



응집침전 및 부상분리에 의한 돈사폐수의 고액분리에 관한 연구

김종오, 정성욱*

경상대학교 건설공학부(도시)/환경지역발전연구소, 경상대학교 대학원 환경보건학과/경남보건환경연구원*
(2004년 5월 15일 접수, 2004년 6월 3일 채택)

A Study on Solid-liquid Separation of Swine Wastewater Using Coagulation and Dissolved Air Flotation

Jong-Oh Kim, Seong-Uk Jeong*

Division of Construction Eng./EDRI, Gyeongsang National Univ.
Dept. of Environment Protection, Gyeongsang National Univ./Gyeongsangnam Institute of Health and Environment*

ABSTRACT

In this study, the solid-liquid separation characteristics of swine wastewater were investigated for the coagulation and dissolved air flotation (DAF). Coagulation characteristics were studied using jar-tester with the different coagulants and dosage amounts. DAF characteristics were also investigated in terms of the different flotation conditions with the raw swine wastewater, pH adjustment only, and adding coagulants.

When the raw swine wastewater was coagulated with the only inorganic coagulants, the proper inorganic coagulants were founded as $\text{FeCl}_3 > \text{PAC} > \text{Alum}$ orderly, and the optimal coagulant dosages were founded as $1,000\text{mg}/\ell$, $1,500\text{mg}/\ell$, and $1,500\text{mg}/\ell$, respectively. As the raw swine wastewater was treated with the polymer coagulants, the only cationic polymer coagulant showed an effective coagulation and the optimal dosage of cationic coagulant was founded as $200\text{mg}/\ell$. When the different dosages of cationic polymer was added to each $500\text{mg}/\ell$ of the inorganic coagulants, the proper inorganic coagulants were founded as $\text{FeCl}_3 > \text{Alum} > \text{PAC}$ orderly, and optimal cationic polymer dosages was founded as $25\text{mg}/\ell$, $25\text{mg}/\ell$, and $100\text{mg}/\ell$, respectively.

Resulting from the raw swine wastewater experiments using DAF without coagulation, the proper operation conditions of DAF were set to 400% of recycling ratio, 4 atm in air dissolving tank, and under pH 3. But the raw swine wastewater was difficult to successfully operate DAF without pre-coagulation. While the DAF separation after pre-coagulation using inorganic coagulants was not accomplished due to the low intensity of the floc, DAF after pre-coagulation using both the inorganic and cationic polymer coagulants was accomplished very well. Optimal dosage of cationic polymer coagulant in case of $500\text{mg}/\ell$ Alum dosage was founded as $50\text{mg}/\ell$.

Key Words : Swine wastewater, Coagulation, Flotation, Separation, DAF.

초 록

본 연구는 응집 및 부상분리를 이용하여 돈사폐수의 고액분리 특성을 조사하였다. 응집은 jar-tester를 이용하여 응집제 종류 및 주입량에 대해, DAF를 이용한 부상분리에서는 돈사폐수 원수 자체에 대한 부상 조건과 pH만을 조정할 원수, 그리고 응집제를 주입한 후 부상을 통한 고액분리 특성을 실험적으로 연구하였다. 돈사폐수를 무기응집제만으로 응집침전 처리하는 경우 $FeCl_3 > PAC > Alum$ 순으로 응집침전효과가 나타났으며, 적정 응집제 주입량은 각각 $1,000mg/l$, $1,500mg/l$, $1,500mg/l$ 으로 나타났다. 고분자응집제만으로 응집침전 처리하는 경우 양이온 응집제만이 유효한 응집침전 효과가 나타났으며 적정 응집제 주입량은 $200mg/l$ 로 나타났다. 무기응집제와 고분자응집제를 혼합 적용한 경우 각 무기응집제를 $500mg/l$ 투여한 후 양이온 고분자응집제 주입 농도를 달리하여 응집침전효과를 고찰한 결과 무기응집제의 처리효율은 $FeCl_3 > Alum > PAC$ 순으로 나타났으며, 적정 양이온 응집제 주입농도는 $25mg/l$, $25mg/l$, $100mg/l$ 로 나타났다. DAF를 이용한 부상분리 실험에서 응집처리를 하지 않은 원수와 pH만을 조정할 원수에서의 실험결과를 종합하여 순환비 400%, 압력 4 atm, pH 3이하에서 DAF의 적정 운전 조건이 나타남을 알 수 있었다. 그러나 응집처리를 하지 않은 돈사폐수 원수를 대상으로 DAF를 적정하게 운전하기는 곤란한 것으로 판단되었으며, 또한 무기응집제로만 응집처리한 후 부상분리를 실시하였을 경우 flocc의 강도가 약해 flocc의 깨짐 현상이 나타나 부상분리가 이루어지지 않았다. 한편 무기응집제와 고분자응집제를 혼합하여 응집처리한 후 부상분리를 실시하는 경우 효과적인 부상분리가 이루어졌으며, Alum $500mg/l$ 를 기준으로 양이온 고분자응집제 주입농도가 $50mg/l$ 에서 가장 양호한 처리 결과를 나타내었다.

