폐콘크리트를 이용한 건자재 상품화 개발을 위한 연구

A Study for Developing Construction Goods by Waste-Concrete

남기룡* 서치호** 이광명*** 이건영**** 최경선*****
Nam, Ki Ryong Suh, Chi Ho Lee, Kwang Myung Lee, Gun Young Choi, Kyung Sun

Abstract

As Waste-concretes generated in construction field are increasing, it is becoming difficult and expensive to dispose them. For environmental reasons, many attempts have been made to find ways of reusing these materials. however, very little waste-concrete is currently recycled or reused anywhere in the world. Recycled concrete is mainly used as nonstabilized base or sub-base in highway construction. In this study, in order to promote the reuse of the waste-concretes, no-fines concrete blocks using recycled concrete aggregates were produced and their properties are evaluated. From the test results about strengths, pemeability, and durability, it is known that to use recycled aggregates for construction goods is promising and economical.

1. 개 요

무세골재 콘크리트의 기원은 네덜란드이며, 1923년 영국에 처음 소개된 이래 이 콘크리트에 대한 폭넓은 연구와 활용방법이 강구되었으며 영국 등 유럽지역에서 많이 사용된 것은 전후복구에 건축재료의 부족으로 시멘트량 및 공기를 단축시킬 수 있는 장점 등이 반영된 것으로 생각된다. 건설폐기물의 효율적 재활용측면에서 폐콘크트로부터 발생되는 재생골재를 적극 활용하므로서 부족한 골재의 공급을 확보하고 폐콘크리트의 매립처분 비용과 천연골재의 가격 및 구입운반 거리에 따른 비용을 줄이고 생콘크리트의 굵은 골재를 이용한 투수성 보도블록 실험실무를 수행하였다.

* 정회원, 한라건설(주) 기술연구소, 책임연구원
** 정회원, 건국대 건축공학과 교수
*** 정회원, 성균관대 토목공학과 교수
**** 정회원, 한라건설(주) 기술연구소, 연구원
***** 정회원, 한라건설(주) 기술연구소, 연구원

2. 실험개요

2.1 사용재료

무세골재(No-Fines)콘크리트는 잔골재를 사용하지 않고 시멘트와 굵은골재 그리고 물을 배합하여 만든 콘크리트이다. 일반 콘크리트에 비하여 공극이 크고 밀도가 작고 건조수축이 적으며 동결에 강하고 투수성이 좋은 반면, 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트의 그것보다 작다. 실험에 사용할 재생골재는 대전 재활용센터에서 구입하였으며 골재의 물성시험결과는 표1과 같다.

표 1 골재의 물성시험표

골재크기	비중	단위중량	마모율	공극율	흡수율	조립율
19(mm)	2.33	1,881(kg/cm^3)	23.7(%)	19.3(%)	7. 17(%)	6.61

2.2 무세 콘크리트 배합

골재에 대한 시멘트의 용적배합비는 1:6, 1:10, 1:11, 1:12, 1:13 으로 선정하였으며 배합비 1:6을 기준으로 하였다. 물-시멘트 비는 시멘트 페이스트의 골재피복 및 점착력에 따라 결정되며, 물의 양이 많을 경우 실험체(공시체) 하부에 시멘트 페이스트가 몰리거나 골재분리 및 작업이 곤란한 경향이 있어 최소 물-시멘트비 35%를 적용하였다.

2.3 공시체 제작 및 강도측정 방법

골재, 시멘트 순으로 회전속도 33RPM인 강제 믹서에 투입하여 1분간 건비빔 한 후 사용할 물 전체의 3/4를 첨가하여 1분간 비빈 후 남은 물을 첨가한 후 1분 30초간 혼합하였다. 시험방법은 KS F2405(콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F2423(콘크리트의 인장강도 시험방법), KS F2407(콘크리트의 휨강도 시험방법)의 규정에 따라 수행하였다.

3. 실험결과에 대한 분석 및 고찰

3.1 압축강도

100 tonf 용량의 U.T.M.(Universal Testing Machine)을 이용하여 공시체의 단면응력이 초당 1.3~3.5Kgf/cm2씩 증가하도록 일정한 속도로 하중을 가하여 강도를 측정하였다. 강도측정시 실험체 자체에 공극이 많아 capping의 어려움이 있었으며 강도측정 직전 compound로 캡핑한 후 실험하였다.

