

응집제를 이용한 양돈폐수의 침강성 및 슬러지의 탈수성 증대

Enhancement of Dewatering and Settling Characteristics for Swine Wastewater Using Coagulants

강 선 홍 · 민 경 석

Seon-Hong Kang · Koung-Suk Min

광운대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

Abstract

Laboratory experiments using metal coagulants[alum, PAC(Poly Aluminum Chloride)] and polymer were conducted in this study to enhance dewatering and settling characteristics for swine wastewater. In this study, application of mixture of metal coagulants and polymer improved settling and dewatering characteristics for swine wastewater compared to using only metal coagulants. Also sludge volume was decreased when the mixture was applied. About 80-90% of settling velocity was increased and thickening ratio was increased as much as two times when adding 100mg/L of cationic polymers. Polymer was excellent for enhancing dewatering property among coagulants.

Keywords : Polymer, swine wastewater, dewatering, settling, sludge

본 연구에서는 무기응집제와 고분자응집제를 사용하여 응집된 양돈폐수 시료의 침강성 및 발생하는 슬러지의 탈수성에 대하여 연구하였다. 무기응집제 단독으로 적용시보다는 무기응집제와 양이온고분자응집제를 혼합적용한 경우 침강속도가 80%-90% 이상 향상되었고, 발생하는 슬러지의 양도 감소하여 농축비 또한 2-3배 정도 증가하였다. 슬러지의 탈수성 측정에서 양이온 고분자응집제를 적용할 경우와 혼합적용한 경우 무기응집제만 적용한 경우보다 탈수성에도 좋은 결과를 나타내었으며 최종 발생하는 슬러지의 양도 줄어드는 것으로 나타났다.

1. 서 론

축산 폐수의 발생량은 2000년 폐수 발생량의 1%에 불과하나 유기물 부하량은 8.0%로 높을 뿐 아니라 고농도의 질소와 인이 완벽한 처리가 이루어지지 않은 상태로 자연계에 노출될 경우 호소의 부영양화를 초래할 뿐만 아니라 지하수 오염등을 유발하여 심각한 농촌 환경 문제로 대두되고 있다. 국내 축산농가의 경우 대부분이 영세한 중소규모이며, 폐수처리시설이 설치되어 있지 않거나 운전 미숙 등으로 제대로 처리되지 못하고 있는 곳이 대부분이다.

축산폐수의 정화처리방법으로는 생물학적처리 방법인 혐기성 및 호기성 처리법 등에 의하여 주

로 처리되어 왔다. 생물학적 처리에 있어서도 축산폐수에 함유된 유기물질의 농도가 높기 때문에 다량의 희석수를 사용하고 있고 유입되는 농도가 일정하지 않은 경우가 대부분이기 때문에 생물학적 처리에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다²⁾. 특히 양돈폐수의 경우 다른 축산폐수에 비하여 배출되는 분의 수분함량이 높고, 축산의 형태에 따라서 분과 뇨의 분리가 잘 이루어지지 않아서 배출되는 폐수내의 고형물의 농도가 높게 나타난다. 양돈폐수의 생물학적 처리를 원활히 하기 위하여 고액분리를 실시하고 있는데, 주로 스크린, 벨트 프레스, 진공여과기와 같은 기계적인 탈수 방법을 많이 사용하고 있다. 그러나 주 오염원인 미세입자들의 제거에 효율성이 적은 것으로 나타나고 있다.

Higgins and Novak³⁾은 양이온 금속이온이 활성슬러지의 침강성 및 탈수특성을 향상시킨다고 보고하였고, 김승현 등⁴⁾은 정수슬러지에 양이온 고분자응집제를 첨가하면 초기농축특성 및 탈수성을 최대로 증대시킬 수 있다고 보고하였다. 그 외에도 정수슬러지 및 활성슬러지의 침강성과 탈수성 증대를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다⁵⁾. 양돈폐수의 경우에는 응집제를 사용한 후에 스크린과 같은 기계적인 탈수 방법을 이용하여 고형물의 제거에 대한 연구⁶⁾는 많이 이루어지고 있지만 침강성 향상에 대한 연구와 발생하는 슬러지의 탈수성에 대한 연구는 활발히 이루어지지 않고 있다.

