철전기분해장치(FNR)에서 철판의 표면적이 인제거에 미친 영향에 관한 연구

김영규[†]

용인대학교 환경학과

A Study on Phosphorus Removal Effects Per Iron Surface Area in FNR Process

Young-Gyu Kim[†]

Department of Environmental Science, Yong In University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this experiment is to understand the phosphorus removal ratio effects of iron plates per unit of surface area through the iron electrolysis system, which consists of an anoxic basin, aerobic basin, and iron precipitation apparatus.

Methods: Iron electrolysis, which uses an iron precipitation reactor in anoxic and oxic basins, consisted of iron plates with total areas of 400 cm², 300 cm² and 200 cm² respectively. The FNR process was operated with a hydraulic retention time and a sludge retention time of 12 hours and three days, respectively. Wastewater used in the experiments was prepared by dissolving KH₂PO₄ in influent water.

Results: The iron plates 400 cm² (16.6 mA/cm²), 300 cm² (13.3 mA/cm²) and 200 cm² (7.3 mA/cm²) in surface area in the phosphorus reactor had respective phosphorus of 2.4 mg/l, 2.7 mg/l and 3.2 mg/l in the effluent and phosphorus removal respective efficiencies of 90.3%, 89.1% and 87.1%. The effluent in the reactor, where the iron plate was not used, had relatively very low phosphorus removal efficiency showing phosphorus concentration of 15.3 mg/l and a phosphorus removal efficiency about 38.3%. Phosphorus removal per ferrous was 0.472 mgP/mgFe in the iron electrolysis system where the surface area of iron was low. Phosphorus pollution load per active surface area and the phosphorus removal efficiency had an interrelation of $RE = -0.27LS + 89.0$ ($r = 0.85$).

Conclusion: With larger iron plate surface area, the elution of iron concentration and phosphorus removal efficiency was higher. The removal efficiency of phosphorus has decreased by increasing the initial phosphate concentration in the iron electrodes. This shows a tendency of decreasing phosphorus removal efficiency because of decreasing of iron deposition as the phosphorus pollution load per active surface area increases.

Keywords: FNR process, phosphorus, iron electrolysis, surface area of iron plate, iron

I. 서 론

오폐수처리 공정에서 화학적 탈인법으로 가장 널리 사용되고 있는 응집제(Coagulant)로써 알루미늄

염(Al)과 철염(Fe)의 금속염(metal salt)에 의한 응집 침전방법이 가장 많으며, 인의 제거는 침전지에서 불용성인의 형태로 침전, 제거 된다.¹⁾ 인을 제거하기 위해 가장 많이 쓰이는 알루미늄은 치매를 일으킬

[†]Corresponding author: Department of Environmental Science, Yong In University, Tel: 031-8020-2751, Fax:031-8020-2886, E-mail: envinet1004@hanmail.net

Received: 29 October 2012, Revised: 19 November 2012, Accepted: 27 November 2012

Fig. 1. Schematic diagram of FNR Process used in this study.

수 있는 물질로 알려져 인을 제거하기 위해서는 철을 응집제로 사용하는 것이 바람직하다. 철석출장치를 이용하여 철을 석출시켜 인을 제거함에 따라 기존 생물학적 인제거 공정과는 달리 생물학적 인제거를 위한 유기물의 소모를 최소화 시킬 수 있는 장점이 있다. 유기물부하가 낮고 C/N비가 낮을 경우 혐기조에서 인의 용출을 위해 유기물이 사용되어 실질적으로 탈질에 필요한 탄소원이 부족하게 된다. 또한 동절기에는 생물학적 반응조의 미생물량을 높이기 위해 SRT를 길게 유지할 경우에는 인제거율이 저하되는 문제점이 있다. 방류수 인의 수질기준을 만족시키며, 탈질을 위한 탄소원의 소모를 줄이기 위해서는 화학적 인 제거공법이 요구되고 있어 방류수 수질기준에 능동적으로 대처할 수 있는 처리공정을 개발하여야 할 것이다.¹⁻³⁾ 전기화학적 방법에 의한 질소화합물의 제거,⁴⁾ 입자상 철 충전복극전해조에 의한 구리의 제거등에 연구,⁵⁾ 철판과 알루미늄판을 넣었을 때 인의 제거효율 향상에 대한 연구가 진행되어 있다.⁶⁾ 점차 강화되는 수질기준을 만족시키기 위해서는 법적 방류수 수질기준에 부합하기 위해서는 생물학적 처리공법이나 막분리공법에 인을 제거하는 화학적 공법의 도입이 불가피한 실정이다.^{7,8)} 본 연구에서는 혐기조의 인의 방출과 호기조의 인의 과잉섭취를 통하여 인을 제거하는 기존의 생물학적처리와 달리 무산소조, 호기조, 철 석출장치로 구성된 생물 반응조에서 호기조의 유입수를 철석출장치로 유입시켜 철을 용출시키고 인과 결합시킨 후 인을 제거하는 공정을 선정하였다. 철 전기분해공법인 FNR (Ferrous Nutrient Removal)의 운전에 있어서 중요한 인인 철판의 단위표면적당 인부하량이 인 제거율에 미친 영향과 철판의 면적이 일정할 때 유입인의 농도에 따른 인 제거율을 파악하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험장치

