

# 스테인레스 스틸 슬래그 미분말을 사용한 모르타의 물성에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on Properties of Mortar Using the Stainless Steel Slag as Admixture

이 희 두\*      강 경 수\*\*      임 남 기\*\*  
Lee, hee doo      Kang, gyung soo      Lim, Nam gi

---

### Abstract

The following results are achieved from a mortar flow test depending on stainless steel slag fineness, rate of replacement, and a research on material age compressive strength, strength activity index.

1. Flow is proportional to the stainless steel slag fineness.
  2. Mixing stainless steel slag decreases compressive strength
  3. Material age compressive strength has the maximum value when stainless steel slag fineness is 6000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$ .
  4. Material age 7day strength activity index satisfies KSCE 95-01 at all conditions except the case of fineness 8000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$  · stainless steel slag rate of replacement 30%.
  5. Material age 28day strength activity index satisfies KSCE 95-01 in case of stainless steel slag fineness 4000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$  · rate of replacement 10%, fineness 6000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$  · 10%, or 20%
- 

### 1. 서      론

최근 구조물의 대형화, 고층화, 복합화는 건축물의 주요 구조부재를 구성하는 건축재료의 고성능화를 요구하고 있다. 건축물의 주요 구조부재를 이루는 콘크리트 또한 이러한 변화에 부응하여 고강도, 고유동 콘크리트와 같은 고성능 콘크리트가 요구되고 있으며, 이에 따라 고성능 콘크리트에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

그러나 일반적으로 고성능 콘크리트는 소요의 기능을 확보하기 위하여 시멘트의 사용량을 크게 증가시키고 있다. 고성능 콘크리트의 단위시멘트량 상승은 수화발열량과 콘크리트의 점성을 증대시키는 등의 다양한 문제점을 유발하고 있는 실정이다. 따라서, 고성능 콘크리트의 부배합에 따른 문제점을 해결하기 위하여 다양한 혼화재료의 적용이 고려되고 있으며, 특히 과도한 시멘트 사용량을 감소시키기 위한 혼화재의 개발에 관한 연구가 진행되어 실용화되고 있다.

현재 시멘트 대체재료로 사용되고 있는 혼화재는 실리카 흙, 플라이 애쉬, 고로슬래그 미분말 등이 있다. 이 중 고로슬래그 미분말은 콘크리트에 혼입시 장기강도와 수밀성을 향상시키는 등의 콘크리트

---

\* 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수

의 제반물성을 향상시키며, 또한 수화열 저감 및 유동성의 증진에 탁월한 효과가 있다.

현재 국내에서 사용되는 고로슬래그는 선철제조 과정에서 발생하는 부산물을 미분말화 한 것으로, 국내외에서 다양한 연구를 통해 그 물성을 검토한 바 있다. 스테인레스 제강시 발생하는 부산물을 이용한 제강 슬래그 미분말은 생성과정과 화학조성이 기존의 고로슬래그 미분말과 유사하여 콘크리트 혼화재로서의 적용가능성이 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 스테인레스 제강과정에서 발생한 스테인레스 스틸 슬래그 미분말을 혼입한 모르타의 유동특성과 재령별 강도발현특성, 활성도지수를 검토하여, 콘크리트 가능성을 조사함으로써 시멘트대체 혼화재로서의 활용을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험 계획

콘크리트 혼화재로서 스테인레스 스틸 슬래그 미분말의 적용가능성을 파악하기 위한 실험계획은 표 1과 같고, 스테인레스 스틸 슬래그의 분말도와 치환율을 각각 변화시켜 모르타의 유동특성과 휨강도 및 재령별 압축강도 발현특성을 검토하였다.

