



철 코팅 규사의 인산이온 제거 효율 평가 연구

A study on the evaluation of phosphate removal efficiency using Fe-coated silica sand

조은영¹·김영희^{2,3}·박찬규^{1*}
Eunyoung Jo¹·Younghee Kim^{2,3}·Changyu Park^{1*}

¹한국산업기술시험원 환경기술본부 환경융합기술센터, ²(주)일신종합환경, ³호서대학교 벤처전문대학원
¹Environmental convergence technology center, Department of environmental engineering, Korea testing laboratory
²Ilshin environmental Engineering Co. Ltd.
³Graduate School of Venture, Hoseo University

ABSTRACT

Phosphorus is one of the limiting nutrients for the growth of phytoplankton and algae and is therefore one of leading causes of eutrophication. Most phosphorous in water is present in the form of phosphates. Different technologies have been applied for phosphate removal from wastewater, such as physical, chemical precipitation by using ferric, calcium or aluminum salts, biological, and adsorption. Adsorption is one of efficient method to remove phosphates in wastewater. To find the optimal media for phosphate removal, physical characteristics of media was analysed, and the phosphate removal efficiency of media (silica sand, slag, zeolite, activated carbon) was also investigated in this study. Silica sand showed highest relative density and wear rate, and phosphate removal efficiency. Silica sand removed about 36% of phosphate. To improve the phosphate removal efficiency of silica sand, Fe coating was conducted. Fe coated silica sand showed 3 times higher removal efficiency than non-coated one.

Key words: Adsorption, Fe coating, Phosphate Removal, Phosphorous, Wastewater

주제어: 흡착, 철 코팅, 인 제거, 인, 폐수

1. 서 론

환경오염이 날로 심각해지면서 질소 및 인 등의 영양염류로 인해 발생하는 오염에 대한 인식 및 중요성이 부각되고 법적 방류기준 및 처리기준의 강화로 인해 많은 시설이 기존의 공법으로는 강화된 배출 기준을 맞추기가 어려워졌고, 이에 따라 인을 효율적으로 처리할 수 있는 공법에 대한 필요성이 커지게 되었다. 하·폐수 중 인의 발생원은 분뇨, 세제, 비료 생산공정 및 동물 사육장, 육류 및 음식 가공공정, 축산폐수, 그리고 펄프 및 제지 공정등 다양하게 존재한다. 하수

에 포함된 인의 형태는 총 인 함량 농도 6~20 mg/L 중 유기성 인이 2~5 mg/L로 전체의 약 30%를, 무기성 인이 4~15 mg/L로 전체의 약 70%를 차지한다. 하폐수에 함유된 인을 제거하기 위해 물리·화학적 및 생물학적 공정 등을 이용한 여러가지 처리공정이 개발되어 왔으나 물리·화학적 처리 방법에 비해 생물학적 처리 방법에 의존하고 있다. 이는 생물학적 처리 공법이 타 공정에 비해 공정의 안정성과 신뢰도가 높고 공정 운전이 비교적 쉬우며 처리 비용 등을 감안할 때 경제적이기 때문이다(Lee and Choi, 2011). 그러나 생물학적 처리공법에 의존적인 우리나라의 인 처리 효율은 2010년도 기준으로 약 75.4%의 제거 효율을 보였으며 평균 방류수질은 0.8 mg/L로 나타나 기존 생물

Received 9 August 2017, revised 6 November 2017, accepted 8 November 2017
*Corresponding author: Chan-gyu Park (E-mail: pcg6189@hotmail.com)

pp. 481-490
pp. 491-499
pp. 501-510
pp. 511-519
pp. 521-527
pp. 529-537
pp. 539-549
pp. 551-566
pp. 567-575
pp. 577-586
pp. 587-597
pp. 599-609
pp. 611-618
pp. 619-628

