

프리스틀 牛舍에서 乳牛糞尿 堆肥化 處理

洪 志 亨
(順天大學校 農機械工學科 教授)

1. 序 論

최근 우리나라는 UR 농축산물 협상으로 축산물 수입 자유화에 따른 낙농업의 국제 경쟁력 강화와 GR에 능동적인 대처를 하기 위하여 사료생산과 유우 사양관리 작업의 생력화와 합리화를 적극적으로 추진하고 있다. 따라서, 유우 사양관리 작업의 효율개선, 노동생산성의 향상, 비용절감 및 환경오염의 감소 등에 효과가 크고 작업자와 유우의 쾌적한 관리 환경 유지와 밀킹파러 시스템(milking parlor system)등이 도입 가능한 프리스틀 우사에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다.

1992년 현재 낙농가 1호당 유우사육 두수는 18두로써 10년전 보다 2배정도 증가했으며, 앞으로 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 이와 같이 낙농업의 대규모 전업화 경향으로 지속적인 발전과 축산공해를 억제하는 데는 사양관리의 고능률화와 환경오염 감소를 위한 유우분뇨처리이용 시스템의 확립이 가장 시급한 당면과제이다.

일반적으로 낙농사는 분뇨처리 구조에 따라 깔짚사용우사, 분뇨분리우사 및 분뇨혼합우사 등으로 대별되며 분뇨의 처리방식은 우사에서 배출되는 고형상의 분과 깔짚, 半液狀의 분뇨 혼합물, 액상의 뇨오수 등의 분뇨 성상에 따라 고형퇴비화, 건조발효처리, 액상컴포스트화, 정화처리, 메탄발효, 증발농축 등으로 다양하다.^{2,3,4)} 그러나, 기존의 프리스틀 우사의

분뇨처리시설을 조사 연구한 결과에 의하면 분뇨처리방식은 깔짚사용우사와 분뇨 및 세정수 혼합우사로서 고형퇴비화와 액상컴포스트화 처리가 거의 대부분을 차지하고 있었다.¹⁸⁾

따라서, 본 연구에서는 노동력 부족과 유우 사양 두수의 증가로 인한 사양관리 작업의 생력화와 낙농산업의 공해를 억제하기 위한 프리스틀 우사에 있어서 유우분뇨 퇴비화 시스템에 중심이 되는 고형퇴비화 및 액상컴포스트처리 기술에 관한 기본적인 내용을 고찰하고자 한다.

2. 乳牛糞尿 性狀과 處理方法

유우분뇨 처리이용은 우사에서 배출되는 분뇨 성상에 따라 아래와 같은 고형상, 半液狀 및 액상 등으로 대별되며 처리방법은 그림. 1과 같이 퇴비화처리, 건조처리, 액상컴포스트처리, 정화처리, 메탄발효 및 증발농축 처리 등이 있다.

프리스틀 우사에서 분뇨처리 시스템은 부료 사용형과 분뇨 혼합형의 구조가 있는데 전자는 다량의 부료를 사용하여 분은 물론, 뇨오수 또한 깔짚으로 수분을 흡착하여 고형퇴비화 하는 것으로 깔짚 구입과 가격이 문제가 되어 최근에는 신문고지, 골판지 등을 이용하는 퇴비화처리¹⁹⁾기술이 개발 단계에 있고, 후자는 축사내에서 예비건조하여 분뇨를 분리하거나, 배출분뇨 혼합액을 축사밖에서 고액분

