

## 화학적 / 전기화학적 방법을 이용한 돈사폐수 처리

윤성준 · 조원실 · 김창혁 · 박재인 · 신중서 · 라창식  
 강원대학교 동물자원과학대학 동물자원학부

## Chemical / Electro-Chemical Method for Swine Wastewater Treatment

S. J. Yoon, W. S. Jo, C. H. Kim, J. I. Park, J. S. Shin and C. S. Ra  
 Division of Animal Resource Science, Kangwon National University

### SUMMARY

In a batch mode treatment process, which electrolyzes the wastewater after derivation of N-P crystal formation and recovery, the characteristics of pollutant removal induced with the changes of loading rate and hydraulic retention time were studied. MgCl<sub>2</sub> was used as Mg source for the formation of struvite and the molar ratio of MgCl<sub>2</sub> to PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> in influent was 1.3. When analyzing the average treatment efficiencies and removal characteristics obtained from four separate operations (Run I, II, III, IV), removal efficiencies of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> was not function of its loading rate. Under a condition of sufficient aeration and Mg source provided, over 88% of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> was eliminated by the formation of MAP without any pH adjustment, in spite of loading rate variation. An optimum-loading rate of NH<sub>4</sub>-N to achieve high removal efficiency was approximately 100g/m<sup>3</sup>/d. Below that loading rate, the removal of NH<sub>4</sub>-N was proportional to the loading rate into the system, and hence stable and high removal efficiency, over 90%, was achieved. However, when the loading rate increased over that rate, removal efficiency began to drop and fluctuate. Removal efficiency of TOCs was dependant upon the hydraulic retention time (r<sup>2</sup>=0.97), not upon the loading rate. Stable and high color removal (94%) was obtained with 2 days of HRT in electrolysis reactor.

(Key words : Color removal, Electrolysis, Loading rate, Struvite, Swine wastewater)

### I. 서 론

우리나라의 경우 비교적 처리 효율이 안정적이며, 설비 및 운전비용이 저렴한 생물학적 방법이 축산폐수의 정화를 위해 많이 사용되고 있다. 그러나 축산폐수는 가축 사육두수와 사료의 품질, 기후 조건, 가축의 건강상태, 사양 관행 등에 따라 매우 가변적이어서 오염물질의 거동을 예측하기가 쉽지 않아 생물학적 처리

시스템에서의 미처리 방류와 같은 부적절한 처리가 이루어지는 실정이다. 또한 축산 농가에 서의 방역, 세척, 소독 등의 이유로 살포하는 소독제가 유입폐수에 다량 함유되어 폐수 처리 시 미생물의 활성이 떨어져 처리 시스템의 관리 및 운전이 용이하지 못한 원인이 되기도 하며(원 등, 2002) 게다가 생물학적 처리시설에서 적절하게 정화된 유출수라 할 지라도 색도가 높아 인근 주민들로 하여금 혐오감을 주어 민

This study was partially funded by the ARPC(Agricultural R & D Promotion Center) in Korea

Corresponding author : C. S. Ra, Division of Animal Resource Science, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea. Tel : 033)250-8618, Fax : 033)244-2433, E-mail : changsix@kangwon.ac.kr

원발생을 일으키기도 한다. 이러한 문제들은 주로 전문인력이 없는 일반 농가에서는 흔히 직면하고 있는 문제들로서 처리시설의 상태를 진단·관리할 수 없는 축산 농가 실정에 적합하고 유출수 색도 및 난분해성 유기물 제거까지도 가능한 처리기술 개발이 필요하다. 화학적/전기화학적 처리방법은 생물학적 처리 방법과는 달리 단위 용적당 처리 속도가 빠르고 많은 양의 오염물질을 제거 할 수 있을 뿐만 아니라 단순한 처리 공정으로 조작성이 간편하고 색도의 제거까지 가능하여 설비비나 약품 투입과 같은 처리비용의 단점이 보완된다면 현장 실정에 적합한 훌륭한 처리 시스템이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

