

## 콘크리트용 混和材로서 高爐슬래그 微粉末의 品質에 대한 研究

A Study on the Quality of Ground Granulated Blast  
Furnace Slag as a Mineral Admixture for Concrete

文翰英\* · 崔然汪\*\*

Moon, Han Young · Choi, Yun Wang

## Abstract

The objective of this research is to analyze whether the ground granulated blast furnace (GGBF) slag, by-product of industry in domestic iron-foundary, can be useful as a mineral admixture for concrete by investigating physical and chemical property. In addition, according to making an fundamental experiment on mortar and concrete mixed with GGBF slag to some grade, examining the consistency, the compressive strength and the resistance to sulfate attack of concrete and mortar, the acquired results are that the compressive strength was increased and the resistance to sulfate attack was predominant.

## 요 지

본 연구는 국내 제철소에서 산업부산물로 발생하는 고로슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화재료로 사용 가능 여부를 알아보기 위한 연구의 일환으로 고로슬래그 미분말 자체의 화학성분, 물리적 성질 등과 같은 품질에 대하여 분석 검토하였다. 아울러 고로슬래그 미분말을 몇 단계로 혼합한 모르타 및 콘크리트의 콘시스턴스와 각 재령별 압축강도 및 내약품성에 대하여 기초적인 실험을 실시해 본 결과 장기재령에서 압축강도가 증가되었으며, 약품에 대한 모르타의 저항성도 우수함을 알 수 있었다.

## 1. 서 론

최근 건설기술이 진보 발전함에 따라 콘크리트 구조물에 요구되는 콘크리트의 성질도 매우 다종다양할 뿐 아니라 특히 고강도 및 고성능화가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이러한 시대적 배경을 고려해 볼 때 콘크리트의 고기능화는 필요불가결하다고 생각되며 콘크리트의

고기능화에 따른 문제점을 개선, 향상시키기 위한 수단으로 제철산업의 부산물로 발생하는 용융 슬래그를 급냉처리한 후 미분쇄하여 얻어진 고로슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화재료로 혼합하여 사용하고자 시도하였다. 주지하는 바와 같이 고로슬래그 미분말 그 자체는 水硬性이 없으나 시멘트의 水和 생성물인 수산화 칼슘과 같은 알칼리 물질의 자극에 의하여 서서히 반응하는 潛在水硬性을 가지며 콘크리트용 혼화재료로 사용하므로써 콘크리트의 수화열을 저감시켜 콘크리트의 온도상승을 억제시키며

\* 정희원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 정희원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

표 1. 시멘트 및 슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질

항 목	화 학 성 분(%)							비 중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
	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>	Ig. loss		
포틀랜드시멘트	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
고로시멘트	27.15	9.37	1.95	52.69	4.04	2.79	1.18	2.91	3,863
슬래그 미분말	31.12	14.24	0.51	41.40	6.14	4.36	0.63	2.80	4,880

표 2. 골재의 물리적 성질

항 목	굵은 골재 최대치수(mm)	비 중	흡수율 (%)	조립율 (FM)	유기 불순물	단위용적 중량(kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)
잔 골재	—	2.62	1.50	2.50	양호	1,620	61.8
굵은 골재	25	2.68	0.90	7.20	—	1,734	64.7

장기재령에서 콘크리트의 강도 증진 뿐만 아니라 수밀성, 耐海水性を 위시한 耐久性이 우수한 점을 인정받고 있다. 이 외에도 산업부산물을 재활용하므로써 자원 및 에너지 절약으로 대기 오염물질인 CO<sub>2</sub> 발생억제 등과 같은 환경보호 측면에서도 유익한 소재로 선진 각국에서 콘크리트 관련 연구성과와 사용실적이 발표되고 있다.<sup>(1-14)</sup>

우리나라에서는 광양 제철소의 완공으로 고로슬래그의 발생량이 크게 증가하고 있으며 KS L 5210의 고로슬래그 시멘트 규정에 의하면 고로슬래그 혼합량을 포틀랜드시멘트의 중량으로 25~60%로 정하고 있으나 고로슬래그 미분말을 혼화재료로 사용한 모르타나 콘크리트의 제 성질에 대한 연구 성과는 거의 없는 것 같다.

