

## 高炉슬래그시멘트 (Blast-furnace Slag Cement)

文 翰 英

漢陽大學校 工科學科 土木工學科

### 1. 머리말

제철소에서 銑鐵을 제조할때 발생하는 용융슬래그를 高炉에서 꺼내 서서히 식혀 固化된 것이 緩冷(徐冷이라고도 함) 슬래그이며, 冷水나 찬공기로 急冷시켜 유리질로 된 적은 모래모양의 결정을 急冷슬래그 또는 高炉水滓라하며, 이를 클링커에 적당량 혼합한 것을 고로슬래그시멘트(blast furnace slag cement) 일명 고로시멘트(slag cement)라고도 한다.

고로슬래그시멘트는 1863년 독일의 한 제철소 소장 E. Langen씨에 의하여 처음으로 제조되었으며<sup>1)</sup>, 프랑스, 영국, 벨기에 등 구라과 여러나라에서 많이 사용되어 온 대표적인 混合시멘트이다.

고로슬래그시멘트는 高炉水滓 양의 혼합정도에 따라 얼마간 상이하지만 고로슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 水和熱이 포틀랜드시멘트와 비교해서 훨씬 적기 때문에 重力式댐이나 매시브한 콘크리트 등과 같이 단면이 큰 콘크리트 구조물에 사용하므로써 水和熱을 줄이는데 유리하며, 耐海水性を 위시한 化學抵抗性이 우수하며 長期材壽 강도의 증진이 큰점 및 포틀랜드시멘트보다 가격이 싼점 등이 장점이라 할 수 있다. 또한 고로슬래그시멘트는 에너지 절약형시멘트로 크게 각광받고 있으며, 급냉 슬래그의 이용은 資源의 有效活用이라는 측면에서 바람직하다.

반면에 포틀랜드시멘트와 비교해서 凝結 硬化가 늦기 때문에 初期材壽의 강도가 작은점과 같은 약점도 있으므로 사용구조물의 용도와 시기 등에 대한 검토가 요망된다.

본 원고에서는 고로슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 제 특성 등은 이미 발표된 연구성과 및 자료들이 많기 때문에 생략하였으며, 고로슬래그시멘트를 이해하는데 도움이 될 기초내용들을 소개하고자 한다.

### 2. 고로슬래그시멘트의 종류 및 생산현황

고로슬래그시멘트는 슬래그의 함유량에 따라 표-1에서와 같이 종류 및 기호 등이 다양하게 분류되고 있다.

우리나라의 경우에는 KS L 5210에 슬래그 혼합량을 중량으로 포틀랜드고로시멘트의 25~65%로 규정하고 있다.

이번에는 우리나라의 전시멘트 생산량과 고로슬래그시멘트의 생산량을 비교한 것이 표-2이다. 이 표에서 알 수 있듯이 우리나라에서 고로슬래그시멘트의 생산이 시작된 것이 1978년으로 34,637톤이었으나, 1987년에는 832,566톤으로 가장 많은 생산실적을 기록하고 있으며, 생산비율도 3.44%정도에 달한다. 1989년도에는 고로슬래그시멘트의 생산량이나 전시멘트 생산량에 대한 비율도 다소 떨어지고 있다.

이번에는 세계 몇개국의 고로슬래그시멘트의 생산비율을 정리한 것이 표-3이다. 이 표에는 전부 소개하지 못했지만 공산권 국가들의 경우 고로슬래그시멘트의 생산량이 전시멘트 생산량에 대한 비율이 20%~40%정도, 서독과 동독이 각각 22%, 18% 정도의 큰 비율로 생산되고 있음을

표 1. 각국 고로슬래그시멘트의 분류 2. 6)

