

인산염 농도와 폐수조건 변화에 따른 입상 전로슬래그의 양이온 용출 특성과 인산염 제거의 관계에 관한 연구

이상호^{1*}, 이인구²

Relation between Leaching Characteristics of the positive Ions and Phosphate Removal by granular Converter Slag for the different Conditions and Concentrations of Phosphate

Sang-Ho Lee^{1*} and In-Gu Lee²

요약 전로슬래그는 폐수 중에 함유된 인산염을 고형물 형태로 제거하는데 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구는 전로슬래그를 이용하는데 있어서 폐수의 초기 조건에 따라 전로슬래그로 인한 폐수의 pH, 알칼리도 그리고 양이온 용출변화에 따른 인산염 제거 등에 관하여 연구하였다. 실험대상 폐수의 pH를 0.5 단위로 7.0부터 8.5까지 다른 초기 조건에서 폐수의 pH는 10시간 내에 급격하게 pH 11이상까지 상승하였다. 알칼리도는 pH보다는 급격하게 상승하지는 않았지만 반응시간 10 시간이 경과한 후 꾸준히 상승하였다. 인산염 제거는 pH 상승, 알칼리도 상승과 함께 반응시간 10시간까지 급격하게 제거되다가 서서히 제거되는 양상을 보였다. 반응시간 27시간 경과 후 그리고 36 시간 경과 후 전로슬래그에 함유된 마그네슘 이온 용출 농도를 측정된 결과 2.0 mg/L과 4.3 mg/L 수준까지 지속적으로 용출되었다. 본 실험 결과 전로슬래그에 함유된 마그네슘이 용출되었기 때문에 물속에 암모니아가 존재한다면 인산염과 함께 스트루바이트 형태의 결정체로 인이 제거될 수 있음을 확인하였다.

Abstract The converter slag can be used to remove phosphate ion into the form of solid state from the wastewater. This research aims to evaluate the change of pH, alkalinity, leaching of positive ion in the wastewater and the removal of phosphate from the initial condition of wastewater. The change of pH was abruptly increased upto pH 11 for the initial condition of pH from 7.0 to 8.5 for 0.5 unit of pH. The alkalinity was steadily increased from 10 hours of reaction time not same as pH increase. The removal of phosphate was very effective till 10 hours of reaction then it was slow after that time. The positive ion, magnesium ion was leached from the concentration of 2.0 mg/L to 4.3 mg/L at the reaction time of 27 hours and 36 hours. Therefore, converter slag can be used to remove the phosphate in the form of Struvite from the wastewater.

Key Words : converter slag, phosphate removal, pH dependant, leaching the positive ion

1. 서론

우리나라 환경부는 공공수역의 생태계 환경의 건전성을 확보하기 위하여 하수처리장 방류수의 수질을 크게 강화하고 있다. 특히 지표수 중 정체 수역의 수질을 보전하기 위하여 질소 및 인의 배출 기준을 강화하고 있다. 따라서 현재 환경부의 규제 기준을 살펴보면, 총인(T-P)과 총질소(T-N) 농도를 2 mg/L, 20 mg/L이하로 배출하도록 규제하고 있다. 특히 수중의 용존 인의 농도는 아주

적은 양이라 하더라도 조류를 증식시킬 수 있는 중요한 인자로 유입량과 유입 경로가 다양한 질소보다 인을 제거하는 것이 훨씬 효율적이라는 것이 알려져 있다. 실제로 수계에서는 T-P의 경우 0.03 mg/L 이상인 경우 부영양화 단계로 분류하고 있으며, 0.1 mg/L 이상이 되면 심각하게 조류가 발생하는 상태에 이른다고 알려져 있다 [1]. 이러한 공공수역으로 인의 유입으로 인한 부영양화 현상을 억제하기 위하여 우리나라의 많은 하수처리장에서는 생물학적 고도처리 방법을 경쟁적으로 도입하고 있는 실정이다. 생물학적 인제거 방법은 많은 시설과 운전의 까다로운 문제를 가지고 있지만 운전비용이 저렴한 장점을 가지고 있기 때문에 국내외에서 많은 하수처리장

¹상명대학교 환경공학과

²금강엔지니어링(주) 수질환경연구팀

*교신저자: 이상호(leesh@smu.ac.kr)

에서 도입하고 있는 실정이다. 그러나 1990년대부터 일본에서는 고농도의 인제거를 위하여 석회를 사용하였다. 그러나 최근에는 인 제거 기술을 화학적인 방법으로 제철공정의 폐기물인 전로슬래그를 이용하기 시작하였다. 전로슬래그는 제강공정에서 주원료인 용융선철과 고철 및 생석회 등을 전로에 유입하고 산소를 주입시켜 산화반응을 일으킴으로서 탄소, 인 및 철 등의 일부를 산화시키는데 이러한 산화물은 CaO와 결합하여 전로슬래그로 형성된다[2].