본 연구에서는 국내에서 발생하는 고로슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화재료로 사용하는데 필요한 자료를 얻기 위한 연구의 일환으로 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질 등 품질에 대하여 분석 검토하고 아울러 고로슬래그 미분말을 사용한 모르타 및 콘크리트의 제 성질에 대한 기초실험을 실시하여 얻어진 결과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

(1) 시멘트 : 포틀랜드시멘트와 고로슬래그시멘트

(이하 고로시멘트로 약함)의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같으며, 고로시멘트는 슬래그의 혼합량이 50%인 국내 S사 제품을 사용하였다.

(2) 고로슬래그 미분말 : 광양제철소에서 발생하는 고로슬래그를 미분쇄하여 얻은 회백색의 슬래그(이하 슬래그 미분말 또는 SG로 약함)로써 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

(3) 골재 : 골재는 한강산 강모래와 강자갈로서 물리적 성질은 표 2와 같다.

(4) 시험용 시약 : 실험에 사용한 황산 및 황산나트륨의 용액농도는 각각 5%이고 용액의 온도는 상온으로 유지시켰다.

### 2.2 실험기구 및 실험방법

(1) 주사형 전자현미경(SEM) : 시멘트와 슬래그 미분말 입자의 모양 및 크기를 비교하기 위하여 JEOL 2(JSM-35CF) 제품으로 분말結晶을 2,000배로 확대 촬영하였다.

(2) X-ray 회절분석 : 슬래그 미분말의 광물조성을 알아보기 위하여 측정조건을 Cuk(Ni, filter) 35 kv, 20 mA, Scan Speed 8°/min, Full Scale 14 cps 2θ = 15°~45°로 측정하였다.

(3) 수화열 측정 : 전도형 열량계(conduction calorimeter)로 물-결합재비 50%인 페이스트를 제조하여, 실내온도 23℃, 습도 60%인 실내에서 72시간 동안 측정하였다.

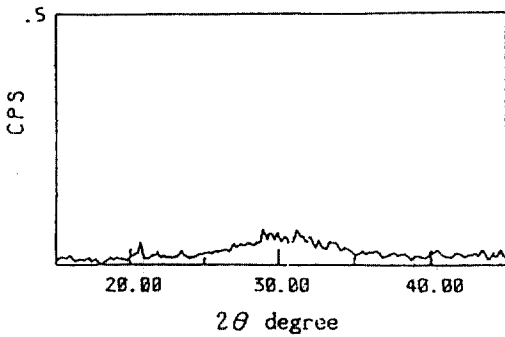


그림 1. 슬래그 미분말의 X-ray 회절분석

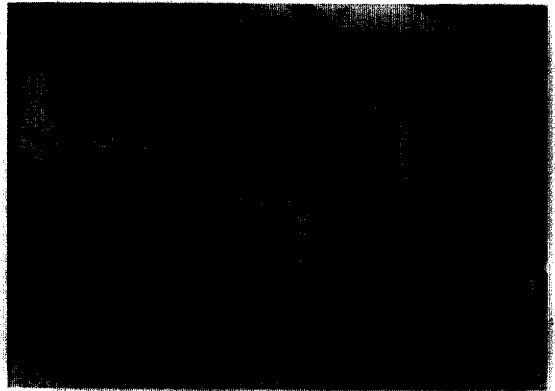


사진 1. 포틀랜드시멘트 입자(2,000배)



사진 2. 슬래그 미분말 입자(2,000배)

(4) 플로우 실험 : 슬래그 미분말의 혼합률 4단계, 물-결합재비 5종류로 각각 변화시킨 모르타의 콘시 스텐시를 KS L 5105의 플로우 시험에 준하여 실시하였다.

(5) 내약품성 실험 : 내약품성 시험에 사용된 5cm 양방체 모르타 공시체를  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  수중에 7일간 양생한 후 각각 2종류의 시약용액에 침지시켜 재령 28, 91 및 180일에 KS F 2405에 의해 압축강도를 측정하였으며, 모르타의 중량은 수중에 7일간 양생시킨 후의 중량과 2종류의 시약용액에 침지한 후 각각 재령별로 중량을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 슬래그 미분말의 물성에 대한 고찰

슬래그 미분말의 화학성분은 표 1에서 알 수 있듯이  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ 의 3성분으로 이루어져 있으며,  $\text{MgO}$ 는 6.14%로 포틀랜드시멘트보다 약간 큼을 알 수 있으며,  $\text{MgO}$ 성분이 15% 정도 되더라도 포틀랜드시멘트에서와 같은 유리 마그네시아에 의한 이상 팽창은 일어나지 않는다는 연구 결과가 있다.<sup>(15)</sup> 그리고 슬래그 미분말의 품질을 평가할 때 기초자료가 되는 염기도를 계산해 보면 1.98로서 한국공업규격의 1.4 이상을 만족하고 있음을 알 수 있다.

