

# 황산수와 저속습식마쇄기로 생산된 고품질 순환 잔골재의 콘크리트 압축강도에 관한 실험적 연구

## The Experimental Study on The Compressive Strength of Concrete Using High Quality Recycled Fine Aggregate Produced by Sulphuric Water and Low Speed Wet Abrasional

최덕진\*<sup>1</sup> 이대근\*<sup>1</sup> 김하석\*<sup>2</sup> 곽은구\*<sup>2</sup> 강철\*<sup>2</sup> 김진만\*<sup>3</sup>  
Choi, Duck-Jin Lee, Dae-Guen Kim, Ha-Suk Kawk, Eun-Gu Kang, Chul Kim, Jin-Man

### ABSTRACT

Recycled fine aggregate has low quality because it contains large amount of old mortar. So, its usage is limited to a lower value-add, such as the roadbed material etc. Also, alkaline water occurred from treatment process of the waste concrete is becoming the cause of environmental problem.

Accordingly, this study is to develop on the high quality recycled fine aggregate produced by low speed wet abramer using sulphuric. We investigated the properties of compressive strength of the mortar which was manufactured using recycled fine aggregate containing calcined gypsum produced by earlier mentioned process.

Test results indicate that concrete using recycled fine aggregate containing calcined gypsum is higher compressive strength than concrete using other sands.

### 요약

현 국내에서 생산되고 있는 대다수의 순환잔골재는 골재표면에 부착되어 있는 구모르터 성분으로 인하여 낮은 밀도와 높은 흡수율의 물리적 특성을 나타내는 저품질 골재이다. 이러한 이유로 일반 콘크리트용 골재 또는 콘크리트 제품제조용 골재로 사용이 부적합하며 일반 성토, 매립제용으로 사용되고 있는 실정이다. 또한 골재 세척에 사용되는 공정수는 골재 세척 후 강알칼리성을 띠게 되어 추가적인 처리비용이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존 파·분쇄 방법이 아닌 마쇄 방법을 사용하여 골재간의 마찰과 자유낙하에 의한 운동에너지로 골재표면에 구모르터 성분을 탈리시키고 황산수를 공정수로 사용함으로써 중화반응에 의해 중성 또는 약산성화 하는 방법으로 고품질 순환잔골재를 생산하였다. 상기의 방법으로 생산된 순환 잔골재는 구모르터 성분에 포함되어있는 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )과 공정수에 투입한 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )의 중화반응에 의해 반응생성물인 석고가 생성되고, 중화반응에 의해 생성된 석고는 재생골재를 건조하는 과정에서 반수석고로 변환된다. 일반적으로 시멘트에 포함된 석고는 응결을 완화 할 뿐 아니라 단기강도를 높이고 건조수축을 감소시키며, 화학적 저항성을 향상시키는 등의 효과가 알려져 있다. 이에 본 연구는 저품질의 순환잔골재를 황산수와 습식마쇄방법을 이용하여 고품질의 순환잔골재로 생산한 후 이를 콘크리트에 적용하였을 때 반응생성물 질인 반수석고가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

실험 결과, 반수석고가 포함된 순환잔골재를 사용한 콘크리트가 압축강도가 가장 높게 나타났고 휨강도는 석고를 제거한 순환 잔골재를 사용한 콘크리트가 가장 높게 나타났다.

\*1 정회원, 공주대학교 건축공학 석사과정

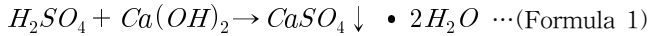
\*2 정회원, 공주대학교 건축공학 박사과정

\*3 정회원, 공주대학교 건축공학 교수, 공학박사

## 1. 서론

국내에서 생산되고 있는 대부분의 순환잔골재는 골재 표면에 부착되어 있는 구모르터 성분으로 인하여 낮은 밀도와 높은 흡수율을 가지고 있다. 이러한 물리적 특성에 의해 일반 콘크리트용 또는 콘크리트 제품제조용 골재로 사용이 부적합하며 일반 성토, 매립재 등 단순용도로써 사용되고 있는 실정이다.<sup>1)</sup> 이러한 이유로 순환골재의 고품질화하기 위한 연구가 국내외적으로 많이 진행되고 있다. 국외에서는 순환골재에 표면에 붙어 있는 구모르터 성분을 제거하기 위하여 가열가공 및 마쇄 방법을 채택하고 있으며, 국내에서는 건식공정에 의한 순환골재 생산 방법에서 골재를 물로 세척하는 습식 공정이 채택되고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 습식 공정에서 사용되는 공정수(세척수)가 지속적으로 반복 사용되어 강알칼리성(pH12~13)을 가지고 있어 세척 효율이 떨어지며, 강알칼리성에 의해 지정폐기물로 지정되어 처리 방법이 매우 중요한 실정이다.<sup>3)</sup>

이에 본 연구는 기존 공정에 마쇄 방법을 적용하여 골재와 골재의 마찰과 자유낙하에 의한 충격력으로 구모르터의 성분을 제거하는 기계적인 방법과 골재에 포함되어 있는 수산화칼슘을 산성계 물질을 이용하여 제거하는 화학적인 방법을 병행하여 순환잔골재를 생산하였다. 상기에 언급한 산성계 물질인 황산수에 의한 화학적 반응식은 Formula. 1과 같다.



