

論 文

(이 논문은 1986년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음)

FMC법에서 모형 도형제가 순알루미늄 주물의 응고와 주형의 열적거동에 미치는 영향

조남돈*, 김용남**

The Effects of Pattern Coatings on the Solidification of Pure Aluminum Castings and the Thermal Behavior of Molds in FMC Processes

N.D.Cho*, Y.N.Kim**

ABSTRACT

Full mold casting process is a new technique offering numerous advantages and promising possibilities.

The present study is aimed to bring out the results of experiments carried out to study the effect of pattern coatings on the solidification of 99.5% pure aluminum plate-shaped castings in the various sand molds and the thermal behavior of the molds.

The results of the investigation indicate that (i) with increase in pattern coating thickness, the relative chilling power decreases gradually for silica and increases for zircon coating, and (ii) the application of a pattern coating significantly reduces the maximum interface temperature by the mold which is more pronounced in the case of thinner mold wall.

The investigation also indicates that Chvorinov's rule is not found to be valid for the casting in the full mold, with or without pattern coating. Therefore in full mold process, the pattern coating thickness will be a very important parameter in the study of thermal behavior.

1. 서 론

Full Mold 주조법(FMC process)은 일명 소실모형주조법(消失模型鑄造法)이라고 부르는데 “목형이나 금속모형을 사용하지 않고 발포 폴리스티렌(expanded polystyrene : EPS)모형을 주형내에 매몰한 상태로 용탕을 주입하여 모형의 소실과 동시에 주물이 제조되는 방법”으로 일반 주조법에 비하여 모형제작 시간의 단축, 조형 작업의 용이, 중자나 합형의 불 필요, 후처리 작업 시간의 단축 및 미숙련자도 작업할 수 있는 등 많은 이점이 있어 최근 각광을 받고 있는 새로운 주물 제조법의 하나이다.

이와 같이 유리한 주조법임에도 불구하고 이 방법에서 많이 쓰이는 모형 도형제에 관한 연구가 국내외를

막론하고 아직도 매우 부진하며 모형도형제의 선택, 도형층의 두께 결정, 도형제로 인한 주물내의 개재물과 가스혼입 및 표면불량과 같은 많은 문제점들이 있다.

최근에 와서 국내에서도 소수 주물업체에서 이 방법으로 주물제품을 제조하고 있는데 앞으로 수년내에 이 방법이 신속히 보급될 것으로 예측되고 있어 이 방법을 사용하고 있는 산업체나 앞으로 연구하려고 하는 연구자들에게 도형제가 주물의 응고와 주형내의 열적거동에 미치는 영향에 대한 기초 자료를 제공하려는데 본 연구의 목적이 있다.

현재까지 주형재료의 열적성질을 조사하기 위하여 여러가지 보통 사형주물의 전열에 관한 연구가 이루어져 왔으나 아직도 만족스러운 결과가 비교적 적으며 그동안 국내외에 발표된 FMC법에 대한 연구는 다음과 같다.

본 논문은 1986년도 추계학술연구발표대회(1986. 11. 8)에서 발표한 것을 보완한 것임.

* 국민대학교 금속공학과 부교수

** 국민대학교 대학원(금속공학전공)

최초로 FMC법은 1958년에 Shroyer¹⁾가 "Cavityless casting mold"(full mold process)라는 이름으로 특허를 내었다. 그후 Duca²⁾등과 Wittmoser³⁾⁻⁴⁾가 재래주형에 발포 폴리스티렌 모형을 사용하여 일반 주물제작의 가능성을 제시하였고, 비점결사에 의한 주물내 용탕의 움직임이나 주조과정에서 생형보다 유리한 점을 Butler⁵⁾⁻⁶⁾등이 지적하였으며 또한 Dieter⁷⁾등도 이러한 비점결사 주형내에서 주물의 결함 발생 원인과 문제점을 보고 하였다.

한편 Srinagesh⁸⁾등과 Lee⁹⁾⁻¹⁰⁾는 비점결사 주형에서 용탕의 주입속도와 발생 가스압에 대한 결과를 보고하였고, Sikora¹¹⁾는 비점결사에 의한 FMC법의 장점에 관하여 구체적으로 설명하였으며, Immel¹²⁾은 발포성 폴리스티렌 모형의 수축율을 조사하여 보고하였다.

최근에는 Bailey¹³⁾가 비점결사 주형내에서 FMC법에 의한 주물제조 업계의 동향에 대하여 조사하였으며 Okorafor¹⁴⁾등은 생형과 FMC법에서 주물의 냉각속도에 대하여 간단히 비교 조사 하였다. 또한 Du¹⁵⁾등도 생형 주물사에 폴리스티렌 분말의 첨가가 주물 표면에 미치는 영향을 관찰하였으며 Gorla¹⁶⁾등은 보다 세부적으로 비점결사에 의한 FMC법과 생형의 장단점을 설명하였고 Mutaguchi¹⁷⁾는 최근 FMC법의 세계적인 현황을 간단히 요약하여 보고 하였다. 한편 국내에서는 이씨¹⁸⁾등의 비점결사에 의한 주물내 용탕의 유동에 관한 연구보고와 조씨의 비점결사에 의한 FMC에 의해 회주철 용탕 주입시 금속과 주형 사이의 열전달 실험보고¹⁹⁾와 FMC의 제조법에 관한 내용²⁰⁾ 및 김씨²¹⁾의 FMC법의 적용사례에 관한 보고외에는 거의 없는 실정이다.

이와 같이 국내외적으로 FMC법에서 모형 도형제에 관한 체계적인 연구는 아직도 없다. 따라서 본 연구에서는 CO₂가스형, 생형, 비점결사형, 자경성 주형(Furan계)내에서 공업용 순 알루미늄 주물이 응고 할때에 도형제의 종류와 도형층의 두께, casting modulus와 volume ratio의 변화에 따른 주물 자체내 중심위치, 중심위치와 주물표면 사이의 중간위치의 응고 특성과 도형층의 외부계면 및 주형내의 전열거동을 관찰하였다.

2. 실험방법

2-1 주형재료 및 모형준비

본 실험에서 주형제작에 사용된 규사와 벤토나이트의 성분 및 입도 분포는 Table 1과 Table 2에 나타

내었다.

Table 1. Chemical composition of molding materials(wt.%)

Comp. Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	LOI
Silica sand	98.5	0.85	0.63					bal.
Bentonite	70.51	15.4	3.12	2.15	0.23	0.46	1.24	bal.

Table 2. Grain distribution of silica sand.

Sieve No. (mesh)	40	50	70	100	140	200	270	pan	AFS GFN
wt.%	0.4	7.1	23.5	42.6	22.3	1.1	2.4	0.6	74.97

모형은 시중에 판매되고 있는 발포 폴리스티렌 판(겉보기 비중 0.016 g/cm³와 0.026 g/cm³)을 150×125 mm의 크기로 일정하게 절단하고 casting modulus와 volume ratio가 변화할때의 영향을 조사하기 위하여 두께만을 각각 10, 20 및 30 mm로 변화시켰다.

탕구재료는 모형과 동일한 재료로서 직경을 30 mm로 만들고 순간접착제로 상주식 탕구계로 하기 위하여 모형 상부 중앙에 부착시켰다.

2-2 모형 도형

모형 도형에 사용된 실리카분과 지르콘분의 입도는 270 ~ 325 mesh 범위이고 이들의 조성은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical composition of coating materials(wt.%)

Comp. Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂
Silica flour	98.76	0.21	0.23		
Zircon flour	33.21	0.13	0.08	66.24	0.25

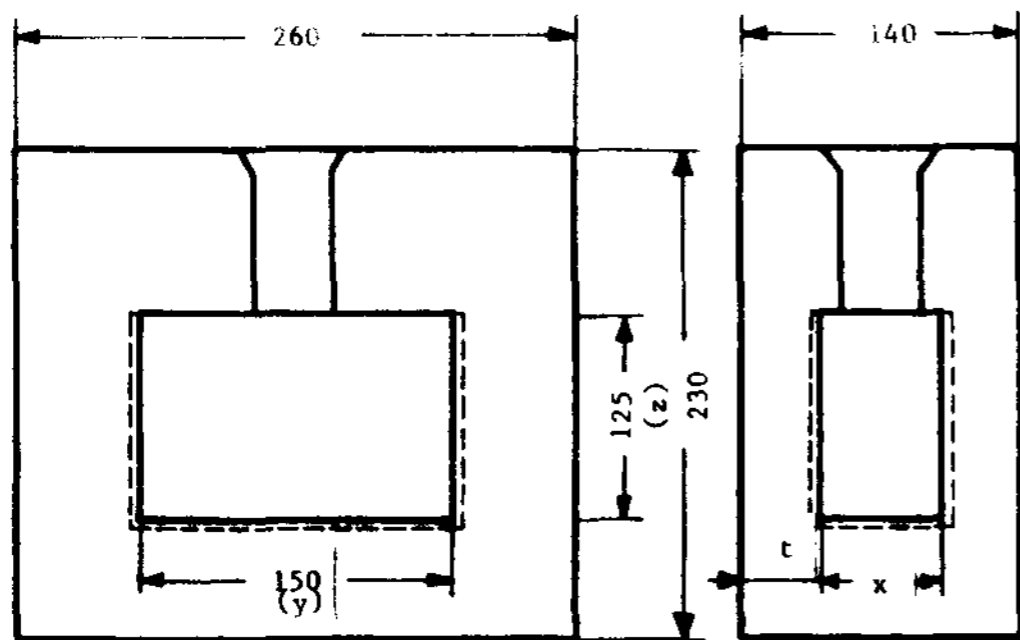
이들 도형제는 도형층이 붕괴되는 것을 방지하기 위하여 약 0.5%의 접착제를 메틸 알콜과 함께 4,000 cc 비이커 내에서 혼합한 후 준비된 모형을 이 용액속에 침지시켜 꺼낸 후 진공건조기내에서 50 ~ 60°C의 온도 범위로 약 5시간 동안 건조시켰다.

건조후 도형층의 두께는 각각 0.5 mm와 1 mm로 하였

는데 이때 도형층 두께의 변화를 조사하기 위하여 변이계수(coefficient of variation)을 구한바 3~6%의 범위로 작아 정확도가 비교적 양호하다는 것을 알 수 있다.

2-3 주형제작

주형상자는 두께 3mm인 강판으로 제작하였는데 모형이 연소할때 발생하는 가스의 배출을 용이하게 하기 위하여 전체 상자에 지름이 2mm인 드릴로 많은 구멍을 뚫었다.



casting code	casting size (mm)			mold wall thickness(t)	casting* modulus	volume** ratio
	x	y	z			
A	10	150	125	65	0.436	36.06
B	20	150	125	60	0.773	19.29
C	30	150	125	55	1.041	13.17

* Casting Modulus = (casting volume) / (casting surface area)

** Volume Ratio = (mold volume) / (casting volume)

Fig. 1 Casting and mold dimensional details.

Fig. 1은 주형상자 및 모형의 크기를 나타내고 있다. 각종 주형에서 도형체가 열적거동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 CO₂ 가스형, 생형, 비점결사형 및 자경성형 4가지로 주형을 제작하였다.

