

음식쓰레기의 실험실 규모 퇴비화에서 셀룰로스 분해에 대한 퇴비 식종효과

신항식, 정연구,* 황응주

한국과학기술원 토목공학과 환경공학연구실

*금오공과대학교 토목공학과

The Compost Inoculation Effect on the Cellulose Degradation in Bench-scale Composting of Food Waste and Paper Mixture

Hang-Sik Shin, Yeon-Koo Jeong,* Eung-Ju Hwang

Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,

* Department of Civil Engineering, Kum-Oh National University of Technology,

ABSTRACT

The effects of compost inoculation on the degradation of cellulosic fraction in composting of food waste and paper mixture were investigated by bench-scale composting. With the increase of seed inoculation, the time to reach the peaks of temperature, CO₂ evolution rate, and ammonia evolution rate was reduced, indicating that seed compost had beneficial effects on the enhanced degradation of organic materials at the early stage of composting. However, the final conversion of organic matters and the loss of ammonia were not affected by the amount of seed compost inoculated. The increasing of seed inoculum also resulted in the higher level of cellulase activity at initial stages and rapid rise to the maximums, suggesting that initial supply of sufficient cellulolytic microorganisms might facilitate the evolution of cellulase activity. The cellulose was degraded substantially during the increasing phase of cellulase activity, while they showed similar values at the end of 20 days composting. As a result, the seed inoculation seemed to be effective to the enhanced evolution of cellulase activity and cellulose degradation at initial stage of composting. But it did not contribute to increase the final

degradation of cellulose after the entire composting reaction of 20 days.

Key words : seed inoculation, cellulose, cellulase, cellulolytic microorganism, degree of degradation, CO₂ evolution rate, nitrogen loss

초 록

음식 쓰레기와 종이류의 혼합퇴비화에서 퇴비 식중 효과는 온도 변화, pH, 이산화탄소 발생량, 암모니아 발생 속도 등으로 판단하여 볼 때 유기성 질소를 비롯한 유기물의 분해를 퇴비화초기 단계에서는 촉진하는 것으로 나타났다. 하지만 이러한 퇴비식중이 최종적으로 유기물 분해율이나 질소 손실량에는 영향을 주지 않았다. 또한 퇴비를 식중함으로써 초기 고온 단계의 셀룰로스 분해가 촉진되었으며 건조 중량으로 25% 식중은 초기에 충분한 양의 셀룰로스 분해 미생물을 공급하는 것으로 나타났다. 아울러 퇴비 식중량이 증가함에 따라 초기 단계의 셀룰로스 분해 효소 활성도가 높았으며, 단시간에 최대값으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 최대 셀룰로스 분해효소의 활성도 유지기간이나 최대값은 대체로 비슷하였다. 또한 최종적인 셀룰로스 분해율도 비슷하여 퇴비 식중효과는 셀룰로스의 빠른 분해에 제한되며, 셀룰로스의 전반적인 분해도 향상에는 기여하지 못하는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 퇴비식중, 셀룰로스, 셀룰로스 분해효소, 셀룰로스 분해미생물, 분해율, 이산화탄소 발생량, 질소 손실량

1. 서 론

유기성 폐기물을 처리, 재활용할 수 있는 퇴비화 공법의 효율증진 방안에 관하여 그동안 많은 연구가 이루어져 왔으며, 그 중 하나가 반송 퇴비의 식중이나 특수 배양된 미생물제제의 첨가를 통한 퇴비화 기간 단축 및 생성되는 퇴비의 질적 향상 등을 도모하는 것이라 할 수 있다. 식중효과에 대해서는 많은 연구가 이루어졌음에도 불구하고 그 필요성에 대해서는 아직까지 논란의 대상이 되고 있다. 특히 국내에서는 최근 분리배양된 미생물군이 고속퇴비화에 종균제로 널리 유통되고 있으나 그 효과 유무에 대해서는 확실한 연구결과가 제시되지 않고 있다.

퇴비화에서의 미생물 식중 효과는 폐수처리 슬러지와 같이 폐기물에 존재하는 자생미생물이

풍부한 경우보다는 벗짚과 같은 농업부산물이나 도시폐기물과 같이 자생미생물이 절대적으로 부족한 경우 그 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (Golueke *et al.*, 1954; Yadav *et al.*, 1982; Nakasaki *et al.*, 1985, 1988). 또한 식중효과는 다양한 운전인자의 영향을 받는 퇴비화속도의 향상보다는 퇴비의 품질향상에 더 효과적이라는 주장도 제기된 바 있다 (Gray *et al.*, 1972). 이에 따라 질소고정화 미생물과 무기인산 용해성 미생물을 식중한 경우 퇴비의 총 질소와 용존성 인산염의 함량을 증가시킬 수 있다는 연구결과도 보고된 바 있다 (Kapoor *et al.*, 1983).