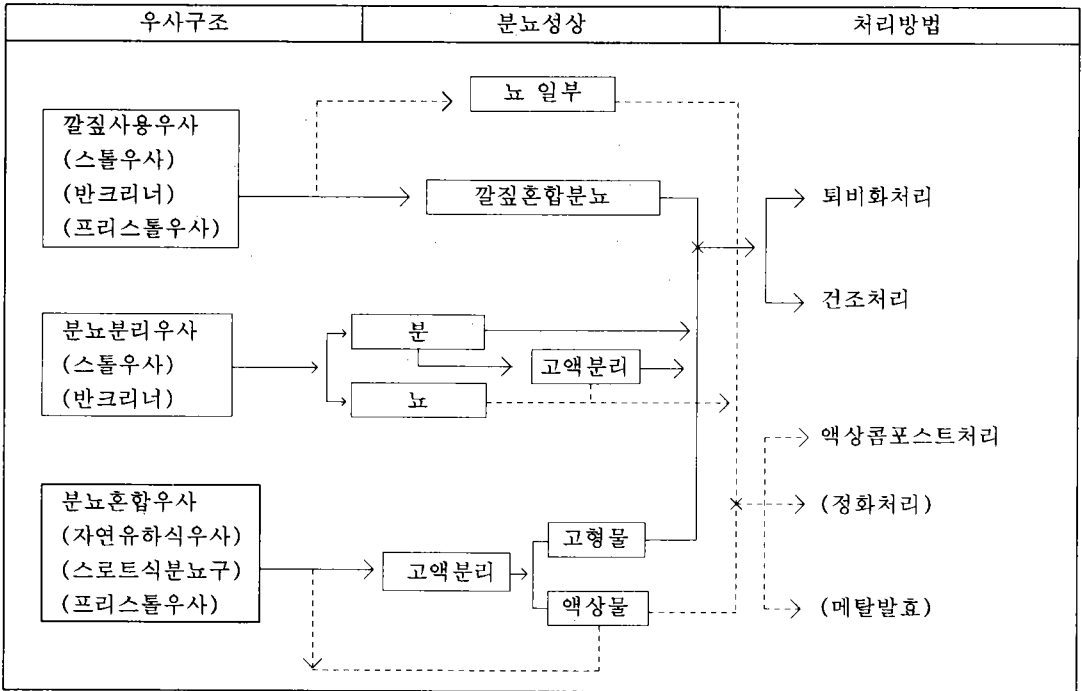


그림. 1. 낙농업에 있어서 분뇨성상 및 처리방법

리기로 고형물과 분리액으로 분리하여 고형 퇴비화와 액상컴포스트화 처리하는 방법이다. 그러나, 대부분 후자의 경우가 많아서 우사통로의 분뇨 피트(pit) 상부에 直下型 환기팬¹⁰⁾에 의한 축사내 예비건조 장치가 필요한 실정이다.

가. 固形狀 糞尿

분의 고형물이 20%이상인 상태로 축사에서 일련차와 반크리너 등으로 퇴비사에 배출사에 배출하여 퇴비화 또는 건조처리하게 된다. 고형퇴비(solid compost)화 처리는 분(고형물)의 수분 저하와 악취성분인 이분해성 물질의 분해로서 취급이 쉽고, 분의 물성개량제인 벚짚 등과 혼합하여 퇴적발효의 온도가 60°C로서 병충해 사멸과 작물생육 저해물질 등을 분해하여 안정화하는 데에 있다. 한편, 건조 처리는 고형물 가운데에 수분을 태양 등의 열에너지로 공기중에 증

발시켜서 제거하므로 성분적으로는 생분과 같은 잇점이 있으나, 하우스 건조는 계절별로 건조능력의 차이가 있어 넓은 면적이 필요하다.

나. 半液狀 糞尿

고형물이 15-20%인 분뇨를 반스크레파 또는 피스턴 펌프등으로 우상 또는 저류 피트에 반출된 뒤에 고액분리기로써 분리된 고형물은 퇴비화 처리하고 액상물인 분리액은 폭기조(발효조)에서 폭기처리하여 액상컴포스트(liquid compost)가 된다. 폭기처리는 퇴비화 처리의 통기처리와 같은 원리로서 분리액에 호기성 미생물 활동에 필요한 산소를 공급하여 유기물 분해 발효열에 의해 부숙화를 촉진하는 것이다. 액상 컴포스트화 처리는 고형 퇴비화 처리보다 안정화기간이 비교적 길어 폭기작업의 운전동력비가 많아서 비용 절감을 위해 악취를 휘산시