철강산업은 대량의 원료와 에너지를 소비하는 한편 그 제조과정 역시 복잡하여 발생하는 폐기물의 종류가 다양하고 이러한 폐기물은 철, 탄소, 및 석회석 등이 재활용이 가능한 유효자원을 다량 함유하고 있어 이들을 그대로 매립해 버리는 것은 자원 및 에너지를 낭비하는 것과 동시에 환경오염을 초래할 수 있기 때문에 발생량을 가능한 한 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 SiO₂)와 결합하여 녹는 점이 낮고 녹은 선철 보다 비중이 낮은 혼합물이 되게 하려는 것이기 때문인데, 용광로에서 유출되면 이 혼합물에 녹은 것이 선철 위에 층을 형성하여 흐르게 된다. 이와 같은 혼합물이 슬래그이다.

이와 같이 제철공정에서의 철강슬래그는 크게 고로공정과 제강공정에서 발생하고 있다. 고로슬래그는 거의 대부분의 시멘트원료로 재활용되고 있으며 도로용 골재로도 일부 활용되고 있다. 제강슬래그는 자연석재보다도 마모, 침식, 압력에 강하기 때문에 도로용 골재 또는 토목용 골재 등의 기초재료로도 사용하고 있고, 비료로도 사용되고 있어 여러 용도로 재활용되고 있다[3].

전로슬래그를 이용하여 인을 제거하는 공정으로 정석 탈인법을 이용하여 인제거의 탁월한 연구결과를 발표하였지만, 체류시간이 길어지기 때문에 정석반응에 필요한 Ca²⁺를 추가로 주입하고 pH를 상향 조정해야한다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 전로슬래그를 이용하여 인을 제거할 수 있는 조건에 대하여 연구하고, 초기 pH 조건에 따른 용액의 pH 변화, 알칼리도 변화 그리고 반응 조건에 따른 Mg²⁺의 용출 특성을 연구하였다. 특히 pH 변화와 알칼리도 변화로 전로슬래그에 의한 인산염(PO₄³⁻) 제거 효율에 대하여 조사 연구하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 전로슬래그는 P 제철소에서 제강과

정에서 발생하는 부산물로 국내 폐기물 용출시험법에 의한 용출시험결과, Pb, Cr, Cd 등 중금속의 용출 결과에서 수질환경기준법에 의하여 기준치 이하로 검출되어 일반 폐기물로 분류되고 있다[2]. 본 연구에서 사용된 전로슬래그의 양이온 용출 정도와 가수 또는 폐수에 존재하는 인제거를 위하여 산업 폐기물을 활용이 가능한 지를 확인하기 위한 목적으로 사용하였다.

본 연구에서의 실험은 수온을 25°C로 유지하고 전로슬래그와 용액을 균일하게 혼합하기 위하여 항온 혼합기인 Shaking Incubator(Jeio Tech)를 사용하였으며 혼합을 위하여 회전속도를 100rpm으로 조절하였다. 본 실험에 사용한 전로슬래그는 Standard sieve #4를 통과하고 #10에 걸린 Core 상태의 평균 입경 3.5 mm 크기의 50g을 1L 삼각플라스크에 각각 투입하였다. 본 실험에 사용한 용액의 pH를 조절하기 위해 NaOH와 H₂SO₄를 사용하여 7, 7.5, 8 그리고 8.5로 조절한 후 KH₂PO₄를 용해시켜 PO₄³⁻의 농도를 1, 3, 5ppm의 농도로 제조한 후 각 삼각플라스크에 첨가하였다. 특히 인산염이 배제된 조건 즉, 대조구, 초기 조건 변화에 따른 반응시간에 따른 양이온 용출의 정도와 인 제거 효율을 확인하기 위하여 3, 9, 15, 21, 27, 39시간으로 구분하고 3분간 정지시킨 후 상징액을 GF/C 여과지로 여과한 다음 분석하였다. pH 측정은 pH meter(HACH사)를 사용하였고, Alkalinity는 Standard Methods, PO₄³⁻는 PhosVer 3 with Acid Persulfate Digestion Method(USEPA Accepted)로 분석하였다. Mg²⁺ 용출 정도를 측정하기 위하여 Calmagite Colorimetric Method와 DR4000 Spectrophotometer (HACH사)을 사용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 초기 pH 조절에 따른 pH 변화와 인산염 제거

