

## 산업폐기물을 이용한 CSA계 팽창재 제조 및 응용

윤성원<sup>1)</sup> · 노재성<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 충남대학교 정밀공업화학과

(2003년 12월 20일 원고접수, 2004년 3월 5일 심사완료)

### Preparation and Application of CSA Expansive Additives Using Industrial Wastes

Sung-Won, Yoon<sup>1)</sup> and Jae-Seong, Rho<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Fine Chemical Eng. and Chemistry, Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea

(Received December 20, 2003, Accepted March 5, 2004)

#### ABSTRACT

Calcium sulfoaluminate(CSA) was prepared for using natural calcite( $\text{CaCO}_3$ ) and industrial by-products and wastes, such as  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . The mixture of raw materials was fired at 20, 400, 600, 1200 °C for 1h and cooled rapidly in air. The cement replaced by 10 wt%  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$  expansive additives was investigated by the measurement of the hydration products and compressive strength, setting time, expansion at wet curing condition.  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$  was found in X-ray diffraction pattern over the temperature 1200 °C. The setting time of the cement pastes added clinkers fired at different temperature was shorter than ordinary portland cement. The compressive strength was higher than the ordinary portland cement about 20~30%. The mainly hydration products were ettringite, and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . The expansion due to the formation of ettringite during hydration decreased the drying shrinkage of hardened cement rather than the ordinary portland cement.

**Keywords:**  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ , CSA expansive additives, ettringite, drying shrinkage, industrial wastes

#### 1. 서 론

무기계 산업부산물과 폐기물의 발생량이 계속 증가함에 따라 부산물의 처리 및 처분문제가 심각하게 대두되고 있다. 환경보호 및 자원재활용 차원에서 이러한 각종 산업 부산물 및 폐기물을 이용한 고부가가치제품의 개발이 요구됨에 따라 시멘트, 콘크리트 분야에서도 이러한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup>

본 연구에서는 무기계 산업부산물 및 폐기물을 이용하여 고기능성 시멘트 물질인  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 를 합성하고 CSA계 혼화재를 제조하여 시멘트에 적용시켜 원재료배합과 소성온도에 따른 수화 메커니즘 및 물리적 성질을 파악함으로써 산업부산물 및 폐기물로 인한 환경오염의 저감과 자원재활용에 목적을 두었다. 사용되는 원재료는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 원료로 알루미나를 제조공정에서 표면처리시 발생하는 산업부산물인  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 를,  $\text{SO}_3$ 원료로는 인산부산석고,  $\text{CaO}$ 원료로는 국내에서 산출되는 천연석회석을 이용하여 일정비율

로 혼합하여 소성시켜  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$  클링커를 제조하였다. 소성온도는 기존의 CSA계 팽창재의 클링커 합성온도인 1150~1300 °C보다 낮은 온도 20, 400, 600, 1200 °C로 1시간 소성 후 급냉하여 클링커를 제조하였다. 이렇게 각 온도 별로 제조한 클링커를 분쇄한 다음 OPC에 10 wt% 치환하여 압축강도, 응결시간, 팽창률 등의 기초 물성을 검토하여 국내에서 시판되고 있는 팽창재(D사)와 비교하여 CSA계 팽창재 및 수축저감재로의 활용가능성을 파악하고자 하였다.

#### 2. CSA계 팽창재의 이론적 고찰

보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)의 클링커 광물로서는  $\text{C}_3\text{S}$ 가 가장 많고 이것을 생성시키려면 1450 °C라는 높은 온도를 필요로 한다.  $\text{C}_3\text{S}$ 보다 150~300 °C정도 낮은 온도에서 생성되는  $\text{C}_2\text{S}$ 를 다량 생성하면,  $\text{C}_3\text{S}$ 를 다량 생성할 때보다 약 16%정도의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다고 Metha가 보고하였다<sup>3,4)</sup>.  $\text{C}_3\text{S}$ 를  $\text{C}_2\text{S}$ 로 대체함에 있어 초기 수화속도가 늦어지는 단점이 있어 초기수화속도의 보완으로 수화 초기의 응결과 경화를 이끌 수 있는 ettringite생

\* Corresponding author  
Tel : 042-821-7681 Fax : 042-822-1331  
E-mail : romantic@cnu.ac.kr

