

技術資料

Al-Li계 합금의 용해 및 정밀주조 기술

홍준표*

Melting and Investment Casting Technology of Al-Li Alloys

C. P. Hong*

1. 서론

금속중 가장 가볍고(0.54g/cm³) aluminum에 대한 고용도가 4번째인 lithium을 aluminum에 첨가하면, 매 1wt%의 Li첨가에 의해 밀도를 약 3%씩 감소시키고, Young's modulus를 약 6% 증가시키기 때문에, Al-Li계 합금은 무게경감과 더불어 고도의 강도/인성의 조합을 목표로 하는 항공기용 재료에의 응용이 추진되고 있다.

Al-Li계 합금의 제조는 잉고트 야금법(I/M법)과 분말야금법(P/M법)의 두가지 방법이 있으나,

최근의 경향은 분말야금법에 비하여 화학조성 선택의 폭이 제한되지만 가격이 저렴하여 대형 잉고트의 대량생산이 가능한 I/M법의 개발 및 응용에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. Alcoa, Alcan, Pechiney등에서는 최근 I/M법에 의하여 수톤급 이상의 잉고트를 대량생산할 수 있는 설비를 갖추고 있다.(표 1.) 또한 최근 P/M법의 일종인 ball mill에 의한 mechanical alloying법(M/A 법)이 개발되어 강도와 연신율이 높은 합금이 얻어지고 있다.¹⁾ 표 2.에 이들 각 제조법의 장단점을 나타내었다.

Al-Li계 합금 제조상의 기본문제는 Li의 화학적 반응성 때문에 불활성 가스를 제외한 비금속원소

표 1. I/M법에 의한 Al-Li 합금의 양산설비 투자현황²⁾

회 사 명	설 비(용해, 주조설비)			합 금 명	생 산 능 력
	Ingot size	투 자 액	가 동 시 간		
Alcoa	4.5ton	-	1984년	Alithalite	
	9ton (9ton)	1000만불 5000만불	1985년말 (1988)		
Alcan	1ton	-	1983년말	Lital	
	3ton	1000만파운드	1985년		
Pechiney	1.2ton	-	1984년 9월	CP 합금	4000ton/년
	7ton	3억 프랑	1987년말		

표 2. 현재의 I/M법과 P/M법의 장단점²⁾

제 조 법	재 료 특 성				제 품			
	인 성	밀도, 탄성을	고온특성	초소성능	크 기	형 태	품질의 안정성	가 격
I/M	△	○	△	○	大	전 부	○	○
P/M (M/A)	△	○	○	△	小	압 출 단 조	△	△

우수평가 : (우) ○ > △

*연세대학교 교수

(O, C, N, H) 등과 높은 반응성을 나타내는데 있다. 즉, 대기나 수분등과 강한 반응성을 나타내기 때문에 Al-Li계 합금 제조법의 최대문제가 되는 것은 Li의 활성도가 보다 높은 상태에 처하는 용해, 주조, 열처리등의 고온영역의 공정에 있다.

Al-Li계 합금의 실용화를 위한 대량생산 체계를 갖추기 위해서는 용해, 주조공정의 확립화가 가장 중요한 과제중의 하나라고 할 수 있다. 즉 건전한 잉고트의 제조법 개발이 시급하다. 따라서 이러한 목적을 위해서는 용해, 주조시 발생하는 각종 산화물, 개재물의 혼입방지, 수축공 발생제어, 편석방지 및 미세조직의 제어등이 필요하며, mold 형상 및 크기의 정량적인 설계와 응고 양상의 제어가 필요하다.

지금까지 Al-Li계 합금은 단조, 압출 및 압연재로서 개발되어 실용화되어 왔다. 그러나 Al-Li계 합금의 보다 광범위한 응용을 위해서는 구조용 재료로서 뿐만 아니라, 주조품으로서의 연구, 개발이 필요하다. 즉 Al-Li계 합금의 정밀주조 기술의 개발에 의하여 각종 항공기 기체부품에의 적용이 가능하다고 본다. 특히, 정밀주조법은 제품의 치수정밀도가 높고, 표면정도가 높으며, 다른 가공법에 비하여 복잡한 형상의 제품을 용이하게 제조할 수 있기때문에 항공기 부품생산에 적합한 방법이다. 이러한 목적을 위해서는 정밀주조용 Al-Li계 합금의 개발과 더불어 정밀주조 기술개발이 필요하다고 본다.

본문에서는 이상과 같이 Al-Li계 합금의 대형 잉고트제조를 위한 용해 및 정밀주조기술의 개발

을 위한 기본적인 대책에 대하여 간단히 소개하기로 한다.

2. Al-Li계 합금의 용해 및 주조시의 문제 및 대책

2-1. 제조기술상의 문제점

Al-Li계 합금의 잉고트 제조시에 있어서의 문제점과 그 대책을 표 3에 표시한다.²⁾ Al-Li계 합금의 용탕은 대기중에서 극히 산화되기 쉽기 때문에 Li의 용해 손실이 증가되어 Li의 조성관리가 어렵고, 산화물의 침입에 의한 재료특성, 특히 인성이 저하되는 문제가 있다. 또 수소가스도 기존의 합금에 비하여 훨씬 높아 수cc/100g Al으로 다량 흡수되어, 잉고트의 porosity의 발생이나 LiH나 Li₃AlH₆ 등의 수화물이 생겨 인성, 연신율 및 전단항복비등의 저하를 가져온다.

따라서 용해, 주조시에 대기와의 차단을 위해서 LiCl/LiF등의 flux나 Ar gas 등의 불활성가스 분위기에 의한 차단법이 강구되고 있다. 또 Li은 산소나 질소등과의 반응성이 높기 때문에, 액체 lithium은 화학적으로 안정한 내화물과도 반응을 하며,³⁾ Al-Li 용탕의 경우도 노재와 반응하여 노재를 침식하거나, 침식된 노재가 용탕중에 혼입되어 재질의 약화를 가져 오기 때문에, 노재의 개발 및 선택이 중요하다.

이와 같이 Al-Li계 합금의 용탕은 산화물과 노재의 개재물 및 수소가스를 함유하기 때문에 이를 제거하는 것이 중요하다. 제거법으로는 기존의 Al

표 3. 제조기술상의 문제점(I/M 법)²⁾

공정	문제점	현재의 고려대책	금후의 과제
용해	Li의 산화, 용손의 방지 Li산화물 제거, 다량의 수소가스 흡수 노재와의 반응방지 Na의 저감	Ar gas와 LiCl/LiF flux covering 미세기포의 Ar gas에 의한 정련 순흑연, 순알루미나 저Na의 원료(Li, Al)의 선정	저가의 산화방지 분위기법의 개발 filter등의 정련법의 개발 저렴한 노재 개발 저cost, 저Na의 Li원료의 개발 탈Na정련법의 개발
주조	용탕과 물과의 격렬한 반응에 의한 폭발	물을 대체한 냉각매체의 사용 (에틸렌 글리콜등) 물과 접촉이 없는 주조 피트의 개발 순Al의 cladding주조법	안전한 저 cost의 주조법의 개발

계 합금의 정련법이 기본적으로 적용될 수 있지만, 사용되는 내화물의 선정, ceramic filter의 재질이나 정련가스의 선정이 중요하다. 질소가스는 Li과 반응하여 Li₃N을 생성하기 때문에 반응없는 Ar gas를 사용하는 경우가 많다.

Li의 첨가는 금속 Li 또는 Al-Li중간합금으로서 첨가되지만, Li중의 불순물로서 함유되는 Na나 K는 Al-Li 합금중에 수십 ppm함유되어도 인성을 저하시킨다. Na의 제거법으로는 Bi, Fe, Si을 첨가하여 화합물을 형성시켜서 개선하는 방법이 제안되고 있지만,⁴⁾ 불용성 화합물을 증가시키는 문제가 있다.

또한 대형 잉고트 주조법으로서, Li을 1.2~2% 정도 함유한 합금의 DC주조에서는 냉각수와 용탕이 반응해서 폭발을 일으키는 일이 있어,⁵⁾ 냉각매로서 물대신 에칠렌 글리콜을 사용하는 주조법,⁶⁾ 용점이 높은 순 aluminum을 Al-Li 합금주괴 표면에 clad주조하는 기술⁷⁾ 등이 개발되고 있다.

2-2. 용해도가니

Al-Li계 합금의 용해에 사용되는 도가니는 Li의 화학적 반응에 의한 침식때문에 일반적으로 Al₂O₃, SiC, graphite, tantalum도가니 등이 사용되고 있다. 그러나 반응에 따른 침식을 방지하기 위해서는 고순도의 도가니를 사용해야 하며 이에 따른 생산 비용이 크게 증가하게 된다. 따라서 저렴한 도가니 재료의 개발이 필요하다.

고순도(99.9% 이상) Al₂O₃ 분말을 저급의 도가니에 코팅한 도가니를 사용하므로써 이러한 문제점을 해결할 수 있다.⁸⁾

2-3. 산화물, 개재물 혼입방지

용탕의 산화를 방지하기 위해서는, 불활성가스

및 flux 사용에 의한 산화 방지, gas bubbling에 의한 수소가스의 제거가 필요하며, 용탕중의 산화물 및 dross 등을 제거하기 위하여 Al-Li계 합금용의 ceramic filter의 사용이 필요하다. Al-Li계 합금용의 고순도 ceramic filter의 특성을 표 4.에 소개한다. 이러한 filter의 사용에 의하여 용해중에 발생한 각종 개재물과 산화물을 주조시에 제거할 수 있으나, 아직도 Al-Li 합금용 ceramic filter의 국산화가 이루어지지 않고 있으며, 그 가격이 비싸 저렴한 filter의 개발이 필요하다. 또한 대형잉고트 제조를 위한 filter의 개발이 요구된다. 특히 진공 또는 분위기 용해후 주조작업으로 용탕을 이동할 때 1) degassing, 2) oxidation방지 등이 필요하며, 이를 위해서 불활성 가스에 의한 bubbling, flux 사용 및 filtering이 필요하다.