CO₂ 가스형은 규사에 mole 비 3인 규산소다 5%를 혼합하여 다진후 CO₂ 가스를 1.2 kg/cm²의 압력으로 약 5분 동안 취입시켜 만들었고, 생형인 경우에는 벤토나이트 및 수분을 각각 5wt.%, 10wt.%로 첨가하여 주형을 제작하였다. 비점결사형은 규사만을 사용하였는데 주형상자벽에 뚫린 가스배출 구멍으로 모래가 새어 나오는 것을 방지하기 위하여 주형상자벽에

아주 미세한 망을 부착한후 규사를 담고 다짐 작업대신 주형상자를 가볍게 두드리서 규사를 진동에 의하여 충전하였다. 자경성 주형 제작은 규사에 대하여 경화제와 수지를 각각 0.75 wt.%와 1.5 wt.%의 비로 첨가하여 혼합한 것으로 가사시간을 15분 이내로 하여 제작한 다음 24시간 경과후 사용하였다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 열전대의 위치를 정확히 하기 위하여 CO₂ 가스형과 생형 및 자경성주형내에 석영관으로 둘러싸인 열전대를 삽입하기 전에 지름이 3mm인 강철봉으로 모형과 주형상자를 관통하여 고정시킨 후 모형이 변형되지 않을 정도로 주형재료를 가볍게 다지면서 충전하였다.

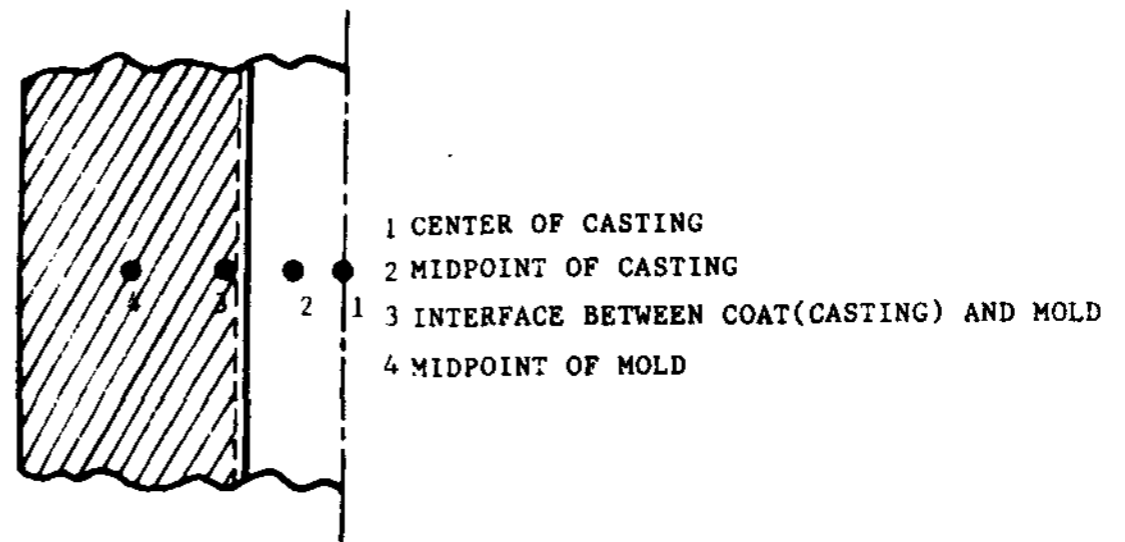


Fig. 2 Thermocouple locations in the casting and mold.

그러나, 비점결사형인 경우에는 강철봉을 사용할 수 없어 외경이 3mm인 석영관으로 싸인 열전대를 직접 고정시키고 조심스럽게 규사를 채우면서 주형상자를 가볍게 두드리서 다짐작업을 대신하여 그대로 주형으로 사용하였다. 비점결사형을 제외한 나머지 주형은 다짐후에 미리 설치한 강봉을 제거한 다음 알루미나-크로멜선이 삽입된 석영관으로 열전대의 접점이 온도를 측정하고자 하는 위치에 정확히 오도록 조정하고 난후 고정시켰다.

이상과 같이 준비된 주형은 열이 상부로 이동하는 것을 주형측면부와 거의 유사하게 하기 위한 것과 주입시 용탕의 부력 및 발생가스의 압력으로 주형의 붕괴를 억제시키기 위하여 주형의 윗 부분을 많은 구멍이 뚫린 석면판으로 주입점 부분을 제외하고 모두 덮었다.

2-4 주입 및 열분석

99.5 wt.%의 순 알루미늄괴를 적당한 크기로 절단하여 약 200°C 정도로 예열된 10번 흑연도가니에 장입하여 승강장치가 부착된 siliconite 전기로에서 용해 하였다.

용해작업은 알루미늄 산화 손실량을 최소로 하기 위하여 신속히 용해시킨후 주입하기 직전에 탈가스제를 첨가하였다. 본 실험의 주입온도는 780°C로 레이들에서 조정후 용탕을 연속적으로 탕구에 주입하였다.

측정하고자 하는 위치의 온도는 12 channel 용 디지털 자동 온도 측정기(Model No. LP-12)를 사용하여 표시되는 온도와 동시에 recorder에 기록되는 것을 비교하여 정확히 측정하였다.

각 온도 측정위치는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 주물중심위치, 주물중심위치와 주물표면사이의 중간위치, 도형층의 외부계면, 주형벽의 중심위치(이하 각 위치를 위치(1), 위치(2), 위치(3), 위치(4)라고 함.)이다.

3. 결과 및 고찰

3-1 각종 주형에서의 온도분포곡선

Fig. 3~6에서 각각 CO₂ 가스형, 생형, 비점결사형 및 자경성형을 사용하여 실리카(Silica)계 도형제와 지르콘(Zircon)계 도형제(이하 A도형제, B도형제라 함.)를 두께 10mm인 모형에 약 0.5mm 도형한후 각 주형에 순 알루미늄을 주입하여 위치(1), 위치(2), 위치(3) 및 위치(4)에 대한 온도-시간 곡선을 나타내고 있다.

CO₂ 가스주형인 경우 Fig. 3(a)와 (b)에 나타난 바와 같이 위치(1)의 응고곡선을 보면 A도형제인 경우가 B도형제인 경우보다 응고시간이 약 2분 더 길게 나타났다.

생형인 경우에도 Fig.4(a)와 (b)에서와 같이 위치(1)의 곡선의 형태는 CO₂ 가스형의 경우와 유사하였으며 이때도 B도형제인 경우보다 A도형제가 1분 30초 정도 더 길게 나타났다.

Fig. 5(a)와 (b)에서 보면 비점결사형에서도 A도형제 도형한 경우가 응고시간이 30초 정도 길게 나타났다.

Fig. 6(a)와 (b) 자경성형에서도 유사한 경향을 나타내고 있다.

이와 같이 A도형제를 도형했을 경우 응고시간이 더 길게 나타나는 이유는 B도형제가 A도형제 보다 열전도도가 크기 때문이다. A도형제는 주형재료와 열적성질이 같으나 미세한 사립때문에 두께가 증가할수록 열방출을 방해하는 역할을 하여 응고시간을 길게 한것으로 사료된다.

한편, 위치(3)에서의 최대계면온도는 CO₂ 가스형인

경우 B도형제가 20°C정도 높게 나타났으며, 생형인 경우에도 40°C정도 높게 나타났다. 각 도형제에서 CO₂ 가스형과 비점결사형인 경우에는 생형보다 30~50°C정도 낮은 경향을 보이고 있는데 이것은 도형제의 영향보다는 주형재료의 열적성질에 그 원인이 되는 것으로 생각된다.

위치(4)의 온도분포는 CO₂ 가스형의 경우, 초기 단계에서 급격히 상승하다가 그 이후로는 상승이 완만하게 나타났다. 위치(4)의 최대온도는 90°C 부근에 분포되어 초기단계를 제외하고는 거의 일정하게 유지되었다.

생형의 경우에도 CO₂ 가스형에서와 유사한 온도분포곡선을 나타냈으며, 비점결사형의 경우에는 위치(4)의 온도가 CO₂ 가스형이나 생형보다 30°C정도 높게 나타났음을 알 수 있다. 이것은 비점결사에 열전도도가 작은 점결제가 첨가되지 않았기 때문에 주형내로 열전달이 원활하게 되어 온도가 초기부터 더욱 상승한 것으로 생각된다. 한편, 자경성 주형인 경우에도 비점결사와 거의 유사한 경향을 나타내고 있는데 이는 후란수지가 전열이 잘되는 것으로 나타나고 있다.

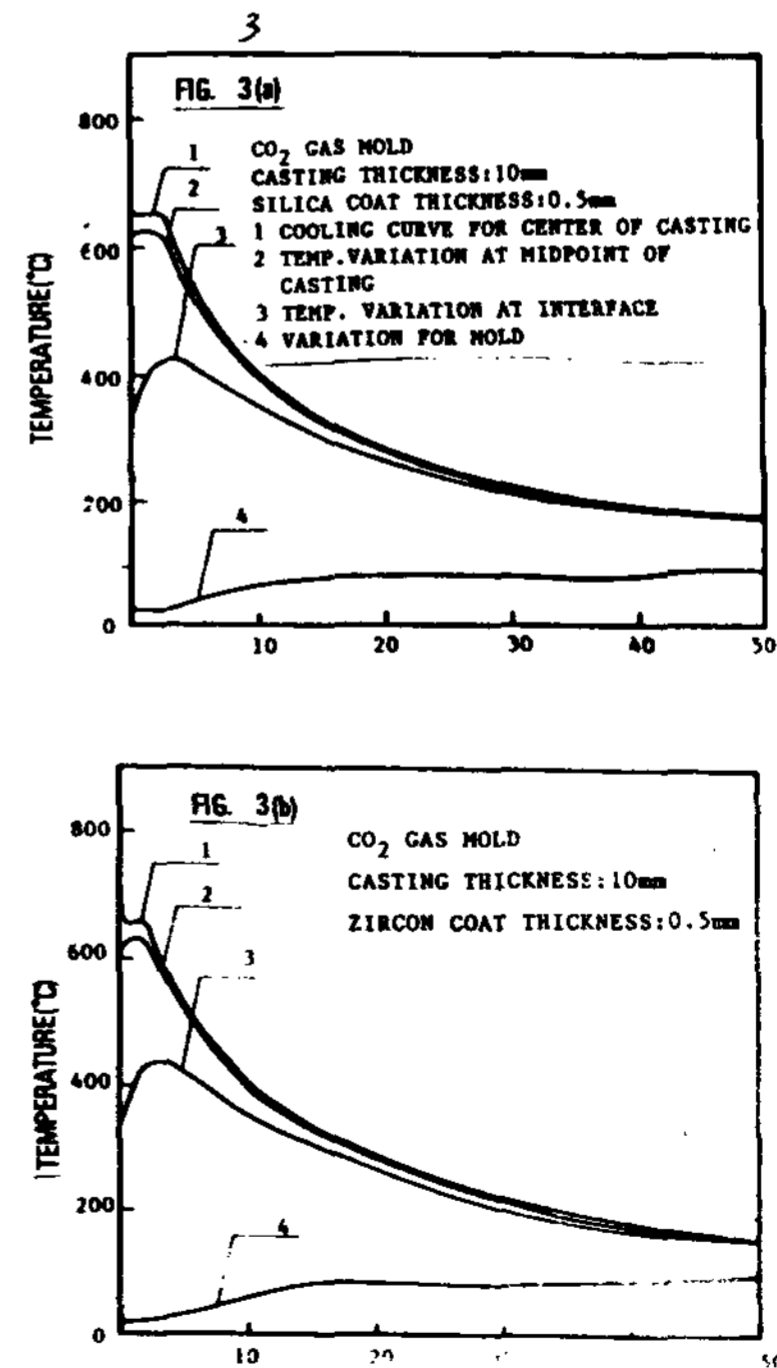


Fig. 3 Temperature versus time curves of CO₂ gas mold (a) with silica flour coating and (b) with zircon flour coating.

