

PF14) ECO(Electro-Coagulation & Oxidation) 공법에서 전극 및 전류밀도에 따른 축산폐수 처리특성 변화

김학석*, 김홍태, 김정배¹, 이두희¹

경북대학교 토목공학과, ¹계명대학교 환경대학

1. 서 론

2012년 해양오염확산금지협약으로 기존 축산폐수의 해양배출이 전면 금지됨에 따라 최근 우리나라에서는 축산폐수의 관리방안에 관한 관심과 연구가 급격히 증가하고 있는 추세이며, 축산폐수의 해양배출 금지에 대한 대안마련 및 축산폐수 처리를 위한 퇴·액비화, 가스화 생산설비 개발 및 확충 등 축산폐수의 사후처리에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 지자체별로 공공처리장이나 공동처리시설을 지원하여 설치·운영함으로써 축산농가에서 발생된 축산폐수 처리시 소요되는 비용을 절감하려 각고의 노력을 하고있다.

그러나, 축산폐수의 공공처리시설의 도입 및 운영시에는 이들 시설의 운영시 발생하는 침출수에 대한 2차적인 처리설비가 도입 되어야 하지만 이에 대한 관련기술의 개발 실적 및 자료의 축적은 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 고농도 유기물을 함유한 폐수의 처리공법으로 많이 사용되고 있는 ECO 공법을 이용한 축산폐수 처리시 효율적인 처리시설 설계 및 운영을 위해 현재 범용적으로 사용되고 있는 용해성 및 불용성 전극을 대상으로 각 전극의 종류에 따른 축산폐수의 처리특성을 평가함으로써 전기학적 기법을 응용한 전기응집산화(Electro Coagulation & Oxidation) 방식의 설계 및 운영에 필요한 기초자료로 활용될 수 있도록 하였다.

2. 실험내용 및 방법

본 연구에서는 대구시 H양돈농장내 부지에 0.5m³/hr 규모의 ECO Pilot Plant의 1차 전기응집산화 반응조에서 축산폐수처리시설의 운영·관리시 방류수 수질기준 항목 초과로 인근수역에 수질오염 문제를 야기할 가능성이 큰 COD_{Mn}, TN 및 TP 항목에 대한 제거효율 평가를 실시하였다. 본 연구의 Pilot Plant가 설치된 대구시 H양돈농장은 총 2,000~2,500두 규모의 돼지 사육농장으로 축산폐수의 발생량은 계절적 차이는 있지만 평균 10m³/day가 발생되고 있다. 또한, 재래식 돈사와 슬러리 돈사를 동일한 비율로 운영하고 있으며 요는 자연유하로 저류조에 유입되고 슬러리 돈사는 별도로 분을 제거하지 않고 분과 요가 같이 섞여서 저류조에 유입되고 있다. 따라서 재래식 돈사에서 발생하는 축산폐수는 요가 큰 비중을 차지하므로 상대적으로 SS의 농도가 낮고 슬러리 돈사에서 발생하는 축산폐수는 분이 섞여서 저류조로 유입되므로 SS의 농도가 상당히 높다. 이렇게 발생하는 두 종류의 분뇨는 처리시설로 유입되기 전에 한 개의 저류조에 집수되고 농장에서 자체운영하고 있는 고액분리기로 SS 5,200mg/L에서 780mg/L로 전처리를 하고 있다.

Table 1. Characteristics of influent wastewater

Parameter	Concentration [mg/ℓ]	Average [mg/ℓ]
COD _{Mn}	7,100 ~ 11,250	8,736
SS	4,200 ~ 35,420	5,200
TN	1,510 ~ 2,400	1,793
TP	295 ~ 468	348

Table 2. Description of Pilot plant(ECO)

Items		Description
Preliminary	Distribution Tank	5m ³
Main processes	1st. & 2nd. Reactor	L×W×H = 1.2×0.8×1.0m (0.96m ³)×2 Effective Volume : 0.5m ³
	1st. & 2nd. Clarifier	3m ³
AOP	Ozone A/C Filter	8g/hrs, 8% -

<Table 3> Operating condition of Pilot plant

Run	Current Density [mA/cm ²]	Type of Electrode		Reference
		Anode	Cathode	
1	5	Fe	Fe	1
		Al	Al	2
		Al	SUS	3
		Ir	SUS	4
2	10	Fe	Fe	5
		Al	Al	6
		Al	SUS	7
		Ir	SUS	8
3	15	Fe	Fe	9
		Al	Al	10
		Al	SUS	11
4	20	Ir	SUS	12
		Fe	Fe	13
		Al	Al	14
		Al	SUS	15
		Ir	SUS	16



Fig. 1. ECO Pilot Plant.

