

논문

아공정 구상흑연주철의 Fading 거동에 미치는 탄소당량의 영향

박헌범[†] · 박상준

Effect of Carbon Equivalent on the Fading Behavior of Hypoeutectic Ductile Cast Iron

Hun-Berm Park[†] and Sang-Jun Park

Abstract

The effect of carbon equivalent on the fading behavior of hypoeutectic ductile cast iron was investigated. The carbon content was slightly increased right after graphite spheroidization treatment and remained almost constant with holding at 1,490°C after 4 minute. The residual magnesium content was decreased slowly with holding. The empirical equation expressing the relationship between this and holding time was proposed ; C = C₀ - P × t. The proportionality constant, P, was inversely proportional to carbon content.

Key words : Fading, Ductile cast iron, Residual Mg, Holding time , Carbon equivalent, Graphite spheroidization treatment.

(Received September 2, 2004; Accepted October 16, 2004)

1. 서 론

구상흑연주철은 기지에 구상의 흑연이 분산되어 있어 건조상태에서 자기유회작용이 있고[1], 진동흡수능 및 기계적 성질이 우수하여 각종 산업용부품 및 기계 구조물에 많이 사용되고 있다[2,3]. 그러나 구상흑연주철의 fading 현상으로 구상화처리 직후 시간이 지남에 따라 잔류 마그네슘의 량이 감소하고 흑연은 구상흑연, CV흑연, 편상흑연의 형태로 변화하며, 주입된 주조품의 품질 특성이 달라지게 된다. 특히 균일한 구상흑연주철의 품질로 제조하기 위하여 흑연구상화처리 직후 일정시간 내에 용탕을 주입하는 것은 작업조건에 매우 중요한 인자이다[3-5].

또한 구상흑연주철과 회주철의 중간정도를 요구하는 CV주철 제조 시에도 구상흑연주철의 fading 현상을 이용하기도 한다, 이 CV주철을 제조하기 위하여 Fading 현상을 이용할 경우에는 흑연구상화처리 직후부터 주

입시간까지의 유지시간이 매우 중요시 된다[6-9].

그러나 지금까지 fading 현상에 대하여 다수 연구한 바 있으나 탄소당량의 변화에 따라 fading 과정의 미세조직과 성분변화에 대하여 정량적으로 평가한 것은 전무한 상태이다.

본 연구에서는 아공정 조성 범위에서 탄소당량의 변화에 따라 흑연구상화처리 직후부터 흑연형태의 변화, 성분변화를 조사하고, 그 결과를 정량적으로 수식화하여 구상흑연의 fading현상을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 주조

25 kW 고주파전기유도로에 의하여 구상흑연주철선과 저탄소강을 용해하고, 용탕중 탄소함유량이 2.7~3.5 wt.%, 규소 함유량이 2.5 wt.%, 망간 함유량이 0.35 wt.%로 하여 흑연분말, 페로실리콘 및 페로망간을

천안공업대학 신소재열공정과(Department of Advanced Materials & Heat Treatment, Cheonan National Technical College, Cheonan 330-717, Korea)

[†]E-mail : gallbig@hanmail.net

Table 1. Chemical compositions of raw materials (wt.%)

Comp.Mat.	C	Si	Mn	P	S	Mg
Pig iron	3.94	1.21	0.33	0.02	0.05	—
Steel scrap	0.13	0.15	0.38	0.01	0.01	—
Fe-Si	0.12	74.85	0.07	0.01	0.01	—
Fe-Si-Mg	—	46.50	—	—	—	4.5
Graphite	99.45	—	—	—	0.08	—

첨가하였다. 1,490°C로 출탕시 래들 중에서 탈황처리를 행하고, 샌드위치법으로 Fe-Si-Mg를 첨가하여 잔류 Mg 함유량이 0.04%가 되도록 하고, 후접종제는 Fe-Si를 사용하였다. 이때 사용된 원재료의 화학성분은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

탄소함유량을 달리한 각각의 조성별로 Fe-Si-Mg으로 구상화시킨 용탕을 1,490°C의 온도로 일정하게 유지시키고, 매 4분마다 시료를 채취하여 Fig. 1과 같은 Y형의 CO₂몰드에 주입하였으며, 주탕온도 1,360~1,400°C에서 주입하였다. 이때 사용된 CO₂몰드의 통기도는 200이고, 주형표면은 흑연도형제로 도포하였으며, 주조된 시편의 화학성분은 Table 2와 같다.

