

■■■■■■■■■■
論 文
 ■■■■■■■■■■

회주철 용탕 중 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 S, Ce 및 Bi의 영향

권해욱[†] · 남원식^{*}

Effect of S, Ce and Bi on the Performance of 1.0 wt%Ba-Fe-Si Inoculant in Gray Cast Iron Melts

Hae-Wook Kwon[†] and Won-Sik Nam^{*}

Abstract

The effects of three minor elements, S, Ce and Bi, on the inoculation ability and fading behavior of 1.0 wt%Ba-Fe-Si were investigated through thermal analysis. The performance of 1.0 wt%Ba-Fe-Si inoculant was better and more consistent at the high temperature range of 1,450~1,500°C than that of low one of 1,300~1,400°C. That was improved with individual addition of three minor elements. The optimum amount of addition was 1.0% of the weight of inoculant added, respectively. That was improved also by the simultaneous addition of two or three kinds of minor elements. Even though worse with the addition of two kinds of them simultaneously than with individual addition, that was improved with the simultaneous addition of all three kinds over that with the individual one.

Keywords : Inoculant, Inoculation, Melt treatment, Cast iron, Gray cast iron.

(Received September 23, 2004; Accepted October 13, 2004)

1. 서 론

주철은 화학 조성 또는 냉각 속도에 따라 다양한 응고 조직을 나타내며, 비평형 응고의 조건이 되면 철 조직 및 백주철 조직의 생성이 촉진된다. 주철 용탕을 주형에 주입하기 전에 용탕에 흑연 또는 페로실리콘을 첨가하면 주철의 응고 조직에 나쁜 영향을 미치는 여러가지 인자를 완화시켜 조직의 일관성과 품질의 신뢰성이 높은 주철 재료를 제조할 수 있다. 이와 같이 주철 용탕에서 오스테나이트-흑연 공정 반응을 일어나게 하기 위한 핵생성 자리의 수를 증가시키기 위한 용탕처리법을 접종 또는 후접종이라 한다[1].

접종제의 주된 역할은 흑연의 핵생성 자리를 공급하는 것이다. 이와 같은 핵생성 자리로는 산화물, 황화물, 탄화물 또는 규산염 화합물 등이 있다. 접종제에는 페

로실리콘기 접종제, 불순물을 함유하고 있는 흑연 및 규화 칼슘 및 탄화 규소와 같은 규소기 접종제의 세 가지 기본 형태가 있다. 페로실리콘기 접종제의 경우에는 높은 페로실리콘 입자 주위의 액상 중 규소의 함량이 증가하고 따라서 탄소의 활동도가 커진다. 즉 페로실리콘 입자가 높은 액상의 온도보다 흑연의 액상선 온도를 훨씬 더 높게 한다[2]. 결과적으로 용탕내에서 또는 접종제 입자와 용탕 사이의 계면에서 형성하는 대부분의 고체 개재물이 활성이 큰 흑연 핵생성 자리가 될 것이다. 대부분의 경우에 높은 접종제로부터 형성된 개재물은 바로 흑연을 핵생성시키고 흑연으로 둘러싸이는 것으로 생각된다. 규소기 접종제 입자가 높은 입자 주위의 액상에서도 규소의 함량이 증가하고 따라서 흑연이 핵생성하는 페로실리콘기 접종제의 경우와 비슷한 기구가 제안되었다. 규화 칼슘 또는 탄화

영남대학교 재료금속공학부(School of Mat. & Met. Eng., Yeungnam University, Gyeongsan, 712-749, Korea)

^{*}해원산업주식회사(Haewon Ind. Co. Ltd, Koyryeong, 717-702, Korea)

[†]E-mail : hwkwon@yumail.ac.kr

칼슘과 같은 접종제가 녹은 액상 내에서는 규소와 칼슘의 산화물 및 칼슘의 황화물이 형성하여 흑연이 핵 생성하여 성장할 수 있는 자리(substrate)를 공급한다고 가정한다[3-6].

회주철을 접종처리하면 Fig. 1 및 2에서 보이는 바와 같이 오스테나이트-편상 흑연 공정 조직이 형성하는 온도가 증가하며 이것은 이 공정의 핵생성 자리의 수가 증가하는 것과 관련이 있다[7]. 결과적으로, 가장

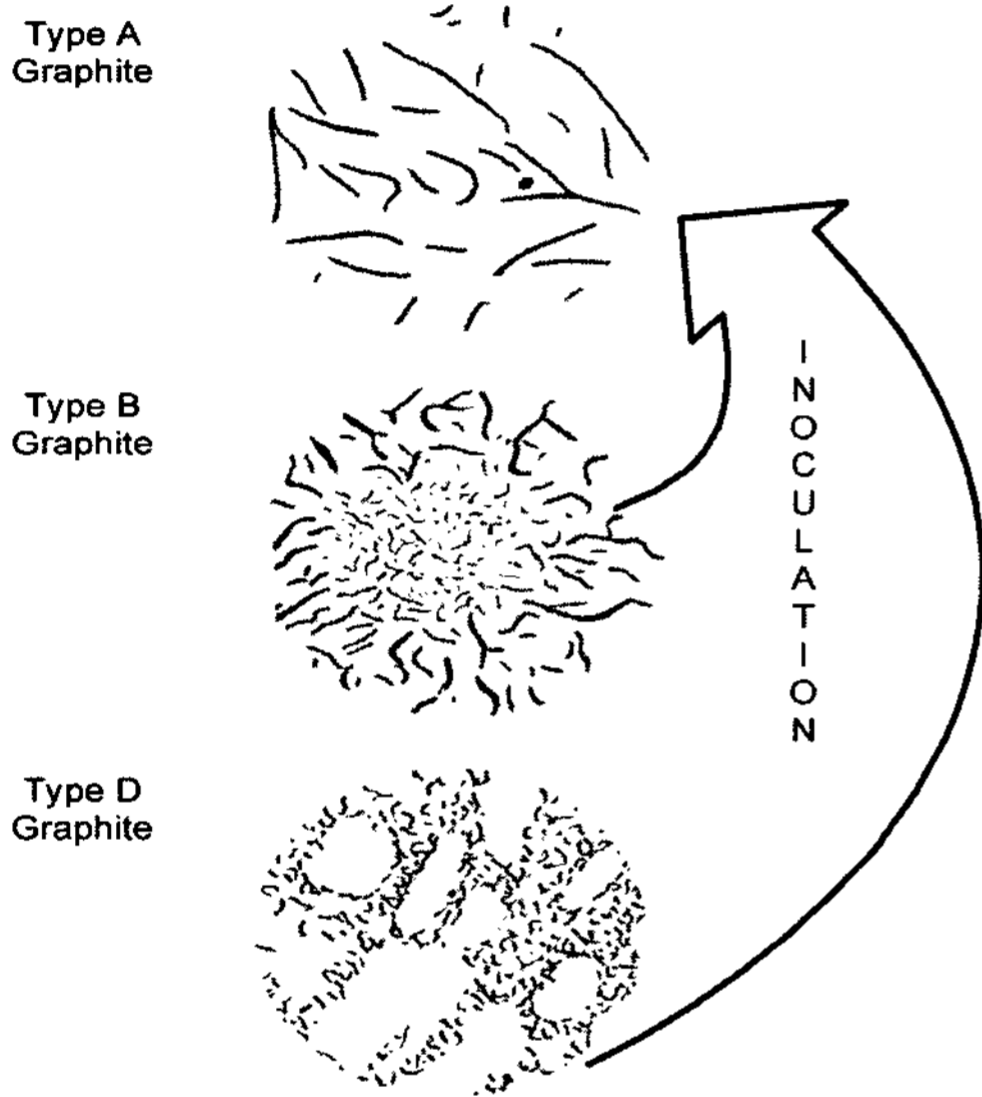


Fig. 1. Flake graphite types developed at various degrees of undercooling of the eutectic liquid and the effect of inoculation on these structures [7].

