

이온화가스와 응집공정을 조합한 축산폐수의 처리시 용존 유기물의 특성에 관한 연구

이은주[†] · 정팔진 · 김민정 · 현미희

전북대학교 환경공학과

Study of Soluble Organic Matter of Livestock Wastewater Treated by Ionized Gas and Coagulation after Ionized Gas

Lee Eun-Ju[†] · Chung Paul-Gene · Kim Min-Jeong · Hyun Mi-Hee

Department of Environmental engineering, Chonbuk National University

(Received 30 July 2004, Accepted 29 October 2004)

Abstract : This study was performed to investigate the variations of hydrophilic and hydrophobic organic matter fractions in soluble organic matter according to livestock wastewater treatment by ionized gas and coagulation effect to these fractions after ionized gas contact.

As a result of experiment, because of ionized gas contact, particle in the surface of livestock wastewater was more smaller and the result was consisted of particle size analysis and the amount of small size was increased.

Also, we confirmed that organic matters in livestock wastewater by ionized gas contact were removed. The relation equation between ionized gas contact time(X) and $TCOD_{cr}(Y)$ was shown as $yscale(y) = 3.748 - 0.431 * xscale(X)$. That between ionized gas contact time(X) and $SCOD_{cr}(Y)$ was $yscale(y) = 3.283 - 0.463 * xscale(X)$.

As respects the HPL(hydrophilic matter)and HPO(hydrophobic matter) fractions of raw in livestock wastewater treatment plant, HPL fraction was 53.2% and HPO fraction was 46.8%. But, HPO fraction according to ionized gas treatment was increased at 30min and after that time, HPL fraction was increased. Also, when we performed coagulation process after ionized gas treatment of raw wastewater, the removal efficiency of organic matter was the highest at 30min of ionized gas treatment because of the variation of HPL and HPO fractions in organic matter by ionized gas. In coagulation process following after ionized gas process, HPO was removed more effective than HPL.

keywords : Ionized gas, Livestock wastewater, Hydrophilic matter, Hydrophobic matter, Coagulation, Particle size, Organic matter

1. 서론

현재, 우리나라의 축산폐수처리에 대한 공법으로는 액상 부식공법, BCS공법, B3공법, BIOSUF공법, 자연정화공법, 고효율산화공법, 고도고액분리소화공법(무주군, 2003)등이 있으며, 2000년 이후 적용사례를 보면, 액상부식법 9개소, BCS 4개소, 자연정화 3개소, B3 3개소 등으로 설치운영중이다. 2001년 12월 기준으로 국내에 설치 운영중인 축산폐수공공처리시설의 처리용량은 39개소, 9,570m³/day인 것에 반해, 축산폐수 발생량은 133,000m³/day로서, 현재 설치 중이거나 설치예정인 28개소의 축산폐수 공공처리시설 처리용량 3,610m³/day를 모두 포함하여도 전체 축산폐수 발생량의 10%미만이 축산폐수 공공처리시설로 수집 후 처리되고 있는 실정으로 발생량에 비하여 매우 부족한 실정이다(농림부, 2002; 환경부 2002a). 축산폐수는 생활하수에 비

해 약 100배나 되는 고농도의 폐수로서 질소와 인과 같은 부영양화를 초래하는 물질을 다량포함하고 있기 때문에 수질오염의 주요 원인이 되고 있다(경기개발연구원, 1997). 이에 축산폐수에 대한 환경규제도 계속 강화되어 2002년 12월부터는 분뇨 및 축산폐수공공처리시설의 방류수 수질 기준(환경부, 2002)이 BOD 30 mg/L이하, COD_{Mn} 50 mg/L이하, SS 30 mg/L이하, 대장균군 수 3,000 개수/mL이하, TN 60 mg/L이하, TP 8 mg/L로 요구되고 있고, 또한 모든 축산농가는 축산폐수를 처리하여 공공수역으로 배출하여야 한다.

축산폐수공공처리시설의 유입수질이 설계시보다 해마다 높아지고 있는데, 본래 법적 규제미만의 소규모농가(법적으로는 신고규모도 포함됨) 폐수를 처리하기 위한 것이었으나, 축산폐수공공처리장 유입농가 분포현황자료에 따르면(환경부, 2000), 유입 농가 중 허가규모가 전체의 28.9%를 차지하고 있으며 신고대상이 44.5%를 차지하고 있어 이러한 원인도 축산폐수공공처리시설의 처리효율을 낮게 하는 원인으로 분석되고 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

lejcmk@hanmail.net

이에 기존의 처리시설에 고도처리시설을 추가적으로 설치 및 조합하여 강화된 요구수질을 맞추기 위한 여러 시도를 하고 있다.

