

技術資料

구상흑연주철의 무압탕 방법

金錫元

Riserless method for Ductile Cast Iron

S.W. Kim

1. 서론

구상흑연주철의 사용범위는 제조방법의 다양화와 강인화 방법의 연구가 활발해지고 주조기술의 발달에 따라서 점차 증가하고 있다. 우리나라 중소기업에서도 고급주물의 생산계획에는 반드시 구상흑연주철도 포함되어 있는것이 대부분의 회사의 실정이기도 하다. 구상흑연주철의 제조는 오랜 회주철 제조의 경험에서 볼때 주강보다 수축이 더 크므로 압탕을 설치해야 된다는 이론과 흑연이 정출되어질때 체적팽창이 수축을 보상하므로 압탕을 세우지 않아도 건전한 주물을 제조할 수 있다고 생각하는 두가지 면이 있다. 구상흑연주철을 생산할때 항상 압탕을 설치하면 주조수율의 저하는 물론 경제적인 면에서도 불이익을 초래하며 부적합한 압탕의 설치로 인해 오히려 품질에 여러가지 나쁜 현상이 초래되는 것을 주조 기술자는 종종 보게된다. 즉 압탕의 설치방법을 바르게 알고 압탕을 설치하면 주조품의 품질향상에 기여하지만 잘못된 습관이나 부적당한 압탕은 오히려 주조품의 품질에 나쁜 영향을 주게된다.

본 기술자료에서는 구상흑연주철 제조시 압탕을 세우지 않고 건전한 주물을 얻을 수 있는 방법에 대하여 이론적으로 검토해보고 압탕 설치시 발생할 수 있는 여러가지 문제점을 검토하여 보고자 한다.

2. 구상흑연주철의 응고특성

모든 금속은 응고과정중 체적이 수축하는 응축계 금속과 체적이 팽창하는 비응축계 금속의 두 종류로 나눌 수 있다. 응축계금속은 액상에서 고상으로 될때 전반적으로 3단계 수축을 일으킨다. 첫째는 액상수축, 둘째는 응고수축, 셋째는 고상수축이다.

주조시에 세가지 종류의 수축 가운데 액상수축과 응고수축은 필요한 용탕을 외부에 압탕을 설치하여 보충해주고 고체수축은 주물자를 이용하게 된다. 그림 1은 주조용 합금의 일반적인 응고양상을 나타낸다. 그러나 구상흑연주철의 응고특성은 좀더 복잡하다. 금속의 응고형태는 용융상태에서 열을 동시에 방출하고 응고온도에 도달하는 순간 주물 전체에 걸쳐서 응고가 진행되는 고액공존형응고(mushy-type solidification)와 주입 직후부터 주형 표면에서 얇은 응고층이 형성되어 내부의 온도가 낮아짐에 따라서 응고되는 표피생성형응고(skin formation type solidification) 두 종류의 응고양상이 있다.

구상흑연주철은 전자의 응고형태이기 때문에 응고범위가 넓어서 수축시 보상하기 힘들고 또한 수축과 팽창이 동시에 일어나는 금속재료이다.

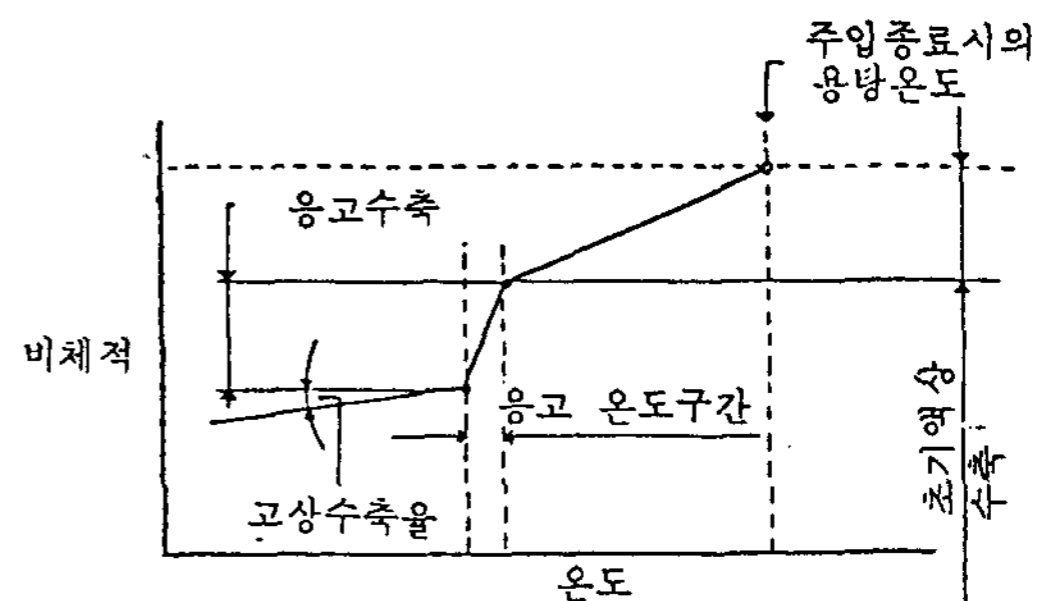


그림 1 주조용 합금의 일반적인 응고양상. 체적 (cm³)

모든 주조 금속중에 특히 구상흑연주철은 응고수축하면서 공정흑연의 정출과정에서 팽창이 일어나기 때문에 흑연공정 정출형의 구상흑연주철은 냉각 응고중에 팽창한다. 구상흑연주철 및 회주철 주물에 대한 체적변화의 일반적인 개략도는 그림 2에 나타낸다.

그림에서 알 수 있듯이 어떤 온도에서 용탕이 냉각되면 수축이 일어나고 그 량은 a₁ 이나 a₂ 또는 그

* 全北大學校 工科大學 教授

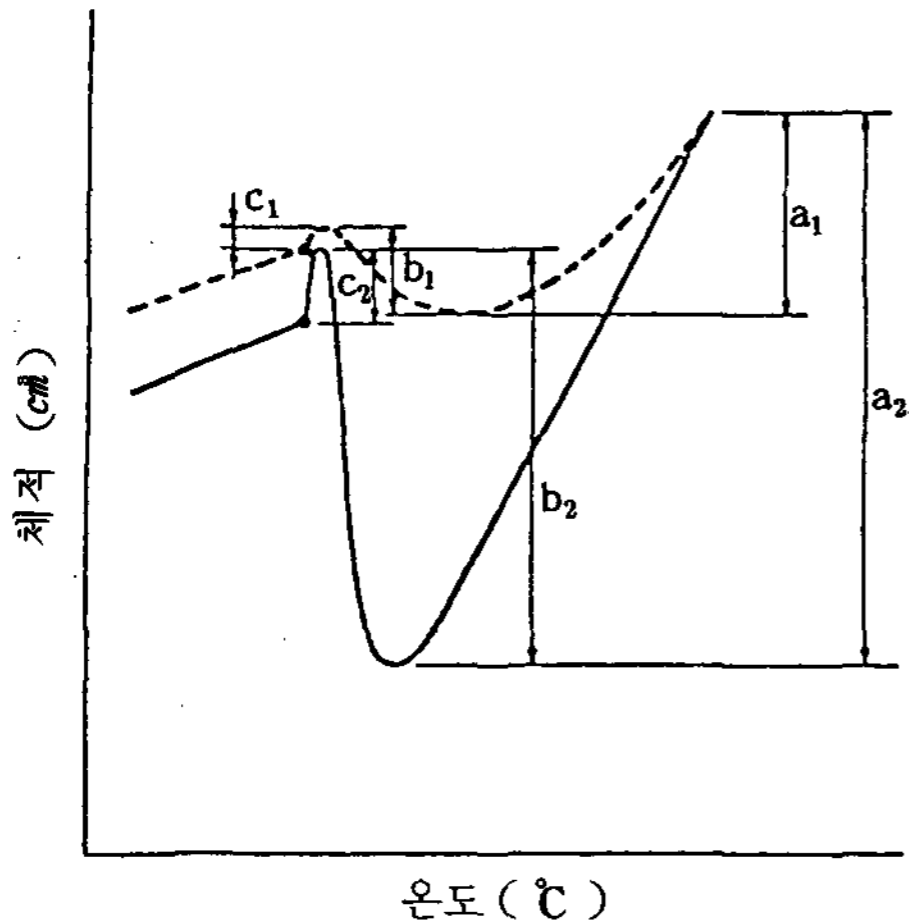


그림 2 구상흑연 및 회주철 주물의 체적변화의 일반적인 양상.

