

# 입상 전로슬래그의 입도 차이에 따른 인공폐수의 인산염 제거에 관한 연구

이상호<sup>1\*</sup>, 이인구<sup>2</sup>

## Phosphate Removal in the Wastewater by the different Size of Granular Converter Slag

Sang-Ho Lee<sup>1\*</sup> and In-Gu Lee<sup>2</sup>

**요약** 최근 부영양화를 야기시키는 물질인  $PO_4^{3-}$  이온을 제거하기 위해 고형반응물을 이용하는 것이 주목을 받고 있다. 철광석의 정련 과정에서 생기는 슬래그는 용해된 무기 인산염을 폐수로부터 유리시켜 흡착제거하는 것에 대한 근본적인 연구가 이루어져 왔다. 본 연구는 물 속의 인산염을 제거하기 위해 전로슬래그를 이용하였을 때 오랜 시간 동안 hydroxyapatite 형태로 변화시켜 제거하고 인산염 제거를 향상시키기 위한 가능성을 찾기 위하여 여러 가지 조건을 변화시켜서 수행하였다. 본 연구 결과 전로슬래그를 이용한 등온흡착식을 적용했을 때 Freundlich 식을 적용할 수 있었으며, 인을 제거하는데 사용된 전로 슬래그의 크기는 2~0.425 mm가 가장 적당한 것으로 나타났다. 특히, 연속 반응탑을 이용할 경우, 유입수 농도가 1 mg/L일 때 80%까지 제거되는 것으로 나타났다.

**Abstract** Recent publications have paid attention on the utilization of solid reagents for the removal of substances causing eutrophication, in particular  $PO_4^{3-}$  ions. The adsorption of dissolved inorganic phosphate on slag produced by the refining process of iron ore was fundamentally studied for suppressing the liberation of phosphate from wastewater. This study has been conducted in order to find a possibility to improve the phosphate removal and to evaluate the phosphate removal variation to form hydroxyapatite, when the converter slag is used for phosphate removal. The result shows that the converter slag can be applied to remove phosphate using Freundlich isotherm. The size of converter slag, 2~0.425 mm was more efficient than 2~4.75 mm to remove phosphate. In particular, 1 mg/L of phosphate can be removed up to 80% of the initial concentration for the continuous column experiment.

**Key Words** : converter slag size, eutrophication, phosphate removal, adsorption

### 1. 서론

생활수준이 향상됨에 따라 각종 생활하수, 산업폐수 및 축산폐수로 수질 환경에 급격한 악영향을 가져왔다. 특히 수질오염에 있어서 호소 등의 정체수역에서 조류가 급격하게 번식하는 부영양화 현상이 급격히 초래되고 있다. 조류의 성장에 필요한 주된 영양분 중 인이 제한인자로서의 효과가 질소보다 크다고 OECD는 보고하고 있다 [1].

수중의 인의 농도가  $10\mu\text{g/L}$ 이상의 매우 적은 양으로도 조류를 증식시킬 수 있기 때문에 유입량과 경로가 많은 질소보다는 인을 제거하는 것이 부영양화를 방지하는데 훨씬 용이하다고 알려져 있다[2]. 그러나 인산이온의 농도가  $1\text{mg/L}$  이상 일 때 조류는 급성장하게 된다고 보고하고 있다[3].

인을 제거하는 일반적인 방법으로는 생물학적 처리법, 화학적 응집처리법, 흡착 이온 교환법, 정석 탈인법 등 여러 가지 처리방법이 소개되고 있다[4]. 현재 우리나라 거의 모든 하수 처리장에서 설계 운영되고 있는 표준활성슬러지법의 2차처리 공정으로는 인이 10~30%정도만 제거된다[3].

<sup>1</sup>상명대학교 환경공학과

<sup>2</sup>금강엔지니어링(주)

\*교신저자 : 이상호(leesh@smu.ac.kr)

생물학적 처리법은 인 축적세균을 반응조 내에 증식시켜 인 제거율을 높이는 방법으로 응집제 등의 약품도 불필요하며, 인 제거에 따른 슬러지 발생 역시 적다. 그러나 인 방출 공정에서 충분한 처리를 위해서 유기물질이 필요하며, pH 및 환경에 대해 민감하여 처리가 어렵다는 단점이 있다[5].

