

목질칩의 축분뇨 정화재로의 이용

최인규*

임업연구원

(2001년 8월 21일 접수, 2001년 9월 21일 수리)

Utilization of Wood Chips for Disposing of Swine Manure

In-Gyu Choi* (Korea Forest Research Institute, Seoul 130-012, Korea)

Abstract : In order to environmentally use wood chips manufactured from low valued forest resources by forest tendering, wood chips were used for the evaluation on chips characteristics, decomposition capability of organic wastes, and field experiment and determination of conditions for decomposer. Bioclusters manufactured by *Cryptomeria japonica*, commercially available wood chips in Japan, showed higher pore ratio, water reservation and water resistance, and higher cellulose content with lower hot water solubles than domestic wood chips. The useful size of wood chips for swine manure decomposition was 10 (length) × 5 (width) × 2 (thickness) mm, and cellulose contents and alkali solubles of *Pinus densiflora* and *Populus tomentiglandulosa* were similar to those of bioclusters. According to the decomposition ratio depending on wood species, it was ordered as *Pinus densiflora* > *Pinus koraiensis* > *Cryptomeria japonica*. The swine manure decomposition ratio depending on treatment hours by *Pinus koraiensis* was constant with the ratio of 15 to 16 g per hour by 1 kg of chip, indicating of daily swine decomposition amount of 390 kg by 1 ton of chips which was equal to the amount of daily swine manure production by 70 swines. Analyzing by long term used wood chips during 40 days treatment, the treated wood chips characteristically showed stable total nitrogen content, suitable pH, high accumulation of inorganic contents such as calcium, phosphorus, potassium and sodium, and no odor. During winter, the inner temperature of decomposer was kept at 43°C, but air bubble was occurred due to high pH and viscosity of swine manure. The most appropriate mixing ratio between wood chips and swine manure was 1 versus 2 or 3, and at more than ratio 1 versus 3, ammonia gas was caused because of anaerobic fermentation status by high moisture content of wood chips. The mixing interval of decomposer was 3 mins. per hour for the best swine decomposition.

Key words : wood chips, forest tendering, decomposer, *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, swine manure

서 론

1980년 환경보전법의 발효로 대단위 양축농가에 대하여 분뇨 정화처리 시설이 의무화되었으나 잘 이행되지 않아 전국적으로 축산분뇨에 의한 오수정화 문제가 심각하게 대두되고 있다¹⁾. 1998년도 가축분뇨 총 생산량 46,972천톤 중 돈분뇨는 31%로 한 우 45%에 이어 두 번째로 많은 양을 생산해내고 있다. 이러한 축산분뇨는 자원화 또는 퇴비화로 이용되기도 하나 경영 대규모화에 따른 시설비 투자의 증대, 퇴비 수급의 불균형화, 퇴비 품질 표준화의 어려움 등으로 잘 시행되지 못하고 있는 실정이다²⁾. 특히 돈분뇨는 자원화 방법의 하나인 액상분뇨 처리법으로 농지에 환원시 발효 미숙에 의한 악취 및 지하수 오염 등의 문제로 민원을 야기시킨다³⁾. 그러므로 사육규모별 또는 지대별로 알맞은 분뇨처리방법을 적용하거나¹⁾ 퇴비화시스템을 포함한 복합처리시스

템의 개발이 필요한 실정이다⁴⁾.

일본에서는 삼나무칩을 물리·화학적으로 처리하여 제조한 바이오클러스터 (biocluster)를 이용하여 인분정화용, 일반하수정화용, 음식물찌꺼기 등의 분해기에 이용하고 있으며, 제조된 칩은 시중에서 고가에 판매하고 있고, 목질칩을 이용하여 음식물찌꺼기 분해 처리시스템을 제작하여 가정용으로 실용화시켰다⁵⁾.

톱밥은 양호한 수분조절능력을 가지고 있어서 유기폐기물 처리에 많이 이용되고 있으나⁶⁾ 장기간 사용시에는 사용하는 정화조 교반날에 부착되거나 서로 엉기는 현상으로 인하여 정화조에 과도한 부하를 야기시키며 이로 인하여 정화산물이 혐기성화가 진행되어 악취가 유발된다⁷⁾.

따라서 본 연구에서는 사육규모 100두 이하의 소규모 돈사에 설치 가능한 목질칩정화조를 제작, 적용하기 위하여 현재 일본에서 수질정화용 처리재로 이용하고 있는 삼나무칩 (바이오클러스터)의 전처리 기술 및 유기폐기물 처리 특성을 탐색하여 국내산 목질칩 제조를 시도하고, 제조된 수중별 목질칩을 이용한 분뇨 처리기술 개발로 폐자원의 활용성을 제고하고자 하였다.

*연락처 :
Tel : +82-2-961-2584 Fax : +82-2-961-2570
E-Mail : CINGYU@foa.go.kr

재료 및 방법

국내 수종별 분뇨처리용 유효 세립 목질칩 제조

본 연구에서 사용한 목질칩용 수종은 강원도 홍천군 동면 노천리에서 채취한 20년생 소나무 (*Pinus densiflora*, 직경 20 cm)와 강원도 횡성군 둔내면 운교리에서 채취한 15년생 잣나무 (*Pinus koraiensis*, 직경 25 cm), 20년생 낙엽송 (*Larix leptolepis*, 직경 25 cm), 10년생 현사시 (*Populus tomentiglandulosa*, 직경 15 cm) 및 경남 진주시 남부임업시험장 시험림에서 채취한 10년생 삼나무 (*Cryptomeria japonica*, 직경 15 cm)를 박피하여 풍건시킨 후 이용하였다.

