

A Comparative Study on Start-up and Normal Operation Data for Phosphorus Removal in WWTPs

인 처리시설 시운전 및 정상운전 자료 비교·분석 연구

Soyoung Yun¹ · Jaena Ryu¹ · Jonguk Kim² · Jeill Oh^{1*}

윤소영¹ · 류재나¹ · 김종욱² · 오재일^{1*}

¹ School of Civil and Environmental Engineering and Urban Design and Studies, Chung-Ang University
² Department of Sewerage, Sewerage Policy Support Team, Korea Environment Corporation

1 중앙대학교 사회기반시스템 공학부 · 2 한국환경공단 물환경본부 하수도지원처 하수정책지원팀

Abstract : This study aimed to obtain quantitative data for WWTP operators in phosphorus removal process. This was done by reviewing and comparing phosphorus removal efficiency(%), coagulants dosage(Al/P and Al₂O₃(mg/L)), sludge production(kg/m³), and operation cost(won/m³) of start-up and normal operation data. Phosphorus removal efficiency of all tertiary treatment process was up to 70 ~ 89 % in start-up and normal operation. Average molar ratio(Al/P) was similar as 5 in both operations, but average coagulants dosage (mg/L) of start-up (8.5 mg/L) was higher than normal operation (6.2 mg/L). Average operation cost was higher for start-up (33.6 won/m³) than normal operation (28.4 won/m³), while electricity cost required for the normal operation (9.0 won/m³) was higher by 3.5 won/m³.

Key words : Phosphorus removal process, Normal operation, Start-up operation, WWTPs

주제어 : 인 제거 공정, 정상운전, 시운전, 공공하수처리시설

1. 서론

수돗물 냄새 민원의 가장 중요한 요인물질 중 하나인 지오스민(geosmin) 발생을 최소화하기 위해서는 하천이나 저수의 조류 번식을 적절히 제어할 필요가 있다. 일반적으로 조류 발생은 온도, 영양물질(질소, 인), 햇빛, 체류시간 등의 영향을 받으며, 총인(T-P)은 조류 발생에 있어 가장 큰 영향을 미치는 영양물질로 알려져 있다. 이에 환경부는 지난 2012년 1월 1일부터 하·폐수

처리장 방류기준을 강화·적용하고, 4대강 유역의 방류수 총인기준의 경우 종전 2 mg/L에서 0.2 ~ 0.5 mg/L까지 적게는 4배, 크게는 10배까지 강화했다[환경부령 제484호, 2012](Ministry of Environment, 2011(a); Ministry of Environment, 2012(a)).

하수에서의 인(P)은 주로 이온 형태로 존재하며 생물학적 처리공법으로는 강화된 방류수수질 기준(0.2 ~ 0.5 mg/L) 준수에 한계가 있어 약품을 투입하여 슬러지 형태로 석출·제거하는 화학적 처리공법의 도입이 불가피하다(Ministry of Environment, 2009; Park, et al., 2011). 현재 4대강 수계에 약 4,400억 원을 투자해 총 249개

* Received 5 November 2012, revised 8 February 2013, accepted 13 February 2013.
* Corresponding author: Tel: +82-2-820-5339 Fax: +82-2-812-1834 E-mail: ohjeill@cau.ac.kr

의 화학적 총인처리시설이 설치 운영되고 있으며, 이 중 하수총인시설이 182개소(3,457억원), 폐수총인시설이 67개소(983억원) 이다(Ministry of Environment, 2012(b)).

화학적인 처리공법의 도입에 따라 전력비, 약품비, 슬러지 처리비 등이 증가하여 운영비가 전체적으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 화학적 처리공정의 운영비를 낮추기 위해 기존 생물학적 처리공정을 최적 운영하여 후속 화학적 처리공정의 약품투입량과 슬러지 발생량을 감소시키도록 노력해야 한다. 따라서 각 처리장 여건에 맞는 최적 약품투입율을 산정하고, 소화조 효율개선 및 에너지 자립화 사업 등을 통해 슬러지 감량화를 추진할 필요가 있다. (현재 하수슬러지 처리시설은 시설용량에 10 ~ 20%까지 여유율을 두고 있어 인 슬러지 증가분에 대해 대부분 별도 증설 없이 대응이 가능한 것으로 파악되고 있음)

