

논문

구상흑연주철 용탕 중 접종제의 접종능과 페이딩 거동 및 이들에 미치는 미량 원소의 영향

권상빈* · 권해욱[†] · 남원식**

영남대학교 신소재공학부

*영남대학교 대학원, **해원산업(주)

Ability and Fading Behavior of Inoculants in Ductile Cast Iron Melt and Effect of Minor Elements on them

San-Bin Kwon, Hae-Wook Kwon[†] and Won-Sik Nam

School of Mat. Sci. & Eng., Yeungnam Univ., Gyeongsan, 712-749, Korea

*Graduate School, Yeungnam Univ., Gyeongsan, 712-749, Korea

**Haewon Ind. Co. Ltd., Goryeong, 717-702, Korea

Abstract

The ability and fading behavior of inoculant in ductile cast iron melt and the effect of minor element on them were investigated. The result obtained on nodularization and the performance of inoculant were more distinct when the melt was treated and held at the high temperature range of 1450~1500°C than at the lower one of 1350~1400°C. The performance of 5.2%Mg-Fe-Si alloy was the best of 4 nodularizers. That of Fe-75%Si(I) alloy was better than other 4 inoculants. The performance of the Fe-75%Si(I) inoculant was deteriorated by the addition of sulfur or bismuth. On the other hand, that was improved by the addition of cerium, even though its extent was not big.

Key words : ductile cast iron, melt treatment, inoculation, inoculant, fading of inoculant

(Received March 4, 2005; Accepted April 18, 2005)

1. 서 론

구상 흑연 주철은 주로 페라이트와 펄라이트가 혼합되어 있는 기지에 구상의 흑연이 산재되어 있는 주철이다. 구상 흑연 주철을 용해 주조할 때에는 응고 과정에서 조직 내에 가능한 많은 수의 구상 흑연을 확실하게 형성시키는 것이 중요하다. 따라서 주철 용탕을 흑연 구상화 처리한 후 응고가 일어나는 동안, 즉 오스테나이트 - 구상 흑연간의 공정 반응이 일어나는 동안 구상 흑연의 수를 증가시키기 위하여 반드시 후 접종 처리를 한다[1].

접종 처리는 공정 응고가 일어나는 동안 회주철 및 구상 흑연 주철 내에서 철이 형성하는 경향을 낮춘다. 이런 효과는 접종제를 첨가하여 공정 응고 및 성장이 일어날 수 있는 추가 핵을 제공하기 때문에 나타난다. 접종 효과는 접종제의 첨가 직후에 가장 좋으며 그 이후에는 페이딩이 일어난다[2]. 접종제의 페이딩이 일어나는 속도는 접종제와 용탕의 화학 조성에 따라 달라진다. 접종 효과는 접종제 첨가 후 처음 몇 분 내에 손실될 수 있다. 접종 처리 방법과 접종제의 화학 조성에 따라 초기 접종능과 페이딩 거동이 달라진다[3-5].

접종제의 효과와 페이딩은 마그네슘으로 구상화 처리한 용탕에 세륨이 존재하면 크게 달라진다. 이 경우 접종 처리한 후 구상 흑연의 수가 크게 증가하고 페이딩이 일어나는 정도가 크게 감소한다[2]. 세륨의 이와 같은 효과는 또한 부분적으로 마그네슘 페로실리코너로 처리한 주철 용탕에서 핵생성이 매우 많이 일어나는 사실을 잘 설명한다. 대부분 업계에서 구할 수 있는 마그네슘 페로실리코너에는 소량의 세륨이 들어 있다. 구상 흑연 주철을 생산하는 과정에서 구상 흑연의 수를 상당히 증가시키기 위하여 첨가할 수 있는 원소로는 비스머스가 있다[6]. 황화물이 흑연의 핵생성을 촉진시키므로 적당한 량의 황이 또한 접종제의 성능을 개선하고 페이딩 속도를 감소시킬 수도 있을 것이다. 그러나 비스머스는 공정 셀 사이에서 편상 흑연을 형성시킬 수 있으며 황은 구상화 저해 원소인 동시에 과잉으로 존재하면 흑연의 성장을 방해할 수 있어서 그 양은 극히 제한된다.

구상 흑연 주철 용탕을 접종 처리한 후에는 구상화제의 페이딩과 접종제의 페이딩이 동시에 일어나며 이와 같은 페이딩 현상은 노에서 출탕한 후 주형에 주입할 때까지의 시간이 길어지거나 제품의 단면이 두꺼울 경우와 같이 응고 시간이 길

[†]E-mail : hwkwon@yu.ac.kr

어지는 경우에 제품의 조직 불량을 야기시키거나 기계적 성질을 나쁘게 하는 등의 직접적인 영향을 미친다. 따라서 재현성과 신뢰성이 뛰어난 열분석법으로 기존 접종제의 접종능과 페이딩 거동을 평가하여 최적 접종제를 선택하고 이 접종제의 접종능과 페이딩 거동에 미치는 첨가 원소의 영향을 조사·연구하여 구상 흑연 주철용 접종제를 개발하기 위한 기초 자료를 얻고 현장에 적용하여 성능이 우수한 새로운 구상 흑연 주철용 접종제를 개발하는 것은 중요하고도 절실하다.

