

전기 충격식 수중파쇄 재생골재를 이용한 재생콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on Properties Matter of Recycle Concrete used Electrical crusher in Underwater

박희곤*	조상영**	정근호**	이영도***	정상진****
Hee-Gon Park	Sang-Young Cho	Keun-Ho Jung	Young-Do Lee	Sang-Jin Jung

ABSTRACT

Recently, Recycling aggregates could be gained from the reconstruction works using recycle process and the study and research of recycle concretes developed concrete application methods. It could put some outcome of studies to practical use for concrete products. The methods of crushing waste concrete are going diverse.

In this study, the fundamental experiments and recycling application is investigated and analyzed with use of recycling aggregate which made of mechanical crush and underwater electrical impact crush, and the difference between underwater electrical impact crush, mechanical crush and natural aggregates is studied.

1. 서론

최근 들어 건설 분야에서 나타나고 있는 재개발과 리모델링으로 인하여 발생하는 폐기물량이 급증하고 있어 매립지의 용량이 한계에 다다르고 있다. 또한 80년대 중반까지만 하더라도 양질의 하천골재 입수가 비교적 용이 하였으나, 이후부터는 고도 경제 성장과 더불어 건설공사가 급격히 증가함에 따라 골재의 수요량도 급증하여 공급부족을 초래하게 되었다. 이미 전국의 하천골재는 거의 고갈 상태에 이르게 되었고, 그나마 채취되고 있는 골재의 품질도 극히 악화되어 있는 실정이다. 굵은 골재의 경우 강자갈이 고갈됨에 따라 이미 갠자갈(쇄석)로 대체하여 사용된다.

환경보전 및 에너지 절약이라는 차원에서 건설 부산물등을 재활용하는 것이 시급한 문제로 나타나고 있다. 그 중에서도 건설폐기물의 일종인 폐콘크리트는 국내에서 발생하는 건설폐기물 가운데 약 66%를 차지하고 있다.

향후의 폐콘크리트 발생량을 예측해 보면 건축물의 수명을 25년으로 가정할 경우, 2001년도에 14,953천톤의 폐콘크리트가 발생되고, 2020년에는 이보다 약 6.8배가 많은 101,293천톤의 폐콘크리트가 발생할 것으로 예상된다*. 따라서 이러한 폐콘크리트를 재 자원화 한다면, 환경 및 경제적인 차원에서 있어서 이용효과가 클 것으로

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대 대학원 박사과정

*** 정회원, 경동대학교 건축공학부 교수

**** 정회원, 단국대학교 건축대학 교수

사료된다.

이에 본 연구에서는 폐콘크리트의 파쇄 방법의 일종인 전기 충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재와 기계식 파쇄 재생골재 그리고, 보통골재를 사용한 콘크리트의 물성 및 특성을 파악하고, 재생골재 콘크리트의 성능을 검토·분석하여, 실용화 방안에 대한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	응결시간(분)		분말도 (cm ² /g)
		초결	종결	
보통포틀랜드시멘트	3.15	194	330	3,200

2.1.2 재생골재

재생골재는 대전시 건설폐기물에서 채취한 폐콘크리트로 전기충격식 수중파쇄 시스템과 조크 크러셔로 1차 파쇄(기계식 파쇄)한 재생골재 두 종류를 사용하였다. 재생골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 재생골재의 물리적 성질

파쇄방법	최대치수 (mm)	조립율 (%)	단위용적증량 (kg/m ³)	표건비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	마모감량 (%)
기계식 파쇄	25.0	6.41	1,269	2.31	7.30	54.9	38
전기충격식수중파쇄	25.0	6.86	1,315	2.37	6.52	55.5	32

2.1.3 사용골재

일반골재는 북한강산 강모래와 광주석산 쇄석을 사용하였으며, 사용골재의 입도조정은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하였다. 사용골재의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3 잔골재와 굵은 골재의 물리적 성질

	생산지	최대치수 (mm)	표건비중	흡수율 (%)	단위용적증량 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (%)
잔골재	북한강산	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은골재	광주석산	25.0	2.62	0.95	1,527	57.8	7.12

2.2 배합

본 실험은 단위수량 185kg/m³, 잔골재율 43%를 기준으로 굵은골재를 재생골재로 치환하였다. 실험계획 및 배합은 표 4와 같다.