3.1.1 무세골재 입도에 따른 강도 변화

배합시 사용한 물-시멘트비와 무세골재 입도에 따라 재령 28일의 강도는 상이하게 나타나고 있으며 골재 크기가 No.4~10mm인 경우 단위시멘트량 220kg/m^{3}을 사용하였을 때 가장 큰 값을 얻었으며, No.4~13mm인 경우 시멘트 사용량과 압축강도가 비례하였다. 표 2의 시료 1, 2, 3, 시료 7, 8, 9, 시료 13, 14, 15 에서 알 수 있듯이 일반골재와 마찬가지로 재생골재의 입도가 양호한 경우 강도발현에 유리함을 알 수 있다. (표 2, 그림 1)

표 2 무세골재 입도와 시멘량의 변화에 따른 강도특성

시료 번호	절대 용적비	W/C (%)	재생골재 크기(mm)	Material Quantity(kg)				압축강도		할렬	휨	비고
				Gravel	Binder		W	σ_{28}	동결 융해후	σ_{28}(kgf/cm^2)		
					C	F/A						
1				1068	240	0	84	75.9	81.5	10.3	47.4	
2				980	220	0	77	94.1	83.9	-	-	
3			4.7~10.0	895	200	0	70	86.8	65.4	-	-	
4				1068	216	24	84	50.7	44.0	-	-	
5				980	198	22	77	43.9	78.6	-	-	10%
6				895	180	20	70	41.5	81.9	-	-	
7				1068	240	0	84	85.7	61.1	17.2	-	
8				980	220	0	77	81.1	72.9	-	-	
9				895	200	0	70	72.6	70.0	-	-	
10	1 : 6	35	4.7~13.0	1068	216	24	84	81.2	68.1	-	-	
11				980	198	22	77	77.7	65.0	-	-	10%
12				895	180	20	70	67.7	54.2	-	-	
13				1068	240	0	84	55.8	47.8	19.1	50.0	
14				980	220	0	77	61.4	78.6	19.6	50.2	
15				895	200	0	70	72.3	48.9	16.4	54.7	
16			10.0~13.0	1068	216	24	84	48.8	46.6	13.7	58.0	
17				980	198	22	77	45.6	54.7	16.5	51.9	10%
18				895	180	20	70	39.7	35.9	16.0	53.5	

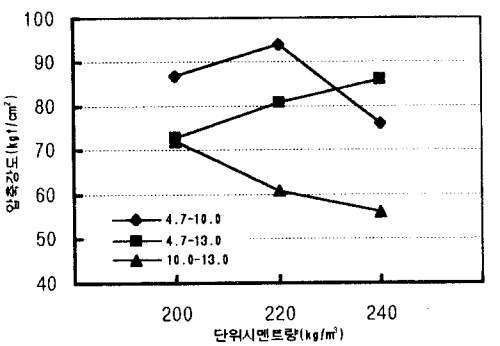

그림 1 무세골재 입도에 따른 강도추이

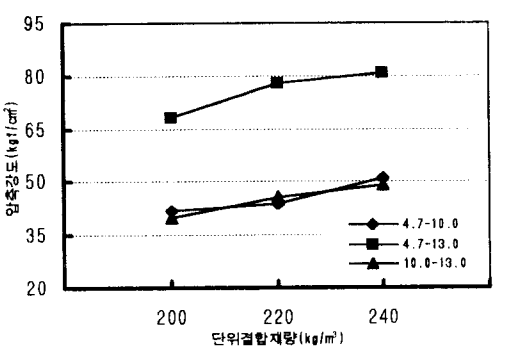

그림 2 F/A 10% 첨가에 따른 강도추이

3.1.2 혼화재(Fly Ash) 첨가에 따른 강도 변화

플라이애쉬의의 사용에 따라 워커빌리티는 약간 저하되고 28일 표준양생 강도에서 Plain시험체 대비95%(시료7/시료10)의 강도발현을 볼 수 있었으며 일반콘크리트와 마찬가지로 단기강도에 불리하였다. (표2. 그림2)

3.1.3 시멘트와 재생골재의 절대 용적비에 따른 강도 변화

시멘트-골재비에 따른 압축강도의 변화는 표 2, 표 3 (시료2, 19, 21, 31, 32)와 그림 3에서 보는것과 같이 1 : 6일때 가장 유리하여 기본타입으로 정하여 실험을 진행하였다. 특히 적은 물-시멘트비의 범위에서 시멘트를 많이 사용한 경우(C : A=1 : 6) 상당히 높은 압축강도를 얻을 수 있는 반면 시멘트를 적게 사용한 경우(C : A=1 : 10, 1 : 11, 1 : 12, 1 : 13) 압축 강도가 많이 낮아지는 경향을 보였다.