국 명	시멘트의 명칭	기 호	슬래그의 함유량(%)
미 국 ASTM C 595	Slag modified portland cement	I(SM)	25 이하
	Portland blast-furnace slag cement	IS	25~70
	Slag cement	S	70 이상
서 독 DIN 1164	Eisen portland zement	EPZ	30 이하
	Hochofen zement	HOZ	31~85
	Sulfathutten zement	SHZ	75 이상
프 랑 스 NFP-15	철 시멘트	CF	20~30
	슬래그 혼합시멘트	CMN	50 이하
	고로시멘트	CHF	65~75
	클링커 슬래그시멘트	CLK	80 이상
영 국	Portland slag cement	-	65 이하
벨 기 에	철 시멘트	CF	30 이하
	고로 시멘트	CHF	30~70
	초고로 시멘트	CPM	70 이상
	고황산염슬래그시멘트	CMS	대부분
일 본 JIS R 5211	고로슬래그시멘트 A종	-	5~30 이하
	"          B종	-	30~60 이하
	"          C종	-	60~70 이하
한 국 KS L 5210	고로슬래그시멘트	-	25~65

표 2. 우리나라 고로슬래그시멘트의 생산량<sup>9)</sup>

시멘트생산량 년도	전 시멘트 (톤)	고로슬래그 시멘트(톤)	생산비율 (%)
1978	15,466,872	34,637	0.22
1980	15,573,117	397,902	2.56
1985	20,498,373	730,619	3.56
1989	30,473,832	611,862	2.01

3. 고로슬래그시멘트의 化學 및 物理的 性質

슬래그는 고로에서 선철을 제조할 때 선철 1톤당 약 300 kg정도, 체적으로는 선철 1m<sup>3</sup>당 약 0.8m<sup>3</sup>정도 부산물로 발생한다. 이 슬래그는 자신만으로는 水硬性이 없으나 Ca(OH)<sub>2</sub>나 알카리염류, 물과 같이 共存하게 되면 CaO의 자극을 받아 잠재하고 있는 수경성을 발휘하는 潛在水硬性을 나타낸다.

알 수 있다.

표 3. 각국의 고로슬래그시멘트의 생산량<sup>1)</sup>

년 도	생산량	전 시멘트(만톤)	고로슬래그시멘트(만톤)	생 산 비 율(%)	국 명
1971		10,000	2,700	27	소 련
"		4,000	3,600	90	중 국
"		1,300	520	40	폴 란 드
"		850	300	35.3	루 마 니 아
"		800	140	17.5	동 독
1976		3,380	740	21.9	서 독
"		7,050	20	0.28	미 국
"		3,060	200	6.5	프 랑 스
"		1,640	30	1.9	영 국
"		6,820	260	3.8	일 본

고로슬래그시멘트는 슬래그의 잠재수경성을 이용하여 만든 혼합시멘트의 일종이다. 고로슬래그시멘트의 일반적인 제조방법은 분쇄방법에 따라 同時粉砕方式과 分離粉砕方式 두 종류로 크게 대별된다.<sup>3)</sup>

이외에도 슬래그에 물을 가하여 微粉砕하고 슬러리(slurry)로 만들어 콘크리트 믹서에서 포틀랜드시멘트와 혼합하는 방식도 있다.

### 3. 1 化學成分

고로슬래그의 화학성분의 한예를 나타낸 것이 표-4이며<sup>4)</sup>, 고로슬래그의 化學組成을  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 의 중요 3성분계로 나타낸 것이 그림-1이다.<sup>8)</sup>

표 4. 고로슬래그의 화학성분(%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S
34	15	42	4.7	1.0	0.1	1.1

