

高爐슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 小考

文翰英 漢陽大學校 土木工學科
崔然汪 漢陽大學校大學院土木工學科

1. 머릿말

우리나라 製鐵産業이 急速度로 성장 발전하므로서 生産 1,497만톤의 製鋼能力을 갖추게 되었으며, 製鐵産業의 副産物로 발생하는 高爐슬래그는 철강생산량의 35%, 製鋼슬래그는 15% 정도 된다고 한다.⁽¹⁾

高爐슬래그는 고로에서 銑鐵을 제조할때 생성되는 熔融슬래그를 서서히 식힌 결정질의 緩冷슬래그와 찬공기나 냉수로 급히 식힌 遊離質의 急冷슬래그로 크게 나눌 수 있으며, 급냉슬래그 분말을 포틀랜드시멘트 클링커에 혼합하여 고로슬래그시멘트(이하 고로시멘트)를 만든다.⁽²⁾

그런데 우리나라에서는 1980년대 초반까지만 하더라도 고로슬래그는 일반적으로 産業副産物에 지나지 않으므로 埋立用材料, 道路鋪裝用 또는 補助基層材 등으로 주로 많이 사용되어 왔을 뿐만 아니라 이를 처리하기 위하여 많은 예산을 소요하면서 고심한 적도 있었다.

그러나 近年에 와서 고로슬래그를 資源化하여 유용하게 再活用하기 위한 연구성과가 있으나,^(2~7) 여전히 고로시멘트를 사용한 콘크리트에 관한 연구보고는 찾아보기 어려운 실정이다.

주지하는 바와 같이 고로시멘트는 실리카시멘트, 플라이애쉬 시멘트와 더불어 대표적인 混合시멘트로서 長期強度의 증진이 큰점, 水和熱이 작은점, 海水, 下水, 地下水에 대한 耐浸蝕性 및 耐海水性이 우수한 점 등의 특성이 널리 인정될

뿐만 아니라 에너지를 절약할 수 있다는 장점 등으로 인하여 외국에서는 많은 연구성과와 응용실적이 발표되고 있다.^(5~20)

본 원고에서는 高爐시멘트의 製造方法, 種類 및 規格 그리고 포틀랜드시멘트와 다른 특성에 대하여 검토하고 고로시멘트를 사용한 콘크리트의 제성질, 耐久性 및 耐海水性에 대하여 지금까지의 연구성과 및 문헌들을 고찰하였다.

2. 高爐슬래그시멘트의 特性

고로시멘트는 1882년 독일에서 발명되어 독일, 프랑스, 벨기에 등 구라파 각국을 중심으로 발전되어온 시멘트로서, 이들 나라에서는 고로시멘트의 생산량이 전 시멘트 생산량의 20%정도를 차지하고 있으나⁽²¹⁾ 우리나라에서는 제조역사가 짧을 뿐만 아니라 연구실적도 거의 없으며 생산량을 정확히 파악하기조차 어려운 실정이다.

여기서는 고로시멘트의 제조방법, 化學組成 및 物理的性質이 포틀랜드 시멘트와 상이한 점에 대하여 검토하고자 한다.

2-1 製造 및 品質

(1) 製造方法

고로시멘트의 제조방법은 포틀랜드 시멘트 클링커와 슬래그에 少量의 石膏를 가하여 혼합한 상태로 分쇄하여 제조하는 混合粉碎方式이 있다.

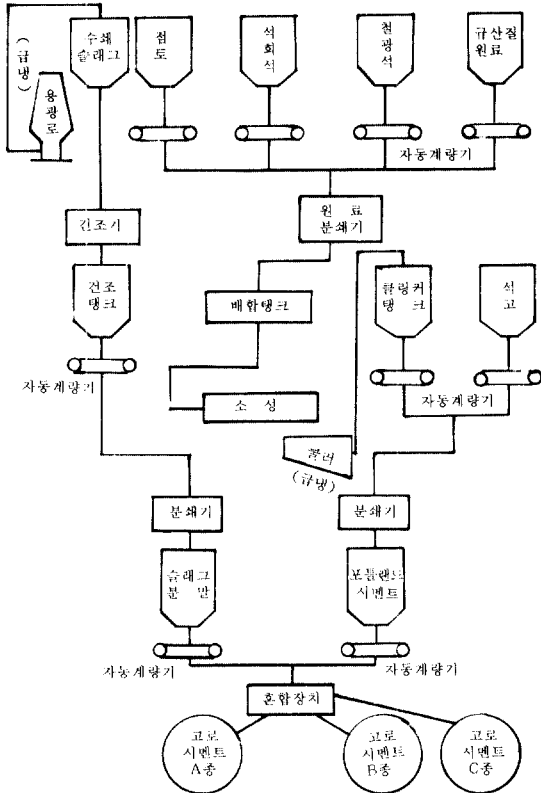


그림-1 고로시멘트의 製造工程의 한 예⁽²²⁾

그림-1은 분리분쇄방식에 의해 고로시멘트를 제조하는 공정을 나타낸 것이다.⁽²²⁾

다만, 고로슬래그의 潛在水硬性을 충분히 활용하여 고로시멘트의 특성을 발휘하기 위하여 슬래그를 어느정도 微粉碎할 필요가 있으며, 클링커와 슬래그의 분쇄의 정도가 다르기 때문에 혼합분쇄할 경우 클링커가 지나치게 분쇄되거나, 石膏가 脫水될 염려가 있다.

분리분쇄방식의 경우에는 클링커와 슬래그를 각각 별도의 분쇄기에 의하여 분쇄하기 때문에 각각 소정의 粉末度에 맞도록 조정할 수 있다.

그러므로 분리분쇄방식은 클링커를 지나치게 粉碎할 위험도 없으므로 混合粉碎方式보다 오히려 좋다고 권장하고 있다.⁽²³⁾

(2) 고로슬래그 및 고로시멘트의 품질

고로시멘트를 이해하고 적절히 사용하기 위해서는 먼저 고로슬래그의 化學組成이나 성질등을 충분히 파악해야 한다.