이번에는 슬래그 미분말의 광물조성을 알아보기 위하여 X-ray 회절 분석을 실시한 결과가 그림 1이며, 이 그림에서 결정광물의 최고치가 거의 나타나고 있지 않으므로 슬래그 미분말은 대부분이 遊離質인 非結晶구조임을 알 수 있다. 그러니까 포틀랜드시멘트는 거의 결정질인데 비하여 슬래그 미분말은 遊離質로서 유리의 준 안정성 상태에서 알카

리성 물질의 자극에 의하여 경화되는 잠재수경성을 가지고 있으며 유리질량이 많은 슬래그일수록 잠재수경성이 크다고 한다.<sup>(15)</sup>

그리고 슬래그 미분말의 비중은 2.80이었으며 분말도는 비표면적으로  $4,880 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이었다.

다음은 슬래그 미분말의 입형을 알아보기 위하여 전자현미경으로 2,000배 확대하여 시멘트 입자와 비교한 것이 사진 1, 2이다.

슬래그 미분말은 입경 수mm의 모래모양의 고로수쇄슬래그를 분쇄하여 분말도를 조정한 것으로 시멘트에 비하여 매끄러운 표면조직과 약간 각이진 모양을 나타냄을 알 수 있다.

그리고 슬래그 미분말을 시멘트에 20, 40, 60 및 80% 혼합한 페이스트의 수화열을 전도형 열량계를 사용하여 시간당 발열량을 측정하여 그 누적값을 정리한 것이 그림 2, 3이다.

그림 3에서 슬래그 미분말의 혼합률이 증가하는데

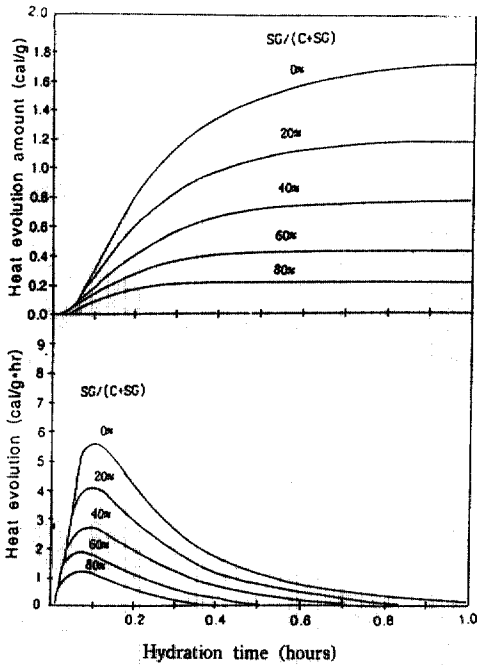


그림 2. 슬래그 미분말을 혼합한 페이스트의 수화발열속도 및 수화발열량의 변화(경과시간 1시간)

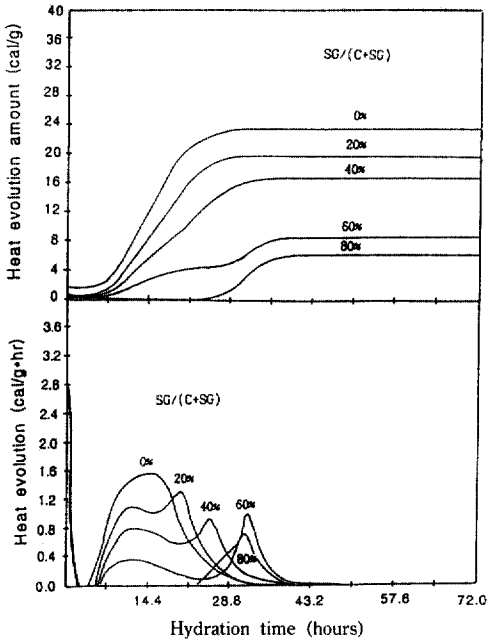


그림 3. 슬래그 미분말을 혼합한 페이스트의 수화발열속도 및 수화발열량의 변화(경과시간 72시간)

