재생골재를 함유한 무잔골재 콘크리트의 강도특성

Strength Characteristics of No-Fine Concrete Containing Recycled Aggregates

김 태 근* 이 광 명** 김 낙 경*** 고 용 일****
Kim, Tae-Keun Lee, Kwang-Myong Kim, Nak-Kyung Ko, Yong-Il

ABSTRACT

Recently, as to destruction and renovation of aged building, waste concretes have been reclaimed near foreshore and filled up underground. Recycling demolished concrete as aggregate helps to settle economic and environmental problems of obtaining superior aggregates from natural sources and to dispose waste concretes. An experimental study was carried out to investigate the strength characteristics of no-fine concrete containing recycled aggregates. The cement-aggregate weight ratios of 1 : 5, 1 : 6, 1 : 7 and water-cement ratios of 30, 35, 40, 45% were chosen for the mix design of no-fine concretes. The compressive and splitting tensile strengths at 7 and 28 days were measured for 12 different mixes. On the basis of test results, the optimum mix proportion of no-fine concrete containing recycled aggregates was determined and applied to the production of retaining wall block.

1. 서 론

최근 도시재개발과 건물의 노후화 및 기능저하에 의한 건물의 해체가 증가함에 따라 폐기콘크리트를 포함한 각종 건설폐기물이 다량 배출되고 있으며, 이를 처리하는데 많은 경제적, 환경적 문제들이 야기되고 있다. 또한 국내의 경우, 양질의 골재가 부족한 현실에서 향후 3~4년 이내에 지역적으로 골재부족이 예상되어 콘크리트 2차제품 및 레미콘산업에 어려움이 예상된다.

국내에서는 물-시멘트비에 따른 재생골재 콘크리트의 특성 연구[1]와 재생콘크리트의 강도 및 건조수축 특성에 관한 연구[2]등의 재생골재를 활용하는 방안에 관한 논문들이 있었으며, 탄소섬유를 혼입한 무세골재 콘크리트의 압축강도 개선에 관한 연구[3]와 석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 강도개선에 관한 연구[4]등 무잔골재 콘크리트의 강도개선에 관한 연구가 있었다. 그럼에도 불구하고, 재생골재와 무잔골재 콘크리트의 적용 및 실용화가 미비한 실정이다. 무잔골재 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 단위시멘트량의 감소가 가능하고, 잔골재를 사용하지 않으므로써 일반콘크리트 2차제품의 약 60~70%를 차지하는 재료비의 절감이 가능할 것으로 판단되며, 재생골재는 골재로서의 품질이 열악한 것으로 알려져 있으나 골재원이 한정되어 있으므로 고품질 골재는 고품질 콘크리트 및 관련제품의 제조에 활용하고 저품질 골재는 비교적 낮은 품질의 재료제조에 활용하는 적정용도별 활용기술의 개발과 보급이 필요하다.[5]

따라서, 본 연구에서는 재생골재를 사용하여 다양한 조합의 물-시멘트비와 시멘트-골재중량비를 갖는 무잔골재 콘크리트를 제조하여 재령 7일과 28일의 압축강도와 할열인장강도 실험을 수행하고, 실험으로부터 얻은 결과를 토대로 이의 최적배합비를 선정하여 이를 블럭식 옹벽의 제조에 적용하였다.

* 정회원, 성균관대학교 토목공학과 석사과정
** 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수
*** 성균관대학교 토목공학과 전임강사
**** 한라건설(주) 기술연구소 책임연구원

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 실험에서는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되었다. 대전재활용센터에서 구입된 재생골재가 사용되었으며, 골재의 물성실험 결과는 표 1과 같다. 그림 1은 사용한 재생골재의 입경가적곡선이다.

표 1 골재의 물성시험표

골재의 최대크기	비 중	흡 수 율	실 적 율	조 립 율
15 (mm)	2.34	5.2 (%)	62 (%)	6.45

2.2 배합설계

시멘트-골재중량비를 1 : 5, 1 : 6, 1 : 7로 선정하였으며, 물-시멘트비는 30, 35, 40, 45(%)로서 총 12가지의 배합비가 결정되었다. 재생골재는 15 mm 체를 통과시킨 후, 겉보기에 편평하거나 입경이 불량한 골재는 최대한 배제되었다. 또한, 파쇄과정에서 발생한 불순물과 다량의 미립분을 제거하고자 골재가 세척된 후, 표건상태로 만들어 배합에 사용되었다. 최종적으로 최적배합비를 산정하기 위한 배합비는 표 2와 같다.

