

연속회분식반응조에 의한 가축분뇨 처리기술에 관한 연구

여운호* · 손경호** · 한상복***

(*인천전문대학 환경공업과 · **여주자영농업고등학교 · ***오토워크시스템)

A Study on the Treatment Technology of Livestock Nightsoil by Sequencing Batch Reactor

Yeo, Woon-Ho* · Son, Kyoung-Ho** · Han, Sang-Bok***

*Department of Environmental Engineering, Junior College of Incheon, Incheon, Korea.

**Yeoju Agricultural High School, Yeoju, Korea.

***Auto Work System, Seoul, Korea.

적 요

가축분뇨 배출에 대한 처리 규정이 더욱 강화될 예정이다. 특히, 질소 및 인 항목은 새로이 추가되었으므로 이런 물질들을 잘 처리할 수 있는 처리법 개발이 시급하다. 그러나 기존의 처리법들은 처리량 변동에 대한 적응력이 약하며, 질소 및 인 제거율이 매우 저조하다.

연속회분식반응조에 의한 가축분뇨처리시 적절한 설계 및 운전 값으로 BOD 응적부하는 $0.05 \sim 0.20 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$, F/M비는 $0.03 \sim 0.10 \text{ kg BOD/kg MLVSS} \cdot \text{day}$ 로 생각되며, 이 값들은 표준활성슬러지법의 값 보다는 낮지만, 장시간폭기법 및 산화구법의 값과는 비슷하며, 특히 질소와 인 제거율이 다른 처리법 보다 월등히 우수하다. 따라서 연속회분식처리법은 사육규모가 작은 우리 나라 실정에 매우 적합한 처리법으로 사료된다.

인 제거율이 매우 저조하다.^{1),2)}

1. 서 론

육류 소비량 증가로 가축사육의 집산화 규모가 늘어나면서 과거와는 달리 가축분뇨가 일정지역에 집중적으로 배출되고 있어 환경문제를 심각하게 만들고 있다. 처리해야 할 가축분뇨량은 가축분뇨의 계절별 퇴비로 요구되는 양 차이 및 계절별 사육조건 변화에 따라 다르다. 1996년도 부터는 가축분뇨에 대한 처리 규정이 더욱 강화될 예정이다. 특히, 질소 및 인 항목은 새로이 추가되었으므로 이런 물질들을 잘 처리할 수 있는 처리법 개발이 시급하다. 그러나 기존의 처리법들은 처리량 변동에 대한 적응력이 약하며, 질소 및

1950년대 회분식 활성슬러지법이 낙농업 폐수처리에 이용된 바 있으며, 1970년대 Robert 등의 연속회분식처리법에 대한 연구결과에서 이 처리법이 BOD, 질소 및 인의 제거가 우수하다고 보고하였다.^{3),4),5)} 뿐만 아니라 이 처리법은 유량 변동에 대한 적응이 잘 되는 것으로 밝혀졌다. 원료 반입량이 계절별로 심하게 변하는 농산물은 가공시 발생하는 폐수도 계절별 유량변동이 심하다. 따라서 이러한 폐수처리에 많이 이용되었다. 그리고 이 처리법은 Bulking 방지 효과도 우수한 것으로 알려졌다.^{6),7),8)} 따라서 본 연구는 BOD 제거 효율이 기존의 가축분뇨 처리법과 유사하게 유지되면서, 질소와 인의 제거율을 향상시키고,^{9),10)} 계절별로 처리해야 할

가축분뇨량이 크게 변하고 있는 우리 나라 실정에 가장 적합한 가축분뇨 처리법의 설계 및 운전 인자를 제시하고자 연속회분식반응조를 이용하여 1일 처리 Cycle수 및 유입농도 변화에 따른 처리효율을 연구하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험장치

