

돼지분뇨슬러리의 액비조내 저장깊이별 고형물 및 질소, 인의 함량분포에 관한 연구

정광화 · 정의수 · 박치호 ·곽정훈 · 최동윤 · 유용희
농촌진흥청 축산연구소

The Changes of Solid, Nitrogen and Phosphorus Concentrations in Pig Slurry Stored at Various Depth of Slurry Storage Tank

Jeong, Kwanghwa, Chung, Euisoo, Park, Chiho, Kwag, Junghoon, Chol, Dongyoon
and Yoo, Yonghee

Division of environment, National Livestock Research Institute R.D.A., Suwon, Korea

Summary

This paper describes the changes of characteristics of pig slurry according to storing depth. Most of the substances containing pollutants, such as were Management of manure and wastewater from animal confinement facilities is a critical factor for pollution control. With proper treatment processing method in both solid and liquid forms, it can be used as a fertilizer and soil conditioner. In Korea, liquid-manure handling system is very popular because its treatment and application is easy and labor saving. In the storage tank treatment, the period of fermentation process and solids-liquid separation averages six months and the supernatant liquid is being used as a fertilizer. In this study, the changes in chemical characteristics of pig slurry at varying depths of the storage tank were investigated. Results showed that the pH value of the fermented pig slurry was > 7, while the major pollutants such as BOD, SS, N and P were highest in the bottom of the tank. Therefore, the above findings proved that varying depths in the storage tank can influence the concentration of pollutants of the fermented pig slurry.

(Key words : Nitrogen, Phosphorus, Pig slurry, Slurry storage)

서 론

국내 축산분뇨 처리에 관한 기본 방침은

가축분뇨의 자원화에 의한 리사이클링의 최
대화로서 발생된 가축분뇨는 최대한 퇴·액
비로 자원화 하되, 자원화가 어려운 경우 정

Corresponding author : Jeong, Kwang Hwa, Division of environment, National Livestock Research Institute R.D.A., Omokchundong, Kwonsungu, Suwon, 441-706 Korea. Email : gwhaju@rda.go.kr

화방류 처리토록 하는 것이다(농림사업시행 지침, 2006). 이런 기조에 따라 가축분뇨 처리시설 설치농가 57,000개소 중 91.6%가 퇴비화(순수퇴비화 79.6%) 및 액비화(순수액비화 3.5%, 퇴비화와 액비화 병용 8.5%)에 의한 가축분뇨 처리방법을 채택하고 있고 나머지 8%가 자원화 및 정화방법을 병용하고 있다(이재용 2005). 가축분뇨 액비화란 돈분뇨 슬러리 등을 비롯한 액체성 가축분뇨를 액비 저장조 내에서 호기적 또는 혐기적으로 발효시킨 다음 비료자원으로서 경작지에 살포하는 방법을 말한다.

가축분뇨 슬러리를 액비자원화 하는 방안으로 2006년 현재 전국에 설치된 액비저장조는 2,160여 개소에 이르고 있으며, 향후에도 연차적으로 그 숫자가 늘어날 것으로 보여진다. 현재 설치된 액비저장조의 대부분이 정상상태에 가깝게 운영되고 있으나 일부 저장조는 바닥 층에 슬러지가 과도하게 침전되어 저장용량이 감소됨으로써 액비의 저장기간이 줄어들게 되며, 액비의 성분도 불균일해지는 등의 문제점을 안고 있다. 유 등(2005)이 보고한 바에 따르면 저장기간 2개월인 액비의 한계가치(년 평균 질소 이용율)는 52.5%이었으나 저장기간이 6개월로 늘어날 경우 한계가치가 72% 수준으로 향상되어 저장기간에 따라 액비의 가치가 달라진다고 하였다. 따라서 현재 운용되고 있는 액비저장조의 용량을 감소시켜서 액비저장기간이 줄어들게 되는 요인이 되고 있는 액비조 내 침전물 층 형성감소 방안에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 최근 들어 액비의 품질을 높이거나(김 등 2005) 액비에서 유용물질을 회수하는 기술에 관한 연구(오 등 2005, 2006)도 활발하게 이루어지고 있어 액비의 효용성이 더 높아질 것으로 기대된다. 현재 국내에서 이용되어지는 액비저장조는 통상적으로 200m³

