

## 열펌프를 이용한 슬러리 돈분뇨 증발건조처리시스템 개발

김현태 최홍림

### Development of Heat Pump Use Slurry Pig Manure Evaporation Drying System

H. T. Kim H. L. Choi

#### Abstract

This study was conducted the slurry pig manure treatment by condensation drying of liquid from the slurry manure with a heat-pump and electric heater combined with air flow channel system. The system was designed as liquid and solid matters separation of slurry manure, and it can doing continuous input of slurry manure from a pig house, and it can operated year round use for pig farms.

The separation of liquid and solid matters from slurry manure needed the prevention of solid accumulation in the system. The system was designed as closed space from outside air space for maximized evaporation of liquid and the condensation of liquid from slurry manure. The system can be operated the pig slurry manure treatment regardless of seasons in a year.

The separated evaporation water from the pig slurry manure by the heat-pump was satisfactorily pure water that can be used as washing water in livestock farms. The system can applicate to about 100 heads of pig, and the proper area of evaporation plate system was considered around 10 m<sup>2</sup>. The input electrical energy of about 15 kWh which the cost equal to 250,000 won per month.

**Keywords :** Livestock equipment, Pig slurry manure treatment, Heat-pump, Condensation water, COD

#### 1. 서론

축산업이 대내외적으로 경쟁력을 갖춘 산업으로 발전하기 위해서 해결하여야 할 가장 현실적인 문제 가운데 하나가 가축분뇨에 의한 환경문제이다. 그러나 우리나라의 축산규모가 영세농가와 기업농가가 혼재되어 있어 축산분뇨의 발생특성이 단순하지 않다. 그러므로 축산폐수의 처리기술도 농장의 규모에 따라 적절한 시스템의 개발이 필요할 것이며, 가축분뇨의 처리에 있어서 가장 큰 문제 중에 하나가 시설비 및 운영비를 포함한 경제적인 문제를 해결하여야하므로 본 연구는 소모 양돈농가에서 적용 가능한 시스템 개발을 목적으로 에너지저감측면에서 열펌프를 이용한 가축분뇨 처리를 위해 수

행하였다.

기존의 대부분 가축분뇨 처리방식은 악취저감을 위한 또 다른 처리장치 필요하며, 외기상의 영향이 크다. 따라서 우리나라와 같은 겨울철 외기온에 따른 영향력을 최소화하기 위한 시스템의 밀폐 및 대체형 에너지원 검색은 증발건조시스템 개발의 핵심이다. 관행적 열원인 전기 또는 화석연료는 과도한 에너지비용 때문에 시스템운영에 경제적 부담으로 작용하며, 이를 보완하기 위한 자연에너지의 이용도 일부 시도되고 있다. 그러나 이러한 자연에너지 이용방법도 외기상의 영향으로 결코 만족할만한 결과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 밀폐시스템과 열펌프를 사용함으로써 탈외기상적 효과뿐 만 아니라 악취저감, 생력적 에너지원의

The article was submitted for publication in November 2004, reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in January 2005. The authors are H. T. Kim, KSAM Member, JSPS Researcher, Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan, Hong L. Choi, KSAM Member, Professor, School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul, Korea. The corresponding author is Hong L. Choi, Professor, School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul, Korea 151-742; Fax: +82-2-874-4808; E-mail : <chl原因@snu.ac.kr>

사용가능성을 검정하고자 하였다.

오페수의 증발건조에 관한 연구는 대부분 여재를 이용한 증발시스템에 국한되며, 액상의 축산폐수를 전도와 표면대류에 의하여 증발을 유도한 연구는 매우 드물다. 일반적으로 건조대상물의 성상, 함수정도 및 최종 산물의 용도 등에 따라 건조방식 및 정도도 달라져야 한다. 배설직후의 분의 성상은 축종, 사양관리방법에 의해 다르지만, 일반적으로는 수분이 75% 이상이어서 취급이 곤란하고, 이용가치도 적기 때문에 건조 후 부숙이 필요하다. 일반적으로 퇴비화를 위해서는 최종산물의 함수율은 60~65%, 장기간 보존하면서 퇴비화를 유도하기 위해서는 함수율 25%정도로 건조하는 것이 적당하다고 보고하고 있다(全農施設資財部, 1989).