핵심용어 : 돈사폐수, 응집, 부상, 고액분리, DAF

1. 서론

국내 축산폐수 발생량은 2000년을 기준으로 전체 폐수 발생량 중 0.7%에 불과하나 유기물 부하량은 7.9%로 나타나 상대적으로 비중이 높다.^{1,2)} 또한 고농도의 질소 및 인 성분에 의하여 완벽한 처리가 이루어지지 않은 상태로 자연계에 노출될 경우 호소의 부영양화를 초래할 뿐만 아니라 병원성 미생물에 의한 지하수 오염 등의 사회문제로 대두되고 있다.³⁾

이와 같은 축산폐수 처리가 사회 문제로 심각하게 대두됨에 따라 정부에서는 각별한 관심을 갖고 각종 대책을 추진하고 있으나, 축산농가의 영세성으로 환경오염 방지시설의 설치가 미흡하고 전문 지식의 부족으로 적정처리가 안된 상태로 자연계에 노출되고 있다. 더우기 축산폐수공공처리장의 경우에도 부적합한 처리공법의 도입과 운전미숙으로 완벽한 처리가 이루어지지 않은 상태로 자연계

에 방출되고 있는 실정이다.³⁾

축산폐수의 정화처리방법으로는 물리·화학적 처리방법과 생물학적 처리방법으로 구분되며, 현재까지 대부분의 축산분뇨 처리장에 적용된 공법은 혐기성 및 호기성 처리법들을 혼합한 형태의 생물학적 처리방법이 많이 이용되고 있다. 그러나 생물학적 처리에 있어서도 축산폐수에 함유된 유기물질의 농도가 설계 기준치 보다 높게 유입될 경우에는 다량의 희석수를 사용하고 있고 유입되는 농도가 일정하지 않은 경우가 대부분이기 때문에 생물학적 처리에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다.

분과 뇨 및 세척수가 혼합된 고농도 유기성의 슬러리 돈사폐수는 밀도와 점도가 높을 뿐만 아니라 입자상의 고형물로 인해 생물학적 공법 등을 동원하여 높은 처리효율로 유도하기 위해서는 전처리 공정에서 고액분리가 필수적으로 선행되어야 한다. 일반적으로 고액분리라 함은 폐수 내에 여러

형태로 존재하고 있는 고형물을 액체로부터 분리하는 것을 말한다. 축산폐수 내의 고체와 액체를 분리하기 위한 방법으로는 자연적 증발법인 건조상(drying bed)을 이용한 물리적인 방법과 기계적인 방법 등이 이용되고 있다. 자연적인 방법은 축산농가에서 실행하기가 곤란하며, 스크린, 진공여과, 벨트프레스, 스크류프레스, 스크류데칸터, 원심분리 등과 같은 기계적인 고액분리 방법을 많이 사용하는 데, 주 오염원인 미세입자들의 제거효율이 적은 것으로 나타나고 있다.^{5,6)}

따라서 본 연구에서는 양돈폐수내의 고형물의 함량을 줄이고 일정한 부하량을 유지하기 위한 전처리공정으로 응집침전 및 부상분리 공정을 활용하는 방안에 관한 기초연구를 수행하였다. 우선 응집제의 적정주입량을 산출하기 위하여 무기응집제 및 고분자응집제를 사용하여 양돈폐수내의 고형물의 응집특성에 관한 실험적 연구를 실시하고 미세기포를 생성시켜 가압부상 원리를 이용한 폐액 중의 고형물을 분리하는 연구를 수행하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에 사용한 시료는 경남 K시의 축산폐수 공공처리장으로 유입되어 협잡물종합처리장에서 1차로 고액분리되어 저수조로 유입되기 전의 시료를 채수하였다. 시료의 성상은 [Table 1]에 나타난 바와 같이 SS, COD, T-N, T-P 농도의 변동이 크게 나타남을 알 수 있다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 양돈폐수내 고형물을 응집·침전 및 응집·부상 처리하기 위하여 일반적으로 폐수

처리현장에서 많이 사용하는 무기응집제인 Alum(7%), FeCl₃(11%), PAC (7%)와 polyacrylamide (PAM) 계열의 양이온, 음이온, 비이온계열의 고분자응집제를 사용하여 응집제 및 주입량을 선정하기 위한 실험을 실시하였다.

