

정수 슬러지의 탈수성 개선을 위한 고분자 응집제 조합주입 고찰

Determination of Organic Polyelectrolyte Addition Method to Improve Dewaterability of Alum Sludge

유태종^{1,*} · 안균환¹ · 박상준¹ · 현미²

Yu, Taejong^{1,*} · An, Gyunhwan¹ · Park, Sangjun¹ · Hyun, Mi²

1 광주대학교 토목환경공학부

2 광주지방공사

(2004년 6월 16일 논문접수; 2004년 9월 2일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Since polyelectrolytes have been used as conditioners, conventionally only a single polyelectrolyte has been added for sludge conditioning. However, the amount of polyelectrolyte needed for optimal conditioning of sludge is very critical. Overdosing reduces the sludge dewaterability.

In this experimental study, sludge conditioning with single or dual polyelectrolyte was conducted to avoid problems associated with overdosing. Single polyelectrolyte conditioning was conducted by one of cationic, nonionic, and anionic polyelectrolytes. The dual polyelectrolyte conditioning was performed by adding one polyelectrolyte and another one in sequence.

The dewaterability of sludges were measured by SRF(specific resistance to filtration), TTF(time to filter), CST(capillary suction time) respectively. Additionally, parameters such as turbidity, zeta potential, viscosity of conditioned sludges or supernatant were measured to evaluate the changed characteristics of sludge by addition of polyelectrolytes.

From the experiment results, it was concluded that single polyelectrolyte conditioning had a high probability of overdosing, whereas dual polyelectrolyte conditioning resulted in a better dewaterability and less chance of overdosing. But, it was also found that dosing sequence in dual conditioning was very important according to the characteristics of sludge. Parameters such as viscosity, turbidity, zeta potential were found to be useful as a means of evaluating sludge dewaterability.

Key words: alum sludge, dewatering, conditioning, SRF, TTF, CST, zeta potential, viscosity, polyelectrolytes

주제어: 정수 슬러지, 탈수, 슬러지 개량, 탈수성 지표, 제타전위

*Corresponding author Tel. +82-62-670-2419, FAX: +82-62-670-2192, E-mail: tju@gwangju.ac.kr (Yu, T.J.)

1. 서 론

슬러지 처리과정에서 슬러지의 탈수성을 향상시키기 위해서 유기계 또는 무기계의 고분자 응집제를 주입하여 탈수를 행하고 있는데, 슬러지를 탈수하기 전에 고분자 응집제를 주입하여 슬러지의 성상을 바꿔 주게 되면 탈수성이 향상되고, 슬러지 케이크의 함수율을 낮춰 처분될 슬러지의 양을 줄여줄 수 있지만 (Abu-Orf and Dentel, 1997; Ray and Hogg, 1987), 고분자 응집제의 구입 비용이 슬러지 처리비용의 거의 절반을 차지한다고 알려져 있다(Chitikela and Dentel, 1998; Evans and Filman, 1988; EPA, 1987; Vesilind, 1979).

일반적으로 하수처리장 또는 산업폐수처리장에서는 양이온계 고분자 응집제를 사용하고, 정수처리장에서는 음이온계 고분자 응집제를 사용하는 것으로 알려져 있다(D.A. Mortimor, 1991). 대부분의 처리장에서는 주로 한 종류의 고분자 응집제를 주입하고 있는데, 한 종류의 고분자 응집제를 과잉으로 주입하면 비용이 증가할 뿐만 아니라 슬러지 탈수성을 악화시킬 수 있기 때문에 슬러지 개량을 위해 주입되는 고분자 응집제의 주입량을 정확히 할 필요가 있다. 즉, 고분자 응집제가 과소로 주입되면 처리효율이 저하되지만, 과잉투여(overdosing)되면 탈수성이 오히려 악화되는 문제가 발생된다.

최근에 정수처리장 슬러지 또는 하수처리장 슬러지를 개량하기 위해서 두 가지 종류의 고분자 응집제를 조합 주입하는 것에 대한 연구가 진행되어 왔다. Yu와 Somasundaran(1993)은 서로 다른 이온계의 고분자 응집제를 조합하여 주입함으로써 알루미늄의 탈수성을 크게 향상시킬 수 있었다고 하였다. 알루미늄 입자에 음이온계 고분자 응집제를 먼저 주입하면 정전기력(electrostatic interaction)에 의해 입자의 표면에 흡착되고 긴 체인 구조의 양이온계 고분자 응집제의

흡착을 용이하게 한다고 보고하였다. 한 종류의 고분자 응집제를 주입했을 때 작용하는 메커니즘은 주로 전하 중화(charge neutralization)이지만, 서로 다른 이온계의 고분자 응집제 두 종류를 주입하게 되면 다른 이온계의 고분자 응집제들 사이에 작용하는 작용력에 의한 가교결합이 촉진되어 양호한 응집현상이 일어난다. 두 종류의 고분자 응집제 투입으로 인한 응집현상은 고분자 응집제의 특성, 입자의 표면특성, 용액의 특성에 따라 달라질 수 있다(Yu and Somasundaran, 1996).

본 연구에서는 정수처리장 슬러지에 대하여 고분자 응집제를 단일 주입하는 경우와 서로 다른 이온계의 고분자 응집제를 순서를 달리하여 조합 주입하였을 때 탈수성의 향상 여부를 확인하여 최적의 고분자 응집제 주입방법을 모색하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 실험방법

2.1 사용 슬러지 및 고분자 응집제의 종류

본 연구에서는 D정수장의 정수 슬러지와 G하수처리장의 하수 슬러지를 이용하였는데, 하수 슬러지는 예비실험단계에서 어느 이온계의 고분자 응집제가 적합한지를 판정하는 데에만 사용하였다. 각 슬러지의 일반적인 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다. 정수 슬러지의 총 고형물 농도는 약 1.8~2.5%, 유기물 성분비(VSS/SS)는 약 34~49% 정도였으며, 제타전위는 -3mV~-6mV 정도로서 음으로 약하게 하전되어 있었다. 하수 슬러지의 총고형물 농도는 1.9~3.55% 정도였고, VSS/SS는 42~54%이었다. 특히, 제타전위는 -10mV~-30mV 범위로서 음으로 강하게 하전되어 있었다. 고분자 응집제는 E사와 Y사의 아크릴아미드계 제품을 사용하였으며, 실험에 사용된 고분자 응집제의 일반적인 특성은 제조사의 정보에 의하면 Table 2에 나타난 바와 같다. 고분자 응집제는 사용 1일 전에 0.1~0.2% 농도의 용액을 제조하여 1~

