

부순모래를 사용한 초고강도 콘크리트의 레미콘 제조성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Ready-Mixed Concrete Manufacture Performance of Ultra-High Strength Concrete using the Crushed Sand

노형남* 임현웅* 최세진** 이성연*** 이상수**** 송하영****
Rho, Hyoung-Nam Lim Hyon-Ung Choi, Se-Jin Lee, Seong-Yeon Lee, Sang-Soo Song, Ha-Young

Abstract

In this study we measured the changes according to time respectively on the basis of 0, 30, 60 and 90 minutes, taking into consideration the decline in fluidity of concrete according to elapsed time to analyze manufacturing capability of batcher plant according to elapsed time of ready-mixed concrete manufactured in batcher plant, and offer basic data for mixture design of ultra-high strength concrete. The proportion of water-binder was 23.5%, water content was 160kg/m³, proportion of replacement of crushed sand was 0, 20 and 40% at 3 level, and we applied to the same condition of triaxial component using blast furnace slag powder and silica fume as admixture. And to meet the demand of certain fluidity, we measured respectively on property before and after hardening of ultra-high strength concrete using superplasticizer.

As a result of experiment, before hardening of ultra-high strength concrete showed the best fluidity in conditions of crushed sand replacement rates of 20% and superplasticizer composition of 1.95%, but it appeared that fluidity drops as time goes by in the same composition condition. And it appeared that when it comes to hardened, the changes of compression strength according to elapsed time by crushed sand replacement rates were within 1MPa. Therefore, it turned out that the difference of strength according to elapsed time was low and compression strength of 28days in composition mentioned above appeared highly as 88MPa.

키워드 : 부순 모래, 제조 성능, 유동성, 초고강도 콘크리트, 삼성분계

Keywords : Crushed Sand, Manufacture Performance, Fluidity, Ultra-high Strength Concrete, Triaxial Component

1. 서론

콘크리트는 B.C 3세기부터 고대 로마사람들이 석회와 깨진 돌, 모래를 섞어 신전이나 기타 건물 등을 짓기 시작한데서 비롯되어 1902년 프랑스에서 콘크리트 제조기술이 발전하여 현재 이 기술은 고강도 콘크리트와 특수 양생 기술을 필요로 하는 단계까지 와있다. 이제는 건축물의 뼈대를 수 없는 주재료로서 레미콘 회사에서 배치 플랜트(Batcher Plant)라는 기계설비로 대량으로 자동계량 생산하여 많은 건설 현장에 신속히 보급되고 있는 실정이다. 또한, 오늘날 도심지의 특색과 상징성을 강조하는 초고층 건축물들의 등장과 콘크리트 용적의 70~80%를 차지하고 있는 골재자원의 고갈문제에 대응하는 부순모래의 사용이 활성화되면서 최근 이러한 부순모래를 천연 골재의 대체재로서의 사용을 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 실제적으로 현장에서 일부 레미콘에 적용되어 생산·시공되고 있는 실정이다.

* 정회원, 한밭대학교 공과대학 건축공학과 석사과정
** 정회원, (주) 삼표 기술 연구소 책임 연구원, 공박
*** 정회원, (주) 삼표 기술 연구소 소장, 공박
**** 정회원, 한밭대학교 건축공학과, 공박, 교수

레미콘의 등장으로 대량 생산 체제에 의한 공기단축과 불필요한 공정의 생략으로 인한 원가 절감, 정확한 배합 계량으로 균일한 품질의 확보 등의 장점도 있으나, 정작 실내 배합설계에 의한 시험 결과와 현장 적용을 위한 배치 플랜트(Batcher Plant)에 의한 시험 결과의 테이터는 다소 차이가 있다. 이는 비빔 시간과 표면수 보정의 오차, 오퍼레이터의 불분명한 제어의 제약적인 요소가 원인으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 국내의 레미콘 제조업체를 선정하여 보다 정확한 시험 데이터를 가질 수 있는 초고강도 콘크리트를 얻기 위한 배치 플랜트의 제조 성능을 분석하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험 계획은 표 1과 같이 시간의 경과에 의한 콘크리트의 유동성이 저하되는 점을 고려하여 0, 30, 60 및 90분을 기준으로 경시변화를 각각 측정하였으며, 물-결합재비는 23.5%, 단위수량은 160kg/m³, 부순모래의 치환율은 0, 20 및 40%의 3수준으로 설정하였고, 혼화제는 3종 고로슬래그 미분

말과 실리카흙을 사용하여 삼성분계의 동일한 조합조건을 적용하였다. 또한, 소정의 유동성을 만족시키기 위해 고성능감수제를 사용하여 초고강도콘크리트의 굳지않은성상 및 굳은성상을 각각 측정하였다. 측정항목으로는 굳지 않은 성상에서 슬럼프, 슬럼프 플로우, 50cm도달시간 및 유하시간을, 경화 성상에서 경과시간에 따른 각각의 재령별 압축강도를 측정하였다.