‘12.8월말 현재 총인처리시설을 운영 중인 24개 하수처리장에서 신공법 도입에 따른 운영매뉴얼 숙지 부족, 약품투입량 조절 미숙, 기기 고장시 대응 미숙 등 대부분 운영 미숙 및 운영경험 부족 등으로 총인 수질기준을 초과한 것으로 나타났다. 따라서 현재 환경부는 자율적으로 15개 신공법 업체(가압부상, 여과, 디스크필터 3개 분과)를 중심으로 “공법사 협의체”를 구성하여 기준초과시설에 대한 현장 기술지원 및 자문을 실시하게 하고, 현장 실무자들의 애로사항과 건의사항을 수시로 환경부로 건의하는 창구 역할과 기술지원 결과 이행여부 등을 모니터링 하게끔 하고 있다(Water Journal, 2012).

본 연구는 환경부 협조 하에 인 처리시설을 설치한 하수처리장을 대상으로 1차로 시운전 단계에서 처리장의 운영자료(총 52개소, 2011.07.20 ~ 2011.09.01)를 설문 형태로 확보하였고, 2차로 시운전 완료 후 정상 운전 단계에서 처리장 운영자료(총 155개소, 2012.05.24 ~ 2012.06.01)를 추가로 확보하여 인 제거 효율, 약품 투입량, 슬러지 발생량, 운영비 등을 비교·검토하여 인

처리시설 운영자들이 참고할 수 있는 정량적 기준자료를 추출하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 분석대상

현재 국내의 인 처리시설을 운전하고 있는 공공하수처리시설을 대상으로 시운전 및 정상운전의 운영현황 자료를 설문 조사하였으며, 조사방법은 설문형식의 설문지를 지자체에 배포·수집하였다.

시운전의 경우 2011년 7월 20일 ~ 2011년 9월 1일까지 총 52개 인 처리시설의 자료를 취합하였으며, 인 처리 성능평가는 공법별로 분류하여 수행하였다. 2가지 공법이 혼합된 경우 시설 말단의 인 처리 공법에 따라 공법을 분류하였다. 공법은 여과(심층여과) 공법, 여과(표면여과) 공법, 부상분리 공법, 침전 공법으로 분류하였으며, 그 개수는 여과(심층여과)가 17개소로 가장 많았고, 여과(표면여과) 12개소, 부상분리 9개소, 침전이 3개소이었다. (기타 공법이 11개소)

정상운전의 경우 2012년 5월 24일 ~ 2012년 6월 1일까지 총 155개의 자료를 취합하였으며 시운전과 마찬가지로 인 처리 성능평가는 공법별로 분류하여 수행하였다. 또한 2가지 공법이 혼합된 경우 시설 말단의 인 처리 공법에 따라 공법을 분류하였다. 공법별 개수는 여과(심층여과) 공법이 37개, 여과(표면여과) 공법이 62개, 부상분리 공법이 39개, 침전 공법이 10개소이었다. (기타 공법이 7개소)

Table 1, 2에 시운전 및 정상운전 분석대상 인 처리시설의 공법 - 용량별 개수를 정리하였다.

2.2 연구 방법

시운전 및 정상운전의 성능평가를 위한 항목으로는 유입/유출 T-P 농도에 따른 인 제거 효율, 약품투입량, 슬러지 발생량, 약품비, 슬러지처리비, 전력비를 고려한 운영비용을 분석하였다.

Table. 1 Number of WWTPs according to T-P removal process and capacity for start-up operation

T-P removal Process	Total	Capacity (10 ³ m ³ /d)						
		0.5 ~ 1	1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 500	500 ~
Depth Filtration	17	5	8	1	3	-	-	-
Surface Filtration	12	2	4	2	4	-	-	-
Flotation	9	4	1	3	1	-	-	-
Settling	3	1	2	-	-	-	-	-

Table. 2 Number of WWTPs according to T-P removal process and capacity for normal operation

T-P removal Process	Total	Capacity (10 ³ m ³ /d)						
		0.5 ~ 1	1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 500	500 ~
Depth Filtration	37	8	16	6	6	1	0	0
Surface Filtration	62	12	22	7	18	1	1	1
Flotation	39	14	9	5	9	1	1	0
Settling	10	3	5	1	0	0	0	1

시운전의 경우, 시운전 기간 동안의 연속운전 데이터로써 일별 T-P 유입/유출 농도(mg/L), 약품주입량(mg/L)을 조사하고, 운영비는 약품비, 슬러지처리비, 전력비 등의 항목으로 일일 평균 운영비용(천원/일)을 조사하였다.