Table 1. Characteristics of sludge

Alum Sludge		Sewage Sludge	
TS(mg/L)	18,000~25,000	TS(mg/L)	19,000~35,500
SS(mg/L)	18,000~21,000	SS(mg/L)	18,000~34,000
VSS/SS(%)	34~49	VSS/SS(%)	42~54
Zeta-Potential(mV)	-3~-6	Zeta-Potential(mV)	-10~-30

Table 2. Properties of the polyelectrolytes

Charge Type	Parameter	Charge Density	Viscosity (centi-poise) (0.2% Sol.)	pH	Specific weight	M.W.(× 103)
Cationic	C-410P	Strong	170~220	4~7	0.6~0.8	5,000
	C-210PH	Medium	140~200	4~7	0.6~0.8	6,000
	YCX-4	Weak	120~180	4~7	0.6~0.8	4,000
	C-64	Strong	150~250	3~6	0.6~0.8	6,000~7,000
	C-7650	Medium	150~280	3~6	0.6~0.8	6,000~7,000
Nonionic	N-100P	-	40~80	6~8	0.6~0.7	12,000
Anionic	A-331P	Strong	200~270	6~8	0.7~0.9	15,000
	A-601P	Medium	190~250	6~8	0.6~0.8	14,000
	A-501P	Weak	70~120	6~8	0.6~0.8	13,000
	A-342	Strong	170~280	5~8	0.6~0.8	12,000~16,000
	A-338	Medium	170~280	5~8	0.6~0.8	12,000~16,000
	A-1011	Weak	150~280	5~8	0.6~0.8	12,000~16,000

2일 동안 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 고분자 응집제의 선택 및 조합주입방법

실험의 단계는 예비시험, 단일주입시험, 1:1조합주입시험, N:1조합주입 시험으로 구분하여 행하였는데, 예비시험에서는 여러 양이온계 또는 음이온계 고분자 응집제 중에서 어느 이온 강도(약이온, 중이온, 강이온)의 것이 적합한지를 판단하기 위하여 행하였다. 예비시험에서는 정수 슬러지에 음이온계 고분자 응집제를, 하수 슬러지에는 양이온계 고분자 응집제를 주입하되, 강이온성, 중이온성, 약이온성으로 구분하여 주입함으로써 가장 양호한 탈수성을 보인 이온성의 고분자 응집제를 선택하고자 하였다.

단일 주입 시험은 예비시험에서 선택된 각 이온계별 고분자 응집제를 정수 슬러지에 주입하여 탈수성 시험을 행하여 각 이온계별로 탈수성 향상 정도를 파악하고, 고분자 응집제 주입으로 인한 슬러지 특성변화 등을 검토하고자 하였다.

1:1조합주입방법은 정수 슬러지에 대해서 음이온계 + 양이온계(1:1), 음이온계 + 비이온계(1:1), 양이온계 + 비이온계(1:1), 양이온계 + 음이온계(1:1), 비이온계 + 양이온계(1:1), 비이온계 + 음이온계(1:1)로 조합하여 주입하였다.

N:1조합주입방법은 1:1조합 주입시험에서 가장 양호한 결과를 보인 이온계의 조합을 선택하여 주입

순서를 고려하면서 0.5:1, 1:1, 2:1로 조합하여 주입하고 CST, TTF, SRF 시험을 행하였다.

2.2.2 고분자 응집제 주입 및 탈수성 측정

고분자 응집제 주입농도는 건조 슬러지 질량을 기준으로 하여 %농도로 주입하였다. 단일 고분자 응집제 주입시의 교반방법은, 시료 500mL을 취하여 비이커에 넣고 고분자 응집제를 일정량 주입하여 90rpm에서 20초 동안 교반 후, 23rpm에서 82초 동안 교반을 행하여 플록을 형성시켰다. 조합 주입시의 교반방법은 시료 500mL에 고분자 응집제 1을 주입하고 90rpm의 교반강도에서 20초 동안 교반 한 후 곧바로 고분자 응집제 2를 주입하여 강도 90rpm에서 20초 동안 급속 교반시키고 다시 23rpm에서 82초 동안 완속 교반을 행하였다. 완속교반이 종료되면 일정량의 시료를 취해 CST, SRF, TTF시험을 Standard method에 의하여 행하였으며, 슬러지 특성의 변화를 보기 위해 시료를 원심분리 후 상징수에 대해서도 점성계수 및 탁도, 제타전위 등을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단일 주입시험 결과

예비시험에서 정수 슬러지에는 음이온계를, 하수 슬러지에는 양이온계를 주입량을 달리하여 탈수시험을 행하였는데, 여기에 구체적인 결과를 기술할 수 없지만, 예비시험결과에 따르면 음이온계는 중이온성

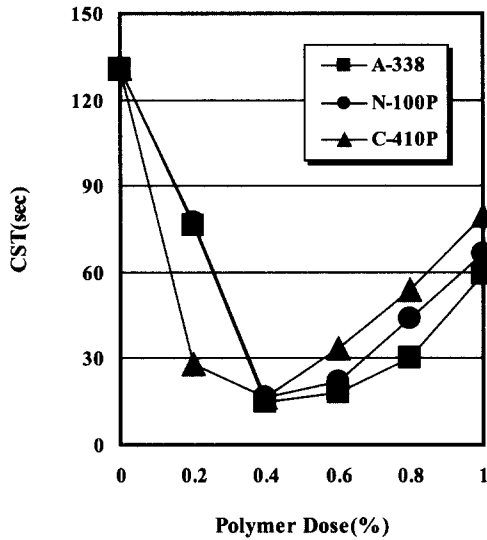


Fig. 1. CST vs. Single Polymer dose.