연속회분식반응조는 Fig.1 처럼 유효용적은 배수구까지 수심을 공제하면 설치처리량이 1일에 0.5~2ℓ가 된다. 시료 주입은 Peristaltic Pump를 사용하였으며, 산소공급 및 교반은 어항용 기포발생기를 사용하였다. 배수후에 슬러지를 폐기하였으며, 이때 폐기슬러지농도가 균일하게 유지되도록 15rpm 모터에 축을 연결하고 축끝에 브레이드를 부착해 교반시켰다. 배수 조절을 위해서 Solenoid Valve를 배수관에 부착하였다. 한편, 시료주입펌프, 기포발생기, 교반모터, Solenoid Valve 등이 계획된 시간에 작동되도록 각각

Timer를 부착하였다. Thermostat와 Cooler를 반응조가 들어 있는 수욕조에 설치하여 수욕조의 수온이 20℃가 되게 하므로 반응조 수온도 항상 20℃로 유지시켰다.

2. 처리방식 개요 및 운전

연속회분식반응조에 의한 처리는 Fig.2에서 보듯이 1Cycle이 시료의 주입, 반응, 침전, 배수, 대기 등의 5단계로 나누어 처리되며 이과정의 반복 된다.

첫 단계인 시료의 주입은 Peristaltic Pump에 의해서 희석된 가축분뇨를 시료저장조에서 반응조내에 채우는 기간이다. 이때 반응조는 혐기성 상태로 유지되므로 배수후 반응조내에 남아 있는 폭기액중의 NO_3-N , NO_2-N 등은 탈질반응에 의해 N_2 로 바뀌게 된다.^{(11),(12)}

둘째 단계인 반응은 공기주입으로 반응조내에 있는 슬러지와 가축분뇨가 혼합 및 폭기되며 호기성 미생물들이 유기물을 분해처리시키는 기간이다.

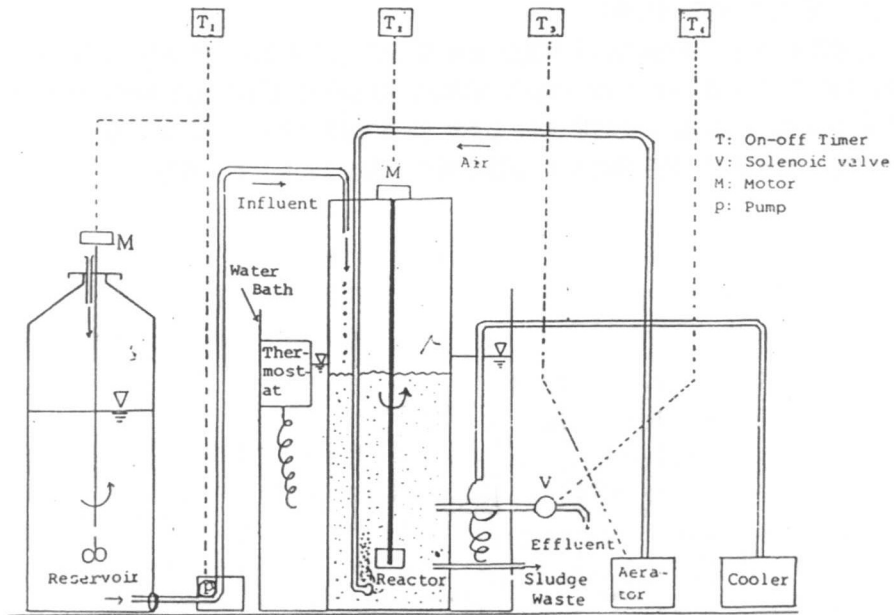


Fig.1. Schematic diagram of Sequencing batch reactor.

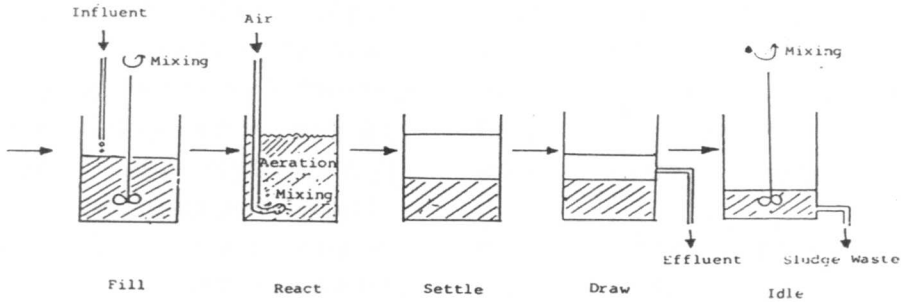


Fig.2. Operational phases of Sequencing batch reactor.