고로슬래그는 製鐵工場에서 銑鐵을 제조할때 鐵鑛石, 石灰石, 코오크스를 高爐에 넣고 加熱하

면 철광석중의 Fe_2O_3 가 還元하여 Fe가 되고 철광석중의 SiO_2 , Al_2O_3 등은 석회석의 CaO와 반응하여 $1200\sim 1400^{\circ}C$ 에서 용해되어 슬래그가 된다.⁽²³⁾ 고로슬래그의 성분은 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO의 3성분으로 되며 化學組成은 표-1 및 그림-2와 같으며⁽⁸⁾ 이들 성분량은 사용하는 철광석에 의하여 변화되지만 일반적으로 SiO_2 33~35%, Al_2O_3 14~18%, Fe_2O_3 0.5~2%, CaO 38~45%, MgO 4~8% 정도의 범위에 있다.

표-1 고로슬래그의 化學組成의 한 예⁽²²⁾

종류	성분(%)	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	MnO	S
고로 슬래그		34	15	42	4.7	1	0.1	1.1
보통포틀랜드시멘트		22	5.5	65	1.4	101.701	1.5	3.3

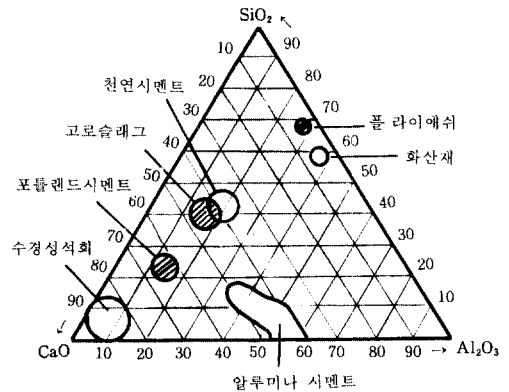


그림-2 고로슬래그의 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 三成分系⁽⁸⁾

다만 슬래그가 潛在水硬性을 충분히 발휘하여 시멘트로서의 역할을 다하기 위해서는 그 광물의 조직이 거의 유리질로 구성되어야 할 필요가 있다.

그 이유는 유리질의 슬래그는 그 속에 포함된 각종 광물이 구조상 불안정한 상태, 즉 結晶構造로 移行하고자 하는 에너지가 保持되는데 따라 설명된다. 그래서 유리질량이 많은 슬래그일수록 잠재수경성이 크다고 한다.

유리질량이 거의 일정한 슬래그의 품질은 일

반적으로 그 塩基度에 의하여 지배된다. 한국공업규격 KS L 5120에서 다음식에 의해 구한 염기도는 1.4이상 이어야 한다고 규정하고 있다.

$$\text{塩基度} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$$

이번에는 고로슬래그시멘트에 관한 한국공업규격을 살펴보면 고로시멘트의 화학성분은 표-2와 같이 규정하고 있으며, 고로시멘트중의 고로슬래그의 혼합량은 중량으로 25~65%범위로 정

표-2 고로슬래그시멘트의 화학성분

화학성분(%)	등 급	특 급	1급
무수황산(SO ₃)		3.0이하	4.5이하
강열감량(ig·loss)		3.0 "	3.0 "
황 분(S)		2.0 "	-

하고 있으며, ASTM C595의 type IS cement와 같다. 일본의 경우 JIS R5211에 고로슬래그시멘트중의 슬래그의 함유량에 의하여 다음 3종류로 구분하고 있다.

A종	슬래그의 량(중량)	30%이하
B종	"	30~60%
C종	"	60~70%

2-2 物理的 性質

(1) 比重

석고 배합비율 3%전후인 포틀랜드시멘트의 비중이 3.17정도인데 비하여 슬래그의 비중은 2.90정도이기 때문에 슬래그의 혼합비율이 증가하는데 따라 고로시멘트의 비중은 거의 직선적으로 감소한다고 한다.

(2) 粉末度

슬래그의 잠재수정성을 충분히 발휘시키기 위하여 슬래그량이 많은 시멘트일수록 粉末도가 크다고 한다. 한국공업규격에 의하면 고로시멘트의 분말도는 비표면적으로 2800cm²/g으로 규정하고 있으나, 일반적인 고로시멘트의 분말도는 비표면적으로 3500cm²/g 이상이다.

(3) 凝 結

Blaine에 의한 분말도가 4000cm²/g정도되는 고로시멘트의 응결시험 결과를 나타낸 것이 그림-3으로서 이 그림에서 알 수 있듯이 슬래그의 혼합률이 증가하는데 따라 응결의 시작이나 종

