

|||||||
技術講座
|||||||

Al 합금의 응고 (III)
- 과공정 Al-Si 합금의 개량화 특성 -

한상봉 · 김지훈 · 예병준

Solidification of Al Alloys (III)
- Characteristics of Mmodificaiton in the Hypereutectic Al-Si Alloys -

Sang-Bong Hahn, Ji-Hun Kim and Byung-Joon Ye

1. 서 언

Si의 조성의 범위가 12% 이하인 아공정 Al-Si 합금의 미세 조직에서 공정 Si이 침상 형태로 성장하여 주조품의 품질이 저하되므로 공정 Si에 대한 형상, 분포, 크기에 대한 적절한 제어가 필요하며 이를 개량화처리라 한다. 또한 Si의 조성이 12% 이상인 과공정 Al-Si 합금의 경우 주요 조직이라 할 수 있는 초정 Si이 facet한 형태로서 조대하게 성장하므로 초정 Si 입자의 크기에 대한 개량화처리가 필요하며 특히 이와 같이 초정 Si에 대한 개량화 처리를 미세화(refinement)처리라 한다.

또한, 과공정 Al-Si 합금에 있어서 초정 Si의 미세화 처리와 공정 Si의 개량화처리를 동시에 행하는 것을 동시 미세화처리라 하며 첨가된 두 가지 첨가제 간의 화학반응으로 인한 문제를 극복하기 위한 방법들이 연구되고 있다. 따라서 이번 호에서는 초정 Si의 미세화에 대하여 논하고 다음 호에는 공정 및 과공정 Al-Si 합금의 동시 개량화에 대하여 정리하고자 한다.

과공정 Al-Si 합금은 Al에 Si이 공정 조성인 12.6 wt% 이상 함유된 합금으로 Si이 포함되어 있으며, 합금 내의 Si은 밀도가 2.33 g/cm³으로 합금의 경량화에 도움이 될 뿐만 아니라 용융 잠열이 약 50.6 KJ/mol로 Al의 용융 잠열에 비해 5배 정도 더 크기 때문에, Al 합금의 주조성을 향상시킨다. 특히 Si의 경도 값이 대단히 높아 Al 합금에 Si을 공정 이상 다량 함유시키면 주조 할때 Si이 초정으로 정출 되어 합금의 내마모성

향상에 크게 기여하게 된다. 이와 같은 특징들로 인해 주철로 사용되어져 온 자동차 실린더 블록을 대신할 수 있는 경량화 소재로서 실제 응용되어지고 있고, 또한 에어 컴프레서와 펌프 등에도 이용된다.

그러나, 과공정 Al-Si 합금에서의 초정 Si은 고유한 성질인 높은 용융 엔트로피로 인해 facet한 형태로서 조대하게 성장하여 주조할 때 거시 편석이 발생되고 기계적 성질, 주조성 및 절삭성을 저하시키므로 이러한 초정 Si을 미세화 시키기 위한 방법과 그 기구에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다.

이러한 연구 결과들로부터, 과공정 합금의 미세 조직과 초정 Si의 구체적인 미세화 방법 및 미세화에 따른 효과 등을 소개하고자 한다.

2. 과공정 합금의 미세 조직

과공정 Al-Si 합금에서 평형 상태도로서 간단히 설명하기 어려운 복잡한 미세 조직이 관찰되는 경우가 있으며 3가지로 분류하면 아래와 같다.

- 1) 12% < Si < 14%의 과공정 조성을 갖는 합금에서는 초정 Al 수지상이 형성될 수 있다.
- 2) 0.1% Sr을 함유한 과공정 합금 중에는 완전한 공정 조직을 나타내는 경우가 있다.
- 3) 과공정 합금에서 초정 Si과 공정 조직 외, 초정 Al 수지상이 형성되기도 한다.

상태도와는 모순되어 보이는 이와 같은 조직은 주조시 응고 기구의 복잡성을 반영하는 것으로 용탕 처리 또

는 냉각 속도 등과 같은 복잡한 변수가 포함되어 있기 때문이다. 각각의 경우에 대하여 아래에서 논하겠다.

2.1 12% < Si < 14% 조성의 과공정 합금에서의 Al 수지상의 형성

이와 같은 조직이 형성되는 이유는 주조될 때, Sr과 같은 미세화제의 첨가와 빠른 냉각 속도로 인하여 상태도상에서 공정 조성이 12~14%로 높아지고 공정 온도가 10°C 정도 낮아져서 생기는 것으로 추측된다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 12~14%의 초정 Si의 범위는 과공정 응고 구간이지만, 아공정이 형성될 수 있다.

공정 조직의 미세 조직 사진과 동일한 합금에 Sr이 첨가된 미세 조직 사진은 그림 1(b), (c)에서와 같다. 그림 1(c)에서 뚜렷한 Al 수지상 조직이 관찰된다.

2.2 완전한 공정 미세 조직을 가지는 과공정 합금

Si이 15%, Sr이 0.1% 그리고 Cu, Ni, Mg, Fe 등이 함유되어 있는 합금의 경우 다소 높은 Si 함유량에도 불구하고 완전한 공정 조직을 가진다. 이와 같은 결과는 Sr의 첨가로 인한 공정점의 이동과 더불어 기타 합금 원소들로 인한 영향 때문이다.

2.3 과공정 합금에서 초정 Si과 공정 조직의 초정 Al의 형성

이러한 조직은 15% 이상의 Si을 함유한 합금이 빠른 냉각 속도를 가지는 금형이나 다이캐스팅 등과 같은 공정으로 제조될 때 발생하며 이는 응고가 준평형 상태 하에서 진행되기 때문으로 조직 사진은 그림 2에

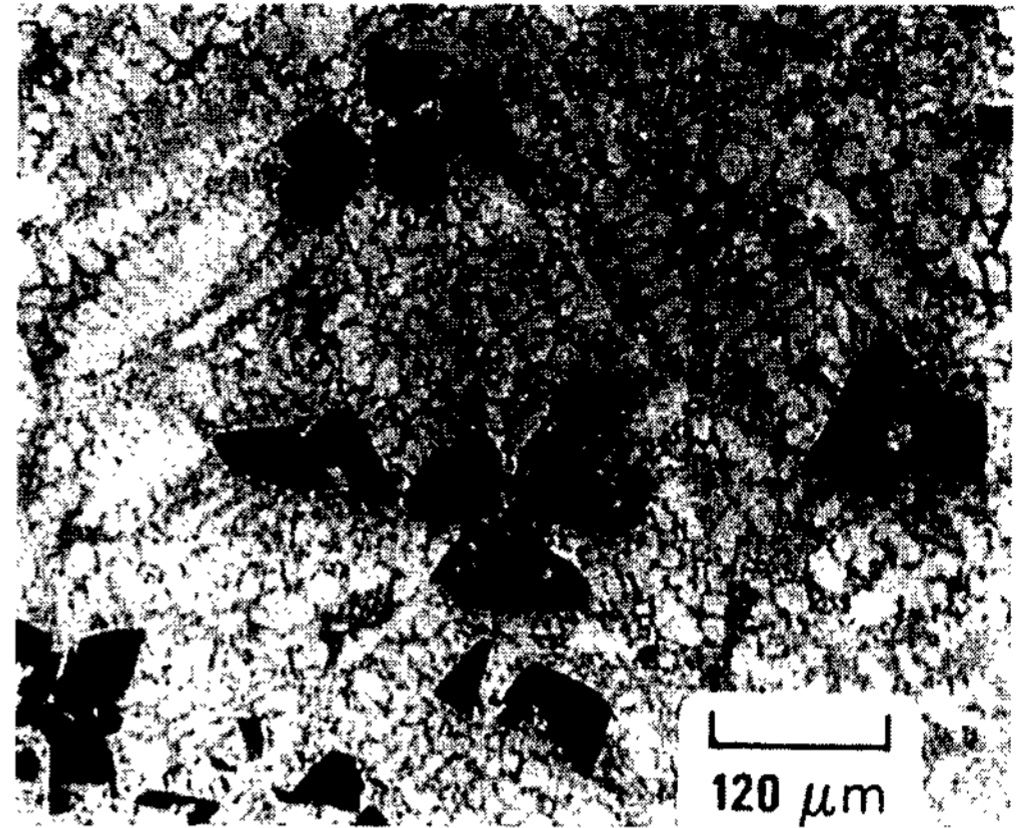


그림 2. 초정 Si, Al 수지상과 공정 조직으로 이루어진 chill-cast A390 합금.

