

液狀콤포스트화 處理에 있어서 乳牛糞尿의 化學的 特性

홍지형 · 최병민

순천대학교 농과대학 농업기계공학과

Chemical Properties of Dairy Slurry for Liquid Composting

Hong, Ji-Hyung and Choi, Byoung-Min

Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Suncheon Nat'l Univ.

Summary

Aerobic treatment of animal slurries represents an increasingly popular option for farmers in the management of animal wastes.

This study was performed to find out the chemical characteristics of dairy slurry associated with liquid-solid separation. Total solids concentration varies widely depending on the slurry manure handling systems. Hydrogen ion exponent(pH), volatile solids(VS), ammonia nitrogen(NH₃-N), nitrate nitrogen(NO₃-N), and chemical oxygen demand(COD) essentially depends on the total solids content of animal liquid wastes. Total solids content of the dairy slurry ranges from 6.6 to 7.5% depending on the feed slurry and separator. Separated liquids from dairy slurry have been successfully downed for up to about 21,900mg/ℓ of the COD value. It has also been found that separated slurry decreased from 37.8 to 26.0mg/ℓ of the NO₃-N concentration.

(Key words : liquid-solid separation, manure properties, slurry aeration, liquid compost)

서 론

일반적으로 분뇨의 퇴비화는 분뇨중의 유기물이 미생물의 산화(호기성), 환원(혐기성)작용에 따라 분해되어 최종적으로는 분해속도가 느린 부식물질 및 난분해성 유기물을 포함한 안정된 물질(퇴비화물)이 되는 과정이다.

가축분뇨의 퇴비화는 고형상과 액상(스러리상)에서 처리되며 전자는 고형퇴비화 처리 후자는 액상콤포스트화 처리라 하며 가축분뇨를 스러리 상태에서 호기성처리를 하는 방식에는 악취저감을 위한 폭기처리와 숙성액체퇴비를 제조하기 위한 액상콤포스트 처리로 구분되며 처리장치는 같으나 폭기시간, 기포의 액층 체류시

간, 고형물 농도 등의 조건을 달리 한다^{9,13)}.

이제까지의 유우 분뇨처리는 자연유하식과 틸 바닥식의 우사에서 분뇨혼합물을 장시간 저류시킨 후 포장환원을 하여 왔으나 분뇨가 혐기성 상태로서 부숙이 느리고 액온상승도 일어나지 않을 뿐만 아니라 잡초종자 등의 병원균이 잔존하고 악취발생이 문제가 되어 호기성처리가 요구되고 있다^{2,6)}. 특히 반크리너 방식의 우사에서는 깔짚재료의 부족으로 고수분의 우분을 고액분리하여 고형물의 수분함량을 적게 하여 고형퇴비화하고 액상분뇨는 액상콤포스트화가 필요한 실정이다^{4,14)}.

액상가축분뇨를 호기성 발효처리시켜 부숙을 촉진하는 데는 미생물의 영양원이 되는 유기물

의 호흡을 위한 산소(공기), 활동에 적당한 온도와 수분 등의 적정조건이 필요하다. 스러리(액상가축분뇨)를 폭기처리하면 공기중의 산소가 액상가축분뇨 중에 용해된다. 호기성 미생물이 산소를 이용하여 성장, 증식활동으로 분해하기 쉬운 유기물을 급속히 분해하면서 일어난 발효열로 액온이 상승(38℃ 이상)되고, 산도가 9 이상으로서 악취가 저감되고 병원균 등이 소멸된 상태에서 유동성이 좋은 흑갈색 액체의 부식물질로 변화된다^{12),3),5)}.

액상가축분뇨 호기성처리는 고회전비화와 비교할 때에 유기물 분해속도가 빠르고 유기물 감소율도 약간 크나 최종적으로는 30% 정도이다. 유기물 분해율은 퇴비화 진행정도를 나타내는 포괄적인 지표로서 탄질율(C/N 비), 화학적산소요구량(COD) 등이 있으나 퇴비화 마무리를 판정하는 기초로서는 퇴비화 진행정도의 차이가 작물, 토양, 주변환경 등에 미치는 영향을 평가하는게 바람직하다^{11),14)}.

