

# 저속습식마쇄기를 이용한 고품질 순환잔골재 제조에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on Manufacturing Condition the High Quality Recycled Fine Aggregate by Low Speed Wet Rotary Mill

김 하 석\*      이 경 현\*      라 정 민\*      박 호 진\*      임 대 빈\*\*      김 진 만\*\*\*  
Kim, Ha-Seog    Lee, Gyung-Hyun    Ra, Jeong-Min    Park, Hyo-Jin    Lim, Dae-Bin    Kim, Jin-Man

### Abstract

Recycled aggregate by the recycling construction waste has a lot of advantage such as the developing the alternative resource and protecting of environment. However, recycled aggregate is used as the low quality grade, because the technic to remove old mortar from aggregate is low level. To use the recycled aggregate as high quality grade, it is important to develop the technic to produce the high quality recycled aggregate.

To manufacture the high quality recycled aggregate, old mortar attached on the aggregates should remove efficiently. Therefore, in this study, we suggested the optimum condition to remove old mortar effectively using sulfuric acid and low speed wet rotary mill for high quality recycled fine aggregate.

The results shows that the recycled aggregate satisfy on the standards of KS F 2573 in density, absorption and solid volume when, adequate condition of sulfuric mole ratio and aggregate ratio are make.

키 워 드 : 순환잔골재, 황산수, 저속습식마쇄기, 구모르타르

Keywords : Recycled fine aggregate, Sulfuric water, Low speed wet rotary mill, Old mortar

### 1. 서 론

현재 국내의 일반적인 순환 잔골재의 생산방식은 단순파쇄공정 위주의 건식공정에서 골재의 세척과 선별 등을 포함한 습식공정으로 바뀌어가는 추세이지만, 건식공정은 물론 습식공정을 사용한 경우에도 순환잔골재의 품질이 매우 열악한 실정이다. 폐콘크리트를 재활용한 순환잔골재의 품질이 저조한 가장 큰 이유는 골재에 포함되어 있는 다량의 시멘트 페이스트성분 때문이다<sup>1)</sup>. 일반적인 습식공정은 순환잔골재를 생산할 목적으로 4차 이상의 파쇄와 골재에 구모르타르 성분 및 미분의 제거를 위해 골재 세척이 병행되고 있다. 하지만 기존의 파쇄 방법만으로는 골재에 포함되어 있는 시멘트페이스트 성분을 효율적으로 떨어내지 못하며 세척 작업에 사용되어지는 세척수는 세척 작업 후 별다른 처리 없이 순환하여 사용되어 지고 있기 때문에 칼슘 성분을 다량 함유한 pH12~13의 고알칼리수로 변화된다.<sup>2)3)</sup> 따라서 골재표면의 구모르타르분을 효과적으로 제거하지 못할뿐더러 용수 또한 지정폐기물로 분류되어 방류 시 별도의 처리를 해야만 하는 추가적인 비용이 발생하게 된

다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 기존 파쇄 방법이 아닌 마쇄 방법과 공정수를 산성수로 대체하는 방법을 이용하였다. 마쇄방법은 파쇄와 분쇄 방법과는 달리 골재간의 마찰과 자유낙하에 의한 운동에너지로 골재표면에 구모르타르 성분을 탈리시키는 방법이며, 산성수 적용은 중화반응을 이용하는 방법으로 공정수에 황산과 같은 산성계 물질을 투여함으로써 공정수를 pH6~7의 중성 또는 약산성화 하는 방법이다.<sup>4)5)</sup>

이러한 방법을 사용하는 경우 공정수를 강알칼리에서 중성화함으로써 폐수의 발생이 없다는 중요한 이점을 제공함은 물론 골재

- 1) 주택도시연구원, 건설폐기물 재활용 정책 및 기술개발 동향, 2006.
- 2) 김진만의 4인, 탄산수 및 마쇄방법으로 제조된 순환잔골재의 품질특성에 관한 연구, 한국폐기물학회, 제25권 제3호, pp. 239~244, 2008
- 3) 김하석의 4인, 황산수를 사용한 저속 습식 마쇄법에 의한 순환잔골재의 최적 마쇄조건, 한국콘크리트학회, Vol. 20, No. 5, pp. 557~563, 2008
- 4) 김하석, 화학적 처리와 저속 습식 마쇄기를 이용한 고품질 순환잔골재 생산기술 개발, 석사학위논문, 2007. 2
- 5) 김진만의 4인, 탄산수 및 마쇄방법으로 제조된 순환잔골재의 품질특성에 관한 연구, 한국폐기물학회, Vol. 25, No. 3, 00 239~244, 2008