학적 처리만으로는 강화된 수질기준을 준수하기 어렵다는 결론을 얻을 수 있다. 이에 대한 대안으로 기존 하수처리시설에 물리·화학적 인 처리 시설을 보완 설치하는 추세이다(Ministry of Environment, 2011a). 하수 중의 인 제거 방법으로는 물리적인 처리(Peleka et al., 2005), 철, 칼슘, 알루미늄 염 등을 이용한 약품 침전(Seida and Nakano, 2002), 생물학적 처리(Razali et al., 2007), 흡착(Awual and Jyo, 2009; Awual and Jyo, 2011) 등이 개발되어 있다. 국내 하폐수처리장에 적용된 인 처리 공법은 섬유여과, 모래여과, 부상분리, 침전, 흡착제거 등이 있으며, 이들 방법을 2가지 이상 결합한 공법들도 존재한다(Ministry of Environment, 2011b). 화학적 처리는 용존성 인과 반응하여 침전물을 형성하고 여과공정을 통해 분리될 수 있도록 금속염의 첨가를 필요로 한다. 가장 널리 사용되는 금속염은 황산 알루미늄, 알루미늄산 나트륨, 염화철(I, II), 황산철(I, II) 등이 있다. 화학약품 주입을 통한 응집 침전법은 약 90% 이상의 높은 인 제거율을 보이지만 약품주입으로 인한 유지비용이 높고 발생하는 슬러지량이 많은 단점이 있다. 또한 하수처리장에 널리 사용되는 생물학적 방법인 혐기-호기 활성슬러지법(A2/O) 등의 공정은 미생물 특성상 안정적인 인 제거가 어렵고 운전 및 유지관리가 까다롭다는 단점을 가진다(Lee, 2006). 수중 인 제거를 위한 흡착 공정은 경제적이고, 에너지 소모가 적고, 유지관리가 쉬워 널리 적용되고 있으며, 관련 연구 또한 활발히 이루어지고 있다(Lee and Lee, 2007). 흡착소재 개발 분야에서 슬래그, 적니 등의 산업폐기물을 활용한 흡착 소재 개발 연구(Kang et al., 2013, Min et al., 2008)가 활발히 수행되었으며, 양극산화 공정을 통해 철산화물 나노튜브를 제조 및 인 흡착에 적용한 연구 등이 발표되었다(Lee et al., 2016). 또한 pH, 초기 인 농도 등 수질 특성에 따른 처리효율 평가 및 인 제거효율 향상을 위한 소재개선 및 최적화 연구 등이 활발하게 진행되고 있다(Park et al., 2015, Choi et al., 2016, Lee et al., 2016).

본 연구에서는 연속 역세척 여과장치를 이용한 인 제거 공정의 최적 여재를 선정하기 위한 여재 특성 평가 및 인 제거 효율 평가를 실시하였다. 규사, 활성탄, 제올라이트를 대상으로 BET 표면적, 기공크기, 마모율, 겉보기밀도 등의 물리적 특성을 분석하였으며 각각의 여재에 대한 인 제거 효율을 실험을 통해 평

가하였다. 또한 최적 여재로 선정된 규사의 직경에 따른 인 제거효율을 비교하고, 인 흡착 효율 향상을 위한 철 코팅 규사에 대한 실험을 실시하였다.

2. 연구재료 및 방법

2.1 연구재료 및 실험 방법

본 연구에서 사용한 규사, 활성탄, 제올라이트는 Φ 2 mm 체를 이용하여 균질화하였으며, 증류수로 수회 세척 후 105°C 오븐에서 건조하여 불순물을 제거한 뒤 실험에 사용하였다. 여재 표면 철 코팅은 7 mg/L FeCl₃ 용액에 여재를 2시간 동안 침지한 후 105°C에서 1시간 동안 건조하였다.

여재의 인 제거 성능시험에 사용한 인공폐수의 초기 인 농도는 국내 하수처리장 유입수의 평균 인 유입농도를 참고하였으며, KH₂PO₄(≥99%, Sigma aldrich)를 증류수에 용해시켜 PO₄³⁻ 기준 5 mg/l 으로 조제하였다. 인 제거 성능을 확인하기 위한 흡착 실험은 500 ml serum bottle을 이용하였으며, 각 여재를 200 ml 부피만큼 충전한 후 인공폐수를 400 ml까지 주입하였다. 유사 선행연구(Kang et al., 2013)를 참고하여 반응시간동안 100 rpm에서 진탕하였으며, 반응 시간에 따라 상등수를 채수하여 분석 시료로 하였다.

2.2 분석방법

규사의 인 제거 특성을 평가하기 위하여 겉보기 밀도, BET(Brunauer Emmett Teller) 표면적 분석, 마모율 시험, FE-SEM 표면 분석을 통해 물리적 특성을 평가하였다. 분석에 사용한 장비 및 시험방법은 Table 1과 같다.

