

비금속 자원 재활용을 위한 전해부상 장치를 이용한 고농도 유기질 폐수의 재활용에 관한 연구

김기준[†] · 남상성*

[†]대진대학교 공과대학 화학공학과

*한국과학기술기획평가원

(2012년 12월 10일 접수 ; 2012년 12월 20일 수정 ; 2012년 12월 22일 채택)

A Study on Recycle of Concreted Organic Waste water by Electroflotation Apparatus for Resource Recycle of Non-Metal

Ki-Jun Kim[†] · Sang-Sung Nam

[†]Dept. of Chemical Eng., Daejin Univ. Pochun 487-711, Korea

Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, 137-717, Korea

(Received December 10, 2012 ; Revised December 20, 2012 ; Accepted December 22, 2012)

요약 : 고농도 유기질 폐수처리를 위해 전기화학적 방법의 사용에 있어 관심이 고조되고 있다. 전기화학적 방법의 기술은 음식물폐수 및 공업적 폐수 문제를 해결하는데 이상적 처리 방법이다. 다른 화학적 처리 방법과는 다르게 전기화학적 처리장치는 2차 폐수의 부피를 증가시키지 않고 용수와 유기질 비료로 재활용한다. 전기화학적 방법은 전해부상장치를 무기화학적 약품과 병행하여 더욱 효과적으로 음식물 폐수를 처리한다. 이 연구는 2차 처리로 초음파와 오존처리로 탈색, COD와 BOD가 격감함으로 용수 및 유기질 비료로 활용하도록 실험하였다.

주제어 : 전기화학적 장치, 전기적부유, 극초음파, 고농도 유기질폐수.

Abstract : There is an increasing interest in the use of electrochemical methods for the food waste treatment. The technologies using the electrochemical method provide ideal tools for approaching industrial and food wastes problems. Unlike other chemical treatments, the electrochemical systems do not make the volume of the secondary waste increase. The electrochemical methods can be operated with electrochemical apparatus and inorganic agent allow selective separation and recovery and even quieter than others. This study concerns design factors, electrode construction and wastewater treatment process of the electrochemical apparatus. The experiment of color, COD and BOD removal is much effective in using electrochemical method with ultrasonication and ozonation.

Keywords : electrochemical apparatus, electroflotation, ultrasonication, concreted organic waste.

[†]교신저자 (E-mail : ssnam@kistep.re.kr)

1. 서론

산업의 발달과 함께 폐수를 비롯한 각종 환경오염물질이 대량으로 발생되고 있으며, 이로 인해 대기, 수질, 토양의 오염이 심각한 상황에 이르고 있다. 이 가운데 축산, 농업생산, 생활등으로부터 발생하는 오염물질은 하천의 수질 오염을 일으키고, 그 처리가 매우 어려울 뿐만 아니라, 환경에 미치는 영향 또한 심각하다 [1-2]. 축분(animal excrement)과 축뇨(animal urine)의 오수는 고농도의 유기탄소와 질소를 포함하고 있어 매우 치명적인 환경문제를 야기하고 있다. 축뇨의 성분은 먹이와 축사의 상태, 가축의 연령, 배설물 취급방법 그리고 계절차이에 의해 크게 변동되므로 축산폐수를 처리하는데 어려움이 매우 컸다. 축산폐수(animal waste water)의 슬러지는 하수처리 과정에서 발생하는 미생물의 잔해로서 유기물, 각종 미량원소 및 질소성분을 포함하고 있어 유용한 비료로서 이용이 가능하다. 축분과 축뇨는 유용한 자원으로 인식되어야 하며, 이러한 자원을 매립 또는 하수에 매몰할 경우에 천연자원 재순환이 정지됨에 따라 생태계 파괴는 물론 우리 인간에게도 막대한 해를 입히는 것은 자명한 사실이다. 축분 및 슬러지를 퇴비화시켜 농업에 순환하면 하천을 오염시키지 않을 뿐만 아니라 화학비료를 사용하는 대신 유기질비료(organic fertilizer)를 사용하면 곡식과 토양이 건강해져서 아름다운 환경이 조성된다. 음식물폐수 처리과정(food waste water treatment process)에서 발생하는 슬러지량은 하수도정비와 함께 폭발적으로 증가되어 하수도 및 하천의 오염이 범람되고 있으며, 슬러지의 대부분을 무단투기로 처분되고 있으며 유효이용은 전무한 상태이다. 따라서 본 연구는 음식물 슬러지(food waste sludge)의 녹지 및 농지로의 유효이용촉진 및 용수로 재활용되는 토대를 만들고자 연구하였다. 우리나라의 음식물 쓰레기 처리에 있어서 크나큰 문제점은 음식물에 염분이 과량 함유되어 있으며, 고추가루 등의 매운 양념 등이 내포되어 축산사료화하거나 미생물에 의한 재활용하기가 매우 어려웠다. 이러한 문제점들을 해결할 뿐만 아니라 해양투기 근절에 따른 환경문제를 해결코자 본 연구를 수행하였다. 음식물폐수의 처리를 위하여 그 동안 수많은 첨가제와 공정들이 개발되어 있으나 그 처

