

# 조강형 고로 슬래그 시멘트 및 보통 포틀랜드 시멘트 대체용 고로 슬래그 시멘트에 관한 연구

권기동\* · 최현국

〈성신양회 기술연구소〉

## 1. 서 론

고로 슬래그 시멘트의 사용 용도는 보통 포틀랜드 시멘트(이하 약칭: OPC)와 더불어 동일하게 사용될 수 있으며, 사용목적에 따라 고로 슬래그 시멘트의 특성을 다음과 같이 활용할 수 있다.

첫째로 염분에 대한 화학저항성과 내구성을 요구하는 해안의 방파제와 항만설비공사 등의 해수 공사가 있으며, 둘째로 댐과 같은 대규모 mass 콘크리트 공사에는 OPC를 사용할 경우 높은 수화열에 의한 크랙이 발생되므로 OPC에 비해 수화열이 낮은 고로 슬래그 시멘트의 사용이 적합하다. 셋째로 내열성이 요구되는 연돌과 연도 등의 공사에 사용되고 있으며, 넷째로 수밀성을 요하는 상하수도 공사, 지하철 공사 및 터널 등의 공사에 사용되어 OPC보다 우수한 물성을 나타내는 장점을 가지고 있다.

고로 슬래그 시멘트는 고로 슬래그의 혼합량에 따라 나타나는 물성변화의 폭이 크며, OPC와 비교하여 다음과 같은 단점이 있다. OPC에 비하여 응결 경화속도가 늦으며, 초기재령에 있어서도 낮은 강도 발현율을 나타내고 있다. 그러므로 현

장 타설시에는 거푸집의 존치기간을 연장해야 되므로 사용 용도에 제약이 따르게 된다. 고로 슬래그 시멘트의 초기강도 발현율을 OPC와 동등하게 발현시킬 수 있다면 사용 용도에 따른 다변화 및 저변확대를 통해 고로 슬래그 시멘트의 사용량을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다. OPC 대체용 고로 슬래그 시멘트는 당사에서 생산하는 고로 슬래그 분말(Blaine : 4,370 $cm^2/g$ )과 석고 및 조강제를 첨가하여 초기강도 발현율이 OPC와 동등한 고로 슬래그 시멘트를 제조하고자 하였으며, 조강형 고로 슬래그 시멘트는 고로 슬래그 고분말을 사용하여 OPC보다 초기강도가 우수한 조강형 고로슬래그 시멘트를 연구하고자 하였다.

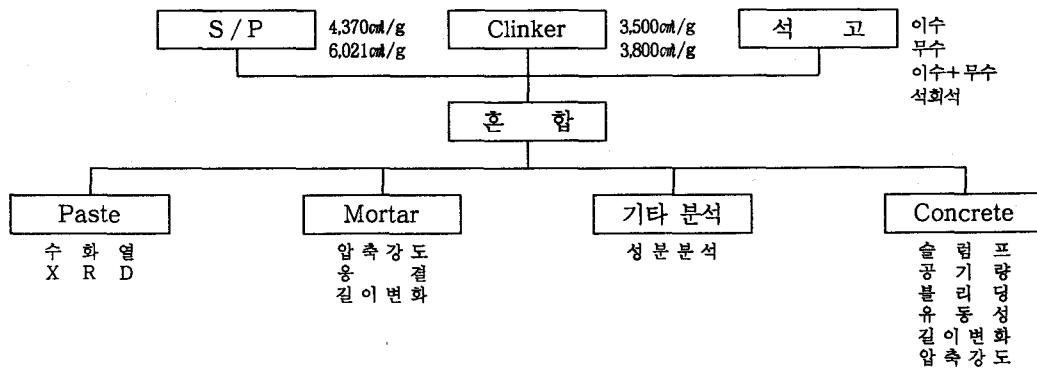
본 연구의 목적은 당사 고로 슬래그 시멘트의 초기강도 발현율을 OPC와 동등한 OPC 대체용 고로 슬래그 시멘트와 고로 슬래그 고분말(Blaine : 6,021 $cm^2/g$ )을 사용하여 조강형 고로 슬래그 시멘트 연구에 목적을 두었다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 출발물질