새로 축산폐수공공처리시설 설치시 축산폐수원수의 특성에 따른 공법선정보다는 기존의 점유율이나 처리실적으로 공법이 선정되어 왔다. 최근 자료에 따르면, 축산폐수내 생물학적으로 처리가 불가능한 부식질(Humic substance)이라는 교질상의 복잡한 고분자 물질이 존재하며 이것의 폐수내 차지하는 비율이 COD로 3~3.5%정도로 차지하며, 생물학적 처리 후에도 잔류하여 난분해성유기물로 나타나는 것으로 알려져 있다(환경부, 2002a). 이에 대하여, 대상 축산폐수 내 존재하는 유기물농도뿐만 아니라, 유기물에 대한 정확한 해석이 절실히 필요하다.

폐수내 유기물의 제거효율을 평가하는 방법으로 BOD, COD등을 통한 총량적 평가방법이 주로 이용되며 이러한 평가방법은 각종 수처리 공정의 오·폐수에 대한 처리능력을 평가하고 수질의 오염정도를 확인하는 가장 일반적인 방법으로 지금까지 가장 널리 이용되어 왔다(김, 2003).

최근 수중의 용존유기물(DOM:dissolved Organic matter)에 대한 총량적 평가방법을 보완하여 친수성물질(hydrophilic matter), 소수성물질(hydrophobic matter)로 세분화하여 제거율 및 제거특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Vik et al., 1985; Rebhun et al., 1993; Mehment et al., 2002).

폐수 내 난분해성물질을 분해시켜 제거하기 위하여 고급산화방법인 AOP공법을 단독처리 또는 조합처리에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이 중 이온화가스에 대한 연구가 새로운 처리공법으로서 시도되고(권 등, 2003; 정 등, 2004a, 2004b) 있다. 축산폐수의 이온화 가스 처리시(정 등, 2004a) 상당량의 유기물이 제거되었으나, 축산폐수공공처리시설의 방류수 수질기준을 맞추기 위해서는 후속공정이 필요하여 본 연구에서는 후속공정으로 응집공정을 적용시 전공정으로 적용한 이온화가스의 영향에 따른 유기물의 특성변화에 대하여 알아보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상시료

본 연구에서 사용한 원수로는 전라북도 완주군에 위치한 W축산폐수공공처리시설의 유입수를 이용하였고, 원수의 평균수질은 표 1과 같다.

2.2. 시약 및 재료

응집에 사용된 응집제로는 축산폐수 처리시 널리 사용하고 있는 $FeCl_3(41\%)$ 를 이용하였다.

2.3. 실험장치 및 방법

1) 이온화가스장치

본 연구에서 사용된 이온화가스장치는 (주)동보기연에서 제작한 것을 이용하였다. 장치의 구성은 Fig. 1과 같다.

Table 1. Water quality of livestock wastewater

Item	average
pH	8.3
TBOD ₅	225
SBOD ₅	173
TBOD _u	359
SBOD _u	275
TCOD _{Cr}	2900
SCOD _{Cr}	920
TCOD _{Mn}	840
SCOD _{Mn}	120
NH ₄ -N	860
SS	2020
TN	880
TP	180

unit : mg/L, except pH value

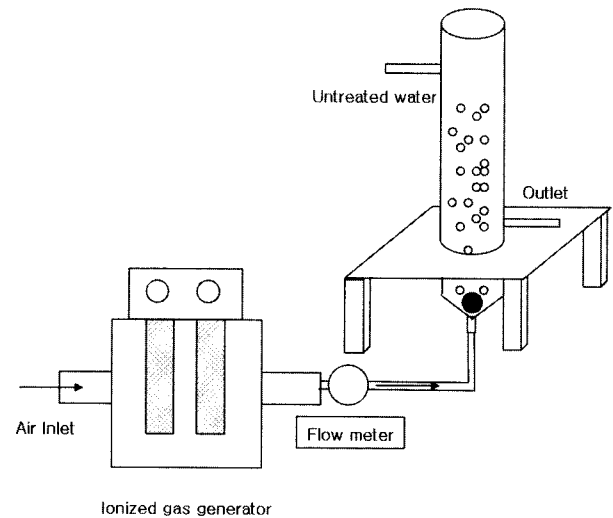


Fig. 1. Schematic diagram of ionized gas treatment system.

