

폐콘크리트 순환자원을 이용한 건설재료의 특성연구

홍세화·손기상[†]·최재남
서울산업대학교 안전공학과
(2010. 2. 9. 접수 / 2010. 4. 14. 채택)

A Experimental Study on the Construction Material Using the Circulation Resources

Se-Hwa Hong · Ki-Sang Son[†] · Jea-Nam Choi

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
(Received February 9, 2010 / Accepted April 14, 2010)

Abstract : This is to show some basic data for introducing both circulated aggregate and recycled powder producing waste concrete. Standard-mixing design for 24MPa has been basically used and added and replaced normal aggregate with recycled powder made of waste concrete. In addition, polycarboxylate high-range water reducing agent has been used because recycled powder is missing adhesive strength and it is not compare with cement's adhesive strength. Compressive strength with powder mixture of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% has been decreased down to 80% of normal concrete material strength without recycled powder mixture. This result has same decreasing proportion to tensile strength of the material. Resistant capacity change of beam varying with recycled powder mixture has been decreased down to 60% of normal concrete bean capacity, while there are 80% decrease of material strength. But strength and capacity change has same consistent decrease ratio. It is found that recycled powder with approximately 15% unit concrete volume can be replaced with cement in reasonable admixture mixing condition.

Key Words : circulation aggregate, recycled powder, compressive strength, flexural strength, reinforced concrete

1. 서론

최근 산업의 지속적인 발전과 함께 고갈되어가는 천연자원은 세계적인 큰 관심사이며 시설물의 수명 한계로 인하여 발생하는 건설폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하는 추세이다. 건설폐기물 중 폐콘크리트는 전체에 약 70% 정도를 차지하고 있어 환경적 문제에도 큰 영향을 미치고 있다.

폐콘크리트를 재활용하기 위해 여러 연구가 진행되어 폐콘크리트를 파쇄하여 순환골재를 회수하는 기술 등이 개발되었지만 회수된 순환골재는 천연골재에 비해 흡수율이 높고, 밀도가 낮아 그 용도가 제한적 이었다. 최근들어 지속적인 환경기술의 발전으로 인하여 고품질 순환골재에 대한 연구가 활발히 진행되어 품질의 고도화라는 측면에서 우수한 성과를 보이고 있다.

그러나 기존 저품질 순환골재를 생산할 때는 5~

10%의 미분말 슬러지(이하 미분)를 제외한 나머지를 저품질 순환골재로 사용된 반면 고품질 순환골재는 회수율이 약 30% 정도이며 발생하는 미분의 양은 상당히 증가하였다¹⁾.

현재 고품질 순환골재 생산시 필연적으로 발생하는 미분은 전량 폐기되며 매립이나 해양투기에만 의존하고 있는 실정이다²⁾.

폐콘크리트의 완전한 재활용을 위해서는 미분에 대한 대체연구가 시급한 실정인데 반해 미분 관련 연구는 주로 시멘트 혼화재, 재생 시멘트, 자기충전 콘크리트 및 콘크리트 혼화재로서의 적용이였으며 이 또한 미미한 수준이다.

선행연구에 사용된 골재 또한 천연골재였으며, 순환골재를 활용한 콘크리트에 미분을 혼화재로 적용한 연구는 이루어지지 않았다. 폐콘크리트의 효과적인 재활용을 위해서는 모든 재생자원에 대한 연구가 활발히 진행되어야 한다.

본 연구는 기존의 미분 활용방안 연구와는 달리 순환골재로 배합된 콘크리트의 시멘트에 미분을 적

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksson@snut.ac.kr

절한 비율별로 치환하여 콘크리트의 기본적인 실험을 수행함으로써 폐콘크리트 순환자원의 효과적인 활용에 대한 기초적인 자료를 제시하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료의 특성

2.1.1. 미분³⁾

미분은 폐콘크리트에서 재생골재를 채취하는 분쇄 과정에서 발생하는 부산물로 약 0.15mm 이하의 입도를 가진 미립분말을 말한다. 이 미립분말은 주로 시멘트 수화물과 미수화된 시멘트 및 화강암류 등의 골재의 미분으로 구성되어 있으며, 이 외에도 목재, 벽돌, 유리 및 섬유류 등의 부스러기가 불순물로 소량 혼재되어 있다. 미분의 형태는 Fig. 1에 화학적 성분 분석은 Table 1에 나타나있다.

2.1.2. 순환골재

순환 굵은골재 및 잔골재의 형태는 Fig. 2, 천연 골재와의 품질비교는 Table 2에 나타나있다.



Fig. 1. Physical shape of recycled powder.