Table 1. Analytical methods

Analysis items	Method/Analyzer
Apparent density	Static volume method
BET surface area	MICROMERITICS ASAP2020
FE-SEM surface	HITACHI EP 039R FE-SEM
Wear rate	KWWA F 100 "Testing method of filter sand for water works", 5.5 Wear rate
Phosphate concentration	Hach method 8048 "Ascorbic acid method"



인 제거 실험에서 처리 전 후의 인 농도분석은 Hach method 8048 Ascorbic acid method에 준하여 수행하였으며, 흡광도 측정은 Hach사의 DR 5000 기기를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 여재의 물리적 특성 평가

실험에 사용한 규사의 물리적 특성 평가 결과를 Table 2에 나타내었다. 겉보기 밀도는 규사>제올라이트>활성탄의 순으로 높게 나타났으며, 겉보기밀도가 낮을수록 표면적이 넓고 내부 공극이 큼을 의미한다. BET analyzer를 이용한 분석 결과, BET 표면적은 규사가 1.75 m³/g으로 가장 낮게 나타났으며, 제올라이트가 16.1869 m³/g, 활성탄이 821.3793 m³/g으로 나타났다. 활성탄의 BET 면적이 가장 높게 나타났는데, 내부 기공을 가지고 있는 활성탄의 특성에 기인한 것으로 보인다. 기공 부피의 경우 BET 면적이 가장 높았던 활성탄에서 가장 높게 나타났으며, 그 값은 약 0.23 cm³/g이었다. 규사의 경우에는 내부 기공이 거의

존재하지 않는 것으로 나타났다. 나노단위로 측정된 입자사이즈의 경우 규사가 1631.9 nm, 제올라이트가 176.5 nm, 활성탄이 0.23 nm로 나타났으며, 강도가 높고 구형으로 구성된 규사의 경우 입자 크기가 매우 크며, 활성탄의 경우 나노 단위까지의 작은 입자 구조로 이루어진 것을 확인하였다.

마모율 측정 시험을 통해 규사 0.55%, 제올라이트 3.8%, 활성탄 1.59%의 마모율을 확인하였다. 규사의 경우 소재 자체의 강도가 높아 마모율이 낮게 나타난 것으로 보이며, 제올라이트는 구조적으로 내부 공극이 있는 결정상을 띠고 있어 쉽게 마모되는 것으로 판단된다. 연속여과 반응조 내에서 마찰에 의한 여재 손상을 방지하기 위하여, 여재의 마모율 및 강도의 검토는 매우 중요한 인자라고 할 수 있다. 따라서 여재의 수명과 경제성을 고려할 때, 마모율이 가장 낮은 규사가 여재로 사용되기에 적합한 것으로 판단된다.

철염 코팅한 규사와 일반 규사의 특성을 비교하기 위해 FE-SEM EDS를 이용하여 표면원소 분석을 실시하였다. Fig. 1에서 코팅 전, 후 여재의 표면 원소분포를 확인할 수 있다. 코팅 후 여재의 표면 전체적으로 철 원소가 분포하고 있음을 확인하였으며, 현미경 사진 상에

Table 2. Physical characteristics of media

	Relative density (g/cm ³)	BET surface area (m ³ /g)	Average particle size (nm)	Wear rate (%)
Silica	151.48	1.75	1,631.93	0.55
Zeolite	90.57	16.19	176.51	3.8
Activated carbon	52.24	821.38	3.48	1.59