2.2 성분분석

Perkin-elmer사 모델 5100인 원자흡광분석기를 이용

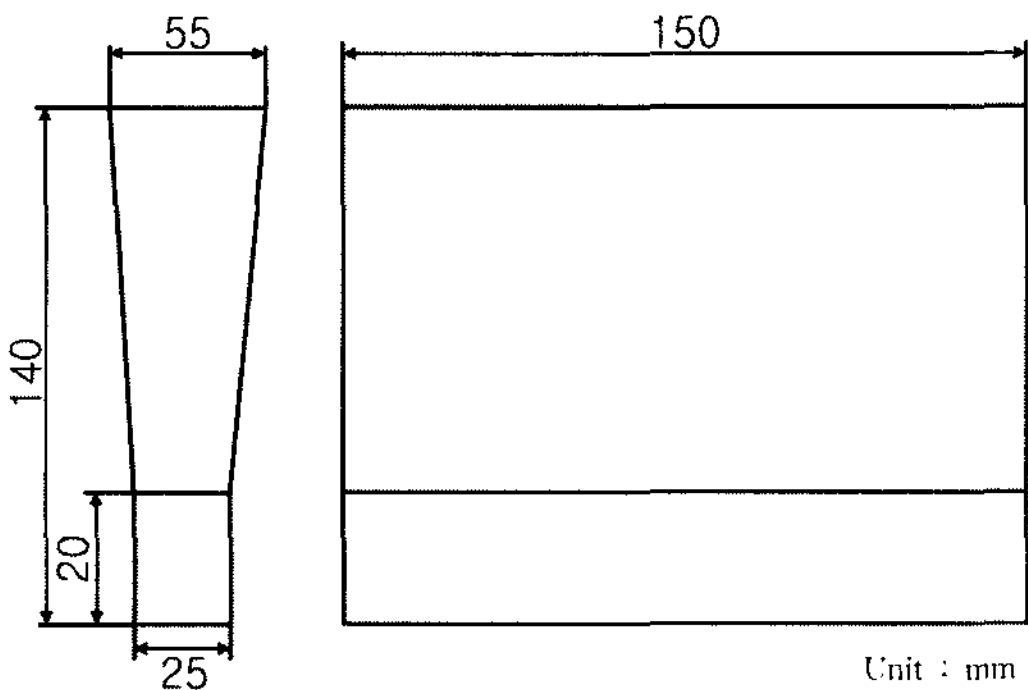


Fig. 1. Schematic diagram of Y-block.

하여 “KSD1659 철 및 강의 원자흡광분석방법”에 의해 Si, Mn, P, S 및 Mg의 함량을 분석하였으며, C 및 S는 모델 CS-800 인 탄소/유황 분석장치를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 항온유지시간에 따른 탄소성분의 변화

탄소함유량별로 흑연구상화처리와 접종처리한 직후, 용탕온도를 1,490°C로 일정하게 유지하고, 0~28분의 시간 범위에서 4분 간격으로 주조된 시료의 탄소함유량의 분석결과는 Fig. 2와 같다. 항온유지시간에 따라 성분변화가 거의 나타나지 않고 일정한 값을 나타내고 있다. D.L. Sponseller, R.A. Flinn[10]의 보고 등에서는 탄소함유량은 구상화처리 직후 가장 높고, 유지시간에 따라 CaC를 형성하여 제거되기 때문에 감소하며, 5분 이후부터 거의 일정하다고 주장하였다. 본 실험에서는 초기 5분 동안 탄소성분이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 사용된 흑연도가니에서 탄소성분이 가탄제로 작용되어 초기에 탄소성분의 감소경향은 나타나지 않았고, 오히려 증가하는 경향을 보이며, 시간경과에 따라 일정한 값을 나타낸다. 또한 Si, Mn, P 및 S 함량은 항온유지시간에 따라 변화 없이 모든 성분이 일정한 값을 보였고, 이러한 경향은 기존의 실험결과[11]와도 일치된다.