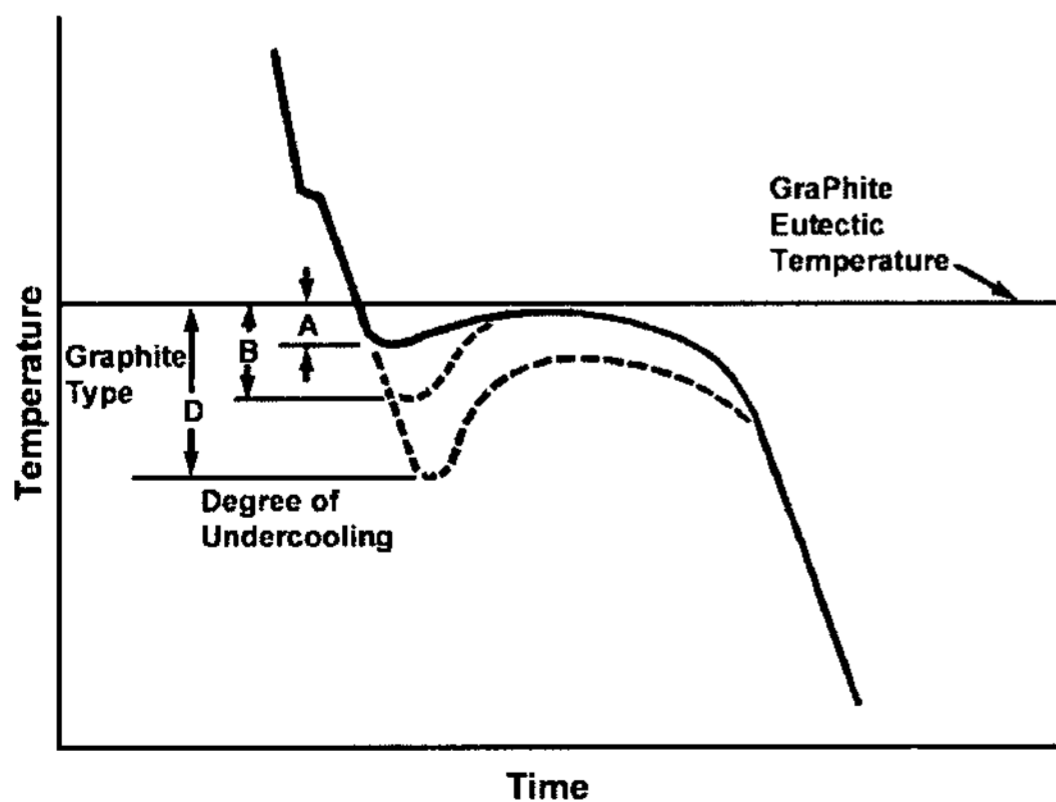


Fig. 2. Examples of typical cooling curves of irons exhibiting ASTM types A, B and D graphite. The relative undercooling associated with these graphite types is illustrated schematically [7].

높은 공정 반응 온도에서 방향성이 전혀 없고 균일하게 분포하는 ASTM A 형태의 편상 흑연이 형성한다. 이 공정 조직은 셀을 형성하는 방법으로 응고한다. 각 공정셀은 독립적으로 핵생성하며 편상 흑연과 오스테나이트 두 상 모두가 액상과 접촉한 상태에서 성장하여 형성한다.

회주철은 공정 응고가 일어나는 온도에 따라서 서로 다른 흑연 조직을 나타낸다. A 형태의 흑연은 가장 높은 온도에서 형성하며 과냉이 증가함에 따라 B 형태의 흑연, D 형태의 흑연 그리고 오스테나이트-탄화물 공정이 형성된다. 접종이란 핵생성제를 첨가하여 가능한 높은 온도에서 공정 응고가 일어나게 하고 따라서 A 형태의 흑연 형성을 촉진하여 탄화물 형성을 최소화하는 방법이다. 회주철 용탕을 접종처리하면 철 깊이는 감소한다.

대부분의 경우에 접종한 후 녹은 접종제로부터 형성한 핵은 즉시 흑연을 핵생성시키고 흑연으로 둘러싸인다. 그러나 시간이 경과함에 따라 흑연으로 둘러싸인 입자는 접종제 입자가 녹은 주위의 탄소 부화 영역으로부터 이동하여 떨어져서 불안정해진다. 이 경우에 개재물을 둘러싸고 있는 흑연 층은 재용해될 것이고, 특히 황(S)의 함량이 낮은 주철 용탕 중에서, 개재물은 액상중에서 자유로이 노출된다. 이 입자들은 다른 개재물 입자들과 뭉친다. 또한 이 개재물들은 온도가 낮아져서 산소와 황의 용해도가 감소함에 따라 산화물과 황화물이 생기게 하는 서브스트레이트로 작용할 것이다. 이와 같은 개재물 핵이 노출됨에 따라서 그 수는 감소하고 특성이 변화하여 흑연을 핵생성시키는 효과는 떨어지게 된다. 즉, 이 개재물 위에 흑연이 핵생성하여 성장하기 위해서는 더 큰 과냉이 필요하다. 결과적으로, 접종 효과는 점점 감소한다. 이러한 감소 현상은 접종이 끝난 후부터 일어나는 연속적인 과정이다[8].

회주철의 접종 효과를 확인하기 위한 시험 방법으로는 열분석법, 철시험법 및 거시조직 검사법이 있다. 열분석 곡선은 주철 용탕의 과냉의 정도를 예측하는 좋은 도구이다. Te을 넣은 셀컵, 아무 것도 넣지 않은 셀컵 그리고 접종을 확실하게 하기 위하여 Ca-Si-Ba 접종제 분말을 넣은 셀컵의 세 가지로부터 얻은 세 가지 냉각 곡선으로부터 용탕의 특성을 비교할 수 있다. 다른 두 가지 방법에 비하여 열분석법은 재현성이 있는 좋은 방법으로 알려져 있다.

주조 공장 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 페로실

리콘기 및 규화칼슘기 접종제 중에서 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제가 접종 효과가 가장 우수하고 감쇄 속도가 느린 것으로 나타났다[9]. S와 Ce는 단독 또는 복합으로 존재할 때 적당한 양이면 흑연의 핵생성은 촉진시키나 과잉으로 존재하면 흑연의 성장을 오히려 억제하는 것으로 알려져 있다[3]. 또한 Bi도 흑연의 성장을 억제하나 Ce과 복합 첨가하면 구상 흑연 주철 중 흑연의 핵생성을 촉진한다[10]. 따라서 본 연구에서는 고주파 유도로서 주철 용탕을 얻은 후 접종 전과 후 그리고 일정한 온도에서 유지하면서 일정한 시간 간격으로 열분석 시험하여 S, Ce 및 Bi 첨가에 의한 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 접종능과 감쇄 거동에 미치는 영향을 조사 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험 변수

(1) 용탕 유지 온도

용탕 중 규소와 탄소는 다음과 같은 반응에 의하여 평형을 이룬다. 탄소와 규소의 산화반응에 대한 온도에 따른 표준 자유에너지 곡선을 비교하면 고온에서는 용탕중 탄소가 산화되어 일산화탄소가 발생하면서 규소가 환원되거나 용탕 중 규소가 보호되며 저온에서는 규소 및 다른 금속 원소의 산화가 일어난다 ($\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightleftharpoons \text{Si} + \text{CO}$). 이와 같은 반응의 반전이 일어나는 온도 범위는 용탕의 화학적 조성에 따라서 다르며 그 온도 범위는 1,390~1,440°C인 것으로 알려져 있다[2]. 따라서 장입물이 용해된 후 용탕 중 규소가 산화되고 탄소가 보호되는 온도 범위인 1,300~1,400°C 그리고 그 반대인 1,450~1,500°C에서 유지하여 시험하였다.

(2) 접종제 및 미량 첨가 원소

고주파 유도로서 3.3 wt%C 및 1.6 wt%Si 조성의 기본 용탕을 얻은 후 1,450~1,500°C의 온도 범위에서

1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제로서 규소의 함량을 0.5 wt% 증가시키는 방법으로 접종 처리하고 이 온도 범위에서 유지하여 접종전, 후 그리고 그 후 5분 간격으로 40분까지 열분석 시험하여 접종능과 페이딩 거동을 평가하였다. 접종제 중량의 0.0~1.5%의 범위에서 0.5% 간격으로 첨가량을 변화시켜 S, Ce 및 Bi를 각각 단독 첨가하였을 때 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 이들 원소의 영향을 조사하여 각 원소의 최적 첨가량을 결정하였다. 그 결과 S, Ce 및 Bi를 단독으로 첨가할 때 최적 첨가량은 각각 1.0 wt%인 것으로 나타났다. 따라서 접종제 중량의 1.0% S, Ce 및 Bi를 단독 또는 동시에 첨가하여 이 첨가 원소들의 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 접종능과 페이딩 거동에 미치는 영향을 조사하였다.

