

음식물 쓰레기 퇴비화를 위한 미생물 최적 활성화 조건

정준영 · 정광용 · 박우균
농업과학기술원 환경관리과

Studies on the Optimum Activation Condition for Food Waste Composting by Microorganism in Food Waste

Jun-Young Jeong, Kwang-Yong Jung, Woo-Kyun Park (National Institute of Agriculture Science and Technology, Suwon, 441-707, Korea, Tel. : 0431-290-0209, email : jjuny@hanmail.com)

ABSTRACT : This study was conducted to evaluate possibility for composting by microorganisms in food waste itself. In the result of counting of microorganism in food waste, the number of bacteria growing at 30°C and 50°C were counted 10^5 - 10^7 CFU/g and 10^5 - 10^6 CFU/g in the almost food waste, respectively. Amylase and protease producing microorganism were counted 10^3 - 10^7 CFU/g at 30°C and 50°C. In the result of composting for 30 days, FW1 was reveal that CO₂ gas production rate and degradation of organic matter were similar to FW2 but higher than that of FW3, FM1 and FM2. Also, In the cases of change of enzyme producing microorganism during the composting, FW1 were counted 10^5 - 10^9 CFU/g at 30°C, 50°C and 60°C of incubation temperature, while FM1, added to commercial microbial inoculator, were less than that of FM1. Consequently, It was suggested that FW1 was most suitable condition for composting by microorganisms in food waste and there was no need to use microbial inoculator for composting.

key words : Optimum condition, CO₂ gas production rate, Amylase, Protease

서 론

최근 음식물 쓰레기에 대한 사회적인 관심이 높아짐에 따라 이를 재활용하려는 연구가 수행되고 있다^{1,2,3)}. 이러한 연구중 퇴비화를 통한 음식물 쓰레기 재활용이 해결방안으로 대두되고 있다. 퇴비화란 "유기물이 미생물에 의해 분해되어 안정화되는 과정으로 부식토 상태의 물질로 변화시키는 생화학적 공정 또는 생물학적 처리"⁴⁾로 퇴비화에 있어서 미생물의 역할이 중요한 것으로 알려져 있다^{5,6)}. 현재 국내에서 음식물 쓰레기를 대상으로 한 퇴비화는 거의 대부분 생산된 퇴비의 활용보다는 음식물 쓰레기 처리가 주목적이며 특히 대부분의 고속퇴비화는 제한된 조건에서 다량을 단시간에 처리하는데 중점을 두고 있어 공정에 특정 미생물제가 투입되고 있는 실정이다. 최근 많이 이용되는 호기성 퇴비화 과정은 중온균(Mesophilic)과 고온균(Thermophilic)에 의한 분해과정으로 초기단계에 주로 *Pseudomonas spp.*, *Xantomonas spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus*

spp. 등의 중온성 세균 및 사상균에 의해 분해된다. 중온균에 의한 분해 과정중 발생하는 열에 의해 퇴비단의 온도가 50°C 이상으로 상승하면 중온성균은 *Bacillus spp.*, *Stearothermophilus spp.*, *Streptomyces spp.*, *Thermoactinomyces spp.* 등의 고온성 세균과, 방선균으로 대체되어 이들 균들이 우점종을 이루게 된다⁷⁾. 생물계에는 적자생존의 원칙이 있으며 퇴비의 원료에 적합한 수직종, 수백종의 미생물이 자연계에 존재하며, 유기물 분해등으로 조건이 바뀌는 경우에는 그 조건에 적합한 미생물군의 종류도 변하게 된다. 따라서 통상의 재료에는 인공적으로 배양한 균체의 첨가가 필요하지 않으며 첨가하더라도 재료나 조건이 적절치 않다면 첨가효과를 거의 기대하기 어렵다. 그러나 현재 우리나라에서 사용되고 있는 미생물제의 거의 대부분은 외국에서 그대로 수입하여 사용함에 따라 그 처리 대상물의 성상이 상이한 우리나라의 음식물 퇴비화에 그 효용성이 의문시되고 있다. 또한 국내에서 개발된 미생물 제제라 하더라도 발효조건이나 환경에 따라 영향이 크므로 첨가효과를 인정

하기 어려운 실정이다. 음식물 쓰레기를 비롯한 유기성 쓰레기 중에는 그 구성성분이 배출원에 따라 다양하므로 토양이나 공기중에 존재하는 많은 종류의 세균, 방선균, 사상균등이 포함되어 미생물의 성장에 적당한 환경 조건만 갖추어지면 이들 미생물에 의해 퇴비화가 가능한 것으로 보고되어 있다⁹⁾. 따라서 본 실험에서는 음식물 쓰레기중의 미생물에 의한 퇴비화의 기초적 연구로 계절별 음식물 쓰레기중의 총미생물과 효소분비 미생물의 밀도 조사와 이를 이용한 퇴비화연구를 수행하였다.

재료 및 방법

계절별 대중음식점 음식물 쓰레기 총균수 및 효소생산균수

음식물 쓰레기 자체중의 미생물에 의한 퇴비화 가능성을 검토하기 위해 계절별로 수거한 시료중에 존재하는 일반세균, 사상균, 방선균 및 각 효소 생산 미생물의 밀도를 다음과 같이 조사하였다.

실험재료

실험에 사용한 재료는 1월, 3월, 5월, 7월등 계절에 따라 동일 날짜에 수거하여 분석하였다. 대상시료는 수원시 일원의 일반 대중음식점을 무작위로 추출하여 동일업소에서 오전 10부터 다음날 오전 10시까지의 1일 배출 음식물 쓰레기를 수거하였으며 업종은 한식 4, 중식 2, 일식 2, 분식 2 개소등 총 10개 업소였다.

