

전응집 및 Fenton 산화공정을 이용한 축산폐수의 난분해성물질 제거특성에 관한 연구

조창우[†] · 김병용 · 채수천 · 김선애 · 정팔진^{*}

전라북도 보건환경연구원

^{*}전북대학교 환경공학과

Degradation Characteristics of Non-biodegradable Matters using Pre-Coagulation and Fenton Oxidation Process in Livestock Wastewater

Chang-Woo Cho[†] · Boung-Young Kim · Soo-Choen Chae · Sun-Ae Kim · Paul-Gene Chung^{*}

Public Health Environment Institute of Jeollabuk-do

^{*}Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

(Received 22 August 2005, Accepted 14 October 2005)

Abstract

The purpose of this study was done to evaluate degradation characteristics of non-biodegradable organic matters including aromatic compounds in livestock wastewater using CFZ process. The CFZ process is consisted of coagulation/sedimentation, Fenton oxidation and zeolite adsorption process. degradation characteristics of each treatment water including livestock wastewater were analyzed by UV scanning, FT-IR and GC/MS. After coagulation/sedimentation process as 1st treatment, non-biodegradable matters remained after 1st treatment were removed by using OH radical produced in Fenton oxidation process. As a result of treatment using these processes, NBDCOD removal efficiency was over 90%. Increase of E₂/E₃ ratio (absorbance at 250 and 365 nm) in each treatment water means that aromaticity of livestock wastewater decreased. In case of GC/MS, most aromatics or polynuclear aromatics like benzene, phenol and scatol in livestock wastewater almost wasn't detected after oxidation using OH radical.

keywords : E₂/E₃ ratio, GC/MS, NBDCOD, OH radical, UV scanning

1. 서론

고도의 산업화와 경제 성장을 바탕으로 생활수준이 향상되고, 그에 따른 인구의 증가 그리고 국민소득의 증대로 식생활 문화도 과거 곡류위주의 식 습관에서 육류 및 유가 공제품의 소비가 점점 증가하고 있다. 이에 축산폐수도 더불어 증가하고 있는 게 현 추세이다. 2002년 기준으로 우리나라 축산폐수 발생량은 150,483 m³/day이며, 그 중 전북 지역의 발생량은 13,837 m³/day로 전체 9.2%를 차지하고 있다(환경부, 2004).

현재 국내에서 운영중인 축산폐수 처리방법의 경우 액상 부식법, B₃공법, 고효율산화공법 및 일부 활성슬러지 변법들을 적용하고 있다.

폐수 내에 존재하는 난분해성 유기물질이 많이 포함된 폐수를 처리하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며(Christian, 1999) 그 예로 O₃, O₃/UV, O₃/H₂O₂ 등의 공법들이 주를 이루고 있고, 이 외에도 고급산화 공정중에 하나인 펜톤(Fenton, 1894) 산화처리공정(조, 1997; 간, 1999)에 대한 연구가 매립지 침출수 처리(원 등, 1999) 및 유기세정

약품의 처리(김 등, 1998) 등에 많이 응용되고 있다.

물리화학적 처리공정을 배제한 생물학적 처리방법으로는 축산폐수에 존재하는 난분해성 유기물질을 효과적으로 처리하는데는 많은 어려움이 있다. 이러한 이유로 고도처리 기술을 이용하여 축산폐수 내 난분해성(Non-biodegradable) 유기물질을 제거하는데 적합한 최적 처리방안이 도출될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 전응집공정과 난분해성이거나 독성물질을 함유한 폐수처리에 사용되는 Fenton 산화공정(Gulyas, 1997; Kim et al., 2000)을 이용하여 축산폐수 내 존재하는 난분해성 유기물질의 분해특성을 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 대상폐수 성분분석

본 연구에 사용된 폐수는 생물학적처리공법으로 운전되고 있는 전라북도 왕궁 축산폐수 공동처리장의 축산폐수를 유량 균등조에서 채취하였으며, 축산폐수의 성질은 Table 1에 제시하였다.

2.2. 실험방법

실험은 총 3단계로 수행하였으며 1단계로 FeCl₃을 이용

[†] To whom correspondence should be addressed.
chodoctor@hanmail.net

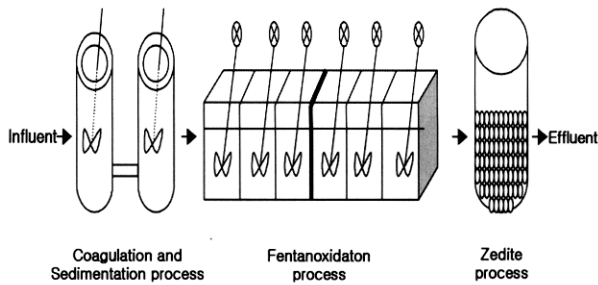


Fig. 1. Schematic diagram of Coagulation, Fenton oxidation and Zeolite process.

Table 1. Characteristics of Livestock Wastewater

Parameters	Average(mg/L)
pH	7.7
BOD ₅	2,416.0
BOD _U	3,160.0
TCOD _{Mn}	3,000.0
TCOD _{Cr}	10,552.0
NBDCOD	7,390.0
BOD ₅ /COD _{Cr}	0.23

한 응집침전 공정과 후단에 Fenton 산화공정 및 zeolite 흡착공정(전라북도 보건환경연구원, 2005)을 이용하였으며 처리공정 모식도는 Fig. 1에 나타내었다.

