

# 부순모래 대체율에 따른 고강도콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 연구

## A Study on the Fluidity and Compressive Strength of HPC according to the Replacement Ratio of Crushed Sand

최 세 진\*      강 원 석\*\*      박 창 수\*\*\*      이 성 연\*\*\*\*      이 상 수\*\*\*\*\*  
Choi, Se-Jin      Kang, Won-Seok      Park, Chang-Soo      Lee, Seong-Yeon      Lee, Sang-Soo

### Abstract

Generally, the strength of concrete depends on factors of materials, mix proportions, compaction, manufacturing methods and curing and so on. And recently, it has increased the using of crushed sand for concrete due to the exhaustion of good natural aggregate.

This is an experimental study to compare and analyze the fluidity and compressive strength of ultra-high strength concrete according to the replacement ratio of crushed sand. For this purpose, the mix proportions of concrete according to the W/B ratio and replacement ratio of crushed sand was selected. And then air content, slump-flow, O-lot, compressive strength test were performed.

### 1. 서 론

콘크리트의 강도는 사용재료, 배합, 다짐, 제조방법, 양생 등 여러 요인에 의해 영향을 받게 되며, 최근에는 콘크리트구조물의 대형화, 고층화, 장대화 등에 따라 콘크리트에 요구되는 성능도 고강도, 고유동, 고내구성 등 점차 고품질화, 고성능화되어지고 있다. 특히 과거에는 압축강도가 21, 24MPa의 보통콘크리트가 대부분을 차지한 반면 최근에는 27, 30MPa은 물론이고 40MPa이상의 고강도콘크리트 수요가 점차 증가하고 있어 콘크리트관련 학계, 연구소, 업체 등을 중심으로 이에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

또한, 최근 천연골재의 고갈화 및 환경보호를 위한 채취제한 등에 따라 부순모래 등 대체골재의 사용이 증가하고 있으나 이러한 부순모래를 사용한 고강도콘크리트의 제조에 관한 연구나 제조실적은 천연골재에 비해 상대적으로 미미한 실정이다.

본 연구는 고강도콘크리트의 유동성 및 강도특성에 미치는 각종 영향요인에 관한 실험적 연구의 일련의 연구로서 본보에서는 부순모래 대체율에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하기 위하여 물결합재비 31.5, 27.5, 23.5%의 수준에서 부순모래 대체율을 0, 20, 40%로 변화시켜 제조한 (초)고강도콘크리트에 대하여 슬럼프-플로우, O-로트 및 압축강도 특성 등을 비교·검토함으로써 (초)고강도콘크리트

\* 정회원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원, 공학박사

\*\* 정회원, (주)삼표 R/C본부 생산기획팀장

\*\*\* 정회원, (주)삼표 R/C본부 이사

\*\*\*\* 정회원, (주)삼표 R/C본부장, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 한밭대 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 실험계획 및 배합

구분	W/B (%)	부순모래 대체율 (%)	S/a (%)	결합재량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	FA <sup>2)</sup> 대체율 (%)	SF <sup>2)</sup> 대체율 (%)	측정항목
W31.5C0 <sup>1)</sup> W31.5C20 W31.5C40	31.5	0 20 40	46	508	160	5	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공기량 (%)</li> <li>· 슬럼프 (cm)</li> <li>· 슬럼프 플로우 (cm)</li> <li>· 슬럼프플로우 50cm 도달시간 (sec.)</li> <li>· O-lot 유하시간 (sec.)</li> <li>· 압축강도 (MPa)</li> <li>- 재령 3, 7, 28, 56일</li> </ul>
W27.5C0 W27.5C20 W27.5C40	27.5	0 20 40	45	582	160	5	5	
W23.5C0 W23.5C20 W23.5C40	23.5	0 20 40	44	681	160	5	5	

주] 1) W31.5C0 = W/B 31.5%, 부순모래 대체율 0%  
 2) FA = 플라이애시, SF = 실리카흙

트의 제조시 참고자료를 제시하고자 하였다.

