産業技術硏究(江原大學校 産業技術硏究所 論文集) 第 9 輯(1989)
Research Report, The Institute of Industrial Technology, Kangweon Nat'l Univ., Korea, Vol. 9, 1989

백운모광의 품위향상에 관한 연구

이 재 장* · 최 수 용**

A Study on the Beneficiation of Muscovite Ore

Jae-Jang Lee · Soo-Yong Choi

ABSTRACT

A general study on the upgrading of mica minerals which are mainly found in pegmatite deposits was carried out for the purpose of developing a technique for recovering mica in form of comercial grade products. By the way the grade one of about 5~6% K_2O still is not developed.

The target of this research work is to be establish a process for the efficient concentration of muscovite, containing more than 10% K_2O.

The tests are applied to incraese the recovery and grade of concentrates in term of variations of conditions. The test sample consists of mainly muscovite and gangue mineral such as quartz, pyrite and chlorite.

Decantation and shaking table tests were ineffective to up-grade this low grade one, but flotation method gave satisfactory result. By means of grade one, but flotation method gave satisfactory result. By means of grindability tests, an optimum result could be obtained from the sample ground to -48mesh feed size. The flotation result indicates that the dodecyl ammonium chloride used as a cationic collector is effective on the negatively charged surface, while the sodium dodecyl sulfate as an anionic collector is effective on the positively charged surface. Muscovite was floated by petroleum sulfonate as well as amine type collector, it also floated by MIBC as well as pine oil frother under well condition.

Fine muscovite concentrates of about 10.68% K_2O was obtained with 22.4% yield, by decantation, the muscovite concentrates of 10.10% K_2O was obtained with 23.54% yield, by table concentration, the muscovite concentrates of 11.51% K_2O was obtained with 23.0% yield by flotation.

* 강원대 자원공학과, 부교수
** 강원대 대학원, 박사과정 재학중

1. 서 론

내화물공업, 시멘트공업 및 화학공업의 주요 원료로서는 주로 비황화광물이 그 주종을 이루고 있으며, 이들 공업의 발전과 더불어 그 수요 역시 증가 일로에 있다. 국내에 부존되어 있는 비황화광물 자원은 매장량은 많으나 저품위이며, 적절한 선별방법이 확립되어 있지 못하기 때문에 여러공업 부분의 원료로서 이용하기 어려운 실정이다. 또한 이들 광물들은 유용광물과 맥석광물이 공존하는 관계로 원광품위가 떨어지는 주 원인이 된다.

운모(mica)는 절연성 및 단열효과가 뛰어나며 가볍기 때문에 매우 많은 분야에 쓰이고 있는데 그들은 산출상태에 따라 등급이 정해지고 가격도 크게 변한다. 운모의 주 용도로서는 활성, 연성, 흡수성, 고착성, 백색도 등의 물리적 성질을 이용하는 것으로 1) 화장품, 제약용, 2) 페인트, 제지용, 3) 용접봉용, 4) 고무공업용, 5) 요업원료, 6) 전기제품용등 다양하다.[9),10)] 이상의 제 용도에서 요구하는 운모의 품위는 각 용도에 따라 다르며 규격상 문제로 되는 K_2O 및 Fe_2O_3의 성분함량에 있어서 가능하면 K_2O의 품위를 높이고, Fe_2O_3를 제거해야 한다. 또한 경도, 백색도, 입도 등을 수요자의 규격요건 이상의 산물이 되도록 정제해야 한다.

최근 비황화광물 부선법에 관한 많은 연구가 발표되고 있다. 그러나 규산염 광물, 특히 운모광의 처리법에 관한 문헌은 그리 흔하지 않다. 이것은 규산질 광석 중에 함유되어 있는 각 광물의 계면화학적 성질이 서로 유사하므로 이들 광물의 개별분리는 쉽지 않기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에 약 9백만톤 정도 매장되어 있는 저품위 광석(5-6% K_2O)을 처리하여 품위를 향상시켜 고품위 정광(10% K_2O 이상)을 생산할 수 있는 처리법을 모색하고져 강원도 양구산 운모 원광을 시료로하여 미립자의 백운모는 침강법(sedimentation method)을 택하였고, 비교적 조립의 운모는 쉐이킹 테이블(shaking table)법과 부선법(Flotation method)을 적용하였다.

2. 시료 및 실험방법

2-1. 시 료

본 연구에 사용한 시험시료는 강원도 양구군 방산면 문등리에서 랜덤하게 채취한 것으로 직경 7 *cm* 이하의 백운모광(Muscovite ore)이다. 시료의 조제는 우선 채취한 원광을 실험실용 Jaw crusher를 사용하여 -3 *mm* 정도의 크기로 파쇄한 다음 Jar mill을 사용하여 -0.5 *mm* 크기로 분쇄하고, 산물을 완전히 혼합하여 2분기를 이용하여 축분하여 시험시료로 하였다. 또한 운모편내에 불순물의 종류와 함량을 조사하기 위하여 비교적 순수하다고 보이는 백운모를 수선하여 X-선 회절분석 및 원자흡광분석용으로 채취 정량하였다.

원광을 현미경으로 관찰하여 볼 때 백운모의 입경은 0.25 *mm* 이하로 구성되며 그 외에 황철석, 녹니석, 석영 등이 수반되고 있다.

시료중에 함유되어 있는 Al, Fe, SiO_2는 습식 화학분석법에 의하여 분석하고, K_2O는 원자흡광분석법(atomic absorption method)으로 정량하였다. 그리고, X-선 회절분석장치(X-ray diffraction apparatus)에 의해 백운모광을 구성하고 있는 광종을 조사하였다.

Fig.1은 시료를 마노절구로 약 200 μm 정도로 분쇄한 다음 X-선 회절분석기로 회절시킨 결과 백운모, 석영, 녹니석, 철의 ASTM card에 나타난 회절각을 비교, 분석한 결과 모두 백운모, 석영, 녹니석 등이 함유되어 있음을 알 수 있다.

원광의 조성에 대한 화학분석 결과는 Table1과 같다.