셀룰로스 분해 곰팡이나 박테리아를 식중하여 다양한 폐기물의 퇴비화를 촉진시키기 위한 시도가 있었으나 그 효과에 대해서는 서로 상이한 결과가 보고되고 있다 (Gaur *et al.*, 1982;

Yadav *et al.*, 1982; Faure & Deschemps, 1991). 이렇게 상이한 연구결과는 대상폐기물의 특성이 다양하기 때문에 유발된 것이라고 볼 수 있으나, 한편으로는 셀룰로스 분해 미생물의 식종효과를 셀룰로스의 분해와 직접적으로 관련된 인자를 통하여 분석하지 않고 일반적인 퇴비화 반응의 지표를 통해 파악하려고 한 점에도 부분적인 원인이 있다고 판단된다. 한편, 퇴비화시 식종효과는 식종량에 따라 변화될 수 있는 물리, 화학적인 퇴비화조건을 불활성화된 즉 미생물 식종효과가 없는 퇴비를 첨가하여 동일하게 유지함으로써 그 효과를 보다 명확히 평가할 수 있었다(Nakasaki *et al.*, 1985, 1988).

따라서 보편적으로 많이 이용되고 있는 식종 방법인 퇴비 반응시 기대할 수 있는 퇴비화 촉진 및 퇴비 품질 향상에 대한 분석적인 연구가 필요하다고 판단된다. 특히 미생물식종이 전반적인 퇴비화반응에 미치는 영향을 단순한 측정인자로 파악하기 보다는 특정성분의 분해 및 거동에 미치는 영향에 초점을 맞추어 집중적으로 분석함으로써 식종효과를 명확히 파악할 수 있다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 미생물이 불활성화된 퇴비를 첨가하는 방법으로 퇴비화반응의 물리적, 화학적 조건을 유사하게 유지하면서 퇴비첨가를 통한 미생물 식종이 전반적인 퇴비화반응과 특정 성분인 셀룰로스의 분해에 미치는 영향을 실험적으로 살펴보기로 한다. 특히 퇴비식종이 셀룰로스의 분해에 미치는 영향을 심도있게 평가하기 위하여 셀룰로스 분해 미생물의 계수, 셀룰로스 분해효소의 활성도, 셀룰로스 함량 등을 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 퇴비화 장치

실험에 사용된 실험실 규모 퇴비화 반응기는

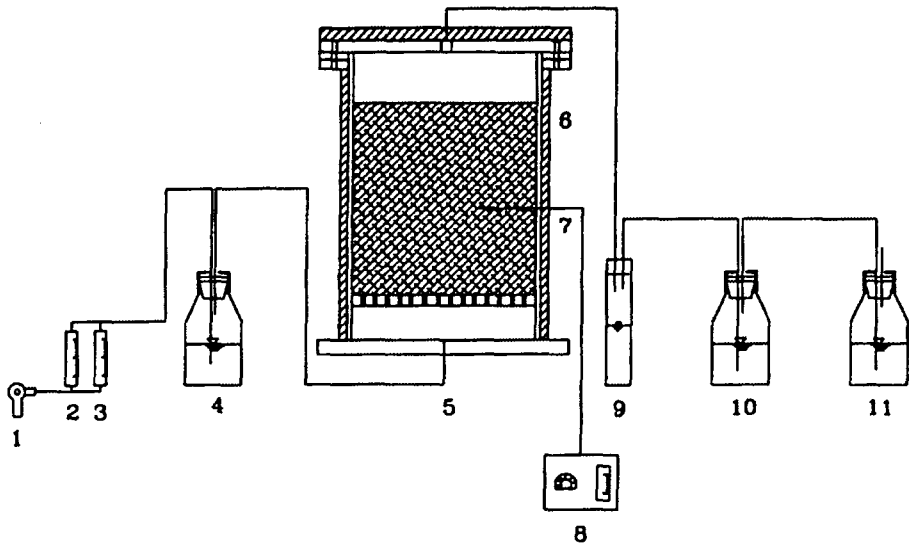
Fig. 1과 같이 두께 0.5 cm, 내경 30 cm, 높이 50 cm의 원통형 아크릴로 제작하였으며 유효용적은 28 L이다. 퇴비화 반응열의 손실을 억제하기 위해 반응기 둘레와 상부를 유리솜으로 단열하였으며, 두개의 온도센서를 반응기 가운데 설치하여 각각 퇴비화 온도의 자동기록과 최고 온도를 일정 온도 이하로 유지하기 위하여 공기유입량을 조절하는데 이용하였다. 공기는 압축공기를 반응기 하부에 주입하여 유공판을 통하여 반응조 전면에서 골고루 분산되도록 하였으며, 공기유입량을 0.8~8.0 L/min의 범위에서 조절하여 퇴비화반응의 최고 온도가 55°C를 넘지 않도록 하였다.