셋째 단계인 침전은 폭기를 중지해 폭기액을 정지시키므로 고액분리하는 기간으로 혐기성 상태가 유지된다.

넷째 단계인 배수는 고액분리 상등수만 배수관을 통하여 방류시키는 기간이다.

마지막 단계인 대기는 배수가 끝나고 다음 Cycle이 시작될 때까지의 기간으로서 유량변동 또는 처리장 운전중 발생하는 사고 등에 대처하기 위해 이 단계의 시간을 증감시킬 수 있다. 위에서 언급한 각 단계별 처리 시간은 Fig.3과 같다.

연속회분식반응조에서는 배수구 수면까지의 용적이 1 l 이고, 매 Cycle마다 약 0.5 l 의 시료를 주입하였으므로 결국 1.5 l 의 유효용적이다. 운전조건은 거의 동일하며, 다만 1Cycle의 처리 5단계중에 대기 시간을 조절하여 1일 1~3 Cycle로 처리하였다. 주입되는 가축분뇨는 경기도 여주군 Y양돈장 1차처리 유출수로, 1일 총 주입되는 양은 0.5~1.5 l 이며, 따라서 수학적체류시간은 1~3일 이다. 연속회분식반응조에 유입 가축분뇨 BOD농도는 양돈장 1차처리 유출수를 각각 희석하여 평균 150mg/l, 200mg/l, 250mg/l, 300mg/l, 350mg/l, 400mg/l, 450mg/l 및 500mg/l 되게 하여 실험을 행하였다. 이와 같이 8조건으로 유입 가축분뇨 농도를 변화시키면서 연속회분식반응조의 BOD, SS, 질소 및 인의 제거율을 관찰하였다.

잉여슬러지는 수동으로 대기단계에서 폐기하여 MLVSS 농도가 1,800~2,200mg/l 범위가 되게하였다. 반응조 수온은 앞에서 설명했듯이 항상 20℃로 유지시켰으며, DO는 0~6.0mg/l 까지 변화였다.

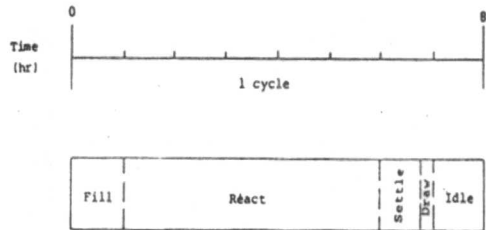


Fig.3. Operational program of Sequencing batch reactor.

3. 시료의 채취 및 분석

유입수 및 유출수를 2~3일 간격으로 채취하여 BOD, SS, TKN 및 T-P 등을 분석하였다. 그리고 반응조내의 폭기액도 2~3일 간격으로 채취하여 MLSS, MLVSS 및 DO도 분석하였다. 모든 항목의 분석은 환경오염공정시험법에 의해서 행하였다.¹³⁾

III. 결과 및 고찰

연속회분식반응조의 처리 Cycle수 및 유입BOD농도별 유출수 BOD, SS, TKN 및 T-P 농도는 Table 1과 같다.

기존의 가축분뇨 처리법으로 활용되었던 활성슬러지법의 BOD 제거율이 90% 정도이며, SS 제거율은 88% 정도이다. 그리고 산화구법의 BOD 및 SS 제거율이 70~80% 정도이다.^{9),10)} 한편, 방류수의 수질이 1996년도 부터는 더욱 강화되어 BOD 30mg/ℓ 이하, SS 30mg/ℓ 이하이며, 새로 추가된 항목으로 총질소 120mg/ℓ 이하, 총인 16mg/ℓ 이하가 되어야 한다.¹⁴⁾

따라서 본 연구에서는 이들과 연속회분식반응조의 각 지표별 처리효율 및 유출수 농도를 비교해 처리결과의 상태를

양호 및 불량이라 판정하였다.