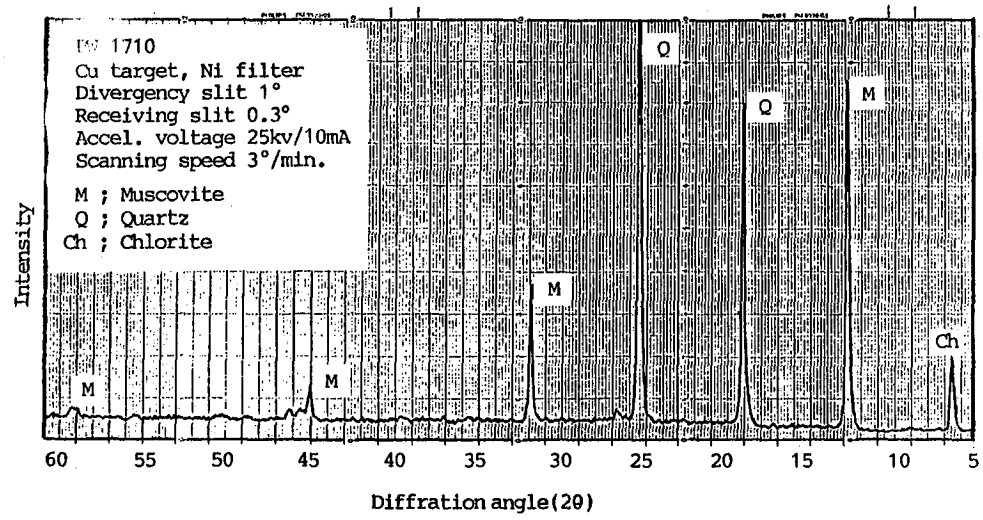


Fig. 1 X-Ray diffraction pattern of sample.

Table 1. Chemical analysis of raw ore.

Components	K_2O	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	H_2O	Ig. loss
Grade (%)	5.20	71.2	18.1	0.63	2.44	2.35

2-2. 실험방법

운모광의 분쇄입도는 대단히 중요한 것으로서 과마광을 피하고, 최대의 단체분리도를 얻기위해 마광시험을 하였다. 마광시험은 시료를 200 g씩 평량해서 잘 혼합한 다음 시험하고자 하는 입도(-48, -65, -100, -150 mesh)에 따라 광액의 농도를 50%고체로 하여 습식단계마광(Wet stage grinding) 및 시간별(30, 40, 50, 60분)로 마광하여 탈수, 건조시키고, 체분석법에 의해 건식법으로 입도분포를 측정하였다.

침강시험에는 소정 입도의 산물 및 습식 단계마광에서 얻어진 산물을 내경이 약 4.0 cm, 높이가 약 36 cm인 메스실린더에 넣고 광액의 농도를 5% 고체로 고정하여 침강시간을 5분에서부터 10분간격으로 20분까지 변경시켜 이때의 품위를 알아보았다. 정광은 사이폰으로 전체광액의 2/3를 회수한 후 여과, 탈수하여 정량하고, 남은 1/3의 광액은 다시 리펄핑하여 같은 조작으로 5회 반복한다.

쉐이킹 테이블(shaking table) 시험에서는 급광농도를 30% 고체로 하여 입도별 시험을 하였으며, 쉐이킹 테이블의 경사 4.5°, 충정수 280회/분, 급광농도 30%의 조건에서 입도별(-35, -48, -65, -100, -150 mesh)로 시험하였다. 그리고 Hallimond tube시험은 시료를 마노절구로 분쇄하여 65 mesh체에 통과하도록 한 후 온 염산(warm HCl)에서 2시간 동안 담그어 표면을 세정하여 얻어진 것을 가성소다 용액으로 중화한 다음 증류수로 반복하여 세척하고, 건조시킨 후 시험시료로 사용하였다. 시험은 Hallimond tube

부선장치를 이용하였으며 입도 65/100mesh로 만들어 보관하였던 것을 매회 1 g씩 사용하였다. 부선에 사용한 기체는 30% KOH 용액과 증류수를 통과시켜 정화된 질소가스이며 매분 30 mℓ 를 도입시켰다. 부선시간은 측정관내에 기포가 발생된 때 부터 5분간으로 고정하여 부유물과 비부유물을 매회 건조한 후 평량하여 부유도를 산출하였다.

Batch 부선시험은 65/100 mesh 입단의 시료를 매회 12 g씩 평량하여 부선시험을 실시하였다. 부선시험기는 Denver Sub - A형으로서 기계식 포말 제거장치(froth scraper)를 부착시켰으며 광액면을 일정하게 유지될 수 있도록 설계되어 실험오차를 극소화하였다. 부선시험에서 조건부여시의 Impeller의 교반속도 500 r.p.m.으로 고정하여 소정양의 시약을 첨가하고 5분간 조건 부여한 다음 부선하였다.

본 시험에 사용한 부선시약은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Reagents used flotation and Hallimond tube test.

Classification	Reagents	Chemical formular	Source and Grade
Collectors	Dodecyl ammonium chlide	$C_{12}H_{25}NH_3Cl$	Fluka chem.co.(W.Germany),G.P.
	Petroleum sulfonate	Odorless	American cyanamid(U.S.A),-
	Sodium dodecyl sulfate	$C_{12}H_{25}SO_4Na$	Sigma chem. Co.(U.S.A),S.P.
Frothers	Pine oil	$C_1H_{18}O$	NKY(Japan),Stem distilled,b. p.i 145-220 ℃
	Methyl isobutyl carbinol	$(CH_3)_2CHCH_2CH(OH)CH_3$	Fluk chem.co.(W.Germany),G.P.
pH regulators	Sodium hydroxide	NaOH	Junsei chem.co.(Japan),E.P.
	Sulifuric acid	H_2SO_4	Junsei chem.co.(Japan),E.P.

3. 시험결과 및 고찰

3-1. 마광시험

Fig.2 는 광액농도를 50%고체, Jar mill 회전수 105 r.p.m.의 조건에서 마광시간을 30분에서 10분 간격씩 변화시켰을 때 입도별 품위와 누적 및 입단별 중량%로 나타낸 것이다.

그림에서 마광시간별 65mesh 이하 입단의 누적율 분포를 보면 마광시간이 증가함에 따라 90.0, 90.5, 92.0, 92.4%로 각각 증가함을 알 수 있으며, 100-150 mesh 입단의 경우에 30분간 마광은 16.8%로서 40, 50, 60분간 마광한 경우보다 최대의 점유율을 나타내고 있다.

비교적 고가인 용접봉용 원료로 사용되는 운모의 입도는 세립(100 mesh 이하)이 적어야 한다[2),10)]는 점을 고려하여 가급적 마광시간을 단축시켜 조립을 선별 회수하는 것이 요망되므로 100-150 mesh의 산물이 가장 많은 30분간 마광이 적합할 것으로 예상된다.