자체 제작한 목질칩 제조기의 주요 사양으로는 5 마력, 500 kg/시간, disk (500 mm), 속도 (700 rpm), 송구각도 (45°) 등이다. 기존의 목질칩 제조기와 달리 절편의 크기가 작게 생산되어야 하므로 송구각도 및 disk에 부착되는 칼날의 돌출 정도가 주요한 포인트이다. 1~2 mm 정도가 적당한 크기의 칩을 생산하는 것으로 밝혀졌다. 또한 송구각도는 45°를 유지하여야 하며, disk와 송구 입구와의 간격이 2~3 mm가 유효한 것으로 판명되었다. 적정 목질칩 크기는 10 (길이) × 5 (너비) × 2 (두께) mm로 나타났고 수종별로 각 200 kg씩 제조하여 다음 실험에 이용하였다.

바이오클러스터 및 제조 목질칩의 물리·화학적 특성

물리·화학적으로 전처리된 일본산 삼나무칩으로 제조된 바이오클러스터를 일본의 아세토엔터프라이즈사로부터 구입하여 사용하였다. 물리·화학적, 해부학적 분석을 통하여 전처리 기술을 탐색하고자 국내산으로 무처리 상태에서 제조된 소나무, 잣나무, 낙엽송, 현사시, 삼나무 5종의 칩과 함께 아래와 같이 분석하였다.

공극율은 100 cc 정도의 칩을 메스실린더에 넣고 눈금을 그은 후에 그 선까지 증류수를 첨가하여 첨가된 증류수 양을 공극입수량으로 하여 공극율은 공극입수량 (g)을 풍건체적 (100 cc)으로 나눈서 계산하였다. 전수분보유율은 100 cc 정도의 칩을 내경 30 mm 정도의 column에 넣은 후 공극입수량과 같은 양의 증류수를 넣고 15분간 기다린 후 column 하부의 코크를 열고 10분간 배출한 수량을 측정하여 통수량으로 정하여 공극입수량으로부터 빼 값을 보유수량으로 하고 함수량과 보유수량을 합하여 전수분보유량으로 하였다. 투수계수는 column에 100 cc의 칩을 넣고 150 cc의 증류수를 주입한 후 15분간 방치한 다음 채워진 column의 수고 (水高, L)를 표시한 후 일정시간 (Δt) 코크를 열어 흘려 보낸 후 다시 수고 (水高, L)를 측정하여 수고의 차이(h)를 구하여 투수계수 (K)를 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{투수계수}(K, \text{mL/sec} \cdot \text{cm}^2) = Q \times L / (A \times \Delta t \times h)$$

$$Q = \Delta t \text{ 동안 흐른 수량 (mL)}$$

$$A = \text{column의 단면적 (cm}^2\text{)}$$

알칼리추출물함량은 칩 2 g을 40~60 mesh로 분쇄하여 500 mL 삼각후라스크에 넣고 냉각기를 부착시켜 알칼리 (1% NaOH

용액) 10 mL를 넣고 1시간 동안 가열한 후 시료를 그라스 필터 1G3로 여과하여 건조기에서 4시간 건조한 후 무게를 측정하였다.

Klason 리그닌 함량은 알콜·벤젠 추출로 추출물을 제거시킨 칩 시료 1 g에 72% 황산 15 mL를 가하여 실온에서 가끔 저어주면서 2시간 방치하였다. 1 L의 삼각후라스크에 옮겨 증류수 560 mL를 가하여 황산농도가 3%가 되도록 희석하였다. 냉각기를 부착시켜 4시간 동안 가열한 후 시료를 그라스 필터 1G4로 여과하여 건조기에서 4시간 건조한 후 무게를 재어서 다음 식에 의하여 계산하였다.

셀룰로오스함량은 알콜 벤젠·추출로 추출물을 제거시킨 칩 시료 2.5 g을 300 mL 삼각후라스크에 넣어 증류수 150 mL를 넣고 빙초산 0.2 mL, 아염소산 나트륨 1 g을 가하여 80°C 수조상에서 1시간 가열하였다. 3회 위와 같이 반복하여 그라스 필터 1G3로 여과하여 건조기에서 건조하여 계산하였다.

해부학적 특성은 시료를 활주식 마이크로톰으로 절편을 제작하여 주사 전자현미경 및 광학 현미경 (Olympus)으로 관찰하였다.

정화조별 유기폐기물 처리성능 검증

제조 목질칩의 성능평가를 위하여 제조된 소나무, 잣나무, 낙엽송, 현사시, 삼나무 5종의 칩을 이용하였으며 비교를 위하여 바이오클러스터를 함께 조사하였다. 사용한 돈분뇨는 경기도 화성군 우정면 주곡1리 대명농장에서 수집하여 서울로 운반한 후 이용하였다. 자동보온교반조와 밀폐형교반조는 시중에서 구입하여 이용하였고, 개방형교반조 및 여과조는 자체 제작하였다. 처리방법은 제조된 목질칩의 분뇨분해능 조사를 위하여 간이정화조에 목질칩 7 kg을 넣고 20 L의 돈분뇨를 4일간 매일 투입하면서 처리하였다. 밀폐형교반조의 경우는 용량이 작아서 1.5 kg의 칩에 5 L의 돈분뇨를 처리하였다. 여과조는 자동 돈분뇨 투입이 불가능하므로 일일 5회 정도 돈분뇨 여과액을 다시 부어 여과시켰다. 처리된 목질칩을 꺼내서 무게를 잰 후 풍건시킨 다음 다시 무게를 측정하여 분해율을 조사하였다. 처리 과정에 pH나 발효온도도 함께 측정하였다.