2.2.1 응집실험

응집실험은 1 l의 비이커에 시료를 담고 적정량의 응집제를 주입한 후에 jar-tester를 사용하여 200rpm으로 2분 동안 급속교반, 50rpm으로 10분 동안 완속교반하고, 30분 동안 침전시킨 후 상등액을 채취하여 SS, COD, T-N, T-P 농도의 변화를 분석하였다.

2.2.2 부상실험

1) 부상실험장치

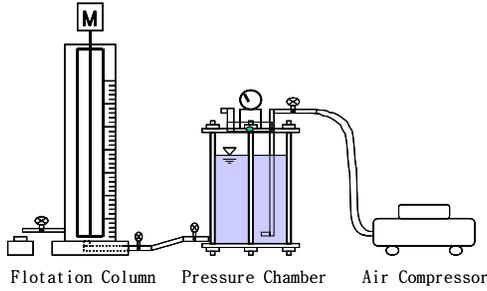
본 연구에 사용된 부상처리장치는 투명한 아크릴판과 알루미늄 등을 이용하여 최대 10 atm까지 견딜 수 있도록 견고하게 제작하였다. [Fig. 1]에 나타난 실험장치와 같이 가압조(pressure chamber)는 직경 10cm, 높이 27cm로 용량은 2.12 l로 제작하여, 가압조 상부에는 공기와 증류수가 주입될 수 있도록 밸브를 연결하였으며 압력 게이지를 부착하였다. 하부에는 가압된 증류수가 부상조(flotation column)로 주입될 수 있도록 10cm높이에 밸브를 설치하였다. 부상조는 직경 7cm, 높이 60cm로 약 2.3 l의 용량으로 제작하여 상부에는 개폐가 가능한 뚜껑을 설치하고 바닥 중심에는 가압수 주입구를 연결하였으며, 바닥에서 약 5cm 지점에 시료채취구가 설치되도록 하였다.

2) 부상실험

DAF시스템은 [Fig. 1]과 같이 크게 가압조와

[Table 1] Variation of Swine Wastewater Characteristics in K-city Treatment Plant

Chacteristics	Concentrations(mg/ l)
SS	926~5,469
COD _{Mn}	1,618~2,938
T-N	619~7,203
T-P	16~326



[Fig. 1] DAF (Dissolved Air Flotation) Experimental Equipment.

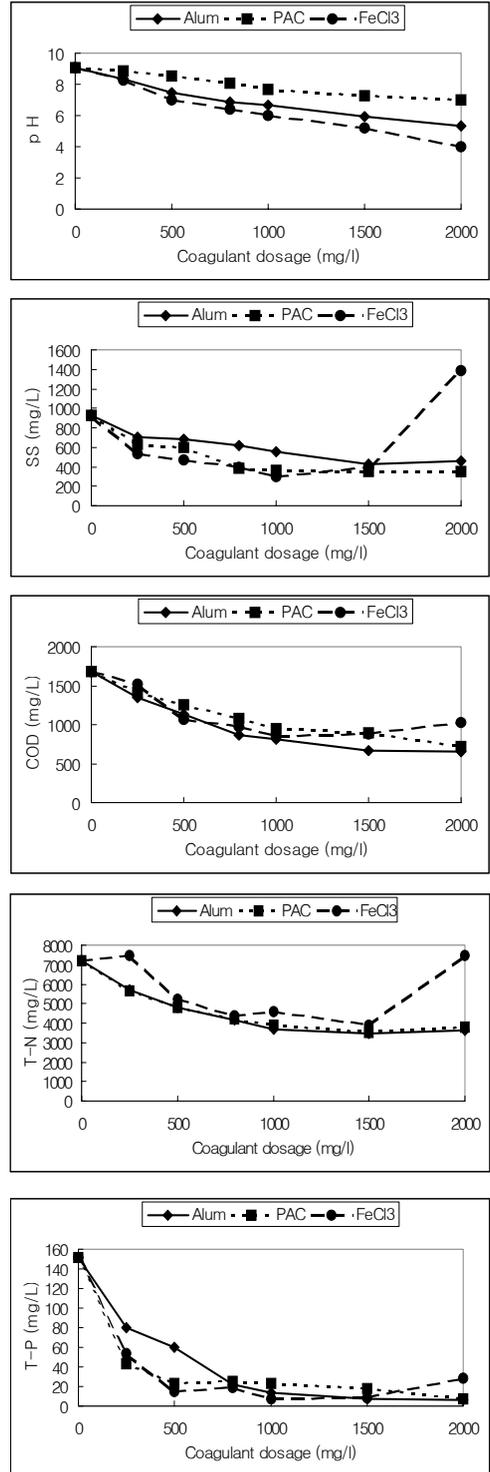
부상조로 나누어지며 가압조에는 증류수를 대략 3/4정도로 채운 뒤 regulator가 달린 compressor로 필요한 공기를 주입한다. 가압조의 게이지로 압력을 읽고 잘 포화될 수 있도록 가압조를 30초 이상 흔들고, 10분 동안 정치시켜 둔다. 부상조에는 부상과 응집공정을 함께 실험할 수 있도록 하기 위하여 교반기를 설치하였다. 부상조의 부피를 눈금으로 읽고 순환비를 계산한 뒤 가압수(가압된 증류수)의 일부를 주입한다. 부상이 끝나면 시료채취구에서 일정량의 시료를 채취한다. 이때 스크럼층(scum layer)이 파괴되지 않도록 조심하며, 모든 실험은 회분식으로 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 응집침전 결과