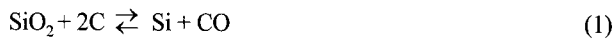
본 연구에서는 고주파 유도로에서 기본 장입물을 용해하여 용탕을 얻고 구상화 처리와 접종 처리한 후 열분석 시험하여 네 가지 구상화제의 성능을 평가하여 먼저 가장 우수한 구상화제를 선택하였다. 그리고 선택한 구상화제를 사용하여 다섯 가지의 기존 접종제의 접종능과 페이딩 거동을 평가하였다. 이와 같은 방법으로 최적의 구상화제와 접종제를 결정한 후 이들의 성능에 미치는 황, 비스머스 및 세륨 등의 미량 원소의 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 변수

2.1.1. 용탕 처리 및 유지 온도

용탕 중 규소와 탄소는 다음의 반응에 의하여 평형을 이룬다. 고온에서는 용탕 중 탄소가



산화 되어 일산화탄소가 생기면서 산화 규소가 환원되거나 용탕 중의 규소는 보호되며 저온에서는 규소와 다른 금속 원소가 산화된다. 이 반응의 역전 온도 범위는 용탕의 화학적 조성에 따라 다르며 대체로 1,390~1,440°C 범위인 것으로 알려져 있다[7].

따라서 첫 번째 용해에서는 Table 1에서 보이는 조성의 4.9%Mg-Fe-Si 구상화제와 Table 2에서 보이는 바와 같은 다섯 가지 접종제를 사용하여 1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위와 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 각각 용탕 처리 및 유지하여 온도 범위의 영향을 시험하였다.

2.1.2. 접종제의 성능 및 첨가 원소

두 번째 용해에서는 네 가지 구상화제의 성능을 평가하여 가장 우수한 구상화제를 선택하였다. 사용한 구상화제의 화학적 조성은 Table 1에서 보이는 바와 같다. 세 번째 용해에서는 Table 2에서 보이는 바와 같은 다섯 가지 접종제의 접종능과 페이딩 거동을 시험하였다. 네 번째 용해에서는 황, 비스머스 및 세륨을 접종제 중량의 각각 1%를 첨가하여 이들 미량 원소의 영향을 시험하였다. 이때 사용한 미량 원소 첨가제의 화학 조성은 Table 3에서 보이는 바와 같다.

2.2. 용해 용탕 처리 및 용탕 유지 실험

모든 경우에 75 kW 용량의 고주파 유도 용해로를 이용하여 용해하고 용탕 처리 및 유지 실험을 하였으며 기본 용탕의 목표 조성을 3.7%C, 2.15%Si 및 0.04%Mg로 하였다. 먼저

Table 1. Chemical compositions of nodularizers. (wt.%)

Nodularizer	Composition	Mg	Ca	Si	Al	RE	Remark
I	(5.2%Mg-Fe-Si)	5.18	1.69	44.38	0.92	2.57	
II	(5.5%Mg-Fe-Si)	5.5	-	45.00	-	-	
III	(5.6%Mg-Fe-Si)	5.6	-	45.00	-	-	
IV	(4.9%Mg-Fe-Si)	4.85	1.90	45.00	1.0	2.0	

Table 2. Chemical compositions of inoculants. (wt.%)

Inoculant	Composition	Si	Ca	Al	Ba	Remark
Fe-75%Si		74~79	-	1.7	-	
Fe-75%Si(I)*		74~79	1.0 max.	1.0 max.	-	
1%Ba-Fe-Si		74~79	0.8~1.3	0.8~1.2	0.8~1.3	
16%Ca-Si		60~65	14~18	1.0 max.	-	
1.6%Ca-1%Ba-Si		60~65	14~18	1.0 max.	1.4~1.8	

*for inoculation

Table 3. Chemical compositions of additives for minor elements. (wt.%)

Additive	Composition	S	Bi	Ce	Fe	La	Nd
Iron sulfide		68~72	-	-	28~32	-	-
Metallic bithmuth		-	88~92	-	8~12	-	-
Metallic cerium		-	-	48~52	4~7	23~29	14~17

Table 4. Chemical compositions of charging materials and aim composition.

