

Autogenous crusher를 이용한 고품질 재생골재 생산 연구

김관호, 이덕재, 조희찬¹⁾, 안지환²⁾

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부

2) 한국지질자원연구원 자원활용소재부

Study on recovery of high grade recycled aggregate using by autogenous crusher

Kwan Ho Kim, Duck Jae Lee, Hee Chan Cho¹⁾, Ji Whan Ahn²⁾

1) School of Civil, Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University

2) Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

1. 서론

최근 기존의 철근콘크리트 구조물이 노후화됨에 따라 재건축·보수 등에 의한 폐콘크리트의 발생이 급격하게 증가되고 있으며, 이는 폐콘크리트의 처리 문제와 불법 투기에 따른 환경오염 등의 문제를 유발시켜 사회적으로 큰 이슈가 되고 있다. 이러한 문제의 해결방안으로서 폐콘크리트의 재활용에 관한 많은 연구가 진행되었으며, 최근 가장 바람직한 재활용 방법으로 고려되어지고 있는 것이 폐콘크리트로부터 재생골재를 생산하는 방법이다. 따라서 폐콘크리트로부터 재생골재를 생산하여 토목·건축 공사 등에 사용되어 지고 있으나, 재생골재는 천연골재와 비교하여 골재의 품질이 열악하기 때문에 주로 도로의 보조 기층재와 노반재 등에 국한되어 사용되고 있으며, 구조용 콘크리트에의 사용은 미미한 실정이다.

이렇듯 낮은 품질의 재생골재가 생산되고 있는 가장 큰 이유는 아스콘, 적별돌, 타일 등의 여러 가지 불순물들과 시멘트 페이스트의 혼재 때문이다. 재생 굵은 골재의 경우에는 골재와 시멘트 페이스트의 분리가 완벽하게 이루어지지 않고, 재생 굵은 골재 표면에 시멘트 페이스트가 붙어있어 밀도를 낮추고 흡수율을 높이는 악영향을 미친다. 또한 재생 잔골재의 경우에도 마찬가지로 여러 가지 불순물과 시멘트 페이스트 미분이 혼재되어 있어 품질을 저하시킨다.

따라서 고품질의 재생 골재를 생산하기 위해서 재생 굵은 골재의 경우에는 골재와 시멘트 페이스트의 분리를 증진시켜 골재 표면에 시멘트 페이스트를 제거하는 것이 가장 확실하고 효과적인 방법이며, 또한 재생 잔골재의 경우에는 여러 불순물과 시멘트 페이스트에 대한 분리·선별 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 기존의 재생 골재 생산 공정에서 발생한 폐콘크리트를 이용하여 고품질 재생 골재를 생산하기 위한 연구를 진행하였다. 폐콘크리트 덩이를 autogenous crusher를 이용하여 분쇄한 후 입도에 따른 재생 굵은 골재의 밀도와 흡수율을 측정하여 고품질 재생 굵은 골재의 생산 가능성에 대해서 검토하였으며, 재생 잔골재의 경우에도 재생 골재 생산 현장의 중간 생성물인 30mm이하 시료를 사용하여 autogenous crusher와 간섭침강장치를 이용하여 재생 잔골재의 입도와 물리적 특성에 대한 개선을 연구하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 페콘크리트 시료는 현재 운영 중인 재생 골재 생산 현장에서 획득한 것으로, 재생 굵은 골재 생산에 이용된 75mmx53mm 크기의 페콘크리트 시료는 생산 공정의 1차 조크러셔 산물이며, 재생 잔골재 생산에 이용된 시료는 생산 공정의 중간 생성물인 30mm이하 시료이다. 페콘크리트의 분쇄 실험에 사용된 장비는 autogenous crusher로 일반적인 볼밀과 같은 원통형이며, 원통이 회전하면서 분쇄가 이루어진다. Autogenous crusher와 볼밀의 가장 큰 차이점은 볼밀은 밀 내부에 분쇄 매체인 볼을 넣어 시료를 분쇄하지만, autogenous crusher는 시료 자체가 낙하하면서 낙하하는 에너지에 의해 분쇄가 이루어진다. Autogenous crusher는 기존의 재생 골재 생산 현장에서 사용되어 지는 조크러셔 및 임팩트 크러셔와 다른 분쇄 메커니즘인 gentle breakage로 페콘크리트를 분쇄하며, gentle breakage는 두 가지 이상의 물체가 존재할 때 경계면을 따라 분쇄가 이루어진다고 알려져 있다. 따라서 autogenous crusher가 골재와 시멘트 페이스트의 분리를 증진시킬 수 있을 것이라고 예상할 수 있었다.

