

전기분해공법을 이용한 축산폐수의 고도처리에 관한 연구

정 순 형

대구보건대학 보건환경과

A Novel Application of Advanced Treatment in Livestock Wastewater by Electrolysis

Soon-Hyung Chung

Department of Health and Environment, Taegu Health College, Taegu 702-222, Korea

Abstract

In order to reduce the pollution load from the livestock farms and to improve the water quality of the effluent in livestock wastewater, the electrolysis system is introduced. For the selection of optimal electrode, various combination of electrodes such as carbon, Al and Fe were examined. In this study, electrode material, electrolyte concentration, electrode distance, current density, and pH value were found to have significant effect on both pollutant removal efficiency and current efficiency in electrochemical oxidation process. After electrolysis for 90 min with carbon/Al, it was observed that COD, T-N, T-P and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of livestock wastewater were removed with 80%, 61%, 81% and 87%, respectively.

Key words : Advanced treatment, electrolysis, electrooxidation, electrocoagulation, livestock wastewater

I. 서 론

축산폐수는 일반적으로 영양염류의 농도가 높고, 난분해성 물질을 다량 함유하고 있어 적절한 처리를 하지 않고 수계로 유입될 경우 하천의 부영양화를 비롯한 하천생태계에 큰 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다¹⁾. 대규모 축산시설의 경우 배출되는 축산폐수는 적절한 처리를 거쳐 방류되고 있는 반면, 소규모 축산농가에서 배출되는 축산폐수는 경제적 이유로 적절한 처리없이 방류되고 있는 실정이다. 이로 인해 인근 주민들에 악취 등의 문제로 민원이 자주 발생하고 있다¹⁾.

오늘날 축산폐수는 생물학적 처리공법에 의해 주로 처리되고 있으나 유기성 질소성분의 제거를 위하여 장기포기법을 선택하고 있으며, 이로 인한 포기조 용량이 과대해지는 경우가 많으며, 이는 축산폐수처리장 건설 및 유지에 많은 비용이 소요된다.

각 사육 동물에 따른 축산폐수발생의 원 단위를 살펴보면, 젖소가 32 L/일·두로 가장 높으며, 한우가 20 L/일·두, 그리고 돼지가 6 L/일·마리로 알려져 있으며, 분뇨 제거시 사용되는 세정수를 포함하면 젖소가 37.4 L/일·두, 한우가 30 L/일·두, 그리고 돼지가 12 L/일·마리로 알려져 있다¹⁾. 그

리고 축산폐수의 특성은 pH가 7-8사이로 약 알칼리성을 띄며, BOD는 20,000 mg/L, T-N은 4,000 mg/L 그리고 T-P은 400 mg/L 정도로 영양염류 및 유기성오염물질이 고농도로 존재하는 것이 특성이다.

축산폐수를 처리하기 위한 전기분해 공법은 암모니아성 질소의 제거효율이 높을 뿐 아니라 전기분해에 소요되는 시간이 짧아 반응기가 작아도 적절한 처리를 할 수 있는 것으로 알려져 있다^{2,3)}. 이러한 전기분해 공법에서 가장 중요한 인자는 오염물질 제거에 효과적인 전극의 선택과 반응기 설계가 처리효율에 중요한 factor로 작용한다^{4,5)}.

전기분해시 전극으로 이용될 수 있는 재질은 Al, Cu, Fe 등의 가용성 금속과 PbO₂, carbon 등의 불가용성 전극이 있으며, 제거하고자 하는 오염물질의 종류에 따라 적합한 전극을 선정하여야한다^{6,7)}. 본 연구에서는 구입이 용이하고, 가격이 저렴한 Al, Cu, Fe 및 carbon을 이용하여 실험을 수행하였으며, 회분식 반응기를 이용하여 전극재질에 따른 전류효율, 전류밀도, 전극간격, pH와 반응시간을 인자로 축산폐수 내 유기성오염물질의 제거동향을 연구한 후 연속처리를 도입하여 폐수 처리실험을 수행하였다. 이러한 연구는 축산폐수 처리 및 일반공장에서 배출되는 폐수의 전기분해공법 도입을 위한 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

II. 이론적 고찰

전기분해에 의한 오염물질의 제거경로는 아직 명확히 밝혀지지 않은 실정이지만, 학계에서 널리 인식되고 있는 반응 메커니즘은 다음과 같이 요약할 수 있다. 전기적 응집(electrocoagulation), 전기적 부상(electroflotation), 전기적 산화(electrooxidation), 정전기적 인력(electrostatic attraction), 화학적 전환(chemical modification), 화학적 침전(chemical precipitation)으로 구분하여 설명할 수 있다^{6,8)}.

