

기계식 회전 레이크 분리장치와 토네이도 흡입장치를 활용한 순환골재 내 유기이물질 제거 및 입도 개선 향상 기술

A Technology to Remove Organic Matters and Improve Segregation of Recycled Aggregates by Using Rotational Rakes Separator and Tornado Vacuum Separator



한상국 Sang-Kuk Han
 (주)포스벨 기업부설연구소
 연구소장/공학박사
 E-mail : scai123@nate.com



박옥윤 Ok-Yun Park
 (재)한국건설생활환경시험연구원
 산업융합센터 선임연구원
 E-mail : suntree@kcl.re.kr



장현오 Hyun-O Jang
 (재)한국건설생활환경시험연구원
 산업융합센터 연구원/공학박사
 E-mail : san1312@kcl.re.kr

1. 서론

건설폐기물 중간처리사업장에 수집·운반된 건설폐기물을 중간처리하여 순환골재를 생산하는 과정에서 1차·2차 크리셔에서 파쇄·분쇄되어 20 mm이하, 40 mm이하, 75 mm 이하의 순환골재가 생산되고 있지만 각 중간처리사업장의 처리시설 및 핵심생산기술의 사용 여부에 따라 순환골재의 품질수준이 확연하게 차이나거나 실수요자 및 국가에서 인정하는 순환골재 품질규격에 부합하지 못하여 사용상에 많은 제약을 받고 있어, 이를 해결할 기술개발이 관련 산업분야에서 절실히 요구되고 있다. 특히, 파쇄되어진 순환골재속에 비닐류, 목재류, 천류, 종이류,스티로폼 등의 유기이물질이 상당량 섞여 있으며, 순환골재표면에 시멘트 가루(페이스트)등이 다량 붙어 있고, 파쇄될 때 각진 형태(입형저하)여서 순환골재로서의 재활용이 어려울 뿐만 아니라 도로건설용 순환골재로서의 품질이 상당히 떨어지고 있다.

국내 전국 지방자치단체에서 사업허가를 득한 400여개의 건설폐기물 중간처리업체 사업장은 대부분이 수처리(水處理) 시설이나 풍력(風力), 인력(人力) 선별에 의해 순환골재속에 포함되어 있는 가연성 이물질을 제거하고 있으며 수처리(水處理) 시설을 이용하는 사업장의 경우 시설이 방대하여 시설부지 확보 및 엄청난 폐수처리 비용에 대한 부담을 안고 있다. 특히 단순 풍력(風力) 및 인력(人力) 선별에 의해 처리되고 있는 사업장의 경우 이물질 제거율이 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법령 재활용 기준을 초과하여 재활용이 불가능한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 건설폐기물 중간처리장에서 발생되는 40 mm이하의 순환골재 속에 다량 함유되어 있는 비닐류, 목재류, 폐합성섬유, 스티로폼 등의 2차적인 환경처리 비용을 발생시키지 않고 기계식 건식(乾式) 타입의 장치를 통하여 생산된 도로보조기층용 순환골재의 품질기준 만족여부를 검토하였다.

2. 핵심기술 소개

기존의 국내·외 순환골재 품질향상 기술로 많이 사용되고 있는 (1)풍력 건식비중 선별방식, (2)습식(水)비중 선별방식 등은 선별 대상물의 비중차이로 순환골재 속에 존재하는 유기이물질과 시멘트 가루 등의 미분을 제거시킬 수 있는 기술이지만, 현재 건설폐기물 중간처리업체에서 실질적으로 생산되는 순환골재에는 다량의 이물질이 포함되어 품질저하의 문제가 발생하고 있다. 특히 건식풍력선별방식의 비산먼지 및 가연물의 날림 문제와 습식비중선별방식의 폐수 및 공정슬러지 등의 처리 문제를 해결할 수 있는 기술개발은 관련 업계의 오랜 숙제로 남아있었다.

