

# 입경별 선별 및 순차공급 장치와 구동속도 자동 조절 장치를 설치한 콘크리셔를 이용한 순환 굵은골재 생산기술

## Production System of Recycled Aggregate for Concrete by Cone Crusher with Inverter and Sequential Supply Equipment



김대수 Dai-Soo Kim  
자연환경 주식회사 대표이사  
E-mail : kds-korea@hanmail.net



최상우 Sang-Woo Choi  
금강도시환경(주) 이사  
E-mail : srgsw@naver.com

### 기술 개발사 연혁

- 2003.02: 자연환경(주) 법인설립, 전남 강진군
- 2005.10: 환경표지 인증, 환경부장관 표창
- 2009.04: 순환골재 품질인증(도로용 40mm)
- 2016.03: 순환골재 품질인증(콘크리트용 20mm)
- 2016.09: 신기술 인증 획득 (제507호)
- 2016.12: 기술혁신형 중소기업 선정(중소기업청)
- 2018.10: 신기술 검증 획득 (제225호)

### 기술요약

본 기술은 입경별 선별 및 순차공급 장치와 구동속도 자동조절 장치를 설치한 콘크리셔를 이용한 순환골재 생산기술로서, 폐콘크리트를 굵은골재 최대치수가 큰 입경과 작은 입경으로 선별하여 각각을 2개의 호퍼에 저장하고, 호퍼와 자동개폐 장치로 구성된 순차공급 장치를 이용하여 콘크리셔에 순차적으로 공급하면서 작은 입경의 순환골재에 대한 콘크리셔의 구동속도를 인버터를 이용하여 큰 입경의 것보다 상대적으로 느리게 자동 조절하여 파쇄하므로써 시멘트 페이스트를 효율적으로 제거하여 품질을 향상시키는 기술이다.

### 1. 개발 요지

- 1) 폐콘크리트와 크러셔의 특성을 고려한 건설폐기물 중간 처리 기술 개발
  - 2) 폐콘크리트의 입경별 시멘트페이스트 함량과 입자별 구성요소 특성을 고려한 순환골재 생산기술 개발
  - 3) 콘크리터의 구동속도에 따른 파쇄원리를 이용한 순환골재 생산기술 개발
- 전체 기술개발 배경은 아래와 같이 나타내고, 순환골재 생산의 기본 공정도 및 공정도 내에서의 본 신기술의 개발범위는 <그림 1>과 같다.