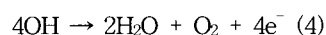
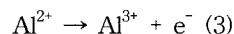
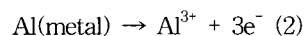
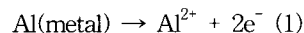
그러나 일반적으로 오·폐수내의 오염물질 제거에 적용되는 주된 반응 메커니즘은 전기적 응집반응과 전기적 산화반응에 의존하는 것으로 널리 알

려져 있으며, 특히 전기적 응집반응은 용해된 금속이 가수분해하여 현탁용존 및 콜로이드성 물질로 수산화물을 형성하게 되며, 정전기적 반발력(zeta potential)이 작아져 응집, 현탁, 침강성이 우수하게되고 이는 침전지를 거침으로서 대부분 제거된다^{5,9)}.

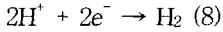
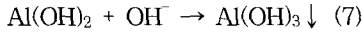
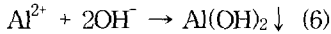
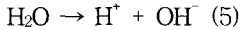
일반적으로 유기오염물질은 직접적인 양극산화반응과 간접적인 산화반응에 의해 전기화학적으로 산화 및 분해된다. 직접산화반응은 양극에서 일어나며, 오염물질이 양극표면에 흡착되어 양극전자 이동반응에 의하여 산화된다. 그러나 간접반응은 산화과정에서 생성된 발생기 산소(O₂), 하이포염소산(HOCl), 산화된 금속이온과 같은 강력한 산화제가 전기분해과정에서 전기 화학적으로 생성되며, 이러한 산화제에 의하여 수중의 유기 및 무기성 오염물질이 산화 제거되게 된다^{3,4,10)}. 또한 염소이온이 포함된 폐수는 양극산화반응에 의하여 HOCl을 형성시켜 간접산화반응의 효율을 높여주는 역할을 하게된다.

전기분해의 효율향상으로 주입되는 NaCl은 수용액상의 전기전도도를 증가시켜 전류효율을 향상시킬 뿐 아니라, NaOCl 및 HOCl을 생성시켜 간접산화반응을 촉진시키는 것으로 널리 알려져 있다^{5,11)}. 특히 산소(O₂)의 경우 Cl⁻와 반응하여 OCl⁻를 생성시키고, H⁺와 OCl⁻가 반응하여 HOCl을 생성시킨다¹²⁾. 이러한 HOCl은 KMnO₄, K₂Cr₂O₇보다 높은 산화력을 가지는 것으로 알려져 있다^{4,13)}. 양극에서 생성된 산소(O₂)가 유기물과 반응하여 산화제로 활용되고, 음극과 양극에서 발생된 수소와 산소는 gas bubble이 형성되어 배출되며, 산화되거나 응집된 물질은 침전하거나 생성된 기포에 부착되어 부상하게된다^{14,15)}. 금속수산화물 생성 메커니즘은 다양하게 연구되어 왔으며, Al전극을 사용했을 때 반응메커니즘은 다음과 같이 나타낼 수 있다⁴⁾.

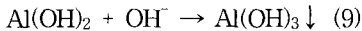
【Anode】



【Cathode】



양극에서 생성된 Al^{3+} 은 알칼리도와 결합하여 다음과 같은 반응에 따라 수산화물을 형성하여 침전하게 된다⁴⁾.



수산화알루미늄의 용해도적(K_{sp} : solubility product)는 $10^{-36.3}$ 이며, pH 5영역에서 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 형태로 금속수산화물이 형성되어 침전 제거되는 것으로 알려져 있다^{4,14)}. 식(4)와 같이 폐수중의 유기물은 양극에서 발생된 산소에 의해 산화반응이 일어나며, 특히 색도 유발물질의 경우 산소에 의해 발색단의 결합이 파괴되어 탈색이 이루어지는 것으로 알려져 있다^{3,5)}.

