

부순모래를 사용한 고강도콘크리트의 특성 및 레미콘 B/P 적용에 관한 연구

A Study on the Remicon B/P Application and Properties of High Strength Concrete using Crushed Sand

최 세 진*
Choi Se-Jin

이 성 연**
Lee Seong-Yeon

이 상 수***
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. In case of Korea, in 2004, the using ratio of crushed sand occupies about 28% of whole fine aggregate. This is an experimental study to compare and analyze the influence of W/B ratio and replacement ratio of crushed sand on the fluidity and compressive strength of high strength concrete. For this purpose, the mix proportions of concrete according to the W/B (31.5, 27.5, 23.5%) and replacement ratio of crushed sand (0, 20, 40%) was selected. And then air content, slump-flow, O-lot, compressive strength test were performed.

키 워 드 : 부순모래, 고강도콘크리트, 유동성, 압축강도, O-로트시험
Keywords : Crushed sand, High strength concrete, Fluidity, Compressive strength, O-lot

1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 대형화, 고층화, 장대화 등에 따라 콘크리트에 요구되는 성능도 고강도, 고유동, 고내구성 등 점차 고품질화, 고성능화되어지고 있다. 특히 그림 1에서 보는 바

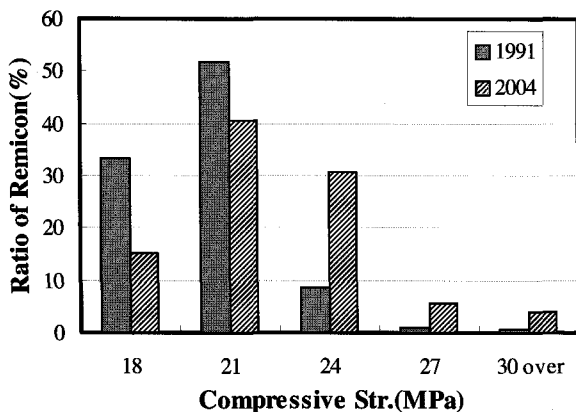


그림 1. 국내 호칭강도별 레미콘 출하비율의 변화 (1991년 및 2004년)

와 같이 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, 표 1. 에서 보는 것처럼 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 부순모래 대체율의 영향을 검토하기 위하여 물결합재비 31.5, 27.5, 23.5%의 수준에서 부순모래 대체율을 0, 20, 40%로 변화

표 1. 국내 잔골재 품종별 사용비율의 변화 (%)

종 류	년 도		
	2002	2003	2004
강모래	21.6	34.7	32.2
육모래	8.0	15.5	11.2
바다모래	50.9	32.8	26.1
부순모래	18.0	16.4	28.0
기타	1.5	0.6	2.5
계	100	100	100

* (주)삼표 기술연구소 책임연구원, 공학박사, 정회원
** (주)삼표 기술연구소 소장, 공학박사
*** 한밭대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

표 2. 실험계획 및 측정항목

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

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

시켜 제조한 고강도콘크리트의 실내시험 및 일부배합에서의 실제 레미콘공장의 B/P(Batch plant)시험을 실시함으로써 부순모래를 사용한 고강도콘크리트의 제조시 참고자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

표 2는 본 연구의 실험계획 및 배합을 나타낸 것으로서 물결합재비 수준을 31.5, 27.5 및 23.5%의 3수준, 부순모래 대체율을 0, 20, 40%의 3수준으로 설정하였으며, 단위수량은 160kg/m³, 플라이애시 및 실리카흙의 대체율은 기존 문헌자료(2)-5) 및 수차례의 예비시험을 거친 후 단위 결합재량에 대하여 5%로 고정하였다.

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

또한 W/B 23.5%의 배합에 대해서는 실제 레미콘공장에서 B/P시험을 실시함으로써 레미콘공장에서 생산성 및 실내시험결과와의 비교·검토를 행하였다.

2.2 사용재료 및 비빔방법

본 실험에 사용된 각 재료의 물리적 성질은 표 3에 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/cm³인 제품을 사용하였다.