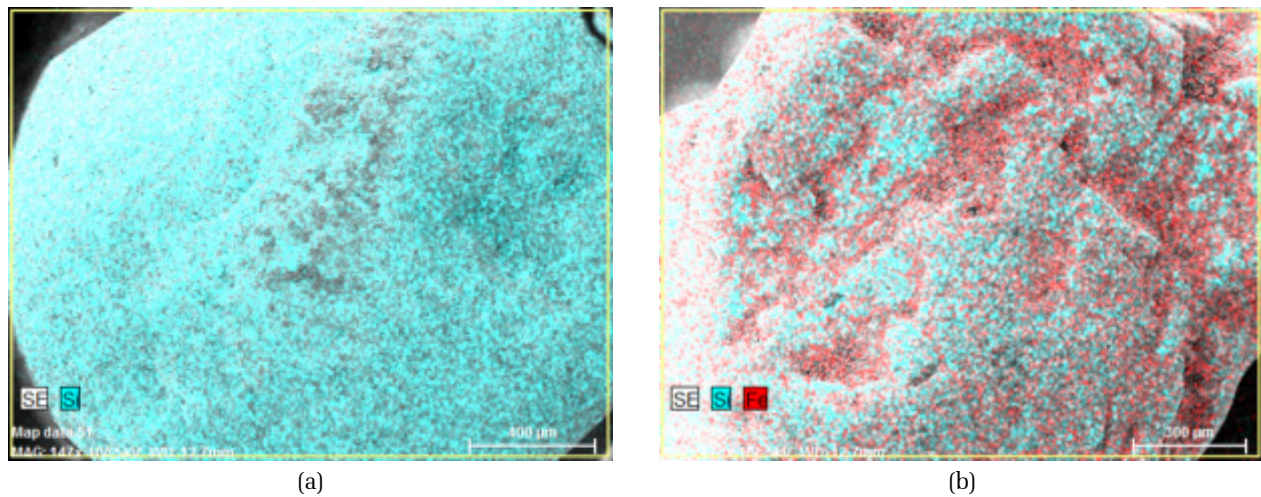


Fig. 1. FE-SEM EDS image of Silica sand (a: Silica sand, b: Fe coated silica sand).

pp. 481-490
pp. 491-499
pp. 501-510
pp. 511-519
pp. 521-527
pp. 529-537
pp. 539-549
pp. 551-566
pp. 567-575
pp. 577-586
pp. 587-597
pp. 599-609
pp. 611-618
pp. 619-628

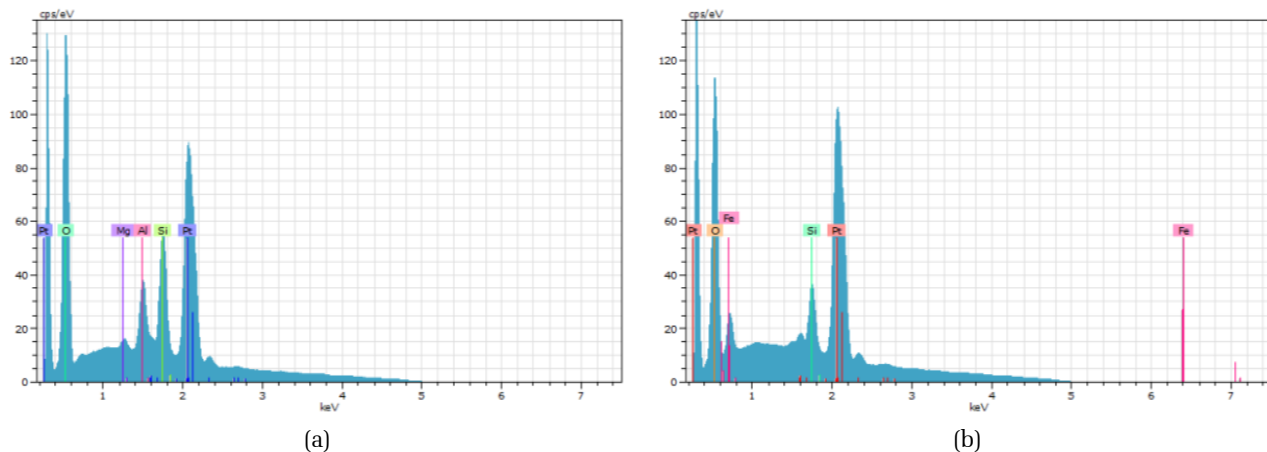


Fig. 2. Element spectrum of silica surface (a: silica sand, b: Fe coated silica sand).