1일 1Cycle로 운전하는 실험에서 유입 BOD농도 200mg/ℓ 이하로 처리시, 처리효율 및 유출수 농도가 양호하다. 만일, SS처리만 더 보완한다면 유입 BOD농도 300mg/ℓ 까지 양호한 처리효율 및 유출수 농도를 기대할 수 있다.

1일 2Cycle로 운전하는 실험에서 유입 BOD농도 150mg/ℓ 이하로 처리시, 처리효율 및 유출수 농도가 양호하다. 만일, SS처리만 더 보완한다면 유입 BOD농도 200mg/ℓ 까지 양호한 처리효율 및 유출수 농도를 기대할 수 있다. 유입수

Table 1. Operational conditions and results of sequencing batch reactor

			Influent BOD (mg / ℓ)							
			150	200	250	300	350	400	450	500
1 C/d	BOD	E	9	14	18	24	38	48	68	80
		R	94	93	93	92	89	88	85	84
	SS	E	29	28	37	54	77	96	103	130
		R	88	91	91	89	86	85	86	87
	TKN	E	27	40	53	70	88	98	119	138
		R	83	81	80	78	77	77	75	74
	T-P	E	1	3	4	5	5	7	8	9
		R	81	78	77	75	75	73	74	74
2 C/d	BOD	E	18	30	40	51	66	88	104	120
		R	88	85	84	83	81	78	77	76
	SS	E	25	35	45	64	77	83	88	98
		R	90	89	89	87	86	87	88	88
	TKN	E	30	44	58	80	111	127	153	175
		R	81	79	78	75	71	70	68	67
	T-P	E	3	4	5	6	7	8	10	11
		R	74	71	70	70	69	70	68	68
3 C/d	BOD	E	23	36	55	72	94	112	140	160
		R	85	82	78	76	73	72	69	68
	SS	E	22	35	45	64	72	77	103	90
		R	91	89	89	87	87	88	86	89
	TKN	E	42	61	85	106	149	178	219	254
		R	74	71	68	67	61	58	54	52
	T-P	E	3	4	7	7	8	14	14	14
		R	67	64	62	61	61	58	57	58

Note, C/d:Cycle/day, E:Effluent(mg / ℓ),
R:Removal Efficiency(%)

의 농도가 높을수록, 총부하량이 높을수록 유출수의 농도가 증가하는 것은 당연하다. 그리고 처리효율이 낮아지는 이유는 반응조내의 MLVSS농도를 대부분의 조건에서 일정하게 유지하였기 때문에 야기되는 것으로 생각된다.

1일 3Cycle로 운전하는 실험에서 유입 BOD농도 150mg/ℓ 이하로 처리시, 처리효율 및 유출수 농도가 양호하다.

이처럼 연속회분식반응조는 주어진 상황에 따라 1일 1~3 Cycles로 처리 가능함을 찾아 볼 수 있다. BOD, TKN 및 T-P의 처리효율 및 유출수 수질은 매우 양호하며, 특히 TKN과 T-P는 기존의 처리법 보다 매우 우수하며, T-P는 거의 대부분의 처리조건에서 잘 처리되고 있으나, SS 처리가 대체로 불량하여 각 조건별 처리상태를 종합적으로 해석하는데 불량 판정을 내리게 하고 있다.

SS처리가 다른 지표에 비해 불량한 이유는 유입수 농도가 다른 것에 비하여 더 높았으며, 특히 연속회분식반응조는 기존의 다른 처리법 처럼 반응과 침전이 분리되어 있지 않고 1개의 반응조에서 반응과 침전이 함께 이루어지므로 침전이 불완전하게 진행될 수 있는 단점이 있기 때문으로 사료된다. 따라서 처리장 설계시 이러한 문제점을 개선하는 것이 바람직 할 것으로 사료되며, 운전에도 주의를 요하는 사항이라 할 것이다. Table 1의 각 처리조건별 적합성 여부

를 Table 2 처럼 표시할 수 있다.

