

콘크리트 슬러지를 이용한 인공골재의 품질특성

The Quality Characteristics of Artificial Aggregate using Concrete Sludge

고 대 형*	이 정 재*	문 경 주**	소 양 섭***
Ko, Dae-Hyoung	Lee, Jeong-Jae	Mun, Gyoung-Ju	Soh, Yang-Seob

Abstracts

The purpose of this study is to evaluate basic properties of artificial aggregate using concrete sludge according to mixing ratio. Cement, waste phosphogypsum and powder of blast furnace slag are used with binder of artificial aggregate.

Specific gravity, absorption are tested for basic property, and impacting, abrasion and crushing tests are done for characteristics of strength on the aggregate, including comparison with crushed stone. Dry specific gravity was ranged about 1.16 to 1.30 the test result of the aggregates and shape is round

In the result of tests, it is concluded that qualities of the aggregates using concrete sludge are slightly lower than crushed stone but it is similiar with sintering artificial lightweight aggregate in high temperature.

1. 서론

산업의 발달로 인하여 콘크리트 사용량이 급격히 증가해왔고 그에 따른 콘크리트 슬러지 배출량도 증가하였다. 콘크리트 슬러지는 지상에 투기하거나 공공 매립지에 단순매립하면 건조시 비산성이 커서 분진이 발생하고, 지반을 연약화하며, 수소이온 농도(pH)가 12이상의 강염기성 산업폐기물로서 물과 접촉하면 가용성 알칼리 화합물을 생성하여 매립지 주변의 수질을 강한 알칼리성으로 변화시키게 된다. 따라서 콘크리트 관련업체에서는 슬러지 처리에 있어서 매립지 확보 문제 및 처리비용 등 많은 애로사항을 가지고 있으며 이에 적절한 처리방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 레미콘 및 콘크리트 2차 제품 등 시멘트 관련 제품의 제조과정 중 다량으로 발생되는 슬러지를 건설자재로서 재활용하기 위한 방법으로 콘크리트 슬러지를 이용한 비소성(非燒成) 인공 경량골재를 제조하여 그품질 특성을 파악함으로써 골재로서의 활용을 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

* 정회원, 전북대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 전북대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 전북대학교 건축학부 교수·공업기술 연구소

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

(1) 결합재

결합재로서 광양산 고로슬래그 미분말과 D사의 보통 포틀랜드 시멘트 및 전남 N사에서 배출되는 폐인산석고를 사용하였고 혼화제로서 CaCl_2 , $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ 를 결합재의 중량비에 따라 소량 첨가하였다. 사용된 결합재 화학 구성성분 및 물리적 특성은 Table 1 과 같다.

Table 1 Chemical analysis and physical propertis of binder

Materials	Chemical Component(%)							Blain (cm ² /g)	Specific Gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-Loss		
Potland Cement	21.29	5.72	3.63	66.39	1.62	0.48	0.67	3500	3.15
Blast-Furnace Slag	34.51	17.04	0.30	42.65	6.87	0.06	0.29	4000	2.92
Waste Phosphogypsum	1.98	0.7	0.11	31.66	0	43.95	20.32	-	2.36

(2) 콘크리트 슬러지

수분을 제거하지 않은 슬러지 고형분 20g에 증류수 50mL를 더한 후 교반하여 30분이상 방치한 다음 이 현탁액에 pH meter의 유리전극을 담가 1분 후에 pH를 측정하였다. 슬러지의 pH는 12.3 정도로 매우 높은 강알칼리성을 나타내었다. 따라서 콘크리트 슬러지는 강알칼리성 산업폐기물로서 매립 등에 의한 처리방법은 수질오염 등 환경오염을 유발할 수 있는 물질로 판단되었다.

슬러지의 원소에 대한 화학적 조성을 검토한 결과 슬러지는 Ca, Si 및 Al이 주성분으로 이들의 산화물 합계량은 72.2%이었다. 이로서 슬러지는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 SiO_2 로 이루어져 있으며, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 시멘트가 수화반응 하면서 생성된 것이고 SiO_2 또한 시멘트의 수화물 또는 모래의 구성성분이므로 시멘트 수화물과 미량의 모래로 구성되어 있다고 할 수 있다. 콘크리트 슬러지의 화학 조성은 Table 2와 같다.