총균수 측정

음식물 쓰레기 중의 퇴비화에 필요한 미생물의 존재 여부를 확인하기 위해 세균, 사상균, 방선균의 수를 측정하였다. 세균 측정을 위한 배지는 Plate count agar(tryptone 5g, yeast extract 2.5g, dextrose 1g / l, pH 7.0, Agar 2.0%)를, 사상균 배양은 PDA(potato 200g, dextrose 20g / l, pH 5.1), 방선균 배양은 Albumin agar(egg albumin 0.25, glucose 1.0, K₂HPO₄ 0.5, MgSO₄ 7H₂O 0.2g / l, pH 6.8-7.0)¹⁰⁾를 사용하여 다음과 같이 분리하였다. 즉 시료 1g을 9ml의 멸균 생리식염수(0.85% NaCl)와 함께 250~300rpm(Shaking incubator, Vision, Korea)에서 1시간동안 교반한 후 정지한 다음 상등액을 적당한 농도가 되도록 희석하여 각 분리 배지에 3 반복으로 분주 하였다.

각 미생물의 배양온도는 30, 50, 60℃로 하였으며, 세균

과 사상균의 경우에는 각 온도에서 3일간, 방선균의 경우에는 5일간 배양하여 계수(CFU/g, Colony Forming Unit)하였다.

효소생산 미생물의 계수

음식물 쓰레기중 amylase 생산균주의 계수는 0.8% Nutrient broth, 1% soluble starch, 0.1% MgSO₄ 7H₂O, protease 생산균주 계수는 2% skim milk, 0.5% peptone, 0.1% Yeast extract, lipase 생산균주의 계수는 0.5% peptone, 0.3% Beef Extract, 1% Tributyrin, cellulase 생산균주의 계수는 2.5% CM-cellulose, 0.3% NaNO₃, 0.1% K₂HPO₄, 0.05% KCl, 0.05% MgSO₄ 7H₂O, 0.001% FeSO₄ · 7H₂O 배지¹⁰⁾를 pH 6.0-7.5으로 조절한 후 1.5% agar를 첨가하여 30, 50, 60℃에서 3일간 배양하였다. 배양한 plate 는 amylase 경우에는 0.1% I₂ 용액을 가해 형성된 투명환에 의해, cellulase는 1% NaOH를 가한 후 5분 동안 정지한 다음 증류수로 세척하여 생성한 투명환으로, protease, lipase는 배양 직후의 투명환에 의해 계수(CFU/g, Colony Forming Unit)하였다.

음식물 쓰레기 자체 미생물에 의한 최적 퇴비화 조건 설정

재료

퇴비화 실험에 사용한 음식물 쓰레기는 10월 초순에 수원시 소재의 한식과 중식당의 음식물 쓰레기를 8:2 비율로 섞은 후 사용하였으며 수분 조절제로는 팽화왕겨를 사용하였다. 본 실험에 사용한 퇴비재료의 성분은 Table 1과 같다.

실험방법

음식물 쓰레기 자체 미생물에 의한 퇴비화 가능성을 검토하기 위해 미생물 부속제를 첨가하지 않은 무처리구(FW1, FW2, FW3)와 시판 미생물제(GE, CM)를 0.2%(w/w) 첨가한 첨가구(FM1, FM2)로 퇴비화 실험을 수행하였다. 본 실험에서의 퇴비화 조건은 정¹¹⁾ 등이 보고한 음식물 쓰레기 퇴비화 과정의 온도구배를 적용하여 다음과 같이 수행하였다. 즉 미생물제를 첨가하지 않은 FW1은 퇴비화 전기간 동안 48-50℃ 항온, FW2는 30℃ 항온조건에서 FW3, FM1, FM2는 0- 4일 30-54℃, 4 - 8일 53-60℃, 8-12일 60-57℃, 12-16일 57-46℃, 16-20일 46-30℃, 20-28일 32℃의 온도구배 조건에서 퇴비화를 수행하였다.

Table 1. Chemical characteristic of food waste, extruded rice hull and the mixture for composting

	Water content(%)	pH	OM(%)	T-N(%)	C/N ratio
Food waste	80.2	4.02	90.3	3.44	15.23
Extrude ric hull	8.7	6.15	86.9	0.32	157.5
Mixture	61.5	5.48	89.04	1.51	34.32

Table 2. Counting of Microorganism in food waste

Temp(°C)	(CFU/g)	Janu. ²⁾	March ³⁾	May ⁴⁾	July ⁵⁾
30	Bacteria	6.7 × 10 ⁵	98.3 × 10 ⁵	92.5 × 10 ⁶	17.4 × 10 ⁶
	Mold	0.58 × 10 ⁵	3.2 × 10 ⁵	0.4 × 10 ⁶	1.2 × 10 ⁶
	Actinomycetes	0.02 × 10 ⁵	6.3 × 10 ⁵	5.3 × 10 ⁶	1.21 × 10 ⁶
50	Bacteria	0.75 × 10 ⁵	3.2 × 10 ⁵	7.3 × 10 ⁶	0.61 × 10 ⁶
	Mold	ND	ND	ND	ND
	Actinomycetes	ND	0.1 × 10 ⁵	0.5 × 10 ⁶	0.29 × 10 ⁶
60	Bacteria	ND	0.8 × 10 ⁵	ND	0.79 × 10 ⁶
	Mold	ND	ND	ND	ND
	Actinomyces	ND	0.02 × 10 ⁵	0.01 × 10 ⁶	0.4 × 10 ⁶

* 2),3) N.D: not detected over 10³(CFU/g) 4),5) N.D : not detected over 10⁴(CFU/g)

분석

CO₂ gas 발생을 측정

퇴비화 과정중의 CO₂ gas 발생을 측정은 토양양분분석법¹²⁾에 준하여 수행하였으며 CO₂ gas 발생량은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{CO}_2 \text{ gas 발생량 (mg/100g)} = (\text{공시험값} - \text{적정값}) \times F \times (\text{CO}_2 \text{ 당량값})$$

성분분석

음식물 쓰레기와 퇴비과정중의 탄수화물, 전분, 단백질등의 함량은 식품공전¹³⁾에 준하여 분석하였으며 이·화학적 분 및 중금속, 양이온의 함량은 토양화학분석법¹⁴⁾에 따라 분석하였다.