흡착 이온 교환법은 인 흡착탑 내에 충전한 인 흡착제에 의해 인이 흡착 제거되기 때문에 유지 관리에 있어서 정기적인 인 흡착제의 재생 또는 교환이 필요하므로, 앞으로 흡착제의 가격저하와 간편한 재생 이용시스템의 기술개발이 요구된다.

또한 인 제거 방법 중 하나인 정석탈인법은 수중의 인을 Hydroxyapatite로 대표되는 난용성 인산칼슘 결정으로 정석표면에 석출시키는 것이다[1]. 일반적으로 정석반응에서 과포화도가 비교적 작은 경우 정석으로 사용하는 것은 석출되는 결정과 동일하거나 또는 매우 비슷한 결정 구조를 가지고 있는 것을 사용하는 것이 보다 효과적이다. 한편 조작 과포화도가 큰 경우에는 비교적 광범위한 물질을 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 정석탈인법에 사용하는 탈 인제로서 대표적인 것으로 인광석이 널리 알려져 있다.

오늘날 인 제거 기술은 더욱 중요시되고 있으며 국내에서는 제철소의 산업폐기물로 다량 발생되고 있는 전로슬래그를 이용하여 인 제거에 사용되는 연구를 보고한 바가 있다[5]. 본 연구에서 사용하게 된 전로슬래그의 경우는 국내 및 일본에서의 연구로 정석 탈인법의 정석재로서의 효과는 이미 밝혀진바 있다. 현재 국내의 P제철소와 K제철소에서 발생량의 55%를 매립폐기하고 있는 실정이기 때문에[6] 실용적인 인 제거 효과가 입증되면 경제적인 면에서 그 이용가치가 매우 높을 것으로 사료되며 폐기물의 재활용 측면에서 효율적이고 경제적인 흡착제의 개발이 요구될 때 슬래그 Core를 이용하는 방법은 상당히 용이할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 전로슬래그를 정석탈인법을 모체로 한 실험을 통해 폐기물의 재활용을 도모함은 물론 수중의 인산염을 제거하는 최적의 처리 조건을 도출하여 하폐수처리에 기초 자료를 활용하고자 한다.

## 1.1 슬래그를 이용한 인제거

### 1.1.1 제철슬래그의 발생, 종류 및 특성

철강산업은 대량의 원료와 에너지를 소비하는 한편 그 제조공정 역시 복잡하여 발생하는 폐기물의 종류가 다양하고 이러한 폐기물은 철, 탄소, 및 석회석 등이 재활용이 가능한 유효자원을 다량 함유하고 있어 이들을 그대로 매

립해 버리는 것은 자원 및 에너지를 낭비하는 것과 동시에 환경오염을 초래할 수 있기 때문에 발생량을 가능한 줄이고 발생된 것은 재활용하는 것이 중요하다. 제철의 경우 석회석을 철광석과 같이 투입하는 것은 로(爐)속에서 생기는 산화칼슘이 철광석 속에 있는 필요 없는 물질인 실리카(이산화규소  $SiO_2$ )와 결합하여 녹는점이 낮고 녹은 선철 보다 비중이 낮은 혼합물이 되게 하려는 것이기 때문인데, 용광로에서 유출되면 이 혼합물에 녹는 것이 선철 위에 층을 형성하여 흐르게 된다. 이와 같은 혼합물이 슬래그이다.

철광석에서 선철을 분리하기 위해 고로상부로 철광석, 코크스, 석회석등의 원료를 주입하고 노체 하부에서 열풍을 통과한 공기를 불어넣으면 코크스를 태우면서 발생하는 고온의 CO가스에 의해서 철광석을 환원시키고 발열반응에 의해 철광석이 용해된다. 철광석 및 코크스 중의 불순물은 석회석과 결합되어 용점이 낮고 유동성이 높은 슬래그를 형성하여 선철 상부에 뜨게 되며 1,450~1,500°C의 고온 용융상태로 고로에서 배출되어 굳은 것이 고로슬래그이다. 고로에서 분리된 선철은 Fe이외의 C, Si, Mn, P, S 등의 불순물을 4~5% 함유하고 있어 강성을 띠고 있으므로 이들 불순물을 제거하여 연성이 있는 강을 제조하는 제강공정이 필요하다. 이들을 제거하기 위하여 석회를 혼합하게 되는데 석회는 이들 불순물과 결합하여 제강슬래그로 되어 배출되며 제강슬래그의 대부분은 전로슬래그가 차지한다.

