

제강 전로 및 고로 슬래그를 이용한 인 제거 기법에 관한 기초연구

Preliminary Study on the Development of Phosphorous Removal Process by Converter and Furnace Slags

이승환* · 장정화

Lee, Seung-hwan* · Jang, Jeong-hwa

금오공과대학교 토목환경공학부 환경공학전공

(2003년 11월 12일 접수, 2004년 3월 2일 최종수정논문 채택)

Abstract

In this study, several series of experiments were conducted to investigate the phosphorus (P) removal process in slag-containing solution using furnace and converter slags. High amount of OH^- , Ca^{2+} and alkalinity were discharged from the slags and hydroxyapatites [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$] were kept accumulated on the surface of slag. P removal capacity of the slag decreased with the increase of slag dosage. The maximum capacity was found to be 11.25 mg/g at the converter slag. Converter slag adsorbed P more than furnace slag (about four times in average). An experimental study on the effect of pH shows that the percentage removal of P increased upto 30% at the pH range of 5-6 than that of above pH 8. Langmuir isotherm constants gave a better correlation than Freundlich ones. P removal amount in the presence of NH_4^+ was less compared to the one in the absence of NH_4^+ . Maximum percentage reduction was 23%.

Key words: Phosphorus removal, converter slag, furnace slag, removal capacity, isotherm constants

주제어: 인 제거, 전로 슬래그, 고로 슬래그, 제거능, 등온상수

1. 서론

산업화 및 도시화에 따른 수자원 부족과 수질악화의 환경문제는 이제 심각한 사회문제로 인식되고 있으며 수질의 회복 및 보존을 위해 보다 발전된 기술을 요구하고 있다. 수질에 영향을 끼치는 중요한 인자 중의 하나로 수계 내에서 영양염류를 들 수 있으며

수계에서 이들 영양염류는 조류 급성장과 부영양화의 중요인자로 작용하고 있다(이기중, 1993). 이러한 부영양화는 국내 대부분의 하천 및 호소에서 급속히 진행되고 있으며 원인물질로는 질소(N)와 인(P)과 같은 영양염류를 들 수 있는데, 이중 수계에 공급되는 경로가 많은 질소에 비하여 유입 절대량이 적고 배출처가 제한되는 인을 제어하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다(김용호, 1995). 특히 하수 중에 인의 농

*Corresponding author Tel: 054-467-4240, Fax: 054-467-4475, Email: dlee@kumoh.ac.kr (Lee, S.H.)

도가 1mg/L 이상일 경우 조류의 급성장이 나타난다 (Dryden, 1968). 기존의 인 제거방법으로는 화학적 침전처리법, 생물학적 처리법이 주종을 이루고 있으나 화학적 침전처리법의 경우 높은 제거율과 안정성을 보이는 반면 고가의 처리비용과 다량의 화학적 슬러지를 발생하는 문제를 발생시키며 생물학적 처리공정의 경우는 처리장의 처리환경 및 조건 등의 변동에 민감하여 지속적인 처리의 안정성에 문제가 있음이 지적되어 왔다(박종인, 1989; Lee, 1997). 80년 이후 주로 일본에서 개발된 정석탈인법은 수중의 인산이온과 칼슘이온 및 수산이온의 반응에 의해 생성되는 Hydroxyapatite [$Ca_5(PO_4)_3(OH)$]의 정석현상을 이용한 것으로, 슬러지 발생량이 적고 장기간 안정적인 처리 효율을 보이며 소요되는 면적이 적어 기존의 2차 처리시설에 연결이 용이한 장점이 있을 뿐 아니라 정석재에 따라서는 정석반응후의 정석재를 인비료로 재활용 할 수 있다(村田, 1992). 현재까지 정석 탈인 공정의 효율을 높이기 위한 다양한 정석재의 개발과 적용성이 검토되어 왔으며 제철과정의 부산물로서 대량 발생하는 슬래그의 경우 내부에 다량의 칼슘성분을 함유하고 있는 특성이 있어 정석재로 이용 했을때 인 제거 능력이 탁월한 것으로 밝혀진 바 있다(황환국, 1995; Lee, 1998). 본 연구는 국내 제철소에서 생산되는 전로 및 고로슬래그에 의한 인제거의 특성을 살펴보기 위해 합성 인폐수를 대상으로 전로 및 고로슬래그의 탈인 반응에 있어서 슬래그의 투입량, 초기 인 농도, 반응 pH, 기타 영양염류 등이 공정에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 재료 및 슬래그의 특성