하우스 건조시설의 경우 여름에 1일 1 m<sup>2</sup>당 4.5~5.0 kg, 겨울에는 1.5~2.0 kg 정도의 수분증발이 기대되지만, 고품수율의 산물의 대량 건조시키려면 넓은 하우스면적을 필요로 한다. 화력 건조기의 건조능력은 사용하는 연료의 양에 비례하지만 연료 1 kg당 재연소탈취장치를 부착하여 산물 5~7 kg의 건조가 가능하며, 하우스건조보다 설치면적을 줄일 수 있다. 축산폐수를 증발건조에 의해서 처리한다고 하여도 태양에너지와 자연바람에 의한 건조능력이 한계가 있기 때문에 충분한 건조시설면적이 필요하다(全農施設資財部, 1989).

원자력연구소에서는 방사성 오염의 위험이 있는 폐수를 증발천에 살포하여 이를 태양복사열 과 강제대류로 증발건조가 일어날 수 있도록 유도하였다. 그러나 증발천에 방사성 물질이 집적되어 증발효율에 한계를 노출시켰으며, 외기상의 변화에 따라 증발효율의 편차가 심하였다. 즉, 흐린 날이나 겨울철에는 증발효과가 급격히 저하하였다고 보고하고 있다(Jung, 1994). Seishu 등은 하우스내에 원통형 증발 Plate를 회전시켜 오니의 건조를 시도하였다. 그 결과 건조효율은 외기상에 민감하며, 다량의 오니의 건조처리효율이 낮음을 보고하였다(Seishu, 1994). 열펌프가 농업에 이용된 것은 그렇게 오랜 역사를 가지고 있지 못하다. 특히 축산에서의 이용은 거의 없다고 하여도 과언이 아니다. 열펌프가 농업에 이용되어 지고 있는 분야는 농업시설내 특히 온실의 냉난방에 이용하고자 많은 연구가 이루어지고 있다. Kozi는 공기-공기 형 열펌프를 이용하여 온실환경조절에 관하여 연구하였다. 그의 연구에서도 일반적으로 공기-공기형 열펌프가 가지는 외기온의 영향에 대해서 언급하였으며, 겨울철 낮은 외기온 상황에서의 성적계수(COP)의 저하를 가장 큰 문제로 지적하였으며, 고온작물의 재배시에는 제2의 열원이 필요하다고 보고하고 있다(Kozi, 1989). 여기에서도 마찬가지로 탈외기상적인 System의 개발 및 새로운 에너지원의 개발이 중요한 변수로 나타나

있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험장치의 설계

돈분뇨 슬러리의 효율적인 처리를 위해서 처리시스템의 밀폐화 및 여재 등의 추가재료를 사용하지 않고, 외기상에 영향을 받지 않는 시스템의 개발이 필요하다. 따라서 가축분뇨의 증발을 위해 열펌프를 이용하여 압축열에 따른 수분의 증발과 동시에 이러한 증발된 포화수증기를 응결하여 가축분뇨를 제거하는 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 열에너지와 풍력을 이용하여 공기의 흐름을 유도할 수 있는 장치가 부착되어 있다. 또한 가축분뇨의 처리에 있어서 가장 큰 문제점 중에 하나인 악취문제를 해결하기 위해서 시스템을 완전히 밀폐하였다. 따라서 시스템내부와 외부는 분리되어 있는 상태이며, 내부환경은 외부환경의 영향을 최소화 할 수 있는 탈외기상적 시스템이다. 이렇게 밀폐시스템에서는 내부공기가 계속 순환되기 때문에 포화수증기내의 수분의 제거는 자연적으로 일어나지는 않는다. 이러한 수분제거는 열펌프에서 냉각열을 이용하여 수분을 응결시켜 외부로 배출하게 된다. 이렇게 응결된 물은 시스템내부의 공기 중에 포화되어 있던 수증기이므로 비교적 깨끗하고, 축사내 세척수 또는 소독을 통한 음용수로 이용 가능성도 분석하였다. 본 시스템은 가축분뇨내의 수분을 제거를 위한 시스템으로 수분의 감소는 온도와 공기의 유속 등에 의해 영향을 받는다. 따라서 시스템을 밀폐형으로 처리하여 인위적으로 환경요인들을 제어하고 증발건조에 적당한 조건을 유지하여, 가축분뇨의 증발처리효율을 높이도록 하였다.

본 연구에 이용된 실험장치인 증발건조시스템은 증발건조부와 응결순환부로 나눌 수 있다. 증발건조시스템은 열펌프

Table 1 The specification of evaporation drying system.