표 2. 사용재료

사용재료	물리적 특성
시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고로슬래그시멘트(2종)</li> <li>· 밀도 : 3.05g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 분말도 : 4,059cm<sup>2</sup>/g</li> </ul>
세척사	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 밀도 : 2.60g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 조립율 : 2.67</li> </ul>
부순모래	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 밀도 : 2.60g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 조립율 : 2.83</li> </ul>
굵은골재	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부순자갈 20mm</li> <li>· 밀도 : 2.62g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 조립율 : 6.81</li> </ul>
플라이애시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 강열감량 : 2.1%</li> <li>· 밀도 : 2.20g/cm<sup>3</sup></li> <li>· 분말도 : 3,109cm<sup>2</sup>/g</li> </ul>
실리카흙	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 밀도 : 2.1g/cm<sup>3</sup></li> <li>· SiO<sub>2</sub> : 90.5%</li> </ul>
고성능 감수제(SP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폴리카르본산계</li> <li>· 비중 : 1.20</li> </ul>

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 배합

표 1은 본 연구의 실험계획 및 배합을 나타낸 것으로서 물결합재비 수준을 31.5, 27.5, 23.5%의 3수준, 부순모래 대체율을 0, 20, 40%의 3수준으로 설정하였으며, 단위수량은 160kg/m<sup>3</sup>, 플라이애시 및 실리카흙의 대체율은 단위 결합재량에 대하여 5%로 고정하였다.

측정항목으로서는 굳지않은 콘크리트의 경우 공기량, 슬럼프, 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 O-lot 유하시간을 측정하였으며 경화콘크리트에서는 재령 3, 7, 28, 56일에서 압축강도를 측정하였다.

### 2.2 사용재료 및 비빔방법

본 실험에 사용된 각 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같이 시멘트는 국내 A사의 고로슬래그시멘트(2종), 잔골재의 경우 조립율 2.67의 세척사 및 조립율 2.83의 부순모래를, 굵은골재는 조립율 6.81의 최대치수 20mm 부순자갈을 사용하였다. 또한 사용한 플라이애시 및 실리카흙의 밀도는 각각 2.2 및 2.1g/cm<sup>3</sup>인 제품을 사용하였다.

콘크리트의 비빔은 100ℓ의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 건비빔과 모르타르비빔을 행한 후, 굵은골재를 투입하는 비빔방식을 실시하였으며 총 비빔시간은 약 3분이 소요되었다.

## 3. 시험결과 및 고찰

표 3은 부순모래 대체율에 따른 고강도콘크리트의 각종 시험결과를 나타낸 것이다.

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성 검토 및 분석

표 3. 콘크리트 시험결과

구분	W/B (%)	부순모래 대체율 (%)	SP제 첨가율 (%)	Air (%)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	SF 50cm 도달시간 (sec.)	O-로트 유하시간 (sec.)	압축강도 (MPa)			
									3d	7d	28d	56d
W31.5C0	31.5	0	0.90	1.0	24.0	51×52	17.22	25.72	26.6	48.6	70.6	74.8
W31.5C20		20	1.00	1.3	26.0	61×61	7.81	21.50	31.9	48.1	72.8	73.7
W31.5C40		40	1.05	1.6	26.0	69×70	6.90	23.25	34.4	52.7	75.1	75.0
W27.5C0	27.5	0	0.85	1.2	26.5	60×63	6.31	20.83	25.2	65.1	82.3	87.2
W27.5C20		20	0.90	1.3	26.0	54×51	12.13	24.47	32.2	61.0	75.2	81.3
W27.5C40		40	1.00	0.2	27.0	64×64	9.38	21.50	34.8	62.3	83.8	91.0
W23.5C0	23.5	0	0.85	0.6	25.5	52×53	9.50	23.00	50.4	70.0	83.9	90.1
W23.5C20		20	0.90	1.3	25.0	55×52	8.60	25.00	57.9	69.6	84.7	90.9
W23.5C40		40	0.95	0.8	26.5	67×68	6.90	21.30	51.0	68.1	85.4	91.1