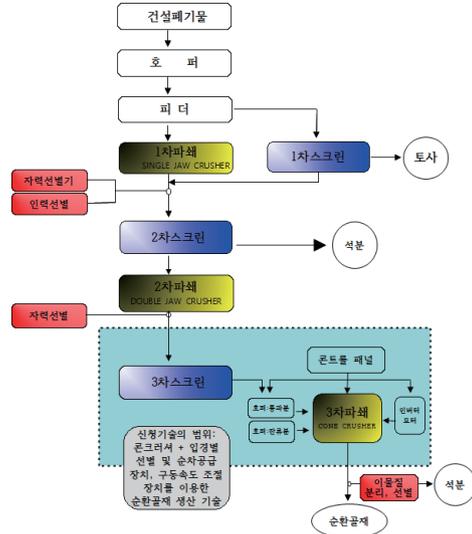
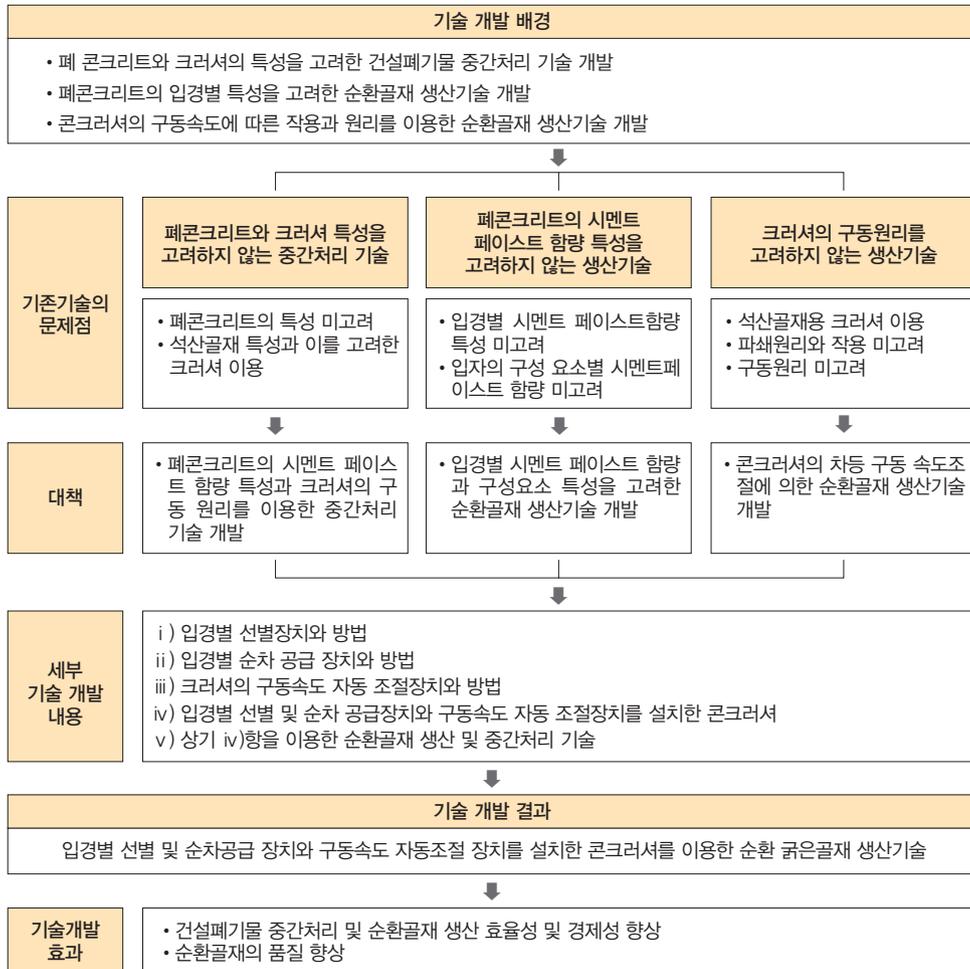


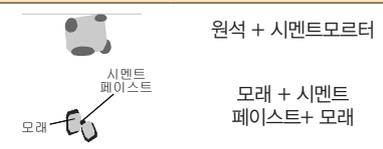
그림 1. 공정도 및 개발기술의 범위



2. 기술 개발 연혁 및 개요

본 신기술은 2013년 3월 개발착수를 시작으로, 2014년 특허등록(크러셔의 구동속도 조절에 의한 순환골재 생산방법)

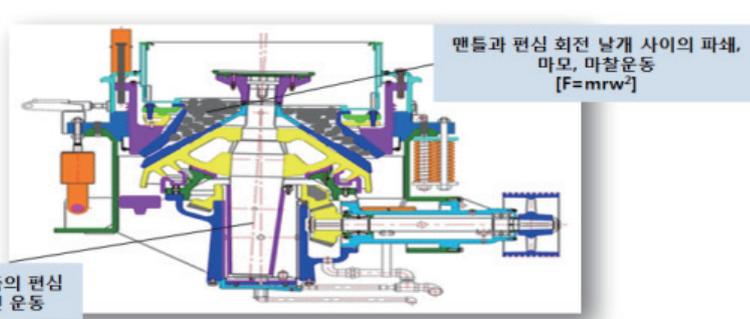
및 장치 시스템 설계-제작-설치를 완료하고 연구 및 시험생산을 수행하였다. 이후 기술적용 및 현장적용을 통한 판매실적을 달성하였으며, 2016년 9월 신기술을 인증받았다. 기술의 개요를 아래와 같이 요약한다.

