

## 고령토 염산 침출 슬러리의 가압 여과

차미선 · 박균영<sup>†</sup> · 강태원

공주대학교 화학공학과  
(1998년 12월 19일 접수, 1999년 4월 12일 채택)

### Pressure Filtration of a Slurry from HCl Leaching of Clay

Mi Sun Cha, Kyun Young Park<sup>†</sup> and Tae Won Kang

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 182 Shinkwandong,  
Kongju, Chungnam 314-701, Korea

(Received 19 December 1998; accepted 12 April 1999)

#### 요 약

고령토의 염산침출 슬러리를 25-60 °C, 1-5 기압 범위에서 가압여과시켰다. 염산침출 전 고령토를 700 °C에서 1시간 하소시키는 경우와 하소하지 않고 직접 염산침출시키는 경우에 대한 여과속도를 비교하였다. 25 °C에서 여과시 고령토의 하소여부가 여과속도에 큰 영향을 주지 않았으나, 여과온도가 60 °C로 증가되면서 하소시킨 고령토의 경우 여과속도가 보다 높은 것으로 나타났다. 압력이 1에서 5 기압으로 증가되면서 케이크 저항은 하소했을 경우  $8.1 \times 10^{10}$ 에서  $9.3 \times 10^{10}$  (m/kg), 하소하지 않았을 경우  $1.11 \times 10^{12}$ 에서  $6.37 \times 10^{12}$  (m/kg)으로 증가하였다. 여과케이크의 함수율은 여과압력 1 기압에서 하소한 고령토의 경우 1.24 (g water/g dry solid), 하소하지 않은 고령토의 경우 1.12 (g water/g dry solid)이었다. 고령토의 하소 여부에 관계 없이 함수량 만큼의 세척수를 사용하여 3회 세척함으로써 케이크의 세공 사이에 남아 있는 알루미늄의 90-93 %를 회수할 수 있었다.

**Abstract** – Pressure filtrations of the slurry resulted from HCl leaching of a clay have been carried out at temperatures between 25 and 60 °C with the pressure varied from 1 to 5 atm. The filtration rates were compared between the clay calcined at 700 °C for one hour before HCl leaching and the clay without the calcination. At the filtration temperature of 25 °C, the calcination had little effect on the filtration rate. As the temperature was increased to 60 °C, however, the calcination gave a higher filtration rate. When the filtration pressure was increased from 1 to 5 atm, the cake resistance increased from  $8.1 \times 10^{10}$  to  $9.3 \times 10^{10}$  m/kg with the calcined clay and  $1.11 \times 10^{12}$  to  $6.37 \times 10^{12}$  m/kg with the uncalcined clay, respectively. Under a filtration pressure of 1 atm., the water content of the cake was 1.24 g water/g dry cake with the calcined clay and 1.12 g water/g dry cake with the uncalcined clay. Irrespective of whether the clay was calcined or not, 90 to 93% of the aluminum in the mother liquor trapped in the cake could be removed by washing the cake three times with a equal volume of water.

Key words: Pressure Filtration, Clay, Calcination, HCl Leaching

#### 1. 서 론

도자기, 내화물 등의 원료로 사용되고 있는 고령토에는 실리카 40-45 wt%, 알루미나 35-40 wt%, 철산화물 1-3 wt%, 기타 칼슘, 마그네슘, 나트륨 산화물들이 소량 포함되어 있다. 그동안 고령토에 포함되어 있는 알루미늄을 제련용 알루미나[1, 2], 화인세라믹스용 알루미나[3], 수 처리 응집제인 PAC[4]로 회수하는 연구가 수행된 바 있다. 또한, Park 등[5]은 고령토로부터 알루미나 추출 후 남은 실리카 잔사를 가성소다와 반응시켜 물유리를 제조할 수 있다고 보고하였다.