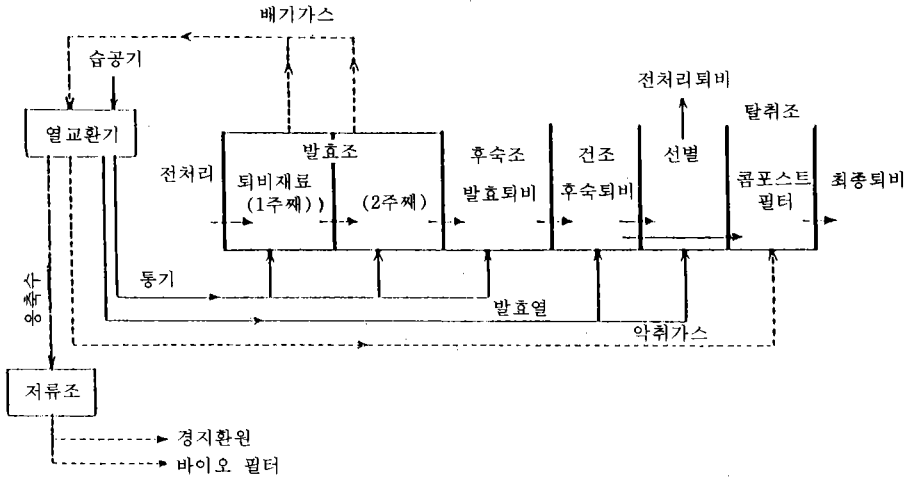


그림. 2. 통기퇴적형 고휘 퇴비화 처리 시스템

키는 정도의 폭기시간을 유지하는 예가 많다.

다. 液狀糞尿

뇨를 주체로한 질소 등을 함유한 속효성 액비의 성질에 가까운 것으로 고휘몰이 4-15%정도의 성상이다. 원심펌프에 의해 지하 저류피트에서 스러리탱크에 반송되어 액상 콤포스트화처리되나, 환원포장이 부족하면 정화처리 또는 증발농축처리 된다.

3. 固形 堆肥化 處理

고형 퇴비화 처리는 유우분에 포함된 유기물과 초기 물성 개량제인 볏짚 등의 부자재를 혼합한 퇴비 원료를 호기성 미생물이 분해하는 과정이다. 이때에 발생하는 발효열이 퇴비재료를 부숙화하고 또한, 재료내의 병충해를 사멸시킨다. 한편, 분해과정에서 수증기, 탄산가스 및 암모니아가스등이 발효열과 함께 열교환기에 공급되어 발효열은 회수하여 퇴비재료의 건조 열원으로 이용되고, 악취성분은 탈취조에서 제거된다. 이러한 호기성 미생물의 퇴비화 처리는 분해작용에는 영양원, 온도, 수분, 공기 등이 적정수준을 유지해야 된다.

가. 固形 堆肥化의 基本

일반적으로 유기물의 퇴비화처리는 고휘퇴비화 및 액상콤포스트화가 있으나 후자가 전자보다 시설, 운영 경비가 많이 든다. 고휘 퇴비화 시설은 개방형과 밀폐형으로 대별되고 있으나 비용절감과 취급성의 면에서 전자의 통기퇴적형 처리방식이 주류를 이루고 있다. 또한 이 방식에는 발효온도와 통기량을 피드백 제어하는 통기량 조절 형태가 많이 쓰이고 있다.

통기퇴적형 고휘퇴비화(aerated static pile composting) 시스템의 주요 공정은 그림. 2와 같으며, 전처리, 주발효, 후숙, 건조선별, 탈취, 저장유통 등의 순서로 진행된다.

우사에서 배출된 유우분은 고수분으로 공기의 공급이 곤란하므로 수분저하와 탄소성분을 약간 증가하여 미생물의 분해활동을 촉진하는데는 볏짚 등의 副資材의 혼합으로 초기 물성의 개량이 불가결하다. 전처리 공정의 초기물성의 최적 범위^{4,5)}는 수분이 55-65%, 탄소율이 30-40, 입경이 5cm 이내이고 pH치가 7내외 정도를 유지하는게 바람직하다.