본 연구에서는 전극의 특성에 따른 돈사유래 축산폐수의 ECO 공법에 의한 처리특성을 평가하기 위해 ECO 시스템 모듈내 Fe-Fe 및 Al-Al 계열의 용해성 전극과 Al-SUS,

Ir-SUS 등 불용성 전극을 대상으로 5~20mA/cm²의 전류밀도하에서 축산폐수내 유기물 및 영양염류의 제거특성을 평가하였다. 실험에 사용된 전극의 간격은 20mm로 고정하였고, 반응조내 pH는 6으로 고정하였으며, 반응조내 체류시간은 최대 120분으로 30분 단위로 시료를 채취하여 분석하여 7회 분석한 결과치를 이용하여 효율을 평가하였다. 본 연구에 사용된 대상원수의 특성, 장치구성 및 운전조건은 Table 1~Table 3 및 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 ECO 공법을 적용한 Pilot Plant로 축산폐수내 COD_{Mn}, TN, TP 등 유기물 질과 영양염류 제거효율을 평가한 결과, Table 4 및 Fig. 2~Fig. 4에 나타난 바와 같이 전류밀도의 증가에 비례하여 수중 유기물질 및 영양염이 제거되고, 같은 전류밀도 하에서도 사용되어진 전극의 종류에 따라 처리효율은 같이 크게 달라질 수 있음을 알 수 있었다.

Table 4. Characteristics of COD_{Mn}, TN & TP in the First Reactor of ECO process

No.	Raw water			1st. Reactor						No.	Raw water			1st. Reactor					
	Conc.[mg/L]			Conc.[mg/L]			Efficiency[%]				Conc.[mg/L]			Conc.[mg/L]			Efficiency[%]		
	COD	TN	TP	COD	TN	TP	COD	TN	TP		COD	TN	TP	COD	TN	TP	COD	TN	TP
1	7,100	1,510	295	3,607.4	834.0	146.6	49.2	44.8	50.3	9	7,520	1,600	312	2,684.5	663.6	106.9	64.3	58.5	65.7
2	7,480	1,590	312	3,540.3	793.9	131.4	52.7	50.1	57.9	10	8,390	1,790	349	2,613.5	618.4	85.0	68.9	65.5	75.7
3	8,100	1,720	336	3,517.7	959.5	132.8	56.6	44.2	60.5	11	9,200	1,960	382	2,396.6	827.1	80.0	74.0	57.8	79.1
4	8,820	1,880	363	3,655.6	878.1	145.7	58.6	53.3	59.9	12	10,700	1,180	227	2,605.5	367.6	51.4	75.7	68.9	77.4
5	8,730	1,860	358	3,677.8	880.3	146.2	57.9	52.7	59.2	13	11,250	2,400	468	2,011.9	552.0	51.5	82.1	77.0	89.0
6	8,100	1,730	338	3,080.8	710.9	107.9	62.0	58.9	68.1	14	9,980	2,130	413	1,291.3	684.2	28.9	87.1	67.9	93.0
7	8,020	1,710	329	2,682.3	820.5	94.9	66.6	52.0	71.1	15	9,700	2,070	405	1,051.1	391.3	36.2	89.2	81.1	91.1
8	7,750	1,650	318	2,473.4	627.6	96.6	68.1	62.0	69.6	16	8,930	1,900	367	616.9	285.0	35.8	93.1	85.0	90.3

COD_{Mn}의 경우, Ir-SUS전극 조합은 5~20mA/cm²의 전류밀도에서 각각 58.6%, 68.1%,

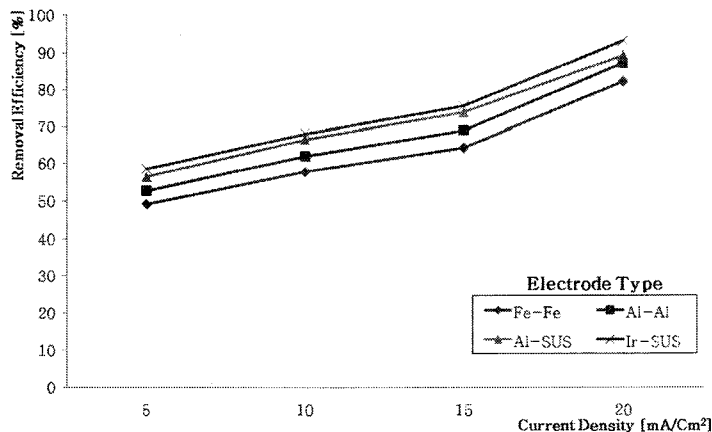


Fig. 2. The variation of COD_{Mn} Removal Efficiency by Electrode types and Current Density.

75.7% 및 93.1%의 제거효율을 나타내어 처리효율이 가장 낮은 Fe-Fe 전극조합에 비해 9.4~11% 향상된 제거효율을 나타내고 있었고, Al-SUS 전극 조합은 56.6~89.2%, Al-Al 조합은 52.7~87.1%의 COD_{Mn} 제거효율을 나타내고 있어 불용성 전극조합에서 높은 제거효율을 나타내고 있었으며, 두 전극 사이에 작용하는 전류밀도가 증가할수록 제거효율 또한 비례하여 증가하고 있는 것으로 나타났다.