제철과정에는 철광석과 함께 다량의 소석회와 코크스등의 광물이 사용되며 제철과정의 부산물로서 슬래그가 생성된다. 슬래그는 제강과정에 따라 크게 고로슬래그(Furnace slag)와 제강(전로) 슬래그(Converter slag)로 구분될 수 있으며 이중 고로 슬래그는 현재 도로 기층재나 시멘트 원료 등으로 거의 전량 재활용되고 있으나 제강슬래그의 경우 활용도가 떨어져 매립에 의존하고 있는 현실이다. 국내 P 제철소의 경우 발생하는 제강 슬래그의 대부분을 전로슬

래그가 차지하고 있다. 전로 및 고로슬래그의 성분은 철광석의 원산지와 제철과정 및 슬래그의 aging 정도에 따라 포함하고 있는 성분의 함량이 달라진다. 현재, P 제철소에서 발생하는 전로슬래그는 전로 취련 후 slag pan에 옮겨져 slag yard로 이동되어 배재되며 배재된 용융상태의 전로 슬래그는 대기 중에 방치되어 어느 정도 자연 냉각된 후 최종적으로 냉각수를 살포함으로써 강제로 냉각된다. 냉각 고화된 제강슬래그는 일련의 파쇄공정을 거쳐 적정 입도별로 분리된 후 시멘트 원료, 철원회수, 골재 등으로 판매 또는 제철소 내에서 재활용되고 있다(옥진수, 1995). 본 실험에 사용된 전로 및 고로슬래그의 성분은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 전로와 고로 슬래그를 이용하여 수중에 있는 용해성 인의 제거를 목적으로 수행하였다. 이를 위해 슬래그의 특성분석 및 탈인 능력에 대한 기초적인 실험을 인공폐수를 대상으로 수행되었다. 우선적으로 슬래그의 pH 용출특성과 슬래그 투입량(β) 및 초기 인 농도의 영향을 살펴보았으며 초기 반응 pH와 영양염류의 존재가 인 제거율에 미치는 영향도 분석하였다. 슬래그는 P 제철소에서 발생한 전로슬래그와 고로슬래그를 사용하였으며 건조기를 통하여 200°C에서 24시간 건조시킨 후 #200체로 체걸음하여 데시게이터에 보관하여 이용하였다. 실험에 사용된 고농도의 합성 인 폐수는 KH_2PO_4 시약으로 조제하였으며 pH 조절은 1N HCl과 1N NaOH를 통해 이루어졌다. 교반은 진동교반기를 이용하여 전체 반응시간 동안 동일한 교반속도로 교반되도록 하였으

Table 1. Chemical composition of converter and furnace slags (%)

Composition	Converter slag (%)	Furnace slag (%)
SiO ₂	14.4	35.4
Al ₂ O ₃	2.11	11.81
Fe ₂ O ₃	10.8	0.41
MnO	3.06	0.41
CaO	40.11	43.08
MgO	7.19	6.42
TiO ₂	0.83	0.83
Na ₂ O	0.069	0.42
K ₂ O	0.058	0.69
S	-	0.71
T ₂ O ₂	2.06	-
FeO	15.45	-

며 온도는 항온장치를 이용하여 일정하게 유지하였다. 수질분석을 위한 시료 채취는 지정 시간대 별로 채취하여, 원심분리한 상등액을 대상으로 실시하였다. 수질분석방법은 Standard Method와 공정시험법에 준하여 수행하였다(APHA, 1998).

