

# 레미콘 슬러지를 이용한 불소제거 Fluoride Removal Using Ready-Mixed Concrete Sludge

강민구 · 신관우 · 이상일<sup>†</sup>  
Min-koo Kang · Gwan-woo Shin · Sang-Il Lee<sup>†</sup>

충북대학교 환경공학과  
Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(2013년 2월 22일 접수, 2013년 11월 6일 채택)

**Abstract :** The purpose of this study was performed to investigate the optimum conditions of pH, concrete sludge, seed dosage, mixing intensity, operation time in treating fluoride-containing wastewater as CaF<sub>2</sub> using the ready-mixed concrete sludge. Considering fluoride removal, water content, that pH 6, concrete sludge dosage of 10 g/L, Seed dosage (CaF<sub>2</sub>) of 2 g/L, mixing intensity of 100 rpm and operation time of 60 min were found to be optimum. Correspondingly, removal of fluoride and water content was about 85% and 64%, respectively. Increase in amount of seed dosage did not affect fluoride removal efficiency. but the result that the water content is decreased was shown up in occurring the solid-liquid separation well.

**Key Words :** Concrete Sludge, Water Content, Seed Dosage, Fluoride Removal, pH, Mixing Intensity

**요약 :** 본 연구의 목적은 칼슘염을 함유한 레미콘 슬러지를 이용하여 불소함유폐수를 물에 난용성인 CaF<sub>2</sub> 화합물 형태로 침전시켜 처리하는데 있어 pH, 레미콘슬러지 주입량, Seed물질 주입량, 교반속도, 교반시간의 최적 조건을 도출하고자 하는데 있다. 실험결과 레미콘 슬러지를 이용한 대상폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응에서 함수율 및 불소의 제거효율 등을 고려할 경우 최적의 pH 6, 레미콘 슬러지 주입량은 10 g/L, Seed 물질 주입량은 2 g/L, 교반속도는 100 rpm, 교반시간은 60 min으로 관찰되었다. 이 때 Seed 물질의 주입은 불소제거효율에는 영향이 없는 것으로 나타났지만 침전물의 형성이 되는 반응을 촉진시키고 플럭형성을 원활하게 하여 고액 분리가 잘 되어 함수율이 낮아지는 결과가 나타났다.

**주제어 :** 레미콘 슬러지, 함수율, Seed 주입량, 불소제거, pH, 교반속도

## 1. 서론

최근 산업이 발달하고 그 수요에 의해 주거 공간이 급속도로 증가되면서 재개발과 재건축 붐으로 건설폐기물의 발생량이 급증하고 있는 반면 수도권 매립지에 반입되는 건설폐기물 이해마다 증가하여 매립지의 수명을 단축시키는 요인으로 작용하고 있다. 대다수의 건축폐기물은 다량의 폐콘크리트분진과 레미콘 슬러지가 주류를 이루고 있다.<sup>1)</sup> 현재 국내의 레미콘 제조업체는 약 600여개로 2008년 기준으로 연간 150 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>의 콘크리트를 생산하고 있으며, 레미콘 제조 및 운반차량의 드림내부 청소 시 발생하는 레미콘 슬러지의 발생량은 각 공장마다 차이는 있지만 일반적으로 1 m<sup>3</sup> 당 4~10 kg 정도로 추정되고 있다.<sup>2)</sup> 한편, 우리나라의 주력산업인 전자제품 및 반도체 생산 공장에서는 유리 연마제와 반도체 웨이퍼 세정제로 많은 양의 불산(HF)을 사용하고 있어 그 처리에 대한 막대한 비용을 투자하고 있다. 특히 불소는 수생태계에 미치는 독성에 대한 연구결과에 의하면 불소의 독성은 3 mg/L 이하에서는 물고기 등이 해를 입지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 생활환경에서는 인간이 섭취하는 불소량이 약 3 mg/L 이하로 거의 무해하지만, 중독량 이상의 불소를 섭취하면 위와 장, 순환계, 호흡계, 신경계 등에 이상을 주면서 각종 질병을 일으키고 심할 경우 사망에 가

