

# 석재 가공시 발생한 석분슬러지의 콘크리트 혼화재료로의 활용

## Utilization of Stone Sludge Produced by Stone Block Manufacturing Process as Concrete Admixtures

정진섭\*                      이종천\*\*                      양극영\*\*\*                      소광호\*\*\*\*  
Jeong, Jin-Seob              Lee, Jong-Cheon              Yang, Keek-Young              So, Kwang-Ho

### Abstract

The stone sludge produced during the manufacturing process of stone blocks is considered as one of industrial waste materials. This stone sludge are managed to either burying under the ground or stacking in the yard, but this disposal process is required an extra costs. The stone sludge disposal like burying or stacking also cause environmental pollutions such as ground pollution and subterranean water pollution. Thus, this study was conducted to explore the possibility of recycling of stone dust sludge as a concrete mixing material in order to extend recycling methods and to solve the shortage of aggregate caused by recently increased demand in construction. Based on the experiment results on various ratios of cement to stone sludge content, the compressive strengths of concrete were recorded in the range of 20~30N/mm<sup>2</sup>. The results did not show any decrease in compressive strength due to the stone dust content. It can be concluded that the stone sludge produced by stone block manufacturing can be sufficiently recycled as one of concrete mixing materials in the aspect of compressive strength.

키워드 : 석분슬러지, 환경오염, 재생이용, 시멘트 콘크리트, 압축강도  
Keywords : Stone sludge, Environmental pollution, Recycling, Cement concrete, Compressive strength

### 1. 서론

최근 건설 산업의 성장과 함께 석·골재산업이 꾸준하게 발전하여 왔다. 이러한 최근의 석·골재산업의 발전은 가공 시 발생하는 분진과 석분 및 석분슬러지등 또 다른 환경오염을 일으키고 있다. 석산 및 석재 가공업체에서 원석을 채굴하거나 가공하는 과정에서 석·골재의 30~60%정도가 폐석이나 석분 및 슬러지로 손실되고 있고, 이러한 폐기물 중 폐석과 석분의 일부만이 인조 대리석 제조나 경량기포 콘크리트 제조용, 도로 포장용 및 객토용으로 재활용 되고 있을 뿐, 대부분은 적치되거나 무계획적으로 매립되고 있는 실정이다<sup>7)</sup>. 또한 석재 가공과정에서 발생하는 석분과 석분슬러지의 발생량은 2003년 기준으로 약 787,800톤으로 연간처리비용이 약120억 정도가 소요되고 있다<sup>8)</sup>. 석재 생산과정에서 필연적으로 발생하는 부산물인 석분은 두 가지 측면에서 환경오염에 영향을 미치고 있는데, 첫째는, 매립으로 인한 오염이다. 산업부산물인 석분

의 매립에 따른 매립지 확보를 위한 경제적 부담뿐 만 아니라 분진에 의한 대기, 토양 및 수질 등의 위대한 환경 공해를 유발 시키는 문제점을 동시에 안고 있다<sup>2)</sup>. 또한 지반의 연약화 등 2차 환경오염 문제가 야기된다<sup>3)</sup>. 둘째는, 야적으로 인한 피해이다. 국내 인공 쇄석사 제조과정에서 발생하는 200 Mesh 이하의 석분은 연간 100만m<sup>3</sup> 이상이 발생하고 있으며, 대부분 석산에 야적되어 있는 상황으로 현재 폐기물로 지정되어 있다<sup>5)</sup>. 석산야적으로 인해 주변 농지와 상수원 오염과 더불어 침전물에 의한 주민 생수용 수원의 수질을 악화시키고 있다. 또한 생산업체의 매립장 확보의 어려움으로 인해 공유지 및 농지를 불법으로 점거, 석분 야적장으로 사용하다가 법적인 조치를 받게 되는 사례도 증가하고 있다. 이처럼 산업재료로서 대규모의 재활용 방법이 부족한 현실에서 연간 발생 되는 석분의 양에 비해 폐기물을 처리할 수 있는 매립장도 포화된 상태에서 불법으로 처리해야 하는 악순환이 계속되고 있다. 석분 처리 문제 해결을 위해 콘크리트 생산을 위한 혼화재료로서 석재 가공산업에서 생긴 부산물인 석분슬러지를 활용하고자 한다. 이미 인공골재 콘크리트 생산과정에서는 자갈 또는 암석을 분쇄한 미세 석분이 함유되고 있다<sup>1)</sup>, 그러나 석분 생산을 위해서는 많은 양의 자갈 또는 암석이 필요하며 별도의

