

표 1. 가압주조법의 종류

종류	주 조 법	압력 이용 목적	적용압력 (kg·f/ cm ²)	용 탕 보 충 능	가 압 장 치 형 식	열처리
가 압 주 입 법	저압주조	A	0.3 ~ 0.7	소	수직	가능
	보통 Diecast	A	500 ~ 1,000	없음	수평	불가 능
	고압 Diecast	A,B	800 ~ 1,000	중	수평	가능
	Accurad	A,B	300 ~ 700	중	수평	가능
가 압 응 고 법 (용 탕 단 조 법)	Plunger 가압	B	500 ~ 2,000	대	수직	가능
	직접 가압	B	300 ~ 1,000	대	수직	가능
	간접 가압	B,A	500 ~ 1,200	대	수직	가능

A : 가압주입 B : 가압응고

- 5) 대폭적인 수축 및 가스기공의 제거가 가능하다.
 - 6) 단면두께와 치수를 광범위하게 변화시킬 수 있다. 0.3 mm ~ 50 mm 두께까지 성공적으로 제조할 수 있었다. 또한 0.125 kg ~ 35 kg 까지 제조가능 하다.
 - 7) 어떠한 합금이든지 용해 주조가능 하고 건전한 주물을 제조 할 수 있다.
 - 8) 회수된 스크랩재료로써도 양호한 품질합금이 요구되는 부품의 제조가 가능하다.
 - 9) 부품의 크기에 따라 높은 생산속도가 가능하며, 동일형상의 중력금형주조에 비해 2-3배 빠르다.
- 가압방식⁷⁾에 따라 용탕단조법은 그림 1에 도시된 3가지로 크게 나누어진다. 즉, 프란자가압식, 직접가압식, 간접가압식으로 제조하고자 하는 부품의 형상과치

표 2. 주조법에 따른 기계적성질의 변화

Forming process	Density	Dendrite arm spacing Microns	As formed condition			Aged condition		
			0.2% Proof stress MN/m ²	UTS MN/m ²	Elongation %	0.2% Proof stress MN/m ²	UTS MN/m ²	Elongation %
Sand cast	2.782	76		127.0		181.4	1	
Metal mould cast	2.802	45	181.4	219.7	1.6	208.9	1	
Squeeze cast	2.827	20	199.1	294.2	6.0	310.9	1.9	
Metal mould cast & hot rolled 50%	2.869		185.3	265.8	4.9	331.5	1.8	

Alloy composition Cu Si Mg Fe Mn Ni Cr Zn Al
wt % 4.26 0.95 0.49 0.25 0.98 0.34 0.24 0.16 Balance

Heat treatment - solution treated at 480°C for 16 hours and aged at 170°C for 7 hours.



그림 1. 용탕단조법의 종류

수등의 특성에 의해서 각각 채택된다. 프란자가압식은 비교적 단순한 형상의 두꺼운제품이나 국부가압용으로 직접가압식은 정량급탕의 고품질이 요구되는 용기나내 압부품제조에, 간접가압식은 복잡한 형상등에 각각 도입될 수 있다. 최근에는 하부가압식⁸⁾이나 수직방법⁹⁾에 의한 소형부품의 다수제조에의 연구가 활발하고 있어서 이들을 고압주조법, 수직형가압주조법이라 부른다. 이러한 용탕단조법에 대한 기술적인 특징이나 제조조건들이 여러 문헌상에 보고^{10)~12)}되고 있어서 주목을 받고 있다.

3. 용탕단조법의 응용

3.1 공업화의 고려사항

용탕단조법의 실제생산에 적용은 여러 공업분야에서 시도되어지고 있으며 일부에서는 양산체제에 들어가 있다. 그 적용분야 및 적용목적, 방향은 앞에서 언급한 특징에 근거하여

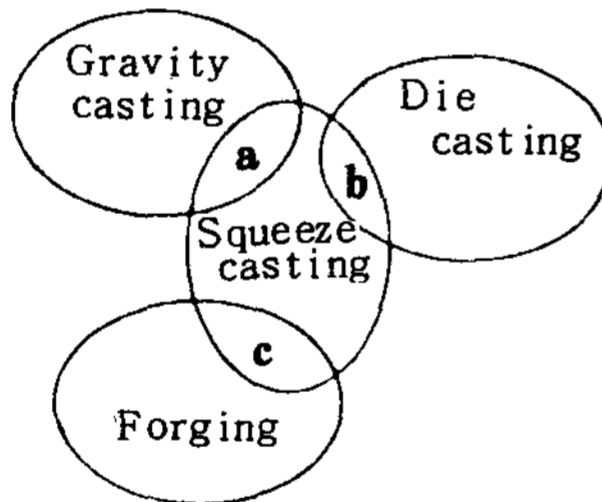
- i) 고품질주물의 제조, ii) 건전주물의 양산, iii) 복합재료의 제조, iv) 단조품의 대체, v) 주조공정의 합리화등으로 나눌수 있다.

이러한 응용방향중에서 가장 활발한 공업화가추진되고 있는 자동차제조분야의 개발현황을 중점적으로 살

펴보면 그림 2에 나타난 바와 같다. Benedyk 는 ¹³⁾이러한 제조법으로 다양한 제품을 제조할수 있으며 기술적·경제적으로도 다른 제조법과 경쟁력이 있다고 하였다. 그 실용화가능한 품목의 예를보면 gear blanks, gear covers, gear housings, regulator body diesel pistons, wheel hubs, nuts, flanges, pulleys, wheels, bushings, dipper teeth, bulldozer, coner blades, composite castings, hydraulic piston heads, extrusion dies, compressor valve seats, drill bit blanks, pull arm sockets, bearing caps, track wheels, spindles, and sprockets . 등이 있다. 그러나 용탕단조법은 역사가 짧아서 많은 특징을 가진 반면에 실용화에 따른 해결되어야 할 기술적인 문제점도 많다.

1) 적당한 합금 선정

주조용합금의 전부, 가공용합금에도 적용되며, Cu 나 철강의 이용도 다이캐스팅보다 용이하지만 보다 효과적인 가압효과를 가지는 합금소재의 개발이시급하다.