본 연구에서는 사용된 원수 pH를 각각 7에서 8.5까지 0.5 단위로 조절하여 전로슬래그 투입에 따른 폐수의 pH 변화를 [그림 1]에서 [그림 4]에 나타내었다. 초기에는 pH가 급격히 변하여 빠른 속도로 용출 되는 현상을 [그림 1]에서 보이고 있지만 9시간이 지나면서 pH 10~11로 안정화 현상을 보이고 있다. 각각의 수조에 함유된 전로슬래그의 양이 같은 조건에서 실험을 하였기 때문에 전로슬래그에서 용출되는 pH 상승 유발물질(OH⁻; hydroxyl ion)의 양이 유사한 것으로 판단되며 pH 7로 조절한 슬래그의 수조에서 [그림 1]에 나타난 바와 같이 초기 pH 농도가 pH 7.5~8.5로 조절한 [그림 2]부터 [그림 4]까지 반응조보다 급격히 상승하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은

수산기(OH)의 농도가 본 실험 조건에서 가장 적은 농도를 가지면서 고농도의 pH 유발물질인 슬래그와의 급격한 농도확산을 보이는 것으로 사료된다. 또한 30시간 이후로 pH가 낮아지는 것은 슬래그에서 Ca^{2+} 의 용출이 줄어들어 수산기의 용출이 제한되는 것으로 사료된다.

인의 화학적 침전은 다가의 금속이온 염을 첨가하여 Hydroxyapatite[$Ca_5(OH)(PO_4)_3$]와 같은 비용해성 인산염을 형성함으로써 이루어진다. 이 형성된 침전물의 용해도는 pH가 증가함에 따라 감소하며, pH가 9.0 이상일 때 가장 높은 제거율을 갖는다[4]. 따라서 [그림 1]에 나타낸 바와 같이 9시간이 경과한 후에 투입된 인의 농도가 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 전로슬래그에 의한 인산염 제거에 있어서 pH가 중요한 화학인자로 대두되는 이유는 수온이 일정할 경우 pH가 증가할수록 잔존하는 인의 농도는 점점 감소함을 알 수 있다. 석회에 의한 응집 침전법의 경우 적용 pH범위는 9.5~11.5로 알려져 있는데 Ca^{2+} 이온농도가 충분할 경우 pH 9.5이상에서 인은 Ca^{2+} 이온과 결합하여 Hydroxyapatite를 급격히 생성하게

되고 이때 생성된 Hydroxyapatite의 용해도는 pH가 증가함에 따라 점점 낮아지기 때문에 수중잔류인의 농도는 감소하게 된다. 이 경우 하수의 2차처리 유출수를 pH 9.5 이상으로 조정해 주어야 하며 따라서 전로슬래그의 Ca^{2+} 용출과 더불어 용출 pH는 매우 중요한 요소가 된다.

[그림 1]에서 [그림 4]는 시간변화에 따른 인농도와 pH와의 관계를 나타낸 것이다. 이들 그림은 pH 변화와 잔존하는 인의 농도와의 상관관계를 보이고 있다. 그리고 반응시간 15시간까지 40~50%의 인이 제거되는 현상을 보였고 pH가 10이상 유지되고 있음을 보여준다. 이러한 현상은 Momberg[5]과 Yamada[6]의 실험에서와 유사한 현상을 보여주고 있으며, 모든 조건에서 전체적으로 20시간 이후로는 인의 제거가 완만한 경사를 보여주고 있고, pH도 초기에 급격한 변화를 보인 후 대부분의 pH가 10~11의 범위를 벗어나지 않고 그대로 유지하는 것을 알 수 있다. 따라서 인의 높은 제거율을 유지시킬 수 있는 조건을 만족하고 있는 것으로 판단된다.