2-4. 결정립 미세화

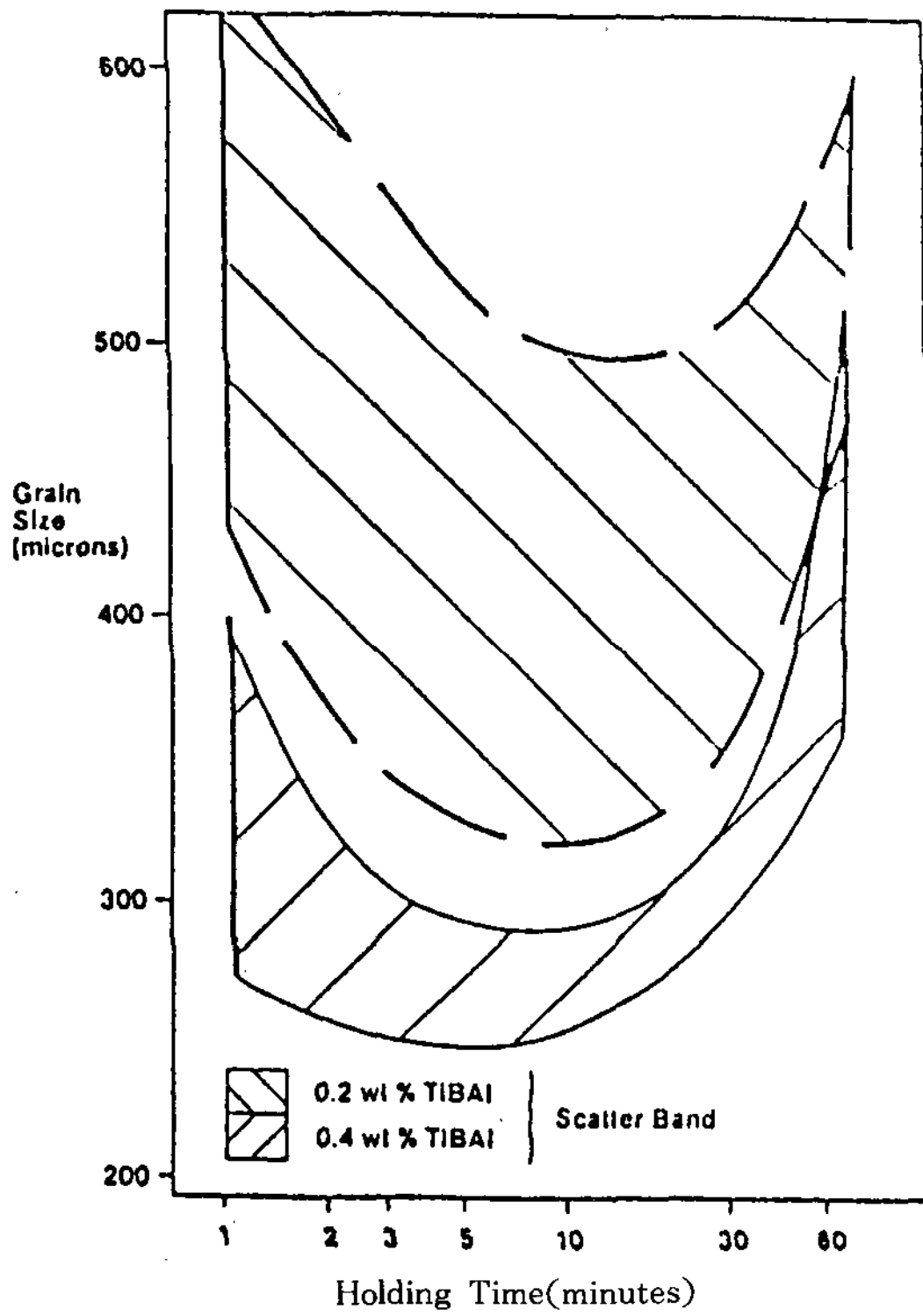
잉고트의 결정립의 크기는 응고과정에서의 핵생성과 밀접한 관계를 갖고 있다. 일반적으로 Al계 합금의 결정립 미세화는 응고과정에서 핵생성을 촉진시키기 위한 접종제(inoculants)의 사용에 의하여 이루어지고 있다. 불균일 핵생성을 촉진시키는 접종제로서는 TiB₂, Al₃Ti, TiC, Al(TiB)_x(or TiBAl 및 TiAl) 등이 있는데, 접종제의 효과는 용탕의 온도가 높을수록 용탕내에서의 유지시간이 길수록 감소된다.

이러한 접종제는 pellet형 또는 rod/wire형으로 용탕내에 첨가되며, 용탕내에서 균일하게 분포시키므로써 균일한 미세조직을 얻을 수 있다.⁹⁾ 그림 1.은 TiBAl과 TiAl에 의하여 8090합금의 결정립 미세화를 시켰을 때의 영향을 나타낸다.¹⁰⁾

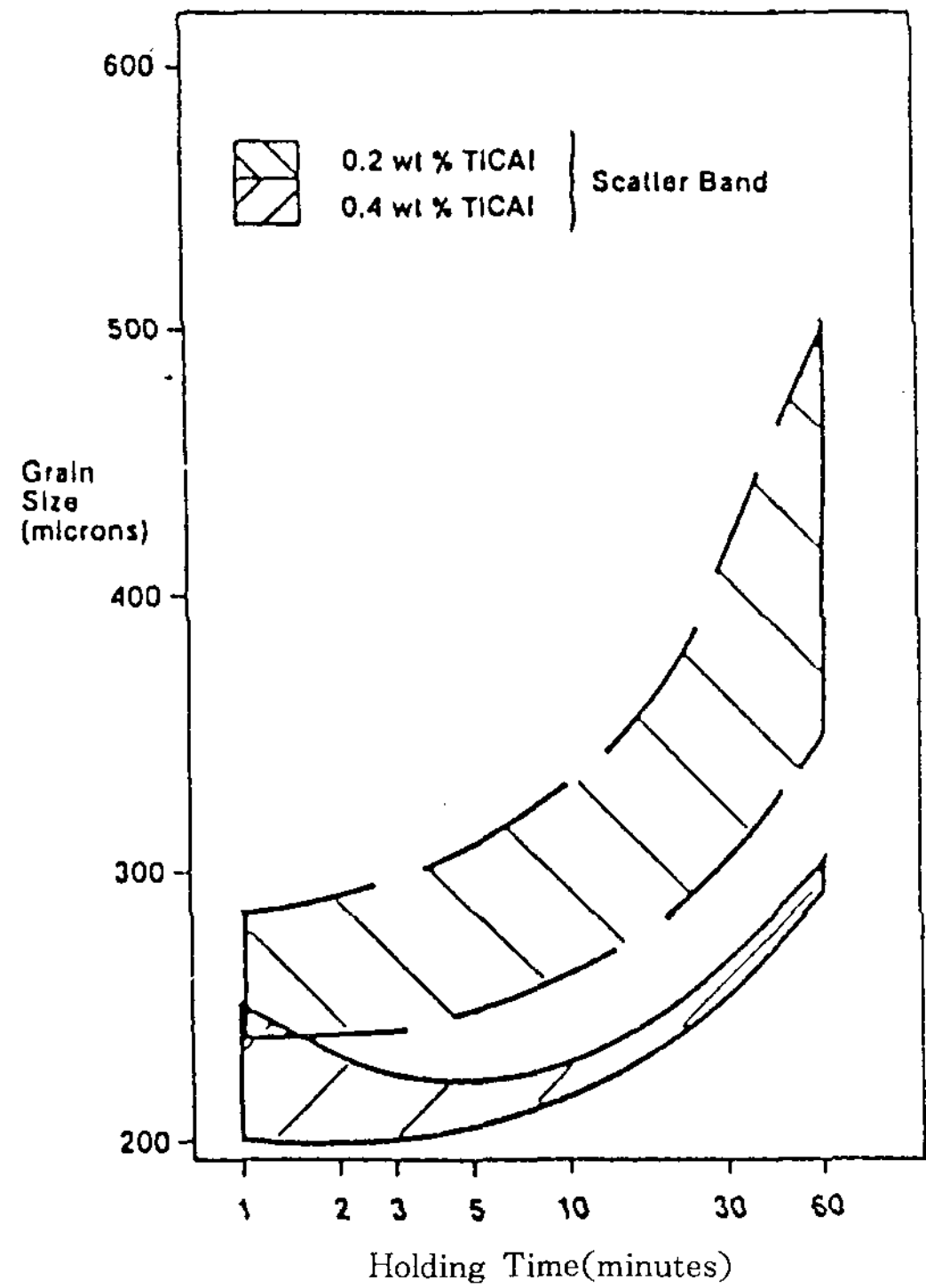
그리고 잉고트 제조시 주형내의 용탕을 전자교반(electromagnetic stirring)에 의해 결정립 미세

표 4. Ceramic filter의 특성

-
- 1) Aluminium Lithium-용 filter
 - 2) Sintered Alumina Body(99% + Al₂O₃)
 - 3) Max. use temp. °F : 2000°F(unpreheated)
3000°F(preheated)
 - 4) Thermal shock resistance : Fair to good(2000°F)
 - 5) Compressive strength(N/cm²) : 349(506 psi)
 - 6) Bending Strength(N/cm²) : 86(125 psi)
 - 7) Pore size : 3~100 pores per inch
 - 8) Possible alloy castings : High melting non-ferrous filtration including reactive metals
-



(a) TiBAI



(b) TiCAI

그림 1. 8090 Al 합금의 결정립 미세화에 미치는 TiBAI 및 TiCAI의 효과¹⁰⁾

화할 수도 있다.¹¹⁾

2-5. 편석(Segregation)

응고과정에서 합금원소의 불균일한 분포에 의한 각종 편석의 발생은 잉고트 제조 이후의 각종 가공 프로세스 및 제품의 성능에 큰 영향을 미친다. 이러한 편석은 합금원소의 고/액분배계수 및 용탕의 응고특성에 따라 발생하게 되며, 크게 두가지로 나누어 1) 미시편석(micro-segregation)과 2) 거시편석(macro-segregation)으로 나누어 진다.

잉고트의 제조 방법에 따라 발생하는 편석의 양상도 다르나 여기에서는 각종 Al합금 잉고트 제조에 널리 이용되며, 최근에는 Al-Li계 합금의 대형 잉고트 제조에 이용되기 시작한 Direct Chill(DC) Casting법¹²⁾에 있어서의 편석발생에 대하여 다루기로 한다.

DC주조법이란 그림 2.에 표시한 것과같이 용융 Al합금을 수냉주형에 주입하므로써, 주형/용탕 계면에서 먼저 응고가 시작되어, solid shell을 형성

하고 잉고트를 연속적으로 하부로 인발하면서 잉고트를 직접 물로 냉각시키므로써 잉고트를 제조하는 방법이다. 이때 발생하는 편석은 앞에서 소개한 두 가지로 생각할 수 있다.

가공 프로세스 및 제품의 성능에 중요한 영향을 미치는 거시편석(macro-segregation)은 잉고트의 두께의 전부분에 걸쳐서 나타나는 합금원소의 불균일 분포를 나타내는 것으로서, 잉고트의 크기가 증가할수록 크게 발생한다. 이것은 잉고트의 위치에 따른 냉각속도의 변화 및 용융부에 있어서의 대류에 의한 유동현상에 따라 응고양상이 변화하기 때문이다. 즉, 잉고트의 상부 중심부에서 유입된 용탕은 다음과 같이 서로 다른 3 부분의 열전달에 의하여 냉각된다.

- 1) mold 벽과의 초기 접촉부
- 2) air gap 형성부
- 3) 물에 의한 잉고트의 직접냉각부

응고양상은 잉고트의 크기 및 형상, 주입온도, 주조속도, 합금의 종류에 따라 달라진다.