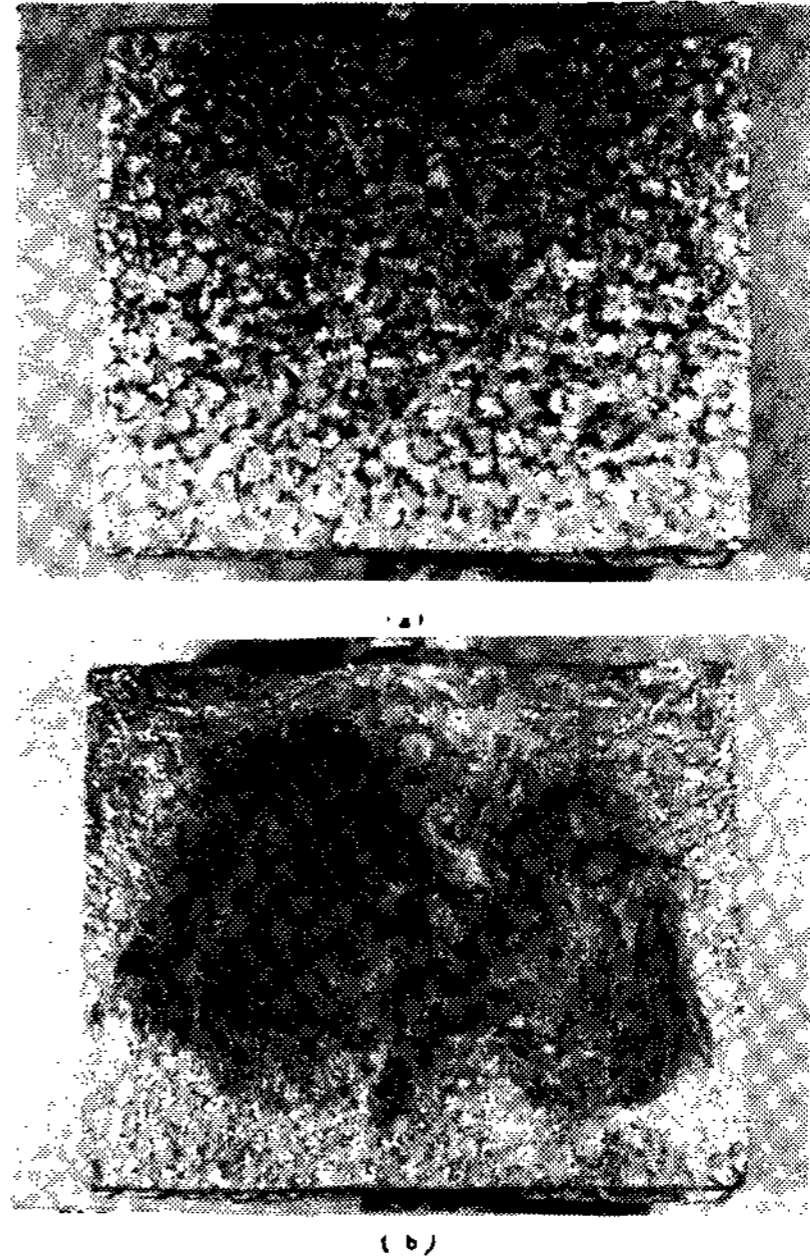
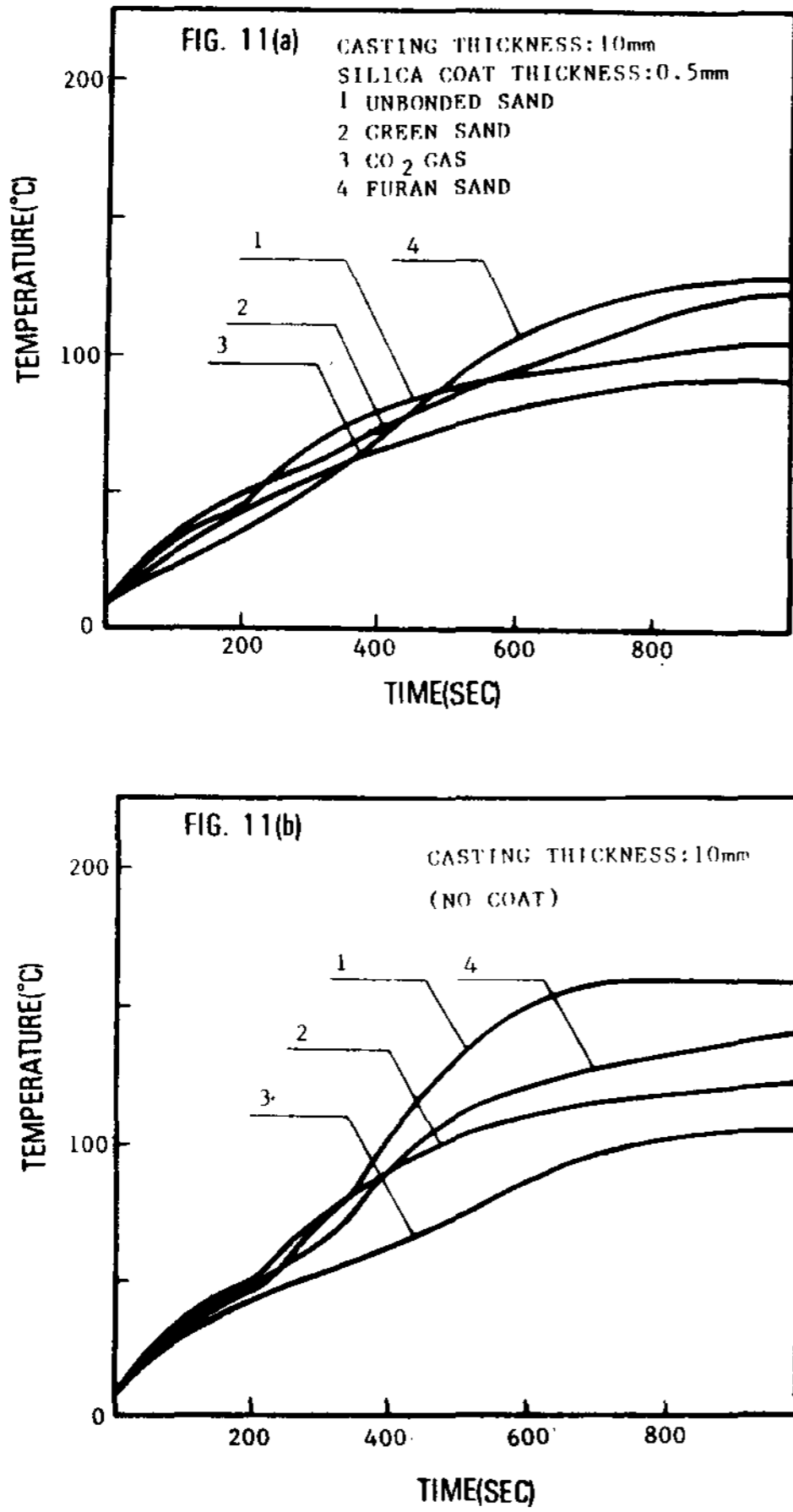


Photo.1 Appearance of outer surface of casting with (a) 0.016 g/cm and (b) 0.026 g/cm density.

Fig.11 Temperature versus time curves for unbonded sand, green sand, CO₂ gas and furan sand mold (a) with silica flour coating (b) with uncoating.

때에 가스나 미연탄소분의 발생이 적었고, 겉보기 비중이 큰 것은 주물표면 상태가 비교적 양호하나 주입용탕의 움직임과 같은 모양으로 미연탄소분의 부착된 것을 볼 수 있다. 실제로 각 온도에 따라 EPS가 열분해할 때 미연탄소가 발생한다는 것은 이미 보고된 바 있다.¹⁹⁾ 주형 제작할때에 모형은 적당한 강도를 지녀야하나 겉보기 비중이 크면 연소에 의한 가스량 및 미연탄소분이 다량 발생 한다는 것을 알았다.

3-3. Casting Modulus 와 Volume Ratio
[mold/metal(casting) ratio]

Fig. 12와 13은 CO₂가스주형내에서 casting modulus와 volume ratio을 변화시키기 위하여 모형의 두

께를 10, 20 및 30 mm로 증가시켰을 응고시간과 최대계면온도에 대한 관계를 나타내었다. Fig.12에 나타난 CO₂가스형에서 도형하지 않았을때와 A도형체를 도형했을 때는 비교적 직선에 가깝게 나타나는 반면에 B도형체의 경우는 보다 변화가 심하게 나타났다. 따라서 EPS모형을 사용한 경우에는 Chvorinov'법칙²³⁾에 정확히 일치하는 하지 않았으나 Chvorinov's 상수는 0.836~1.451(s/cm³) 범위내에서 분포된다는 것을 알 수 있었다. 특히, 주물의 체적에 대해 표면적이 작을수록 더욱 심한 분포의 변화를 나타내는 경향이 있었다. 한편, Fig. 13에서는 volume ratio가 증가함에 따라 최대 계면온도는 도형을 하지 않았을 경우 변화가 거의 없었으나 도형층이 증가할수록 낮아졌다. 그러한 경향은 A도형체인 경우에서 가장 심하였다. 이들 그림으로부터 도형한 경우에는 일정한 주형 체적에 대해 casting modulus가 증가할수록 응고시간이 짧게 나타나는 반면 volume ratio가 증가할수록 최대 계면온도가 낮게 나타나는 경향을 보이고 있는데 특히 도형층의 두께와 종류에 따라 그 값들은 크게 변화된다는 사실을 알았다.

즉, 열전도성이 큰 B도형체는 도형층의 두께가 증가함에 따라 응고시간과 최대계면온도는 더욱 높게 된다.