용량의 저장조가 주를 이루고 있으며 500m³ 또는 1,000m³에 이르는 것도 운영되어지고 있어서 액비저장조에 관한 종합적인 관리기술개발에 관한 연구필요성이 증대되고 있는 실정이다. 지금까지 국내·외적으로 액비 관련연구가 지속적으로 수행되어 왔지만 액비조 내에 저장된 상태에서의 액비특성 분석에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다. 본 연구는 돼지분뇨 슬러리의 액비화시 저장깊이(매 30cm 깊이별 채취시료 분석)에 따른 액비의 수직 적층형 단면층을 구분하여 각 단면별로 유기물 및 질소와 인의 농도변화 및 고형물의 분포형태를 분석함으로써 액비의 수직 단면별 특성을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

액비저장조에 저장된 돼지분뇨 슬러리의 깊이별 물리화학적 특성을 분석하기 위하여 실험실 규모의 시험과 현장규모 시험을 15개월간에 걸쳐 병행 실시 하였다. 실험실 규모의 시험을 위하여 2m³ 용량의 PE통을 사용하여 액비저장조의 기능을 할 수 있도록 하였고, 현장규모 시험을 위하여서는 경기, 충청일대에서 운영 중에 있는 200m³ 규모의 액비저장조 10개소를 선정하여 샘플채취 및 성분분석을 실시하였다.

농경지에 설치된 액비저장조 내의 돈분뇨 슬러리의 저장 깊이는 3m 내외에 이른다. 이 저장조에 저장된 돼지분뇨 슬러리의 각 깊이별 시료를 채취하기 위하여 양압과 음압을 발생시킬 수 있는 피스톤에 파이프를 연결하여 지정된 깊이에 이르게 한 다음, 양압을 발생시켜 호스내부를 비운 후에 음압을 이용하여 피스톤에 부착된 시료채취병에 시료가 채워지도록 하는 방식을 이용하였다. 액비를 농경지에 사용한 후 저장조 바닥층에 남겨

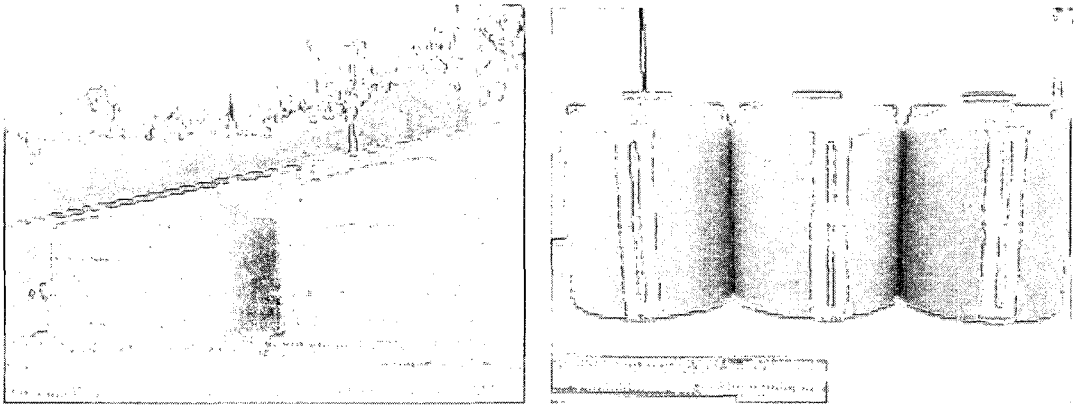


Fig. 1. Photograph of livestock manure storage tank.

되는 농후한 슬러지 층은 하부를 밀폐할 수 있도록 제작된 길이 120cm, 내경 10cm의 파이프를 이용하여 수직단면을 유지한 상태에서 채취하여 물리화학적 특성을 분석하였다. 채취한 샘플은 냉장박스에 담아 실험실로 운반한 뒤 수질오염공정시험법 및 표준분석법에 준하여 즉시 분석을 실시하였다(AOAC, APHA). 샘플분석을 위하여 Orion 920A+(pH), YSI 5000(DO), AA280FS(무기물), YSI 3100(전기전도도), CARY 300(흡광광도분석) 등의 기기를 이용하였다. 채취된 슬러지층 샘플 중의 무기물 함량, 휘발성고형물 함량, 기타 오염유발성 물질의 함량 등의 분석은 표준분석방법에 준하여 실시하였다.