Material	Composition							remark
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mg	
Pig iron	4.38	1.62	0.32	0.10	0.02	-	-	
Steel scrap	0.01	0.005	0.72	0.01	0.006	-	-	
Fe-75%Si	-	76.37	-	-	-	1.7	-	
Carbon	98.5	-	-	-	0.034	-	-	
Aim	3.7	2.15	-	-	-	-	0.04	

Table 5. Chemical analyses of specimens obtained the melt treated with 4.9%Mg-Fe-Si(IV) and Fe-75%Si(I) and held at different temperature ranges

Treatment & holding temperature	Element	Holding time(sec.)						Remark
		BNI*	ANI**	150	300	450	600	
1,350~1,400°C	C	3.73	3.26	3.24	3.22	3.24	3.23	
	Si	0.69	2.15	2.14	2.13	2.12	2.13	
	Mg	-	0.031	0.015	0.008	0.001	-	
	C.E.	3.96	3.96	3.95	3.93	3.95	3.94	
1,450~1,500°C	C	3.71	3.25	3.25	3.24	3.24	3.24	
	Si	0.70	2.14	2.15	2.14	2.15	2.14	
	Mg	-	0.039	0.026	0.013	0.006	-	
	C.E.	3.94	3.96	3.97	3.95	3.96	3.95	

*BNI : before nodularization and inoculation

**ANI : after nodularization and inoculation

1.95%C 및 0.43%Si 조성의 기본 용탕 30 kg을 얻기 위하여 선철과 강고철을 각각 17 및 13 kg을 장입하여 용해하였다. 기본 장입물이 용해된 후 가탄재 561.3 g을 첨가하여 탄소 함량 1.75%를 증가시켰다. 그리고 페로실리콘을 첨가하여 규소 함량 0.30%를 증가시켰다. 이때 사용한 선철, 강고철, 페로실리콘 및 가탄재의 화학적 조성은 Table 4에서 보이는 바와 같다.

모든 경우에 플런징법으로 용탕을 구상화 처리한 후 접종제를 첨가하는 방법으로 용탕 처리를 하였다. 이때 구상화제와 접종제는 입자 크기의 영향을 배제시키기 위하여 분쇄한 후 입도 분류하여 입자 크기가 2~3 mm가 되게 하였다. 용탕 처리 및 유지 온도로는 첫 번째 용해 시험 결과 구상화율도 높고 구상화제와 접종제의 페이딩 속도가 상대적으로 느린 것으로 나타난 1,450~1,500°C의 고온 범위를 선택하였다. 두 번째 용해시에는 잔류 마그네슘의 목표 함량을 0.04%로 하여 네 가지 구상화제를 사용하여 구상화 처리하였으며 이때 규소의 함량은 각각 1.18, 1.09, 1.12 및 1.28% 증가하였다. 따라서 각각의 경우 75%Si 조성의 페로실리콘을 미리 첨가하여 구상화 처리 후 용탕의 규소 함량이 1.90%가 되게 하였다. 그리고 모든 경우에 Fe-75%Si 접종제를 사용하여 규소 함량을 2.15%로 증가시키는 방법으로 접종 처리를 하였다. 두 번째 용해에서 구상화제의 성능을 평가한 결과 구상화제 I이 가장 좋은 것으로 나타났다. 따라서 그 이후의 용해에서는 구상화제 I을 사용하여 구상화 처리하였다. 세 번째 용해에서는 다섯 가지 접종제의 성능을 평가하였으며 Fe-75%Si(I) 접종제가 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 미량 원소의 영향을 시험한

네 번째 용해에서는 이 구상화제와 접종제를 사용하였다. 황화철, 금속 비스머스 및 금속 세륨의 형태로 접종제 증량의 각각 1%를 첨가하였으며 화학적 조성은 Table 3에서 보이는 바와 같다.

2.3. 열분석 시험

2개의 열분석용 셀 컵 받침대를 K-형태의 열전대선으로 온도 기록용 소프트웨어가 내장된 컴퓨터 시스템에 연결시킨 장치를 이용하여 열분석 시험을 하였다. 용탕 유지시 시험 용탕의 과냉 온도를 측정하기 위한 셀 컵 그리고 충분히 접종된 조건에서 오스테나이트-구상 흑연의 최고 공정 온도를 측정하기 위하여 1%Ba-Fe-Si 미세 분말을 넣은 셀 컵에 각각 용탕을 주입하여 냉각곡선을 얻어서 최고 공정 온도와 시험 용탕의 과냉 온도의 차이, ΔT, 를 측정하였다. 열분석 시험 장치의 대략적인 모양은 Fig. 1에서 보이는 바와 같다. 첫 번째 용해에서는 1,350~1,400 및 1,450~1,500°C 그리고 나머지 용해에서는 1,450~1,500°C의 온도 범위에 각각 도달하였을 때 구상화 및 접종 처리 직전과 직후 그리고 이 온도 범위에서 용탕을 유지시키면서 2분 30초 간격으로 20분까지 열분석 시험하였다. 용해, 용탕 처리 및 유지 실험 과정은 그림 2에서 보이는 바와 같다. 실험 결과의 재현성을 확인하기 위하여 각 용해시 같은 조건에서 3회 반복하여 측정한 시험 용탕의 과냉 온도와 최고 공정 온도의 차이, ΔT 의 평균값을 얻었다.