지 이를 수 있는 유해물질이다. 반도체 폐수의 경우는 고농도의 인과 질소를 함유하고 있기 때문에 struvite 결정화 공법을 적용하여 적용하고, 불소제거의 경우 희토류 흡착법, 석회 침전법, Alum 등을 이용한 응집법, 이온교환법 등의 방법들을 사용하는데 이러한 여러 방법들 중 석회침전법이란 Ca<sup>2+</sup>와 F가 결합하여 CaF<sub>2</sub>를 만들어 침전시키는 원리에 의해서 제거시키는 방법이다. CaF<sub>2</sub> 침전법에 사용되는 칼슘원으로는 주로 Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>등이 이용된다.<sup>4)</sup> 특히, Ca(OH)<sub>2</sub>를 칼슘원으로 가장 많이 사용하고 있는데 낮은 용해도로 인하여 많은 양의 약품이 필요하고 CaF<sub>2</sub> 결정화 반응 후 많은 양의 슬러지가 발생하여 약품비와 슬러지 처리비용이 과도하게 들고 있다. 또한, CaCO<sub>3</sub>는 반응성이 낮고 대기 중의 CO<sub>2</sub>와 반응하여 성질이 변하므로 CaF<sub>2</sub> 결정화 반응을 위해서는 제조 후 바로 사용하여야 하는 단점이 있다. CaCl<sub>2</sub>의 경우는 높은 반응성으로 불화칼슘 결정화 반응에 용이하지만 다른 이온이 함께 있을 때는 효율이 떨어지고 다른 약품에 비해서 가격이 비싸 경제성이 떨어진다. 런던 협약에 의해 1996년 1월부터 산업폐기물의 해양투기를 금지하기로 결의했는데 우리나라는 2006년 3월 24일부터 산업폐기물 해양투기 금지협약을 발효시켰고 2012년부터 하수 슬러지 해양투기 금지협약이 전면적으로 발효되어 폐기물의 재이용에 대한 관심이 높다.<sup>5)</sup> 따라서 본 연구에서는 건

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: gatorlee@chungbuk.ac.kr Tel: 043-261-2469 Fax: 043-272-2469

설폐기물중 공사 현장이나 레미콘 공장에서 발생하는 칼슘염을 함유한 레미콘 세척수에서 발생하는 슬러지를 이용하여 불소함유폐수를 물에 난용성인  $\text{CaF}_2$  화합물 형태로 침전시켜 처리하고자 하였다. 레미콘 산업체에서 발생하는 폐수는 크게 공정수와 비공정수로 나누어진다. 이중 공정수는 중앙 믹서 세척수, 트럭 내부 세척수, 트럭 외부 세척수, 회수 콘크리트 처리수 등의 콘크리트 제조 공정 내에서의 발생폐수를 말하며 발생된 폐수는 일단 침전조로 유입된다. 침전조에서 상등액은 재이용하고 침전된 슬러지는 폐기하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 레미콘 공장에서 발생하는 슬러지를 이용하여 기존의 칼슘 주입원의 대체가능성을 확인하고 산업폐기물의 재이용과 약품비 절감을 통해 경제성을 높이고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 폐수 성상

본 연구는 레미콘 슬러지의 불소제거 가능성을 확인하고자 합성폐수를 제조하여 사용하였으며, 불소는  $\text{NH}_4\text{F}$  (Ammonium fluoride, 97%, JUNSEI Chemical Co. LTD)을 3차 증류수에 용해시켜 안 등의 연구에서 사용했던 H사의 반도체 폐수의 불소농도와 유사하게 약 200 mg/L로 제조하였고, pH는 일반적인 반도체 폐수의 pH 범위인 2~3 사이로 하였다.

### 2.2. 실험 재료

모든 실험은 6개의 paddle을 가진 phipps&bird사의 표준 Jar-tester를 이용하였으며, paddle의 크기는 25.4 × 76 mm이며, paddle과 shaft는 스테인레스 스틸로 제작되었으며, 교반장치는 tachometer와 조정장치가 부착되어 0~390 rev/min으로 회전수를 조절할 수 있도록 구성되었다. 실험 시 사용한 Jar는 아크릴 재질로 제작되었으며, 크기는 115 × 115 × 210 mm이고 폐수의 양은 2 L로 일정하게 취했으며 pH 조절은 2.5 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 과 5 N HCl를 이용하였으며, Seed 물질로는  $\text{CaF}_2$  시약을 사용하였다. Ca이온의 공급원인 레미콘 슬러지는 진천의 K사로부터 공급받아 침전시킨 후 침전된 슬러지를 25°C 상온에서 24 hr 건조하여 사용하였다.

