

정수장슬러지의 탈수특성

김은호 · 이미경³⁾ · 김형석¹⁾ · 성낙창 · 허종수²⁾ · 황영기³⁾
동아대학교 환경공학과, ¹⁾신라대학교 환경학과, ²⁾경상대학교 농화학과, ³⁾경남대학교 정밀화학공학부

Dewatering characteristics of sludge generating water treatment plant

Eun-Ho Kim, Mi-Kyung Lee³⁾, Hyeong-Seok Kim¹⁾, Nak-Chang Sung, Jong-Soo Heo²⁾, Young-Gi Hwang³⁾ (Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University, ¹⁾Dept. of Environmental Science, Silla University, ²⁾Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, ³⁾Division of Fine Chemistry and Chemical Engineering, Kyungnam University)

ABSTRACT : The purpose of this research was to estimate dewatering characteristics of generating water treatment plant by dewatering velocity, suitable polymer and mixing condition. Zeta potential of sludge in storage tank was negative and in case of adding cation, anion and nonion polymer for sludge conditioning, specific resistance coefficients of conditioned sludge were similar at zeta potential -5mV. But above zeta potential -15mV, cation polymer was more effective than others for reduction of specific resistance coefficients. Using of cation acrylate polymer showed better dewatering coefficients than cation methacrylate polymer.

Key words : dewatering characteristic, sludge, water treatment

서 론

정수장슬러지는 원수중의 부유물질, 조류, 유기물 및 콜로이드 입자와 응집체의 수화물로 구성되어 있으며 원수의 성분이나 정수장의 운전조건에 따라서 슬러지의 성상과 발생량도 아주 상이할 것이다¹⁾.

현재 대부분의 정수처리에서는 급속여과 시스템을 사용하고 응집제로는 탁도와 유기물 제거에 우수한 효과를 나타내는 알루미늄계통의 응집제를 사용하고 있다.

알루미늄염은 응집, 플럭형성과정을 거쳐 슬러지 농축성과 침강성을 저해시키는 수산화알루미늄으로 침전하여 정수슬러지를 발생시키고 있다²⁾.

그리고, 정수장슬러지 약 30%가 응집체의 수화물이므로 탈수공정의 최적화 및 정수처리 방식의 개선 등으로 슬러지 발생량을 상당히 감소시킬 수 있다.

탈수공정은 정수처리 비용에 매우 중요한 요소로 인식되고 있으며 처리의 전과정이 최적인전되어 총비용이 최소화되기 위해서는 탈수공정의 선택은 이론적 근거보다 경험적 방법에 의존하는 경향이 강하여 슬러지 감량에 비효율을 초래하고 있다.

특히, 정수장슬러지는 현재 대부분 해양투기에 의존하고 있으나 해양 환경보호 차원에서 특정 산업폐기물로 지정되어 앞으로 전량 매립 또는 소각에 의하여 처리할 경우 처리비가 대폭 상승될 것으로 예상되므로 슬러지 감량은 필수적인 문제로 대두되고 있다³⁾.

정수장슬러지 탈수성 증진을 위해서는 슬러지의 특성파악과

개량방법 그리고 기계적 탈수장비의 선정과 운전조건 등이 중요하다. 슬러지 약품개량시 탈수성은 유기고분자응집체의 종류, 주입량 및 교반강도에 의하여 많은 영향을 받으므로 정수장슬러지 특성파악에 의한 적절한 유기고분자응집체의 선정 및 주입량 결정과 교반강도 설정을 통하여 효과적으로 탈수운전함으로써 슬러지의 개량효과를 극대화시켜 탈수효율을 증가시킬 수 있다⁴⁾.

따라서, 본 연구에서는 효율적인 정수장슬러지의 개량을 위하여 우선적으로 슬러지 특성을 파악하고 적절한 유기고분자응집체를 사용하여 정수장슬러지의 탈수효율을 증대시키기 위한 슬러지 개량 실험에서 적절한 유기고분자응집체의 선택과 교반강도 선정에 의한 슬러지의 탈수속도를 증가시키고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

정수장의 경우에 침전조에서 배출되는 슬러지는 농축조를 통하여 저류조에 합류되며 약품개량후 탈수기에서 처리후 배출된다.

본 연구에 사용된 정수장슬러지는 P 시에 위치해 있는 H 정수장의 저류조에서 채취한 농축슬러지이며 협작물을 제거하기 위하여 1mm 메쉬로 사용하였다. 한편, Table 1은 본 연구에 사용된 유기고분자응집체중 폴리아크릴 아마이드류의 특성을 나타내고 있으며 현재 정수장 및 하수처리장에서 주로 사용되고 있는

Table 1. Properties of polymer used in this study.