### 1.1.2 인 제거

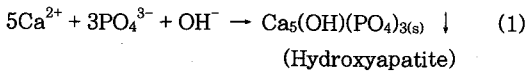
#### 1) 정석탈인법

정석탈인법은 물리·화학적 처리방법으로 액체에서 고체를 석출시키는 단위조작을 응용하여 하폐수내의 인 제거를 시도한 방법으로 인의 농도가 10mg/L에서 1mg/L 이하까지 적용이 가능하며, 큰 폭의 pH 변화가 아닌 이상은 환경변화에 민감하지 않다. 또한, 여기서 생성되는 반응 생성물을 탈인제의 표면을 피복하여 성장하게 되므로 슬러지의 발생은 없으며, 다른 유기물에 의하여 표면이 피복하여 인 제거 성능이 저하될 경우에는 350~600°C에서 소성처리하면 탈인제로써 재활용이 가능하다[7]. 주로 이용되는 탈인제로는 인광석을 들 수 있으나, 국내에서 사용되고 있는 인광석은 전량 수입에 의존하고 있으므로, 이를 대체할 수 있는 탈인제의 개발이 필요하다. 한편, 제철 폐기물로 발생하는 고로 슬래그는 콘크리트 또는 골재로 도로포장 등에 주로 활용되고 있는데, 그 화학적 구성 성분 중 인산염과 결합하여 불용성 침전물을 생성하기 쉬운  $Ca^{2+}$ 를 다량 함유하고 있어서 탈인제로서의 활용 가능성이 높은 것으로 알려지고 있다. 이때  $Ca^{2+}$ 와 결합되

는  $PO_4^{3-}$  결정체를 Apatite라 한다. 정석탈인법은 2차 처리수에 소석회( $Ca(OH)_2$ )등을 첨가하여 Apatite의 용해도 가까이 있는 준안정구역으로 조절한 후, 종결정에 접촉시켜 종결정의 표면에 Apatite를 석출시켜 인을 제거한다.

2) 응집침전법에 의한 인제거

전로슬래그가 정석탈인법의 정석재로 가장 적합한 것으로 평가한 바 있으나 전로슬래그로부터 용출되는 pH 및  $Ca^{2+}$ 성분으로 인해 고 pH 영역에서는 정석반응이 아닌 인과의 응집침전반응이 일어날 수 있다. 따라서, 전로슬래그 분말주입을 이용한 고농도 인폐수 처리공정의 개발에 있어서 pH 반응조 운전조건으로 설계하는 경우에는 전로슬래그 분말을 일종의 특수 응집제로 취급할 수 있다. 즉 분말 전로 슬래그를 고 pH 운전시의 응집제로 사용하는 경우 용출되는  $Ca^{2+}$ 성분에 의한 인제거 반응이 일어날 것이 예상된다고 하였다[5]. 석회의 첨가에 의한 응집침전법의 경우 식은 다음과 같다[8].



이때 분말 전로 슬래그 투입량은 하수중의 인농도보다 주로 알칼리도에 의해 결정되기 때문에  $CaCO_3$ 로 환산된 알칼리도의 1.4~1.5배에 해당하는  $Ca^{2+}$ 가 첨가되어야 하며, 수중의 pH가 증가할수록 생성되는 Hydroxyapatite의 용해도가 감소하기 때문에 pH를 9.5이상으로 증가시켜야 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