Table 1. Chemical and Physical properties of recycled powder and cement

화학성분(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss
미분	44.5	12.3	4.16	25.6	2.5	1.6	4.6
시멘트	21.3	5.3	2.6	64.4	3.2	1.9	1.0

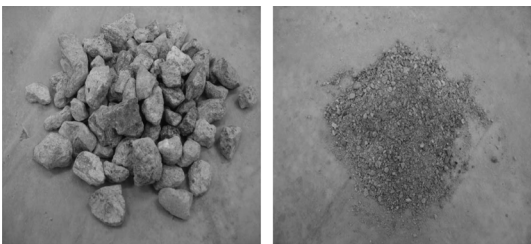


Fig. 2. Circulation aggregate(25mm, 5mm).

Table 2. The Comparison of Natural aggregate and Circulation aggregate

구분	천연골재		순환골재	
	굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재
흡수율(%)	1.13	1.53	1.67	3.62
절대건조밀도 (g/cm ³)	2.64	2.55	2.57	2.43
마모감량(%)	24.1	-	22.18	-
실적률(%)	60.8	63.7	60	61

*콘크리트용 순환골재의 품질기준⁴⁾

굵은골재 : 흡수율 : 3% 이하, 절대건조밀도 : 2.5 이상

마모감량 : 40% 이하, 실적률 : 55% 이상

잔 골 재 : 흡수율 : 5% 이하, 절대건조밀도 : 2.2 이상

실적률 : 53% 이상

2.1.3. 혼화제

혼화제는 K사의 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 물성은 외관 암갈색, 비중은 1.080 ±0.03(20°C), 고형분은 22%±5%, pH는 7.0±2이다.

2.2. 콘크리트 배합설계

배합설계는 D레미콘의 24MPa 강도의 것을 사용하여 시멘트비를 2%, 4%, 6%, 8%, 10% 미분으로 치환하여 실험에 도입하였다.

접착력이 손실된 미분을 치환하게 되면 강도가 상당히 감소될 것을 감안하여 혼화제를 고강도 콘크리트용에 사용되는 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용함으로써 강도완화를 기대⁵⁾하였으며 배합표는 Table 3과 같다.

배합은 강제식 믹서기를 이용하였으며, 공시체 제작은 KS F 2425 규정에 따라 제작하였다. 공시체 제작 및 양생은 성형 후 20±3°C의 습윤상태에서 재령 28일까지 양생 후 강도시험을 행하였다.

2.3. 실험방법

- 1) Ø10cm×20cm 공시체를 제작하여 압축강도(KS F 2405), 쪼갬인장강도(KS F 2423)를, 15cm×15cm×55cm의 공시체를 제작하여 휨강도(KS

Table 3. Concrete mixing proportion

비율	단위 : kg						
	P	C	W	G	S	ad	total
N	0	344	180	942	838	1.72	2300
2%	6.88	337.12					
4%	13.76	330.24					
6%	20.64	323.36					
8%	27.52	316.48					
10%	34.40	309.60					

* N : 0%, P : 미분

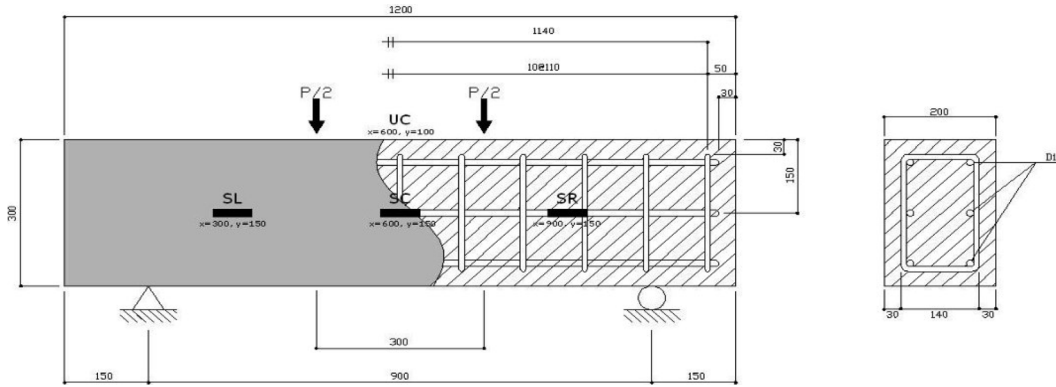


Fig. 3. Dimensions and details of test beam (unit : mm).

F2408)시험을 수행하여 강도측정을 실시하였다. 본 실험에 사용한 공시체는 재령 28일간 20±3℃로 수중양생 하였다.

