

# 생물학적 축산폐수 처리수 색도제거를 위한 전기화학적 방법의 적용

윤성준 · 신종서 · 라창식

강원대학교 동물자원학부

## Application of Electrochemical Method for Decolorization of Biologically Treated Animal Wastewater Effluent

S. J. Yoon, J. S. Shin and C. S. Ra

Division of Animal Resource Science, Kangwon National University

### ABSTRACT

This research was conducted to clarify the characteristics of electrochemical decolorization of effluent discharged from a biological animal wastewater treatment process and to finally establish parameters or mode for optimum operation of electrolysis system. Average color unit of wastewater was about 1,200 and DSA(Dimensionally Stable Anode) was used as electrode. Experiments were performed with two different operation conditions or modes, fixed voltage-free current(Run A) and free voltage-fixed current(Run B). Color removal rate was proportional to the electrode area and electrical conductivity, and an equation subject to them at a condition of fixed voltage was derived as follows;  $C_t = C_0 e^{-kt}$ ,  $k = \{[0.0121 \times a \text{ (dm}^2) \times c \text{ (mS/cm)}] + 0.0288\}$ , [where,  $C_0$ : initial color,  $C_t$ : color unit after treatment for  $t$ ,  $k$ : reaction coefficient,  $t$ : time (min.),  $a$ : electrode area,  $c$ : conductivity]. From the study on the effects of current density on color removal, it was revealed that the removal efficiency of color was function of the current density, showing direct proportion. However, when considered energy consumption rate, maintenance of low current density was an economical way. Based on the obtained results, it was concluded that supplementation of electrolyte is not necessary for the removal of color from the effluent of secondary treatment process and operation with the mode of free voltage-fixed current, rather than operation with fixed voltage-free current mode, would be an efficient way to increase the removal performance and capacity per consumed energy.

(**Key words** : Electrochemical, Color, Electrode area(dm<sup>2</sup>), Conductivity(mS/cm), Voltage(V), Current(A)).

### I. 서 론

축산폐수공공처리시설은 전국에 총 40개소가 설치 운영되고 있으며 대부분 생물학적 처리방법을 통해 1일 6,645m<sup>3</sup> 수준의 축산분뇨를 처

리하고 있다(환경부, 2003). 그러나 생물학적방법은 처리과정 후에도 색깔이 없어지지 않고 진한 갈색을 지니고 있어 처리수 방류 시 수자원의 투명도를 해칠 요소를 지니고 있으며, 투명도가 나쁨에 따라 2차, 3차의 계속적인 환경

Corresponding author : C. S. Ra, Division of Animal Resource Science, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea.

Tel : 033) 250-8618, Fax : 033) 244-2433, E-mail : changsix@kangwon.ac.kr

오염을 유발 할 수 있다. 또한, 방류 시에 지니고 있는 색깔로 인해 처리가 되었음에도 불구하고 처리장 주변 주민들에게 심미적인 불쾌감을 유발하므로 색도제거에 있어서 안정적인 기술개발이 필요한 실정이다.

일반적으로 축산폐수 방류수의 색깔은 진한 황갈색으로 기본적으로 생물학적 처리과정 중 유기화합물질의 분해로 생성된 humics 등과 같은 생물학적으로 분해하기 어려운 난분해성 유기물들(non-biodegradable organics: NBOs)로 구성되어있다(김 등, 2001). 이러한 물질들을 제거하기위한 방법으로는 강력한 화학산화제를 이용하거나 철, 알루미늄염 등의 응집제를 이용하여 응집/침전시켜 부상 분리하는 방법과 여과하거나 흡착시키는 방법 등을 이용하는 물리적, 화학적 방법들이 있으며, 최근 국내에서는 펜톤산화법, 고속전자빔법, 광촉매 산화법, 전기화학적 처리법과 같은 방법 등이 이용되고 있다(원 등, 2003; 윤 등, 2003; 이 등, 2003; 조 등, 2003; 윤과 김, 2001; 허 등, 1996). 이와같은 많은 공법 중에서 전기화학적 처리공법은 처리시간이 매우 짧고 운전장치가 간편할 뿐만 아니라 어떤 다른 공정보다 부지면적 당 처리능력이 매우 우수한 것으로 평가받고 있으며 운전이 간편하다는 장점을 가지고 있다(진 등, 2000). 전기화학적 방법은 폐수내의 이온들의 움직임에 의해 화학적 산화반응이 일어나게 되어 유기물과 암모니아성 질소의 산화와 고형물 및 색도의 제거까지 가능한 처리방법으로(조 등, 2003; 윤 등, 2001; 정과 이, 2001; Chiang 등, 1995), Vlyssides 등(2000)은 침출수를 사용하여 6분만에 40,000 color unit을 99%까지 제거했다고 보고한 바 있다. 이러한 색도제거는 전기적 직·간접산화 반응을 통해 독성과 생물학적으로 분해 불가능한 유기물을 파괴함으로써 이루어지는 것으로(Marco 등, 2000) 전기화학반응은 전기전도도, 전극재질, 전류밀도, 전극간격, 체류시간 등에 의해 반응속도가 달라진다고 보고되고 있다(길 등, 2000; Vlyssides 등, 2000; Lidia 등, 1995). 축산폐수에는 다량의 전해질이 함유되어있어 높은 전기전도도를 가지는데 이러한 축산폐수의 특성으로 미뤄 생각