발생되는 이온화가스 중 +전하를 띠는 입자로는 O^+ , O_2^+ , O_3^+ ; N_2^+ , N_3^+ , N_4^+ ; NO^+ , N_2O^+ , H_2O^+ , Ar^+ 등이며, -전하를 띠는 입자로는 O^- , O_2^{2-} ; NO_2^- , NO_3^- 와 OH^- 이 확인(Knoll, 1964)되어 있으며, 이온화가스장치에서 발생하는 반응성의 산소종들은 super-oxide와 hydroxyl과 같은 산소가 중심이 되는 라디칼을 포함하고 있으며, 산소에서 유도된 라디칼이 아닌 H_2O_2 도 포함하고 있는 것으로(Challenger et al., 1996) 알려져 있다. 일반적으로 일정한 흡수에너지에서는 이온화가스장치에서 발생하는 활성라디칼의 양을 줄이면 요구접촉시간이 길어지고, 반대로 활성라디칼의 양을 증가시키면 요구접촉시간이 짧아진다. 본 실험에 앞서, 이온화가스유량을 미리 2.5L/min에서 20L/min까지 조정하여 실험한 결과, 이온화가스유량이 커질수록 일정한 제거효율을 얻기 위한 접촉시간이 짧아졌으며, 이에 이온화가스의 유량은 20L/min으로 하였고(정 등, 2004a), 폐

수집속량을 1L로 반응시간은 180 min으로 하였다.

2) 응집실험

축산폐수에 대한 이온화 가스 처리 전·후 시료에 대한 유기물제거효과를 파악하기 위하여, 원수 및 이온화 가스 처리 후 처리시간에 따라 시료를 채취하여 응집을 행하였는데, jar-test의 용기는 1L의 원통형 유리재질을 이용하였고, 급속교반 120rpm 1분, 완속교반 50rpm 10분, 침전 1시간의 조건으로 행하였다. 침전 후 모든 시료에 대하여 수질분석을 행하였다.

3) 자외선 흡광도(UV absorbance) 측정

모든 시료는 0.45 μ mMF로 여과하고, 1cm의 석영cell을 사용하여 UV-Vis Spectrophotometer(Model jasco V-530)로 190~800nm범위에서 측정하였다.

4) 친·소수성 유기물 분율

시료중 용존 유기물을 친수성물질과 소수성물질로 분리(Mehmet et al., 2002)하기 위하여 Amberlite XAD-8수지를 이용하였으며 측정전 0.45 μ mMF로 여과후 HCl로 pH 2이하로 조정하였다.

5) SEM(Scanning Electron Microscope) 분석

이온화가스처리에 따른 축산폐수의 표면변화를 관찰하기 위해서 JSM-6400(JEOL, Japan)로 분석하였다.

6) 입자크기분석

이온화가스에 의한 원수 내 존재하는 입자의 크기변화가 있는지를 알아보려고 축산원수에 대한 이온화가스 처리 전 후에 따른 입자크기분석을 행하였고, particle counter(Model PC2400D, Chemtrac, USA)로 분석하였다.

기타 항목은 Standard Methods의 방법에 준하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

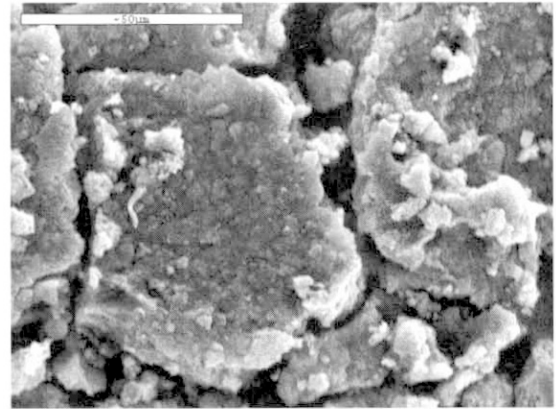
3.1. 이온화가스처리에 따른 SEM분석

다음 Fig. 2는 축산원수와 축산원수를 이온화가스유량 20L/min, 반응시간 180min으로 처리한 샘플에 대한 SEM 분석결과를 나타낸 것으로 확대율은 1,000배이다. 원수내의 고형물 입자 크기가 이온화가스 접촉 후 작은 상태로 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

