

連續回分式 反應槽를 이용한 畜産廢水의 處理에 關한 研究

朴碩煥 · 鄭文植

서울대학교 保健大學院

A Study on Treatment of Livestock Wastewater by Sequencing Batch Reactor

Suak Hwan Park and Moon Shik Zong

School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

This study was performed to investigate the characteristics of livestock wastewater excepting pig feces and the variation tendency of water quality and the removal efficiency of polluting materials by establishing the sequencing batch reactor in the field.

The results were as follows,

1. The characteristics of livestock wastewater as follows:
BOD : 619.80, COD_{Cr} : 782.70, NH₃-N : 194.20, TKN : 232.81,
PO₄-P : 24.10, T-P : 215.14 (mg/l)
2. During the reaction, negative correlation existed between pH and dissolved oxygen concentration.
3. The removal efficiency of the organic material by the index of BOD and COD was about 90%.
4. Nitrogen removal efficiency was 65.6% by total Kjeldahl nitrogen index, and phosphorous removal efficiency was about 47% by PO₄-P concentration.

Keywords : Treatment wastewater sequencing batch reactor

I. 서 론

급속한 경제성장으로 생활수준이 향상됨에 따라 식생활 패턴이 지금까지의 곡류위주에서 육류 및 우유류의 비중이 점차 높아가고 있다. 이에 부응하여 전국적으로 축산규모는 점차 증가하고 있다.¹⁾

그러나 축산업이 활성화됨에 따라 축산분뇨의 발생량도 급증하게 되었는데, 축산분뇨는 고농도의 유기성 폐수로서 처리되지 않은 상태로 수계로 유입하면 하천의 수질악화와 호소의 부영양화로 초래하며, 분뇨에 포함된 병원성 미생물 등으로 인한 지하수 오염도 가져올 수 있다.^{2,3)}

그 밖에 가축사육으로 발생하는 악취 및 위생해충의 번식은 전반적인 생활환경을 악화시키고 가축 분뇨에 의해 오염된 농업용수의 사용은 농작물의

수확량을 감소시킬 수 있어 주변 주민의 잦은 민원의 대상이 되고 있다.^{4,5)}

따라서 우리나라 축산의 특수상황과 축산농가의 영세성을 감안한 축산분뇨의 적정관리방안 마련, 축산분뇨처리기술의 개발 및 보급을 통하여 축산분뇨에 의한 환경오염을 최소한으로 줄여야 할 것이다. 축산분뇨의 적정관리를 목표로 대규모 축산시설에 대해서는 1981년부터 환경보전법에서 방류수 허용기준을 설정하여 시행하고 있으며, 중·소규모의 축산시설에 대해서는 1987년부터 폐기물 관리법으로 규제를 시작하였다.⁶⁾

그러나 중·소규모의 축산시설의 경우 1988년 2월 현재 정화시설 설치율이 34%로 매우 낮아 축산분뇨의 오염물질 감소가 제대로 이뤄지지 않는 채 공공수역으로 유입되고 있는 실정이다. 또한 축산

시설이 산간지역에 위치하는 경우도 있으나 대부분이 소비지 근처인 대도시 주변의 시·도에 집중되어 있어서 인근의 상수원과 지하수를 오염시키고 있다.⁷⁾

현실적으로 중·소규모의 축산시설의 정화시설 설치가 미비된 원인 중에는 경과조치에 따른 시기적인 이유도 있지만 축산농가가 안고 있는 재정 및 기술상의 취약점이 보다 근본적인 것으로 지적되고 있다. 또한 현재의 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률에 의한 축산폐수 정화시설의 방류수 수질기준인 BOD 150 mg/l⁸⁾은 축산분뇨에 의한 수질 오염을 방지하기에는 매우 미흡한 실정이다. 이처럼 환경보전을 위해 시급한 축산분뇨 관리문제를 해결하기 위해, 경제적이고 효율적인 축산분뇨처리에 대한 연구가 필요하다.

