

# 석재슬러지를 재활용한 초내구성 복합무기소재 WALL CON의 개발

곽은구\* · 이대경 · 조홍준    이종필 · 박춘근

<천지콘텍>

<한국생산기술연구원>

## 1. 연구의 배경 및 목적

국내 석재 채석장에서 원석을 채굴하여 건축용 석판재 등으로 가공하는 과정에서 석재의 약 60%정도가 폐석이나 석재 슬러지로서 손실되고 있다. 이중 폐석의 일부만이 도로포장용 쇄석골재로 재활용되고 있을 뿐 대부분의 폐석 및 석재 슬러지는 방치, 노적되어 주위환경을 훼손 및 오염시켜 주된 민원대상이 되고 있다.

따라서 각 사업장에서는 이들을 자체적으로 처리하기 위하여 매립용 부지의 확보 및 처리시설의 설치에 막대한 비용이 소요되어 업체에 큰 부담이 되고 있는 실정이다.

최근에 이르러 사회적인 환경보호와 폐자원의 재활용에 대한 커다란 관심도에 힘입어 관련업계에서는 국내의 각 건축용 석판재 생산시 발생되는 막대한 양의 폐석 및 석재 슬러지의 재활용 공정에 대한 활발한 연구를 진행하고 있으나 뚜렷한 해결책을 제시하지 못하고 있는 상황이라 콘크리트 제품에 석재슬러지를 다각도로 재활용하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 점을 석재슬러지의 재활용 측면에서 건축재용 콘크리트 제품에 적용하는 다각적인 연구가 검토되고 있다.

특히 본 연구에서 석재슬러지를 적용하는 콘크리트 제품 WALL CON은 토목·건축구조물에서 거푸집에 타설되는 콘크리트가 양생할 시 수화열로 인한 수축 팽창을 막기 위해 사용되는 것으로 현재는 제조기술력의 부족으로 국내에서는 플라스틱제 WALL CON만 사용되고 있는 실정이다. 그러나 플라스틱 제품은 콘크리트와 전혀 이질적인 재료이므로 계면에서 부착이 잘 되지

않아 결합면을 형성하기 쉽다는 것과 화재 시 플라스틱 부분이 화열에 연소되어 화재 후에는 심각한 결함부로 작용한다는 점, 그리고 콘크리트의 강알카리성에 의해 플라스틱이 부식되기 쉽다는 점 등의 재료적인 약점이 있다. 이러한 약점을 보완하기 위해 거푸집을 탈형한 후 플라스틱 WALL CON을 제거하는 번거러움이 있는데 이는 공기 및 인건비를 상승시키는 원인이 되고 있다.

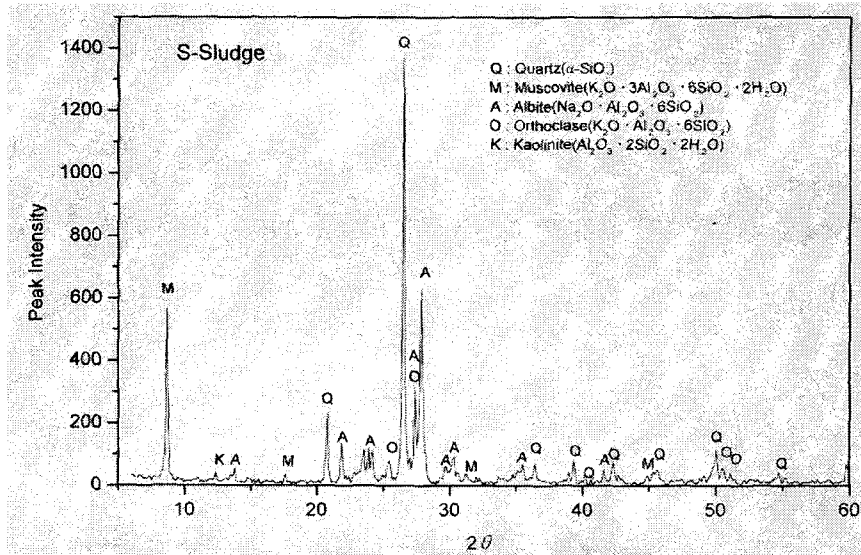
따라서 본연구에서는 고내구성 토목·건축물의 구조체 강도와 동일한 수준의 WALL CON을 개발하기 위하여 적절한 조합원료의 선정과 수준을 결정하고, 압출공정 기술을 보완한 최적의 조건으로 고강도 WALL CON을 제조, 고품질의 경제성있는 제품을 소비자에게 보급하고자 한다.

