

## 石灰石鑛山 廢石의 再活用 研究

蔡泳培 · 鄭洙福 · 高源植 · 朴帝信\* · 梁時榮\*

韓國資源研究所 資源活用素材研究部, \*全北大學校 大學院

### A Study on the Recycling of Waste in the Limestone Mine

Young-Bae Chae, Soo-Bok Joeng, Won-Sik Koh, Je-Shin Park\* and Shi-Young Yang\*

Resources Utilization and Materials Division, KIGAM

\*Graduate School, Chonbuk University

#### 요 약

유용광물의 유실과 자연환경 훼손의 원인이 되는 석회석 광산 폐석을 자체 제작한 회전식 스크린 선별기를 이용하여 시멘트 제조용 원료로의 재활용방법의 개발을 시도하였다. 자체 제작한 회전식 선별기의 분리조작에서는 시료의 수분함유량 6 wt%이하, 시료의 선별기내 체류시간 15 sec, 선별기의 회전수 600 rpm의 조건에서 분리된 조대산물중의 CaO품위는 37.36 wt%에서  $42 \pm 2$  wt%로 상승하였다. 따라서, 광범위한 입도범위(수십Cm에서 1.0 mm까지)를 가지는 시료를 효과적으로 분리 회수하기 위한 분리 공정을 수립하여 실험한 결과 분리된 조대산물중의 CaO품위는 46.85 wt%까지 상승하였다. 이 결과는 시멘트 제조용 원료로서 직접사용품위에는 불충분하지만 광산에서 폐석중의 dolomite의 선별이 가능하므로 직접 재활용이 가능할 것으로 추측된다. 한편 분리된 미립산물(점토류, 20 mm이하)등은 전 공정에 걸쳐 안정적인 화학조성을 유지하고 있기 때문에 시멘트 제조용 부원료로서 직접 재활용이 가능할 것으로 판단된다.

#### ABSTRACT

The wastes of limestone mines have been cause the extravagance of the valuable minerals and destruction of the environment. Therefore, we tried to separation of calcite and clay from the limestone mine wastes by rotating screen type separator made by ourselves in order to recycling such as a raw materials for cement manufacture. CaO contents in the separated coarse products increased from 37.36 wt% to  $42 \pm 2$  wt% at the condition that water content in wastes was less than 6wt%, the passing time of specimen in chamber was 15 seconds and the rotation speed was 600 rpm. A process in order to separate wastes effectively to having wide range of particle size was established and CaO contents of coarse products through this process increased to 46.85 wt%. This result is insufficient to directly reusing as a raw materials for cement. However, it is supposed that coarse products would be able to be reused as a raw materials of cement, if only it is selected dolomite in wastes, and really it may be possible in fields. Otherwise, undersize products(less than 20 mm) would be able to recycling as a raw of cement because chemical compositions of those is kept almost constant values on the overall process.

#### 1. 서 론

국내 석회석의 최대 수요처는 시멘트 공업이며, 시멘트 생산량의 급속한 증강에 힘입어, '94년도에는 국내 광산물의 총생산량 9,200만톤 중에서 석회석광의 생산량은 8,290만톤으로 전체의 90%를 차지하고 있으며, 시멘트 공업용으로서의 소비량은 6,892만톤으로 국내 석회석 소비량의 83%, 총광산

물 소비량의 75%를 차지하고 있는 실정이다.

시멘트의 주원료인 석회석은 국내 매장량이 풍부하기 때문에 시멘트공업이 꾸준히 발전하여 왔다고 할 수 있는데, '94년을 기준으로 우리나라의 석회석 예상 매장량은 268억 톤, 가채광량은 150억톤에 이른다. 또한 최근 국내 석회석 생산량은 연평균 14.2%의 증가를 기록하고 있으며, '94년 생산실적을 기준으로 향후 약 180년 동안 사용할 수 있는

매장량을 보유하고 있다고 추측된다.<sup>1,2)</sup> 그러나, 국내 석회석의 부존량은 한정되어 있으며, 오래 전부터 고품위 원광만을 선택적으로 채광하여 사용하고 있기 때문에, 최근에는 국내 석회석의 매장 품위는 대부분 중·저급으로서, 한정된 국내자원의 효율적 이용과 증장기적인 원료의 안정공급을 위해서는 중 저품위 석회석의 효과적 이용기술의 개발이 시급히 요구되고 있다. 또한 국내 석회석 광산은 그 생성 시기가 고생대이며, 지질구조가 복잡하며, 시멘트용 석회석 광산은 대단위 노천 채광 방식에 의한 채광으로 채광시 발생하는 표토, 세맥상 혹은 포켓상의 백운석과 점토 등의 불순물들이 채광시 석회석에 많이 혼입되므로 많은 양의 석회석, 백운모, 점토 등의 유용자원이 효과적으로 이용되지 못하고 있는 실정이다. 이들 미이용 폐석은 채광장 주변의 야산에 매립 및 투기하는 등의 문제로 자연환경의 파괴현상이 집중하고 있는 실정이다.