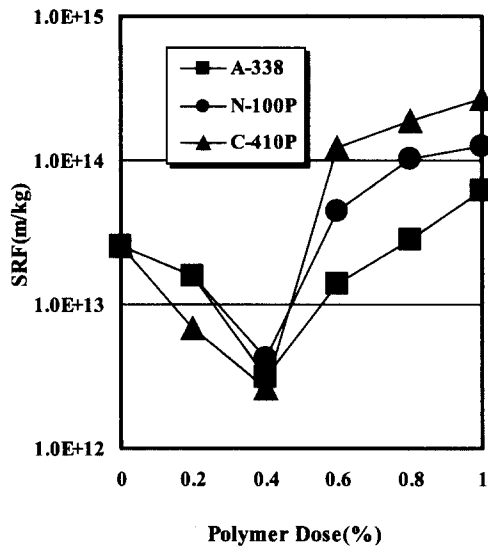


Fig. 3. SRF vs. Single Polymer dose.

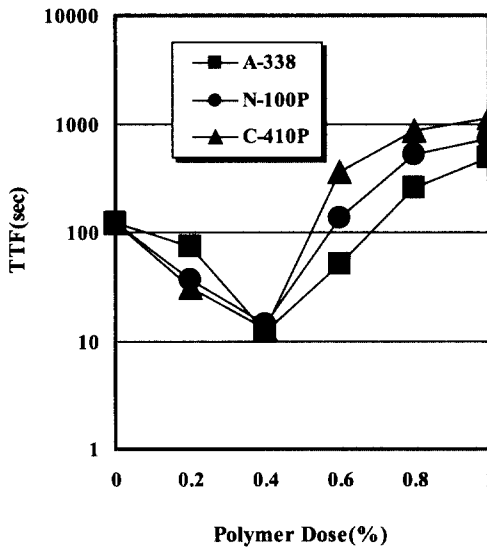


Fig. 2. TTF vs. Single Polymer dose.

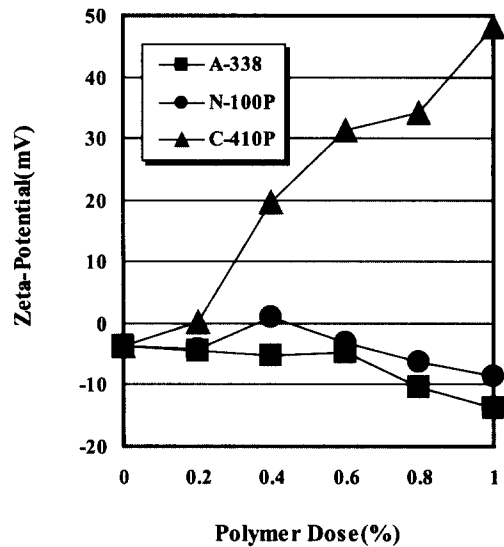


Fig. 4. Zeta Potential vs. Single Polymer dose.

인 A-338(M)이, 양이온계는 강이온성인 C-410P(S)가 우수한 것으로 나타나 이들을 선택하는 것으로 하였으며, 비이온계는 실험을 행하지 않고 N-100P를 선택하였다.

단일 주입시험에서는, 예비시험에서 선택된 양이온계, 음이온계, 비이온계 고분자 응집제를 정수 슬러지에 주입하여 탈수성 시험을 행하였는데, 그 결과

를 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 CST 시험에서는 강이온성 양이온계인 C-410P(S)에서 가장 좋은 탈수성을 보이는 것으로 나타났다. 양이온계인 C-410P(S)의 경우 0.2% 주입량에서 탈수성이 급격히 향상되고, 0.4% 주입량에서 가장 작은 CST값인 16.3초를 보였다. 그리고 주입량이 그 이상 증가하면 탈수성이 급

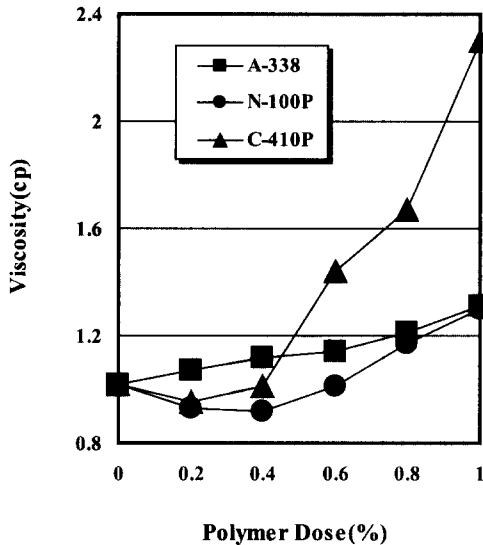


Fig. 5. Viscosity vs. Single Polymer dose.

격하게 악화되는 것으로 나타났다. 양이온계 고분자를 주입하는 경우에 0.2% 주입량과 0.4% 주입량에서는 전하중화(charge neutralization)와 함께 bridging이 일어나 탈수성이 향상되지만, 그 이상의 주입량에서는 Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 것처럼 여액의 점도가 급격히 증가할 뿐만 아니라 슬러지의 표면 전하도 음에서 양으로 역전되어 탈수성이 급격히 악화된다.

하지만, 음으로 약하게 하전된 정수 슬러지에 대해 음이온계와 비이온계를 주입했을 때는 전하중화는 일어나지 않고 수소결합(hydrogen bonding)과 Van der waals의 힘에 의해 bridging이 일어나 적정 주입량까지는 탈수성이 향상되지만, 일정 주입량 이상에서는 과잉으로 주입된 고분자 응집제에 의해 슬러지의 표면전하가 더욱 큰 음의 값(음이온계)을 갖게 될 뿐만 아니라, 슬러지 입자에 흡착되지 않고 액상에 남게 되어 점성계수 또한 증가하게 됨으로써 탈수성이 악화되는 것으로 판단된다.