3.1.1 무기응집제 단독 응집침전

양돈폐수 고형물의 제거양상을 관찰하기 위하여 무기응집제인 Alum, FeCl₃, PAC의 주입량을 250, 500, 800, 1000, 1500mg/l로 증가하면서 응집침전시킨 후 상등액의 pH, SS, COD, T-N, T-P 농도의 변화를 [Fig. 2]에 나타내었다. FeCl₃ 경우 주입량이 1,000mg/l일 때 SS 68%, COD 50%, T-N 36%, T-P 95%의 제거율을 나타내고 있으며, PAC의 경우 주입량이 1,500mg/l일 때 SS 62%, COD 47%, T-N 51%, T-P 88%의 제거율을 나타내고 있다. 그리고 Alum의 경우 주입량이 1500mg/l일 때 SS 54%, COD



[Fig. 2] Removal characteristics by inorganic coagulation.

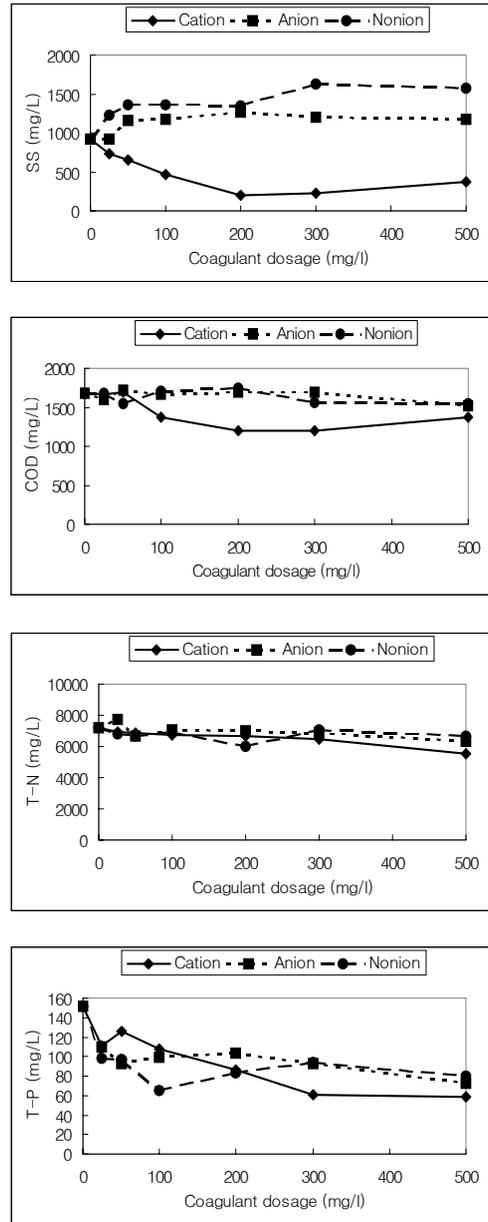
60%, T-N 52%, T-P 95%의 제거율을 나타내고 있다. 따라서 무기응집제에 대한 적정 주입농도는 FeCl₃, PAC, Alum순으로 각각 1,000mg/ℓ, 1,500mg/ℓ, 1,500mg/ℓ인 것으로 알 수 있다. 그러나 FeCl₃을 사용할 경우에는 유출수의 색도가 증가하거나 pH가 주입량에 비례하여 다른 응집제보다 많이 낮아지는 것으로 나타나, 이는 후속 공정으로 생물학적 처리방법을 적용한다는 측면에서 불리하게 작용할 것으로 판단된다.