서와 같다.

응고 순서는 그림 3에서 보는 바와 같이 초정 Si이 액상선 아래 온도의 A 점에서 핵 생성이 된 후 성장하기 시작함에 따라 초정 Si 주위의 액상은 Al이 풍부해져서 초정 Si이 액상선 이하의 임계과냉에 의해 A점에서 생성되고 성장하면서, 초정 Si 주변은 Al의 농도가 화살표를 따라 높아진 액상은 액체 상태로 과냉되어 α-Al 액상선의 연장선에 평행한 B 점에서 Al이 핵 생성되어 수지상 형태로 존재하게 된다. 이후 Al 수지상의 성장으로 인근 잔류 액상은 다시 Si의 농도가 증가하면서 coupled region에서 공정상이 얻어진다. 결과적으로 큰 냉각속도(수십 k/sec)에 의한 비평형 응고의 영향으로 말미암아 두 개의 초정상과 큰 과냉도에 의한 미세한 공정 조직이 존재하게 된다.

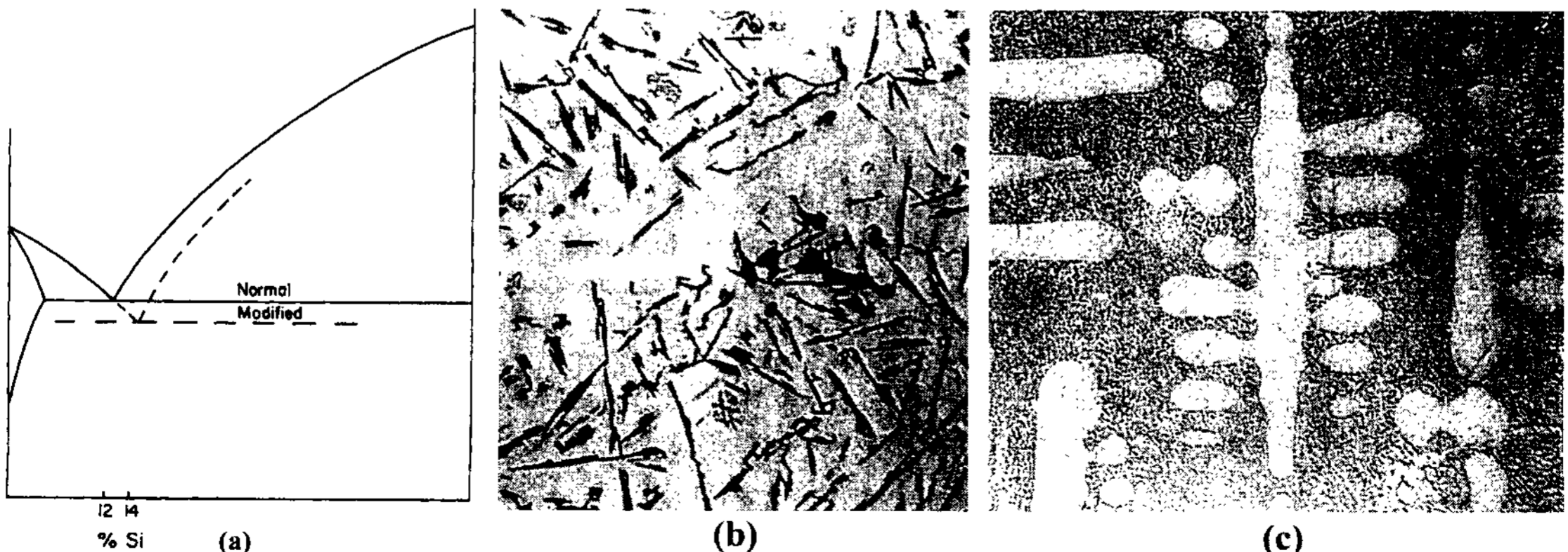


그림 1. 개량화 처리와 빠른 냉각 속도로 인한 공정점의 이동, (a) 공정점의 이동을 개략적으로 나타내는 상태도(100), (b) 공정점 합금의 미세 조직(100), (c) 0.2% Sr이 첨가된 공정 합금(100).

2.4 초정 Si의 형상

과공정 Al-Si의 합금에서 초정 Si은 같은 주물 안에서 여러 가지 형태로서 정출하며 초정 Si의 형상은 냉각 속도, 액상의 온도 구배, 액상 내에서의 국부적인 조성 변화 등과 같은 응고 변수에 상당히 의존한다. 이러한 변수들은 응고하는 동안 지속적으로 변화하므로, 이웃되는 초정 Si의 형태가 다른 것은 당연하다. 가장 일반적인 형상은 아래와 같다.

- 1) 하나의 단일 핵으로부터 5개의 도끼 형태의 날개를 가지는 star-shaped 초정 Si(변형된 형태의 모양도 발견될 수 있다(그림 4(a))).
- 2) 연마한 면상으로 육각형이나 팔각형으로 보이며

