

하수처리장에서의 총인 분석 및 처리효율 평가

김종민[†] · 안병용 · 김승호 · 김동수 · 김연희 · 최영섭 · 윤상훈 · 배석진 ·
조영관 · 김은선 · 송명석¹ · 나종범¹

광주광역시 보건환경연구원, ¹광주광역시 환경공단

Analysis and Assessment of Removal Efficiency for T-P in Sewage Treatment

Jong-Min Kim[†], Byeung-Yong Ahn, Seung-Ho Kim, Dong-Soo Kim,
Yun-Hee Kim, Yeong-Seop Choi, Sang-Hoon Yoon, Seok-Jin Bae,
Young-Gwan Cho, Eun-Sun Kim, Myung-Seok Song¹, and Jong-Beom Na¹

Health and Environment Research Institute of Gwangju

¹Environment Corporation of Gwangju

Received April 15, 2014/Revised May 26, 2014/Accepted June 13, 2014

This study was conducted to assess removal efficiency and develop improvement plans for a T-P treatment plant in the 1st sewage treatment plant in Gwangju. The findings of this study are as follows: among all processes, the T-P removal process achieved the highest efficiency (84%), whereas the T-N removal process showed the lowest (1.2%). About 77% of the 84% T-P removal efficiency was credited to the sedimentation basin, indicating that coagulant injection is essential. Comparing coagulants using jar tests found that the optimal PAC input was 20~25 ppm and its T-P removal efficiency was 94~95%, whereas the optimal LAS input was 25~30 ppm with T-P removal efficiencies of 84~89%. This shows that PAC can achieve a better removal efficiency than LAS. Although the jar tests suggested the best PAC input of 20~25 ppm, the actual input at the plant was 28~36 ppm, about 8~11 ppm higher. This may be attributable to the significantly shortened retention time in the sedimentation basin due to the high-rate coagulation of an inclination plate settler using microsand. The degrees of coagulation by rapid mixing were measured, and zeta potentials were found moderate ranging between -8.44~8.40 mV. This indicates that a pump injection method should be adopted for the best coagulation (zeta potential: 0~+3 mV). Replacing the four existing rapid-mixing coagulant injectors (power consumption: 85.6 kW/h) with one device using pump injection (power consumption: 1.5 kW/h) may not only improve T-P removal efficiency but also reduce the annual electricity cost by 60 million won.

Key words: T-P removal efficiency, Zeta potential, Pump injection method

1. 서 론

하수 중에 인염은 주로 합성세제와 사람으로부터 발생하는데, 하수 중의 인염의 30%가 합성세제로부터 오기 때문에 오늘날 가장 큰 이슈로 대두되고 있다.¹⁾

인(P)은 조류나 생물의 성장에 필수적이다. 하수처리장에서 인(P) 1 mg/L가 그대로 방류된다면 조류 114.5

mg/L를 생산시키며, 이는 COD(화학적산소요구량)로 124 mg/L의 용존산소를 고갈시키는 결과를 가져오게 된다. 표준활성슬러지법의 기존 처리공정에서는 대부분 BOD(생물화학적산소요구량)와 SS(부유물질)의 제거에 주안점을 두었으며, 인(P)을 제거하지 않고 수계로 방류된다면 부영양화를 일으켜 용존산소량을 감소시키는 결과를 가져오게 된다. 하수에서 인(P)을 제거한다는 것

[†]To whom correspondence should be addressed.

은 용존상태의 인(PO_4^{3-})을 고형물(TSS) 상태로 전환시키고 이런 고형물을 제거하는 것을 말한다. 인(P) 제거를 위해서는 응집제를 이용한 화학적 침전이 가장 일반적인 방법이다.^{1,2)}

“2010년 2월 환경부에서 공표된 하수도법 시행규칙 개정 내용은 용수사용 및 공공수역의 생태계 보존에 중점을 두고 부영양화 생성의 주요인자인 T-P(총인)와 COD에 대하여 2012년부터 공공하수처리시설의 방류수 수질기준의 강화이다.” 이는 T-P와 난분해성 유기물질의 측정항목인 COD가 종전의 관리지표인 BOD에서 새로운 관리지표로 제시되었으며, 공공수역에서의 화학물질 사용과 자연적인 유기물질 생성 및 난분해성 유기물질의 유입 등 오염원의 변화로 인하여 관리지표의 변화 요구가 반영된 것으로 판단된다.²⁾ 그러나 현재 설치되어 가동 중인 생물학적 처리에 의해 제거 가능한 T-P 농도는 대략 1 mg/L 정도로 한계가 있으며, 2012년부터 강화되는 수질기준을 만족시키기 위해서는 화학적 응집을 이용한 인(P)의 화학적 처리에 대한 다양한 검토가 필요한 실정이다.³⁾

