloy (Thickness of Specimen 2.5 mm)

이와같은 냉각곡선이 각 조성에서 시편 두께에 따라 얻어졌으며 액상부에서의 온도구배로부터 냉각속도를 구했다.<sup>11)</sup>

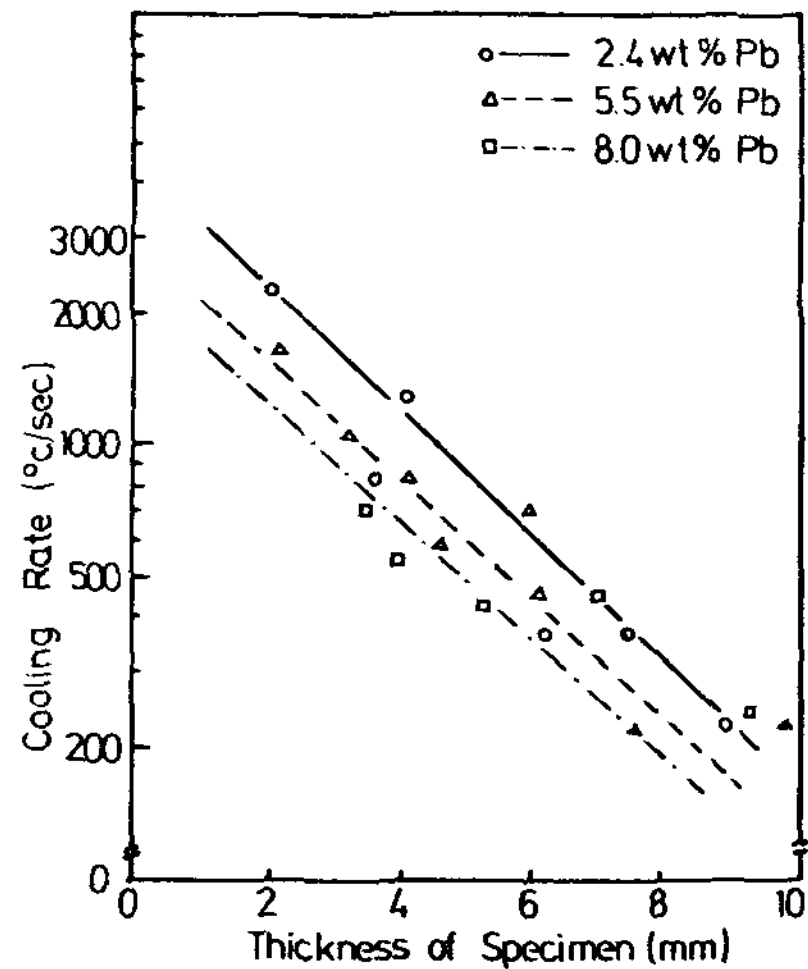


Fig. 3. Relation between Cooling Rate and Thickness of Specimen for Al-Pb Alloys.

급냉 응고 시편의 냉각조건을 냉각속도와 시편 두께와의 관계로 Fig. 3에 나타냈다. (냉각속도는 대수좌표축으로 나타낸다.) 시편의 두께가 2mm~11 mm까지의 변화에 대하여 측정된 냉각속도는  $2100 \text{ }^\circ\text{C/sec} \sim 100 \text{ }^\circ\text{C/sec}$ 의 범위로 나타났다. 공용간극이 존재하지 않는 Al-Sn 합금에 비해서 급냉속도가 떨어짐을<sup>11)</sup> 알 수 있고 Pb조성이 높아짐에 따라 주입온도는 높아 냉각속도가 클 것으로 예상되나 2액상 분리곡선의 온도가 높아져 냉각속도는 오히려 Al-8.0 wt % Pb보다 Al-2.4 wt % Pb가 더 크게 나타났다.

