Research article

양돈 농가형 액비순환시스템 설치 사례 연구

한갑원^{1*} · 김학준² · 한갑운³

¹축산환경관리원 경영전략실 실장, ²축산환경관리원 경영전략실 기획전략팀장, ³한국스마트의료기기산업진흥재단 경영기획실 경영기획실장

A case study on piggery farm scale liquid manure pit recharge system

Gab One Han^{1*}, Hak Jun Kim², Gap Un Han³

¹General Manager, Management Strategy Office, Livestock Environmental Management Institute, 219 Hannuri-daero, Sejong-si, 30127, Republic of Korea

²Planning Strategy Team Leader, Management Strategy Office, Livestock Environmental Management Institute, 219 Hannuri-daero, Sejong-si, 30127, Republic of Korea

³General Manager, Medical Device Industry Promotion Foundation, Management Planning Dept., 500, 5th Fl., 87 Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, 08389, Republic of Korea

Corresponding author

Gab One Han
Livestock Environmental Management
Institute, 219 Hannuri-daero, Sejong-si,
30127, Republic of Korea
Tel : +82-44-550-5010
Fax : +82-44-865-9871
E-mail : ban6114@lemi.or.kr

Received : June 2, 2021

Revised : June 23, 2021

Accepted : June 26, 2021

Recently, several swine farmers are trying to install a “Liquid Manure Pit Recharge System (LMPRS)” to reduce odors, but many farmers are suffering from a lack of related information. This research was carried out to provide information to pig farmers who want to install a LMPRS through field surveys of the LMPRS applied to several swine farmers, investigating characteristics of installation and operation, and classifying types by process. The field survey of five farms found common operation methods such as initial stabilization period (180 days), retention period in the aeration tank (30 days), temperature in the aeration tank (30°C), and mixed liquor suspended solid (MLSS) (3,000 ppm), and based on the analysis of the process flow of each farm, it was possible to classify as type 1 (periodic addition of microorganisms, no solid-liquid separation), type 2 (periodic addition of microorganisms, conduct solid-liquid separation), type 3 (no microorganisms addition, conduct solid-liquid separation), and type 3-1 (no microorganisms addition, conduct the 1st, 2nd solid-liquid separation) based on whether microorganism was continuously added or not and whether using solid-liquid separator. It is believed that this research can be used as a basic data to help farmers who wish to install LMPRS by presenting common operation and management methods and types by process.

Key words : Liquid manure pit recharge system, Classifying types, Microorganism, Solid-liquid separator

서론

축산업의 기업화 전업화와 함께 농촌의 도시화에 따라 악취 민원이 지속적으로 증가하는 추세이다. 2005년 악취 방지법 시행 이후, 2018년 환경부 (ME, 2018)에서 실시한 악취민원 실태조사에 따르면 축산시설 관련 악취 민원의 건수는 2013년 전체 악취 민원 13,103건 중 2,604건 (19.9%)

이였으나, 2017년 전체 악취 민원 22,851건 중 6,112건 (26.7%)으로 2013년 대비 3,508건이 증가한 것으로 확인 되었다.

이에 환경부에서는 축산시설에 의한 악취민원을 최소화하기 위해 ‘가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률’과 ‘악취 방지법’의 관련 규제를 강화하는 추세이다. Table 1과 같이 ‘가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률’에서는 가축사육의

제한 구역확대, 퇴비·액비 관리 강화, 액비 살포 위반자 및 경종농가에 대한 처벌이 강화되었다. 또한, Table 2와 같이 ‘악취방지법’에서는 악취관리지역 지정요건의 완화, 시료 자동채취장치 도입 등이 추진되고 있다.

따라서 앞으로는 축산에서 발생하는 악취를 저감하여 야 지속가능한 축산업을 영위할 수 있을 것이다. 축산농가의 악취 발생의 주요 원인은 분뇨처리과정 및 퇴비화 공정이며 특히 양돈농가의 경우 분뇨슬러리 처리 과정에서 가

Table 1. Main regulatory strengthening status of ‘act on the management and use of livestock manure’ in recent years.