표 1 실험계획

분 류	실 험 인 자	수 준
분 말 도 (cm <sup>3</sup> /g)	4000, 6000, 8000	3
치 환 율 (%)	10, 20, 30	3
재 령 (일)	3, 7, 28	3
실 험	· 플로우 시험 · 압축강도 시험 · 휨강도 시험	·

### 2.2 배합계획 및 시험체 제작

분말도에 따른 모르타의 물성을 평가하기 위하여 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르타의 배합은 시멘트와 골재를 중량배합비 1:3으로 하였으며, 물결합재비는 60%, 스테인레스 스틸 슬래그 치환율은 10, 20, 30%로 중량치환하였다.

공시체의 제작은 KS L 5105에 준하여 실시하였으며, 압축강도용 공시체는 5×5×5cm 크기의 물드를 사용하여 제작하였다.

제작된 공시체의 양생은 항온항습실에서 1일간 양생한 후 온도 20±3℃의 수중에서 소요재령까지 양생하였다.

표 2 배합계획 (2ℓ)

구 분	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	치환율 (%)	배 합 량(g)			
			C	SS	S	W
Plain	-	-	966	-	2898	580
SS4-10	4,000	10	869.4	96.6	2888	
SS4-20		20	772.8	193.2	2884	
SS4-30		30	676.2	289.8	2878	
SS6-10	6,000	10	869.4	96.6	2888	
SS6-20		20	772.8	193.2	2880	
SS6-30		30	676.2	289.8	2872	
SS8-10	8,000	10	869.4	96.6	2886	
SS8-20		20	772.8	193.2	2878	
SS8-30		30	676.2	289.8	2868	

C: 시멘트, SS: 스테인레스 스틸 슬래그 S:잔골재 W:물

### 2.3 사용재료

본 실험에 사용한 스테인레스 스틸 슬래그는 스테인레스 제강과정에서 발생하는 부산물을 이용하였으며, 콘크리트 혼화재로서의 적용가능성을 검토하기 위하여 국내 T사에서 직접 개발한 미분쇄장비를 이용하여 미분말화 하였다. 분말도에 따른 스테인레스 스틸 슬래그 미분말의 물리·화학적 성질은 표 3과 같다. 시멘트는 비중 3.15의 국내 S사에서 생산한 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 세척사를 이용하였으며, KS F 2502에 준하여 입도조정 하였다. 잔골재의 비중은 2.6이며, 조립율은 2.65이다.

표 3 스테인레스 스틸 슬래그의 물리·화학적 성질

분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	화 학 성 분						비중	염기도
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	기타		
4,000	27.6	10.72	1.91	47.3	6.33	6.14	2.94	2.33
6,000	30.6	12.8	0.9	45.5	5.98	4.22	2.88	2.11
8,000	33.0	14.5	1.62	39.9	5.06	5.92	2.84	1.80

## 2.4 실험방법 및 측정

### (1) 플로우 시험

스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 플로우 시험은 KS L 5111에 준하여 실시하였다.

### (2) 압축강도 시험

스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 재령별 압축강도는 KS L 5105 「수경성 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법」에 준하여 실시하였다.

### (3) 활성화 지수 (SAI : Strength Activity Index)

활성도지수는 콘크리트용 혼화재의 물성을 평가하는 데 있어 중요한 지표로서 사용된다. 본 연구에서는 식 1을 이용하여 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 재령별 활성화 지수를 구하였다.

$$\text{활성도지수(SAI)} = \frac{\text{스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 압축강도}}{\text{플레인 모르터의 압축강도}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

## 3. 실험결과 및 고찰

콘크리트 혼화재로서 스테인레스 스틸 슬래그의 적용가능성을 검토하기 위하여, 모르터의 유동성과 재령별 압축강도를 측정한 결과는 표 4와 같다.

