

화학 응집제 투입에 따른 수질항목별 하수처리 반응곡선

Saturation curves for chemical coagulation of wastewater treatment

류재나¹ · 오재일^{1*} · 이경종²

Jaena Ryu¹ · Jeill Oh^{1*} · Kyeong Jong Lee²

1 중앙대학교 건설환경공학과, 2 전남도청 도로안전관리사업소

(2010년 8월 12일 접수 ; 2010년 10월 8일 수정 ; 2010년 10월 12일 채택)

Abstract

Recently the Government has announced updated water quality standards for wastewater treatment effluent (become effective in 2012). That includes highly enforced regulations for T-P, BOD and COD, and a large budget, in particular for phosphorus removal, was set by the Ministry of environment. Chemical coagulation destabilizes colloidal particles so that particles grow to larger flocs, and solid particles are removed by solid-liquid separation. The efficiency of chemical coagulation depends on a various factors, including coagulant types and costs, construction and operation costs for the treatment facilities and so on. The proper selection should be based on the treatment efficiency of coagulants and underlying costs. The current research was to evaluate the treatment efficiencies of coagulants on a variety of wastewater influents and to develop saturation curves for several water quality parameters. Typical $Al_2(SO_4)_3$ and $FeCl_3$ were tested under a range of coagulant concentrations. The pollutant removal efficiencies of chemical treatment both for the $Al_2(SO_4)_3$ and $FeCl_3$ were especially high for T-P, followed by SS, BOD and COD. Correlation test also proved the highest relationship between SS and T-P.

Key words : 화학적 하수처리, 응집, 황산알루미늄, 염화제이철

주제어 : Chemical wastewater treatment, Coagulation, Aluminium sulfate, Ferric chloride

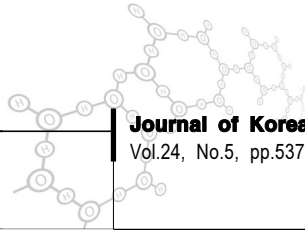
1. 서론

최근 환경부는 2012년부터 강화되는 하수처리시설의 방류수 수질기준을 발표했다. 하수처리시설의 방류수 수질 기준을 4개의 지역으로 구분하여 차등 적용하며, 특히 공공수역의 부영양화 생성의 주요인자인 영양물질인 총인(T-P)과 유기물에 대한 기준을 대폭 강화하기로 하였다. 이에 따라 총인은 약 10배(2mg/L→0.2mg/L), BOD(

10mg/L→5mg/L) 및 COD(40mg/L→20mg/L)는 각각 2배가 강화된다. 특히 강화되는 총인의 수질기준을 대비하기 위해 화학적 처리시설 설치사업을 발표하였으며, 이에 대대적인 예산을 편성·지급할 계획을 수립하였다. 또한 필요에 따라 여과시설을 설치하도록 하고 있다(환경부, 2010a; 환경부, 2010b, 하수도법시행규칙, 개정 2010. 2.26).

화학적 하수처리는 화학적 응집·침전 반응을 통해 주로 쉽게 침전되지 않는 콜로이드 입자를 제거하기 위해 응집제

* Corresponding author Tel:+82-2-820-5339, Fax:+82-2-812-1834, E-mail: ohjeill@cau.ac.kr(Oh, J.)



및 응집보조제 투입을 통한 플록(floc)을 형성하고 중력식 침전과정을 통해 고액분리 시키는 방법을 일컫는다. 이에 사용되는 응집제는 Alum 계열의 응집제와 Ferric 계열의 응집제가 대표적이다. Alum 계열의 응집제는 황산알루미늄(Aluminium Sulfate: $Al_2(SO_4)_3 \cdot \gamma H_2O$) 및 폴리염화알루미늄(PAC, poly aluminum chloride: $[Al_2(OH)_n Cl_{6-n}]_m$)이 대표적이며, Ferric 계열의 응집제로는 황산제1철(Ferrous Sulfate : $FeSO_4$), 염화제2철(Ferric chloride: $FeCl_3$) 등의 사용이 일반적이다. Alum 계열의 응집제는 여러 형상을 가지는 하수에 대해 응집이 효과적으로 발생하며, 다른 응집제와 비교하여 경제성이 높다는 장점을 가지고 있으며 대부분의 탁질에 유효하며 고탁도나 저수온시 등에 응집보조제를 병용함으로써 처리효과 상승시킬 수 있다. 폴리염화알루미늄(PAC)은 액체자체가 가수분해되어 중합체로 되어 있으므로 일반적으로 황산알루미늄보다 응집성이 우수하고 적정주입 pH의 범위가 넓으며 알칼리도의 저하가 적다. Ferric 계열은 응집제의 분자량이 크므로 침전속도가 빠르며 넓은 pH 범위에서 응집이 발생한다는 장점을 가지고 있지만 매우 강한 부식성과 처리 후

색도가 남는다는 것이 단점으로 알려져 있다 (Ding et al., 1999; Bell-Ajy et al., 2000; Metcalf and Eddy, 2004; Gebbie, 2005).

화학적 처리의 효율은 원수의 특성에 따른 응집제의 종류, 응집제의 투입위치, 응집제의 가격 및 시설의 소요 비용 등의 경제성 등을 고려하여 평가해야 한다. 특히 응집제 투입에 따르는 하수처리의 효율은 하수처리시설별 응집제 투입이전·이후의 수질분석을 통한 효율의 평가를 시행해야 한다. 본 연구에서는 하수처리에 일반적으로 사용되는 Alum 계열의 응집제인 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3$), Ferric 계열의 응집제인 염화제2철($FeCl_3$)을 사용하여 서울 및 인근에 위치한 몇 개의 하수처리시설을 대상으로 기본 수질항목에 대한 응집효율을 평가하였다. 일정범위의 응집제 농도에서 각기 다른 양의 응집제를 단계적으로 투입하여 각 수질항목별 응집제 투입량에 대한 수질항목의 오염물질 제거율을 평가하였으며, 이를 통해 각 수질항목별 응집제의 하수처리 반응곡선을 도출하고자 하였다. 또한 응집제의 대표적인 효율을 나타내는 인자인 SS 항목에 대한 다른 수질항목들의 상관성을 평가하였다.