\* 원광대학교 토목환경도시공학부 교수, 공학박사, 정회원  
\*\* 원광대학교 토목환경도시공학부 겸임교수, 공학박사, 정회원  
\*\*\* 원광대학교 건축학부 교수, 공학박사, 정회원, 교신저자 (kyyang@wonkwang.ac.kr)  
\*\*\*\* 대우건설 부장, 공학박사, 정회원

분쇄공정을 거쳐야 하는데 이는 추가적인 비용이 수반되어 생산단가를 증가시키는 요인이 된다. 이러한 추가적인 공정을 거치지 않고 대리석이나 화강암을 가공하는 석재 관련 산업에서 원석을 가공하는 과정 중에 발생하는 상당량의 석분슬러지를 활용한다면 콘크리트의 생산단가 절감과 더불어 상당한 비용을 들여 위탁처리하고 있는 석분의 폐자원 재활용 측면에서 매우 의미 있는 기술이 될 것이다.

본 연구는 석재가공산업의 부산물인 석분의 특성을 분석하여 재활용에 적절한 방안을 도출하기 위한 실험을 수행하였고 재활용 방안으로 콘크리트의 혼화재료로서의 활용 가능성에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 석분슬러지의 특성

### 2.1 석분슬러지의 물리적 성질

본 연구에서는 석분의 기본적인 특성을 파악하기 위하여 자연함수비시험, 입도시험, 액성 및 소성한계시험, 다짐시험 등을 수행하였다. 시료는 익산시 황등면에 있는 석재 가공공장 에서 슬러리 상태로 채취하여 이를 자연건조한 후 시험을 수행하였다. 표 1은 일반적인 석분슬러지의 물리적 성질을 나타낸 표로서 절대건조밀도는  $1.95\text{g/cm}^3$ , 자연함수비가 26%정도이며, 최대입도는 0.84mm이다. 그러나 본 연구에서 시험한 석분의 절대건조밀도는  $1.53\text{g/cm}^3$ 으로 일반석분의 절대건조밀도보다 약간 작은 값을 나타내고 있다. 입도분석시험 결과 #200체 통과율이 98%이상으로 입자의 크기가 균등하여 입도

수비(Optimum Moisture Content; OMC)는 22%로서 일반 석분의 12%보다 크다. 시험재료의 소성(PI)특성을 파악하기 위해 액성한계(LL) 및 소성한계시험(PL)을 실시하였으며, 그 결과 석분재료는 점성토의 성분이 거의 포함되지 않은 비소성(Non Plastic; NP)으로 분류되었다.

