

폐콘크리트 파쇄 방법에 따른 재생골재 콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구

- 전기충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재를 중심으로 -

A Experimental Study on Properties Matter of Recycle Aggregate Concrete Crush Method Waste-Concrete

- Focused on the Recycle Aggregate used Electrical Crusher System in Underwater-

박희곤* 조상영** 백민수** 이영도*** 양극영**** 정상진*****
Park, Hee-Gon Cho, Sang-Young Bak, Min-Su Lee, Young-Do Yang, Keek-Young Jung, Sang-Jin

Abstract

The production accounts of domestic by-product is increased after 1990's. It is worried about the life reduction of dump land, as dump land's capacity have reached to limitation and the amount of construction industrial wastes is going higher.

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.

키워드 : 재생골재, 재생골재콘크리트, 전기충격식 수중파쇄, 압축강도

Keywords : Recycled aggregate, Recycled aggregate concrete, Underwater electrical impact crush, Compressive strength

1. 서론

국내에서는 90년대 이후 건설분야에서의 폐기물 발생량이 급증하고 있다. 특히 매립지의 용량이 한계에 다다르고 있는 가운데, 건설폐기물의 반입이 늘고 있어 매립지의 수명 단축이 우려되고 있다. 김포매립지의 경우 96년에 반입된 건설폐기물은 총 166만톤으로 전체 반입량의 약 20%를 차지하였다.

환경보전에너지 절약 및 자원의 유효 이용이라는 관점에서부터 건설 부산물이나 미 이용자원의 건설재료에의 활용은 건설 업계나 학계 모두가 시급히 해결해야 할 과제인 것은 주지의 사실이다. 특히, 그 중에서도 건설폐기물의 일종인 콘크리트 폐재의 재 자원화는, 질이 좋은 천연골재자원의 고갈, 폐기콘크리트 덩어리의 최종처분장소의 부족 및 불법투기에 의한 환경파괴 등과 같은 문제점들에 대한 해결방안의 하나로서 의의가 있다.

최근, 구조물의 해체 공사 등에 의해 반드시 발생하는 콘크리트 덩어리를 재처리해서 얻은 재생 잔골재 및 재생 굵은 골재를 이용하여 만든 재생 콘크리트의 실용화

방안에 관한 연구-검토는 활발하게 이루어지고 있으며, 또한 폐콘크리트의 파쇄 방법도 다양화되고 있다.

따라서 본 논문에서는 폐콘크리트의 파쇄 방법의 일종인 전기 충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재 콘크리트와 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트, 또한 일반콘크리트의 기초물성을 비교-분석하여, 폐콘크리트의 이용방안에 대한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. 전기충격식 수중파쇄 시스템

전기충격식 수중파쇄 시스템은(그림 1.) 물이 담긴 탱크 내에 폐콘크리트를 넣고 임의의 간격을 두고 위치한 전극봉에 전압을 부가함으로써, 충격력으로 작용할 수 있는 적절한 에너지 지원에 의하여 파쇄 효과를 얻어 골재만을 채취하여 재활용하는 시스템이다.

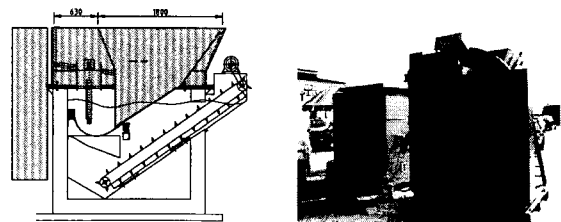
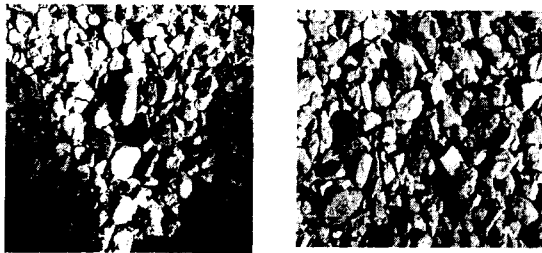


그림 1. 전기충격식 수중파쇄 시스템

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대 대학원 박사과정
*** 정회원, 경동대학교 건축공학부 교수
**** 정회원, 원광대학교 건축공학과 교수
***** 정회원, 단국대학교 건축대학 교수

그림 2에서는 전기충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재와 기계식 파쇄 재생골재를 나타내었다.



수중파쇄 재생골재 기계식파쇄 재생골재

그림 2. 파쇄 방법별 재생골재

3. 실험재료 및 계획

3.1 사용재료

1) 시멘트

시멘트는 비표면적 3,112cm²/g인 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분은 표1과 같다.