Table 1. 대상 하수처리장의 일반 현황 및 운영수질현황*

처리장명		N	G	Y
처리방법		표준활성슬러지법	CNR	표준활성슬러지법/ 5-Stage BNR
시설용량(천톤/일)		1000	160	13
유입하수량(천톤/일)		872.8	152.0	13.0
고도처리여부		-	운영중	운영중
운영방법		직영	직영	직영
유입농도 (mg/L)	BOD	139.0	119.7	161.1
	COD	62.7	50.6	84.3
	SS	106.9	109.4	133.8
	T-N	33.465	31.363	33.630
	T-P	2.988	3.562	3.387
방류수질 (mg/L)	BOD	8.6	8.0	5.1
	COD	10.1	9.8	9.6
	SS	3.4	5.4	5.0
	T-N	16.420	18.499	10.864
	T-P	0.987	0.965	0.489

*하수처리장 일반현황과 운영수질현황은 환경부의 운영수질현황 자료를 인용하였음 (환경부, 2009).

2. 연구방법

2.1 실험재료

시료는 2008년 10월부터 2009년 11월까지 서울과 경기도에 소재한 N, G, Y 하수처리장의 하수 유입수를 10회에 걸쳐 채수하였다. 각 하수처리장의 일반현황 및 운영 수질 현황은 **Table 1**과 같다.

2009년 11월 이전에 시행한 7회의 실험에 사용된 $Al_2(SO_4)_3$ 과 $FeCl_3$ 응집제는 각각 8%, 25%의 공업용 시약을 사용하였으며, 2009년 11월 이후에 실시된 3차례의 실험에 한하여는 황산알루미늄(Aluminium Sulfate, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) 및 염화제2철수화물(Ferric Chloride Hydrate, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$)의 고순도(99%>) 시약을 이용하여 Stock solution 을 제조한 후 사용하였다. $Al_2(SO_4)_3$ 응집제는 0~15mg/L의 농도범위에서, $FeCl_3$ 응집제는 0~30mg/L의 농도범위에서 투입 농도를 다르게 하여 시험하였다.

2.2 실험방법

응집제의 효율의 평가를 위한 실험은 Jar-tester를 통한 오염물질의 농도변화의 비교가 일반적이다(심 등, 2005). 응집제 교반을 위한 Jar-test는 상수도시설 유지관리매뉴얼(한국상하수도협회, 2007)에 준하여 수행하였으며 실험 절차는 다음과 같다. ①원수 1L 원형 자(Jar)에 채우고, 교반날개(임펠러)의 주변속도를 약 40cm/s로 조절한다. ②이어서 단계적으로 주입물을 바꿔 자(Jar)에 응집제를 재빠르게 첨가하면서 주변속도 40cm/s의 급속교반을 1분간, 그리고 주변속도 약 15cm/s로 10분간 완속교반을 계속한다. ③10분간 정지한 다음에 상정수 약 500mL를 사이펀 또는 경사법으로 채취한 후에 분석한다.

2.3 분석개요

황산알루미늄 및 염화제2철 응집제의 하수처리 제거효율을 평가하기 위한 수질 항목은 Turbidity, SS, BOD_5 , COD_{mn} , COD_{cr} , T-N, T-P의 기본수질항목으로 설정하였다. '2.1 실험재료'에 나타난 응집제를 다른 농도범위(황산알루미늄: 0~15mg Al/L, 염화제2철: 0~30mg Fe/L)에서 단계적으로 투입하여 Jar-test를 수행한 후, 수질오염공정시험기준(환경부, 2008)에 의거 수질을 분석하였으며, 각각의 수질항목에 대한 처리효율을 계산하였다. 응집제의 투입량의 증가에 따르는 수질항목별 처리효율을 제거율로 나타내었으며, 응집제 투입량 대비 제거효율의 증

감을 표현하기 위하여 식 (1)을 이용, 수질항목별 하수처리 반응곡선을 도출하였다. 식 (1)은 일반적인 포화곡선(Saturation curve) 모델을 나타내며, x는 응집제 투입량(mg Al,Fe/L), a는 최대 제거율(%)을 나타내어 응집제의 투입으로 인한 수질개선의 제한인자로 설정되며, b는 반포화상수(half-saturation constant)로 a의 1/2에서의 응집제 투입량(mg Al,Fe/L)을 나타낸다.

$$y = \frac{ax}{b+x} \quad (1)$$

화학적 단위공정에서 응집제의 사용은 입자성물질의 응집을 유도하기 위함이 그 대표적인 목적이며, 이를 나타내는 대표적인 수질항목으로는 SS를 들 수 있다. 본 연구에서는 측정된 수질항목들 간의 제거율을 SS의 제거율을 기준으로 상관성을 평가하여 그 관계를 나타내었다. 상관성은 Minitab 소프트웨어를 이용, Pearson 상관계수를 산정하여 나타내었으며, 두변수의 상관관계를 표현하는 일반적 식은 다음 식 (2)와 같다. \bar{x} , \bar{y} 는 각 변수들의 평균을 의미하며, s_x , s_y 각 표준편차, n은 샘플의 개수를 의미한다.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

응집제 투입량과 제거효율의 산정을 위하여 본 연구에서는 N, G, Y 하수처리장에서 유입수를 10회에 걸쳐 채수하였으며, 샘플의 채수시 측정된 pH, Turbidity, SS, COD_{mn} , COD_{cr} , BOD_5 , T-N, T-P의 기본 수질 항목은 **Table 2**에 나타내었다. 응집효율은 계절에 따른 온도의 영향을 받으나, 본 연구에서 측정된 샘플은 대부분 10월 및 11월에 채수하여 이에 대한 영향은 심각하게 고려하지 않았다.

