봉파쇄기에 의해 제조된 재생굵은골재를 사용한 콘크리트의 공학적 특성

Engineering Properties of Concrete Using Recycled Aggregate Manufactured by Bar-Crusher

백 대 현*	한 동 엽**	유 명 열***	이 건 철****	한 천 구*****
Baek, Dae-Hyun	Han, Dong-Yeob	Yu, Myoung-Youl	Lee, Gun-Cheol	Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigates engineering properties of concrete using recycled coarse aggregated manufactured by bar-crusher. Test showed that Bar-crusher(S) had more effective results at fresh state than cone-crusher(C) and impact-crusher(I). In case of specimens manufactured by S, increase of spindle velocity, incorporating ratio of recycled aggregate and maximum size of aggregate inclined fluidity. As for the hardened concrete, compressive strength of specimens by C or I exhibited lower value than that of S. In addition, specimens using recycled aggregate manufactured by 400rpm and 500rpm of spindle velocity showed less than 10% reduction rate of strength, which is not significant reducing value. It is found that 500rpm of the spindle velocity had the best strength performance, while 600rpm was the worst. Strength value of specimens decreased as incorporating ratio of recycled aggregate inclined, but the strength value of most specimens exhibited less than 10% of reducing rate, assuming favorable result, only at less than 25% incorporating ratio of recycled aggregate.

키워드 : 봉 파쇄기, 재생 굵은골재, 콘 크러셔, 임팩트 크러셔
Keywords : Bar-Crusher, Recycled Coarse aggregate, Cone Crusher, Impact Crusher

1. 서 론

최근에는 노후화된 콘크리트 구조물을 해체할때 발생되는 폐콘크리트를 분쇄 및 체가름하여 부족한 콘크리트용 골재자원으로 재활용하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다.

그런데, 기존의 재생골재 생산에는 압축판 사이에 골재를 낀 상태로 파쇄하여 소정의 입도 이하로 체가름하는 방법을 적용하고 있다. 이렇게 생산된 골재는 입형이 대체적으로 편석으로 생산되고, 골재와 모르터가 동시에 파쇄되기 때문에 부착 모르터의 박리효과도 미비하고, 생산되는 골재의 입도도 일정 크기 이하로만 배출될 뿐 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)에서 제안하고 있는 입도나 입형 및 흡수율 등을 맞추기 어려운 것으로 조사되고 있다. 또한 이러한 압축작용으로 재생골재를 생산할 경우 압축판의 마모가 심하여 잦은 교체의 어려움으로 인해 경제적 손실이 발생하고, 흡수율에 많은 영향을 주는 부착 모르터 부분을 박리하는 효과도 미비하여 품질이 우수한 재생골재를 생산하기 위해서는 별도의 장치가 필요하였다.

그러므로 본 연구에서는 기존 재생골재 생산시 이와같은 문제점을 개선하기 위하여 그림 1과 같이 국내 D사가 개발 특허출원중인 봉파쇄기에 의하여 제조된 재생 굵은골재를 이용한 콘크리트의 품질 성상에 대하여 기존방법과 비교하고, 또한, 봉파쇄기의 최적회전속도 및 혼합 굵은골재 사용 콘크리트의 최적방안을 도출함으로서 궁극적으로는 재생골재 콘크리트의 품질향상에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

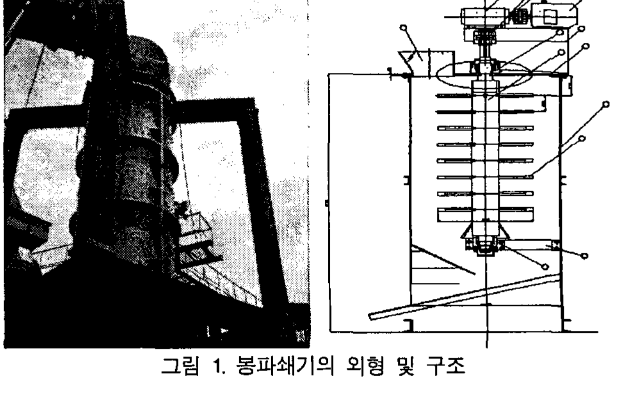

그림 1. 봉파쇄기의 외형 및 구조

* 정회원, 청주대학교 석사과정
** 정회원, 서울대학교 석사과정
*** 정회원, 서울대학교 박사과정
**** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원, 공학박사
***** 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

2.1 실험계획

본 연구의 배합계획은 표 1과 같다.

