

목질칩을 이용한 분뇨 발효 시 목질칩과 돈분뇨의 성분 변화¹

김명길² · 최돈하² · 최인규³

Characteristics of Fermented Wood Chips and Pig Manure¹

Myungkil Kim², Don-Ha Choi² and Ingyu Choi³

요 약

친환경적으로 돈분뇨를 처리하기 위하여 목질칩을 이용한 정화조에서 장기 처리한 목질칩과 돈분뇨 성분의 변화 양상을 관찰하였다. 자체 제작한 정화조에 히터를 가동하면서 3일 후 발효 적정 온도인 55~60 °C에 도달하였고, 180 l/일 돈분뇨 분해능을 보이는 정화조에서 사용하는 목질칩의 성분은 돈분뇨의 처리시기가 경과함에 따라 회분의 양이 증가하여 돈분뇨 자체에 포함되어 있는 여러 무기물 함량이 더해진 것으로 보였다. 알칼리와 유기용매추출물 및 Klason 리그닌함량은 거의 변화가 없었고, 무처리칩에 비해 홀로셀룰로오스의 양은 약 10% 감소하여 발효 중 목질칩이 부탄소원으로 이용되었을 가능성이 있다고 판단되었다. 장기 처리된 돈분뇨의 성분 중 무기물 함량(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 등)은 무처리칩에 비해 처리기간에 따라 증가하는 경향을 보였고, 중금속(Cd, As, Cu 등)은 거의 검출되지 않았다. 돈분뇨 원액에 비해 전질소 함량은 감소하나 무처리칩보다는 높은 수치를 보여 나중에 돈분뇨를 발효, 분해한 목질칩을 산지의 퇴비화에 사용해도 환경적 문제가 없을 것이라고 판단되었다. 장기 처리에 따른 미생물 변이는 반응기 내의 온도가 급격히 상승하면서 생균수가 증가하였다.

ABSTRACT

After manufacturing fermentation system for degrading pig manure using environmentally friendly technique, performance of the system and characteristics of wood chips and pig manure fermented in the system were analyzed.

Results from this study shows that proper fermentation temperature(55~60°C) reached 3days

1. 접수 2005년 7월 5일 Received on July 5, 2005.

2. 국립산림과학원 임산공학부 화학미생물과 Div. of Wood Chemistry & Microbiology, Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute.

3. 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 환경재료과학전공 Dept. of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University.

after the system started and degradation rate, which expresses fermentation performance of system, was 180l/day.

Even as progressing the fermentation of wood chips and pig manure mixture, the amount of extractives drawn out by alkali, and alcohol-benzene and lignin content was not varied.

However, ash content in wood was increased. The inorganic compounds in pig manure seem to be transferred into wood chip. On the other hand holocellulose contents in wood were decreased a little. Holocellulose seems to be consumed as the second carbon source in fermentation process. Results through analysis of inorganic- and heavy metal elements contents in wood chips and pig manure fermented in long term process shows that inorganic elements(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ etc.) contents were increased with fermentation time and heavy metal elements(Cd, As, Cu etc) which cause environmental pollution were not detected.

Number of microorganisms including bacteria, actinomycetes, and fungi, the number of C.F.U (Colony Forming Unit) was increased while temperature in fermentation system was abruptly increased.