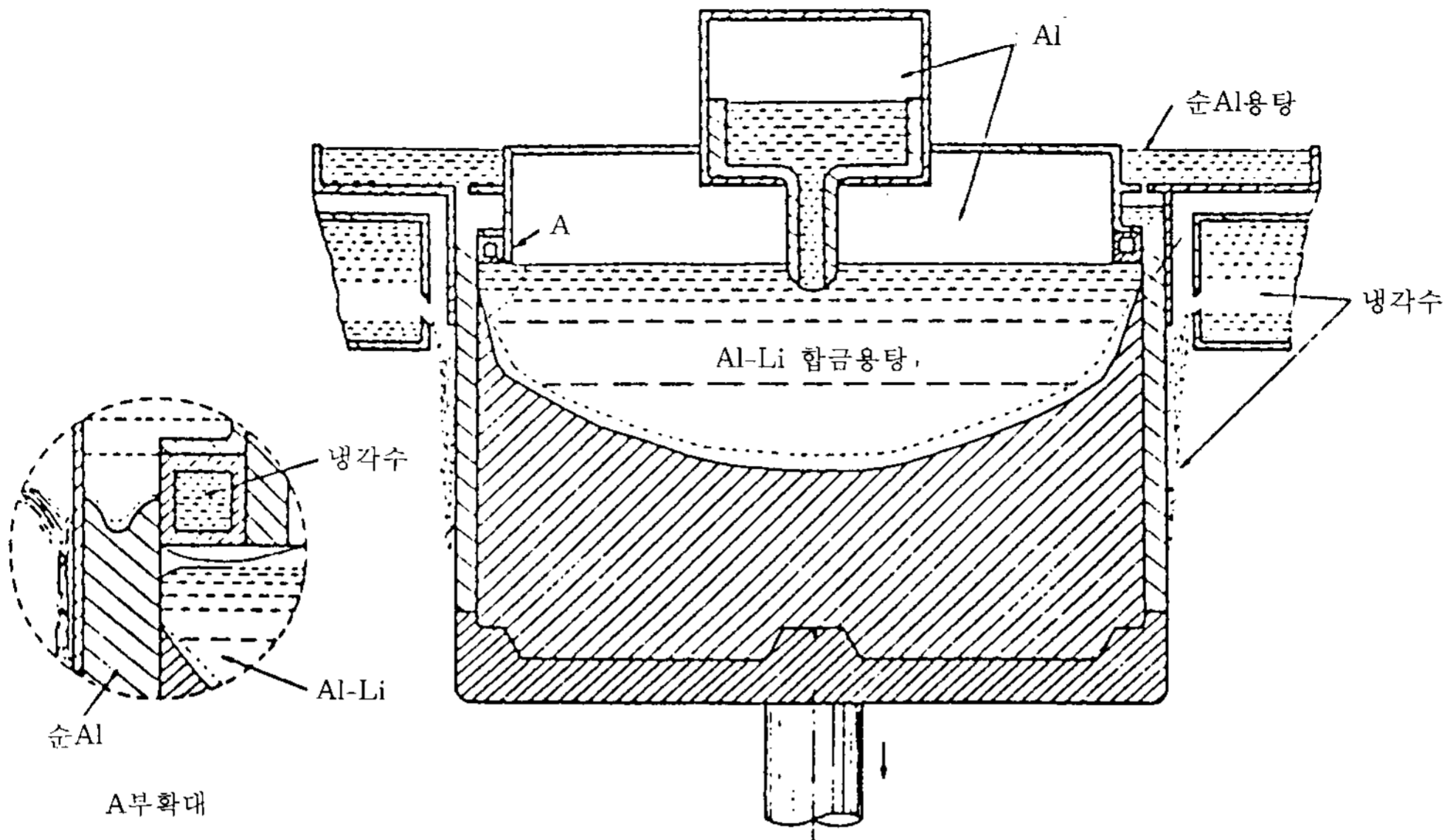


그림 2. D. C. 주조법의 모식도

미시편석(micro-segregation)은 합금원소의 분배계수(고/액계면에서의 합금원소의 농도비)에 따라 발생하게 되어, 결정립의 중심부, 즉 먼저 응고가 시작되는 부분과 결정립계의 조성이 달라지는 것을 말한다.

그림 3에 DC 주조에 있어서의 거시편석의 예를 나타낸다. 이러한 편석은 다음과 같은 각종 가공프로세스에 영향을 주게 된다. (homogenizing, scalp-

ing, working, solution heat treating)

i) 균질화처리 (homogenization)

균질화처리는 잉고트를 고상선부근의 온도까지 가열하여 장시간 유지시키므로써 결정립내에서의 합금원소의 확산에 의해 미시편석(micro-segregation)을 감소시킬 수 있다. 그러나 거시편석(macro-segregation)을 감소시킬 수는 없다.

ii) Scalping

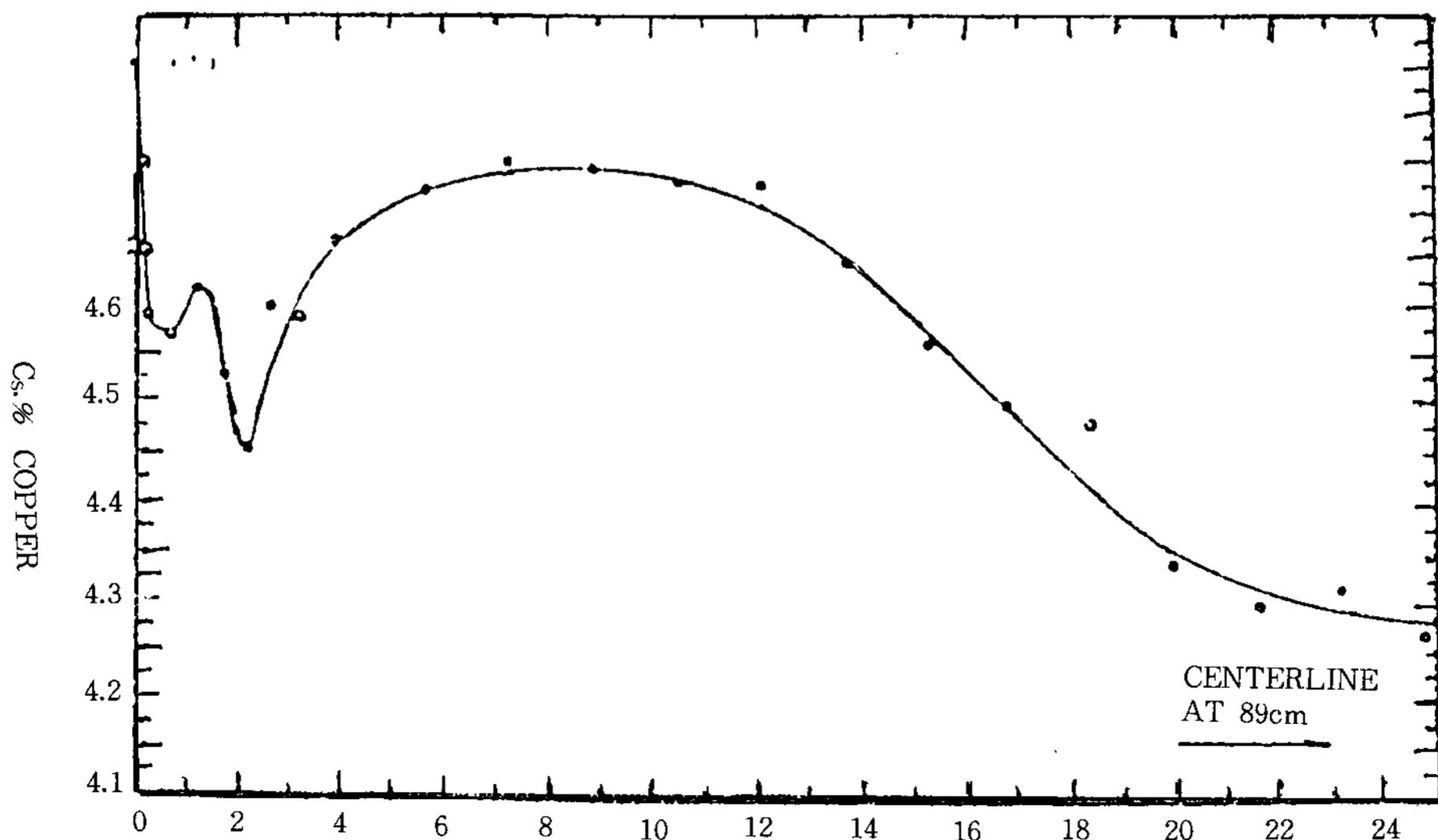


그림 3. 주조한 2024 Al합금의 Macro-segregation 분포현황¹²⁾

DC주조법에 의해 제조된 잉고트는 표면이 거친 경우가 많아 다음의 가공공정을 위해 표면을 제거하는 경우가 있다. 이때 표면의 제거량은 표면에서의 거시편석(macro-segregation)의 정도에 따라 달라진다.

iii) Working

일반적으로 소성가공에 의하여 편석의 효과를 감소시킬 수 있다. 단조 및 압출가공에 의한 불균일한 변형에 의하여 편석의 양상을 변화시킬 수 있는 경우가 많다.

iv) 용체화처리 (solution heat treating)

시효처리전의 고온에서의 용체화처리에 의하여 미시편석(micro-segregation)은 감소될 수 있으나, 거시편석(macro-segregation)은 제거할 수 없다.

또한 편석은 제품의 내식성, 기계적 성질, 파괴인성, 경도, 전기전도도 등에 영향을 주게 된다. 따라서 잉고트 제조시에 있어서 특히 제어할 편석은 거시편석(macro-segregation)이라고 할 수 있겠다.

2-6. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 Al-Li계 합금 잉고트의 응고해석, 수축공 예측 및 Process 설계

대형잉고트의 제조시에 가장 중요한 과제는 수축공결함이 없는 건전한 잉고트를 생산하는 것이다. 즉, 수축공의 발생 및 porosity의 발생을 정량적으로 제어하므로써 보다 품질이 좋은 Al-Li계 합금을 제조할 수 있다. 일반적으로 구조용 Al-Li계 합금은 단조, 압출 및 압연등의 공정을 거쳐서 제품화되는데, 이때 주조상태의 각종 주조결함의 존재여부가 제품의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 고품질의 잉고트생산은 Al-Li계 합금의 실용화에 있어서 아주 중요하다.

이러한 수축공결함은 용탕이 mold내에서 응고하는 과정에서 발생하므로, 응고과정을 정량적으로 해석하고 제어하므로써 수축공결함의 발생을 방지할 수 있다. 응고양상은 mold의 형상 및 크기, 주조방안에 따라서 변화하므로, 이에 따른 응고과정을 정량적으로 해석하기 위해서는 최근에 각종 대형 잉고트 설계에 이용되는 컴퓨터에 의한 응고해석이 필요하다. 즉, 컴퓨터 수치해석에 의하여 mold내의 용탕의 응고과정을 해석하므로써 수축공의 발생위치 및 크기등을 예측할 수 있다. 이러한 예측결과를 이용하여, mold의 형상 및 크기, 주

조방안을 정량적으로 설계할 수 있다.¹³⁾

여기에 대한 몇가지 실예를 소개하면 그림 4와 같다.

3. Al-Li계 합금의 정밀주조 기술

3-1. 정밀주조품 개발의 필요성

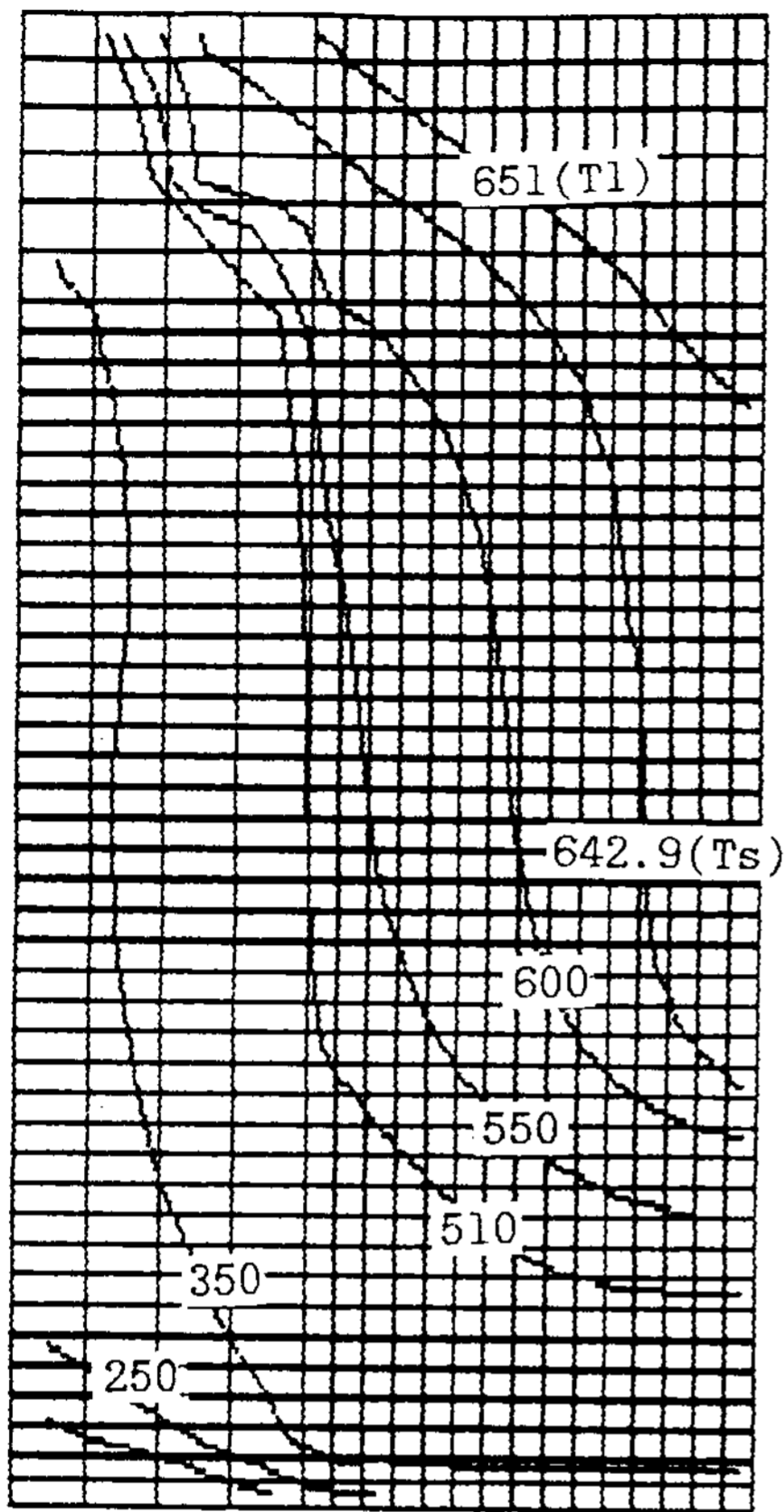
최근 수년동안, Al-Li 합금은 단조, 압출, 압연 용재로서 개발, 추진되어 상품으로의 실용화가 시작되었다. 합금의 개발은 Al의 주요 생산업체인 Alcan, Alcoa, Pechiney뿐만 아니라, 항공기 관계 회사의 연구소를 중심으로도 수행되고 있다.