페콘크리트 시료는 골재와 시멘트 페이스트의 분리를 증진시키기 위하여 분쇄 실험을 수행하기 이전에 기존의 연구에서 검증하였던 가열 처리 방법을 이용하여 400℃에서 1시간동안 가열 전처리 하였다. 실험에 사용된 autogenous crusher의 지름은 약 710mm, 길이는 530mm 정도이며, 회전속도는 30rpm으로 고정하였다. 재생 굵은 골재를 생산하기 위한 실험 조건은 autogenous crusher의 10% 부피 비에 해당하는 75mmx53mm 페콘크리트를 약 48.3kg를 넣은 후 골재 표면의 시멘트 페이스트 분리를 증진시키기 위해서 지름 1인치의 steel ball 5kg를 추가하여 10분 동안 분쇄한 후 입도분포와 밀도 및 흡수율을 측정하였다. 분쇄 실험 결과를 토대로 골재의 품질을 파악하였으며, 연속적인 분쇄 공정을 이룩하기 위하여 양질의 재생 굵은 골재를 제외한 후 동일한 양의 75mmx53mm 시료를 추가하여 연속인 실험을 진행하였다.

재생 잔골재 생산을 위한 실험은 가열 전처리한 30mm이하의 페콘크리트 시료를 autogenous crusher를 이용하여 10분간 분쇄한 후 입도 분포 및 밀도와 흡수율을 측정하였으며, 분쇄 실험을 통해 생산된 산물은 간섭침강장치를 이용하여 입도를 제어하였으며, 실험조건은 Table 1과 같다. 또한 간섭침강장치를 통해서 분리된 시료의 밀도와 흡수율을 측정하였다. 간섭침강장치는 장치상부에서 시료가 투입되며, 시료의 투입에 따라 장치 내부의 밀도는 변하게 된다. 이렇게 변화하는 장치 내부 밀도에 의해 입자들의 침강 속도를 입도에 따라 달라지며, 표 1의 실험조건과 같이 변화하는 하부주입수의 유속에 따라 하부주입수의 유속에 비해 작은 침강속도를 갖는 입자는 장치 상부를 통해 배출되게 되며, 무거운 입자는 하부에서 배출되게 된다.

Table 1 Experimental condition

Set point	90			
시료 투입 속도 (g/min)	522.89			
하부주입수 유속, L/min(gal/min)	2.27 (0.6)	3.02 (0.8)	3.78 (1.0)	4.54 (1.2)

3. 결과 및 고찰

3.1 재생 굵은 골재 생산 실험

Fig. 1은 시간에 따른 autogenous crusher의 입도 분포를 나타낸 그래프이다. 시간에 따른 폐콘크리트의 입도는 큰 변화를 보이지 않았으며, $1\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자의 경우에는 주로 시료의 마모에 의한 분쇄의 전형적인 형태를 띠고 있다. Table 2는 시간에 따른 분쇄 산물의 입도별 밀도와 흡수율을 나타낸 표이다. 입도별 밀도와 흡수율을 살펴보면 10분의 실험결과 19.1mm 이상의 시료들은 KS의 1종 재생골재 흡수율 규격인 3%를 상당히 초과하는 것을 알 수 있으며, 그 이하의 시료들은 3% 내외를 이루는 것을 알 수 있다. 따라서 19.1mm의 시료들을 체가름을 통하여 제거한 후, 제거된 양만큼 feed 시료(75mmx53mm)를 추가하여 연속적인 공정을 모사하였다. 그러나 9.52mm와 6.7mm 시료들은 골재의 표면에 시멘트 페이스트가 거의 부착되어지지 않았음에도 상대적으로 높은 흡수율을 나타내었는데, 이는 골재와 시멘트 페이스트가 원활하게 분리되지 않았음을 의미하는 것이 아니라 골재와 비슷한 크기의 시멘트 페이스트 입자들이 존재하기 때문으로 사료된다. 이는 30분 분쇄 후 측정 결과에서도 동일하게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 골재와 시멘트 페이스트의 분리뿐만 아니라 탈착된 시멘트 페이스트와 골재의 분리도 고품질의 재생골재를 생산하기 위한 중요한 공정임을 고려하여 탈착된 시멘트 페이스트가 좀 더 잘 분쇄될 수 있도록 분쇄 시간을 10분에서 15분으로 증가하여 실험을 실시하였다. Table 2의 실험 결과에 따르면 분쇄 시시간이 증가됨에 따라 19.1mm이하의 시료들에 대해서 밀도와 흡수율이 개선된 것을 확인할 수 있었으며, 이는 분쇄 시간에 증가함에 따라 시멘트 페이스트 입자들이 분쇄되어 미분화되었음을 의미한다.

