

論 文

Al계 편정합금의 중력 편석에 관한 연구 (I)
(Pb, Bi 입자의 분산에 미치는 용탕처리의 영향)

황호을*, 이재하**, 정성인***, 최정철****, 윤의박***

A Study on the Gravity Segregation in Monotectic Al Alloys.(I)
(The Effect of Melting Treatment
on the Distribution of Pb, Bi Particles.)

Ho-Eul Hwang*, Jai-Ha Lee**, Sung-In Jung***,
Jeong-Cheol Choe****, Eui-Park Yoon***

Abstract

To improve free-cutting property, fine Pb, Bi particles is necessary to be distributed evenly in Al-Cu alloy. The control of added element size and distribution are very difficult because of the insolubility and gravity segregation of Pb, Bi in the matrix.

Therefore, in this study, mechanical stirring of the melt, inert gasbubbling, the addition of degasser are used for the fine distribution of Pb, Bi particles.

The best distribution are obtained by stirring with 500 rpm for 10min., Ar gas bubbling with 600cc /min for 5min, and degassing with 0.8wt% degasser.

As increasing cooling rate, fine grain size and finely dispersed particles were observed. The optimum pouring temperature was 650°C.

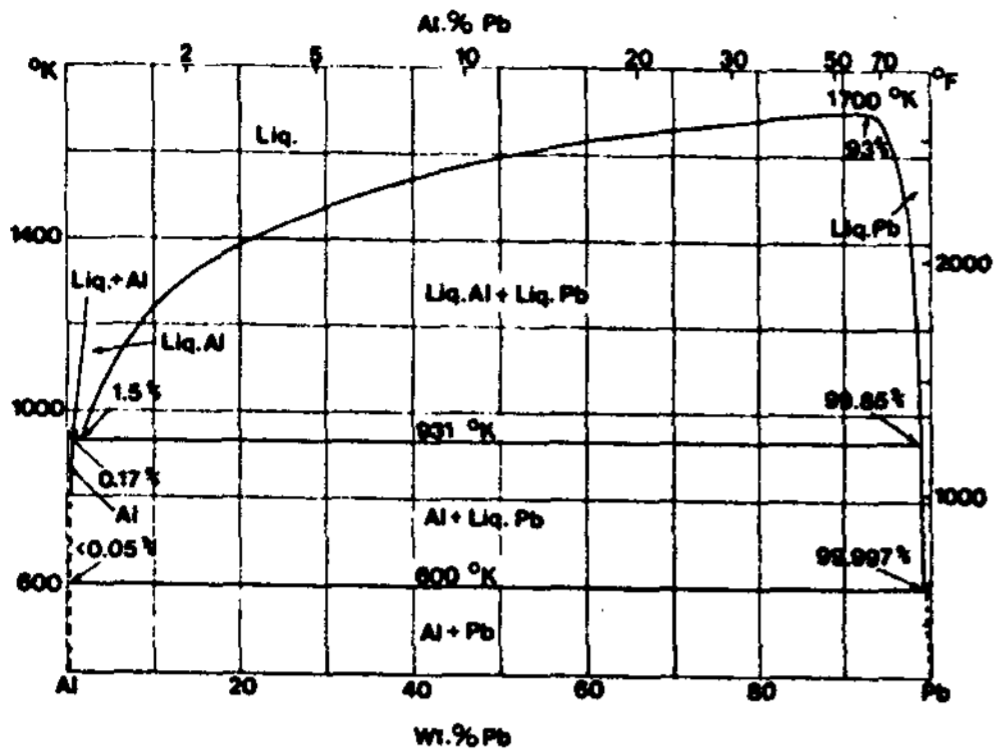
1. 서론

최근 생산성 향상을 위한 고속 정밀화 추세에 맞추어 갈수록 수요가 급증하고 있는 알루미늄중에 고속 가공성이 우수한 쾌삭성 소재에 대한 요구가 증가하고 있는 형편이다.

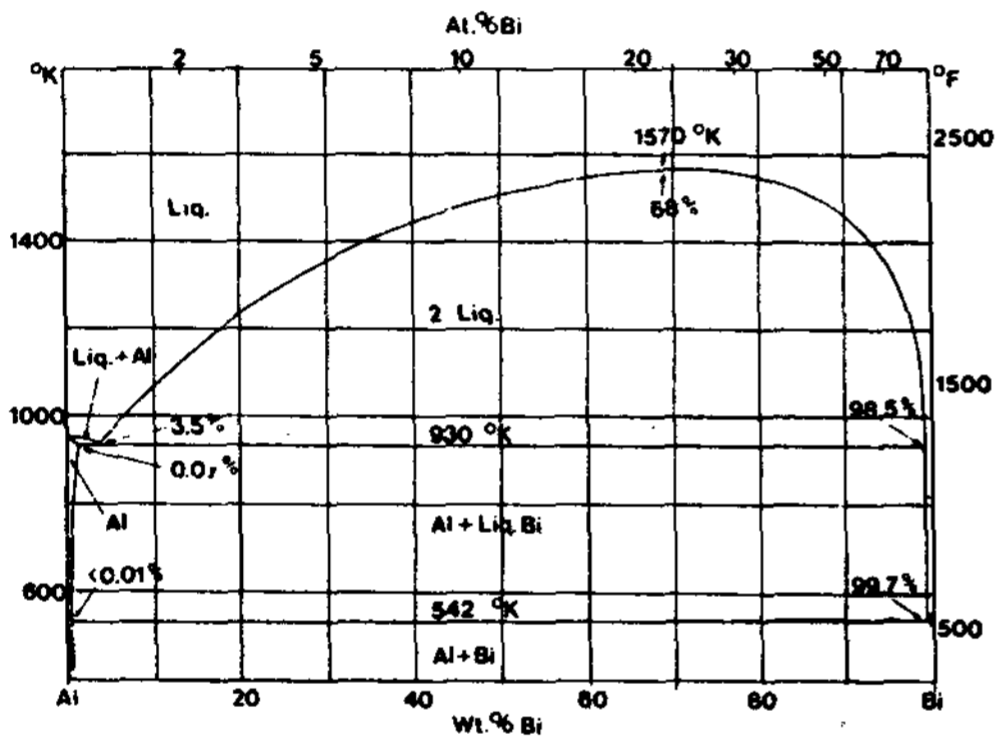
현재 실용화되고 있는 쾌삭 알루미늄 합금은 크게 3 종류로 나눌 수 있는데, 1) Al-Cu 계, 2) Al-Mg 계, 3) Al-Mg-Si 계이다. 이러한 합금은 피삭성을 개량하는 원소로서 Pb, Bi, Sn, Cd 등 저융점 금속 두가지 이상을 약 2% 이내 첨가

하는 것이 특징이다.¹⁾ 쾌삭 알루미늄 합금은 저융점 금속이 기지내에 미세하게 균일분포하여 다음과 같은 mechanism으로 피삭성이 향상되는 것으로 알려져 있다.²⁾⁻⁴⁾ 첫째, 이들 저융점 금속은 Fig.1의 상태도와 같이 Al에 거의 고용하지 않기 때문에 고체 기지중에 연한 금속으로 점존하여 절삭시 chip breaker 역할을 하며, 또 윤활작용도 한다. 둘째, 이들 원소를 적당히 조합시키면 각 금속의 융점 보다도 낮은 온도에서 용해하는 공정상을 형성하고 절삭가공시 공구와 피삭물사이에 생기는 절삭열에 의해 용해되어 체적증가를 하기 때문에 알루미늄상의 내부응력을 높여 chip 파단을

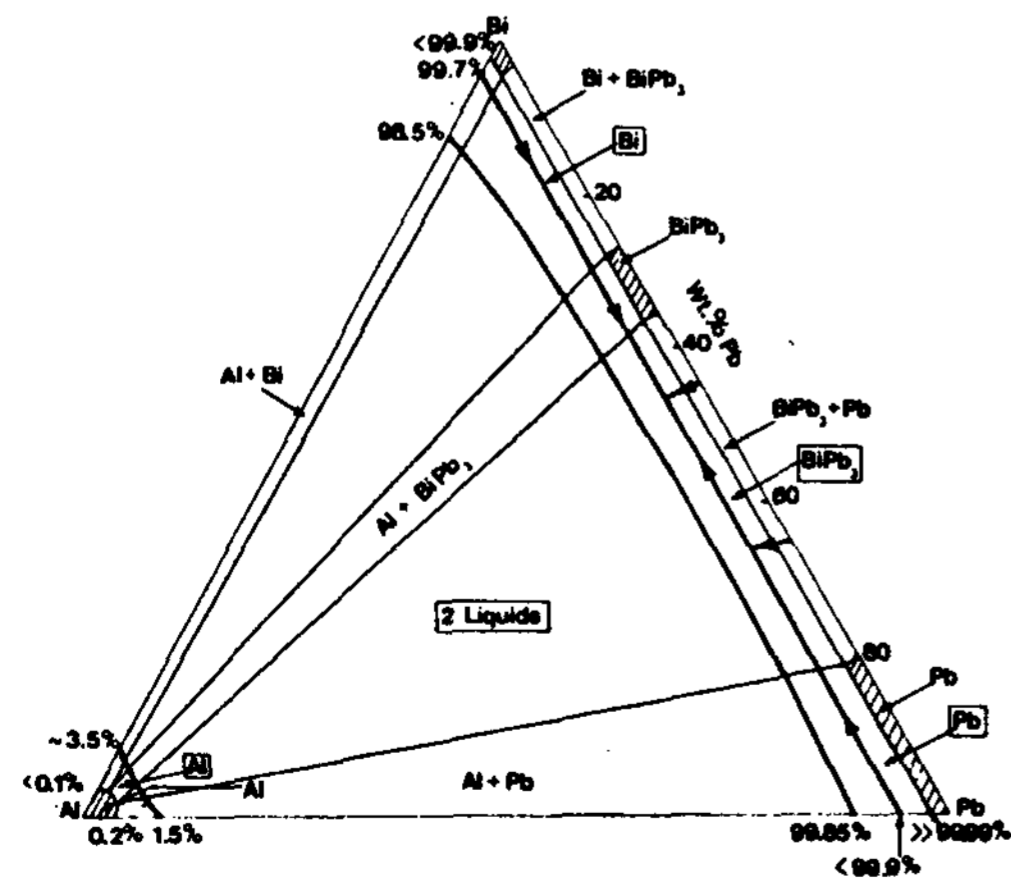
* 삼선공업(주) 기술연구소(Samson Industrial Co., R&D Lab.)
** 전북대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Jeonbuk Univ.)
*** 한양대학교 재료공학과(Dept. of Materials Eng., Hanyang Univ.)
**** 아주대학교 재료공학과(Dept. of Materials Eng., Ajou Univ.)