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

표 3. 사용재료의 물리적 특성

사용 재료	물리적 특성
시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래그시멘트(type II) • 밀도: 3.05g/cm³ • 분말도 : 4,059cm²/g
바다모래	<ul style="list-style-type: none"> • 밀도 : 2.60g/cm³ • 조립율 (F.M) : 2.67
부순모래	<ul style="list-style-type: none"> • 밀도 : 2.60g/cm³ • F.M : 2.83
굵은골재	<ul style="list-style-type: none"> • 부순자갈 Gmax 20mm • 밀도 : 2.62g/cm³ • F.M : 6.81
플라이애시	<ul style="list-style-type: none"> • 밀도 : 2.20g/cm³ • 강열감량 (LOI) : 2.1% • 분말도 : 3,109cm²/g
실리카흙	<ul style="list-style-type: none"> • 밀도 : 2.10g/cm³ • SiO₂ : 90.5%
혼화제	<ul style="list-style-type: none"> • 고성능감수제 (pc based)

3. 시험결과 및 고찰

표 4는 부순모래 대체율에 따른 고강도콘크리트의 각종 시험결과를 나타낸 것이다.

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성 검토 및 분석

그림 2는 슬럼프와 슬럼프 플로우의 변화를 나타낸 것으로서 본실험 및 예비실험에서 얻어진 슬럼프 및 슬럼프 플로우 측정결과를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 슬럼프에서도 슬럼프 플로우의 값은 많은 차이를 보이고 있어, 고강도콘크리트와 같이 분체량이 많고 유동성이 높은 콘크리트의 유동특성을 평가할 때 슬럼프값 만으로는 한계가 있음을 알 수 있으며, 따라서 슬럼프 플로우시험 등을 함께 병행하여 고강도콘크리트의 유동특성을 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

그림 3은 부순모래 대체율에 따른 슬럼프 플로우 및 SP제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로서 슬럼프 플로우의 경우 물결

표 4. 고강도콘크리트의 각종 시험결과

Mix	W/B (%)	부순모래 대체율 (%)	SP제 첨가율 (%)	공기량 (%)	slump (cm)	slump flow (cm)	SF 50cm time (sec.)	O-lot time (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

합재비에 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 제외한 배합에서 부순모래를 대체한 경우가 슬럼프 플로우가 상대적으로 크게 나타난 것으로 사료된다.

또한 슬럼프 플로우와 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 관계를 나타낸 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 슬럼프 플로우가 증가할수록 50cm 도달시간도 빠르게 나타나고 있으나 상관성은 그리 높지 않은 것으로 나타났다. 이는 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 경우 슬럼프 플로우값과 함께 고강도콘크리트의 점성과도 밀접한 관련이 있기 때문으로 판단되며 본 연구의 경우 슬럼프 플로우가 60~70cm 일 경우 50cm 도달시간은 6~10초 정도인 것으로 나타났다.