a) 액상수축 b) 팽창 c) 2차 수축

중간 값이 된다. 수축할 때와 같이 흑연의 팽창량은 b_1 과 b_2 사이, 2차 수축량 c_1 과 c_2 의 사이에 있거나 그 이상의 값이 된다.

Reynold은 구상흑연주철의 응고특성과 수축을 검토하였는데 수축을 방지하기 위해서 다음과 같이 보고하고 있다.

즉, 용탕의 보급량이 주로 다음과 같은 4개의 요인에 의해서 결정된다. (1)용탕의 액체수축 (2) 흑연의 정출에 의한 팽창 (3)응고수축 (4)주형의 강도(주형벽의 이동)

여기서 팽창의 원인은 액체와 흑연의 밀도차이로 전자의 밀도는 약 $9 g/cm^3$ 이고 후자는 $2.2 g/cm^3$ 이기 때문이다.

여기서 용탕의 액체수축과 응고수축을 충분히 상쇄할 수 있는 흑연의 정출이 이루어질 경우에는 압탕을 설치하지 않아도 건전한 주물제작을 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이 이론은 C.W Gilchrist, Kondic 및 Karsay의 연구결과 구상흑연주철의 무압탕의 방안이 제안되고 현재 그 방안이 많이 이용되고 있다.

3. 무압탕의 이론과 원리

무압탕방법은 앞에서 서술한 바와 같이 구상흑연주철의 제조시 용탕을 주입하여 응고완료시까지의 용탕의 체적변화를 면밀히 검토하여 수축을 없게 하므로써 이루어 질 수 있다는 순수한 이론에서 부터 출발한다.

Karsay는 그의 연구결과에서 두꺼운 주물을 주입하거나 또는 야금학적으로 좋은 구상흑연주철 용탕은 $1300^\circ C \sim 1350^\circ C$ 에서 부터 팽창을 시작한다고 하였다. 따라서 이 온도 이하에서는 주입된 용탕의 팽창은 벌써 수축을 보상하게 되므로 압탕을 세울 필요가 없다고 주장하는 반면 이에 생기는 팽창은 용탕으로 부터 응고중에 흑연의 정출에 기인한다고 생각하는 이론도 있다. 여기서 후자의 이론에 근거하여 구상흑연주철을 주형에 주입한 때부터 주형내에서 완전히 응고할 때까지 변화되는 체적변화와 응고시 흑연 정출량의 변화에 대해서 검토한다.

3.1 용탕주입후 부터 응고까지 체적변화

주철 용탕의 체적변화의 차이는 2가지 요인으로 생각할 수 있다. a) 냉각 및 응고속도 b) 주조합금의 야금학적 성질과 상태

냉각 및 응고속도에 의해서 구상흑연주철의 기지조직의 변화에 따라 ferrite가 지배할 때와 pearlite 또는 martensite가 지배할 때의 각각의 수축량은 서로 다르며 흑연의 팽창과 흑연의 입수도 다르기 때문에 체적변화에 큰 영향을 주게 된다. 또한 야금학적 견지로 볼 때 austenite - 철 탄화물계보다 austenite - 흑연쪽으로 응고가 진행될 수록 체적변화는 크게 된다. 이 이유는 탄화물과 흑연의 밀도차이 때문이다. 주철은 용해한 후 주입을 하면 온도의 강하에 따라서 액상에서의 체적수축은 자연적인 현상으로서 자료에 의하면 주철의 액체수축율은 $0.016\% Vol / ^\circ C$ 부터 $0.0245\% Vol / ^\circ C$ 로 수축을 일으키고 액상온도에서 초정흑연(또는 초정 austenite)의 정출이 시작되면 온도저하에 의한 수축 이외에 팽창(또는 수축)을 수반하면서 공정온도까지 온도가 강하하고 드디어 공정응고를 개시한다. 공정응고를 하는 동안 흑연의 생성과 austenite의 변태로 인해서 체적의 팽창과 수축이 동시에 일어나며 팽창의 원인은 흑연과 액체와의 밀도차이로, 수축은 액체와 austenite와의 밀도차이 때문이다. 주철의 화학성분중에 탄소의 성분을 C_x 로 하고 주입으로 부터 응고까지의 단계별로 팽창과 수축의 양을 계산하기 위해서 그림 3에 철 - 탄소 상태도에 의해 이론적으로 계산하여 보자. 단계별로 액체에서 응고까지의 팽창 수축은 ①액체의 수축량 ②초정흑연의 팽창량 ③공정응고시 흑연에 의한 팽창량 ④공정응고시의 austenite에 의한 수축량이 될 것이다.

그림 3에 의해서 C_E, C_F 를 각각 공정점의 탄소농도,

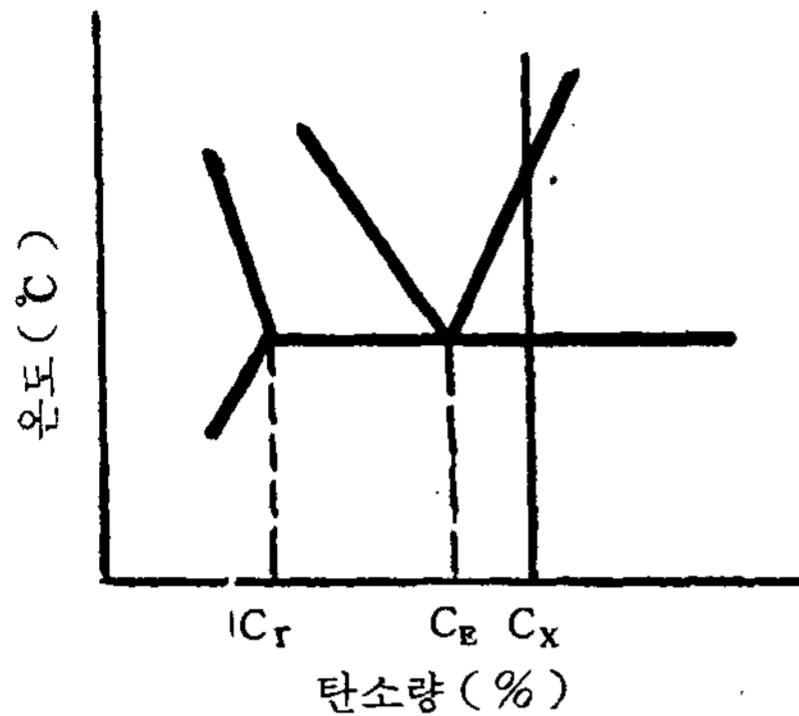


그림 3 철 - 탄소 평형상태도

austenite 중의 최대 고용탄소량이라고 하면 이들을 각각 식(1)과 식(2)로부터 구할 수 있다.