2.2. 회분실험

회분실험은 완전교반상태에서 수행되었으며 인 용액에 슬래그를 투입한 직후 완전한 혼합이 일어날 수 있도록 100rpm의 속도로 교반하였으며 이후 48시간 동안 속도를 낮추면서 간헐적으로 교반하였다. 회분 반응기로는 250ml의 유리제 용기를 사용하였으며 각각의 용기에는 인 용액 200ml에 대하여 적정량의 슬래그를 투입하였다. 평형상태에 도달하기 위한 초기 농도의 결정과 전로와 고로슬래그의 최적투입량을 구하기 위한 실험이 선행되었으며 투입량 β 값은 저농도 인 용액의 경우 반응이 진행됨에 따라 초기 인 용액에 대한 평형상태 파악을 위해 잔여 인 용액의 농도가 0이 되지 않는 범위 안에서 여러 번의 시행착오를 통해 결정하였다. 반응용기는 질산용액과 증류수로 완전히 세척한 후 건조하여 사용하였다. 인의 초기 농도는 10mg/L에서 40mg/L의 범위로 다양화하였고, 투입되는 슬래그의 양은 전로 슬래그의 경우 0.2-0.3g, 고로 슬래그인 경우 2.0-3.0g의 범위 내에서 다양화 하였다. 시간에 따른 인 농도의 변화는 적정 시간 간격으로 상등수의 인 농도를 측정하여 관찰하였다. 두 번째로 수행된 회분 실험은 탈인 과정에서 pH의 영향을 고찰하기 위한 것으로 동일한 조건하에서 초기 인 용액의 pH 값을 다양하게 변화시켜 실행되었다. 인 용액의 초기 pH 범위는 2-12로서 pH 조절은 초기에만 실시하였고 반응이 시작된 후에는 조절하지 않았다. pH 조절은 1.0N HCl과 1.0N NaOH를 통해 이루어졌으며 온도는 20°C로 일정하게 유지하였다. 일반적으로 하수는 인과 함께 암모니아성 질소(NH₄-N)를 함유하고 있으며 두 화합물 모두 슬래그에 흡착 될 수 있는 높은 가능성을 지니고 있어 슬래그를 이용한 인의 제거에 있어서 NH₄-N의 영향에 관한 실험이 마지막으로 수행되었다(Lee, 1997). 인 용액의 초기농도는 15-40mg/L 범위 내에 두었으며 NH₄의 농도는 40mg/L로 고정하였다.

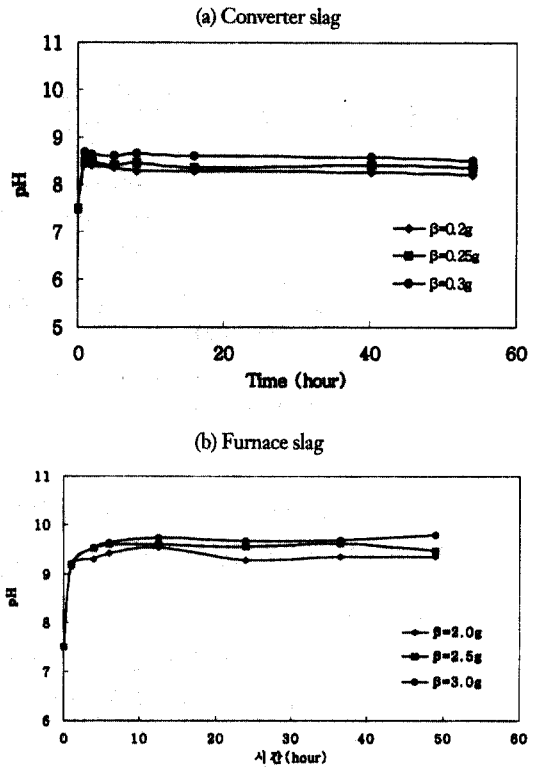


Fig. 1. pH changes at various amount of slag ($C_0 = 40\text{mg/L}$, $V = 200\text{mL}$, $\text{pH} = 7.5$)

3. 실험결과

3.1. pH의 변화

Fig. 1a와 Fig. 1b는 각각 전로와 고로슬래그를 탈인제로 사용할 경우 반응 시간에 따른 pH 변화를 보여주고 있다. 반응시간의 증가에 따라 pH 값은 전로와 고로슬래그 모두 초기에 급격히 상승한 후 pH 8-9에 도달한 후 일정하게 유지하였다. Fig. 2는 전로슬래그에서 초기 인 농도에 따른 pH의 변화를 보여주고 있는데 이 경우 초기 인 농도가 증가 할수록 반응 pH는 낮아졌다. 반응초기에 급격하게 pH가 상승한 후에 증가추세가 감소하여 시간에 따라 일정하게 유지하고 있는데 이는 슬래그의 인 제거 반응에서 용출된 칼슘이온과 용해성인인 Hydroxyapatite [Ca₅(PO₄)₃(OH)]를 생성하면서 pH 증가속도가 떨어지는 것으로 볼 수 있다(Zoltak, 1974; Yamada et al., 1986). 따라서 고농도의 용해성 인을 제거하는 경우