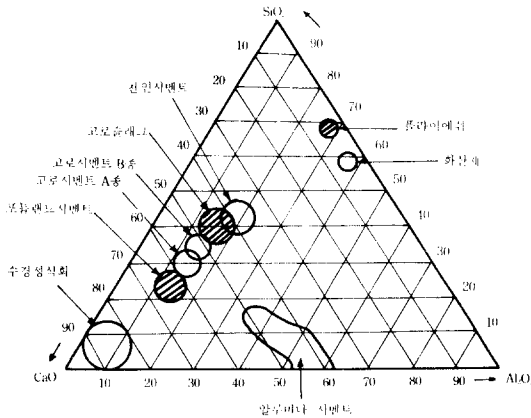


그림 1. 고로슬래그의 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三成分系

이 그림으로 고로슬래그와 고로슬래그시멘트를 이해하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

고로슬래그시멘트에서 高炉水滓의 화학성분과 유리질량이 잠재수경성의 발현에 중요한 인자가 된다. 그래서 유리질량과 고로슬래그시멘트의 강도와와의 관계를 조사한 것이 그림-2이다.<sup>8)</sup> 이 그림에서 다른 조건이 동일하다면 슬래그의 유리질량이 클수록 고로슬래그시멘트의 강도가 크게 나타남을 알 수 있다.

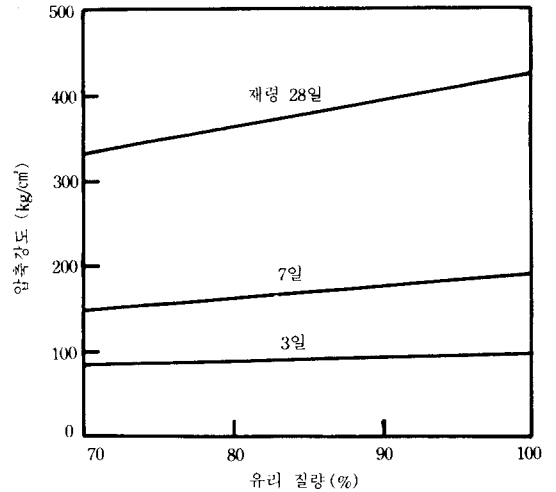


그림 2. 유리질량과 고로슬래그시멘트의 강도

그리고 고로슬래그시멘트의 화학성분을 한국공업규격 KS L 5210에서 표-5와 같이 규정하고 있으며, 한편으로 고로슬래그의 鹽基度를 구하여 14이상이어야 한다고 규정하고 있다. 염기도와 모르터의 강도와의 관계를 나타낸 한 예가 그림-3이다.

표 5. 고로슬래그시멘트의 화학성분(%)

화학성분(%)	등급	
	특 급	1 급
무 수 황 산 (SO <sub>3</sub> )	3.0 이하	4.5 이하
강 열 감 량 (ig. loss)	3.0 <	3.0 <
황 분 (S)	2.0 <	-

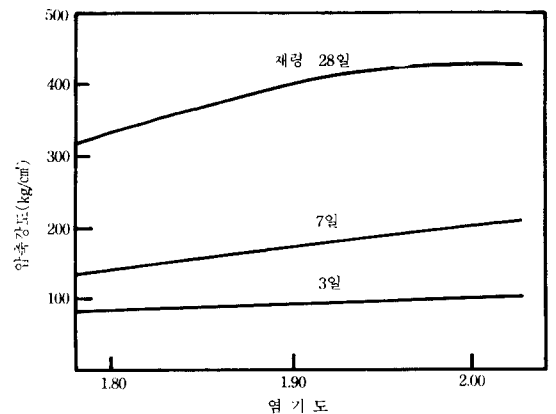


그림 3. 염기도와 모르터의 강도

이 그림에서 염기도가 클수록 재령이 증가 할수록 강도의 증가가 크게 나타남을 알 수 있다.

### 3.2 物理的 性質

우리나라 공업규격에 규정하고 있는 고로슬래그시멘트의 물리적 성질을 정리한 것이 표-6이다.

