

구상흑연주철의 주조회수율 향상방안에 관한 연구

방희장 * 이영상 ** 김동옥 ***

A Study on the Improving the Casting Yield of the Ductile Iron Castings

Hee-Jang Bang, Yeong-Sang Lee, Dong-Ok Kim

Foundry Technology Center

Korea Advanced Institute of the Science and Technology

Seoul, Korea

ABSTRACT

For the purpose of improving the casting yields of ductile iron castings, the casting conditions for riserless design were investigated with 150 mm³ cube.

As the important casting conditions, chemical composition, pouring temperature, mold rigidity and cooling rate were confirmed.

1. We could obtain the sound castings with the hypereutectic ductile iron.
2. In order to reduce liquid contraction, the pouring temperature should be low as much as possible
3. We could obtain the sound castings through using the rigid mold without mold cavity deformation
4. The modulus of the castings should be 2.5 cm or larger

1. 서론

주조기술자들은 구상흑연주철이 비슷한 화학조성의 회주철에 비하여 수축경향이 훨씬 심하다는 사실을 오랜동안 경험 하였을 것이다. 몇몇 연구자들은 구상흑연주철의 수축량 및 이에 따른 급탕요구량(feed metal requirement)이 주강과 비슷하다고 보고하고 있다.^{1), 2)}

따라서 동일한 크기의 주조품을 주조할때에 구상흑연주철은 회주철에 비하여 더큰 압탕을 요구하며 부적당한 압탕에 의한 불량발생율이 높고 주조회수율(casting yield) 면에서도 뒤떨어졌다.

통상 발열재를 사용하여 압탕크기를 줄이거나 급탕이 알맞게 되도록 하지만, 발열재 사용없이 크기가 더 작은 압탕을 사용하거나 압탕을 전혀 사용하지 않고 건전한 주조품을 주조할 수 있다면

*** 한국과학기술원 주물기술실 책임연구원
** 한국과학기술원 주물기술실 선임기술원
* 한국과학기술원 주물기술실 연구원

주조회수율 면에서 크게 향상을 기하는 것이 될 것이다.

구상흑연주철의 주조회수율을 향상시키기 위하여 그동안 외국에서는 수십년에 걸쳐서 구상흑연주철의 응고특성 및 급탕특성에 관하여 연구하여 왔고 무압탕 주조의 가능성에 대하여 보고를 하고 있으며 실제 생산작업에 응용하고 있다.^{5) 7)}

그러나 국내에서는 구상흑연주철의 생산기술 및 압탕기술이 빈약하고 이 방면에 대한 연구가 저조하며 주물공장들의 주조회수율도 나쁜 실정이다.

따라서 본 연구에서는 구상흑연주철의 주조회수율을 향상시키기 위하여 근래에 새로 개발되고 있는 주조회수율이 높은 무압탕 주조기술의 인자들이 주조품의 건전성에 미치는 영향에 관하여 우선 정량적인 연구에 앞서서 현장적인 측면에서 정성적으로 연구 하였다.

2. 실험방법

2.1 주조시험편 제조

구상흑연주철의 무압탕 주조기술에 영향을 미치는 인자들을 연구하기 위해 사용한 정육면체 주조시험편의 치수를 Table 1에 나타냈고 Fig 1에 각각의 주조방안도를 나타내었다.

주조시험편의 탕구방안은 구상흑연주철의 전형적인 탕구비인 4:8:3을 적용 하였고, 공기의 혼입에 의한 결함을 최소로 줄이기 위해 탕구의 상단직경을 하단직경의 1.5배 이상이 되도록 구

Table 1. Dimensions of test castings

unit : mm

Test casting	length	width	height	modulus (cm)
No. 1	100	100	100	1.7
No. 2	150	150	150	2.5
No. 3	200	200	200	3.3

배를 주었으며 하주법을 택하였다. 가능한 한 빠른 주입이 되도록 20 mm φ의 배기공(flow-off)을 주조시험편 중앙에 설치하였다.

주조 Vol.2, No.2(1982)

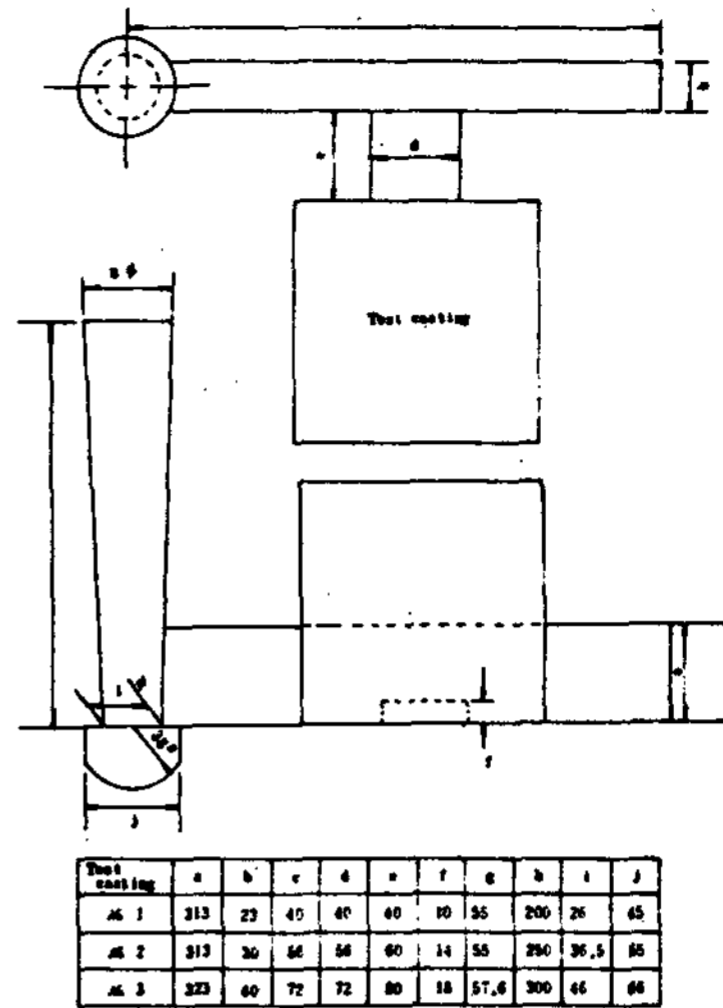


Fig 1. Gating system of test castings

2.2 용해 및 주입

용해는 50 kg 고주파 유도로(Inductotherm Vip power-track 70-30)를 이용하여 Table 2에 나타낸 구상흑연주철용 선철, 강고철 및 Fe-75% Si을 장입지금으로 사용하고 가탄제로 carbonine 100 (FOSECO제품)을 사용하여 행하였다.