2008년 10월 20일 G하수처리장의 샘플의 경우 청천시, 우천시 유입수를 함께 채수하였다. 우천시 SS를 비롯한 COD_{mn} , BOD_5 와 같은 유기물의 농도는 상승하였으며, T-N, T-P와 같은 영양염류 항목은 다소 낮아진 것으로 나타났다. 그러나 청천시와 비교하였을 때 수질 변화는 크지 않았으며 이는 우천시 샘플 채수 당시 강우량이 그리 크지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 2008년 11월 3일 N하수처리장에서 유입수 채수시에는 우천시의 SS가 건기시 농도의 6배 이상으로 증가하였으며, T-P을 제외한 나머지 항목은 모두 우천시에 농도가 낮아진 것으로 나타났다. 채수 당시 큰 강우량으로 하수처리장으로의 유입 유량이 많아

Table 2. 하수처리장 유입수 샘플 채수시 기본 수질 분석 결과 (단위: mg/L)

하수처리장 / 채수일자	pH	Turbidity	SS	COD _{cr}	COD _{mn}	BOD ₅	T-N	T-P	비고
G 2008.10.20	6.90	77.80	100.00	237.74	57.50	237.74	35.45	4.22	청천시
G 2008.10.20	6.81	108.00	112.5	343.64	65.72	123.00	27.63	3.66	우천시
N 2008.11.03	6.93	71.90	85.71	186.96	34.29	75.90	34.57	2.92	청천시
N 2008.11.03	6.94	243.00	520.00	152.13	28.61	69.15	31.74	4.50	우천시
Y 2008.11.19	7.32	161.00	220.00	281.66	76.72	139.35	37.11	4.48	청천시
N 2009.06.03	7.28	73.13	98.00	105.50	23.36	81.10	30.58	2.61	우천시
N 2009.07.15	7.21	46.50	54.00	121.00	21.60	51.30	18.29	2.22	청천시
N 2009.11.03	7.19	44.80	66.67	124.77	-	-	-	3.28	청천시
N 2009.11.12	7.35	74.40	124.67	98.91	-	-	-	3.22	청천시
N 2009.11.19	7.24	58.47	74.67	111.91	-	-	-	3.02	청천시
Min.	6.81	44.80	54.00	98.90	21.60	51.30	18.30	2.22	
Max.	7.35	243.00	520.00	343.60	76.70	237.70	37.10	4.48	
Avg.	7.12	155.20	145.62	176.40	43.97	176.42	93.79	3.41	
Std. Dev.	0.1997	201.40	139.37	84.62	22.30	84.62	32.52	0.79	

저 오염물질이 희석되어 낮은 농도가 측정됨으로 판단되며, 특히 SS의 농도는 초기세척(first-flush) 현상의 발생으로 크게 높아진 것으로 보여진다. 2009년 6월 3일 N하수처리장 유입수 채수시는 채수 당일 오전 04:00 이후로 최대 1.4mm 강우량이 발생하였으며, 채수는 강우 발생 시점 7시간 이후인 11시에 채수하여, 유입수에 강우의 영향은 크게 발생하지 않은 것으로 나타났다.

3.1 황산알루미늄 응집제의 효율

3.1.1 수질항목별 오염물질 제거율

Fig. 1은 수질항목별 측정된 황산알루미늄 응집제의 투입량에 대한 제거효율을 나타내며, 수질항목의 제거효율을 포화곡선으로 나타낸 식은 Table 3과 같다.

포화곡선으로 나타낸 수질항목별 제거효율의 결정계수

는 T-N을 제외한 모든 항목에서 0.8 이상의 값으로 나타났다. 특히 Turbidity와 T-P의 경우 0.9 이상의 높은 적합도를 나타내었다. 포화곡선을 통해 추정된 오염물질 제거율은 SS와 Turbidity의 경우 90%를 제거하는데 각각 약 10mg Al/L, 8mg Al/L의 응집제가 소요되는 것으로 나타났다. COD_{mn}과 COD_{cr}의 제거율이 약 80% 정도되는 황산알루미늄의 농도는 14mg Al/L이었으며, BOD의 경우 동일한 제거율을 나타내는 데 12mg Al/L이 소요됨을 보였다. T-N의 경우는 실험의 최대 응집제 투입량에서의 제거율이 약 30% 정도로 매우 낮은 처리효율을 나타내었으며, T-P의 경우는 11mg Al/L의 농도에서의 제거율이 약 99%로 본 실험의 응집제 투입량 범위 내에서 100%의 제거율에 도달하는 것으로 나타났다.