바이오클러스터의 분뇨처리 성능 시험을 위하여 8 L 폭기식 간이정화조내에 바이오클러스터 400 g을 투입하고, 처리량을 200 mL부터 6 L까지 조절하면서 경과일수별로 정화물의 화학적 변이를 국내산 제조칩과 비교 조사하였다. 조사항목은 SS (Suspended Solid), BOD (Biochemical Oxygen Demand) 및 pH이었다.

목질칩정화조 야외적용 시험

목질칩에 의한 돈분뇨 분해능을 직접 농가에서 적용시험 하기 위하여 1999년 12월에 실험용으로 소형의 목질칩정화조를 제작하였다. 정화조는 교반간격 (1~60분) 및 내부온도 (10~100°C) 조절이 가능하고, 수평식 교반장치는 감속모터 (2마력)에 의하여 작동되며 높이 2.0 m, 지름 1.8 m의 원통형으로 재질은 스테인레스를 사용하여 제작하였다. 정화조 (용량 300 L)는 경기도 화성군 우정면 주곡1리 대명농장 (돼지 1,000두 사육)에 설치하였으며, 설치용

장은 뇨(尿)가 자동으로 저장조에 유입되고 분(糞)은 인력에 의하여 저장조로 배출되므로 본 실험에 이용되는 돈분뇨는 저장조로부터 직접 떠서 사용하였다.

잣나무 목질칩에 의한 돈분뇨 분해능의 경시적 변화를 조사하기 위하여 목질칩 62 kg을 정화조에 넣고 돈분뇨를 일시에 180 kg을 투입하여 44시간동안 6~12시간 간격으로 증량감소를 및 정화조내 목질칩 발효온도를 조사하여 분해능을 측정하였다. 정화조는 시간당 3분 간격으로 교반하였으며 내부온도는 초기 발효를 향상시키기 위하여 60℃로 고정하였다.

돈분뇨 원액 및 처리 전후의 목질칩은 축산기술연구소에서 분석하였다. 액상분뇨의 분석은 습식분해법을 원칙으로 하여 H₂O₂-H₂SO₄법으로 분해하였고, 목질칩이 혼합된 분뇨는 1:1 염산을 이용한 건식분해법을 이용하여 분해한 다음 원자흡광 광도계 (SHIMADZU AA-680)로 정량하여 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺을 분석하였다. 인산은 Vanadate법으로 470 nm에서 UV-Spectrophotometer로 비색 정량하였으며, 전질소 함량은 켈달법에 의해 분해한 다음 KJELTEC AUTO 1030 Analyzer를 이용하여 분석하였다. 분뇨 중 NH₄⁺-N 측정은 RQflex 16970 (E. Merck, Germany) check kit로 측정하였으며, BOD분석은 BOD₅법으로 하여 DO(Dissolved Oxygen) meter로 측정하였고, COD분석은 CODcr법으로, SS(부유고형분)는 유리섬유여과지(GF/C)를 이용하여 분석하였다. EC(전기전도도)는 Conductivity meter (Model no. 1481-40)로, pH (potential hydrogen)는 portable pH meter(HANNA)로 측정하였다.

정화조에 투입한 목질칩의 장기 사용 여부 및 수종별 차이를 조사하기 위하여 잣나무 목질칩을 투입한 후 40일간, 소나무 목질칩은 6개월간 장기적으로 사용하면서 육안적으로 판단하여 목질칩 함유율을 60~70%가 되게 돈분뇨를 매일 투입하였다. 시간이 경과한 후 처리된 칩과 장기 사용한 칩은 위 향과 같이 무기물변화량 등의 분석용 시료를 채취하여 냉장고에 보관하였다. 또한 처리 전후 칩의 장기 사용에 의한 해부학적 변화는 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

목질칩에 의한 돈분뇨 분해능의 계절별 변화를 관찰하기 위하여 외부 온도가 영하로 떨어지는 1월과, 30℃ 이상인 7월에 같은 수종의 목질칩을 이용하여 정화조 조건을 똑같이 하여 (3분/일 교반간격, 60℃ 내부온도) 비교하였다.

목질칩정화조 제반 조건 탐색

최적 목질칩과 돈분뇨 투입비율을 확정하기 위하여 1:1, 1:2, 1:3 및 1:4의 비율로 돈분뇨를 투입하면서 분해능과 발효온도 무기물함량변화 등을 조사하였다. 이때 정화조의 교반간격 및 내부온도는 일정하게 유지하였다. 정화조 사용에 있어서 고온호기발효를 야기시키는 산소의 공급을 적절히 해주는 최적 교반간격을 파악하기 위하여 1분/시간, 3분/시간 및 6분/시간으로 교반하면서 분해능과 발효온도를 조사하였다. 이때 정화조의 내부온도는 일정하게 유지하였다.