1500 C로 용해한 후 예열된 레들을 사용하여 흑연구상화처리를 샌드위치법으로 실시하였다.

사용된 흑연구상화제의 화학조성을 Table 3에 나타내었으며 구상화제의 사용량은 용탕중량의 2%로 하였다. 구상화처리후 후접종을 목적으로 Fe-75% Si을 0.5% 용탕표면에 첨가하여 충분히 교반한 후 실험목적에 따라 주조시험편을 주입하였다. 흑연구상화처리후의 용탕의 목표화학성분은 Table 4와 같다. 용해 및 주입시에 용탕성분, 용해 및 주입온도는 Maxilab II (Leeds & Northrup Co제)를 사용하여 측정하였다.

2.3 조형

주형의 강도(주형건고성, mold rigidity)가 서로 다른 주형을 실험에 적용하기 위하여 생형,

Table 2. Chemical composition of charging materials

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
D.C.I.-Pig iron	4.3	1.125	0.15	0.075	0.035	0.03	Bal
steel scrap	0.026	0.01	0.11	0.019	0.009	-	Bal
Fe-75%Si	0.2	75	-	0.05	0.02	-	Bal

unit : %

Table 3. Chemical composition of spheroidizer

Mg	Si	Ca	Ce	Al	Fe
5	46	1	0.3	1	Bal

unit : %

Table 4. Target chemical composition of melt

Heat Group	C	Si	Mn	P	S	Mg	C.E.
I	3.3	2.0	0.2	< 0.05	< 0.01	0.06	3.9
II	3.6	2.0	0.2	< 0.05	< 0.01	0.06	4.3
III	3.9	2.0	0.2	< 0.05	< 0.01	0.06	4.5
IV	3.9	2.4	0.2	< 0.05	< 0.01	0.06	4.7

unit : %

건조형, CO₂ 형 및 세멘트형으로 주조시험편을 수조형 하였다.

타내었고 Table 6에 주형사의 배합비 및 성질을 나타내었다.

사용한 인조규사의 입도분포를 Table 5에 나

Table 5. Grain distribution of silica sand

mesh No.	20	30	40	50	70	100	140	200	270	Pan	Clay	AFS GFN
weight	tr.	0.5	15.2	30.5	28.2	17.4	5.0	1.0	0.3	0.7	1.2	53

unit : %

2.4 주조품의 건전성 판단

본 연구의 성격상 수축으로 야기되어 발생된 결함만을 건전성 여부의 판단 기준으로 삼았다. 일반적으로 금속 및 합금이 응고와 냉각을 할때에 발생하는 수축은 일련의 주조결함의 원인이 되는

데 이를 총칭하여 수축결함이라 한다.

수축결함에는 수축공(macro-shrinkage cavity), 표면수축(sink) 및 미세수축공(shrinkage porosity)등이 있다.³⁾

주조된 시험편의 외관을 육안으로 관찰하여 외

Table 6. Sand mixtures and mold properties.

Mold	green mold	dry mold	CO ₂ -mold	cement mold
Mixing ratio (%)	silica sand 100 Southern Bentonite 8 water 3	silica sand 100 Southern Bentonite 8 water 7	silica sand 100 water glass 6	silica sand 100 portlant cement 10 molasses 4
Hardness (C-scale)	84	95	98	98
compression strength (kg/cm ²)	0.7	6	10.1	12.1
permeability	58	287	248	169
비 고	건조형은 dry oven에서 100 ± 5 °C로 16시간 건조 하였다.			

부수축결함(external shrinkage defects) - 수축공 및 표면수축 - 의 발생여부를 확인하고, 내부 수축결함(internal shrinkage defects) - 미세 수축공 - 의 발생을 조사하기 위하여 주조시험편 상단을 15 mm 두께로 절단한 후, 다시 주입구 부분을 중심으로 하여 절반으로 절단하여 육안으로 관찰하였다. 수축결함이 발생하지 않은 주조시험편을 건전(sound)하다고 판정하고 결함이 발생한 주조시험편을 불량(unsound)으로 판정하였다.

2.5 현미경조직 및 성분분석시험

본 연구에 만족할만한 흑연형상이 얻어졌는지를 판정하기 위하여 Fig 2에 나타낸 A.S.T.M A 395의 현미경조직시험용 시편을 CO₂ 형으로 조형하여 사용하였다.

흑연형상의 판정기준은 A.S.T.M A395 - 70의 흑연형상 분류도에 의거 하였으며 흑연형상이 I형 및 II형에 일치하는 주조시험편을 채택하였다.