**Table 1** Chemical compositions of cement and starting materials

Materials	Chemical compositions(%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig-loss	
Cement (S사)	21.7	4.72	2.68	62.5	2.67	2.19	0.18	0.92	0.98	
CSA Expansion additives(D)	6.1	16.2	0.4	41.3	0.42	33.5	0.11	0.15	0.62	
Starting materials	Waste	0.4	37.81	0.11	0.4	0.20	0.08	0.22	0.11	60.02
	Limestone	0.8	0.20	0.06	55.2	0.23	0.18	-	-	43.25
	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.9	0.18	0.06	32.6	0.14	44.64	-	-	21.23

성에 적합한 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄ 및 C<sub>3</sub>S̄ 등과 같은 칼슘알루미네이트계 화합물을 클링커 내에 생성시켜 초기수화속도를 보완할 수 있다. 이들 화합물들은 C<sub>3</sub>S보다 훨씬 낮은 온도에서 생성되므로 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄, C<sub>2</sub>S, free CaO를 함유한 belite sulfur aluminate계 클링커를 1150~1300 °C에서 클링커를 합성하여, 석회석이나 무수석고를 첨가한 portland cement 클링커에 혼합하거나 동시에 분쇄하여 급결성 과 팽창성을 갖는 시멘트를 제조하였다. C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄의 고용체에는 sulfate가 약 9 wt %정도가 포함되어 있고, C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄의 구조중에 S ion은 ettringite 생성과 경화팽창을 가져온다고 Krivobordov가 보고하였다<sup>56)</sup>. Hauyne광물인 calcium sulfoaluminate (C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄)는 소성온도가 1,300 °C내외로 에너지 절약형 시멘트일 뿐만 아니라 기본적인 화학조성이 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub>계로써 화학조성의 변화에 따라 속결성, 팽창성, 고강도성 등의 특성을 나타내고 있다<sup>7-11)</sup>. 따라서, 산업폐기물인 Al(OH)<sub>3</sub>을 재활용하여 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄클링커를 제조하여 1450 °C정도 높은 온도에서 생성되는 C<sub>3</sub>S의 생성을 억제하고, 150~300 °C정도 낮은 온도에서 다량 생성되는 C<sub>2</sub>S만을 생성시킴으로써 저하되는 초기 수화 속도의 보완 및 경화 팽창성을 갖는 CSA계 팽창제를 제조하고자 하였다.

### 3. 실험개요

#### 3.1 재료 및 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄ 클링커의 합성

클링커 합성에 사용된 원재료의 화학조성을 Table 1에 나타내었다. 이들 원재료를 이용하여 Table 2와 같은 비율로 균일하게 혼합하였다. 혼합된 분말을 20, 400, 600, 1200 °C에서 1시간씩 소성한 후 급냉하여 클링커를 제조하였다. 제조한 클링커를 시멘트 모르타르 및 페이스트에 적용시키기 위하여 주문진 표준사와 S사의 OPC에 클링커를 10 wt %치환하여 시험을 하였다.

#### 3.2 X-선 회절분석 및 주사 전자현미경 관찰

20, 400, 600, 1200 °C로 열처리된 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄클링커를 2θ값 5~65도로 하여 X-선 회절분석기(Rigaku D/Max-II B, Japan)로 CuK-α선. 30 kV, 20mA, Scan Speed 5°/min 로

클링커 결정의 생성상태를 살펴보았으며, 클링커의 초기 수화물을 알아보기 위하여 수화1일 경과 후 아세톤으로 수화를 정지시킨 다음 SEM (JEOL, JSM-6300, UK)을 사용. 하여 배율 × 4000으로 생성물을 관찰하였다

#### 3.3 Mini-Slump 측정

시멘트페이스트의 초기 유동성은 Perenchio등이 고안한 Mini-Slump법을 사용하였다. Mini-Slump법은 높이 (H) 57 mm, 하부직경(D<sub>B</sub>) 38 mm, 상부 직경(D<sub>T</sub>) 19 mm의 Maniature Cone을 이용하여 시멘트페이스트의 흐름 정도를 면적(cm<sup>2</sup>)으로 나타낸다<sup>12)</sup>. Mini-Slump를 물/시멘트비(W/C)를 0.5로 하여 C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄클링커를 OPC에 10 wt %치환하여 교반기(Hamilton Beach Model 34-1 Food Mixer)를 사용하여 250 rpm에서 일정시간 균일하게 혼합(2분 교반→3분 정지→2분 재 교반, 2-3회 혼합법)하여, Maniature Cone에 시료를 투입 후 1분간 유지한 다음 들어올려 퍼진 시멘트페이스트의 면적을 Mini-Slump로 하여 소성온도에 따른 시멘트페이스트의 초기 유동성을 측정하였다.