\* 공주대학교 건축공학과 대학원  
\*\* (주)그린환경 대표이사  
\*\*\* 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

세척효율의 향상을 기대할 수 있게 된다. 이에 본 연구에서는 기존 순환골재 생산 방식 중 문제시 되어온 파분쇄 방법을 보완한 마쇄기의 효율 특성과 중화반응을 유도할 목적으로 사용한 황산수의 적용 가능성을 검토하여 고품질 순환 잔골재를 생산하기 위한 마쇄기 최적 운전 조건을 확립하고자 하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험계획

본 실험계획은 표 1에서 나타낸바와 같이 실험인자로서 세척수로 사용한 황산수의 농도와 마쇄기에 투입되는 굵은골재와 잔골재 비율로 산정하였다. 본 실험에 사용한 황산의 농도는 몰랄농도로서 일반 상수도에 희석하여 황산의 몰수를 0.2, 0.4의 각 2수준으로 하였으며 공정수 200ℓ 에 대한 황산의 양은 몰수 0.2일때 15.7 kg, 0.4몰일때 23.6kg을 투입하였다. 또한 파분쇄물로 사용한 굵은골재는 100mm이상의 깬자갈을 사용하였으며 잔골재에 중량으로 대체하여 3수준으로 실험하였다.

표 1. 실험계획

ID	Levels		Test items	
	Mole	Fine agg: Coarse agg	Chemical	Physical
base	none	none	·pH	·Temp
Type-1	0.2	1 : 0.5		·Grade
Type-2		1 : 1.0		·Density
Type-3		1 : 1.5		
Type-4	0.4	1 : 0.5		
Type-5		1 : 1.0		·Percentage of solid volume
Type-6		1 : 1.5		

\* 잔골재와 굵은골재 비율은 중량비, 세척수는 200ℓ , 최종 토출시간은 20분

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 실험재료

본 실험에서 사용된 골재는 충남 천안 G사에서 생산한 골재를 사용하였으며, 황산은 무색을 띠는 순도 95%인 D사 제품을 사용하였다.

#### 2.2.2 실험방법

실험 방법은 그림 1에서 나타내고 있는 마쇄기에 잔골재와 굵은골재를 각각의 비율로 투입한 후 200ℓ 의 세척수를 투입한 후 20분 동안 마쇄과정을 거쳐 생산된 순환잔골재의 물리적·화학적 특성을 측정하였다.

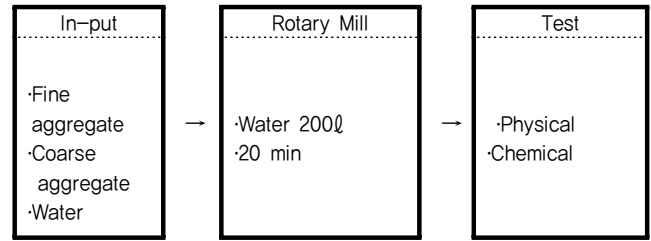


그림 1. 실험방법

#### 2.2.3 실험장비

그림 2는 고품질의 순환잔골재 생산을 위해 본 실험에서 사용한 장비인 마쇄기를 나타내고 있다. 본 실험에서는 저속의 회전력으로 골재에 달라붙어 있는 구모르타르 성분을 제거하는 것으로써 회전 속도 7.7rpm, 사이즈 Ø2250\*8480L, 경사 4.5° 의 마쇄기를 사용하였다.