	Gravity Casting	Die Casting	Forging	Squeeze Casting
Economy	C	A	D	B
Reliability	C	D	A	B
Design	A	C	D	B
Flexibility	A	C	D	B
Complexity	C	A	D	B

A←superior interior→D

Components applicable for squeeze casting	
a	piston, cylinder, gear box, wheel
b	brake drum, clutch housing, engine block
c	connecting rod, suspension arm, piston

그림 2 . 자동차부품들의 제조법 관계와 그특성.

2) 편석의 방지

가압응고에 특유한 현상으로써, 응고범위가 넓은 합금계, 예를들면 Al-Cu계 합금에서는 저용점성분이 최종응고부위에 정편석된다. 이런 현상의 규명과 억제방법의 확립이 기술적 과제이다.

3) 형상·치수의 제약규명

응고과정을 압력으로 제어하는 조건과 형상·치수의 한계를 규명하는 것이 필요되며 그에 대한 새로운 가압방식의 개발이 양산화의 기초자료로 중요하다.

4) 정량급탕기술의 확립

정확하고 신속한 정량급탕이 되면, 금형설계의 자유도가 커지며 가압방법도 편리해져서 응용범위가 넓어진다.

5) 금형재질의 선정

다이캐스팅같은 큰 용탕흐름의 충격은 없어서 알루미늄합금에는 종래의 금형재를 사용하지만, Cu합금이상의 고용점합금의 경우에는 금형수명에 대한 자료가 없다. 금형의 표면처리, 이형재에 대한 검토가 필요하다.

6) 최적용탕프레스의 사양

경제적이며 생산성이 높은 전용용탕프레스의 사양이 결정된 것이 적어서 보급이 미흡하다. 구체적인 것은 필요에 따라 설계되는 것이 현상태이다.

7) 원가

다이캐스팅과 같은 작업공정이므로 특히 두꺼운 제품의 경우 높은 생산성이 기대되지만 장기조업의 데이터가 적다. 대개는 금형비와 유압프레스설비비가 용탕단조법의 생산원가의 대부분을 차지하고 있다.

Stefanides¹⁴⁾에 의하면 다음의 요소들로 부터 경제적인 원가가 가능하다고 한다.

원재료비의 저렴(용융금속과 Scrap), flash, gates 나 risers 등의 제거로 인한 효율적인 재료사용, 단조에 비해서 소규모설비, 낮은 가압력에 따른 시설유지비의 감소, 자동반송 및 보조시설의 효과적인 도입가능성과 함께 기계가공양의 절감, 양호한 표면마무리와 치수 재현성이 있다. 이러한 것을 종합한 total cost의 평가가 필요하다.

3.2 실용화 예

1) 자동차용 휠의 제조

고품질주조품의 양산기술로써의 용탕단조법이 현재 최대규모로 적용되고 있는 것은, 자동차부품으로써 알

미늄휠제조분야이다.

알루미늄휠은 패션성 after market 용으로 채용되기 시작하였으며 초기에는 판재나 압출재에서 rim·disk 를 성형·용접하였고, 근래에는 조형성이 풍부한 wheel 에 대한 수요가 급증하여 그 제조기술로써 주조법의 개발이 추진되어서 현재 70%를 주조법으로 제조하고 있다. 알루미늄 휠은 가벼워서 주행성의 향상과 높은 방열성에 의한 brake 제동력의 향상, 치수정도가 높아서 요동감소등의 특징이 있다. 일본의 경우 그 생산량이 급증하고 있고 현재 년 800 만개(85년)규모로 주목받는 상품이다. 휠은 중요보안부품이므로 재질로서는 JIS AC4C에서 Fe를 극히 낮추거나, A356합금이 사용되지만 보다 안정성이 높은 고품질이 요구된다.

이러한 배경에서 먼저 일본의 A사에의해 70년대초에 용탕단조개발¹⁵⁾ 양산화가 시작되었고, 이어서 T자동차와 Ube의 공동연구에 의해서 새로운 가압방식을 채택한 용탕단조프레스가 80년경개발²⁾ 되어 이것을 이용해 본격화 되었다. 그림 3은 그 wheel 제품과 제조장치를 함께 나타낸 것이다. 이 프레스는 형체결력 1500t의 수직형프레스로써 독특한 경사실린더 주탕방식을 채택하여 주조사이클은 약 2min이다. 이미 이런 용탕단조프레스가 10여대 가동되고 있어 월 수만개의 생산이 되고 있다. 그 품질은 저압주조품에 비해서, 연신율에 5배, 충격강도에 6배정도의 개선으로 기존알루미늄의 10%경량화가 더되고 있다.

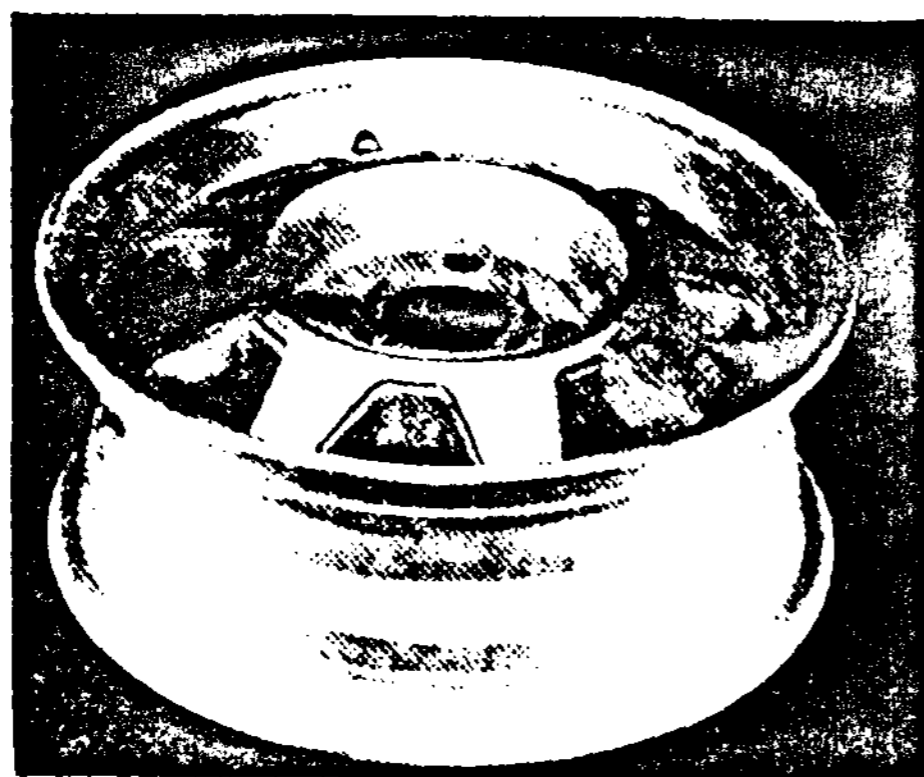
한편 영국의 세계적 wheel 제조업체인 GKN에서도 70년대초에 용탕단조에 의한 각종휠제조에 개발⁵⁾을 시작하였으며, 최근 전문회사를 설립하여 군사용 특수

휠개발에 참여하여 용탕단조 분야에 선두주자로 나서고 있다.

