

## 감마선 조사를 이용한 유기질 퇴비의 병원성 미생물 저감화

윤혜정 · 임상용 · 송현파 · 김병근 · 정진우 · 김동호<sup>†</sup>  
한국원자력연구소 방사선연구원

### Reduction of Pathogenic Bacteria in Organic Fertilizer using Gamma-Irradiation

Hye-Jeong Yun, Sang-Yong Lim, Hyun-Pa Song, Byeong-Keun Kim,  
Jin-Woo Chung and Dong-Ho Kim<sup>†</sup>

Korea Atomic Energy Research Institute, Advanced Radiation Technology Institute, Chonbuk, Jeongeup 580-185, Korea

#### Abstract

Organic compost is a useful fertilizer for organic farming. However, it poses a microbiological hazard to the farm products because most of the composts are originated from excrementitious matters of domestic animals. Irradiation was performed to improve microbiological safety of organic compost and the effectiveness of gamma-irradiation for inactivating *Salmonella typhimurium* and *E. coli* was investigated. Total aerobic bacteria and coliform bacteria in 16 products of commercial composts were ranged from  $10^5$  to  $10^7$  CFU/mL and 0 to  $10^3$  CFU/mL, respectively. All coliform bacteria in the composts were eliminated by irradiation at 5 kGy, while about  $10^2$  CFU/mL of total aerobic bacteria survived up to 10 kGy of irradiation. In the inoculation test, the test organisms (inoculated at  $10^7$  CFU/mL) were eliminated by irradiation at 3 kGy.  $D_{10}$  values of inoculated *Salmonella typhimurium* and *E. coli* in the compost were  $0.40 \pm 0.05$  and  $0.39 \pm 0.03$  kGy. It was considered that 3~5 kGy of gamma irradiation was effective for radication (radiation sterilization of pathogenic microbes) of organic fertilizer.

**Key words :** gamma irradiation, organic fertilizer, sterilization

#### 서 론

최근 환경오염의 확산, 농약 및 화학비료의 사용 증가에 따른 농산물의 잔류독성이 농산물 및 식품의 국가교역과 국민보건 등의 측면에서 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 이러한 이유로 우리나라에서도 친환경 농산물에 대한 소비자의 관심과 수요가 급증하고 있는 추세이다. 현재 우리나라의 친환경 농산물 생산과 유통은 전체 농산물 생산량의 3% 정도를 차지하는 것으로 추산되며 친환경 농산물 시장의 발전단계는 도입단계로 평가된다. 친환경 농산물의 구분은 저농약 농산물, 무농약 농산물, 유기 농산물, 전환기 유기농산물 등으로 점차 세분화 되어가고 있는 단계이다. 시장의 측면에서는 대도시 중심의 중·대형 소매점을 중심

으로 전문매장이 형성되는 시장 발전단계에 이르고 있다 (1). 친환경 농산물은 재배방법이나 식품학적인 품질 기준에 따라 다양한 구분이 가능하다. 그러나 소비자들의 가장 일반적인 개념은 유기질 퇴비를 이용한 유기농법에 의하여 생산된 제품을 친환경 농산물로 보는 것이다. 유기질 퇴비의 사용은 작물의 생육을 촉진하며, 각종 독성물질의 저감화나 영양학적인 품질향상을 기대할 수 있는 장점이 있으며 (2-4) 토양의 개선과 같은 생태환경적인 유용효과를 나타낸다 (5). 유기질 퇴비의 원료는 식물유기체, 슬러지와 같은 환경폐기물, 음식물 쓰레기 등으로 다양하나 우리나라에서는 축산분뇨 및 부산물을 이용한 유기퇴비의 제조가 가장 높은 비중을 차지하고 있다 (6).