인(P)은 비교적 용해도가 낮아 수중에서 침전물(precipitate)의 생성이 용이하다. 따라서 생물학적인 처리공정에서의 인(P)의 처리는 미생물에 흡수된 형태로 제거되며, 화학적인 처리공정에서는 응집제와 화학적 또는 물리적으로 결합된 침전물의 형태로 제거되어진다.⁴⁾ 저농도의 인(P)을 효과적으로 제거하기 위해서는 일반적으로 생물학적 처리공정보다는 화학적 처리공정에서 응집침전 또는 응집여과로 효과적인 인(P)의 처리가 가능하며, 유입수질의 변동에 능동적으로 대처할 수 있는 특징을 가지고 있다.⁵⁾

미국 EPA 보고서에 따르면, 2차 처리에 생물학적 고도처리 공정을 적용하여 운전할 경우 T-P 농도는 종종 0.3 mg/L 이하까지 감소한 것을 관찰하였다.⁶⁾

Jeyanayagam는 입자성 인(P)은 고형물 제거 시 거의 (0.05 mg/L 이하) 제거되지만, 인(P) 축적미생물(PAO, phosphorus accumulation organisms)을 이용한 생물학적 인(P)제거 공정이나 화학침전을 이용하는 용존성 인(P)제거 공정에서는 0.1 mg/L 정도가 기술적 한계 농도라고 보고하였다.⁷⁾ 전통적인 생물반응조와 후속되는 침전지에서 달성할 수 있는 T-P 방류농도는 0.5~1.0 mg/L 범위로 보고되었으며, 2차 침전지 이후의 3차 처리시설(여과, 침전, 부상 등)은 제거성능에 따라 0.1 mg/L 이하의 낮은 방류농도를 달성할 수 있는 것으로 보고되고 있다.⁸⁾ 따라서 매우 낮은 농도의 인

(P)을 방출하기 위해서는 생물학적 처리와 함께 물리화학적 처리의 병행이 요구된다.⁹⁾

일반적으로 화학침전으로 80~90%의 부유물질, 50~80%의 BOD_5 , 80~90%의 박테리아를 제거할 수 있다.¹⁰⁾ 특히 인(P) 제거를 위한 응집제 투입의 화학적 처리방식에서 응집제 투입 위치는 응집효율의 중요한 결정요소이다.

광주시 제1하수처리장의 경우, 유입하수를 표준화슬러지법에 의하여 처리하였으나, 2012년부터 하천의 부영양화 발생억제로 공공수역 수질보전을 위하여, 공공하수처리시설인 제1하수처리장(지역)의 방류수 T-P 수질기준이 2 mg/L에서 0.3 mg/L로 대폭 강화됨에 따라, 2012년 10월에 총인 저감을 위해 제1하수처리장내에 총인처리시설을 준공하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 광주광역시 제1하수처리장을 대상으로 총인처리시설의 각 공정별 처리효율을 평가하고 응집제 종류별 최적투입량을 결정하여 효율적인 수질관리를 달성하고자 하였다.

또한 응집제 혼화방법인 기존의 기계식 급속혼화방식과 pump 확산방식의 응집효율성 등을 비교 검토하여 제1하수처리장에 맞는 응집제 투입방안을 제시하고, 개선방안 도출 및 경제성을 평가하여 하수처리 비용절감을 기대하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험대상 시설

본 연구에 사용된 실험대상 시설은 광주지역 제1하수처리장내에 하수처리수의 총인(T-P)농도 저감을 목적으로 응집, 침전, 여과 등 일반적인 정수처리 공정으로 구성되어 설치된 총인처리시설을 대상으로 현장조사 및 실험을 실시하였고 실험항목은 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 총대장균군, Zeta Potential 7항목이었다. 응집제 투입량결정은 Jar-test에 의해서 T-P, T-N, COD 실험을 실시하였다. 총인처리시설 처리공정도는 Fig. 1과 같고, 처리공정별 주요역할 및 시설용량은 Table 1에 나타냈다.¹¹⁾

2.2. 급속교반 혼화지 진단 및 평가

원수 중에 부유하는 콜로이드상 미세입자는 쉽게 침전하지 않아, 총인처리시설에서는 이들 입자를 제거해야 하는데, 주된 성분으로는 탁도물질(1 μ m 전후의 크기), 천연착색물질(1 nm의 크기), 바이러스(수십 nm의 크기),

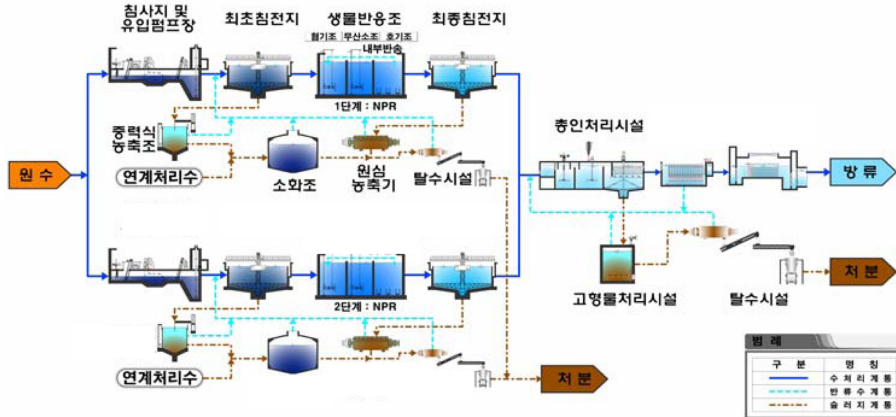


Fig. 1. Processes of T-P treatment plant.

