

研究論文

砂型의 熱伝達에 관한 研究

李鍾南* 金光培**

A Study on Heat Transfer in Sand Molds

Jong-Nam Lee* and Kwang Bea Kim**

College of Engineering, Korea University,
Seoul, Korea

ABSTRACT

In order to investigate the relationship between the thermal characteristics of the various molds as green sand mold, dry sand mold, CO₂ mold and shell mold, and the solidification characteristics of molten metal, the thermal analysis of various molds and melt were performed.

The structure of Al-Castings was also observed.

Results obtained in this experiment were as follows:

- 1) The heating rate of the molds was increased in the order of green sand mold, CO₂ mold, dry sand mold and shell mold. On the other hand the solidification time of the melts was shortened in the order of dry sand mold castings, CO₂ mold castings, green sand mold castings and shell mold castings.
- 2) The arrest temperature period in the heating curve of the green sand mold was resulted from the evaporation of moisture contained in mold, which was transferred to the outer side of the mold.
- 3) The temperature fluctuation of the melt in the shell mold was considered to be resulted from the combustion heat of resin contained in the mold.
- 4) The amounts of heat absorption of the molds were increased in the order of dry sand mold, CO₂ mold, green sand mold and shell mold.
- 5) The higher the solidification rate was, the longer was its shrinkage pipe and the finer its grain size.

1. 서론

현재까지의 주조방법은 생산성 향상을 위한 조형법의 자동화, 제품의 정밀도 및 작업환경의 개선이란 방향으로 개발되어 왔다. 그런데 이들

은 거의 조형방법에 관한 것이고 주형자체에 대한 연구는 그다지 많지 않은 실정이다.

또한 주형의 종류에 따른 열적특성은 서로 다르며 이는 응고과정에 영향을 주어 주조조직을 변화시키게 하므로써 결과적으로 주물의 품질을 좌

* 高麗大学校 工科大学 教授

** 高麗大学校 大学院生

우하게 된다.

즉, 주물의 응고는 주형의 열적특성에 따라 좌우되므로 주조조건도 주형의 종류에 따라 변화할 가능성이 있다. 주형에 있어서의 열전달은 주물자체, 주물과 주형간, 주형자체 및 주형과 대기간의 열전달과정으로 나누어 고찰할 수 있으나 응고를 직접적으로 지배하는 커다란 인자로서는 용탕과 주형벽면에서의 열전달을 들수있다.⁽¹⁻⁶⁾

그런데 용탕과 주형면에 있어서는 열저항이 크다. 왜냐하면 용탕의 표면산화막, 용탕과 주형간에 형성되는 air gap 및 주형에 도포된 도형재의 종류에 따라 영향을 받기 때문이다.

최근에 와서 용탕과 주형간의 열전달계수란 관점에서 이를 고찰하여 주형의 열전달계수와 용탕의 응고시간과의 사이에 상관관계가 있음을 보고하고 있다.⁽⁷⁻⁸⁾ 다시 말해서 열전달계수를 알게 되면 계산에 의해서 응고시간을 추정할 수 있고 온도분포의 해석으로부터 주물 각부의 열응력의 예측도 가능할 뿐만 아니라, 주입시간 등의 주조조건도 설정할 수 있고 조형의 기계화를 위한 주조 cycle의 결정이 가능하리라고 예상된다.

이와같이 주형의 열전특성은 주조에 있어서 중요한 인자임에도 불구하고 이에 대한 연구는 국내외를 막론하고 부진하여 아직도 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 본 실험에서는 일차적으로 규사를 구성성분으로 하는 생형, 건조형, CO₂ 주형 및 shell 주형등의 전열특성과 용탕의 응고특성과의 관계를 검토키로 하였다.

2. 실험방법

2.1 주형준비

2.1.1 주형재료

1) 규 사

주형제작에 사용된 사립은 Table 1 과 Table

<Table 1> Chemical composition of silica sand

Compo-sition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Loss
weight (%)	93.85	1.73	1.72	0.2	0.2	2.3

<Table 2> Grain distribution of silica sand

Sieve No. (mesh)	40	50	70	100	140	200	270	pan
weight (%)	0.4	5.28	45.8	44.6	3.4	0.2	0.2	0.1

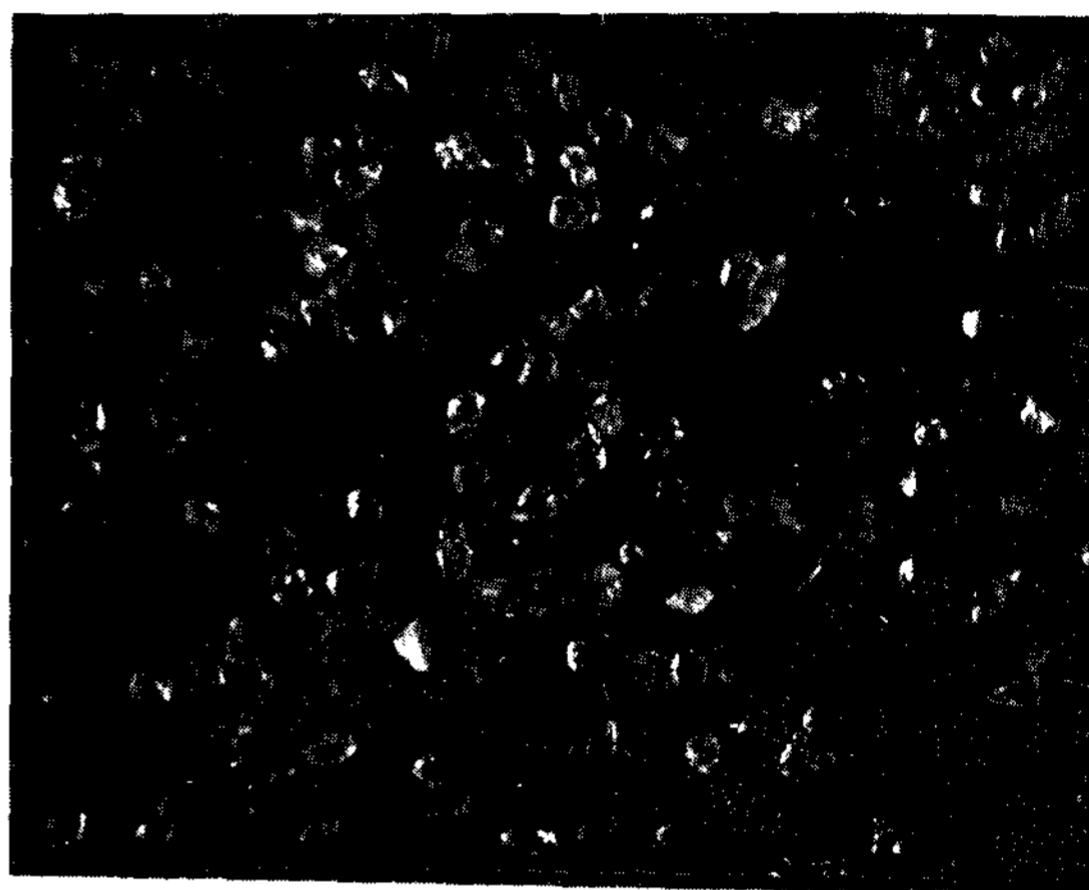


Photo.1 shape of sand grain
(100 mesh 25)

2에 각각 표시한 바와같은 화학성분과 입도분포를 갖는 국내 안면도 해안에서 산출된 해사로서 그의 입도지수는 AFS FN 107이고 입형은 Photo 1에 나타낸 바와같이 준환형이다.

2) Bentonite

생형과 건조형에 사용된 점결제로서 경남 울산에서 산출한 bentonite로 그의 화학성분은 Table 3과 같고 입자크기는 150 mesh under size인 것을 사용하였다.

<Table 3> Chemical analysis of bentonite

Compo-sition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	Loss
weight (%)	67.7	20.5	2.3	2.3	1.8	0.3	5.2

3) Sodium Silicate

CO₂ 주형의 점결제로 사용된 규산소오다는 국내 태풍화학제품으로서 Table 4에 표시한 바와 같다.