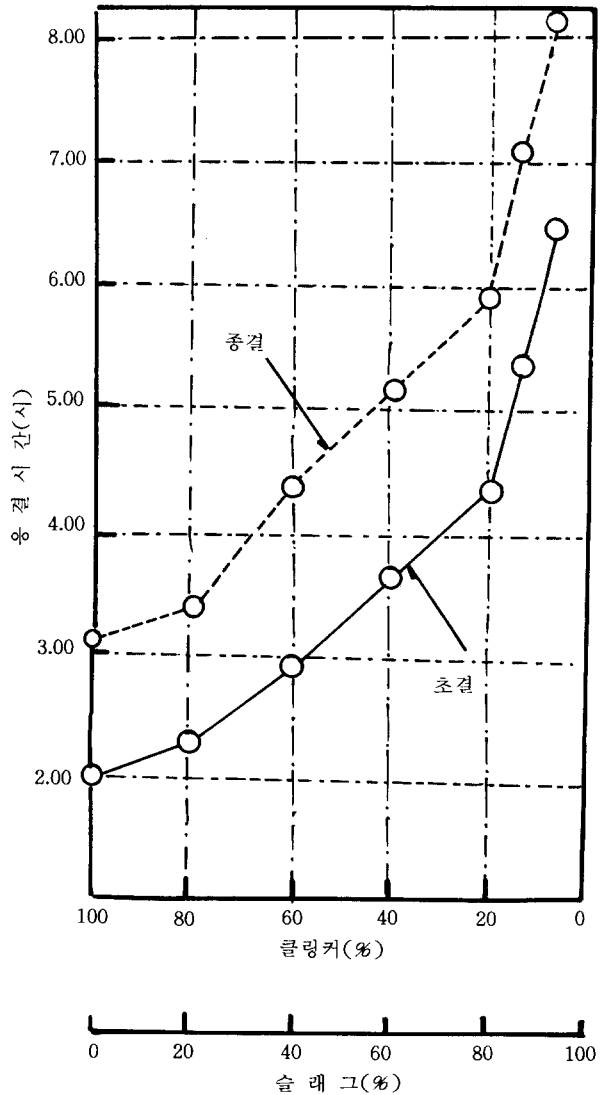


그림-3 슬래그의 혼합率과 凝結時間과의 관계⁽²⁴⁾

결시간이 다같이 슬래그의 혼합비율에 비례하여 지연되고 있음을 알 수 있다.

한국공업규격에서는 길모아시험과 비이커시험 방법에 따라 각각 표-3과 같이 초결과 종결시간

표-3 고로슬래그시멘트의 물리적 성질(KSL 5210)

항 목		특 급	1 급
분말도	비 표면적(cm ² /g)	각각	2600이상
		평균	2800이상
안정도	오오토클레이브 팽창도 또는 수축도(%)	0.20이하	0.20이상
응결시간 ⁽¹⁾	길모아 시험	초결(분)	60이상
		종결(시간)	10이하
	비어커 시험	초결(분)	45이상
		종결(시간)	7이하
강 도	3일(kgf/cm ²)	130이상	
	7일(kgf/cm ²)	200이상	
	28일(kgf/cm ²)	250이상	
수화열	7일(Cal/g)	70이하	
	28일(Cal/g)	80이하	
모르타의 공기 함유량(%)		12이하	-

(1) 응결 시간 시험 방법은 수요자의 요구에 따라 길모아 시험과 비어커 시험 중 택일하여 실시한다.

이 다르게 규정되어 있다.

(4) 水和熱

시멘트의 水和熱은 석회량에 좌우되므로 고로시멘트는 석회량이 포틀랜드시멘트에 비하여 적기 때문에 수화열이 적으며 슬래그의 혼합비율이 많은 고로시멘트 C종의 경우에는 표-4에서와 같이 중용열포틀랜드시멘트보다도 적기 때문에 맴 콘크리트와 같은 매시브한 콘크리트에 사용하면 유리하다. 한국공업규격에서는 7일에 70cal/g이하, 28일 80cal/g이하로 규정하고 있다.

표-4 고로슬래그시멘트의 水和熱(cal/g)⁽²⁴⁾

종 류	재 령	7 일	28일	91일	182일
중용열포틀랜드시멘트		62.5	77.1	85.5	89.2
고 로 시 멘 트 C 종		53.2	72.6	79.4	84.1

(5) 強 度

고로시멘트의 초기강도는 낮지만 장기에 걸쳐 강도가 증진하며, 그 경향은 슬래그량이 많을수록 현저하다.

일반적으로 고로시멘트 A종은 보통포틀랜드시멘트와 비슷한 강도를 가진다고 한다. 한국공업규격에서는 재령 3일, 7일 및 28일 강도를 각각 특급과 1급으로 표-3에서와 같이 규정하고

있다.

3. 高爐슬래그시멘트콘크리트의 諸性質에 대한 考察

고로시멘트를 사용한 콘크리트의 성질은 고로슬래그의 혼합 비율에 따라 상당히 다르다고 한다. 다시말해서 슬래그의 혼합량이 적은 30% 정도의 고로시멘트를 사용한 콘크리트의 제성질은 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 경우와 비교하여 거의 차이가 없다고 한다.⁽²²⁾

3-1 굳지 않은 콘크리트의 성질

(1) 單位水量

고로시멘트를 사용한 콘크리트의 소요 슬럼프를 얻기 위하여 필요한 단위수량을 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트와 비교해 보면 대체로 물시멘트비 45%를 경계로 하여 이 이상 물시멘트비에서 고로시멘트 B종 및 C종 쪽이 보통포틀랜드시멘트보다 단위수량이 적게 요구된다. 이 이하 물시멘트비의 콘크리트는 보다 많은 단위수량이 요구된다고 한다.

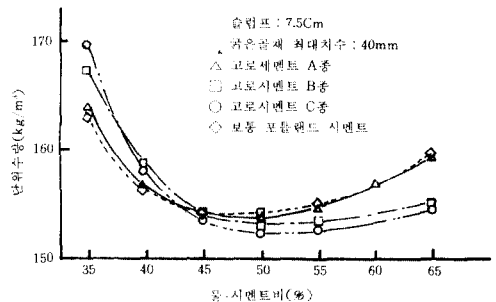


그림-4 고로시멘트의 단위수량과 물시멘트비의 관계⁽⁶⁾

(2) 불리딩

고로시멘트를 사용한 콘크리트의 불리딩의 경향은 보통콘크리트 또는 AE콘크리트의 경우와 다소 상이하다고 한다.

보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트보다 다소 감소되는 경향이나, AE콘크리트의 경우 특히 물시멘트비가 큰 콘크리트에서는 약간 큰

경향을 나타낸다고 한다.