(a)



(b)



(c)

Fig.1. Phase diagrams of (a) Al-Pb, (b) Al-Bi and (c) Al-Pb-Bi alloys.

유도시킨다. 그런데 저용점금속의 물리적 특성 때문에 응고시 심한 편석을 가져와 절삭성을 좌우하는 첨가원소의 분포 및 크기를 제어하기가 곤란하다.³⁾ 그래서 이들 저용점 금속을 균일 분산시키는 문제로 1) 분말 소결법 2) 우주야금법 3) 반응용 주조법 4) 용탕처리법 5) 금형주조법 6) 일방향응고법 7) 초음파진동교반법 등과 같은 연구가 행해지고 있다³⁾. 이중 특히 용탕처리법은 현장적으로 실용성을 가진다 하겠다.

본 연구에서는 Al-5.5%Cu합금에 대하여 Pb, Bi가 기지내에 미세하고 균일하게 존재할 수 있는 조건과 형태를 규명하기 위해서, 용탕의 기계적 교반, 가스 교반, 탈가스제 첨가로 중력편석의 억제제를 피하였으며, 주입온도, 냉각속도의 영향을 조사 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 용해방법

본 실험에서 사용한 시료는 99.8wt%Al, Al-40wt%Cu, Al-3wt%Pb, Al-5wt%Bi이며, 목표조성을 Al-5.5wt%Cu-0.5wt%Pb-0.5wt%Bi로 하였다. 전기저항로에서 최고 가열 온도를 750°C로 하여 합금을 용해시키고 720°C에서 용탕처리를 한뒤, 원추형 금형에 주입하여 시편을 채취하였다. 본 실험에 쓰인 대표적인 시편의 성분분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical Composition of Specimens. (unit : wt%)

ELE.	Cu	Pb	Bi	Si	Fe	Ti	Al
목표조성	5.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.02	Bal.
시편조성	5.66	0.39	0.46	0.06	0.14	0.01	Bal.

2.2 용탕내의 교반

용해시 Pb, Bi등의 비중차에 의한 중력 편석을 방지하기 위하여 Fig.2와 같이 stainless steel 봉에 프로펠라를 붙여 4번 도가니에서 교반을 행하였다. SUS와 Al과의 반응에 의한 Fe의 혼입을 방지하기 위하여 도형제인 테라페인트를 사용하였다. 가스교반 효과를 알기위해서는 Fig.3과 같은 장치로 Ar 가스량을 200, 400, 600, 800cc/min의 주입속도로 변화시면서 주입시간을 3.5, 10분으로 변화시켰다. 교반 장치는 이중의 다공성 무기

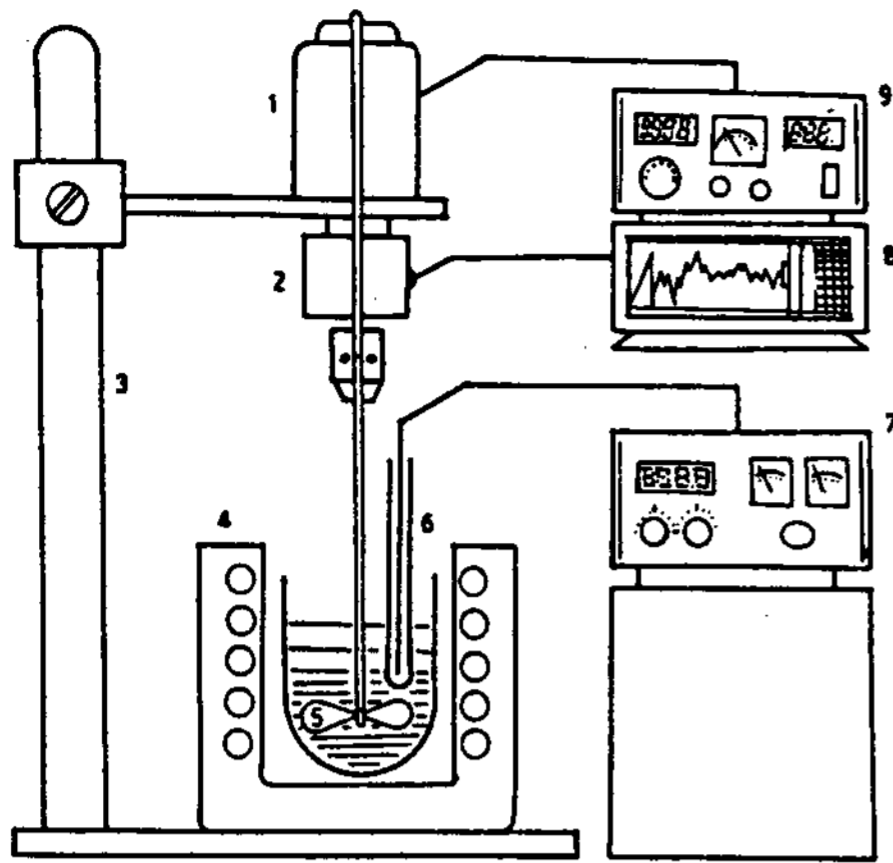


Fig.2. Schematic illustration of the experimental apparatus.

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. Motor | 6. Thermocouple |
| 2. Torque meter | 7. Temp. controller |
| 3. Arm | 8. X-Y recorder |
| 4. Furnace | 9. Control Box |
| 5. Stirrer | |

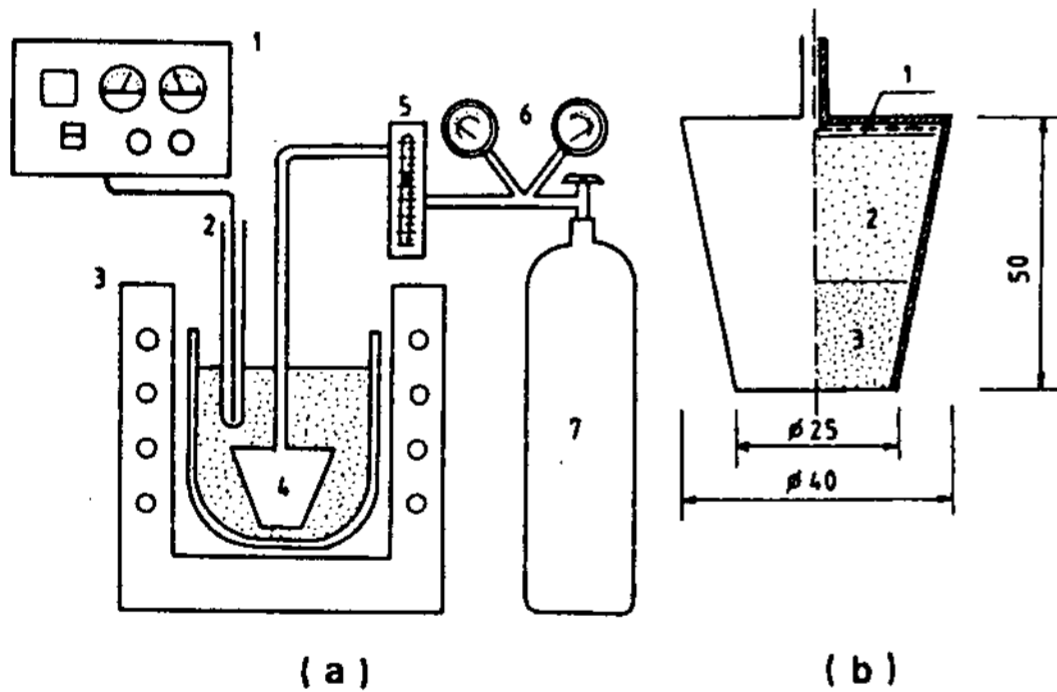


Fig.3. Schematic experiment apparatus for bubbling.

- a) Schematic apparatus for bubbling.
1. Temperature controller
 2. Thermocouple with alumina tube
 3. Electric furnace
 4. Filter
 5. Flow meter
 6. Pressure gage
 7. Ar gas bomb
- b) Detailed diagram of filter.
1. SUS and wire screen
 - 2,3. Ceramic filter

필터를 원추형으로 제작한 뒤 stainless steel로 끝 부분만 제외하고 밀봉하여 Ar가스가 용탕내에 끌고루 퍼지게 했으며, 용탕내에 Fe의 혼입을 방지하기 위하여 테라페인트로 coating하여 사용하였다.