정상운전의 경우, 인 처리시설 설치 전·후 1 ~ 5월(5개월간)의 월별 평균 T-P 유입/유출 농도(mg/L), 인 처리시설 설치 후 5개월간의 평균 약품주입량(mg/L), 인 처리시설 설치 전·후의 일별 슬러지 발생량(kg/일)을 조사하고, 운영비 항목은 시운전과 같으며 인 처리시설 설치 후 5개월간의 월간 평균 운영비용(천원/월)을 조사하였다. 그 외에 대상 인 처리시설의 공법과 실유량, 설계유량 등에 대해 조사하였다.

조사한 자료를 이용하여 기초 통계분석을 통해 인 처리시설 공법별 처리성능 및 운영비용 등을 산출 후 시운전 및 정상운전에 대해 비교·평가하였다.

3. 연구 결과

3.1 T-P 제거효율 평가

시운전 기간 동안의 일별 유입/유출 T-P 평균 농도(mg/L)를 이용하여 공법별 인 제거 효율

(%)을 분석하였다. 분석 대상은 여과(심층여과)가 17개소, 여과(표면여과) 12개소, 부상분리 9개소, 침전이 3개소이었다.

정상운전은 인 처리시설 설치 전·후 1 ~ 5월(5개월) 동안의 월별 유입/유출 평균 T-P 농도(mg/L)를 이용하여 공법별 인 제거 효율(%)을 분석하였다. 분석 대상은 여과(심층여과) 공법이 37개, 여과(표면여과) 공법이 62개, 부상분리 공법이 39개, 침전 공법이 10개소이었다.

시운전 및 정상운전 각각에 대해 공법별로 Box-plot을 도식하였다(Fig. 1,2). Box-plot을 통해 공법별 측정데이터의 통계적 분석(측정자료의 중앙값, 평균값, 사분위수, 95% 한계값, 이상치) 등을 수행할 수 있었다.

Table 3에는 시운전, 정상운전 시 공법별 평균 T-P 제거효율을 정리하였다. Table 3을 보게 되면, 시운전, 정상운전 모두 공법별로 평균 T-P 제거효율이 70 ~ 89% 정도 향상된 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 인 처리시설이 인 처리에 있어 효율적으로 운영 중에 있음을 알 수 있다. 하지만 주목할 점은 시운전에선 여과(표면여과) 공법이 가장 낮은 제거효율을 보였으나, 정상운전에서는 가장 높은 제거효율을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 시운전에서는 88% 이상

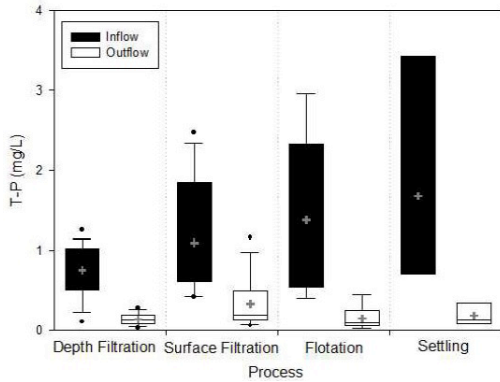


Fig. 1 Inflow and outflow T-P concentration according to T-P removal process during start-up operation

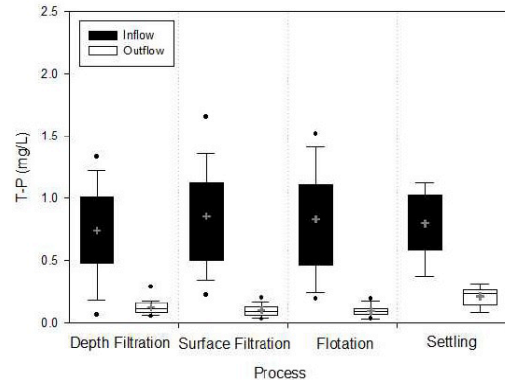


Fig. 2 Inflow and outflow T-P concentration according to T-P removal process during normal operation

Table 3. Comparison of T-P removal efficiency(%) according to T-P removal process in start-up and normal operation

Operation	Depth Filtration	Surface Filtration	Flotation	Settling	Avg.
Start-up Operation	81.3	70.0	89.1	88.7	82.3
Normal Operation	82.4	88.4	88.0	73.8	83.2

의 제거효율을 보였던 침전 공법이 정상 운전에서는 74 % 정도로 가장 낮은 인 제거효율을 보였다는 것이다.

