

축분 퇴비화 시설 내구성에 관한 조사연구

홍 지 형

순천대학교 산업기계공학과

A Study on the Durability of Manure Composting Facilities

Jihyung Hong

Dept. of Industrial Machinery Engineering, Suncheon National University

Summary

Manure compost is a main product from animal wastes in Korea. Solid manure is usually treated by aerobic composting at manure composting facilities for land reinforcement. Agricultural use of manure compost as organic fertilizer resources, mainly manure compost, is now recommended in Korea. This study investigated the evaluation of durability about the manure composting machinery and structures which was controlled by aeration and periodic agitating. The questionnaire addressed three main topics as follows: operating practices, machinery and maintenance of the manure composting facilities are being operated. A total of the 22 manure composting facilities in an agricultural cooperative were surveyed. The results obtained in this survey were summarized as follow: The major causes of manure composting apparatus trouble were corrosion and wear, overloading and foreign matter etc. The highly trouble frequency of the agitator, packer and conveyor were chain, agitating blade and shaft, motor and screw vane, respectively. These analytical results can be used as basic information to establish the maintenance control methods and durability standard of manure composting facility.

(Key words : Manure composting facility, Durability, Corrosion and wear, Trouble)

서 론

우리나라 자연 순환농업은 생물계폐기물인 바이오매스(축산, 식품, 수산업, 임산 및 하수오니 등) 및 많이 사용되지 않는 바이오매스(임산, 농산 등) 등의 유기성 폐기물 퇴비화 및 액비화로서 경지의 지력을 증강, 화학비료 사용 감소, 작물수확량 증대, 지구온난화 가스발생 억제 등으로 21세기 자원 순환형 사회를 터전을 마련하는데 있다. 동시에 농산어촌에 존재하는 바이오매스자원의 자연

순환 기능을 유지, 증진하고, 도농교류촉진을 하여, 경쟁력 있는 새로운 전략적 지역생물 자원 순환 산업을 육성하는데 있다.

가축배설물처리 방법은 경영 체의 사양두수, 소유면적, 입지장소 등의 환경조건 및 처리시설 등에 따라, 개인처리와 공동(집합)처리로서 구분되며 퇴비화 방식은 소규모 개인농가의 퇴적 통기형 및 대규모 공동 처리의 교반 통기형 등으로 분류된다. 농협 축분(畜糞) 퇴비 공동 생산시스템에 퇴적 통기형 퇴비화 및 교반 통기형 퇴비화 방식 등이 사용

Corresponding author : Jihyung Hong, Dept. of Industrial Machinery Engineering, Suncheon National University, 540-742, Korea. Tel: 061-750-3263, E-mail: davis46@sunchon.ac.kr

2009년 10월 6일 투고, 2010년 2월 17일 심사완료, 2010년 2월 23일 게재확정

되고 있다. 전자는 교반장치 없이 통기 퇴적 퇴비화 처리하는 방식이며, 후자는 자동화된 기계장치로서 재료혼합과 이동이 되면서 교반되는 것이다. 퇴비원료를 호기 상태 하에서 유기물을 분해하고 부숙 시키는 퇴비화장치로서 발효조와 교반장치(퇴적 통기형은 없음) 및 통기장치와 탈취시설(있는 경우도 있고 없는 경우도 있다) 등으로 구성되었다. 퇴비화시설에서 보수·관리를 필요로 하는 장치는 재료 혼합·반송장치, 교반장치 및 통기장치 등이다(홍지형, 2009).

축분 퇴비화시설·기계는 고습도와 부식성이 강한 악취에서 가동 됨으로, 정비와 점검을 하지 않으면, 고장이 발생되어 장기간 운전 불능상태가 발생되며, 기계내구성이 단축된다(Kuroda, K. 등, 1996: 日本機械學會, 1987). 따라서 퇴비화 시설·기계의 보수·관리에 주의하여 내용(耐用)연수를 연장하고, 고장이 작게 하여 처리작업이 순조롭게 관리하는 것이 중요하다(日本中央畜産會, 1987).

퇴비화시설·기계 고장의 주원인은 기계장치의 부식과 마모, 이물질 혼입 및 고 수분 재료와 투입량 과다 등의 처리능력 이상의 과부하 등이고, 그 외 원인으로는 전기제어부의 고장으로 기계장치 제어가 불가능한 상태이다. 그러므로 일상점검과 보수관리가 필요하다(홍지형, 2006: 日本畜産環境情報, 2005: Miner, J. R. 등, 2000).