위의 고령토로부터 알루미나, 실리카 회수 공정을 살펴보면 고령토를 염산으로 침출한 후 슬러리를 여과하는 단계를 공통적으로 포함하고 있다. 미국 고령토의 경우에는 염산 침출 전 고령토를 700 °C에

서 1시간 정도 하소(calcination)시켜야 하며, 그렇지 않을 경우 알루미늄 추출률이 10% 미만으로 매우 낮은 것으로 보고되었다[6]. 국내 산청, 하동 고령토의 경우 하소하지 않더라도 알루미늄 추출률이 75%에 달하는 것으로 나타났다[7]. 산청, 하동 고령토를 하소시키면, 추출률은 90%로 향상되나, 하소에 따른 추가비용 때문에 하소여부 결정을 어렵게 하고 있다.

고령토 염산 침출 슬러리의 여과에 관한 지금까지의 연구실적을 살펴보면 다음과 같다. Hunter 등[8]은 하소한 미국 고령토의 염산침출 슬러리를 벨트여과기로 감압여과시킨 바 있으며, 감압에 따라 수용액으로부터 미반응 염산이 증발하는 문제점이 있음을 보고하였다. 조 등[9]은 하소하지 않은 산청, 하동 고령토의 염산침출 슬러리를 25, 75 °C의 두 온도에서 1-2 기압으로 가압여과시킨 바 있다.

본 연구에서는 산청, 하동 고령토를 대상으로하여 염산침출 전 고령토 하소여부가 여과에 미치는 영향을 조사하였다. 여과온도는 25-

<sup>†</sup>E-mail : kypark@knu.kongju.ac.kr

60 °C, 압력은 1-5 기압 범위에서 수행하였다. 가압여과라는 점에서 조 등의 연구와 유사하나, 압력을 5 기압까지 확대시킨 점과 염산침출 전 고령토의 하소 여부가 여과특성에 미치는 영향을 조사한 점에서 다르다. 고령토 하소 여부가 여과에 미치는 영향은 염산침출시 알루미늄 추출률에 미치는 영향과 함께 고령토 하소 여부를 결정 짓는데 유용한 자료가 될 것으로 생각된다.

## 2. 여과모델

본 연구의 실험결과 해석에 사용될 여과모델은 Darcy 이론에 근거한 것으로서 다음과 같이 표시된다[10].

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta P A}{\alpha \mu c (v/A) + \mu R_m} \quad (1)$$

여기서 좌변의  $dv/dt$ 는 여과 속도이고, 우변의  $\alpha$ 는 케이크 비저항이고,  $R_m$ 은 매질의 저항값이다.  $\mu$ 는 여액의 점도,  $c$ 는 슬러리의 농도이고,  $A$ 는 여과 단면적,  $\Delta P$ 는 압력차이다.

$\Delta P$ 가 일정할 경우, 식 (1)을 적분하면,

$$\frac{t - t_s}{v - v_s} = \frac{\alpha \mu c}{2A^2 \Delta P} (v + v_s) + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} \quad (2)$$

$t$ 는 여과시작 후 경과시간이고,  $v$ 는 시간  $t$ 까지 여과된 액체(여액)의 부피,  $t_s$ 는 가압후 정압상태에 도달할 때까지의 시간이며,  $v_s$ 는  $t_s$  동안 빠져 나온 여액의 부피이다. 식 (2)는  $\alpha$ ,  $R_m$ 이 시간에 관계 없이 일정하다는 가정을 포함하고 있다.