Table 2. Chemical composition of specimen. (wt.%)

Comp.No.	CE	C	Si	Mn	P	S	Mg
1	3.54	2.70	2.51	0.34	0.01	0.023	0.042
2	3.73	2.90	2.48	0.35	0.01	0.025	0.035
3	4.05	3.20	2.54	0.33	0.01	0.026	0.037
4	4.19	3.35	2.53	0.34	0.01	0.025	0.039
5	4.32	3.50	2.47	0.34	0.01	0.023	0.040

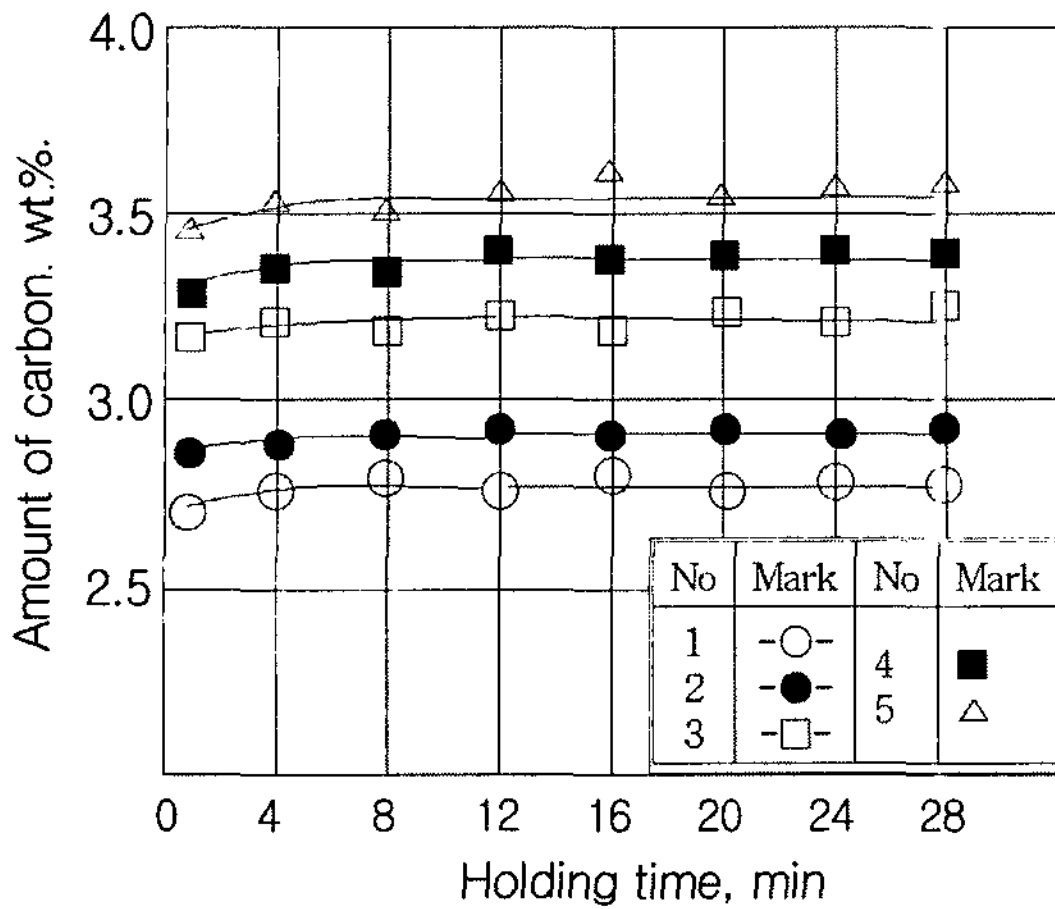


Fig. 2. Variation of carbon content during holding time after graphite spheroidization treatment.

3.2 항온 유지시간에 따른 잔류 Mg량의 변화

아공정조성범위에서 탄소함유량을 달리한 시료별로 항온유지시간에 따라 잔류 Mg의 함유량의 변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 탄소함유량이 낮은 2.7 wt.%의 시료는 구상화처리 직후 잔류 Mg의 함유량이 0.042% 이고, 10분경과 후에 0.01%로 감소하였고, 탄소함유량이 3.2 wt.%의 시료는 구상화처리 직후 잔류 Mg의 함유량이 0.037% 이며, 15분경과 후에 0.01%로 감소하였으며, 탄소함유량이 3.5 wt.%의 시료는 구상화처리 직후 잔류 Mg의 함유량이 0.040% 이고, 25분경과 후에 0.01%로 감소하였다.