Table 3. Composition of silica sand and Fe coated silica sand

Silica sand		Fe coated silica sand	
Formula	Concentration(%)	Formula	Concentration(%)
SiO ₂	89.09	SiO ₂	82.02
Al ₂ O ₃	7.2	Al ₂ O ₃	6.34
CaO	1.09	K ₂ O	4.1
MgO	0.874	Fe ₂ O ₃	3.317
P ₂ O ₅	0.54	P ₂ O ₅	1.82
K ₂ O	0.479	Na ₂ O	1.19
SO ₃	0.361	CaO	0.686
Fe ₂ O ₃	0.241	SO ₃	0.274
TiO ₂	0.115	Cl	0.082
ZrO ₂	0.0076	TiO ₂	0.0771
SrO	0.003	SrO	0.0314
		MnO	0.028
		Rb ₂ O	0.0216
		ZrO ₂	0.0062

표시하여 구분하였다. 철염 코팅 여재의 표면에 다량의 철이 분포하고 있음을 확인하였으며, 특히 굴곡진 부분에 철이 많이 분포함을 확인하였다. 여재 표면의 굴곡이나 움푹 패인 부분의 경우 밖으로 드러난 표면 부 보다 씻김효과 등이 적어 철 원소가 탈락하지 않고 유지되는 것으로 보인다. Fig. 2에 제시된 원소 구성 스펙트럼 및 Table 3의 XRF 분석 데이터를 통해 여재의 코팅 전, 후 구성원소의 변화를 확인할 수 있다. 코팅 후 여재의 원소 구성 스펙트럼에서 코팅 전 여재에서 확인할 수 없었던 Fe peak가 발생한 것을 확인할 수 있다. XRF 분석을 통해 코팅 전 여재에서

0.241%에 불과하던 Fe₂O₃가 코팅 후 여재에서 3.317%로 향상되어 전체 구성 성분 중 4번째로 높은 함량으로 향상되었음을 확인되었다(Table 3).

3.2 여재의 종류 및 형태에 따른 인 제거 특성 평가

여재 종류에 따른 인 제거 특성을 평가하기 위해 규사, 철강슬래그, 활성탄, 제올라이트를 대상으로 인 제거 실험을 수행하였다. PO₄³⁻ 이온을 함유한 인공폐액에 60분간 침지한 후 상등수의 인 제거율을 분석한 결과, 규사의 처리 후 PO₄³⁻ 농도는 3.35 mg/L로 나타났으며 이 때의 제거 효율은 33%로 가장 높게 나타났다. 제철소에서 발생하는 부산물인 철강슬래그의 경우 처리수 농도 약 3.7 mg/L로 26%의 제거효율을 나타내어 규사 다음으로 높은 효율을 보였다. 그러나 공급이 제한적이고 단가가 높아 여재로 적용하기에는 경제적 측면에서 부적합한 것으로 판단된다. 제올라이트의 경우 약 7%로 매우 낮은 제거효율을 보였는데, 이는 일반적으로 양이온교환능력을 보유한 제올라이트가 PO₄³⁻ 음이온을 처리하기 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

앞선 실험에서 가장 높은 처리효율을 보인 규사를 대상으로 하여 여재 특성에 따른 인 제거효율을 평가하였다. 여재 직경에 따른 인 제거효율의 차이를 알아보기 위하여 여재 크기를 다섯 단계로 나누어 실험을 진행하였다. 표준체망을 사용하여 지름 1.7 mm 이상, 1.4~1.7 mm, 1.18~1.4 mm, 1.0~1.18 mm, 0.85 mm이하로 구분하여 인 제거 효율을 평가하였다. 입경에 따른 실험에서 1.4~1.7 mm의 입경의 여재가 약 43%로 가장

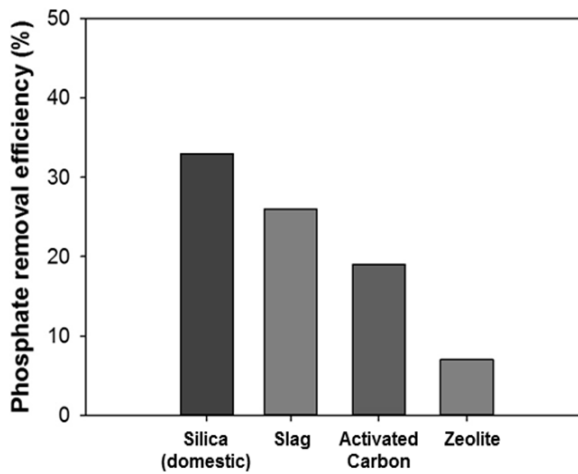


Fig. 3. Phosphate removal efficiency(%) by the media (Initial phosphate concentration; 5 ppm, treatment time: 60 min).