결과 및 고찰

액비저장조 내에서 총고형물 함량의 농도는 돼지분뇨슬러리 층의 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 경향(표면: 6.4%, 320cm 깊이: 14.2%)을 보인 반면에 총고형물 중에 함유된 용해성 물질의 양은 오히려 감소(표면: 66.5%, 320cm 깊이: 61.2%)하였다. 이 결과는 저장조 하부로 갈수록 휘발성이 낮은 물질, 즉 무기물질의 함량이 증가하는 결과와 연관 되

어진다고 볼 수 있다. 액비 저장조 내 돼지분뇨 슬러리 층에 포함된 SS의 농도는 저장된 돼지분뇨슬러리의 전체깊이 대비 약 70% 정도 내외의 깊이에서부터 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 총질소와 총인의 경우 역시 저장깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 결과를 보였는데, 이러한 경향은 총인의 경우에 있어 더 뚜렷하게 나타난 반면에 질소의 경우에는 침전깊이에 따른 농도의 변화가 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 침전깊이에 따른 NH_4-N 의 농도변화는 매우 미미하였는데, 이 결과는 저장된 돼지분뇨 슬러리의 전체 깊이에서 NH_4-N 를 산화시킬 정도의 용존산소가 존재하지 않기 때문으로 판단할 수 있다. SS 외에도 BOD나 COD, 기타 무기물 농도 역시 저장 깊이가 깊어짐에 따라 증가하였다.

액비저장조 내에 저장된 돼지분뇨 슬러리 층에 포함된 고형물은 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 경향을 보였는데(표 1), 이는 저장조 하부로 갈수록 입경이 더 큰 침전물의 양이 많아지기 때문인 것으로 판단된다. 총고형물중에 함유된 휘발성 고형물의 양은 저장조 상층부에 존재하는 총고형물 중에서 약간 높게 나타났는데 이는 침전성이 좋은 고형물

Table 1. Variation of solid content according to depth

Depth(cm)	TS (%)	VS/TS(%)
Surface	6.4%	66.5%
30cm	6.4%	65.8%
60cm	6.3%	65.4%
90cm	8.7%	65.3%
120cm	6.4%	66.0%
150cm	6.4%	66.1%
180cm	6.4%	65.1%
210cm	6.3%	64.8%
240cm	12.9%	67.1%
270cm	12.6%	65.4%
300cm	13.1%	64.4%
320cm	14.2%	61.2%

중에는 휘발성이 상대적으로 더 적은 무기물이 더 많이 포함되어 있기 때문인 것으로 보여진다. 이 결과는 축분 액비를 막에 통과시킨 경우, 용해성 물질이 증가함으로써 액비 중의 VS 함량이 증가하였다는 황 등(2000)의 보고와 상통하는 것으로 판단된다.

생물화학적 산소요구량을 비롯한 탄소성 물질의 함량은 저장깊이가 깊은 곳에서 채취한 시료일수록 더 높게 나타났는데 이는 사료찌꺼기나 돈분 중의 입자성 물질과 같은 유기성 물질을 함유량이 높은 조대성 물질들의 침전량이 많아진 것과 관계되어진다. 이러한 경향은 부유물질에서 더욱 명확하게 나타났는데 부유물질은 침전속도가 빠르기 때문에 깊이변화에 따른 부유물질의 농도는 다른 성분에 비해 더 뚜렷하게 구분되어진다. 부유물질의 침전 특성은 Arogo 등(2000)이

Table 2. Variations of concentrations of nutrients with depth

Depth (cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	EC (ms/cm)	pH	NH ₄ -N (mg/L)
Surface	18,200	15,081	28,333	29.0	7.98	1,836
30	19,150	15,510	23,333	29.8	7.96	1,907
60	23,520	16,566	28,333	29.5	7.98	2,118
90	21,250	15,840	25,000	29.3	8.04	1,930
120	21,900	16,711	30,000	29.4	7.97	1,977
150	22,680	16,236	23,333	29.0	7.95	2,048
180	21,060	16,632	26,667	29.7	7.88	1,977
220	23,880	18,968	40,000	28.5	7.89	1,954
240	22,200	19,444	50,000	28.5	7.91	2,142
270	26,640	21,384	63,333	28.7	7.92	2,330
300	22,425	19,602	46,667	29.3	7.94	1,977
320	25,650	27,819	115,000	19.7	7.87	2,330