표 1. 실험 계획

항 목	조 건
G _{MAX} (mm)	20
W/B (%)	23.5
W (kg/m ³)	160
조합조건	SL4(50)SF10 ¹⁾
부순모래치환율(%)	0, 20, 40
상 태	시험항목
굳지 않은 콘크리트	슬럼프
	슬럼프 플로우
	50cm 도달시간
	O형 유하시간
굳은 콘크리트	압축강도 (재령 3, 7 및 28일)

주1) SL:고로슬래그미분말(치환율:50%), SF:실리카흙(10%)

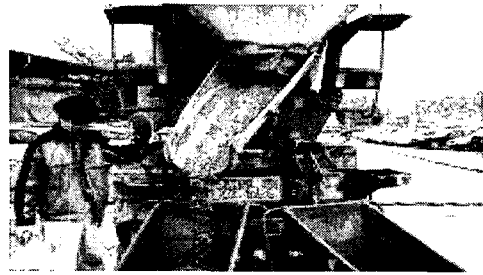


사진 1. 고강도 레미콘 생산 장면



사진 2. 슬럼프플로우 시험

사진 3. 슬럼프 시험

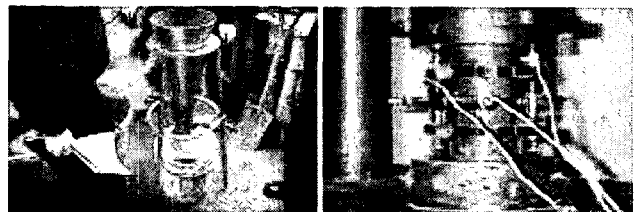


사진 4. O형 유하 시험

사진 5. 압축강도 시험

2.2 콘크리트의 배합 및 실험 방법

본 실험에 사용된 초고강도콘크리트의 배합은 표 2와 같이 물-결합재비는 23.5(%), 부순모래의 치환율은 0, 20 및 40(%), 단위수량은 160kg/m³로 설정하였다.

또한, 사진 1과 같이 콘크리트의 비빔은 S공장의 배쳐 플랜트를 사용하였으며, 비빔시간은 총 290초 정도가 소요되었다. 굳지 않은 콘크리트에 대한 슬럼프 플로우 시험은 사진 2와 같이 KCI CT-103, JASS 5T-503의 시험방법을 참고하였고, O형 유하시험은 사진 4와 같이 JSCE 콘크리트 기술시리즈 No. 15의 시험방법에 의해 실시하였다. 한편, 경화된 공시체는 20±3℃, RH 60%의 실내에 24시간 존치한 후 탈형하여 20±3℃의 수중에서 재령 28일간 습윤 양생을 실시하였다. 또한, 초고강도 콘크리트의 재령별 압축강도를 측정하기 위하여 사진 5의 압축강도용 공시체(φ10×20cm)를 제작하여 사용하였다.

표 2. 콘크리트 배합표

W/B (%)	S/a (%)	부순사치환율 (%)	조합 조건	W (kg/m ³)	Unit weight(kg/m ³)						SP (%)
					C	SL	SF	S1	S2	G	
23.5	44.0	0	SL4(50)SF10	160	272	341	68	656	0	842	1.80
		20			272	341	68	525	131	842	1.95
		40			272	341	68	394	263	842	2.05

2.3 사용재료

본 연구에서 사용된 각각의 재료 및 그 기초물성은 표 3~표 6에서 나타낸 바와 같다.

