

축산분뇨 처리에 적용된 급속액상부숙기술 (TAO system)의 운전특성과 운전조건

이명규 · 이원일

상지대학교 환경공학과

Operation Condition and Characterisitcs for Treatment of Piggery Slurry using Thermophilic Aerobic Oxidation System

Lee W. I. and Lee M. G.

Department of Environmental Engineering, Sangi University

Summary

The study exploited TAO system for the treatment of piggery slurry and aimed to draw characteristics and conditions of the reactor by differentiating the number of air input pump and foam cutter. The results are:

1. Under different operation conditions, Run-3 with three air input pumps and four foam cutters showed the highest efficiency in the change of water level and temperature; 40~70cm and 45~55°C, respectively.
2. Evaporation volume in Run-3 was the highest; 55.5 l/m² · day in Run-1, 75.0 l/m² · day in Run-2, and 120.3 l/m² · day in Run-3.
3. Throughout the experimental period, temperature inside the reactor was maintained at around 50°C, regardless of seasonal temperature changes.

(Key words : Reduction, Operation condition, Slurry, Evaporation volume, TAO system)

서 론

가축분뇨가 수질오염 등 환경오염원으로 지목되고, 더욱이 '96년 7월 1일부터 방류수의 규제가 강화조치 되면서 가축사육농가는 분뇨처리문제로 매우 어려운 처지에 놓이게 되었으며, 국내 축산환경 오염은 수생 생태

계 오염, 농업환경오염, 사육환경오염 그리고 악취민원이 제기되고 있다(이명규 등, 1996, 류종원, 1997). 이러한 문제해결을 위해서 농림부 및 환경부에서는 새로 개발된 가축분뇨 처리기술을 농가적용 및 경제성에 대해서 축산기술연구소의 검증 및 농촌진흥청의 시범 사업을 통해 보급하고 있으며 농가에 설치·

운영되고 있는 시설 중 성능이 우수한 시설의 신규설치에 따른 농가의 위험부담을 최소화하면서 조기 적용이 가능하도록 표준설계도를 제작·보급하고 있다(농진청, 1998). 이러한 표준설계도로 제시된 것들을 연도별로 살펴볼 때, 88년에는 저장액비화, 퇴비화, 살수여상법, 산화구법, 토양침투법과 같은 정화처리를 위주로 하였으며, 92~95년에는 톱밥발효우사, 톱밥발효돈사, 건조식, 통풍식, 교반식 톱밥발효시설로서, 수분조절제로 톱밥을 사용하는 퇴비화 방법과 정화처리법이 선정되었다. 그러나 이러한 가축분뇨를 자원화하는 방법에서 사용되는 수분조절제의 수급이 어려워지고, 가격이 상승함으로써 영세한 축산농가에서 큰 경제적 부담을 느끼게 되었으며, 실질적인 처리가 어려워지는 문제점이 발생하였다.

축산에 대한 환경규제의 범률강화에 있어서, 정화처리방법은 배출규제가 점차 강화되고 있으나, 경제적·기술적으로 열악한 축산농가에서는 규제농도에 맞도록 처리하기에는 현실적으로 어려운 가운데 있다(이명규, 1998).

1998년 농림부와 환경부는 가축분뇨자원화를 도모하고자 하였으며, 자원화방법으로 가축분뇨를 액비화하여 토양에 살포하는 방법을 채택함으로써, 각 농가에 저장액비화시설을 설치토록 하고, 완숙퇴비를 수분조절제로 사용하는 시설과 축산분뇨 발생량을 감축시키는 수분조절제 절약형 사양관리기술을 개발하고자 하였다(농진청, 1998).

따라서 본 연구는 분뇨의 자원화를 추진하기 위해 요구되는 톱밥과 같은 수분조절제를 사용하지 않으면서 발생원 단계에서의 수분감량화와 토양에 살포하였을 때에 작물 및 토양에 영향을 미치지 않는 액비의 생산 그리고 악취제거를 통한 사육환경 및 악취민원을 감소하기 위하여 양돈분뇨 악취제거 및 부숙 처리액의 자원화 이용에 있어서 최근

다각적으로 연구되어진 급속액상부숙기술(Thermophilic Aerobic Oxidation : TAO)을 적용하여 최적조건외 운전조건 및 운전특성, 그리고 증발량을 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시료의 성상