Polymers	Cations					Anion	Nonion
	C-100P	C-101P	YCX-3M	YCX-4	YCX-450	A-601P	N-301P
Items							
Backbone monomer	AAm-DM		AAm-DA			AAm-ANa	AAm
Molecular weight* ($\times 10^6$)	7~9	2~4	6~8	6~8	6~8	15~17	6~8
Solution conc.(%)	0.1						
pH	4.7	4.7	4.8	4.7	5.0	6.6	6.4
Viscosity(cp)	154	150	10	83.5	138	250	5

* AAm : Acryl-amide
 ANa : Acryl sodium
 DM : Dimethyl-methacrylate
 DA : Dimethyl-acrylate

분자량 $6 \times 10^{16} \sim 17 \times 10^{16}$ 범위의 양이온, 음이온 및 비이온 유기 고분자용집제를 사용하였다.

실험방법

본 연구에 사용된 실험기기 및 실험장치는 Jar tester, 비저항계 수축정장치, 입도분석기(Accusizer particle sizing system model 770), 제타전위측정기(Lazer zee meter model 501), 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP : JY 50p) 및 점도계(Brookfield digital viscometer) 등이 었다. 슬러지의 유기물질 및 Al은 환경오염공정 시험법⁵⁾과 Standrd Methods⁶⁾에 준하여 분석하였다.

결과 및 고찰

정수장슬러지의 특성

본 연구에 사용된 정수장슬러지는 Table 2에 나타난 바와 같으며 pH는 6.7~6.9이었고 TS 1.1~5.42%, Al 91,567~128,371mg/L, 제타전위 -5~-17mV, 평균입경 19.8~35.4um 및 슬러지 비저항계수 $10.9 \sim 20.0 \times 10^{12}$ m/kg이었다.

그리고, 원수조건과 슬러지 특성을 비교분석한 결과, 원수의 유기물 농도가 높고 정수처리시 Alum 응집제의 주입량이 많을수록 슬러지내 유기물 함량과 중금속 농도가 높게 나타내었다.

단일 정수장에서 생산된 슬러지일지라도 원수조건과 정수처리 과정에 따라 슬러지의 입도분포 및 제타전위 등도 큰 차이를 보여주고 있다.

입경분포는 침전성 고형물입자가 주를 이루고 있으며 평균입경은 20~41um이었다. 이 결과는 수자원공사⁸⁾에서 조사한 전국 정수장슬러지의 특성을 보면 입도분포 5~50um, 평균입경 10~20um인 것과 비교해볼 때, P. 정수장슬러지의 입도분포가 더 넓고 평균입경도 더 큰 것으로 평가되었다.

Table 2. Characteristics of sludge generating water treatment plant.

Items	Ranges	
	Temp.(°C)	
Raw water	pH	18 ~ 31
		7.0 ~ 9.5
	COD _{Mn} (mg/L)	5.9 ~ 12.4
	BOD(mg/L)	2.0 ~ 7.4
	Turbidity(NTU)	12 ~ 85
Sludge	pH	6.7 ~ 6.9
	COD _{Mn} (mg/L)	2,171 ~ 9,00
	TS(%)	1.1 ~ 5.42
	Moisture content(%)	95.2 ~ 99.06
	Al(mg/L)	91,567 ~ 128,371
	Zeta potential(mV)	-5 ~ -17
	Average particle diameter(um)	19.8 ~ 35.4
Specific resistance(m/kg)	$10.9 \sim 20.0 \times 10^{12}$	

정수장슬러지 평균입경과 슬러지 비저항과의 관계

Fig. 1은 정수장슬러지 평균입경과 슬러지 탈수효율을 나타내는 슬러지 비저항과의 관계를 나타낸 것으로 슬러지 평균입경이 클수록 비저항계수가 상대적으로 낮아져 슬러지 평균입경이 탈수 효율과 밀접한 관계가 있는 것으로 평가되었다.

이 결과는 Karr와 Keinath⁷⁾가 여러가지 영향인자에 의한 탈수성의 변화를 입도분포의 변화를 기준으로 설명하면서 입도분포를 가장 중요한 영향인자로 기술한 것과 일치하였다.

Alum 응집제 주입비에 따른 응집침전된 슬러지의 제타전위 변화

본 연구에 사용된 원수의 수질은 탁도 10NTU, pH 7.9, COD_{Mn} 5.9mg/L 및 제타전위 -32mV이며 실험조건은 Jer tester을 이용하여 급속교반 120rpm(2분), 완속교반 60rpm(18분) 그리고 정치 20분으로 하였다.