keywords : Fermentation system, wood chips, pig manure, CFU

서 론

경제 수준의 향상과 식생활 패턴의 변화로 인하여 축산물의 수요가 증대되고 있는 가운데 우리나라 축산 폐수 발생량은 12만 m^3 에 달하며 그 중 규제 허가 신고 대상 농가는 7만 7천 m^3 이고 규제 대상에서 제외되는 소규모 축산 농가에서 발생하는 폐수는 3만 8천 m^3 에 달하고 있다. 규제 대상 축산 농가는 축산 폐수의 퇴비화나 저장 액비화 등 각종 자원 시설을 설치·운영하여 처리하고 있으나 규제 미만의 농가는 자체적으로 퇴비화하거나 겨우 분과 노성분을 분리하여 시·군 운영 축산폐수공공처리 시설로 보내거나 해양투기하고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 축산 농가에서 축산 폐수의 퇴비나 액비의 사용 시기가 봄, 가을로 제한되어 있고, 저장 설비 비용이 많이 소요되며 원천적으로 하천 주변에 밀집한 축산 농가는 상수원 수질오염의 원인이 되고 있다(허덕 등, 2001). 또한, 축산농가의 축산분뇨나 공공지역 화장실의 인분뇨는 처리 시 혐기 또는 폭기 처

리 방법을 적용하므로 시설 설비 과정이 복잡하고 비용이 고가이므로 이를 보완한 단순하고 저렴한 친환경적인 처리 방법이 요구되어 있다(Kim, 1997). 이러한 여러 처리 방법 중 하나로 숲가꾸기 사업에 의해 발생된 소경목재를 이용하는 방법이 있다. 숲가꾸기 사업 등의 산림작업에 의하여 발생하는 소경 간벌재는 산에 방치되거나 적정 용도가 없어 톱밥으로 생산되어 축사 깔개용 등 저가에 반출되고 있어 산림작업 자체의 경제성 향상을 목적으로 고부가가치 재료인 환경재로 이용하고자 하는 필요성이 제기되고 있다. 특히, 목재는 다당류인 셀룰로오스 등의 성분들로 이뤄져 있고, 물리적 측면에서 공극을 형성하고 있어 수분흡수력이 우수하므로 적절한 크기의 목질칩은 미생물이 서식하기 적당한 담체가 될 수 있을 것이다(Choi et al., 1995).

본 연구에서는 친환경적으로 돈분뇨를 처리하기 위하여 목질칩을 이용한 정화조를 현장에서 적용하면서 장기 처리한 목질칩과 돈분뇨의 성분 변화 양상을 관찰해 보고자 하였다.

재료 및 방법

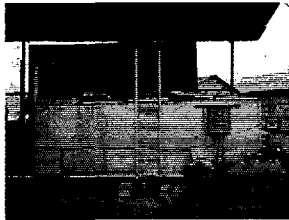
1. 자동 목질칩 정화조 구조 및 디자인 설계 · 제작

정화조의 외형크기는 1,460(W)×1,425(H)×5,080(L)mm이고 규격은 G/motor, heater, 송풍기, 자동온도 조절장치, 자동 교반시간타이머가 부착되어 있는 것으로 경기도 화성군 꽃발 농장에 설치하였다. 축산 돈분뇨 1톤 처리를 위한

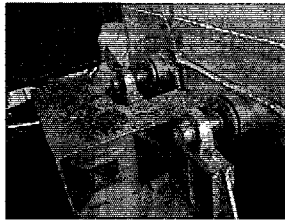
자동 목질칩 정화조의 체인 부분과 히터부분, 돈분뇨 투입 부분을 보완하였다(Figure 1).

2. 목질칩에 의한 분뇨 분해 성능

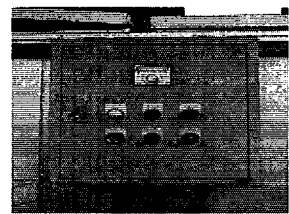
리기다소나무 목질칩 1.1톤에 3회/1일로 돈분뇨 양을 조절하면서 제작된 자동 목질칩 정화조에 투입하면서 경과일수별, 교반간격, 분뇨투입시기에 따른 정화조 분뇨 분해능 및 발효 온도를 조사하였다(Figure 2).



