

자기충전 콘크리트의 재생골재 혼입을 위한 실험적 연구

Experimental Study on mixing of Recycled Concrete Fine Aggregate in Self-Consolidating Concrete

송 일 현* 류 재 석** 김 종 필*** 박 광 필**** 김 성 수*****

Song, Il Hyun Ryou, Jae Suk Kim, Jong Pil Park, Kwang Pil Kim, Seong Soo

ABSTRACT

Recently, it is the well-known that there are some kinds of problem the waste concrete generated while repairing, reinforcing and dismantling of structures in the domestic and overseas. In this paper, various tests were performed about the use of the recycled concrete fine aggregate for the materials of high quality and structural concrete. And also, in order to improve structural performance of the concrete structure the steel frame was under overcrowded arrangement of steel bar. Consequently, it was necessary the Self-Consolidating Concrete(SCC) that can fill the concrete into the work-form corner which has become overcrowded arrangement of steel bar without any other vibration. The purpose of this study is related to the properties of Self-Consolidating Concrete(SCC) according to mixing ratio of recycled concrete fine aggregate.

요 약

최근 구조물의 보수·보강 및 해체시 발생하는 건설폐기물이 많은 문제점을 갖고 있다는 건 국내·외적으로 잘 알려진 기정사실이다. 본 연구에서는 건설폐기물, 특히 건설폐기물 중에서도 폐콘크리트에서 발생하는 재생골재의 품질을 확보하여, 고부가가치재(천연골재 대체재) 및 구조용 재료로써 사용 가능한지를 검토 하였다. 또한, 근래에는 콘크리트 구조물의 구조적 성능을 개선시키기 위해 철근을 과밀 배근하게 함으로써 거푸집내의 채움 정도를 확보하기 위한 고성능 콘크리트의 필요성이 대두되기 시작하였는데 즉, 별도의 다짐 없이 과밀 배근된 거푸집 구석까지 쉽게 채울 수 있는 자기충전 콘크리트(Self-Consolidating Concrete)의 특성을 활용하여 재생골재의 혼합범위에 따른 물리적 및 역학적 거동 특성을 함께 검토하였으며, 실험 결과 적당한 범위 내에서 만족할 만한 결과를 얻었고, 이를 실제 구조물에 적용 하기위한 내구 특성에 대한 연구가 필요하게 되었다.

* 정회원, 한양대학교, 토목공학과, 석사과정
** 정회원, 한양대학교, 토목공학과, 교수
*** 정회원, 부천대학, 토목과, 강의전담교수
**** 정회원, 대진대학교, 토목환경공학과, 박사수료
***** 정회원, 대진대학교, 건설시스템공학과, 교수

1. 서 론

지난 반세기 동안 우리나라는 눈부신 경제 성장으로 물질적 풍요 및 삶의 질은 한층 더 높아 졌지만 무분별한 환경오염 및 생태계 파괴가 별다른 규제 없이 묵인 되어온 것 또한 사실이다. 최근 들어 지난 1992년 브라질 리우데나네이루에서 열린 국제 연합 환경 개발 회의에서 지구를 보호하고 보전하자는 국제적인 약속 체결을 위한 ‘리우 선언’ 과 그 실천계획인 ‘의제(Agenda) 21’을 채택한 바 있다. 이에 따른 한 가지 실천 방안으로 현재 콘크리트 제조 시 사용되는 골재 부족난을 충당하기 위해 건설폐기물에서 발생하는 폐콘크리트를 재활용 하여 환경 보전 및 경제적 손실 절감 이라는 것이다.