그리고 탈가스제의 양에 따른 영향을 알아보기 위해 0.15, 0.3, 0.5, 0.8, 1.5wt%로 변화시켰다. 탈가스제는 Aluminum foil로 감싸 용탕내에 장입하였다. 탈가스제의 성분은 C_2Cl_6 이며 고체 덩어리로 집어 넣었다.

2.3 냉각속도 측정

냉각속도와 주조조직 및 분산도의 관계를 알아보기 위하여 Fig.4과 같은 원추형 금형 10, 25, 50, 80, 100mm 위치에 지름 0.3mm의 K type 열전대를 설치하고 X-Y 기록계와 visigraph를 이용하여 냉각속도를 측정하였다. X-Y 기록계와 visigraph의 용지 전송속도는 20cm/min로 하였다. 주입온도는 가능한 낮은 온도에서 행하였는데 액상선 온도보다 약간 높은 660°C에서 주입하였고 원추형 금형은 200°C로 예열하여 과냉을 최대로 줄였다.

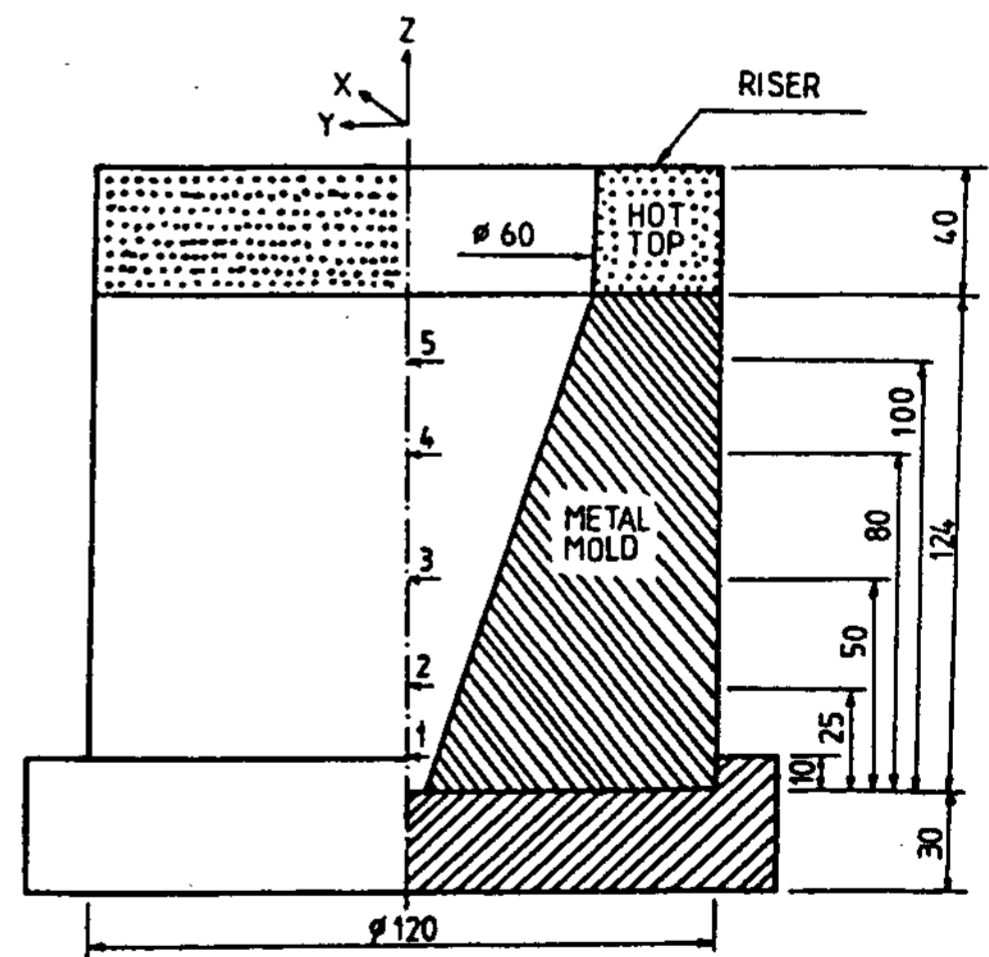


Fig.4. The position of thermocouple in the cone type metal mold

2.4 조직관찰

원추형 금형에서 반연속주조의 평균 냉각속도 10°C/sec에 해당하는 5cm 부위를 채취하여 부식을 시키지 않고 주사식전자현미경(SEM)과 광학현미경으로 미세조직 및 Pb, Bi입자의 분산도를

관찰했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분산도에 미치는 용탕내의 교반

기계적 교반 조건에 따라 Pb, Bi의 분산은 크게 변화할 것으로 예상된다. 각 조건에 따라 실험을 행하여 얻어진 시료의 조직관찰을 통해 Pb, Bi의 분산도를 평가했다.

Fig.5는 Pb, Bi 입자의 분산도에 미치는 교반 속도의 영향을 나타낸다. 회전속도가 증가함에 따라 Pb, Bi 입자들이 미세해지며 입자수가 많아지나 임계값을 초과하면 입자들이 편재하거나 기재물이 혼입됨이 관찰되었다. 본 실험에서는 rpm 500에서 가장 양호한 분산도를 나타냈다.

Fig.6은 교반시간의 영향을 나타내는 분산도이다. 교반시간은 2, 5, 10, 20분으로 변화시키면서 그 경향을 알아보았는데 교반시간이 증가할수록 입자들의 분산도는 향상되었다. 본 실험에서는 rpm 500으로 10분간 교반했을때 분산도가 가장 양호하였다.

Fig.7은 교반후 유지시간의 변화를 관찰한 분산도이다. 교반후의 유지시간을 1, 3, 5, 10, 20분으로 변화시켜 영향을 알아보았는데 그 시간이 길수록 입자들의 분산도는 떨어졌으며, 이는 Al과 Pb, Bi사이의 비중차에 의한것으로 고려되며 가장 양호한 조건은 1분으로, 짧을수록 좋았다.⁵⁾

다음은 Pb, Bi 입자의 분산에 대해 불활성 기체에 의한 용탕교반의 효과를 조사했다. Photo 1, Fig.8은 교반에 따른 조직변화와 Pb, Bi의 분산도를 나타낸다. Ar 가스에 의한 교반은 탈가스 방법과 유사한 경향을 나타내었는데 탈가스의 영향보다는 양호한 결과를 나타내었으며, 탈가스제의 첨가에 의한 방법과 유사하게 Ar 가스의 거동이 용탕내의 수소나 용존산소를 취하여 부상하므로 기공이나 불순물의 제거에 기여했을 것으로 사료된다.⁶⁾⁻⁷⁾ 본 실험에서는 주입 속도 600cc/min에서 5분 동안 교반한 것이 가장 양호하였다. 탈가스제의 경우와 마찬가지로 Ar 가스의 양이 증가할수록 분산도는 증가했지만 임계값이상에서는 다소 입자들이 커졌으며 불규칙한 입자들이 관찰되었다. 이는 Ar 가스의 압력이 증가함에 따라 개재물의 혼입과 용탕의 유동성에 영향을 끼친 것이라 사료된다.

직접적인 용탕교반의 방법은 아니지만 탈가스

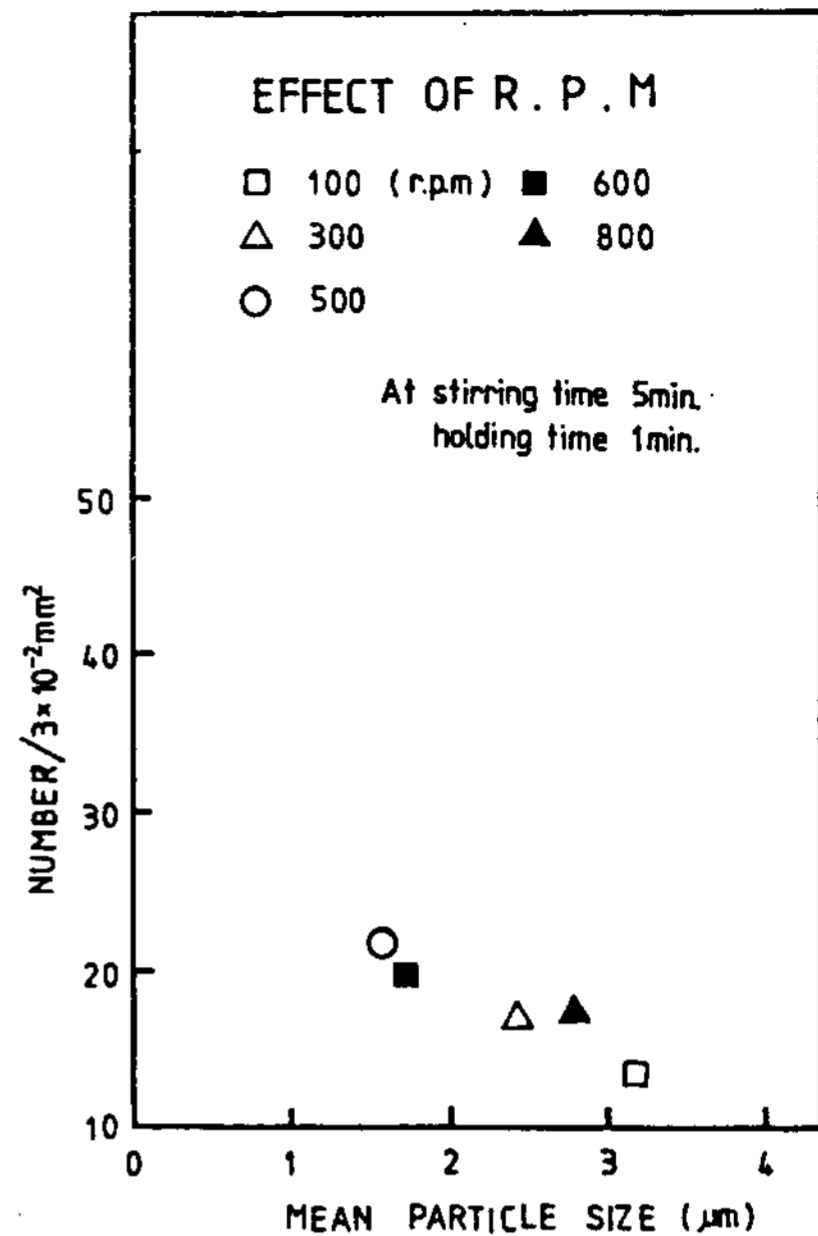


Fig.5. Relationship between mean particle size and particle number.