실험에 사용된 분뇨는 경기도 여주에 위치한 'J 농장'에서 채취하였으며 농장의 규모는 양돈 1,000두를 사육하는 양돈농가로서, 일일 배출되는 양돈분뇨가 약 4.5m³~5.0m³이었으며, 반응기에 투입되는 분뇨는 저장용량 약 8m³의 저장조에 저장한 후, 본 실험에 사용하였다. 시료의 이화학적 성상은 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Physicochemical composition of raw piggery slurry

(n=7 : mg/ℓ)	
Item	Concentration
pH	6.72
TS	5.09
VS	72.43
T-N	4,892
NH ₄ ⁺	1,922
NO ₂	47
NO ₃	19
T-P	1,837
PO ₄	778
F	283
Cl	1,256
B	41.6
SO ₄	246
Na ⁺	638
K ⁺	2,845
Mg ²⁺	298

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용한 반응기(TAOsystem)은 Fig. 1과 같이 설계 제작되었으며, 크기는 8.63m(L) × 2.5m(W) × 2.4(H), 면적 21.6m², 내용적 52m³으로써, 반응기의 내부에 공기를 주입하기 위해 수중폭기장치(Pump : 5HP, 60m³/hr) 3대, 수분증발장치(Motor : 2HP, 1,200rpm) 4대를 설치하였고, 반응기의 측면 Side Room에 분뇨투입펌프(5HP) 1대를 설치하였다. 온도를 측정할 수 있도록 반응기의 내부에 높이 50cm와 120cm에 온도센서를 설치하여 연속으로 측정하였다. 반응기의 전면에는 수위를 확인할 수 있는 아크릴판 수위계와 시료를 채취할 수 있는 밸브를 부착하였다. 수분증발장치의 후면에는 가동 중 발효처리물(이하

Efflux)을 배출할 수 있는 배출밸브를 부착하였다.

실험은 반응기의 최적의 운전조건을 도출하기 위하여 수중폭기장치와 수분증발장치의 가동수를 달리하여 실시하였으며, 수중폭기장치 2대와 수분증발장치 2대를 가동한 것을 Run-1, 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 3대를 가동한 것을 Run-2, 그리고 수분증발장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 것을 Run-3로 하였다(Table 2). 각각의 운전조건에 따른 실험시, 반응기의 초기수위는 85~100cm, 시료의 투입은 반응기의 수위가 40cm 이하, 또는 pH 8.6 이상에서 투입하였다. 운전시간은 각각 99시간, 134시간, 204시간이었다.