2.2 용해 및 용탕 유지 실험

먼저 선철 및 강고철을 기본 장입물로 하여 용해하였고 용탕의 온도가 접종 및 유지 온도에 도달하였을 때 Fe-75 wt%Si, Fe-74 wt%Mn 및 1.0 wt%Ba-Fe-Si를 첨가하여 KS D4301 규격의 GC 250 등급을 기준으로 3.3 wt%C, 2.1 wt%Si 및 0.65 wt%Mn를 목표 조성으로 하였다. 각 장입물과 첨가물의 화학적 조성은 Table 1에서 보이는 것과 같다. 모든 경우에 75 kW 용량의 고주파 유도로서를 이용하여 용해하고 용탕 유지 실험을 하였다.

2.3 열분석 시험

탄소 당량 측정 장치의 탄소 당량 측정용 셀캡 받침대 3개를 K-형태의 열전대로 온도 기록용 소프트웨어가 내장된 컴퓨터에 연결하여 구성한 열분석 장치를 이용하여 열분석 시험을 하였다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 오스테나이트-탄화물 공정이 일어날 때의 냉각 곡선으로부터 탄화물 공정 온도를 측정하기 위하여 Te를 넣은 셀캡, 실제 시험하고자 하는 용탕의 접종능

Table 1. Chemical compositions of charging materials, additives and inoculant

(wt%)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ba	Al	Remark
Pig iron	4.41	1.58	0.36	0.021	0.080	-	-	
Steel scrap	0.025	0.001	0.73	0.015	0.006	-	-	
Fe-75 wt%Si	-	76.37	-	0.03	0.003	-	1.73	
Fe-74 wt%Mn	6.72	0.50	74.00	0.35	0.005	-	-	
1.0 wt%Ba-Fe-Si	74-79	0.8~1.3	-	-	-	0.8~1.3	0.8~1.2	

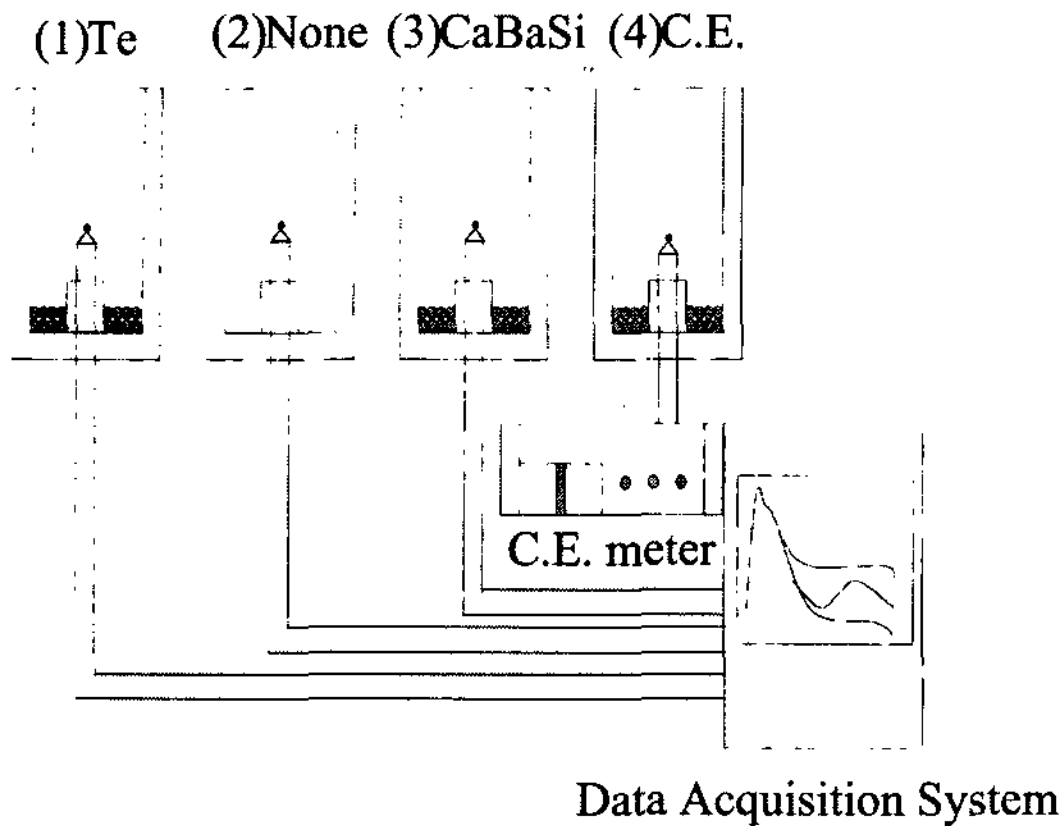


Fig. 3. Thermal analysis apparatus.

과 감쇄 거동을 평가하기 위한 아무것도 넣지않은 셀 컵, 그리고 충분히 접종된 상태에서 오스테나이트-흑연 공정 온도를 측정하기 위하여 미세한 Ca-Ba-Si 분말을 넣은 셀컵의 세 종류의 컵을 사용하였다.

장입물을 용해한 후 기본 용탕의 온도가 접종 처리 및 유지를 위한 온도에 도달하였을 때 열분석 시험을 한 후 접종 처리를 하였다. 접종제를 노중 용탕에 첨가하여 모두 용해된 후 다시 열분석 시험을 하였으며 그 후 용탕 유지 온도에서 40분까지 유지 시키면서 5분 간격으로 열분석 시험을 하여 접종제의 감쇄 거동을 평가하였다. 이 때 오스테나이트-흑연 공정 온도, 오스테나이트 탄화물 공정 온도, 시험 용탕의 공정 과냉 온도 및 재취 온도(recalescence temperature)를 측정하였다. 그리고 공정 과냉 온도와 오스테나이트-탄화물 공정 온도의 차이(ΔT)를 계산하였다. 실험 과정의 재현성을 확인하고 평균값을 얻기 위하여 모든 경우에 세 차례 반복하여 시험하였다.

2.4 화학 성분 분석 및 미세 조직 검사

기본 용탕, 접종 처리 후 그리고 용탕 유지 온도 범위에서 용탕을 유지할 때의 화학 조성의 변화를 조사하기 위하여 용탕을 레이드에 출탕하여 세 가지 셀컵에 각각 주입한 후, 화학 분석 시험용 시편을 얻기 위한 금형과 칠 시편을 얻기 위한 ASTM 표준 A367의 2C 규격의 칠 시편용 셀 주형에 주입하였다. 이 셀 주형은 10 mm 두께의 동판 위에 설치하였다. 화학 분석 시험용 시편은 Shimadzu사의 방출 스펙트럼 분석 장치로 분석하였으며, 칠 시편은 파괴하여 파면으로부터

백선화 칠(clear chill) 깊이와 전체 칠(total chill) 깊이를 측정하였다.

열분석 시험 결과와 실제 용탕의 접종 결과 및 감쇄 거동을 비교하기 위하여 응고 후 시험 용탕을 주입한 컵으로부터 얻은 시편을 열전대의 끝부분인 바닥으로부터 32 mm 위치에서 절단하여 광학 현미경 조직 검사용 시편을 얻었다. 표준 연마 방법에 따라 조연마 및 세연마를 한 후 광학 현미경으로 흑연 조직을 관찰하였다.