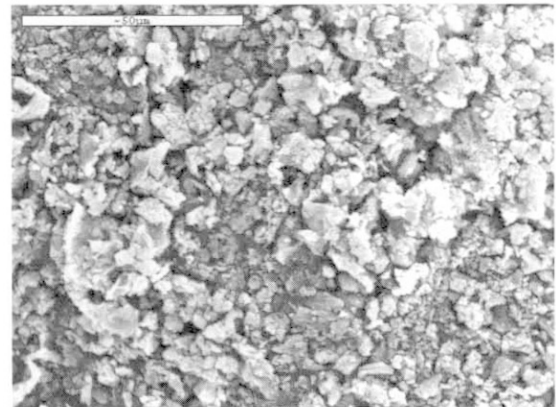
3.2. 입자크기분석

축산원수와 축산원수를 이온화가스 유량 20L/min, 반응시간 180 min으로 처리한 샘플에 대한 입자크기 분석결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

이온화 가스 처리 전 원수의 입자크기는 60~70 μ m가 43.2%로 차지하고 있으며, 이온화 가스 처리 후 10~20 μ m의 작은 입자의 비율이 84.3%로 높게 나타났고, 입자 수



(a) before ionized gas contact



(b) after ionized gas contact

Fig. 2. The results of SEM analysis of livestock wastewater treated by ionized gas.

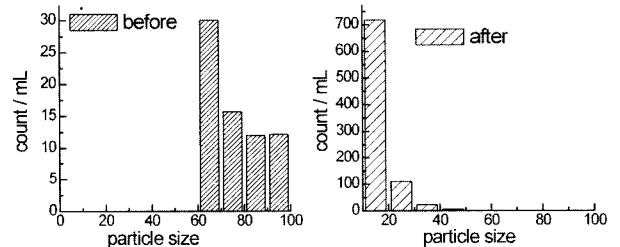


Fig. 3. Particle size distribution before and after ionized gas treatment.

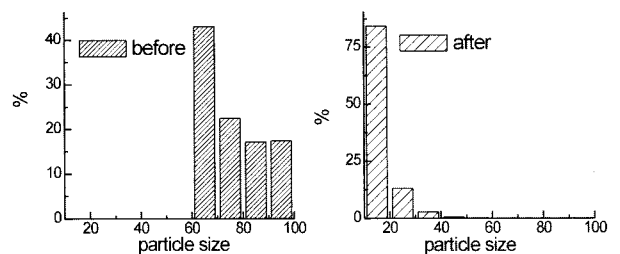


Fig. 4. Percentile results of particle size distribution before and after ionized gas treatment.

(count/mL) 또한 많아지는 것으로 나타났다.

이온화가스접촉에 따라 입자의 크기가 작아지며 이러한

분율도 높아져 이온화가스는 유기물의 산화뿐만 아니라 입자크기변화에도 상당히 영향을 주는 것으로 나타났다.

3.3. 원수의 이온화가스처리 및 처리 후 응집에 따른 유기물변화

축산폐수 응집시 유기물제거에 대한 이온화가스영향을 파악하고자 축산폐수를 이온화가스유량 20L/min으로 하여 처리한 후 각 반응시간별 시료에 대한 응집을 행하였다. 시료 1L에 대하여 FeCl₃응집제 주입량을 3ml, 4ml, 5ml, 6ml로 주입하였는데, 이것을 비중을 고려하여 mM로 환산하면 3.69mM, 4.92mM, 6.15mM, 7.39mM이다. 응집제의 주입량이 4ml일 때 최적인 것으로 나타났으며, 이온화가스 처리와 이온화가스 처리 후 응집처리에 따른 TCOD_{Cr}을 Fig. 5에 나타내었다.

