

## Modified Belite Cement 구성광물의 생성에 미치는 붕사의 영향

채우형 · 최상훈

한양대학교 무기재료공학과

(1996년 7월 16일 접수)

## The Effects of Borax on Formation of Modified Belite Cement Minerals

Woo-Hyeong Chae and Sang-Heul Choi

Dept. of Inorg. Mater. Eng., Hanyang Univ.

(Received June 16, 1996)

### 요 약

붕사의 첨가가 Modified Belite Cement(MBC) 클링커의 구성광물인  $C_2S$ ,  $C_1A_2\bar{S}$  및  $C_1AF$ 의 생성반응에 미치는 영향을 연구하였다. 붕사의 첨가는  $\beta$ - $C_2S$ 와  $\alpha'$ - $C_2S$ 를 안정화 시켰다.  $C_1A_2\bar{S}$ 의 생성을 방해하였고,  $C_1AF$ 의 생성 온도를 낮추었다. MBC 클링커에서 붕사 3%의 첨가로 소성성은 좋아지고  $C_2S$ 는 크고 불규칙한 형태가 되었고, C/S의 몰비가 커졌다.  $C_1A_2\bar{S}$ 는 크기가 작아지고, C/ $\bar{S}$ 의 몰비가 커졌다.

### ABSTRACT

The effects of borax on the phase formation of  $C_2S$ ,  $C_1A_2\bar{S}$  and  $C_1AF$  which are major minerals of modified belite cement were investigated. It has been found that borax stabilizes  $\beta$ - $C_2S$  and  $\alpha'$ - $C_2S$  phases. It has negative effects on formation of  $C_1A_2\bar{S}$ . And it lowers the forming temperature of  $C_1AF$ . It also has been found that borax improves the clinkerization of MBC. In the MBC clinker with borax 3%,  $C_2S$  have larger and more irregular shapes, larger C/S mole ratio, and  $C_1A_2\bar{S}$  have smaller size, larger C/ $\bar{S}$  mole ratio than in the clinker without borax.

**Key words:** Modified belite cement, Borax

### 1. 서 론

최근 시멘트 공업에서는 고유동성, 저열형 시멘트로서 벨라이트계 시멘트가 개발, 실용화되었고, 이 벨라이트계 시멘트를 부분적으로 보완한 Modified Belite Cement (이하 MBC)에 대한 관심이 높아지고 있다. MBC의 일반적인 소성온도는 약 1250~1300°C이며, 이 온도에서 구성광물인  $\beta$ - $C_2S$ ,  $C_1A_2\bar{S}$ ,  $C_1AF$ 가 생성되는데, 이때 소량의 불순물 성분이 용액의 형성 상태와 클링커의 물리적인 성질을 변화시켜, 클링커의 반응성에 영향을 미친다. 특히, 주성분인  $C_2S$ 가 수화활성이 없는  $\gamma$ 형으로 되는 것을 방지하고, 수화활성이 우수한  $\alpha$ 형으로 안정화시키기 위해서는 소성 클링커의 급냉과 안정화제의 첨가가 요구되는데, 이러한 첨가제에 대하여서는 시멘트 화학분야에서 많은 연구가 수행되어왔다<sup>1)</sup>.

주) 시멘트 화학에서의 관례상 다음과 같이 표기함  
CaO: C, SiO<sub>2</sub>: S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: A, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: F, SO<sub>3</sub>:  $\bar{S}$

Greene<sup>2)</sup>은  $C_2S$ 를 미량의 Na<sub>2</sub>O를 함유하는 고용체 형태로 만들어 상온에서  $\alpha$ 형의  $C_2S$ 를 합성하였고, Bates와 Klein<sup>3)</sup>은  $C_2S$ 의 광화제로서 1% 이하의 붕소와 크롬으로  $\beta$ - $C_2S$ 를 합성한 바 있다. Gies 등<sup>4)</sup>은  $C_2S$  함량이 많은 시멘트에서 알칼리의 고용으로 수화활성이 좋은  $\alpha'$ 와  $\alpha$ 형  $C_2S$ 로 안정화되는 것을 확인하였고, Jenic 등<sup>5)</sup>은 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가로 안정화된  $\alpha'$ ,  $\beta$ - $C_2S$ 의 동질 이상의 불완전성의 차이에 따른 수화활성의 변화를 확인하였다. Timashev<sup>6)</sup>은 클링커 용액상에 미량성분이 존재할 때 물리적 성질 변화에 대해 연구하였는데, K<sub>2</sub>O나 Na<sub>2</sub>O와 같은 알칼리 성분들이 용액의 점도를 증가시킨다고 하였다. Bucchi<sup>7)</sup>와 Timashev<sup>8)</sup>은 이러한 용액의 점도에 대한 미량성분의 첨가효과는 첨가원소의 최외각의 전자 배열과 관계한 전기음성도와 관계되는데, K, Na와 같이 이온반경이 크고 전하가 작은 이온은 점도를 증가시킨다고 하였다. Fierens 등<sup>9)</sup>은 원료조합에 붕소, 바나듐, 인, 비소, 크롬 등을 0.5~3.0% 첨가하여, 초기