할 때 전기화학적 처리방법을 이용한 생물학적 처리수의 색도제거시 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 전기화학적 축산폐수 색도제거에 있어서 적절한 운전방법의 도출에 대한 연구는 아직 많이 이루어지지 않았으며 그 결과 최적운전인자 결정에 활용할 수 있는 정보는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 축산폐수 2차 처리수에 잔존해있는 고농도의 색도유발물질을 전기화학적 반응을 이용하여 제거하는데 있어서 전극면적, 전기전도도, 전류밀도 등에 따른 탈색특성을 파악하고 그 결과에 의거하여 축산폐수 처리수 색도제거를 위한 경제적인 운전조건을 도출하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 유입수 및 실험장치

실험에 사용된 유입수로는 축산폐수를 처리하는 SBR(Sequencing Batch Reactor)의 방류수를 사용하였으며 평균 색도 값은 1199.0 color unit, 전기전도도는 3.8 mS/cm 였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of water

	Color (unit)	E C (mS/cm)
Min	1037.3	3.5
Max	1562.1	4.0
Mean	1199.0	3.8
Stdev	160.5	0.3

전기화학 반응조는 14 cm(W) × 18 cm(L) × 32 cm(H)의 lab scale로 총 용적 8.1 L, 운전 용적 6L규모로 설치하였다. 전극은 양극판(Anode)의 재질에 따라 전력효율과 처리 효율에 큰 차이를 보이며 티타늄전극이 다른 전극에 비해 전극산화 반응효율이 우수하다는 보고에 따라(정 등, 2001, 2002) 티타늄(Ti)에 이리듐(IrO<sub>2</sub>)을 전착한 불용성 극판(Dimensionally Stable Anode, DSA)을 사용하였고, 음극판(Cathode)은 stainless를 사용하였다. 양극판의 크기는 2 cm(W) × 20 cm(L) 혹은 30 cm(L)로 하였고 양극판 양쪽에

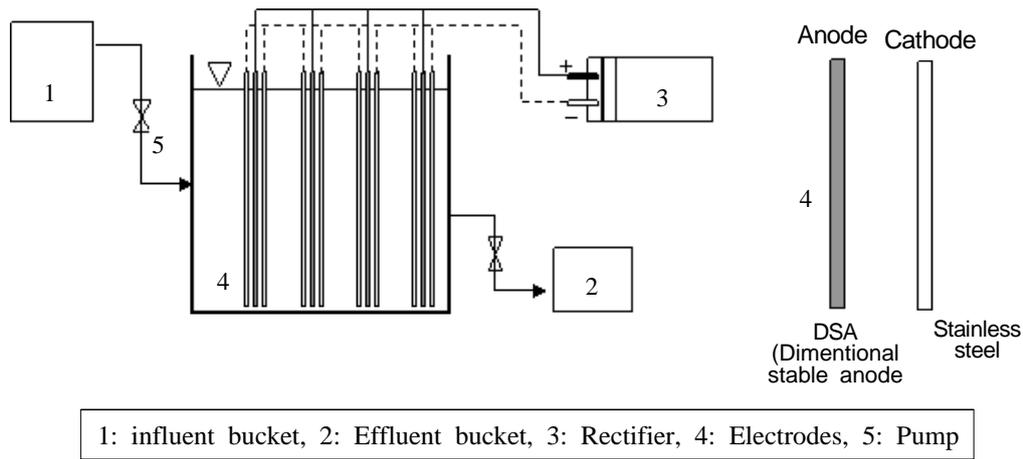


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

동일한 크기의 음극판 두 개를 6 mm 간격으로 평행하게 설치하여 실험하였다. 정류공급을 위해 최대전압 12V, 최대전류 250A의 power supply를 사용하였다(Fig. 1).

2. 운전방법

전기분해효율에 영향을 미치는 전기전도도, 전극면적, 유입전압 혹은 전류 등의 운전인자에 대한 색도제거 특성과 운전효율성 등을 파악하고 그 결과를 근거로 축산폐수 처리수 색도제거에 적합한 운전방법을 도출하고자 두 가지(Run A와 B) 운전조건하에서 실험을 수행하였다(Table 2). Run A에서는 네 가지의 서로 다른 전극면적과 3개의 서로 다른 전기전도도 조건에서의 색도제거 특성을 파악한 것으로 실험은 batch mode로 수행하였으며 전기전도도의 변화는 NaCl을 첨가하여 3.5, 7, 10 mS/cm로 변화를 주었고, 전극면적은 반응조내에 들어가는 전극 개수를 달리하여 양극기준 0.51, 1.00, 1.40, 1.76 dm<sup>2</sup>로 조정하여 실험하였다. 유입전압은 12V로 고정하고 폐수 내에서 전기화학반응에 필요한 전류(A)가 소요되도록 하였다.