Table 1. The role and capacity of each process in the T-P treatment plant (600,000 m³/d)

Processes	Dimension	Quantity	Retention time
Flocculator	W6.3m×L6.3m×H7.5m	4	2.6 min
Floc growth basin	W9.0m×L9.0m×H7.5m	4	5.3 min
Inclined sedimentation basin	D15.0m×H7.5m	4	13.3 min
Filter system	W2.7m×L6.0m×H6.5m	20	-
UV sterilization system	W1.9m×L7.6m×H4.0m	6	-

Table 2. Uses of T-P treatment chemicals

Chemicals	Molecular formula	Uses
Liquid Aluminium Sulfate (LAS)	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·nH ₂ O	Coagulant
Poly-Aluminium Chloride (PAC)	[Al ₂ (OH) _n Cl _{6-n}] _m	Coagulant

세균류(1~10 μm의 크기), 조류(1~수십 μm의 크기) 등이 콜로이드 크기 영역에 해당된다. 콜로이드 입자와 반대 전하를 가진 이온을 수중에 투여하여 응집시키는 물질을 응집제라고 일컬으며, 광범위하게 사용하는 것이 PAC와 LAS다.

혼화지의 처리효율은 원수의 수온, 알칼리도, 응집제의 종류 및 투입량 등과 같은 화학적 인자, 교반강도나 체류시간과 같은 물리적인 인자, 지의 종류, 교반날개의 구조 및 형상 등 기하학적인 인자에 의해 결정되며 이것 중 물리적 인자가 가장 중요하므로 응집제가 전체적으로 확산되는 시간을 짧은 시간에 완전히 혼화되도록 하여야 한다.

그러므로 기존의 기계식급속교반기를 이용한 혼화방식을 평가하여 개선방향을 제시하고자 하였다.

2.3. 효율적인 응집제 투입방식 제시

제1하수처리장 총인처리시설의 기존 응집제 투입 및

혼화방식은 지름 10 cm의 날개 4개로 3,200 rpm의 회전속도로 응집제를 분사시켜, 시간당 21.4 kW의 전력이 소요되는 급속교반분사식약품투입기가 총인처리시설 4지에 4대가 개별적으로 설치되어있어 연간 전력비가 과다 소요되므로, 총인처리시설 실정에 맞는 새로운 응집제 투입 및 혼화방식을 요구받게 되었는데, 그 방식이 혼화지로 유입되는 관내부에 응집제를 투입하는 분사노즐을 이용한 pump 확산방식이다.

pump 확산방식은 시간당 1.5 kW의 전력이 소요되는 소형 pump를 이용하여 1차적으로 임펠러를 통해 혼화지에 유입되는 원수와 혼화되고, 다시 2차적으로 유출부의 펌프분사노즐을 이용, 제1하수처리장 처리수의 유입부에 분사시킴으로써 원수와 균일하게 혼화되는 것을 이용한 것이다.

기존의 기계식교반기를 이용한 약품분사식 혼화방식으로, 제1하수처리장에서 총인처리시설 4호지를 대상으로 유입되는 유입수의 시료(point I)와 유입해서 약품혼

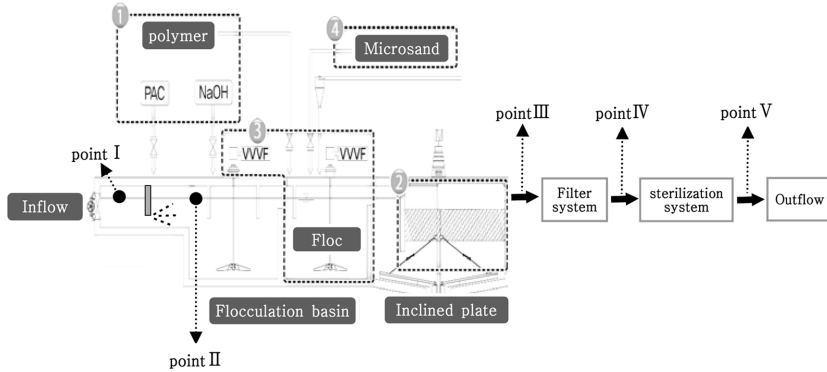


Fig. 2. Sampling points in T-P treatment plant.

Table 3. Analysis method of water quality items

Items	Analysis Methods	Analysis Instruments
Zeta Potential (mV)	Zeta Potential Method	Zeta-PSA (ELS-8000)
BOD (mg/L)	Dissolved Oxygen-Electrode Method	YSI-5000
COD (mg/L)	Acidic Permanganate method	-
SS (mg/L)	Filtration method	Filtration System
T-N (mg/L)	Total Nitrogen (Continuous Flow Analysis)	Bran+Luebbe, AACS
T-P (mg/L)	Total Phosphorus (Continuous Flow Analysis)	Bran+Luebbe, AACS
Total Coliform (pcs/mL)	Pour Plate Method	-

BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solids), T-N(Total Nitrogen), T-P(Total Phosphorus).