화학적 처리방법의 하나인 struvite 결정화 방법은 부영양화의 주요 원인 물질인 인과 질소의 제거에 그 효율이 우수한 것으로 수많은 연구자들에 의해 보고되고 있다(James 등, 2002). Struvite는 하수처리장 소화조의 상등액 파이프나 스크린에서 생성된 물질로 파이프를 막는 scale이었는데, Borgerding(1972)에 의해 그 성상이 밝혀지면서 인위적으로 결정체를 형성시켜 인을 제거하는 방법이 시도되었으나, 실용화되지 않다가 인의 회수에 대한 관심이 대두되면서 연구가 활발해졌다. Struvite는 마그네슘 혹은 칼슘이 폐수내의  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 와 반응하여 생성된 불용성의  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MAP) 혹은  $\text{CaNH}_4\text{-NPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (CAP) 결정으로서 그 결정화의 조건은 pH 8 이상에서 반응이 활발하며, 각 이온들의 몰 결합 비율은 1:1:1로 알려져 있다(Rawn, 1939, 김 등, 2002, 원 등, 2002, 임 등, 2000). 전기화학적 방법으로 전기분해는 전하를 띤 용존 또는 부유 물질들이 전극 판에

접근하면서 전극 판 주위의 여러 가지 물질들과 전기적 응집, 부상, 산화, 표면착화, 정전기적 인력, 화학적 변환, 화학적 침전 반응 등이 일어나게 되어 오염물질을 제거하게 되며, 또한 색도를 유발하는 고분자물질의 제거까지도 이루어져 최종 방류시 혐오감을 없앨 수 있는 것으로 보고되고 있다(김, 1999). 하지만 아직까지 struvite 결정화 방법과 전기분해 기술을 이용한 축산폐수처리에 대한 연구보고는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 struvite 결정화 방법과 전기분해 방법을 연계한 처리시설의 돈사 오·폐수 처리효율과 오염물질 제거특성을 분석하고자 하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 유입수

본 연구에 사용된 폐수는 돈사폐수로서 저장조로부터 폐수를 채취하여 침전과 스크린을 통한 고/액 분리를 수행한 후 시험에 사용하였으며, 그 성상은 Table 1에 나타나 있다. 폐수가 채취된 돈사는 재래식 돈사로 분은 수거되어 별도로 처리되고 뇨와 세척수 등의 오수만이 저장조로 유입되기 때문에 폐수내의 고형물의 함량과 유기물 농도는 낮았으며, 또한 오랜시간 동안 저장조에 체류하면서 분해에 의해 유기물 함량은 더욱 낮아져 C/N(TOCs/ $\text{NH}_4\text{-N}$  기준)비가 0.39수준으로 매우 낮았다. 선별적으로 분석한 폐수의 CODcrs/TOCs는 평균 6.6이었으며, CODcr/ $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 기준으로 한 C/N비는 약 2.6 수준이었다.

Table 1. Characteristics of swine wastewater

Characteristics	pH	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	TOCs(mg/L)	$\text{PO}_4^{3-}$ (mg/L)
mean	8.27	453.0	178.8	11.8
min	7.57	246.0	94.3	5.1
max	8.86	622.0	320.3	23.6
stdev	0.27	104.3	66.6	4.5