초기물성을 조절한 퇴비재료를 발효조에 투입되도록하여 발효조 저부에서 공기를 공급하는

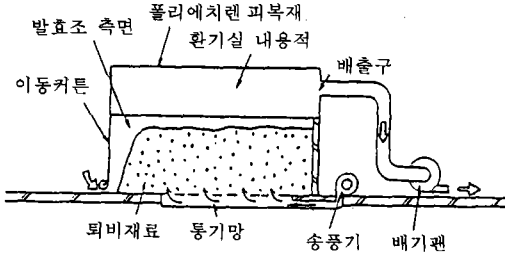


그림. 3. 통기퇴적형 발효조의 구조

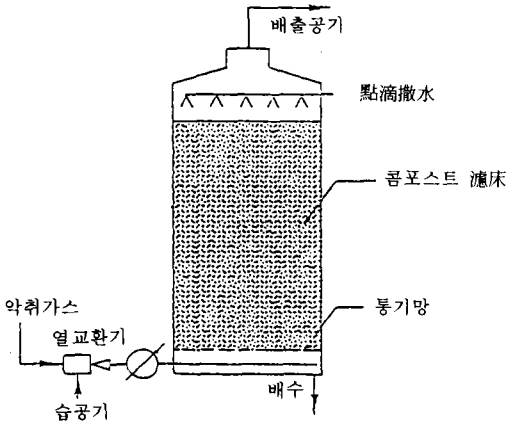


그림. 4. 밀폐형 탈취조의 구조⁹⁾

통기과정을 주발효 단계라 부르며 이 과정은 易分解性 유기물의 분해과정으로 통기량은 퇴비재료 1m³당 0.05-0.2m³ 범위에서 퇴적발효 온도가 60℃를 넘지 않도록 통기량을 간헐적으로 조작하여 상온이 되면 퇴비재료를 혼합 교반하여 재차 반복작업하여 재료의 균일한 숙성도를 유지시킨다.

보통 15일 간의 주발효 단계를 거친 후에 難分解性 유기물과 퇴비재료의 안정화를 위하여 30일간의 후숙단계가 필요하다. 이때에 후숙퇴비 수분은 40%정도가 되도록 발효열을 이용하여 건조 시켜 취급조작이 쉽게 해야 된다. 퇴비 발효열에 의한 건조처리가 끝난 뒤에 퇴비재료내의 부자재를 체 선별하여 전처리 공정에 다시 투입하여 물성을 개량하고 나머지 퇴비는 탈취조에 투입하여 열교환기로부터 배출된 악취가스를 제거 한다. 이 때의 탈

취조의 최적고는 1.5m정도이며 열교환기로부터 공급되는 배가스량은 탈취재료 면적 1m² 당 0.3-1.6m³/min 정도가 바람직하다.⁷⁾

탈취조로부터 배출된 퇴비는 유통단계 전까지 약 45일간 저장시켜 충분히 숙성화 한다.

나. 固形 堆肥化 裝置

유우분의 고형퇴비화 처리는 우사에서 퇴비사까지 반송, 퇴비사에서 초기물성 개량, 주발효와 후숙단계의 퇴비화 관리, 건조와 선별 그리고 탈취장치등의 제품관리, 저장과 유통 단계 등으로 구성된다.

초기 물성개량은 우분과 부자재를 혼합하여 수분과 탄소율을 조정하는데 배합비를 산정하여 트랙터의 프론트 로더 또는 전용혼합기 등으로 처리하며, 퇴비화 관리는 그림. 3과 같은 통기퇴적형의 定置式 발효조가 가장 생력적이며 발효열 회수도 용이하며 구조가 간단하여 운영비용도 저렴하다. 이때의 송풍기는 일정량의 공기를 퇴비재료에 통과시키기 위하여 공기를 가압하는 것으로서 송풍기의 소요압력은 재료의 통기저항(압력손실)을 靜壓(mm 水柱)로 나타내며, 원심송풍기를 사용한다. 여기서, 송풍기의 소요軸馬力은

$$\text{소요축마력 (ps)} = \{ \text{정압 (mm水柱)} \times \text{송풍량 (m}^3/\text{sec)} \} 75 \times 0.4 \text{이며}$$

여기서, 송풍기 靜壓효율은 0.4이다.