〈표 1〉 출발물질 화학성분

구 분	Ig. Loss	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>
OPC	1.19	21.71	5.99	2.99	62.04	2.74	2.30
Clinker	0.15	22.06	5.59	3.27	64.32	2.71	0.60
슬래그 분말	0.03	34.52	15.43	0.63	41.91	7.53	0.17
무수 석고	1.40	1.73	0.47	0.28	39.22	-	53.08
이수 석고	19.87	3.02	1.90	0.20	32.89	0.24	42.31
석회석	38.96	10.03	0.76	0.44	48.16	1.32	-



<그림 1> 시료제조 Flow Chart

본 실험에 사용한 출발물질로서는 당사에서 생산하는 OPC와 Clinker 그리고 고로 슬래그 분말(4,370cm/g)을 사용하였으며, 고로 슬래그 고분말(6,021cm/g)은 당사의 고로 슬래그 분말(4,370cm/g)을 Ball Mill로 분쇄하여 사용하였다. 고로 슬래그 시멘트의 초기강도를 증진시키기 위하여 무수석고, 이수석고, 소석회, 석회석을 사용하였으며 출발물질의 화학성분은 <표 1>에 나타내었다.

2.2 시료 제조방법

시료제조는 Clinker를 실험실 Ball Mill(10kg)로 분쇄하였으며, Clinker 분말도는 3,500, 3,800 cm/g로 제조하여 고로 슬래그 분말 및 첨가제를 혼합하여 제조하였다. 고로 슬래그 분말은 30~35%, 무수석고는 1~5%, 이수석고는 1~5%, 석회석은 3%로 고정하여 시료를 제조하였으며 물리실험 및 콘크리트실험을 실시하였다. 시료제조 Flow Chart는 아래 <그림 1>과 같이 나타내었다.

2.3.1 물리실험

각 시료의 물리적인 특성을 파악하기 위하여 압축강도, 응결을 측정하였으며, 실험방법은 KS 규격에 준하여 실험하였다.

2.3.2 수화 생성물의 관찰

각 시료의 수화반응 및 수화생성물을 관찰하기 위하여 각각의 시료를 W/C=0.5로 수화시킨 후 양생기간별(3, 7, 28일)로 정지시켜 X-선 회절분석(XRD)을 하였다.

3. 결과 및 고찰

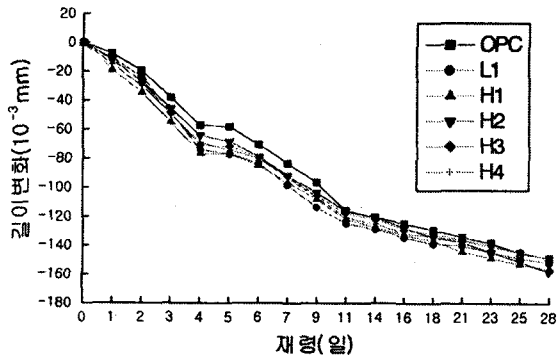
3.1 물리실험 결과

각 조건별(고로 슬래그 분말 함량, 고로 슬래그 분말도, 석고, 석회석)로 Clinker와 혼합한 시멘트에 대한 물리적 특성 결과를 <표 2>에 나타내었다. 고로 슬래그 분말 30%를 치환한 시료 L1과 H1은 고로슬래그 분말도가 높은 것이 초기강도와