양돈폐수의 응집을 위하여 많은 응집제들을 사용하여 실험을 실시하였는데 이중 침강 및 탈수특성을 향상시키기 위하여 고분자응집제를 많이 사용하고 있다. 고분자응집제의 가장 중요한 특성은 이온과 분자량으로 고분자응집제가 갖고 있는 이온에 따라서 양이온, 음이온 및 비이온 고분자응집제로 나눌 수 있다. 고분자응집제를 구성하는 모노머(monomer)에 따라서도 여러 종류로 나눌 수 있는데 이중 아크릴아미드계(acrylamide)의 양이온 고분자응집제가 양돈폐수의 응집 및 탈수에 좋은 결과를 나타냈다⁸⁾.

본 연구에서는 양돈폐수의 응집된 시료의 침강성 및 발생하는 슬러지의 탈수성을 향상시키는데 있어서 아크릴아미드계열의 양이온 고분자응집제의 영향에 대하여 실험을 하였다. 비교대상으로 무기응집제중 PAC(Poly Aluminum Chloride)을

사용하였고, 또한 무기응집제와 고분자응집제를 혼합적용하여 실험을 하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에서는 동두천의 축사에서 채취한 돈분을 수돗물에 일정 TS농도로 희석한 후에 협잡물을 제거하기 위하여 No. 20 체(직경 1mm)를 통과시킨 후 TS 1%로 제조하여 시료로 사용하였고 시료의 성상은 Table 1에 나타내었다. TS(Total Solids), SS(Suspended Solids), VS(Volatile Solids), CODcr 및 alkalinity는 Standard Method⁹⁾에 준하여 분석하였다.

Table 1. Characteristics of diluted swine wastewater

항 목	농 도
pH	6.68
TS	12,280 [mg/L]
SS	8,480 [mg/L]
VS	8,515 [mg/L]
COD	18,871 [mg/L]
Alkalinity	1,252 [mg/L]

본 실험에서는 일반적으로 폐수처리현장에서 많이 사용하는 alum($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), PAC (Poly Aluminum Chloride, Al_2O_3 10%)와 H사에서 시판중인 polyacrylamide(PAM) 계열의 양이온 고분자응집제를 사용하였다. 무기응집제는 10%농도로, 고분자응집제는 0.5%로 제조하여 사용하였다.

응집처리된 시료의 침강성의 측정에는 zone settling rate 법을 많이 이용하지만, 본 실험에서는 응집 처리된 시료의 농도가 고농도이고 응집된 시료의 형태가 슬러지의 형태를 나타내기 때문에 슬러지의 침전성을 나타내는 지표로서 이용하는 DSVI(diluted sludge volume index)와 SSVI(stirred sludge volume index)중 침전성을 평가하는데 SSVI법을 이용하여 실험을 하였다(Fig. 1). 실험방법은 1L 메스 실린더에 응집 처리된 시료를 첨가한 후 4rpm의 저속 모터를 사용하여 교반시키면서 고형물들의 침전성을 동적으로 분석하기 위하여 시간에 따른 계면높이(interface height)와 발생하는 최종 슬러지의 양을 측정하였다.

슬러지의 탈수성은 액체상으로부터 고체 입자가 여과되는 현상에 대한 이론식으로부터 유도된 비저항 값(Specific Resistance)으로써 표현될 수 있다¹⁰⁾. 비저항값은 슬러지의 여과성을 측정하는 지표이며 단위질량의 케이크(cake)를 통한 단위 점도의 단위 여액흐름속도를 얻을 수 있는 압력차와 수치적으로 같은 값을 말하며 비저항계수와 탈수성은 반비례한다. 따라서 비저항 계수는 종류가 다른 슬러지의 여과특성을 비교하고 특정 슬러지