2.4. 화학적 성분 분석 및 미세 조직 관찰

기본 용탕 그리고 용탕 처리 및 유지에 따른 화학적 조성의

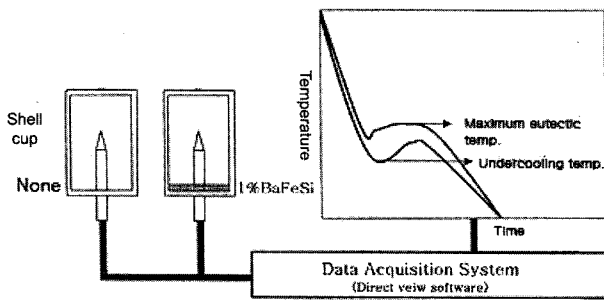


Fig. 1. Thermal analysis apparatus.

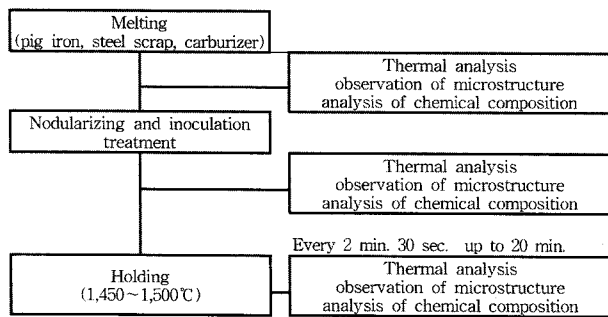


Fig. 2. Experimental procedure.

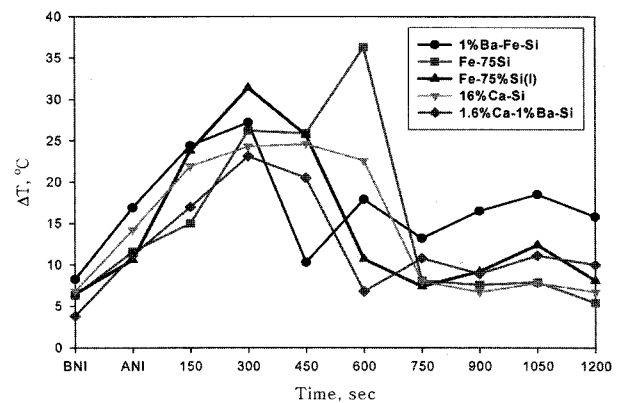
변화를 조사하기 위하여, 열분석 실험을 하기 위한 용탕을 셸 컵에 주입한 후 바로 금형에 주입하여 화학적 성분 분석용 시편을 얻었다. 각 시편을 50번 연마지로 연마한 후 방출 스펙트럼 분석 장치를 이용하여 분석하였다.

열분석 시험 결과와 비교하기 위하여 열분석 시험용 셸 컵으로부터 얻은 응고가 일어난 시편을 절단 및 연마하여 관찰하였다. 열전대 끝 부분에 해당하는, 바닥으로부터 32 mm 위치의 미세 조직을 관찰하였다. 광학 현미경을 이용하여 25배의 배율에서 단위 면적당 구상 흑연의 수(nodule count, #/mm²)를 측정하고 100배의 배율에서 관찰하여 구상화율을 얻었다.

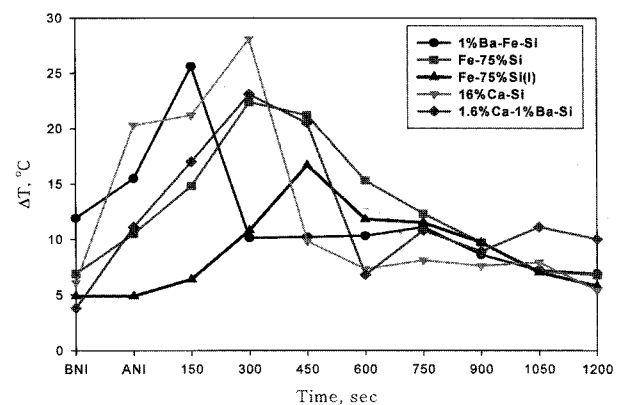
3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 용탕 처리 및 유지 온도 범위의 영향

기본 장입물을 용해한 후 1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위와 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 구상화제 IV (4.9% Mg-Fe-Si)로 구상화처리하고 Table 2에서 보이는 바와 같은 다섯 가지 종류의 접종제를 사용하여 접종 처리한 후의 열분석 시험 결과를 Fig. 3에서 보이는 바와 같다. 서로 다른 온도 범위에서 구상화 처리한 후 Table 2에서 보이는 바와 같은 접종제 중 두 번째 접종제인 Fe-75%(I) 접종제를 사용하여 접종 처리하여 유지함에 따른 대표적인 미세 조직 변화는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다. 구상화제의 페이딩이 너무 빠르게 일어나 용탕 처리한 뒤 300초 이후의 자료는 의미가 없다는 것을 미세 조직의 변화로부터 알 수 있었다. 용탕 처리 및 유지에 따른 대표적인 시편의 화학 조성의 변화는 Table 5에서 보



(a) 1,350~1,400°C



(b) 1,450~1,500°C

Fig. 3. Variation of average differences between graphite eutectic and undercooling temperatures during holding at different temperature ranges.