화 후 응집지 유입전의 시료(point II)를 채취하여 약품의 혼화정도를 측정하였고, 응집지를 통과하여 침전지 통과 후에는 sampling point III에서 여과지 통과 후에는 sampling point IV에서 최종방류수는 sampling point V에서 채수하여 수질상태를 알아보았다. 또한 총인처리시설 운영에 있어서 응집제 투입방법에 대하여 유지관리의 편리성 및 효율성과 전력비 절감 등의 경제성을 종합적으로 평가하여 총인처리 비용 절감을 기대하고, 총인처리시설의 수질향상을 달성하고자 하였다. 공정별 시료채취지점은 Fig. 2와 같다.

2.4. 분석방법

본 연구에 적용된 시험방법은 수질오염공정시험기준¹²⁾에 의하여 시험하였는데, 분석방법은 Table 3과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제1하수처리장 하수 및 처리수 수질특성

광주지역 제1하수처리장은 광주광역시 서구에 위치해 광주천, 용봉천, 본촌공단지역, 첨단단지 등의 하수

를 하루 600,000톤을 처리하며, 총인처리시설 설치전의 2012년 제1하수처리장 하수 원수 및 처리수의 수질특성을 조사한 결과, 제1하수처리장 유입하수량은 여름철에 장마철 집중적인 강우로 인하여 유입하수량이 제일 많았고, 겨울철에는 제일 적은 것으로 나타났다(Table 4).

유입하수의 BOD, COD 등 수질상태는 겨울철에는 비교적 최고농도를 나타냈고, 여름철에는 강우로 인한 빗물의 영향으로 낮은 농도를 나타냈다(Table 5).

3.2. 총인처리시설 수질특성

본 연구에 사용된 실험용수는 광주광역시 서구에 위치한 제1하수처리장에 하천의 부영양화 발생억제로 공공수역 수질보전을 목표로 인(P)을 저감하기 위하여, 일일처리용량 600,000톤 규모로 2012년 10월에 설치된 총인처리시설을 대상으로 혼화지, 응집지 등 공정별로 현장조사 및 시료채취를 실시하였으며, 조사기간은 2013. 2월부터 9월까지 약 8개월 동안 8번에 걸쳐 조사하였고, 총인처리시설 현장에서는 2013. 1월부터 8월까지 유입수 총인농도가 0.539~0.772 mg/L일 경우, 응집제인 PAC 투입률은 28.1~37.2 mg/L 이었다(Table 6).

Table 4. Seasonal rainfall and inflow rates of sewage treatment plant (2012)

	Spring	Summer	Fall	Winter
Amount of rainfall (mm)	223.1	887.1	398.7	111.4
Inflow rate of wastewater treatment plant (m ³ /d)	573,899	645,466	624,724	547,196

Table 5. Variations of water quality in sewage treatment plant (2012)

Items	Units	Wastewater treatment plant	
		Raw water	Treated Water
BOD	mg/L	59.1~183.4	1.2~6.4
COD	mg/L	32.1~108.5	2.1~11.7
SS	mg/L	60~250	1.0~5.8
T-N	mg/L	13.440~43.658	2.586~13.883
T-P	mg/L	1.383~5.492	0.049~1.797
Total Coliform	pcs/mL	39,000~108,000	0~1,100

BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solids), T-N(Total Nitrogen), T-P(Total Phosphorus).

Table 6. Characteristics of water quality in T-P treatment plant (Jan.~Aug. 2013)

Month	Inflow rate of T-P treatment plant (m ³ /d)	Inflow T-P (mg/L)	Outflow T-P (mg/L)	PAC Injection rate (ppm)	PAC (kg/d)
Jan	521,374	0.757	0.160	35.8	18,659
Feb	545,411	0.772	0.151	35.8	19,108
Mar	529,582	0.722	0.154	34.7	18,144
Apr	533,751	0.752	0.162	37.2	19,829
May	563,883	0.769	0.172	35.4	19,888
Jun	566,377	0.571	0.125	29.1	16,460
Jul	577,611	0.539	0.115	28.1	16,271
Aug	578,257	0.629	0.119	28.8	16,626

3.3. 총인처리시설 공정별 BOD 등 수질변화

현장에서 총인처리시설의 유입수 농도가 T-P 0.758 mg/L, BOD 7.8 mg/L, SS 5.0 mg/L, COD 12.8 mg/L, T-N 11.363 mg/L이고, PAC 약품투입량 35 ppm일 경우, 총인처리시설의 공정별 처리효율을 조사한 결과, T-P 84%, BOD 47%, SS 40%, COD 34%, T-N 1.2%로 처리효율은 T-P가 가장 뛰어났으며, T-N은 1.2%로 가장 낮게 나타났다(Fig. 3).