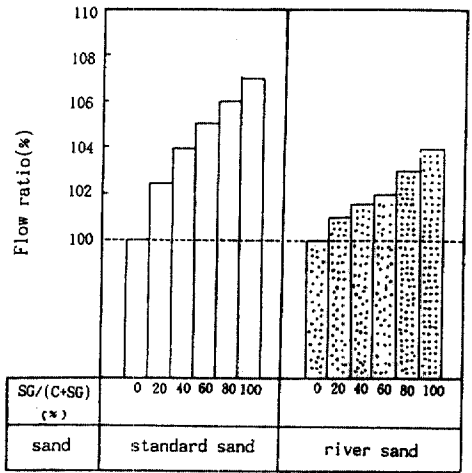


그림 4. 슬래그 미분말 혼합물과 플로우비와의 관계

따라 비례하여 수화발열 최고치는 작아지며 또한 최고치를 나타내는 시간이 늦어지는 경향을 보여주고 있다.

시멘트의 수화열은 주로  $C_3S$ 나  $C_3A$  등의 화합물의 양에 좌우되기 때문에 슬래그 미분말의 혼합량이 증가할수록  $C_3S$ 나  $C_3A$ 가 상대적으로 줄어들어 수화발열 최고치가 작아졌다고 생각된다. 그러므로 슬래그 미분말을 혼화재로 사용한 콘크리트는 단면이 큰 구조물이나 서중 콘크리트용으로 사용하므로써 콘크리트의 온도상승을 억제하는데 유효할 것으로 생각된다.

### 3.2 슬래그 미분말 혼합 모르타의 플로우에 대한 고찰

슬래그 미분말의 혼합물을 5단계로 변화시킨 모르타의 콘시스턴스를 알아보기 위하여 표준모래와 강모래를 사용하여 표준배합한 두 종류의 모르타를 만들어 플로우시험을 실시한 결과를 정리한 것이 그림 4이다.

그림 4에서 동일한 물-결합재비임에도 불구하고 슬래그 미분말의 혼합률이 증가하는데 따라 표준모래나 강모래를 사용한 모르타 다같이 플로우값이 다소 증가되는 결과를 나타내었다. 그 이유는 슬래그 미분말 입자의 매끄러운 표면 상태 및 슬래그 미분말의 분말도가 포틀랜드시멘트보다 큰 점 등에 기인되었다고 생각된다.