이러한 문제점을 효과적으로 해결하기 위하여 다년간 연구개발을 지속해온 결과 도로건설용 순환골재의 생산 공정에서 폐수 및 공정슬러지 등 2차 환경오염 발생 없이 순환골재의 입도 개선과 부분 입형을 개선하면서 동시에 이물질을 가장 효과적으로 제거할 수 있는 건식 타입의 『기계식 회전레이크식 이물질분리장치와 토네이도 흡입장치를 이용한 유기이물질제거 및 입도개선을 통한 도로공사용 순환골재의 품질향상 기술』을 개발하여 품질이 우수한 양질의 순환골재를 생산하는데 큰 효과를 얻고 있다.

본 기술은 건설폐기물의 중간처리하는 생산과정에서 고품질의 순환골재를 생산하기 위하여 크라셔를 통해 파쇄된 건설폐기물내의 유기이물질(폐비닐, 천, 나뭇조각, 플라스틱조각,

스티로폼 등)을 기계식 건식(乾式)회전레이크 타입으로 선별, 분리해내고 파쇄된 순환골재의 입형개선 및 파쇄된 건설폐기물에 붙어 있는 시멘트 가루를 깨끗하게 털어냄과 동시에 선별 분리된 이물질 및 비산먼지 등을 효율적으로 선별 배출할 수 있도록 구성되어 있다.

2.1 기계식 회전레이크 장치

기계식 회전레이크 장치는 1·2차 콘크라샤 장치에서 파쇄된 건설폐기물 내에 섞여 있는 유기이물질을 체인기어가 ㄱ형의 프레임에 부착되어 2줄의 체인에 의해 체인과 체인을 곡선형의 브라켓형으로 제작된 앵글 시스템에 특수 제작된 강철 부러쉬와 자기식 우레탄 브러쉬를 회전, 구동시키는 원리이다. 파쇄된 건설폐기물이 컨베이어를 타고 이송하는 동안 강철 브러쉬와 자기식 우레탄(또는 플라스틱) 브러쉬가 컨베이어 벨트 바닥을 직각으로 가로질러 훑고 지나가면서 파쇄된 건설폐기물속에 섞여 있는 유기이물질(폐비닐, 천, 나뭇조각, 플라스틱조각, 스티로폼 등)만을 반대 컨베이어 장치로 건너 넘겨줌으로써 건설폐기물내의 유기이물질을 기계식으로 선별 분리해내는 기술로 원리는 <그림 1>과 같다.