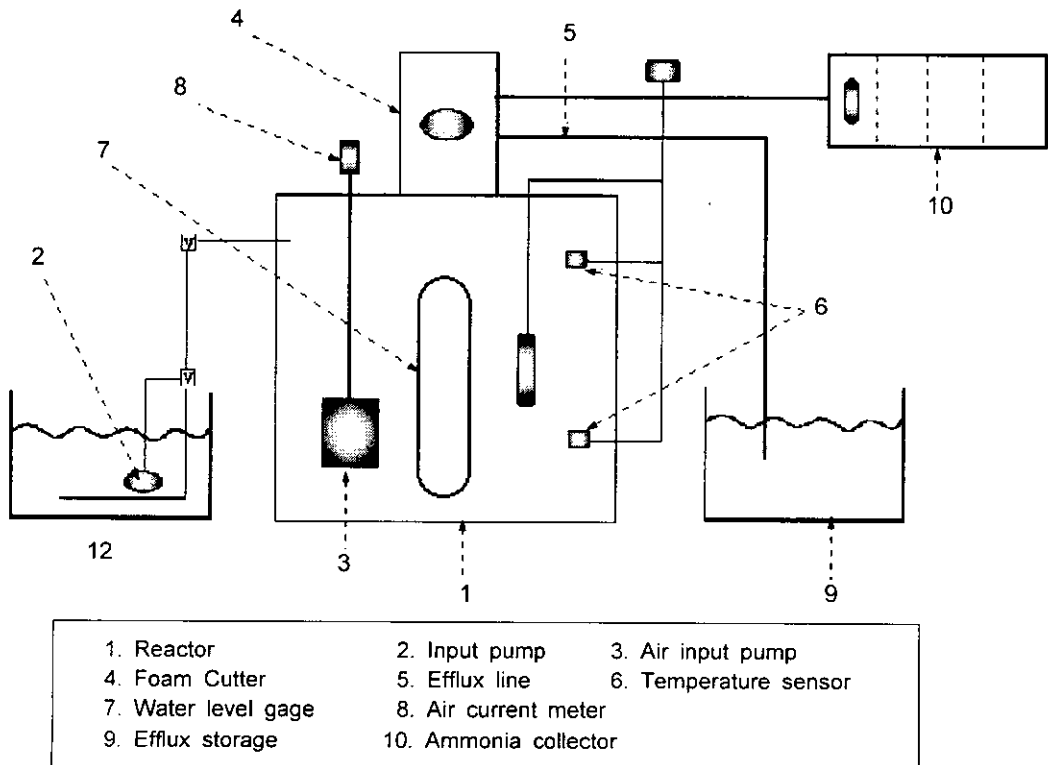


Fig. 1. Scheme of the TAO System.

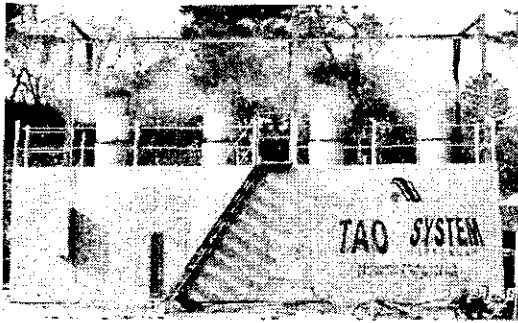


Fig. 2. Picture of the TAO system.

Table 2. Operation condition of TAO system

Operation condition	Run-1	Run-2	Run-3
Air pump* (EA)	2	3	3
Foam cutter**(EA)	2	3	4

* air pump : 5HP, 60m³/hr

** foam cutter : 2HP, 1,200rpm

결과 및 고찰

1. 수위변화

반응기의 가동에 있어서 수위는 분뇨의 증발, 부숙, 처리시 반응기의 온도와 밀접한 관련이 있으며, 시료의 투입·배출로 인하여 변화하지만, 일정한 사이클을 형성하는 것이 바람직하다. 또한, 수위변화 사이클을 적재 유지하는 것이 중요하며 사이클의 대·소는 일일처리량과 증발량에 영향을 미치기 때문에 수위변화 사이클은 적은 범위에서 운전하는 것이 바람직하다. 운전조건에 따른 각각의 수위 변화의 범위는 Run-1 50~100cm, Run-2 40~90cm 그리고 Run-3 40~70cm로써 Run-3이 가장 적은 것으로 나타났다. Fig. 3은 각각의 운전조건에 따른 수위변화를 나타낸 것이며, 처음과 마지막의 급격한 수위의 변화는 반응기에 설치된 수중폭기장치의 공기유입으로 투입된 시료의 일부분이 거품으로 전환되지만, 수중폭기장치를 정지하였을

경우는 더 이상 거품이 생성되지 않고, 거품에 포함되어진 수분이 물로 전환되어 운전시작 전·후 40~50cm의 수위가 변화하는 특성을 나타내었다. 이와 같은 특성을 기초로 하여 반응기를 20시간이상 정지시킴으로써 반응기의 가동에 따른 증발량 도출에 적용할 수 있었다.

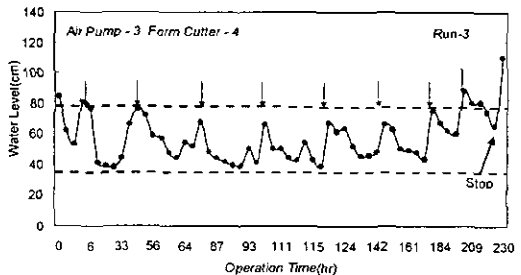
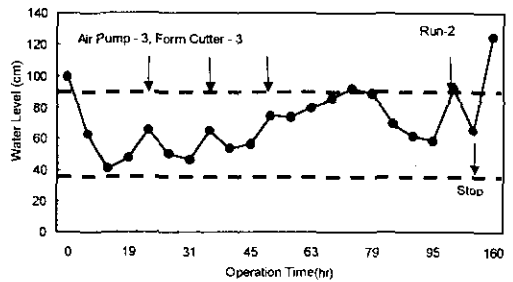
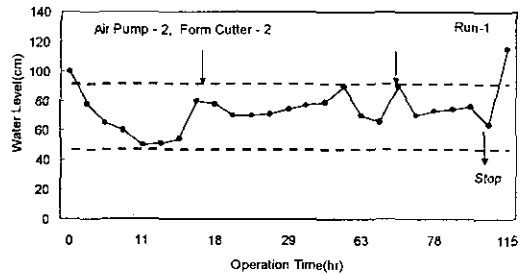


Fig. 3. Change of water level during the treatment period.