리효율이 매우 미흡하여, 축산폐수의 무기화학적 첨가제(inorganic additive)[3-5] 및 공정을 개발하게 되었다.

본 연구는 무기 첨가제와 전해부상장치(electroflotation apparatus) [6-7]를 이용한 고농도 유기질음식물폐수를 처리하는 방법으로서, 금속시료와 산성용액으로 음식물폐수의 주요 물질인 요소를 이온화하여 부상킴으로서 음식물폐수를 처리하는 방법이다. 음식물폐수에 금속시료[8-9]와 산성용액을 반응조에 투입한 다음 전해부상장치에서 교반과 전압을 걸어 이온성 물질 등에 응집(flocculation)된 음식물 슬러지가 부유되어 폐수를 처리하는 방법으로 고형물질은 건조 발효시켜 유기질 비료로 사용하고, 용액상태 음식물 폐수는 전해부상과정을 거친 후 초음파와 오존으로 처리한 다음 용수로 재활용하는데 목적이 있다.

상기 목적을 위한 처리 공정은, 금속시료와 산(Acid)용액, 그리고 전해부상 장치를 기본으로 한다. 음식물 폐수처리에는 상온 상압 하에서 음식물폐수에 용존하고 있는 물질들을 효과적으로 활성화시키고, 분해 해리된 물질들을 전해부상으로 부상 응집시켜 부상물질은 부유물 제거기를 이용하여 처리한다. 이 때에 전기적 부상장치에 의해 활성화된 슬러지는 거대분자로 형성된다. 음식물폐수를 처리하는 처리 메커니즘 및 공정은 폐수 일정량에 무기시료와 산을 일정량 투입한 다음에 전기분해하여 폐수를 처리하는 공정이다.

이온화된 시료를 전해부상장치를 활용하여 전압을 걸어 주면 짧은 시간 내에 무기시료에 의해 이온화된 물질들이 수면 위로 부상하게 된다. 전해부상 장치에 의한 처리효율은 전극간의 간격이 가까울수록 효율이 증대됨을 알 수 있었으며, 거대분자가 형성되어 부상된 찌꺼기를 부유물제거기로 제거한 후, 50 kHz의 초음파와 오존 6 g/hr 불어 넣어줌으로써 표백 [12-13] 및 살균 작용을 수행함으로써 본 공정에 의한 실험을 수행하였다.

2. 실험

2,000 ml 반응기에 시료 250 ml와 500 ml를 각각 취한 다음 2차 증류수를 첨가하여 희석시

킨 폐수에 첨가제를 넣은 후, 약산(아세트산) 8, 10, 15, 20 ml를 각각 넣고 3시간 동안 전해부상시켰다. Table 1은 시료들을 국내에서 구매하여 실험하였으며, DOmeter, CODmeter, BODmeter, 오존 발생기와 초음파발생기도 국내제품을 사용하여 측정하였고, 무기시료가 완전히 소모될 때까지 전해 부상시킨 후 부유물을 제거하고 오존과 초음파분해기로 2차 처리하였다. 2차 처리는 시료들을 공정시험법을 사용하여 COD, BOD를 측정하였다. 여기에서 무기첨가재료는 순도 98 %인 Mg분말을 사용하였고, 전해부상장치는 5 V, 3 A를 걸어주었다.