배합사항으로 먼저 W/C는 60% 1수준에 대해, 굵은골재 최대치수 20mm의 부순 굵은골재를 100% 사용한 것을 플레인 배합으로 설정하였다.

실험변수로 파쇄 방법은 봉 파쇄기, 콘 크러셔, 임팩트 크러셔의 3수준, 회전속도는 봉파쇄기인 경우에서 400, 500, 600rpm의 3수준, 굵은골재 최대치수는 회전속도 500rpm인 경우에서 20, 25, 30, 40mm의 4수준, 재생골재 치환율은 굵은골재 최대치수 20mm에서 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로 총 12 배치를 실험계획 하였다.

이때 배합사항으로는 플레인의 목표슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%가 만족되도록 배합설계 한 다음 실험변수별 동일한 배합비율을 적용하였다

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하도록 하였다.

표 1. 배합계획

파쇄 방법	기호	회전 속도 (rpm)	굵은골재 최대치수 (mm)	재생골재 치환율(%)	W/C (%)	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)
봉 파쇄기	S	400	20	100	60	150±25	4.5±1.5
		500	20	0*			
				25			
				50			
				75			
				100			
			25	100			
			30	100			
			40	100			
		600	20	100			
콘 크러셔	C	-	20	100			
임팩트 크러셔	I	-	20	100			

* Plain 콘크리트로 함

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도 3.15g/cm^3, 분말도 3,265cm^2/g)를 사용하였고, 잔골재(표건밀도 2.51g/cm^3, 조립율 2.90)는 충북 청원군 옥산산 강모래, 굵은골재(표건밀도 2.63g/cm^3, 조립율 7.04)는 충북 청원군 옥산산 20㎜부순 굵은골재와 국내 D사에서 제공한 재생굵은골재를 사용하였다. 혼화제로 감수제는 폴리칼본산계, AE제는 빈졸계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 KS F 2403에 의거 Ø100×200mm 공시체를 제작한 다음 표준양생하고, 실험계획된 재령에서 KS F 2405의 규정에 의거 압축강도시험을 실시한다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 파쇄방법에 따른 재생골재의 물성

표 2는 파쇄방법별 재생골재의 물성을 나타낸 것이다.

먼저, 물리적 성질에 있어서 밀도는 파쇄방식에 상관없이 모두 KS F 2583의 규격을 상회하는 것으로 나타나 양호한 결과이었고, 흡수율의 경우는 S, C, I 순으로 낮게 나타났으며 S의 회전속도에 따른 영향으로 회전속도가 증가할수록 흡수율이 작은 것을 알 수 있었다. 한편, 공극률의 경우 봉파쇄기의 회전속도가 증가할수록 증가하는 경향이었고, 실적률은 반대경향을 보였다.

입자특성으로서 조립률의 경우 C, I, S의 순으로 크게 나타났고, S의 회전속도에 따른 영향으로는 500rpm, 400rpm, 600rpm 순으로 크게 나타났다. 또한, 입도곡선의 경우 파쇄방법 및 회전속도에 관계없이 KS F 2573의 표준입도범위를 만족하는 것으로 나타났으며, 0.08mm체 통과량의 경우 S, C, I의 순으로 크게 나타났고 봉파쇄기의 회전속도가 증가할수록 많게 나타났다. 파쇄기 종류에 따른 입형판정실적률의 경우 S, C, I의 순으로 크게 나타났고, S의 회전속도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었는데, 모든 경우에서 KS F 2573의 55%이상을 만족하여 양호한 것으로 나타났다.

표 2. 재생골재의 물리 및 입자 특성

구분	S-400	S-500	S-600	C	I	KS F 2573		
						1종	2종	3종
밀도	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.2이상		
흡수율	4.4	4.7	5.1	6.0	6.2	3이하	5이하	7이하
단위용적질량	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	-		
공극률	41.4	39.4	36.9	38.1	40.8	-		
실적률	58.6	60.6	63.1	61.9	59.2	55%이상		
마모감량	28.5	22.2	28.2	30.1	34.3	40%이하		
조립률	6.64	6.70	6.60	6.68	6.65	-		
0.08mm체 통과량	0.5	1.3	1.9	0.9	0.9	1.5%이하		
입형판정 실적률	55.8	57.8	60.3	56.6	56.0	55%이상		