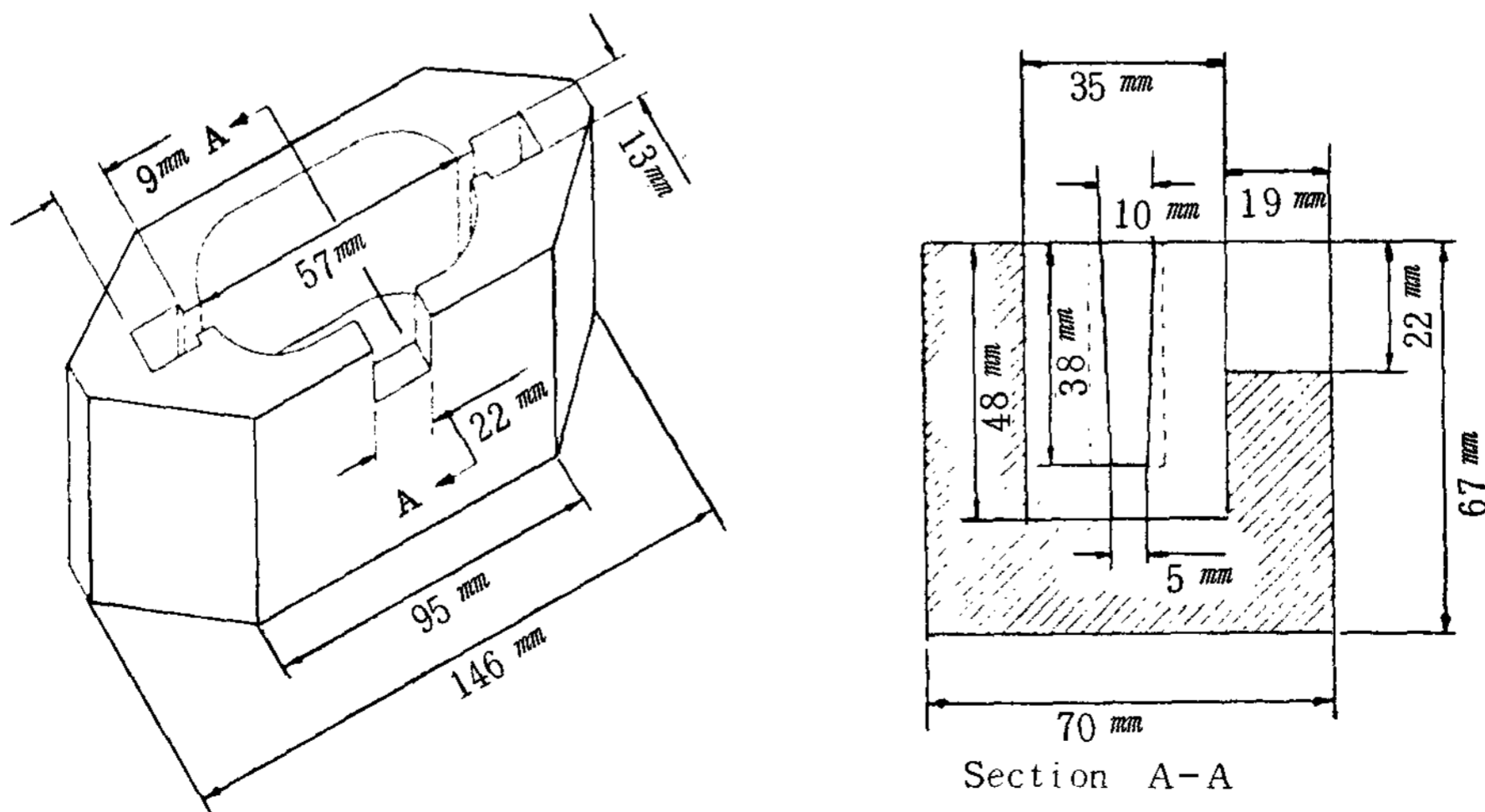


Fig 2. Core mold for microscopic specimen

본 실험에서 채택한 주조시험편이 모두 후육이여서 구상화처리후부터 주입된 시편이 응고할때까지의 소요시간이 길다. 따라서 구상흑연의 소멸효과(fading effect)를 예상할 수 있는데, 이 효과를 줄이기 위하여 요구되는 잔류마그네슘의 양을 0.04 ~ 0.08 % 정도로 높게 유지하였다.⁴⁾

또한, 가끔 무작위로 주조시험편에서 현미경시편을 절단하여 후육에서 오는 흑연현상의 변화를 관찰 하였으나 흑연현상의 커다란 변화는 보이지 않았다.

화학성분 분석은 습식분석으로 하였으며 탄소

분석시료용 금형을 사용하여 백선시료를 만들었으며 그외의 기타 성분의 분석은 Fig 2에 보이는 현미경시험용 시편의 몸체를 드릴링(drilling)하여 칩을 만들어 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 화학성분 및 주입온도의 영향

CO₂ 형으로 조형한 주조시험편인 Fig1의 №2를 사용하고 Table 4에 표시한 용탕의 목표화학조성을 Table 7에 나타낸 바와같이 아공정, 공정 및 과공정으로 변화시켜서 주입온도 1200

Table 7. Typical chemical composition of test casting

Heat Group	C	Si	Mn	P	S	C.E.
I	3.28	2.05	0.228	0.034	0.009	3.96
II	3.66	2.04	0.16	0.034	0.01	4.3
III	3.87	1.92	0.16	0.034	0.003	4.51
IV	3.89	2.37	0.16	0.038	0.005	4.68

unit : %

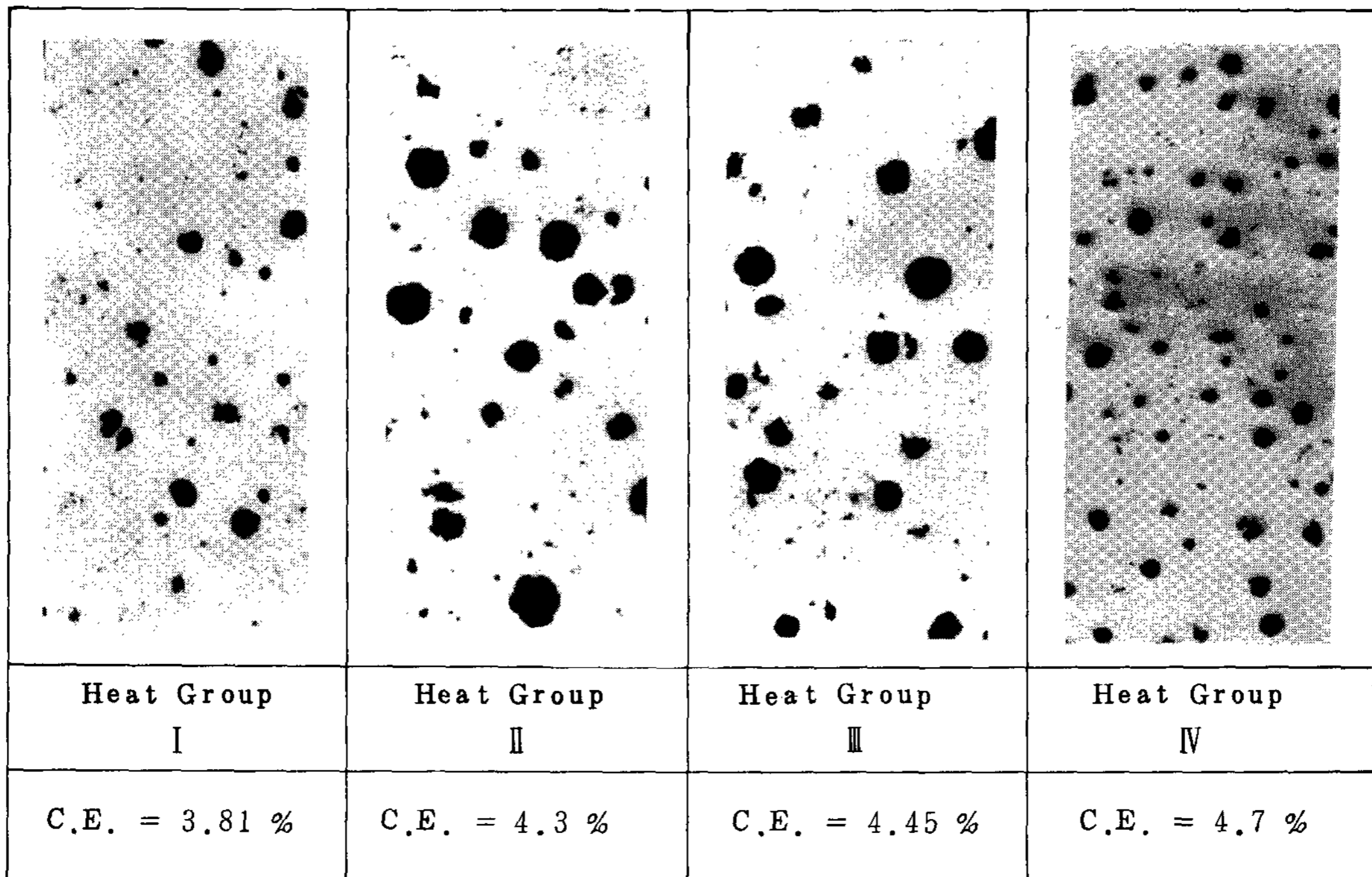


Fig 3. Typical microstructures of test castings not etched, × 100

~ 1400 C 범위에서 주입하였다.

주조시험편 No.2를 사용한 것은 S.I Kar-say의 무압탕 주조조건으로 주조품의 중요부분의 모들이 최소한 2.5 cm 이상되어야 한다는 연구결과를 채용한 것이다.^{5~9)}

Fig 3,4에 전형적인 현미경조직사진을 나타냈으며 주물의 건전성에 미치는 화학성분과 주입온도의 영향을 Fig 5~8에 나타내었다.