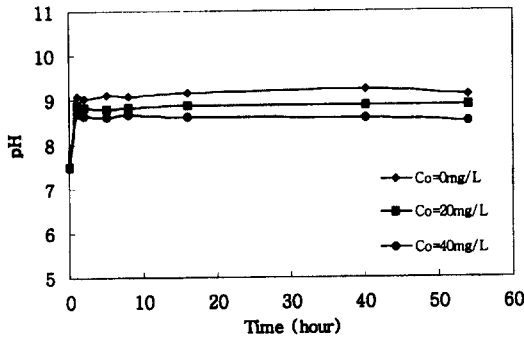


Fig. 2. pH changes at different initial P concentration ($C_o = 0, 20, 40\text{mg/L}$, $\beta = 0.3\text{g}$, $V = 200\text{mL}$, $\text{pH} = 7.5$)

에 반응 pH는 저농도의 인폐수에 비하여 상대적으로 낮은 pH에서 반응이 일어날 것으로 보인다.

3.2. 잔류 인농도의 변화

용해된 인 화합물은 대부분의 경우 정인산의 형태로 존재하며 물리-화학적 반응에 의하여 흡착제에 고정화 된다(Bucksteeg, 1985). 이 고정화는 알루미늄이나 철 성분을 지닌 흡착제에서 더 우세하고 지속적인 것으로 알려져 있다(Jenkins, 1971). 반응시간에 따른 잔존 용해성 인산염의 농도를 Fig. 3에 나타내었다. 전로와 고로슬래그 모두 반응시간 12시간 안에 용해성 인이 급격히 감소되어 제거율이 50~60%를 나타내었으며 제거 속도는 투입한 슬래그의 양에 비례하여 증가하였다. 또한 반응시간이 경과함에 따라 반응 초기에 처리수 표면에 떠 있던 많은 스컴이 제거되어 지는 것으로 미루어 지속적인 교반에 의해 전로슬래그의 미세한 입자들이 인 제거 반응에 의해 생성된 Hydroxyapatite $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})]$ 와 결합하여 보다 큰 입자의 형태로 형성되어 침전되는 것으로 보인다(Yamada et al., 1986).

3.3. 슬래그에 의한 인 제거 동역학

슬래그에 의한 인 제거의 동역학을 파악하기 위해서로 다른 초기 인 농도에서 인 농도의 변화를 시간에 따라 측정하였다. 본 회분평형실험은 48시간에 걸쳐서 인용액과 슬래그 사이에 평형상태가 유지될 때까지 수행되었으며 90% 이상의 인이 제거 되는 데에는 전로슬래그와 고로슬래그 모두 24시간 가량 소요

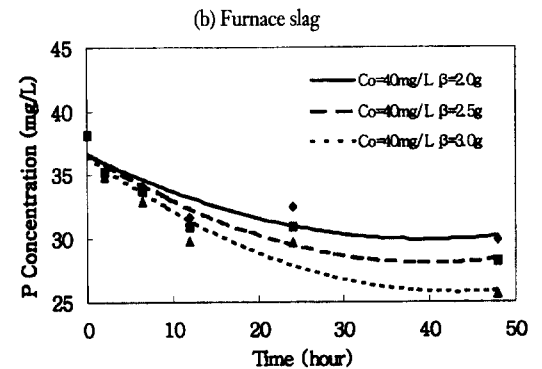
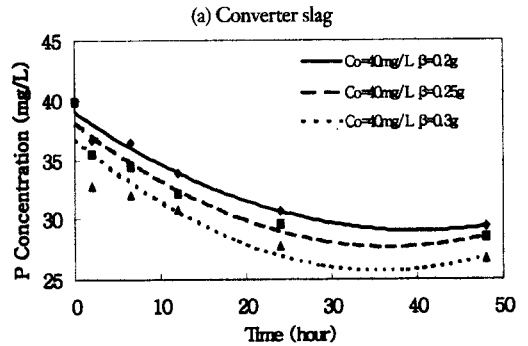


Fig. 3. Kinetics of P concentration at different amount of slag ($C_o = 40\text{mg/L}$, $\beta = 0.2, 0.25, 0.3\text{g}$, $V = 200\text{mL}$, $\text{pH} = 7.5$)