(3) 空氣量

고로시멘트를 사용한 콘크리트에 소요의 공기량을 얻기 위하여 필요한 AE제량은 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트보다 많이 요구되며, 그 경향은 그림-5에서 알 수 있듯이 물시멘트비가 적을수록, 슬래그량이 많이 혼합된 고로시멘트일수록 크다.⁽⁸⁾

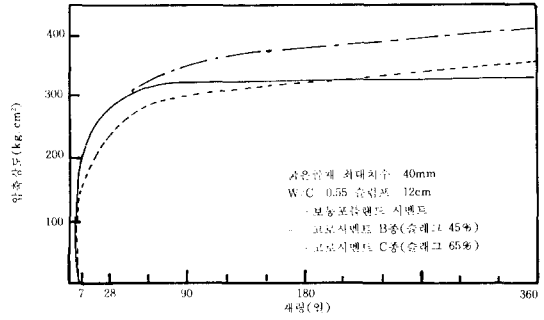


그림-6 고로시멘트콘크리트의 강도발현 특성(20°C 水中養生)⁽²⁵⁾

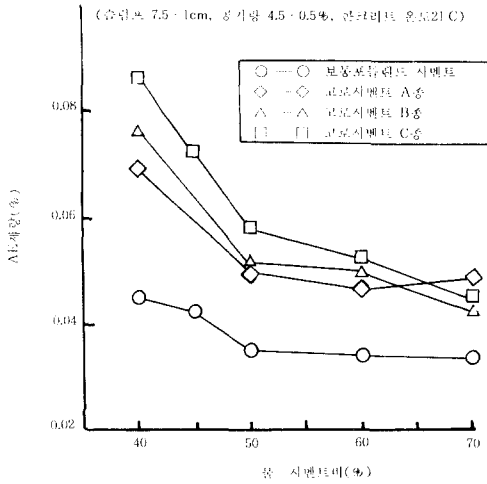


그림-5 고로시멘트의 물시멘트비와 AE제량과의 관계⁽⁸⁾

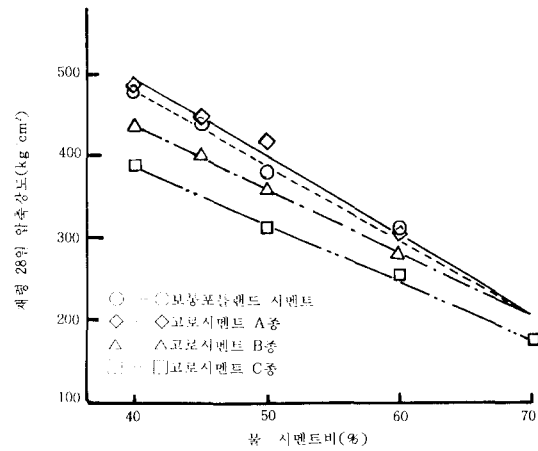


그림-7 고로시멘트의 물시멘트비와 압축강도와의 관계⁽⁸⁾

3-2 硬化한 콘크리트의 性質

(1) 압축강도

고로시멘트를 사용한 콘크리트는 초기 재령에서 강도 발현이 늦지만 材壽이 증가하는데 따라 보통포틀랜드시멘트를 사용한 경우의 강도와 비슷하며, 長期材壽에서는 보통포틀랜드시멘트 콘크리트의 강도보다 오히려 큰 값을 그림-6 으로서 알 수 있다. 이러한 경향은 슬래그의 함유량이 많을수록 현저하게 크게 나타난다. 슬래그의 함유량이 30% 정도인 고로시멘트 콘크리트의 경우에는 보통포틀랜드시멘트를 사용한 경우와 거의 비슷하다고 한다.

그리고 고로시멘트의 물시멘트비와 압축강도와의 사이에는 그림-7에서와 같이 슬래그 함유량이 틀리는 고로시멘트의 종류 및 물시멘트비

에 따라 강도의 차이가 있음을 알 수 있다.

(2) 휨강도

고로시멘트콘크리트의 휨강도는 일반적으로 보통콘크리트보다 크며, 그 경향은 압축강도가 커질수록 커지는 경향을 나타내었다(그림-8 참조). 이러한 경향은 W.E.Grieb의 실험결과와도 잘 일치한다.⁽²⁶⁾

(3) 부착강도 및 탄성계수

콘크리트의 압축강도 200kg/cm² 및 350kg/cm² 2종류에 대하여 異形鐵筋 D19를 사용한 부착강도를 조사한 결과, 보통 콘크리트의 부착강도와 별 차이가 없다고 하며, 고로시멘트를 사용한 콘크리트의 탄성계수는 보통콘크리트와 비교해서 10%이하의 약간 적은 값을 나타낸다고

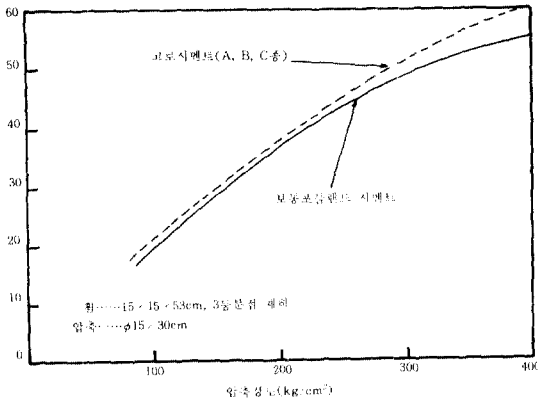


그림-8 고로시멘트의 휨강도와 압축강도와의 관계⁽⁸⁾

한다.⁽⁸⁾

(4) 乾燥收縮

고로시멘트를 사용한 콘크리트의 건조수축은 주로 초기의 養生조건에 의하여 지배된다. 다시 말해서 양생이 불충분한 경우에는 건조개시후 2개월 정도까지의 건조수축은 보통콘크리트보다도 다소 증가하는 경향을 나타내지만 1주일정도 水中養生을 실시할 경우의 건조수축은 그림-9에서와 같이 보통콘크리트와 큰 차이가 없다.⁽⁸⁾

(5) 耐熱性

고로시멘트콘크리트는 보통포틀랜드시멘트 콘크리트와 비교해서 큰 내열성을 가졌다고 하는 연구보고도 있고,⁽²⁷⁾ 거의 비슷한 내열성을 가졌다고 하는 보고도 있다.