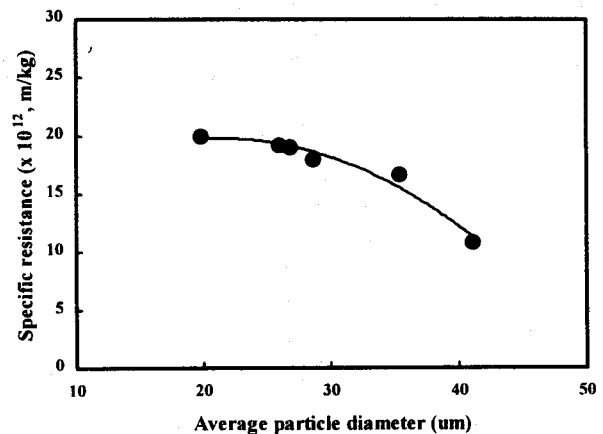


Fig.1. Relationship between average particle diameter and specific resistance of sludge generating water treatment plant.

Table 4. Characteristics of sludge generating water treatment plant on the each alum coagulant dose.

	Dose(mg/L)	20	30	40	50	60	70
PSO	Turbidity(NTU)	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2
	Zeta potential(mV)	-24	-16	-16	-15	-17	-10
	Dose(mg/L)	10	15	20	25	30	35
PAC	Turbidity(NTU)	1.2	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2
	Zeta potential(mV)	-18	-16	-17	-16	-12	-12
	Dose(mg/L)	15	20	30	40	50	60
PASS	Turbidity(NTU)	1.3	1.0	0.7	0.5	0.4	0.2
	Zeta potential(mV)	-23	-18	-17	-16	-14	-8

* PSO : Aluminium sulfate
 ** PAC : Poly aluminium chloride
 *** PASS : Poly aluminium silicate sulfate

Alum 응집제 종류별 주입비에 따라 응집침전된 슬러지의 제타전위 변화는 Table 4에 나타난 바와 같다.

이 결과에 의하면 Alum 응집제의 종류에 관계없이 상등액의 탁도는 0.8~1.0NTU 기준으로 정수처리시 응집침전된 슬러지의 제타전위는 -16~-18mV를 나타내었으며 응집제 적정 주입량 이상 투입된 상등액 탁도 0.2NTU 기준으로 볼 때 슬러지의 제타전위는 -8~-12mV를 나타내는 응집침전된 대부분의 슬러지는 약한 음이온을 띠는 것으로 평가되었다. 이러한 이유는 원수의 수질특성과 정수처리과정에 기인한 것으로 여겨진다.

양이온 유기고분자응집제 투입에 따른 슬러지의 제타전위 변화

일반적으로 유기고분자응집제로 슬러지를 개량할 경우에는 슬러지 입자의 제타전위가 0에 도달할시, 즉 슬러지 입자가 전하중화점에서 최고의 탈수성을 유지하는 것으로 알려져 있다⁹⁾. Fig. 2는 슬러지의 성상이 제타전위 -17mV, 평균입경 41.1 μ m인 시료를 대상으로 유기고분자응집제인 C-100P 주입량에 따른 슬러지의 제타전위 변화를 보여주고 있다. 양이온 유기고분자응집제 주

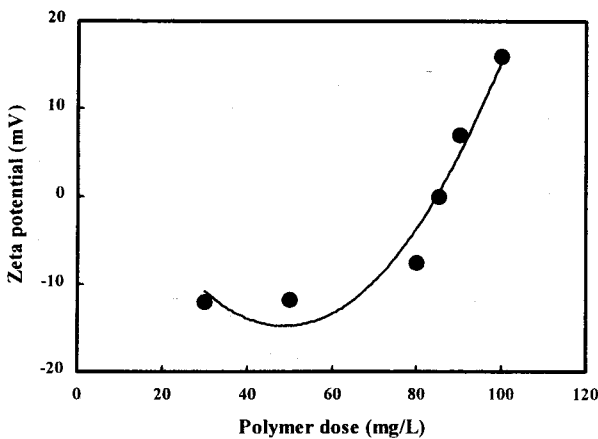


Fig.2. Effects of cation polymer(C-100P) dose on zeta potential.

입량의 증가에 따라 슬러지의 제타전위가 음에서 양으로 증가하는 경향을 보여주고 있다.