3.1.2 고분자응집제 단독 응집침전

양이온, 음이온, 비이온 계열의 고분자응집제 투입량을 각각 25, 50, 100, 300, 500mg/ℓ로 달리하여 응집침전시킨 후 상등액의 SS, COD, T-N, T-P 농도의 변화를 [Fig. 3]에 나타내었다. 본 실험결과에 의하면 고분자응집제 중 양이온 고분자응집제 만이 제거효율이 나타나고 있는데, 양이온 고분자응집제의 경우 주입량이 200mg/ℓ일 때 SS 78%, COD 29%, T-N 7%, T-P 43%의 제거율을 나타내고 있다. 중성 또는 알카리성 폐수의 부유입자들은 일반적으로 음전하(negative charge)를 띄고 있다고 보고되고 있는데,^{7,8)} 고분자응집제들의 주된 응집특성은 가교작용이지만 양이온계열의 고분자응집제에 의하여 입자들 간의 전하가 중화되어 응집의 효과가 음이온, 비이온에 비하여 더 향상되는 것으로 판단되고 여러 문헌들의 결과와 비슷한 경향을 나타낸다.^{9,10)}

3.1.3 무기응집제와 고분자응집제를 혼합한 응집침전

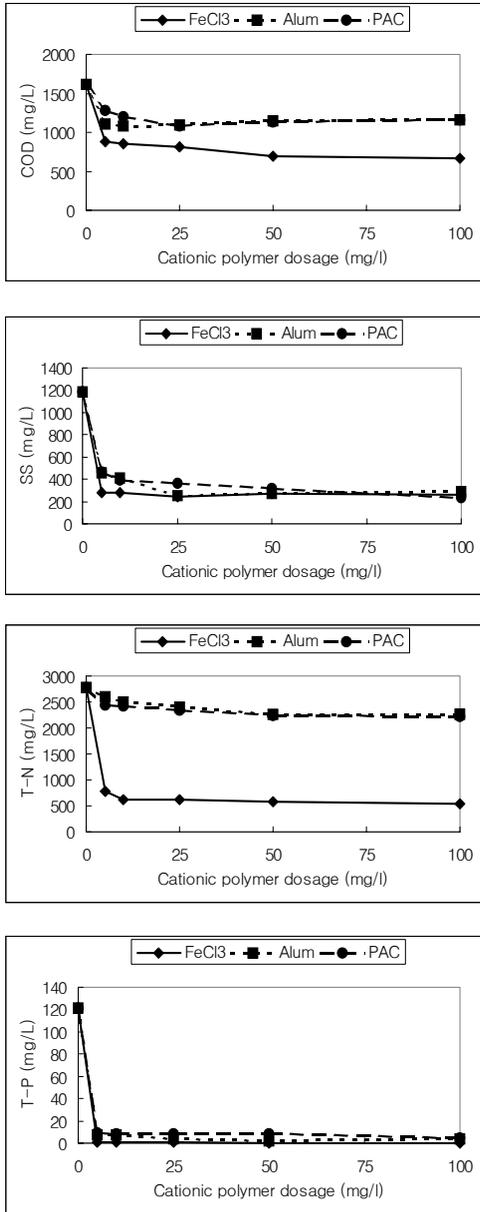
무기응집제와 양이온계열 고분자응집제를 혼합 적용하여 보다 적은 주입량으로도 더 좋은 효과를 얻을 수 있으리라는 판단에서 본 실험을 실시하였고, 실험결과를 [Fig. 4]에 나타내었다. 무기응집제 Alum, FeCl₃, PAC를 각각 500mg/ℓ 투여한 시료에 양이온 고분자응집제를 5, 10, 25, 50, 100 mg/ℓ로 달리하여 응집침전시킨 후 상등액의 SS, COD, T-N, T-P의 변화에 대하여 관찰하였다. FeCl₃ 경우 양이온 고분자응집제 주입량이 25mg/ℓ일 때 SS 79%, COD 50%, T-N 78%, T-P



[Fig. 3] Removal characteristics by polymer coagulation.

99%의 제거율을 나타내고 있으며, Alum의 경우 고분자응집제 주입량이 25mg/ℓ일 때 SS 79%, COD 32%, T-N 14%, T-P 97%의 제거율을 나타내고 있다. 그리고 PAC의 경우 고분자응집제 주입량이 100mg/ℓ일 때 SS 81%, COD 28%, T-N 20%, T-P 96%의 제거율을 나타내고 있다. 양이

은 고분자응집제의 양을 소량 주입하더라도 처리율이 향상되는 것은 무기응집제의 주입에 의하여 작고 미세한 floc이 생성되고, 고분자응집제의 주입에 의하여 가교작용에 의하여 미세 floc들이 거대한 floc를 형성하기 때문인 것으로 판단된다.