축산폐수의 TCOD_{Cr}은 이온화가스반응시간을 증가시킴에 따라 점점 감소하는 경향으로 나타났는데, 이온화가스 반응시간을 30min로 하여 처리한 시료에 대한 TCOD_{Cr}값은 원수에 비하여 상당히 감소된 것으로 나타났고, 이시간 이후에서 TCOD_{Cr}의 감소폭이 적으나, 이온화가스에 따른 유기물제거 효과는 전체적으로 큰 것으로 나타났다. TCOD_{Cr}이 초기 2,900 mg/L에서 응집제 주입에 따른 응집효과에 의해 450mg/L로 나타났으며, 이온화가스 반응시간을 30min으로 한 경우 응집효과에 의해서 TCOD_{Cr}이 가장 낮은 104 mg/L로 나타났다. 이러한 특성은 축산원수와 이온화가스로 처리한 시료에 대한 용존유기물 내 친·소수성분율의 변화로 나타난 것으로 판단된다. 이온화가스처리 후 응집을 행할 경우, 유기물의 최대 제거효율을 얻기 위해서는 이온화가스 처리시 높은 제거효율을 나타내었던 시간을 선택하는 것보다 이온화가스에 의해 축산폐수 내 유기물 특성을 변화시키는 정도로 활용하여 초기 소수성분율이 증가하는 시간으로 이온화가스를 접촉하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 또한 실험조건인 30 min보다 짧은 처리시간에 대한 소수성분율 증가 여부에 관한 연구가 향후 계속 진행되어야 할 것으로 판단된다.

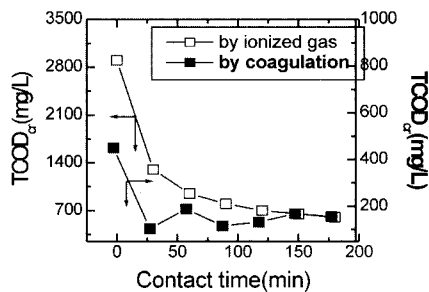


Fig. 5. Variations of TCOD_{Cr} in wastewater by ionized gas and coagulant after ionized gas treatment.

이온화가스 반응시간에 따른 TCOD_{Cr}를 선형화한 식은 다음 (1)과 같고 선형그래프를 Fig. 6에 나타내었으며, 이때의 scale은 Log 10이다.

$$y_{scale}(y)=3.748-0.431 * x_{scale}(X) \tag{1}$$

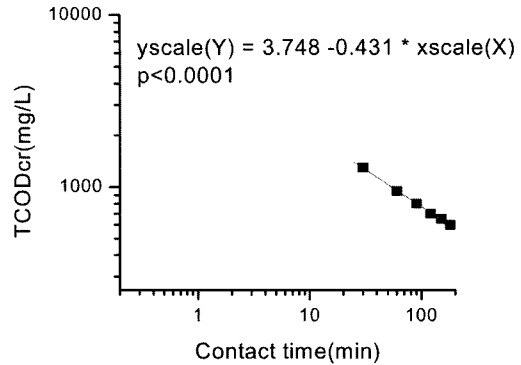


Fig. 6. Variations of TCOD_{Cr} in wastewater by ionized gas treatment.

축산폐수에 대하여 이온화가스처리와 이온화가스 처리 후 응집처리에 따른 SCOD_{Cr}을 Fig. 7에 나타내었다.

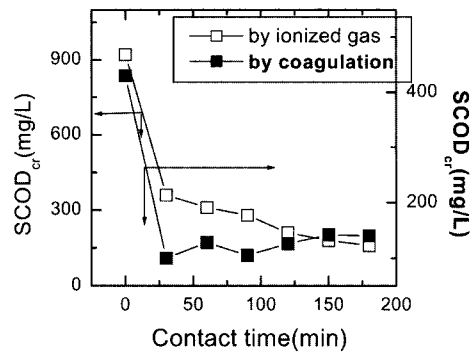


Fig. 7. Variations of SCOD_{Cr} addition coagulant after ionized gas treatment.

이온화가스접촉시간에 따른 SCOD_{Cr}의 값은 TCOD_{Cr}에 비하여 기울기가 큰 것으로 나타났으며, 이러한 기울기는 제거량을 의미하는 것으로 같은 시간에 있어서 SCOD_{Cr}의 제거량이 TCOD_{Cr}보다 큰 것을 의미한다고 볼 수 있다.

SCOD_{Cr}이 초기 920 mg/L에서 응집제 주입에 따른 응집효과에 의해 430mg/L로 나타났으나, 이온화가스 접촉시간을 30min으로 하여 응집을 행한 경우 100mg/L로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 이것은 TCOD_{Cr}의 결과가 일치한다. 이온화가스접촉에 따른 축산원수의 특성의 변화로 친·소수성분율의 차이로 판단되며, 소수성분율이 상대적으로 많아서 응집에 의해 제거가 뛰어난 것으로 판단된다.

