

## 옥천 장석의 특성에 관한 연구

최용식·이종근\*·이경희\*\*·이병하\*\*·김명호\*\*

국립공업시험원 도자기시험소

\*한양대학교

\*\*명지대학교

(1989년 4월 24일 접수)

---

### A Study on the Character of Okchun Feldspar

Y. S. Choi, J. K. Lee\*, K. H. Lee\*\*, B. H. Lee\*\* and Y. H. Kim\*\*

Institute of Ceramics Research, NIRI

\*Dept. of Inorg. Mat. Eng., Hanyang Univ.

\*\*Dept. of Inorg. Mat. Eng., Myongji Univ.

(Received April 24, 1989)

#### 요 약

옥천 장석의 정제에 앞서 장석 내에 함유되어 있는 철화합물 및 유색 광물의 종류 및 존재 상태를 규명하였고, 유리 원료로 적합한 30/140mesh 산물을 생산하기 위하여 최적 분쇄 조건 및 단체분리도를 측정하였다.

장석 내에 함유되어 있는 철화합물은 흑운모 및 갈철석이었으며 이것들은 벽기면을 따라 존재하고 있었다.

최적 분쇄 시간은 2분이었고, 이때의 30/140mesh 산물의 중량비는 72.7%였다. 또한 이때의 단체분리도는 91.5%였다.

#### ABSTRACT

Before beneficiation of Okchun feldspar, all kinds of Fe-compounds and mafic minerals which were included in feldspar were studied. Also to produce 30/140mesh products as glass materials, optimum grinding condition and degree of liberation were studied.

Fe-compounds were Biotite and Limonite, and these were existed along the cleavage.

Optimum grinding time was 2min. and at this time weight percent of 30/140mesh products was 72.7% and degree of liberation at this particle size was 91.5%.

#### 1. 서 론

최근 유리, 도자기 및 연마재 등 무기재료공업의 발달과 더불어 그 주요 원료인 장석의 수요가 급증하고 있다. 또한 제품의 균질화 및 고급화 추세에 따라 더욱 순수하

고 품질이 균질한 정석을 필요로 하게 되었다. 국내에는 전국 각 지역에 28,987천<sup>1)</sup> M/T 이나 되는 많은 양의 장석이 매장되어 있으나 극소량을 제외하고 식염, 운모 및 철화합물 등이 함유된 저품위 장석이고, 또한 장석 생산 지도 영세 규모로, 현재는 대부분 장석을 채광하여 단순

한 수선(手選)에 의하여 보급하고 있는 실정이다. 미국, 일본 등 선진국에서는<sup>2)</sup> 1960년대 부터 장석을 정제하여 고품위 장석( $Fe_2O_3$  0.1%이하), 품질이 균질한 장석을 공급하고 있지만 국내에는 1970<sup>3-6)</sup>년대에 장석 정제에 관한 몇 편의 연구가 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 지금까지의 국내의<sup>6-8)</sup> 연구를 토대로 장석의 정제에 앞서 정제의 주 대상이 되는 철화합물과 유색광물의 종류, 함량 및 존재상태를 규명하고, 분쇄방법에 따른 장석, 석영 및 유색광물 등의 단체분리도를 측정하여 유리의 원료로 사용 가능한 산물을 생산하기 위한 최적 분쇄조건을 규명하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 시 료

본 연구에 사용된 옥천장석은 충청북도 옥천군 청산면 인정리(지적·영동 111)에 위치한 장석으로 백악기 영동층군에 속하며, 퇴적이전에 관한 시대 이상의 화강암류로서 이루어져 있다. 이 중 거정질 반상 화강암은 본 광산의 채광 대상이 되는 암석으로서 원암이 풍화작용에 의해 조립의 장석 결정과 미립질의 풍화토양이 분리, 혼재되어 있는 풍화진류 광상을 이루는 광산이다. 장석결정들은 대체로 주상을 이루고있으며, 이들 장석결정들의 표면은 풍화작용 및 풍화토양 등에 의해 철화합물 및 점토질 등으로 오염되어 있다. 풍화토양들은 적갈색을 보여주는데, 대체로 미립의 흑운모 등이 미세하게 산출되고 있다.