수화특성의 안정화제 이온의 농도에 대한 의존성을 증명하였다. 이와같은 첨가제들의 미량성분들은 클링커 용액상의 형성온도, 점도, 표면장력, 결정형태를 변화시키고, 이로인해 클링커광물의 열역학적 안정성이 변하게 된다.

본 연구에서는 선행연구<sup>1)</sup>에서 인산석회의 중정석을 첨가제로 사용하여 C<sub>2</sub>S의 안정화 효과 검토에 이어 첨가제로서 주성분이 Na<sub>2</sub>O와 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이고 용집이 낮아 용제 또는 광화제로 널리 쓰이는 붕사를 사용하여 MBC 클링커 광물의 생성반응의 영향에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 출발원료

주원료로서 시약급의 CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 CaSO<sub>4</sub>와 첨가제로서 시약급의 붕사(Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O)를 사용하였다.

### 2.2. 각 클링커 광물의 소성 및 분석

순수한 C<sub>2</sub>S, C<sub>4</sub>A<sub>3</sub> $\bar{S}$ , C<sub>1</sub>AF의 생성반응에서 붕사 첨가의 영향을 알아보기 위하여, 각 클링커 광물의 조성비율로 원료를 혼합하고, 각 조성마다 첨가제를 가하지 않은 시료와 붕사 3%를 첨가한 시료를 각각 준비하여, 전기로를 사용하여 1000°C에서 1시간 하소하고, 1000 kg/cm<sup>2</sup>으로 가압성형하여 시편을 제조하여, 1050~1350°C의 온도범위에서 1시간 소성하였다. 소성된 C<sub>2</sub>S는 물을 분무하는 방법으로 급냉하였고, C<sub>4</sub>A<sub>3</sub> $\bar{S}$ 와 C<sub>1</sub>AF는 공기 중에서 급냉하였다. 소성온도별로 얻어진 각 시료에 대하여 KS에 준하는 방법으로 free CaO 분석을 하였다. 또, 내부표준물질로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(d=2.085)를 30% 혼합한 후, 느린 주사속도(2θ : 0.5°/min)의 XRD분석으로 β-C<sub>2</sub>S(d=2.794), C<sub>4</sub>A<sub>3</sub> $\bar{S}$ (d=3.757) 및 C<sub>1</sub>AF(d=2.635) 피크의 강도변화를 비교하여 상대적인 광물의 형성정도를 조사하였다

### 2.3. C<sub>2</sub>S-C<sub>4</sub>A<sub>3</sub> $\bar{S}$ -C<sub>1</sub>AF 3성분계 클링커의 소성 및 분석

MBC 클링커조성의 원료조합물의 소성반응에 첨가제가 미치는 영향을 알아보기 위하여 MBC의 조성율 C<sub>2</sub>S 60%, C<sub>4</sub>A<sub>3</sub> $\bar{S}$  20%, C<sub>1</sub>AF 20%의 3성분계 광물조성으로 설정하여 원료를 조합하고, 여기에 첨가제를 가하지 않은 시료와 붕사 3%를 첨가한 시료를 각각 준비하여, 전기로를 사용하여 1000°C에서 하소하고, 1050~1350°C의 온도범위에서 1시간 소성한 후 공기중에서 급냉하고,

소성온도별로 얻어진 각 시료에 대하여 free CaO 분석을 하였다. 또 1300°C에서 1시간 소성한 클링커에 대해서는 XRD, SEM 및 EPMA 분석을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 온도증가에 따른 각 클링커 광물상의 생성

#### 3.1.1. C<sub>2</sub>S의 생성

Fig. 1은 소성한 C<sub>2</sub>S 조합원료의 소성온도에 따른 free CaO 분석결과이며, Fig. 2는 XRD 분석에서 β-C<sub>2</sub>S 피크를 비교한 결과이다. Plain은 1100°C부터 소성온도가 증가함에 따라 free CaO가 지속적으로 감소하여, 1350°C에서는 약 8%로 나타났으나, 붕사를 첨가한 시료는 각 온도에서 Plain보다 6~14% 정도 더 적게 나타났고, 1300°C에서 1% 이하로 되었다. XRD 분석결과, 소성온도 증가에 따른 C<sub>2</sub>S의 생성은 free CaO의 감소에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 전 구간에서 β-C<sub>2</sub>S의 피크는 붕사를 첨가한 시료가 Plain보다 크게 나타났다. Fig. 3은 1300°C에서 소성한 시료의 XRD 회절도이다. Plain에서는 β와 γ-C<sub>2</sub>S 피크가 함께 나타났으나, 붕사를 첨가한 시료는 β와 α'-C<sub>2</sub>S가 혼재된 피크가 크게 나타났다.

