

# 플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 고성능콘크리트의 특성

## The Properties of High Performance Concrete Using Fly Ash and Blast-Furnace Slag

이 승 한\*      정 용 욱\*\*      박 정 준\*\*  
Lee, Seung-Han      Jung, Yong-Wook      Park, Jung-Jun

### ABSTRACT

In this study, to increase fluidity and resistance of segregation of materials, the effect of each of the materials, which have effects on high performance concrete from investigating the properties of strength and drying shrinkage of high performance concrete made by the basic mix proportion used fly-ash and ground granulated blast-furnace slag after hardening, has been checked.

By the results of this experiment, fluidity on W/C=34% was satisfied within slump-flow  $65 \pm 5$ cm and U-type self-compacting difference 5cm.

On the properties of strength, high performance concrete produced compressive strength over  $400\text{kg/cm}^2$  in 28days when powder was replaced by 40% of fly-ash and 60% of ground granulated blast-furnace slag. And compressive strength was taken over  $600\text{kg/cm}^2$  equal to non-replacement in 91days. Also, the length change of concrete with the addition of fly-ash was smaller than that without it. Therefore, it may be effective on the decrease of drying shrinkage volume.

### 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 시공성 악화와 내구성 저하가 사회적 문제로 대두되어 콘크리트 구조물의 품질향상과 시공의 합리화를 위한 다짐이 필요없는 자기충전형 고성능콘크리트가 활발히 연구<sup>1,2)</sup>되고 있다. 이들 연구의 대부분은 고유동시 재료분리 저항성을 얻는 방법에 따라 증점제를 첨가한 증점제와 분체량을 증가시킨 분체계 및 이들 양자를 병용사용한 병용계로 구분<sup>3)</sup>된다. 이 중 분체량을 증가시켜 물분체비를 작게한 분체계 및 병용계에서 콘크리트의 유동성과 재료분리저항성에 효과적인 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용하는 예<sup>4)</sup>가 많으나 이들 분체의 사용량에 따른 고성능콘크리트의 장기강도 발현 및 건조수축 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 콘크리트의 유동성증진과 재료분리저항성을 높이기 위하여 분체로서 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용하여 고성능콘크리트의 경화후 특성으로 장기강도 및 건조수축 특성을 조사하여 고성능콘크리트에 미치는 이들 분체의 영향을 검토하고자 한다. 아울러 이들 분체의 치환량에 따른 고성능콘크리트의 유동특성을 검토하였다.

1) \* 정희원, 계명대학교 토목공학과 교수

2) \*\* 계명대학교 토목공학과 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트 및 혼화재

실험에 사용한 시멘트는 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애쉬는 충남 보령산으로 정제한 것을 사용하였다. 또한 고로슬래그 미분말은 경북 포항산으로 분말도 4500cm<sup>2</sup>/g을 사용하였다. 이들의 물리·화학적 성질을 아래표에 나타내었다.

표 1. 시멘트 및 혼화재료의 물리·화학적성질

구 분	분 말 도 (cm <sup>2</sup> /g)	비 중	강열감량 (lg.loss)	화 학 성 분						
				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>	염기도
시 멘 트	3169	3.15	1.03	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58	0.61	-
플라이애쉬	3024	2.67	4.36	58.5	23.4	-	-	-	-	-
고로슬래그	4500	2.9	0	35.08	14.92	0.38	42.26	6.41	0.11	1.81

#### 2.1.2 골재

잔골재는 경북 고령 낙동강산 천연사와 고령산 부순모래를 혼합하여 사용하였다. 굵은골재는 잔골재와 마찬가지로 경북 고령산으로 입팩트 크랏샤로 입형을 개선한 쇄석을 사용하였으며 이들의 물리적 성질을 표2에 나타내었다.