그림 1은 부순모래 대체율에 따른 슬럼프 플로우 및 SP제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로서 슬럼프 플로우의 경우 물결합재비에 관계없이 부순모래 대체율 40%에서 상대적으로 가장 높은 값을 보이고 있으며, 물결합재비에 따른 유의할 만한 차이는 보이지 않고 있다. 또한 SP제 첨가율은 부순모래 대체율이 20%씩 증가할수록 0.05~0.10% 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 부순모래의 거친 입형으로 인해 유동성을 확보하기 위한 SP제 첨가율의 필요량이 다소 증가한 것으로 보이며, 이로 인해 W/B 27.5%의 부순모래 대체율 20%(W27.5C20)를 제외하고 부순모래를 대체한 배합에서 슬럼프 플로우가 상대적으로 크게 나타난 것으로 사료된다.

또한 슬럼프 플로우와 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 관계를 나타낸 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 슬럼프 플로우가 증가할수록 50cm 도달시간도 빠르게 나타나고 있으나 상관성은 그리 높지 않은 것으로 나타났다. 본 연구의 경우 슬럼프 플로우가 60~70cm 일 경우 50cm 도달시간은 6~10초 정도인 것으로 나타났다.

그림 3은 부순모래 대체율에 따른 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간의 변화를 나타낸 것으로서 슬럼프 플로우 50cm 도달시간이 빠를수록 O-lot 유하시간도 빠르게 나타나고 있음을 알 수 있다. W/B 31.5%의 경우 부순모래를 20, 40%대체한 배합이 부순모래를 사용하지 않은 배합보다 50cm 도달시간 및 O-lot 유하시간 모두 빠르게 나타났으나, W/B 27.5% 및 23.5%의 경우에는 각각 부순모래 0%와 40%에서 가장 빠르게 나타나 물결합재비별로 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 경우 6.3~17.2초, O-lot 유하시간의 경우 21.3~25.7초 범위로 나타났다.

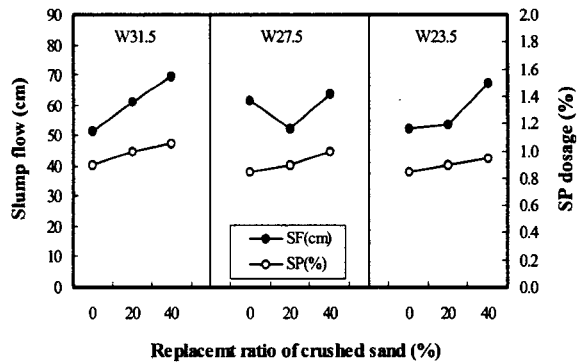


그림 1 슬럼프 플로우와 SP제 첨가율의 변화

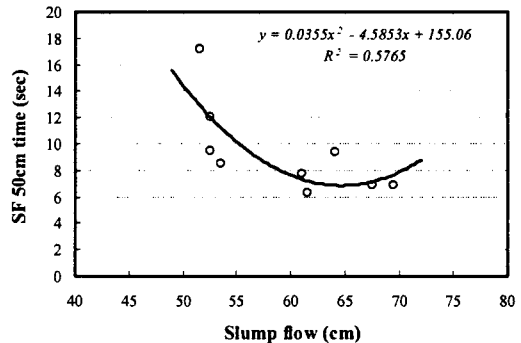


그림 2 슬럼프 플로우 및 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 관계

### 3.2 압축강도특성 검토 및 분석

그림 4는 부순모래 대체율에 따른 초고강도콘크리트의 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 것으로서 물결합재비 31.5%의 경우 재령 56일의 압축강도가 73.7~75.0MPa, 물결합재비 27.5% 및 23.5%의 경우 재령 56일의 압축강도가 각각 81.3~91.0MPa 및 90.1~91.1MPa로서 물결합재비가 낮아질수록 압축강도가 높게 발현하고 있으며, 압축강도 증가폭은 W/B 31.5~27.5%에 비해 W/B 27.5~23.5%의 경우가 적게 나타났다. 또한 물결합재비 27.5%의 경우 부순모래 대체율 20%에서 상대적으로 압축강도가 낮게 나타났으나, 물결합재비 31.5% 및 23.5%의 경우에는 부순모래 대체율에 따른 유의할만한 차이는 보이지 않고 있으며, 부순모래를 사용한 경우에도 양호한 강도발현특성을 나타내고 있다.