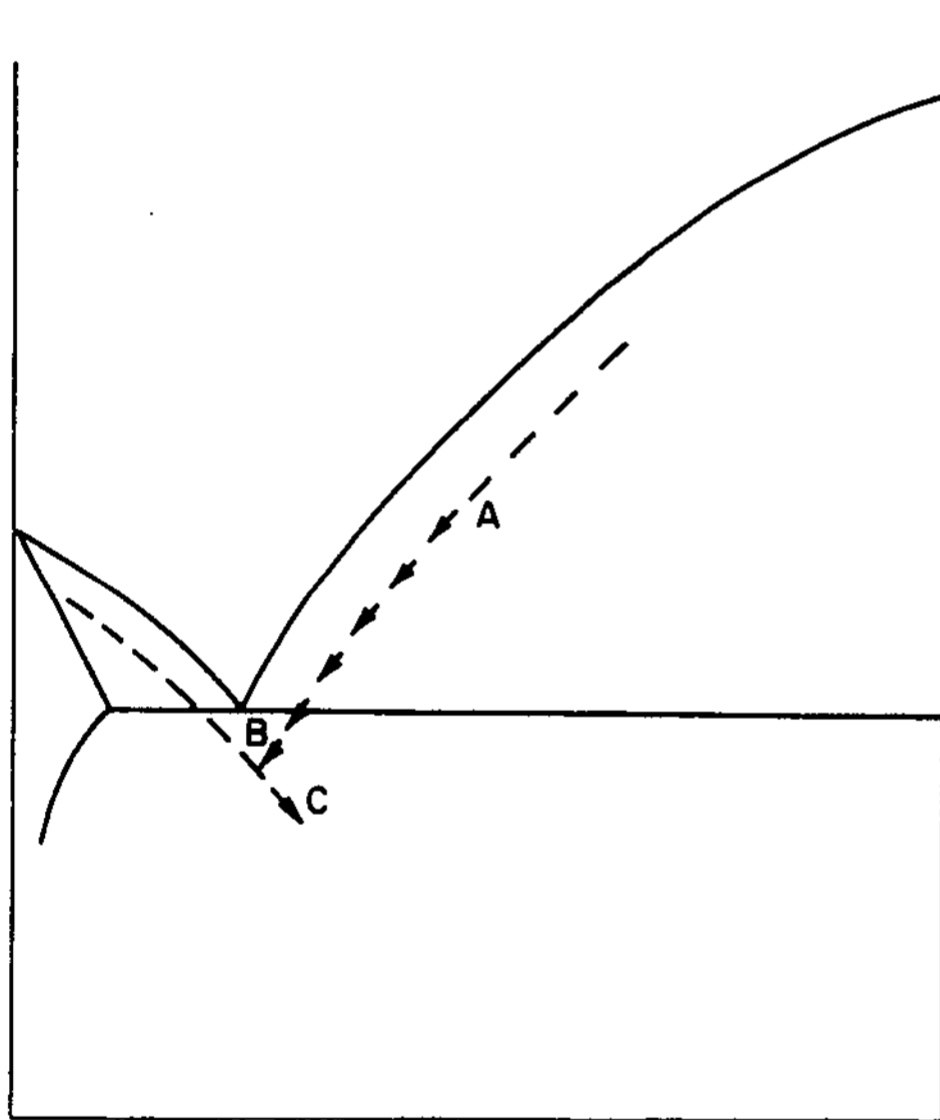


그림 3. 그림 2와 같은 미세 조직을 나타내는 합금에 대한 응고 순서.

또는 많은 면들로서 이루어진 polyhedral 형태(그림 4(b))

3) 아공정 합금에서 Al 수지상의 형상을 닮은 수지상 형태의 초정 Si(그림 4(c))

3. P를 이용한 과공정 Al-Si의 미세화

과공정 Al-Si 합금에서 초정 Si은 용탕 중의 불순물에 의해 쉽게 핵생성되지 않으므로 액상선 온도로부터 상당한 과냉을 통해서 핵생성되고 생성되는 핵들의 수가 소수이므로 조직 내에 조대한 초정 Si이 형성된다. 그 예는 그림 5와 같다. 그리고, 초정 Si은 액상보다 약간 가벼워 사형 구조와 같이 느린 냉각 속도에서는 중력 편석이 나타나며 그 예는 그림 6에서와 같다. 구조품의 위 부분은 초정 Si의 밀도가 높은 반면 아래 부분은 당연히 공정 조직과 같이 나타난다.

과공정 Al-Si 합금은 경질의 초정 Si으로 인해 내마



그림 5. 29°C/sec의 속도로 응고된 Al-17% Si 합금에서 발견되는 전형적인 조직.

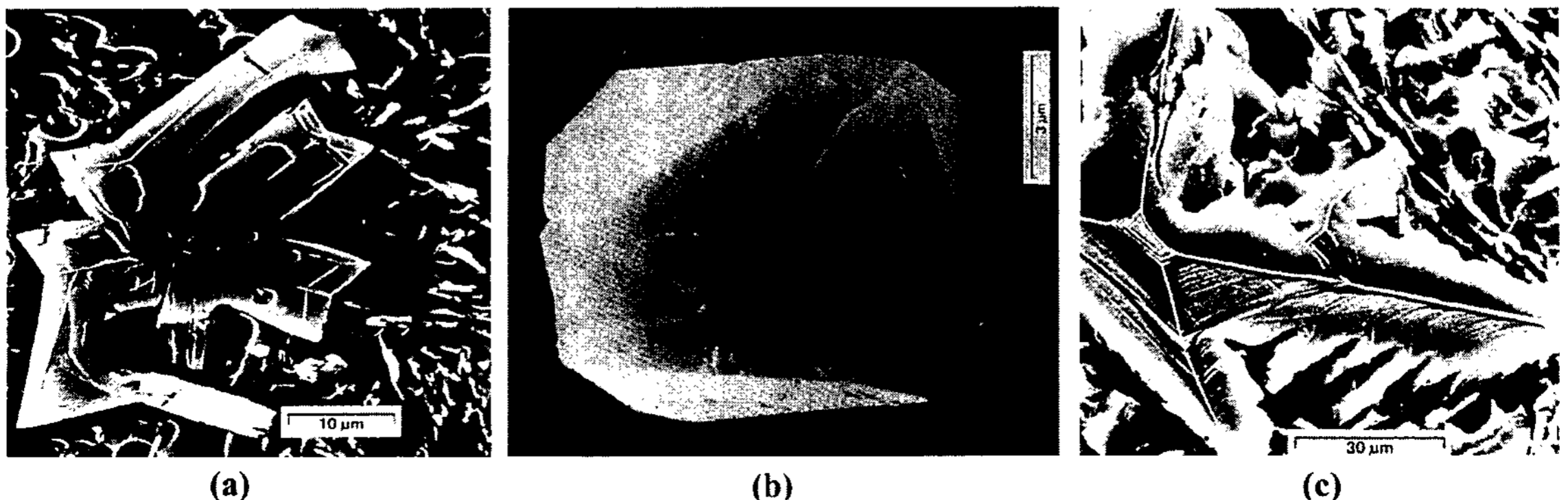


그림 4. 몇가지 초정 Si의 형상(SEM).

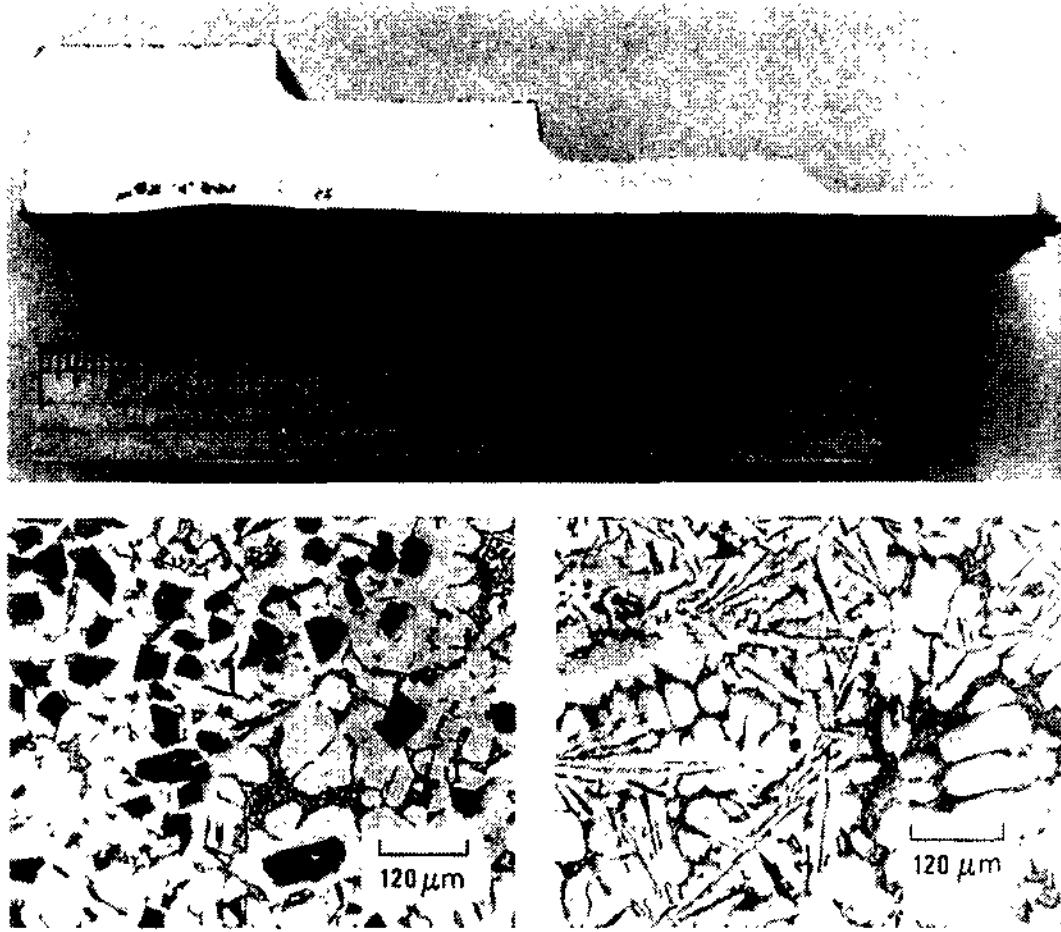


그림 6. 사형 주조한 A390 합금에서 발견되는 거시 편석.
(a) 주물의 전체 절단면, (b) 주물 상부의 미세 조직,
(c) 주물 하부의 미세 조직.