가축 생분뇨의 고형물농도(TS)는 8~18%(습량 기준)이며 그 가운데 70~75% 가 유기물이다. 액상콤포스트화 처리는 TS 8% 가 적당하나 고점성 액체로서 산소용해가 곤란하여 강제적으로 산소를 공급하고, 물로 희석하여 TS 농도를 약 4% 로 낮추어야 하며 또한 액상분뇨는 다량의 수분이 들어 있어 발효열이 방열 되므로써 액온상승이 어려우므로 폭기조를 단열구조화하여 부속에 적당한 온도 40℃ 이상을 유지해야 된다^{7),14),15)}.

액상콤포스트화 기술은 액상가축분뇨의 고형물농도와 산소를 합리적으로 조절하는 복합적 기술이지만 근본적으로는 액상분뇨 원액의 화학적특성을 기초로 한 액화, 加水 및 균질화 조정에 깊은 관계를 맺고 있다^{9),10),14)}. 이러한 중요성에도 불구하고 지금까지 액상가축분뇨 호기성처리를 위한 액상가축분뇨 원액의 화학적특성에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 액상가축분뇨의 화학적 제특성의 규명은 액상가축분뇨의 액상콤포스트화 처리기술 개발의 기본자료가 될 수 있을 것으로 판단되어

본 연구에서는 액상유우분뇨의 원액에 대한 화학적 성질을 이해하기 위하여 고액분리를 하지 않은 프리스틀 우사의 액상분뇨와 고액분리기로 분리처리하는 타이스틀 우사의 액상분뇨의 성분농도를 파악하는데 목적이 있으며, 고액분리 여부가 액상유우분뇨 특성변화에 미치는 영향을 검토하는데 있다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 채취법

실험재료는 액상가축분뇨를 호기성처리(폭기처리, 액상콤포스트화 처리)에 관련된 액상유우분뇨의 화학적인 특성을 구명하고자 프리스틀 우사인 A농가의 경우와 타이스틀 우사에서 피스톤형 고액분리기(처리능력 7~10t/hr, 동력 7.5kw)에 의하여 고액분리된 액상분뇨를 채취한 B와 C 낙농가의 경우로서 A 낙농가에서는 우사에서 액상분뇨 및 착유실의 세정수와 혼합된 분뇨액을 3개소에서 6개의 시료를 얻었고 B와 C 낙농가에서는 고액분리 후의 생 분뇨액을 각각 2개소에서 2개씩 4개의 시료를 채취하였다.

대상농가의 시료채취는 우사의 분뇨구에서 하고 사육두수는 농가당 약 100두 규모이고 급여사료는 건초와 배합사료이며 깔짚재료는 톱밥 등이었다.

시료채취는 용량 6ℓ의 벳트(vat)로서 A 낙농가 6개의 시료와 B 낙농가 4개의 시료를 실험재료로 하였다. A 낙농가의 채취시료는 실험실의 플라스틱 용기에서 혼합하여 고액분리기 슬리트(slot) 크기와 같은 3mm 눈금의 체로 여과시킨 뒤에 1ℓ 용량의 플라스틱통 6개에 시료를 채취하고 B와 C 낙농가의 경우는 4개소의 시료를 1ℓ 용량의 플라스틱통 4개에 시료를 채취하여 항온항습기에 시료를 저장보관하면서 실험재료의 주요성분을 분석하였다.

2. 분석방법 및 측정기기

본 연구의 주요 분석항목은 액상유우분뇨의 호기성처리에 큰 영향을 미치는 산도(pH), 고형물 농도(TS), 암모니아태 질소(NH₃-N), 질산태 질소(NO₃-N), 화학적 산소 요구량(COD) 및 유기물량(VS) 등으로 분석방법 및 측정기기는 다음과 같다.

가. 산도(pH): 그라스 pH 미터(東亞電波工業, HM-11P)를 사용하고 무회석 시료를 측정하였다.

나. 고형물농도(TS): 시료 약 20g을 105℃, 24시간 드라이오븐(Lab-Line IV) 방법으로 측정하였다.

다. 암모니아태 질소(NH₃-N): 시료를 균질기(Intrun, Laborat. App., X-1020)를 사용하여 균질화 조정시킨 후 1,000배로 희석하여 희석된 시료를 여과시킨 다음에 시료 25mℓ에 소정량의 분해시약(HACH 제품)을 가하여 수질·토양·

식품분석계(HACH, DR/2000)로 측정하였다.