표 2 배 합 비

시멘트-골재 중량비	물-시멘트비 (%)	골 재 (kg)	시 멘 트 (kg)	물 (kg)
1 : 5	30	1352	271	81.30
	35	1352	271	94.85
	40	1352	271	108.40
	45	1352	271	121.95
1 : 6	30	1352	226	67.80
	35	1352	226	79.10
	40	1352	226	90.40
	45	1352	226	101.70
1 : 7	30	1352	194	58.20
	35	1352	194	67.90
	40	1352	194	77.60
	45	1352	194	87.30

2.3 공시체 제작 및 강도측정 방법

혼합에는 강제식 믹서가 사용되었으며, 공시체의 규격은 지름 10 cm, 높이 20 cm의 원주형 공시체가 한 배합당 12개씩 제작되었다. 원주형 공시체는 3층으로 나누어 봉다짐을 행한 후 실온에서 24시간 후 윗부분과 아랫부분의 캡핑을 행한 후 탈형하여 25℃ 수중에서 28일간 양생한 후 시험에 사용되었다. 시험방법은 KS F2405(콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정에 따라 수행되었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도

100 tonf 용량의 U.T.M.(Universal Testing Machine)을 이용하여 공시체의 파괴시까지의 시간이 약 1분 30초 정도가 되도록 재하속도를 일정하게 하여 강도를 측정하였다. 아래, 윗면 캡핑으로 편심의 영향을 최대한 배제하였으며, 공시체에 공극이 많아 수분을 상당수 함유하고 있었으므로 실온에서 약 1시간 정도 건조시킨 후 실험하였다.

7일과 28일 압축강도의 결과는 표 3과 그림 2와 3에 주어져 있으며, 일반적으로 시멘트-골재중량

비가 클수록 큰 강도발현을 보였다. 이는 시멘트사용량이 증가함에 따라 골재를 피복하는 시멘트풀의 양이 증가한 것에 기인한다. 그림 4를 보면 단위중량은 무잔골재 콘크리트의 강도와 밀접한 관계를 가지고 있으며 단위중량이 클수록 밀실한 콘크리트가 되므로 강도가 크게 나타나며, 물-시멘트비가 35% 일 때에 단위중량과 강도 모두 가장 큰 값을 보여주고 있다는 사실이 이를 뒷받침하고 있다. 또한, 무잔골재 콘크리트의 단위중량이 1.67~1.83 t/m^3 정도로 콘크리트의 경량화에 상당히 유리하다고 사료된다.

파괴양상은 그림 5와 같이 크게 3가지 형태로 나타났는데, 중앙부의 압축파괴와 위에서부터 아래로의 사선모양 파괴 그리고 원추형 파괴로 나타났다. 일반적으로 원추형파괴가 가장 바람직하지만 무잔골재 콘크리트에서는 잘 일어나지 않았으며 중앙부 압축파괴와 가장 공극이 큰 부분부터의 사선모양파괴가 가장 많이 발생하였다. 공극이 크거나, 취약한 골재에서 먼저 파괴가 시작되었으며, 파괴면에서는 골재의 파괴가 많이 관측되었다. 이는 재생골재의 강도에 비해 시멘트풀의 강도가 크기 때문에 부착면보다 골재가 먼저 파괴에 이르기 때문이라고 판단된다.

표 3 배합비에 따른 압축강도 평균값

배합 번호	시멘트-골재 중량비	물-시멘트비 (%)	슬럼프 (cm)	단위중량 (t/m^3)	7일 압축강도 (kgf/cm^2)	단위중량 (t/m^3)	28일 압축강도 (kgf/cm^2)
1	1 : 5	30	10	1.76	51.3	1.79	53.5
2		35	14	1.83	62.7	1.83	70.4
3		40	-	1.76	48.1	1.74	57.6
4		45	-	1.79	43.5	1.82	58.6
5	1 : 6	30	12	1.70	34.7	1.68	39.9
6		35	17	1.77	44.2	1.74	53.7
7		40	-	1.71	37.5	1.72	46.0
8		45	-	1.69	41.0	1.72	44.9
9	1 : 7	30	18	1.69	24.3	1.73	37.0
10		35	-	1.74	33.5	1.76	48.5
11		40	-	1.67	27.3	1.68	35.8
12		45	-	1.70	24.5	1.68	34.3

3.2 인장강도

할열인장강도를 측정한 결과는 표 4와 같으며, 압축강도와 마찬가지로 시멘트-골재중량비가 1 : 5 이고, 물-시멘트비가 35%일 때에 최대의 강도를 나타냈다. 그러나, 인장강도는 6~11 (kgf/cm^2) 정도로 다소 낮았으며, 배합비에 따른 차이는 크지 않은 것으로 사료된다. 또한, 인장강도는 압축강도의 13~20% 범위로 높은 취도계수를 나타내었으나, 인장강도 자체는 작은 값을 보여 큰 인장력을 받는 곳에의 사용은 부적당한 것으로 생각된다.