폐수의 생물학적 처리공법의 기본개념은 1914년 Aden과 Locett에 의해 최초로 논의 되었으며 원천적인 활성슬러지 공법은 Fill and Draw(회분식)에 기원을 두고 있다.⁹⁾

그러나 회분식 처리법은 폐수의 유입이 단속적으로 이루어져야 하는 단점이 있으므로 도시하수를 처리하는데 있어서 하수의 흐름을 주기적으로 중단해야 하는 어려움이 따르게 되었다. 특히 1930년 이후 도시의 인구증가와 산업발전으로 인하여 하수 처리장이나 공장폐수처리장의 규모가 커지면서 유입되는 막대한 양의 폐수를 주기적으로 중단시킬 수 있는 전원 제어설비 등이 미비하여 처리장 운영관리상의 어려운 점이 많아 오늘날의 연속류식 처리법으로 전환되었다.^{10, 11)}

그런데 20세기의 산업발전으로 많은 새로운 동력자원제어 설비를 개발하여 생산하게 되었으며 자동밸브시스템, 전기적 타이머설비, 수위조절장치 등의 개발을 가져오게 되어 1950년대부터 이러한 제품들을 이용한 회분식 활성슬러지법이 Hoover, Porges 등에 의하여 다시 논의되기 시작하여 낙농산업 폐수의 처리 등 소규모 처리장에 이용하게 되었다.¹¹⁾

또한 Pasveer's Modification(연속적으로 작동시키면 Oxidation Ditch를 간헐적으로 폭기시키며, 불연속적으로 방류시키는 시스템)과 Goronszy가 개발한 Extended Aeration System(폐수를 계속적으로 유입시키고 불연속적으로 방류시키는 한개의 탱크로 된 시스템)이 등장하여 활기를 띠기 시작하였다.¹³⁾

특히, 1970년대에 Irvine 등에 의해 개발된 연속회분식 처리법이 유기물 뿐만 아니라 질소와 인의 제거효과가 탁월하다는 것이 입증되면서부터 더욱 주목을 받게 되었고, 1974년 4월에는 미국 EPA에서 개최하였던 "Less Costly Wastewater Treatment

Schemes for Small Communities" 회의에서 Lagoon 처리의 대안으로써 논의되는 등 연속회분식 처리법의 우수성이 입증되었다.¹⁴⁾

한편, 미국에서는 1980년에 Indiana주 Culver시에서 연속류식 처리시설을 연속회분식 처리시설로 개조하여 현장실험한 결과를 발표한 바 있으며¹⁰⁾, 이를 바탕으로 1985년에는 EPA지원하에 Iowa주 Grundy Center에서 더욱 효율적이고 경제적인 연속회분식 처리법을 개발하기 위하여 현장실험을 수행하였고¹⁵⁾ 캐나다에서는 1982년에 연속회분식 처리법으로 처리효율을 실험하기 위하여 3개의 소규모 하수처리장을 연속회분식 처리시설로 개조하여 운전한 바 있다.¹⁶⁾

그러나, 축산폐수로부터 질소와 인의 제거를 다룬 경우는 극소수에 불과했는데, 이 문제는 하천이나 호수의 부영양화와 관련지어서 최근에 큰 관심을 끄는 분야의 하나이다. Noue와 Basseres¹⁷⁾는 돼지분을 혐기적으로 소화시킴으로써 NH₄-N, PO₄-P를 상당한 수준까지 제거시킬 수 있었고, Osada 등^{18, 19)}은 실험실 수준에서, 돼지폐수를 제한적 폭기공정으로 처리하여 높은 수준의 BOD, TOC, TN의 제거효율을 성취할 수 있었는데, TOC 제거효율에서는 전통적인 활성슬러지 방법과 거의 차이가 없었고(90.9% : 90.3%), TN의 제거효율은(71.5% : 25.2%) 월등히 뛰어났고, TP의 제거효율도(88.5% : 51.1%)로 매우 뛰어난 것으로 밝혀졌다.

국내에서는 박²⁰⁾의 인분에 대한 Bench Scale의 SBR 연구에서 BOD 제거율이 92.4%, TKN의 제거율이 72.4%로 나타났으며, 국²¹⁾의 분뇨에 대한 연구에서는 BOD 제거율 95.8%, TKN 제거율이 63.1%, PO₄-P 제거율이 78.4%로 나타났으며, 신²²⁾의 인공폐수에 대한 Bench Scale의 연구에서는 COD/N ratio가 3.2일 때 총 질소 제거율이 63.8%로 나타났다.

한편, 호수와 같이 정체된 수계에서는 일반적인 수질오염과는 달리 호수내 1차 생산자인 광합성조류가 과잉 번창함으로써 발생하는 부영양화(Eutrophication)라는 특이한 수질오염 문제를 야기하게 된다.²³⁾ 이러한 광합성조류의 성장에 제한요소(Limiting factor)로 작용하는 영양물질이 바로 질소와 인이라고 알려져 있다.^{24, 25)}

현재 우리나라에서 호수에 유입되는 인중 축산폐수에 의한 부하량이 50.1%를 차지하고 있어서²⁶⁾ 이의 처리 및 저감대책이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구는 중·소규모의 가축사육 농가가 밀집되어 있는 장소에 현장 수준의 처리시설을 설치하여, 처리기전의 규명 및 처리효율이 극대화를