## 3. 실험

실험에 사용된 고령토는 산청, 하동 지역에서 채집되었으며 그 화학적 조성은 Table 1과 같다. 고령토의 주성분은  $Al_2O_3$ (36.4 wt%),  $SiO_2$ (44.6 wt%)이며, 그 밖에 산화칼슘, 산화철, 산화마그네슘 등이 소량 포함되어 있다. 사용된 고령토는 325 mesh 체를 통과시킨 것으로서, Andreasen pipette으로 측정된 질량 중위값(median)은  $16.8 \mu m$ 이다. 고령토 하소시, 온도는 700 °C, 시간은 1시간으로 맞추었다. 700 °C까지의 가열속도는 10 °C/min, 하소 후 냉각은 가열로의 전원을 끄고 자연냉각시켰다. 하소하지 않은 고령토 250 g과 26 wt% 염산 786 g을 가열맨틀에 의해 둘러 쌓인 1 l 삼구플라스크에 넣고 온도 105 °C, 교반속도 350 rpm으로 1시간 동안 침출시켜 여과에 사용될 슬러리를 제조하였다. 하소한 고령토를 사용하는 경우에는 고령토 250 g에 대해서 26 wt% 염산의 양을 928 g으로 증가시켰다. 그 이유는 고령토를 하소할 경우 화학적 결합수의 이탈에 의해 16%의 무게감소가 생기고, 이에 따라  $Al_2O_3$ 의 함량이 늘어나(36.4 wt%에서 43.3 wt%로 증가) 알루미늄 추출에 필요한 염산의 이론적인 양이 많아지기 때문이다. Table 2는 염산침출 후 슬러리의 액상 조성을 나타낸다. 서론에서 밝힌 바와 같이 하소에 의해 알루미늄이 더 많이 추출되었음을 알 수 있다(액상의 알루미늄 성분을 보면 하소했을 경우 4.83 wt%,

하소하지 않았을 경우 4.47 wt%). 염산침출에 투입된 고령토 중 용해하지 않고 남은 잔사는 하소하지 않은 경우 167 g, 하소한 경우 157 g이었다. 이것을 슬러리 내 중량 %로 표시하면 각각 162 wt%, 13.3 wt%이다.

실험에 사용된 여과기의 안직경은 7.2 cm, 높이는 10 cm이며, 본체의 재질은 스테인레스스틸이고, 여과기 내벽은 염산에 의한 부식을 방지하기 위해 테프론으로 코팅되어 있다. 여과포(대한 엔지니어링)는 직경 10  $\mu m$ 의 폴리프로필렌 섬유로 짜여져 있다. 여과온도는 여과기 외벽을 둘러싼 가열테이프에 의해 60 °C까지 조절되었으며, 여과압력은 압축공기에 의해 1-5 기압 범위에서 조절되었다. 미리 정해진 온도로 맞추어진 슬러리 200 ml를 이미 그 온도로 가열된 여과기에 투입한 후 압축공기를 이용하여 원하는 압력으로 가압한다. 정해진 압력에 도달할 때까지 빠져 나온 여액의 부피와 시간을 기록하고, 정압 상태에 도달한 이후부터 시간에 따른 여액의 부피를 측정하였다. 여과가 완료된 후 케이크함수량(미리 측정해서 알아 놓았음)만큼의 증류수를 사용하여 케이크를 세척하였으며 이것을 3회 반복하였다. 3회의 세척수 내 알루미늄 양을 각각 ICP(Model: ICPS-1000III, Shimadzu, Japan)로 정량하여 세척효과를 측정하였다. 세척실험 후 여과기로부터 케이크를 꺼내어 두께를 측정하고, 150 °C에서 48시간 동안 건조시켜 함수율을 결정하였다. 여액의 점도는 항온조 내에 설치된 모세관 점도계를 사용하여 측정하였다.