2) 엔진용 피스톤 제조

고품질주조품의 양산기술로써 용탕단조법이 적용되는 다른 대표적인 제품으로는 알루미늄피스톤이 있다. 이 분야에서는 초기에 단순히 주조품질의 향상을 기대하는 가압효과에 의해 연구·개발이 추진되었다. 일본에서는 60년대말 kobe steel에 의해서 220~400mm Ø의 대형알루미늄합금 디젤용피스톤의 용탕단조 실용화¹⁶⁾가 이루어 졌다. 이 피스톤의 특징은 주조결합이 없는 건전한 제품으로써, 비교적 급속냉각에 의한 조직미세화로 인장강도는 50%, 연신율은 배로 증가하였으며, 안정된 품질의 양산가능과 피스톤의 top ring 홈부분의 내마모성을 향상시키기 위한 Nirest 주철제의 내마모고리와 알루미늄모재 용탕과 효과적인 밀착, 결합을 나타낸다. 종래 주조법으로 Al-Fin법이 알려져 있으나 제조시간이 길며 특수처리가 요구되지만 용탕단조법에서는 가압효과에 의해 강과 모재용탕 사이의 계면에서 확산반응이 촉진되어서 신속하게 강력한 금속결합이 되는 장점이 있다. 그뒤에 A금속, H제작소 등에서 자동차용 피스톤개발을 하였으며, 미국의 경 70년대에 Doehler Jarvis사가 IITRI와 협력하여 엔진용피스톤류의 개발에 성공하였다. 79년경에Gould Inc에서 역시 양산화¹⁷⁾에 착수하였다. 또한 GKN 등에서도 참여 하였다.

최근 디젤용피스톤의 ring 홈의 Niresist 주철대신에 알루미늄나섬유를 사용한 FRM piston의 실용화가 T 자동차에 의해 보고⁴⁾되어 세계의 주목을 모으고 있



Aluminium wheel produced by squeeze casting.

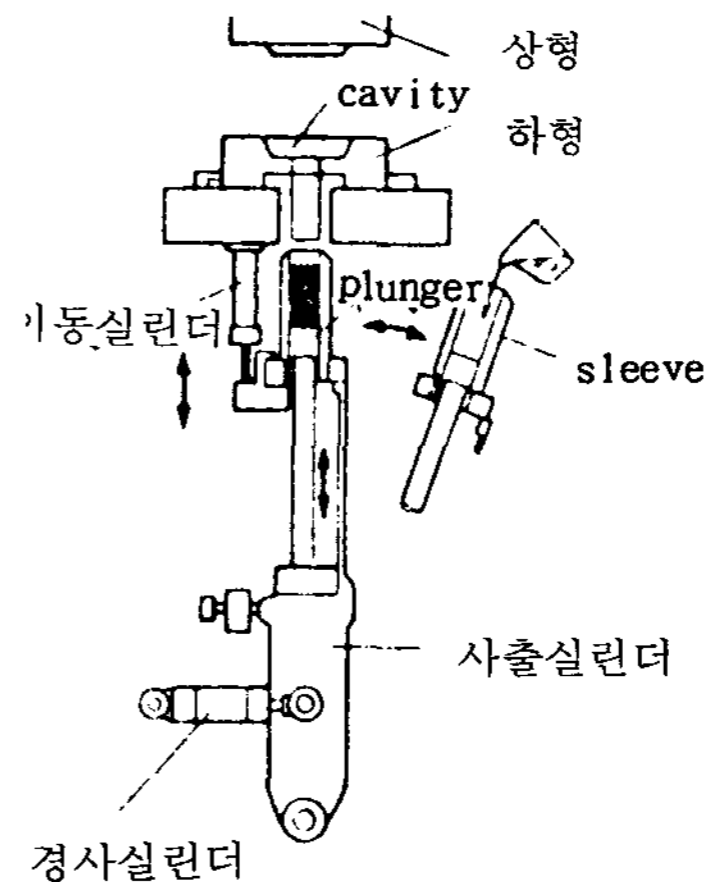


그림 3. 용탕단조휠과 가압장치개요

다. 모상은 AC8A 합금을 사용하고 수직형상부가압에 의한 생산방식이다. FRM 피스톤의 모습이 그림 4에 나타나 있으며 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 우수한 내마모성 (3~7배)을 가져 Niresist 주철이상이다.
- 2) 실린더·보어와의 내소부성이 현저히 향상되었다.
- 3) 경량 (67%), 고강도, 고강성으로 경량 피스톤이 가능하다.
- 4) 우수한 열전도에 의해 피스톤온도를 낮출수 있다.

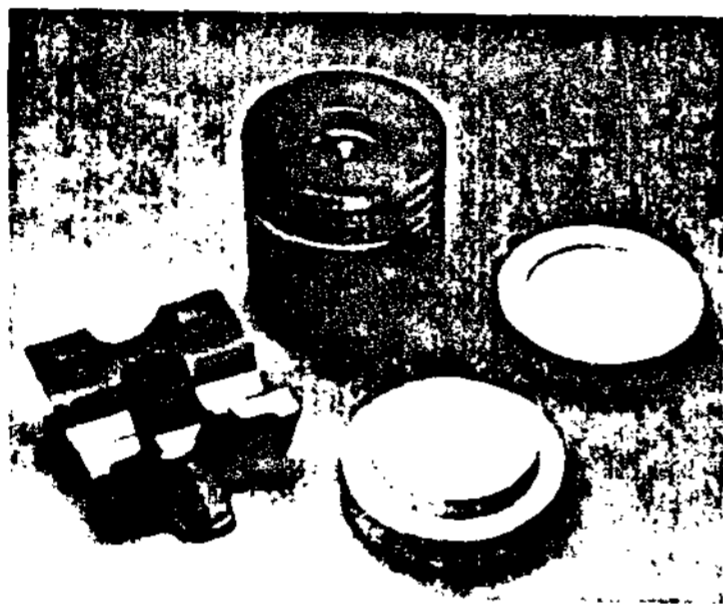


그림 4. 알루미늄 복합재 diesel engine piston과 용탕 단조용 ceramic preforms.