각 단계별로 사용되어진 시약은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Chemicals and Adsorbent used in this study

Process	Chemicals and adsorbent
Coagulation	FeCl ₃ (36%)
Fenton oxidation	FeSO ₄ (6.4%), H ₂ O ₂ (35%)
Zeolite adsorption	Clinoptilolite zeolite

FeCl₃를 이용한 응집 공정과 Fenton 산화공정 운전조건은 Table 3과 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Operation condition of Coagulation process

Step	Reaction condition	
	Velocity (RPM)	Time (min)
Rapid mixing	220 ~ 250	2
Slow mixing	50 ~ 70	5
Sedimentation	-	60

Table 4. Operation condition of Fenton oxidation process

Step	Reaction condition	
	Velocity (RPM)	Time (min)
pH adjustment	100	10
Rapid mixing	220 ~ 250	60
Neutralization	100	10
Slow mixing	50 ~ 70	20
Sedimentation	-	60

크기가 4×10 mesh인 zeolite를 이용한 흡착공정의 운전조건은 Fig. 2와 같이 내경 50 mm, 외경 60 mm, 높이 550 mm인 원통형 column에 zeolite를 약 1,050 g 충전시키고 유입수는 상향류식으로 통과시키며 유입속도는 12 mL/min로 선택하였다(전라북도 보건환경연구원, 2005).

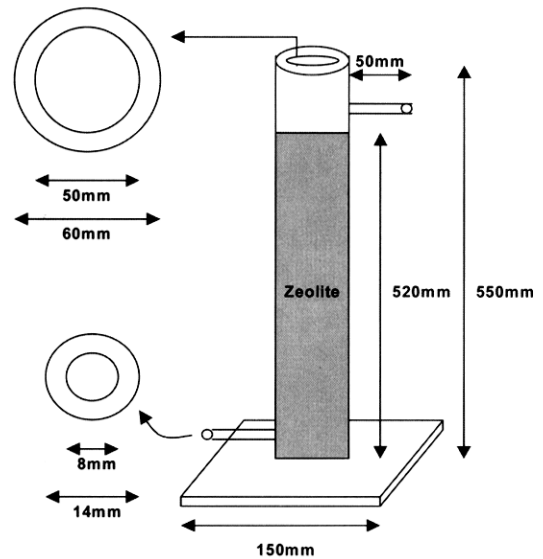


Fig. 2. Schematic diagram of Zeolite Ion Exchange Column.

2.3. 분석방법

Table 1에 나타난 각각의 항목별 분석방법은 Standard Methods(APHA, 1995)와 수질공정시험방법(환경부, 2000)에 근거하여 분석을 수행하였다. 또한 각 공정별 처리수에 존재하는 유기화합물의 특성 및 분포를 알아보기 위해 UV scanning 및 가스크로마토그래피/질량분석(GC/MS) 그리고 적외선 분광분석법(FT-IR)를 이용하였다.

2.3.1. UV scanning

수중의 유기물질의 특성을 파악하기 위해 UV-Vis Spectrophotometer(JASCO V-530)를 이용하여 파장범위 190-900 nm에서 축산원수 및 공정별 처리수에 대하여 조사하였다. 각각의 시료는 GF/C로 여과한 후 분석하였다. 단 축산폐수 원수와 응집 처리수는 각각 15배와 5배 희석하여 분석하였다.

2.3.2. 적외선 분광분석법(FT-IR)

각각의 시료를 -70°C이하로 동결 건조시킨 후 그 일부를 취한 후 KBr과 함께 분쇄한 다음 Fourier Transform Infrared spectrophotometer 300E(JASCO, Japan)를 사용하여 400~4,000 cm⁻¹범위의 주파수에서 주사한 후 각각의 시료에 대해 유기화합물의 적외선 특성 흡수 스펙트럼에 대해 해석(정, 1998)하였다.

2.3.3. GC/MS 분석

GC분석은 HP6890 GC/HP 5973MSD로 구성된 장비를 사용하였으며, column은 J&W DB5(30 M×0.25 mm×0.25

μm)를 이용하였다. 전처리 과정에서 용매제로 Dichloromethan 300을 이용하여 추출한 각각의 시료를 다음과 같은 운전조건(안, 2003)으로 분석을 수행하였다. 운반가스(carrier gas)로 사용되는 불활성 He의 흐름은 24.97 psi와 1 mL/min로 선택하고 oven의 온도는 70°C로 4분간 유지한 후, 10°C/min씩 300°C까지 높인 후 300°C에서 3분간 유지되도록 조정하였다. 주입기(injector)의 온도 및 압력은 200°C와 24.97 psi이며 시료주입은 10 μL 실린지(syringe)가 부착된 Auto Sampler로 2 μL씩 자동 주입하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공정별 적정 처리

3.1.1. 응집침전공정

1차 처리공정으로 응집제 FeCl₃를 단계별로 증가시켜 응집침전공정을 수행한 결과 Fig. 3과 같이 주입량이 1,800 mgFeCl₃/L에서 COD_{Cr}의 제거율이 가장 높았으며 1,800 mgFeCl₃/L 이상으로 주입하는 경우 오히려 제거효과가 적었다. Fig. 4와 같이 Fenton 산화공정에서 Fenton reagent를 주입하면 pH는 1.5~2.0정도가 감소하므로 Fenton 산화반

응 pH범위가 3.0~3.8정도로 감안할 때 응집 pH 범위는 4.5~5.5가 적절하다고 사료된다(전라북도 보건환경연구원, 2005).

3.1.2. Fenton 산화 공정

1차 응집공정처리 후 처리수의 BOD₅/COD_{Cr}비는 0.31~0.33으로 축산폐수 원수보다 증가하였으나 여전히 순양을 필요로 하거나 생물학적 처리가 어려운 상태이므로, 후속공정으로 OH라디칼을 발생시키는 Fenton 산화공정을 적용하였다.