## 4. 실험결과 및 토의

### 4-1. 하소가 여과속도에 미치는 영향

Fig. 1은 고령토를 하소했을 경우와 하소하지 않았을 경우 상온에서 압력에 따른 여과속도의 변화를 보여주고 있다. 두 경우 모두 압력이 증가하면 여과속도가 증가하는데 이것은 당연한 현상이며, 케이크 질량이 증가하면서 케이크 저항이 증가되어 여과속도가 감소되고 있다. 외견상으로 하소의 영향은 별로 없는 것으로 보이나, 고령토를 하소시켰을 경우 여액의 점도가 8.0 cP로서, 하소하지 않았을 때의 2.5 cP에 비해 상대적으로 매우 높은 것을 감안하면 하소했을 경우 케이크 저항이 훨씬 낮음을 의미한다. 하소했을 경우 여액의 점도가 증가하는 이유는 하소에 의해 알루미늄, 실리콘을 결합하는 화학결합수의 이탈에 의해 실리콘의 활성이 증가하여 염산침출시 고령토 내 실리카의 용해도가 증가하고, 용해된 실리카의 중합에 의해 액의 점성이 증가하였기 때문으로 생각된다. 여과온도가 60 °C로 증가하면 하소했을 경우와 하소하지 않았을 경우의 점도 차이가 줄어들며, 이에 따라 Fig. 2에서 보는 바와 같이 하소했을 경우의 여과속도가 훨씬 높았다. 하소에 의해 케이크 저항이 감소하는 이유의 하나로서 고령토 하소시 700 °C의 열효과에 의해 미세입자의 부분소결과 화학결합수 이탈

Table 1. Chemical composition of clay (Unit: wt%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>
44.64	36.44	2.48	1.46	0.58	0.48	0.64	0.04	0.26

Table 2. Chemical composition of filtrate (Unit: wt%)

	Al	Ca	Mg	Fe	Si
Calcined	4.83	0.12	0.078	0.43	0.0006
Uncalcined	4.47	0.17	0.081	0.43	0.001

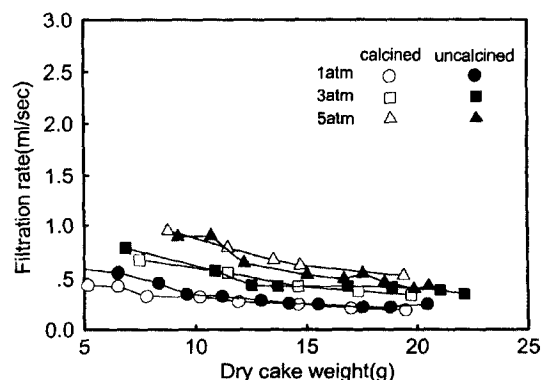


Fig. 1. Filtration rate vs. dry cake weight at 25 °C.

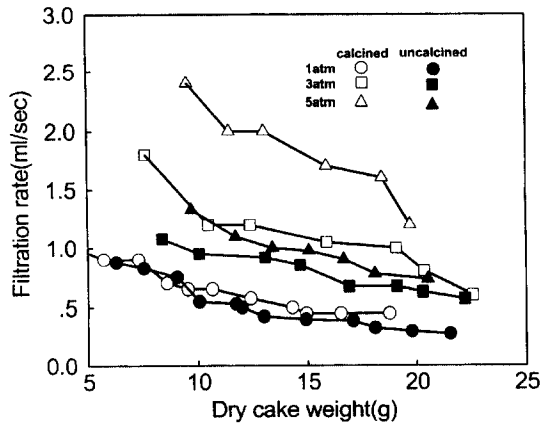


Fig. 2. Filtration rate vs. dry cake weight at 60 °C.

에 의한 구조의 치밀화(기둥이 없으면 천장과 바닥이 닿는 것과 유사한 원리)가 복합적으로 작용하여 입자가 단단해져 이후 염산침출시 교반에 의해 입자의 부스러짐이 감소하지 않았나 생각된다. 이러한 생각을 뒷받침하기 위해 하소한 고령토와 하소하지 않은 고령토의 염산침출 슬러리에 대한 자연침강속도를 비교하였다. 침강이 시작된 후 슬러리는 먼저 2층으로 분리된다. 아래 층은 비교적 굵은 입자이며, 윗 층은 미세한 입자의 현탁액이다. 시간이 더 경과하면 윗 층의 상부에 맑은 액이 나타나 3층으로 구분된다. 그 결과는 Fig. 3에 보여주는 바와 같이 하소한 고령토의 염산침출 슬러리의 침강속도가 더 빠른 것으로 나타났다. 침강이 완료된 후 침전층의 높이를 보면 하소한 고령토가 하소하지 않은 고령토에 비해 낮은 것을 볼 수 있는데, 이것 또한 하소에 의한 구조의 치밀화를 뒷받침하는 증거라고 할 수 있다. 실험에 사용된 고령토 내에 존재하는 소량의 유기물(0.03 wt%; Astro 2001 TOC 분석기로 측정) 또한 여과속도에 어느 정도 영향을 주었을 것으로 생각된다. 고령토 입자표면에 존재하는 고분자 형태의 유기물은 입자와 입자의 간격이 좁아지는 것을 막아 침전층의 높이가 높아지게 하고, 입자 사이에 채놓은 그물망의 역할을 하여 여기에 더