이는 바와 같다.

1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위보다 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 용탕 처리 및 유지한 경우가 변별력이 더 크며 열분석 시험, 미세 조직 검사 및 화학적 조성 분석 결과가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이것은 주철 용탕 중 규소의 산화 및 환원 반응의 역전 온도 범위 (1,390~1,440°C)보다 높은 온도 범위인 1,450~1,500°C의 온도 범위에서 탄소의 산화 손실이 일어나면서 Mg, Si 및 다른 금속 원소는 보호되었기 때문으로 생각되었다. 접종제의 성능 그리고 첨가 원소의 영향을 조사하기 위한 그 이후의 용해에서는 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 용탕 처리 및 유지 실험을 하였다.

3.2. 구상화제의 성능 평가

두 번째 용해에서는 Table 1에서 보이는 바와 같은 네 가지 종류의 구상화제의 성능을 평가하여 가장 좋은 구상화제를 선택하였다. 구상화제와 함께 Fe-75% 접종제로 용탕을 처리하고 유지함에 따른 열분석 시험 결과는 Fig. 5에서 보이는 바와 같다. 자료의 변별력은 그리 크지 않았다. 미세 조직을 관찰하여 용탕 처리 및 유지에 따른 미세 조직의 변화와 비교하였으며 Table 1에서 보이는 바와 같은 구상화제 중 첫 번째 구상화제인 구상화제 I(5.2%Mg-Fe-Si)을 사용한 경우에 단위

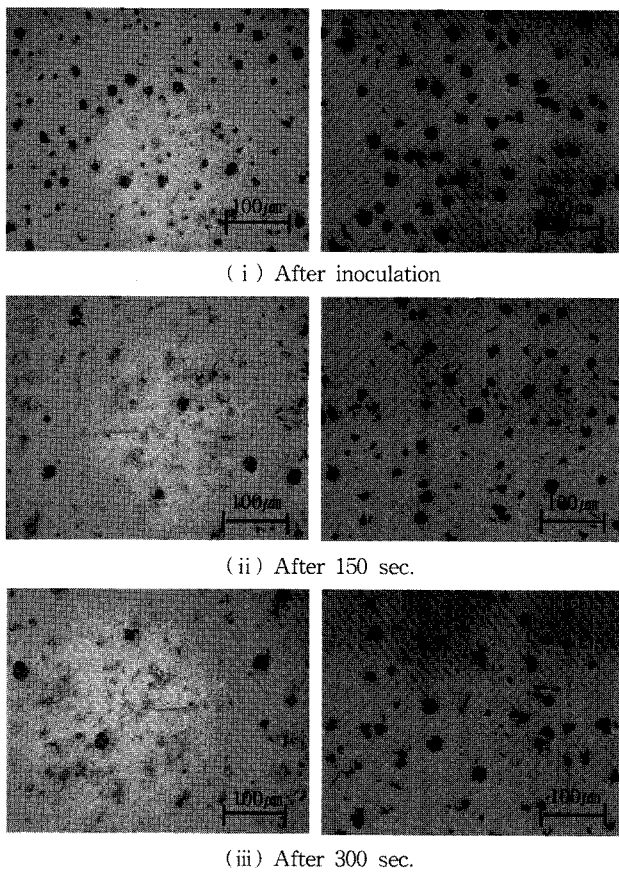


Fig. 4. Variation of graphite structure of specimen obtained from the melt treated with nodularizer IV(4.9%Mg-Fe-Si) and Fe-75%Si(I) and held at 1,350~1400(left) and 1,450~1,500°C(right).

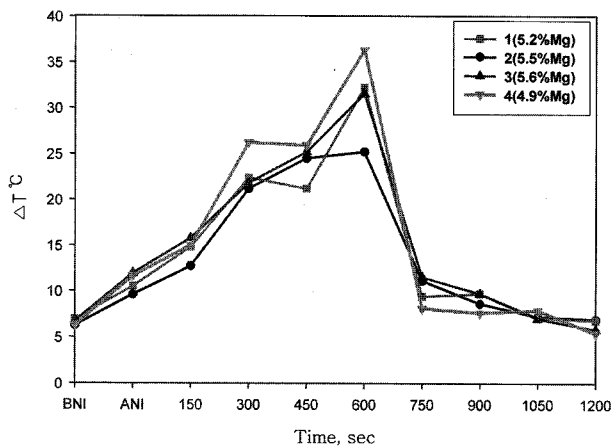
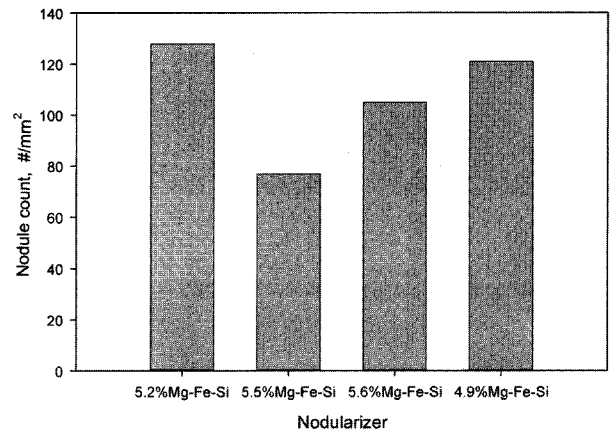
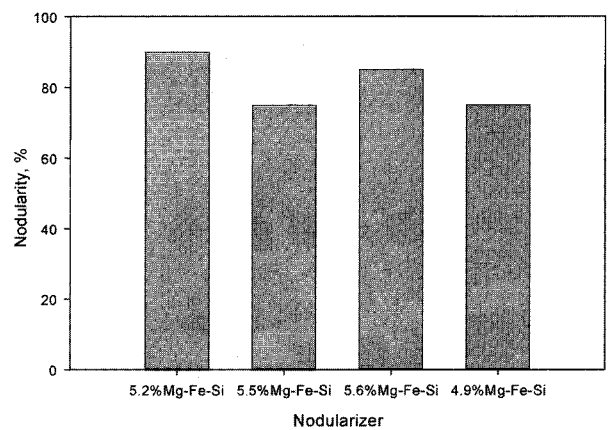


