

잔골재 종류에 따른 고유동 콘크리트의 유동 특성

Comparison of rheological properties containing natural and crushed sands in self-compacting concretes

이 근 수*	최 열**	정 웅***	이 재 익****
Lee, Keun Su	Choi, Yeol	Jung, Woong	Lee, Jae Ik

ABSTRACT

In recent, the crushed sand as a fine aggregate has increasingly used for concrete industry due to the shortage of natural sand from river and the growing demand for protection of natural environments. Aggregates may have a significant influence on the properties of self-compacting concrete (SCC) including self-compacting mortar (SCM). The rheological properties of SCC and SCM using crushed sand as a fine aggregate has been compared to that of SCC and SCM using natural sand and mixed sand of both. Test results indicate that the yield stress of SCM containing 50% of mixed sand present higher than those prepared with natural sand and crushed sand according to SP content. the slump values of SCC with natural sand have approximately 5-15% higher than those of SCC with crushed sand. Also the L-box test values (H_2/H_1) of SCC with natural sand have approximately 20-30 higher than those of SCC with crushed sand under same water/cement ratio and viscosity enhancing admixture.

요 약

최근, 하천에서 얻을 수 있는 자연모래의 부족과 환경 보호에 대한 요구 등으로 인해 잔골재로써의 부순 모래가 콘크리트 산업에서 사용이 증가되고 있다. 골재는 자기충전 모르타르(SCM)를 포함한 자기 충전 콘크리트(SCC)의 특성에 큰 영향을 준다. 잔골재로 부순 모래를 사용한 SCC와 SCM의 유동적 특성을 자연 모래를 사용한 것과 두 가지를 섞은 모래를 사용한 SCC와 SCM과 비교 하였다. 실험결과는 50% 섞인 모래가 포함된 SCM의 yield stress가 SP 함유량에 따른 자연 모래와 부순 모래보다 높다는 것을 보여준다. 자연모래 SCC의 슬럼프 값은 부순 모래의 SCC보다 거의 5-15% 높다. 또한 같은 물/시멘트비와 증점제에서 자연모래 SCC의 L-box test 값은 부순 모래 SCC보다 거의 20-30% 높다.

* 정희원, 경북대학교, 철근콘크리트연구실, 석사과정
** 정희원, 경북대학교, 건축토목공학부, 교수
*** 정희원, 경북대학교, 철근콘크리트연구실, 석사과정
**** 정희원, 경북대학교, 철근콘크리트연구실, 석사과정

1. 서론

지난 20년 동안 자기 충전 콘크리트 (SCC)는 높은 유동성과 분리에 대한 강한 저항성으로 폭 넓게 발전 되어 왔다. 그러나 최근 잔골재로 사용되는 부순 모래는 자연 모래의 부족과 환경 보호의 요구가 높아짐에 따라 그 사용이 증가 되고 있다. 부순 모래는 자연모래와 비교 했을 때 모양, 강도, 비중과 화학적, 광물적 구성이 다르다. 이것은 부순 모래의 특성이 원석과 공정 과정에 큰 영향을 받는다는 것을 뜻한다[1]. 이 모든 차이는 SCC의 생 콘크리트의 유동적 특성을 포함한 자기 충전 콘크리트의 특성에 중요한 영향을 미친다. 즉 본 연구의 주요 목적은 자기 충전 콘크리트의 유동적 거동에서 잔골재로써의 부순 모래의 영향에 대한 실험적 정보를 제공하는 것이다.

2. 실험 방법

2.1 재료

SCC에서 잔골재로의 부순 모래의 영향에 대한 비교를 하기 위해, 본 연구에서는 자연 모래, 부순 모래, 그리고 자연 모래와 부순 모래를 50% 혼합한 것 등 세 가지의 다른 잔골재를 사용하였다. 이들 세 가지 다른 종류의 잔골재의 특성에 대한 요약은 표 1에 주어진다.

표 1 Summary of the characteristics of the fine aggregates

Characteristics	Natural sand (NS)	Crushed sand (CS)	50% mixed sand
Specific gravity	2.56	2.60	2.51
Absorption capacity (%)	0.73	0.52	0.65
Moisture content (%)	1.79	0.95	1.38
Fineness modulus	2.42	3.25	2.70

이 실험 프로그램에서는 비중이 3.16이고 분말도가 3548 cm^2/g 인 type I 시멘트가 사용되었다. 고성능 감수제는 비중이 1.04, PH=6.7 그리고 19%의 고형물을 가진 폴리 카본계 감수제를 사용했으며 증점제로는 아크릴 혼합물이 사용되었다.