유기물의 퇴비화 과정은 일반적으로 3단계로 구분할 수 있다. 1단계는 원료 유기물 중의 당류, 아미노산 등이 미생물에 의하여 분해되면서 미생물이 증식하는 과정이다. 2단계는 미생물이 증식하면서 발열이 시작되면서 나타나는

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail : fungikim@kaeri.re.kr,  
Phone : 82-63-570-3140, Fax : 82-63-570-3149

고온성 분해과정으로 이 과정에서는 셀룰로오스, 펙틴 등의 난용성 탄수화물의 분해가 이루어진다. 3단계는 숙성단계로, 점차 온도가 떨어지면서 발효 및 후숙이 이루어지고(7-9), 유기성 폐기물의 이화학적 성분의 변화가 일어나는 과정이다(10-13). 유기질 퇴비의 발효에 관여하는 microflora의 변화는 원료의 종류나 초기 microflora에 따라 다소 차이가 있으나 일반적으로 발효 초기에는 중온성 균이 우점종을 차지하고, 발효가 진행됨에 따라 내열성 및 호열성 균주가 우점종을 차지하며, 후기에는 분해속도가 느린 혐기성 분해 세균이 증가하는 양상을 나타낸다(14).

가축 분뇨는 유용한 식물영양원을 함유하고 있으나 병원균, 기생충 알, 잡초 종자 등을 포함하고 있다. 따라서 미숙 퇴비의 사용은 농작물 자체의 피해뿐만 아니라 토양생태계에 미치는 2차적 토양오염, 그리고 농작물을 섭취한 인체의 안정성 등에 문제를 일으킬 수 있다. 특히, 가축분뇨에는 다양한 미생물들이 오염되어 있으므로 가축 분뇨의 미생물 저감화가 필수적이다. 유기퇴비의 병원균은 원재료에 함유되어있는 1차 병원균과 퇴비화 공정 중 발생하는 2차 병원균으로 구분되며(14), 일반적으로 1차 병원균보다 2차 병원균이 더 심각한 문제를 야기시킨다(15). 일반적으로 유기퇴비에서 발견되는 병원성 미생물은 *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* 등이 보고되고 있다(16). Burge 등(17)은 부숙이 잘 안된 퇴비의 경우 가용 영양분이 상당부분 존재하여 *Salmonella*의 재생장(regrowth)이 유도될 수 있다고 보고한 바 있다.

선진국의 유기 퇴비 품질 규제규준은 인체에 위해성에 근거한 기준과 토양의 악화(net degradation)를 방지하는 기준으로 나뉘어 관리되고 있다(6). 아울러 이러한 농업선진국들은 퇴비의 품질기준을 사용 용도별 또는 등급별로 분류하여 각각의 규제기준을 달리하는 경우도 많다. 산림용, 정원용, 화훼 등과 같은 비농업용 퇴비는 규제기준을 완화하여, 유기성 폐기물들의 자원화를 유도하는데 정책적으로 이용되고 있다. 그러나 식용작물에 사용되는 퇴비의 품질 기준은 매우 엄격하게 적용하고 있으며, 병원균 제어방법까지 고려하고 있는 추세이다(13). 한편, 국내의 혼합발효 유기질 퇴비에 대한 공전규격은 비소, 카드뮴, 수은 등의 중금속 함량만을 규제하고 있었고, 2002년부터 분변 중 대장균과 *Salmonella*의 함량을 새로이 규정하고 있으나 농업선진국과 같은 세부적인 규정설정과 품질관리 시스템에는 미치지 못하는 실정이다. 또한 가축분 퇴비와 같은 유기질 퇴비의 사용에 의한 물리·화학적 관점에서의 연구가 상당부분 수행되어 왔으나, 병원성 미생물에 대한 오염여부에 대한 조사는 미비한 실정이다.

방사선 조사는 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되어 이미 여러 분야에서 산업적으로 이용되고 있다(18). 특히, 감마선 조사기술은 완전 포장 후 살균이

가능하고 잔류성이 없으며 제품 고유의 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 강력한 살균효과를 나타내는 특성을 가지므로 미생물 오염이 우려되는 유기퇴비의 살균에 좋은 효과를 보일 것으로 예상된다(19-20). 또한 기생충 및 충란은 감마선 조사에 대하여 0.05 kGy 내외의 D값을 나타내고 병원성 미생물은 1 kGy 내외의 D값을 나타내므로 감마선을 이용한 유기퇴비의 살균은 기생충의 완전사멸을 달성할 수 있는 부가적인 효과가 기대된다.