표 3. 시멘트의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (㎎/g)	용결시간 (h:m)		안정도 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)			화학적 성분(%)				
		초결	종결		3일	7일	28일	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SO ₃	강열감량
3.15	3,383	4:20	6:35	0.14	211	282	387	0.3	1.0	4.0	2.2	2.0

표 4. 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (㎎ ² /g)	염기도	플로우비 (%)	활성지수(%)			화학적 성분(%)			
				7일	28일	91일	염화물 이온	MgO	SO ₃	강열감량
2.90	4.495	-	96	83	116	131	0.009	5.0	0.9	0.09

표 5. 실리카 흙의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (㎎ ² /g)	강열감량 (%)	염화물 이온 (%)	활성지수(%)	주성분(%)						
					7일	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
2.10	25	1.3	0.19	99	92.6	0.7	1.69	0.31	1.03	0.15	

표 6. 골재의 물리적 성질

구 분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	표준 비중	흡수율 (%)	0.08mm체 통과량 (%)	실적율 (%)	단위용적 질량 (kg/ℓ)
잔골재 (강모래)	5	2.67	2.60	0.99	2.0	-	1.584
잔골재 (부순모래)	5	2.83	2.60	1.06	2.8	54.7	1.718
굵은골재	20	6.81	2.62	0.68	0.2	59.1	1.530

3. 시험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 성상의 결과 및 분석

일반적으로 레미콘 업체에서 레미콘을 제조하여 이동하는 거리 및 시간이 증가함에 따라 유동성은 저하하게 되어 보통 60분 이내로 경과시간의 변화를 보지만 최대 90분까지는 그 변화를 허용하는 실정이므로 본 연구에서도 레미콘운반 경과시간을 비빔직후부터 90분 이내에 콘크리트의 하차가 완료하는 시간으로 적용하여 분석하였다.

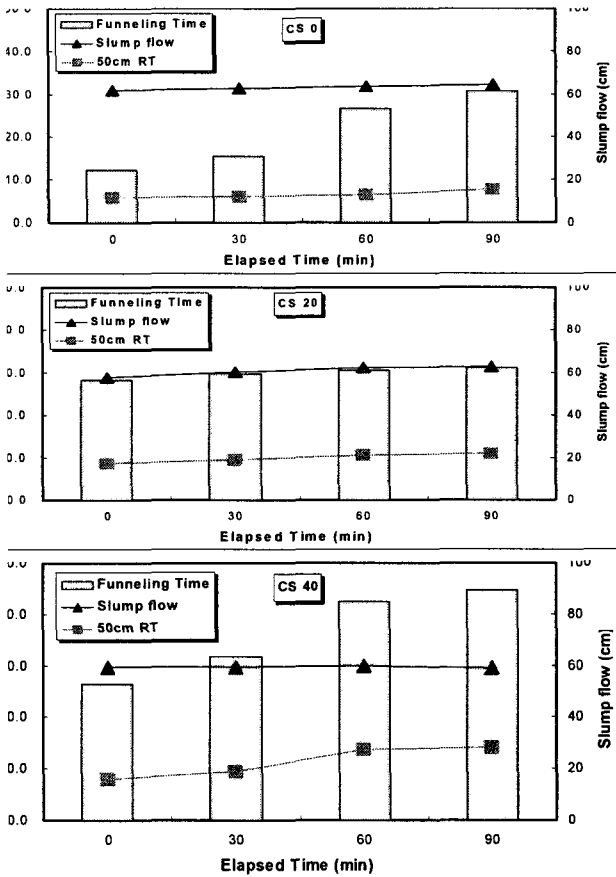


그림 1. 부순모래 치환율별 경과시간에 따른 유동성 시험결과 (I)

경과시간별 초고강도콘크리트의 굳지않은 성상을 분석한 결과 그림 2에서 보는바와 같이 슬럼프 플로우치는 경과시간이 0분일 때 58~62cm, 경과시간이 90분일 때 59~64cm 정도로 나타났고, 손실치는 0~5cm 정도로 양호하였다. 이와같이 슬럼프 플로우의 손실치가 적은 이유는 유지성분이 우수한 폴리카arbon 산계 고성능 감수제의 첨가량을 증가하여 사용했기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 결보기 점성을 알아보기 위한 0형 유하시간의 실험결과, 그림 1에서 보는바와 같이 부순모래 치환율에 따라 경과시간이 0분일 때 12~28초, 경과시간이 90분일 때 30~44초 정도로 나타났으며, 50cm도달시간은 경과시간이 0분일 때 5.8~8.7초, 경과시간이 90분일 때 7.7~14.2초를 나타내어 경과시간이 경과함에 따라 콘크리트의 점성은 점점 증가하였으며, 특히 부순모래의 치환율이 20%인 경우에는 경과시간에 따른 영향이 적은 것으로 나타났다.