2.2 토네이도 흡입선별장치

토네이도 흡입선별장치는 육각디스크 선별장치와 일체형

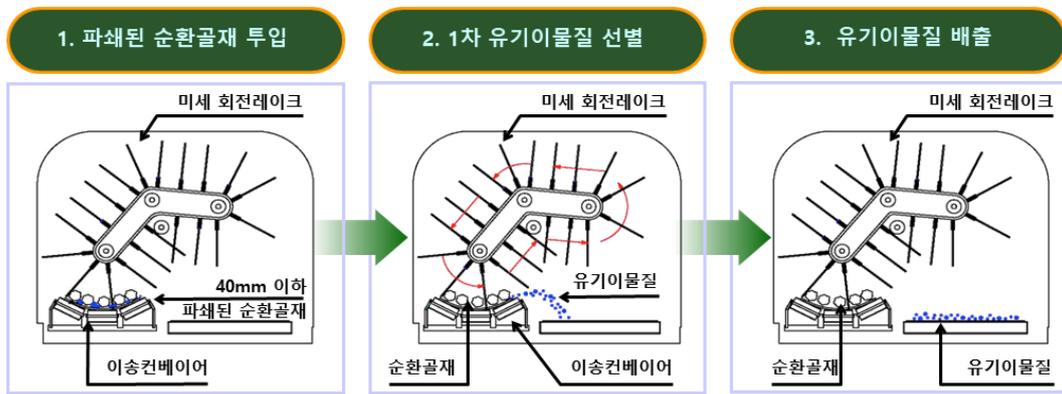


그림 1. 기계식 회전레이크 장치 작동원리

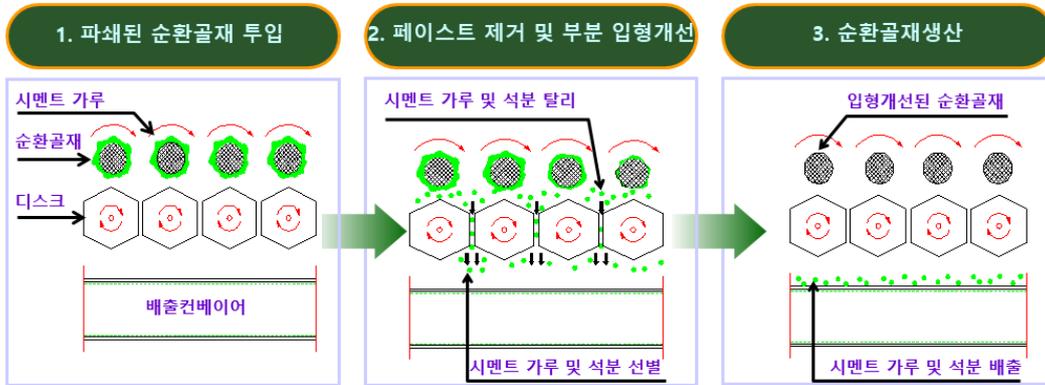


그림 2. 페이스트 제거, 입도 및 입형 개선 작동원리

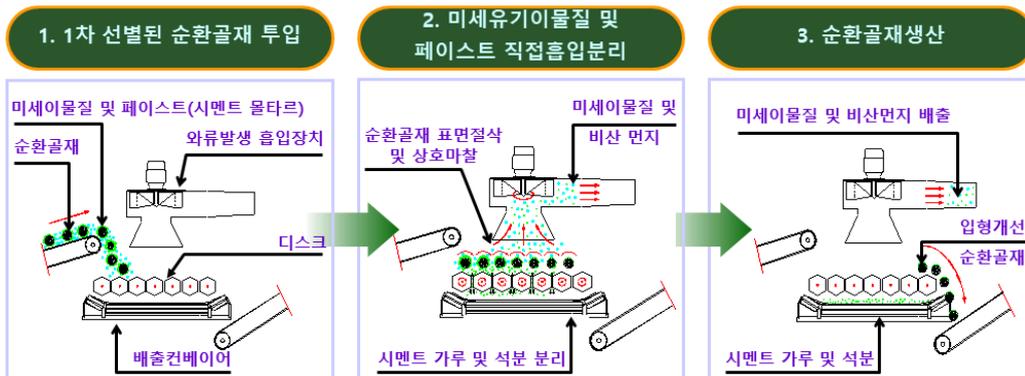


그림 3. 토네이도 흡입선별장치 작동원리

으로 구성되어 1단계 시멘트 가루 등 페이스트 제거, 입도 및 부분 입형 개선과정을 통과 한 뒤 2단계 토네이도 흡입선별장치를 통해 유기이물질 및 시멘트 가루 등 페이스트를 흡입하여 선별하는 장치이다.

1단계에서는 적정크기로 파쇄된 건설폐기물 중 모서리가 각진 순환골재가 빠르게 회전하는 디스크의 육각 톱날에 강하게 충돌, 접촉되어 모서리를 둥글게 깎아 줌으로써 순환골재의 입형을 부분적으로 개선하고, 동시에 골재에 미분 함량을 증가시켜 입도를 향상시키며, 순환골재 표면에 붙어 있는 시멘트 가루를 깨끗하게 털어낸 상태로 배출 컨베이어를 통하여 외부로 배출이 이루어져 고품질의 순환골재를 생산할 수 있도록 하였으며, 기술 원리는 <그림 2>와 같다.