배기팬은 발효조로부터 배출되는 배기가스를 열교환기에 공급하는 것으로 환기량은 다음과 같다.

$$\text{환기량 (m}^3/\text{min)} = \text{환기실 내용적 (m}^3) \times \text{환기 횟수 (10회/시간)} \times 60 \text{분}$$

열교환기에 유입된 배기가스에서 발효열을 탈취조에서 바이오 필터(콤포스트 재료) 등으로 흡착, 제거된다(그림. 4) 배기가스 내부의 발효열 회수장치는 공냉식 열교환기로서 경질 염화 비닐관의 외주원통에 일반배관용 스테인

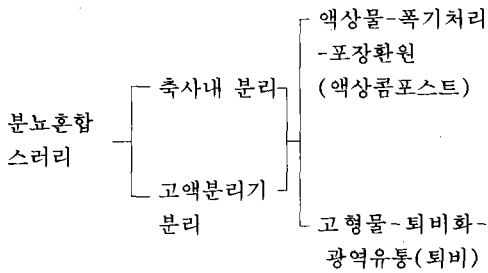


그림. 5. 고액분리에 의한 유우분뇨 퇴비화 처리법

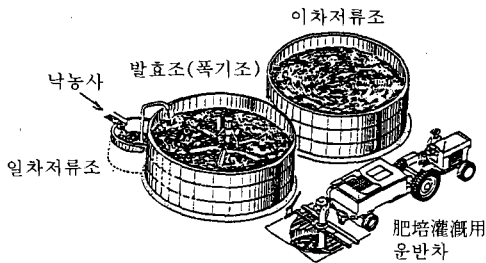


그림. 6. 지상식 액상 컴포스트화 시설의 구조

레스 강관을 두고 강관 내부의 아래에서 위로 공기가 흐르게하고 강관과 외주원통 사이를 위에서 아래로 배기가스를 유동시켜 열교환이 되게한다. 배기가스 내에는 부식성이 높은 성분이 다량 함유되어 있으므로 내식성이 강한 환기팬과 배관 재료를 사용해야 되며, 고온의 배기가스가 냉각하지 못하게 단열배관 시키고 또한, 응축수를 제거하기 위한 드레인 장치도 필요하다.¹⁾

4. 液狀 컴포스트화 處理

분뇨를 장기간 저류조에 넣어두고서 필요에 따라 액상비료로 토양환원하는 재료식 혐기성 발효처리이용법은 악취발생과 병충해등이 포함되어 작물장해가 나타나 처리이용이 곤란하다. 따라서, 고형퇴비화 처리와 같이 액상분뇨의 발효조에 산소를 충분히 공급하고 교반시켜두면 호기성 미생물이 유기물을 분해하여 부숙화를 촉진 한다.

가. 液狀 컴포스트화의 基本

분뇨혼합 상태의 유우 분뇨를 고액분리하여 퇴비화 하는 방식은 그림. 5와 같다. 축사 내부와 고액분리기에서 분리된 액상물에는 분의 고형물이 충분히 포함되어 미생물의 증식에 소요되는 유기물의 영양원이 충분하다. 미생물의 활동에는 산소가 필요하나 액상분뇨 중에는 극히 적으므로 액체중에 용존이 어렵다. 따라서, 공기를 액중에 강제적으로 주입하는 폭기처리를 해야된다.

일반적으로 폭기량이 부족하면 혐기성 부분이 많이 되어 부숙경과가 지연되어지며, 이와 반대로 과도한 폭기량은 발포량이 많게되어 폭기조 외부에서 냉각되어진 통풍에 의해 발효온도가 저하하는 문제가 있으므로 액상분뇨 1톤당 0.02-0.08m³/min.의 폭기량이 적당하며 폭기 시간은 액상 컴포스트가 완전히 부숙하는데 72-150시간이 소요된다. 이러한 상태 조건 하에서 수소이온농도가 9까지 상승하면 폭기에 의해서 분뇨의 냄새가 없고 액온이 60℃ 정도로 상승되어 병원균 등이 사멸되므로 작물장해가 없다.^{13,14)}

액상 컴포스트화 처리 시스템은 그림. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 일차 저류조(reception pit), 폭기조(발효조), 이차 저류조 등으로 구성되어 있으며 일차 저류조는 분뇨의 유량과 액온을 조절하며 이차저류조는 살포시기와 살포량에 따라서 저류량을 결정하며 폭기조는 회분식과 반연속식등의 처리방식에 따라 용량을 결정한다. 폭기조는 발효조라고도 부르는데 콘크리트製 地下式 보다는 鐵製 地上式의 발효조가 많이 보급되고 있는데 이유는 건설비가 저렴하고 시공기간이 짧기 때문이다.