교반 통기(로터리식과 엘리베이터식)형 퇴비화처리하는 발효조에서 1차 처리 기간이 20~28일 정도이며, 2차 처리는 퇴비사에서 20~28일 정도 처리한 후에 포장하여 유통된다. 발효조 크기는 나비 2~6m, 깊이 0.3~2m, 길이 20~60m로서 위부분이 개방되어 있으며 발효조 형상은 직선형, 원형 및 회행형 등이 있다. 교반장치는 엘리베이터 벨트식, 로터리식, 자주식, 크레인식 및 스크류유거식 등이 있다. 퇴비원료는 퇴적물을 주행하는 교반장치로 1~2회/일 정도의 교반과 혼합, 반전 되

면서 이송되어 발효조를 통과하게 된다. 많이 사용되는 엘리베이터식 교반기의 특징은 퇴적이고 1m 이상의 발효조에 사용되며 로터리식에 비하여 구조가 복잡하므로 보수 관리에 각별한 주의가 요청되며, 교반식(개방형) 퇴비화처리에서 탈취시설의 설치, 퇴비원료 용적중량은 700 kg/m³ 이하, 이물질 제거, 통기상(通氣床)의 점검 및 교반기 부식 방지 등은 적기에 보수 관리가 필요하다(홍지형 등, 1999: 日本農山漁村文化協會, 1995).

본 과제의 연구배경은 우리나라 농협의 교반 통기형 및 퇴적 통기형 축분 퇴비화 시설을 중심으로 도입과 이용실태를 조사 분석하고, 현재 가동되고 있는 퇴비화 시설·기계의 고장원인과 빈도 및 퇴비화 암모니아가스로 인한 기계 부식과 마모 등의 내구성을 재질과 구조 및 보수 관리 면에서 평가하여 축분 퇴비화 시설 운영관리 문제점의 파악 및 개선 방안을 수립하는데 있다.

본 연구 목적은 자연 순환농업 사회구축을 위해서 가축배설물을 대상으로 도입된 농협의 축분 퇴비화 시설을 중심으로 도입실태와 시설·기계의 고장빈도, 퇴비화 배기에 의한 부식과 기계 마모 등의 내구성에 관한 실태 및 사용자의 의견을 조사하여 공동 축분 퇴비화 시설의 내구성 증진과 퇴비화처리시설의 환경의 개선에 있다.

연구내용 및 방법

1. 조사내용

가. 축분 집합(공동퇴비센터) 퇴비화처리 시설 도입사례 조사

퇴비센터 설립배경과 문제점, 퇴비생산 실태와 운영 및 유통실태 등 이었다.

나. 축분 퇴비화시설 내구성에 관한 조사

도입 시설과 종류, 시설 도입목적과 선정 이유 및 보유기계 등 이었으며, 퇴비화 시설 도입 년차, 퇴비화 원료종류와 처리량, 제품 형태와 판매가격 및 판매처, 악취문제, 시설 운전관리, 건물부재, 교반기, 포장기, 운반차량 및 반송기 등의 내구성, 기계·시설 종류(로터리식, 엘리베이터식, 통기 퇴적식 및 밀폐 중형식)별 내구성 등 이었다.

2. 조사방법

전라남도, 경상남도 및 전라북도 지역 내에 농협 축분 퇴비화시설 22개소 등 이었으며, 조사기간은 2009년 4월부터 10월 사이이며, 조사방법은 현장 방문하여 설문조사하였다.

결과 및 고찰

1. 퇴비화시설 개요 및 도입상황

가. 축분 퇴비화시설의 관리실태, 처리량 및 퇴비제품 형태

로터리식 11개소, 엘리베이터식 7개소, 통기퇴적식 및 밀폐중형식이 각각 2개소였으며, 축분 퇴비화 원료는 돈분, 육우분과 유우분, 계분 등의 순이었으며, 축분은 2종 혼합 또는 3종 혼합 되었고, 수분조정용 부자재는 톱밥, 수피, 버섯배지, 팽연왕겨, 코코넛 피트 등이 사용되고 있었다(도표생략).