3.2 굳지않은 콘크리트의 특성

3.2.1 유동성

그림 2는 파쇄기 종류 및 봉파쇄기의 rpm변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우를 나타낸 것이다. 먼저 파쇄기 종류에 따른 유동성은 봉파쇄기를 사용한 경우 (S)가 콘크러셔(C)나 임팩트 크러셔(I)보다 향상된 경향을 나타내었고, S의 회전속도

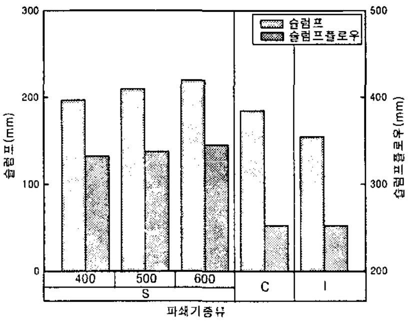

그림 2. 파쇄기 종류에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우

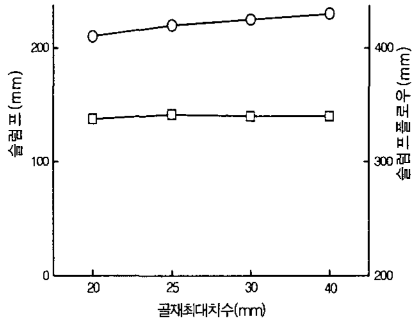

그림 3. 재생골재 최대치수에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우

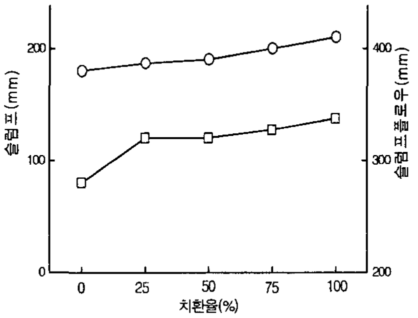

그림 4. 재생골재 치환율에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우

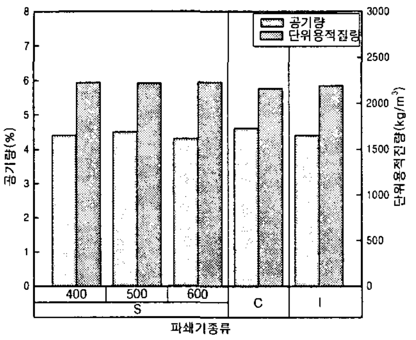

그림 5. 파쇄기 종류에 따른 공기량 및 단위용적질량

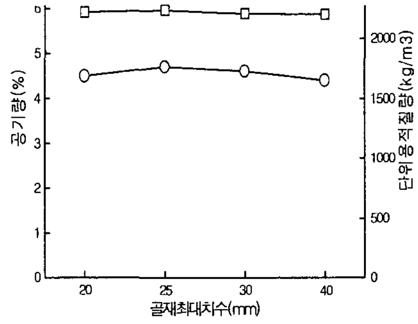

그림 6. 재생골재 최대치수에 따른 공기량 및 단위용적질량

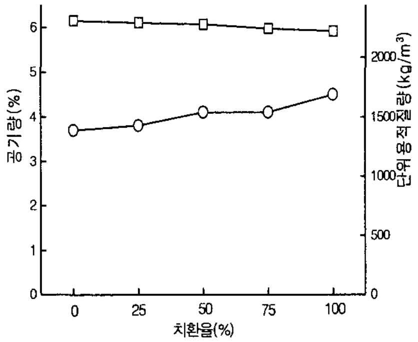

그림 7. 재생골재 치환율에 따른 공기량 및 단위용적질량

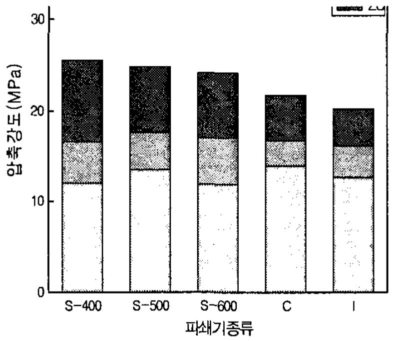

그림 8. 파쇄기 종류에 따른 압축강도

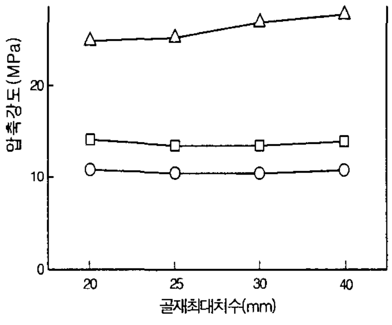

그림 9. 재생골재 최대치수에 따른 압축강도

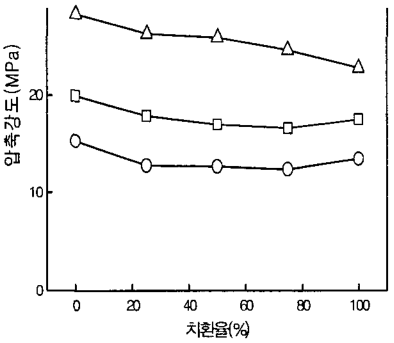

그림 10. 재생골재 치환율에 따른 압축강도

변화에 따른 유동성은 회전속도가 빠를수록 증대되는 것으로 나타났다. 이는 S의 경우 회전속도가 증가할수록 반입된 재생골재 제조시 타격횟수 증가에 따른 입형개선에 기인한 것으로 사료된다.

그림 3은 재생굵은골재 최대치수에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우를 나타낸 것이다. 콘크리트의 유동성은 굵은골재의 최대치수가 증가할수록 다소 증가하는 경향을 보였다.

그림 4는 재생굵은골재 치환율에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우를 나타낸 것이다. 유동성은 재생골재치환율이 증가할수록 커지는 것으로 나타났는데, 이는 봉파쇄기로 제조한 굵은골재의 입형이 부순 굵은골재보다 양호한 것에 기인된 결과로 사료된다.