2.2 배합설계와 비율

2.2.1 자기 충전 모르타르

보통 포틀랜드 시멘트(type I)와 시멘트 량의 20%를 치환한 fly-ash, 고성능 감수제 (SP)와 증점제 (VEA)를 혼합한 총 18개의 자기 충전 모르타르 (SCM)는 자연 모래(NS), 부순 모래(CS)와 자연 모래와 부순 모래를 50%섞은 것(NCS50) 이 세 가지 다른 타입의 골재의 유동특성을 파악하였다. SCM의 유동적 특성은 상온에서 작은 sample adapter spindle이 장착된 Brookfield사의 Rheometer(Model DV-III Ultra)를 사용해 측정되었다. 시험은 각각 100, 50, 30, 20, 10, 5 rpm 한 단계씩 진행되었다. 각 spindle의 rotational speed, torque, shear rate, shear stress, 와 viscosity data는 측정 프로그램을 사용해 기록 되었다. 또한 SCM slump flow test는 밀면 지름 100mm, 윗면 지름 70mm, 높이 50mm의 잘려진 원추형 모양의 슬럼프 기구를 사용해 측정했으며, 모든 테스트는 실온 상태에서 측정했다.

2.2.2 자기 충전 콘크리트

세 가지 다른 타입의 잔골재를 사용한 자기 충전 콘크리트(SCC)의 유동적 특성을 평가하기 위해, 36개 SCC 혼합물은 0.45의 일정한 물시멘트비로 실험되었다. SCC에 대한 배합 비율은 표3에 주어졌다. 이 연구에 사용된 잔골재와 굵은 골재의 내용은 골재의 비중과 분말도율에 따라 약간 바뀌어졌다.

표 3 Mix proportions of basic SCC concrete

Mix	Cement (kg/m^3)	Fly ash (kg/m^3)	Water (kg/m^3)	Fine Agg. (kg/m^3)	Coarse Agg. (kg/m^3)	SP (kg/m^3)	VEA (kg/m^3)
SCC-NS	400	100	180	834	795	1.0, 1.5 and 2.0%	0.25 and 0.5%
SCC-CS	400	100	180	885	742	1.0, 1.5 and 2.0%	0.25 and 0.5%
SCC-NCS	400	100	180	860	768	1.0, 1.5 and 2.0%	0.25 and 0.5%

또한 각각의 세 가지 다른 잔골재가 혼합된 SCC의 유동적 특성을 측정하기 위해, slump flow test, L-box test, V-funnel test, T₅₀₀ test 가 본 연구에 사용되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 자기 충전 모르타르

viscosity와 일정한 물시멘트비에서의 shear stress, 그리고 세 가지 다른 타입의 잔골재의 전형적인 변화는 그림1과 2에서 나타난다. viscosity는 속도(rpm)의 증가에 따라 줄어들고, 50% 섞인 모래 SCM은 다른 두 가지 경우보다 높은 값을 보여준다. 이는 자연 모래가 부순 모래에 섞이면서 더 조밀해지는 충전 효과 때문이다. 그러나 shear stress는 부순 모래의 SCM이 다른 두 가지 케이스 보다 조금 높다는 것을 보여준다. SCM의 부순 모래 골재 사이에서 마찰이 더 발생하기 때문이다.

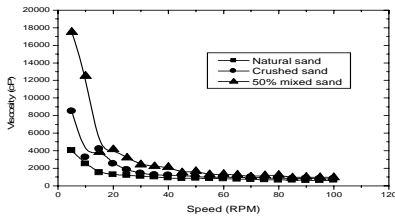


그림 1 A typical variation of viscosity

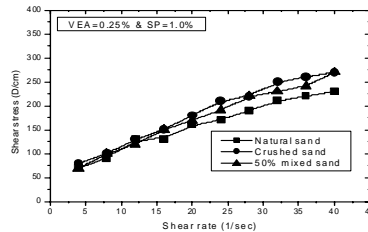


그림 2 A typical variation of shear stress

그림3은 일정한 물시멘트비(0.45)와 증점제 상에서 세 가지 다른 잔골재에 대한 SCM의 전형적인 yield stress를 보여준다. 50%섞인 모래를 포함한 SCM의 yield stress는 SP가 함유된 자연모래와 부순 모래 상태 보다 높게 나타난다. 이 실험적 결과는 SCM의 유동적 특성은 잔골재의 형태와 관계가 있음을 보여준다. 잔골재로의 자연모래와 부순 모래사이의 배합 비율은 자기충전 콘크리트의 유동적 특성에 영향을 줄 수 있다.