- 2) RC보 시험체는 주철근 D13 철근을 사용하였고, 스티럽은 D10 철근으로 11cm 간격으로 제작하였다. RC보 시편은 타설 28일 후 콘크리트의 휨 강도 시험방법(KS F2408) 규정에 따라 “3등분점 재하법”에 의하여 수행하였으며, 변형을 측정을 위하여 부재정면에 3지점과 부재윗면 1지점에 스트레인게이지를 부착하고 Statics Data Logger에 연결하여 변형율을 각각 측정하였다. 단면형상 및 배근도, 스트레인 게이지 위치는 Fig. 3, 실험체의 장치도(Setup)는 Fig. 4에 나타나있다.

3. 실험결과

3.1. 기초물성 실험결과

미분 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 실험 결과는 Table 4에 나타내었다. 미분의 치환율이 증

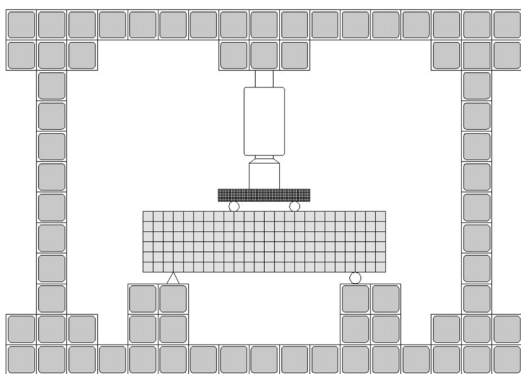


Fig. 4. Setup of test specimen.

가할수록 압축강도는 미분을 사용하지 않은 콘크리트의 압축강도에 약 2~3MPa 정도씩 일정하게 감소하였다. 이러한 강도저하는 접착력 손실된 미분이 시멘트와 반응하지 않으며, 혼화제로써의 기능이 없기 때문이라 판단된다. 하지만 폴리카보나테 AE감수제의 사용으로 모든 변수들의 압축강도 결과는 기존의 일반콘크리트의 압축강도인 24MPa 이상으로 나타났다.

조깅인장강도 실험결과는 Table 5, 휨강도 실험결과는 Table 6, 각각의 기초물성실험의 평균값은 Fig. 5에 나타내었다. 조깅인장강도 실험결과 및 휨강도 실험결과 또한 압축강도 실험결과와 마찬가지로 치환율이 증가할수록 강도는 비율별 일정한 감소추세를 보이고 있다.

Table 4. Compressive strength

단위 : MPa				
Variable	Result1	Result2	Result3	Average
Normal	41.14	40.09	41.11	40.78
2%	37.87	38.72	38.55	38.38
4%	37.80	36.60	37.52	37.31
6%	37.42	34.31	35.90	35.88
8%	34.22	32.65	33.18	33.35
10%	33.02	31.84	32.56	32.47

Table 5. Tensile strength

단위 : MPa				
Variable	Result1	Result2	Result3	Average
Normal	4.29	4.55	4.04	4.29
2%	4.23	3.76	4.27	4.09
4%	3.77	3.74	3.73	3.75
6%	3.81	3.63	3.31	3.58
8%	3.63	3.45	3.40	3.49
10%	3.65	3.17	3.10	3.31

Table 6. Flexural strength

Variable	Result1	Result2	Result3	Average
Normal	4.07	3.95	4.01	4.01
2%	3.87	3.90	3.79	3.85
4%	3.58	3.76	3.52	3.62
6%	3.49	3.52	3.70	3.57
8%	3.40	3.28	3.49	3.39
10%	3.14	3.25	3.37	3.25

단위 : MPa

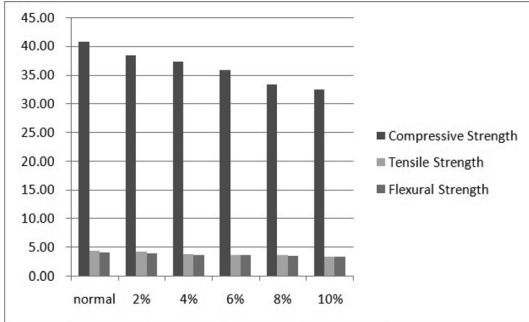


Fig. 5. Average of each test result.