폐콘크리트의 시멘트 페이스트 함유량을 고려하여 입경별 선별	입자의 구성	<p>입경이 큰 것 (입경별 선별장치 잔류분 : 잔류분 호퍼)</p>  <p>Over-Size 원석 + 시멘트 모르타르 + 원석</p>	<p>입경이 작은 것 (입경별 선별장치 통과분 : 통과분 호퍼)</p>  <p>원석 + 시멘트모르타르 모래 + 시멘트 페이스트 + 모래</p>
	시멘트 페이스트 함량	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 배합시 단위시멘트량 및 단위수량 적음</li> <li>• 비표면적이 작아 시멘트 페이스트 함유량 적음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 배합시 단위시멘트량 및 단위수량 많음</li> <li>• 비표면적이 커 시멘트 페이스트 함유량 많음</li> </ul>
	대책	상대적으로 시멘트 페이스트 부차량이 높은 입경이 작은 것에 대한 박리 및 제거 기술을 개발함	

콘크러셔의 운동과 작용을 이용한 구동속도 조절	항목	구동속도 : 大	구동속도 : 小
	원리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크러셔 파쇄에너지)화강암 압축강도(≒50~194 MPa)</li> <li>• 콘크러셔 파쇄에너지)시멘트 모르타르 압축강도(≒20~40 MPa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크러셔 마모, 마찰력)시멘트 모르타르 부차강도(≒1.1~1.5 MPa)</li> <li>• 콘크러셔 마모, 마찰력)시멘트 모르타르 압축강도(≒20~40 MPa)</li> </ul>
	대책	• 콘크러셔의 파쇄 운동	• 콘크러셔의 마모, 마찰 운동으로 시멘트 페이스트 박리

콘크러셔의 구동속도에 따른 파쇄 및 마모, 마찰 작용 차등 이용	
순환골재 생산 원리	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 입경별 선별 장치 : 입경이 큰 것과 작은 것으로 선별</li> <li>◆ 순차 공급 장치 : 저장 호퍼와 자동 개폐장치에 의한 입경별 순환골재 순차공급</li> <li>◆ 구동속도 자동조절 장치 : 작은 입경 공급 시 구동 속도를 상대적으로 낮게 자동 조절</li> <li>◆ 콘크러셔 : 입경별 선별 및 순차 공급 장치와 구동 속도 자동 조절 장치에 의한 구동속도 조절에 의한 작동</li> </ul> <p>• 입경이 큰 것 : 콘크러셔의 구동속도를 높임 ➡ 파쇄 운동 &gt; 마모, 마찰운동</p> <p>• 입경이 작은 것 : 콘크러셔의 구동속도를 낮춤 ➡ 파쇄 운동 &lt; 마모, 마찰운동</p>

### 3. 기술의 구성

본 기술은 기본적인 폐콘크리트 파쇄를 비롯하여 입경별 선별장치와 입경별 호퍼를 통한 순차별 공급장치로 구성되었으며, 콘크리셔에 순차투입시 구동속도 자동 조절 장치가 설치된 콘크리셔를 통하여 순환 굵은골재 생산기술이다. 전체 기술의 구성과 흐름은 아래의 <그림 2>와 같고, 전체 순환골

재 생산시스템 설치 개념도는 <그림 3>과 같고, 이를 구현한 생산설비는 <그림 4>와 같다.

<그림 2~4>와 같이 본 신기술은 입경별 선별 및 구동 속도 조절 파쇄시스템을 구현하였으며, 세부적으로 8개의 구성요소를 구비하고 있으며 각 요소별 용도 및 기능은 아래 [표 1]에 요약한다.