되었다. 초기 인 농도가 40mg/L일 경우 전로슬래그가 고로슬래그 보다 약 8배 정도 높은 제거 능을 보여주고 있는데 초기 인 농도 10~40mg/L 범위 내에서 평균적으로 전로슬래그의 제거능은 고로슬래그에 비해 약 4배인 것으로 나타났다(Fig. 4). 이는 호주 BHP 제철소에서 발생된 전로와 고로슬래그의 흡착능과 거의 비슷한 양상을 보여주고 있다(Lee, 2001). 슬래그에 의해 제거되는 인의 양은 초기반응에서는 급속도로 증가하다가 이후에 점차적으로 감소하는 1차 반응식의 양상을 보였다. 본 연구에서는 전로와 고로슬래그에 대한 세부적인 화학적 특성이 조사되지 않았으나 서로 다른 초기 인 농도에서 전로 슬래그가 고로슬래그보다 훨씬 높은 인 제거 능을 지니고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 수계에서 무기성인은 알루미늄, 철, 칼슘등과 결합하여 혐기조건하에서 불용성 화합물형태의 침전물로 존재 한다(Hosomi and Sudo, 1979; Hosomi, 1982). 혐기상태에서 알루미늄 인산

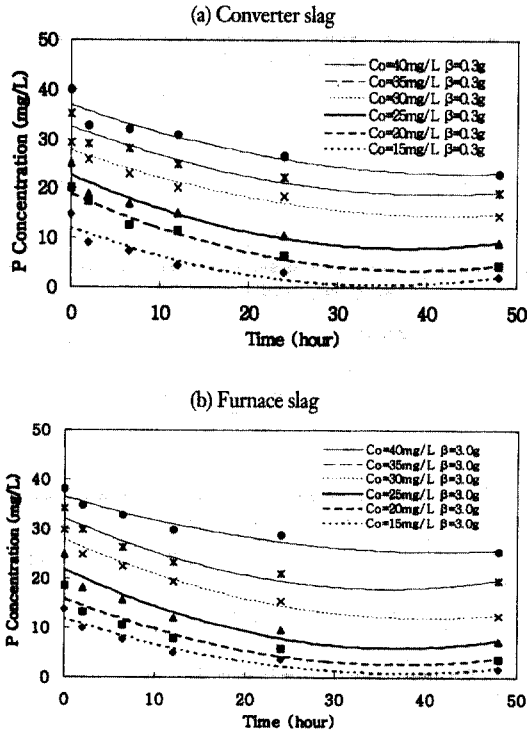


Fig. 4. Kinetics of P concentration at various initial P concentration ($C_o = 15, 20, 25, 30, 35, 40\text{mg/L}$, $\beta = 3.0\text{g}$, $V = 200\text{mL}$, $\text{pH} = 7.5$)

염과 철 인산염(호기 조건 하에서는 불용성으로 존재)은 용해된 상태로 존재하며 무기인산염은 침전물의 형태로 분리되어 진다(John, 1983). 슬래그는 내부에 다량의 칼슘을 포함하고 있는데 이는 용해성의 무기인산을 제거할 수 있으며 슬래그 표면의 알루미늄, 마그네슘, 철, 망간, 티타늄 등도 인을 제거할 수 있다. 이전에 수행된 연구에 의하면 수산화칼슘이 가장 높은 탈인 능을 보이며 다음으로 수산화마그네슘, 산화철, 탄산마그네슘, 수산화알루미늄 순으로 탈인

능이 높은 것으로 나타났다(Yamada et al., 1986). 또한 탈인은 슬래그 표면에 위치한 칼슘, 마그네슘, 알루미늄, 규소 화합물의 작용기와 동시에 발생하며 여러 화합물 중 수산화칼슘은 슬래그 표면의 탈인능에 가장 중요한 역할을 하고 있다(Yamada et al., 1986). 탈인에 관여하는 전로와 고로슬래그 표면의 복잡한 화합물들은 제강과정에서 칼슘, 알루미늄, 규소, 마그네슘등에 의하여 생성되어지는데 본 실험에 사용된 고로와 전로 슬래그의 경우 CaO의 비율이 각각 40.11%와 43.08%로 나타났다.