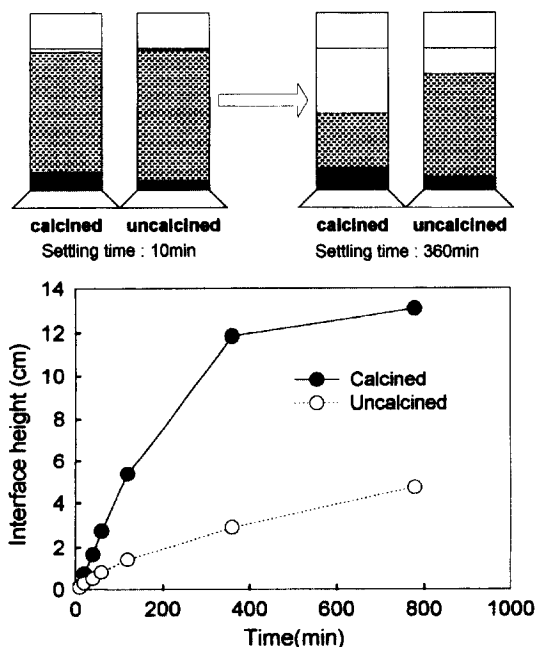


Fig. 3. Sedimentation of the slurry with time.

세한 입자들이 부착되어 액체가 흐르는 유로가 좁아지고 결과적으로 저항이 커져 여과속도가 낮아지는 결과를 초래할 수 있다고 생각한다. 고령토를 하소할 경우 이러한 유기물이 분해되므로 케이크 비저항이 감소하며 여과속도가 증가한다. 그러나, 유기물의 함량이 그렇게 많지 않기 때문에 유기물이 여과속도에 큰 영향을 주었다고 단정하기는 어렵지 않나 생각된다.

#### 4.2. 케이크 및 여과포 저항

식 (2)에 의하여  $t-t_s/v-v_s$  대  $(v+v_s)$ 를 도시하면 직선이 되고, 직선의 기울기로부터 케이크 저항, 절편으로부터 여과포 저항을 각각 구할 수 있다. 여과온도 60 °C에서 여과압력을 1, 3, 5 기압으로 증가시켰을 때  $t-t_s/v-v_s$  대  $(v+v_s)$ 를 도시한 결과 Fig. 4와 5를 얻었다. Fig. 4는 하소하지 않은 고령토에 대한 것이고, Fig. 5는 하소한 고령토에 대한 것이다. 실험데이터가 모두 직선 상에 위치하는 것으로 보아 상기의 여과모델이 적합함을 알 수 있었다. 압력이 1에서 5 기압으로 증가되면서 케이크 비저항은 하소했을 경우  $8.1 \times 10^{10}$ 에서  $9.3 \times 10^{10}$  (m/kg), 하소하지 않았을 경우  $1.11 \times 10^{12}$ 에서  $6.37 \times 10^{12}$  (m/kg)으로 증가하였다. 케이크 저항은 하소한 경우 더 작게 나타났는데 이것은 이미 언급한 바와 같이 하소에 따른 고령토 입자의 형상변화에 기인한다. 두 경우 모두 압력이 증가하면 케이크 비저항이 증가하며, 이것으로부터 케이크가 압축성임을 알 수 있다. 조 등[9]의 여과실험 결과를 살펴보면, 여과압력 1 기압에서 하소하지 않은 고령토 사용시 케이크 비저항이  $1.5 \times 10^{10}$  m/kg으로서 본 실험결과의  $1.11 \times 10^{12}$  m/kg보다 낮은 것으로 보고되었다. 조 등이 사용한 고령토는 14 메쉬 이하였는데 비해 본 실험에서 사용된 고령토는 325 메쉬 이하로서 입자가