그러나 Al-Li 합금의 가격은 기존의 항공기용 합금에 비하여 2~3배정도 비싸다. 그 이유로서는

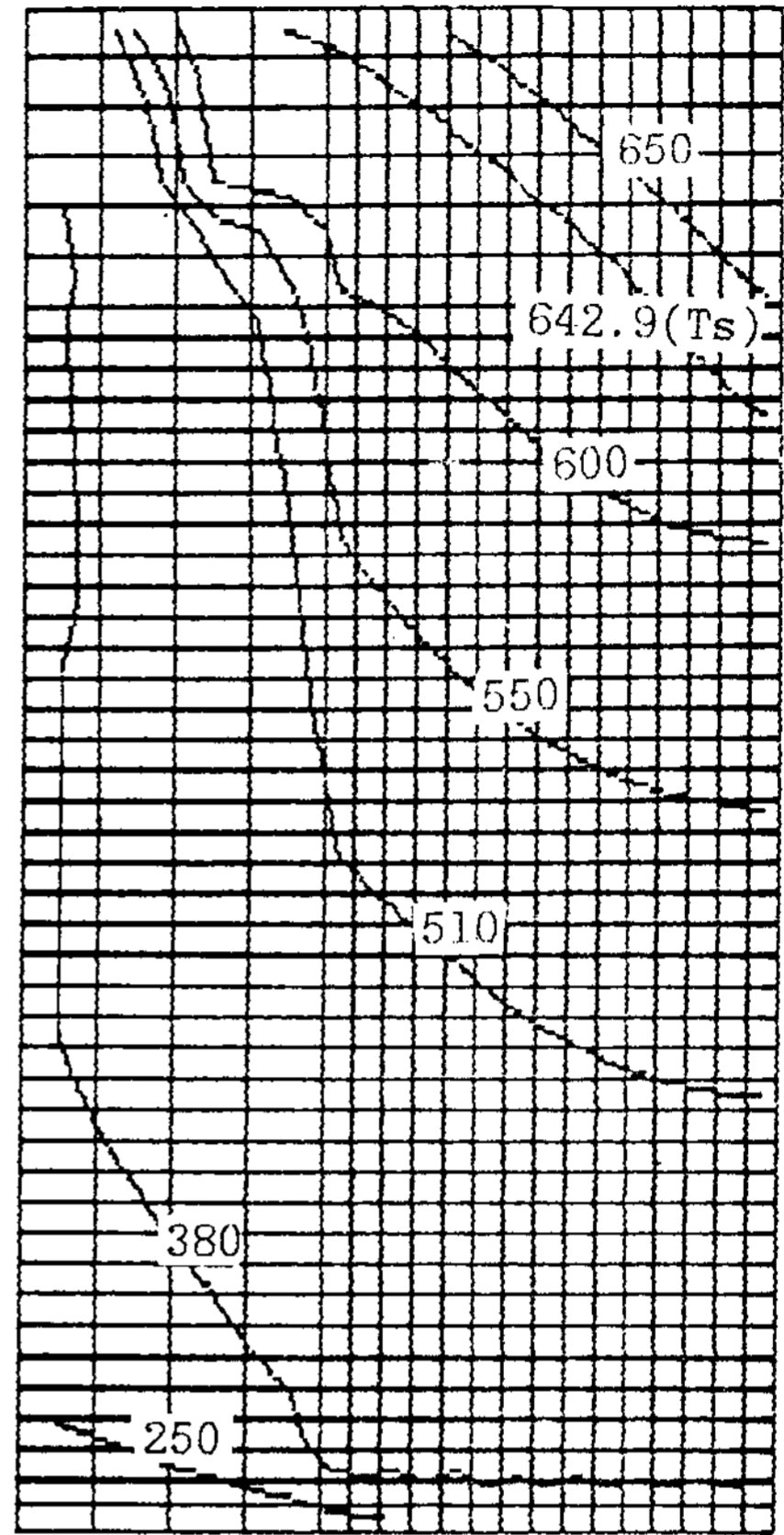
- 1) 첨가원소인 Li의 가격이 비싸다.
- 2) 잉고트제조를 위한 대형의 용해, 주조전용설비가 필요하다.
- 3) Return scrap의 사용이 어렵다.
- 4) 인성을 높이기 위해서 고순도의 Al잉고트 사용이 필요하다.

이러한 문제점 이외에도 아직 국내에서는 항공기용 Al합금의 수용량이 적으며, Al-Li 합금의 생산에는 대형의 설비투자가 필요하기 때문에 Al-Li 합금의 실용화가 아주 어려운 상황이다. 따라서 소형의 설비투자(용해, 주조)에 의해서도 실용화가 가능한 민간기업을 주도로 한 각종 기계부품에 있어서의 용도를 개척할 필요가 있다.

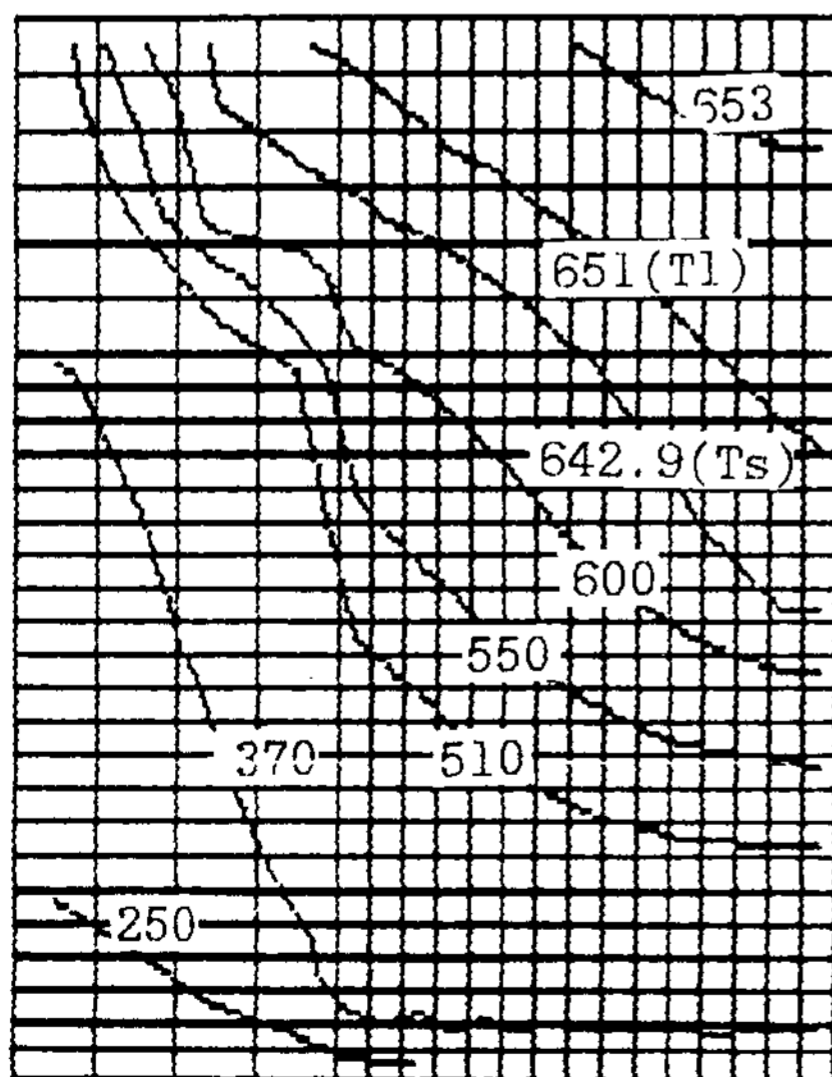
현재 정밀주조용 Al합금에는 AC4C(356, A356), AC4D(355, C355), AC7B, AC7A 등이 있는데, 이들은 항공계기, 항공기용 impeller 등 각종 항공기용 부품에 뿐만아니라, 차량부품, 컴퓨터 부품, 인쇄기, 의족을 비롯하여 각종 기계부품에 적용되고 있다. 따라서 이러한 항공기 부품, 차량부품 및 일반기계 부품중 경량화나 내식성을 요하는 일부 부품을 Al-Li계 합금의 정밀주조품으로 대체하므로써, 보다 효율적으로 Al-Li 합금의 실용화를 촉진시킬 수 있다. 이러한 목적을 위해서는 정밀주조용 Al-Li계 합금의 개발과 정밀주조기술의 개발이 필요하다고 본다. 최근 Rex Precision Products사 및 Howmet Turbine Components Corp.에서 A356이나 A357보다 밀도를 약 5~8% 감소시키고, strength나 ductility를 같거나 더 향상시킨 정밀주조용 Al-Li계 합금의 개발과 정밀주조품의 상품화를 위한 연구개발이 진행중이다. 그림 5.에 Al-Li