모성이 우수하며 부품의 어느 부분에서나 균일한 내마모도가 필수적이다. 또한 균일한 초정 Si의 분포를 보이는 조직이 그렇지 않은 조직보다 월등한 가공성을 가지는 것과 같이 초정 Si의 균일한 분포는 과공정 Al-Si합금에 있어서 필요한 요건이다. 이를 개선하기 위해서 첨가제의 사용이 필요하다.

첨가제로서의 효과적으로 작용할 수 있는 요소들을 보면 다음과 같다.

1. 용탕 내에서의 신속한 분해 : 낮은 용융 온도와 높은 증기압
2. 안정성 : Al보다 낮은 산화성
3. Al 내로의 낮은 용해도
4. Si-X Silicide 형성

미세화제로서는 P, S, As, Ti, Se 등과 같은 원소들이 알려져 있으며[1], 현재 가장 상용적으로 많이 사용되고 있는 미세화제는 첨가의 용이함, 적은 사용량, 오랜 지속성, 저렴한 가격 등의 장점을 가지는 P가 있다. P 미세화제 외 주목받는 미세화제로서는 S가 있으며, 첨가 시에는 주로 Sulphide 형태로 첨가된다. S는 Al 내의 양을 분석하기가 곤란하다는 점이 있으며 S의 최적의 첨가량은 명확하지 않으나 0.01~0.05%의 첨가 범위와 10~20%의 회수율을 보이는 것으로 보고되고 있다.

3.1 P 미세화제의 미세화 기구

첨가된 P가 용탕 내에서 Al과 결합하여 ZnS 형의 입방정 구조를 가지는 AIP를 형성하고, 이 AIP가 다



그림 7. P가 첨가된 Al-14% Si 합금. AIP 입자가 조대한 Si 결정 내부에 관찰된다.

이아몬드형 결정구조로 facet한 모양으로 성장하는 Si의 불균일 핵생성 자리를 제공함으로써 적은 과냉도에서 초정 Si의 입자가 생성될 수 있도록 한다. 이렇게 AIP 불균일 핵생성 자리로서 작용할 수 있는 것은 격자상수와 결정구조가 유사하기 때문으로[2] Si과 AIP에 대한 비교는 아래 표에서와 같다. 초정 Si의 입자가 큰 경우에 그림 7[2]과 같이 조직 사진으로서 AIP 결정을 확인할 수 있다.

	Structure	Lattice Parameter(Å)	Melting Temp. (°C)
Si	Diamond cubic	5.42	1,414
AIP	Cubics(ZnS type)	5.45-5.47	2,500

또한 P의 첨가는 Si의 액상선 온도를 떨어뜨려 초정 Si의 성장을 위한 시간을 줄여 상대적으로 성장을 억제하므로 초정 Si의 우수한 미세화 효과가 나타난다.

그러나 P는 초정상의 미세화에는 효과적이지만 공정상을 미세화 시키는 데는 아무 역할을 하지 않는다고 알려져 있다.

3.2 P 미세화제의 첨가 형태

P의 첨가형태로서는 원소 P, P-flux, CuP 및 AlCuP가 있으며 원소 P의 경우 용탕과 접촉 시 급격한 연소가 일어나고 용탕을 요동시키므로 초정 Si의 미세화 처리를 위해서는 잘 이용되지 않으며, P-flux의 경우는 Cl₂ 가스가 발생하여 용탕 표면을 요동시킴에 따라 용탕 내로 수소 유입을 일으킬 수 있다. 그리고 Cu-P

는 일반적으로 이용되는 것이나 AIP 형성을 위하여 850 °C에서 미세화처리 후 약 40분 이상을 유지해야 하기 때문에 용탕 내의 수소 가스 혼입, 유독 가스의 발생 및 회수율이 낮다. 또한 Cu-P의 사용과 함께 용탕에 상당한 양의 구리가 투입되게 된다. 많은 과공정 합금이 강화제로서 구리를 포함하게 되는데, 이러한 P 처리를 통해서 구리를 투입할 수 있다. 그러나 구리는 이러한 합금의 부식성을 해치므로 염수에 사용되는 과공정 합금에는 투입이 곤란하다. 이러한 문제를 해결하고자 분말 야금법과 열처리 방법으로 이미 AIP가 미세하게 형성되어 있는 모합금을 개발하여 공업적으로 사용하고 있다. Al 분말과 Cu-P 합금 분말을 섞어 Al-20% Cu-1.4% P가 되게 하여 빌레트를 만들어 이것을 봉 형태로 압출 하였다. 이 봉의 내부에는 Al-기지 조직에 Cu-P 합금 분말이 섞여 있으며 Al이 합금 분말 속에 확산하여 들어가 Al-Cu 층, Al-P-Cu 층을 형성하고 내부에는 Cu-P core가 남아 있는 조직을 나타내고 있다[3]. 이러한 조직 사진은 그림 8과 같다.