그림 2. 마쇄기

#### 2.2.4 측정방법

순환골재의 품질시험은 순환골재 품질기준안의 규정 항목을 대상으로 하였으며, 표 2는 본 연구의 측정항목을 나타낸 것이다.

표 2. 측정항목

	Test items	Experimental methods
Physical	·Grade ·Density ·Absorption ratio ·Percentage of solid volume ·Temperature	·KS F 2502 ·KS F 2504 ·KS F 2505 ·pH meter
Chemical	·pH	·pH meter

## 3. 실험결과

표 3은 황산수를 사용하여 마쇄한 순환잔골재의 품질시험 결과를 나타낸 것이다.

표 3. 실험결과

ID	Mole	Aggregate ratio	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption ratio(%)	Percentage of solid volume(%)	F.M.
		Fine :Coarse				
base	none	none	2,27	5,04	63,44	4,51
type1	0.2	1:0,5	2,22	5,15	61,78	4,34
type2		1:1,0	2,32	4,91	65,65	4,55
type3		1:1,5	2,35	3,78	67,38	5,52
type4	0.4	1:0,5	2,29	4,21	64,44	4,36
type5		1:1,0	2,36	3,28	61,64	4,73
type6		1:1,5	2,37	3,26	59,92	5,23

3.1 입도

그림 3과 4는 마쇄 전 골재와 황산수를 사용하여 마쇄한 순환잔 골재의 조립율과 입도분포 및 조립율을 나타낸 것이다. 실험결과 피분쇄물로 사용한 10mm 이상의 골재가 함께 마쇄되어 원골재에 비해 5~10mm, 1.2~2.5mm 사이즈 골재양이 증가한 것으로 나타났다. 이는 피분쇄물의 양이 많을수록, 황산 물수가 높을수록 마쇄 환경이 개선되어 골재 사이즈가 대체적으로 미립해진 것으로 사료 된다.

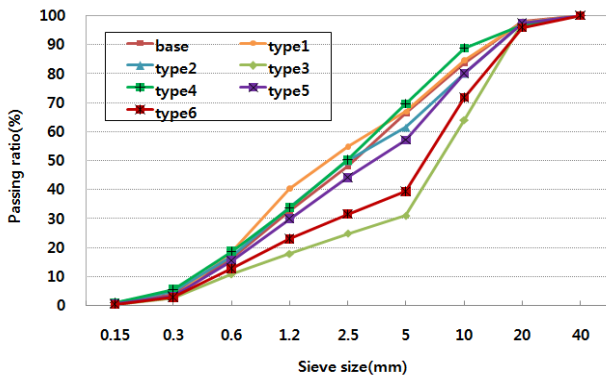


그림 3. 마쇄효율에 따른 입도 변화

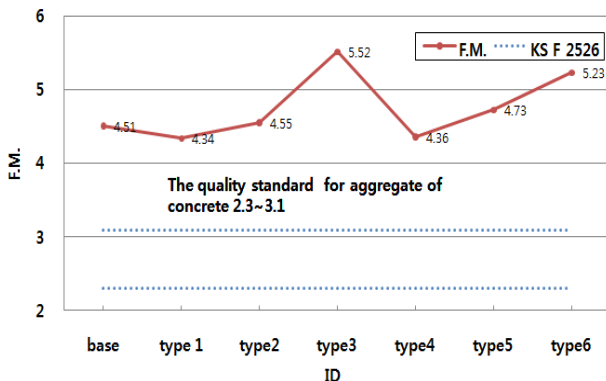


그림 4. 마쇄효율에 따른 F.M.

3.2. 밀도 및 흡수율

그림 5와 6은 마쇄 전 순환잔골재와 황산수를 사용하여 마쇄한 순환잔골재의 밀도와 흡수율을 나타낸 것이다. 황산수를 공정수로 사용하여 마쇄한 경우 절건밀도가 2.22~2.37로써 KS에서 규정하고 있는 2.2이상의 값을 만족하고 있으며, 처리를 하지 않은 골재보다 대부분 밀도가 높게 나타났다. 또한 흡수율은 5.15~3.26%로 Type1을 제외한 나머지는 KS에서 규정하는 흡수율 5%이하의 값을 만족하고 있으며, 처리를 하지 않은 골재보다 흡수율이 낮아졌다. 이는 골재의 밀도와 흡수율에 영향을 미치는 요인인 시멘트 페이스트가 황산수와 반응으로 인해 골재와 시멘트페이스트간의 부착력이 약해져 시멘트페이스트가 쉽게 탈리되어 밀도는 높아지고 흡수율은 낮아지는 경향을 나타낸 것으로 사료된다.