더욱이 이러한 폐석들은 시멘트 공업에서 이용되는 점토와 석회석이 대부분이지만, 점토와 석회석은 서로 불균일하게 혼합되어 있으므로 그대로 시멘트 원료로 사용하기에는 부적절하며, 광산물로서도 사용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 석회석 광산 중에서도 폐석 발생량이 많고, 그 재활용이 용이하다고 판단되는 시멘트용 석회석 광산의 폐석을 효과적으로 분리·회수하여 재활용이 가능하도록 하는 경제적인 기술과 공정을 개발하는 것이 목적이다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료의 특성

2.1.1 화학 조성

시료의 화학성분 분석결과는 Table 1과 같다. 화학성분 조성만으로 시료의 특성을 파악하기 힘들지만, 이론적인 CaO 함량은 56 wt%이고, 점토의 경우에는 SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량이 70 wt% 이상이 되는 점을 감안할 때, 본 시료 중에는 점토보다는 석회석이 상대적으로 많이 함유되어 있는 것

Table 1. Chemical components analysis of waste limestone

Components	Weight (wt%)	Components	Weight (wt%)
CaO	37.36		0.14
MgO	7.57	Na <sub>2</sub> O	0.20
SiO <sub>2</sub>	11.20	TiO <sub>2</sub>	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	MnO	0.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.94	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38.03
K <sub>2</sub> O	0.84	Ig-loss	

로 판단된다.

또한 강열감량이 38.03 wt%로 높고, MgO 성분이 7.57 wt%인 것으로 볼 때, 폐석중에는 백운석(dolomite) 함유량도 많은 것으로 추측된다

Fig. 1은 시료의 X선 회절분석 결과를 나타낸 것으로서, 방해석 이외에 백운석(dolomite), 백운모(muscovite), 석영(quartz), 녹니석(chlorite) 등이 함유되어 있는 것을 알 수 있다. 여기서 운모류(muscovite), 석영 및 녹니석 등은 석회석이나 국내 점토류 광물에서 흔히 혼입되어지는 것이다

2.1.2 입도별 특성

본 시료는 입자의 크기분포가 광범위하기 때문에 입도분리 실험에서도 스크린의 범위를 크게 하여 0.1 mm에서 100 mm까지 8입단으로 분리하였으며, 각 입단별 분포율은 Table 2에 나타내었다 Table 2에서와 같이 본 시료중 100 mm이상의 입자는 석회석과 같은 암석류로 16.02 wt%를 차지하고 있으며, 구간별 입도분포는 -50/+10 mm에서 31.63 wt%로 가장 많이 분포하고 있다. 입도구간별 분포율로서는 -1/+0.1 mm구간의 분포율이 가장 낮게 나타나는데, 이는 파. 분쇄된 암석류의 분포율이 상대적으로 낮기 때문이라

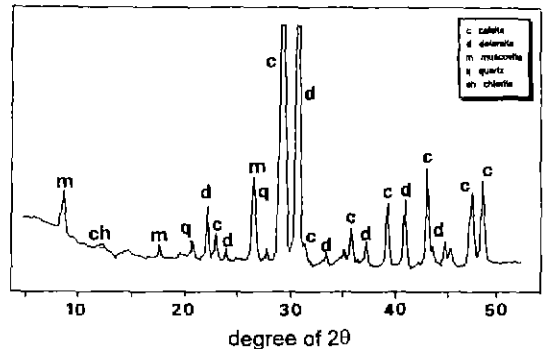


Fig. 1. X-ray diffraction pattern of waste Limestone.