### 2.3. pH의 영향

레미콘 슬러지의  $\text{CaF}_2$  침전 반응 시 pH의 영향을 관찰하기 위하여 준비된 Jar에 대상폐수를 2 L를 균일하게 취하였다. 대상 폐수의 초기 pH측정 후 2, 4, 6, 8, 10 및 12로 조절한 후 각각의 pH에서 실험하였다. pH는 2.5 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 과 5 N HCl를 이용하여 조절하였고 레미콘 슬러지의 주입량은 10 g/L 주입하였으며, 주입 후 200 rpm으로 1시간 동안 교반시켜 실험하였다. 불소의 처리특성을 평가하기 위하여 교반 후 1시간 침전시켜 상등액을 취해 0.45  $\mu\text{m}$  membrane 여지로 여과 후 불소를 분석하였다. pH측정은 TOA사의 HM-21P을

이용하여 매 실험마다 calibration한 후 측정하였다.

### 2.4. 레미콘 슬러지의 최적 주입량 산정

레미콘 슬러지의 최적 주입량을 결정하기 위해 대상폐수를 2 L씩 준비한 Jar에 균일하게 취하고 레미콘 슬러지의 주입량을 변화시켜 최적 주입량을 도출하고자 하였다. 주입량은 0, 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 6, 10, 12.5, 15 g/L을 주입하였다. 이 때 pH는 2.3절에서 결정된 불소제거효율이 가장 우수한 값으로 고정한 후, 레미콘 슬러지 주입 후 200 rpm으로 1시간 교반시킨 후, 불소의 처리특성을 평가하기 위하여 반응이 끝난 대상폐수를 교반 후 1시간 침전시켜 상등액을 취해 0.45  $\mu\text{m}$  membrane 여지로 여과 후 불소를 분석하였다. 남은 시료는 24시간 방치 후 침전된 슬러지를 취하여 함수율을 측정하였다.

### 2.5. Seed 물질의 주입에 따른 영향

플록형성을 원활하게 하여 불소제거효율을 향상 시키기 위해 Seed 물질을 주입하고 최적의 주입량을 결정하기 위하여 대상폐수를 2 L씩 준비한 Jar에 균일하게 취하고 초기 온도와 pH를 측정하였다. Seed 물질을 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 및 4 g/L씩 첨가한 후, 2.4절에서 도출한 최적의 레미콘 슬러지량을 첨가하였다. pH는 2.3절에서 얻어진 pH로 고정하면서 1시간 동안 200 rpm으로 반응시켰다. 불소의 처리특성을 평가하기 위하여 반응이 끝난 대상폐수를 교반 후 1시간 침전시켜 상등액을 취해 0.45  $\mu\text{m}$  membrane 여지로 여과 후 불소를 분석하였다. 남은 시료는 24시간 방치 후 침전된 슬러지를 취하여 함수율을 측정하였다.

### 2.6. 교반 속도의 영향

교반 속도는 50, 100, 150, 200, 250 및 300 rpm으로 침전반응을 수행하였다. 이때 pH는 2.3절에서 결정된 최적의 pH 6로 조절 하였으며 레미콘 슬러지 주입량은 2.4절에서 결정된 최적주입량 10 g/L으로 주입하였다. 각각의 교반 속도에서 1시간 교반 후 불소의 처리특성을 평가하기 위하여 반응이 끝난 대상폐수를 1시간 침전시켜 상등액을 취해 0.45  $\mu\text{m}$  membrane 여지로 여과 후 불소를 분석하였다.

### 2.7. 교반 시간의 영향

레미콘 슬러지의  $\text{CaF}_2$  침전 반응 시 교반시간의 영향을 알아보기 위해 대상폐수 2 L를 준비한 후 초기 pH 및 온도를 측정하였다. 그리고 교반시간은 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 및 80 min으로 반응 시간을 변화시켜 실험하였다. 이때 pH는 2.3절에서 결정된 최적의 pH 6로 조절하였으며 레미콘 슬러지 주입량은 2.4절에서 결정된 최적주입량 10 g/L으로 주입한 후, 각각 반응시간에 반응을 시켰다. 불소의 처리 특성을 파악하기 위해 반응이 끝난 대상폐수를 1시간 침전시켜 상등액을 취해 0.45  $\mu\text{m}$  membrane 여지로 여과 후 불소를 분석하였다.