이와 같이 아공정조성범위의 시료에서 탄소함유량이

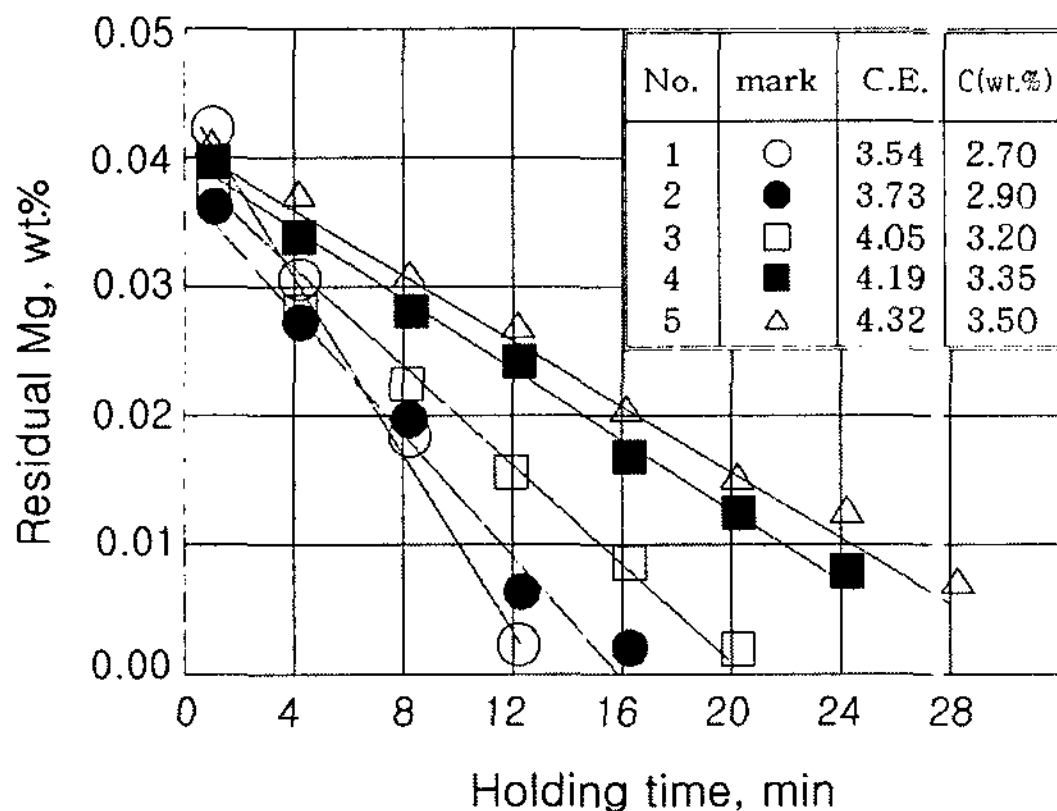


Fig. 3. Variation of residual magnesium content with holding time after graphite spheroidization treatment.

낮은 것일수록 시간의 경과에 따라 잔류Mg의 함유량의 감소 경향이 급격하여 단시간 내에 구상흑연이 편상흑연으로 변화하고, 탄소함유량이 많은 것일수록 잔류 Mg의 감소경향이 완만하며 많은 시간이 경과된 후에 편상흑연으로 된다. 이러한 현상은 탄소함유량이 적을수록 용탕 중에 Mg의 용해도가 적고, 많을수록 Mg 용해도의 증가에 기인된다. 따라서 항온유지시간에 따라 탄소함유량이 많은 시료에서 Mg이 증발소실 되는 경향이 적고 완만한 감소현상이 나타났다[12].

3.3 흑연구상화율의 변화

구상화처리 직후 항온유지 시간에 따라 변화한 구상흑연의 현미경조직은 Fig. 4와 같다.