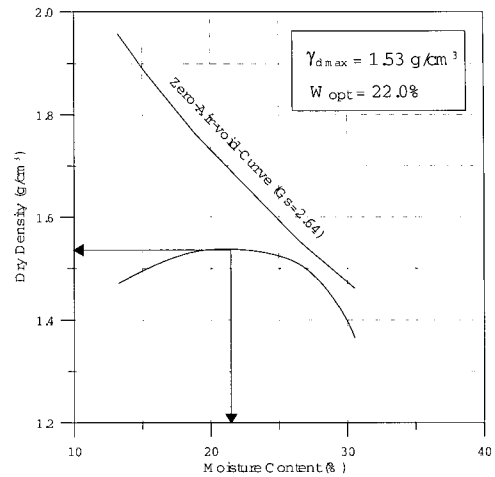


그림 1. 황등 석분슬러지의 다짐곡선

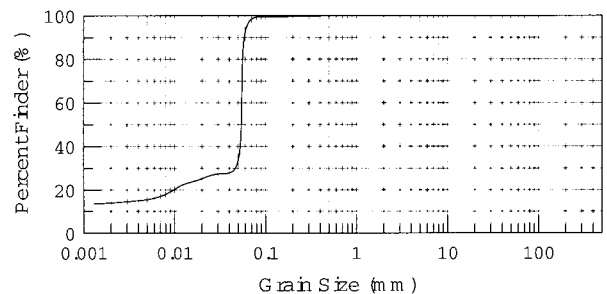


그림 2. 황등 석분슬러지의 입도분포 곡선

표 1. 일반적인 석분의 물리적 특성

Maximum Size (mm)	Natural Moisture Content (%)	$\rho_{d,max}$ ( $\text{g/cm}^3$ )	OMC (%)	Percent Finer		Atterberg Limit		USCS
				No.4 (%)	No.200 (%)	LL (%)	PL (%)	
0.84	26.3	1.95	12.0	100	75.8	32.2	29.5	ML

표 2. 황등석분의 물리적 특성

Sample	Compaction		Percent Finer No.200(%)	Atterberg Limit			USCS
	$\rho_{d,max}$ ( $\text{g/cm}^3$ )	OMC(%)		LL	PI	PL	
Hwang Deung Stone sludge	1.53	22	98.7	NP			ML

분포곡선은 빈입도의 형태를 갖는 Silt질 재료로 나타나고 있다.

따라서 통일분류법에 의한 분류(USCS)는 ML로 무기질 실트 분류 되었다. 석분의 다짐시험은 표준다짐(A다짐)시험으로 수행하였으며 절대건조밀도일 때의 함수비를 나타내는 최적함

### 2.2. 석분슬러지의 화학적 특성

본 연구에서 사용된 석재 가공 시 발생한 익산시 황등면 일대의 석분슬러지의 주성분 및 화학분석은 한국기초과학지원연구원에서 X-선 형광분석법(X-ray Fluorescence Spe-

strometer;XRF)으로 분석하였으며 그 결과를 표 3으로 나타내었다. 석분슬러지는 SiO<sub>2</sub>가 55.68%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 19.63%, FeO가 2.38%이며 기타 미량의 광물질로 구성되었다. 규소와 알루미늄이 주성분인 석분슬러지는 가용성 성분인 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 칼슘실리케이트 수화반응시 생성되는 Ca(OH)<sub>2</sub>와의 포졸란 활성반응으로 강도증진에 기여하는 불용성 수화물(C-S-H)의 생성을 촉진시켜 재령 증가와 함께 지속적으로 강도가 증가할 것으로 예상된다.<sup>2,6)</sup>

표 3. 황등석분의 화학적 성분

Chemical Components(%)			
SiO <sub>2</sub>	55.68	K <sub>2</sub> O	0.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.63	Na <sub>2</sub> O	0.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.64	TiO <sub>2</sub>	N.D.
CaO	0.59	MnO	0.033
MgO	1.08	FeO	2.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	N.D.= not detect	

표 4. 황등석분의 용출시험 결과

Sort of Analysis	Designated Standard of Extrusion	Result of Analysis	Reference
pH	-	8.2	Korean Standard Leaching Procedure (KOEP)
Pb	More than 3mg/l	More than 0.62mg/l	
Cu	More than 3mg/l	More than 1.2mg/l	
As	More than 1.5mg/l	N.D.	
Hg	More than 0.005mg/l	N.D.	
Cd	More than 0.3mg/l	More than 0.09mg/l	
Cr <sup>6+</sup>	More than 1.5mg/l	N.D.	
CN	More than 1mg/l	N.D.	
Organic Phosphate	More than 1mg/l	N.D.	
PCE	More than 0.1mg/l	N.D.	
TCE	More than 0.3mg/l	N.D.	
Oil Ingredient	More than 5%	N.D.	
Mineralized Organic Matter	-	1.2%	

### 2.3 석분슬러지의 유해성 분석

석재가공 부산물인 석분슬러지를 콘크리트 혼화재료로 사용하기 위해서는 우선 석분슬러지 자체로부터 용출되는 물질에 의해 토양이나 지하수 혹은 콘크리트 주변 환경을 오염시킬 가능성이 없어야 하며, 이에 대한 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 폐기물공정시험법에 의해 석분슬러지의 용출시험을 실시하였다. 석분100g을 용매하여 1l에 혼합하고 상온,