표 2. 골재의 물리적 성질

종 류	비 중	흡수율(%)	조 립 율	단위용적	실적율(%)	씻기시험	
						0.15mm	0.08mm
천 연 사	2.59	1.80	2.19	1527	59.1	2.07	0.92
부순모래	2.64	2.07	3.82	1752	66.5	4.94	2.64
천연사:부순모래 (7:3)	-	-	2.67	1695	65.1	-	-
쇄 석	2.71	0.94	6.91	1640	60.6	-	-

표 2에서 잔골재의 비중은 2.59~2.64로 KS F 2504 「잔골재의 비중 및 흡수율 시험방법」를 만족하고 있으며, 실험에 사용한 잔골재는 천연사의 조립율이 2.19로 KS규격값 2.3~3.1을 만족하지 않아 조립율이 3.82로 큰 부순모래와 7:3으로 혼합한 것을 사용하였다.

#### 2.1.3 혼화제

본 실험에서는 혼화제로서 공기연행제와 증점제를 사용하였으며 고성능 감수제는 폴리카르본산계(Naphthalene계+Poly Carbon산계 Co-Polymer)를 사용하였다. 이들의 특성을 표3에 나타내었다.

표 3. 사용혼화제의 물리·화학적특성

구 분	형 태	색 상	주 성 분	pH	비 중
고성능감수제	액상	암갈색	나프탈렌계와 폴리카르본산계 Co-Polymer	8.5±1.5	1.25±0.05
공기연행제	액상	담갈색	레진	-	1.025±0.005
증점제	분말	백색	셀레로이스 에테르계	7±0.1 (1%수용액)	1.06±0.02

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

본 연구에서는 단위분체량  $550\text{kg/m}^3$ , W/C 34%로 하였으며 S/a는 최소공극율을 가지는 잔골재율이 최적 잔골재율이라는 보고<sup>5)</sup>에 따라 사용골재의 최소공극율인 41%로 하여 사용하였다. 분체 치환량으로는 치환량에 따른 유동특성, 강도특성 및 건조수축 특성을 조사하기 위하여 표4와 같이 플라이애쉬 0, 10, 20, 30, 40% 및 고로슬래그 미분말 0, 15, 30, 45, 60%로 각각 치환하여 실험하였다.

표 4. 실험계획표

구 분	내 용
단위분체량 ( $\text{kg/m}^3$ )	550
W/C (%)	34
S/a (%)	41
$\frac{FA}{C+FA}$ (%)	0, 10, 20, 30, 40
$\frac{BS}{C+BS}$ (%)	0, 15, 30, 45, 60

#### 3.2 실험방법

##### 3.2.1 슬럼프 플로우

슬럼프콘을 사용하여 콘크리트를 다짐하지 않고 한층으로 채우고, 콘크리트의 윗면을 고른 후에, 슬럼프 실험을 실시하였으며 콘크리트의 움직임이 멈춘 후에 퍼진 최대 직경과 그것에 직교하는 위치에서의 직경을 측정하여 양 직경의 평균치를 슬럼프 플로우로 하였다. 본 실험에서는 유동성을 확보하기 위하여 슬럼프 플로우 값을  $65 \pm 5\text{cm}$ 의 범위로 하였다.

##### 3.2.2 충전성 평가 시험

재료분리 저항성 및 충전성 실험은 그림1과 같은 높이 59cm, 폭 28cm 용기의 중앙부에 이형철근 D13을 5cm간격으로 3개 배치한 U형 충전시험 장치로 실시하였다.

##### 3.2.3 V로드 시험

V로드 시험장치는 그림2와 같은 형상으로 유출구에 개폐장치를 설치하였다. 시험은 연직으로 세운 로드에서 콘크리트를 주입하여 평면으로 표면 마감 후, 유출구를 개방하여 콘크리트를 유하시킨다. 이때 상부에서 콘크리트가 유하하는 상황을 관찰하고, 밑면이 보이는 시점을 유하시간의 종점으로 하여 이때의 시간을 유하시간으로 하였다.