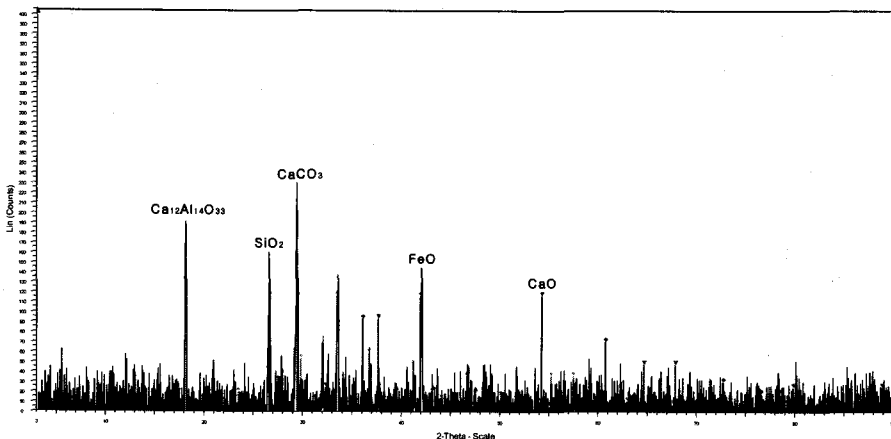
### 2.1 실험재료

실험에 사용된 전로슬래그는 K 제철소나 P 제철소에서 부산물로 생산되며 국내에서 산업폐기물로 다량 발생되고 있어 시멘트의 원료나 복토재로서 경제적으로 용이하게 이용되고 있고 Momberg의 연구[9]에서는 전로슬래그를 정석탈인제로 사용하였다. P제철소의 전로슬래그는 국내 폐기물 용출시험법에 의한 용출실험결과, 모든 중금속 항목에서 기준치 이하로 검출되어 일반폐기물로 분류된다고 보고되었고[6], 본 연구에서도 실험 중 발생이 예상되는 유해중금속 중 Pb, Cr, Cd의 용출 결과를 대부분의 시료에서 발생되지 않았으며 수질환경기준법 이하로 나타났다. 본 연구에서 사용된 전로슬래그는 국내의 P 제철소에서 생산되고 있으며 인제거 공정의 타공법과 비교하여 경제적인 측면에서 유리하여 선정하였으며 성분비를 [표 1]에 나타내었다.

[표 1] 전로 슬래그의 구성 성분

| CaO  | SiO <sub>2</sub> | FeCl <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | SO <sub>3</sub> | Ig.loss | Remark       |
|------|------------------|-------------------|--------------------------------|-----|-----------------|---------|--------------|
| 42.9 | 10.9             | 20.7              | 1.5                            | 7.2 | 0.1             | —       | before Aging |

본 실험에서 사용된 전로슬래그의 XRD분석결과는 <표 1>의 인용문헌[10]에서의 성분과 유사한 결과를 [그림 1]에 나타내었으며 탄산칼슘( $CaCO_3$ )등의 성분도 검출되었다. XRD동작의 원리는 특정 X-선( $Cu-K\alpha$  선)을 시료에 조사시켜 회절된 회절 양상을 이용하여 결정질, 비결정질 재료의 상분석, 결정의 배향성들의 물질에 대한



[그림 1] 전로 슬래그의 X-ray 회절기 분석 결과

구조 해석을 고유의 2θ 값으로부터 얻는다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 인공폐수 제조 및 등온흡착실험

본 연구에서는  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 를 이용하여 인산염( $\text{PO}_4^{3-}$ )의 농도를 탈염수와 혼합하여 조절하고 온도는  $25^\circ\text{C}$ 를 일정하게 유지하였으며, 등온흡착 실험에 사용한 직경 #4(4.75mm)~#10(2mm)와 #10(2mm)~#40(0.425mm)의 전로슬래그를 사용하였다. 용액의  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 초기 농도를 1mg/L로 조절하고 용액 부피를 200 mL, 전로슬래그 부피를 50 g을 주입하고 교반속도를 100 rpm으로 일정하게 유지하며 완전평형에 도달하는 120분까지 실험상태를 유지하였다.

### 2.2.2 회분식 실험

본 연구에서의 실험은 Shaking Incubator(Jeio Tech)에서 회전속도를 100rpm으로 조절하고 온도를  $25^\circ\text{C}$ 로 유지시켰다. 회분식 실험의 원수는 1L 탈염수에  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 를 용해하여 0.5 mg/L의 농도로 제조한 후 각각 플라스크에 첨가하고, Standard sieve를 이용하여 슬래그를 직경 #4(4.75mm)~#10(2mm)와 #10(2mm)~#40(0.425mm)로 분리된 전로슬래그를 5g, 10g, 20g, 30g, 50g으로 나누어 각각 1L 삼각플라스크에 투입하여  $25^\circ\text{C}$ 로 유지하여 145시간 동안 분석하였다.