Fig.3은 광액 농도를 50%고체로 고정하고, 각 입단을 30분간 습식단계마광한 결과를 입도별 품위와 누적 및 입단별 중량%로 나타낸 것이다.

각 입단의 습식단계마광결과 누적율 분포는 대체로 유사하게 나타내고 있다. 분율곡선에서 -48 mesh 입단의 경우 65-100 mesh 입단은 23.0%에서, 그리고 -65,-100, -150 mesh 입단은 각각 100-150 mesh(12.6%), 150-200 mesh(9.2%), 250-235 mesh(7.5%)에서 각각 최대치를 나타내고 있다.

고무용 및 시멘트, 플라스틱 원료로 사용되는 운모의 입도는 비교적 세립(100 mesh 이하)이라는 점[2),10)]을 고려할 때 원광이 단체분리되는 최대마광입단은 -48 mesh 나 -65 mesh 입단의 단계마광이 적합할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 Fig. 2,3 에서 알 수 있는 바와 같이 습식단계마광한 -48, -65, -100, -150 mesh 의 마광입도 분포율이 미립자(-400mesh 부분)에서 비슷함을 보여주며 K_2O 의 품위 또한 큰 차이가 없다. 따라서 앞으로 사용할 시험시료의 제조는 All grinding 법을 택하였다.

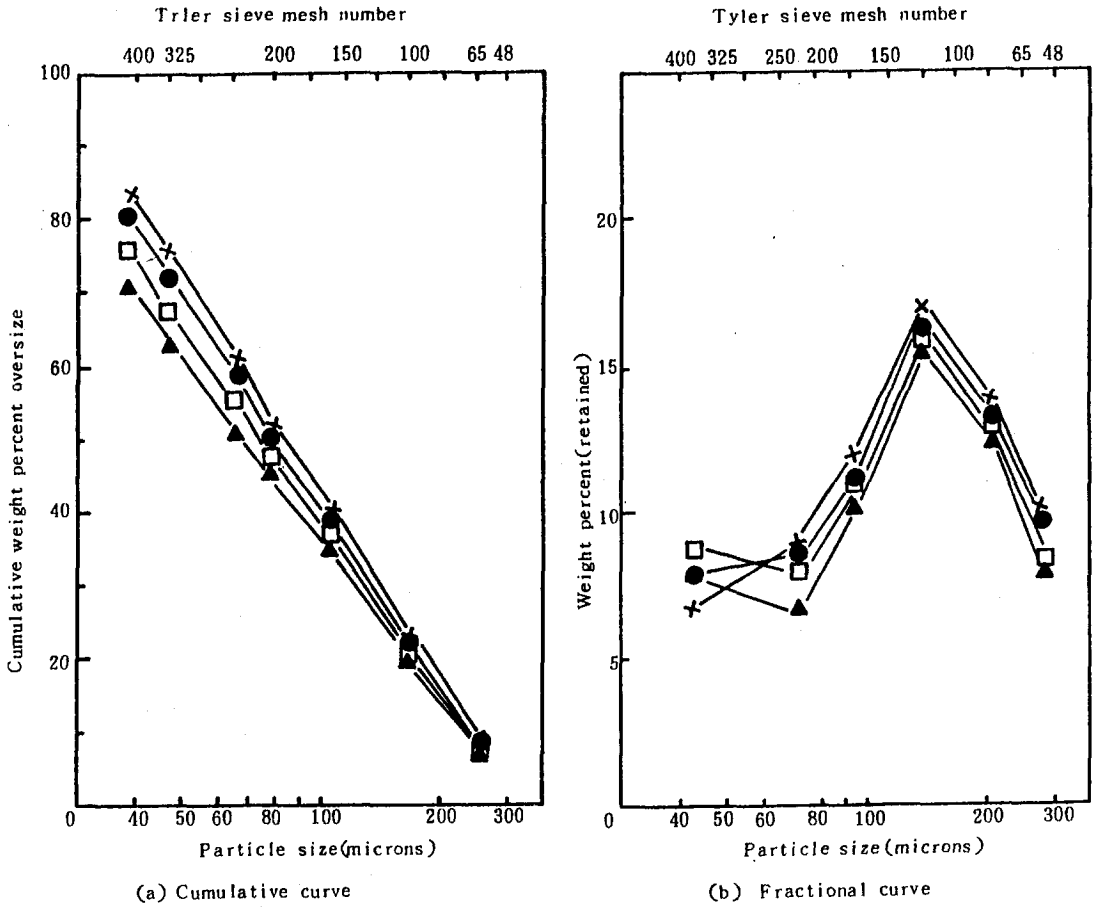
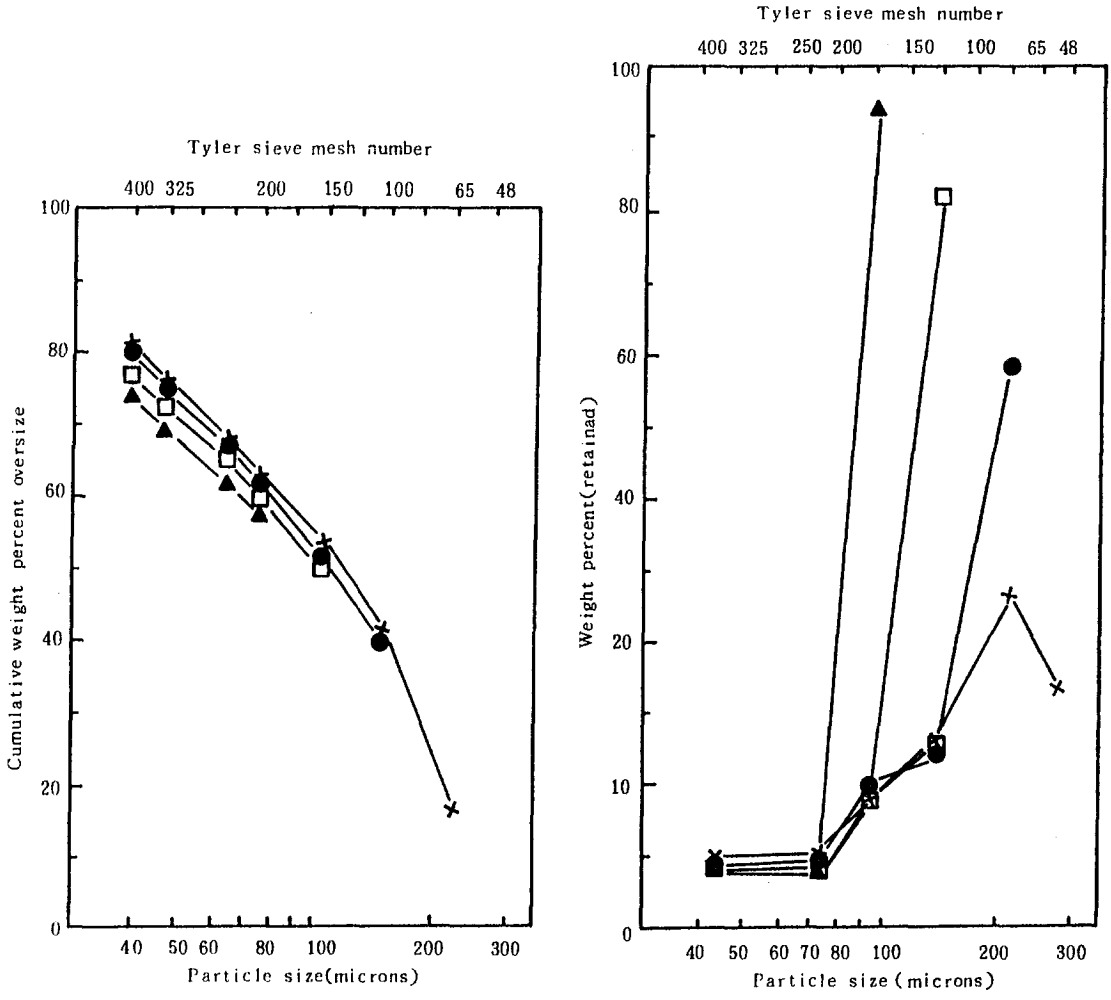