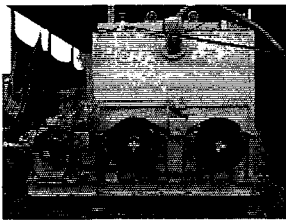
Fermenter



Heater



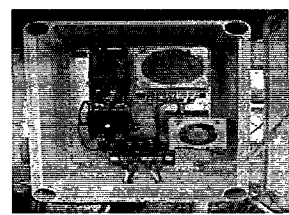
Temperature controller



Motor chain

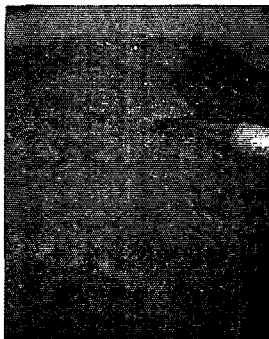


Fan



Inputting controller of pig manure

Figure 1. Fermentation system of wood chips and pig maure.



Inputting of pig manure Mixing of wood chips & pig manure steaming after heating

Figure 2. Systematic fermentation procedure of wood chip and pig manure.

3. 분뇨 처리용 목질칩 장기 이용 성능

3.1 장기 사용한 목질칩의 성분 분석

(1) 공시 재료

리기다소나무 무처리칩과 2주 간격으로 채취한 분뇨처리 목질칩 시료를 12주간 채취하여 총 7종의 시료를 분석에 사용하였다. 채취 후에 실험실로 옮겨진 시료는 3번의 세척 과정을 거친 후 바람이 잘 통하는 응달에서 기건 상태에서 건조되었다. 건조된 각 시료는 밀링을 통해 60mesh의 분말 상태로 제조된 후 분석 실험에 사용되었다.

(2) 함수율

시료 약 2g을 측정하여 무게를 알고 있는 칭량병에 넣은 후 칭량병을 $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 건조기에 넣고 6시간 이상 건조시킨 후 데시케이터에 넣고 상온까지 냉각시킨 다음 칭량하였다. 다시 칭량병을 건조기에 넣고 1시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 상온까지 냉각시킨 다음 무게를 측정하여 연속 2회의 무게 차이가 2mg 이하가 될 때까지 반복하였다.

(3) 회분함량

시료 약 2g을 무게를 알고 있는 도가니에 넣은 다음 회화로에 넣고, 온도를 점차적으로 높여 $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ 에 이르도록 하였다. 이 온도에서 3 시간 이상을 탄화 시킨 다음 서서히 냉각시키고, 다시 데시케이터에 넣어 상온까지 냉각시킨 다음 시료의 전건 무게에 대한 회분의 양을 구하였다.

(4) 유기용매 추출

시료 2g을 넣은 원통여과지를 Soxhlet 추출장치에 넣고 이미 무게를 알고 있는 250ml의 추출플라스크에서 유기용제(Ethanol : benzene 2 : 1 v/v) 200ml을 가하여 Soxhlet 추출관을 연결한 후 100°C 의 항온 수조에서 12시간 동안 추출하였다. 추출플라스크 내의 용매를 증발시킨 후

플라스크를 $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ 에서 건조시킨 다음, 데시케이터에 넣고 상온으로 방냉하여 무게를 측정하였다. 시료의 전건무게에 대하여 추출물의 양을 구하였다.

(5) 홀로셀룰로오스 정량

홀로셀룰로오스의 양을 정량하기 위해 염소산나트륨을 이용하여 Wise's method를 사용하였다. 위의 유기용매 추출을 통해 탈지된 시료 2.5g을 250ml의 삼각플라스크에 취하고 증류수 150ml, 아염소산나트륨(sodium chlorite) 1.0g과 빙초산(acetic acid) 0.2ml을 넣고 가볍게 마개를 막은 후 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 의 항온 수조에서 때때로 교반하면서, 1시간 동안 반응시켰다. 반응 시간이 경과한 후에 삼각플라스크를 냉각시키지 않고 다시 같은 양의 아염소산나트륨과 빙초산을 투입하고 반응을 유지하였다. 이와 같이 반복을 2번 더 수행하여, 아염소산나트륨과 빙초산의 총 투입 횟수가 4회가 되도록 실험을 수행하였다. 반응이 끝난 후 플라스크를 10°C 이하로 냉각시킨 다음 이미 무게를 알고 있는 글래스필터(IG2)를 이용하여 여과하고 증류수를 사용하여 충분히 세척한 다음 아세톤을 이용하여 최종 세척을 수행하였다. 다음, $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ 에서 건조하였으며, 시료의 전건 무게에 대한 홀로셀룰로오스의 양을 구하였다.