## 2.8. 분석방법

불소에 대한 이온 분석은 Ion chromatograph (DX-80, Dionex, USA)을 이용하여 분석하였다. 음이온 분리는 Ion Pac AG4A-SC (50 mm × 4 mm) guard column과 Ion Pac AG4A-SC (250 mm × 4 mm) Analytical column을 사용하였다. Eluent 성상은 1.8 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> / 1.7 mM NaHCO<sub>3</sub>으로 하였으며 2 mL/min로 공급하였다. 양이온 eluent는 20 mM Methane sulfonic acid로 제조하여 1 mL/min 유량으로 공급하였다. 함수율은 폐기물 공정 시험법의 수분 및 고형물 시험법에 의해 측정하였으며 함수율 계산은 식 (1)에 의하여 도출하였다.

$$\text{수분(\%)} = \frac{\text{수분의 무게}}{\text{항습시료의 무게}} \times 100\% = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_2 - W_1)} \times 100 \quad (1)$$

- W<sub>1</sub> : 증발접시를 ± 105°C 1시간 건조시킨 후 황산 데시케이터 안에서 방냉 후 항량 무게
- W<sub>2</sub> : 증발접시에 시료를 취한 무게
- W<sub>3</sub> : W<sub>2</sub>의 항습시료를 수욕상에서 수분을 날려보내고 ± 105°C의 건조기 안에서 4시간 건조시킨 다음 황산 데시케이터 안에 넣어 방냉 후 항량 무게

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. pH의 영향

레미콘 슬러지를 이용한 불소함유폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전반응에서 pH의 변화에 따른 불소의 제거효율에 대한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. pH가 증가함에 따라 불소의 제거효율은 증가하다가 pH 6~10에서는 높은 제거효율을 나타내었는데 pH 6에서 85.10%로 가장 높은 제거효율을 보였고 pH 8에서 82.48%, pH 10에서 81.70%의 제거효율을 보였다. 강알칼리성인 pH 12에서는 제거효율이 17.5%로 제거효율이 낮았다. 이는 pH 4 이하의 강산성 영역에서 불소가 수소이온과 결합하여 H<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 및 HF로 존재하여 칼슘과의 침전반응이 방해를 받았고<sup>6)</sup> 강알칼리성인 pH 12 이상에서는 Cl<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 CaF<sub>2</sub> 표면에서의 이온교환 때문에 CaF<sub>2</sub> 침전을 형성하지 못한 것으로 사료된다.<sup>2)</sup> 침전시 발생한 침전슬러지의 함수율의 경우 불소 제거효율이 가장 좋은 지점에서 낮은 경향이 관찰되었다. 안 등<sup>3)</sup>과 Benefield 등<sup>7)</sup>의 연구결과에 의하면 CaF<sub>2</sub>이 원활하게 형성되어 불소의 제거효율이 높은 pH에서는 Ca<sup>+</sup>이온이 F와 결합하여 수산화기에 의한 착화합물의 생성이 적기 때문에 물(H<sub>2</sub>O)로 전환되지 않아 함수율이 낮다고 보고하였다. pH 4 이하인 경우에는 불소의 제거효율이 낮기 때문에 이로 인해 침전물의 함수율은 80%로 높게 관찰되었으며 불소의 제거효율이 가장 높은 pH 6에서는 함수율이 68%로 나타났다. 따라서 CaF<sub>2</sub> 침전반응에서 pH는 매우 중요한 영향인자이며<sup>8,9)</sup> 제거효율과 pH 조절을 위해 소요되는 약품과 반응 후 발생하는 슬러지의 함수율 등을 고려해볼 때 최적의 pH는 6으로 결정하였다.