#### 3.2. 급냉응고 조직

Photo. 2는 Al-2.4 wt % Pb, 두께 2.4 mm 시편의 두께거리비율에 따른 조직사진이다. Pb 함량이 적고 시편의 두께가 얇아 냉각속도가 큰 관계로 상당히 미세한 Pb 입자상의 분산조직을 관찰할 수 있다. Photo. 3은 Al-5.5 wt % Pb, 두께 5.4 mm 시편의 조직사진이다. Photo. 2에서는 두께거리비율에 따른 입자 크기 변화가 크게 나타나지 않



Fig. 4는 Al-5.5 wt% Pb 합금에서의 변화를 나타낸다. 이 경우 “큰 Pb 입자상 (large Pb)” 와 “작은 입자상 (small Pb)” 의 구별은 Pb 입자수 분포가 2 μm 미만의 것과 그 이상의 것에서 큰 차이를 이루므로 이를 경계로 해서 2 μm 미만을 “작은 입자상” 2 μm 이상을 “큰 Pb 입자상” 으로 하여 분석을 하였다. 그 결과 Al-2.4 wt% Pb에서 큰 Pb 입자상은 두께거리비율이 증가함에 따라 2.8 μm ~ 3.5 μm의 범위에서 약간씩 크기가

서는 Pb 함량의 증가에 따른 입자 크기의 증가는 나타나지 않았다.

### 3.4. Pb 입자상 분산수의 변화

시편표면으로 부터 중앙부로 들어감에 따라 모든 조성에서 작은 입자상의 분산수가 감소하며 특히 시편두께 6 mm 이하에서 변화가 크게 나타났다. Fig. 5는 대표적으로 Al-5.5 wt% Pb 합금에서의 변화를 나타냈다. 시편두께의 변화에 따라 작은 입자상의 분산수는 표층부에서는 차이가 크나

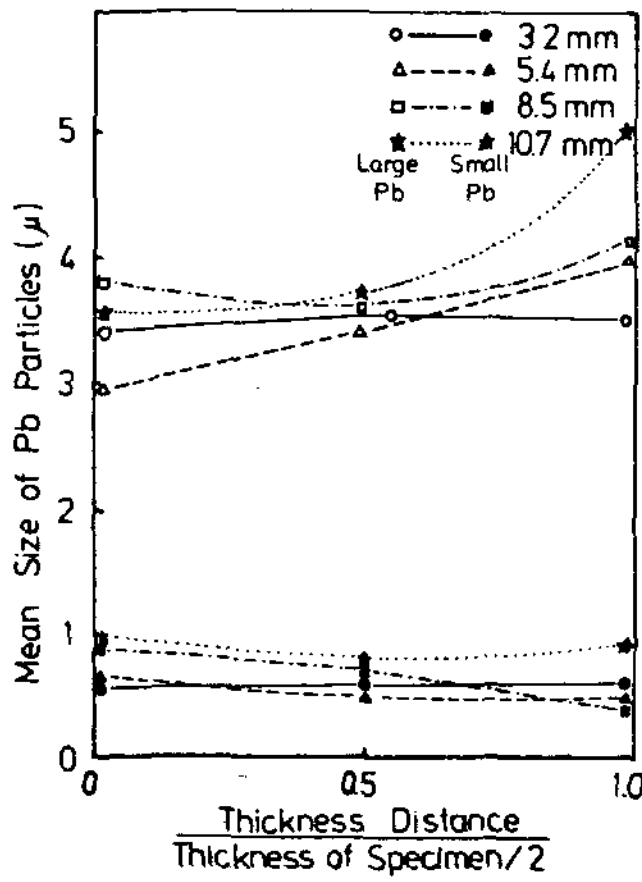


Fig. 4. Variation of Size of Pb Particles with Thickness Distance for Al-5.5 wt% Pb Alloy.

증가하고, 5.5 wt% Pb에서는 2.9 μm ~ 5.1 μm의 범위를 나타내며, 8.0 wt% Pb에서는 2.9 μm 까지 두께거리비율이 증가함에 따라 급격히 크기가 증가했다. 그러나 작은 입자상은 0.6 μm ~ 1.1 μm 범위로서 그 크기에 있어서는 두께거리비율의 변화에 따라서도 거의 변화가 없었다.