붕사를 첨가한 시료에서 γ형이 없고 β와 α'이 안정되게 나타나는 것은 붕사의 용융우도가 735°C로 매우 낮고, 붕사중의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 C<sub>2</sub>S중의 SiO<sub>2</sub>의 치환이 잘되기 때문인 것으로 보인다<sup>1)</sup> 즉, 붕사의 용융으로 C<sub>2</sub>S 입자들간의

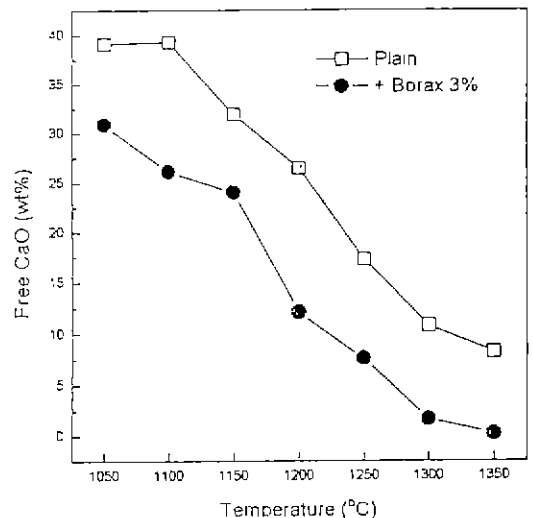


Fig. 1. Changes in free CaO amount with burning temperature in the raw mixtures of C<sub>2</sub>S with or without additive.

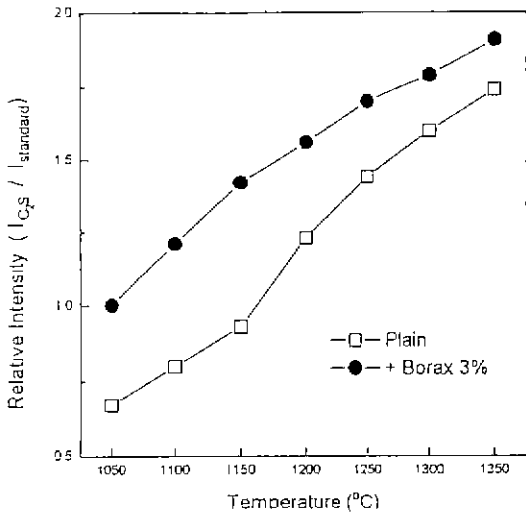


Fig. 2. Changes in XRD peak intensity of  $\beta$ - $C_2S$  with burning temperature in the raw mixtures of  $C_2S$  with or without additive.

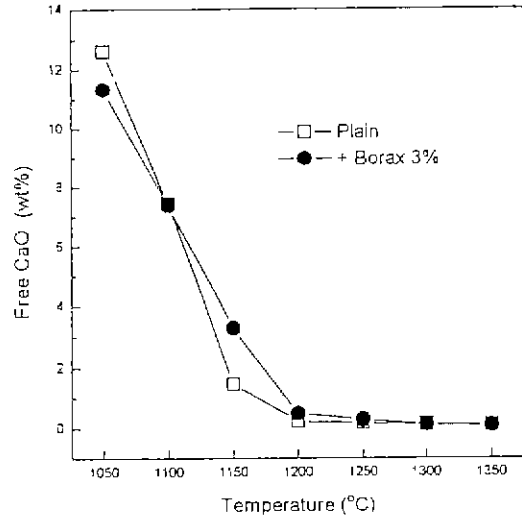


Fig. 4. Changes in free CaO amount with burning temperature in the raw mixtures of  $C_4A_3\bar{S}$  with or without additive.

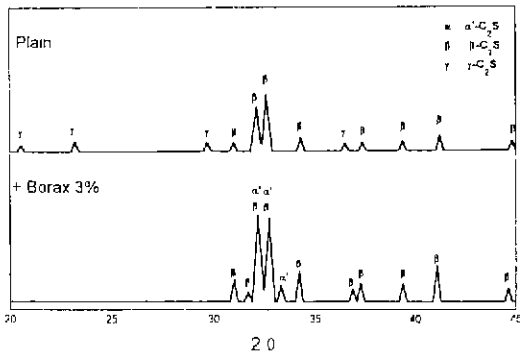


Fig. 3. XRD Patterns of  $C_2S$  with or without additive fired at  $1300^\circ C$  for 1 hour.