A sentence	Major regulations	Punishment
Expansion of restricted areas of livestock breeding * Article 8	<ul style="list-style-type: none"> • Limitations on Livestock Breeding by Local Authority Ordinance - Residential area, water source management area - Based on the results of the actual survey, the Minister of Environment and others may request the local government to designate a zone for restricted areas of livestock breeding. 	<ul style="list-style-type: none"> • A person who has not fulfilled order for the relocation of a house in a restricted area shall be sentenced to imprisonment for a term not exceeding one year or a fine not exceeding 10 million won * Reinforcement of restricted areas of livestock breeding ※ Pig, Chicken, duck : 500 m → 1,000 m
Reinforcement of manure and liquid manure management * Article 13-2, Article 15 and Article 53	<ul style="list-style-type: none"> • Set composting standards for livestock manure that are not subject, by the Fertilizer management law, to the fertilizer process Not applying fertilizer process standards (moisture, salt, copper, zinc, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Penalties (up to 10 million won) or accusations can be shall, if, violate inspection standards or Improper compost and liquid production or Outflow
Penalties for illegal liquid manure sprayers and farmers * Articles 51 and 53	<ul style="list-style-type: none"> • The penalty clause applies to those who spray manure (or liquid manure) in violation of the criteria for spraying (in accordance with Article 17-1) or inflow of manure (or liquid manure) into the public area. 	<ul style="list-style-type: none"> • Penalties of less than 3 million won and penalties of less than 1 million won

Table 2. Main regulatory strengthening status of ‘odor prevention act’ in recent years.

A sentence	Major regulations	Punishment
Mitigate requirements for designation of odor management area * Articles 6, 10 and 11	<ul style="list-style-type: none"> • Odor management areas are designated by the city, provincial governor, or heads of large cities, or when civil complaints persist for more than one year - If the allowed standard is exceeded more than once after designating the Odor management area, the Odor management area can be designated 	<ul style="list-style-type: none"> • Improvement order (1st~3rd) → closedown order (4th order)
Introduction of automatic sample collection system * Article 17 (Parliamentary mooring)	<ul style="list-style-type: none"> • Reinforcement management by installing instant capture equipment 	<ul style="list-style-type: none"> • Improvement order (1st~3rd) → closedown order (4th order)

Table 3. Definitions, advantages and disadvantages of the liquid manure pit recharge system.

Definitions	
The liquid manure pit recharge system is a system that repeatedly circulates the slurry discharged from the pig house to the pit in the pig house by fermentation process through a liquid-fertilizer facility. It is an effective system that improves breeding environment by reducing odor in pig house and maintaining internal temperature and humidity.	
Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - Reducing odor and noxious gas by preventing slurry decay - Improved farming productivity by reducing the noxious gas in pig house (reduction of mortality rate, reduction of rearing days, etc.) - Liquor kept at 30~35°C is introduced into the pit to help maintain the temperature inside the pig house - No composting facility required 	<ul style="list-style-type: none"> - High initial investment cost - Disinfectant can not be used in pig house and slurries because it is a microbial utilization treatment system - Difficult to know how to operate and manage - There is a variation in the method of application for each farm

장 많이 발생한다 (ME, 2004). 이러한 문제점을 개선하기 위해 양돈장 악취잡재물질의 근원을 해결하고 생산성 향상 효과도 동반하는 액비순환시스템에 대한 관심이 높아지고 있다.

액비순환시스템이란, 돈사에서 배출된 슬러리를 액비화시설을 통해 액비화하여 다시 돈사 내 피트로 순환시키는 것을 반복하는 시스템으로, 돈사내 악취저감, 내부 온·습도 유지 등의 효과를 통해 사육환경을 개선시켜주는 효과적인 시스템이다 (Ha and Kim, 2015). Table 3과 같이 액비순환시스템의 가장 큰 장점으로 돈사내 슬러리 부패방지에 의해 악취 및 유해가스 저감, 돈사 내 유해가스를 저감을 통한 사육환경 개선 (폐사율 저감, 사육일수 감소 등) 및 농가 생산성 향상, 돈사 내부 온도 유지에 도움 (30~35°C로 유지된 액비가 피트로 지속 유입), 퇴비화 시설 불필요 등이 있으며, 단점으로는 높은 초기 투자비용, 돈사 및 슬러리 소독제 사용 불가, 운영 및 관리 방법의 어려움, 농가별 적용 방식의 편차 등이 있다 (KECO, 2016).

액비순환시스템의 일반적인 공정 흐름은 Figure 1과 같다.