본 연구에서는 유기질 퇴비의 위생성을 향상시키기 위한 기술개발의 일환으로써 시중에서 유통되는 유기질 퇴비의 호기성 총 세균수, 대장균 및 대장균군 그리고 *Salmonella*에 대한 미생물 오염도를 측정하였으며, 이를 기초로 감마선 조사를 이용한 유기질 퇴비의 살균효과를 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 시료 및 시약

상업용으로 시판되는 유기퇴비 4 종류 (A: 우분, B: 계분+뚱뚱, C: 돈분+뚱뚱+발효미생물, D: 축분+발효미생물)를 선정하여 각 구분별로 4종씩, 총 16종의 제품을 시중에서 구입하여 실험시료로 사용하였다. 미생물 분리를 위한 배지는 Difco Laboratories (Detroit, Michigan, USA) 제품을 사용하였다.

### 감마선 조사

유기질 퇴비 100 g을 각 단위 포장제품(10~30 kg) 5곳에서 random sampling하여 멸균된 polyethylene 포장지에 합기 포장한 다음 밀봉하여 방사선 조사 시료로 사용하였다. 시료의 방사선 조사는 한국원자력연구소의 선원 100,000 Ci, <sup>60</sup>Co 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 20 °C의 실온에서 분당 70 Gy의 선량률로 각각 3, 5, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 ceric/cerous dosimeter를 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 ± 5.4% 이내로 하였다.

### 유기질 퇴비의 미생물 검사

대조군 및 감마선 조사된 각 시료의 호기성 세균, 대장균군, 대장균, *Salmonella*의 분포를 pour plating에 의한 plate count 방법으로 검사하였다. 미생물 분석을 위한 시료는 유기퇴비 10 g을 취하여 mass flask에 담은 다음 멸균 식염수(NaCl 0.85%)를 100 mL로 fill up 하고 이를 멸균된 500 mL 플라스크에 옮겨 4°C에서 30분 진탕 교반하여 제조하였다. 이 방법으로 채취된 검체 10 mL를 1/10 씩 단계별로 희석한 다음 각 희석액 1 mL를 취하여 petri dish에 분주하고 분리하고자하는 미생물군의 선택배지 15 mL에 pour plating

하고 이를 배양하여 미생물을 분리하였다.

#### 총 호기성세균(total aerobic bacteria) 측정

시료에 혼입된 총 호기성세균은 식품공전 표준시험법 (21)에 따라 plate count agar (Difco, Lab)를 사용하여 검출하였다. 미생물의 서식밀도는 plate를 37°C의 배양기에서 2일간 배양한 후 생성된 colony를 계수하여 log CFU/g으로 나타내었다.

#### 대장균 및 대장균군 측정

시료에 혼입된 대장균 및 대장균군은 AOAC(22) 방법에 준하여 Petrifilm™ Plate을 사용하여 검출하였다. 시료가 접종된 plate를 37°C에서 2일간 배양한 다음, 가스방울을 나타내며 푸른색의 균체를 가진 colony를 대장균으로, 가스방울이 붙어있는 붉은색 균체를 가진 colony를 대장균군으로 판정하여 이를 log CFU/g으로 나타내었다.

#### Salmonella 측정

시료에 혼입된 Salmonella는 Kim 등(23)의 방법에 준하여 SS agar plate를 사용하여 분리하였다. 시료가 접종된 plate를 37°C에서 2일간 배양한 다음, 검은색의 colony를 Salmonella로 판정하여 이를 log CFU/g으로 나타내었다. 한편, Salmonella 선택배지로 사용되는 SS agar는 Salmonella나 Shigella 뿐만 아니라 자연상태의 비병원성 미생물(gram negative facultatively anaerobic rods, Enterobacteriaceae)도 검출되고 본 실험에서는 분리미생물의 동정을 행하지 않았으므로 검출된 미생물을 Salmonella group으로 구분하지 않고 SS agar plate 분리 enteric group으로 표시하였다.