간극에 용액이 쉽게 형성되어 각각의  $C_2S$ 는 고립되면서 산극으로부터 압력을 받게 되고, 또, 냉각시 매트릭스 내에서의 입자간의 상신이의 전파가 간극상으로 인해 물리적으로 방해받으므로, 결국 부피팽창을 동반하는  $\beta \rightarrow \gamma$  전이에 필요한 에너지는 더 커지게 되어  $\beta$ - $C_2S$ 가 안정된 상태로 되기 때문이다<sup>1)</sup>. Newman 등<sup>11)</sup>은  $\alpha$ - $C_2S$ 의 전이온도를 낮추는 외부이온의 고용에 대한 연구에서,  $\alpha$ - $C_2S$ 에 고용될 수 있는  $Na_2O$ 와  $B_2O_3$ 의 최대용해도는 각각 1.3%, 8.0%로 다른 산화물에 비해 크고, 이들의 고용으로 순수한  $\alpha$ - $C_2S$ 의 전이온도(1420°C)를 1270~1320°C까지 낮출 수 있음을 확인한 바 있다. 이러한 점으로 볼 때 주성분이  $Na_2O$ 와  $B_2O_3$ 인 분사의 첨가로

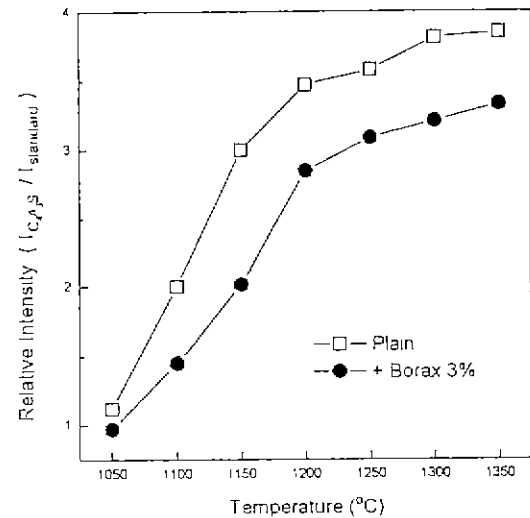


Fig. 5. Changes in XRD peak intensity of  $C_4A_3\bar{S}$  with burning temperature in the raw mixtures of  $C_4A_3\bar{S}$  with or without additive.

고온형인  $\alpha$ 와  $\alpha'$ - $C_2S$ 의 온도영역이 낮아지고, 1300°C에서의 소성온도에서  $C_2S$ 는 이러한 고온형으로 존재하다가 급냉을 통해 상당량의  $\alpha'$ - $C_2S$ 가 상온에서도 안정하게 되는 것으로 판단된다.

### 3.1.2. $C_4A_3\bar{S}$ 의 생성

Fig. 4는  $C_4A_3\bar{S}$  조합 원료의 소성온도에 따른 free CaO

분석결과이며, Fig. 5는 XRD 분석에서  $C_4A_3\bar{S}$  피크를 비교한 결과이다. 1200°C 이하에서는, 온도증가에 따른 free CaO의 감소가 붕사를 첨가한 시료가 Plain보다 완만하나, 1200°C 이상에서는 모두 1% 이하로 일정한 값을 나타냈다. 반면, XRD 분석에서는 붕사를 첨가한 시료가 Plain보다  $C_4A_3\bar{S}$ 의 피크가 작게 나타났고, Plain에서는 없는 Calcium Aluminate(CA)의 피크가 1150~1250°C에서 나타났는데(Fig. 6 참조), 이러한 중간생성물의 형성으로  $C_4A_3\bar{S}$ 의 형성이 더 지연되는 것으로 보인다. 즉, Plain의 경우는 CaO,  $Al_2O_3$ ,  $CaSO_4$ 로부터 바로  $C_4A_3\bar{S}$ 가 형성이 되나, 붕사를 첨가한 경우는 1150~1250°C의 온도에서 Calcium Aluminate가 먼저 형성되고, 이것이  $CaSO_4$ 와 결합하여  $C_4A_3\bar{S}$ 가 되는 반응( $3CA + CaSO_4 \rightarrow C_4A_3\bar{S}$ )이 이루어지게 되어,  $C_4A_3\bar{S}$ 의 생성이 지연되는 것으로 보인다. 또, 붕사의  $Na_2O$ 가 원료중의  $SO_3$ 와 반응성이 좋기 때문에<sup>14</sup>  $C_4A_3\bar{S}$ 가 생성되기 전에 먼저 반응할 수 있는 점도  $C_4A_3\bar{S}$  생성저하의 다른 원인이 되는 것으로 보인다.