III. 실험

1. 실험장치

실험에 사용된 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 반응기는 7 mm두께의 아크릴판을 사용하여 길이 50 cm, 폭 20 cm 그리고 높이 20 cm로 전기분해 반응기를 제작하여 실험을 수행하였다. 반응기는 시료도입부와 셀 형태의 4개의 전극반응기와 별도의 침전지를 설치하였으며, 하나의 셀은 길이 10 cm, 폭 20 cm 그리고 높이 20 cm로 전극판이 2개가 들어갈 수 있도록 제작하였으며, 전극간의 간격을 조절할 수 있도록 제작하였다. 그리고 한 개의 셀의 내부용적은 4 L가 되도록 제작하였다. 그리고 본 연구에 사용된 탄소전극, 알루미늄전극 및 철전극의 규격은 높이 20 cm, 폭 20 cm 그리고 두께 0.7 cm의 크기로 잘라 사용하였으며, 전극판의 유효점촉면적은 400 cm^2 로 하여 실험을 수행하였다. 그리고 전극간의 간격은 1-5 cm로 조절이 가능하게 제작하였으며, 전극판들을 통해 흐르는 전류 및 전압은 전류 0-30 A 그리고 전압 0-30 V

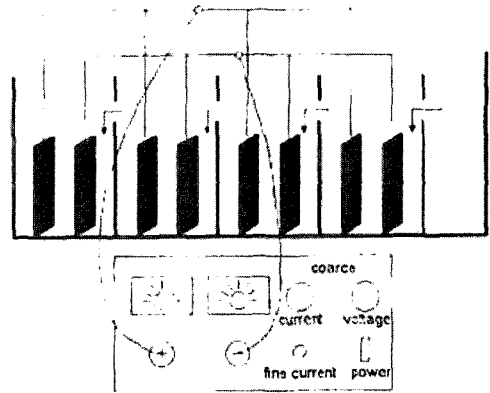


Fig. 1. Schematic diagram for the electrolysis.

까지 조절이 가능한 DC Power Supply를 사용하여 실험을 수행하였다.

2. 실험방법 및 분석

본 실험에 사용된 축산폐수는 한우를 주로 사육하는 대구시 인근의 Y농장에서 배출되는 축산폐수를 20 L용량의 용기에 담아 연구실로 이송 후 부유물질에 의한 영향을 최소화하기 위하여 2시간 침전시킨 상등수를 사용하여 실험을 실시하였다. 축산폐수처리에 가장 효율적인 전극을 선정하기 위하여 양극에는 탄소를 고정하고 음극에 탄소전극, 알루미늄전극 및 철 전극을 바꾸면서 전류효율이 가장 우수한 전극을 선정하였다. 그리고 전극간의 거리변화에 따른 축산폐수 처리효율분석실험에서는 전극간 거리를 1-5 cm로 변화시키면서 실험을 수행하였으며, 전류밀도변화에 따른 수처리효율 분석에서는 $10-30 \text{ mA/cm}^2$ 로 그리고 전해질 농도에 따른 축산폐수의 처리효율 실험에서는 전해질로 NaCl을 사용하여 0-0.2 N까지 변화시키면서 실험을 수행하였다. 그리고 pH변화에 따른 축산폐수처리효율 실험에서는 낮은 pH에서 수산화물의 용해도가 낮은 점을 감안하여 3, 5, 7, 9로 변화시키면서 실험을 실시하였다. 위와 같은 조건에서 축산폐수처리에 가장 효율적인 factors를 도출하여 연속적 처리실험을 실시하였다. 그리고 축산폐수의 수질분석에는 BOD, COD_{Cr} , T-N, T-P 그리고 NH_4^+-N 을 분석하였으며, 수질오염공정시험 방법에 준하여 분석하였다¹⁶⁾.

Table 1. Characteristics of livestock wastewater

[unit : mg/L]

	BOD	COD _{Cr}	T-N	NH ₄ ⁺ -N	T-P
Range	32,000-48,000	37,000-52,000	3,200-5,200	1,200-2,300	120-560
Mean	40,000	48,000	4,100	1,600	360
S · D*	2,100	2,350	180	120	56

S · D* : Standard Deviation(number of samples : 5).

IV. 결과 및 고찰

1. 축산폐수의 특성

축산폐수 원수의 수질을 분석한 결과 Table 1과 같은 결과를 얻었다.

Table 1에서 살펴본 바와 같이 BOD/COD_{Cr}값이 0.83으로 조사되어 생물학적으로 분해 불가능한 물질을 다소 함유하고 있는 것으로 나타났으며, NH₄⁺-N/T-N값은 0.39로 축산폐수중 대부분의 질소성분은 유기성 질소형태로 존재하는 것으로 나타났으며, T-P역시 일반 공장폐수에 비하여 월등히 높은 것으로 조사되었다.