10년 이상 운영되고 있는 퇴비화시설은 13개소이며 퇴비화 원료 종류와 시설종별에 따라서 차이는 없으나, 보수관리가 적절하여 장기적인 시설로서 유지 가능성을 나타내 보였으며, 설치 년도가 1~2년 이내에 최근에 설치된 축분 퇴비화 시설은 양질퇴비 생산시설 및 퇴비바이오필터 또는 스크러버 탈취 및 액비시설 등이 구비되어 있었다.

연간퇴비화 처리량은 5,000톤/년 이상이 11개소 이었고, 처리량과 도입시설을 보면, 로터리식 및 엘리베이터식 교반 발효조가 처리량 1,000~5,000톤/년 규모의 대규모퇴비화시설에 많이 사용되었다(도표생략).

퇴비화 제품형태는 포대(17개소), 벌크(bulk) 및 양자혼합형(5개소) 등이며, 판매처는 농협유통(18개소), 직접 거래와 농협유통(4개소) 등의 형식을 취하고 있었다. 판매가격은 포대 20kg당 2,400~3,800원 사이로서, 평균 2,900원이고, 벌크 1m³당 평균 135,000원이었다(도표생략).

퇴비화 악취물질의 탈취처리설비는 설치당시에 대부분이 미설치 되었으나, 대기오염방지 강화 정책으로 탈취시설 설치 계획을 준비하고 있었으며, 악취정도는 계절에 따라서 큰 차이가 있었다(도표생략).

나. 퇴비화시설 도입목적, 선정이유 및 탈취처리 현황

시설 도입의 주목적은 분뇨처리(6개소)와 양질퇴비생산(15개소) 이었고, 지역 미 이용 자원의 활용(1개소) 등 이었다(도표생략).

축분 퇴비화 시설 종류별 선택이유는 양질 퇴비 생산과 보수관리가 쉬운 것이 가장 많았으며, 다음으로 가격, 처리기간 및 내구성 등이 선정 이유였으며, 로터리식은 10년 전에는 다른 기종보다 내구성이 강하여 많이 선정하는 경향을 나타내었으나, 악취문제가 크게 발생하여 엘리베이터식이 최근 늘어나는 추세였다. 축분 퇴비화시설 도입자금은 지자체의 보조금 지원(19개소)이 대부분이었으며, 보조금에 의존하는 시설이므로 퇴비화 시설 내구성은 교체시기의 대응에 큰 영향을 받을 것으로 예상되었다(도표생략).

악취문제는 퇴비화시설에서 가장 중요한 과제이다. 퇴비화과정의 유기물분해에서 암모니아 가스 외에 여러 종류의 악취물질이

발생되며 강제통기와 교반의 경우에 심한 악취가 일어나며, 시설·기계 부식의 원인이 되어 있었다(홍지형, 2006).

따라서 축분 공동 퇴비화 시설 규모의 대소에 따라서 축분 퇴비 탈취(홍지형, 2007) 또는 간이 스크러버(Honda, et al, 2009) 처리 기술을 활용한 고품질 퇴비생산과 대기오염 방지 차원에서 축분퇴비 바이오필터 탈취 또는 고농도 질소액비와 탄산가스, 발효열 등의 자원을 회수 활용하는 대책 마련이 필요하였다.

다. 퇴비화시설 운전관리비, 기계시설의 고장과 부식마모 실태

(1) 운전관리비:

유지관리비는 전기요금, 상각비, 인건비, 수리비, 부자재 구입비 등의 순서로 구성되었고 전기비가 많은 것은 통기를 위한 송풍기 작동비용이며, 부품과 자재의 교체와 수리 시기 판단과 대책은 유지관리비에 대단히 중요하였으며, 퇴비화 기계시설의 불만으로는 경비가 많이 든다, 고장이 많다, 기계시설 기능과 성능이 나쁘다, 작업환경이 좋지 않다 등이었다(도표생략).

(2) 축분 퇴비화기계 및 고장과 마모 발생빈도:

축분 퇴비화처리시설에 보유기계는 Table 1에 표시된 것과 같이 운반기, 로우더, 반송기, 통기팬, 포장기 등이 가장 많이 보유되었으며, 분쇄기는 그다지 보유하지는 않았다. 축분과 부자재의 혼합 작업은 로우더를 사용하고, 부자재 파쇄 작업은 버섯 배지 폐목 및 팽연 왕겨 등과 같은 부자재에서 필요하기 때문에 수요가 적다고 판단되었다.