이번에는 표준모래를 사용하여 슬래그 미분말 혼

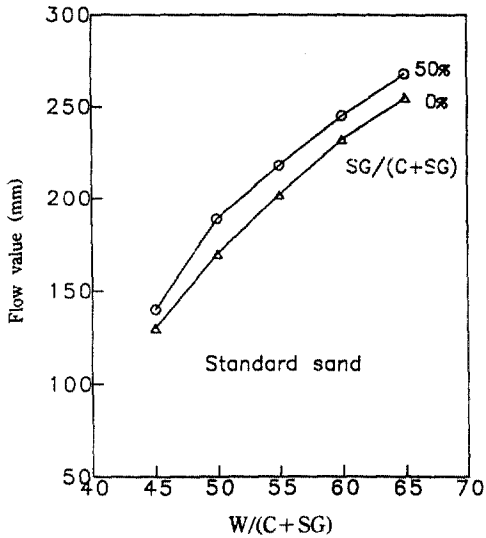


그림 5. 물-결합재비가 상이한 모르터의 플로우값

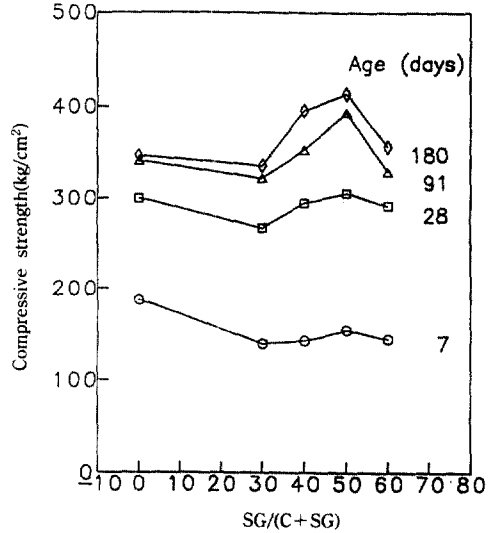


그림 7. 슬래그 미분말 혼합률과 모르터의 압축강도와의 관계

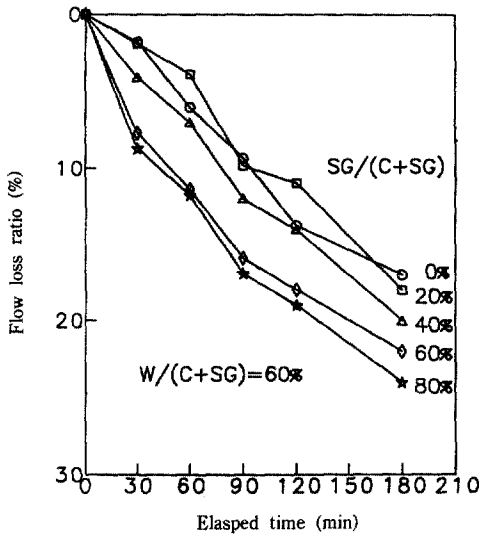


그림 6. 믹싱 후 경과시간에 따른 모르터의 플로우 손실률

합물 50% 모르터와 포틀랜드시멘트만을 사용한 모르터의 물-결합재비에 따른 플로우값과의 관계를 정리한 것이 그림 5이다.

이 그림에서도 그림 4의 결과와 마찬가지로 물-결합재비의 변화에 상관없이 동일한 물-결합재비에서는 슬래그 미분말을 혼합한 모르터의 플로우 값이 보통 모르터의 플로우보다 약간 큼을 알 수 있다.

이번에는 현장에서 작업성을 고려해서 모르터 믹

싱후 경과시간에 따른 콘시스턴시 변화를 알아보기 위하여 슬래그 미분말 혼합률을 변화시킨 모르터의 믹싱 후 180분까지의 플로우 손실률(flow loss)을 백분율로 나타낸 것이 그림 6이다.

이 그림에서 슬래그 미분말을 혼합하는 비율에 따라 플로우 손실률이 약간씩 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 슬래그 미분말 혼합 콘크리트에 고성능 감수제를 사용할 경우 유동성 손실이 저감된다는 연구<sup>(16)</sup>와 슬래그 미분말 혼합률이 증가할 경우 유동성 손실이 커진다는 연구<sup>(17)</sup>가 상반되므로 슬래그 미분말 사용시 유동성 손실을 저감시키기 위해서는 충분한 검토가 요망된다.

### 3.3 슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 강도에 대한 고찰

슬래그 미분말을 혼합한 모르터의 재령 180일까지의 압축강도를 정리한 것이 그림 7이며, 모르터의 압축강도 100에 대한 슬래그 미분말 혼합률 및 재령별 압축강도비를 5단계로 변화시켜 정리한 것이 그림 8이다.

그림 7 및 8에서 슬래그 미분말 혼합 30% 모르터의 경우 재령 7일에서 압축강도가 보통 모르터보다 25% 정도 작았으나 재령 28일 후부터 강도가 증가하여 재령 180일에서는 슬래그 미분말 혼합률 50%에서 보통 모르터보다 오히려 20% 정도 강도가