본 연구에서 시험에 사용한 정수 슬러지의 제타전위가 $-3\text{mV} \sim -6\text{mV}$ 로써 약하게 음으로 하전되어 있었기 때문에 0.2% 주입률에서 양이온계에서는 탈수성이 급격히 향상되지만, 비이온계와 음이온계에서는 탈수성 향상 효과가 양이온계에 비해 훨씬 적었던 것으로 판단되며, 이는 다른 연구결과와도 어느 정도 일치하는 것으로 판단된다(문용택 등, 2001; 정유근

등, 2001). 따라서, 정수처리장에서 발생하는 슬러지의 처리를 위해서는 일반적으로 음이온계 고분자 응집제를 사용하는 것으로 알려져 있지만(D.A. Mortimer, 1991), 정수장별 원수특성 및 응집제 주입률(alum 주입률 등)등에 따른 발생슬러지의 특성, 특히 제타전위에 따라 어느 이온계의 고분자 응집제가 적합할 것인지가 결정될 것으로 판단된다.

Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 TTF와 SRF의 시험결과도 CST 시험결과와 비슷한 경향을 보였다. 하지만, 주입량에 따른 변화 형상이 CST와 일치하지는 않았다. 즉, CST는 1.0% 주입량에서도 0% 주입량보다 양호한 CST 값을 갖지만, TTF와 SRF 시험에서는 1.0% 주입량에서는 주입하지 않았을 때보다 훨씬 큰 값을 보인다.

3.2 1:1 조합주입 결과

단일주입시험 결과에 의하면 고분자 응집제가 최적 주입량 이상으로 주입되는 경우 탈수성이 급격히 악화된다는 사실로부터, 서로 다른 이온계의 고분자 응집제를 1:1로 조합 주입하여 이를 방지할 수 있는 방법을 모색하고자 하였는데, Fig. 6부터 Fig. 8에 탈수성 시험결과(CST, SRF, TTF)를 나타내었고, Fig. 9부터 Fig. 11에는 Zeta potential, 탁도, 점도 등의 측정 결과를 표시하였다.

Fig. 6에서 알 수 있는 것처럼 양이온+음이온, 양이온+비이온의 1:1조합주입에서 탈수성이 향상됨을 알 수 있었으며, 과잉 주입 현상도 별로 나타나지 않음을 확인 할 수 있었다. 양이온+음이온 조합주입에서는 과잉 주입량에서 탈수성이 약간 악화되는 것으로 나타나지만, 양이온+비이온 조합주입에서는 주입량 범위 내에서 과잉주입현상이 나타나지 않았다. 나머지 조합주입에서는 정도의 차이는 있지만, 단일 주입에서와 마찬가지로 모두 과잉주입현상(overdosing)이 발생하였다.

고분자 응집제를 조합 주입했을 때 나타나는 슬러지 및 여액의 성상변화를 나타내는 Zeta potential, 탁도, 점도 등에서도 슬러지 탈수성 시험 결과와 비슷한 경향을 보였다. 즉, 양이온+음이온, 양이온+비이온 조합 주입에서 Zeta potential은 거의 중성으로 나타났지만, 나머지 조합 주입에서는 큰 양의 값(비이온+양이온, 음이온+양이온)을 갖거나, 큰 음의

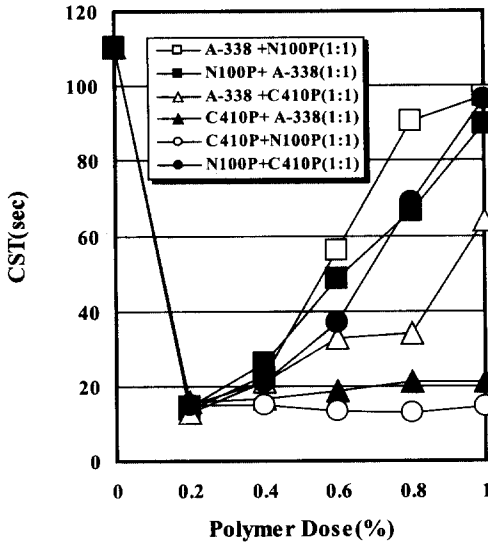


Fig. 6. CST vs. dual polymer dose(1:1).

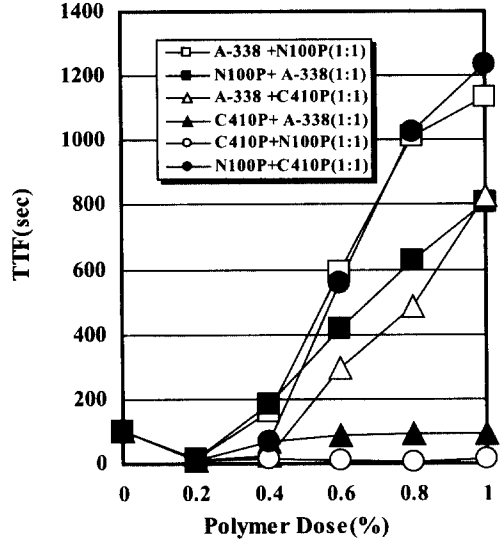


Fig. 8. TTF vs. dual polymer dose(1:1).

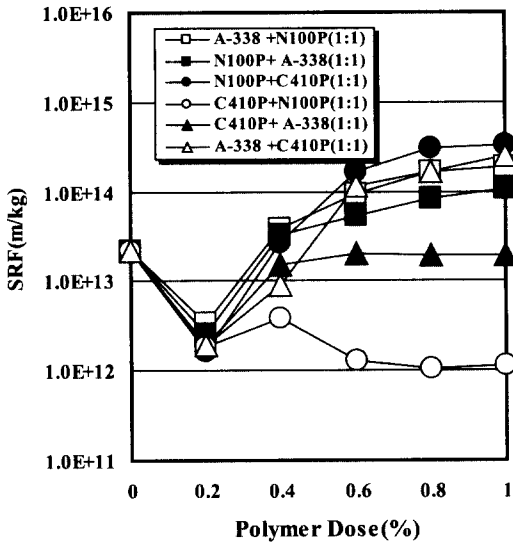


Fig. 7. SRF vs. dual polymer dose(1:1).