#### 3.4 응결시간

KS L 5102(수경성 시멘트의 표준주도 시험방법)의 시험방법에 의한 평균 주도값에 대해 각 시료의 물/시멘트비 (W/C)를 결정하여 시멘트페이스트를 만들어 KS L 5103(길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 측정방법)에 따라 응결시간을 측정하였다.

#### 3.5 모르타르 압축강도 및 팽창률 측정

OPC에 CSA계 팽창제를 10 wt %치환하여 물성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 KS L 5207에 준하여 시멘트 : 표준사 : 물 = 1 : 2 : 0.6으로 배합하여 (5×5×5)cm cube mold에 성형하여 습기함(23±2 °C, 상대습도 95 %이상)에서 24h양생 후 탈형하여, 수중(물의 온도: 23±2 °C)에서 1, 3, 7, 28일 양생하여 재령에 따른 압축강도를 측정하였다. 팽창성 실험은 KS F 2562(콘크리트용 팽창제)에 따라 하였

**Table 2** Mixing ratio of raw materials and firing temperature of  $C_4A_3\bar{S}$  clinker

Sample name	Mixing ratio			Heat temperature (°C)	Mole ratio*	
	Waste	Lime-stone	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O		C/ $\bar{S}$	A/ $\bar{S}$
M-20	2	1	1	20	2.81	1.33
M-400				400		
M-600				600		
M-1200				1,200		

\*  $C/\bar{S} = CaO/SO_3$ ,  $A/\bar{S} = Al_2O_3/SO_3$

으며, 무구속 팽창성을 측정하였다. 배합조건은 압축강도와 같은 조건으로 24h 습기함에서 양생하여 탈형 직 후 길이를 측정하고, 수중에서 1일 양생 후, 기건에서 1주단위로 양생하여 길이변화를 측정하여, 재령에 따른 팽창성을 측정하였다.

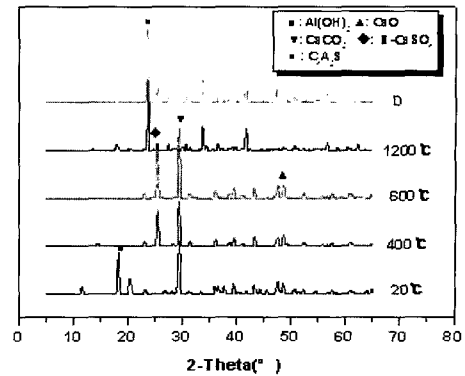
#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 X-선 회절 분석 및 전자현미경 관찰