2. 실험장치

연구를 위해 아크릴로 제작된 실험실 규모의 처리시스템 구성은 Fig. 1에 나타내었다. Struvite 반응조의 총 용적은 10.1L(15cm×15cm×45cm), 유효용적은 6L이었으며, 전기분해조의 총 용적은 8.1L(14cm×18cm×32cm), 유효용적은 6L이었다. Sandfilter는 struvite 결정체가 전기분해 반응조로 유입되는 것을 막기 위해 설비된 것으로 총 용적은 9L(15cm×15cm×40cm), 유효용적은 6.75L로 직경 0.2~0.3cm의 모래를 채워 사용하였다. Struvite reactor에서 MAP 생성 후 침전이 원활히 이루어지고 회수가 용이하도록 하기 위해 struvite 반응조 밑 부분은 고깔 모양으로 하였으며, struvite와 전기분해조 바닥에 air stone을 설비하고 2L/min.의 공기를 공급하였다. 전기분해조로의 전력공급은 최대전압 12 Voltage, 전류 250Ampere의 D.C power supply를 사용하여, 전압은 12 Voltage로 고정하고 필요한 전류밀도에 따라 전류가 공급되도록 하였다. 양극판(Anode)은 염소가스 발생 및 극판의 전자 방출로 유발되는 극판 부식을 방지하기 위해 티타늄(Ti)에 이리듐(IrO<sub>2</sub>)을 전착한 불용성 극판(Dimensionally Stable Anode, DSA)으로 막대형을 사용하였으며, 음극판(Cathode)은 스테인리스 스틸판을 사용하였다. 각 판 구조는 0.2cm 두께로 면적은 40cm<sup>2</sup>(2cm×20cm)로 제작하였으

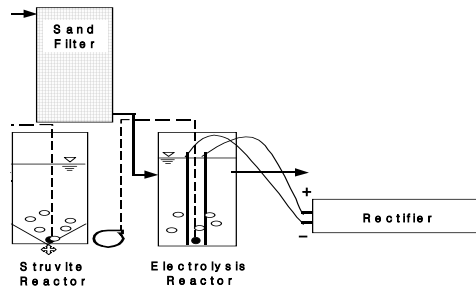


Fig. 1. Schematic diagram of reactor for experiment.

며, 유효면적은 30cm<sup>2</sup>이었다. 두 극판의 간격은 1.5cm로 하여 마주보게 배치하였다.

3. 시스템 운전방법 및 실험설계

설비된 시스템은 회분식으로 운전되었으며, 각 반응조의 운전시간은 12시간/cycle로 동일하게 실험하였다. 운전방법으로는 유입수가 Struvite reactor로 유입되어 처리·침전과정을 거친 후 상등액이 여사조로 배출되고 유입수가 loading 되도록 하였으며, 여사조를 통하여 전기분해조로 유입된 상등수는 2차 처리과정과 침전과정을 거쳐 최종 배출되도록 하였다. 처리시스템 및 각 반응조의 운전 sequence와 운전 시간은 Table 2에 나타나있다.

MAP 형성 유도를 위해 Struvite 반응조로 주

Table 2. Operation sequence for each reactor

Struvite Reactor				Electrolysis Reactor		
Feeding	Reaction	Settle	Discharge / Feeding	Reaction	Settle	Discharge
0.25h	8h	3.5h	0.25h / 0.25h	8h	3.5h	0.25h

Table 3. HRT for each reactor & loading rate

Run	HRT(d)			Loading rate (g/m <sup>3</sup> /d)		
	Struvite	Electrolysis	Total	TOCs	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
I	3	3	6	28.4	79.7	2.2
II	2	2	4	40.8	95.5	2.6
III	1.5	1.5	3	85.5	192.9	5.1
IV	1	1	2	63.6	168.9	3.1

입되는 Mg원으로는 MgCl<sub>2</sub>를 사용하여 전기분해시의 전해질 역할과 염소 소독 효과를 함께 얻고자 하였으며, Mg원의 주입량은 유입수내인 기준 1.3 Mole이었다.

서로 다른 부하량과 HRT 조건에서의 오염물질 및 색도 제거 특성을 파악하기 위하여 4개의 운전기간(Run I, II, III, IV)으로 나누어 약 4개월(4월~7월) 이상 실험하였다. 각 Run에서 부하량의 변화를 주기 위해 처리시설로 loading되는 유입수 volume을 조절하였으며, 각 Run에서의 HRT와 얻어진 평균 부하량은 Table 3에 나타나있다.