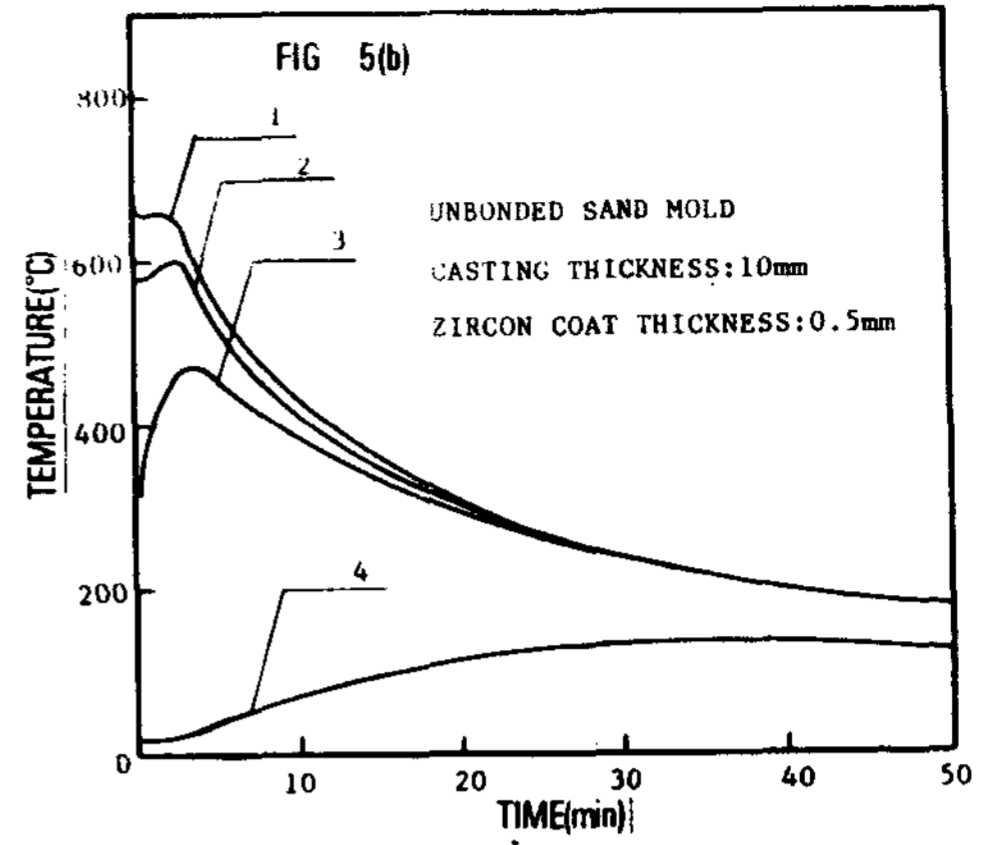
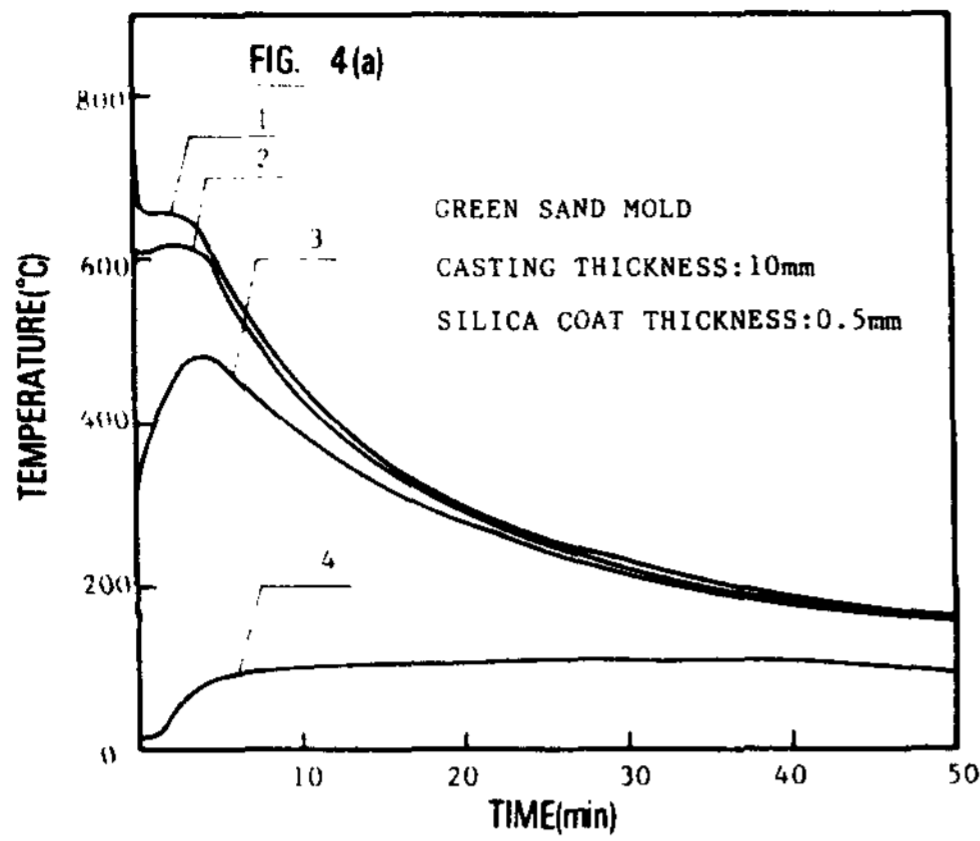


Fig. 5 Temperature versus time curves for unbonded sand mold (a) with silica flour coating and (b) with zircon flour coating.

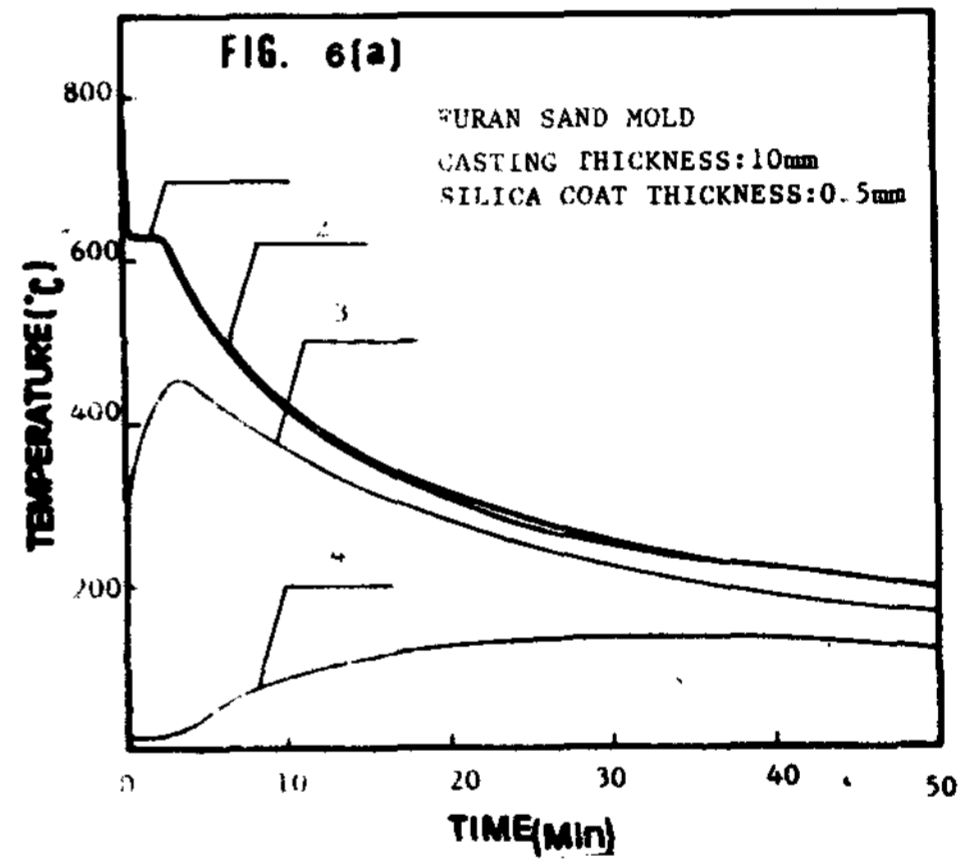
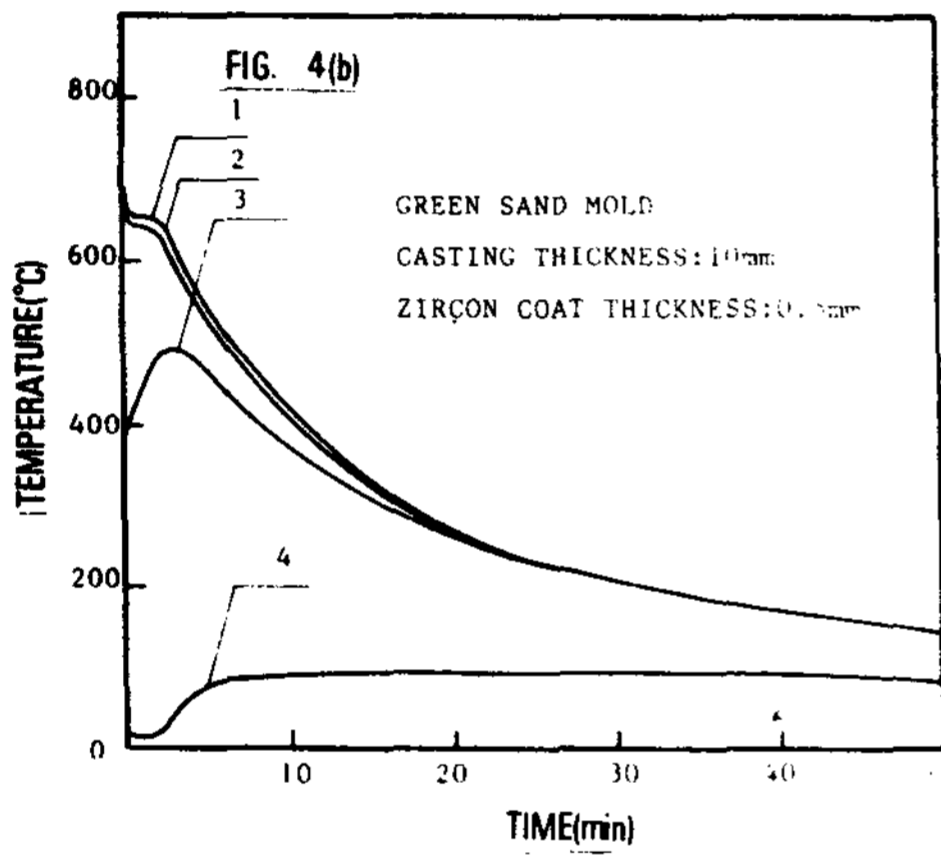


Fig. 4 Temperature versus time curves for green sand mold (a) with silica flour coating and (b) with zircon flour coating.