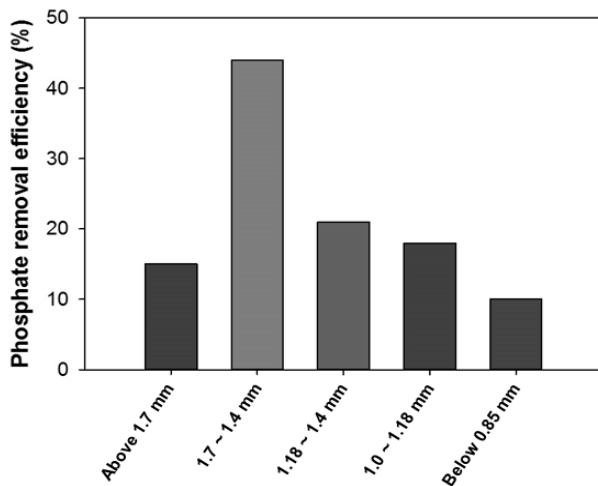
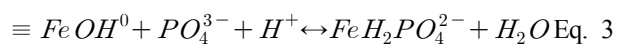
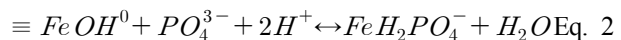
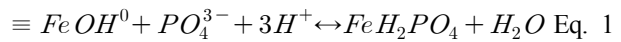


Fig. 4. Phosphate removal efficiency(%) vs. diameter of silica sand (Initial phosphate concentration; 5 ppm, treatment time: 60 min).

높은 효율을 보였으며, 이 때 처리수 농도는 2.8 mg/L로 나타났다. 이어서 1.18~1.4 mm, 1.0~1.18 mm, 1.7 mm 이상, 0.85 mm 이하의 순으로 제거 효율이 높게 나타났다. 여재의 입경의 경우 여재 충전 시 공극율과 연관되는 인자로 입경이 너무 작으면 내부 공극이 줄어들고 원활한 흐름이 어려워 효율이 감소하고, 입경이 너무 큰 경우에는 공극이 과다하여 표면적이 줄어드는 결과를 가져오는 것으로 판단된다. 본 실험을 통해 입경 1.4~1.7 mm의 규사가 인 제거를 위한 연속여과 여재로 가장 적절한 것으로 확인하였다.

3.3 철 코팅을 통한 규사의 인 제거 효율향상 평가

철염 코팅에 따른 인 흡착 효율 향상 효과를 평가하기 위하여 철 코팅 규사와 일반 규사의 다른 인 흡착 제거효율 실험을 진행하였다. 코팅 규사와 일반 규사를 인공 원수에 침지시킨 후 반응 10, 30, 60, 90분 경과후에 샘플링하여 PO_4^{3-} -P 농도를 측정하고, 계산을 통해 PO_4^{3-} 이온 농도로 변환하였다. 일반 규사의 경우 초기 10분에서 약 8% 제거되었고, 90분경과 후까지 총 24%의 인이 제거되었으며, 전반적인 제거 패턴상 반응이 완료된 것으로 보인다. 반면 코팅 규사의 경우 90분 경과시점 까지 제거 효율이 꾸준히 증가하는 양상을 보이고 있다. 90분 경과 시점에서 약 73%의 인이 제거됨을 확인하였다. 90분 처리 경과 후 인 농도는 1.35 mg/L로 나타나 L당 3.65 mg의 PO_4^{3-} 이온이 흡착, 제거되었다. 이는 양전하를 띠는 철염으로 표면을 코팅함에 따라 음전하를 띠는 PO_4^{3-} 이온의 흡착 제거가 용이해졌기 때문으로 판단된다(Eq. 1~3).



규사의 제타 전위는 pH 2 이상에서 음전하를 띠는 것으로 알려져 있다(Shah and James, 2006). 표면전하가 0이 되는 pH수준을 PZNPC(Point of zero net proton charge) 라고 한다. PZNPC 보다 낮은 pH조건에서는