<표 2> 몰탈 배합비 및 몰탈 물리적 특성 결과

번호	Blaine	Sieve	Clinker (%)	S/P (%)		이수 석고 (%)	무수 석고 (%)	석회석 (%)	SO <sub>3</sub> (%)	압축 강도(kg/cm <sup>2</sup> )				응결	
				4,370 (cm/g)	6,021 (cm/g)					1일	3일	7일	28일	초결 (분)	종결 (시:분)
OPC	3,500	8.8	-	-	-	-	-	-	-	94	225	313	387	195	6:35
L1	4,120	7.2	61	30	-	4.0	2.0	3.0	3.1	100	220	310	414	220	7:12
H1	4,609	5.0	62.3	-	30	4.7	3.0	-	3.95	108	278	403	493	220	7:03
H2	4,890	4.8	59.0	-	35	4.0	2.0	-	3.1	103	247	377	496	218	6:55
H3	4,987	5.0	56.0	-	35	4.0	2.0	3.0	3.1	97	265	380	519	225	6:40
H4	4,760	4.8	59.0	7	28	4.0	2.0	-	3.1	99	215	326	438	230	6:57

\* L1 : Clinker 분말도 : 3,800cm/g, H1~H4 : Clinker 분말도 : 3,600cm/g.



〈그림 2〉 각 시료별 길이변화 실험결과

후기강도에서 급격한 압축강도 증가를 볼 수 있었다. 응결시간은 고로 슬래그 분말도에 따른 영향은 거의없이 초결 종결 유사하게 나타났다.

고로 슬래그 분말 35%를 치환한 시료 H2, H3, H4는 초기강도가 고로 슬래그 분말 30%보다는 떨어지지만 후기강도에서 고로 슬래그의 잠재수경성에 의해 증가되는 것을 볼 수 있었다. 또한 석회석 3%를 치환한 시료 H3은 1일 강도는 떨어지지만 3일 강도 이후는 석회석을 첨가하지 않은 H2보다도 증가되었다.

### 3.2 몰탈 길이변화 실험결과

몰탈 길이변화 실험에서는 〈그림 2〉와 같이 9 일까지는 OPC가 가장 작은 수축을 나타내었으며, 수축이 가장 큰 시료는 H1 시료로 11일 이후 28일 길이변화는 모든 시료가 OPC와 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

### 3.3 X-선 회절분석

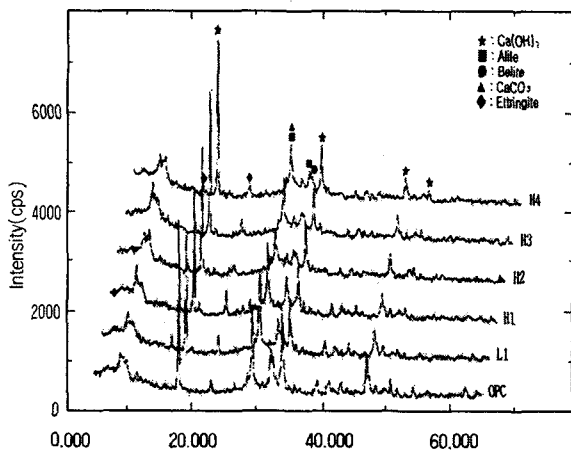
7일 수화물 X-선 회절분석 결과는 〈그림 3〉과 같이 OPC의 Ca(OH)<sub>2</sub> 피크가 제조한 고로 슬래그 시멘트 L1-H4 시료보다 높게 나타나고 있는데 이는 고로 슬래그가 첨가됨에 따라 Ca(OH)<sub>2</sub>를 생성시켜 주는 시멘트의 양 즉 CaO가 적기 때문이다.

Ettringite의 피크는 제조한 고로 슬래그 시멘트 L1-H4 시료가 OPC보다 강하게 나타나고 있어 고로 슬래그 시멘트의 초기강도 상승은 Ettringite의 영향으로 사료되며, 7일 압축강도가 가장 높게 나타난 H3 시료도 Ettringite가 가장 높게 나타났다.