플수록 O-lot 유하시간도 빠르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

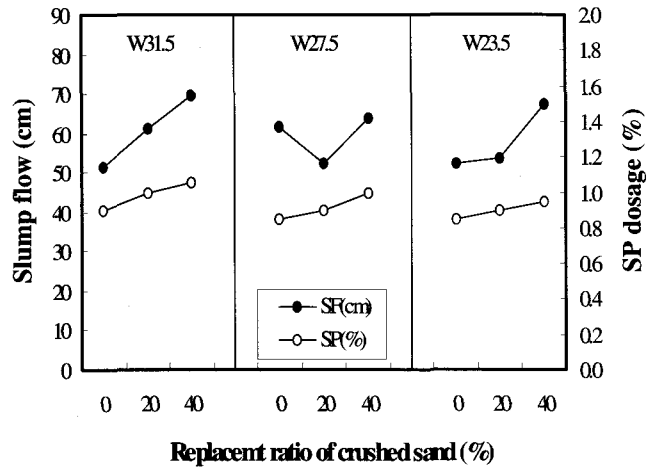


그림 3 부순모래 대체율에 따른 슬럼프 플로우 및 SP제 첨가율의 변화

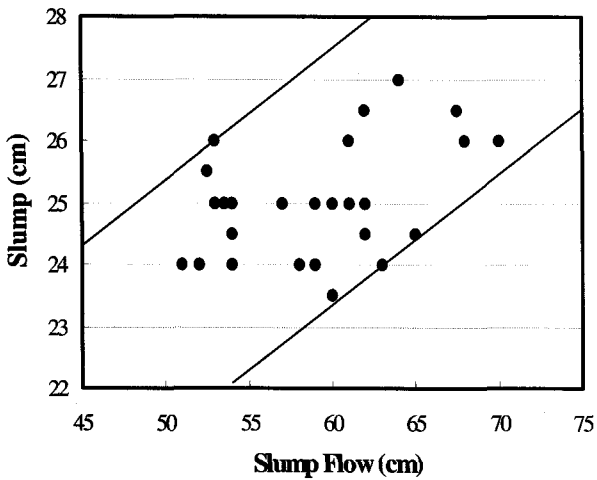


그림 2. 슬럼프와 슬럼프 플로우의 변화

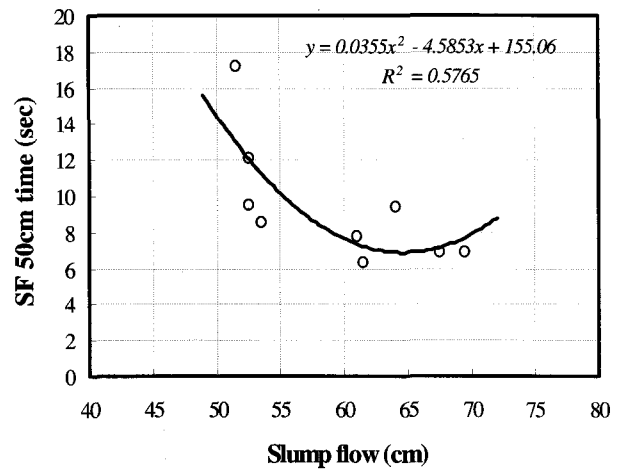


그림 4. 슬럼프 플로우와 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 관계

그림 5 및 6은 부순모래 대체율에 따른 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간의 변화를 나타낸 것으로서 육안 관찰시 재료분리현상이 없이 슬럼프 플로우 50cm 도달시간이 빠

W/B 31.5%의 경우 부순모래를 20, 40%대체한 배합에서 부순모래 0%배합 보다 슬럼프 플로우 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.

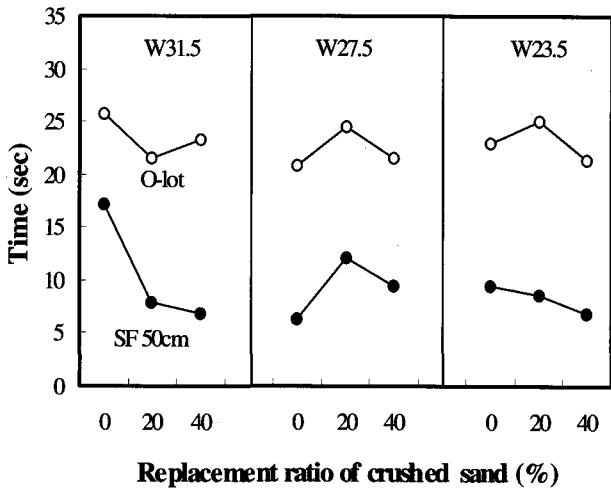


그림 5. 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간의 변화

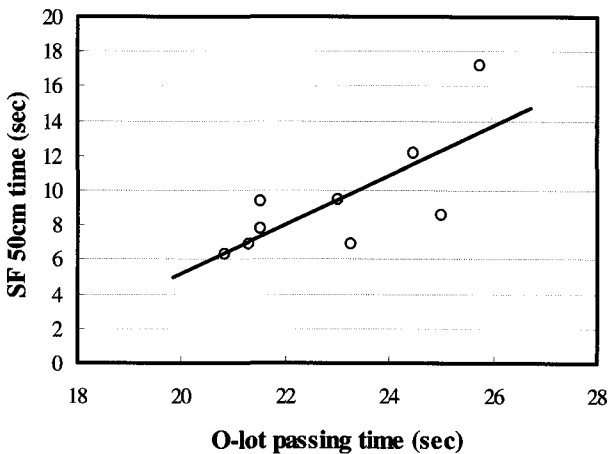


그림 6. 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간의 관계

3.2 경화콘크리트의 특성 검토 및 분석

그림 7은 부순모래 대체율에 따른 고강도콘크리트의 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 낮게 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 유의할 만한 차이는 보이지 않았다.