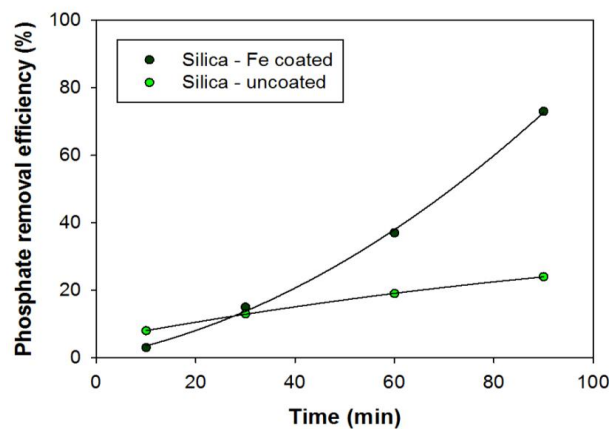


Fig. 5. Phosphate removal of Fe coated and uncoated silica sand (Initial phosphate concentration; 5 ppm).

pp. 481-490
pp. 491-499
pp. 501-510
pp. 511-519
pp. 521-527
pp. 529-537
pp. 539-549
pp. 551-566
pp. 567-575
pp. 577-586
pp. 587-597
pp. 599-609
pp. 611-618
pp. 619-628

표면전하가 양전하를 띠고 그 반대의 경우에는 표면 전하가 음전하를 띤다. 즉, pH 조건에 따라 표면전하를 조절할 수 있으며 처리하고자 하는 대상하수에 포함하고 있는 반대전하를 띤 물질을 흡착제거할 수 있다. 본 연구에서 여재로 사용한 규사는 일반적 하수의 pH 조건인 pH 6.5~7.5 사이에서 음전하를 가지며, 여재를 코팅하기 위해 사용한 FeCl₃ 용액에서 철 이온은 양전하를 가진다. 따라서 정전기적 인력에 의해 여재 표면에 철이 코팅되게 되며, 이로 인해 코팅 여재의 표면은 양전하를 가지게 되어 PO₄³⁻ 음이온을 흡착하여 제거할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 연속역세척 상향류 모래여과 시스템의 인 제거효율을 향상시키기 위한 최적 여재의 조건을 도출하고자 하였으며, 실험을 통해 도출한 결론은 아래와 같다.

1) 규사, 제올라이트, 활성탄을 대상으로 물리적 특성을 평가하였으며, 겉보기 밀도는 규사>제올라이트>활성탄 순으로 높게 나타났으며, BET 표면적은 규사<제올라이트<활성탄 순으로 나타났다. 여재의 강도 및 수명을 결정짓는 마모율 시험 결과 규사가 0.55%로 가장 낮은 마모율을 보여 가장 적합한 여재로 판단하였다.

2) 회분식 실험을 통해 규사, 철강슬래그, 활성탄, 제올라이트의 인 흡착 제거 효율을 평가하였다. 60분 처리 결과, 외국산 규사의 처리효율이 36%로 가장 높게 나타났으며, 국내산 규사가 33%로 두 번째로 높은 인 제거 효율을 보였다. 제올라이트의 경우 7%로 가장 낮은 제거효율을 보였는데 이는 일반적으로 양이온 교환능력을 보유한 제올라이트의 특성 때문으로 판단된다.

3) 여재의 직경은 공극율과 연관되는 중요한 인자이다. 규사의 직경에 따른 인 제거효율을 평가한 결과 1.4~1.7 mm의 직경을 가지는 규사의 인 제거 효율이 약 43%로 가장 높은 값을 보여, 가장 적절한 여재 직경 범위는 1.4~1.7 mm로 나타났다.

4) 여재의 표면에 철 코팅을 통해 여재의 인 제거 효율을 향상시킬 수 있다. 기존에 음전하를 띠는 규사 표면에 양전하를 띠는 철을 코팅하여 음이온인 PO₄³⁻를 제거할 수 있다. 90분간 처리 결과 철 코팅 규사가

약 73%의 인을 제거하여 일반 규사에 비해 약 3배 높은 처리 효율을 보임을 확인하였다.

사 사

본 연구는 환경부 “글로벌탑 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제(과제번호: 2016002210006)이며, 이에 감사드립니다.