상압 하에서 진탕 회 수 분당 200회, 진폭 4~5 cm의 진탕기를 이용하여 6시간 연속 진탕한 다음 1.0μm의 유리섬유지로 여과하고 여과액을 용출시험용으로 분석하였다. 분석결과는 표 4와 같다. 석분슬러지에 대한 용출시험결과 납과 구리 및 카드뮴만이 지정폐기물 기준치 이하로 미량이 용출되었을 뿐 기타 항목에서는 일체의 유해물질이 나타나지 않았다. 따라서 석분슬러지의 콘크리트 혼화재료로 활용할 때 환경적 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 실험개요

본 실험은 석분을 콘크리트의 혼화재료로서 혼합하여 얻을 수 있는 강도효과를 고찰하기 위해 표 6과 같은 배합설계(초기 W/C는 40.3%로, 잔골재율 S/a는 48.5%, 슬럼프는 120mm)를 하였으며, 콘크리트 강도에 주요 요인인 물-시멘트비를 변화시키기 위해 표 5와 같이 5종류의 시멘트량(330kg, 315kg, 300kg, 285kg, 270kg)으로 변화시켜가며 각각의 용적에 석분사용량을 각각 15kg씩 변화시켜 25종류의 배합조건을 달리하여 실험을 실시하였다.

표 5. 시멘트와 석분의 배합종류

Total Mass of Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Stone Sludge (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Stone Sludge/Cement(%)
330	0	330	0.0
	15	315	4.5
	30	300	9.1
	45	285	13.6
	60	270	18.2
315	15	300	4.8
	30	285	9.5
	45	270	14.3
	60	255	19.0
	75	240	23.8
300	30	270	10.0
	45	255	15.0
	60	240	20.0
	75	225	25.0
	90	210	30.0
285	45	240	15.8
	60	225	21.1
	75	210	26.3
	90	195	31.6
	105	180	36.8
270	60	210	22.2
	75	195	27.8
	90	180	33.3
	105	165	38.9
	120	150	44.4

표 6. 배합사항

Nominal strength (MPa)	Slump (mm)	Air Content(%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )					Admixture (kg/m <sup>3</sup> )	Total Weight (kg/m <sup>3</sup> )
					W	C	S1*	S2*	G		
21	20±25	4.5±1.0	51.5	48.5	170	330	466	466	898	1.65	2332

\* S1은 해사, \* S2는 부순모래

### 3.2 공시체 제작

공시체 제작에 필요한 시멘트는 일반적인 S사 제품의 보통포틀랜드시멘트이며 실험에 사용된 공시체는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작하고 양생하는 방법)의 규정에 의해 제작하였으며, 공시체는 지름 15cm, 높이 30cm인 원주형금속제 압축강도용 몰드에 콘크리트를 3층으로 나누어 각층별 25회의 붓다짐을 실시하여 제작했으며, 캐핑을 한 후 24시간이 지난 다음 탈형하여 20±3℃의 항온수조에서 재령 7일과 28일로 양생하였다. 공시체는 시험 유형별로 모두 150개의 공시체를 제작하였으며, KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 의해 시험을 실시하였다.

### 3.3 압축강도 시험

석재 가공 시 발생하는 석분슬러지를 콘크리트의 혼화재료로서 혼입하여 얻을 수 있는 강도효과를 고찰하기 위하여 KS F 2405기준에 따른 압축강도 실험을 통한 연구를 수행하였다. 압축강도 실험에 사용된 장비는 150Ton 용량의 U.T.M (Universal Testing Machine)을 이용하였으며 공시체의 단면응력 증가율을 1.5~3.5kgf/cm<sup>2</sup>/sec 이내의 일정한 속도로 하중을 가하여 압축강도를 구하였으며 실험 유형별로 각각 3개씩의 공시체를 시험하여 그 평균값을 압축강도로 하였다.

## 4. 시험 결과

표 7은 위의 표 5의 조건에 따른 압축강도를 시험한 결과이며 다음과 같다.

### 4.1 혼합재료의 비율에 의한 강도 변화

#### 4.1.1 시멘트 함량이 330kg 일 경우

석분함유량의 증가에 따른 28일 강도(P1~4)는 석분을 포함하지 않는 경우의 평균압축강도(P0) 보다 각 단계별로 0.93배, 1.08배, 1.07배 1.20배 크게 나타난다. 그림 3의 (a)에서와 같이 혼합재료의 양이 증가 할수록 강도는 대체로 증가하는 경향을 보인다. 즉 시멘트 330kg 일 경우 석분으로 인한 강도 저하는 없고 오히려 강도가 증가하는 경향을 보인다.