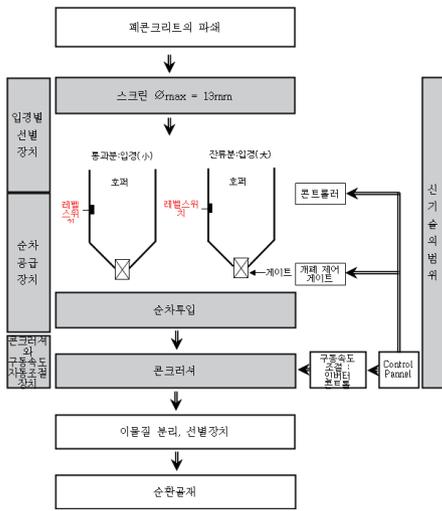


그림 2. 기술의 구성

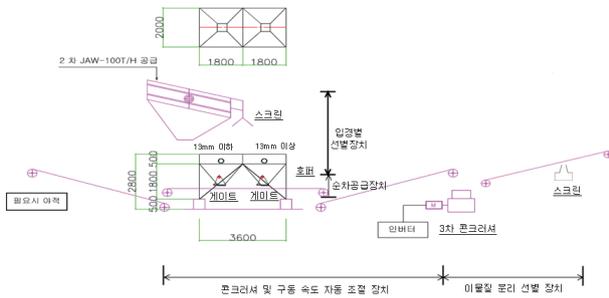


그림 3. 순환골재 시스템 설치 개념도



그림 4. 전체 생산설비 전경

[표 1] 입경별 선별 및 구동 속도 조절 파쇄 시스템 사진과 공정별 기능

구성요소	사진	용도
스크린		입경별 선별, 13mm 체로 잔류분과 통과분 선별
호퍼		잔류분과 통과분의 순환골재 저장
호퍼의 게이트		순환골재의 순차적 공급
콘트롤러		호퍼내로 공급되어지는 순환골재 량의 감지 및 순차 공급 결정 장치
콘크리셔		파쇄, 마모, 마찰 작용에 의한 순환골재 생산 장비
구동 속도 조절 인버터		콘크리셔의 구동 속도 조절 장치
Control Pannel		입경별 선별 및 구동 속도 조절 파쇄 시스템 자동제어 패널
스크린		박리된 이물질의 분리, 선별

#### 4. 기술의 성능

본 기술의 주요 성능은 크게 세가지로 구분하여 설명할 수 있다.

1. 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄 시스템을 설치한 콘크리셔의 성능
2. 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄에 의한 순환골재의 품질 향상
3. 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄시스템의 운전 조건 및 용량 조사

##### 4.1 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄 시스템을 설치한 콘크리셔의 성능

###### 1) 구동속도 조절 파쇄 시스템과 방법의 성능

본 기술의 성능을 평가하기 위해 13 mm 스크린 잔류분의 입경이 큰 골재의 파쇄 시에는 현재 적용하고 있는 모터의 최대 구동속도(550 rpm)로 파쇄하고 13 mm 스크린 통과분의 입경이 작은 골재의 파쇄 시에는 구동속도를 10%씩 낮춰 가면서 얻은 시료에 대해 절대건조밀도와 흡수율의 변화를 평가한 결과는 [표 2]와 같다. 입경이 작은 골재 파쇄 시의 구동

속도와 큰 골재 파쇄시의 구동속도의 차이가 커질수록 절대건조밀도와 흡수율이 개선됨을 알 수 있다. 따라서 본 기술에서 개발한 입경별 선별과 선별된 작은 입경의 골재에 대해 구동속도를 하향시켜 파쇄하는 기술은 품질 개선에 효과가 높은 것으로 평가된다.

###### 2) 콘크리셔의 구동속도 조절에 의한 성능

상기의 결과로부터 콘크리셔의 구동속도별 운동과 작용을 모식적으로 나타내면 <그림 5>와 같다. 콘크리셔는 구동속도를 높게 할 경우 파쇄 작용이 마모와 마찰 작용보다 상대적으로 커진 반면, 이의 속도를 낮추면 상대적으로 마모와 마찰 작용이 커진다. 따라서, 본 기술에서의 구동속도 조절 파쇄 시스템은 순환골재의 입경별 품질특성을 고려하여 콘크리셔의 운동과 작용을 최적화한 것으로 판단된다.