따라서 연구를 수행하기 위하여 조립의 장석결정과 미립의 풍화토양이 혼재된 상태로 10m 간격으로 5군데에서 시료를 채취하여 혼합하였다. 이와 같이 얻어진 시료의 입도분포는 Table 1과 같다.

### 2.2. 특성 실험

#### 2.2.1. 광물학적 특성 실험

##### a) 현미경에 의한 분석

장석내에 존재하고 있는 광물의 종류, 특히 철화합물 및 유색광물들의 종류와 그 존재 상태를 규명하고, 광물의 조성을 분석하기 위하여 +4mesh의 시료를 0.03mm 두께의

박편으로 5개 제작하여 이것들을 편광현미경(SM-LUX-POL, Leitz, 독일)하에서 관찰하였다. 특히 광물 조성은 Swift Automatic Point Counter(Leitz, 독일)를 이용하여 박편을 0.5mm씩 이동시키면서 광물의 종류를 계수하고, 이 결과들의 평균값으로 구하였다.

##### b) XRD에 의한 분석

시료에 존재하고 있는 광물결정들을 조사하기 위하여 원광을 습식으로 분리하여 얻은 +4, 4/20, 20/60, 60/100, -100mesh의 시료들을 입도별로 채취하여 XRD 분석을 하였다. 사용한 기기는 일본 Rigaku 사제로  $CuK\alpha$ , Ni filter를 사용하여 35KV, 15mA의 조건으로 실험하였다.

#### 2.2.2. 화학 및 열적 특성

##### a) 화학 분석

원광과 입도별로 분리시킨 시료에 대하여 화학분석을 하였다. 이 경우  $SiO_2$ , CaO,  $Al_2O_3$  및 MgO 성분은 습식으로,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  및  $Fe_2O_3$  성분은 AA(Perkin-Elmer, 미국)를 사용하여 분석하였다.

##### b) 내화도 측정

시료의 용융현상과 알칼리함량 등을 조사하기 위하여 +4mesh시료에 대하여 KS L 3506에 준하여 내화도를 측정하였다.

##### c) 시차열 분석

소성온도 변화에 따른 열간변화와 중량감소 등을 분석하기 위하여 +4mesh 시료에 대하여 시차열 분석을 하였다. 사용한 기기는 일본 Rigaku 사제(TAS-100)로 승온 속도 6°C/min로 1200°C까지 행하였다.

#### 2.2.3. 분쇄 특성

##### a) 로드밀에 의한 분쇄 특성

+4mesh의 시료 5kg을 수세하여 건조시킨 후 roll 간격을 3mm로 고정시킨 roll crusher를 사용하여 분쇄시킨 후, 4분법에 의하여 500g씩 취하여 로드밀에서 시간별로 2, 3, 4, 5, 6, 7분 각각 분쇄하였다. 이때의 분쇄조건은 광에너지 50%, 로드장입량 14kg, rpm 180으로 하였다. 이와 같이 분쇄한 산물을 입도별로 체분리하여 중량 %를 구하였다.

##### b) 단체분리

+4mesh 시료를 roll crusher로 분쇄하여 얻어진 산물을 다시 로드밀을 사용하여 시간별로 습식분쇄하였고, 이 산물을 입도별로 체분리하여 단체분리도를 측정하였다. 측정 방법은 입도별로 약 1000개의 입자를 Swift

Table 1. Size Distribution of Okchun Feldspar.

Size (mesh)	+4	4/20	20/60	60/100	-100
Weight (%)	25.12	39.28	17.36	5.51	12.73

Automatic Point Counter를 사용하여 광물들의 종류를 계수하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 광물학적 특성

본 광산은 거정질 화강암인 원암이 풍화작용에 의해 조립의 장석과 세립 또는 미립질의 풍화토양이 분리 또는 혼재되어 있는 풍화잔류광상이다.

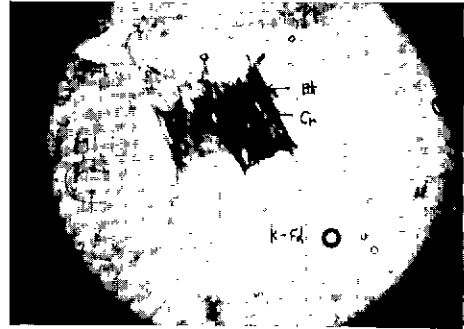
장석은 perthite가 주 구성원이며, 사장석, 흑운모, 백운모 및 지르콘 등과 2차 변질광물인 녹니석, 견운모, 점토광물 및 갈철석 등이 수반되어 있다.