3.4. 총인처리시설 공정별 T-P 변화

현장에서 point 지점인 총인처리시설의 유입수의 T-P 농도가 0.758 mg/L, PAC 약품투입량이 35 ppm일 경우, 공정별 T-P 처리효율을 조사한 결과, point 지점인 침전지 통과 후의 T-P 농도는 0.176 mg/L, point 지점인 여과지 통과 후에는 0.160 mg/L, point 지점인 방류수에서는 0.120 mg/L로 나타나, 전체공정에서의 T-P 처리효율 84% 중, 침전지에서 T-P 처리효율이 77%로 나타나, T-P는 대부분 응집침전에 의해 제거되어 응집제의 약

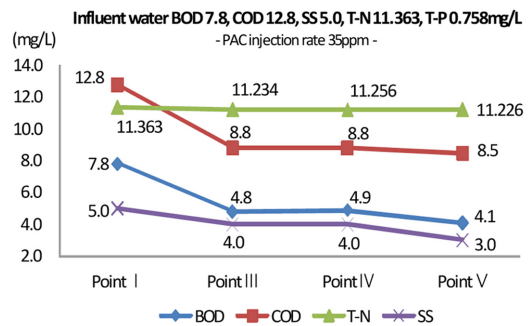


Fig. 3. Water quality variations in T-P treatment plant.

품투입조건 등이 매우 중요함을 알 수 있었다(Fig. 4).

3.5. 총인처리시설 공정별 총대장균군 변화

총인처리시설의 UV소독시설은 미생물을 사멸시키기 위하여 석영관 UV램프가 소독시설 6지의 수중에 각각 144개씩 총 864개가 설치되어 자외선 살균을 하는데

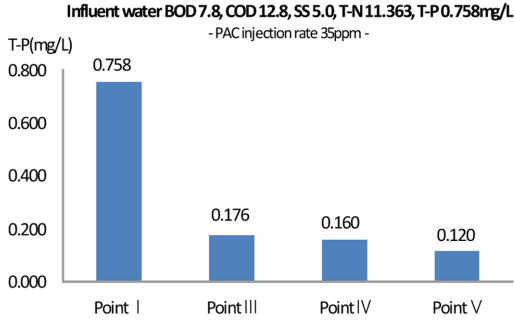


Fig. 4. T-P variations in T-P treatment plant.

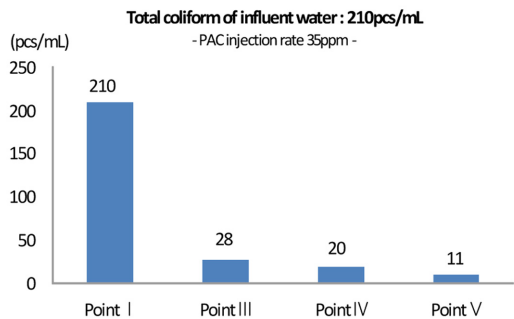


Fig. 5. Total coliform variations in T-P treatment plant.

공정별로 총대장균군 제거효율 및 소독효율을 조사한 결과, 전체적으로 제거효율을 보면 총대장균군이 유입수 210(개/mL)에서 방류수 11(개/mL)로 제거효율이 95%였고, 공정별로 조사해보면, 총인처리시설 유입수의 총대장균군 210(개/mL)에서 대부분 침전지에서 응집침전으로 인하여 총대장균군이 28(개/mL)로 87% 제거되었다. 여과지에서는 총대장균군이 20(개/mL)로 28% 제거되었고, UV소독시설에서는 총대장균군이 11(개/mL)로 45% 제거되었다. 이런 결과로 총대장균군은 거의 대부분이 침전지에서 응집침전에 의해 제거됨을 알 수 있었다(Fig. 5).

3.6. Jar-test를 이용한 응집제 종류별 T-P 변화

응집제 주입량을 결정하는 실험인 Jar-test는 시판되는 액체 응집제를 1%로 조제하여 최적응집제 주입량 결정 실험을 하였다.

총인처리시설에 유입되는 제1하수처리장 처리수를 비이커 6개에 각각 1L씩 채우고, 조제된 응집제를 각각의 용기에 5 ppm 간격[예). 5, 10, 15, 20, 25, 30 ppm]으로 주입하여 1분 동안 120~140 rpm으로 급속교반하

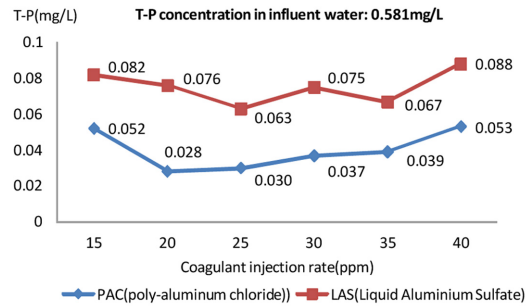


Fig. 6. T-P variations in Jar-test process (I).