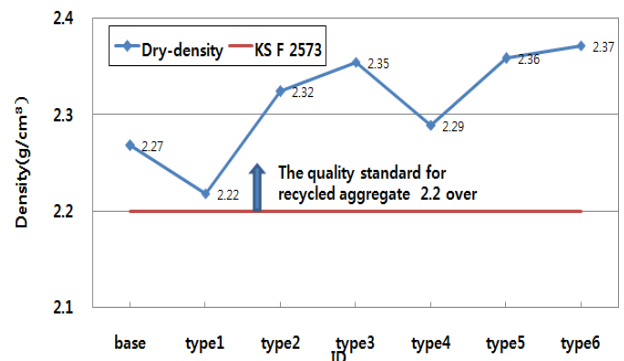


그림 5. 마쇄효율에 따른 밀도 변화

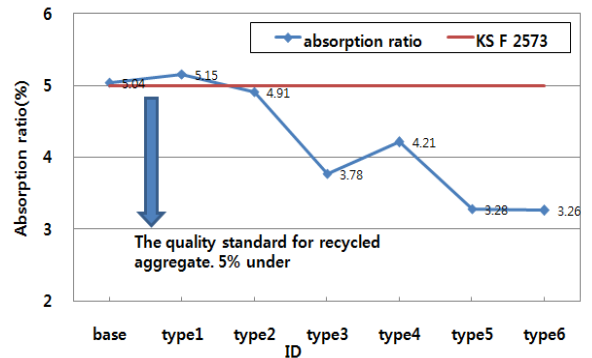


그림 6. 마쇄효율에 따른 흡수율 변화

3.4 실적율

마쇄 전 순환잔골재와 황산수를 사용하여 마쇄한 순환잔골재의 실적율을 측정된 결과 마쇄 후 순환잔골재가 마쇄하지 않은 base에 비하여 실적율이 비교적 높아지는 것으로 나타났다. 이는 황산이 골재 표면에 붙어있는 시멘트 페이스트와 반응하여 마쇄환경을 개선시켜 골재 사이즈가 대체적으로 조립해지며 골재의 입형 또한 개선되어 그림 7과 같은 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

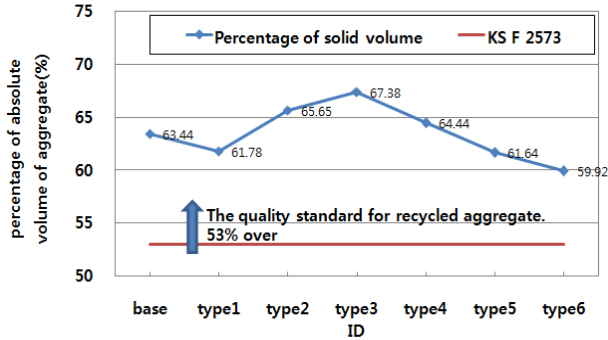


그림 7. 마쇄효율에 따른 실적을 변화

### 3.5 공정수 pH 및 온도변화

그림 8과 9는 온도변화와 pH변화를 나타낸 그림이다. 온도는 중화반응으로 인하여 온도가 상승하게 된다. 본 실험 결과 황산을 희석한 세척수의 황산성분과 골재에 포함되어 있는 수산화칼슘이 반응하여 온도가 상승하는 유사한 경향을 나타내었으나, pH 변화는 최초 1.79~0.53에서 수산화칼슘과 반응함에 따라 pH가 상승하였으며, 공정수에 포함된 황산성분이 소진된 후 pH 값이 11이상으로 상승하였다.