* 이세현, '건폐기물의 재활용 기술과 정책', 건설기술연구원, 건설기술인 협회지, 2002. 5·6월호

표 4 실험계획 및 배합

W/C (%)	기호	S/a (%)	단위수량 (kg/m ³)	중량배합(kg/m ³)			
				C	S	G	RG
50	G50-100-0	43	185	370.1	732.2	982	0
	E50-50-50			370.1	732.2	491	442.3
	E50-0-100			370.1	732.2	0	884.53
	M50-50-50			370.1	732.2	491	432.9
	M50-0-100			370.1	732.2	0	865.79
55	G55-100-0	43	185	336.4	744.2	997.9	0
	E55-50-50			336.4	744.2	498.0	449.46
	E55-0-100			336.4	744.2	0	898.90
	M55-50-50			336.4	744.2	498.0	439.94
	M55-0-100			336.4	744.2	0	879.86

※ G : 일반골재
 E : 전기충격식수증파쇄
 M : 기계식파쇄
 RG : 재생골재

※ 범례 : G50-100-0
 ┌ 재생골재를
 │ ┌ 일반골재를
 │ └ 물시멘트
 └ 골재의 종류

2.3 실험방법

2.3.1 슬럼프 및 공기량 측정

슬럼프 실험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2409에 준하여 시행하였다.

2.3.2 압축강도 및 인장강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였으며, U.T.M(만능 시험기)을 이용하여 측정하였다.
 인장강도 시험은 KS F 2423의 규정에 따라 실시하였다.

2.3.3 콘크리트 흡수율시험

콘크리트 흡수율 시험은 KS F 2459에 의거하여 실시하였다.

2.3.4 콘크리트 정탄성 계수 시험

콘크리트 공시체 정탄성 계수 시험은 KS F 2438에 의거하여 측정하였다.

시험은 콤프레소 메탈을 사용하여 실시하였으며, 탄성계수는 원점에서 파괴 하중의 1/3 응력에 상당하는 곡선상의 점까지 끌어낸 직선 기울기로 구하는 세컨트 모듈러스법에 의하여 구하였다.

2.4 모의시험체 제작 및 계획

2.4.1 거푸집 제작

일반 벽체모양의 거푸집을 제작하였으며, 거푸집은 길이 1000mm, 높이 600mm, 두께 200mm로(그림 1, 그림 2) 하였으며, 합판은 두께 12mm 코팅 합판을 사용하였다.

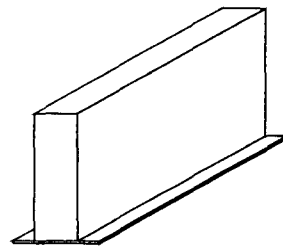
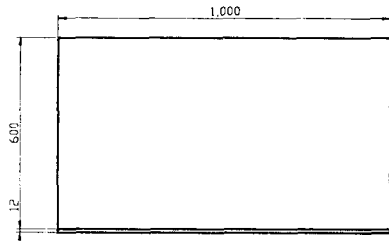
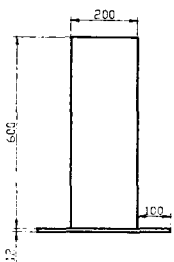


그림 1 거푸집 일면

그림 2 거푸집 형상

2.4.2 모의시험체 제작

배합은 재생골재의 활용성을 비교하기 위하여 W/C 50%의 보통 콘크리트, 전기 충격식 수중파쇄 재생골재 100%치환한 콘크리트, 기계식 파쇄 재생골재 100%치환한 콘크리트, 3종의 모의 시험체를 제작하여 28일간 대기양생(7일 습윤양생, 21일 대기방치)을 하였다. 양생 후 코어를 채취하여 압축강도 및 흡수율 시험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

전반적으로 슬럼프는 목표 슬럼프 18±2cm범위에서 대부분 만족하였고, 공기량 또한 목표 공기량 4.5±1.5를 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

3.2 압축강도

압축강도 시험 결과는 그림 3과 4에 나타내었다.