3. 결과 및 고찰

위의 실험에서 난분해성[14]인 축산폐수의 처리 효율, 경제성을 살펴보면 0.3 g의 Mg이 첨가되었을 때 DO, BOD 및 COD 등의 효율을 측정하여 Table 1에 나타내었다. 본 공정에서 경제적이고 환경친화적임을 알 수 있었다. 위의 실험은 여타 다른 방법(alum, FeCl₃, Fe(SO₄)₃)으로 처리하는 축산폐수 처리 방법과 효율면에서 현저한 차이를 가진다. 명반, FeCl₃, Fe(SO₄)₃

로 침전처리 하는 방법의 처리효율을 보면 다음 Table 2에 나타내었다. Table 1의 구성과 같은 응집제로 처리하는 경우, 색도와 악취 처리에 있어서 DO, BOD, COD의 처리 효율에 비해 상대적으로 떨어지고 DO, BOD, COD 처리 효율도 높지 않은 것으로 나타났다.

또한 Table 1에서 보여주는 약품으로 실제 처리해 본 결과, 거의 처리가 불가능하고, 처리된다고 하더라도 전해부상장치를 이용하여 무기시료로 처리하는 것과 비교하면 효율이 아주 뒤떨어진다. Table 2에서 무기시료와 전해부상장치를 이용한 처리 방법의 결과를 나타낸 것이다.

그 효율면에서 다른 응집처리 방법보다 차이가 크게 개선되었음을 알 수 있었다. Table 2의 효율은 1차 처리에서의 제거효율이고 2차처리 시에는 약 25~30 %의 효율을 기대할 수 있다. 1차 처리수에 오존과 초음파를 함께 처리할 때의 효율은 COD를 기준으로 할 때 Table 3에서 4배 희석 상태에서 COD 제거효율이 83.6 %로 가장 높게 나타났다. 이는 무기화학 시료와 산이 폐수에 작용하여 불순물을 수산화물과 수소를 포집하여 부상시킴에 따라 COD제거 효율이 탁월하다고 사료된다.

Table 1. Efficiency of Treated Food Wastewater using Flocculation Agents

Flocculation agents	quantity	Efficiency(%)				
		DO	BOD	COD	color	odor
Alum	1g	31	19	20	6	15
FeCl ₃	1g	22	12	13	4	22
Fe(SO ₄) ₃	1g	33	22	23	9	23

Table 2. Efficiency of Treated Food Wastewater using Electrofloation and Inorganic Agents

Inorganic agents	quantities		DO value	Reduction rate(%)	
				BOD	COD
A(mg) + Acid(ml)	2 X dilution	200+8	2.4	52.1	43.2
		300+10	2.5	52.1	43.2
		300+12	2.6	51.0	41.4
	4 X dilution	200+8	1.7	53.2	45.4
		300+10	2.1	53.8	44.5
		300+12	1.9	52.9	41.8

Table 3. Efficiency of Secondary Treated Food Wastewater using Ozone and Ultrasonication

Inorganic agents	quantities		COD reduction rate(%)			
			First treatment	Secondary treatment		sum
				O3	Sonicator	
A(mg) + Acid(ml)	2 X dilution	200+8	42.1	23	5	69.7
		300+10	43.5	24	6	73.3
		300+12	41.4	21	4	68.8
	4 X dilution	200+8	42.5	22	6	74.7
		300+10	46.1	22	7	80.1
		300+12	40.8	19	4	71.2