압출에 의한 AlCuP의 제조 이외에 기계적 합금화

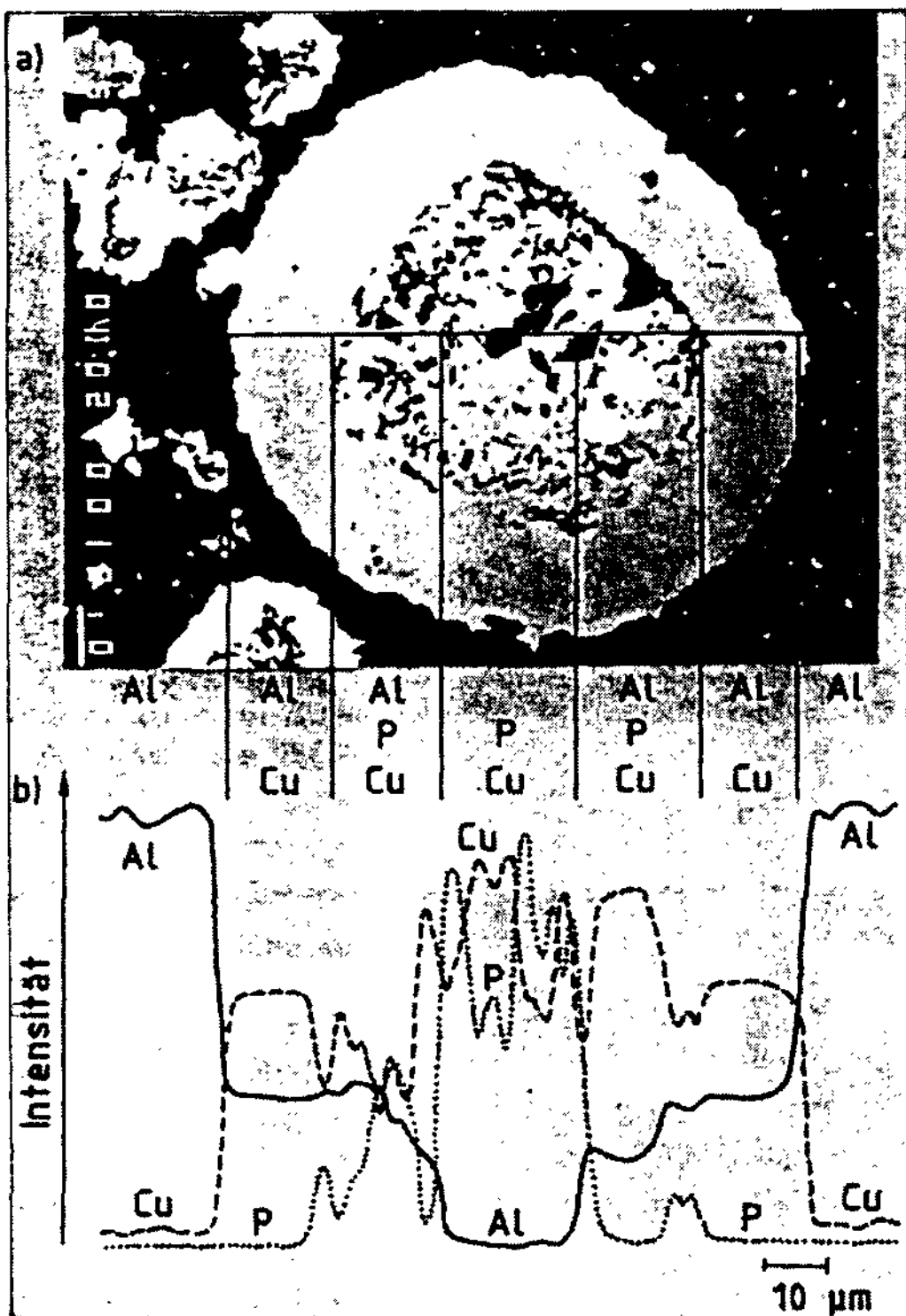


그림 8. AlCuP 합금의 조직 사진(a)과 EPMA 성분 분석 결과(b).

법에 의한 방법도 최근에 연구되고 있다[4].

3.3 P 첨가량과 냉각속도

P 첨가량은 다양한 공정 관련 변수에 의해 변하며, 그 중에 가장 중요한 것은 Si의 함량과 냉각 속도라고 할 수 있다. 최종 처리된 합금 내의 P 분석이 쉽지 않으므로 정확한 P 첨가량을 알아내기가 어렵다. 그러나 실험적으로 확인한 바에 의하면 주조 조건에 따라 0.003~0.015%의 범위로 첨가했을 때 만족할 만한 미세화 효과를 얻은 것으로 보고되고 있다. 미세조직상에서 Si이 미세화 정도에 대한 신속한 조사 방법은 초정 Si의 크기를 직접 측정하지 않고 P 첨가량이 부족할 때 발견되는 별 모양의 초정 Si을 찾아보는 것이다.

과공정 Al-Si 합금의 Si 함량이 증가할수록 초정 Si 입자의 크기는 커지게 된다. 즉, 일정한 냉각 속도와 P를 첨가하지 않은 상태에서 Si의 양을 12%에서 20%로 증가시킬 때 Si의 크기는 40 μm에서 180 μm까지 증가한다. 그러므로 Si의 함량이 많을수록 P의 첨가량도 증가시켜야 하며 Si의 함량이 30% 이상이 되면 완전한 미세화를 기대할 수 없다

P의 과잉 첨가 시의 초정 Si의 미세화에 대한 영향을 살펴보면 그림 9[5]에서와 같다. P 무 첨가에서부터 과잉 첨가까지 초정 Si의 크기 변화를 살펴보면, 무 첨가된 경우에는 초정 Si의 분포가 20~120 μm까지 넓은 분포를 보이다가 최적의 첨가량이라 할 수 있는 0.005~0.006%에서는 20 μm 부근에서 좁은 분포를 보인다. 여기서 과잉 첨가된 0.009%의 경우 초정 Si 크기의 좁은 분포가 다시 20~40 μm 정도로 넓어진다.

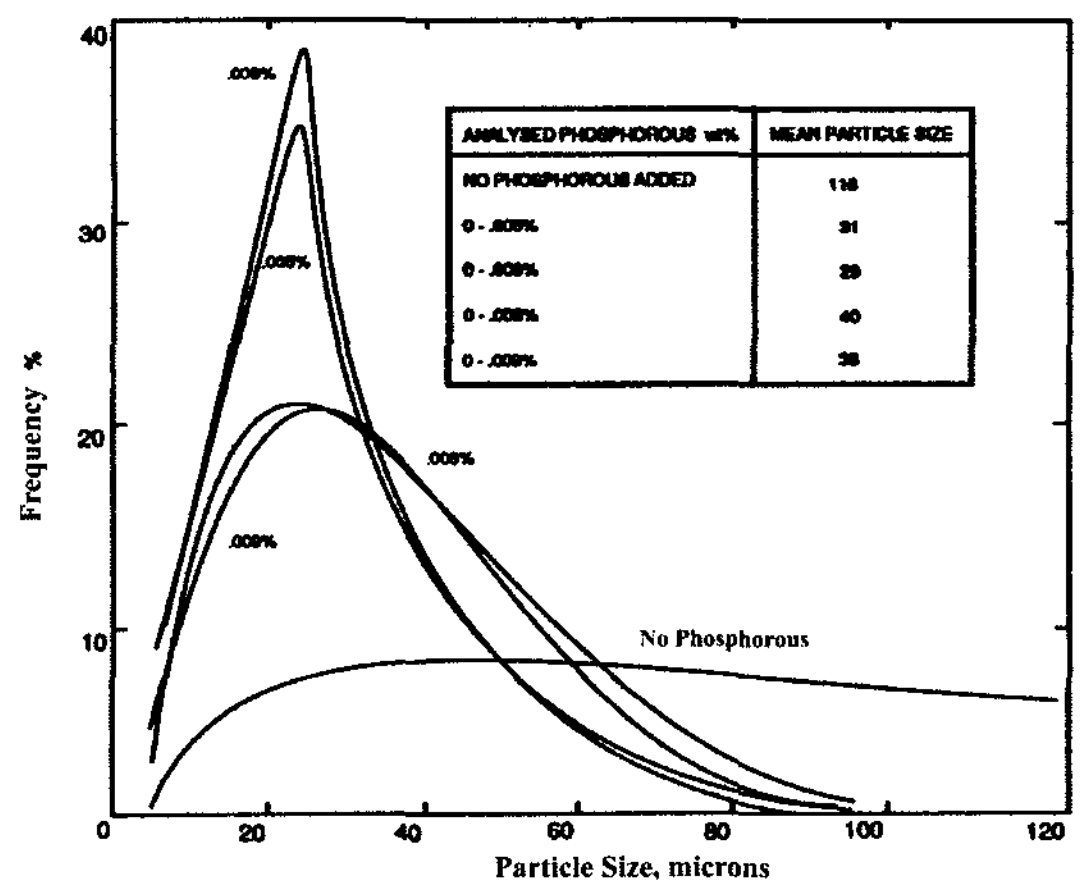


그림 9. P 처리된 과공정 합금의 초정 Si 크기 분포.