실험결과, 화학성분은 과공정조성으로 갈수록 주입온도는 낮을수록 무압탕으로 건전한 주조품을 얻기가 용이하였다.

Fig 7에 주조품의 건전성에 대한 화학성분과 주입온도의 영향을 나타냈는데 C.E값 4.3

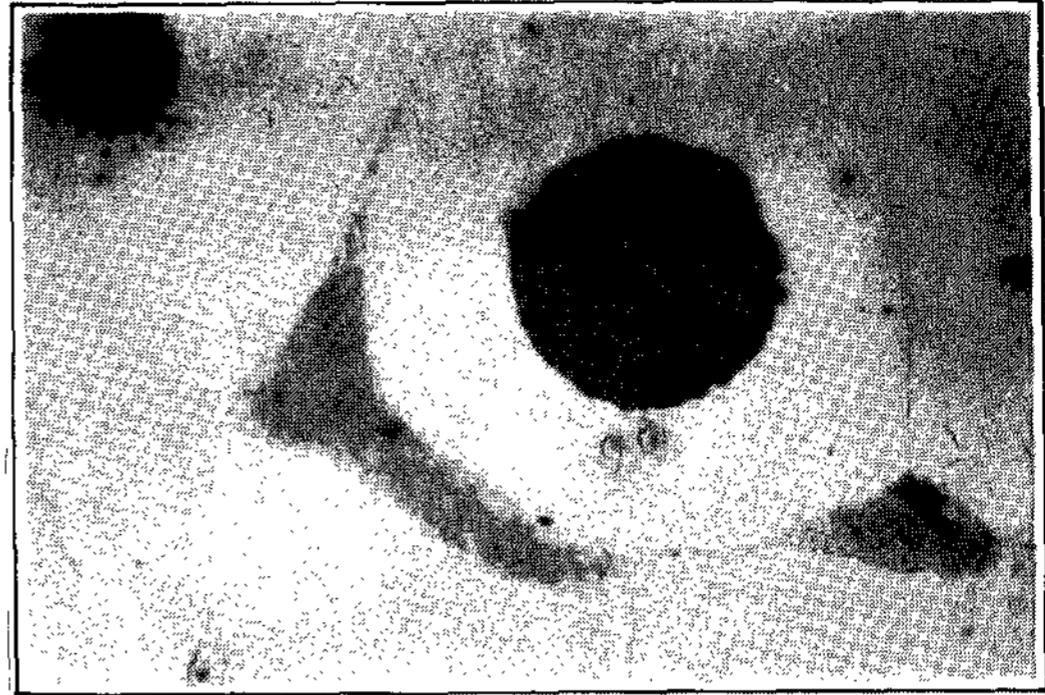


Fig 4. Typical microstructure of experimental ductile iron taken from No2 fest Casting 95% ferrite + 5% pearlite 2% Nital etched, x500

Top surface				
section				
C.E. %	3.8~3.9	4.2~4.3	4.4~4.5	4.6~4.7
soundness	unsound macro-shrinkage cavity		sound	

Fig 5. Relation between carbon equivalent and casting soundness. (pouring temp. 1,200 C, CO₂-mold)

% 이하에서는 낮은 주입온도에서도 건전한 주조품을 얻기가 용이하지 않았고, C.E값이 4.4% 이상 되어야 건전한 주조품을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 또한 어떤 동일한 주입온도에서 아공정조성이 과공정조성보다 수축경향이 심하고 수축결함 발생량이 크다는 것을 Fig 주조 Vol.2, No.2(1982)

5에서 알 수 있다.

이러한 결과는 응고 및 냉각시 발생하는 액체수축과 응고수축에 따른 체적수축을 공정응고시 정출하는 흑연에 의하여 상쇄시켜 주어야 무압탕으로 건전한 주조품을 주조할 수 있다는 무압탕 주조기술의 이론에^{5 ~ 13)} 비추어 볼 때

Top surface					
section					
pouring temp	1,200 °C	1,250 °C	1,300 °C	1,350 °C	1,400 °C
soundness	sound	sound	sound	just sound sink	unsound sink

Fig 6. Relation between pouring temperature and casting soundness (C.E.=4.4 ~ 4.5%, CO₂-mold)