#### 4. 분석방법

채취된 sample은 4℃ 이하의 냉장고에 보관하였으며 가능한 각각의 분석 항목에 대하여 바로 측정하였다. NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>x</sub>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P의 분석은 자동수질 분석기(Zellweger : LACHAT, QuikChem 8000)를 사용하여 측정하였고, 총 유기화합물의 분석은 TOC analyzer(TOC-5000A, Shimadzu)를 이용하여 분석하였다. CODcr는 Standard Method (A.P.H.A, 1995) Closed Reflux, colormetric method에 준해 분석하였으며, 색도 측정은 UV-visible spectrophotometer를 이용하여 absorbance를 400nm 에서 측정 후 수질오염공정시험법 색도 측정방법과 비교하여 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

각 운전에서 얻어진 평균 인 제거효율과 각 반응조에서의 처리효율을 Fig. 2에 나타내었다. HRT 6, 4, 3, 2일 조건에서 운전된 Run I, II, III, IV에서의 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 평균 제거효율은 각각 92.7%, 71.3%, 94.2%, 92.2%로 Run II에서 가장 낮고, Run III에서 가장 높은 처리효율을 보였다. 각 Run에서 시스템으로의 평균 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 부하량과 처리효율을 비교할 때 부하량에 따른 처리효율 변화는 나타나지 않았으며 Run II와 III에서의 인 제거 효율 차이는 전기 분해조에서의 인 제거 양상의 차이에 의해 발생한 것으로

각 반응조에서의 처리효율을 분석한 결과 밝혀졌다. Struvite 반응조에서의 제거효율은 Run II의 경우 87.3%, Run III의 경우 82.8%로 차이가 거의 없었던 반면 전기 분해조에서는 Run II에서 약 16.0% 증가하였으나, Run III에서는 약 11.4% 제거된 것으로 나타났다. 또한 Run I에서도 인의 증가가 관찰되었는데 Run I, II에서의 이러한 인의 증가 현상은 운전인자의 차이에 의하여 발생한 것이 아니라 Run I, II 운전기간 동안 struvite 반응조로부터의 상등액 배출을 위해 사용된 수증펌프를 통해 MAP 결정체가 함께 이송되었기 때문이었던 것으로 분석되었다. Run I에서보다 Run II에서 인의 증가량이 높았던 것은 운전기간이 경과함에 따라 struvite 반응조내의 MAP 결정체 양이 증가하여 수증 펌프를 통한 MAP 결정체의 이송량이 증가하였기 때문이었다. Run I, II에서 이러한 현상이 목격됨에 따라 Run III, IV에서는 상등수 배출 펌프를 연동펌프로 교환하여 운전하였으며 그 결과 Run I, II에서와 같은 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 증가 현상은 관찰되지 않았다.

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 제거의 주요 역할을 하는 반응조는 struvite 반응조로 대부분의 인이 MAP 결정체 형성을 통해 제거되었음을 알 수 있었으며, Fig. 3에 나타낸 것과 같이 struvite 반응조에서의 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 제거효율은 부하량 변화에 관계없이 비교적 일정하여 적정 마그네슘원이 주입되고 aeration이 행해진다면 pH 조절제 첨가 없이도 88% 이상의 제거효율을 얻을 수 있는 것으로 파악되었다. Struvite 반응조에서 부하량 증가시

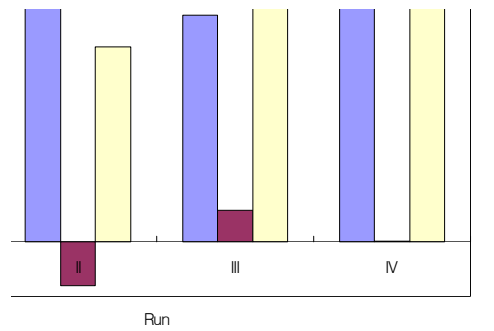


Fig. 2. Average removal efficiency of Ortho-P in system.