이러한 액비순환시스템은 적용 농가의 상황과 설치 업체별 기술에 따라 공정 구성이 상이하하여 도입을 계획할 때 여러 요인들을 고려해야 하지만 본 시스템과 관련된 연구와 자료들이 국내·외적으로 부족한 실정이다. 국내의 경우 1차 슬러리 처리 시 Screw Press (응집제 첨가) (중·소규모 시설 규모), 저속 Screw Decanter (응집제 첨가) (대규모 및 공공처리장 규모)가, 2차 슬러리 처리 시에는 가압부상조가 가장 안정적인 공정이라는 연구 결과가 있었으며 (Park et al., 2000), 국내 사정에 적합한 액비화 공정 필수 단계 (6 단계)를 제시한 연구 (Kim et al., 2012), 돈분뇨 슬러리 액비화시 저장 깊이가 깊어짐에 따라 총고형물 함량의 농도가 증가한다는 연구 (Jeong et al., 2006), 3N-system (속성 발효처리공법)개선안 도입 시 발효조 내 H_2S , NH_3 의 농도

가 감소했다는 연구 (Kang and Huh, 2009) 그리고 배관 내 공기혼합식 발효조를 활용한 폭기 방식이 액비 부속에 있어 더 높은 용존산소전달 효율을 나타낸다는 연구 (Jeong et al., 2012) 등이 보고된 바 있다. 또한, 국외의 경우에는 돈분뇨 내 pH 증가시 악취 유발 박테리아의 성장 약화가 가능하지만, 다량의 H_2S , NH_3 방출에 의한 위험이 증가할 수 있다는 연구 결과 (Jun, 2000) 등 가축분뇨처리와 관련된 연구 결과들이 보고된 바 있었지만 액비순환시스템에 대한 연구와 자료는 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 현재 양돈장에 설치·운영되고 있는 액비순환시스템의 특징 조사 및 분류를 수행하여 액비순환시스템에 대한 운영·관리 정보와 국내 액비순환시스템의 설치 운영 실태를 분석하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 업체별 기술 현황 조사

조사방법에 있어서는 운영 중인 액비순환시스템 관련 업체들을 분석하고, 업체별 기술이 적용된 양돈장의 현장 조사를 통해 액비순환시스템의 운영현황 및 효과성을 조사하였다. 현재 국내에서 운영되고 있는 액비순환시스템 시공 업체는 대략 10곳 내외가 있는 것으로 조사되었으며, 2018년 9월 1일부터 30일까지 주요 시공 업체별 기술 특장점에 대해 서면상으로 조사를 수행하였다. 서면 조사 결과 시공 업체별 기술의 특징이 명확하였으며, 기술을 분석한 결과 Table 4와 같이 미생물 투입 여부, 고액분리 유무에 따라 액비순환시스템 주요 분류 기준을 도출할 수 있었다.

2. 액비순환시스템 적용 현장 조사

2018년 10월 23일 부터 11월 8일까지 액비순환시스템이 설치·운영되고 있는 5개 양돈장에 대한 현장조사를 수행하였다. 조사표 구성 항목들은 축산 및 환경 전문가 10인의 자문을 얻어 작성하였으며, 농장 일반 현황, 농장 운영

Figure 1. Process flow chart of liquid manure pit recharge system.

Table 4. Major classification criteria of the liquid manure pit recharge system.

Microbial input status	Solid-liquid separation status
Periodically addition of microorganisms / only use of indigenous microbial	No solid-liquid separation / 1st solid-liquid separation / 2nd solid-liquid separation
activation after initial seeding	

Farm Information			
Farm name			Address
Farm owner			Phone number
Farm status			
Breeding status (head)	☐ Sow () ☐ Piglet () ☐ Finisher ()		☐ Total :
Area & Building type	Area : Total () building, area () m ² () building, area () m ² () building, area () m ²		Building type : ☐ Non-window ☐ Window
Slurry pit	☐ Design depth : () cm		☐ Operational depth : () cm
Operation status of LMPRS			
Solid-liquid separation	Type : ☐ Screen ☐ Decanter ☐ Belt press ☐ etc. () Time : Throughput : () ton Passing criteria (mm) :		
Inflow (slurry tank)	Total inflow : () ton/d Ingredient (BOD, COD, SS, T-N, T-P, etc.) :		
Microorganism	Type : ☐ Self-cultivation / ☐ Purchase Addition section (amount) :		
Aeration tank	Number : Total capacity : Temperature : Depth : MLSS : Retention period :		
Aeration	Aeration equipment : Aeration time : Volume : () m ³ /min Depth : m Oxygen transfer efficiency : () %		
Settling tank	Number : Total capacity : Retention period :		
Recirculation volume	Number of times : Volume :		
Residual liquid manure	☐ Storage tank ☐ Purification ☐ Sparge ☐ Public treatment facility ☐ etc.		
Storage tank	Number : Total capacity : Storage period : () day		
Purification & discharge	Treated water concentration : BOD, COD, SS, T-N, T-P, etc. Purification volume : () ton/day Discharge volume : () ton/day		
Initial stabilization period			
Cost	Cost of construction : Cost of operation :		