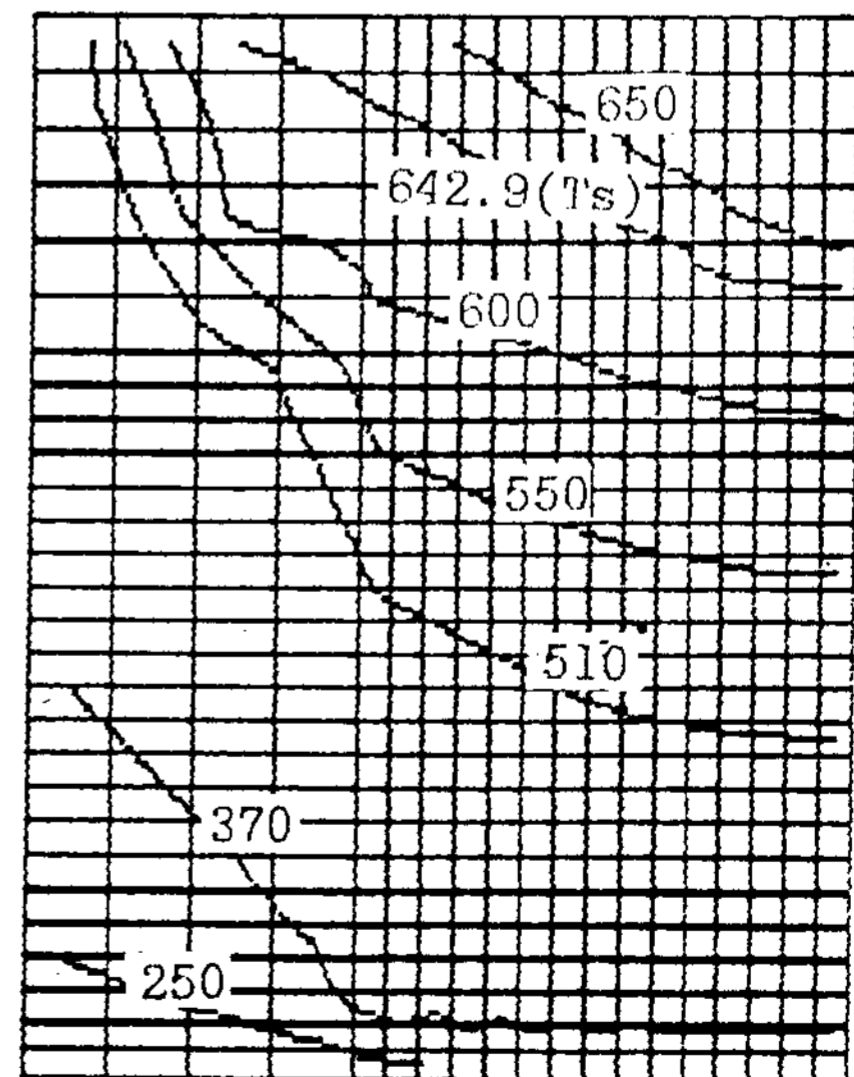
MOLD I, t=30 sec



MOLD I, t=60 sec

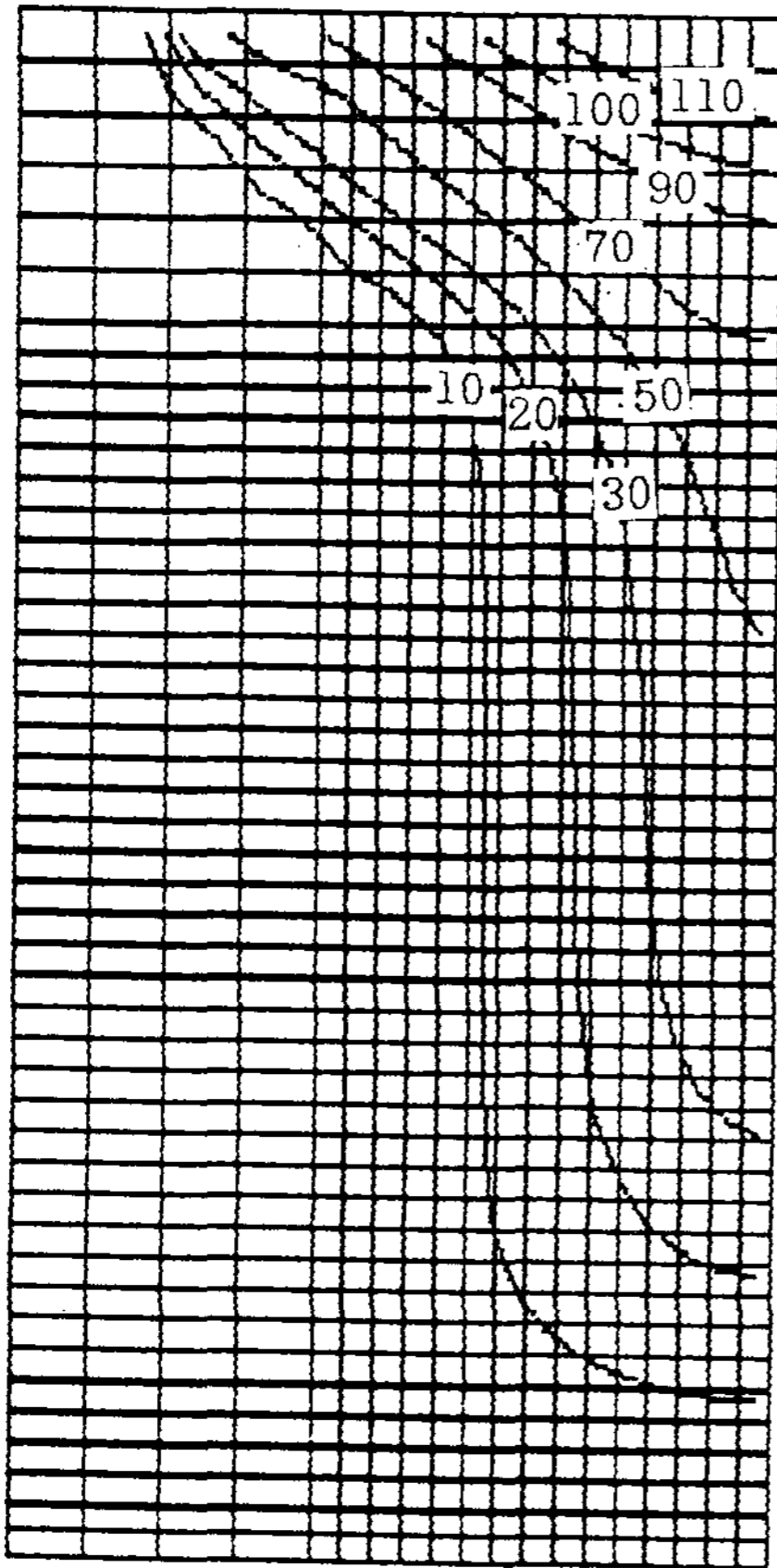


MOLD II, t=30 sec

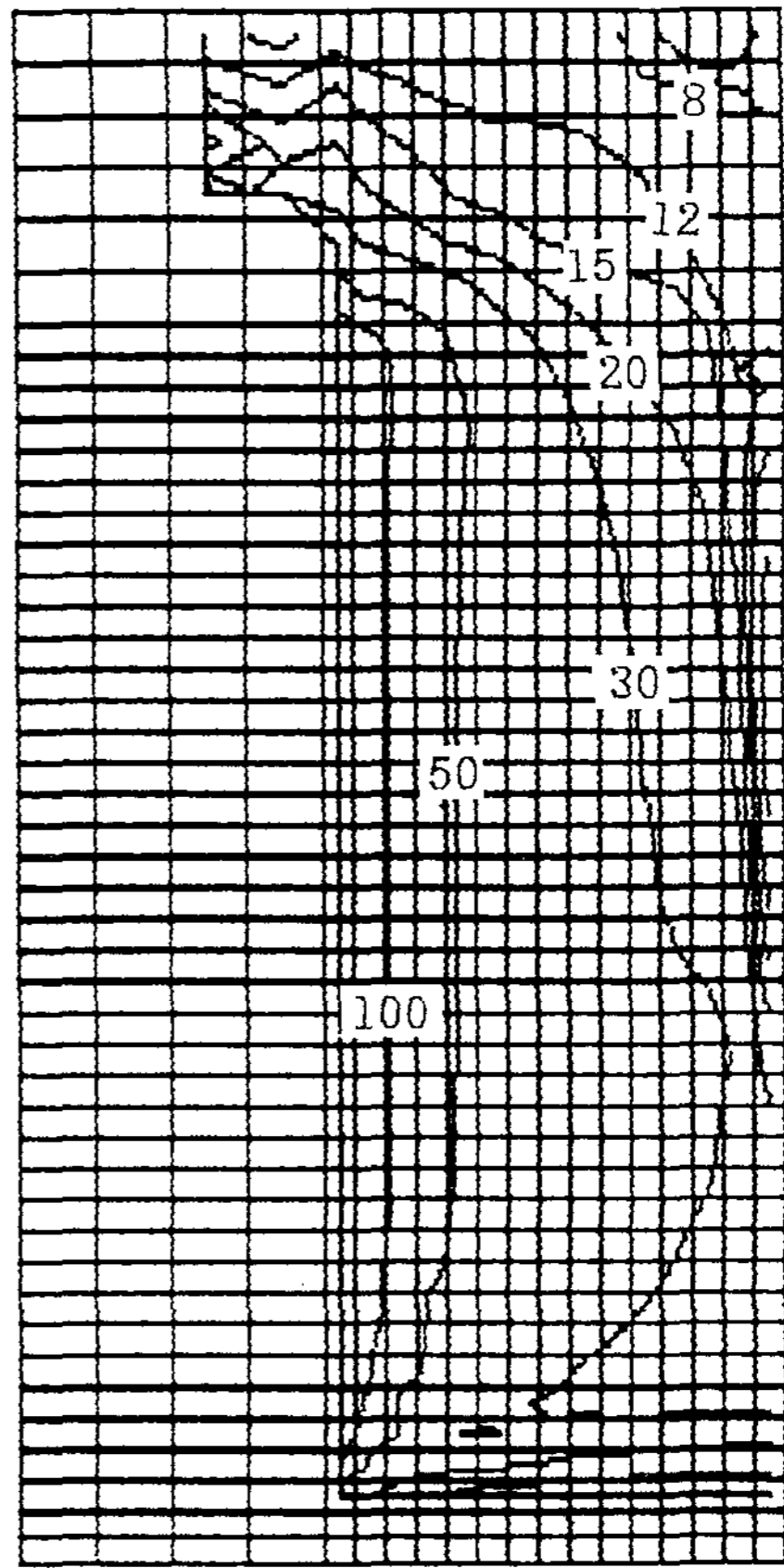


MOLD II, t=60 sec

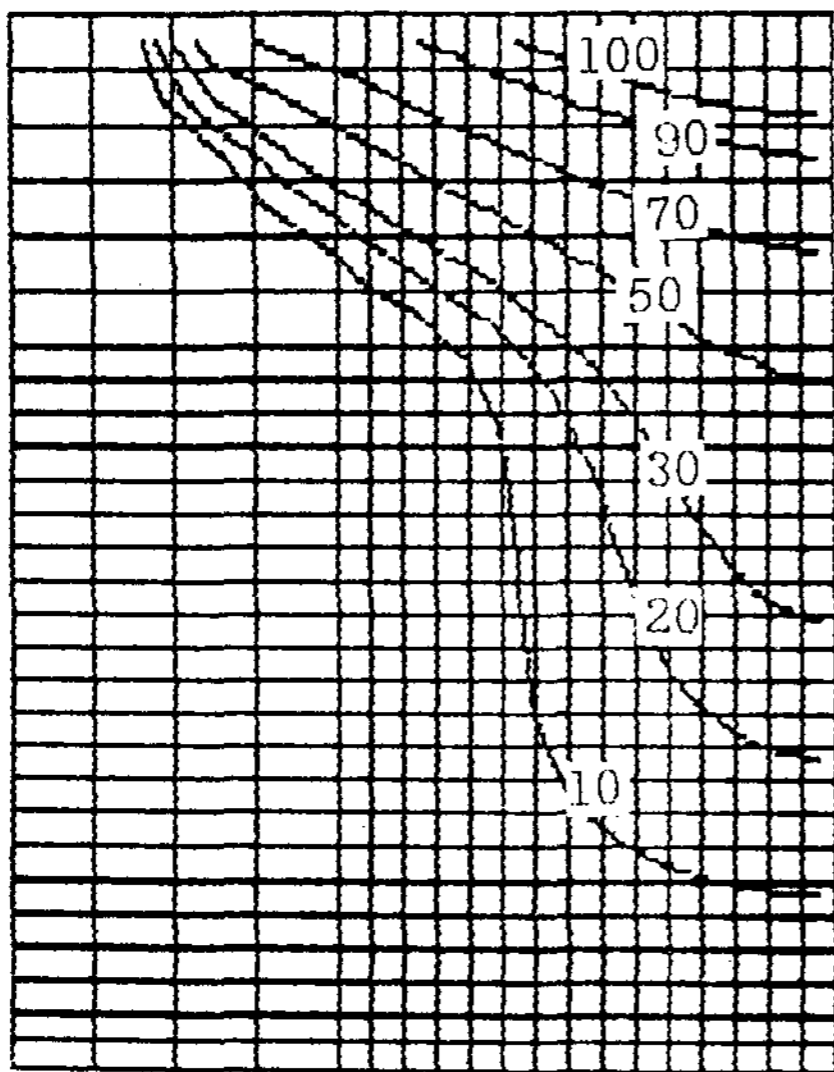
(a) Temperature distribution(°C)