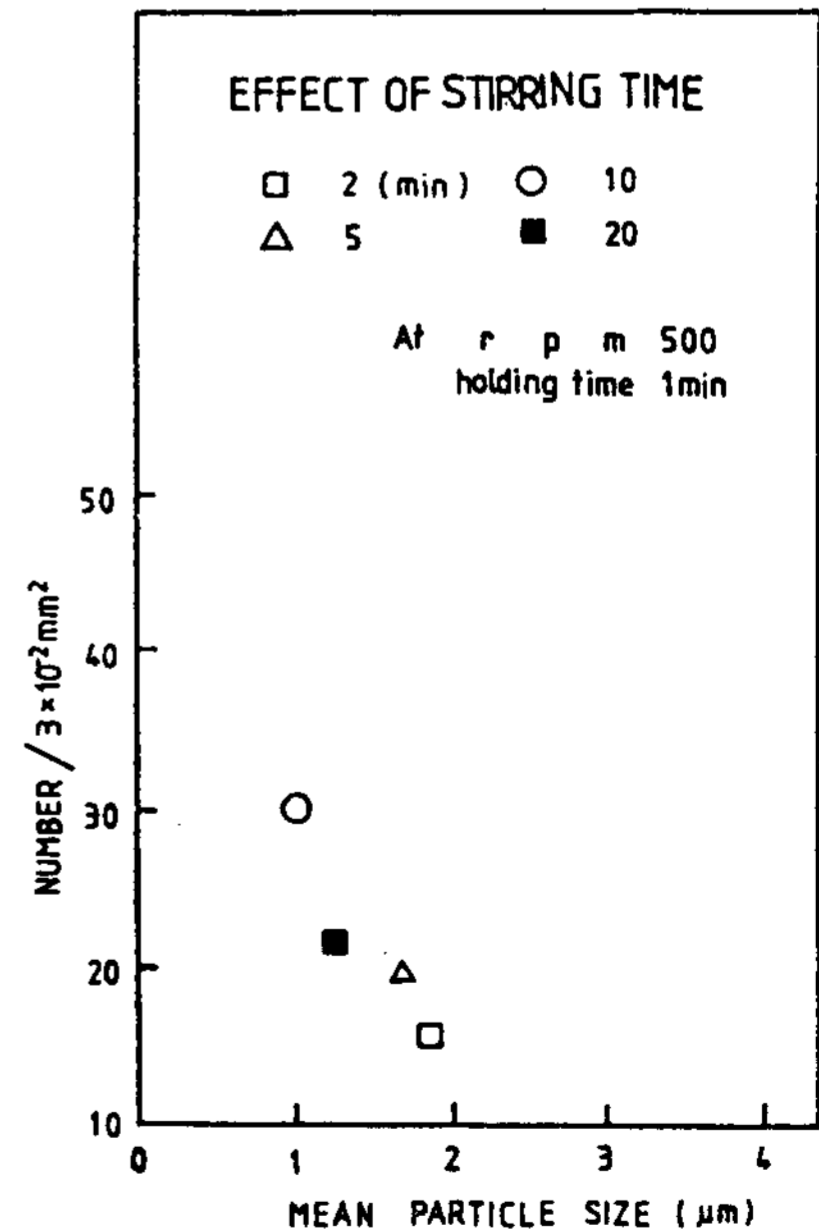


Fig.6. Relationship between mean particle size and particle number.

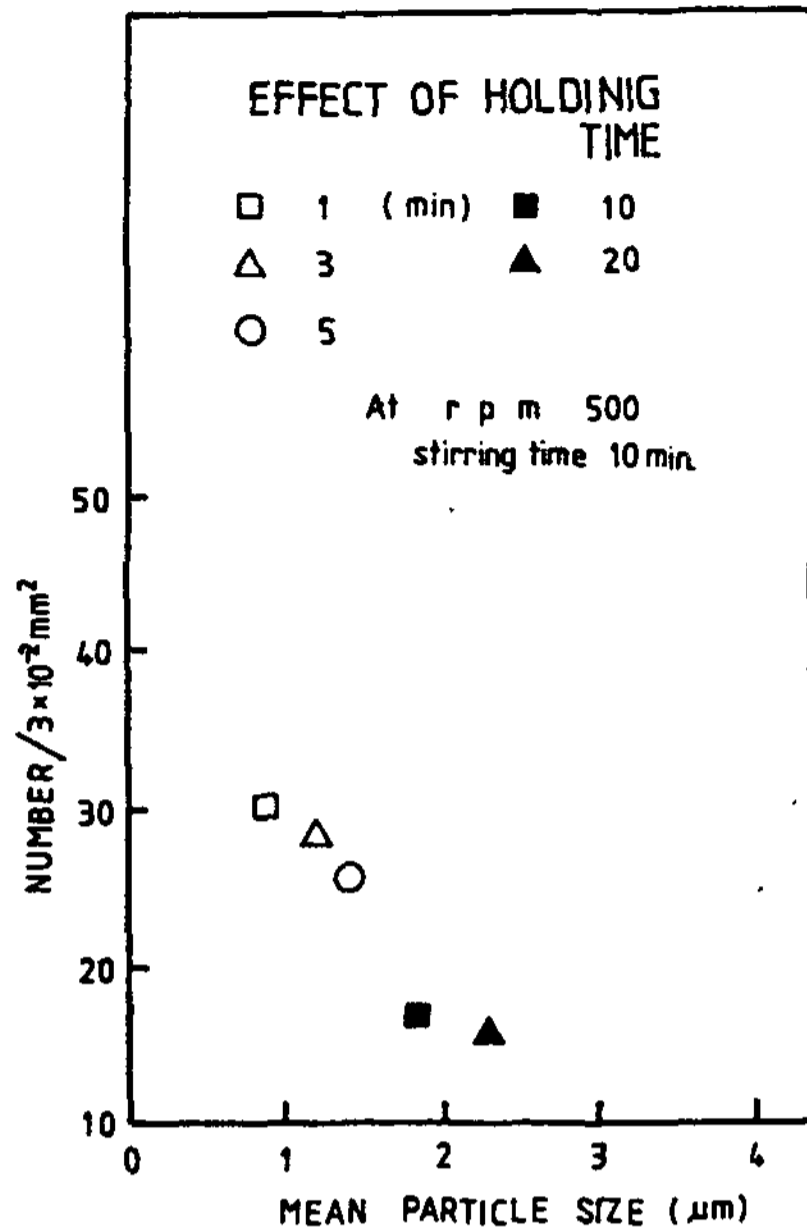


Fig.7. Relationship between mean particle size and particle number.

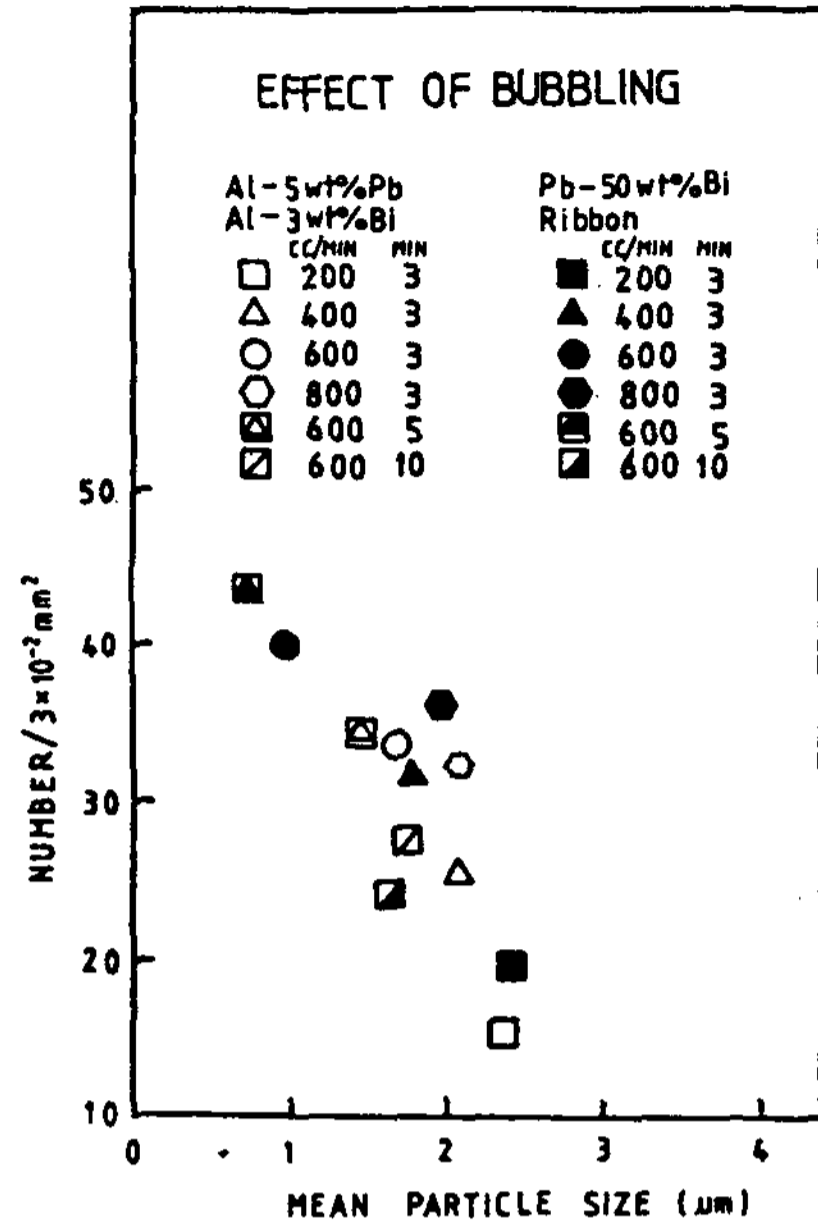


Fig.8. Relationship between mean particle size and particle number.