#### 4.1.2 시멘트 함량이 315kg 일 경우

시멘트 질량에 대한 혼합재료, 즉 석분의 비율은 4.8~23.8%정도이며 석분 함유량이 15kg씩 증가함에 따라 초기석분 15kg을 포함한 경우의 압축 강도보다 각 단계별로 1.12배, 1.11배 1.25배 1.08배 정도이며 그림 3의 (b)와 같다. 그림 3

표 7. 압축강도 시험결과

Cement (kg)	Stone Sludge (kg)	Stone Sludge/Cement(%)	Compressive Strength (MPa)		Pn /P0	
			(7day)	(28day)		
330	0	0.0	15.7	26.1	P0/P0	1.00
	15	4.5	17.2	24.2	P1/P0	0.93
	30	9.1	20.3	28.1	P2/P0	1.08
	45	13.6	19.4	28.0	P3/P0	1.07
	60	18.2	21.8	31.2	P4/P0	1.20
315	15	4.8	16.7	23.8	P0/P0	1.00
	30	9.5	19.4	26.7	P1/P0	1.12
	45	14.3	19.1	26.4	P2/P0	1.11
	60	19.0	21.0	29.7	P3/P0	1.25
	75	23.8	19.1	25.7	P4/P0	1.08
300	30	10.0	14.4	21.3	P0/P0	1.00
	45	15.0	19.3	25.0	P1/P0	1.17
	60	20.0	14.9	20.7	P2/P0	0.97
	75	25.0	19.7	26.0	P3/P0	1.22
	90	30.0	20.2	25.1	P4/P0	1.18
285	45	15.8	14.9	21.3	P0/P0	1.00
	60	21.1	17.6	21.8	P1/P0	1.03
	75	26.3	20.8	27.2	P2/P0	1.28
	90	31.6	19.4	26.5	P3/P0	1.24
	105	36.8	18.4	25.3	P4/P0	1.19
270	60	22.2	17.2	23.0	P0/P0	1.00
	75	27.8	14.5	22.9	P1/P0	1.00
	90	33.3	17.7	24.5	P2/P0	1.07
	105	38.9	17.0	23.4	P3/P0	1.02
	120	44.4	15.0	21.3	P4/P0	0.93

의 (b)에서도 마찬가지로 석분으로 인한 강도저하는 거의 없는 것으로 판단되며, 석분의 비율이 20%까지는 대체로 강도의 증가 경향을 볼 수 있다.

#### 4.1.3 시멘트 함량이 300kg 일 경우

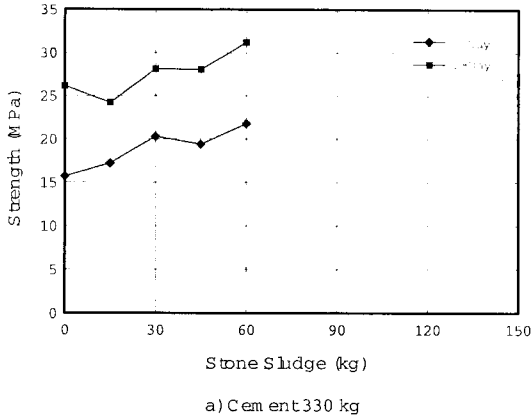
석분의 비율은 10~30%정도이며 석분 함유량이 15kg씩 증가함에 따라 초기 석분 30kg을 포함한 경우의 압축강도보다 각 단계별로 1.17배, 0.97배, 1.22배, 1.18배, 정도이다. 그림 3의 (c)에서 혼합재료 60kg을 제외하고 대체로 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