Table 2. Results of screen test

Screen size (mm)	Dist ratio (wt%)	Cum. oversize ratio(wt%)	Cum. undertsze ratio(wt%)
+100	16.02	16.02	-
-100 + 50	14.42	30.44	83.98
-50 + 10	31.63	62.07	69.56
-10 + 5	5.42	67.49	37.93
-5 + 1	9.99	77.48	32.51
-1 + 0.5	2.15	79.63	22.52
-0.5 + 0.1	4.45	84.08	20.37
-0.1	15.92	100.00	15.92
Totakl	100.0	-	-

**Table 3.** Chemical composition of waste Limestone

Chem. Com Particle Size (mm)	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Ig-loss
+ 100	52.47	1.91	1.60	0.44	0.20	0.23	0.13	0.03	43.21
-100 + 50	41.76	9.14	3.72	0.60	0.46	0.43	0.13	0.05	42.79
-50 + 10	40.47	10.61	5.16	0.58	0.52	0.39	0.12	0.06	42.68
-10 + 5	38.67	10.89	5.82	0.63	0.76	0.39	0.13	0.07	42.53
-5 + 1	37.51	10.08	8.63	1.03	1.31	0.66	0.13	0.13	40.65
-1 + 0.5	35.64	8.88	13.43	1.47	1.80	0.88	0.13	0.18	38.05
-0.5 + 0.1	27.44	5.67	27.69	3.59	4.04	1.03	0.13	0.29	29.99
-0.1	14.43	3.43	38.15	13.85	8.07	2.91	0.22	0.82	18.36
Total	37.26	7.57	11.20	2.87	1.94	0.84	0.14	0.20	38.03

생각된다. 또한 대부분이 점토광물인 0.1 mm이하는 16 wt%정도의 분포율을 나타냈다

Table 3은 각입도별 화학성분 조성분석 결과를 나타내고 있다. CaO성분은 입자크기 커짐에 따라 증가하고 있는데, 이는 방해석이 조립상태로 존재하기 때문이다. MgO함유량은 입자크기 50 mm정도까지는 증가하다가 50 mm이하가 되면 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 백운석이 1~100 mm의 범위에 집중되어 분포하고 있음을 보여주는 것이다. 한편 일부 녹니석에 기인한 MgO는 미립점토에서도 검출되었다.

SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>등은 입자크기가 감소함에 따라 함유량은 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 점토류(chorite등)가 상대적으로 작은 입자들로 이루어져 있기 때문인 것으로 이해된다.

**2.2. 실험방법**

석회석과 점토가 복잡하게 혼합되어 사용되지 못하고 있는 폐석 및 폐토의 대표적인 시료채취를 위하여 종합폐석장의 시료를 대상으로 하였으며, 각 시료에 대하여 화학성분 조성분석, XRD, DTA 및 체질(screen test) 등을 통하여 시료의 특성을 조사하였다

이러한 시료에 대하여 자체 제작한 회전식 스크린 선별기를 이용하여 선별하는 경우, 선별기 내부의 충격 회전축 및 외부 원형 스크린 의 회전수, 장치 내부에서 시료가 체류하는 시간 (즉 통과속도) 및 시료에 포함된 수분의 함유량 등이 중요한 분리영향 인자로서 작용할 것으로 예측되어 이들 영향인자에 따른 선별특성을 조사하였다.

회전식 스크린 선별기는 외부 원형 스크린 규격이 600×800 mm, 내부충격 회전축의 직경이 400 mm이며, 급광 가능 입도 범위가 100 mm이므로 폐석 및 폐토 시료를 스크

린에 의하여 20 mm이상의 조대산물을 제거하고 20 mm이하의 시료를 대상으로 하였다 또한 실제 폐석 및 폐토는 입도범위가 대단히 광범위하므로 단일 장치만으로 전체시료에 대한 적용이 불가능하고, 선별하여 이용하고자 하는 석회석 및 점토의 품위에 따라 분리 입도 및 재활용 범위가 결정되는 것이므로, scale-up시킨 외부 원형 스크린의 직경을 800 mm, 스크린의 천공크기 50 mm로 제작한 선별기와 병행 사용하였다.

외부원형 스크린의 직경이 800 mm, 스크린의 천공크기가 50 mm인 선별기의 운전을 위하여 최대급광입도는 200 mm로 하고, 모터의 회전속도는 600, 900, 1200 rpm로 변화시켰다.

이같은 선별기에서 얻어진 조대산물과 미립산물은 각각 중량측정에 의하여 산출량을 정하였으며, 각 시료의 화학성분 조성분석을 행하였다

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1. 회전식 스크린 선별기에 의한 분리효과**

**3.1.1. 폐석중의 수분 함유량의 영향**

자체 제작한 원형 스크린 직경 600 mm의 소형 회전식 스크린 선별기에 의한 입자크기 50 mm이하인 폐석의 석회석과 점토로의 분리효율을 조사하였다.