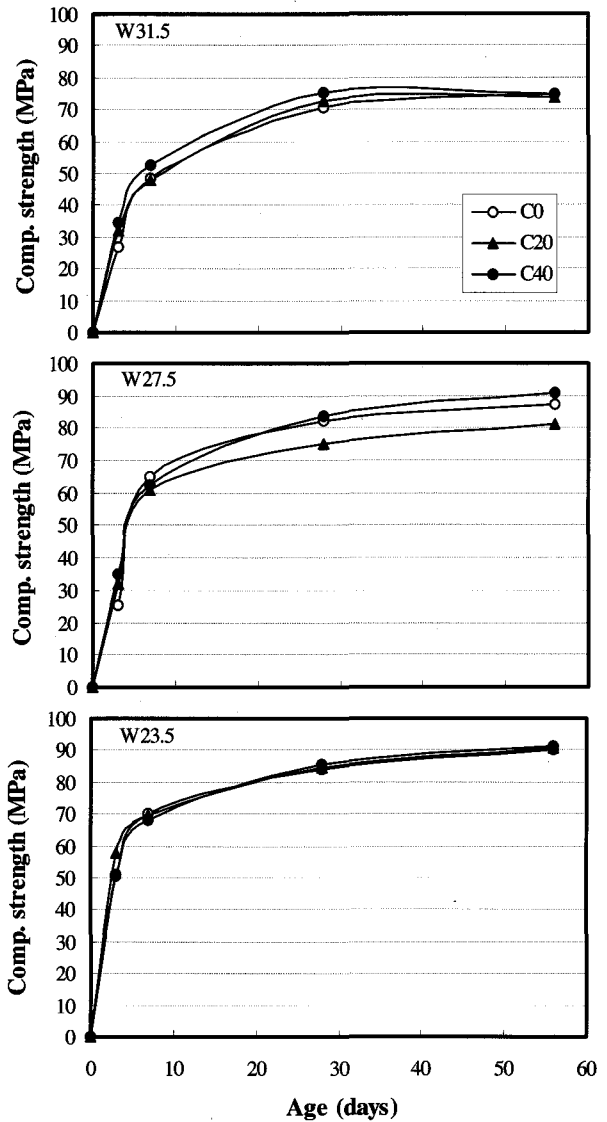


그림 7. 부순모래 대체율에 따른 재령별 압축강도의 변화

4. B/P(Batch plant) 적용성 검토

4.1 개요

건설생산현장에서 사용되는 콘크리트의 제조는 일반적으로 레미콘공장에서 이루어지므로 고강도콘크리트의 경우도 레미콘공장 Batch plant(B/P)에서의 생산성 여부가 중요하게 된다.

본 연구에서는 앞서 실시되었던 실내배합시험 결과 등을 참고로 물결합재비 23.5%인 배합을 대상으로 실제 레미콘공장에서의 생산성 및 강도특성을 검토하기 위하여 레미콘 B/P시험을 실시하였다.

사진 1은 시험이 실시된 레미콘공장 전경 및 사용된 믹서(3m³, Twin shaft 형식)를 나타낸 것이다.

비빔순서는 물, 결합재, 잔골재, 혼화제를 선투입하여 먼저 모르터를 제조한 후 굵은골재를 투입하는 방식을 채택하였고

표 5. 레미콘 B/P(Batch plant) 시험결과

W/B (%)	부순모래 대체율 (%)	SP제 첨가율 (%)	공기량 (%)	slump (cm)		slump flow (cm)		SF 50cm time (sec.)		O-lot time (sec.)		압축강도 (MPa)		
				0m	90m	0m	90m	0m	90m	0m	90m	3d	7d	28d
23.5	0	1.8	5.9	27.0	27.0	62×65	64×65	5.84	7.72	12.31	30.84	40.0	63.9	81.3
	20	1.8	2.4	26.5	27.0	56×60	62×64	8.66	10.93	28.28	31.20	40.4	60.3	88.3
	40	1.8	3.9	26.5	26.5	58×61	58×60	8.03	14.2	26.37	44.69	39.5	64.7	80.4

믹서의 부하가 일정한 수준을 유지하는 시점을 비빔종료시간으로 선정하였으며, 총 비빔시간은 약 6분이 소요되었다.