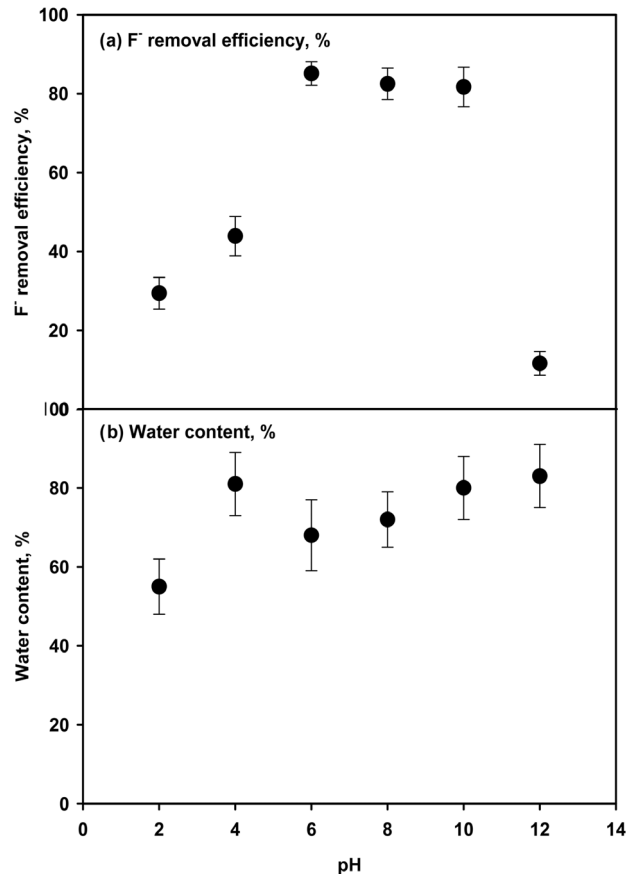


Fig. 1. Treatability characteristics of artificial wastewater as a function of pH using concrete sludge (a) F<sup>-</sup> removal efficiency, (b) water content.

### 3.2. 레미콘 슬러지 주입량에 따른 영향

Fig. 2는 pH 6에서 레미콘 슬러지의 주입량에 따른 불소의 제거율에 관한 결과를 나타낸 것이다. 제조한 합성폐수에 레미콘 슬러지 주입량이 0.5 g/L일 때는 제거효율이 6.28%로 불소가 거의 제거가 되지 않았지만 1.5 g/L주입 시부터 제거효율이 급격히 상승하여 52%의 제거효율을 나타내었다. 주입량이 증가할수록 제거효율은 조금씩 증가하다 주입량이 10 g/L부터 약 82%의 제거효율을 나타내었고 주입량이 증가하여도 제거효율의 상승은 미미하였다. 나재식<sup>10)</sup>은 Ca의 주입량이 증가할수록 이론적인 용해도보다 낮은 불소의 농도를 얻을 수 있지만 처리수에 잔류하는 칼슘의 농도가 증가해 스케일이 형성될 수 있는 문제점을 야기할 수 있다고 보고하였다. 안 등<sup>3)</sup>은 pH 4~8에서는 Ca의 주입량이 증가할수록 불소제거효율이 증가한다고 발표했으며, 본 연구에서도 유사한 결과가 나타났다. 반응 후 침전된 슬러지의 함수율은 초기에는 감소하다가 주입량이 증가할수록 미미하게 증가되는 경향이 관찰되었다. 본 연구에서는 자연건조한 레미콘 슬러지를 이용하여 불소가 제거되는 것을 확인하였는데 이는 레미콘 슬러지가 물과 수화 반응 후 CSH (Calcium silicate hydration) 및 ettringite와 같은 수화물이 생성되어 침전 및 흡착 반응으로 불소가 제거된 것으로 판

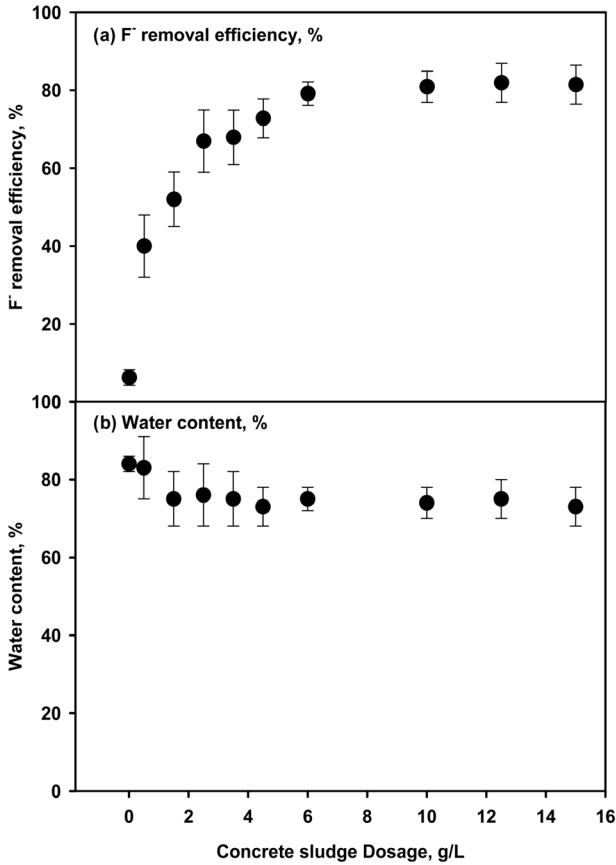


Fig. 2. Treatability characteristics of artificial wastewater as a function of concrete sludge dosage using concrete sludge (a) F<sup>-</sup> removal efficiency, (b) water content.