Pb 조성에 따른 크기 변화를 보면, 표층부에서는 큰 Pb 입자상의 크기가 3 μm 정도에서 조성에 따라 거의 일정하나 표면으로 부터 중앙부로 들어감에 따라서는 변화가 나타난다. Pb 조성의 증가에 따라서 Al-5.5 wt% Pb에서는 두께거리비율 1에서부터 증가가 나타나고, 8.0 wt% Pb에서는 두께거리비율 0.5에서 부터 급격한 증가가 나타났다. 또 같은 두께거리비율 0.5와 1에서 비교할 때 Pb 함량이 증가함에 따라 Pb 입자상에 있어

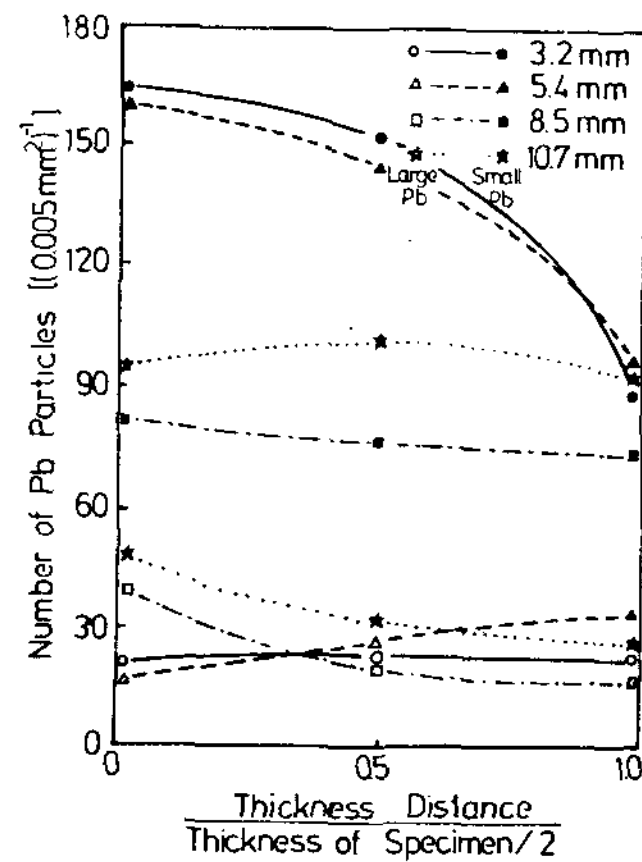


Fig. 5. Variation of Numer of Pb Particles with Thickness Distance for Al-5.5 wt% Pb Alloy.

중앙부로 감에 따라 그 차이는 줄어들었다. 큰 입자상의 분산수는 각 조성에서 두께거리비율이 증가함에 따라 약간씩 증가하나 큰 변화는 보이지 않았다. Al-5.5 wt% Pb의 두께가 큰 시편의 도층부에서 큰 입자상의 수가 오히려 많게 나온 것은 미세한 입자상 및 아주 큰 입자상의 수가 적고 중간 크기의 입자 (3 ~ 4 μm) 가 많이 분포되어 상대적으로 분산수가 크게 나온 것으로 생각된다. Pb 조성에 따른 Pb 입자상 분산수의 변화는 각 두께거리비율에서 모두 Al-5.5 wt% Pb가 2.4 wt% Pb, 8.0 wt% Pb에서 보다 분산수가 더 많았다. 특히 Al-5.5 wt% Pb의 두께가 얇은 시편에서 두께거리비율 0, 0.5일 때 가장 두드러지게 나타났다. 여

기서 2.4 wt% Pb에서 보다 5.5 wt% Pb에서의 분산수가 많은 것은 Pb함량의 차에 기인한 것으로 고찰되며, 또 8.0 wt% Pb에서 보다도 더 많은 분산수를 나타낸 것은 5.5 wt% Pb가 냉각속도가 크고 입자간 크기의 변화가 적어 균일한 분포를 나타낸 것으로 고찰된다.