Figure 2. Survey table.

현황, 액비순환시스템 운영 현황으로 대분류하여 Figure 2와 같이 조사표를 구성하였다.

또한, 대분류의 특성에 맞게 각 항목들을 소분류하여 다음과 같이 구성하였다. 농가 일반 현황 부문은 농장명, 주소, 대표명, 연락처로 구성하였으며, 농장 운영 현황 부문은 사육현황(두수), 축사면적 및 형태, 슬러리피트 설계 및 운영 깊이로 구성하였다. 마지막으로 액비순환시스템 운영 현황 부문은 공정에 대한 정확한 파악을 위해 전처리(고액분리) 여부 및 처리량 등, 유입량(원수조) 및 농도, 미생물 종류 및 첨가구간 등, 폭기조의 구성, 폭기량, 침전조, 재순환액비량, 잔여 액비 처리, 액비저장조 현황, 정화방류 현황, 초기안정화기간, 비용 등으로 구성하였다.

결과 및 고찰

1. A 양돈장

충청남도 홍성군에 위치한 A 양돈장은 모돈 360두, 자돈 1,100두, 육성 1,200두로 2,660두를 일관사육하는 농가

Figure 3. Process flow chart of A farm.

로서 5개동에 총 면적 1,800평의 무창돈사 형태로 되어 있었다. 순환주기는 24시간 순환식으로 슬러리 피트는 45 cm로 운영하고 있었다. 돈사에서 일 30톤 (BOD농도 7,000~10,000 ppm)의 슬러리를 배출하고 있었으며, 혐잡물처리기(스크린)로 1차 고액분리를 하고 미생물은 액비순환시스템 설치 초기에만 시딩한 후 다른 미생물은 투입하지 않고 있었다. 유량 조정조는 30톤 용량, 폭기조는 8개조로 총 1,500톤 용량이었으며, 4개의 폭기장치 루츠브로워(40마력)가 설치되어 있었고, 각 조당 산기장치 디스크산기관이 설치되어 있었다. 또한, 데칸터로 2차 고액분리를 하고 폭기조 및 침전조 운영 후 순환조로 투입하거나, 일부는 별도의 막 분리과정을 거쳐 정화 방류처리를 하고 있었다. 초기 안정화기간은 6개월 정도 소요된 것으로 조사되었다.

A 양돈장의 액비순환시스템은 1차적으로 고액분리(혐잡물 처리(스크린)) 과정을 통해 용량의 과부하를 방지하고, 2차적으로 고액분리(데칸터)를 통해 작은 입자의 고형물까지 분리하여 용량의 과부하 방지 및 정화 방류에도 용이하도록 운영하는 방식이 특징이다. 또한, 슬러지 저장조 별도 설치, 순환수 투입 배관을 지상으로 연결(배관이 막히는 문제 해결을 위하여 배관 내 모터를 설치하여 지상으로 보내는 방식), 폭기조내 수온을 20~30°C로 유지하는 것으로 조사되었다. 이에 따른 공정도는 Figure 3과 같다.

2. B 양돈장

경기도 안성시에 위치한 B 양돈장은 비육돈만 2,800두를 사육하는 농가로서, 4개동에 총 면적이 800평, 돈사 형태는 개방식돈사인 농가였다. 순환주기는 24시간 순환식으로 슬러리 피트는 60 cm로 운영하고 있었다. 돈사에서

Figure 4. Process flow chart of B farm.