#### Salmonella 및 E. coli 접종실험

유기퇴비에서 병원성 미생물의 방사선 감수성을 알아보기 위하여 표준균주인 Salmonella와 E. coli의 접종실험을 실시하였다. 접종실험을 위하여 4 종류의 유기퇴비 시료(A: 우분, B: 계분+툽밥, C: 돈분+툽밥+발효미생물, D: 축분+발효미생물)에서 각 1종을 선정하여 이를 상기의 감마선 조사 조건에서 20 kGy의 선량으로 완전멸균하였다. 표준균주 S. typhimurium (KCCM 40253)과 E. coli (KCCM 12119)는 Korean culture center of microorganisms (KCCM, Seoul, Korea)에서 분양받아 사용하였다. 각 표준균주를 37°C 조건의 nutrient broth(Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에서 stationary phase 까지 진탕배양(200 rpm)한 다음 원심분리기(Vs-5500, Vision Scientific, Co., Seoul, Korea)에서 3회 원심분리(3,000 rpm for 10 min at 4°C)하여 이를 접종균으로 준비하였다. 세포의 washing solution은 멸균 식염수를 사용하였으며 각 시험균주의 접종농도는 10<sup>7</sup> CFU/g이 되게 하였다. 각 시험균주가 접종된 유기퇴비는 상기의 Co-60 감마선 조사시설에서 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 kGy의 흡수선량으로

방사선 조사를 실시하였다. 각 미생물의 방사선 감수성 평가는 상기의 미생물 분석 시료 제조방법에 따라 시료를 준비한 다음 nutrient agar 배지에 pour plating하고 plate를 37°C의 배양기에서 2일간 배양한 후 생성된 colony를 계수하여 log CFU/g으로 나타내었다. 미생물의 개체수를 1/10로 줄이는데 필요한 방사선량 D<sub>10</sub> 값은 아래의 식에 의하여 산출하였다.

$$D_{10} = \frac{Dose}{(\log N_0 - \log N)}$$

(N<sub>0</sub>: 미생물의 초기균수, N: 방사선 조사 후 생존한 미생물의 수, Dose: kGy)

#### 통계분석

이상의 실험에서 얻어진 실험결과는 Statistical Package for Social Sciences(SPSS, 10.0)를 이용하여 one way ANOVA 분석을 하였으며, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 p<0.05 수준에서 비교하였다.

## 결과 및 고찰

#### 시판 유기질 퇴비의 미생물 분포

시료로 사용된 시판 유기질 퇴비 16 종의 총 호기성세균, 대장균군, 대장균, SS agar plate 분리 enteric group의 서식밀도를 살펴보았다(Table 1). 총 호기성세균은 평균 10<sup>6</sup> CFU/g 수준이었으며 각 시료별로는 10<sup>4</sup>~10<sup>7</sup> CFU/g의 분포를 나타내었다. 한편, 유기질 퇴비의 원료 즉, 우분, 돈분, 계분 및 혼합분의 구분에 따른 미생물의 분포는 유의적인 차이가 관찰되지 않았다. 이는 축산폐기물 중 돈분, 계분에서의 호기성 세균수가 10<sup>6</sup>~10<sup>8</sup> CFU/g이라고 보고한 Whang 등(24)의 연구결과 보다는 다소 낮은 수준이었다. 대장균군은 16개 시료 중 12개 시료에서 10<sup>1</sup>~10<sup>3</sup> CFU/g의 분포를 나타내었으며 4개 시료에서는 검출되지 않았다. 대장균은 16개 시료 중 3개 시료에서 검출되었으며 SS agar plate 분리 enteric group 미생물은 계분 유래 제품 1종에서 검출되었다. 전체적으로 16개 시료 중 계분(sample group B)을 원재료로 한 B4 시료의 미생물 오염도가 가장 높은 것으로 판정되었다. 일반적으로 가축분변의 대장균과 병원성 미생물 등은 퇴비화 과정 중에 발생하는 열과 항생작용이 있는 퇴비화 미생물에 의해 밀도가 감소되어 퇴비화가 완전히 끝나면 소멸되는 것으로 알려져 있다(25-26). 그러나 퇴비에서 병원성 미생물의 잔존성 여부는 퇴적물 중심 온도가 60°C까지 상승하는데 소요된 시간과 퇴적물 초기 수분 함량의 상관관계에 의존하며 특히, 퇴비 발효 과정 중 느리게 고온기에 도달하거나, 충분한 고온상태에 이르지 못한 경우 대장균