TN 제거효율에서는 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 불용성 전극조합인 Ir-SUS 전극 조합이 53.3~85.0%의 TN 제거효율을 나타내어 가장 높은 TN 제거효율을 나타내었고, 불용성-용해성 전극조합인 Al-SUS는 15mA/cm² 이하의 전류밀도에서는 44.2~57.8%의 TN 제거효율을 나타내어 용해성 전극조합인 Al-Al 및 Fe-Fe 전극조합의 50.1~65.5% 및 44.8~58.5%에 비해 낮게 나타나다가 20mA/cm²의 전류밀도에서는 89.2%로 Al-Al 및 Fe-Fe 조합의 67.8%와 77.0%에 비해 높게 나타났다. 특히, Al-Al 조합의 경우 15mA/cm² 이하의 전류밀도에서 50.1~65.5%의 제거효율로 Ir-SUS를 제외한 타 전극조합에 비해 높은 TN 제거효율을 나타내다가 15mA/cm²의 전류밀도에서 제거효율의 향상이 둔화되어 20mA/cm²에서는 가장 낮은 제거효율을 나타내었다.

또한, TP는 Ir-SUS, Al-SUS 및 Al-Al 전극조합이 59.9~90.3%, 60.5~91.1%, 57.9~93%의 제거효율을 나타내어 유사한 효율 및 경향을 나타내는 것으로 나타났고, Fe-Fe 전극조합의 경우, 15mA/cm² 이하의 전류밀도하에서 50.3~65.7%의 제거효율로 타 전극조합에 비해 최소 7.6~10%의 제거효율이 감소하다가 20mA/cm²의 전류밀도에서 89.0%의 제거효율을 나타내어 타 전극의 TP 제거효율에 근접하였다.

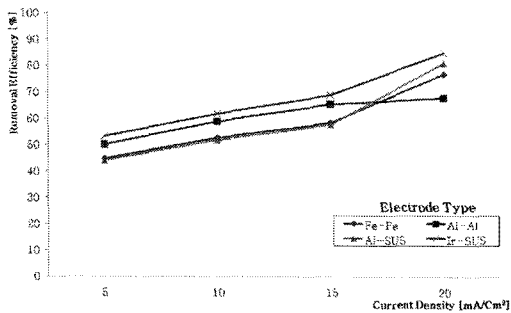


Fig. 3. The variation of TN Removal Efficiency by Electrode types and Current Density.

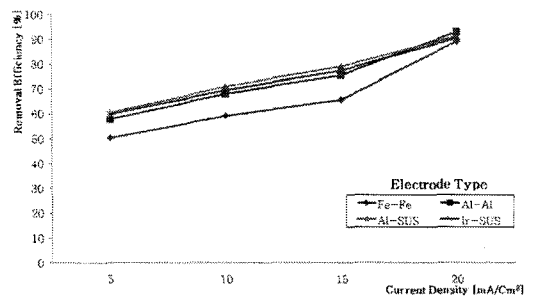


Fig. 4. The variation of TP Removal Efficiency by Electrode types and Current Density

4. 요약

본 연구에서는 전극의 특성에 따른 돈사유래 축산폐수의 ECO 공법에 의한 처리특성을 평가하기 위해 ECO 시스템 모듈내 Fe-Fe 및 Al-Al 계열의 용해성 전극과 Al-SUS, Ir-SUS 등 불용성 전극을 대상으로 5~20mA/cm²의 전류밀도하에서 축산폐수내 유기물 및 영양염류의 제거특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전기응집산화에 의한 축산폐수의 처리시 수중 유기물질 및 영양염류의 제거효율은

전류밀도의 증가에 비례하여 증가한다.

2. 불용성 전극조합 및 불용성-용해성 전극조합은 전류밀도가 높을수록 수중 유기물 및 오염물질 제거효율이 안정되고, 용해성 전극은 $15\text{mA}/\text{cm}^2$ 이하의 저전류밀도의 조건하에서 전류밀도의 증가에 따라 안정된 제거효율 향상을 기대할 수 있다.

3. 불용성전극 조합인 Ir-SUS 전극조합을 사용하여 축산폐수를 처리할 경우 COD_{Mn} 제거효율을 약 10% 향상시킬 수 있으며, TN $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 에서 Al-Al 전극조합과 TP $15\text{mA}/\text{cm}^2$ 이하에서 Fe-Fe 전극조합은 제거효율이 저하되는 경향이 나타난다.

참 고 문 헌

김우정, 안대희, “고효율 회전원판공정 및 후처리공정에 의한 가축분뇨처리”, 환경공학회지, 22(4), pp.603-613, 2002.

신남철, 정유진, 성낙창, “고농도 질소제거를 위한 가축분뇨 처리시설 적정관리 방안” 한국환경농학회지, 19(3), pp.194-200, 2000.

Abeling, U., and Seyfride, C. F., “Anaerobic-aerobic treatment of high strength ammonium wastewater nitrogen removal via nitrite”, Water Sci. Technol., 26, pp.1007~1015, 1992.

Antonisen, A. C., Loehr, R. C., Prekasam, T. B. S., and Srinath, E. G., “Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid”, J. WPCF, 48(5), pp.835~852, 1996.

Mawkawa, T., Liao, C. M., and Feng, X. D., “Nitrogen and phosphorus removal for swine wastewater using intermittent aeration batch reactor followed by ammonia crystallization process”, Water Res., 29(12), pp.2643~2650, 1995.