표1. 시멘트의 화학성분

구분	화학성분(%)							비중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss	
보통 포틀랜드 시멘트	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15

2) 사용골재

일반골재는 북한강산 강모래와 광주석산 쇠석을 사용하였으며, 사용골재의 입도조정은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하였다. 사용골재의 물리적 성질은 표2와 같다.

표2. 잔골재와 굵은 골재의 물리적 성질

	생산지	최대 치수 (mm)	표건 비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (%)
잔골재	북한강산	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은 골재	광주석산	25.0	2.62	0.95	1,527	57.8	7.12

3) 재생골재

재생골재는 대전시 건설폐기물에서 채취한 폐콘크리트로 전기충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재와 조그크러셔로 파쇄한 재생골재 두 종류를 사용하였다. 재생골재의 물리적 성질은 표3과 같다.

표3. 재생골재의 물리적 성질

	생산지	최대 치수 (mm)	조립율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	표건 비중	흡수율 (%)
기계식 파쇄	대전시	25.0	6.41	1,269	2.31	7.30
전기충격식 수중파쇄	대전시	25.0	6.86	1,315	2.37	6.52

3.2 실험방법

1) 슬럼프 및 공기량 측정

슬럼프 시험은 KS F 2402에 준하여 시행하였다. 공기량 시험방법은 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법(KS F 2409)에 의해 시험하였다.

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.

3) 콘크리트 흡수율시험

콘크리트 흡수율 시험은 KS F 2459에 의거하여 실시하였다.

3.3 배합

본 실험은 단위수량 185kg/m³, 잔골재율 43%를 기준으로 굵은골재를 재생골재로 치환하였다. 실험계획 및 배합은 표4와 같다.

표4 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 : 전기충격식수중파쇄
M : 기계식파쇄 RG : 재생골재

※ 범례 : G50-100-0
 ┌ └ 재생골재율
 ├ └ 일반골재율
 └ └ 물시멘트
 └ 골재의 종류

3.4 시험체 제작 및 계획

일반 벽체의 1/4로 축소하여 거푸집을 제작하였다. 거푸집은 가로 1000mm, 세로 600mm, 폭 200mm로(그림 3. 그림 4.) 하였으며, 콘크리트의 측압을 고려하여 세로의 1/3지점에 가새를 설치하였다. 합판의 두께는 12mm 코팅 합판을 사용하였다.

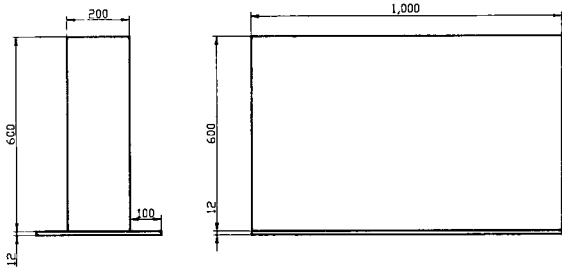


그림 3. 거푸집 입면

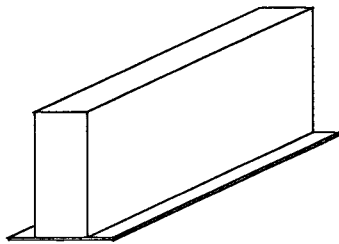


그림 4. 거푸집 형상

배합은 W/C 50%의 기준 콘크리트, 전기 충격식 수중파쇄 재생골재 100%치환한 콘크리트, 기계식 파쇄 재생골재 100%치환한 콘크리트의 3종의 모의 시험체를 제작하여 28일 양생 후 코어채취를 통하여 압축강도(KS F 2405) 실험 및 흡수율실험(KS F 2459)을 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 슬럼프 및 공기량

굵은골재를 재생골재로 치환한 실험결과와 그림5, 그림 6와 같다.

전반적으로 슬럼프는 18~22cm범위로 우수한 유동성을 보였다.

공기량은 물시멘트비 55%에 치환율 50%인 경우 기준 콘크리트에 비하여 전기 충격식 수중파쇄나 기계식 파쇄 재생골재의 공기량의 차이가 거의 없었으나 100%치환한 경우 12~15%증가한 것으로 나타났고, 재생골재의 치환율이 높아짐에 따라 공기량이 높게 나타났다.