Table 1. Physical characteristics of bioclusters and domestic wood chips

Species Item	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Larix leptolepis</i>	<i>Populus tomentiglandulosa</i>	Biocluster
Pore ratio (mL/cm ²)	0.71	0.67	0.66	0.65	0.67	0.68
Water reservation (mL/cm ²)	0.17	0.14	0.10	0.12	0.11	0.16
Water resistance (mL/sec · cm ²)	1.02	0.92	0.83	1.59	0.89	0.71

Table 2. Chemical characteristics of bioclusters and domestic wood chips

Species Item	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Larix leptolepis</i>	<i>Populus tomentiglandulosa</i>	Biocluster
Alkali solubles(%)	14.7	9.9	18.7	16.3	9.9	13.0
Holocellulose (%)	77.6	76.5	75.8	73.9	82.3	77.7
Lignin(%)	30.3	32.7	25.2	27.7	17.9	33.4
Hot water solubles(%)	5.1	10.0	8.2	6.7	5.2	2.0

결과 및 고찰

바이오클러스터 및 목질칩의 물리·화학적 특성

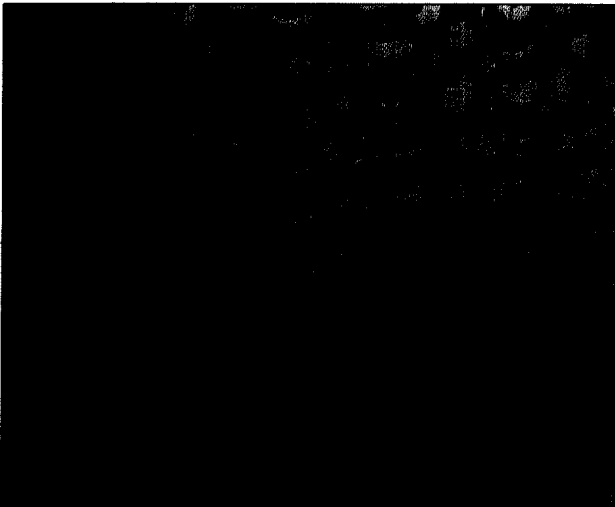
바이오클러스터와 국내산 5수종으로 제조된 칩에 대한 물리적 특성은 아래 Table 1과 같다. 국내산 수종 중에는 소나무 공극율 (0.71 mL/cm²) 및 전수분보유율 (0.17 mL/cm²)과 잣나무의 투수계수 (0.83 mL/sec · cm²)에서 바이오클러스터 (0.68, 0.16)와 유사한 것으로 밝혀져 미생물 담체로 유용하게 이용될 수 있는 것으로 밝혀졌다⁶⁾.

바이오클러스터의 화학적 특성을 구명하기 위하여 국내산 5수종 목질칩과 알칼리추출물함량, 리그닌함량, 셀룰로오스함량의 비교 분석을 한 결과는 Table 2와 같다.

바이오클러스터는 알칼리추출물함량이 13.0%로써 잣나무 18.7%, 소나무 14.7%와 비교하여 상당히 낮았으며 또한 열수추출물 함량에서 2%를 나타내는데 반하여 국내산 삼나무칩 10%와 큰 차이를 나타내고 있어 열수 추출의 가능성을 보였다. 그러나 국내산 칩과 바이오클러스터를 비교해 보면 다른 항목에서 큰 차이를 나타내지 않고 있으며 미생물의 영양원으로써의 이용이 가능한 전셀룰로오스함량에서는 소나무가 바이오클러스터와 유사한 77.6%를 나타냈다. 그러나 미생물 분해가 어려운 리그닌함량은



Biocluster



Chips from *Cryptomeria japonica*

Fig. 1. Anatomical characteristic of bioclusters and wood chips from domestic *Cryptomeria japonica*.

국내산 칩과 비교하여 오히려 높게 나타났다. 현사시의 경우는 전셀룰로오스 함량이 높아 이용가능성이 높은 것으로 사료되었으나 칩 자체가 빠르게 부서져 장기 사용이 어려웠다.

바이오클러스터와 국내산 삼나무 칩의 해부학적 특성은 Fig. 1과 같다.

바이오클러스터는 화학적 특성의 탐색에서 나타났던 화학적 처리의 흔적을 주사현미경으로 관찰했을 경우 방사단면 유연막공(윗 사진)에서 찾을 수 없었으나 국내산 삼나무 칩과 비교하면 횡단면 가도관(아래 사진)의 세포막이 얇고, 공극이 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

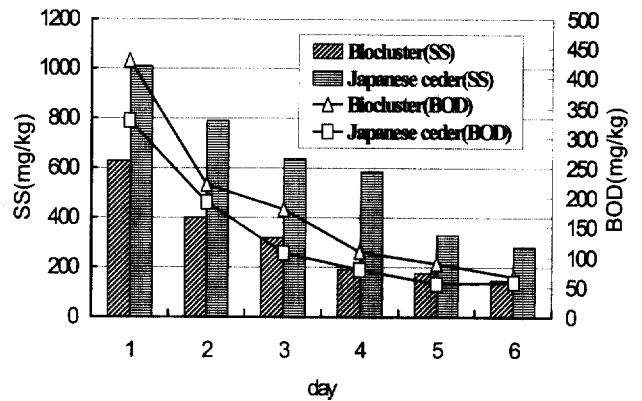


Fig. 2. Capability of swine manure decomposition by bioclusters and domestic wood chips.