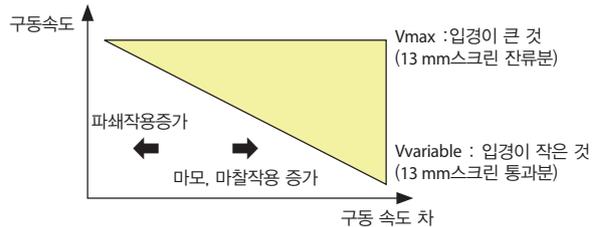


그림 5. 구동속도 조절에 의한 콘크리셔의 운동과 작용

[표 2] 구동속도 조절 파쇄 시스템과 방법의 평가

시험항목	절대건조밀도	흡수율
단위	g/cm <sup>3</sup>	%
시험방법	KSF 2513:2011	KSF 2513:2011
구동속도 Ømax > 13 mm : 100 % Ømax < 13 mm : 90 %	2.25	5.11
구동속도 Ømax > 13 mm : 100 % Ømax < 13 mm : 80 %	2.41	3.06
구동속도 Ømax > 13 mm : 100 % Ømax < 13 mm : 70 %	2.51	2.71
구동속도 Ømax > 13 mm : 100 % Ømax < 13 mm : 60 %	2.54	2.62

\* 처리 후 시험 성과 임

\* 13 mm 스크린 잔류분 (입경 큰 것) 파쇄 시 : 550 rpm (최대 가동 속도)

##### 4.2 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄에 의한 순환골재의 품질 향상

개발 기술을 이용하여 생산한 순환골재의 품질 향상 여부를 평가하기 위해 처리 전의 것은 연속 입도의 순환골재를 콘크리셔의 최대 구동속도로 파쇄하였다. 처리 후의 것은 입경이 큰 13 mm 스크린 잔류분은 콘크리셔의 최대 구동속도로, 13 mm 스크린 통과분의 입경이 작은 것은 최대구동속도의 70%를 적용하였다. 이와 같은 방법으로 생산한 순환골재에 대한 품질평가 결과는 [표 3]과 같고, 입경별 선별과 구동속도 조절에 의해 품질 향상도가 우수한 기술로 평가되었다.

[표 3] 처리전과 처리 후에 대한 품질 향상도 평가

시험 항목	단위	시험 방법	시방 기준	처리전 시험 성과	처리후 시험 성과	품질 개선도	
절대건조밀도	g/cm <sup>3</sup>	KSF 2513:2011	2.5 이상	2.09	2.51	불합격→합격	
흡수율	%	KSF 2513:2011	3.0 이하	8.47	2.61	불합격→합격	
입자모양 판정율	%	KSF 2513:2011	55 이상	59.23	56.90	합격	
0.08 mm체 통과량	%	KSF 2513:2011	10 이하	2.4	0.3	모두합격	
점토덩어리	%	KSF 2513:2011	0.2 이하	0.12	0.11	모두합격	
마모 감량	%	KSF 2513:2011	40 이하	55.54	39.56	불합격→합격	
안정성	%	KSF 2513:2011	12 이하	13.17	5.60	불합격→합격	
이물질함유량(유기)	%	KSF 2513:2011	1.0 이하	0.63	0.06	모두합격	
이물질함유량(무기)	%	KSF 2513:2011	1.0 이하	3.45	0.18	불합격→합격	
입도	체가름(통과율) : 25 mm	%	KSF 2513:2011	100	72.89		100
	체가름(통과율) : 20 m	%	KSF 2513:2011	95-100	52.11		98.22
	체가름(통과율) : 10 mm	%	KSF 2513:2011	20-55	24.11		45.44
	체가름(통과율) : 5 mm	%	KSF 2513:2011	0-10	17.00		6.00
	체가름(통과율) : 2.5 mm	%	KSF 2513:2011	0-5	12.00		2.56

\* 처리 전 : 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄 시스템 설치 전  
 \* 처리 후 : 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄 시스템 설치 후  
 \* 시방기준 : 순환골재 품질 기준의 시멘트 콘크리트용 기준

### 4.3 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄시스템의 운전 조건 및 용량 조사

#### 1) 입경별 선별 방법의 적정성

본 기술에서 입경별 선별의 규격은 수회의 시험생산을 실

시하여 13 mm 스크린을 이용하는 것으로 하였다. 이의 선별 방법을 평가하기 위해 처리 전과 처리 후에 대한 입도 시험을 실시하였으며 이의 결과는 <그림 6>과 같다. 처리 전의 연속 입도를 13 mm 스크린으로 선별하여 파쇄한 결과, 합격한 성과를 나타내었다. 따라서 본 기술에서 적용하는 13 mm 스크린을 이용한 선별 방법은 타당한 것으로 판단된다.