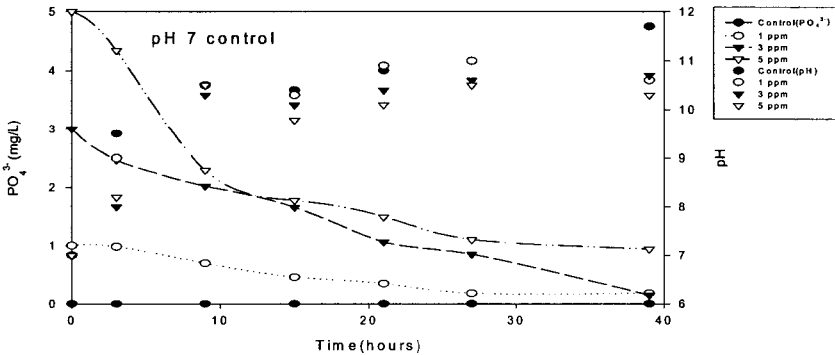


그림 1. 회분식 실험에서 폐수의 초기 pH 조건을 pH 7.0로 했을 때 시간에 따른 폐수의 pH 변화와 인산염 제거에 대한 결과.

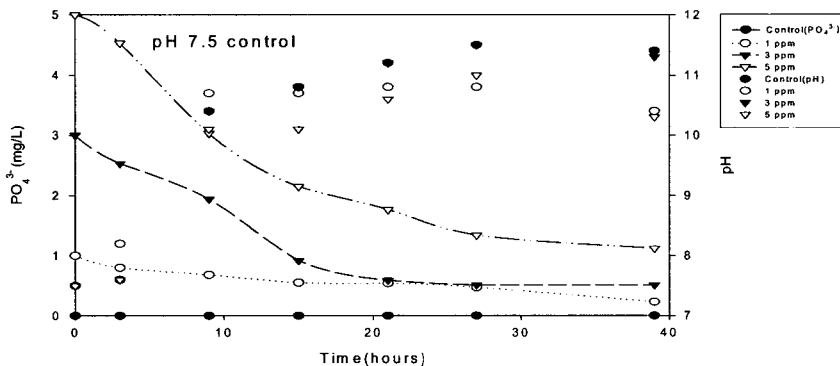


그림 2. 회분식 실험에서 폐수의 초기 pH 조건을 7.5로 했을 때 시간에 따른 폐수의 pH 변화와 인산염 제거에 대한 결과.

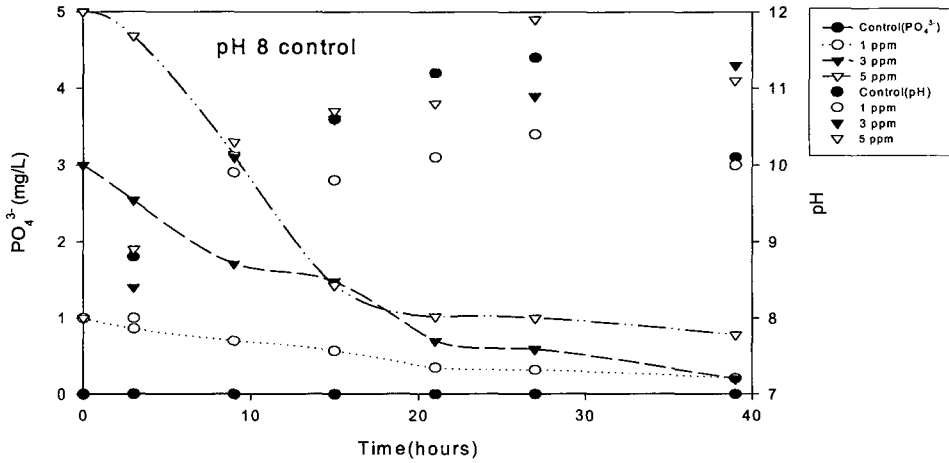


그림 3. 회분식 실험에서 폐수의 초기 pH 조건을 pH 8.0으로 했을 때 시간에 따른 폐수의 pH 변화와 인산염 제거에 대한 결과.