3.1.3.  $C_4AF$ 의 생성

Fig. 7은  $C_4AF$  조합원료의 소성온도에 따른 free CaO 분석결과이며, Fig. 8은 XRD 분석에서  $C_4AF$  피크를 비교한 결과이다.

Plain은 1200°C에서 free CaO가 1.35%로 되었고,  $C_4AF$ 의 XRD 피크는 이 온도에서 1350°C까지 계속 증가했다. 반면, 붕사를 첨가한 시료는 1150°C에서 free CaO는 거의 없어지고  $C_4AF$  피크는 이 온도에서부터 급격히 증가하다가 1250°C를 정점으로 그 이상에서는 급격히 감소하였다. 이러한 결과는 처음 액상이 생성되면서  $C_4AF$ 의 형성이 본격적으로 시작된 후, Plain의 경우는 1350°C인 공융점에 가까워지면서 가장 활발히 형

성된다고 볼 수 있는데<sup>15</sup>, 붕사를 첨가한 경우는 공융점이 낮아지고, 용액의 점도가 증가하여<sup>16</sup>, 1250°C 이상의 온도에서 소성후 급냉할 경우 점도가 큰 유리질 성분이 결정화되지 않고 남게되기 때문에 XRD 피크가 줄어드는 것으로 보인다. 이것은 Fig. 9의 DTA 분석결과로 뒷받침이 된다. 액상의 형성에 의한 것으로 보이는 흡열피크가 Plain에서는 1180°C인 반면, 붕사를 첨가한 시료는

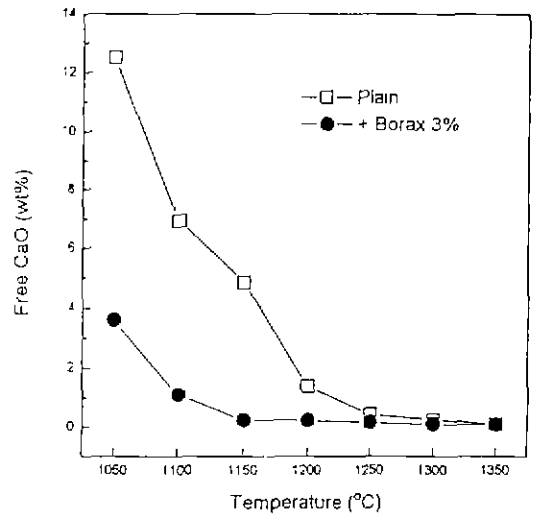


Fig. 7. Changes in free CaO amount with burning temperature in the raw mixtures of  $C_4AF$  with or without additive.

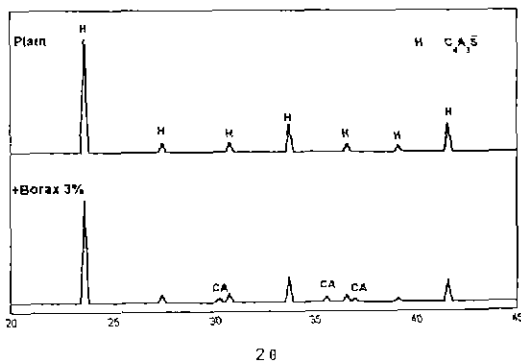


Fig. 6. XRD Patterns of each clinkers fired at 1250°C for 1 hr in the raw mixtures of  $C_4A_3\bar{S}$  with or without additive.

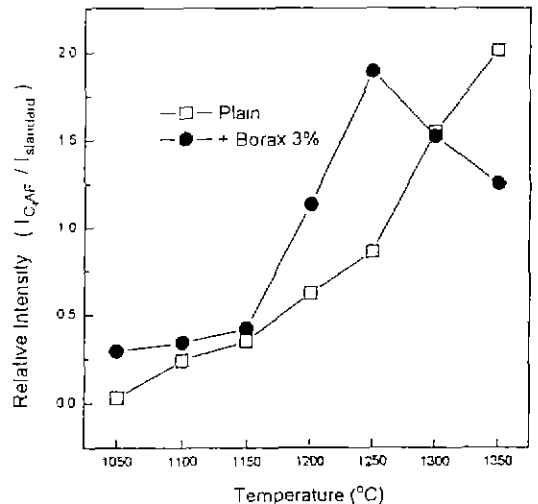


Fig. 8. Changes in XRD peak intensity of  $C_4AF$  with burning temperature in the raw mixtures of  $C_4AF$  with or without additive.

