

## Phosphate removal efficiency and the removal rate constant by particle sizes of converter slag and conditions of the wastewater

전로슬래그의 입도 크기 및 폐수의 조건 변화에 따른 인산염 제거효율과 제거 속도상수에 관한 연구

Sang Ho Lee\* · Jeong Jae Hwang

이상호\* · 황정재

Dept. of Environmental Engineering, Sangmyung University

상명대학교 환경공학과

**Abstract :** The effluent quality of phosphorus is strengthened by the national standard to conserve water resources to lessen the eutrophication threat. The soluble phosphate in the wastewater effluent can be removed using the converter slag as solid waste produced through the steel making process. The experiments for removal efficiencies and removal constants were performed for this research with the artificial wastewater following several different conditions, particle size, phosphate concentration and initial pH. The correlation coefficients of Freundlich adsorption isotherm were 0.9505 for  $PS_A$ , 0.9183 for  $PS_B$ , respectively. The removal efficiency was 87-94 % for  $PS_A$  and 90-96 % for  $PS_B$  respectively. The pH of the wastewater was elevated to pH 11.8 for the initial pH 8.5, phosphate removal efficiency was the highest as 84 % ~ 98 %. In case of 10 mg/L of the initial phosphate, the removal efficiency was 96 ~ 98 %. The more initial pH increases, the higher the reaction rate constant is.

**Key words :** Converter slag, adsorption isotherm, removal efficiency of phosphate, different initial pH, reaction rate constant

**주제어:** 전로슬래그, 등온흡착, 인산염( $PO_4^{3-}$ ), 초기 pH변화, 제거효율, 제거속도상수

### 1. 서론

최근 질소와 인을 함유하고 있는 일부 생활하수 및 폐수가 하천과 정체수역 및 연안에 유입됨에 따라서 부영양화에 따른 녹조와 적조현상으로 수자원의 오염을 가속화시킴으로 수생태계가 파괴될 수 있다. 이에 따라 환경부는 하수처리장 및 농공단지를 비롯한 폐수종말처리시설의 처리수의 질소 및 인의 배출 허용농도를 강화하고 있는 실정이다(환경부, 2011). 질소분만 아니라 인을 효

율적으로 제거할 경우 녹조 및 적조 발생을 억제할 수 있으므로 효과적으로 배출기준 농도 이하로 처리한다면 수자원의 오염을 예방할 수 있을 것이다. 하·폐수에 함유된 인을 제거하기 위해 물리·화학적 및 생물학적 공정 등을 이용한 여러 가지 처리공정이 개발되어 왔으나 물리·화학적 처리 방법에 비해 상대적으로 처리비용이 저렴한 이유로 생물학적 처리방법에 의존하고 있다. 하지만 생물학적 처리공법은 안정된 질소제거율을 확보할 수 있으나, 혐기성처리공정에서 내부 반송된 슬러지의 혐기성 분해에 의하여 인 방출이 일어나기 때문에 안정적인 인 제거율을 확보하기 어려운 실정이다. 배출수에 함유된 인에 대하여 저농도를 확

\* Received 20 September 2012, revised 30 November 2012, accepted 5 December 2012.

\* Corresponding author: E-mail: leesh@smu.ac.kr

보하기 위하여 fly ash, slag, Fe-Mn 산화물의 흡착을 활용하는 등 다양한 인의 처리에 관한 기술들이 연구되고 있다(Pengthamkeerati *et al.*, 2008 and Zhang *et al.*, 2009).

철강산업은 다량의 원료와 에너지를 사용할 뿐 아니라 다양한 종류의 부산물과 폐기물을 발생시키고 있다. 많은 양의 전로슬래그와 같은 폐기물들이 발생하므로 토목공사 부재료로 활용하기도 하지만 재활용하는 것이 중요하다. 부산물 중 하나인 슬래그는 토양을 혼합하여 폐수 중의 인의 제거에 관한 연구가 있었으며(Cha *et al.*, 2006), 실험실 규모의 인공습지에 적용하여 폐수중의 인제거 연구와(Lee *et al.*, 2010) 소규모 폐수 처리에 있어서 칼럼 실험을 통하여 인의 제거가 가능하다는 연구가 보고되었다(Gustafsson *et al.*, 2008). 선철에서 강을 만드는 제강공정 중에 생성되는 전로슬래그를 재활용하는 방안들이 나오고 있다(변태봉 외, 2005). 전로슬래그는 도로노반용, 아스팔트 콘크리트, 미끄럼방지재, 항만공사용 재료(뒹채움재, 복토용, Sand mat용), 비료, 토양개량재 등으로 주로 도로 및 토목용으로 많은 양이 활용되고 있으며 인공어초로도 이용하고, 신소재 제조에도 활용되고 있다(최상원 외, 2007). 또한 고농도의 인을 함유하고 있는 폐수로부터 입상형 전로슬래그를 활용하여 인제거와 여과를 동시에 처리할 수 있는 공정들과 완전혼합형 정석탈인 반응조를 사용하여 인을 회수하는 기술이 연구되고 있다(김응호 외, 2008). 입상전로슬래그의 양이온 용출변화에 따른 인산염제거에 관한 연구가 보고되었으며(이상호 외, 2007), 전로슬래그와 석탄을 혼합한 칼럼을 이용한 인 제거 연구가 보고된 바도 있다(Yang *et al.*, 2009).