효소활성 측정

시료중의 amylase 활성은 1% soluble starch 0.1 ml와 조효소액 0.1 ml을 넣고 40°C에서 10분간 반응시킨 후 생성된 환원당을 DNS법¹⁵⁾으로, protease 활성은 Matsuzawa¹⁶⁾ 등의 방법을 보완하여 casein을 기질로 37°C에서 반응시킨 후 660nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. 여기서 amylase 1unit는 1분에 1μg의 glucose를 생산하는 amylase activity로, protease 1unit는 1분에 1μg의 tyrosine을 생산하는 proteolytic activity로 정의하였다.

Table 3. Counting of enzyme producing microorganism in food waste

Temp(°C)	(CFU/g)	Janu. ²⁾	March ³⁾	May ⁴⁾	July ⁵⁾
30	Amylase	37.0 × 10 ³	11.0 × 10 ⁴	44.8 × 10 ⁶	23.0 × 10 ⁶
	Protease	0.73 × 10 ³	6.4 × 10 ⁴	5.7 × 10 ⁶	31.7 × 10 ⁶
	Cellulase	0.82 × 10 ³	0.43 × 10 ⁴	1.4 × 10 ⁶	0.7 × 10 ⁶
	Lipase	0.57 × 10 ³	2.8 × 10 ⁴	0.02 × 10 ⁶	0.36 × 10 ⁶
50	Amylase	4.7 × 10 ³	0.31 × 10 ⁴	0.92 × 10 ⁶	0.35 × 10 ⁶
	Protease	8.2 × 10 ³	0.58 × 10 ⁴	0.22 × 10 ⁶	0.1 × 10 ⁶
	Cellulase	ND	ND	ND	0.27 × 10 ⁶
	Lipase	ND	ND	0.08 × 10 ⁶	0.04 × 10 ⁶
60	Amylase	ND	0.11 × 10 ⁴	0.003 × 10 ⁶	0.054 × 10 ⁶
	Protease	ND	0.36 × 10 ⁴	0.01 × 10 ⁶	0.87 × 10 ⁶
	Cellulase	ND	ND	ND	0.03 × 10 ⁶
	Lipase	ND	ND	0.001 × 10 ⁶	0.02 × 10 ⁶

* 1) N.D : not detected over 10² (CFU/g), 2),3),4) N.D : not detected over 10³ (CFU/g)

결과 및 고찰

계절에 따른 대중음식점 음식물 쓰레기중 총균수 및 효소생산 미생물 계수

음식물 쓰레기 자체중의 미생물에 의한 퇴비화 가능성을 검토하기 위해 계절별로 수거한 시료중에 존재하는 일반세균, 사상균, 방선균등을 30, 50, 60°C에서 세균과 사상균은 3일간, 방선균의 경우에는 5일간 배양하여 계수(CFU/g, Colony Forming Unit)한 결과는 Table 2와 같으며, 각 효소분비 미생물의 밀도를 조사한 결과는 Table 3과 같다.

Table 2는 계절별로 수거한 음식물 쓰레기내의 미생물에 의한 퇴비화 가능성을 검토하기 위한 미생물의 밀도를 조사한 결과로 30°C 배양온도에서 1, 3, 5, 7월 시료중 세균, 사상균, 방선균은 10⁴(CFU/g) 이상 검출되었으며 특히 세균의 경우 1월의 시료에서도 6.7 × 10⁵(CFU/g)이 계수되었다. 한편 사상균은 50°C 이상의 온도에서는 계절에 관계없이 미생물의 수가 낮게 조사되었는데 사상균의 경우 대부분 포자를 형성하나 이들의 포자는 내열성의 포자는 거의 없으며 따라서 50°C 이상의 고온에서 생장이 억제된 것으로 생각된다. 한편 세균과 방선균의 경우 포자를 형성하는 *Bacillus sp.* 및 *Stearothermophilis sp.* 등의 고온세균과 *Streptomyces sp.*, *Thermoactinomyces sp.* 등의 고온성 방선균^{17),18)}

들이 음식물 쓰레기중에 다수 존재하여 50℃ 이상의 온도에서 검출된 것으로 추측된다. 배¹⁹⁾ 등은 도시폐기물의 퇴비화 과정에 있어서 미생물수와 증식활성연구에서 퇴비화에 세균과 방선균이 주로 작용한다고 보고하였는데 본 실험 결과에서 계절에 관계없이 세균과 방선균이 다량 검출된 것으로 보아 음식물 쓰레기 중에는 퇴비화 수행을 위한 미생물이 충분히 함유되어 있는 것으로 생각된다.