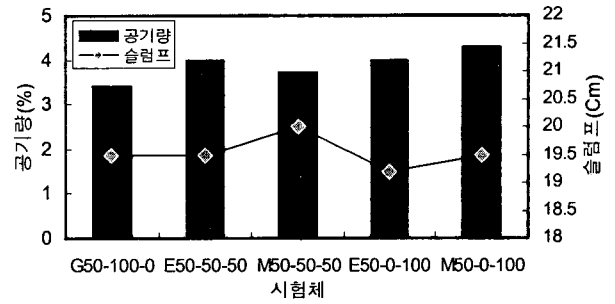


그림 5. W/C 50% 슬럼프 및 공기량 실험결과

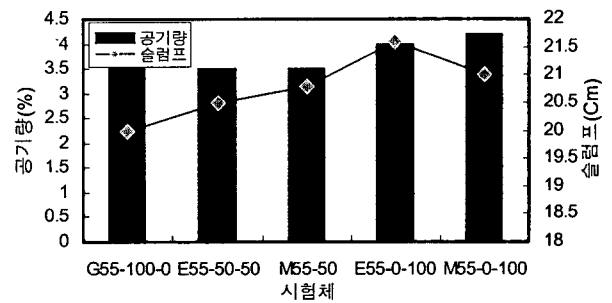


그림 6. W/C 55% 슬럼프 및 공기량 실험결과

4.2 흡수율

각 시험체별 흡수율 시험결과와 그림 7에 나타내었다.

물시멘트비에 따른 흡수율 결과를 보면 물시멘트비 50%때 보다 55%때가 약 25%정도의 흡수율을 가지고 있었으며, W/C 50%에서나 55%에서 모두 전기 충격식 수중 파쇄를 이용한 재생골재 콘크리트가 일반 콘크리트 보다 흡수율이 증가함을 보였다. 또한 재생골재의 치환율에 따라 재생골재 0%치환한 콘크리트 보다 50% 치환한 콘크리트의 흡수율이 약 27%높게 나타났으며, 재생골재 50% 치환한 콘크리트 보다 100% 치환한 콘크리트의 흡수율이 약 40% 가량 높은 것으로 나타났다.

기준 콘크리트에 비하여 재생골재 100%를 치환한 콘크리트가 흡수율이 약 55%높게 나타났다. 이것은 골재의 흡수율에 따라 변화가 있는 것으로 사료되며, 이러한 실험 결과로 보아 재생골재 사용시 골재의 흡수율을 보정할 수 있는 방법을 찾는 것이 시급한 문제라고 판단된다.

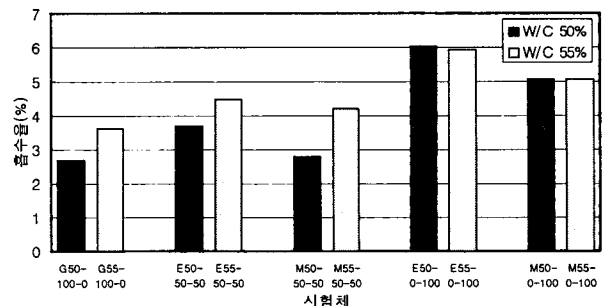


그림 7. 흡수율 실험결과

4.3 압축강도

압축강도 실험 결과는 그림 8과 9에 나타내었다. 전반적으로 재생골재를 치환함에 따라 압축강도는 낮아지는 경향을 보였으며, 기준 콘크리트가 재생골재 콘크리트보다 강도값이 약 7%높게 나타났다. 이는 재생골재 자체에 부착되어있는 불순물로 인하여 강도가 저하되는 것으로 사료된다.

물시멘트비 50%의 경우 재령 7일에서 각 시험체에 따라 6~20%의 강도차이를 보였으나 재령 28일에서는 유사한 강도 값을 보였다. 또한 물시멘트비 55% 경우 재령 7일이나 28일에서 모든 시험체가 강도차이를 보이지 않았다.

과쇄종류별 재생골재를 사용한 콘크리트의 강도를 보면 기준 콘크리트에 비하여 재생골재 콘크리트의 압축강도가 저하되는 경향을 보이고 있지만, 치환율이 증가함에 따라 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트 보다 우수한 강도값을 나타내고 있다. 따라서 치환율이 높을수록 재령 28일 강도에 있어서 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트 보다 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 다소 양호한 것으로 판단된다.

이상의 결과로 미루어 보아 파쇄 방법에 따른 재생골재 콘크리트의 강도차이가 있는 것으로 사료된다.