(6) 리그닌 정량

산가수분해법을 이용하여 Klason lignin을 정량하였다. 위의 유기용매 추출을 통해 탈지된 시료 1g을 50ml의 비커에 취하고, 이미 제조된 72% 황산(H_2SO_4) 20ml을 가한 후 상온에서 자주 교반시키면서 2 시간 동안 가수분해 반응을 수행하였다. 반응 용액을 1ℓ의 삼각플라스크로 옮기고 증류수를 가하여 황산의 최종 농도가 3%가 되도록 희석한 후 환류 냉각기를 붙여 100°C 의 항온수조에서 4시간 동안 반응을 유지시켰다. 이 반응액을 상온으로 냉각시킨 후 무게를 알고 있는 글래스필터(IG4)를 이용

하여 여과하고 충분히 세척한 후 105±3℃에서 건조시킨 다음, 시료의 전건무게에 대한 리그닌의 양을 구하였다.

3.2 장기 발효된 돈분뇨의 성분 분석

액상 돈분뇨 분석은 습식분해법 H₂O₂-H₂SO₄ 법으로 하였고, wood chip이 혼합된 돈분뇨는 1 : 1 비율로 HCl을 이용한 건식분해법을 사용하였으며, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 등은 원자흡광광도계(SHIMADZU AA-680)로 정량하였다. 중금속 성분분석(Cd, As, Cu etc)은 ICP(Inductively Coupled Plasma, Spectro Germany)로 분석하였고, 전질소 함량은 켈달법으로 분해 후 KJELTEC AUTO 1030 Analyzer로 분석하였다. NH₄⁺-N측정은 RQflex 16970(E. Merck, Germany) check kit로 측정하였고, EC(Electrical Conductivity)은 conductivity meter(Model no. 1481-40)로 측정하였으며, pH는 portable pH meter(HANNA)로 측정하였다.

3.3 시기에 따른 미생물 변이군 관찰

정화조에서 약 60L의 분뇨 혼합물을 확보하였으며, 이를 목질칩과 100L의 플라스틱으로 구성된 반응조에서 혼합하였다. 두 종의 반응조를 구성하였으며, 각각 약 30L의 분뇨 혼합물을 투입한 후, 일정 시간 간격으로 산소를 공급하기 위해 교반을 수행하였으며, 동시에 선발용 배지로 NA(Nutrient agar), AIA(Actinomycetes

isolation agar) 및 TSA(Tryptic soy broth agar)에 희석된 시료 0.1ml씩 넣고 배양온도 30℃, 55℃에서 배양하였다. NA 배지의 조성은 bacto beef extract 3g, bacto peptone 5g, bacto agar 15g/ℓ (pH 6.8)이고, AIA 배지의 조성은 bacto casitone 2g, asparagine 0.1g, sodium propionate 4g, dipotassium phosphate 0.5g, magnesium sulfate 0.1g, ferrous sulfate 0.001g, bacto agar 15g/ℓ (pH 6.5)이며 TSA 배지의 조성은 tryptic soy broth 30g에 bacto agar 15g/ℓ (pH 7.0)로 하였다. 균주선발용 배지에서 배양한 후 petri dish 상에서 현미경을 이용하여 관찰할 수 있는 colony를 분리하여 재배양하여 온도 변화 및 생균수 변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 목질칩에 의한 분뇨 분해 성능

목질칩 1.1톤에 돈분뇨를 정화조에 투입하면서 교반을 한 결과는 Table 1과 같다. 히터가 작동된 상태에서 3일이 경과되면 칩 내부온도는 발효적정온도인 55~60℃에 도달하였다. 온도가 상승하면서 발효열에 의한 증기 발생이 시작되었고 송풍기에 의한 증기열의 배출이 일어나서 자동 목질칩 정화조의 작동이 진행되는 것을 알 수 있었다.