최적 탈수 효율을 위한 유기고분자응집제의 종류 선정

정수장슬러지의 최적탈수를 위해서는 슬러지의 물리·화학적 특성 파악이 중요하며 슬러지의 탈수성은 슬러지의 pH와 입자의 전하, 결합수의 함량, 고형물 함량, 알칼리도, 입자의 기계적 강도, 공극율, 입자의 크기, 유기물 함량, 압력계수 및 슬러지의 종류 등 수많은 요소에 의한다⁴⁾. 슬러지의 약품응집에 관해서는 수처리에서와 같이 크게 전하중화와 입자 가교작용이 주 메카니즘이다.

그리고, 전하중화가 증가할수록 탈수성은 일반적으로 증가한다.

생물학적 폐활성슬러지의 경우에는 전하중화 메카니즘이 우세하고 생물학적 슬러지를 유기고분자응집제로 개량한 경우에는 입자의 가교작용이 우세하다¹⁰⁾. 대부분의 하수슬러지는 음으로 하전되어 있기 때문에 양이온 개량제를 사용하며 정수장슬러지는 과량의 수산화알루미늄으로 생성되었으므로 통상 약양이온을 띠는 것으로 알려져 하수슬러지와는 달리 음이온 유기고분자응집제가 효율적인 것으로 알려져 있다¹⁰⁾.

그러나, 본 연구에 사용된 정수장슬러지의 제타전위는 -5~-17mV의 약한 음전하를 띠고 있는 것으로 나타나 슬러지 제타전위별로 최적 유기고분자 응집제 선정에 구분하여 실험하였다.

Fig. 3은 정수장슬러지의 제타전위가 -17mV일 경우에 유기고분자응집제 종류별 탈수효율로서 양이온>비이온>음이온의 순으로 나타났으며 슬러지 비저항계수에 의한 탈수효율은 양이온 유기고분자응집제가 음이온 유기고분자응집제에 비하여 약 30% 정도 양호한 것으로 평가되었다. 그러나 Fig. 4의 제타전위별 비저항계수와와의 관계에서 보듯이 제타전위가 -5mV이고 폴리머 주입량이 90mg/L 일때는 유기고분자응집제 종류에 의한 탈수효율은 큰 차이가 없는 것으로 나타나 최적 유기고분자응집제 선정은 슬러지의 특성 중 제타전위가 가장 큰 요인으로 작용하는 것으로 나타났다.

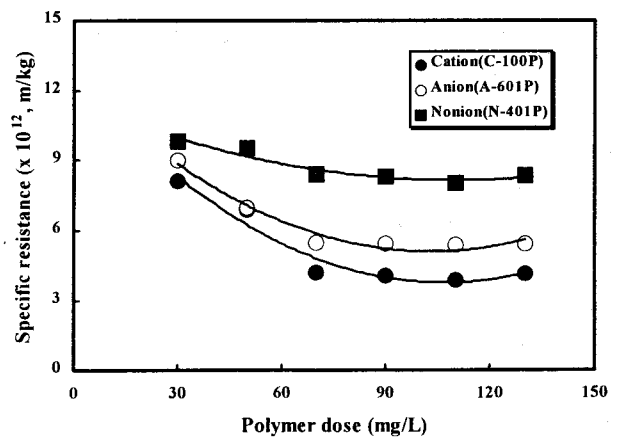


Fig.3. Effect of polymer dose on filterability of sludge generating water treatment plant.

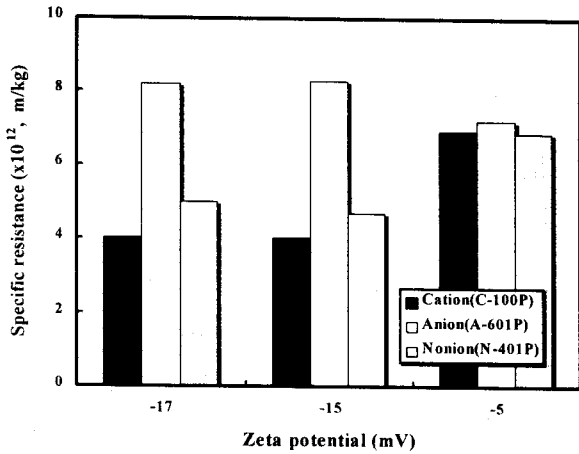


Fig.4. Relationship between zeta potential and filterability of sludge generating water treatment plant.

이러한 결과는 유기고분자응집제의 주 역할인 전하중화와 가교작용 중 슬러지 탈수효율은 전하중화가 증가할수록 가교작용이 증대하였기 때문으로 여겨진다.