#### 4.1.4 시멘트 함량이 285kg 일 경우

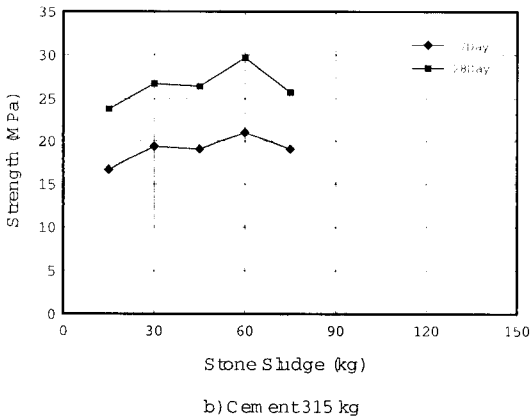
시멘트 질량에 대한 혼합재료, 즉 석분의 비율은 15~36%정도이며 석분의 함유량이 15kg씩 증가함에 따라 초기 석분슬러지 45kg을 포함한 경우의 압축강도보다 각 단계별로 1.03배, 1.28배, 1.24배, 1.19배 정도이며 그림 3의 (d)와 같다. 석분 함유량에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단되며 석분/시멘트 비율이 26.3%일 경우 최적의 강도를 나타냄을 보인다.

4.1.5 시멘트 함량이 270kg 일 경우

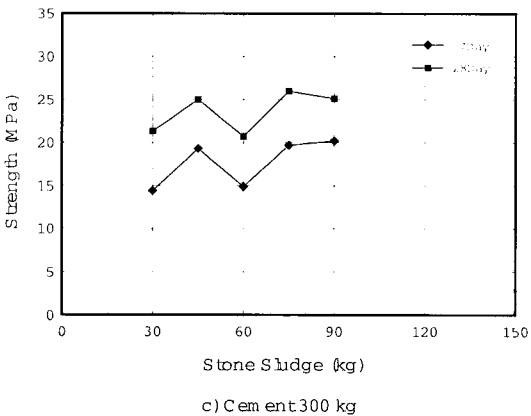
시멘트 질량에 대한 혼합재료, 즉 석분의 비율은 22~ 44% 정도이다. 초기 석분 60kg을 포함한 경우의 압축강도보다 석분 함유량이 15kg씩 증가함에 따라 압축강도는 각 단계별로 1.00배, 1.07배, 1.02배, 0.93배 정도이다. 그림 3의 (e)에서와 같이 석분 함유량 증가에 따른 강도의 증가는 더 이상 없는 것으로 보인다.



