

3차원 전극(Bipolar Packed Bed Electrode)을 이용한 호소수 처리(II)

장 철 현 · 박 상 우 · 최 창 수*

한밭대학교 토목·환경·도시공학부 · 동아대학교 환경공학과 · 충북대학교 환경공학과
(2002년 3월 15일 접수; 2002년 4월 16일 채택)

Advanced Lake Water Treatment with Bipolar Packed Bed Electrode Cell(II)

Cheol-Hyeon Jang, Sang-Woo Park* and Chang-Su Choi**

Division of Civil Environmental & Urban Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

*Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 602-714, Korea

**Department of Environmental Engineering, Chungbuk University, Chungbuk 361-763, Korea

(Manuscript received 15 March, 2002; accepted 16 April, 2002)

This study was to analyze the right or wrong of gray-water treatment by applying BPBE electrode cell to the effluence water in the terminal disposal plant of sewage.

The results were as follows : The best result was obtained with applied voltage 40V and detention time 6 minutes for the BPBE electrode cell which has the graphite-plate in main electro-de, packing coconut activated carbon. The elimination rate of COD of Al-plate was higher than that of graphite-plate in main electrode. The result of electrolysis for 3 hour in parallel circuit showed the using possibility of gray-water according to each elimination rate : COD 59%, T-N 69 %, T-P 69%. The BPBE electrode cell with the Al-plate in main electrode made the best effect for the elimination of algae in lake water and algae were not occurred in electrolytic water.

Key words : gray-water treatment, BPBE electrode cell, Lake water, algae

1. 서 론

산업화 과정을 통하여 고도성장을 지속해오는 동안 다소 소홀히 되었던 환경문제가 최근에는 국내 외적으로 급속히 부상되는 등 환경에 많은 관심을 가지게 되었다.

이에 양적인 성장에서 질적인 성장으로 변화를 추구하는 이때 환경문제가 모든 경제 활동과 맞물려 있는 산업사회에서 처리가 곤란한 산업폐수와 생활폐수의 고도처리에 전기 화학적인 방법을 이용할 경우, 종래의 방법으로는 처리가 곤란한 탈색, 탈취가 가능하며, 슬러지의 발생량이 비교적 적고 처리를 상온, 상압에서 행할 수 있으며, 처리를 단시간에 행할 수 있다.

또한, 폐수의 수질변동에 대응이 용이하고, 자동 운전이 가능하여 인건비가 적게들며, 처리시설이 소형이므로 큰 부지를 필요로 하지 않는 등 처리비가 적게 든다.¹⁾

이상과 같은 장점을 볼 때 현재 사용되고 있는 오·폐수 처리법의 단점을 보완할 수 있으며, 처리가 곤란한 산업폐수와 생활오수의 고도처리에도 이용할 수 있어 2차 오염을 줄여 수계와 생태계의 파괴를 방지할 수 있는 이점이 있다. 국내에서는 소수의 학계와 몇몇 회사에서 관심을 가지고 있으나, 현장의 산업폐수에 적용한 경우는 극히 드물며 실험실적인 연구가 다소 이루어지고 있다.

국내의 연구로는 Jun^{2,3)} 등이 유동층 전극 반응기에 의한 희박용액으로부터 은회수와 Park,⁴⁾ Jang,⁵⁾ Jeong⁶⁾ 등에 의하여 3차원전극에 관한 소수의 연구 논문이 있으며, 선진외국에서는 폐수를 직접 전해 처리하는 경우와 부상분리 등의 물리화학적 처리법

Corresponding Author ; Cheol-Hyeon Jang, Division of Civil Environmental & Urban Engineering Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea
Phone : +82-42-821-1258
E-mail : jangch@hanbat.ac.kr

에 전기를 이용하는 경우가 얼마 전부터 행하여 왔다. 최근에는 전기전도성 입자를 충전하여 유동시키거나 고정시켜서 별도의 주 전극으로 전류를 공급하여 입자표면에 전기 화학적 반응이 일어나도록 하는 3차원 전극의 개발로 전극의 비표면적 증가, 물질의 이동속도 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.⁷⁻⁹⁾