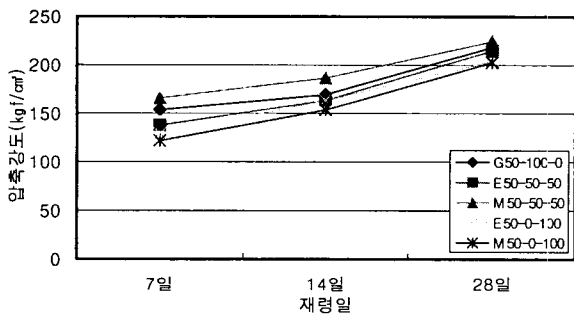


그림 8. W/C 50% 압축강도 실험결과

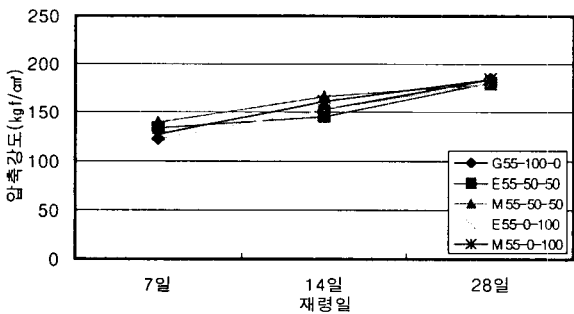


그림 9. W/C 55% 압축강도 실험결과

4.4 인장강도

인장강도 실험 결과는 그림 10와 그림 11에 나타내었다. 압축강도와 마찬가지로 인장강도 또한 재생골재를 치환함으로써 인장강도 값이 감소함을 보였다.

물시멘트비 50%에서는 기준콘크리트가 재령 7일 강도

보다 재령 28일에 약 18%증가한 반면, 재생골재 콘크리트는 재령 7일 인장강도 보다 28일에 약 23% 증가하였다. 물시멘트비 55%에서는 기준 콘크리트가 재령 7일 인장강도 보다 28일에 약 7%증가한 반면, 재생골재 콘크리트는 재령 7일 강도 보다 28일에 약 36%증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 보아 재생골재의 흡수율이 높기 때문에 콘크리트 내부의 수분이 다량 함유되어 있어 콘크리트의 경화가 늦어지며, 이에 따라 콘크리트의 강도 발현도 늦어지는 것으로 사료된다.

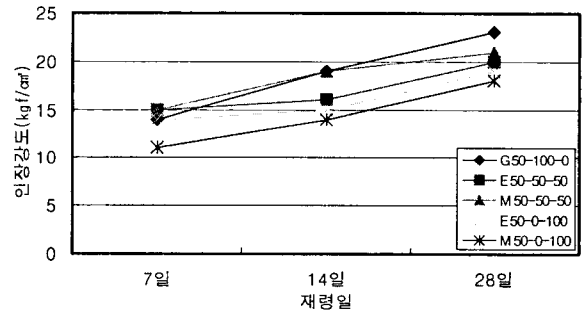


그림 10. W/C 50% 인장강도 실험결과

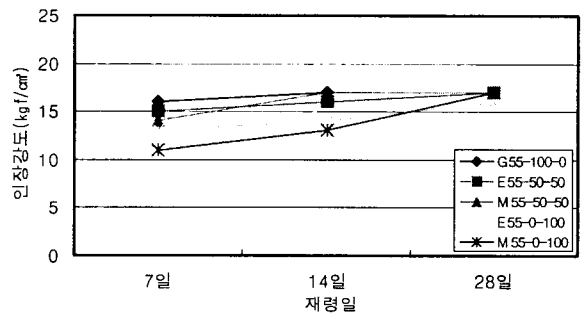


그림 11. W/C 55% 인장강도 실험결과

4.5 모의실험체

1) 흡수율

모의 벽체의 부분별 흡수율의 실험결과는 그림 12에 나타내었다.

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

평균적으로 흡수율의 값이 17%~38%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 밀실하여 하부보다는 상부의 공극이 커짐으로 인하여 흡수율 또한 높게 나타나는 것으로 사료된다.

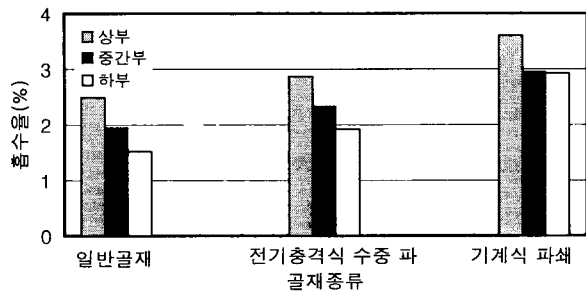


그림 12. 모의 시험체 흡수율 실험결과

2) 압축강도

코어 채취한 공시체의 압축강도 실험결과를 그림 13에 나타내었다.