단된다.<sup>11,12)</sup> 이에 불소제거효율과 슬러지 생성량을 고려하여 최적의 레미콘 슬러지 주입량은 10 g/L로 결정하였다.

### 3.3. Seed 물질 주입량에 따른 영향

플럭형성을 원활하게 유도하기 위한 Seed 물질 주입량에 따른 불소제거효율을 Fig. 3에 나타내었다. Seed 물질로는 CaF<sub>2</sub>를 사용하였으며, 주입량이 증가할수록 생성된 침전물의 함수율은 낮아지는 경향이 나타났다. 이는 안 등<sup>3)</sup>의 연구에서 보고한 바와 같이 Seed물질의 주입이 침전물의 형성이 되는 반응을 촉진시키고 플럭형성을 원활하게 하여 고액분리가 잘 되어 함수율이 낮아진 것으로 판단된다. 불소제거효율의 경우 Seed 물질의 주입에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 Seed 물질의 주입이 플럭형성을 크게 하는데 영향을 주지만 불소를 제거하는데 영향을 주지 않는다고 사료된다.<sup>5)</sup> 결론적으로 Seed 물질의 주입은 생성된 침전물의 함수율을 낮게 하여 그 처리비용을 저감시킬 수 있기 때문에 불소제거효율과 같이 고려하여 최적의 Seed 물질 주입량은 2 g/L로 결정하였다.

### 3.4. 교반 속도의 영향

Fig. 4는 레미콘 슬러지를 이용한 대상폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응 시 교반 속도에 따른 영향을 나타낸 것이다. 3.1, 3.2,

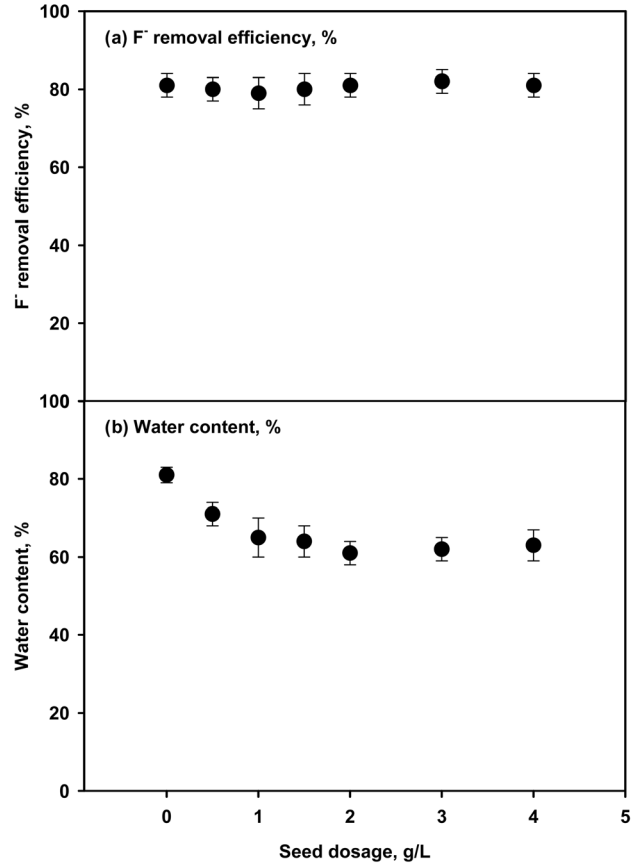


Fig. 3. Treatability characteristics of artificial wastewater as a function of Seed dosage using CaF<sub>2</sub> (a) F<sup>-</sup> removal efficiency, (b) water content.

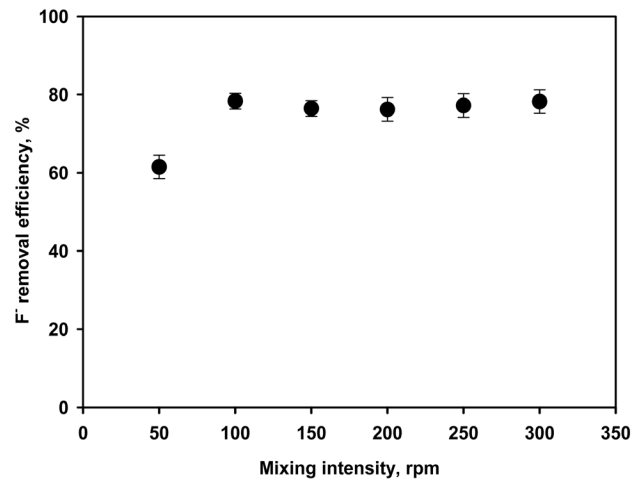


Fig. 4. F<sup>-</sup> removal efficiency of artificial wastewater as a function of Mixing intensity (rpm).