$$C_e = 4.27 - 1/3 S_i \quad (1)$$

$$C_r = 2.045 - 0.178 S_i \quad (2)$$

또는 (1)', (2)' 로써도 구할 수 있다.

$$C_e = 4.3 - 1/3 S_i \quad (1')$$

$$C_r = 2.1 - 0.217 S_i \quad (2')$$

(1), (2)식은 B, Hoched 등의 주장이고 (1)' (2)' 는 R. W. Heine 등의 주장이다. 공정 용액량 (V_L), 초정 흑연량 (G_P)은 각각 (3), (4)식에 대입하여 구한다.

$$V_L = \frac{100 - C_x}{100 - C_e} \times 100 (\%) \quad (3)$$

$$G_P = \frac{C_x - C_e}{100 - C_e} \times 100 (\%) \quad (4)$$

또는 공정 용액으로 부터 (5)식, (6)식의 비율로 흑연 (G_e) 및 austenite(r)가 정출한다.

$$G_e = \frac{C_e - C_r}{100 - C_r} \quad (5)$$

$$r = \frac{100 - C_e}{100 - C_r} \quad (6)$$

사실상 액체의 수축량은 화학성분 또는 용탕의 성질에 따라 다르므로 같다고 볼 수 없지만 대체로 문헌을 통해서 고찰해 보면 1.5% / 100°C 라고 하며 austenite의 정출에 따른 수축율은 용탕의 응고시와 동일하게 보면 약 3.5%이다. 흑연 정출에 의한 팽창량을 계산하기 위해 austenite의 비중을 7.66, 흑연의 비

중을 2.25로 하면 흑연과 austenite의 비중의 차는 7.66/2.25로 austenite가 흑연보다 3.4 배나 비중이 크다.

이상과 같은 여러가지 이론적인 것을 고려하고 주철의 용탕이 주입에서부터 응고완료까지의 각 상에 의한 수축과 팽창을 (7)식에서 (10)식까지에 의하여 계산해 본다.

액체 수축량

$$(S_L) = 1.5 (T_p - 1150) / 100 (\%) \quad (7)$$

초정흑연에 의한 팽창량

$$(E_{GP}) = 3.4 \times \frac{C_x - C_e}{100 - C_e} \times 100 (\%) \quad (8)$$

공정 austenite에 의한 수축량

$$(S_r) = \left(1 - \frac{S_L}{100}\right) \times \frac{100 - C_x}{100 - C_e} \times 3.5 (\%) \quad (9)$$

공정흑연에 의한 팽창량

$$(E_{Ge}) = \left(1 - \frac{S_L}{100}\right) \times \frac{100 - C_x}{100 - C_e} \times \frac{C_e - C_r}{100 - C_r} \times 100 \times 3.4 (\%) \quad (10)$$

이 된다. T_p 는 주입온도 (°C)를 표시한다. S_L , E_{GP} , S_r , E_{Ge} 의 총계에 의해 주입으로 부터 응고완료까지 수축과 팽창의 차이에 의해서 팽창이 크다고 판정되면 우선 압탕설치 없이 주조할 수 있는 용탕이라고 보면 된다. 구상흑연주철은 일반적으로 공정이나 과공정 조성을 선택해서 용해하기 때문에 각각의 조성에서 각 주입온도를 1400°C, 1350°C, 1300°C로 할 때 체적변화가 어떻게 되는 지를 계산한 결과는 표 1과 같다. 1400°C에서는 CE 값이 4.5 이하에서 수축량이 팽창량보다 크게 되고 CE 값이 4.6 이상이 되면 반대로 팽창량이 크게 된다. CE 값이 클수록 수축량이 적게 된다. 1350°C에서도 CE 값이 4.4 이상에서 팽창의 폭이 크게 되고 1300°C에서도 CE 값이 4.4 이상 되면 팽창이 크게 된다. CE 값이 4.3에서도 S_i 를 낮추고 탄소량을 올리면 3.6% C, 2.1% S_i 에서 팽창이 수축보다 크게 된다. 이와 같은 흑연의 팽창은 주형의 강도가 크면 클수록 효과적일 것이다. 두꺼운 제품의 주조시 CE 값이 높을 수록 응고속도가 느리기 때문에 탄소가 초정 흑연으로 정출되지 않고 carbon dross로 부상한다. 이 결과 탄소의 소멸로 인하여 탄소의 흑연화 정출이 적기 때문에 팽창이 충분히 일어나지 않게 된다. 따라

CE 值	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7
(C, Si)	(3.6, 2.1)	(3.4, 2.4)	(3.6, 2.4)	(3.6, 2.7)	(3.7, 2.7)	(3.8, 2.7)
C _r	1.67	1.62	1.62	1.56	1.56	1.56
C _z	3.57	3.47	3.47	3.37	3.37	3.37
T _p =1,400 °C						
① S _L	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75
② E _{Cp}	+0.11	+0.11	+0.46	+0.81	+1.16	+1.51
③ S _r	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.29
④ E _{Cs}	+6.32	+6.15	+6.15	+6.00	+6.00	+5.99
①+②+③+④	-0.62	-0.79	-0.44	-0.24	+0.11	+0.46
①+③+④	(-0.73)	(-0.90)	(-0.90)	(-1.05)	(-1.05)	(-1.05)
T _p =1,350 °C						
① S _L	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00
② E _{Cp}	+0.11	+0.11	+0.46	+0.81	+1.16	+1.51
③ S _r	-3.33	-3.33	-3.33	-0.32	-3.32	-3.32
④ E _{Cs}	+6.37	+6.20	+6.19	+6.05	+6.04	+6.04
①+②+③+④	+0.15	-0.02	+0.32	+0.54	+0.88	+1.23
①+③+④	(+0.04)	(-0.13)	(-0.14)	(-0.27)	(-0.28)	(-0.28)
T _p =1,300 °C						
① S _L	-2.25	-2.25	-2.25	-2.25	-2.25	-2.25
② E _{Cp}	+0.11	+0.11	+0.46	+0.81	+1.16	+1.51
③ S _r	-3.35	-3.36	-3.35	-3.35	-3.35	-3.34
④ E _{Cs}	+6.42	+6.25	+6.24	+6.10	+6.09	+6.08
①+②+③+④	+0.93	+0.75	+1.10	+1.31	+1.65	+2.00
①+③+④	(+0.82)	(+0.64)	(+0.64)	(+0.50)	(+0.49)	(+0.49)

표 1 탄소당량 값과 주탕온도에 의한 주탕으로 부터 응고 완료까지의 체적변화

서 두께가 두꺼운 제품의 제조시 CE값이 높으면 높을 수록 흑연의 팽창이 저하된다. 이와 같은 관계를 그림 4에 나타내었다. 두꺼운 제품에서는 응고의 진행과정 중 초정흑연으로 되지 않는 탄소량이 많다고 볼 수 있으므로 초정흑연 정출에 의한 팽창을 제외하고 표에서 ①+③+④를 값이 커질수록 팽창을 기대하기 어렵고 그대신 표 1의 계산으로부터 CE값이 4.3과 4.4에서 가장 최적이라는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이론적 계산치는 실제적인 경험과 잘 일치하고 있다. 그림 4에서도 CE값이 4.3 정도에서 상당량의 체적증가가 있는 것을 알 수 있다. 초정흑연에 의한 팽창을 제외한 경우 CE값이 4.3 (3.6% c, 2.1% si)인 경우를 제외하고는 1350 °C에서는 수축의 폭이 팽창보다 약간 크고 1300 °C에서는 초정흑연에 의한 팽창을 무시하고도 팽창이 수축을 상회한다.