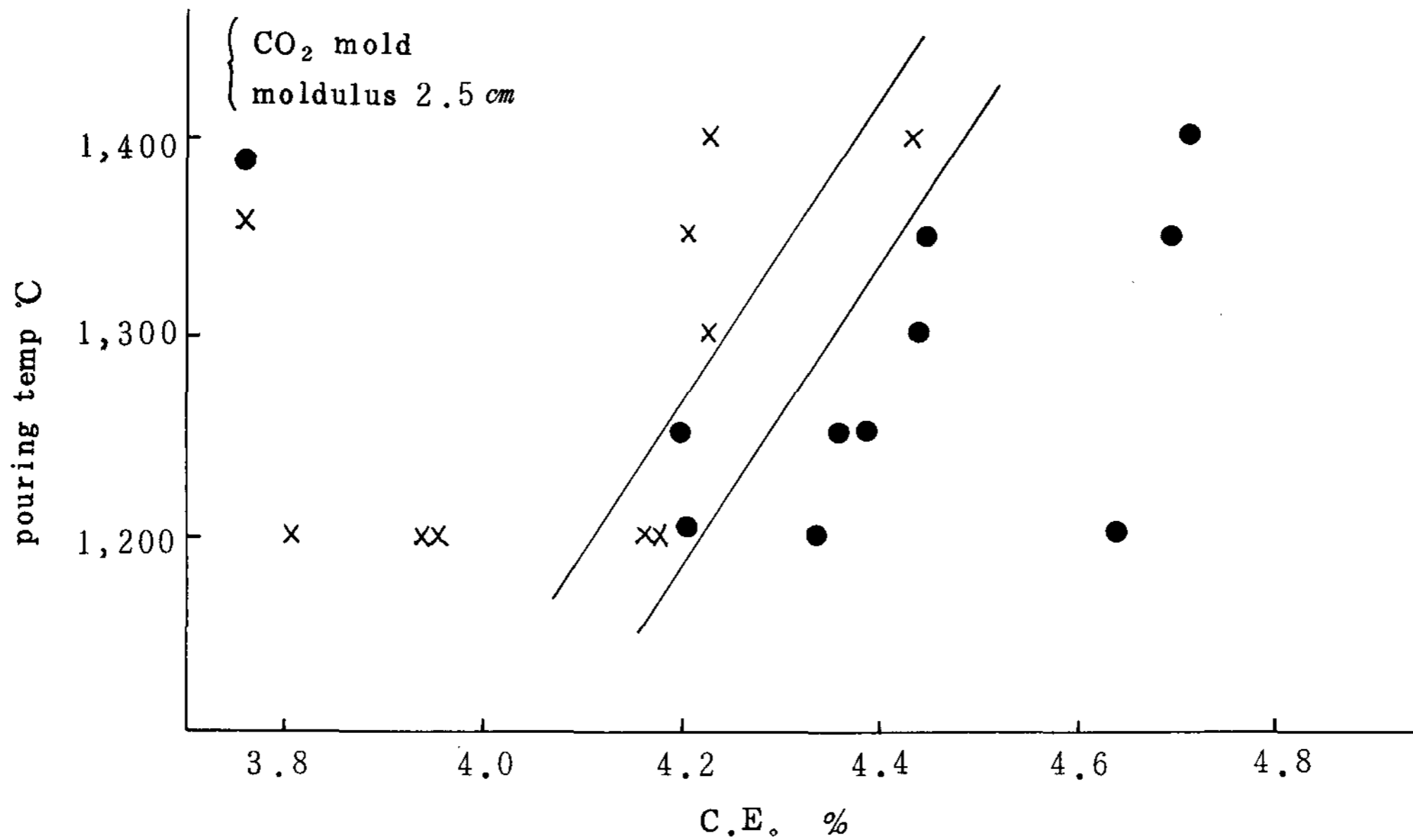


Fig 7. Effects of pouring temperature and carbon equivalent upon casting soundness





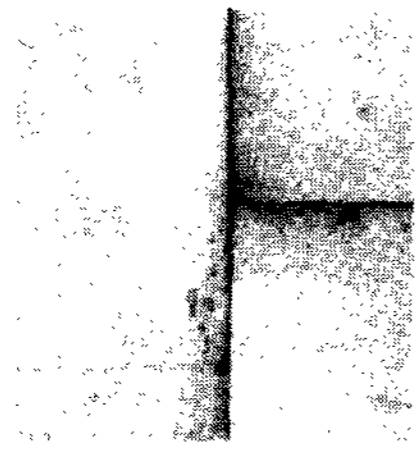
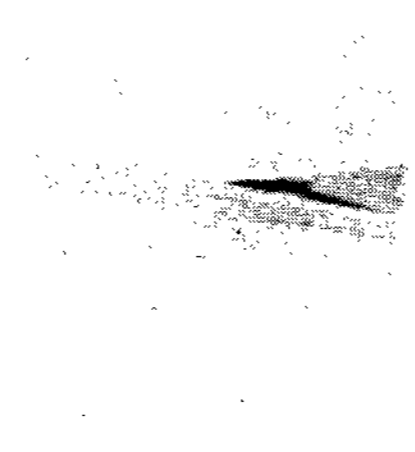
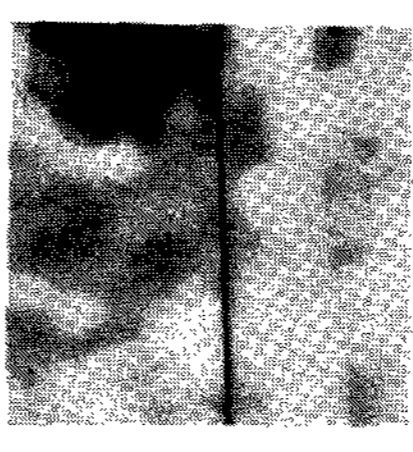

top surface				
section				
pouring temp	1,200 °C	1,300 °C	1,200 °C	1,300 °C
mold	green	green	dry	dry
soundness	unsound sink, internal shrinkage	unsound 표 sink 축	unsound 표 sink 축	unsound sink macro-shrinkage cavity

Fig 8. Relation between pouring temperature and casting soundness in green and dry mold. (C.E.=4.4 ~ 4.5 %)

C. E 값이 아공정에서 과공정조성으로 갈수록 정출되는 흑연량이 증가하고 이에 동반되는 체적팽창이 증가한다는 사실 14~15) 때문인 것으로 사료된다. 또한 과공정조성에서 건전한 주조품을 얻을 수 있다는 C. Reynolds, J. Maitre & H. Taylor의 연구 16)와 M. Taffazzoli & V. Kondic의 연구결과 10) 13)와 잘 일치한다.

따라서 공정흑연을 최대로 정출시킬 수 있는 양질의 용탕을 얻는 것이 무엇보다 중요하다. 무압탕 주조기술에 적합한 양질의 용탕을 얻기 위해서는 : ㉞ 흑연을 최대로 정출시킬 수 있는 화학조성이어야 한다. ㉟ 탄화물생성을 조장하는 성분이 가능한한 적어야 한다. 예를 들면, 망간함량이 0.2% 이하가 되고 잔류 마그네슘량도 가능한 한 적은 것이 이상적이다. ㊱ 후접종을 잘해야 한다. ㊲ 용해작업시 노내의 유지시간을 가능한 한 짧게해야 한다.

주조 Vol.2, No.2(1982)

Shnay & Gertsman은 과공정구상흑연주철에서 수출량은 주입온도에 따라 크게 변하여 주입온도 1275 ~ 1300 °C에서 가장 적고 이 온도 상하에서는 증가한다고 보고하고 있고 17)

M. Taffazzoli & V. Kondic의 연구에 의하면 주입온도가 낮으면 액체수축은 감소하지만 탄화물이 생성될 위험이 있어 수축결함이 발생할 수도 있다고 보고 13)하고 있지만, 실험

Fig 6은 주입온도가 증가하면 주조품의 상부표면에 표면수축이 발생함을 보여주고 있는데 이는 주입온도 증가에 따라 액체수축량이 커져서 표면수축과 같은 액체수축결함이 발생하는 것으로 사료된다.

결과에 의하면 주입온도가 낮으면 낮을수록 건전한 주조품을 얻기가 용이하였다.

Fig 7에 나타낸 바와 같이, C. E 값 4.3% 미만에서는 1200 °C에서 주입하여도 건전한 주물을 얻기가 용이하지 않았고 C. E 값 4.4%

이상에서는 1350 ℃ 이하에서 주입하면 건전한 주물을 얻을 수 있었다.

주입온도의 높고 낮음에 따라 액체수축량의 크기가 좌우된다. 액체수축량은 주입온도와 응고개시온도의 차에 의해 결정되는데, 주입온도가 높으면 액체수축량은 커지고 주입온도가 낮으면 액체수축량은 적어진다. 따라서 주입온도가 낮으면 낮을수록 건전한 주조품을 얻기가 용이해진다. 또한 C.E 값이 높아질수록 높은 주입온도에서 주입하여도 건전한 주조품을 얻을 수 있는 것은, C.E 값이 높아지면 흑연정출량이 많아지는데 이로 인한 부피팽창이 높은 주입온도에서 오는 액체수축을 상쇄시킬수 있기 때문인 것으로 사료된다.

Fig 8은 생형과 건조형에서 주입온도에 따라서 발생된 수축결함을 보여주고 있는데, 생형이나, 건조형에서도 주입온도가 증가하면 수축결함이 증가함을 알 수 있다.