4) Resin Coated Sand

Resin coated sand는 규사에 다 점결제로서 페

늘수지를 4%, 경화제로서 hexamin을 0.4%, 첨가제로서 calcium을 0.1%씩 각각 첨가하여 만들었다.

2.1.2 모형

1) 목형(wooden pattern)

<Table 4> Chemical composition and property of sodium silicate

Chemical composition (wt %)				Property	
SiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Moisture	Mole ratio (sio ₂ /Na ₂ O)	Specitic gravity
34	15	0.05	50.95	2.2	48 Be

시험 주조를 위한 목형은 Fig 1에 나타난 바와 같이 40×40×100 mm의 크기로 하였고 발취구배 (pattern draft)는 1°로 하였으며 모형재료는 건조된 미송을 사용하였다.

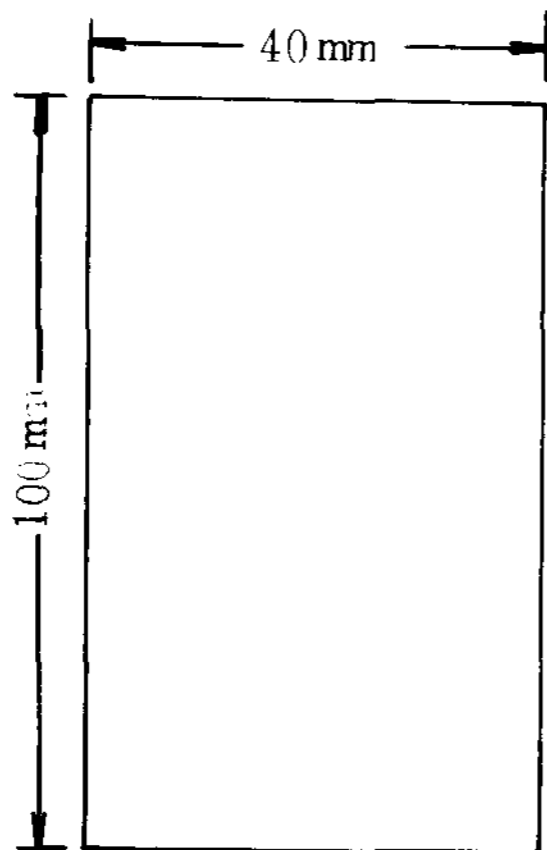


Fig.1 Sketch of wooden pattern

2) 금형(mettallic pattern)

Shell 주형을 제작하기 위하여 제작된 금형은 Fig 2에 나타난 바와 같이 두께 7 mm의 주철판에 20×40×100 mm 주철제 각주를 부착하고 주형을 금형과 쉽게 분리할 수 있도록 압출핀을 고정시키고 압출핀에 스프링을 장치하여 윗판에 부착된 손잡이를 눌러줌으로서 shell 주형이 손상되지 않고 쉽게 발취될 수 있도록 하였다.

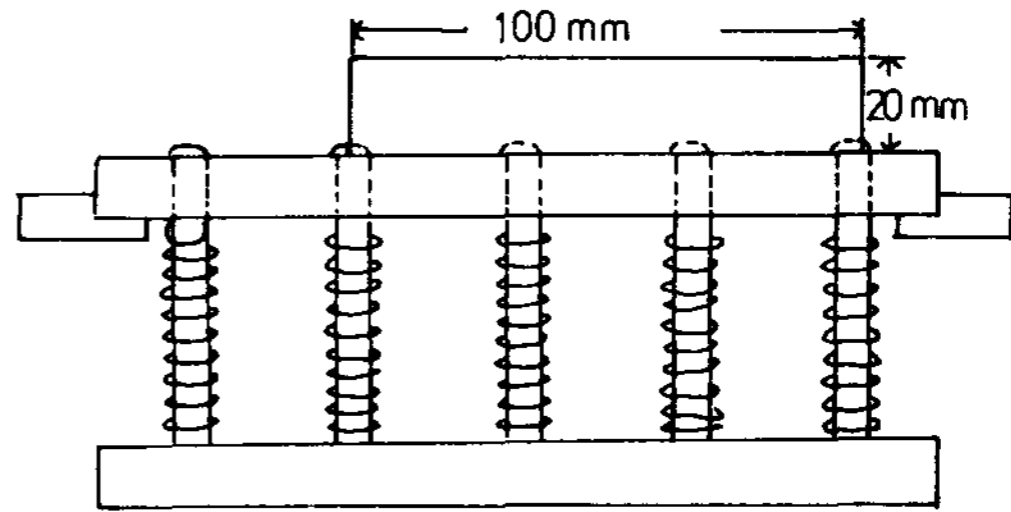


Fig.2 Sketch of metallic pattern

2.1.3 주형 제작

1) 생형

생형제작은 규사에다 bentonite 6%를 첨가한 후 Simpson type sand mixer로 5분간 혼련시킨 다음 수분을 5% 첨가하여 재차 2분간 혼련해서 2분간 방치한 것을 수철제 flask에 hand ramming 방법으로 조형하였고 주형의 온도를 측정하기 위하여 Fig 3과 같은 지점에 직경 0.15 mm의 alumel-chromel 열전대를 삽입하였다.

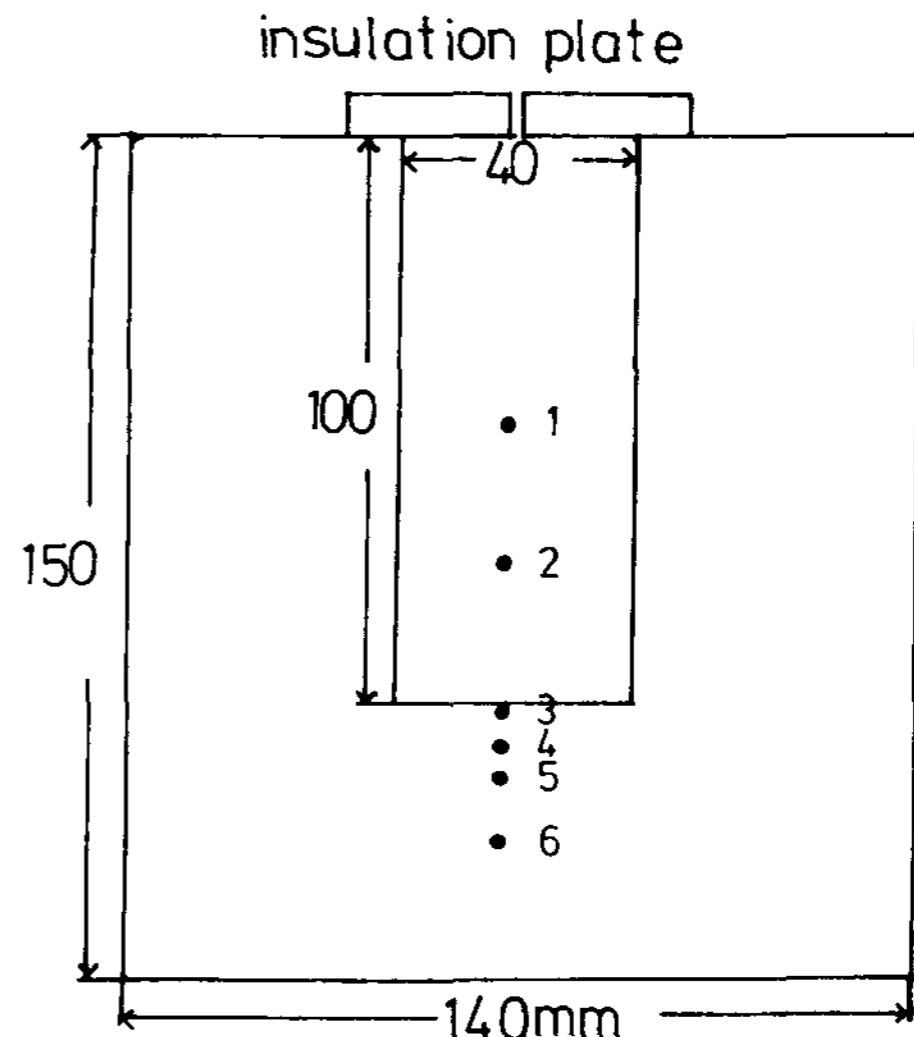


Fig.3 Thermocoaple positon in mold

2) 건조형

건조형은 생형과 같은 방법으로 조형한다음 전

기건조로(temp. range 0°C - 300°C)에 넣어 200°C에서 10시간 건조하여 1일 방치시킨후 사용하였다.