이상의 이론적 계산에서 알 수 있는 바와 같이 수축을 적게 하기 위해서는 용탕의 수축량을 적게해야 하며, CE값이 높고 주입온도가 낮을수록 수축이 적다는 것을 알 수 있다. 단, 두꺼운 제품일 경우에는 초정흑연이 발생치 않고 carbon dross가 생김으로서 초정흑연으로 인한 팽창을 기대할 수 없기 때문에 CE값이 낮으면 좋다. 즉, chill이 발생치 않는 범위에서 조정하여 CE값을 낮추고 같은 CE값에서도 될 수 있는 한 S_i를 낮추고 C를 높이는 것이 바람직하다.

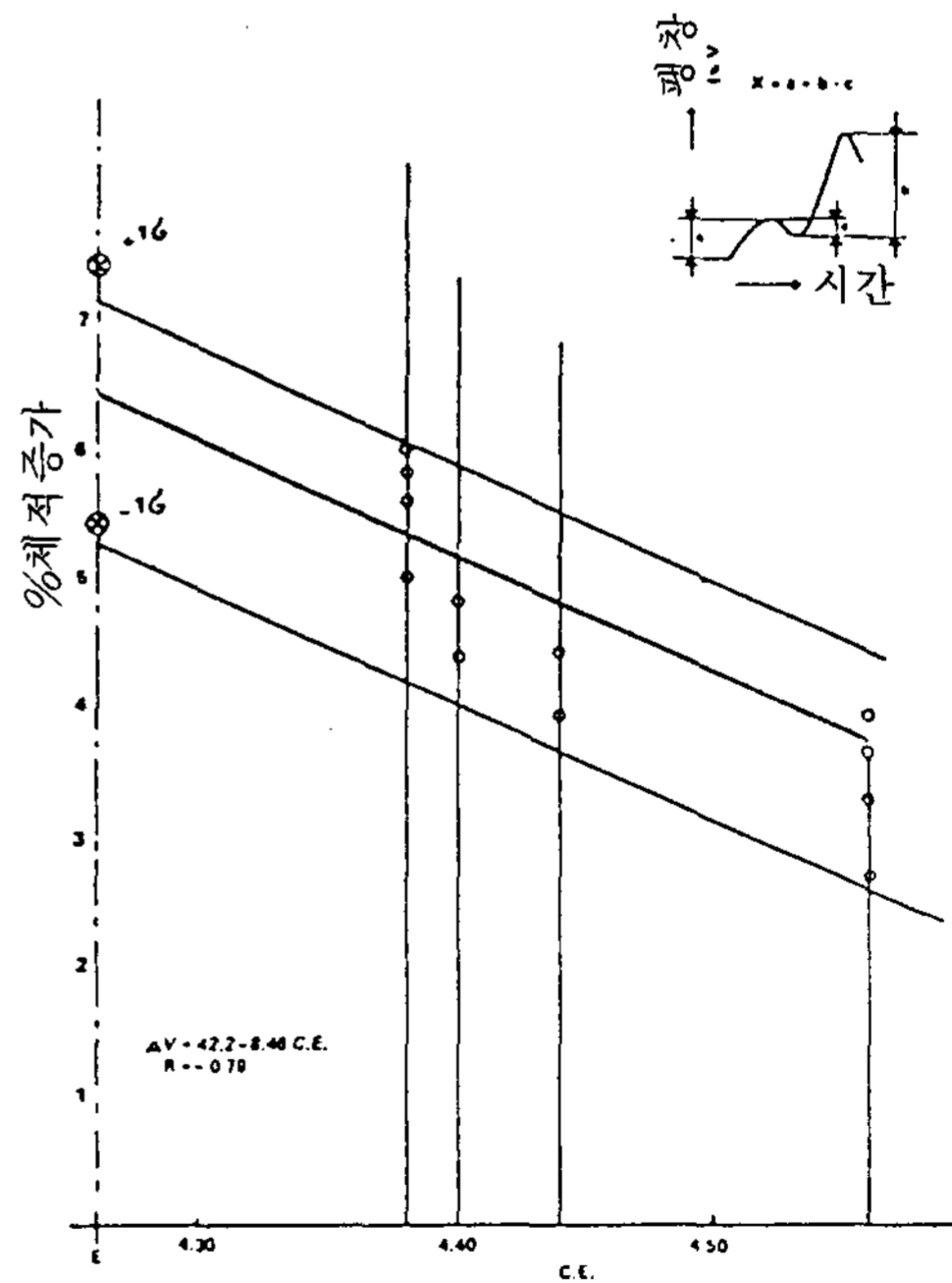


그림 4 팽창의 정도와 탄소당량과의 관계

3.2 응고시 흑연 정출량의 변화.

지금까지 논의한 것은 평형상태도에 근거하여 흑연이 전부 정출한다는 가정하에 계산된 것이다. 실제로는 용탕의 성상이나 제품의 두께, 응고속도의 차이에

따라 응고과정중에 정출되는 흑연량이 서로 다를 것이다. 그림 5는 흑연면적율과 응고속도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 5로 부터 응고 종료시의 흑연 면적율은 응고시간이 길게 되면 처음에는 급격히 흑연면적이 증가하다가 응고시간이 23분 이상이 되면 포화되어 일정치에 이른다.

