

## 규산질다공체(CellCaSi)의 반복사용을 통한 퇴비화 거동특성

신항식, \*김현우, 한신기, \*황웅주, \*\*최룡

KAIST 토목공학과, \*Nanyang Technological University, \*\*쌍용양회공업(주) 중앙연구소

### I. 서론

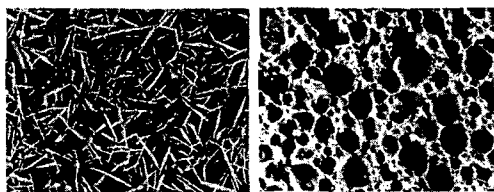
축분의 자원화를 위한 일반적인 처리 방법은 작물에 해가 없고 주변환경에 오염을 끼치지 않을 정도로 발효 퇴비화 하는 것이다. 그러나 가축분을 발효시키기 위해서는 알맞은 함수율이 필요하며 축분의 함수율을 적절한 수준으로 조절하기 위해서 수분조절제(bulking agent)가 필요하다. 대표적인 수분조절제로 사용되는 톱밥은 수분조절 능력이 우수하고 탄소원으로서의 역할이 가능한 장점이 있으나 다양한 수요처로 인하여 공급이 원활하지 못해 상당량 부족한 실정이고 가격 또한 비싸 퇴비화 비용을 상승시키는 원인으로 작용하고 있다. 결국 축산농가의 재정적 부담이 가중되는 상황이므로 부족한 수분조절제를 대체하고 지속적인 수분조절 능력을 갖춘 신재료의 개발이 축산분뇨 퇴비화의 성공을 위해서는 불가피한 실정이다. 즉, 저가이면서도 공급이 안정적이고, 성능이 우수한 대체 수분조절제의 개발이 요구된다 하겠다. 이에 따라 본 연구에서는 강력한 흡수력과 통기성을 지닌 고기능성 신소재인 규산질 다공체(CellCaSi)를 대체 수분조절제로 반복이용하여 퇴비화 효율을 평가함으로써 경제적인 퇴비화의 가능성을 타진하였다.

### II. 재료 및 실험방법

#### 1. 실험재료

Fig. 1에서 보는바와 같이 석탄회, 제철슬래그, 부산석고 등 부산자원과 시멘트, 고기능성 생석회 등으로부터 생산되는 규산질 다공체(CellCaSi)는 80% 이상의 open pore로 형성되어 있어 자중의 1.5배에 달하는 수분을 흡수할 뿐 아니라 무기물 성분으로만 구성되어 있어 퇴비화 과정 중 분해될 가능성 또한 적고, 아울러 규산, 칼륨, 칼슘, 알루미늄 등의 함량이 높아 규산질 비료로서의 이용 가능성도 갖고 있으며, 암모니아 등의 악취 저감에도 효과적인 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 퇴비화 반응에 사용한 돈분, 셀카시 및 톱밥의 혼합 비율은 다음의 Table 1과 같으며, 반복퇴비화에는 기존에 발생된 퇴비에 돈분만 동일한 양을 투입하였다.



(a) × 10,000 (b) × 20

Fig 1. SEM pictures of CellCaSi

Table 1 Characteristics of feedstock and bulking agents

	Unit	Reactor A long-term	Reactor B short-term	Reactor C long term
Swine manure	kg	7	7	4.51
Cellcasi	kg	3.40	3.40	1.97
Sawdust	kg	-	-	1.85
Desired MC <sup>a</sup>	%	53.0	53.0	53.0
MC <sup>a</sup>	%	52.0	52.1	49.0
VM <sup>b</sup>	%	30.4	29.4	48.6
pH		8.36	8.41	8.46

a : moisture content, b : volatile matter

\* Original input mass of Reactor C

→ swine manure : cellcasi : sawdust = 7 kg : 2.62 kg : 2.46 kg

## 2. 반응조구성 및 운전방법

실험실 규모의 퇴비식 반응조가 Fig. 2에 나타나 있다. 공기펌프에 의해 각각의 반응조로 1 L/min의 공기를 주입하였으며 온도가 60°C 이상 증가되지 않도록 제어하였다. 각 반응기는 3번의 퇴비화를 반복 수행하였으며 그때마다 동일한 돈분이 투입되었다. 반응기 A, C의 반복주기는 1개월이고, 반응기 B의 반복주기는 0.5개월이다. 3번의 퇴비화가 완료되면 최종적으로 한달간의 부숙 기간을 거쳐 최종 퇴비를 제조하였다. 1회 반복마다 1번의 교반을 수행하였고, 각 batch의 시작, 중간(교반), 끝의 시료를 적당량 채취하여 분석하였다.