Table 2에 나타낸 바와 같이 고장과 부식마모 빈도가 높은 기계는 교반기이며 다음으로 포장기, 운반기, 발효조, 세단분쇄기, 반송

Table 1. Number of the manure composting machinery

unit : number (%)	
Items	Holding number (%)
Transporter	33 (25)
Loader	23 (17)
Mixer	7 (5)
Conveyor	21 (16)
Blower	20 (15)
Packer	20 (15)
Crusher	10 (7)

Table 2. Highly trouble & corrosion/wear of the manure composting apparatus

unit : number (%)		
Items	Trouble (%)	Corrosion · Wear (%)
Agitator	15 (42)	19 (42)
Compost reactor	3 (8)	6 (13)
Transporter	6 (16)	6 (13)
Mixer	1 (3)	1 (2)
Conveyor	1 (3)	2 (5)
Packer	8 (22)	9 (20)
Crusher	2 (6)	2 (5)

기 및 혼합기 등의 순 이었다. 부식과 마모가 많은 기계는 교반기, 포장기, 운반기, 발효조, 반송기, 분쇄기 등의 순서로서 부식과 마모가 높아질수록 고장빈도가 극심한 결과를 나타내 보였다. 이 결과는 홍지형(2006)이 전남 지역 축분 퇴비화 시설에서 고장빈도가 높고 부식과 마모가 많은 기계는 교반기, 포장기, 반송기 등의 순으로 발표한 사실과 일치 하였다.

2. 퇴비화시설·기계의 내구성

가. 건물부재의 내구성:

퇴비화시설 보의 자재는 9할 이상이 강재를 주재료로 사용하였다(Table 3). 강재의 부

Table 3. Materials and conditions of the manure composting crossbeam

unit : number			
Corrosive conditions	Little	Partially	Totally
Steel sheet (20)	4	5	11
Zinc galvanized sheet (2)	1	1	0

식은 아연도금 철재보다 빠르므로 아연도금 철재를 사용하여 내구성을 증대하는 경향을 나타내어 보였으나, 부식에 강한 목재를 사용한 곳은 전무하였다.

강재의 도장 방법은 특수도료를 사용하는 예도 있으나, 합성수지계열의 도료를 많이 사용하였다. 도장 방법 및 경과 연수와 내구성관계는 전혀 없었다(도표생략).

나. 교반기의 내구성:

고장빈도가 가장 높고 부식과 마모가 가장 많은 기계(Table 2)는 교반기이며 전체에 42%를 차지하고 있었고 포장기, 운반기, 발효조 등의 순서로 되었다.

로우더의 바켓트는 강재가 대부분이며 강재 바켓트의 경우는 1년 1회 비율로 바꾸거나, 개조하여 사용하였다(도표생략).

다. 운반차량의 내구성:

축분 퇴비화시설이 보유하고 있는 기계는 발효조와 교반기를 제외한 보유기계로서 운반차, 로우더, 혼합기, 반송기, 송풍기, 포장기, 분쇄기 등이 축분 퇴비화시설에 도입된 대표적인 기계(Table 1) 이었다.

운반차량은 덩치차가 많았으며 전체 퇴비화시설에서 사용하였으며, 운반차량 바닥의 재질은 강재가 8할 이상으로 많았으며, 다음으로 스테인레스 및 아연도금 철재가 사용되었다(Table 4-1). 운반차량의 교체는 약 5년 정도이며, 하대의 부식상황은 Table 4-2와 같이 70%가 부식되어 있었다. 스테인레스가 내

부식성이 높기에 강재 대신에 많이 바꾸어 사용되었고, FRP를 사용하는 예도 있었다(도표생략).

Table 4-1. Materials of the transporter loading plate

unit : number (%)	
Materials	Number (%)
Steel sheet	19 (82)
Stainless steel	2 (9)
Zinc galvanized sheet	2 (9)

Table 4-2. Conditions of the transporter loading plate

unit : number (%)	
Conditions	Number (%)
No trouble	7 (30)
Rust away	10 (44)
Pitted	3 (13)
Corrosive	3 (13)

라. 반송기, 포장기 및 송풍기의 내구성:

원료투입과 재료혼합에 사용되는 로우더는 전체 퇴비화시설에서 모두 이용되었으며, 재료의 반송기로는 벨트 콘베어 이용이 많았고, 스크루 콘베어도 활용되고 있었으며, 고장빈도(Table 5)가 많은 부위는 모터, 스크류 베인 및 축, 톨러, 구동기어 등의 순이었으며, 포장기기의 고장원인(Table 6)은 부식과 마모, 과부하, 이물질 등이었다.