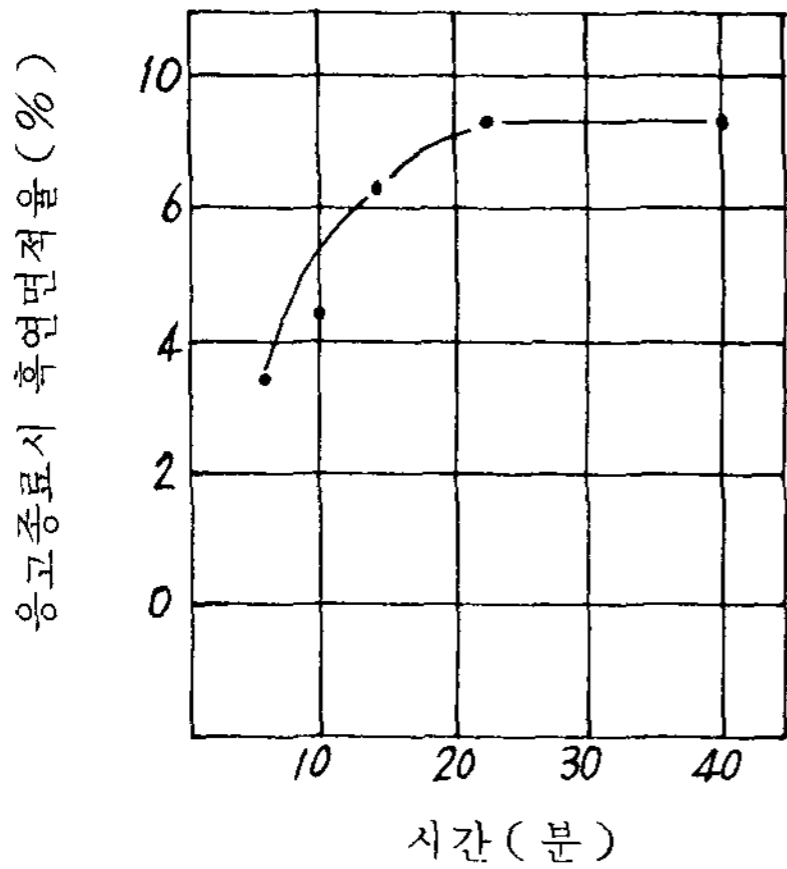


그림 5 흑연면적율과 응고속도관계

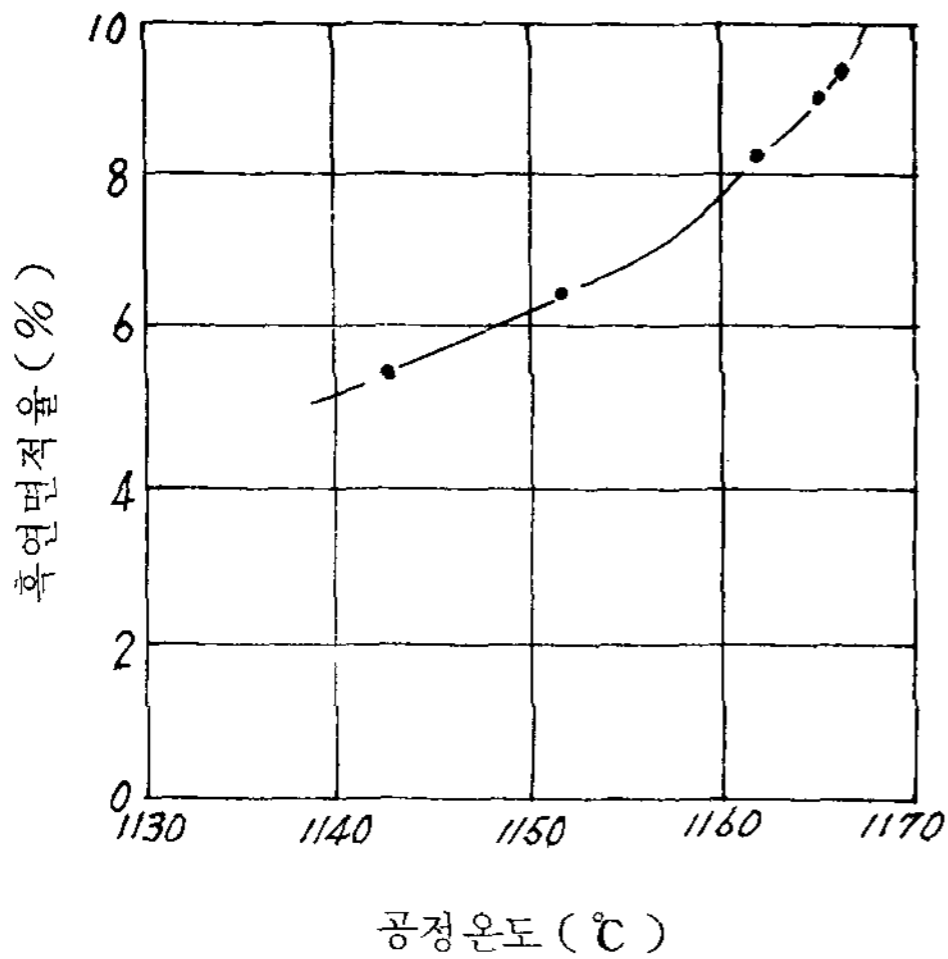


그림 6 흑연면적율과 공정온도 관계

그림 6에는 공정온도와 응고종료시의 흑연 면적율과의 관계를 나타낸다.

그림 6에서 알 수 있듯이 응고종료시 흑연 면적율은 공정온도가 높으면 높을수록 증기된다. 그러므로 화학성분을 조정하여 공정온도를 될수 있는 데로 올리

면 좋다. 공정온도는 주로 Si가 증가하면 상승되므로 될수 있는 한 Si량을 2.0%이상의 화학조성이 되도록 선택해야 된다. 그림 7에서는 급냉온도에 따라서 흑연 면적율이 어떻게 변화되는지를 나타낸다. 그림 7에서 Ca계 구상화처리와 Mg계 구상화처리를 하였을 때 흑연 면적율을 나타내었다. 그림 7에서 알 수 있듯이 Mg계 처리의 구상흑연주철 보다 Ca계 처리가 흑연 면적율이 크며 일반적으로 Ca계 처리에서는 900°C, Mg계 처리에서는 800°C의 급냉온도에서 급격히 흑연생성이 저하된다.