## 2. 석재슬러지를 재활용한 초내구성 복합무기소재 WALL CON 개발

### 2.1 석재 슬러지의 물리·화학적 특성 분석 결과

#### 1) X-Ray 회절분석 결과 분석

<그림 1>은 석재 슬러지의 X-선 회절분석한 결과로써 석재 슬러지의 생성 조직 중에서도 Quartz( $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>) 이 주피크가 가장 높게 나타났으며, Muscovite(K<sub>2</sub>O · 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O), Albite(Na<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub>), Orthoclase(K<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub>), Kaolinite(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O) 성분 등이 주로 구성되어 있는 것으로 나타났다.



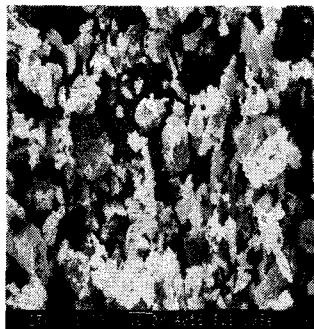
<그림 1> 석재 슬러지의 X-선 회절분석 결과

사진 1은 석재 슬러지를 배율에 따라 S.E.M 사진을 촬영한 결과로서, 주로 SiO<sub>2</sub> 성분으로 이

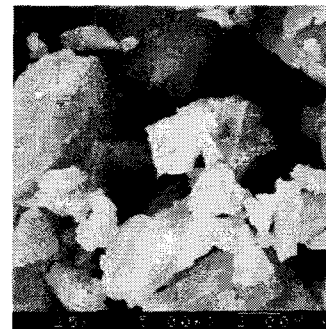
루어져고 있고, 입자의 형태는 판상형의 형태가 주로를 이루고 있다.



배율 300



배율 1000

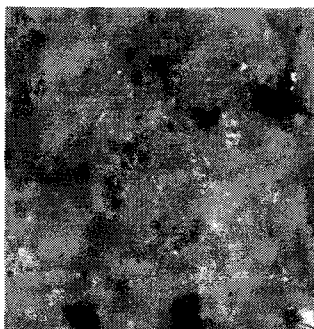


배율 5000

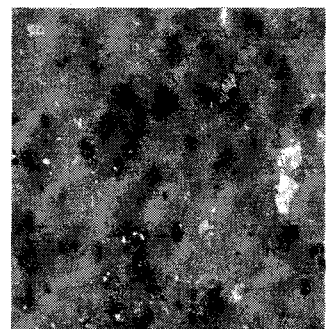
사진 1. 석재 슬러지의 S.E.M 의 입자모형(생성조직)의 자연형태 관찰 사진



배율 800



배율 400



배율 200

사진 2. 석재 슬러지의 광학 현미경사진

<표 1> 석재 슬러지의 화학 조성

시료명	화 학 조 성 (%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig.loss
석재슬러지	72.1	16.7	1.8	1.5	0.4	3.49	3.50	-	0.6
시멘트	20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	-	-	2.0	1.9

3) 석재 슬러지의 광학 현미경 사진에 의한 입자크기 분석

사진 2는 석재 슬러지의 입도 분포를 보기 위해 석재 슬러지를 배울에 따라 광학 현미경으로 관찰한 것으로써 석재 슬러지속에 SiO<sub>2</sub> 와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 많이 함유되어 있는 것으로 나타났고, 입도분포는 대략 160 $\mu$ m~140 $\mu$ m 사이에서 입도가 다양하게 분포되어 있는 것으로 나타났다.

4) 석재 슬러지의 화학조성

<표 1>은 석재 슬러지와 보통 포틀랜드 시멘트의 화학 조성을 비교하여 나타낸 것으로 시멘트가 CaO 성분이 62.4% 및 SiO<sub>2</sub> 성분이 20.3% 로 구성되어 있는 것에 비해 석재 슬러지는 SiO<sub>2</sub> 성분이 72.1% 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 16.7% 로 화학성분 중의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

감열감량(Ig.loss) 의 함량도 석재 슬러지가 시멘트 보다 낮게 나타났다.