2. 온도 변화

각각의 운전조건에 따른 운전기간 중 반응기의 내부온도 변화를 Fig. 4에 나타내었으며, 온도 변화도 수위변화같이 일정한 사이

클과 적은 변화폭을 가지는 것이 좋은 것으로 판단된다. 운전조건에 따른 각각의 온도 변화는 Run-1 30~63℃, Run-2 27~53℃, Run-3 44~54℃로 Run-3의 운전조건에서 수위변화와 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

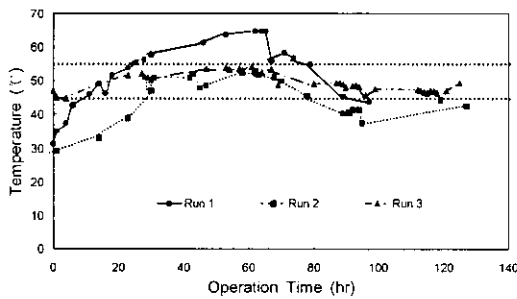


Fig. 4. Change of temperature during the treatment period.

3. pH의 변화

운전조건에 따른 운전기간 중의 pH의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 운전조건에서 운전기간 중, 새로운 분뇨의 투입으로 인하여 약 0.3 정도의 pH가 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 각각의 운전조건에 따른 pH의 변화는 Run-1과 Run-2의 경우, pH 7.8~8.8, pH 7.9~8.8로 계속 상승하는 경향을 보였으나, Run-3의 경우, pH 8.2~8.6의 범위에서 일정한 경향을 나타내었다.

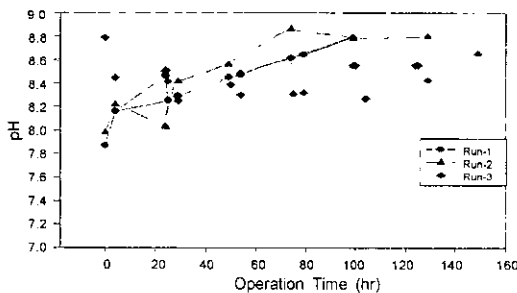


Fig. 5. Change of pH during the treatment period.

4. 투입분뇨의 고형물 함량과 온도의 상관관계

반응기의 운전에 있어서 투입되는 신선분뇨와 투입후의 반응기 내부의 고형물 함량은 반응기의 온도를 조절하는 매우 중요한 요소이다. 투입되는 분뇨의 평균 고형물 함량(TS)과 유기물 함량(VS)은 5.22%, 3.87% 이었다. 반응기의 투입 전 평균 고형물 함량과 유기물 함량은 6.74%, 4.95% 이었으며, 투입 후 반응기의 내부 고형물 함량과 유기물 함량은 6.39%, 4.69% 이었다. 투입되는 분뇨의 VS농도는 반응기의 온도와 밀접한 관계를 보이고 있는 것으로 나타났으며, Fig. 6은 Run-3에서 신선분뇨 투입시점을 기준으로 나누어 나타낸 것으로써, 각각의 온도변화가 투입 후 반응기의 내부 유기물 함량에 따라 변화되고 있음을 보이고 있다. Fig. 7은 투입되는 분뇨의 고형물 함량에 따른 유기물 함량을 나타낸 것으로써, 고형물 함량이 높을수록 유기물의 함량 또한 높은 것을 알 수 있었다.

분뇨 투입 후 반응기 내부의 VS 함량이 5.78%와 4.72%의 경우는 운전기간 중의 최고온도가 54.5℃, 53.5℃로써 운전정지 후에도 50℃ 이상을 유지하였으나, VS 함량이 4.46%의 경우, 운전 중 최고온도가 50℃이나 운전 정지 후의 온도는 47℃로서 비교적 낮은 온도를 보이고 있었다. 또한 유기물 함량이 각각 4.54%, 4.57%로 유사한 경우는 온도의 변화곡선이 유사하게 변하는 것을 알 수가 있었으며, 운전 정지 후의 온도도 49℃와 48℃로 유사하게 나타났다. 그리고 유기물 함량이 5.78%와 4.46%의 최종 온도를 비교하였을 경우, 유기물 함량 높은 5.78%가 4.46%에 비하여 7℃ 높게 나타났다. 반응기의 온도를 유지시키는 방법으로 투입되는 신선분뇨의 고형물 함량이 5~7%는 되어야 하며, 투입 후 반응기의 내부고형물 함량은 약 6~7%가 적정하다고 사료된다. 일반적으로

양돈농가로부터 배출되는 혼합분뇨의 TS 함량이 7.5% 이상이므로 TAO system의 적용이 가능할 것으로 판단되어진다.