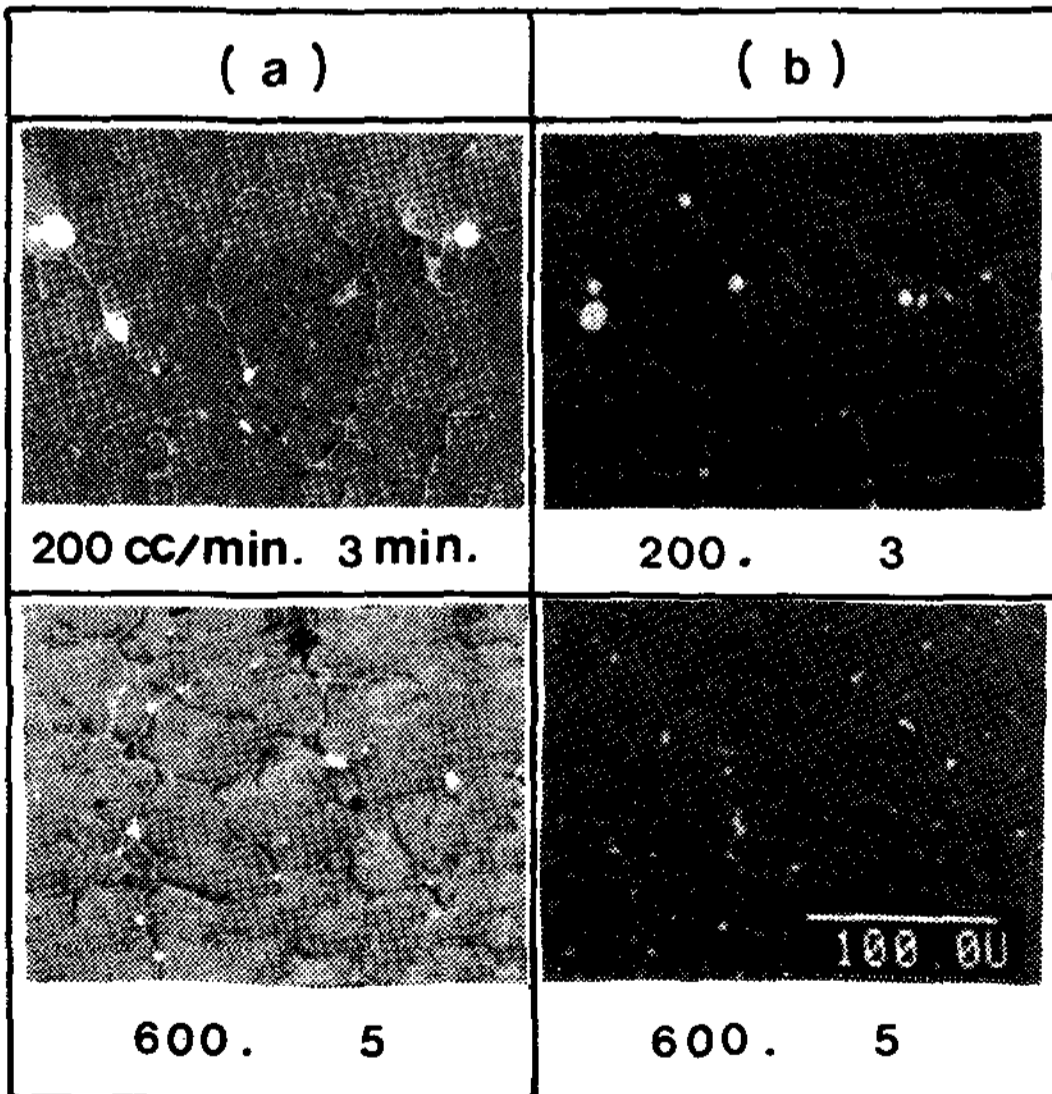


Photo 1. Scanning electron micrographs showing the influence of bubbling.
 (a) Al-5wt%Pb, Al-3wt%Bi
 (b) Pb-50wt%Bi Ribbon

처리도 용탕의 유동에 영향을 준다. 탈가스제의 영향을 알아보기 위해 탈가스제의 양을 변화시켜 분산정도를 알아보았다. Photo 2, 3, Fig.9는 탈가스에 의한 Pb, Bi 입자의 조직 사진과 분산도를 나타낸다. 탈가스제 (C_2Cl_6)를 0.15, 0.3, 0.8, 1.5wt%로 그 함량을 변화시켜 조직관찰 및 분산도를 측정하였는데 0.8wt%에서 가장 양호한 결과를 나타내었다. 이것은 기본적인 탈가스 작용뿐만 아니라 가스교반의 효과도 나타내어 Pb, Bi 입자의 분산에 기여했을 것으로 고찰된다. 용탕내의 수소나 용존산소가 HCl이나 CO, CO_2 의 형태로 날아가므로 기지내의 기공을 제거해 보다 좋은 주조품을 얻게되며 Pb, Bi 입자의 중력편석을 억제하는데도 기여하게 되는 것으로 사료된다. 조직관찰 결과 탈가스제의 양이 증가함에 따라 미세분산을 나타내다가 0.8wt%이상에서는 그 미세한 정도가 감소하였는데 이는 개재물의 혼입으로 미세분산을 방해한 것으로 사료된다.

3.2 주입온도의 영향

Fig.1의 상태도에서 처럼 Al-Pb, Al-Bi는 액상인데도 온도 조성에 따라 단일 액상으로 존재하지 않고 분리하여 편재가 이루어지는 용해도 곡선

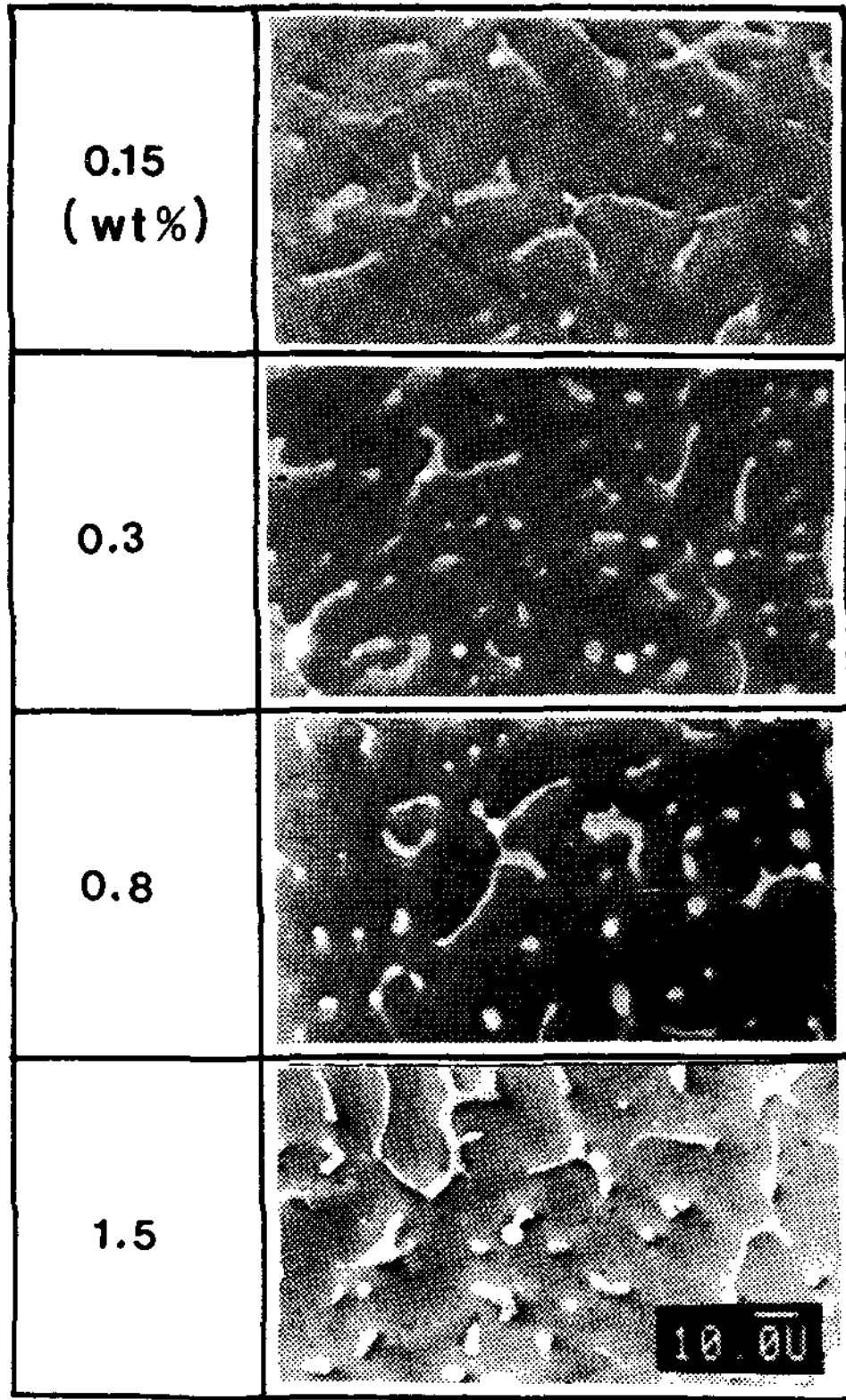


Photo 2. Scanning electron micrographs showing the effect of degasser in Al-5wt%Pb, Al-3wt%Bi