보고한 결과와 유사한 경향을 보였다. 반면에 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 다른 물질들에 비해 저장깊이의 영향을 더 적게 받는 것으로 나타났다(표 2). 액비 중의 pH 농도는 깊이의 변화에 의한 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 돼지분뇨 슬러리중의 pH 변화를 유발하는 수소이온(H^+)의 수준은 질산화나 탈질산화 과정 또는 액체 중에 함유 되는 CO_2 등의 수준에 따라 달라지지만, 본 연구에 이용된 액비 저장조 내의 돼지분뇨 슬러리 중에서는 이러한 변화를 일으킬 만한 정도의 산소유출입이 없었기 때문에 깊이별 pH 변화가 적었던 것으로 보여지며, 이는 최 등(2002)이 보고한 바와 유사한 결과이다.

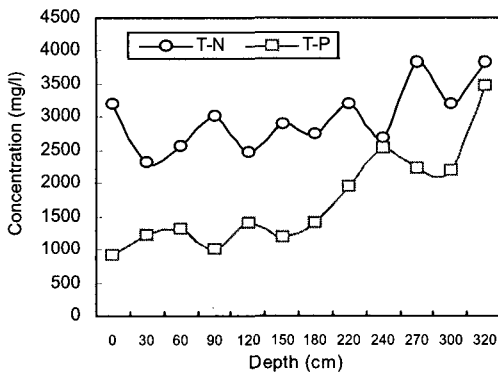


Fig. 2. Variations of concentration of T-N and T-P with depth.

저장 깊이의 증가에 따른 질소와 인의 농도변화는 서로 다른 양상을 보이고 있다(그림 2). 인에 비해 질소는 저장 깊이의 증가에 따른 영향을 더 적게 받는 것으로 나타났는데, 이 현상은 가축분뇨 액비의 경작지 사용에 있어서 상당히 큰 의미를 갖는다. 현재 작물에 대한 비료 살포기준은 질소 함량에 의해 규정되어지고 있는데, 실질적으로 우리나라의 경작지 토양에 있어서는 인의 축적이 더 큰 문제로 지적되어지고 있다. 그림 2를

보면 저장조 내의 일정깊이까지는 질소의 농도변화가 심하지 않은 결과를 나타냈는데, 이 결과는 박(2006) 등이 보고한 질소농도의 변화양상과 부합하고 있다. 반면에 깊이의 증가에 따라 인의 농도는 급격히 증가하는데, 이 결과 역시 박 등(2006)의 보고와 비슷한 양상을 보이고 있다. 경작지 지력 유지를 위해서는 잘 부숙된 가축분뇨 액비를 사용하는 것도 중요하지만, 저장조 내에서의 액비 특성을 잘 파악하여 경작지의 요구에 부응하면서도 토양보호에 부담이 되지 않는 정도의 안전성이 확보된 액비를 채취 및 이용하는 기술의 개발 및 보급이 필요한 것으로 판단된다. 동일한 축사에서 배출된 돼지분뇨 슬러리라 하더라도 폭기여부에 따라 슬러리의 저장깊이에 따른 질소와 인의 농도 구배는 다소 다른 양상을 보이는데 그 결과는 그림 3에 나타난 바와 같다.

동일한 슬러리를 저장한 두 개의 200m^3 규모의 액비저장조를 대상으로 하여 한 개의 저장조는 폭기를 수행하고 나머지 한 개의 저장조는 폭기를 하지 않은 상태에서 각각의 저장조 내의 돼지분뇨 슬러리의 깊이별 질소와 인의 농도변화를 조사한 결과, 액비화 과정 동안 폭기를 수행한 저장조 내의 슬러리 중에 포함된 질소와 인의 농도가 폭기를 하지 않은 저장조에 비해 저장깊이의 영향을 상대적으로 덜 받는 것으로 나타났다(그림 3). 그러나 폭기를 수행한다 하더라도 저장조 하부 층에서의 질소와 인의 농도는 다른 층에 비해 더 높게 유지되는 것을 알 수 있다. 따라서 폭기를 수행하는 경우에도 질소와 인의 농도 구배를 감안하여 액비의 시용결정을 할 필요가 있는 것으로 보여진다. 저장조 바닥부분에 침전된 고형물 코아 채취시료의 특성을 분석한 결과, 침전물의 밀도는 상층부와 하층부가 유사하였으나 경도와 유기물 함