이온화가스접촉시간에 따른 SCOD_{Cr}식을 구하기 위하여 X축과 Y축에 대하여 Log 10을 취한 후 식을 구하였고, 선형화한 식은 다음 (2)와 같고 이것을 Fig. 8에 나타내었다.

$$y_{scale}(y)=3.283-0.463 * x_{scale}(X) \tag{2}$$

이온화가스 처리시간에 따라 TCOD_{Mn}의 값은 감소하였으며, 90min까지 감소하다가 그 이후로는 일정해지는 것으로 나타났다. 각 접촉시간에 대한 응집실험결과 TCOD_{Cr},

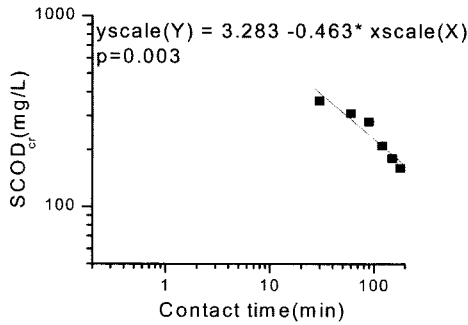


Fig. 8. Variations of SCOD_{Cr} according to ionized gas contact.

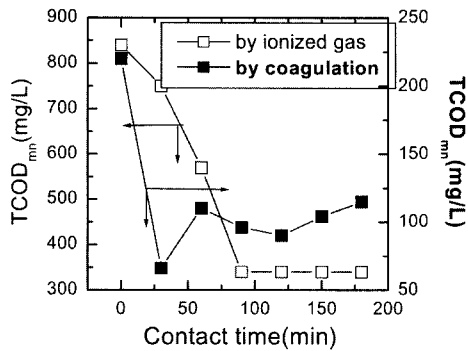


Fig. 9. Variations of TCOD_{Mn} in wastewater by ionized gas and addition coagulant after ionized gas treatment.

SCOD_{Cr}결과와 마찬가지로 접촉시간을 30min으로 하였을 때 처리효과가 좋은 것으로 나타나 이온화가스에 의해 유기물의 특성을 변화시키고 이후 응집을 행하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 그러나, 축산폐수공공처리시설의 방류수 수질기준인 COD_{Mn} 50mg/L 이하의 수준을 맞추기 위해서는 추가적인 공정이 필요한 것으로 나타났다.

다음 Fig. 10은 축산폐수를 이온화 가스로 처리한 경우와 이온화 가스 처리 후 응집을 행한 경우에 대한 UV₂₅₄값을 나타낸 것으로, UV₂₅₄의 성분은 응집처리에 의하여 효과적으로 제거된다고 알려져 있다(丹保憲仁 등, 1984).

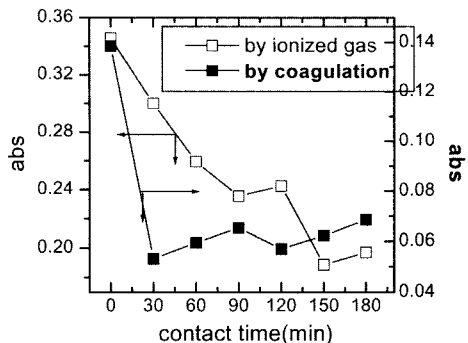


Fig. 10. UV₂₅₄ variations according to raw before and after ionized gas.

이온화 가스 처리한 경우 시간에 따른 UV₂₅₄값은 감소하는 것으로 나타났으며, 이온화 가스 처리 후 응집을 행한 경우의 UV₂₅₄의 경우, 이온화 가스 접촉시간을 30min으로 하였을 때 가장 낮은 값을 나타내었고, 30min 이후 증가하

다가 120min에서 다시 감소하는 경우로 나타났다. 이 경우 또한 이온화가스의 유기물 특성 변화로 인하여 초기 30분에 대한 응집효과가 UV₂₅₄값에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3.4. 원수의 이온화가스처리 및 처리후 응집에 따른 친·소수성분율 변화