Fig. 5. Variation of difference between maximum eutectic and undercooling temperatures of melt treated with different nodularizer and Fe-75%Si inoculant before, after treatment and during holding at 1,450~1,500°C.

면적당 구상 흑연의 수가 가장 많고 구상화율도 가장 높으며 페이딩 속도가 다른 구상화제를 사용한 경우에 비하여 상대적으로 느린 것으로 나타났다. 용탕 처리 직후 사용한 구상화제에 따른 단위 면적당 구상 흑연의 수와 구상화율의 차이는



(a) Nodule count(#/mm²)



(b) Nodularity

Fig. 6. Comparison of nodule count and nodularity of specimen obtained the melt treated with different nodularizer.

Fig. 6에서 보이는 바와 같다.

3.3. 점중제의 성능

두 번째 용해 실험에서 네 가지 종류의 구상화제의 성능을 평가하였으며 그 결과 5.2%Mg-Fe-Si 조성의 구상화제 I이 가장 좋은 것으로 나타났다. 따라서 세 번째 용해에서는 용탕을 이 구상화제로 구상화 처리하고 Table 2에서 보이는 바와 같은 5 가지 종류의 점중제의 성능을 평가하였다.

구상화제 I(5.2%Mg-Fe-Si)을 사용하여 1,450~1,500°C의 온도 범위에서 다섯 가지 종류의 점중제로 처리한 용탕을 이 온도 범위에서 유지하는 동안의 열분석 시험 결과는 Fig. 7에서 보이는 바와 같다. 용탕 처리 후 시험 용탕의 과냉 온도와 최고 공정 온도의 차이가 작고 페이딩 속도가 가장 느린 Fe-75%Si(I)가 가장 성능이 우수한 점중제인 것으로 나타났다. 용탕을 처리한 후 300초 전후까지 과냉 온도와 최고 공정 온도의 차이는 점차 증가하다가 갑자기 감소하는 경향을 보이는 것은 용탕처리 후 약 300초 이상 경과하면 구상화제가 페이딩이 일어나 흑연이 편상 흑연으로 성장하기 때문이다.

용탕 처리 직후의 열분석 시험한 셀 컵으로부터 얻은 시편의 미세 조직을 관찰하여 단위 면적당 구상흑연의 수와 구상

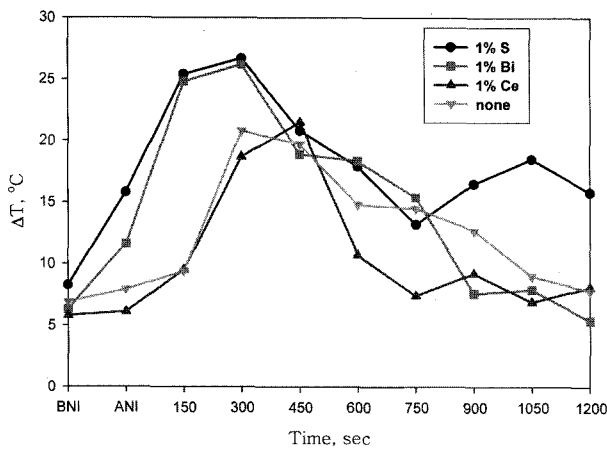


Fig. 7. Variation of difference between maximum eutectic and undercooling temperatures of melt treated with different inoculant before, after inoculation and during holding at 1,450~1,500°C.