### 4. 결론

부순모래 대체율에 따른 고강도콘크리트의 유동특성 및 강도특성을 검토한 본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 부순모래 대체율이 20%씩 증가할수록 SP제 첨가율이 0.05~0.10% 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 부순모래의 거친입형으로 인해 유동성을 확보하기 위한 SP제 첨가율의 필요량이 다소 증가했기 때문으로 사료된다.
- 2) 본 연구수준의 경우 슬럼프 플로우가 60~70cm 일 경우 부순모래 대체율에 관계없이 슬럼프 플로우 50cm 도달시간은 6~10초 정도인 것으로 나타났다.
- 3) 물결합재비 27.5%의 경우 부순모래 대체율 20%에서 상대적으로 압축강도가 낮게 나타났으나, 물결합재비 31.5% 및 23.5%의 경우에는 부순모래 대체율에 따른 유의할만한 차이는 보이지 않고 있으며, 부순모래를 사용한 경우에도 73~91MPa 수준의 양호한 강도발현특성을 나타내었다.

### 참고문헌

1. 최세진, 강원석, 박창수, 이성연, 이상수; 고강도콘크리트의 강도특성에 미치는 혼화재종류의 영향에 관한 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.16, No.1, pp.45-48, 2006.5

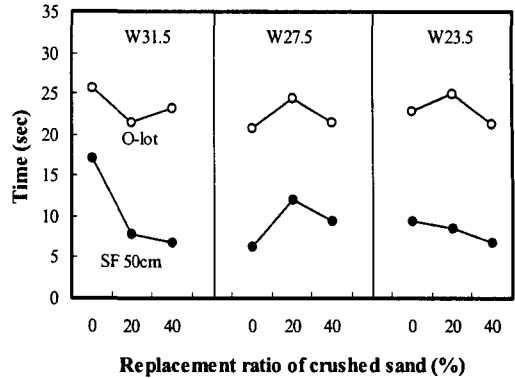


그림 3 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 O-lot 유하시간의 변화

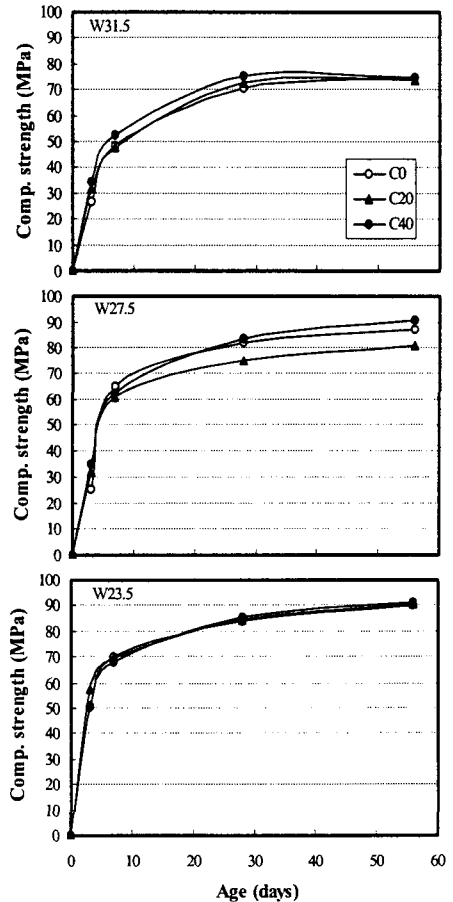


그림 4 재령에 따른 압축강도의 변화