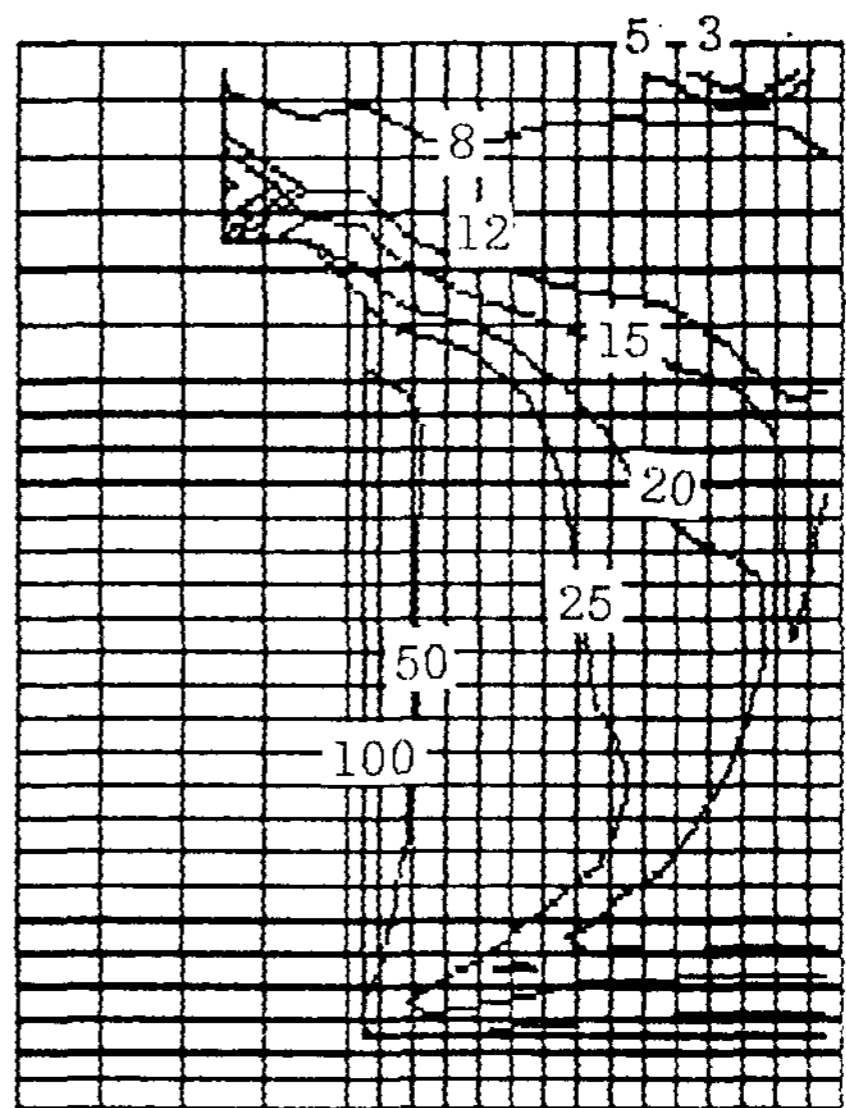
MOLD I



MOLD I



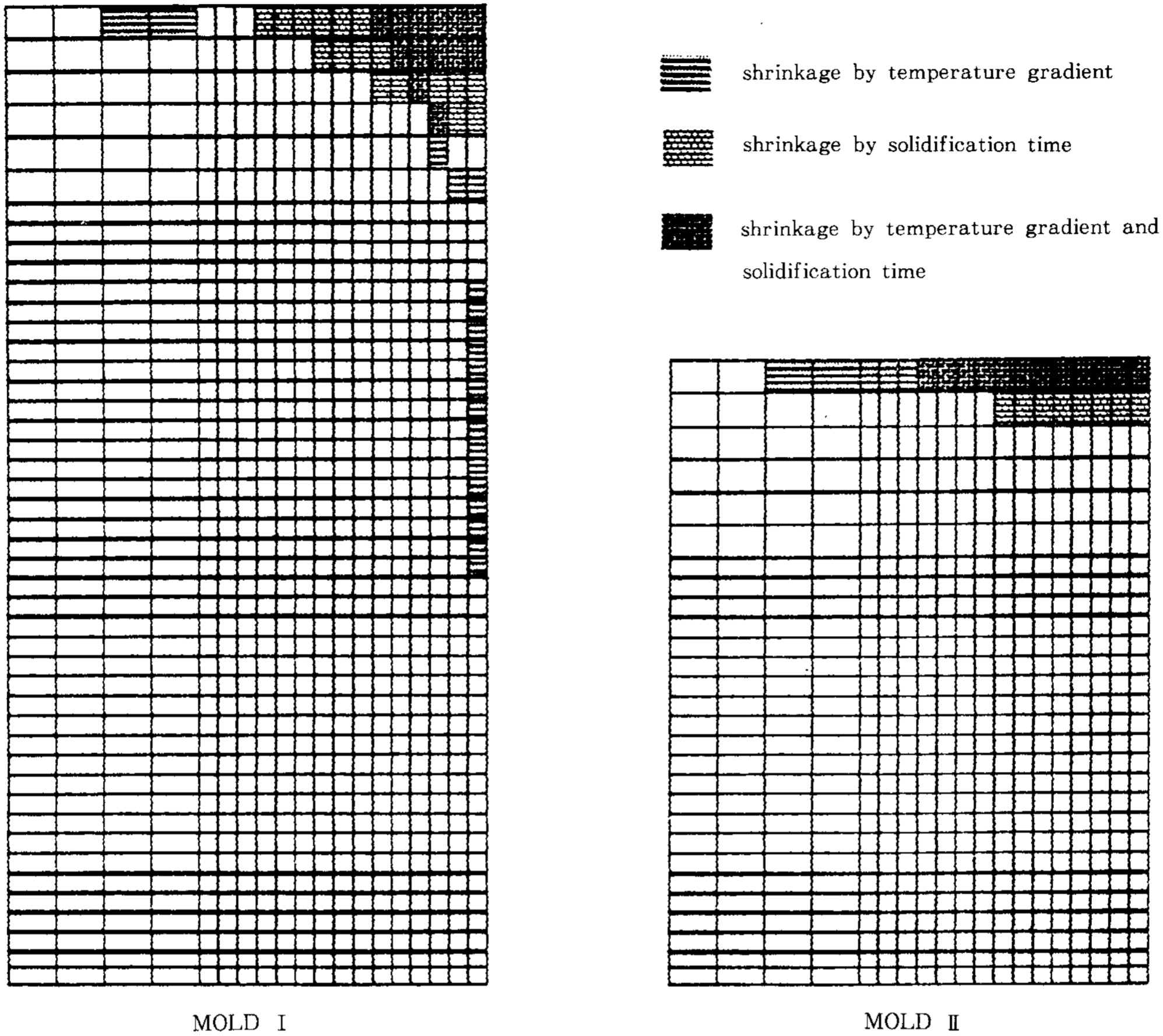
MOLD II



MOLD II

(b) Solidification time(sec)

(c) Temperature gradient at critical temperature(°C/cm)