특히 하수처리장의 방류수에 3차원 전극을 적용할 경우, 오염물의 농도가 낮은 방류수의 경우에도 종래의 평판전극에 비하여 효율이 증가하였으며, 그 처리량도 증가하였다. 이에 3차원 전극을 하수종말처리장의 방류수에 적용하여 중수사용 가능성과 호소수의 수질 악화시 조류의 발생이 나타나는 유역의 수질을 대상으로 3차원 전극의 적용 타당성 여부를 검토하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 이론적 연구

배수처리에 전기 화학적 수법을 이용하는 것은 오래 전부터 행하여 왔으며, 배수를 직접 전해 처리하는 경우와 부상 분리하는 등의 물리화학적 처리법에 전해를 이용한 경우가 있다.

전해처리법은 전극에 외부전원을 접속하면 양극에서는 전자가 전해액 쪽에서 전극 내부로 이동하고 정전하가 전해액 내로 운반된다. 또 전해액 속에서는 전위 구배에 따라 이온의 이동이 일어난다. 전기화학반응은 전극-전해액 계면에서 일어나는 불균일계 반응이기 때문에 통상의 전해조에서는 전해조 단위 체적당 반응량이 적은 것이 많다. 또 전극 반응 속도는 전극-용액간의 전위차를 증가시키면 반응량은 증가하지만, 무리하게 전압을 가하면 목적 이외의 부 반응이 일어나는 경우도 있다. 그래서 전극간의 거리를 짧게 하여 이온의 이동에만 필요하도록 전위를 작게할 수도 있다. 전해 프로세스에 대해서도 日根¹⁰⁾, 高稿¹¹⁾의 좋은 연구보고가 있다. 요즘 전해조내에 전기 전도성 입자를 충전 혹은 유동화 하여, 별도로 설치된 주 전극에서 전류를 공급하고 입자 표면에 있어서도 전기화학반응이 일어나게 하는 이른바 3차원 전극이 있으며, 이는 전극 비표면적의 증가, 물질 이동속도의 증가 등에 대한 연구가 되고 있는 실정이다. 배수처리에 3차원 전극을 이용하면 오염물의 농도가 낮은 배수를 처리하는 경우, 종래의 평판전극에 비하여 효율향상이 가능하고, 그 처리량도 증대시킬 수 있다.¹²⁾

이에 복극성 고정층 전극은 Fig. 1에 나타난 것처럼 주 전극 사이에 입자끼리 전기적으로 절연된 상태에 있는 전기 전도성 입자를 충전하고 고전압을 걸어 입자의 양쪽에서 양극, 음극 반응을 일어나게

하는 형태의 전해조이다.

Fig. 1에 나타난 것처럼 각각의 입자가 마치 하나의 전해조로서 거동함으로써 반응종의 이동거리가 짧아지고 반응종 농도 및 전기전도도가 낮은 전해액의 전해를 할 수가 있다. 그렇지만 무극막형이 되기 때문에 양극생성물이 음극에서 음극생성물이 양극에서 역반응하지 않는 반응 또는 전해생성물이 용액 내에서 균일 반응에 의하여 소비되는 프로세스에 적용할 수 있는 장점이 있다.

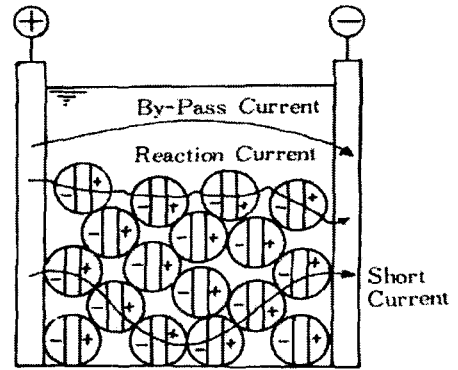


Fig. 1. Schematic diagram of a packed bipolar cell.