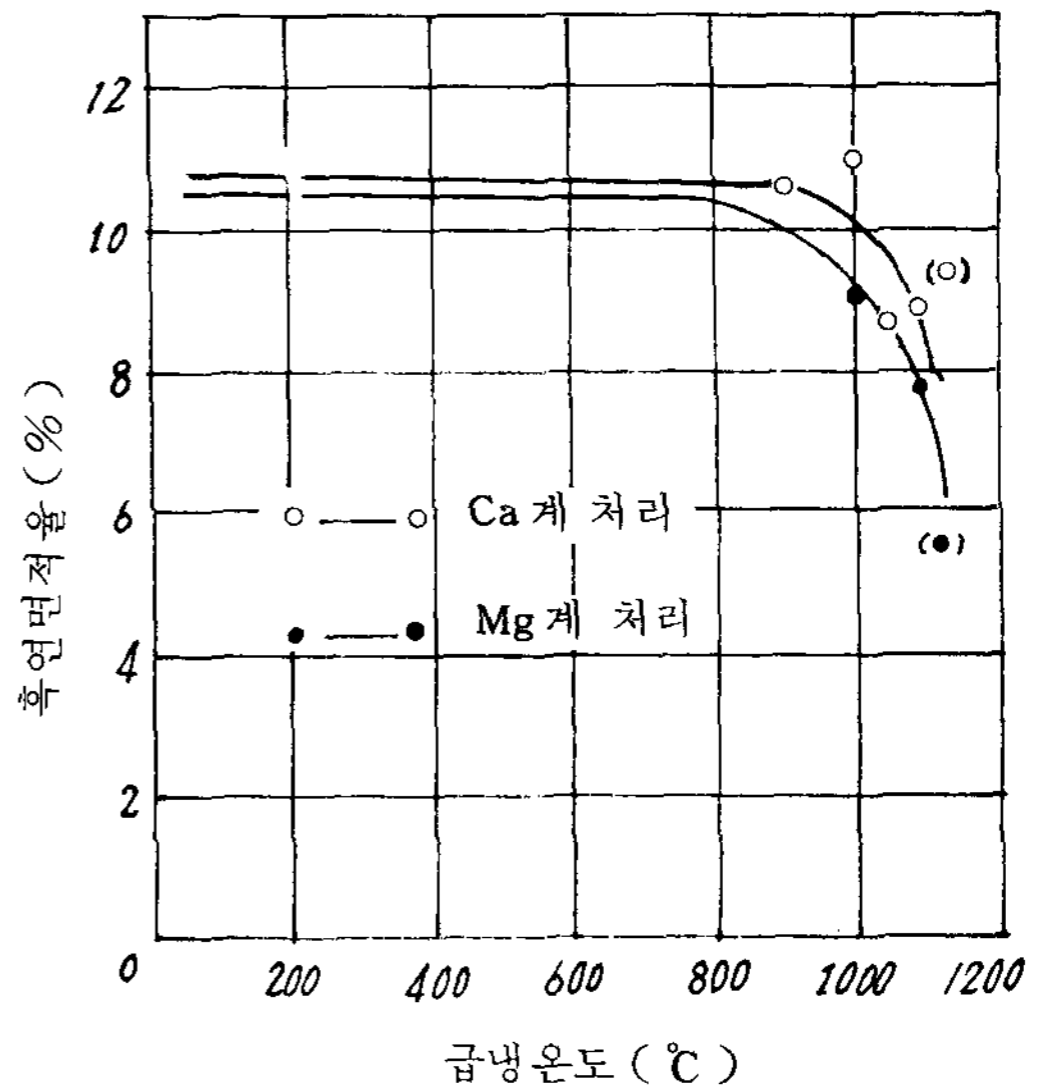


그림 7 흑연면적율과 급냉온도와의 관계

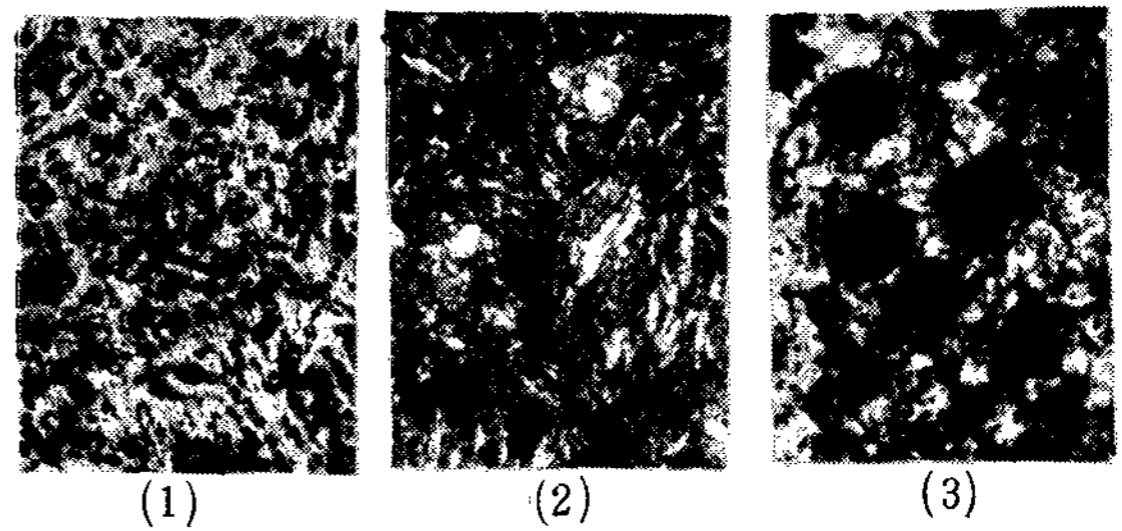


사진 1 급냉에 의한 흑연의 분포의 현미경 사진

- (1) 1200°C 급냉
- (2) 1050°C 급냉
- (3) 800°C 급냉

Photo 1은 저자가 직접 급냉단속법으로 실험한 결과로서 a)는 1200℃에서 구상흑연주철을 급냉한 사진이고 b)는 1050℃에서 c)는 820℃에서 급냉한 조직사진이다. a)는 흑연생성을 위한 embryo의 분포상태이고 이것이 b)에서는 공정반응에 의하여 흑연이 증가되었고 c)에서는 상당히 증가된 것을 알수 있다. 이와 같이 급냉온도에 따라서 흑연의 정출량이 달라진다. 그림 8에서는 modulus와 흑연 면적율의 관계를 나타내고 있다. 그림 8에서 M=2.5 이상에서는 흑연 면적율이 일정치로 포화되어 있다. M이 2.5 cm (1인치) 이상의 경우에는 표 1의 수축 팽창의 계산 결과와 거의 일치하고 있다.

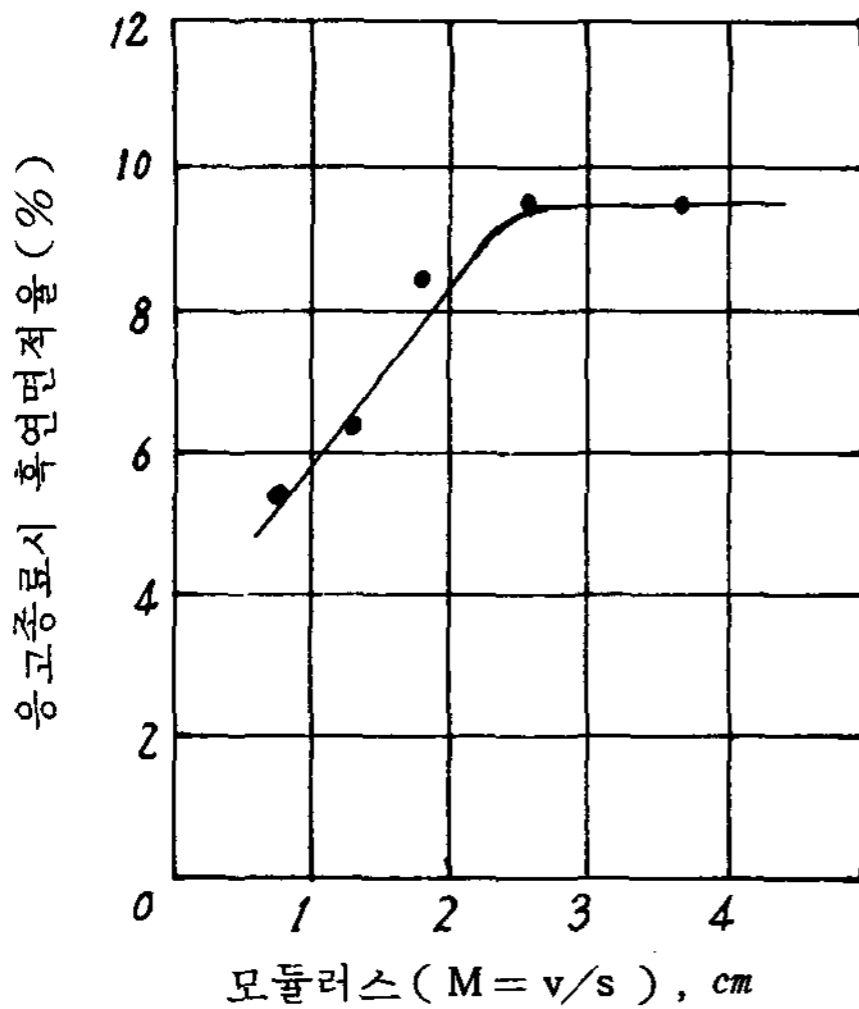


그림 8 흑연면적율과 모듈러스와의 관계

4. 무압탕의 기본조건

지금까지 살펴본 바와 같이 수축 팽창 가운데 수축보다 팽창의 요인을 인위적으로 크게 조절할 수 있다면 무압탕으로도 건전한 주물을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 화학성분, 조형 및 구조방안의 설계시 이점을 고려하여 설계하면 무압탕방법이 가능할 것이다.

4.1 모듈러스 (Modulus)

구상흑연주철의 응고 냉각속도는 조형의 열적성질, 합금의 종류, 주입온도 및 주물의 형태에 크게 좌우된다.