각 공정별 운전조건은 무산소-호기공정과 철석출장치로 구성하였으며, 무산소조와 호기조, 침전조의 용량은 각각 5.8, 8.4, 6.6 L 이었고 호기조 내 DO 농도는 2.0~4.0 mg/L의 범위로 유지하였다. 이때, 각 철 전기분해장치의 철판전극에 흐르는 전압은 모두 6 V였으며, 철판의 두께가 10 mm인 것을 사용하였으며, 철판의 간격은 20 mm였다. 반응조에 유입되는 유입원수는 J하수처리장의 유입수를 이용하였으며, 유기물 및 영양염류의 농도를 조정하기 위하여 인산이수소칼륨(KH_2PO_4), glucose($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)와 질산암모늄(NH_4NO_3)을 이용하여 조제하였다.

2. 실험방법 및 분석방법

FNR-1 반응조의 운전은 Table 1과 같이 철판의 유효표면적을 각각 400 cm², 300cm², 200cm²로 구성된 3개의 반응조와 철판을 투입하지 않은 대조군으로 구성하여 철판의 유효표면적에 의한 철석출량과 인 제거율을 파악하였다. 4개의 반응조 모두 동일하게 12시간의 수리학적 체류시간(HRT)과 3일의 고형물 체류시간(SRT)으로 유지시켜 운전하였으며, 유입수 중 인의 농도는 인산이수소칼륨(KH_2PO_4)을 투여하여 24.8 mg/l가 되도록 하였다. FNR-2 반응조와 FNR-3 반응조는 철판의 유효표면적을 각각 50 cm², 25 cm²로 하여 유입수 인의 농도를 각각 41.8 mg/l, 29.3 mg/l, 20.7 mg/l로 하였으며 대조군 반응조는 20.7 mg/l로 유지하였다. 반응조에 투입된 철판에 양극과 음극을 24시간 단위로 교대로 사용하여 음극의 철판표면에 스케일(scale)이 형성되어 철산화물의 석출속도가 저하되는 현상을 예방하여 양쪽 철판표면 모두에서 계속

Table 1. Operating conditions in FNR-1 Process

Parameters	FNR-1 Process			
	No.1	No.2	No.3	No.4
Effective surface area of iron (cm ²)	400	300	200	-
Total Fe (mg/l)	81.7	67.4	44.8	-
PO ₄ -P	Influent	24.8	24.8	24.8
	Effluent	2.4	2.7	15.3
	R.E.(%)	90.3	89.1	87.1
mg P/mg Fe	0.274	0.328	0.472	-
F/M (kgCOD/kgMLVSS)	0.105	0.102	0.097	0.089
MLSS (mg/l)	3,130	3,100	3,160	3,030
MLVSS (mg/l)	2,140	2,210	2,310	2,520
MLVSS/MLSS Ratio	0.68	0.71	0.73	0.83
SVI(ml/g)	67	74	82	109
HRT(hr)/SRT(day)	12/3	12/3	12/3	12/3

적으로 철이 석출되도록 하였다. 시료 채취 후 즉시 pore size가 0.2 µm인 membrane filter로 여과하여 MLSS, MLVSS, SS, PO₄-P는 Standard Methods⁹⁾에 따라 측정하였고, COD_{Mn}의 측정은 공정시험법에 따라 실험하였다. 용존산소 (Dis-solved Oxygen, DO) 농도와 pH는 실시간 자동 측정기 (Inolab Multi-Parameter Level 3)를 사용하여 분석하였으며, 총철은 AAS(Model Z8100)으로 분석하였다.