Run B에서는 양극면적 1.76 dm<sup>2</sup>, 전류밀도 2.84, 5.68, 8.52A/dm<sup>2</sup>에서 수행하였으며, 전류밀도에 따라 필요전압이 소요되도록 하였다.

Table 2. Operating condition

Run A	Electrode area (dm <sup>2</sup> )	Conductivity (mS/cm)	Input Ampere (A)	Input voltage (V)
1	0.51	3.5	Free	12
2	0.51	7.0	Free	12
3	0.51	10.0	Free	12
4	1.00	3.5	Free	12
5	1.00	7.0	Free	12
6	1.00	10.0	Free	12
7	1.40	3.5	Free	12
8	1.40	7.0	Free	12
9	1.40	10.0	Free	12
10	1.76	3.5	Free	12
11	1.76	7.0	Free	12
12	1.76	10.0	Free	12

Run B	Electrode area (dm <sup>2</sup> )	Conductivity (mS/cm)	Input Ampere (A)	Input voltage (V)
1	1.76	4	8.52	Free
2	1.76	4	5.68	Free
3	1.76	4	2.84	Free

3. 분석 실험

색도의 측정은 UV-visible spectrophotometer (Optizen, 2120UV)를 이용하여 400 nm에서 ab

sorbance value를 측정하였고, 수질오염공정시험법에 따른 색도 기준에 따라 환산하여 비교하였다(환경부, 2000).

### III. 결과 및 고찰

색도의 측정 시 수질오염공정시험법에 의한 색도와 400 nm에서의 absorbance value 간의 상관관계를 구하고자 우선 수질오염공정시험방법에 의거한 standard 용액의 영역별 absorbance value를 scanning한 결과, 가시광선 영역인 380-780 nm 파장범위에서는 가장 짧은 파장인 380 nm에서 absorbance value의 민감성이 가장 높게 나타났다(Fig. 2). 그러나 일반적인 장비를 이용하여 380 nm에서 측산폐수와 같이 높은 색도값을 갖는 대상물의 absorbance value를 측정하는 것이 용이하지 않음에 따라 동일한 색도의 absorbance value를 400 nm와 380 nm에서 측정하여 비교해본 결과 비록 400 nm에서 측정할 경우 380 nm 보다는 민감성이 떨어지지만 (400 nm에 비해 380 nm에서 측정된 값이 약 1.8배 큰 값을 가짐) 400 nm에서 측정할 때에 일반적인 spectrophotometer를 이용하여서도 자체 색도가 매우 높은 측산폐수 2차 처리수의 색도를 정확히 측정하는 것이 가능한 것으로 나타났다(Fig. 3A).

또한 실험에 사용된 유입수의 수질오염공정시험법에 의한 색도값과 400 nm 파장에서의 absorbance value를 비교하였을 때 Fig. 3B, 3C와 같이 매우 높은 상관관계가 나타남으로 400 nm에서 색도를 측정하는 것의 가능성을 재확인 할 수 있었다.

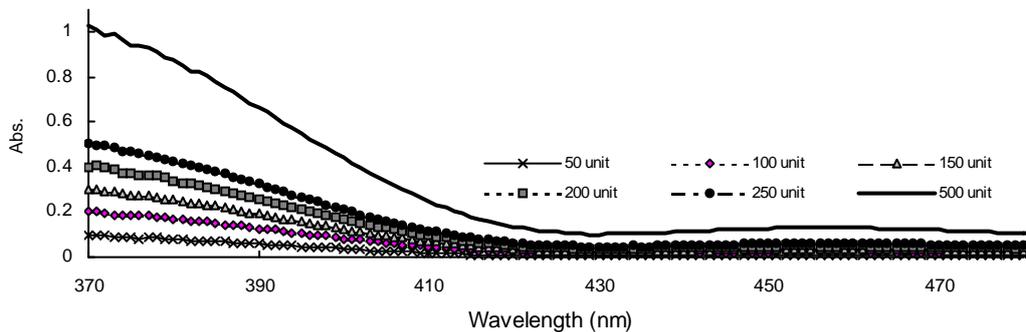
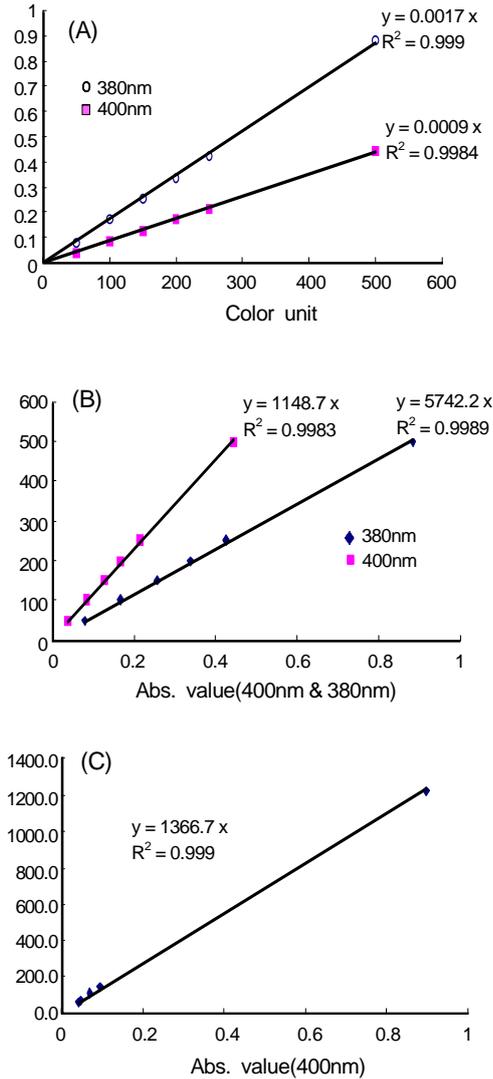


Fig. 2. Scanning diagram for each color(unit) of standard solution.