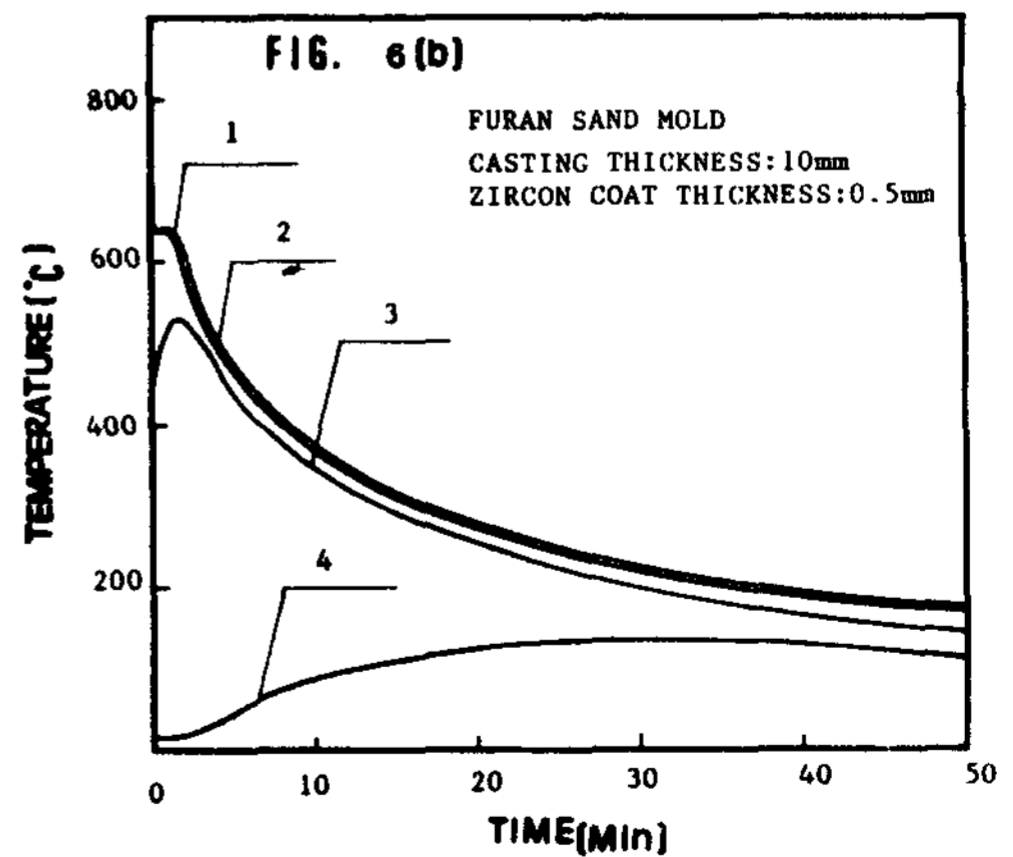
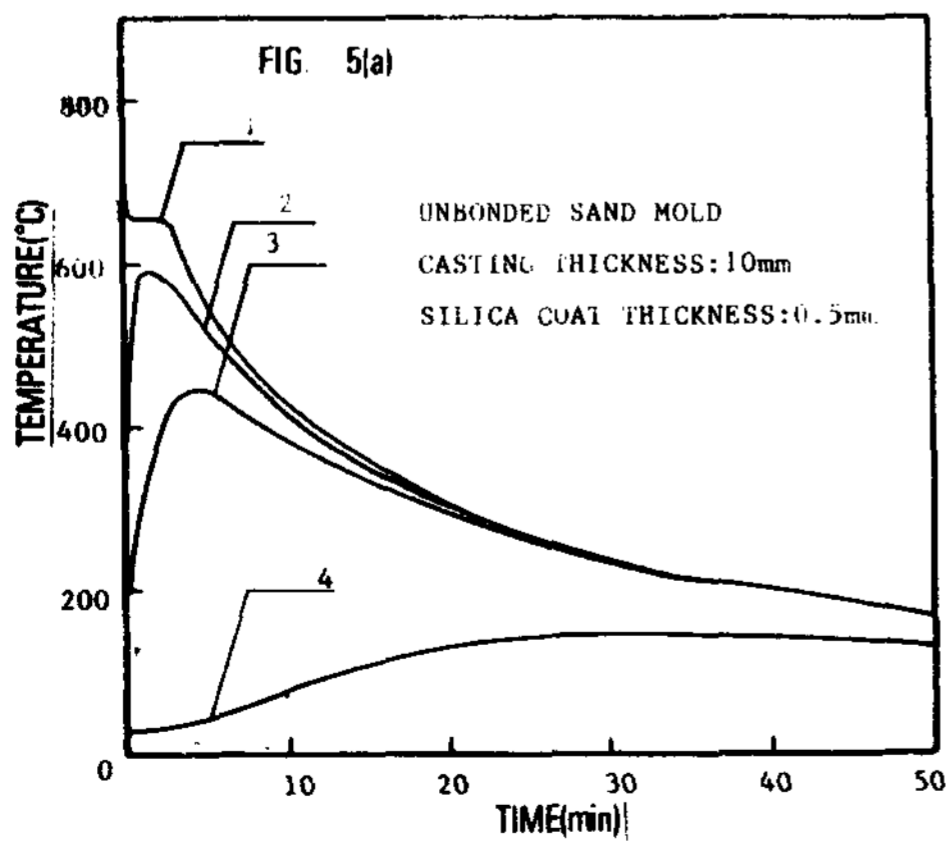


Fig. 6 Temperature versus time curves for furan sand mold (a) with silica flour coating and (b) with zircon flour coating.

Fig. 7의 (a)와 (b)는 도형제의 영향을 좀더 확실하게 비교하기 위하여 생형과 비점결사형에서 모형에 도형제를 하지 않고 실험을 하여 얻은 온도-시간 곡선을 나타내었다. 두 경우 모두 도형했을 때 보다 응고시간이 2~3분 정도 짧게 나타나고, 도형층이 없는 관계로 위치(3)의 최대계면온도도 주형 gap 사이에서 용탕과의 간접적인 접촉으로 도형했을 때 보다 생형에서는 약 100°C, 비점결사형에서는 약 80°C 높게 나타났다. 특히 대부분 주형에서 최대계면온도는 도형한 경우 응고완료후에 나타나고, 도형하지 않은 경우는 응고완료전에 나타나는 경향이 있었다.

마찬가지로 주형내의 온도는 도형층이 없는 관계로 대부분 높게 나타났으며 특히 비점결사의 경우 초기부터 높은 온도를 나타냈다.

Fig. 8의 (a)와 (b)는 각각 ESP모형을 사용하지 않고 CO₂ 가스형과 생형에서 얻은 온도-시간 곡선이다. 이 그림으로 부터 응고시간을 보면, (a)는 FMC법에서 A와 B도형제를 도형했을 때 보다 짧게 나타나는데 CO₂ 가스주형에서는 도형제로 인한 응고시간이 큰 영향을 받는 것으로 생각되며, (b)는 FMC법에서 A도형제를 도형했을 때 보다는 응고시간이 2~3분 정도 짧게 나타났으며 B도형제를 도형한 경우 보다도 오히려 1분정도 짧게 나타났다. 각각의 최대계면온도는 용탕과 거의 접촉이 일어나므로 600°C 이상으로 높게 나타났다. 이 경우 위치(4)의 온도분포가 비교적 낮게 나타나는 것은 FMC법에서 EPS의 연소열이나 연소할때 발생한 가스의 영향이 없기 때문이다.

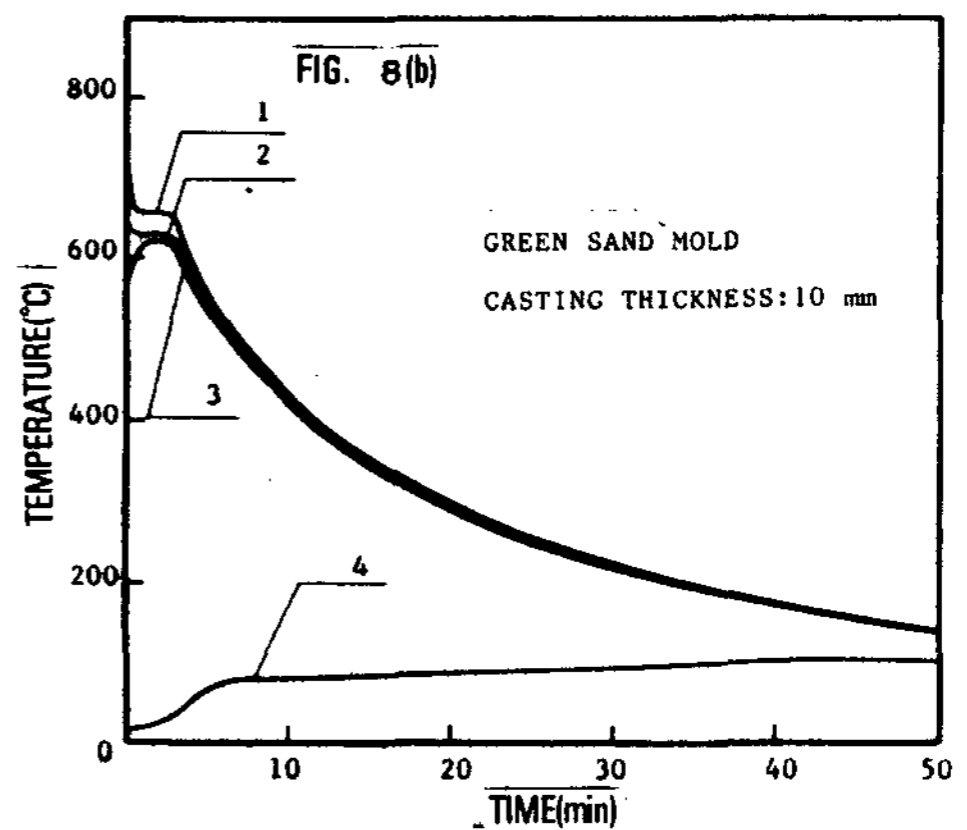
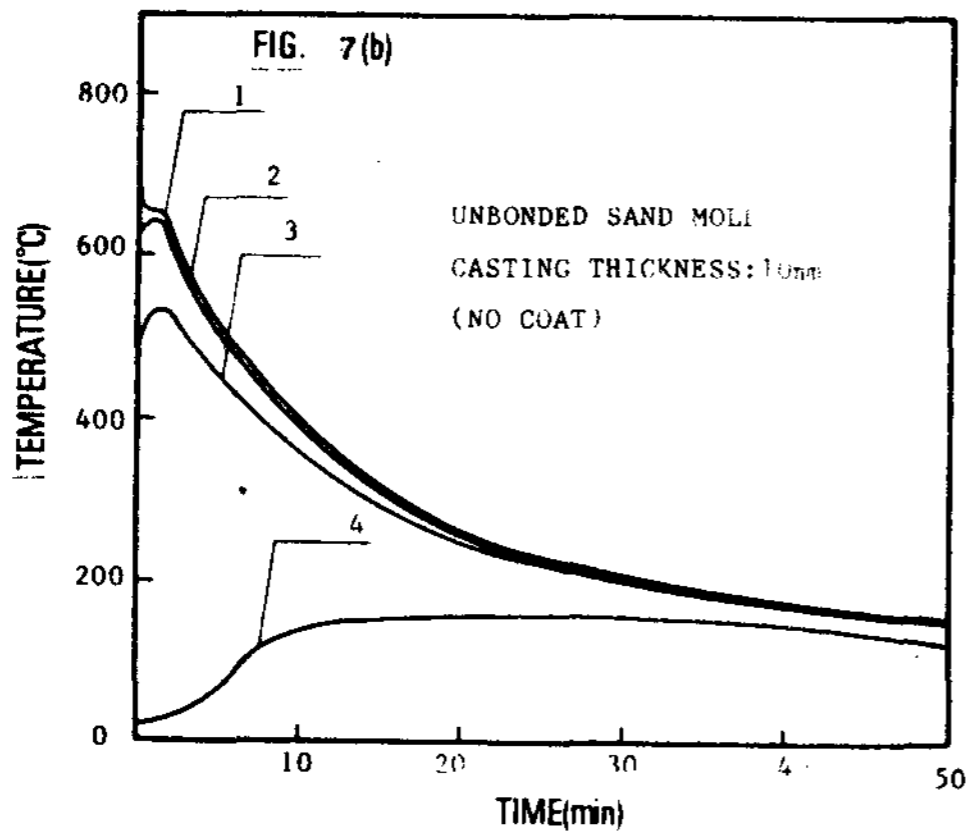
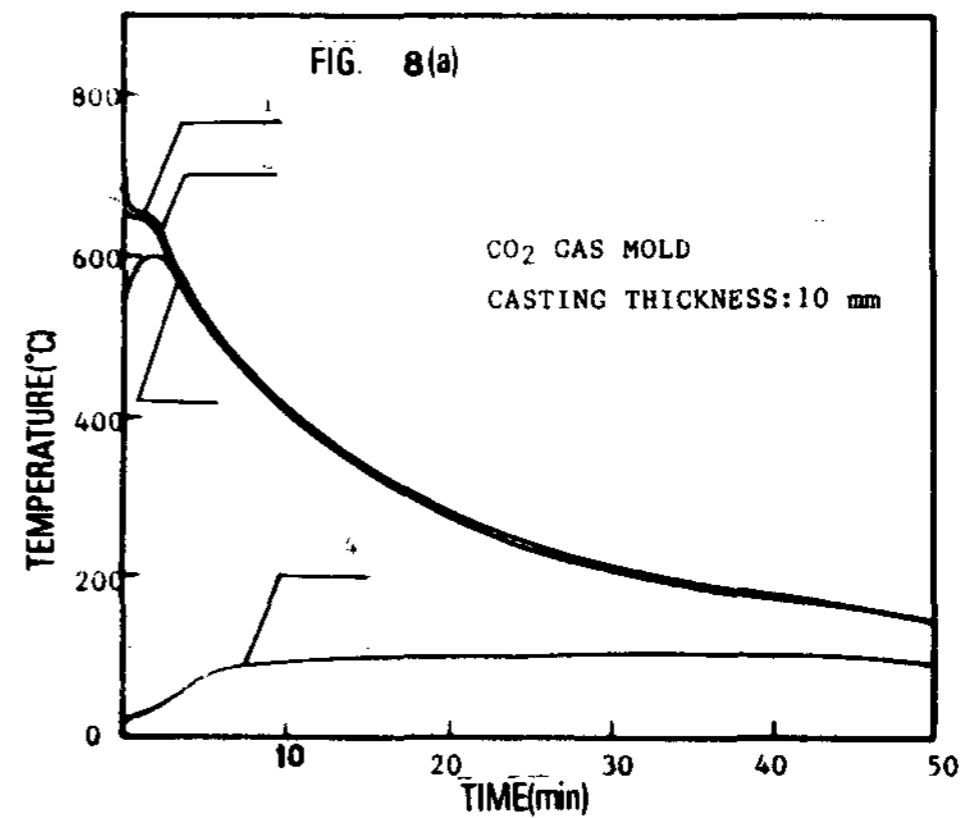
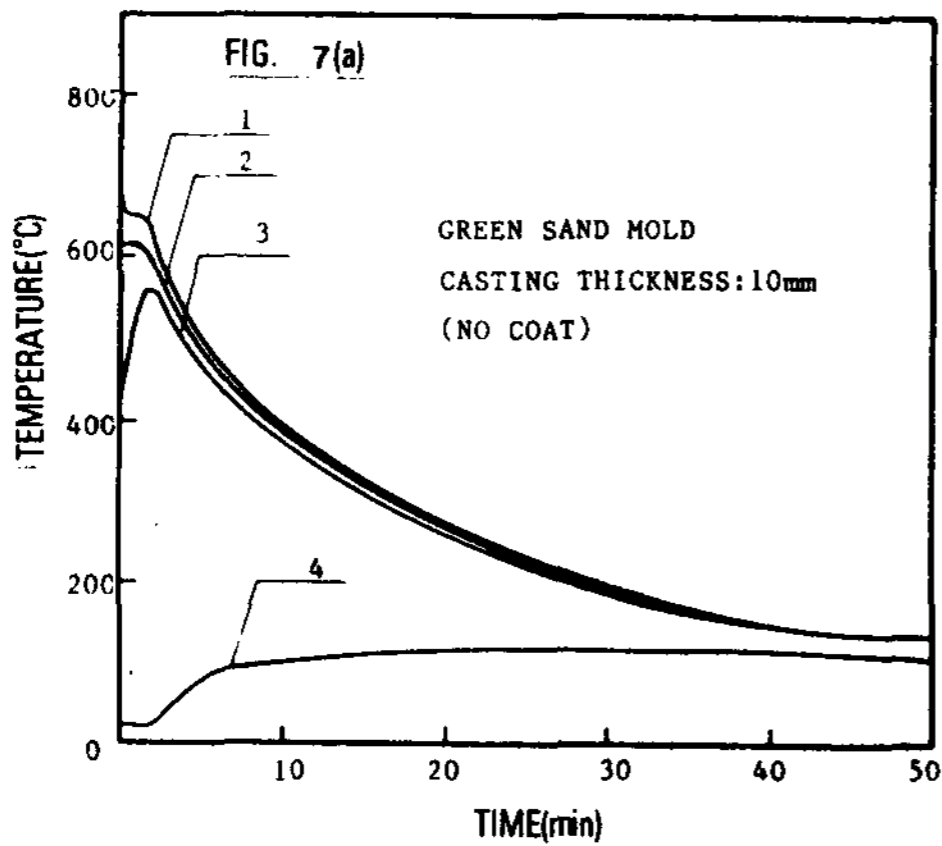