2단계 흡입선별장치에서는 기계식 회전레이크 장치에서 선별되지 못한 미세 유기이물질을 흡입시키기 위해 날개 받이

의 구조를 삼각뿔 형상과 이 날개받이에 고정되는 흡입날개를 외측으로 경사진 외측경사면이 형성되도록 하여 날개받이의 외주면 과 흡입날개의 외측경사면을 거쳐 배출이 이루어짐으로써 흡입날개와 구동축 및 모터 손상을 최소화 하였고, 배출라인과 디스크스크린부재 하부 사이에 순환 공기라인을 구비하여 사이클론으로 배출되는 공기 중 일부를 디스크스크린부재로 배출시켜 사이클론의 부하를 줄이는 동시에 디스크스크린부재 내부의 재생골재에 포함된 미세 유기이물질을 부상시켜 흡입조건을 향상시킴으로써 흡입분리 효율을 제고하였다. 이와 더불어 사이클론 내부에 이송 스크루 라인을 형성하여 먼지나 이물질을 이송 스크루 라인을 통해 하부로 신속히 배출시키고 회전로타리 장치를 통하여 자동으로 외부 배출시킴으로써 사이클론의 크기가 기존 설비보다 1/3 정도의 크기로 축소된 기술 장치로 작동원리는 <그림 3>과 같다.

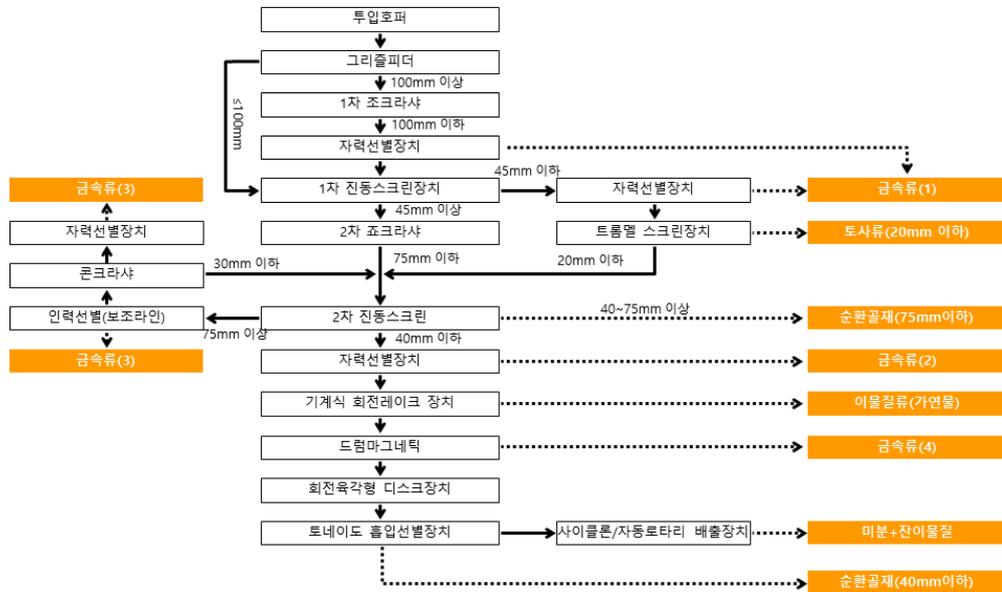


그림 4. 도로보조기충용 순환골재 생산공정

상기와 같은 핵심장치로 구성된 도로보조기충용 순환골재 생산공정은 <그림 4>와 같이 전처리 공정인 투입호퍼, 그리플 피더, 1차 조크라샤, 자력선별장치, 1차 진동스크린장치, 2차 조크라샤로 구성되어 있고, 정밀 선별공정으로는 2차 진동스크린, 자력선별장치, 기계식 회전레이크장치, 드럼마그네틱, 회전 육각형 디스크 장치, 토네이도 흡입선별장치로 구성되어 있다.

3. 실험방법 및 결과

3.1 실험방법

공정에 따른 실험방법은 [표 1]과 같이 약 5개월간 연속적인 테스트를 진행하였으며, 실험의 대표성을 취하기 위해 항목별 3회 또는 5회씩 분석하여 평균값을 결과 값으로 하였고, 중간에 필요한 실험은 별도로 진행하였다.