탄소함유량이 2.7~2.9 wt.%의 시료는 구상화처리 직후에 흑연구상화율이 100%이지만 4~8분 경과 후에 C/V흑연으로 되고, 12분 이상 경과 후에는 편상흑연으로 된다. 3.2 wt.%의 시료는 0~8분 내에 구상흑연이고, 8~16분 경에는 C/V흑연으로 되며, 20분 이상 경과되

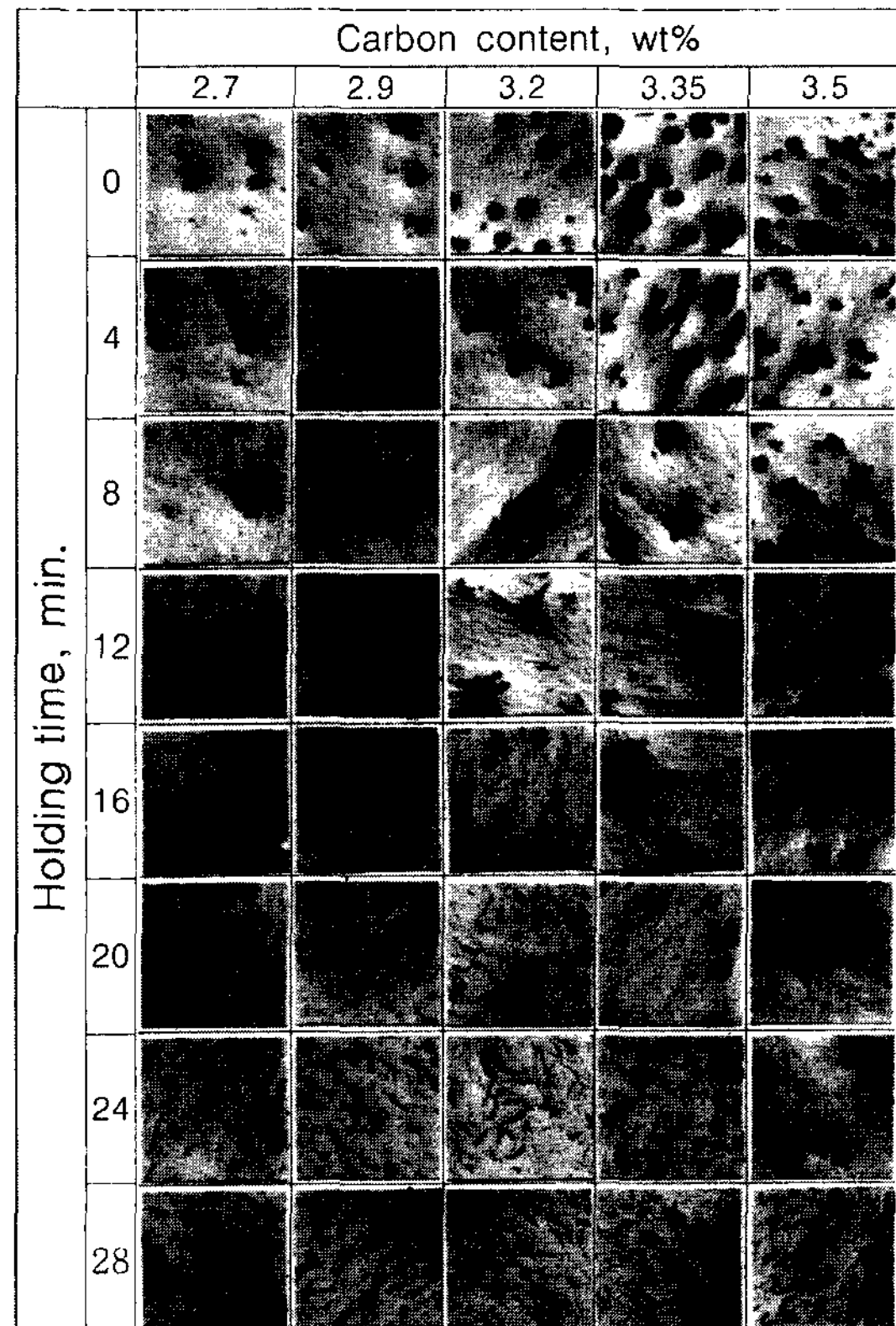


Fig. 4. Microstructures of hypoeutectic ductile cast iron.

면 편상흑연으로 나타났다.

3.35 wt.%의 시료에서는 0~8분 내에는 구상흑연이고, C/V흑연은 12~20분 사이에서 보이며, 20분 이상 경과 되면 편상흑연으로 되고, 3.5 wt.%의 시료에서는 0~12분 내에서 구상흑연이, C/V흑연은 16~24분, 편상흑연은 28분 이상 경과된 후에 각각 나타나고 있다.

흑연의 구상화율은 잔류 Mg의 함유량과 직접적인 관계가 있기 때문에 Fig. 3에서 시간의 경과에 따라 변화한 잔류 Mg 함유량과 Fig. 4에서 보이는 바와 같은 구상흑연조직의 관계는 일치되고 있다.