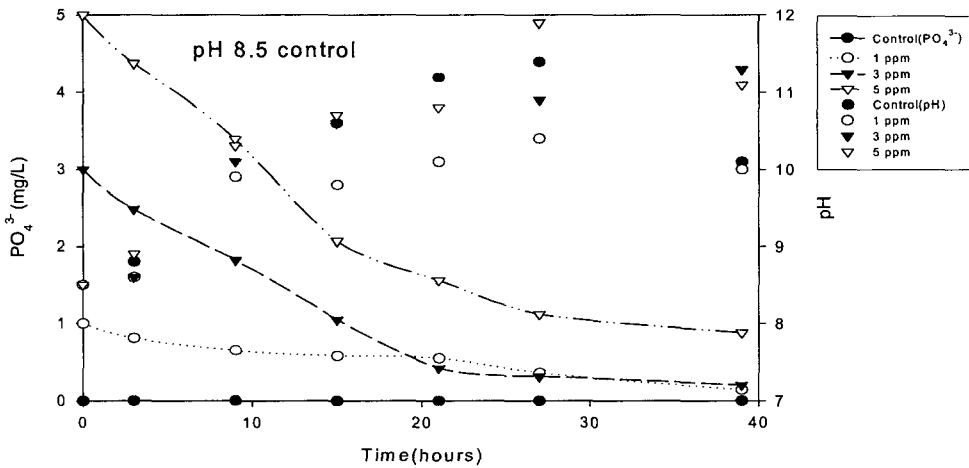


그림 4. 회분식 실험에서 폐수의 초기 pH 조건을 pH 8.5로 했을 때 시간에 따른 폐수의 pH 변화와 인산염 제거에 대한 결과.

3.2 시간에 따른 폐수의 pH 변화와 알칼리도 (Alkalinity)의 변화

알칼리도는 일반적으로 HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- 의 형태로 존재한다. 주로 pH 8.5 이상에서는 HCO_3^- , CO_3^{2-} 로 존재하는데 Ca^{2+} 이온은 중탄산염 알칼리도와 반응하여 탄산칼슘(CaCO_3)을 형성하여 침전하지만 pH 9.5~10이상에서는 잉여 칼슘이온이 인과 반응하여 Hydroxyapatite [$\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$]를 형성한다. 인산염의 농도를 각각 1, 3, 5ppm으로 조절하여 pH 용출에 따른 알칼리도의 변화를 [그림 5]부터 [그림 8]에 나타내었다. 반응 시간이 3시간

경과한 후 pH 범위에서는 Ca^{2+} 에 의한 알칼리도 형성으로 인해 수중의 인산염과 반응할 수 있는 Ca^{2+} 의 양을 감소시킴으로써 정석 탈인 반응의 효율을 저하시키는 원인이 될 수 있다. 폐수의 pH 변화에 따른 알칼리도의 변화가 유사한 경향을 [그림 5]부터 [그림 8]까지에서 보이고 있다. 이것은 Ca^{2+} 의 계속되는 용출을 의미하고 있으며 인을 제거하는 적절한 pH와 Ca^{2+} 의 용출에 의한 알칼리도의 변화를 보여주고 있다.

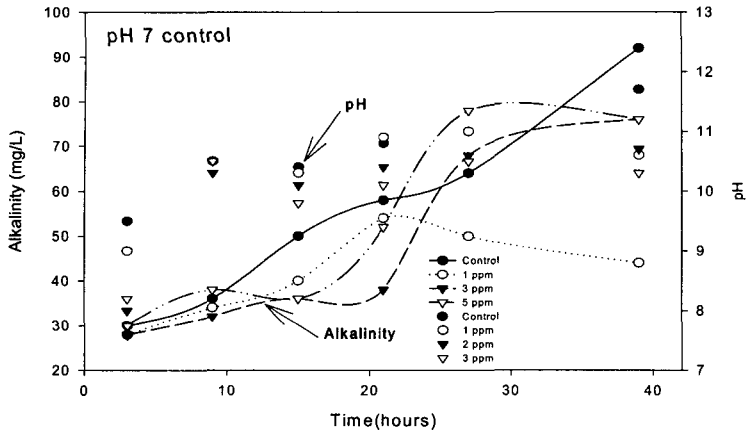


그림 5. 폐수의 초기 pH 조건을 7.0으로 했을 때 시간이 경과함에 따른 pH와 알칼리도의 변화.