흑운모는 부분적으로 녹니석으로 변질작용을 받았으며, 흑운모에서 유출된 것으로 생각되어지는 갈철석이 장석류 및 석영 등의 미세한 균열부를 충전하고 있다. Table 2는 옥천장석의 광물구성비를 나타낸 것으로 perthite가 84%로 가장 많고, 철화합물로는 흑운모 및 갈철석 등이 있다. 또한 부수적으로 녹니석 및 지르콘 등이 존재하는 것이 옥천장석의 특징이다.

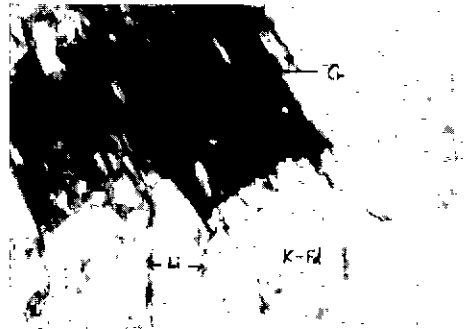
+4mesh시료를 편광현미경하에서 관찰한 사진을 Fig.1에 나타내었다. 사진에 의하면 장석이 부분적으로 고령토화 작용을 받았음을 알 수 있고, 장석내에 철화합물로 존재하는 흑운모 및 풍화작용에 의해 흑운모로부터 유출된 것으로 생각되어지는 갈철석이 흑운모의 주변부나 장석의 주변부를 따라서 충전되어 있음을 알 수 있다. 흑운모는 부분적으로 녹니석으로 변질되어 있고 흑운모의 크기는 0.4mm-0.6mm로 적어도 -30mesh 크기로 분쇄하여야만 흑운모를 분리시킬 수 있음을 알 수 있다.

Table 2. Mineral Compositions of Okchun Feldspar.

Mineral	(vol.) %	Size(min. -max.)mm
Quartz	3	0.04×0.04-0.2×0.2
Plagioclase	8	0.04×0.1-0.3×0.7
Perthite	84	0.1×0.1-5×5
Biotite	1	0.03×0.05-0.5×0.8
Muscovite	0.5	0.03×0.1-0.05×0.2
Zircon	0.5	0.03×0.1
Chlorite	0.5	0.02×0.05-0.05×0.3
Sericite	0.5	
Clay minerals	3	
Limonite	0.5	
Other opaque mineral	0.5	



(A) 50X



(B) 125X

Fig.1. Photomicrograph of Okchun feldspar perthite (K-Fd), plagioclase(pl), biotite(Bt), chlorite(Cr), limonite(Li).

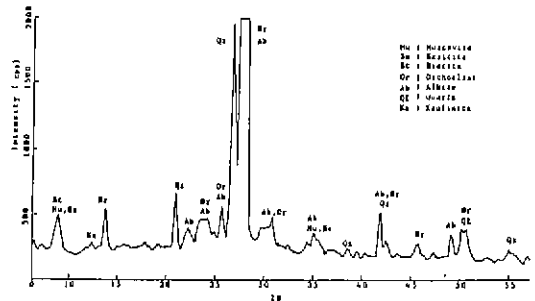


Fig.2. XRD pattern of Okchun feldspar.

Fig.2,3은 옥천장석의 원광과 입도별 XRD pattern을 나타낸 것으로 정장석, 소다장석, 석영, 흑운모 및 고령토 등이 함유되어 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 성분들은 입도가 세립으로 갈수록 변화가 현저하여 석영은 미립으로 갈수록 증가하고, 고령토성분은 -20mesh에서 발견되기 시작하여 미립으로 갈수록 증가한다. 흑운모는 -