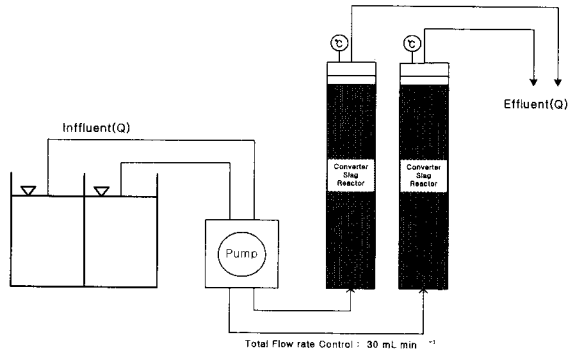
pH 측정은 pH meter(HACH)를 사용하였고,  $\text{PO}_4^{3-}$ 는 PhosVer 3 with Acid Persulfate Digestion Method (USEPA Approved Methods)로 처리한 후 DR4000-(Spectrophotometer, HACH)을 사용하여 분석하였다. 본 실험에 사용된 전로슬래그의 성분을 조사하기 위한 XRD 분석은 Powder X-Ray Diffractometry-D5005 (Bruker, Germany)를 사용하였다.

### 2.2.3 연속 실험

전로슬래그를 충전하고 있는 Column을 연속으로 통과한 시료의 인산염 제거 특성비교 및 검토하였다. 유입수의 인산염의 농도는 0.5 mg/L(as  $\text{PO}_4^{3-}$ )으로 하였으며, 전로슬래그는 #4(4.75mm)~#10(2mm) 크기로 충전한 충전탑에 각각 유입하였고, 물리적인 인자로서 유입수량은 1.8L/hr, 공극율은 53%, 체류시간(Retention time,  $\theta$ )은 27.6min, 공간속도(Specific Velocity,  $Q/V$ )는  $2.169 \text{ hr}^{-1}$ , 선속도(Line Velocity,  $H/\theta = \text{SV} \times H$ )는  $0.781\text{m/hr}^{-1}$ 로 하였다.

### 2.2.4 실험장치

본 실험에 인산염 제거를 위해 사용된 연속실험용 Column은 [그림 2]와 같으며 내경 7.5cm, 높이 36cm이며 등근 투명 아크릴 재질관으로 제작하였으며, 충전제인 입상전로슬래그(직경 #10(2mm)~#40(0.425mm)의 총량은 2.795kg이고 상향류 여과방식으로 인산염을 제거하였다.

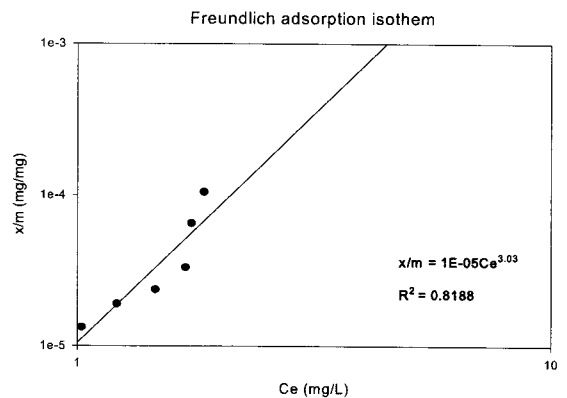


[그림 2] 인 제거를 위한 전로 슬래그로 충전한 연속 반응탑 모식도

## 3. 결과 및 고찰

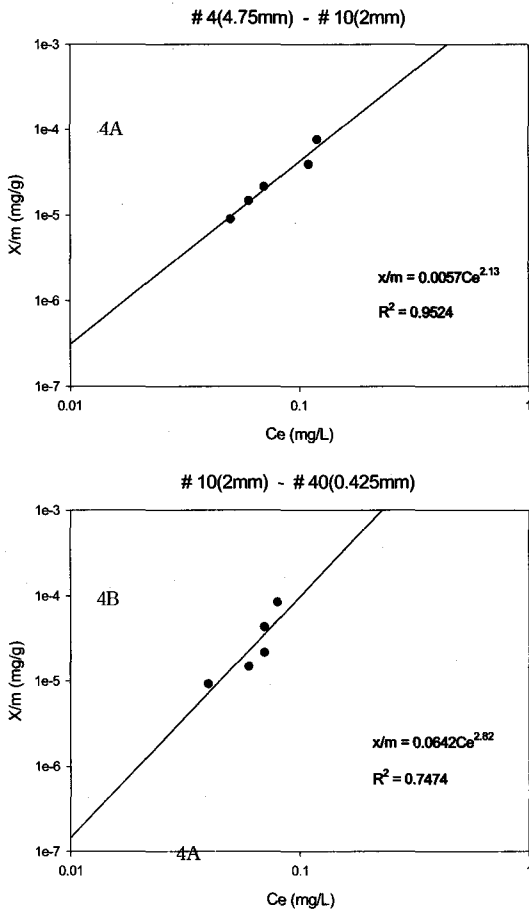
### 3.1 등온 흡착실험

본 실험에서 #4(4.75mm)이상의 Core상태 전로슬래그에 대한 Freundlich 등온 흡착선의 상관계수( $R^2$ )가 0.8188, K 값은 0.00005로 나타났으며, Langmuir 등온 흡착식은 적합하지 않은 것으로 나타났다.