3) CO₂ 주형

CO₂ 주형은 규사에다 규산소오다(sodium silicate)를 4% 첨가하여 5분간 혼련한 후 1)과 같은 방법으로 조형한 후 CO₂ gas를 1.5 kg/cm²의 압력으로 5분간 취입 경화시켜 제작하였다.

4) Shell 주형

Shell 주형은 주철제 모형을 전기로 안에서 250°C로 2분간 가열한 후 꺼낸다음 이형제로서 silicon oil을 도포한 후 coated sand를 충전하였다가 발진시켜 잉여 coated sand를 회수한 다음 다시 300°C에서 2분간 curing시켜 제작하였다. 그리고 열전대의 삽입은 주형두께가 12mm인 관계로 20mm 지점에서는 불가능하였다.

2.2 용해 및 주입

전기로에서 4번 도가니를 사용하여 순도 99.5%인 Al 지금을 1.5 kg을 용해하여 slag를 제거한 다음 주입온도를 750°C로 조정하여 신속하게 주형에 주입하였다. 주입시간은 2~3초내에 완료하였으며 주입후 용탕상부의 방열을 막기 위하여 두께 20mm의 단열재 두께를 500°C 이상으로 예열하여 덮었다.

2.3 열분석

각종 주형에 따른 용탕과 주형의 온도변화를 측정하기 위해서 Fig 3에 표시한 바와 같이 al-

umel-chromel 열전대를 보호관 없이 선단을 노출시켜 용탕측에는 용탕과 주형과의 경계면으로부터 25mm, 50mm 떨어진 지점에 주형상부로부터 삽입하였고 주형측에는 주형경계면으로부터 2mm, 5mm, 10mm 및 20mm 떨어진 지점에 hand ramming시 매몰하였다.

이 때의 온도측정은 Photo 2에 보인 바와같은 6 channel high speed temperature recorder(Japan San-ei co)로 기록속도 10 cm/min로 하여 측정하였다.

2.4 조직검사

1) 육안 조직검사

주괴의 중심에서 종단면으로 절단한 후 emery paper(50~400번)로 연마해서 societe de duralumin solution⁽⁹⁾(HF 10cc, H₂SO₄ 10cc, dist water 80cc)으로 2분간 부식시켜 수세한 후 명암을 뚜렷하게 하기 위하여 재차 20% H₂SO₄ 용액에 1분간 침지시킨 후 수세건조후 육안 조직검사를 하였다.

2) 현미경 조직검사

주괴의 현미경조직을 조사하기 위하여 주괴의 하단으로부터 10mm되는 지점에서 시료를 채취하여 emery paper(50~1200번)로 연마한 다음 buff polishing해서 10% 가성소오다 수용액으로써 1분간 부식시켜 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 각종주형의 전열특성

각종 주형의 전열특성을 살펴보기 위하여 순수한(순도 99.5%) Al 지금을 용해하여 주입온도를 750°C로 일정하게 하여 주입하였을 때 각종 주형내의 위치에 따른 온도상승은 Fig 4~8에 나타낸 바와 같다.

Fig 4는 용탕과 주형과의 경계면으로부터 2mm 떨어진 지점의 온도상승을 나타낸 곡선으로서 주형에 용탕을 주입한 후의 각 주형에 있어서의 가열곡선을 보면 shell 주형의 온도상승 속도가 주입한 지 2분까지는 가장 빠른 속도로 가열되다가 2분 이후부터는 다른 주형에 비해서 급속하게 온도강하를 보였고 그 외의 주형들은 생명

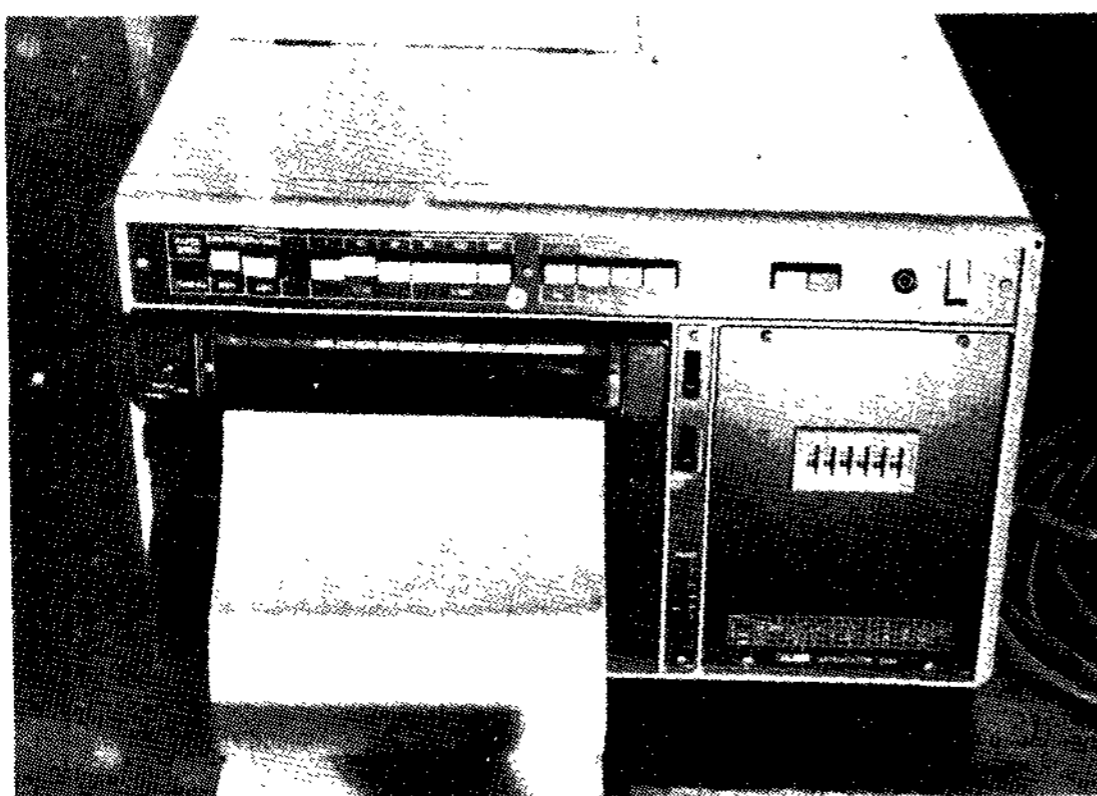


Photo.2 High speed Recorder

과 CO₂ 주형이 주입한 후 5분부터 온도강하를 시작하였다. 그리고 건조주형은 6분후 주형의 온도가 떨어지기 시작하였다.

이는 주형내의 용탕이 주형의 열특성에 따라 응고속도가 달라지기 때문이라고 생각된다.

Fig 5는 용탕과 주형의 경계면으로부터 5mm 되는 지점에서 주형의 온도상승곡선을 나타낸 주형은 shell 주형이었고 그 다음으로 건조주형, CO₂ 주형 및 생형 순으로 나타났다. 그러나 생형의 온도상승곡선은 다른주형과는 달리 주입후 20초부터 1분 10초까지 50초간 100℃를 유지하다가 다시 상승하는 정체현상을 나타내고 있다.

이는 Fig 9에 표시한 바와 같이 생형에 함유된 수분이 주형의 온도상승에 따라 증발, 이동 및 응축의 과정을 거치게 되는데 여기서 나타난 온도 정체현상은 수분의 증발에 기인하는 것이라고 사려된다.

