

## 시멘트 초기 수화과정에 대한 유기혼화제의 영향(Ⅱ)

문 정 연\*·최 상 훈  
한양대학교 무기재료공학과  
(1984년 8월 24일 접수)

### Effect of Organic Admixture(Calcium Lignosulfonate) on the Early Hydration Process of Portland Cement (Ⅱ)

Jeong-Yeon Moon\* and Sang-Heul Choi

Dept. of Inorganic Materials Eng., Hanyang Univ.

(Received 24 August, 1984)

#### ABSTRACT

The effect of calcium lignosulfonate (CLS) with various mixing ratios as the organic retarder on the early hydration process of clinker minerals was mainly studied.

The results of the hydration reaction for tricalcium silicate - tricalcium aluminate - tetracalcium aluminoferrite systems with gypsum and CLS were as follows.

1. Added gypsum in the hydration process of cement formed ettringite with  $C_3A$  and  $C_4AF$  at the first stage of the reaction, consequently the retardation of  $C_3S$  hydration due to CLS was partly prevented by gypsum.
2. The more  $C_3A$  and the less  $C_4AF$  content in cement reduced the concentration of CLS in the liquid and therefore decreased the retardation effect on the hydration reaction of  $C_3S$  by adding gypsum.
3. When 0.25wt. % of CLS was added, the lower limit of optimum gypsum content in cement without retardation effect on  $C_3S$  hydration was 2 wt. % (based on  $SO_3$ ), and by adding 0.5wt. % of CLS it was increased to 2.5wt. %.

#### 1. 서 론

전보<sup>1)</sup>에서는 calcium lignosulfonate(CLS)를 주성분으로 하는 콘크리트용 유기혼화제가 존재할 때  $C_3S$ 의 수화에 대한  $C_3A$ ,  $C_4AF$  및 석고의 영향에 대해서 고찰한다.  $C_3A$ 는 초기의 수화특성에 의하여 CLS의 흡착능이 매우 크고 액상중의 CLS 농도저하를 빨리 야기시켜  $C_3S$ 의 수화를 정상적으로 진행시키나 석고와 공존할 때는  $C_3A$ 를 첨가하지 않을 때와 같은 정도로 수화를 지연시키며  $C_4AF$ 는  $C_3A$ 와는 달리  $C_4AF$ 의 초기 수화물에 의하여  $C_3S$ 의 수화를 크게 지연시키지만 석고와 공존할

때는 오히려  $C_3S$ 의 수화를 회복시킨다는 사실을 알았다.

실제로 이러한 결과는 시멘트에  $C_3A$  및  $C_4AF$ 가  $C_3S$ 와 함께 함유되어 있기 때문에 매우 흥미있는 일이라 하겠다. 즉  $C_3A$ 와  $C_4AF$ 가 함께 존재할 때 유기혼화제는  $C_3S$ 의 수화에 어떠한 영향을 미칠 것인가 하는 문제는 매우 관심있는 일이며 또한 시멘트 종류에 따라서  $C_3A$  및  $C_4AF$ 의 함유량이 다르므로 이에 대한 영향의 검토도 석고함량 민화와 함께 매우 중요한 의미를 갖는다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 시멘트 종류(Type I, II, V)에 따라  $C_3S$ 에  $C_3A$  및  $C_4AF$ 를 혼합하고 석고량을 변화시켜 CLS 첨가량에 따른  $C_3S$ 의 수화특성을 검토한 후 최적

\*쌍용 중앙연구소  
Ssangyong Research Center.

석고량을 결정하였고, 유기혼화제 사용에 대한 시멘트의 수화 특성과 수화 지연현상의 mechanism을 고찰하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시료준비

시멘트 클린커 구성광물인 C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A 및 C<sub>4</sub>AF는 전보에서와 동일한 방법으로 합성한 후 분쇄 하였으며 석고와 CLS도 동일한 것을 사용하였다.

### 2.2. 시료의 조제

CLS가 첨가되었을 때 C<sub>3</sub>S의 수화반응이 C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF 및 석고등의 함량변화에 따라 어떻게 영향을 받는가를 보기 위하여 미리 합성해 놓은 각각의 클린커 구성 광물들 다음(Table 1)과 같은 비율로 조합하였다.

### 2.3. 수화반응 실험

시료에 대한 CLS의 첨가량은 0, 0.25, 0.5% (시료량에 대한 중량비)로 하였고, 수화조건에서 온도는 20°C, 물시멘트비 (W/C)는 0.5로 하였다.