小林⁽⁸⁾등의 연구에 의하면 고로시멘트 콘크리트의 내열성이 500C 이상의 高温에서는 보통포틀랜드시멘트보다 큰 이유는 $Ca(OH)_2$ 의 脫水分解에 의한 損傷의 영향이 결정적이며, 이때 $Ca(OH)_2$ 의 生成量이 적은 고로시멘트가 손상이 적다고 한다.

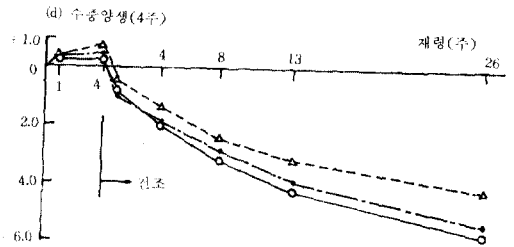
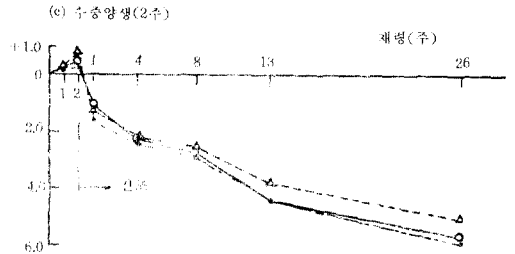
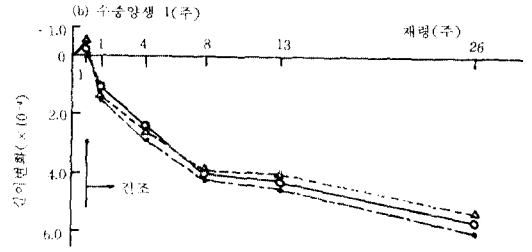
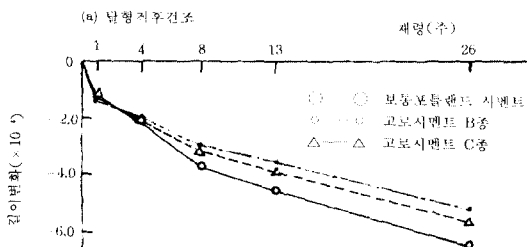


그림-9 고로시멘트를 사용한 콘크리트의 길이 변화율⁽⁸⁾

4. 高爐슬래그시멘트콘크리트의 耐久性에 대한 考察

4-1 氣象作用에 대한 耐久性

콘크리트의 浸蝕에 영향을 미치는 기상작용의 원인으로서 乾濕의 반복, 온도변화의 반복, 물 및 탄산가스의 작용, 凍結融解의 반복 등을 들 수 있다.

먼저 고로시멘트콘크리트의 동결융해에 대한

저항성을 알아보기 위하여 콘크리트의 空氣量과 耐久性과의 관계를 정리한 것이 그림-10이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 공기량 5%전후에서 상대탄성계수가 가장 크며 동결융해에 대한 저항성이 크게 개선되었다. 공기량이 지나치게 많아지면 보통콘크리트와 마찬가지로 내구성이 저하된다.

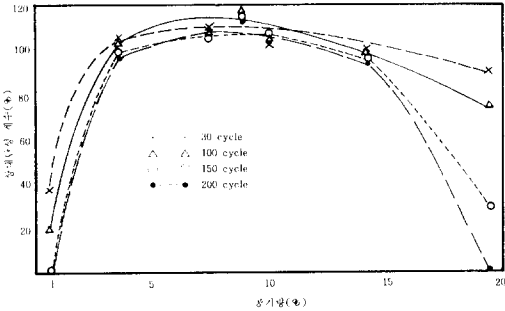


그림-10 고로시멘트콘크리트의 공기량과 상대탄성 계수와의 관계⁽⁸⁾

4-2 化學作用에 대한 低抗性

재령 1주일 동안 20°C 水中에서 標準養生한 모르터를 海水中에서 재령 12주 동안 양생한 경우의 중량의 변화와 압축강도를 측정한 결과 슬

래그의 混合量이 많은 고로시멘트 일수록 중량 증가율이 적었으며, 중량증가율이 클수록 海水中에 양생한 모르터의 강도가 작았다. 강도의 경우 재령이 증가할수록 고로시멘트모르터가 보통포틀랜드시멘트를 사용한 모르터보다 크게 나타났다.

한편 황산소오다 용액에 대한 콘크리트의 저항성을 강도로 비교해 본 결과 다음과 같다.

단위 시멘트량 300kg, 슬럼프 7±1cm, 잔골재율 40%로 배합한 콘크리트를 담수와 0.5% Na₂SO₄ 용액에서 양생하여 재령 1년까지의 압축강도를 측정해본 결과 그림-11에서와 같이 슬래그를 혼합한 고로시멘트콘크리트는 보통콘크리트와 비교해서 초기강도는 작으나, 장기강도가 큼을 알 수 있다. 0.5% Na₂SO₄용액에 침지한 경우 재령 1년에서 고로시멘트콘크리트가 보통콘크리트 보다 약간 큰 강도를 나타내었다.

필자⁽²⁸⁾도 5% 황산, 5% 염화칼슘 및 10% 염화칼슘용액 3종류에 침지시킨 모르터 및 콘크리트의 중량 및 강도를 측정 하였다.

염화칼슘용액에 침지한 모르터의 압축강도비로서 비교해 볼때 고로시멘트를 사용한 모르터가 보통포틀랜드시멘트 모르터보다 재령이 증가 할수록 크게 나타났다(그림-12 및 그림-13 참조).