본 연구에서는 전로슬래그를 활용하여 인을

포함하고 있는 하·폐수의 처리 효율을 높이기 위하여 필요한 조건들에 대하여 연구하고, 유입수의 초기 pH변화에 따른 인산염의 농도변화와 pH의 변화 그리고 제거속도와의 관계 특성 그리고 초기 인산염의 농도변화에 따른 pH변화, 제거속도상수와의 관계에 대해 연구하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 재료

본 연구에 사용된 재료는 국내 P 제철소에서 발생하는 전로슬래그(Converter slag)를 사용하였으며 전로슬래그의 화학적 조성은 Table 1.에 나타내었다. 주요성분의 함량은 CaO가 38.68 %로 가장 많은 비율을 차지하였으며, 그 다음으로 Fe 23.86 %, SiO<sub>2</sub> 12.71 %, MgO 11.15 %이었다.

### 2.2 실험방법

본 연구의 사용된 인공폐수는 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>을 증류수에 용해하여 인산염표준용액을 제조하여 실험목적 농도에 맞게 증류수로 희석하여 사용하였다. 전로슬래그는 실험에 사용하기 전에 분쇄한 후, 입자크기를 균일한 크기의 입자를 실험에 사용하기 위하여 Standard sieve를 이용하여 입자를 분리하였다. 2 mm와 4.75 mm사이 입자는 PS<sub>A</sub>로 하며, 0.425 mm 와 2 mm사이 범위의 입자는 PS<sub>B</sub>로 하기로 한다. 분리한 입자는 증류수로 세척하여 Drying Oven을 이용하여 105 °C에서 충분히 건조시킨 후 데시케이터에 보관하여 사용하였다. Batch 실험은 전체 반응시간동안 전로슬래그와 인공폐수의 충분한 접촉 및 반응을 위해 삼각플라스크에 넣어 Shaking Incubator에서 120 rpm의 속도로 교반하

Table 1. Chemical composition of converter slag

Chemical	T-Fe	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Mn	Al	P	S
Content(%)	23.86	38.68	12.71	11.15	2.17	2.308	0.703	0.041

였으며 온도는 25 °C를 유지시켰다.

첫 번째 Batch 실험은  $PO_4^{3-}$  농도를 3 mg/L으로 인공폐수를 제조하여 삼각플라스크에 투입하였고, 전로슬래그  $PS_A$ ,  $PS_B$ 를 각각 10, 25, 50, 75, 100, 150 g을 삼각플라스크에 투입하였다. 두 번째 Batch 실험은  $PS_A$ 의 전로슬래그 100 g을 500 mL 삼각플라스크에 각각 투입하였고, 실험에 사용된 인공폐수의  $PO_4^{3-}$  농도를 각각 1, 3, 5, 10 mg/L으로 조절하여 삼각플라스크에 투입하였다. 또한 실험에 사용된 용액의 초기 pH를 7, 7.5, 8, 8.5로 조절하기 위하여 1N NaOH 용액을 이용하였다.