이들의 수화반응 특성을 규명하기 위하여 twin type conduction calorimeter에 의한 수화발열속도곡선을 얻었고, 수화생성물에 대해서는 수화반응 1시간, 3시간 1일, 3일후에 아세톤을 사용하여 수화를 경지시켜 X선 회절분석, 열분석 및 주사전자현미경으로 관찰하였으며 원소분석 (EDS, Acc. Volt. : 15KV, Tilt : 0, Take off angle : 30, W. D. : 35, NO STD)을 하였다. 또한 열분석에서 C<sub>3</sub>S의 수화생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>의 결정수 탈수에 의하여 얻은 중량감소율을 역으로 계산하여 Ca(OH)<sub>2</sub> 생성량을 결정하였다.

### 2.4. 수화예상중의 CLS 함량분석

CLS 첨가량 변화에 따른 시료들의 수화시간별 CLS 용착성을 보기 위하여 0, 0.25, 0.5%의 CLS 용액을 만들어, 온도 20°C에서 시료 1g에 대해 용액 10ml를 삼각플라스크에 넣고 밀폐시켜 suspension 상태에서 소정의 시간 수화시킨 후 원심분리기를 이용, 액상을 분리하며 CLS의 농도를 측정하였다.

CLS 농도측정방법<sup>2)</sup>으로는 여러 농도의 표준용액을 만들고 UV-visible spectrophotometer를 이용하여 280nm의 파장에서 얻은 peak 높이로 calibration curve를 작성한 후 실제실험에서 얻은 용액을 같은 방법으로 측정, calibration curve에 의하여 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 석고 첨가량에 따른 영향

#### 3.1.1 석고를 첨가하지 않았을때

**Table 1.** Mixing Ratio of Samples for Various Types of Cement (wt. %)

Sample No.	C <sub>3</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	*Gypsum	Remark.
F-0	80	10	10		Type I (Mixture of clinker minerals)
F-1	80	10	10	1	
F-2	80	10	10	2	
G-0	80	7	13		Type II ( " )
G-1	80	7	13	1	
G-2	80	7	13	2	
H-0	80	3	17		Type V ( " )
H-1	80	3	17	1	
H-2	80	3	17	2	

\*based on SO<sub>3</sub>(%)

석고가 첨가되지 않은 경우 C<sub>3</sub>A 함량이 많은 시료 "F-O"나 C<sub>3</sub>A 함량이 적고 C<sub>4</sub>AF가 많은 시료 "G-O"와 "H-O"의 수화발열량은 CLS 첨가량 0%에 비하여 0.25%에서 초기에 수화반응이 약간 지연되지만 시간이 경과함에 따라 날라져 거의 같아지고 있으며 (Fig. 1), 수화 시간별 수화물에 대한 X선회절분석 (Table 2)과 열분석결과로 계산한 Ca(OH)<sub>2</sub>량 (Fig. 2)으로 보아 C<sub>3</sub>S가 수화할때 생성되는 Ca(OH)<sub>2</sub>는 수화 3일 경과시 CLS 0.25%까지는 거의 유사하게 생성되고 있다. CLS 0.5%에서는 수화발열속도및 Ca(OH)<sub>2</sub>의 생성이 약간 감소되며 시료 "F-O"에 비하여 "G-O" 및 "H-O"가 좀더 감소되고 있다.

주사전자현미경관찰 (Fig. 3)에서도 CLS의 함량이 0% 및 0.25% 일때 다량의 Ca(OH)<sub>2</sub>와 CSH가 생성되고 있음을 보이나 CLS 0.5% 일때는 다소 적게 관찰되고 있다. 특히 CLS를 첨가할때 약간 변형된 형상인 C<sub>3</sub>A의 수화물로 보이는 hexagonal form 수화물<sup>3,4)</sup>을 원소분석한 성분 peak를 보면 Fe는 거의 없고 Ca와 Al만 확인되고 있어 이것은 주로 C<sub>3</sub>A에 의한 수화물임을 알 수 있으며 X선회절분석에서도 C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub>이 확인됨으로써 잘 일치되고 있다.