A : Color unit vs absorbance(standard)  
 B, C : Color(unit) vs absorbance value in influent  
 Fig. 3. Absorbance value vs Color unit.

1. 전극면적과 전기전도도 영향

전극면적과 전기전도도가 전기화학적 색도 제거에 미치는 영향을 알아보기로 전기전도도 3.5, 7.0, 10.0 mS/cm와 전극면적 0.51, 1.00, 1.40, 1.76 dm<sup>2</sup>에서 실험하였다.

Table 3은 초기 색도값과 색도가 85%까지 제거되는 시간, 제거된 색도, 85% 제거된 후 남은 색도값을 나타낸 것이다. 85% 까지의 색도 제거 시간은 전극면적 1.76 dm<sup>2</sup>과 전기전도도 10.0 mS/cm에서 가장 빠른 22.9분을 보였으며 전극면적 0.51 dm<sup>2</sup>, 전기전도도 3.5 mS/cm에서 가장 느린 203.2분이 소요되었다. 전기전도도와 전극면적에 따른 색도제거특성을 볼 때 전극면적이 크고, 전기전도도가 커질수록 색도제거는 빠르게 진행됨을 알 수 있었다. 이렇게 전극면적과 전도도가 높을수록 색도제거 속도가 빠르게 진행되는 것은 전극면적과 전기전도도가 유입전류의 값을 크게 하기 때문이라고 판단된다. 전극면적의 크기는 전류가 흐르는 면적 자체를 크게 하고 양극판에서의 OH<sup>-</sup>와 하이포염소산에 의한 양극산화 반응면적을 크게 한다. 전기전도도는 저항과 반비례관계를 갖는 것으로 전기전도도가 높다는 것은 저항이 적다는 것을 말하며 따라서 동일한 전압하에서 높은 전류의 흐름을 공급할 수 있다. 뿐만 아니라

전도도를 높여 주기위해 사용된 NaCl에 의해 하이포염소산과 같은 중간생성물이 생성되어 색도를 함유하고 있는 유기물산화에 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 유기물의 제거에 있어 염소이온의 첨가량은 매우 중요한 인자로서 염소이온의 농도와 유기물 제거효율은 비례하는 것으로 보고되고 있다(Chiang 등, 1995). 이러한 결과에 의거 전극면적과 전기전도도가 전류흐름에 미치는 영향을 파악하면 색도제거 반응식을 도출할 수 있을 것이라 판단되었다. 색도의 제거는 전극면적이 크고 전기전도도가 높을수록 빠르게 제거됨에 따라 전극면적과 전기전도도에 따른 반응계수(K)를 구하면 시간에 따른 색도 제거량을 예측할 수 있을 것이라 판단되어 ‘색도제거 반응은 1차반응 동력학에 따른다’ 라는 가정 하에서 K값을 유도해 보고자 하였다.

$$dC/dt = -kC_0 \dots\dots\dots (식 1)$$

$$\rightarrow C_t = C_{0e}^{-kt} \dots\dots\dots (식 2)$$

[where, C<sub>0</sub>: initial color, C<sub>t</sub>: color unit after treatment for t, k: reaction coefficient, t: time(min.)]

K는 전기전도도와 전극면적에 따라 변화하기 때문에 Table 3의 결과를 이용하여 K 값을 알아본 결과(Fig. 4A) 전기전도도 3.5 mS/cm인 경우 전극면적이 상승함에 따라 관찰된 K값인

Table 3. Color removal rate vs electrode area & electric conductivity

		0.51dm <sup>2</sup>	1.00 dm <sup>2</sup>	1.40 dm <sup>2</sup>	1.76 dm <sup>2</sup>
C <sub>0</sub>		1091.0	1128.9	1101.0	1138.0
Time(min)	3.5	203.2	110.1	63.7	37.2
dC <sub>t</sub>	mS/cm	927.4	959.6	935.9	967.3
C <sub>t</sub>		163.7	169.3	165.2	170.7
C <sub>0</sub>		1072	1037	1131	1280
Time(min)	7.0	110.3	46.5	35.5	30.4
dC <sub>t</sub>	mS/cm	911.2	881.45	961.35	1088
C <sub>t</sub>		160.8	155.55	169.65	192
C <sub>0</sub>		1100	1108	1087	1205
Time(min)	10.0	73.8	29.9	27.2	22.9
dC <sub>t</sub>	mS/cm	935.0	941.8	924.0	1024.3
C <sub>t</sub>		165	166.2	163.05	180.75