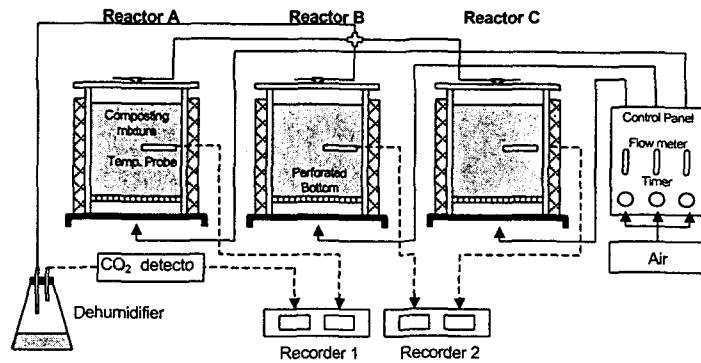


Fig. 2 Composting reactor system

## 3. 분석항목 및 분석방법

온도측정 및 기록은 온도 측정 센서와 기록계를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 6시간(0.25 day) 단위로 그 값을 기록하였다. CO<sub>2</sub> 각 반응기에서 발생하는 gas를 CO<sub>2</sub> analyzer (Milton Roy, ZFP-5 portable CO<sub>2</sub> analyzer)를 이용하여 연속 측정하였으며, 6시간 마다 그 값을 기록하였고, g CO<sub>2</sub> 로 환산하여 누적하였다. 유기물감량과 수분함량은 폐기를 공정시험방법에 준하여 측정하였고, pH는 pH meter (Orion, model720A)를 이용하여 측정하였다. 중금속 함량은 퇴비시료를 미세한 분말 상태로 전처리 한 일정량을 적정량의 질산에 녹여 희석한 후 ICP (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, HP4500) 를 이용하여 분석하였다. 채취한 퇴비시료는 건조한 뒤 미세한 분말상태로 전처리 한 후 Elemental Analyzer (Fisons, EA1110)를 이용하여 C, N, H, S 의 비율을 구하였다

## III. 실험결과 및 고찰

온도변화 및 CO<sub>2</sub> 누적 발생량은 각각 다음의 Fig 3과 Fig. 4와 같다. 40°C 이상의 온도 유지기간은 반응기 A의 1차 퇴비화시 약 17일(교반전 15일, 교반후 약 2일)을 유지한 반면 반응기 C의 경우는 약 10일(교반전 8일, 교반후 약 2일)로 나타났다. 돈분과 규산질다공체만을 혼합한 반응기 A의 경우 돈분과 규산질다공체 그리고 톱밥을 섞은 반응기 C보다 우월하게 나타났으며, 반복이 진행되면서 그 온도차가 줄어드는 것을 볼 수 있었는데, 그 원인은 톱밥을 규산질다공체와 혼용하여 사용할 경우 상대적으로 입자의 크기가 작은 톱밥이 규산질다공체 사이의 공극을 메워 산소와 미생물과의 접촉 효율이 감소되기 때문에 공정 효율이 저하되는 것으로 사료된다.

매 반복마다 발생하는 총 CO<sub>2</sub>의 양에 있어서도 톱밥을 투입하지 않은 반응기 A(장기)가 가장 많은 발생량을 보였다. 단기 퇴비화는 역시 그 반응기간이 짧아 온도와 CO<sub>2</sub> 발생면에서 모두 장기 반응기(A, C)

보다 우월하지 못한 것으로 나타났다. 교반 직후 온도와 CO<sub>2</sub>의 발생이 증가 하는 이유는 증력에 의한 자연적으로 압밀된 시료를 교반을 통해 반응물질 내에 총 공극을 균일하게 해주어 퇴비화 초기상태와 비슷하게 유지시켜주기 때문에 산소와의 접촉 효율이 증가되어 발생하는 것으로 사료된다.