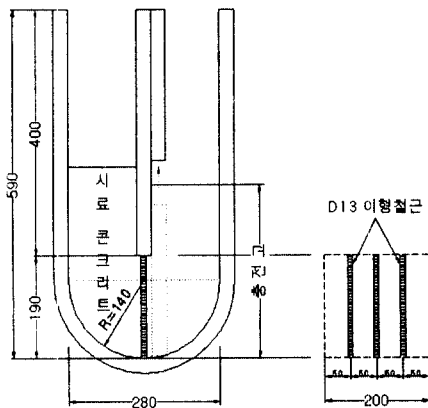


그림 1. U형 충전성 시험장치

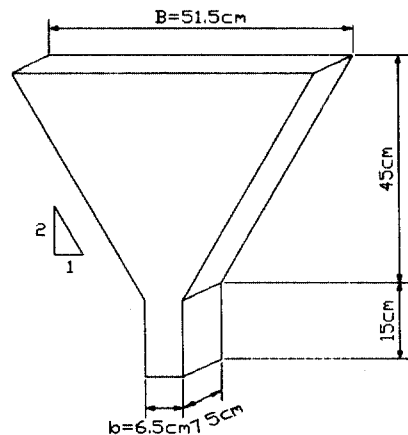


그림 2. V로드 시험기

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 유동특성

플라이애쉬 및 고로슬래그 치환시의 유동성 및 충전성 실험결과를 표5에 나타내었다.

표 5. 플라이애쉬 및 고로슬래그 치환시의 유동성 및 충전성 실험결과

공시체명	슬럼프플로우 (cm)	50cm도달속도 (cm <sup>2</sup> /sec)	충전고차 (cm)	공기량 (%)
C 100	63	376	3	4.0
FA10	62.5	197	2.5	4.8
FA20	63	292	2.5	4.5
FA30	61.5	527	3	5
FA40	61	162	3.5	2.4
BS15	60	304	2.5	5
BS30	63	475	2.0	5.6
BS45	64.5	366	1.5	5.5
BS60	60.5	182	3	5.9

표5를 바탕으로 플라이애쉬 및 고로슬래그의 치환율에 따른 슬럼프 플로우와 충전고차를 그림3과 그림4에 나타내었다.

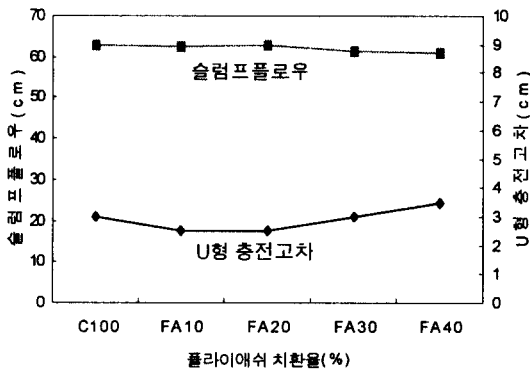


그림 3. 플라이애쉬 치환율에 따른 유동특성

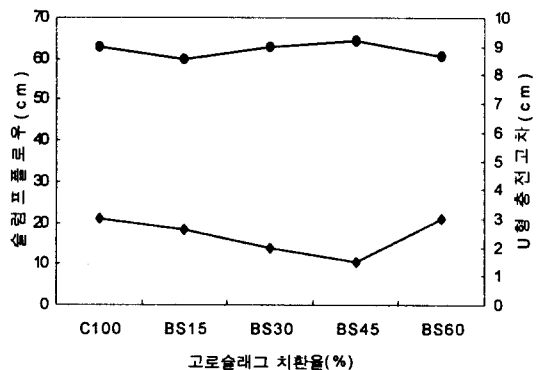


그림 4. 고로슬래그 치환율에 따른 유동특성

그림3에서 플라이애쉬 치환율에 따른 슬럼프 플로우는 치환율에 따라 큰 차이를 나타내지 않고 모두 65±5cm의 범위를 만족하고 있으며, U형 충전고차 또한 모든 치환율에서 5cm이내의 범위를 만족하고 있다. 플라이애쉬의 경우 U형 충전고차는 치환율 10%와 20%에서 2.5cm로 가장 낮은 값을 보이고 있으며, 플라이애쉬 30%에서 3.0cm, 플라이애쉬 40%에서 3.5cm를 나타내어 플라이애쉬 30%이상 치환에서 약간씩 증가되는 경향을 나타내고 있다.

