

# 콘크리트용 골재로서의 품질 개선용 생산기술

## Quality Improvement Machine of Aggregates for Concrete



홍용선 Young-Sun Hong  
대길산업(주)  
과장  
E-mail : yshong81@nate.com



박춘남 Chun-Nam Park  
광산기공(주)  
이사  
E-mail : mmco@chol.com

### 1. 콘크리트용 골재로서의 품질 개선용 생산기술이란

폐콘크리트를 재활용하여 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 반드시 국가에서 제시한 품질기준을 만족시켜야 하는데, 이러한 품질기준을 만족시키는 기술은 이물질을 제거하는 기술이고 또 다른 하나는 콘크리트용 골재로 사용하기 위해 반드시 제거해야 하는 시멘트 페이스트 성분의 박리기술이다. 이러한 박리를 위해 적용되는 기술은 2차적인 문제점을 나타내는 화학적 방법이 아닌 물리적 방법 즉, 파분쇄 기술에서 도입하여 개선할 수 밖에 없다. 파·분쇄는 입자(재생골재)에 임의의 힘을 전달하여 파·분쇄를 유도하는 공정으로 힘의 발현 형태에 따라 골재의 파·분쇄가 다양하게 일어난다. 이와 같이 골재를 파·분쇄하는 힘의 전달에는 크게 힘의 종류와 힘의 지속 시간으로 구분할 수 있는데 힘의 종류는 압축력, 충격력(임팩트), 전단력이 존재하며 힘의 속도는 입자가 힘을 받는 시간으로 결정된다. 건설폐기물을 처리하여 콘크리트용 골재를 만들기 위

[표 1] 파쇄원리에 따른 콘크리트용 생산기술로의 적용가능성

파쇄원리	적용가능성*	파쇄기 종류	생산물의 입도(mm)	비고
압축력에 의한 파쇄	낮음	조 크러셔 콘 크러셔 롤 크러셔	500~10	그냥 크기만 작게 파쇄하여 시멘트 성분 제거에는 적합하지 않음
		로드밀	10 이하	잔골재에 적합
충돌력에 의한 파쇄	중간	임팩트 크러셔 햄머 크러셔 Gauge mill	30 이하	liberation <sup>1)</sup> 이 일어남
전단력에 의한 파쇄	낮음	박리기	10~25 이하	구속력을 유지하여야 함
입자상호간 충돌을 이용한 파쇄	중간	제트밀	0.1 이하	빗겨 맞는 경우 마찰력과 같은 힘이 발생하는 것으로 추정됨

\* 적용가능성 : 건설폐기물을 중간처리하여 콘크리트용 순환 잔골재를 생산함에 있어 건설폐기물을 파·분쇄하는 것에 대한 적용가능성을 의미함

1) Liberation : 역암이나 콘크리트와 같이 이종의 골재가 혼합되어 있을 때 충격에 의해서 모르터와 골재가 동시에 깨지는 현상

해 사용되는 대표적인 파·분쇄 원리를 상기의 [표 1]과 같이 그 적용 가능성을 검토한 결과, 건설공사에 수반되어 발생하는 폐기물을 1차나 2차 파쇄하는 과정에서는 압축력에 의한 파·분쇄 장비가 유리하였으며, 그 이후에 적용되는 파·분쇄 원리로는 충돌력에 의한 파쇄가 가장 적합한 것으로 나타났다. 그 이외에도 입자상호간의 충돌을 이용한 파쇄가 적용 가능한 것으로 판단되었으나 현실적 적용성은 낮다.

이것의 근거로는 <그림 1>에 나타난 바와 같이 죠 크러셔의 경우 주로 압축력에 의해 파쇄하는 설비로서 충돌력에 의한 파쇄기에 비해 비교적 느린 힘을 입자로 전달시킨다. 그 힘의 속도가 많이 느린 경우에는 골재와 시멘트 페이스트가 접하는 천이대를 따라 파·분쇄되기 때문에 페이스트가 거의 묻어 있지 않은 굵은골재가 발견되는 경우도 있지만, 대부분 이 힘의 속도가 천이대를 따라 전달될 만큼 느리지 않아 골재와 모르타 또는 시멘트 페이스트가 동시에 파·분쇄되어 골재 품질에 악영향을 주는 시멘트 페이스트를 제거한다는 것은 사실상 불가능하다.