바이오클러스터 및 목질칩의 정화조별 돈분뇨 처리능

바이오클러스터와 국내산 삼나무 칩을 이용한 돈분뇨 처리능을 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 바이오클러스터는 돈분뇨 분해능에 있어서 SS 76.1% 및 BOD 84.4%의 감소율 및 제거율을 각각 나타냈다. 이는 국내산 삼나무 칩의 72.3%와 82.4%와 비교하여 다소 높게 나타났으나 유의할 만한 차이는 없는 것으로 나타났다.

pH 변화를 살펴보면 바이오클러스터는 초기 1일째에 pH 6.7을 나타냈으나 처리 6일째에는 pH 8.7로 상승하여 칩 제조 과정에서 알칼리 처리 후 세척과정이 덜 되어서 분뇨 처리 중에 알칼리의 유출이 있는 것으로 여겨졌다. 그러나 국내산 삼나무 칩의 경우는 초기 pH 7.3이 그대로 유지되어 처리 6일째에 pH 7.6을 나타냈다.

돈분뇨 정화능 조사에는 다른 형태 및 기능을 가지고 있는 정화조들을 이용하여 돈분뇨 정화에 필요한 최적의 시스템 기능을 찾고자 하였다. 초기 돈분뇨 원액의 pH는 6.5, BOD 7,600 mg/L, SS 36.3 g/L로 나타났으며, 분해가 진행되면서 7.4~8.0 수준으로 알칼리화 되었다. 그러나 자동보온교반조의 경우는 2일째부터 사용하는 칩에 모두 흡수되거나 분해되어 pH와 BOD 조사를 위한 액상의 시료를 얻을 수 없었다. 자동보온교반조는 자동 온도 조절 (40℃) 및 교반간격 (3분 운전/60분) 조절이 가능하며 사용시에 초기발효가 양호하고 악취를 내는 돈분뇨 임에도 발효가 진행되면서 악취가 감소하는 장점을 갖고 있다⁹⁾. 그러나 개방형이나 밀폐형교반조는 수동교반 또는 온도 조절이 불가능하여 발효가 불량하며 악취로 인하여 별레를 유인하는 단점이 있다. 또한 여과조는 처리기간이 장시간 소요되어 혐기발효화되어 암모니아 가스 등의 악취를 발생한다. 돈분뇨 일일분해량 (L/ 칩kg/일)을 측정한 결과 자동보온교반조는 0.45를 나타내어 제일 우수하게 나타났다으며 발효온도도 32~38℃로 양호하였다.

최대 자동보온교반조의 사용기간을 알아보기 위하여 초기 투입한 7 kg의 칩에 23일간 매일 20 L씩 돈분뇨를 투입한 결과 최

Table 3. Swine manure decomposition capability depending on wood chips species

Item	Species	Decomposition ratio (L/chip kg/day)	Max. fermentation temp.(°C)
	<i>Pinus densiflora</i>	0.61	42
	<i>Cryptomeria japonica</i>	0.46	40
	<i>Pinus koraiensis</i>	0.59	38
	<i>Populus tomentiglandulosa</i>	0.21	37
	<i>Larix leptolepis</i>	0.22	37

Table 4. Analytical value of swine manure (unit : mg/L)

Item	NH ₄ ⁺ -N	BOD ₅	CODcr	SS
Swine manure	1,509	16,101	44,065	14,225

종적으로 증가된 칩 (7 kg)과 고형분의 무게는 100 g 정도가 증가하여 분해가 완벽하게 진행되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 인력을 이용하여 돈분뇨를 투입하였으나 실제 농가에 적용하기 위해서는 자동송출 펌프가 부착되고 돼지 사육 농가의 두수에 따른 크기의 정화조를 제작하여 적용하는 것이 필요하다.

목질칩 종류별 돈분뇨 일일분해량 (L/칩kg/일)에서 소나무 (0.61) > 잣나무 (0.59) > 삼나무 (0.46) 순으로 나타났다. 소나무칩 1톤을 자동보온교반조에 투입하여 이용했을 때 매일 100두의 돼지로부터 배출되는 돈분뇨를 처리할 수 있으며 투입된 칩을 매일 교체할 필요가 없이 장기간 사용이 가능하므로 축산농가에는 경제적인 이익이 클 것으로 생각된다. 또한 소나무와 낙엽송 칩의 경우는 칩 1 kg당 0.11 L의 차이를 나타내서 수종간에 돈분뇨 분해능에서 큰 차이를 보였다. 소나무 또는 잣나무 무처리 목질칩이 돈분뇨 분해용 정화조 사용에 적당한 것으로 판단되나 잣나무칩은 장기 사용시 칩 자체의 부서짐 현상이 있었으므로 칩 제조시에 소나무칩 보다는 조금 크고 두껍게 제조하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 여겨진다.

목질칩정화조 야외적용 시험

경기 화성군 우정면 주곡1리 대명농장에서 시험 전에 채취한 분뇨 원액의 분석치는 아래 Table 4와 같다. 실험 방법에서 설명한 것처럼 본 연구에 사용한 돈분뇨는 돈과 분을 분리하지 않고 혼합된 것을 사용하여 처리 방법을 단순하게 하고자 하였다. 지금까지 축산분뇨의 처리방법에 대하여 보고된 바에 의하면 돈분뇨의 분리에 의한 처리 방법은 혼합된 것을 처리하는 것보다 용이한 것으로 보고됐다¹⁾. 일반적으로 돈분뇨 기준과 비교하여 본

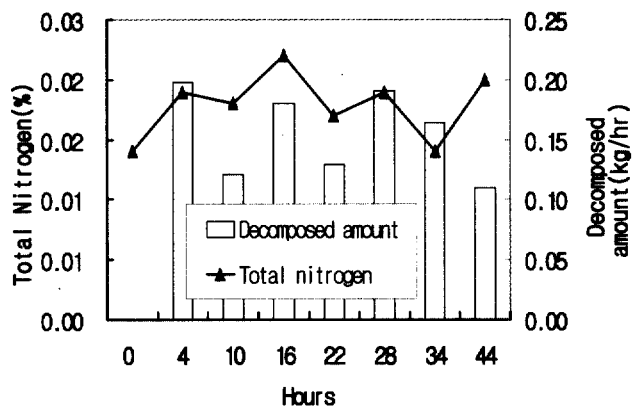


Fig. 3. Swine manure decomposition ratio depending on time interval.