음식물 쓰레기 퇴비화에서 유기물의 분해는 유기물 종류에 따라 다르나 일반적으로 분해가 용이한 sugar, starch, protein, fat 등이 먼저 분해되고 hemicellulose, cellulose, lignin 등이 나중에 분해된다²⁰⁾. 따라서 음식물 쓰레기중 이분해성 유기물 분해 미생물의 밀도는 초기 퇴비화에 중요한 인자가 될 것으로 추측되어 이들 미생물의 밀도를 조사한 결과 Table 3과 같이 30℃에서 amylase, protease 분비 미생물이 다량 검출되었으며 50℃ 이상의 고온 조건에서도 검출되었다. 특히 5월과 7월 시료 중에서 거의 모든 효소생산 미생물이 계수되었는데 60℃의 고온에서 각각 10⁴, 10⁵(CFU/g) 이상의 미생물이 계수되었다. 그러나 cellulase, lipase 분비 미생물은 30℃에서 10² 이하로 검출되었고 50℃ 이상의 고온에서는 거의 검출되지 않았으며 전반적으로 모든 조사 시료에서 낮게 검출되었다.

음식물 쓰레기 자체 미생물에 의한 최적 퇴비화 조건 설정

음식물 쓰레기 퇴비화 과정중 미생물상의 변화에 따른 유기물 분해 양상 및 분해효소 조사를 통한 최적 퇴비화 조건을 검토하기 위해 대증식당 음식물 쓰레기로 한식과 증식당의 음식물 쓰레기를 8:2 비율로 섞은 후 수분 조절제로는 팽화왕겨를 사용하여 퇴비화 실험을 수행한 결과는 다음과 같다. 본 실험에서 사용한 퇴비화 장치는 5 l 용량의 jar-fermentor를 사용하였으며 통기는 CO₂ trap을 설치하여 공급되는 공기중의 CO₂를 제거하였고 16 l/min. 으로 간헐적으로 통기하여 수행하였다.

한편 음식물 쓰레기 퇴비화에 있어 주체가 되는 미생물 활성에 영향을 주는 인자는 유기물함량, 온도, pH, 수분, 통기량등으로 특히 온도는 미생물 활성에 중요한 인자이다 따라서 본 실험에서는 온도를 제외한 조건들은 퇴비화 초기에 고정한 다음 다양한 온도를 설정하여 퇴비화 과정중의 미생물상과 CO₂ 가스발생량 및 이,화학적 변화를 조사하였다.

퇴비과정중 CO₂ 가스발생

음식물 쓰레기 자체 미생물을 이용한 최적 퇴비화 조건을 설정하기 위해 온도를 달리하여 30일 동안의 퇴비화 수행중의 CO₂ 가스발생율을 측정할 결과는 Fig.1과 같다.

퇴비 과정중 CO₂ 가스발생율은 유기물 분해과정에서 미

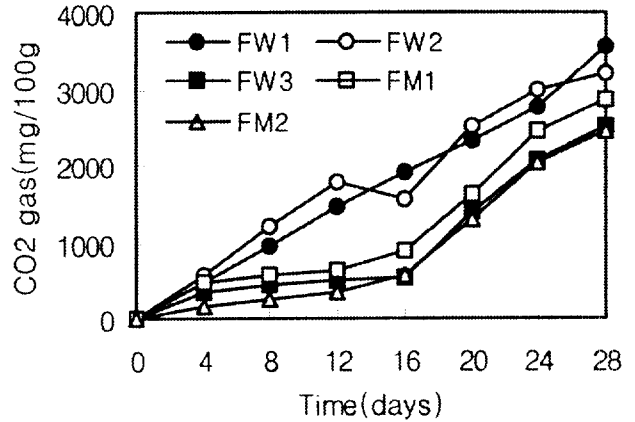


Fig. 1. Carbon dioxide production rate during composting FW1(48-50℃), Fw2(30℃), Fw3, FM1, FM2(0- 4 : 30-54℃, 4- 8 :53-60℃, 8-12 :60-57℃, 12-16 :57-46℃, 16-20 :46-30℃, 20- 28 : 32℃)

생물이 분비하는 효소의 영향을 받는다. 따라서 온도와 함께 미생물의 활성을 간접적으로 측정할 수 있는 중요한 지표로 알려져 있다²¹⁾. 본 실험 결과 CO₂ 가스발생율은 음식물 쓰레기만을 사용하여 50℃의 항온조건으로 수행한 FW1에서 발효 초기부터 30일간의 퇴비화 종료 기간까지 지속적으로 증가하였고 30℃의 조건인 FW2에서도 유사한 CO₂ 가스발생 경향을 나타내었다. 한편 퇴비화 온도 구배를 적용한 FW3와 시판 미생물 부속제를 첨가한 FM1, FM2에서는 퇴비화 초기부터 온도가 50-60℃로 유지된 16일 까지 CO₂ 가스발생율은 상대적으로 낮았으며 45℃ 이하로 온도가 낮아진 16일 이후 부터 CO₂ 가스발생율이 증가하였다. 이와 같은 결과로 볼 때 미생물 활성은 온도에 영향을 받으며 특히 50℃ 이상의 고온은 미생물 생육의 제한적 요인으로 작용하는 것으로 추측된다. 한편 남궁²²⁾ 등은 퇴비화에 있어서 적정온도는 55-60℃ 또는 50-55℃

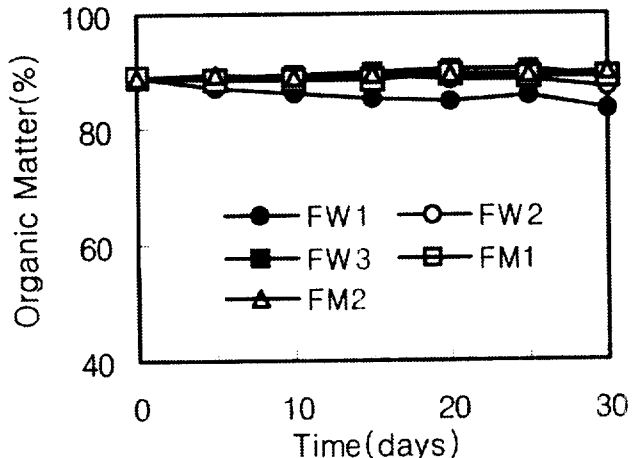


Fig. 2. Change of organic matter content during composting FW1(48-50℃), Fw2(30℃), Fw3, FM1, FM2(0- 4 : 30-54℃, 4- 8 :53-60℃, 8-12 :60-57℃, 12-16 :57-46℃, 16-20 :46-30℃, 20- 28 : 32℃)