및 병원성 미생물이 잔존하게 된다. Whang 등(24)은 돈분과 계분의 보조첨가물로서 톱밥과 제지 슬러지를 사용한 퇴비의 경우, 원재료의 대장균 및 병원성 미생물(*Salmonella*, *Shigella*)은 평균  $10^4 \sim 10^7$  CFU/g 수준이었으며, 이는 퇴비화 과정 중 고온기를 거치면서 급격히 감소하여 숙성 후에는 존재하지 않았으나, 느린 속도로 고온기에 도달한 시료군에서는 후숙과정 중 병원성 미생물이 다시 증식하여  $10^6$  CFU/g이상의 *Salmonella*가 존재하였다고 보고하여 유기퇴비의 병원성미생물 오염 위험성을 제시한 바 있다.

**Table 1. Microbial population of commercial products of organic fertilizer**

(unit : log CFU/g)

Sample group <sup>1)</sup>	Sample No.	Microorganism			
		Total aerobic bacteria	Coliforms	<i>E. coli</i>	Isolates on SS agar
A	A-1	6.27	2.16	ND	ND
	A-2	7.38	1.55	ND	ND
	A-3	6.81	2.71	1.26	ND
	A-4	5.32	1.43	ND	ND
B	B-1	4.85	2.80	ND	ND
	B-2	6.69	ND <sup>2)</sup>	ND	ND
	B-3	7.22	ND	ND	ND
	B-4	7.03	3.14	1.45	1.39
C	C-1	5.49	ND	ND	ND
	C-2	5.60	1.71	ND	ND
	C-3	6.32	2.37	ND	ND
	C-4	6.74	2.88	ND	ND
D	D-1	5.13	3.03	ND	ND
	D-2	7.22	2.46	2.05	ND
	D-3	6.46	ND	ND	ND
	D-4	6.15	2.11	ND	ND

<sup>1)</sup>Fertilizer originated from a night soil of A: cattle, B: chicken, C: pig, D: total domestic animals.

<sup>2)</sup>Not detected in the detection limit ( $>10^1$  CFU/g) of this study.

**유기퇴비의 방사선 살균**

유기퇴비의 미생물 오염도 저감화 및 위생성 향상을 목적으로 유기퇴비에 감마선을 조사한 후 미생물의 사멸율을 관찰하였다. 시판 유기퇴비에서  $10^4 \sim 10^7$  CFU/g의 분포를 나타낸 총 호기성세균은 10 kGy의 방사선 조사에 의하여 평균 4 log cycle의 감소율 ( $D_{10}$  value  $\approx$  2.5 kGy) 를 보여 비교적 높은 방사선 저항성을 나타내었다 (Table 2). 이는 *Bacillus* 등의 세균포자에서 관찰되는  $D_{10}$  value 수준이다. *Bacillus* 영양세포의  $D_{10}$ 값은 낮으나 endospore는 2.5 kGy 내외의  $D_{10}$ 값을 갖는다는 보고를(27-28) 감안한다면 유기퇴비의 감마선 살균 후에 생존하는 미생물의 대부분은 *Bacillus*의 endospore 상태로 존재하는 것으로 판단할 수 있었다. 시판 유기퇴비에서  $10^1 \sim 10^3$  CFU/g의 분포를 나타낸 대장균군 미생물은 5 kGy의 감마선 조사에서 완전 살균

수준의 미생물 감소율을 나타내었다(Table 3). *E. coli* 가 검출된 3개 시료와 SS agar plate 분리 enteric group 세균이 검출된 1개 시료의 *E. coli* 와 SS agar plate 분리 enteric group 세균은 3 kGy의 감마선 조사에 의하여 완전 사멸되었다 (data not shown).