전반적으로 재생골재를 치환함에 따라 압축강도는 낮아지는 경향을 보였으며, 보통 콘크리트가 재생골재 콘크리트보다 강도값이 약 7% 높게 나타났다. 이것은 폐콘크리트 파쇄시의 충격으로 골재에 미세한 균열이 발생하여 강도저하에 영향을 주는 것으로 사료된다.

물시멘트비 50%의 경우 재령 7일에서 보통콘크리트가 재생골재 콘크리트 보다 6~20%의 높은 강도를 보였으나 재령 28일에서는 유사한 강도 값을 보였다. 또한 물시멘트비 55% 경우 재령 7일이나 28일에서 모든 시험체가 유사한 강도값을 보였다.

장기강도(재령 91일)에서는 재령 28일에서 보다 11~24%까지의 강도발현을 보였으며, 물시멘트비 50%에서 모든 시험체가 일정한 비율로 강도 발현을 한 반면, 물시멘트비 55%에서는 13~23%의 강도발현 비율의 차이를 나타내었다. 또한 파쇄방법별 재생골재 콘크리트에서의 강도발현을 보면, 재령 28일에 비해 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트 보다 약 5% 높게 나타났다.

이러한 결과로 보아 재생골재 콘크리트가 물시멘트비에 따라 강도발현의 차이를 보이는 것으로 사료되며, 파쇄방법별 재생골재 콘크리트에 있어서 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 장기강도 발현에 있어 유리할 것으로 판단된다.

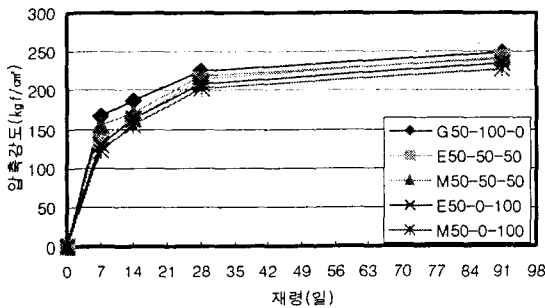


그림 3 압축강도 시험결과(W/C 50%)

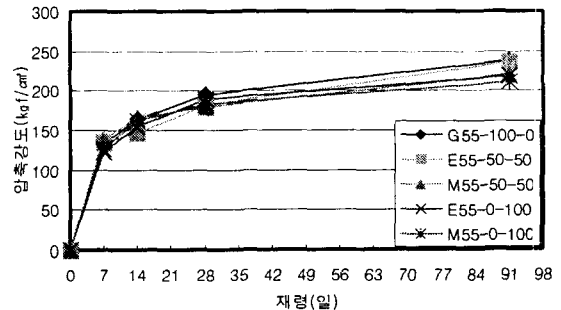


그림 4 압축강도 시험결과(W/C 55%)

3.3 인장강도

인장강도 시험 결과는 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

인장강도 시험결과는 재생골재를 치환함으로써 인장강도 값이 감소함을 보여 압축강도와 유사한 경향을 보였다. 보통 콘크리트는 재령 7일 강도 보다 재령 28일에 약 18% 증가한 반면, 재생골재 콘크리트는 재령 7일 인장강도 보다 재령 28일 강도가 약 23~36% 증가하였다. 하지만 재령 91일에서는 재령 28일 강도보다 보통콘크리트가 약 4% 증가하였고, 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트는 약 12% 증가하였으며, 기계식 파쇄 재생

골재 콘크리트는 약 7% 증가하였다. 이러한 결과로 보아 인장강도에 있어서 재생골재 콘크리트가 보통콘크리트 보다 장기강도 발현에 있어서 유리할 것으로 사료된다.