Items	Specification
Housing material	SUS 304 4T
Duct material	SUS 304 1.2T
Power consumption	6~17 kWh
Maximum calorific value	192,000 kJ/h
Maximum evaporation capacity	70 l/h, 1680 l/day
Maximum pig slurry manure treatment capacity	300~400 heads/day
Condensation value	1,500 l/day
Heat source	R22 condensation heat, evaporation latent heat

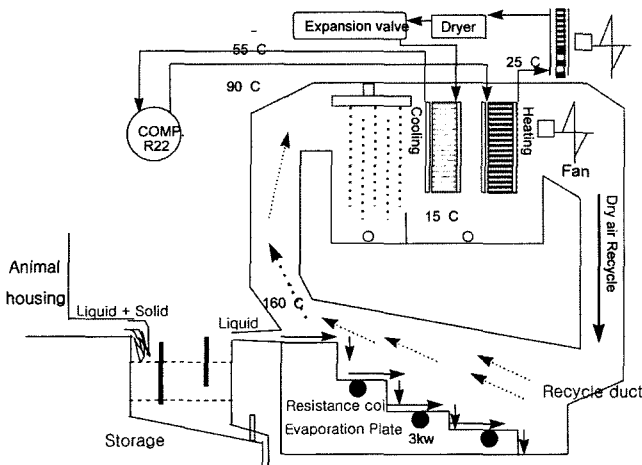


Fig. 1 Heat pump use slurry manure evaporation drying system I.

의 열교환 콘덴서가 내부에 장착되어 있으며, 구체적인 시스템의 제원은 Table 1에 나타내었다(Fig. 1 참조).

그림 1과 같이 돈분뇨의 증발 시스템을 설계 및 제작하였다. 먼저 돈사에서 배출되는 함수율 90% 이상의 돈분뇨를 1차로 중력식 간이고액분리장치로 이송되도록 하였다. 간이고액분리장치에서는 함수율이 약 98%이상의 액상 뇨오수를 본 연구에서 개발한 증발시스템에 투입하였다. 그리고, 함수율이 약 80%이하인 고상형태의 슬러리는 건조 및 퇴비화 형태로 처리하도록 하였다. 본 연구에서는 액상 뇨오수의 처리에 대한 부분을 대상으로 하였다. 중력식 간이고액분리시스템에 의해 분리된 액상 뇨오수는 9 kW의 전기저항식 코일이 내장된 계단식 증발판위에서 1차로 증발이 이루어진다. 포화된 습공기는 15°C의 응축콘덴서에서 수분은 응결되고, 냉각된 공기는 다시 90°C의 온도가 유지되는 증발콘덴서를 통해서 건공기로 변한 후, 다시 증발판을 통하여 포화습윤공기로 변하게 된다. 이러한 순환과정을 거치면서 수분이 제거되는 원리를 이용하였다. 여기에서 초기의 전기히터는 9 kW의 전기가 필요하지만 시간이 경과함에 따라서 점차 열펌프의 영향으로 소비전력이 감소한다.

#### 나. 실험장치의 특징

본 시스템은 증발건조시스템을 밀폐화시킴으로 우선 자연적인 환경요인들에 영향을 받지 않고, 계절에 관계없이 일정한 처리효율을 기대할 수 있으며, 뇨오수의 증발건조시 발생하는 악취물질이 주변으로 확산되어, 주위의 대기를 2차 오염시키는 것을 방지할 수 있도록 하였다. 또한 본 시스템은 단일시스템으로서의 역할도 중요하지만, 퇴비화시스템이나 고상건조처리시스템과 복합적으로 이용할 때 처리용량의 기하학적 증가를 유도할 수 있다. 시스템내의 물질 순환 및 가동

원리도 매우 단순하여 농가에서 이용하기에 적절할 것으로 기대되며, Fig. 1에서 나타난 것과 같이 습공기는 시스템내부를 회전하면서 수분이 외부로 배출하게 되며, 열원도 비교적 단순한 형태로 공급되는 것을 알 수 있다.

따라서 본 시스템은 첫째, 뇨오수를 省力에너지 측면에서 처리할 수 있고, 둘째, 퇴비화처리 등과 병행해서 가축분뇨처리에 있어서 수분조절재의 문제를 줄일 수 있으며, 셋째, 가축분뇨가 축사에서 시스템내부로 연속투입이 가능하므로 별도의 저류조가 필요 없으며, 크기가 상대적으로 작고 간편하여 취급이 용의하며, 넷째, 계절에 관계없이 지속적인 분뇨처리가 가능하다.