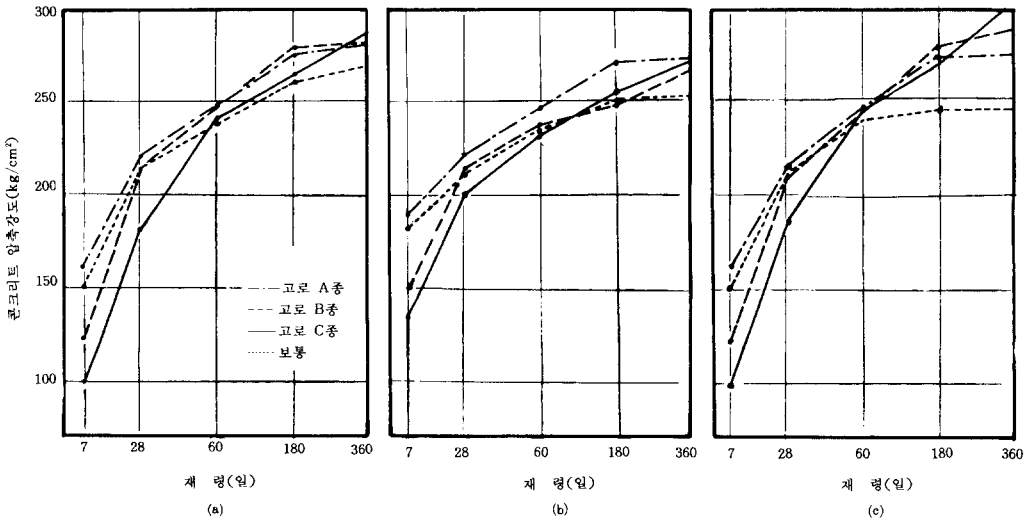


그림-11 각종 콘크리트의 재령별 압축강도⁽⁸⁾

반면 5% 황산용액에 침지한 경우 고로시멘트 모르터의 압축강도나 중량비가 다같이 보통포틀랜드시멘트를 사용한 모르터보다 약간 저하되는 경향임을 그림-14 및 그림-15로서 알 수 있었다.

일반적으로 고로시멘트의 化學低抗性이 포틀랜드시멘트보다 크다고 한다. 그 이유로서는 포틀랜드시멘트는 水和하게 되면 중량의 약 20%에 상당하는 수산화칼슘이 遊離하게 되지만, 고로시멘트는 그림-16에서와 같이 클링커의 함유량이 적기때문에 수산화칼슘의 生成量이 적다.

다시말해서 슬래그는 수산화칼슘과 결합하여 石灰硅酸鹽의 水和物을 형성하므로 치밀한 조직이 되어 化學的 浸蝕作用에 대한 低抗性이 크다고 한다.⁽⁹⁾

5. 高爐시멘트의 耐海水性에 대한考察

각종 港灣을 위시한 海洋構造物을 콘크리트로 시공할 경우 海水의 작용에 의하여 침식되어 붕괴되는 위험도 야기된다. 그러나 海洋環境下에 있어서 콘크리트구조물의 劣化機構는 매우 복잡

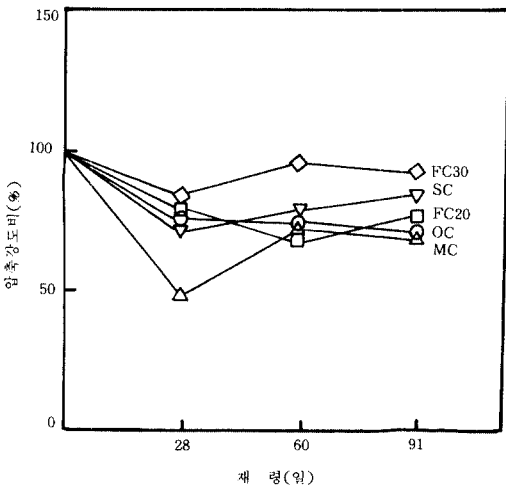


그림-12 염화칼슘에 침지된 모르터의 압축강도비와 재령과의 관계(5% 염화칼슘)⁽²⁸⁾

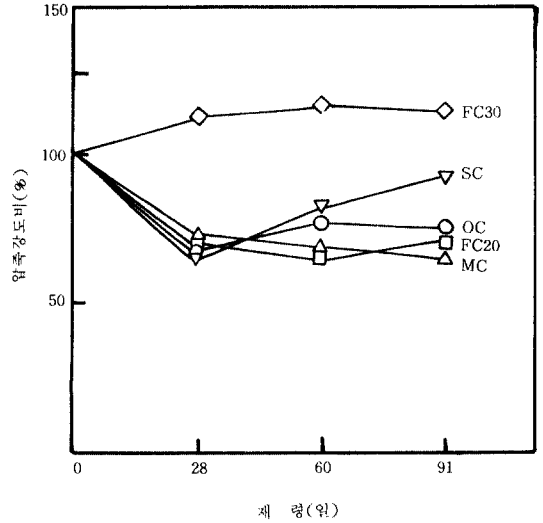


그림-13 염화칼슘에 침지된 모르터의 압축강도비와 재령과의 관계(10% 염화칼슘)⁽²⁸⁾

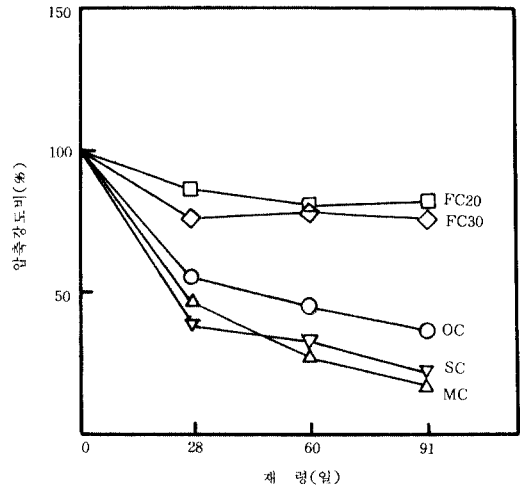


그림-14 황산에 침지된 모르터의 압축강도비와 재령과의 관계⁽²⁸⁾

한 많은 要因들에 의하여 영향을 받는다.