Fenton reagent의 반응 주입비, 주입량, 반응시간 조건을 변화시킨 후 난분해성 물질제거변화를 조사하였다. Fenton 산화공정 중 반응 pH 3.5~3.7에서 촉매제인 FeSO₄와 산화제인 H₂O₂의 주입비를 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 그리고 2.0 범위에서 실험을 수행한 결과 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 H₂O₂의 주입량이 1,750 mg/L이며 Fe²⁺/H₂O₂ ratio가 0.8인 경우에 COD_{Cr} 및 난분해성 물질의 제거효과가 가장 높은 결과를 나타내었다. 철염을 적정 주입량 이상으로 주입하면 식 (1)과 같이 Fe²⁺는 OH 라디칼과 반응하여 Fe³⁺으로 변환되는 종결단계가 촉진되어 OH 라디칼의 산화력이 감소하여

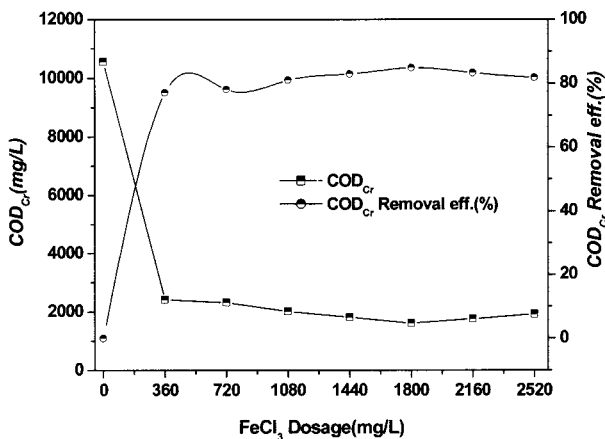


Fig. 3. Variaton of COD_{Cr} and removal efficiencies for increasing Iron(III) Chloride dosage.

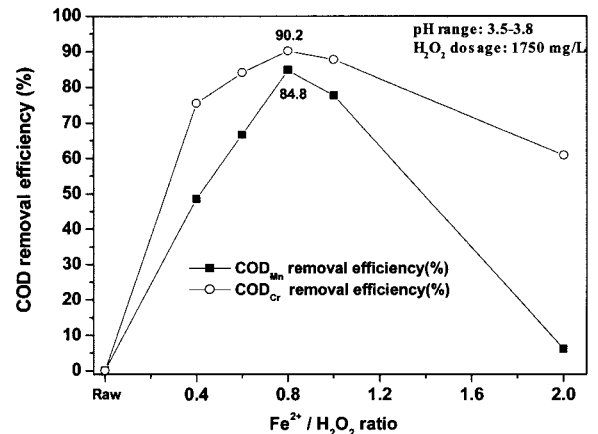


Fig. 5. Variations of COD removal efficiency at difference Fe²⁺/H₂O₂ ratio.

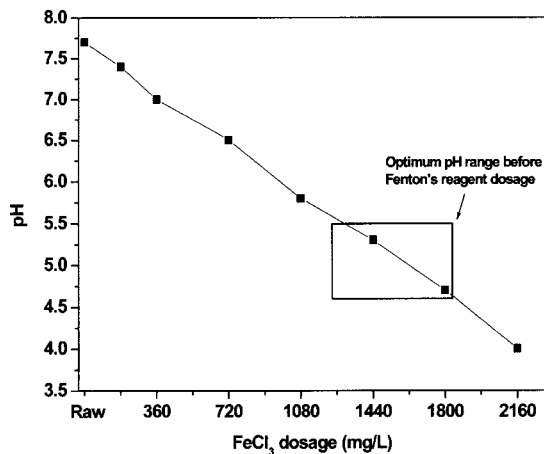


Fig. 4. Optimum coagulation pH range (□) before Fenton's reagent dosage.

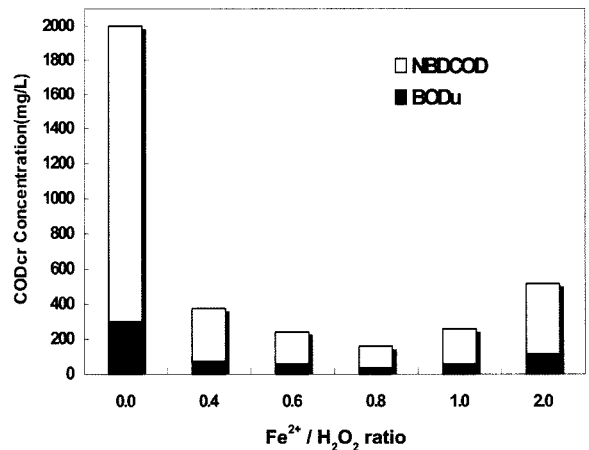


Fig. 6. NBDCOD Variatons at difference Fe²⁺/H₂O₂ ratio at 1750 mg/L of H₂O₂ dosage.

COD_{Cr}의 제거효율이 떨어지는 것으로 사료된다.



또한 Fig. 6과 같이 NBDCOD의 제거량이 BDCOD보다 높은 것을 알 수 있다.

Fenton 산화과정에서 발생하는 OH 라디칼은 유기물을 산화 분해하는데 사용되므로 산화단계가 많이 진행된 유기산이나 3차 알코올에는 효과적인 분해가 일어나지 않는다 (Bower, 1987)는 기존의 연구결과를 고려할 때 대부분이 고분자량의 환원성 상태로 존재하는 축산폐수의 경우 OH 라디칼에 의해 효과적으로 난분해성 물질을 산화되어 제거되므로 NBDCOD가 BDCOD보다 제거량이 높은 것으로 사료된다.

반응시간에 따른 유기물제거효과는 Fe²⁺/H₂O₂ 비는 0.8, 철염 주입량은 840 mgFe²⁺/L이며 과산화수소 주입량은 1,050 mgH₂O₂/L으로 주입하고, 반응 pH는 3.5~3.7로 유지한 후 반응시간을 단계별로 증가시킨 다음 실험한 결과 Fig. 7과 같이 반응시간이 60분 이후에서는 제거 효율이 큰 차이를 나타내지 않으므로 60분으로 선택하였다.