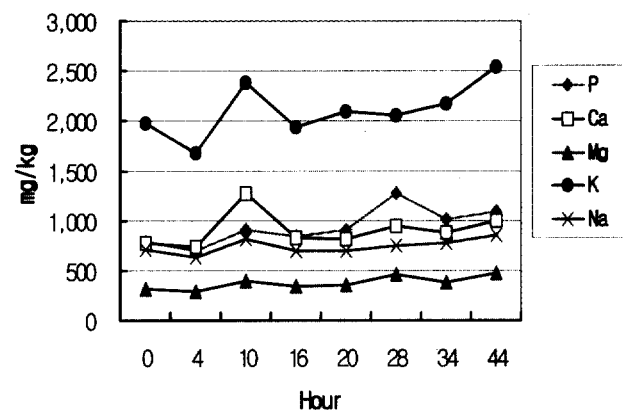


Fig. 4. Inorganic content change during swine manure decomposition depending on time intervals.

실험에서는 높은 COD, 낮은 BOD, 14,000 mg/L의 높은 SS가 나타났는데 이는 돈분의 양이 많이 함유되어 나타난 결과로 보이며 BOD/COD비가 0.4가되어 안정화된 부숙 분뇨비인 0.1보다는 높아 저장조로부터 안정화가 덜 된 것으로 여겨진다¹⁰⁾.

잣나무 목질칩을 이용하여 실시한 돈분뇨의 경시적 분해 양상을 살펴보면 Fig. 3과 같이 시간별로 일정한 15~16 g/시간/kg칩 (일일분해량 390 g/일/kg칩)의 돈분뇨 분해량을 44시간 경과한 상태에서도 유지하는 것으로 나타났다. 몇몇 보고서에서는^{5,9)} 초기에 높은 분해능을 나타내며 서서히 분해능이 저하되는 것으로 보고되었으나 5일간 일별로 측정된 결과 분해량은 거의 일정하게 지속되었다. 전질소함량은 시간당분해량과 유사하게 그래프 형태가 움직이는 것으로 미뤄 유기물의 분해와 동시에 질소성분의 분해도 이뤄지는 것으로 유추할 수 있다. 그러나 전년도 실험에서 소나무칩에 의한 높은 돈분뇨 분해능 (0.6 kg/일/kg칩)은 나타내지 않았지만 계산적으로 잣나무 1톤 칩에 의하여 약 70두 돼지에 의하여 발생하는 일일돈분뇨량을 처리할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

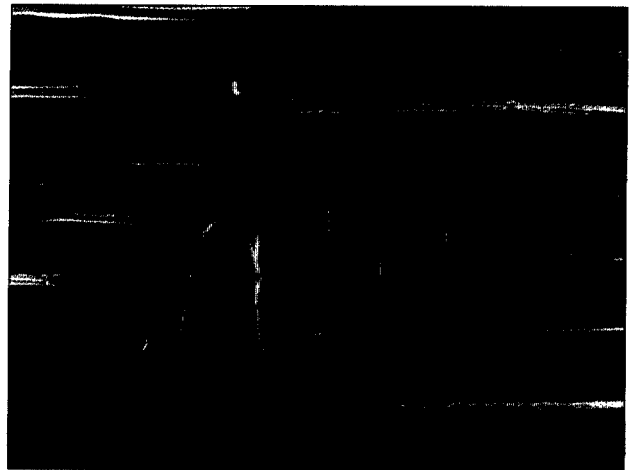
Table 5. Inorganics change during long term decomposition of swine manure

	Total nitrogen	pH (1:10)	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
	%		mg/kg				
Swine manure	0.22	8.0	1,610	340	138	3,083	847
Wood chip	0.02	-	144	408	96	226	132
day 4	0.29	8.2	2,840	2,482	642	7,869	1,636
day 9	0.33	8.2	5,634	4,669	1,258	10,064	2,134
day 11	0.33	8.4	5,170	4,459	1,225	9,506	2,300
day 18	0.44	8.5	8,854	7,300	2,083	17,255	3,878
day 40	0.51	8.8	16,316	12,982	4,257	26,885	7,311

경시적 변화를 조사하면서 4~10시간대별로 채취된 시료의 무기물함량 변화는 Fig. 4와 같다. 초기 목질칩에서는 칼륨의 양이 상대적으로 높게 분포되어 있으며 44시간이 경과한 후에는 모든 무기물의 축적 현상이 나타났다. 무기물별 농도는 칼륨 > 인 > 칼슘 > 나트륨 > 마그네슘 순이었다.