제조된 용액의 pH 및 인산염의 제거 효율을 확인하기 위하여 첫 번째 Batch 실험은 12, 21, 25, 36, 48, 60, 72, 93시간, 두 번째 Batch

실험은 5, 17, 23, 29, 41, 47, 53, 65시간으로 각각 구분하여 5분간 정치시킨 후 분석하였다. pH meter(ORION 4STAR, Thermo)를 이용하여 pH를 측정하였으며,  $PO_4^{3-}$ 는 DR4000 Spectrophotometer로 분석하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 전로슬래그의 입도 변화에 따른 인산염( $PO_4^{3-}$ ) 제거효율 변화와 제거속도

전로슬래그의 입자크기와 양에 따른 인산염의 제거효율을 분석하고자 Standard sieve를 이용하여 각각  $PS_A$ 와  $PS_B$ 로 분리한 후 일정한 농도의 인공폐수에 슬래그의 양을 각각 10, 25, 50, 75, 100, 150 g 투입하여 분석한 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

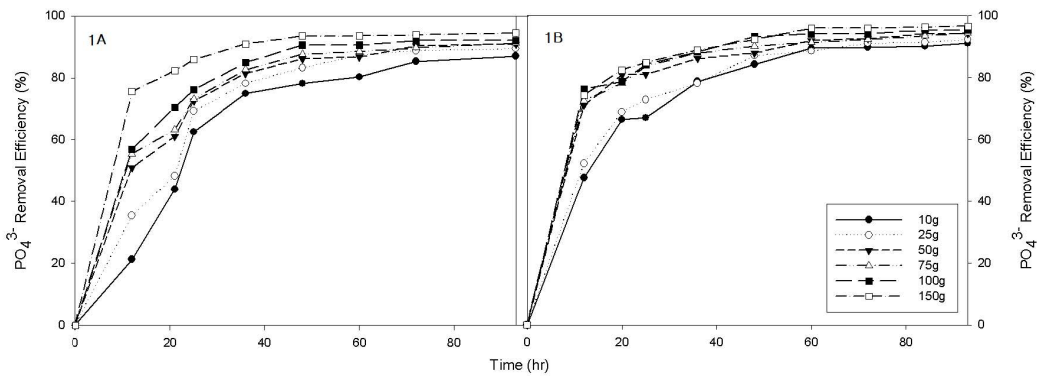


Fig. 1. Removal efficiency of  $PO_4^{3-}$  for the convert slag  $PS_A$  (1A) and  $PS_B$  (1B).

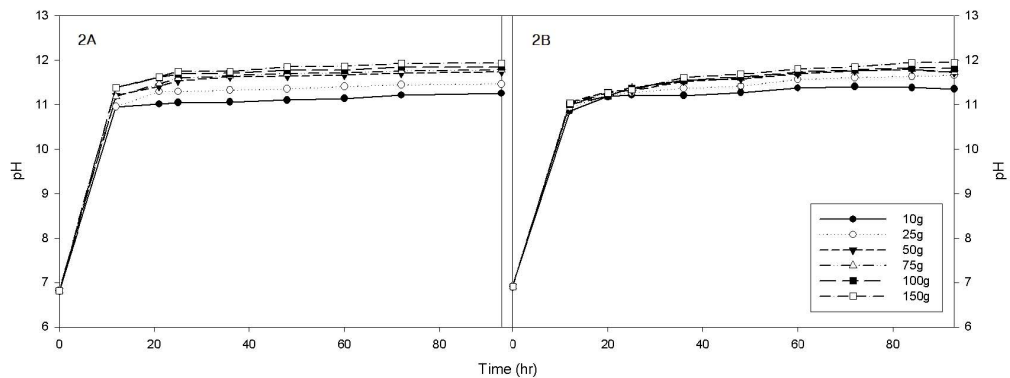


Fig. 2. Change of pH at the different initial pH of solution for the convert slag  $PS_A$  (2A) and  $PS_B$  (2B) during experimental hours.

인산염의 농도는 전로슬래그의 입자크기  $PS_A$ 에서 반응 초기에 빠르게 감소하여 반응 초기부터 36시간까지는 74 ~ 90 %까지의 제거효율을 보였으며 최종제거효율은 87 ~ 94 % 나왔다.  $PS_B$ 에 대한 제거효율은 반응 초기에 빠르게 감소하여 36시간까지는 79 ~ 90 %의 제거 효율을 보였으며 최종제거효율은 90 ~ 96 %이었다. 두 입자 모두 반응 초기에 빠르게 인산염에 제거되는 것을 볼 수 있었으며, 최종제거효율 또한 높게 나타났다. 입자크기가 작을수록 슬래그가 인공폐수와 접촉하는 표면적이 증가하기 때문에 인산염의 제거가 더 잘 일어나는 것을 볼 수 있다. 반응초기 이후 급격히 감소하기 시작하여 36시간 이후에는 서서히 감소하는 경향을 보였다.