현재 알루미늄계와 알루미나-실리카계의 8종류 피스톤이 5년여 계속 양산되고 있어 백만개 이상이 제조되고 있다. 이것은 Niresist 주철삽입 피스톤에 비해, 제조원가나 생산성을 희생시키지 않는 생산공정으로 확립·실용화가 되었음을 말한다.

이러한 연구개발을 계기로 세계각국의 피스톤제조업체에서는 서로 다투어서 각종 MMC-FRM, WRM, PRM 등의 디젤용 피스톤개발¹⁸⁾에 참여하기 시작하였다. 85년 SAE대회에서 Mahle사(독)와 Wellworthy Ltd, AE plc 등에서 용탕단조로 Al FRM diesel piston 개발을 보고하였으며, 86년에는 Imperial Clevite Inc, pechiney, Dana Corp 및 GKN 등에서 역시 고성능 경량피스톤을 개발하였다고 발표하였다.

3) 콘넥팅로드

최근 자동차의 연비감소, 고기능화의 요구로 엔진고효율화는 매년 증가하여서 그 방안으로 엔진구동부품의 경량화로 운동부하의 절감, 진동감소를 도모하는 것이 주목을 받고 있다. 그중에 피스톤과 함께 콘넥팅로드의 경합금으로 대체가 검토되었다. 이 경우 종래

철강재료에 비해 경량화의 장점에 반해 열간강도, 강성의 부족과 작동온도의 고온 및 고압으로 엄격한 조건에 대한 신뢰내구성이 과제가 되었다.

용탕단조법의 도입은 A공업에 의해 70년대와 80년경 H제작소에 의해 시작품이 연구개발되어 졌다. 이 경우 그다지 큰 주목을 받지 못하였으며 철강재와의 대체에 미흡하였다. 그뒤에 용탕단조법에 의한 MMC 가능성이 높아지면서 84년말 Motor Show에 첫 FRM 콘넥팅로드 제품인 Toyota의 FX-1 Model로 발표되었다. 그러나 코스트면에서 문제가 되었다. 그뒤 85년초 Honda Motor에서는 새로운 FRM 알루미늄 콘넥팅로드를 개발¹⁹⁾하여서 세계최초로 양산화에 성공하였다. 이 제품은 현재 시판되는 소형승용차에 정착될 예정으로 보고 되었다.

이 FRM Al con-rod는 가볍고 방열성이 우수한 알루미늄합금소재로 되었으며, 그림 5에 나타난 바와 같이 부품기능상 고강도 부위가 될 중심부에 고인성의 스텐레스강 섬유체(Ø 0.025m fiber의 약5만개다발)를 넣고 국부용탕단조하여 일체성형시켜 복합화 한 것이다. 그 결과, 열간강도가 향상되어서 200℃의 피로강도 47%, 좌굴강도 36%의 큰 개선과 함께, 종래 강재 콘넥팅로드에 비해 27%경량화가 되었다. 또한 경량화로 엔진마찰이 4~7%감소되어 차의 시스템개량과 연비소모가 22.5 km/ℓ에서 24 km/ℓ로 향상되고 출력상승, response 향상등의 효과가 얻어 졌다고 하였다.

Honda에 이어 86년경 Pechiny, GKN등에서도 Al FRM Con rod 개발을 선언하였으며, 87년에는 FP/Al, FP/Mg계 Con-rod 개발을 Du Pont에서도 발표하여서 앞으로 고급승용차에 채택이 기대되고 있다.

4) 기타 응용예²⁰⁾

앞에서 논한 것 이외에 H제작소에서는 독자적인 가압방식으로 알루미늄 열교환기를 개발하였으며, K알루미늄공업은 오토바이용 Handle braket를 양산하는데 성공하였고, W알루미는 국부가압방식으로 종래 저압구조로 제조되던 보빈프랜지를 국부가압식으로 상부형체결 1000톤, 하부가압용 100톤 전용장치로 개발하였다. 그결과 생산성이 3배향상하고 불량율이 1/5로 감소, 기계적강도 개선등 고품질제품을 얻었다고 하였다. 그외에 VTR cylinder의 경우 용탕단조법으로 효과적인 drum제조를 가능케하여 월수만개가 양산되고 있으며, 자전거부품, 컴퓨터부품 등 고품질이 요구되는 각종 제품들에 개발응용이 확대되어 가고 있다. 이러한 일본에서의 연구공업화와 같은 추세로 구미 선진

국들에서도 관련 제조업체에서 활발한 연구개발이 진행되고 있으나 대부분이 기업비밀과 국가 방위산업분야로서 비공개로 이루어지고, 일부 기초 연구와 개발상황들만 알려지고 있는 실정이다.