3.2 주형특성에따른 영향

주형특성에 따른 주조품의 건전성을 조사하기 위하여 주조시험편 No 2를 Table 6에 나타낸 견고성 (rigidity)이 서로 다른 조형법 - 생형, 건조형, CO₂, 세멘트형 - 을 사용하여 조형한 후 Heat Group III (C.E = 4.4 ~ 4.5)의 용탕으로 1200 ~ 1400 ℃의 범위에서 주입하였다. Fig 9~10에 실험결과를 나타냈다.

오랜동안 여러 연구자들은 주형견고성이 구상흑연주철 주조품의 건전성에 영향을 미치는 중요한 인자라고 보고하고 있고 본 실험결과에서도 동일한 결론을 얻었다.

Fig 9는 과공정조성의 용탕을 주입온도 1300 ℃에서 각각의 주형에 주입한 주조품에 발생한 수축결함을 보여주고 있는데, 주형견고성이 증가하면 발생하는 수축량은 적어진다는 것을 나타내고 있다. 그러나 견고한 주형으로 간주할

Top surface				
section				
mold	green	dry	CO ₂	cement
soundness	unsound sink	unsound sink internal porosity	sound	unsound internal porosity

Fig 9. Relation between Mold rigidity and casting soundness.
(C.E = 4.4 ~ 4.5, Pouring temp 1300 ℃)

수 있는 세멘트주형에서도 CO₂ 주형과 상이하 게 수축결함의 발생을 보여주고 있는데 이는 K. E. L. Nicholas의 연구결과¹⁸⁾와 일치하지 않는다. 이러한 결과는 세멘트주형의 강도를 충분히 발현시켜 우수한 주형특성을 얻기 위한 실험실의 시험조건과 현장의 조형조건의 불일치로 세멘트주형의 강도가 불충분하였던 것으로 사료된다. 일본종합주물센타의 연구보고에 의하면 세멘트주형은 CO₂ 주형과 비교하여 비슷한 주형견고성을 가지고 있고 수축결함발생량도 비슷한 것으로 보고 하고 있다.¹⁹⁾

Fig 10은 무압탕 주조기술의 다른 조건을 다 만족시키더라도 견고한 주형을 사용하지 않으면 건전한 주조품을 얻을 수 없음을 보여주고 있다. CO₂ 주형에서는 과공정조성에서 상

당히 높은 주입온도에서도 건전한 주조품을 얻을 수 있었고 세멘트주형에서는 1250℃ 이하에서 건전한 주조품을 얻을 수 있었다. 생형 및 건조형에서는 건전한 주조품을 얻을 수 없었다.

이러한 결과는 견고한 주형으로 알려진 CO₂ 형 및 세멘트주형은 구상흑연주철의 응고말기에 흑연정출에 의해 상당히 큰 팽창을 보이고 이러한 팽창에 의해 상당히 높은 압력이 생기는데 이 압력에 견딜 수 있는 주형강도를 갖고 있는 것으로 생각되고 생형 및 건조형은 이 압력에 견딜 수 없어 주형벽이 이동하게 되고 이로 말미암아 내부에 남아있던 용금이 이 넓어진 공간을 충분히 채우지 못하고 수축한 것으로 생각된다.

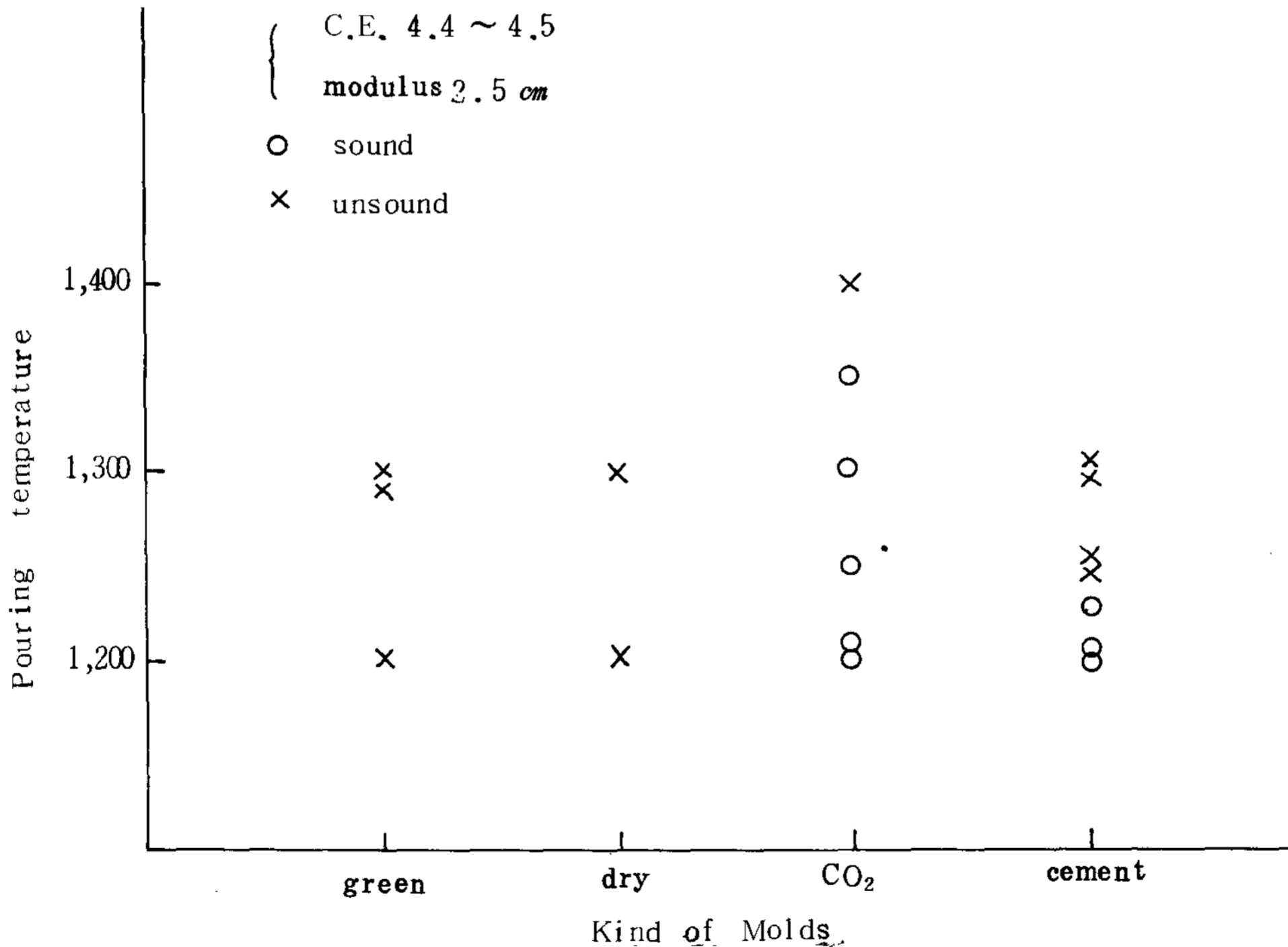


Fig 10. Effect of Mold rigidity on casting soundness.