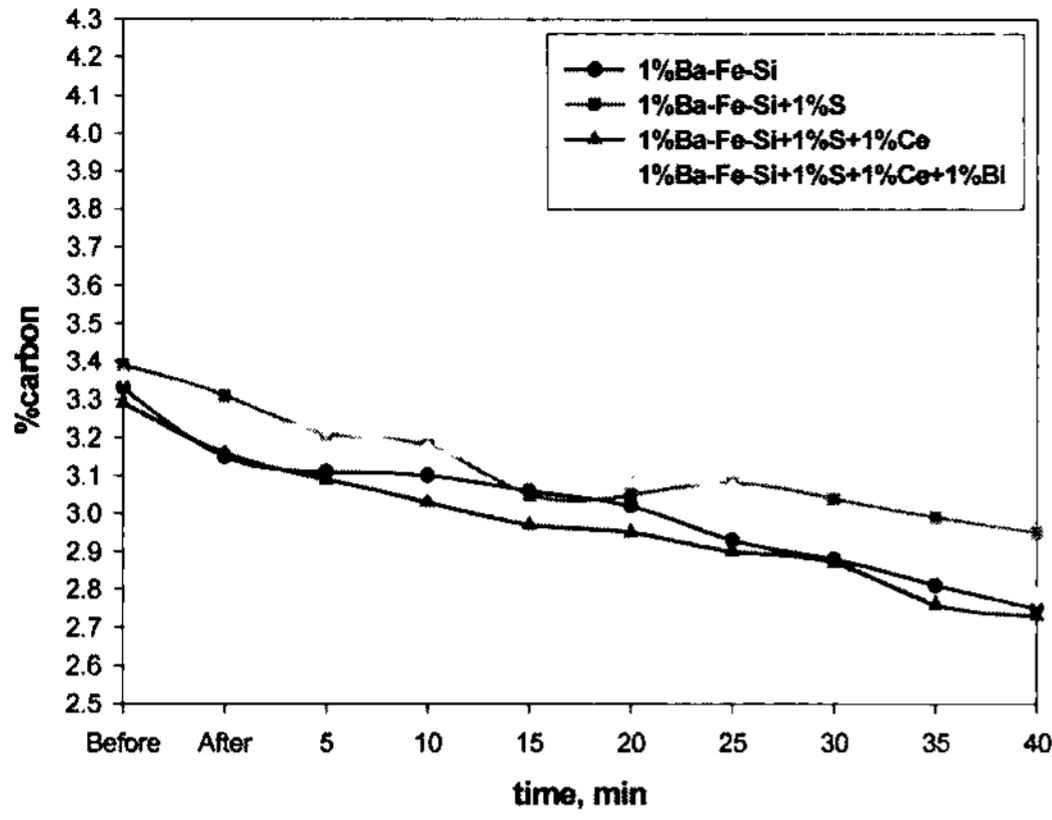
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 화학 조성의 변화

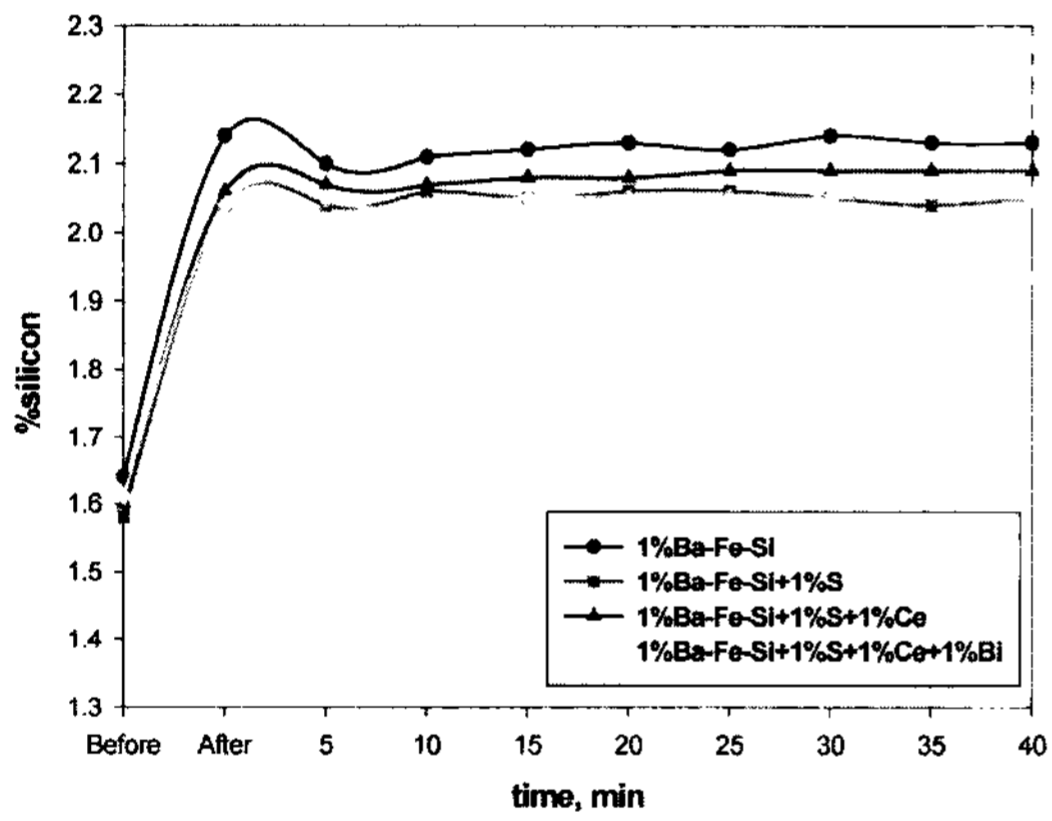
접종 처리 후 용탕의 기본 화학 조성은 3.4 wt%C 및 2.1 wt%Si를 목표 조성으로 하였으며, 1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위와 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 접종 처리하고, 용탕 유지 실험을 하여 각 용해별로 화학 성분 분석을 위한 시편을 얻어 화학 조성을 분석하였다. 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제로 접종 처리를 할 때, 접종제 중량의 1.0%의 S를 단독으로 첨가한 경우, 접종제 중량의 각각 1.0%의 S와 Ce의 두 가지 원소를 복합 첨가한 경우 그리고 S, Ce 및 Bi의 세 가지 원소를 복합 첨가한 경우의, 대표적인 C, Si 함량 및 탄소당량의 변화는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다. 탄소 및 규소 함량은 목표 조성의 범위에서 벗어나지 않았으며 용탕 유지에 따라 탄소 함량은 감소하고 접종 처리로 증가한 후 높은 온도 범위에서 탄소가 산화되면서 규소가 보호되어 규소 함량은 비교적 일정하게 유지된 것으로 나타났다.

3.2 접종 처리 및 용탕 유지 온도의 영향

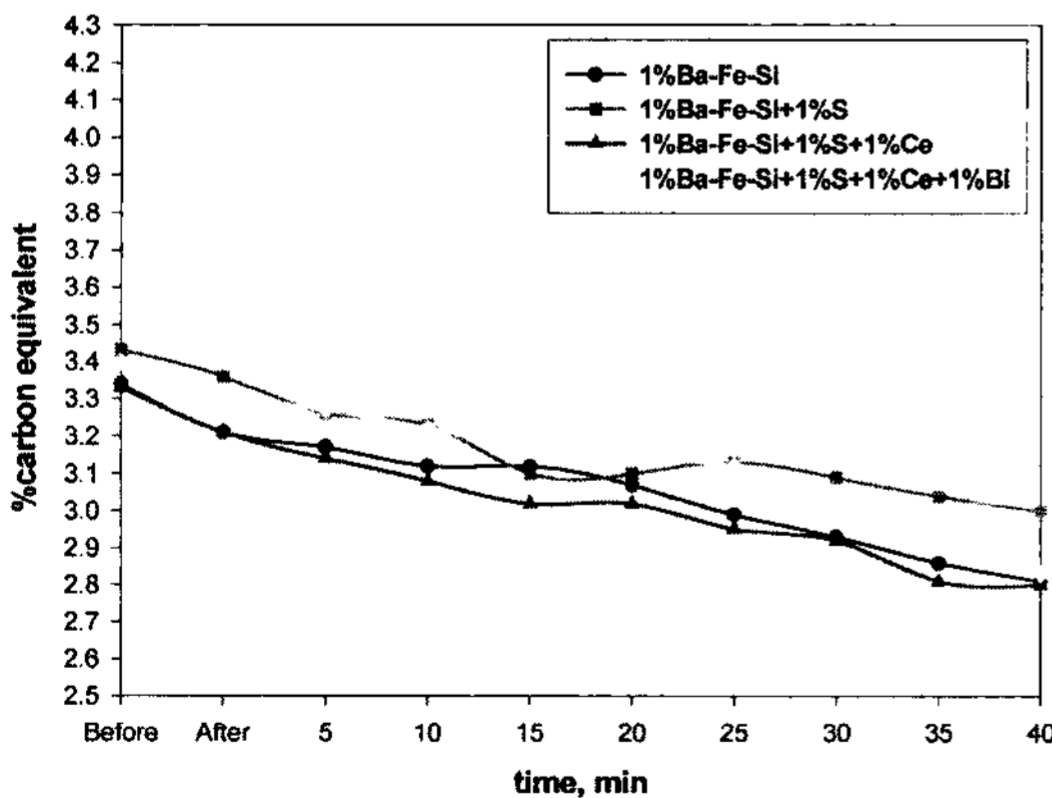
탄소 및 규소 산화 반응의 역전 온도 범위는 1,390~1,440°C인 것으로 알려져 있다. 이 범위보다 낮은 온도 범위인 1,350~1,400 그리고 이 범위보다 높은 온도 범위인 1,450~1,500°C의 온도 범위에서 접종 처리 및 용탕 유지하여 얻은 시간에 따른 공정 과냉 온도와 오스테나이트 탄화물 공정 온도의 차이(ΔT)의 변화는 Fig. 5에서 보이는 바와 같다. 각각의 경우 3차례 시험하였으며 1,450~1,500의 높은 온도 범위에서 얻은 결과가 1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위에서 얻은 결과에 비하여 ΔT 값의 변화의 범위가 더 좁고, 용탕 유