2. 전극재질에 따른 전류효율

폐수중의 유기성오염물질을 전기 화학적 처리 방법으로 처리함에 있어 전류효율은 대단히 중요한 인자로 작용되며, 처리방법의 선택기준과 처리비용의 대부분을 차지함으로 유기물 단위 질량당 전력소요량은 폐수처리 전체 소요비용의 산정에 중요한 자료로 활용된다^{3,14,15}. 전류효율은 유기성 오염물질에 대한 전기 화학적인 산화공정의 효율성 개선에 활용되며, 전류효율은 유기오염물질의 전기 화학적인 산화반응이 일어나는 동안에 결정되며, COD법으로 전류효율을 구할 수 있다. 즉, 전기분해 반응전의 COD값과 일정시간 반응 후의 COD값으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다^{4,17}.

$$CE(\text{Current Efficiency}) (\%) = \frac{[COD_i - COD_f] \times V}{\frac{[I \times t]}{[F \times 2]} \times M} \times 100\%$$

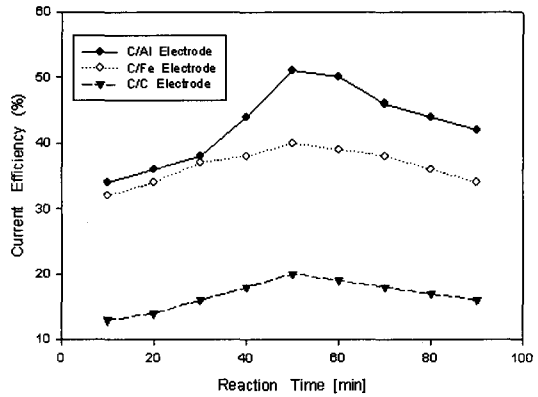


Fig. 2. Current efficiencies of electrode materials.

여기서 COD_i와 COD_f는 전기분해 전 후의 COD(mg/L)농도이며, V는 용액의 부피(L), I는 전기분해동안 적용된 전류량(A), t는 전기분해시간(sec), F는 페르데이상수(96,500 coulomb/mole), M는 산소의 분자량으로 나타낸다.

전극재질은 전류효율에 영향을 미치는 중요한 인자로서 이는 유기성오염물질의 제거를 위한 전기 화학적 산화공정의 효율성을 결정한다^{3,17}. Fig. 2는 양극에 탄소전극을 그리고 음극에 탄소, 알루미늄 및 철 전극을 이용하였을 경우의 전류효율을 나타낸 것이다. 전압 10 V 그리고 전류 15 A로 축산폐수의 각 전극에 따른 전류효율을 10분 간격으로 90분간 측정된 결과 Fig. 2와 같은 결과를 얻었다. 양극에 탄소전극을 그리고 음극에 알루미늄전극을 사용하였을 때 전류효율이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 전기분해시간이 50분에 가장 높은 전류효율을 얻을 수 있었는데, 이는 전기분해 초기에는 안정화가 될 때까지 전기응집반응이 원활히 일어나지 않고 전기산화반응만이 일어나기 때문이며, 50분 이후부터 효율이 감소한 것은 반응물의

농도가 감소하여 시간의 변화에 따른 농도의 큰 변화가 일어나지 않기 때문에 판단되었다^{4,17)}.

3. 전극간 거리변화에 따른 처리효율

축산폐수의 전류효율 실험을 실시한 결과 양극에 탄소전극 그리고 음극에 알루미늄전극을 사용하였을 때 가장 높은 전류효율을 얻었으며, 이들 전극간 거리변화에 따른 축산폐수처리효율 분석실험을 수행하기 위하여 1-5 cm까지 1 cm씩 전극간 거리를 두면서 실험을 수행하였다. 이때 전압 10 V, 전류 15 A, 전해질로 사용한 0.05N NaCl 을 사용하였으며, 반응시간은 10분 간격으로 90분간 반응시키면서 수질변화를 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