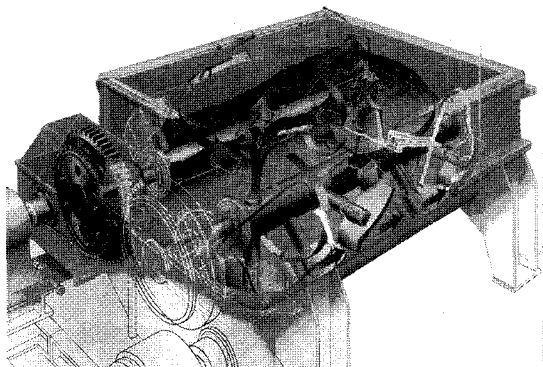
비빔이 끝난 고강도콘크리트는 믹서에서 레미콘트럭(믹서트럭)으로 토출하여 시험실까지 이송후 일정량을 시료채취하였으며 굳지않은 콘크리트에서의 슬럼프 플로우, O-lot시험 및 경화콘크리트에서의 압축강도(3, 7, 28일)를 측정하였다.

4.2 B/P시험 결과 및 고찰

표 5는 레미콘 B/P시험결과를, 사진 2는 레미콘트럭에서의 시료채취 및 시험장면을 나타낸 것이다.



(a) 시험 공장



(b) 사용 믹서 (Twin shaft mixer)

사진 1. 레미콘 B/P시험공장 및 사용믹서

표 5 및 그림 8은 부순모래 대체율에 따른 슬럼프와 슬럼프 플로우의 변화를 나타낸 것으로서 B/P생산제품의 경우에도 실내시험 결과와 유사하게 재료분리경향없이 양호한 유동성을 나타내었다. 즉, 슬럼프의 경우 26.5~27.0cm, 슬럼프 플로우의 경우 58~63.5cm로서 부순모래 대체율에 관계없이 유사하게 나

타났다.

또한 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간의 변화를 나타낸 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이, 부순모래 대체율이 증가할수록 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간 모두 증가하는 경향을 보이고 있으며 특히 O-lot 유하시간의 경우가 증가폭이 상대적으로 더 크게 나타났다.

그림 10은 부순모래 대체율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로서 재령 28일 압축강도가 80.4~88.3MPa의 고강도를 발현하고 있으며 특히 부순모래를 20% 사용한 경우가 상대적으로 가장 높은 강도를 발현하고 있다.



(b) 시료 채취



(c) 시험 장면

사진 2. 시료채취 및 시험장면

이러한 B/P 시험결과는 실내시험에서 얻어진 28일 강도인 83.9~85.4MPa과 유사한 값으로서 품질변동요인이 다수 존재하는 B/P에서도 품질관리에 주의하면 실내시험과 유사한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

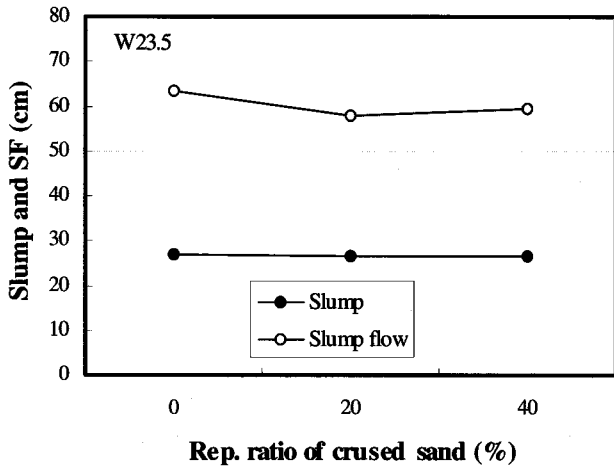


그림 8 슬럼프와 슬럼프 플로우의 변화 (B/P test)