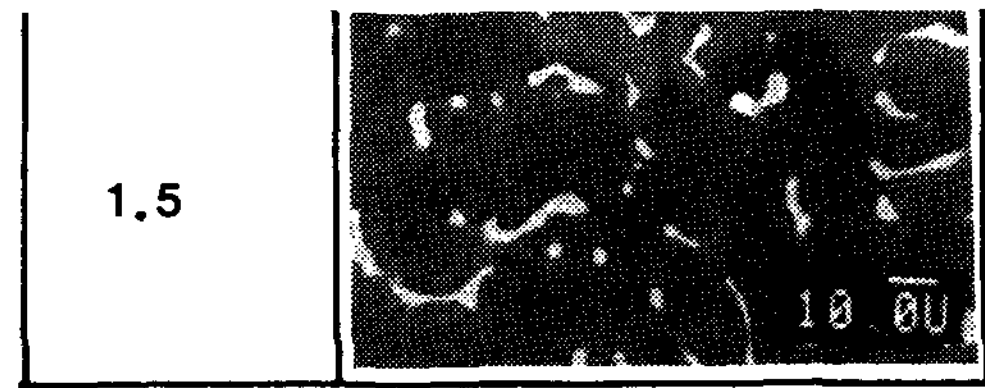
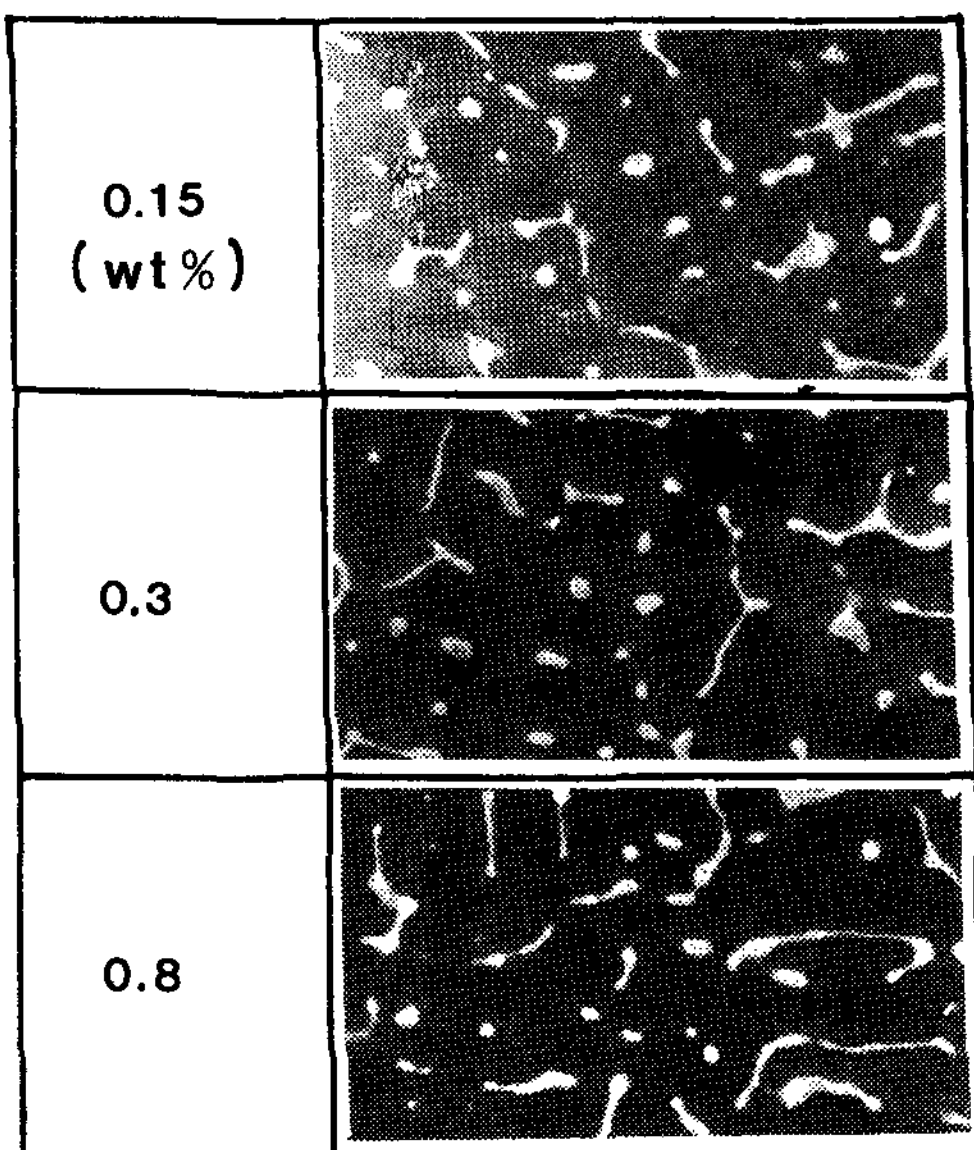


Photo 3. Scanning electron micrographs showing the effect of degasser in Pb-50wt%Bi Ribbon

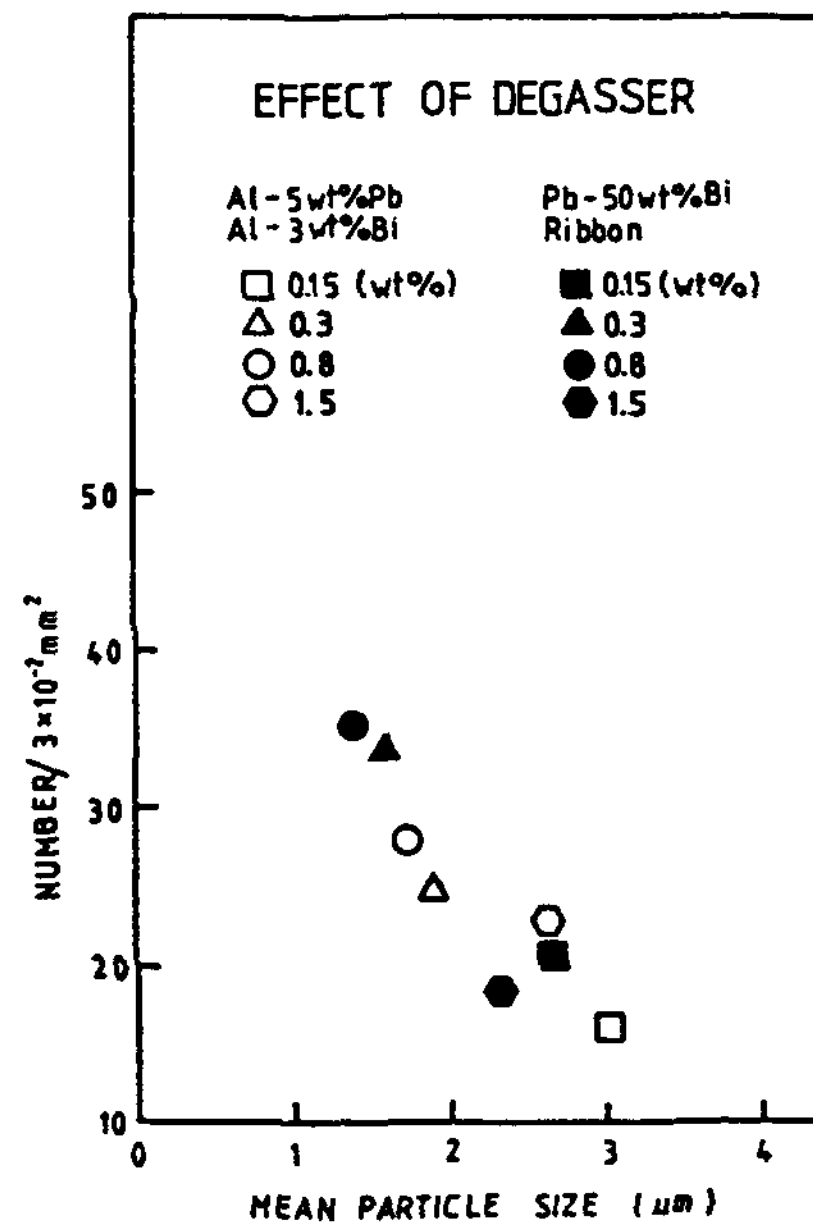


Fig. 9. Relationship between mean particle size and particle number.

