

# 국내 석분슬러지의 물리적·화학적 특성

진호일·민경원<sup>1)</sup>

## 1. 서론

여러 산업분야의 급속한 성장과 더불어 석·골재 산업도 꾸준하게 발전하여 인류의 생활에 중요한 일부분을 차지해 왔다. 그러나 최근 석·골재 자원의 수요가 점점 증가함에 따라 개발과 가공시 발생하는 막대한 양의 석분슬러지는 각종 환경오염을 야기시켜, 이와 관련된 업체의 존폐에 적지 않은 영향을 미치고 있다. 따라서 최근에는 폐석과 석분슬러지를 건축재용 인조석판재 제조 및 요업원료와 산업용 재료로 활용하기 위한 연구가 수행된 바 있으나(김치권 외, 1996; 1997a; 1997b; 손정수 외, 1995; 이상훈 외, 1997; 이성오 외, 1995), 석폐기물을 효과적으로 활용하기 위해서는 아직까지 연구가 다소 미흡한 실정이다. 이 연구는 국내 석산 및 석가공업체로부터 발생하는 석분슬러지를 효율적으로 활용하기 위한 기초 연구로서 석분슬러지의 물리적·화학적 특성을 구명하고자 하였다.

## 2. 석분슬러지의 활용을 위한 기초연구

### 시료채취 및 처리

국내의 대표적인 석산 및 석가공업체중 시료채취가 비교적 용이한 6개 업체(석산 3개, 석가공업체 3개)에서 석분슬러지를 채취하였다. 각각의 시료는 대표성을 갖도록 3~5개 지점에서 부분 채취하여 하나의 복합시료로 채택하였다. 이와 같이 채취한 총 7개의 시료들은 실내에서 자연건조 시킨 후, 시료의 일부는 입도분석을 위해 사용하였고, 나머지 시료들은 -10mesh 입도로 체질하여 pH 및 작열감량(LOI)을 측정하는데 이용하였다. 또한 X-선 회절분석과 주성분 및 미량원소의 화학분석을 위해서는 시료의 대표성을 유지하도록 잘 혼합한 후 사분법에 의해 약 300g을 선택하여 전량 -200mesh로 미분쇄하였다.

### 석폐기물의 광물학적 특성

석분슬러지에 대한 X-선 회절분석(XRD) 결과, 대부분은 석영과 알카리장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 견운모, 방해석 등으로 이루어져 있으며, 채석 및 석가공의 대상 압중에 따라 다소 구성광물에 차이를 보이고 있다.

### 석폐기물의 물리적 특성

석분슬러지의 비중(진비중)은 전체적으로 2.20~2.63의 범위를 보였고, 입도분석 결과 점토(2 $\mu$ m 이하)의 함량 범위는 13.3~23.2 vol.% 였으며, 백색도는 43.2~63.0, 비표면적은 1.9515~13.9714 m<sup>2</sup>/g를 나타내었다. 주사현미경(SEM)에 의하면 석분슬러지는 대체로 약간 각이 지거나 또는 둥근 타원형의 입형을 보여 주었다(Table 1).

---

주요어: 석분슬러지, 환경오염, 물리적·화학적 특성

1) 강원대학교 지구시스템공학과

Table 1. Physical and chemical properties of stone power sludges.

Sample No.	AS-03	BS-02	CS-01	DS-02	DS-03	ES-01	FS-02
Specific gravity	2.63	2.61	2.63	2.20	2.46	2.62	2.47
Clay size(vol.%)	13.8	13.3	14.5	14.8	-	23.2	15.2
Whiteness(%)	44.8	48.3	43.2	57.3	59.1	47.2	63.0
Specific surface area(m <sup>2</sup> /g)	6.9281	6.1344	7.0289	1.9515	-	13.9714	2.7240
pH	6.08	6.32	7.34	8.21	8.09	7.84	6.42
L.O.I.(wt.%)	0.29	0.30	0.38	0.09	0.10	0.19	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)(wt.%)	4.07	4.15	3.53	2.25	1.99	9.05	1.51
CaO(wt.%)	2.63	2.96	1.00	2.07	1.92	6.80	1.20
Cu(ppm)	50.9	41.1	17.2	62.2	66.2	113	132
Pb(ppm)	138	89.8	20.7	30.0	24.8	23.9	24.9
Cd(ppm)	1.3	1.0	0.7	0.1	0.1	0.2	0.1
Co(ppm)	8.3	8.8	2.4	281	288	13.2	125
CEC(meq/100g)	6.97	6.97	6.97	-	2.91	5.23	2.91

- not determined

### 석분슬러지의 pH, 작열감량 및 화학적 특성

석분슬러지의 pH는 6.08~8.21로 약산성에서 약알칼리성을 보였으며, 작열감량은 0.06~0.38wt.%의 비교적 낮은 값을 보여, 폐기물의 특성상 유기물이 혼재될 수 있는 여건이 되지 않았음을 나타내었다(Table 1).

석분슬러지의 주성분 원소는 전반적으로 대상암석의 광물조성과 밀접한 관련성을 보이 나, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(T)는 E업체의 슬러지(ES-01)에서 가장 높은 9.05wt.% 값을 나타내는데(Table 1), 이는 갱쏘(gang saw)를 사용하여 석판재를 절단할 때 들어가는 연마제에 의한 것으로 판단된다. 또한 CaO 함량도 E업체에서 채취한 슬러지(ES-01)에서 가장 높은 값(6.80wt.%)을 보이는데(Table 1), 이는 화강암과 함께 다량의 대리석도 가공하고 있기 때문으로 생각된다.