또한 그림4는 고로슬래그 치환율에 따른 유동특성을 나타낸 것으로 슬럼프 플로우는 65±5cm의 범위를 만족하며 고로슬래그 미분말 45%치환에서 가장 낮은 U형 충전고차 1.5cm를 나타내고 있고, 15%치환에서 2.5cm, 30%치환에서 2.0cm를 나타내고 있으며 무치환과 60%치환에서 가장 높은 충전고차 3cm를 나타내고 있다.

따라서 단위분체량 550kg/m<sup>3</sup>에서의 충전특성이 가장 우수한 치환율은 플라이애쉬의 경우 10~20%, 고로슬래그 미분말은 45%이며 플라이애쉬 40%치환과 고로슬래그 60%이내의 치환율에서 U형 충전고차 5cm이내의 범위를 모두 만족하고 있는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 강도특성

플라이애쉬 및 고로슬래그 치환시의 재령별 강도 변화를 아래 표6에 나타내었다.

표 6. 플라이애쉬 및 고로슬래그 치환율에 따른 강도변화

구분 종류	7일 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	28일 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	56일 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	91일 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
C 100	409	533	610	659
FA10	361	492	598	663
FA20	323	461	550	630
FA30	297	433	542	636
FA40	274	392	504	597
BS15	407	531	590	645
BS30	367	540	580	638
BS45	266	507	568	616
BS60	230	442	558	620

위 표에서 플라이애쉬 및 고로슬래그의 재령별 강도는 증가하고 있으며, 치환율이 증가할수록 초기 재령은 떨어지나 장기강도는 증가되어 플라이애쉬 40%와 고로슬래그 미분말 60%까지 치환 사용시 재령 91일 강도 600kg/cm<sup>2</sup> 이상을 얻을 수 있었다. 따라서 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말은 콘크리트의 초기강도 발현을 작게하나 장기강도 발현에 효과적임을 알 수 있다.

이 표를 바탕으로 플라이애쉬 및 고로슬래그 치환율에 따른 재령별 압축강도 변화를 그림5와 그림6에 각각 나타내었다.

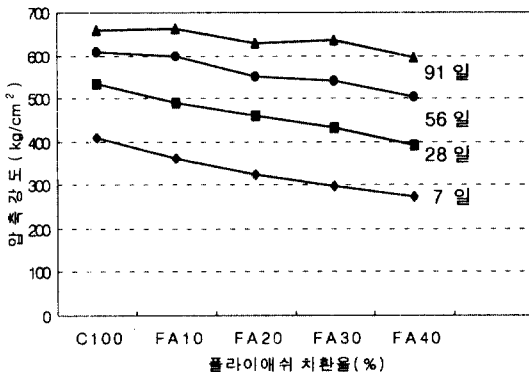


그림 5. 플라이애쉬 치환율에 따른 재령별 압축강도

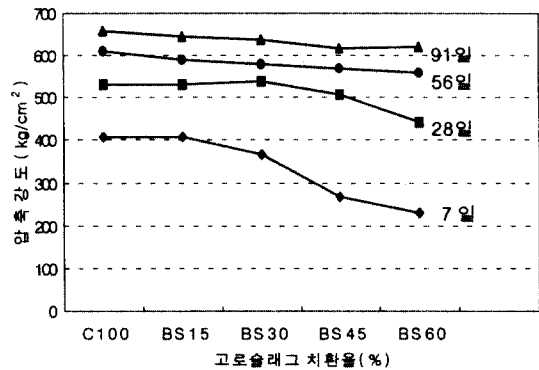


그림 6. 고로슬래그 치환율에 따른 재령별 압축강도

위 그림5에서 플라이애쉬는 치환율이 증가할수록 28일 까지의 초기강도는 비례적으로 감소하지만 이후 장기재령에서는 강도 증가현상을 나타내어 91일 강도에서는 30%치환까지 강도감소가 나타나지 않고 있다. 그러나 40%치환시 91일 강도는 무치환에 비해 약 50kg/cm<sup>2</sup> 이상의 강도감소현상이 발생해 플라이애쉬 치환은 30%까지가 적당한 것으로 사료된다.