따라서 콘크리트용 순환골재의 품질에 악영향을 미치는 시멘트 페이스트를 제거하기 위해서는 원골재로부터 분리시킬 수 있는 기술이 적용되어야 하는데 이러한 기술로는 전단력이나 마찰력을 이용하는 방법이 제안되고 있다. 이유로는 <그림 2>와 같이 시멘트 페이스트 부착력이 마찰에 의해 생기는 전단력보다 작기 때문에 박리 및 탈락이 용이하

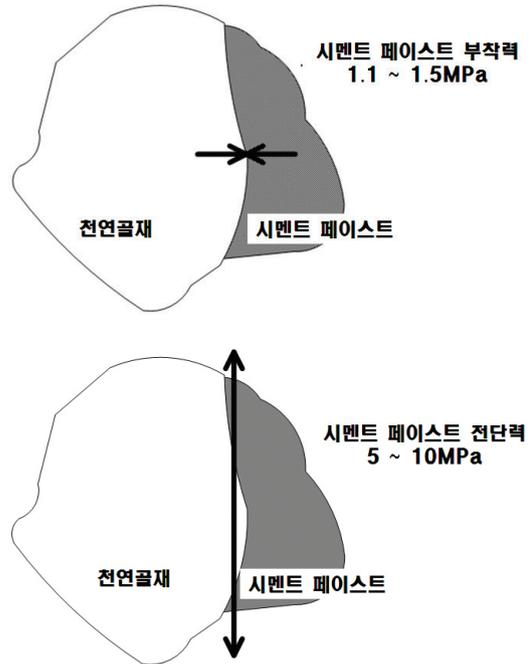


그림 2. 시멘트 페이스트의 박리 및 탈락 원리

고, 이 때의 골재는 시멘트 페이스트 성분보다 [표 2]에 나타난 바와 같이 강하기 때문에 잘 으깨지지 않기 때문이다.

## 2. 콘크리트용 골재로서의 생산 기술

### 2.1 굵은골재용 순환 굵은골재 생산 기술

굵은골재 생산기술로 개발되어 신기술을 받은 기술은

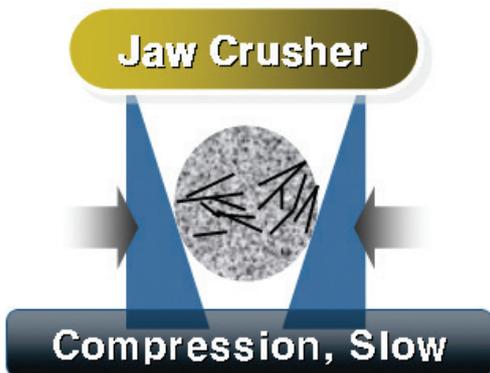


그림 1. 압축형 파쇄기의 파쇄 원리(압축+느은 힘의 전달)

[표 2] 암석의 종류와 강도(MPa) / 보통 시멘트 강도

종류	압축강도
화강암	50~194
안산암	103~168
응회암	8~37
사암	26~67
대리석	118~214
사문암	74~120
점판암	141~164
시멘트 페이스트	20~30

2015년 5월 현재 기준으로 총 8가지가 되는 것으로 조사되었다. 이것의 제목이나 기술 원리를 살펴보면 임팩트 파쇄 원리를 적용한 기술(445호, 334호, 350호, 336호)과 비버지는 힘(마찰력)을 적용한 기술(267호, 238호, 297호) 그리고 시멘트 페이스트의 강도를 약화시키기 위해 열을 가하는 방식을 적용한 기술(335호)로 나눌 수 있다. 다시말해 굵은골재를 생산할 수 있는 기술은 충격력을 가해서 입형이 둥글게 되면서 시멘트 페이스트나 모르타르가 박리되거

나, 아니면 [표 2]에 나타난 바와 같이 강도가 약한 시멘트를 골재사이에서 비벼지게 함으로써 제거하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 이 중에서 일반적으로 사용될 수 있는 기술인 임팩트 기술 위주로 박리기술을 설명하고자 한다.

#### a. 로터를 활용한 임팩트형 박리기술

수직형 임팩트크러셔(Vertical Shaft Impact crusher, V.S.I)는 근래에 제일 많이 사용되고 있는 파쇄설비로써

[표 3] 굵은골재 생산기술로 받은 신기술 항목(2015. 05월 기준)