(d) Prediction of shrinkage defects

그림 4. Al-Li계 합금 잉고트의 응고해석의 실예

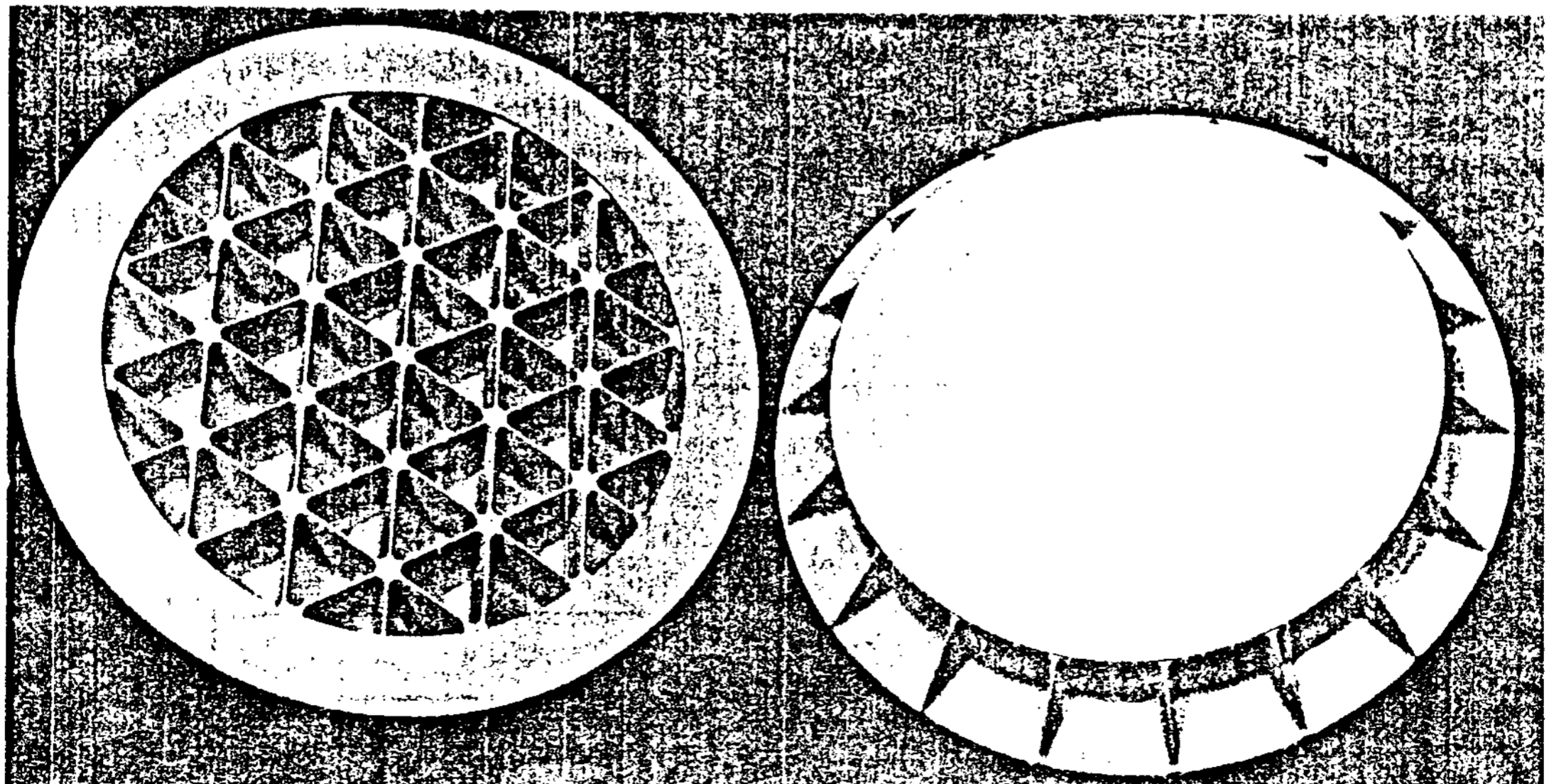


그림 5. Al-Li계 합금의 정밀주조품의 실예¹⁶⁾

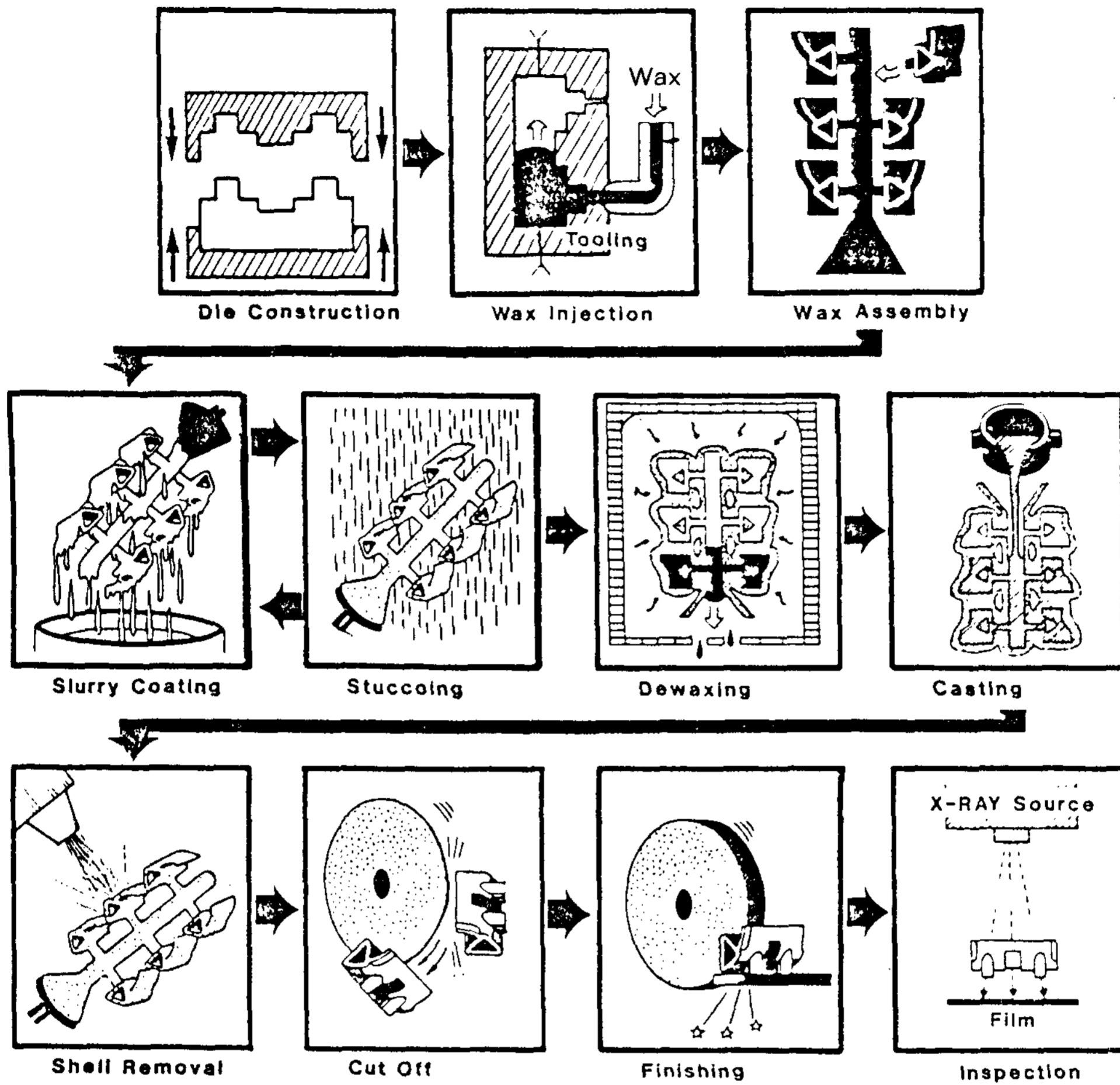


그림 6. Investment법에 의한 주조공정

합금의 정밀주조품의 실예를 표시한다.¹⁶⁾

3-2. 정밀주조용 주형개발

Investment법(또는 lostwax법)에 있어서 주형으로 사용되는 ceramic shell mold의 제조공정을 그림 6.에 표시한다. 일반 주조용 Al합금과는 달리 Al-Li계 합금은 용해과정에서의 용탕의 산화 및 수소흡수 문제가 극심하다. 또한 Li을 함유한 용탕과 주형의 반응에 의하여 생성된 산화물 및 각종 반응생성물이 주조품내에 유입되어 주조결함을 유발하게 되며, 강도, 연신을 및 인성저하를 가져오게 된다. 또한 주형의 coating 재료 및 binder의 종류에 따라 주형의 통기도가 제품내의 porosity 형성과 밀접한 관계를 갖는다.

용탕과 주형과의 반응을 조사하기 위하여 사형의 표면을 SiC, alumina 및 zirconia($ZrSiO_4$)에 의

하여 coating 시켜 보호층을 형성시킨 연구보고가 있다. 그림 7.은 zirconia로 coating한 주형표면을 EDAX로 분석한 결과를 나타낸다. 이들의 결과에 의하면, alumina, SiC 및 zirconia가 주형 표면의 산화방지에 효과가 있었다. 또한, Al_2O_3 및 SiC가 용탕과 주형의 반응을 억제시키는 효과가 있으며, zirconia는 상당한 정도의 반응을 나타내었다. 그리고 이러한 coating에 의하여 주형의 통기도가 감소하였다.

점결제(binder)의 종류에 따른 영향을 보면 sodium silicate를 resin으로 대체한 결과 용탕-주형간의 반응이 크게 감소하였다. 이것은 silicate의 결정수의 분해에 의한 영향으로 보여진다.

3-3. Al-Li 합금의 주조성

대형의 잉고트 제조시와는 달리 소형의 복잡한

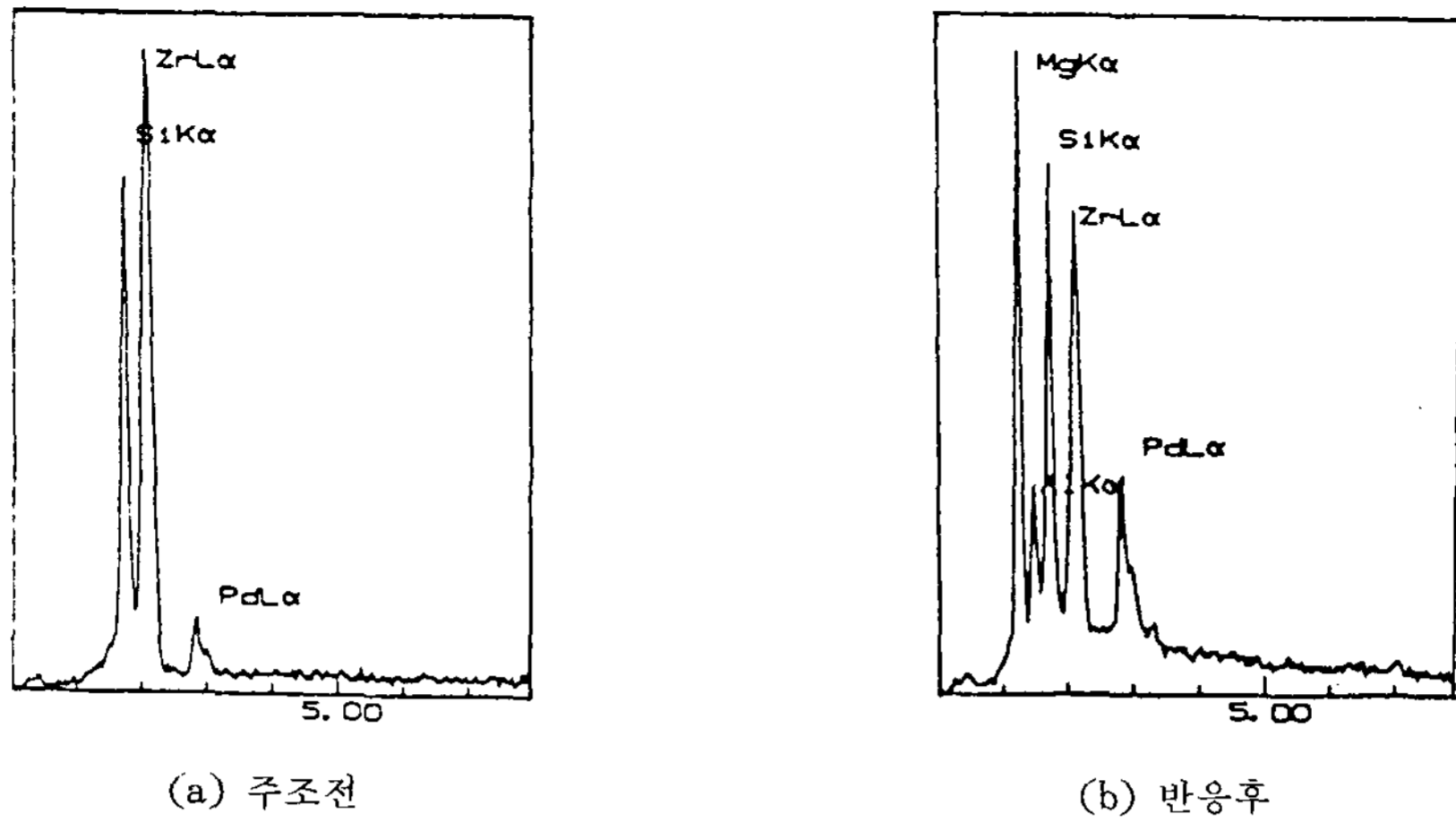


그림 7. Zirconia 코팅한 주형표면의 EDAX 분석 결과¹⁴⁾

형상의 정밀주조품을 정확하게 제조하기 위해서는 주조용 Al-Li계 합금의 개발이 요구된다. 일반적으로 Al-Li계 합금은 다른 주조용 Al합금에 비하여 유동성이 낮다. 따라서 주조성(용탕의 유동성)이 향상된 합금설계가 필요하다.

용탕의 유동성은 일반적으로 용해 및 주조온도가 상승할수록 향상되나, 용탕의 온도증가와 더불어 용탕의 가스 함유량 증가, 산화 반응의 촉진등 여러가지 부수적인 문제가 발생한다. 따라서 적당한 합금원소의 첨가에 의하여 용탕의 유동성을 향상시켜 주조성을 높이는 것이 바람직하다. 예로서 Mg은 Cu보다 용탕의 액상온도를 크게 감소시키므로 유동성 증가에 도움이 된다. 따라서 각종 합금원소첨가가 유동성에 어떻게 영향을 미치는가를

Spiral fluidity test등을 통하여 실험적으로 연구, 조사할 필요가 있다. 이때 아울러 고려하여야 할 것은 주조품의 요구되는 기계적 성질을 만족시킬 수 있는 합금설계가 이루어 져야 하는 것이다.