의 일정한 인 제거 효율 유지는 결정체 형성 증가 결과를 가져왔으며, 인 제거에 따른 이론적 MAP 생산은 2.27g/g PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>로 추정된다.

Fig. 4, 5, 6, 7은 각 Run에서의 암모니아성 질소의 평균 제거효율과 각 반응조에서의 부하량 변화에 따른 제거특성을 나타낸 것이다. Run I, II, III, IV 운전에서의 NH<sub>4</sub>-N의 평균 제거효율은 각각 94.6%, 92.5%, 41.0%, 54.6%로 부하량이 증가할수록 제거효율은 감소하였다 (Fig. 4). 각 반응조에서의 NH<sub>4</sub>-N 제거 특성을 살펴볼 때 인의 경우에는 대부분의 제거가 Struvite 반응조에서 일어났던 반면 NH<sub>4</sub>-N의 경우에는 전기분해조가 제거의 주요역할을 담당하였다. Struvite 반응조내에서의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 제거는 Run I, II, III, IV 각각 33.2%, 37.6%, 14.1%, 20.9%로 부하량이 증가함에 따라 제거효율은

감소하였는데 운전기간동안의 Struvite 반응조로의 NH<sub>4</sub>-N 부하량 변화와 제거효율의 변화를 살펴본 결과 (Fig. 6) 약 200g/m<sup>3</sup>.d 이하의 부하량 수준에서는 부하량이 증가할수록 처리효율과 제거량 모두 증가하면서 약 200g/m<sup>3</sup>.d의 부하 수준에서는 처리효율이 50% 수준으로까지 증가하였다. 그러나 그 이상의 부하량 수준에서는 제거효율이 감소하면서 일정한 제거를 얻을 수 없는 것으로 나타나 Struvite 반응조로의 적정 NH<sub>4</sub>-N 부하량은 200g/m<sup>3</sup>.d 수준인 것으로 판단되었다.

전기분해조에서의 질소제거 효율은 Run I, II, III, IV 각각 61.5%, 54.9%, 26.9%, 33.7%로 Struvite 반응조에서와 마찬가지로 평균 부하량이 증가할수록 제거효율은 감소하였다. Fig. 7에 나타낸 것과 같이 운전기간 동안의 전기분

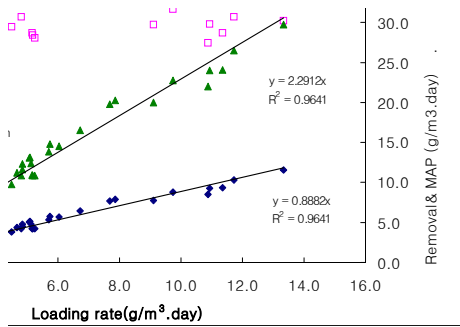


Fig. 3. Ortho-P removal & struvite production in struvite reactor.

Fig. 5. Ammonia removal vs loading rate in system.

Fig. 4. Average removal efficiency of ammonia in system.

Fig. 6. Ammonia removal vs loading rate in struvite reactor.

Fig. 7. Ammonia removal vs loading rate in electrolysis reactor.

해조로의 부하량 변화에 따른 제거효율의 변화를 분석한 결과 부하량  $120\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  수준에서는 평균 90%의 안정적인 제거효율을 보이고 있으나,  $200\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  이상수준에서는 처리효율이 크게 감소하면서 매우 가변적이었다.