제품 포장기도 대부분시설에서 도입하였으며 송풍기는 로터리식보다 엘리베이터식과

Table 5. Highly trouble frequency of the conveyor

unit : number (%)				
Roller	Driving gear	Screw vane	Motor	Screw axle
6 (19)	4 (13)	7 (22)	10 (30)	5(16)

Table 6. The origins of the packer trouble

unit : number (%)			
Corrosion · wear	Adhesion	Foreign matter	Over loading
10 (39)	1 (4)	5 (18)	10 (39)

통기 퇴적식 퇴비화시설에 더 많이 사용되고 있었다(도표생략).

마. 퇴비화시설 · 기계의 보수와 관리 실태

축분퇴비화 기계와 시설의 정기 및 부정기 점검행사는 거의 수행되지 않았으며, 엘리베이터식 퇴비화 발효조는 다른 것에 비하여 다소 기구가 복잡하여 보수관리가 불편하였다.

엘리베이터식은 수분조정, 교반판, 체인보수, 발효조 바닥의통기상(通氣床) 막힘 등이 주요 보수 관리 포인트였으며, 로터리식 발효조는 수분조정, 配線의 자동작업 장치, 교반 날에 이물질얼음 등이 보수 관리 대상이었다(도표생략).

(1) 고장부위와 고장원인

고장빈도가 높은 부위(Table 7-1)는 교반축, 체인, 교반판 및 감속기 등 이었으며, 교반시에 재료와 접촉 부위에서 많이 발생되었다. 이들의 고장 원인(Table 7-2)은 부식과 마모, 과부하, 이물질 혼입 및 조정미숙 등이었다.

(2) 체인 및 교반판의 내구성

체인의 재질은 강재가 대부분이며, 스테인레스도 일부 사용되고 있었다. 체인교환은 매 2년 정도이며, 핀과 링크가 파손되어 교환되는 예가 많았다. 교반판 재질은 강재가 많았고, 부분적으로 스테인레스와 아연철판 등이 사용되고 있었으며, 교반판은 1-2년 사이에 교환하는 예가 많았다(도표생략).

3. 퇴비화시설 종류별 내구성

가. 엘리베이터식

나. 로터리식

(1) 고장부위와 원인

고장빈도가 높은 부위(Table 8-1)는 교반

Table 7-1. Highly trouble frequency of the elevator belt type agitator

unit : number (%)			
Chain	Agitating plate	Agitator shaft	Reduction gear
8 (29)	6 (21)	9 (32)	5 (18)

Table 7-2. The origin of the elevator belt type agitator trouble

unit : number (%)			
Corrosion · wear	Foreign matter	Over loading	Control imperfect
9 (45)	4 (20)	5 (25)	2 (10)

Table 8-1. Highly trouble frequency of the rotary type agitator

unit : number (%)

Agitating blade	Electrical line	Motor	Reduction gear	Agitating shaft
7 (35)	2 (10)	6 (30)	2 (10)	3 (15)

Table 8-2. The origin of the rotary type agitator trouble

unit : number (%)

Corrosion · wear	Foreign matter	Over loading	High moisture
7 (39)	3 (17)	4 (22)	4 (22)

날, 모터, 교반 축, 전기 계통, 감속기 등 이었으며, 이들의 고장 원인(Table 8-2)은 대체적으로 부식과 마모, 과부하, 재료 수분과다, 이물질 혼입 등이었다.

로터리식 교반기도 엘리베이터식과 마찬가지로 재료 접촉이 많은 교반 날과 날개에서 고장이 많이 발생되었으며, 다음으로는 전기 계통의 고장이 많았으며, 대부분은 과부하가 원인 이었다(Table 8-1).

(2) 교반축의 정지빈도와 그의 원인

교반축의 정지와 원인은 재료를 대량 투입하거나 이물질이 혼입되거나, 고 수분 원료 투입 등과 같이 원료 투입 할 때에 관리 잘못으로 발생 되었다(Table 8-2).