3.3 냉각속도 (모틀) 의 영향

주조품의 건전성에 미치는 냉각속도의 영향을 조사하기 위하여 냉각속도가 서로 다른 주조시 주조 Vol.2, No.2(1982)

험편 No.1, No.2, No.3을 CO₂ 형으로 조형하여 앞에서 찾아진 건전한 주조품을 얻을 수 있는 조건 - C.E = 4.4 ~ 4.5%, 주입온도

1300 ℃ - 에서 주입하였다. 실험결과를 Fig 11 및 12 에 나타냈다.

Fig 11는 100 mm, 150 mm, 200 mm 정육면체에 발생한 수축결함을 보여주고 있는데, 100 mm에서는 내부수축이 발생하였고 150, 200 mm에서는 건전한하였다. 200 mm 주조품의 상부표면에 발생한 결함은 수축에 의한 결함이 아니라 모래박힘 및 기공으로 판정되었다.

Fig 12 에 나타낸 바와 같이 주물두께 150 mm (모들 2.5 cm) 이상의 육면체에서 건전한

주조품을 얻을 수 있었고 100 mm (모들 1.7 cm)에서도 때때로 건전한 주조품을 얻을 수 있었다.

이 결과는 무압탕 주조조건으로 모들이 적어도 2.5 cm 이상 되어야 하지만, 어느정도 이보다 작은 경우에도 양질의 용탕을 주입하면 건전한 주조품을 얻을 수 있다는 S.I. Karsay의 주장과 일치한다. 4~8)

냉각속도가 느리면 느릴수록 (모들이 크면 클수록) 건전한 주조품을 얻기가 용이하다는



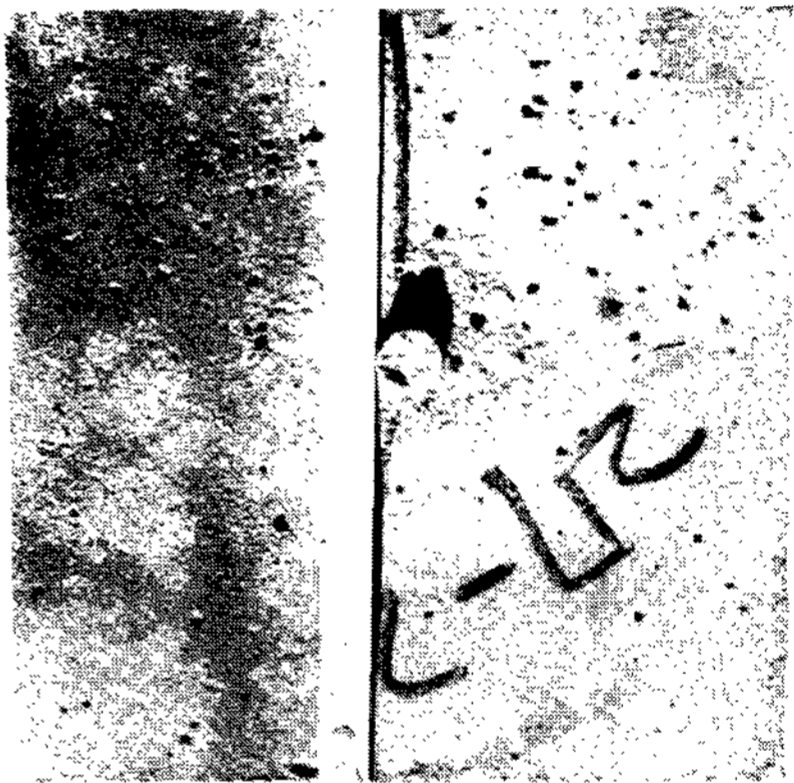
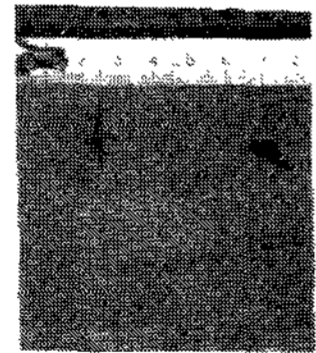
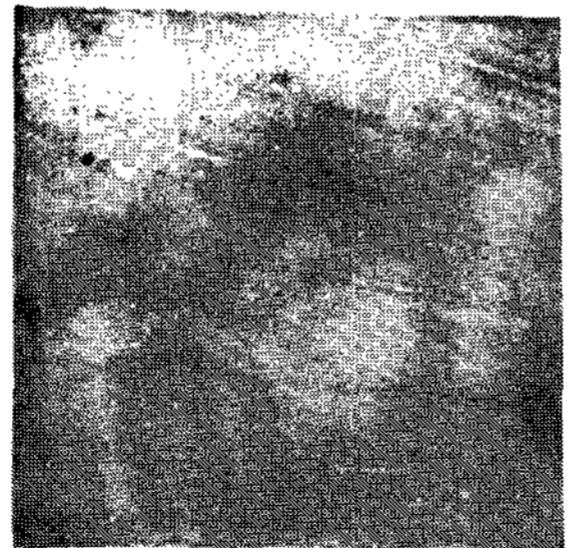

Top surfaci			
section			
modulus cm	1.7	2.5	3.3
sound- ness	unsound internal porosity	sound	sound

Fig.11. Relation between cooling rate and casting soundness
(C.E = 4.4~4.5, pouring temp, 1300 ℃)