### 3.5. 냉각속도의 변화에 따른 Pb 분산조직의 변화

작은 Pb 입자상의 크기는 냉각속도의 증가에 대하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 각 조성에서 거

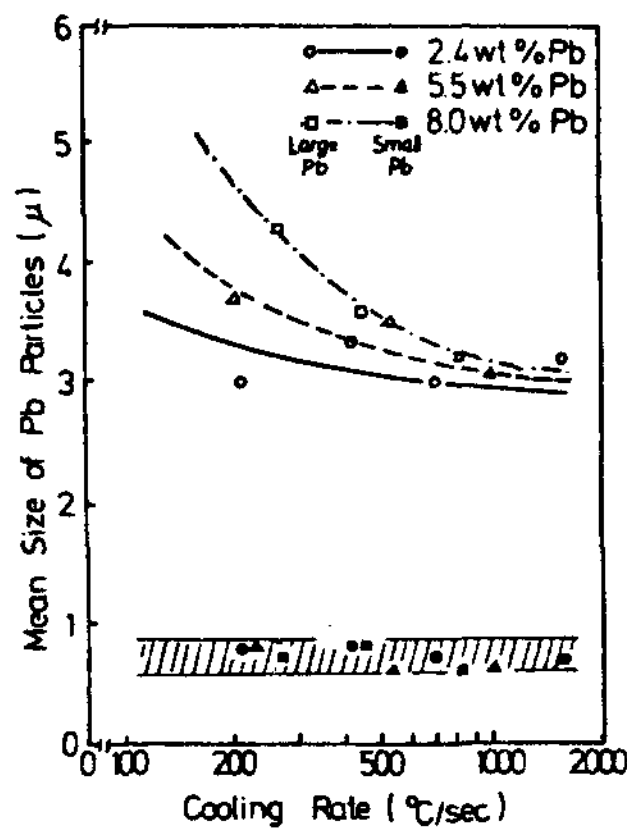


Fig. 6. Variation of Size of Pb Particles with Cooling Rate for Al-Pb Alloys.

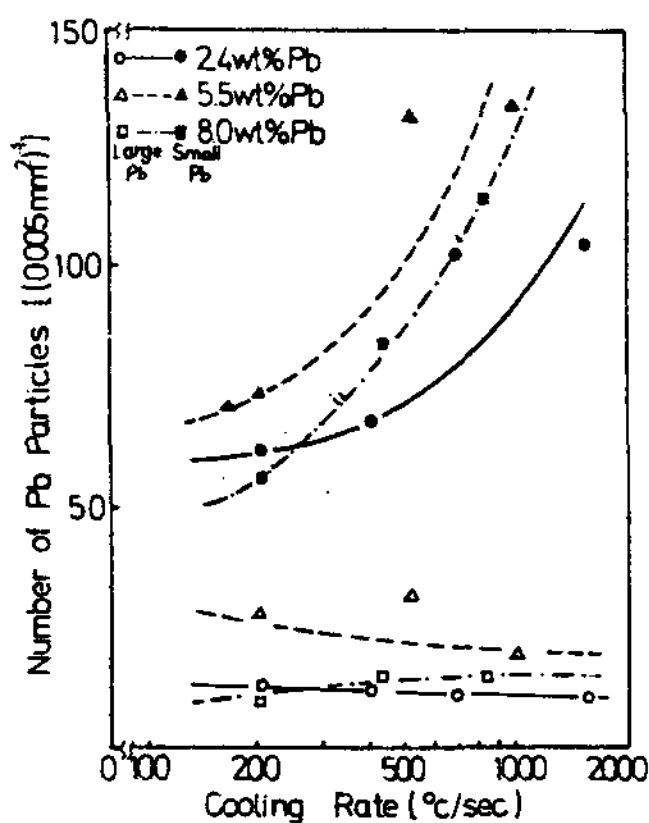


Fig. 7. Variation of Number of Pb Particles with Cooling Rate for Al-Pb Alloys.

의 변화가 없었다. 그러나 큰 Pb 입자상의 크기는 냉각속도가 증가함에 따라 감소됨을 알 수 있었고 Pb 함량이 높은 것일수록 입자의 크기는 크게 나타났다.

Fig. 7에서와 같이 큰 Pb 입자상의 분산수는 냉각속도의 변화에 대해 거의 변화가 나타나지 않았고, 작은 입자상의 분산수는 냉각속도가 증가함에 따라 급격히 증가한다. 특히 5.5 wt% Pb가 현저하여 같은 냉각조건 하에서 가장 많은 Pb 입자상의 분산조직을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

### 4. 결 론

1) 급냉응고시 시편두께 2 mm ~ 11 mm의 시편에 대하여 냉각속도는 2100°C/sec ~ 100°C/sec로서, 급냉속도가 커짐에 따라 미세한 분산조직을 얻을 수 있다.