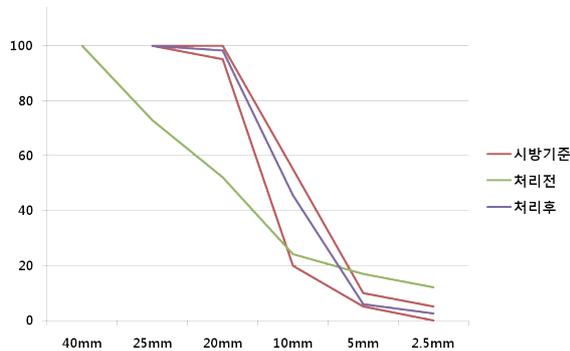


그림 6. 입경별 선별의 적정성 평가

#### 2) 구동속도 조절방법의 적정성

본 기술에서는 입경이 큰 것의 파쇄 시는 콘크리터의 기존 구동속도인 최대 구동 속도로, 입경이 작은 것의 파쇄 시는 이 속도를 상대적으로 낮게 파쇄하도록 하였다. 이 방법의 적정성을 평가하기 위해 실시한 구동 속도 차에 의한 순환골재의 절대건조밀도와 흡수율의 시험결과는 <그림 7>과 같다. 입경이 작은 것의 파쇄 시의 구동속도를 낮출수록 품질이 개선됨을 알 수 있다.

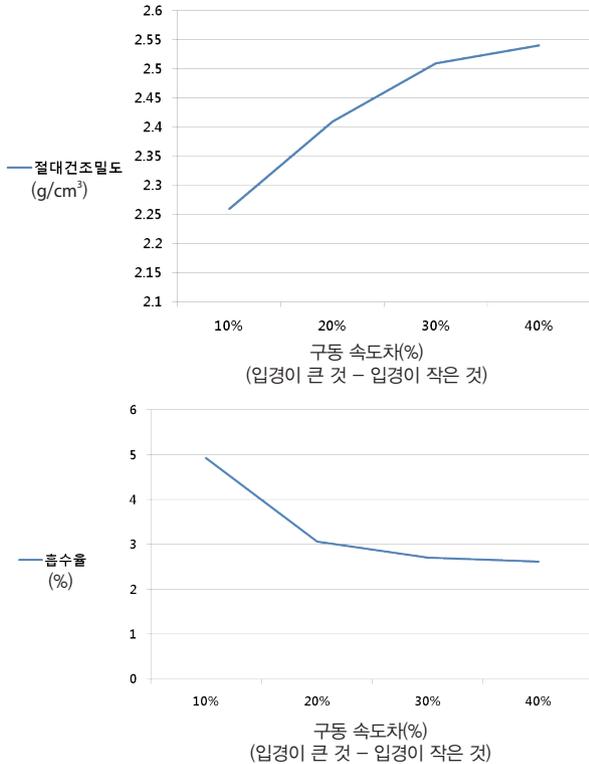


그림 7. 구동 속도 조절에 의한 순환골재의 품질 변화

3) 입경별 구동속도 차등 적용 값의 적정성

구동속도를 30% 차등 적용 시까지는 품질 개선 효과가 크게 증가하고 40%에서는 이의 증가 현상이 다소 감소함을 알 수 있다. 한편, 입경이 작은 골재의 파쇄 속도를 낮출 경우 건설폐기물의 처리량은 감소하게 된다. 따라서 신청기술에서는 품질 개선도와 생산량을 고려하여 입경이 큰 것은 최대 구동속도, 입경이 작은 것은 최대 구동속도의 70%를 구동속도로 결정하였다.