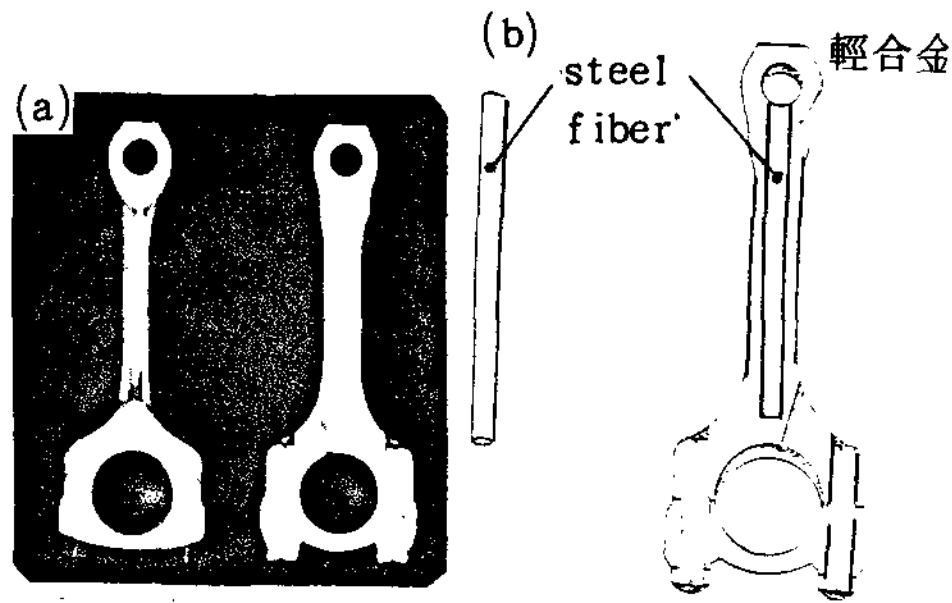


그림 5 . (a) 알루미늄 MMC Piston (b) 그 구조

4. 용탄단조법의 기초연구현황

80년대부터 용탄단조법의 실용화가 세계적으로 몇개 분야에서 성공되어져 제품으로 시판되어 큰 주목을 받고 있지만, 보다 공업적인 제조법으로써 개발에는 많은 과제들이 있으며 실용화의 어려움으로는 관련 기술 데이터의 부족도 중대한 원인중에 한가지 이다. 근래에 국내에서도 학계와 제조산업분야에서 큰 관심이 되고 있는 용탄단조법의 보급과 국내개발의 활성화의 측면에서도 기초연구자료와 최신정보의 축적과 이해가 중요한 선결과제이다. 최근의 기초연구²¹⁾ 결과들을 종합하여 살펴보자.

4.1 열역학적 현상

압력은 온도와 함께 한개의 열역학변수이다. 따라서 고압에서는 압력이 포함되어져 열역학상태함수가 대기압의 값과 다르고 자유에너지값도 다르다. Gibbs 자유에너지와 압력관계는 (1)식이 되며,

$$dG = -SdT + Vdp \dots\dots\dots(1)$$

여기서 G, S, V, P 와 T는 Gibbs 자유에너지, 엔트로피, 1mol 당체적, 압력과 온도이다.

이식을 압력 0~P까지 적분하면 다음 식(2)가 얻어진다.

$$G(T, P) = G(T, 0) + \int_0^P Vdp \dots\dots\dots(2)$$

이식은 등온압축에 의한 고압하의 자유에너지를 구하는 식이다.

1) 단열적 압축에 의한 현상

용탄단조법에 의해 용탕상태나 반응고상태에서 급격히 압축하여 고압을 받게 하는 현상은, 열역학적으로 단열적압축에 해당한다. 액상 Al 을 냉각중에 급격압축한 경우에 관찰된 온도변화를 보면 200Mpa, 1000 K 에서 온도가 약 5.5 K 증가하였다고 Hanneman 은 보고하였다. 한편, 일반적으로 물질을 단열압축시키면 온도변화는 식(3)이 된다.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P / C_p \dots\dots\dots(3)$$

여기서 S는 엔트로피, Cp는 정압비열 (3)식에서 온도상승 ΔT는 다음식이 된다.

$$\Delta T = \int \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S dP$$

(∂T/∂P)_S는 보통 압력의 영향이 적다. 대기압의 값을 사용하여 ΔT를 고려하면 약 8K가 되어서 액상의 온도증가가 단열압축효과가 주된 것임을 알 수 있다.

2) 응고점온도 상승

고압하에서는 금속의 응고점온도가 높아지는 것이 보통이며 다음으로 설명된다.

(2) 식으로 표시되는 고·액상의 자유에너지변화를 응고점온도에서 보면,

$$\Delta G^{l \rightarrow s}(T, P) = \Delta G^{l \rightarrow s}(T, 0) + \int_0^P \Delta V dP \dots\dots\dots(5)$$

여기서 ΔV = V^l - V^s, ΔG^{l→s}(T, 0)는 P = 0의 정압비열로 표시된다. ΔV는 고·액상의 등온압축에 의해 계산되며 근사적으로 나타내면,

$$\Delta V \approx V_0^l (1 - a^l P) - V_0^s (1 - a^s P) \dots\dots\dots(6)$$

a^l, a^s는 액상, 고상의 등온압축률

V₀^l · V₀^s는 대기압에서 액상고상 mol 체적.

(6) 식을 (5) 식에 대입하고, 금속응고점 온도에서 자유에너지변화를 zero로 두면 (5) 식이 zero가 되고 응고점온도의 압력변화의 관계가 구해진다. a^l = 2.9 × 10⁻¹¹ Pa⁻¹로 계산하면 Jayaraman²²⁾이 측정한 값과 잘 일치 하였다. 이때 식(7)은 Clausius-Clapeyron 식으로 더 알려져 있다.

$$dP/dT = \Delta H / T (V^l - V^s) \dots\dots\dots(7)$$

여기서 ΔH는 엔탈피, 이식을 이용하면 순알미늄은 100kgf/cm²가압력에 7°C 융점 상승이 된다.

3) 용해가스와 압력

보통 용융금속중에는 여러 gas 가 용해 하며 , 응고중 에 액상과 고상간의 큰 용해도차로 인해 gas 기공이 발생하게 된다.

Al 용탕에 최대 문제가 되는 수소의 경우 용해도(H) 는 Sieverts 법칙에 의해 압력의 평방근에 비례하여 증가한다. 예를들면 500 kgf /cm 가압에서는 대기압(1 kgf /cm²)에 비해서 용해도가 22 배증가한다. 대기압하 에서 과포화수소를 지니는 용탕에서도 고압하에서 강제 고용이 충분하여 기공발생을 억제할 수 있다. Al-4% Cu 합금에 가압력에 따른 비중변화를 습기찬 공기를 취 입하면서 실험한²³⁾ 결과, 500 kgf /cm² 이상의 가압하에 서는 기공등의 악영향이 없음은 용탕단조법에서는 탈가 스공정이 생략가능함을 말해준다. 그러나 이 경우 용체 화처리후 급냉시에 Blister 발생의 위험이 내재하고 있 어 대개는 탈가스 처리를 한다.