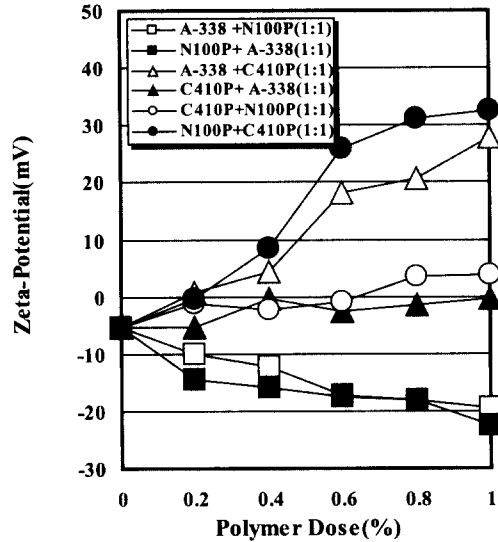


Fig. 9. Zeta potential vs. dual polymer dose(1:1).

값(음이온 + 비이온, 비이온 + 음이온)을 갖게 됨으로써 안정된 슬러지 입자가 되고 그 결과 슬러지의 탈수성이 악화되는 것으로 판단된다.

슬러지 여액의 점도 측정결과(Fig. 11)에서도, 양이온 + 음이온, 양이온 + 비이온 조합주입에서는 주입량이 증가하더라도 점도가 낮게 유지되지만, 그 밖의 조합 주입에서는 주입량이 증가할수록 여액의 점도가

급격히 증가함으로써 탈수성 악화의 원인으로 되는 것으로 판단된다.

여액 탁도를 측정된 결과(Fig. 10)에서는 모든 조합 주입에서 주입량 0.4%까지는 급격히 감소하고, 그 이상의 주입량에서는 거의 일정한 경향을 보인다. 탈수성 시험결과와 마찬가지로 양이온 + 음이온, 양이온 + 비이온 조합 주입에서 가장 낮은 탁도를 보였으

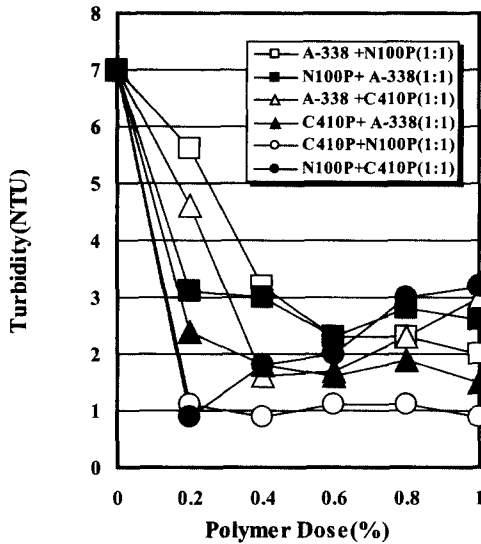


Fig. 10. Turbidity vs. dual polymer dose(1:1).

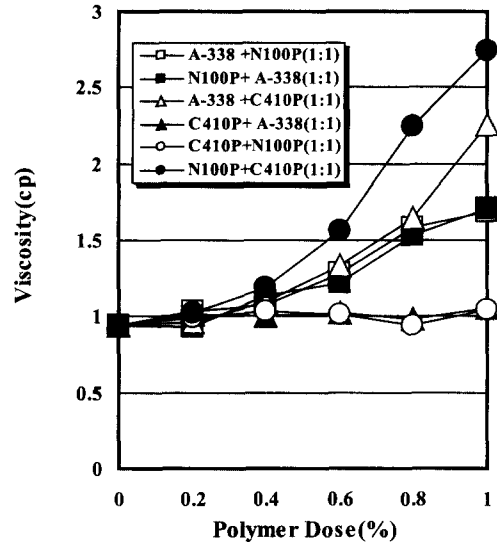


Fig. 11. Viscosity vs. dual polymer dose(1:1).

며, 특히, 양이온+비이온 조합 주입에서 가장 양호한 탁도 값이 나타났으며, 탈수성 시험결과와 거의 일치하였다.

한 종류의 고분자 응집제를 주입했을 때 작용하는 메커니즘은 주로 전하중화(charge neutralization)이지만, 서로 다른 이온계의 고분자 응집제 두 종류를 주입하게 되면 다른 이온계의 고분자 응집제들 사이에 작용하는 작용력에 의한 가교결합이 촉진되어 양호한 응집현상이 일어난다. 두 종류의 고분자 응집제 투입으로 인한 응집현상은 고분자 응집제의 특성, 입자의 표면특성, 용액의 특성에 따라 달라질 수 있다(Yu와 Somasandaran, 1996). 이의 시험결과를 토대로 슬러지의 탈수성 향상에 기여하는 반응의 메커니즘을 살펴보면, 양이온계와 비이온계의 고분자 응집제를 조합 주입하는 경우 먼저 주입된 양이온계 고분자 응집제에 의해 가교결합이 일어나 플록이 형성된다(Langer 등, 1994; Lurie와 Rebhun, 1997). 또한 양이온계 고분자 응집제와 음이온계 슬러지 입자들 사이에 정전기적 인력(electrostatic attraction)이 작용하여 비교적 치밀한 플록이 생성된다. 추가로 주입되는 비이온계의 고분자 응집제에 의해서는 가교결합(bridging)에 의해 앞 단계에서 형성된 작지만 치밀한 플록들이 서로 뭉쳐서 더 큰 플록이 형성됨으로써 탈수성이 향상된다.

일단 큰 플록이 형성되면 최적 주입량 이상으로 주입되는 비이온계 고분자 응집제는 수소결합(hydrogen bonding)과 Van der Waals의 힘에 의해 플록 표면에 흡착되고, 액상으로 존재하는 양은 적어지게 되는데 이것이 양이온계와 비이온계 고분자 응집제를 조합 주입했을 때 과잉주입현상(overdosing)이 발생하지 않는 이유라고 할 수 있다. 양이온계 고분자 응집제를 주입하면 미세한 슬러지 입자에 흡착됨으로써 전하중화를 일으켜 응집을 촉진시키기 때문에 여액의 탁도가 현저히 낮아진다(Somasundaran과 Yu, 1994).