이러한 결과는 C<sub>3</sub>S가 C<sub>3</sub>A 및 C<sub>4</sub>AF와 공존할 때 초기에 C<sub>3</sub>A의 강한 수화반응에 의하여 C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub>이 생성됨으로써 CLS의 흡착도 용이하여 액상중의 CLS 농도를 쉽게 저하시킬 수 있기 (Fig. 4) C<sub>4</sub>AF에 의한 C<sub>3</sub>S의 수화반응 지해를 방지하는데 있다고 볼 수 있다. 그러나 CLS 첨가량이 0.5%로 증가되면 이에 비례하여 C<sub>4</sub>AF에 의한 수화지연 영향이 보다 증가됨으로써 C<sub>3</sub>S의 수화반응이 다소 지연된다고 생각되며, C<sub>3</sub>A 함

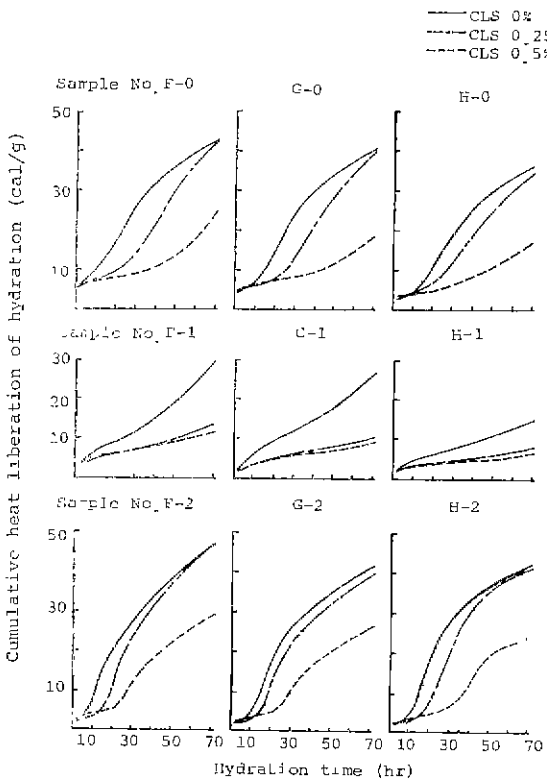


Fig. 1. The curves of cumulative heat liberation for various samples with CLS.

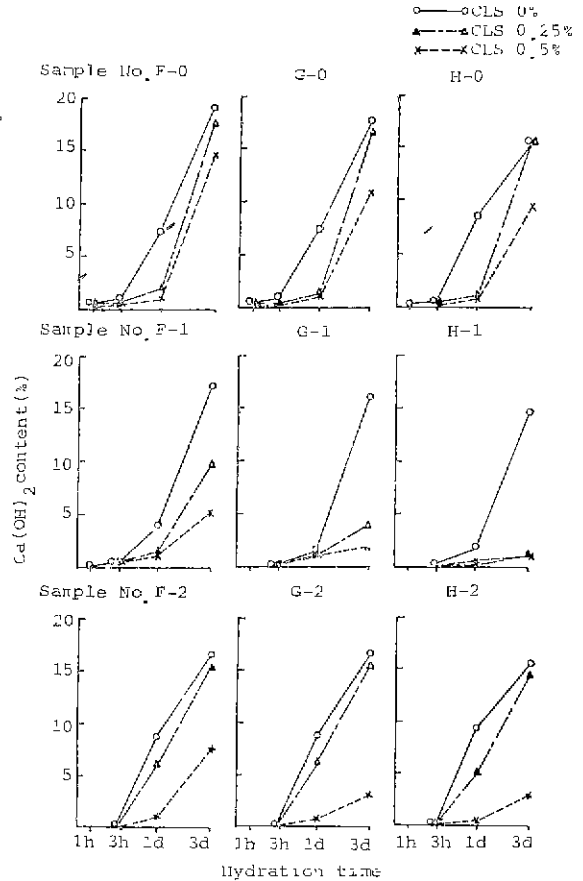


Fig. 2. Amount of  $\text{Ca(OH)}_2$  produced on the hydration of various samples with CLS.

량이 많고  $\text{C}_4\text{AF}$  함량이 적으면 이러한 현상에 의한  $\text{C}_3\text{S}$  수화지연이 적어지고 있음을 알 수 있다.