일 16~18톤 (배출 시 BOD농도 3,000~4,000 ppm)의 슬러리를 배출하고 있었으며, 별도의 고액분리과정 없이 미생물(유산균, 바실러스 광합성균)만 월 400 L씩 폭기조에 주기적으로 투입하고 있었다. 유량 조정조는 12톤 용량, 폭기조는 4개조로 총 1,200톤 용량이었으며 폭기량 16톤/분의 폭기장치 이젝터(5마력)가 설치되어 있었다. 침전조는 2개조로 총 20톤 용량이며, 초기 안정화기간은 6개월 정도 소요된 것으로 조사되었다.

B 양돈장의 액비순환시스템 별도의 고액분리과정 없이 미생물만 주기적으로 투입하는 운영방식과 무산소조를 운영하는 방식이 특징이다. 순환수 투입 배관을 지상으로 연결 (배관이 막히는 문제 해결을 위하여 배관 내 모터를 설치하여 지상으로 보내는 방식), 폭기조내 수온을 26~30°C로 유지하는 것으로 조사되었으며, 잔여액비의 경우 별도의 정화처리 시설을 통해 정화방류 처리 중인 것으로 조사되었다. 비용의 경우 시공비는 5~6억, 운영비 (전기세 포함)는 월 120만원 수준이었다. 이에 따른 공정도는 Figure 4와 같다.

3. C 양돈장

경기도 이천시 C 양돈장은 모돈 300두, 자돈 1,600두, 비육돈 2,600두 총 4,500두를 일관사육하는 농가로서, 9개동에 총 면적이 1,400평, 돈사 형태는 무창(5동) 및 개방식(4동)돈사인 농가였으며, 순환주기는 24시간 순환식으로 운영 중이었다. 돈사에서 일 25톤의 슬러리를 배출하고 있었으며, 자동고액분리기(중력침전식)를 통해 1차 고액분리를 하고 미생물은 액비순환시스템 설치 초기에만 시딩한 후 별도의 미생물 투입은 하지 않고 있었다. 폭기조는 2개조로 총 1,000톤 용량이었으며, 폭기장치 터보브로워와

Figure 5. Process flow chart of C farm.

산기장치 디스크산기관이 설치되어 있었다. 침전조는 1개조이며, 초기 안정화기간은 1개월 정도 소요된 것으로 조사되었다(기존 정화방류 시설이 있어 미생물 안정화가 용이했다고 한다).

C 양돈장의 액비순환시스템은 1차적으로 고액분리(자동고액분리기) 과정을 통해 용량의 과부하를 방지하고, 별도의 농축조를 설치해 정화방류에도 용이하도록 운영하는 방식이 특징이다. 또한, 순환수 투입 배관을 지하로 연결, 폭기조내 수온은 22~30°C로 유지하는 것으로 조사되었으며, 잔여액비의 경우 별도의 정화처리 시설을 통해 정화방류 처리 중인 것으로 조사되었다. 비용의 경우 시공비 5~6억 수준이었다. 이에 따른 공정도는 Figure 5와 같다.

4. D 양돈장

전라남도 영암군 D 양돈장은 모돈 380두, 자돈 1,500두, 비육돈 3,120두 총 5,000두를 일관사육하는 농가로서, 4개동에 총 면적이 4,200평, 돈사 형태는 무창돈사인 농가였다. 순환주기는 1일 1회(순환량 25톤)로 슬러리 피트는 60cm로 운영하고 있었다. 돈사에서 일 25톤의 슬러리를 배출하고 있으며, 스크린을 통해 1차 고액분리를 하고 미생물도 원수조 및 폭기조에 각각 일 20 L씩 주기적으로 투입 중이었다. 폭기조는 5개조로 총 1,200톤 용량이었으며, 각조당 산기장치(디스크산기관)가 설치되어 있었다. 침전조는 2개조로 총 400톤 용량이었다. 액비저장조는 6개조로 총 8,000톤 용량을 운영 중이었으며, 초기 안정화기간은 6개월 정도 소요된 것으로 조사되었다.