(a) Carbon



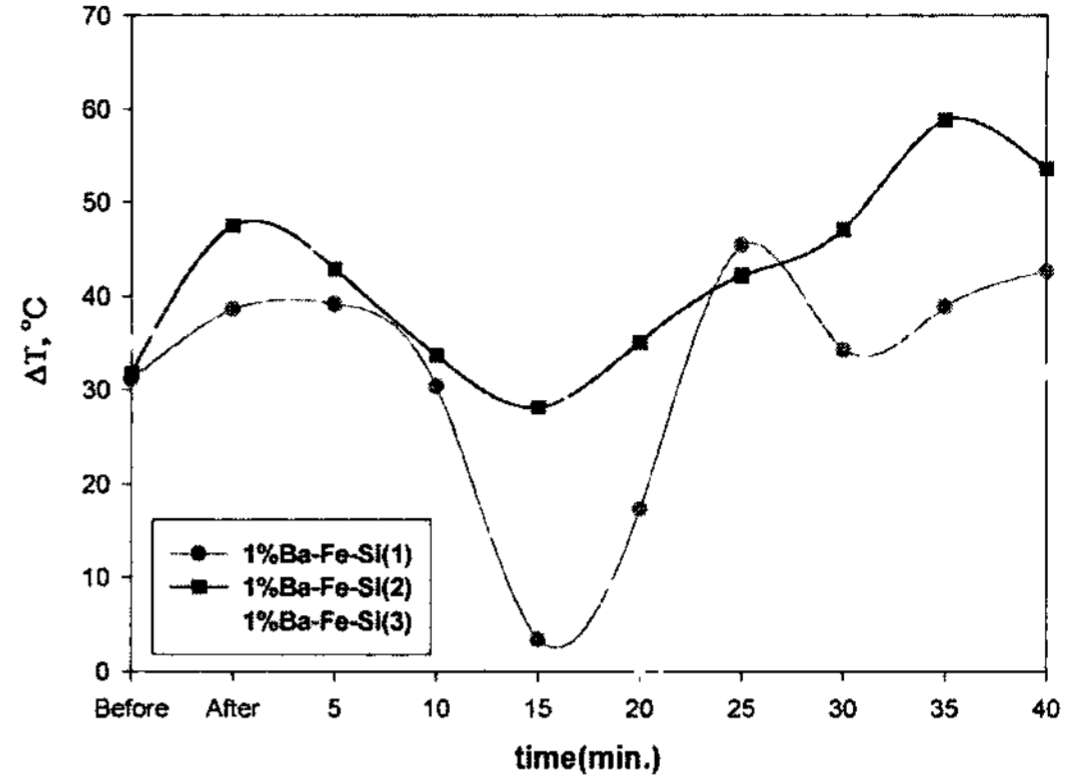
(b) Silicon



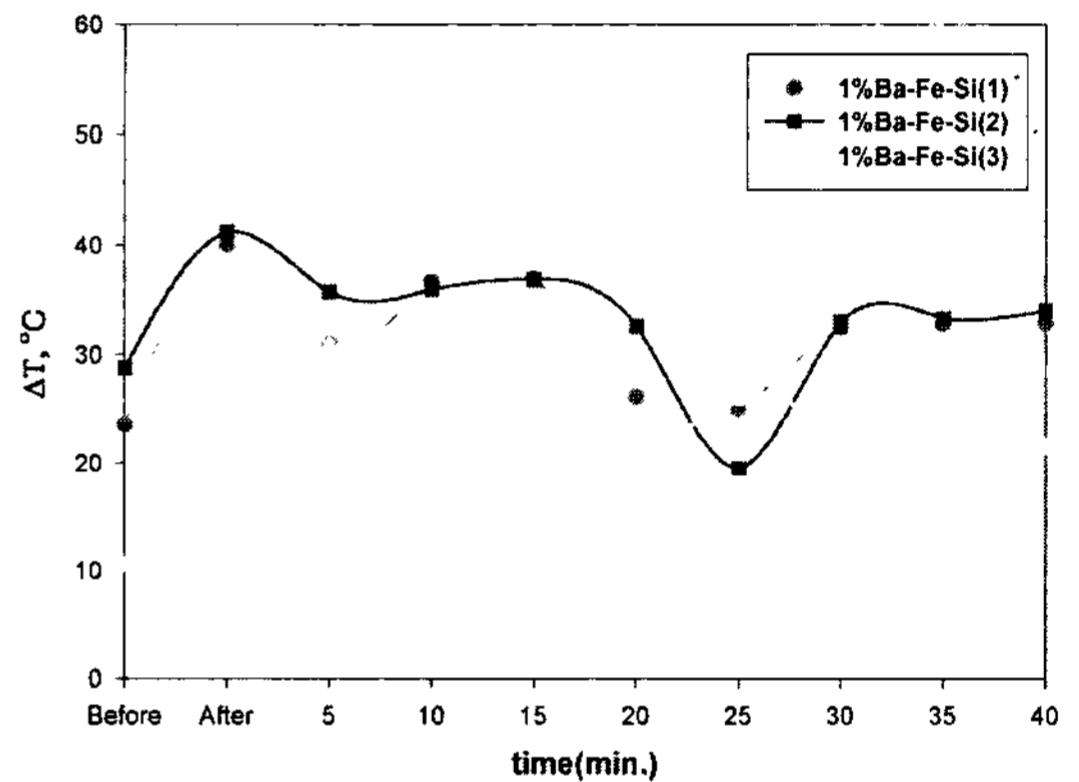
(c) Carbon equivalent

Fig. 4. Variations of the contents of carbon and silicon and resultant carbon equivalent before, after the inoculation and with holding time at 1,450~1,500°C.

지에 따라 감소 속도도 느리며 비교적 일관성과 재현성이 있는 것으로 나타났다. 이것은 1,450~1,500°C의 높은 온도 구간에서 접종 처리 및 용탕 유지를 한 경



(a) 1,350 ~ 1,400 °C



(b) 1,450 ~ 1,500 °C

Fig. 5. Variation of difference between undercooling temperature of eutectic and austenite-carbide eutectic temperature with holding temperature ranges after inoculation with 1.0 wt%Ba-Fe-Si.

우 상대적으로 탄소가 산화되면서 규소 및 다른 금속 원소가 보호되었기 때문에 3차례 반복 시험을 한 경우 각각의 접종 처리 결과가 재현성이 있고 페이딩 속도가 더 느려졌다. 따라서 이후의 1%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 미량 원소 첨가의 영향을 조사하기 위한 실험에서는 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서 접종 처리하고 용탕을 유지시켰다.

3.3 미량 원소의 영향

(1) 단독 첨가의 영향

S, Ce 및 Bi를 각각 단독으로 첨가하여 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 영향을 시험하였다. 각 원소에 대하여 접종제 중량의 0.0~1.5%의 범위에서 0.5% 간격으로 변화시켜 첨가하여 시험하였으며 1.0