의 최적용집제량을 결정하는 데 유용하다. 슬러지의 탈수특성을 정량적으로 나타내는 방법인 비저항계수를 구하기 위하여 Fig. 2와 같은 buchner funnel 장치를 이용하였다. 용집제를 사용하여 침전된 슬러지 200ml을 취하여 직경 9cm크기의 buchner funnel에 주입한 후에 40mmHg로 감압하여 진공탈수를 하였다. 이때 여지는 Whatman No. 2여지를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 침강실험

본 연구에서는 PAC를 단독으로 적용하였을 경우의 침전성과 무기용집제와 고분자용집제를 혼합 적용하여 용집처리된 시료의 침전성을 동적으로 분석하기 위하여 계면의 높이(interface height)를 측정하였다. Fig. 3은 TS 1%인 시료에 PAC를 250, 500, 800, 1,000, 1,500mg/L 적용한 침강곡선을 나타내고 있다. 침강실험 초기 일정시간동안의 침강속도를 선형회귀로부터 각각 구했는데 무기용집제인 PAC 주입량이 250mg/L을 적용한 경우 초기 침강속도는 0.36m/hr이고 주입량이 증가하면서 침강속도가 점차적으로 증가하였고, 1,500mg/hr를 적용시에 0.53m/hr를 나타냈다. 그러나 무기용집제인 PAC의 주입으로 인한 침강속도의 향상은 미약하게 증가하지만 급속한 증가는 이루어지지 않았다. 또한 최종 발생하는 슬러지의 양이 증가하는 경향을 나타냈다.

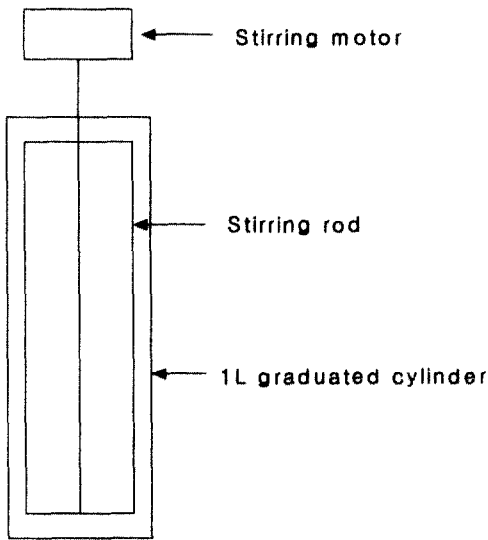


Fig. 1. Description of stirred sludge volume index(SSVI) device

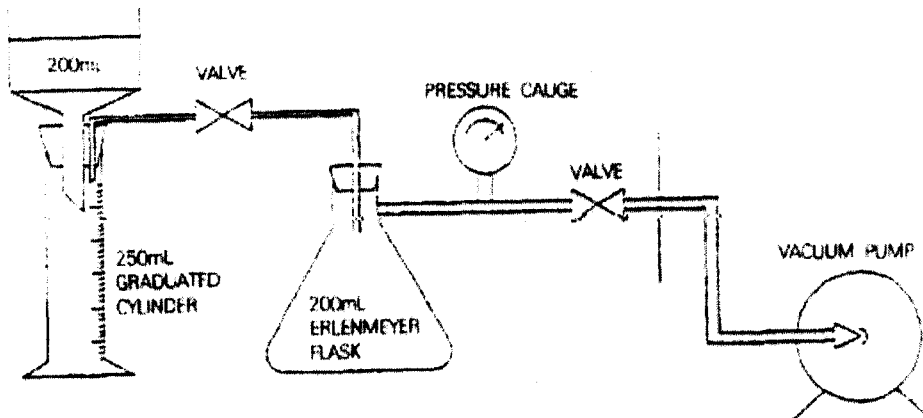


Fig. 2. Description of buchner funnel

양이온 고분자응집제의 영향을 알아보기 위하여 무기응집제와 양이온 고분자응집제를 혼합적용하여 실험을 실시하였다. Fig. 4는 alum 500mg/L과 양이온 고분자응집제를 5, 10, 25, 50, 100mg/L씩 혼합적용한 시료의 침강곡선이고, Fig. 5는 PAC 200mg/L과 양이온 고분자응집제 5, 10, 25, 50, 100mg/L를 혼합적용한 시료의 침강곡선이다. Alum 500mg/L 적용시에 초기침강속도는 0.57m/hr였고 고분자응집제를 5-10mg/L를 주입 시에는 초기침강속도가 완만히 증가하나 50mg/L 이상 주입량이 증가하면서 초기침강속도가 급속히 증가하였다(Table 2). PAC와 양이온 고분자응