Robertson¹³⁾ 등은 복극성 입자의 등가회로로써 Fig. 2(a)에 나타난 것 같은 모델을 제안하고 있지만 실제 복극성 고정층 전극에서는 입자간의 접촉 저항이 무한히 크지 않고, 이 부분을 통하여 단락전류가 흐르기 때문에 이점을 고려한 Fig. 2(b)와 같은 모델이 타당하다고 생각된다. 이 모델에 의하면 모든 전류는 입자 양끝의 반응에 따라 흐르는 반응전류와 입자 위에서는 반응에 관여하지 않고 주 전극사이의 액 속을 흐르는 바이패스 전류와 입자의 접촉점을 통과하여 입자내를 흐르는 단락전류로 나눌 수 있다. 1개의 입자에 가해진 전압이 분해전압 이하일 경우에는 주전극만으로 반응이 일어나고 바이패스 전류와 단락 전류가 흐른다. 더욱이 분해전압 이상의 전압을 입자에 가하면 반응전류가 흐르기 시작하고, 각 입자는 복극성을 나타낸다. 따라서 복극성 고정층 전극의 성능, 효율을 높이려면 반응개시 전압 이상의 전압을 통하면서 전해에 관계하지 않는 단락전류와 주전극상이 반응만에 기여하는 것에 불과한 바이패스 전류를 줄이고 입자사이를 반복하여 반응하지 않으면서 흐르는 반응전류의 비율을 증가시킬 수 있도록 장치 및 조작조건 아래에서 하는 것이다.

3차원 전극(Bipolar Packed Bed Electrode)을 이용한 호소수 처리(II)

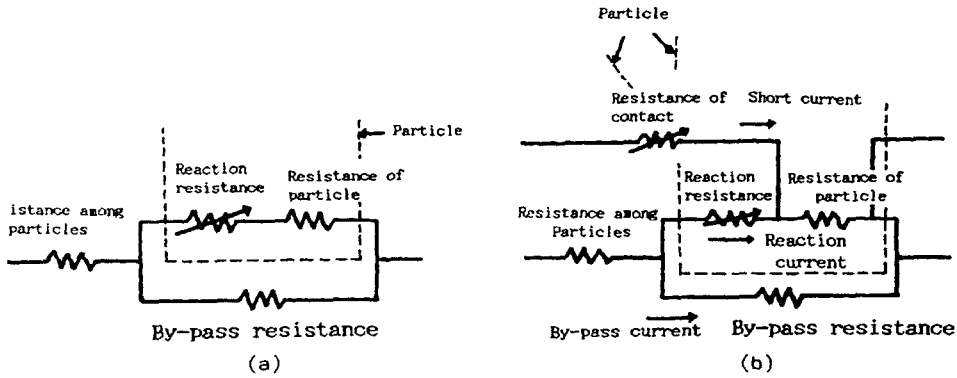


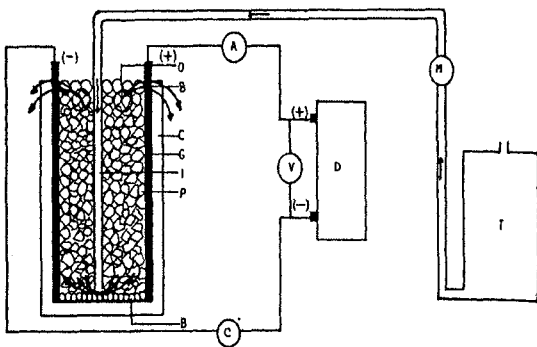
Fig. 2. The network model of Bipolar Packed Bed electrode cell.

3. 실험

3.1. 실험 장치

연속식 전해장치는 주 전극간에 활성탄을 충전한 Bipolar Packed Bed Electrode (BPBE) Cell을 사용하였다. Fig. 3에 도시한 BPBE Cell에 처리대상 용액을 상향식으로 주입하였으며, 주입이 이루어지는 부분에는 직경 3mm의 유리구슬을 충전하여 용액의 분산이 원활하게 이루어지도록 하였다.