4) 결정 핵생성

압력이 결정의 균일핵생성에 미치는 영향을 고전열역 학적²⁴⁾ 으로 살펴보자. 고압하에서 embryo 가 결정 핵이 될 임계핵반경 r* 은 식(8) 으로 된다.

$$r^* = - 26V^S / \Delta G_v l^{-3}$$

σ 는 계면에너지 $\Delta G_v l^{-3}$ 액상에서 고상으로 될때 1m 이당 자유에너지 변화이다.

V^S 는 고상의 압축율과 그 온도의존에서 온도와 압 력의 관계식이 얻어지며, $\Delta G_v l^{-3}$ 는 식(5)의 $\Delta G l^{-3}$ (T, P) 를 사용으며, σ 는 고액계면의 단위면적당의 원자수와 관련이 있다. 그 원자수가 고압하에서 압축 되어 증가하므로 σ 는 압력에 비례한다고 생각된다.그 비례상수를 $2a^S/3$ 이라면,

$$\sigma = \sigma_0 (1 + 2a^S P / 3) \dots\dots\dots (9)$$

σ_0 대기압에서 고액계면에너지

(a) 식을 (g) 에 대입하여 r* 과 압력의 관계를 보면 그림 6 이 된다. 여기서 과냉온도는 각각의 압력하에 서 평형응고점온도에서의 과냉온도이다. 이 그림에서 결정핵생성임계반경 r* 은 압력증가에 비례하여 커지고 있어 고압에서는 핵생성이 어려움을 말해 주고 있다.

4.2 열전달 특성

그림 7 은 가압응고한 경우에 냉각곡선의 변화를 나 타내고 있다.

가압이 주물의 응고속도를 크게 증가 시키고 있으며, 금형온도도 가압즉시 급상승을 하고 있어서 주물에서 금형으로 열전달이 증가함을 알 수 있다. 이경우 주물