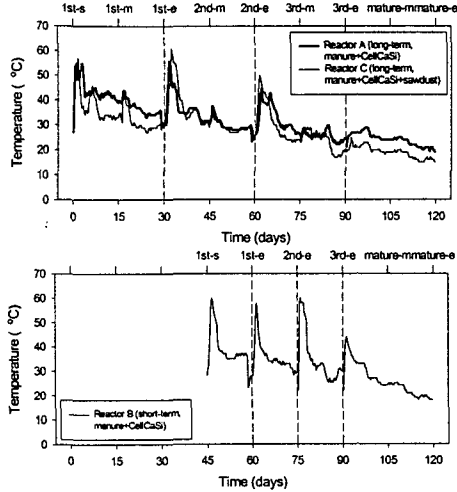


Fig. 3 Variation of temperature during composting

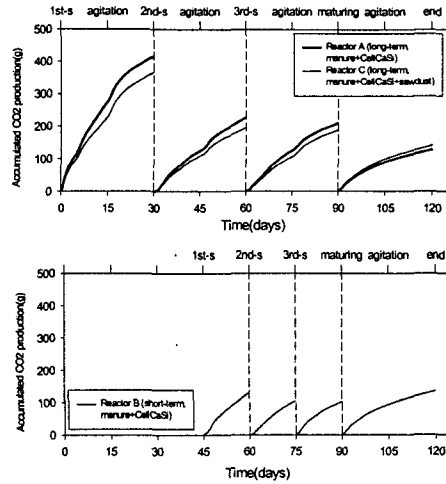


Fig. 4 Accumulated production of CO<sub>2</sub> during composting

MC 변화에 있어 같이 1차 퇴비화시에는 규산질다공체의 탁월한 수분 조절 능력으로 인해 최적의 퇴비화가 발생하는 수분 함량을 지속적으로 유지시켜 주는 것을 볼 수 있었으나 2차, 3차 반복 퇴비화 시 후반부에 수분함량이 10~20% 가량 감소하는 것을 볼 수 있으며, 보통 40% 이하의 함수율에서 미생물의 활성이 감소하게 된다고 알려져 있어 2, 3차 퇴비화는 후반부에 미생물의 활성이 제한 받게 되었을 것으로 사료된다. 이는 퇴비화가 진행되면서 쉽게 생분해 되는 물질의 분해 산물로 생성되는 물이 대부분 증발산 되었으며 수분조절제인 규산질다공체가 과잉의 수분을 원활하게 조절하지 못하여 배기가스와 함께 유출된 부분과 퇴비화 잔류물에 의한 규산질다공체 표면코팅 효과에 의해 수분의 규산질다공체 내부로의 전달 및 저장하는 함수능이 저하된 것이 주요 원인으로 사료된다.

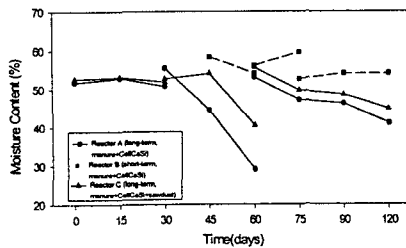


Fig. 5 Variation of moisture content

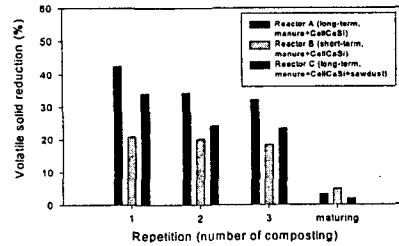


Fig. 6 Variation of volatile solids reduction

VS 감량에 있어 반응기 A의 1차 퇴비화 유기물 감량이 42% 가량으로 가장 높았으며 이때의 C 반응기는 약 34% 가량을 보이고 있다. 반응기 A의 경우 2차, 3차 퇴비화가 진행되면서 유기물 감량이 1차 퇴비화시 보다 각각 8%, 10% 가량 낮은 수치를 보이고 있으며, 앞서 말한 바와 같이 수분의 감소로 인해 그 분해기작이 제한을 받은 것도 부속기간동안의 낮은 유기물 감량의 원인으로 사료된다. B 반응기의 경우 A, C 반응기 퇴비화 기간의 절반동안만 운전되기 때문에 그 감량은 장기 퇴비화 반응기에 비해 매우 낮았으며,

톱밥을 섞은 장기 퇴비화 반응기 C의 경우는 진술한 퇴비화 효율 저하 요인으로 인해 그 감량에 있어 10% 가량 작은 값을 보이고 있으므로 규산질다공체만을 수분조절제로 사용할 경우 초기 퇴비화 반응에서 더욱 효율적으로 나타났다.

#### IV. 결론

1. 규산질 다공체를 이용한 퇴비화 반응조의 거동특성 분석 결과 1차 퇴비화에서 가장 우수한 퇴비화 효율을 보여주었으며, 규산질 다공체는 우수한 수분조절제로 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.
2. 외부 탄소원으로 사용된 톱밥의 혼용이 규산질다공체를 이용한 퇴비화 효율의 증대에는 크게 기여하지 못하는 것으로 나타났다.
3. 연속적인 2차, 3차 퇴비화가 진행되면서 고온 유지기간이 짧아지고 이산화탄소 발생량이 급격히 줄어들어 미생물의 활성이 제한 받는 것으로 나타났다.
4. 반복 퇴비화에 의한 퇴비화 공정효율 저하는 잔류물에 의한 규산질다공체의 표면 폐쇄에 따른 수분조절 능력저하 및 이로 인한 다량의 수분의 손실로 인해 미생물의 활성이 감소하기 때문에 발생하는 것으로 사료된다.
5. 규산질 다공체의 반복 퇴비화를 위한 대책으로 일정량의 규산질 다공체를 새로이 투입하여 유효공극을 늘리는 방법, 퇴비화 기간을 늘려 완숙에 이르게 하는 방법 혹은 뒤집기 횟수의 증대로 유효 공극을 계속적으로 확보하는 방법 등이 강구된다면 반복 사용의 가능성도 매우 높고, 낮은 비용으로 최대의 퇴비화 효율 획득이 가능할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 산하 국립환경연구원이 주관하는 G7 환경기술개발사업 연구과제의 일부로서 쌍용양회공업(주) 중앙연구소의 위탁과제로 수행되었으며, 관계자 여러분께 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

#### 참고문헌

- 서명철, 소규호, 박원목. 1999. 가축분 퇴비화 과정에서 부숙도 및 퇴비의 항균활성 검정, J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 32(3): 285~294.
- 임재명, 한동준, 강현재. 1995. 목질계 Bulking Agent가 돈분의 1차 퇴비화에 미치는 영향, 한국폐기물학회지 12(3):288~296.