을 가지고 있다. 주입온도 변화에 따른 조직 및 분산도의 변화를 Photo 4, Fig. 10에 각각 나타내었다. 여기서 용탕의 주입시 주입온도의 영향에 따른 Pb, Bi 입자 분산도를 조사하기 위해 본 합금의 액상선온도인 650°C에서부터 700°C까지 10°C 간격으로 주입온도를 변화시켰다. 주입온도가 너무 낮으면 응고 수축에 의한 응력에 의해 균열결함이 발생하고 주입온도가 너무 높으면 L₂ 상의 점성이 낮아 비중이 큰 L₂ 상이 쉽게 침강하여 조대편석이 일어나므로 주입온도가 커다란 인자로 작용한다.⁸⁾ 본 실험에서는 650°C로 주입했을때 균열 결함이 나타나지 않았으며 우수한 미세한 분산을 보였다. 조대 편석을 억제하기 위해 주입온도를 낮게 하는것이 분산도를 증가시킬 것으로 고려

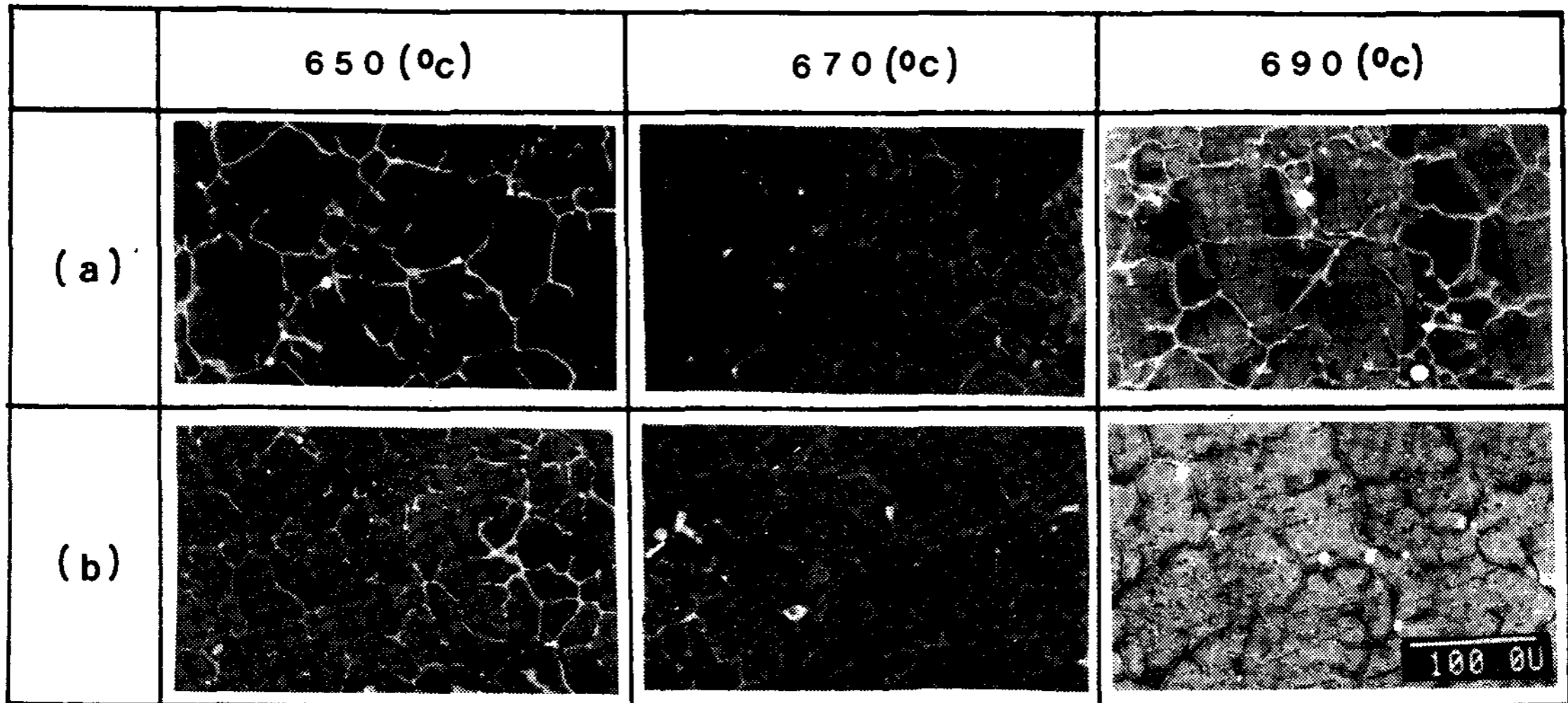


Photo 4. Scanning electron micrographs showing the effect of pouring temperature.
 (a) Al-5wt%Pb, Al-3wt%Bi (b) Pb-50wt%Bi Ribbon

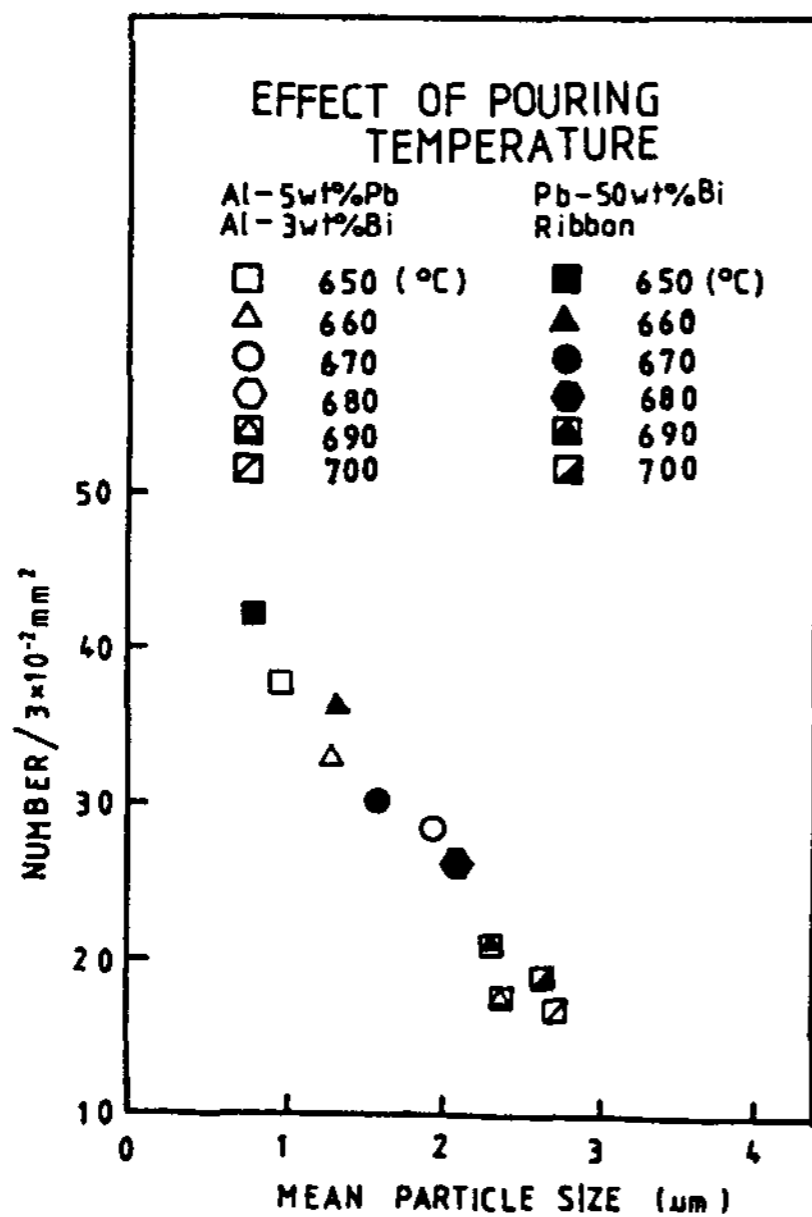


Fig 10. Relationship between mean particle size and particle number.

되며, 이는 용탕내의 Pb, Bi 입자들의 stoke's velocity를 감소시키고 응고시간이 단축되어 중력 편석이 억제되기 때문으로 사료된다.⁹⁾

3.3 냉각속도의 영향

주입온도에 따른 영향과 함께 국부 응고시간 및

냉각속도에 의한 영향은 Pb, Bi의 분산에 아주 중요한 인자로 작용한다. 중력 편석을 일으키는 L₂ 상의 침강 현상은 온도, 냉각시간, 합금조성에 의존하며, 고온에서 L₁과 L₂ 액상의 밀도차는 예비 L₂ 액상의 성장에 중요한 인자이며, L₁ 액상의 점성이 침강 거동에 대하여 중요한 인자이다.⁸⁾ 이에 따라 국부 응고시간과 냉각 속도가 분산도에 미치는 영향에 대해 고찰해 보았다. 냉각속도를 서로 다르게 측정하기 위해 원추형 금형을 사용하여 각 부위별 냉각속도를 측정하였다. Fig.11은 본 합금