#### 다. 실험설계

실험은 총 4회에 걸쳐서 수행되었으며, 예비실험에서는 먼저 省에너지를 실현하고 열펌프의 효율을 제고하기 위해서 계절별, 전기저항식 히터의 유무에 따른 에너지의 투입과 처리용량과의 관계를 구명하며, 본 실험에서는 예비실험의 결과에 따른 시스템을 변경한 후 처리효율을 구명하고자 Table 2와 같이 실험설계 하였다.

본 연구는 열펌프 이용하여 슬러리 돈분뇨의 증발건조를 유도하고자 계절별 응결수량을 측정하여 시스템의 효율을 극대화하고자 예비실험을 실시하였다. 그리고 예비실험의 결과를 기초로 시스템을 변형하여 본 실험을 행하였다. 예비실험

Table 2 Design of tests.

No. of tests	Pre-test			Main test
	Test1	Test2	Test3	Test4
Average outside temperature (°C)	24.7°C	13.2°C	1.2°C	31°C

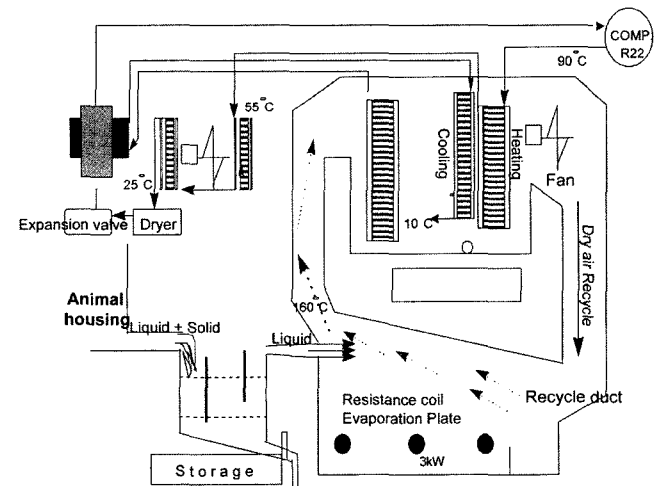


Fig. 2 Heat pump use slurry manure evaporation drying system II.

에서 해결하여야 할 과제로 처리용량의 높이는 것이었다. 이를 위해 시스템을 Fig. 2와 같이 초기제작 시스템을 변형하였다. 변형시스템은 응결콘덴서의 면적을 2배로 확대하여 수증기의 응결이 용이하도록 유도하였으며, 이러한 과정에서 발생하는 열손실을 최소화하기 위해서 그림과 물-공기형 열펌프로 변형하였다.

**라. 실험방법**

예비실험에서는 계절별(여름, 가을, 겨울) 처리시스템의 효율을 검정하고자 슬러리 돈분뇨내 액상의 함유율을 99%이상으로 고액분리한 후 증발건조시스템내부로 투입하여 전기저항식 히터와 열펌프를 동시에 가동하여 하루에 24시간, 1주일간의 처리효율을 검증한다. 이때 투입된 에너지를 계측하고 투입수의 량과 응결수의 량을 계측하여 물리적 결과를 관찰하였다. 또한 응결수는 매일 시료를 채취하여 수질공정시험법에 의해서 수질의 판단기준을 정하여 세척수로서의 이용가능성을 검증한다.

본 실험에서는 예비실험 1, 2, 3의 결과를 근거로 하여 응결수의 배출량이 현장에 적용하기에는 부족하다고 판단하여, 시스템의 운영 및 내부형태를 기술적으로 변형하여 응결수의 량을 증가시켰다. 본 실험의 조건은 예비실험과 같았으며, 예비실험에서 외부환경이 시스템의 효율에는 영향을 미치지 못한다고 판단되어 여름철에 국한하여 실험하였다.

**마. 분석방법**

**1) 물리적 변수측정**

본 연구에 이용된 증발건조시스템의 효율을 나타내는 기준의 하나인 증발개념에서 살펴보면, 투입수의 감소량 및 온도의 경시별 변화는 중요한 변수 중에 하나이다. 따라서 시스템의 가동기간 중 System 내외부, 투입수 및 응결수의 온도측정은 Thermocouple(T-type)을 이용하여 1시간 간격으로 측정하며, 매일 일정시간의 온도 값을 기본 값으로 정한다. 또한 투입수 및 응결수의 량은 하루를 기준으로 측정하여 정량하며, 이를 평균하여 계산한다.