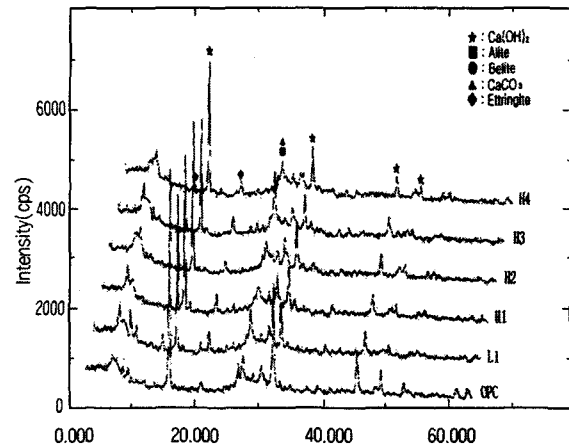
28일 수화물에서는 7일 수화물과 마찬가지로 Ca(OH)<sub>2</sub> 피크는 제조한 고로 슬래그 시멘트 L1-H4 시료보다 OPC가 높게 나타났지만 Ettringite의 피크는 OPC의 7일 수화물보다 28일 수화물이 작게 나타났고, 제조한 고로 슬래그 시멘트 L1-H4 시료는 7일 수화물과 28일 수화물이 거의 유사하게 나타났다.

또한 석회석을 첨가한 L1-H3 시료는 7일 수화물에서 석회석 피크가 Clinker 광물상과 중복되어 잘 나타나지 않았으나 28일 수화물에서는 볼 수 있었다.

### 3.4 각 시료별 굳지않은 콘크리트 실험 및 콘크리트 압축강도 실험



〈그림 3〉 7일 수화물 XRD Pattern



〈그림 4〉 28일 수화물 XRD Pattern

〈표 3〉 콘크리트 실험결과

시료	Slump loss (cm, %)						응 결		Bleeding 율(%)	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	0 분		30 분		60 분		초 결 (시:분)	중 결 (시:분)		3 일	7 일	28 일
	Slump	공기량	Slump	공기량	Slump	공기량						
OPC	18.5	6.5	16.5	6.4	13.5	5.7	8:20	11:50	100	172	265	350
S/C	18.0	6.5	15.5	6.2	10.0	5.5	8:50	12:10	104	160	240	373
L 1	16.0	5.4	16.0	5.0	13.0	4.4	8:35	11:35	97	174	260	393
H 3	18.0	5.4	16.0	4.8	13.5	4.5	8:00	12:00	66	201	300	427

\* 콘크리트 배합비 : 25-250-15, 혼화제 : P-84K.

#### 4. 결 론

- 1) 고로 슬래그 분말의 분말도가 높을수록 강도증가는 괄목할만큼 증대됨을 알 수 있었다. 즉 고로 슬래그 분말 4,370cm<sup>2</sup>/g은 OPC 대체용 고로 슬래그 시멘트에 사용할 수 있고, 고로 슬래그 고분말 6,021cm<sup>2</sup>/g은 조강형 고로 슬래그 시멘트에 효과적으로 사용할 수 있었다.
- 2) Clinker 분말도의 영향은 3,500~3,800cm<sup>2</sup>/g으로 실험해 보았으나 고로 슬래그 고분말만큼의 강도증가는 나타나지 않았다. 고로 조강형 슬래그 시멘트에서 Clinker 분말도는 3,600cm<sup>2</sup>/g이 적당하고 OPC 대체용 고로 슬래그 시멘트는 3,800cm<sup>2</sup>/g이 적당할 것으로 생각된다.
- 3) 굳지 않은 콘크리트 실험에서 Slump loss는 제조한 고로 슬래그 시멘트와 OPC가 거의 유사하며, 공기량은 OPC와 비교하여 낮게 나타났다.

#### 〈참 고 문 헌〉

1. ARNON BENTUR and R. L. BERGER "Chemical Composition of C-S-H Gel Formed in the Hydration of Calcium Silication Pastes" Department of Civil and Ceramic Engineering, University of Illinois of at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801 Vol. 62, No. 3~4.
2. 高爐水碎슬래그-세ッコ우-消石灰系セメント硬化体の強度および組成 Gypsum and Lime No. 147 (1977).
3. W. Lukas, Cem. Concr. Res., 6, 225 (1976).
4. 윤재환, "미분말도가 다른 고로 슬래그 미분말을 이용한 시멘트 모르타르의 압축강도 발현성에 관한 연구", 대한건축학회, 제19권 2호, pp. 548~553.