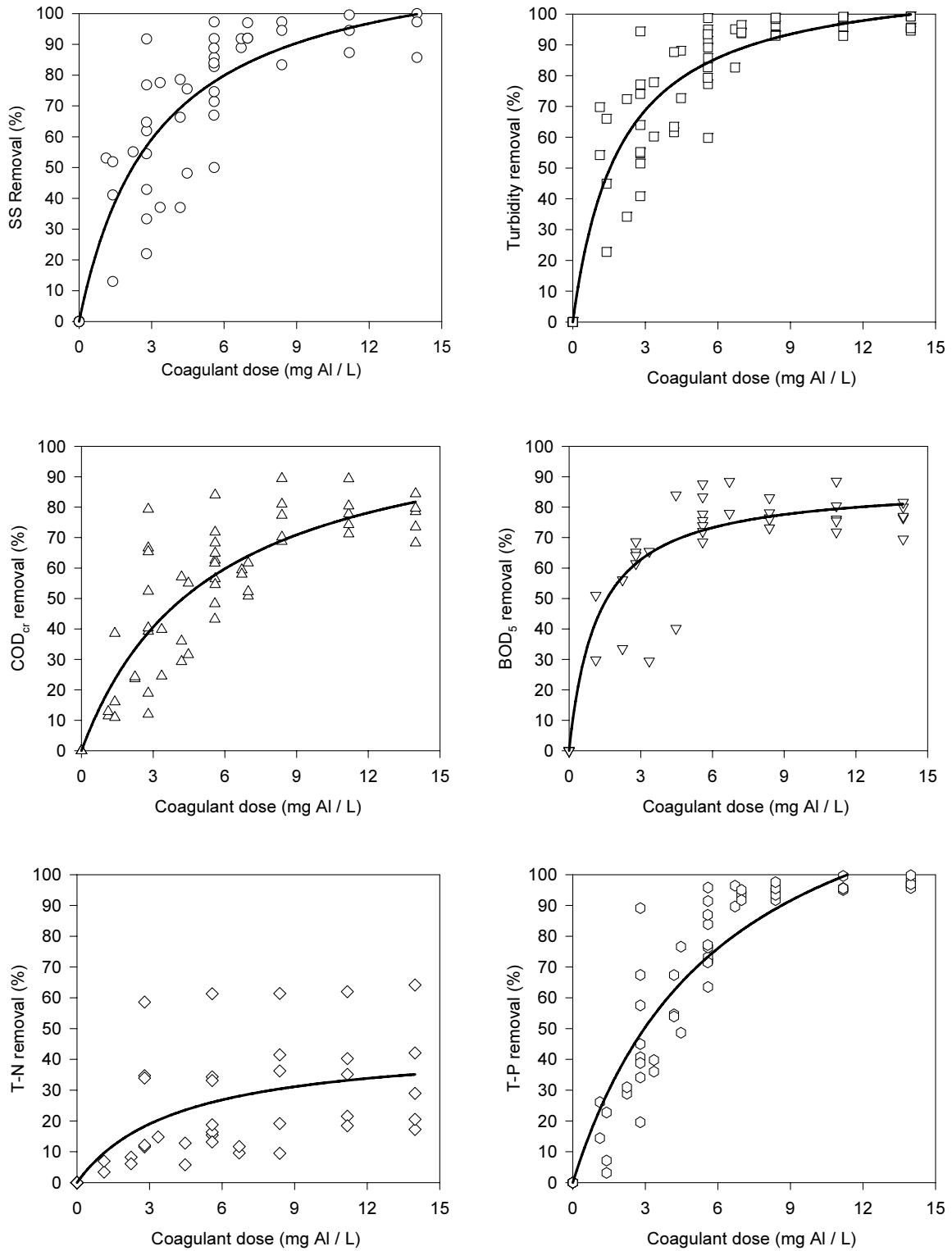


Fig. 1 황산알루미늄 투입량에 대한 수질항목의 농도 변화(제거율, %)

Table 3. 황산알루미늄의 하수처리효율 포화곡선 모델식

수질 항목	Equation	결정계수(r^2)
SS	$y = \frac{122.84x}{3.23 + x}$	0.85
Turbidity	$y = \frac{113.94x}{1.97 + x}$	0.90
COD _{mn}	$y = \frac{117.69x}{6.08 + x}$	0.81
COD _{cr}	$y = \frac{112.93x}{5.34 + x}$	0.82
BOD ₅	$y = \frac{88.00x}{1.21 + x}$	0.86
T-N	$y = \frac{45.69x}{4.21 + x}$	0.38
T-P	$y = \frac{154.34x}{6.18 + x}$	0.90

Table 4. 황산알루미늄의 처리효율에 대한 수질항목 간의 상관관계

Parameters	SS	Turbidity	COD _{mn}	COD _{cr}	BOD ₅	T-N	T-P
SS	1.000						
Turbidity	0.940	1.000					
COD _{mn}	0.716	0.681	1.000				
COD _{cr}	0.782	0.757	0.951	1.000			
BOD ₅	0.810	0.781	0.695	0.825	1.000		
T-N	0.508	0.488	0.724	0.773	0.585	1.000	
T-P	0.866	0.862	0.877	0.913	0.805	0.580	1.000

3.1.2 수질항목 인자간의 상관성

Pearson 상관계수를 산정한 결과, SS와 다른 수질 항목들에 대한 상관성은 Turbidity(0.940) > T-P(0.866) > BOD₅(0.810) > COD_{cr}(0.782) > COD_{mn}(0.716) > T-N(0.508)의 순으로 나타났다. T-N의 항목을 제외한 모든 항목에서 상관성이 높게(0.7 이상) 나타났으며, 특히 Turbidity와의 상관성은 0.940, T-P와의 상관성은 0.866으로 매우 높은 것으로 나타났다. 각 항목별 상관성은 Table 4에 나타내었다.