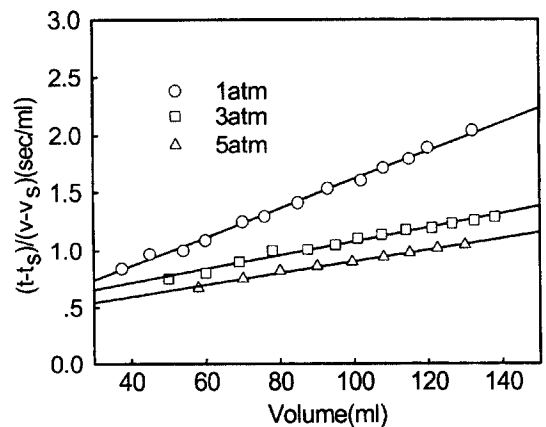


Fig. 4. Plot of  $t/v$  vs.  $V$  for various pressures for uncalcined clay at 60 °C.

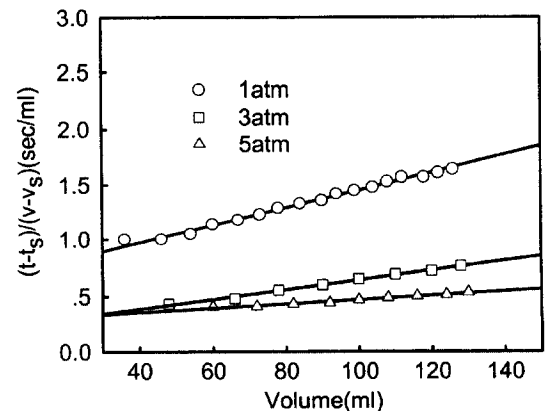


Fig. 5. Plot of  $t/v$  vs.  $V$  for various pressures for calcined clay at 60 °C.

Table 3. Cake thickness and water content with pressure at 25 °C

Pressure(atm)		1	3	5
Cake thickness(cm)	calcined	1.15	1.11	1.05
	uncalcined	1.51	1.40	1.32
Water content(g water/g dry solid)	calcined	1.24	1.04	0.93
	uncalcined	1.12	1.10	0.95

더 작아 저항이 커졌다고 생각할 수 있다.

Table 3은 25 °C에서 여과시 여과압력에 따른 케이크 두께와 함수율을 나타내고 있다. 여과압력에 따른 케이크 두께변화를 살펴보면 하소한 고령토의 경우 1 기압에서 1.15 cm, 5 기압에서 1.05 cm로, 하소하지 않은 고령토의 경우에는 1.51 cm에서 1.32 cm로 각각 줄어들었다. 이것은 케이크가 압축성임을 나타내는 것이다. 하소한 경우 케이크 두께가 더 작은 이유는 이미 서두에서 기술한 바와 같이 하소한 고령토의 알루미늄 추출률이 높아 잔존하는 케이크의 양이 감소하기 때문이다. 함수율은 여과압력 1 기압에서 하소한 고령토의 경우 1.24(g water/g dry solid), 하소하지 않은 고령토의 경우 1.12(g water/g dry solid)이었다. 하소한 고령토의 경우 함수율이 더 높은 이유는 알루미늄 추출률이 높아 그 만큼 입자 내 세공이 많다는 것을 의미한다. 여과압력이 5 기압으로 증가하면 함수율이 0.95(g water/g dry solid) 정도로 거의 비슷해지는데 이것은 하소한 경우 압축에 의해 세공이 보다 많이 무너지는 것을 의미한다. 여과포의 저항도 케이크 저항과 마찬가지로 압력이 1에서 5 기압으로 증가함에 따라(여과온도 60 °C), 하소한 경우  $1.27 \times 10^{11}$ - $2.79 \times 10^{11}$ (1/m), 하소하지 않은 경우  $2.16 \times 10^{11}$ - $6.37 \times 10^{11}$ (1/m)으로 증가하였다. 압력이 증가하면서 여과포 저항이 증가하는 것은 미세한 입자들이 여과포로 밀려 들어가 섬유 사이에 끼게 되기 때문으로 생각된다. 하소한 경우 여과포 저항이 약간 작게 나타났는데, 그 이유 중의 하나는 아마도 하소에 의해 미세입자의 소결이 일어남으로써 고령토 입자들이 더 단단해져 염산침출시 교환에 의해 입자가 부스러지는 정도가 줄어들었기 때문이 아닌가 생각된다.