신기술 기술명(인증 번호)	인증 및 검증 회사	콘크리트용 순환굵은골재 품질인증 유무	비고
다단 패들 및 편심 구조형 임팩트 파쇄기를 이용한 콘크리트용 순환굵은골재 생산기술(445)	대길산업(주)-고령지사	있음	
	미래환경(주)	있음	
	성지이테크(주)	있음	
타이어와 원통형 회전체의 정·역회전 시스템을 이용한 순환 굵은골재 모르타르 박리제거 기술(267호)	(주)파워텍	-	설비업자
	(주)장형기업	없음	
	호남산업(주)	있음	
	(주)진흥중공업	없음	
	(주)순환골재협회	없음	
	(주)수도권환경	없음	잔골재 인증에 따라 불필요함
	(주)신명	없음	
파형 박리판 및 압밀바가 장착된 박리기로 모르타르를 제거하여 순환 굵은골재를 생산하는 기술(238호)	우광개발(주)	있음	
수평으로 다중 설치된 롤 스크류를 이용한 순환굵은골재의 시멘트모르타르 습식 박리 기술(297호)	(주)세창이엔텍	없음	
콘형구동체와 진동 콘케이브로 구성된 일체형 복합장치를 이용한 콘크리트용 순환 굵은 골재 생산기술(334호)	(주)아이케이	있음	
	사천환경(주)	있음 - 반납(2014. 02)	생산량 부족
전기 가열 회전 장치로 골재와 시멘트 페이스트의 부착력을 약화시켜 콘크리트용 순환 굵은골재 및 순환 잔골재를 생산하는 기술(335호)	(주)세명	없음	잔골재 품질인증에 따른 불필요
	(유)대한환경	있음	
콘크러셔와 임팩트크러셔 일체형 설비를 적용한 콘크리트용 순환굵은골재 생산기술(350호)	인선이엔티(주)-세종	있음	
	인선기업(주)	없음	불필요
	(합)우창환경산업	있음	
	(주)보령환경산업	없음	
다중회전체와 요철형러이너지가 장착된 복합마쇄장치를 이용한 건식 콘크리트용 순환 굵은골재 제조기술(366호)	두제산업개발(주)	있음	
	탄용환경개발(주)	있음	
	동부이엔티(주)	있음	

순환골재 품질인증 유무는 2014. 06. 20.일 기준(www.kict.re.kr)

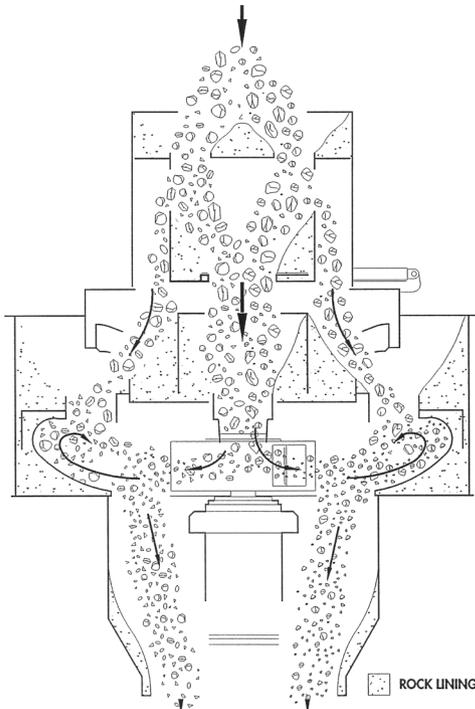


그림 3. 록온록 타입의 수직형 임팩트 크러셔

투입되는 원료를 로터(rotor)의 고속회전을 통해 수평방향으로 분사시키면서 파쇄시키는 구조로 원석파쇄 효율을 높이기 위한 엔빌(Anvil) 타입과 록온록(Rock On Rock) 타입의 파쇄실 구조를 갖고 있다.



사진 1. 록온록타입(Rock on Rock) 파쇄실 형상

엔빌타입은 록온록 타입과 비교하여 원료에 따라 다르긴 하나 파쇄효율이 약 15~30% 높다. 그러나 엔빌(하이크롬강)의 비용이 고가여서 운영 비용 대비 파쇄효율이 떨어지는 단점으로 일부 골재 생산업체에서만 적용되고 있는 실정이다.

록온록 타입은 파쇄실구조가 데드스톡(Dead Stock)의 형상을 이뤄 원석과 원석의 마찰로 인해 파쇄 되는 구조로 파쇄하고자 하는 원석이 전량 로터를 통과해 록박스(Rock Box)에 부딪치는 방식을 사용하였으나 최근에는 원석이 투입되는 입구를 조정하여 일부만 로터로 투입시키고 나머지 원석은 캐스캐이드(Cascade) 되어 록박스에서 1차, 2차로 강제 충격을 일으켜 파쇄 하는 방식이 널리 사용되고 있다.