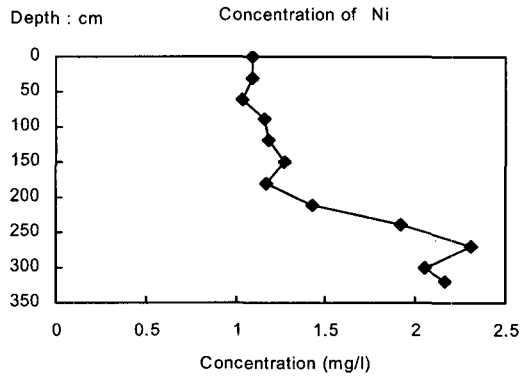
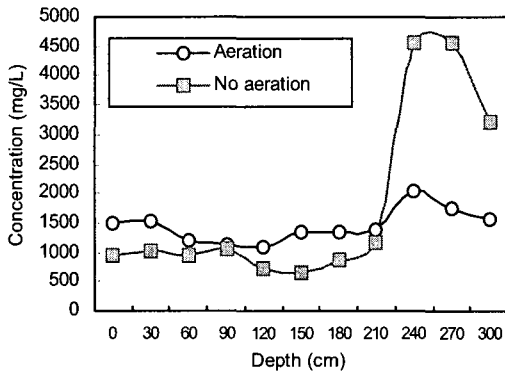
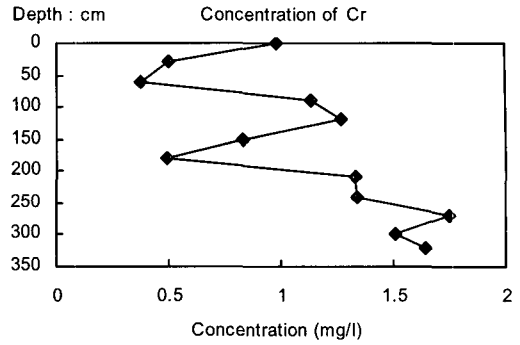
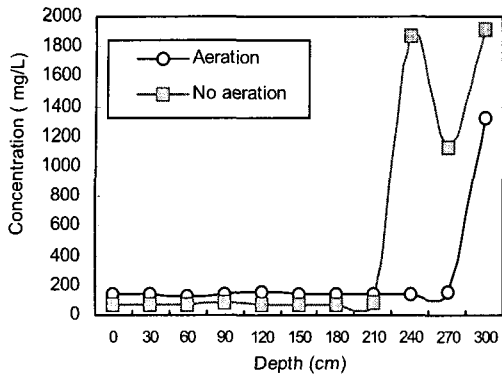


Fig. 3. Variations of concentration of T-P (Left) and T-N(Right) according to aeration.

량은 하층부가 더 높았다. 반면에 침전 코아층의 분해 가능한 유기물 함량은 오히려 상층부에서 더 높게 나타났다. 이 결과 역시 비중이 상대적으로 무거운 무기성 입자들이 Stock의 침전법칙에 따라 액비 저장조 하부에 더 많이 축적되었기 때문으로 볼 수 있다.

저장된 돼지분뇨 슬러리의 침전 깊이 변화에 따른 Cr 등의 함량변화 정도는 그림 4에 나타난 바와 같다.

저장 깊이가 깊어짐에 따라 Cr과 Ni 등의 농도도 변화하였는데, 이 물질들의 농도 역시 저장깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보이고 있다(그림 4). 이 결과 역시 비중이

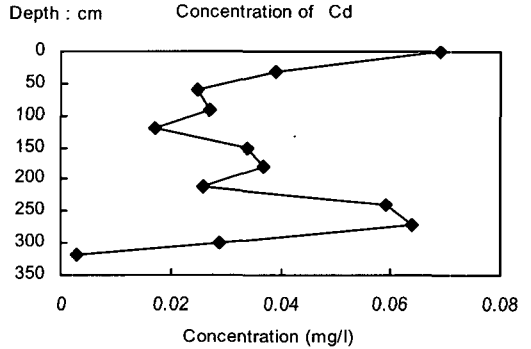


Fig. 4. Variations of concentration of Cr, Ni, and Cd with depth.