$K_{obt}$  는 0.0716씩 증가하였으며 7.0, 10.0 mS/cm 에서는 각각 0.1098, 0.1498씩 증가함을 알 수 있었다. 따라서 전기전도도와 전극면적 변화 영향을 고려한 K 값은 (Fig. 4B) 약  $0.0121x + 0.0288$  을 알 수 있었다. 따라서 전기전도도와 전극면적에 따른 K 값은 식 3)과 같이 표현되어 질 수 있었다.

$$K = [0.0121 \times \text{electrode area (dm}^2) \times \text{conductivity (mS/cm)}] + 0.0288 \dots\dots\dots (\text{식3})$$

— overall —

$$\frac{dC}{dt} = -kC_0$$

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

$$k = [0.0121 \times a (\text{dm}^2) \times c (\text{mS/cm})] + 0.0288,$$

[where - a: electrode area, c: conductivity,]

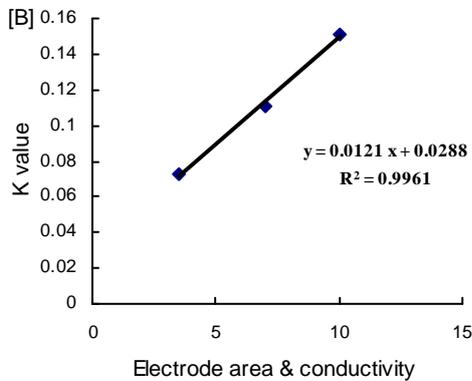
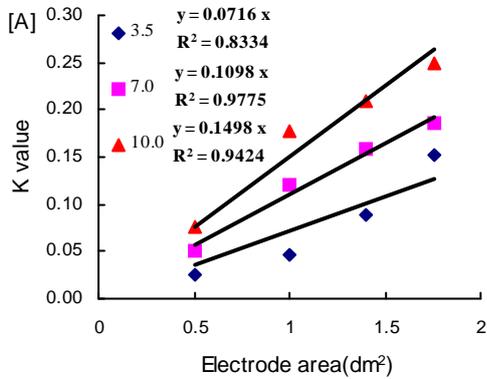


Fig. 4. K value vs Electrode area.

**2. 운전모드 및 특성 분석**

Run A에서와 같이 고정전압, 유동전류 조건에서 전류의 세기는 전극면적과 전기전도도에

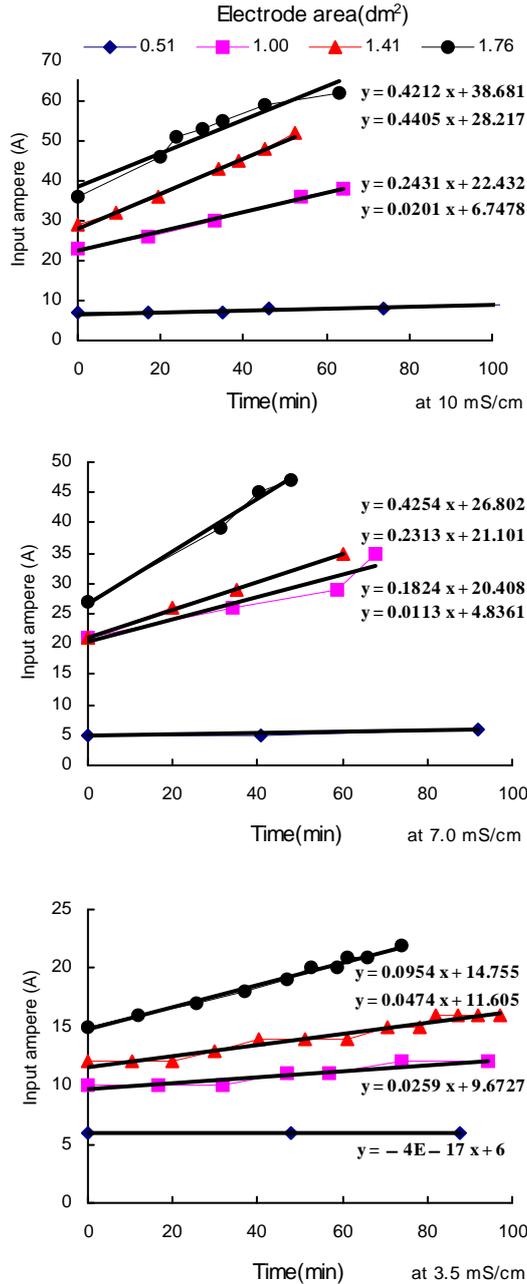


Fig. 5. Ampere changes vs times.

따라 변화하는 것으로 나타났다. Fig. 5는 각 전극면적과 전기전도도에서 반응시간 경과에 따른 전류변화를 보여주는 것으로 전극면적이 크고, 전기전도도 값이 높을수록 유입전류가 컸을 뿐만 아니라 전기반응 시간이 경과함에 따라 점차 유입전류가 커지는 것을 확인할 수

있다. 반응시간 경과에 따른 유입전류의 상승은 전기분해에 의한 이온물질과 중간생성물의 생성으로 반응이 진행됨에 따라 전기전도도가 상승하기 때문인 것으로 판단된다(Costaz 등, 1983; 길 등, 2000).