여기서 주형의 성질과 주입온도가 일정하다고 하면

냉각 및 응고속도는 주물의 형상에 크게 영향을 받게 된다. 주물의 크기의 효과는

$$\frac{\text{주물의 체적}}{\text{전체 열방출 표면적}} \approx \frac{\text{주물의 체적}}{\text{주물의 표면적}}$$

의 비율을 모듈러스 (Modulus)라고 부르고, 단위는 cm이다. 모듈러스가 크다고 한다면 주물표면적이 주물체적보다 상대적으로 적어 응고속도가 늦게 된다. 응고속도가 늦으면 늦을수록 흑연정출이 많아서 팽창의 요인이 크게 된다. 이러한 사실로 미루어 볼때 무압탕의 첫째조건은 흑연의 정출에 의한 팽창의 요인을 크게 하기 위해서 응고속도를 늦추고 모듈러스가 커야 된다. Karsay나 Greensboro 등에 의하면 모듈러스는 적어도 2.5cm 이상일 경우에 무압탕의 조건이 된다고 한다.

4.2 용탕의 성상

용탕의 성상이 양호하다고 하는 것은 흑연화가 양호하고 chill 발생이 적어야만 응고수축이 억제되며 팽창의 폭이 크게 될 것이다. 흑연의 정출을 저해하는 Cr, Mn 등은 최소로 억제하여야 하며 C, Si 등을 높게 하여줄 필요도 있다. 또한 구상화처리의 과다로 인해서 cementite 발생을 적극 억제하여야 하며 구상화처리시 Ca계 구상화제가 Mg계 구상화제보다 흑연화를 조장하므로써 Ca계 구상화제를 사용함이 바람직하다.

4.3 주입온도

주입온도가 높으면 높을수록 응고속도가 크게 되고 액체수축의 증가로 흑연정출에 의한 팽창의 요인을 억제하므로 될수 있는 한 용탕의 주입온도를 가능한 한 낮추어서 주입합이 바람직하다. 보통 주입온도는 1320℃±20℃가 적당하다.

4.4 탄소당량 (CE)

탄소당량은 다음식으로 표시한다.

$$\text{탄소당량 (CE)} = \text{전체탄소} + 1/3 (\text{규소}\%)$$

CE 값은 초정흑연이 발생할 수 있는 주물 제품의 두께, 즉 주물두께 50mm이하에서는 높을수록 좋지만 보통은 초정흑연 발생에 의한 팽창을 기대하지 않는 것이 주조 기술자에게는 바람직하므로 CE 값이 4.3, 4.4가 제일 적당하다.

같은 CE 값이라고 할지라도 흑연 정출을 의한 팽창을 위해서는 규소보다 탄소가 높은쪽이 바람직하다.

4.5 주형강도

야금학적으로 팽창이 큰 용탕이라 할지라도 흑연에 의한 팽창이 일어난다. 주형도 같이 팽창된다면 결국 주물내부에 수축등의 결함이 발생하게 될 것이다. 그러므로 용탕의 응고과정중에 팽창으로 인한 압력으로 인해서 주형의 팽창이 일어나지 않도록 주형강도를 높일 필요가 있다. 팽창에 의한 액체중에 발생하는 압력에 기여하는 모듈러스의 영향은 그림 9에 나타냈다. 그림 9에서 보는 바와 같이 모듈러스가 크면 클수록 주형벽에 미치는 압력이 커지므로 무압탕으로 하기 위해서는 충분한 압력에 견딜 수 있는 주형강도가 필요하다.

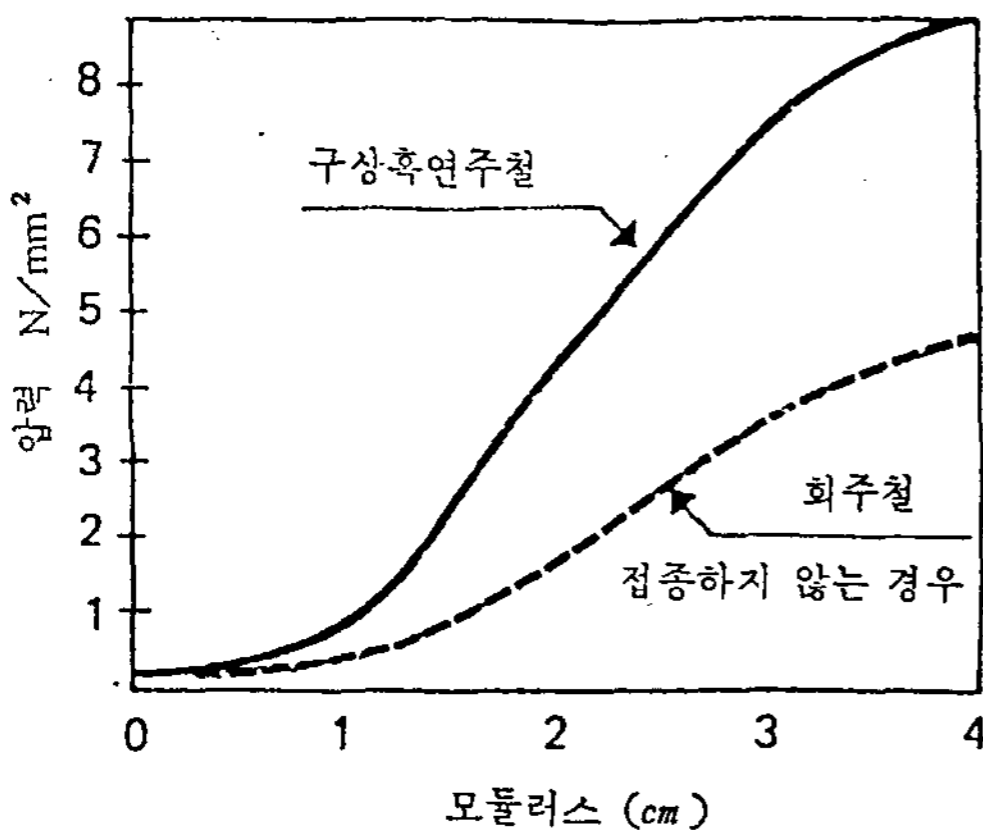


그림 9 팽창에 의하여 액체중에 발생한 압력에 기여하는 모듈러스의 영향

그림 10은 탄소량과 모듈러스 및 팽창압력과의 관계를 표시하고 있다. 결국 강한 주형재료를 선택함이 좋고 바람직한 주형으로는 건조사형, 시멘트사 주형, 유기 또는 무기점결제등을 사용하면 좋다. 주형의 체적변화는 주입후 2~3분 사이에 크게 나타나게 된다. 또한 수분이 증가하면 주형의 팽창이 커지고 석탄분 첨가는 주형의 자기팽창을 적게 해주므로써 3% sea coal을 첨가하면 매우 효과적이다. 또한 미분의 사립분을 제거해 주어야 된다.