호기성 발효는 발효조의 액온 상승을 위해 고온도의 유지가 요구되어 지하 밀폐식 단열 구조로서 10일정도의 저류량의 크기로 대용량이 적당하다. 그러나, 발효조의 용량을 작게하고 충분한 단열을 하면 폭기동력이 적게 하면

서 발효를 촉진할 수 있다.

발효조의 형상은 원형으로 하여 액의 혼합 교반이 좋고 침전물의 응결이 생기지 않게 해야 된다. 또한, 발효조의 깊이는 공기의 액중에 용해와 체류시간 등을 고려하여 폭기장치의 소요동력을 작게하는 범위에서 결정한다.

나. 液狀 콤포스트화 裝置

발효조의 폭기장치(aerator)는 액상분뇨를 폭기와 교반하여 氣液接觸 효율을 향상하는데 있으며 이 장치는 표면폭기와 수중폭기로 대별된다. 표면폭기 장치는 발효조에 투입된 분뇨의 표면에 또는 반절정도 침상상태에서 사용되는 것으로 액량의 변화에 따라 폭기량이 변화되므로 새로이 투입된 액상분뇨를 집중적으로 처리할 때에 유리하며 수중폭기 장치는 기액접촉 시간이 길고, 산소의 용존 효율이 높아서 모터를 수중에 설치하면 모터의 배기열 이용이 가능하다. 또한, 수중폭기장치는 표면에 스크(scum)의 발생이 없고, 방열이 작으며 소음이 없다.¹⁴⁾

이러한 폭기 장치의 목적은 수중에 공기를 보내어 溶存 酸素量을 높여 호기성 미생물의 증식과 산화물 형성 등을 촉진시키는 수단이다. 따라서, 淨水중의 산소의 용해는 쉬워도, 농도가 높은 착즙액에서는 용해가 곤란하므로 강제적 통기를 하게 되는데 발포량이 많게 된다. 기포량은 분뇨의 성상, 액온, 부숙화 정도, '폭기량 등에 따라 다르며 기포발생은 산소공급의 부족과 과잉, 미생물의 부족, 過酸化, 표면의 활성물질 등에 영향을 받는다. 이와 같은 이유로 기포가 異常發生하여 발효조에서 넘치고 또한 방치하면 건조하여 스크이 되므로 발포억제는 소포장치에 의한 기계적 발포 억제제를 하거나, 오일류등을 이용하여 발포를 억제 해야된다.

액상 콤포스트화 처리의 운전방법은 발효가 끝난 스러리를 완전히 이차 저류조에 배출하고 새로운 액상분뇨를 발효조에 투입처리하는

회분처리법과 발효된 스러리의 일부를 배출하고, 이와 같은 량의 액상분뇨를 발효조에 투입하여 폭기조작을 반복하는 반복회분 처리법이 있다. 전자는 매회마다 새로운 재료 상태에서 출발되므로 부숙이 늦고 시간이 걸리나, 후자는 활성이 높은 호기성 미생물이 발효조 내부에 잔존하여 고온도에서 출발되므로 단기간에 부숙이 가능하다. 또한, 반복회분 처리의 경우는 일차저류조와 발효조를 작게 할 수는 있으나, 배출과 투입조작이 번거로운 문제가 있으며, 발효에 소요되는 기간은 분뇨성상, 폭기량, 액온등에 따라 다소 차이가 있으나 회분처리법은 10-15일, 반복회분 처리법은 5-10일 정도가 걸린다.¹⁷⁾

5. 結 論

우리나라 낙농업은 노동력 부족과 다두사양에 의한 전업화 및 규모확대로서 생산성 향상과 환경오염 문제가 심각한 경향에 있다. 따라서, 낙농사로부터 배출되는 분뇨성상에 따른 분뇨처리와 이용 시스템의 개발로 낙농경영의 안정화가 필요 불가결한 실정이다.

유우분뇨는 방치 또는 투기하면 악취, 수질오탁, 해충발생 등의 환경오염원이되나, 퇴비화 처리를 하면 공해방지는 물론, 경작지의 지력증강에 귀중한 자원을 얻을 수 있다.