D 양돈장의 액비순환시스템은 1차적으로 고액분리(자동고액분리기) 과정을 통해 용량의 과부하를 방지하고, 미생물의 주기적 투입을 통해 미생물 균형을 유지하는 방식

Table 5. Common point and individual characteristic. (Continued)

Farm	Breeding step	Head	Characteristic
A farm	All steps	2,000 ~ 3,000	<ul style="list-style-type: none"> - No addition of microorganisms, conduct the 1st, 2nd solid-liquid separation - 1st solid-liquid separator (screen type) / 2nd solid-liquid separator (decanter type) - Continuous circulation for 24 hours, discharge of 30 tons of slurry per day from pig house and return of 30 tons of circulating liquid manure after the fermentation process (when entering the slurry tank, the BOD of the slurry should not exceed 7,000~10,000 ppm) - Total aeration tank capacity is 1,500 tons, average retention period is 10 days, average temperature is 30°C (MLSS level should be maintained at 3~4,000 ppm in summer and 6~7,000 ppm in winter.) - Aerator (roots blower) and disk diffuser operates 24 hours - Settling tank with 50 tons capacity (about 6 hours of retention period) - Only use of indigenous microbial activation after initial seeding - Circulating water supply piping (motor installed) is installed on the ground - Initial stabilization period takes 180 days, construction cost is 400 million (won)
		2,000 ~ 3,000	<ul style="list-style-type: none"> - Periodic addition of microorganisms, no solid-liquid separation - Continuous circulation for 24 hours, discharge of 20 tons of slurry per day from pig house and return of 20 tons of circulating liquid manure after the fermentation process (when entering the slurry tank, the BOD of the slurry should not exceed 3,000~4,000 ppm) - Total aeration tank capacity is 1,200 tons, average retention period is 30 days, average temperature is 26~30°C - Aerator (ejector pump (air capacity: 16 ton / min)) operates 24 hours - Settling tank with 20 tons capacity (about 6 hours of retention period) - Each aeration tank is periodically injected with 20 L of microorganisms (total 80 L per month) - Microbial species utilize lactic acid bacteria, <i>bacillus subtilis</i>, photosynthetic bacteria, etc. - Circulating water supply piping (motor installed) is installed on the ground - Initial stabilization period takes 180 days, construction cost is 500~600 million (won)
C farm	All steps	3,000 ~ 5,000	<ul style="list-style-type: none"> - No microorganisms addition, conduct the 1st solid-liquid separation - Gravity settling automatic solid-liquid separator type applied as 1st solid-liquid separator - Continuous circulation for 24 hours, discharge of 25 tons of slurry per day from pig house and return of 25 tons of circulating liquid manure after the fermentation process - Total aeration tank capacity is 1,000 tons, average retention period is 40 days, average temperature is 30°C (maintains MLSS level of 3,000 ppm) - Aerator (turbo blower) and disk diffuser operates 24 hours - Settling tank (about 6 hours of retention period) - Only use of indigenous microbial activation after initial seeding - Circulating water supply piping is installed on the underground - Initial stabilization period takes 180 days, construction cost is 500~600 million (won)
		3,000 ~ 5,000	<ul style="list-style-type: none"> - Periodic addition of microorganisms, conduct the 1st solid-liquid separation - Screen type applied as 1st solid-liquid separator - Circulation system once a day, discharge of 25 tons of slurry per day from pig house and return of 25 tons of circulating liquid manure after the fermentation process - Total aeration tank capacity is 1,200 tons, average retention period is 25 days, average temperature is 30°C - The disk diffuser operates 4 hours / 4 times / 1 day - Settling tank with 400 tons capacity (about 6 hours of retention period) - The microorganisms are put into the slurry tank and the aeration tank periodically every 20 L each day - Microbial species utilize lactic acid bacteria, <i>bacillus subtilis</i>, photosynthetic bacteria, etc. - Feed microorganisms to pigs to aid in slurry dissolution - Circulating water supply piping is installed on the underground - Initial stabilization period takes 180 days, construction cost is 300 million (won)
E farm	All steps	1,000 ~ 2,000	<ul style="list-style-type: none"> - No addition of microorganisms, conduct the 1st solid-liquid separation - Screen type applied as 1st solid-liquid separator - Circulation system 2 times a day, discharge of 30 tons of slurry per times from pig house and return of 30 tons of circulating liquid manure after the fermentation process - Total aeration tank capacity is 100 tons, average retention period is 40 days, average temperature is 30~40°C - The roots blower operates 12 hours / 2 times / 1 day - Only use of indigenous microbial activation after initial seeding - Circulating water supply piping (motor installed) is installed on the ground - Store to residual liquid manure in the liquid manure storage tank (with 800 tons capacity) - Initial stabilization period takes 2~3 years, construction cost is 60 million (won)
		1,000 ~ 2,000	

발하게 진행 (Lee, 2011) 되어야 함에 따라 초기 안정화 기간이 필요하고, 적절한 액비순환시스템을 운영하기 위한 저류시간 (Mata-Alvarez et al., 2000; Mahmoud et al., 2004)과 폭기조의 환경조건의 경우 타 연구 (Ha and Kim, 2019)에서 조사한 범위내의 SS (1,450~2,866)와 온도 (25~30°C)와 유사한 물리적 조건을 나타내었다.