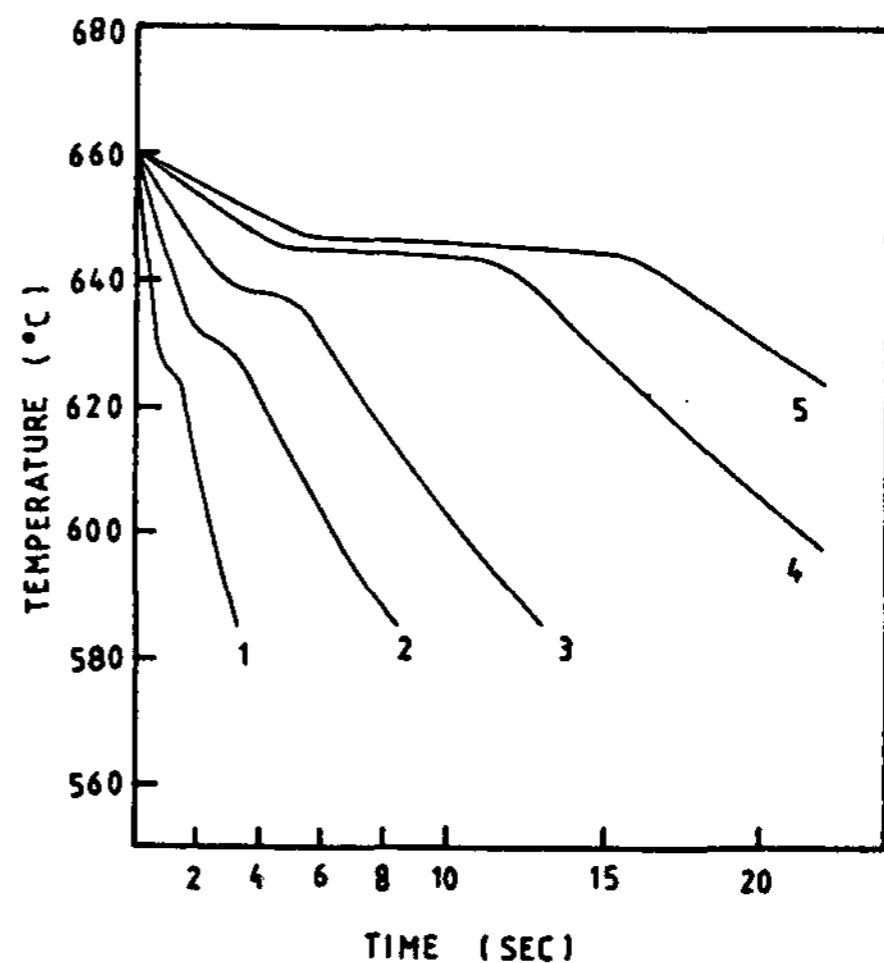


Fig 11. The thermal analysis curve.

계에서의 냉각속도 측정결과를 나타낸다. 가장 빠른 냉각속도는 약 30°C/sec, 가장 느린 냉각속도는 약 3°C/sec였으며, 일반적인 시편 채취 위치인 5cm부위의 냉각속도는 약 9°C/sec로 나타났다. 국부 응고시간은 10cm부위에서 약 9sec, 5cm부위에서 약 2sec, 1cm 부위에서는 약 1sec로 나타났다. 냉각속도가 빨라짐에 따라 국부 응고시간이 짧아짐을 알 수 있다.

Photo 5는 냉각속도에 따른 SEM 조직관찰 결과이다. 냉각속도가 빠를수록 국부 응고시간은 짧아지고 결정립은 미세해짐을 알 수 있다. 냉각속도가 빠를수록 국부 응고시간이 짧아지기 때문에 응고시 Pb, Bi의 secondary phase인 L₂상이 dendrite arm 사이에 정출되면서 그 농도가 짙어

져 비중편석이 일어나게 되는데 이때 L₂ 상의 조대화는 침강속도를 지배하므로, L₂ 상이 조대화되는 여유를 없애버리므로 비중차에 의한 중력 편석을 억제할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

Al-5.5%Cu합금에서 용탕의 기계적 교반, 가스교반, 탈가스제 첨가, 주입온도, 냉각속도의 변화에 따르는 Pb, Bi의 거동은 다음과 같다.

1. 본 합금계에서 Pb, Bi 입자의 미세분산에 가장 좋은 교반조건은 교반속도 rpm 500, 교반시간 10분, 교반후 유지시간 1분으로 관찰되었다.
2. 가스 교반에 의해 중력편석 방지와 미세분산의 효과가 있었으며 Ar가스로 500g의 용탕에 600cc/min의 주입속도로 5분간 교반하는 것이 가장 양호한 결과를 나타냈다.
3. 탈가스제의 영향은 용탕내의 수소나 용존산소의 제거뿐만 아니라 중력차에 의한 편석방지 및 미세분산에도 기여하였으며, 0.8wt%로 탈가스하는 것이 가장 양호한 것으로 나타났다.
4. 주입온도는 균열 결함이 나타나지 않는 범위 내에서 낮은 온도로 주입하는 것이 좋았으며 650°C가 가장 양호 하였다.
5. 냉각속도가 빠를수록 결정립이 미세화되었고 Pb, Bi입자는 미세분산을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. F.A.Lewis : Metals (1968).27
2. H.Yamada and T.tonaka : 輕金屬, 26 (1976)
3. 馬場義雄, 高島章 : 住友輕金屬技報, 15 (1974). 49
4. W.L.Wang, F.Y.Chen, W.H.Chen. : Bismuth Inst., 52 (1987) 3
5. W.L.Wang, F.Y.Chen, W.H.Chen : Bull. Bismuth inst. 52 (1987),3
6. W.R.Opie & N.J.Grant : Trans. AIME J. Metals, 188, (1950) 1237
7. J.Junze, K.F.Kobayashi, & P.H.Shingu : Met.Trans. 15A, (1984) 307
8. T.Ikeda, S.Nishi : 日本金屬學會會報, 47 (1983) 639
9. 神尾, 手塚, 能井, 高校 : 輕金屬, 33 (1983) 179

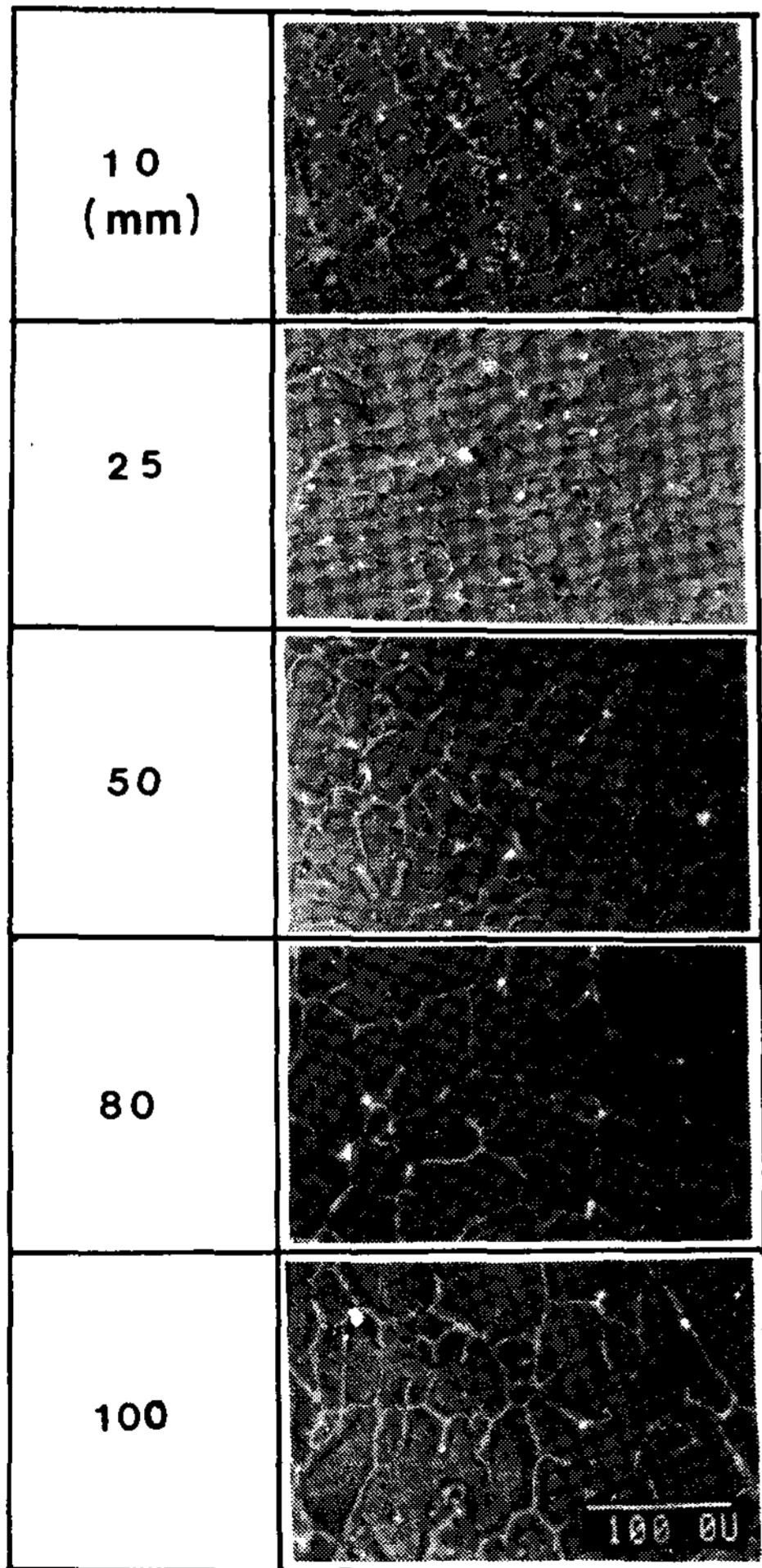


Photo 5. Scanning electron micrographs showing the effect of cooling rate.