라. 질산태질소(NO₃-N): 시료를 다. 와 같은 방법으로 균질화한 후 100배로 희석하여 여과시킨 뒤에 시료 30mℓ에 소정량의 시약(HACH 제품)을 가하여 다. 와 같은 분석계로 측정하였다.

마. 화학적산소 요구량(COD): 시료를 다. 와 같은 방법으로 균질화하여 100배 희석하여 희석시료 2mℓ에 소정량의 COD 분해시약(HACH 제품)을 가한 후에 COD 리액터(HACH 제품)를 사용하여 150℃로 2시간 가열하였다. 가열된 시료를 냉각한 다음에 다. 와 동일한 분석기기로 측정하였다.

바. 유기물량(VS): 시료를 바람에 건조 처리한 다음에 분쇄하여 5~6시간 건조 후 약 2g의 시료를 채취하였다. 이 시료를 600℃로 2시간 가열하여 각 량을 측정하였다.

위와 같은 분석방법과 기기를 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1. Analytical methods and instruments

Item	Method	Instruments
pH	Electronic method	pH meter(HM-11P)
TS	Gravimetric method	Dry Oven(Lab-LineⅣ)
NH ₃ -N	Spectrometric method	Double Beam Spectrophotometer (HACH-DR/2000)
NO ₃ -N	Spectrometric method	Double Beam Spectrophotometer (HACH-DR/2000)
COD	Spectrometric method	Double Beam Spectrophotometer (HACH-DR/2000)
VS	Gravimetric method	Electric Muffle Furnace (Lindberg, 51894)

결과 및 고찰

1. 고형물농도(Total Solids)

Table 2에 나타난 바와 같이 프리스틀 우사에서 깔짚재료, 사료잔재 등의 물질이 혼합되지 않은 순수한 액상유우분뇨를 고액분리 처리하지 않고 분석한 결과는 고형물 농도(TS)가 습량기준(이하 습량기준)으로 약 7.54%로서 일정한

값을 나타내고 대개 7.52~7.58%의 범위에 있었으나 스톨우사의 경우(Table 3)에서는 축사구조와 분뇨 배출방식이 다르고 또한 깔짚 재료의 종류와 사용량 등의 차이로서 고액분리 처리 후의 액상 성분의 고형물 농도가 상이하였으며 B 농가는 7.32~7.95% 범위로 A 농가와 비슷하고 C 농가는 4.43~6.87% 정도로서 큰 차이를 나타내고 있었다. 이와 같은 현상은 분뇨 처리방식과 고액분리 유무에 관계되는 것임을 알 수 있다.

Table 2. Chemical properties of dairy slurry without separation in farm A at the free stall barn

Run No.	TS(%wb)	pH	VS(%TS)	Unit(mg/ℓ)		
				NH ₃ -N	NO ₃ -N	COD
1	7.54	6.92	79.07	1,690	39.0	96,500
2	7.54	6.92	79.17	2,160	38.0	93,300
3	7.52	6.92	79.36	1,950	37.5	94,250
4	7.52	6.92	79.37	2,100	36.0	83,550
5	7.56	6.92	79.51	2,300	36.5	81,300
6	7.58	6.91	79.57	2,260	40.0	88,300
Average	7.54	6.92	79.34	2,077	37.8	89,533

Table 3. Chemical properties of the separated slurry from dairy manure by separator in farm B and C at the stall barn

Farm No.	TS(%wb)	pH	VS(%TS)	Unit(mg/ℓ)		
				NH ₃ -N	NO ₃ -N	COD
B-1	7.95	7.34	79.93	2,140	27.0	70,700
B-2	7.32	7.29	79.79	2,960	29.0	73,700
C-1	6.87	7.37	74.57	2,860	30.0	73,700
C-2	4.43	7.24	77.93	2,035	19.0	52,400
Average	6.64	7.31	78.06	2,499	26.0	67,625