[그림 3] Freundlich isotherm을 적용한 전로 슬래그에 대한 인의 흡착

또한, 크기를 달리하여 실험한 결과를 등은 흡착실험에서 Freundlich 등은 흡착식을 적용하면, [그림 4]에 나타난 바와 같이 Freundlich 등은 흡착선의 상관계수( $R^2$ )가 전로슬래그 크기가 #4(4.75mm)~#10(2mm)와 #10(2mm)~#40(0.425mm)일 경우, 상관계수가 각각 0.9524, 0.7474로 나타났으며, K 값은 0.0057, 0.0642이며,  $1/n$ 은 2.13, 2.82로 나타났다. 따라서 본 흡착실험에서는 #10(2.0mm)~#40(0.425mm)의 전로슬래그가 Freundlich 등은 흡착식을 적용하였을 때 흡착력이 #4(4.75mm)~#10(2mm)보다 효율적인 것으로 나타났다.

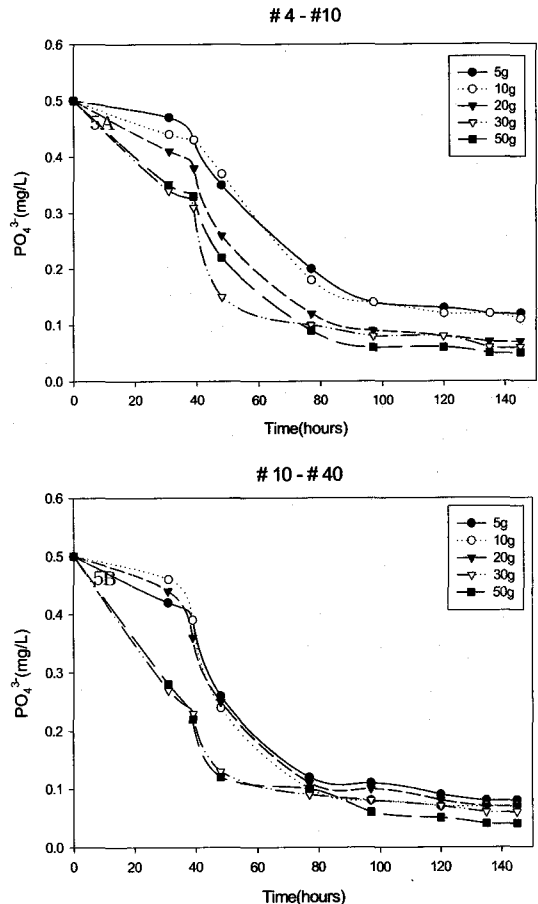


[그림 4] Freundlich isotherm을 적용한 전로 슬래그 크기에 따른 인의 흡착(4A : #4~#10, 4B : #10~#40)

### 3.2 입도 변화에 따른 전로슬래그의 인산염 제거

본 실험에서 회분식 실험에서는 전로슬래그의 직경을 #4(4.75mm)~#10(2mm)와 #10(2mm)~#40(0.425mm)로 분리하여 시간에 따른 인산염 제거를 [그림 5]에 나타내었다. 초기농도를 0.5mg/L로 하고 전로슬래그를 각각

5, 10, 20, 30, 50g으로 나누어 인산염의 처리효율을 분석하였다. 전로슬래그의 양이 많아질수록 [그림 5]에서 나타난 바와 같이 인산염 제거효율이 높아졌으며 145시간에서 제거효율이 평형상태를 유지하고 있었다. 전로슬래그의 크기가 #4(4.75mm)~#10(2mm)인 경우, 중량이 5g에서 50g까지의 평형상태의 제거효율이 [그림 5]에서와 같이 76~90%를 나타냈다. 전로 슬래그의 크기가 #10(2mm)~#40(0.425mm)인 경우, 84~92%의 인 제거효율을 보였다. 전로슬래그의 비표면적이 작을수록 인산염과의 접촉면적이 커지면서 슬래그의 표면제거효율이 커지는 것을 판단 할 수 있었으며, 평형상태에서의 슬래그의 직경이 #4(4.75mm)~#10(2mm)와 #10(2mm)~#40(0.425mm)에서 5g과 50g의 차이도 각각 14%와 8%의 격차를 보였다. 이와 같은 결과는 입경이 작을수록 비표면적이 커져서 인의 제거효율이 향상되는 것으로 판단 할 수 있다.