전체 시스템의 유효용적을 기준으로 할 때 Struvite 반응조와 전기분해조의 적정 부하량을 유지시켜 높은 처리효율을 얻을 수 있는 부하량의 수준은 약  $100\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 이었다.  $100\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  이하에서는 부하량이 증가함에 따라 제거량도 증가하면서 90% 이상의 일정한 제거효율을 보였으나, 그 이상에서는 부하량이 증가함에 따라 불안정한 제거를 나타내며 제거효율이 감소하였다. 두 반응조가 동일한 용적으로 구성됨에 따라 전체 용적을 기준으로  $100\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 의 부하량은 Struvite 반응조의 적정 부하량  $200\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 를 만족시켰으며, 이 수준에서 약 50% 정도의  $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 제거됨에 따라 전기분해조로의 부하량은 약  $100\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  정도를 유지시킬 수 있었다. 처리시스템으로의  $\text{NH}_4\text{-N}$  부하량 변화에 따른 제거특성은 Fig. 5에 나타나있다.

Struvite 반응조에서의 암모니아성 질소의 제거기전으로는 MAP 생성으로 인한 침전과 포기에 따른 pH 상승으로 인한 암모니아 stripping으로 생각된다. 그러나 MAP 형성에 의한 암모니아성 질소의 제거는 낮았을 것으로 여겨지는데, 이는 유입수내 암모니아 질소의 농도가 인의 농도에 비해 매우 높아  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$

가 동일한 몰 비로 결합하는 MAP 결정체 형성에 의해  $\text{NH}_4\text{-N}$  제거가 많이 일어날 수 없었기 때문이다. 따라서 운전 동안 평균 8.5 이상의 pH 수준이 유지되었던 Struvite 반응조에서의 대부분의 암모니아 제거는 포기에 의한 air stripping에 의한 탈기에 의한 것으로 여겨진다. 전기분해조에서의 암모니아의 제거기전으로는 전기분해 반응에 의해 수산화 이온과 직접 산화 반응하여  $\text{N}_2$ 형태로 탈기되거나  $\text{NO}_x^-$  형태의 변환(배 등, 1984, 진 등, 2000), 그리고 전기분해반응 시의 온도 상승으로 인한  $\text{NH}_3$ 형태로의 탈기로 추측된다(Larry 등, 2002).

Fig. 8. Average removal efficiency of TOCs in system.

Fig. 8은 각 Run에서의 평균 TOCs 제거효율을 나타낸 것이다. 각 Run에서의 TOCs 제거효율은 Run I, II, III, IV 각각 59.9%, 51%, 46.3%, 37.6%로 낮았으며 부하량의 변화에 따른 처리효율 변화는 관찰되지 않고, 시스템에서의 TOCs 제거효율은 수처리시간 (HRT)이 길수록 높은 처리효율을 나타내었다( $r^2 = 0.97$ ). 이러한 낮은 처리효율은 시험에 사용된 유입수의 특성에 의한 것으로 판단되는데 사용된 유입수의 경우 저장조에서 장기간 동안 분해 과정을 거친 폐수로서 유기화합물의 농도가 낮고 또한 존재하는 유기화합물의 상당 부분도 색을 구성하는 고분자 화합물이었기 때문에 제거효율이 낮았을 것으로 여겨진다.