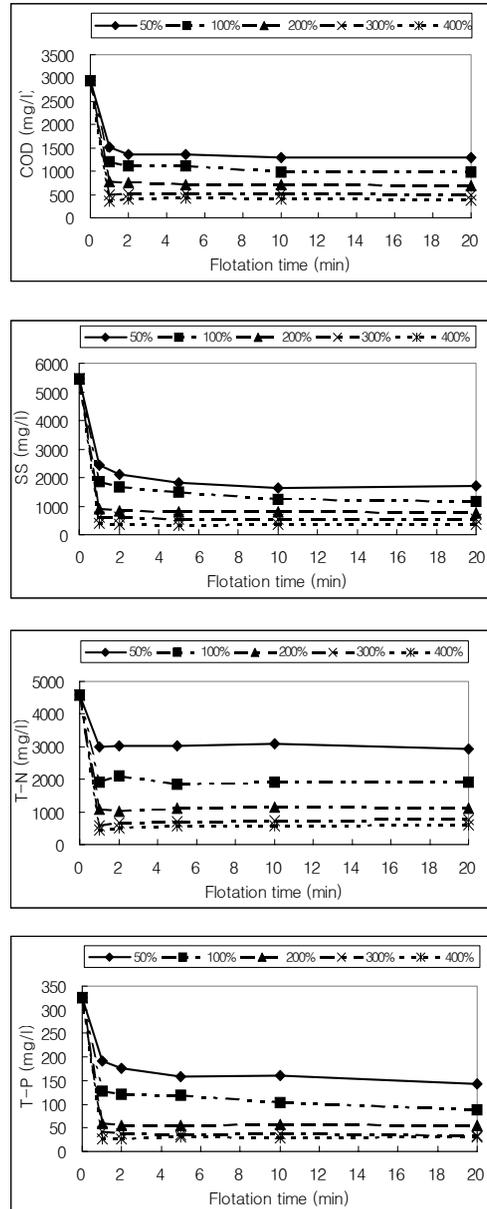
[Fig. 4] Removal characteristics by the cationic polymer coagulation after each 500mg/l dosing of inorganic coagulants.

3.2 부상분리 결과

3.2.1 돈사폐수 자체에 대한 부상분리

1) 순환비 변화에 따른 처리효율

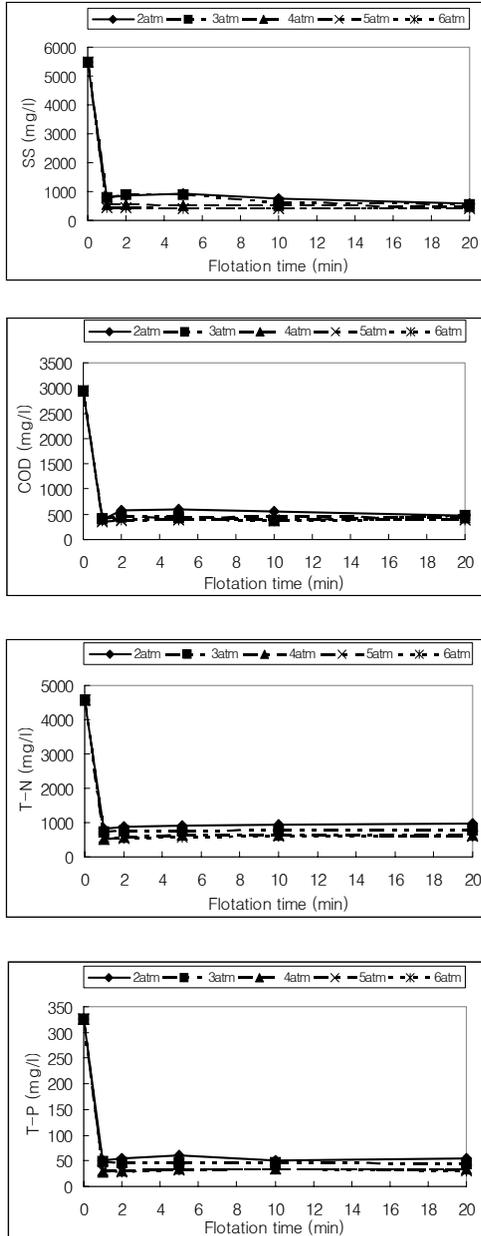
축산폐수처리장으로 유입되는 폐수를 DAF를 이용하여 부상처리할 때 필요한 순환비를 구하기 위



[Fig. 5] Removal characteristics by DAF treatment with recycling ratio variations.

하여 가압조의 압력을 4 atm로 하고 순환비를 50, 100, 200, 300, 400%로 하여 SS, COD, T-N, T-P의 처리효율을 살펴보았다. [Fig. 5]에 나타난 바와 같이 축산폐수는 고농도로써 낮은 순환비에서는 처리효율이 상당히 낮은 것으로 나타나 높은

순환비가 요구되며, 대체적으로 짧은 부상시간에도 높은 처리율이 가능한 것으로 나타나고 있다. 순환비가 400%, 부상시간이 10분일 때 SS 93%, COD 87%, T-N 88%, T-P 91%의 제거율을 나타내고 있다.



[Fig. 6] Removal characteristics by DAF treatment with applied pressure variations.