흡착은 일반적으로 등온흡착식의 계수를 통하여 설명되어질 수 있다. Freundlich 등온식의 경우 대부분 토양에서의 인 흡착을 설명함에 있어서는 Langmuir 등온식보다 더 적합한 것으로 알려져 있다(Fitter and Sutton, 1975; Holford, 1982). 두 등온식을 비교하여 보면 Langmuir 등온식의 경우는 표면전하의 영향을 고려하지 못할 뿐만 아니라 그 복잡성으로 인하여 Freundlich 등온식에 비하여 선호성이 떨어진다. 하지만 Langmuir 등온식은 흡착제의 물리-화학적 특성, 흡착능 및 적용성 등의 인자들을 포함하고 있다는 이론적인 면에서는 Freundlich 등온식 보다 더 선호된다. 또한 Freundlich 등온식의 값이 흡착성(흡착능과 적용성)과 높은 상관관계가 있으며 또한 역치 수 N은 적용성을 나타내는 인자로 알려지고 있다(Holford, 1982). 인의 흡착은 Freundlich 등온식과 Langmuir 등온식을 통하여 수식화 하였으며 초기 인 농도 변화 시의 전로 및 고로 슬래그에 대한 Lanmuir와 Freundlich 등온상수는 각각 Tabel 3과 Table 4에 나타나 있다. 본 실험에 있어서는 Langmuir 등온식이 Freundlich 등온식 보다 더 높은 상관성을 나타내었다. 이 결과 치는 중급속의 흡착과 같은 기존의 연구 결과와는 일치되지 않으며 대부분의 중급속에 대한

Table 2. Equilibrium concentration and amount of P adsorbed

C_o (mg/L)	Converter slag (0.3g)		C_o (mg/L)	Furnace slag (3.0g)	
	C_e (mg/L)	S_e (mg/L)		C_e (mg/L)	S_e (mg/L)
14.80	2.10	8.47	13.80	1.70	0.81
20.20	4.50	10.46	18.65	3.68	1.00
25.01	9.00	10.68	24.90	7.30	1.17
29.23	14.60	9.75	29.80	12.50	1.15
35.17	19.10	10.71	34.20	19.50	0.98
39.88	23.00	11.25	38.14	25.59	0.83

Table 3. Freundlich and Langmuir isotherm constants in converter slag

Freundlich Isotherm Constants		Langmuir Isotherm Constants	
K(mg/g)	8.5	a(mg/g)	11.2
n	11.8	b(L/mg)	1.4
R ²	0.60	R ²	0.99

Table 4. Freundlich and Langmuir isotherm constants in furnace slag

Freundlich Isotherm Constants		Langmuir Isotherm Constants	
K(mg/g)	0.8	a(mg/g)	1.0
n	9.9	b(L/mg)	3.8
R ²	0.42	R ²	0.98

Table 5. Changes of P adsorbed at various initial pH

Initial pH	2	4	6	8	10	12
Final pH	6.1	8.6	8.7	9.5	9.7	11.8
Se(mg/g)	11.9	7.2	7.0	7.9	7.9	8.3

흡착실험의 결과는 Freundlich 등온식이 더 적합한 것으로 알려져 있다 (Fitter and Sutton, 1975; Bajracharya, 1989).

3.4. 인 제거공정에서 pH의 영향

pH는 인 제거 과정과 제거율에 있어서 중요한 인자로 작용된다. 슬래그가 포함된 수용액은 많은 양의 Hydroxyapatite [Ca₅(PO₄)₃(OH)]를 용출함으로 인해 별도의 pH 조절을 하지 않을 경우 pH가 9 이상으로 높아진다. 본 실험에서는 초기 pH를 pH 2에서 pH 12까지 고정하여 실험을 수행하였으며 pH 조절은 반응 시작 단계에서만 이루어졌다. Fig. 5는 시간에 따른 pH의 변화를 보여주고 있는데 초기 pH가 4-10의 범위에 있을 경우는 반응 시작 초기에 일반적인 정석범위인 pH 8-10 값을 보였으며 이후 일정하게 유지되었다. 반면 pH 2의 경우 점차적인 pH 상승을 보였으며 pH 12의 경우는 약간 감소하는 경향을 보였다. 이와 유사한 현상이 중금속 흡착에서도 관측되었다 (Vigneswaran et al., 1989).