3.3 일반골재와의 비교

일반골재를 사용한 무잔골재 콘크리트와 비교하기 위해 최적배합비라고 생각되는 시멘트-골재중량비 1 : 5, 물-시멘트비 35%의 배합에 대해 일반골재를 사용한 무잔골재 콘크리트를 제작하여 7일, 28일 압축강도와 인장강도를 측정하여 재생골재를 사용한 무잔골재 콘크리트의 강도특성을 비교하였다. 일반골재를 사용한 무잔골재 콘크리트는 단위중량의 평균값이 1.87 t/m^3, 7일 압축강도의 평균값이 68.1 kgf/cm^2, 28일 압축강도와 28일 할열인장강도의 평균값이 78.4 kgf/cm^{2}와 13.0 kgf/cm^{2}로 재생골재를 사용한 무잔골재 콘크리트보다 단위중량과 강도가 큰 값을 나타냈다. 일반골재를 사용한 경우, 압축강도와 인장강도에서 재생골재보다 다소 큰 값을 나타냈지만, 경량성과 적용성면에서는 재생골재가 일반골재와 거의 차이가 없는 것으로 판단된다.

표 4 배합비에 따른 인장강도 평균값

배합 번호	시멘트-골재 중량비	물-시멘트비 (%)	단위중량 (t/m^3)	28일 인장강도 (kgf/cm^2)	인장강도/압축강도 (%)
1	1 : 5	30	1.81	6.8	12.7
2		35	1.80	10.6	14.3
3		40	1.75	8.7	15.1
4		45	1.84	8.8	15.0
5	1 : 6	30	1.69	7.3	18.3
6		35	1.78	9.4	17.5
7		40	1.77	8.1	17.6
8		45	1.72	6.1	13.6
9	1 : 7	30	1.72	6.2	16.8
10		35	1.77	7.7	15.9
11		40	1.70	6.5	18.2
12		45	1.68	6.9	20.1

4. 무잔골재 콘크리트의 블럭식 옹벽에의 적용

재생골재를 이용한 무잔골재 콘크리트로 제조된 옹벽용 블럭은 잔골재를 투입하지 않고 굵은 골재간의 시멘트 페이스트의 접합구조로 구성되므로 기존 콘크리트 제품에 비해 공극이 크며, 투수성이 우수하다. 또한, 기성 콘크리트보다는 다소 낮지만 옹벽의 자립을 위한 충분한 강도를 가지고 있어 블럭식 옹벽에의 활용이 가능하다.

옹벽용 블럭은 그림 7에서와 같은 형상으로 경제성과 물성을 고려한 시제품을 제작하여 그림 8에서와 같이 핀연결을 통해 일체형으로 거동한다. 옹벽의 안전성 검토 결과 높이가 1.0 m, 1.6 m인 옹벽은 무보강 자립옹벽으로 시험시공하고(그림 9), 높이가 2.2 m인 옹벽은(그림 10) 지오그리드(Geogrid)로 보강하여 시험시공하였다. 무잔골재 콘크리트 블럭의 투수성능을 평가하기 위하여 배면토에 인공급수하여 간극수압을 계측하였다. 시험시공 결과 무잔골재 콘크리트 블럭의 블럭식 옹벽에의 적용성은 우수한 것으로 확인되었으며 뛰어난 투수성능으로 옹벽배면에 작용하는 지하수압을 효율적으로 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 재생골재를 사용한 무잔골재 콘크리트의 강도시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 재생골재는 표건상태에서의 흡수율이 현저하게 높아 배합시 사용수량의 증감에 지대한 영향을 미치는 것으로 보여지므로, 배합시 골재의 표건상태를 일정하게 유지하는 것이 중요하다.

(2) 단위용적중량이 높은 콘크리트는 더욱 밀실한 콘크리트가 되어 강도발현이 크게 나타났으며, 무잔골재 콘크리트에서는 단위중량이 강도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한, 일반콘크리트의 경우보다 단위용적중량이 약 20~25% 정도의 단위중량의 감소를 나타내어 경량성면에서 개선효과가 있었다.