Fig. 2 Relationship between particle size and weight percent according to the grinding time variation.
CONDITIONS : **Pulp density : 50% solids, Jar speed : 104 rpm, Ball charge : 800g.**
-×- 30min. grinding -●- 40min. ginding
-□- 50min. grinding -▲- 60min. ginding



(a) Cumulative curve (b) Fractional curve

Fig. 3 Relationship between particle size and weight percent after 30 min. grinding of various size fractions.

CONDITIONS : **Pulp density : 50% solids, Jar speed : 105 rpm, Ball charge : 800g.**

-×--48mesh, -●--65mesh, -□--100mesh, -▲--150mesh.

3 - 2. 침강시험

미립자(-40 μm)의 백운모 시료를 경사법으로 선별회수할 경우 적정한 침강시간과 마광입도 변화에 따른 선별효과를 검토하기 위하여 Jar mill(1 *kg*용)로 All grinding한 산물을 광액농도 5 % 고체로 하여 침강시간을 5분 간격으로 변화시켜 3회 반복한 결과를 백운모 정광의 품위와 중량비로 나타낸 것이 Fig. 4이다. 여기서 중량비는 3회 회수한 모든 양에 대해 백분율(%)로 표시한 것이다.

Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 침강시간을 길게하면 백운모의 품위는 향상되는 반면 회수하는 양은 다소 줄어듬을 알 수 있다. 즉

품위와의 변화는 0.3%K_2O 정도이고 산출율의 변화는 3% yield임을 알 수 있다. 또한 마광시간이 길어지면 (60분 이상) 원하는 K_2O의 품위가 침강시간에 관계없이 9%이상 오르지 못함을 예상할 수 있다. 이는 적정입도 마광의 중요함을 알려주는 것으로 과마광을 하면 침강시 품위에 큰 영향을 준다.

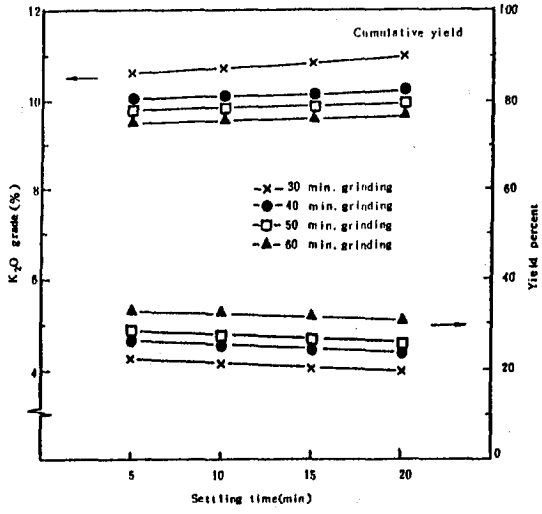


Fig. 4 Effect of settling times on K_2O grade and yield of various all grinding products.
CONDITIONS : Pulp density : 5% solids.

광액중에 분산되어 있는 입자의 대부분이 -325 mesh (-44μm) 이하의 입도로 구성되고 있다. 이런 현상은 본 시험에 사용한 메스 실린더의 높이로 환산하고 Stockes 법칙에 따라 도시한 Fig. 5와 같이 40분 이후에는 40μm 정도의 입도를 갖는 미세한 부산물을 얻을 수 있으나 산출율은 침강시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 알 수 있다. 또 광액농도에 따라 침강속도와 입도관계에서 Burt는 광액농도가 증가되면 간섭침강에 기인되어 미세한 입도를 갖는 입자를 얻을 수 없다고 하였다.

점토광물 (Clay minerals)의 침강시험에 사용되는 광액농도는 처리산물에 따라 다르며 보통 5-40%에서 행하나[12] 본 시험에서는 5%의 광액농도에서 5분 정도의 침강시간이 적당함을 알 수 있다.

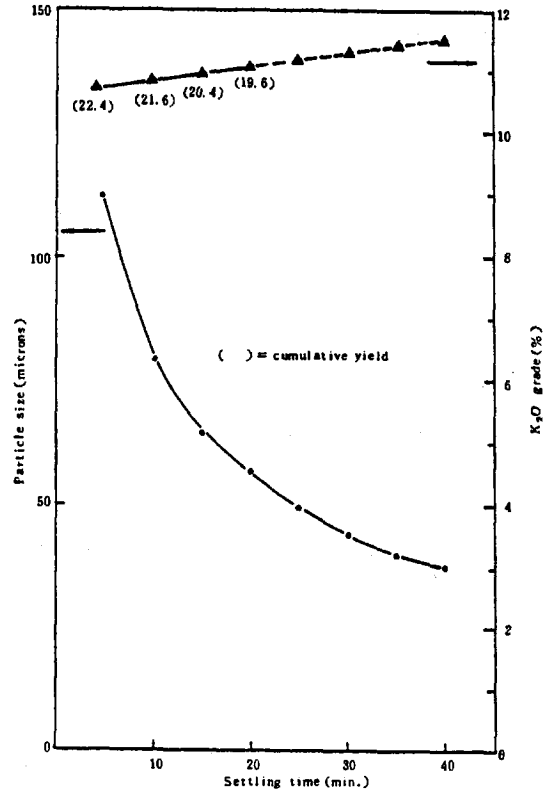


Fig. 5 K_2O grade and particle size of collected materials after constant settling time lapse.