5) 석재 슬러지의 함수율 측정

<표 2>는 자연침강 및 응집제에 의한 침강에

<표 2> 응집제 첨가 유·무 에 따른 석재 슬러지 함수율

No.	응집제를 첨가한 석재 슬러지 함수율 (%)	응집제를 첨가하지 않은 석재 슬러지 함수율 (%)
1	40.00	6.77
2	40.14	7.16
3	40.00	6.39
평균	40.05	6.77

따른 석재 슬러지의 함수율을 비교한 것으로서 석재 슬러지의 함수율 측정은 자연침강 및 응집제에 의해 침강시켜 상등수를 제거한 후 110 $^{\circ}$ C 에서 건조하여 함수량을 측정하였다.

실험결과 응집제를 첨가하지 않고 자연침강을 시킨 석재 슬러지의 함수율은 평균 6.77%이고, 응집제를 첨가에 의해 침강된 석재 슬러지의 함수율은 평균 40.04%로 나타나 응집제를 첨가하여 침강시킨 석재 슬러지가 약 33.28% 정도 높은 함수율을 지니는 것으로 나타났다.

이와 같이 자연 침강된 석재 슬러지의 수분이 대부분 상등수로 제거됨에 따라 침강된 석재 슬러지의 표면이 딱딱하게 고화되어 석재 슬러지를 회수하여 처리하기가 매우 곤란한 문제점을 야기 시키는 것으로 사료된다.

2.2 석재 슬러지의 침강 실험

1) 실험계획

자연침강에 의한 석재 슬러지는 장시간의 침강시간을 요구하고, 침강된 석재 슬러지는 그 형상이 딱딱하게 고화되어 회수하는데 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서, 본 실험에서는 응집제를 사용하여 석재 슬러지를 효율적으로 회수하기 위한 실험으로써 <표 3>과 같이 응집제의 첨가에 따른 침강시간을 검토 하였다.

<표 3> 실험인자 및 수준

실험인자	실험수준	비 고
응집제 첨가량 (ppm)	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	2회 반복실험

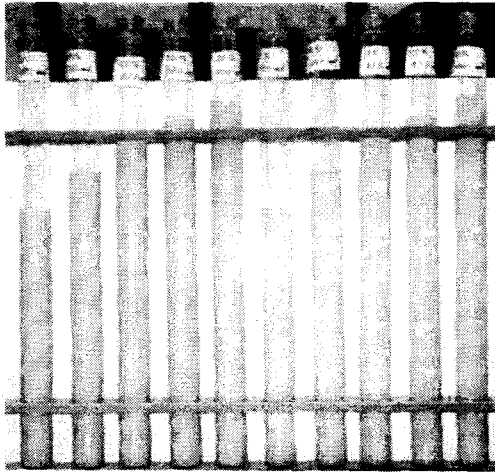


사진 3. 석재슬러지 침강실험

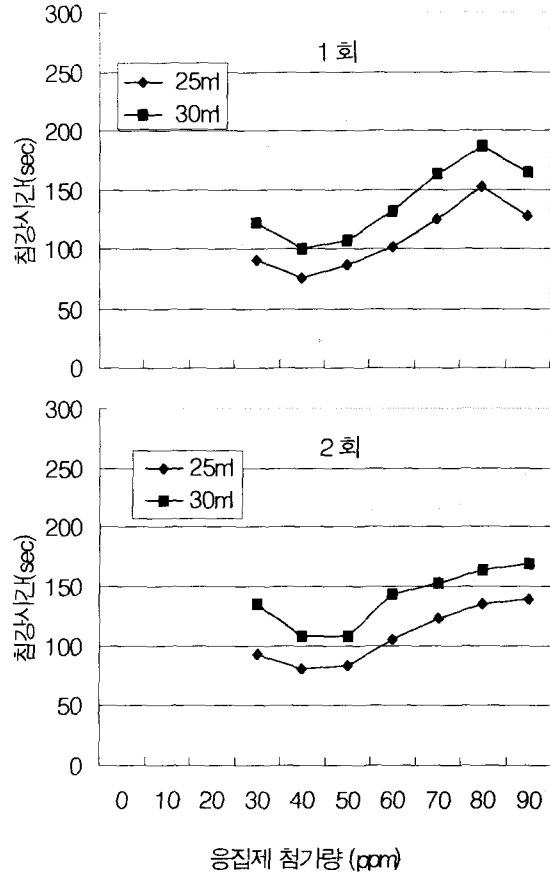
2) 실험방법

석재 슬러지와 응집제를 잘 혼합하여 400ml 높이의 메스실린더에 넣은 후, 석재 슬러지가 침강하여 쌓이는 시간을 메스실린더의 눈금 25ml와 30ml 위치에서 측정하였다. 사진 3은 응집제 첨가율에 따른 석재 슬러지의 침강시간을 측정하는 상황을 나타낸 것이다.