반응조로부터 배출되는 가스는 증발되는 수분을 포집하기 위한 응축수 저류조를 거친 다음 암모니아와 이산화탄소를 흡수·정량하기 위해 1 N 황산용액(500 mL)과 5 N KOH 용액(500 mL)을 통과시켰다. 혼합은 2~5일 간격으로 반응기를 해체하여 수작업으로 실시하였으며 혼합후 분석을 위한 퇴비시료를 채취하였다.

2.2 퇴비화 조건

퇴비화 실험에 사용된 음식쓰레기는 정상 변화를 최대한 억제하기 위하여 식당에서 배출되는 잔반을 수거하여 노천에서 일광 건조한 후 사용하였으며, 종이류는 사무실용지와 신문지를 폭 1.0 cm 정도로 절단한 후 동일한 양을 섞어 사용하였다.

퇴비화 실험은 식종량에 관계없이 음식쓰레기와 종이류를 동일하게 건조중량 기준으로 1.5 kg씩 주입하였으며, 이에 식종퇴비 1.0 kg을 혼합하여 총 4.0 kg의 혼합물을 퇴비화하였다. 퇴비 식종효과를 동일한 물리적, 화학적 조건에서 파악하기 위하여 일정량의 식종퇴비를 노천 건조시킨 후 150°C에서 3시간 열처리하여 미생물을 불활성화 시킨 다음 정상퇴비와 혼합 사용하



1 : Blower
 2, 3 : Air Flow Meter
 4 : Humidifier
 5 : Reactor
 6 : Glass Wool Insulator
 7 : Temperature Sensor
 8 : Temperature Controller and Recorder
 9 : Condensate Trap
 10 : Sulfuric Acid for Ammonia Absorption
 11 : KOH Solution for CO₂ Absorption

Fig. 1. Schematic diagram of bench-scale composting system used in this study.

Table 1. The effects of thermal deactivation on change of cellulolytic microorganism in seed compost

Classification	Before thermal deactivation	After thermal deactivation
Cellulolytic bacteria	8.47×10^7	1.20×10^7
Thermophilic	1.07×10^5	6.87×10^3
Mesophilic		
Cellulolytic fungi	ND	ND

ND: Not Detected

였다. 각 실험에서의 열처리 퇴비/정상 퇴비의 혼합비율은 Run A, B, C에 대해서 각각 1.0 kg/0 kg, 0.5 kg/0.5 kg, 0 kg/1.0 kg으로 하였다. 한편 식종퇴비의 열처리 전후의 셀룰로스 분해 미생물의 변화는 Table 1과 같다. 초기 수분함량은 약 60%로 조절하였으며, 고온기간 중에 수분손실이 과도하여 현저한 수분감소가

관찰되는 경우에는 교반시 적정량의 물을 첨가하여 수분함량이 50% 이상 유지되도록 조절하여 원활한 퇴비화 반응을 유도하였다.

2. 3 분석항목 및 방법

2. 3. 1 퇴비화 반응

pH는 습윤시료 5 g을 증류수 95 mL와 혼합하여 상온에서 약 30분간 교반한 다음 pH전극을 이용하여 측정하였다. 퇴비의 흡수율과 휘발성 고형분은 각각 105°C에서 24시간 건조, 550°C에서 3시간 강열하여 구하였다. 분해율은 퇴비에 포함된 회분의 양이 퇴비화 과정을 통하여 변하지 않는다고 가정하여 계산하였다.

배기가스로 배출되는 이산화탄소와 암모니아의 양은 흡수용액 (5 N KOH, 1 N H₂SO₄)을 매일 교체하여 흡수된 이산화탄소의 양은 0.1 N

표준황산으로 적정하고, 암모니아의 양은 증류법으로 측정하여 산출하였다. 또한 응축수에도 많은 양의 암모니아와 이산화탄소가 포함되어 있을 뿐만 아니라 그 발생량이 자체가 크기 때문에 이에 대해서도 같은 방법으로 분석하였다 (Standard Methods, 1985).

셀룰로스 함량은 퇴비시료를 60°C에서 48시간 동안 완전히 건조한 후 분쇄기를 사용하여 미세한 분말로 균질화한 다음 Updegraff 변법으로 측정하였다(Updegraff, 1969). 검량선은 20 µm 이하의 결정질 미세 셀룰로스(Aldrich Chemical)를 표준 셀룰로스로 사용하여 작성하였다.