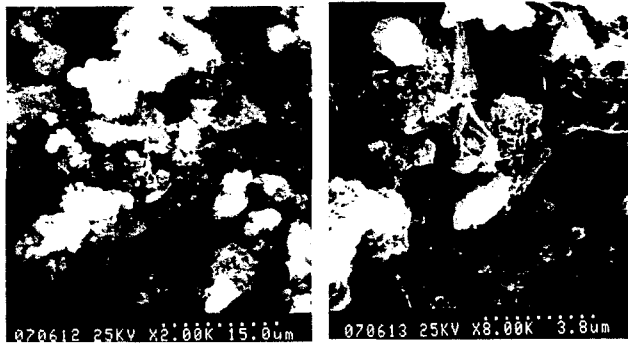


Photo. 1 SEM of concrete sludge

Table 2 Chemical analysis of concrete sludge

Chemical Components	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ig.loss (%)
Concrete sludge	48.3	18.8	4.8	2.3	1.90	0.97	0.56	0.26	21.9

2.2 배합

본 실험에서 인공골재의 배합은 결합재 비율을 고정하고 콘크리트 슬러지를 변화시켜 다량의 슬러지 사용가능성을 파악하고 강도증진을 목적으로 무기혼화제를 바인더 중량비에 따라 1%첨가하였다. 또한 경화제의 결합재를 시멘트와 고로슬래그 미분말로 사용하여 경제적인 결합재를 사용하고자 하였다.

Table 3 Mixing proportion (Wt/%)

Type	Concrete sludge	Binder			Admixture	
		Blast-Furnace Slage	Waste Phosphogypsum	Potland Cement	CaCl ₂	AlK(SO ₄) ₂
C-100	100	-	-	100	-	-
C-200	200					
B-100	100	85	10	5	-	-
B-200	200					
B-150	150					
B-150A	150				1	-
B-150B	150				-	1

2.3 인공경량골재의 제조

인공경량골재 제조시 일반적인 성형방법에는 Extrusion type, Mixer type, Drum type, Disk type 등의 여러 형태가 있으나 본 실험에서는 Disk type을 사용하였다. Disk type 성형기는 회전하는 Disk에 원료를 공급하면서 수분을 분무하여 성형하는 방식으로 본 실험에서 사용한 장비의 사양은 Table 4와 같다.

Table 4 Function of disk type pelletizer

Disk diameter (cm)	Damper height (cm)	RPM	Slop (°)	Water spray (ℓ/min)	Feed (kg/min)	Production (kg/hr)
80	10~15	5~40	35~ 55	0~2	0~5	100~ 200

2.4 제조된 인공경량골재의 품질시험

경화된 인공경량골재의 일반적 특성을 확인하기 위해 비중 및 흡수율시험을 실시하였고, 골재의 정적 하중 및 충격 하중에 대한 저항성과 표면의 경도를 측정하기 위하여 파쇄, 충격, 마모시험을 실시하였으며, 그 방법은 아래의 규준에 의거하여 실시하였다.

Table 5 Standard test method artificial aggregates

시험항목	기준
비중 및 흡수율 시험	KS F 2503 굵은 골재의 비중 및 흡수량 시험방법
마모시험	KS F 2508 로스엔젤스 시험기에 의한 굵은 골재의 닳음시험
파쇄시험	KS F 2541 굵은 골재의 파쇄시험
충격시험	BS 812 Aggregates Crushing and Impact Test

3. 결과 및 고찰

3.1 콘크리트 슬러지 경화체의 압축강도

각 경화체를 표준양생실(20℃, RH 60%)에서 양생한후 3일, 7일, 28일 강도를 측정하였다. 콘크리트 슬러지를 산업부산물인 고로슬래그 미분말과 폐인산석고, 시멘트를 이용하여 경화를 시킨결과 콘크리트 슬러지와 시멘트를 1:1로 배합한 C-100이 가장 큰 강도를 가지는 걸로 나타났지만 시멘트와 슬러지의 배합을 1:2로 배합할 경우 시멘트보다는 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 시멘트를 사용하는 것보다 강도가 더욱 증진되는 걸로 나타났다. 이는 고로슬래그가 잠재수경성이라는 반응기구를 지니고 있어 알카리 자극제가 필요하고 이러한 알카리 자극제는 일반적으로 수산화 칼슘, 수산화 나트륨, 석고등이 사용되고 있다. 석고를 사용함으로써 석고와 슬래그가 반응하여 침상의 calcium sulphur aluminate($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot \#CaO_4 \cdot 32H_2O$, ettingite)를 생성시켜 강도를 발현한 것으로 생각 되어진다. 혼화제로 $CaCl_2$ 와 $AlK(SO_4)_2$ 를 이용한 결과 콘크리트 슬러지 경화체에서는 $AlK(SO_4)_2$ 보다 $CaCl_2$ 효과가 더욱 높았고 $CaCl_2$ 를 중량비로 1%첨가시 10%정도의 강도증진 효과가 있었다.