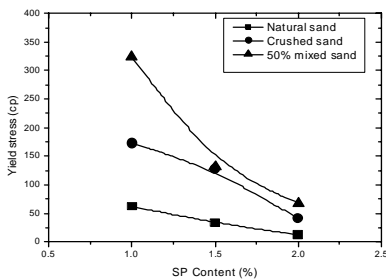


그림 3 Typical variation of yield stress

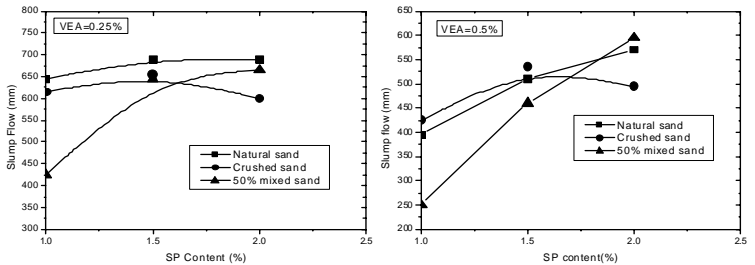


그림 4 Slump flow of self-compacting concrete

3.2 자기 충전 콘크리트

SCC에 대한 유동성 시험의 결과는 표4와 같다. 자연 모래의 SCC의 슬럼프 값은 부순 모래 SCC 보다 거의 5-15% 높다. 또한 자연모래의 L-box test 값(H₂/H₁)은 같은 물시멘트비와 증점제 상에서 부순 모래의 SCC 보다 거의 20-30 높은 값을 가진다. 그러나 T₅₀₀과 Y-funnel test는 각 케이스 마다 넓은 변화를 보여준다.

표 4 Properties of SCC mixes (VEA=0.25%)

SP (%)	Natural sand				Crushed sand			
	Slump Flow (mm)	L-box	T ₅₀₀ (sec)	Y-funnel (sec)	Slump Flow (mm)	L-box	T ₅₀₀ (sec)	Y-funnel (sec)
1.0	645	0.85	15.8	2.53	615	0.68	8.83	1.30
1.5	680	0.89	10.90	2.60	655	0.60	21.43	3.62
2.0	690	0.92	18.30	1.48	600	0.65	11.00	2.43

슬럼프 콘을 사용해서 결정한 세 가지 다른 잔골재의 SCC의 슬럼프 값은 0.25와 0.5의 증점제 각각에 대하여 그림4에서 나타난다. 고성능 감수제의 포함에 따라, 50% 섞은 SCC의 슬럼프 값은 자연 모래와 부순 모래의 SCC보다 크게 증가한다는 것을 그림4를 보면 알 수 있다. 이 결과는 섞은 모래를 이용해 원하는 SCC의 슬럼프 값을 쉽게 조절할 수 있음을 나타내고 있다.

4. 결론

이 논문은 세 가지 다른 종류의 잔골재의 SCM과 SCC의 유동적 특성에 대한 포괄적인 실험적 연구를 보여준다. 실험적 결과에 의해, 도출되는 결과는 다음과 같다.

1) 부순 모래를 포함한 자기 충전 모르타르의 viscosity는 자연 모래를 포함한 SCM보다 약간 높게 나타난다. 그러나 50% 섞인 모래를 포함한 SCM은 가장 높은 값을 보여준다.

2) 부순 모래를 포함한 자기 충전 모르타르의 yield stress는 자연 모래를 포함한 SCM보다 약간 높게 나타난다. 이 실험적 결과는 SCM의 유동적 특성은 잔골재의 종류와 연관이 있음을 나타낸다. 잔골재로의 자연 모래와 부순 모래의 배합 비율은 자기 충전 콘크리트의 유동적 특성에 영향을 줄 수 있다.

3) 자연 모래의 SCC의 슬럼프 값은 부순 모래의 SCC 보다 거의 5-15% 높게 나타난다. 또한 같은 물시멘트비와 증점제 상에서 자연 모래의 SCC의 L-box test 값(H_2/H_1)은 부순 모래의 SCC보다 거의 20-30 높게 나타난다.

4) 향후 자기 충전 모르타르와 자기 충전 콘크리트의 유동적 특성에 대한 분산된 결과에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 2008년도 CTRM[고성능/다가능 콘크리트 핵심 및 활용기술개발]에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 더불어 이 논문은 2007년도 두뇌한국21 (BK21) 사업에 의해 지원 되었습니다.

참고 문헌

1. J.P. Goncalves, L.M. Tavares, R.D. Toledo Filho, E.M.R. Fairbairn, E.R. Cunha, Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars, *Cement and Concrete Research*, 37 (2007) 924-932.
2. J.K. Kim, C.S. Lee, C.K. Park and S.H. Eo, The fracture characteristics of crushed limestone sand concrete, *Cement and Concrete Research*, 27 (1997) 1719-1729.
3. Wenzhong Zhu and John C. Gibbs, Use of different limestone and chalk powers in self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 35 (2005) 1457-1462.
4. H. Donza, O. Cabrera, and E. F. Irassar, High-strength concrete with different fine aggregate, *Cement and Concrete Research*, 32 (2002) 1755-1761.
5. P.L. Domone, A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete, *Cement & Concrete Composites*, 32 (2007), 1-12
6. Jean-Yves Petit, Eric Wirquin, Yannick Vanhove and Kamal Khayat, Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Research*, 37 (2007) 655-670
7. Mustafa Sahmaran, heru Ari Christianto, Ismail Qzgur Yaman, The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars, *Cement & Concrete Composites*, 28 (2006) 432-440.