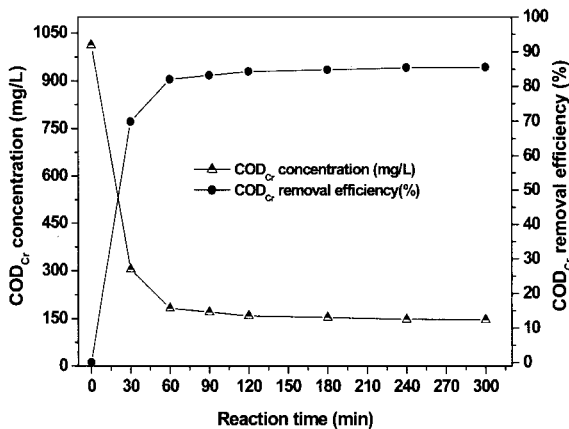


Fig. 7. Remained COD_{Cr} by variation of reaction time.

Zeolite 실험결과 암모니아성 질소는 660 mg/L에서 2.8 mg/L로 99.6%의 제거효율을 보였으나, COD_{Cr}의 제거효과는 Fenton 산화 처리수와 차이가 없었다.

3.2. 공정별 처리수의 기기분석

3.2.1. UV scanning

수중에 존재하는 유기물 특성을 파악하기 위해 적용되는

파장별 유기물질의 종류는 Table 5에 나타내었다.

15배 희석한 축산폐수 원수 및 각각의 공정별 처리수(응집, Fenton산화, zeolite)를 UV spectrophotometer를 이용하여 UV 파장범위를 200에서 900 nm까지 전파장으로 scan을 하였다. 측정결과 Fig. 8과 같이 특정파장에서 흡수봉우리가 나타나지 않고 파장이 저파장으로 감소함에 따라 흡광도의 값은 점차 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 축산폐수는 단일화합물이 아닌 방향족 화합물이나 다른 유기화합물로 구성되어있어 여러 가지 화학적 기능을 갖는 물질로 인하여 흡광도가 연속적으로 변하기 때문이다(김, 1997).

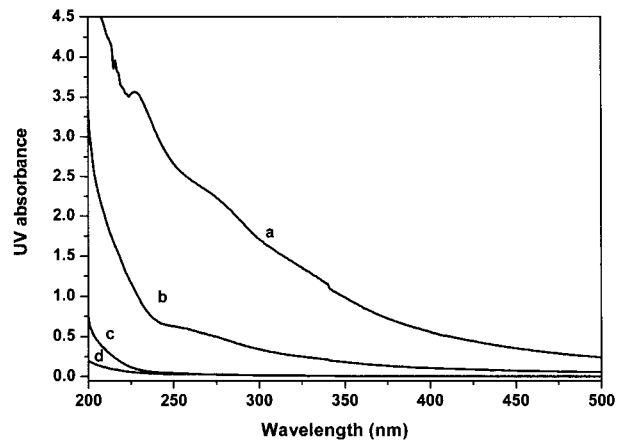


Fig. 8. Absorption spectra of livestock wastewater (a), coagulation treatment water (b), Fenton treatment water (c), zeolite treatment water (d).

Fig. 9는 축산폐수를 각각의 처리공정에 따라 처리하였을 때 처리수의 254 nm에서 UV scan 분석 결과값과 COD_{Cr} (C/C₀)의 제거에 대해 나타내었다. Table 5에서 언급한 것과 같이 UV₂₅₄는 COD나 TOC을 알아보기 위해 사용된다. 또한 peak의 높이가 높을수록 농도 또한 많다는 것을 의미한다.

축산폐수 원수를 응집, Fenton 산화 그리고 zeolite 흡착 공정으로 처리한 후 254 nm에서 흡광도는 2.56815에서 0.03425로 감소하여 98.7%의 제거효율을 보여주었으며 이는 COD_{Cr}(C/C₀)의 제거효과와 비슷한 경향을 나타내었다. 즉 응집공정처리 후 처리수에 잔존해 있는 난분해성 물질은 Fenton 산화공정에서 발생하는 OH 라디칼에 의해 대부분이 분해되었거나 방향족 고리화합물의 무기화(mineralization)를 의미한다.

Table 5. Some substances correlated at specific ultraviolet wavelength

Wavelength (nm)	Correlative substances	Reference
250 nm	DOC, TOC	De Haan et al., 2003
254 nm	COD, BOD DOC, TOC	Dobbs et al., 1972 Reynolds et al., 1997
260, 272, 280 nm	Molecular weight and aromaticity	Samuel et al., 1990; Chen et al., 1994
E ₂ /E ₃ ratio (absorbance at 250 and 365 nm)	The relationship between the aromaticity and the E ₂ /E ₃ ratio for humic material	Peuravuori et al., 1997

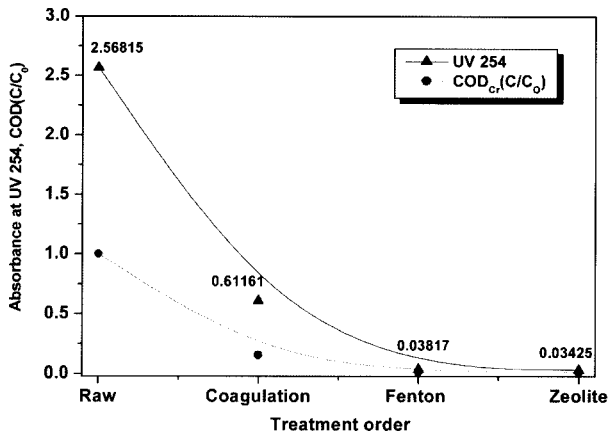


Fig. 9. Absorbance and COD_{Cr}(C/C₀) of livestock wastewater and each treatment effluent at 254 nm.