2.3.2 셀룰로스 분해균의 계수

시료 5g에 95 mL의 증류수를 넣어 균질화한 다음 4,000 rpm에서 5분간 원심분리후 상등액을 회석하여 미생물 계수용 식종액으로 사용하였다. 셀룰로스 분해균 계수는 박테리아, 곰팡이류로 구분하여 실시하였으며, 중온균과 고온균을 분리하기 위하여 27°C, 50°C에서 각각 4일, 1일간 배양하였다. 셀룰로스 분해 박테리아 계수용 배지의 조성은 CMC, 5.0 g; peptone, 2.0 g; KH₂PO₄, 1.0 g; MgSO₄ · 7H₂O, 0.5 g; yeast extract, 0.5 g; agar, 15 g; 증류수, 1,000 mL; pH, 7.2로 하였으며, 곰팡이는 potato-dextrose agar (PDA 배지: potato-dextrose agar, 39.0 g; 증류수, 1,000 mL; pH, 5.8)에 박테리아의 성장을 억제하기 위하여 streptomycin, 50 mg/L과 penicillin G, 10 mg/L를 첨가하여 계수하였다. 배양된 콜로니의 셀룰로스 분해능은 0.1% Congo-red 용액에 30분간 침적시며 염색한 후 1 N NaCl 용액으로 15분간 처리하여 콜로니 주변에 탈색된 환이 형성되는가 여부로 판단하였다(Kluepfel, 1988). 곰팡이의 셀룰로스 분해능은 PDA배지

에 형성된 서로 다른 형태의 콜로니를 박테리아 용 배지에 이식 배양한 후 같은 방법으로 셀룰로스 분해 여부를 확인하였다.

2.3.3 셀룰로스 분해효소의 활성도

셀룰로스 분해효소는 표준기질로 CMC (carboxymethylcellulose)를 사용하여 다양한 셀룰로스 분해효소중 endo-glucanase의 활성도를 측정하였다. 효소반응은 미생물 계수시 제조한 퇴비 추출액 0.5 mL와 0.1 M citric acid/0.2 M Na₂HPO₄로 제조된 pH 6.0의 완충용액에 CMC를 용해시켜 제조한 1%의 기질용액 0.5 mL를 혼합하여 60°C에서 30분간 수행하였다(Stewart & Leatherwood, 1976). 환원당은 효소반응을 거친 시료에 3.0 mL의 DNS (3, 5 dinitrosalysilic acid)용액을 첨가하여 효소반응을 중지시킨 다음 끓는 물에서 5분간 발색시켜 550 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였으며, 이때 검량선은 포도당을 표준 환원당으로 사용하여 작성하였다. 이에 따라 셀룰로스 분해효소의 활성도는 퇴비 단위 건조중량당 30분간 생성되는 환원당의 양을 포도당 등량치로 표시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전반적인 퇴비화 반응

각 실험에서 온도, 이산화탄소 발생량, 암모니아 손실량의 변화가 Fig. 2에 제시되어 있다. 즉, 식종퇴비를 전량 열처리하여 투입한 Run A의 경우 온도는 약 2일간의 지체기간이 있은 후 55°C 이상으로 상승하였으나, Run B, Run C에서는 약 1일 이내에 최고온도로 상승하였다. 그러나 고온기간은 세경우 모두 약 10일간 지속되어 비슷하게 나타났다. pH 변화는 Table 2에 제시된 바와 같이 퇴비화 반응이 진행됨에

따라 증가하였으며, 초기 pH는 식종량이 증가함에 따라 다소 높은 값을 보였다. 유사한 결과가 이산화탄소 발생곡선에서도 관찰되었다. 퇴비식종이 증가함에 따라 초기 이산화탄소 발생량이 증가하였으며, 최대 발생량 출현시간이 다소 단축되는 것으로 나타났다. 따라서 다양한 퇴비화 지표를 통하여 판단하여 볼 때 초기 퇴비식종이 증가함에 따라 유기물의 분해반응이 촉진됨을 알 수 있다. 하지만 약 20일간의 퇴비화후 분해율은 식종량에 관계없이 46% 정도로 비슷하게 나타났다(Table 2). 이러한 결과는 퇴비식종에 따른 음식쓰레기 분해반응이 촉진된다는 점에서는 Nakasaki & Akiyama (1988)의 연구결과와 일치하나 식종량이 증가함에 따라 최종적인 분해율이 향상된다는 점에서는 일치하지 않는다. 이는 Nakasaki & Akiyama (1988)의 연구의 경우 약 8일간 관찰한 결과이고 본 연구는 20일 정도 관찰한 결과이기 때문에 나타난 결과라 판단된다. 즉, 본 연구에서도 퇴비를 식종함으로써 초기 퇴비화반응은 활성화되어 Table 2에서와 같이 약 8일 경과시까지는 식종량이 증가함에 따라 분해율이 높으나 20일 정도 경과후에는 유사한 값을 보이고 있다.