잔류 Mg 함유량이 0.025 wt.% 이상이고 항온유지 시간이 0~12분 범위 내에서 흑연구상화율이 70% 이상 나타났고, 잔류 Mg 함유량이 0.01~0.025 wt.% 범위이고, 항온유지 시간이 8~24분 사이에서 구상화율이 30~70% 범위의 C/V흑연으로 나타났으며, 잔류 Mg 함유량이 0.01 wt.% 이하이고, 항온유지 시간이 12분~28분 이상에서 구상화율이 30% 이하인 편상흑연으로 나타났다. 잔류 Mg의 함유량이 0.025% 이상에서 구상흑연이, 잔류 Mg의 함유량이 0.01~0.025% 범위에서 C/V 흑연이, 잔류 Mg의 함유량이 0.01% 이하에서 편상흑연의 형태임을 알 수 있다.

Fig. 5는 아공정조성범위에서 탄소량을 달리한 Fig. 4의 현미경조직사진을 유지시간에 따라 단위면적당 구상흑연수의 변화를 정량화한 것이다. 탄소량이 많을수록 단위면적당 구상흑연 수는 많고, 낮을수록 적게 나타난다. 또한 fading 현상에 따라 구상흑연의 감소경향은 잔류 Mg 함유량이 감소되는 경향과 거의 일치된다[8].

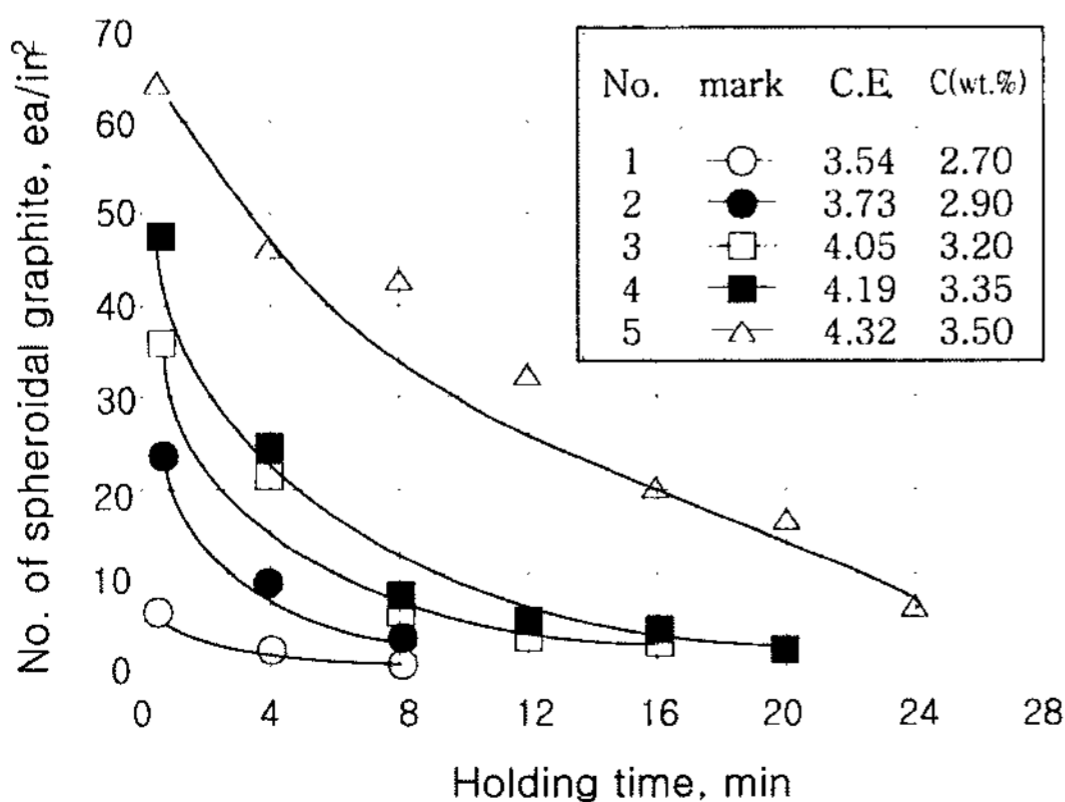


Fig. 5. Variation of spheroidal graphite number with holding time in hypoeutectic ductile cast iron.