Fig. 2는 폐석의 수분 함유량 변화에 따른 선별기의 조립산물(석회석등 암석류) 및 미립산물(점토류등)과 조립산물중의 점토 함유량의 변화를 나타내고 있다 이 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 조립산물량은 수분 함유량이 6 wt%이하에는 거의 일정한 값을 나타내지만, 6 wt%이상으로 되면 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 조립산물중의 점토 함유량은 5 wt%이하에서는 5 wt%미만의 비교적 적은량을 나타내지

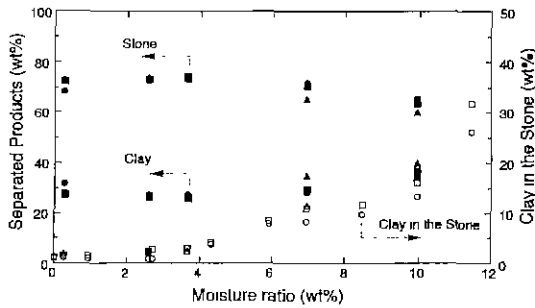


Fig. 2. Recovery ratio of stone and clay, and quantities of clay in the stone as a function of moisture in the sample.

만, 수분 함유량이 5 wt% 이상이 되면 조립산물중의 점토함유량은 급격히 증가하여, 수분 함유량 12 wt%에서 점토 함유량이  $30 \pm 5$  wt%까지 증가하였다. 이것은 폐석중의 수분함유량이 증가함에 따라 석회석 등의 암석류와 점토의 점성증가로 인해 암석류 표면의 점토류 부착량 증가, 점토분의 응집으로 인한 조립화 등의 현상에 기인한 것임을 알 수 있다.

한편 미립산물량의 경우, 수분 함유량 6 wt% 이하에서는 약 70 wt%로 거의 일정하지만, 수분 함유량 6 wt% 이상에서는 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 조립산물량의 수분 함유량에 의한 변화가 조립산물중으로의 점토분 혼입에 기인한다는 설명에 부합되는 결과를 보여주고 있다.

이러한 분리조작에 의해 얻어진 조립산물과 미립산물의 화학성분 분석을 한 결과, 조립산물중의 CaO 함량은  $42 \pm 2$  wt%이었으며, 수분 함유량이 8 wt% 이상으로 증가함에 따라 다소 감소했다. 분리조작전에 폐석의 CaO 함량이 37.26 wt%인 것과 비교하면 약 5~6 wt%의 플위향상이 이루어졌지만, 시멘트 원료로 사용되는 석회석의 CaO 함량이 약 48 wt% 이상은 되고 있는 점을 감안한다면<sup>3)</sup>, 본 회전식 스크린 선별기에 의한 단일공정은 얻어진 조립산물의 시멘트 원료로의 직접 재활용은 부적합하다. 따라서 CaO 플위향상을 위해서는 효율적인 공정수립 등을 통해 해결 가능하다고 생각된다. 또한 점토에 기인한 화학성분인  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  등은 수분 함유량 6 wt% 이하에서는 거의 일정하게 유지되다가, 6 wt% 이상에서는 증가하였다. 따라서 회전식 스크린 선별기에 의한 분리 조작시 수분 함유량은 6 wt% 이하로 억제할 필요가 있다.

한편 미립산물의 CaO 성분은 전구간에 걸쳐 28~30 wt%로 거의 일정한 값을 나타냈다. 또한 MgO는 7.0 wt%,  $\text{SiO}_2$ 는 20 wt%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 6.0 wt%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 3.5 wt%,  $\text{K}_2\text{O}$ 는 1.5 wt%,  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 0.2 wt%,  $\text{TiO}_2$ 는 0.3 wt%로서 수분 함유량의 변화에 관계없이 거의 일정한 값들을 나타냈다. 이는 선별기의 스