3.1.2 석고를  $\text{SO}_3$  기준으로 1% 첨가하였을 때

석고를  $\text{SO}_3$  기준으로 1% 첨가한 시료의 수화발열 속도 (Fig. 1)는 CLS 첨가량 0%에 비하여 CLS를 0.25% 및 0.5% 첨가할 때 매우 지연되고 있으며 수화물 분석결과 (Table. 2, Fig. 2)에서도 같은 경향을 보여주며 석고를 첨가하지 않을 때에 비하여  $\text{C}_3\text{S}$  수화가 크게 지연되고 있다. 이것을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 (Fig. 3)와 함께 살펴보면 수화초기  $\text{C}_3\text{A}$ -석고 반응에 의한 ettringite의 생성은 촉진되나 monosulfate로의 변환은 지연되고, 석고량의 부족에 따른  $\text{C}_3\text{A}$  단독수화물인  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ 이 다량 생성되어 ettringite와 공존하고 있다. 또한 석고를 첨가하지 않을 때에 비하여 CLS 함착능력도 저하되고 있음을 수화 액상중의 CLS 분석결과로부터 알 수 있다 (Fig. 4). 이때 관찰된

ettringite 및 monosulfate의 원소분석 peak를 보면 Ca, Al, S만 나타나고 Fe는 전혀 보이지 않고 있어  $\text{C}_3\text{A}$  수화에 의한 생성물임을 확인할 수 있었으며 CSH의 원소분석에서는 오히려 Fe가 나타나 있는 것으로 보아 석고를 소량 첨가할 때 모든 석고는 초기에  $\text{C}_3\text{A}$ 와의 반응에 의하여 ettringite 생성으로 CLS 함착능력이 저하되고 석고와 반응치 못한  $\text{C}_4\text{AF}$ 의 영향이  $\text{C}_3\text{S}$  수화지연을 크게 야기시킨 것으로 생각된다. 시료 "H-1"에 비하여  $\text{C}_3\text{A}$  함량이 많은 시료인 "F-1"의 수화반응지연이 적은것은 나머지  $\text{C}_3\text{A}$ 의 수화와  $\text{C}_4\text{AF}$ 가 적어 수화지연 영향이 적은데 기인된 것으로 보여진다.

3.1.3 석고를  $\text{SO}_3$  기준으로 2%를 첨가하였을 때

석고를  $\text{SO}_3$  기준으로 2% 첨가한 시료의 수화발열 (Fig. 1)은 CLS를 0% 및 0.25% 첨가하였을 때 예는 거의 같은 속도로 발현되고 있으며 CLS 0.5%에서는 다소 지연되는 경향이다.

Table 2. XRD Analysis of Hydrated Samples with CLS.

Sample No.	Added CLS (%)	Hydration Time	C <sub>4</sub> AH <sub>13</sub>	Gypsum	Ettringite	Monocul-fate	Portlandite	Alite
F - 0	0	3 hrs	+				+	+++++11111+
		1 day	+				++11111	++111
		3 days	+				++111111111	11
	0.25	3 hrs	+					+++++11111+
		1 day	+				+	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
G - 0	0	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+++++	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+++++	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+++++	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
H - 0	0	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+++++	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+++++	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	+				+++++	+++++11111+
		1 day	+				+++++	+++++11111+
		3 days	+				+++++	+++++11111+
F - 1	0	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
G - 1	0	3 hrs	+		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+		+		+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
H - 1	0	3 hrs	+		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+		+		+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	++		+		+++++	+++++11111+
F - 2	0	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
G - 2	0	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
H - 2	0	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
	0.25	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+
	0.5	3 hrs	+++		+		+++++	+++++11111+
		1 day	+++		+		+++++	+++++11111+
		3 days	+++		+		+++++	+++++11111+