전로슬래그의 입자크기 변화에 따른 용액의 pH변화를 Fig. 2에 나타내었다. pH는 두 입자크기 모두에서 반응초기에 급격히 상승하여 반응 12시간 이후 pH 11 ~ 12사이를 유지하는 경향을 보였으며, 또한 실험에 사용한 슬래그의 양이 증가할수록 인산염의 제거 되는 속도가 빨랐으며 최종제거 효율도 높은 것으로 나타났다. 적은 양의 전로슬래그로 높은 인산염 제거 효율을

얻을 수 있어 인산염을 포함하는 많은 양의 폐수 처리에 효율적이며 경제적인 것이라 판단된다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 반응 36시간이후에 인산염의 제거가 점차 줄어드는 것은 전로슬래그의 흡착능력이 포화되었기 때문으로 판단된다.

흡착이란 흡착제를 사용하여 용액으로부터 대상으로 하는 기질을 제거하는 단위공정을 말한다. 흡착은 물리적, 화학적으로 분류할 수 있으며, 흡착능은 대상으로 하는 물질의 등온흡착식을 이용하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 Freundlich 등온흡착식과 Langmuir 등온흡착식을 이용하여 인산염의 흡착능을 파악하였다. Fig. 3과 Table. 2에 Freundlich 등온흡착선의 결과를 나타내었다. Freundlich 등온흡착선  $PS_A$ 에서의 상관계수( $R^2$ )는 0.9505,  $K_f$ 값은 1.5267,  $1/n$ 은 3.1585로 나타났으며,  $PS_B$ 에서는 상관계수( $R^2$ )는 0.9183,  $K_f$ 값은 2.9126,  $1/n$ 은 2.6694로 나타났다. 본 연구의 전로슬래그를 이용한 흡착실험에서는 Freundlich 등온흡착식을 이용하였을 때 인산염을 포함한 폐수의 농도가 약 3.75 mg/L이하의 영역에서는  $PS_B$ 에서 더 효율적인 인제거가 이루어지고, 3.75 mg/L 이상의 고농도 영역에서는  $PS_A$ 가 더 효율적으로 용액에서 인산염이 제거될 것으로 판단된다.

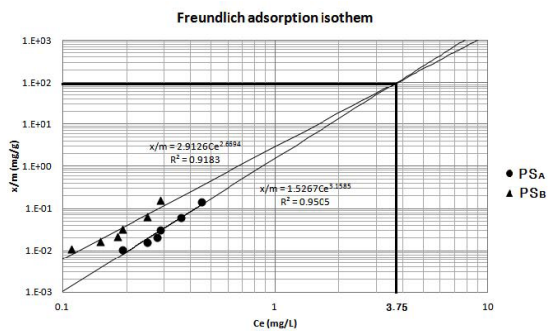


Fig. 3 Freundlich isotherm for  $PO_4^{3-}$  adsorption for the convert slag with phosphate solution.

Table 2. The Freundlich isotherm constants for  $PO_4^{3-}$  adsorption with convert slag.

	Freundlich adsorption isotherm		
	$K_f$	$1/n$	$R^2$
$PS_A$	1.5267	3.1585	0.9505
$PS_B$	2.9126	2.6694	0.9183

### 3.2 인산염( $PO_4^{3-}$ ) 용액의 초기 pH변화에 따른 농도변화 및 pH변화

일정량의 전로슬래그를 투입하여 초기 pH를 조절하고  $PO_4^{3-}$ 의 농도를 다르게 제조한 인공폐수에서의  $PO_4^{3-}$ 의 농도변화와 pH변화를 Fig. 4에 나타내었다. 초기 pH가 증가할수록 인산염의 농도 감소 속도가 증가하지만 영향이 크지 않는 것으로 나타났다. 인산염의 농도 감소는 반응 약30시간 이전에 대부분 감소되는 것을 볼 수 있으며, 30시간 이후에는 감소되는 양이 적어짐을 알 수 있다. 초기 인산염의 농도가 10 mg/L에서 감소되는 양이 가장 많았으며 1 mg/L일 때 가장 적었다. 인산염의 농도가 저농도인 때보다 고

농도 일수록 제거되는 양이 많았으며, 제거 되는 속도도 빠른 것으로 나타났다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 인산염의 농도감소는 인산염을 포함하는 인공폐수의 초기 pH변화에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

용액의 초기 pH에 따른 pH의 변화는 초기 pH 7 ~ 8.5에서 모두 반응 초기에 급격히 상승하여 반응 5시간 만에 pH 10.5에 도달하였으며, 반응 17시간이후에 pH 11이상으로 상승한 후 조금씩 상승하다가 pH 11.5 ~ pH 11.8를 유지하는 경향을 보였다. 이 결과는 각 삼각플라스크에 전로슬래그 양을 100 g으로 동일한 조건으로 실험하였기 때문으로 판단된다. 폐수의 초기 pH는 pH변화의 영향을 크게 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한 초기 인산염의 농도를 다르게 실험한 결과에서도 pH의 변화는 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 pH의 증가함에 따

라 인산염의 농도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있으며, pH의 증가가 적어짐에 따라 인산염의 농도의 감소도 적어짐을 알 수 있다.