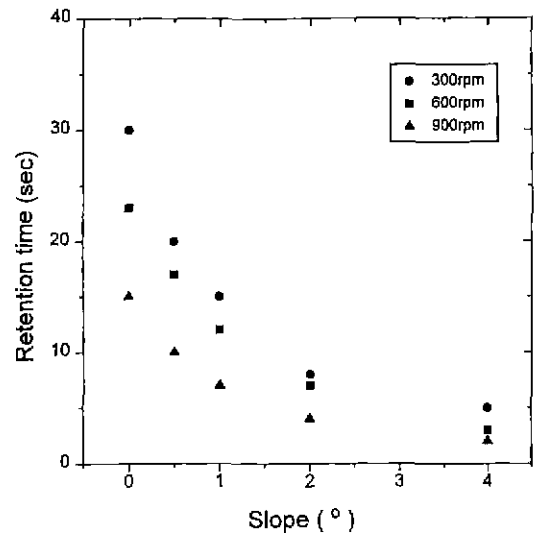


Fig. 3. Retention time as a function of various slope degree of screen shaft

크린을 통과한 미립산물중에는 순수한 점토와 석회석 등의 암석류의 작은 입자들이 거의 균일하게 혼합되어 있는 것으로 추측할 수 있다. 따라서 회전식 스크린 선별기에 의한 석회석과 점토의 분리조작에서 얻어진 점토의 화학 조성치가 매우 균일한 200 mm 이하의 미립산물은 시멘트 원료용 점토로서 직접 재활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.1.2 폐석의 회전식 스크린 선별기내의 체류시간의 영향

Fig. 3은 회전식 스크린 선별기의 경사도와 시료의 선별기내의 체류시간(처리속도)의 관계를 나타낸 것이다. 이 관계에서 알 수 있듯이 경사도와 체류시간은 상호 역비례관계이며, 또한 경사도가 낮을수록 선별기의 회전수에 의한 시료의 선별기내 체류시간의 차이는 커지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 선별기의 경사도를 조정하여, 시료의 선별기내의 체류시간의 변화에 따른 조립산물량 및 미립산물량과 조립산물중의 점토함유량을 조사한 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 선별기의 회전수에 관계없이 체류시간이 증가할수록 조립산물량은 감소하며, 체류시간이 15 sec 이상이 되면 거의 일정한 값을 나타냈다 또한 조립산물중의 점토 함유량은 체류시간이 짧을수록 많으며, 15 sec 이상이 되면 거의 변화하지 않았다. 이는 체류시간이 짧을수록 선별기 내에서의 암석류 표면에 부착된 점토를 제거하기 위한 암석류 상호간의 마찰 및 선별기내에 장착된 마찰매개와 시료간의 충돌과 스크린으로의 미립산물의 통과 등의 기회가 줄어들기 때문에 조대산물량이 많게 된다고 생각된다.

한편 미립산물량은 체류시간 5 sec에서는 65 wt%정도이지

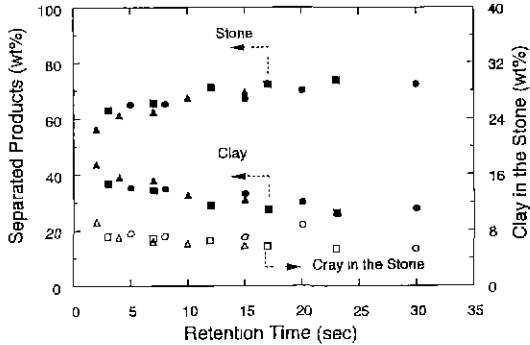


Fig. 4. Recovery ratio of stone and clay, and quantities of clay in the stone as a function of retention time.

만, 15 sec에서는 70 wt%정도로 증가하고, 15 sec 이상에서는 다시 약간 증가하는 경향을 나타냈다 또한 이 미립산물의 화학성분 분석결과 CaO, MgO 성분 및 점토의 주요성분인 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> 등 모든 성분이 체류시간의 변화에 따라 미립산물량에 관계없이 거의 모두 일정한 값을 나타냈다. 이런 결과는 수분함유량, 선별기의 회전수, 처리속도 등에 관계없이 모든 경우에 20 mm 이하의 입도로 회수된 점토의 화학성분값은 거의 일정하게 나타나고 있으므로 회수된 점토의 재활용의 가능성이 클 것으로 생각된다.

3.2. 조대산물의 CaO 품위 향상을 위한 분리공정

석회석 체광시 발생하는 폐석은 200 mm 이상에서 1 mm 이하의 광범위한 입도분포를 가지고 있다. 앞절에서 설명한 바와 같이, 입도 50 mm 이하의 시료인 경우 회전식 스크린 선별기에 의한 분리조작에 의하여 조대산물중의 CaO 품위가 약 5~6 wt% 정도 향상되었으며, 이는 시멘트 제조용 원료로서 직접 재활용할 수 있는 CaO 품위를 지니고 있다. 또한, 미립산물중의 점토분은 모든 조건에서 거의 일정한 조성을 유지하기 때문에 시멘트 제조용 원료로서 직접 재활용이 가능하다고 판단됐다. 여기서는 조대산물중의 CaO 품위를 시멘트 제조용 원료로서 직접 재사용이 가능한 CaO 품위로 유지하기 위하여 광범위한 입도분포를 가지는 폐석을 Fig. 5와 같이 3단계의 분리공정을 통하여 석회석 광산 폐석의 재활용의 극대화를 도모하였다.