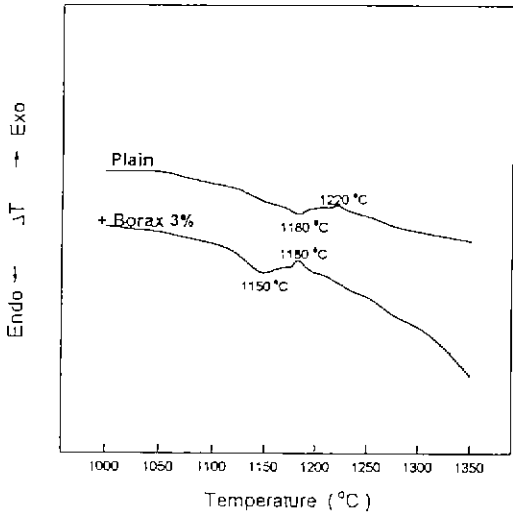


Fig. 9. DTA curves of  $C_4AF$  raw mixtures with or without additive.

1150°C로 낮게 나타났고, 이어서  $C_4AF$ 의 형성에 의한 것으로 보이는 발열 피크도 Plain(1220°C)보다 봉사를 첨가한 시료(1180°C)가 낮게 나타났다 또한 봉사를 첨가한 시료는 1200°C 이상에서 액상의 형성으로 인한 지속적인 흡열반응이 급격히 일어났다.

이상의 결과로  $C_4AF$ 의 소성반응에서 봉사의 첨가는 액상의 형성을 도와  $C_4AF$ 의 생성온도를 낮추는 것으로 판단된다.

3.2.  $C_2S-C_4A_3\bar{S}-C_4AF$  3성분계에서의 첨가제의 영향

Fig. 10은  $C_2S-C_4A_3\bar{S}-C_4AF$  3성분계 조항원료에 대해 각 온도에서 소성한 클링커의 free CaO 분석결과이다. Plain은 1250°C 이상에서 free CaO가 1% 이하로 나타났고, 봉사를 첨가한 것은 1050°C에서부터 1% 이하로 되었다. 두 곡선은 모두  $C_4AF$  단독일 때의 free CaO 실과와 경향이 비슷한 것으로 보아 용액성분인  $C_4AF$ 의 소성성이 전체 클링커의 소성성에 영향을 있는 것으로 보인다. Fig. 11은 1300°C에서 1시간 소성한 클링커의 XRD 회절도로 Plain의 경우는  $\beta$ 와  $\gamma$ 형의  $C_2S$ 가 혼재된 것으로 나타났고, 봉사를 첨가한 시료는  $C_2S$ 의 피크가 Plain보다 크고,  $\alpha'$ - $C_2S$ 와  $\beta$ - $C_2S$ 가 혼재된 것으로 나타났다. 반면,  $C_4AF$ 와  $C_4A_3\bar{S}$ 는 봉사를 첨가한 경우가 Plain보다 약하게 나타났다. Fig. 12는 이 클링커의 SEM 사진이다. Plain에서는 둥근 형태의  $C_2S$ 가 2~3  $\mu m$  정도의 크기로 관찰되며, 육각형의  $C_4A_3\bar{S}$ 가 7~8  $\mu m$  정도의 크기로 관찰되었으며, 봉사를 첨가한 것은  $C_2S$ 가 5~7  $\mu m$ 로 크고, 외곽이 불규칙한 둥근 형태이며,  $\alpha'$ 에서

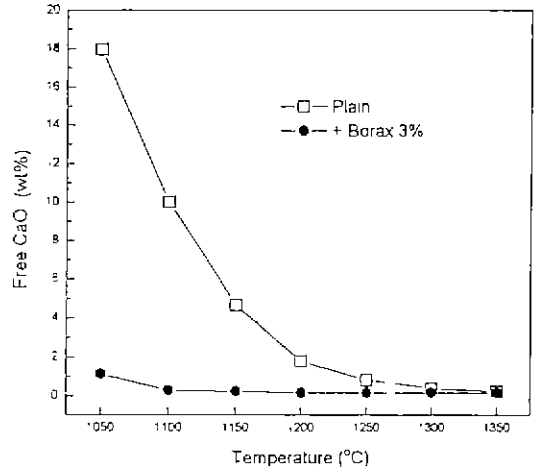


Fig. 10. Changes in free CaO amount with burning temperature in the raw mixtures of MBC clinker with or without additive.