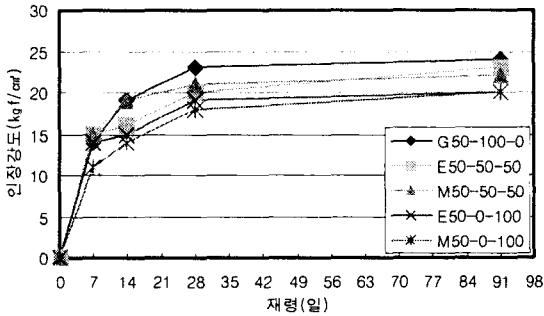


그림 5 인장강도 시험결과(W/C 50%)

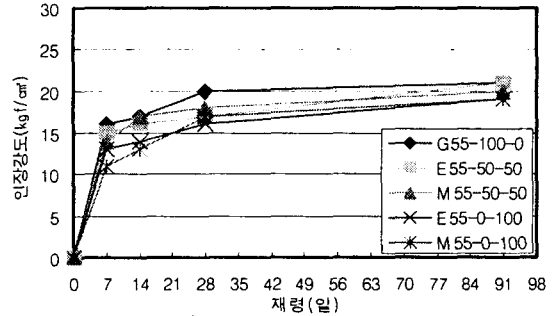


그림 6 인장강도 시험결과(W/C 55%)

3.4 정탄성 계수

파쇄 방법별 재생골재의 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도와 정탄성 계수 관계에 대한 시험결과를 그림 7에 나타내었다. 정탄성계수 시험은 모두 재령일 28일에 실험한 결과를 나타내었다. 정탄성계수는 골재의 종류에 관계없이 강도와 탄성계수의 관계는 거의 직선으로 나타나고 있으며, 압축강도가 증가함에 따라 탄성계수의 값 또한 증가하고 있다. 탄성계수는 보통 콘크리트, 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트, 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트순으로 크게 나타났으며, 각 시험체마다 $0.1 \sim 0.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 의 근소한 차이를 보이고 있었다. 이것은 재생골재의 공극이 보통골재에 비하여 다소 크기 때문으로 사료된다.

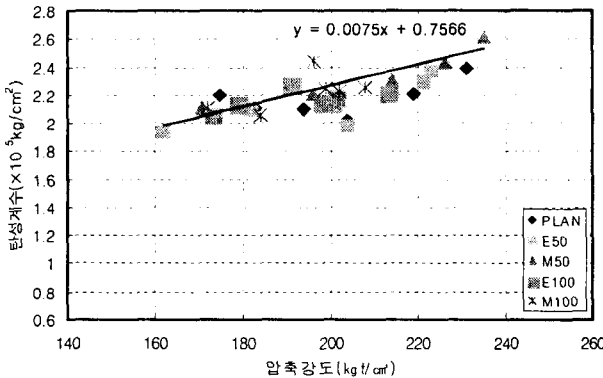


그림 7 압축강도와 정탄성 계수의 관계

※범례 :

- E50(전기충격식 수중파쇄 재생골재 50%치환)
- M50(기계식 파쇄 재생골재 50%치환)
- E100(전기충격식 수중파쇄 재생골재 100%치환)
- M100(기계식 파쇄 재생골재 100%치환)

3.5 모의 시험체

3.5.1 압축강도

코어 채취한 공시체의 압축강도 시험결과를 그림 8에 나타내었다.

파쇄방식에 따른 재생골재를 일반골재와 비교하여 보면 일반골재를 사용한 보통 콘크리트 시험체 강도보다 재생골재를 사용한 시험체가 약 10%정도 저하되는 경향을 보였으며, 파쇄별 재생골재의 시험체에서는 전기 충격식 수중파쇄 재생골재 시험체가 기계식 파쇄 재생골재 시험체 보다 약 7%정도 높은 것으로 나타났다.

따라서, 모의 실험체에서도 파쇄 방법에 따른 재생골재 콘크리트가 보통 콘크리트 보다 강도 저하가 있는 것으로 나타났고, 재생골재 중에서도 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트의 모의 시험체의 강도가 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트 모의 시험체 보다 높게 나타났다.

3.5.2 흡수율

모의 벽체의 부분별 흡수율의 시험결과는 그림 9에 나타내었다.