III. 결 과

1. 철판의 표면적에 따른 인제거효율

인 제거효율은 Table 1 과 같이 철판 표면적이 각각 400 cm², 300 cm², 200 cm² 인 반응조의 전류밀도는 각각 16.6 mA/cm², 13.3 mA/cm², 7.3 mA/cm²으로 나타났다. 처리수의 인의 농도는 각각 2.4 mg/l, 2.7 mg/l, 3.2 mg/l/으로 인의 제거율은 각각 90.3%, 89.1%, 87.1%로 나타났으며 철판을 투입하지 않은 반응조의 처리수의 인농도는 15.3 mg/l로 나타났다. 철석출장치의 철판에 전압 6V를 주고 투입된 철판 표면적이 각각 400 cm², 300 cm², 200 cm² 일때 석출된 철의 평균농도는 각각 81.7, 67.4, 44.8 mg/l로 나타나 철판 표면적이 클수록 철표면에서 석출되는 철의 양이 상대적으로 높게 나타났다.

Fig. 2. Variation of PO₄-P removal rate with the surface area of Iron in FNR-1 Process. **Fig. 3.** Variation of Iron of effluent with the surface area of Iron in FNR-1 Process.

2. 철판의 표면적에 따른 방류수 철 농도의 변화

반응조에 투입된 철판의 유효표면적의 변화에 따른 처리수중 철의 농도의 변화는 Fig. 3과 같이 실험 초기에 증가하다가 16일이 경과한 후에 철 농도가 최고 1.12 mg/l로 증가하였으며 철이 용존되어 있는 유기물과 결합하면서 평균 철농도가 약 0.5 mg/l 이하로 낮아졌다.

3. 철판의 표면적이 50 cm² 일때의 유입수 인의 농도변화에 따른 인제거효율

용해성 인의 평균제거율은 Fig. 4와 같이 인부하량이 가장 낮은 반응조 No.3에서 92.8%로 가장 높았으며, 이때 반응조 내 철의 평균농도는 79.4 mg/l

Table 2. Operating conditions in FNR-2 Process

Parameters	FNR-2 Process			
	No.1	No.2	No.3	No.4
Effective surface area of iron (cm ²)	50	50	50	-
Total Fe (mg/l)	54.3	61.2	79.4	-
PO ₄ -P				
Influent	41.8	29.3	20.7	20.7
Effluent	5.8	3.7	1.5	12.8
R.E.(%)	86.1	87.4	92.8	38.2
mg P/mg Fe	0.663	0.418	0.242	-
F/M (kgCOD/kgMLVSS)	0.296	0.298	0.309	0.258
MLSS (mg/l)	3,180	3,080	3,120	3,170
MLVSS (mg/l)	2,300	2,290	2,210	2,640
MLVSS/MLSS Ratio	0.72	0.74	0.71	0.83
SVI(ml/g)	75	84	96	120
HRT(hr)/SRT(day)	8/6	8/6	8/6	8/6

Table 3. Operating conditions in FNR-3 Process

Parameters	FNR-3 Process			
	No.1	No.2	No.3	No.4
Effective surface area of iron (cm ²)	25	25	25	-
Total Fe (mg/l)	41.3	44.2	35.4	-
PO ₄ -P				
Influent	41.8	29.3	20.7	20.7
Effluent	9.4	7.1	4.5	14.8
R.E.(%)	77.5	75.8	78.3	28.5
mg P/mg Fe	0.785	0.502	0.458	-
F/M (kgCOD/kgMLVSS)	0.305	0.301	0.313	0.294
MLSS (mg/l)	41.3	44.2	35.4	-
MLVSS (mg/l)	3,260	3,340	3,170	3,150
MLVSS/MLSS Ratio	2,450	2,480	2,390	2,540
SVI(ml/g)	92	96	107	149
HRT(hr)/SRT(day)	8/6	8/6	8/6	8/6

Fig. 4. Variation of PO₄-P removal rate with the influent P concentration when the surface area of Iron is 50 cm² in FNR-2 Process.