따라서 본 연구에서는 건설폐기물에서 발생하는 폐콘크리트 재생골재의 품질을 확보하여 자기충전 콘크리트(이하 SCC로 약함)의 구조용 재료로써 사용 가능성 여부와 물리적 및 역학적 특성을 검토하여 향후 재생골재의 활용 방안을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였고, 반응성 분체는 국내 S사의 광물질 혼화제인 플라이애쉬(이하 FA로 약함)를 사용 하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 및 광물질 혼화제의 물리·화학적 특성

Item Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Specific gravity (g/cm ³)	Surface area (cm ² /g)
OPC	20.8	6.3	3.2	62.0	3.3	2.2	—	—	—	3.15	3,200
FA	56.4	23.4	7.9	3.0	1.5	—	0.4	1.4	1.2	2.22	3,317

또한, 골재는 경기도 포천지역에서 생산되는 굵은 골재 및 천연 잔골재를 사용 하였으며, 굵은 골재(이하 G로 약함)는 부순 골재를 천연잔골재(이하 Na로 약함)는 강중사와 부순 골재를 혼합한 혼합 골재를 각각 사용하였다. 또한 재생골재(이하 Re로 약함)는 국내 I사의 콘크리트용 재생골재 품질기준을 만족하는 골재를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 골재의 물리적 성질

Item Type	G _{max} (mm)	비중(g/cm ³)	흡수율(%)	F.M
Na	—	2.58	1.26	2.49
G	17	2.60	0.86	7.30
Re	—	2.48	4.5	3.70

마지막으로 혼화제는 콘크리트 작업 환경 확보 및 슬럼프 조절을 위한 국내 E 사의 폴리카르본산계인 갈색액체(이하 SP라 약함) 유동화제를 사용하였고, 아울러 슬럼프 조절에 따른 재료분리 저항성을 위하여 증점제를 겸용하였다.

2.2 실험 방법

1) Slump flow 시험

굳지 않은 콘크리트의 반죽질기를 측정하는 방법과 동시에 워커빌리티를 판정하는 하나의 수단으로써 가장 널리 평가할 수 있는 Slump flow는 일반 콘크리트의 Slump 실험(KS F 2402)과 동일하다.

2) L-Box 시험

L-Box는 굳지 않은 콘크리트의 동적 및 정적인 재료 분리 저항성뿐만 아니라 철근 사이를 통과하여 거푸집내의 채움 능력을 평가한다. L-Box는 L형 박스에 콘크리트를 채운 후 약 1분이 경과하면 게이트를 들어 올려 콘크리트가 끝단에 도달하는 시간을 기록하고 흐름이 완전히 멈춘 후 H_2/H_1 을 측정한다. 이때 H_2/H_1 을 블로킹비율(blocking ratio)이라하며 1.0에 가까울수록 흐름 및 충전성이 우수함을 나타낸다.

3) U-Box 시험

U-box는 U형 박스에 콘크리트를 채운 후 약 1분이 경과하면 게이트를 들어 올려 콘크리트가 반대편으로 자유롭게 흐를 수 있도록 하여 흐름이 완전히 멈춘 후 L-Box 시험과 동일하게 H_2/H_1 을 측정하며, 이 또한 1.0에 가까울수록 우수함을 나타낸다.

4) VSI(Visual Stability Index) 시험

Slump flow 시험 후 SCC의 상태를 육안 식별 지수의 등급에 의한 콘크리트의 상태를 4(0~3)의 등급으로 구분함으로써 SCC의 재료 분리 저항성 및 안정성을 평가한다. 표 3은 육안 식별 지수의 등급과 그에 따른 콘크리트의 평가를 나타낸다.

표 3. 육안 식별 지수의 등급과 콘크리트의 평가

평가	등급	기준
높은 안정성	0	재료 분리가 없음
안정성	1	재료 분리는 없으나 약간의 블리딩 및 공기 방울이 표면으로 떠오름
불안정성	2	약간의 재료 분리가 나타나고 과도한 블리딩이 발생함
높은 불안정성	3	심각한 재료 분리가 일어남

5) 압축강도 시험

본 실험에서 사용된 압축강도 공시체는 KS F 2403에 제시된 방법에 따라 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 원주형 공시체를 제작하였고, 재령일 동안 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중 양생을 실시한 후 KS F 2405에 제시된 방법에 따라 압축강도 시험을 실시하였다.