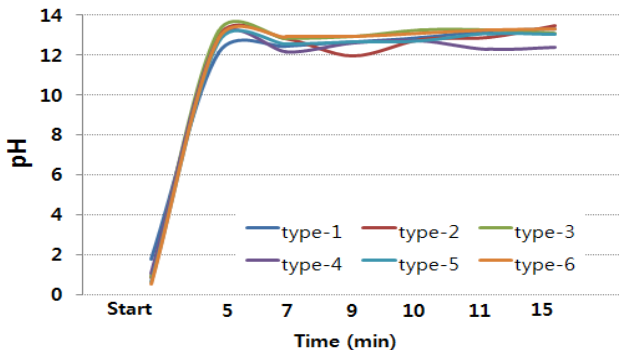


그림 8. pH 변화

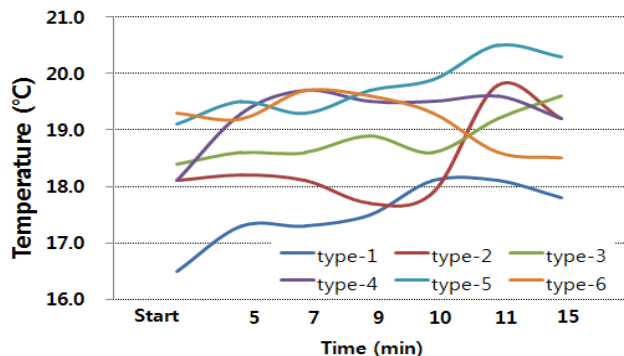


그림 9. 온도 변화

이는 골재에 포함되어 있는 시멘트 페이스트 성분을 완전하게 반응시키지 못했음을 나타내는 것으로서 완전반응을 나타내는 pH6~7의 중성 상태를 유도하기 위해서는 더 많은 산이 필요할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

황산수와 저속습식 마쇄방법을 이용한 고품질 순환잔골재의 제조를 위한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 순환골재의 밀도 2.37, 흡수율 3.26으로 품질이 향상된 것은 황산의 산성분이 골재에 포함되어 있는 구모르타르의 수산화칼슘과 반응하며 그 과정에서 반응생성물이 석고로 석출되어 이 반응 골재와 시멘트 페이스트 부착 경계면의 부착력을 저하시켜 마쇄시 시멘트페이스트 성분이 활발하게 탈리되어 마쇄효율이 증가한 것으로 사료된다.
2. 본 실험에서 나타난 pH11 이상의 값은 골재에 포함되어 있는 시멘트페이스트 성분을 완전히 반응시키지 못했음을 나타내는 것으로서 pH6~7의 중성상태를 유도하기 위해서는 더 많은 산이 필요한 것으로 판단된다.
3. 본 실험결과 황산수와 저속습식 마쇄기의 적용가능성을 확인할 수 있었으나, 더욱 효율적인 마쇄기 운전조건을 위한 추가적인 검토와 생산된 골재의 품질확보 및 안전성을 위한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국산업기술진흥원의 『지역혁신 인력양성사업』의 지원비를 받은 것으로 관계기관에 감사의 말씀을 올립니다.

### 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 순환골재 품질 기준 안, 2005
2. 김진만의 4인, 산처리에 의한 순환골재의 물리적 성질에 관한 실험적 연구, 한국 폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp.331~335, 2006
3. 김진만의 4인, 탄산수 및 마쇄방법으로 제조된 순환잔골재의 품질특성에 관한 연구, 한국폐기물학회, 제25권, 제3호, pp. 239~244, 2008
4. 김하석, 화학적 처리와 저속 습식 마쇄기를 이용한 고품질 순환잔골재 생산기술 개발, 석사학위논문, 2007, 2
5. 김하석의 4인, 황산수를 사용한 저속 습식 마쇄법에 의한 순환 잔골재의 최적 마쇄조건, 한국콘크리트학회, 제20권 제5호, pp.557~563, 2008
6. 주택도시연구원, 건설폐기물 재활용 정책 및 기술개발 동향, 2006.
7. A. M, Neville, Properties of concrete, 1993.