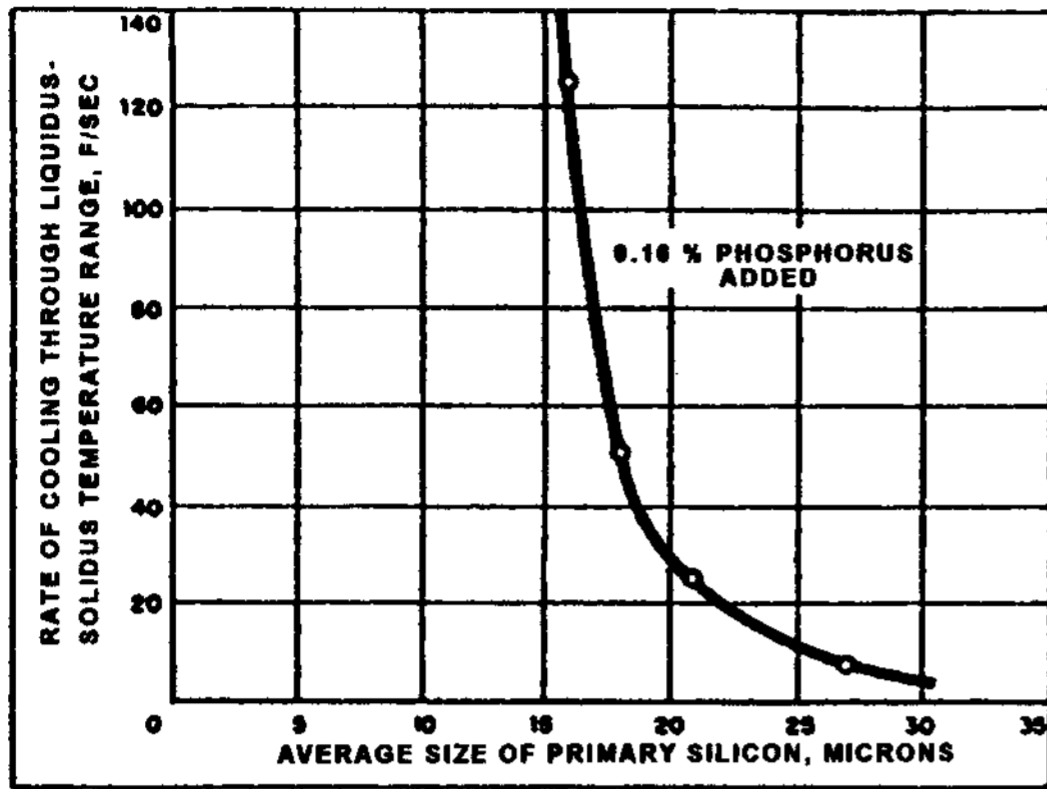


그림 10. P 처리된 Al-23% Si 합금의 초정 Si 미세화에 미치는 응고 속도의 영향.

빠른 냉각 속도일 때 초정 Si이 더욱 미세화 되는데, 이는 응고 될 때 과냉이 커지게 되고 이에 따라 임계 핵의 크기가 줄어들며 같은 양의 P를 첨가하여도 핵생성이 활발해져 미세화를 촉진하기 때문이다. 공정 A390 합금을 다이캐스팅과 같이 빠른 냉각 속도를 가지는 공정으로 주조할 때 P를 첨가하지 않더라도 미세한 초정 Si을 얻을 수가 있는 반면, P를 적정량 첨가하더라도 사형 주조와 같이 냉각 속도가 상당히 느릴 경우에는 상대적으로 만족할 만한 미세화 효과가 나타나지 않는다. 초정 Si의 입자 크기에 미치는 냉각 속도의 영향은 그림 10과 같다. 냉각 속도가 증가할수록 초정 Si이 미세화 되고 냉각 속도 증가폭에 대한 미세화 정도는 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 즉 최적의 초정 Si의 크기는 15~20 μm이며, 이러한 크기를 가지는 구간이 상당히 넓어지게 되는데, 이는 일정한 냉각 속도에 이르면 초정 Si 핵생성을 위한 충분한 과냉도가 이미 얻어졌기 때문으로 생각된다. 최근에 다이캐스팅의 공정과 연속주조 공정 등과 같이 냉각 속도가 빠른 공정들이 개발됨에 따라 P 첨가의 필요성이 줄어들고 있는 추세이다.

3.4 유지 시간 및 재용융

다른 종류의 용탕 처리제와 마찬가지로 P 또한 소멸(fading) 현상을 나타내지만 공정 미세화제인 Na보다는 안정하다. P의 소멸은 AlP 핵들의 용집으로 핵생성 자리의 수가 감소되는 기구로 설명할 수 있으며, 결과적으로 초정 Si이 조대하게 성장하게 된다. Al-23% Si 합금에 대한 P 소멸의 영향을 그림 11[6]에 나

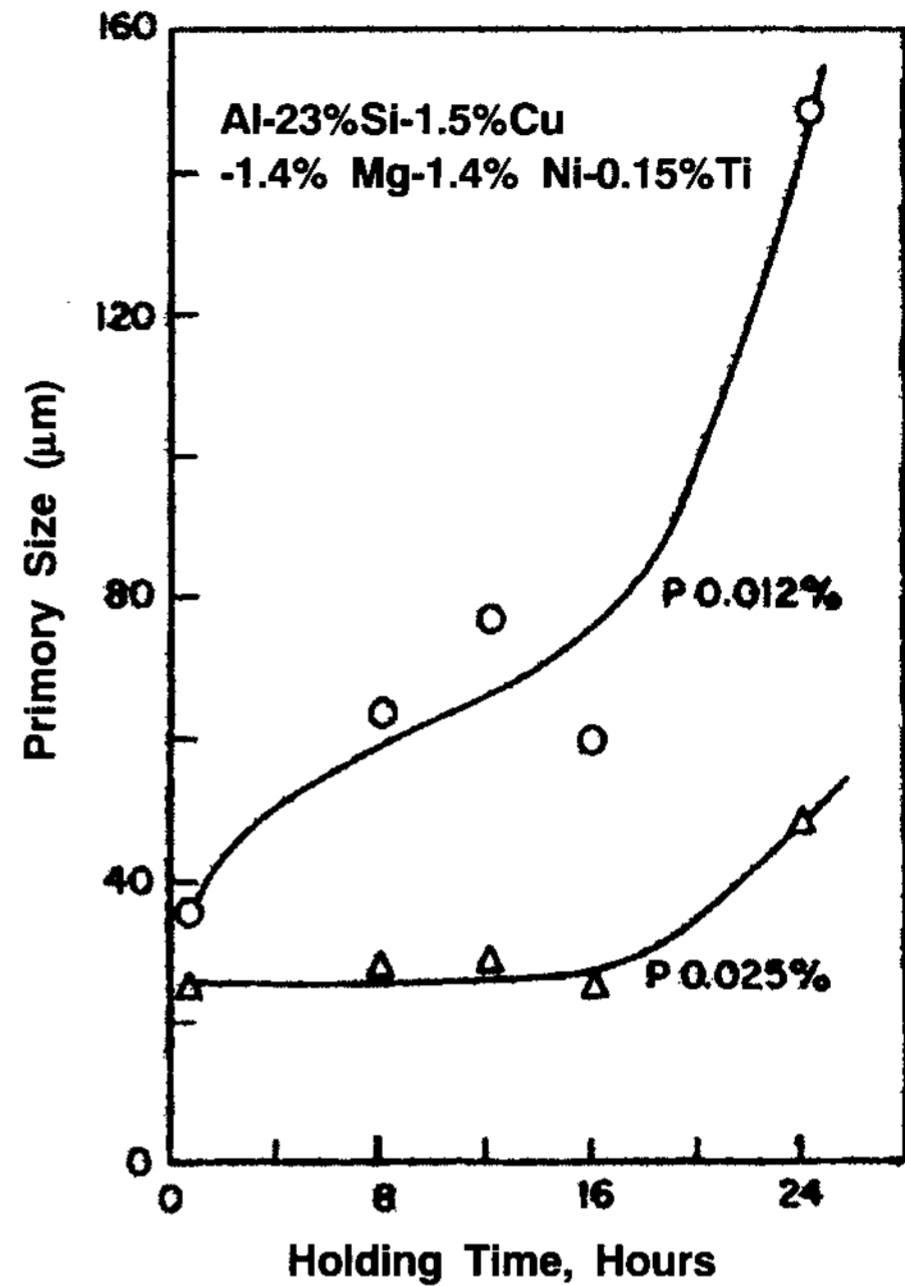


그림 11. P의 소멸이 초정 Si 크기에 주는 영향.