암모니아 손실로 판단한 유기성 질소의 분해도 식종에 따라 상이함을 Fig. 2에서 알 수 있다. 즉, Run A의 경우 초기 4일간은 손실이 없는 반면 Run B, C에서는 초기 손실량이 관찰되어 식종량이 증가함에 따라 초기 손실량이 증가하는 것으로 나타났으며, 최대 암모니아 손실도 식종량이 증가함에 따라 빨라지고 있다. 한편 Run A, B, C에서의 최종적인 암모니아 손실량은 각각 18.8g, 19.9g, 16.1g으로 나타나 초기 총질소의 약 18.8%, 19.9%, 20.0%가 배가스로 손실되는 것으로 나타났다. 따라서 유기성 질소의 분해는 식종의 영향을 받으나 손

Table 2. The change of pH and degree of degradation during composting reaction

Reactor	pH			Degradation rate (%)	
	2day	10day	20day	8day	20day
Run A	4.8	8.0	8.7	31.8	45.0
Run B	6.2	8.3	8.6	35.0	46.5
Run C	6.7	7.8	8.5	37.4	46.6

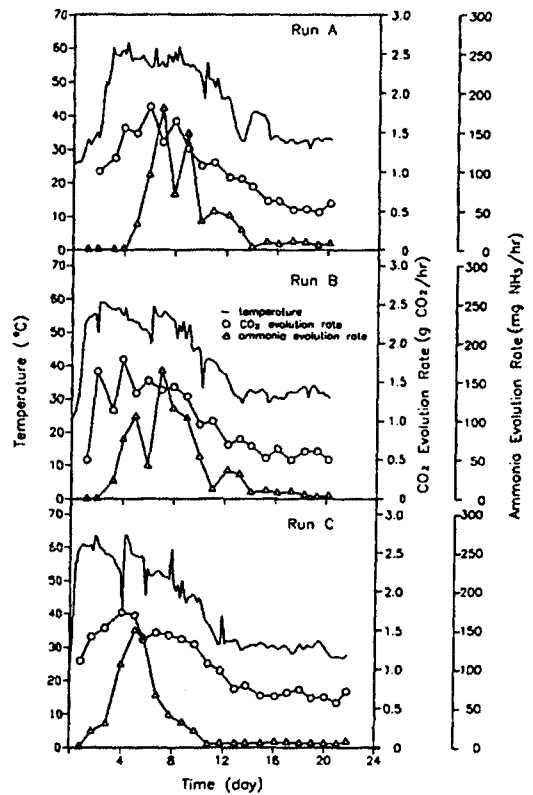


Fig. 2. The effects of seed inoculation on the temperature, CO₂ evolution rate, and ammonia evolution rate over the course of composting reaction.

실된 암모니아의 총량은 식종량과 큰 관계가 없는 것으로 나타났다.

3.2 셀룰로스 분해 미생물

불활성화된 퇴비를 혼합함으로써 식종된 미생

물의 양이 적은 Run A와 B의 경우 초기 4~6 일 동안 셀룰로스 분해 박테리아의 양이 급격히 증가하였지만 전량 정상적인 퇴비를 식중한 Run C의 경우에는 큰 변화를 보이지 않았다 (Fig. 3). 특히 Run A의 경우 초기 4일 동안의 셀룰로스 분해균의 증식이 매우 활발할 뿐만 아니라 10^8 C.F.U./g ds 이상의 고온균이 검출되어 다른 두 경우보다 높은 미생물 수가 관찰되었다. 이것은 불활성화 퇴비에 포자를 형성할 수 있는 셀룰로스 분해균이 일반 미생물보다 상대적으로 많이 잔존하여 퇴비화 반응시 일반 미생물과의 기질경쟁이 적었기 때문으로 판단된다. 또한 Run C의 결과로부터 불활성화처리하지 않은 퇴비를 25% 첨가함으로써 충분한 양의 셀룰로스 분해균이 초기에 공급되었음을 알 수 있다. 한편 중온성 셀룰로스 분해균은 고온균의 약 1/10 정도로 나타났으며, 고온균과 비슷한 형태로 변화하였다. 식중량이 적은 경우 퇴비화 초기에 미생물의 활발한 증식과 충분한 식중의 경우 미미한 증식결과는 Nakasaki 등(1985, 1988)의 연구에서도 보고되고 있다. 따라서 퇴비의 식중효과는 셀룰로스 분해 미생물의 수 변화에서도 관찰됨을 알 수 있다.