**2) 이화학적 변수측정**

본 실험에서 응결수의 수질검사를 위한 실험방법으로 환경부 수질오염공정시험법에 의해서 BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-P 및 T-N을 분석하였다. T-N은 Kjeldahl법을 이용하여 측정하였으며, T-P분석은 습식분해법으로 분해하여 비색법으로 측정하였다. COD(Chemical Oxygen Demand)는 수질오염 공정시험법 중 중크롬산칼리법(close법)에 의해 분석하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**가. 예비실험**

**1) 계절별 응결수량의 변화**

본 연구는 열펌프이용하여 슬러리 돈분뇨의 증발건조를 유도하고자 계절별 응결수량을 측정하여 시스템의 효율을 극대화하고자 예비실험을 실시하였다. 예비실험은 여름철, 가을철 및 겨울철에 평균외기온이 각각 24.7℃, 13.2℃, 및 1.2℃인 일시를 기준으로 24시간 가동하였다. 액상 돈분뇨 투입은 증발관에 상시적으로 액상의 돈분뇨가 존재하도록 인위적으로 조절하면서 증발 건조를 유도하였다. 그 결과 증발응결수량은 Table 3과 같다.

이 결과에서 살펴보면 계절별 증발응결수량의 차이는 크게 나타나지 않는다. 이는 시스템이 외부기상에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 외기온이 낮은 겨울철에 비해 외기온이 높은 여름철에는 전력소비가 적은 것을 볼 수 있으며, 이는 시스템의 외기상과의 관계에서 열펌프가 가지는 특성으로 전체시스템 자체가 외부기상에 영향을 받는 것을 의미하는 것은 아니다. 그러나 절대응결수량을 살펴보면 현장 적용을 위해서는 상당히 부족하다는 것을 알 수 있다. 위의 결과로 유추하여 보면 돼지기준으로 약 10두 내외의 처리용량에 불과하다는 것을 알 수 있다. 이는 시스템설계 시 산정한 값의 약 1/10수준이며 효율이 극히 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 가장 근본적인 시스템의 처리효율 제고를 위해 보완이 필요할 것으로 판단된다. 이는 열펌프와 전기저항에 의해 투입된 에너지가 슬러리 돈분뇨의 증발 및 응결에 적절하게 이용되지 못한 것으로 판단되며, 특히 응결을 위한 콘덴서의 새로운 설계가 필요할 것으로 판단된다.

**2) 응결수의 화학적 성분변화**

본 연구에서는 슬러리 돈분뇨의 액상을 건조증발하여 포화된 수증기를 응결시켜 재이용할 필요가 있으므로 축사의 세척이나 가축의 음용수로서 가능성을 검토하고자 응결수의 이화학적 성분을 분석한 결과 Table 4와 같다.

Table 4의 분석결과는 방류수 수질기준인 총질소 120 ppm 이하, 총인 16 ppm 이하, 부유물질 30 ppm 이하 등의 기준값

**Table 3** The results of pre-test.

Tests	Test 1	Test 2	Test 3
Average outside temp	24.7℃	13.2℃	1.2℃
Power consumption	2.5 kWh	2.9 kWh	3.2 kWh
Evaporation condensation value	2.1 l/h	2.2 l/h	2.0 l/h

**Table 4** The analysis of condensation water for pre-test.

Items \ Tests	Test 1	Test 2	Test 3
COD (mg/l)	165	51	49
SS (mg/l)	6.5	5.0	7.0
T-P (mg/l)	0.17	0.17	0.18
T-N (mg/l)	0.55	0.58	0.54

보다 훨씬 낮으므로 방류수로서의 문제는 없을 것으로 판단되며, 미생물의 경우도 대기압에서 증발 응결하였으므로 별 문제가 없을 것으로 판단된다. 가축의 음용수로서 이용은 기준값의 미비로 계속 연구되어야 할 것이나, 세척수로서의 이용에는 별 문제가 없을 것으로 판단된다. 위의 결과에서 여름철의 COD 측정값이 다른 COD 값에 비해서 비정상적으로 높게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 콘텐서 제작과정의 오일 성분이 잔류하여 나타난 결과로 생각된다.