먼저 200 mm 이상의 대피는 그리즐리(grizzly)류에 의하여 분리하는 것이 일반적인 방법인데, 점토 등에 의한 작업상의 저해요인이 있으므로 진동식 그리즐리(vibration grizzly)와 같은 변형된 그리즐리를 사용하는 것이 타당하다고 판단된다. 본 공정에서는 수선(hand picking)에 의하여 200 mm 이상의 대피를 분리 회수하였다. 200 mm 이하의 폐석은

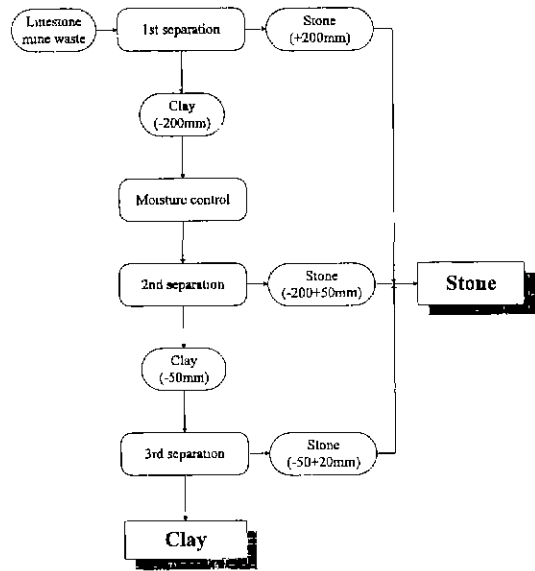


Fig. 5. Schematic diagram of the process for recycling of waste limestone.

회전식 스크린 선별기에 의한 분리조작을 하기 전 단계에서 수분 함유량을 조절할 필요가 있다.

앞절에서 선별기의 분리조작 과정에서 수분함유량이 분리효율에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알았다. 그러나 실제 현장에 야적된 폐석의 수분함유량은 기상여건, 계절적 여건에 매우 민감하게 영향을 받기 때문에 안정된 분리효율을 얻기 위해서는 수분 함유량의 제어가 필요할 것이다. 즉 분장치에 의한 실험결과로부터 수분 함유량은 약 6 wt% 이하로 억제하는 것이 분리효율을 극대화 할 수 있다고 생각된다. 이러한 수분함유량 조절을 한 뒤 200 mm 이하의 제 2단계 분리조작을 행하여, 200 mm 이하 50 mm 이상의 조대산물을 회수하는데, 여기서 사용된 회전식 스크린 선별기는 앞절이 선별기와 동일한 구조이나, 원형 스크린 직경 800 mm, 내부 충격 회전축 직경 300 mm, 스크린 천공 직경 50 mm로 확장한 동일형의 선별기를 제작 사용하였다.

제2단계 선별기의 작업조건은 회전수 600, 900, 1200 rpm으로 하였으며, 시료의 선별기내 체류시간은 15sec로 하였다. 이처럼 제2단계 선별기에 의한 분리 조작에서 얻어진 미립산물(입도 50 mm 이하)에 대하여 앞절의 최적 조건인 회전수 600 rpm, 체류시간 15 sec로 하여 -50/+20 mm의 조대산물을 회수하고, 외부 원형 스크린을 통하여 배출된 입도 20 mm 이하의 산물을 최종 미립산물로 취급하였다

Fig. 6은 전체공정에서 선별기의 회전수 변화에 따른 각 단계별로 회수된 조대산물량과 전체 조대산물량을 나타낸

것이다. 200 mm 이상의 대피의 양은 6.12 wt%로 일정하며, -200/+50 mm의 중피 및 -50/+20 mm의 소피의 양은 제 2단계 선별기의 회전수가 증가함에 따라 증가하였으며, 전체 조대산물량도 선별기의 회전수가 600 rpm일 때는 46 wt%, 900 rpm일 때는 54 wt%, 1200 rpm일 때는 58 wt%로 증가하였다. 이것은 선별기의 회전수가 증가할수록 선별기내의 시료의 체류시간이 감소함에 따라 조대산물과 미립산물의 분리가 불충분하기 때문에 조대산물중으로 미립산물의 혼입량이 증가하는데 기인한다고 생각된다