이었다. 또한, 반응조 No.2에서의 평균 인 제거율은 석출된 철의 농도가 61.2 mg/l인 조건에서 87.4%로 나타났고, 반응조 No.1에서는 석출된 철의 평균 농도가 54.3 mg/l인 조건에서 86.1%로 나타났다. 반면에, 철을 투입하지 않은 대조 반응조에서는 38.2%로 나타나 반응조에 유입되는 인부하량에 거의 관계없이 철을 투입한 반응조에서 인 제거율이 49.2% 이상 향상되는 것으로 나타났다. 석출된 철산화물 당 제거된 인의 양은 유입수의 인의 농도가 클수록 크

게 나타나 반응조 No.1에서 약 0.663 mgP/mgFe인데 비하여 유입수의 농도가 낮은 반응조 No.3에서는 0.242 mgP/mgFe로 나타났다. 철판표면에서 석출된 철의 평균농도는 유입되는 용해성 인의 농도가 높을수록 낮은 결과를 보여주었다. 이러한 원인은 철이 석출되는 양극의 철판표면에 부착된 용해성 인의 반응몰수가 높게 유지되어 전위차 에너지가 감소되었기 때문에 철의 이온화율도 감소되었기 때문으로 보인다.

4. 철판의 표면적이 25 cm² 일때의 유입수 인의 농도변화에 따른 인제거효율

용해성 인의 평균제거율은 Fig. 5와 같이 인부하량이 낮은 반응조 No.3에서 78.3%로 가장 높았으며 석출된 철의 평균농도가 35.4 mg/l이었다. 인부하량이 높은 반응조 No.1와 반응조 No.2에서 석출된 철의 평균농도가 각각 41.3 mg/l, 44.2 mg/l인 상태에서 용해성 인의 평균제거율은 77.5%와 75.8%로 나타났다. 반면에, 철판이 투입되지 않은 대조 반응조에서는 유입수의 인농도가 20.7 mg/l인 조건에서 용해성 인의 평균제거율은 28.5%로 나타났다. 유효표면적 변화에 따른 인 제거에 관한 실험결과는 반응조에 투입된 철의 유효표면적이 25 cm²인 상태에서는 철의 석출량 당 제거된 용해성 인의 양은 반응조 No.1,

Fig. 5. Variation of $\text{PO}_4\text{-P}$ removal rate with the influent P concentration when the surface area of Iron is 25 cm^2 in FNR-3 Process.

Fig. 6. Relation of $\text{PO}_4\text{-P}$ removal efficiency(%) and P loading/surface area.

N.2, No.3에서 각각 0.785, 0.502, 0.458 $\text{mgPO}_4\text{-P/mgFe}$ 범위로 나타났다. 그러므로 인제거를 위해 반응조에 투입한 철의 석출량을 증가시키기 위해서는 철판 표면에 부착하는 유기물의 양을 감소시키기 위한 방안이 고려되어야 할 것으로 보인다.

5. 철판의 표면적당 인 부하량과 인 제거율의 상관관계

FNR 공정에서 반응조에 투입된 철판의 유효표면적당 인부하량과 인 제거효율의 상관관계를 본 결과는 식 (1)에서처럼, 철판의 유효표면적당 인부하량이 증가할수록 인제거율이 감소되는 경향을 보여주었다. 이러한 원인은 철산화물의 표면적당 흡착될 수 있는 인의 양이 한정되어 있어 석출된 철의 양에 따라 인

제거량은 고정되어 있고, 또한 철판유효표면적당 인의 부하량이 높을수록 철이 이온화되는 양극 철판표면에 용해성 인의 반응 몰수가 높게 유지되며 전기화학당량을 유지하는 전위차가 감소되어 철의 이온화율도 감소되기 때문이다. 철의 전기분해 작용에 의해 용해성 인의 제거율을 증가시키기 위해서는 반응조에 투입되는 철판의 이온화율을 증가시키기 위한 세척이나 유기물의 농도가 적은 방류수등을 활용한 필요가 있는 것으로 나타났다. 철석출장치를 이용한 생물학적 처리공정 중 투입되는 철판의 최적 유효표면적산출은 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\text{RE} = -0.27\text{LS} + 89.0 \quad (r = 0.85)$$

RE = 요구되는 용해성 인제거율, %

LS = 철유효표면적당 인부하량, $\text{mgP/cm}^2 \cdot \text{day}$ (1)

IV. 고 찰

철판의 표면에 따른 인제거효율은 철판표면적이 클수록 인의 제거율도 높게 나타났으며,⁸⁾ 철판을 투입하지 않은 반응조의 처리수의 인농도는 15.3 mg/l 로 인제거율은 약 38.3%로 나타나 철을 투입한 반응조 보다 인의 제거율이 매우 낮게 나타났다. 석출된 철에 인이 제거되는 것은 Sahset Irdemez등⁶⁾의 연구처럼 전기분해에 의해 석출된 철 이온과 용해성 인이 결합되어 제거되는 화학적 반응과 석출된 입자상 철 표면에 인이 흡착되어 제거되는 물리적 반응에 의하여 철산화물 형태로 침전되어 제거되는 것으로 보고되고 있다.¹⁰⁻¹⁴⁾