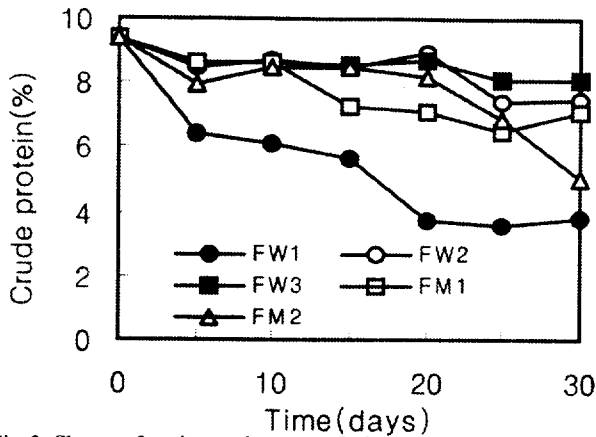


Fig. 3. Change of crude protein content during composting FW1(48-50°C), Fw2(30°C), Fw3, FM1, FM2(0- 4 : 30-54°C, 4- 8 :53-60°C, 8-12 :60-57°C, 12-16 :57-46°C, 16-20 :46-30°C, 20- 28 : 32°C)

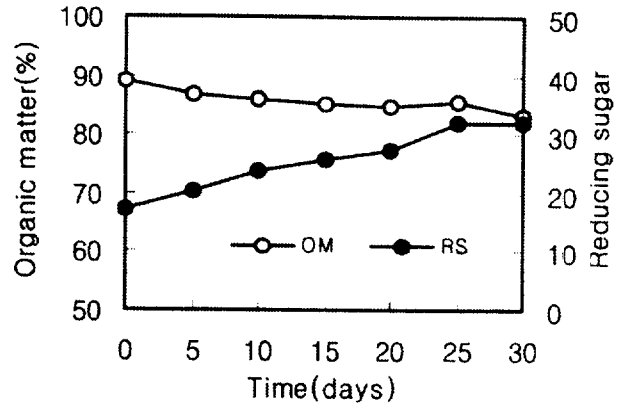


Fig. 4. Change of reducing sugar rate during composting
 Reducing sugar rate(%) = Crude fiber/T-C × 0.4 × 100

로, 김²⁹⁾은 50-60°C가 퇴비화에 있어서 적정온도이며 특히 사상균의 경우 60°C 이상의 온도에서는 활성이 거의 소실된다고 보고한 바 있다. 이는 본 연구와 동일한 결과로 실제 퇴비화시 퇴비단의 온도가 70°C 이상으로 상승하므로 이의 조절이 필요할 것으로 생각된다.

퇴비화 과정중의 성분변화

30일간의 음식물 쓰레기 퇴비화 과정중 유기물 함량 및 조단백의 변화를 조사한 결과는 Fig. 2, 3과 같다.

Fig. 2, 3은 퇴비화 과정중 유기물 함량 및 조단백의 변화를 나타낸 결과로 50°C의 항온조건으로 수행한 FW1에서 발효 초기부터 30일간의 퇴비화 종료 기간 까지 점차 감소하였다. 특히 조단백의 경우 다른 시험구에 비해 높은 감소를 나타내었다. 30°C 항온조건인 FW2에서는 유기물 분해율이 FW1을 제외한 다른 시험구에 비해 상대적으로 높았으며 조단백은 다른 시료구와 거의 유사하였다. 한편 FW1에서의 조단백 함량의 변화는 퇴비화 20일까지 비교

적 높은 감소율을 보이다 20일 이후에 완만한 감소 경향을 보였는데 이는 음식물 쓰레기중의 단백질 성분은 비교적 분해 용이한 유기물이기 때문에 20일 전에 이들 물질이 거의 분해되었기 때문인 것으로 추측된다.

Fig. 4는 50°C의 항온조건으로 수행한 FW1 퇴비화 과정중의 환원당비를 조사한 결과이다. 환원당비는 총 탄소화합물에 대한 cellulose와 hemicellulose 등의 조성유의 함량비로써 Inoko²⁹⁾에 의하면 부숙후의 퇴비중의 환원당비는 35 이하라고 보고하였는데 본 실험 결과 퇴비화 25- 30일 제 유기물 함량의 감소와 함께 환원당비가 35 이하에서 일정한 수준을 나타내었다. 한편 퇴비화 과정 초기에는 Fig. 2의 결과에서와 같이 유기물 함량이 감소함에도 불구하고 환원당비가 서서히 증가하기 시작하였는데 이는 총유기물중 cellulose와 hemicellulose의 분해속도가 다른 유기물의 분해속도에 비해 상대적으로 느렸기 때문인 것으로 생각되며²⁹⁾ 25일 이후에 환원당비가 일정수준으로 유지되는 것은 cellulose와 hemicellulose의 분해가 이루어지고 있기 때문인 것으로 추측된다.