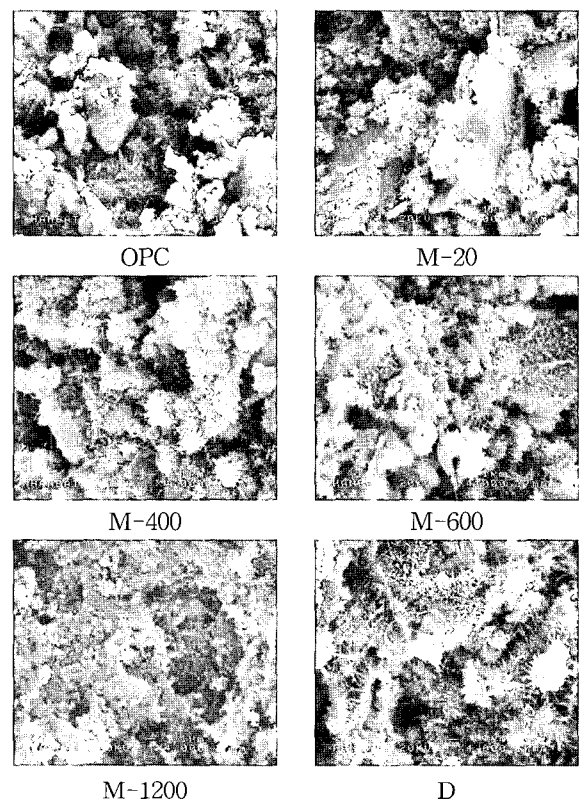
열처리한 클링커를 분쇄하여 X-선 회절분석을 한 결과를 Fig.1에 나타내었다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 600°C까지는  $C_4A_3\bar{S}$ 클링커의 피크가 관찰되지 않았으며, 1200°C에서는 II-CaSO<sub>4</sub> 피크가 감소하면서  $C_4A_3\bar{S}$ 의 피크가 커졌다. 이는  $C_4A_3\bar{S}$  클링커의 결정 성장에 II-CaSO<sub>4</sub>가 소비된 것으로 판단된다. D사 시료에는 M-1200시료에서 나타나지 않은 CaO와 II-CaSO<sub>4</sub>피크가 관찰되었다. 이것은, 클링커 합성 후 응결시간 과 팽창률을 조절하기 위해 첨가한 것으로 판단된다. 주사 전자현미경을 통하여 수화 1일 후 시멘트페이스트의 수화상태를 관찰한 결과 M-20, 400, 600에서는 Ca(OH)<sub>2</sub> 와 ettringite 침상결정의 성장을 관찰할 수 있었으며, 시료 D의 경우 첨가한 CaO와 II-CaSO<sub>4</sub>의 영향으로 균일한 ettringite 생성을 관찰할 수 있었으며, M-1200의 경우  $C_3A$ 의 급격한 수화에 의해 gel상의 수화물로 비교적 치밀한 수화조직을 관찰할 수 있었다. OPC의 경우 상대적으로 ettringite생성에 필요한 SO<sub>3</sub>의 부족으로 판상형의 Ca(OH)<sub>2</sub>결정이 비교적 많이 관찰되었으며,  $C_4A_3\bar{S}$ 클링커를 함유한 페이스트의 경우 판상형의 Ca(OH)<sub>2</sub>결정보다 팽창성 수화물인 ettringite가 많이 관찰되었으며, 팽창에 의한 모르타르 및 콘크리트에 대한 수축보상 역할을 CSA계 시멘트가 한다는 걸 확인할 수 있다.

##### 4.2 Mini-Slump 측정

시멘트나 콘크리트에서는 초기 작업성의 유지가 제품의 품질을 결정하는 기본적인 요건이 된다. 각 시료의 초기 유동성 측정값을 Fig. 3에 나타내었다. 시료 D의 경우



**Fig. 1** XRD patterns of fired clinkers at different temperature (D, 20, 400, 600, 1200 °C)



**Fig. 2** SEM photographs of cement paste including  $C_4A_3\bar{S}$  clinker

Mini-Slump값이 133.6 cm<sup>2</sup>로 OPC 101.1 cm<sup>2</sup> 보다 높았으며, M-20, 400, 600, 1200의 경우 소성온도가 높아질수록 Mini-Slump값은 대체적으로 높아졌지만, OPC의 85~95% 정도로 나타났다. 소성한 온도가 높아질수록 Mini-Slump값이 높아지는 현상은 온도가 높아지면 클링커의 결정성장으로 단위 질량당 체적의 감소로 비표면적이 작아져서 표면에 흡착되는 수분의 양이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 낮은 온도에서 소성한 시료의 초기 작업성을 보완하기 위해서는 적절한 유동화 첨가제를 사용하면 초기 작업성을 향상시킬 수 있을 것이라 예측된다.