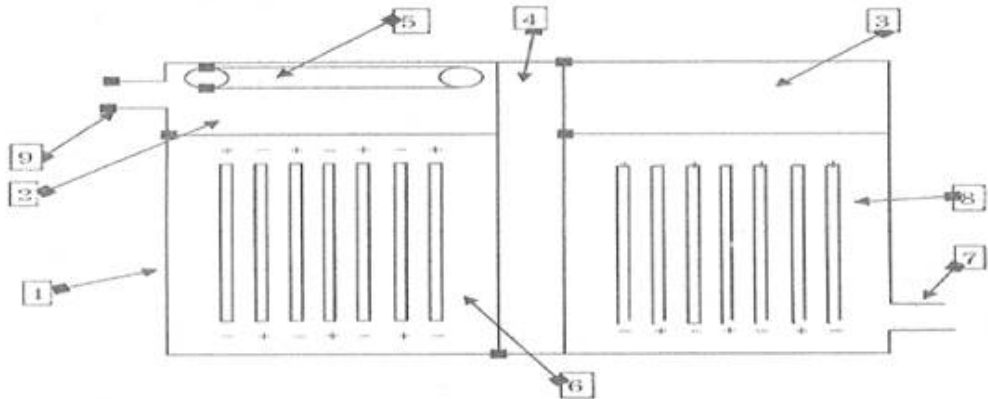


Fig. 1. Diagram of electroflotation apparatus.

- (1) Main body, (2) compartment 1, (3) compartment 2,
- (4) porous membrane, (5) skimmer, (6) aluminum electrode plate,
- (7) treated water outlet, (8) Ti electrode plate doped Pt, (9) drain inlet

4. 결론

본 연구의 가장 큰 특징으로는, 전극판의 극성변환을 위하여 타이머<Fig. 2,(11)>와 개인용 컴퓨터<Fig. 2,(12)> 및 포토카운터(Photon counter), <Fig. 2,(13)>를 사용하여, 본체 <Fig. 2,(1)>내부의 이온수가 극성변환을 위한 설정치에 도달하면 시간에 관계없이 전극의 극성을 변환하되, 일정시간동안 이온수가 설정치에 도달하지 않을 경우에는 자동으로 극성이

변환되도록 한 것으로, 전극에 스케일이 생성되지 않는 효과를 얻을 수 있어서, 결과적으로 전극에 스케일이 발생되어 효율저하를 가져왔던 기존 기술에 비해 기술적 우위를 가지게 되었다. 그리고, 오염물질농도가 낮으면 물질이동이 제한되어 처리시간이 길어지는 결점을 보완코자 복극성 전극(bipolar electrodes)을 사용하고 전해조내에 전기분해의 감극화를 도와주는 COD제를 첨가함으로써, 전해조는 복극조의 역할을 하게 되므로, 공지된 복극조와 같이 전극사이에 많은 미소 전해조가 형성되기 때문에 유효전극 표면적이 매우 커지고, 전극상 사이의

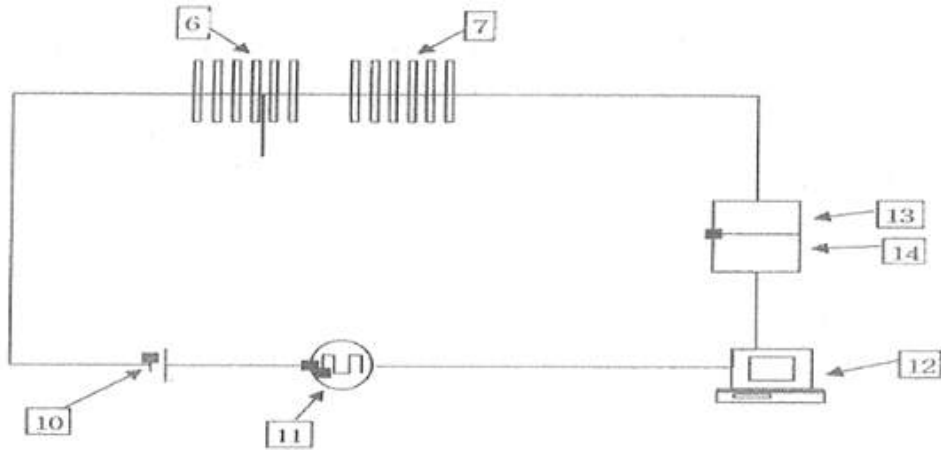


Fig. 2. Lay-out of the process of food waste treatment.
 (6) aluminum electrode plate, (7) Ti electrode plate doped Pt,
 (10) power supply, (11) timer, (12) photon counter,
 (13) display, (14) electrode transducer

거리가 작기 때문에 용액의 전기저항이 작게 되어 전해질 농도가 낮은 용액의 전해에도 적용할 수 있어서 워밍업 시간이 필요 없으며, 전도성 입자와 절연성 입자의 혼합물에도 성능이 우수한 효과가 있다.