4) 입경별 선별과 구동속도 변환 사이의 시간 조사와 적용의 적정성

신청기술에서 개발한 입경별 선별 장치와 콘크리셔 사이의 운동관계를 모식적으로 나타내면 <그림 8>과 같다. 호퍼에서 콘크리셔로 운반되는 시점과 구동속도를 변환해야 하는 콘크리셔에의 투입 시점에는 시간 간격이 존재한다.

측정은 현장에서 호퍼출구에서의 순환골재 공급시간과 콘

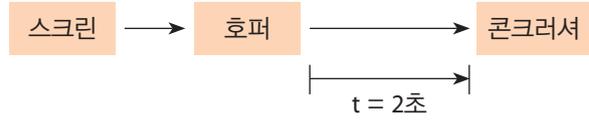


그림 8. 입경별 선별과 구동속도 변환 사이의 시간 간격 조사

크리셔에의 투입 시점까지의 시간차를 측정하였다. 그 결과, 이의 시간 간격은 2초로 조사되었다. 따라서 본 기술에서는 이의 값을 컨트롤 패널에 입력하여 자동으로 가동되도록 하였다.

5. 기술의 효과

본 기술의 효과는 생산성, 유지관리성, 경제성 측면에서 효과가 우수하였다.

1) 생산성의 증가

본 기술의 입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄시스템을 설치한 콘크리셔를 이용한 순환골재 생산결과와 미적용 설비의 처리성능을 정량적으로 비교한 결과는 표와 같다. 표에서와 같이 본 기술은 순환골재를 보다 고부가가치적인 용도로 생산할 수 있어 생산의 수익성은 기존기술 대비 약 43.6%의 증가를 보인다. 즉 본 기술은 순환골재의 품질이 매우 우수하여 전체적인 생산성을 큰 폭으로 제고하였다.

2) 설비 비용의 감소

본 기술을 적용하지 않고 구동속도가 다른 콘크리셔를 추가로 설치하기 위한 해당 시설비와 본 기술을 기존의 콘크리셔에 설치하는 시설비를 비교한 결과는 아래의 표와 같다. [표 4]에서와 같이 본 기술의 설치비는 추가 설치비에 대비 14.2%에 불과하여 193,000,000원을 절감할 수 있다.

3) 경제성 증대

본 기술을 통하면 시설비의 85%를 절감하면서도 생산성의 40% 이상을 증대시킬 수 있다. 따라서 기존 설치된 콘크리셔의 처리용량 내에서라면 300%에 가까운 경제성 제고 효과를 가져올 수 있다.

[표 4] 본 신기술과 기존설비의 처리 성능 비교

항목		본 기술 적용	기존 설비	비교 평가	
기술 내용	시스템	입경별 선별 및 구동속도 조절 파쇄시스템 설치 콘크리터	정속 콘크리터		
	생산방법	입경별, बै치식 생산방법	연속 입도, 연속 생산방법		
처리성능 및 효율성	생산가능 용도	보조기충용, 콘크리트용	성토용, 보조기충용	• 고부가치용 생산	
	시간당 폐기물 처리량 (TON/시)	90	95	• 작은입경 구동속도 조절로 시간당 생산량 감소	
	시간당 순환골재생산량 (TON/시)	$90 \times 40.5\% = 36.45$	$95 \times (40.5+2.9)\% = 41.23$	• 시간당 순환골재 생산량 감소 (40.5%: 순환골재, 2.9% 석분 생산비)	
	시간당 석분생산량 (TON/시)	$90 \times (3.2+2.9)\% = 5.5$	$95 \times 3.2\% = 3.0$	• 시간당 석분 생산량 증가(2.9% 석분생산량 증가)	
	연간 용도별 생산량 (천TON/년)	콘크리트용: $36.45 \times 0.5 \times 365 \times 8 = 53.2$ 보조기충용: 53.2 석분용: $5.5 \times 365 \times 8 = 16.1$	보조기충용: $41.23 \times 0.5 \times 365 \times 8 = 60.2$ 매립용: 60.2 석분용: $3.0 \times 365 \times 8 = 8.8$	• 고부가 콘크리트용 생산량 증가 • 판매용 석분 생산량 증가 • 고부가 용도 50% 적용	
	용도별 생산량 대비 (천TON/년, %)	콘크리트용	53.2(100%)	0(%)	• 고부가 콘크리트용 생산량 증가
		보조기충용	53.2(100%)	60.2(113%)	• 보조기충용 생산량 감소
		매립용	0(0%)	60.2(100%)	• 저부가 매립용 생산량 감소
		석분	16.1(100%)	8.8(54.7%)	• 석분 생산량 증가
	생산의 연간 수익성 (천원, %)	콘크리트용	425,600	-	△425,600 증가
		보조기충용	212,800	240,800	▽28,000 감소
		매립용	0	120,400	▽120,400 감소
석분		64,400	35,200	△29,200 증가	
계		702,800	396,400	△306,400 증가	
대비(%)	100	56.4	△ 43.6% 증가		
검토 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작은 입경의 낮은 구동속도 조절로 순환골재 생산량 다소 감소</li> <li>• 이물질 분리 선별에 의해 석분 생산량 2.9% 증가</li> <li>• 품질이 향상된 순환골재 생산에 의한 콘크리트용 및 석분 생산량 증가</li> <li>• 보조기충용 및 매립용 생산량 감소</li> <li>• 고부가 용도의 순환골재 생산에 의한 연간 수익성 43.6% 증가</li> </ul>				