2.3 실험 배합

일본토목학회(이하 JSCE로 약함)에 분류된 “자기충진 콘크리트의 시험방법” 2등급 성능 기준을 선정하여 SCC의 성능평가를 만족하는 기준배합(W/B=35%, S/a=49%)을 결정하였다. 또한, 재생잔골재의 치환률은 천연잔골재 대비 5수준(0, 25, 50, 75 및 100)으로 변화시켜 굳지 않은 SCC의 자기충진성 과 경화한 SCC의 강도 특성을 검토하였으며, 유동화제는 분체량의 1.2%, 증점제는 혼합수량의 0.6%를 각각 사용하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

상기에 서술한 내용을 토대로 천연잔골재 대비 재생잔골재를 5수준의 혼합변수로 두고 Slump

flow, L-Box, U-Box 및 VSI를 측정·비교 정리한 것이 표 4와 같다. 또한, 잔골재혼합별 5수준의 압축강도 특성은 표 5와 같다.

표 4. Slump flow, L-Box, U-Box 및 VSI의 비교

Mixing ratio (Na: Re)	Slump flow		L-Box			U-Box			VSI
	T_{50} (mm)	D(mm)	H_1 (mm)	H_2 (mm)	H_2/H_1	H_1 (mm)	H_2 (mm)	H_2/H_1	
1(100:0)	9	630	140	120	0.86	370	350	0.95	0
2(75:25)	11	610	140	120	0.86	390	330	0.85	0
3(50:50)	14	600	150	110	0.73	405	320	0.79	0
4(25:75)	17	560	160	100	0.63	420	300	0.71	1
5(0:100)	24	520	175	85	0.49	460	260	0.57	2

유동성 측정 결과 재생잔골재 혼합률이 25%씩 증가함에 따라 Slump flow, L-Box 및 U-Box는 비례적으로 감소 하였고, 혼합률이 50%정도 까지는 JSCE에 준하는 목표성능을 만족하였지만 혼합률이 75 및 100%일 경우에는 목표성능을 만족하지 못하였다. 또한, 육안 식별 지수(VSI)에 의한 안정성 평가에서도 혼합률 50%까지는 재료 분리 및 블리딩이 없는 0등급의 높은 안정성 평가가 나온 반면, 혼합률 75%에서는 1등급의 안정성, 혼합률 100%에서는 불안정성의 2등급을 각각 나타냈다.

표 5. 압축강도 특성

Mixing ratio (Na: Re)	3 day	7 day	21 day
1(100:0)	22	30	42
2(75:25)	26	35	45
3(50:50)	25	33	41
4(25:75)	24	32	40
5(0:100)	22	31	38

압축강도 결과 예서는 재생잔골재 혼합률 25%일 때 가장 높은 강도 특성을 보였으며, 그 이후의 혼합률에서는 강도가 비례적으로 감소함을 알 수 있었다. 특히, 주목할 만 한 점은 천연잔골재만을 사용했을 때보다 재생잔골재를 25% 혼입했을 때 강도 발현이 더욱 컸는데 이는 잔골재 조립률이 우수하여 강도, 수밀성 등 소요의 품질의 콘크리트를 만들었기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구의 결과를 정리해 볼 때, 재생잔골재의 혼합률이 증가 할수록 SCC의 유동성은 전반적으로 감소하는 경향을 보였고, 육안 식별 지수(VSI)에 의한 안정성 평가에서도 재생잔골재의 혼합률이 증가 할수록 낮은 평가를 보였다. 또한 역학적 측면에서 압축강도 특성을 보면 재생잔골재 혼합률 25%에서 가장 높은 강도 발현이 나타났는데, 이는 천연잔골재만을 사용했을 때 보다 오히려 재생잔골재의 25% 혼합이 역학적으로 우수한 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 이를 종합해 볼 때, 천연잔골재만을 사용했을 때보다 약 25%정도의 재생잔골재를 혼입하여 사용하는 것이 더 우수한 효과를 나타냄을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 환경부, “전국 폐기물 발생 및 처리현황”, 폐기물통계, 환경부, 2006
2. 김종필, 이승태, 정호섭, 박광필, 김성수, “循環骨材를 混入한 모르타르 硬化體의 耐久 特性”, 자원리사이클링 학회, Vol. 16, No. 6, pp. 20~27, 2007
3. Japan Society of Civil Engineering(JSCE), 高流動 콘크리트-施工指針, JSCE, 2000