3.4 Fading time과 잔류 Mg량의 변화에 대한 수식화

Fig. 3의 결과를 토대로 탄소함유량에 따른 잔류 Mg의 함유량을 다음과 같은 실험식으로 나타낼 수 있고, 그 관계식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$C = C_0 - P \times t \quad (1)$$

- 여기에서 C : 잔류 Mg의 함량 (wt.%)
- C₀ : 초기 Mg 함량 (wt.%)
- P : 상수
- t : 항온유지시간 (min)

Table 3은 Fig. 3에서 탄소 함유량에 따라 감소하는 잔류 Mg 함량의 기울기를 계산한 것이다. 탄소함량이 2.7%인 시료에서는 상수 P의 값이 3.31×10^{-3} 이고, 탄소함량이 2.9%인 시편에서는 상수 P의 값은 1.81×10^{-3} 이며, 탄소량이 높은 3.5%의 시편에서는 상수 P값이 1.26×10^{-3} 이 된다. 이와 같이 탄소량이 증가할수록 상수 P의 값은 감소하므로 이들 관계를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

(1)식은 배합된 시료의 탄소함유량을 알고, 상수 P의 값을 Fig. 5에서 읽으면, 구상화처리 후 경과시간에 따라 변화하는 잔류 Mg 함유량의 예측이 가능하다. 따라서 원하는 흑연형태를 만들고자 할 때는 잔류 Mg의 함유량을 얼마로 할 것인가에 따라 시간 t가 구해지게 되고, (1)식을 활용하여 흑연구상화처리 직후부터 일정 시간 경과 후 용탕을 주형에 주입하면 원하는 흑연조직을 얻을 수 있을 것이다.

탄소함유량에 따른 상수 P의 변화는 Fig. 6에 나타난 바와 같다. 탄소함유량이 증가할수록 상수 P는 현

Table 3. The data to show the carbon dependence of equation

Equation	Remark	
$C = C_0 - P \times t$ C : Residual Mg content (wt.%) with holding time C ₀ : Initial Mg content (wt.%) P : Proportional Constant t : Holding time (min.)	Constant P & Carbon content	
	C (%)	P
	2.7	3.31×10^{-3}
	2.9	2.22×10^{-3}
	3.2	1.81×10^{-3}
	3.35	1.33×10^{-3}
3.5	1.26×10^{-3}	