Fig. 6은 All grinding한 마광산물에 대하여 침강시험한 결과 백운모 정광의 K_2O 품위가 -48 mesh 단계마광에서는 10%이상이 되나 -100 mesh 단계마광에서는 원하는 품위에 오르지 못함을 알 수 있다. 이것은 마광입도가 작아질수록 백운모 입자의 비표면적이 증가되어 유실되기 때문일 것으로 생각된다.

그리고 -48mesh 입단과 30분 All grinding한 마광산물의 입도분포율이 거의 같음을 알 수 있고 이때의 K_2O 품위는 10%이상으로서 침강법에 의한 백운모 회수를 위한 마광은 -48mesh의 경우가 적당하다고

생각된다.

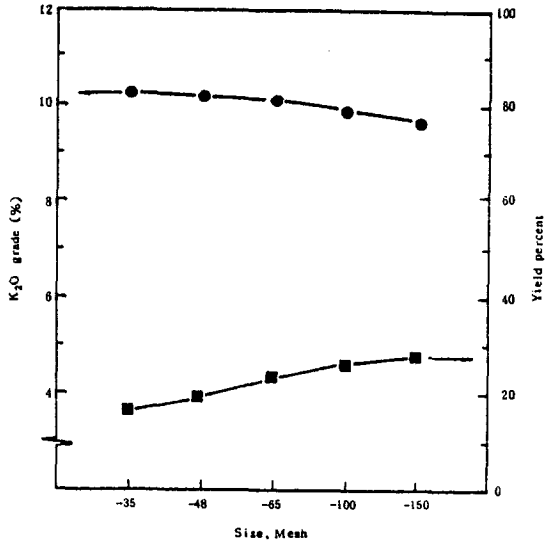


Fig. 6 K_2O grade and yield of suspended material after 5 min. settling of various size fractions.
CONDITIONS : Pulp density : 5% solids, 30 min. all grinding.

3 - 3. 쉐이킹 테이블 시험

Fig.7은 All grinding한 마광산물을 쉐이킹 테이블로 선별하였을 때 입도변화에 따른 선별효과를 나타낸 것으로 쉐이킹 테이블로만 처리할 경우는 품위가 약 10% K_2O이상, 산출율은 약 20%의 백운모 정광을 얻을 수 있다. 그러나 -35mesh 입단에서 -150 mesh 입단으로 급광입도가 미세해 질수록 산출율 16.8%에서 29.3%로 증가하는 경향을 보이지만 품위는 10.29% K_2O에서 9.66% K_2O로 다소 감소하고 있다.

급광입도가 미세화 함에 따라 Deck에 의한 이동보다는 수류에 의한 이동이 증가되어 산출율은 증가되지만 K_2O 품위는 대체적으로 낮아지는 것으로 생각된다.

상기 사실로 보아 산출율이 다소 높으면서 10% K_2O 이상의 정광을 얻기 위해서는 65 mesh이하의 급광입도가 효과적인 것으로 생각된다.

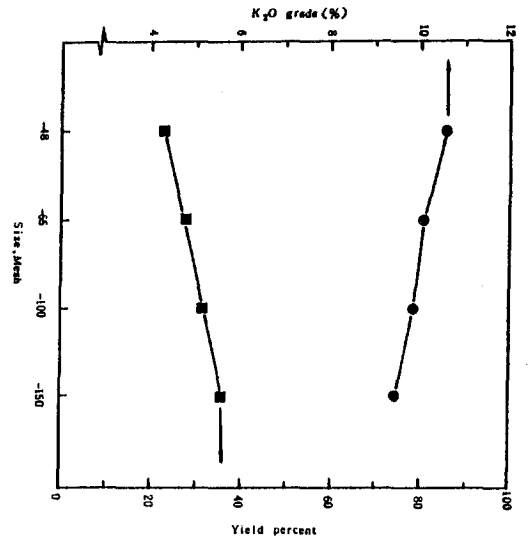


Fig. 7 K_2O grade and yield of table concentrate obtained from various size fractions.
CONDITIONS ; Tilt : 4.50. strokes/min..

3 - 4. Hallimond tube시험

Fig.8은 규산염 광물인 백운모에 대해서 음이온계 포수제(Collector)인 S.D.S.(Sodium dodecyl sulfate)와 양이온계 포수제인 D.A.Cl.(Dodecyl ammonium chloride)를 사용하여 3회 부선시험한 결과의 평균값과 표준편차를 나타냈다.

이 그림에 의하면 양이온계 포수제인 D.A.Cl.를 사용하였을 때 백운모 입자는 pH 4 이상 영역에서 부터 부유성이 증가하여 pH 12정도에서는 90%이상을 나타내고, 음이온계 포수제인 S.D.S.를 사용하였을 때는 pH 4 정도에서 부유성이 감소하여 pH 6 정도의 영역에서 부터 거의 부유되지 않고 있다. 즉 DA.Cl.를 포수제로 사용하였을 때는 광물표면이 음으로 하전되는 pH 영역에서 부유가 양호하고 S.D.S.는 양으로 하전되는 영역에서 효과가 있음을 알 수 있다.