상대적으로 더 큰 금속류 등의 무기성 물질이 더 빠르게 침전되어 슬러지 침전층의 하부에 축적된데 기인한 것으로 판단된다. 이상 본 연구결과에서 제시된 액비 저장조 내부의 각 위치에 따른 돼지분뇨슬러리의 물리화학적 특성변화에 대한 분석자료가 비록 액

Table 3. Physical properties of sediment

Classification	Physical properties		Solid	
	Density	Hardness	OM (%)	VS (%)
Upper layer	670 kg/m ³	3.5 kg/cm ³	37.2	62.8
Lower layer	670 kg/m ³	4.2 kg/cm ³	51.9	49.0

비저장조 내부에서 일어나는 돼지분뇨슬러리의 전체 변화과정을 완벽하게 대변하지는 못한다 하더라도, 향후의 액비관련 연구에 도움이 될 수 있기를 바란다.

적 요

본 연구는 돼지분뇨 슬러리의 액비화시 저장깊이(매 30cm 깊이별)에 따른 액비의 수직적층형 단면을 구분하여 각 단면별로 유기물 및 질소와 인의 농도변화 및 고형물의 분포 형태를 분석하여 액비의 수직 단면별 특성을 구명하고자 수행되었으며 주요 결과는 다음과 같다.

1. 침전깊이가 깊어짐에 따라 총고형물 농도는 증가하는 경향을 보인 반면에 총고형물 중에 함유된 용해성 물질은 감소하였다.
2. 침전깊이별 오염물 농도는 깊이에 따라 증가하여 저장조 전체깊이 대비 약 70% 정도 내외에서 급격하게 증가하는 경향을 보였다.
3. 총질소와 총인 역시 침전깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 결과를 보였는데, 이러한 경향은 총 인의 경우에 있어 더 뚜렷했고 질소의 농도변화는 상대적으로 적었다.
4. 저장 깊이가 깊어짐에 따라 Cr과 Ni 등의 함량도 증가하는 경향을 보였고 그 증가 경향치는 SS의 농도변화와 유사하였다.

인 용 문 헌

1. A.O.A.C. 1990, Official Methods of Analysis(15th Ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.
2. APHA. 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition.
3. Arogo, J., Zhang, R. H., Riskowski, G. L., and D. L. Day. 2000, Hydrogen sulfide production from stored liquid swine manure : A laboratory study. Transactions of the American society of agricultural engineers, 43. 1241-1245.
4. 김태일, 유용희, 정의수, Antonio J. Barroga, 양창범, 김민균. 2005, 돈 분뇨 액비에 미생물침가가 배추의 발아지수에 미치는 영향, 축산시설환경학회지, 11:2 135-146.
5. 농림부. 2006, 농림사업시행지침서, 제3권 (축산) 1275.
6. 박무연, 강안석, 김시창. 2006, 농가의 돈 분액비 저장형태가 악취발생과 액비품질에 미치는 영향. 한국토양비료학회지, 39:3 136-143.
7. 오인환, 이종현, 정대성, 조진우. 2005, 축산폐수에서 질소, 인의 추출을 위한 MPA 공정개발, 축산시설환경학회지. 11:3 207-214.
8. 오인환, 이종현, 최병현, R.T.Burns. 2006,

- 양돈액비에서 Struvite 형성으로 연속적인 회수기술, 축산시설환경학회지. 12: 2 95-1000.
9. 유덕기. 2005, 가축분뇨 공동이용을 위한 액비의 경제적 가치분석. 한국유기농업학회지. 13:2 129-143.
 10. 이재용. 2005, 가축분뇨처리시책, 축산환경 시책 및 기술교육. 농림부, 농협중앙회, 5-23.
 11. 최동윤, 전병수,곽정훈, 박치호, 정광화, 김태일, 김형호, 이덕수, 양창범, 2002, 돈슬러리 저장기간 및 깊이에 따른 성분특성 변화, 축산시설환경학회지. 8:3 129-134.
 12. 황명구, 차기철, 이명규. 2000, 축분액비의 고액분리에 있어서 분리막의 투과특성. 축산시설환경학회지. 6:3 175-184.