전극간 거리변화에 따른 COD제거효율을 분석한 결과, 반응시간 90분을 기준으로 1 cm에서 가장 높은 67%가 제거된 것으로 조사되었으며, 2cm에서는 조금 낮은 65%로 나타났다. 그러나 3cm이상의 전극간 거리에서는 현저한 처리효율의 감소가 관측되었으며, 5 cm에서는 40%의 낮은 COD제거효율이 관측되었다. 전극간 간격이 작을수록 유기성오염물질의 제거에 소요되는 시간이 단축 될 뿐만 아니라 높은 COD제거효율을 나타내는데, 이는 전극간 간격이 가까울수록 효율적인 전류가 흐르기 때문에 양극의 직접산화반응이 효과적으로 진행됨과 동시에 양극에서 생성된 산소 및 HOCl과 같은 강력한 산화제가 유기오염물질을 산화시키는

간접산화반응도 병행하여 일어나기 때문으로 판단되며, 전극간 거리가 가까울수록 Al^{+3} 이온의 용출속도가 증가하여 금속수산화물을 형성하는 전기용집반응도 빨리 일어나기 때문으로 판단되었다^{4,17)}.

반면 전극간 거리가 멀수록 전극간의 저항이 증가하여 효율적인 전류가 흐르지 못하게되어 충분한 전기분해가 이루어지지 못하는 것으로 판단되었다. 그러나 전극간의 간격이 너무 가까울 경우 금속전극으로부터 산화 용출에 의한 전극의 부식이 빨라져 전극수명이 단축되며, 금속수산화 착물 형성으로 슬러지 발생량이 증가한다는 문제점을 안고 있다^{3,4)}. 따라서 본 연구에서는 금속전극의 부식이 적으면서도 COD제거효율이 우수한 2 cm가 축산폐수처리에 가장 효과적인 전극간격으로 조사되었다.

4. 전류밀도변화에 따른 처리효율

전류효율실험 및 전극간의 간격에 따른 축산폐수처리효율 분석실험에서 가장 효과적인 것으로 조사된 탄소/알루미늄 전극을 사용하고 전극간 거리를 2 cm로 일정하게 유지하면서 전류밀도 변화에 따른 수처리효율을 분석하였다. 이때 전류밀도는 10-30mA/cm²로 5mA/cm²씩 증가시키면서 실험을 수행하였으며, 이때 전압은 10V 그리고 전해질로 사용한 NaCl은 0.05N로 하여 실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

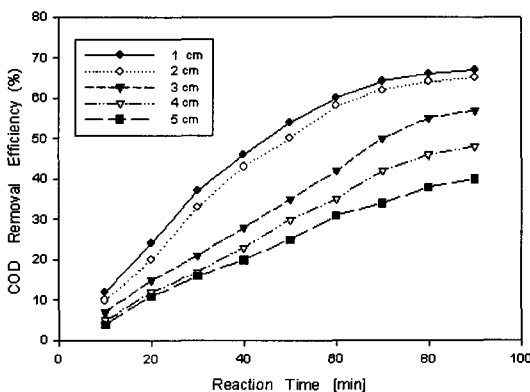


Fig. 3. Effect of COD removal efficiency according to various electrode distance.

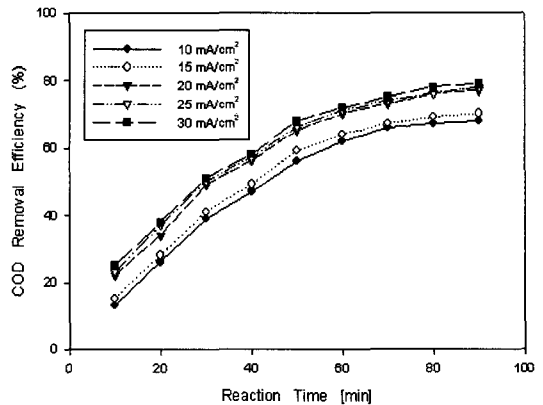
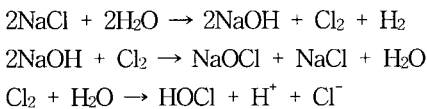


Fig. 4. Effect of COD removal efficiency according to various current density.

전류밀도는 폐수처리를 위한 전기 화학적 산화 공정에서 오염물질제거에 중요한 인자로 작용한다. 일반적으로 전류밀도가 높을수록 산화반응이 촉진되어 높은 유기성오염물질의 제거효율을 얻는 반면, 폐수처리에 소요되는 비용이 상승하게된다. 따라서 전기분해로 처리하고자하는 대상 폐수에 적합한 전류밀도를 도출하는 것은 매우 중요하다. Fig. 4에서 살펴본 바와 같이 전류밀도 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 이상에서는 경미한 제거효율향상이 관측되었으나, $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 이하에서는 현저한 제거효율 둔화가 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 축산폐수의 전기분해에 효율적인 전류밀도를 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 선정하였다.