집제를 혼합적용한 경우에도 비슷한 결과를 나타냈지만 alum의 경우보다 초기침강속도가 조금씩 적은 것으로 나타났다.

무기응집제와 양이온 고분자응집제를 혼합 적용한 결과, 무기응집제만 단독으로 적용했을 경우보다 침강속도가 월등히 증가하는 것으로 나타났다. 또한 발생하는 슬러지의 양이 고분자응집제의 증가에 따라서 감소하는 경향을 보였는데, 이는 무기응집제에 의하여 작고 미세한 floc이 발생하게 되고, 고분자응집제의 주입에 의하여 가교작용에 의하여 미세 floc들이 거대한 floc를 형성하기 때문에 침강성이 향상되고, 슬러지의 부피가 줄어드

Table 2. Settling velocity after addition of coagulant

PAC		Alum+cation polymer		PAC+cation polymer	
Dosage [mg/L]	Settling velocity [m/hr]	Polymer dosage [mg/L]	Settling velocity [m/hr]	Polymer dosage [mg/L]	Settling velocity [m/hr]
		0	0.57	0	0.35
250	0.36	5	0.58	5	0.51
500	0.40	10	0.64	10	0.61
800	0.48	25	0.84	25	0.67
1000	0.57	50	0.85	50	0.76
1500	0.53	100	0.95	100	0.91

* Alum dosage : 500mg/L, PAC dosage : 200mg/L

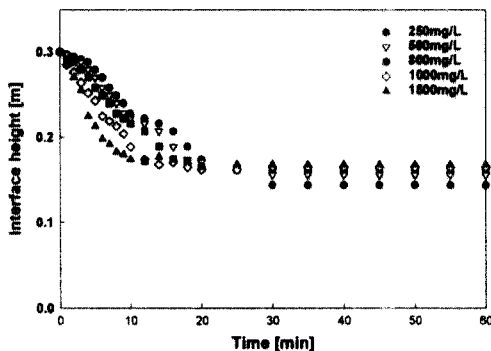


Fig. 3. Settling curves characteristics when PAC added

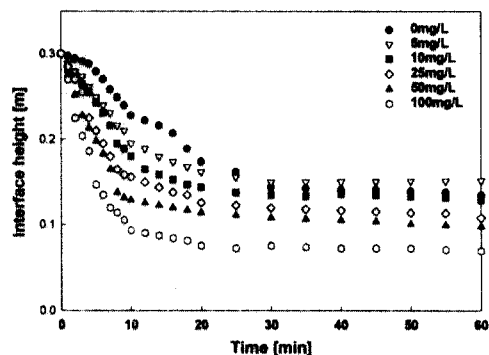


Fig. 4. Settling curves characteristics when mixture of alum and cationic polymer added (Alum dosage : 500mg/L, room temp.)

는 것으로 판단된다. 양이온 고분자응집제만 적용한 경우에는 특정한 계면의 형성이 이루어지지 않아서 계면의 높이를 파악할 수가 없었다.

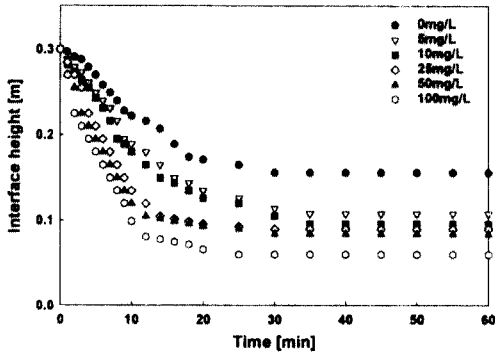


Fig. 5. Settling curves characteristics when mixture of PAC and cationic polymer added (PAC dosage : 200mg/L, room temp.)