5-1 海水의 化學作用에 의한 浸蝕

해수에 의한 콘크리트의 침식기구에 관해서는 19세기부터 많은 연구자들에 의하여 주로 시멘트化學의 입장에서 해명하고자 하였다.

그 결과 海水의 化學作用에 의한 콘크리트의 浸蝕은 海水中の 황산염이 시멘트 鑛物中の $3CaO$

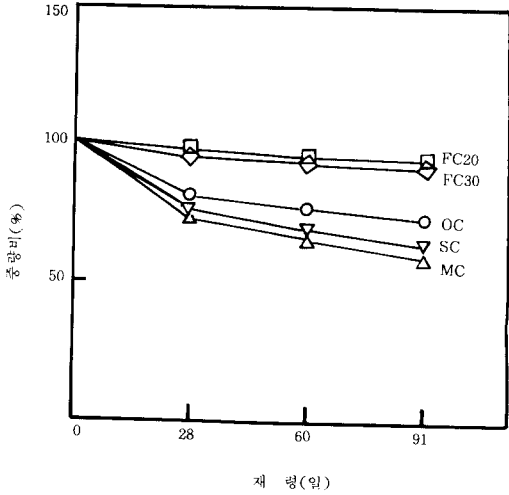


그림-15 황산에 침지된 모르타르의 중량비와 재량과의 관계⁽²⁸⁾

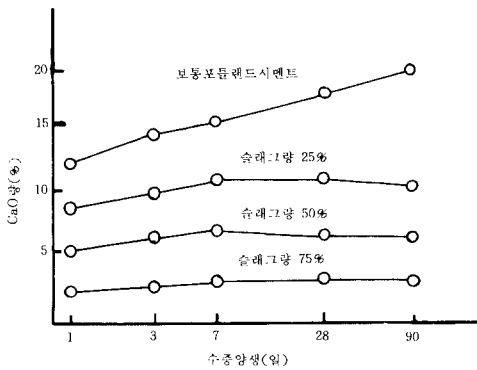


그림-16 고로시멘트폼의 수산화칼슘량(CaO환산)과 재량과의 관계⁽⁹⁾

$\cdot Al_2O_3$ 와 반응하는데 따라 이상한 體積膨脹을 일으키는 물질의 생성에 기인함이 명백해졌다. 이러한 물질에 대하여 Michaelis는 1892년 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$ 를 시멘트 바실러스(cement bacillus)라 불렀다.

그런데 海水中에는 황산염 특히 $MgSO_4$ 가 시멘트 硬化體에 대하여 浸蝕性을 가진다고 하며, 황산염 이외에도 수많은 유해한 이온이 존재한다고 한다.

예를 들어 $NaCl$ 의 존재하에서는 $Ca(OH)_2$ 와 $Mg(OH)_2$ 의 양자는 3배나 용해되기 쉬워지므로 海水中에는 이러한 황산염에 의하여 콘크리트가 심하게 침식되는 것을 의미하나 실제로는 콘크리트의 표면에 $Mg(OH)_2$ 의 皮膜이 형성되어 침식성용액을 저지하는 역할을 하므로 황산염에 의한 침식은 海水中에 있는 편이 보다 서서히 진행된다고 한다.

5-2 海洋構造物 중의 鋼材의 腐蝕

海洋철근콘크리트구조물이 海水中에 접해 있는 경우 시멘트硬化體는 황산염의 화학작용 뿐만 아니라 철근에 대한 電氣化學作用도 활발하며, 또한 海水面의 이동이나 물보라(飛沫)에 의하여 콘크리트속에 염분이 침입하는 영향 및 海水나 물보라속의 산소, 탄산가스가 溶存하는 등의 영향으로 콘크리트구조물이 침식을 받는다.

한편 深海水中에 있는 콘크리트구조물 속의 철근은 산소와 탄산가스가 적으므로 거의 부식작용이 생기지 않는다고 한다.⁽²²⁾

그러나 콘크리트를 정성들여 시공하여 龜裂이 없는 콘크리트 속에 강재를 묻어 둘 경우 콘크리트의 강한 알칼리성(PH = 12~13)때문에 강재는 표면에 얇은 酸化物的 保護皮膜($\gamma-Fe_2O_3$)을 生成하고 不動態化하여 용이하게 부식되지 않는다.

그러나 塩化物이온이 상당량 존재하게 되면 콘크리트의 알칼리성이 저하하지 않더라도 鋼材는 부식하게 된다. 이러한 현상은 塩化物이온에 의해 강재표면의 不動態皮膜이 국부적으로 파괴되기 때문이다.

철근이 부식되면 膨脹에 의하여 철근을 파괴하고 있는 콘크리트에 균열이 생기며, 그 결과 철근의 부식이 확대, 진행되어 최후에는 구조물을 붕괴시키게 된다.

水分이 존재하는 媒體中에 있는 鋼材의 腐蝕反應은 電氣化學的反應으로서 강재의 부식을 촉진하는 것은 강재 표면의 결함부분, 불균질한 부분이 陽極과 안정된 陰極으로부터 局部電池가 형성되어 전류가 흐르며, 금속이 부식한다(그림-17 참조)⁽²⁹⁾

이때 不動態皮膜이 파괴되는 부분이 陽極部이며, 양극반응은 다음과 같다.

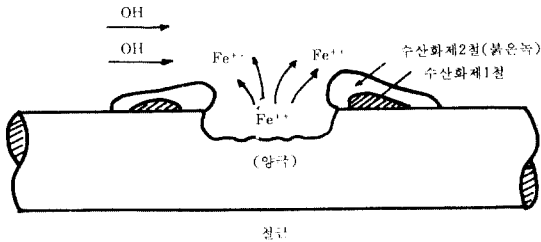
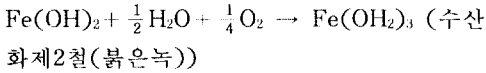
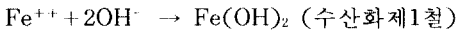
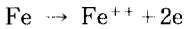


그림-17 강재의 부식 반응⁽²⁹⁾

6. 맺는말

高爐시멘트는 에너지 절약형 시멘트로 높게 평가를 받고 있으며, 슬래그의 양이 많이 혼합된 고로시멘트콘크리트는 水和熱이 적기 때문에 重力담과 같이 단면이 큰 콘크리트 구조물에 적합하다.