돈분뇨 원액, 소나무 목질칩 및 40일간 처리된 목질칩의 pH, 전질소함량 및 무기물 변화는 Table 5와 같다. 분뇨 원액은 pH가 8.0, 칼륨이 3,083 mg/kg 등으로 높은 무기물 함량을 보이고 있으며, 소나무 목질칩은 칼슘 농도가 408 mg/kg으로 제일 높게 함유되어 있다. 4일간 처리한 칩에서 칼륨 및 인의 농도는 2배 이상 증가되며 나트륨, 마그네슘, 칼슘은 10배 이상 증가하여 빠르게 축적되는 것을 알 수 있다. 40일간 처리된 소나무 목질칩은 원액과 비교하여 전질소함량이 0.22%에서 0.51%밖에 증가하지 않아 장기처리에 의해서도 상당히 안정화된 모습을 보였고, pH도 8.2~8.8로 고온호기성 발효의 적정 수준을 유지하였다. 그러나 칼륨, 인, 나트륨, 마그네슘, 칼슘 등의 무기물은 초기 칩과 비교하여 31~118배 이상 축적되었다. 40일간 이용된 목질칩은 진한 흑갈색을 띠며, 야적을 한 후 며칠 후 내부온도를 측정해봐도 온도 상승이 없는 점으로 미뤄 2차 발효가 미미하고, 냄새가 없어서 퇴비로 사용해도 무방한 것으로 판단된다⁷⁾.

6개월 돈분뇨 처리 후의 소나무 목질칩의 전자현미경 사진은 Fig. 5와 같다. 처리칩의 방사조직 및 가도관에서는 미생물 분해 대사산물로 여겨지는 물질의 충전된 모습이 보이며, 특히 벽공 주변의 도통한 부분이 6개월 처리칩에서는 많이 제거된 모습이 보여 미생물에 의한 공격이 있었음을 암시한다. 그러나 칩 자체의 형태는 아직 완전히 사라지지 않고 유지되어 있으므로 조금 더 사용해도 무방한 것으로 여겨진다. 돈분뇨 처리 전후의 소나무 목질칩과 바이오클러스터의 세포막을 광학현미경으로 살펴본 결과 처리과정에서 돈분뇨는 만재(晩材)보다는 조재(早材)의 세포 내강에 충전되어 있으며 목질칩의 표면층에서는 세포막이 미생물



Before



After 6 months

Fig. 5. Analytical characteristics of wood chips before and after swine manure decomposition.

공격에 의하여 파괴된 흔적이 있다. 그러나 3주간 사용 후에도 대부분의 세포막이 완전하게 파괴되지 않은 모습이므로 미생물 담체로서의 역할을 하는 목질칩은 장기간 사용이 가능한 것으로 판단할 수 있다.

목질칩정화조의 동계 및 하계에 사용했을 경우 성능과 조건을 찾기 위하여 계절별 시험을 수행한 결과, 영하의 외부온도 (-10℃)를 나타내는 동절기에도 정화조 내부온도가 43℃ 이상을 유지하지만 기대했던 60℃ 이상 고온으로는 상승하지 못하여 보온을 해 줄 수 있는 외부의 단열재 처리가 필요한 것으로 나타났고, 또한 5일째부터 분뇨의 점도 및 pH 상승으로 인하여 기포가 발생하면서 발효에 의하여 발생하는 증기의 증발 현상이 뚜렷하게 저감되므로 송풍 및 기포처리장치가 필요한 것으로 판단된다. 전력 사용면에서는 동계에는 따뜻한 공기를 자주 공급시켜야 하기 때문에 하계보다 2 A~5 A의 더 높은 전력이 항상 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 하계에는 고온호기발효가 정상적으로 이뤄져 60℃ 이상을 나타냈으며 전력소모량도 줄었고, 기포도 전혀 발생

Table 6. Changes of Inorganics and decomposition capability depending on swine manure amounts

ratio (chip:manure)	Decomposition ratio	Total nitrogen	pH (1:10)	EC (dS/m)	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
1 : 1	0.039	0.43	8.7	2.2	5,145	2,724	862	4,113	1,631
1 : 2	0.241	0.04	8.5	2.8	7,918	4,788	1,423	4,184	1,416
1 : 3	0.282	0.01	8.2	3.1	3,353	1,908	439	2,543	997
1 : 4	0.310	0.02	8.4	4.0	4,168	2,456	773	4,296	1,420

*Chips of Japanese red pine, Stirring of 3 mins.

하지 않았다.

목질칩정화조 제반 조건 탐색

최적 돈분뇨 분해를 위한 초기 목질칩량에 따른 적정 돈분뇨 투입량을 파악하기 위하여 비율별 분해능 및 무기물함량 변화는 Table 6과 같다. 분해능을 살펴보면 1:4 비율로 처리했을 경우 제일 높은 310 g/일/kg칩을 나타냈으나 초기의 높은 80% 이상의 수분함량으로 인하여 요구되는 고온호기발효가 진행되지 않고 혐기발효화가 진행되어 암모니아 등의 발생으로 악취가 발생하였다. 전질소함량의 변화를 살펴보면 발효처리에 의하여 0.22%인 처리 원액을 1:2비율 이상 처리시 0.01~0.04%로 감소시키고 있으며 pH도 고온호기발효 적정시의 범위인 7.7~8.7을 유지하였다. 그러나 전항에서처럼 칼슘 및 마그네슘 등의 무기물함량의 축적율은 높게 나타났다. 그러나 분해능은 조금 떨어지나 1:2~1:3 비율에서는 함유율이 60~70%를 유지하고 발효온도도 50℃이상 발열 상승하고 냄새도 없어서 최적 돈분뇨 투입량은 1:2~1:3이 적당한 것으로 판단된다.