3.2 약품주입량 및 슬러지 발생량 평가

인 처리공법별 유입농도 및 요구되는 처리수준을 분석인자로 하여 응집제 주입농도를 산정해보고자 하였다. 시운전 시 각 공법별로 얼마만큼의 응집약품이 주입되었는지 조사하였다. 물비와 주입농도의 산정은 인 처리시설로 실제 유입되는 T-P 농도와 유입유량을 기준으로 하였다. 시운전 기간 동안의 약품 주입량 산정의 분석 대상은 여과(심층여과)가 13개소, 여과(표면여과) 9개소, 부상분리 6개소이었다. (침전 공법은 데이터 미비로 분석 대상에서 제외 됨.)

정상운전의 경우에는 인 처리시설 설치 전의 T-P 방류 농도(인 처리시설로 유입되는 T-P 유입 농도)와 인 처리시설 설치 후의 T-P 방류 농도(인 처리시설에서 유출되는 T-P 유출 농도)

를 이용하였다. 또한 인 처리시설 준공 후 정상 운전 기간(5개월) 동안에 주입한 응집제 주입량을 이용하여 공법별로 약품주입량을 분석을 하였다. 물비와 주입농도의 산정은 인 처리시설로 실제 유입되는 T-P의 농도와 인 처리시설 설계 유량을 기준으로 하였다. 데이터가 미비한 처리시설의 데이터를 제외하고, 여과(심층여과) 공법은 37개소, 여과(표면여과) 공법은 60개소, 부상분리 공법은 39 개소, 침전 공법은 10개소가 분석 대상이 되었다.

응집 및 고액분리에 의한 인 처리공법에서는 응집약품이 물속의 인산이나 수산화 이온 등 음이온과 화학적으로 결합하여 고형화되고, 이들 고형물 상호간에 혹은 물속의 다른 고형물들과 뭉쳐 플러키 형성된 후 물리적으로 제거되기 때문에 약품 주입량과 슬러지의 발생은 필연적이다. 시운전 기간 동안의 슬러지 발생량 산정의 경우 유효한 자료를 충분히 확보하지 못하여 이번 분석에서는 제외하였다. 정상운전의 경우에는 인 처리시설 설치 전·후인 2011, 2012년을 기준으로 인 처리시설 설치 전 발생한 슬러지량과 인 처리시설 설치 후 발생한 슬러지량을 각각 산정하여 결과적으로 인 처리시설 설치 후 증가한 슬러지 발생량을 구하였다. 데이터가 미비한 처리시설의 데이터를 제외하고, 여과(심층여과) 공법은 28개소, 여과(표면여과) 공법은 46

개소, 부상분리 공법은 33 개소, 침전 공법은 8 개소였다.

Fig. 3, 4에 시운전과 정상운전 시 공법별 평균 응집제 주입농도(mg/L)와 몰비(Al/P)를 비교하여 나타내었으며, Table 4에 각각의 수치를 정리하였다. Table 5에는 정상운전 시 공법별 슬러지 발생량(kg/m³)을 비교하여 나타내었다.

Table 4를 통해 공법별 약품 주입 농도를 비교해 봤을 때는 모든 공법에서 시운전 때가 더 큰 것을 확인 할 수 있다. 이에 대해 시운전 때와 정상운전 때의 인 유입농도(Fig. 1,2 참조)를 비교해보면 시운전 때의 인 유입농도가 정상운전 때보다 더 높은 것을 확인 할 수 있으며, 그에 따라 시운전과 정상운전 모두 적정한 양의 응집제를 투입한 것으로 볼 수 있다. 하지만 약품 주입 몰비를 비교해 봤을 때, 공법별로 큰 차이가 없는 것을 확인 할 수 있다. 이는 금속염(철이나 알루미늄염)과 같은 응집제는 1몰이 1몰의 인산염을 침전시킨다는 화학적 원리를 살펴볼 때 시운전 때와 정상운전 때의 값이 유사하게 나온 것이 타당해 보인다(Metcalf and Eddy, 2004).