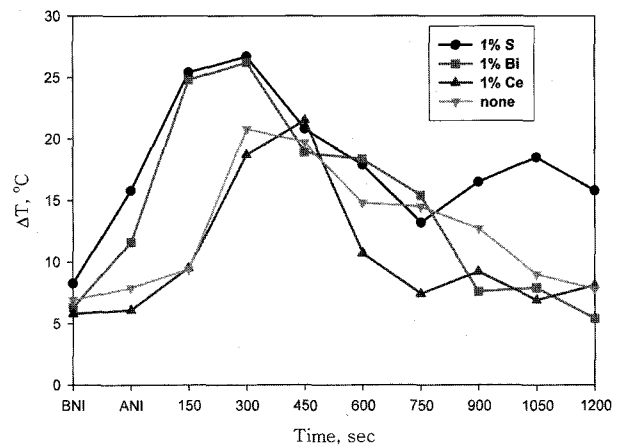
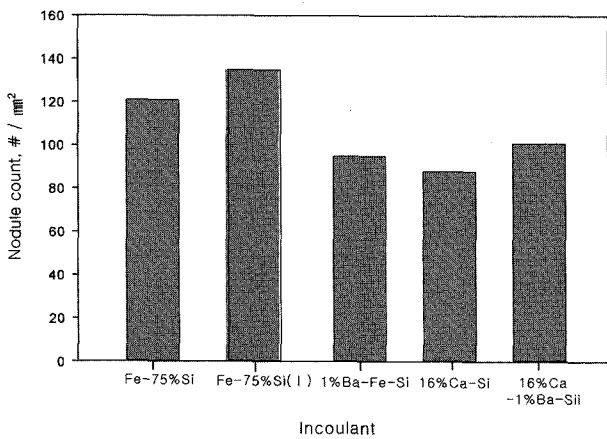
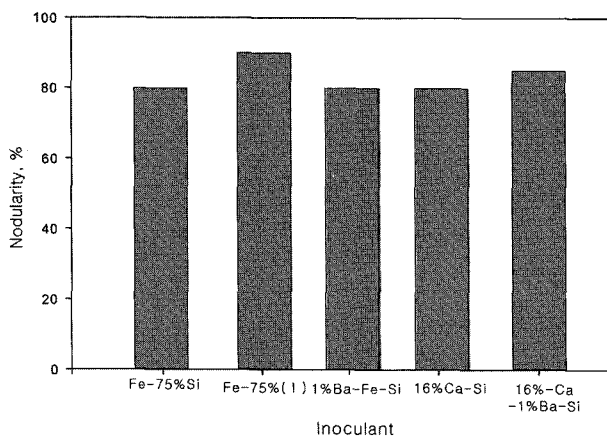


Fig. 9. The effects of minor elements added on the variation of difference between maximum eutectic and undercooling temperatures of melt before, after inoculation and during holding at 1,450~1,500°C. The amount added was 1% of the weight of inoculant, respectively.



(a) Nodule count(#/mm²)



(b) Nodularity

Fig. 8. Comparison of nodularity and nodule count of specimen obtained from the melt treated with different inoculant.

화율을 측정된 결과는 Fig. 8에서 보이는 바와 같다. 열분석 시험 결과와 대체로 일치하였으며 Fe-75%Si(I) 접종제로 처리한 결과가 가장 좋은 것으로 나타났다.

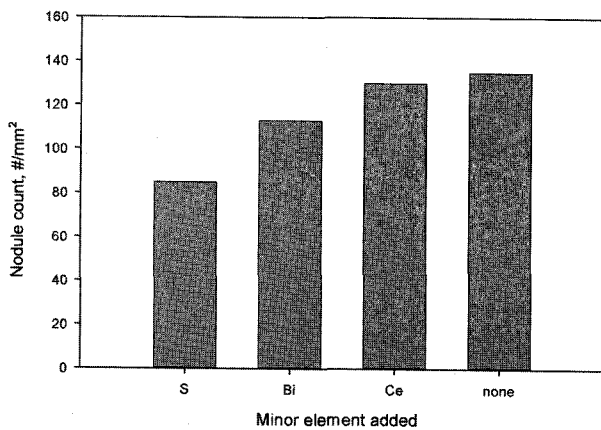
3.4. 미량 원소의 영향

네 번째 용해에서는 1,450~1,500°C의 온도 범위에서 구상화 제 I(5.2%Mg-Fe-Si)을 용탕을 구상화 처리하고 Fe-75%Si(I) 접종제로 접종 처리할 때 이 접종제의 접종능과 페이딩 속도에 미치는 미량 원소의 영향을 시험하였다. 황화철, 금속 비스머스 및 금속 세륨의 형태로 접종제 중량의 1%를 각각 첨가하였으며 용탕 처리 전후 및 유지에 따른 열분석 시험 결과는 Fig. 9에서 보이는 바와 같다.