7. 액비순환시스템 유형 분류 방법

5개 양돈장에 설치·운영되고 있는 액비순환시스템의 공정과정을 분석한 결과 고액분리 유무, 미생물 투입 유무를 기준으로 Figure 8과 같이 분류할 수 있었으며, 3유형은 경우에 따라 2차 고액분리를 실시하는 3-1유형으로 분류가 가능하였다.

1유형의 경우, 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 별도의 고액분리 과정없이 폭기조로 이송하는 유형이며, 폭기조에는 미생물을 주기적으로 투입하여 발효가 원활하게 진행되도록 돕는 유형이다. 폭기 과정 후에는 침전조 과정을 거쳐 액비가 생산되고, 완성된 액비 중 일부는 순환조를 통해 돈사내부로 순환하고 일부는 농장에 따라 저장조에 저장 또는 정화 방류 처리하는 유형이다.

2유형의 경우, 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 고액분리 과정을 거친 후 액상분뇨를 폭기조로 이송하는 유형이며, 이때 폭기조에도 미생물을 주기적으로 투입하여 발효가 원활하게 진행되도록 돕는 유형이다. 폭기 과정 후에는 침전조 과정을 거쳐 액비가 생산되고, 완성된 액비 중 일부는 순환조를 통해 돈사내부로 순환하고 일부는 농장에 따라 저장조에 저장 또는 정화 방류 처리하는 유형이다.

3유형의 경우, 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 고액분리 과정을 거친 후 액상분뇨를 폭기조로 이송하는 유형이다. 이후에는 별도의 미생물 투입 과정 없이 침전조

과정을 거쳐 액비가 생산되고, 완성된 액비 중 일부는 순환조를 통해 돈사내부로 순환하고 일부는 농장에 따라 저장조에 저장 또는 정화 방류 처리하는 유형이다. 또한, 3유형은 1차 고액분리 과정 및 폭기과정을 거친 후 추가적으로 2차 고액분리를 실시하는 3-1유형으로 분류가 가능하다.

1유형의 경우 고액분리를 진행하지 않음에 따라 폭기조 저류 기간이 비교적 높았으며, 24시간 순환 및 폭기를 진행하였다. 특히 폭기조의 크기가 사육규모에 비해 다른 농장에 비해 컸는데 이는 고액분리를 하지 않음에 따라 비교적 높은 SS농도에 의해 자연적으로 발생한 현상으로 보인다. 특히, 기존의 연구 (Park et al., 2000)에서 연구된 것과 같이 고액분리 방식, 응집제 사용 여부 등에 의해서도 SS 제거율은 영향을 받을 수 있지만, Mesh Screen과 Drum Screen의 1차 고액분리에서 SS 제거율이 약 23,3%, 16,5%로 비교적 낮은 것을 반영하면, 고액분리 시 발생할 수 있는 Mesh 등의 폐쇄 현상, 세척수 사용에 의한 유량 증가 등에 의한 어려움을 피할 수 있는 장점이 있었다. 그러나 위의 결과는 고액 분리 방식, 응집제 등이 사용되지 않은 상황을 전제로 함에 따라 고액분리 방식, 수분조절제 사용, 악취발생 등의 다양한 조건을 전제로한 실험이 추가로 필요한 것으로 보이며, 더불어 경제적인 평가 후 우수한 방식에 대하여 고찰하는 것일 효과적일 것으로 사료된다.

결론

본 연구를 통해 5개 양돈장의 액비순환시스템 설치·운영상의 공통사항과 각 농장에 따른 특징을 확인할 수 있었으며, 공정과정을 분석한 결과 공정과정별로 액비순환시스템의 유형을 분류할 수 있었다.

연구를 수행한 5개 양돈장은 공통적으로 공정과정에서 초기 미생물의 안정화를 위해서 180일 이상이 소요되었으며, 액상분뇨의 폭기조 내 저류 기간을 30~40일 정도로 운영하고 있었다. 또한, 폭기조 내 온도를 30°C 내외로, MLSS (mixed liquor suspended solid)를 3,000~4,000 ppm 수준으로 운영하고 있었다.