연속식 BPBE cell은 L=80, D=20, W= 100mm의 크기로 제작하였다. 이 연속식 전해장치에 처리 대상수를 정량적으로 주입하기 위하여 펠리스타틱 펌프를 부착하였고, 전류와 전압의 측정을 위해 ammeter와 voltmeter를 장착하였으며, 전원의 공급은 DC power supply로 하였다. 그리고, 부착한 기기의 제작회사와 규격은 각각 Table 1에 정리하였다.



- A : Ammeter
- V : Voltmeter
- M : Micro pump
- B : Glass bead
- G : Graphite electrode
- P : Packed particles
- C : Copper-coulometer
- D : D. C. power supply
- T : Feed tank
- C : Plastic case
- I : Glass tube
- O : Outlet

Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

3.2. 실험 방법

하수종말 처리장의 최종 방류수를 실험 대상수로 하였을 때의 오염물질 농도는 COD : 11.8ppm, T-N : 13.3~14.6ppm, T-P : 0.62~1.23ppm인 것을 사용하였으며, BPBE Cell에서 전해 통수 실험한 처리수의 COD, T-N와 T-P를 환경오염 공정시험법에 의하여 실험하였다. 그리고 호소수를 실험 대상수로 하였을 경우는 클로로필 a : 101.855 ppm, T-N : 4.686ppm, T-P : 0.97ppm이었다.

또한 최종 방류수의 최적 전해인가 전압을 알기 위하여 인가전압을 가변시키면서 실험하였으며, 주전극은 불용성 전극인 탄소판과 용해성 전극인 알루미늄판을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

복극성 고정층 전극은 배수처리용 전해조로서 넓은 범위에서 응용할 수 있다. 이에 대청댐 주위에 위치한 하수종말 처리장(O)의 방류수를 복극성 고정층 전해조를 사용하여 인가전압을 5V에서 50V까지 5V 간격으로 변화시키면서 방류수를 전해처리한 결과를 Fig. 4에 도시하였다. 이때 주 전극은 흑연판이고, 충전물은 야자 활성탄을 사용하였으며, 차후 대청댐의 조류발생 시 전해 처리하여 처리결과와 처리수의 수질변화도 예측하고자 한다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 인가전압이 높을수록 전류가 많이 흘러 처리효율이 높게 나타났다. 이에

Table 1. Model and manufacturing company of apparatus

Instrument	Maker	Specification
DC Power supply	Korea electronics co. Ltd	0-30A, 0-50V
Voltmeter	Keithley instruments, Inc	0-50V
Ammeter	Yokogawa electric works, Ltd	0-10A
Micro pump	Tokyo rikakikai co. Ltd	Mp-3

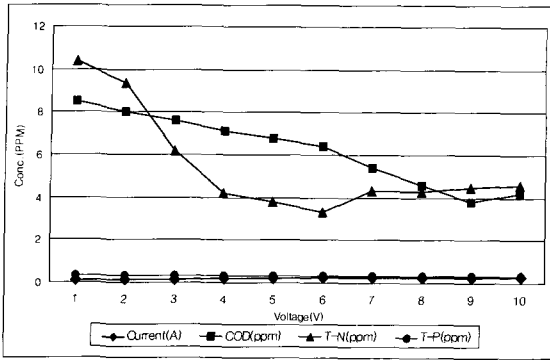


Fig. 4. Effect of residual concentration by applied voltage.