Remark, +:very little ++:little +++~++++:medium  
 +++++~++++++-++++:very much

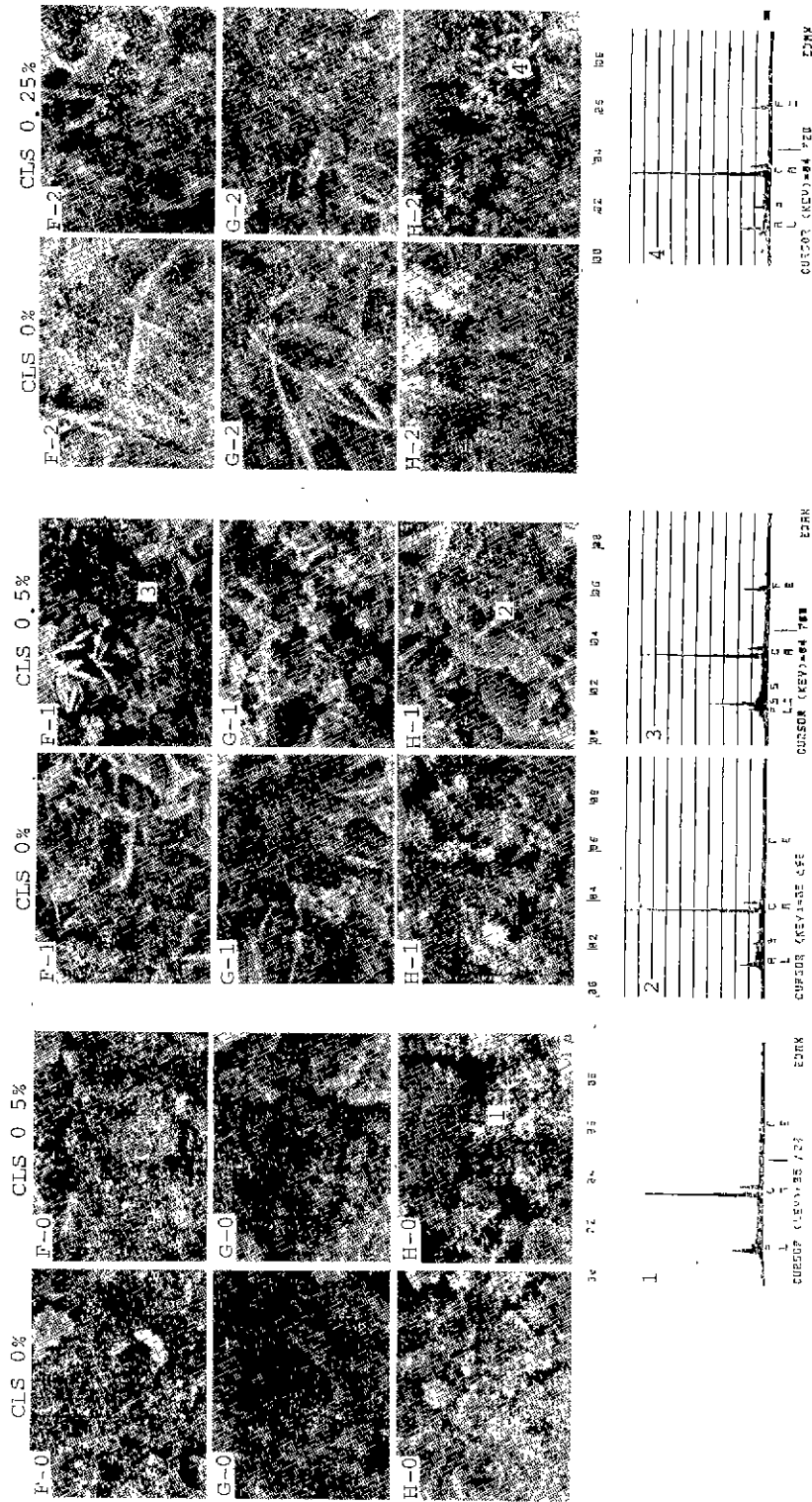


Fig. 3. SEM micrographs and EDS curves for hydrates of various samples with and without CLS for 3 days.

수화물 분석결과(Table 2, Fig. 2)에서도 CLS 0.25%까지는 C<sub>3</sub>S의 수화가 서로 종류에 상관없이 거의 정상적으로 진행되고 있으나 CLS 0.5%에서는 여전히 수화 지연이 관찰되고 있다. 또한 SO<sub>3</sub> 함량이 1% 일때 보다 SO<sub>3</sub> 함량이 2% 일때가 오히려 C<sub>3</sub>S 수화를 CLS 0.25%까지는 정상적으로 진행시키고 있는데, 이에대한 원인을 주사전자현미경 관찰과 원소분석 결과(Fig. 3)로 살펴보면 석고량이 비교적 많기 때문에 수화초기 C<sub>3</sub>A-석고와의 반응은 물론, C<sub>4</sub>AF-석고와의 반응에서도 ettringite가 다량 생성되고 있음을 알 수 있다. 즉 ettringite의 원소분석 peak를 보면 Ca, Al, S 외에 Fe