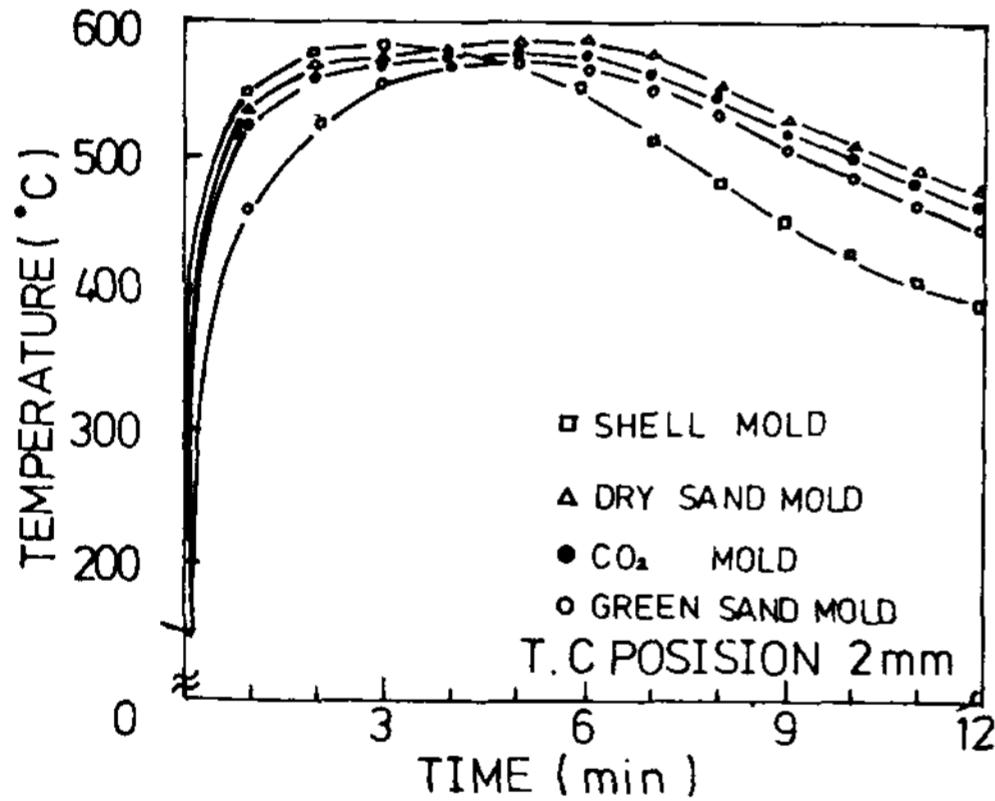


Fig.4 Heating curves at 2mm from mold wall during solidification of Al-Casting in various molds.

Fig 6은 주형 경계면으로부터 10mm되는 지점의 온도 상승을 나타낸 곡선으로서 shell 주형과 건조주형의 온도상승곡선을 살펴보면 용탕을 주입한지 7분후부터는 오히려 shell 주형이 온도강하를 나타내고 건조형은 계속 온도상승을 나타내고 있는데 이는 shell 주형의 경우 주형자체의 열용량이 적어서 냉각이 빨리 시작하는 반면 건조형은 열용량이 크기 때문에 계속 온도상승을 나타낸 것이라고 사려된다. 또한 생형의 온도상승 곡선은 Fig5에서 설명한 바와 같은 온도 정체구간이 나타났다.

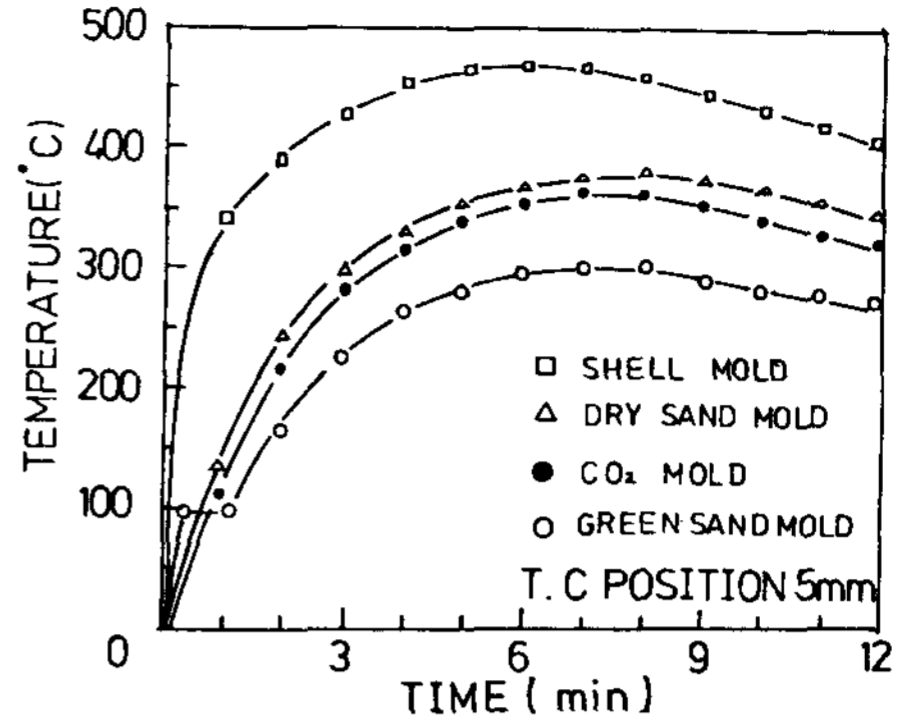


Fig.5 Heating curves at 5mm from mold wall during solidification of Al-Casting in various molds.

이는 주형의 수분증발역이 시간이 경과함에 따라 계속 주형 바깥쪽으로 이동하기 때문이라고 사려되며 이는 Katashima 에 의해서 보고된 것과 잘 일치하고 있다. (10-12)

Fig 7은 주형 경계면으로부터 20mm되는 지점의 온도상승을 나타낸 곡선으로서 용탕주입 후 5분까지는 CO₂ 주형이 가장 빠른 속도로 상승하다가 5분 이후부터는 건조형이 급속히 상승하는 경향을 생형은 가장 낮은 온도상승을 나타내었으며 3분 이후에는 거의 온도상승을 나타내지 않았다. 이는 용탕에 의한 가열보다는 공냉의 영향이 더 크기때문인 것으로 사려된다. 여기에서 주형두께가 12mm로 제작한 shell 주형의 온도측정은 불가능하였기 때문에 생략되었다.

상기 결과로부터 각종 주형의 전열특성을 비교하기 위하여 각종 주형의 수형 경계면으로부터 거리에 따른 용탕 주입한지 2분후의 온도분포를

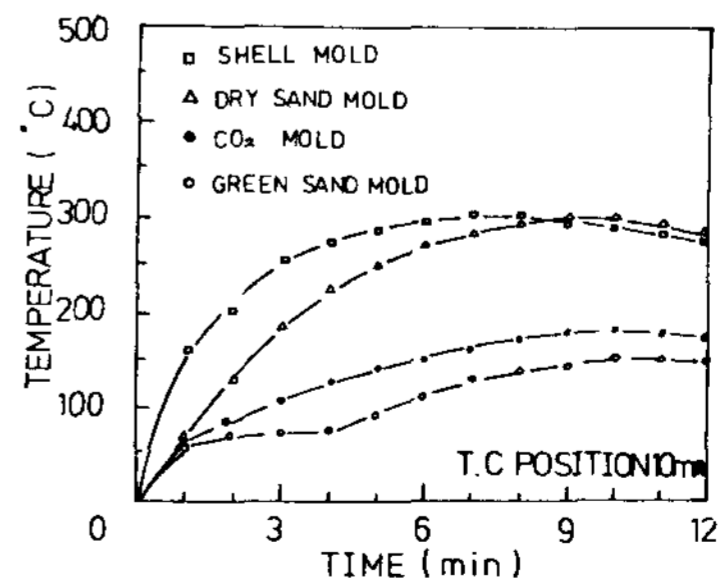


Fig.6 Heating curves at 10mm from mold wall during solidification of Al-Casting in various molds.