파쇄효율은 로터의 회전속도(주속)에 따라 많은 영향을 받는다. 주로 부순모래 생산인 경우 주속은 60~85m/s, 골재 형상 개선을 위한 입형 개선용으로는 35~50m/s의 주속을 채택한다. 이러한 주속을 적절히 적용할 때에 콘크리트용 순환 굵은골재 생산기술로 적용되고 있지만 한번의 타격으로 천연골재와 동일한 품질을 만족시키기는 어렵고, 이를 2회 직렬로 연결하여 굵은골재를 생산하면 생산량과 품질이 매우 우수한 것으로 알려져 있다. 이러한 시스템을 적용한 곳은 대전의 중앙아스콘(주)과 인천의 아이케이(주)로 두 회사 모두 콘크리트용 순환골재 인증을 받았으며, 2012년에 받은 아이케이(주)의 경우에는 그 활용실적이 우수하다.

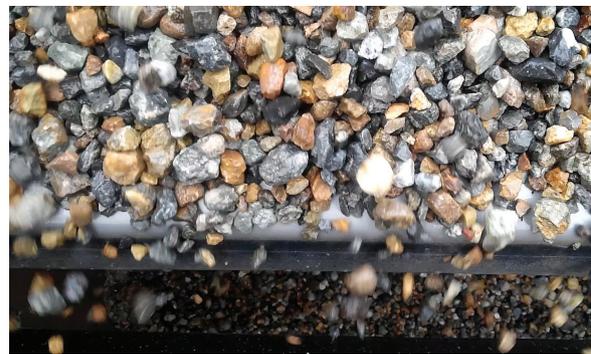


사진 2. 대전 중앙아스콘의 굵은골재 생산장면

아래의 사진은 이러한 시스템에서 생산되는 골재의 동영상을 캡처한 것이다. 이 때의 흡수율은 2% 미만이었으며 밀도는  $2.51\text{g/cm}^3$  이상이 나와 그 품질이 매우 우수한 것으로 나타났다.

#### b. 마찰력+ 임팩트형 박리기술

수평형 임팩트 파쇄기는 고속으로 회전하는 로터의 주변에 붙인 특수 강재(일반적으로 하이망간을 사용함)로 만든 해머로 입자에 회전 충돌하면서 1차적으로 해머와의 충격에 의해 파·분쇄되고 2차적으로 날아가면서 외벽 라이너에 부딪쳐서 2차 파·분쇄가 일어나도록 하며, 파쇄후에 일정 사이즈 이상의 것은 다시 투입되어 파쇄됨으로써 일반적으로 입형 개선 목적에 적합한 것으로 알려져 있다. 일반적으로 압축에 의한 파쇄기에 비해서 파쇄비가 크다는 장점이 있는 반면에 압축형 파쇄기에 비해 해머가 마모되기 쉽기 때문에 교환이 용이한 타입으로 하지 않으면 안 되고, 유지관리 비용이 비싸다는 단점이 있어서 점차적으로 업체에서 선호하지 않는 파쇄기로 되어 가고 있다.

또한 이러한 파쇄작용만으로는 부착된 시멘트 페이스트 성분의 일부를 제거할 수 있지만, 지속적으로 입자가 작아지기 때문에 콘크리트를 제조할 당시의 굵은골재(최대 입자크기 25mm)보다 매우 작은 골재(최대 크기 15mm 미만)만을 회수할 수 밖에 없는 단점이 있다. 따라서 대길산업(주)에서 개발한 박리기 기술에서는 기존의 파쇄만을 위한 임팩트 파쇄기의 회전속도(500RPM에서 크기는 800RPM 정도)를 300~350RPM 정도로 낮추어서 파쇄보다는 편석을 제거하거나 골재 형태로 존재하는 모르타 덩어리를 주로 파쇄할 수 있도록 그 회전력을 최적화 하였을 뿐만 아니라 이러한 파쇄가 1회로 끝나면 충분한 품질개선이 이루어지지 않기 때문에 <그림 5>에 나타낸 바와 같이 투입에서 배출까지 12회 이상 파쇄작용을 계속하게 함으로써 품질개선 효과를 얻었다.