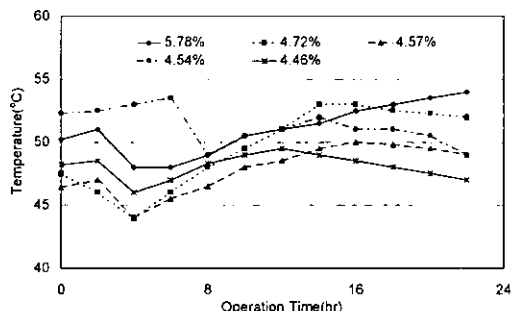


Fig. 6. Change of Temperature by Total Solid.

5. 외기온도 변화에 따른 내부온도의 변화

Fig. 7은 반응기가 설치된 농가에서 8개월 동안 운전한 결과를 나타낸 것으로써, 운전 기간 중의 외기 온도에 따른 반응기의 내부 온도변화를 계절별로 나누어 나타낸 것이다. 1, 2월을 겨울, 3~5월을 봄, 그리고 6~8월을 여름으로 하였다. 봄의 경우, 평균최고/최

저 외기온도와 내부온도는 각각 약 25.1°C, 11.1°C와 약 52.6°C, 40.9°C이었다. 여름의 경우에 평균최고/최저 외기온도와 내부온도는 약 30.9°C, 20.7°C와 52.3°C, 45.3°C로 운전이 되었다. 봄과 여름의 기간동안 평균 최고 외기 온도가 약 5.8°C의 차이를 나타내고 있으나 반응기 내부의 평균 최고온도는 52.6°C와 52.3°C로 거의 변화가 없음을 보였다. 겨울철의 평균최저 외기온도가 영하 5°C로 봄과 여름의 평균최저 외기온도가 각각 11.1°C, 20.7°C에 비하여 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 정상운전시의 반응기 평균 내부온도는 50°C 범위를 유지함으로써, 큰 차이를 보이지 않았다.

6. 운전조건에 따른 증발량 비교

반응기의 운전조건에 따른 증발량 비교를 Table 3에 나타내었다. 각각의 운전조건에 따른 투입량은 Run-1, Run-2, Run-3이 각각 7.56m³, 15.26m³, 43.2m³이었으며, 이를 일일 평균분뇨투입량으로 환산하였을 경우 각각 2.1m³/day, 3.1m³/day, 5.1m³/day 이었다. 각각

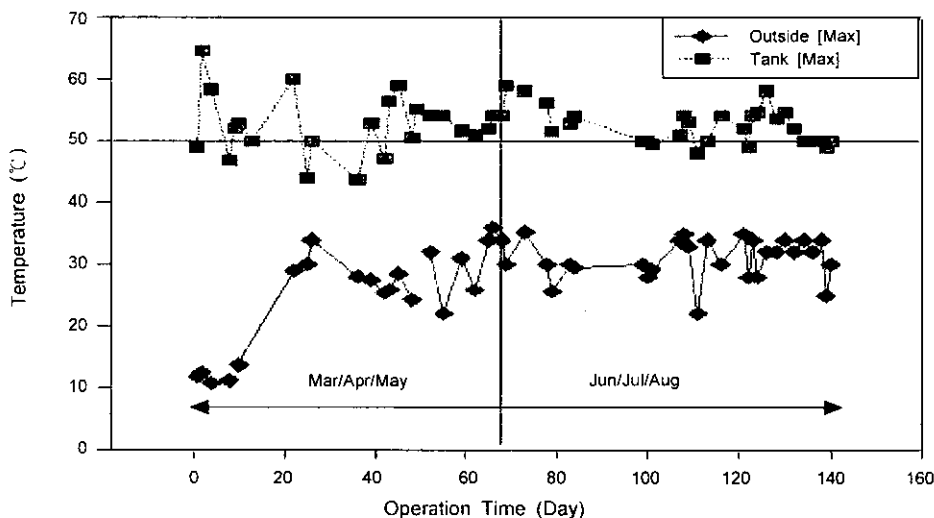


Fig. 7. Temperature changes in reactor during the treatment period (January~August).