표 4 시험 결과

분 류	플로우 (cm)	압 축 강 도(kgf/cm <sup>2</sup> )			활성도지수(%)		
		3일	7일	28일	3일	7일	28일
Plain	12.0	193	209	262	100	100	100
SS4-10	14.0	126	170	205	65	81	78
SS4-20	14.3	123	144	176	64	69	67
SS4-30	13.8	114	124	170	59	59	65
SS6-10	14.7	116	173	210	60	83	80
SS6-20	14.2	115	167	196	60	80	75
SS6-30	13.9	83	152	180	43	73	69
SS8-10	15.3	110	174	181	57	83	69
SS8-20	14.4	85	130	131	44	62	50
SS8-30	14.3	74	109	122	38	52	47

\* SS ○-○○ : 스테인레스 스틸 슬래그 분말도-치환율

### 3.1 플로우

스테인레스 스틸 슬래그의 분말도와 치환율에 따른 모르터의 플로우 변화는 그림 1과 같다.

스테인레스 스틸 슬래그를 혼입하지 않은 경우(이하 플레인)의 플로우는 12cm로 측정되었으나, 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입함에 따라 모르터의 플로우는 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 분말도가 높아짐에 따라 플로우는 증가하는 것으로 측정되었다.

스테인레스 스틸 슬래그 분말도 4000cm<sup>2</sup>/g를 사용한 모르터의 플로우는 치환율의 증가에 따른 변화는 적은 것으로 나타났으며, 플레인 모르터에 비하여 약 2cm 정도 플로우는 증가하는 것으로 측

정되었다. 분말도 6000cm<sup>3</sup>/g을 사용한 모르터의 플로우는 플레인에 비하여 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 치환율 10%의 경우가 플레인 모르터에 비하여 플로우는 증가가 비교적 큰 것으로 나타났다. 또한 치환율 20%, 30%의 경우는 비교적 치환율의 증가에 따른 플로우는 변화가 적은 것으로 측정되었다. 분말도 8000cm<sup>3</sup>/g을 사용한 모르터의 플로우는 분말도 4000cm<sup>3</sup>/g, 6000cm<sup>3</sup>/g에 비하여 가장 플로우는 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 특히 치환율 10%의 경우 플로우는 약 15.3cm로 나타나 플레인 모르터의 플로우는 비하여 가장 플로우는 증가하는 것으로 측정되었으며, 치환율 20%, 30%의 플로우는 평균 약 14.4cm로 측정되어 치환율 20%이상에서의 플로우는 변화는 작은 것으로 나타났다.

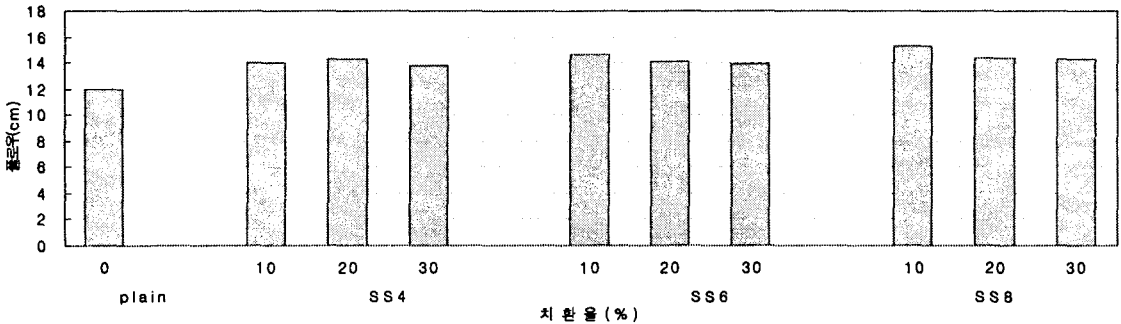


그림 1 스테인레스 스틸 슬래그 미분말 치환율별 모르터의 플로우

### 3.2 압축강도

스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 분말도에 따른 재령별 압축강도 변화는 그림 2 와 같다. 그림 2에 나타난 바와 같이 스테인레스 스틸 슬래그를 치환한 모르터의 압축강도는 재령이 길어짐에 따라 증가하는 것으로 측정되었다.