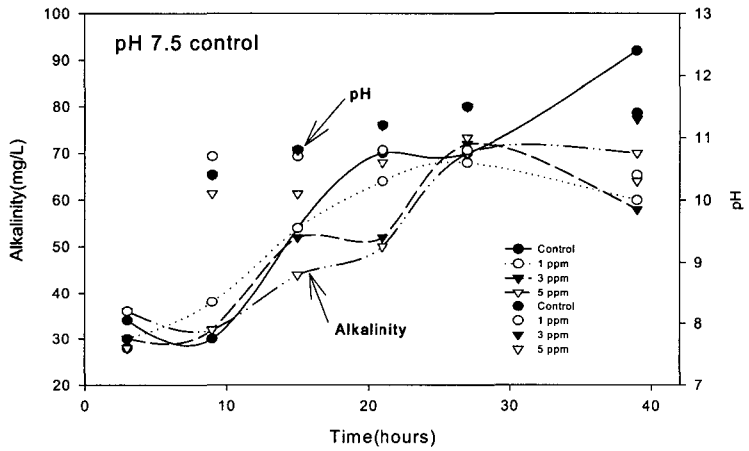


그림 6. 폐수의 초기 pH 조건을 pH 7.5로 했을 때 시간이 경과함에 따른 pH와 알칼리도의 변화.

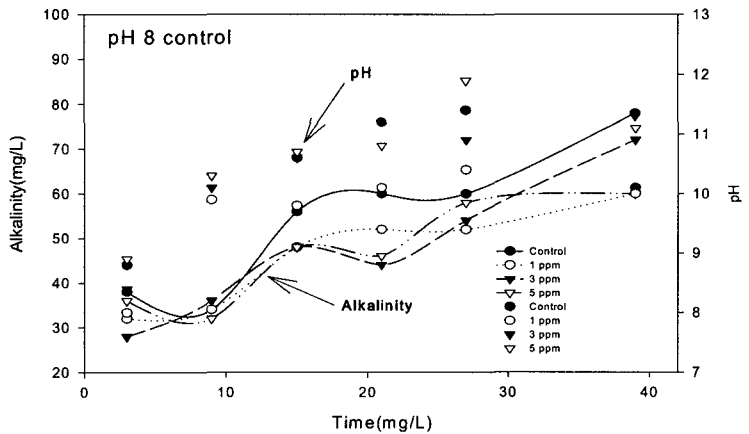


그림 7. 폐수의 초기 pH 조건을 pH 8.0으로 했을 때 시간이 경과함에 따른 pH와 알칼리도의 변화.

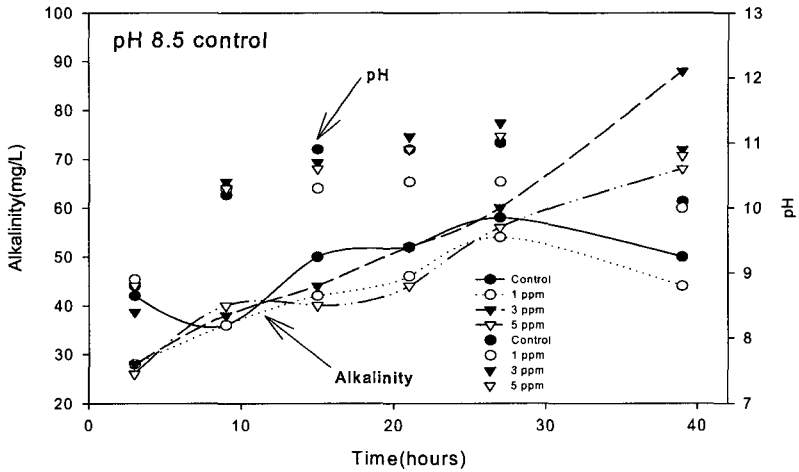


그림 8. 폐수의 초기 pH 조건을 pH 8.5로 했을 때 시간이 경과함에 따른 pH와 알칼리도의 변화.

하수 중의 탄산은 pH 8.5이상에서 주로 HCO_3^- 와 CO_3^{2-} 의 형태로 존재하게 되는데 Ca^{2+} 이온은 인과 결합하여 Hydroxyapatite를 형성하지만 탄산염과도 반응하여 탄산칼슘을 형성한다. 따라서 Hydroxyapatite의 생성반응과 탄산칼슘의 생성반응이 경쟁적으로 발생하게 되어 Hydroxyapatite의 생성속도를 떨어뜨리게 되는 요인으로 작용하게 된다. CaO에 의한 응집침전의 경우 첨가량은 하수중의 잔존하는 인의 농도보다 주로 알칼리도에 의해서 정해지며 수중의 알칼리도가 높으면 pH를 적정 처리 범위로 올리기 위한 석회첨가량이 점점 많아지게 된다. 하수처리장의 경우 알칼리도가 높으면 석회 탈인 처리에서는 슬러지가 많이 발생하게 되므로 Hydroxyapatite 생성 영역인 pH 9.5~10까지로 조정함 다음 흡착에 의해 인을 제거할 수도 있으며 알칼리도가 작은 경우는 석회 처리에 의해 pH를 11이상으로 조정하여 인을 제거할 수도 있다[7].