Fig. 7은 전체 공정상의 제 2단계 선별기의 회전수 변화

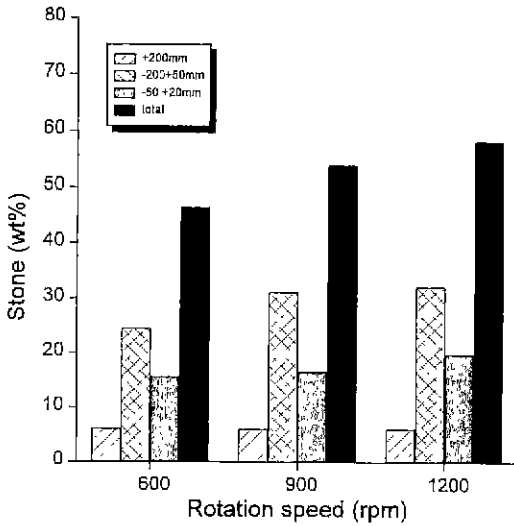


Fig. 6. Recovery ratio of calcite on overall process.

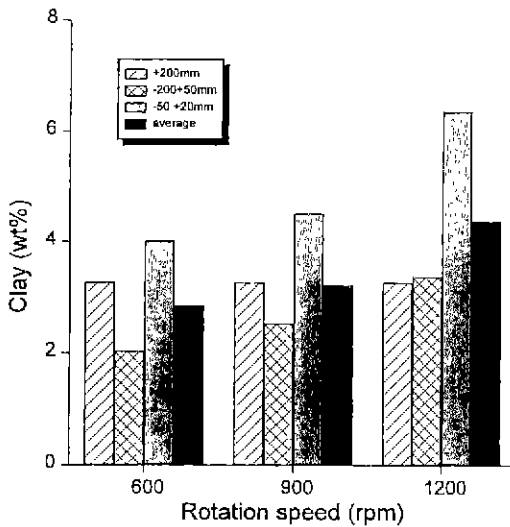


Fig. 7. Quantities of clay in separated calcite products.

에 따른 조대산물중에 혼입된 미립산물량을 나타내고 있다. 200 mm이상의 대피인 경우 미립산물의 혼입량이 일정하지만, -200/+50 mm, -50/+20 mm의 조대산물인 경우, 제 2단계 선별기의 회전수가 증가할수록 증가한다. 특히 제 2단계 선별기의 회전수가 증가할수록 제 3단계 선별기에서의 조대산물중의 미립산물의 혼입량이 급격히 증가하는데, 이는 제 2단계 선별기의 스크린 천공을 통해 배출되지 못한 점토류가 함유된 수분에 의한 점성으로 인해 서로 응집하여 조대화하여 제 3단계 선별기의 스크린 천공을 통해 배출되기 어렵기 때문으로 생각된다. 따라서 제 2단계 선별기의 작업 조건이 전체공정의 분리효율에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 전체공정에서 분리 회수된 조대

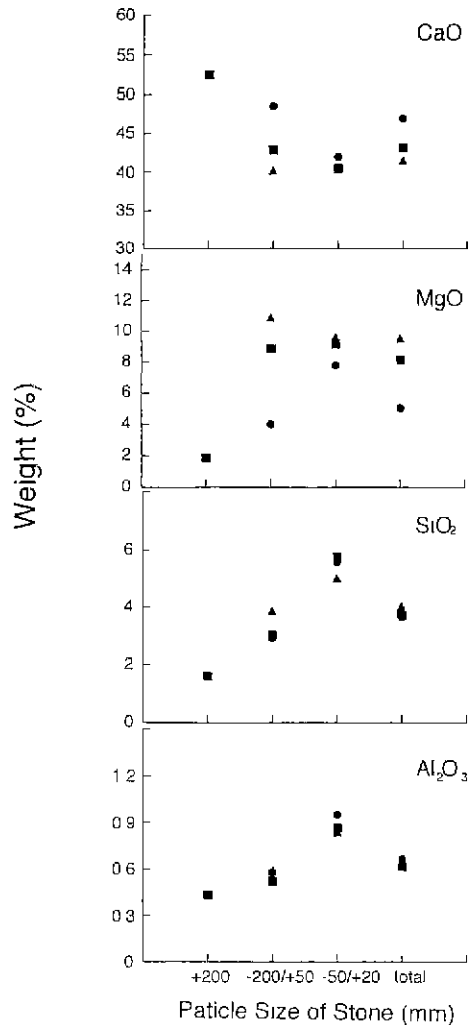


Fig. 8. Chemical composition of separated calcite products.

