

하수 인 고도처리를 위한 인 결정여과공정 운전결과 및 부산슬러지 특성 검토

장향연*, 박나리*, 임현만**, 안광호**, 정진홍**, 장여주*, 김원제**

*과학기술연합대학원대학교(UST) 건설환경공학전공, **한국건설기술연구원

e-mail:lotus900515@nate.com

Operating result of phosphorus crystallization–filtration (PCF) process and characterization of its sludge for wastewater effluent

Hyangyoung Chang*, Nari Park*, Hyunman Lim**, Kwangho Ahn**, Jinhong Jung**, Yeju Jang*, Weonjae Kim**

*Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology(UST)

**Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약

본 논문에서는 우리나라 대규모 하수처리장에 상용화되어있는 응집공정의 한계를 극복하고자 대체공정으로 고안된 인 결정여과공정(PCF, Phosphorus crystallization & filtration process)의 pilot plant를 구축하고 운전 결과를 제시하였다. 또한, 여기서 발생하는 부산슬러지의 토양개량제로서의 자원화를 위한 특성분석을 실시하였다. 2017년 7월부터 2018년 9월까지 PCF pilot plant를 처리용량 27.1 - 135.6 m³/day으로 운전한 결과, 처리수의 T-P, PO₄-P 및 SS의 평균은 각각 0.13, 0.06, 1.6 mg/L를 나타내어 하수처리에서 PCF의 인 고도처리 가능성이 실증되었다. 또한, PCF 결정여과공정 부산슬러지를 SEM-EDX와 XRD로 분석한 결과, 주요 구성성분은 calcite, HAP, phosphoric acid 및 brusite로 나타나 산성화된 토양의 개량제(중화제)로서의 재활용 및 자원화 가능성이 시사되었다.

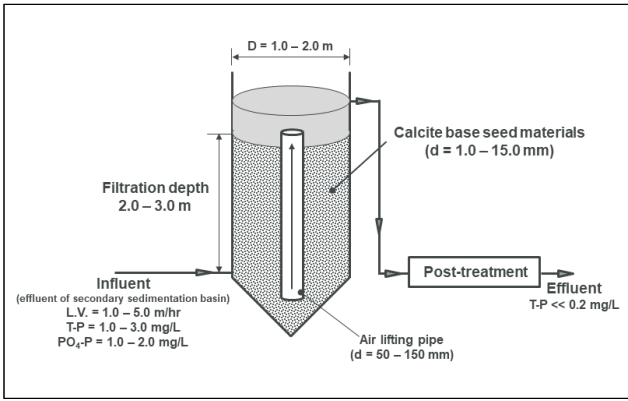
1. 서론

우리나라의 호수나 하천의 부영양화 및 녹조 방지를 위해서는 하수처리 방류수의 인 부하 관리가 불가피하다. 현재 대규모 하수처리장에는 응집공정이 상용화되어 있지만 알루미늄이 포함된 응집 슬러지의 재활용 또는 자원화에는 한계가 있다. 또한, 500 m³/day 규모 이하의 소규모 하수처리장에서는 처리용량과 부하의 불안정으로 인한 운전상의 어려움으로 T-P 농도 0.2 mg/L 이하로 방류하는 고도처리시설의 도입이 지연되고 있다. Hydroxyapatite 결정화공정은 T-P 농도를 응집공정 수준으로 처리할 수 있어 이를 대체할 수 있는 고도처리 공정이다. 유럽에서는 calcite(CaCO₃)를 crystal seed로 장기간 안정적인 인 제거 성과를 달성하였으나, 국내에서는 pilot 이상의 규모에서 운전된 성과가 없다.¹⁾ 또한, 유용한 자원으로 활용될 수 있는 탄산칼슘과 hydroxyapatite를 포함하는 슬러지의 특성분석과 자원화에 대한 검토 또한 미흡한 실정이다. 탈탄산공정을 시행하지 않는 hydroxyapatite 결정화공정의 경우에 고농도의 Ca²⁺와 탄산염으로 인해 HAP을 포함하는 석회계 슬러지가 발생하는데, 이는 산성화된 토양의

개량제(중화제)로 널리 사용될 수 있다.²⁾ 본 연구에서는 T-P 0.2 mg/L 이하를 안정적으로 달성하는 PCF(Phosphorus crystallization & filtration) 결정여과공정의 pilot plant 구축하고 운전 결과를 제시하였으며, 여기서 발생하는 부산슬러지의 특성을 분석하여 토양개량제로서의 자원화 가능성을 검토하였다.

2. 연구방법

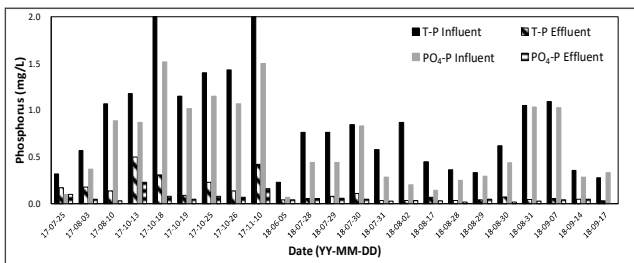
본 연구를 위해 경기도 I하수처리장에 구축된 처리용량 27.1 - 135.6 m³/day 결정여과공정(PCF) pilot plant의 개요도는 그림 1과 같다. 전처리 조건은 pH 10.0 - 11.0(Ca(OH)₂ 사용), Ca²⁺ 농도 80 mg/L(CaCl₂ 사용)로 설계하였다. 결정여과조는 선속도 1.0 - 5.0 m/hr, 상향류로 운전되며, 여재는 1.0 - 15.0 mm의 석회석 모래를 충전하였다. 역세척은 중앙에 Air lifting pipe를 설치하여 여재를 순환시켜 실시하였다. 역세척수는 처리수와 분리배출되도록 설계하였고, 침전시켜 역세척 슬러지를 회수하였다.