액상가축분뇨 처리에 관계되는 기본적인 물리적 성질은 수분과 고형물 농도이다. 고형물 농도는 유기성 물질인 휘발성분과 불휘발성분으로 구성되어 있으며 호기성 처리에서는 유기질성분이 산화되어 지므로 악취저감에 효과가 있다³⁾. 고형물 농도는 액상가축분뇨 점성에 미치는 영향이 커서 액상분뇨의 성질이 지표가 되며 고형물 농도가 3% 이하이면 흡상 운반처리가 용이하나 비료로서의 가치가 낮고 저장용량이 크게 된다. 그러나 고형물 농도가 8~10% 정도가 되면 비료성분은 많으나 폭기처리, 탈취처리, 부숙처리 및 운반처리 등의 호기성처리 제 과정에 작업효율이 저하되어 곤란하다^{11,12)}.

한편 액상가축 분뇨는 축종, 사료, 사양형태, 사양조건, 기상 및 계절조건 등과 깔짚재료 등의 사용여부에 따라 이화학적 성질이 다르며 특히 물리적 성상은 스러리의 반출법, 조정법 및 사용법 등에도 영향을 받는다^{11,8,12)}. 특히 고형물

농도는 폭기처리에 액중에 산소이송 효율과 소요 에너지량에 미치는 영향이 크므로 적정범위를 유지하도록 조정할 필요가 있다고 발표된 바 있다³⁾.

이러한 결과로서 우사형식과 고액분리처리 유무가 고형물 농도에 영향을 주고 있다는 사실을 알 수 있었다.

한편, 松浦¹⁵⁾는 유우분뇨를 물로 희석하여 액화조정하여 고형물농도, 산도, 유기물농도, 암모니아태 질소, 화학적 산소 요구량 등을 비교 분석한 결과 고형물농도(%wb)가 1.94, 3.62, 5.03으로 변화될 때에 산도는 7.44, 7.20, 7.11으로 줄어 들고 유기물 농도(%TS)는 73.94, 77.43, 78.51로 늘어 났으며 암모니아태 질소(mg/ℓ)는 각각 500, 1,000, 1,160 등으로 변화되고 질산태 질소(mg/ℓ)는 각각 12.0, 16.5, 17.5 등으로 증가되는 현상을 보이며 화학적 산소 요구량(mg/ℓ)은 19,500, 46,800, 48,600 등으로 늘어나 고형

물 농도가 높을 수록 커진다고 발표하였다. 또한 축종별, 고형물 농도별 액상가축 분뇨의 암모니아태 질소, 질산태 질소, 화학적 산소 요구량 등은 계분과 돈분의 액상분뇨에서 고형물 농도가 각각 1.61, 1.58 일 때에 암모니아태 질소(mg/ℓ)가 1,098, 350, 질산태 질소가 9.0, 14.0, 화학적 산소 요구량(mg/ℓ)이 8,100, 17,600이라고 보고하였다.

이와 같은 연구결과와 본 연구의 분석결과로서 액상가축 분뇨의 콤포스트화 처리는 고형물 농도가 액상분뇨의 화학적 특성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이와 관련하여 액상분뇨의 호기성처리는 산소 이송효율과 관로 수송효율을 증대하기 위하여 고형물 농도를 저하하여 비점성유체 수준으로 유지해야 하며 이때의 고형물 농도는 3-4 % 수준이 바람직하다고 발표된 바 있다^{13,14)}.

한편 액상분뇨의 반송실험에서 액온 20℃ 조건 하에서 관경 100mm, 유량 10ℓ/s일 때에 액상유우 분뇨의 고형물 농도와 관로 운반시의 마찰손실을 보면 고형물 농도가 각각 7.3%, 3.6% 일 때에 100m 당 손실수두는 각각 4.3m, 2.0m가 된다. 그러나 고형물 농도가 3.8% 정도에서는 점도가 청수와 같게 되어 관로수송에는 별다른 영향을 미치지 않는다고 하였으며 점성을 낮추는 데는 고형물 제거와 물의 희석 등이 필요하다고 하였다¹⁵⁾. 이와 같은 여러 연구자들과 본 연구결과에서 고형물 농도의 적정수준 유지를 위해 액상가축 분뇨의 액화조정은 불가피하다고 판단된다.