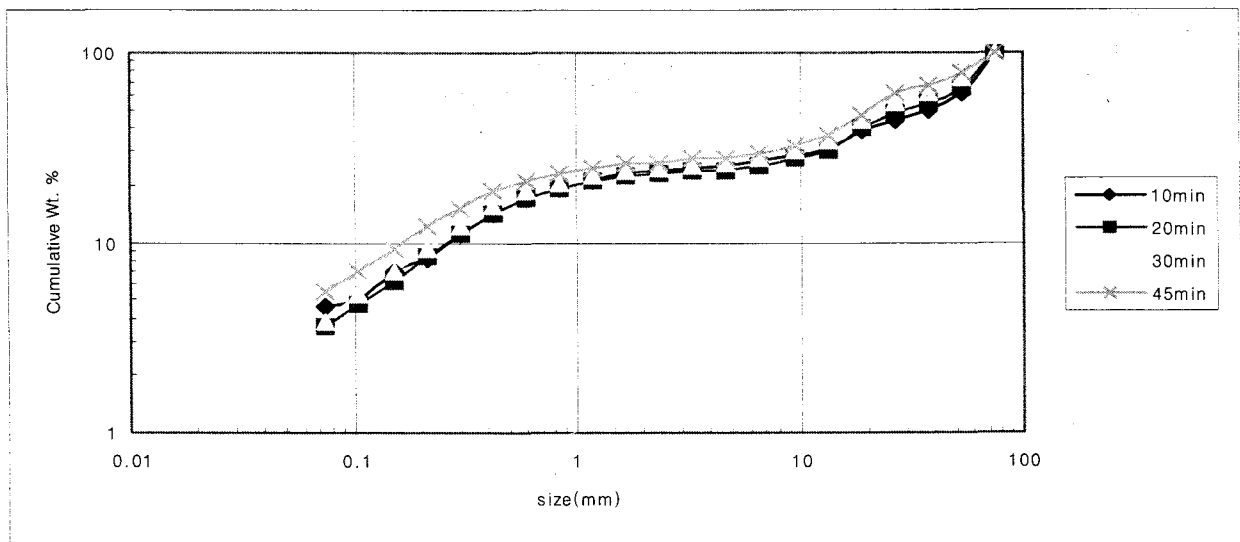


Fig. 1 Cumulative Wt. % of waste concrete crushed by autogenous crusher

Table 2 Specific gravity and Water absorption ratio of recycled coarse aggregate

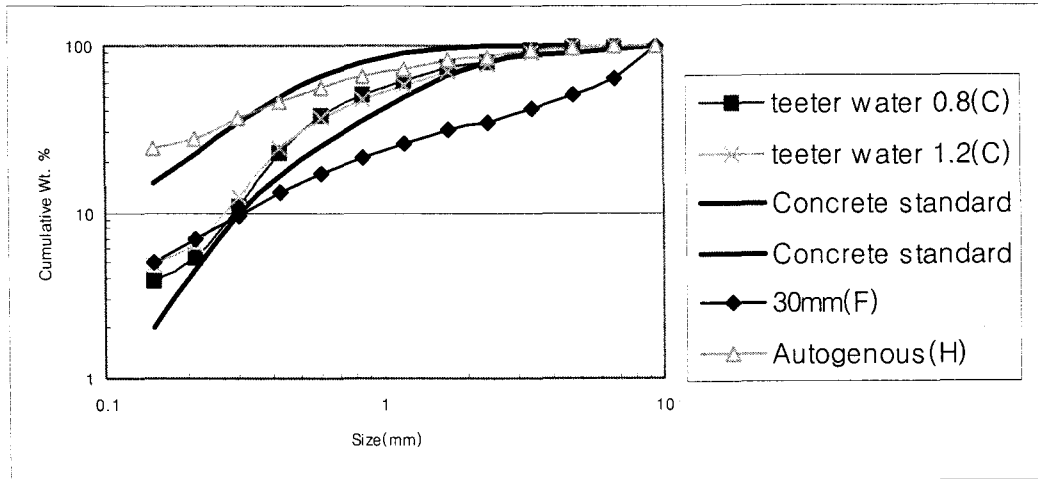
입도(mm)	누적 분쇄 시간					
	10분		30분		45분	
	밀도(g/cm ³)	흡수율(%)	밀도(g/cm ³)	흡수율(%)	밀도(g/cm ³)	흡수율(%)
37.4x26.5	2.07	7.73	2.15	7.45	2.12	7.82
26.5x19.1	2.28	4.51	2.46	2.71	2.38	3.78
19.1x13.4	2.42	2.98	2.36	3.50	2.43	3.21
13.4x9.52	2.46	3.01	2.41	3.44	2.46	2.62
9.52x6.70	2.34	3.23	2.34	4.56	2.43	3.04
6.7x4.75	2.32	4.70	2.32	5.19	2.37	3.77
4.75x0.075	2.02	9.76	1.95	10.74	-	-