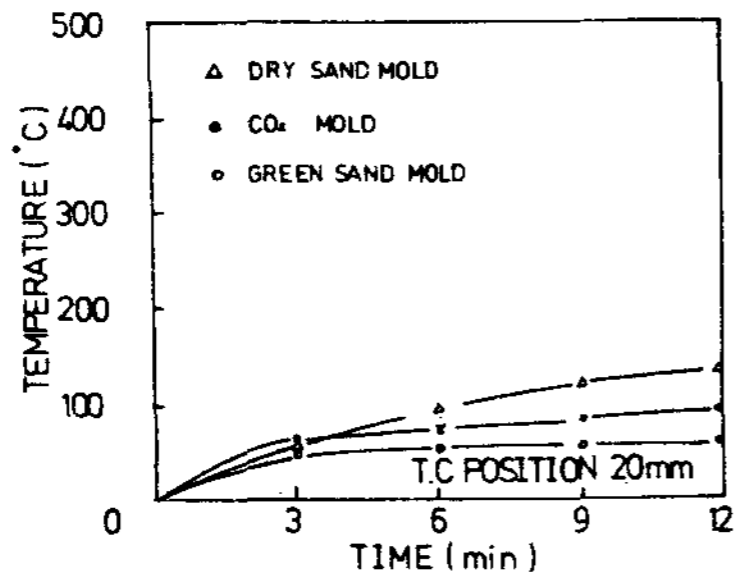


Fig.7 Heating curves at 20mm from mold wall during solidification of Al-Casting in various molds.

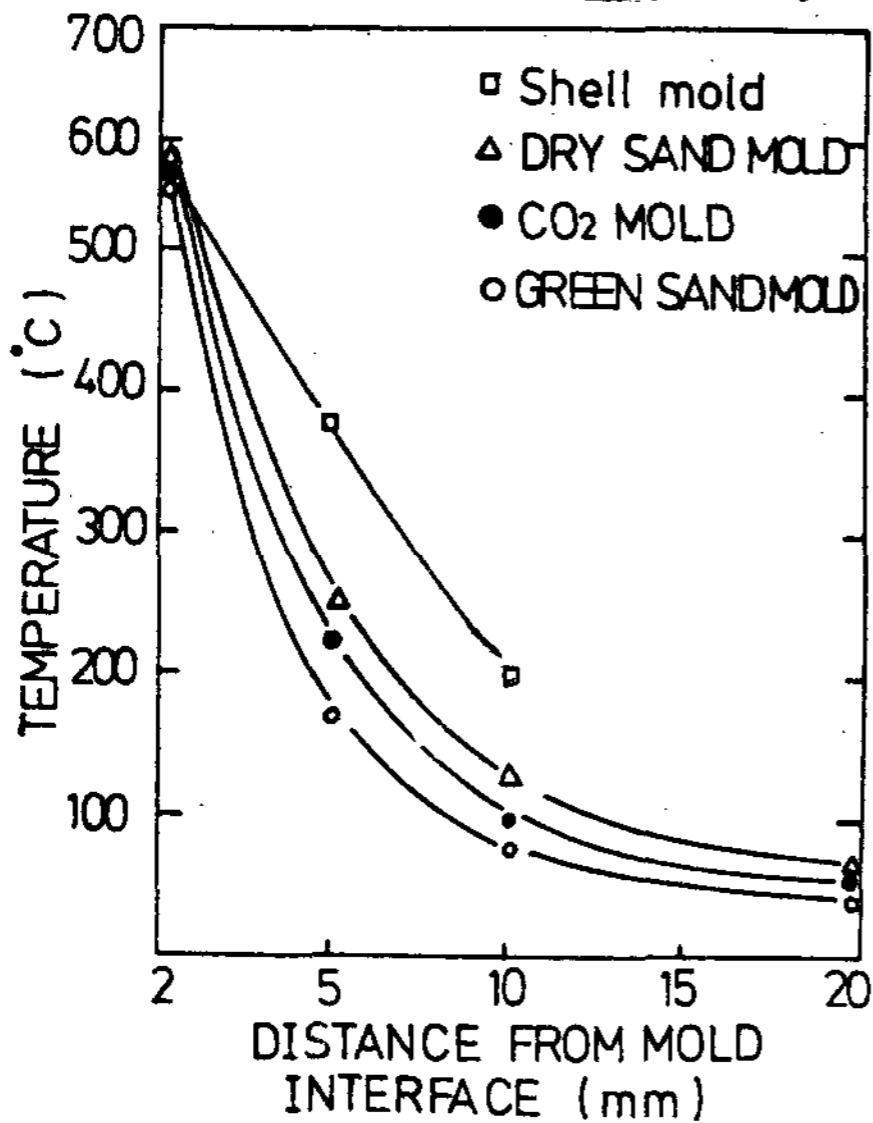


Fig.8 Temperature distribution in various molds.(2min after pouring)

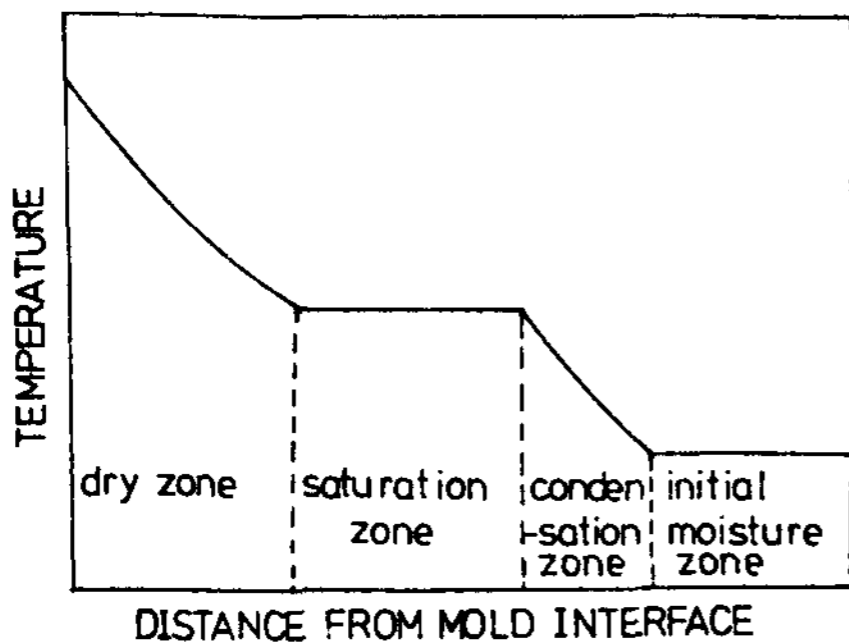


Fig.9 Moisture transition Zone in green sand mold.

Fig 8에 나타내었다. 여기서 가장 높은 온도분포를 나타낸 주형은 shell 주형이었고 가장 낮은 온도분포를 보이것은 생형으로서 결보기 전도도는 shell 주형이 $32\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}/\text{min}$ 로 가장 완만한 온도분포곡선을 보였으며 건조주형과 CO_2 주형은 $53.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}/\text{min}$, $54\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}/\text{min}$ 로 거의 비슷한 값을 나타내었으며 생형은 $56\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}/\text{min}$ 로 가장 급한 온도분포곡선을 나타내었다.

3.2 각종주형에 따른 용탕의 응고특성

주형의 전열특성에 따른 용탕의 응고특성을 살펴보기 위해서 Fig 3에 나타낸 바와 같이 용탕 측에 주물과 주형의 경계면으로부터 25mm, 50mm (용탕중심)에 열전대를 삽입하여 측정된 용탕의 온도분포를 Fig 10과 Fig 11에 나타내었다.