Table 1. Variation of temperature, pH and dissolved oxygen by phases

Items/phases	I	II	III	IV	V	VI	VII
Inner temperature (°C)	22	25.8	26.5	27	27	26	26
Outer temperature (°C)	20	24	27	23	21	20	20
pH	7.56	8.32	7.39	7.10	6.32	5.66	5.65
DO (mg/l)	0.00	0.00	3.50	4.90	5.30	5.90	5.91

Table 2. Variation of suspended solid, dissolved solid and total solid by phases

(unit : mg/l)

Items/phases	I	II	III	IV	V	VI	VII
SS	466.7	1400.0	1200.0	1322.5	1466.7	1520.9	61.3
DS	1233.3	560.2	520.0	502.6	402.3	207.5	120.6
TS	1700.0	1960.2	1720.0	1825.1	1869.0	1728.4	181.9

통하여 궁극적으로 환경보전에 이바지함을 목적으로 한다.

II. 재료 및 방법

돼지 사육시 발생하는 오수발생량은 10~15 l/두·일이며 이의 평균 BOD는 1,000~2,500 mg/l로 알려져 있다.²⁷⁻³⁰⁾

본 연구에서는 총 부피가 약 10 m³인 연속회분식 반응조를 중소규모의 돼지 사육이 집단적으로 실시되고 있는 현장에 설치하여 돼지분을 제외한 축산 폐수를 저류조로부터 유입시켜 처리하였다.

하루 유입수량을 5 ton으로 하여 아래와 같은 양식으로 반응조를 20일간 운전하여 슬러지의 자체형성 및 정상상태에 도달시킨 후, 주 2회 간격으로 시료를 채취하여 pH, 온도, 용존산소, 부유물질, BOD, COD 및 질소와 인 등의 영양염류를 Standard Method³¹⁾ 및 수질오염공정시험법상의 KMnO₄법³²⁾에 따라 측정, 분석하여 그 처리효율을 비교하였다.

Fill	Stirring	Aeration	Sludge drainage	Settle	Draw
0.5 hr	4 hrs	18.4 hrs	0.1 hrs	0.5 hr	0.5 hr

Fig. 1. SBR operation mode for one cycle

III. 결과 및 고찰

시료의 종류 및 채취시점은 유입수(I), 교반 후(II), 폭기 6, 12, 18시간 후(III, IV, V) 전체 반응액의 1/7 배출중(VI), 침전 후 배출수(VII)를 채취 분석하였는데 먼저 반응조의 온도, pH 및 DO의 측정치는

Table 1과 같다.

외기온도의 경우, 유입이 이루어진 새벽 6시부터 온도가 점점 증가하여 폭기 6시간 후인 오후 4시경이 최고치를 보이다가 밤이 되면서 약 20°C로 유지되나, 반응조 내부의 시료의 온도는 저류조에서 유입될 때의 온도인 22°C에서 교반이 끝난 후 25.8°C로 상승하는 것은 반응조에 남아 있던 반응액의 영향인 것으로 보이며, 폭기중에 온도가 점차로 증가하는 것은 blower의 압축된 공기가 유입됨에 따라 가열된 공기의 온도가 반응액에 전달된 때문인 것으로 판단된다. pH에 있어서는 돼지의 소변이 다량 함유된 유입수에는 암모니아 성분이 많이 존재하여 약 알칼리성을 띠다가 폭기가 진전되면서 산소의 공급으로 인하여 유기물의 산화 및 CO₂가스의 발생 등으로 방출수에서는 최저치인 5.65를 기록하였다. 용존산소의 경우 유입수 및 교반이 끝난 후까지도 무산소 상태를 보이다가 폭기가 진행되면서 점차로 증가하여 배출수에서는 최고치인 5.91을 기록함으로써 pH와 용존산소와는 서로 음의 상관관계가 존재함을 알 수 있었다.

한편, 고형물질의 변화양상을 살펴보면 Table 2와 같은데 부유고형물이 교반 후에 급작스럽게 증가한 이유는 반응조내에 기존에 존재하는 슬러지 때문이며, 폭기가 진전될수록 유기물질을 소모하는 미생물의 증식으로 SS가 점차로 증가함을 알 수 있으며, 유입수와 침전 후 배출수를 비교했을 때 SS, DS 그리고 TS의 처리효율은 각각 86.9%, 90.2% 그리고 89.3%이었다. 특히 VI와 VII 사이의 SS에 있어서는 큰 차이는 침전 및 전체 슬러지의 1/7이 잉여 슬러지로 배출되었기 때문인 것으로 판단된다.