프리스틀 우사는 스톨우사보다 사육두수 증가가 쉽고, 사양관리 작업의 생력화 및 생산성이 향상되므로 분뇨처리 시스템의 작업 효율이 개선이 가능하다.

프리스틀 우사에서 배출되는 분뇨는 대부분이 고형 퇴비화와 뇨오수의 액상콤포스트화로 처리되므로 낙농시설의 공해방지와 처리비용의 압박을 제거하고 또한, 시설원에 산업의 연작장해로 인한 품질과 수량 피해와 농약, 비료 등의 다량사용에 의한 수익성 저하를 방지하는 차원에서 지역 복합형 농업 중심의 공동이용 퇴비화 시설의 처리, 이용 시스템의

확립이 당면과제이다.

參 考 文 獻

1. 洪志亨(1993), 乳牛糞 堆肥化 醱酵熱의 回收, 韓國有機性廢棄物資源化協議會學會誌, 第1卷 第2號 pp. 221-225.
2. 孫植翼(1993), 畜產廢棄物 處理 및 資源化, 韓國生物生産施設環境學會誌 第2卷 第2號, pp. 150-160.
3. 洪志亨(1990), 農村 廢棄物處理 現狀과 再資源化 課題, 韓國農工學會誌 第32卷 第2號. pp. 10-23.
4. 洪志亨(1990), 畜產廢棄物 處理와 利用, 韓國廢棄物學會誌 第7卷 第2號, pp. 147-153.
5. 洪志亨(1988), 好氣性 堆肥化에 의한 農畜產 및 其他 廢棄物의 綠農地 利用, 韓國農業機械學會誌 第13卷 第3號, pp. 81-90.
6. Hong, J. H. (1993), Some Technical Aspects of Composting Proceedings of the International Conference for Agr. Machinery & Process Engineering, KSAM, pp. 526-535.
7. Hong, J. H. et al(1983), High Rapid Composting of Dairy Manure with Crop & Forest Residues, Transactions of the ASAE., Vol. 26 No. 2. pp. 533-541 & 545.
8. Merkel, J. A. (1981), Managing Livestock Wstes, AVI Publishing Co. Inc. Westport Connecticut, pp. 306-324.
9. William, T. O. & Miller F. C. (1993), Composting Facility odor Control using Biofilters, Science & Engineering of Composting, Renaissance Publications, NY, pp. 262-281.
10. 道宗直昭(1994), 家畜飼養管理作業の新技术と展望-糞尿處理作業と環境-日本農業機械學會誌 第56卷 第2號, pp. 181-184.
11. 福森 功(1993), 糞尿處理システム, 農業機械の技術革新た關する調査研究事業, 日本農業機械工業會, pp. 244-255.
12. 福森 功(1991), 糞尿處理を考慮した畜舍構造の現狀と問題点, 平成3年度家畜糞尿處理利用研究會資料, 東京, pp. 19-24.
13. 桶元淳一 他(1987), 液肥家畜糞尿の好氣性醱酵による堆肥化, 北海道大學農學部邦文紀要 第15卷 第3號, pp. 257-265.
14. 中央畜産會(1989), 家畜尿汚水の處理利用技術と事例, 丸井工文社, 東京, pp. 24-48.
15. 中央畜産會(1987), 堆肥化施設設計マニュアル, 丸井工文社, 東京, pp. 1-62.
16. 加茂幹男(1993), フリー-ストール 牛舎における糞尿處理作業技術の問題点と新技术, 平成5年度家畜糞處理利用研究會資料, 東京, pp. 51-61.
17. 松田從三 他(1991), マニユア コットロール, テリイマン社, 禮槻, pp. 146-174.
18. 西村 洋(1990), 家畜糞尿の堆肥化施設と運用の實際, 畜産の研究 第44卷 第1號, 東京, pp. 175-182.
19. 杉山 惠 他(1992), 新聞故紙, タソホルを利用した牛糞尿の處理, 畜産の研究 第46卷 第8號, 東京, pp. 875-880.
20. 上野克美(1990), 牛の糞尿處理方式の選定, 畜産の研究 第44卷 第1號, 東京, pp. 141-149.