Fig 10은 각종주형에 주입한 순수한 Al의 응고온도($658\text{ }^{\circ}\text{C}$)에 가장 먼저 도달한 것은 Table 5에 나타낸 바와 같이 생형이 제일 빠르고 그 다음이 shell 주형과 CO_2 주형으로서 이 두 주형

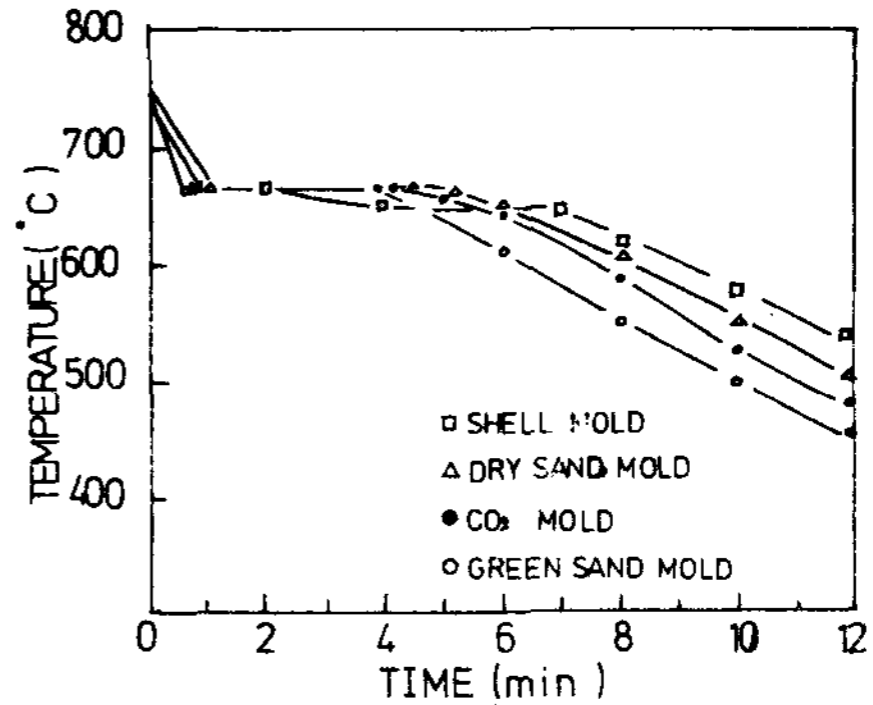


Fig.10 Cooling Curves of Al-Casting in various molds at 50mm from bottom of castings.

<Table 5> Time required to reach solidification temperature($658\text{ }^{\circ}\text{C}$)

	Time (sec)
Green sand mold	30
CO_2 mold	40
Shell mold	41
Dry sand mold	60

은 거의 같은 시간에 응고가 개시되었으며 가장 늦게 도달한 수형은 건조주형으로 나타났다.

그리고 응고개시부터 응고완료까지의 소요시간 즉 주물의 응고시간을 주형별로 나타내면 Table 6에 표시한 것과 같이 shell 주형주물이 1분 20 초로 가장 짧았으며 건조주형주물이 가장 긴 4분 5 초로 나타났고 이를 냉각속도로 표시하면 shell 형주물이 46°C/min, 생형주물이 25.5°C/min, CO₂ 형주물이 24.8°C/min 그리고 건조주형주물이 18.4°C/min로 각각 나타났다.

또한 응고종료후의 주물의 냉각속도는 Table 7에 나타났고 그 다음으로 CO₂ 형주물, 건조주형주물 및 shell 형주물 순으로 냉각이 느려지고 있는 것을 알 수 있다.

<Table 6> Solidification time of Al-casting in various molds.

	Time (min)
Shell mold	1 min 20 sec
Green sand mold	3 min 10 sec
CO ₂ mold	3 min 20 sec
Dry sand mold	4 min 5 sec

<Table 7> Cooling velocity solidification end

	Cooling rate (°C/min)
Green sand mold	25.2
CO ₂ mold	24.5
Dry sand mold	20.5
Shell mold	18.7

그런데 shell 형주물의 경우 주입한 후 4분후 부터 다시 주물의 온도가 상승하여 7분후에는 620°C까지 상승하였다가 서서히 냉각되는 현상을 나타내었다.

이는 shell 주형내에 접결제로 사용된 resin (페놀수지)이 연소되는 과정에서 발생하는 연소열에 기인된 영향으로 사려한다.

Fig 11은 주물과 주형의 경계면으로부터 25 mm되는 지점의 용탕의 냉각곡선으로서 응고시간은 shell 형주물이 1분이었고 생형주물이 2분

24 초, CO₂ 주물이 2분 45 초 그리고 건조주물이 3분 20 초로 나타났으며 응고완료후 냉각속도는 Fig 10에 나타난 바와 똑같은 경향을 나타내었다.

주형의 온도상승곡선에서 살펴본 결과로는 shell 주형주물이 가장 응고속도가 빠르고 생형주물이 가장 느린것으로 나타났으나 본 항에서의 결과로 shell 형 주물 다음으로 생형주물의 응고속도가 빠른 것으로 나타났다.

이는 열전도와 냉각능(열흡수량)의 두관점에서 <Table 8> Thermal properties of various molds

Property Mold	C Cal/g°C	p g/cc	K cal/cm	a cm/sec	b (cgs)
Dry sand mold	0.24	1.46	0.0007	0.0019	0.0156
Greensand mold	0.25	1.6	0.00093	0.0023	0.0192
CO ₂ mold	0.24	1.54	0.00095	0.0025	0.0187
Shell mold	0.26	1.5	0.0014	0.0036	0.0239

<Table 9> Exoerimental temperature of mold & mold constant

Mold	Interfa- ce temp θ _i (°C)	Initial temp of mold θ _o (°C)	Mold constant M
Dry sand mold	580	20	76.2
Green sand mold	570	20	92.1
CO ₂ mold	575	20	90.6
Shell mold	575	25	115.8

고찰해야할 것으로 사려된다.

그래서 주형의 열흡수량을 알아보기 위해서 Table 8 (3 10 13)과 Table 9에 표시한 바와 같이 각종 주형의 열적성질과 주형의 경계온도와 초기 온도를 측정하여 다음과 같은 Bishop⁽¹⁴⁾의 식을 이용해서 계산한 값을 Fig 12에 나타내었다.

$$Q = k/\sqrt{\pi x}(\theta_1 - \theta_0) \int_0^t 1/\sqrt{\tau} dt \dots\dots\dots (1)$$

$$= 2k(\theta_i - \theta_o) / \sqrt{\pi x} \dots\dots\dots (2)$$

$$= 1,128 b (\theta_i - \theta_o) \sqrt{t} \dots\dots\dots (3)$$

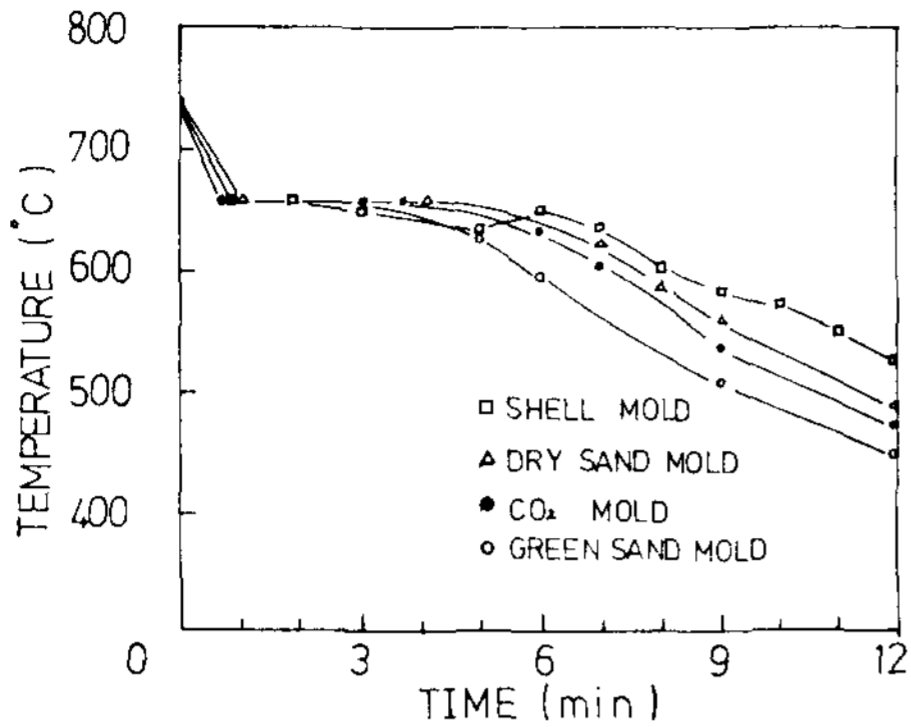


Fig.11 Cooling curves of Al-casting in various molds at 25mm from bottom of castings