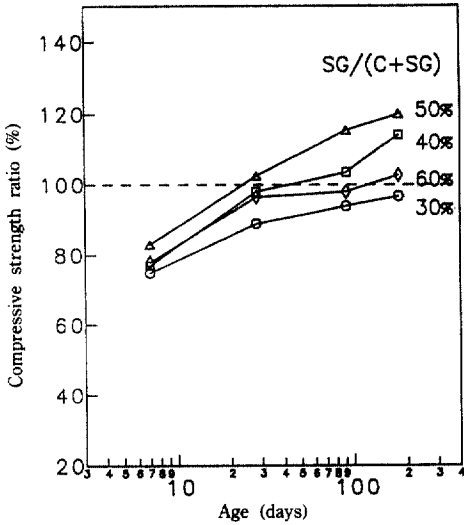


그림 8. 모르터의 재령별 압축강도비

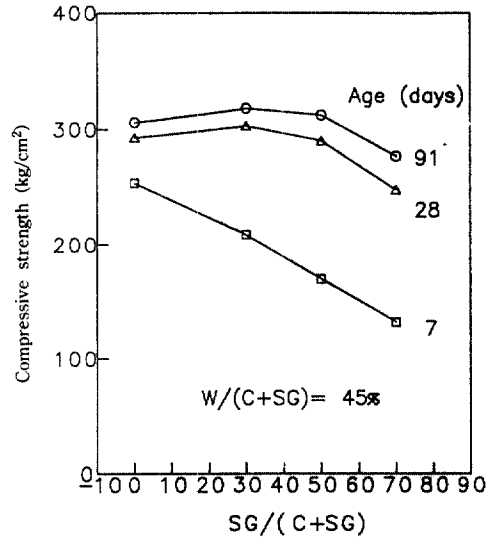


그림 10. 슬래그 미분말의 혼합률과 콘크리트 압축강도와의 관계

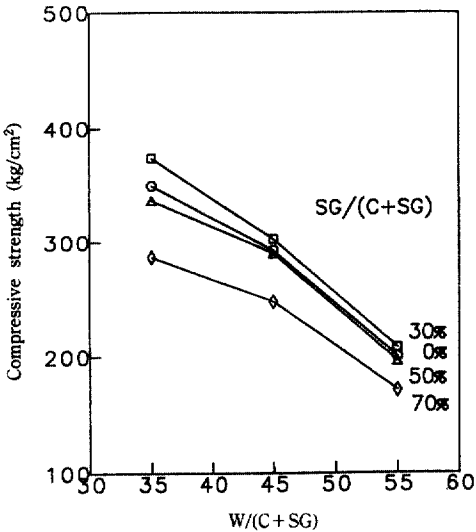


그림 9. 물-결합재비 변화에 따른 콘크리트의 압축강도(재령 28일)

증가됨을 알 수 있다. 다시 말해서 슬래그 미분말을 적정량 혼합함으로써 3개월 이후의 장기 강도가 크게 증가되는 강도증진효과가 있음을 알 수 있다. 이번에는 물-결합재비를 35, 45 및 55% 3단계로 변화시킨 콘크리트에 대한 재령 28일 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 9이다.

이 그림에서 동일한 물-결합재비에서 슬래그 미분말의 혼합률에 따른 강도차는 물-결합재비가 55

%에서 큰 차이가 없음을 알 수 있으나, 물-결합재비 35%에서 혼합률에 따른 압축강도의 차가 크게 나타났다. 이번에는 슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 혼합률과 압축강도와의 관계를 정리한 것이 그림 10이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트에서도 모르터와 같이 초기재령에서는 슬래그 미분말 혼합률이 증가하는데 따라 압축강도가 크게 감소되고 있으나, 재령 91일에서는 혼합률 30 및 50%에서 슬래그 미분말을 혼합하지 않은 콘크리트에 비해 강도가 약간 증가됨을 알 수 있다. 슬래그 미분말을 혼합한 모르터 및 콘크리트의 장기재령에서 강도 증진 효과는 시멘트의 수화반응에 의해서 얻어지는 수산화칼슘과 슬래그 미분말이 반응하는 잠재수경성이 장기강도를 증진시키는데 기여하였다고 생각되었다.

### 3.4 슬래그 미분말 혼합 모르터의 耐藥品性에 대한 고찰

슬래그 미분말을 혼합한 모르터의 산 및 염 용액에 대한 저항성을 알아보기 위하여 슬래그 미분말 혼합률을 변화시킨 모르터 공시체를 제조하여 수중에서 양생한 모르터의 압축강도와 침지전 중량을 100에 대한 황산 및 황산나트륨 용액에 침지하여 재령 28,91 및 180일 동안 중량 및 압축강도를 측