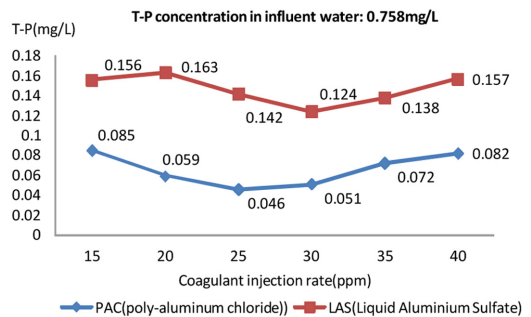


Fig. 7. T-P variations in Jar-test process (II).

고, 다시 10분 동안 20~60 rpm으로 완속교반하여 30분 정치 후 상등수에 대해 플럭(floc)형성도, T-P 농도 등을 측정하여 최적의 응집이 일어나는 범위를 선택한 후 최종적으로 최적약품주입량을 현장에 적용하였다.

총인처리시설에서 응집제 주입량을 결정하기위해 Jar-test를 이용하여 응집제로 자주 사용되는 PAC와 LAS를 대상으로 응집효율을 조사한 결과, 유입수의 T-P 농도가 0.581~0.758 mg/L일 때 응집제 최적약품투입량은 PAC 20~25 ppm에서 T-P 농도가 0.028~0.046 mg/L로 T-P 처리효율이 94~95%로 나타났고, 응집제 LAS에서는 25~30 ppm에서 총인 농도가 0.063~0.124 mg/L로 T-P 처리효율이 84~89%로 나타나, 약품별 응집효율은 PAC가 LAS보다 처리효율이 더 뛰어난 것으로 나타났다(Fig. 6, 7).

총인처리시설 유입수의 T-P 농도가 0.581~0.758 mg/L일 때 Jar-test 실험결과, 최적약품투입조건이 응집제 PAC 20~25 ppm이었고, 현장에서는 PAC 28~36 ppm으로 투입되고 있어, 실제로 8~11 ppm 정도 많이 투입되고 있었다. 이런 이유는 Microsand를 사용하여 경사판 고속응집침전으로 침전지 체류시간이 13분으로 때

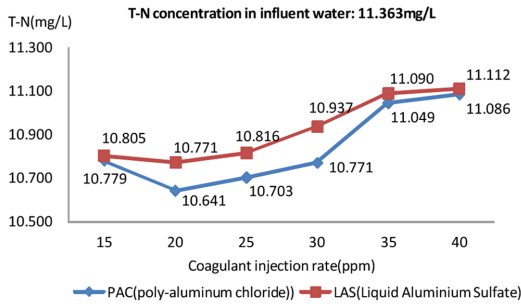


Fig. 8. T-N variations in Jar-test process.

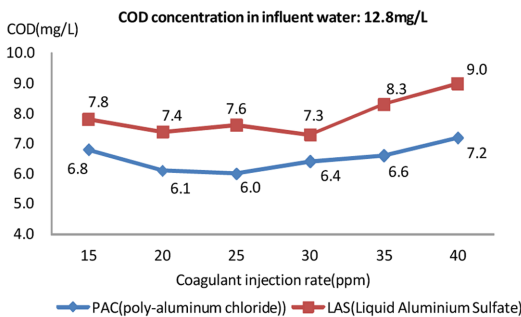


Fig. 9. COD variations in Jar-test process.

우 짧아 약품투입량이 증가된 것으로 판단되었다.

3.7. Jar-test를 이용한 응집제 종류별 T-N 변화

총인처리시설 유입수의 T-N 농도가 11.363 mg/L일 때 Jar-test 실험결과, T-N 농도에서의 최적약품투입조건은 PAC 20 ppm에서 10.641 mg/L로 T-N 처리효율은 6.4%로 낮게 나타났으며 약품별 응집효율은 PAC가 LAS보다 처리효율이 뛰어난 것으로 나타났다(Fig. 8).

3.8. Jar-test를 이용한 응집제 종류별 COD 변화

총인처리시설 유입수의 COD 농도가 12.8 mg/L일 때 Jar-test 실험결과, COD 농도에서의 최적약품투입조건은 PAC 25 ppm에서 6.0 mg/L, COD 처리효율은 53.1%로 나타났으며 약품별 응집효율은 PAC가 LAS보다 처리효율이 뛰어난 것으로 나타났다(Fig. 9).