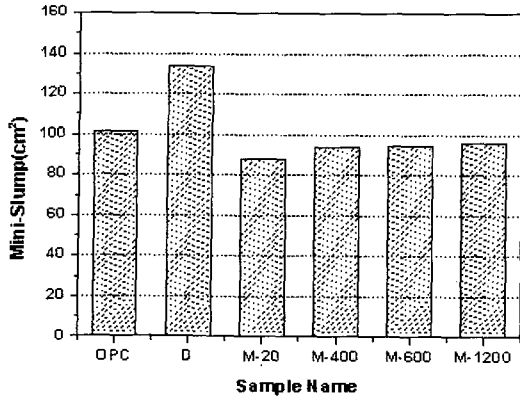


Fig. 3 Mini-slump valves of cement paste including  $C_4A_3\bar{S}$  clinkers

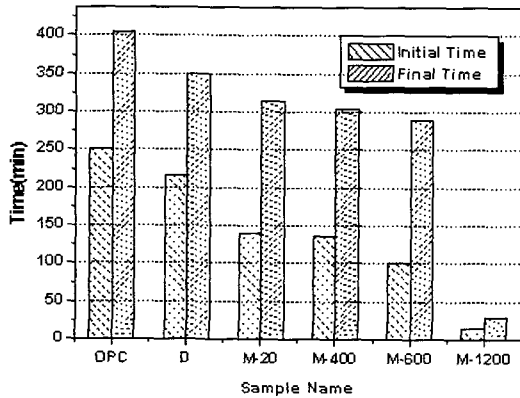


Fig. 4 Setting time of cement paste including  $C_4A_3\bar{S}$  clinkers

### 4.3 시멘트페이스트의 응결시간

길모어 침(KS L 5103)에 의한 시멘트페이스트의 응결 시간을 측정할 결과를 Fig. 4에 나타내었다. OPC의 경우 초결이 약 250분, 종결이 약 405분 정도로 측정되었으며, 시료 D는 초결이 215분, 종결이 350분으로 XRD 분석에서 나타났듯이 클링커에 응결조절제인 무수석고가가 첨가 되어 응결시간이 늦어짐을 알 수 있다. M-20, 400, 600에서 소성온도가 높아질수록 응결시간이 단축되는 것을 알 수 있었으며, M-1200은 초결 15분, 종결이 30분으로 급결성을 나타내었다. 이것은  $C_4A_3\bar{S}$ 클링커와 시멘트내의 알루미늄 성분은 수화하면서 실리카와 결합하여 석회분이 적은 겔을 생성함으로써 급격한 응결이 일어나는 것으로 판단된다. 팽창제는 팽창성 뿐만 아니라 속경성의 특성을 지녀야 강도가 초기에 발현되어 시멘트·콘크리트에 적용 시 후속 작업의 연계시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 또한 유해폐기물이 고화처리에서도 응결시간의 단축에 따른 높은 초기강도의 발현은 처리 및 처분시간을 단축시키고 수화

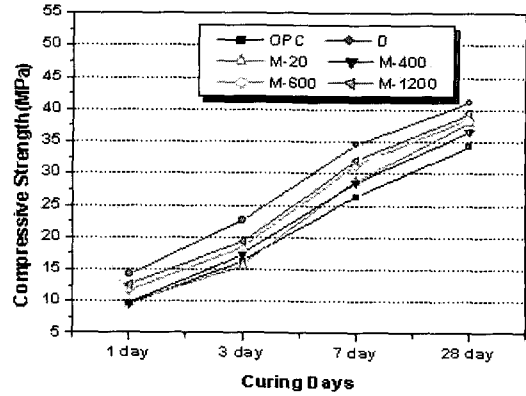


Fig. 5 Compressive strength of cement mortar including  $C_4A_3\bar{S}$  clinkers

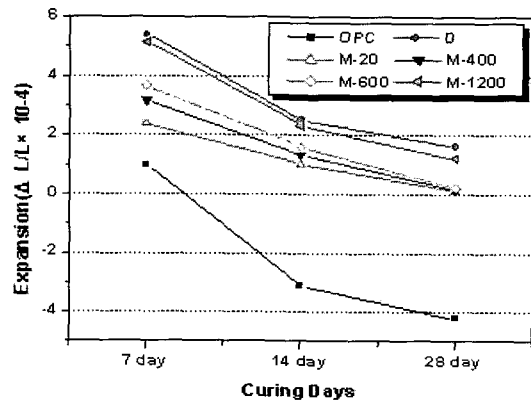


Fig. 6 Expansion of cement mortar including  $C_4A_3\bar{S}$  clinkers

초기에 발생하는 ettringite 생성에 팽창제가 적극적으로 반응에 참여함으로써 콘크리트의 미세공극을 충전하여 중금속 속도의 침출특성을 낮게 하는 장점을 지닌다<sup>13,14</sup>.