밀 분쇄에 의한 시간별, 입도별 산물의 중량비를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 분쇄시간 3분까지는 30/60mesh 산물이 각각 51.0%, 34.0%로 최고 중량비를 나타낸다. 또한 분쇄시간 5분의 경우는 100/140mesh 산물이 25.0%, 6분의 경우는 200/325mesh 산물이 29.6%, 7분의 경우는 -325mesh 산물이 37.9%로 각각 최고 중량비를 나타낸다

이상과 같은 결과를 토대로 본 연구에서 목적으로 하는 유리원료의 입도로 적합한 30/140mesh 산물의 시간에 따른 중량비를 나타낸 그래프와 최소자승법(least square method)에 의하여 해석한 그래프를 Fig.6에 나타내었다. 여기에서 L.S.M에 의하여 분쇄속도식을 구할 수가 있고, 그 속도식에 의하여 30/140mesh 산물의 중량비를 예

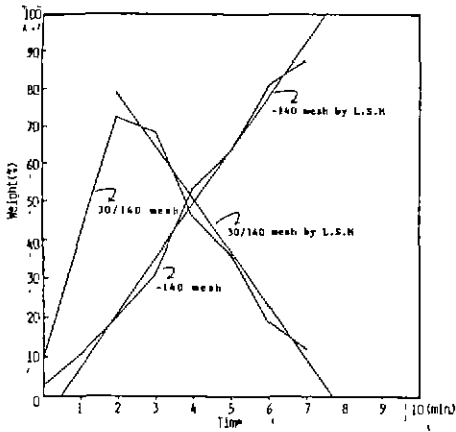


Fig. 6. Relationship between practical weight percent of 30/140 mesh products, -140 mesh products and theoretical weight percent of 30/140 mesh products, -140 mesh products by L.S.M at various grinding times.

측할 수 있다(분쇄속도식;  $Y = -14X + 107$ , Y, 중량비, X, 분쇄시간, 단, 이 분쇄속도식은 실험결과 2분에서 변곡점이 생기므로 2분 부터 적용된다).

예를 들면, 분쇄시간 약 7분40초일 때 30/140mesh 산물은 이론상 0%이다. 이 결과는 실험을 통하여 확인하여 보면 약 1.8%의 오차로 거의 일치함을 알 수 있다.

3.4. 단체분리

로드밀 분쇄에 의한 단체분리

로드밀을 사용하여 3, 4, 6분 동안 각각 분쇄한 시료를 체분리하여 입도별로 단체분리도를 측정할 결과를 Table 4에 나타내었다. 여기서 단체분리도는 각각 분리된 석영, 장석 및 운모의 갯수 그리고 석영과 장석이 공존하는 갯수, 운모와 석영이 공존하는 갯수, 장석과 운모가 공존하는 갯수 그리고 석영, 장석 및 운모가 함께 공존하는 입자의 갯수를 백분율로 나타낸 것으로 식(1)과 같다.

$$\text{단체분리도}(\%) = \frac{\text{단체분리된 입자의 갯수}}{\text{전입자의 갯수}} \times 100 \dots (1)$$

이 결과에 의하면 분쇄시간 3분의 경우 30/60mesh 의 100/140mesh의 단체 분리도의 차이는 8%로 입도가 미립일수록 단체분리가 잘 되었음을 알 수 있다. 또한 분쇄시간과 단체분리도와와의 관계를 살펴보면 100/140mesh에서 3분과 6분의 경우 단체분리도의 차이는 1.6%로 분쇄시간이 증가함에 따라 약한 증가를 보인다. 이것은 동일 입도 범위라도 분쇄시간이 길어지면 평균입자의 크기가 작아지기 때문이라 생각된다.

Fig.7은 L.S.M에 의하여 분쇄시간에 따른 30/140 mesh 산물의 단체 분리도와 중량비와의 관계를 나타낸 것이다.