Fig. 2는 황산알루미늄 응집제의 SS 제거율에 대한 각 수질항목의 관계를 나타낸다. 사선은 SS와 대상 수질항목의 제거율이 동일한 경우를 나타내며, 사선을 기준으로 측정된 데이터가 주로 상부에 분포하면 해당 수질항목이 SS

에 비해 많이 제거된 것으로, 하부에 분포하는 경우 SS보다 낮은 제거율을 나타내는 것으로 판단할 수 있다. 동일한 응집제의 투입량에 대한 수질항목의 제거율을 비교해보면, Turbidity는 SS 보다 많이 제거되는 것으로 나타났으며, COD의 경우 크롬과 망간, 두 경우 모두 SS에 비해 낮게 제거 되는 것으로 나타났다. BOD₅의 경우 사선을 중심으로 넓은 분포를 띄고 있으며 높은 SS 제거율 범위에서 보다 낮은 제거율을 보이는 것으로 나타났으며, T-N의 경우 SS의 제거율에 비해 전체적으로 매우 낮은 제거율을 나타내었다. 마지막으로 T-P는 사선을 중심으로 넓게 분포되어 있으며 높은 SS 제거율 범위에서는 보다 많이 제거되는 것으로 나타났다.

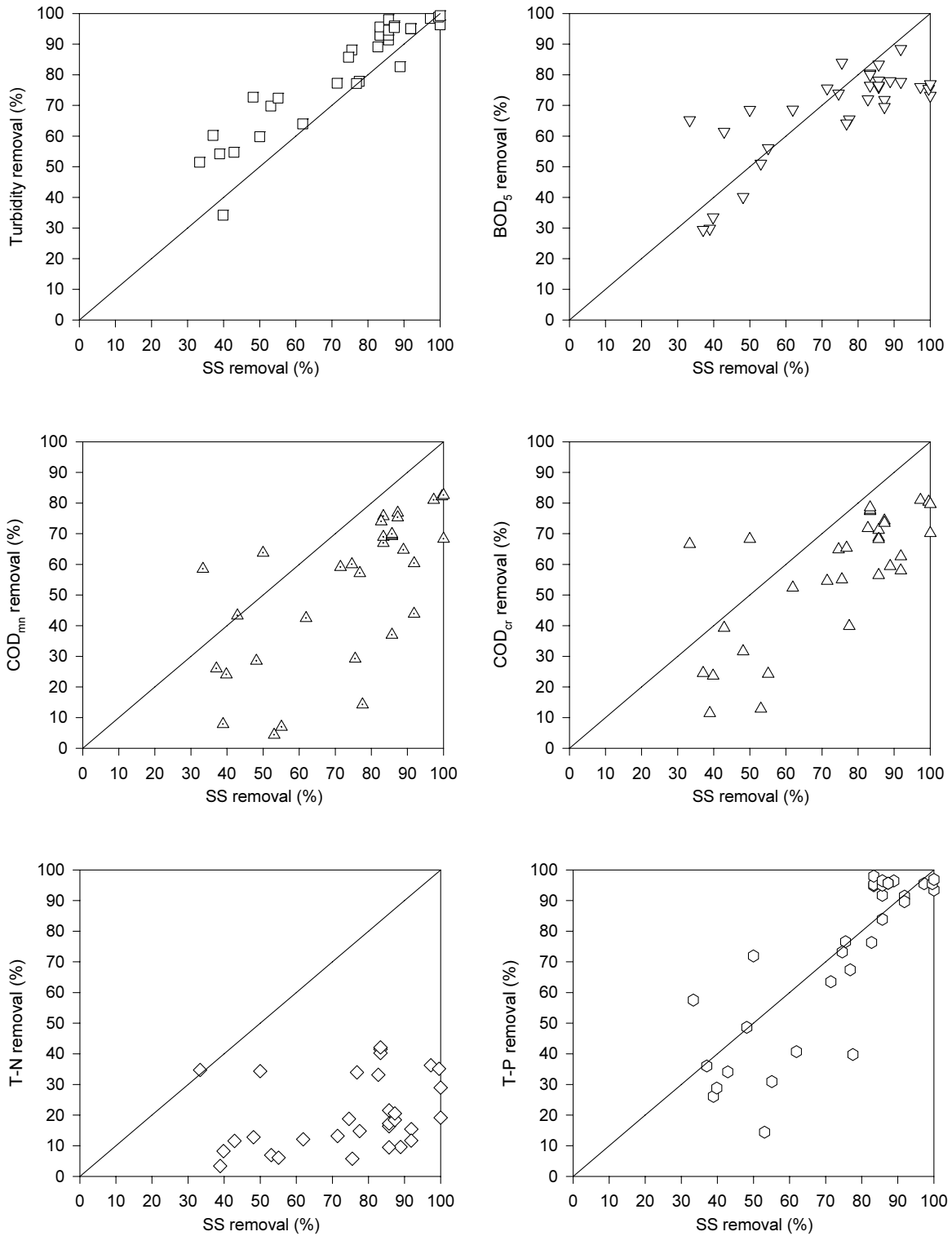


Fig. 2 황산알루미늄의 SS 제거율에 대한 다른 수질항목의 제거율 비교

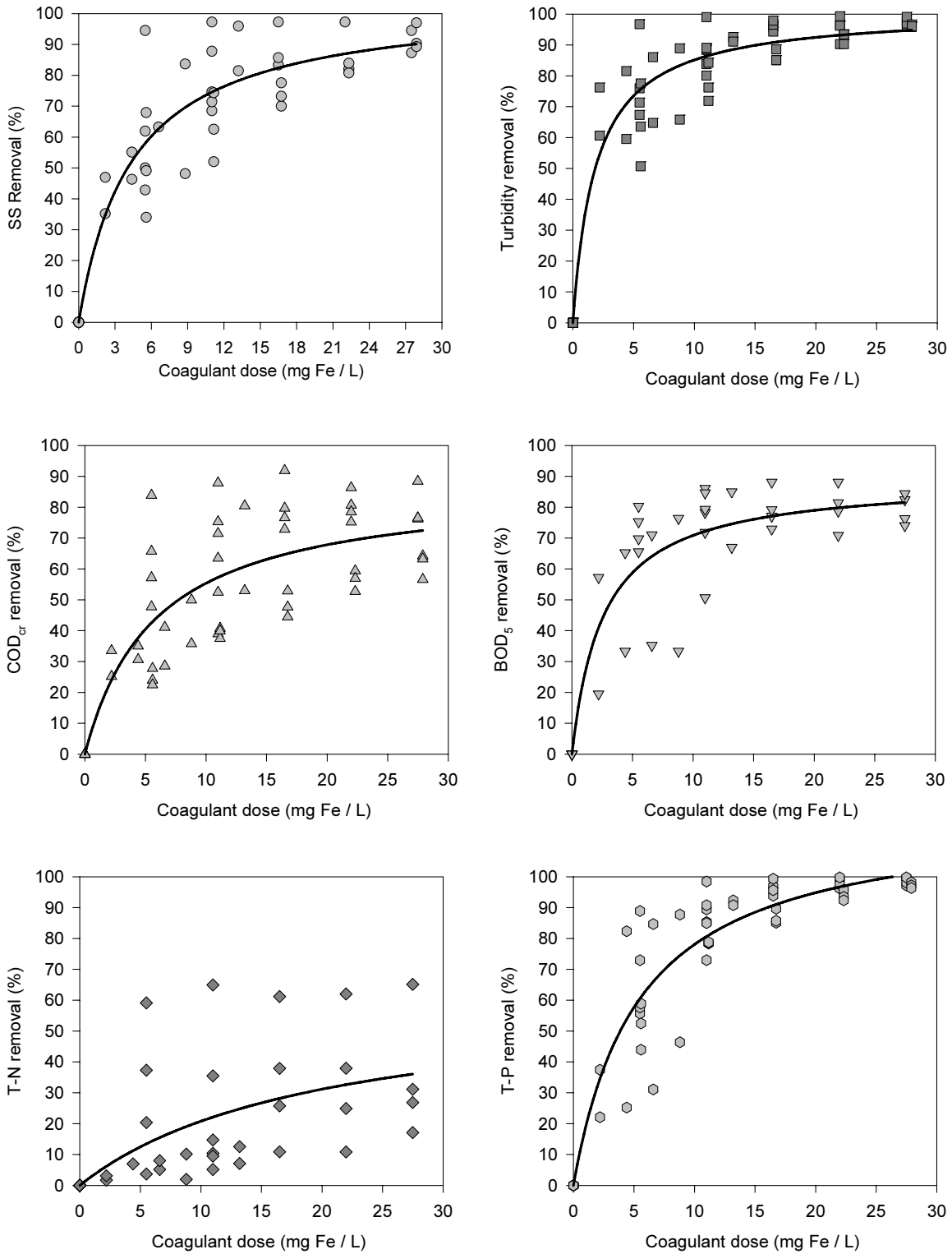
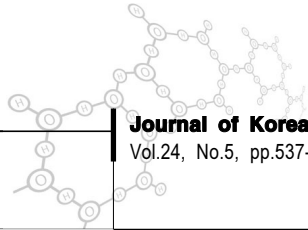


Fig. 3 염화제2철 투입량에 대한 수질항목의 농도 변화(제거율, %)

Table 5. 염화제2철의 하수처리효율 포화곡선 모델식

수질 항목	Equation	결정계수 (r ²)