Fig. 7 Temperature versus time curves for (a) green sand mold and (b) unbonded sand mold with uncoating.

Fig.8 Temperature versus time curves for (a) CO₂ gas mold and (b) green sand mold without EPS pattern.

위의 모든 결과로 보아 B도형제를 도형한 경우 A도형제보다 응고시간은 짧게 나타났으나 계면온도는 오히려 높게 나타났다. 즉, B도형제가 주형재료와 A도형제보다 열전도도가 크기 때문에 주물이 응고할때 열의 방출을 촉진시킨 것으로 사료된다.

EPS모형을 사용한 실험의 결과에서는 금형에서 Sr-inivasan²²⁾ 등이 연구한 결과에서 나타난 air gap의 형성은 거의 보이지 않았으며 Okorafor¹⁴⁾ 등은 과냉현상이 나타났다고 하였으나 본 실험에서는 순 알루미늄을 사용하였으므로 나타나지 않았다.

3-2. 계면온도와 주형내의 초기온도의 변화

Fig. 9는 CO₂ 가스형과 생형에서 주물의 두께가 10mm 일때 A와 B도형제를 도형했을 경우 및 도형하지 않은 경우와 EPS모형을 사용하지 않았을때 나타난 초기계면온도 변화를 종합해서 나타낸 그림이다.

EPS모형을 사용하지 않은 생형과 CO₂ 가스형에서 최대계면온도는 각각 595°C와 610°C를 나타냈다. 최대계면온도가 제일 낮게 나타나는 것은 CO₂ 가스형과 생형에서 A도형제를 도형한 경우이다. 그 이유는 전술한 바와 같이 A도형제인 경우는 열방출을 억제하며, B도형제의 경우는 그 경향이 A도형제보다 열전도도가 크기 때문에 A도형제를 도형한 경우보다 높은 계면온도를 나타냈다.

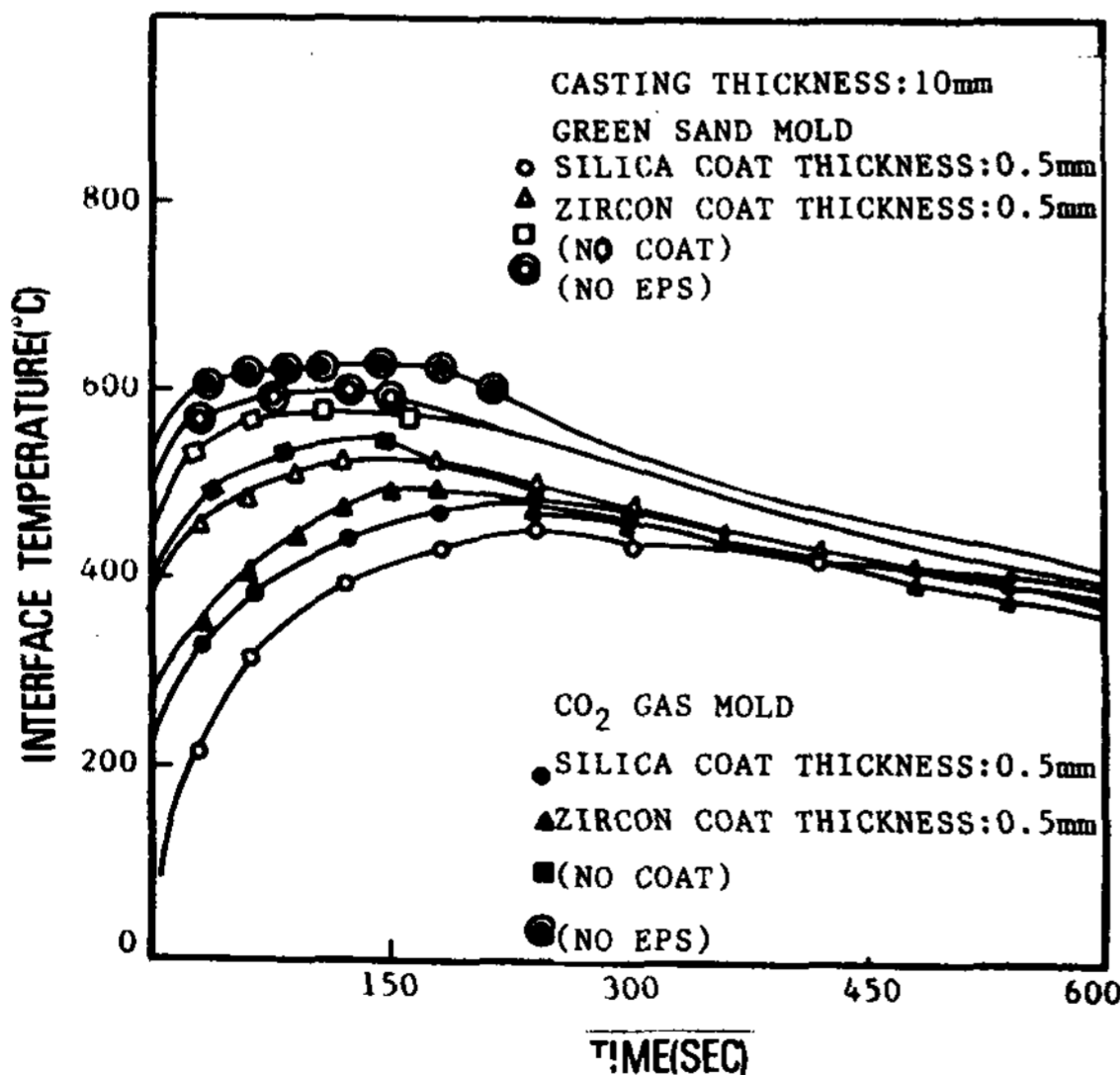


Fig.9 Interface temperature versus time without and with various coating for CO₂ gas and green sand mold.

Fig. 10은 EPS모형의 연소에 의한 위치(4)의 초기온도변화가 일어나는 것을 좀더 상세히 관찰하기 위하여 주물의 두께를 변화시키면서 도형하지 않은 CO₂ 가스형내에서 얻은 결과를 나타낸 것이다.

EPS모형의 두께가 두꺼울수록 초기에 온도변화가 심하게 나타났다. 두께가 증가하면 상대적으로 다량의 고온가스를 발생하여 주형내로 발산한 것에 그 원인이 있는 것으로 사료된다. 모형의 연소가 끝나서 용탕이 거의 채워지면 다시 온도분포곡선이 정상적으로 회복되었다.