3.2.2 **공기량 및 단위용적질량**

그림 5는 파쇄기 종류 및 봉파쇄기 회전속도 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다. 먼저 공기량의 경우, 파쇄기 종류변화에 따라서는 큰 차이는 없었으나 C, I, S순으로 높게 나타났고, 봉 파쇄기 회전속도 변화에 따라서는 큰차이가 없는 것으로 나타났는데, 모두 목표공기량 범위를 만족하였다. 콘크리트의 단위용적질량은 공기량 경향과 반대의 경향을 나타내었다.

그림 6은 골재의 최대치수 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다. 전반적으로 공기량과 단위용적질량은 골재치수에 상관없이 유사한 것을 알 수 있었다.

그림 7은 재생골재 치환율에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다. 공기량은 치환율이 증가할수록 높아지는 경향으로 나타났으나, 단위용적질량은 낮아지는 경향을 나타내었는데, 이는 재생골재의 경우 공극이 많고, 밀도가 부순 굵은골재보다 작은 원인에 기인하는 것으로 사료된다.

3.3 경화콘크리트의 특성

그림 8은 파쇄기 종류 및 봉파쇄기 회전속도에 따른 재령별

압축강도를 나타낸 것이다.

전체적으로는 봉파쇄기에 의해 제조된 재생골재를 이용한 콘크리트가 콘 크러셔나 임팩트 크러셔에 의해 제조된 재생골재 콘크리트보다 압축강도가 크게 나타났고, 봉파쇄기의 회전속도별로는 회전속도가 증가할수록 압축강도가 약간 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 회전속도 상승에 따른 재생골재의 입형판정실적률이 증가하게 되고 골재의 입형판정실적률이 증가할수록 표면조직이 매끄러움으로 인한 부착력 감소 및 기타 골재 품질요인에 의한 것으로 분석된다.

그림 9는 재생골재 최대치수 변화에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로, 굵은골재 최대치수가 커질수록 큰 차이는 아닐지라도 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 봉파쇄기에 의한 골재 제조시 골재치수가 커질수록 골재의 타격횟수 감소로 인한 골재의 각진 입형이 골재와 페이스트간의 부착력 증대를 일으킨 것으로 분석된다.

그림 10은 재생골재 치환율 변화에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 재생골재 치환율이 많아질수록 저하하였는데, 특히 재령 28일에서는 재생골재 치환율 0%에 비하여 재생골재 치환율 100%가 약 20%정도 낮은 강도를 발휘하였다. 이는 모르터가 부착된 골재로 구성된 재생골재의 경우 골재 자체의 강도 저하, 골재와 페이스트간의 부착강도 저하가 원인인 것으로 사료된다.