Table 5는 24시간 반응 후의 초기 pH에 따른 단위 슬래그당의 제거량을 보여준다. 기존의 연구에 의하면 pH와 인 제거에 있어서 pH가 7-9일 때 슬래그의 인 제거 능력이 가장 높고, pH 6 이하 또는 pH 9 이상에서 급격히 감소한 것으로 나타났다(Yamada et al.,

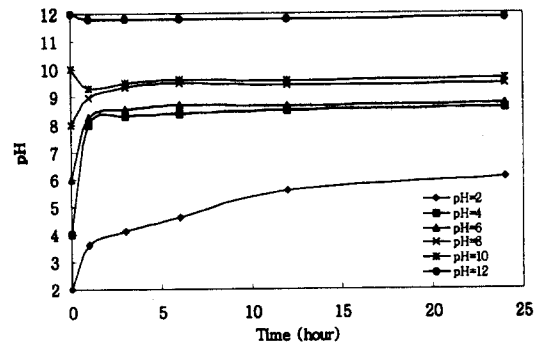


Fig. 5. pH changes of converter slag solution at different initial pH (Co = 20mg/L, β = 0.3g, V = 200mL, pH = 2, 4, 6, 8, 10, 12)

1986). 또한 pH가 증가하여 pH 10 이상으로 되면 슬래그 내에서 용출되는 탄산이온과 칼슘이온이 반응하여 미세한 탄산칼슘 결정이 생성되고, 이 미세한 탄산칼슘이 슬래그 표면을 덮어 슬래그 표면에서 인산칼슘의 형성을 가로막아 탈인 능력을 저하시키는 것으로도 알려져 있다(上甲, 1980; 1981). 그러나 Table 5에서 볼 수 있듯이 초기 pH 2(실제적인 반응 pH는 6 이하)의 경우 pH 8 이상일 때 보다 높은 인 제거율을 얻을 수 있었다. 이는 일반적인 정석재료 사용되어지는 인광석, 골탄 등과는 다른 슬래그만의 특성으로 일반적인 정석반응의 적정 pH 영역과는 다

Table 6. Reduction rate of P adsorbed at various initial P concentration

C ₀ (mg/L)		15	20	25	30	35
Se (mg/g)	With NH ₄ ⁺	7.73	8.04	8.38	9.06	10.24
	Without NH ₄ ⁺	8.47	10.46	10.68	9.75	10.71
P adsorbed reduction rate (%)		12.6	23.1	21.5	7.1	4.4

른 것으로 나타났다. 이는 정석채로부터 OH가 용출되어지는 슬래그의 경우는 슬래그 자체의 용출 OH의 영향으로 인해 용액의 pH와 실제 정석반응이 일어나는 구역으로 정석채 표면을 싸고 있으면서 분자 확산을 지배하는 액막(Liquid film) 사이의 평형 pH가 통상적인 정석반응 영역인 pH 8-9보다 낮은 pH를 나타냈다는 것은 실제로는 용액과 슬래그간의 정석 반응 시에는 적정 pH 영역이 존재할 수 있음을 보여 준다. 일반적으로 정석반응의 저해 인자인 탄산칼슘의 생성을 막기 위한 전 처리 과정으로 탈탄산 공정을 두는 경우 공정의 과정상 처리 후의 pH가 4 이하로 떨어지게 되어 pH 재조정 단계가 필요하게 되나 슬래그를 정석채로 할 경우는 pH 4의 경우에서도 적정 pH 범위를 유지할 수 있을 것으로 보인다(Lee, 1997).

3.5. 인제거 공정에서 질소의 영향

Table 6은 초기 인 농도의 변화에 따른 질소의 첨가전과 첨가 후 인제거량의 감소분을 보여주고 있다. 실험결과 용액중에 암모니아성 질산이온이 존재할 경우 감소율은 초기 인 농도에 따라 4-23%로 흡착능이 감소되는 것으로 나타났다. 이는 슬래그 표면의 흡착 지점에서 질소와의 경쟁과 이온강도의 증가로 인한 저해효과에 기인한 것으로 보인다(Lee, 1997).

4. 결론

1. 전로슬래그와 고로슬래그의 용출특성 실험결과 반응초기에 용출된 pH는 3 이상이며 반응이 진행되어도 pH 8.5-9.5 범위를 유지하였다. 반응 초기 인 농도가 높을수록 반응 pH는 낮았으며 투입 슬래그량이 많을수록 높은 pH를 보였다.

2. 단위 전로슬래그당 인제거량은 반응에 투입된 슬래그량이 적을수록 높아졌으며 전로슬래그와 고로슬래그의 단위 슬래그 당 인제거량은 초기농도 40

mg/L에서 각각 8.0mg/g, 1.1mg/g로 전로의 경우가 약 8배 정도 높은 제거능을 보였다.

3. Langmuir 등온식이 Freundlich 등온식 보다 실험결과에 있어서 더 높은 상관성을 보여주며 Langmuir 등온식의 최대 흡착능 a는 전로와 고로슬래그 각각 8.2mg/g, 1.0mg/g으로 실험을 통하여 얻어진 실제 단위 슬래그당 인제거량과 비슷한 값을 보였다.