3.2 실험결과

(1) 유기이물질 선별효율 분석결과

기계식 회전레이크 장치를 활용하여 도로보조기충용 순환골재 내 유기이물질 선별효율을 분석한 결과 [표 2]와 같이 통과 전 가연물은 약 20kg 이었으며, 통과 후 가연물은 약 17kg으로 통과 전 후 약 85%이상 제거가 가능 유기이물질 선별이 가능한 것으로 나타났다.

(2) 유기이물질 감소율 분석결과

기계식 가연물 선별장치를 활용한 유기이물질 선별에 따른 KS F 2574에 의한 감소율을 분석한 결과 [표 3]과 같이 유기이물질 함량은 통과 전 약 1.37%에서 통과 후 약 0.28%로 약 80%의 감소율을 나타내고 있으며, 무기이물질은 약 0.43%에서 약 0.36%로 약 16%의 감소율을 보여주고 있다.

(3) 미분 + 잔이물질 선별효율 분석결과

토네이도 흡입선별장치 (+ 회전육각형 디스크 스크린)를 활용한 미분 및 잔이물질 선별효율을 통한 미분제거율을 검토한 결과 통과 전 약 100kg 이물질은 통과 후 약 85kg으로 약 85%를 제거함으로써 도로보조기충용 순환골재에 영향을 미치는 미분 및 잔 이물질을 효과적으로 제거하는 것으로 분석되었다.

(4) 도로보조기충용 순환골재 품질평가 결과

[표 5]는 기계식 회전레이크 장치와 토네이도 흡입선별장

[표 1] 실험 항목에 따른 시험방법

평가공정	평가항목	평가항목
기계식 회전레이크 장치	유기이물질 선별효율 유기이물질함량 감소율 무기이물질함량	계근법 KS F 2574 KS F 2574
회전육각형 디스크장치 + 흡입선별장치	미분 + 잔이물질 선별효율	계근법
도로보조기층용 순환골재 품질평가	절건밀도, 이물질함유량 흡수율, 0.08mm 통과량 순환골재 품질성능평가 순환골재 알카리 잠재반응	KS F 2573 KS F 2503, KS F 2504 KS F 2574, 폐기물공정시험방법 KS F 2545

[표 2] 유기이물질 선별효율 분석결과

구 분		신청기술				선별효율 (평균치) (%)
		통과 전		통과 후		
		겉보기밀도 (g/cm ³)	무게 (kg)	겉보기밀도 (g/cm ³)	선별된 무게 (kg)	
이물질 선별효율	20~40mm이하	2.294	1,757	2.265	1,677	95
	가연물 (폐비닐+페스티로폼등)	0.297	20	0.298	17	85

[표 3] 이물질함유량 감소율 분석결과

구 분		단위	KS F 2574	통과 전	통과 후	이물질함유량 감소율(평균치)
이물질 함유량 감소율	유기	%	1.0이하	5.0이하	0.28	80
	무기		5.0이하	0.43	0.36	16

[표 4] 미분+잔 이물질선별효율 분석결과

구 분		신청기술		선별효율 (평균치) (%)
		통과 전	통과 후	
		무게(kg)	선별된 무게(kg)	
미분 + 잔 이물질 선별효율	20mm~40mm이하	1,520	1,530	-
	미분+잔 이물질	100	85	85
	전체 평균 생산율	1,620	1,615	99.7

치(+회전육각형 디스크 스크린) 적용으로 생산된 도로보조기층용 순환골재(RSB-2)에 대한 물리적인 성능인 입도, 소성지수, 수정CBR 값, 마모감량, 모래당량, 액성한계, 이물질함유량에 대한 평가를 KS F 2574(도로보조기층용 순환골재) 기준에 의거 측정하여 평균값을 나타낸 것이다.

실험결과 도로보조기층용 순환골재(RSB-2)에서 요구하는 품질기준을 모두 만족하는 양질의 순환골재 생산이 가능한 기술로, 핵심인 통과 전·후의 이물질제거는 KS F 2574에서

요구하는 유기이물질함유량 1.0%이하인 약 0.29%로 나타났다. 이는 기계식 회전레이크 장치의 갈퀴 기능과 장치의 성능이 이물질제거에 아주 적합한 기술로 도로보조기층용 순환골재의 품질을 개선하는 탁월한 기능을 가진 기술로 사료된다. 또한, 입도 0.08mm체 통과량에 대한 결과를 볼 때 신청기술은 KS F 2574에서 규정하는 통과량 2~10%의 범위 내 존재하는 것으로 나타나 이는 골재 속에 포함되어 있는 미분제거에도 효과가 있는 것으로 사료된다.