석분슬러지중 유독성 미량원소의 분포특성을 알아보기 위하여 최근 중금속 오염문제로 관심의 대상이 되고 있는 Cu, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Ni 등 7개의 원소를 ICP-MS로 분석하였다. 석분슬러지중 미량원소는 대상암석의 함량범위 이외에 주위의 여러 조건과 상황에 따라 함량이 변화할 수 있는데, 일부 석분슬러지중 Cu, Pb, Cd, Co 등의 함량이 비교적 높은 값을 보이는 것은 암석 고유의 성질 이외에 석분슬러지를 석폐수로부터 회수하기 위해 사용되는 응결제와 결합제 같은 화학약품에 의한 결과로 생각된다. 따라서 농지개량을 위한 재토용으로 석분슬러지를 이용할 경우에는 농작물에 해가 되는 범위의 원소함량을 갖지는 않는지를 주의 깊게 검토한 후 사용 여부를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

석분슬러지에 대한 양이온 교환 용량(CEC)은 2.91~6.97meq/100g으로 전반적으로 높지는 않으나(Table 1), CEC 값이 3.9~4.7meq/100g인 토양 시료가 실온(25±2℃)의 중성조건(pH 7)에서 용액중에 함유된 Cd, Cu, Zn 등의 중금속 원소를 약 90% 이상 흡착할 수 있었다는 기존의 연구결과(Elliott, 1983; Msaky and Calvet, 1990)를 고려할 때, 이러한 슬러지를 폐수중의 중금속 원소들을 제거하기 위한 흡착제로 활용할 수 있는 가능성이 충분히 있어, 이에 대한 차후의 면밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

1) 국내의 대표적인 몇몇 석산 및 석가공업체에서 채취한 석분슬러지의 주요 구성광물은 석영과 알카리장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 견운모, 방해석 등이며, 비중은 2.20~2.63, 점토입자의 함량은 13.3~23.2 vol.%, 백색도는 43.2~63.0, 비표면적은 1.9515~13.9714 m<sup>2</sup>/g 이고, 약간 각이 지거나 둥근 타원형의 입형을 보이며, pH는 약산성에서 약알카리성(6.08~8.21), 작열감량은 0.06~0.38wt.%로 비교적 낮았다.

2) 주성분 원소 함량은 전반적으로 대상암석의 광물조성과 밀접한 관련성을 보이나, 예외적으로 일부 석가공업체의 슬러지중에 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(T)와 CaO 함량이 높게 나타나는 것은 갱쏘(gang saw)와 같은 가공기계를 사용할 때 첨가되는 연마제와 다량의 대리석 가공에 기인된 것으로 생각된다. 또한 미량원소는 대상암석의 함량범위 이외에 주위의 여러 조건과 상황에 다양한 함량을 보일 수 있는데, 일부 시료에서 Cu, Pb, Cd, Co 등의 원소가 비교적 높은 값을 보이는 것은 암석 고유의 성질 이외에 석분슬러지를 석폐수로부터 회수하기 위해 사용되는 응결제와 결합제 같은 화학약품에 의한 결과로 생각된다. 따라서 농지개량을 위한 객토용으로 석분슬러지를 이용할 경우에는 농작물에 해가 되는 범위의 원소함량을 갖지는 않는지를 주의 깊게 검토한 후 사용 여부를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3) 석분슬러지에 대한 양이온 교환 용량은 2.91~6.97meq/100g로 전반적으로 높지 않으나, 기존의 연구 결과를 근거로 할 때 중금속에 대한 흡착제로 활용할 수 있는 가능성이 많아 이에 대한 차후의 면밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김치권, 김병규, 손정수, 1996, "석분 슬러지 재활용 방안연구(II)", 한국자원연구소 연구보고서 KR-95(C)-15, p. 119.
2. 김치권, 손정수, 김병규, 1997a, "석분슬러지 재활용 방안연구(III)", 한국자원연구소 연구보고서 KR-96(C)-15, p. 91.
3. 김치권, 손정수, 김병규, 손용운, 1997b, "석분슬러지 재활용 방안연구", 한국자원연구소 연구보고서 KR-97(C)-34, p. 114.
4. 손정수, 김병규, 김치권, 1995, "폐석 및 석분 슬러지를 활용한 인조석판재의 제조", 자원리싸이클링, Vol. 4, pp. 4-11.
5. 이상훈, 박철원, 최성철, 이용상, 1997, "폐 석분 슬러지로부터 규장성분의 분리 및 도자기 소지원료로의 응용 연구", 한국자원공학회지, Vol. 34, pp. 463-470.
6. 이성오, 국남표, 임영빈, 신방섭, 1995, "화장암 석재 가공 슬러지의 재활용", 자원리싸이클링, Vol. 4, pp. 12-19.
7. Elliott, H. A., 1983, "Adsorption behavior of cadmium in response to soil surface charge", Soil Sci., Vol. 136, pp. 317-321.
8. Msaky, J. J. and Calvet, R., 1990, "Adsorption behavior of copper and zinc in soil: Influence of pH on adsorption characteristics", Soil Sci., Vol. 150, pp. 513-521.