타내었다. 미세화제가 0.015%로 첨가된 경우 초정 Si의 크기는 860°C에서 16시간까지 유지한 후에도 크게 변화가 없으며, 이보다 낮은 0.012%로 첨가된 경우 3~4 시간이 지난 후에도 P 미세화제의 효과를 관찰할 수 있으므로, P 처리된 용탕은 3시간에서 5시간 유지하여도 큰 문제가 없다.

P 첨가한 합금에서 용해와 응고를 반복시켰을 때 P의 효과가 조금씩 감소되나, 5번 정도 재용해한 후에도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다. 예를 들면, 0.016% P로 처리된 Al-22% Si 합금의 경우, 초정 Si의 크기가 33 μm이고, 4번의 재용융 후에는 50 μm까지 증가하여 약 50% 정도 조대화가 일어났다. 그러나 그 조대화 정도는 공정 미세화제인 Na과 Sr에 비교하면 양호한 편이다.

3.5 탈가스 효과

Al-Si 합금에서 Si의 함량의 증가가 알루미늄에 포함된 수소의 전체 용해도를 어느 정도 감소시키지만 액상선의 상승에 따라 용탕 처리 온도가 높아져서 수소의 분해를 촉진하고 Al 용탕으로의 고용을 증가시킨다. 그러므로 탈가스 처리는 과공정 합금을 주조할 때 매우 중요하다. 탈가스제로는 nitrogen-chlorine이나 nitrogen, argon, hexachlorethane의 다양한 혼합물이 이

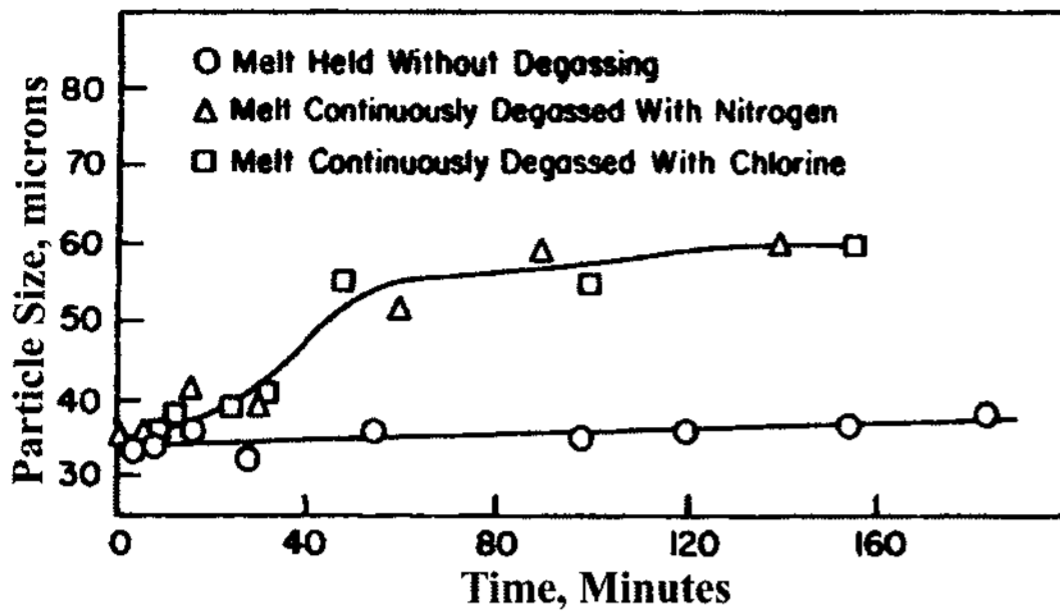


그림 12. Al-22% Si 합금에서 초정 Si 크기에 대한 탈가스 처리의 영향.

용될 수 있다. 여기서 탈가스 처리 시 용탕 내의 P 잔류량이 감소하므로 그 처리 시간을 최소화해야 한다. 그림 12는 이러한 탈가스 처리의 효과를 보이고 있는데 800°C에서 탈가스할 때 나타나는 초정 Si의 조대화를 단순히 탈가스 처리 없이 용탕 유지한 시편과 비교한 것이다. 탈가스와 AIP사이의 상호작용은 아직 잘 알려지지 않았지만 탈가스 처리에 의해 생성된 가스 기포가 AIP와 함께 용탕 위로 부유하여 용탕 내 P 잔류량이 감소하는 것으로 여겨진다.

탈가스 처리를 시간을 적게 하였을 때는 오히려 미세화가 촉진된다는 보고도 있다. 이런 현상은 탈가스 처리 자체에 관련된 것이 아니라 AIP의 손실이 일어나지 않을 정도의 처리 시간에서 탈가스제에 의한 용탕 교반 효과로 용탕 내에서 AIP 핵이 균일하게 분포되기 때문으로 생각된다.

3.6 미세화제 첨가 온도와 주조 온도

용탕 내에서의 AIP를 형성하는 반응에 대하여서는 분명히 밝혀져 있지는 않지만, 실험적인 관찰을 통하여 낮은 온도에서보다는 높은 온도에서 더욱 고른 초정 Si의 핵의 분포를 얻을 수 있다는 것이 밝혀졌다. 따라서 미세화제 첨가와 주조 온도는 될 수 있는 한 높이는 것이 좋다. Tagami와 Yo는 Al-20% Si 합금에 0.02% P 처리 조건에서 처리 온도와 주조 온도가 700°C일 때보다도 900°C에서 훨씬 미세한 초정 Si을 얻을 수 있다고 보고하였다[7].

최근에 많이 사용되는 압출제인 AlCuP 합금은 일정량의 AIP가 합금 내에 이미 형성되어 있기 때문에 AIP 형성을 위한 높은 온도로의 용탕 유지가 불필요하여 750~800°C에서도 충분한 초정 Si의 미세화 효과를 얻을 수 있다[3].

4. 초정 Si 미세화의 효과

4.1 유동성과 feeding

과공정 알루미늄 합금들은 초정 Si의 높은 용융 엔트르피로 인해 유동성이 뛰어나다. 그러나 미세화처리를 하지 않으면 조대한 초정 실리콘 결정들이 응고의 마지막 단계에서 서로 간섭하게 되어 불량한 feeding 특성을 야기한다. P 첨가를 통해 이러한 초정 Si을 미세화 하여 초정상이 용탕의 feeding을 간섭하는 경향을 줄일 수 있다.

4.2 인장 특성

취성을 나타내는 Si 상이 미세화 되고 고른 분포를 가짐으로 인해 인장 특성을 향상시킬 수 있다. 인장 강도의 개선은 합금 내의 Si의 함량에 따라 10%에서 100%까지 가능한데, 공정 조성으로부터 멀리 떨어진 합금일수록 미세화처리의 효과는 줄어든다. 물론 인장강도는 보통 Si의 조성이 증가될수록 감소한다. 이러한 효과들은 그림 13에 잘 보여진다.

과공정 합금의 연성은 상당히 낮아서 미세화 되지 않은 상태에서 그 값은 0.05% 이하이며, 미세화된 경우에 1~2%까지 향상시킬 수 있다.