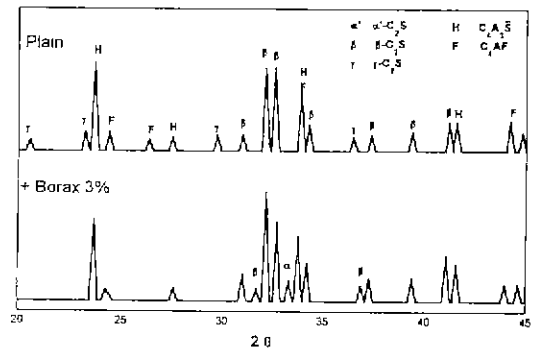


Fig. 11. XRD Patterns of MBC Clinker with or without additive fired at 1300°C for 1 hr.

β로 전이서 생긴 것으로 보이는 lamella 조직의 줄무늬가 나타났고  $C_4A_3\bar{S}$ 는 2~4  $\mu m$ 의 크기로 Plain보다 작은 크기였다. 이러한 결과는 봉사의 첨가로  $C_2S$ 의 생성온도는 낮아지는 반면, 안정된  $C_2S$ 가 계속 유지되어  $C_2S$ 의 결정이 더 커지는 것으로 보인다. 반면,  $C_4A_3\bar{S}$ 가 작아지는 것은 중간상인 CA의 생성으로  $C_4A_3\bar{S}$ 의 형성이 지연되고, 또, 원료중의  $SO_3$  일부가 다른 광물에 고용되거나 봉사의  $Na_2O$ 와의 반응으로  $Na_2SO_4$ 로 되어 간극상에 잔류함으로써  $C_4A_3\bar{S}$ 의 생성에 필요한  $SO_3$ 의 양이 적어지기 때문인 것으로 보인다.

Table 1은 각 클링커 중의  $C_2S$ 상에 대한 EPMA 결과이다.  $Al_2O_3$ 와  $Fe_2O_3$ 의 고용량은 Plain이 봉사를 첨가한 것보다 많고, 봉사를 첨가한 것에서는 0.5%의  $Na_2O$ 와 1.55%의  $B_2O_3$ 가  $C_2S$ 에 고용되어 있다. C/S의 몰비

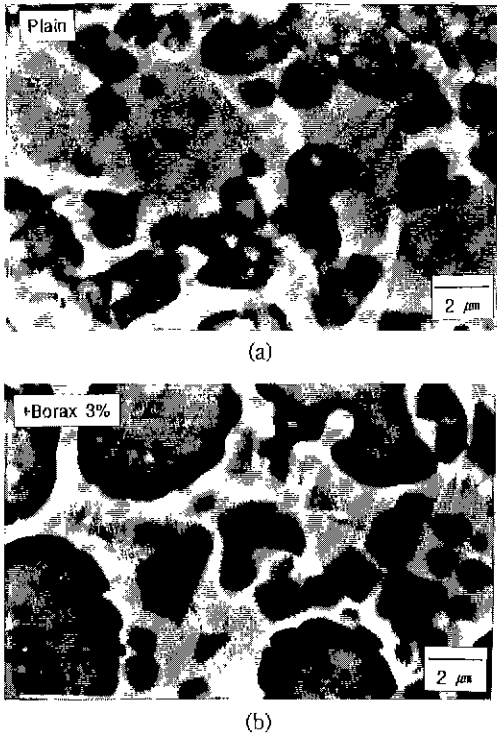


Fig. 12. SEM micrographs of MBC clinkers fired at 1300°C for 1 hr.: (a) Plain, (b) +Borax 3%.

Table 1. Chemical Compositions of C<sub>2</sub>S Phases

	(wt%)						
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ideal	65.11	34.89	—	—	—	—	—
Plain	59.96	35.52	2.49	0.62	1.41	—	—
NB3*	63.54	32.76	0.59	0.43	0.63	0.50	1.55

\*NB3: +Borax 3%

는 Plain이 1.81, 붕사를 첨가한 것이 2.08로 붕사를 첨가한 것이 더 크게 나타났다. 이것은 붕사의 첨가시 용액의 점성증가로 Ca<sup>2+</sup> 이온의 확산은 억제되는 반면, SiO<sub>2</sub>는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 쉽게 치환되기 때문에, 결국 C<sub>2</sub>S 내에서 CaO는 증가하고, SiO<sub>2</sub>는 감소되는 것으로 보인다. 이 경우 고용된 Na<sub>2</sub>O는 Na<sup>+</sup>와 Ca<sup>2+</sup>의 치환에 의한 것이기 보다는 B<sup>3+</sup>와 Si<sup>4+</sup>의 치환에서 전기적 발란스를 맞추기 위해 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 함께 고용되어지는 것으로 보인다.