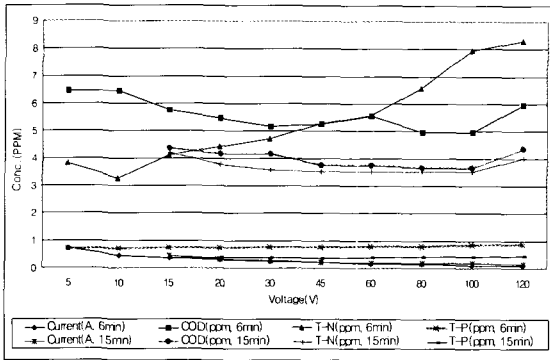


Fig. 5. Effect of residual concentration by detention time(graphite-plate).

각 인가전압에 대한 처리효율과 경제성을 비교해볼 때 40V가 비교적 좋게 나타났다.

또한 Table 2는 야자 활성탄을 충전하고 흑연판을 주전극으로 한 BPBE electrode cell에 인가전압을 40V로 하였으며, 전해조의 체류시간은 각각 6분과 15분으로 하였다. 이 결과를 Fig. 5에 나타내었으며 이 Fig. 5에 따르면 전류는 전해시간이 60분 경과하면 0.2A 정도로 낮아진다. 이때 COD, T-N, T-P도 전해시간이 약 60~80분 시간대까지 효율이 증가하며, 이후 전해조의 효율은 서서히 감소되는 것을 알 수 있으며 체류시간 15분은 체류시간 6분보다 COD는 1.47배, T-N은 1.57배, T-P는 1.84배로 체류 시간비 2.5배보다 낮게 나타났다.

이에 체류시간은 경제성 등을 고려하여 6분으로 계속하여 실험하였다.

그리고 야자 활성탄을 충전하고 주 전극을 흑연판을 사용한 BPBE electrode cell에서 체류시간 6분 인가전압 40V로써 전해 처리한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에 의하면 전해시간이 1시간 정도

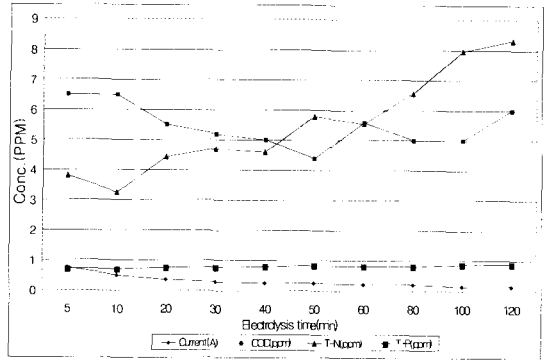


Fig. 6. Effect of residual concentration and graphite-plate electrolysis duration at applied voltages 40V.

Table 2. Effect of residual concentration by detention time(graphite-plate)

Electrolysis Time(min)		Item										
		5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	
Detention Time (6min)	Current (A)	0.75	0.5	0.42	0.35	0.3	0.25	0.2	0.2	0.15	0.15	
	COD (mg/l)	6.5	6.5	5.8	5.5	5.2	5.3	5.6	5.0	5.0	6.0	
	T-N (mg/l)	3.81	3.25	4.12	4.43	4.71	5.26	5.56	6.56	7.96	8.3	
	T-P (mg/l)	0.72	0.72	0.75	0.75	0.78	0.80	0.83	0.82	0.88	0.89	
Detention Time (15min)	Current (A)			0.5	0.38	0.32	0.26	0.24	0.24	0.23	0.20	
	COD (mg/l)			4.4	4.2	4.2	3.8	3.8	3.7	3.7	4.4	
	T-N (mg/l)			4.23	3.82	3.60	3.54	3.54	3.54	3.54	4.06	
	T-P (mg/l)			0.42	0.43	0.45	0.40	0.45	0.47	0.48	0.50	

* Influent ⇒

COD : 11.8ppm, T-N : 13.3ppm, T-P : 1.23ppm.

경과하였을 때의 반응조의 전류는 0.2A이었고, 이때의 제거효율은 COD 53%이상, T-N 58%이상, T-P 3.3%이상이었다.