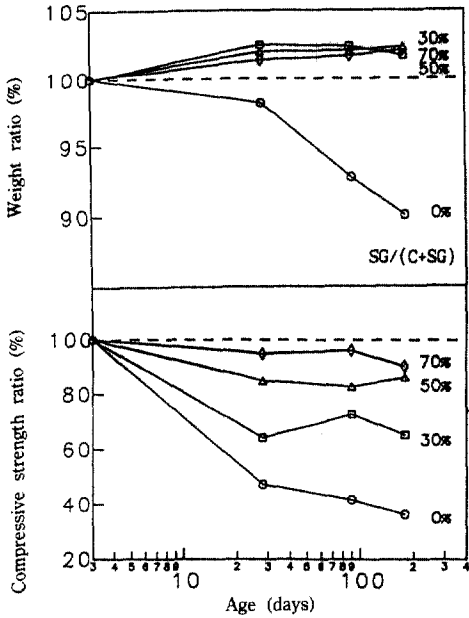


그림 11. 황산용액에 침지시킨 모르터의 중량비 및 압축강도비

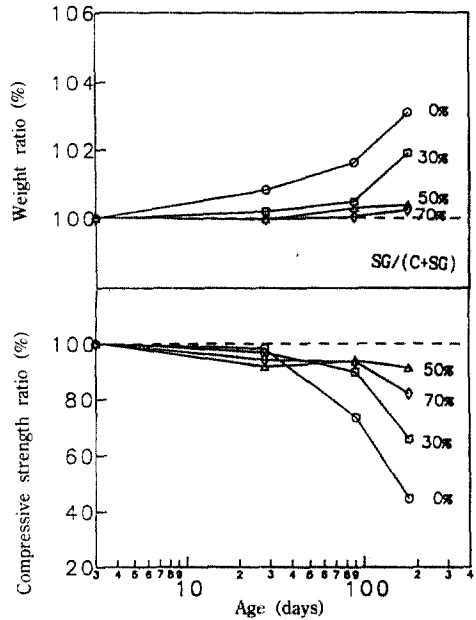


그림 12. 황산나트륨용액에 침지시킨 모르터의 중량비 및 압축강도비

정한 압축강도비 및 중량비를 각 재령에 따라 정리한 것이 그림 11, 12이다.

그림 11에서 황산 용액에 침지시킨 모르터의 중량변화는 슬래그 미분말을 혼합하지 않은 모르터의 경우 침지시간이 길어질수록 중량감소가 커지는 반면 슬래그 미분말을 혼합한 모르터의 경우 슬래그 미분말 혼합률에 상관없이 중량감소는 일어나지 않고 오히려 다소 증가되는 현상을 보여주고 있으며 압축강도도 슬래그 미분말의 혼합률에 따라 강도저하 현상이 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다.

한편 그림 12의 황산나트륨용액에 침지시킨 모르터 공시체의 중량은 모두 증가하는 경향을 나타내고 있으며 슬래그 미분말 혼합률이 클수록 중량 증가비율이 오히려 작게 나타내었다. 이러한 현상은  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  용액에 의한 내부공극이 팽창하여 그 공극 내에 용액이 침투하여 중량이 증가하기 때문에  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  용액에 침지할 경우에는 중량증가가 작은 쪽이劣化의 위험성이 작다고 한다.<sup>(18)</sup> 슬래그 미분말의 혼합률이 증가함에 따라 중량증가가 감소하며, 반면에 압축강도의 강도 감소율은 슬래그 미분말을 혼합한 경우가 현저하게 작아지고 있음을 알 수

있다.

池永에 의하면<sup>(19)</sup> 시멘트 경화체 내부로  $\text{SO}_4^{2-}$  이온이 침투하여 시멘트 조성광물과 반응하여 석고가 생성되며, 점차 칼슘알루미늄이트 수和物과 반응하여 ettringite가 생성되며, 이때 ettringite는 충분한 양의  $\text{SO}_4^{2-}$ 만 공급되면 안정한 수화생성물이 형성되나 석고로부터 공급되는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온이  $\text{C}_3\text{A}$ 의 완전수화 이전에 다 소모되면 ettringite는  $\text{SO}_4$ 량이 조금 모자라는 monosulfoaluminate로 변형되어 외부에서  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온이 공급되면 다시 ettringite로 재생성 될 때의 팽창압에 의하여 열화가 진행된다고 한다. 슬래그 미분말을 혼합한 모르터의 중량감소 및 압축강도 감소가 작은 이유는 슬래그 미분말이 수산화 칼슘과 반응하는 잠재수경성에 의하여 수산화 칼슘의 소비에 의해 석고의 생성이 억제됨으로써 석고와  $\text{C}_3\text{A}$ 의 수和에 의한 ettringite의 팽창압을 다소 완화시켜 주기 때문이라고 생각되며, 또한 슬래그 미분말이 수산화칼슘과 반응하여 얻어진 수화생성물이 미세공극을 감소시켜 주어 시멘트 경화체 내부조직을 치밀하게 하여  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온의 침투를 어렵게 하기 때문이라고 생각된다.

#### 4. 결 론

국내에서 발생되는 고로슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 연구 목적으로 실시한 실험 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

1) 슬래그 미분말은 대부분이 유리질인 비결정 구조이며, 슬래그 미분말을 혼합한 페이스트에서 슬래그 미분말의 혼합률이 증가할수록 경과시간에 따른 수화발열 최고치가 지연되며 수화발열량은 작아지는 결과를 나타내었다.

2) 슬래그 미분말을 혼화재료로 사용한 모르터의 콘시스턴시는 혼합률이 증가할수록 보통 모르터보다 물-결합재비에 상관없이 증가하나, 믹싱 후 경과시간에 따른 플로우 손실률은 오히려 약간 불리한 경향을 나타내었다.