표 6. 고로슬래그시멘트의 물리적 성질

항 목		특 급	1 급
분 말 도	비 표면적( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	각각	2600이상
		평균	2800이상
안 정 도	오오토클레이브 팽창도 또는 수축도(%)	0.20이하	0.20이상
응 결 시 간 <sup>비</sup>	길모아 시험	초결(분)	60이상
		종결(시간)	10이하
	비이커 시험	초결(분)	45이상
		종결(시간)	7이하
강 도	압축강도	3일( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	130이상
		7일( $\text{kaf}/\text{cm}^2$ )	200이상
		28일( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	250이상
수 화 열		7일( $\text{Cal}/\text{g}$ )	70이하
		28일( $\text{Cal}/\text{g}$ )	80이하
모르타의 공기 함유량(%)		12이하	-

1) 응결시간 시험방법은 수요자의 요구에 따라 길모아 시험과 비이커 시험중 택일하여 실시한다.

#### (1) 비중

포틀랜드시멘트의 비중이 3.15 정도 인데 비하여 고로슬래그의 비중이 2.90 정도이기 때문에 고로슬래그의 혼합비율이 증가하는데 따라 고로슬래그시멘트의 비중은 감소한다. 일반적으로 고로슬래그시멘트의 비중은 3.04~3.06정도 범위에 있다.

#### (2) 粉末度

슬래그의 화학성분이나 유리질량이 동일할 경우에는 슬래그의 분말도가 클수록 그 표면적이 크며, 반응성이 크다고 한다. 표-6에 의하면 분말도는 비표면적으로 2800  $\text{cm}^2/\text{g}$  이상으로 규정하고 있으나, 일반적인 고로슬래그시멘트의 분말도는 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$  이상이다. 고로슬래그시멘트의 강도는 슬래그 혼합량이나 양생조건 등의 영향을 받으나 이들 조건이 일정할 경우 그림-4에서와 같이 분말도가 클수록 강도가 증가함을 알 수 있다. 다만 고로슬래그의

분말도를 크게 하면 乾燥收縮이 증대하며 水和熱의 발생을 증가시킬 위험이 있다.

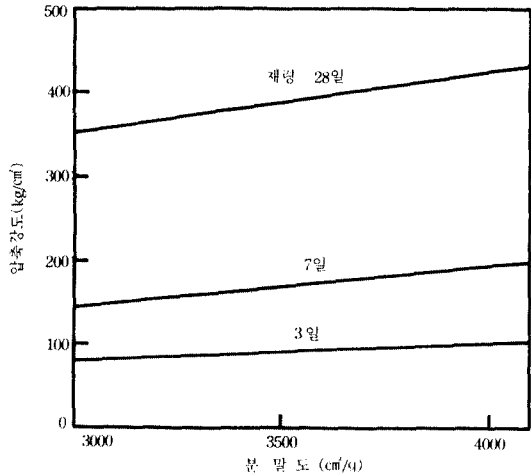


그림 4. 슬래그의 분말도와 고로슬래그시멘트의 강도

#### (3) 凝結

고로슬래그시멘트의 응결시험을 한국공업규격에서는 길

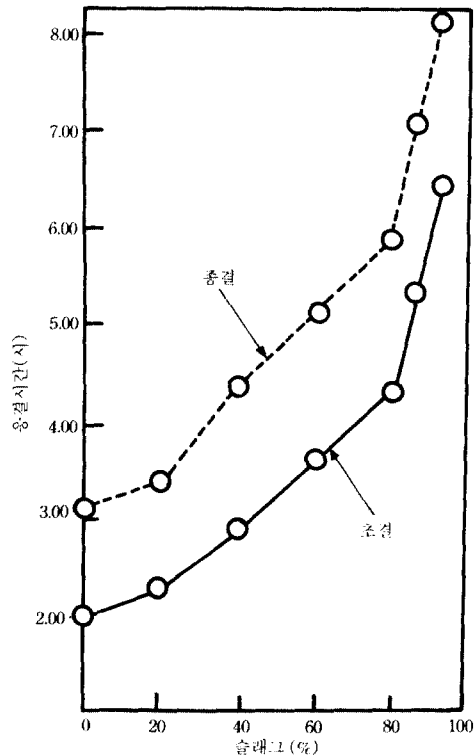


그림 5. 슬래그의 혼합률과 응결시간

모아 시험과 비이커시험으로 실시하되 초결과 종결시간을 각각 표-6과 같이 규정하고 있다.