Table 4. Changes of bacteria and enzyme producing microorganisms during composting (30°C)

		Period(day)					
		5	10	15	20	25	30
FW1	Bacteria	5.2 × 10 ⁷	16.5 × 10 ⁷	17.1 × 10 ⁷	14.7 × 10 ⁷	17.6 × 10 ⁷	8.6 × 10 ⁷
	Amy.*	0.95 × 10 ⁷	0.21 × 10 ⁷	7.5 × 10 ⁷	6.4 × 10 ⁷	6.7 × 10 ⁷	0.2 × 10 ⁷
	Pro.**	1.5 × 10 ⁷	1.42 × 10 ⁷	6.75 × 10 ⁷	4.2 × 10 ⁷	5.4 × 10 ⁷	1.92 × 10 ⁷
FW2	Bacteria	15.2 × 10 ⁶	249.6 × 10 ⁶	5.6 × 10 ⁶	18.6 × 10 ⁶	1.8 × 10 ⁶	74.3 × 10 ⁶
	Amy.	0.25 × 10 ⁶	1.5 × 10 ⁶	0.05 × 10 ⁶	0.025 × 10 ⁶	0.84 × 10 ⁶	1.6 × 10 ⁶
	Pro.	1.2 × 10 ⁶	0.045 × 10 ⁶	0.021 × 10 ⁶	0.011 × 10 ⁶	ND	0.47 × 10 ⁶
FW3	Bacteria	2.9 × 10 ⁶	0.081 × 10 ⁶	0.020 × 10 ⁶	0.035 × 10 ⁶	7.3 × 10 ⁶	42.9 × 10 ⁶
	Amy.	1.1 × 10 ⁶	ND	ND	2.9 × 10 ⁶	0.98 × 10 ⁶	4.8 × 10 ⁶
	Pro.	2.4 × 10 ⁶	ND	ND	ND	0.27 × 10 ⁶	0.88 × 10 ⁶
FM1	Bacteria	2.65 × 10 ⁶	ND	0.08 × 10 ⁶	0.03 × 10 ⁶	21.3 × 10 ⁶	121.4 × 10 ⁶
	Amy.	0.9 × 10 ⁶	ND	ND	ND	0.35 × 10 ⁶	0.1 × 10 ⁶
	Pro.	0.3 × 10 ⁶	ND	ND	ND	ND	0.27 × 10 ⁶

N.D : not detected over 10⁴(CFU/g), * : Amylase, ** : Protease

Table 5. Changes of bacteria and enzyme producing microorganisms during composting

(50°C)

		Period(days)					
		5	10	15	20	25	30
FW1	Bacteria	7.5×10^7	17.8×10^7	73×10^7	14.9×10^7	18.3×10^7	14.6×10^7
	Amy.*	1.5×10^7	9.4×10^7	3.4×10^7	6.7×10^7	8.9×10^7	8.2×10^7
	Pro.**	0.3×10^7	3.8×10^7	1.4×10^7	8.9×10^7	6.4×10^7	9.7×10^7
FW2	Bacteria	0.18×10^6	1.7×10^6	0.24×10^6	1.8×10^6	0.5×10^6	0.3×10^6
	Amy.	0.3×10^6	0.1×10^6	0.02×10^6	0.2×10^6	0.8×10^6	0.2×10^6
	Pro.	ND	0.01×10^6	0.03×10^6	0.1×10^6	1.0×10^6	5.0×10^6
FW3	Bacteria	1.2×10^6	0.6×10^6	0.75×10^6	0.15×10^6	1.4×10^6	4.5×10^6
	Amy.	0.1×10^6	0.1×10^6	0.35×10^6	0.8×10^6	0.65×10^6	2.6×10^6
	Pro.	0.3×10^6	0.3×10^6	0.3×10^6	0.3×10^6	0.3×10^6	0.3×10^6
FM1	Bacteria	1.0×10^6	2.3×10^6	1.2×10^6	0.4×10^6	0.4×10^6	1.4×10^6
	Amy.	1.3×10^6	0.9×10^6	0.85×10^6	0.45×10^6	1.0×10^6	0.75×10^6
	Pro.	0.2×10^6	0.65×10^6	0.95×10^6	0.75×10^6	1.2×10^6	1.8×10^6

N.D.: not detected over 10^6 (CFU/g), *: Amylase, **: Protease

퇴비화 과정중의 총균 및 효소분비 미생물 변화

퇴비화 과정중의 물리, 화학적 변화는 퇴비중에 존재하는 미생물에 의해 이루어지며 이들 미생물들은 퇴비화 과정중 유기물 분해에 의한 온도의 상승으로 중온, 고온, 중온 등의 단계로 미생물 상이 변화된다. 이러한 변화는 미생물 군집내에서 길항, 공생등의 상호작용에 의해 개체수의 변화를 동반한다. 따라서 이들 미생물상의 변화를 검토하기 위해 30일간의 퇴비화 기간중 5일 간격으로 시료를 채취하여 30, 50, 60°C의 온도에서 각각 배양하여 총세균 및 amylase와 protease 분비 미생물의 계수 및 효소활성을 조사하였다. 그 결과는 Table 4, 5, 6과 같다.

30°C의 중온성 세균은 Table 4에서와 같이 퇴비화 5일째 전 시료구에서 10^6 - 10^7 CFU/g 수준으로 검출되었으며 특히 FW1에서는 전 기간 동안 10^7 - 10^8 CFU/g 로 높았다. 또한 amylase와 protease 분비 미생물수도 전 기간 동안 높게 계수되었다. 50°C 이상의 온도에서도 FW1은 Table 5, 6에서와 같이 고온균들이 10^6 - 10^7 CFU/g 정도로 계수되었다. 한편 FW2의 경우는 30°C의 중온에서는 10^6 - 10^7 CFU/g 정도로 검출되었으나 50°C 이상의 고온에서는 미생물의 수가

급격히 감소하여 퇴비화 초기에는 10^5 - 10^6 CFU/g 수준이었으나 Table 6에서와 같이 15일 이후에는 10^4 CFU/g 이하로 계수되었다.