3) 슬래그 미분말을 혼합한 모르터나 콘크리트에서 슬래그 미분말 혼합률이 증가할수록, 모르터나 콘크리트의 초기재령에서의 압축강도는 작았으나, 장기재령에서는 혼합률에 따라 압축강도가 얼마간 증가되는 효과를 나타내었다.

4) 슬래그 미분말을 혼합한 모르터를 황산 및 황산나트륨용액에 180일 동안 침지하여 모르터의 열화의 정도를 중량 및 압축강도로 비교해 본 결과 슬래그 미분말의 혼합률과 재령이 증가할수록 보통 모르터보다 훨씬 우수한 저항성을 나타내었다.

#### 참고문헌

1. Hwang, C.L. and Lin, C.Y., "Strength Development of Blended Blastfurnace Slag Cement Mortars", *Proceedings Second International Conference, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Madrid, Spain, 1986, pp. 1323-1339.
2. Roy, D.M., "Hydration, Microstructure, and Chloride Diffusion of Slag Cement Pastes and Mortars", *Proceedings Third International Conference, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Trondheim, Norway, 1989, pp. 1265-1282.
3. Sakai, K., Watanabe, M. and Hamazaki, K., "Properties of Granulated Blastfurnace Slag Cement Concrete", *Proceedings Fourth International Conference, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Istanbul, Turkey, 1992, pp. 1367-1384.
4. "Ground Granulated Blastfurnace Slag as a Ce-

mentitious Constituent in Concrete", *ACI 226, IR-87, 1990, pp. 226.1R.1-16.*

5. 丸安隆和 外 2名, "高爐セメントコンクリートの研究", 社団法人日本土木學會, *コンクリート・ライブラリ*, 第25號, 1979. 4.
6. 小林一輔 外 2名, "高爐水砕スラグ 粉末のコンクリート混和材としての使用方法に關する研究", *コンクリート工學*, Vol. 17, No. 5, 1979. 5.
7. 依田彰彦 外 1名, "高爐スラグ 微粉末 20, 45, 60% 内割添加したコンクリートの性質", *セメント・コンクリート論文集*, No. 40, 1989, pp. 132-137.
8. 前田悦孝 外 2名, "高爐水砕スラグの化學成分が高爐セメントの強さに及ぼす影響", *セメント・コンクリート論文集*, No. 44, 1990, pp. 180-185.
9. 文翰英, 崔然汪, "高爐슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 特性에 關한 小考", *콘크리트학회지*, 제1권 1호, 1989. 9, pp. 22-32.
10. Coole, M.J., "Heat Release Characteristics of Concrete Containing Ground Granulated Blastfurnace Slag in Simulated Large Pours", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 40, No. 144, September 1988, pp. 152-158.
11. Brooks, J.J. and Wainwright, P.J., "Compressive and Tensile Creep of Heat-Cured Ordinary Portland and Slag Cement Concretes", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 43, No. 154, Mar 1991, pp. 1-12.
12. Yonekura, A., Tanaka, S. and Teramoto, "Drying Shrinkage and Creep of Concrete with Granulated Blastfurnace Slag", *C.A.J Review*, 1986, pp. 310-313.
13. 戸谷陽 外 3名, "高爐セメントの水和熱の研究", *セメント技術年報*, 34, 1980, pp. 74-77.
14. 佐藤和義 外 2名, "スラグ粉末の粒度と水和反應性", *セメント技術年報*, 39, 1985, pp. 49-53.
15. 日本建築學會, "高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現狀", 1992, pp. 1-22.
16. 文翰英, 金基亨, "高性能 減水劑를 사용한 콘크리트의 流動性 損失을 低減시키기 위한 연구", *대한토목학회 논문집*, 제12권, 제3호, 1992.
17. 古川茂 外 1名, "高爐スラグ微粉末が流動化モルタルの性狀に與える影響", 社団法人日本土木學會 論文集, "高爐スラグ微粉末のコンクリートの適用に關する シンポジウム", 1987, pp. 1-8.
18. 岸谷, 西澤, "コンクリート構造物の耐久性シリーズ, 化學的腐食", 技報堂, pp. 20-32.
19. 池永博威, "種類と濃度を異なる酸および鹽の溶液に浸漬したコンクリートの劣化", *セメント技術年報*, 37, 1983, pp. 326-329.

(接受: 1994. 1. 19)