벽체의 상부에서 하부로 내려갈수록 강도값이 10%~12%증가됨을 볼 수 있었다. 이는 벽체 타설시 굵은골재가 시멘트나 잔골재에 비해서 비중이 크므로 굵은골재가 벽체 하부로 분포하면서 벽체 하부의 강도가 크게 나타나는 것으로 사료된다.

파쇄방식에 따른 재생골재를 일반골재와 비교하여 보면 일반골재를 사용한 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.

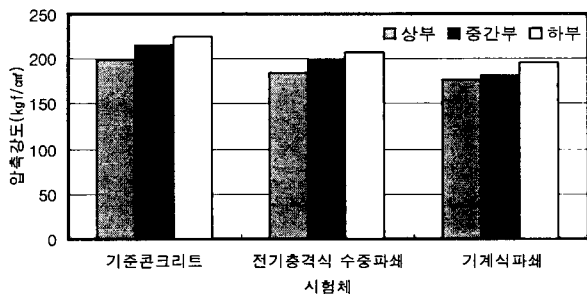


그림 13. 모의 시험체 압축강도 실험결과

5. 결론

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

(1) 재생골재 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 실험에 있어서 물시멘트비 50%, 55% 모두 기준콘크리트와 근사한 결과가 나왔으며, 기계식 파쇄 보다는 전기충격식 수중파쇄 시스템 재생골재 콘크리트가 기준콘크리트에 가까운 실험치를 보였다. 따라서 굳지 않은 콘크리트에 있어서는 기계식 파쇄 보다는 전기 충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재의 사용이 더욱 용이 할 것으로 사료된다.

(2) 전체적인 강도성상에 있어서는 기준콘크리트 보다 재생골재 콘크리트가 낮은 값을 보였다. 이것은 재생골재에 부착되어 있는 불순물이 콘크리트의 강도가 증가됨에 따라 강도가 약한 불순물 부분부터 파괴되기 때문으로 사료된다.

전체적으로 재생골재의 치환율이 증가함에 따라 강도값이 떨어진다. 하지만, 재생골재의 치환율 50%에서는 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트가 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트보다 양호하게 나타났으나, 재생골재 100%치환했을 경우에는 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 다소 양호하게 나타났다. 이러한 결과로 보아 치환율이 높아짐에 따라 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트보다 양호 할 것으로 사료된다.

(3) 흡수율에 있어서 재생골재 콘크리트의 흡수율이 기준콘크리트에 비하여 50%이상 높게 나타나고 있다. 이는 재생골재 자체의 흡수율이 높기 때문으로 사료되며, 전기충격식 수중파쇄 시스템을 이용한 재생골재 콘크리트가 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트 보다 흡수율이 약 17% 높게 나타났다. 이러한 결과는 전기 충격식 수중파쇄시 수중에서 폐콘크리트를 파쇄함으로 기계식파쇄 보다는 골재에 수분의 흡수량이 많아지기 때문으로 사료된다.

(4) 모의시험체 실험에서는 기준콘크리트 시험체 보다 재생골재를 이용한 시험체의 실험값이 모두 저조하게 나타났다. 하지만 전기충격식 수중파쇄 재생골재 시험체와 기계식 파쇄 재생골재 시험체를 비교해 보면 전기충격식 파쇄 재생골재의 시험체가 기계식 파쇄 재생골재 시험체의 실험값 보다 양호하게 나타났다. 이는 파쇄 방법에 따른 재생골재가 콘크리트에 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 기계식 파쇄 재생골재 콘크리트보다 전기충격식 수중파쇄 재생골재 콘크리트가 다소 우수한 것으로 사료되며, 재생골재를 건축용 구조부재로 사용하기 위해서는 재생골재에 남아있는 불순물의 처리 문제가 시급할 것으로 사료된다. 따라서 재생골재의 현장적용을 위해서는 많은 연구 검토가 있어야 할 것이다.

참고문헌

1. 콘크리트용골재라비 혼화材料としての各種廢棄物の再利用の可能性, 콘크리트工學, 1996. 2.
2. 박철림, 재생골재의 파쇄효과에 따른 재료특성. 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(구조계) v.18, n.1, pp. 935-940, 1998. 4.
3. 解体콘크리트의 處理と再利用の現狀. 콘크리트工學, 1997. 7
4. 콘크리트의 리사이클關する海外の動向. 콘크리트工學, 1997. 7.
5. 정상진의 10인, "건축재료학", 보성각, 1999