3) 실험결과

<그림 2>는 응집제 첨가량에 따른 석재 슬러지 침강시간 측정실험을 나타낸 것이다. 2회 반복 실험한 결과 그림 2에서 보는 바와같이 응집제 무첨가 및 응집제 첨가량 20ppm까지는 수일간의 시간을 요구하고 있으나, 응집제 첨가량 30ppm이상에는 약 200(3분20초)초 이내에 석재 슬러지가 침강되는 것으로 나타났다.

응집제 첨가량 40ppm에서 가장 빠른 침강시간을 나타내고 있으며, 그 이상의 응집제량 첨가할 경우에는 오히려 침강시간이 늦어지는 경향



<그림 2> 응집제 첨가량에 따른 침강시간

을 나타내고 있어서 적정 응집제의 사용량이 요구되고 있다. 본 실험에서는 경제성등을 고려할 때 응집제 첨가량을 30ppm~40ppm을 사용하는 것이 적정할 것으로 사료된다.

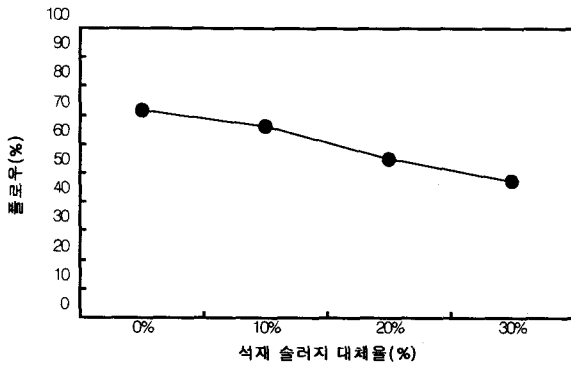
3. 석재슬러지를 재활용한 수경성 모르타르 압축강도에 관한 실험 결과 및 분석

<표 4> 실험 계획

W/C	석재슬러지 대체율	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			석재슬러지에 포함된 물량	석재슬러지	총계
			시멘트	석재슬러지	표준사			
48.5	0%	247.35	510	0	1250	0.00	0.00	2007.35
48.5	10%	234.60	459	51	1250	12.75	63.75	2007.35
48.5	20%	221.85	408	102	1250	25.50	127.50	2007.35
48.5	30%	209.10	357	153	1250	38.25	191.25	2007.35

<표 5> 석재슬러지 대체율에 따른 플로우

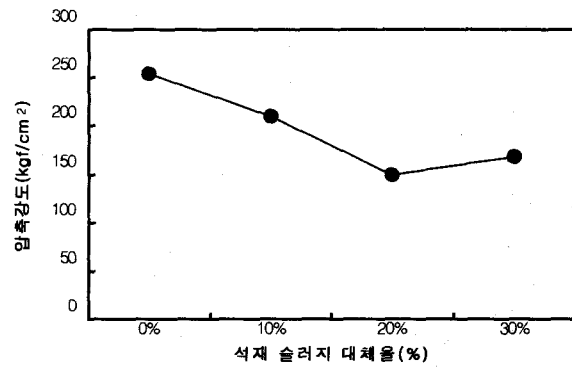
대체율 (%)	플로우(cm)		백분율 (%)
0	17.4×16.9	17.15	71.5
10	16.6×16.6	16.60	66.0
20	15.8×15.2	15.50	55.0
30	14.7×14.8	14.75	47.5



<그림 3> 석재슬러지 대체율(%)에 따른 플로우

<표 6> 석재슬러지 대체율에 따른 압축강도

대체율 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			평 균
0	259	243	259	254
10	190	237	204	210
20	149	162	137	149
30	168	160	175	168



<그림 4> 석재슬러지 대체율에 따른 압축강도

### 3.1 시멘트에 대한 석재슬러지 대체율에 따른 실험

본 실험은 <표 4>와 같이 W/C 48.5%에서 시멘트에 대한 석재슬러지 대체율별 로 KS L5105에 의해 플로우와 재령 7일에서의 압축강도를 검토하고자 한다.

#### (가) 플로우

본 실험 결과는 <표 5>와 <그림 3>에서 볼 수 있듯이 시멘트에 대한 석재슬러지 대체율 0%

일때 플로우가 가장 높게 나타났다. 또한 석재슬러지 대체율이 증가함에 따라 플로우는 감소하는 것으로 나타났다.