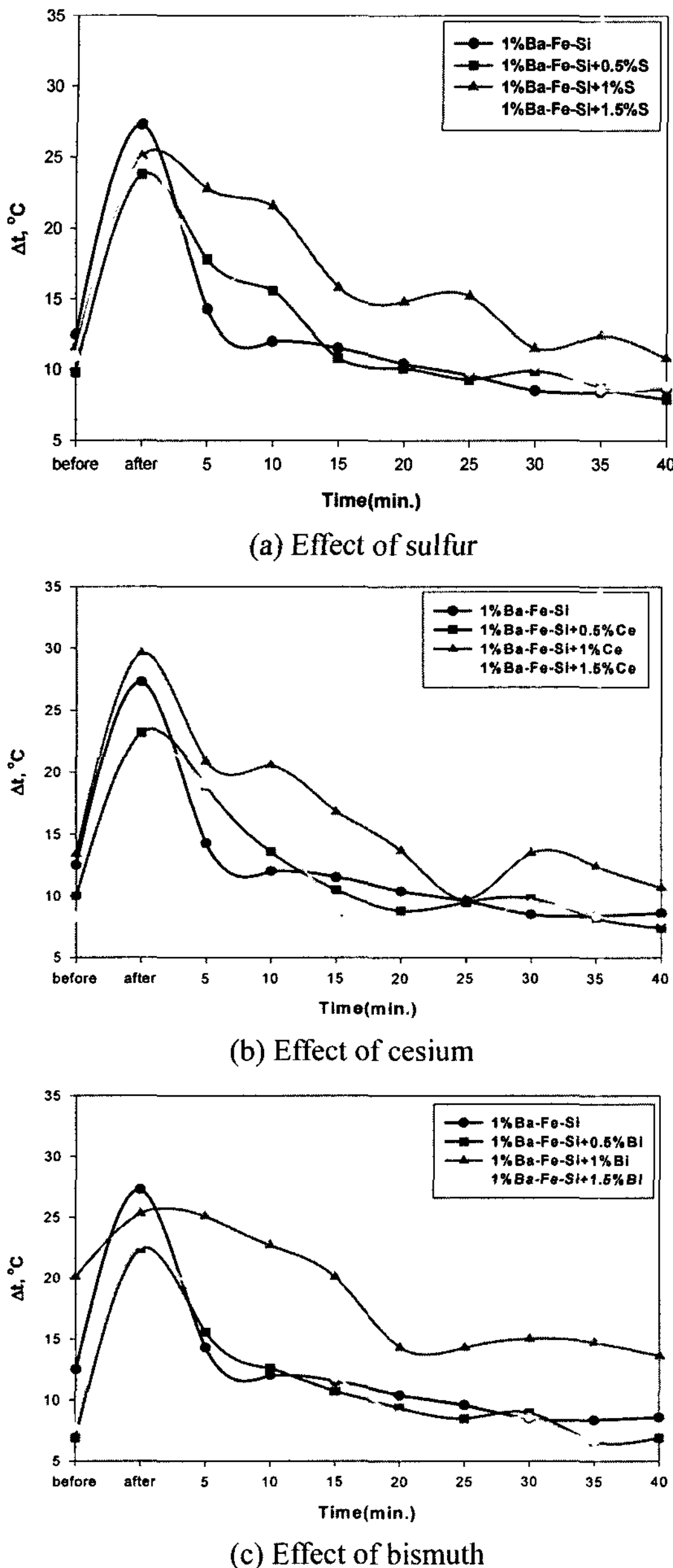


Fig. 6. Effect of minor elements on the inoculation ability and fading behavior of 1.0 wt%Ba-Fe-Si.

wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 영향은 Fig. 6에서 보이는 바와 같다.

각 원소를 단독으로 첨가한 경우에 극히 소량인 접종제 중량의 0.5%를 첨가하였을 때에는 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능이 첨가하지 않았을 때에 비하여 크게 다르지 않으나 1.0%를 첨가하였을 때에는 상당

히 개선된 것으로 나타났다. 또한 접종제 중량의 1.5%로 증가시켜 각 원소를 첨가하였을 때에는 그 효과가 거의 없어지는 것으로 나타났다. 따라서 각 원소의 최적 첨가량은 접종제 중량의 1.0%인 것으로 생각되었다.

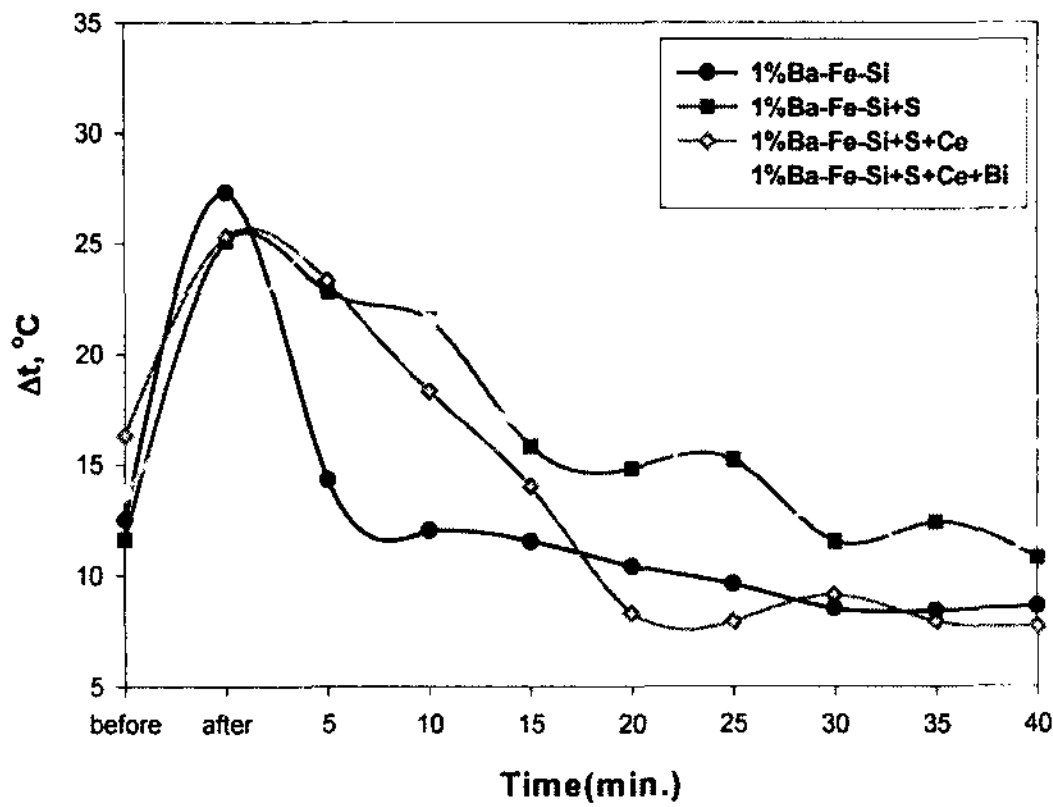
적당한 량의 S가 주철 용탕 속에 존재하여 금속 원소의 황화물이 형성되면 이 황화물은 흑연 핵생성을 위한 자리로 작용하여 흑연의 핵생성을 촉진시킨다. 그러나 다른 금속 원소와 결합하지 않은 황은 오히려 흑연의 성장을 억제하는 것으로 알려져 있다[3]. Ce의 경우에도 적당한 량이 주철 용탕 중에 존재하면 황과 결합하여 형성된 황화물이 흑연의 핵생성 자리로 작용할 것이다. 그러나 과잉으로 존재하면 Ce도 또한 S과 마찬가지로 흑연의 성장을 억제한다[3]. Bi도 과잉으로 존재하면 편석으로 공정 셀 경계에 편석하여 흑연의 성장을 억제한다[3].

(2) 복합 첨가의 영향

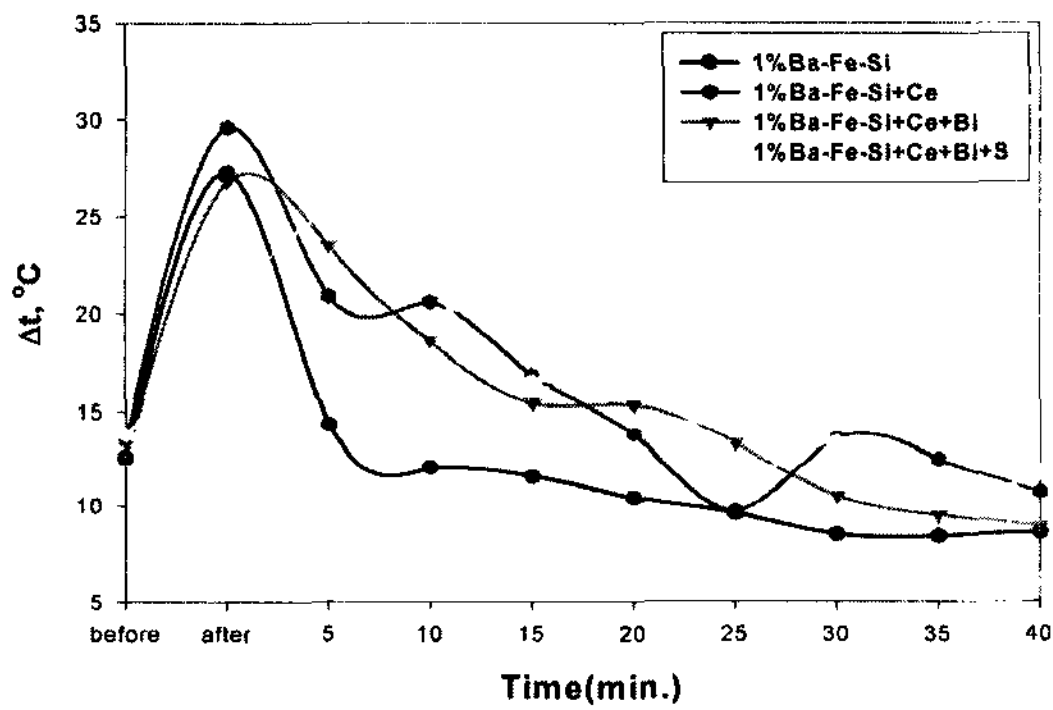
S, Ce 및 Bi 미량 원소의 두 가지 또는 세 가지 모두를 복합 첨가하였을 때 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 각 경우에 각 원소는 접종제 중량의 1.0%를 첨가하였으며 그 결과는, 미량 원소를 첨가하지 않은 경우와 각 원소를 단독으로 첨가한 경우의 결과와 함께, Fig. 7에서 보이는 바와 같다.