**Table 2. Sterilization of aerobic bacteria in commercial products of organic fertilizer.**

(unit : log CFU/g)

Sample group <sup>1)</sup>	Sample No.	Irradiation dose (kGy)			
		0	3	5	10
A	A-1	6.27	5.02	4.41	2.27
	A-2	7.38	5.83	4.56	2.46
	A-3	6.81	5.27	3.24	1.89
	A-4	5.32	4.68	3.07	1.65
B	B-1	4.85	3.31	2.15	ND <sup>2)</sup>
	B-2	6.69	5.24	4.33	2.45
	B-3	7.22	6.40	5.19	3.77
	B-4	7.03	5.94	4.26	2.37
C	C-1	5.49	4.32	3.51	1.24
	C-2	5.60	4.55	3.26	1.56
	C-3	6.32	5.18	3.88	1.05
	C-4	6.74	5.54	4.03	2.38
D	D-1	5.13	4.23	3.20	1.62
	D-2	7.22	6.04	4.83	2.24
	D-3	6.46	5.48	4.11	1.82
	D-4	6.15	4.90	3.64	1.35

<sup>1)</sup>Fertilizer originated from a night soil of A: cattle, B: chicken, C: pig, D: total domestic animals.

<sup>2)</sup>Not detected in the detection limit ( $>10^1$  CFU/g) of this study.

**Table 3. Sterilization of coliform bacteria in commercial products of organic fertilizer**

(unit : log CFU/g)

Sample group <sup>1)</sup>	Sample No.	Irradiation dose (kGy)			
		0	3	5	10
A	A-1	2.16	1.48	ND	ND
	A-2	1.55	ND <sup>2)</sup>	ND	ND
	A-3	2.71	1.36	ND	ND
	A-4	1.43	ND	ND	ND
B	B-1	2.80	1.63	ND	ND
	B-2	ND	ND	ND	ND
	B-3	ND	ND	ND	ND
	B-4	3.14	1.88	ND	ND
C	C-1	ND	ND	ND	ND
	C-2	1.71	ND	ND	ND
	C-3	2.37	ND	ND	ND
	C-4	2.88	1.27	ND	ND
D	D-1	3.03	1.52	ND	ND
	D-2	2.46	1.20	ND	ND
	D-3	ND	ND	ND	ND
	D-4	2.11	ND	ND	ND

<sup>1)</sup>Fertilizer originated from a night soil of A: cattle, B: chicken, C: pig, D: total domestic animals.

<sup>2)</sup>Not detected in the detection limit ( $>10^1$  CFU/g) of this study.

**Salmonella typhimurium 및 E. coli의 방사선감수성**

본 연구에 사용된 16개의 시료 중 *E. coli*는 3개 시료에서, *Salmonella*는 1개 시료에서만 검출되었으나, 병원성 미생물의 오염을 가정한 유효 살균선량을 설정하기 위하여 *S. typhimurium*과 *E. coli* 표준 균주를 유기퇴비에  $10^7$  CFU/g 수준으로 접종하여 각 미생물의 방사선 감수성을 평가하였다(Table 4). *S. typhimurium*은 3 kGy의 감마선 조사에서 검출되지 않았으며  $D_{10}$  value는 0.4 kGy 내외로 계산되었다. *E. coli*는 2 kGy의 감마선 조사에서 검출되지 않았으며  $D_{10}$  value는 0.39 kGy 내외로 계산되었다. *Salmonella*와 *E. coli*의 이러한 방사선 감수성은 *Salmonella*(19) 및 *E. coli*(29-30)의 선행연구 결과와 유사한 수준이었다. 한편, 가축분뇨발효 비료액의 병원성 미생물 공정규정에는 분변중 대장균은 1,000이하(MPN/mL)로, *Salmonella*는 3이하(MPN/4 mL)로 규정되어 있다. 유기퇴비의 방사선 조사 시험결과 3 kGy 수준이면 이러한 규정을 충족할 수 있으며 5 kGy 수준이면 병원성 미생물의 완전멸균을 달성할 수 있을 것으로 평가되었다. 따라서 유기퇴비에 분포하는 병원성 미생물의 살균은 5 kGy의 조사선량이 유효할 것으로 사료된다.