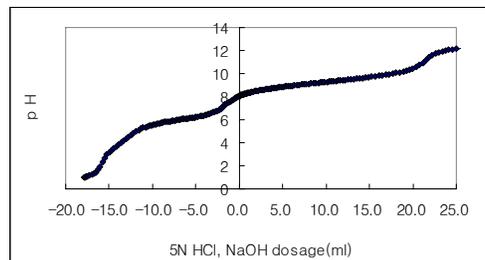
2) 가압비 변화에 따른 처리효율

축산폐수처리장으로 유입되는 폐수를 DAF를 이용하여 부상처리할 때 필요한 압력의 영향을 알아보기 위하여 가압조의 순환비를 400%로 하고 가압비를 2, 3, 4, 5, 6 atm으로 하여 SS, COD, T-N, T-P의 변화를 측정하였다. [Fig. 6]에 나타난 바와 같이 전체적인 압력변화에 따른 처리효율은 커다란 변화를 나타내고는 있지 않지만 2~3 atm보다 4~6 atm일 때가 처리효율이 양호한 것으로 나타나고 있는데, 4 atm이상에서 처리효율이 커다란 변화를 갖지 않는 것으로 보아, 부상조를 4 atm으로 운전하는게 적절한 것으로 평가된다. 가압비가 4 atm, 부상시간이 10분일때 SS 91%, COD 85%, T-N 86%, T-P 90%의 제거율을 나타내고 있다.

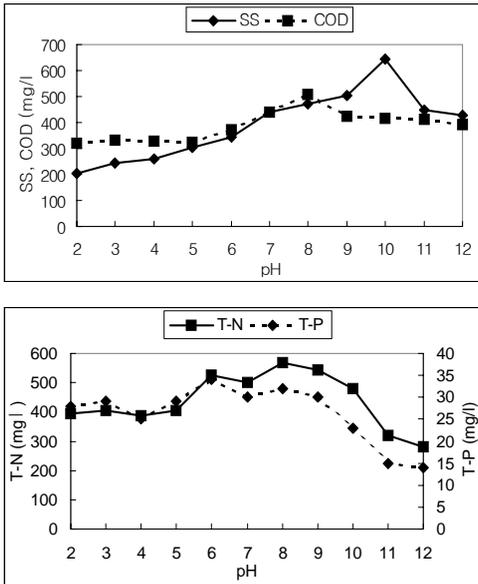
3.2.2 pH만을 조정한 원폐수에 대한 부상분리

먼저 축산폐수에 대한 pH의 변화특성은 [Fig. 7]에 나타나 있듯이, 축산폐수의 pH는 8.0으로서 축산폐수 500ml에 5N HCl과 5N NaOH를 주입하였을 때 pH4, 7, 11에서 산 및 알칼리 주입에 따른 급격한 변화를 가지는 특성을 나타내고 있다.

pH만을 조정한 원수에 대한 부상분리 실험을 위



[Fig. 7] pH changing characteristics of raw swine wastewater with dosing 5N HCl and 5N NaOH.

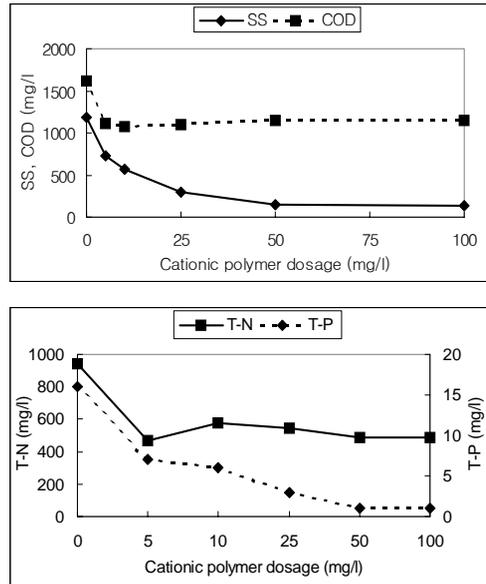


[Fig. 8] Removal characteristics by DAF treatment after pH adjustment.

해 순환비 400%, 가압비 4 atm, 부상시간 10분에서 부상실험을 실시하였다. [Fig. 8]에 나타난 pH변화에 따른 처리율을 살펴보면 pH가 낮을수록 SS, COD, T-N, T-P에 대한 처리율이 양호한 것으로 나타나고 있다. 이것은 입자들이 pH 2~3부근에서 제타전위가 0mV인 등전점이 존재하고 pH가 증가함에 따라 전위가 점차 감소하는 것으로 보고되고 있다.¹¹⁾ 따라서 pH가 낮을 때 매우 큰 음의 제타전위 값을 가지는 미세기포와 기포-입자의 결합으로 부상처리가 양호하게 되는 것으로 여겨진다. pH조정후 부상분리 제거특성은 pH 2에서 SS 96%, COD 89%, T-N 91%, T-P 91%의 제거율을 나타내고 있다.