### 4.3. 케이크 세척

Fig. 6은 하소하지 않은 고령토로부터 얻어진 케이크를 함수량만큼의 세척수로 세척시 세척횟수와 세척정도( $x/x_o$ )의 관계를 나타낸 것이다. 여기서  $x$ 는 세척후 케이크 내에 남아 있는 알루미늄의 양이고,  $x_o$ 는 세척전 케이크 내 알루미늄의 양이다. 세척 수 주입 후 여과 압력을 1 기압, 3 기압으로 변화시켜 보았으나 세척효과에 큰 변화가 없었

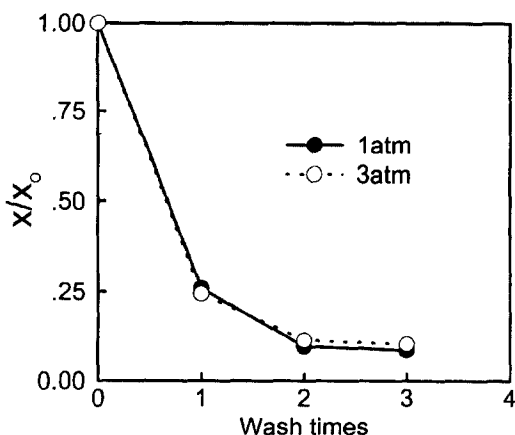


Fig. 6. Plot of  $X/X_o$  vs. wash times.

( $X$ =mass of aluminum in the cake after washing)

( $X_o$ =mass of aluminum in the cake before washing)

다. 3회 세척에 의해 케이크 내 알루미늄의 양의 90-93%를 회수할 수 있었다. 하소한 고령토의 경우에도 비슷한 세척효과를 나타내었다.

## 5. 결 론

고령토를 염산으로 침출하기 전 하소시킨 경우와 하소시키지 않은 경우에 대하여 여과압력 1-5 기압, 여과온도 25-60 °C 범위에서 염산침출 슬러리의 여과특성을 실험적으로 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 여과온도 25 °C에서는 고령토 하소 여부에 관계없이 여과속도가 비슷하게 나타났다. 여과온도가 60 °C로 증가하면서 하소시킨 경우의 여과속도가 높아지는 것으로 나타났다. 25 °C에서 여액의 점도는 하소한 고령토를 사용한 경우 8.0 cP, 하소하지 않은 고령토를 사용한 경우 2.5 cP로서 하소한 고령토를 사용한 경우가 훨씬 높다. 그러나, 온도가 증가할수록 점도의 차이가 줄어들어 하소한 고령토의 경우 여과속도가 상대적으로 높아지는 결과를 가져왔다.