3.3절에서 도출한 최적의 조건으로 고정한 후, 반응 속도를 50, 100, 150, 200, 250 및 300 rpm로 하여 실험을 수행하였다. 실험결과 반응 속도가 50 rpm에서는 61.50%의 제거효율을 나타내었고 100, 150, 200, 250 및 300 rpm까지 제거효율은 77.30%, 76.45%, 76.20%, 77.19%, 78.21%로 교반 속도에 따른 영향은 미미한 것으로 나타났다. 이는 우<sup>5)</sup>와 김<sup>13)</sup>

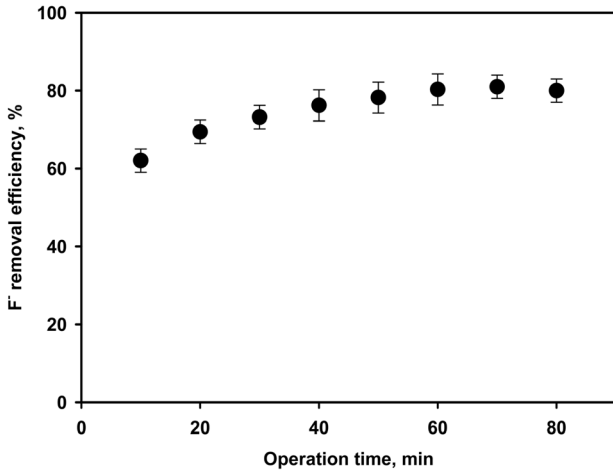


Fig. 5. F<sup>-</sup> removal efficiency of artificial wastewater as a function of operation time (min).

등의 결과와 마찬가지로 CaF<sub>2</sub> 침전 반응 시 교반 속도가 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단되어지며, 50 rpm에서는 교반 속도가 약하여 주입한 레미콘 슬러지가 제대로 혼합되지 않아 CaF<sub>2</sub> 침전반응이 제대로 일어나지 않은 것으로 사료되어진다. 따라서 최적의 교반 속도는 100 rpm으로 결정하였다.

### 3.5. 교반 시간의 영향

응집침전으로 폐수 내 중금속을 제거하는 경우 반응조 내에서의 교반속도가 제거효율에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있기 때문에 본 연구에서는 레미콘 슬러지를 이용한 대상폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응 시 교반 시간의 영향을 알아보기 위하여 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 및 80 min으로 실험을 실행하였다. Fig. 5는 교반시간에 따른 불소제거효율을 나타낸 것으로 10 min간 반응하였을 때의 제거효율은 62.04%로 가장 낮았다. 실험결과 반응 시간이 증가함에 따라서 제거효율은 미미하게 증가하여 60 min 반응하였을 때 제거효율은 80.30%로 가장 높게 나타났고 70~80 min 반응 시에는 제거효율의 변화가 거의 없었다. 이는 김 등<sup>4)</sup>의 연구결과에서 볼 수 있듯이 레미콘 슬러지를 이용한 불소함유폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응 시 교반시간의 영향은 미미한 것으로 판단되어진다. 최적의 교반 시간은 처리 효율을 고려하여 60 min으로 결정하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 레미콘 공장에서 발생하는 칼슘염을 함유한 레미콘 슬러지를 이용하여 불소 함유 폐수를 물에 난용성인 CaF<sub>2</sub> 화합물 형태로 침전시켜 처리하여 기존의 널리 이용되고 있는 처리 방법인 Ca(OH)<sub>2</sub>를 이용한 침전법을 대체할 수 있는 가능성을 알아보고자 하였다. 레미콘 슬러지의 pH, 최적주입량, Seed물질 주입량, 교반속도, 교반시간

의 불소제거에 있어 최적 조건을 찾았으며 이에 따른 결과는 다음과 같다.