(3) 무잔골재 콘크리트의 인장강도는 높은 취도계수를 나타낸 반면 그 강도가 6~11 (kgf/cm^2) 정도로 비교적 낮은 범위의 강도를 나타내어 큰 인장력을 받는 2차제품 등의 적용에는 부적당한 것으로 사료된다.

(4) 강도실험결과로부터 시멘트-골재중량비가 1 : 5이고, 물-시멘트비가 35%인 경우를 최적배합비로 결정하였다. 물-시멘트비가 35%일 때가 골재의 피복두께, 점착력 및 유동성에 있어서 가장 양호하며, 시멘트-골재중량비는 1 : 5보다 적어지면 시멘트 사용량이 많아지기 때문에 비경제적인 배합이 될 수 있으며 반대로 시멘트-골재중량비가 그 이상이 되면 만족스러운 강도를 얻을 수 없을 것으로 보인다.

(5) 재생골재를 사용한 무잔골재 콘크리트를 이용하여 제조한 블럭의 옹벽에 대한 적용성이 우수한 것으로 나타났다.

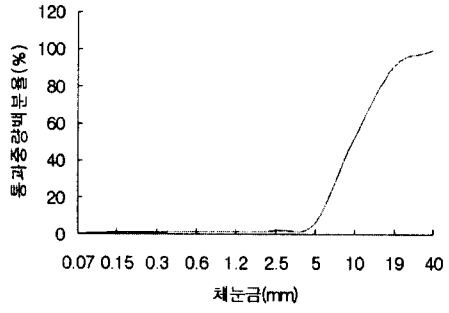

그림 1 재생골재의 입경가적곡선

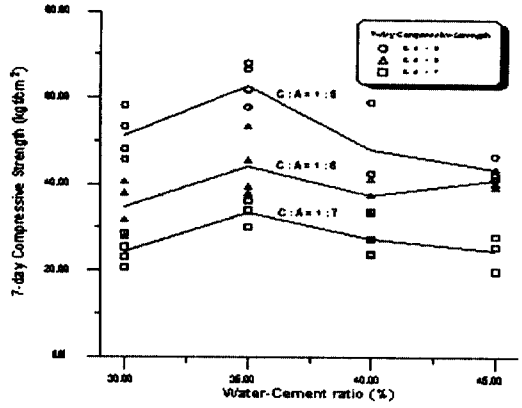

그림 2 7일 압축강도와 물-시멘트비와의 관계

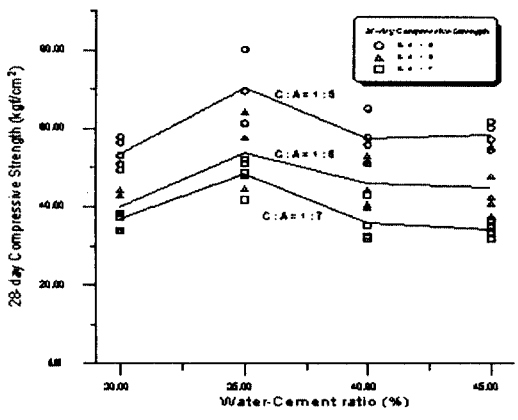

그림 3 28일 압축강도와 물-시멘트비와의 관계

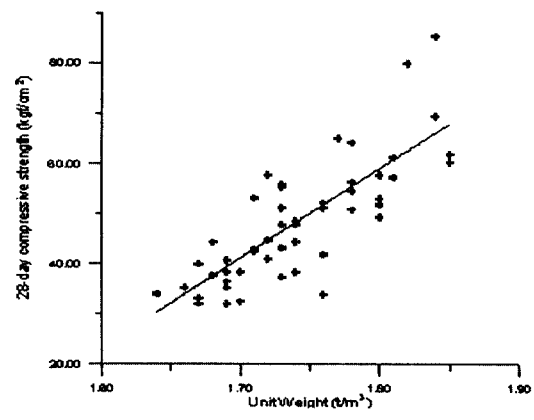

그림 4 28일 압축강도와 단위중량과의 관계

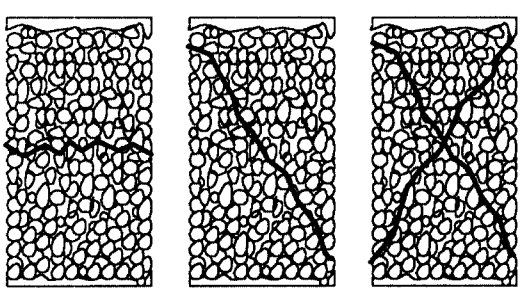

그림 5 무잔골재 콘크리트의 파괴양상

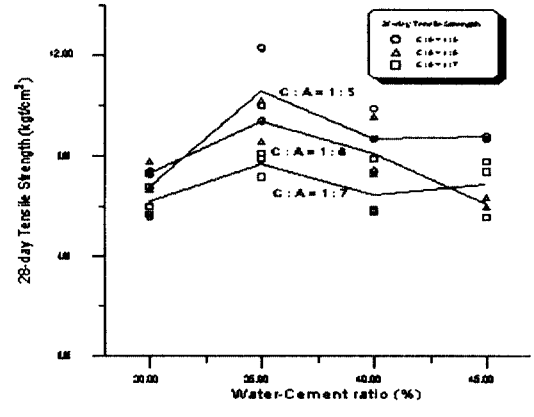

그림 6 28일 인장강도와 물-시멘트비와의 관계