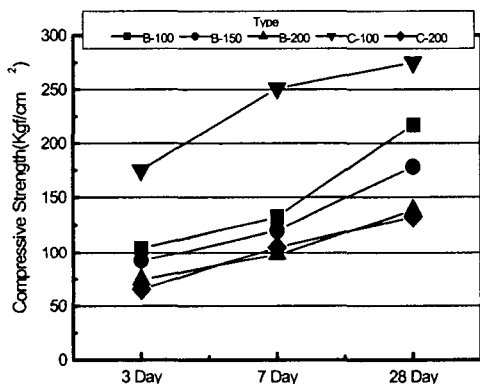


Fig. 1 Compressive strength according to type

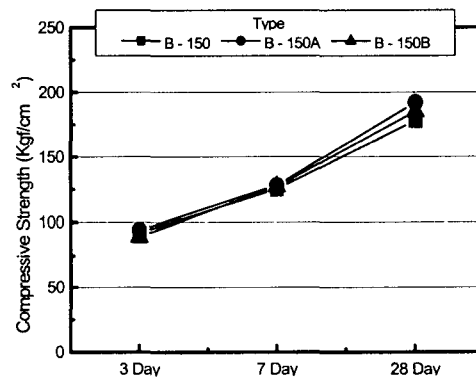


Fig. 2 Compressive strength according to admixture

3.2 콘크리트 슬러지 골재의 물리적 특성

경화체의 압축강도로 얻어진 배합비로 골재성형기에 의해 제조된 콘크리트 슬러지 골재는 성형조건

에 따라 그 크기가 매우 균일하게 제조할 수 있었으며 그 형상이 구형으로 성형이 매우 용이하였다. 이는 콘크리트에 적용시 콘크리트의 유동성을 증가시킬 수 있을 것으로 생각되어진다. 또한 제조된 인공골재의 크기는 5mm이상 10mm이하로서 거의 모든 골재가 8mm정도의 크기로 균일한 골재의 제조가 가능하였다.

(1) 비중 및 흡수율

제조된 골재의 절건비중은 1.30~1.16까지로 JIS A 5002에서 제시된 경량(굵은골재)M형에 모두 포함되고 채석의 절건비중보다 1/2배이하로 매우 경량임을 알 수 있었다. 이는 결합재의 비중이 낮고 또한 콘크리트 슬러지가 수분을 다량으로 흡수하여 내부에 많은 공극을 형성한 것으로 생각되어진다. 흡수율은 32%에서 40.4%사이로 미립분인 콘크리트 슬러지가 다량의 물을 흡수하고 있음을 알 수 있었다.

Table 6 Results of quality tests on artificial aggregate

Type	Specific gravity in saturated surface dry condition	Specific gravity in absolute dry condition	Absorption (%)	Grading (mm)	Shape
Crushed Stone	2.68	2.61	2.4	5~10	무정형
B-100	1.72	1.30	32.4		Round
B-150	1.63	1.16	40.4		
B-150A	1.64	1.18	39.5		
B-150B	1.68	1.22	38.1		

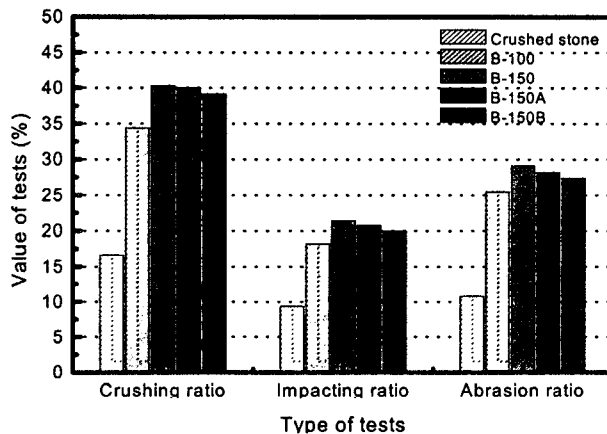


Fig. 3 Quality tests of concrete sludge aggregates

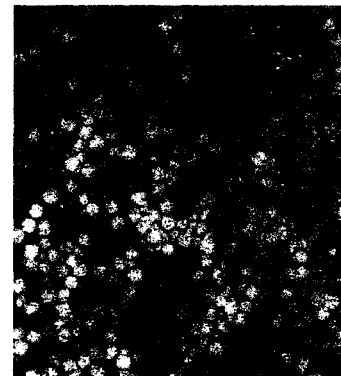


Photo. 2 Concrete sludge artificial aggregate

(2) 충격, 파쇄 및 마모저항성

충격시험은 충격에 대한 골재의 저항성을 나타내는 시험으로 14Kg의 추를 38.5cm의 높이에서 15회 낙하시켜 충격에 대해 파쇄되는 시료를 백분율로 측정하는 방법으로서 충격율은 22%이하이고 굵은 골재의 파쇄 시험은 점차 증가하는 압축 하중하에서의 굵은 골재의 저항성을 알아보기 위하여 굵은 골재의 파쇄값을 측정하는 방법으로 지름 75mm의 원통용기에 골재를 채워 10ton의 하중을 가했을 때