또한 耐海水性이 우수하므로 防波堤, 護岸, 海底터널, 海上都市 등 海洋構造物은 말할 것도 없이 淨水場, 配水場, 下水處理場 등과 같은 상, 下水道施設 등에도 널리 적용되어 우수성을 인정받고 있다. 이 외에도 道路鋪裝, 水路, 터널, 涵管, 潮力發電所建設 등 여러방면에 사용되고 있다.

반면 고로시멘트의 특성을 충분히 파악하지 못함으로서 자칫 범할 수 있는 사용상의 誤謬 및 주의사항에 대하여 약술하고자 한다.

(1) 포틀랜드시멘트 보다 응결, 경화가 늦기 때문에 早期材收의 강도가 작으며, 특히 기온이 낮은 겨울철 경화가 지연되므로 재령초기에 濕潤養生을 철저히 해 줄 필요가 있다.

(2) 고로시멘트의 비중이 작은 탓으로 중량배합시 포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트보다 시멘트풀의 양이 많아지므로 동일한 물시멘트비로 비교해서 콘크리트가 워커블하므로 물시멘트비 선택에 주의가 요망된다.

(3) 고로슬래그 혼합량의 정도, 粉末度에 따라 AE제, 감수제, 경화촉진제 등의 효과가 상이하기 때문에 사용량을 미리 시험을 통하여 확인한 후에 사용함이 바람직하다.

끝으로 본 원고가 포틀랜드시멘트가 가지지 못한 고로시멘트 만의 특성을 이해하는데 조금이나마 도움이 되는 계기가 되었으면 하는 마음 간절하다.

參考文獻

(1) 複合슬래그基層 및 補助基層設計·施工指針·社團法人 大韓土木學會, 1989. 8

(2) 文翰英外 2名, 高爐슬래그를 골재로 사용한 콘크리트의 配合設計에 관한 基礎的研究, 産業科學論文集, 漢陽大學校産業科學研究所, vol. 21, 1985

(3) 文翰英, 高爐슬래그를 굵은 골재로 利用한 콘크리트에 관한 研究, 社團法人 大韓土木學會 研究報告書, 1985, 10

(4) 高爐슬래그 굵은골재콘크리트 設計施工指針, 社團法人 大韓土木學會, 1983, 1

(5) 高爐슬래그基層 및 補助基層 設計施工指針, 社團法人 大韓土木學會, 1982, 1

(6) 大翰英外 2名, 고로슬래그를 골재로 사용한 콘크리트의 제성질에 관한 연구, 대한토목학회 학술강연회 개요집, 1984, 10

(7) 文翰英外 2名, 高爐슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 강도에 대한 고찰, 대한토목학회 학술강연회 개요집, 1985, 10

(8) 丸安隆和外 2名, 高爐セメントコンクリートの 研究, 콘크리트라이브러리土木學會, 第25號, 1970, 4

(9) F. Keil, Slag Cement, Proceedings of 3rd International Symposium on the Chemistry of Cement, 1952

(10) 高爐슬래그 微粉末의 콘크리트への 適用に 關する シンポジウム, 論文集, 社團法人 土木學會, 昭和 62年 3月

(11) 宮入英彦外 2名, 水碎슬래그とクリンカー의 化學成分が 各種 高爐セメント의 海水低抗性

におよぼす影響について, セメント技術年報, XXIX, 1975

(12) 關 博外 1名, コンクリートの耐海水性に關する研究, -材令5年の中間報告-, セメント技術年報, XXX, 1976

(13) 小林一輔, 各種セメントの鹽化物低抗性に關する研究, セメント技術年報, XXIX, 1975

(14) 花田光雄, 高爐セメントに關する研究, セメント技術年報, XX, 1966

(15) 依田彰彦外 2名, 海水の作用き受けた高爐セメントコンクリートについて, セメント技術年報, XXX, 1976

(16) 小林一輔, 高爐セメントを用いたコンクリートの諸性質に關する研究, 東京大學學位論文, 1970

(17) G. W. Washa, R. L. Fedell, Carbonation and Shrinkage Studies of Nonplastic, Expanded Slag Concrete containing Fly Ash, Proceedings of ACI, vol. 61, No. 9, 1964.

(18) Smolczyk, H. G, Chemical Reaction of Strong-Solution with Concrete, Supplementary paper to V-ISCC.

(19) Schroeder, F, Blast-Furnace Slag and Slag Cements, Principal Paper to V-ISCC.

(20) 木村惠雄, 耐海水性に關するコンクリート

の5年及び10年試験, セメント・コンクリート, No. 289, 1970

(21) 小林一輔, 特殊コンクリート, -新體系土木工學-, 技報堂, 1980, 8

(22) 小林一輔, 高爐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

(23) 荒井康夫, セメントの材料化學, 大日本書, 1984, 3

(24) 丸安隆和, 小林一輔, わかりやすい高爐セメントの使い方, 土木施工, vol. 9, No. 6, 1968

(25) 小林一輔, 最新コンクリート, 森北出版, 1976, p. 15

(26) W. E. Grieb, Public Roads, vol 31, No. 9, 1961

(27) E. C. Higginson, ASTM STP 169-A, 1966, p. 543

(28) 文翰英外 2名, 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 耐藥品性에 관한 研究, 大韓土木學會論文集, 第8卷, 第1號, 1988, 3

(29) J. D. Mozer外 2名, Corrosion of Reinforcing Bars in Concrete, Proceedings of ACI, vol. 62, No. 8, 1965