(2) 여과압력 1-5 기압의 범위에서 하소한 고령토를 사용한 경우와 하소하지 않은 고령토를 사용한 경우 케이크의 비저항과 여과포 저항을 구하였다. 압력이 1에서 5 기압으로 증가되면서 케이크 비저항은 하소했을 경우  $8.1 \times 10^{10}$ 에서  $9.3 \times 10^{10}$ (m/kg), 하소하지 않았을 경우  $1.11 \times 10^{12}$ 에서  $6.37 \times 10^{12}$ (m/kg)으로 증가하였다. 하소했을 경우 케이크의 비저항이 낮게 나타난 것은, 열처리에 의한 입자의 부분적 소결 및 치밀화 그리고 여과를 어렵게 하는 유기물이 분해되어 제거되었기 때문으로 생각된다. 여과포의 저항도 케이크 저항과 마찬가지로 압력이 1에서 5 기압으로 증가함에 따라, 하소한 경우  $1.27 \times 10^{11}$ 에서  $2.79 \times 10^{11}$ (1/m), 하소하지 않은 경우  $2.16 \times 10^{11}$ 에서  $6.37 \times 10^{11}$ (1/m)으로 증가하였다.

(3) 여과압력에 따른 케이크 두께변화를 살펴보면 하소한 고령토의 경우 1 기압에서 1.15 cm, 5 기압에서 1.05 cm로, 하소하지 않은 고령토의 경우에는 1.51 cm에서 1.32 cm로 각각 줄어들었다. 이것은 케이크가 압축성임을 나타내는 것이다. 함수율은 여과압력 1 기압에서 하소한 고령토의 경우 1.24 g water/g dry solid, 하소하지 않은 고령토의 경우 1.12 g water/g dry solid이었다. 하소한 고령토의 경우 함수율이 더 높은 이유는 알루미늄 추출률이 높아 그 만큼 입자 내 세공이 많다는 것을 의미한다. 여과압력이 5 기압으로 증가하면 함수율이 0.95 g water/g dry solid 정도로 거의 비슷해지는데 이것은 하소한 경우 압축에 의해 세공이 보다 많이 무너지는 것을 의미한다.

(4) 고령토의 하소 여부에 관계 없이 함수량 만큼의 세척수를 사용하여 3회 세척함으로써 케이크의 세공 사이에 남아 있는 알루미늄의 90-93%를 회수할 수 있었다.

## 감 사

본 연구는 산업자원부 에너지기술개발사업 수행결과의 일부입니다.

## 참고문헌

1. Eisele, J. A., Bauer, D. J. and Shanks, D. E.: *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, **22**, 105(1983).
2. Marchessaux, P., Plass, L. and Reh, L.: *Light Metals*, 189(1979).
3. Park, K. Y. and Jeong, J.: *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35**, 4379(1996).
4. Park, K. Y., Lee, K. and Kim, J.: *HWAHAK KONGHAK*, **32**, 742 (1994).
5. Park, K. Y., Kim, J., Jeong, J. and Choi, Y. Y.: *Ind. Eng. Chem. Res.*,

- 36, 2646(1997).
6. Gajam, S. Y. and Raghavan, S.: *Trans. Instn. Min. Metall.*(Sect. C: Mineral Process. Extr. Metall.), **94**, C115(1985).
7. Park, K. Y., Jeong, J., Choi, Y. Y., Kang, T. and Lee, H. I.: "Development of a High-Purity Aluminum Oxide Production Process(IV)." KIGAM Research Report, KR-91-3C-3, Taejon(1992).
8. Hunter, D. B., Sawyer, Jr., D. S. and Turner, T. L.: "Alumina Mini-plant Operations-Influence of Reactor Design on the Attrition of Calcined Kaolin During HCl Leaching," Bureau of Mines RI 8877, U.S.A.(1984).
9. Cho, J. and Lee, Y.: "Development of High-Purity Alumina," KIGAM Research Report, Taejon(1993).
10. Ladislav, S.: "Solid-Liquid Separation," 3rd ed., Butterworth-Heinemann. Ltd., Cambridge(1990).