Table 3. Comparison of the reduction volume by operation condition

	Run-1	Run-2	Run-3
Total input slurry volume (m ³)	7.56	15.26	43.2
Daily input slurry volume(m ³ /day)	2.1	3.1	5.1
Total efflux volume (m ³)	-	2.03	14.29
Efflux/Input ratio(%)	-	13.3	33.1
Total reduction volume(m ³)	4.32	8.10	23.6
Operation time (hr)	99	134	204
Reduction volume per day (m ³ /day)	1.2	1.62	2.6
Reduction volume per area unit(ℓ /m ² · day)	55.5	75.0	120.3

Table 4. Slurry reduction efficiency of TAO system for one month under optimum operation condition(Run-3).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Remark
Initial water level 100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	Final water level 110
Input slurry volume (m ³)	6.0	6.5	8.4	4.3	12.1	6.5	4.5	4.3	6.5	Total volume 59.1m ³
Operation time (hr)	30	55	42	49	66	44	34	29	40	Total time 389h=16.2day
Efflux (m ³)	-	7.34	-	-	0.22	4.1	0.86	2.16	0.65	Total volume 15.3m ³

- System Size = (2.5(W) × 8.63(L) × 2.4(H) ∴ 1cm = 215.97 ℓ
- R ○ Total reduction volume(m³) = total input volume(m³) - {total efflux volume (m³)
- E + change of water level(m³)}
- S ○ Total reduction rate(%) = {total reduction volume(m³) / total input volume(m³)} × 100
- U ○ Total reduction volume = 41.6m³
- L ○ Total reduction rate = 70%
- T ○ Daily average input volume = 3.6m³/day
- Reduction volume per day = 2.56m³/day
- Reduction volume per area unit = 118.0 ℓ /m² · day

의 운전조건별로 총 증발량과 일일증발량을 살펴보면, Run-1 4.32m³(1.2m³/day), Run-2 8.1m³(1.62m³/day), Run-3 23.6m³(2.6m³/day)로써, Run-3이 Run-1과 Run-2에 비해 5.5배, 2.9배 높은 증발량을 얻을 수 있었으며, 이를 설치면적당 증발량으로 환산하였을 경우, 각각 55.5 ℓ/m² · day, 75.0 ℓ/m² · day, 120.3 ℓ/m² ·

day이었다. Table 4는 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 Run-3로 약 1개월간 운전한 결과를 나타낸 것으로써, 증발량은 41.56m³, 일일가동평균증발량 2.56m³/ day, 단위면적당 약 118.0 ℓ의 증발량을 도출하였다.

결 론

인 용 문 헌

본 연구는 양돈분뇨의 처리에 있어서 급속 액상부숙기술을 적용하였으며, 수중폭기장치와 수분증발장치의 가동대수를 달리하여 운전하였을 때, 반응기의 운전특성과 운전조건을 도출하고자 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 각각의 운전조건에 따른 수위 및 온도 변화에서 수중폭기장치 3대, 수분증발장치 4대인 Run 3이 가장 좋은 효율을 나타내었으며, 이때의 수위와 온도의 범위는 40~70cm, 45℃~55℃이었다.

2. 운전조건에 따른 증발량은 Run-1, Run-2, Run-3이 각각 55.5, 70, 120 $\ell/m^2 \cdot \text{day}$ 로써, Run 3에서 가장 높게 나타났다.

3. 실험 기간동안의 반응기 내부온도를 살펴보면, 계절에 관계없이 평균 50℃의 범위를 유지할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림부 “가축분뇨 자원화 및 이용기술 개발”과제 연구비의 지원으로 수행된 연구결과에 일부로서 이에 감사드립니다.

1. 농촌진흥청 축산기술연구소. 1998. 환경친화형 가축분뇨처리기술.
2. 류종원. 1997. 한국 국토의 질소부하와 질소오염 방지대책, 축산시설환경학회지. 3(2):125-131
3. 이명규, 이재일. 1996. 축산분뇨에 의한 환경오염 현황과 대책. 축산시설환경학회지. 2(1):63-78
4. 이명규. 1998. 가축분뇨 발효증발 처리 시설의 발전방향. 환경친화형 가축분뇨처리 기술 심포지움:69-84.
5. 홍지영, 최병민. 1995. 액상 콤포스트화 처리에 있어서 유우분뇨의 화학적 특성. 축산시설환경학회지. 1(2):165-171.