2. 산도(pH)

Table 2 및 3에서 프리스틀우사는 산도가 일정한 값으로 6.92를 보이며 스톨우사는 7.30 정도로 나타난 바 이것은 유기물 분해로서 생성된 암모니아로 인하여 다소 상승된 것으로 판단된다.

松浦¹⁶⁾의 실험결과를 보면 축종별 산도는 대략 돼지가 6.5 정도, 닭과 소가 7.0 정도로서 거

의 본 연구 결과와 비슷한 값을 나타내고 있다. 따라서 가축스러리의 초기산도는 7.0 수준 정도라고 생각된다.

한편, 액상분뇨의 산도(수소이온농도)는 액상분뇨의 침전과 흡상파이프 배송시에 압력손실수두에 영향이 크고 산도가 클수록 손실수두가 증가하며 고형물 농도가 6%, 산도가 각각 5.0, 8.0인 액상계분을 관로로 운반할 때에 압력손실수두는 0.5m와 1.18m로서 산도가 클수록 미치는 영향이 크게 되므로 산도를 낮추어 반 액상분뇨의 침전을 늘리고 손실수두를 적게 하여야 된다고 보고¹⁷⁾된 바 있다. 그러므로 액상분뇨의 산도를 저감하기 위해서도 액화 조정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3. 유기물농도(Volatile Solids)

Table 2에서 프리스틀우사의 경우를 보면 고액분리를 하지 않는 경우는 유기물 농도가 평균 79.34(%TS)로서 대체적으로 일정한 값을 유지하는데 비해 액상유우 분뇨를 고액분리 처리한 경우는 Table 3과 같이 유기물 농도가 74.57~79.93(%TS)로 변동폭이 크다. 이것은 액상분뇨 배출방식과 깔짚재료 및 물 희석율 등에 관계되어지는 것으로 판단된다.

松浦¹⁶⁾의 연구에서 축종별, 고형물 농도 수준별로 유기물 농도를 비교분석한 결과 액상돈분이 81.95~83.13(%TS)로서 가장 높고 다음이 액상계분으로 80.67~81.67(%TS)이며 액상유우 분뇨가 73.94~78.51(%TS)로서 가장 낮게 나타나고 있다. 따라서 본 연구의 실험결과와 松浦¹⁶⁾의 실험결과를 종합해 보면 액상유우 분뇨의 유기물 농도는 고형물 농도가 클수록 약간 늘어나는 경향을 보임을 알 수 있다.

4. 암모니아태 질소(NH₃-N)와 질산태 질소(NO₃-N) 성분

Table 2, 3 및 松浦¹⁶⁾의 연구 결과에서 액상유우 분뇨 스러리의 고형물 농도 수준별 암모니아

태 질소와 초산태 질소 성분을 비교해 보면 고형물 농도(%wb)가 각각 7.54, 6.64, 5.03, 3.62, 1.94 순서로 감소될 때에 암모니아태 질소(mg/ℓ) 성분은 2,077, 2,499, 1,160, 1,000, 500 등으로 변화되고 초산태 질소(mg/ℓ) 성분은 각각 37.8, 26.0, 17.5, 16.5, 12.0 등으로 감소하는 경향을 나타내고 있어 암모니아태 및 질소 성분은 고형물 농도에 따라 변동된다는 사실을 알 수 있다.

5. 화학적 산소 요구량(COD)

COD는 액상분뇨의 오탁부하량을 나타내는 것으로 유기물질과 무기물질이 산화제에 의하여 산화되는 경우의 산소요구량을 말하며 오탁부하가 클수록 COD값이 크다.

Table 2와 3에서 COD 농도는 고액분리처리한 액상분뇨는 67,625(mg/ℓ)이고 고액분리를 하지 않은 액상분뇨는 89,533(mg/ℓ)로서 COD 농도에 상당한 차이를 나타내고 있었다. 松浦¹⁵⁾도 액상유우 분뇨의 고형물 농도(%wb)가 7.54, 6.64, 5.03, 3.62, 1.94 등의 수준에서 COD 농도(mg/ℓ)는 89,533, 67,625, 48,600, 46,800, 19,500 등으로 고형물 농도가 저하하면 축종에 관계없이 COD 농도 역시 감소하는 경향을 나타내고 있다고 보고한 바 있다.