도 분석되고 있어 C<sub>4</sub>AF에 의한 ettringite 생성을 확인할 수가 있었다. 액상분석(Fig. 4)에서는 ettringite 생성으로 인한 CLS 흡착능력 저하로 석고를 첨가하지 않을때 및 SO<sub>3</sub> 기준으로 1%를 첨가할때 보다도 높게 분석되고 있다. 그러나 CLS 0.25%에서 SO<sub>3</sub> 함량이 2% 일때는 C<sub>4</sub>AF와 석고와의 반응에 의한 수화물의 생성이 C<sub>3</sub>S의 정상적인 수화를 가능케 할것으로 보이며 CLS 0.5%에서는 SO<sub>3</sub> 함량이 2%로는 충분치 못함을 알 수 있다.

3.2 최적 석고량

지금까지 석고 첨가량을 SO<sub>3</sub> 기준으로 2%까지 했을

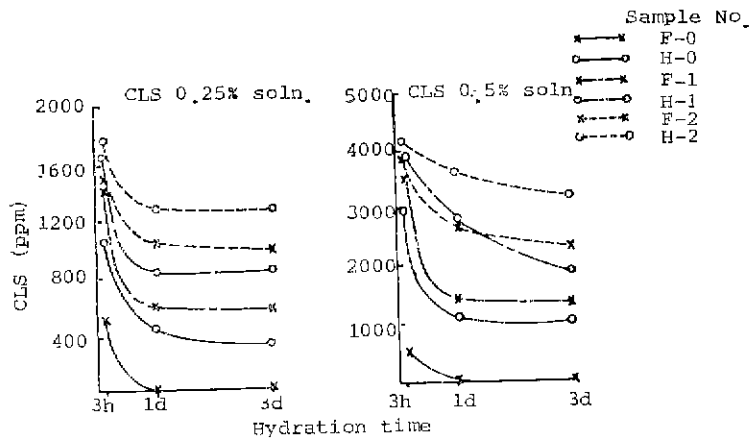


Fig. 4. Concentration of CLS in liquid phase removed from hydration of various samples with CLS 0.25%, 0.5% solution.

Table 3. XRD Analysis of Hydrated Sample No. H with CLS and Gypsum.

SO <sub>3</sub> cont. (%)	Added CLS (%)	Hydration Time	C <sub>4</sub> AF <sub>13</sub>	Gypsum	Ettringite	Mono-sulfate	Portlandite	Alite
0.5	0	3 hrs	++		+		+	+++++
		1 day	+			+	++++	+++++
		3 days	+				+++++	+++
	0.5	3 hrs			+		+	+++++
		1 day	+				+	+++++
		3 days	+				++	+++++
1.5	0	3 hrs		+	+		++++	+++++
		1 day			+		++++	+++++
		3 days	+		+		+++++	++
	0.5	3 hrs			+		+	+++++
		1 day	+		+		+	+++++
		3 days	+		+		++	+++++
2.5	0	3 hrs		++	+		++++	+++++
		1 day			++		++++	+++++
		3 days			+		+++++	++
	0.5	3 hrs			+++	+		+++++
		1 day			+++		+	+++++
		3 days			++	+	++	+++++
3.0	0	3 hrs		+++	+		+++	+++++
		1 day			++		++++	+++++
		3 days			+		+++++	++
	0.5	3 hrs		+	++	+		++++
		1 day			+++		++	++++
		3 days			++	+	+++++	++

Remark. +: very little ++: little +++~++++: medium  
 +++++: much +++++~+++++: very much

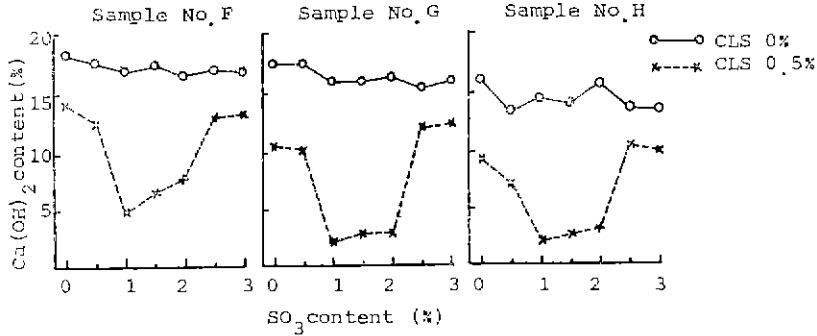


Fig. 5. Amount of Ca(OH)<sub>2</sub> produced on the hydration of various samples with CLS 0.5% for 3 days.