서로 다른 이온계의 고분자 응집제를 조합 주입하게 되면 단일 고분자 응집제를 주입할 때보다 흡착층의 두께가 커짐으로써 고분자 응집제들의 가지(tail)가 더 길어지게 되어 큰 플록이 형성될 수 있고, 그 결과로 탈수성이 향상되는 것으로 판단된다(Somasundaran과 Yu, 1993; Czempesz 등, 1998).

과잉 주입 현상이 비교적 약하게 나타났던 양이온+음이온 조합 주입에서는, 양이온이 먼저 주입되었을 때 앞에서 설명한 바와 같이 전하중화와 bridging에 의해 치밀한 플록이 형성되고 슬러지 입자의 표면적이 증가한다. 양이온계 고분자 응집제가 과잉으로 주입되면 플록의 표면전하가 양으로 되지만, 추가로 주입되는 음이온계 고분자 응집제에 의해 어느 정도

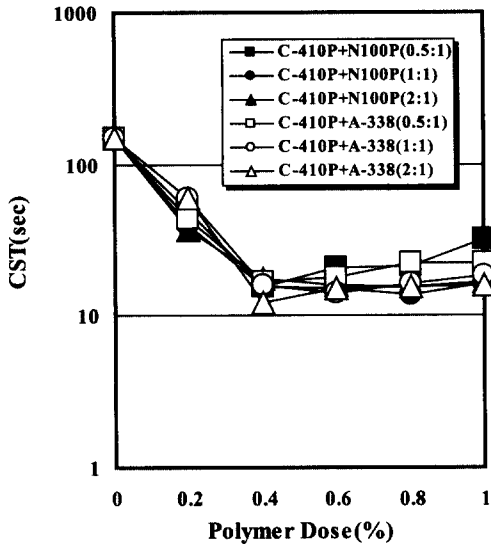


Fig. 12. CST vs. dual polymer dose(N:1).

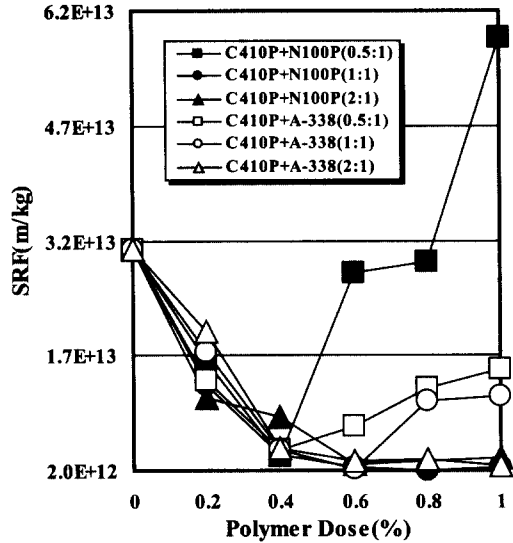


Fig. 14. SRF vs. dual polymer dose(N:1).

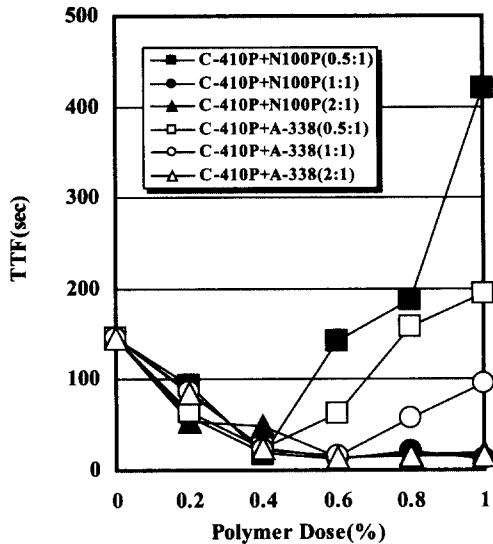


Fig. 13. TTF vs. dual polymer dose(N:1).

전하가 중화됨으로써 탈수성이 향상되는 것으로 판단된다. 하지만, 음이온계 고분자 응집제가 과잉으로 주입되면 플록의 전하가 다시 음으로 전환(Fig. 9)되어 정전기적 반발력이 생겨 탈수성이 악화되는 것으로 판단된다.

3.3 N:1 조합주입 결과

양이온 + 비이온, 양이온 + 음이온을 1:1로 조합 주입했을 때 양호한 탈수성이 얻어진 것에 기초하여 두 개의 조합을 1:1이 아닌 0.5:1, 1:1, 2:1로 조합하여 주입하되, 주입 순서는 양이온을 먼저 주입하고, 그 다음에 음이온 또는 비이온을 주입하여 시험한 결과를 Fig. 12부터 Fig. 14에 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 CST, TTF, SRF 모두 양이온 + 비이온 조합 주입에서는 1:1 조합과, 2:1 조합 주입에서 양호한 탈수성을 보였으며, 양이온 + 음이온의 조합 주입에서는 2:1에서만 양호한 탈수성 결과가 나타났다. 이 결과를 볼 때 양이온계 고분자 응집제가 적은 비율로 주입될 때(양이온:비이온 0.5:1, 양이온:음이온 0.5:1 및 1:1)에는 과잉주입현상이 발생하고, 양이온의 주입비율이 높을 때(양이온:비이온 1:1, 2:1, 양이온:음이온 2:1)에 양호한 결과를 보였다.

이는 슬러지의 표면 전하가 음으로 하전되어 있기 때문에 일단 양이온이 주입되면 정전기적 힘(electrostatic attraction)에 의해 흡착(adsorption) 및 전하중화(charge neutralization)가 일어남과 동시에 입자간 가교결합(bridging)이 일어나 양호한 플록이 된다고 할 수 있으며, 추가로 비이온이 주입되면 비이온의 Bridging 효과에 의해 더욱 큰 플록이 형성됨

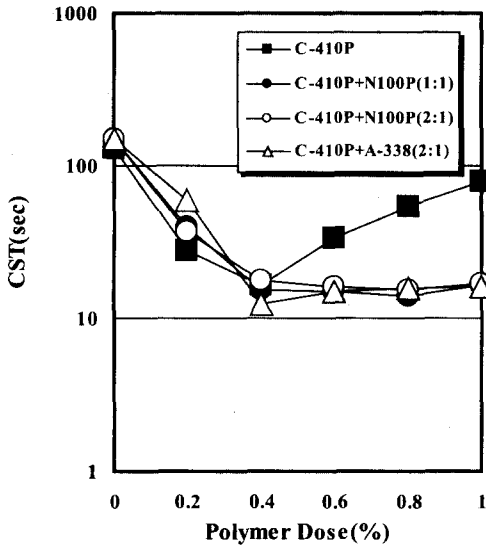


Fig. 15. Comparison of CST.