각 원소의 경우, 미량 원소를 첨가하지 않은 경우에 비하여 단독으로 그리고 동시에 첨가한 경우 모두 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 감쇄 속도를 감소시켜 그 성능을 개선시키는 것을 알 수 있다. 그러나 S, Ce 및 Bi의 세 가지 원소 중 두 가지를 복합 첨가한 경우에는 단독으로 첨가한 경우에 비하여 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능을 오히려 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 세 가지 원소를 복합 첨가한 경우에는 각 미량 원소를 단독으로 첨가한 경우보다 약간 더 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능을 개선시키는 것으로 나타났다.

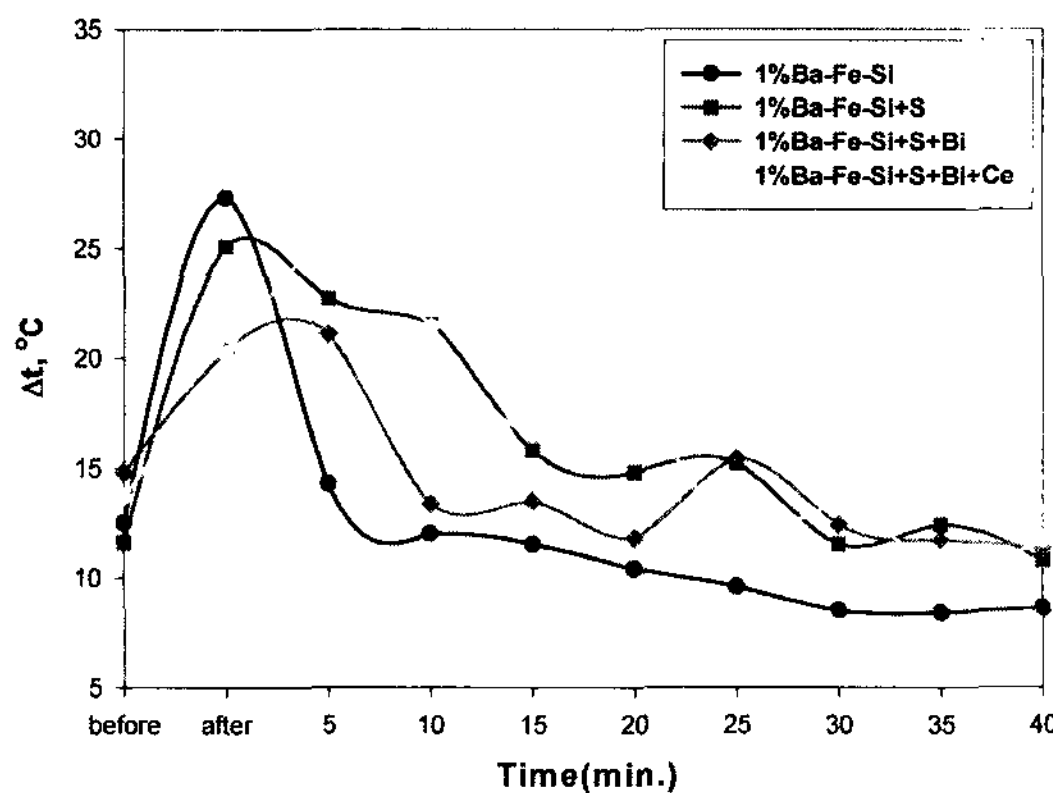
세 가지 원소 모두 주철 용탕 중 흑연의 핵생성과 성장에 대하여 좋은 영향과 나쁜 영향을 각각 가지고 있으며 각 원소 접종제 중량의 1.0%를 각각 단독으로 첨가하였을 경우에 비하여 두 가지 원소를 복합 첨가한 경우에는 어느 한 원소가 과잉으로 존재하여 흑연의 성장을 억제한 것으로 생각된다. 그리고 세 가지 원소를 복합 첨가한 경우에는 두 가지 원소를 첨가한



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Effect minor elements added individually or simultaneously on the performance of 1.0 wt%Ba-Fe-Si inoculant in the melt of gray cast iron.

경우에 비하여 다른 원소가 두 가지 원소의 동시 첨가 시 영향을 희석시켜 전체적으로는 단독으로 첨가한 경우보다 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능을 약간 더 개선시키는 것으로 생각되었다.

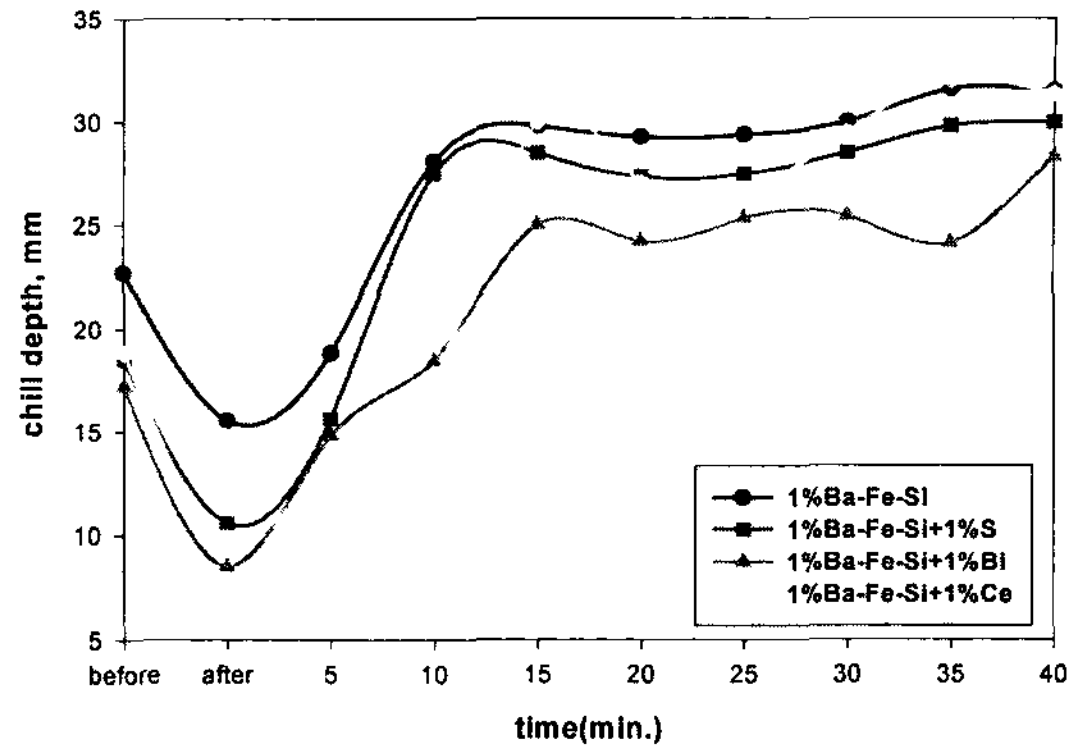


Fig. 8. Test results of chill specimens obtained during holding at the temperature range of 1450~1500°C before and after inoculation with 1.0 wt%Ba-Fe-Si added 1.0 wt%Ce, Bi and S, respectively.