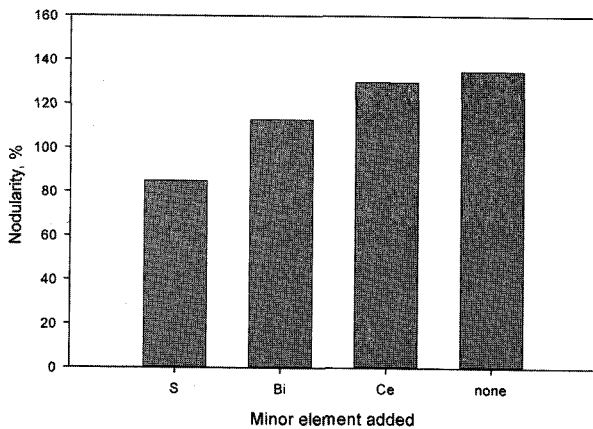
황을 첨가한 경우 최고 공정 온도와 과냉 온도의 차이, ΔT , 는 첨가하지 않은 경우에 비하여 증가하였고 페이딩 속도도 증가하였다. 이는 황이 용탕내에서 구상화 저해 원소로 적용한 것으로 생각된다. 비스머스를 첨가한 경우에도 그 정도는 황에 비하여 작으나 황을 첨가한 경우와 마찬가지로 접종제의 접종능을 떨어뜨리고 페이딩 속도를 증가시킨 것으로 나타났다. 비스머스는 일반적으로 구상화 저해 원소이나 세륨과 같이 첨가되었을 때 구상 흑연의 수를 증가시키는 것으로 알려져 있다 [8].

세륨을 첨가한 경우에는 최고 공정 온도와 과냉 온도의 차이, ΔT , 는 그렇지 않은 경우에 비하여 그 차이는 크지 않으나 약간 감소하였고 페이딩 속도도 더 낮았다. 미세 조직 관찰 결과를 보면 세륨을 첨가한 경우 비교적 구상화율도 높고 구상흑연의 수도 많았다. 세륨이 과잉으로 존재하면 무정형과 청키 흑연등 비정상적인 흑연이 형성할 수 있으나 일반적으로 세륨은 탈황제 및 탈산제 역할을 하여 구상화 원소로 작용한다. 그리고 용탕중에서 황화물과 산화물을 형성하여 흑연의 핵생성을 촉진하였을 것으로 생각된다.

네 번째 용해에서 용탕 처리 직후 열분석용 웰 컵에 용탕을 주입하여 얻은 시편의 미세 조직을 관찰하여 구상 흑연의 수와 구상화율을 측정된 결과는 Fig. 10에서 보이는 바와 같다. 세륨을 첨가한 경우에는 첨가하지 않은 경우에 비하여 구상 흑연의 수와 구상화율이 오히려 낮게 나타났으나 이는 실험 오차 범위 내에 있으며 열분석 시험 결과와 대체로 일치하였다.



(a) Nodule count(#/mm²)



(b) Nodularity

Fig. 10. Effect of minor elements added on the inoculation ability of Fe-75%Si(I). The amount added was 1% of the weight of inoculant, respectively.

4. 결 론

주철 용탕을 구상화 및 접종 처리한 후 일정한 온도 범위에서 유지하여 열분석 시험하여 접종제의 성능을 평가하고 미량 원소의 영향을 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 용탕 처리 및 유

지한 경우가 1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위의 경우보다 구상화 처리 결과와 접종제의 성능에 대한 변별력이 더 컸으며 미세 조직 검사 결과와 잘 일치하였다.

2) 네 가지 구상화제의 성능을 평가하였으며 5.2%Mg-Fe-Si 합금이 가장 우수한 것으로 나타났다.

3) 다섯 가지 종류의 접종제의 접종능과 페이딩 거동을 평가하였으며 접종용 Fe-75%Si(I)합금이 가장 우수한 것으로 나타났다.

4) 접종제 증량의 1%를 첨가한 경우, 황과 비스머스는 Fe-75%Si(I) 접종제의 성능에 나쁜 영향을 미쳤으며 세륨은 그 정도는 크지 않으나 향상시키는 것으로 나타났다.

후 기

본 논문의 저자 중 권상빈은 영남대학교의 2003년도 연구 조교로 배정되어 지원을 받았으며 이에 감사드린다.

참 고 문 헌

- [1] C. R. Loper, Jr., J. of KFS, "Nucleation of Graphite in Cast Irons.", 17(4), 327-337.
- [2] A. G. Fuller, Conf. Proc. of AFS-CMI, "Fading of Inoculants.", Rosemont, IL, Feb. 6-7 (1979) 141-183
- [3] A. T. Rushworth, M. S. Thesis, "The Effect of Holding Time on Various Inoculants in Flake and Nodular Graphite Irons.", Birmingham University, 1965.
- [4] H. W. Lowine, Foundry, "Barium Inoculants Resist Fading.", 91(4) (1963) 66-68.
- [5] A. Moore, Trans. AFS, "Some Factors Influencing Inoculation and Inoculant Fade in Flake and Nodular Graphite Irons.", 81 (1973) 268-277.
- [6] Union Carbide Corp., C. R. Loper, Jr. and R. W. Meine, U.S Patent No.3 331 469, April 23, 1964
- [7] D. R. Askeland, P. K. Trojan and R. A. Flinn, Trans. AFS, "Investigation of Mechanism of Dross Formation in Ductile iron.", 77 (1969) 125-132.
- [8] A. Alagarsany et. al., "Ductile Iron Handbook", AFS, (1999) 98.