한편, 각 처리 조건별 BOD 용적부하 및 F/M비를 계산하여 나타낸 값이 Table 3과 같다. Table 2와 3에서 알 수 있듯이 SS처리만 보완한다면 높은 처리 효율에 적합한 방류수 수질을 유지할 수 있는 처리 조건은 매우 다양함을 알 수 있다. 즉, 연속회분식반응조에 의한 가축분뇨 처리는 유량변동이 심한 경우에 적합하므로 처리 가축분뇨량 변동이 심한 우리 나라 실정에 알맞는 처리법이라 생각된다. 그러나 1일 1Cycle로 고농도의 가축분뇨를 처리하는 것은 바람직하지 않으며, 이러한 조건의 운전 보다는 저농도로 희석하여 2Cycle 내지 3Cycle로 처리하는 것이 더 바람직하다고 할 수 있다. 그 이유는 연속회분식반응조가 처리량변동에 적응성이 우수하더라도 장기적으로 처리 시스템을 운전 시 미생물 특성상 한계성이 있기 때문이다.^{9),10)} 연속회분식반응조에 의한 가축분뇨 처리시, 적절한 BOD 용적부하는 0.05~0.20 kg BOD/m³·day, F/M비는 0.03~0.10 kg BOD/kg MLVSS·day로 사료된다. 표준활성슬러지법의 BOD 용적부하 0.3 ~ 0.8 kg BOD/m³·day,

Table 2. Treatability from low concentration to high concentration of livestock nightsoil

		Influent BOD(mg/ℓ)							
		150	200	250	300	350	400	450	500
1	BOD	G	G	G	G	B	B	B	B
	SS	G	G	B	B	B	B	B	B
	TKN	G	G	G	G	G	G	G	B
	T-P	G	G	G	G	G	G	G	G
2	BOD	G	G	B	B	B	B	B	B
	SS	G	B	B	B	B	B	B	B
	TKN	G	G	G	G	G	B	B	B
	T-P	G	G	G	G	G	G	G	G
3	BOD	G	B	B	B	B	B	B	B
	SS	G	B	B	B	B	B	B	B
	TKN	G	G	G	G	B	B	B	B
	T-P	G	G	G	G	G	G	G	G

Note, C/d: Cycle/day, G: Good treatability, B: Bad treatability

Table 3. BOD volumetric loading and F/M ratio of sequencing batch reactor

Influent BOD (mg / l)	Number of cycles(Cycle/day)					
	1		2		3	
	V	F	V	F	V	F
150	0.05	0.03	0.10	0.05	0.15	0.07
200	0.07	0.04	0.13	0.07	0.21	0.11
250	0.09	0.05	0.17	0.09	0.27	0.14
300	0.10	0.05	0.20	0.10	0.30	0.15
350	0.12	0.06	0.23	0.12	0.36	0.18
400	0.14	0.07	0.27	0.14	0.42	0.21
450	0.15	0.07	0.30	0.15	0.45	0.23
500	0.16	0.08	0.33	0.16	0.48	0.24

Note, V: BOD volumetric loading(kg BOD/m³ · day), F: F/M ratio(kg BOD/kg MLVSS · day)

F/M비 0.2~0.4 kg BOD/kg MLVSS · day 보다는 낮지만, 장시간폭기법의 BOD 용적부하 0.15~0.25 kg BOD/m³ · day, F/M비 0.03~0.05 kg BOD/kg MLVSS · day 및 산화구법의 BOD 용적부하 0.1~0.2 kg BOD/m³ · day, F/M비 0.03~0.05 kg BOD/kg MLVSS · day 와 비슷함을 알 수 있다.^{9),10)} 따라서 연속회분식반응조에 의한 가축분뇨처리는 대규모 처리장 보다는 소규모 처리장에 더 적합한 처리 방법으로 사료되며, 우리 나라 처럼 축산농가의 규모가 영세한 지역에서는 매우 적합한 처리법이라 할 수 있다.