한편 온도구배를 적용한 FW3 그리고 FM1 경우에는 30°C의 중온균의 퇴비화 초기 5일째 10^6 CFU/g 수준이었으나 퇴비화 온도가 50-60°C로 유지된 10일에서 20일 제까지 10^4 CFU/g 이하로 검출되었다. 또한 50°C 이상의 고온에서 미생물 천이로 인해 중온균이 고온균으로 대체되어 10^5 - 10^6 CFU/g 정도로 검출되었다.

Table 7, 8은 30일간의 음식물 쓰레기 퇴비화 실험에 있어서 최종 퇴비제품의 성분을 분석한 결과로 FW1의 수분 함량은 68%, pH 7.24, NaCl 1.11% 등으로 이화학적 성분은 실험한 전 시료구에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 한편 대장균의 경우 10^2 CFU/g 이상에서 검출되지 않아 FW1 처리구는 병원균의 사멸효과가 인정되는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 종합하여 볼 때 음식물 쓰레기 자체만을 이용하여 50°C의 항온조건에서 퇴비화를 수행한 FW1은 일반적인 유기물 퇴비화 과정에서 나타나는 미생물 천이 및 개체수의 변화 없이 퇴비화 초기에 증가되었던 미생

Table 6. Changes of bacteria and enzyme producing microorganisms during composting

(60°C)

		Period(days)					
		5	10	15	20	25	30
FW1	Bacterial	2.4×10^6	3.9×10^6	2.1×10^6	0.8×10^6	1.1×10^6	1.5×10^6
	Amy.*	1.2×10^6	0.9×10^6	5.1×10^6	ND	17.5×10^6	3.5×10^6
	Pro.**	1.1×10^6	0.6×10^6	1.2×10^6	0.9×10^6	0.2×10^6	0.05×10^6
FW2	Bacteria	0.2×10^6	0.5×10^6	ND	ND	ND	ND
	Amy.	0.4×10^6	1.2×10^6	0.8×10^6	0.2×10^6	ND	ND
	Pro.	0.3×10^6	0.4×10^6	0.5×10^6	ND	ND	ND
FW3	Bacteria	0.4×10^6	0.9×10^6	1.2×10^6	1.2×10^5	ND	ND
	Amy.	0.1×10^6	1.2×10^6	0.2×10^6	0.85×10^6	0.1×10^6	ND
	Pro.	0.05×10^6	0.1×10^6	ND	ND	ND	ND
FM1	Bacteria	0.25×10^6	0.01×10^6	0.9×10^6	2.4×10^5	2.4×10^5	2.4×10^5
	Amy.	0.8×10^5	1.4×10^5	0.9×10^5	ND	ND	ND
	Pro.	1.2×10^5	0.9×10^5	1.0×10^5	0.5×10^5	ND	ND

N.D.: not detected over 10^4 (CFU/g) *: Amylase, **: Protease

Table 7. CHaracteristic of food waste compost after composting for 30 days (dry basis)

Items	Before Composting	After Composting				
		FW1	FW2	FW3	FM1	FM2
Water content(%)	61.5	67.7	64.3	65.0	60.1	63.8
MAX.Temp(°C)	22	50	30	63	63	63
Crude protein(%)	9.41	3.83	7.5	8.11	7.13	5.05
Crude lipid(%)	5.45	0.65	4.75	4.05	3.75	3.7
Crude starch(%)	1.78	0.28	0.86	0.57	1.12	0.65
Crude fiber(%)	22.31	38.65	23.56	22.39	24.65	20.27
E.coli(CFU/ml)	1.8 × 10 ⁴	ND	ND	ND	ND	ND
CO ₂ (mg/100g)	0	3546.2	3198.3	2454.2	2843.5	2459.7
Protease(unit)	562.8	1021.3	813.5	849.6	848.9	862.4
Amylase(unit)	5.2	39.5	14.8	22.4	25.4	28.6

N.D : not detected over 10²CFU/g

물의 개체수가 퇴비화가 종료된 30일 까지 지속적으로 유지되었다. 특히 유기물 함량 변화 및 조단백함량 및 환원 당비의 변화에서 전술한 바와 같이 FW1 시험구가 다른 시험구에 비해 우수한 결과를 나타내어 음식물 쓰레기 자체 미생물에 의한 퇴비화가 가능할 것으로 사료되며 이 때 퇴비화 조건중 온도가 중요한 인자가 되며 50°C의 퇴비화 온도조건이 가장 우수한 나타났다.

국 문 요 약

음식물 쓰레기 자체미생물에 의한 퇴비화 가능성을 검토하기 위해 음식물 쓰레기 자체 미생물의 분포 및 수를 조사한 결과 30°C에서 세균은 전 시료구에서 10⁵-10⁷CFU/g, 50°C에서 10⁵-10⁶CFU/g 이 검출되었다. 효소생산 미생물은 30°C와 50°C에서 amylase, protease 생산균주는 계절에 관계 없이 10³-10⁷CFU/ml 로 검출 되었다. 한편 30일간의 퇴비화 실험결과 50°C 항온에서 음식물 쓰레기만을 이용한 시험구(FW1)는 30°C(FW2) 시험구와 유사하였으나 온도구 배 적용구(FW3) 그리고 미생물 부속제첨가구(FM1,

FM2) 에 비해 가장 많은 CO₂ gas 발생율을 보였고 유기물 분해율, 조단백함량 변화에 있어서 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 퇴비화 과정중 미생물과 효소생산 균주의 변화를 조사한 결과 FW1 의 경우 30°C, 50°C, 60°C의 전 배양 온도에서 10⁵-10⁶CFU/ml의 세균과 Amylase 및 Protease 생산균주가 검출되어 미생물 부속제를 첨가한 시험구에 비해 우수 하였다.