TOCs 제거에 있어 Struvite 반응조에서의 제거효율은 Run I-8.8%, Run II-22.3%, Run III-

## IV. 요약

본 연구에서는 돈사 폐수내의 인과 질소를 함께 결정화하여 회수하고 그 상등액을 전기분해 시키는 회분식 돈사 폐수공정에서의 오염물질 부하량과 수처리시간 변화에 따른 처리효율의 변화 및 각 오염물질 제거특성을 파악하였다. Struvite 형성을 위한 Mg원으로는  $MgCl_2$ 를 사용하였고 주입량은 폐수내 인 기준 1.3 Mole 이었다. 총 4개의 운전(Run I, II, III, IV)에서 얻어진 평균 제거효율과 그 제거특성을 분석한 결과 인의 경우 부하량 변화에 따른 처리효율의 변화는 관찰되지 않았으며 제거의 주요 역할을 하는 반응조는 Struvite 반응조로서 적정 Mg원만 제공된다면 pH 조절제 첨가 없이 폭기만으로도 부하량에 관계없이 88% 이상의 제거가 MAP 형성을 통해 얻어지는 것으로 나타났다. 높은 암모니아성 질소 제거효율을 유지하기 위한 적정 부하량은 약  $100g/m^3 \cdot d$ 로서 동 부하량 이하에서는 부하량이 증가함에 따라 제거량도 증가하면서 90% 이상의 높은 효율과 일정한 제거특성을 보인 반면 그 이상에서는 불안정한 제거특성을 나타내면서 제거효율이 감소하였다. TOCs의 경우에는 부하량 변화에 따른 처리효율 변화는 관찰되지 않았으며, 그 제거효율은 수처리 시간에 의존적인 것으로 나타났다 ( $r^2 = 0.97$ ). 색도 제거 효율은 전기분해조 용적기준 수처리시간 2일 이상에서 94%의 매우 높고 일정한 효율을 얻을 수 있었다.

## V. 인용 문헌

1. Borgerding, J. 1972. Phosphate deposits in digestion system. J. Water Pollut Control. Fed 44(8):813-819.
2. James, D. Doyle Simon, A. parsons\*. 2002. Struvite formation, controland recovery. Water Research 39:25-3940.
3. Larry, D. Benefield, Joseph, F. Judkins, Jr, Barron, L. Weand. 1982. Process chemistry for water and wastewater treatment Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 07632 Chapter 13:3.
4. Rawn, A. M, Perry, Banta, A, Perneroy, R. 1939. Multiple stag sewage digestion. Trans Ame Soc

Fig. 9. Color removal in electrolysis reactor.

26.3%, Run IV-24.0%로 부하량이나 수처리시간에 관계없는 제거특성을 보였는데 Struvite 반응조에서의 이러한 TOCs 제거는 MAP 형성시 전하를 지닌 dissolved solid의 결합·침전과 aeration에 의한 flocculation 반응, MAP 침전시의 고형물의 침전 등에 의한 것으로 판단된다.

전기분해조에서의 TOCs 제거효율은 Run I, II, III, IV 각각 51%, 28.7%, 20%, 13.6%로 수처리시간과 높은 상관관계를 보였다( $r^2=0.99$ ). 길 등 (2000)에 의하면 수처리 시간이 길어짐에 따라 잔류염소의 생성은 증가하고, 잔류염소는 유기물 제거에 관여하는 것으로 보고되고 있다. 전기분해조에서 TOCs 제거기전으로는 전기분해에 의한 유기물 산화로 여겨지며(박 등1998), 진 등(2002)에 따르면 대부분의 유기물 산화는 전기분해 반응에 의한 직접 산화보다는 차아염소산의 생성에 의한 간접 산화가 많은데 본 실험에서는  $MgCl_2$ 의 양이 인의 부하량에 의해 조절되어 유기물 산화를 위한 충분한 차아염소산 생성이 부족했다고 판단된다.

전기분해조에서의 색도 제거효율은 Run I, II, III, IV 각각 94%, 94%, 59%, 49%로 전기분해조에서의 수처리시간 (HRT) 기준 2일 이상에서는 매우 높고 일정한 색도 제거효율을 보인 반면, 수처리시간 (HRT) 1.5, 1일에서는 불규칙한 제거효율을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 9). Run I 및 II에서 얻은 94%의 제거효율은 색도 1550 unit를 100 unit 이하로 감소시킨 것이다.