Table 4는 95%까지의 색도제거에 소모되는 전력량과 1일 운전 cycle 수 및 톤당 전력소모량을 보여주는 것으로 전기전도도 7.0 mS/cm, 전극면적 0.51 dm<sup>2</sup>에서 가장 적은 59.8 kW/m<sup>3</sup>의 전력을 소비하는 것으로 나타났고, 3.5 mS/cm, 1.40 dm<sup>2</sup>에서는 그보다 약간 높은 74.6 kW/m<sup>3</sup>의 전력이 소모됨을 알 수 있었다. 그러나 3.5 mS/cm에서 7 mS/cm까지 전기전도도를 높이기 위해서는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 NaCl 1000 mg/L가 1.8 mS/cm의 전기전도도를 상승시킴에 따라 톤당 1.94 kg의 NaCl이 첨가되어야 하기 때문에 7.0 mS/cm의 0.51dm<sup>2</sup>는 오히려 3.5 mS/cm의 1.40 dm<sup>2</sup> 보다 처리비용이 많이 드는 것으로 나타났다. 또한, 7 mS/cm의 0.51 dm<sup>2</sup>에서 6 cycles/d의 운전이 가능한 반면, 3.5 mS/cm의 1.40 dm<sup>2</sup>에서는 10 cycles/d의 운전이 가능하여 처리능력과 운전비용에 있어 우수하게 평가되었다. 따라서 고정전압(12V)하에서의 적정운전방법은 전기전도도의 상승을 이끌어주는 전해물질 첨가 없이 전극면적 1.40 dm<sup>2</sup> 수준으로 운전하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

전기분해에 의한 색도제거에 있어 적정 전류

밀도를 파악하고자 Run B에서는 전극면적 1.76 dm<sup>2</sup>에서 전류밀도를 2.84, 5.68, 8.52 A/dm<sup>2</sup>로 변화하여 실험하였다(Table 5). 그 결과 전류밀도 4.44 A/dm<sup>2</sup> 보다 1.48 A/dm<sup>2</sup>에서 효율이 우수하다는 윤 등(2001)의 보고와는 달리 색도 제거효율은 전류밀도가 높을수록 좋은 것으로 나타났다. 반면 전력소모는 제거효율과 반대로 각각 톤당 9.08, 25.1, 50.5 kw를 소모하여 2.84 A/dm<sup>2</sup>에 비해 8.52 A/dm<sup>2</sup>가 6.9배 높은 전력을 소비하는 것으로 나타나 전류밀도를 작게 하여 운전하는 것이 경제적인 색도제거방법임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 일정 전류유입에 따른 전압의 변화와 관계가 있는 것으로 8.52 A/dm<sup>2</sup>에서는 11V가 유입되는 반면 2.84 A/dm<sup>2</sup>에서는 5.45V만이 유입되는 것에 기인한다.

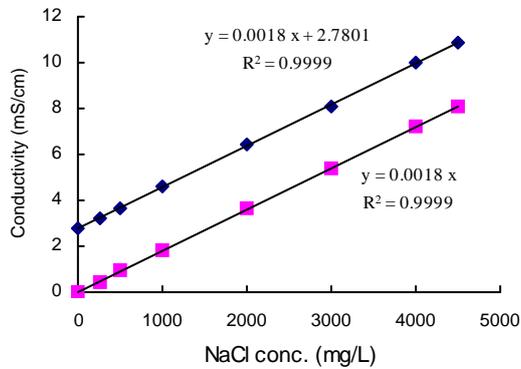


Fig. 6. Electric conductivity vs NaCl conc.

Table 4. Total consumption of electric power and treatment capacities per day

Parameters (dm <sup>2</sup> )	3.5 mS/cm		7 mS/cm		10 mS/cm	
	Power (kW/m <sup>3</sup> )	Cycles	Power (kW/m <sup>3</sup> )	Cycles	Power (kW/m <sup>3</sup> )	Cycles
0.51	104.5	3.9	59.8	6.0	82.6	10.1
1.00	96.4	6.4	102.5	14.0	93.2	16.9
1.40	74.6	10.0	76.8	18.8	78.4	25.0
1.76	88.8	11.3	89.8	21.8	80.5	35.8

Table 5. Color removal efficiency and consumed electric power.