Table 1. Degradation capacity of pig manure by wood chip during fermentation.

	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
Heater	on	off	on	on	on	on	on
Inputting amount of pig manure(ℓ/1day)	120	120	120	120	150	150	180
Temp. in system(℃)	26.6	38.1	54.9	65.9	63.5	63.8	60.7
Temp. in air(℃)	21.0	21.5	23.5	22.0	22.0	23.0	23.0
Mixing time	3min/1h	3min/1h	3min/1h	3min/2h	3min/1.5h	3min/1.5h	3min/1.5h

2. 분뇨 처리용 목질칩 장기 이용 성능

2.1 장기 사용한 목질칩의 성분 분석

(1) 회분 함량 변화

사료의 채취 시기에 대한 회분 함량의 변화는 Figure 3과 같았다. 무처리칩에 비하여 돈분뇨의

처리시기가 경과함에 따라 생성되는 회분의 양이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 6주~8주간 처리된 칩에서는 회분 함량의 뚜렷한 증가는 관찰되지 않았다. 이는 돈분뇨에서 유래된 많은 유기 및 무기물이 처리칩 내에 물리·화학적으로 흡착된 상태를 유지하고 있는 것으로 사료되

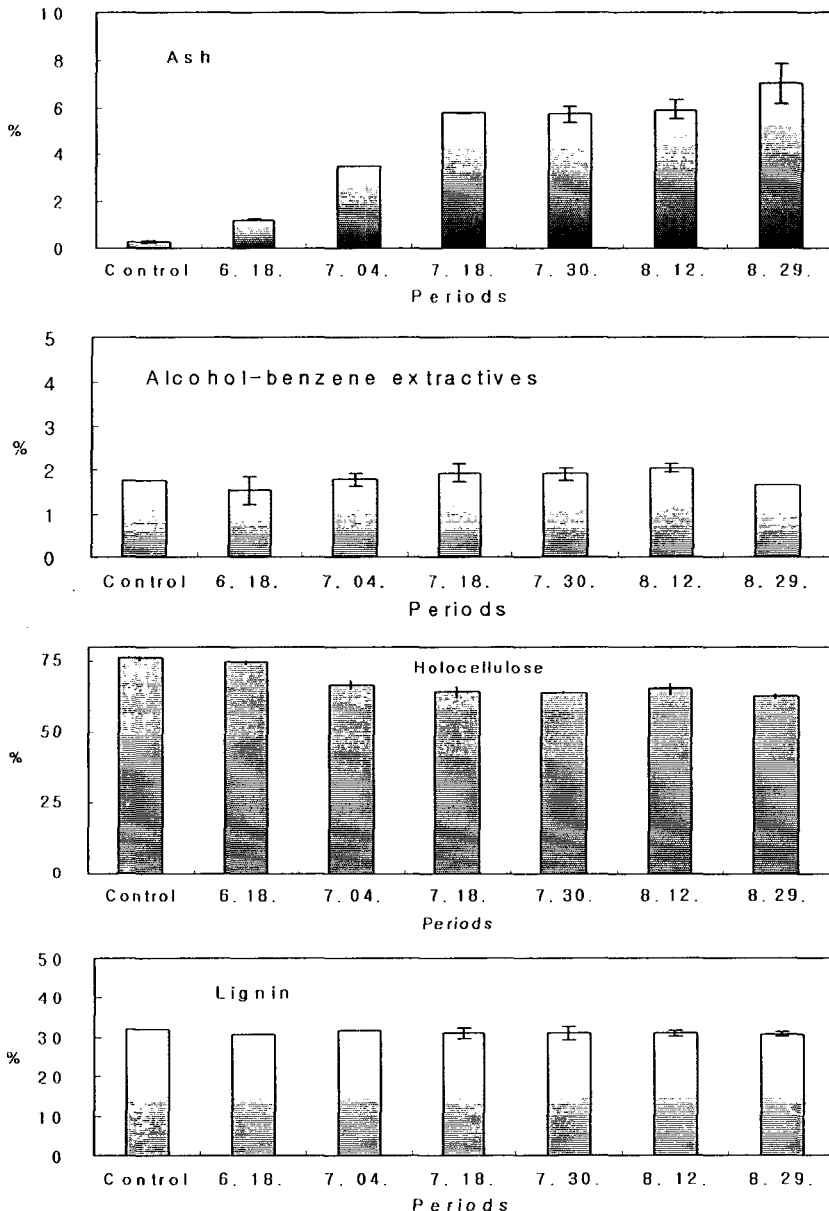


Figure 3. Chemical components of wood chips after fermentation.