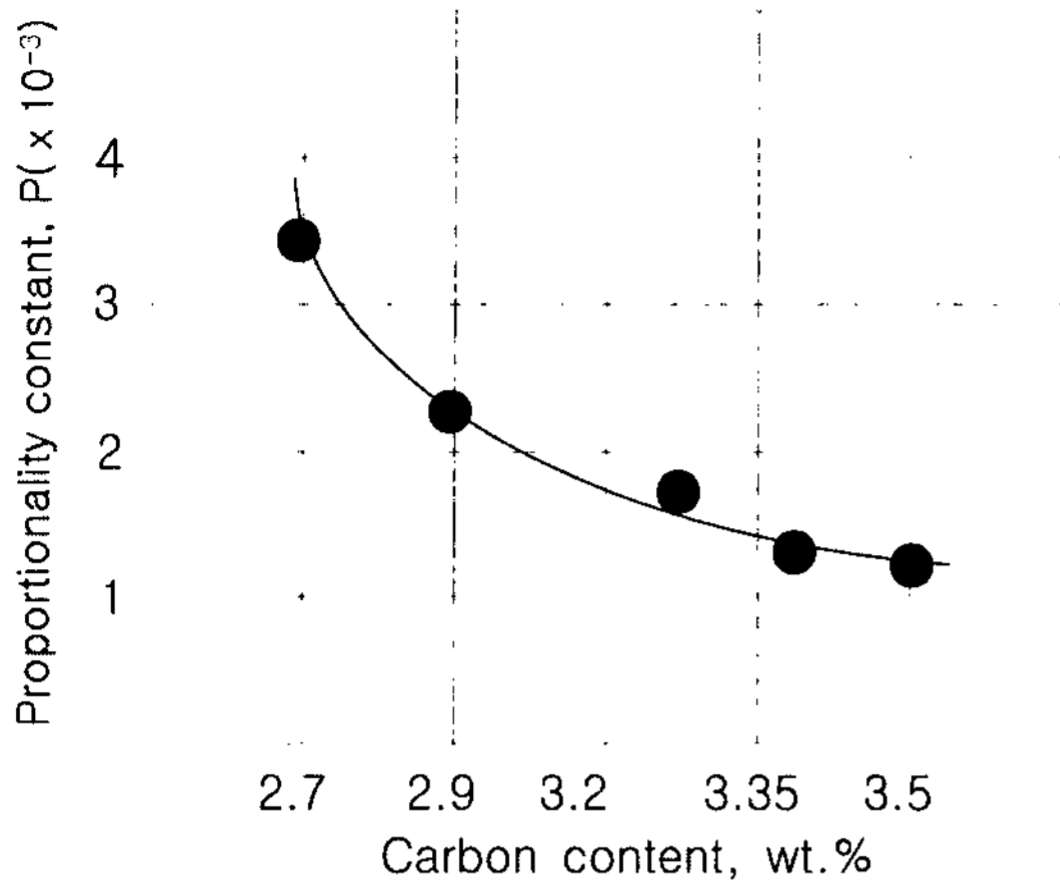


Fig. 6. Variation of the proportionality constant, P, of the empirical equation proposed with the carbon content.

저히 감소하고 3.35 wt.% 이상에서 다소 완만한 경향을 보이고 있다.

5. 결 론

탄소함량이 2.7~3.5 wt.% 범위인 아공정 구상흑연주철을 제조하고 용탕을 항온유지 시간을 달리하여 주조한 시편의 페이딩 거동을 조사, 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구상화처리 직후 탄소 함량은 증가하여 4분 이후부터는 거의 일정하다.
2. 탄소 함량이 증가할수록 용탕을 1,490°C로 유지함에 따라 잔류 마그네슘은 완만하게 감소하였다.
3. 용탕을 1,490°C에서 유지함에 따라 잔류 마그네슘의 량과 유지시간 사이의 관계를 나타내는 실험식을 $C = C_0 - P \times t$ 로 제안하였다.
4. 실험식에서 상수 P는 탄소당량에 반비례하는 것

으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] B. S. Kim : The Journal of the Korea Foundrymen's Society, "Ductile Cast Iron", Vol. 7. Special Issue, (1987) 242-248.
- [2] S. Y. Kim : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "Study on the Production of Pearlitic Matrix Spheroidal Graphite Cast Iron", Vol. 14, No. 1, (1976) 87-95.
- [3] H. S. Lee, H. W. Kwon : The Journal of the Korea Foundrymen's Society, "Effect and Fading Behavior of Inoculant in the Cast Iron Melt", Vol. 23, No. 3, (2003) 122-129.
- [4] D. M. Wee, S. Y. Kim : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "Study on the Relation between Graphite Spheroidization and Amount of Additional Fe-Si-Mg in Spheroidal Graphite Cast Iron", Vol. 13, No. 4, (1975) 407-414.
- [5] H. C. Lee and S. Y. Kim : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "Study on the Effects of Graphite Spheroidizer in the Spheroidal Graphite Cast Iron", Vol. 13, No. 1, (1975) 19-25.
- [6] S. Y. Kim : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "Effects on the Inoculation of Spheroidal Graphite Cast Iron", Vol. 11, No. 1, (1973) 24-33.
- [7] C. H. Lim and H. Y. Ra : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "A Study on the Melting Morphology of Cast Iron according to Graphite Shape", Vol. 20, No. 12, (1982) 1090-1098.
- [8] C. H. Lim and H. Y. Ra : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "The Effect of Melting Condition on the Graphite Austenite Eutectic Solidification in Cast Iron", Vol. 25, No. 8, (1987) 547-552.
- [9] Y. W. Park, T.W. Nan and S. Y. Kim : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "Study on the Degree of Normalization in Spheroidal Graphite Cast Iron", Vol. 16, No. 6, (1978) 457-462.
- [10] D. L. Sponseller and K. A. Flinn : Trans. Met. Soc. AIME, 220(1964), 676.
- [11] I. C. Kang, H. K. Lim and W. S. Lee : The Journal of the Korea Foundrymen's Society, Jujo, "Effect of fading time on fatigue strength of spheroidal graphite cast iron", Vol. 4, No. 3, (1984) 187-198.
- [12] Kusakawa Yutaka : Imono, The 89th conference, (1976) 105.