Parameters (A/dm <sup>2</sup> )	Influent color unit	Effluent color unit	Removal efficiency(%)	Electric power(kW) per ton
2.84	1562.1	282.9	81.9	9.08
5.68	1440.5	214.6	85.1	25.1
8.52	1454.2	184.5	87.3	50.5

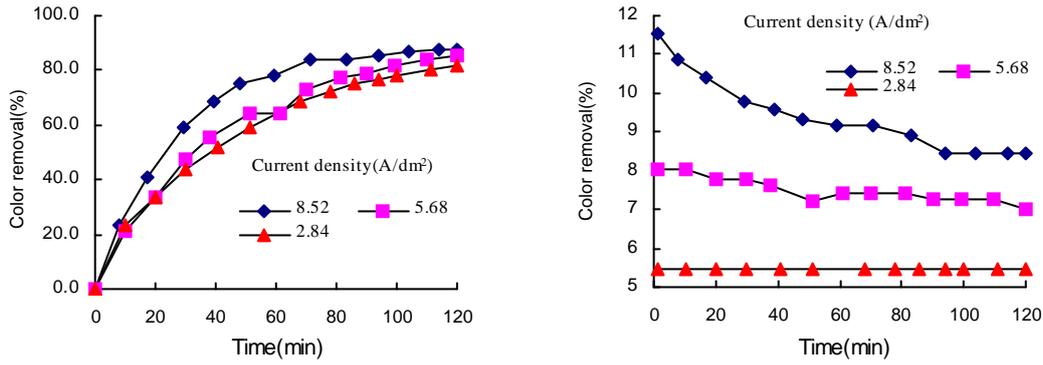


Fig. 7. Color removal efficiency & voltage change vs time.

Fig. 7은 반응시간 경과에 따른 색도제거율 변화양상을 살펴본 것이다. 전류밀도 8.52 A/dm<sup>2</sup>에서는 초기 60분까지 활발한 색도제거를 보였으나 그후 색도제거가 둔화되었다. 그러나 2.84 A/dm<sup>2</sup>와 5.68 A/dm<sup>2</sup>에서는 8.52 A/dm<sup>2</sup>에서와 같은 급격한 색도제거는 없었으나 시간에 따라 일정한 제거를 보이는 것으로 나타났다.

Table 6은 Run A와 Run B 두 운전방법을 비교 평가하기 위해 80% 색도제거효율을 얻기까지의 운전특성을 비교 분석한 것이다. 색도제거 대비 전류효율을 살펴볼 때 고정전압(12V), 유동전류(A), 전해질 무침가 조건(Run A)에서 가장 좋은 전류효율(9.4%/A.h)을 보였다. 그러나 전력소모 면에서는 17.0 kW/m<sup>3</sup>로 유동전압(V), 고정전류(2.84 A/dm<sup>2</sup>), 전해질 무침가 시의 8.4 kWh/m<sup>3</sup>(Run B)보다 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 전류효율이 좋음에도 불구하고 전력비가 많이 소요되는 것은 축산폐수의 색도제거

에 있어 12V로 운전하는 것은 시간을 단축시켜 시간당 전류효율을 상승시키는 역할은 하나 유입되는 전압차이에 비해 전류효율의 차이가 적기 때문인 것으로 판단된다. 결과적으로 2.84 A/dm<sup>2</sup> 유지시 얻어진 5.45V에서도 실험에 사용된 폐수의 색도를 분해할 수 있는 분해전압이 충분했음을 의미한다. 이러한 결과로 미뤄 Run A와 같이 전압을 12V로 고정하고 유동전류 조건에서 운전하는 방법보다는 Run B에서와 같이 전류를 낮게 유지하면서 필요에 따라 전압을 유동적으로 유입되도록 하는 운전방법이 효율과 비용적인 측면에서 바람직할 것으로 여겨진다. 시험된 조건에서의 축산폐수 2차 처리수의 색도제거 시에는 전해질 첨가없이 유동전압 하에서 2.8 A/dm<sup>2</sup>로 운전하는 것이 가장 효율적이었으며 이 조건에서의 톤당 에너지비용은 약 294원 정도였다(35 원/KW 기준).

Table 6. Characteristics of color removal vs operation condition

Electrode area(dm <sup>2</sup> )	Conductivity (mS/cm)	Input voltage(V)	Input ampere(A)	Consumed time(hr.)	Consumed power (kW/m <sup>3</sup> )	Removal (%/A.h)
1.76	10.0	12.0	F*(46)**	0.33	30.3	5.06
	7.0	12.0	F (39)	0.48	37.4	4.28
	3.5	12.0	F (17)	0.50	<b>17.0</b>	9.41
	4.0	F*(5.45)**	2.84(A/dm <sup>2</sup> )	1.85	<b>8.4</b>	8.64
	4.0	F (7.60)	5.68(A/dm <sup>2</sup> )	1.5	19.0	5.33
	4.0	F (10.0)	8.52(A/dm <sup>2</sup> )	1.1	26.2	5.08

\*F: Free, \*\* ( ): Obtained values.

## IV. 결 론

생물학적 축산폐수 처리수의 색도제거에 있어서 불용성 전극인 DSA 극판을 사용한 전기화학적 색도제거특성과 경제적 운전방법을 도출하고자 하였다. 고정전압을 이용한 실험에서 전극면적과 전기전도도가 커질수록 전류의 흐름을 높여줌에 따라 색도제거를 활발히 하는 것으로 나타났으며 다음과 같은 색도제거 반응식을 도출할 수 있었다.