- Agric Eng 105:93-132.
5. 길대수, 이병현, 이재근. 2000. 전기분해에 의한 고농도 유기물질 제거 특성. 대한환경공학회지 22(2):251-264.
  6. 김만수, 류홍덕, 이상일. 2002. 침출수의 struvite 결정화시 결정원의 주입순서가 미치는 영향. 대한환경공학회지 24(2):269-275.
  7. 김성희. 1999. Kinetic and the effect of operating parameters in electrochemical sewage tretment. 강원대학교 공학석사학위논문.
  8. 박성원, 김성국, 이광수. 1998. 전기분해를 이용한 산업폐수 처리에 관한 연구. 환경과학집3(1):131-142.
  9. 배상근, 박상조. 1984. 전기화학적 방법에 의한 폐수중의 암모니아 제거에 관한 연구. 대한환경공학회지 6(1):44-55.
  10. 원성연, 박승국, 이상일. 2002. Struvite 결정화에 의한 질소 및 인 제거. 대한환경공학회지 22(4):599-607.
  11. 원승진, 라창식. 2001. 축산폐수내 함유되어 있는 화학물질이 생물학적 처리에 미치는 영향. 대한환경공학회지 23(11):1843-1851.
  12. 임찬섭, 박정호, 신남철. 2000. Struvite 형성에 의한 분뇨의 암모니아성 질소 제거. 한국폐기물학회지 17(8):986-993.
  13. 진은정, 길대수, 이창근, 이병현. 2000. 전기분해를 이용한 축산폐수의 처리. 한국수처리기술연구회지 8(4):29-36.
- (접수일자 : 2003. 2. 28. / 채택일자 : 2003. 7. 8.)



Rn Rn Rn Rn Rn  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%)  
 Struvite(%) Bectralysis(%) Total(%)  
 Struvite(%) Bectralysis(%) Total(%)  
 Struvite(%) Bectralysis(%) Total(%)  
 Loading rate(g/m<sup>3</sup>, day) Loading rate(g/m<sup>3</sup>, day)  
 Loading rate(g/m<sup>3</sup>, day) Loading rate(g/m<sup>3</sup>, day)  
 Loading rate(g/m<sup>3</sup>, day)  
 Removal & MAP (g/m<sup>3</sup>, day)  
 Removal & MAP (g/m<sup>3</sup>, day)  
 Removal & MAP (g/m<sup>3</sup>, day)  
 NH<sub>4</sub>-N Nloading rate(g/m<sup>3</sup>, day)  
 NH<sub>4</sub>-N Nloading rate(g/m<sup>3</sup>, day)  
 NH<sub>4</sub>-N Nloading rate(g/m<sup>3</sup>, day)  
 Removal(%, g/m<sup>3</sup>, day) Removal(%, g/m<sup>3</sup>, day)  
 Removal(%, g/m<sup>3</sup>, day) Removal(%, g/m<sup>3</sup>, day)  
 Removal(%, g/m<sup>3</sup>, day)  
 Days Days Days Days Days

Rn Rn Rn Rn Rn  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%) Removal efficiency(%)  
 Removal efficiency(%)  
 Struvite(%) Bectralysis(%) Total(%)  
 Struvite(%) Bectralysis(%) Total(%)  
 Struvite(%) Bectralysis(%) Total(%)  
 Loading rate(g/m<sup>3</sup> · day) Loading rate(g/m<sup>3</sup> · day)  
 Loading rate(g/m<sup>3</sup> · day) Loading rate(g/m<sup>3</sup> · day)  
 Loading rate(g/m<sup>3</sup> · day)  
 Removal & MAP (g/m<sup>3</sup> · day)  
 Removal & MAP (g/m<sup>3</sup> · day)  
 Removal & MAP (g/m<sup>3</sup> · day)  
 NH<sub>4</sub>-N loading rate(g/m<sup>3</sup> · day)  
 NH<sub>4</sub>-N loading rate(g/m<sup>3</sup> · day)  
 NH<sub>4</sub>-N loading rate(g/m<sup>3</sup> · day)  
 Removal(%, g/m<sup>3</sup> · day) Removal(%, g/m<sup>3</sup> · day)  
 Removal(%, g/m<sup>3</sup> · day) Removal(%, g/m<sup>3</sup> · day)  
 Removal(%, g/m<sup>3</sup> · day)  
 Days Days Days Days Days