분말도 4000cm<sup>3</sup>/g의 경우, 스테인레스 스틸 슬래그를 치환한 모르터의 압축강도는 플레인 모르터에 비하여 압축강도의 감소가 큰 것으로 측정되었다. 재령 3일의 경우, 치환율에 따른 압축강도의 감소는 적은 것으로 나타났으나, 재령 7일의 경우에서는 스테인레스 스틸 슬래그의 치환율이 증가함에 따라 모르터의 압축강도는 직선적으로 감소하는 것으로 측정되었다. 재령 28일의 경우 스테인레스 스틸 슬래그의 치환율이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 측정되었으나, 치환율 20%와 30%의 압축강도는 유사한 것으로 나타났다.

분말도 6000cm<sup>3</sup>/g의 경우, 재령 3일의 경우 스테인레스 스틸 슬래그 치환율 10%, 20%의 범위에서는 압축강도는 차가 적은 것으로 나타났으나, 치환율 30%에서의 압축강도는 급격히 감소하는 것으로 측정되었다. 재령 7일, 28일의 경우, 스테인레스 스틸 슬래그의 치환율이 10% 증가함에 따라 압축강도는 약 13kgf/cm<sup>2</sup> 정도 감소하는 것으로 측정되었다.

분말도 8000cm<sup>3</sup>/g의 경우, 전 재령에서 스테인레스 스틸 슬래그를 사용한 모르터의 압축강도는 치환율이 증가함에 따라 비례적으로 감소하는 것으로 측정되었으나, 재령 7일, 28일의 압축강도는 유사한 것으로 나타나, 재령의 증가에 대한 압축강도의 증진이 낮은 것으로 측정되었다.

스테인레스 스틸 슬래그를 사용한 모르터의 분말도에 따른 압축강도는 분말도 6000cm<sup>3</sup>/g의 경우가 가장 높은 것으로 나타났으며, 분말도 8000cm<sup>3</sup>/g의 경우는 압축강도의 감소가 가장 큰 것으로 측정되었다. 또한 분말도 8000cm<sup>3</sup>/g의 경우는 재령 7일 이후에서는 압축강도가 증진되지 않는 것으로 측정되어 수산화 칼슘과의 반응성이 가장 작은 것으로 나타났다.

이상의 결과에서, 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입함에 따라 모르터의 압축강도는 플레인 모르터에 비하여 압축강도가 저하하는 것으로 측정되었으며, 스테인레스 스틸 슬래그 분말도 6000cm<sup>3</sup>/g의 경우가 비교적 강도 발현특성이 우수한 것으로 나타났다.