1시간 이후에는 슬러지의 계면높이에 큰 변화가 없었으며, 이러한 구간을 compression region이라 한다. 최영균 등¹¹⁾은 초기 슬러지의 계면높이와 1시간의 침전기간 후 슬러지의 계면높이의 비율 "thickening ratio"라 정의하였으며, 이는 침전 후 슬러지의 부피감소를 판단하는 척도로 활용할 수 있을 것으로 보고하였다. Table 3에 제시한 것과

같이 PAC 첨가량이 증가하면서 농축비가 줄어드는 것으로 나타났고, alum과 PAC를 양이온 고분자응집제와 각각 혼합 적용한 경우 농축비가 2배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 응집제의 응집특성과 발생하는 슬러지의 양에 따라서 달라지는 것으로 볼 수 있다. 고농도의 폐수의 경우 무기응집제만 적용할 경우에는 농축특성의 향상을 기대하기는 어려울 것으로 판단되고, 고분자응집제의 첨가에 의한 가교작용에 의하여 농축특성이 향상되는 것으로 판단된다.

3.2 탈수성실험

양이온 고분자응집제와 PAC를 단독 적용한 슬러지의 탈수성에 관한 측정결과를 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 또한 alum 500mg/L과 PAC 200mg/L를 양이온 고분자응집제와 각각 혼합 적용하여 처리한 슬러지의 탈수성에 대하여 측정한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 양이온 고분자응집제만을 25, 50, 100, 300, 500mg/L로 증가시키면서 적용한 결과 비저항은 각각 7.2×10^{13} 에서 0.12×10^{13} m/kg으로 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6). PAC만을 250, 500, 750, 1000, 1500mg/L로 증가시키면서 적용한 경우에는 비저항계수값은 약 12×10^{13} 에서 10^{13} m/kg으로 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 7). 이는 PAC를 사용할 경우 양이온 고분자응집제와 비교하여 상당히 탈수성이 떨어

Table 3. Thickening ratio after addition of coagulant

PAC		Alum+cation polymer		PAC+cation polymer	
Dosage [mg/L]	Thickening ratio	Polymer dosage [mg/L]	Thickening ratio	Polymer dosage [mg/L]	Thickening ratio
		0	2.73	0	2.22
250	2.08	5	2.78	5	1.98
500	1.92	10	3.13	10	2.33
800	1.85	25	3.33	25	2.78
1000	1.82	50	3.57	50	3.08
1500	1.79	100	5.00	100	4.35

* Alum dosage : 500mg/L, PAC dosage : 200mg/L

진다고 설명할 수 있다. Fig. 6 - Fig. 8을 비교하면 alum 500mg/L과 PAC 200mg/L를 양이온 고분자응집제와 각각 혼합 적용하여 처리한 슬러지의 초기 비저항계수의 감소율(Fig. 8)이 가장 크고 따라서 탈수성이 가장 양호한 것을 알 수 있다. 즉, 초기 비저항계수의 감소율(기울기)은 무기응집제와 양이온 고분자응집제의 혼합적용 > 양이온 고분자응집제의 단독적용 > PAC의 단독적용의 순으로 나타났다.

입자의 크기가 0.01-1mm일 때 슬러지 내에서 물의 여과흐름을 방해하여 탈수속도에 대한 비저항을 증가시켜 탈수성을 나쁘게 한다고 보고되었고¹²⁾, 유명진 등¹³⁾은 큰 입자와 작은 입자의 비가 크면 작은 입자가 큰 입자사이에 끼어 공극율이 작아져 비저항에 영향을 준다고 하였고 따라서 입자의 크기와 함께 분포도 함께 고려해야 한다고 보고하였다. 무기응집제에 의한 응집특성상 고농도의 미세한 입자들을 많이 함유한 시료의 경우 입자들의 표면적이 크기 때문에 필요한 무기응집제의 양이 증가하면서도 거대한 floc의 형성이 어렵고 미세한 입자들이 많이 남아 있어 공극들을 막아 버리는 현상을 초래하므로 슬러지의 탈수성이 증대되지 않는 것으로 판단된다.