Table 5를 통해 정상운전 시 공법별 슬러지 발생량을 살펴보게 되면, 부상분리공법에서 0.086 kg/m³으로 가장 많은 슬러지를 발생시킨 것에 반해, 침전공법에서 0.0393 kg/m³으로 가장 적은 슬러지를 발생시켰다. Ministry of Environment (2011(b))를 이용하여 서울시 4개소 공공하수처리시설의 응집제 투입에 의한 평균 슬러지 발생량을 산정한 결과 약 0.0609 kg/m³(하수처리시설 전체 슬러지 발생량 중 최대 20 %가 인 처리시설로 인한 것으로 가정)로 전체 공법의 평균 0.0611 kg/m³과 유사함을 알 수 있다.

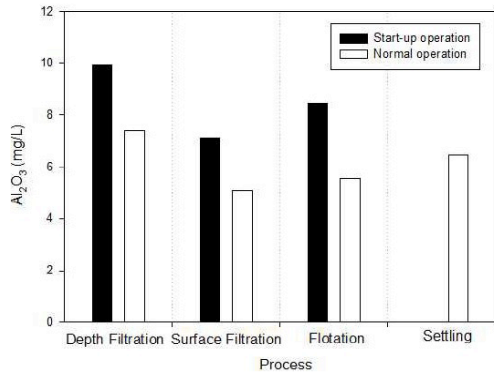


Fig. 3 Coagulants dosage(mg/L) according to T-P removal process in start-up and normal operation

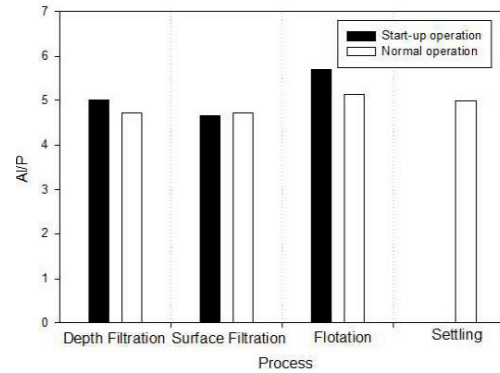


Fig. 4 Molar ratio(Al/P) according to T-P removal process in start-up and normal operation

Table 4. Comparison of coagulants dosage(mg/L) and molar ratio(Al/P) according to T-P removal process in start-up and normal operation

Operation	Al ₂ O ₃ (mg/L) or Al/P	Depth Filtration	Surface Filtration	Flotation	Settling	Avg.
Start-up Operation	Al ₂ O ₃	9.9	7.1	8.4	-	8.5
	Al/P	5.0	4.7	5.7	-	5.1
Normal Operation	Al ₂ O ₃	7.4	5.1	5.6	6.5	6.2
	Al/P	4.7	4.7	5.1	5.0	5.0

Table 5. Comparison of sludge production according to T-P removal process in normal operation (unit : kg/m³)

Operation	Depth Filtration	Surface Filtration	Flotation	Settling	Avg.
Normal Operation	0.0667	0.0525	0.0860	0.0393	0.0611

3.3 운영비용 평가

시운전 시 운영비용의 분석 대상은 여과(심층 여과) 8개소, 여과(표면여과) 11개소, 부상분리 11개소, 침전 3개소였으며, 우선적으로 공법에 따라 시설 용량별로 운영비용을 분석하였으며, 다음으로 운영비용 세부 항목별로 분석을 하였다. 운영비용 항목은 약품비, 전력비, 슬러지처리비 등으로 나누어 조사하였다. 단위 하수 부피 당 소요비용을 산정하였으며, 이때 단위 하수 부피는 인 처리시설 시설 용량(설계용량)을 기준으로 나누어 구하였다.