Table 2는 각 클링커 중의 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S 상에 대한 EPMA 결과이다. Plain은 붕사를 첨가한 것보다 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 더 많고, SiO<sub>2</sub>는 더 적게 나타났다. 합성된 클링커에서의 C/S의 몰비는 Plain이 4.01로 이상적인 조성에 가까우나

Table 2. Chemical Compositions of C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S Phases

	(wt%)						
	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ideal	36.76	50.12	13.12	—	—	—	—
Plain	36.87	47.86	13.13	1.96	0.20	—	—
NB3	37.14	45.87	13.01	1.77	0.84	0.23	1.14

붕사를 첨가한 것은 4.08로 더 크게 되는 것은 Na<sub>2</sub>O와 SO<sub>3</sub>의 반응(Na<sub>2</sub>O+CaSO<sub>3</sub>→Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+CaO)으로 인한 SO<sub>3</sub>의 부족 및 CaO의 증가 때문으로 판단된다. 붕사의 성분인 Na<sub>2</sub>O와 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 각각 0.23% 및 1.14%로 C<sub>2</sub>S에서의 고용량(0.50% 및 1.55%)보다 적게 나타났다.

#### 4. 결 론

MBC 구성광물인 C<sub>2</sub>S, C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S 및 C<sub>4</sub>AF 각각에 대해 붕사를 3% 첨가하여 생성반응을 조사한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 붕사 3%의 첨가는 β-C<sub>2</sub>S와 α'-C<sub>2</sub>S를 안정화 시켰다. 또한 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S의 생성을 방해하였고, C<sub>4</sub>AF의 생성은도를 낮추었다.
2. MBC 클링커에서 붕사 3%의 첨가로 소성점은 줄아지고 C<sub>2</sub>S는 크고 불규칙한 형태가 되었고 C/S의 비율이 커졌다. C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S는 크기가 작아지고, C/S의 비율이 커졌다.

#### REFERENCES

1. R.H. Bogue, The Chemistry of Portland Cement, Reinhold Publishing, 1955.
2. I. Neittieship, K.G Slavick, Y.J. Kim, and W.M Kriven, "Phase Transformation in Dicalcium Silicate. III. Effects of Barium on the Stability of Fine-grained α<sub>1</sub>' and β Phases," *J Am Ceram Soc.*, **76**(10), 2628-2634 (1993)
- 3 D.M. Roy, and S.O. Oyefesobi, "Preparation of Very Reactive Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> Powder." *J. Am. Ceram. Soc.*, **60**(3-4), 178-180 (1977).
4. M. Gawlicki, and W. Nocun-Wczelik, "Influence of Thermal Treatment on the Transition of β → γ-C<sub>2</sub>S," *Proc. 7th Inter. Cong Chem Cem.*, **2**, 161-165 (1980).
5. C.J. Chan, W.M. Kriven, and J.F. Young, "Physical Stabilization of the β to γ Transformation in Dicalcium Silicate," *J. Am Ceram Soc.*, **75**(6), 1621-1627 (1992).
6. A. Gies, D. Knofel, and M. Bujan, "Influence of Alkalies on the Composition of Belite-rich Cement Clin-

- kers and the Technological Properties of the Resulting Cement," *Cem Conc. Res*, **16**(3), 411-422 (1986).
7. I. Jenic, A. Bezjak, and M. Bujan, "Hydration of  $B_2O_3$  Stabilized  $\alpha'$  and  $\beta$  Modifications of Dicalcium Silicate," *Cem. Conc. Res*, **8**(2), 173-180 (1978).
  8. Y.M. Butt and V.V. Timashev, "The Mechanism of Clinker Formation Process and Ways of Modification." *Proc. 6th Inter Cong. Chem. Cem.*, Part 1-B (1974).
  9. V.V. Timashev, "The Kinetics of Clinker Formation: The Structure and Composition of Clinker and its Phases," *Proc 7th Inter Cong. Chem Cem.*, **1**, 1-3 (1980).
  10. R. Bucchi, "Influence of the Nature and Preparation of Raw Materials on the Reactivity of Raw Mix." *Proc. 7th Inter. Cong Chem. Cem.*, **1**, 1-1 (1980).
  11. P. Fierens, and J. Turlocq, "Nature and Concentration Effect of Stabilizing Elements of  $\beta$ - $C_2S$  on its Hydration Rate." *Cem Conc. Res.*, **13**(2), 267-276 (1983).
  12. 채우형, 최상훈, "Modified Belite Cement 구성광물의 생성에 미치는 인신석회 및 중정석의 영향." 한국요업학회지, **33**(9), 1024-1030 (1996).
  13. 李鍾根, 無機材料原科工學, pp. 221-222, 半島出版社, 1985
  14. E.S. Newman, and L.S. Wells, *J. Res NBS*, **36**, 137 (1946).