### 3.3 인산염( $PO_4^{3-}$ )의 농도변화와 제거속도상수의 관계

화학반응에서 반응이 얼마나 빠르게 일어나는가에 대한 척도로 반응속도를 사용한다. 제거속도는 단위부피-단위시간 당 반응물의 몰 수(균일반응) 또는 단위표면적당 혹은 질량-단위시간당 반응물의 몰수(비균일 반응)의 변화 (증가 혹은 감소)를 설명하는데 사용되는 용어라 정의된다(Denbigh & Turner, 1965). 반응에서 반응속도에 미치는 영향중에 온도의 영향이 크기 때문에 온도는 25 °C로 일정하게 유지하여 실험을 진행하였다.

인산염의 제거 반응결과를 도출하기 위하여 X축을 시간, Y축을  $-\ln(C_t/C_0)$ 로 좌표상에 도시화한 결과 직선이 얻어졌으며 1차 반응임을 알

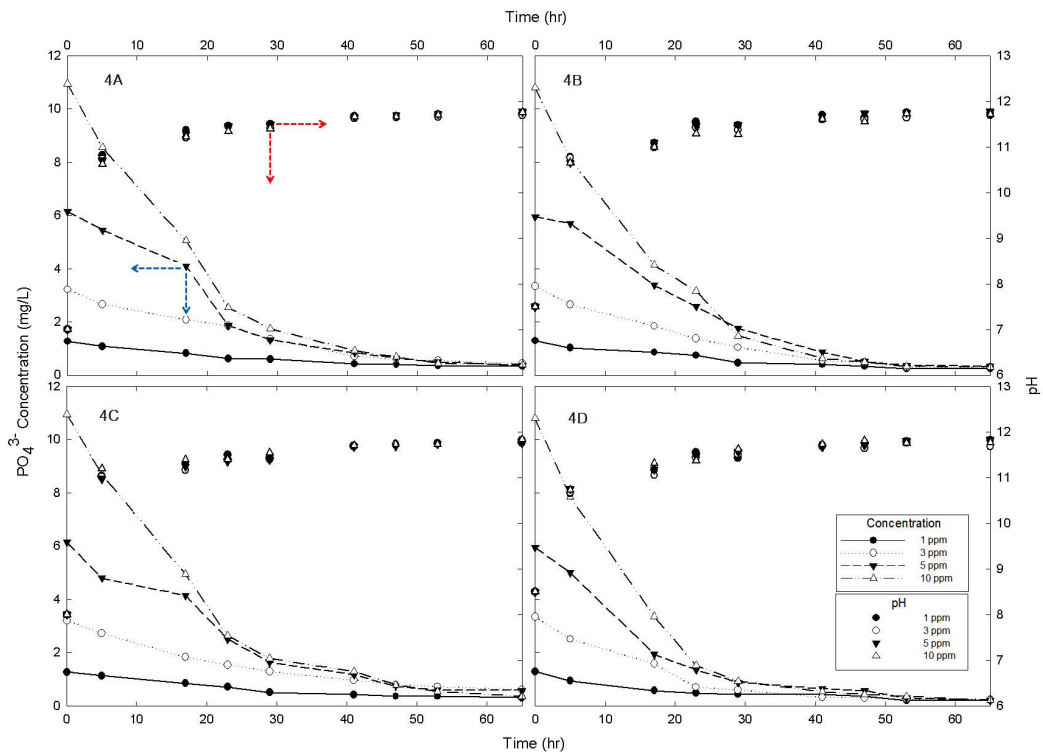


Fig. 4 Profiles of pH and  $PO_4^{3-}$  concentration during 65 hours of experimental period at the initial solution pH of 7.0(4A), 7.5(4B), 8.0(4C), 8.5(4D).



수 있었다. 1차 반응을 이용하여 차후 연구할 흡착탑 설계에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 다음의 1차 반응속도 식을 이용하여 반응속도상수를 구하였다.

$$\ln(C_t/C_0) = -kt \quad (1)$$

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 반응속도는 천천히 느려지는 것을 알 수 있다. 이를 토대로 폐수의 초기 pH변화에 따른 인산염 제거속도상수 K와 상관계수 R<sup>2</sup>를 구한 값을 Table 3에 나타내었다.