Cheong등⁸⁾의 연구에서도 막분리법에서 인제거율이 떨어지나 철염을 주입후 약 44%의 인제거율이 향상된 것으로 나타났으며 Sahset Irdemez⁶⁾등의 연구에 철판을 사용하였을때 인제거율 90%까지 증가하는 것으로 나타나 철의 주입은 인의 제거에 큰 역할을 하는 것으로 나타났다. 철판 표면적이 200 cm^2 인 반응조의 전류밀도는 7.3 mA/cm^2 이며 인의 제거율은 87.1%로 나타났으나 Sahset Irdemez등의 연구처럼 1 mA/cm^2 의 낮은 전류밀도에서도 인의 제거효율이 90%로 높게 나타났다. 본 실험에 사용한 원수는 하수처리장의 유입수에 인산이수소칼륨(KH_2PO_4)를 넣었지만 Sahset Irdemez등은 증류수에 인산이수소칼륨(KH_2PO_4)를 넣고 실험하여 인의 처리효율이

높게 나타난 것으로 보인다. 인의 제거율이 높게 나타난 것은 운전 기간이 경과됨에 따라 철판의 철산화물이 수용액으로 용해되어 혼합되면서 인과 결합되었기 때문으로 보인다. 석출된 철산화물 당 제거된 인의 양은 반응조에 투입된 철판의 유효 표면적이 200 cm²로 가장 적은 반응조에서 약 0.472 mgP/mgFe인데 비하여 철판의 유효표면적이 400 cm²로 가장 큰 반응조에서는 0.274 mgP/mgFe로 상대적으로 낮게 나타났다. 철판의 표면적이 50 cm² 일때의 유입수 인의 농도변화에 따른 용해성 인의 제거율이 인부하량이 가장 낮은 반응조에서 92.8%로 가장 높게 나타났다. 철판의 표면적이 25 cm² 일때의 유입수 인의 농도변화에 따른 인제거효율도 인부하량이 낮고 미생물량이 적은 반응조에서 78.3%로 가장 높았다. 인제거를 위해 반응조에 투입한 철의 석출량을 증가시키기 위해서는 유기물질이 적은 방류수를 투입하거나 철판 표면에 부착하는 유기물의 양을 감소시키기 위한 방안이 고려되어야 할 것으로 보인다. 반응조에 투입된 철판의 유효표면적당 인부하량과 인제거효율의 상관관계를 보면 철판의 유효표면적당 인부하량이 증가할수록 인제거율이 감소되는 경향을 보여주었다. 이러한 원인은 철산화물의 표면적당 흡착될 수 있는 인의 양이 한정되어 있어 석출된 철의 양에 따라 인 제거량은 고정되어 있고, 또한 철판유효표면적당 인의 부하량이 높을수록 철이 이온화되는 양극 철판표면에 용해성 인의 반응 물수가 높게 유지되며 전기화학당량을 유지하는 전위차가 감소되어 철의 이온화율도 감소되기 때문이다. 운전 기간이 경과함에 따라 음극 철판표면의 일부분은 검은색의 산화물로 피막이 형성되는 것을 볼 수 있는데 이는 철자체의 표면적 특성 때문에 나타나는 현상이며 이로 인하여 철석출량이 감소할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 일정한 시간을 주기로 양극으로 사용된 철판을 음극으로 음극 철판은 양극으로 바꾸어 주어 음극의 철판표면에서 scale이 형성되는 것을 억제하여야 균일한 철염이 석출될 수 있다. 반응조에 투입된 철판표면에서 적갈색의 Fe(OH)₂O 철산화물이 부식되면서 점차 2가 및 3가 철이온을 공유하고 있는 입자성 Fe₃O₄로 전환됨에 따라 철판표면이 검은색으로 변화된 상태에서 철전극의 이온화가 저하되었기 때문에 철판표면에 스케일(scale)이 부착된 실험적 관찰과 일치하였다.¹⁵⁾ 철의 전기분해

작용에 의해 용해성 인의 제거율을 증가시키기 위해서는 반응조에 투입되는 철판의 이온화율을 증가시키기 위한 세척이나 유기물의 농도가 적은 방류수등을 활용한 필요가 있는 것으로 나타났다.