4. 초기 pH의 반응에 대한 영향은 반응 pH의 범위가 낮을수록 높아져 초기 pH가 2일 경우(이때 반응 pH는 6 이하)의 인제거량이 pH 2 이상의 경우보다 대략 30% 이상의 높은 제거율을 보였다.

5. 질소의 영향에 대한 검토에 있어서 인용액 중에 질소가 공존할 경우 슬래그의 인제거량은 감소하였고 감소율은 초기 인 농도에 따라 변화되었는데 4-23% 범위 내에 있었다.

사사

본 연구는 금오공과대학교 교내 연구비(과제번호 2003-104-043) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Environment Federation) (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed., Washington D.C.: APHA.
- Banjacharya, K. (1989) Transport of cadmium in soil, Ph.D Thesis, DISS-EN-89-4, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Bucksteeg, K., et al. (1985) Initial experience with 12 German plant treatment systems, *Korrespondenz Abwasser*, 32, pp.376.
- Dryden, F.D. and Stern, G. (1968) *Environ. Sci. & Tech.*, 2(268).
- Fitter, A.H. and Sutton, C.D.(1975), The use of the Freundlich isotherm for soil phosphate sorption data, *J. Soil Sci.*, 26, pp.

- 241-246.
- Jenkins, D., et al. (1971) Chemical Process for Phosphate Removal, Water Research, Pergamon Press, 5, pp. 369-389.
- John, H. (1983) Fractionation of phosphorus and releasable fraction in sediment mud of Osaka Bay, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 49, pp. 447-454.
- Holford, I.C.R. (1982) The comparative significance and utility of the Freundlich and Langmuir parameters for characterizing sorption and plant availability of phosphate in soils, Aust. J. Soil Res., (20), pp. 233-242.
- Hosomi, M., Okada, M. and Sudo, R. (1982) Release of phosphorus from lake sediments, Environ. Int., 7, pp. 93-98.
- Hosomi, M. and Sudo, R. (1979) Some observations on phosphorus release from lake sediments, Jap. J. Wat. Pollut. Res., 2, pp. 157-162.
- S.H. Lee, S. Vigneswaran, K.H. Ahn (1997) Phosphorus removal using steel industry by-products: effects of agitation and foreign material, J. of Korean Society of Water Quality, 13(4), pp.353-361.
- S.H. Lee (1998) Preliminary study on the application of steel industry slag for phosphorus removal in constructed wetland, J. of Civil Engineering, 12(2), pp. 203-210.
- S.H. Lee (2001) An investigative study on phosphorus removal process using converter and furnace slags, Environ. Eng. Res., 6(4), pp.191-197.
- Vigneswaran, S., Manivasakan, M. and Bajracharya, K. (1989) Investigation of transport mechanism of heavy metals in soil, 76th Indian science Congress, Madurai, India. pp. 438.
- Yamada, H. kayama, M., Saito, K. and Hara, M. (1986) A fundamental research on phosphate removal by using slag, Wat. Resour. Res., 20(5), pp. 547-557.
- Zoltek, J.Jr (1974) Phosphorous removal by orthophosphate nucleation, Journal WPCF, 46(11), pp. 2498-2520.
- 김용호, 임수빈 (1995) 정석탈인법에서의 정석재 특성에 관한 비교연구, 한국수질보전학회지, 11(2), pp. 126-132.
- 이기종, 허우명, 김범철 (1993) 대청호 유역과 가두리 양어장으로부터의 인부하량과 인수지, 한국 수질보전학회지, (9), pp. 139-144.
- 황환국 (1994) 전로슬래그를 이용한 정석탈인법의 영향인자에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위논문.
- 육진수 (1995) 분말전로슬래그를 이용한 고농도 인폐수의 처리에 관한 연구, 홍익대학교 대학원 석사학위논문.
- 박종인 (1989) 고도처리와 재이용, 산해당.
- 上甲 외 3인 (1980) 晶析法による下水中のりの磷除去に関する研究(第1報), 下水道協會誌, 17(197).
- 上甲 외 2인 (1981) 晶析法による下水中のりの磷除去に関する研究(第2報), 下水道協會誌, 18(200).
- 村田 恒雄.(1992) 下水の高度處理技術,理工圖書, pp. 124-138.