3.2.3 무기응집제와 고분자응집제 혼합적용

무기응집제 Alum과 양이온계열 고분자응집제를 혼합 적용하여 보다 양호한 처리효율을 가지기 위하여 본 실험을 실시하였고, 적용한 결과를 [Fig. 9]에 나타내었다. 무기응집제 Alum 500mg/l 시료에 양이온계열 고분자응집제의 양을 5, 10, 25, 50, 100mg/l로 변화시키면서 상등액의 SS, COD,



[Fig. 9] Removal characteristics by DAF treatment after cationic polymer coagulation with 500mg/l of alum.

T-N, T-P의 변화에 대하여 관찰하였다. 양이온 고분자응집제 주입량이 50mg/l 일 때 SS 87%, COD 29%, T-N 79%, T-P 94%의 제거율을 나타내고 있다.

4. 결론

현재 국내에서 처리에 어려움을 겪고 있으며 사회적으로 문제가 되고 있는 돈사폐수의 처리 중 생물학적 처리를 위한 전처리 공정의 일환으로 경남 K시의 축산폐수공공처리장으로 유입되는 돈사폐수의 응집 및 부상분리에 의한 고액분리 연구를 수행하였다.

1. 돈사폐수를 무기응집제만으로 응집침전 처리하는 경우 $FeCl_3 > PAC > Alum$ 순으로 응집 침전효과가 나타났으며, 적정 응집제 주입량은 각각 1,000mg/l, 1,500mg/l, 1,500mg/l로 나타났다. 고분자응집제만으로 응집침전 처리하는 경우 양이온 응집제만이 유효한 응집

침전 효과가 나타났으며 적정 응집제 주입량은 200mg/l로 나타났다. 무기응집제와 고분자응집제를 혼합 적용한 경우 각 무기응집제 500mg/l 투여한 후 양이온 고분자응집제 주입 농도를 달리하여 응집침전효과를 고찰한 결과 무기응집제의 처리효율은 $FeCl_3 > Alum > PAC$ 순으로 나타났으며, 적정 양이온 응집제 주입농도는 25mg/l, 25mg/l, 100mg/l로 나타났다.

2. DAF를 이용한 부상분리 실험에서 응집처리를 하지 않은 원수와 pH만을 조정한 원수에서의 실험결과를 종합하여 순환비 400%, 압력 4 atm, pH 2~3이하에서 DAF의 적정 운전 조건이 나타남을 알 수 있었다. 그러나 응집처리를 하지 않은 돈사폐수 원수를 대상으로 DAF를 적정하게 운전하기는 곤란한 것으로 판단되었으며, 또한 무기응집제로만 응집처리한 후 부상분리를 실시하였을 경우 flocc의 강도가 약해 flocc의 깨짐 현상이 나타나 부상분리가 이루어지지 않았다. 한편 무기응집제와 고분자응집제를 혼합하여 응집처리한 후 부상분리를 실시하는 경우 효과적인 부상분리가 이루어졌으며, Alum 500mg/l를 기준으로 양이온 고분자응집제 주입농도가 50mg/l에서 가장 양호한 처리 결과를 나타내었다

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00401-0)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, “환경백서”, (2002).
2. 박완철, “축산폐수의 합리적인 처리방안 및 처리기술 현황”, Livestock Wastewater Symposium, Feb. 23, (2001).
3. 김남천 외 6명, “Micro-bubbles의 부상 공법에 의한 소규모 축산폐수의 고액분리 시스템 개발”, 농림부, (2001).
4. 최재길, “양돈폐수의 고액분리에 관한 연구”, 아주대학교, (1998).
5. 김종찬 외 7명, “축산폐수 적정처리방법 연구”, 경기도보건환경연구원 (2002).
6. 민경석, “양돈폐수의 고액분리 증진에 관한 연구”, 광운대학교, (2001).
7. 남기진, “용존공기부상법(DAF)에서 제타전위의 영향에 관한 연구”, 서울대학교, (1998).
8. W. Stumm, C. R. O'Melia, “Stoichiometry of coagulation”, J. Am. Water Works Assoc., 60(1), pp 514-539, (1968).
9. R. D. Lentz, “Influence of polymer charge type and density on polyacrylamide ameliorated irrigated furrow erosion”, Proc. 24th Int. Erosion Control Association Conf., pp 161-168, (1993).
10. M. B. Vanotti, P. G. Hunt, “Solids and nutrient removal from flushed swine manure using polyacrylamides”, Transactions of the ASAE, 42(6), pp 1833-1840, (1999).
11. D. M. Sievers, M. W. Jenner, M. Hanna, “Treatment of dilute manure wastewater by chemical by chemical coagulation” Transactions of the ASAE, 37(2), pp 597-601, (1994). ☐