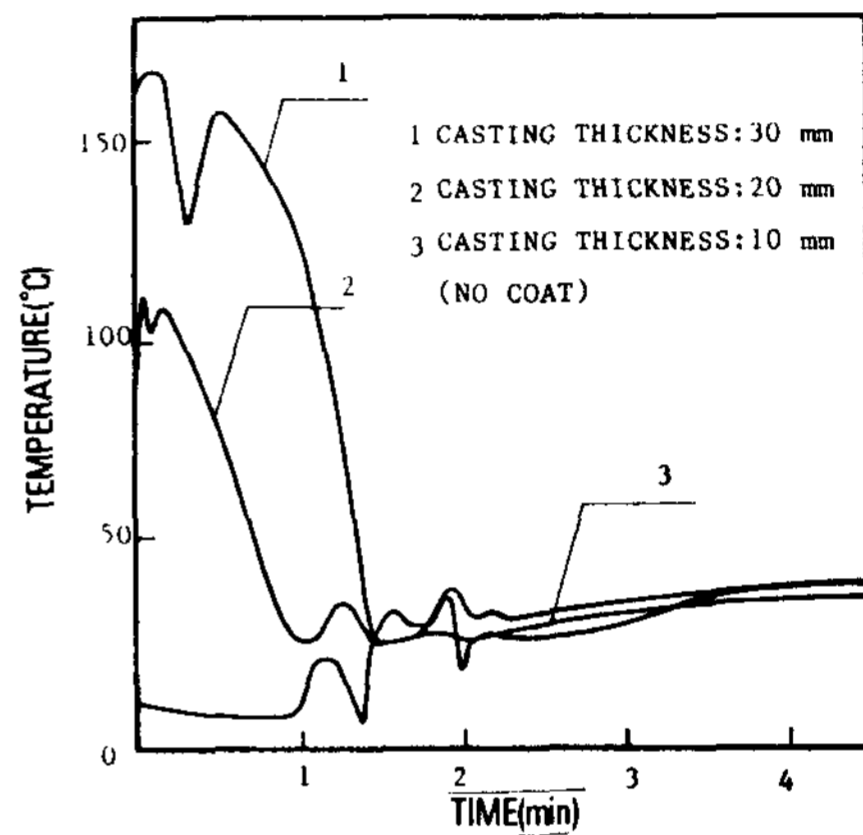


Fig.10 Variation of temperature-time curve for CO₂ gas mold at the initial stage of solidification in the mold.

Fig. 11(a)와 (b)는 각종 주형내에서 A도형제로 도형했을 경우와 하지 않았을 경우의 주형내 초기온도 상승곡선을 비교한 것이다.

A도형제를 도형한 경우는 도형층이 폴리스티렌의 연소에 의해 발생한 가스나 분해열을 차단하는 방어막 역할을 하여 비교적 안정된 상승곡선을 나타내면서 이때는 주형재료의 성질이 지배적이어서 열전달이 잘되는 자경성형, 비점결사형 순으로 초기온도가 상승하였다.

그러나 도형을 하지 않은 경우는 도형층이 없으므로 발생한 연소가스나 분해열이 용이하게 통과하여 위치(4)의 초기온도변화가 심하게 나타났으며, 통기성이 좋은 비점결사형에서 제일높게 나타났고 자경성형, 생형 CO₂ 가스형 순으로 나타났다.

Photo. 1(a)와 (b)는 모형의 겉보기 비중이 각각 0.016 g/cm³와 0.026 g/cm³의 것을 사용했을때 주물의 표면과 미연탄소분의 부착상태를 나타낸 것이다. 겉보기 비중이 작은것은 주물의 표면이 거칠게 나타났으나 연소할

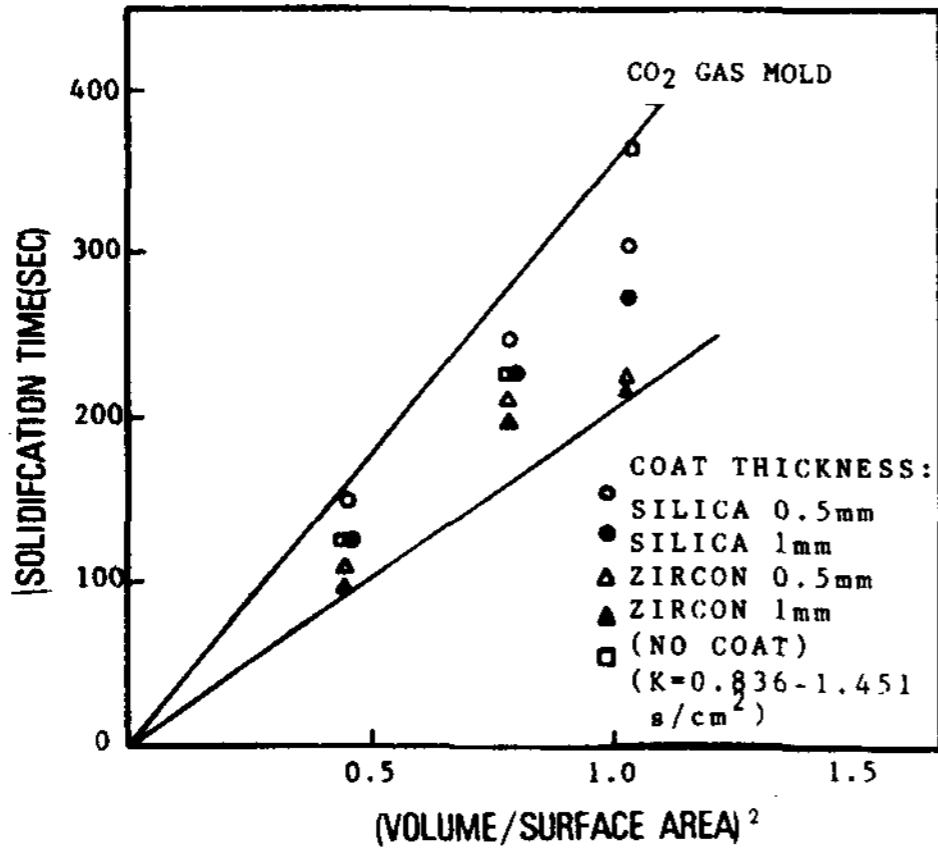


Fig.12 Solidification time versus square of casting modulus for CO₂ gas mold.

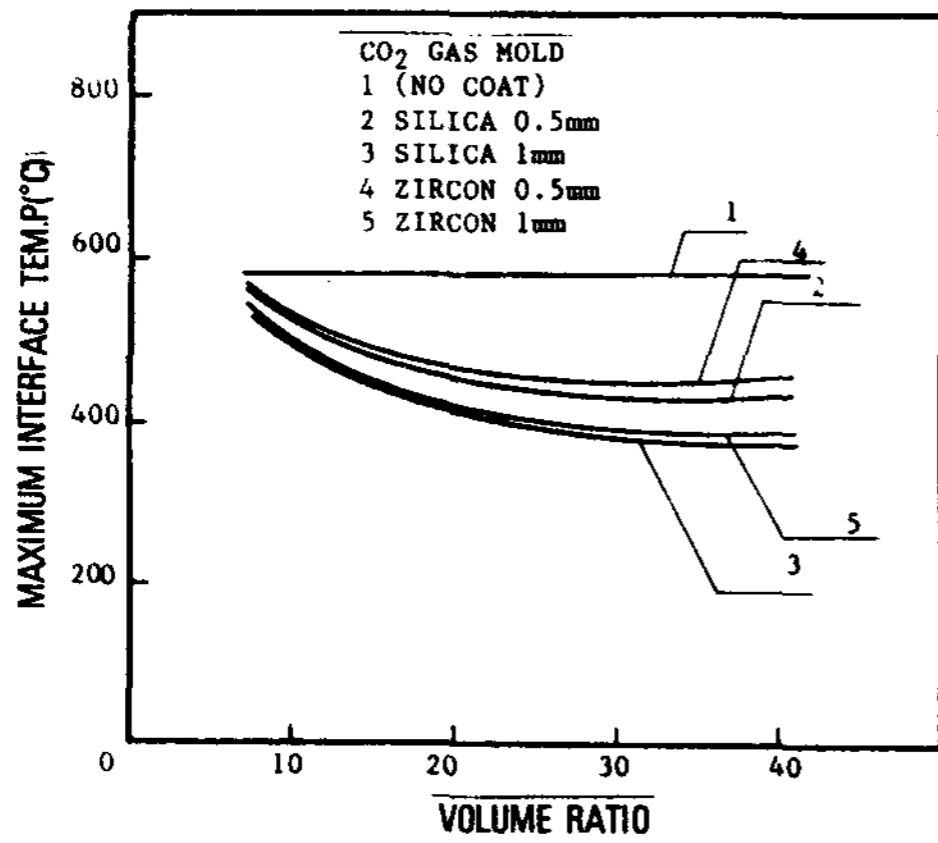


Fig.13 Maximum interface temperature versus volume ratio for CO₂ gas mold.

3 - 4. 응고시간과 냉각능

두께가 10 mm인 모형을 각종 주형내에서 도형하지 않았을때와 도형층의 두께를 변화시켰을때 응고시간을 Fig.14 (a)와 (b)에 나타내었다.

주형재료와 유사한 열적성질을 가진 A도형제의 경우 도형층의 두께가 증가 할수록 응고시간이 길어지는 반면, B도형제는 도형하지 않았을때보다 도형층의 두께가 0.5 mm일때 30초 정도 길게 나타 나다가 그후는 주형재료보다 열전도도가 커서 오히려 증가하여도 응고시간이 짧아지는 경향을 나타내고 있다.

각종 주형에 대한 응고시간으로부터 상대 냉각능을 비교한 표를 Table 4에 나타내었다.

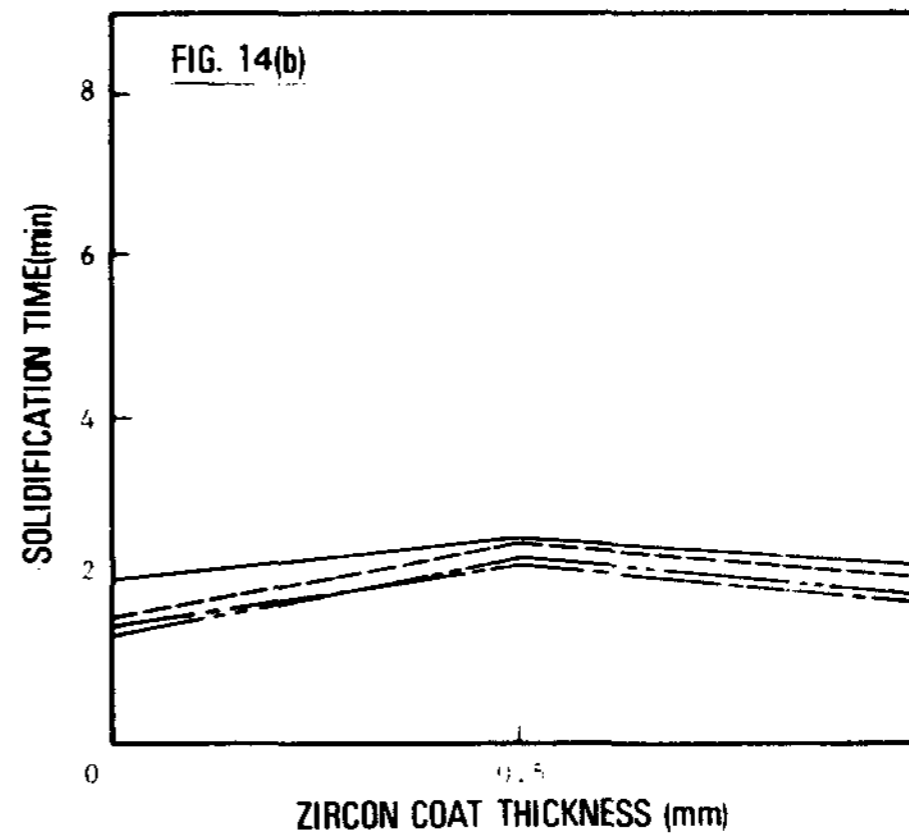
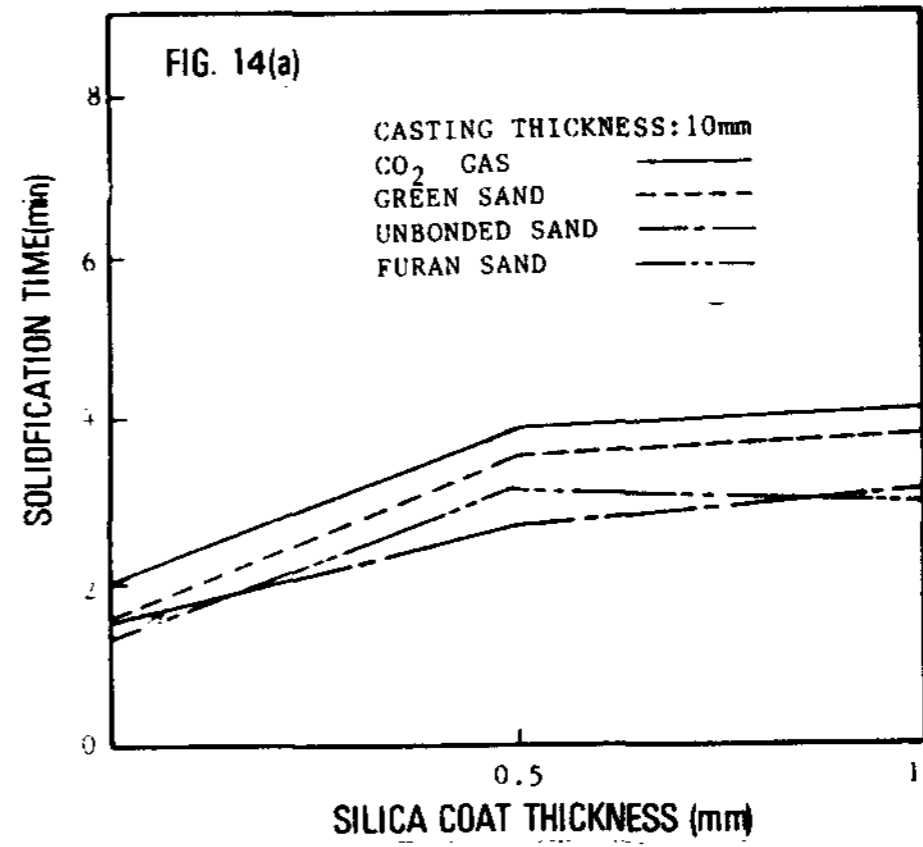