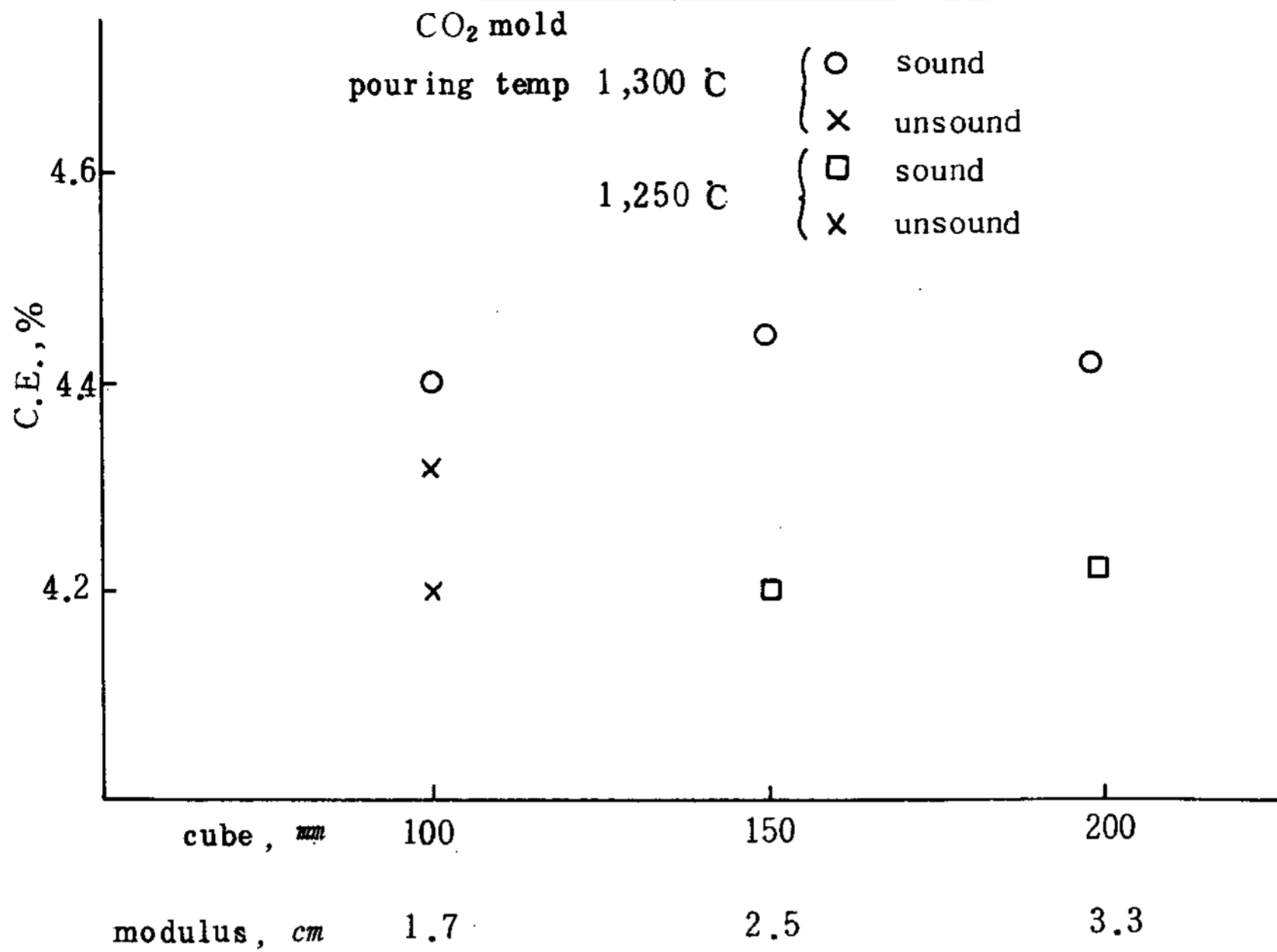


Fig.12. Effect of cooling rate on casting soundness

결과는 탄화물의 생성이 억제되고 액체수축과 팽창이 적어지는 응고양식을 따라 응고가 진행되며 이차수축을 보상하는 내부압력이 생성되는 것에 기인하는 것으로 사료된다.⁵⁾

4. 결론

구상흑연주철의 주조회수를 향상방안의 일환으로 무압탕 주조기술에 관하여 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 화학성분, 주입온도, 주형건고성 및 냉각속도가 중요한 주조조건으로 확인되었다.
2. 화학성분은 공정조성이상 이어야 하며 과공정조성으로 갈 수록 건전한 주조품을 용이하게 얻을 수 있었다. 특히 탄소함량은 3.7% 이상 이어야 한다.

3. 주입온도가 낮으면 낮을수록 건전한 주조품을 얻기가 용이하며 C.E 값이 4.4% 이상인 과공정조성에서는 1350 °C 이하의 주입온도에서 건전한 주조품을 얻을 수 있었고, C.E 값

이 4.3% 미만에서는 1200 °C에서 주입하여도 건전한 주조품을 얻는 것이 용이하지 않았다.

4. 주조품의 건전성을 주형건고성에 의해 좌우된다. 생형에 비하여 건조형을 사용하였을 때 주조품의 건전한 정도가 많이 개선 되었으나 완전히 건전한 주조품을 얻을 수 없었고 CO₂ 주형에 의해 완전히 건전한 주조품을 얻을 수 있었다. 건고한 주형인 세멘트주형을 사용하였을 때 주입온도 1250 °C 이상에서는 건전한 주물을 얻기가 용이하지 않았다.

5. 주물두께 (냉각속도) 150 mm (모듈 2.5 cm) 이상의 육면체에서 건전한 주조품을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- 1) R.C. Shnay & S.L. Gertsman, A.F.S Trans. Vol 62, (1954) P.314~32,
- 2) R.C. Shnay, A.F.S. Trans. Vol 63. (1955) P.293~294

- | | |
|---|---|
| 3) S. Engler & H.J. Wojtas, Giesserei
Forschung, 31Heft 1,(1979) | P. 96~102 |
| 4) M.J. Cough & J.Morgan, A.F.S.
Trans. Vol 84, (1976)P. 351~384 | 12) 일본주물협회, 주물편람, 1977. P.1119 |
| 5) S.I. Karsay, Ductile Iron III Gating
and Risering, Quebec Iron and
Titanium Co. 1981. | 13) M. Taffazzoli & V. Kondic, A.F.S
International Cast Metals Journal,
(Dec. 1977)P. 41~47 |
| 6) S.I. Karsay, Gating and Risering
Gray and Ductile Iron Casting, Ferr-
ous Foundry Consulting Co. 1972. | 14) C.E Rates, G.L. Oliver & R.H.
Mcswain, A.F.S Trans Vol 85,
(1977)P. 289~298 |
| 7) S.I. Karsay, Giesserei, Vol 67. Nr2.
(Jan. 1980) | 15) C.E. Bates & B. Patterson, A.F.S
Trans. Vol 87 P. 25~36 (1979) |
| 8) S.I. Karsay, Ductile Iron Practices.
A.F.S. 1975 | 16) C. Reynolds, J. Maitre & H. Taylor
A.F.S. Trans. Vol.50 (1957).
P. 386~390 |
| 9) S.I. Karsay, Ductile Iron Producti-
on I. Quebec Iron and Titanium Co.
1976. | 17) R.C. Shnay & S.L. Gertsman, A.F.S
Trans. Vol 64. (1956)P. 271~282 |
| 10) M. Taffazzoli & V. Kondic, Foun-
dry, (Dec.1976)P. 86~92 | 18) K.E.L. Nicholas, BCIRA Journal,
Vol 7, (1956)P. 605~623 |
| 11) R.W. White, Foundry, (March, 1960) | 19) 일본종합주물센타 연구보고 80. 구상흑
연주철의 수축과 화학성분, 주조방안의
연구. |

AFS Technical Publication For Sale

(2)

	Non Member	AFS Member
Energy & the Foundry	\$ 24.00	\$ 12.00
The Application of Additives to Clay Bonded Sand Systems ...	\$ 30.00	\$ 15.00
Chemical Binders in Foundries	\$ 36.00	\$ 36.00
Core and Mold Process Control	\$ 30.00	\$ 15.00
Foundry Core Practice	\$ 24.00	\$ 12.00
Furan-Resin Airset Sands	\$ 22.00	\$ 11.00
Guide to Sand Additives	\$ 30.00	\$ 15.00
High Pressure Molding Handbook (1974)	\$ 24.00	\$ 12.00
Mold & Core Test Handbook	\$ 120.00	\$ 60.00