5. 전해질농도변화에 따른 처리효율

일반적으로 전기분해공정에서 NaCl을 전해질로 많이 활용하고 있으며, 전해질의 농도 증가에 따라 전류효율이 향상하는 것으로 널리 알려져 있다^{3,17}. 이는 전해질의 농도가 증가할수록 수용액상의 전기전도도가 증가하여 전기응집반응 및 전기산화반응이 향상됨과 동시에 반응의 안정화에 소요되는 시간이 짧아지기 때문으로 알려져 있다^{4,17}. 특히 전해질로 NaCl을 사용할 경우 양극에서 생성되는 산소뿐만 아니라 NaCl주입으로 인해 생성되는 HOCl 및 NaOCl과 같은 산화제가 생성되어 이들이 유기성오염물질을 산화 제거시키는 것으로 알려져 있으며, 이를 아래의 반응식으로 나타내었다^{3,17}.



상기 반응식에서 생성된 HOCl 및 NaOCl은 높은 산화력을 가지는 바, 폐수중의 유기성오염물질과 다음과 같이 반응하여 제거하게 된다.

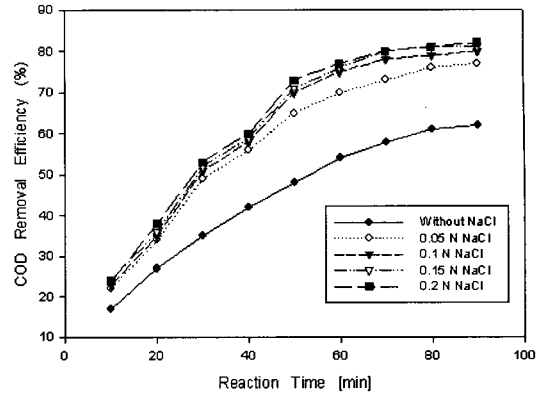
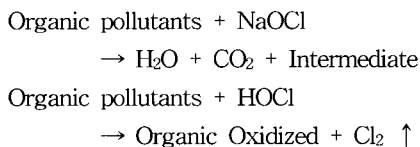


Fig. 5. Effect of COD removal efficiency according to various electrolyte concentration.

본 연구에서는 NaCl을 전해질로 사용하였으며, 0-0.2 N까지 0.05 N씩 농도를 변화시키면서 90분간 전기분해를 실시하였다. 이때 전압 10 V, 전극은 탄소/알루미늄 전극을 사용하였으며, 전극간 거리는 2 cm 그리고 전류밀도는 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 일정하게 유지하면서 실험을 수행한 결과 Fig. 5와 같은 결과를 얻었다.

Fig. 5에서 살펴본 바와 같이 반응시간 90분을 기준으로 전해질 농도에 따른 COD제거효율을 살펴보면 NaCl을 첨가하지 않았을 경우 62%로 낮은 반면, 0.05 N에서 77%, 0.1 N에서 80%, 0.15 N에서 81% 그리고 0.2 N에서 82%가 제거된 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 전해질로 주입된 NaCl이 HOCl 및 NaOCl로 전환되어 축산폐수중의 유기성오염물의 산화에 관여한 것으로 판단되었으며, COD제거효율이 80%이상인 0.1 N을 적정 전해질 주입농도로 선정하였다.

6. pH변화에 따른 처리효율

전기분해에서 음극으로 알루미늄전극을 사용하는 경우 전기분해의 적절한 pH선정은 매우 중요한 인자로 지적되는데, 이는 알루미늄전극으로부터 용출된 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 금속수산화물은 pH 5-6영역에서 전기응집이 잘 일어나기 때문이다¹⁷. 또한 전기분해과정에서 전해질로 주입된 NaCl에 의하여 생성되는 HOCl의 존재가 일반적으로 pH 6이하에서 가능하기 때문이다. pH변화에 따른 축산폐수의 COD제거효율 실험을 실시한 결과 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다.