\* 자연환경(주) 본 기술 설치 전·후의 비교임

\* 콘크리트용:8,000원/TON, 보조기충용:4,000원/TON, 매립용:2,000원/TON, 석분:4,000원/TON 적용

[표 5] 시설비 비교(단위 : 원)

항목	추가 설치	본 기술 적용	
시설비	콘크리터 설비	200,000,000	-
	본 기술 설비	-	30,000,000
	시설비	25,000,000	12,000,000
	계	225,000,000	32,000,000
절감액	추가 설치-본 기술 적용=193,000,000		

[표 6] 신기술과 기존기술의 유지관리 편리성 비교

항목	신기술	기존기술	유지관리 편리성
공정	입경별 선별 → 구동속도 조절 파쇄	연속입도 → 연속파쇄 → 연속박리 및 마모	박리 및 마모장비 등의 미설치에 의한 유지관리 편리성 향상
구성	호퍼, 인버터모터, 스크린, 자동화 콘트롤 설비, 콘크러셔	콘크러셔, 박리장치, 마모장치	박리와 마모 장비의 미설치에 의한 유지관리 편리성 향상
고장	자동화 설비의 작은 고장 발생 가능성	대형 설비의 큰 고장 발생	큰 고장 발생률 감소
교체 부품 및 빈도	인버터 모터와 콘크롤러만 교체, 내용 연수 높음	박리, 마모, 장치의 내용 연수 저하에 의한 교체 빈도 증가	내용 연수 증가와 유지보수 비용 절감
유지관리 비용	적음	많음	유지관리의 경제성 향상
설비	자동화 설비	반자동화 설비	유지관리 편리성 향상

## 6. 결론

현재 건설폐기물 처리업계는 이중고에 시달리고 있다. 하나는 업체의 증가에 따른 수익성 악화이고, 다른 하나는 순환 골재의 품질에 대한 높아진 사회적 기준의 충족 문제이다. 본 기술을 통하면 시설비 절감은 물론, 하나의 콘크러셔만을 운용함으로써 2개 이상의 콘크러셔를 운용하는 경우와 비교하여 운용비용의 절감을 얻을 수 있으며, 동시에 40% 이상의

생산성을 증대시킬 수 있다. 또한 생산된 순환골재의 품질을 향상시켜 법령에 따른 인증제품을 생산할 수도 있다. 결과적으로 수익성 악화와 품질 충족이라는 두 가지 문제를 동시에 해결할 수 있다. 이는 사회적 비용의 절감으로 우리 경제의 확장 및 다양성 증가에 힘을 실을 수 있으며, 고품질의 순환골재를 생산함으로써 신재 골재를 얻기 위한 환경 파괴 문제를 해결할 수도 있을 것으로 기대한다.

담당 편집위원 : 박원준(강원대학교)