3.2 재생 잔골재 생산 실험

현재 재생 골재 생산 현장에서 생산되고 있는 5mm 이하의 재생잔골재의 경우 대체로 콘크리트 재생 잔골재 표준입도를 만족하지 못하고 있으며, 주로 표준입도의 하단부분에 분포되고 있다. 이는 폐콘크리트의 반입 시 건설토사 등이 혼합됨에 따라 재생골재의 입도에 영향을 주는 것으로 사료된다. 따라서 표준입도를 만족하는 재생잔골재를 생산하기 위해서 30mm 이하 시료를 가열 전처리 한 후 autogenous crusher를 통해서 분쇄하였다. 분쇄 산물은 Fig. 2에서 보듯이 표준입도를 대체로 만족하는 결과를 나타냈지만 0.3mm 이하의 미분이 많이 발생하여 표준입도를 벗어나는 결과를 보여주었다. 따라서 0.3mm 이하의 미분을 제거하여 표준입도를 만족하는 재생잔골재를 생산할 것으로 사료되어 간섭침강분리 장치를 이용하여 실험을 수행하였다.

Fig. 2는 간섭침강분리를 통해 생산된 재생 잔골재의 입도분포이다. 간섭침강분리 실험 결과에서는 Set point와 시료 투입속도를 고정시키고 하부 주입수를 변화 시켰을 때 모든 조건에서 표준입도를 만족하는 결과를 보여주어 재생 잔골재의 입도가 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3은 재생 잔골재의 각 조건에 따른 밀도와 흡수율을 나타낸 것이다. 측정결과 autogenous crusher의 분쇄 산물의 밀도는 2.2g/cm³ 이상을 규정을 만족하지 않았지만, 흡수율은 비처리의 재생잔골재(7.23%)보다 다소 개선된 흡수율(전처리: 5.37%)을 보여주고 있다. 또한 구간별 특징을 살펴본 결과 0.3mm이하의 구간에서 흡수율이 급격히 증가되는 경향을 보여주고 있다. 따라서 0.3mm 이하의 미분을 제거하면 밀도 및 흡수율을 개선할 수 있음을 확인하였다. 간섭침강분리 실험 결과 분리된 시료의 밀도는 2.32g/cm³로 천연골재에 근접하는 밀도를 보였으며, 또한 흡수율도 3.26%를 나타내어 많이 개선되었음을 알 수 있었다.



* (C): column test, (F): Feed, (H): 전처리

Fig. 2 Cumulative Wt. % of fine aggregate after hindered settling test

Table 3 Specific gravity and water absorption of fine aggregate

입도(mm)	Feed		입도(mm)	분쇄시료				Column				
	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)		밀도(g/cm ³)		흡수율(%)		하부 주입수 (gal/min)	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)		
				전처리	비처리	전처리	비처리					
30x26.5	2.36	5.09	구 간 별	4.75x0.6	2.35	2.29	2.61	3.20	0.8	2.32	3.51	
26.5x19.1	2.23	5.15		0.6x0.3	2.23	2.22	3.12	5.16				
19.1x12.7	2.23	5.67		0.3x0.212	2.01	2.00	7.33	7.23				
12.7x9.52	2.25	4.98		-0.212	1.73	1.64	9.73	11.45	1.2	2.32	3.26	
9.52x6.7	2.21	5.32		6.7x4.75	2.20	5.91	전체	-4.75				2.15
6.7x4.75	2.20	5.91										
-4.75	2.13	6.74										

4. 참고 문헌

- 김관호, 조희찬, 2004 : 콘크리트골재와 시멘트 페이스트 단체분리를 위한 예비연구, 2004년 춘계 자원 리사이클링 학술대회
- 김정윤, 2005 : 간섭침강분리에 의한 국산 무연탄의 정제특성 및 모델링에 관한 연구, 서울대학교 공학 박사학위논문