그림 2 부순모래 치환율별 경과 시간에 따른 유동성 시험결과 (II)는 슬럼프와 슬럼프 플로우의 관계를 나타낸 것으로 경과시간에 따른 유동성의 차이는 큰 변화를 보이지 않고 것으로 나타났다. 부순 모래의 치환율이 0, 20, 40%일 때 슬럼프의 경시 변화를 분석한 결과 평균 경시 0분일 때 26cm, 경시90분 일 때 26.5cm로 나타났다. 또한, 슬럼프 플로우는 부순모래의 치환율이 40%일때 다소 감소하는 경향으로 나타났다. 이와 같은 부순모래의 치환율에 따른 유동성의 저하는 부순모래의 불규칙한 입형 및 표면으로 인한 입자 상호간의 맞물림 현상에 의한 마찰의 증대로 인한 것으로 사료된다.

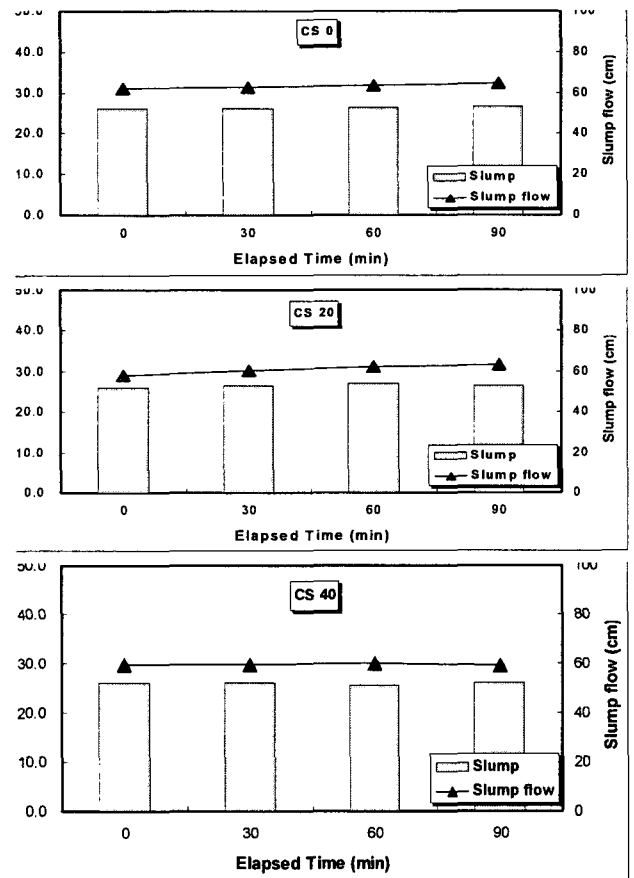


그림 2. 부순모래 치환율별 경과시간에 따른 유동성 시험결과 (II)

3.2 경화 성상의 결과 및 분석

초고강도콘크리트의 경화 성상을 분석한 결과, 그림 3과 같이 강도발현 성상은 재령 28일을 기준으로 부순모래의 치환율이 0%일때, 경과시간 0분 및 90분에서는 81.9~81.3MPa, 부순모래의 치환율이 20%일때, 경과시간 0분 및 90분에서는 79.4~88.2MPa, 부순모래의 치환율이 40%일 때, 경과시간 0분 및 90분에서는 84.1~80.4MPa를 나타내었다. 부순모래의 치환율별 경과시간에 따른 초고강도콘크리트의 압축강도 변화는 1MPa 이내로서 경과시간의 변화에 따른 강도의 차이는 크게 나타나지 않았다. 이와 같은 경향은 경과시간에 따라 단위수량이 변화되는 일반강도 콘크리트와는 달리 고성능 감수제의 사용에 의한 것으로 판단된다.

특히, 부순모래의 치환율이 20%에서 고성능감수제를 1.95% 첨가한 배합에서 재령28일의 압축강도가 88MPa로 높게 나타났다. 따라서, 부순모래의 치환율이 증가할수록 대부분 높은 압축강도의 발현성상을 나타내고 있어 향후 초고강도콘크리트 영역에서의 부순모래 사용이 확대될 것으로 사료된다.