이상의 결과로 음식물 쓰레기 자체 총균수 및 효소 생산 균주 그리고 퇴비과정중의 성분 변화를 고려할 때 50°C의 부속온도가 가장 효율적이며 음식물 쓰레기 퇴비화에 별도의 미생물 부속제 사용은 불필요한 것으로 추측된다.

감사의 글

본연구는 농촌진흥청 산학관 대형공동연구사업 연구결과 의 일부로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

Table 8. Qualities of food waste compost after composting for 30 days (dry basis)

Items	Before composting	After composting					Standard
		FW1	FW2	FW3	FM1	FM2	
Max.Temp.(°C)	22	50	30	63	63	63	-
pH(1:10)	5.48	7.24	6.12	6.28	6.42	6.33	-
O.M(%)	89.04	83.25	87.1	88.82	88.76	88.43	over 25
T-N	1.51	0.61	1.20	1.30	1.14	0.81	-
NaCl(%)	1.83	1.11	1.16	1.19	1.36	1.35	-
K ₂ O(%)	0.67	0.37	0.56	0.59	0.67	0.67	-
CaO(%)	0.37	0.32	0.21	0.22	0.31	0.25	-
MgO(%)	0.12	0.14	0.11	0.11	0.22	0.15	-
Fe(mg/kg)	472.08	166.99	114.74	92.69	105.99	105.14	-
Zn(mg/kg)	31.39	45.63	37.96	35.85	45.44	46.25	-
Pb(mg/kg)	1.87	0.78	0.468	0.55	7.48	0.94	below 150
Cu(mg/kg)	4.15	5.39	3.74	4.28	11.27	3.78	below 200
Cr(mg/kg)	1.24	3.48	-	-	7.76	1.39	below 300
Cd(mg/kg)	0.56	-	-	-	6.72	-	below 5
Ni(mg/kg)	1.00	3.75	0.18	0.28	7.26	0.39	-

참고 문헌

1. 서정윤, 주수홍(1994). 가정용 소형 퇴비화 용기에 의한 부엌쓰레기의 분산식 퇴비화, 한국환경농학회지, 14(2): 232-245
2. 김남천(1994). 음식물 찌꺼기의 재활용에 관한 연구, 한국유기성폐기물자원화학회지, 2(1):51-64
3. 허당, 전병관(1996). 음식물 쓰레기 퇴비화에 관한 기초적 연구, 한국유기성폐기물자원화학회지, 1(1):1-11
4. 정광용(1995). 유기성폐기물 비료화 방안. 21세기를 향한 비료개발과 정책방향 심포지움, 한국 토양비료학회, p48-90
5. 최민호, 조성은, 유정목, 정운진, 박연희(1995). 음식물 쓰레기 호기성 분해를 위한 고온균의 분리 및 생육 특성, 한국유기성폐기물자원화학회지, 3(1):21-34
6. 배영진, H.Kaneko and F.Fujita(1993). 퇴비화 과정에서 미생물수와 증식활성, 한국유기성폐기물 자원화학회지, 1(1):59-68
7. Storm, P.F.(1985). Identification of Thermophilic bacteria in solid bacteria and in solid waste composting, Environ. Microbiol., 50(4):906-913
8. Nakasaki, K., M.Sasaki, M.Shoda, and H.Kubota(1985). Changes in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with reference to CO₂ evolution rate, Appl. Env. Microbiol., 53(50):1118-1124
9. Finstein, M.S. and Moris, M.L.(1975) Microbiology of municipal solid waste composting, Advance in Applied Microbiology, 19:113-151
10. 토양미생물 시험법(1992). 양현당, 동경, 일본
11. 정광용, 권순익, 조남준, 박백균, 양창욱, 박창수(1996). 음식물 쓰레기 퇴비화 기준설정, 농촌진흥청 농업과학기술원 시험사업보고서(농업환경부편), p.99-111
12. 토양양분분석법(1976). 양현당, 동경, 일본
13. 식품공전(1988). 보건복지부
14. 토양화학분석법(1988). 농촌진흥청
15. 환원당의 정량법, (1965), 화학과생물, 3(9):36-42
16. Matsuzawa, H., K.Tokugawa, M.Hamaoki, M.Mizo-zoguchi, M.Taguchi, H. Terada, S.T.Kwon and T.Ohta(1988.) Purification and characterization of aqualysin produced by *Thermus aquaticus* YT-1, Eur.J.Biochem., 171:441-447
17. Poincelot, R.P.(1971). The biochemistry and method of composting, Conn.Agric.Exp.Stn.Bull., p.727-735
18. Stom, P.F., 1985, Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting, Appl.Env.Microbiol., 50(4):899-905
19. Bae, Y.J., H.Kaneko, and F.Fujita, 1993, Profile of microbial numbers and growth activity in composting process, J.of KOWREC, 1(1):59-68)
20. Anderson, R.L., D.C.Nelson, R.S.Burd, C.L.Siebert Jr., S.A.Hart, J.L.Strelow, and J.S.W.Ley(1974) Utilization of municipal wastewater sludge, WPCF
21. 정영륜(1995). 한국유기성폐기물학회, 자원화협의회 대토론회, p.82-97
22. 남궁완, 최정영(1993). 한국유기성폐기물학회, 유기성 폐기물 자원화 기술, 1(1):33-47
23. 김남천(1994). 음식물 찌꺼기의 재활용에 관한 연구, 한국유기성폐기물자원화, 2(2):51-64
24. Inoko, A.(1982). The composting of organic materials and associated maturity problems, ASPAC. Food and Fertilizer Technol.Center, Technical Bull., No.71
25. Finstein, M.S., Miller, F.C. and Storm, P.F.(1986). Monitoring and evaluating composting process performance, J.WPCF., 58(4):272-278)