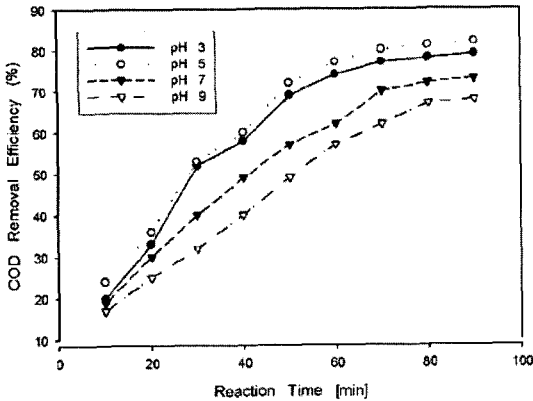


Fig. 6. Effect of COD removal efficiency according to various pH. [electrode : C/Al, electrode distance : 2 cm, current density : 20 mA/cm², electrolyte concentration : 0.1 N].

Fig. 6에서 살펴본 바와 같이 pH 5에서 유기성 오염물질의 제거효율이 가장 우수한 것으로 조사되었으며, pH가 상승할수록 제거효율이 현저히 저하되는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 알루미늄전극으로부터 용출된 Al⁺³가 Al(OH)₃의 금속수산화물을 형성하는 전기응집의 경우 pH가 높을 경우 용해도가 상승하여 Al(OH)₃의 형성에 장애를 유발함과 동시에 전해질로 주입한 NaCl역시 HOCl보다 산화환원전위(ORP : Oxidation Reduction Potential)가 낮은 OCl⁻의 형태로 수중에 존재함으로써 유기성오염물질이 효과적으로 산화 및 제거되지 못한 결과로 판단되었다^{4,17)}.

7. 전기분해에 의한 영양염류의 제거

전기분해에 의한 T-N 및 T-P와 같은 영양염류의 제거정도를 조사하기 위하여 90분간 전기분해를 실시한 결과 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다.

전기분해시간 90분을 기준으로 T-N은 62%, T-P는 86% 그리고 NH₄⁺-N은 90%가 제거된 것으로 조사되었으며, NH₄⁺-N은의 제거경로를 살펴보면 다음과 같이 설명할 수 있다^{4,17)}.

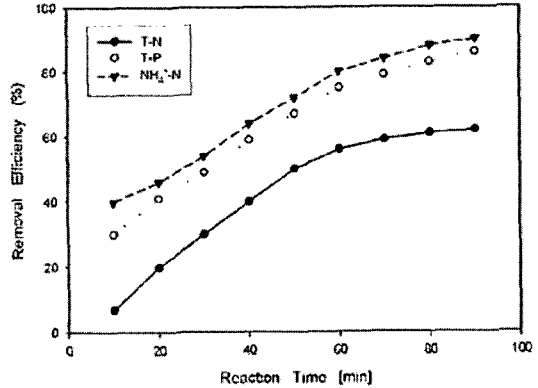
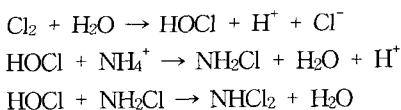


Fig. 7. Removal of T-N, T-P and NH₄⁺ with electrolysis of livestock wastewater [electrode : C/Al, electrode distance : 2cm, current density : 20mA/cm², electrolyte concentration : 0.1 N, pH : 5].

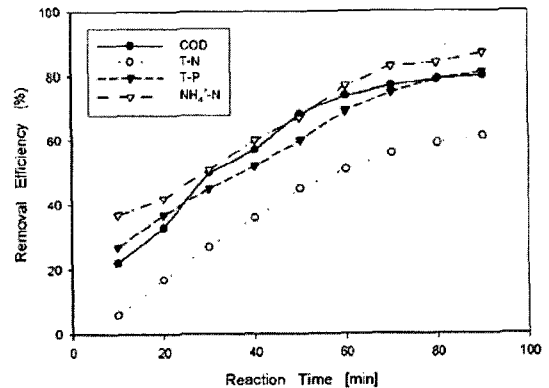
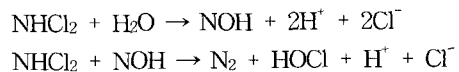


Fig. 8. Removal of pollutants with electrolysis of livestock wastewater [electrode : C/Al, electrode distance : 2cm, current density : 20mA/cm², electrolyte concentration : 0.1 N, pH : 5].



여기서 Cl₂는 전해질로 사용된 NaCl에 의해 발생된 것이며, 상기의 반응으로 NH₄⁺-N가 전기분해 과정에서 제거된 것을 확인할 수 있었다. 그리고 T-P의 높은 제거효율은 전기산화과정에 T-P 성분의 대부분이 PO₄⁻³의 형태로 산화되며, 이는 음극 알루미늄전극에서 용출되는 Al⁺³과 반응하여 AlPO₄의 형태로 침전한 것으로 판단되었다.