2) 분산된 Pb 입자상의 크기는, Pb 조성 (2.4 wt% ~ 8.0 wt%), 시편두께 (2 mm ~ 11 mm) 및 두께거리비율이 증가함에 따라, 큰 입자상은 2.5 μm ~ 7.8 μm 범위에서 그 크기가 증가하고, 작은 Pb 입자상은 0.6 μm ~ 1.1 μm 범위에서 거의 변화가 없었다.

3) Pb 입자상 분산수에 있어서, 큰 입자상은 Pb 조성 및 시편의 두께거리비율에 따라 큰 변화는 없으며, 작은 입자상은 두께거리비율이 감소함에 따라 증가하였다. 특히 Al-5.5 wt% Pb의 시편 두께 6 mm 이하의 시편에서는 현저히 증가했다.

4) 냉각속도 (100°C/sec ~ 2100°C/sec)가 증가함에 따라, 큰 Pb 입자상은 크기는 감소하나 분산수에는 변화가 없었다. 작은 Pb 입자상은 크기는 거의 변화가 없으나 분산수는 급격히 증가했다.

특히 Al-5.5 wt% Pb에서 그 경향이 가장 현저하다.

### 후 기

본 연구는 1981년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 이루어진 결과중의 일부이며 문교부당국 및 관계자에게 감사한다.

참 고 문 헌

- 1) A. Nagata, D. Oelschagel, Y. Takeuchi and I. Obinata : Trans. JIM, 10(1969), 52
- 2) 大日方一司, 畑 栄一, 山路賢吉 : 日本金属学会誌, 17(1971), 496
- 3) A. Tonejc, D. Rocak and A. Bonafacic : Acta Met. 19(1971), 311
- 4) M. Moss and D. M. Schuster : Trans. ASM, 62(1969), 201
- 5) 市川理衛, 大稿照男 : 日本金属学会誌, 34(1970), 115
- 6) Richard N Grugel and Angus Hella-well : Met. Trans., 12A(1981), 669
- 7) Colin J. Smithells : Metals Reference Book, Butterworths (1976), 412
- 8) M. L. Mackey, L. J. Cawley and G. R. Kingsbury : A Aluminium-Lead Bearing Material for Automotive Engine Service (1976)
- 9) 池田徹之, 西 成基 : 日本金属学会誌, 39(1975), 147
- 10) 池田徹之, 多賀精二, 西 成基 : 日本金属学会誌, 38(1974), 462
- 11) 太田哲司 : Al-Sn合金의 凝固現象와 凝固組織에 대하여, 各古屋大学 卒業論大 (1976)

業 界 短 信

○ 李珍衡 - 美國鑄物工場勤務出國

韓國科學技術院鑄物技術센터의 李珍衡박사는 美國 Mahle Inc 社의 鑄物生産管理 및 工程開發 책임자로 근무하기 위하여 3月1日 출국하였다. 앞으로 3년간 계획으로 주소는 다음과 같다.

Dr. Zin H. Lee  
C/O MAHLE INC.  
P.O. BOX 602, Morristown  
TN. 37814. U . S . A

○ (株) 奉信鑄作所 - 新工場建設移轉, Meehanite 技術 導入

봉신주작소 (서울영등포구문래동 社長 金光祐)는 仁川 朱安輸出産業工團內에 新鑄物工場을 建設하여 4月末가동 예정으로 移設工事を 進行중이다.

또한 新工場가동과 함께 Meehanite 技術에 의한 鑄物을 生産하고자 國內에서는 4번째로 Meehanite 技術을 導入완료하였다.

○ 現代엔진工業 (株) - 鑄物工場增設

현대엔진工業(株) (경남울산시전하동)은 전문생산품인 선박용엔진의 생산량증가로 鑄物工場增設工事を 進行중으로 거의 완공단계에 들어 갔으며 한편 모든 鑄物은 Meehanite 材質로 生産하고 있다.

○ ABC商事 - 美國 Ashland 社, 技術提携

ABC 商事 (부산中區 中央洞)는 美國 Ashland 社와 鑄型製造技術인 Ashland process (pep set, Linocure, Isoeure 법)를 國內에 보급하고자 技術提携하여 대리점 계약을 맺었다.