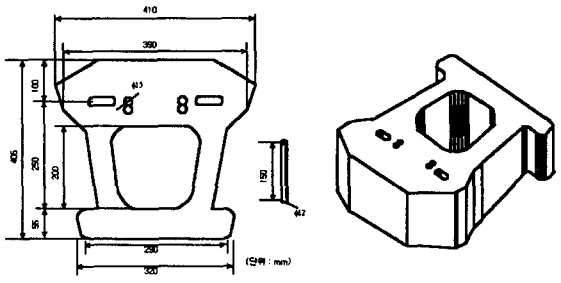

그림 7 블럭식 옹벽의 단면

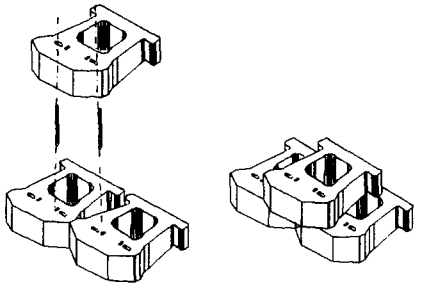

그림 8 블럭식 옹벽의 블럭쌓기

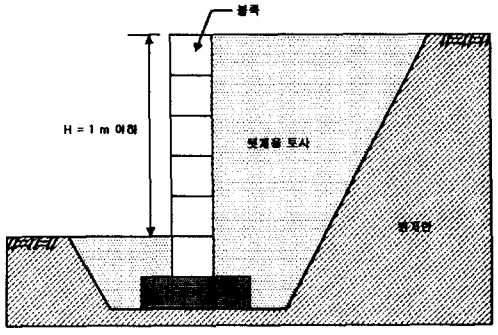

그림 9 무보강 자립옹벽

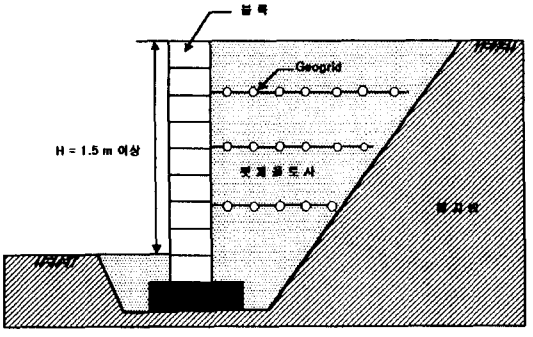

그림 10 지오그리드(Geogrid)로 보강된 블럭식 옹벽

참고문헌

(1) 김문섭 외, "물-시멘트비에 따른 재생골재 콘크리트의 역학적 특성", *대한건축학회 학술발표회* 논문집 제17권 제1호, p.p. 655~658, 1997

(2) 이진용 외, " 재생콘크리트 강도 및 건조수축 특성", *콘크리트학회 학술발표회* 논문집 제9권 2호, p.p. 27~32, 1997

(3) 이상수, "탄소섬유를 혼입한 무세골재 콘크리트의 압축강도 개선에 관한 연구", 경기대학 대학원, 석사학위논문, 1991

(4) 나성훈 외, "석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 강도 개선에 관한 연구," *콘크리트학회논문집*, 제7권 3호, p.p 149~155, 1995

(5) 남기룡 외, "무세골재 콘크리트의 제조와 건설자재 활용기술개발", 한라건설연구소, 1997

(6) "Recycling of Demolished Concrete and Masonry," *Report of RILEM Technical Committee 37-DRC*, Ed. by T.C.Hansen, E & FN SPON, London, 1992