이는 무세골재 콘크리트에서 시멘트의 사용량이 적으면 사용한 물-시멘트비의 크기에 따라서 시멘트풀의 유동성이 부족하여 골재를 충분히 피복하지 못하거나 시멘트풀이 골재에서 흘러내려서 쉽게 골재와의 결합력이 약해지기 때문인 것으로 판단된다.

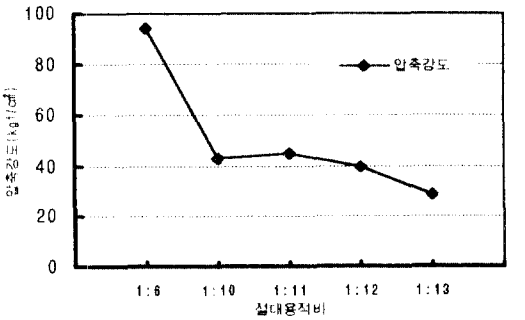

그림 3 시멘트-골재 용적비에 따른 강도추이

표 3 절대용적비에 따른 강도 특성

시료 번호	재생골재 크기(mm)	절대 용적비	W/C	Material Quantity(kg)				압축강도	비 고
				Gravel	Binder		Water		
					Cement	Fly Ash		σ_{28}(kgf/cm^2)	
19	4.7~10.0	1 : 10	43	1997	220	0	113	42.8	
20		1 : 11	18	1941	240	0	94	43.2	
21			24	1850	220	0	43	45.2	
22			13	1617	200	0	52	36.9	
23			46	1941	216	24	26	32.7	10%
24			45	1850	198	22	111	33.2	
25			46	1617	180	20	99	31.0	
26			35	1941	240	0	91	30.8	
27			35	1850	220	0	84	33.1	
28			35	1617	200	0	77	38.0	
29		1 : 12	46	1997	220	0	97	35.3	
30			43	1997	220	0	84	19.4	
31			38	1997	220	0	84	39.5	
32		1 : 13	38	1997	220	0	76	28.6	

3.2 할렬 강도

원주형 공시체 ϕ 10×20cm를 콘크리트의 인장강도 시험방법(KS F 2423)에 의해 실험한 결과 인장강도/압축강도(σ_t/σ_c)=1/5.8 즉, 할렬강도는 압축강도의 17% 정도 강도발현을 나타내며, 일반 콘크리트의 1/10 보다 약간 큰 값을 보이고 있다. 결과는 표 2 와 같다.

3.3 흐름 시험

물-시멘트비를 정하기 위하여 흐름시험(Flow Test)을 실시하였다. 무세골재 콘크리트에 적용하기 위해 표준사를 배제시킨 상태 즉 시멘트 페이스트만으로 흐름시험을 하였다. 시험결과 규정된 flow값 110±5%보다 작은 56%를 얻을 수 있었다.(작업할 수 있는 가장 적은 물-시멘트 비=35%를 선택한

결과 흐름값은 56.1%이었다.)

3.4 휨 강도

실험체(15×15×55cm)를 단순보의 중앙점 하중법에 의한 콘크리트의 휨 강도 시험방법(KS F2407)에 따라 실행하였으며 압축강도와의 비는 휨강도/압축강도 ($\sigma b/\sigma c$) =1/1.3 즉, 휨 강도는 압축강도의 77% 강도발현을 나타내어 일반콘크리트의 15~20% 보다 우수함을 알 수 있다. 실험 결과는 표 2와 같다.