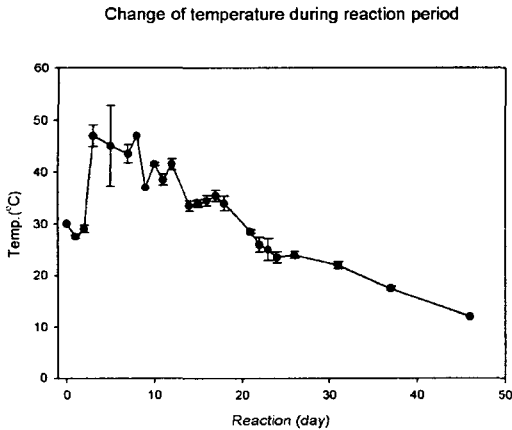


Figure 4. Changes of temperature during fermentation.

터 온도가 상승하기 시작하였다. 반응기 내부 최고 온도는 약 56°C 와 47°C 였다. 원활한 산소의 공급을 위해 최초 2회/일 교반하였던 실험 조건에서는 반응기 내부 온도가 상승하지 못하였으며, 반응조 최고 온도 도달 후에 산소 공급을 위해 교반을 하면, 이후에 내부 온도가 급격히 감소하여 약 10°C 정도가 감소하였다. 이미 발효 진행 상황으로 보여지는 온도 조건에서도 산소 공급을 위한 교반 수행 이후에 급격하게 반응기 내부 온도가 감소하는 것을 확

인하였다. 이는 호기성 발효 유도를 위해서는 외부 온도 조건이 중요한 인자로 작용할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 생균수 변화

각 농도 별로 spreading 후 30°C에서 24시간 배양 한 후 colony counter를 이용하여 균수를 측정하였다. 희석 배수에 따라, 점차적으로 균수가 감소하는 것을 확인하였다. 반면, 방선균 선택성 배지인 AIA 배지에서는 반응 초기에 colony를 확인할 수 없었으나, 반응 15일 이후에 colony를 확인할 수 있었으며, 이 때 반응조의 온도는 약 35°C 정도를 유지하고 있었다. 이후에 conoly의 숫자가 점차적으로 증가한 이후 감소하였다. NA 배지도 비슷한 경향의 colony 숫자의 증·감 경향을 보여주었으나, 그 수에 있어서 TSA 배지에 비해 낮았고, AIA 배지에 비해서는 숫자가 높았다.