그림6에서 고로슬래그는 15%까지 강도감소없이 사용할 수 있으며, 이후 60% 치환까지는 사용량이 증가할수록 초기재령은 떨어지나 재령이 증가할수록 강도가 증가되어 91일 이후의 강도 발현은 동등하게 나타나고 있다.

### 4.3 길이변화

본 실험에서 길이변화 측정을 위하여 7일간 수중 양생 후 이 시점을 기준으로 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 5\%$ 로 유지하여 KS F 2424 「콘크리트의 길이변화 시험방법」에 준하여 재령 13주까지 길이변화를 측정하였다.

그림7에 플라이애쉬 치환율에 따른 길이변화 특성을 나타내었다. 이 그림에서 플라이애쉬 치환율에 따른 길이변화 특성은 플라이애쉬 치환율이 높을수록 수축변형량이 적게 나타나고 있다. 또한 플라이애쉬 40%치환시 약 20%의 수축저감과 20%치환시 약 10%의 수축을 저감시켜 플라이애쉬 치환은 콘크리트의 건조수축량을 줄이는데 효과적이라고 사료된다.

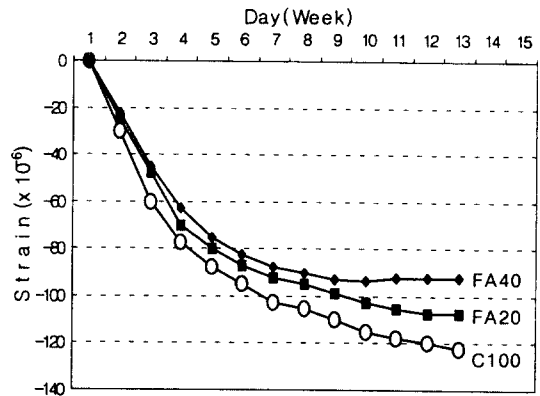


그림 7. 플라이애쉬 치환율에 따른 길이변화 특성

## 5. 결 론

플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용하여 고성능콘크리트에 미치는 각 재료의 영향을 검토한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 단위분체량  $550\text{kg}/\text{m}^3$ , W/C 34%에서 플라이애쉬 40%, 고로슬래그 60%까지 치환하여도 슬럼프플로우  $65 \pm 5\text{cm}$ , U형 충전고차 5cm이내를 만족하는 고성능콘크리트를 제조할 수 있다.
- (2) 플라이애쉬 치환시 91일 압축강도의 경우 30%치환까지는 무치환시와 큰 차이를 나타내지 않지만 40%치환시  $50\text{kg}/\text{cm}^2$  이상의 강도 차이를 보여 플라이애쉬의 치환율은 30%까지가 압축강도에 영향을 미치지 않는 적정 치환량이라고 사료된다.
- (3) 고로슬래그 미분말 15%까지는 초기강도의 저하 없이 사용할 수 있으며, 장기강도인 91일 압축강도는 고로슬래그 미분말 60%까지 치환하여도 강도저하 없이 사용할 수 있다고 사료된다.
- (4) 플라이애쉬 치환시 치환량이 증가할수록 수축변형량이 적어 플라이애쉬 20%치환에서 10%의 수축저감과 플라이애쉬 40%치환에서 20%의 수축저감량을 나타내어 플라이애쉬 치환은 콘크리트의 건조수축을 줄이는데 효과적이라 사료된다.

## 6. 참고문헌

- 1) 長瀧重義 : 콘크리트의 고성능화, 技報堂出版, 1997
- 2) 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅 : 하이퍼퍼포먼스콘크리트, 技報堂出版, 1993.
- 3) 日本 土木學會 : 高流動콘크리트에關する技術의現狀と課題, 콘크리트技術シリーズ No. 15.
- 4) 日本콘크리트工學 : 콘크리트의高性能·高機能化, Vol. 32. No. 7, 1994. 7
- 5) 이승환, 문성균, 한형섭 : 자기충진성 고성능 콘크리트의 배합설계에 관한 연구, 第2回 韓·日共同 Workshop發表論文集, 1998. 8, pp1~15.