### 4.4 모르타르 압축강도의 비 및 팽창성

OPC에  $C_4A_3\bar{S}$  클링커를 10 wt%치환하여 재령 1, 3, 7, 28일 동안 수중에서 양생한 모르타르의 압축강도 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 시료 모두 OPC 보다는 초기에는 30~50% 정도로 높은 강도비를 나타냈지만, 재령이 경과할수록 그 폭은 15~30% 정도로 줄어들었다. 초기재령에서는 물과  $C_3A$ 의 급격한 수화에 의한 ettringite의 생성에 의해 강도가 증대된 것으로 생각되며, 장기재령에서는  $C_2S$ 가 물과 서서히 반응하여 수화가 수주간 혹은 수개월간 진행되면서, 규산칼슘수화물(Calcium Silicate Hydrate, 이하 CSH) 층이 시멘트 입자 주위에 형성되어 물이 CSH 층을 통과하여 시멘트 입자와 접할 수 없어 수화가 정지될 때까지  $C_2S$ 의 수화가 일어나므로, 초기재령에서는  $C_3A$

의 영향으로 클링커를 혼합한 재료의 강도가 높았으며, 장기재령에서는  $C_2S$ 의 수화로 인해 OPC와 비슷한 강도를 나타낸 것으로 판단된다<sup>7,11)</sup>.

CSA계 팽창제에 의한 모르타르의 팽창성능을 Fig. 6에 나타내었다. 팽창제는 시멘트의 건조수축을 보상하여 균열을 방지하는 기능으로 길이 변화율을 측정함으로써 나타낼 수 있다. 재령 초기에는 팽창성수화물인 ettringite의 다량생성으로 인한 칼슘실리케이트 수화물인  $C_2S$ 의 수화에 의한 수축을 보상함으로 전체 시멘트 구조물의 수축이 현저히 감소하는 것으로 판단된다. 재령이 경과할수록 CSA 수화물에 의해 형성된 기공을  $C_2S$ 의 수화에 의해 생성된 CSH겔이 메워줘 부피변화를 최소화 시키는 것으로 판단되며, OPC의 경우 주 구성광물인  $C_3S$ ,  $C_2S$ 가 전체 수화반응을 지배하므로 재령에 따른 건조수축현상을 관찰할 수 있다<sup>7,11)</sup>. 시료 D의 경우 CaO와 무수석고 첨가에 의한 균일한 ettringite 생성에 의해 팽창성능이 높았으며, M-20, 400, 600, 1200 모두 OPC보다 높은 팽창성을 나타내었다. 클링커의 소성온도가 높아질수록 팽창률이 높은 것은 다량의 ettringite를 생성시킬 수 있는  $C_4A_3\bar{S}$  광물의 생성과 관련 있음을 예측할 수 있었다.

## 5. 결 론

산업부산물을 이용하여 소성온도 20, 400, 600, 1200 °C로 1시간 유지 후 급냉하여 CSA계 팽창제를 제조하였으며, OPC에 10 wt%회환하여 수증양생 하에서 수화반응 및 물성에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) XRD 분석에서 1200°C에서  $C_4A_3\bar{S}$  결정이 생성됨을 확인할 수 있었고, 시료 D는  $C_4A_3\bar{S}$  클링커에 응결시간 및 팽창률을 조절하기 위하여 소량의 CaO와 II-CaSO<sub>4</sub>가 첨가되어 있음을 관찰할 수 있었다. SEM을 통하여 수화 1일 후 수화상태를 관찰한 결과 Ca(OH)<sub>2</sub>와 ettringite 침상결정의 생성을 관찰할 수 있었다.
- 2) 1200 °C소성 한 클링커가 압축강도가 높고, 건조 수축이 적으며, 응결시간은 소성온도가 높아질수록 빨라지는 경향으로 나타났다. 전체적인 결과로 시료 D는 OPC보다 초결, 종결이 30~50분정도 빨랐으며, M-20, 400, 600는 초결, 종결이 80~100분정도 빨랐으며, M-1200은  $C_3A$ 의 급격한 수화에 의해 초결은 15분, 종결은 30분으로 급결성을 나타내었다.
- 3) Mini-Slump값은 OPC에 비해 85~95%정도로 나타났으며, 소성온도가 높아질수록 클링커의 결정성장으로 단위질량당 체적감소로 인해 Mini-Slump값이 높은 경향을 보였다.

- 4) 팽창성능은 시료 모두 OPC보다 높은 결과를 나타냈으며, 산업부산물 및 폐기물로 CSA계 팽창제를 제조함으로 재료비의 절감과 경제적, 환경 적인 측면에서 적지 않은 효과를 기대할 수 있으리라 생각된다.