유기물 오염정도의 대표적인 지표인 BOD 및 COD의 측정치는 Table 3에 제시되어 있는데, 유

Table 3. Variation of BOD, COD_{Cr} and COD_{Mn} by phases (unit : mg/l)

Items/phases	I	II	III	IV	V	VI	VII
BOD	619.8	317.5	220.5	134.6	72.5	57.2	56.7
COD _{Cr}	782.7	427.9	298.3	182.3	92.8	85.9	82.3
CON _{Mn}	703.4	345.8	230.6	156.6	85.1	76.9	72.2

Table 4. Variation of of NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N and TKN by phases (unit : mg/l)

Items/phases	I	II	III	IV	V	VI	VII
NH ₃ -N	194.20	46.72	14.58	ND	ND	ND	ND
NO ₂ -N	ND*	0.21	68.10	11.95	0.40	0.10	ND
NO ₃ -N	ND	ND	25.16	31.30	32.7	31.04	31.03
TKN	232.81	208.67	193.04	190.16	182.03	176.17	80.34

*ND : Non-detected.

Table 5. Variation of PO₄-P and T-P by phases (unit : mg/l)

Items/phases	I	II	III	IV	V	VI	VII
PO ₄ -P	24.10	13.17	12.52	11.17	12.92	12.63	12.83
T-P	215.14	202.90	198.06	200.47	204.47	201.07	125.20

입수와 교반 후 시료에 있어서 큰 차이를 보이는 이유는 II단계 이후부터는 여과에 의한 고액 분리 후 액상시료만 가지고 분석했기 때문이며, 폭기가 진전됨에 따라 BOD 및 COD의 농도가 급속히 감소함을 알 수 있었다. 따라서 폐수중의 유기물을 제거하는데는 폭기 즉, 산소의 공급이 가장 중요한 요소임을 알 수 있었고, 오염 정도에 대한 민감도는 COD_{Cr}이 가장 우수하며, 각각의 오염지표로 본 유기물질 제거효율은 BOD가 90.8%, COD_{Cr}이 89.5%, COD_{Mn}이 89.7% 이었다.

영양염류 중 질소성분의 변화양상은 Table 4에 제시되어 있는데, 먼저 암모니아성 질소의 경우 축산폐수의 초기농도는 매우 높다가 반응이 진전됨에 따라 질산화가 진전되면서 그 농도가 급속히 감소하여 폭기 초반부터는 거의 감지되지 않았으며, 아질산성 질소의 경우 암모니아성 질소가 질산성 질소로 전환되는 중간단계의 물질로서 점차로 증가하였다가 반응 끝부분에서는 거의 검출되지 아니하였으며, 질산성 질소의 경우 배출수의 농도는 31.03 mg/l이었으나, 그 다음 cycle의 교반이 끝난 후에는 검출되지 아니한 것으로 보아 기질이 유입된 후 폭기를 중단시킴에 의한 무산소 상태에서 질산성 질소의 탈질화가 진전된 것으로 판단되며, 또한 TKN을 척도로 사용한 영양염류 중 질소성분의 제거효율은 약 65.6%이었다.

한편, 영양염류 중 하천의 부영양화에 가장 큰 영향을 미치는 제한인자로 알려진 인의 단계별 변화는 Table 5와 같은데, 원래 인은 생물의 성장에 필요한 필수영양소이기 때문에 생물학적 처리과정에서 생물이 이용함으로써 그 일부가 제거된다. 그러나 세포의 주성분은 탄소, 산소, 질소, 수소 등으로 인의 비중이 낮기 때문에 높은 수준의 인 제거를 기대하기는 어려운데, 자료에서 보는 바와 같이 인의 제거속도는 매우 완만하게 진행되며, PO₄-P로 본 그 제거효율은 약 47%로 저조하게 나타났다. 따라서 적어도 더 높은 인의 제거를 위해서는 새로운 mode에 의한 운전이 요구되는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 중소규모의 가축사육 농가가 밀집되어 있는 장소에 현장수준의 축산폐수처리시설을 설치하여 축산폐수의 특성과 처리에 있어서의 경시적 변화 및 그 처리효율을 연구하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. 패지분을 제외한 축산폐수의 특성은 다음과 같다.
BOD : 619.80, COD_{Cr} : 782.70, NH₃-N : 194.20, TKN : 232.81, PO₄-P : 24.10, T-P : 215.14(mg/l)
2. 처리과정에 있어서, pH와 용존산소 사이에는

폭기가 진전됨에 따라 음의 상관관계가 존재하였다.