55°C 조건에서 배양한 결과는 30°C 배양에 비해 생성된 colony의 수가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 먼저, TSA 배지에서 최고 생균수는 반응 후 3 일째부터 증가를 시작하여 반응 17일까지 유지되었으며, 반응 17일째에 최대 생균수를 확인할 수 있었다. 위의 30°C 배양 조건에서와

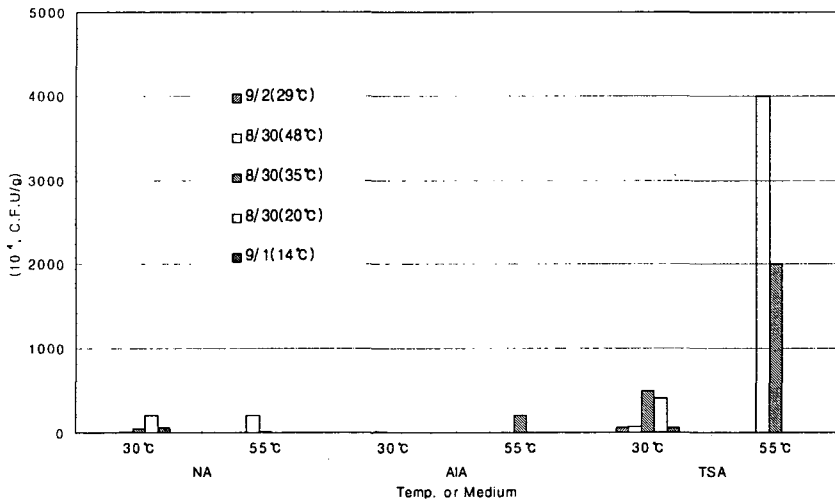


Figure 5. The changes of C.F.U. during fermentation.

유사하게 TSA 배지 생성 colony 다음에는 NA 배지의 colony 생성 숫자가 많았으며, colony 수의 생성 경향은 TSA 배지와 유사하였다. 반면, 방선균 선택 배지인 AIA 배지에서는 colony의 급격한 증가를 확인할 수 없었다.

생성된 colony의 숫자를 이용한 결론에서는 반응조 내부의 온도가 증가한 시점에서 생성되는 colony의 수가 증가하기 시작하는 것을 확인하였고, 반응조 내부의 온도가 감소하고 있는 경향에서도 반응조 내에 생존 균류는 다양하게 존재하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 호기성 발효 시스템에서 확인되는 핵심 발효균의 검정을 위해서는 온도가 증가하기 시작하는 시점에서 형성되는 우세 colony의 균을 선별하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 같은 시점에서 방선균 배지에서 검출되는 colony의 수가 매우 적은 것으로 보아 방선균 이외의 균이 고온 호기성 발효에 참여하고 있는 것으로 판단되며, 이러한 결과는 55℃에서의 배양에서도 확인할 수 있었다.

결론

목질칩을 이용한 친환경적 분해 처리 시 장기간 사용한 목질칩은 홀로셀룰로오스의 양은 감소하여 발효 중 목질칩이 부탄소원으로의 이용

되었을 가능성은 있어보였지만 주탄소원인 돈분뇨의 분해에 주로 이루어졌다는 것을 알 수 있었다. 장기 처리된 돈분뇨의 성분 중 특히, 중금속(Cd, As, Cu 등)이 거의 검출되지 않아 나중에 돈분뇨를 발효, 분해한 목질칩을 산지의 퇴비에 사용해도 환경적 문제가 없을 것이라고 판단되었다.

인용문헌

1. 허덕, 정민국. 2001. 가축분뇨 처리방법별 비용과 규모의 경제성. 농업경영·정책연구. 28 : 364-382.
2. Choi, I. G., J. S. Park and J. H. Oh. 1995. Environmental Purification by Woods and Forest Microorganisms, Reports of Forest Research Institute 4-III : 99-121.
3. Kim, K. E. 1997. '97 Policy on Waste Management, Symposium on Compost Treatment of Food and Organic wastes, National Environment Res. Inst. pp. 3-17.
4. Kim, K. S. 1995. Studies on Standardization of Waste Treatment Facilities for Collective Swinery, Ministry of Agriculture and Forestry, Seoul. 280p.