**Table 4. Effect of gamma irradiation on the inoculated *S. typhimurium* and *E. coli* in commercial products of organic fertilizer**

Microbes	Sample No. <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)					$D_{10}$ value (kGy)
		0	0.5	1	2	3	
<i>S. typhimurium</i>	A-1	7.23	6.28	4.93	2.06	ND <sup>2)</sup>	0.40
	B-1	7.15	6.05	4.95	1.85	ND	0.40
	C-1	7.36	6.33	5.24	1.92	ND	0.39
	D-1	7.17	5.81	4.82	2.14	ND	0.41
<i>E. coli</i>	A-1	7.29	5.35	3.10	ND	ND	0.39
	B-1	7.38	5.24	2.98	ND	ND	0.39
	C-1	7.14	5.22	3.03	ND	ND	0.40
	D-1	7.22	5.31	2.86	ND	ND	0.40

<sup>1)</sup>Fertilizer originated from a night soil of A: cattle, B: chicken, C: pig, D: total domestic animals.

<sup>2)</sup>Not detected in the detection limit ( $>10^1$  CFU/g) of this study.

**요 약**

시판 유기질 퇴비(우분, 돈분, 계분 및 혼합분) 16종의 총 호기성 세균수, 대장균 및 대장균군 그리고 *Salmonella*에 대한 미생물 오염도를 파악하고, 미생물 오염도 저감화 및 위생성 향상을 위해 감마선을 조사한 후 미생물 사멸도를 측정하였다. 총 호기성 세균수는 우분, 돈분, 계분 및 혼합분

의 경우  $10^4 \sim 10^7$  CFU/g으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대장균군은 16종의 시료 중 12종의 시료에서  $10^1 \sim 10^3$  CFU/g의 분포를 나타내었고, 대장균군은 3종의 시료에서  $10^1 \sim 10^2$  CFU/g의 분포를 나타내었다. 또한 SS agar plate 분리 enteric group 미생물은 계분제품 중 1종에서만 검출되었다. 한편 총 호기성세균은 10 kGy 감마선 조사에 의해서 평균 4 log cycle 감소하였으며, 대장균군은 5 kGy 감마선 조사시 완전살균 수준의 감소효과를 나타내었다. *E. coli*와 SS agar plate 분리 enteric group은 3 kGy 감마선 조사에 의해 완전 사멸되었다. 유기질 퇴비 분포 미생물의 D 값은 SS agar plate 분리 enteric group은 0.40 kGy, *E. coli*는 0.39 kGy의 범위를 나타내었다. 시판 유기질 퇴비는 3 kGy 수준에서 축분뇨발효 비료액의 병원성 미생물 공정규정을 충족할 수 있으며, 위생화를 위해서는 5 kGy 수준으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

**참고문헌**

- Kim, C.G. (2003) Evaluation and project on support policies for improvement in environmentally friendly agriculture. Proceedings of symposium for evaluation and development on policies of environmentally friendly agriculture. Agriculture, Fisheries & Livestock News, 5-19
- Khan, R.A. and Saxena, S.K. (1997) Intergrated management of root knot nematode *Meloidogyne javanica* infecting tomato using organic materials and *Paecilomyces liacininus*. Bioresource Technol., 61, 247-250
- Saifullah, A.G. and Zulfiqar. (1990) Promising control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) of tomato through organic amendments. J. Agric., 6, 417-420
- Saifullah, A.G. and Shah, S.F.A. (1990) Control of root-knot nematodes in tomato through organic amendments and NPK. Sarhad J. Agric., 6, 95-97
- Weon, H.Y., Kwon, J.S., Suh, J.S. and Choi, W.Y. (1999) Soil microbial flora and chemical properties as influenced by the application of pig manure compost. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., 32, 76-83
- 신항식 (1996) 퇴비관련 법제 및 제품 표준화 연구. 음식물쓰레기 등 한국형 유기성 폐기물 자원화 연구개발사업 보고서, 한국자원재생공사
- Bagstam, G. (1979) Population changes in microorganisms during composting of spruce-bark. II. Mesophilic and thermophilic microorganisms during controlled composting. J. Apple. Microbiol. Biotechnol., 6, 279-288
- Falcon, M.A., Corominas, E., Perez, M.L. and Perestelo,