3. BOD 및 COD를 지표로 사용한 유기물의 제거효율은 약 90%를 나타내었다.
4. 영양염류 중, TKN을 지표로 사용한 질소의 제거효율은 65.6%이었으며, PO₄-P를 지표로 사용한 인의 제거효율은 약 47%이었다.

참고문헌

- 1) 한국환경과학 연구협의회, "전국 축산분뇨 적정관리 대책연구", pp. 16-20, 1990. 1.
- 2) Schindler, D. W., "Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management", *Science* **184**(24 May, 1974), 897.
- 3) Revelle, P. and Revelle, C., "The Environment", 2nd ed., pp. 247-256.
- 4) 전라북도, "나화자 정착촌의 축산폐기물 처리와 재이용에 관한 타당성 연구", 1987. 7.
- 5) 국립환경연구원, "A Study of current Status of Livestock Discharge and its Environmental Impacts", 1986. 11.
- 6) 국립환경연구원, "환경보전법 및 폐기물관리법", 1988.
- 7) 한국환경과학 연구협의회, "전국 축산분뇨 적정관리 대책 연구", pp. 21-29, 1990. 1.
- 8) 전국 환경관리인 연합회, "환경관계법규(II)" p. 331.
- 9) Arora, M. L. *et al.*, "Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors", *J. WPCF.* **57**(8), (1985).
- 10) Irvine, R. L. *et al.*, "Municipal Application of Sequencing Batch Treatment", *J. WPCF.* **55**(5), (1983).
- 11) Irvine, R. L. *et al.*, "Sequencing Batch Biological Reactors on Overview", *J. WPCF.* **51**(2), (1979).
- 12) Irvine, R. L., *et al.*, "Effect of Fill-React Ratio on Sequencing Batch Biological Reactor", *J. WPCF.* **51**(2), (1979).
- 13) Dennis, R. W. *et al.*, "Sequencing Batch Treatment of Wastewater in rural areas", *J. WPCF.* **51**(2), (1979).
- 14) Ketchum, L. H. *et al.*, "Tertiary Chemical Treatment for Phosphorous Reduction using Sequencing Batch Reactors", *J. WPCF.* **51**(2), (1979).
- 15) Irvine, R. L. *et al.*, Analysis of Full-Scale SBR Operation at Grundy Center, Iowa", *J. WPCF.* **59**(3), (1987).
- 16) Melcer, H. *et al.*, "Conversion of Small Municipal Wastewater Treatment Plants to sequencing batch reactors", *J. WPCF.* **59**(2), (1987).
- 17) Noue, D. L. and Basseres, A., "Biotreatment of Anaerobically Digested Swine Manure With Microalgae", *Bio. Waste* **29**, 17-31 (1989).
- 18) Osada, T. and Harada, Y., "Removal of nitrogen and Phosphorus from swine wastewater by Limited Aeration Process", *Jpn. J. Wat. Pollut. Res.* **12**, 122-130.
- 19) Osada, T., Haga, K. and Harada, Y., "Removal of Nitrogen and Phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process". *Wat. Res.* **25**(11), 1377-1388 (1991).
- 20) 박호성, "연속회분식 반응조를 이용한 분뇨중의 유기물 제거에 관한 연구", 한양대학교 환경과학 대학원, pp. 32-33, 1986. 6.
- 21) 국립환경연구원, "연속회분식 반응조를 이용한 분뇨처리 기술개발에 관한 연구", 1988.
- 22) 신항식, 권중천, 구자공, "질소제거를 위한 연속회분식 반응조의 운전방식 연구", 대한토목학회 논문집, 제 8권, 제 2호, 1988. 6.
- 23) Vollenweidder, R. A., Eutrophication-A Global Problem. *Water Quality Bulletin*, 3, 1981.
- 24) Ralph Michell, *Water Pollution Microbiology*. Wiley-Interscience, 1972.
- 25) US EPA, *Algae and Water Pollution*. 600-9-77/1036, 1976.
- 26) 환경청, 분뇨처리현황 및 관리방향, 1986.
- 27) 국립환경연구원, "폐수배출시설 표준원단위 조사 연구(I)", 1987.
- 28) 농촌진흥청 농업기술연구소, "환경오염에 의한 농작물 피해 대책연구", 1985.
- 29) 과학기술처, "유기성 폐기물의 자연회원과 활용에 관한 연구", 1989.
- 30) 한국과학기술원, "전국축산분뇨 적정관리대책 연구", 1990. 1.
- 31) APHA, "Standard Methods for the examination of Water and Wastewater", 17th edition, American Public Health Association, Washington, D. C. (1989).
- 32) 환경처 고시 제 91-85호, "환경오염공정시험법", 1991.

(Received September 1, 1992)