SS	$y = \frac{104.33x}{4.39+x}$	0.89
Turbidity	$y = \frac{101.15x}{1.88+x}$	0.94
COD _{mn}	$y = \frac{115.12x}{11.09+x}$	0.77
COD _{cr}	$y = \frac{87.53x}{5.81+x}$	0.74
BOD ₅	$y = \frac{89.19x}{2.59+x}$	0.83
T-N	$y = \frac{62.16x}{19.89+x}$	0.32
T-P	$y = \frac{120.75x}{5.47+x}$	0.91

Table 6. 염화제2철의 처리효율에 대한 수질항목 간의 상관관계

Parameters	SS	Turbidity	COD _{mn}	COD _{cr}	BOD ₅	T-N	T-P
SS	1.000						
Turbidity	0.905	1.000					
COD _{mn}	0.709	0.770	1.000				
COD _{cr}	0.761	0.823	0.919	1.000			
BOD ₅	0.744	0.812	0.659	0.729	1.000		
T-N	0.509	0.617	0.721	0.784	0.570	1.000	
T-P	0.856	0.932	0.744	0.807	0.869	0.539	1.000

3.2 염화제2철 응집제의 효율

3.2.1 수질항목별 오염물질 제거율

Fig. 3은 수질항목별 측정된 염화제2철 응집제의 투입량에 대한 제거효율을 나타내며, 수질항목의 제거효율을 포화곡선으로 나타낸 식은 Table 5와 같다.