3.3 양이온 용출 변화

본 실험에서는 전로슬래그에 함유되어 있는 마그네슘의 시간변화에 따른 용출농도를 [그림 9]에 나타내었다. 본 실험에서 폐수 중의 PO_4^{3-} 이온과 NH_4^+ 이온이 함께 존재할 때 pH 변화에 따른 Struvite(MgNH_4PO_4)의 생성 가능성을 보여 주었으며[8], 본 실험에서의 마그네슘 농도는 0.2~3.9mg/L로 나타났다.

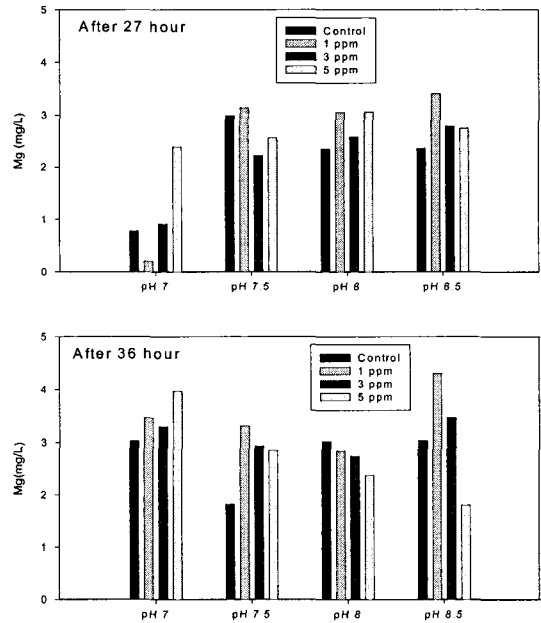
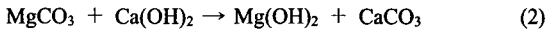
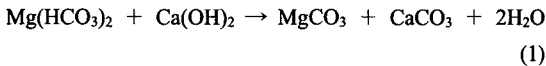


그림 9. 회분식 실험에서 용액의 초기 pH와 시간 경과에 따른 마그네슘 이온의 용출 결과.

Mg^{2+} 를 이용하여 인과 질소를 동시에 제거할 경우 처리효율은 좋으나 화학약품에 따른 처리비용 등의 경제성 문제가 있다고 지적하였고, 바닷물과 간수에 함유되어 있는 Mg^{2+} 와 Ca^{2+} 을 이용하여 MgCl_2 시약과 비교실험을 하였다. Mg : N : P의 최적 몰비는 1 : 1 : 1로 기준에 보고된 내용과 다르게 2.63 : 1 : 1.55로 보고하였으며[9], Mg와 P의 결정화에 참여한 함량이 많게 나타난 이유로는

결정이 Struvite(MgNH₄PO₄)뿐 만 아니라, 인회석도 일부 결정에 참가하기 때문에 결론을 내렸다. Ferguson의 보고[10]에 의하면, 인회석의 결정화는 pH, Mg농도, 탄산(Alkalinity), 불소의 영향을 크게 받으므로, pH가 높으면 결정속도가 증가하지만 Mg와 탄산이 존재하면 결정생성을 방해한다고 보고했다. 원과 박[11]은 Struvite 결정화는 MgNH₄PO₄의 형태로 알칼리성 용액에서 불용성이며 마그네슘원으로 간수와 MgCl₂ 및 Mg(OH)₂를 이용하였을 때 반응시 최적 pH는 10.5~11이라고 보고했다. Mg(OH)₂로 침전하는 마그네슘은 색도와 탁도의 제거에 효과적으로 알려져 있다. 마그네슘에 의한 응집의 장점은 마그네슘과 lime이 동시에 슬러지로부터 회수되고 재사용될 수 있어서 슬러지 처리문제와 동시에 경제적인 장점을 가져온다[12]. 반응식은 (1), (2)와 같다.