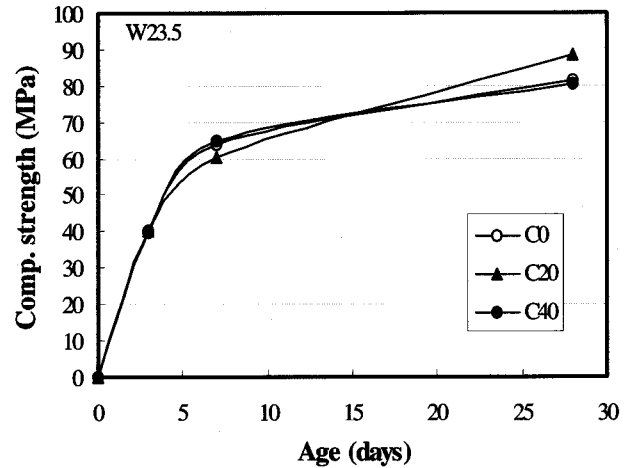


그림 10. 부순모래 대체율에 따른 압축강도의 변화 (B/P test)

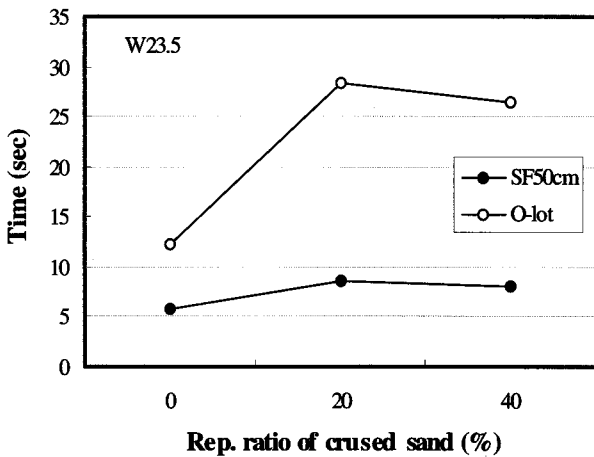


그림 9. 슬럼프 플로우 50cm 도달시간과 O-lot 유하시간의 변화 (B/P test)

4) 본 연구결과 부순모래를 사용하여 80MPa 이상의 고강도 콘크리트를 실제 레미콘 B/P에서도 안정적으로 생산할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. 최민수, 지역별 골재 소비구조 분석 및 수급 안정방안, 한국건설산업연구원, 2003.4
2. 최세진, 강원석, 박창수, 이성연, 이상수, 부순모래 대체율에 따른 고강도콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제18권2호, pp.437-440, 2006.11
3. 김동배, 최세진, 이성연, 이상수, 송하영, 김을용, 다성분계 초고강도콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제18권2호, pp.449-452, 2006.11
4. 김남식, 최세진, 이성연, 이상수, 송하영, 김을용, 부순모래를 사용한 초고강도콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제26권제1호, pp.421-424, 2006.10
5. 최세진, 강원석, 박창수, 이성연, 이상수, 고강도콘크리트의 강도특성에 미치는 혼화제 종류의 영향에 관한 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제18권1호, pp.45-48, 2006.5
6. P. Kumar Mehta, Concrete Structure, Properties, and Materials, Prentice Hall, pp. 17-41.
7. ACI; Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05), 2005

5. 결론

부순모래를 사용한 고강도콘크리트의 특성 및 레미콘 B/P 적용에 관한 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 거친 입형으로 인해 유동성을 확보하기 위한 SP제 첨가율의 필요량이 다소 증가한 것으로 사료된다.
- 2) 본 연구의 경우 슬럼프 플로우가 60~70cm 일 경우 물결합재비에 관계없이 슬럼프 플로우 50cm 도달시간은 6~10초 정도인 것으로 나타났다.
- 3) 실제 레미콘공장에서의 B/P시험을 실시한 결과 재령 28일 압축강도가 80.4~88.3MPa의 수준으로서 실내시험에서 얻어진 83.9~85.4MPa와 유사한 값으로 나타나 품질변동요인이 다수 존재하는 B/P에서도 품질관리에 주의하면 실내시험과 유사한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.