보통골재를 사용한 모의시험체 보다 전기충격식 수중파쇄 재생골재를 사용한 모의시험체가 약 14~22% 높게 나타났으며, 기계식 파쇄 재생골재를 사용한 모의시험체는 보통골재를 사용한 모의시험체 보다 약 35~50% 높게 나타났다. 또한 시험체의 부분별 흡수율을 보면 상부에서 하부로 갈수록 낮아지는 경향이 나타났다.

평균적으로 흡수율의 값이 약 23%의 차이를 보이고 있다.

이러한 결과로 보아 골재의 흡수율에 따라 콘크리트의 흡수율에도 영향을 미치는 것으로 사료되며, 상부에서 흡수율이 하부보다 높은 것은 시험체 자체의 중량으로 인하여 하부가 상부보다는 콘크리트 내부가 밀실 해지기 때문으로 판단된다.

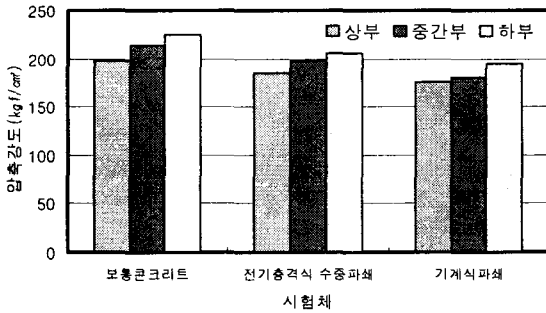


그림 8 모의 시험체 압축강도 시험결과

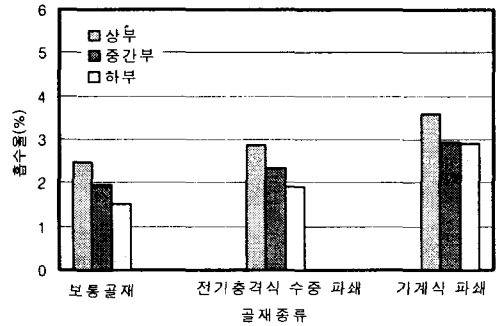


그림 9 모의 시험체 흡수율 시험결과

4. 결론

본 연구에서는 전기충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재 콘크리트에 대하여 분석·고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 굳지 않은 콘크리트 실험에 있어서 재생골재 콘크리트는 보통 콘크리트와 유사한 결과를 나타내었다.
- (2) 전체적인 강도성상에 있어서는 보통 콘크리트 보다 재생골재 콘크리트가 낮은 값을 보였으나, 장기강도발현에 있어 보통 콘크리트 보다 재생골재 콘크리트가 다소 유리한 것으로 나타났다.
- (3) 정탄성 계수 실험 결과 재생골재 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 탄성계수가 약 $0.1 \sim 0.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 로 다소 낮게 나타났다. 따라서 파쇄 방법별 재생골재를 상호 대체 사용시 정탄성계수에 대한 특별한 고려는 필요하지 않을 것으로 판단된다.
- (4) 모의시험체 실험에서는 보통 콘크리트 시험체 보다 재생골재를 이용한 시험체의 압축강도 및 흡수율 실험 값이 모두 저조하게 나타났다. 하지만 파쇄 방법별 재생골재 시험체를 비교해 보면 전기충격식 파쇄 재생골재의 시험체가 기계식 파쇄 재생골재 시험체의 실험값 보다 양호하게 나타났다.

이상의 결과에서 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트보다 보통콘크리트에 유사한 경향을 보였다. 따라서, 향후 전기충격식 수중파쇄 시스템을 이용하여 2, 3차 파쇄를 통한 양호한 품질의 재생골재를 생산하여 부차적인 실험을 진행할 계획이다.

참고문헌

1. 김문섭외 3인, '재생골재 콘크리트의 역학적 특성', 대한건축학회 논문집:v.13, n.9 ; 1997. 9.
2. 한천구의 4, '재생골재의 품질에 따른 재생 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구', 대한건축학회 춘계학술 발표대회 논문집(구조계):v.18, n.1; 1998. 4.