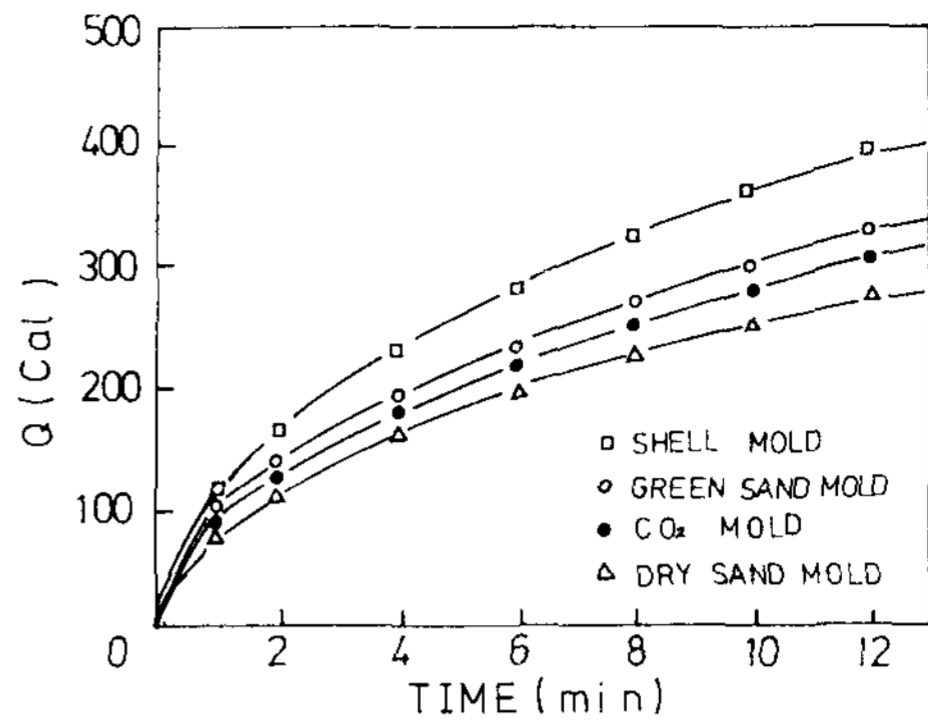


Fig.12 Calculated total heat absorbed per unit area (cm²) of various molds

단,

$b = \sqrt{kcp}$ 열확산도

θ_i = 주형의 경계 온도

θ_0 = 주형의 초기 온도

t = 주입 후 시간

α = 온도 확산도

Fig 12 에서 보면 shell 주형의 열흡수량이 가장 크고 그 다음이 생형, CO₂ 형 및 건조형 순으로 낮아지고 있다.

이는 shell 주형의 열전도도와 열흡수량이 크기 때문에 주형의 온도 상승속도가 빠르고 용탕의 응고 시간도 단축되는 것으로 사려되나 생형은 주입과 동시에 함유수분이 증발되기 때문에 주형의 온도 상승속도는 가장 느리지만 열흡수량이 증가하게 되어 응고 시간이 CO₂ 주형이나 건조주형보다도 오히려 단축된 것으로 생각된다.

3.3 각종주형에 따른 주조조직

각종주형의 열적특성이 금속의 응고조직에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보기 위하여 열적특성이 각기 다른 주형에 주입한 순수한 Al 주괴의 응고조직을 Photo 3 과 Photo 4 에 각각 나타내었다.

여기서 보는 바와 같이 주형의 열적특성에 따라 현저한 차이를 나타내고 있다.

즉 전열특성과 열흡수등이 클수록 수축공의 길이가 증가되고 결정입자의 크기가 작은 동축정을 나타내고 있다.

이는 주조품의 조직과 기계적성질에 상당한 영향을 주고 있음을 알 수 있으며 요구하는 주조품의 성질을 충족시키기 위해서는 주형의 선정이 매우 중요하다는 것을 제시해 주고 있다.