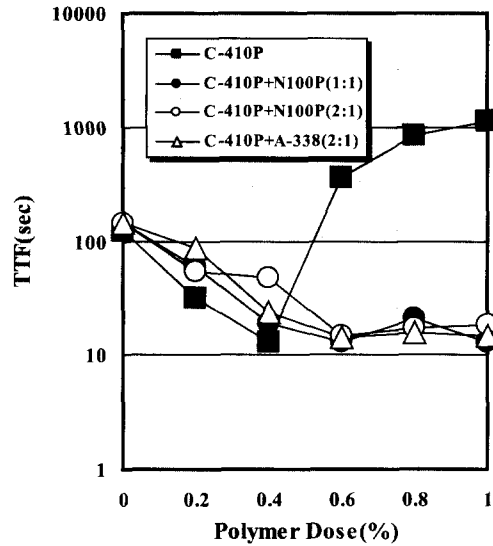


Fig. 16. Comparison of TTF.

로써 탈수성이 향상된다고 할 수 있다. 하지만, 먼저 주입되는 양이온의 주입비율이 작을 때(0.5:1 조합주입)는 전하중화 메커니즘이 충분히 발휘되지 못한 상태에서 비이온이 다량 주입되므로 과잉주입현상이 발생하여 탈수성이 악화되는 것으로 판단된다.

마찬가지로 양이온과 음이온의 조합 주입에서는 2:1비율에서만 탈수성이 향상되는 것으로 나타나는데, 이는 양이온과 비이온의 조합주입에서와 마찬가지로 먼저 주입된 양이온에 의해 전하중화 및 흡착이 일어나지만, 양이온의 주입비율이 크지 않을 경우 나중에 주입되는 음이온계 고분자 응집제에 의해 슬러지 표면 전하의 역전 현상이 발생하여 탈수성이 악화되는 것으로 판단된다.

3.4 단일 주입과 조합주입 결과의 비교

정수 슬러지에 대해 고분자 응집제를 단일 주입하

는 경우, 1:1 조합 주입하는 경우, 조합비율을 달리하여 주입하는 경우에 대해 살펴보았는데, 이들 비교결과를 Table 3과 Fig. 15부터 Fig. 17까지에 나타내었다.

앞에서 언급한 것처럼 음으로 하전된 정수 슬러지에 대해서 고분자 응집제를 단일 주입하는 경우에는 양이온계 고분자 응집제가 비교적 더 적합한 것으로 나타났으며, 0.4% 주입률에서 탈수성 향상 효과가 제일 크지만(CST 16.3초, TTF 13.0초, SRF 2.6×10^{12} m/kg), 그 이상의 주입률인 0.6% 주입률에서는 CST 33.3초, 0.8% 주입률에서는 CST 54초가 됨으로써 슬러지의 탈수성이 급격히 악화되는 것으로 나타났다.

양이온과 음이온의 2:1 조합주입, 양이온과 비이온의 1:1, 2:1 조합 주입에서는 최적 주입률에서 CST 값이 각각 13.9초, 15.5초, 12.3초로써 단일주입보다 탈수성이 더 향상됨을 알 수 있었으며, 탈수성이 양

Table 3. Comparison of dewaterability between single and dual dose

dose	C-410P			C-410P+N100P(1:1)			C-410P+N100P(2:1)			C-410P+A338(2:1)		
(%)	CST(sec)	TTF(sec)	SRF(m/kg)	CST(sec)	TTF(sec)	SRF(m/kg)	CST(sec)	TTF(sec)	SRF(m/kg)	CST(sec)	TTF(sec)	SRF(m/kg)
0.2	27.8	31.1	6.8E+12	39.8	58.8	1.3E+13	36.8	53.2	1.2E+13	59.4	85.7	2.0E+13
0.4	16.3	13.0	2.6E+12	15.4	19.2	4.1E+12	17.6	48.3	9.0E+12	12.3	23.8	4.9E+12
0.6	33.3	356	1.2E+14	15.1	12.9	2.4E+12	16.1	14.6	2.8E+12	15.1	14.2	3.2E+12
0.8	54.0	845	1.9E+14	13.9	20.6	2.1E+12	15.5	17.4	3.3E+12	15.7	15.6	3.5E+12
1	79.6	1,112	2.7E+14	16.3	12.9	2.5E+12	16.9	18.6	3.6E+12	15.9	14.9	2.6E+12

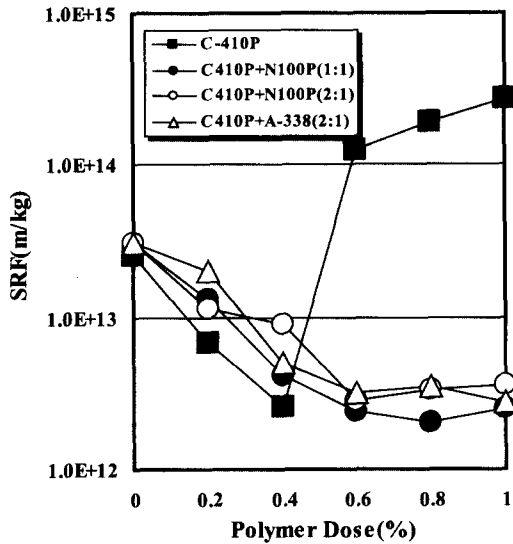


Fig. 17. Comparison of SRF.

호하게 되는 고분자 응집제의 주입률 범위가 0.4~1.0%로써 단일주입에 비해 매우 넓은 것으로 나타났다.