적 요

액상 폐기물의 자원화 처리 방법의 하나로서 공해방지와 지력증강을 위하여 액상유우 분뇨의 호기성 처리기술을 실용화하는데 기초자료가 되는 액상유우 분뇨의 화학적 특성 분석 결과는 다음과 같다.

1) 고액 분리하지 않은 액상유우 분뇨의 고형물 농도(TS)는 7.54(%wb), 산도(pH)는 6.92, 유기물 농도(VS)는 79.34(%TS), 화학적 산소 요구량(COD)은 81,300~96,500(mg/ℓ), 암모니아태 질소(NH₃-N)는 1,690~2,300(mg/ℓ), 및 질산태 질소(NO₃-N)는 36.0~40.0(mg/ℓ) 이었다.

2) 고액분리된 액상유우 분뇨의 화학적 특성은 우사형식, 분뇨배출방식, 고액분리기 종류 등에 따라 상이하며 고형물 농도는 4.43~7.95(%wb), 산도(pH)는 7.31, 유기물 농도(VS)는 74.57~79.93(%TS), 화학적 산소 요구량(COD)은 52,400~73,700(mg/ℓ), 암모니아태 질소(NH₃-N)는 2,035~2,960(mg/ℓ), 질산태 질소(NO₃-N)는 19.0~30.0(mg/ℓ)의 범위를 나타내고 있었다.

감사의 글

본 연구는 1995년 NICEM 지원 일본 방문 연구시에 수행되었으며 협조해주신 北海道大學 松田從三 박사님께 감사를 표합니다.

인 용 문 헌

1. Baines, S., M. R. Evans, R. Hisset and R. Q. Hephherd. 1973 : Principles of treatment of animal slurries. The Agricultural Engineer 28:72-76.
2. Burton, C. H. 1992 : A review of the strategies in the aerobic treatment of pig slurry: purpose, theory and method. J. Agric. Enging. Res. 53:249-272.
3. Cumby, T. R. 1987 : A review of slurry aeration: 1. Factors affecting oxgen transfer. J. Agric. Enging. Res. 36:141-156.
4. Evans, M. R. et al. 1978 : Characteristics of slurry from fattening pigs and comparison with slurry from laying hens. Agriculture and Environment 4:291-311.
5. Evans, M. R., E. A. Deans, R. Hisset, M. P. W. Smith, I. F. Svobada and F. E. Thacker. 1983 : The effect of temperature and residence time on aerobic treatment of piggery slurry: degradation of carbonaceous compounds. Agricultural wastes 5:25-36.
6. Hart, S. A., J. A. Moore. and W. F. Hale. 1966 : Pumping manure slurries. ASAE Publ.

- No. 0366, Proc. Natn. Symp. Animal Waste Management. East Lansing, MI.
7. Midwest Plan Service. 1985. Livestock waste facilities handbook.
 8. Schofield, C. P. 1984 : A review of the handling characteristics of agricultural slurries. J. Agric. Enging. Res. 30:101-109.
 9. Sneath, R. W., C. H. Burton and A. G. Williams. 1990 : The performance of a farm scale aerobic treatment plant for reducing the odour from piggery slurry. Proc. of the Sixth Intn. Symp. on Agri. & Processing Wastes, Chicago, p. 460-469.
 10. Sobel, A. T. et al. 1966 : Physical properties of animal manures associated with handling. ASAE publ. Proc. Nat'l Symp., East Lansing, MI.
 11. Staley, L. M., M. R. Bulley and T. A. Windt. 1971 : Pumping characteristics, biological and chemical properties of dairy waste slurries. Livestock waste management; Proc. Int. Symp. Livestock Wastes, Ohio, p. 142-145.
 12. Taiganides, E. P. and T. E. Hazen. 1966 : Properties of farm animal excreta. Trans. of the ASAE 9(3):374-376.
 13. Williams, A. G., M. Shaw, C. M. Selviah and R. J. Cumby. 1989 : The oxygen requirements for deodorizing and stabilizing pig slurry by aerobic treatment. J. Agric. Enging. Res. 43:291-311.
 14. 松田從三. 1994 : 畜産環境整備技術調査報告書. 北海道 開發局.
 15. 松浦基浩. 1993 : 家畜液狀糞尿の好氣性處理. 北海道大學 學位論文(未發表).