그림-5는 Blaine에 의한 분말도가 4000cm<sup>2</sup>/g정도되는 고로슬래그시멘트의 응결시험결과를 나타내었으며, 이 그림에서 슬래그의 혼합률이 증가하는데 따라 응결의 초결이나 종결시간이 지연되고 있음을 알 수 있다.

#### (4) 水和熱

수화열은 석회량에 의하여 좌우되므로 고로슬래그시멘트와 같이 석회량이 포틀랜드시멘트와 비교해서 적은 경우 고로슬래그의 수화열이 적음을 표-7에서 알 수 있다.<sup>6)</sup>

그러므로 고로슬래그시멘트를 댄콘크리와 같은 매시브한 콘크리트에 사용하면 매우 유리하다.

#### (5) 強度

고로슬래그시멘트를 사용한 모르터의 압축강도 시험예를 나타낸 것이 표-8이다.

이 표에서와 같이 고로슬래그시멘트는 장기간에 걸쳐 강도가 증진하며 그 경향은 포틀랜드시멘트 보다 크게 나타나는 특성이 있다. 특히 슬래그의 함유량이 많을수록 더욱 크게 나타난다.

#### (6) 耐海水性 및 耐化學性

海수의 화학작용에 의한 콘크리트의 침식은 해수중의 황산염이 시멘트 광물속의 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 반응하는데 따라 체적변화를 일으키는 물질의 생성에 기인된다고 한다. 해수중의 황산염 특히 MgSO<sub>4</sub>가 시멘트 경화체에 대하여 浸蝕性을 가진다고 하며, 황산염 이외에도 수많은 유해한 이온이 존재 한다고 한다. 그러면 해수와 담수를 혼합수 및 양생수로 사용한 고로슬래그시멘트와 포틀랜드시멘트 콘크리트의 재령 1년까지의 강도를 비교한 실험예가 표-9이다.

이 표에서 알 수 있듯이 보통포틀랜드시멘트의 압축강도의 감소율이 고로슬래그시멘트보다 크게 나타남을 알 수 있다.

한편 시멘트의 종류가 다른 3종류의 모르터를 28일간 수중양생한 후 담수와 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액에 재령 1년까지 침지한 경우의 압축강도를 측정 한 시험결과가 그림-6이다.<sup>1)</sup>

이 그림-6의(b)에서 알 수 있듯이 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액중에 침지한 3종류의 모르터 중 보통포틀랜드시멘트를 사용한 모르터는 3개월 이후부터 압축강도가 현저하게 저하하는데 비하여 고로슬래그시멘트 C종의 경우에는 재령6개월 이후 오히려 강도가 증가하는 좋은 저항성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 7. 고로슬래그시멘트의 수화열

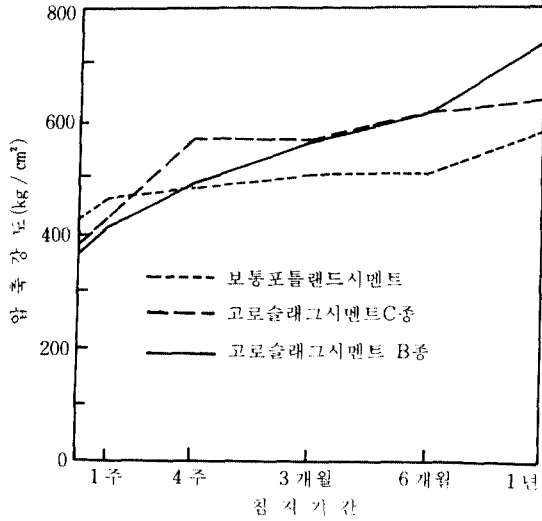
시멘트의 종류	슬래그의 함유량(%)	수화열 (Cal/g)				
		3 일	7 일	28 일	91 일	182 일
고로슬래그시멘트	36	45.9	62.0	75.5	80.0	86.8
보통포틀랜드시멘트	67	43.9	48.5	57.3	59.9	72.1
보통포틀랜드시멘트	-	46.2	66.3	84.7	87.4	90.1