셀룰로스 분해 곰팡이는 박테리아보다 매우 적은 양으로 고온이 유지되는 짧은 기간동안 검출되었으며, 대체로 고온배양시 더 많은 수의 콜로니가 형성된 점으로 보아 고온성 곰팡이로 판단된다. 특히 셀룰로스 분해 곰팡이의 출현기간과 수변화는 세 경우에서 서로 상이한 결과를 보여주고 있으며, 이는 식중퇴비에 곰팡이류가 검출되지 않았기 때문에 식중량에 따른 차이라기 보다는 다른 원인으로 부터 유발된 결과라 판단된다. 따라서 곰팡이 출현시간이 매우 제한되어 있고 숫자에서도 박테리아보다 매우 낮으므로 곰팡이에 의한 셀룰로스의 분해는 상대적으로 제한되어 있는 것으로 판단된다. 이러한

곰팡이류의 제한된 출현은 하수슬러지나 음식쓰레기의 퇴비화 연구에서 흔히 관찰되는 현상으로 높은 pH와 온도의 영향으로 판단된다 (Miller, 1991).

3.3 셀룰로스 분해 효소 활성도

셀룰로스 분해 효소의 활성도는 Fig. 4에서와 같이 식중이 증가함에 따라 초기 값이 클 뿐만 아니라 빠르게 최대활성도로 증가하였지만 최대 활성도와 그 유지기간은 세 경우 모두 대체로 비슷한 값을 보이고 있다. 따라서 충분한 양의 식중이 이루어지는 경우 셀룰로스 분해 효소의 초기 활성도가 크게 증가함을 알 수 있으며, 이는 초기단계의 셀룰로스 분해균의 증식과 관련된 것으로 판단된다. 즉 셀룰로스 분해 효소는 미생물의 대수증식단계보다는 증식이 이루어진 후에 분비되기 때문에 나타난 결과라 사료된다. 또한 최대 활성도와 유지기간의 유사성은 동일한 퇴비를 식중하였으므로 세 경우 모두 동일한 종류의 셀룰로스 분해 미생물이 첨가되었기 때문으로 판단된다. 셀룰로스 분해 효소의 활성도는 식중량에 관계없이 고온기간에 급격히 증가하여 최대활성도에 도달하였으며, 최대활성도는 온도가 떨어진 후까지 유지되었다.

3.4 셀룰로스 분해도

셀룰로스 함량은 Fig. 5에 제시된 바와 같이 초기에는 서로 상이한 변화를 보이나 셀룰로스 분해효소의 최대활성도 후에는 비슷한 함량을 보이고 있다. 특히 2일 후의 셀룰로스 함량은 식중량이 증가할수록 증가하였는데 이는 상대적으로 쉽게 분해되는 유기물의 분해량이 크기 때문에 셀룰로스 함량의 상대적인 증가 때문으로 판단된다. 이러한 초기의 셀룰로스 함량변화는 셀룰로스 분해 효소의 활성도와 매우 상관성이 있는 것으로 판단된다. 또한 Run A의 경우 초

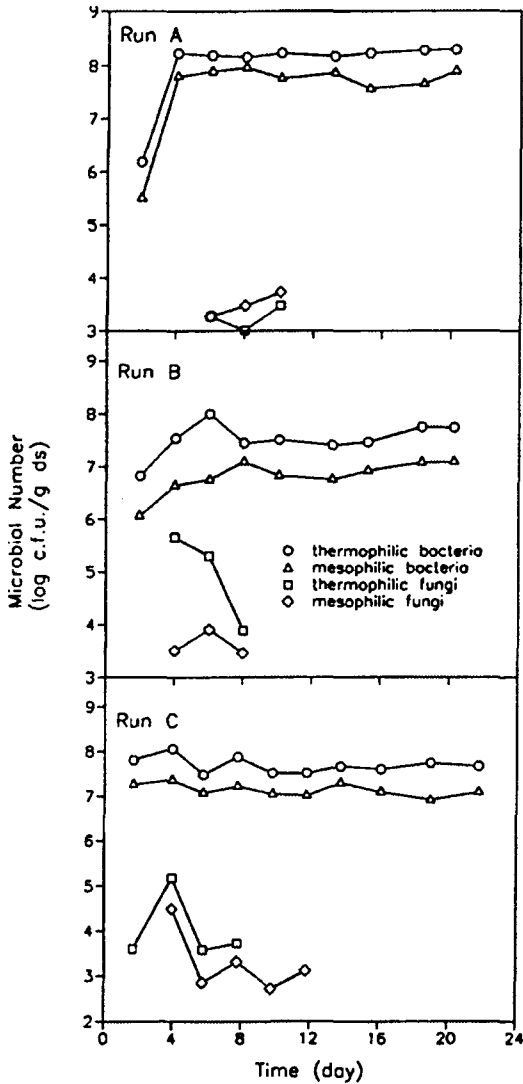


Fig. 3. The change of cellulolytic microorganism in composting reaction with different amounts of seed inoculation.