[표 5] KS F 2574 도로보조기충용 순환골재(RSB-2) 분석결과

구 분	단위	KS F 2574 기준 치	통과 전	통과
입도 (RSB-2)	50 mm	%	100	100
	40 mm	%	80~100	95
	20 mm	%	55~100	63
	5 mm	%	30~70	42
	2.5 mm	%	20~55	27
	0.4 mm	%	5~30	7
	0.08 mm	%	2~10	1
소성지수	소성한계	%	-	N,P(비소성)
	액성한계	%	25이하	N,P(비소성)
	소성지수	%	60이하	N,P(비소성)
실내CBR 값	%	-	87.5	89.5
수정CBR 값	%	30이상	53.3	54.6
마모감량	%	50이하	42.2	40.2
모래당량	%	25이상	76	78
이물질 함유량	유기	%	1.0이하(용적)	1.39
	무기	%	5.0이하(질량)	0.47

4. 맺음말

일반건설폐기물 및 매립장 선별과정에서 회수된 건설폐기물 내에는 가연물 및 유기이물질 함량이 높아 회수된 그대로를 도로보조기충용 순환골재로 제조하여 활용할 경우 각각의 품질기준을 만족하기 어려우며, 현재 적용되고 있는 풍력 및 습식처리 방식은 효율개선에 많은 도움을 줄 수 있을지는 모르나 2차 환경적 요인에 대한 대응이 어렵고, 방지설비 및 슬러지 처리시설 등 선별시설 이외의 추가 부대시설의 증설이 요구된다.

이에 다양한 중간처리사업장에서 건식선별에 의한 품질기준 만족에 기여하기 위하여 기계식 회전레이크 장치 및 토네이도 흡입선별장치를 개발하였다. 실험결과 유기이물질을 기계식 회전레이크 장치로 약 85% 선별함으로써 골재내 유기이물질 함량 약 0.28%, 무기이물질 함량 약 0.36%로 법적기준을 만족하였다. 토네이도 흡입선별장치 적용에 따른 미분 및 잔이물질 제거율을 검토한 결과 약 85%로 높게 나타나 도로보조기충용 순환골재 품질을 향상시킬 수 있는 것으로 조사되었으며, 최종 회수된 제품의 품질기준(RSB-2)에서 요구하는 품질기준을 모두 만족함으로써 양질의 순환골재 생산이

가능한 것으로 나타났다.

종합적 검토 결과 본 기술은 선별효율이 뛰어나며, 고품질의 도로공사용 순환골재 생산이 가능하고 추가공정 없이 선별함으로써 처리비가 저렴하고 가동시 발생하는 환경영향을 최소화 하여 작업자의 안정성 및 편의성을 고려하였으며, 타 환경분야의 선별공정에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. KS F 2574 도로보조기충용 순환골재 시험방법
2. 환경신기술 제 229호, 회전 레이크식 분리장치와 육각디스크를 이용한 도로 공사용 순환골재 생산기술, ㈜포스벨, 2007.
3. 제3차 건설폐기물 재활용 기본계획 수립을 위한 연구, 환경부, 2016.
4. 서울시 건설폐기물 재활용 촉진방안, 서울연구원, 2006.
5. 매립장 반입 건설폐기물의 감량 및 재활용 촉진방안 연구보고서, 수도권매립지관리공사, 2005.
6. 건설폐기물 재활용 동향, 한국환경산업기술원, 2016.
7. 이용수, 권용완, 현재혁, (2005). 도로건설재료로 순환골재의 공학적·환경적 특성에 관한 기초연구, 한국지반환경공학회 논문집, 6(3), 17-23.

담당 편집위원 : 장현오(재)한국건설생활환경시험연구원