포화곡선으로 나타낸 수질항목별 제거효율의 결정계수는 T-N을 제외한 모든 항목에서 상대적으로 높은 값(0.7 이상)을 나타냈다. 특히 Turbidity와 T-P의 경우 0.9 이상의 높은 적합도를 나타내었으며, SS와 BOD₅의 경우도 0.8 이상을 나타내었다. 염화제2철 응집제의 수질항목별 농도의 변화는 황산알루미늄 응집제의 수질항목별 제거율에서 나타난 바와 비슷한 경향을 보였다. SS와 Turbidity의 경

우 90%를 제거하는데 각각 약 27mg Fe/L, 15mg Fe/L의 응집제가 소요되는 것으로 나타났다. COD_{mn}의 제거율이 약 80% 정도 되는 염화제2철의 농도는 27.5mg Fe/L이었으며, 동일 농도에서 COD_{cr}의 제거율은 조금 낮은 72% 정도를 나타내었다. 80% 정도의 제거효율을 나타내는 BOD 항목의 경우 25mg Fe/L이 소요됨을 보였다. T-N의 경우는 황산알루미늄 응집제의 투입시 보다는 실험의 최대 응집제 투입량에서의 제거율이 조금 더 높게 나타났으나, 역시 약 30% 정도로 매우 낮은 처리효율을 나타내었다. T-P의 경우는 26mg Fe/L의 농도에서의 제거율이 약 99%로 본 실험의 응집제 투입량 범위 이내에서 100%의 제거율에 도달하는 것으로 나타났다.

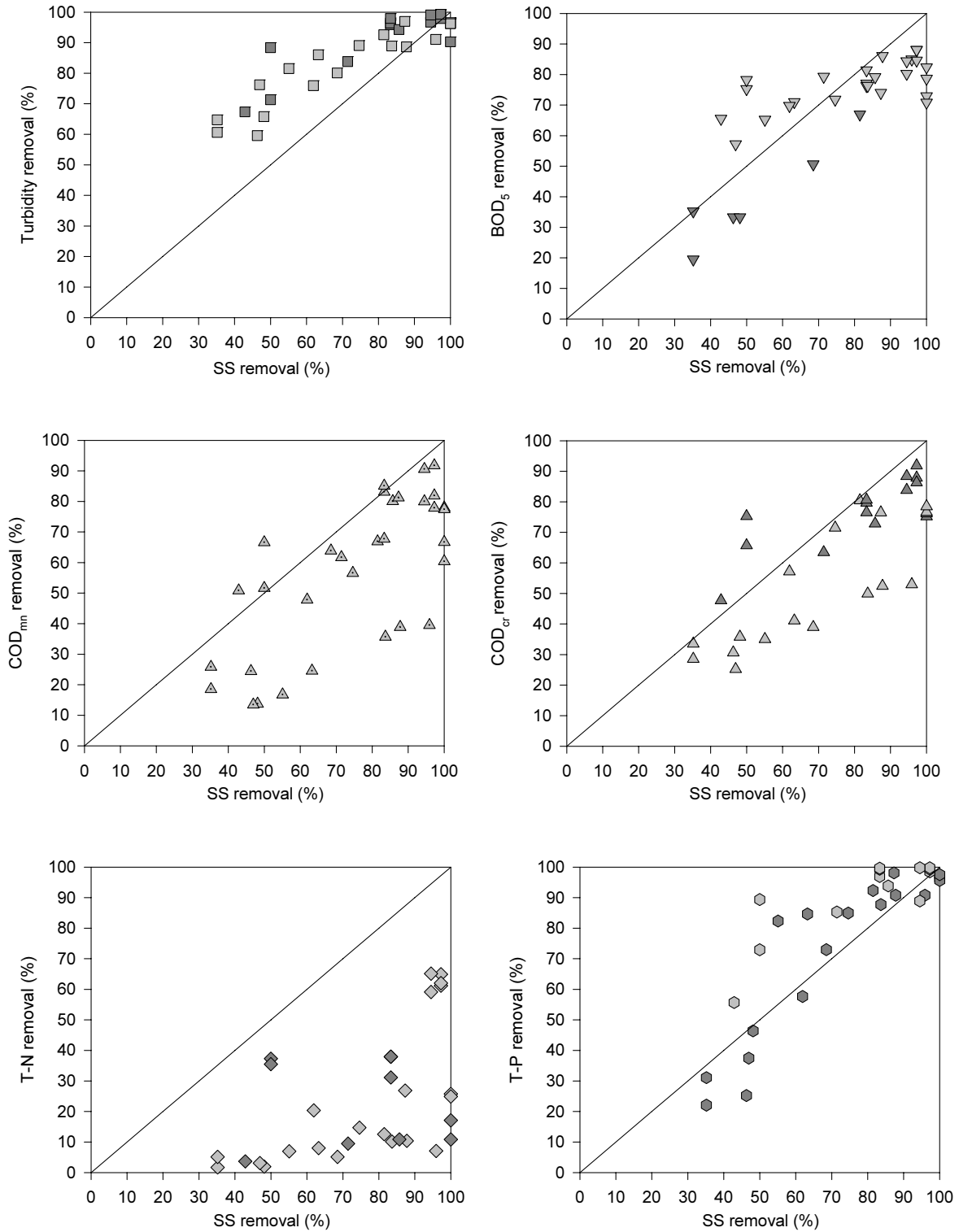
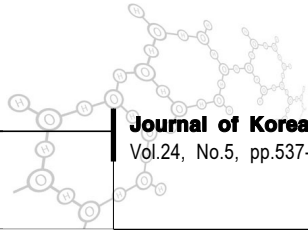


Fig. 4 염화제2철의 SS 제거율에 대한 다른 수질항목의 제거율 비교

3.2.2 수질항목 인자간의 상관성

염화제2철 응집제의 SS 제거율과 다른 수질항목들의 제거율에 대한 Pearson 상관계수를 산정한 결과, Turbidity(0.905) > T-P(0.856) > COD_{cr}(0.761) > BOD₅(0.744) > COD_{mn}(0.709) > T-N(0.509)의 순으로 나타났다. 황산알루미늄 응집제의 SS 제거율에 대한 다른 항목들과의 상관성에서 나타난 바와 마찬가지로, T-N의 항목을 제외한 모든 항목에서 상관성이 높게(0.7 이상) 나타났으며, 특히 Turbidity와의 상관성은 0.905으로 매우 높은 것으로 나타났다. 각 항목별 상관성은 Table 6에 나타내었다.