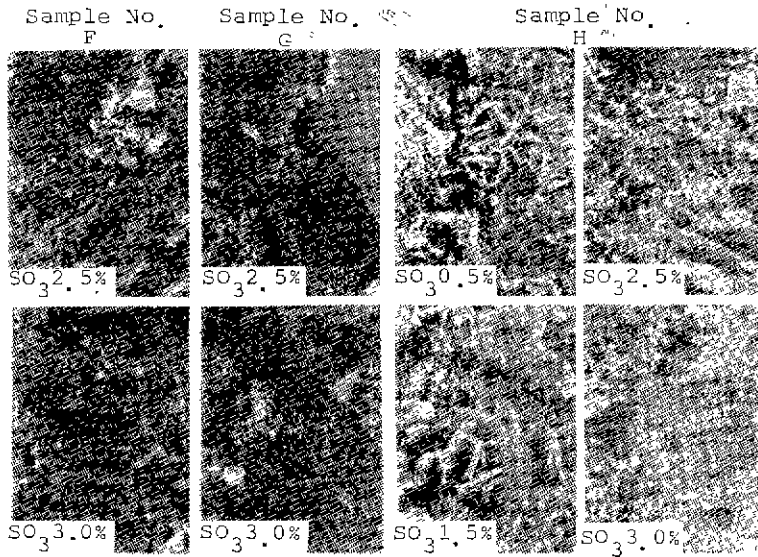


Fig. 6. SEM micrographs for hydrated of various samples with CLS 0.5% for 3 days.

메의 CLS 첨가량에 따른 C<sub>3</sub>S의 수화상태를 분석한바 CLS 0.25%까지는 석고를 SO<sub>3</sub> 기준으로 2% 첨가함으로써 C<sub>3</sub>S의 정상적인 수화가 진행됨을 알 수 있었으나 CLS 0.5%에서는 C<sub>3</sub>S의 수화지연이 매우 큼을 볼 수 있었다. 따라서 CLS 첨가량 0.5%에서 석고 첨가량을 SO<sub>3</sub> 기준으로 0~3%까지 0.5% 간격으로 첨가하여 수화시킨 F, G 및 H시료의 X선회절분석(Table. 3) 및 열분석결과로부터 계산한 Ca(OH)<sub>2</sub> 생성량을 보면 (Fig. 5) SO<sub>3</sub> 함량이 0.5%까지는 첨가하지 않을때와 같은 수준으로 C<sub>3</sub>S의 수화가 진행되고 있음을 알 수 있으나 SO<sub>3</sub> 함량 1.5%에서는 앞에서 언급한 1% 및 2% 일때의 결과와 같은 정도로 C<sub>3</sub>S 수화지연이 나타나고 있다. 반면 SO<sub>3</sub> 함량을 2.5% 혹은 3%로 했을때는 C<sub>3</sub>S 수화가 정상적으로 진행되고 있

음을 알 수 있다. 이러한 사실은 매우 흥미있는 결과로 CLS 첨가량에 따른 최적 석고량이 존재한다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 이때의 생성 수화물을 주사전자현미경으로 관찰한 결과(Fig. 6)와 함께 검토해보면 SO<sub>3</sub> 함량 0.5%까지는 그량이 매우 적어 C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub> 수화물만 관찰되지만 SO<sub>3</sub> 함량 1.5%에서는 SO<sub>3</sub> 함량 1%, 2%와 마찬가지로 ettringite와 C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub> 수화물이 공존하면서 C<sub>3</sub>S 수화가 크게 지연된다. 그러나 SO<sub>3</sub> 함량 2.5% 및 3%에서는 ettringite만 단독으로 존재하면서 CLS를 첨가하지 않을때와 비슷하게 C<sub>3</sub>S 수화가 크게 회복되어 정상적으로 진행되고 있다.