제거속도상수 K값은 pH 7에서 0.0207 ~ 0.0513이었고, pH 7.5에서 0.0250 ~ 0.0553, pH 8에서 0.0217 ~ 0.0525, pH 8.5에서는 0.0277 ~ 0.0608으로 제거속도상수는 초기 pH 8.5에서 큰 값을 얻을 수 있었으며, 인산염의 제거가 초기 pH 7 ~ 8에서보다 빠르게 일어나는 것으로 나타났다. 인공폐수의 초기 pH 7 ~ 8.5에서 인산염농도가 1, 3, 5, 10 mg/L으로 증가할수록 제거속도상수의 값이 큰 값을 나타내는데 반응물의 농도가 높을수록 슬래그와 접촉하는 양과 시간의 증가로 인해 반응속도가 빨라지는 것으로 판단된다. 제거속도상수로부터 인산염을 포함하는 실제 폐수의 농도 및 pH에 따라 전로슬래그 흡착탑 설계에 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

### 3.4 용액의 초기 pH변화에 따른 인산염(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)의 제거효율 변화

초기 pH변화에 따른 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 제거효율변화를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

인산염은 약30시간이후에 50 %이상의 제거 효율을 보이며 이후 인산염의 제거 효율은 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 초기 pH 7에서 인산염의 최종 제거효율은 74 %에서 96 %까지 나타났으며, 초기 pH 7.5에서는 인산염의 최종 제거효율은 81 %에서 97 %까지 나타났다.

초기 pH 8에서 인산염의 최종 제거효율은 76 %에서 97 %까지 나타났으며, 초기 pH 8.5에서는 인산염의 최종 제거효율은 84 %에서 98 %까지 나타났다. 인산염의 최종 제거효율은 초기 pH가 높을수록 제거효율이 좀 더 높게 나타났지만 그 차이는 적었으며, 인산염을 포함하는 인공폐수의 초기 pH의 영향은 적은 것으로 판단된다.

인산염의 농도가 10 mg/L일 때 초기 pH 7 ~ 8에서 약40시간이후에 인산염이 90 %이상 제거가 되었으며, 초기 pH 8.5일 때는 약 30시간이후에 인산염의 제거가 90 %이상 일어나는 것을 볼 수 있다. 인산염의 농도가 5 mg/L의 경우 초기 pH 7 ~ 8.5 모두에서 47시간이후 90 %이상 제거 되는 것을 볼 수 있다. 3 mg/L의 경우 초기 pH 7과 pH 8에서 47시간 이후에 80 %이상 제거 되는 것으로 나타났으며, 초기 pH 7.5와 pH 8.5에서 47시간 이후에 90 %이상 제거 되는 것으로 나타났다. 1 mg/L에서는 초기 pH 7에서는 53시간이후 70 %이상 인산염의 제거가 이루어지는 것을 볼 수 있다. 초기 pH 7.5 ~ 8.5에서는 47시간이후에 인산염의 제거가 70 %이상 이루어 졌으며, 1 mg/L에서는 인산염을 포함하는 인공폐수의 초기 pH가 높을수록 인산염의 제거가 더 빠르게 일어나는 것으로 나타났다.

Table 3. The reaction rate constant(hr<sup>-1</sup>) and correlation coefficients for the different initial pH

	pH 7		pH 7.5		pH 8		pH 8.5	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
1 mg/L	0.0207	0.9644	0.0250	0.9594	0.0217	0.9597	0.0277	0.9254
3 mg/L	0.0309	0.9727	0.0370	0.9793	0.0258	0.9852	0.0399	0.9278
5 mg/L	0.0437	0.9719	0.0450	0.9738	0.0386	0.9602	0.0527	0.9764
10 mg/L	0.0513	0.9764	0.0553	0.9706	0.0525	0.9877	0.0608	0.9639