그림에 의하면 단체분리도는 분쇄시간이 증가함에 따라 증가하여 이론적으로는 분쇄시간 약 7분 23초일 경우 약

Table 4. Degree of Liberation of Rod Milled Products at Various Grinding Times and Particle Size

Size (mesh)	Mineral(%)	Quartz	Feldspar	Mafic mnerals	Quartz + Feldspar	Quartz + Mafic minerals	Feldspar + Mafic minerals	Quartz + Feldspar + Mafic minerals
	Time (min)							
30/60	3	2 2	84.3	2 2	2 9	0.5	7.6	0.3
	4	2 3	90 1	0.4	1.9	0 4	5 0	tr
60/100	3	1.1	92 9	0.4	0 4	0 4	4 9	-
	4	1.5	92 4	2.0	0.5	tr	3.6	-
100/140	3	2 4	93 7	0 5	tr	tr	3.4	-
	6	2.1	93.8	1 7	0.3	0.3	2 1	-

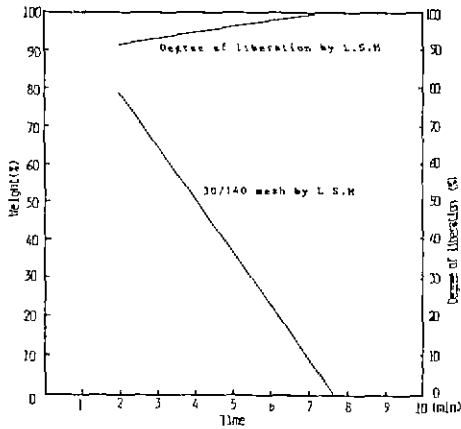


Fig. 7. Relationship between weightpercent of 30/140 mesh products by L.S.M and degree of liberation of 30/140 mesh products by L.S.M at various grinding times.

100%임을 알 수 있다. 그러나 단체분리도가 100%일 경우 30/140mesh 산물의 중량비는 3%로 경제적으로는 불합리함을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 30/140mesh 산물의 중량비가 72.7%로 가장 높은 2분의 경우를 최적조건으로 정하였으며 이때의 단체분리도는 91.5%였다.

#### 4. 결 론

옥천장석을 시료로 원광의 광물학적 특성, 화학 및 열적 특성 그리고 분쇄특성과 단체분리에 관하여 연구 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 광물학적 특성을 보면 옥천장석은 perthite가 84%로 주 구성광물을 이루고 있고 부 구성광물로 사장석 및 석영이 함유되어 있다 또한 철화합물로는 흑운모 및 갈철석 등이 함유되어 있고 이것들은 정석 및 석영의 미세한 균열부나 벽개면을 따라 충전되어 있다. 또 지르콘이

미량 함유되어 있는 것이 특징이다.

2) 화학 및 열적 특성을 보면 +4mesh 시료의 경우 SiO<sub>2</sub> 63.89%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19.54%, K<sub>2</sub>O 11.53%, Na<sub>2</sub>O 2.64%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.38%이며 내화도는 9이다. 또한 시차열분석을 보면 1200°C 까지 소성하였을 경우 새로운 결정상의 생성이나 분해과정은 나타나지 않았으나 단지 TG에서 강열감량에 기인한 미량의 질량감소를 보여주고 있다.

3) 분쇄특성 및 단체분리도는 2분의 경우 30/140mesh 산물의 중량비가 72.7%로 가장 높고, 이때의 단체분리도는 91.5%이다 따라서 옥천장석의 분쇄시간은 2분이 적합하다.

#### REFERENCES

- 1 “86年度 鑛山物 需給現況”, 動力資源部, 28 (1987).
2. 富田堅二, “非金屬鑛物の選鑛法”, 鑛業協會 (1974).
3. 으제현 “해변사로 부터 석영 및 장석의 연구에 관하여”, 연세논총 제8집, 1-15 (1971).
4. 吳在賢, 鄭彰燮, 柳澤秀, “花崗岩으로부터 石英 및 長石의 회수에 관한 研究”, 광산학회지, 9, 46-52 (1972)
5. 申芳燮, 權肅汶, “風化花崗岩의 選鑛에 關한 研究”, 대한광산학회지, 11, 61-69 (1974).
6. 富田堅二, “風化花崗岩의 選鑛について”, 日本鑛業會誌, 86-89 (1963).
7. 下飯坂潤三, 永井亮一, 平安雄, 山崎太郎, “浮選における石英と長石の分離機構について”, 日本鑛業會誌, 80, 276 (1964).
8. 下飯坂潤三, “浮選による石英と長石の分離について”, 浮選研究會 第61回例會, 18-28 (1978).
9. Paul F. Kerr. “Optical Mineralogy”, Mc Grow-Hill, 4th., 286-340 (1977).