3.9. 급속교반 혼화지 진단 및 평가

응집제의 역할은 (-)전하를 띠는 콜로이드 표면을 (+)전하로 중화함으로써 브라운 운동이나 수류에 의해 입자 상호간의 근접 접촉이 가능하게 되고, Van der

Table 7. Degree of coagulation within different zeta potential ranges

Average zeta potential	Degree of coagulation
+3 to 0	Maximum
-1 to -4	Excellent
-5 to -10	Fair
-11 to -20	Poor
-21 to -30	Virtually none

Table 8. Characteristics of inflow water in T-P treatment plant (Sep. 6~Sep. 9, 2013)

Items	Inflow water of T-P treatment plant	
	Sep. 6, 2013	Sep. 9, 2013
Temperature (°C)	24.1	24.2
pH	6.9	6.9
Zeta potential (mV)	-11.42	-12.39
Coagulant (PAC) injection rate (ppm)	28	29

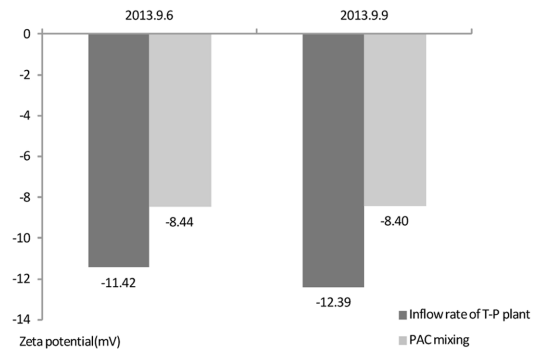


Fig. 10. Zeta potential in rapid mixing method (points I, II).

Waals force라고 하는 인력의 작용에 의해 결합하게 된다. 콜로이드 표면의 전기적 성질을 표시하는데 zeta potential라는 지표가 이용되고, 응집을 촉진시켜 콜로이드 입자를 적절히 침전시키기 위해서는 zeta potential을 “0”으로 감소시켜 주어야한다.¹³⁾ Table 7은 zeta potential 범위에 따른 응집의 정도를 나타내고 있다.¹⁴⁾

Table 8과 같이 2013년 9월 6일과 9월 9일 2번에 걸쳐, 총인처리시설 유입수(point)와 혼화지에서 응집지로 유입하기 전(point)의 zeta potential을 측정된 결과, 유입수에서는 -11.42~-12.39 mV, 혼화된 후는 -8.40~-8.44 mV로 나타났다(Fig. 10). 급속분사식혼화방식에서 혼화 후의 zeta potential은 보통응집상태인 -5~-10 mV

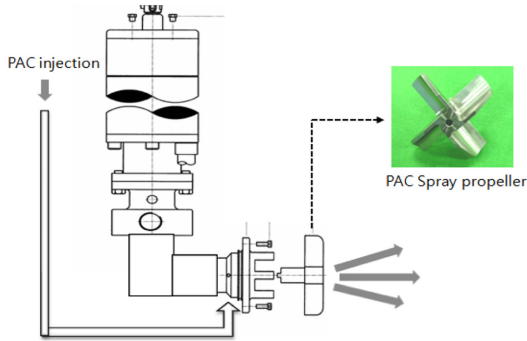


Fig. 11. The existing mechanical rapid mixing method.

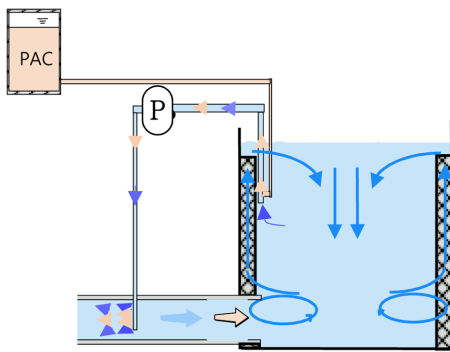


Fig. 12. Pump injection method.

의 범위에 있어, 최상의 응집상태인 $0 \sim +3$ mV의 범위의 펌프확산방식의 도입검토가 필요한 것으로 나타났다.

3.10. 총인처리시설의 효율적인 응집제 투입방식

제1하수처리장 총인처리시설의 응집제 투입 및 혼합방식은 Fig. 11과 같이 약품투입기 1대당 1시간 소요전력이 21.4 kW로, 총 4개 시설에 85.6 kW가 소비되는 급속교반분사식혼화기는 지름 10 cm의 날개 4개로 응집제를 분당 3,200 rpm으로 분사하였으나, 혼합강도는 보통수준이고, 연간 전력비 과다 소모로 총인처리시설 실정에 맞는 새로운 응집제 혼합방식을 요구받게 되었다.

그 방식은 Fig. 12와 같이 제1하수처리장 처리수가 혼화지로 유입되는 관 내부에 응집제를 물 흐름과 역방향으로 투입하는 방법으로 시간당 1.5 kW의 전력이 소요되는 소형 pump를 이용하여 1차로 임펠러를 통해 혼화지에 유입되는 원수와 응집제가 혼합되고, 다시 2차로 유출부의 분사노즐을 이용, 제1하수처리장 처리수의 유입부에 분사시킴으로서 원수와 균일하게 혼합되는 것

을 이용한 일종의 pump 확산방식이다. 이 pump 확산방식을 이용한 약품투입방식을 총인처리시설의 4개 시설에 별도로 설치하지 않고 총인처리시설에 유입되는 관로 한곳에 설치하면, 최상의 응집상태($0 \sim +3$ mV)가 가능하고 기존에는 4개 시설에 시간당 소요전력이 85.6 kW 소요되었으나, 펌프확산방식을 총인처리시설 유입부 관로 한곳에 통합설치하면 시간당 소요전력을 1.5 kW로 대폭 낮출 수 있어 전력비를 연간 6천만원 절감이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 하천의 부영양화 발생억제로 공공수역 수질보전을 위하여 광주지역 제1하수처리장에 설치된 총인처리시설을 대상으로 처리효율 평가 및 개선방안을 도출하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공정별 처리효율을 조사한 결과, T-P 84%, BOD 47%, SS 40%, COD 34%, T-N 1.2%로 처리효율은 T-P가 가장 뛰어났으며, T-N은 1.2%로 가장 낮게 나타났다.