3.2. RC보의 휨강도 실험결과

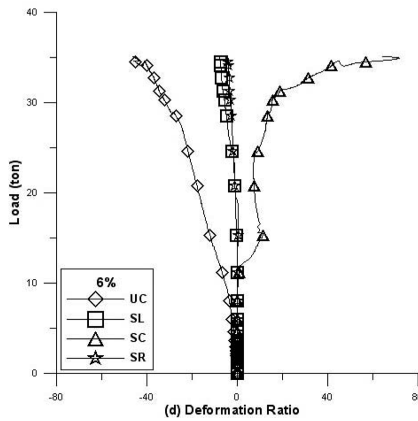
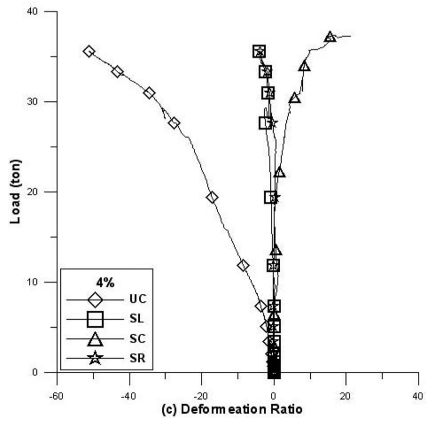
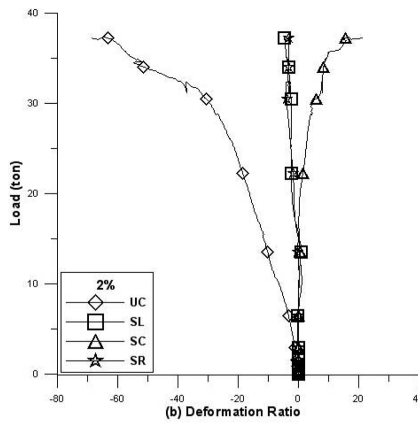
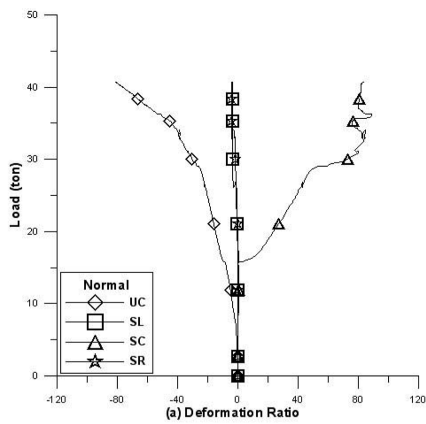
미분치환비율별 철근콘크리트보의 최대하중 및 휨강도는 Table 7에 나타나있으며, 변형율은 Fig. 6에 나타나 있다. Fig. 6에서 UC는 Fig. 3을 기준으로 부재윗면 1지점(600mm), SL, SC, SR은 각각 부재정면에 300mm, 600mm, 900mm 지점을 의미한다(거리는 x축과의 거리를 의미한다).

철근콘크리트보의 최대하중 또한 다른 실험과 마찬가지로 미분을 치환하면 할수록 휨강도의 감

Table 7. Maximum strength of RC beam

Variable	Result	
	P(ton)	fb(MPa)
Normal	40.5	26.9
2%	37.3	24.8
4%	35.6	23.6
6%	34.9	23.2
8%	28.2	18.7
10%	23.9	15.9

* $f_b = p_l / bh^2$ (KS F 2408 3등분점 재하실험 휨강도 식)



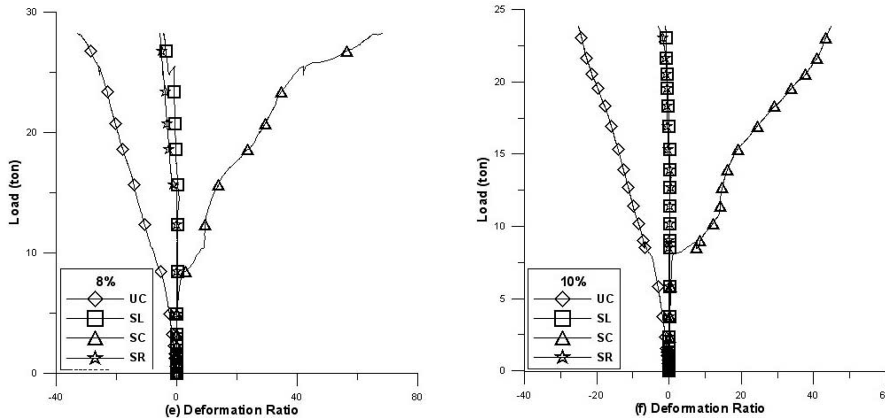


Fig. 6. Deformation Ratio of each Reinforced concrete.