3.4 칠 시험 및 미세 조직 검사

장입물을 용해한 후 원하는 온도 범위에 도달하였을 때 용탕을 접종 처리하고 그 온도 범위에서 용탕을 유지하는 동안 열분석 시험용 셀 컵에 용탕을 주입한 후 칠 시편을 얻기 위한 셀 주형에 용탕을 주입하여 칠 시험을 하였다. 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제만으로 접종 처리한 경우와 세 가지 원소 각각을 접종제 중량의 1.0%를 첨가한 경우의 대표적인 전체 칠 깊이의 변화는 Fig. 8에서 보이는 바와 같다. 열분석 시험 결과에 비하여 변별력과 일관성이 나쁘기는 하지만 각 미량 원소를 첨가한 경우가 그렇지 않은 경우보다 접종 결과도 더 우수하고 대체로 감쇄 속도도 감소한 것으로 나타났다. 그리고 열분석 시험 후 응고된 시편을 절단하여 열전대 끝부분 위치의 미세 조직의 변화를 관찰하였다. 미량 원소를 첨가하지 않은 경우, S를 단독으로 첨가한 경우, S와 Bi를 동시에 그리고 세 가지 원소 모두를 복합 첨가한 경우의 접종 처리 직후, 5분 및 10분 후의 대표적인 미세 조직은 Fig. 9에서 보이는 바와 같다. 미량 원소를 첨가하지 않은 경우에 비하여 접종제 중량의 1.0%의 S를 첨가한 경우에 접종 결과도 더 낮고 페이딩 속도도 더 느린 것을 알 수 있다. 그리고 S와 Bi를 복합 첨가한 경우에는 S를 단독으로 첨가한 경우보다 결과가 더 나빠졌으며 세 가지 원소를 복합 첨가한 경우가 S를 단독으로 첨가한 경우보다 더 개선되었다. 광학 현미경 조직 검사 결과는 대체로 열분석 시험 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

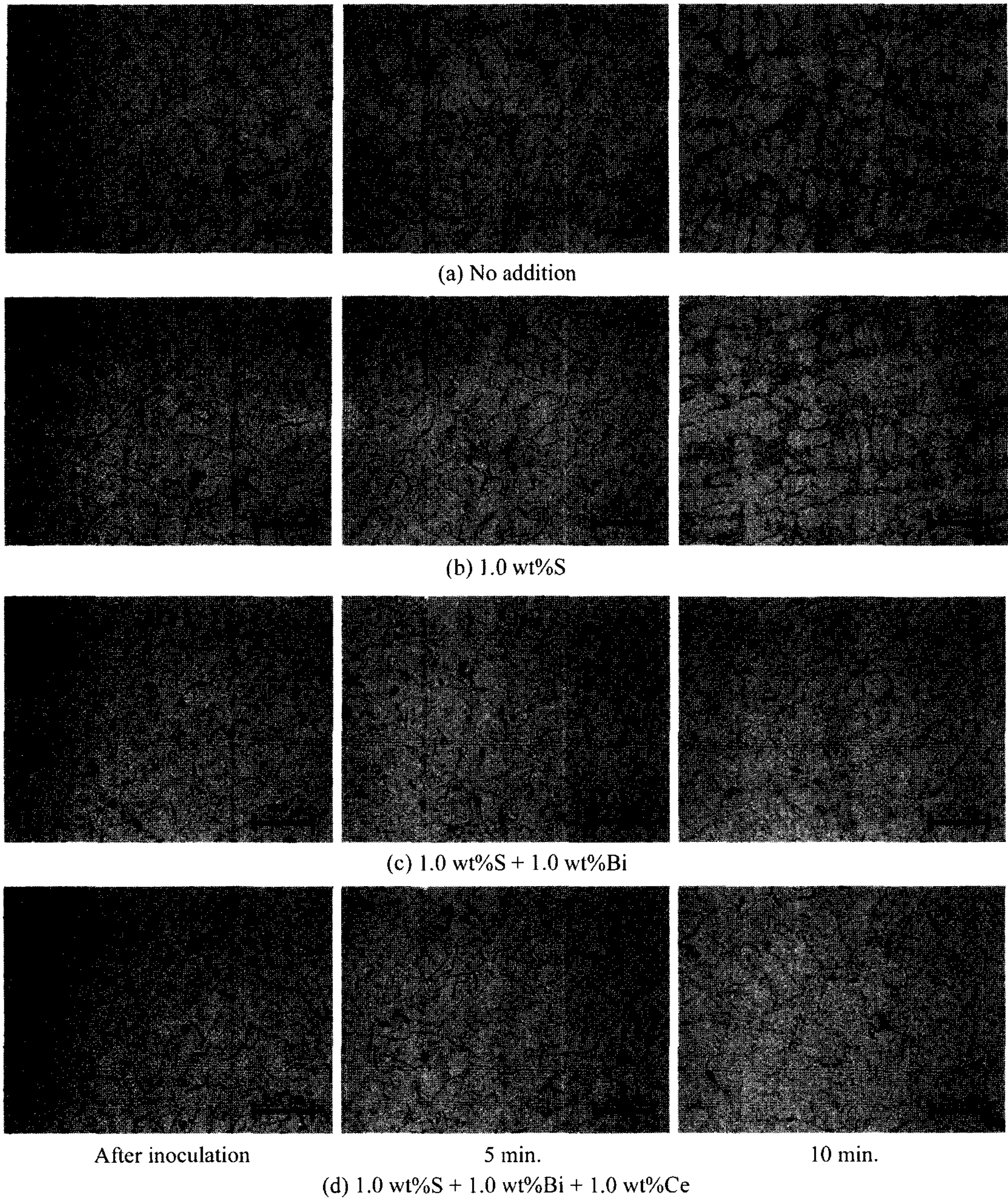


Fig. 9. Variation of microstructure after inoculation with 1.0 wt%Ba-Fe-Si without and with the addition of minor elements individually and simultaneously during holding at the temperature range of 1,450~1,500°C.

4. 결 론

회주철 용탕을 접종 처리한 후 일정한 온도 범위에서 유지시켜 열분석 시험하는 방법으로 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능에 미치는 S, Ce 및 Bi의 영향을 조

사 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 1,450~1,500°C의 높은 온도 범위에서의 경우에, 1,350~1,400°C의 낮은 온도 범위에서 회주철 용탕을 접종 처리하고 용탕을 유지한 경우에 비하여, 접종 결과가 더 좋고 감쇄 속도도 느린 것으로 나타났다.

2. S, Ce 및 Bi를 각각 단독으로 첨가하였을 경우가 그렇지 않은 경우보다 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 접종 결과가 좋고 감쇄 속도가 느려서 그 성능이 개선되었으며, 최적 첨가량은 각각 접종제 중량의 1.0 wt%인 것으로 나타났다.

3. S, Ce 및 Bi 미량 원소 중 두 가지를 복합 첨가한 경우에는 단독으로 첨가한 경우에 비하여 그 결과가 오히려 나빠졌으나 세 가지를 복합 첨가한 경우에는 단독으로 첨가할 경우보다 접종 결과가 개선되고 감쇄 속도가 감소하여 1.0 wt%Ba-Fe-Si 접종제의 성능이 약간 개선되었다.

참고 문헌

- [1] C. R. Loper, Jr. : J. of KFS, "Nucleation of graphite in cast irons", 17(4), (1997) 327-337.
- [2] D. R. Asklund, P. K. Trojan and R. A. Flinn : Trans. AFS, 77, (1969) 344-352.
- [3] J. F. Wallace : Trans. AFS, "Effects of minor elements on the structure of cast irons", 83, (1975) 363-377.
- [4] J. F. Wallace and R. D. Maier : Proc. of AFS-CMI Conf., "How inoculation works", Feb., (1979) 41-75.
- [5] T. Skaland et al. : Met. Trans., "A model for the graphite formation in ductile cast iron, Part I, inoculation mechanisms", 24, (1993) 2321-2333.
- [6] T. Mizoguchi, J. H. Perpezko and C. R. Loper, Jr. : Trans AFS, "Nucleation during solidification of cast irons", 95, (1997).
- [7] C. R. Loper, Jr. : Foundry, "Inoculation of cast iron", Sept., (1996) 42-48.
- [8] C. R. Loper, Jr. and R. B. Gundlach : Proc. of International Inoculation Conf., "Inoculation what is it and how does inoculation works?", April, (1998).
- [9] H. Lee and H. Kwon : J. of KFS, 23(3), (2003) 122-129.
- [10] A. Alagarsamy et al. : "Ductile iron handbook", AFS, (1999) 98.