파쇄율(%)을 백분율로 표시방법으로, 각 배합비에 따른 파쇄 손실 백분율은 34%~40%로서 전반적으로 높게 나타났고 슬래그의 양이 증가할수록 혼화제를 첨가할수록 비중이 높을수록 파쇄율이 적게 나타났다.

로스엔젤스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험 방법은 골재의 닳음저항성을 평가하는 시험으로써, 굵은 골재의 마모손실이 적을수록 콘크리트의 마모감량이 적으므로, 콘크리트의 마모저항의 우열을 나타내는 지표이다. 각 배합비에 따른 마모손실 백분율은 26%~29%로서 쇄석에 비해서 최고 2.6배 정도 높지만 댐 콘크리트 표준시방서 규준의 40%이하를 모두 만족하고 있는 것으로 나타났다. 또한 ASTM에 의하면 골재는 마모손실 백분율이 50%를 넘지 않으면 콘크리트제품에 사용될 수 있다고 규정하고 있으며, 도로공사 목적으로 분쇄한 골재들은 보통 손실 값을 40% 이하로 규정하고 있고, 영국 표준규격에 의하면 골재는 표면 마모가 있는 콘크리트에서는 45%를 넘지 않으면 사용될 수 있는 것으로 보고 있다. 따라서 본 배합에 의해 제조된 골재의 품질은 전체적으로 우수한 마모 저항 특성을 보이고 있으나 배합비에 따라 품질을 조절하여 골재를 제조하여야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

- 1) 콘크리트 슬러지는 pH 12.3으로 매우 강알칼리성 이며 Ca, Si, Al이 주성분으로 이들 산화물 합계량이 72.2%를 이루고 있고 SEM분석결과 모두 수화물상태로 존재하고 있었다.
- 2) 콘크리트 슬러지를 산업부산물인 고로슬래그 미분말과 페인산석고, 시멘트를 이용하여 경화체를 제작한 결과 콘크리트 슬러지와 시멘트를 1:1로 배합한 C-100 이 가장 큰 강도를 가지는 것으로 나타났지만 시멘트와 슬러지의 배합을 1:2로 배합할 경우 시멘트보다는 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 시멘트를 사용하는 것보다 강도가 더욱 증진되는 것으로 나타났고 혼화제로 CaCl_2 와 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ 를 이용한 결과 경화체에서는 CaCl_2 가 10%정도의 강도증진 효과가 있었다.
- 3) 제조된 골재의 절건비중은 1.16~1.30까지로 JIS A 5002에서 제시되는 경량(굵은골재)M형에 모두 포함되고 쇄석의 절건비중보다 1/2배이하로 매우 경량임을 알 수 있었다. 이는 결합재의 비중이 낮고 또한 콘크리트 슬러지가 수분을 다량으로 흡수하여 내부에 많은 공극을 형성한 것으로 생각되어진다. 또한 형상이 구형이고 성형조건에 따라 골재의 크기를 조절할 수 있으므로 콘크리트에 적용시 유동성을 크게 증가시킬 수 있을 것으로 생각되어진다.
- 4) 각 배합비에 따른 파쇄 손실 백분율은 34%~40%이고 충격손실 백분율은 22%이하이며 마모손실 백분율은 26%~29%로 ASTM에 의하면 골재는 마모손실 백분율이 50%를 넘지 않으면 콘크리트제품에 사용될 수 있다는 ASTM규정에 모든 배합비가 만족하고 있다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 컨소시엄사업의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 소 양섭외 3인, “배합비에 따른 비소성 인공골재의 품질”, 대한건축학회 학술발표논문, 2000. 4
2. 문 경주, “제지 슬러지 소각회를 이용한 비소성 인공골재 개발 및 활용 연구”, 전북대학교 대학원 석사학위논문, 1999. 2
3. 김 재신, “도시 쓰레기 소각재를 이용한 인공골재의 활용 가능성에 관한연구”, 전북대학교 대학원 석사학위논문, 2001. 2