8. 연속처리에 의한 오염물질제거

지금까지 회분식 반응기를 사용하여 축산폐수처리에 효과적인 전극, 전극간 거리, 전류밀도, 적정 pH 및 전해질농도실험을 통하여 도출된 최적 처리 조건으로 연속식 반응기를 이용하여 축산폐수를 처리한 결과 회분식보다 다소 낮은 제거효율이 관측되었다. 전기분해시간 90분을 기준으로 COD 80%, T-N 61%, T-P 81% 그리고 NH_4^+-N 87%가 제거된 것으로 조사되었으며, 이를 Fig. 8에 나타내었다.

V. 결 론

축산폐수의 고도처리를 위하여 전기분해공법을 도입한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

축산폐수처리에 가장 효율적인 전극은 양극에 탄소전극, 음극에 알루미늄전극을 적용하였을 때 전류효율이 가장 우수하였으며, 적정 전극간 거리는 2cm로 조사되었다. 그리고 축산폐수처리에 효과적인 전류밀도, 전해질농도 및 pH는 각각 $20\text{mA}/\text{cm}^2$, 0.1 N, pH 5로 조사되었다. 이러한 회분식 반응기를 이용한 실험결과를 바탕으로 90분간 연속처리를 실시한 결과 전기분해시간 90분을 기준으로 COD 80%, T-N 61%, T-P 81% 그리고 NH_4^+-N 87%가 제거된 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 전기분해공법이 축산폐수처리에 효율적임을 보여주는 것으로 판단되며, 영양염류의 더 높은 제거효율을 얻기 위하여 이온교환의 도입이 요구되는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 환경부 : 통계연감, (2003).
2. Marincic, L. and Frank, B. L. : Electrochemistry and oxidation of ammonia in wastewater, *Applied Electrochemistry*, 8, 333-345(1978).
3. Vijayaaraghavan, K., Ramanujam, T. K. and Balasubramanian, N. : In site hypochlorous acid generate ion for treatment of tannery wastewater, *Environmental Engineering*, 9, 887-891(1998).
4. Chiang, L. C., Chang, J. E. and Tseng S. C. : Electrochemical oxidation pre-treatment of refractory organic pollutants, *Water Science and Technology*, 36(23), 123-130(1997).
5. Lidia, S., Jereni, N. and Francesco, Z. G. : Electrochemical treatment of tannery wastewater using Ti/Pt and Ti/Pt/Ir electrode, *Water Research*, 29(29), 517-524(1995).
6. Sedlak, R. : Phosphorus nitrogen removal from municipal wastewater, *Lewis*, 218-240(1991).
7. Chiang, L. C., Chang, J. E. and Wen, T. C. : Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate, *Water Research*, 29(2), 671-678(1995).
8. Chiang, L. C., Chang, J. E. and Tseng S. C. : Electrochemical treatability of refractory pollutants in landfill leachate, *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 12(1), 71-82(1981).
9. Eugene. S. : Diffused-air stripping of ammonia in advanced wastewater treatment, *Chemistry in water reuse*, 2, 497-508, Ann Arbor Science.(1981).
10. William, J. C. : Diffused-air stripping of ammonia in advanced wastewater treatment, *Chemistry in water reuse*, 2, 497-508, Ann Arbor Science.(1981).
11. Bonmati, A. and Flotats, X. : Air stripping ammonia from pig slurry, *Waste Management*, 23(3), 261-272(2003).
12. Liao, P. H., Chen., A. and Lo, K. V. : Removal of nitrogen from swine manure wastewater by ammonia stripping, *Biore-source Technology*, 54, 17-20(1995).
13. Opatken, E. J. and Bond, J. J. : RBC nitrification of high ammonia leachate, *Environmental Process*, 10(1), 60-63(1991).
14. Angelidaki, I. and Ahring, B. K. : Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 38(3), 560-564(1993).
15. Fujishimas, S., Miyahara, T. and Noike, T. :

Effect of moisture content on anaerobic digestion of dewatered sludge, ammonia inhibition to carbohydrate removal and methane production, *Water Science and Technology*, 41(3), 119-127(2000).

16. 동화기술, 수질오염공정시험방법, (2000).
17. 김성국, 박상원, 홍대일 : 전기분해에 의한 염색 폐수 처리공정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 8(4), 539-545(1999).