목질칩정화조는 호기발효를 위한 산소공급의 원활한 교반이 돈분뇨 분해능을 좌우한다. 시간당 교반간격별 분해능과 무기물 함량변화를 조사한 결과, 1분간 교반은 충분한 산소 공급이 이루어지지 않아 혐기발효가 진행되어 악취가 발생하면서 분해능도 떨어지는 것으로 나타났고, 6분간 교반은 너무 자주 교반이 이뤄지다 보니 열손실이 많아 분해능이 상당히 저하 (159 g/일/kg칩) 되었다. 그러나 3분간 교반은 발효온도를 60℃로 유지하면서 제일 양호한 (241 g/일/kg칩) 돈분뇨 분해능을 나타냈고, 악취가 없었다. 또한 처리 돈분뇨는 3분간 교반시에 전질소함량이 낮고, 인, 칼슘 등의 무기물은 발효가 빨리 진행됨에 따라 상대적으로 축적량이 많았다.

요 약

숲가꾸기사업 등의 산림사업에 의하여 발생하는 미이용 산림 자원의 고부가가치로의 이용을 위하여 유효 세립 목질칩을 제조하여 목질칩의 특성, 분뇨처리 성능, 정화조 적용시험 및 제반 조건 탐색 및 제작을 시도하였다.

시판중인 일본산 삼나무칩으로 제조된 바이오클러스터는 공극율, 수분보유율, 투수계수가 우수하고, 열수추출물함량이 적고 셀룰로오스함량이 상대적으로 높게 나타났으며 해부학적 특성에서 방사단면 유연막공의 화학적 처리 흔적은 없으며 삼나무칩과 비교시 횡단면 가도판의 세포막이 얇고 공극이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 돈분뇨 정화용 적정 목질칩 크기는 10 (길이) × 5 (너비) × 2 (두께) mm이었으며 소나무 및 현사시의 전셀룰로오스함량이나 열수추출물함량이 바이오클러스터에 근접하였다. 처리과정에서 돈분뇨는 만재 (晩材)보다는 조재 (早材)의 세포내강에 충전되어 있으며 목질칩의 표면층에서는 세포막이 미생물 공격에 의하여 파괴된 흔적이 있었으나 장기간 사용이 가능한 것으로 추정되었다.

목질칩 종류별 돈분뇨 분해능에서 소나무 > 잣나무 > 삼나무 순으로 나타나 소나무 또는 잣나무 무처리 목질칩이 돈분뇨 분해용 정화조 사용에 적당한 것으로 판단되었다. 목질칩에 의한 돈분뇨 분해는 시간별로 일정하게 분해량을 유지 (15~16 g/시간/kg칩)하며 잣나무 1톤 칩 이용시 일일 돈분뇨 분해량은 390 kg (약 70두 분량)이었다. 목질칩에 의한 돈분뇨 장기처리시 40일간 처리 목질칩은 전질소함량이 안정화되었고 pH도 적정 수준이나 칼슘, 인, 칼륨, 나트륨 등이 초기 칩과 비교하여 31~118배 이상 축적되며, 처리칩은 흑갈색을 띄며 냄새가 없었다. 목질칩에 의한 돈분뇨 계절별 처리시 동절기에도 정화조 내부온도 43℃이상을 유지하며 발효가 정상적으로 진행되나 분뇨의 점도 및 pH 상승으로 기포가 발생하므로 대형정화조 제작시 송풍 및 기포처리장치 필요를 확인하였다. 최적 목질칩과 돈분뇨 투입 비율은 1:2~1:3이며, 1:3비율이상에서 혐기화로 인한 암모니아가스 악취 발생, 시간당 3분 교반시 제일 양호한 분해능을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. Kim, K. S. (1995) *Studies on Standardization of Waste Treatment Facilities for Collective Swinery*, Ministry of Agriculture and Forestry, Seoul, 280pp.
2. Kim, K. E. (1997) '97 Policy on waste management, *Symposium on Compost Treatment of Food and Organic*

- wastes, National Environment Res. Inst. p. 3-17.
3. Chang, K. W. (1997) Safety and efficiency of compost, *Symposium on Compost Treatment of Food and Organic wastes*, National Environment Research Institute, p. 134-165.
 4. Choi, H. R. (1997) Development of multiple cycling system for compost of agricultural wastes, '96 *Technology Development of Composts by Agricultural Wastes*, Kun-Kook University, p. 117-155.
 5. 寺澤 實 (1992) 生ゴミ分解消滅機(GADE)の誕生と人工土壌としてのオガ層の能力, *北方林業*, 44(2), 29-33.
 6. 島田謹彌 (1997) 生ゴミ処理に使用したスギ間伐材チップの成分変化, 第47回 日本木材學會發表論文, p. 483-483.
 7. Choi, I. G., Park, J. S. and Oh, J. H. (1995) Environmental purification by woods and forest microorganisms, *Reports of Forest Research Institute*, 4-III, 99-121.
 8. Terazawa, M., Tamai, Y., Sunagawa, M., Horisawa, S. and Miura, T. (1993) Durability of sawdusts against aerobic bacteria in the GADE system. *Proceedings of ACS Annual Meeting, Anselm Peyen Award Symposium of the Cellulose, Paper and Textile Division*, Denver, Colorado.
 9. 森忠洋, 劉寶鋼, 趙敬淑 (1993) 高溫好氣法による高農度有機排水處理, *化學工業*, 11月, p. 52-58
 10. Oh, I. H., Chung, W. C. and Kim, T. K. (1997) Studies on model equipment for liquefaction of waste water, '96 *Technology Development of Composts by Agricultural Wastes*, Kun-Kook University, p. 77-116.