PAC를 단독 적용한 경우와 무기응집제와 고분자응집제를 혼합적용한 결과를 비교하였을 때 혼합적용한 경우가 초기 비저항계수의 감소율이 더 큰 것으로 나타났다. PAC 1000mg/L를 단독으로 적용하였을 때 비저항계수값이 2.1×10^{13} m/kg 였고 혼합적용의 경우 alum과 혼합시에는 양이온 고분자응집제 25mg/L, PAC와 혼합시에는 양이온 고분자응집제 50mg/L를 첨가시에 비슷한 비저항계수 값을 나타냈다. 따라서 소량의 양이온 고분자응집제를 첨가하는 것이 무기응집제를 단독으로 적용하는 것보다 효율적이고 또한 경제적인 것으로 판단된다. 무기응집제와 고분자응집제를 혼합적용할 경우 무기응집제에 의하여 미세한 floc이 형성되고 고분자응집제에 의한 가교작용으로 인하여 거대한 floc이 형성되고 미처 응집되지 못한 미세한 콜로이드성 입자들도 같이 응집되므로 슬러지의 탈수성이 증대되는 것으로 판단된다. 즉 고농도의 시료의 경우 무기응집제를 단독으로 적용하는 것보다는 침강성 및 탈수특성의 향상을 위해서는 양이온 고분자응집제를 첨가할 경우 보다 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

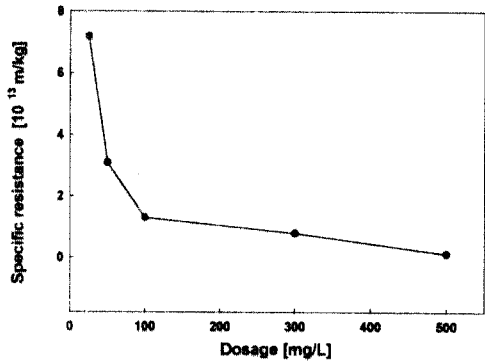


Fig. 6. Specific resistance when cationic polymer added

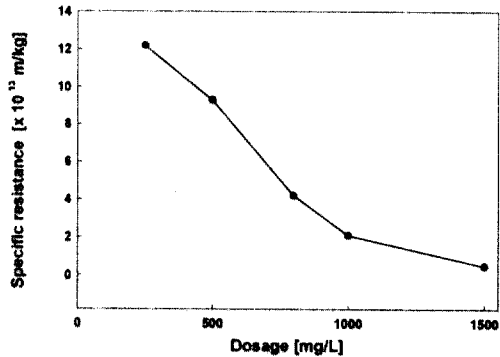


Fig. 7. Specific resistance when PAC added

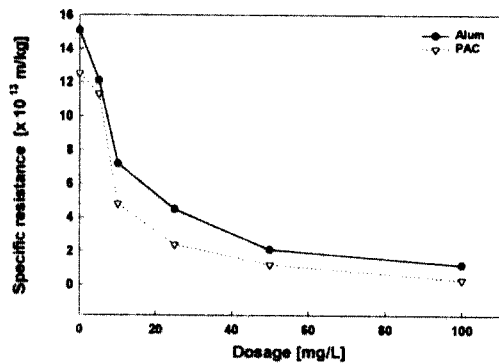


Fig. 8. Specific resistance when mixture of inorganic coagulants and cationic polymer added (Alum : 500mg/L, PAC : 200mg/L)