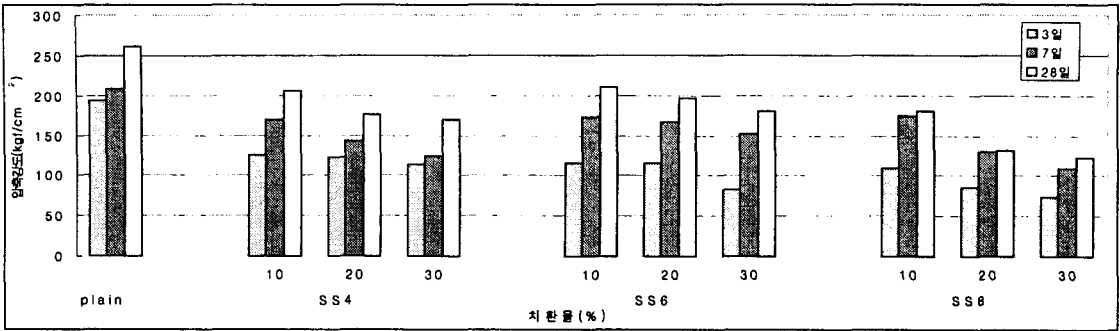


그림 2 스테인레스 스틸 슬래그 미분말 치환율별 모르터의 압축강도

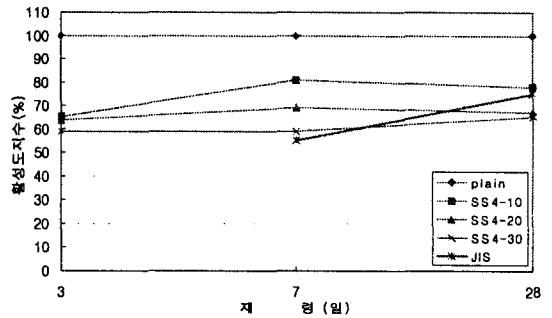
### 3.3 활성화 지수

스테인레스 스틸 슬래그의 분말도와 혼입율에 따른 활성화도지수의 변화는 그림 3과 같다.

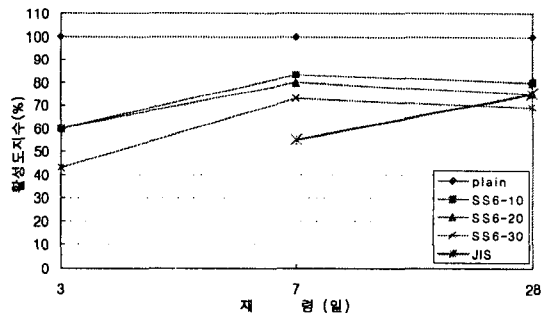
분말도 4000cm<sup>2</sup>/g의 경우, 스테인레스 스틸 슬래그를 10% 치환한 모르터의 활성화도지수는 재령 3일에서는 65%로 측정되었으나, 재령 7일, 28일에서의 활성화도지수는 약 80%로 나타나 비교적 강도발현 비율이 큰 것으로 나타났다. 그러나, 치환율 20%, 30%의 경우 재령에 따른 활성화도지수는 각각 약 67%, 65%로 측정되어 스테인레스 스틸 슬래그의 치환율이 증가함에 따라 강도발현 비율은 저하하는 것으로 나타났다.

분말도 6000cm<sup>2</sup>/g의 경우, 재령 3일의 활성화도지수는 치환율 10%, 20%에서는 60%로 측정되었으나, 치환율 30%에서는 43%로서 강도발현 비율이 매우 적은 것으로 나타났다. 재령 7일의 경우 스테인레스 스틸 슬래그 치환율에 따른 활성화도 지수는 각각 83%, 80%, 73%로 압축강도 발현 비율이 비교적 큰 것으로 측정되었으며, 특히 치환율 30%의 경우 활성화도 지수는 약 30% 정도 증진하는 것으로 나타났다. 재령 28일의 경우 치환율에 따른 활성화도 지수는 80%, 75%, 69%로 측정되어 재령이 증가함에 따라 강도발현비율이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 스테인레스 스틸 슬래그 치환율 10%의 경우는 재령 7일, 28일에서의 활성화도 지수는 각각 83%, 80%로 측정되어 재령의 증가에 따른 압축강도의 발현비율이 가장 큰 것으로 측정되었다.

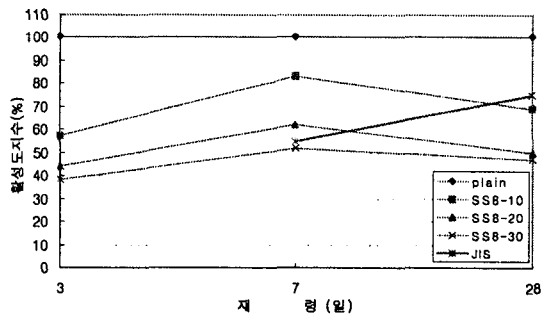
분말도 8000cm<sup>2</sup>/g의 경우, 모든 경우에서 재령 3일의 활성화도 지수에 비해 재령 7일의 경우는 비교적 활성화도 지수가 증가하는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서의 활성화도 지수는 감소하는 것으로 측정되



(1) 분말도 4000cm<sup>2</sup>/g



(2) 분말도 6000cm<sup>2</sup>/g



(3) 분말도 8000cm<sup>2</sup>/g

그림 3 분말도 재령별 활성화도지수

어 스테인레스 스틸 슬래그의 혼입에 따른 강도발현 비율이 적은 것으로 측정되었다.