이 반응식 Formula 1에 따르면 구모르터 성분의 대부분을 차지하고 있는 수산화칼슘이 석고로 석출되고 이로 인해 골재 표면에 구모르터 성분은 감소하게 되며, 골재의 품질 향상의 결과를 가져오지만 반응생성물질인 석고는 생산된 골재 표면에 잔존하게 된다. 이 석고는 골재의 세척 과정 중 일부는 제거되지만, 골재 표면에 잔존하는 석고가 모르터나 콘크리트에 영향을 줄 것으로 판단된다.<sup>4)5)</sup>

이에 본 연구에서는 저속 습식 마쇄 방법과 황산수를 세척수로 사용하여 생산된 순환잔골재가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 대하여 기초적 자료로 제시하고자 한다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험 계획

본 실험의 계획은 Table 1과 같이 계획하였다. 실험 요소는 잔골재이며 잔골재 종류별로 일반강모래(이하 RS), 기존 생산되고 있는 순환잔골재(이하 LRA), LRA를 황산수와 저속습식마쇄의 방법으로 생산한 잔골재(이하 HRAI), 상기의 방법으로 생산한 잔골재에 포함된 석고를 세척과 150 $\mu$ m이하의 미분을 제거한 잔골재(이하 HRAII)로 계획하였다. 시험 항목은 굳지 않은 상태에서 Slump시험, 경화상태에서 압축, 휨강도 시험을 계획하였고, 실험의 배합은 Table 2와 같다.

Table 1 Experimental plan

Factor	The types of aggregate	Test items	
		Fresh state	Hardened state
Fine Aggregate	- RS <sup>*1</sup> - LRA <sup>*2</sup> - HRA I <sup>*3</sup> - HRA II <sup>*4</sup>	- Slump	- Compressive strength - Flexural strength

\*1 River sand, \*2 Low quality recycled fine aggregate

\*3 High quality recycled fine aggregate I - 반수석고(SO3=15wt.%)함유 및 150 $\mu$ m이하 미분 포함

\*4 High quality recycled fine aggregate II - 세척(SO3=3.93wt.%) 및 150 $\mu$ m 이하 제거

Table 2 Experimental Mixing Design

ID	W/C(%)	Target Slump(cm)	Air(%)	S/A(%)	W(kg/m <sup>3</sup> )	Unit Volume( $\ell$ /m <sup>3</sup> )		
						C	S	G
RS	50%	15	4%	32.7%	190	121	212	437
RA	50%	15	4%	32.7%	190	121	212	437
HRA1	50%	15	4%	32.7%	190	121	212	437
HRA2	50%	15	4%	32.7%	190	121	212	437

## 2.2 실험 방법

본 실험 방법은 Fig. 1과 같이 실시하였다.

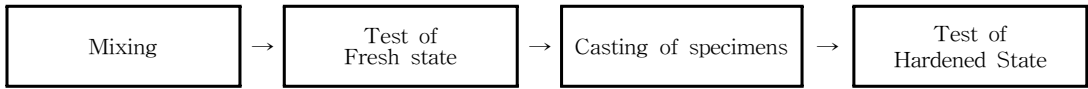


Fig. 1 Experimental method

## 2.3 사용 재료

### 2.3.1 시멘트

본 실험에는 보통 포틀랜드 시멘트(KS L 5201 1종)를 사용하였다.

### 2.3.2 골재

본 실험에 사용된 잔골재 실험계획에서 언급한 골재를 사용하였고, 굵은 골재는 일반 쇄석을 사용하였으며, 그 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of fine aggregate

Type	Density(g/cm <sup>3</sup> )		Absorption ratio (%)	F.M.	Percentage of solid volume (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	
	Dry	Saturated					
Fine Agg.	RS	2.57	2.61	1.28	3.28	61.5	1,579
	LRA	2.29	2.44	6.61	3.35	67.1	1,536
	HRA I*	2.42	2.52	4.17	2.96	65	1,573
	HRA II**	2.46	2.53	2.94	2.71	63.8	1,570
Coarse Agg.	2.60	2.64	1.23	6.52	61	1509	

\* 반수석고(SO<sub>3</sub>=15wt%)함유 및 150 $\mu$ m이하 미분 포함

\*\* 세척(SO<sub>3</sub>=3.93wt%) 및 150 $\mu$ m 이하 제거

## 3. 실험 결과

### 3.1 Slump 시험

본 실험의 Slump 시험결과는 Fig. 2와 같이 나타났으며, HRAII, RS, HRAI, LRA의 순서대로 각각 21, 19.4, 18.5, 17cm의 슬럼프 값이 나타났다. 이러한 결과가 나타난 이유는 HRAII의 경우 석고제거를 위해 150 $\mu$ m이하의 미분제거와 세척으로 비표면적이 감소하여 유동성이 증가한 것으로 판단되며, LRA의 경우 잔골재의 거친 입형과 다량의 미분으로 인한 비표면적증가로 유동성이 저하된 것으로 판단된다.