2. 공정별 T-P 처리효율을 조사한 결과, 전체공정의 T-P 처리효율 84% 중, 침전지에서 T-P 처리효율이 77%로 나타나, T-P는 대부분 응집침전에 의해 제거되어 응집제의 약품투입조건 등이 매우 중요함을 알 수 있었다.

3. 공정별 총대장균군 처리효율을 조사한 결과, 전체공정의 총대장균군 처리효율 95% 중, 침전지에서 총대장균군 처리효율이 87%로 나타나, 총대장균군은 대부분 응집침전에 의해 제거되어 응집제의 약품투입조건 등이 매우 중요함을 알 수 있었다.

4. 총인처리시설에서 응집제 주입량을 결정하기위해 Jar-test를 이용하여 응집제로 자주 사용되는 PAC와 LAS를 대상으로 응집효율을 조사한 결과, PAC에서는 최적약품주입량은 20~25 ppm, T-P 처리효율이 94~95%로 나타났고, LAS에서는 최적약품주입량이 25~30 ppm, T-P 처리효율이 84~89%로 나타나, 약품별 처리효율은 PAC가 LAS보다 더 뛰어난 것으로 나타났다.

5. Jar-test 실험결과, 최적약품투입조건이 응집제 PAC 20~25 ppm이었고, 현장에서는 PAC 28~36 ppm으로 투입되고 있어, 실제로 8~11 ppm 정도 많이 투입되고 있었다. 이런 이유는 Microsand를 이용한 경사관 고속응집침전방식으로 침전지 체류시간이 매우 짧아, 약품투입량이 증가된 것으로 판단되었다.

6. 총인처리시설의 유입부에서 급속혼화로 인한 혼화의 정도를 측정된 결과, zeta potential이 혼화되기 전의 유입수에서 -12.39~-11.42 mV, 혼화된 이후에서는 -8.44~-8.40 mV로 혼화의 정도는 보통수준으로, 최상의 응집상태(0~+3 mV)가 가능한 펄프확산방식을 도입이 필요한 것으로 판단된다.

7. 기존 총인처리시설에 설치되어있는 소요전력 85.6 kW/h인 급속교반 약품투입기 4대를 소요전력 1.5 kW/h인 펄프주입방식 1대로 교체하면, 총인처리효율의 향상뿐만 아니라 전력비도 연간 6천만원 절감이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 환경부 “환경 분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업의 지원 및 광주광역시 환경공단과 공동연구로 완성되었기에 감사드립니다.

참고문헌

1. 신항식, 박종운, “환경 실무자를 위한 질소·인 처리기술”, **2002**, 86-106, 환경관리연구소.
2. 환경관리공단, “하수처리시설 총인 처리강화 시범운영 연구”, **2009**.
3. 한승우, 강임석, “응집공정을 이용한 하수처리수 중의 인 제거 Mechanism”, *대한환경공학회지*, **2010**, 774-779.
4. J. Bratby, “Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment”, **2006**, 2nd edition, 119-149, IWA Publishing, London·Seattle.
5. 황응주, 천효창, “생물공정 처리수의 PAC(Poly Aluminum Chloride) 응집제 의한 고효율 인 제거 특성”, *대한환경공학회지*, **2009**, 31(8), 673-678.
6. EPA Region 10, “Advanced treatment to achieve low concentration of phosphorus”, **2007**, 9-11.
7. S. Jeyanayagam, “True confessions of the biological nutrient removal process”, *Florida water resources journal*, **2005**.
8. R. D. Reardon., “Tertiary clarifier design concepts and considerations”, **2005**, 4453-4466, WEF Publishing, USA.
9. 박혜영, 박상민, 이기철, 권오상, 유순주, 김신조, “총인 수질기준강화를 위한 국내 하수종말처리장의 물리화학 적처리 특성조사 및 경제성 분석”, *대한환경공학회지*, **2011**, 33(3), 212-221.
10. Metcalf and Eddy, “Wastewater Engineering Treatment and Reuse”, **2004**, 4th edition, 599-724, 1506-1597, McGrawHill Publishing, USA.
11. 대립산업, “땡주 제1하수처리장 총인처리시설 설치공사 운전 및 유지관리지침서”, **2012**.
12. 환경부, “수질오염공정시험기준”, **2012**.
13. 김상은, “응집공정 효율향상을 위한 제타전위 적용”, **1996**, 서울시수도기술연구소.
14. AWWA, “Water Treatment - Principle and Practices of Water Supply Operation”, **1995**, 2nd edition, 51-84.