기 셀룰로스 함량이 증가하는데 이는 비셀룰로스성 유기물이 상대적으로 빠르게 분해되기 때문으로 판단된다(Inoko *et al.*, 1979). 같은 기간에 Run A의 셀룰로스 분해균의 성장이 크게 증가한 사실과 비교하면 셀룰로스 분해균의 증식시에는 셀룰로스를 분해하지 않는다는 사실을

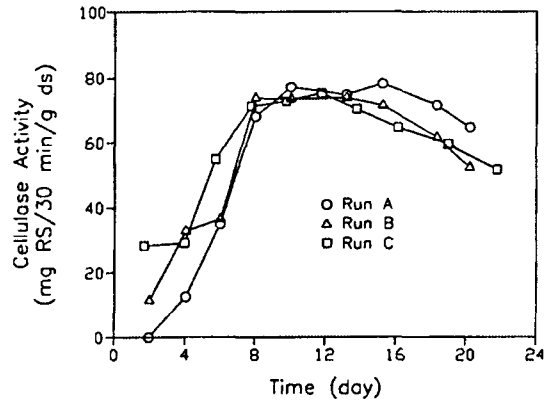


Fig. 4. The change of cellulase activity in composting reaction with different amounts of seed inoculation.

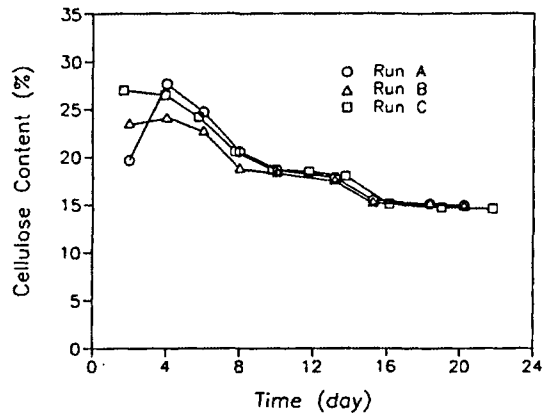


Fig. 5. The variation of cellulose content over the course of composting reaction.

입증하는 것임을 알 수 있다.

대체로 셀룰로스 함량의 감소는 고온기간중에 셀룰로스 분해 효소의 활성도가 증가하는 동안 활발한 반면 최대활성도를 보이는 기간에는 그 변화량이 크지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과는 체외로 분비된 셀룰로스 분해 효소가 셀룰로스를 분해하기 위해서는 먼저 셀룰로스에 부착되고 부착되었던 셀룰로스 분해 효소는 셀룰로스가 분해됨에 따라 점차 탈리되어 용출액중의

활성도가 증가하는 것으로 판단된다. 하지만 약 20일간 퇴비화가 진행되었을 때 셀룰로스 함량은 비슷한 것으로 드러나 식종효과는 초기의 셀룰로스 분해촉진에 제한됨을 알 수 있다.

이상의 결과를 살펴볼 때 실험실규모의 퇴비화 실험에서는 퇴비화 초기단계에서 퇴비식종효과를 관찰할 수 있었다. 퇴비화는 급속한 유기물 분해과정 뿐만 아니라 퇴비의 숙성과정이 필요하여 전체적으로 장시간이 소요된다는 점을 감안하면 식종효과가 셀룰로스를 비롯한 유기물의 분해에 미치는 영향은 크지 않다고 볼 수도 있다. 하지만 반응기 이용 퇴비화(In-vessel composting)의 경우 전체적으로 처리용량을 증가시키기 위해서는 반응기에서의 체류시간을 단축시킬 필요가 있으므로 이 경우에는 퇴비식종에 따른 활발한 퇴비화반응은 긍정적인 평가를 받을 수 있다고 판단된다. 아울러 셀룰로스 분해는 쉽게 분해되는 유기물이 제거된 후 즉 반응기에서 활발한 유기물 분해반응을 거친 후에 이루어져도 상관없다는 관점도 있으나 본 연구에서 관찰된 바와 같이 셀룰로스 분해미생물이 고온성 미생물인 경우 고온성 기간동안 셀룰로스 분해는 전체적으로 퇴비화반응의 효율성을 증진시키기 위해 불가결한 것으로 판단된다. 또한 셀룰로스 분해반응으로 생성되는 다양한 환원당과 퇴비화과정에서 발생하는 여러 중간산물은 결국 퇴비의 숙성도 및 퇴비의 질에 영향을 주리라 판단되기 때문에 셀룰로스의 조기분해는 필요하다고 판단된다. 그리고 본 연구에서 관찰된 셀룰로스 분해는 종이류를 혼합하여 퇴비화하는 경우에 나타난 결과이다. 종이류는 종류에 따라 다소 상이하지만 제조과정에서 다양한 화학적, 물리적 처리를 거친 상태이기 때문에 자연상태 그대로의 리그린과 결합되어 있는 셀룰로스의 분해도와는 다소 상이할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