V. 결 론

무산소조, 호기조, 철석출장치로 구성된 철 전기분해장치에서 철판의 단위표면적당 인부하량이 인제거율에 미친 영향을 파악하고자 하였다. 철판을 넣은 반응조와 넣지 않은 반응조 모두 동일하게 12시간의 수리학적 체류시간(HRT)과 3일의 고형물 체류시간(SRT)으로 유지시켜 운전하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

철판 표면적이 많을 수록 석출되는 철의 농도가 많고 인의 제거율은 90.3%로 높게 나타났으나 철판을 투입하지 않은 반응조의 인제거율은 약 38.3%로 낮게 나타났다. 석출된 철산화물 당 제거된 인의 양은 반응조에 투입된 철판의 유효 표면적이 가장 적은 반응조에서 약 0.472 mgP/mgFe인데 비하여 철판의 유효표면적이 가장 큰 반응조에서는 0.274 mgP/mgFe로 상대적으로 낮게 나타났다. 철판의 유효표면적당 인부하량과 인제거효율의 상관관계에서 인제거율은 $RE = -0.27LS + 89.0$ ($r = 0.85$)으로 나타나 철판의 유효표면적당 인부하량이 증가할수록 인제거율이 감소되는 경향을 보여주었다. 철의 전기분해 작용에 의해 용해성 인의 제거율을 증가시키기 위해서는 반응조에 투입되는 철판의 이온화율을 증가시키기 위한 세척이나 유기물의 농도가 적은 방류수등을 활용한 필요가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 경기녹색환경지원센터에서 시행한 환경기술연구개발사업의 연구로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Wilderer PA, Arnz P, Arnold E. Application of bio-films and biofilm support materials as a temporary sink and source. *Water Air Soil Pollut.* 2000; 123(1-

- 4): 147-1580.
2. Lee DS, Jeon CO, Park JM. Biobological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system. *Wat. Res.* 2001; 35(16): 3968-3976.
 3. Kim YG, Kim IB. The nitrogen and phosphorus removal UNR process using sludge carbon source. *Korean J. Environ Health.* 2002; 28(1): 93-98.
 4. Joo Hyun Sim, Se Han Kang, Hyung Joon Seo, Su Sung Song. A study on the optimum operating conditions and effects of wastewater characteristics in electrochemical nitrogen removal process. *J KSSE.* 2009; 31: 29-35.
 5. Kim JS, Park SC. The removal of copper by granular iron bipolar packed bed cell. *J KSSE.* 2004; 26(11): 1267-1271.
 6. Sahset Irdemez, Nuhi Demircioglu, Yalcın Sevkı Yıldız, Zuleyha Bingul, The effects of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electro coagulation using aluminum and iron plate electrodes. *Separation and Purification Technology.* 2006; 52: 218-223.
 7. Choi ES, Lee HS, Park MG, Chang YS. Selection of nutrient removal process for low strength municipal wastewater, Proc. 5th IAWQ Asia Conference on Water Quality and Pollution Control; 1995. p. 382-397.
 8. Cheong JH, Heo YR, Jeong Dae, Eui Sin Lee, Myung Gyun Park, Nitrogen and Phosphorus removal in long term pilot operation using submerged hollow fiber membrane and ferric chloride. *J KSSE.* 2005; 27(11): 1168-1173.
 9. APHA, AWWA and WPCF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed., Washington D.C., USA; 1985. p.92-100.
 10. Cho IH, Zoh KD, An SW, Chang SW, Kim YG. Characterization of phosphorus removal in wastewater using iron precipitation reactor. *J Environmental Health Science.* 2006; 32(1): 89-95.
 11. James BR, Rabenhorst MC, Frogen GA. Phosphorus sorption by peat and sand amended with iron oxides or steel wool. *Water Environment Research.* 1967; 64(5): 699-705.
 12. Gangol N, Thodos G. Phosphate adsorption studies. *Water Environment Research.* 1973; 45(5): 842-849.
 13. Kavanaugh MC, Krejci V, Weber T, Eugster J, Roberts PV. Phosphorus removal by post-precipitation with Fe(III). *Water Environment Research.* 1978; 50: 216-233.
 14. Groterud O, Smoczyński L, Phosphorus removal from water by means of electrolysis. *Water Research.* 1986; 20(5): 667-669.
 15. Bard, AJ, Encyclopedia of electrochemistry of the elements. Vol. IX, part A, Marcel Dekker, Inc. New York: Basel; 1982. p.230-360.