다음 Fig. 11은 축산폐수의 이온화가스처리시간에 따른 유기물 성상을 SCOD_{Cr}로 나타낸 것으로 축산폐수 원수 내 친수성유기물은 489.4 mg/L로 나타났고, 소수성유기물은 430.6 mg/L로 분석되어 원수 내 친·소수성 분율이 53.2%, 소수성 분율이 46.8%이나 이온화가스접촉에 따라 처음 30min에서 친수성유기물은 162.4 mg/L, 소수성유기물은 197.6 mg/L로 소수성 분율이 54.9%로 증가하였으며, 이후 친수성 분율이 증가하였다. 접촉시간을 180min까지 한 경우에는 친수성유기물이 114.2 mg/L, 소수성유기물이 45.6mg/L로 이것을 분율로 나타내면 각각 71.4%, 28.6%로 이온화가스접촉시간이 길어질수록 친수성 분율이 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 12). 이러한 결과는 폐놀과 같은 저분자량의 난분해성물질이 오존에 의한 처리시 저분자량의 유기산을 형성하면서 친수성 분율이 증가하는 것과 일치한다.

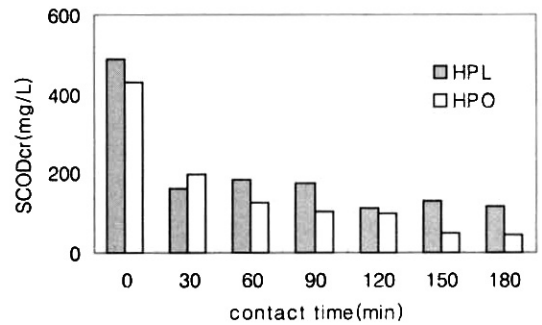


Fig. 11. The hydrophilic and hydrophobic organic matter variations as SCOD_{Cr} of raw by ionized gas treatment.

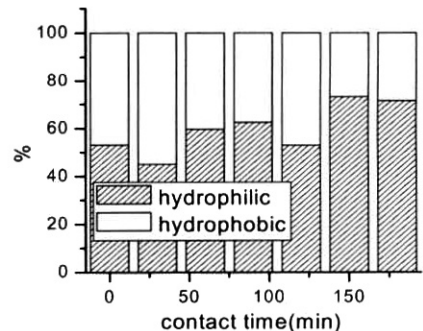


Fig. 12. The hydrophilic and hydrophobic fractions of raw by ionized gas treatment.

축산폐수의 이온화 가스 접촉시간에 따라 응집을 행하였을 경우(Fig. 13, Fig. 14), 30min의 이온화가스접촉에 의한 유기물제거가 효과적인 것으로 나타났는데, 처리시간

30min에서의 소수성분율이 친수성분율보다 높은 유기물특성에 기인한 것으로, 응집시 소수성물질의 제거가 친수성물질보다 뛰어나(Purnendu et al., 1998) 원수의 경우 대부분의 소수성물질이 제거되어 친수성 분율이 증가하는 것으로 나타났다. 이온화 가스 처리 후 응집을 행한 모든 시료에 대하여 전체적인 유기물제거로 인하여 시료내의 친수성 분율이 소수성 분율보다 높게 나타났다.

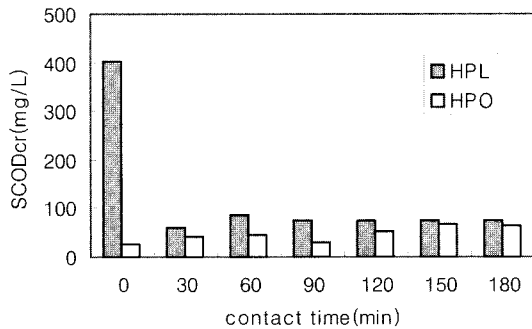


Fig. 13. The hydrophilic and hydrophobic organic matter variations as SCOD_{Cr} of raw according to coagulation after ionized gas treatment.

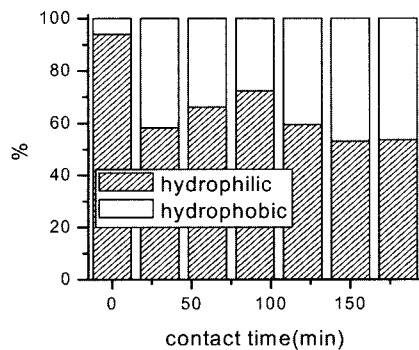


Fig. 14. The hydrophilic and hydrophobic fractions of raw according to coagulation after ionized gas treatment.