**나. 본 실험**

본 연구는 열펌프 이용하여 슬러리 돈분뇨의 증발건조를 유도하고자 계절별 응결수량을 측정하여 시스템의 효율을 극대화하고자 예비실험을 실시하였다. 그리고 앞 절에서의 예비실험의 결과를 기초로 시스템을 변형하여 본 실험을 행하였다. 예비실험에서 해결하여야 할 과제로 처리용량을 높이는 것이었다. 이를 위해 시스템을 Fig. 2와 같이 변형하였다. 시스템을 변형한 후, 평균외기온이 약 25℃인 여름철에 예비실험과 같은 조건으로 실험을 행한 결과, Table 5와 같았다. 위의 응결수의 수질분석 결과에 의하면 COD는 32,000

ppm에서 19.2 ppm, T-P는 234.4 ppm에서 0.2 ppm, BOD는 8252 ppm에서 16 ppm, SS는 2400 mg/l에서 4 mg/l로 감소하여, 대부분의 측정변수는 매우 만족한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 질소화합물의 경우에는 감소율이 약 30-40%로 매우 낮았으며, 배출허용기준에도 미치지 못하는 결과를 얻었다. 이는 시스템의 변형에 있어서 전기저항식 직접열전달체를 채택함에 있어서 시스템 내부의 고온고압의 형성에 따른 슬러리 돈분뇨내의 질소화합물이 열부력 또는 수증기에 포함되어 이동한 것으로 판단된다.

본 시스템의 처리효율을 알아보기 위해서 응결수의 회수량 및 소비전력량을 측정하였다. 여기서 응결수량은 약 18 l/h를 회수할 수 있었으며, 이것은 시스템의 누수 등을 고려하여, 유입수기준으로 약 20 l/h의 오수가 처리가능한 것으로 판단된다. 따라서 슬러리 돈분뇨의 원수기준으로 살펴보면 약 양돈100두 규모의 처리가 가능한 것으로 판단되므로 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 전력소비량은 15 kWh가 소모되었으며, 하루 24시간 가동할 경우 농업용 전기료를 기준으로 약 25만원~30만원정도가 필요한 것으로 나타났다. 이러한 소비전력을 감소시켜 경제적 이용을 위해 열전달 및 유체역학적 측면에서 보다 완벽한 시스템으로 개량 보완되어야 할 것으로 판단된다. 또한 위에서 나타난 문제점을 해결하기 위해서 시스템의 정밀한 제작이 필요하며 효율적인 시스템을 위해서 많은 연구가 계속되어야 할 것으로 본다.

또한 외기온이 30℃ 이상의 외기상태에서 시스템의 효율을 검증하고자 오전 10:00부터 16:00시까지 6시간동안 연속하여 가동하였다. 그 결과 Table 6과 같은 외기온, 상대습도, 뇨오수온도, 투입 뇨오수량, 응결수량 및 전력소비량을 10분

**Table 5** The analysis of condensation water for main-test.

Items	COD <sub>MN</sub> (ppm)	T-P (ppm)	T-N (ppm)	BOD (ppm)	NH <sub>4</sub> -N (ppm)	NO <sub>3</sub> -N (ppm)	SS (mg/l)
Pig slurry manure	32,000	234.4	2237.2	8252	1092	2234.3	2400
Condensation water	19.2	0.2084	867.16	16.2545	821.8	864.6	4
Quantity of condensation water	18 l/h						
Power consumption	15 kWh						

**Table 6** The result of efficiency verification for main test.

Time	Dry temp. (°C)	Relativity humidity (%)	Liquid temp. (°C)	Input liquid (ml)	Condensation value (ml)	Power consumption (kW)
10:00~11:00	30.25	62.3	25	14200	10800	22.6
11:00~12:00	31.4	62	26.6	19000	15700	22.1
12:00~13:00	31.4	61.2	26.8	25900	15000	22.6
13:00~14:00	31.6	56	27	17900	16800	22.7
14:00~15:00	32.1	55	32	18700	16600	21.5
15:00~15:40	32.1	53	31.8	11100	11500	15.2

간격으로 측정된 변화량을 관찰할 수 있었다.