[그림 1] Schematic diagram of PCF pilot plant.

3. 결과 및 고찰

2차침전지 유출수를 원수로 한 PCF pilot plant의 운전결과 (Jul. 2017 - Sep. 2018)를 그림 2와 표 1에 나타내었다. 처리수의 평균 T-P와 PO₄-P는 각각 0.13, 0.06 mg/L를 나타내었다. 2018년 Pilot plant의 운전조건을 개량한 결과, 처리수의 평균 T-P와 PO₄-P는 0.05, 0.04 mg/L로 2017년에 비해 크게 안정되었다. SS도 방류수 수질기준(10.0 mg/L) 이하로 안정적으로 유출되었다. T-P와 PO₄-P의 평균 처리효율을 검토한 결과, 약 85% 이상의 인(P)이 칼슘화합물 결정으로 석출되어 PCF 반응조에서 여과·제거되었다.

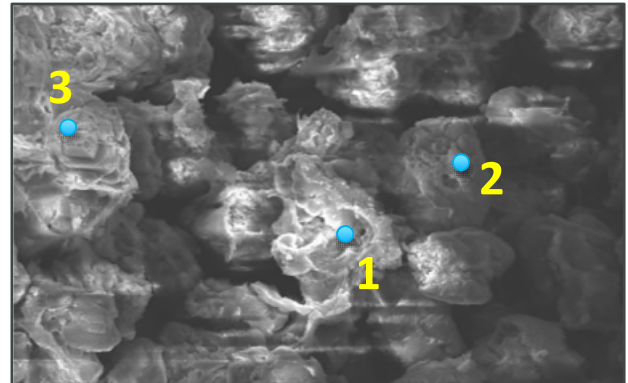


[그림 2] Operating results of PCF pilot plant during Jul. 2017 - Sep. 2018.

[표 1] Operating results of PCF pilot plant during Jul. 2017 - Sep. 2018

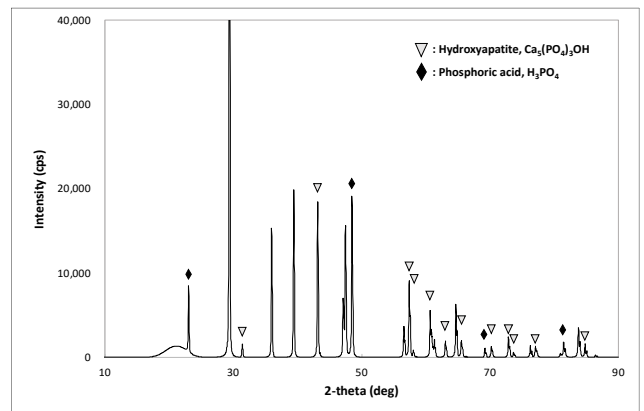
	Influent	Effluent	Removal efficiency (%)
pH	6.4-7.0 (avg.6.7)	9.3-10.8 (avg.10.3)	
T-P (mg/L)	0.23-2.05 (avg.0.86)	0.03-0.50 (avg.0.13)	46.9-96.0 (avg.84.7)
PO ₄ -P (mg/L)	0.07-1.52 (avg.0.63)	0.00-0.23 (avg.0.06)	0.0-100.0 (avg.84.1)
SS (mg/L)	0.0-77.0 (avg.11.3)	0.0-5.0 (avg.1.6)	0.0-100.0 (avg.76.6)

PCF 결정여과공정 부산슬러지의 SEM-EDX 분석결과를 그림 3에, XRD 분석결과를 그림 4에 나타내었다. SEM-EDX로 분석된 슬러지의 원자분율은 calcite(CaCO₃) 또는 HAP으로 추측되었다. 또한, XRD spectrum 분석결과, 슬러지의 주요 구성성분은 calcite(CaCO₃), HAP, phosphoric acid(H₃PO₄) 및 brucite로 나타났다. 고농도의 Ca²⁺을 주입하여 탈탄산공정을 생략한 인 결정여과공정의 부산슬러지는 HAP 이외에도 CaCO₃와 칼슘-인 화합물로 구성되어 있는 것으로 나타났다.



Element	C	N	O	P	Ca	
Atomic %	Point 1	31.6	12.29	24.99	9.10	14.96
	Point 2	18.06	13.28	56.16	0	11.84
	Point 3	18.86	12.07	56.53	0	11.82

[그림 3] SEM-EDX analysis through PCF process.



[그림 4] SEM-EDX analysis through PCF process.

4. 결론

- 1) PCF pilot plant의 장기운전 결과, 우리나라 하수처리 방류수 수질기준(1지역) T-P 0.2 mg/L 이하를 안정적으로 달성하여 인 결정여과공정의 고도처리 가능성이 실증되었다.
- 2) PCF 결정여과공정의 슬러지의 주요 구성성분은 고농도의 calcite(CaCO₃)와 HAP을 포함하는 칼슘-인 화합물로 나타났으며, 산성화된 토양의 개량제(중화제)로서의 재활용 및 자원화 가능성이 시사되었다.

사사

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(2020-0039)의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Donnert, D., Salecker, M., “Elimination of Phosphorus from municipal and industrial wastewater”, *Water Science & Technology*, 40, pp. 195-202, 1999.
- [2] Gulsen, T., Ali, I.A., Taskin, O., Ekrem, K., “Using marble wastes as a soil amendment for acidic soil neutralization”, *Journal of Environmental Management*, 133, pp. 374-377, 2014.