#### (나) 압축강도(재령 7일)

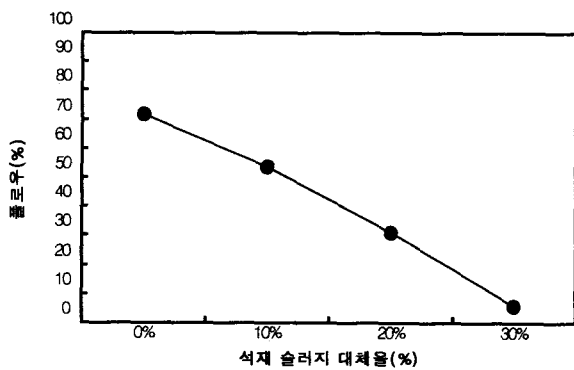
본 실험 결과는 <표 6>과 <그림 4>에서 볼 수 있듯이 석재슬러지 대체율에 따라 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 석재슬러지 대체율 0%일 경우 압축강도는 254kgf/cm<sup>2</sup>을 보였으며, 석재슬러지 20%일때는 압축강도가 149kgf/cm<sup>2</sup>로 현저히 저하됨을 볼 수있었다

<표 7> 실험 계획

W/C	석재슬러지 대체율	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			석재슬러지에 포함된 물량	석재슬러지	총계
			시멘트	석재슬러지	표준사			
48.5	0	247.35	510	0	1250	0.00	0.00	2007.35
48.5	10	216.10	510	125	1125	31.25	156.25	2007.35
48.5	20	184.85	510	250	1000	62.50	312.50	2007.35
48.5	30	153.60	510	375	875	93.75	468.75	2007.35

&lt;표 8&gt; 석재슬러지 대체율에 따른 플로우

대체율 (%)	플로우(cm)		백분율 (%)
	가로	세로	
0	17.4	16.9	71.5
10	15.2	15.5	53.5
20	12.7	13.5	31.0
30	10.7	10.5	6.0



&lt;그림 5&gt; 석재슬러지 대체율(%)에 따른 플로우

### 3.2 골재에 대한 석재슬러지 대체율에 따른 실험

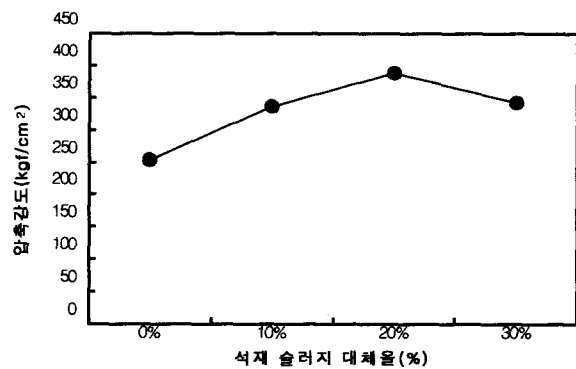
본 실험은 <표 7>과 같이 W/C 48.5%에서 골재에 대한 석재슬러지 대체율별 로 KS L5105에 의해 플로우와 재령 7일에서의 압축강도를 검토하고자 한다.

#### (가) 플로우

본 실험 결과는 <표 8>과 <그림 5>에서 볼 수 있듯이 골재에 대한 석재슬러지 대체율 0%에서 플로우가 가장 높게 나타났다.(KS L5105의 준한 플로우(cm) 20±1에 대한 백분율) 골재에 대한 석재슬러지 대체율은 시멘트에 비하여 플

&lt;표 9&gt; 석재슬러지 대체율에 따른 압축강도

대체율 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			평균
	가로	세로	평균	
0	259	243	259	254
10	314	358	334	335
20	372	421	370	388
30	341	337	345	341



&lt;그림 6&gt; 석재슬러지 대체율에 따른 압축강도

로우는 급격히 줄어드는 것으로 나타났으며, 석재슬러지 대체율 30%일 경우에는 10.6cm로 가장 낮게 나타났다.

#### (나) 압축강도(재령 7일)

본 실험 결과는 <표 9>와 <그림 6>에서 볼 수 있듯이 시멘트에 대한 석재슬러지 대체율과는 상반되게 골재에 대한 석재슬러지 대체율은 대체율이 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 골재에 대한 대체율은 석재슬러지 대체율 20%에서 압축강도 388kgf/cm<sup>2</sup>를 보이고 있었으며, 대체율 30%일 경우에는 20%보다 낮은 압축강도 341kgf/cm<sup>2</sup>를 보이고 있어 석재슬러지 대체율 20%가 가장 적절한 것으로 사료된다.