Fig.14 Solidification time versus coat thickness for various molds (a) with silica coating (b) with zircon coating.

상대 냉각능은 도형을 하지 않았을때의 각각의 주형에 응고시간을 기준으로 도형을 했을때의 같은 주형내에서의 응고시간을 비교한 값으로 나타내었다.

즉, CO₂ 가스형에서 상대 냉각능은 A도형제를 1mm 도형한 경우 가장 작게 나타났으며, 열전도도가 좋은 B도형제를 1mm도형했을때 가장 크게 나타났다. 또한, 생형, 비점결사형, 자경성에서도 동일한 경향을 나타내었다.

한편 photo 2는 CO₂ 가스형에서 A와 B도형제를 0.5mm 도형하여 제조된 주물의 표면층으로 부터 10mm 되는 단면을 금속 현미경으로 조사한것으로 B도형제 도형한 경우 결정입자(등축정)가 더 작게 나타나는 것으로 보아 B도형제가 냉각능이 크다는 것을 알수 있었다.

Table. 4 Relative chilling power(casting thickness : 10 mm)

MOLD	CO ₂ GAS				GREEN SAND				UNBONDED SAND				FURAN SAND			
Materials	Silica		Zircon		Silica		Zircon		Silica		Zircon		Silica		Zircon	
Coat thickness (mm)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
R C P	0.52	0.47	0.80	0.88	0.42	0.40	0.60	0.75	0.44	0.42	0.57	0.80	0.45	0.42	0.51	0.80

$$RCP = \frac{\text{Solidification time in sand mold with uncoated}}{\text{Solidification time in similar sand mold with coated}}$$

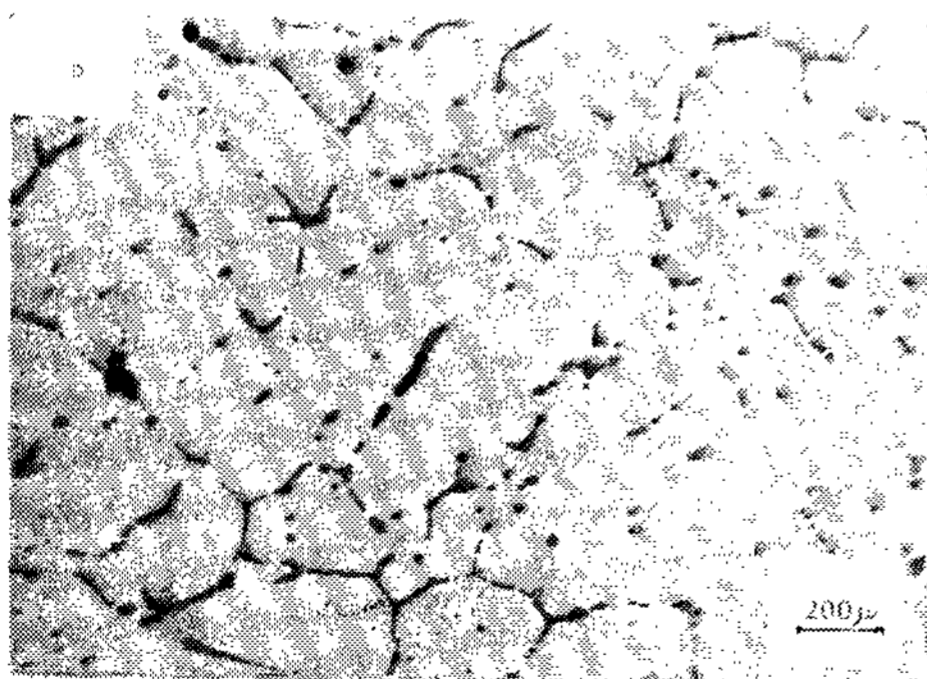
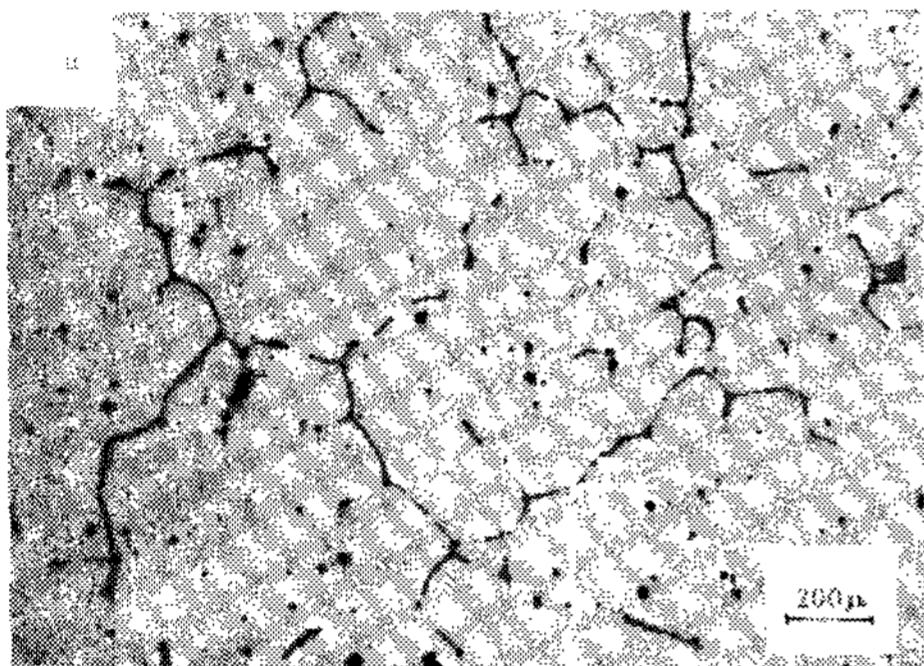


photo.2 Micro-structure of pure Aluminum castified in CO₂ gas mold with (a) silica and (b) zircon. (0.5mm coating)

따라서 이와 같은 현상으로 미루어 보아 도형제의 종류에 따라 주물의 조직과 기계적 성질에 영향을 준다는 것을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 EPS모형에 실리카계와 지르콘계 도형제를 도형한 경우와 도형하지 않은 경우, EPS모형을 사용하지 않은 경우에 순 알루미늄이 응고하는 과정에서 주물자체내, 주물중심위치와 주물표면이 중간위치, 도형층 외부계면, 주형중심부의 온도-시간곡선으로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실리카 도형을 한 경우에는 응고시간이 길고, 계면온도 및 주형내의 온도 상승이 작았으며 지르콘인 경우는 그와는 반대 현상을 나타내었다.
2. 최대계면온도는 도형한 경우 volume ratio 값이 클수록 낮아지고 응고완료후에 나타나며, 한편 도형하지 않은 경우에는 volume ratio의 변화에 대한 영향을 받지 않고 응고완료전에 나타났다.
3. EPS모형을 사용한 경우에는 chvorinov's 법칙을 정확히 적용할 수 없었다.
4. EPS겔보기 비중이 증가함에 따라 주물의 표면상태는 양호하나 주물표면에 미연소 탄소량이 증가하였다.
5. EPS모형의 두께가 증가함에 따라 주형내의 초기온도 변화가 심하였다.
6. 실리카보다 지르콘 도형할 때가 상대 냉각능이 더 크고, 도형층이 증가 할 수록 지르콘의 경우 그 값이 커지나 실리카인 경우는 오히려 작게 나타났다.

REFERENCES

- 1) H.F.Shroyer: U.S.Patent No.2, 830, 343(Apr. 15, 1958)
- 2) A.Duca, M.C.Flemings and H.F.Taylor: AFS Trans., 70(1962)801-810

3) A.Wittmoser: Foundry Trade Journal, (Oct. 1962) 466-467
4) A.Wittmoser: Foundry :Trade Journal, (Apr. 1963) 447-451
5) R.D.Butler and R.J.Pope: The British Foundryman, (Apr. 1964) 178-191
6) R.D.Butler: The British Foundryman, (June 1964) 265-273
7) H.B.Dieter and A.J.Paoli: Modern Casting, (Jan. 1967) 147-160
8) K.Srinagesh and K.S.Narayanan: The British Foundryman; (Mar. 1971) 91-94
9) H.S.Lee: AFS Cast Metals Research Journal (Sep. 1973) 112-115
10) H.S.Lee: AFS Trans., 84(1976) 559-569
11) E.J.Sikora: AFS Trans., 86(1978) 65-68
12) R.H.Immel: AFS Trans., 87(1979) 545-550
13) Robin Bailey: Modern Casting, (Apr. 1982) 58-61
14) O.E.Okorafor and C.R.Loper, Jr.: AFS Trans., 90(1982) 285-295
15) P.X.Du and J.F.Wallace: AFS Trans., 90(1982) 759-778
16) C.A.Goria, G.Gaironi and M.Selli: Metallurgical Science and Technology, 1(June 1983) 14-31
17) Mototaka Mutaguchi: Imono, 58(1986) 5-11
18) 이형석, 이근명 : 대한금속학회지 3 (1973) 138-144
19) 조남돈 : 국민대학교 공학논총, 7 (1985)
20) 조남돈 : 한국주조공학회지, 4 (1984) 280-286
21) 김정호 : 한국주조공학회지, 5 (1985) 213-217
22) M.N.Srinivasan: AFS Trans., 15(1967) 21-32
23) N.Chvorinov: Giesserei, (1940) 177-201