음식쓰레기와 종이류를 혼합하여 퇴비화하는 경우 퇴비식종이 셀룰로스 분해에 미치는 영향을 셀룰로스 분해 미생물, 셀룰로스 분해효소, 셀룰로스 함량변화 등으로 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 퇴비식종을 통한 충분한 양의 미생물을 공급은 퇴비화 초기의 유기물 분해를 촉진시켜 빠른 온도상승을 보였으며, 이러한 결과는 이산화탄소 발생속도와 암모니아의 손실에서도 확인되었다. 하지만 퇴비를 식종함에 따라 약 20일 경과후의 유기물 분해율이나 질소의 손실율에는 영향을 주지 않았는데 이는 퇴비화 공정이 미생물의 수 뿐만 아니라 그밖의 다양한 요인에 의해 지배되고 기본적으로 유사한 미생물군이 식종되었기 때문으로 판단된다.
- 2) 퇴비식종량이 적을수록 셀룰로스 분해 박테리아의 초기 증식이 활발하였으며 25% 식종시에는 셀룰로스 분해균의 변화가 크지 않았다. 또한 셀룰로스 분해 곰팡이는 박테리아에 비하여 매우 적게 검출되었을 뿐만 아니라 짧은기간동안에 출현하였으므로 곰팡이의 셀룰로스 분해에 대한 기여도는 크지 않은 것으로 판단된다.
- 3) 퇴비식종은 셀룰로스 분해효소의 초기활성도 증가와 빠른 상승에 기여하였으며 셀룰로스의 분해도 같은 기간동안 식종에 따라 촉진되었다. 하지만 최대 활성도 값과 그 유지기간은 대체로 비슷하게 나타났을 뿐만 아니라 약 20일 경과후의 최종적인 셀룰로스 함량은 유사하였다. 따라서 퇴비식종은 셀룰로스의 초기 분해를 촉진하였지만 최종적인 분해도 향상에는 기여하

지 못한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- APHA, AWWA & WPCF (1985), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 16th edition.
- Faure, D. & Deschamps, A.M.(1991), "The Effect of Bacterial Inoculation on the Initiation of Composting of Grape Pulps", *Biores. Technol.*, 37, pp.235-238.
- Gaur, A.C., Sadasivam, K.V., Mathur, R.S. & Magu, S.P.(1982), "Role of Mesophilic Fungi in Composting", *Agricultural Wastes*, 4, pp.453-460.
- Golueke, C.G., Bradley J.C. & McGahey M.C.(1954), "A Critical Evaluation of Inoculums in Composting". *Appl. Microbiol.*, 2, pp.45-53.
- Guedes de Garvalho, R.A., Gonzalez Beca, C.G., Neves, O.R. & Sol Pereira, M.C. (1991), "Composting of Pine and Eucalyptus Barks", *Biores. Technol.*, 38, pp. 51-63.
- Inoko, A., Miyamatsu, K., Sugahara, K. & Harada, Y.(1979). "On Some Organic Constituents of City Refuse Composts Produced in Japan", *Soil Sci. Plant Nutr.*, Vol.25, No.2, pp.225-234.
- Kapoor, K.K., Yadav, K.S., Singh, D.P., Mishra, M.M. & Tauro, P.(1983), "Enrichment of Compost by *Azotobacter* and Phosphate Solubilizing Microorganisms", *Agricultural Wastes*, 5, pp.125-133.
- Kluepfel, S.(1988), "Screening of Prokaryotes for Cellulose and Hemicellulose Degrading Enzymes", *Methods in Enzymol.*, 160, Part A, pp.180-186.
- Nakasaki, K. & Akiyama, T.C.(1988), "The Effect of Seeding on Thermophilic Composting of Household Organic Waste". *J. Ferment. Technol.*, Vol.66, No.1, pp.37-42.
- Nakasaki, K., Sasaki, M., Shoda, M. & Kubota, H.(1985), "Effect of Seeding During Thermophilic Composting of Sewage Sludge", *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol.50, No.4, pp.899-905.
- Stewart, B.J. & Leatherwood, J.M.(1976), "Derepressed Synthesis of Cellulase by *Cellulomonas*", *J. Bacteriol.*, Vol.128, No.2, pp.609-615.
- Updegraff, D.M.(1969), "Semimicro Determination of Cellulose in Biological Materials", *Anal. Chem.*, 32, pp.420-424.
- Yadav, K.S., Mishra, M.M. & Kapoor, K.K.(1982), "The Effect of Fungal Inoculation on Composting", *Agricultural Wastes*, 4, pp.329-333.