이상의 결과를 통계적인 수법식을 통하여 석고첨가량 및 C<sub>3</sub>A-C<sub>4</sub>AF 공존비율에 따른 C<sub>3</sub>S의 수화특성에 대해 3일 수화할때 생성된 Ca(OH)<sub>2</sub>의 양을 특성치로 하

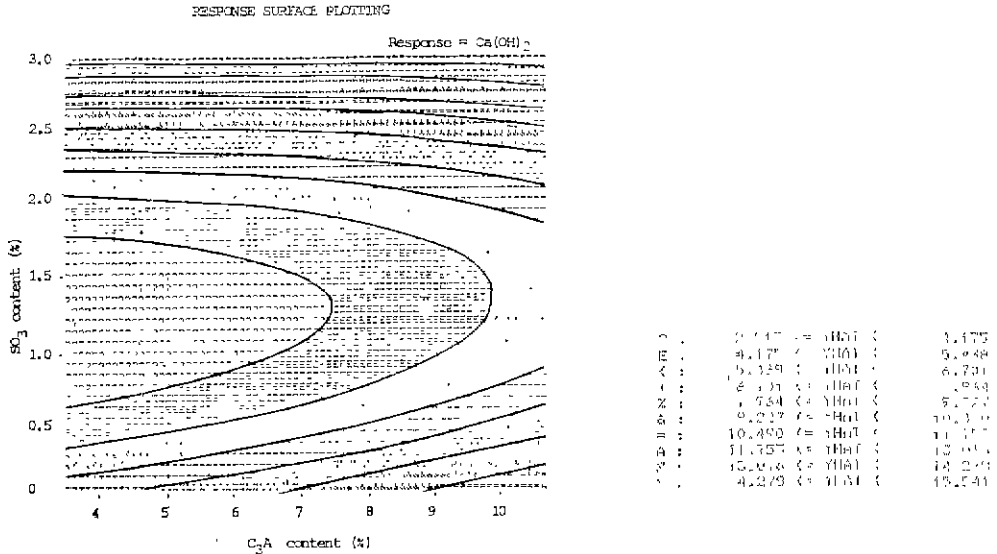


Fig. 7. Response surface plotting of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  contents of the hydration with gypsum and  $\text{C}_3\text{A}$  at CLS 0.5% for 3 days.

여 2원배치법에 의한 분산분석 및 반응표면 분석을 수행한 결과 CLS를 0.25% 첨가할때  $\text{SO}_3$  함량 2% 수준에서 CLS를 첨가하지 않은 수준의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  생성을 기대할 수 있다. 또 CLS를 0.5% 첨가하였을때 (Fig. 7)의 적정  $\text{SO}_3$  함량은 2.5%수준으로 볼 수 있겠다.

#### 4. 결 론

시멘트의 종류별 (Type. I, II, V) 조성에 대하여 CLS 및 석고 첨가량에 따른  $\text{C}_3\text{S}$ 의 수화특성을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시멘트중의 석고는  $\text{C}_3\text{A}$  및  $\text{C}_4\text{AF}$ 와의 초기 수화 반응에서 ettringite를 생성 함으로써 CLS를 첨가하였을 때  $\text{C}_4\text{AF}$ 의 영향에 의한  $\text{C}_3\text{S}$  수화반응지연을 방지 하여 정상적인 수화를 가능케 한다.
- 2)  $\text{C}_3\text{A}$  함량이 많고  $\text{C}_4\text{AF}$ 가 적은 시멘트 (Type V → Type I) 일수록 CLS를 첨가하였을 때 역산중의 CLS의 농도저하 현상이 일어나  $\text{C}_3\text{S}$  수화반응지연현상을 감소시킨다.
- 3) 본 연구에서 수행된 시멘트에 CLS를 0.25% 첨가

할때  $\text{C}_3\text{S}$  수화를 저해하지 않는 범위의 적정 석고첨가량 ( $\text{SO}_3$  기준)은 2% 수준이며 CLS 0.5% 첨가할 때는 2.5% 수준이다.

#### Reference

- 1) Jeong-Yeon Moon and Sang-Heul Choi, "Effect of Organic Admixture (calcium lignosulfate) on the Early Hydration Process of Portland Cement," *J. Kor. Ceram. Soc.*, 21(2), 1984.
- 2) Inan Jawed, Waldemar A. Klemm, and Jan Skalny, "Hydration of Cement-Lignosulfonate-Alkali Carbonate System," *J. Am. Ceram. Soc.*, 62(9-10), 461~464, 1979.
- 3) P. Reh binder, Coagulation and Flocculation (A General Discussion of the Faraday Society) p. 151, (1954).
- 4) E. Crepez and C. Semenza, Reports of 6th Congress on Large Dams., R-46, p. 23(1959).
- 5) 한국공임표준협회, 통계적방법 (I)(II)(III).