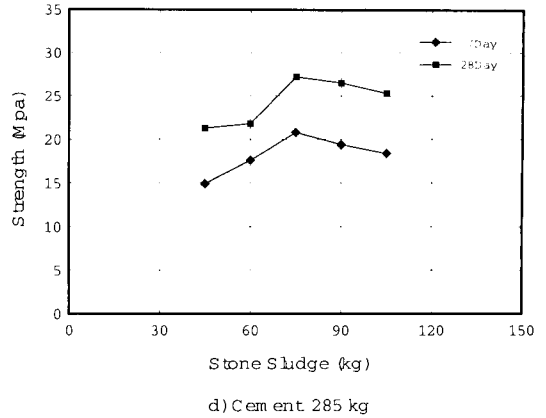
a) Cement 330 kg



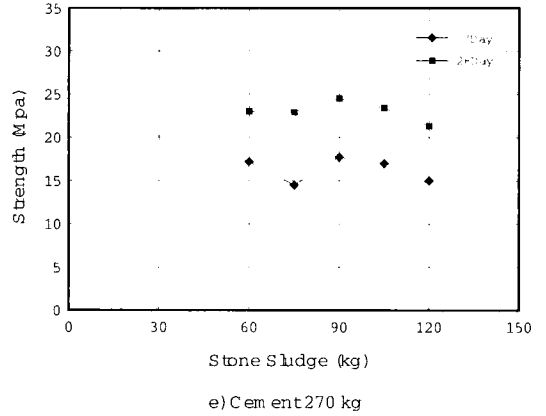
b) Cement 315 kg



c) Cement 300 kg



d) Cement 285 kg



e) Cement 270 kg

그림 3. 석분슬러지와 시멘트비에 따른 압축강도의 변화

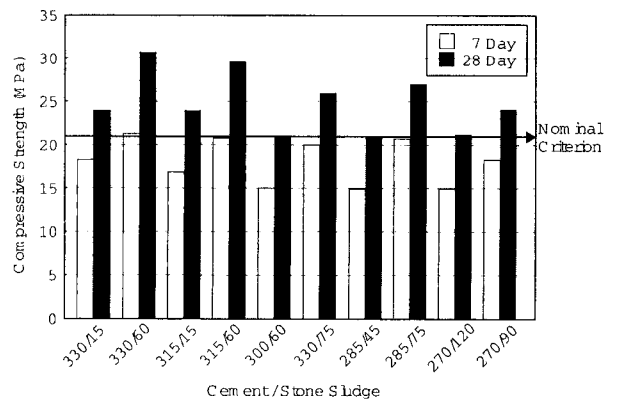


그림 4. 석분슬러지의 혼합 비율에 따른 콘크리트의 압축강도 특성 비교

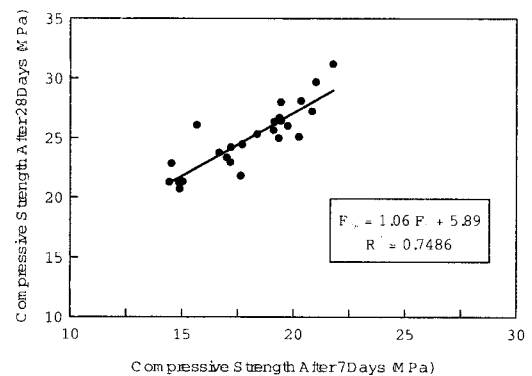


그림 5. 제령 7일과 28일에서 콘크리트의 압축강도 변화

표 8. 레디믹스드 콘크리트의 종류<sup>4)</sup>

Type of concrete	Maximum Size of Coarse Aggregate (mm)	Slump (mm)	Nominal Strength (MPa)												
			18	21	24	27	30	35	40	45	50	55	60	(bending) 4.0	(bending) 4.5
Common Concrete	20,25	80,120,150,180	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
		210	-	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
		500*, 600*	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
	40	50, 80, 120, 150	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	
Light-Weight Concrete	15, 20	80,120,150,180,210	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	
Pavement Concrete	20,25,40	25,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○
High Strength Concrete	15,20,25	120, 150, 180, 210	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
		500*, 600*, 700*	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-	-

\* 슬럼프 플로 값을 의미한다

4.2 재령에 따른 평가

그림 4와 그림 5는 재령에 따른 콘크리트의 압축강도의 변화를 나타내고 있다. 강도발현증가율은 석분 혼합율에 대한 압축강도 분포가 재령 28일에서 시멘트 330kg에 석분 60kg, 즉, 시멘트질량에 대한 혼합재료의 비가 18.2%에서 31.2MPa까지 증가하다 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 석분이 콘크리트의 재령에 따른 강도증진에 기여하고 있음을 확인할 수 있었다. 콘크리트의 강도는 보통 재령 28일을 표준으로 하지 만 경우에 따라 조기강도를 기본으로 28일 강도를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 25종류의 실험결과부터 7일 강도와 28일 강도를 이용하여 선형 회귀분석분석으로 추정식을 구하였으며 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

4.3 강도평가 및 분석

콘크리트의 강도 평가에 있어서 평균강도  $\bar{x}$  보다는 설계강도  $f_{ck}$  이하로 떨어지는 최소강도가 중요한 판단기준이 된다. 실험결과 나타난 배합강도는 재령 28일에서 21MPa 정도 나타나며 이는 레미콘 회사의 표준배합설계 표 5에 제시한 호칭강도 21MPa과도 부합한다. 또한 본 실험 결과는 그림 4에 보인 바와 같이 재령 28일에서의 전체적인 콘크리트 압축강도는 21~31MPa 정도로 분포하고 있으며 레디믹스드 콘크리트의 종류 관한 표 8(KS F 4009)의 호칭강도 18~30MPa 사이에 포함된다. 이와 같이 콘크리트의 강도증가의 원인으로는 규소와 알루미늄이 주성분인 석분슬러지가 가용성 성분인 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 칼슘실리케이트 수화반응시 생성되는 Ca(OH)<sub>2</sub>와의 포졸란 활성반응으로 강도증진에 기여하는 불용성 수화물의 생성을 촉진시켜 강도가 증가 되는 것으로 판단된다.