각 농장의 공정과정을 분석한 결과를 토대로 액비순환시스템 유형을 분류할 수 있었으며, 각 유형별 특징으로는 1유형의 경우 별도의 고액분리를 하지 않고 폭기조에 미생물을 주기적으로 투입하여 토착미생물 활성화만을 활용해 순환액비를 제조하는 것이 특징으로 장점은 고형분의 별도 처리를 하지 않는 점을, 단점은 미생물의 주기적

Figure 8. Type of liquid manure pit recharge system.

공급에 따른 비용 발생을 들 수 있다. 2유형의 경우 고액분리 과정을 거치고, 추가적으로 폭기조에 지속적으로 미생물을 투입하여 순환액비를 제조하는 것이 특징으로 장점은 고액분리로 인해 액비화 일수가 감소하는 점을, 단점은 고형분의 처리, 미생물의 주기적 공급에 따른 비용 발생을 들 수 있다. 3유형의 경우 고액분리 후 별도의 미생물 추가 투입 없이 순환액비를 제조하는 것이 특징으로 장점은 미생물 추가 투입에 따른 비용 발생이 없다는 점을, 단점은 고형분처리에 따른 비용 발생으로 들 수 있다.

향후 연구를 통해 축사 형태 및 외부 환경 요인들이 액비순환시스템에 미치는 영향과 액비화 과정 상의 시간조절 및 적정 순환액비량의 산정 등의 공학적 연구가 추가적으로 실시되어야 할 것으로 판단되지만 본 연구를 통해 확인된 축산농가에서의 액비순환시스템 유형별 설치·운영상의 공통적인 요소들과 각 유형별 특징을 분석할 수 있게 된 점에서 액비순환시스템을 도입하고자 하는 시설, 관계자에게 유용한 정보를 제공한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림식품기술기획평가원의 연구개발사업(과제번호: 317008-3)의 지원으로 수행되었음.

인용문헌

- Ha, D.M., Kim, D.H., 2015. The effect of liquid manure circulation system on the odor reduction of swine farm, *Journal of Agriculture and Life Science*, 49(4), 57-64.
- Ha, D.M., Kim, D.H., 2019. Effects of the liquid manure circulation system on the environmental improvement of swine farm. *Journal of Environmental Science International*, 28(1), 137-145.
- Jeong, K.H., Kim, J.H., Jeong, M.S., Park, C.H., Kwag, J.H., Choi, D.Y., Yu, Y.H., 2006. A study on the characteristics of piggery slurry collected at various depth of livestock manure storage tank. *Korean Society of Environmental Engineers* 12, 1413-1416.
- Jeong, K.H., Modabber, A.K., Kim, C.H., Lee, D.H., Choi, D.Y., Yu, Y.H., 2012. Effect of aeration mechanism on livestock manure liquid fertilization. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 20(4), 703-713.
- Jun, Z., 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 78, 93-106.
- Kang, J.Y., Huh, M., 2009. The study for reduction of odor emissions on 3N-system by improvement of process. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 8(1), 50-55.
- KECO, 2016. Odor management case by industry. Korea Environment Corporation, Incheon, Korea.
- Kim, S.R., Jeon, S.J., Hong, I.G., Kim, D.K., Lee, M.G., 2012. A case study on the effective liquid manure treatment system in pig farms. *Journal of Livestock Housing and Environment*, 18(2), 99-110.
- Lee, J.K., 2011. A study on the odor characteristics and reduction of livestock wastes cycle. Ph.D. Dissertation, Chosun University, Kwangju.
- Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H., Lettinga, G., 2004. Anaerobic stabilisation and conversion of biopolymers in primary sludge - Effect of temperature and sludge retention time. *Water Research*, 38, 983-991.
- Mata-Alvarez, J., Mace, S., Llabres, P., 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74, 3-16.
- ME, 2004. A study on the odor emission characteristics and reducing measures in the cow house, poultry house, etc. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- ME, 2018. Research for establishing the 2nd comprehensive odor prevention policy. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Park, S.K., Choi, J.G., Chung, Y.J., 2000. A practical study on the solid-liquid separation of the swine wastewater from slurry feedlot. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 8(2), 60-70.