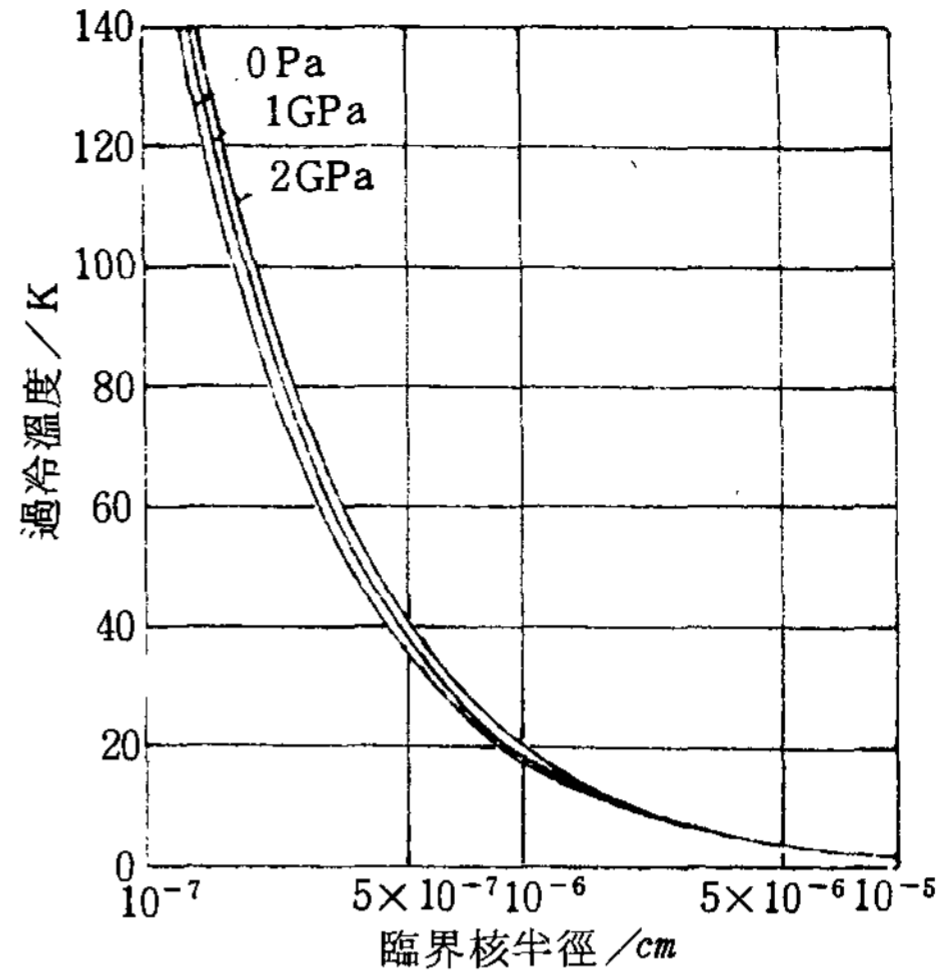


그림 6 . 고압하 Al의 임계핵반경과 과냉온도의 관계

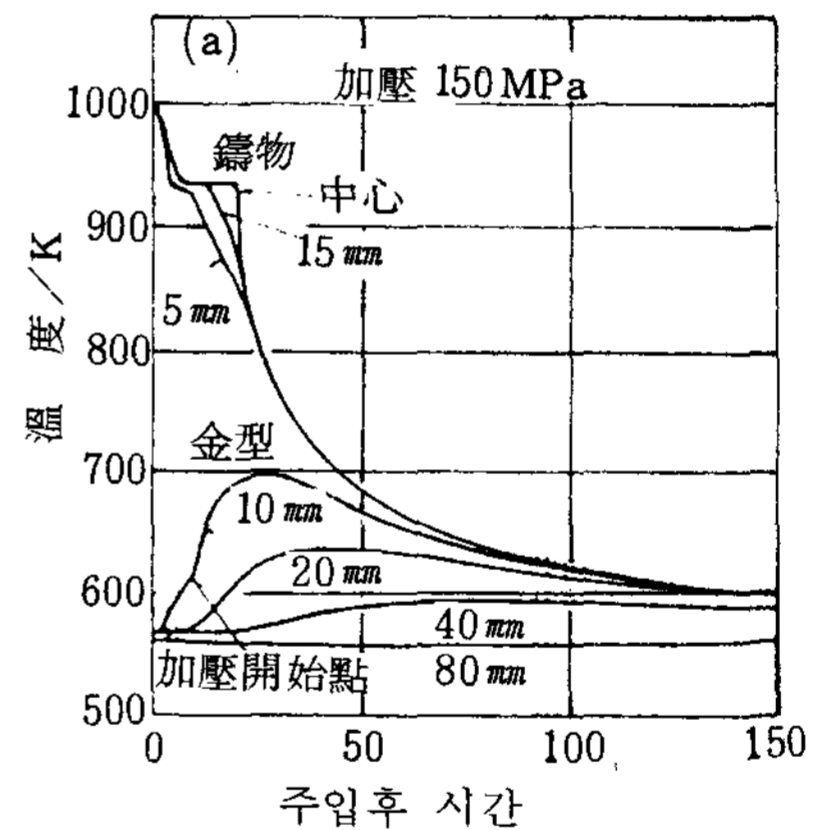


그림 7 . 가압응고시 냉각곡선변화

내부나 금형내부의 열전도가 가압으로 크게 향상되기 보다는 주물, 금형간 계면에서 열전달이 좋아진 것으 로 설명된다. 이러한 계면열전달계수를 컴퓨터 해석²⁵⁾ 을 한 결과, 가압개시점부터 급격히 향상되었으며 응 고완료가 되면서 일부 감소하였다. 즉 용탕단조법에 의해서 계면열전달계수가 급격히 증가하는 것이 특징 이다. 그 값은 보고마다 약간의 차이는 있으나 가압에 의해 중력주조의 0.05 cal / sec . cm² . °C 에서 0.5 cal / sec cm² °C 내외로 한 Order 증가를 나타낸다. 이 값은 가압력에 따라 증가하지만 그효과도 어느정도 이상에서는 응고 속도에 큰차이를 주지 않았다.²⁶⁾

전열의 입장에서 용탕단조법에 적합한 제품은 가압 전에 응고양이 적고, 가압개시후에 금형표면온도가 위

치에 따라 차이가 있거나, 정수압을 가할수 있는 작은 표면적의 형상으로 고려 되었다. 또한 제조조건과 관련해서 양호한 가압응고 조직이 거의 액상선 내외 온도로 주물이 된 상태에 가압이 이루어 질때에 얻어 졌다.²⁷⁾

4.3 응고조직의 특성

용탕단조의 응고조직은 단순히 정수압하에서 응고만 아니라 급격한 고압의충격이 핵생성및 결정성장에 영향을 미치고 있다.²⁸⁾ 그림 8은 Al-Si 합금계 상태도에서 압력의 영향²⁹⁾을 나타낸 것으로 고압으로 응고점온도 상승과 공정점 조성이 Si 쪽으로 이동함을 알수 있다. 한편 가압시에 단열압축에 의한 금속자체온도가 높아 지므로 실제 가압시의 과냉량은 응고점온도 상승과 단열압축상승의 차이가 된다. Sekhar³⁰⁾에 의하면 단열압축은 과냉도를 증가시키며, 핵생성후의 응고과정은 이 과냉에 의해 고속성장하며 Interface Control 이 되고 어느 임계이상으로 응고양이 증가하면 성장은 저속의 heat flow control 이 된다고 하였다.

순알미늄의 경우²¹⁾ 응고점온도상승과 단열압축의 온도상승의 차가 적어 가압시의 과냉이 적으나 고압이 되면 증가한다. 가압개시 온도를 응고점온도 보다 높은 온도에서는 전면주상정조직이었으나, 응고점온도부근에서는 중심등축정이 나타났다. 이러한 결과는 과냉이 후자에서 증가되어서 초기의 등축정 seed 가 성장가능케 한 것으로 예상된다.

합금의 경우³¹⁾ 육안조직을 보면 대개의 Al 합금의 아공정조성에서 주상정등축정의 조직이 되며 가압에 의해서 주상정이 발달하거나, 전면등축정조직이 되는데 이 결과도 가압개시에서 주물내 온도분포가 큰과냉을 가져올수 있는가에 따라 결정되어 진다.

미세조직면에서는 가압응고한 경우, 수지상정의 미세화, 공정조직의 미세화, 미세기공 억제, 정편석 증가, 전위밀도 증가 등의 양호한 조직적 특성을 보이고 있다. 이러한 결과는 응고속도의 증가, 과냉증가, 가스 용해도 증가에 기인한 것이다.

4.4 응고시의 유효압력

주물의 응고개시부터 완료까지 효과적으로 작용하는 압력은 주물의 형상과 응고진행에 크게 좌우된다. 하중은 punch 에 의해 가해지나 응고수축양만큼 응고도중에 punch 에 변위가 일어나서 주물의 상부도 같이 변위를 가진다. 그 결과 변형저항외에 주물과 금형간에 응고중 마찰력이 작용하게 된다. 즉 주물상부에 가한 하중은 주물하부나 내부에 정수압적으로 충분히 전