Peuravuori (1994)는 식 (2)와 같이 Humic 물질과 관련하여 E₂/E₃ ratio (absorbance at 250 and 365 nm)와 방향성과는 관계가 있다고 보고하였다.

$$\text{Aromaticity} = 52.509 - 6.780 \cdot (E_2/E_3) \quad (2)$$

식 (2)에서 E₂/E₃ ratio가 낮을수록 분자량이 크고 방향성 정도가 높은 경우를 의미한다. 반대로 처리수의 E₂/E₃ ratio가 원수에 비해 상대적으로 큰 경우에는 방향성을 나타내는 유기물질의 양도 감소하였음을 의미한다. 따라서 축산폐수 원수 및 각 공정별 처리수의 E₂/E₃ ratio (absorbance at 250 and 365 nm)의 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 앞에서 언급한 것과 같이 원수를 각 공정별로 처리한 결과 E₂/E₃ ratio가 높아지며, 방향성 정도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

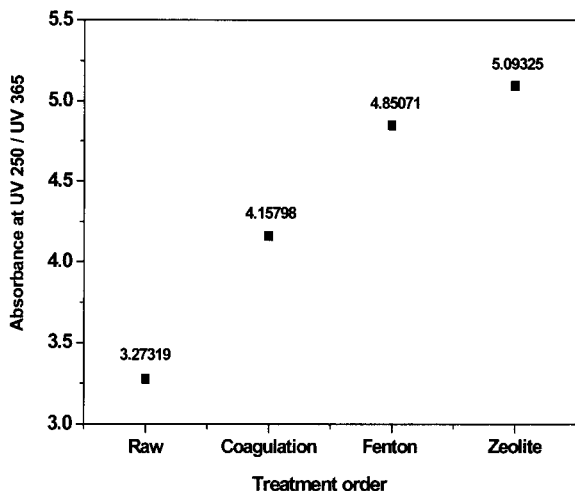


Fig. 10. Variations of E₂/E₃ ratio (absorbance at 250 and 365 nm) according to each treatment water including livestock wastewater.

3.2.2. FT-IR 분석

Fig. 11은 축산폐수 원수의 FT-IR 분석결과이며 가장 큰 강도를 나타낸 파장은 3,390 cm⁻¹이며 이 밖에도 2,920, 2,850, 1,648, 1,600, 1,575, 1,080, 873 및 536 cm⁻¹로 분석

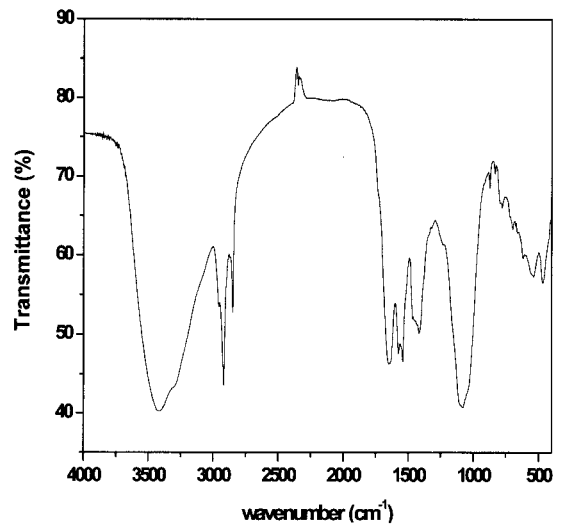


Fig. 11. FT-IR spectrum of raw livestock wastewater.

되었다.

주요 관능기를 보면 -C=O는 1,820-1,660 cm⁻¹에서 강한 흡수대를 나타내며, =C-H 신축진동은 거의 3,000 cm⁻¹ 이상에서 흡수가 있으며 C=C 신축진동흡수는 1,600 cm⁻¹와 1,475 cm⁻¹에서 동시에 나타난다. 또한 benzene 화합물에서의 단일 치환체 및 ortho, meta 그리고 para 치환체 등의 구조 해석에 =C-H의 변각 진동영역인 900-690 cm⁻¹에서 발견할 수 있다.

일반적으로 alcohol이나 phenol의 경우 분자 내 수소결합에 의하여 3,500-3,200 cm⁻¹의 넓은 영역에서 O-H신축진동에 의한 흡수를 관찰할 수 있다. 또한 흡수파장이 1,640-1,560 cm⁻¹에서는 N-H 신축진동과 관련이 있으며 C-Cl의 신축진동으로 aliphatic chloride는 800-600 cm⁻¹에서 나타난다(정, 1998; WADE, 1999). 따라서 본 실험에 사용된 축산폐수를 FT-IR로 분석한 결과 파장이 3,390 cm⁻¹일 때 O-H신축진동과 관련된 알콜 및 페놀화합물이 있으며 각각의 파장에 따라 C=C 결합(1,600 cm⁻¹) 및 =C-H(bend) 결합(873 cm⁻¹)의 방향족 고리 화합물과 C=N 결합(1,648 cm⁻¹)의 imine이나 oxime(-C=NOH), N-H 신축진동결합(1,575 cm⁻¹)의 1차 아민류(bend) 그리고 C-Cl 결합(537 cm⁻¹)으로 구성되었으리라 예상할 수 있다. 이상의 spectrum 분석결과 축산폐수 원수에는 난분해성 물질인 방향족 고리화합물질 및 alcohol과 phenol류 그리고 약취의 원인물질인 amine류가 존재하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 12는 축산원수를 응집침전공정을 거친 처리수에 대한 FT-IR 분석한 결과를 나타낸 것이다.

분석결과 응집 처리수에서는 축산원수에서 나타난 결합 형태와 거의 유사하게 O-H 신축진동과 관련된 alcohol 및 phenol 화합물(3,252 cm⁻¹)과 C=C 결합(1,600 cm⁻¹) 및 =C-H(bend) 결합(755 cm⁻¹)의 aromatic compound 등이 나타났으며 처리 후에도 여전히 방향족 고리 화합물질들이 잔존해 있는 것으로 예상할 수 있다. 2차와 3차 처리공정으로 Fenton산화처리와 zeolite 흡착처리 후 FT-IR 분석결과는 Fig. 13과 Fig. 14와 같다.