5. 결 론

석재가공업에서 폐기물로 인식되었던 석분슬러지를 콘크리트의 혼합재료로서의 활용성을 도모하기 위해 석분슬러지의 광물특성, 유해성에 대한 분석, 물리적 성질 그리고 압축강도 실험 등을 수행하였다. 이상의 연구를 바탕으로 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 석분슬러지의 주성분 및 화학분석은 SiO<sub>2</sub>가 55.68%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19.63%, FeO가 2.38% 이고 기타 미량의 광물 질로 구성되었으며, 입경은 매우 균등하고 미세하며 200번체 통과량이 98.7%로 Silt질이고, 소성이 낮은 ML로 분류된다.
- 2) 폐기물공정시험(KOEP)에 의해 용출시험을 실시한 결과, 납, 구리, 카드뮴이 검출되었으나 기준치 이하로 미량 용출되었을 뿐 다른 기타 유해물질은 나타나지 않았다.
- 3) 재령 28일에서 배합강도는 21MPa 정도 나타나며 이는 표준배합설계에 제시한 호칭강도 21MPa과도 부합한다. 또한 전체적인 콘크리트 압축강도 분포는 21~31MPa 정도로 레디믹스드 콘크리트의 종류 관한 호칭강도 18~30MPa 사이에 포함된다.
- 4) 강도발현증가율은 석분 혼합율에 대한 압축강도 분포가 재령 28일에서 시멘트 330kg에 석분 60kg, 즉, 시멘트질량에 대한 혼합재료의 비가 18.2%에서 31.2MPa까지 증가하다 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 석분이 콘크리트의 재령에 따른 강도증진에 기여하고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 조기강도를 기본으로

재령 28일 강도를 추정할 수 있도록 선형 회귀분석으로 추정식을 구하였다.

- 5) 이상의 결론을 바탕으로 석재가공시 발생한 석분슬러지를 구조물의 중요도에 따라 선택적으로 콘크리트의 혼화재료로서 활용 가능할 것으로 판단되며 이는 경제적인 측면과 폐자원의 활용이라는 환경적인 측면에도 기여하게 될 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 2007년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 구해식, 석분 함유량의 변화에 따른 콘크리트 압축강도에 관한 연구, 경남대학교부설 공업기술연구소 연구논문집 Vol. 14. No. 2, pp.387-396. 1997.
2. 김도수, 이병재, 노재성, 산업부산물을 재활용한 고강도 분말 혼화재의 제조 및 콘크리트 적용특성, Vol. 15, No. 3, pp.196-202. 1998.
3. 노재성, 조현영, 최정봉, 열처리한 시멘트 슬러지 및 ALC 파쇄분과 석분 슬러지를 재활용한 시멘트 몰탈의 특성, 한국폐기물학회지, Vol. 12, No. 2, pp.207-213. 1995.
4. 레디믹스트 콘크리트 시방서, KS F 4009, 한국표준협회, 2006.
5. 마상준, 김동민, 안상철, 이상욱, 실내실험을 통한 지하공동 충전재 개발에 관한 연구-석분토를 주재료로 활용한 실험, 한국폐기물학회지, Vol. 22, No. 1, pp.67-78. 2005.
6. 이상욱, 김성원, 오상균, 김정길, 마상준, 혼화재료로서 석분토의 재활용 가능성 평가, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 23, No. 2, pp.351-354. 2003.
7. 진호일, 민경원, 한상목, 신대용, 석산 및 석가공업체로부터 발생되는 석폐기물의 물리적 화학적 특성, 한국자원공학회지, Vol. 36, pp.290-298. 1999.
8. 하은용, 무기성 고화재를 이용한 석분슬러지의 재활용 연구, 한양대학교 환경대학원, 석사학위논문, 2005.
9. Abrams D.A. Effect of Curing Condition on Wear and Strength of Concrete (Describing 120 tests on cylinder-shaped samples and 300 tests on cubic samples in various moisture conditions and testing periods varying from 3 days to 4 months). 1919.
10. Bonavetti, V.L., et al., The Effect of Stone Dust Content in Sand, Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 3, pp.580-590. 1994.

(접수 2008. 9. 8, 심사 2008. 10. 6, 게재확정 2008. 12. 8)