4. 결론

축산폐수에 대한 이온화 가스 처리 및 이온화 가스 처리 후 응집을 행한 경우에 대한 용존 유기물 특성에 관한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이온화가스처리로 인하여 축산폐수 원수의 표면의 입자들이 작아지는 것을 알 수 있었고, 입자의 크기분석에서도 적은 입자들이 차지하는 비율이 많아지는 것으로도 확인할 수 있었다.
2. 이온화 가스 처리 후 유기물질이 감소되는 것을 확인할 수 있었으며, 이온화가스접촉시간과 TCOD_{Cr}의 상관관계식은 $yscale(y) = 3.748 - 0.431 * xscale(X)$ 로, SCOD_{Cr}과 이온화가스 접촉 시간과의 상관 관계식은 $yscale(y) = 3.283 - 0.463 * xscale(X)$ 로 얻을 수 있었다.
3. 축산원수에 대한 친·소수성분율은 친수성분율이 53.2%, 소수성분율이 46.8%이나 이온화가스접촉에 따라 처음 30min은 소수성분율이 증가하며, 이후 친수성분율이 증

가하는 것으로 나타났다. 이온화가스접촉시간에 따라 각 시료에 대하여 응집을 행한 결과, 이온화가스를 30min 접촉하여 응집을 행한 경우 유기물제거효과가 높았으며, 이온화가스에 의한 유기물의 특성변화로 인한 것이며, 응집시 소수성물질의 제거가 친수성물질보다 뛰어나 원수의 경우 대부분의 소수성물질이 제거되어 친수성분율이 증가하는 것으로 나타났다.

사 사

전북대학교 부설 공학연구원 도시 및 환경연구센터 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- 경기개발연구원, 팔당 상수원 수질개선 방안에 관한 연구(1997). 권지영, 임익현, 정팔진, 이온화가스의 물성 변화에 따른 수중에서의 반응특성 및 수 처리에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **25**(9), pp. 1108-1116 (2003).
- 김재훈, 응집·침전공정 간 수중 용존유기물의 성상별 제거 특성 비교, *한국물환경학회지*, **19**(5), pp. 513-519 (2003).
- 농림부, 축산자료통계 (2002).
- 무주군, 축산폐수공공처리시설 기본 및 실시 설계 용역 (2003).
- 정팔진, 이은주, 김민정, 이온화 가스에 의한 축산폐수 처리 특성에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **20**(1), pp. 37-41 (2004a).
- 정팔진, 이은주, 김민정, 조선영, 이온화 가스와 활성탄을 이용한 휴믹산 처리에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **20**(1), pp. 72-77 (2004b).
- 환경부, 국정감사자료 (2000).
- 환경부, 축산폐수시설현황 (2002a).
- 환경부, 하수처리장의 탈질·탈인 공정상용화기술 개발(2002b).
- 丹保憲仁, 堤 行彦, トリハロメタン 生成能 に関する研究 (I), 有機成分の 紫外部吸 収と トリハロメタン生成能, *水道協會雜誌*, **51**(7), pp. 21-32 (1984).
- APHA, Standard method (1984).
- Challenger O et al., Negative air ionisation and the generation of hydrogen peroxide, *The Science of Total Environment*, **177**, pp. 215-219 (1996).
- Knoll M., Properties measurement and biolimatic action of small multimolecular atmospheric ions, *Adv. Electron Electron Phys.*, **19**, pp. 35-42 (1964).
- Mehmet Kitis, Tanju Karafil, Andrew Wigton, James E. Kilduff, Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection by-production formation using XAD-8 resin adsorption and ultrafiltration fractionation, *Water Research*, **36**, pp. 3834-3848 (2002).
- Purnendu B. and David A. R., adsorption of natural organic matter on performed aluminum hydroxide flocs, *J. Environmental of Engineering*, **124**(9), p. 803 (1998).
- Rebhun M, and Lurie, M, control of organic matter by coagulation and floc separation, *Wat. Sci. Tech.*, **27**(11), pp. 1-20 (1993).
- Vik eilen A, Dale A, Carson, Arild S, eikum and egil T. Gjessin, Removal aquatic humus from norwegian lakes, *J. AWWA*, **77**(2), pp. 58-66 (1985).