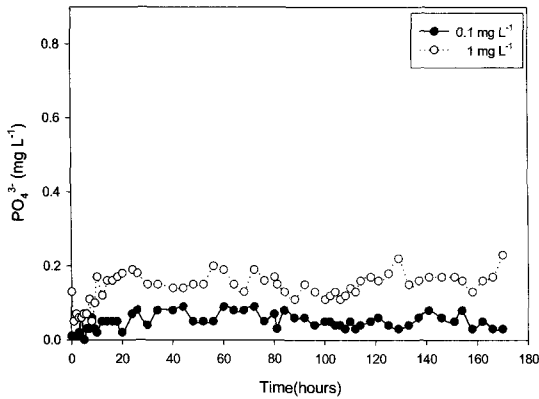


[그림 5] 전로 슬래그 입경이 #4~#10까지일 경우 (5A)와 #10~#40까지의 경우 (5B)의 인 제거에 대한 회분식 실험 결과

### 3.3 Column을 이용한 연속실험에서 인 제거 변화

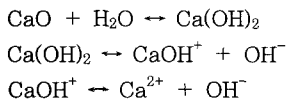
본 실험결과와 pH 범위에서 인의 농도가 1mg/L이상 인 경우 응집침전으로 유도하는 것이 효과적인 처리방법으로 사료된다. pH가 10 이상일 때 과용해도곡선에 접근하면서 과포화도가 증가하기 때문에 인의 응집침전에 효과적이며 본 실험의 상향류 Column에서는 인과 여과에 의한 부유물질의 동시처리가 가능할 것으로 사료된다.

인산염의 농도가 0.1mg/L의 농도에서 초기농도가 급격히 저하된 후 다시 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Ca<sup>2+</sup>의 높은 초기농도에서 빠른 반응으로 인산염이 제거되었고 이러한 침전물이 포화농도를 유지하기 위하여 재용해 된 것으로 판단되며, 다시 인산염의 농도가 낮아지는 것은 결정입자에 흡착침전되기 때문인 것으로 판단된다. 인산염의 농도가 1mg/L인 Column에서 제거율이 높은 이유는 초기의 Apatite 핵생성 외에도 OH<sup>-</sup>기 용출에 의한 pH 상승과 Ca<sup>2+</sup> 용출에 의한 응집침전이 일어난다는 것으로 사료된다. 이에 대한 결과를 [그림 6]에 나타내었다.



[그림 6] 전로 슬래그로 충전한 흡착탑에서의 시간에 따른 인 제거

전로슬래그는 물과 접촉할 경우 slag에 다량 함유되어 있는 탄산칼슘(CaO)이 물에 용해되고 또한 이것이 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)을 형성함으로써 아래와 같이 알칼리화를 유발하게 된다.



위 식들을 정리하면 다음식과 같게 된다.



CaO를 다량 함유하고 있는 전로슬래그를 정석재로 사용할 경우 다량의 수산화기(OH<sup>-</sup>)와 Ca<sup>2+</sup> 이온이 용출하게 된다. Ca<sup>2+</sup> 용출량이 많으면 Apatite의 핵이 생성될 면적이 커지므로 Ca<sup>2+</sup> 용출량이 많을수록 인 제거효율도 탁월할 것으로 사료된다. 인제거 효율이 저조한 것은 Ca<sup>2+</sup>와 OH<sup>-</sup> 양이 적었기 때문에 전로슬래그의 표면에서 Apatite의 핵이 생성되지 않았을 것으로 판단된다.

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 농도가 0.1mg/L에서 Ca<sup>2+</sup>가 높아지면서 pH가 감소되는 것은 pH가 낮아지면서 CaO 성분이 액중의 H<sup>+</sup>기와 반응하여 Ca<sup>2+</sup>의 용출량이 증가하는 것으로 사료된다.