수중에 함유되어 있는 중탄산염(HCO₃⁻), 탄산염(CO₃²⁻) 또는 수산화물(OH⁻) 등의 Alkalinity를 중화하는데 필요한 산분의 양을 탄산칼슘(CaCO₃)의 mg/L로 표시한 것이다. 물과 함께 CO₂가 석회암을 통과할 때 중탄산염으로서 Ca, Mg과 같은 양이온을 용출하는 원인으로 작용하기 때문이다.

본 연구결과에 의하면, Mg 용출에 있어서 대조구(Control)에서 27시간이 경과한 경우, Mg 용출이 저조하지만, 36시간이 경과한 후에는 Mg 용출이 증가함을 보여 주고 있다. 이것은 Ca 이온과 Alkalinity 용출이 증가함에 따라 Mg은 침전 또는 응집 결정에 크게 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결론

입상 전로슬래그를 이용하여 인산염 제거를 위하여 회분식으로 실험한 결과 용액의 초기 pH조건을 변화시켜 실험한 결과 pH변화에 따른 인산염 제거, 용액의 pH 변화, Mg²⁺ 용출효과에 따른 실험결과에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용액의 초기 pH 조절에 따른 회분식 실험 결과 pH가 초기에 빠르게 상승하여 9~12의 범위를 유지하였고, 그에 따라 인산염 제거도 동시에 향상되었다. 특히 초기 pH 조건을 7.0으로 유지하는 것보다 7.5

이상으로 유지하는 것이 인산염 제거에 효율적이었다.

2. 용액의 초기 pH를 어떤 상태로 유지하더라도 알칼리도는 반응시간 10시간까지는 급격하게 증가하다가 서서히 증가하는 결과를 보였다. 이 결과는 용액의 pH가 급격하게 증가하는 것보다 점진적으로 증가하는 양상을 보였다.
3. 전로슬래그에 함유되어 있는 양이온인 마그네슘 이온이 반응시간 27시간과 36 시간이 경과한 후에도 지속적으로 용출되었다. 이로써 물속에 암모늄 이온이 존재할 경우 불용성 고형물인 스트루바이트 형태로 인산염이 제거될 수 있음을 보여 주었다.

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.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 김응호, 임수빈, "정석탈인법에서의 정석재 특성에 관한 비교 연구", *한국수질보전학회지*, (5), pp. 109-114, 1995.
- [3] 이승민, "전로슬래그를 이용한 정석 탈인 공정에서의 중금속의 영향", *홍익대학교 석사학위논문*, 2000.
- [4] 유기상, "분말 전로슬래그를 이용한 고농도 인 폐수의 처리에 관한 연구", *홍익대학교 석사학위논문*, pp. 3-4, 1995.
- [5] 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.
- [6] Yamada H., Kayama M., A fundamental research on phosphate removal by using slag, *Water research*, 20, pp. 547-557, 1980.
- [7] 김응호, 유기상, 조진규 "분말 전로슬래그를 이용한 고농도 인 폐수의 처리 특성", *한국수질보전학회지*, 12(4), pp. 471-476, 1996.
- [8] Webb, K. M. and Ho, G. E., "Struvite(MgNH₄PO₄·

6H₂O) solubility and its application to piggery effluent problem" Wat. Sci. & Tech., 26(9), pp. 2229-2232, 1992.

- [9] 엄인기·양창환, "바닷물을 이용한 질소와 인의 결정화", 대한환경공학회지, 18(6), pp. 733-741, 1996.
- [10] Ferguson. John F. and Perry L. McCarty., " Effect of carbonate and magnesium on calcium phosphate precipitation", Env. Sci. & Tech. 5(6), pp. 534-540, 1971.

[11] 원성연·박승국, "Struvite 결정화에 의한 질소 및 인의 제거" 대한환경공학회지, 22(4), pp. 599-607, 2000.

[12] Thmponson, C.G., Singley, J.E. and Black, A.P., "Magnesium carbonate a cyclcd coagulation", J. AWWA, 64, pp. 11-19, 1972.

이 상 호(Sang-Ho Lee)

[정회원]



- 1982년 2월 : 경북대학교 공업화학과 (공학사)
- 1988년 7월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학 석사)
- 1993년 1월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학 박사)
- 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