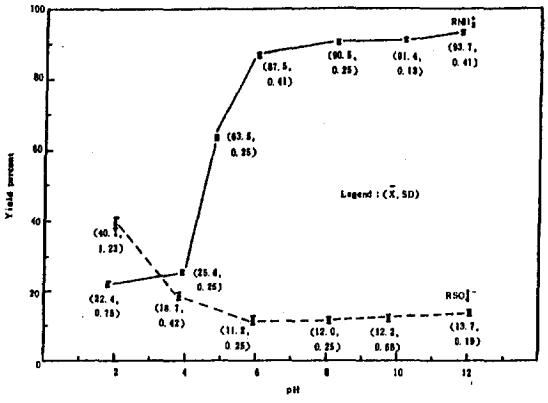


Fig. 8 Yields and deviations as a function of pH from the Hallimond tube test of muscovite.
CONDITIONS **: Conditioning time : 20min., Flotation time : 5min., Stirring bar speed : 150 rpm, Gas flow rate : 30ml/min., 10 M of D.A.Cl. and S.D.S..**

이와같은 결과를 종합하여 보면 S.D.S.용액에서는 산성영역보다 알카리성 영역서 처음으로 하전된 백운모의 표면전위와 Dodecyl sulfate이온이 같은 부호이기 때문에 흡착이 약하게 이루어 짐을 알 수 있으며, pH2에서 40.1%의 부유율을 나타낸 것은 Dodecyl sulfate 이온이 어느정도 흡착되어 백운모 표면이 약간의 음전하를 띄게 되어 나타나는 현상인 것으로 생각된다. 그리고 D.A.Cl.용액에서는 산성 영역에서 Dodecyl ammonium 이온이 H^+이온과 Competition 현상으로 백운모 표면에 흡착되는 양이 적으나 알카리성 영역으로 갈수록 Dodecyl ammonium의 흡착량이 점점 증가하여 백운모 표면전위 결정이온(Potential determining ion, PDI)으로서 작용할 것이다.

이것으로 백운모에 대한 D.A.Cl.나 S.D.S와 같은 포수제의 흡착은 광물표면의 하전과 포수제이온 사이의 전기적인 상호작용이 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

3 - 5. Batch 부선시험

부유선광은 광물입자 표면과 용액사이의 계면에 작용하는 물리-화학적 원리를 이용하기 때문에 입도, 모양, 단체분리, Slime coating등 내적인 것[11),13)]과 시약첨가량, pH, Impeller의 속도 등 외적인 것[4),6),7)]과 같은 많은 요인이 영향을 주고 있다. 또한 조성이 복잡하고, 구성광물이 다양한 백운모를선광할 때 톤당 처리비를 줄이기 위해서는 최적조건에서 짧은 시간에 대량 처리해야 하므로 투자비가 높다. 본 시험에서는 산출율 및 품위 향상을 위한 기초시험으로 부선시간의 영향,시약의 종류와 그 농도에 따른 영향 등 pH의 영향에 대하여 조사 하였다.

3 - 5 - 1. 부선시간의 영향

Fig. 9는 pH3.5에서 포수제 D.A.Cl.을 300g/t가하고, 2,000r.p.m의 교반속도로 1분간 조건부여한 후, 공기조절밸부를 열어서 공기를 도입하여 포말층을 약 5초동안 형성시켜 곧 이어서 포말제거장치를 동작시켜 1,3,5,7,9분 간격으로 3회 부선한 결과를 평균값과 표준편차로 나타낸 것이다.

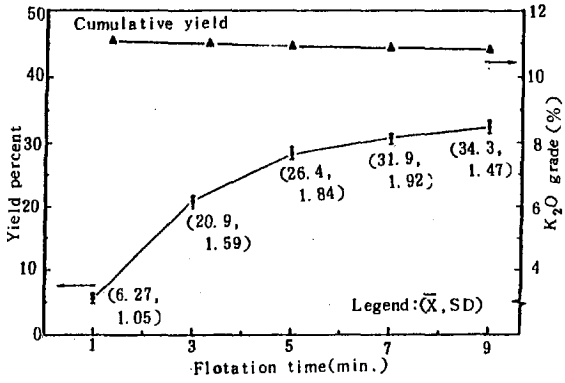


Fig. 9 K_2O grade and Yield as a function of flotation time.
CONDITIONS **: Conditioning time : 1 min., Impeller speed : 2,000 rpm, pH : 3.5, Paddle speed : 48 rpm, 300g/t of D.A.Cl..**

부선시간이 길어짐에 따라 정광의 산출율은 증가하고 K_2O품위는 약간 감소하는 경향을 나

타낸다. 가능한한 부선시간은 짧고, 산출율이 다소 높으면서 품위에는 큰 영향이 없는 부선시간이 바람직하므로 품위 10.9% K_2O와 26.4%의 산출율을 나타내는 5분 정도가 적당한 것으로 생각된다.

3-5-2. 기포제의 종류와 농도의 영향

백운모는 자연부유도(12.7%, Geiser 의 수정값[14])이 크며 광석중 수반광물 대부분이 친수성(hydrophile) 광물이므로 포수제 사용없이 기포제 만으로도 부선법 적용이 가능할 것으로 생각된다.

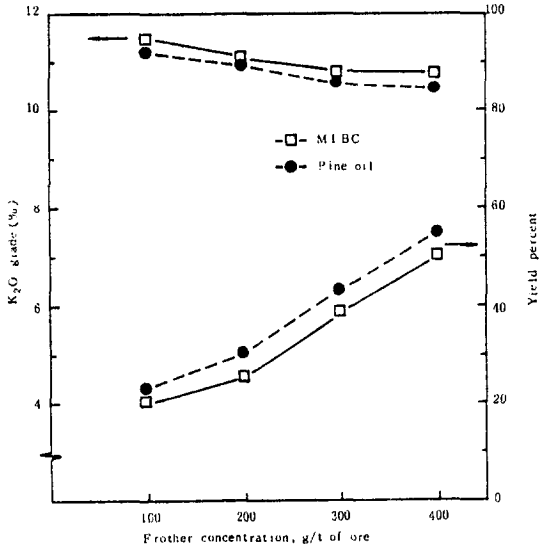


Fig. 10 K O grade and yield as a function of frother concentration at pH 3.5.
CONDITIONS: Conditioning time : 1 min., Flotation time : 5 min., Impeller speed : 2.000 rpm. Paddle speed : 48rpm.

Fig.10에서 알 수 있는 바와같이 pH3.5에서 Pine oil의 경우 400g/t을 사용할 때 산출율은 약 55%를 나타내지만 MIBC는 는 같은 첨가량에 대하여 산출율이 다소 낮은 50%에 근접함을 알 수 있다.

MIBC (Methyl isobutyl carbinol)는 백운모 입자에 흡수되지 않으므로 Pine oil에 비하여 소비량이 적고 포수력이 없어 선택성은 좋지만[9),13)] 본 시험에서는 MIBC와 그 비교시약으로 Pine oil를 사용하여 그 첨가량에 미치는 결과를 Fig.10에 나타냈다. 기포제 성능시험 결과 Pine oil이 더 효과인 것은 어느정도 포수력을 지닌것에 기인한 것으로 사료된다.