양이온 유기고분자응집제 종류별 탈수효율 비교

본 연구에 사용된 정수장슬러지의 제타전위에 따른 최적 유기고분자응집제를 선정한 결과, 양이온 유기고분자응집제가 음이온 유기고분자응집제보다 탈수 효율이 우수한 것으로 평가되었다. 그러나, 양이온 유기고분자응집제에도 이온강도 및 모노머의 성상에 따라 탈수효율에 차이가 있으므로 양이온 유기고분자응집제의 이온강도와 모노머 성상별로 슬러지 탈수효율을 비교하였다.

Fig. 5는 정수장슬러지의 제타전위가 -17mV일 때 유기고분자응집제를 각각 80mg/L 주입하고 교반강도 (Gt)를 3,500으로 Jar test를 실시한 후 슬러지 비저항계수에 의한 탈수효율을 나타낸 것이다. 이 실험 결과에 의하면 양이온 유기고분자응집제중 중앙

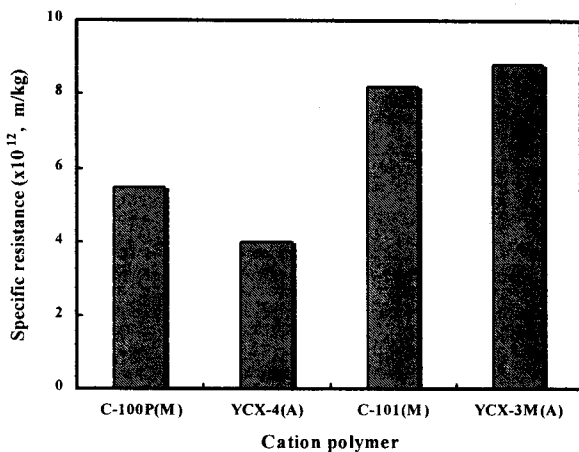


Fig.5. Effect of cation polymer dose on filterability of sludge generating water treatment plant.

이온이 약양이온 보다 우수한 것으로 나타났으며 중앙이온성 유기고분자응집제 중에서도 아크릴산계가 메타아크릴산계보다 다소 양호한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 슬러지의 특성에 따른 양이온 유기고분자응집제의 이온강도에 의한 슬러지의 전하중화능력, 플러킹강도 그리고 모노머의 성상 등에 의한 것으로 여겨진다.

요 약

정수장슬러지의 탈수효율 증대를 위한 슬러지 개량 실험에서 적절한 유기고분자응집제의 선택과 교반강도 선정에 의한 슬러지의 탈수속도의 증가 및 슬러지의 감량화 결과는 다음과 같다. 정수장 저류조에 농축된 정수장슬러지의 제타전위는 음전하였으며 슬러지의 제타전위가 -5mV 부근에서 양이온, 음이온 및 비이온 유기고분자응집제를 주입한 개량슬러지의 비저항계수는 비슷하였다. 제타전위가 -15mV 이상에서는 양이온이 음이온 유기고분자응집제 보다 슬러지 비저항계수의 감소에 더욱 효과적이었다. 중앙이온 아크릴산계 고분자응집제가 메타아크릴산계 보다 탈수속도가 빠르며 유기고분자응집제 종류에 따라 적절한 교반강도의 선택이 요구되었다.

참 고 문 헌

1. Won-Gyu Lee (1997) Determination of optimum coagulant dosage for effective water treatment of chinyang lake, Gyeongsang National University.
2. Sang-Goo Kim, Dong-Min Kwon (1995) Determination of coagulant dosage and aluminium concentration with residual turbidity, The report of water quality research institute of Pusan, 1 : 5~14.
3. Jin-Keun Kim (1994) Effect of temp. and alkalinity on coagulation in water quality, Dept. of environmental health, Seoul National University.
4. Sung-Hyun Kim (1993) A experimental study on determination of coagulant dosage using jar-test, Journal of the korean society of water and wastewater, 2 : 39~46.
5. The Environment agency (1991) A method of examination for environmental pollution.
6. Standard method for examination of water and wastewater (1992) 18th edition, USA. Public health association, Washington, D. C.
7. Karr, P.R., and Keninath T.M. (1978) Influence of particle size on sludge dewaterability, J. WPCF, pp. 1911.
8. Korea water resources corporation (1993) Disposal and

reuse of water treatment plant sludge(2nd year), pp. 114.

9. Je-Hwang Ko (1994) A study on the improvement in sludge dewatering performance, Dept. of civil & environmental engineering, Korea University, pp. 33~34.
10. John T. Novak and Bjorn Erik Haugen (1979) Chemical conditioning of activated sludge, J. environmental engineering, ASCE, pp. 105.