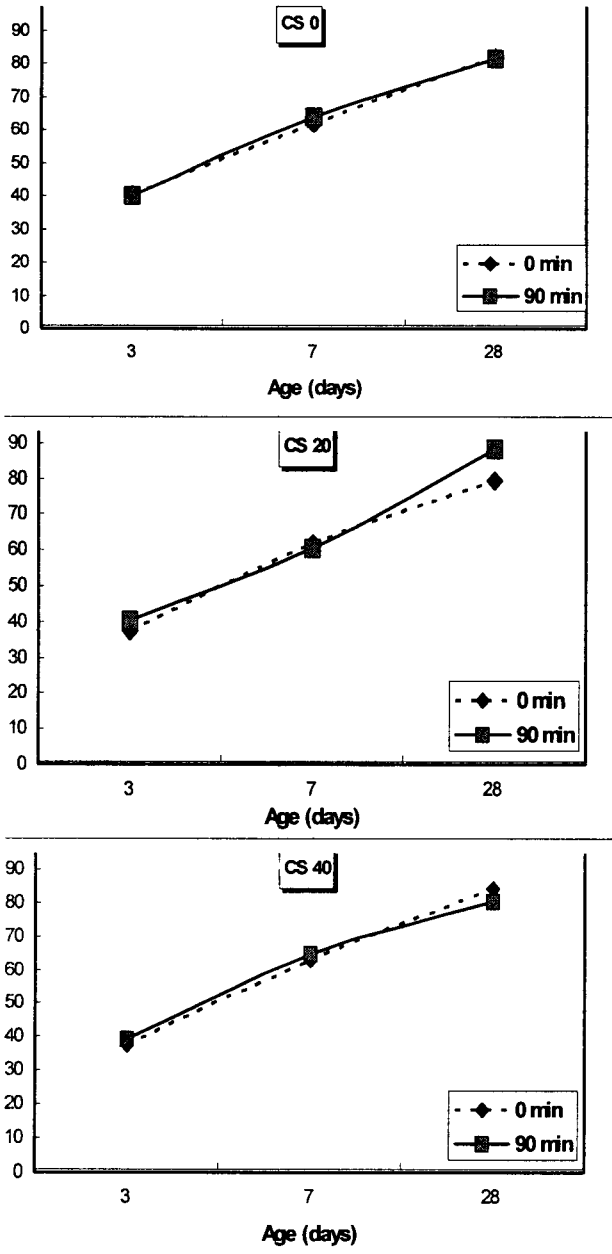


그림 3 부순모래의 치환율별 경과 시간에 따른 압축강도 시험결과

4. 결론

부순모래를 사용한 초고강도 콘크리트의 레미콘 제조 성능에 관한 각종 공학적 특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 부순모래의 치환율별 경과시간에 따른 슬럼프 시험결과 0.5cm이하의 차이를 나타내고 있어 부순모래의 치환율 및 경과시간이 증가할수록 그 차이는 미약한 것으로 나타났다.
- 2) 또한, 슬럼프 플로우 시험 결과 플로우의 손실치는 0~5cm로 양호한 성상을 나타내고 있으며, 이에 따른 50cm도달 시간은 경시변화에 따라 5.8~14.2초를 나타내어 경과시간이 경과함에 따라 콘크리트의 점성은 점점 증가하였다. 특히, 부순모래의 치환율이 20%인 경우에는 경과시간에 따른 영향이 적은 것으로 나타났다.
- 3) 초고강도 콘크리트의 경화성상인 재령별 압축강도 시험결과 초고층 구조물에서 요구하는 설계기준강도 60~80MPa보다 다소 높은 79.4~88.2MPa의 수준으로 나타났다.
- 4) 따라서, 종전의 배치 플랜트(Batcher Plant)의 제조 공정에서 지적되었던 문제점들을 기초적인 자료를 바탕으로 본 연구에서 충분히 검토함으로써 향후 80MPa이상의 초고강도 콘크리트의 제조에 있어 배치 플랜트(Batcher Plant)를 이용하여 안정적으로 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 日本建築學會: 콘크리트의調合設計指針同解説, 1999
2. 日本建築學會: 高強度콘크리트의技術의現狀, 1991. 1
3. 清水建設社內資料: 高強度콘크리트研究小委員會資料, 2004. 11
4. 김무한 외, EEZ모래와 부순모래를 사용한 레미콘의 굳지않은 성상 및 경화성상에 관한 연구, (사)한국건설기술학회 춘계 학술논문 발표대회 논문집, 제6권1호, 2006.05, p53~56
5. 최세진 외, 부순모래 대체율에 따른 고강도 콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 연구, (사)한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제18권2호, 2006.11, p437~440