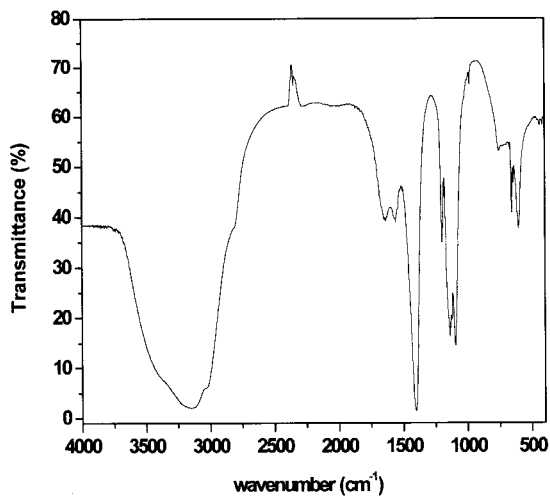


Fig. 12. FT-IR spectrum of coagulation treatment water.

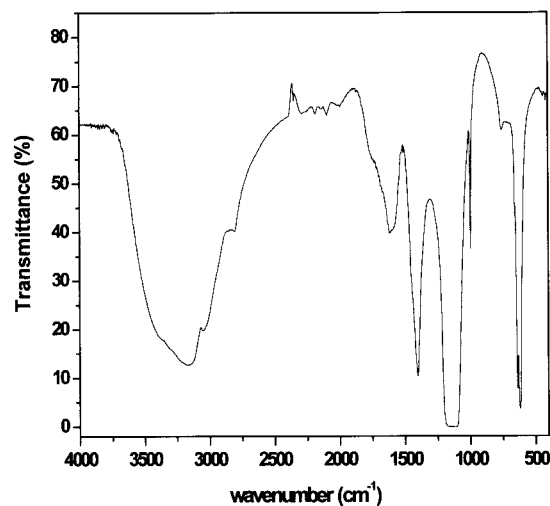


Fig. 13. FT-IR spectrum of Fenton oxidation treatment water.

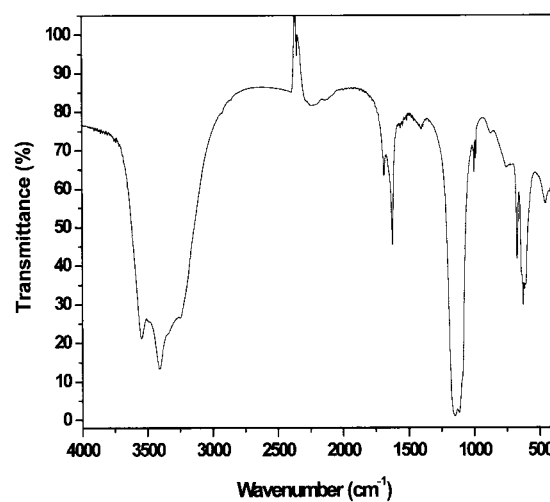


Fig. 14. FT-IR spectrum of zeolite adsorption treatment water.

분석결과 Fenton 산화처리와 제올라이트 흡착처리 후 각각의 처리수에서는 C=C 결합의 방향족 고리화합물이 존재하는 피크의 범위가 나타나지 않았으며 Fenton 산화처리 후 1,111 cm⁻¹부근에서 alcohol, carboxylic acid, ester, ether

등의 C-O 결합과 986 cm⁻¹부근에서 평면 밖 굽힘 형태를 가진 C-H의 alkene을 나타내는 것으로 이것은 Fenton 산화과정 중 발생하는 OH radical에 의해 방향족 고리화합물을 함유한 축산폐수 원수가 분해 되어 지방족 화합물이나 저분자 물질로 전환되었음을 알 수 있었다.

3.2.3. GC/MS 분석

Fig. 15부터 Fig. 17까지는 축산폐수원수 및 응집공정, Fenton 산화공정 및 제올라이트 공정으로 연계처리한 각각의 처리수에 대한 GC/MS 분석결과이며 주요 유기화합물질은 Table 6에 나타내었다.

GC/MS 분석결과 Fig. 15(b)와 같이 원수에 존재하는 대부분의 C 그룹은 C₆부터 C₃₂범위까지 검출되었으며 phenol, benzene 그리고 scatol과 같이 분변에서 나오는 방향성 약취물질 화합물이나 tetramethylene sulfone이나 dilauryl phthalate와 같이 피부에 자극을 일으키는 물질들이 검출되었으며 응집 공정처리 후 일부 phenol류는 제거되었으나 여전히 다수의 방향족 물질은 검출되었다. 그러나 Fenton 산화공정처리를 한 처리수에서는 phenol류는 검출되지 않았으며 대부분의 방향족화합물질도 제거되었음을 알 수 있다.