또한 Fig. 7은 야자 활성탄을 충전하고 주전극이 Al-plate인 BPBE electrode cell의 결과이며 이때의 체류시간은 6분 인가전압은 40V이었다. 이 그림에 따르면 전류는 40분이 경과하면 0.1A로 흘렀으며, 60분이 경과하였을 때의 유출농도는 COD 62%, T-N은 43%, T-P는 26%의 제거효율을 나타내었다.

Fig. 8은 야자 활성탄을 충전한 BPBE electrode cell 2개를 병렬로 연결하여 체류시간 6분, 인가전

3차원 전극(Bipolar Packed Bed Electrode)을 이용한 호소수 처리(II)

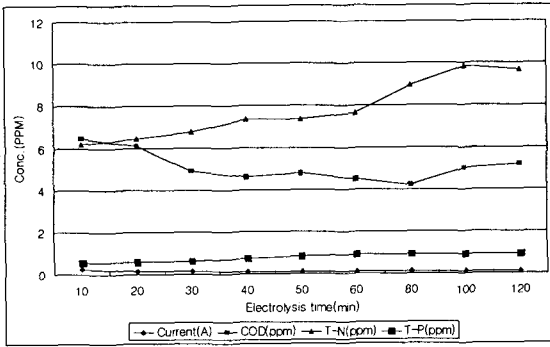


Fig. 7. Effect of residual concentration with Al-plate electrolysis duration at applied voltages 40V.

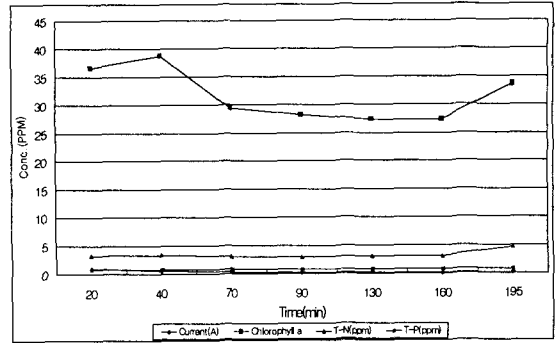


Fig. 9. Effect of residual concentration and Al-plate electrolysis duration at applied voltages 40V.

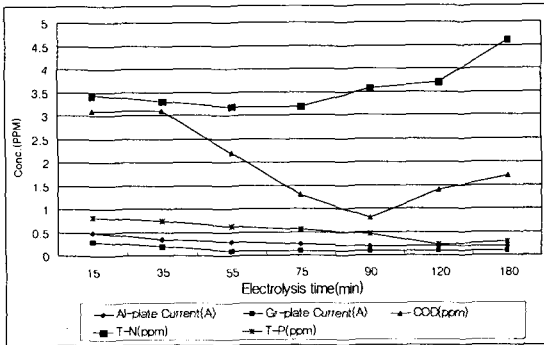


Fig. 8. Effect of residual concentration with parallel circuit in BPBE electrode cell at applied voltages 40V.

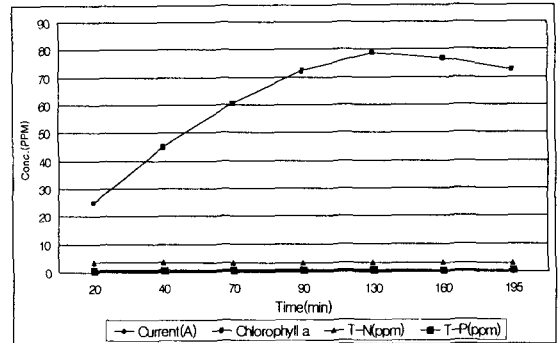


Fig. 10. Effect of residual concentration with graphite-plate electrolysis duration at applied voltages 40V.

압 40V로 실험한 결과이며 이때 첫 번째의 BPBE electrode cell의 주전극은 Al-plate를, 두 번째는 graphite-plate를 사용하였다.