산물에 혼입된 순수한 점토량은  $4.0 \pm 1$  wt%이며, 200 mm 이상의 대과에 혼입된 점토량이 약 3.3 wt%인 점을 감안하면 대단히 양호한 분리효율을 나타내고 있다고 생각된다.

Fig 8은 분리처리 단계별 및 전체 조대산물의 CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성분 값을 나타낸 것이다. CaO성분은 200 mm이상인 대과에서 가장 높은 값을 나타내며, 입도가 작아질수록 감소하는데, 제2단계 선별기의 회전수가 600 rpm인 경우 -200/+50 mm의 CaO품위는 48.55 wt%, 900 rpm일 때는 43.01 wt%, 1200 rpm일 때는 40.25 wt%이었으며, 제 2단계 선별기의 회전수를 600 rpm로 하여 전체공정을 거친 조대산물의 CaO품위는 46.85 wt%까지 향상되었다. 한편 점토류의 구성성분인 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>등도 회전수의 증가 및 입도가 작아질수록 증가하는데, 이는 조대산물중에 혼입된 미립산물량 증가의 영향으로 이해된다. MgO성분의 경우 석회석광산에 석회석과 함께 혼재(混在)되어 있는 백운석으로부터 유입되어진 것으로 판단되며, 앞절(2-1-2)에서 설명한 바와 같이 백운석은 1~100 mm의 입도구간에서 집중적으로 분포되어 있기 때문에 MgO는 -200/+50 mm 및 -50/+20 mm에서 다량으로 검출되는 것으로 판단된다.

시멘트 제조용 석회석의 평균 CaO품위가 48 wt% 수준이어야 한다는 점을 감안한다면 본 공정의 결과는 직접 재활용할 수 있는 수준이지만, 백운석의 근원이 되는 MgO성분이 조대산물중에 약 5~10 wt%로서 다소 많은량이 함유되어 있는 것이 문제가 된다고는 하지만, 이는 실제 현장에서 폐석의 야적시 1차적인 선별분리가 가능하므로 이 과정을 거치면 충분히 시멘트 제조용 원료로서 직접 재활용이 가능할 것으로 판단된다.

한편 전체 공정을 거친 최종 미립산물의 화학성분 분석 결과, CaO품위는 제 2단계 선별기의 회전수가 600 rpm일 때는 28.18 wt%, 900 rpm일 때는 28.33 wt%, 1200 rpm일 때는 17.28 wt%로서 거의 일정한 값을 나타냈으며, 점토류의 주요성분인 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 화학성분치 또한 거의 일정한 값을 나타냈다. 따라서, 최종 미립산물인 점토류는 전량 시멘트 제조용 부원료로서의 직접 재활용이 가능

한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

시멘트 제조용 석회석 광산의 폐석 재활용을 위한 석회석과 점토의 분리를 위하여 고안, 제작한 회전식 스크린 선별기에 의한 분리실험 및 효율적인 공정확립의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1 본 연구에서 사용한 폐석시료는 석회석과 점토 등이 불규칙하게 혼합되어 있는 상태이며, 불순광물은 dolomite, muscovite, quartz, chlorite 등이 혼합되어 있다. 입자의 크기는 수십cm에서 1.0 mm이하까지 불규칙하게 분포하고 있다.
2. 회전식 스크린 선별기에서의 분리조작 실험에서 수분 함유율은 5~6 wt%, 시료의 선별기내의 체류시간은 15 sec, 선별기의 회전수는 600 rpm의 조건에서 분리효율이 가장 높았으며, CaO품위 37.36 wt%의 시료는 본 제 1차 선별기의 분리조작에 의하여  $42 \pm 2$  wt%까지 향상시킬 수 있었다.
3. 폐석시료 전체의 입자크기를 대상으로 한 회수실험에서는 석회석의 CaO품위를 46.85 wt%까지 상승시켰으며, 광산에서의 백운석 함량을 조절하면, 회수된 석회석은 시멘트 제조용 원료로서 직접 재활용이 가능하다고 사료된다.
4. 폐석중의 20 mm이하의 점토류의 미립산물은 모든 조건에서 그 화학조성이 거의 일정하기 때문에 시멘트 제조용 부원료로서 전량 재활용이 가능하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. 채영배 "비금속 광물의 부가가치 향상 연구" KR-95(C)-17, 한국자원연구소 (1995).
2. 한국자원연구소, "자원총람" (1995).
3. 日本 石灰石 鑛業會 "石灰石의 用途와 特性" (1986).