4.3 가공성

과공정 Al-Si 합금을 실용화하기 위해서 양호한 가공성 또한 확보해야 하므로 가공성의 개선은 P 미세화의 주된 목적 중 하나이다. 자동차용 Al 합금 주물

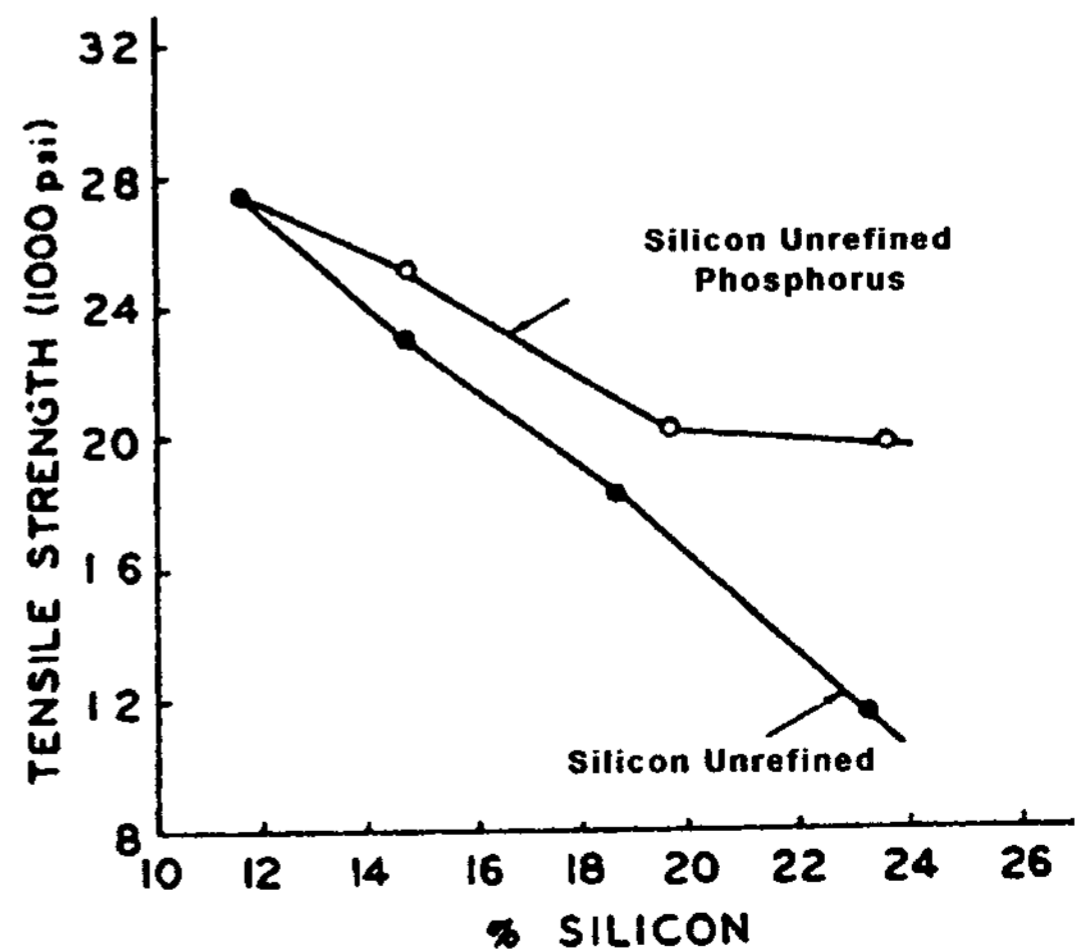


그림 13. P 처리 유무에 따른 인장 강도의 변화.

의 가공성은 대략 다음과 같은 요인들로부터 영향을 받는다.

- (1) 합금의 화학 조성, 미세 조직 및 각종 물성
- (2) 주조 방법
- (3) 미세 조직을 변화시킬 수 있는 여러 가지 후처리 방법
- (4) 재료의 강도
- (5) 금속 또는 비금속 불순물

Al-Si 과공정 합금의 미세 구조상에서 조대한 Si은 마찰제로서 작용해 공구의 마모가 일어나고 공구 수명을 단축시키며, 특히, 비탄소 공구일 때는 마모가 더욱 심하다. 게다가 작업 시편의 불균일한 열 발생은 정밀한 치수로의 가공을 어렵게 한다. 따라서 초정 Si의 미세화가 필요하다. Rooy는 C89 합금(20 Si%)에서 초정 Si을 미세화 시켰을 때, 공구의 마모량이 사형, 중력 금형과 다이캐스팅 주물에서 각각 70%, 50% 및 36%로 감소되었다고 보고하였다[8].

과거의 Al-Si 과공정 합금의 가공성 문제는 새로운 공구재의 개발과 다결정 다이아몬드 공구 및 특수 코팅된 공구 등의 개발에 따라서 현재는 상당히 개선되었다. 하지만 공구의 수명을 더욱 연장시키기 위해서는 적절한 가공 조건 및 절삭유의 선택이 필요하다.

더불어 P 첨가로 초정 Si을 미세화 시키면 표면 거칠기도 향상시킬 수 있다.

4.4 내마모성

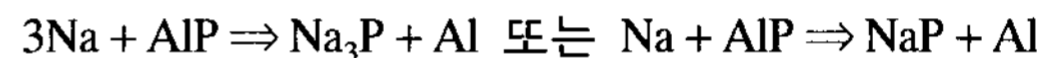
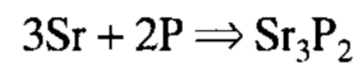
과공정 합금들은 내마모성을 필요로 하는 응용 부분에 중요하게 사용되어진다. 미세화가 이러한 내마모성에 미치는 영향은 확실치 않다. 이것은 재현성 있는 내마모 실험의 실행 가능성과 연관이 있다.

내마모성을 결정하는 것은 초정 Si의 모양보다는 상분률이라는 학설도 있다. 즉, 높은 Si 조성을 포함한 합금이 낮은 Si 조성의 합금보다 내마모성이 우수하다. 이와는 상반되는 관점으로 미세화가 내마모성을 극대화시킨다는 주장도 있다. 그런데 이 양자를 지지하는 실험 결과들이 각각 나와 있다. 아마 이러한 모순되는 실험결과들은 내마모성을 결정짓는 중요한자

가 단순히 Si의 모양과 크기가 아니라, 윤택이나 적용된 부하와 같은 변수들이라는 사실을 말해 주고 있다. 자동차 응용 부문에서도 내마모성은 국부적인 공정 기지 조직을 소멸시키는 특별한 에칭 공정에 따라서 증가되는데, 표면으로 드러난 초정 Si상들이 내마모성을 증가시키는 것으로 생각된다.

5. 공존 원소의 영향

Sr과 Na는 공정 개량화제로서 첨가되나 아래의 식과 같이 초정 미세화제인 P와 화합물을 만들기 때문에 용탕 내에 함께 첨가하면 조대한 초정 Si을 얻게 된다.



이상에서 초정 Si의 미세화에 대하여 P 첨가를 중심으로 제반 특성 및 효과들에 대해서 간단히 설명하였다. 그러나 본문에서도 밝혔듯이 실제 미세화처리는 다양한 공정 변수들의 영향을 받으므로, 목적에 적합한 Al-Si 합금 주물을 얻기 위해서는 이들 각종 공정 변수들이 초정 Si의 크기, 분포 및 편석에 미치는 영향들에 대한 계통적인 연구와 함께 연구자료들의 체계적인 분류 및 분석 작업이 선행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] G. K. Sigworth : AFS trans., 82 (1987) 303.
- [2] P. B. Crosley, L. F. Mondolfo : AFS Trans., 74 (1966) 53.
- [3] W. Vogel, W. schneider : Giesserel, 78 (1991) 848.
- [4] 박재영, 이재상, 나형용 : 주조, 15, 4 (1995) 416.
- [5] Bates, A. P., D. S. Calvert. : The British Foundryman, 59 (1966) 119.
- [6] Adachi, M. : Journal of Japan Institute of Light Metals, 34 (1984) 430.
- [7] Tagami, M. , S. Yo : Journal of Japan Institute of Light Metals, 26 (1976) 273.
- [8] E. L. Rooy : AFS Trans., 80 (1972) 421.