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

$$k = [0.0121 \times a (\text{dm}^2) \times c (\text{mS/cm})] + 0.0288$$

여기서  $C_t$ 는  $t$  후의 색도,  $C_0$ 는 초기색도,  $k$ 는 반응계수,  $t$ 는 시간(min),  $a$ 는 전극면적( $\text{dm}^2$ ),  $c$ 는 전기전도도( $\text{mS/cm}$ )를 의미한다. 또한 유동전압, 고정전류 조건( $2.84 \text{ A/dm}^2$ ,  $5.68 \text{ A/dm}^2$ ,  $8.52 \text{ A/dm}^2$ )에서 실험한 결과 전류밀도가 클수록 높은 색도제거효율을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 고정전압-유동전류밀도, 유동전압-고정전류밀도 실험 모두에서 전극면적과 전기전도도, 전류밀도 증가에 의한 색도 제거시간 단축에 따른 경제적 절감은 찾을 수 없었으며 80%까지의 색도 제거를 비교해본 결과 고정전류밀도에서 실험한  $2.84 \text{ A/dm}^2$ 이 가장 경제적인 운전조건임을 알 수 있었다. 따라서 축산폐수의 2차 처리수의 색도제거에 있어 전해물질의 첨가는 필요하지 않으며 운전방법으로는 고정전압-유동전류 모드 보다는 유동전압-고정전류 모드로 운전하는 것이 단위 에너지 소모량 대비 처리능력과 처리효율을 높일 수 있는 효율적 색도제거 방법임을 알 수 있었다.

## V. 사 사

본 연구는 2005년도 강원대학교 기성회 국외 파견연구지원에 의해 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다. 또한 강원대학교 동물자원연구소의 일부 지원에 감사드립니다.

## VI. 인 용 문 헌

1. Chiang, L. C., Chang, J. E. and Wen, T. C. 1995. Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate. *Water research* 29(2):671-678.
2. Chiang, L. C., Chang, J. E. and Wen, T. C. 1995. Electrochemical processes for treatment of coke-plant wastewater, *J. Environmental science health* A30(4):753-771.
3. Costaz, P., Miquel, J. and Peinbold. 1983. Simultaneous electriflotation and disinfection of sewage, *Water research* 17(3):253-262.
4. Lidia, S., Jeremi, N. and Francesco, Z. G. 1995. Electrochemical treatment of tannery wastewater using Ti/Pt and Ti/Pt/Ir electrodes, *Water research* 29(2):517-524.
5. Marco, P., Cristina, B. and Giacomo, C. 2000. Electrochemical treatment of wastewater containing poryaromatic organic pollutants. *Water research* 34(9):2601-2605.
6. Vlyssides, A. G., Papaioannou, D., Loizdoy, M., Karlis, P. K. and Zorpas, A. A. 2000. Testing an electrochemical method for treatment of textile dye wastewater, *Waste management* 20:569-574.
7. 길대수, 이병헌, 이제근. 2000. 전기분해에 의한 고농도 유기물질 제거 특성, *대한환경공학회지* 22(2):251-264.
8. 길대수, 이병헌, 최혜경, 권동민. 2000. 전기분해에 의한 고농도 질소 제거의 특성, *대한환경공학회지* 22(2):265-277.
9. 김길진, 최홍림, 홍성관, 안희권. 2001. 축산폐수 2차 침전조 유출수의 난분해성 유기물 제거를 위한 광촉매 시스템 적용과 그 반응 특성, *동물자원과학회지* 43(3):409-422.
10. 원찬희, 차승현, 이순영. 2003. 펜톤산화 및 백색 부후균을 이용한 축산폐수 중의 난분해성 물질의 제거, *대한환경공학회지* 25(6):670-675.
11. 윤성준, 조원실, 김창혁, 박재인, 신종서, 라창식. 2003. 화학적/전기화학적 방법을 이용한 둔사폐수 처리, *한국동물자원과학회지* 45(4):641-648.
12. 윤조희, 김학준. 2001. 전기분해에 의한 축산폐수 2차 처리수의 탈색. *한국물환경학회지* 17(4):539-548.
13. 이상호, 문혜진, 김유미. 2003. 펜톤산화 방법에

- 따른 염색폐수 처리 효율 향상에 관한 연구. 대한환경공학회지 25(1):87-93.
14. 정중식, 이재복. 2001. 전극 재질에 따른 오폐수의 전기화학적 산화 특성의 평가에 관한 연구. 상하수도학회지 15(4):267-278.
  15. 정중식, 이재복. 2002. 전기화학적 산화에 의한 안료폐수의 유기물질 제거. 대한환경공학회지 24(9): 1641-1650.
  16. 조원실, 윤성준, 라창식. 2003. Struvite 결정화에 의한 축산폐수로부터의 질소·인 자원의 재생, 한국동물자원과학회지 45(5):875-884.
  17. 진은정, 길대수, 이창근, 이병현. 2000. 전기분해를 이용한 축산폐수의 처리. 수처리기술위원회 8(4):29-36.
  18. 허인량, 김영관, 이찬기. 1996. Fenton 산화를 이용한 단순매립지 침출수의 난분해성 유기물과 색도의 제거. 대한환경공학회지 18(1):43-54.
  19. 환경부. 2000. 수질공정시험법.
  20. 환경부. 2003. 2002 오수·분뇨 및 축산폐수처리 통계. (접수일자 : 2005. 11. 7. / 채택일자 : 2006. 3. 10.)