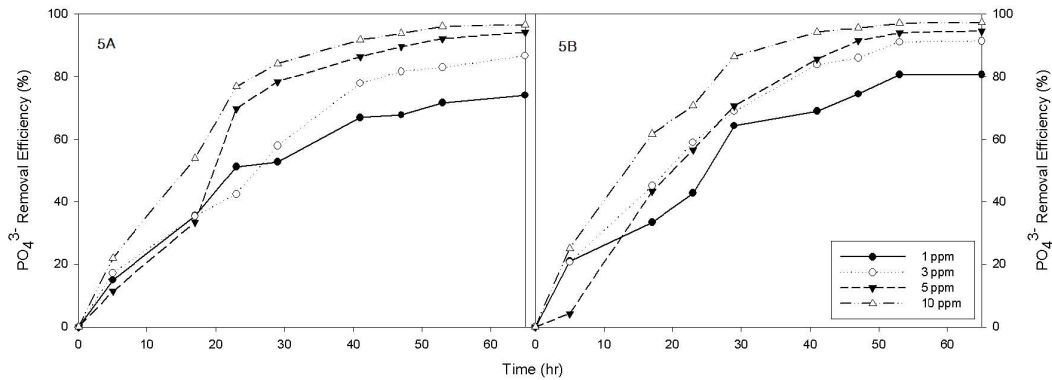


Fig. 5. Profiles of  $PO_4^{3-}$  removal efficiency during 65 hours of experimental period at the initial solution pH of 7.0(5A) and 7.5(5B).

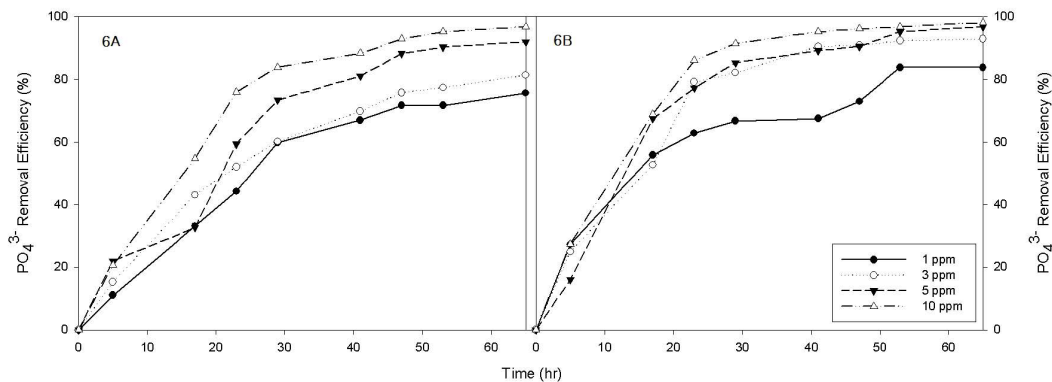


Fig. 6. Profiles of  $PO_4^{3-}$  removal efficiency during 65 hours of experimental period at the initial solution pH of 8.0(6A) and 8.5(6B).

인산염의 초기 농도가 높을수록 인산염의 제거효율이 높게 나타났으며, 이는 폐수속의 인산염의 농도가 높을수록 전로슬래그의 표면에 흡착되는 인산염의 양이 증가하여 인산염의 제거효율이 높아지는 것으로 판단된다. 또한 인산염의 농도가 높을수록 인산염의 제거가 빠르게 일어나는 것을 볼 수 있다. 인산염을 포함한 인공 폐수의 초기 pH가 높을수록 인산염의 제거가 잘 일어나는 것을 볼 수 있다. 이는 인산염의 제거가 높은 pH에서 잘 일어나는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 전로슬래그를 이용하여 폐수 중에 존재하는 인산염을 제거하기 위하여 폐수의 초기 pH의 변화, 초기 인산염의 농도변화, 입도변

화에 따른 인산염의 제거특성과 반응속도상수와 의 관계를 Batch실험을 통하여 분석하였다.

1. 전로슬래그의 입자변화에 따른 인산염의 반응속도상수와 제거효율을 분석한 결과 입자크기가 작은  $PS_B$ 에 의한 제거속도가 입자크기가 큰  $PS_A$ 에 의한 제거속도보다 더 빠른 것으로 나타났다. 최종 제거효율 또한 입자 사이즈가 작은  $PS_B$ 의 최종제거효율이  $PS_A$ 보다 90 ~ 96 %로 높게 나타났다. 반응 36시간이전에 74 ~ 90 %의 높은 제거가 이루어 졌다. Freundlich 등온흡착식을 이용하였을 때 상관계수( $R^2$ )는  $PS_A$ 가 0.9505,  $PS_B$ 가 0.9183으로 나타났으며, 인산염을 포함한 폐수의 농도가 약 3.75 mg/L이하의 영역에서는  $PS_B$ 에서 더 효율

적인 인제거가 이루어지고, 3.75 mg/L이 상의 고농도 영역에서는  $PS_A$ 가 더 효율적인 인제거가 이루어 질것이라 판단된다.