정상운전 시 운영비용의 분석 대상은 데이터가 미비하거나 오류가 있는 곳을 제외하고 여과(심층여과) 공법 27개소, 여과(표면여과) 공법 32개소, 부상 공법 23개소, 침전 공법 6개소가 분석 대상이 되었으며, 시운전과 마찬가지로 공법에 따라 시설 용량별 운영비용을 분석하였으며, 또한 운영비용 세부 항목별로 분석을 하였다. 운영비용을 약품비, 전력비, 슬러지처리비 등으로 나누어 조사하였다. 단위 하수 부피 당 소요비용을 산정하였으며, 이때 단위 부피는 인 처리시설 시설 용량(설계용량)을 기준으로 나누

어 구하였다.

Table 6, 7에 시운전과 정상운전 시 용량별 운영비용을 정리하였다. Table 6, 7을 통해 시운전과 정상운전 시 공법 - 용량별 운영비용을 비교해 보았을 때, 시운전과 정상운전 시 모든 공법에서 대체로 인 처리시설 용량이 커질수록 운영비용이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 시운전 때와 정상운전 모두 0.5 ~ 1 천m³/일 미만 때 부상분리 공법의 운영비용이 103.3 원/m³, 41.69 원/m³로 가장 컸다.

Table 8, 9에 시운전과 정상운전 시 항목별 운영비용을 정리하였다. Table 8, 9를 통해 시운전과 정상운전 시 공법별 전체 평균 운영비용을 비교해 보았을 때, 시운전이 33.6 원/m³, 정상운전이 28.35 원/m³로 정상운전 시 더 적은 운영비용이 산출된 것을 확인할 수 있다. 그 이유로 인 유입농도를 살펴보게 되면 시운전 때의 인 유입농도가 정상운전 때보다 높았고 그에 따라 시운전 시 더 많은 응집제의 양을 투입하였기 때문에 약품비와 함께 슬러지처리비의 상승 등을 초래하였을 수 있다. 따라서 항목별 운영비용을 비교해 보았을 때, 약품비, 슬러지처리비 모두 시

Table 6. Cost analysis summary for start-up operation according to T-P process and capacity (unit : won/m³)

Capacity (10 ³ m ³ /d)	0.5 ~ 1	1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 500	500 ~
Depth Filtration	34.90	26.49	-	15.05	-	-	-
Surface Filtration	33.83	20.56	48.77	24.17	-	-	-
Flotation	103.3	32.12	66.3	33.99	-	-	-
Settling	56.16	11.1	-	-	-	-	-
Avg.	57.05	22.57	57.54	24.40	-	-	-

Table 7. Cost analysis summary for normal operation according to T-P process and capacity (unit : won/m³)

Capacity (10 ³ m ³ /d)	0.5 ~ 1	1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 500	500 ~
Depth Filtration	17.45	28.60	21.26	18.86	14.74	-	-
Surface Filtration	34.05	30.93	15.73	19.94	-	6.40	-
Flotation	41.69	22.95	40.20	16.98	-	-	-
Settling	-	34.42	31.6	-	-	6.27	-
Avg.	32.90	27.24	27.19	18.59	14.74	6.33	-

Table 8. Cost analysis summary for start-up operation according to T-P removal process and item (unit : won/m³)

T-P removal Process	Total	Coagulants cost	Electricity cost	Sludge treatment cost	Etc.
Depth Filtration	24.3(100%)	11.3(46.6%)	7.0(28.7%)	4.8(19.8%)	1.2(4.9%)
Surface Filtration	26.9(100%)	11.0(41.0%)	5.9(22.0%)	9.2(34.3%)	0.7(2.7%)
Flotation	67.7(100%)	33.1(49.0%)	11.9(17.6%)	19.3(28.5%)	3.3(4.9%)
Settling	26.1(100%)	10.6(40.6%)	11.4(43.6%)	2.6(10.0%)	1.5(5.8%)
Avg.	33.6(100%)	15.0(44.7%)	9.0(26.7)	8.3(24.6)	1.3(4.0%)

Table 9. Cost analysis summary for normal operation according to T-P removal process and item (unit : won/m³)