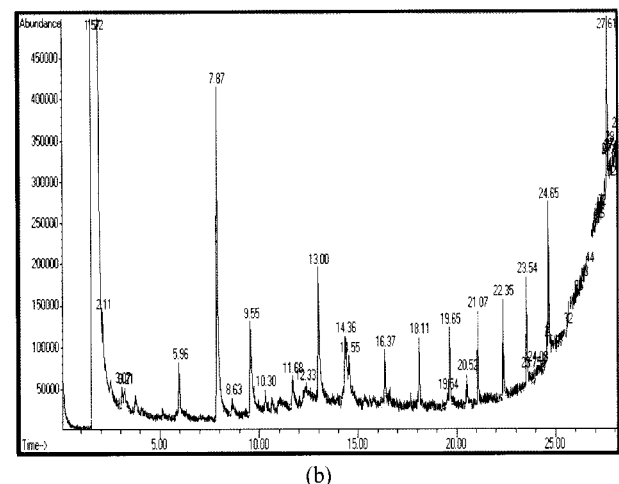
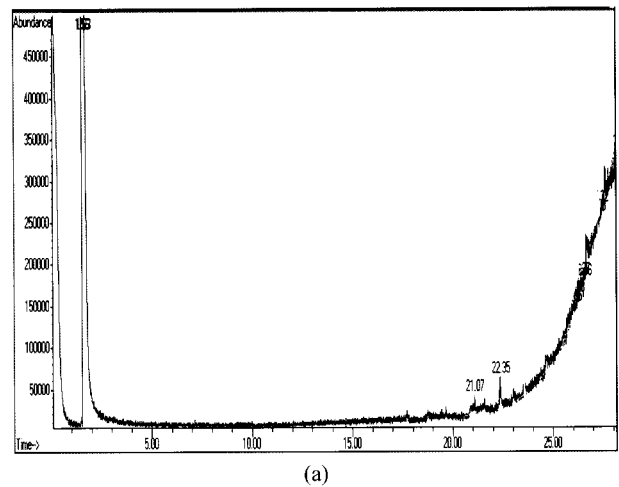
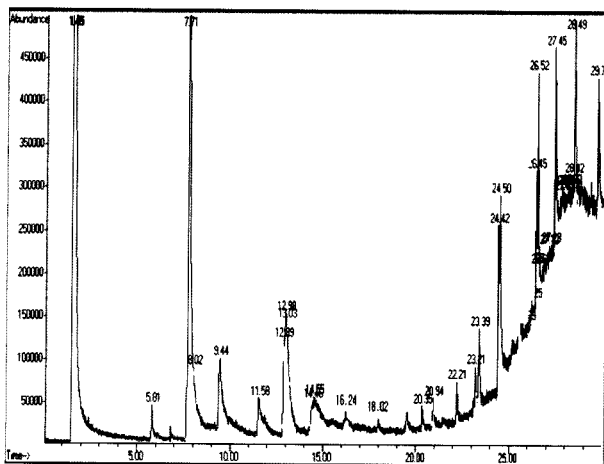
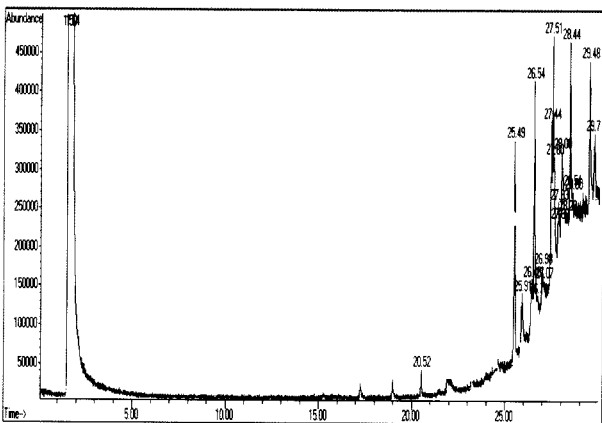


Fig. 15. Result of GC/MS Analysis for standard solution (a) and livestock wastewater (b).



(a)



(b)

Fig. 16. Result of GC/MS Analysis for Coagulation treatment water (a) and Fenton oxidation treatment water (b).

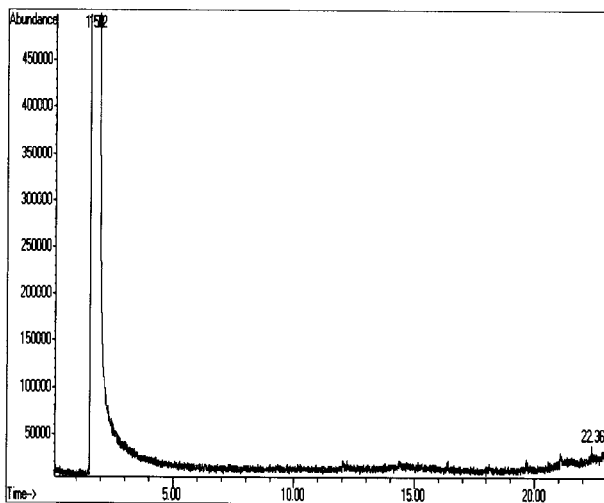


Fig. 17. Result of GC/MS Analysis for Zeolite treatment water.

4. 결론

축산폐수 원수를 응집, Fenton 산화 그리고 Zeolite 공정을 이용하여 처리한 후 난분해성 유기물질 제거특성 및 기

Table 6. Distribution of organic compounds in livestock wastewater and each treatment water from GC/MS

Retention time(min)	Name	Formula
5.81	Phenol	C ₆ H ₆ O
5.96	Phenol	C ₆ H ₆ O
7.87	Phenol, 4-methyl-(p-Cresol)	C ₇ H ₈ O
9.44	Phenol, 4-ethyl-	C ₈ H ₁₀ O
9.55	Phenol, 2-ethyl-(o-Ethylphenol)	C ₈ H ₁₀ O
10.30	Thiophene, tetrahydro, 1,1-dioxide(Tetramethylene sulfone)	C ₄ H ₈ O ₂ S
11.57	Benzonitrile, 2-methyl-	C ₈ H ₇ N
11.68	1H-Indole(Ketole)	C ₈ H ₇ N
13.00	1H-Indole(Scatole)	C ₈ H ₉ N
14.36	3-methylindole-2(3H)-one	C ₉ H ₉ NO
16.37	(+)-1-(p-Cyanobenzylidene)-2,3,4,5:6,7,tribenzocyclohepta-2,4,6-triene	C ₆ H ₉ N
18.11	6-Aza-5,7,12,14-tetrathiapentacene	C ₁₇ H ₉ NS ₄
19.54	Didodeceyl phthalate	C ₃₂ H ₅₄ O ₄
20.52	octa-Sulfur(Octathiocane)	S ₈
21.07	1H-Indole, 5-methyl-2-phenyl-	C ₁₅ H ₁₃ N
22.35	1,4-Bis(trimethylsilyl)benzene	C ₁₂ H ₂₂ Si ₂
23.54	1H-Indole, 2-methyl-3-phenyl-	C ₁₅ H ₁₃ N

기본성 결과는 다음과 같다.