## 참고문헌

1. 박종욱, 조재효, 신현택, “산업부산물을 이용한  $C_4A_3\bar{S}$ 를 함유한 시멘트 제조 및 특성에 관한 연구“, 한국요업학회, 한국양회공업협회, 24회 시멘트 심포지엄, 1996, pp.19~28.
2. 김도균, 정찬일, 전준영, 이의학, “ $C_4A_3\bar{S}$ 시멘트의 제조 및 수화특성에 관한 연구“, 한국요업학회, 한국양회공업협회, 24회 시멘트 심포지엄, 1996, pp.115~120.
3. P. K. Mehta ., “Energy, Resources and the environment A Review of the US Cement Industry”, World Cement Technology, Jury-August, 1978, pp.144~160.
4. P. K. Mehta, “Investigation of Energy Saving Cement,” *World Cement Technology*, Vol.11, No.4, 1980, pp. 166~177.
5. G. Sudoh et.al., “High Strength Cement in the CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub> System and its Application,” *7th International Congress on the Chemistry of Cement*, Paris, III. 1980, pp.152~157
6. Y. R. K. Rivobordov and S. V. Sanchenko, “Sulphate-Bearing Solid Solution of Calcium Aluminate and Ferrites,” *9th International Congress on the Chemistry of Cement*, New Delhi, IV. 1992, pp.209~215.
7. 홍성수, 이범재, 문정호, 임계규, 노재성 “산업부산물을 재활용한 CSA의 합성 과 응용”, 한국폐기물학회지, 14권, 7호, 1997, pp.673~679.
8. 河野廣隆, 三原敏夫, 渡邊芳春, 小菅啓一 “エトリンガイト系混和材を用いた超早強コンクリートの性質”, *セメント・コンクリート*, NO.548, 1992, pp.50~56.
9. 磯貝純, 齊藤彰, 高橋光男 “カルシウムサルホアルミネートの水和過程に関する考察”, *セ技年報*, 31, 1977, pp.66~70.
10. 이범재 “산업부산물을 이용한 Calcium Sulfoaluminate의 합성과 소각재 고형화 특성”, 박사학위논문, 충남대학교, 1998, pp.2~4.
11. 송종택, 조진상, 전준영 “산업부산물을 이용한 CSA계 팽창시멘트의 제조 및 특성”, *한국세라믹학회지*, Vol.38, No.2, 2001, pp.183~192.
12. Perenchio W.F., Whiting, D.A., and Kantro, D.L. “Water Reducer, Slump Loss and Entrained Air Void Systems as Influenced by Superplasticizers,” *Proc. 1st Int’l.Symp. Super-plasticizers in Concrete*, CANMET, Ottawa, Canada: Amer. Conc.Inst. SP-62, 1979, pp.137~155.

13. 三宅信雄, 中川晃次, 磯貝純, “カルシウムサルホアル  
 ミネート系セメント混和材の基礎性狀, 七技年報,” 29,  
 1975, pp.121~126.

14. 嘉門雅史 “セメント系固化材による廢棄物處理と環境  
 問題”, セメントコンクリート, No.574, 1994, pp.1~10.

## 요 약

$C_4A_3\bar{S}$  합성은 천연원료인 석회석과 산업폐기물 및 부산물인 수산화알루미늄, 이수석고를 일정혼합비로 균일하게 혼합하여 20, 400, 600, 1200 °C에서 1시간 소성 후 급냉하여  $C_4A_3\bar{S}$ 클링커를 합성하였다. 합성한 클링커를 보통 포틀랜드 시멘트에 10 wt %치환하여 수중 양생하에서 수화반응 및 물성특성을 조사하였다. 1200°C에서  $C_4A_3\bar{S}$ 클링커가 합성됨을 X-Ray diffraction pattern으로 관찰할 수 있었다. 1200 °C에서 소성된 시료는 급결성을 띠었으며, 압축강도는 보통 포틀랜드 시멘트보다 20~30% 정도 높게 나타났다. 주요 수화생성물은 ettringite, 수산화 칼슘이며, ettringite의 팽창으로 인하여 모르타르의 건조수축이 보통 포틀랜드 시멘트보다는 낮게 나타났다.

**핵심용어 :**  $C_4A_3\bar{S}$ , 팽창제, Ettringite, 건조 수축, 산업 폐기물