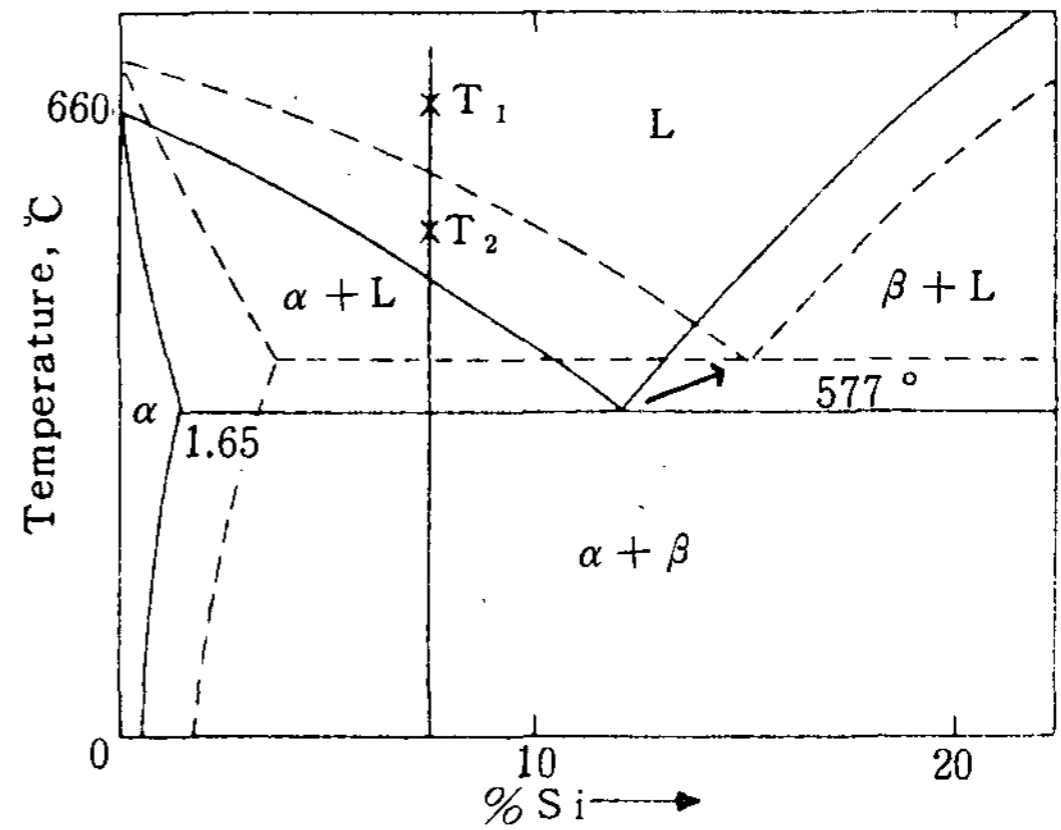


그림 8. 1Kilobar 가압시의 Al-Si 평형상태도의 변화

달되지 않고 손실이 생긴다.

Nishida 에 의하면³²⁾ 프란자가압식의 경우 주물하부의 하중은 응고완료까지는 높으나 응고후 급속히 감소하였고 최소값은 80% punch 하중이 되었다. 이 하중 손실은 금형온도를 높이면 감소하였고, 주물높이가 증가하면 적게 증가하였다. 한편 주물내부의 최종응고부분은 손실이 현저 하였다. 또한 간접가압식에서는 프란자가압보다 하중손실이 더 컸으며, 주탕후 가압개시까지의 시간이 짧을수록 작아지고, 가지량이 많거나, 두꺼우면 손실이 커졌다. 이러한 것을 감안한 용탕단조법의 유효압력의 조절이 중요하다.

5. 결 론

여기서 살펴본 용탕단조법의 최근 연구개발 과 공업화현황을 보면 새로운 제조법으로써 그 위치를 확고히 하면서 특히 고품질제품제조와 금속계 복합재료의 양산화기술로써 크게 주목을 받고 있음을 알수 있다. 아직 실용화의 역사가 짧고, 여러가지 연구개발의 과제가 많아서 국내에서도 기초분야와 응용개발을 학계나 제조업계가 상호협력·보완하여 나간다면 이 분야의 개발에서도 큰 발전이 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. V.M.Plyatskii; Extrusion Casting. Primary Sources, (1965)
2. 松原永吉 외: 自動車技術, 34(1980), 749
3. 德井雅昭 외: Toyota Tech. 33-1(1983), 71

4. 堂/本忠: 自動車技術, 37(1983), 884
5. Williams G., Fisher K.M: Metals Technology, 8(1981) 263
6. J.R.Franklin 외: The British Foundryman. (1983) 150
7. Kanekoy외 Foundry Trade Journal 148(1980) 397
8. 安田哲太郎 외: 프레스기술, 19(1981) 62
9. 德井 외: 鑄物, 57(1985), 691
10. Wiliam.F.Shaw, T.Watmough; Foundry. Oct(1969) 166
11. 鈴木鎖夫: 金屬材料 15(1975), 10
12. S.Rajagopal, W.H.Altgott: AFS Trans. (1985) 145
13. Benedyk.J.C.: 6th SDCE Int. Diecasting Cong. 1970
14. Stefanides E.J.: Design News May (1974) 29,60.
15. 三宅紀明 외: 金屬材料 15(1975) 2,27
16. 高田與男, 佃誠: 金屬材料 15(1975) 2,35
17. McGuire.M.F: Diesel & Gas Turbine Progress. Sept. (1979) 59
18. SAE Trans. 1985, 1986
19. 車用 외: Aluminum(JPN) No 664(1985) 12.16
20. 鈴木鎖夫: 複合加工技術, 産業圖書 (1984) 39
21. 西田義則 외: 日本金屬學會會報 19(1980) 895
22. A.Jayaraman 외: J.Phys, Chem, Solids, 24(1963) 7
23. 鈴木鎖夫: 鑄物 41(1969) 464
24. Y.Nishida, M.Matsubara: Z.Metallk,71(1980) 189
25. Y.Nishida, H.Matsubara: Brit-Found. 69(1976) 274
26. 한요섭, 김도향, 이호인: 주조 6(1986) 193
27. 한요섭: 석사학위논문 (1985) KAIST
28. H.I.Lee and A.A.Das: 대한금속학회지 15(1977) 52
29. Epanchintsev. O.G: Russian Casting. Prod (1972) 34
30. J.A.Sekhar: Scri. Met 19(1985) 1429
31. 한요섭, 김도향, 이호인: 주조 6(1986) 116
32. 松原弘美 외: 鑄物 49(1977) 34



國內外鑄物關係行事

1987

12월 1일 - 12월 2일

American Foundrymen's Society
Conference: Making and Marketing of Ductile Iron.
Skyline Hotel, Toron To, Ontario, Canada

12월 8일 ~ 12월 9일

AFS /Cast Metals Institute
Symposium: Investment Casting Waxes
AFS Headquarters, Des Plaines, IL, U.S.A.

1988

1월 20일 ~ 1월 21일

American Foundrymen's Society
Modern Casting 2nd Annual Seminar
Rosemont, IL. U.S.A.

1월 29일

일본주물협회
Symposium: 주형용석고의 개발과 석고주조기술

4월 24일 ~ 4월 28일

Americar Foundrymen's Society 92nd
Casting Congress Hartford, CT. U.S.A.

5월 24일 ~ 5월 27일

일본주물협회
제 113 회 전국강연대회
오사까 국제교류센터, 오사까, 일본

(崔昌鈺)