3.5 동결융해 실험

실험체(ϕ 10×20cm)를 불투수성 용기에 수원이 되게 하여 −10±3℃냉동실에 12시간 동안 급냉으로 동결시킨 후 대기 중 12시간 동안 노출시켰다. 24시간 동안 동결융해를 1 cycle로 하여 15회 연속 실험한 후 압축강도를 측정하였다. 기존의 콘크리트 제품을 동결융해 하였을 때는 공극내 잉여수의 수축과 팽창이 균열의 주된 원인이였으나 무세골재 제품의 동결융해 실험에 있어서는 거의 영향이 없음을 표 2는 제시하고 있다. 이 실험으로 강도 발현에 있어 일관성이 다소 부족함을 볼 수 있었으며 그 원인은 폐콘크리트를 재활용함에 있어 재생 굵은골재 특성이 불규칙함으로 재생골재를 활용함에 있어서 재료의 입도를 엄정히 관리하여야 하며 유입되기 쉬운 유기 불순물의 접근을 배제하여야 할 것으로 판단한다.

3.6 투수성 실험

실험체 제작을 위해 시중의 기존 Interlocking Block 중 I형(208×68×70mm)을 선정하여, 같은 규격으로 철제 모울드를 제작, 실험체를 성형하였다. 투수성 실험을 위해 아크릴로 만든 투명 실험용기를 제작하여 실험체(보도블록)의 통과 수량을 측정할 수 있게 하였으며 시험방법은 시험체 위에 일정량의 물 1000ml를 천천히 쏟아 붇고 완전히 투수하는데 걸리는 시간을 초시계로 측정하였다.

기존 보도블록은 9분 후 1000ml가 실험체 두께 70mm를 완전 투수하였으나 무세골재를 이용한 보도블록 실험체는 물을 부음과 동시에 투수가 되었으며 평균 27초 안에 완전 투수되었다.(표 4)

표 4 투수성 시험결과표

시료번호	투수속도	상 태	사용수량	비 고
1	69 ml/sec	σ_{28}수중양생	1000 ml	시료1은 시멘트 페이스트가 실험체 하단에 집중되어 투수성 저하
4	11 ml/sec	σ_{28}수중양생		
7	14 ml/sec	σ_{28}수중양생		
31	14 ml/sec	σ_{7} 수중양생		
기존보도블럭	1.85ml/sec	12hr증기 양생 후 자연양생		

4. 결 론

폐콘크리트를 이용한 건자재 상품화 개발을 위한 본 연구의 수행으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 콘크리트의 실험결과, 시멘트-골재용적비가 작을 수록 압축강도가 낮게 나타나는 경향을 보였으며 용적비 1 : 6에서 골재최대치수 10mm, 단위시멘트량 220Kg/m^{3}을 사용하였을때 유리하였으며 골재최대치수가 13mm일때는 단위시멘트량 240Kg/m^{3}가 가장 유리하였다.

(2) 시멘트를 플라이애쉬로 치환하여 사용할 경우 시멘트 중량의 10% 이내가 바람직하며, 골재의 입도범위는 한 곳으로 편중되지 않은 상태 즉, 넓은 쪽이 강도발현에 유리한 것으로 나타났다.

(3) 충진재 역할을 하는 잔골재를 사용하지 않는 경우 입도관리에 세심한 주의가 필요한 것으로 나타났다. 또한 세골재의 충진재 역할을 대체할 경우, 내구성 부재의 역학 특성은 더욱 증진되어 폭넓은 건자재 제품에 적용이 가능하리라 사료된다.

(4) 위와 같은 연구결과에 비추어 향후 폐콘크리트를 사용하여 다양하고 폭넓은 건자재 생산 및 실용화 연구가 수행 되어야 할것으로 사료된다.

● 참고문헌 ●

1. 한국콘크리트학회, "최신 콘크리트 공학", 기문당,1993, pp.413, pp.550
2. 나성훈 · 조재병 · 임정순, "석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 강도 개선에 관한 연구", 콘크리트 학회지,VOL.7 NO., 1995. 6
3. 한국건설기술연구원, "폐콘크리트의 재활용 기술 개발에 관한 연구"를 위한 일본의 기술개발 현황 및 관련 자료 수집, 한국건설기술연구원,1995. 10
4. 김진만 · 유광우 · 남상일 · 김무한, "재생골재콘크리트의 구조체 적용성에 관한 실험적연구", 콘크리트학회 학술발표논문집 제8집, 1993
5. 코오롱기술연구소, "도로 성토재료서의 남산외인 아파트 폐콘크리트 품질특성 평가보고서", 코오롱 기술연구소, 1995. 1
6. S.F.Yannas, "Waste Concrete as Aggregate for New Concrete",ACI Journal,1992. 8
7. T.C.Hansen, "Recycling of Domolished Concrete and Mansonary",E&FN SPON, 1992