표 8. 모르터의 압축강도(kg/cm<sup>2</sup>)

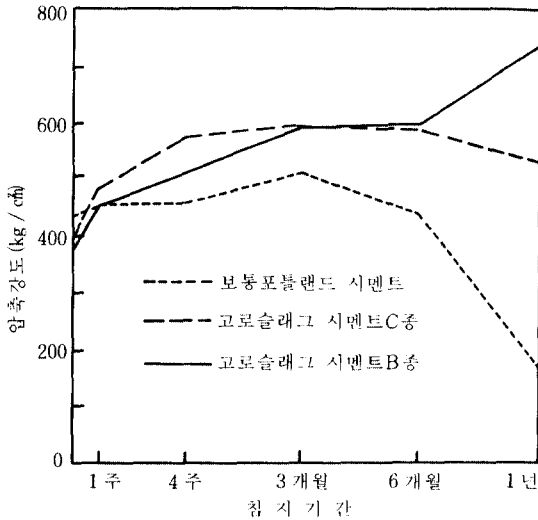
종류 \ 재령	3 일	7 일	29 일	3 개월	6 개월	1 년
고로슬래그시멘트	140	215	380	571	585	600
보통포틀랜드시멘트	142	218	380	469	481	501
조강포틀랜드시멘트	226	328	465	500	505	510

표 9. 混合水와 養生水에 따른 콘크리트의 강도비교(%)

시멘트별	혼합수	양생수	압축강도					
			3 일	7 일	28 일	3 개월	6 개월	1 년
고로슬래그시멘트	담수	담수	100	100	100	100	100	100
	해수	해수	143	120	98	87	87	81
보통포틀랜드시멘트	담수	담수	100	100	100	100	100	100
	해수	해수	149	110	83	82	76	75



(a) 담수중의 양생



(b) 5%Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액중의 양생

그림 6. 황산나트륨용액과 담수중에 침지한 모르터의 강도

끝으로 앞서서도 논술한 바와같이 고로슬래그시멘트는 포틀랜드시멘트가 가지지 못한 많은 이점이 있을 뿐만 아니라 시멘트 제조시 에너지를 절약할수 있고, 자원을 유효하게 활용할수 있는 경제적인 시멘트로 널리 사용되어 왔다.

그러나 고로슬래그시멘트를 適所에 유용하게 이용하기 위해서는 이 시멘트가 가지는 특성을 충분히 파악해야 하기때문에 고로슬래그시멘트의 제 성질 등에 대한 기초 지식의 습득이 필수조건이라 생각된다.

### 參考文獻

1. 小林一輔, 高炉セメントとその海洋コンクリート構造物への適用. 東京大學生産技術研究所昭和 53年 3月
2. 六車熙, 岡田清, 콘크리트工學ハンドブック, 朝倉書店, 1985. 6.
3. 山田順治, 有泉昌, わかりやすいセメントコンクリートの知識. 鹿島出版會, 昭和 52年 4月
4. 小林一輔, 特殊コンクリート. 技報堂出版. 1980. 8.
5. 文翰英, 崔然汪, 高炉슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 小考. 콘크리트학회지. 第1卷 第1號. 1989. 9.
6. 고로슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 標準示方書(案). 大韓建築學會. 1984. 6.
7. R. N Swamy, Ammar Bouikni, Some engineering properties of slag concrete as influenced by mix proportioning and curing, Journal of ACI Vol. 87. No. 3 May, June. 1990.
8. 丸安降和外 2名, 高炉セメントコンクリートの研究 社團法人土木學會. 콘크리트 라이브러리 第25號. 1970. 4.
9. 시멘트生産實績, 시멘트, 韓國洋灰工業協會. 第121輯. 1990. 12.