산출율은 기포제 첨가량의 증가와 비례하지만 광액의 품위는 11.3% K_2O로 부터 다소 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 선택적 흡착의 결과 MIBC가 Pine oil보다 0.3% K_2O정도의 품위향상을 나타내고 있으나 포수력 차이 때문에 산출율에서는 Pine oil 이 약 4% 우세함을 알 수 있다.

3-5-3. 포수제 종류와 농도의 영향

부선에서 운모류의 포수제로서 Amine이나 석유술폰산염 등을 사용하는 것이 일반적이므로[9)] 본 시험에서는 포수제의 종류와 첨가량에 의한 영향을 알아보고자 하였다.

Fig. 11은 pH를 3.5로 고정하고 1) D.A.Cl. 2) D.A.Cl과 Pine oil 200g/t, 3) D.A.Cl. 과 MIBC 200g/t, 4) D.A.Cl.과 Pine oil 200g/t, R-840 500g/t, 5) D.A.Cl.과 MIBC 200g/t, R-840 500g/t등 여러가지 포수제를 단독 또는 병용했을 때의 Amine 첨가량 변화에 대한 백운모의 산출율을 나타낸 것이다.

Amine은 운모의 중요한 포수제로서 Hallimond tube 부유시험 결과로 부터 알 수 있는 바와 같이 광액의 pH에 따라서 부유성을 달리하여 알카리성 영역에서 높은 부유성을 보여준다. 그러나 pH 3.5에서 Pine oil을 병용하고 Amine의 첨가량을 증가시키면 산출율이 90%에 달한다. 그리고 Pine oil과 R-840을 병용하면 Pine oil만을 병용했을 때 보다 산출율이 약간 감소함을 알 수 있다. 이와같은 현상은 pH 3.5에서 R-840 500g/t

을 첨가함에 따라 pH, 이온강도의 변화, Amine과의 경쟁흡착등 물리화학적 현상을 생각할 수 있으나 이러한 현상을 규명하기 위해서는 구체적 연구가 뒷받침 되어야 할 것이다.

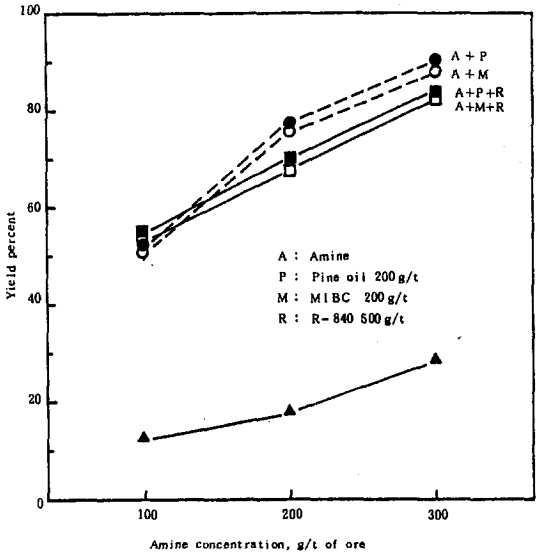


Fig. 11 Flotation yield as a function of amine concentration at pH 3.5.
CONDITIONS ; **Conditioning time : 1 min., Flotation time : 5 min., Impeller speed : 2.000 rpm, Paddle speed : 48 rpm.**

그리고 MIBC 또는 MIBC와 R-840을 병용하여 Amine의 첨가량을 증가시키면 그 산출율도 증가하지만 Pine oil 또는 Pine oil과 R-840을 병용했을 때 보다는 산출율이 약간 감소함을 나타낸다. 또한 Amine만을 사용했을 때 첨가량을 300 g/t을 사용해도 산출율이 30%를 넘지 못하는 것으로 보아 Amine의 단독 사용보다는 Pine oil 또는 MIBC 등을 병용함이 좋다. 포수제의 첨가량이 증가함에 정광의 품위는 다소 약간의 차이가 있을 것으로 예상되나 산출율과 시약소비적인 측면에서 Amine의 양을 200g/t으로 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

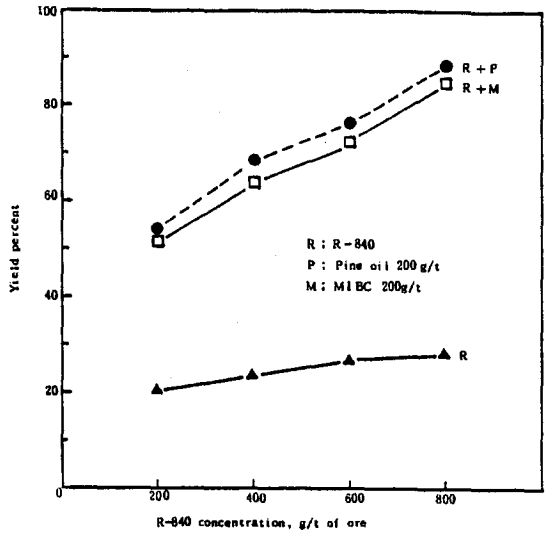


Fig. 12 Flotation yield as a function of R-840 concentration at pH 3.5.
CONDITIONS ; **Conditioning time : 1 min., Flotation time : 5 min., Impeller speed : 2,000 rpm, Paddle speed : 48 rpm.**

Fig.12는 pH 3.5에서 R-840을 단독으로 사용했을 때와 MIBC (200 g/t) 혹은 Pine oil (200 g/t)를 병용했을 때의 R-840 첨가량 변화에 따른 산출율을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 백운모는 R-840 단독사용시 500 g/t까지 첨가해도 산출율이 30%를 넘지 못하나 Pine oil과 병용하여 800 g/t을 첨가하면 산출율이 90%에 달함을 알 수 있다. 그러므로 R-840과 Pine oil 또는 MIBC 병용 비교에서는 같은 첨가량에 대하여 Pine oil을 병용할 때가 더 효과적임을 알 수 있다. 이와같은 현상은 Pine oil이 포수력을 지니고 있음에 기인하고 있는 것으로 본다. 따라서 R-840을 병용할 시 500 g/t 이상의 첨가량에 양호한 성적을 기대할 수 있다.

3-5-4. pH의 영향

일반적으로 광액의 pH는 부선에 큰 영향을 미치므로 적당한 pH값에서 부선한다는 것은 대단히 중요한 것[1,5]으로 본 시험에서는 포수제의 영향과 그 농도, pH의 특성을 검토하기 위해 앞절(3-5-3)에서 얻어진 조건(Amine 200g/t, R-840 500g/t, Pine oil 200g/t)에서 pH만을 변화시켜 시험하고 그 결과를 Fig. 13에 표시했다.