2. 폐수의 초기 인산염의 농도가 높을수록 인산염의 농도감소가 증가하였으며, 인산염의 농도감소는 반응 약30시간이전에 빠르게 진행되는 것을 알 수 있었으며, 폐수의 pH는 반응초기 급격히 증가한 후 약30시간 이후에 pH 11.5 ~ 11.8을 유지하였다. 인산염의 농도 감소는 폐수의 초기 pH변화에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.
3. 제거속도상수 K값은 pH 7에서 0.0207 ~ 0.0513이었고, pH 7.5에서는 0.0250 ~ 0.0553, pH 8에서 0.0217 ~ 0.0525, pH 8.5에서 0.0277 ~ 0.0608으로 제거속도상수는 초기 pH 8.5에서 가장 큰 값을 얻을 수 있었다. 폐수의 초기 pH 7 ~ 8.5에서 인산염농도가 1, 3, 5, 10 mg/L으로 증가할수록 제거속도상수의 값이 큰 값을 나타내었다.
4. 초기 pH 변화에 따른 인산염의 최종 제거효율은 초기 pH 8.5일 때 84 ~ 98 %로 가장 높게 나타났으며 pH 7 ~ 8일 때와 차이가 적은 것으로 보아 폐수의 초기 pH와는 영향이 적은 것으로 나타났다. 또한 인산염의 농도가 10 mg/L일 때 최종 제거효율이 96 ~ 98 %로 가장 높게 나타났다.

분석결과 전로슬래그를 이용한 인산염을 포함하는 폐수의 높은 제거효율을 파악할 수 있었으며, 본 연구 결과를 토대로 부영양화의 원인 물질인 인제거에 적합한 것으로 판단된다. 전로슬래그의 인 흡착능력을 이용한 체계적인 분석과 기초연구를 통한 수질정화 공법에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2011년 상명대학교 교내선발과제에 의하여 수행되었습니다.

### 참고문헌

- Byeon, T.B., Lee, J.Y., Kim, D.Y., Lee, H.H. and Kim, H.S. (2005) Carbonation treatment technology of steel making slag, *RIST*, 19(1) pp.32-39.
- Cha, W., Kim, J. and Choi, H. (2006) Evaluation of steel slag for organic and inorganic removals in soil aquifer treatment, *Water Research*, 40, pp.1034-1042.
- Choi, S.W., Kim, B, Jang, W.S. and Kim E.Y. (2007) The present situation of production and utilization of steel slag in Korea and other countries, *J. of Korea Concrete Institute*, 19(6), pp.28-33.
- Denbigh, K. G., and J. C. R. Turner (1965) *Chemical Reactor Theory*, 2nd ed, Cambridge University Press, England.
- Gustafsson, J.P., Renman, A., Renman, G. and Poll, K. (2008) Phosphate removal by mineral-based sorbents used in filters for small-scale wastewater treatment, *Water Research*, 42, pp.187-197.
- Kim, Eung-Ho and Yim, Su-Bin (2008) Simultaneous handling of phosphorus removal and filtration using granular convert slag and seed crystal and filter media, *J. of Korean Society of Water and Science and Technology*, 16(4), pp.45-54.
- Lee, M.S., Drizo, A., Rizzo, D.M., Druschel, G., Hayden, N. and Twohig, E. (2010) Evaluating the efficiency and temporal variation of pilot-scale constructed wetlands and steel slag phosphorus removing filters for treating dairy wastewater, *Water Research*, 44, pp.4077-4086.
- Lee, Sang Ho and Lee, In-Gu (2007) Relation between leaching characteristics of the positive ions and phosphate removal by granular converter slag for the different conditions and concentrations of phosphate, *J. of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 8(2), pp.372-379.
- Ministry of Environment, Korea (2011) *White Book*, pp.387-452.
- Pengthamkeerati, P., Satapanajaru, T., and Chularuengsoarn, P. (2008) Chemical modification of coal fly ash for the removal of phosphate from aqueous solution, *Fuel*, 87, pp.2469-2476.



Yang, J., Wang, S., Lu, Z., Yang, J. and Lou, S. (2009) Converter slag - coal cinder columns for the removal of phosphorous and other pollutants, *Journal of Hazardous Materials*, 168, pp.331-337.

Zhang, G., Liu, H., Liu, R. and Qu, J. (2009) Removal of phosphate from water by a Fe-Mn binary oxide adsorbent, *Journal of Colloid and Interface Science*, 355, pp.168-174.