T-P removal Process	Total	Coagulants cost	Electricity cost	Sludge treatment cost	Etc.
Depth Filtration	23.9(100%)	10.3(43.3%)	5.9(24.6%)	7.1(29.8%)	0.6(2.3%)
Surface Filtration	27.0(100%)	8.0(29.7%)	10.9(40.5%)	6.9(25.5%)	1.1(4.2%)
Flotation	33.2(100%)	8.5(23.4%)	19.9(55.0%)	4.3(12.0%)	0.6(1.7%)
Settling	29.3(100%)	12.7(43.3%)	13.1(44.7%)	2.0(6.9%)	1.5(5.1%)
Avg.	28.4(100%)	9.9(34.84%)	12.5(43.91%)	5.1(17.91%)	1.0(3.34%)

운전 시 더 많은 운영비용이 산출된 것을 확인할 수 있다. 하지만 유일하게 전력비만이 정상운전 시 더 많은 비용이 산출된 것을 확인할 수 있다. 또한 부상분리 공법만이 시운전과 정상운전 때 약 2배정도의 전체 운영비용이 차이나는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 인 처리시설을 설치한 하수처리장을 대상으로 시운전 단계에서 처리장의 운영 자료와 시운전 완료 후 정상 운전 단계에서 처리장 운영 자료를 확보하여 인 제거 효율, 약품 투입량, 슬러지 발생량, 운영비 등을 비교·검토하여 인 처리시설 운영자들이 참고할 수 있는 정량적 기준자료를 추출하고자 하였다.

- 1) 시운전, 정상운전 모두 공법별로 T-P 제거 효율이 70 ~ 89 % 정도 향상된 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 인 처리시설이 인 제거에 있어 효율적으로 운영 중에 있음을 알 수 있다.
- 2) 단순히 약품투입 농도(mg/L)만 비교하면 시운전 때가 더 높은 것으로 나타났다. 하

지만 이는 시운전 때의 인 유입농도가 정상운전 때보다 더 높게 나타났기 때문이며, 이를 감안한 정규화된 약품투입 몰비(Al/P)의 경우에는 시운전과 정상운전 모두 약 5로 유사한 것을 확인할 수 있다.

- 3) 평균 운영비(33.6 원/m³), 약품비(15.0 원/m³), 슬러지처리비(8.3 원/m³) 모두 시운전이 정상운전의 평균 운영비(28.4 원/m³), 약품비(9.9 원/m³), 슬러지처리비(5.1 원/m³)보다 더 높게 산출되었다. 하지만 유일하게 전력비는 시운전이 9.0 원/m³, 정상운전이 12.5 원/m³로 정상운전이 더 높게 산출되었다.
- 4) 결론적으로, 시운전과 정상 운전의 운영 현황 중 전력비 등이 간소한 차이를 보였고, 공법별로 살펴보았을 때에도 특정 공법에서는 시운전과 정상 운전 때 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 원인으로서는 시운전 시 운영최적화를 이루지 못한 공법간의 운영 특성, 아니면 “설문 자료 설계” 측면에서의 구조적인 편차 문제점이라고 판단된다.

참고문헌

- Metcalf and Eddy (2004) *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4th Ed. p.502, McGraw-Hill, Boston.
- Ministry of Environment (2009) *Study on the Phosphorus Removal Reinforcement Pilot Project in WWTPs* (하수처리시설 총인 처리강화 시범운영 연구)
- Ministry of Environment (2011(a)) *Guidebook on the Installation of Phosphorus Removal Facilities in WWTPs* (하수처리장 인 처리시설 설치 가이드북)
- Ministry of Environment (2011(b)) *Statistics of Sewerage* (하수도통계)
- Ministry of Environment (2012(a)) *Sewerage Act : Enforcement Regulations* (하수도법 시행규칙)
- Ministry of Environment (2012(b)) *Environment and Labor Committee : Parliamentary Inspection of the Administration* (환경노동위원회 국정감사 업무보고) (2012.10.05)
- Park, H. Y., Park, S. M., Lee, K. C., Yu, S. J., Kwon, O. S., and Kim, S. J. (2011) Survey of Physicochemical Methods and Economic Analysis of Domestic Wastewater Treatment Plant for Advanced Treatment of Phosphorus Removal, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol.33, No.3, pp. 212~221
- Water Journal (2012) Forming Autonomous Councils by Designers of 15 Sewage Treatment Plants (15개 하수처리장 설계사, 자율협의체 결성) (2012.04.05)