Fig. 4는 염화제2철 응집제의 SS 제거율에 대한 각 수질항목의 관계를 나타내었다. Turbidity는 대부분의 측정값이 사선의 상부에 위치하여 SS 보다 훨씬 많이 제거되는 것으로 나타났으며, COD의 경우는 크롬과 망간, 두 경우 모두 SS에 비해 낮은 제거율을 보이는 것으로 나타났다. BOD₅의 경우 사선을 중심으로 위아래의 넓은 범위에서 제거율의 범위가 나타났으나, 전반적으로 BOD의 제거율이 SS의 제거율보다 낮은 것으로 나타났다. T-N의 경우 전체적으로 매우 낮은 제거율을 나타내었으며, T-P는 사선을 중심으로 상대적으로 상부에 분포하는 경향을 보여, SS의 제거율보다 전반적으로 높은 것으로 나타났으며, 특히 높은 SS 제거율 범위에서의 T-P의 제거율이 높은 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 황산알루미늄(Al₂(SO₄)₃) 및 염화제2철(FeCl₃)을 일정한 농도범위에서 투입하여 서울 및 인근에 위치한 몇 개의 하수처리시설을 대상으로 기본 수질항목에 대한 응집효율을 평가하였다. 기본 수질항목의 제거율을 응집제 투입량(농도)별로 평가하였으며, 이를 통해 각 수질항목별 응집제의 하수처리 반응곡선을 도출하였다. 또한, SS 항목에 대한 다른 수질항목들의 상관성을 평가하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 황산알루미늄을 0~15mg Al/L의 농도범위에서 투입한 후 수질항목의 농도변화를 평가한 결과, 8~14mg Al/L의 응집제를 투여하였을 때, SS, Turbidity, BOD, COD의 수질항목이 80% 이상의 제거율을 나타내었다. 염화제2철을 실험한 결과 25~28mg Fe/L의 농도 범위에서 SS, BOD, COD의 수질항목의 제거효율이 80% 이상이었다. T-P의 경우 황산알루미늄, 염화제2철 모두에서

투입된 농도 범위내에서 약 99%의 제거율을 보였으며, T-N의 제거율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

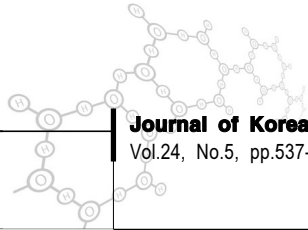
- 2) SS 항목과 다른 수질항목들의 상관성을 평가한 결과, 황산알루미늄 응집제와 염화제2철 응집제 모두에서 Turbidity와 T-P와의 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났으며, T-N과의 상관관계가 가장 낮은 것으로 나타났다. 응집처리의 효율을 나타내는 대표적인 인자인 SS 항목과 상관성이 높은 항목들은 SS 항목의 제거율이 높게 나타난 응집제의 농도 범위에서 다른 수질 항목들의 제거율 또한 높게 평가될 것으로 기대된다.
- 3) 본 연구에서는 응집제를 통한 오염물질의 제거효율을 응집제 투입량에 대한 최대제거효율을 고려하여 각 수질항목에 대하여 반응곡선을 도출하였다. 이와 같은 응집제 투입에 대한 제거율의 반응곡선은 본 연구에 사용된 10번의 실험 데이터 이외, 더 많은 데이터의 수집을 통한 관찰로 반응곡선의 결정계수를 안정화시킬 수 있음이 보여 보다 일반화된 반응곡선을 도출할 수 있다.
- 4) 기 언급하였듯이 대상 하수처리시설에 대한 화학적 응집의 효율 및 응집제의 평가는 대상이 되는 응집제 자체의 오염물질의 제거 효율 이외에 응집제의 가격 및 다른 수처리 공정과의 연계, 시설의 설치 및 운영에 소요되는 비용 등의 경제성을 종합적으로 고려하여 이루어져야 함이 타당하다.

사 사

이 논문은 2008년도 중앙대학교 학술연구비(연구교수 연구비) 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

심주현, 김대환, 서형준, 정상원 (2005) 응집-정밀여과에 의한 도시하수의 처리, **대한환경공학회지**, 27권, 6호, pp. 581-589
 하수도법시행규칙 <개정 2010.2.26> 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 [제3조 제1항 제1호, 별표 1]
 한국상하수도협회 (2007) **상수도시설 유지관리매뉴얼**
 환경부 (2008) **수질오염공정시험기준**
 환경부 (2009) **'08년도 공공하수처리시설 운영관리 실태 분석 결과**
 환경부 (2010a) 하수처리장 수질기준 강화
 환경부 (2010b) **하수처리장 총인처리시설 설치 가이드북**
 Bell-Ajy, K., Abbaszadegan, M., Ibrahim, E., Verges, D., LeChevallier, M. (2000) Conventional and optimized coagulation for nom removal, **American Water Works**



Association, Vol. 92, No. 10, pp. 44–58.
Ding, Y., Dresnack, R., Chan, P.C. (1999) ***Assessment of high-rate sedimentation processes: microrcarrier weighted coagulation jar-test***, US Environmental Protection Agency.
Gebbie, P. (2005) *A Dummy's Guide to Coagulants*, 68th

Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Schweppers Centre–Bendigo, 7–8 September, 2005.
Metcalf & Eddy, Inc. (2004) ***Wastewater Engineering, Treatment and Reuse***, 4th edn., McGrawHill.