여기에서 살펴보면 외기온이 약 30~33℃, 상대습도가 약 50~65%를 보이고 있다. 그러나 응결수량 및 소비전력은 각각 2500 cc~3000 cc/10 min, 3.5~4.0 kW/10 min으로 비슷하게 나타났다. 이는 앞에서도 언급하였듯이 시스템의 밀폐화에 따른 외부 기상과의 차단으로 외부의 영향을 거의 받지 않고 있는 것을 알 수 있다. 또한 투입 뇨오수의 온도를 26℃, 31℃의 두 단계로 투입한 결과 응결수량과 소비전력량에 큰 변화를 관찰 할 수는 없었다. 이는 전기저항식 보조열원장치의 영향이 매우 큰 관계로 뇨오수의 상대적온도 증가는 전력 소비량의 감소에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다.

위의 결과에서 응결수량의 변화는 전력소비량의 변화와 비슷한 형태로 변화하고 있다. 실험 시작 후 40분까지는 응결수량은 증가를 전력소비는 감소를 보이다가 그 이후에는 비슷한 양상을 보이고 있다. 이는 본 시스템의 효율을 높이기 위해서는 뇨오수의 충분한 증발을 유도할 필요가 있으며, 이에 따른 포화수증기의 응결을 위해서 냉각효율을 향상시킬 필요가 있다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 열펌프를 이용한 효율적인 돈분뇨 슬러리 처리 시스템의 개발을 위한 실험 수행하였으며, 가축분뇨처리에 있어서 에너지의 효율을 높이고 외기상의 영향을 최소화하고자 수행한 연구결과 다음과 같다.

- (1) 열펌프를 이용한 가축분뇨의 건조증발 및 포화수증기의 응결은 외기상과 밀접한 영향이 있으므로 가능한 시스템을 외기상과 분리시키는 것이 적절하며, 이는 계절에 관계없이 일정한 처리효율을 유지하는데도 필수적이다.
- (2) 슬러리 돈분뇨의 건조증발에 따른 응결수를 외부로 방류하고자할 때에는 전질소성분을 제외하고는 법적 기준이 내의 수준이었으며, 고온 처리된 응결수는 축사 세척수로도 이용 가능할 것으로 판단되며, 가축의 음용수로서의 이용 가능성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 전질소 성분의 감소를 위한 증발시스템의 변형이 필요할 것으로 판단된다.

- (3) 본 연구의 개발한 시스템은 비교적 적은 소요면적을 필요로 하며, 양돈기준 100두 정도의 사육규모에서는 직접 적용이 가능하며, 규모가 커질 경우에는 열펌프 용량을 증대시켜 적용 가능할 것으로 판단된다.
- (4) 본 연구에서 개발한 시스템은 약 15 kWh의 전력이 소비되었으며, 이는 1개월간 농업용 전기료로 25만원-30만원 정도의 전력량이므로 영세축산농가를 기준으로 생각하면, 경제적이라 볼 수 없으므로 전력소비량 감소를 위한 시스템의 열효율 향상에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Choi H. L., H. T. Kim and Y. R. Chung. 1993. Development of Bin Type Sundry System for Animal Wastes Treatment. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers Vol. 35(2):92-103. (In Korean).
2. Choi H. L., H. T. Kim and Y. R. Chung. 1993. A Model Study on Development of Animal Wastes Treatment System for a Full-time Farm Household Raising Livestock. Journal of Bio-Environment Control Vol. 2(1):16-26. (In Korean).
3. Choi H. L., Tom L. Richard and H. T. Kim. 1996. Composting High Moisture Materials : Bio-drying Poultry Manure in a Sequentially Fed Reactor. Journal of Animal Sciences and Technology Vol. 38(6):649-658.
4. Haug R. T. 1995. Compost Engineering : Principles and Practice. Ann Arbor Science.
5. K. J. Jung. 1994. A study on the natural evaporation system for the treatment of the vlaw. KAERI.
6. Kozi. 1989. Environment Control in Greenhouse by an Air to Air Type Heat Pump. Journal of the Society of Agricultural Structures. Vol. 20(1). (In Japanese)
7. Nakasaki, K., M. Shoda and H. Kubota. 1986. Effects of a bulking agent on the reaction rate of thermophilic sewage sludge composting. J. Fermentation Technology. 64(6):539-544. (In Japanese)
8. Seishu. 1994. Solar drying system for agricultural waste sludge. Journal of the Society of Agricultural Structures. Vol. 25(1). (In Japanese)
9. 全農施設資財部. 1989. 家畜の尿汚水處理用てびき.
10. 환경청. 1981. 수질오염공정시험방법.