인에 대한 처리 효율 제고가 필연적인 현실을 고려한다면 더욱 바람직한 처리법이라 볼 수 있다.

연속회분식반응조에 의한 가축분뇨처리시 적절한 설계 및 운전 값으로 BOD 용적부하는 0.05~0.20 kg BOD/m³ · day, F/M비는 0.03~0.10 kg BOD/kg MLVSS · day로 생각되며, 이 값들은 표준활성슬러지법의 값 보다는 낮지만, 장시간폭기법 및 산화구법의 값과는 비슷하기 때문에 소규모 처리장에 매우 적합한 처리법이라 할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 연속회분식반응조에 의한 가축분뇨 처리를 행할 경우 유입 가축분뇨의 유기물 농도별 및 1일 처리 Cycle별 처리효율과 방류수 농도를 관찰하여 각 오염지표별 적합성을 판별하여 최적 설계 및 운전 인자를 산정하고자 하였다.

유입 가축분뇨의 유기물 농도 및 1일 처리 Cycle수를 변화시킨 결과 SS처리만 보완한다면 광범위한 조건에서 처리효과가 양호하였으며, 특히 인은 대부분의 조건에서 처리가 기존 방법보다 월등하였다.

연구 결과 연속회분식반응조를 이용하여 가축분뇨를 처리한다면 처리량 변동이 심한 우리 나라 실정에 적합한 처리법으로 생각되며, 앞으로 처리 기준이 강화되어 질소 및

인용 및 참고문헌

1. 여운호, 정남조, 배우근, 이유원, 박호성: 연속회분식 분뇨 처리 기술개발에 관한 연구, 국립환경연구원보, 제8권, 1986.
2. 여운호, 정남조, 배우근, 이유원, 박호성: 연속회분식 분뇨 처리에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 제4권, 제1호, 1987.
3. Robert, L. I.: Phosphorus removal at a full-scale sequencing batch reactor, presented at international conference on management strategies for phosphorus in the environment, Portugal, 1985.
4. Robert, L. I.: An organic loading study of full-scale sequencing batch reactor, J. WPCF, Vol. 57, p. 847, 1985.
5. Robert, L. I.: Analysis of full-scale SBR operation at

- Grundy Center, Iowa, J. WPCF, Vol. 59, pp. 132~138, 1987.
6. Liao, P. H.:Treatment of poultry processing wastewater using sequencing batch reactor, J. Canadian Agricultural Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 299~302, 1990.
 7. Haga, S. G.:Chracterization of piggery wastewater and the control of nitrogen and phosphorus, J.Japanese Environmental Information Science, Vol. 18, pp. 57~60, 1989.
 8. Osada, T. U.:Removal of nitrogen from swine wastewater by limited aeration process, Jpn. J. Wat. Pol. Res., Vol. 122, pp. 122~130, 1989.
 9. 井上充:間歇曝氣式回分活性汚泥法による生物排水中の窒素,リン,有機物除去のための最適條件の選定, 水質汚濁研究, 第14卷, 第5號, p. 311, 1991.
 10. 岡田光正:回分式活性汚泥法による脱リン特性, 水質汚濁研究, 第14卷, 第1號, pp. 47~53, 1991.
 11. 佐々木正一:Anaerobic - oxic system による生物學的處理法, 用水と廢水, Vol. 24, No. 10, 1982.
 12. 古畑義正, 安齊純雄:嫌氣,好氣法によリンの除去, 用水と廢水, 第24卷, 第10號, p.39, 1982.
 13. 환경처:환경오염공정시험법(수질 및 폐기물분야), 대학서림, 1991.
 14. 박석환:축산폐수의 연속회분식 생물학적 처리에 있어서 온도가 미치는 영향, 서울대학교 박사학위논문, 1994.