3.4 종합분석

이상의 실험결과를 종합하여 가장 이상적인 골재조합을 분석하면 표 3과 같다. 봉파쇄기에 의해 제조된 재생골재를 사용한 콘크리트가 기존의 콘 크러셔나 임팩트 크러셔보다 굳지않은 콘크리트의 유동성 및 공기량, 경화콘크리트의 강도특성에서도 우수한 성능을 발휘함을 알 수 있었고, 봉파쇄기의 경우 500rpm의 회전속도에서 제조된 20mm 재생골재를 25% 이내로 치환할 경우 가장 우수한 성능을 발휘함을 알 수 있어, 궁극적으로 봉파쇄기를 이용하여 재생골재를 제조할 경우 보다 고품질의 재생골재를 생산할 수 있는 것으로 판단되었다.

이상을 종합하여 볼 때 봉파쇄기를 이용하여 r.p.m 500, 최대치수 20mm, 25%이하의 치환율로 구조체용 콘크리트 재생골재를 활용하게 되면 품질상 문제점은 없는 것으로 종합고찰된다.

4. 결　론

봉파쇄기에 의해 제조된 재생골재를 이용한 콘크리트의 기초적 특성에 대하여 비교 분석한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 파쇄기 종류별로 슬럼프 및 슬럼프플로우는 S의 경우가 C, I보다 양호한 결과를 나타내었고 S의 회전속도는 빠를수록, 재생골재의 치환율은 증가할수록, 골재최대치수가 커질수록 증가하여 플레인에 비하여 양호한 것을 확인할 수 있었다.

2) 파쇄기 종류별로 공기량 및 단위용적질량은 C, I, S순으로 공기량이 높게 나타났으나 모두 목표 공기량을 만족하였고, 단위용적질량은 공기량과는 반대의 경향으로 나타났다. 재생골재의 치수변화에는 상관없이 유사하게 나타났으며, 재생골재 치환율이 증가할수록 공기량은 증가하고 단위용적질량은 감소하는 경향을 나타냈다.

3) 파쇄기 종류별로 압축강도는 플레인과 비교하여 전반적으로 작게 나타났는데, 플레인 콘크리트의 압축강도에 비하여 ±10% 이내로 압축강도가 변화하는 경우를 양호한 것으로 평가하였을 경우 재령 28일에서는 S를 제외하고 C와 I의 경우는 불량한 것으로 평가되었다. 또한 회전속도와 재생골재 치환율에 따른 영향으로, 회전속도변화의 경우 600rpm의 경우를 제외하고 대부분 10%이내의 강도저하율을 보여 양호한 결과를 나타내었고, 재생골재 치환율은 증가할수록 강도저하가 커졌으나 치환율이 25% 이내일 경우 압축강도 저하율은 -10% 이내로서 양호하게 평가되었다.

표 3. 콘크리트 실험결과의 종합비교

구분 (실험사항)		슬럼프	공기량	압축강도		
				3일	7일	28일
W/C (60%)	S-400-20	●	●	○	◎	●
	S-500-20-0	●	●	●	●	●
	S-500-20-25	●	●	◎	◎	●
	S-500-20-50	●	●	◎	◎	◎
	S-500-20-75	●	●	◎	◎	◎
	S-500-20-100	●	●	◎	◎	◎
	S-500-25	●	●	◎	◎	◎
	S-500-30	●	●	◎	◎	●
	S-500-40	●	●	◎	○	●
	S-600-20	●	●	○	◎	◎
	C	◎	●	●	◎	○
	I	○	●	◎	◎	○

기호 중 ● : 양호, ◎ : 보통, ○ : 불량

주. 1) 슬럼프는 S-500-20-0을 기준으로 그 이상이면 양호 0~-20mm의 범위를 만족하면 보통, -20mm이하이면 불량으로 평가함.
2) 공기량은 S-500-20-0을 기준으로 ±1.0%이하일 때 양호, ±1.0~2.0%일 때 보통, 그 이상은 불량으로 평가함.
3) 압축강도는 S-500-20-0을 기준으로 ±10%이내인 경우 양호, -10%~-20%는 보통, -20%이상은 불량으로 평가함
4) 인장강도는 S-500-20-0을 기준으로 ±10%이내인 경우 양호, -10%~-20%는 보통, -20%이상은 불량으로 평가함

참 고 문 헌

1. 이도헌, 콘크리트용 순환(재생)골재의 재활용을 위한 문제점 및 대책, 대한주택공사 주택도시, 제83호 pp29~35, 2004