## 4. 결론

입상 전로슬래그를 이용하여 인산염 제거를 위하여 회분식 흡착실험과 Column을 이용한 연속실험을 통하여 인산염 제거에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 인산염 제거를 위한 기초실험으로 등온흡착식을 적용한 결과 Freundlich 식을 적용할 수 있었으며, #4이상의 전로 슬래그로 실험한 결과 Freundlich 흡착상수 K는 0.00005이었다.
2. 인산염의 농도에 따른 회분식 흡착실험 결과 입경이 #10(2mm)~#40(0.425mm)인 경우, Freundlich 등온 흡착상수 K 값이 0.0642로서, K 값이 0.0057인 #4(4.75mm)~#10(2mm)인 경우보다 흡착이 효율적인 것으로 나타났다.
3. 입경이 #4(4.75mm)~#10(2mm)의 전로슬래그를 이용한 연속식 Column 연속 실험에서 인산염의 농도가 1mg/L에서는 80% 이상의 지속적인 제거효율을 보였으며, 0.1mg/L에서는 10~90%의 불규칙한 제거효율을 보였다. 이 결과 1mg/L의 농도에서 80% 이상의 인산염 제거를 목표로 할 때 체류시간은 27.6min, LV(Line Velocity)는 0.78m/hr를 유지하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

따라서 본 실험의 입상 전로슬래그를 이용하여 비점오염원 수계 또는 인 폐수발생 점오염원에 적용하였을 때 인의 농도저하에 따른 부영양화의 발생 억제 효과에 탁월한 것으로 사료되며, 고농도 인 폐수의 유출에 대한 초기 흡착율이 뛰어나 효과적인 인 방지 대책에 적합한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

[1] 김응호, 유기상, “분말 전로슬래그를 이용한 고농도 인 폐수의 처리에 관한 연구”, 한국수질 보전학회 학술연구발표회 논문초록집, pp.145-149, 1996.

[2] Fujimoto, N., Mizuochi, T. and Togami, Y., "Phosphorus fixation in the sludge treatment system of a biological phosphorus removal process," *Wat. Sci. & Tech.*, 23, pp. 635-640, 1991.

[3] 옥진수, “입상 전로슬래그를 매디아로 이용한 여과와의 동시처리에 관한 연구” 홍익대학교 석사학위논문, 1995.

[4] David Jenkins, John F. Ferguson and Arnold B. Menar, "Chemical processes phosphate removal", *Wat. Res.* 5, pp. 369-389, 1971.

[5] 유기상, “분말 전로슬래그를 이용한 고농도 인 폐수의 처리에 관한 연구”, 홍익대학교 석사학위논문, pp. 3-4, 1995.

[6] 건설기술연구원, “산업폐기물 매립 기본계획 보고서”, 포항종합제철주식회사(1991).

[7] 김승현, “급속 혼합이 폐수에서의 화학적 인 제거에 미치는 영향”, 대한 환경공학회 추계학술발표회 논문초록집, pp.133-136, 1993.

[8] Snoeyink, V. L. and Jenkins, D., Vernon L., *Water Chemistry*, pp. 301~303, John Wiley and Sons, 1980.

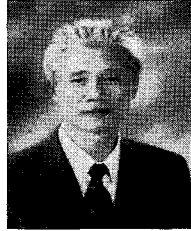
[9] Momberg., G. A and Oellermann. R, A., "The removal of phosphate by hydroxyapatite and struvite crystallization in south africa," *Wat. Sci. & Tech.*, 26, pp. 5-6, 1992.

[10] 김응호, 임수빈, “정석탈인법에서의 정석재 특성에 관한 조사 연구”, 한국수질보전학회지, pp. 109-114, 1995.

[11] Fujimoto, N., Mizuochi, T. and Togami, Y., "Phosphorus fixation in the sludge treatment system of a biological phosphorus removal process," *Wat. Sci. & Tech.*, 23, pp. 635-649, 1991.

### 이 상 호(Sang-Ho Lee)

[정회원]



- 1982년 2월 : 경북대학교 공업화학과 (공학사)
- 1988년 7월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학석사)
- 1993년 1월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학박사)
- 1997년 9월~현재 : 상명대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

하수고도처리, 난분해성 산업폐수처리

### 이 인 구(In-Gu Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 상명대학교 환경공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 상명대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2005년 1월 ~ 현재 : 금강엔지니어링(주) 수질환경연구팀 과장

<관심분야>

하수 고도처리, 수질오염방지시설 연구