이상의 결과에서, 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 활성화 지수는 플레인 모르터에 비하여 모든 조건에서 낮은 것으로 측정되었다. 그러나, 활성화 지수는 혼화재를 사용한 모르터의 강도발현 특성을 나타내는 지표로서, KSCE 95-01에서는 고로슬래그를 사용한 모르터의 활성화 지수는 재령 7일, 28일에서 각각 55%, 75% 이상으로 규정하여 콘크리트 혼화재로서 적용하기 위한 품질규준을 제시하고 있다. 스테인레스 스틸 슬래그를 사용한 모르터의 활성화 지수를 KSCE 95-01의 규준과 비교하여 볼 때, 재령 7일의 경우에는 분말도  $8000\text{cm}^2/\text{g}$  · 스테인레스 스틸 슬래그 치환율 30% 경우를 제외한 모든 조건에서 의 품질규준을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 재령 28일의 경우에는 스테인레스 스틸 슬래그 분말도  $4000\text{cm}^2/\text{g}$  · 치환율 10%, 분말도  $6000\text{cm}^2/\text{g}$  · 10%, 20%의 조건에서의 활성화지수는 각각 78%, 80%, 75%로 나타나 KSCE의 품질규준에 적합한 것으로 나타났다.

따라서 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입한 모르터의 활성화도지수의 측면에서 고려하여 볼 때 분말도  $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 의 경우에는 치환율 10%이하, 분말도  $6000\text{cm}^2/\text{g}$ 의 경우에는 치환율 20%이하의 범위에서 콘크리트 혼화재로서의 적용가능성이 큰 것으로 나타났다.

#### 4.. 결 론

스테인레스 스틸 슬래그의 분말도와 치환율에 따른 모르터의 플로우 시험과 재령별 압축강도, 활성화 지수를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스테인레스 스틸 슬래그의 분말도가 높아짐에 따라 플로우는 증가하는 것으로 측정되었다.
2. 스테인레스 스틸 슬래그를 혼입함에 따라 모르터의 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다.
3. 스테인레스 스틸 슬래그 분말도에 따른 재령별 압축강도는 분말도  $6000\text{cm}^2/\text{g}$ 의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다.
4. 재령 7일에서의 활성화 지수는 분말도  $8000\text{cm}^2/\text{g}$  · 스테인레스 스틸 슬래그 치환율 30% 경우를 제외한 모든 조건에서 KSCE 95-01의 품질규준을 만족하는 것으로 나타났다.
5. 재령 28일에서의 활성화도지 수는 스테인레스 스틸 슬래그 분말도  $4000\text{cm}^2/\text{g}$  · 치환율 10%, 분말도  $6000\text{cm}^2/\text{g}$  · 10%, 20%의 조건에서 KSCE 95-01의 품질규준을 만족하는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주) 테크월드의 연구비 지원으로 수행되었음을 밝히며, 지원에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. A. M Neville, Properties of Concrete, LONGMAN, 1995.
2. P. Kumar Mehta, Concrete, The McGraw-Hill Companies Ins, 1993.
3. 정재동, 콘크리트 재료공학, 보성각, 1998.
4. 변근주, 혼화재료, 한국레미콘공업협회, 1990.
5. 대한토목학회, 고로슬래그 시멘트 및 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 설계·시공지침(안), 1996.
6. 임남기 외, 고로냉슬래그 미분말이 혼입된 모르터의 물성에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 학술 발표대회논문집 제 20권 제 1호, 2000.
7. 신성우 외, 고로슬래그 미분말의 치환율이 시멘트 모르터의 압축강도 발현에 미치는 영향, 대한건축학회 학술발표 논문집 제18권 제12호, 1998.