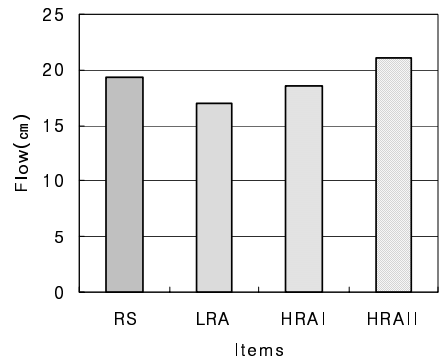


Fig. 2. A variation of Flow

### 3.2 압축, 휨강도 시험

본 실험의 압축 강도시험 결과는 Fig.3과 같이 나타났으며, 실험의 강도 값은 3일, 7일, 28일(추정강도)순으로 RS의 경우 17.7, 21.5, 33.3MPa, LRA의 경우 14.3, 19.7, 30.9MPa, HRAI의 경우 25.2, 30.0, 43.9MPa, HRAII의 경우 25.2, 29.3, 42.9MPa로 나타났다. 이러한 결과의 이유는 LRA의 경우 잔골재의 표면에 부착되어 있는 구모르터르 성분으로 인하여 강도저하가 발생한 것으로 판단되며, 구모르터르를 제거한 HRAI과 HRAII의 경우에는 잔골재의 거친 입형이 강도에 영향을 준 것으로 판단된다. 휨강도 시험 결과는 Fig.4와 같이 나타났으며, 실험의 강도 값은 3일, 7일, 28일(추정강도)순으로 RS의 경우 5.4, 6.6, 13MPa, LRA의 경우 4.6, 5.8, 11.8MPa, HRAI의 경우 5.2, 6.1, 12.4MPa, HRAII의 경우 4.7, 7.5, 14.5MPa로 나타났으며, 압축강도와 유사한 변화 추이를 나타내었다. 이것으로 보아 반수석고의

영향으로 인한 콘크리트의 초기강도 증가는 뚜렷이 나타나지 않았으며, 추후 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

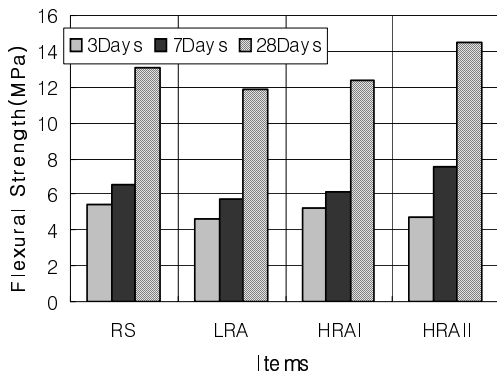


Fig. 3 A variation of compressive strength

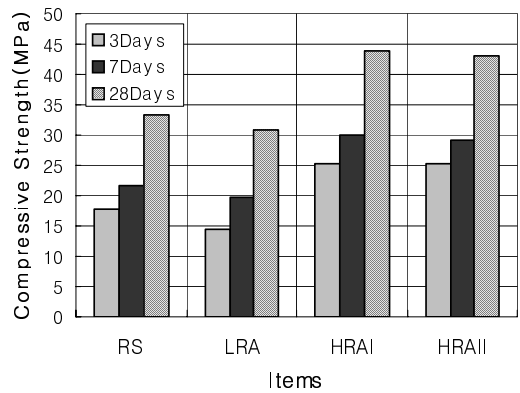


Fig. 4 A variation of flexural strength

#### 4. 결론

본 연구에서는 반수석고에 포함된 순환잔골재를 사용한 콘크리트가 압축강도 특성에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위하여 Slump 시험, 압축강도 시험, 휨강도 시험을 실시하였으며, 그 결과를 비교분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 콘크리트의 굳지 않은 정상 중 슬럼프 시험결과는 HRAII, RS, HRAI, LRA의 순서로 나타났다.
- (2) 압축강도는 HRAI, 휨강도는 HRAII가 가장 높은 것으로 나타났으며, 반수석고에 의한 뚜렷한 강도 특성은 나타나지 않았다.
- (3) 실험결과 골재표면에 존재하는 석고성분이 강도에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났지만 콘크리트의 안정성 및 내구성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 지원 하에(과제번호 05 건설핵심D07) 공주대학교 자원 재활용 신소재 지역혁신센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받은 것으로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

#### 참고문헌

- 1) 김진만 외, 재생골재의 혼합조건에 따른 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 9권 제 11호, pp. 109-120
- 2) 이세현, 습식 생산에 의한 재생 잔골재 및 이를 사용한 모르타르 특성에 관한 연구, 대한 건축학회지 20권 6호 2004년
- 3) 김하석 외, 황산수와 저속 습식 마쇄법으로 생산한 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도에 관한 실험적연구, 대한건축학회 대전·충남지회 추계 학술발표대회, 2007, pp775~776
- 4) 김하석, 화학적 처리와 저속 습식 마쇄기를 이용한 고품질 순환잔골재 생산기술 개발, 2007
- 5) 선정수, 황산수로 처리된 고품질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 공학적 특성, 2008.