이와 같이 고분자 응집제를 단일 주입했을 때는 최적 주입률의 범위가 매우 좁아 고분자응집제가 조금이라도 과잉 주입되면, 슬러지의 탈수성이 급격히 악화되는 과잉주입현상이 나타나지만, 슬러지의 특성에 맞춰 서로 다른 이온계의 고분자 응집제들을 조합 주입하게 되면 최적 주입률의 범위가 넓어서 과잉 주입 현상이 나타나지 않는 것으로 보인다.

하지만, 서로 다른 이온계의 고분자 응집제를 조합 주입하기 위해서는 미리 시험을 거쳐서 행할 필요가 있을 것으로 판단된다. 즉, 슬러지의 표면특성에 따라 양이온계 고분자 응집제를 먼저 주입하고 나중에 음이온계 또는 비이온계 고분자 응집제를 주입하는 것이 좋은지, 또는 그 반대로 주입하는 것이 좋은지는 슬러지의 특성(슬러지 입자의 표면 전하, 농도, pH 등 ...)에 따라 달라질 것이므로 미리 시험을 통하여 그 주입 순서, 조합 주입 비율 등이 결정되어야 할 것이다. 본 연구에서 사용한 정수 슬러지는 입자의 표면 전하가 음으로 하전되어 있었기 때문에 양이온을 먼저 주입하고, 나중에 음이온 또는 비이온을 주입한 것이 효과적이었던 것으로 보이며, 또한 표면 전하의 크기에 따라서 양호한 탈수성을 보이는 조합

비율도 달라질 것으로 판단된다.

4. 결 론

정수 슬러지의 탈수성을 개선할 목적으로 고분자 응집제의 최적 주입방법을 결정하기 위해 양이온계, 음이온계, 비이온계 고분자 응집제를 단일 주입, 조합 주입하여 탈수성 지표들과 슬러지의 특성들을 측정 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 정수처리장에서 발생하는 정수 슬러지의 처리를 위해서는 일반적으로 음이온계 고분자 응집제를 사용하는 것으로 알려져 있지만, 본 연구에서 사용한 정수 슬러지의 제타전위는 $-3mV \sim -6mV$ 로써 음으로 하전되어 있었기 때문에 고분자 응집제를 단일 주입하는 경우에는 양이온계 고분자 응집제가 비교적 더 적합한 것으로 나타났으며, 최적 주입량 이상으로 주입될 때는 음이온계, 양이온계, 비이온계 고분자 응집제 모두에서 과잉주입현상이 나타났다.

2. 서로 다른 이온계의 고분자 응집제를 조합 주입했을 때는 양이온과 비이온의 1:1 조합주입, 양이온과 비이온의 2:1 조합 주입, 양이온과 음이온의 2:1 조합주입에서 양호한 탈수성이 얻어졌으며, 과잉주입 현상도 거의 나타나지 않았다. 이 사실로부터 판단하여 볼 때 양이온계 고분자 응집제가 먼저 주입되고, 또한 그 주입비율이 높을 때 탈수성이 향상되며, 과잉주입현상도 발생되지 않는 것으로 나타났다.

3. 슬러지 입자의 표면전하가 거의 중화되었을 때와 슬러지 여액의 점도가 낮을 때 양호한 탈수성이 얻어짐으로써 슬러지 여액의 점도 및 제타전위 측정 값이 탈수성의 지표로써 이용될 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Abu-Orf and Dentel, S.K. (1997) Polymer dose assessment using the streaming current detector. *Water Environ. Sci.*, **69**, pp. 1075-1085.
- Chitkela, S., Dentel, S. (1998) Dual chemical conditioning and dewatering of anaerobically digested biosolids: laboratory evaluations. *Water Environ. Res.*, **70**, pp. 1062-1069.
- Csempesz F., Nagy M. and Rohrsetzer S. (1998)

- Characterization and features of competitive polymer adsorption on colloidal dispersions. *Colloids Surfaces*, **141**, pp. 419-424.
- D.A. Mortimer, *Polymer. Int.*, 25 (1991) 29.
- Evans B. and Filman D. (1988) Solid handling costs at large sewage treatment plants. *Proc. 1988 Joint CSCE ASCE National Conf. on Environmental Engineering*, pp. 590-598.
- Langer S., Klute R. and Hahn H. H. (1994) Mechanisms of formation in sludge conditioning with polymers. *Wat. Sci. Tech.*, **30**, pp. 129-138.
- Lurie M. and Rebhum M. (1997) Effect of properties of polyelectrolytes on their interaction with particulates and soluble organics. *Wat. Sci. Tech.*, **36**, pp. 93-101.
- Ray, D.T., Hogg, R. (1987) Agglomerate breakage in polymer-flocculated suspensions. *J. Colloid Interface Sci.*, **116**, pp. 256-268.
- Somasundaran P. and Yu. X. (1994) Flocculation/dispersion of suspensions by controlling adsorption and conformation of polymers and surfactants. *Adv. Colloid Interface Sci.*, **53**, pp. 33-49.
- United States Environmental Protection Agency (1987) Design Manual, Dewatering Municipal Wastewater Sludges. U.S. EPA CERL/ORD, EPA 625/1-87-0140, Cincinnati.
- Vesilind P. A. (1979) Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, 2nd ed. Ann Arbor Science Publishers Inc, Michigan.
- Yu X. and Somasundaran P. (1993) Enhanced flocculation with double flocculants. *Colloids Surfaces*, **81**, pp. 17-23.
- Yu X. and Somasundaran P. (1996) Role of polymer conformation in interparticle-bridging dominated flocculation. *J. Colloid Interface Sci.*, **177**, pp. 283-287.
- 문용택, 류제라(2001) 정수장 슬러지의 폴리머 개량에 의한 탈수 특성. *상하수도학회지*, **15**(1), pp. 28-33.
- 정유근, 박진호, 한무영, 이성기 (2001) 부상분리를 이용한 정수장 침전지슬러지의 처리. *한국물환경학회 대한상하수도학회 공동춘계학술발표회논문집*, pp. 337-340.