4.6 주입구

흑연의 정출에 의한 팽창으로 인해서 주형속에 있는 용탕의 주입구를 통해서 흐름으로 진행될 경우에 주물내에 결함이 발생함으로 될수 있는 한 주입이 끝난 후에는 주입구가 빨리 응고되어 용탕의 팽창압력에 견딜

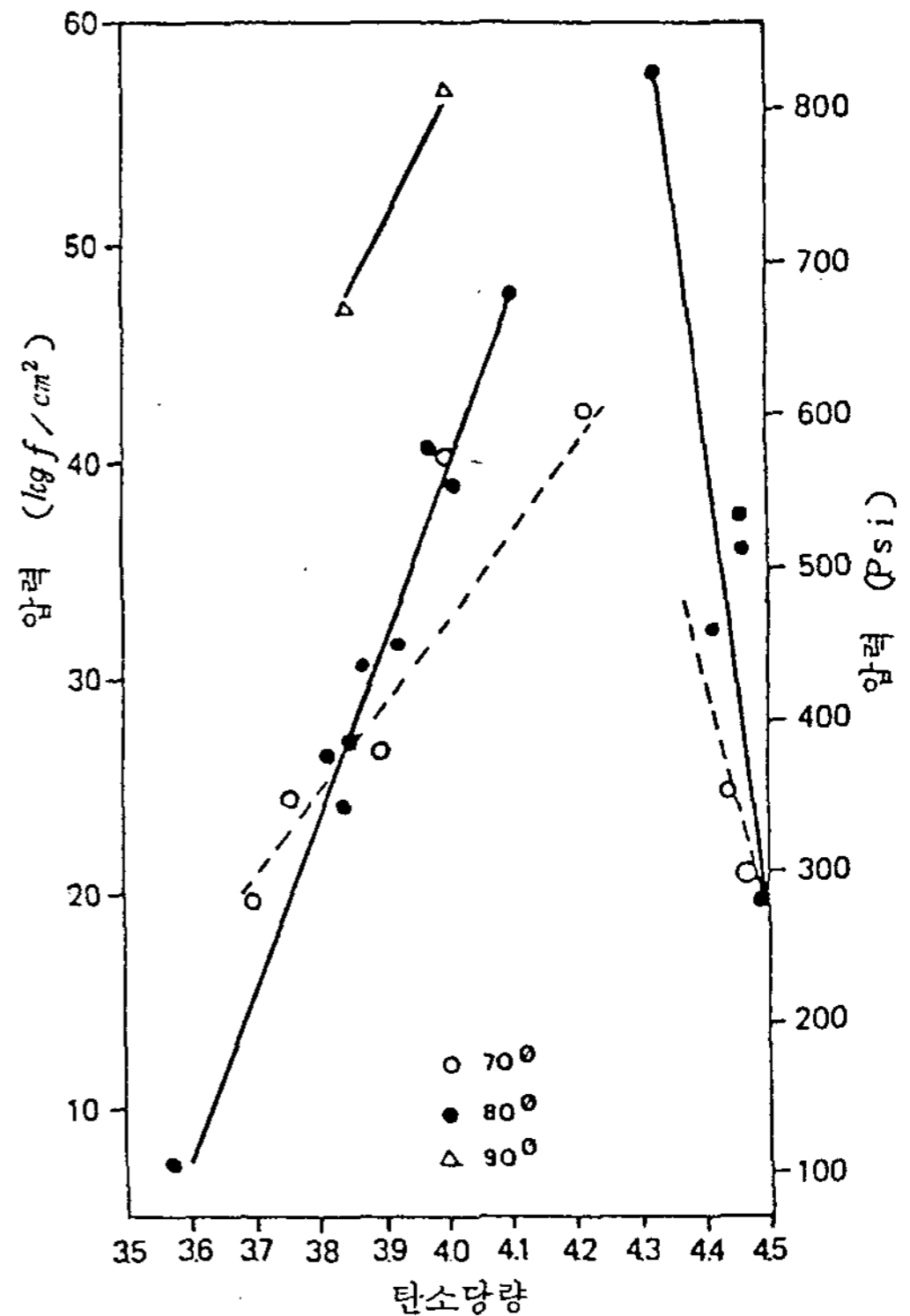


그림 10 탄소당량과 모듈러스 및 팽창압력과의 관계

수 있어야 된다. 그러므로 될 수 있는 한 주입구의 표면적이 커서 열방산으로 주입이 완료되면 속히 주입구가 응고되어야 할 것이다. 그러므로 관상의 주입구가 좋으며, 그때 주입구의 단면적으로는 가로:세로 = 3:1정도가 될 수 있도록 설계함이 좋다.

4.7 주입속도

용탕의 주입은 빠르고 조용하게 주입되도록 주입속도를 조정해 주어야 한다. 최적의 주입시간 t은 다음과 같이 계산하여 주조방안 설계를 하면 될 것이다.

$$t = \sqrt{w}$$

[t = 주입속도 (sec) w : 제품중량 (kg)]

4.8 가스 배출공

주형의 강도가 크고 주입속도가 빠르면 용탕의 응고시 발생하는 가스의 제거가 극히 어렵게 된다. 그러므로 발생하는 blow hole, pin hole을 제거하여 주기 위해서 가스 배출공 (gas venting hole)을 10~30 mm ϕ의 크기로 세워주어 용탕에서 응고중에 발생하는 가스를 제거하여 결함을 미리 방지해야 될 것이다.

4.9 dross, slag 의 혼입방지

주입시 용탕의 산화를 방지하기 위해서 세심하게 주조방안을 고려치 않으면 안된다. 즉, 탕도는 폭보다 높이를 될수록 높게 하여 적은 주입구를 통하여 용탕이 주형으로 들어갈 때 건전한 용탕만이 주입구를 통해서 들어가게 해야 한다. 탕구봉은 다음식에 만족하는 충분한 단면적을 갖도록 해야 한다.

$$A_s \geq A_G \sqrt{H/b}$$

A_s = 탕구봉의 단면적, A_G = 주입구의 단면적, H = 유효고, b = 주입구내에서 용탕의 깊이,

5. 결 론

무압탕 방안의 기본적인 이론을 최근의 문헌을 기초로 하여 가능성을 검토하였다. 상기 여러 조건이 만족할 시에는 무압탕으로 건전한 구상흑연주철을 제조할 수 있다고 생각된다. 그러나 상기 여러 조건이 충분히 만족하지 않는다면 여러가지 결함이 생기게 될 것이다. 그러므로 무압탕 방법을 채택한 후 결함이 발생하면 공장에서는 상기 여러 조건에 비추어 여러 측면으로 검토해야 될 것이다. 만약 무압탕의 원리를 이용하여 건전한 구상흑연주철을 생산한다면 다음과 같은 잇점을 얻을 수 있다.

- 1. 구조수율의 향상
- 2. 후처리 공정 감소

- 3. 생산성 향상
- 4. 종업원의 사기 앙양
- 5. 품질 향상

현재 구상흑연주철의 생산량이 더욱 향상되고 있는 현 시점에서 각 공장에 적합한 원리를 연구하여 실시하면 경제적인 측면에서 기업의 발전을 기대할 수 있을 것이라고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 張 博 : 鑄物, 55(1983), 2, 113 ~ 119
2. S. I. Karsay : 球狀黑鑄 製造法. I. (1976). QIT.
3. S. I. Karsay : 球狀黑鑄 製造法. I. (1981). QIT.
4. C. W. gilchrist : Foundry, 87 (1959), 10, 84.
5. M. Tahhazzoli, V, Kondic : AFS International Cast Metal J., 2 (1977), 12, 41.
6. N. C. Greensboro : Foundry M & T, 106 (1978), 8, 53.
7. B. Hoched : Diagrammes dequilibre-alliages Terriaires, (1978).
8. C. C. Reynolds : Inco Bulletin, (1956), 78.
9. 後藤, 相沢, 岡田 ; 鑄物, 50 (1978) 6. 345 ~ 349



회원동정

김 정 호 : 현대엔진공업(주) 이사 승진
 이 광 절 : 부산주공(주) 부장 승진
 정 해 철 : 인천제철(주) 기술개발 상무이사 취임
 천 부 권 : 범한금속(주) 이사 승진

※ 學會誌 “주조” 第 6 卷 4 號 P 290 英文題目이 印刷錯誤 訂正.

The effects of Se, CaCO and Cao addition on the ist stage graphitization of malleable Cast Iron 은 The effects of the prior microstructures on the toaghnness and strength of the austempered ductile Cast Iron 으로 정정합니다.