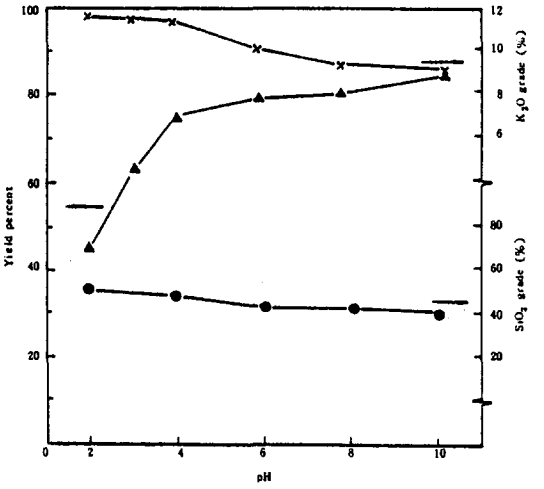


Fig. 13 K_2O grade and yield as a function of pH at the constant amine, R-840 and Pine oil concentration.
CONDITIONS; **Conditioning time : 1 min., Flotation time : 5 min., Impeller speed : 2.000 rpm, Paddle speed : 48 rpm.**

이 결과를 보면 pH가 높을수록 산출율은 증가하고 있으나 K_2O 품위는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 정광중의 K_2O 함량은 산성에서 알카리성 영역으로 갈수록 약간 감소되고 있다. 이와같은 현상은 산성영역에서 Dodecyl ammonium 이온이 H^+ 이온과 Competition 때문에 백운모 표면에 흡착하는 양이 적으나 알카리성 영역으로 갈수록 Dodecyl ammonium 이온이 H^+ 이온과 Competition 때문에 백운모 표면에 흡착하는 양이 적으나 알카리성 영역으로 갈수록 Dodecyl ammonium의 흡착량이 증가하여 백운모 표면전위 결정 이온으로서 작용할 것으로 예상된다. 또한 수소이온 농도에 따른 백운모의 Zeta-전위를 참조하여 보면 등전점에서 pH 8까지 급격히 Zeta-전위가 증가하다가 pH 8 이상의 알카리성 영역에서는 거의 일정한 값을 가진다. 즉 현탁액의 pH가 4 이상의 영역에서 Dodecyl ammonium 이온이 백운모 표면전위 결정이온으로서 작용하여 점점 음에서 양으로 하전되므로 산출율이 양호한 것으로 생각된다.

pH 4 정도에서 산출율이 현저하게 증가되고 있어 백운모 부선에 적정한 pH의 영역은 산출율이 높으면서 원하는 K_2O 품위가 높은 pH 3-4 정도로 하는 것이 적당하며 이것은 타 연구자가 보고한 값과 유사함을 알 수 있다.

이상의 결과, 백운모 부선에서 포수제로 D.A.Cl. 200g/t과 R-840 500g/t, 기포제로 Pine oil 200g/t을 병용하여 pH 3.5에서 부선함이 가장 효과적인 조건임을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 문등리산 백운모광 시료에는 유용광물인 백운모와 맥석광물인 황철석, 녹니석등이 수반되고 있으며, 그 평균 조성은 SiO_2 71.2%, Al_2O_3 18.1%, K_2O 5.20%, Fe_2O_3 0.63%로 되어있다.

2. 침강법에 의하면 산출율 20.4% 및 K_2O 10.72%(-48 mesh 입단)의 산물을 낼 수 있고, 쉐이킹 테이블에 의하면 산출율 23.2%, K_2O 10.15%(-65 mesh 입단)의 정광을 얻을 수 있다.

3. 침강법과 부유선광법을 병용하여 백운모를 처리할 경우 산출율이 높으면서 품위에는

큰 영향이 없는 침강시간과 부선시간은 5분이 적당하다.

4. 부유선광시 기포제로서는 MIBC보다 Pine oil이 효과적이고, 그 첨가량은 200g/t이 적당하며, 포수제는 D.A.Cl. 200g/t, Pine oil 200g/t 및 R-840을 병용하는 것이 효과적이고, 이 때 산출율 90%, K_2O 11.02%의 정광을 얻을 수 있다.

5. 광액의 pH가 높을수록 산출율도 증가하지만 K_2O 값은 pH4에서 급격히 감소함으로 pH 3.5정도에서 부선하는 것이 적당하다.

REFERENCE

1. Aplan, F.F. and Fuerstenaw, D.W., Froth flotation - 50th anniversary Volume. New york, AIME, 1962.
2. Chapman, G.P., Mica, Industrial minerals and rocks, 5th. ed., 1983 : 915~929.
3. Currie, J.M., Unit operations mineral processing, New york. CSM, 1978.
4. Dunne, R.C. and Duncan, R.B., Comparison of performance of various laboratory flotation cells. Trans. Instn. Min. Metall., 96, 1987 : 168~171.
5. Fahrenwald, A.W., Surface - energy and adsorption in flotation, Mining and Scientific Press, 13, 1921 : 227~235.
6. Feteois, S.M., Frew, J.A. and Jowett, A., Modelling the effect of froth depth in flotation, Int. J. of Miner. Process., 20, 1987.
7. Hartland, S. and Jeelani, SAK, Choice of model for predicting the dispersion height in liquid/liquid gravity seelers from batch settling data, Chem. Engg. Science, 42(8), 1987 : 1927~1938.
8. Hyung Sup Choi and Kook Nam Han, Electrokinetic property and flotation characteristics of scheelite, KIME, 7, 1963 : 17~24.
9. A.C.C., Mining Chemical handbook, New york, American cyanamid Co., 1986.
10. ASTM, Natural muscovite block mica thins based on visual quality, D351, New york, ASTM, 1971.
11. Roberts, T., Firth, B.A. and Nicol, S.K., A Modified laboratory cell for the flotation of coal, Int. J. Miner. Process., 9, 1982 : 191~200.
12. Sidorara, M.P., Fridrihsberg, D.A., Fine Particles processing vol., New york, AIME, 1980.
13. Toyalcin and Reilly, A.M., Method of automating semi - batch flotation, Trans. Instn. Min. Metall., 76, 1987 : 163~164.
14. 손병찬, 광물처리공학, 서울, 보진재, 1989.