Fig. 8에 따르면 첫 번째 BPBE electrode cell에서는 1.5시간 정도에서 0.2A로 전류가 흘렀으나 두 번째 반응로에서는 1시간 정도 통수 후 0.1A의 전류가 흘렀다. 또한 3시간 전해후의 COD 제거율은 59%, T-N 제거율은 69%, T-P 제거율은 69%로 나타났다.

Fig. 9는 야자활성탄을 충전하고 주전극이 Al-plate인 BPBE electrode cell에 녹조류가 발생한 호소수(클로로필 a : 101.855ppm, T-N : 4.686ppm, T-P : 0.97 pp m)를 통수하여 전해 처리한 결과이다. 이 실험결과에 따르면 클로로필 a는 2시간정도까지는 65%이상 제거효율을 나타냈으며 Fig. 10에 graphite-plate를 주전극으로 한 BPBE electrode cell에 실험한 결과를 나타내었으며 이 Fig. 10에 의하면 클로로필 a는 초기에는 76% 처리 제거효율을 나타내었으나 충전시간이 경과할수록 제거효율이 감소하여 2시간 후에는 23% 정도 제거효율을 나타내었다.

또한, 통수 처리한 처리수를 항온조(25°C)에서 방

치한 결과 10일까지 녹조류가 발생하지 않았으나 통수처리하지 않은 호소수는 계속하여 녹조류가 나타났다.

5. 결 론

복극성 고정층 전극을 하수종말 처리장의 방류수에 적용 중수사용의 가능성과 호소수의 조류발생시 적용여부를 검토한 결과를 종합하면 아래와 같다.

1. 야자 활성탄을 충전하고 주전극은 흑연탄을 사용한(BPBE Electrode Cell) 복극성 고정층전극의 하수 종말 처리장의 처리인가 전압은 40V가 좋게 나타났다.
2. BPBE Electrode Cell의 체류시간은 경제성과 처리속도를 비교할 때 6분이 좋은 것으로 나타났다.
3. BPBE Electrode Cell에 주전극 Al-Plate을 사용하였을 때 흑연판보다 COD의 제거효율이 다소 높게 나타났다.
4. 주전극을 흑연판과 Al-Plate로 한 BPBE Electrode Cell 두개를 병렬로 연결하여 3시간 전해전후의 COD 제거율은 59%, T-N 제거율은 69%, T-P제

거울은 69%로 나타났으나 중수로서의 사용가능성을 알 수 있었다.

5. 호소수의 녹조류 제거에는 주전극이 Al-plate인 BPBE electrode cell이 graphite-plate보다 3배 이상 효과적이었으며 통수 후 25℃에서 10일간 녹조류의 발생이 고찰되지 않았다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 대전·충남지역 대전환경기술개발센터 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1) 塚原-伸郎, 1986, 水質汚濁 と 高度處理技術, 化學工業社, 194pp.
2) 전해수, 이제근, 1985, 화학공학, 23(6), 417
3) 전해수, 변상용, 이제근, 1986, 화학공학 24(1), 81.

4) 박승조, 배성근, 1984, 대한환경공학회지 6(1), 36.
5) 장철현, 박승조, 1987, 대한환경공학회지 9(1), 49.
6) 정홍기, 박승조, 1985, 대한환경공학회지 9(7), 1, 28.
7) Goodridge, F., and C.J. Vance, 1979, *Electrochimica Acta*, 24, 1237.
8) Pellegri A., and Luino, 1983, U.S. patent 4, 389, 293.
9) Katsukikusakabe, S. M., and Y. Kato, 1982, *J. Chem. Eng. JPN*, 15(1), 45.
10) 日根文男, 1979, 電氣化學反應 操作 と 電解槽工學, 化學同人.
11) 高橋正雄, 増子昇, 1979, 工業電解 の 化學, アグネ.
12) 吉澤四郎, 宮崎義憲, 片桐晃, 1977, 日化, 19.
13) Robertson, P.M., and N. Ibl, 1973, Fahidy, T.Z., *Can. J. Chem. Eng.*, 51, 521.