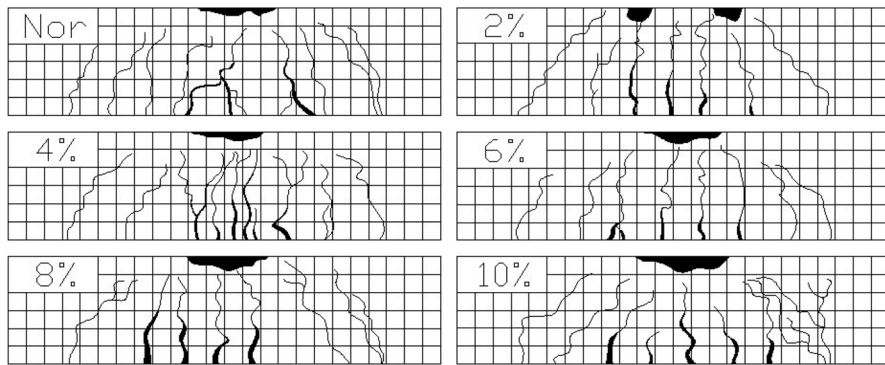


Fig. 7. Crack patterns of each specimen.

소가 진행됨을 Table 7을 통하여 확인할 수 있다. Fig. 6의 그래프를 보면 변형율은 Normal의 철근콘크리트보가 가장 컸으며, 미분의 치환율이 증가할수록 철근콘크리트보의 변형율이 작아짐을 알 수 있다. 각 철근콘크리트보의 균열은 Fig. 7에 나타나 있다.

4. 분석

4.1. 기초물성실험 분석

본 연구의 기초물성실험은 24MPa 강도의 일반 콘크리트에 비해 높은 강도를 나타냈으며 실험의 최대 미분 치환율인 10% 또한 적절한 강도를 나타남을 알 수 있다.

4.2. RC보의 휨강도실험 분석

- 1) RC보의 휨강도 실험에서는 Normal(미분 치환율 0%)에서 최대하중 40.5ton에서 파괴가 되었으며, 변형율이 다른 미분을 치환한 RC보

에 비해 크게 나타나 같은 하중조건시 변형 지속기간이 길다는 의미로 연성이 크다는 것을 의미한다.

- 2) 시멘트에 대한 미분의 치환이 2%씩 증가할때마다 각각의 RC보의 UC지점은 대략 10~20%의 변형율 감소를 나타내고 있다.
- 3) 좌우 대칭에 위치한 SL, SR지점은 각각의 RC부재에 비슷한 변형율을 나타내고 있다. 이는 최대하중 발생시 부재의 SL, SR지점까지는 변형이 도달하지 않음을 의미한다.
- 4) 미분을 치환한 각각의 RC보의 변형율 그래프의 SC지점은 20~40%의 변형율을 나타내고 있다.

5. 결론

- 1) 본 배합에 미분의 최대치환율인 10%까지 시멘트와 치환하여도 콘크리트의 강도 측면은 만족한다.

2) 각 비율별 압축강도의 감소를 고려하여 볼 때 순환골재로 배합한 콘크리트에 적절한 혼화제(AE감수제)를 사용한다면 미분을 15% 이하 치환하는 경우 콘크리트용 혼화재로써 사용이 가능할 것으로 사료된다.

3) 일반적으로 RC보의 강도는 철근의 영향력이 크지만 접착력이 손실된 미분은 시멘트의 역할을 대신하지 못하므로 RC보의 인장력 손실 초래 및 연성감소를 발생시켜 강도 및 균열에 영향을 준다.

4) 폐콘크리트 순환자원을 좀 더 효과적으로 이용하기 위해서는 미분의 접착력을 극대화시킬 수 있는 방법이 고안되어야 한다.

감사의 글 : 이 논문은 환경부의 환경기술 인력 양성 지원사업으로 지원되었습니다.

참고문헌

- 1) 이정구, “폐콘크리트 슬러지를 사용한 밀도 조절형 경량블록 개발에 관한 기초적 연구”, 공주대학교 대학원, 2008.
- 2) 이승환, 최익창, 한상국, “재생미분말의 유해성 분석 및 재생미분말을 혼입한 콘크리트의 특성”, 해양환경안전학회, 제14권, 제4호, pp. 289~295, 2008.
- 3) 최룡, “폐콘크리트 재생미분의 재활용기술 개발 방향과 시멘트-콘크리트의 자원순환체제 구축을 위한 정책 제언”, 한국과학기술정보연구원, 2004.
- 4) 한국건설기술연구원(<http://www.kict.re.kr>)
- 5) 이완조, “고강도용 폴리카본산계 고성능 감수제가 사용된 콘크리트의 성능”, 한국세라믹학회, 제42권, 제3호, pp. 182~187, 2005.