4. 결 론

양돈폐수에 무기응집제 및 양이온 고분자응집제를 적용하여 침강 및 탈수특성의 향상에 대한 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 무기응집제의 단독 적용시에는 발생하는 슬러지의 양이 증가함에 따라서 농축비가 감소하는 경향을 나타냈다. 무기응집제 단독 적용시보다는 양이온 고분자응집제와 혼합적용시, 발생하는 슬러지의 양이 점차적으로 줄어들어 농축비는 2-3 배정도 향상되는 것으로 나타났고, 초기침강속도는 양이온 고분자응집제를 100mg/L 적용하였을 때 80-90% 정도 향상되는 것으로 나타났다. 고분자응집제만 단독으로 적용시에는 계면이 형성되지 않아서 침강향상은 관찰할 수 없었으나 발생하는 슬러지의 양은 감소하는 것으로 나타났다.

2) 초기 비저항계수의 감소율(기울기)은 무기응집제와 양이온 고분자응집제의 혼합적용 > 양이온 고분자응집제의 단독적용 > PAC의 단독적용의 순으로 나타났다. 따라서 무기응집제와 양이온 고분자응집제를 혼합적용하여 처리하는 것이 무기응집제와 양이온 고분자응집제를 단독으로 적용하는 것보다 탈수성이 가장 양호한 것으로 나타났다.

3) 침강특성과 탈수특성을 고려하여 볼 때 무기응집제나 양이온 고분자응집제를 단독으로 적용하는 것보다는 양이온 고분자응집제와 무기응집제를 혼합하여 처리하는 경우 침강특성 및 탈수특성이 전반적으로 향상되는 것으로 나타났고 이는 응집특성에 의한 것으로 판단된다. 특히 양돈폐수와 같은 고농도의 시료의 경우에 양이온 고분자응집제가 큰 효과를 발휘하는 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 환경부, 환경백서 (2000).
- 2) 박완철, "축산폐수의 합리적인 처리방안 및 처리기술 현황", Livestock Wastewater Symposium, Feb. 23 (2001).
- 3) Higgins, M. J and Novak, J. T, "Dewatering and settling of activated sludges: The case for using cation analysis" Water Environment Research, Vol. 69, No. 2 (1997).
- 4) 김승현, 문성용, "정수장 슬러지의 농축 및 탈수특성 향상에 관한 연구" 대한환경공학회, Vol. 19, No. 5, pp 643-650 (1997).
- 5) 서정원, 송태준, 박진원, 이태희, 이승무, "고분자응집제 첨가에 따른 슬러지의 탈수성 및 점도 특성" 대한환경공학회, Vol. 18, No. 12, pp 1690-1618, (1996).
- 6) Vanotti, M. B., Hunt, P. G., "Solids and nutrient removal from flushed swine manure using polyacrylamides", Transactions of the ASAE, Vol. 42, No. 6, pp 1833-1840 (1999).
- 7) Sievers, D. M., Jenner, M. W., Hanna, M., "Treatment of dilute manure wastewater by chemical coagulation" Transactions of the ASAE, Vol. 37, No. 2, pp 597-601 (1994).
- 8) Zhang, R. H., Lei, F., "Chemical treatment of animal manure for solid-liquid separation", Transactions of the ASAE, Vol. 41, No. 4, pp 1103-1108 (1998).
- 9) APHA(American Public Health Association), Standard methods for the Examination of water and Wastewater, 19th edition, APHA (1995).
- 10) Coackley, P., "Vacuum sludge filtration I. Interpretation of results by the concept of specific resistance", Sewage and Industrial Wastewater, Vol 28, No 8, pp 963-976 (1956).
- 11) 최영균, 정태학 "생물학적 고형물의 침전성에 대한 부식토양의 물리, 화학적 효과 분석" 한국물환경학회지, Vol. 17, No. 1, pp 109-117 (2001).
- 12) Karr, R. P. "Influence of particle size on sludge dewaterability", Jour. Water Poll. Control Fed., Vol. 50, No. 8, pp 1911-1930 (1978).
- 13) 유명진, 명규남, "휘발성 고형분 함량과 입자분포의 변화가 상수슬러지의 탈수특성에 미치는 영향", 대한환경공학회지, Vol. 19, No. 2, pp 255-267, (1997).