References

- Lee, E.S., Choi, C.S. (2011) Technical Trend and Developmental Direction of Biological Phosphate Removal, KIC news, 14(5), 30-37.
- Ministry Of Environment (2011a), A Study on the Actual Conditions of Operation Management of Public Sewage Treatment Facilities.
- Ministry Of Environment (2011b), Consideration for efficient operation and maintenance of facilities in the facility.
- Peleka, E.N., Mavros, P.P., Zamboulis, D., and Matis, K.A. (2005) Removal of phosphates from water by a hybrid flotation-membrane filtration cell, Desal., 198, 198 - 207.
- Seida, Y., Nakano, Y. (2002) Removal of phosphate by layered double hydroxides containing iron, Water Res., 36, 1306 - 1312,
- Razali, M., Zhao, Y., Bruen, M. (2007) Effectiveness of a drinking-water treatment sludge in removing different phosphorus species from aqueous solution, Sep. Purif. Technol., 55, 300 - 306.
- Awual, R., Jyo, A. (2009) Rapid column-mode removal of arsenate from water by crosslinked poly(allylamine) resin, Water Res., 43, 1229 - 1236.
- Awual, M.R., Jyo, A. (2011) Assessing of phosphorus removal by polymeric anion exchangers, Desal., 281, 111 - 117.
- Lee, E.S. (2006) Phosphorous Removal from Synthetic Wastewater Using a Continuous Flow Column Packed with Waste Lime Core, J Korea Acad Industr Coop Soc., 7(4), 709-714.
- Lee, S.H. and I.G. Lee (2007) Phosphate removal in the wastewater by the different size of granular converter slag, J Korea Acad Industr Coop Soc., 8(1), 136-142.
- Kang, K., Kim, Y.K., and S.J. Park (2013) Phosphate Removal of Aqueous Solutions using Industrial Wastes, J Korean Soc Agric Eng., 55(1), 49-57.
- Min, J.E., Park, I.S., Ko, S.O. Shin, W.S. and Park, J.W. (2008)



- Sorption of dissolved inorganic phosphorus to zero valent iron and black shale as reactive materials. *J Korean Soc Environ Eng.* 30(9), 907-912.
- Lee, W.H., Lim H.S., and Kim J.O. (2016) Fabrication of Iron Oxide Nanotubes by Anodization for Phosphorus Adsorption in Water, *J Korean Soc Water Wastewater*, 30(6), 691-698.
- Park, J.W., Kwak H.E. Min S.J. Chung, H.K., Park P. K.(2016) Effect of pH and Initial Phosphorus Concentration on Phosphorus Removal by Aluminum Salts, *J Korean Soc Water Wastewater*, 30(2), 123-130.
- Choi J.S., Lee B.H., Kim, K.P., Baek D.J. (2016) Improved Coagulant for High Efficiency Phosphorus Removal in Secondary Effluent of Waste Water Treatment Plant, *J Korean Soc Water Wastewater*, 30(6), 683-690.
- Lee, S.K., Park, M.S., Yeon, S.J., Park, D.H. (2016), Optimization of chemical precipitation for phosphate removal from domestic wastewater, *J Korean Soc Water Wastewater*, 30(6), 663-671.
- Weinschrott, B. and Tchobanoglous, G. (1986) Evaluation of the Parkson DynaSand filter for wastewater reclamation in California. Department of Civil Engineering. University of California, Davis
- England, S.K., Darby, J.L. and Tchobanglous, G. (1994) Continuous-backwash upflow filtration for primary effluent, *Water Environ. Res.*, 66(3-4), 145-152.
- Hultman, B., Jonsson, K. and Plaza, E. (1994) Combined Nitrogen and Phosphorous removal in a full-scale continuous up-flow sand filter. *Wat Sci Tech.*, 29(10-11), 127-134.
- Sanz, J.P., Freund, M., and Hother, S. (1996) Nitrification and Denitrification in Continuous upflow filters-process modelling and Optimization, *Wat Sci Tech.*, 34(1-2), 441-448.
- Koopman, B., Stevens, C.M., Wonderlick, C.A. (1990) Denitrification in a moving bed upflow sand filter, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 62(5-6), 239-245.
- Lee, H.I., Lee, S.K., Choi, K.S., Lee, H.G., and Kim, C.W. (1999) Removal of Solid Particle using Continuous-Backwash Upflow Sand Filter, *J Korean Soc Environ Eng.*, 21(4), 617-625.
- Shar, D. and James, M.A. (2006) *New Horizons in Purification of Liquids, Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*, 369-386.

pp. 481-490

pp. 491-499

pp. 501-510

pp. 511-519

pp. 521-527

pp. 529-537

pp. 539-549

pp. 551-566

pp. 567-575

pp. 577-586

pp. 587-597

pp. 599-609

pp. 611-618

pp. 619-628