- 1차 응집공정처리 후 COD의 제거효율은 높았으나, 여전히 BOD₅/COD_{Cr} ratio는 0.31~0.33으로 생물학적 처리가 어려운 상태이므로 2차 처리공정으로 OH 라디칼을 발생시키는 Fenton 산화공정이 효율적이었다.
- 2) Fenton 산화공정 조건에서 Fe²⁺/H₂O₂ ratio는 0.8, H₂O₂의 주입량은 1,750 mg/L, 반응 pH 3.5~3.7, 반응시간 60분에서 COD_{Cr} 및 난분해성 물질의 제거효과가 높았다.
- 3) NBDCOD의 제거량이 BDCOD 제거량보다 높은 것은 대부분이 고분자량의 환원성 상태로 존재하는 축산폐수의 경우 OH 라디칼에 의해 효과적으로 난분해성 물질을 산화되어 제거되므로 NBDCOD가 BDCOD보다 제거량이 높았다.
- 4) UV scanning를 이용한 기기분석에서 Fenton과 제올라이트 처리 시 98.7%의 제거효율을 보여주었으며 이는 COD_{Cr}(C/C₀)의 제거효과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 E₂/E₃ ratio (absorbance at 250 and 365 nm) 증가로 인하여 방향성을 나타내는 유기물질의 양도 감소하는 것으로 사료된다.
- 5) FT-IR 분석결과 원수에 존재하는 방향족 고리화합물질 및 알코올과 페놀류등이 OH radical에 의해 방향족 고리화합물이 분해되어 지방족 화합물이나 저분자 물질로 전환되었다.
- 6) GC/MS 분석결과 원수의 방향성 악취물질 화합물이나 tetramethyleylene sulfone같은 물질은 Fenton 산화처리 후 대부분의 방향족 화합물질이 제거되었음을 알 수 있었다.

사 사

2004. 7월에 특히 취득 및 3년간의 연구사업이 원활하게 수행될 수 있도록 도움을 주신 전라북도 보건환경연구원장님 이하 폐기물분석과 연구사님들에게 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- 간은성, Fenton 및 H₂O₂/UV 공정을 이용한 제지폐수의 처리 특성, *한국폐기물학회지*, **16**(5), pp. 474-947 (1999).
- 김동현, 이경혁, Fenton 산화반응을 이용한 유기산 세정약품 처리, *한국수질보전학회지*, **14**(1), pp. 13-19 (1998).
- 김명철, 오존처리에 따른 부식산의 특성변화연구, 강원대학교 대학원 석사학위 논문 (1997).
- 안병준, 백색부후균의 변이주인 Phanerochaete Chrysosporium PSBL-1을 이용한 축산폐수내 질소제거 및 난분해성 물질 분해특성에 관한연구, 전북대학교 일반대학원 석사학위논문 (2003).
- 원종철, 이종윤, 안웅현, 남궁원, 윤조희, Fenton 산화공정을 이용한 매립지 침출수 처리, *한국폐기물학회지*, **16**(3), pp. 314-321 (1999).
- 전라북도 보건환경연구원, *Fenton 산화와 Zeolite를 이용한 난분해성 폐수처리공법에 관한 연구(중간보고서)*, pp. 81-147 (2005).
- 정용순 등, 기기분석(기초와 실험), 반도출판사, pp. 129-178 (1998).
- 조성호, 오존발생장치 및 오·폐수 처리 적용현안(2), *환경기술*, **3**, pp. 24-32 (1997).
- 환경부, *수질오염공정시험방법* (2000).
- 환경부, *환경통계연감*, 제**16**호, pp. 39-40 (2004).
- APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed.s, New York (1995).
- Bowers, A. R. et al., *Evaluating Chemical Oxidation of Toxic Industrial Wastewater*, Presented at the 60th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, Philadelphia, PA., October, pp. 4-7 (1987).
- Chen, Y., Senesi, N. and Schnitzer, M., *Soil Sci. Am. J.*, **41**, p. 352 (1994).
- Christian, H. M., Wastewater Biofilters used for Advanced Treatment of Papermill Effluent, *Water Science and Technology*, **40**(11~12), pp. 101-108 (1999).
- De Haan, H., De Boer, T., Kremer, H. A. and Voerman, J., Applicability of Light Absorbance as a Measure of Organic Carbon in Humic Lake Water, *Wat. Res.*, **16**(6), pp. 1047-1050 (1982).
- DOBBS, R. A., WISE, R. H. and DEAN, R. B., The Use of Ultraviolet Absorbance for Monitoring the Total Organic Carbon Content of Water and Wastewater, *Wat. Res.*, **6**(10), pp. 1173-1180 (1972).
- Fenton, H. J. H., Oxidation of Tartaric Acid in the Presence of Iron, *J. Chem. Soc.(Brit)*, **65**, p. 899 (1894).
- Gulyas, H., Processes for the Removal of Recalcitrant Organics from Industrial Wastewater, *Water Sci. Tech.*, **36**, pp. 9-16 (1997).
- Kim, S. M. and Vogelpohl, A., Degradation of Organic Pollutants by the Photo-Fenton Oxidation Technology *Chemosphere*, **41**, pp. 1287-1297 (2000).
- Peuravuori, J. and Pihlaja, K., *Anal. Chim. Acta.*, **337**, p. 133 (1997).
- Reynolds, D. M. and Ahmad, S. R., Rapid and Direct Determination of Wastewater BOD Values using a Fluorescence Technique, *Wat. Res.*, **31**(8), pp. 2012-2018 (1997).
- Samuel, J. T., Jeff, N. and Neil, E. S., An Ultraviolet Absorbance Method of Estimating the Percent Aromatic Carbon Content of Humic Acids, *J. Environ. Qual.*, **19**, pp. 151-153 (1990).
- WADE, L. G. JR., *Organics Chemistry*, Fourth Edition, pp. 588-620 (1999).