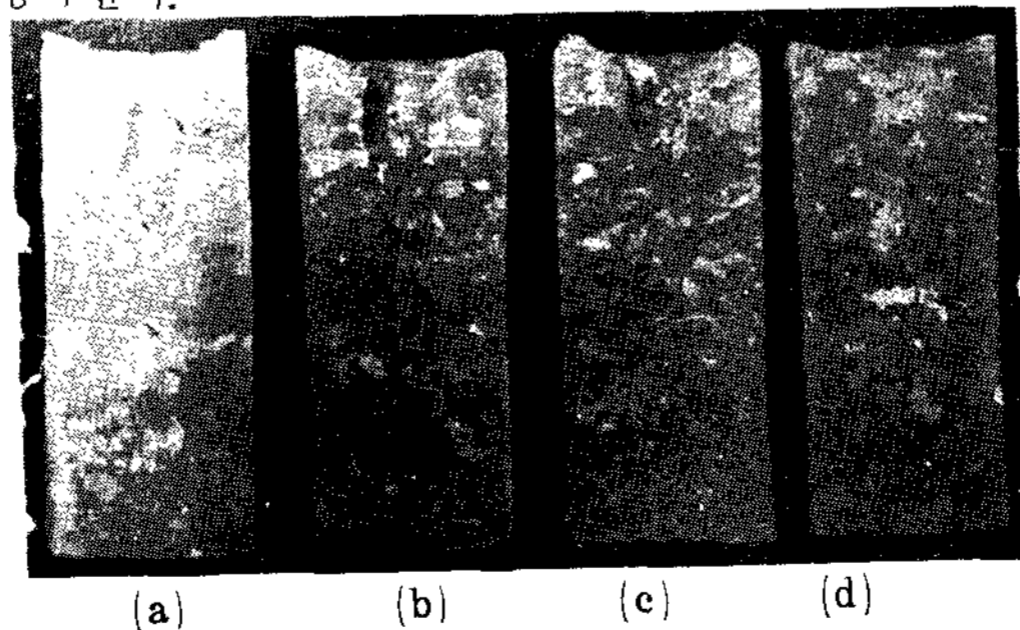


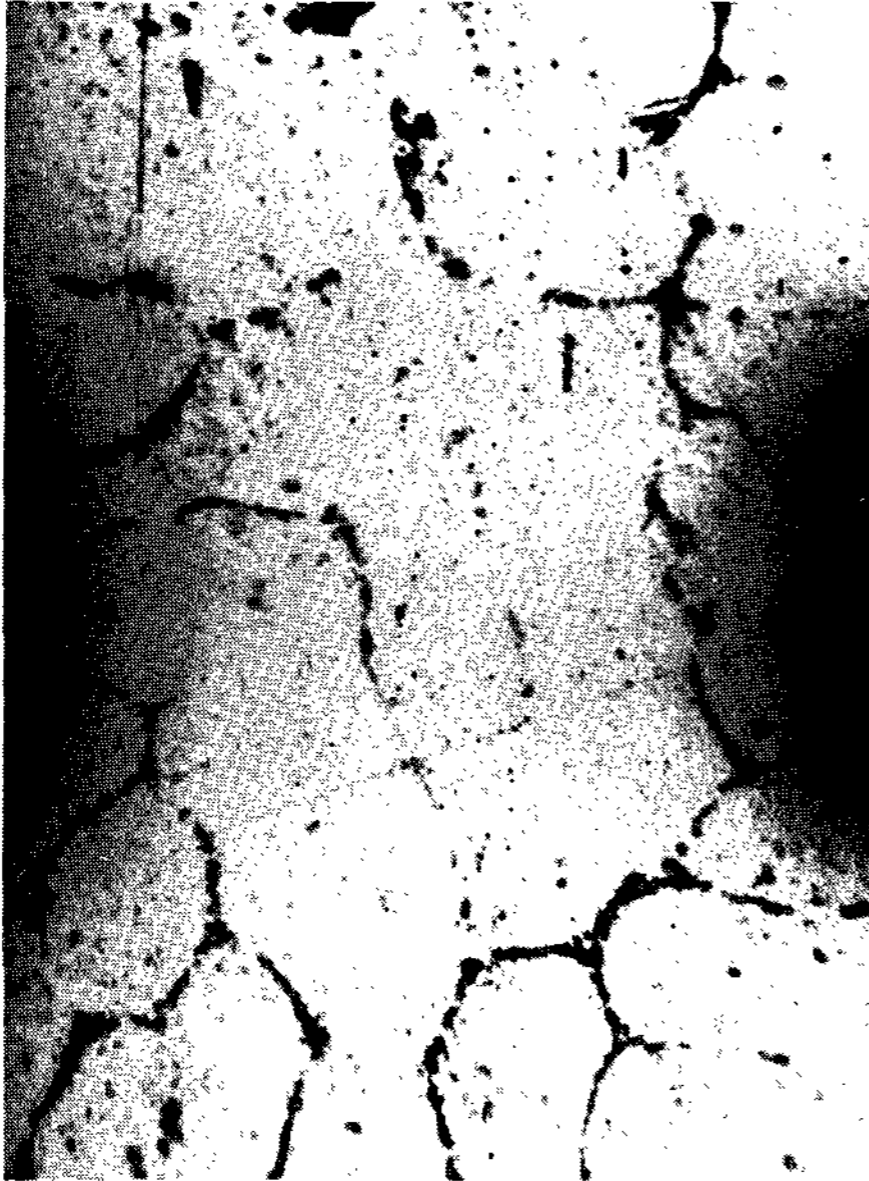
Photo.3 Macro structure of Al-Castings solidified in various molds

a) Shell mold castings

b) Green sand mold castings

c) Co₂ mold castings

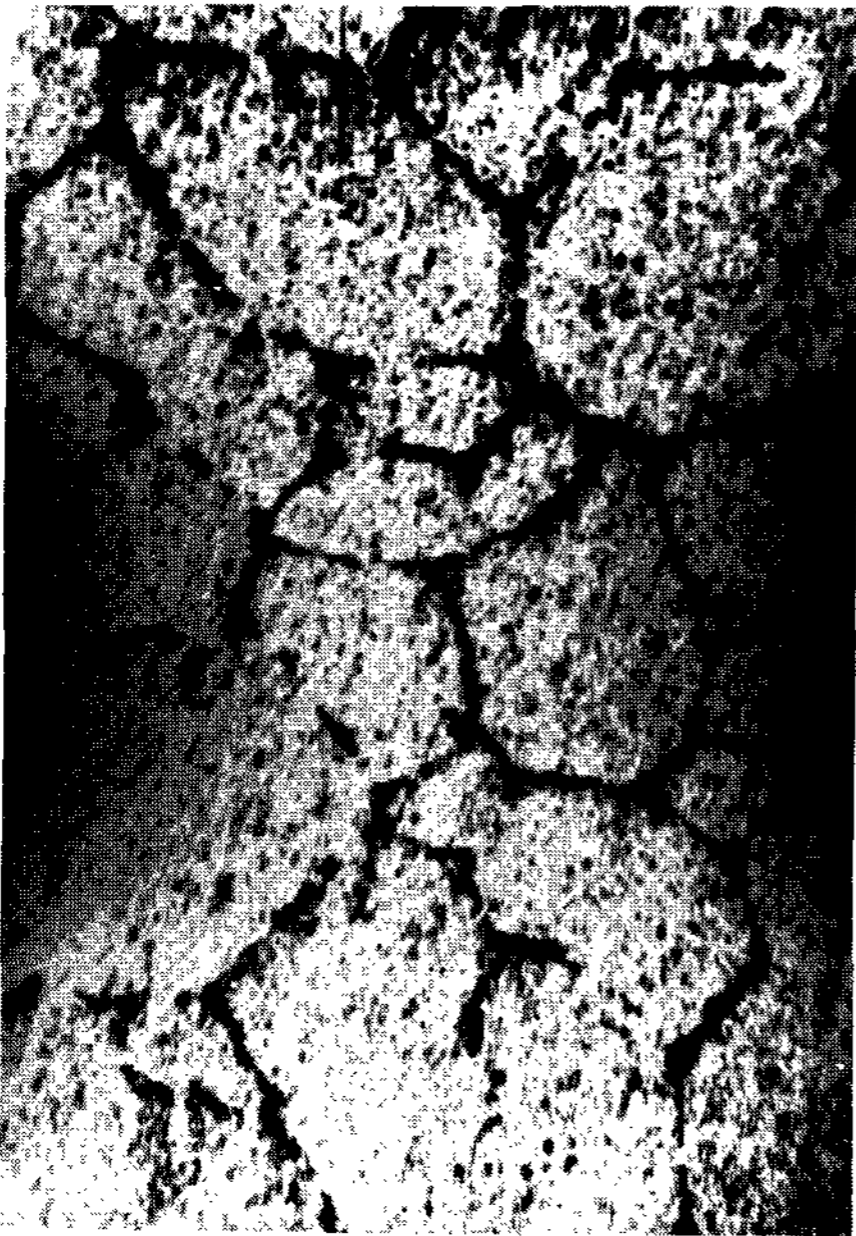
d) Dry sand mold castings



(a) Dry sand mold



(b) Co₂ mold



(c) green sand mold



(d) Shell mold

Photo.4 Micro structure of Al-Castings solidified in various molds
(100倍)

4. 결 론

생형, 건조형, CO₂ 주형 그리고 shell 주형에 순수한 Al 지금을 주입하여 열분석을 행하여 주형의 열적특성과 용탕의 응고특성 및 구조조직을 검토한 결론은 다음과 같다.

1) 각종주형에 Al 용탕을 주조하였을 때 주형의 온도상승율은 생형, CO₂ 주형, 건조형 및 shell 주형 순으로 증가하였으나, 용탕의 응고시간은 건조형주물, CO₂ 형주물, 생형주물 그리고 shell 형주물 순으로 단축되었다. 이와 같이 주물의 응고속도는 주형의 열전도 만으로는 설명할 수 없고, 주형의 열흡수량을 고려해야만 한다.

2) 생형의 온도상승곡선에 나타난 온도정체구간은 주형내 함유된 수분의 증발, 이동 및 응축과정중의 수분증발구역으로 사려되며, 이 증발역은 주형의 바깥쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다.

3) Shell 주형에 주입된 용탕의 온도변동 현상은 주형내에 함유된 resin(페놀수지)의 연소열에 의해서 기인된 것으로 사료된다.

4) 각종주형의 열흡수량은 건조형, CO₂ 주형, 생형 및 shell 주형 순으로 증가하였다.

5) 주물의 응고속도가 빠를수록 주피의 수축공

길이는 증가되었고 결정입자는 미세화되었다.

参 考 文 献

- 1) D.V atterton: J of the iron & steel Inst 7(1953) 201
- 2) R.W Ruddle, AL Mincher: J of Inst met 76(1949) 43
- 3) H.MD Roshan, H.F Taylor: AFS Trans. 82(1974) 1, 125
- 4) C.M Adams, H.F Taylor: AFS Trans. 65 (1957) 170
- 5) J.S Abcoawer: AFS Trans. 60(1952) 70
- 6) 梶山: 鑄物 28(1956) 633
- 7) 梶山, 梶田, 竹内: 鑄物 46(1974) 9. 820
- 8) 梶山, 梅田, 竹内: 鑄物 47(1975) 3. 178
- 9) 和泉修: 非鉄合金의 顯微鏡 組織写真 解説 (1977)
- 10) 片島, 松浦: 鑄物 44(1972) 6. 479
- 11) 片島, 松浦: 鑄物 46(1974) 1. 19
- 12) 片島, 松浦: 鑄物 46(1974) 9. 840
- 13) M.R Seshadr: AFS Trans 69(1961) 616
- 14) H.F Bishop, F.A Brandt, w.s Pellini : AFS Trans 61(1953) 451