3-4. 정밀주조를 위한 Al-Li계 합금의 용해 및 주조

합금의 용해는 잉고트 제조시의 경우와 유사하여, 진공용해, Ar분위기 및 flux cover에 의하여 실시될 수 있다. 그러나 용해설비가 대형 잉고트 제조를 위한 경우에 비하여 아주 소형의 용해로(수십 Kg급 용해로)를 사용할 수가 있다. 그러나 연속적인 용해 및 주조작업을 통하여 대량생산 시스템을 갖출 필요가 있다. 그림 8.에 고주파에 의

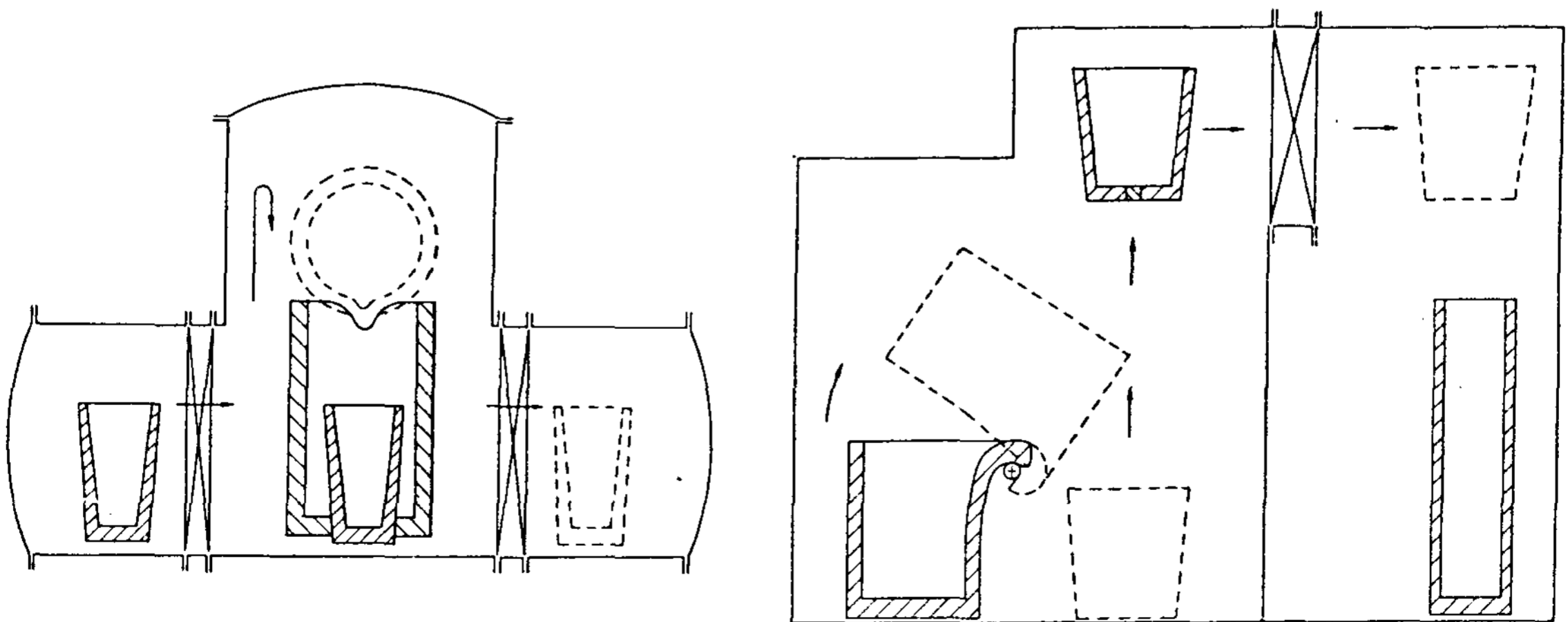


그림 8. 반연속식 고주파 진공용해 및 주조장치의 모식도

한 연속식 진공용해 및 주조장치의 개략도를 나타내었다. 이와같은 시스템을 사용하게 되면 용해 및 주조 작업을 연속적으로 실시할 수 있어 소형의 항공기 부품, 차량부품을 비롯하여 각종 기계부품의 생산이 가능하다.

3-5. 산화물, 개재물 혼입방지

잉고트 제조를 위한 용해의 경우와 유사하며, 용해후 주조작업으로 이전할 때, 그림 8.과 같이 용해 및 주조가 동일한 환경하에서 실시될 경우에는 용탕중에 혼입된 가스 및 산화물등을 불활성 가스 bubbling에 의하여 제거한 후, 주조용 소형 ceramic filter 사용에 의하여 개재물 및 산화물의 혼입을 방지할 수 있다.

그러나 진공(또는 분위기)용해후 용탕을 이동시켜 대기 또는 분위기하에서 주조할 경우에는 용탕을 유지하는 동안 발생하는 산화 및 수소등의 흡수등이 제품의 성능에 큰 영향을 주게 되므로, 용탕의 관리가 중요하다.

3-6. 결정립 미세화

정밀주조품에 있어서의 결정립 미세화 방법은 잉고트 제조시와 기본적으로 유사하다고 할 수 있다. 실용적인 방법으로 접종제(핵생성 촉진제)를 첨가하는 경우를 들 수 있다. 접종제로는 TiBAl, TiCAI등을 사용할 수 있으며, 첨가하는 방법으로 는 다음과 같은 방법을 생각할 수 있다.

- 1) 용해후 접종제를 첨가한 후 주형에 주입한다.
- 2) 주형벽에 미리 접종제를 첨가해 두고, 여기에 용탕을 주입한다.
- 3) ceramic shell mold를 제조할 때 접종제 분말을 배합한 slurry를 wax 모형에 coating 한다. 이렇게 제조된 주형에 용탕을 주입한다.

이밖에도 다음과 같은 방법을 들 수 있다.

- 1) 주입후 용탕이 응고하는 동안 주형에 미소진동을 주어 결정립을 미세화한다.
- 2) 주입온도와 주형온도를 적당히 조절하여 응고속도를 제어하므로써 결정립을 미세화한다.

3-7. 응고해석에 의한 각종 수축공결함 방지

정밀주조품의 성능은 용탕이 주형내에서 응고하는 과정에서 결정된다. 따라서 응고과정에 있어서의 여러가지 현상을 정확히 제어하고, 응고과정을 정량적으로 제어하는 것은 정밀주조 설계시에 있

어서 아주 중요한 과제이다.

최근의 컴퓨터 기술의 급속한 발전과 더불어 각종 주조품의 응고과정을 컴퓨터 시뮬레이션하므로써, 주물의 냉각속도 계산에 의한 미세조직 및 기계적 성질의 예측 및 제어를 가능하게 되었다.¹⁵⁾

Al-Li계 합금은 응고구간이 비교적 넓으며, 특히 주물의 형상이 복잡한 경우에는 이로 인하여 발생하는 수축공결함 및 미세기공등의 넓은 분산이 예상되며, 컴퓨터 응고해석을 통하여 이러한 결함을 예측 및 방지하여야 한다.

또한 항공기 부품으로 적용되는 경우에는 보다 높은 치수정밀도가 요구되며, 더욱 품질이 높은 주조품의 생산이 필요하므로 이러한 기술의 도입이 절실하다.

4. 결 론

최근 수년간 선진국의 Al의 주요 생산업체에 의하여 개발연구가 이루어져 일부 실용화 단계에 온 Al-Li계 합금은 점점 그 중요성이 높아져 가고 있다. 이러한 추세에 따라 국내에서도 Al-Li계 합금의 개발 및 응용을 위한 연구가 시작되게 되었다. 그러나 Al-Li계 합금은 주로 단조, 압출 및 압연 용재와 같은 구조재로서 연구개발되어 왔기 때문에 대형잉고트 제조를 위한 전용설비를 요하며, 이에 따른 시설투자가 엄청나게 소요된다.

그러나 이에 반하여 그 수요는 아직 이러한 시설비를 투자할 만큼 성장되지 못하고 있으며, 항공기용 재료와 같이 고도의 안정성이 요구되는 분야에 적용할수 있을 만큼의 성능 및 신뢰성을 충분히 확보하지 못하고 있다. 또한 생산기술이 완전하게 확립되어 있지 못한 실정이다. 이러한 많은 어려움은 있으나, 국내에서도 장차의 항공기 산업에의 활성화를 위해서는 Al-Li계 합금의 제조기술 개발을 비롯하여 실용화를 점진적으로 추진해 나가야 할 시점에 와있다.

이러한 관점에서 볼 때, 소형의 설비투자에 의해서도 실용화가 추진될 수 있는 민간기업을 주도로 한 각종 기계부품의 개발 및 응용을 적극적으로 추진해 나가야 하리라 본다.

이를 위해서는

- 1) 용해기술의 확립 : 대형 잉고트, 소형 잉고트 및 급냉 응고에 의한 분말제조, 정밀주조품의 제조 등에 있어서 공통적으로 필요한 용해기술의 개발

이 절실히 요구된다. 특히, 저렴한 용해도가니 개발, 용해분위기 및 용해법의 개발, return scrap의 재사용을 위한 방안등이 필요하다.

2) 정밀주조기술개발 : Al-Li계 합금을 소형의 용해설비를 사용하여 실용화할 수 있는 가장 적절한 방법의 하나로서, 정밀주조기술을 들 수 있다. 실례로 AC4C, AC4D, AC7A, AC7B 등과 같은 Al 합금의 정밀주조품은 항공기 부품을 비롯한 각종의 정밀기계 부품에 상당히 널리 적용되고 있다. 이러한 부품의 일부를 Al-Li계 합금의 정밀주조품으로 대체하므로서, 제품의 경량화와 더불어 Al-Li계 합금의 실용화를 더욱 촉진 시킬 수 있으며, 이러한 기술기반은 장차 항공기 기체부분의 적용에 큰 역할을 할 수 있다고 본다.

참 고 문 헌

- 1) S. J. Donachi et al : Aluminum-Lithium Alloys II, Met. Soc. AIME, (1983), p. 507
- 2) 宮木美光 등 : 輕金屬, vol. 36, No. 11(1986), p. 697
- 3) 中村 등 : 日本金屬學會報, 21(1982), p. 150
- 4) D. P. Hill et al : Aluminum-Lithium Alloys

- II, Met. Soc. AIME, (1983), p. 667
- 5) Alcoa : Light Metal Age, 44(1986), 3/4, p. 26
- 6) Jacobi : 공개특허회보, 소 60-p. 27059
- 7) G. J. Binezewski : Light Metal Age, 44(1986), 5/6, p. 31
- 8) 연세대학교 금속공학과 개발
- 9) C. S. Sivaramakrishnan et al : Light Metal Age, Oct(1987), p. 30
- 10) M. E. J. Birch et al : 4th Int. Aluminum-Lithium Conf., 1987, C3-103
- 11) C. Vives et al : ibid, C3-109
- 12) U. S. Patent No. 4,610,295, Sept. 9, 1986
- 13) C. P. HONG et al : 鑄物, vol. 59, No. 2(1987), p. 61
- 14) C. H. Tong et al : 4th Int. Aluminum-Lithium Conf., 1987, C3-117
- 15) 이영철, 이학주, 홍준표 : 대한금속학회지, vol. 26, No. 8, (1988) p. 770
- 16) G. N. COLVIN et al : Aluminum-Lithium Alloys, Procd. 1987 Aluminum-Lithium Symposium, Ed. by R. J. Kar, ASM International, (1987), p. 453

第 9 卷 4 號 揭 載 豫 定 主 要 記 事

<論 文>

ADI의 내마열성에 미치는 미세조직 및 망간첨가량의 영향박윤우 · 김종진 · 유효종 · 박성민
내마모 C/V 흑연주철의 공정인화물 형상에 미치는 합금원소 및 냉각속도의 영향박홍일 · 김명호
알루미늄의 결정입자 미세화에 미치는 AlTi5B1 첨가의 영향김정근
공정 C/V흑연주철의 냉각속도가 기지조직 기계적 성질 및 초음파 속도에 미치는 영향이상익 · 김효준
아공정 C/V 흑연주철의 냉각속도가 기지조직 기계적성질 및 초음파 속도에 미치는 영향이상익 · 김효준

<用語解説> 홍준표
--------	-----------