다. 통기 퇴적식 및 밀폐종형식

(1) 통기퇴적식 퇴비화시설에서 고장부위가 높은 부위는 통기 관에 이물질과 침출수 유입으로 인하여 발생하는 막힘이고 고장원인은 통기상(通氣 床)에 과다한 수분이 집중 되기 때문이다.

(2) 밀폐종형식 퇴비화시설에서 고장이 많은 위치는 교반날개 및 교반통기날개이며, 고장원인은 교반날개와 발효조 바닥사이에 이물질로 인한 교반축 고장 및 고 수분재료로서 발생하는 교반 축 구동부의 부하 등이

다(도표생략).

적 요

본 연구사업 목적은 축분 공동 퇴비화시설에서 배출되는 퇴비화 악취물질이 퇴비화시설·기계에 부식과 마모를 일으켜서 기계 고장을 발생하는 현상을 방지하기 위해 축분 퇴비화 시설·기계의 내구성을 재질과 구조 및 보수와 관리 측면에서 평가하여 축분 퇴비화 시설·기계의 내구성을 증대하고, 이에 개선 대책을 마련하는데 있었으며 주요 성과는 아래와 같다.

퇴비화시설·기계의 고장의 주요원인은 부식과 마모, 과부하 상태, 이물질 혼입 등이었다.

퇴비화시설·기계에서 고장빈도가 높은 곳은 교반장치, 포장장치, 반송장치 등의 체인, 교반 날과 축, 모터, 스크루 베인 등에서 발생 되므로 정기점검과 보수관리가 중요하였다. 퇴비화시설·기계의 내구성 증대를 위한 고장 방지대책은 탈취장치 설치, 돌가루와 쇳불이 등의 이물질 혼입방지, 고 수분 재료 사용방지 및 재료 과다투입 방지 등 이었다.

미 이용자원의 유효이용 및 유기성 폐기물의 퇴비화 처리를 위한 우리나라 지방자치단체의 바이오매스 타운 건설에 본 조사연구의 성과가 성공적으로 활용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 순천대학교 2009년도 일반연구 과제 사업 연구비 지원으로 수행된 연구 성과로서, 전남북과 경남지역 농업협동조합 축분 퇴비화시설 관리자 및 순천대 대학원 안병주 군과 김도영 군의 수고와 협조에 사의를 표합니다.

인용문헌

1. 홍지형. 2009. 가축배설물처리/이용시스템 평가 및 효율적 활용 방안. 축산시설환경학회지 15(1): 69-74.
2. 홍지형. 2007. 고품퇴비화시설 악취물질의 축분 퇴비 탈취처리기술. 한국도시환경학회지 7(2):1-5.
3. 홍지형. 2006. 축분 퇴비화 운영실태 및 퇴비 부숙도에 관한 연구. 한국도시환경학회지 6(2):13-19.
4. 홍지형. 2005. 순천시의 가축배설물처리 및 이용실태에 관한 조사연구. 한국도시환경학회지 5(2):29-37.
5. 홍지형. 2003. 가축분뇨 축분 퇴비품질기준 및 퇴비화 악취 저감화 기법. 축산시설환경학회지 9(1):57-60.
6. 홍지형, 박금주, 전병태, 홍성철. 1999. 축산폐기물 자원화. 도서출판 동화기술, pp. 47-67.
7. Honda, Y., Miyatake. B., Itoh, N., Abe, Y. and Fuksho, N. 2009. Introduction of the composting pilot plant using vacuum type aeration. JSAM. 71(2):17-20.
8. Miner, J. R., F. J. Humenik and M. R. Overcash. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Iowa State University, Ames, Iowa, USA.
9. Kuroda, K., Osada, T., Yonaga, M., Kanematsu, A., Nitta, T., Mouri, S. and Kojima, T. 1996. Emissions of malodorous compounds and greenhouse gases from composting of swine feces. Bioresource Technology 56(3):265-271.
10. 日本畜産環境情報. 2005. 效率的畜産臭氣抑制. 31卷, p. 21-25.
11. 日本中央畜産會. 2003. 堆肥化施設設計 manual. p. 67-73.
12. 日本農山漁村文化協會. 1995. 畜産環境對策大事典, 農文協編. p. 349-360.
13. 日本機械學會. 1987. 機械工學便覽. p. 125-147.