- F. (1987) Aerobic bacterial populations and environmental factors involved in the composting of agricultural and forest wastes of the canary islands. *Biological Wastes*, 20, 89-99
9. Molnar, L. and Bartha, I. (1988) High solids anaerobic fermentation for biogas and compost production. *Biomass*, 16(3), 173-182
10. Chino, M., Kanazawa, S., Mori, T., Araragi, M. and Kanke, B. (1983) Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 29, 159-173
11. Pare, T., Dinel, H., Schnitzer, M. and Dumonte, S. (1998) Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper. *Biol. Fertil. Soils*, 26, 173-178
12. Lo, K.V., Lau, A.K. and Liao, P.H. (1993) Composting of separated solid swine wastes. *J. Agric. Eng. Res.*, 54, 307-317
13. Lee, J.T., Nam, Y.G. and Lee, J.I. (2001) Changes of physico-chemical properties and microflora of pig manure due to composting with some bulking agents. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.*, 34, 134-144
14. Boutin, P. and Moline, J. (1987) Health and safety aspects of compost preparation and use, compost : production, quality and use. Elsevier Applied Science, p. 198-209
15. Zucchini, F. and Bertoldi, M.D. (1987) Specification for solid waste compost. *Biocycle*, 28(May-June), 56-61
16. Goldstein, N., Yanko, W.A., Walker, J.M. and Jakubowski, W. (1988) Determining pathogen levels in sludge products. *Biocycle*, 29, 44-47
17. Burge, W.D., Cramer, W.N. and Epstein, E. (1978) Destruction of pathogens in swage sludge by composting. *Trans. ASAE*, 510-514
18. Byun, M.W. and Yook, H.S. (2003) Internal and external situation of irradiation technology utilization in the food and public health industry. *Korean J. of Food Preservation*, 10, 106-123
19. Niemira, B.A., Sommers, C.H. and Boyd, G. (2001) Irradiation inactivation of four *Salmonella* serotypes in orange juices with various turbidities. *Journal of Food Protection*. 64. 614-617
20. Sawai, T., Yamazaki, M., Shimokawa, T., Sekiguchi, M. and Sawai, T. (1990) Improvement of sedimentation and dewatering of municipal sludge by radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 35, 465-468
21. The Korea Food and Drug Administration. (2003) Food Standard Code, Seoul.
22. AOAC. (1995) Official methods of Analysis, 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
23. Kim, D.H., Song, H.P., Yook, H.S., Chung, Y.J., Kim, Y.J. and Byun, M.W. (2002) Distribution of microflora in powdered raw grains and vegetables and improvement of hygienic quality by gamma irradiation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 31, 589-593
24. Whang, K.S. and Chang, K.W. (1996) Change of microflora in livestock manure during composting process. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.*, 29, 303-311
25. Hussang, D., Burge, D. and Enkiri, N. (1985) Occurrence, growth and suppression of *Salmonella* in composed sewage sludge. *Appl. Env. Microbiol.*, 50, 887-893
26. Millner, P.D., Powers, K., Enkiri, N. and Burge, W. (1987) Microbially mediated growth suppression and death of *Salmonella* in composed sewage sludge. *Microb. Ecol.*, 14, 255-265
27. Haurnulv, B.G. and Snygg, B.G. (1973) Radiation resistance of spores of *Bacillus subtilis* and *B. stearothermophilus* at various water activities. *J. Appl. Bacteriol.*, 36, 677-682
28. Briggs, A. (1966) The resistance of spores of the genus *Bacillus* to phenol, heat and radiation. *J. Applied Bacteriology*, 29, 490-504
29. Maxcy, R.B. and Tiwari, N.P. (1973) Irradiation of meats for public health protection. In *Radiation preservation of food*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 491-504
30. FAO/IAEA/WHO Study Group. High-dose irradiation (1999) Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. In WHO technical report series 890. World Health Organization, Geneva, 49-77

(접수 2005년 12월 13일, 채택 2006년 3월 17일 )