또한 <그림 6>과 같이 중속으로 회전하는 패들이 원통형 바닥에 쌓여있는 순환골재를 들어 올리는 과정이나 외벽 라이너를 타고 돌던 순환골재를 외벽 라이너와 패들 사

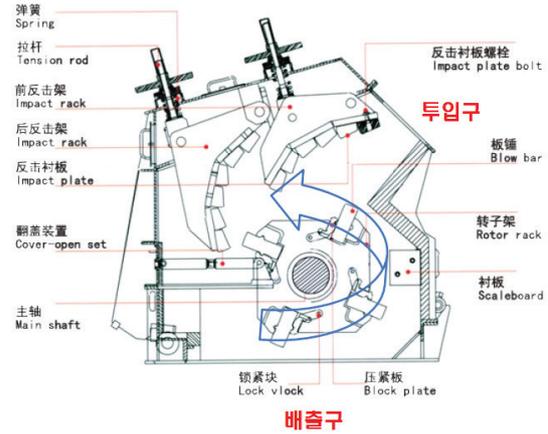


그림 4. 수평형 임팩트 크러셔(1회 파쇄)

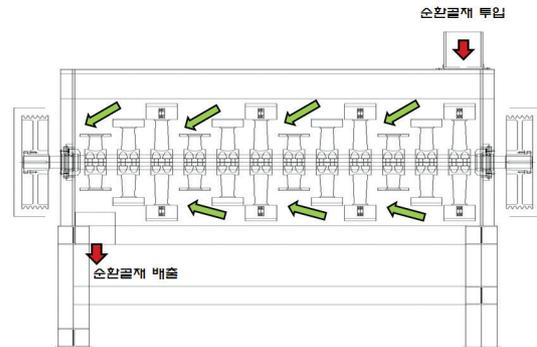


그림 5. 12회의 패들 적용을 통한 임팩트 작용

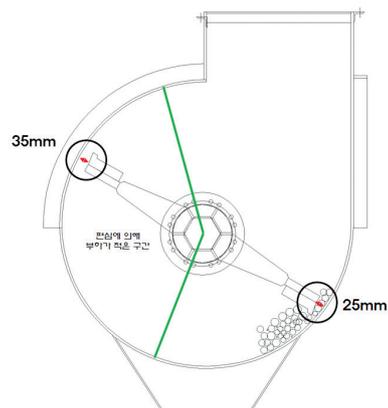


그림 6. 편석에 의해 패들과 외벽라이너 사이에 골재가 끼이면서 마쇄에 의한 박리가 일어나는 공정

이에 끼워넣어 마쇄가 되도록 하여 순환골재의 표면에 부착된 시멘트 페이스트를 박리 또는 마쇄한다. 이 때에 외벽 라이너와 패들 사이에 골재가 잘 깔 수 있도록 샤프트의 중심축을 회전력에 의하여 골재에 타격하는 위치의 반대방향에 10mm 정도의 편심을 주어 실질적으로 1차적으로 편석이 제거된 골재가 잘 끼일 수 있도록 한 것이 작은 힘으로 파·마쇄 효과를 극대화하였고, 결과적으로 양질의 콘크리트용 순환골재를 생산하게 된다.

## 2.2 잔골재용 품질 개선 기술 현황

현재 환경신기술 중에서 콘크리트용 순환 잔골재를 생산하는 기술을 검색하여 보면 초창기에는 이물질을 제거하는 기술에서 점차적으로 파쇄하는 기술로 바뀌고 있는 것을 알 수 있으며, 최근에는 그냥 입자크기만 작게 파쇄하는 것이 아니라 가급적이면 박리의 효과를 갖도록 파쇄하려고 한다는 사실을 알 수 있다.

그러나 이러한 기술을 정확하게 살펴보면 파쇄를 할 때에 골재 강도보다 낮은 강도를 갖는 시멘트 페이스트 위주

로 파쇄가 되는 현상을 이용하는 기술로써 그 흡수율의 개선 정도가 품질기준인 5% 이하 기준을 맞추는 수준이라면 단순히 파쇄만 하여 5mm 이하로 생산한 골재를 이물질과 미분을 제거하였을 때와 비교하여 그 품질의 우수성이 좋아졌다고 할 수 없다. 왜냐하면 일반 수직형 임팩트 파쇄기로도 콘크리트용 순환 잔골재에 대한 순환골재 품질인증을 받고 있기 때문이다.

따라서, 현재 국내에서 개발된 기술중에 경제성을 갖추면서 실질적으로 KS F 2526(콘크리트용 골재)에서 제시하고 있는 흡수율 3% 이하의 품질을 확보할 수 있는 기술은 없다고 보는 것이 타당할 것으로 판단한다.

담당 편집위원 : 유명열(대길산업(주))

### 참고문헌

1. 백대현 외 5인, 붕파쇄기에 의해 제조된 재생골재를 사용한 콘크리트의 기초적 특성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제26권 제1호, 2006