또한, 본 연구에서, 다공성막에 의하여 복수개의 전해조로 구분함으로써, 상기 다공성막의 양면에 전극이 인가되면 3차원 전해 전극이 되어 유효전극 표면적이 크므로 반응속도가 증대되고 활성이 커지는 효과가 얻게 되었다.

이상에서 상세히 설명한 바와 같이, 본 연구 방법으로 처리하면 음식물폐수의 요소 및 질소계 독성 오염물질이 완전히 분해됨을 보여 주었다. 이로 인한 파급효과는 수입 대체효과 및 수출경쟁력이 증가되고, 더 나아가 지금까지 선진국에서 사용하고 있는 방법 보다 혁신적이고 경제적인 기술개발로 인하여 수출로 인한 외화 획득의 가능성이 매우 크리라 본다. 그리고 처리 과정에서 생성되는 부유물은 전량 액상비료로 사용하고, 환경친화적인 재활용과정을 사용하기 때문에 2차오염물질이 생성되지 않으므로 처리비용이 적게 소비되어 경제적이며, 유기질 비료와 용수로 재활용하기 때문에 매우 활용성이 크다.

참고문헌

1. K. V. Lo. Liao. P. H., and V. Kleeck, R. J. A., "Full-scale Sequencing Batch Reactor Treatment of Diluted Seine Wastewater", Canadian Agricultural Eng., 33, 193, (1990).
2. George. T. and Franklin, L. B., "Wasterwater Engineering", <Cgraw-Hill co., New York, 735, (1991).
3. I. S. SDA, "Principles and Practice of Phosphorus Annitrogen Removal from Municipal Wastewater", New York, NY, (1983).
4. Dongen. L. G. J. M., Jetten. M. S. M and Loosdrecht. M. C. M., "The Combined Sharon/Anam-mox Precess, Foundation for Applied Water Research". 6, (2001).
5. R. W. Crites, "Land use of Wastewater and Sludge". J. Environ. Sci. & Tech., 18(5), 140, (1984).
6. P. D. Jenssen, and T. Krogstad, "Particles Found in Clogging Layers of Wastewater Infiltration Systems may Cause Reduction in Infiltration Rate and Enhance

- P-adsorption”, *Wat. Sci. Tech.*, **20(3)**, 251, (1988).
7. Laak. R., “Wastewater Engineering Design for Unsewared Areas”, Technomic Publishing co Inc, Lancaster, PA17604, U.S.A, 97, (1986).
 8. Pal. D., and M. R. Overcash, “Design of Land Treatment Systems for Industrial Wastes”, Ann arbor Science Publishers Inc/The Butterworth Group, Michigan 48160, 104, (1981).
 9. J. A. LaszLlo, “Electrolyte Effects on Hydrolyzed Reactive Dye Binding to Quaternized Cellulose”. *Textile Chemist and Colorist* **27(4)**, 25, (1995).
 10. W. A. Parsons, “Chemical Treatment of Sewage and Industrial Waste”, *Bulletin* **215** National Lime Association, Washington DC (1975).
 11. A. J. Rubin, “Effect of Alum Coagulation in Chemistry of Water Supply”, Ann Arbor Sci. Pub. Co., MI, (1984).
 12. W. Stumn, and Omelia, C. R., “Stoichiometry of Coagulation”, *J. AWWA*, **60(5)**, 514, (1978).
 13. A. Sommerauer, “The Role of Complex Formation in the Flocculation of Polyelectrolytes”, *Koll. Z. Z.*, **225 (2)**, 147, (1978).