- 1) 레미콘 슬러지를 이용한 대상폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응에서 10 g/L주입 시 제거효율이 81.90%로 가장 높았으나 12.5 g/L주입 시 제거효율이 79.16%로 차이가 미미하였고 10 g/L주입 시 슬러지 발생량, 함수율 및 불소의 제거효율 등을 고려하여 최적의 주입량을 10 g/L으로 결정하였다.
- 2) 레미콘 슬러지를 이용한 불소함유폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응 시 pH의 영향을 보면 pH 6~10 범위에서 80%가 넘는 제거효율을 나타내었고 pH 6에서 85.10%로 가장 높은 제거효율을 나타내었다. 불소제거효율과 pH 조절을 위한 약품비를 고려하여 최적의 pH를 6으로 결정하였다.
- 3) Seed 물질 주입량에 따른 영향을 살펴 본 결과 주입량이 증가함에 따라 고액 분리가 잘 되어 함수율이 낮아졌으며, 불소제거효율의 경우 Seed 물질의 주입에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다
- 4) 교반 속도에 따른 불소함유폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응의 영향을 보면 50 rpm을 제외하면 100~300 rpm에서의 제거효율이 약 78%로 교반 속도에 따른 영향은 미미하였다. 따라서 최적의 교반 속도는 100 rpm으로 결정하였다.
- 5) 레미콘 슬러지를 이용한 불소함유폐수의 CaF<sub>2</sub> 침전 반응에서 교반 시간의 영향을 보기 위해 10 min~80 min까지 10 min 간격으로 변화를 주었다. 교반 시간이 10 min일 때 62.04%의 제거효율을 나타내었고 교반 시간이 증가함에 따라 점점 증가하여 60 min 교반시켰을 때 80.30%의 제거효율을 나타내었다. 따라서 제거 효율이 가장 높은 60 min을 최적의 교반시간으로 결정하였다.

## 사 사

이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2012).

KSEE

## 참고문헌

1. Oh, S. W. and Lee, B. J., "Heavy Metal Contamination of Soil by Wash Water of Ready Mixed Concrete," *Kor. Geoenviron. Soc.*, **12**(5), 51~57(2011).
2. Kim, E. E., Park, J. Y. and Lee, G. B., "Fluoride wastewater Treatment by waste concrete powder," *Proc. Kor. Soc. Environ. Eng. Kyungshung Univ.*, pp. 839~846(2004).
3. An, M. K., Woo, G. N., Kim, J. H., Kang, M. K., Ryu, H. D. and Lee, S. I., "Optimum Condition for Fluoride Removal Prior to the Application of Struvite Crystallization in Treating Semiconductor Wastewater," *Kor. Soc. Water Environ.*,

- 25(6), 916~921(2009).
4. Kim, S. H., Kim, G. Y., Lim, C. S. and Lee, S. I., "Fluoride Removal Considering Struvite Crystallization Reaction," *Kor. Soc. Water Sci. Technol.*, **17**(3), 141~150(2009).
  5. Woo, G. N., "Treatment of Fluorine in Semiconductor Wastewater with CaF<sub>2</sub> Crystallization Method," Master's Thesis, Chungbuk National University (2005).
  6. Kim, Y. I. and Kim, D. S., "Studies on the Calcium Precipitation Treatment of Fluoride," *Kor. Soc. Water Environ.*, **23**(3), 371~376(2007).
  7. Benefield, L. D., Jukins, J. F. and Weand, B. L., "Process Chemistry water and wastewater treatment," Prentice-Hall, Inc., USA, (1982).
  8. Agyei, A. M., Strydom, C. A. and Potgieter, J. H., "The Removal of Phosphate Ions from Aqueous Solution by Fly Ash, Slag, Ordinary Portland Cement and Related Blends," *Cement Concrete Res.*, **32**(12), 1889~1897(2002).
  9. Raichur, A. M. and Basu, M. J., "Adsorption of Fluoride onto Mixed Rare Earth Oxides," *Sep. Purific. Technol.*, **24**(1-2), 121~127(2001).
  10. Na, J. S., "Fluoride removal by lime precipitation and rare earth adsorbents," *J. Inst. New Technol.*, **28**, 181~187(1999).
  11. Kim, E. E., "Treatment of Fluoride Acid Wastewater and Solidification/Stabilization of Arsenic Contaminated Soil Using Waste Concrete Powder," Master's Thesis, Han yang University (2008).
  12. Gougar, F. P., Scheetz, B. E. and Roy, D. M., "Ettringite and C-S-H portland Cement phase for waste ion immobilization: a review," *Waste Manage.*, **14**(4), 295~303(1996).
  13. Kim, S. H., Treatment efficiency of fluoride from LCD wastewater for different calcium sources, Master's Thesis, Chungbuk National University (2011).